



Universitatea
Transilvania
din Braşov

ŞCOALA DOCTORALĂ INTERDISCIPLINARĂ

Facultatea: SILVICULTURĂ ŞI EXPLOATĂRI FORESTIERE

Ing. Mirabela MARIN

**IMPACTUL HIDROLOGIC AL SCHIMBĂRILOR CLIMATICE ŞI
REDUCERII SUPRAFEŢEI ÎMPĂDURITE ÎN BAZINE
HIDROGRAFICE MICI, PREDOMINANT FORESTIERE.
Studiu de caz: Bazinul superior al râului Tărlung**

**HYDROLOGICAL IMPACT OF CLIMATE CHANGE AND FORESTED
AREA REDUCTION IN SMALL, FORESTED WATERSHEDS.
Case study: Upper Tarlung watershed**

REZUMAT / ABSTRACT

Conducător ştiinţific

Prof. dr. ing. Ioan CLINCIU

Membru titular al Academiei de Ştiinţe Agricole şi Silvice

BRAŞOV, 2020

D-lui (D-nei)

COMPONENȚA

Comisiei de doctorat

Numită prin ordinul Rectorului Universității Transilvania din Brașov

Nr. din

PREȘEDINTE:

Prof. dr. ing. Alexandru Lucian CURTU

Decan Facultatea de Silvicultură și Exploatare Forestiere
Universitatea Transilvania din Brașov

CONDUCĂTOR ȘTIINȚIFIC:

Prof. dr. ing. Ioan CLINCIU

Universitatea Transilvania din Brașov

REFERENȚI:

CS I dr. Habil. Sorin CHEVAL

Director Meteorologie Aplicată, Administrația Națională
de Meteorologie, București

CS II dr. Viorel CHENDEȘ

Director Științific, Institutul Național de Hidrologie și
Gospodărire a Apelor

Conf. dr. ing. Victor Dan PĂCURAR

Universitatea Transilvania din Brașov

Data, ora și locul susținerii publice a tezei de doctorat: online pe platforma
<http://bbb.unitbv.ro/b>.

Eventualele aprecieri sau observații asupra conținutului lucrării vă rugăm să le
transmiteți în timp util, pe adresa mirabela.marin@unitbv.ro

Totodată vă invităm să luați parte la ședința publică de susținere a tezei de
doctorat.

Vă mulțumim.

CUPRINS (lb. română)

	Pg. teza	Pg. rezumat
CUVÂNT ÎNAINTE	-	9
MULȚUMIRI	-	11
LISTA DE NOTAȚII	9	12
LISTA DE ABREVIERI	9	12
CONSIDERAȚII INTRODUCATIVE	10	13
1. STADIUL CUNOȘTIINȚELOR PRIVIND IMPACTUL HIDROLOGIC AL SCHIMBĂRILOR CLIMATICE ÎN BAZINE HIDROGRAFICE MICI, PREDOMINANT FORESTIERE	11	13
1.1 Scurt istoric privind evoluția scenariilor de schimbări climatice	11	13
1.1.1 Scenariile SA90	11	13
1.1.2 Scenariile IS92	11	13
1.1.3 Scenariile SRES	12	14
1.1.4 Scenariile RCP	15	14
1.2 Scenarii de schimbări climatice pentru România	20	15
1.3 Vulnerabilitatea terenurilor și a ecosistemelor forestiere la schimbările climatice	26	16
1.4 Dimensiuni ale cunoașterii impactului hidrologic al schimbărilor climatice la scară de bazin hidrografic	29	16
1.5 Modele hidrologice aplicate în studiul impactului schimbărilor climatice în bazine hidrografice mici, predominant forestiere	32	17
1.5.1 Modelarea hidrologică, instrument pentru previzionarea impactului hidrologic al schimbărilor climatice	32	17
1.5.2 Clasificarea modelelor hidrologice	32	17
1.5.3 Scurtă prezentare a principalelor modele hidrologice	34	18
1.6 Rezultate ale aplicării modelelor utilizate în studiul impactului hidrologic al schimbărilor climatice din bazine hidrografice mici, predominant forestiere	38	18
1.7 Concluzii desprinse din analiza stadiului actual al cunoștințelor	51	20
2. SCOPUL, LOCUL ȘI OBIECTIVELE CERCETĂRILOR	53	20
2.1 Scopul și obiectivele cercetărilor	53	20
2.2 Locul cercetărilor	54	21
3. METODOLOGIA DE CERCETARE	60	22
3.1 Particularizarea modelului hidrologic SWAT	60	22
3.2 Rularea modelului SWAT	71	22
3.3 Calibrarea și validarea modelului SWAT	73	23
3.4 Modele climatice regionale adaptate la condițiile locale ale regiunii analizate	80	23
3.5 Previzionarea precipitațiilor atmosferice și a temperaturii aerului cu ajutorul modelelor climatice locale în perioada 2020–2100	85	24
3.5.1 Previziuni referitoare la cantitatea anuală de precipitații	85	24
3.5.2 Previziuni referitoare la dinamica temperaturii aerului	93	25
3.6 Scenarii de studiu privind folosința terenului	96	26
3.7 Rularea modelului SWAT în contextul modelelor climatice și al scenariilor de studiu privind folosința terenului	98	26
3.8 Scurt rezumat și concluzii desprinse din previzionarea evoluției precipitațiilor și a temperaturii aerului	102	27

4. IMPACTUL HIDROLOGIC PREVIZIONAT AL SCHIMBĂRILOR CLIMATICE ȘI REDUCERII SUPRAFEȚEI ÎMPĂDURITE ASUPRA PROCESELOR HIDROLOGICE DIN BAZINUL SUPERIOR

AL RÂULUI TĂRLUNG	104	27
4.1 Aspecte introductive	104	27
4.2 Scurgerea de suprafață simulată pentru intervalul 2020-2100	105	28
4.2.1 Scurgerea de suprafață pe termen scurt (2020-2039)	105	28
4.2.1.1 Scurgerea lunară	105	28
4.2.1.2 Scurgerea lunară sezonieră	107	28
4.2.1.3 Scurgerea anuală	108	29
4.2.2 Scurgerea de suprafață pe termen mediu (2040-2069)	111	30
4.2.2.1 Scurgerea lunară	111	30
4.2.2.2 Scurgerea lunară sezonieră	112	31
4.2.2.3 Scurgerea anuală	113	31
4.2.3 Scurgerea de suprafață pe termen lung (2070-2100)	115	32
4.2.3.1 Scurgerea lunară	115	32
4.2.3.2 Scurgerea lunară sezonieră	117	33
4.2.3.3 Scurgerea anuală	118	33
4.3 Debitul simulat pentru intervalul 2020-2100	121	34
4.3.1 Debitul pe termen scurt (2020-2039)	121	34
4.3.1.1 Debitul lunar	121	34
4.3.1.2 Debitul lunar-sezonier	122	34
4.3.1.3 Debitul anual	124	35
4.3.2 Debitul pe termen mediu (2040-2069)	125	36
4.3.2.1 Debitul lunar	125	36
4.3.2.2 Debitul lunar-sezonier	127	36
4.3.2.3 Debitul anual	128	37
4.3.3 Debitul pe termen lung (2070-2100)	130	38
4.3.3.1 Debitul lunar	130	38
4.3.3.2 Debitul lunar-sezonier	131	39
4.3.3.3 Debitul anual	133	39
4.4 Transportul de aluviuni simulat pentru intervalul 2020-2100	135	40
4.4.1 Transportul de aluviuni pe termen scurt (2020-2039)	135	40
4.4.1.1 Transportul lunar	135	40
4.4.1.2 Transportul lunar-sezonier	136	41
4.4.1.3 Transportul anual	137	41
4.4.2 Transportul de aluviuni pe termen mediu (2040-2069)	139	42
4.4.2.1 Transportul lunar	139	42
4.4.2.2 Transportul lunar-sezonier	141	43
4.4.2.3 Transportul anual	142	43
4.4.3 Transportul de aluviuni pe termen lung (2070-2100)	144	44
4.4.3.1 Transportul lunar	144	44
4.4.3.2 Transportul lunar-sezonier	145	45
4.4.3.3 Transportul anual	147	45
4.5 Testarea statistică a influenței modelelor climatice și scenariilor de modificare a folosinței terenurilor asupra scurgerii de suprafață, debitului și transportului de aluviuni	149	46
4.6 Analiză asupra frecvenței previziunilor în evoluția valorilor anuale ale scurgerii de suprafață, debitului și transportului de aluviuni	156	47
4.6.1 Precizări metodologice	156	47
4.6.2 Analiza matricelor de frecvență alcătuite pe orizonturi de timp	156	47

4.6.3 Rezultatul previziunilor la nivelul întregii perioade luate în studiu.....	165	49
4.7 Măsura alinierii rezultatelor obținute în urma studiului de caz cu rezultatele altor cercetări desfășurate la nivel internațional.....	169	50
4.8 Limitele modelului SWAT în previzionarea impactului hidrologic al schimbărilor climatice (cu sau fără modificarea folosinței terenurilor) în bazine hidrografice mici, predominant forestiere.....	170	51
4.9 Scurt rezumat și concluzii desprinse din previzionarea evoluției scurgerii de suprafață, debitului și transportului de aluviuni.....	171	51
4.9.1 Evoluția previzionată a scurgerii de suprafață.....	171	51
4.9.2 Evoluția previzionată a debitului.....	173	52
4.9.3 Evoluția previzionată a transportului de aluviuni.....	175	54
4.9.4 Frecvența tendințelor previzionate în variația anuală a scurgerii de suprafață, debitului și transportului de aluviuni.....	177	55
5. CONCLUZII FINALE, CONTRIBUȚII ORIGINALE, RECOMANDĂRI PRACTICE, DISEMINAREA REZULTATELOR, DIRECȚII VIITOARE DE CERCETARE.....	179	57
5.1 Concluzii finale.....	179	57
5.2 Contribuții originale.....	183	59
5.3 Recomandări practice.....	184	60
5.4 Diseminarea rezultatelor.....	186	62
5.5 Direcții viitoare de cercetare.....	188	65
BIBLIOGRAFIE SELECTIVĂ.....	196	66
ANEXE.....	206	71
Anexa 1. Dinamica scurgerii lunare de suprafață (mm) în intervalul 2020-2039.....	206	-
Anexa 2. Variația lunară sezonieră a scurgerii de suprafață (mm) în intervalul 2020-2039.....	206	-
Anexa 3. Dinamica scurgerii anuale de suprafață (mm) în intervalul 2020-2039.....	206	-
Anexa 4. Dinamica scurgerii lunare de suprafață (mm) în intervalul 2040-2069.....	207	-
Anexa 5. Variația lunară sezonieră a scurgerii de suprafață (mm) în intervalul 2040-2069.....	207	-
Anexa 6. Dinamica scurgerii anuale de suprafață (mm) în intervalul 2040-2069.....	208	-
Anexa 7. Dinamica scurgerii lunare de suprafață (mm) în intervalul 2070-2100.....	208	-
Anexa 8. Variația lunară sezonieră a scurgerii de suprafață (mm) în intervalul 2070-2100.....	209	-
Anexa 9. Dinamica scurgerii anuale de suprafață (mm) în intervalul 2070-2100.....	209	-
Anexa 10. Scurt rezumat al tezei (RO/ENG).....	210	-
Rezumat (RO/ENG).....	-	72

CONTENT (English)

	Pg. teza	Pg. rezumat
FOREWORD	-	9
ACKNOWLEDGEMENTS	-	11
NOTATIONS LIST	9	12
ABREVIATIONS LIST	9	12
INTRODUCTION	10	13
1. STATE OF THE ART REGARDING THE HYDROLOGICAL IMPACT OF CLIMATE CHANGE IN SMALL, FORESTED WATERSHEDS	11	13
1.1 A brief history of the evolution of climate change scenarios.....	11	13
1.1.1 SA90 scenarios.....	11	13
1.1.2 IS92 scenarios.....	11	13
1.1.3 SRES scenarios.....	12	14
1.1.4 RCP scenarios.....	15	14
1.2 Climate change scenarios for Romania.....	20	15
1.3 Land and forest ecosystems vulnerability to climate change.....	26	16
1.4 Knowledge of the climate change hydrological impact at the watershed scale.....	29	16
1.5 Hydrological models applied for assessing the climate change impact in small, forested watersheds.....	32	17
1.5.1 Hydrological modeling, a tool for predicting the hydrological impact of climate change.....	32	17
1.5.2 Hydrological models classification.....	32	17
1.5.3 A brief presentation of the main hydrological models.....	34	18
1.6 Results of hydrological models applied for assessing the climate change hydrological impact in small, forested watersheds.....	38	18
1.7 Conclusions from the state of the art analysis.....	51	20
2. RESEARCH AIM, OBJECTIVES AND STUDY AREA LOCATION	53	20
2.1 Aim and objectives.....	53	20
2.2 Study area location.....	54	21
3. THE RESEARCH METHODOLOGY	60	22
3.1 SWAT model customization.....	60	22
3.2 Running SWAT model.....	71	22
3.3 SWATmodel calibration and validation.....	73	23
3.4 Regional climate models tailored to the local condition of the study area.....	80	23
3.5 Rainfall and air temperature projections using local climate models for the 2020–2100 period.....	85	24
3.5.1 Projections of the annual rainfall.....	85	24
3.5.2 Projections of the air temperature.....	93	25
3.6 Land-use change scenarios.....	96	26
3.7 Running the SWAT model under climate models and land-use change scenarios considered.....	98	26
3.8 Brief summary and conclusions derived from the rainfall and air temperature projections.....	102	27

4. FORECASTED HYDROLOGICAL IMPACT OF CLIMATE CHANGE AND FORESTED AREA REDUCTION ON HYDROLOGICAL PROCESSES WITHIN THE UPPER TARRLUNG WATERSHED	104	27
4.1 Preliminary aspects	104	27
4.2 Surface runoff projected for the 2020–2100 interval	105	28
4.2.1 Surface runoff on short term (2020–2039)	105	28
4.2.1.1 Monthly surface runoff	105	28
4.2.1.2 Monthly-seasonal surface runoff	107	28
4.2.1.3 Annual surface-runoff	108	29
4.2.2 Surface runoff on mid term (2040–2069)	111	30
4.2.2.1 Monthly surface runoff	111	30
4.2.2.2 Monthly-seasonal surface runoff	112	31
4.2.2.3 Annual surface-runoff	113	31
4.2.3 Surface runoff on long term (2070–2100)	115	32
4.2.3.1 Monthly surface runoff	115	32
4.2.3.2 Monthly-seasonal surface runoff	117	33
4.2.3.3 Annual surface-runoff	118	33
4.3 Discharge projected for the 2020–2100 interval	121	34
4.3.1 Discharge on short term (2020–2039)	121	34
4.3.1.1 Monthly discharge	121	34
4.3.1.2 Monthly-seasonal discharge	122	34
4.3.1.3 Annual discharge	124	35
4.3.2 Discharge on mid term (2040–2069)	125	36
4.3.2.1 Monthly discharge	125	36
4.3.2.2 Monthly-seasonal discharge	127	36
4.3.2.3 Annual discharge	128	37
4.3.3 Discharge on long term (2070–2100)	130	38
4.3.3.1 Monthly discharge	130	38
4.3.3.2 Monthly-seasonal discharge	131	39
4.3.3.3 Annual discharge	133	39
4.4 Sediment transport projected for the 2020–2100 interval	135	40
4.4.1 Sediment transport on short term (2020–2039)	135	40
4.4.1.1 Monthly sediment transport	135	40
4.4.1.2 Monthly-seasonal sediment transport	136	41
4.4.1.3 Annual sediment transport	137	41
4.4.2 Sediment transport on mid term (2040–2069)	139	42
4.4.2.1 Monthly sediment transport	139	42
4.4.2.2 Monthly-seasonal sediment transport	141	43
4.4.2.3 Annual sediment transport	142	43
4.4.3 Sediment transport on long term (2070–2100)	144	44
4.4.3.1 Monthly sediment transport	144	44
4.4.3.2 Monthly-seasonal sediment transport	145	45
4.4.3.3 Annual sediment transport	147	45
4.5 Statistical analysis of the influence of climate models and land-use change scenarios on surface runoff, discharges and sediment transport	149	46
4.6 Analysis of the frequency of the projections in the evolution of the annual surface runoff, discharge and sediment transport	156	47
4.6.1 Methodological notes	156	47
4.6.2 Assessing the frequency matrices developed on time intervals	156	47

4.6.3 The result of the projections obtained for the entire studied period	165	49
4.7 The alignment of the case study results with the results reported in other studies developed at international level	169	50
4.8 SWAT model limitations in predicting the hydrological impact of climate change (with or without land-use change) in small, forested watersheds	170	51
4.9 Brief summary and conclusions derived from forecasting the surface runoff, discharge and sediment transport	171	51
4.9.1 Projected evolution of surface runoff	171	51
4.9.2 Projected evolution of discharge	173	52
4.9.3 Projected evolution of sediment transport	175	54
4.9.4 The frequency of projected trends in the annual variation of surface runoff, discharge and sediment transport	177	55
5. FINAL CONCLUSIONS, PERSONAL CONTRIBUTIONS, PRACTICAL RECOMMENDATIONS, DISEMINATION RESULTS, FUTURE EXTENSIONS	179	57
5.1 Final conclusions	179	57
5.2 Personal contributions	183	59
5.3 Practical recommendations	184	60
5.4 Disemination results	186	62
5.5 Future extensions	188	65
REFERENCES	196	66
ANNEXES	206	71
Annex 1. The monthly surface runoff (mm) projected for the 2020-2039 interval	206	-
Annex 2. The monthly-seasonal surface runoff (mm) projected for the 2020-2039 interval	206	-
Annex 3. The annual surface runoff (mm) projected for the 2020-2039 interval	206	-
Annex 4. The monthly surface runoff (mm) projected for the 2040-2069 interval	207	-
Annex 5. The monthly-seasonal surface runoff (mm) projected for the 2040-2069 interval	207	-
Annex 6. The annual surface runoff (mm) projected for the 2040-2069 interval	208	-
Annex 7. The monthly surface runoff (mm) projected for the 2070-2100 interval	208	-
Annex 8. The monthly-seasonal surface runoff (mm) projected for the 2070-2100 interval	209	-
Annex 9. The annual surface runoff (mm) projected for the 2070-2100 interval	209	-
Anexa 10. Brief thesis summary (RO/ENG)	210	-
Summary (RO/ENG)	-	72

CUVÂNT ÎNAINTE

Creșterea din ce în ce mai pregnantă a frecvenței și agresivității fenomenelor hidrologice extreme (viituri și inundații), în contextul actual al schimbărilor climatice, determină (printre altele) și reprioritizarea preocupărilor de cercetare referitoare la bazinele hidrografice mici, predominant forestiere, specialiștii acestui domeniu devenind, pe zi ce trece, tot mai interesați în a previziona dimensiunile impactului hidrologic al schimbărilor climatice, ca răspuns la întrebările următoare: care va fi trendul modificării balanței hidrologice la scara unui bazin hidrografic mic din zona forestieră, până la sfârșitul acestui secol?, cum trebuie regândită concepția actuală asupra amenajării hidrologice și antierozionale a bazinelor hidrografice mici, predominant forestiere? și cum trebuie să fie adaptate soluțiile de amenajare în cazul acestor bazine?

Lucrarea de față, elaborată ca teză de doctorat de către MARIN MIRABELA, licențiată a Facultății de silvicultură și exploatarea forestieră din Brașov (promoția 2009), reprezintă un prim demers pe această linie și, totodată, o primă reușită, chiar dacă inițial, în calitate de conducător de doctorat, am oscilat între a accepta sau nu accepta conducerea unei astfel de teme. Știam cât de vastă este literatura de specialitate în domeniu și cât de greu vor putea fi surprinse și mai ales aliniate rezultatele numeroaselor studii și cercetări realizate până la ora actuală. Dar, în același timp, conștientizăm că tocmai existența acestor dificultăți poate constitui un argument important în favoarea inițierii unor cercetări la scara bazinelor hidrografice mici, cu diverse grade de împădurire.

Legat de acest prezumtiv argument, un cunoscut cercetător forestier american, Steven Mc Nulty, atunci când făcea referire la vulnerabilitățile ecosistemelor forestiere, scria următoarele: „ (...) Trebuie să studiem variabilitatea pentru a înțelege vulnerabilitatea. Inclusiv la scară spațială. Căci unele dintre cele mai însemnate schimbări se produc la scările cele mai mici (...) ”. Am îmbrățișat cu mult interes această idee, fiindcă, la urma urmei, ea exprimă, în maniera cea mai sintetică, atât importanța cât și actualitatea subiectului abordat în cadrul tezei de doctorat. Totuși, argumentul decisiv în adoptarea deciziei de acceptare a îndrumării l-a reprezentat un element conjunctural (dar încurajator!): chiar la vremea aceea (vara anului 2017), INCDS „Marin Drăcea” câștiga prin competiție calitatea de partener într-un proiect internațional (acronim: CLISWELN), a cărui tematică se anunța a fi strâns legată (și) de impactul hidrologic al schimbărilor climatice. Cu acea ocazie, deschizându-se posibilitatea de a fi cooptat în echipa de cercetare un doctorand, m-a bucurat opțiunea directorului de proiect (Dr. ing. N.C. Tudose) pentru numele Marin Mirabela, absolventă a specializării de masterat „Managementul ecosistemelor forestiere”, pe care în anul 2011 o îndrumasem la lucrarea de disertație, împreună cu doctorandul de atunci Nicu Constantin Tudose. Ajunsesem, pe această cale, să-i cunoaștem atât înclinațiile pentru lucrări de sinteză, cât și aptitudinile pentru cercetarea științifică pe tărâm hidrologic (tema disertației a fost legată de clasificarea hidrologică a terenurilor forestiere!), astfel că încadrarea ei în echipa de cercetare ni s-a părut a fi benefică din două puncte de vedere: pe de o parte pentru că infrastructura specifică de cercetare și graficul derulării proiectului îi puteau facilita considerabil elaborarea tezei, iar, pe de altă parte, pentru că autoarea însăși, odată integrată în componența echipei, își putea aduce propria contribuție la realizarea proiectului.

De altfel, experiența câștigată în urma celor trei ani de activitate în această echipă, ca și îndeplinirea cu rezultate foarte bune a obligațiilor prevăzute în modulul de pregătire avansată al școlii doctorale, sunt ușor de decelat în cuprinsul tezei, atât în privința însușirii și aplicării metodologiei de cercetare, cât și în privința modulului de desfășurare a analizei științifice și a gradului de diseminare a rezultatelor cercetării prin publicații.

Printr-o notă specială de originalitate se remarcă mai ales următoarele contribuții personale:

- Sinteza realizată, dintr-o amplă literatură de specialitate, cu privire la scenariile de studiu al schimbărilor climatice și la evaluarea impactului hidrologic al acestora în bazine hidrografice mici, cu diferite grade de împădurire;

- Calibrarea și validarea unui model hidrologic acreditat pe plan internațional mai ales pentru bazine hidrografice mari (SWAT – Soil and Water Assessment Tool), în baza datelor meteorologice și hidrometrice disponibile pentru un bazin hidrografic mic (sub 100 km²): bazinul superior al râului Tărlung, care a format obiectul studiului de caz;

- Tendințele previzionate în evoluția precipitațiilor în perioada 2020–2100 pentru bazinul menționat;

- Tendințele previzionate pentru aceeași perioadă și același bazin în variația lunară, lunar-sezonieră, anuală și multianuală a scurgerii de suprafață, debitului și transportului de aluviuni;

- Măsura alinierii rezultatelor obținute din studiul de caz cu datele hidrologice stabilite la nivel național și cu rezultatele unor cercetări similare realizate la nivel internațional;

- Decelarea unor limite ale modelului SWAT în previzionarea impactului hidrologic al schimbărilor climatice și modificării folosinței terenurilor în bazine hidrografice mici, predominant forestiere.

Meritoriu este și bilanțul reușit de autoarea tezei în privința valorificării și diseminării rezultatelor cercetărilor: două lucrări au fost prezentate la simpozioane și conferințe naționale (dintre care una ca prim autor) și alte șapte (dintre care două ca prim autor) au fost susținute la simpozioane și conferințe internaționale; ca prim autor au fost publicate trei lucrări în reviste indexate în baze de date internaționale (BDI) și tot ca prim autor un articol a fost publicat într-o revistă indexată ISI cu factor mare de impact (peste cinci); la alte patru articole indexate ISI (dintre care trei au fost publicate și unul se află în fază de recenzare), autoarea tezei deține calitatea de coautor (două din acestea sunt strâns legate de tematica tezei). În plus, în intervalul de elaborare a tezei, ca membră în echipa proiectului CLISWELN, autoarea a contribuit la elaborarea a șapte livrabile și rapoarte parțiale de cercetare și a participat la mai multe schimburi de experiență cu partenerii din proiect. Nu în ultimul rând, lăudabilă este și cooptarea doctorandei într-un larg colectiv internațional de specialiști și desemnarea sa ca redactor responsabil de capitol în cadrul elaborării și publicării unui manual în limba engleză pe tema relației complexe: „Apă-energie-teren–hrană”, precum și nominalizarea sa în colectivul de autori al unei cărți ce se află în prezent sub tipar la Editura Silvică în seria Lucrări de cercetare.

Și, în sfârșit, o cuvenită precizare. Ca și în cazul celorlalte teze pe care le-am coordonat de-a lungul timpului, am simțit nevoia de a scrie acest „Cuvânt înainte”, din cel puțin două motive:

- În primul rând, din nevoia cititorului interesat în parcurgerea lucrării de a fi pus în temă, de la bun început, asupra contextului în care s-au inițiat, s-au desfășurat și s-au valorificat cercetările;

- În al doilea rând, pentru a pleda în favoarea altor viitoare contribuții științifice pe această temă, pe deplin justificate pentru acest domeniu al preocupărilor, dacă avem în vedere atât marea variabilitate spațială a caracteristicilor bazinelor hidrografice mici, predominant forestiere (roca, relieful, solul și vegetația), cât și diversitatea de scenarii ce pot fi adoptate în studiul impactului hidrologic bazinal al schimbărilor climatice.

MULȚUMIRI

Acum, la finele studiilor universitare de doctorat, doresc să îmi exprim recunoștința față de câteva persoane minunate, care m-au susținut, îndrumat, încurajat și suportat 😊 pe parcursul acestor ani și fără de care nu aș fi reușit să dezvolt această cercetare.

Cel dintâi om minunat, față de care îmi exprim recunoștința și îl asigur de toată prețuirea mea, este domnul Prof. Univ. Dr. Ing. Ioan CLINCIU, membru titular al Academiei de Științe Agricole și Silvicultură, care a avut bunăvoința de a mă accepta ca student-doctorand și care m-a călăuzit permanent în desfășurarea acestui demers. Pe această cale, doresc să îi mulțumesc pentru răbdarea, generozitatea, înțelegerea, consecvența și încrederea care m-au însoțit pe tot parcursul desfășurării stagiului de doctorat. Cu acest prilej, îmi exprim recunoștința aducând cele mai sincere mulțumiri pentru numeroasele sugestii, recomandări și indicații valoroase de care am beneficiat continuu, încă de la începutul acestui stagiului, fie că a fost vorba de pregătirea examenelor sau a rapoartelor de cercetare științifică, fie de redactarea, elaborarea tezei de doctorat și pregătirea formei finale a tezei.

Pe această cale doresc să le mulțumesc și membrilor Comisiei de îndrumare, Domnilor: Prof. dr. ing. Mihai Daniel NIȚĂ, Dr. ing. Șerban Octavian DAVIDESCU, Dr. ing. Nicu Constantin TUDOSE, pentru îndrumarea și sprijinul permanent de care am beneficiat pe toată durata studiilor doctorale și ale căror indicații și opinii valoroase m-au însoțit continuu și m-au ajutat la dezvoltarea progresivă a acestei lucrări.

Adresez sincere și profunde mulțumiri și Domnului Prof. dr. ing. Alexandru Lucian CURTU, președintele comisiei de doctorat, precum și Domnilor: CS I dr. Habil. Sorin CHEVAL, CS II dr. Viorel CHENDEȘ, Conf. dr. ing. Victor Dan PĂCURAR pentru amabilitatea și onoarea de a accepta calitatea de referenți științifici ai tezei de doctorat.

De asemenea, doresc să le mulțumesc și colegilor colectivului de Corectarea torențelor din cadrul Institutului Național de Cercetare și Dezvoltare în Silvicultură, stațiunea Brașov: Cezar UNGUREAN, Andrei ADORJANI, Adriana DAVIDESCU și Alin MIHALACHE, pentru susținerea, încurajările, sprijinul moral și nenumăratele sfaturi și indicații științifice de mare însemnătate, de care am beneficiat în toate etapele parcurse pentru dezvoltarea și finalizarea lucrării.

În mod deosebit, adresez mulțumiri familiei mele, pentru educația oferită și sprijinul acordat, mamei mele pentru încurajările și sprijinul continuu în nenumăratele cazuri în care i-am solicitat ajutorul pentru supravegherea fetiței. Îmi exprim aprecierea și față de soțul meu, pentru răbdarea, susținerea, încurajările de care m-am bucurat pe perioada elaborării tezei de doctorat și pentru numeroasele situații în care a fost nu doar un sprijin permanent ci și mamă, tată, bucătar, bonă, educator și responsabil de curățenia casei pentru ca eu să duc la bun sfârșit acest demers. Fetiței mele, Irina, îi mulțumesc pentru înțelegerea matură de care a dat dovadă și îi cer iertare pentru nenumăratele weekenduri și concedii în care am lipsit din viața ei.

Tuturor vă aduc profunde mulțumiri și vă asigur de toată prețuirea mea!

Brașov, 30 iulie 2020

Autorul

LISTA DE NOTAȚII

- ❖ GES – gaze cu efect de seră
- ❖ ppm – părți per milion
- ❖ B.H. – bazin hidrografic
- ❖ u.a. – unitate amenajistică
- ❖ ha-hectare
- ❖ USH – unități de studiu hidrologic

LISTA DE ABREVIERI

- ❖ IPCC- Intergovernmental Panel on Climate Change
- ❖ RCPs - Representative Concentrations Pathways
- ❖ SSP - Shared Socioeconomic Pathways
- ❖ SRES – Special Report on Emissions Scenarios
- ❖ GAESC - Ghidul privind Adaptarea la Efectele Schimbărilor Climatice
- ❖ SWAT - Soil and Water Assessment Tool
- ❖ SPAW - SOIL-PLANT-ATMOSPHERE-WATER-FIELD & POND HYDROLOGY
- ❖ MIKE-SHE - European Hydrological System Model
- ❖ DHSVM - Distributed Hydrology Soil Vegetation Model
- ❖ MODFLOW - Modular Finite Difference Groundwater Flow Model
- ❖ CLISWELN - Climate Services for the Water–Energy–Land–Food Nexus
- ❖ INCDS - Institutul Național de Cercetare – Dezvoltare în Silvicultură “Marin Drăcea”
- ❖ ROCADA - ROmanian ClimAtic Dataset
- ❖ INHGA - Institutul Național de Hidrologie și Gospodărire a Apelor
- ❖ SWAT-CUP – SWAT Calibration and Uncertainty Programs
- ❖ NSE - Nash-Sutcliffe Efficiency

CONSIDERAȚII INTRODUCATIVE

Având în vedere că resursele necesare traiului de zi cu zi sunt limitate, tot mai multe studii și cercetări, apărute în special la nivel internațional, pun accentul pe evaluarea riscurilor induse de schimbările climatice, pe conștientizarea modului în care acestea pot modifica disponibilitatea resurselor naturale, dar mai ales pe adoptarea unor soluții adecvate în vederea unei gestionări durabile a resurselor în timp.

Încă din urmă cu trei decenii, IPCC, organizație axată pe evaluarea periodică a riscurilor încălzirii globale și publicarea informațiilor sub formă de rapoarte speciale, vine atât în sprijinul comunității științifice cât și al autorităților decidente din țările membre. Prin elaborarea scenariilor de schimbări climatice IPCC înlesnește acțiunile de evaluare a impactului schimbărilor climatice asupra diferitelor ecosisteme, favorizând astfel identificarea celor mai adecvate măsuri specifice de contracarare sau, cel puțin, de atenuare a dimensiunilor impactului schimbărilor climatice (**, 2018a).

În acest scop, în anul 1992 (Rio de Janeiro) a fost semnată Convenția-cadru a Națiunilor Unite asupra Schimbărilor Climatice, iar mai apoi, în 1997 s-a semnat Protocolul de la Kyoto (Japonia), acorduri internaționale prin care 194 țări dezvoltate s-au angajat în adoptarea unor politici și strategii cu scopul de a menține la un nivel constant concentrația GES, astfel încât efectul acestora asupra ecosistemelor naturale și umane să fie diminuat (**, 2013).

Pentru cunoașterea modului în care evoluează clima, dar și pentru a face previziuni corelate în ceea ce privește dinamica dezvoltării socio-economice și tehnologice și dinamica emisiilor GES și a altor poluanți atmosferici, cercetarea științifică în domeniu trebuie să fie bazată pe aplicarea unui set comun de scenarii (Wayne, 2013).

Începând cu anul 1990, IPCC a demarat activități continue de evaluare a modificărilor climatice, publicând mai multe seturi de scenarii de schimbări climatice. În cel mai recent set de scenarii (RCPs), se estimează o intensificare a temperaturilor cu până la 5 °C aproximativ, dar și modificarea valorilor anuale și mai ales a valorilor inter-anuale a precipitațiilor, intensificarea emisiilor GES, creșterea nivelului mării și oceanelor, precum și intensificarea fenomenelor meteorologice extreme (secete și inundații), modificări care se vor accentua în special în ultimele decenii ale secolului 21 (IPCC, 1992, 2000, 2014) (**, 2018a).

1. STADIUL CUNOȘTINȚELOR PRIVIND IMPACTUL HIDROLOGIC AL SCHIMBĂRILOR CLIMATICE ÎN BAZINE HIDROGRAFICE MICI, PREDOMINANT FORESTIERE

1.1. Scurt istoric privind evoluția scenariilor de schimbări climatice

1.1.1. Scenariile SA90

Primele tipuri de scenarii elaborate începând cu anul 1990 și denumite SA90 (A, B, C, și D), estimau pentru intervalul 1990–2100 o creștere a temperaturii medii globale de 1 °C până în 2025 și de 3 °C până în 2100 în cadrul scenariului A, în timp ce, în scenariul B, creșterea estimată pe deceniu era de 0,2 °C (Houghton et al., 1990). Pentru scenariile C și D s-a estimat o creștere de numai 0,1 °C pe deceniu (Houghton et al., 1990). Totodată, se presupune că în perioada 2025–2050 se va dubla cantitatea de CO₂ eliberată în atmosferă, nivelul mării va crește cu 0,3–0,5 m până în 2050 și cu aproximativ 1 m până în anul 2100, iar până la finalul secolului, populația globală va atinge pragul de 11 miliarde locuitori (Tegart et al., 1990).

1.1.2. Scenariile IS92

Cele șase noi tipuri de scenarii alternative (IS92a-f), dezvoltate plecând de la scenariile inițiale SA90, descriu o lume în care veniturile și populația globală sunt în creștere iar consumul combustibililor fosili devine intens, aspectele privind dezvoltarea socio-economică și de mediu fiind prezentate în tabelul 1.1 (IPCC, 1992).

Tabelul 1.1 Previțiuni ale scenariilor de schimbări climatice IS92 pentru perioada 1990–2100 (IPCC, 1992).

Projections of IS92 climate change scenarios for 1990–2100 (IPCC, 1992)

Tip de scenariu	Dinamica populației (miliarde locuitori)	Emisii CO ₂ (GtC)		Creșterea economică (%)	
		2025	2100	1990–2025	1990–2100
IS92a	11,3	12,2	20,3	2,9	2,3
IS92b	11,3	11,8	19,0	2,9	2,3
IS92c	6,4	8,8	4,6	2,0	1,2
IS92d	6,4	9,3	10,3	2,7	2,0
IS92e	11,3	15,1	35,0	3,5	3,0
IS92f	17,6	14,4	26,6	2,9	2,3

1.1.3. Scenariile SRES

În anul 2000, plecând de la previziunile scenariilor IS92, au fost elaborate noile așa numitele "familii de scenarii SRES" (A1, A2, B1, B2), din care se diferențiază șase tipuri de scenarii și anume: A1B, A1T, A1FI, A2, B1 și B2 (IPCC, 2000). Aplicate în numeroase cercetări științifice, fiecare tip de scenariu se diferențiază în raport cu modul în care acesta caracterizează evoluția demografică, dezvoltarea socio-economică și tehnologică, după cum se arată în tabelul 1.2 (IPCC, 2000).

Tabelul 1.2 Caracteristicile familiilor de scenarii SRES (Arnell et al., 2004 din IPCC, 2000)

The main characteristics of SRES scenario families (Arnell et al., 2004 from the IPCC, 2000)

Parametrii	A1	A2	B1	B2
Creșterea populației globale	Aproximativ 7 miliarde locuitori	Aproximativ 15 miliarde locuitori	Aproximativ 7 miliarde locuitori	Aproximativ 10 miliarde locuitori
Intensitatea utilizării energiei	Foarte intensă și intensă	Intensă	Redusă	Medie
Tipul de energie	Combustibili fosili/ Intermediară / Regenerabilă	Diversitate regională	Eficientă	Dinamică
Dezvoltarea tehnologică	Intensă	Redusă	Redusă	Medie

Pentru regimul termic, scenariile previzionează pentru intervalul 2011–2099 o intensificare a temperaturii medii globale cuprinsă între 0,6–6,4 °C, în timp ce, pentru regimul pluviometric, sunt estimate atât creșteri ale cantităților medii de precipitații în zonele tropicale și în cele situate la altitudini mari cât și scăderi ale acestor cantități la altitudini medii și în zonele subtropicale (Meehl et al., 2007). Până la finele secolului 21, Meehl et al. (2007) previzionează o creștere a concentrației de CO₂ de până la 1020 ppm.

1.1.4. Scenariile RCP

Noile scenarii, denumite *Representative Concentration Pathways* au fost concepute începând cu anul 2007 și publicate în anul 2014 în cadrul Raportului Cinci de Evaluare al IPCC (Bjørnæs, 2015). Scenariile descriu patru noi modalități de variație, unic determinate pentru fiecare RCP în parte, a emisiilor GES dar și a altor poluanți atmosferici, în raport cu ipoteze viitoare privind creșterea demografică, dezvoltarea economică și tehnologică dar și consumul de energie (IPCC, 2014). Estimările referitoare la creșterea temperaturilor medii globale evidențiază că în decursul secolului 21 (tabelul 1.3) se va înregistra o modificare a acestora cuprinsă între 1–3,7 °C, cu un interval de variație de 0,4–4,8 °C în funcție de scenariu (IPCC, 2014).

Tabelul 1.3 Creșterea temperaturii medii globale estimată pentru perioada 2046–2065 și 2081–2100 pentru cele patru scenarii RCP de schimbări climatice (IPCC, 2014)

Global average temperature increment projected in the RCPs scenarios for 2046–2065 and 2081–2100 period (IPCC, 2014)

Scenariul	Orizontul de timp			
	2046-2065		2081-2100	
	Valoare medie (°C)	Interval de variație(°C)	Valoare medie (°C)	Interval de variație(°C)
RCP2.6	1,0	0,4–1,6	1,0	0,3–1,7
RCP4.5	1,4	0,9–2,0	1,8	1,1–2,6
RCP6.0	1,3	0,8–1,8	2,2	1,4–3,1
RCP8.5	2,0	1,4–2,6	3,7	2,6–4,8

În ceea ce privește regimul precipitațiilor sunt preconizate modificări neuniforme, asemănătoare cu cele realizate în cadrul scenariilor SRES, fiind semnalate și intensificări ale frecvenței și intensității fenomenelor meteorologice extreme (secete, inundații) (IPCC, 2014).

