



UNIVERSITATEA "ALEXANDRU IOAN CUZA" DIN IAȘI
FACULTATEA DE GEOGRAFIE ȘI GEOLOGIE
ȘCOALA DOCTORALĂ DE GEOȘTIINȚE



*Condiții hidrogeologice și dinamica apelor din
subteran în Câmpia Colinară a Jijiei și a
Bahluiului*

- REZUMATUL TEZEI DE DOCTORAT -

Conducător de doctorat:

PROF. UNIV. DR. RUSU CONSTATIN

Doctorand:

BOICU DANIEL

2022

Domnului / Doamnei

.....

Vă facem cunoscut că în data de **20 septembrie 2022**, ora **11⁰⁰**, în Amfiteatrul **B8**, etaj 3, Corpul B, Facultatea de Geografie și Geologie a Universității „Alexandru Ioan Cuza” din Iași, va avea loc susținerea în ședință publică a tezei de doctorat „ *Condiții hidrogeologice și dinamica apelor din subteran în Câmpia Colinară a Jijiei și a Bahluiului*”, elaborată de drd. **Daniel BOICU**, sub îndrumarea științifică a Prof. univ. dr. **Constantin Rusu** în vederea obținerii titlului științific de doctor în Geografie.

Comisia de doctorat a fost numită prin Decizia Nr. 15195 / 28.07.2022 a Rectorului Universității „Alexandru Ioan Cuza” din Iași și are următoare componență:

Președintele comisiei:

Prof. univ. dr. **Adrian GROZAVU** –Decan al Facultății de Geografie și Geologie, Universitatea „Alexandru Ioan Cuza” din Iași

Conducător științific:

Prof. univ. dr. **Constantin RUSU** – Departamentul de Geografie, Facultatea de Geografie și Geologie, Universitatea „Alexandru Ioan Cuza” din Iași

Referenți:

Prof. univ. dr. **Liliana ZAHARIA** – Universitatea din București

Conf. univ. dr. **Gheorghe ȘERBAN** – Universitatea „Babeș Bolyai” Cluj Napoca

Conf. univ. dr. **Ionuț MINEA** – Universitatea „Alexandru Ioan Cuza” din Iași

Vă transmitem rezumatul tezei de doctorat și vă invităm să participați la ședința de susținere a tezei.

Cuprins

Lista abrevierilor	iv
Listă figuri.....	v
Listă tabele.....	viii
CAPITOLUL I. Aspecte introductive.....	1
I.1 Problematika	1
I.2 Obiectivele cercetării.....	2
I.3 Așezarea geografică și limite.....	3
I.4 Istoricul cercetărilor geologice și hidrogeologice.....	5
I.5 Baze de date și metodologie.....	7
I.5.1 Etape de lucru.....	7
I.5.2 Baze de date.....	8
I.5.3 Metode și mijloace de cercetare.....	11
I.5.3.1 Innovative Trend Analysis Method (ITA).....	12
I.5.3.2 Testul non-parametric Mann Kendall (MK).....	13
I.5.3.3 Testul Spearman's Rho Test (SR).....	15
I.5.3.4 Metode de determinare a capacității de reîncărcare a freaticului.....	16
I.5.3.4.1 Metodologia procesul de ierarhizare analitică.....	16
I.5.3.4.2 Metodologia teoriei catastrofei.....	17
CAPITOLUL II. Analiza cadrului natural.....	19
II.1 Geologia Câmpiei Colinare a Jijiei și a Bahluiului.....	19
II.2 Caracteristici generale ale reliefului.....	26
II.3 Condițiile climatice și rolul acestora în formarea resurselor de apă.....	29
II.3.1 Factorii genetici ai climei.....	29
II.3.2 Caracterizarea principalelor elemente climatice.....	31
II.3.2.1 Temperatura aerului.....	31
II.3.2.2 Precipitațiile atmosferice.....	33
II.3.2.3 Evapotranspirația.....	37
II.3.2.4 Schimbările climatice și impactul asupra apelor subterane.....	39
II.4 Caracteristici hidrologice ale râurilor.....	46
II.4.1 Surse de alimentare.....	46
II.4.2 Scurgerea lichidă.....	47
II.5 Ansamblul edafic.....	50
II.5.1 Factorul litologic (textura solului).....	51
II.5.2 Factorul antropic.....	54
CAPITOLUL III. Regimul și dinamica apelor subterane din Câmpia Colinară a Jijiei și a Bahluiului...59	59
III.1 Aspecte generale.....	59
III.2 Tipuri de hidrostructuri.....	59
III.3 Corpuri de apă.....	63
III.4.1 Regimul acviferului freatic din partea nordică a teritoriului studiat.....	65
III.4.2 Regimul acviferului freatic din partea centrală a teritoriului studiat.....	70
III.5 Dinamica spațială.....	78
III.6 Dinamica temporală.....	84
III.7 Rezervele acvifere subterane.....	95
CAPITOLUL IV. Metode de determinare a capacității de reîncărcare a freaticului.....99	99
IV.1 Analiza stratelor tematice studiate și acordarea notelor de bonitare.....	99
IV.2 Determinarea capacității de reîncărcare pe baza metodologiei AHP.....	105
IV.3 Determinarea capacității de reîncărcare pe baza metodologiei CT.....	108
IV.4 Analiza comparativă între rezultatele AHP și CT.....	111
IV.5 Validarea metodologiilor.....	113
CAPITOLUL V. Variația freaticului în perioada 2020-2022	116
V.1 Analiza regimului nivelului freatic pe clase de adâncime.....	118
V.2 Secetele hidrogeologice prin prisma variației regimului freatic.....	124

CAPITOLUL VI. Vulnerabilitate socială.....	128
VI. 1 Vulnerabilitatea socială indusă de apele subterane.....	128
VI. 2 Validarea vulnerabilității sociale.....	131
VI. 3 Măsuri și recomandări pentru prevenirea și diminuarea vulnerabilității.....	132
VI.3.1 Măsuri pentru informare a populației.....	132
VI.3.2 Măsuri pentru consultarea a populației.....	133
VI.3.3 Programe de măsuri și recomandări.....	133
Concluzii.....	134
Bibliografie.....	137

ASPECTE INTRODUCTIVE

La nivel internațional scăderea nivelului resurselor de apă din subteran se resimte tot mai puternic în ultima sută de ani, mai ales în țările în care presiunea factorului antropic este tot mai pronunțată. Această scădere are ca rezultat reducerea capacității de alimentare cu apă a populației și altor activități social-economice (Treidel et al., 2011; Famiglietti S., 2014). Pe scară largă fiecare regiune se confruntă, în funcție de condițiile climatice, cu unele perioade de deficit hidric. Anumite țări au început să adopte măsuri timide pentru diminuarea acestei probleme (programul pilot din India ce colectează apa care provine din inundații în lacuri de acumulare pentru a se infiltra în pânza freatică), iar alte țări încă nu au adoptat nici o reglementare cu scopul de a proteja/încerca să protejeze resursele de apă subterană (Mostafa, 2016).

Partea de est a României este un astfel de areal care se confruntă cu perioade și areale critice, acest lucru fiind cauzat de faptul că zona de est se caracterizează prin precipitații mai reduse față de media țării, dar și de faptul că peste 50% din populația ce provine din mediul rural are ca principală sursă de alimentare apa din subteran (Minea I., 2020). Amprenta umană asupra resurselor de apă din subteran este intensificată de impactul produs de schimbările climatice tot mai accentuate din regiune, în ultimele decenii (Croitoru Adina, Minea I., 2015). Potrivit rezultatelor obținute în urma misiunilor satelitare (McStraw T., etc al, 2021) care au avut drept scop identificare variației nivelului de apă de pe continente s-a constatat că partea de nord-est a României prezintă o diminuare a resursei de apă cu până la -20 cm respectiv -30 cm.

Temperaturile tot mai ridicate care generează evaporația intensă a apei de la nivelul solului, precum și supraexploatarea resurselor de apă din subteran în cadrul comunităților umane aflate într-o continuă creștere și dezvoltare, din partea de nord-est a României, duc în mod inevitabil, la reducerea rezervelor de apă din subteran și la limitarea regenerării acestora (Boicu D. et al., 2021) suprapuse peste frecvența tot mai ridicată a ploilor cu caracter torențial din sezonul cald al anului (Cheval S., 2022) și a secetelor meteorologice, hidrologice, hidrogeologice și pedologice (Minea I. et. al 2021).

Principalul obiectiv al tezei este analiza condițiilor hidrogeologice și a dinamicii temporale și spațiale a resurselor de apă din subteran din Câmpia Colinară a Jijiei și a Bahluiului. Acest obiectiv s-a încercat a fi atins prin îmbinarea metodologiilor clasice cu cele moderne, a regionalizării unor simulări și predicții asupra condițiilor de regenerare / scădere / evoluție / stare a resurselor de apă din subteran.

În același timp s-a dorit identificarea relațiilor dintre resursele de apă din subteran și componentele naturale de la suprafață și evidențierea influenței factorului antropic asupra acestora. Rezultatele analizei pot oferi o bază pentru identificarea unor soluții practice în cunoașterea, punere în valoare, protecție și utilizare durabilă a resurselor de apă din subteran.

Obiective specifice prevăzute în cadrul tezei de doctorat:

- Analiza condițiilor hidrogeologice specifice Câmpiei Colinare a Jijiei și a Bahluiului;
- Identificarea arealelor cu probleme critice referitoare la capacitatea de reîncărcare;
- Analizarea variației temporale și spațiale a resurselor de apă din subteran;
- Stabilirea unor metodologii de analiză a variațiilor și tendințelor nivelului piezometric (metodologia de analiză inovatoare a tendinței, metodologia trendului parțial, testul Mann-Kendall);
- Evaluarea impactului schimbărilor climatice asupra procesului de regenerare a rezervelor de apă din subteran;
- Simularea dinamicii apelor subterane prin utilizarea unor metode de analiză multicriterială precum procesul de ierarhizare analitică și teoria catastrofei;
- Calibrarea și validarea rezultatelor obținute prin diferite metode matematice de analiză;
- Evaluarea problemelor actuale ale apelor subterane, propunerea unui plan de diminuare a impactului negativ asupra freaticului și favorizarea procesului de reîncărcare;
- Predicții privind resursele subterane în contextul schimbărilor climatice globale;

Așezarea geografică și limite

Zona de studiu este localizată în partea de nord-est a României și se suprapune, în linii mari, peste limitele administrative ale județelor Botoșani și Iași. Din punct de vedere geografic zona este cunoscută sub denumirea de Câmpia Moldovei (Băcăuanu V., 1968) sau Câmpia Colinară a Jijiei și a Bahluiului (Ungureanu A., 1993).

Matricea geomorfologică a arealului relevă faptul că în ceea ce privește această zonă, inclusă în cadrul câmpiilor, ca unitate majoră de relief, cunoscut drept Podișul Moldovei se regăsesc „o serie de inadvertențe în regionare” ce pot avea cauze socio-politice sau pot fi rezultatul unor cunoașteri limitate în momentul studierii, pe fondul lipsei suportului morfometric (Niculiță M., 2020). Câmpia Moldovei este încadrată în această categorie nefiind din punct de vedere geomorfologic și geomorfometric, o câmpie propriu-zisă.

Pornind de la această idee și de la faptul că partea nord-vestică și vestică a Câmpiei Moldovei prezintă areale înalte, cu altitudini ce corespund podișurilor înalte, de peste 400 m, s-a văzut necesară retrasarea limitei vestice. Noua limită a fost obținută analizând diferențe geomorfologice și geomorfometrice dintre cele două unități de relief. Delimitarea obținută exclude zona înaltă aferentă părții vestice iar astfel se obține o suprafață de aproximativ 6500 km² pe care o vom denumi Câmpia

Colinară a Jijiei și a Bahluiului, denumire compusă din cele două toponime ale principalelor râuri ce drenează arealul, Jijia și afluentul său Bahluiul (figura 1).