Pentru a oferi o imagine de ansamblu a scenariilor globale de schimbări climatice elaborate de IPCC începând cu anul 1990 și descrise anterior, în figura 1.1 am schematizat modul în care au fost dezvoltate cele patru tipuri de scenarii (SA90, IS92, SRES și RCP).

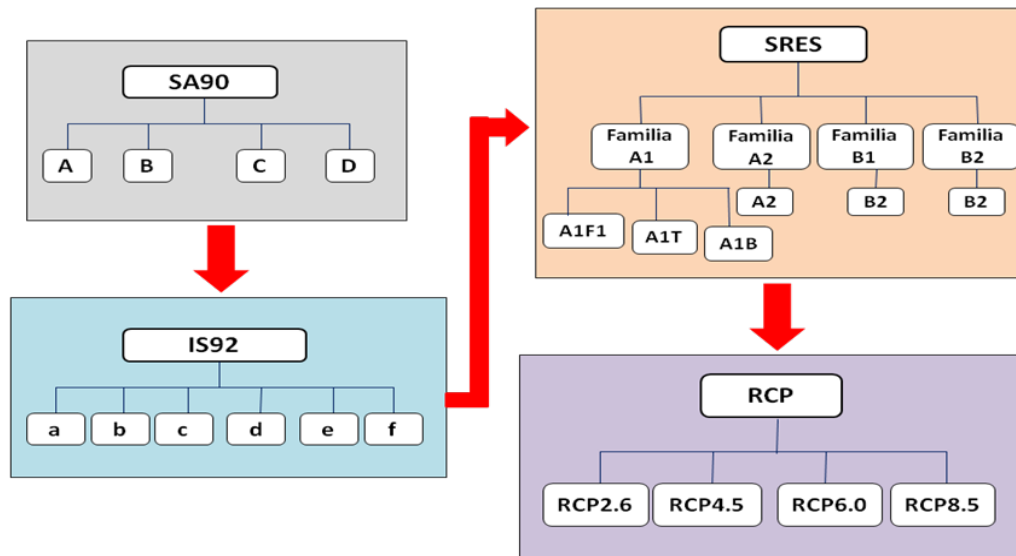


Figura 1.1 Evoluția scenariilor IPCC elaborate în perioada 1990–2014
The evolution of IPCC scenarios developed between 1990–2014

1.2. Scenarii de schimbări climatice pentru România

Dat fiind faptul că țara noastră se caracterizează printr-o diversitate unică în Europa, atât sub raportul condițiilor fizico-geografice cât și sub raportul florei și faunei specifice, este esențial să existe o cunoaștere a impactului schimbărilor climatice și a efectelor acestora inclusiv asupra ecosistemelor forestiere (Barbu et al., 2016).

Începând cu anul 1901, pe teritoriul țării noastre s-a remarcat o majorare a temperaturilor medii anuale cu 0,6 °C (Busuioc et al., 2007). Pentru orizontul 2020–2029 sunt estimate creșteri ale temperaturii cuprinse între 0,5–1,5 °C (GAESC, 2008), în timp ce pentru intervalul 2020–2099 se vor înregistra o creștere de până la 5 °C, în funcție de scenariu și de orizontul de timp analizat (***, 2009). Busuioc et al. (2010) previzionează pentru intervalul 2021–2100, creșteri ale temperaturii aerului de până la 3,3, °C așa cum se arată în tabelul 1.4.

Tabelul 1.4 Prognozele referitoare la variația inter- anuală a temperaturii medii a aerului pentru teritoriul țării noastre (Busuioc et al., 2010)

Inter-annual variation of average air temperature projected for Romania (Busuioc et al., 2010)

Anotimpul	Orizontul de timp			
	2021–2050		2070–2100	
	Valoare medie (°C)	Interval de variație (°C)	Valoare medie (°C)	Interval de variație (°C)
Primăvara	1,0	±0,4	2,3	±0,4
Vara	1,6	±0,3	3,3	±0,6
Toamna	1,4	±0,4	2,8	±0,9
Iarna	1,0	±0,5	2,6	±0,7

În ceea ce privește regimul pluviometric, pentru jumătatea secolului se estimează o reducere a precipitațiilor medii anuale manifestată în special în zona de sud-est, în timp ce, în ultima decadă a secolului 21 este posibilă apariția unor secete accentuate (***, 2009). Busuioc et al. (2010) previzionează pentru perioada 2021–2050 o diminuare cu 12% a precipitațiilor medii lunare pentru partea de sud a țării,

comparativ cu zona de nord și nord-est, unde se va înregistra o majorare cu 14% a acestora. Pentru intervalul 2070–2100, autorii estimează o diminuare mai accentuată a precipitațiilor medii lunare în special vara și iarna, când acestea se vor diminua cu 12, respectiv 21% (Busuioc et al., 2010).

Pe fondul acestor modificări, se previzionează o diminuare a debitelor medii lunare, o scădere a scurgerilor medii anuale (cu 20–30% până la jumătatea secolului și cu 30–40% spre sfârșitul secolului), precum și o probabilitate mai mare de apariție a fenomenelor meteorologice extreme, în special primăvara și toamna (INHGA, 2009). În plus, Corbuș et al. (2017) estimează pentru perioada 2021–2050 un trend variat al debitelor medii lunare din cuprinsul a 20 de bazine hidrografice de pe teritoriul țării noastre, care sunt previzionate fie a se majora cu 6,2%, fie se reduce cu maxim 24,6%.

1.3. Vulnerabilitatea terenurilor și a ecosistemelor forestiere la schimbările climatice

Schimbările climatice exercită o anumită influență asupra biodiversității (Marcu, 2005; Vasile et al., 2015) și zonalității pădurilor (manifestată prin extinderea sau reducerea arealului natural al speciilor forestiere) (Giurgiu, 2005; Păcurar, 2008a). În plus, modificările climatice acționează și asupra proceselor de degradare a terenurilor, favorizând accentuarea fenomenelor de eroziune eoliană (mai cu seamă în Oltenia) (Păcurar, 2007). Condițiile de mediu influențează totodată și procesele fiziologice care au loc la nivelul formațiunilor forestiere (ex. conductanța stomatală, transpirația, fotosinteza) (Blujdea, 2005).

O creștere de numai 2 °C a temperaturilor va favoriza creșterea vulnerabilității pădurilor (în special a celor de cvercinee), dar și a ecosistemele forestiere formate din fag, frasin sau carpen din țara noastră, care ar înregistra un dezechilibru ecologic datorat acțiunii diversilor factori perturbatori (Giurgiu, 2005). Badea et al. (2005) în studiul privind posibilele corelații dintre starea fito-sanitară a pădurilor și schimbările climatice subliniază interconectivitatea dintre factorii climatici și evoluția și dezvoltarea ecosistemelor forestiere, evidențiind în același timp faptul că starea de sănătate a speciilor de foioase (în special cvercinee din sudul și sud-estul țării) este mult mai precară comparativ cu speciile de rășinoase, ca urmare a creșterii temperaturilor și accentuării stresului hidric.

Ecosistemele forestiere vor fi afectate de toate aceste modificări, deoarece ciclurile de producție fiind lungi ele vor resimți permanent efectele schimbărilor climatice care vor influența în special dinamica parametrilor climatici (Barbu et al., 2016).

1.4. Dimensiuni ale cunoașterii impactului hidrologic al schimbărilor climatice la scară de bazin hidrografic

Dat fiind faptul că schimbările climatice aduc modificări variabilelor hidrologice (ele cresc temperatura aerului, intensifică evapotranspirația, modifică ciclul hidrologic, influențează dinamica umidității din sol și modifică modul de producere al precipitațiilor, cauzând creșterea frecvenței de producere a viiturilor și a intensității acestora), dezvoltarea cunoașterii în privința consecințelor posibile ale schimbărilor climatice a devenit astăzi o necesitate și pentru domeniul amenajării bazinelor hidrografice torențiale.

Dacă la început cunoașterea hidrologică a bazinelor hidrografice era urmărită mai ales prin prisma influenței factorilor declanșatori – precipitațiile și relieful – odată cu trecerea timpului s-au avut în vedere și diferiți factori circumstanțiali: unii factori climatici (temperatura aerului, direcția și viteza vântului), umiditatea solului, folosința și modul de utilizare a terenurilor, natura și structura vegetației etc.

În prezent, studiul hidrologic privitor la bazinele hidrografice, indiferent de mărimea acestora, a dobândit ca element de noutate tocmai faptul că acest studiu este din ce în ce mai orientat și mai strâns legat de contextul creat de existența schimbărilor climatice și de impactul hidrologic pe care acestea îl provoacă.

Cercetătorii pledează pentru evaluarea amplitudinii impactului hidrologic al schimbărilor climatice la scara bazinelor hidrografice, necesitatea și urgența acestei activități fiind susținute cu prioritate și în cazul bazinelor hidrografice de mici dimensiuni (Gautam et al., 2018), cum este și cazul bazinului luat în studiu.

În plus, pentru o gestionare durabilă a terenurilor și mai ales pentru securitatea resurselor de apă, se impune găsirea unui echilibru între folosințele existente (Briones et al., 2016), ca un prim pas necesar către o gestionare rațională a resurselor naturale și pentru un management hidrologic durabil al bazinelor hidrografice.

1.5. Modele hidrologice aplicate în studiul impactului schimbărilor climatice în bazine hidrografice mici, predominant forestiere

1.5.1. Modelarea hidrologică, instrument pentru previzionarea impactului hidrologic al schimbărilor climatice

Data fiind importanța apei și solului în asigurarea disponibilității resurselor de hrană, dar și în dezvoltarea socio-economică și tehnologică (Schewe et al., 2013), modelarea hidrologică reprezintă atât suportul necesar pentru gestionarea integrată a resurselor de sol și de apă cât și instrumentul care permite estimarea impactului hidrologic al schimbărilor climatice, fie ele înregistrate ori previzionate.

Scopul modelării hidrologice este de a reprezenta cât mai fidel modul în care procesele hidrologice se derulează în interiorul bazinelor hidrografice, indiferent de mărimea acestora (Păcurar, 2008c; Gayathri et al., 2015).

Prin intermediul modelelor hidrologice este posibilă efectuarea de previziuni asupra modului în care schimbările climatice pot influența răspunsul hidrologic al bazinelor hidrografice (Dwarakish și Ganasri, 2015), oferind totodată o imagine de ansamblu asupra consecințelor pe care aceste schimbări le pot avea asupra resurselor de apă (Praskievicz și Chang, 2009 citat de Bajracharya et al., 2018).

1.5.2. Clasificarea modelelor hidrologice

În schema de clasificare propusă pentru prima dată de Singh în anul 1988, distingem două mari categorii: modele simbolice și modele materiale, după cum se arată în figura 1.2 (Singh, 1988 citat de Chong, 2002).

Din categoria modelelor simbolice, cele mai utilizate sunt modelele matematice (Păcurar, 2008c).

În categoria modelelor materiale sunt incluse modelele analogice (care sunt relativ puțin utilizate și analizează doar anumite sub-procese hidrologice) și modelele de laborator (care implică crearea de bazine experimentale în laborator) (Păcurar, 2008c).

Modelele hidrologice se mai pot diviza în raport cu rezultatele obținute în urma simulărilor (modele de scurgere, ale eroziunii solului și transportului de aluviuni, modele care analizează calitatea apelor), cu parametrul analizat (an, ploaie, zi), precum și în funcție de scara temporal-spațială (modele continue, combinate, pentru ploi izolate, modele pentru parcele, versanți sau bazine) (Păcurar, 2008c).

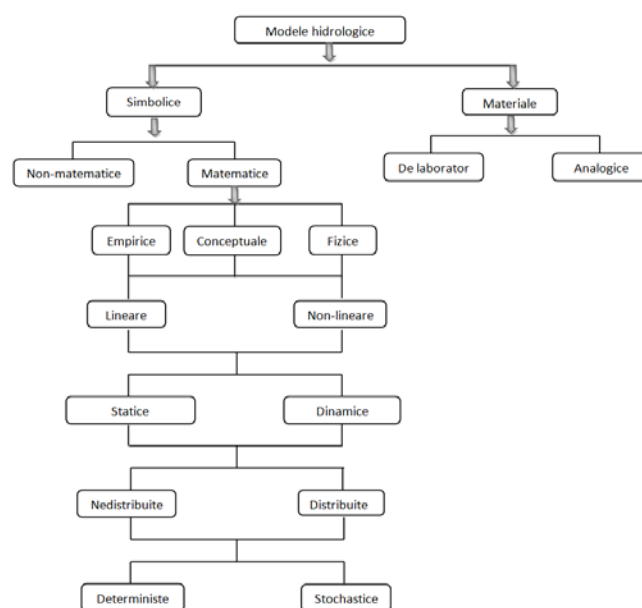


Figura 1.2 Clasificarea modelelor hidrologice (din Singh, 1988 citat de Chong, 2002)
Hydrological models classification diagram (from Singh, 1988 quoted by Chong, 2002)

1.5.3. Scurtă prezentare a principalelor modele hidrologice

Modelul SWAT este un model hidrologic de tip semi-distribuit care operează cu date zilnice (Arnold et al., 1998). SWAT permite atât evaluarea diferitelor impacturi, cât și simularea proceselor hidrologice care au loc în cuprinsul bazinelor hidrografice de diferite dimensiuni, pe care le împarte în subbazine și mai apoi în USH-uri, omogene din punct de vedere al proprietăților solului și al utilizării terenurilor (Beckers et al., 2009). Ca date de intrare SWAT necesită: modelul digital al terenului (DEM), date climatice zilnice (temperatură minimă și maximă, precipitații atmosferice, umiditatea relativă, viteza vântului și radiația solară), date privind proprietățile solului (tip de sol, textură, pantă), topografie, vegetație și date privind modul de utilizare al terenurilor (Neitsch et al., 2005).

Modelul MIKE-SHE este un model fizic de tip distribuit, care poate fi aplicat atât pentru bazine hidrografice de diferite dimensiuni cât și pentru lacuri de acumulare (Beckers et al., 2009). Suprafața bazinelor este împărțită în poligoane omogene din punct de vedere al tipului de sol, folosinței terenurilor și precipitațiilor, însă dezavantajul modelului constă în volumul mare de date măsurate necesare pentru rulare (Golmohammadi et al., 2014).

Modelul BROOK90 este un model fizic care operează cu un pas de timp zilnic și care poate fi utilizat doar în bazine hidrografice mici în cuprinsul cărora sunt modelate atât procese hidrologice provenite din ploi cât și din zăpadă (Beckers et al., 2009). Pe lângă faptul că modelul necesită un număr mare de parametri obligatorii pentru rulare (30–40), acesta nu ia în considerare traseul urmat de scurgerea de suprafață (Beckers et al., 2009).

Modelul DHSVM este un model fizic, de tip complet distribuit, care poate fi aplicat în bazine hidrografice de până la 10 000 km² (Wigmosta et al., 1994, Wigmosta et al., 2002 citat de Beckers et al., 2009), a căror suprafață este împărțită în celule mici de tip grid caracterizate prin valori unice ale parametrilor de sol, vegetație sau climă (Gupta et al., 2015). Modelul consideră două etaje de vegetație (cel al arborilor și cel al plantelor și arbuștilor), însă nu surprinde scurgerea subterană (Beckers et al., 2009).

Modelul MODFLOW este tot un model fizic, complet distribuit foarte des aplicat în cercetări axate pe simulări tridimensionale ale dinamicii apelor subterane (Beckers et al., 2009), dar și bidimensionale sau cvasidimensionale (***, 2018b). Poate simula nu numai procesele hidrologice care se produc la nivelul râurilor, albiilor sau lacurilor de acumulare, ci și cele desfășurate în cuprinsul canalelor de scurgere sau al fântânilor (***, 2018b).

1.6. Rezultate ale aplicării modelelor utilizate în studiul impactului hidrologic al schimbărilor climatice din bazine hidrografice mici, predominant forestiere

Prin documentarea din diferite baze de date internaționale, am căutat, am selectat și am aprofundat cunoașterea mai ales asupra acelor cercetări care au fost realizate în bazine hidrografice total sau parțial împădurite, cu suprafață cât mai apropiată de a bazinului luat în studiu, respectiv de până la 100 km² (Marin et al., 2020c). Din totalul celor 27 de bazine studiate, 22 sunt bazine hidrografice cu suprafața mai mică de 100 km² și cu un grad de împădurire situat între 30% și 100% (în majoritatea cazurilor peste 60–70%). În raport cu suprafața, bazinele analizate se împart astfel: 14 bazine cu suprafața sub 10 km², 6 bazine cu suprafața între 10 și 40 km², 2 bazine cu suprafața între 50 și 60 km² și 5 bazine cu suprafața între 200 și 300 km². În raport cu regiunea geografică, majoritatea studiilor au fost dezvoltate în Europa și America (de Nord și de Sud).

Efectele schimbărilor climatice asupra parametrilor climatici se manifestă însă diferențiat, gradul de variabilitate depinzând nu doar de modelul hidrologic folosit, scenariul adoptat sau orizontul de timp luat în considerare în efectuarea simulărilor, ci și de regiunea geografică în care se regăsesc bazinele hidrografice analizate. Modificările viitoare ale proceselor de scurgere sunt mai accentuate în cadrul

scenariilor care implică modificări atât ale temperaturilor cât și ale precipitațiilor (Kalogeropoulos și Chalkias, 2013). Aceeași tendință se remarcă și în urma introducerii în simulări ale scenariilor care țin seama și de modificarea modului de utilizare a folosințelor (Peraza-Castro et al., 2018), a concentrației de CO₂ (Chambers et al., 2017; Lee et al., 2018) sau a radiației solare (Leta et al., 2018).

Rezultatele raportate de numeroase studii publicate în literatura de specialitate, evidențiază faptul că, în decursul secolului 21, sunt așteptate modificări însemnate ale parametrilor climatici (temperatură și precipitații), care vor influența considerabil procesele hidrologice (scurgerea de suprafață și scurgerea pe albie, debitul, transportul de aluviuni, evapotranspirația) din cuprinsul bazinelor hidrografice mici, predominant împădurite.

Astfel, referitor la modificarea temperaturii în decursul secolului 21, sunt previzionate creșteri de până la 2,6°C cu modelul MODFLOW (Beaulieu et al., 2016), de până la 4,3 °C cu modelul SWAT (Joh et al., 2011) și de până la 7 °C cu modelul DHSVM (Alvarenga et al., 2016). Pentru regimul pluviometric, rezultatele simulărilor au arătat o dinamică diferită a cantităților lunare și anuale după cum urmează: modelul SWAT previzionează o diminuare a precipitațiilor cu până la 32% (Senent-Aparicio et al., 2017), precum și creșterea acestora cu până la 20% (Ahn et al., 2013). Rezultatele simulărilor efectuate cu modelul BROOK previzionează o creștere a precipitațiilor cu până la aproximativ 11% (Im et al., 2007), în timp ce simulările efectuate cu modelele MODFLOW și DHSVM arată o scădere a acestora cu 4,5% (Beaulieu et al., 2016) și respectiv 35% (Alvarenga et al., 2016).

Pentru evapotranspirație se observă că, indiferent de scenariul adoptat, perioada de timp analizată sau modelul hidrologic utilizat, se păstrează tendința de creștere a acestui parametru până la 4% (MODFLOW) (Beaulieu et al., 2016), cu 16% (MIKE SHE) (Thompson, 2012), cu 62% (SWAT) (Joh et al., 2011) și 70% (BROOK) (Im et al., 2007).

Referitor la dinamica proceselor de scurgere, modelul SWAT previzionează pentru scurgerea de suprafață o reducere cuprinsă între 8% (Leta et al., 2018) și 14% (Kalogeropoulos și Chalkias (2013)). Pentru scurgerea pe albie sunt raportate atât diminuări ce variază între 1–18% (Serpa et al., 2015) (figura 1.3) și 2–54% (Senent-Aparicio et al., 2017), cât și majorări cuprinse între 1–16% (Ahn et al., 2013) și 43–50% (Lee et al. (2018)). În schimb, rezultatele obținute în urma simulărilor cu modelul BROOK estimează o creștere a scurgerii pe albie de până la 15% (Im et al., 2007).

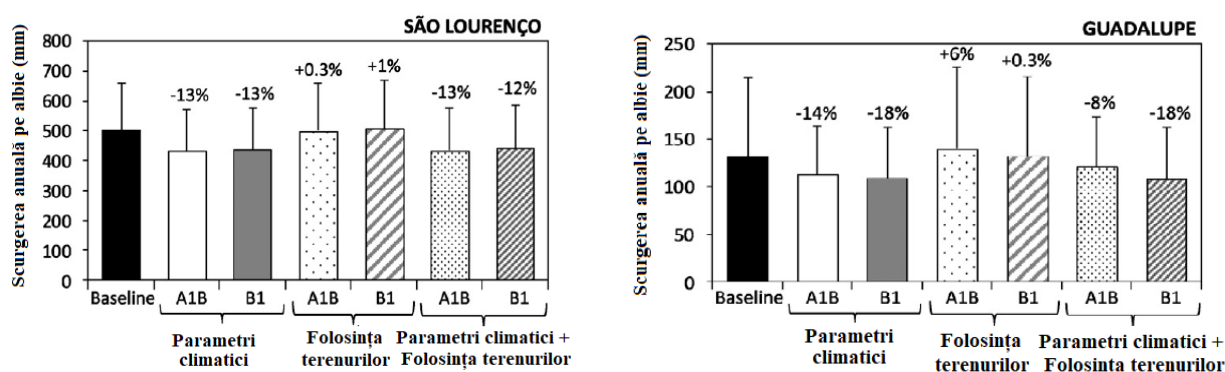


Figura 1.3 Dinamica scurgerii anuale pe albie în intervalul 2071–2100 în contextul scenariilor SRES de schimbări climatice A1B și B1, cu evidențierea influenței individuale sau combinate a parametrilor climatici și a folosinței terenurilor (Serpa et al., 2015)

Annual streamflow projected for 2071–2100 under A1B and B1 SRES climate change scenarios, land-use change scenarios and scenarios where climate change was coupled with land-use modification (Serpa et al., 2015)

Debitele previzionate cu modelul SWAT arată atât o reducere cuprinsă între 25–39% (Leta et al., 2018), cât și o creștere de până la 71% (Chambers et al., 2017). În plus, debitele maxime se pot majora cu până la 22%, iar cele minime se pot reduce cu până la 60% (Leta et al., 2018). Modelul MIKE-SHE estimează că debitele

pot înregistra atât o scădere cu până la 49%, cât și o creștere cu până la 51% (Thompson, 2012). Debitul previzionat cu modelul MODFLOW sunt mai mici cu până la 26% (Beaulieu et al., 2016), în timp ce modelul DHSVM estimează o reducere mult mai accentuată a acestora, Alvarenga et al. (2016) raportând o scădere cuprinsă între 56–69%, iar Alvarenga et al. (2018) o reducere de până la 80%.

Pentru transportul de aluviuni, Zabaleta et al. (2014) a obținut după exploatarea modelului SWAT atât o scădere cu până la 55%, cât și o majorare de maxim 285%. Rezultate asemănătoare pentru tendința de creștere sunt raportate și de Serpa et al. (2015), în timp ce scăderea acestui parametru este mult mai redusă, fiind cuprinsă între 9–29%. Rodriguez-Blanco et al. (2016) previzionează pentru transportul de aluviuni fie o creștere cu până la 10%, fie o scădere de până la 42%.

În plus, schimbările climatice vor influența și frecvența și intensitatea fenomenelor meteorologice extreme, cum ar fi secetele sau inundațiile, acestea urmând a se accentua în decursul secolului 21 (Thompson, 2012; Leta et al., 2018).

1.7. Concluzii desprinse din analiza stadiului actual al cunoștințelor

- ❖ Evaluarea riscurilor induse de schimbările climatice este necesară în vederea conștientizării modului în care aceste modificări pot influența disponibilitatea în timp a resurselor naturale.
- ❖ Schimbările climatice influențează: biodiversitatea și productivitatea pădurilor, zonalitatea ecosistemelor forestiere, starea fito-sanitare a arboretelor, compoziția și structura pădurii, procesele fiziologice care au loc la nivelul formațiunilor forestiere, procesele de degradare a terenurilor.
- ❖ Modelarea bazată pe aplicarea proceselor hidrologice permite evaluarea impactului hidrologic, oferind suportul necesar pentru gestionarea integrată a resurselor de sol și de apă.
- ❖ La nivel internațional, este previzionată o creștere a temperaturii cuprinsă între 2,6–7 °C, în timp ce precipitațiile pot fie să crească cu până la 20%, fie să scadă cu maxim 35%.
- ❖ La nivel național, se estimează că temperatura se poate intensifica cu până la 3,3 °C, iar precipitațiile se pot reduce cu până la 12% sau se pot majora cu 14%.
- ❖ În ceea ce privește evoluția parametrilor hidrologici, rezultatele studiilor previzionează atât tendințe de creștere cât și de scădere, care vor afecta considerabil procesele hidrologice din cuprinsul bazinelor hidrografice.

2. SCOPUL, LOCUL ȘI OBIECTIVELE CERCETĂRILOR

2.1. Scopul și obiectivele cercetărilor

- ❖ **Scopul cercetării:** previzionarea pe trei orizonturi de timp (2020–2039; 2040–2069; 2070–2100) a dimensiunilor impactului hidrologic al schimbărilor climatice într-un bazin hidrografic mic, reprezentativ sub raport forestier și al alimentării cu apă, în vederea fundamentării viitoarelor măsuri de adaptare a planurilor de management al pădurilor și al resurselor de apă.
- ❖ **Obiectivul general al cercetării:** evaluarea variației lunare, lunar-sezoniere, anuale și multianuale a trei procese hidrologice (scurgerea de suprafață, debitul și transportul de aluviuni) pentru intervalul de timp 2020–2100, în cadrul a patru modele climatice locale (REMO4.5; REMO8.5; CLM4.5; CLM8.5) și a trei scenarii de utilizare a folosinței terenului (menținerea suprafeței împădurite actuale; reducerea suprafeței împădurite actuale cu 25%; reducerea suprafeței împădurite actuale cu 50%).
- ❖ Pentru atingerea obiectivului general, ne-am stabilit următoarele obiective specifice:
 - (1) Particularizarea modelului hidrologic SWAT la specificul bazinului hidrografic analizat;
 - (2) Previzionarea tendințelor în evoluția precipitațiilor și a temperaturii aerului;
 - (3) Previzionarea tendințelor în variația scurgerii de suprafață;
 - (4) Previzionarea tendințelor în variația debitului;
 - (5) Previzionarea tendințelor în variația transportului de aluviuni;

(6) Analiza frecvenței previziunilor în evoluția valorilor anuale ale scurgerii de suprafață, debitului și transportului de aluviuni.

2.2. Locul cercetărilor

Prezenta cercetare a fost dezvoltată în B.H. Târlung, din cuprinsul căruia am ales sectorul său superior localizat în amonte de confluența Târlungului Mare cu Târlungul Mic, evidențiat în figura 2.1 prin chenarul negru (Marin et al., 2020b).

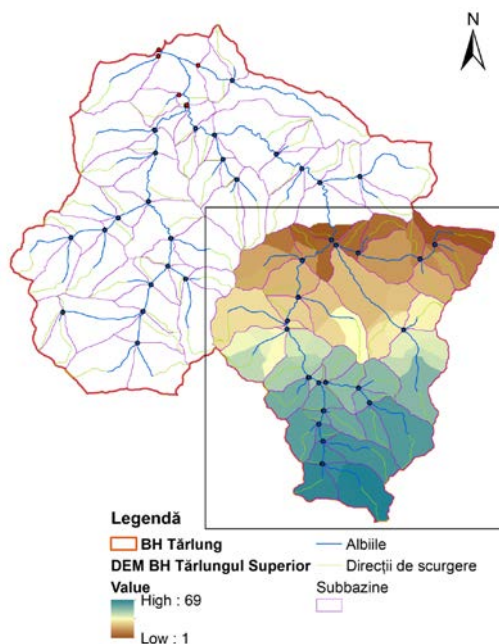


Figura 2.1 Bazinul hidrografic Târlungul Superior, situat în amonte de confluența Târlungului Mare cu Târlungul Mic
Upper Târlung watershed, located upstream of Târlungul Mare and Târlungul Mic confluence

Suprafața bazinului luat în studiu este de 7169,53 hectare, bazinul fiind acoperit în proporție de 80% cu păduri în care predomină specii de rășinoase și foioase (figura 2.2). Tipurile dominante de sol regăsite în cuprinsul bazinului fac parte din clasa Cambisoluri (figura 2.3). Lungimea rețelei hidrografice ce drenează bazinul Târlungul Superior este de 216,49 km (Marin et al., 2019).

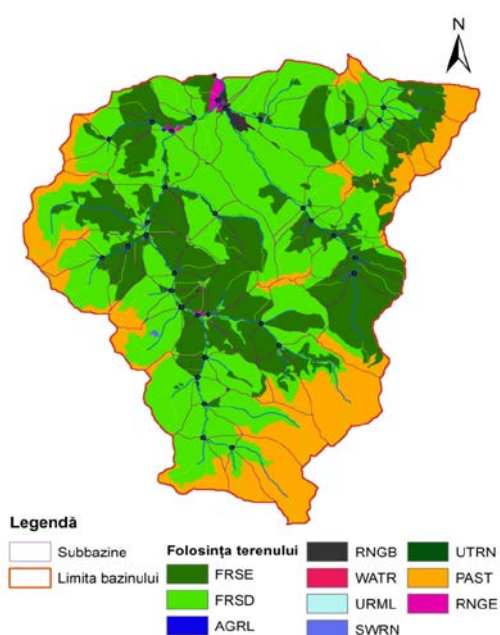


Figura 2.2 Repartizarea spațială pe categoriile de folosință a terenurilor din cuprinsul bazinului studiat
Spatial distribution of the land-use categories within the studied watershed

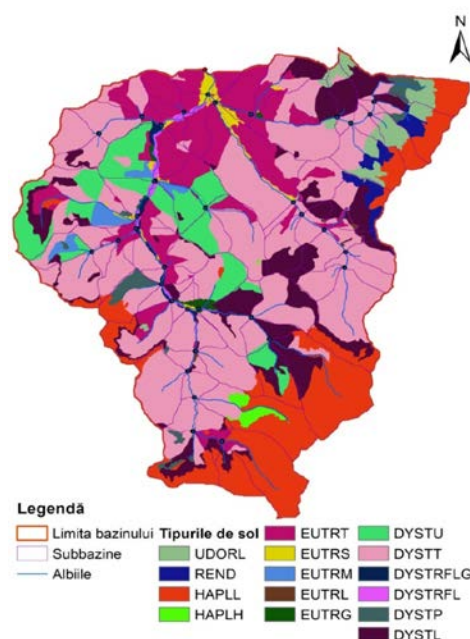


Figura 2.3 Repartizarea tipurilor de sol în cuprinsul bazinului studiat
Spatial distribution of soil types within the studied watershed

3. METODOLOGIA DE CERCETARE

3.1. Particularizarea modelului hidrologic SWAT

Modelul digital al terenului (DEM) furnizat de INHGA pentru întregul bazin Tărlung, are o rezoluție spațială de 10 m și a fost preluat din proiectul CLISWELN (Tudose et al., 2018). Din acest DEM a fost decupată însă suprafața de interes pentru teza de doctorat, respectiv sectorul superior al râului Tărlung situat în amonte de confluența Tărlungului Mare cu Tărlungul Mic. După re poziționarea limitelor bazinului la nivel de u.a., au fost definite albiile și direcțiile de scurgere și a fost realizată împărțirea automată a bazinului în subbazine (69) și în unități de studiu hidrologic (1001) (Marin et al., 2019).

Baza de date meteorologice a fost definită utilizând date preluate din proiectul ROCADA V1.0 (Dumitrescu și Bîrsan, 2015) pentru intervalul 1961–2013 și date provenite din punctul de măsurare al INHGA pentru intervalul 1988–2010. S-au mai utilizat date privind debitele măsurate la stațiile hidrologice Babarunca și acumularea Săcele, valabile pentru intervalul 1974–2015 și furnizate de INHGA (Marin et al., 2019).

Baza de date a solurilor este una detaliată și personalizată, concepută pe baza datelor regăsite în amenajamentele silvice și silvo-pastorale întocmite de INCDS pentru perioada 1989–2013. Pentru determinarea acelor parametri pentru care nu au existat măsurători (densitatea aparentă–SOL_BD, conductivitatea hidraulică–SOL_K, potențialul de apă–SOL_AWC), am utilizat programul SPAW (Marin et al., 2019).

Baza de date a folosinței terenurilor a fost construită utilizând informații extrase din baza de date amenajistică menționată anterior, dar și imagini satelitare ale regiunii analizate pentru completarea bazei de date cu noi straturi pentru drumuri și clădiri. După realizarea corespondenței dintre tipurile de folosință identificate și tipurile specifice definite în ArcSWAT, am obținut repartizarea tipurilor de folosințe, la nivel de u.a., pentru fiecare subbazin în parte și implicit pentru întreaga suprafață a bazinului (Marin et al., 2019).

3.2. Rularea modelului SWAT

Rularea modelului s-a efectuat la nivel lunar pentru un interval de 10 ani (1979–1988), după ce, inițial, a fost setat un prag de cinci ani (1974–1978) necesar pentru inițializarea modelului ("warm-up") și care a fost exclus din procedură. Au fost determinate debitele și alți parametri precum: sedimentele, scurgerea de suprafață, scurgerea laterală, scurgerea subterană, evapotranspirația etc., toate la nivel de subbazin. În figura 3.1 am reprezentat grafic debitele măsurate și cele simulate pentru intervalul 1979–1988, precum și cantitățile medii de precipitații din perioada respectivă (Marin et al., 2019).

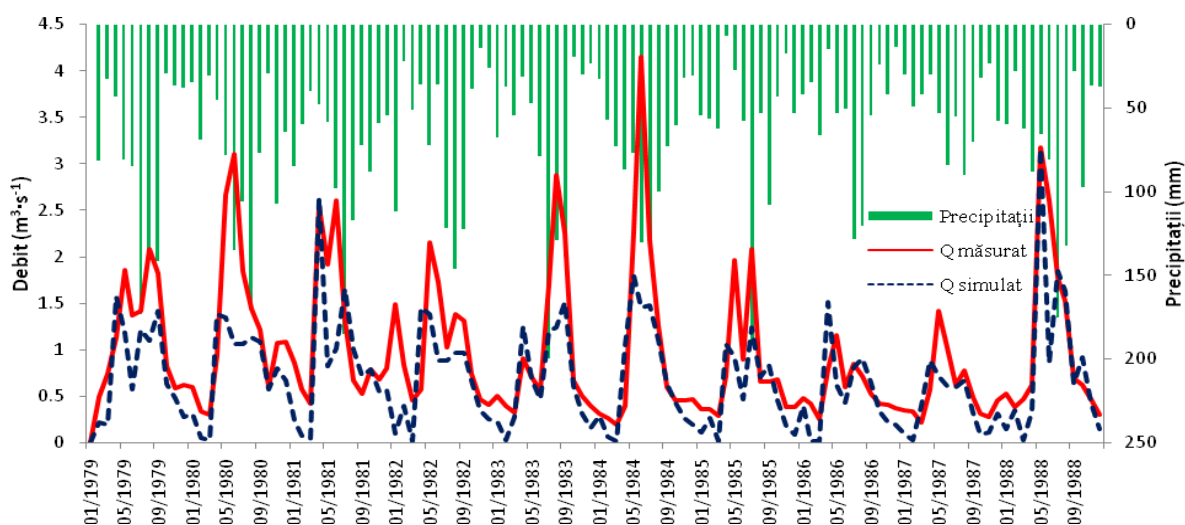


Figura 3.1 Hidrografele debitelor (măsurate și simulate) și hietograma precipitațiilor pentru intervalul 1979–1988
Discharge hydrographs (measured and simulated) and rainfall hietogram for 1979–1988 period

3.3. Calibrarea și validarea modelului SWAT

După efectuarea analizei senzitivității în vederea determinării parametrilor cu cea mai importantă influență asupra proceselor hidrologice, s-a trecut la calibrarea și validarea modelului SWAT, etape efectuate în urma utilizării programului SWAT-CUP, procedura SUFI-2. Pentru evaluarea performanței modelului s-a ales funcția statistică NSE (Nash și Sutcliffe, 1970), frecvent utilizată pentru interpretarea acurateții modelelor hidrologice (Moriasi et al., 2007; Jain și Sudheer, 2008).

Conform indicilor statistici aferenți acestei funcții, în urma derulării etapelor de calibrare și validare, am obținut o bună performanță în simularea debitelor lichide estimate comparativ cu cele măsurate, dar și un grad redus de incertitudine al rezultatelor modelului evaluat în raport cu valoarea factorilor p și r (tabelul 3.1).

Tabelul 3.1 Performanța modelului SWAT în urma etapelor de calibrare–validare, interpretată conform Moriasi et al. (2007)
The SWAT model performance after performing the calibration–validation stages assessed according to Moriasi et al. (2007)

Etapa	Valori obținute pentru funcția statistică adoptată în algoritmul SUFI-2					
	NSE	R ²	RSR	PBIAS (%)	factorul p	factorul r
• Calibrare (1979-1988)	0,67	0,79	0,57	26,4	0,72	0,91
Performanță	Bine	Bine	Bine	Nesatisfăcător	Model acceptat	
• Validare (2009-2012)	0,65	0,66	0,59	2,1	0,75	1,46
Performanță	Bine	Bine	Bine	Foarte bine	Model acceptat	

3.4. Modele climatice regionale adaptate la condițiile locale ale regiunii analizate

Pentru cercetarea de față, au fost utilizate două modele globale de schimbări climatice (*ICHEC-EC-EARTH* și *MPI-ESM-LR*), în care au fost încorporate previziunile a două scenarii globale de schimbări climatice (*RCP4.5* și *RCP8.5*) referitoare la temperatură și precipitații atmosferice. Pentru a obține o rezoluție spațială cât mai fină, care să surprindă cu o mai mare acuratețe condițiile locale ale bazinului, mai ales că acesta se află situat într-o zonă montană caracterizată printr-un climat destul de schimbător, au fost adoptate două modele regionale de schimbări climatice, respectiv: modelul *CCLM4-8-17* și modelul *REMO* (versiunea 2009).

Mai departe, pentru ca datele climatice ce caracterizează intervalul 2020–2100 să fie caracterizate printr-o acuratețe cât mai ridicată, seturile de date rezultate din aplicarea modelelor au fost aduse la nivel local prin aplicarea unor tehnici de regionalizare și ajustate utilizând *Linear Scaling Method* (Michelangeli et al., 2009; Gudmundsson et al., 2012; Luo et al., 2018) în raport cu informațiile climatice preluate din EURO-CORDEX și datele climatice înregistrate la stațiile meteorologice din jur (Predeal, Întorsura Buzăului și Ghimbav). În final, am obținut patru modele climatice regionale ajustate la scara locală, schema simplificată a modului de obținere a acestora fiind redată în figura 3.2 (Marin et al., 2020a).