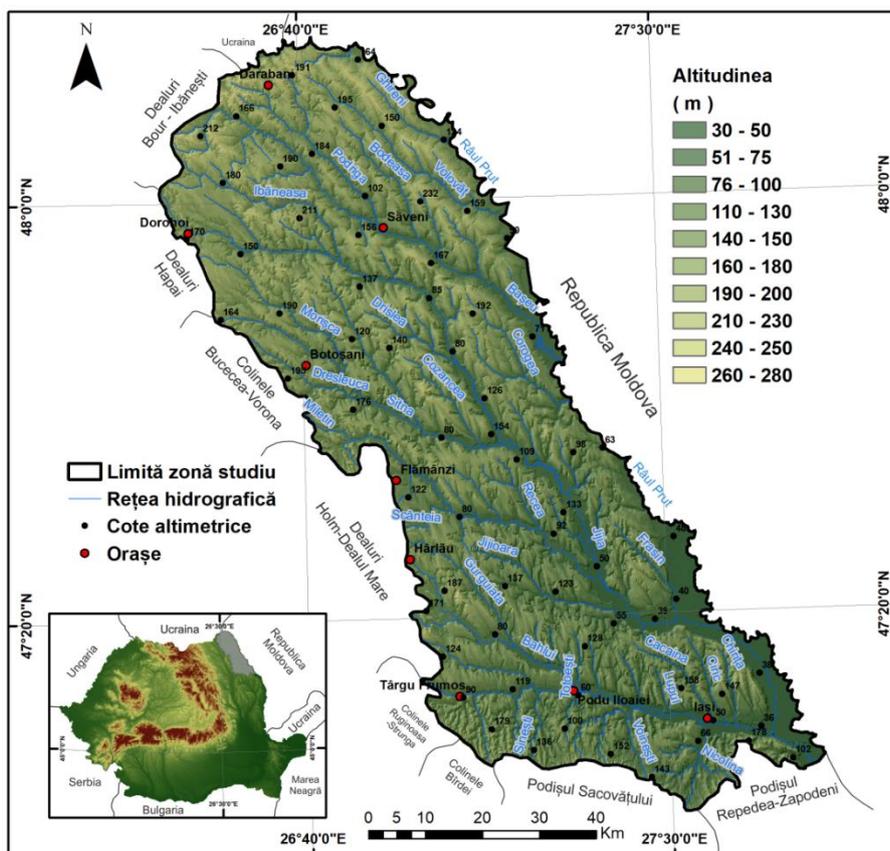


Figura 1. Localizarea în context național a zonei de studiu

CAPITOLUL II. Analiza cadrului natural

II.1 Geologia Câmpiei Colinare a Jijiei și a Bahluiului

Unitatea morfologică cunoscută sub denumirea de Câmpia Colinară a Jijiei și a Bahluiului face parte din unitatea structurală a Platformei Moldovenești, fiind localizată în partea nordică a acesteia. Datele obținute în urma studiului depozitelor ce constituie cuvertura soclului au evidențiat suprapunerea a trei cicluri, cu perioade diferite de sedimentare ce reflectă timpul de acumulare a depozitelor marine: Vendian superior - Devonian, Cretacic Paleocen - Eocen Mediu și Badenian superior - Meoțian (Băcăuanu V., 1980).

Primul ciclu de sedimentare ce corespunde intervalului geologic Vendian superior – Devonian se remarcă din punct de vedere al structurii litologice printr-o constituție a cuverturii formată din depozite argiloase și bituminoase ce se combină cu conglomerate și gresii cuarțoase, în partea inferioară. În partea superioară au fost evidențiate, prin analiza datelor petrografice, depozite calcaroase.

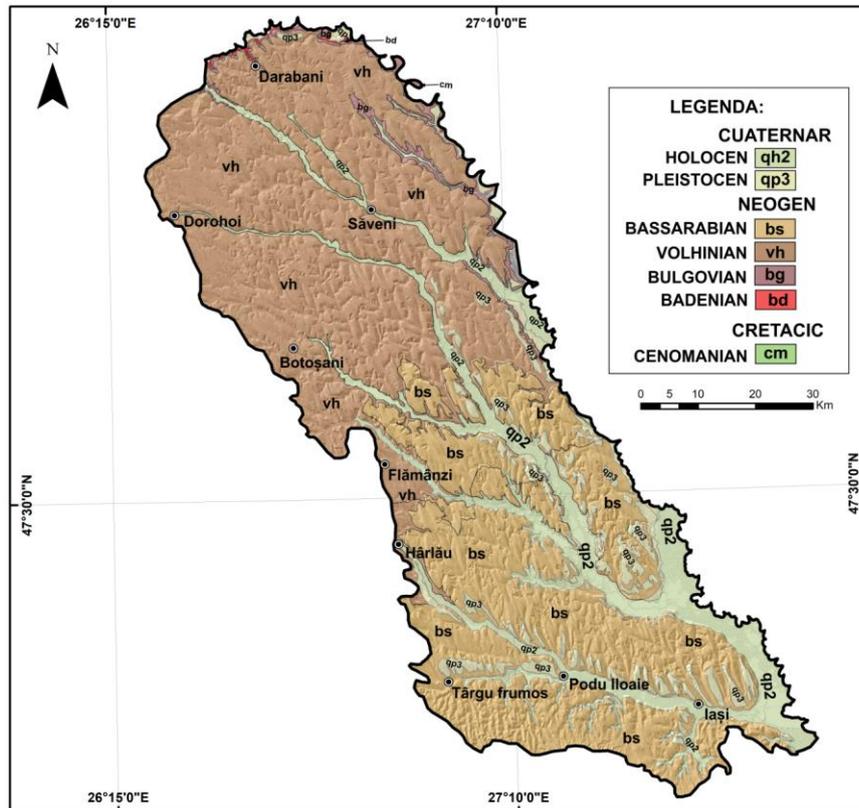


Figura 1. Harta geologică a Câmpiei Colinare a Jijiei și a Bahluiului (prelucrată după Hărțile Geologice, publicate de Institutul Geologic al R.S.R., La scara 1:200000)

În al doilea ciclu de sedimentare se produce o nouă transgresiune marină ce cuprinde întregul teritoriul al platformei. Principalele tipuri de depozite reprezentative pentru noul ciclu de sedimentare sunt cele „cenomaniene și senoniene” în care, compoziția litologică este reprezentată de gresii, calcare cu intercalații de marne (Minea I., 2012). Instalarea procesului de denudație ce s-a extins până în perioada Badenianului superior a generat formarea „paleoreliefului cunoscut sub denumirea de suprafața Dorohoi” (Juravle D., 2009).

Al treilea ciclu de sedimentare a favorizat apariția unei noi pătri de sedimente ce corespund reliefului actual. În urma regresiei marine află depozitele volhiniene în partea nordică și depozite basarabiene, chersoniene și meoțiene spre partea sudică. Drept urmare, pe un profil transversal pe direcția N-S vom observa o distribuție a depozitelor ce sunt datate diferit, depozite vechi în partea nordică respectiv tot mai recente, noi, cu cât avansăm spre sud (figura 2).

II.2 Caracteristici generale ale reliefului

Prin poziția sa, Câmpia Colinară a Jijiei și a Bahluiului se suprapune peste partea nordică a Podișului Moldovei având o suprafață de aproximativ 6500 km². Aspectual actual al reliefului, de câmpie colinară, s-a conturat în primă fază prin preluarea caracteristicilor structurii geologice specifice zonei

Podișului Moldovei, iar în cea de-a doua fază din prisma influențelor impuse de condițiile de modelare ale factorilor fizico-geografici.

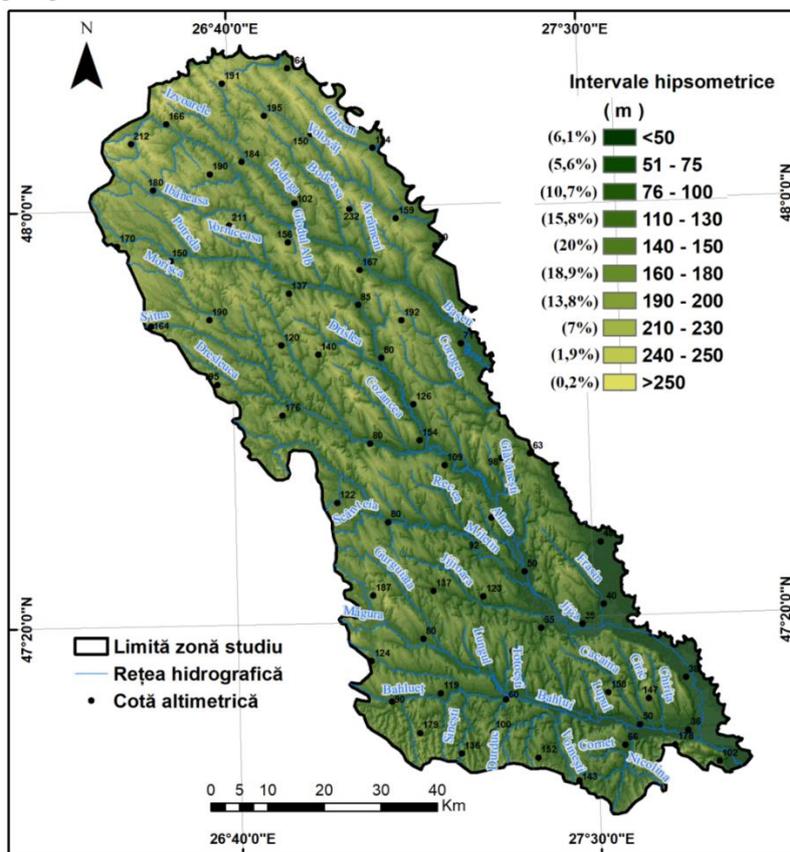


Figura 2. Harta hipsometrică a Câmpiei Colinare a Jijiei și a Bahluiului (EU DEM 2018)

Unitățile de relief sunt bine individualizate, dispunerea altitudinală având aspect de monoclin dinspre nord-vest spre sud-est. Relieful Câmpiei Colinare este o consecință a înălțărilor epirogenetice și a modelării impuse de factorii interni și externi. Rezultatul este un areal compus din platouri, culmi interfluvii și dealuri. Altitudinile maxime sunt localizate în partea de nord-vest și corespund ariilor interfluviale din partea de nord, unde valorile depășesc cu puțin pragul de 250 m. Valorile cele mai coborâte se regăsesc în partea sud-estică, în albiile minore ale râurilor ce drenează zona (Jijia și Bahlui), fiind de 30 m, ecartul altitudinal având valoarea de aproximativ 220 m (figura 11).

II.3 Condițiile climatice și rolul acestora în formarea resurselor de apă

II.3.1 Factorii genetici ai climei

Câmpia Colinară a Jijiei și Bahluiului, pe fondul poziționării geografice, este determinată de variația temporală a elementelor climatice. Evoluția elementelor climatice în timp precum și dinamica principalilor centri barici ce acționează în teritoriu generează un rol important în ceea ce privește formarea și evoluția resurselor de apă din subteran.

Interacțiunea dintre factorii climatici condiționează dezvoltarea sau diminuarea fenomenelor dintr-un areal. În Câmpia Colinară a Jijiei și a Bahluiului caracteristicile aferente climei sunt date de

factorii radiativi (radiația globală, radiația reflectată, radiația absorbită, radiația efectivă), *factorii dinamici*, respectiv *factorii fizico-geografici*.

II.3.2 Caracterizarea principalelor elemente climatice

Analiza principalelor elemente climatice din Câmpia Colinară a Jijiei și a Bahluiului a fost posibilă utilizând datele de la 4 stații meteorologice, pentru perioada 1983-2020, monitorizate de Administrației Bazinale de Apă Prut-Bârlad. Două stații meteorologice (Darabani, Botoșani) au fost reprezentative pentru partea nordică a Câmpiei, parte ce se suprapune peste limita administrativă a județului Botoșani iar două stații meteorologice (Cotnari, Iași) au fost reprezentative pentru partea sudică a Câmpiei, parte ce se suprapune peste limita administrativă a județului Iași.

II.3.2.1 Temperatura aerului

Temperatura aerului prezintă variații spațio-temporale ce sunt influențate de latitudine, altitudine, circulația maselor de aer și de condiții fizico-geografice. Variațiile teritoriale, anuale, sezoniere, lunare și diurne ale temperaturii influențează sensibil, în sens negativ sau pozitiv, resursele de apă subterană.

Tabel 1. Variația temperaturii medii lunare (°C)

Stația	I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	IX	X	XI	XII	Media	Sparkline
Botosani	-2.0	-0.8	4.0	10.4	16.1	19.4	21.4	20.4	15.5	9.7	4.0	-0.6	9.8	
Cotnari	-1.8	-0.7	3.9	10.3	16.1	19.3	21.4	20.8	15.9	10.0	4.1	-0.4	9.9	
Darabani	-2.9	-1.6	3.2	9.9	15.7	18.8	20.7	20.0	15.1	9.2	3.2	-1.5	9.2	
Iasi	-2.1	-0.7	4.4	11.0	16.8	20.2	22.2	21.4	16.3	10.3	4.5	-0.6	10.3	
Câmpie	-2.2	-1.0	3.9	10.4	16.2	19.4	21.4	20.7	15.7	9.8	4.0	-0.8	9.8	

În Câmpia Colinară a Jijiei și a Bahluiului temperaturile medii multianuale nu au o variație deosebită datorită faptului că arealul nu are o desfășurare însemnată din punct de vedere latitudinal sau altitudinal. Variația temporală a temperaturii aerului a fost analizată din prisma regimului anual, urmărindu-se valorile maxime și minime precum și perioada de apariție.

II.3.2.2 Precipitațiile atmosferice

Pentru analiza distribuției spațio-temporale a precipitațiilor atmosferice s-a utilizat un set de date ce înglobează măsurători omogene pentru o perioadă de 38 de ani (1983-2020). Dată fiind influența impusă de circulația maselor de aer precum și zonarea verticală a reliefului asupra precipitațiilor precum și altor parametri climatici se evidențiază o distribuție neuniformă din punct de vedere cantitativ.

Tabel 2. Repartiția anotimpuală a precipitațiilor

Stația	Iarna (%)	Primavara (%)	Vara (%)	Toamna (%)	Sparkline
Botosani	12.3	26.0	40.5	21.2	
Cotnari	13.4	25.5	39.6	21.5	
Darabani	13.3	25.0	41.0	20.8	
Iasi	15.1	24.9	38.0	22.1	

Din punct de vedere al distribuției anotimpuale a cantității de precipitații s-a observat că în timpul anotimpului de vară se înregistrează cea mai mare parte a precipitațiilor, iar în perioada anotimpului de iarnă cele mai reduse. Valori înregistrate pentru anotimpul de vară sunt cuprinse între 40.5 % la stația meteorologică Botoșani, 39.6 % la stația Cotnari, 41 % la stația Darabani și 38 % la stația Iași. Pentru anotimpul de iarnă valorile înregistrate sunt cuprinse între 12.3 % la stația meteorologică Botoșani, 13.4 % la stația Cotnari, 13.3 % la stația Darabani și 15.1 % la stația Iași (tabel 4).

II.3.2.3 Evapotranspirația

Conform datelor analizate se poate desprinde ideea că în cadrul Câmpiei Colinare a Jijiei și a Bahluiului perioada cuprinsă între lunile ce se suprapun peste perioada rece a anului (noiembrie - februarie), valorile parametrului sunt reduse și implicit neglijabile, fapt ce nu are efecte majore negative asupra surselor de apă subterană, cu precădere asupra celor freatice, precipitațiile atmosferice situate peste valorile evapotranspirației fiind principala sursă de saturare a zonei de aerație și creștere a nivelului freatic (tabel 5).

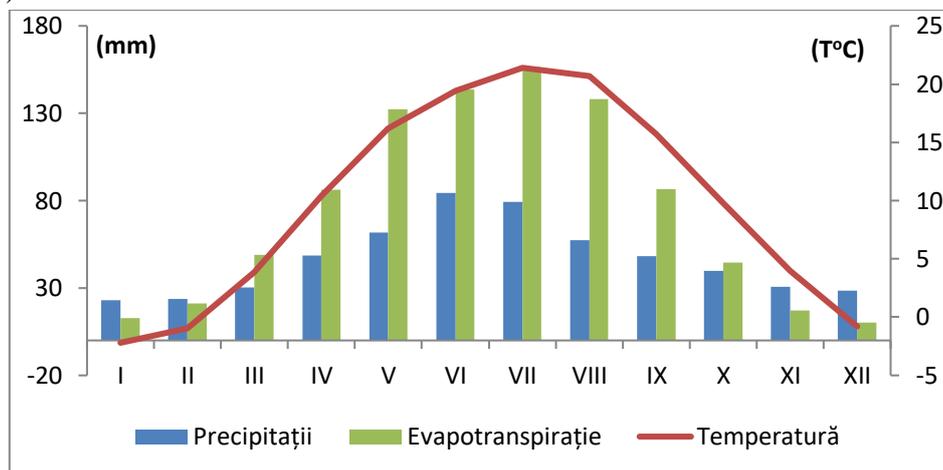


Figura 3. Variația parametrilor climatici medie lunară (1983-2020)

Pentru perioada caldă a anului, odată cu creșterea temperaturii aerului se intensifică și procesul de evapotranspirație atingând valorile maxime, intervalul mai-august, și depășind cantitatea de precipitații atmosferice căzute, primăvara și toamna, determinând astfel apariția repercursiunilor asupra alimentării subterane.

II.3.2.4 Schimbările climatice și impactul asupra apelor subterane

Identificarea impactului generat de schimbările climatice asupra resurselor de apă din subteran din Câmpia Colinară a Jijiei și a Bahluiului a fost evidențiat utilizând două metode de analiză, una pentru a surprinde tendințele iar cealaltă pentru a vedea magnitudinea pantei. Cele două metode au fost utilizate pentru a identifica în primă fază, din punct de vedere grafic și matematic, modificările produse de schimbările climatice asupra parametrilor climatici, iar mai apoi pentru a surprinde impactul adus de posibilele modificări asupra variației cantitative a resurselor de apă din subteran.

Tabel 3. Tendințele parametrilor climatici utilizând metodele Mann-Kendall și ITA (1983-2020)

Parametru	Stația	Mann-Kendall					Sparkline	ITA					Sparkline
		Annual	III-V	VI-VIII	IX-XI	XII-II		Annual	III-V	VI-VIII	IX-XI	XII-II	
Precipitații	Darabani	-0.9	-1.4	-1.3	0.9	0.1		-0.8	-0.6	0.3	0.0	0.0	
	Botosani	0.8	0.2	-0.4	1.2	0.5		1.7	0.1	0.1	0.1	0.1	
	Cotnari	1.2	0.3	0.1	1.3	1.5		1.4	0.0	0.1	0.1	0.3	
	Iasi	-1.0	0.3	-2.6	1.3	0.5		-3.0	-0.2	-1.0	0.1	0.1	
Temperatura	Darabani	4.1	3.0	4.6	3.5	1.2		0.1	0.1	0.1	0.1	0.0	
	Botosani	3.6	2.9	4.4	3.1	1.0		0.1	0.1	0.1	0.1	0.0	
	Cotnari	3.7	2.9	4.6	2.8	0.9		0.1	0.1	0.1	0.1	0.0	
	Iasi	3.9	2.9	4.6	3.7	1.2		0.1	0.1	0.1	0.1	0.0	
Evapotranspirație	Darabani	3.9	3.0	4.2	1.9	-1.2		0.6	0.9	1.3	0.2	-0.1	
	Botosani	3.9	2.8	4.3	1.8	-0.9		0.6	0.9	1.2	0.2	-0.1	
	Cotnari	4.1	2.7	4.4	2.0	-0.6		0.6	0.9	1.4	0.2	-0.1	
	Iasi	4.4	2.5	4.9	1.7	-0.3		0.7	0.8	1.7	0.2	0.0	

În ansamblu, în Câmpia Colinară a Jijiei și a Bahluiului, variația principalilor parametri climatici ce au impact major asupra resurselor de apă din subteran nu este una încurajatoare pentru resursa de apă. Tendința ușor pozitivă a precipitațiilor atmosferice este nesemnificativă în contextul intensificării evapotranspirației și a temperaturilor, aspect ce este pus cel mai bine în evidență în perioada anotimpului de vară când o mare parte a teritoriului se confruntă cu secete pedologice, hidrologice și hidrogeologice.

II.4 Caracteristici hidrologice ale râurilor

II.4.1 Surse de alimentare

La nivelul Câmpiei Colinare a Jijiei și a Bahluiului cercetările asupra procentului ce exprimă volumul anual de apă din apele de suprafață sunt unele punctuale, nefiind realizat un studiu concret până la nivelul anului 2005. Cu toate acestea, o serie de studii au fost realizate pornind de la metodologia expusă în sinteza hidrologică Râurile României (1971). Metodologia presupune delimitarea celor două surse de alimentare pornind de la secționarea hidrografului anual mediu. În această lucrare se sugerează că aportul apelor din subteran în zona studiată este cuprinsă între 15 și 35%. O metodă, bazată pe calcule volumetrice, este elaborată de Hârjoabă I. în 1997 iar mai apoi îmbunătățită în 1998 de către același autor în colaborare cu Amăriucăi. Rezultatele metodei, aplicate pentru râul Bahlueț, la stația hidrometrică Târgu Frumos, supraestimează aportul adus asupra alimentării de către sursele subterane, valoarea alimentării subterane fiind de aproximativ 60%. Minea I., în 2012, pe baza debitelor zilnice ale scurgerii înregistrate la stațiile hidrometrice și a secționării hidrografului mediu lunar, relevă că pentru bazinul Bahlui aportul subteran asupra scurgerii generale este cuprins între 35 și 50%.

II.4.2 Scurgerea lichidă

Importanța cunoașterii distribuției spațio-temporale a scurgerii lichide se reflectă în faptul că evidențiază momentele în care este transportată cantitatea de apă de către râuri (figura 20). Fiind condiționată de factorii fizico-geografici anterior menționați, dar și din prisma faptului că legătura dintre apele de suprafață și apele subterane prezintă influență directă asupra apelor subterane, cunoașterea acestora oferă o imagine de ansamblu asupra condițiilor din subteran.

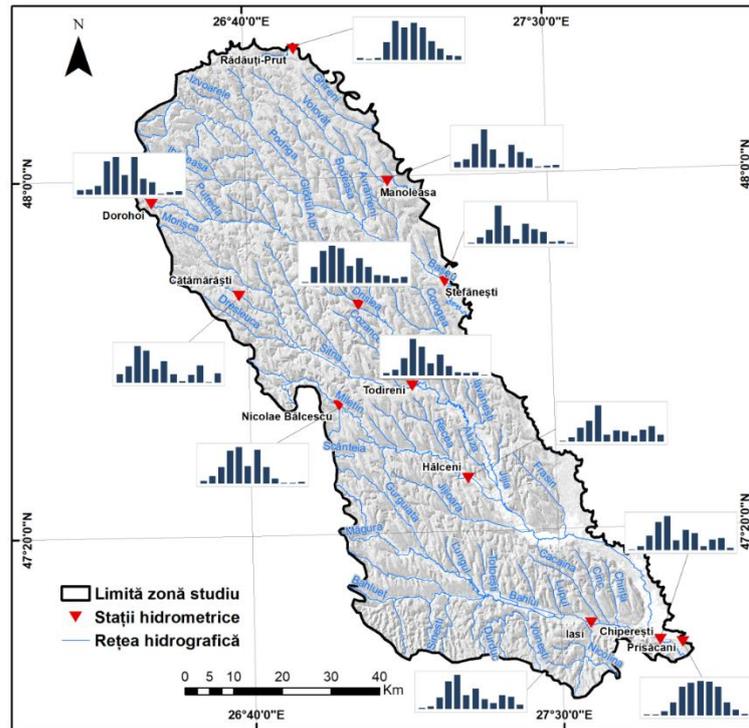


Figura 4. Localizarea posturilor hidrometrice cu hidrografele cu debitelor lunare medii multianuale (1983-2020)

Variația anotimpuală și imprimarea caracteristicilor fiecărui anotimp asupra condițiilor de scurgere a apelor de suprafață se reflectă cu o perioadă de decalare, datorită condițiilor litologice induse asupra oscilației anotimpuale a scurgerii subterane.