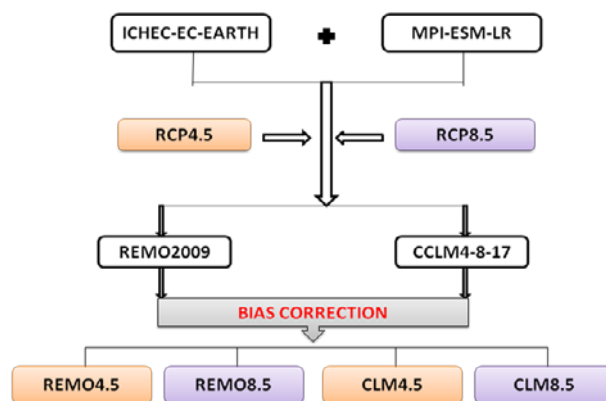


Figura 3.2 Diagrama modului de obținere a modelelor climatice regionale ajustate la scara locală
The process diagram of conceiving the regional climate models downscaled at the local level

3.5. Previzionarea precipitațiilor atmosferice și a temperaturii aerului cu ajutorul modelelor climatice locale în perioada 2020–2100

3.5.1. Previzuni referitoare la cantitatea anuală de precipitații

Distribuția precipitațiilor medii anuale previzionate în contextul celor patru modele climatice locale considerate în cercetarea de față, precum și precipitațiile medii anuale din perioada de referință (ROCADA), sunt redată în figura 3.3 (Marin et al., 2020a). Se poate observa că, în următorii ani, regimul pluviometric nu diferă semnificativ, fiind previzionată o creștere de 1% în modelele REMO4.5 și CLM4.5, o scădere de 3% în REMO8.5 și o creștere de 5% a precipitațiilor anuale în CLM8.5.

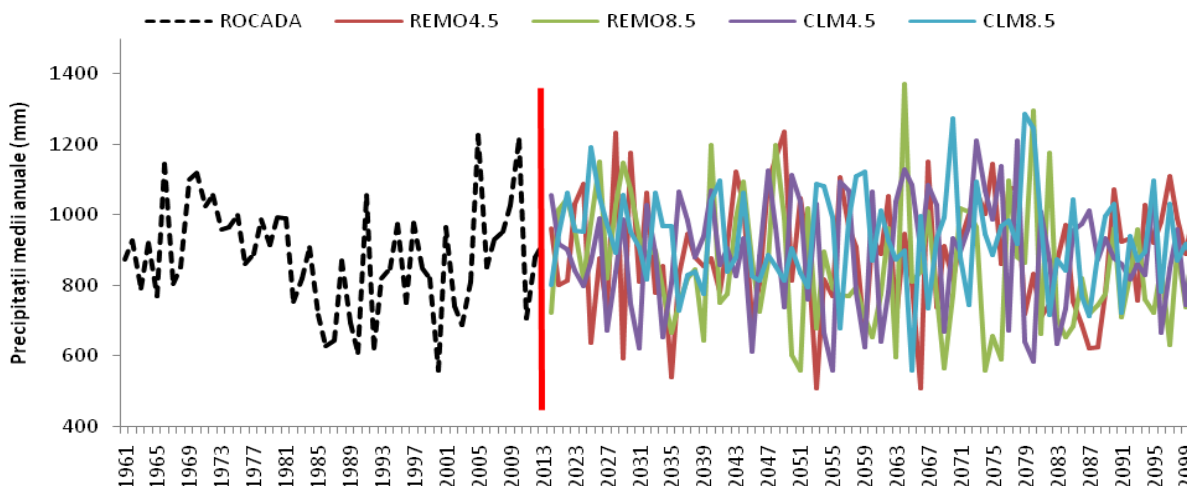


Figura 3.3 Precipitațiile anuale din ROCADA și cele estimate în contextul celor patru modele climatice locale considerate pentru intervalul 2020–2100

Annual rainfall in ROCADA and rainfall projected within the four local climate models considered for 2020–2100 interval

Evoluția sezonieră a precipitațiilor estimate cu modelele climatice locale și analizate comparativ cu media perioadei de referință, este prezentată în tabelul 3.2 (Marin et al., 2020a). Trendul de modificare față de ROCADA este evidențiat cu “+” și “-”, pentru fiecare sezon în parte, fiind alese patru culori diferite (primăvara cu roșu, vara cu albastru, toamna cu negru, iarna cu verde).

Tabelul 3.2 Precipitațiile medii multianuale determinate la nivel sezonier, pentru intervalul 2020–2100 comparativ cu perioada de referință (1961–2013)

Seasonal multiannual average rainfall for the 2020–2100 interval compared to the baseline period (1961–2013)

	Sezonul	Precipitații medii multianuale (mm) pe orizonturi de timp				
		1961–2013	2020–2039	2040–2069	2070–2100	2020–2100
ROCADA	Primăvară	213,5	-	-	-	-
	Vară	351,5	-	-	-	-
	Toamnă	164,0	-	-	-	-
	Iarnă	152,9	-	-	-	-
REMO4.5	Primăvară	-	209,1 (-)	278,5 (+)	283,9 (+)	263,4 (+)
	Vară	-	206,2 (-)	199,6 (-)	195,2 (-)	199,6 (-)
	Toamnă	-	228,8 (+)	185,9 (+)	194,0 (+)	199,6 (+)
	Iarnă	-	230,2 (+)	230,3 (+)	226,2 (+)	228,7 (+)
REMO8.5	Primăvară	-	296,4 (+)	264,2 (+)	273,9 (+)	275,9 (+)
	Vară	-	188,5 (-)	187,3 (-)	168,5 (-)	180,4 (-)
	Toamnă	-	168,7 (+)	160,5 (-)	174,0 (+)	167,7 (+)
	Iarnă	-	245,3 (+)	234,5 (+)	211,0 (+)	228,1 (+)
CLM4.5	Primăvară	-	210,7 (-)	246,2 (+)	239,0 (+)	234,7 (+)
	Vară	-	285,5 (-)	265,1 (-)	255,3 (-)	266,4 (-)
	Toamnă	-	171,8 (+)	175,4 (+)	169,8 (+)	172,4 (+)
	Iarnă	-	206,2 (+)	215,2 (+)	231,0 (+)	219,0 (+)
CLM8.5	Primăvară	-	231,8 (+)	237,4 (+)	244,9 (+)	238,9 (+)
	Vară	-	290,7 (-)	263,9 (-)	262,2 (-)	269,9 (-)
	Toamnă	-	187,5 (+)	158,7 (-)	193,1 (+)	179,0 (+)
	Iarnă	-	226,0 (+)	256,5 (+)	237,8 (+)	241,8 (+)

3.5.2. Previțiuni referitoare la dinamica temperaturii aerului

În figura 3.4 (Marin et al., 2020a), este ilustrată dinamica temperaturii aerului previzionată cu cele patru modele climatice locale, reprezentată comparativ cu mediile anuale ale perioadei de referință (1961-2013). Dacă în ROCADA media multianuală a temperaturilor este de 2,8 °C, media multianuală previzionată pentru perioada 2020–2100 cu cele patru modele este următoarea: 4,8 °C în cadrul modelului REMO4.5, 5,7 °C în REMO8.5, 5,2 °C în CLM4.5 și 6 °C în CLM8.5.

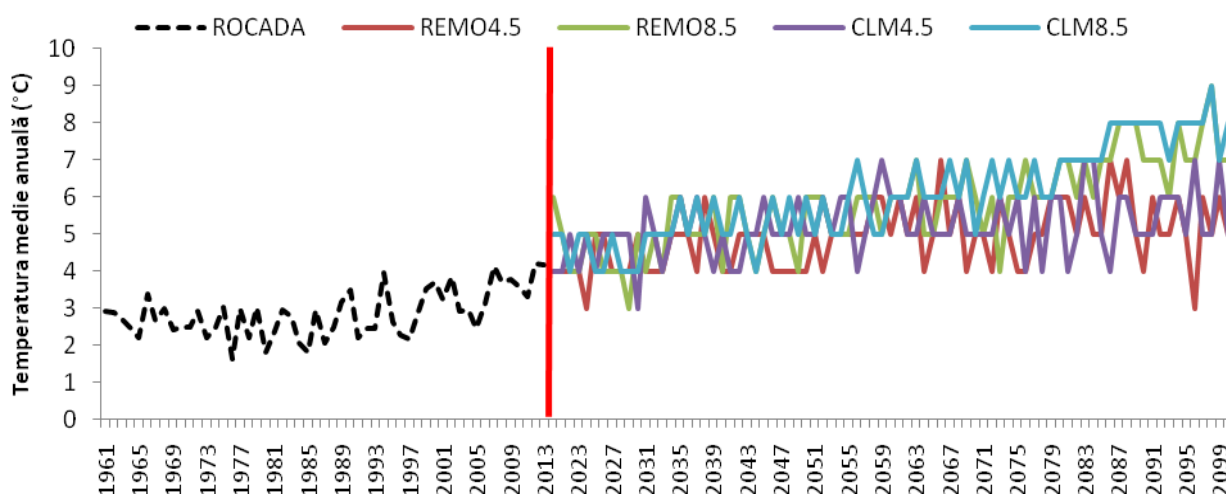


Figura 3.4 Temperaturile medii anuale din ROCADA și în cele patru modele climatice locale luate în considerare
Average annual air temperatures recorded in ROCADA and projected within the four local climate models considered

Mediile multianuale calculate la nivel sezonier, atât pentru perioada de referință cât și pentru cele patru modele climatice locale, sunt prezentate în tabelul 3.3 (Marin et al., 2020a). Pentru evidențierea trendului de creștere (+) sau de scădere (-) a temperaturilor comparativ cu mediile de referință, am utilizat aceeași paletă de culori utilizată în cazul precipitațiilor (primăvara cu roșu, vara cu albastru, toamna cu negru și iarna cu verde). Primăvara, vara și toamna, temperaturile previzionate se vor majora comparativ cu mediile de referință, în timp ce, pentru lunile de iarnă sunt estimate scăderi de până la 4 °C față de ROCADA.

Tabelul 3.3 Mediile multianuale (°C) determinate la nivel sezonier, pentru intervalul 2020–2100, comparativ cu perioada de referință

		Multiannual seasonal averages (° C) projected for the 2020–2100 period, compared to the baseline				
		Temperatura medie multianuală (°C) pe orizonturi de timp				
		1961–2013	2020–2039	2040–2069	2070–2100	2020–2100
ROCADA	Primăvară	1,9	-	-	-	-
	Vară	11,1	-	-	-	-
	Toamnă	3,9	-	-	-	-
	Iarnă	-5,6	-	-	-	-
REMO4.5	Primăvară	-	3,9 (+)	4,0 (+)	4,6 (+)	4,2 (+)
	Vară	-	13,2 (+)	13,8 (+)	13,8 (+)	13,7 (+)
	Toamnă	-	4,6 (+)	5,7 (+)	6,0 (+)	5,6 (+)
	Iarnă	-	-4,5 (-)	-4,1 (-)	-3,7 (-)	-4,0 (-)
REMO8.5	Primăvară	-	3,7 (+)	4,8 (+)	5,5 (+)	4,8 (+)
	Vară	-	13,5 (+)	14,4 (+)	15,8 (+)	14,7 (+)
	Toamnă	-	5,4 (+)	6,3 (+)	7,4 (+)	6,5 (+)
	Iarnă	-	-4,1 (-)	-3,7 (-)	-2,1 (-)	-3,2 (-)
CLM4.5	Primăvară	-	3,9 (+)	4,4 (+)	4,7 (+)	4,4 (+)
	Vară	-	12,8 (+)	13,7 (+)	13,8 (+)	13,5 (+)
	Toamnă	-	6,2 (+)	6,2 (+)	6,9 (+)	6,5 (+)
	Iarnă	-	-4,1 (-)	-3,0 (-)	-3,4 (-)	-3,4 (-)
CLM8.5	Primăvară	-	4,4 (+)	5,1 (+)	6,2 (+)	5,3 (+)
	Vară	-	13,1 (+)	14,2 (+)	15,8 (+)	14,6 (+)
	Toamnă	-	5,8 (+)	7,0 (+)	8,1 (+)	7,1 (+)
	Iarnă	-	-4,2 (-)	-3,4 (-)	-1,6 (-)	-2,9 (-)

3.6. Scenarii de studiu privind folosința terenului

În cadrul tezei de doctorat am urmărit evaluarea impactului hidrologic atât în contextul modelelor locale de schimbări climatice, cât și în contextul a trei scenarii de modificare (neuniformă) a folosinței terenului, după cum urmează:

- **Scenariul 1:** menținerea folosințelor actuale ale terenului;
- **Scenariul 2:** reducerea cu 25% a suprafețelor ocupate de pădure (FRSD și FRSE) și convertirea acestora în pășune (PAST);
- **Scenariul 3:** reducerea cu 50% a suprafețelor ocupate de pădure (FRSD și FRSE) și convertirea acestora în pășune (PAST).

Schimbarea folosinței terenului din FRSD și FRSE în PAST a fost întreruptă în momentul în care s-au atins procentele considerate în cele două scenarii ipotetice de modificare a folosinței terenurilor. În figurile 3.5, 3.6 și 3.7 este ilustrată distribuția spațială a acestora.

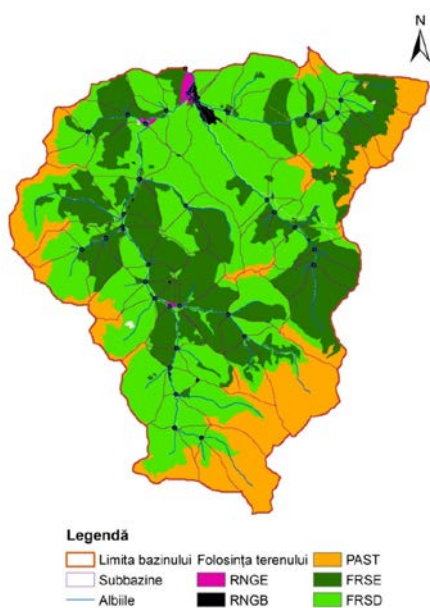


Figura 3.5 Situația actuală a categoriilor de folosință din B.H. Târlungul Superior (scenariul S1)
Current situation of the land-use categories in Upper Târlung watershed (S1 scenario)

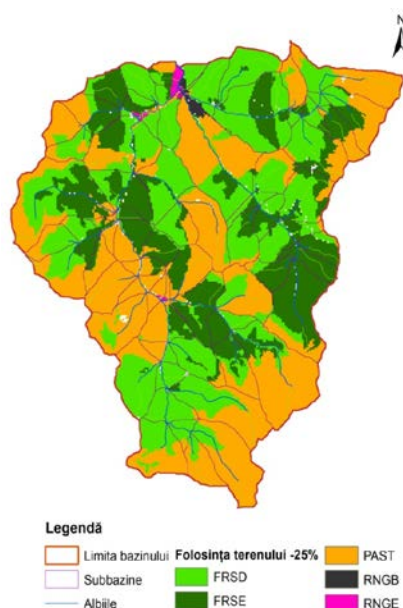


Figura 3.6 Distribuția categoriilor de folosință în cadrul scenariului S2
The land-use categories distribution within S2 scenario

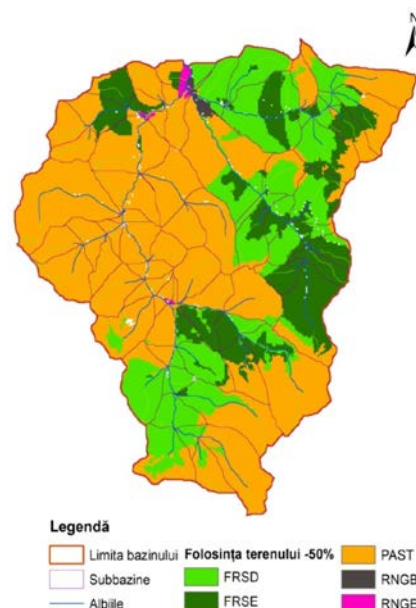


Figura 3.7 Distribuția categoriilor de folosință în cadrul scenariului S3
The land-use categories distribution within S3 scenario

3.7. Rularea modelului SWAT în contextul modelelor climatice și al scenariilor de studiu privind folosința terenului

Efectuarea simulărilor s-a realizat în contextul a trei scenarii hidrologice de studiu rezultate din cuplarea celor patru modele climatice locale cu cele trei scenarii de modificare a folosinței terenului, după cum urmează:

- **Scenariul 1:** rularea modelului în contextul menținerii folosințelor actuale ale terenului (S1) dar cu aplicarea celor patru modele climatice regionale ajustate la nivel local;
- **Scenariul 2:** rularea modelului în contextul scenariului de reducere cu 25% a suprafeței de pădure combinat cu aplicarea celor patru modele climatice;
- **Scenariul 3:** rularea modelului în contextul scenariului de reducere cu 50% a suprafeței de pădure combinat cu aplicarea celor patru modele climatice.

Pentru această etapă a fost necesară parcurgerea următorilor pași:

- reluarea etapelor anterioare de construire a modelului SWAT, plecându-se de la rescrierea bazelor de date de intrare în model;
- configurarea modelului SWAT în vederea efectuării simulărilor prin menționarea intervalului de timp considerat pentru efectuarea simulărilor;
- rularea modelului SWAT pentru intervalul de timp adoptat;
- importarea și salvarea bazelor de date referitoare la parametrii hidrologici la nivel de subbazin.

3.8. Scurt rezumat și concluzii desprinse din previzionarea evoluției precipitațiilor și a temperaturii aerului

- ❖ Referitor la dinamica precipitațiilor anuale distingem o diferență procentuală de $\pm 3\text{--}5\%$ între mediile multianuale previzionate și valoarea de referință.
- ❖ Comparativ cu mediile de referință, precipitațiile sezoniere pot înregistra atât tendințe de creștere (mai accentuate iarna), cât și de scădere (mai semnificative vara), diferențiate în raport cu modelul climatic și orizontul de timp.
- ❖ Media multianuală a temperaturilor previzionate pentru perioada 2020–2100 evidențiază tendințe de creștere în toate modelele și orizonturile analizate.
- ❖ La nivel sezonier, primăvara, vara și toamna temperaturile vor fi mai mari comparativ cu perioada de referință, spre deosebire de lunile de iarnă când acestea vor fi mai reduse.

4. IMPACTUL HIDROLOGIC PREVIZIONAT AL SCHIMBĂRILOR CLIMATICE ȘI REDUCERII SUPRAFEȚEI ÎMPĂDURITE ASUPRA PROCESELOR HIDROLOGICE DIN BAZINUL SUPERIOR AL RÂULUI TĂRLUNG

4.1. Aspecte introductive

Cu ajutorul modelului hidrologic SWAT, am efectuat previziuni referitoare la evoluția scurgerii de suprafață, debitului și transportului de aluviuni pentru intervalul de timp 2020–2100 (divizat pe trei orizonturi de timp).

În evaluări, am considerat patru niveluri ale analizei (nivelul lunar, nivelul lunar sezonier¹, nivelul anual și nivelul multianual), patru modele climatice ajustate la nivel local și trei scenarii privitoare la folosința terenului.

Ca interval de referință a fost adoptat un interval de 10 ani, respectiv orizontul de timp 1979–1988.

În evidențele tabelare ce vor fi prezentate, prescurtările au următoarele semnificații:

- **S1–scenariul 1 (MSC + FF_ACT):** aplicarea modelelor climatice regionale ajustate la nivel local, cu menținerea folosințelor actuale ale terenurilor;
- **S2–scenariul 2 (MSC + FF -25%):** aplicarea modelelor climatice regionale ajustate la nivel local, concomitent cu reducerea suprafeței împădurite cu 25%;
- **S3–scenariul 3 (MSC + FF -50%):** aplicarea modelelor climatice regionale ajustate la nivel local, concomitent cu reducerea suprafețelor împădurite cu 50%.

¹ Valorile sezoniere ale parametrilor hidrologici au fost stabilite ca medii între valorile lunare ale lunilor care compun fiecare sezon (anotimp) în parte

4.2. Scurgerea de suprafață simulată pentru intervalul 2020–2100

4.2.1. Scurgerea de suprafață pe termen scurt (2020–2039)

4.2.1.1. Scurgerea lunară

Diferențele procentuale calculate comparativ cu mediile de referință și reprezentate în figura 4.1 (a,b,c,d) ne arată că, în lunile iunie-august sunt estimate scăderi de până la 75% ale acestui parametru, tendințe mai accentuate fiind generate de modul REMO4.5. Intensificarea are loc începând cu luna septembrie, urmând ca, în luna februarie, să se înregistreze valori ale acestui parametru de 8,7 ori mai mari comparativ cu media de referință. Acest lucru se datorează în principal creșterii precipitațiilor cu 35–60% și intensificării temperaturilor în lunile de iarnă (cu până la 1,5 °C) care favorizează apariția precipitațiilor lichide (și nu solide), topirea rapidă a zăpezilor și implicit scurgeri de suprafață mai consistente, după cum se menționează și în alte cercetări elaborate la nivel național (Diaconu, 1971; Busuioc et al., 2010; Bîrsan et al., 2012).

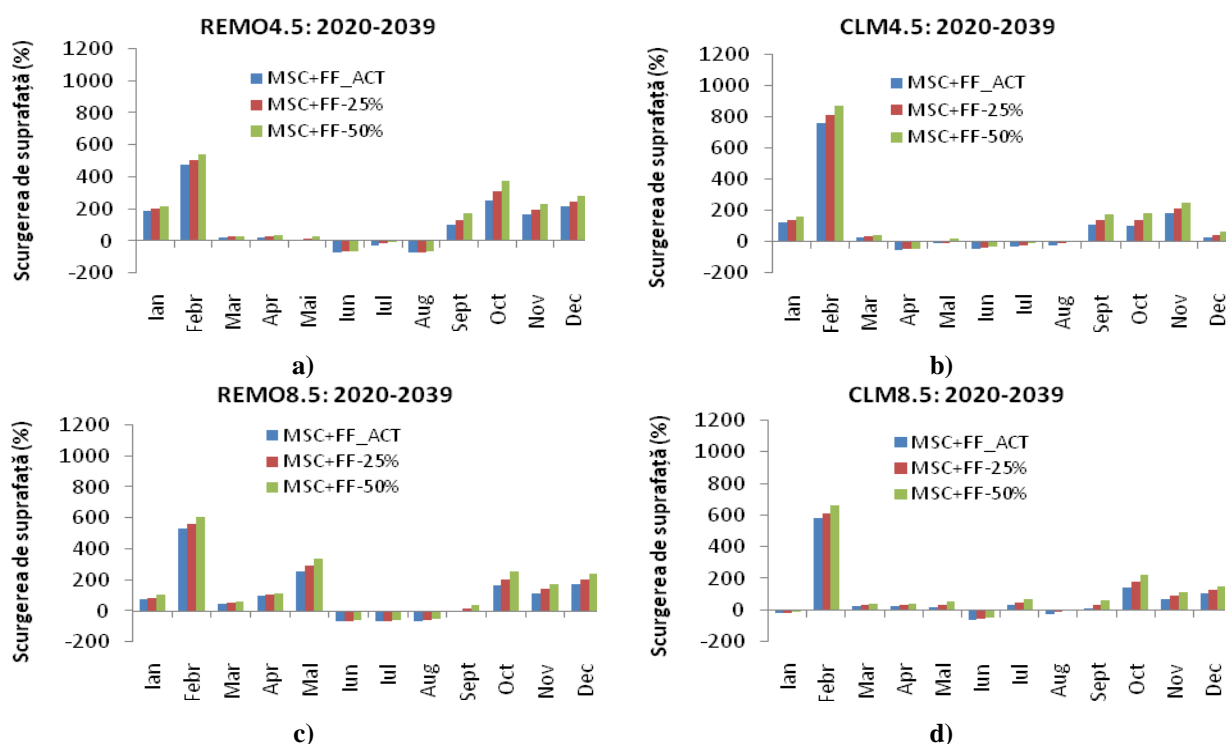


Figura 4.1 Scurgerea lunară de suprafață (redată procentual) în cadrul celor patru modele climatice locale și al celor trei scenarii de studiu privind folosința terenului, pentru perioada 2020–2039

The monthly surface runoff projected in the four local climate models and three studied land-use scenarios for 2020–2039 interval

4.2.1.2. Scurgerea lunară sezonieră

Potrivit datelor prezentate în tabelul 4.1, se poate observa că, în lunile de primăvară, spre deosebire de intervalul de referință, scurgerea sezonieră de suprafață va crește în toate modelele climatice aplicate, tendințe mai semnificative fiind estimate în cadrul modelului REMO, derivat din scenariul climatic global RCP8.5. În sezonul de vară, scurgerea de suprafață se va diminua în toate modelele și scenariile aplicate, cele mai semnificative scăderi fiind estimate în cadrul modelelor REMO. În lunile de toamnă, scurgerea de suprafață se va intensifica putând înregistra valori de 2,5 ori mai mari comparativ cu perioada de referință. În sezonul de iarnă, aceasta poate atinge valori de până la 1126 mii m³ (față de 269 mii m³, valoare de referință), creșteri mai semnificative fiind estimate în cadrul modelelor REMO și CLM dezvoltate pe baza scenariului climatic global RCP4.5.

Tabelul 4.1 Variația lunar-sezoneră a scurgerii de suprafață (mii m³) în intervalul 2020–2039
The monthly-seasonal surface runoff (thousand m³) projected for 2020–2039 interval

		Modelul local de schimbări climatice											
		REMO4.5			CLM4.5			REMO8.5			CLM8.5		
Sezonul	Media lunară multianuală 1979-1988 (mii m ³)	S1	S2	S3	S1	S2	S3	S1	S2	S3	S1	S2	S3
		MSC+ FF_ ACT	MSC+ FF -25%	MSC+ FF -50%	MSC+ FF_ ACT	MSC+ FF -25%	MSC+ FF -50%	MSC+ FF_ ACT	MSC+ FF -25%	MSC+ FF -50%	MSC+ FF_ ACT	MSC+ FF -25%	MSC+ FF -50%
Primăvară	1766	2142	2232	2327	1738	1835	1943	3008	3137	3278	2214	2333	2456
Vară	414	161	183	211	260	296	341	128	149	175	288	324	369
Toamnă	145	388	440	504	371	415	468	289	328	379	247	282	326
Iarnă	269	987	1048	1126	917	981	1057	865	928	1009	732	775	836

4.2.1.3. Scurgerea anuală

Valorile simulate pentru acest parametru și reprezentate ca diferențe procentuale comparativ cu mediile de referință (figura 4.2 a,b,c,d) ne arată atât diminuări ale scurgerii de suprafață cu până la 58%, cât și creșteri ale acesteia de până la aproximativ 2,3 ori. Cea mai accentuată scădere a acestui parametru este estimată a fi înregistrată la nivelul anului 2035 (figura 4.2-a), mai cu seamă ca urmare a modificărilor climatice (scenariul S1). Reducerea suprafețelor împădurite (cu 25% și respectiv 50%) are ca efect o intensificare a scurgerii anuale de suprafață în toate cele patru modele climatice locale, ecartul de variație al acestui parametru fiind cuprins între 4–226%. Impactul cel mai redus asupra scurgerii anuale de suprafață este estimat în cadrul modelului CLM4.5 (figura 4.2-b), iar cel mai accentuat în modelul REMO8.5 (figura 4.2-c).

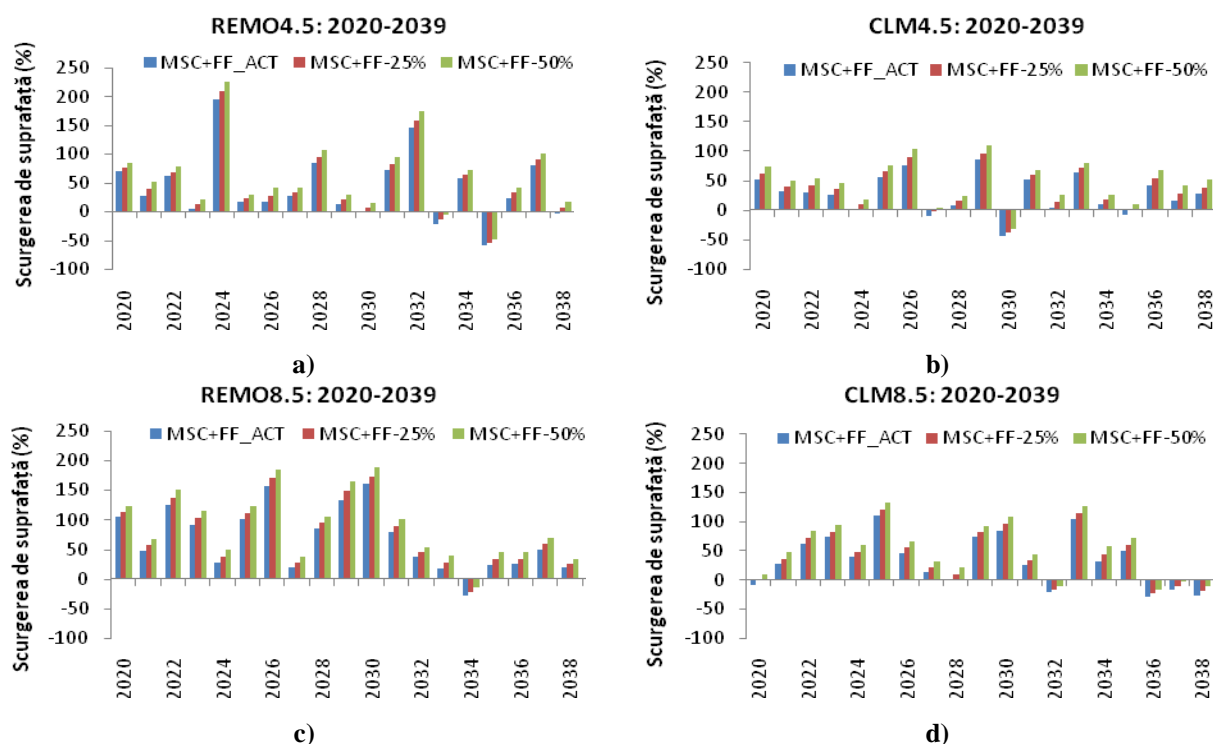


Figura 4.2 Scurgerea anuală de suprafață (redată procentual) în cadrul celor patru modele climatice locale și al celor trei scenarii de studiu privind folosința terenului, pentru perioada 2020–2039

The annual surface runoff projected in the four local climate models and three studied land-use scenarios for 2020–2039 interval

Media multianuală a scurgerii de suprafață pentru întregul interval de timp considerat (figura 4.3), evidențiază o tendință generală de creștere a acestui parametru. Cele mai accentuate modificări sunt previzionate în contextul modelului climatic REMO, când scurgerea de suprafață se poate intensifica cu 42–87%, în timp ce în modelele CLM sunt estimate cele mai modeste creșteri ale acestui parametru (27–54%).

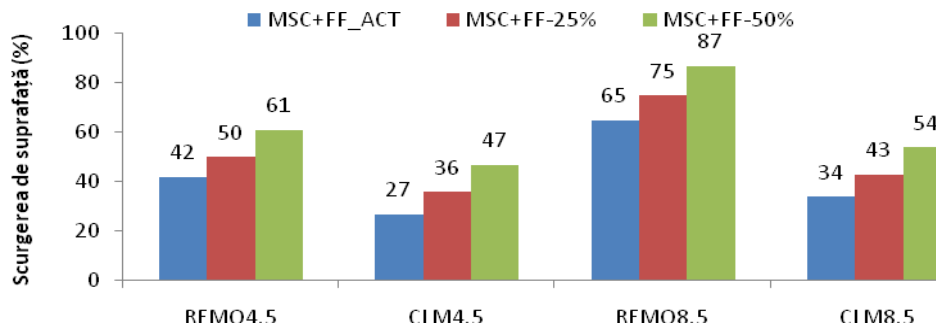


Figura 4.3 Media multianuală a scurgerii de suprafață (redată procentual) în cadrul celor patru modele climatice locale și al celor trei scenarii de studiu privind folosința terenului, pentru intervalul 2020–2039

The multiannual average of surface runoff (expressed in percentage) projected in the four local climate models and three studied land-use scenarios for 2020–2039 interval

4.2.2. Scurgerea de suprafață pe termen mediu (2040–2069)

4.2.2.1. Scurgerea lunară

Previuțiile referitoare la scurgerea lunară de suprafață sunt prezentate în figura 4.4. Comparativ cu perioada de referință, cele mai mari creșteri sunt estimate pentru lunile decembrie–februarie, mai ales în scenariile de modificare a folosinței terenurilor. Se previzionează că scurgerea din luna februarie poate crește de 10 ori față de media de referință, situație care poate apărea în urma intensificării temperaturilor cu aproximativ 1–3 °C, și care generează o topire rapidă a zăpezilor. Pe lângă temperatură, la intensificarea scurgerii de suprafață poate contribui și creșterea precipitațiilor cu 19–46%, estimată pentru luna februarie. În lunile iunie–august, se estimează o reducere a scurgerii de suprafață în toate modelele și scenariile considerate, valorile lunare estimate putând fi cu până la 65% mai mici.

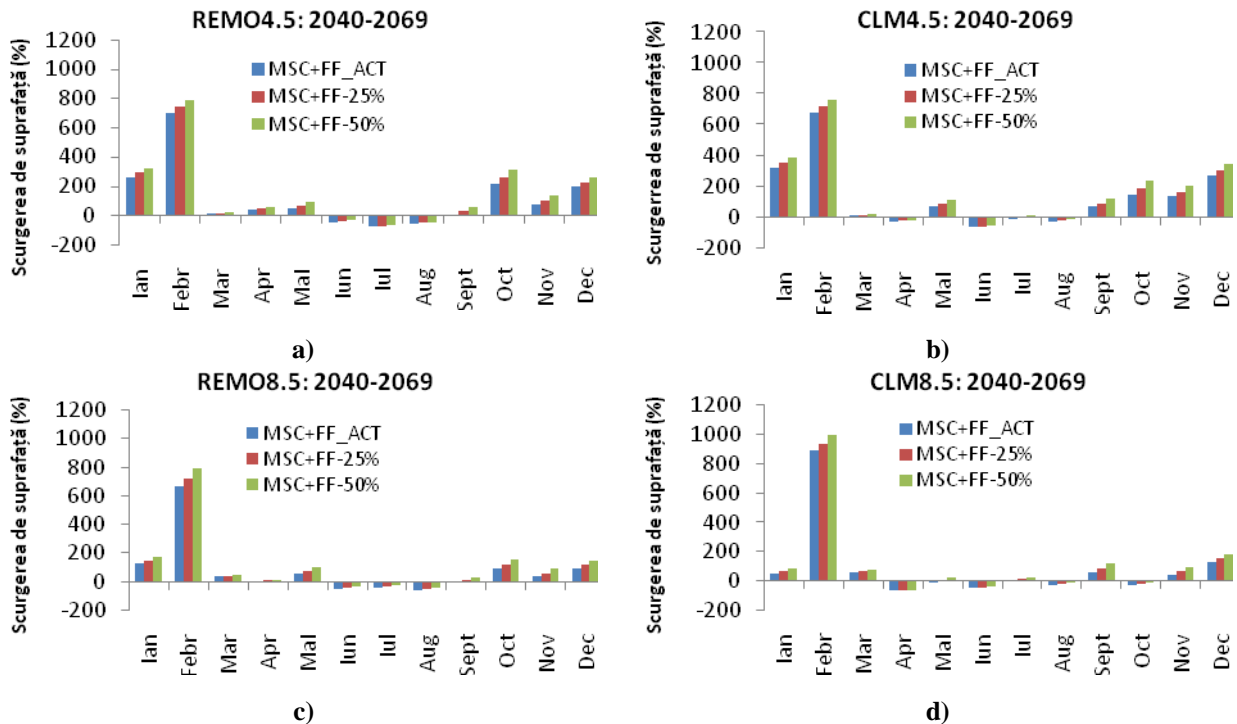


Figura 4.4 Scurgerea lunară de suprafață (redată procentual) în cadrul celor patru modele climatice locale și al celor trei scenarii de studiu privind folosința terenului, pentru perioada 2040–2069

The monthly surface runoff projected in the four local climate models and three studied land-use scenarios for 2040–2069 interval

4.2.2.2. Scurgerea lunară sezonieră

Datele centralizate în tabelul 4.2 ne arată că, în lunile de primăvară, scurgerea de suprafață se va intensifica, cele mai accentuate creșteri fiind estimate în cadrul modelelor REMO. Pentru lunile de vară, tendința generală este de scădere, scurgerea putându-se diminua de la 414 mii m³ (valoare de referință) până la 179 mii m³. Cele mai semnificative reduceri sunt estimate tot în cadrul modelelor REMO. Începând cu sezonul de toamnă, se previzionează o intensificare a scurgerii de suprafață, tendință care se va accentua în sezonul de iarnă când scurgerea ar putea fi de aproximativ 2,5–4,6 ori mai mare, ca urmare a intensificării temperaturilor cu 1,5–2,6 °C, dar și a precipitațiilor cu până la aproximativ 70%.

Tabelul 4.2 Variația lunar-sezonieră a scurgerii de suprafață (mii m³) în intervalul 2040–2069
The monthly-seasonal surface runoff (thousand m³) projected for 2040–2069 interval

		Modelul local de schimbări climatice											
		REMO4.5			CLM4.5			REMO8.5			CLM8.5		
Sezonul	Media lunară multianuală 1979–1988 (mii m ³)	S1	S2	S3	S1	S2	S3	S1	S2	S3	S1	S2	S3
		MSC+ FF_ ACT	MSC+ FF- 25%	MSC+ FF- 50%	MSC+ FF_ ACT	MSC+ FF- 25%	MSC+ FF- 50%	MSC+ FF_ ACT	MSC+ FF- 25%	MSC+ FF- 50%	MSC+ FF_ ACT	MSC+ FF- 25%	MSC+ FF- 50%
Primăvară	1766	2131	2245	2372	1745	1837	1935	2181	2293	2421	2029	2144	2263
Vară	414	179	203	232	235	266	305	208	235	267	283	314	353
Toamnă	145	272	312	363	324	369	426	199	234	279	195	226	265
Iarnă	269	1191	1271	1369	1310	1400	1507	918	999	1101	1031	1098	1186

4.2.2.3. Scurgerea anuală

Scurgerea anuală evidențiată ca diferență procentuală comparativ cu media perioadei de referință (figura 4.5 a,b,c,d) arată tendințe similare între scenariile aplicate, dar cu rezultate diferite între modelele climatice. Creșteri mai intense sunt generate de modificarea folosinței terenurilor în special în cadrul scenariului S3, în timp ce reducerea scurgerii de suprafață apare în principal ca urmare a modificărilor climatice și mai puțin în urma reducerii pădurii cu 25% și respectiv 50%.