II.5 Ansamblul edafic

Câmpia Colinară a Jijiei și a Bahluiului este o subunitate constituită prin caracteristici fizico-geografice de sine stătătoare ce au dezvoltat un înveliș pedologic ce prezintă urmele acțiunilor interconectate dintre factorii pedogenetici naturali și antropici. Arealul este separat în două părți ce au la bază diferențierea pe baza peisajului. Partea nordică este cunoscută sub denumirea de Câmpia Jijiei superioare respectiv partea sudică a arealului, cunoscută sub denumirea de Câmpia Jijiei inferioare și a Bahluiului.

II.5.1 Factorul litologic (textura solului)

Privit la nivel unitar, din punct de vedere litologic cele două compartimente ale câmpiei sunt constituite dintr-un facies predominant argilos cu intercalații fine de nisipuri. Partea nordică este dominată de texturi fine, pe fondul depozitelor argiloase, iar partea sudică este caracterizată de texturi mijlocii ce înlocuiesc depozitele fine (figura 21). La nivelul versanților apar depozitele cu textură variată

(depozite deluviale), combinate cu o cuvertură subțire de depozite lutoase (de natură eluvială) ce au caracter discontinuu. (Rusu C. et al, 1990).

Condițiile pedogenetice contribuie la distribuția tipurilor de sol în funcție de altitudine, de factorii climatici și vegetație. În Câmpia Colinară a Jijiei și a Bahluiului apare un mozaic al claselor și tipurilor de sol. Se remarcă solurile din clasa cernisolurilor ce ocupă o suprafață importantă din suprafața arealului, urmate de luvisoluri, protisoluri și antrisoluri.

II.5.2 Factorul antropic

Dezvoltarea accentuată a societății umane din ultimele secole generează o creștere evidentă a activităților antropice, activități care joacă un rol important în evoluția resurselor de apă din subteran, atât la nivel global cât și local. Privit la nivel local, impactul antropic este bine evidențiat prin evoluția modului de utilizare al terenului, construirea lacurilor de acumulare, îndiguirilor, dezvoltarea sistemelor de alimentare cu apă a populației, lucrările specifice sistemelor de canalizare etc.

Evoluția dinamică a utilizării terenurilor a fost surprinsă utilizând datele Corine Land Cover pentru anul 1990 (figura 23) respectiv anul 2012 (figura 24).

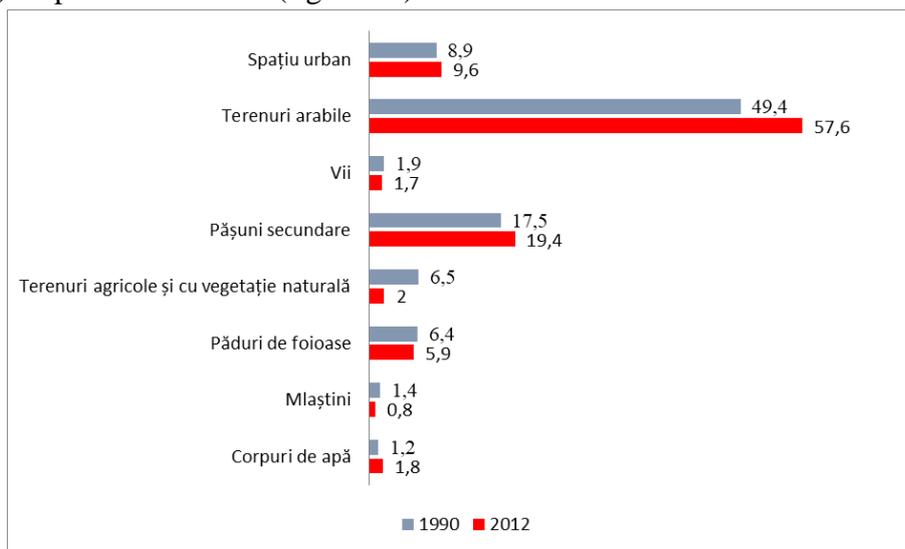


Figura 5. Procentul claselor de utilizare a terenului pentru anii 1990 respectiv 2012

Se observă o creștere a procentului aferent terenurilor arabile cu aproximativ 8 % din suprafața câmpiei. În 1990 valoarea procentuală a terenurilor arabile era de 49,4 % iar în anul 2012 de 57,6 % (figura 25). Se poate observa o diminuare a suprafețelor ocupate de mlaștini și zone umede cu 0,6 % și o scădere semnificativă a terenurilor agricole în amestec cu vegetație naturală. Cel mai probabil această scădere de aproximativ 5 % a acestei clase se regăsește în creșterea ce revine clasei terenurilor arabile. Creșterea suprafețelor aferente spațiului construit induce în mod direct modificări asupra rezervei de apă din subteran. Nu suprafața acoperită ci cantitatea de apă necesară procesului de construire este principalul factor ce duce la diminuarea nivelului piezometric.

CAPITOLUL III. Regimul și dinamica apelor subterane din Câmpia Colinară a Jijiei și a Bahluiului

În cadrul arealului cunoașterea și analiza resurselor de apă, din punct de vedere cantitativ, s-a realizat utilizând rețeaua de foraje hidrogeologice monitorizate de A.B.A. Prut-Bârlad, dublată de observații personale ce au vizat monitorizarea unei distribuții de fântâni părăsite/abandonate surprinzând modificările regimului hidrogeologic al structurilor acvifere subterane.

III.2 Tipuri de hidrostructuri

Pornind de la cunoașterea factorilor ce influențează regimul natural al apelor subterane și a direcției procesului de analiză s-au conturat și delimitat mai multe tipuri de hidrostructuri. În literatura de specialitate apar clasificări precum cea realizată de Pascu în 1983, clasificare realizată pornind de la poziția nivelului de bază. Astfel se diferențiază hidrostructurile situate „deasupra nivelului de bază” în care au importanță deosebită condițiile geomorfologice, energia de relief, gradul de fragmentare al reliefului și regimul precipitațiilor, de hidrostructurile situate „sub nivelul de bază”, în care importante sunt precipitațiile, apa râurilor și alimentarea din capete de strat și/sau din hidrostructuri superioare.

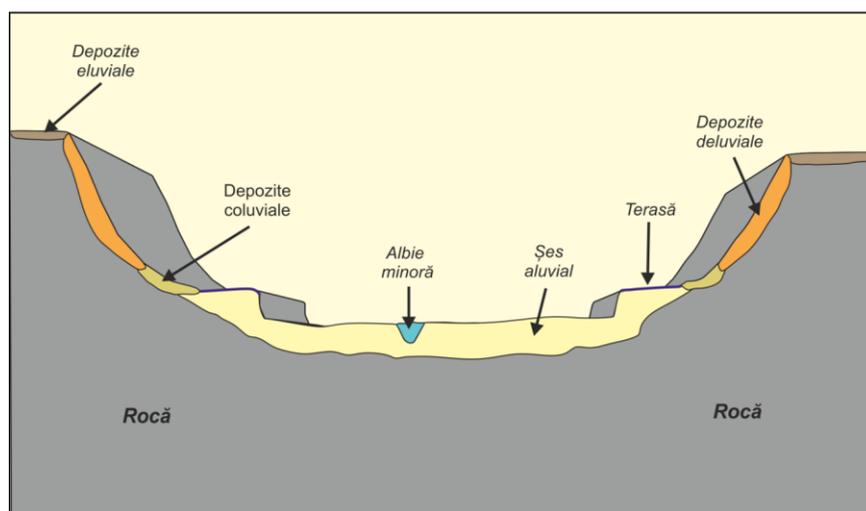


Figura 6. Tipuri de hidrostructuri în cadrul unui profil transversal al unui sistem hidrogeologic complex

Puterea de înmagazinarea a rocilor și capacitatea de restituire a straturilor acviferelor împarte Câmpia Colinară în unități hidrostructurale cu proprietăți diferite:

- Ape freatice din depozitele aluvionare ale luncilor (șesurilor aluviale) principalelor râuri ;
- Ape freatice specifice depozitelor de terasă;
- Ape freatice localizate la baza depozitelor interfluviale;
-

III.3 Corpuri de apă

Cele 3 corpuri de apă identificate au caracteristici geologice ce le încadrează în tipul poros în care apele subterane sunt caracterizate printr-un nivel piezometric liber ce este supus frecvent supraexploatării din punct de vedere cantitativ.

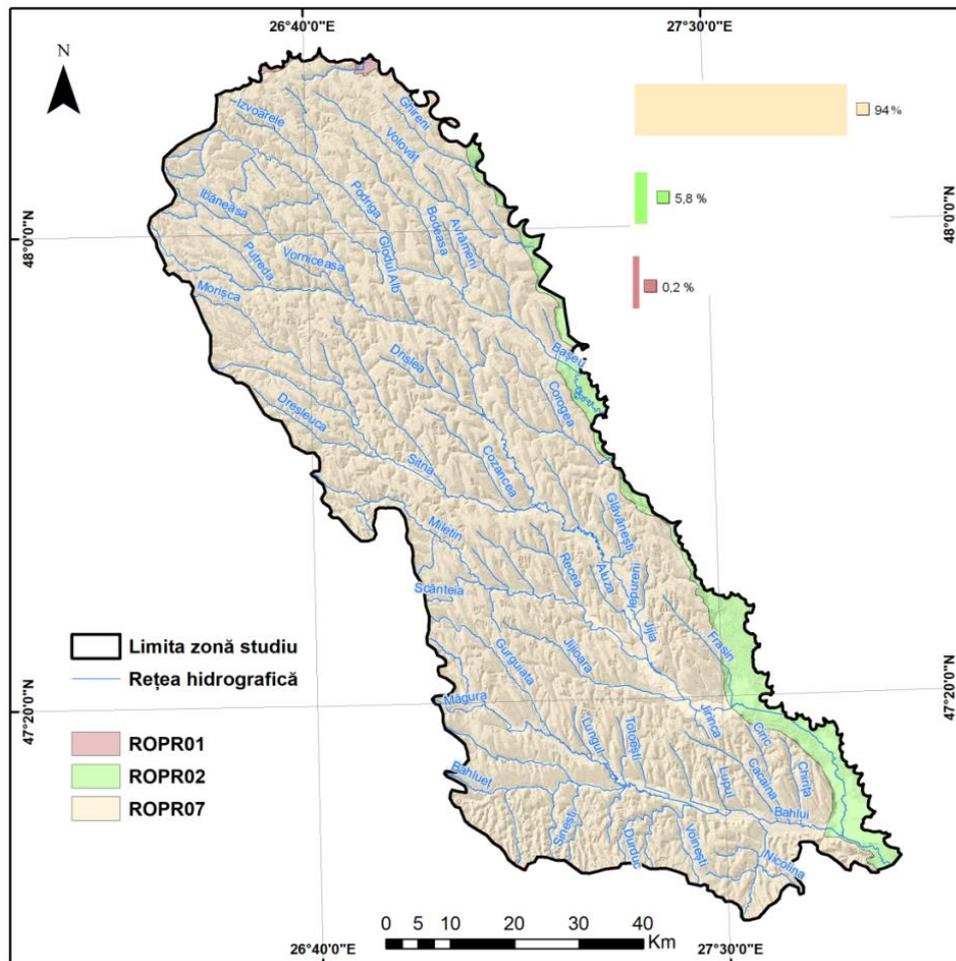


Figura 7. Corpurile de apă din Câmpia Colinară a Jijiei și a Bahluiului (după A.B.A Prut-Bârlad)

Figura 28 redă distribuția spațială și delimitarea corpurilor de apă. Teritoriul se suprapune în proporție de 94% peste corpul de apă ROPR07, corp de apă aferent Câmpiei Colinare a Jijiei și a Bahluiului, în care nivelul piezometric variază între 2 și 7 m adâncime. Proporțiile aferente corpurilor de apă transfrontaliere prezintă valori reduse, ROPR01 fiind cel mai redus din punct de vedere al suprapunerii peste teritoriul studiat, cu valoare de 0,2 %, iar ROPR02 acoperă 5,8 %.

III.4 Regimul hidrostructurilor acvifere freactice

III.4.1 Regimul acviferului freatic din partea nordică a teritoriului studiat

Apele freactice sunt întâlnite în șesurile aluviale ale râurilor Jijia, Bașeu, Volovăț și Prut. Freaticul a fost analizat în cadrul forajelor de la Dângenii, Dorohoi și Darabani.

Evoluția multianuală a nivelului freatic variază în limite relativ mari în cadrul forajelor Dângeni și Dorohoi, între 80 cm și 320 cm respectiv 70 cm și 270 cm. Limitele de variație ale nivelului devin foarte mari dacă ne raportăm la forajul Darabani, variație între 20 cm și 520 cm, foraj localizat în zonă deluvială. Variațiile identificate sunt cauzate de influența directă indusă de factorii fizico-geografici, cea mai pregnantă fiind a precipitațiilor și a nivelului apelor din rețeaua hidrografică care drenează arealul. Conform figurilor 29, 30 și 31 se pot distinge perioade în care nivelul este situat sub cel multianual (1984-1986, 1996-2001, 2005-2008 în cadrul forajului Dângeni; 1997-2004, 2005-2008 în cadrul forajului Dorohoi; 1997-1999, 2001-2003, 2005-2007, 2008-2011 în cadrul forajului Darabani) precum și perioade situate peste nivelul multianual (perioada 1992-1996 în cadrul forajelor Dângeni și Dorohoi; 1993-1997, precum și perioada de după anul 2016 cu excepția anului 2019, în cadrul forajului Dorohoi).

III.4.2 Regimul acviferului freatic din partea centrală a teritoriului studiat

Apele freatice sunt întâlnite în albia majoră a râurilor Jijia, Miletin, Sitna, în cursul superior al râului Bahlui și Prut. Freaticul a fost analizat în cadrul forajelor de la Măscăteni, Todireni și Glăvănești.

Analiza multianuală a nivelului piezometric variază în limite largi în cadrul forajelor, deși sunt localizate în zona aluvială a râului Jijia. La forajul Măscăteni variațiile sunt între 250 cm și 950 cm, Todireni 170 cm și 550 cm și Glăvănești între 270 cm și 560 cm. Variațiile identificate sunt cauzate de influența directă indusă de factorii fizico-geografici, cea mai pregnantă fiind a precipitațiilor și a variației nivelului apelor din rețeaua hidrografică ce drenează arealul, asemeni părții de nord a teritoriului. Conform figurilor 35, 36 și 37 se pot distinge și în cadru acestor foraje perioade în care nivelul este situat peste cel multianual, respectiv sub nivelul multianual. Forajele Măscăteni și Glăvănești urmează același tipar având perioadele cu nivel peste cel multianual cuprinse între 1984-1987, 1996-2003, 2005-2007, iar perioada în care nivelul este sub cel multianual este evidentă după anul 2012. Forajul Todireni are o evoluție atipică dat fiind faptul că până în anul 2012-2013 nivelul cel mai scăzut a fost de 3,5 m iar după acest an nivelul este într-o continuă scădere.

III.4.3 Regimul acviferului freatic din partea sudică a Câmpiei

Apele freatice sunt cantonate prioritar în albia majoră a râului Jijia, a râului Bahlui și Prut (Minea I., 2012). Freaticul a fost analizat în cadrul forajelor de la Podu Iloaiei, Banu și Cristești.

Analiza multianuală a nivelului freatic variază în limite largi în cadrul forajelor Banu și Cristești, între 200 cm și 470 cm respectiv 100 cm și 600 cm. Limitele de variație ale nivelului devin foarte mari dacă ne raportăm la forajul Podu Iloaiei, variație între 280 cm și 780 cm, foraj localizat în zonă interfluvială, fiind caracterizat de o tendință accentuată de scădere a nivelului. Variațiile identificate sunt cauzate de o influență directă indusă de factorii fizico-geografici, cea mai pregnantă fiind a

precipitațiilor și a variației nivelului apelor din rețeaua hidrografică ce drenează arealul, dacă ne raportăm la forajele Banu și Cristești. Variația identificată în cadrul forajului Podu Iloaiei F5 este pusă pe seama impactului antropic și a exploatării de către agenți economici din zonă, dublată de un debit specific redus.. Conform figurilor 41, 42, 43 se pot distinge perioade în care nivelul este situat sub cel multianual (1984-1987, 1996-2000, 2005-2008), atât în cadrul forajului Banu, cât și în cadrul forajului Cristești. Perioadele situate peste nivelul multianual apar în cadrul forajului Banu în perioada 1990-1996, respectiv 2000-2002, iar în cadrul forajului Cristești după anul 2011. Variația nivelului forajului Podu Iloaiei prezintă o serie de ciclicități însă acestea sunt greu de identificat pe fondul supraexploatării și tendinței de scădere nivelului piezometric.

III.5 Dinamica spațială

Imposibilitatea realizării unei analize asupra dinamicii spațiale pentru întreg arealul studiat a impus alegerea unor posturi hidrogeologice reprezentative pentru fiecare dintre cele trei hidrostructuri analizate. Au fost alese 3 studii de caz în care, pe baza hărților de hidroizobate și hidroizohipse și a profilelor hidrogeologice, au fost determinate principalele aspecte ce vizează dinamica spațială.

Straturile care au caracteristici ce determină procesul de cantonare a apelor freatice sunt de vârstă holocenă fiind alcătuite din punct de vedere litologic din nisipuri caracterizate de granulometrii diferite în care se găsesc uneori pietrișuri. În cadrul postului hidrogeologic Dângeni, figurile 47 și 48, este evidențiată o stratificare compusă dintr-un complex de suprafață, de origine holocenă, constituit din argilă prăfoasă a cărei grosime variază de la 4,60 m la 6,20 m, în funcție de forajul de interceptie. Statul acvifer interceptat este constituit din nisipuri fine și medii în care este identificat un strat subțire de pietriș. Grosimea stratului acvifer variază între 3,5 m respectiv 7,4 m. Patul stratului acvifer este constituit din argilă marnoasă ce aparține formațiunii sarmațiene. Morfologia subterană corespunde în linii mari cu cea de suprafață, fluxul aferent subteranului este orientat pe ambele maluri ale râului, aspect ce indică caracterul drenant al râului Jijia. Nivelul piezometric este situat între 0-2 m în șesul râului Jijia, zona teraselor inferioare având specific un nivel cuprins între 2-5 m. Adâncimile nivelului cuprinse între 5-10 m, pe alocuri depășind 10 m sunt specifice interfluviilor sau la baza teraselor înalte, adâncime influențată de impactul redus al râului, alimentarea subterană fiind în principal din precipitații.

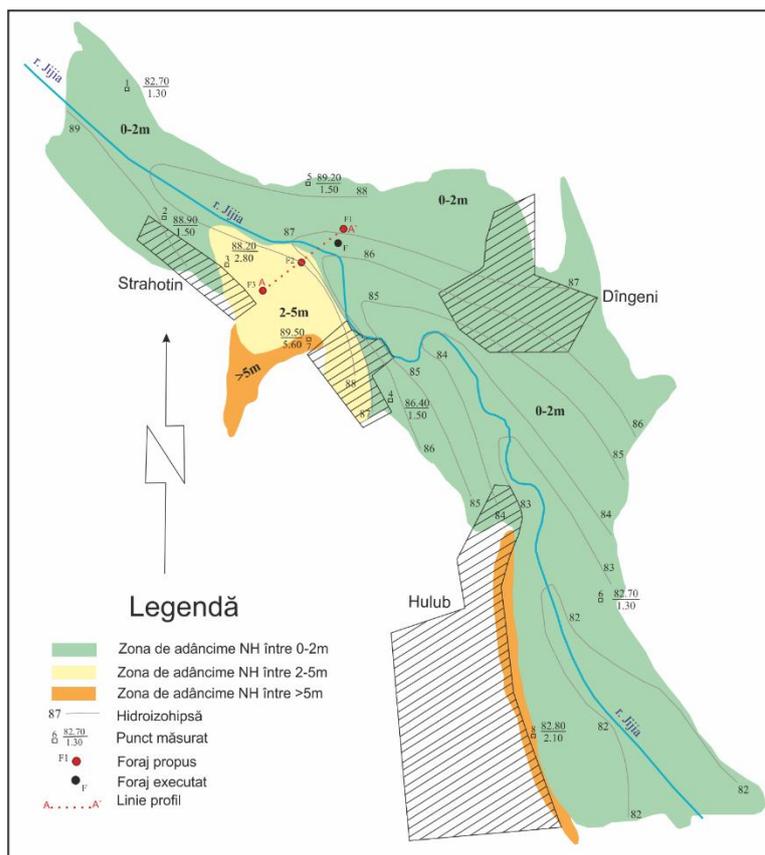


Figura 8. Harta cu hidroizohipse pentru stația hidrogeologică Dângeni (preluare după A.B.A. Prut – Bârlad)

III.6 Dinamica temporală

Dacă dinamica spațială surprinde modul în care variază apele subterane în diferite zone punându-se accent pe substratul litologic, pe dependența față de apele de suprafață sau morfologia reliefului, dinamica temporală vizează acea parte a oscilațiilor nivelului freatic printr-o prisma de modificări ce apar pe fondul impactului antropic și a elementelor hidrometeorologice, rezultând astfel o analiză a dinamicii cantitative .

Identificarea dinamicii temporale s-a realizat utilizând 3 metode statistice de analiză a tendințelor (metoda Mann-Kendall, metoda Spearman și metoda trendului inovativ).

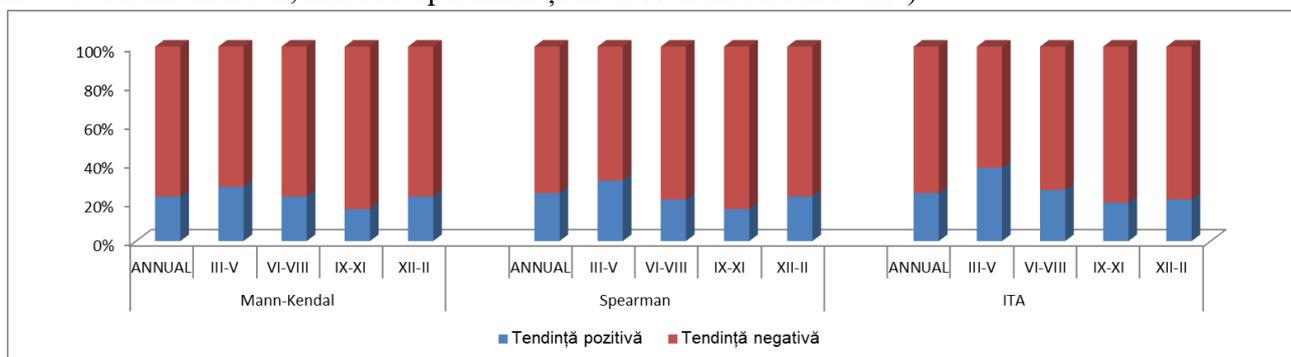


Figura 9. Repartiția procentuală a tendinței în funcție de metoda de analiză utilizată

Se poate observa faptul că dinamica temporală a nivelului piezometric din ultimii 38 de ani nu este îmbucurătoare, tendința negativă a nivelului fiind la mai mult de peste 60 % din foraje. Toate cele 3 metode prezintă valori relativ asemănătoare dacă ne raportăm la dinamica anuală. Micile diferențe care apar pentru perioada anotimpuală pot fi puse pe seama impactului antropic diferit sau pe diferențele ce apar în cadrul distribuției spațiale și temporale a precipitațiilor.

Distribuția spațială a tendințelor din cadrul forajelor hidrogeologice s-a realizat în funcție de adâncimea nivelului piezometric. Stabilirea claselor de adâncime s-a realizat utilizând o metodă de analiză de tip cluster (k-means). Analiza s-a realizat utilizând softul Rstudio iar numărul optim de cluster s-a stabilit utilizând metoda Sillhouette (figura 55) (Goyal M.K. and Gupta V., 2014; Minea I. et al. 2022).