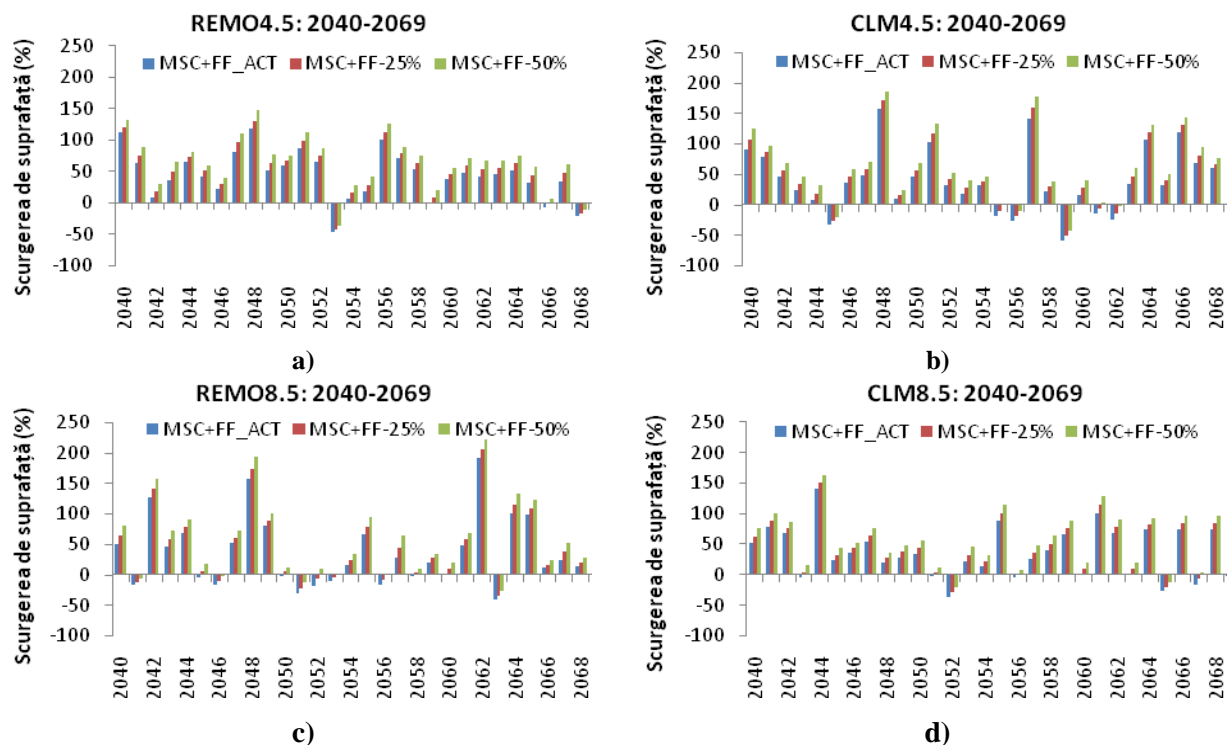


Figura 4.5 Scurgerea anuală de suprafață (redată procentual) în cadrul celor patru modele climatice locale și al celor trei scenarii de studiu privind folosința terenului, pentru perioada 2040–2069

The annual surface runoff (expressed in percentage) projected in the four local climate models and three studied land-use scenarios for 2040–2069 interval

Media multianuală a scurgerii de suprafață ne arată o tendință generală de creștere a acestui parametru (figura 4.6). Cele mai accentuate intensificări sunt previzionate în cadrul modelelor climatice REMO și CLM dezvoltate pe baza previziunilor scenariului climatic global RCP4.5.

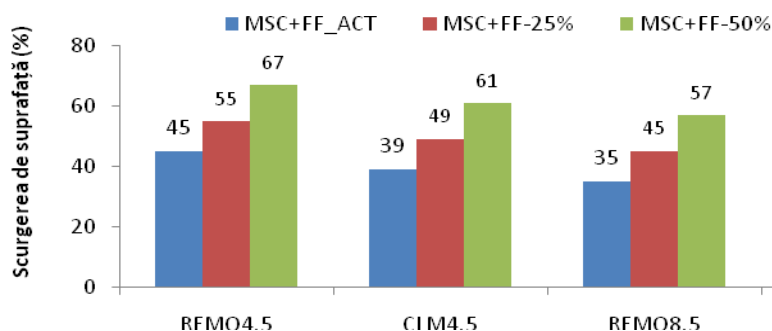


Figura 4.6 Media multianuală a scurgerii de suprafață (redată procentual) în cadrul celor patru modele climatice locale și al celor trei scenarii de studiu privind folosința terenului, pentru intervalul 2040–2069

The multiannual average of surface runoff (expressed in percentage) projected in the four local climate models and three studied land-use scenarios for 2040–2069 interval

4.2.3. Scurgerea de suprafață pe termen lung (2070–2100)

4.2.3.1. Scurgerea lunară

Valorile lunare previzionate pentru scurgerea suprafață indică o scădere cuprinsă între 1–69%, comparativ cu mediile perioadei de referință. Diferențele procentuale evidențiate în figura 4.7 (a,b,c,d) ne arată o tendință de creștere începând cu luna septembrie în cadrul modelelor REMO4.5, CLM4.5 și CLM8.5 (figura 4.7-a, b, d), mai puțin însă în contextul modelului REMO8.5 (figura 4.7-c). Scăderea parametrului este previzionată pentru lunile iunie-august în toate modelele și scenariile aplicate, dar și pentru luna martie în modelele REMO8.5 și CLM8.5 (figurile 4.7 c și d).

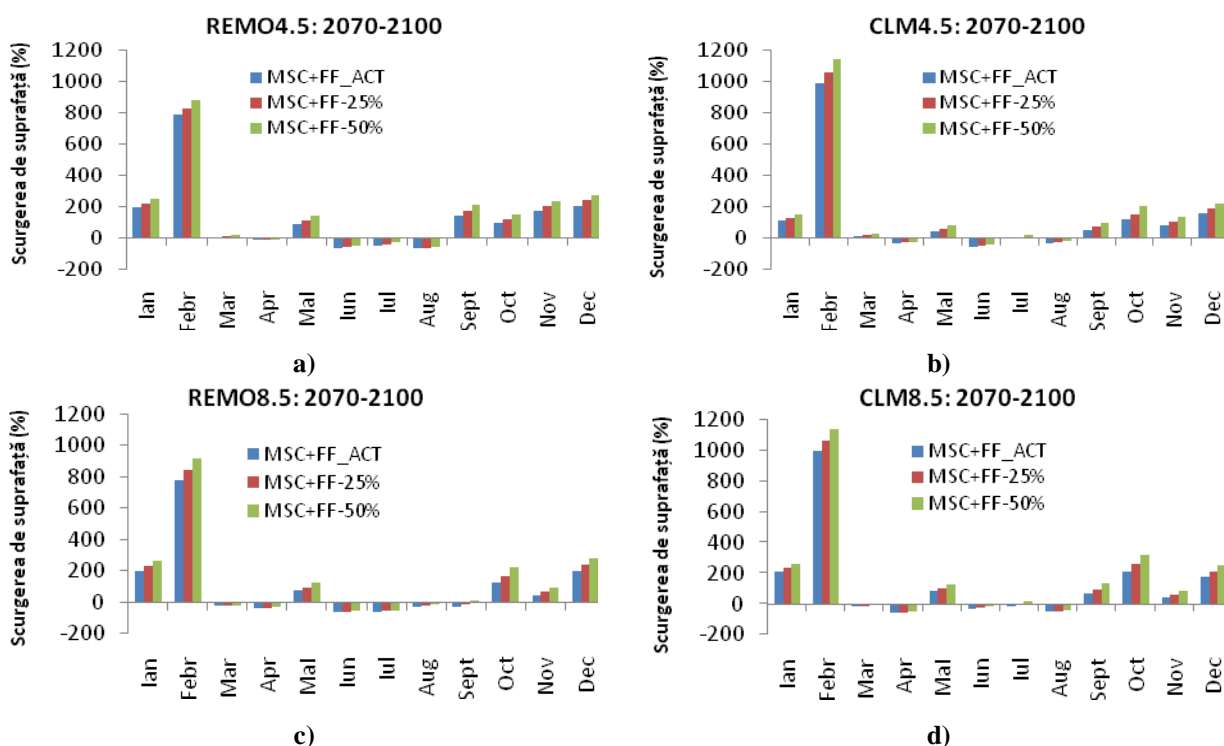


Figura 4.7 Scurgerea lunară de suprafață (redată procentual) în cadrul celor patru modele climatice locale și al celor trei scenarii de studiu privind folosința terenului, pentru perioada 2070–2100

The monthly surface runoff (expressed in percentage) projected in the four local climate models and three studied land-use scenarios for 2070–2100 interval

4.2.3.2. Scurgerea lunară sezonieră

Potrivit datelor din tabelul 4.3 rezultă că, primăvara, scurgerea de suprafață prezintă tendințe atât de creștere (până la aproximativ 2021 mii m³ în REMO4.5/S3), cât și de scădere (până la aproximativ 1267 mii m³ în CLM8.5/S1). Vara, tendința generală este de scădere, tendințe mai semnificative fiind estimate în cadrul modelelor REMO, cuplate cu scenariul S1. Începând cu lunile de toamnă, scurgerea de suprafață se înscrie pe un trend crescător, putând atinge valori de două ori mai mari comparativ cu media de referință. Însă, cele mai accentuate creșteri sunt previzionate pentru lunile de iarnă, când scurgerea de suprafață poate crește de la 269 mii m³ până la 1523 mii m³, situație ce poate apărea ca urmare a creșterii temperaturilor cu 2–4 °C, dar și a intensificării precipitațiilor cu până la 55% față de valorile de referință.

Tabelul 4.3 Variația lunar-sezonieră a scurgerii de suprafață (mii m³) în intervalul 2070–2100
The monthly-seasonal surface runoff (thousand m³) projected for 2070–2100 interval

Sezonul	Media lunară multianuală 1979–1988 (mii m ³)	Modelul local de schimbări climatice											
		REMO4.5			CLM4.5			REMO8.5			CLM8.5		
		S1	S2	S3	S1	S2	S3	S1	S2	S3	S1	S2	S3
		MSC+ FF_ ACT	MSC+ FF -25%	MSC+ FF -50%	MSC+ FF_ ACT	MSC+ FF -25%	MSC+ FF -50%	MSC+ FF_ ACT	MSC+ FF -25%	MSC+ FF -50%	MSC+ FF_ ACT	MSC+ FF -25%	MSC+ FF -50%
Primăvară	1766	1798	1904	2021	1746	1839	1944	1282	1363	1456	1267	1340	1414
Vară	414	166	188	215	249	281	322	185	208	238	275	311	356
Toamnă	145	367	408	458	262	299	346	213	247	290	259	297	344
Iarnă	269	1192	1274	1373	1178	1269	1380	1178	1286	1420	1298	1400	1523

4.2.3.3. Scurgerea anuală

Dinamica scurgerii anuale de suprafață calculată procentual ca diferență între media anuală a perioadei de referință și mediile anuale simulate pentru intervalul 2070–2100 este ilustrată în figura 4.8 (a,b,c,d). Dacă pe scenarii de folosință tendințele manifestate sunt oarecum similare, pe modele climatice, observăm trenduri diferite: tendințe în principal de creștere mai ales în cadrul modelelor derivate din scenariul global RCP4.5 (figura 4.8 a și b) și tendințe în principal o tendință de scădere în cadrul modelelor derivate din scenariul RCP8.5 (figura 4.11 c și d).

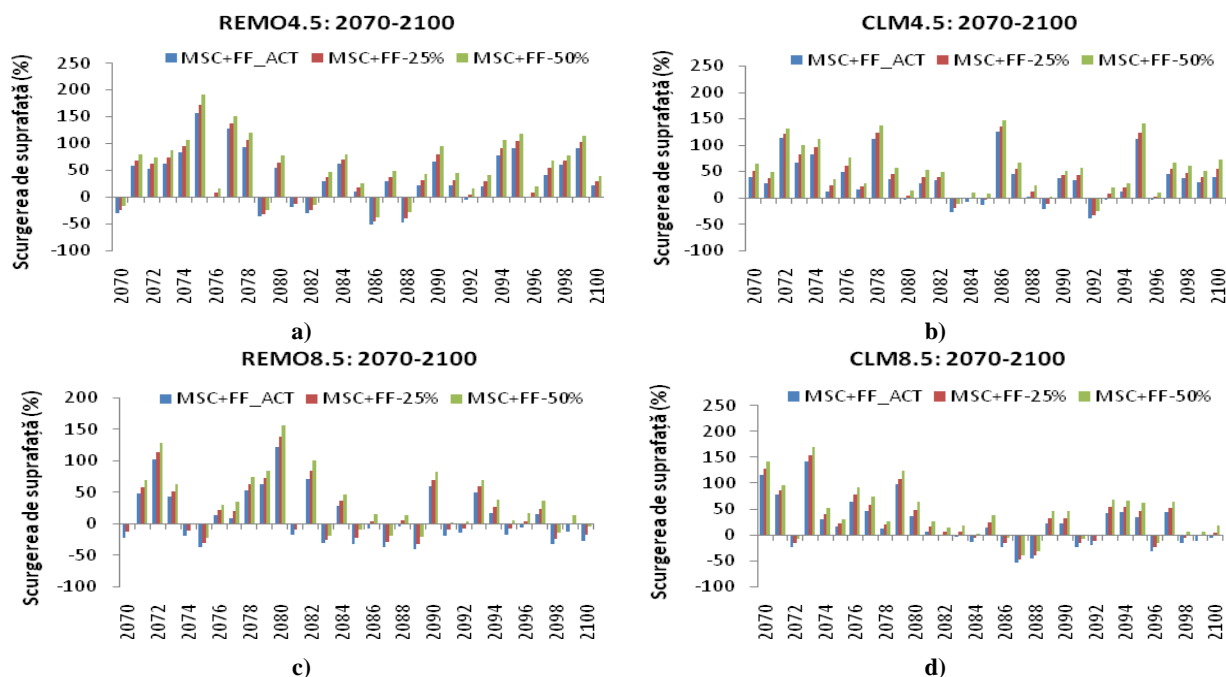


Figura 4.8 Scurgerea anuală de suprafață (redată procentual) în cadrul celor patru modele climatice locale și al celor trei scenarii studiu privind folosința terenului, pentru perioada 2070–2100

The annual surface runoff (expressed in percentage) projected in the four local climate models and three studied land-use scenarios for 2070–2100 interval

4.3. Debitul simulat pentru intervalul 2020–2100

4.3.1. Debitul pe termen scurt (2020–2039)

4.3.1.1. Debitul lunar

Debitele cuantificate la nivel lunar ca diferență procentuală determinată comparativ cu mediile lunare multianuale din perioada de referință, sunt redată în figura 4.9 (a,b,c,d). Pentru intervalul analizat, sunt estimate reduceri ale debitelor lunare în special în lunile iunie–august, mai accentuate în modelele REMO. Tendința de majorare a debitelor lunare se conturează începând cu luna martie în cadrul tuturor modelelor climatice, ajungând ca în lunile de toamnă creșterile să se intensifice și să atingă cele mai mari valori în luna februarie, mai ales în scenariul de folosință S3.

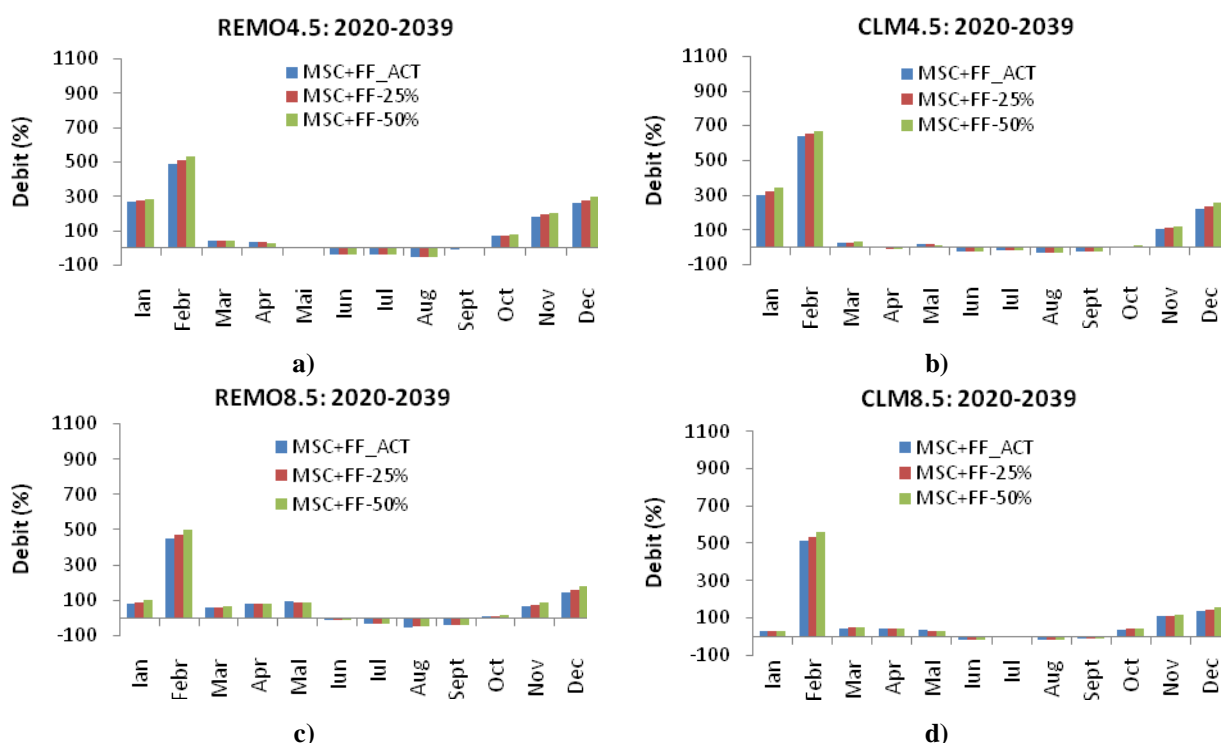


Figura 4.9 Debitele lunare (exprimate procentual) în cadrul celor patru modele climatice locale și al celor trei scenarii de studiu privind folosința terenului, pentru perioada 2020–2039

The monthly discharges (expressed in percentage) projected in the four local climate models and three studied land-use scenarios for 2020–2039 interval

4.3.1.2. Debitul lunar-sezonier

Valorile debitelor sezoniere, centralizate în tabelul 4.4, ne arată că între scenariile de modificare a folosinței terenului nu sunt diferențe semnificative, valori diferite pentru debitele sezoniere fiind obținute între modelele climatice. Pentru sezonul vernal cele mai semnificative creșteri sunt obținute în cadrul modelelor REMO și CLM dezvoltate din scenariul climatic global RCP8.5. Pentru lunile de vară, se previzionează o scădere a debitelor în toate modele climatice, cu o tendință mai accentuată în cadrul modelelor REMO. În sezonul de toamnă debitele pot înregistra creșteri mai ales în urma reducerii suprafețelor împădurite cu 50% (scenariul S3). Cele mai semnificative creșteri (de 3–4 ori) sunt estimate pentru lunile de iarnă, aspect ce a fost semnalat și de Chendeș et al. (2010), care menționează o predispoziție a bazinelor hidrografice situate în zonele montane de a se confrunta cu creșteri importante ale debitului în sezonul de iarnă.

Tabelul 4.4 Variația lunar-sezoneră a debitelor ($m^3 \cdot s^{-1}$) în intervalul 2020–2039

The monthly-seasonal discharges ($m^3 \cdot s^{-1}$) projected for 2020–2039 interval

		Modelul local de schimbări climatice											
		REMO4.5			CLM4.5			REMO8.5			CLM8.5		
		S1	S2	S3	S1	S2	S3	S1	S2	S3	S1	S2	S3
Sezonul	Media lunară multianuală 1979–1988 ($m^3 \cdot s^{-1}$)	MSC+	MSC+	MSC+	MSC+	MSC+	MSC+	MSC+	MSC+	MSC+	MSC+	MSC+	MSC+
		FF_ACT	FF_-25%	FF_-50%	FF_ACT	FF_-25%	FF_-50%	FF_ACT	FF_-25%	FF_-50%	FF_ACT	FF_-25%	FF_-50%
Primăvară	1,12	1,45	1,44	1,43	1,22	1,22	1,21	1,95	1,95	1,95	1,57	1,57	1,57
Vară	1,04	0,58	0,58	0,58	0,80	0,80	0,81	0,73	0,73	0,73	0,89	0,89	0,89
Toamnă	0,40	0,65	0,67	0,69	0,50	0,52	0,53	0,39	0,4	0,42	0,52	0,53	0,54
Iarnă	0,15	0,61	0,63	0,65	0,50	0,51	0,54	0,43	0,45	0,48	0,42	0,43	0,44

4.3.1.3. Debitul anual

Potrivit diferențelor procentuale obținute între debitele de referință și cele simulate (figura 4.10 a,b,c,d), putem observa că modelele climatice REMO și CLM dezvoltate din scenariul RCP8.5 arată tendințe mai evidente de creștere a debitelor (figura 4.10 c și d), față de modelele REMO și CLM derivate din RCP4.5. În schimb, acestor modele le corespunde o frecvență mai ridicată a anilor în care este previzionată scăderea debitului (figura 4.10 a și b).

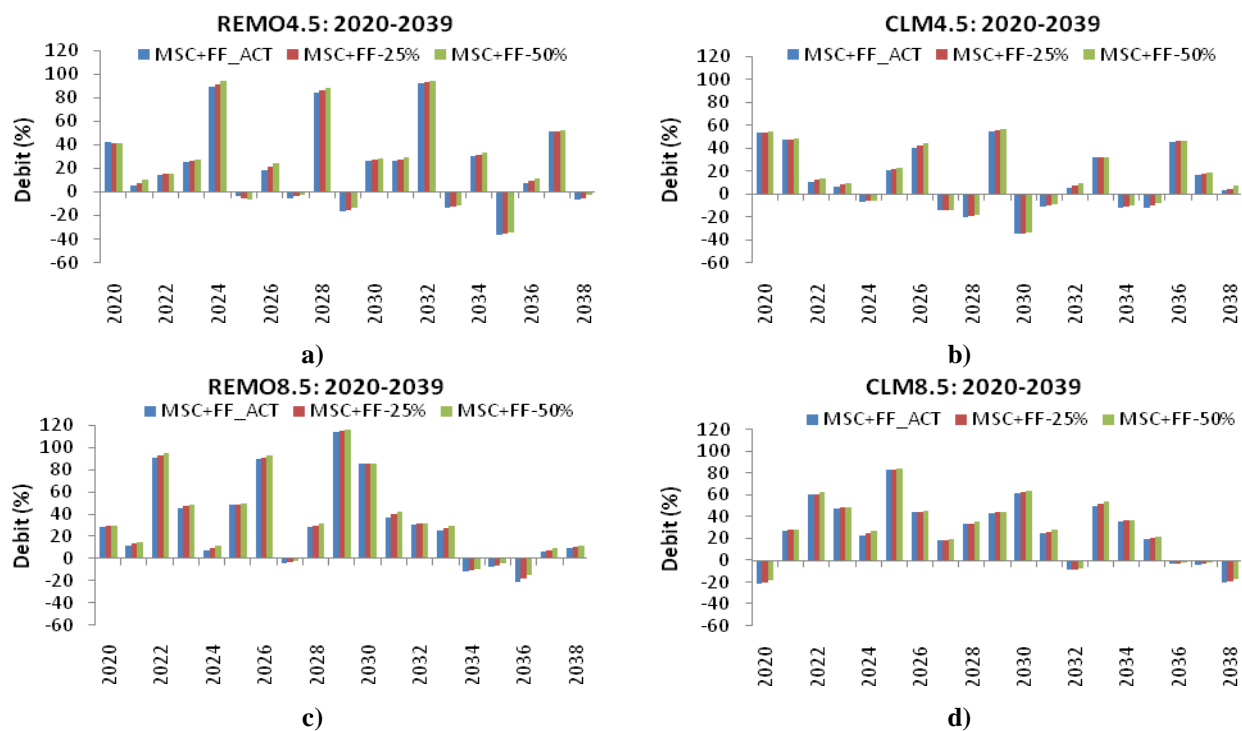


Figura 4.10 Debitele anuale (exprimate procentual) în cadrul celor patru modele climatice locale și al celor trei scenarii de studiu privind folosința terenului, pentru perioada 2020–2039

The annual discharges (expressed in percentage) projected in the four local climate models and three studied land-use scenarios for 2020–2039 interval

De altfel, și media multianuală a debitelor (figura 4.11) evidențiază faptul că cele mai vizibile creșteri ale debitelor sunt previzionate în modelele REMO și CLM dezvoltate din scenariul RCP8.5, acestea putând înregistra o creștere de până la 33%, mai accentuată în cadrul scenariului S3. Creșterile cele mai reduse sunt estimate în cadrul modelului CLM4.5, când debitul se poate majora cu 13–15%.

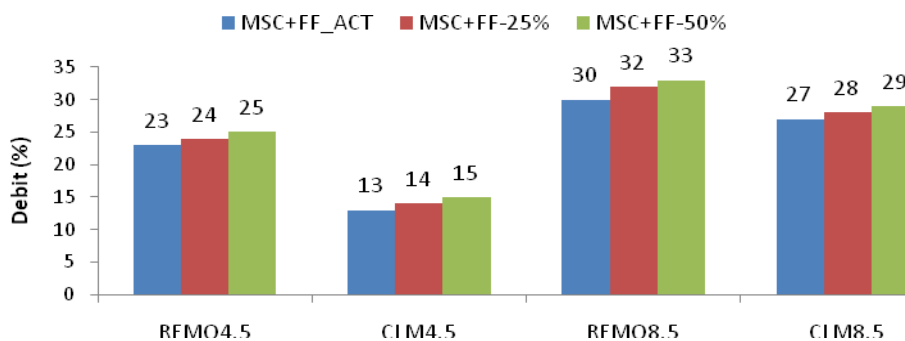


Figura 4.11 Media multianuală a debitului previzionat (exprimat procentual) în cadrul celor patru modele climatice locale și al celor trei scenarii de studiu privind folosința terenului, pentru intervalul 2020–2039

The multiannual average of discharges (expressed in percentage) projected in the four local climate models and three studied land-use scenarios for 2020–2039 interval

4.3.2. Debitul pe termen mediu (2040–2069)

4.3.2.1. Debitul lunar

Debitele lunare obținute în urma simulărilor și redate grafic în figura 4.12 (a,b,c,d) sub formă de diferențe procentuale, ne arată că, spre deosebire de perioada de referință, sunt estimate creșteri ale debitelor, mai accentuate în lunile de iarnă în cadrul modelului CLM8.5, în timp ce, în lunile iunie-septembrie, debitul lunar se pot reduce în toate modelele climatice, mai accentuat în cadrul modelelor REMO4.5 și REMO8.5.

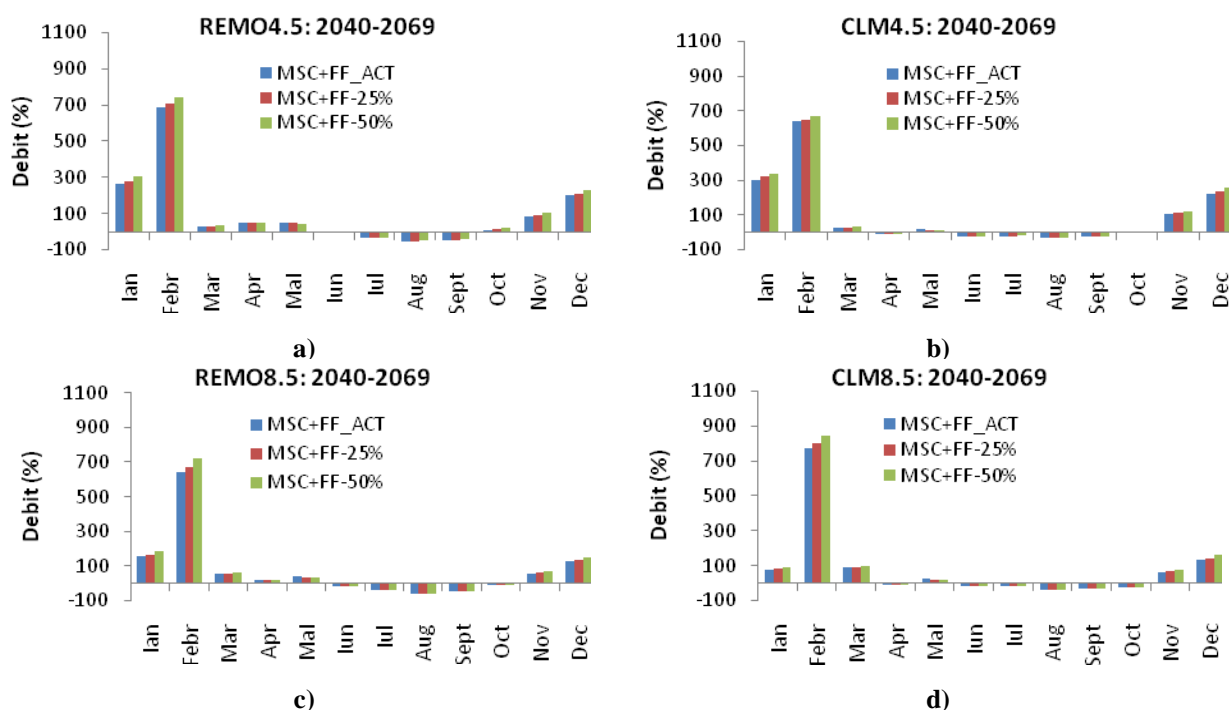


Figura 4.12 Debitele lunare (exprimate procentual) în cadrul celor patru modele climatice locale și al celor trei scenarii de studiu privind folosința terenului, pentru perioada 2040–2069

The monthly discharges (expressed in percentage) projected in the four local climate models and three studied land-use scenarios for 2040–2069 interval

4.3.2.2. Debitul lunar-sezonier

Conform datelor din tabelul 4.5 rezultă că, în sezonul vernal, debitul poate crește până la aproximativ $1,58 \text{ m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$. Pentru lunile de vară sunt previzionate reduceri ale debitelor de la $1,04 \text{ m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$ până la aproximativ $0,64 \text{ m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$, scăderi mai accentuate fiind estimate în special în cadrul modelelor REMO. Toamna, debitul înregistrează ușoare creșteri comparativ cu perioada de referință (dar numai în modelele REMO4.5 și CLM4.5), în timp ce iarna, debitul poate crește de aproximativ 3–4 ori, mai ales în cadrul modelelor REMO și CLM derivate din RCP4.5.

Tabelul 4.5 Variația lunar-sezonieră a debitelor ($\text{m}^3\cdot\text{s}^{-1}$) în intervalul 2040–2069
 The monthly-seasonal discharges ($\text{m}^3\cdot\text{s}^{-1}$) projected for 2040–2069 interval

		Modelul local de schimbări climatice											
		REMO4.5			CLM4.5			REMO8.5			CLM8.5		
Sezonul	Media lunară multianuală 1979-1988 ($\text{m}^3\cdot\text{s}^{-1}$)	S1	S2	S3	S1	S2	S3	S1	S2	S3	S1	S2	S3
		MSC+ FF_ ACT	MSC+ FF -25%	MSC+ FF -50%	MSC+ FF_ ACT	MSC+ FF -25%	MSC+ FF -50%	MSC+ FF_ ACT	MSC+ FF -25%	MSC+ FF -50%	MSC+ FF_ ACT	MSC+ FF -25%	MSC+ FF -50%
Primăvară	1,12	1,58	1,58	1,58	1,29	1,28	1,27	1,55	1,55	1,55	1,55	1,55	1,54
Vară	1,04	0,75	0,75	0,75	0,78	0,78	0,78	0,64	0,64	0,64	0,79	0,79	0,79
Toamnă	0,40	0,41	0,42	0,44	0,46	0,47	0,48	0,35	0,36	0,37	0,37	0,38	0,38
Iarnă	0,15	0,64	0,66	0,69	0,65	0,67	0,70	0,52	0,54	0,58	0,52	0,54	0,58

4.3.2.3. Debitul anual

Debitele anuale prezentate în figura 4.13 (a,b,c,d), ne arată o frecvență mult mai mare a anilor în care este posibilă creșterea și nu micșorarea debitului. În același timp, comparativ cu debitul mediu de referință, putem observa că cele mai accentuate reduceri dar și cele mai semnificative creșteri ale debitului sunt estimate pentru modelul climatic REMO8.5, cu tendințe ceva mai accentuate de scădere în scenariul S1 și de creștere în scenariul S3.

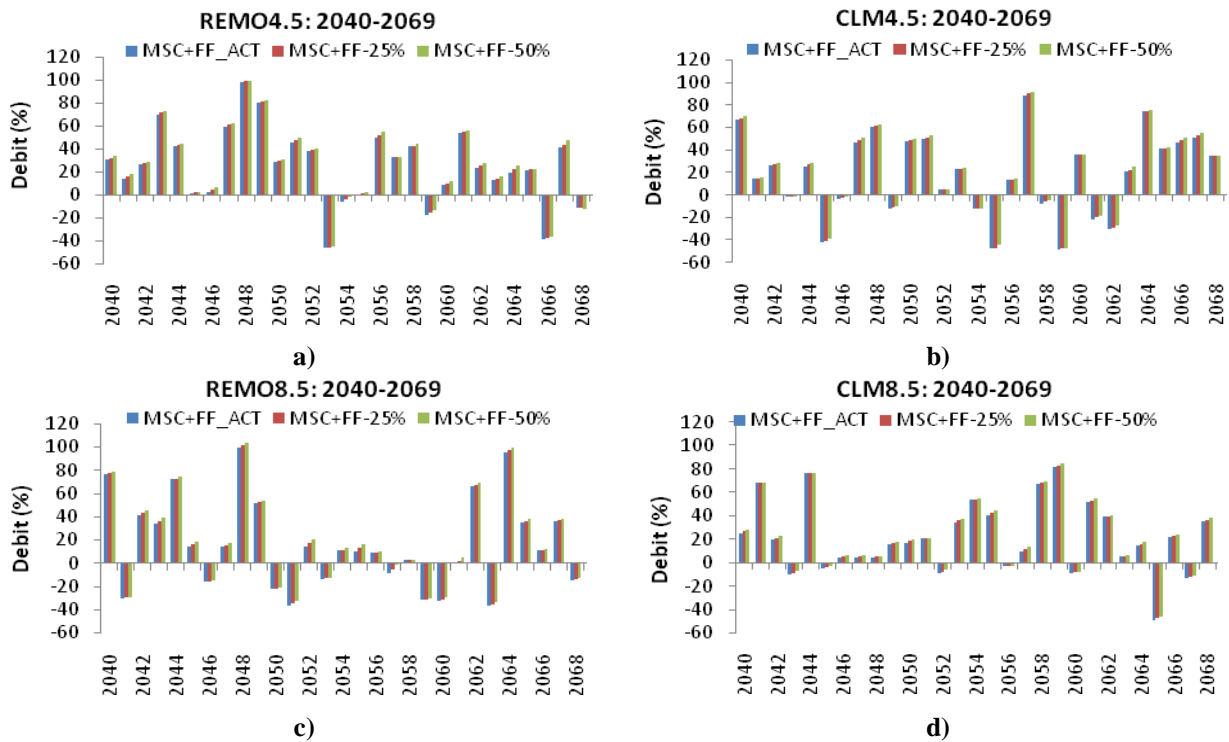


Figura 4.13 Debitele anuale (exprimate procentual) în cadrul celor patru modele climatice locale și al celor trei scenarii de studiu privind folosința terenului, pentru perioada 2040–2069

The annual discharges (expressed in percentage) projected in the four local climate models and three studied land-use scenarios for 2040–2069 interval

Media multianuală (figura 4.14) evidențiază faptul că cele mai accentuate creșteri ale debitelor sunt previzionate în modelul REMO4.5 urmat de modelul CLM8.5, modele ce pot înregistra o creștere cuprinsă între 21–29%, cu o tendință ușor mai accentuată în cadrul scenariului S3. Cele mai mici creșteri sunt estimate în cadrul modelului REMO8.5 (14–17%) urmat de modelul CLM4.5 (18–21%).

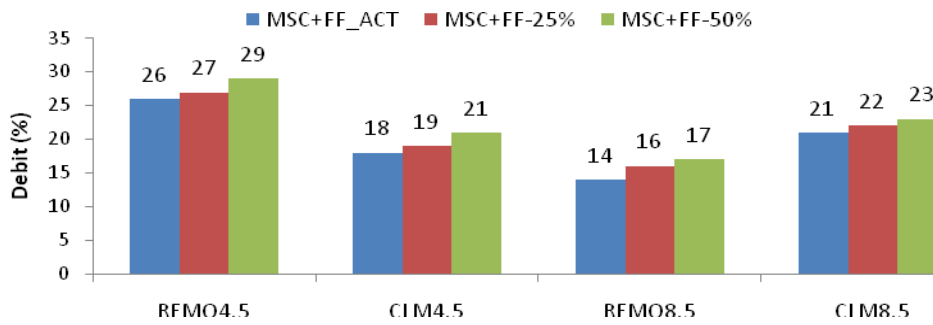


Figura 4.14 Media multianuală a debitului previzionat (exprimat procentual) în cadrul celor patru modele climatice locale și al celor trei scenarii de studiu privind folosința terenului, pentru intervalul 2040–2069

The multiannual average of discharges (expressed in percentage) projected in the four local climate models and three studied land-use scenarios for 2040–2069 interval

4.3.3. Debitul pe termen lung (2070–2100)

4.3.3.1. Debitul lunar

Diferențele procentuale calculate față de valorile obținute în perioada de referință, evidențiate în figura 4.15 (a,b,c,d), arată o tendință de scădere a debitelor lunare începând cu luna aprilie în cadrul modelelor CLM (figura 4.15 b și d), în timp ce modelele REMO estimează cele mai semnificative reduceri ale debitului pentru lunile iunie-septembrie (figura 4.15 a și c). Creșterea debitelor lunare, previzionată începând cu luna octombrie (figura 4.15-d), se intensifică în lunile următoare, ajungând ca în luna februarie să fie estimată o valoare a debitului lunar de până la 12 ori mai mare (figura 4.15 b și d), comparativ cu media lunară din perioada de referință.

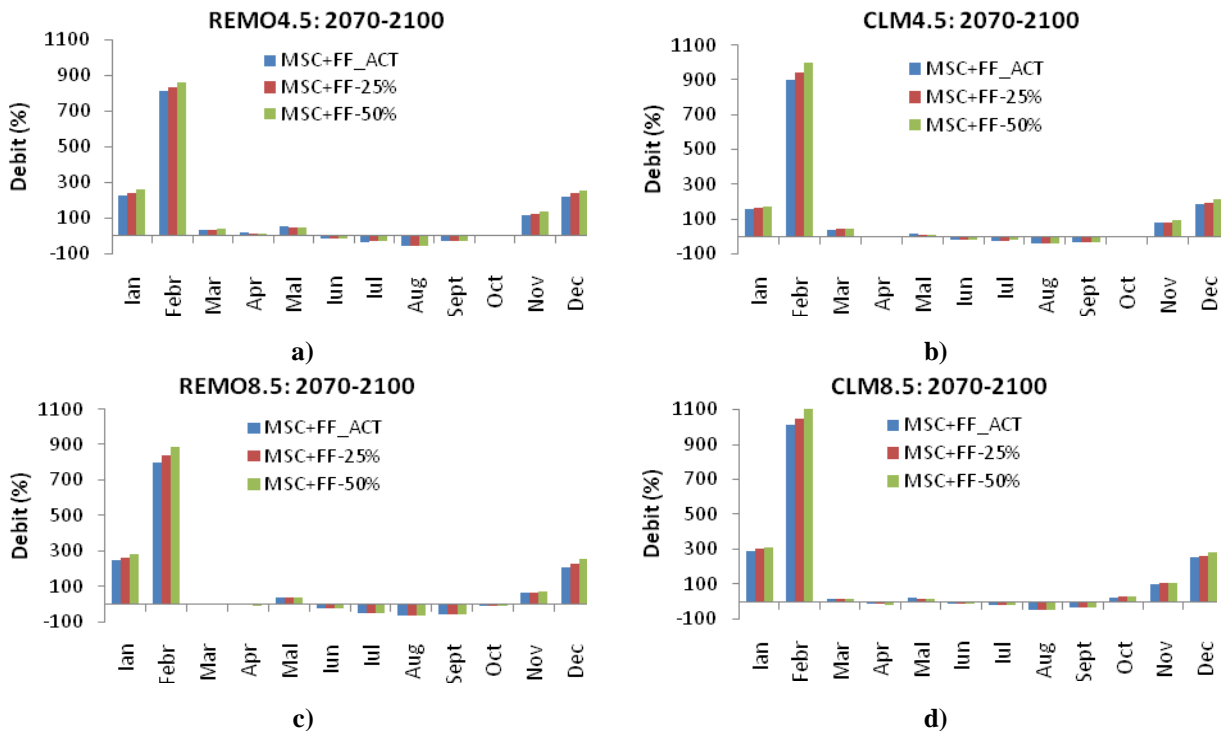


Figura 4.15 Debiturile lunare (exprimate procentual) în cadrul celor patru modele climatice locale și al celor trei scenarii de studiu privind folosința terenului, pentru perioada 2070–2100

The monthly discharges (expressed in percentage) projected in the four local climate models and three studied land-use scenarios for 2070–2100 interval

4.3.3.2. Debitul lunar-sezonier

Debitele lunar-sezoniere prezentate în tabelul 4.6 evidențiază, pentru lunile de primăvară, o creștere de la $1,12 \text{ m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$ (în perioada de referință) până la $1,47 \text{ m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$ (modelul REMO4.5), în timp ce, în sezonul estival, acestea se pot diminua de la $1,04 \text{ m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$ până la $0,59\text{--}0,79 \text{ m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$, în cadrul modelelor REMO și CLM, dezvoltate din modelul RCP8.5. Toamna, față de media obținută în perioada de referință (de $0,40 \text{ m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$), debitele pot să scadă până la $0,34 \text{ m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$ sau pot să crească până la $0,49 \text{ m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$. Cele mai semnificative creșteri sunt previzionate pentru sezonul de iarnă, când debitele pot crește de la $0,15 \text{ m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$ până la $0,85 \text{ m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$ în cadrul modelului CLM8.5.