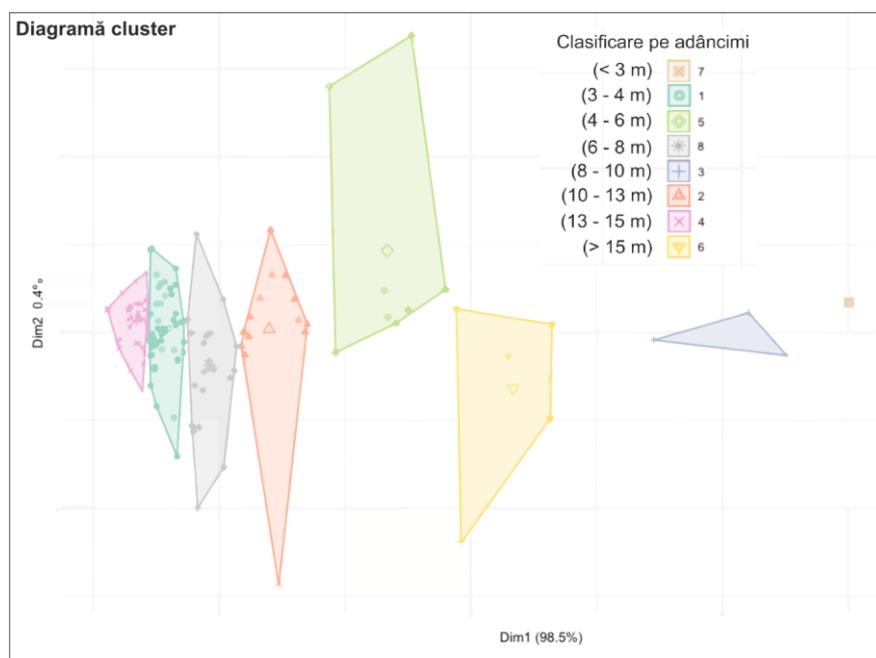


Figura 10. Diagrama claselor de adâncime obținute

La nivelul teritoriului analizat s-a observat faptul că din totalul de 61 de foraje hidrogeologice 10 foraje sunt în cadrul clusterului 1 cu o adâncime ce variază între 3 și 4 m, 2 foraje se încadrează în clusterul 2 având adâncimea cuprinsă între 10 și 13 m, 6 foraje în clusterul 3 cu adâncimea nivelului piezometric între 8 și 10 m, 3 foraje în clusterul 4 cu adâncimea între 13 și 15 m, 10 foraje în clusterul 5 cu adâncimea între 4 și 6 m, 2 foraje în clusterul 6 cu adâncimea mai mare de 15 m, 18 foraje în clusterul 7 cu adâncimea sub 3 m respectiv 10 foraje în clusterul 8 în care adâncimea variază între 6 și 8 m.

Tot în cadrul dinamicii temporale se încadrează și analiza perioadelor cu variațiile cele mai importante din cadrul forajelor. În cadrul acestei analize șirurile de date referitoare la variația nivelului freatic au fost împărțite în două perioade. Perioada „1” ce surprinde dinamica din perioada 2000-2010 prin raportare la perioada 1990-2000 și perioada „2” ce surprinde dinamica din perioada 2010-2020, prin raportare la perioada 2000-2010. Conform figurii 61 putem observa faptul că cea mai accentuată

dinamică este în perioada „2”, altfel nivelul freatic a înregistrat cele mai însemnate variații în perioada 2010-2020. Valorile absolute prezintă intensitate a dinamicii cât și caracterul acesteia, negativ sau pozitiv.

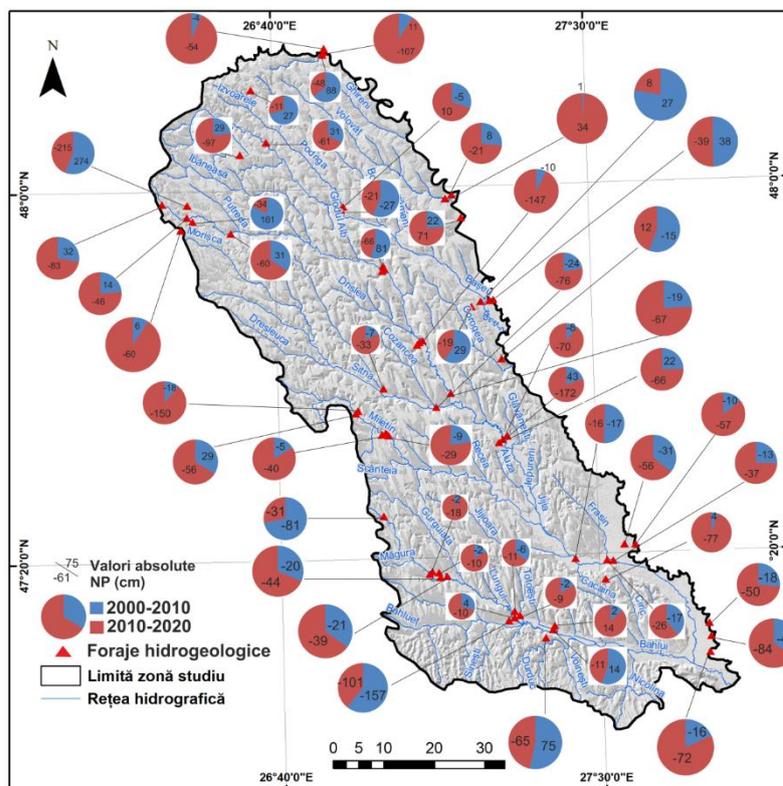


Figura 11. Variația dinamicii temporale din cadrul forajelor hidrogeologice

Caracterul de diminuare al resurselor de apă din subteran este tot mai elocvent în ultimele decenii, cu precădere în ultima perioadă. Cumulul de factori care generează scăderea nivelului piezometric este și va fi tot mai pregnant. Lipsa unor măsuri în ceea ce privește protejarea resurselor poate genera perioade critice în ceea ce privește alimentarea cu apă a populației, dat fiind faptul că accesul la resursa de apă se face individual și nu pe baza unui sistem de alimentare cu apă. Perioada aferentă primei jumătăți a anului 2022 reflectă cel mai bine aceste situații.

III.7 Rezervele acvifere subterane

Procesul de evaluare al resurselor acvifere presupune determinarea cantității sau volumului de apă ce corespunde unei hidrostructuri, proces ce poate deveni imposibil de realizat dacă ne raportăm la caracterul dinamic al apelor subterane, chiar și pe un spațiu restrâns. Identificarea și atribuirea unei legități care să descrie caracterul apelor subterane dintr-o hidrostructură, în care condițiile geologice sunt variabile și regimul nivelului este supus climatului imprevizibil și impactului antropic, este practic imposibil de realizat.

Pentru evaluarea resurselor de apă subterană, mai ales din prisma exploatării acestora, s-a renunțat la o analiză cantitativă pe baza calculării unor volume, preferându-se analiza debitelor.

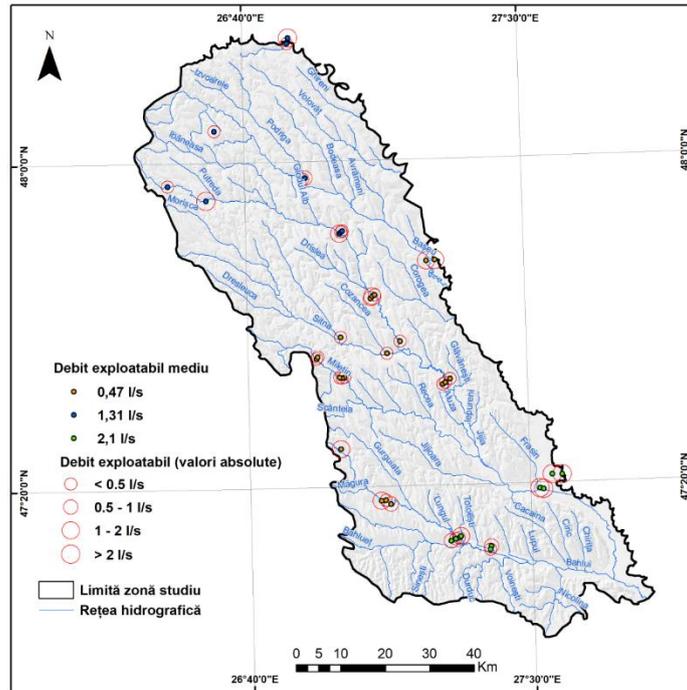


Figura 12. Variația debitului exploatabil în cadrul arealului și în cadrul hidrostructurilor

Pe ansamblu, valorile în ambele situații sunt modeste și implică vizibile deficiențe în alimentarea cu apă potabilă, dar și pentru folosințe agro-zootehnice, cu precădere în anii secetoși. La o frecvență crescută a secetelor din sezonul cald se poate vorbi, deja, de „criză a apei” în regiunea de studiu. A se lua drept exemplu cea mai recentă și de actualitate perioadă, prima parte a anului 2022.

CAPITOLUL IV. Metode de determinare a capacității de reîncărcare a freaticului

Determinarea potențialului de reîncărcare a zonei s-a realizat prin modelarea unor serii de date compus dintr-o serie de factori care pot fi reprezentați spațial. Pentru fiecare factor analizat a fost generat un strat tematic de tip layer, care ulterior a fost inclus în etapele metodologice ale procesului de ierarhizare analitică (AHP) și ale teoriei catastrofei (CT).

Algoritmul de evaluare a fiecărui factor și modalitatea de includere în structurile metodologice au fost prezentate în capitolul care face referire la partea metodologică (Minea I. et al. 2022).

IV.1 Analiza stratelor tematice studiate și acordarea notelor de bonitare

În identificarea arealelor cu capacități diferite de reîncărcare a apelor subterane din arealul Câmpiei Colinare a Jijiei și a Bahluiului au fost utilizați 7 parametri fizico-geografici: densitatea rețelei hidrografice, panta, componenta petrografică, utilizarea terenului, precipitațiile, textura solului și tendința nivelului piezometric (Deepa S. et al, 2016). Pentru a determina capacitatea de reîncărcare a nivelului freatic s-a determinat ponderea de influență a fiecărui factor în cadrul analizei, prin acordarea notelor de bonitare de la 1 la 5 (tabel 13).

IV.2 Determinarea capacității de reîncărcare pe baza metodologiei AHP

În cadrul metodologiei procesului de ierarhizare analitică etapa de acordare a notelor de bonitare este urmată de procesul de acordare a ponderii. Matricea de calcul (tabel 14) reprezintă pilonul central în obținerea ponderii fiecărui factor. Validarea matricei s-a realizat prin calcularea raportului de consistență (C.R.). Indexul de consistență aleatoriu (R.I.) a fost extras din tabelul 16 pentru o matrice de 7 factori.

Valoarea raportului de consistență obținută în urma împărțirii indicelui de consistență la indicele de consistență aleatorie este 0,086 ceea ce indică validitatea matricei (valoare <0,10) (Hapciuc O.E. et al., 2016). Ponderile obținute au fost integrate în ArcGis obținându-se suportul cartografic privind potențialul de reîncărcare al freaticului.

$$PRFPIA = (3*PR) + (1,9*CP) + (1,49*T) + (1,40*P) + (0,93*DRD) + (0,69*UT) + (0,48*TNP)$$
(ecuația 16)

Unde: PRFPIA - potențial reîncărcare freatic prin procesul de ierarhizare analitică; PR – precipitațiile; CP – componenta petrografică; T – textura; P – panta; DRD – densitate rețea drenaj; UT – utilizarea terenului; TNP – tendința nivel piezometric.

Suportul cartografic final a fost obținut prin însumarea ponderilor fiecărui factor luat în calcul (figura 65). Rezultatul a fost reclasificat utilizând metode SIG în 5 clase de potențial, utilizând metoda Natural Breaks: foarte scăzut, scăzut, mediu, ridicat și foarte ridicat (tabel 17).

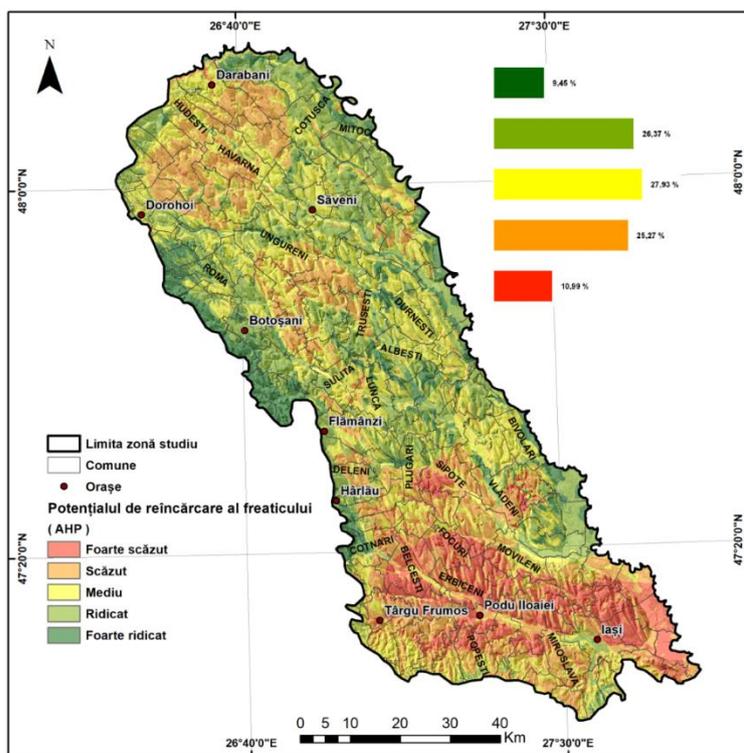


Figura 13. Capacitatea de reîncărcare a freaticului utilizând metoda AHP

În vederea identificării potențialului de reîncărcare a acviferelor din Câmpia Colinară a Jijiei și a Bahluiului au fost stabilite 5 clase: foarte scăzut, scăzut, mediu, ridicat, foarte ridicat (figura 66). Analiza cumulativă a celor 7 factori scoate în evidență faptul că potențialul de reîncărcare este unul foarte scăzut în partea sudică a teritoriului pentru o suprafață ce acoperă aproximativ 10%. Potențialul de reîncărcare foarte ridicat apare creionat cu precădere pe latura vestică acoperind o suprafață de 9%. Factorii cu cea mai scăzută influență în potențialul de reîncărcare al acviferelor sunt utilizarea terenului cu un aport de doar 6,9 % și tendința nivelului piezometric cu un aport al ponderii de aproximativ 5%.

IV.3 Determinarea capacității de reîncărcare pe baza metodologiei CT

Fiind o metodă de analiză multicriterială asemenea procesului de ierarhizare analitică am utilizat aceleași straturi tematice și aceeași clasificare a layerelor ca în subcapitolul IV.1. Metodologia teoriei catastrofei elimină gradul de subiectivitate ce poate interveni în momentul în care cercetătorul acordă ponderile în cadrul matricei (tabel 18) datorită faptului că se evaluează importanța fiecărui factor în cadrul sistemului (Zhang T. et al., 2009; Kaur L. et al., 2020). Rezultatele expuse în tabelul 18 prezintă totodată și etapele ce trebuie urmate pentru a obține suportul cartografic final.

Suportul cartografic final a fost obținut prin însumarea ponderilor fiecărui factor luat în calcul (figura 66).

$$PRFTC = (0,677*PR) + (0,653*L) + (0,672*T) + (0,671*P) + (0,742*DRD) + (0,566*UT) + (0,731*TNP) \quad (\text{ecuația 17})$$

Unde: PRFTC - potențial reîncărcare freatic prin teoria catastrofei; PR – precipitațiile; L – litologia; T – textura; P – panta; DRD – densitatea rețea drenaj; UT – utilizarea terenului; TNP – tendința nivel piezometric.

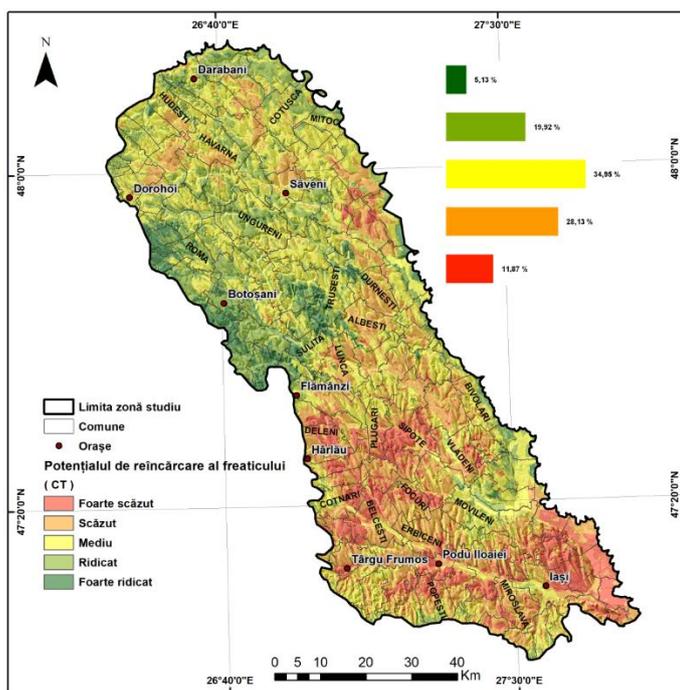


Figura 14. Capacitatea de reîncărcare a freaticului utilizând metoda CT

În vederea identificării potențialului de reîncărcare a acviferelor din Câmpia Colinară a Jijiei și a Bahluiului au fost stabilite tot 5 clase: foarte scăzut, scăzut, mediu, ridicat, foarte ridicat (figura 67). Analiza cumulativă a celor 7 factori scoate în evidență faptul că potențialul de reîncărcare este unul foarte scăzut în partea sudică a teritoriului, aproximativ în același areal expus de metodologia AHP, pentru o suprafață ce acoperă aproximativ 12%. Potențialul de reîncărcare foarte ridicat apare cu precădere tot în latura vestică acoperind o suprafață ceva mai redusă, de aproximativ 5%. Factorii cu cea mai scăzută influență în potențialul de reîncărcare al acviferelor sunt utilizarea terenului cu o importanță de 0,566 și litologia cu o importanță de 0.653.

IV.4 Analiza comparativă între rezultatele AHP și CT

Compararea analizei procentuale a ariei de acoperire dintre cele două metode utilizate (procesul de ierarhizare analitică „AHP” și teoria catastrofei „CT”) relevă faptul că ponderile rezultate, pe baza celor 5 clase, sunt apropiate.

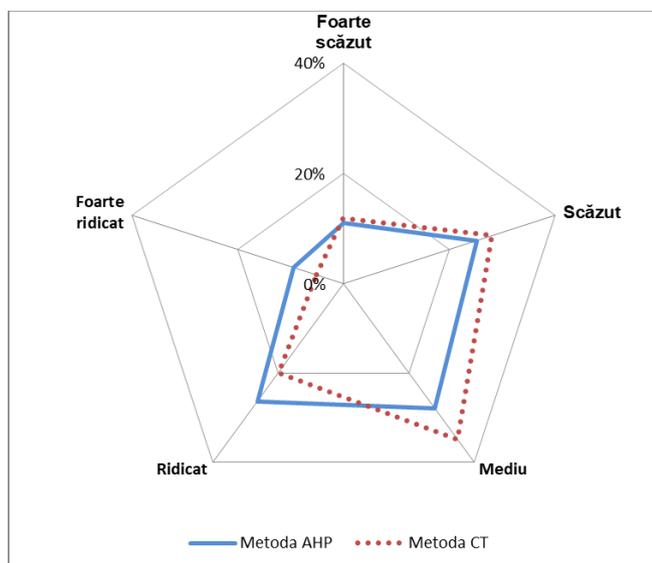


Figura 15. Rezultatele comparative ale metodelor de identificare a capacității de reîncărcare

Diferența cea mai însemnată fiind în cazul clasei ce expune potențialul mediu, o diferență a suprafeței de aproximativ 7 %. S-a observat faptul că metodologia CT expune rezultate ce scot în evidență un potențial de reîncărcare aferent claselor „scăzut,, și „mediu” comparativ cu metodologia AHP care expune procente mai ridicate pentru clasele „ridicat,, și „foarte ridicat”.

În clasa cu potențial de reîncărcare „foarte scăzut” cele două metodologii au evidențiat aproximativ același procentaj de acoperire, AHP – 10,99 % iar CT – 11,87 %. În clasa „scăzut” se remarcă un rezultat ce diferă cu aproximativ 3 % în favoarea metodologiei CT. Clasa „medie” și cea ”ridicată” prezintă un procent ce detașează cele două metodologii în ceea ce privesc suprafețele de acoperire, diferența fiind de aproximativ 7 %.

IV.5 Validarea metodelor

Validarea rezultatelor și pronunțarea în alegerea variantei optime ce poate fi utilizată și în alte studii s-a realizat utilizând setul de date referitor la tendința nivelului piezometric prin „innovative trend method”, metodologie aplicată din cadrul forajelor hidrogeologice. (Minea I. et. al 2022).

Etapele procesului de validare s-au realizat în softuri SIG prin suprapunerea localizării forajelor hidrogeologice peste suporturile cartografice. În urma procesului au fost delimitate clasele prestabilite (foarte scăzut și scăzut, mediu, ridicat și foarte ridicat) și s-au extras forajele localizate în areal. În funcție de tendința nivelului piezometric din forajele hidrogeologice s-a calculat o pondere de potrivire pentru fiecare metodă de identificare a potențialului de reîncărcare utilizată. Validitatea celor două metode este dată de respectarea unui tipar logic. Dacă clasa de analiză prezintă un potențial „scăzut” și „foarte scăzut” atunci forajele hidrogeologice care sunt localizate în acest areal trebuie să prezinte, în proporție cât mai mare, o tendință negativă a nivelului piezometric.

În urma analizei graficelor obținute (figurile 69, 70, 71) s-a constatat că cea mai optimă metodă este cea a teoriei catastrofei (CT) deoarece evidențiază cel mai bine condițiile din subteran raportate la rezultatele obținute.

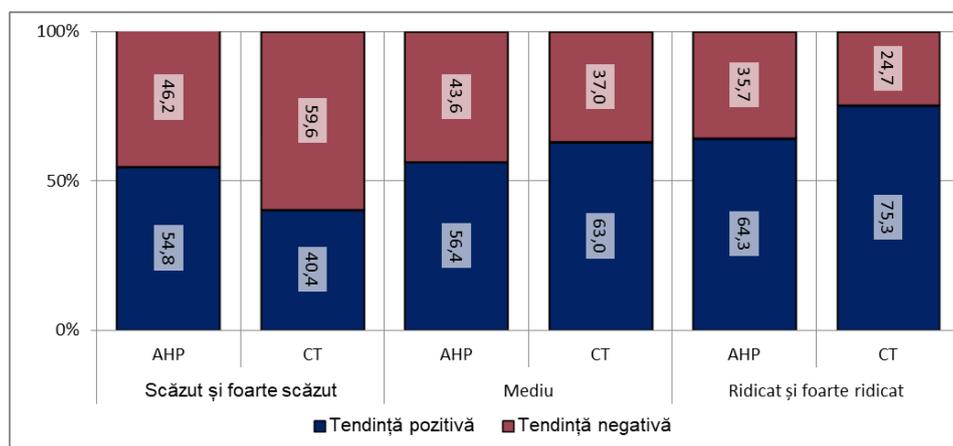


Figura 16. Reprezentarea procentuală pentru determinarea metodologiei optime

CAPITOLUL V. Variația freaticului în perioada 2020-2022

Acoperirea teritoriului cu o bază de date care să fie reprezentativă și pentru zonele interfluviale, pentru a diminua incertitudinile din cadrul capitolului 3, s-a realizat printr-o serie de măsurători în Câmpia Colinară a Jijiei și a Bahluiului efectuate la fântâni situate în zone reprezentative din teren. Baza de date cuprinde 6 seturi de măsurători reprezentative pentru fiecare sezon în perioada septembrie 2020 – martie 2022, (figura 73), (tabel 22).