Tabelul 4.6 Variația lunar-sezonieră a debitelor ($\text{m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$) în intervalul 2070–2100

The monthly-seasonal discharges ($\text{m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$) projected for 2070–2100 interval

		Modelul local de schimbări climatice											
		REMO4.5			CLM4.5			REMO8.5			CLM8.5		
Sezonul	Media lunară multianuală 1979-1988 ($\text{m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$)	MSC+	MSC+	MSC+	MSC+	MSC+	MSC+	MSC+	MSC+	MSC+	MSC+	MSC+	MSC+
		FF_	FF	FF	FF_	FF	FF	FF_	FF	FF	FF_	FF	FF
		ACT	-25%	-50%	ACT	-25%	-50%	ACT	-25%	-50%	ACT	-25%	-50%
Primăvară	1,12	1,47	1,47	1,47	1,32	1,32	1,31	1,23	1,22	1,22	1,19	1,18	1,16
Vară	1,04	0,70	0,70	0,70	0,74	0,75	0,75	0,59	0,59	0,60	0,78	0,78	0,79
Toamnă	0,40	0,46	0,47	0,49	0,41	0,42	0,43	0,34	0,34	0,35	0,46	0,47	0,47
Iarnă	0,15	0,67	0,69	0,72	0,64	0,67	0,70	0,67	0,70	0,74	0,79	0,81	0,85

4.3.3.3. Debitul anual

Urmărind dinamica diferențelor procentuale calculate pentru debitele anuale și reprezentate în figura 4.16 (a,b,c,d), se poate observa că cele mai mari creșteri de debit sunt estimate în special în modelele REMO, după reducerea suprafețelor de pădure cu 50% (figura 4.16 a și c), în timp ce influența climatului se manifestă printr-o reducere mai accentuată a debitelor anuale mai ales în cadrul modelului REMO4.5/S1 (figura 4.16-a).

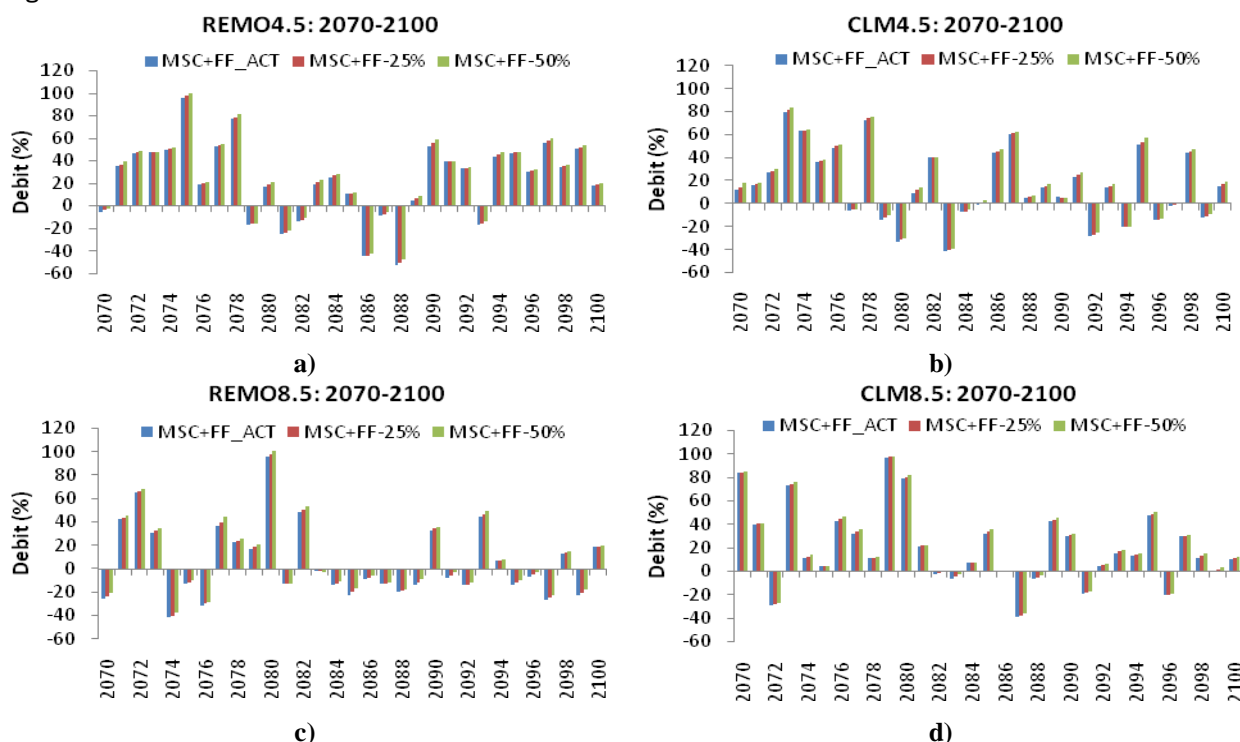


Figura 4.16 Debitele anuale (exprimate procentual) în cadrul celor patru modele climatice locale și al celor trei scenarii de studiu privind folosința terenului, pentru perioada 2070–2100

The annual discharges (expressed in percentage) projected in the four local climate models and three studied land-use scenarios for 2070–2100 interval

Creșterea debitului în toate modelele climatice este evidențiată și de media multianuală (figura 4.17), creșteri mai reduse fiind estimate în modelul REMO8.5 și mai accentuate în modelul REMO4.5. Cea mai mare creștere a debitelor anuale (de la 9% până la 26%) este generată de reducerea gradului de împădurire cu 50%, în timp de modificarea climatului are ca efect o creștere a debitului cuprinsă între 5–23%.

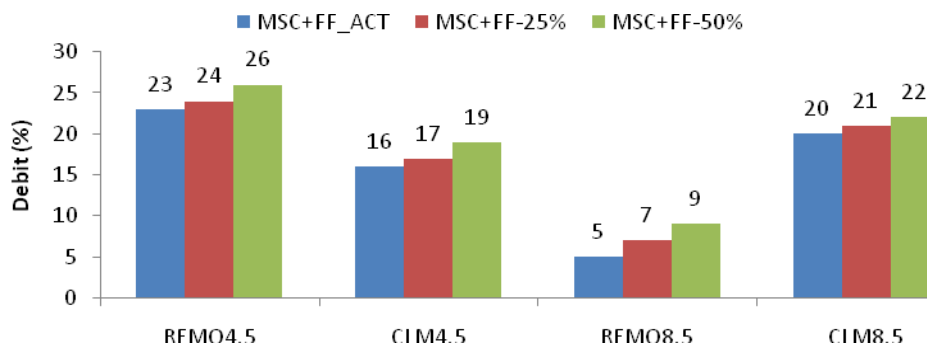


Figura 4.17 Media multianuală a debitului previzionat (exprimată procentual) în cadrul celor patru modele climatice locale și al celor trei scenarii studiu privind folosința terenului, pentru intervalul 2070–2100

The multiannual average of discharges (expressed in percentage) projected in the four local climate models and three studied land-use scenarios for 2070–2100 interval

4.4. Transportul de aluviuni simulat pentru intervalul 2020–2100

4.4.1. Transportul de aluviuni pe termen scurt (2020–2039)

4.4.1.1. Transportul lunar

Transportul lunar de aluviuni, reprezentat în figura 4.18 (a,b,c,d), evidențiază influența diferită a scenariilor de studiu privind folosința terenului. Cele mai spectaculoase creșteri sunt previzionate pentru luna februarie, mai ales pentru modelul CLM4.5/S3. Reducerea transportului lunar de aluviuni se manifestă mai ales în lunile iunie-august în toate modelele climatice cuplate cu scenariile S1 și S2 de folosință.

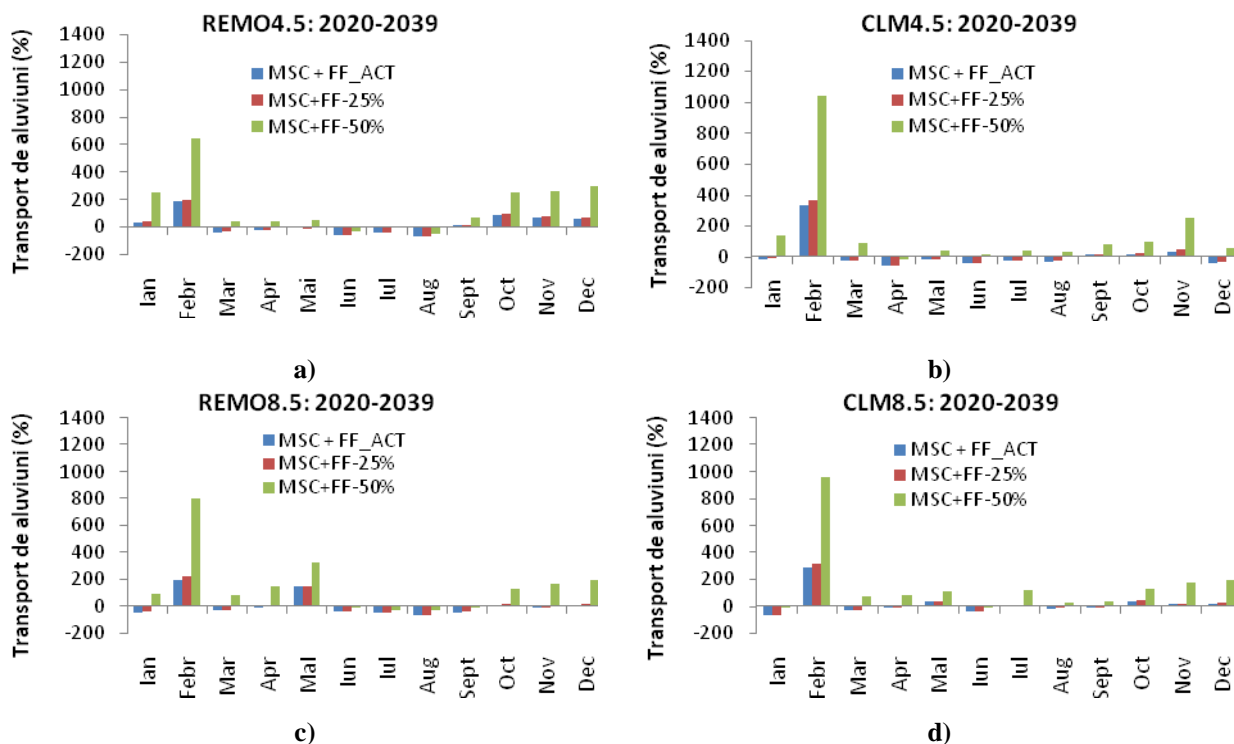


Figura 4.18 Transportul lunar de aluviuni (exprimat procentual) în cadrul celor patru modele climatice locale și al celor trei scenarii de studiu privind folosința terenului, pentru perioada 2020–2039

The monthly sediment transport (expressed in percentage) projected in the four local climate models and three studied land-use scenarios for 2020–2039 interval

4.4.1.2. Transportul lunar-sezonier

Din tabelul 4.7 distingem că în lunile de primăvară transportul de aluviuni poate să scadă de la aproximativ 1700 tone (referință) până la 1094 tone (CLM4.5/S1), sau poate să crească până la aproximativ 3800 tone (REMO8.5/S3). Tendințe diferite pentru transportul de aluviuni se remarcă și pentru lunile de vară și toamnă, în timp ce, în sezonul de iarnă, tendința transportului de aluviuni este una de creștere, de la 249 tone (în perioada de referință) până la 1118 tone (REMO4.5/S3).

Tabelul 4.7 Variația transportului lunar-sezonier de aluviuni (tone) în perioada 2020–2039
The monthly-seasonal sediment transport (tonnes) projected for 2020–2039 interval

		Modelul local de schimbări climatice											
		REMO4.5			CLM4.5			REMO8.5			CLM8.5		
Sezonul	Media lunară multianuală 1979–1988 (tone)	S1	S2	S3	S1	S2	S3	S1	S2	S3	S1	S2	S3
		MSC+ FF_ ACT	MSC+ FF -25%	MSC+ FF -50%	MSC+ FF_ ACT	MSC+ FF -25%	MSC+ FF -50%	MSC+ FF_ ACT	MSC+ FF -25%	MSC+ FF -50%	MSC+ FF_ ACT	MSC+ FF -25%	MSC+ FF -50%
Primăvară	1732	1213	1246	2538	1094	1129	2565	1664	1714	3819	1447	1492	3134
Vară	570	245	252	418	376	387	731	289	289	467	459	469	834
Toamnă	201	308	329	605	243	260	521	168	185	408	227	238	443
Iarnă	249	433	462	1118	366	396	1000	315	346	949	346	369	940

4.4.1.3. Transportul anual

Față de valoarea de referință, putem observa că în modelele climatice REMO și CLM, dezvoltate din scenariul RCP4.5 (figura 4.19 a și b), se previzionează o scădere a transportului anual de aluviuni de până la 70% în scenariile S1 și S2 (cu o tendință mai accentuată în scenariul S1), în timp ce scenariul S3 se caracterizează printr-o creștere accentuată. Cele mai semnificative creșteri ale transportului de aluviuni sunt estimate în cadrul modelelor REMO și CLM derivate din RCP8.5 (figura 4.19 c și d), care previzionează cantități de trei ori mai mari comparativ cu media de referință (figura 4.19-c).

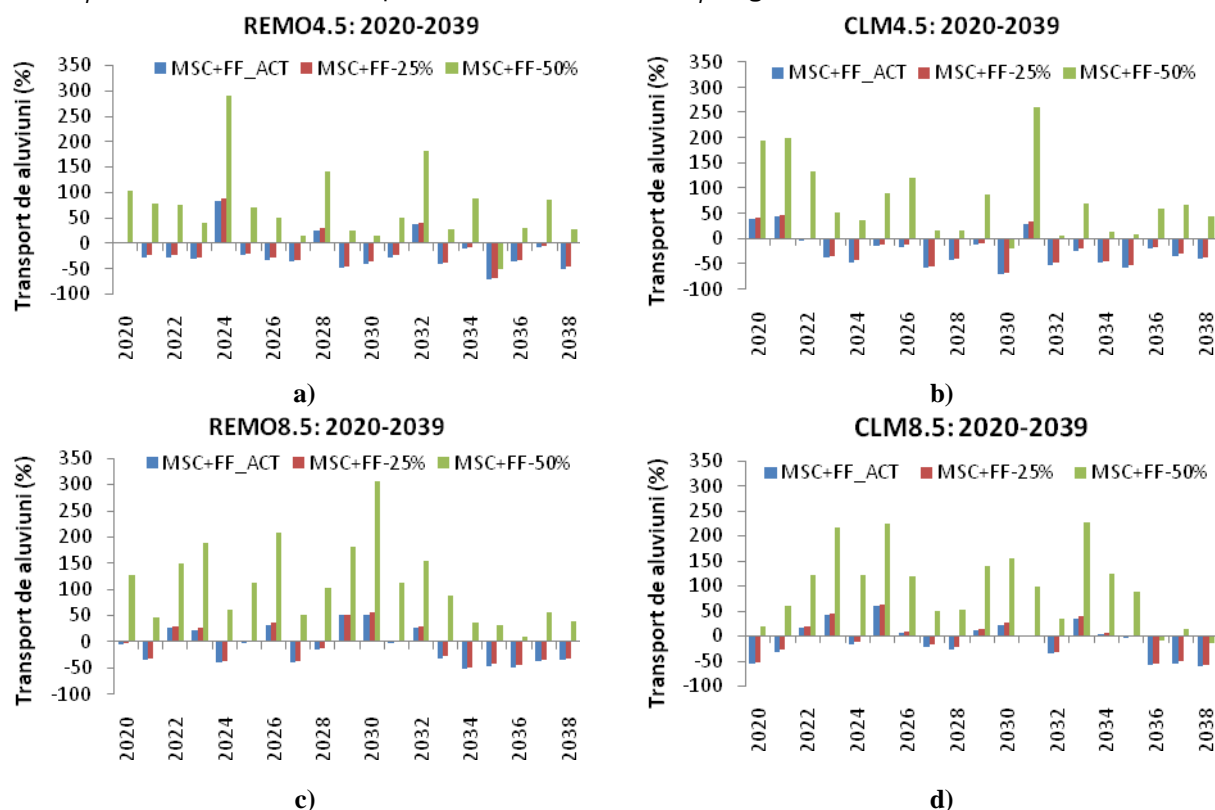


Figura 4.19 Transportul anual de aluviuni (exprimat procentual) în cadrul celor patru modele climatice locale și al celor trei scenarii de studiu privind folosința terenului, pentru perioada 2020–2039

The annual sediment transport (expressed in percentage) projected in the four local climate models and three studied land-use scenarios for 2020–2039 interval

Media multianuală (figura 4.20) ne arată că cele mai accentuate scăderi ale sedimentelor (de până la 24%) sunt generate de scenariul S1, în timp ce scenariul S2 poate duce la o diminuare a acestui parametru de până la 17%, precum și la o ușoară creștere de 7%. Cele mai semnificative creșteri (de la 70% la 105%) sunt estimate în modelele REMO și CLM derivate din RCP8.5 cumulate cu scenariul S3.

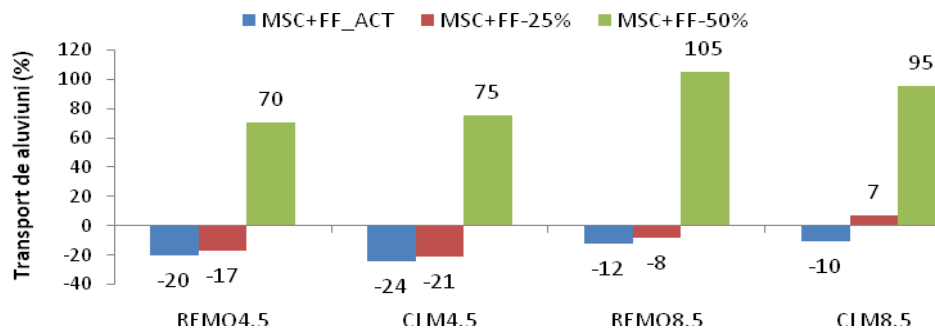


Figura 4.20 Media multianuală a transportului de aluviuni previzionat (exprimat procentual) în cadrul celor patru modele climatice locale și al celor trei scenarii de studiu privind folosința terenului, pentru intervalul 2020–2039
The multiannual average of sediment transport (expressed in percentage) projected in the four local climate models and three studied land-use scenarios for 2020–2039 interval

4.4.2. Transportul de aluviuni pe termen mediu (2040–2069)

4.4.2.1. Transportul lunar

Comparativ cu mediile de referință transportul lunar de aluviuni reprezentat grafic în figura 4.21 (a,b,c,d) ca diferență procentuală, arată o tendință accentuată de creștere a transportului de aluviuni în scenariul S3 cumulat cu toate modelele climatice, mai semnificativă însă în modelele REMO4.5 și CLM8.5 (figura 4.21 a și d). Diminuarea transportului de aluviuni este așteptată mai ales în scenariile S1 și S2, cu o tendință ușor mai accentuată în modelele REMO și CLM derivate din RCP8.5 (figura 4.21 c și d). Tendința de scădere în lunile iulie-septembrie (cu 8–48%) apare și în scenariul S3 cumulat cu modelele REMO.

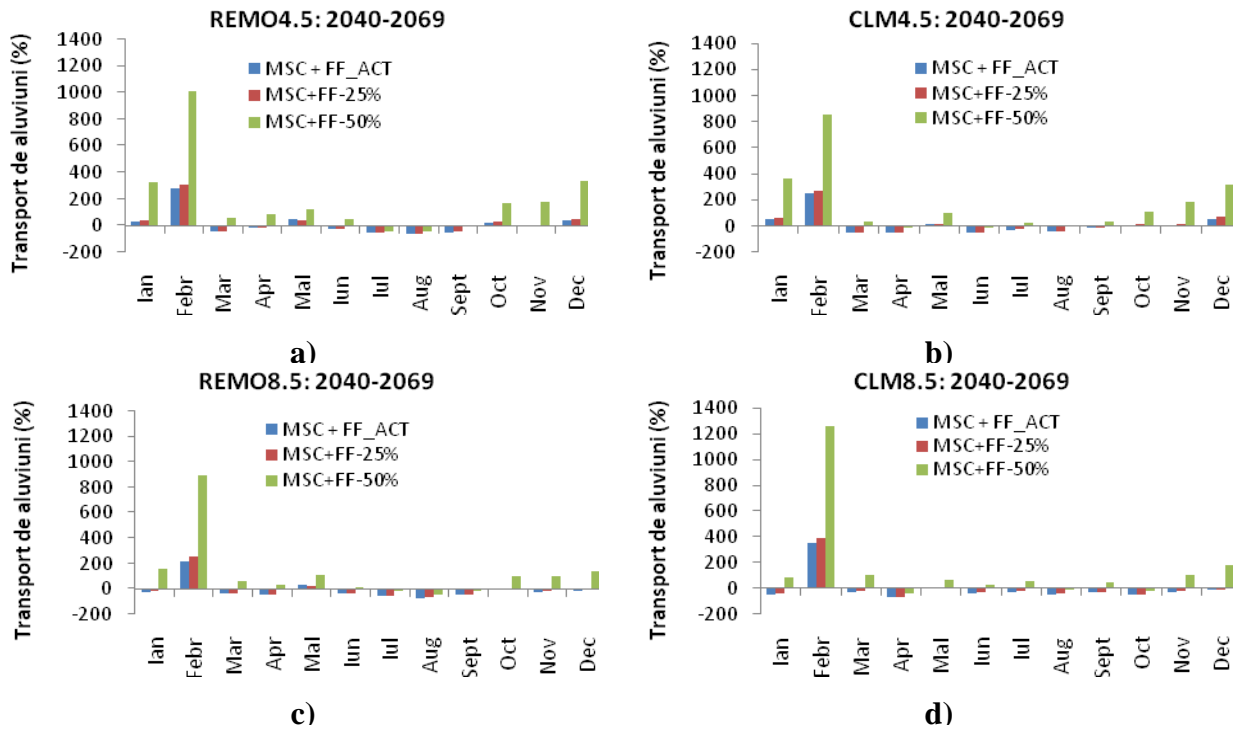


Figura 4.21 Transportul lunar de aluviuni (exprimat procentual) în cadrul celor patru modele climatice locale și al celor trei scenarii de studiu privind folosința terenului, pentru perioada 2040–2069

The monthly sediment transport (expressed in percentage) projected in the four local climate models and three studied land-use scenarios for 2040–2069 interval

4.4.2.2. Transportul lunar-sezonier

Mediile lunar-sezoniere (tabelul 4.8) arată pentru lunile de primăvară atât o creștere de până la 2900 tone (REMO4.5/S3), cât și o scădere până la aproximativ 950 tone (CLM4.5/S1). Vara, transportul de aluviuni este estimat să scadă în toate modelele și scenariile de folosință, excepție modelele CLM/S3, care previzionează o majorare de până la 732 tone. Toamna, transportul de aluviuni poate să crească de la 201 tone până la 440 tone (REMO4.5/S3) sau poate să scadă până la 138 tone (CLM8.5/S1). În lunile de iarnă, trendul este exclusiv de creștere, putându-se înregistra până la 1435 tone.

Tabelul 4.8 Variația transportului lunar-sezonier de aluviuni (tone) în perioada 2040–2069
The monthly-seasonal sediment transport (tonnes) projected for 2040–2069 interval

		Modelul local de schimbări climatice											
		REMO4.5			CLM4.5			REMO8.5			CLM8.5		
Sezonul	Media lunară multianuală 1979-1988 (tone)	MSC+	MSC+	MSC+	MSC+	MSC+	MSC+	MSC+	MSC+	MSC+	MSC+	MSC+	MSC+
		FF_	FF	FF	FF_	FF	FF	FF_	FF	FF	FF_	FF	FF
		ACT	-25%	-50%	ACT	-25%	-50%	ACT	-25%	-50%	ACT	-25%	-50%
Primăvară	1732	1215	1258	2920	954	987	2229	1113	1147	2646	1116	1160	2612
Vară	570	330	335	552	348	356	600	281	283	529	379	390	732
Toamnă	201	177	193	440	203	218	437	143	153	325	138	149	313
Iarnă	249	463	503	1435	488	530	1378	328	363	1014	379	416	1176

4.4.2.3. Transportul anual

Comparativ cu perioada de referință, transportul anual de aluviuni poate înregistra scăderi în scenariile S1 și S2, când se poate diminua cu 2–82%, mai accentuat în modelele REMO și CLM dezvoltate din scenariul RCP4.5 (figura 4.22 a și b). În schimb, după aplicarea scenariului S3, în toate modele climatice se estimează creșteri substanțiale ale transportului de aluviuni, putându-se atinge valori de până la aproximativ trei ori mai mari, cu amplitudini mai largi în modelele REMO4.5 și CLM8.5 (figura 4.22 c și d).

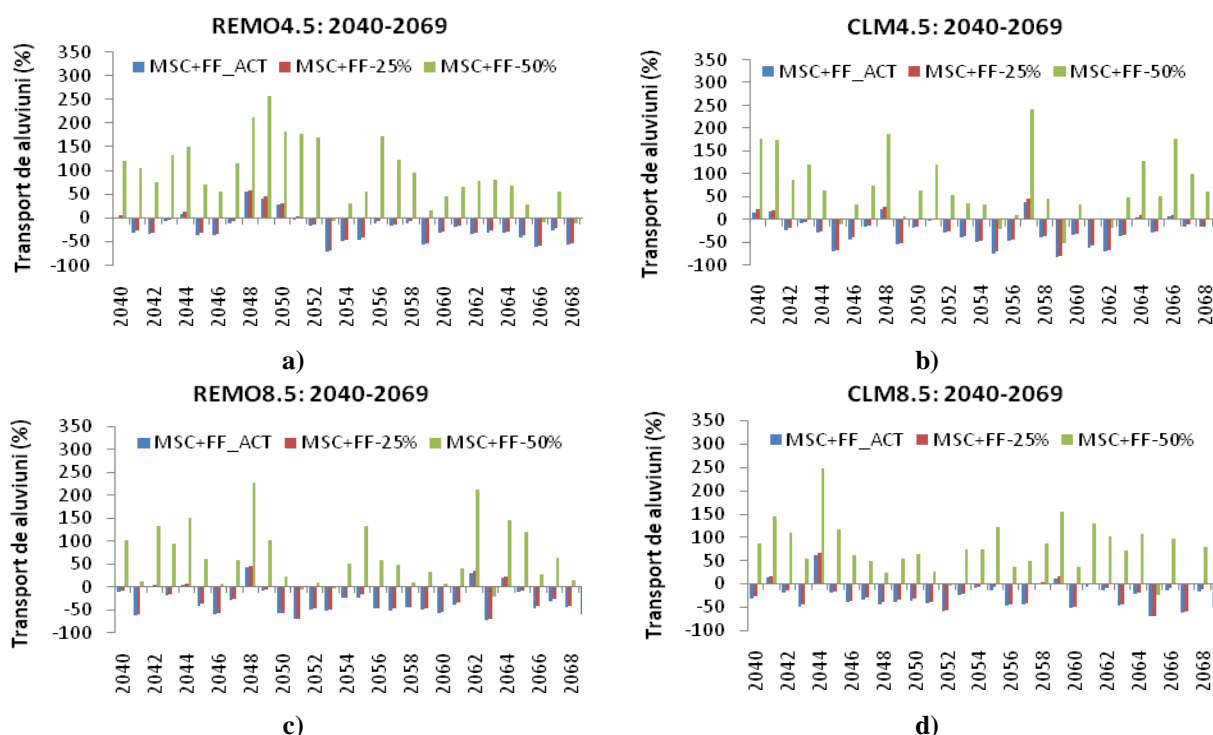


Figura 4.22 Transportul anual de aluviuni (exprimat procentual) în cadrul celor patru modele climatice locale și al celor trei scenarii de studiu privind folosința terenului, pentru perioada 2040–2069

The annual sediment transport (expressed in percentage) projected in the four local climate models and three studied land-use scenarios for 2040–2069 interval

Media multianuală a intervalului analizat (figura 4.23) evidențiază și mai clar cele două trenduri descrise anterior: pe de o parte tendința de diminuare cu 17–32%, mai accentuată în modelele CLM4.5 și REMO8.5 și cu amplitudini mai mari în scenariul S1, și pe de altă parte, creșterea semnificativă a transportului de aluviuni cu 64–94%, previzionată în toate modelele climatice cumulate cu scenariul S3.

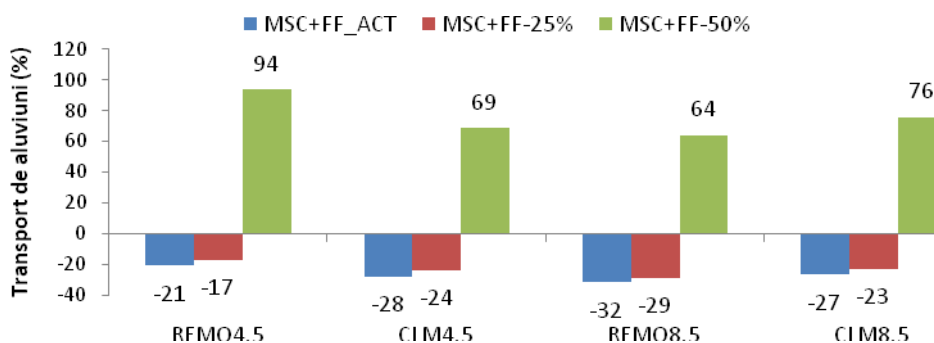


Figura 4.23 Media multianuală a transportului de aluviuni previzionat (exprimat procentual) în cadrul celor patru modele climatice locale și al celor trei scenarii de studiu privind folosința terenului, pentru intervalul 2040–2069
The multiannual average of sediment transport (expressed in percentage) projected in the four local climate models and three studied land-use scenarios for 2040–2069 interval

4.4.3. Transportul de aluviuni pe termen lung (2070–2100)

4.4.3.1. Transportul lunar

Mediile lunare previzionate și reprezentate în figura 4.24 pun în evidență tendințele de diminuare ale acestui parametru mai ales în scenariile S1 și S2, excepție făcând lunile octombrie și noiembrie în modelul REMO4.5 (figura 4.24-a) și octombrie în modelul CLM8.5 (figura 4.24-d), când tendința este de creștere. Pentru lunile decembrie-februarie sunt estimate creșteri semnificative în toate modelele climatice cuplate cu scenariul S3. Creșteri de aproximativ 10–14 ori comparativ cu media de referință sunt previzionate pentru luna februarie, în modelele CLM cumulate cu scenariul S3.

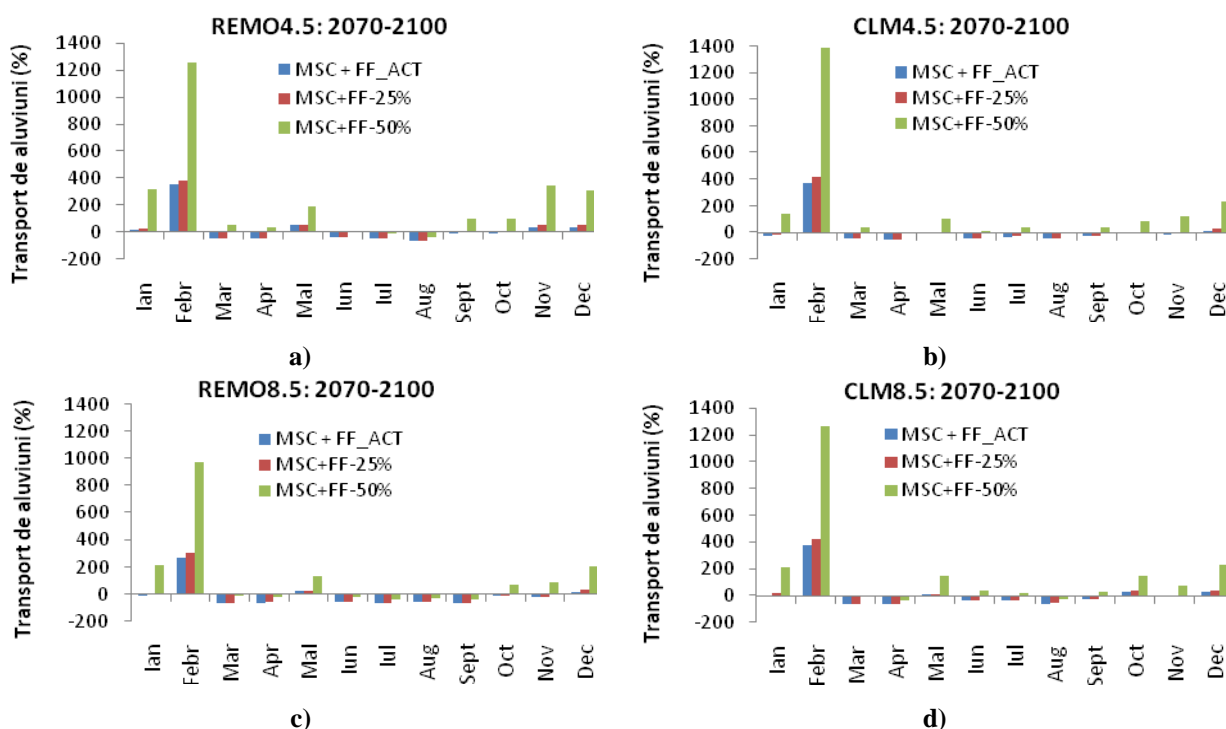


Figura 4.24 Transportul lunar de aluviuni (exprimat procentual) în cadrul celor patru modele climatice locale și al celor trei scenarii de studiu privind folosința terenului, pentru perioada 2070–2100
The monthly sediment transport (expressed in percentage) projected in the four local climate models and three studied land-use scenarios for 2070–2100 interval

4.4.3.2. Transportul lunar-sezonier

Conform datelor prezentate în tabelul 4.9, distingem că, în sezonul de primăvară, transportul lunar de aluviuni se poate diminua până la 725 tone (CLM8.5/S1) sau se poate majora până la aproximativ 1700 tone (CLM8.5/S3). Vara, transportul de aluviuni poate să scadă până la 294 tone (REMO4.5/S1) sau poate să crească până la aproximativ 680 tone (CLM8.5/S3). Toamna, este posibilă o creștere maximă de 621 tone (REMO4.5/S3), dar și o scădere până la 135 tone (REMO8.5/S1). În sezonul de iarnă, se estimează că transportul de aluviuni se va intensifica comparativ cu media perioadei de referință (249 tone), putând să înregistreze o creștere de până la 403–1533 tone.

Tabelul 4.9 Variația transportului lunar-sezonier de aluviuni (tone) în perioada 2070–2100
The monthly-seasonal sediment transport (tonnes) projected for 2070–2100 interval

		Modelul local de schimbări climatice											
		REMO4.5			CLM4.5			REMO8.5			CLM8.5		
Sezonul	Media lunară multianuală 1979-1988 (tone)	MSC+	MSC+	MSC+	MSC+	MSC+	MSC+	MSC+	MSC+	MSC+	MSC+	MSC+	MSC+
		FF_ ACT	FF -25%	FF -50%	FF_ ACT	FF -25%	FF -50%	FF_ ACT	FF -25%	FF -50%	FF_ ACT	FF -25%	FF -50%
Primăvară	1732	1026	1066	2737	942	971	2255	709	749	1675	725	746	1704
Vară	570	294	302	523	329	338	659	230	240	415	328	335	676
Toamnă	201	234	253	621	171	184	379	135	148	290	188	196	361
Iarnă	249	491	532	1533	436	480	1348	403	457	1173	480	526	1356

4.4.3.3. Transportul anual

Mediile anuale previzionate pentru transportul de aluviuni sunt reprezentate ca diferență procentuală în figura 4.25 (a,b,c,d). Distingem tendința de reducere a transportului anual de aluviuni, cu amplitudini mai accentuate în modelul REMO4.5 cumulat cu scenariul S1 și S2 de folosință (figura 4.25-c), când transportul de aluviuni se poate reduce cu până la 80% (scenariul S1) respectiv 77% (scenariul S2). Foarte evidentă este și intensificarea acestui parametru în toate modele climatice cumulate cu scenariul S3, însă cu tendințe mai accentuate în modelele REMO4.5 și CLM4.5 (figura 4.25 a și b), când creșterea transportului de aluviuni poate să atingă 288% (REMO4.5).

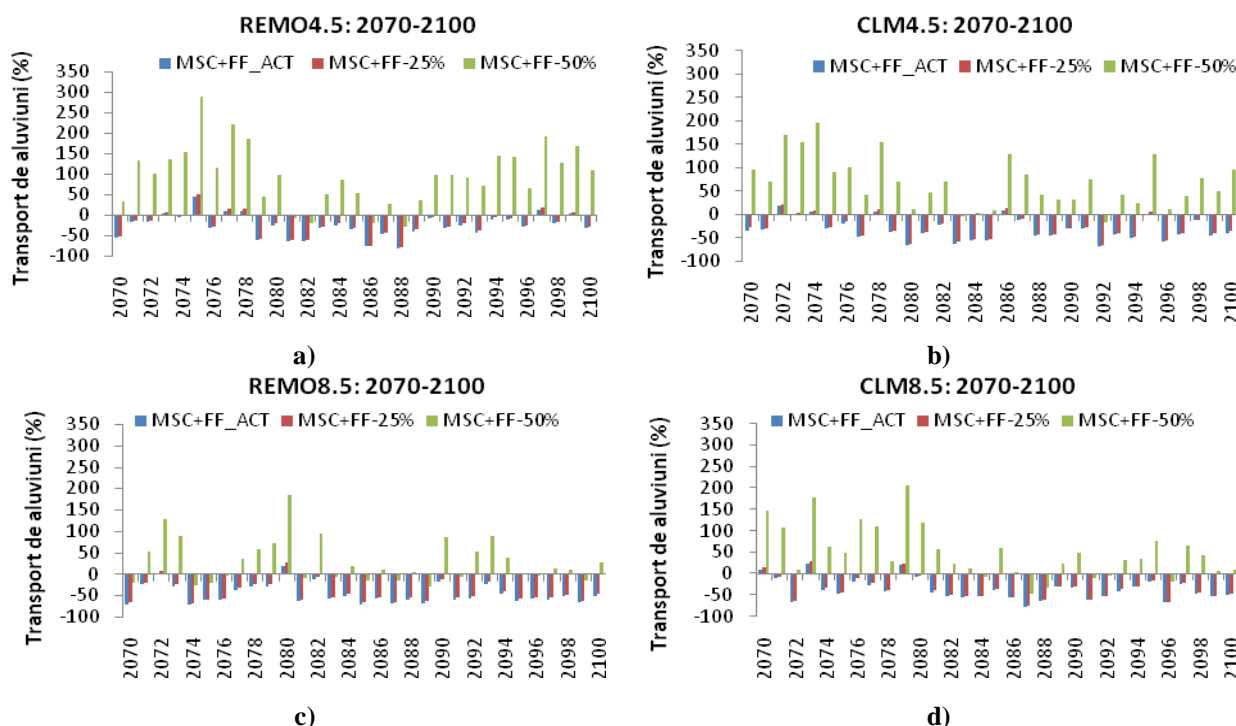


Figura 4.25 Transportul anual de aluviuni (exprimat procentual) în cadrul celor patru modele climatice locale și al celor trei scenarii studiu privind folosința terenului, pentru perioada 2070–2100

The annual sediment transport (expressed in percentage) projected in the four local climate models and three studied land-use scenarios for 2070–2100 interval

Media multianuală a intervalului (figura 4.26) evidențiază reduceri ale transportului de aluviuni între 22–46%, cu tendințe mai accentuate în modelele REMO și CLM dezvoltate din RCP8.5, în timp ce intensificarea acestuia este previzionată în special în modelele REMO și CLM derivate din RCP4.5. Remarcăm și o diferențiere a influențelor scenariilor privind folosințele, deoarece în timp ce scenariile S1 și S2 conduc numai la micșorări ale transportului de aluviuni, scenariul S3 conduce exclusiv la măiri.

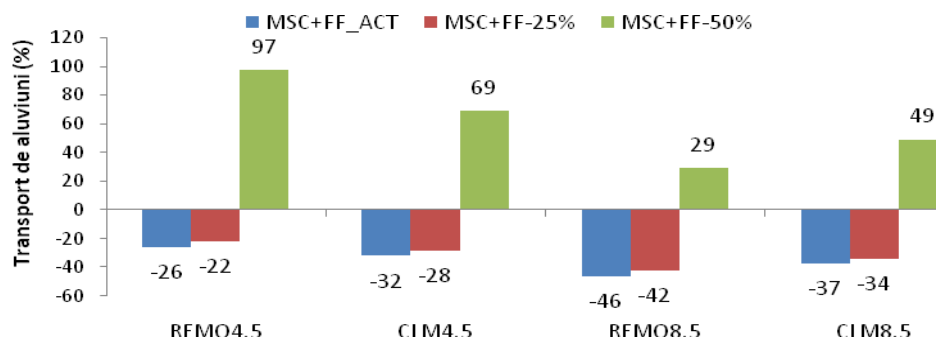


Figura 4.26 Media multianuală a transportului de aluviuni (exprimat procentual) previzionat în cadrul celor patru modele climatice locale și al celor trei scenarii de studiu privind folosința terenului, pentru intervalul 2070–2100
The multiannual average of sediment transport (expressed in percentage) projected in the four local climate models and three studied land-use scenarios for 2070–2100 interval

4.5. Testarea statistică a influenței modelelor climatice și scenariilor de modificare a folosinței terenurilor asupra scurgerii de suprafață, debitului și transportului de aluviuni

Utilizând programul STATISTICA13.5.0.17 a fost efectuată o analiză statistică a valorilor obținute pentru scurgerea de suprafață, debitul și transportul de aluviuni, previzionate pentru intervalul 2020–2100. După testarea analizei varianței prin aplicarea testului ANOVA, s-a constatat faptul că asumția nu este îndeplinită (Petrișan, 2008) pentru niciunul dintre cei trei parametri.

Mai departe, s-a recurs la aplicarea testului non-parametric Kruskal-Wallis pentru testarea influenței modelelor climatice și a folosinței terenurilor asupra scurgerii de suprafață, debitului și transportului de aluviuni. Referitor la influența exercitată de modelele climatice, am constatat că, dintre cele patru modele climatice, diferențe semnificative asupra scurgerii de suprafață sunt produse doar de modelul REMO8.5.

Testarea influenței scenariilor referitoare la folosința terenului (S1–S3) a evidențiat că, pentru scurgerea de suprafață și transportul de aluviuni, diferențe semnificative apar doar în urma aplicării scenariului S1 față de scenariul S3, în timp ce, între scenariile S1 și S2 de utilizare a terenului, diferențele sunt nesemnificative. În schimb, pentru debit, au rezultat diferențe nesemnificative între toate cele trei scenarii studiate.

Din figura 4.27, în care am reprezentat scurgerea medie de suprafață la nivel

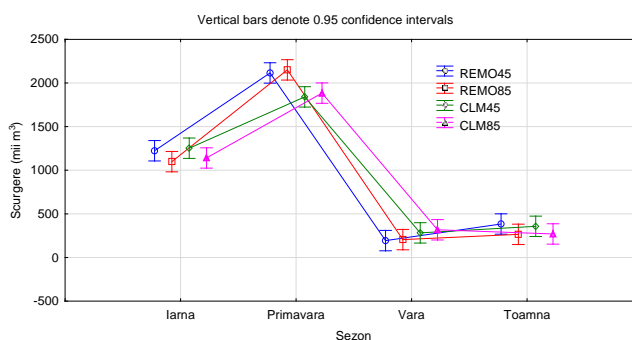


Figura 4.27 Trendul scurgerii medii lunar-sezoniere de suprafață (mii m³), în perioada 2020–2100, pentru cele patru modele climatice locale și cele trei scenarii de studiu privind folosința terenului
The average monthly-seasonal surface runoff (thousand m³) tendency, projected for 2020–2100 interval, in the four local climate models and the studied land-use scenarios

lunar-sezonier pentru perioada 2020–2100, observăm că cele mai ridicate medii sunt previzionate în sezonul de primăvară, mai ales în modelele REMO, dar și pentru iarnă, însă cu o tendință ceva mai accentuată în modelele REMO și CLM derivate din scenariul climatic RCP4.5.

4.6. Analiză asupra frecvenței previziunilor în evoluția valorilor anuale ale scurgerii de suprafață, debitului și transportului de aluviuni

4.6.1. Precizări metodologice

În încercarea de a evidenția trendul prevalent în evoluția scurgerii de suprafață, debitului și transportului de aluviuni, am recurs la alcătuirea unei "matrice de frecvență" asupra valorilor anuale ale celor trei parametri analizați, separat pentru cele trei orizonturi de timp: 2020–2039, 2040–2069 și 2070–2100.

Fiecare matrice constă dintr-o rețea de celule având numărul liniilor egal cu numărul anilor din orizontul de timp (20, 30, 31), iar numărul de coloane fiind egal cu 12, acest număr rezultând din cele patru modele climatice locale combinate, fiecare, cu cele trei scenarii de studiu privind folosința terenului.

Pentru redarea trendului variației parametrului analizat am utilizat trei culori: culoarea roșie pentru evidențierea tendinței de creștere, culoarea albastră pentru tendința de descreștere și culoarea galbenă pentru evidențierea tendințelor de similaritate a valorilor simulate cu valoarea de referință.

În dreapta fiecărei matrice, dar și pe cele două coloane orizontale poziționate la baza acesteia, se regăsesc înscrise, sub formă fracționară două cifre, atât în dreptul fiecărui an calendaristic, cât și în dreptul fiecărui scenariu de studiu privind folosința terenului sau al fiecărui model climatic local. Prima cifră (înscrisă la numărătorul fracției) este echivalentă cu numărul de celule colorate în roșu și cuantifică frecvența previziunilor de creștere a parametrului analizat, iar cea de a doua cifră (înscrisă la numitorul fracției), este echivalentă cu numărul de celule colorate în albastru și redă frecvența previziunilor de descreștere a parametrului respectiv.

4.6.2. Analiza matricelor de frecvență alcătuite pe orizonturi de timp

Matricea de frecvență a scurgerii de suprafață reprezentată în figura 4.28 (Marin et al., 2020b) evidențiază faptul că, spre deosebire de perioada de referință, sunt așteptate creșteri ale acestui parametru în toate orizonturile de timp considerate, însă cu o tendință mai accentuată pe termen mediu. Scăderea scurgerii de suprafață este mai semnificativă în ultimul orizont analizat. Rezultatele obținute pe scenariile de studiu privind folosința terenului ne arată că, în toate orizonturile considerate, tendința de creștere este mai accentuată în scenariul S3, iar cea de scădere în scenariul S1. În schimb, dintre modelele climatice, se remarcă modelul REMO care va conduce la înregistrarea celor mai semnificative creșteri însă doar pe termen scurt și mediu și modelul CLM4.5 pe termen lung. Tendința de reducere a scurgerii de suprafață este mai semnificativă în modelele CLM8.5 (pe termen scurt) și REMO8.5 (termen mediu și lung).

Matricea de frecvență a debitului redată în figura 4.29 (Marin et al., 2020b) relevă o tendință de creștere față de perioada de referință. Atât tendința de majorare cât și cea de diminuare sunt mai accentuate în orizontul mediu și lung de timp. În ceea ce privește evoluția debitului pe scenarii de folosință, nu am obținut diferențe semnificative între cele trei scenarii de studiu. În schimb, pe modele climatice, tendința de creștere este mai accentuată în modelul CLM8.5 (termen scurt și lung) și REMO4.5 (pe termen mediu), iar cea de scădere este mai semnificativă în CLM4.5 (termen scurt și mediu) și REMO8.5 (termen lung).

Matricea de frecvență a transportului de aluviuni schematizată în figura 4.30 (Marin et al., 2020b) pune în evidență trendul diferit obținut pentru acest parametru comparativ cu scurgerea de suprafață și debitul. Astfel, dacă pentru cei doi parametri analizați anterior tendința generală era una de creștere, în cazul transportului de aluviuni am obținut un trend de scădere, manifestat cu o tendință mai accentuată pe

termen lung. Creșterea transportului de aluviuni apare mai ales pe termen mediu. Apar diferențe între scenariile de folosință, caracterizate printr-o creștere accentuată în scenariul S3 și printr-o scădere în scenariile S1 și S2. Pe modele climatice, creșterea transportului de aluviuni este estimată în modelele CLM8.5 (termen scurt), dar și în modelele REMO (termen mediu) și CLM (termen lung) derivate din RCP4.5. Scăderea transportului de aluviuni este mai accentuată în modelele CLM (termen scurt și lung), dar și în REMO8.5 (termen lung).

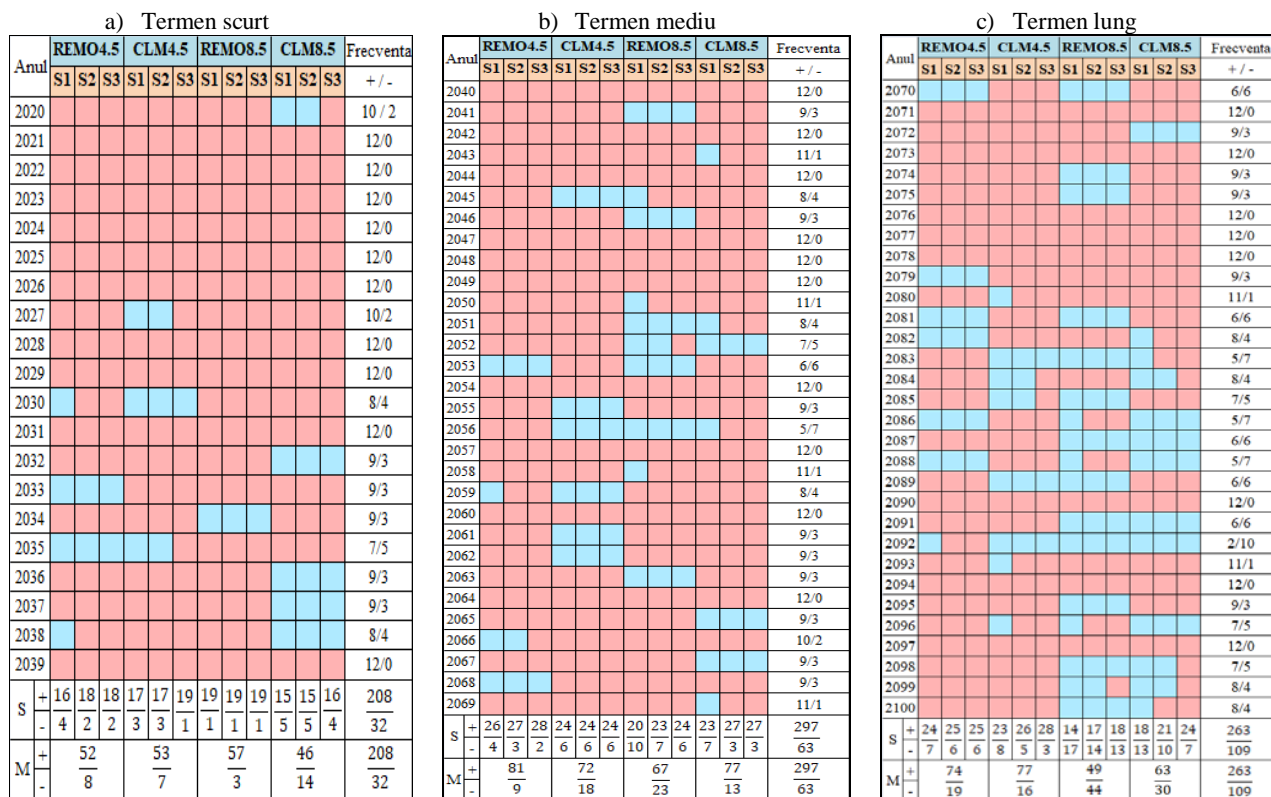


Figura 4.28 Matricea de frecvență a previziunilor de creștere (roșu) ori de descreștere (albastru) a scurgerii anuale de suprafață pe ani calendaristici, în cadrul celor patru modele climatice locale și al celor trei scenarii de studiu privind folosința terenurilor

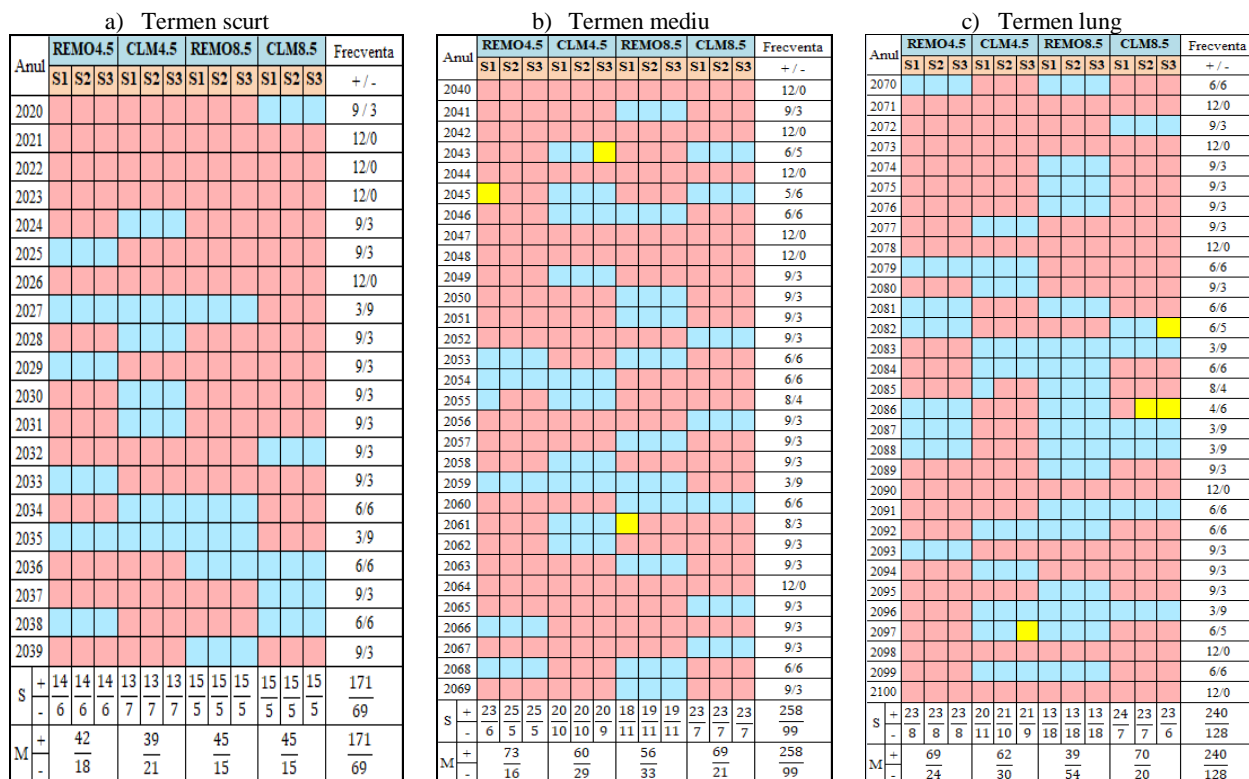


Figura 4.29 Matricea de frecvență a previziunilor de creștere (roșu), de descreștere (albastru) ori de similaritate (galben) a debitului anual pe ani calendaristici, în cadrul celor patru modele climatice locale și al celor trei scenarii de studiu privind folosința terenurilor

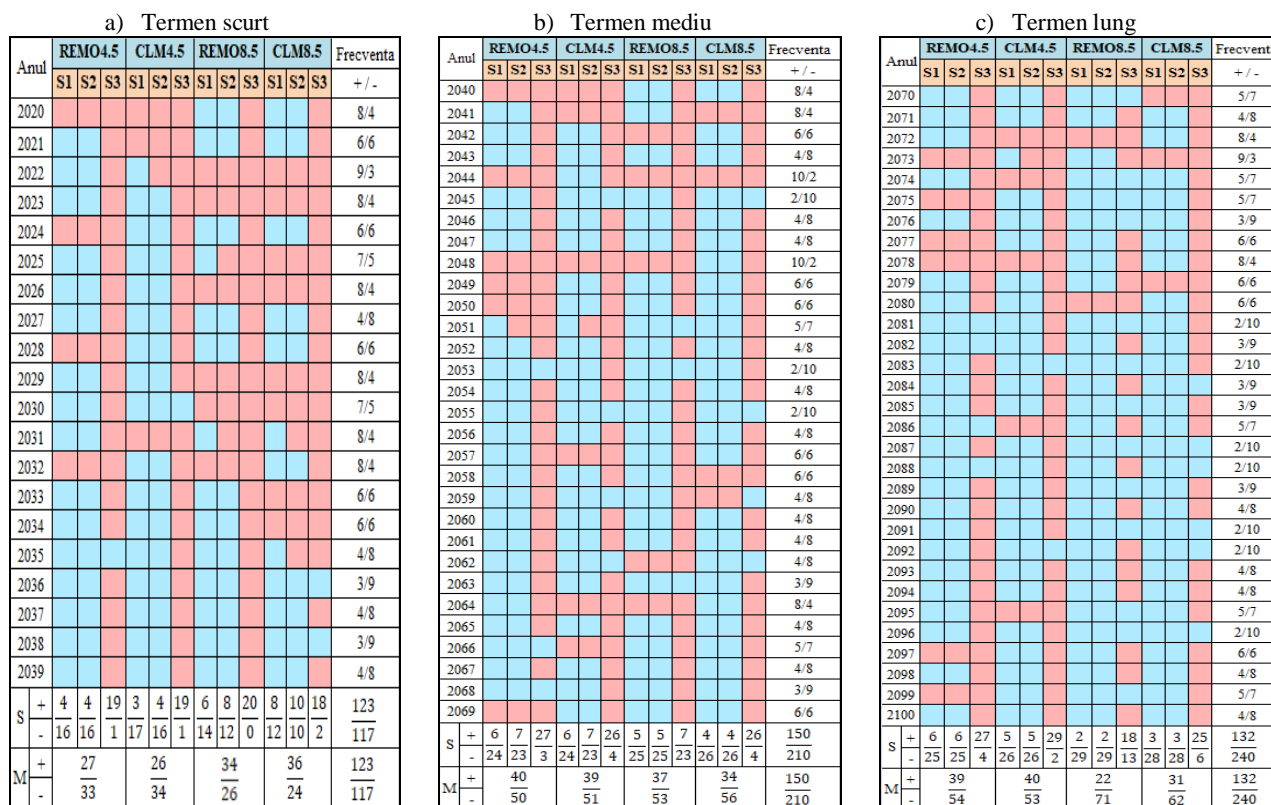


Figura 4.30 Matricea de frecvență a previziunilor de creștere (roșu) ori descreștere (albastru) a transportului anual de aluviuni pe ani calendaristici, în cadrul celor patru modele climatice locale și al celor trei scenarii de studiu privind folosința terenurilor

4.6.3. Rezultatul previziunilor la nivelul întregii perioade luate în studiu

Cele trei matrice de frecvență alcătuite pentru intervalul 2020–2100 ne arată prevalența exclusivă a culorii roșii, în cazul unui anumit număr de ani și numai pentru scurgerea de suprafață și debit.

Din cei 81 de ani ai perioadei, am identificat 28 de ani în cazul scurgerii de suprafață și 16 ani în cazul debitului, pentru care s-au previzionat exclusiv tendințe de creștere. Simultanitatea temporală în creșterea debitului concomitent cu creșterea scurgerii de suprafață s-a obținut pentru 14 ani (2021, 2022, 2023, 2026, 2040, 2042, 2044, 2047, 2048, 2064, 2071, 2073, 2078, 2090).

Dacă realizăm o evidență centralizatoare a rapoartelor de frecvență obținute pentru fiecare parametru hidrologic, putem introduce în analiză ceea ce am putea numi „factorul de prevalență – F_p ” (valoarea câtului dintre numărătorul și numitorul raportului de frecvență). Astfel, putem remarca următoarele:

1. **În cazul scurgerii de suprafață** (tabelul 4.10) factorul de prevalență pentru totalul anilor se apropie de patru (3,76), ceea ce arată prevalența clară a tendinței de creștere asupra tendinței de scădere a acestui parametru hidrologic. Pe modele climatice, factorul de prevalență variază de la 2,47 la 5,75, cele mai mari valori înregistrându-se în cazul modelelor derivate din RCP4.5, iar cele mai mici valori în cazul modelelor derivate din RCP8.5. Pe modele climatice cuplate cu scenarii de folosință a terenului, variația factorului de prevalență este mult mai amplă (de la 1,89 la 7,10). Cu toate acestea, cele mai mici valori aparțin scenariului S1, iar valorile cele mai mari aparțin scenariului S3.

2. **În cazul debitului** (tabelul 4.11) valoarea factorului de prevalență pentru totalul anilor este de 2,26, mai mică decât cea obținută pentru scurgerea de suprafață. Variația factorului de prevalență pe modele climatice și scenarii de utilizare a terenului este cuprinsă între 1,35 și 3,39, fiind mai restrânsă decât în cazul scurgerii de suprafață. Și factorul de prevalență obținut pentru toate cele patru modele climatice înregistrează valori mai mici, ele fiind cuprinse între 1,37 și 3,29; valorile cele mai mari apar în

cadrul modelelor REMO4.5 și CLM8.5, în timp ce modelele CLM4.5 și REMO8.5 le sunt atribuite valorile cele mai reduse.

Tabelul 4.10 Factorul de prevalență (F_p) al scurgerii de suprafață obținut pentru întreaga perioadă de studiu, pe modele climatice și pe scenarii de studiu privind folosința terenului

The prevalence factor (F_p) of surface runoff obtained for the entire studied period, on climate models and land-use change scenarios

Orizontul de timp	Tendința	REMO4.5			CLM4.5			REMO8.5			CLM8.5			TOTAL	F _p
		S1	S2	S3	S1	S2	S3	S1	S2	S3	S1	S2	S3		
2020–2039	+	$\frac{16}{4}$	$\frac{18}{2}$	$\frac{18}{2}$	$\frac{17}{3}$	$\frac{17}{3}$	$\frac{19}{1}$	$\frac{19}{1}$	$\frac{19}{1}$	$\frac{19}{1}$	$\frac{15}{5}$	$\frac{15}{5}$	$\frac{16}{4}$	$\frac{208}{32}$	6,50
	-	$\frac{4}{4}$	$\frac{2}{2}$	$\frac{2}{2}$	$\frac{3}{3}$	$\frac{3}{3}$	$\frac{1}{1}$	$\frac{1}{1}$	$\frac{1}{1}$	$\frac{1}{1}$	$\frac{5}{5}$	$\frac{5}{5}$	$\frac{4}{4}$	$\frac{32}{32}$	
2040–2069	+	$\frac{26}{4}$	$\frac{27}{3}$	$\frac{28}{2}$	$\frac{24}{6}$	$\frac{24}{6}$	$\frac{24}{6}$	$\frac{20}{10}$	$\frac{23}{7}$	$\frac{24}{6}$	$\frac{23}{7}$	$\frac{27}{3}$	$\frac{27}{3}$	$\frac{297}{63}$	4,71
	-	$\frac{4}{4}$	$\frac{3}{3}$	$\frac{2}{2}$	$\frac{6}{6}$	$\frac{6}{6}$	$\frac{6}{6}$	$\frac{10}{10}$	$\frac{7}{7}$	$\frac{6}{6}$	$\frac{7}{7}$	$\frac{3}{3}$	$\frac{3}{3}$	$\frac{63}{63}$	
2070–2100	+	$\frac{24}{7}$	$\frac{25}{6}$	$\frac{25}{6}$	$\frac{23}{8}$	$\frac{25}{6}$	$\frac{28}{3}$	$\frac{14}{17}$	$\frac{17}{14}$	$\frac{18}{13}$	$\frac{18}{13}$	$\frac{21}{10}$	$\frac{24}{7}$	$\frac{263}{109}$	2,41
	-	$\frac{7}{7}$	$\frac{6}{6}$	$\frac{6}{6}$	$\frac{8}{8}$	$\frac{6}{6}$	$\frac{3}{3}$	$\frac{17}{17}$	$\frac{14}{14}$	$\frac{13}{13}$	$\frac{13}{13}$	$\frac{10}{10}$	$\frac{7}{7}$	$\frac{109}{109}$	
Total	+	$\frac{66}{15}$	$\frac{70}{11}$	$\frac{71}{10}$	$\frac{64}{17}$	$\frac{67}{14}$	$\frac{71}{10}$	$\frac{53}{28}$	$\frac{59}{22}$	$\frac{61}{20}$	$\frac{56}{25}$	$\frac{63}{18}$	$\frac{67}{14}$	$\frac{768}{204}$	
	-	$\frac{15}{15}$	$\frac{11}{11}$	$\frac{10}{10}$	$\frac{17}{17}$	$\frac{14}{14}$	$\frac{10}{10}$	$\frac{28}{28}$	$\frac{22}{22}$	$\frac{20}{20}$	$\frac{25}{25}$	$\frac{18}{18}$	$\frac{14}{14}$	$\frac{204}{204}$	
	F _p	4,40	6,36	7,10	3,76	4,79	7,10	1,89	2,68	3,05	2,24	3,50	4,79		
Total	+	$\frac{207}{36}$			$\frac{202}{41}$			$\frac{173}{70}$			$\frac{186}{57}$			$\frac{768}{204}$	
	-	$\frac{36}{36}$			$\frac{41}{41}$			$\frac{70}{70}$			$\frac{57}{57}$			$\frac{204}{204}$	
	F _p	5,75			4,93			2,47			3,26			3,76	

Tabelul 4.11 Factorul de prevalență (F_p) al debitului obținut pentru întreaga perioadă de studiu, pe modele climatice și pe scenarii de studiu privind folosința terenului

The prevalence factor (F_p) of discharges obtained for the entire studied period, on climate models and land-use change scenarios

Orizontul de timp	Tendința	REMO4.5			CLM4.5			REMO8.5			CLM8.5			TOTAL	F _p
		S1	S2	S3	S1	S2	S3	S1	S2	S3	S1	S2	S3		
2020–2039	+	$\frac{14}{6}$	$\frac{14}{6}$	$\frac{14}{6}$	$\frac{13}{7}$	$\frac{13}{7}$	$\frac{13}{7}$	$\frac{15}{5}$	$\frac{15}{5}$	$\frac{15}{5}$	$\frac{15}{5}$	$\frac{15}{5}$	$\frac{15}{5}$	$\frac{171}{69}$	2,48
	-	$\frac{6}{6}$	$\frac{6}{6}$	$\frac{6}{6}$	$\frac{7}{7}$	$\frac{7}{7}$	$\frac{7}{7}$	$\frac{5}{5}$	$\frac{5}{5}$	$\frac{5}{5}$	$\frac{5}{5}$	$\frac{5}{5}$	$\frac{5}{5}$	$\frac{69}{69}$	
2040–2069	+	$\frac{23}{6}$	$\frac{25}{5}$	$\frac{25}{5}$	$\frac{20}{10}$	$\frac{20}{10}$	$\frac{20}{9}$	$\frac{18}{11}$	$\frac{19}{11}$	$\frac{19}{11}$	$\frac{23}{7}$	$\frac{23}{7}$	$\frac{23}{7}$	$\frac{258}{99}$	2,61
	-	$\frac{6}{6}$	$\frac{5}{5}$	$\frac{5}{5}$	$\frac{10}{10}$	$\frac{10}{10}$	$\frac{9}{9}$	$\frac{11}{11}$	$\frac{11}{11}$	$\frac{11}{11}$	$\frac{7}{7}$	$\frac{7}{7}$	$\frac{7}{7}$	$\frac{99}{99}$	
2070–2100	+	$\frac{23}{8}$	$\frac{23}{8}$	$\frac{23}{8}$	$\frac{20}{11}$	$\frac{21}{10}$	$\frac{21}{9}$	$\frac{13}{18}$	$\frac{13}{18}$	$\frac{13}{18}$	$\frac{24}{7}$	$\frac{23}{7}$	$\frac{23}{6}$	$\frac{240}{128}$	1,88
	-	$\frac{8}{8}$	$\frac{8}{8}$	$\frac{8}{8}$	$\frac{11}{11}$	$\frac{10}{10}$	$\frac{9}{9}$	$\frac{18}{18}$	$\frac{18}{18}$	$\frac{18}{18}$	$\frac{7}{7}$	$\frac{7}{7}$	$\frac{6}{6}$	$\frac{128}{128}$	
Total	+	$\frac{60}{20}$	$\frac{62}{19}$	$\frac{62}{19}$	$\frac{53}{28}$	$\frac{54}{27}$	$\frac{54}{25}$	$\frac{46}{34}$	$\frac{47}{34}$	$\frac{47}{34}$	$\frac{62}{19}$	$\frac{61}{19}$	$\frac{61}{18}$	$\frac{669}{296}$	
	-	$\frac{20}{20}$	$\frac{19}{19}$	$\frac{19}{19}$	$\frac{28}{28}$	$\frac{27}{27}$	$\frac{25}{25}$	$\frac{34}{34}$	$\frac{34}{34}$	$\frac{34}{34}$	$\frac{19}{19}$	$\frac{19}{19}$	$\frac{18}{18}$	$\frac{296}{296}$	
	F _p	3,00	3,26	3,26	1,89	2,00	2,16	1,35	1,38	1,38	3,26	3,21	3,39		
Total	+	$\frac{184}{58}$			$\frac{161}{80}$			$\frac{140}{102}$			$\frac{184}{56}$			$\frac{669}{296}$	
	-	$\frac{58}{58}$			$\frac{80}{80}$			$\frac{102}{102}$			$\frac{56}{56}$			$\frac{296}{296}$	
	F _p	3,17			2,01			1,37			3,29			2,26	

4.7. Măsura alinierii rezultatelor obținute în urma studiului de caz cu rezultatele altor cercetări desfășurate la nivel internațional

Rezultatele modelării hidrologice efectuate în B.H. Târlungul Superior pot fi evaluate și din punctul de vedere al alinierii lor cu rezultatele unor studii realizate la nivel internațional.

Astfel, pentru scurgerea de suprafață, tendințe atât de scădere cât și de creștere au fost raportate de Arias et al. (2014), Serpa et al. (2015), Senent-Aparicio et al. (2017), Lee et al. (2018) și Peraza-Castro et al. (2018).

În cazul debitului, tendințe exclusive de creștere sunt raportate de Chambers et al. (2017), în timp ce Leta et al. (2018) previzionează atât creșteri cât și descreșteri ale debitului anual.

Pentru transportul de aluviuni, rezultate similare cu cele obținute în studiul nostru de caz sunt raportate de Zabaleta et al., (2014), Serpa et al. (2015) și Rodríguez-Blanco et al. (2016), care previzionează atât creșteri, cât și de descreșteri ale acestui parametru.

4.8. Limitele modelului SWAT în previzionarea impactului hidrologic al schimbărilor climatice (cu sau fără modificarea folosinței terenurilor) în bazine hidrografice mici, predominant forestiere

Dacă, pe ansamblu, cercetările realizate la nivel internațional raportează un grad de performanță situat între *satisfăcător* și *foarte bun* al modelului SWAT, au fost, însă, menționate și anumite limitări ori deficiențe în ceea ce privește modul de funcționare al acestui model (Marin et al., 2020c):

- Performanța modelului este influențată de intervalul de timp adoptat atât pentru inițializarea modelului (Arias et al., 2014), cât și pentru efectuarea validării acestuia (Kalogeropoulos și Chalkias, 2013);
- Cuantificarea inexactă a evapotranspirației în cazul în care nu sunt disponibile date măsurate referitoare la indicele suprafeței foliare (*Leaf area index*), raportată de Joh et al. (2011);
- Tendința de subestimare a transportului de aluviuni previzionat pentru anumite luni, datorită subestimării debitelor maxime (Rodríguez-Blanco et al., 2016);
- Supra ori subestimarea scurgerii în perioadele cu precipitații abundente (Arias et al., 2014; Serpa et al., 2015; Rodríguez-Blanco et al., 2016; Lee et al., 2018), dar și a debitelor minime și a scurgerii în anumite intervale de timp (Zabaleta et al., 2014; Leta et al., 2016);
- Supraestimarea debitelor maxime raportată de Leta et al. (2016) și Senent-Aparicio et al. (2017);
- Deficiența modelului în a determina cu acuratețe scurgerea de suprafață indiferent de durata sau intensitatea precipitațiilor, observată de Arias et al. (2014).

4.9. Scurt rezumat și concluzii desprinse din previzionarea evoluției scurgerii de suprafață, debitului și transportului de aluviuni

4.9.1. Evoluția previzionată a scurgerii de suprafață

❖ Scurgerea lunară

Pe termen scurt se previzionează că scurgerea lunară de suprafață se va diminua în lunile iunie-august, scăderea maximă (de până la 75%) fiind estimată în modelul REMO4.5/S1. Scăderi apar și în luna aprilie, însă doar în modelul CLM4.5. Începând cu luna septembrie, scurgerea de suprafață se va intensifica, urmând ca în luna februarie să înregistreze o creștere de până la 8,7 ori (în modelul CLM4.5/S3) comparativ cu media de referință. Această situație se poate datora creșterii previzionate a temperaturilor (cu 1,5 °C) și precipitațiilor cu (35-60%) din sezonul de iarnă.

Pe termen mediu, spre deosebire de orizontul anterior, tendința de scădere este ușor mai accentuată (cu până la 78% în REMO4.5/S1) și apare nu doar în lunile iunie-august ci și în lunile septembrie (REMO8.5/S1) și octombrie (CLM8.5). Tendința exclusivă de creștere se manifestă începând cu luna noiembrie, din nou cu un maxim de până la 10 ori mai mare, estimat pentru luna februarie (în modelul CLM8.5/S3), creștere care poate fi pusă pe seama modificării condițiilor climatice previzionate (intensificării temperaturilor cu până la 2,6 °C și a precipitațiilor cu până la 70%) pentru lunile de iarnă în cel de-al doilea orizont de timp.

Pe termen lung se previzionează o scădere de până la 69% (REMO4.5/S1) a scurgerii de suprafață, tendință mai redusă față de orizonturile anterioare. Reduceri ale acestui parametru sunt estimate și pentru lunile martie (în modelele derivate din RCP8.5), aprilie (în toate modelele) și septembrie (REMO8.5/S1 și S2).

Creșterea scurgerii de suprafață este previzionată pentru lunile octombrie-februarie. Creșterea maximă de până la 12 ori, previzionată pentru luna februarie (în modelul CLM4.5/S3) se poate datora majorării temperaturii (cu până la 4°C) și precipitațiilor (cu până la 60% aproximativ) previzionate pentru sezonul de iarnă din ultimul interval considerat.

❖ Scurgerea lunară sezonieră

Pe termen scurt, scurgerea lunar-sezonieră din lunile de primăvară poate înregistra atât creșteri de până la 86% (mai accentuate în modele REMO, cât și o ușoară scădere de 2% (CLM4.5/S1). Vară, tendința generală este una de scădere, scurgerea putându-se diminua cu până la 70% (mai accentuat în REMO8.5/S1). În sezonul de toamnă, se previzionează creșteri de până la 248%, mai accentuate în modelele derivate din RCP4.5, urmând ca în lunile de iarnă, creșterea să fie de 3,2 ori față de media de referință.

Pe termen mediu, spre deosebire de orizontul anterior, în sezonul de primăvară tendința de creștere cu până la 37% (REMO8.5/S3) este mai redusă, în timp ce tendința de scădere (cu 1%) se păstrează pentru modelul CLM4.5/S1). În lunile de vară, scurgerea se poate reduce cu până la 57% (scăderea maximă fiind estimată în REMO4.5/S1), tendința de diminuare fiind mai redusă decât cea estimată în orizontul anterior. Toamna, se previzionează o creștere a scurgerii lunar-sezoniere de până la 194% (cu un maxim în CLM4.5/S3), urmând a se accentua în lunile de iarnă când scurgerea poate fi de 4,6 ori mai mare comparativ cu media de referință.

Pe termen lung, față de orizonturile anterioare, în lunile de primăvară se amplifică tendința de scădere (cu până la 28% în CLM8.5/S1), iar tendința de creștere este mult mai redusă (cu până la 14% în REMO4.5/S3). Vara, scurgerea se poate diminua cu până la 60% (REMO4.5/S1), tendință mai accentuată de orizontul mediu de timp, dar mai redusă față de orizontul scurt. Pentru lunile de toamnă, este previzionată o creștere maximă de până la 216% (valoare maximă atribuită modelului REMO4.5/S3), creștere mai semnificativă față de orizontul anterior și mai redusă comparativ cu valoarea estimată pe termen scurt. Iarna, spre deosebire de orizonturile anterioare, creșterile sunt mai accentuate, valori maxime, de până la 4,7 ori mai mari, fiind atribuite modelului CLM8.5/S3.

❖ Scurgerea anuală

Pe termen scurt, impactul cel mai redus în evoluția scurgerii anuale este generat de modelul CLM4.5, în timp ce modificările cele mai accentuate sunt atribuite modelului REMO8.5. Media multianuală a primului orizont de timp evidențiază că cele mai mari creșteri (de până la 87%) sunt atribuite modelului REMO8.5, iar cele mai puțin semnificative creșteri aparțin modelului CLM4.5.

Pe termen mediu, creșterea maximă, de 221% în modelul REMO8.5/S3, este similară orizontului anterior, în timp ce scăderea cea mai accentuată (de 58%) este generată de modelul CLM4.5/S1. Modelului REMO4.5 îi sunt atribuite cele mai frecvente tendințe de creștere, iar modelului REMO8.5 cele de scădere. La nivel multianual, creșterea maximă a scurgerii (de 67%), este mai redusă față de orizontul anterior și apare în modelul REMO4.5/S3, în timp ce modelului REMO8.5/S1 îi este atribuită creșterea minimă (35%).

Pe termen lung, tendința de creștere (cu 192%) este mai redusă comparativ cu orizonturile anterioare și este previzionată în modelul REMO8.5, iar cea de scădere (cu 53% în CLM8.5) este similară orizonturilor scurt și lung de timp. Atât impactul cel mai redus cât și cel mai semnificativ asupra scurgerii anuale de suprafață este estimat de modelele derivate din RCP4.5. Media multianuală a ultimului orizont considerat evidențiază că atât creșterea maximă (de 57%), cât și cea minimă, este mai redusă față de orizonturile anterioare, valorile previzionate fiind atribuite tot modelelor REMO.

4.9.2. Evoluția previzionată a debitului

❖ Debitul lunar

Pe termen scurt, tendința de scădere apare în lunile iunie-septembrie, cu tendințe mai accentuate în modelele REMO, dar și în lunile aprilie-mai, însă doar în modelul CLM4.5. Scăderea maximă, de 53%, este estimată pentru luna august în modelul REMO4.5/S1. Tendința de creștere apare începând cu luna octombrie, creșterea maximă (de opt ori) fiind previzionată pentru luna februarie în special în modelele CLM.

Pe termen mediu, reducerea scurgerii lunare (cu 63%) este mai accentuată față de orizontul anterior și este atribuită modelului REMO8.5/S1 și S2. Scăderi ale acestui parametru sunt estimate pentru lunile iunie-septembrie, dar și aprilie (în modelele CLM) și octombrie (în modelele derivate din RCP8.5). Creșterea exclusivă a scurgerii apare începând cu luna noiembrie, cea mai mare creștere, de 8,4 ori, fiind estimată pentru luna februarie cu tendințe mai accentuate în modelele REMO4.5 și CLM8.5.

Pe termen lung, tendința de scădere este similară cu cea obținută în orizontul anterior, fiind atribuită tot modelului REMO8.5 cumulat cu scenariile S1 și S2. Scurgerea se va diminua în lunile iunie-septembrie în toate modelele climatice, dar și în aprilie (în modelele CLM) și octombrie (în REMO4.5 și CLM8.5). Tendința de creștere este mai accentuată în lunile de iarnă, cu un maxim de 11 ori mai mare previzionat pentru luna februarie (mai accentuat în modelele CLM).

❖ Debitul lunar-sezonier

Pe termen scurt, debitul lunar-sezonier poate înregistra primăvara o tendință exclusivă de creștere, mai accentuată în modelele derivate din RCP8.5, creșterea maximă fiind de 75%. Vara, tendința generală este una de scădere, scurgerea putându-se diminua cu până la 44% (mai accentuat în REMO4.5). În sezonul de toamnă, se previzionează creșteri de până la 73%, valorile maxime fiind atribuite modelului REMO4.5, dar și o scădere de 3% în REMO8.5. În lunile de iarnă, tendința generală este una de majorare față de media de referință, creșterea previzionată fiind de 3,5 ori, cu tendințe mai accentuate estimate tot în REMO4.5.

Pe termen mediu, spre deosebire de orizontul anterior, în sezonul de primăvară tendința de creștere este mai redusă, cea mai ridicată valoare, de 41%, fiind generată de REMO4.5. În lunile de vară, scurgerea se poate reduce cu până la 38% (scăderea maximă fiind estimată în REMO4.5/S1), tendința de diminuare fiind ușor mai redusă față de valoarea orizontului anterior. Toamna, se previzionează atât o tendință de creștere (cu până la 20% în CLM4.5), cât și o tendință de scădere (cu până la 13% în REMO8.5). Tendința de creștere este mai redusă față de cea estimată în orizontul anterior pentru lunile de toamnă, iar cea de scădere este mai semnificativă. În lunile de iarnă, se previzionează majorarea debitului lunar-sezonier ușor mai accentuată față de orizontul anterior, acesta putând fi de 3,8 ori mai mare comparativ cu media de referință.

Pe termen lung, debitul lunar-sezonier din lunile de primăvară poate crește cu până la 32% în REMO4.5, tendința de creștere fiind mai redusă față de orizonturile anterioare. Vara, debitul se poate diminua cu până la 43% (REMO8.5), tendință de scădere fiind similară cu cea obținută pe termen scurt, dar mai accentuată față de cea obținută pe termen mediu. Pentru lunile de toamnă, este previzionată fie o creștere maximă de până la 23% atribuită modelului REMO4.5 (valoare maximă similară cu cea obținută pe termen mediu, dar mai redusă față de valoarea estimată pe termen scurt), fie o scădere de maxim 15% atribuită modelului REMO8.5 (valoare similară cu cea obținută în orizontul anterior, dar mai redusă față de primul orizont). Iarna, spre deosebire de orizonturile anterioare, creșterile sunt mai accentuate, valori maxime, de până la aproximativ cinci ori mai mari fiind atribuite modelului CLM8.5.

❖ Debitul anual

Pe termen scurt, creșterea maximă a debitului (116%) este previzionată în modelul REMO8.5/S3, iar scăderea cea mai accentuată (36%) este atribuită modelului REMO4.5/S1. Impactul cel mai redus asupra debitului anual este generat de modelul CLM4.5, iar cel mai semnificativ este atribuit modelului REMO8.5. Media multianuală a primului orizont de timp evidențiază că cele mai mari creșteri (de până la 33%) sunt atribuite modelului REMO8.5, iar cea mai redusă creștere (de 13%) apare în modelului CLM4.5.

Pe termen mediu, creșterea maximă (de 104%) este mai redusă față de valoarea orizontului anterior și este atribuită modelului REMO8.5, în timp ce scăderea cea mai accentuată (de 49%) este generată de modelul CLM4.5, din nou cu tendințe mai accentuate față de primul orizont. Modelului REMO8.5 îi corespunde o frecvență mai mare a tendințelor de scădere, iar cele de creștere aparțin modelului REMO4.5. La nivel multianual, creșterea maximă a debitului (de 29%) este mai redusă față de orizontul anterior și apare în modelul REMO4.5/S3, în timp ce modelului REMO8.5/S1 îi este atribuită creșterea minimă (14%), similară cu cea estimată în orizontul anterior.

Pe termen lung, tendința de creștere (cu 101% în REMO8.5) este similară cu cea a orizontului anterior dar mai redusă decât cea estimată în primul orizont, în timp ce tendința de scădere (cu 53% în REMO4.5) este mai accentuată față de orizonturile anterioare. Cele mai frecvente tendințe de creștere sunt estimate în modelul REMO4.5, iar cele de scădere sunt mai frecvente în modelul REMO8.5. Media multianuală a ultimului orizont considerat evidențiază o creștere maximă de 26% (în REMO4.5/S3) și o creștere minimă de 5% (în REMO8.5/S1), valorile fiind mai reduse față de cele obținute în orizonturile de timp anterioare.

4.9.3. Evoluția previzionată a transportului de aluviuni

❖ Transportul lunar

Pe termen scurt, tendința de reducere apare începând cu luna martie, în principal ca urmare a aplicării scenariilor S1 și S2 de studiu, scăderea maximă, de 68%, fiind atribuită modelului REMO4.5. Tendința de creștere a transportului de aluviuni apare în special în scenariul S3, valori maxime (de aproximativ 10 ori mai mari) fiind estimate pentru luna februarie cu tendințe mai accentuate în modelele CLM.

Pe termen mediu, transportul de aluviuni poate înregistra o tendință exclusivă de reducere în lunile martie-septembrie, cea mai semnificativă scădere (de 70%) fiind previzionată în modelul REMO8.5/S1/. Reducerea acestui parametru apare și în restul lunilor, însă doar pentru anumite modele sau scenarii de studiu. Tendința de creștere apare mai ales în scenariul S3, când în modele REMO4.5 și CLM8.5 se poate înregistra un transport de aluviuni de până la circa 13 ori mai mare comparativ cu media de referință.

Pe termen lung se păstrează tendința obținută în orizonturile anterioare, scăderea maximă de 67% fiind previzionată în modelul CLM8.5. Majorarea transportului de aluviuni (cu până la aproximativ 14 ori) apare în special în scenariul S3 cumulat cu modelele CLM.

❖ Transportul lunar-sezonier

Pe termen scurt, transportul de aluviuni poate înregistra în lunile de primăvară atât creșteri de până la 120% (mai accentuate în REMO8.5/S3), cât și o scădere de 37% (CLM4.5/S1). Vara, tendința generală este una de scădere (cu un maxim de 57% în modelul REMO4.5/S1) în toate modelele și scenariile de studiu, excepție făcând modele CLM cumulate cu scenariul S3 pentru care se previzionează o creștere de până la 46%. Pentru lunile de toamnă, se previzionează o creștere de până la 201% ale acestui parametru (în modelul REMO4.5), dar și o scădere de 16% (în modelul REMO8.5/S1 și S2). Iarna, tendința previzionată este de creștere, transportul de aluviuni putând înregistra valori de 3,5 ori mai mari, creșterea maximă fiind atribuită modelului REMO4.5.

Pe termen mediu, spre deosebire de orizontul anterior, tendința de creștere (cu 69% în REMO4.5) din sezonul de primăvară este mai redusă, în timp ce tendința de scădere (cu până la 45% în CLM4.5) este mai accentuată față de primul orizont. În lunile de vară, sunt previzionate trenduri similare cu cele din orizontul anterior, dar cu tendințe de creștere mai reduse și de scădere mai accentuate. Toamna, se previzionează o creștere a transportului de aluviuni de până la 119% (REMO4.5/S3), mai redusă față de cea a orizontului anterior, în timp ce tendința de scădere (cu până la 31% în CLM8.5/S1) este mai accentuată comparativ cu primul interval. În lunile de iarnă, transportul de aluviuni poate înregistra doar creșteri, acestea putând fi de până la cinci ori mai mari față de media de referință.

Pe termen lung, față de orizonturile anterioare, în lunile de primăvară se amplifică tendința de scădere (cu până la 59% în REMO8.5/S3), iar tendința de creștere este mai redusă (cu până la 58% în REMO4.5/S3). Vara, se păstrează tendința obținută în orizonturile anterioare, atât creșterea cât și scăderea transportului de aluviuni fiind mai accentuată. Pentru lunile de toamnă, este previzionată o creștere maximă de până la 209% (REMO4.5), mai accentuată față de orizontul anterior și similară cu cea obținută în primul orizont, în timp ce tendința de scădere (cu până la 33% în REMO8.5) este similară orizontului anterior și mai accentuată față de primul orizont. În sezonul de iarnă, sunt previzionate tendințe exclusive de creștere, valori maxime, de 5,2 ori mai mari, fiind atribuite modelului REMO4.5/S3.

❖ **Transportul anual**

Pe termen scurt, transportul de aluviuni poate atât să crească până la maxim 307% (în REMO8.5), cât și să scadă cu până la 70% (în REMO4.5). La nivel multianual, creșterea maximă (de 105%) este atribuită modelului REMO8.5/S3, iar scăderea cea mai accentuată (cu 24%) este generată de modelul CLM4.5/S1.

Pe termen mediu, creșterea maximă (cu până la 258% în REMO4.5) a transportului de aluviuni este mai redusă față de valoarea estimată pe termen scurt, iar scăderea cea mai accentuată (cu până la 82% în CLM4.5) este mai mare comparativ cu primul orizont. Media multianuală a intervalului evidențiază o tendință de creștere (cu 94% în REMO4.5/S3) mai redusă față de primul orizont, în timp ce tendința de scădere (cu 32% în REMO8.5/S1) este mai accentuată.

Pe termen lung, transportul de aluviuni poate înregistra atât o creștere maximă de 288% (REMO4.5), valoare mai accentuată față de cea a orizontului anterior și mai redusă față de primul orizont, cât și o scădere de până la 80% (REMO4.5), valoare similară orizontului anterior și ușor mai accentuată comparativ cu cea estimată pe termen scurt. La nivel multianual, media obținută arată o creștere cu până la 97% în REMO4.5 (mai accentuată față de orizontul anterior și mai redusă comparativ cu valoarea primului orizont), dar și o scădere cu până la 46% în REMO8.5 (reducere mai accentuată față de orizonturile anterioare).

4.9.4. Frecvența tendințelor previzionate în variația anuală a scurgerii de suprafață, debitului și transportului de aluviuni

❖ **Scurgerea anuală**

Raportul de frecvență al previziunilor privind scurgerea anuală de suprafață evidențiază prevalența tendinței crescătoare asupra celei descrescătoare, în toate orizonturile de timp analizate.

Pe scenarii de studiu privind folosința terenului, scenariul S1 va genera valorile cele mai reduse ale raportului de frecvență, în timp ce valorile cele mai mari apar în urma aplicării scenariului S3.

Pe modele climatice, raportul de frecvență al tendinței de creștere atinge, pe termen scurt, valori maxime în REMO8.5, în timp ce, pe termen mediu și lung, este obținut în scenariile REMO și CLM derivate din RCP4.5. Raportul de frecvență al tendinței de scădere este mai semnificativ în modelele derivate din RCP8.5, în toate orizonturile de timp analizate.

Prevalența tendinței de creștere a scurgerii anuale de suprafață este evidențiată și de valoarea factorului de prevalență (3,76). Cele mai mari valori ale acestui factor sunt înregistrate în cadrul modelelor derivate din RCP4.5, iar cele mai reduse în modelele provenite din RCP8.5.

Pe orizonturi de timp, cele mai frecvente creșteri ale scurgerii de suprafață sunt previzionate pe termen scurt ($F_p = 6,50$), iar cele mai puțin frecvente pe termen lung ($F_p = 2,41$).

❖ Debitul anual

Și în acest caz se remarcă un raport frecvență prevalent al tendinței crescătoare asupra celei descrescătoare, atât pe termen scurt, cât și pe termen mediu și lung.

Pe scenarii de studiu privind folosința terenului nu se remarcă diferențe semnificative între rapoartele de frecvență ale celor două tendințe.

Pe modele climatice, REMO și CLM derivate din RCP8.5 vor genera cele mai mari rapoarte de frecvență ale tendinței de creștere în orizontul scurt și lung de timp, în timp ce, pe termen mediu, raportul de frecvență înregistrează cele mai mari valori în modelul REMO4.5. Raportul de frecvență al tendinței de scădere este mai mare în CLM4.5 însă doar pe termen scurt, în timp ce, pe termen mediu și lung acesta va fi obținut în urma aplicării modelului REMO8.5.

Valoarea factorului de prevalență al debitului anual (2,26) este ceva mai redusă decât cea obținută pentru scurgerea de anuală de suprafață, însă, și în cazul acestui parametru, distingem o prevalență a tendinței crescătoare asupra celei descrescătoare.

Atât valoarea maximă, cât și cea minimă a factorului de prevalență sunt obținute în modelele derivate din RCP8.5.

Pe orizonturi de timp, debitul anual va înregistra cele mai frecvente creșteri pe termen mediu ($F_p = 2,61$), urmând ca pe termen lung creșterea frecvenței să fie mai redusă ($F_p = 1,88$).

❖ Transportul anual

Raportul de frecvență este unul echilibrat, însă doar pe termen scurt, în timp ce, pe termen mediu și lung, am obținut un raport de frecvență prevalent al tendinței de scădere asupra celei de creștere.

Pe scenarii de studiu privind folosința terenului, valori maxime ale raportului de frecvență al tendințelor crescătoare s-au obținut în scenariul S3, în timp ce valori maxime ale tendințelor descrescătoare s-au obținut în scenariul S1.

Pe modele climatice, raportul de frecvență al tendințelor de creștere este mai mare în modelul CLM8.5 (pe termen scurt), dar și în REMO (termen mediu) și CLM (termen lung) derivate din RCP4.5. Valori maxime ale raportului de frecvență pentru tendința de scădere sunt obținute în CLM4.5 (termen scurt), și în modelele CLM și REMO derivate din RCP8.5 (termen mediu și lung).

5. CONCLUZII FINALE, CONTRIBUȚII ORIGINALE, RECOMANDĂRI PRACTICE, DISEMINAREA REZULTATELOR, DIRECȚII VIITOARE DE CERCETARE

5.1. Concluzii finale

1. Dată fiind vulnerabilitatea ecosistemelor forestiere și a resurselor de sol și apă la schimbările climatice, previzionarea impactului hidrologic la scara bazinelor hidrografice cu diverse grade de împădurire a dobândit astăzi un important surplus de noutate, devenind un criteriu de prioritizare pentru cercetarea științifică viitoare, care va trebui să răspundă la întrebări de genul:

– În contextul schimbărilor climatice produse (și) pe fondul unor modificări de folosință a terenului, care va fi trendul modificării balanței hidrologice la sfârșitul acestui secol?

– Cum va trebui să fie adaptate soluțiile de amenajare a bazinelor hidrografice la modificările pe care schimbările climatice le induc proceselor hidrologice și de care depind, în ultimă analiză, disponibilitatea privind resursele de apă, respectiv cantitatea și calitatea apei?

2. Este esențial să se țină cont de modificările suferite de suprafețele ocupate cu vegetație forestieră, iar pădurea trebuie să fie inclusă în evaluarea impactului hidrologic al schimbărilor climatice, prin intermediul modelelor hidrologice.

3. Pentru a fundamenta științific soluțiile de contracarare a efectelor negative ale impactului hidrologic al schimbărilor climatice, prima cale de urmat o reprezintă cunoașterea avansată a dimensiunilor acestui impact prin studii de caz desfășurate la scară de bazine hidrografice mici, după cum au optat numeroși cercetători de pe toate continentele și după cum s-a procedat și prin lucrarea de față.

4. Una dintre fazele importante ale cercetării a constat din faptul că mediile parametrilor climatici ce caracterizează cele două modele climatice regionale de schimbări climatice (REMO și CCLM) au fost convertite la nivel local prin tehnici de regionalizare aplicate la nivel zilnic și au fost ajustate în raport cu informațiile climatice preluate din EURO-CORDEX, avându-se în vedere și datele climatice înregistrate la stațiile meteorologice din împrejurimi (Predeal, Întorsura Buzăului și Ghimbav).

5. Studiul bazat pe aplicarea modelelor climatice pentru perioada 2020–2100 nu a pus în evidență diferențe majore în dinamica precipitațiilor față de perioada de referință (1961–2013), diferența procentuală fiind de numai ± 3 –5%. Totuși, modificări vizibile în regimul pluviometric au fost estimate în modelele climatice dezvoltate din RCP8.5. În privința regimului termic, s-a previzionat o creștere a temperaturii aerului de 2–3,2 °C, cu tendințe mai accentuate în cadrul modelelor derivate din RCP8.5.

6. Evidențierea impactului hidrologic al schimbărilor climatice și reducerii suprafeței împădurite din B.H. Târlungul Superior s-a realizat cu ajutorul modelului hidrologic SWAT, făcându-se previziuni referitoare la evoluția a trei parametri hidrologici (scurgerea de suprafață, debitul și transportul de aluviuni) pentru intervalul de timp 2020–2100 (divizat pe trei orizonturi), considerând patru niveluri ale analizei (lunar, lunar-sezonier, anual și multianual), patru modele climatice ajustate la nivel local și trei scenarii de studiu privind folosința terenului. Ca interval de referință a fost adoptat un interval de 10 ani (1979–1988).

7. Potrivit concluziilor parțiale redate la §4.9, rezultatele obținute (previzionate) se înscriu într-o plajă extrem de largă și aceasta pentru că s-au avut în vedere trei orizonturi de timp și respectiv trei parametri hidrologici, fiecare dintre aceștia cu patru niveluri de analiză, iar în cadrul fiecărui model climatic local (dintre cele patru adoptate) modelarea s-a realizat separat pentru fiecare din cele trei scenarii de studiu privind folosința terenului.

8. În pofida marii variabilități a valorilor previzionate, tendințele decelate în evoluția celor trei parametri hidrologici sunt oarecum similare, dacă ne referim la unul și același nivel de analiză:

- la nivel lunar, previziunile privind evoluția scurgerii, debitului și transportului de aluviuni sunt fie de creștere fie de scădere în toate orizonturile de timp; creșterea cea mai mare este așteptată pentru luna februarie, iar scăderea este previzionată în lunile iunie-august/septembrie;

- la nivel lunar-sezonier, apar diferențe de la un anotimp la altul; pentru debit am obținut o creștere exclusivă în lunile de primăvară pentru întreaga perioadă (2020–2100); pentru scurgerea de suprafață și transportul de aluviuni variația este de tip alternativ, unele modele previzionând exclusiv creșteri iar altele previzionând exclusiv descreșteri. Vara, atât scurgerea de suprafață cât și debitul se vor reduce pe tot intervalul de studiu, în timp ce transportul de aluviuni păstrează o variație de tip alternativ: creștere (mai ales pe termen scurt) și scădere (mai ales pe restul intervalului). Toamna, deși scurgerea de suprafață este previzionată a se intensifica, totuși debitul și transportul de aluviuni vor urma un trend de creștere pe termen scurt și unul de scădere pe termen lung. Iarna, toți cei trei parametri hidrologici vor urma numai trendul de creștere în toate cele trei orizonturi de timp.

- la nivel anual, tendința previzionată este tot una alternativă, de creștere sau descreștere, în funcție de modelul climatic utilizat și de orizontul de timp luat în considerare.

- la nivel multianual (2020–2100) am obținut o tendință generală de creștere a scurgerii anuale și a debitului anual, în toate modelele climatice și scenariile de folosință, cu tendințe mai ample în cazul scurgerii de suprafață (cu precădere în modelele REMO și scenariul S3). În cazul transportului de aluviuni, media multianuală urmează un trend alternativ: de creștere în cazul tuturor modelelor climatice cuplate cu scenariul S3, și de scădere în scenariile S1 și S2 (mai pronunțată în cadrul modelelor REMO).

9. În cazul tuturor celor trei parametri hidrologici, indiferent de nivelul de analiză (lunar/ lunar-sezonier/ anual/ multianual), pe fondul schimbărilor climatice produse, scenariul bazat pe menținerea folosințelor actuale se soldează cu o scădere a valorilor parametrilor hidrologici, în timp ce scenariile bazate pe reducerea suprafeței împădurite, mai ales cel care presupune diminuarea suprafeței de pădure cu 50%, conduc la o creștere a valorilor.

10. Pentru întregirea analizei asupra evoluției viitoare a celor trei parametri hidrologici, soldată cu o plajă atât de largă a rezultatelor previzionate din simulări, s-a considerat îndreptățită și întrebarea: pentru răstimpul următoarelor opt decenii, care va fi trendul prevalent în evoluția valorilor anuale ale scurgerii de suprafață, debitului și transportului de aluviuni?

În acest scop, am recurs la alcătuirea unor "matrice ale frecvenței previziunilor" pentru fiecare dintre parametri, matricele fiind analizate după două criterii proprii: *raportul de frecvență* și *factorul de prevalență*.

11. Pentru totalul anilor din perioada de studiu, factorul de prevalență este de 3,76 în cazul scurgerii de suprafață și de 2,26 în cazul debitului, ceea ce semnifică creșteri de două până la de patru ori mai frecvente decât valorile previzionate care indică descreșteri.

Pe modele climatice, factorul de prevalență variază de la 2,47 la 5,75 în cazul scurgerii de suprafață și de la 1,37 la 3,29 în cazul debitului. Valorile maxime sunt atribuite modelului REMO4.5 în cazul scurgerii de suprafață și modelului CLM8.5 în cazul debitului, iar valorile minime corespund modelului REMO8.5 în cazul ambilor parametri.

Pe modele climatice și scenarii de studiu privind folosința terenului, variația factorului de prevalență este mult mai amplă în cazul scurgerii de suprafață (de la 1,89 la 7,10) decât în cazul debitului (de la 1,35 la 3,39).

Pe orizonturi de timp, se remarcă un dezechilibru pronunțat în evoluția scurgerii de suprafață, pentru care factorul de prevalență descrește de-a lungul timpului de la 6,50 (în primul orizont), la 4,71 (în cel de al doilea orizont) și la 2,41 (în cel de al treilea orizont), în timp ce în cazul debitului evoluția factorului de prevalență este relativ echilibrată de-a lungul timpului și cu valori mult mai restrânse (2,48 în primul orizont; 2,61 în al doilea orizont; 1,88 în al treilea orizont).

12. Rezultatele studiului de caz privitoare la valorile parametrilor hidrologici stabilite pentru intervalul de referință (1979–1988) sunt concordante atât cu datele publicate în monografia hidrologică "Râurile României" pentru zona montană a Brașovului, cât și cu datele evidențiate într-unul din manualele de hidrologie (Pișota și Buta, 1975), iar rezultatele previzionate din simulări cu modelul hidrologic SWAT pentru perioada 2020–2100 se aliniază, într-o bună măsură, cu rezultatele altor cercetări de același tip, desfășurate la nivel internațional.

13. În sfârșit, unele dintre rezultatele cercetării de față anticipăm că vor putea suscita controverse științifice, ca răspunsuri la întrebările următoare:

– Cum poate fi explicată discrepanța dintre dinamica mult mai accelerată a valorilor celor trei parametri hidrologici și dinamica mult mai atenuată a cantității de precipitații?

– Cum poate fi explicată neconcordanța dintre tendința prevalent crescătoare în cazul scurgerii și al debitului și tendința prevalent descrescătoare în cazul transportului de aluviuni?

Aceste discrepanțe/neconcordanțe au fost semnalate și în cercetări desfășurate de alți autori, iar la originea lor noi considerăm că se află unele dintre limitele pe care SWAT le prezintă în ceea ce privește modelarea hidrologică în cazul bazinelor cu folosințe predominant forestiere. Astfel:

– acest model operează doar cu cantitatea de precipitații, fără a ține seama de durata și intensitatea acestora;

– modelarea ține seama doar de natura folosințelor, nu și de caracteristicile structurale ale vegetației; or, pentru un bazin cu un grad ridicat de împădurire, cum este și bazinul superior al Tărlungului, această deficiență duce la o supradimensionare a scurgerii și implicit a debitului;

– pe de altă parte, în timp ce caracteristicile vegetației sunt prea puțin implicate în modelarea scurgerii și debitului, caracteristicile solului sunt mult mai analitic tratate și, ca atare, pot surprinde mai veridic producția de aluviuni a bazinului.

5.2. Contribuții originale

În urma dezvoltării cercetării științifice adoptate în cadrul programului de doctorat, se desprind numeroase contribuții personale regăsite în cuprinsul tezei și anume:

- ❖ Decelarea tendințelor previzionate, la nivel național și internațional, asupra proceselor hidrologice din bazinele hidrografice mici, predominant forestiere, în decursul secolului 21;
- ❖ Aplicarea, pentru prima dată, a modelării hidrologice în cuprinsul bazinului Tărlungul Superior prin personalizarea modelului hidrologic SWAT la specificul local și prin definirea în detaliu a informațiilor necesare pentru dezvoltarea bazelor de date în formatul cerut de model;
- ❖ Metodologia concepută și adaptată bazinelor de sub 100 km² pentru includerea în modelare a datelor amenajistice, permite replicarea acestora și în alte cazuri, valorificând astfel sursa de date inestimabilă a amenajamentului silvic în domeniul modelării hidrologice și climatice. Structura acestor date este ușor de preluat în SWAT, iar algoritmi aplicați pentru completarea datelor lipsă sunt utilizabili și la alte bazine mici;
- ❖ Previzionarea, cu ajutorul a patru modele climatice locale, a evoluției regimului termic și pluvial pentru orizontul de timp 2020–2100;

- ❖ Modelarea a trei dintre procesele hidrologice care se desfășoară în cuprinsul bazinului hidrografic studiat, în contextul a patru modele climatice locale și a trei scenarii alternative de utilizare a terenului;
- ❖ Previzionarea tendințelor viitoare în evoluția scurgerii de suprafață, debitului și transportului de aluviuni prin cuantificarea evoluției lunare, lunar-sezoniere și anuale a acestor parametri;
- ❖ Analiza frecvenței previziunilor asupra celor trei parametri hidrologici pentru orizontul 2020–2100, prin introducerea, determinarea și interpretarea semnificației a doi indicatori proprii: raportul de frecvență și a factorul de prevalență;
- ❖ Decelarea măsurii în care rezultatele cercetărilor de față se aliniază cu cele desfășurate anterior, la nivel internațional;
- ❖ Modelarea realizată cu SWAT oferă informații utile atât în ceea ce privește disponibilitatea resursei de apă (în termeni cantitativi și calitativi) cât și în stabilirea politicilor de dezvoltare durabilă (rurală / urbană / turistică);
- ❖ În funcție de prioritățile comunităților, în relație directă cu terenurile din bazinele hidrografice mici (de ex. extinderea pășunilor, dezvoltare urbană), studiul realizat permite stabilirea compromisurilor necesare unei gospodării durabile a folosințelor;
- ❖ Cercetarea realizată facilitează fundamentarea strategiei planurilor de management al riscului la inundații pentru bazinele mici din zonele montane, și includerea în prognoze a contribuției acestor bazine la apariția inundațiilor;

În sfârșit, prin metodologia cristalizată și aplicată și prin modul de analiză și interpretare a rezultatelor obținute, cercetarea de față aduce o modestă contribuție la fundamentarea măsurilor și acțiunilor cuprinse în Strategia Națională a României privind Schimbările Climatice, sincronizându-se și cu cele mai recente decizii ale autorităților Uniunii Europene în această privință.

5.3. Recomandări practice

Pe baza analizei rezultatelor obținute în urma cercetării desfășurate în cadrul tezei putem aduce în atenția comunității științifice și a factorilor responsabili următoarele recomandări:

1. Chiar dacă reducerea suprafeței păduroase din bazinul superior al râului Târlung cu 25/ 50% este posibilă dar puțin probabilă pe parcursul următoarelor opt decenii, totuși studiul hidrologic dezvoltat în această ipoteză a avut rolul de a scoate în evidență importanța pe care pădurea o poate juca în contracararea efectelor negative ale schimbărilor climatice.
De aceea, prima și cea mai importantă referire se adresează tuturor instituțiilor și tuturor factorilor responsabili cu gestionarea folosinței terenurilor din bazinul studiat² recomandarea fiind aceea de a se menține pe cât posibil proporția de astăzi a folosințelor și de a se promova în viitor o gestionare optimă din punct de vedere hidrologic a acestora. Mai mult decât atât, în contextul schimbărilor climatice previzionate, autoritățile decidente ar trebui să pledeze pentru găsirea de soluții în vederea creșterii procentului de pădure în spațiul bazinului superior al râului Târlung.
2. Se recomandă ca decidenții să țină seama de rezultatele modelării multianuale, precum și de concluziile formulate pe termen scurt, mediu și lung, care oferă posibilitatea de a eșalona spațial (pe bazine componente) și temporal (în funcție de decadele cu risc hidrologic sau erozional) intervenția cu lucrări de amenajare a rețelei hidrografice torențiale.

² Lacul de acumulare este administrat de Sistemul de Gospodărire a Apelor Brașov (SGA), Uzina de Apă de către Compania Apa, terenurile forestiere sunt deținute de primăriile Săcele, Târlungeni și Brașov și sunt gestionate de regiile publice locale RPLP Săcele, Kronstadt și Ciucaș, iar pășunile sunt deținute și administrate de primăria Săcele.

3. Modelarea realizată permite stabilirea limitelor de exploatare a folosințelor pe categorii de utilizatori ai terenurilor (creșterea animalelor, producție silvică, producție de apă curată, biodiversitate).
4. Pentru a preveni (sau cel puțin diminua) efectele negative ale impactului hidrologic al schimbărilor climatice, practica silvică ar trebui să aibă în vedere bazele științifice ale amenajării și gestionării durabile a pădurilor cu funcții hidrologice și de protecție a solului și ale adaptării acestor păduri la schimbările climatice (Florescu și Nicolescu, 1998; Leahu, 2001; Carcea și Seceleanu, 2004; Giurgiu 2004, 2006, 2008; Târziu, 2006; Florescu și Clinciu, 2009; Seceleanu, 2013; Barbu et al., 2016; Constandache et al., 2018) prin:
 - stabilirea unor ponderi optime pe categorii de folosință a terenului astfel încât capacitatea productivă a terenurilor din bazin să fie exploatată în mod durabil;
 - promovarea unor structuri biocenotice apropiate de structurile pădurilor naturale, singurele capabile să asigure menținerea calității optime a resurselor de apă în anii pentru care a fost previzionată intensificarea transportului de aluviuni;
 - creșterea proporției arboretelor amestecate cu specii locale proprii stațiunilor care sunt mai puțin vulnerabile la modificarea condițiilor climatice;
 - adaptarea structurii și compoziției arboretelor atât din perspectiva modificării condițiilor climatice previzionate în lucrare, cât și din perspectiva posibilelor schimbări în zonalitatea pe scară altitudinală a pădurilor.
5. Creșterea previzionată simultană a scurgerii de suprafață și a debitului, creștere ce s-a dovedit a fi prevalentă pentru un număr important de ani (14), atrage atenția asupra probabilității de a fi depășită capacitatea de evacuare a albiilor minore mai ales în lunile de iarnă. În acest context, specialiștii în amenajarea rețelei hidrografice torențiale ar trebui să aibă în vedere:
 - proiectarea de lucrări specifice care să asigure protecția obiectivelor din zonă și conducerea dirijată a apelor de viitură;
 - proiectarea de lucrări specifice care să asigure retenția aluviunilor în ipoteza reducerii suprafeței împădurite a bazinului;
 - proiectarea unor construcții adiacente cu rolul de a stoca cantitățile mari de apă estimate fie pentru sezonul de iarnă, fie pentru anii cu tendință prevalentă de creștere, și utilizarea acestora în perioadele cu deficit de apă (în special în sezonul de vară), dar și în anii previzionați cu scăderile cele mai însemnate ale scurgerii și debitului.

Este recomandat ca, în toate cele trei situații amintite, să fie acordată o atenție mărită promovării de soluții ecologice, prietenoase cu mediul, de tipul celor descrise în lucrări de specialitate cu apariție recentă (Niță, 2013; Clinciu et al., 2012, 2014, 2015; Adorjani et al., 2015; Davidescu, 2015; Clinciu și Niță, 2019; Tudose et al., 2020).
6. În anii identificați că ar putea avea loc o intensificare a transportului de aluviuni ca urmare a reducerii suprafeței împădurite a bazinului, Compania Apa (care administrează Uzina de Apă) ar trebui să adopte fie măsuri suplimentare de corectare a turbidității apelor prin sisteme și soluții profesionale de filtrare, tratare și purificare concomitent cu livrarea acestora din lacul Acumulării Săcele către consumatori, fie să apeleze la surse alternative în acest scop.
7. Pentru a limita efectele negative ale impactului hidrologic previzionat pentru următoarele opt decenii considerăm oportun ca Agenția Metropolitană Brașov să pledeze pentru o revizuire a studiilor referitoare la amenajarea bazinului hidrografic Tărlungul Superior și să propună factorilor de decizie elaborarea și aplicarea de proiecte noi, menite să asigure un management durabil și integrat al terenurilor, al pădurilor și al resurselor de sol și apă din acest bazin.

În sfârșit, pentru a facilita analiza comparativă a rezultatelor obținute din modelarea hidrologică viitoare, se recomandă ca în locul volumului scurgerii (în m³) să se opereze cu înălțimea stratului scurgerii (în mm),

iar la reprezentarea grafică a datelor cercetătorul să opteze între varianta reprezentării valorilor absolute și varianta reprezentării diferențelor procentuale.

5.4. Diseminarea rezultatelor

A. Lucrări publicate în reviste indexate ISI

1. Cremades, R., Mitter, H., Tudose, N.C., Sanchez-Plaza, A., Graves, A., Broekman, A., Bender, S., Giupponi, C., Koundouri, P., Bahri, M., Cheval, S., Cortekar, J., Moreno, Y., Melo, O., Karner, K., Ungurean, C., Davidescu, S.O., Kropf, B., Brouwer, F., **Marin, M.**, 2019: Ten principles to integrate the water-energy-land nexus with climate services for co-producing local and regional integrated assessments. *Science of The Total Environment*, vol. 693, 133662, <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2019.133662>.
2. Mihalache, A.L., **Marin, M.**, Davidescu, Ș.O., Ungurean, C., Adorjani, A., Tudose, N.C., Davidescu, A.A., Clinciu, I., 2020: Physical status of torrent control structures in Romania. *Environmental Engineering and Management Journal*, vol. 19, nr. 5.
3. Tudose, N.C., Ungurean, C., Davidescu, Ș.O., Clinciu, I., **Marin, M.**, Niță, M.D., Adorjani, A., Davidescu, A.A., 2020: Torrential flood risk assessment and environmentally friendly solutions for small catchments located in the Romania Natura 2000 sites Ciucas, Postăvaru and Pietra Mare. *Science of The Total Environment*, vol. 698, 134271, <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2019.134271>.
4. **Marin, M.**, Clinciu, I., Tudose, N.C., Ungurean, C., Adorjani, A., Mihalache, A.L., Davidescu, A.A., Davidescu, Ș.O., Dincă, L., Cacovean, H., 2020: Assessing the vulnerability of water resources in the context of climate changes in a small forested watershed using SWAT: A review. *Environmental Research*, vol.184, 109330, <https://doi.org/10.1016/j.envres.2020.109330>.
5. Tudose, N.C., Cheval, S., Ungurean, C., Broekman, A., Sanchez-Plaza, A., Cremades, R., Mitter, H., Kropf, B., Davidescu, Ș.O., Dincă, L., Cacovean, H., **Marin, M.**, Miska, K., Pereira, P., 2020: Climate services for sustainable management of the Water–Energy–Land nexus under climate change in the Târlung river basin, Romania. *Land Use Policy* (în curs de recenzare).

B. Lucrări in extenso publicate în Proceedings (indexat BDI) publicate în reviste indexate în baze de date internaționale (BDI)

1. **Marin, M.**, Clinciu, I., Tudose, N.C., Davidescu, Ș.O., Constandache, C., 2019: Assessing the performance of the Soil and Water Assessment Tool hydrological model for a small mountain forested watershed in the central part of Romania, in: *GEOLINKS 2019 Conference Proceedings Book 3*, vol. 1. SAIMA CONSULT LTD, pp. 265–273, <https://doi.org/10.32008/geolinks2019/b3/v1/30>.

C. Lucrări publicate în reviste indexate BDI

1. **Marin, M.**, Clinciu, I., Tudose, N.C., Cheval, S., Ungurean, C., Davidescu, Ș.O., Adorjani, A., Mihalache, A.L., Davidescu, A.A., Tudose, O.N., 2020: Analiza previziunilor privind regimul termic și pluvial din bazinul hidrografic Târlungul Superior în contextul schimbărilor climatice. *Revista de Silvicultură și Cinegetică*, nr 45, pp. 15–21.
2. **Marin, M.**, Clinciu, I., Tudose, N.C., Cheval, S., Ungurean, C., Davidescu, Ș.O., Adorjani, A., Mihalache, A.L., Davidescu, A.A., Tudose, O.N., 2020: Simularea impactului schimbărilor climatice și al modificării folosinței terenului asupra proceselor hidrologice din bazinul hidrografic Târlungul Superior. *Revista Pădurilor*, 135(3), 26 p.

D. Lucrări publicate în baze de date internaționale

1. Tudose, N.C., Ungurean, C., **Marin, M.**, Mihalache, A.L., Davidescu, Ș., 2019: Meteorological research datasets collected from the Târlung river basin using research infrastructure installed

within the CLISWELN project. În 4TU.Centre for Research Data – Science Engineering Design, <https://doi.org/10.4121/uuid:8cdfd0c6-1976-417c-bc20-7397f6382e7f>.

E. Lucrări prezentate la simpozioane și conferințe internaționale

1. Tudose, N.C., **Babăță (actual Marin), M.**, Ungurean, C., Davidescu, Ș.O., Cheval, S., Crivăț, M., Adorjani, A., Davidescu, A.A., Constandache, C., 2018: Hydrological modeling of stream flow through the SWAT model in the Târlung river basin (upperstream Săcele Lake). International Conference „Forest Science for a Sustainable Forestry and Human Wellbeing in a Changing World”, Institutul Național de Cercetare Dezvoltare în Silvicultură „Marin Drăcea”, 18–21 septembrie, București.
2. Crivăț, M., Ungurean, C., Davidescu, Ș.O., Adorjani, A., Tudose, N.C., Davidescu, A.A., **Babăță (actual Marin), M.**, 2018: Assessment of logging trails erosion coupled with timber harvesting. International Conference „Forest Science for a Sustainable Forestry and Human Wellbeing in a Changing World”, Institutul Național de Cercetare Dezvoltare în Silvicultură „Marin Drăcea”, 18–21 septembrie, București.
3. **Marin, M.**, 2019: Forest management to decrease energy consumption for urban water supply in a mixed groundwater and surface water system. 4th European Climate Change Adaptation Conference - ECCA, 28-31 mai, Lisabona, Portugalia.
4. **Marin, M.**, Clinciu, I., Tudose, N.C., Ungurean, C., Davidescu, Ș.O., Mihalache, A.L., Tudose, O.N., 2020: The impact of forest and climate change on seasonal dynamics of hydrological processes in Upper Tarlung watershed. 9TH International Symposium Forest and Sustainable Development. 16-17 octombrie, Brașov.
5. Tudose, N.C., Ungurean, C., **Marin, M.**, Davidescu, Ș.O., Mihalache, A.L., 2020: Assessing the hydrological impact of land and forest management change under climate projections in the Tarlung river basin (upstream Sacele Reservoir). 9TH International Symposium Forest and Sustainable Development. 16-17 octombrie, Brașov.
6. Mihalache, A.L., **Marin, M.**, Davidescu, Ș., Ungurean, C., Tudose, N.C., Davidescu, A., Tudose, O., Clinciu, I., 2020: Assessment of the physical status of the torrent control structures in Romania. 9TH International Symposium Forest and Sustainable Development. 16-17 octombrie, Brașov.
7. Davidescu, Ș.O., **Marin, M.**, 2020: Water resources vulnerability under climate and land use change. Global Challenges of the 21st Century. 18-22 noiembrie, București.

F. Lucrări prezentate la simpozioane și conferințe naționale

1. **Babăță (actual Marin), M.**, Clinciu, I., Tudose, N.C., Ungurean, C., Davidescu, Ș.O., Adorjani, A., Davidescu, A.A., Mihalache, A.L., Chendeș, V., 2018: Aplicarea modelului SWAT în bazine hidrografice mici. Studiu de caz: bazinele hidrografice Târlungul Mare și Chișag. Conferința Științifică Anuală a Institutului Național de Hidrologie și Gospodărire a Apelor, 20-21 noiembrie, București.
2. Tudose, N.C., Ungurean, C., **Marin, M.**, Clinciu, I., Mihalache, A.L., Davidescu, Ș.O., 2019: Proiecții ale debitelor lichide și solide în bazinul superior al râului Târlung în contextul diverselor scenarii climatice și de gospodărire a terenurilor. Conferința Științifică Anuală a Institutului Național de Hidrologie și Gospodărire a Apelor, 19-20 noiembrie, București.

G. Carte și capitol de carte

1. **Marin, M.**, Cremades, R., Tudose, N.C., Davidescu, Ș.O., Ungurean, C., Mitter, H., Sanchez-Plaza, A., 2020: Climate Services. Capitolul 10 în Handbook on the Water-Energy-Food Nexus, partea a II a – Concepts of the Nexus; the applications. Editura Edward Elgar, 23 p, capitol trimis spre publicare (în curs de recenzare).
2. Davidescu, Ș.O., Tudose, N.C., Adorjani, A., Ungurean, C., Păcurar, V.D., Davidescu, A.A., Crivăț, M., Clinciu, I., Niță, M.D., Gancz, C., Oprea, V., Petrișan, I.C., Mihalache, A.L., **Marin, M.**, 2020: Estimarea torențialității bazinelor hidrografice mici și monitorizarea lucrărilor de amenajare a albiilor torențiale, pe baza indicilor de risc și de stare. Seria II: Lucrări de cercetare. Editura Silvică, 210 p.

H. Livrabile și rapoarte de cercetare

1. Tudose, N., Davidescu, Ș.O., Cheval, S., Chendeș, V., Ungurean, C., **Babăță (actual Marin), M.**, 2018. Integrated model of river basin, land use and urban water supply. Deliverable 3.4. CLISWELN project. Poate fi accesat la adresa: https://www.hzg.de/imperia/md/content/csc/projekte/projekte/clisweln_d3.4_romania_study_case_final-2.pdf.
2. Tudose, N., Ungurean, C., Davidescu, Ș.O., Cheval, S., **Marin, M.**, 2019. Information tailored to the needs of stakeholders in the Romanian case study. Deliverable 4.3. CLISWELN project. [WWW Document]. Poate fi accesat la adresa: <https://www.hzg.de/ms/clisweln/075105/index.php.en>.
3. Tudose, N., Davidescu, Ș.O., Cheval, S., Chendeș, V., Ungurean, C., **Babăță (actual Marin), M.**, 2018b. Engagement and Societal Impact Plan. Deliverable 5.1. CLISWELN project. [WWW Document]. Poate fi accesat la adresa: <https://www.hzg.de/ms/clisweln/075105/index.php.en>
4. Tudose, N., Davidescu, Ș.O., Cheval, S., Chendeș, V., Ungurean, C., **Babăță (actual Marin), M.**, 2020. Academic working paper "Climate services for river basins: providing robust policy recommendations through the WELFN". Deliverable 5.3. CLISWELN project. Poate fi accesat la adresa: <https://www.hzg.de/ms/clisweln/075105/index.php.en>.
5. Raport științific și tehnic (Etapa I) Proiectul "Servicii climatice pentru complexul Apă-EnergieTeren-Hrană", PN-III-CEI-H2020-ERA, aprobat prin contract Nr. 77/2017. Brașov, 2017, 21 p. Poate fi accesat la adresa: http://clisweln.info/wp-content/uploads/2017/12/raport_stiintific_tehnic_etapa_I.pdf.
6. Raport științific și tehnic (Etapa II) Proiectul "Servicii climatice pentru complexul Apă-EnergieTeren-Hrană", PN-III-CEI-H2020-ERA, aprobat prin contract Nr. 77/2017. Brașov, 2018, 56 p. Poate fi accesat la adresa: http://clisweln.info/wp-content/uploads/2018/12/raport_stiintific_tehnic_etapa_II_2018_CLISWELN.pdf.
7. Raport științific și tehnic (Etapa III) Proiectul "Servicii climatice pentru complexul Apă-EnergieTeren-Hrană", Proiectul PN-III-CEI-H2020-ERA, aprobat prin contract Nr. 77/2017. Brașov, 2018, 56 p. Poate fi accesat la adresa: http://clisweln.info/wp-content/uploads/2019/12/raport_stiintific_tehnic_etapa_III_2019.pdf.

5.5. Direcții viitoare de cercetare

Având în vedere importanța modelării hidrologice în cuantificarea impactului hidrologic atât al schimbărilor climatice, cât și al modificării folosințelor terenurilor, evidențiat de literatura de specialitate internațională, considerăm că ar fi oportune următoarele direcții de cercetare:

- ❖ Conceperea și încorporarea în SWAT a unei subrutine care să introducă în procesul de modelare hidrologică principalele date caracterizante ale structurii arboretelor, așa cum acestea se găsesc redate în amenajamentul silvic;
- ❖ Aprofundarea cercetărilor actuale prin dezvoltarea unor noi scenarii posibile de modificare a folosinței terenurilor în cadrul bazinului studiat;
- ❖ Extinderea analizei și asupra altor procese hidrologice care au loc în cuprinsul bazinului hidrografic analizat;
- ❖ Extinderea cercetărilor prin cuantificarea impactului hidrologic și antierozional al schimbărilor climatice și al modificării modului de gospodărire a terenurilor la nivel de subbazin;
- ❖ Alcătuirea matricelor de frecvență ale previziunilor privind valorile lunare și lunar-sezoniere ale celor trei parametri hidrologici și analiza acestor matrice prin prisma metodologiei cristalizate și aplicate în cazul valorilor anuale;
- ❖ Inițierea și dezvoltarea unei cercetări noi, metodologic asemănătoare cu cea de față, dar care să aibă ca date de intrare în model nu precipitațiile zilnice ci precipitațiile maxime corespunzătoare asigurărilor de 1%, 0,1% etc., astfel încât să se poată decela măsura în care schimbările climatice (însoțite sau nu și de modificări ale folosinței terenului) pot amplifica impactul fenomenelor extreme la scara bazinelor hidrografice mici, torențiale, predominant forestiere. Doar în funcție de rezultatele unei cercetări de această natură se va putea oferi un răspuns argumentat la întrebarea pe care noi am enunțat-o la §1.4 și anume: cum ar trebui adaptate soluțiile de amenajare a bazinelor hidrografice torențiale, predominant forestiere, la modificările pe care schimbările climatice le induc proceselor hidrologice și de care depind în ultimă analiză, disponibilitățile privind resursele de apă, respectiv cantitatea și calitatea apei?
- ❖ Dezvoltarea cercetărilor pe tema impactului hidrologic al schimbărilor climatice în bazine hidrografice mici, predominant forestiere, și integrarea acestora în tematica mai largă a serviciilor climatice și a complexului apă–energie–teren–hrană (Cremades et al., 2019).

BIBLIOGRAFIE SELECTIVĂ

1. Adorjani, A., Clinciu, I., Davidescu, Ș.O., Gancz, C., 2015: Lucrări pe rețeaua hidrografică torențială. În: Fundamente și soluții privind proiectarea și monitorizarea lucrărilor de amenajare a bazinelor hidrografice torențiale, predominant forestiere. Etapa a II a, Raport științific final la tema de cercetare finanțată de Regia Națională a Pădurilor. Coordonator științific: Prof. dr. ing. Ioan Clinciu.
2. Ahn, S.R., Park, G.A., Jang, C.H., Kim, S.J., 2013: Assessment of Climate Change Impact on Evapotranspiration and Soil Moisture in a Mixed Forest Catchment Using Spatially Calibrated SWAT Model. J. KOREA WATER RESOURCES ASSOCIATION, vol. 46, no. 6, pp. 569-583, <http://dx.doi.org/10.3741/JKWRA.2013.46.6.569>.
3. Alvarenga, L.A., de Mello, C.R., Colombo, A., Cuartas, L.A., Chou, S.C., 2016: Hydrological responses to climate changes in a headwater watershed. *Ciência e Agrotecnologia*, vol. 40, no. 6, pp. 647-657, <http://dx.doi.org/10.1590/1413-70542016406027716>.
4. Alvarenga, L.A., de Mello, C.R., Colombo, A., Chou, S.C., Cuartas, L.A., Viola, M.R., 2018: Impacts of Climate Change on the Hydrology of a Small Brazilian Headwater Catchment Using the Distributed Hydrology-Soil-Vegetation Model. *American Journal of Climate Change*, vol. 7, pp. 355-366, <https://doi.org/10.4236/ajcc.2018.72021>.
5. Arias, R., Rodríguez-Blanco, M.L., Taboada-Castro, M.M., Nunes, J.P., Keizer, J.J., Taboada-Castro, M.T., 2014: Water Resources Response to Changes in Temperature, Rainfall and CO₂ Concentration: A First Approach in NW Spain. *Water*, vol. 6, pp. 3049-3067; doi:10.3390/w6103049.
6. Arnold, J.G., Srinivasan, R., Muttiah, R.S., Williams, J.R., 1998: Large area hydrologic modeling and assessment. Part I: Model development. *Journal of the American Water Resources Association*, vol. 34, no. 1, pp.73-89.
7. Badea, O., Pătrășcoiu, N., Tănase, M., în *Silvologie*, vol. IV A. Pădurea și modificările de mediu. Editura Academiei Române, sub redacția Victor Giurgiu, 2005, 238p. Capitolul 8: Posibile corelații între starea de sănătate a pădurilor și modificările climatice, pp. 127-137.
8. Bajracharya, A.R., Bajracharya, S.R., Shrestha, A.B., Maharjan, S.B., 2018: Climate change impact assessment on the hydrological regime of the Kaligandaki Basin, Nepal. *Science of the Total Environment*, vol. 625, pp. 837-848, <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2017.12.332>.
9. Barbu, I., Barbu, C., Curcă, M., Ichim, V., 2016: Adaptarea pădurilor României la schimbările climatice. Editura Silvică, 380 p.
10. Beaulieu, E., Lucas, Y., Viville, D., Chabaux, F., Ackerer, P., Goddérés, Y., Pierret, M-C., 2016: Hydrological and vegetation response to climate change in a forested mountainous catchment. *Modeling Earth Systems and Environment*, vol. 2, no. 191, pp. 1-15, DOI 10.1007/s40808-016-0244-1.
11. Beckers J., Smerdon B., Wilson M., 2009: Review of Hydrologic Models for Forest Management and Climate Change Applications in British Columbia and Alberta. *Forrex Forum for Research and Extension in Natural Resources*. Forrex series 25. ISSN 1495-9658; 25.
12. Bîrsan, M.-V., Zaharia, L., Chendes, V., Brănescu, E., 2012: Recent trends in streamflow in Romania (1976-2005). *Romanian Reports in Physics*, vol. 64, nr. 1, pp. 275-280.
13. Bjørnæs, C. 2015: A guide to Representative Concentration Pathways. Disponibil la adresa: <http://www.cicero.oslo.no/en/posts/news/a-guide-to-representative-concentration-pathways>.
14. Blujdea, V., 2005: în *Silvologie*, vol. IV A. Pădurea și modificările de mediu. Editura Academiei Române, sub redacția Victor Giurgiu, 2005, 238p. Capitolul 12: Contribuția sectorului forestier la reducerea emisiilor de gaze cu efect de seră în contextul strategic al abordării schimbărilor climatice, pp. 185-200.
15. Briones, R.U., Ella, V.B., Bantayan, N.C., 2016: Hydrologic Impact Evaluation of Land Use and Land Cover Change in Palico Watershed, Batangas, Philippines Using the SWAT Model. *Journal of Environmental Science and Management*, vol 1, nr 1, pp. 96-107.
16. Busuioc, A., Dumitrescu, A., Soare, E., Orzan, A., 2007: Summer anomalies in 2007 in the context of extremely hot and dry summers in Romania. *Romanian Journal of Meteorology*, vol. 9, nr. 1-2, pp. 1-7.
17. Busuioc, A., Caian, M., Cheval, S., Bojariu, R., Boroneanț, C., Baci, M., Dumitrescu, A., 2010: Variabilitatea și schimbarea climei în România. Editura Pro Universitaria 2010, București, 266 pp.

18. Carcea, F., Seceleanu, I., 2004: Amenajarea și gestionarea durabilă a pădurilor cu funcții hidrologice. *Revista Pădurilor*, nr. 1, anul 119, pp. 12-15.
19. Chambers, B.M., Pradhanang, S.M., Gold, A.J., 2017: Simulating Climate Change Induced Thermal Stress in Coldwater Fish Habitat Using SWAT Model. *Water*, vol.9, nr. 10, pp. 1-24, DOI:10.3390/w9100732.
20. Chendeș V., Cheval S., Dumitru S., 2010: The assessment of some hydrometeorological drought indices in the bend subcarpathians and peripheral zones. *Research Journal of Agricultural Science*. Agroprint Editorial, Timișoara, ISSN: 2066-1843, vol. 42, nr. 3, pp. 60-70.
21. Chong-yu Xu., 2002: Textbook of Hydrologic models (Lärobok i Avrinningsmodeller). Uppsala University Department of Earth Sciences Hydrology, edition 2002. Disponibil la adresa: http://www.soil.tu-bs.de/lehre/Master.Unsicherheiten/2012/Lit/Hydrology_textbook.pdf.
22. Clinciu, I., Niță, M.D., Davidescu, Ș., 2012: Starea amenajării bazinelor hidrografice torențiale și rolul acesteia în reconstrucția ecologică a țării. *Revista Pădurilor*, nr. 6, pp. 42-52.
23. Clinciu, I., Niță, M.D., Davidescu, Ș., Gancz, C., 2014: Să reconsiderăm avantajele și gradul utilizării lucrărilor din lemn sau bazate pe lemn ori alte materiale naturale ori artificiale, la amenajarea rețelei hidrografice torențiale. *Revista Pădurilor*, nr. 1-2, anul 129, pp. 87-95.
24. Clinciu, I., Davidescu, Ș., Niță, M.D., Gancz, C., Ciornei, I., 2015: Promovarea de soluții ecologice în amenajarea bazinelor hidrografice torențiale, problemă majoră a silviculturii românești contemporane. *Revista Pădurilor*, nr. 1-2 anul 130, pp. 41-54.
25. Clinciu, I., Niță, M.D., 2019: Corectarea torenților. Curs universitar. Ediția a III-a revizuită și adăugită. Editura Universității Transilvania, 268p.
26. Constandache, C., Dinca, L., Popovici, L., Braga, C., Blaga, T., 2018: The effect of climatic changes over some Romanian forest ecosystems. 18th International Multidisciplinary Scientific GeoConference: SGEM 2018, vol. 18, nr. 3.2, pp. 941-948, DOI: 10.5593/sgem2018/3.2/S14.121.
27. Corbuș C., Mic R-P, Mătreacă M., Chendeș V., Preda A., 2017: Potential climate change impact on mean flow in Romania. Danube Conference 2017. Electronic book with full papers from XXVII Conference of the Danubian countries on hydrological forecasting and hydrological bases of water management. 26-28 septembrie 2017, Bulgaria.
28. Cremades, R., Mitter, H., Tudose, N.C., Sanchez-Plaza, A., Graves, A., Broekman, A., Bender, S., Giupponi, C., Koundouri, P., Bahri, M., Cheval, S., Cortekar, J., Moreno, Y., Melo, O., Karner, K., Ungurean, C., Davidescu, S.O., Kropf, B., Brouwer, F., Marin, M., 2019: Ten principles to integrate the water-energy-land nexus with climate services for co-producing local and regional integrated assessments. *Science of The Total Environment*, vol. 693, 133662, <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2019.133662>.
29. Davidescu, Ș.O., 2015: Lucrări de refacere a mediului în zona șantierelor de amenajare a bazinelor hidrografice torențiale. În: Fundamente și soluții privind proiectarea și monitorizarea lucrărilor de amenajare a bazinelor hidrografice torențiale, predominant forestiere. Etapa a II a, Raport științific final la tema de cercetare finanțată de Regia Națională a Pădurilor. Coordonator științific: Prof. dr. ing. Ioan Clinciu.
30. Dumitrescu, A., Bîrsan, M.-V., 2015: ROCADA: A gridded daily climatic dataset over Romania (1961–2013) for nine meteorological variables. *Natural Hazards*, vol. 78, pp. 1045–1063, DOI 10.1007/s11069-015-1757-z.
31. Dwarakish G.S., Ganasri B.P., 2015: Impact of land use change on hydrological systems: A review of current modeling approaches. *Cogent Geoscience*, vol. 1. DOI: 10.1080/23312041.2015.1115691.
32. Florescu, I.I., Nicolescu, N.V., 1998: Silvicultură. Vol. II – Silvotehnică. Editura Universității Transilvania din Brașov.
33. Gautam, S., Costello, C., Baffaut, C., Thompson, A., Svoma, B.M., Phung, Q.A., Sadler, E.J., 2018: Assessing Long-Term Hydrological Impact of Climate Change Using an Ensemble Approach and Comparison with Global Gridded Model-A Case Study on Goodwater Creek Experimental Watershed. *Water*, vol. 10, 564, doi:10.3390/w10050564.
34. Gayathri K.D., Ganasri B.P., Dwarakish G.S., 2015: International conference on water resources, coastal and ocean engineering (ICWRCOE). *Aquatic Procedia*, nr 4, pp. 1001-1007.
35. GAESC, 2008: Ghidul privind Adaptarea la Efectele Schimbărilor Climatice din 29.09.2008, publicat de Ministerul Mediului și Dezvoltării Durabile în Monitorul Oficial.

36. Giurgiu, V., 2005: Silvologie, vol. IV A. Pădurea și modificările de mediu. Editura Academiei Române 238p. Capitolul 1: Cu privire la relația dintre pădure și modificările de mediu, pp. 11-42.
37. Golmohammadi G., Prasher S., Madani A., Rudra R., 2014: Evaluating Three Hydrological Distributed Watershed Models: MIKE-SHE, APEX, SWAT. *Hydrology*, vol. 1, pp. 20-39; DOI:10.3390/hydrology1010020.
38. Gudmundsson, L., Bremnes, J.B., Haugen, J.E., Engen Skaugen, T., 2012: Technical Note: Downscaling RCM precipitation to the station scale using quantile mapping – a comparison of methods. *Hydrology and Earth System Sciences*, vol. 16, pp. 3383-3390, <https://doi.org/10.5194/hessd-9-6185-2012>
39. Gupta, S.K., Sharma, G., Jethoo, A.S., Tyagi, J., Gupta, K.N., 2015: A critical review of hydrological models. HYDRO 2015 INTERNATIONAL IIT Roorkee, India, 17-19 December, 2015 20th International Conference on Hydraulics, Water Resources and River Engineering.
40. Houghton, J. T., Jenkins, G. J., Ephraums, J. J. IPCC, 1990: Climate Change. The IPCC Scientific Assessment.
41. Im, S., Lee, S., An, D., 2007: Hydrologic Effects of Climate Changes in a Forest Watershed. Disponibil la adresa: https://www.mssanz.org.au/MODSIM07/papers/10_s61/HydrologicEffects_s61_Sangjun_.pdf.
42. INHGA, 2009: Evaluarea impactului schimbărilor climatice asupra resurselor de apă din România. Disponibil la adresa: <https://www.green-report.ro/1011209-inhga-evaluarea-impactului-schimbarilor-climatice-asupra-resurselor-de-apa-din-ro/>.
43. IPCC, 1992: Climate Change 1992: The supplementary Report to the IPCC Scientific Assessment. Houghton, J.T., Callander, B.A., Varney, S.K, 195p.
44. IPCC, 2000: Emissions Scenarios. A Special Report of Working Group III of the Intergovernmental Panel on Climate Change [Nakicenovic, N., J. Alcamo, G. Davis, B. de Vries, J. Fenhann, S. Gaffin, K. Gregory, A. Grübler, T.Y. Jung, T. Kram, E.L. La Rovere, L. Michaelis, S. Mori, T. Morita, W. Pepper, H. Pitcher, L. Price, K. Raihi, A. Roehrl, H.-H. Rogner, A. Sankovski, M. Schlesinger, P. Shukla, S. Smith, R. Swart, S. van Rooijen, N. Victor, and Z. Dadi (eds.)]. Cambridge University Press, Cambridge, United Kingdom and New York, NY, USA, 599 p.
45. IPCC, 2014: Climate Change 2014: Synthesis Report. Contribution of Working Groups I, II and III to the Fifth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change [Core Writing Team, R.K. Pachauri and L.A. Meyer (eds.)]. IPCC, Geneva, Switzerland, 151 p.
46. Jain, S.K., Sudheer, K.P., 2008: Fitting of Hydrologic Models: A Close Look at the Nash–Sutcliffe Index. *Technical Notes. Journal of Hydrologic Engineering*, vol. 13, pp. 981-986, DOI: 10.1061/(ASCE)1084-0699(2008)13:10(981).
47. Joh, H.K., Lee, J.W., Park, M.J., Shin, H.J., Yi, J.E., Kim, G.S., Srinivasan, R., Kim, S.J., 2011: Technical note: Assessing climate change impact on hydrological components of a small forest watershed through swat calibration of evapotranspiration and soil moisture. *American Society of Agricultural and Biological Engineers*, vol. 54, nr. 5, pp. 1773-1781.
48. Kalogeropoulos, K., Chalkias, C., 2013: Modelling the impacts of climate change on surface runoff in small Mediterranean catchments: empirical evidence from Greece. *Water and Environment Journal*, vol. 27, pp. 505–513, DOI:10.1111/j.1747-6593.2012.00369.x
49. Leahu, I., 2001: Amenajarea pădurilor. Editura Didactică și Pedagogică, 616 p.
50. Lee, S., Yeo, I.-Y., Sadeghi, A.M., McCarty, G.W., Hively, W.D., Lang, M.W., Sharifi, A., 2018: Comparative analyses of hydrological responses of two adjacent watersheds to climate variability and change using the SWAT model. *Hydrology and Earth System Sciences*, vol. 22, pp. 689–708, 2018, <https://doi.org/10.5194/hess-22-689-2018>.
51. Leta, O.T., El-Kadi, A.I., Dulai, H., Ghazal, K.A., 2016: Assessment of climate change impacts on water balance components of Heeia watershed in Hawaii. *Journal of Hydrology: Regional Studies*, vol. 8, pp. 182–197, <http://dx.doi.org/10.1016/j.ejrh.2016.09.006>.
52. Leta, O.T., El-Kadi, A.I., Dulai, H., 2018: Impact of Climate Change on Daily Streamflow and Its Extreme Values in Pacific Island Watersheds. *Sustainability*, vol. 10, nr. 6, pp. 1-22, doi:10.3390/su10062057.
53. Luo, M., Liu, T., Meng, F., Duan, Y., Frankl, A., Bao, A., De Maeyer, P., 2018: Comparing Bias Correction Methods Used in Downscaling Precipitation and Temperature from Regional Climate Models: A Case Study from the Kaidu River Basin in Western China. *Water*, vol. 10, nr. 8, <https://doi.org/10.3390/w10081046>.

54. Marcu, M., 2005: în *Silvologie*, vol. IV A. Pădurea și modificările de mediu. Editura Academiei Române, sub redacția Victor Giurgiu, 2005, 238p. Capitolul 5: De la Ștefan Hepites la schimbările climatice. Atitudini și strategii de precauție în silvicultură, pp. 74–81.
55. Marin, M., Clinciu, I., Tudose, N.C., Davidescu, Șerban O., Constandache, C., 2019: Assessing the performance of the Soil and Water Assessment Tool hydrological model for a small mountain forested watershed in the central part of Romania. În: *GEOLINKS 2019 Conference Proceedings Book 3, Vol. 1*. Saima Consult LTD, pp. 265–273. <https://doi.org/10.32008/geolinks2019/b3/v1/30>.
56. Marin, M., Clinciu, I., Tudose, N.C., Cheval, S., Ungurean, C., Davidescu, S.O., Adorjani, A., Mihalache, A.L., Davidescu, A.A., Tudose, O.N., 2020a: Analiza previziunilor privind regimul termic și pluvial din bazinul hidrografic Tărlungul Superior în contextul schimbărilor climatice. *Revista de Silvicultură și Cinegetică*, nr. 45, pp. 15–21.
57. Marin, M., Clinciu, I., Tudose, N.C., Cheval, S., Ungurean, C., Davidescu, S.O., Adorjani, A., Mihalache, A.L., Davidescu, A.A., Tudose, O.N., 2020b: Simularea impactului schimbărilor climatice și al modificării folosinței terenului asupra proceselor hidrologice din bazinul hidrografic Tărlungul Superior. *Revista Pădurilor*, 135(3), 26 p.
58. Marin, M., Clinciu, I., Tudose, N.C., Ungurean, C., Adorjani, A., Mihalache, A.L., Davidescu, A.A., Davidescu, Șerban O., Dinca, L., Cacovean, H., 2020c: Assessing the vulnerability of water resources in the context of climate changes in a small forested watershed using SWAT: A review. *Environmental Research*, vol. 184, 109330, <https://doi.org/10.1016/j.envres.2020.109330>.
59. Meehl, G.A., T.F. Stocker, W.D. Collins, P. Friedlingstein, A.T. Gaye, J.M. Gregory, A. Kitoh, R. Knutti, J.M. Murphy, A. Noda, S.C.B. Raper, I.G. Watterson, A.J. Weaver and Z.-C. Zhao, 2007: Global Climate Projections. In: *Climate Change 2007: The Physical Science Basis. Contribution of Working Group I to the Fourth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change* [Solomon, S., D. Qin, M. Manning, Z. Chen, M. Marquis, K.B. Averyt, M. Tignor and H.L. Miller (eds.)]. Cambridge University Press, Cambridge, United Kingdom and New York, NY, USA.
60. Michelangeli, P.A., Vrac, M., Loukos, H., 2009: Probabilistic downscaling approaches: Application to wind cumulative distribution functions. *Geophysical Research Letters*, vol. 36, nr. 11, <https://doi.org/10.1029/2009GL038401>.
61. 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. *American Society of Agricultural and Biological Engineers*, vol. 50, nr. 3, pp 885-900.
62. Nash, J.E., Sutcliffe, J.V., 1970: River flow forecasting through conceptual models. Part I – A discussion of principles. *Journal of Hydrology*, vol. 10, pp 282-290.
63. Neitsch S.L., Arnold J.G., Kiniry J.R., Williams J.R., King K.W., 2005: *Soil and Water Assessment Tool (SWAT) Theoretical Documentation*. Grassland Soil and Water Research Laboratory, Blackland Research Center, Texas Agricultural Experiment Station, Texas Water Resources Institute, Texas Water Resources Institute, College Station, Texas. AgriLIFE Research & Extension. College of Agriculture and life Science.
64. Niță, M.D., 2013: *Amenajarea bazinelor hidrografice montane situate în arii naturale protejate*. Editura Lux Libris, Brașov, ISBN 978-973-131-236-1.
65. Păcurar, V.D., 2007: Influența posibilelor modificări climatice asupra proceselor de degradare și ameliorării silvice a terenurilor degradate. În *Lucrările sesiunii științifice Pădurea și dezvoltarea durabilă, Proceedings of the Symposium Forest and Sustainable Development*, Editura Universității Transilvania, Brașov, 2007, pp. 367-370.
66. Păcurar, V.D., 2008a: Consecințe posibile ale schimbărilor climatice asupra pădurilor și importanța stabilirii unor scenarii locale. *Revista Pădurilor* anul 123, nr. 4, pp. 20-23.
67. Păcurar, V.D., 2008c: Modelarea și simularea proceselor hidrologice și erozionale în bazine hidrografice împădurite la începutul secolului XXI. În *Silvologie* vol. VI: *Amenajarea bazinelor hidrografice torențiale. Noi concepții și fundamente științifice*. Sub redacția Giurgiu, V., Clinciu, I. Editura Academiei Române, București, 2008, 334 p.
68. Peraza-Castro, M., Ruiz-Romera, E., Meario, M., Sauvage, S., Sánchez-Pérez, J.M., 2018: Modelling the impact of climate and land cover change on hydrology and water quality in a forest watershed in the Basque Country (Northern Spain). *Ecological Engineering*, vol. 122, pp. 315–326, <https://doi.org/10.1016/j.ecoleng.2018.07.016>.
69. Petrițan, C.I., 2008: *Contribuții la studiul statistic al parametrilor morfometrici și morfohidrologici ai bazinelor hidrografice mici, predominant forestiere*. Rezumatul tezei de doctorat, Universitatea Transilvania Brașov, 60 p.

70. Pişota, I., Buta, I., 1975: Hidrologie. Editura Didactică și Pedagogică, 460p.
71. Rodríguez-Blanco, M.L., Arias, R., Taboada-Castro, M.M., Nunes, J.P., Keizer, J.J., Taboada-Castro, M.T., 2016: Potential Impact of Climate Change on Suspended Sediment Yield in NW Spain: A Case Study on the Corbeira Catchment. *Water*, vol. 8, nr. 444, Doi:10.3390/w8100444.
72. Schewe J., Heiune J., Gerden D., Haddeland I., Arnell N.W., Clark D.B., Dankers R., Eisner S., Fekete B.M., Colón-González F. J., Gosling S.N., Kim H., Liu X., Masaki Y., Portmann F. T., Satoh Y., Stacke T., Tang Q., Wada Y., Wisser D., Albrecht T., Frieler K., Piontek F., Warszawski L., Kabat P., 2014: Multimodel assessment of water scarcity under climate change. *Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America*, vol. 111, nr .9, pp. 3245-3250.
73. Serpa, D., Nunes, J.P., Santos, J., Sampaio, E., Jacinto, R., Veiga, S., Lima, J.C., Moreira, M., Corte-Real, J., Keizer, J.J., Abrantes, N., 2015: Impacts of climate and land use changes on the hydrological and erosion processes of two contrasting Mediterranean catchments. *Science of the Total Environment*, vol. 538, pp. 64–77, <http://dx.doi.org/10.1016/j.scitotenv.2015.08.033>.
74. Senent-Aparicio, J., Pérez-Sánchez, J., Carrillo-García, J., Soto, J., 2017: Using SWAT and Fuzzy TOPSIS to Assess the Impact of Climate Change in the Headwaters of the Segura River Basin (SE Spain) *Water* , vol. 9, nr. 2, doi:10.3390/w9020149.
75. Tegart, WJ. McG., Sheldon, G. W., Griffiths, D. C. IPCC, 1990: Climate Change. The IPCC Impact Assessment, 296 p. Disponibil la adresa: https://www.ipcc.ch/site/assets/uploads/2018/02/ipcc_far_wg_II_full_report.pdf.
76. Thompson, J. R., 2012: Modelling the impacts of climate change on upland catchments in southwest Scotland using MIKE SHE and the UKCP09 probabilistic projections. *Hydrology Research*, vol. 43, nr. 4, pp. 507-530, DOI: 10.2166/nh.2012.105.
77. Tudose N.C., Davidescu Ș., Cheval S., Chendeș V., Ungurean C., Babată M., 2018: Integrated model of river basin, land use and urban water supply. Deliverable 3.4. CLISWELN project. Disponibil la adresa: https://www.hzg.de/imperia/md/content/csc/projekte/projekte/clisweln_d3.4_romania_study_case_final-2.pdf.
78. Tudose, N.C., Ungurean, C., Davidescu, Șerban, Clinciu, I., Marin, M., Nita, M.D., Adorjani, A., Davidescu, A., 2020: Torrential flood risk assessment and environmentally friendly solutions for small catchments located in the Romania Natura 2000 sites Ciucas, Postavaru and Pietra Mare. *Science of the Total Environment*, 698, 134271, <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2019.134271>.
79. Vasile, D., Scărlătescu, V., Stuparu, E., Petrișan, A.M., Turcu, D., Ciuvăț, L., Merce, O., 2015: Definirea conceptului de habitat forestier periclitat, vulnerabil și rar în vederea actualizării Listei roșii a habitatelor forestiere din România. *Revista de Silvicultură și Cinegetică*, anul XX, nr 36.
80. Wayne, G. 2013: The Beginner's Guide to Representative Concentration Pathways. Disponibil la adresa: https://www.skepticalscience.com/docs/RCP_Guide.pdf.
81. Zabaleta, A., Meaurio, M., Ruiz, E., Antigüedad, I., 2014: Simulation Climate Change Impact on Runoff and Sediment Yield in a Small Watershed in the Basque Country, Northern Spain. *Journal of Environmental Quality*, vol. 43 nr. 1, pp. 235-245, DOI:10.2134/jeq2012.0209.
82. ***, 2009: Raportul privind Starea Mediului în România. Disponibil la adresa http://www.anpm.ro/anpm_resources/migrated_content/uploads/16100_3%20SCHIMBARI%20CLIMATICE%202009.pdf. Accesat in martie 2018.
83. ***, 2013. Strategia Națională a României privind Schimbările Climatice. Adoptată prin HG nr. 529/2013 și publicată în Monitorul Oficial în iulie, 2013. Disponibilă la adresa: <http://mmediu.ro/app/webroot/uploads/files/Strategia-Nationala-pe-Schimbari-Climatice-2013-2020.pdf>
84. ***, 2018a: Pagina oficială IPCC: <http://www.ipcc.ch/>, accesată în august 2018.
85. ***, 2018b: Modeling Ground-Water Flow with Modeling Ground-Water Flow with MODFLOW and Related Programs. U.S. Department of the Interior U.S. Geological Survey. Disponibil la adresa: <https://pubs.usgs.gov/fs/FS-121-97/fs-121-97.pdf> . Accesat în decembrie 2018.
86. STATISTICA 13.5.0.17 software.
87. Excel Microsoft Office

ANEXE

Anexa 1. Dinamica scurgerii lunare de suprafață (mm) în intervalul 2020-2039

Anexa 2. Variația lunară sezonieră a scurgerii de suprafață (mm) în intervalul 2020-2039

Anexa 3. Dinamica scurgerii anuale de suprafață (mm) în intervalul 2020-2039

Anexa 4. Dinamica scurgerii lunare de suprafață (mm) în intervalul 2040-2069

Anexa 5. Variația lunară sezonieră a scurgerii de suprafață (mm) în intervalul 2040-2069

Anexa 6. Dinamica scurgerii anuale de suprafață (mm) în intervalul 2040-2069

Anexa 7. Dinamica scurgerii lunare de suprafață (mm) în intervalul 2070-2100

Anexa 8. Variația lunară sezonieră a scurgerii de suprafață (mm) în intervalul 2070-2100

Anexa 9. Dinamica scurgerii anuale de suprafață (mm) în intervalul 2070-2100

Anexa 10. Scurt rezumat al tezei (RO/ENG)

Rezumat

Simulările efectuate cu modelul hidrologic SWAT, în contextul a patru modele locale de schimbări climatice și a trei scenarii de studiu privind folosința terenului, ne-au permis previzionarea evoluției a trei procese hidrologice (scurgerea de suprafață, debitul și transportul de aluviuni) în cuprinsul bazinului hidrografic Tărlungul Superior, la nivel lunar, lunar-sezonier, anual și multianual pentru perioada 2020–2100 divizată în trei perioade. Comparativ cu intervalul de referință (1979–1988), la nivel lunar previziunile privind evoluția scurgerii, debitului și transportului de aluviuni sunt fie de creștere fie de scădere în toate orizonturile de timp. În cadrul sezoanelor, variația medie lunară a parametrilor arată o diferențiere de la un sezon la altul. La nivel anual, tendința previzionată este una alternativă, de creștere sau descreștere, în funcție de modelul climatic utilizat și de orizontul de timp considerat. Media multianuală evidențiază o tendință exclusivă de creștere a scurgerii și a debitului, în toate modelele climatice și scenariile de folosință, în timp ce transportul de aluviuni manifestă un trend alternativ: de creștere în cazul tuturor modelelor climatice, dar numai pentru scenariul S3, și de scădere în scenariile S1 și S2. În sfârșit, frecvența previziunilor anuale ale scurgerii de suprafață și debitului arată un trend prevalent de creștere, evidențiat și prin valoarea factorului de prevalență, în timp ce, transportul de aluviuni manifestă o tendință prevalentă de scădere, indiferent de modelul climatic și scenariul de folosință.

Abstract

The simulations performed with the SWAT hydrological model under four local climate change models and three land-use change scenarios, allowed us to forecast the evolution of three hydrological processes (surface runoff, discharge, and sediment transport) in the Tărlungul Superior watershed, at monthly, monthly-seasonal, annual and multiannual level for the 2020–2100 period divided into three intervals. Compared to the baseline (1979–1988), at the monthly level, the forecasts regarding the evolution of the surface runoff, discharge, and sediment transport are either increasing or decreasing in all time intervals. At the monthly-seasonal level, the average monthly variation of the parameters shows variations from season to season. At the annual level, the forecasted tendency is alternative, increasing or decreasing, depending on the climate model used and the time interval. The multiannual average shows an exclusive increasing trend for surface runoff and discharge in all climate models and land-use change scenarios, while for sediment transport an alternative trend is projected: increments in all climate models coupled with scenario S3 and decreases in S1 and S2 scenarios. Finally, the annual forecasts of surface runoff and discharge frequency reveal a prevalent increasing trend, highlighted also by the prevalence factor value, while for sediment transport a prevalent downward trend is projected, regardless of climate model and use scenario.