Figura 17. Distribuția temporală a măsurătorilor efectuate în teren

Au fost identificate 71 de fântâni de pe tot teritoriul Câmpiei Colinare a Jijiei și a Bahluiului prin respectarea unor condiții prestabilite și descrise în cadrul subcapitolului I.5. În cadrul analizei au fost utilizate doar 68 de fântâni, cauza fiind pierderea unor puncte în timpul perioadei de observare, pierdere generată de includerea fântânii în spațiu privat și îngrădirea accesului, reabilitarea și reutilizarea sau imposibilitatea identificării spațiale pe fondul astupării prin construcții sau drumuri publice. S-a urmărit identificarea unor condiții cât mai apropiate de cele din cadrul forajelor hidrogeologice.

V.1 Analiza regimului nivelului freatic pe clase de adâncime

Datele obținute au fost împărțite pe clase de adâncime conform clusterizării din cadrul capitolului 3. S-au delimitat fântânile localizate în zonele joase, de luncă, în care se resimte influența rețelei hidrografice din proximitate de fântânile localizate în zonele izolate de pe interfluvii. Diferențierea s-a realizat pe baza observațiilor din teren din timpul măsurătorilor și utilizând un buffer de 500 m în jurul fântânii. Pentru fiecare clasă au fost extrase 3 fântâni reprezentative pentru a observa dinamica dintre sezoane (figura 74).

Diferențele referitoare la variațiile pozitive sau negative din cadrul celor două zone, zona aferentă părții de luncă și cea interfluvială, evidențiază faptul că în cadrul interfluviilor procentul fântânilor care prezintă variații negative este mai însemnat, această scădere fiind tot mai pregnantă (figura 78).

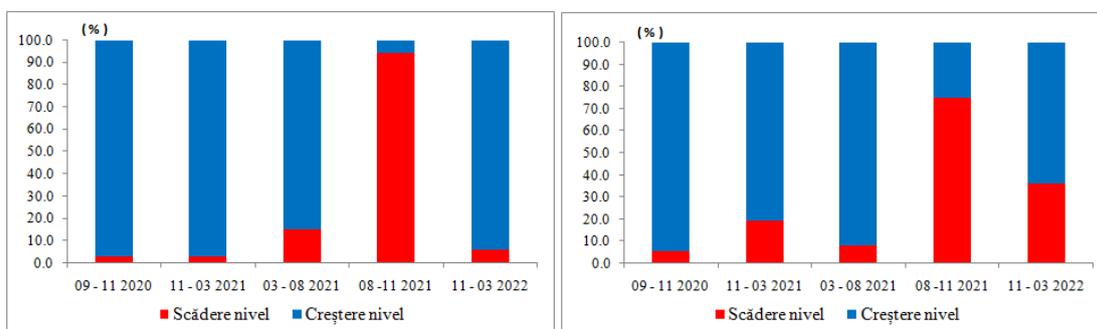


Figura 18. Reprezentarea procentuală a scăderii și creșterii nivelului freatic, în zona de luncă (stânga) și interfluviu (dreapta)

Diminuarea continuă a nivelului freatic, sub efectul exploatărilor antropice și al impactului schimbărilor climatice, în care secetele pedologice, hidrologice și hidrogeologice sunt tot mai dese și severe nu permite refacerea rezervei de apă. În timp, pierderile anuale se cumulează, rezerva de apă se reduce iar nivelul freatic se găsește la adâncimi tot mai mari.

V.2 Secetele hidrogeologice prin prisma variației regimului freatic

Evaluarea secetelor hidrogeologice se realizează cu ajutorul indicelui SGI (Bloomfield J.P. et al. 2019) și preluat de (Minea I. et al., 2021). Acest indice are la bază modelul standardizat pe precipitații

dezvoltat de McKee T.B. și colaboratorii în anul 1993. Pentru a putea fi utilizat SGI-ul a fost modificat de către Bloomfield și Marchant în 2013. Diferența dintre SGI și SPI, deși primul derivă din cel din urmă, este dată de faptul că SGI folosește o distribuție neparametrică care presupune transformarea bazei de date în locul distribuției de tip gamma sau log-normal.

S-a observat că în cadrul clasei în care nivelul piezometric este apropiat de suprafața topografică, mai mic de 3 m, secetele hidrogeologice sunt atenuate. Fiind cauzate de variația spațio-temporală a precipitațiilor și a rețelei hidrografice, frecvența de apariție a secetelor hidrogeologice este tot mai semnificativă odată cu avansarea în adâncime a nivelului piezometric.

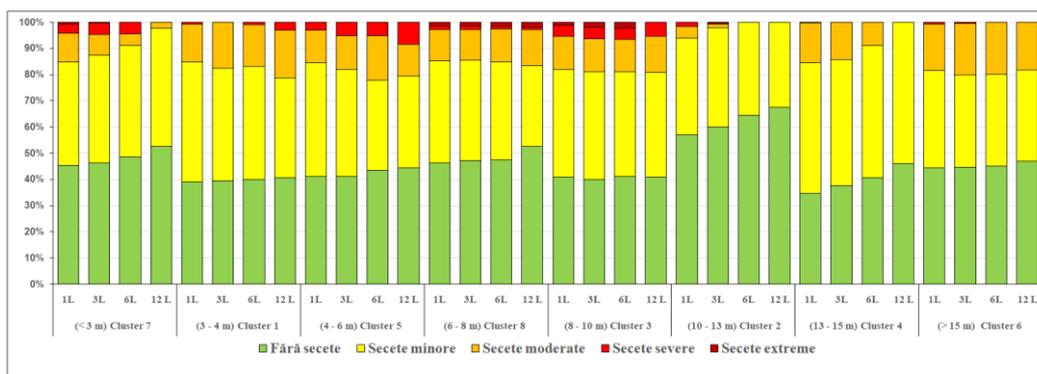


Figura 19. Frecvența apariției secetelor utilizând metodologia SGI

Perioadele cu secete minore reprezintă procentul cel mai însemnat, urmate de perioadele cu secete moderate. În figura 81 se poate observa că secetele severe și extreme sunt specifice claselor de adâncime de până la 10 m, cele mai însemnate fiind pentru SGI în clasa temporală de 12 luni. Odată cu creșterea adâncimii secetele severe și extreme sunt mult atenuate.

CAPITOLUL VI. Vulnerabilitate socială

VI. 1 Vulnerabilitatea socială indusă de apele subterane

În contextul problemelor identificate asupra resurselor de apă din subteran s-a urmărit realizarea unei evaluări asupra vulnerabilității sociale a comunităților din zonele rurale ale teritoriului prin calcularea unui indice denumit „vulnerabilitatea socială indusă de apele subterane” (VSIAS). Abordarea este una holistică ce permite obținerea unei vulnerabilități generale prin combinarea factorilor de natură socială cu cei naturali (Cutter S.L. et al., 2003; Bucherie A. et al., 2022).

Analiza s-a realizat la nivel de unități administrativ teritoriale (UAT 4), indicatorii care fac referire la infrastructură și factorii sociali au fost extrași din baza de date a Institutului Național de Statistică (the Tempo online web database), iar indicatorii privind calitatea locuirii au fost descărcați de pe Observator Teritorial (aplicație interactivă care cuprinde informații și date statistice, implementată de Ministerul Dezvoltării Regionale și Administrației Publice). Indicatorii ce fac referire la condițiile naturale și particularitățile nivelului piezometric au fost extrași, calculați sau generați prin metode ce au fost detaliate în capitolele anterioare.

În vederea evaluării vulnerabilității sociale în raport cu resursele de apă din subteran, a fost calculat un indice denumit vulnerabilitatea socială indusă de apele subterane (VSIAS) utilizând Analiza Componentelor Principale (PCA).

PCA este o tehnică multivariată de reducere a dimensiunilor datelor prin transformarea variabilelor cu un grad mare de corelare în seturi de date dependente și extragerea informațiilor relevante sub forma unui set (diminuat) de noi variabile (Abdi H.&Williams L. J., 2010; Hastie T.R. et al., 2013; Nardo M. et al. 2005).

Suportul cartografic VSIAS pentru Câmpia Colinară a Jijiei și a Bahluiului a fost obținut prin includerea în cadrul unei formule de calcul ce a presupus înmulțirea rezultatelor obținute din simularea PCA (regression factor score) cu varianța explicată (tabel 24). Cumularea valorilor de varianță luate în calcul în cadrul formulei 18 explică un procent de 78% din analiză.

$$\text{VSIAS} = (F1*32,88) + (F2*12.504) + (F3*11,232) + (F4*8,759) + (F5*6,658) + (F6*6,388)$$

(ecuația 18)

După aplicarea formulei rezultatul cartografic a fost reprezentat în termeni „natural breaks”, cu divizare în 5 clase de vulnerabilitate: vulnerabilitate scăzută, vulnerabilitate scăzută – medie, vulnerabilitate medie, vulnerabilitate medie – mare respectiv vulnerabilitate mare (figura 82).

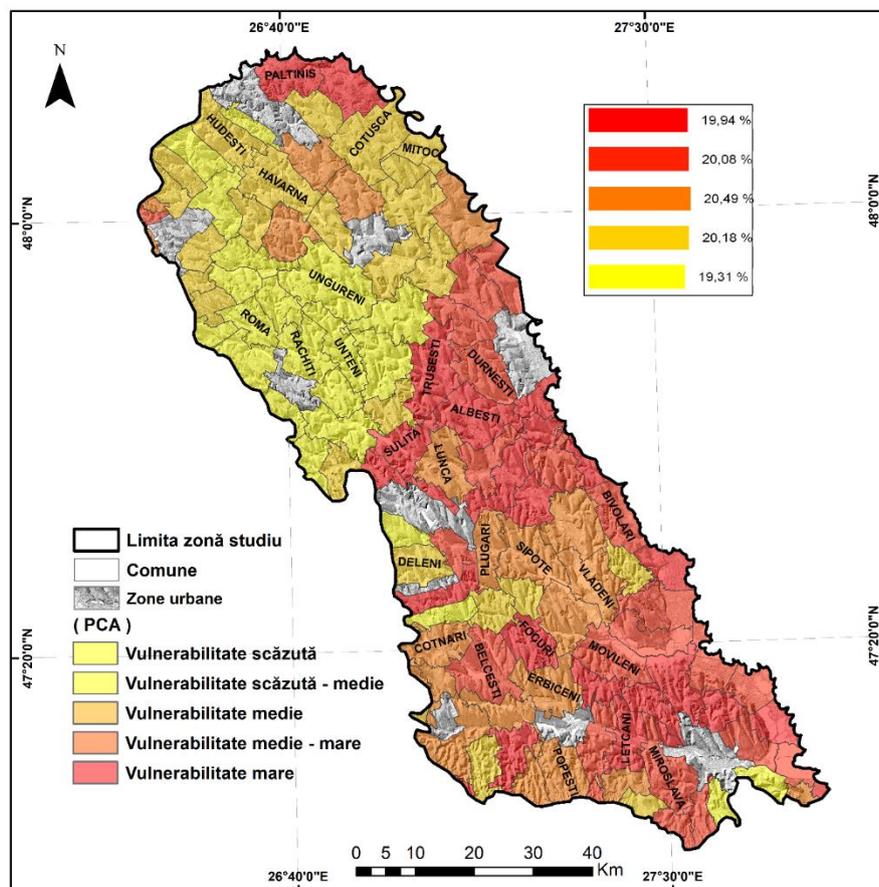


Figura 20. Distribuția spațială a vulnerabilității sociale

Evaluarea vulnerabilității sociale în raport cu resursele de apă din subteran din Câmpia Colinară a Jijiei și a Bahluiului expune ca areal de vulnerabilitate mare, respectiv medie - mare, zona aferentă părților sudice și centrale ale teritoriului. Vulnerabilitatea scăzută și medie – scăzută fiind cu precădere identificate în partea nordică și vestică a arealului. Rezultatele evidențiază o clasificare ce expune rezultate relativ asemănătoare ale claselor, din punct de vedere procentual, fiecare clasă având un procent de aproximativ 20 %.

VI. 2 Validarea vulnerabilității sociale

Identificarea zonei sudice, respectiv centrale, ca având vulnerabilitate însemnată, aspect ce s-a regăsit și în rezultatele obținute în capitolele anterioare, (vezi figurile 66 și 67), a evidențiat necesitatea identificării unei validări din punct de vedere procentual a rezultatului. Prin suprapunerea celor două staturi tematice, vulnerabilitatea socială în raport cu resursele de apă din subteran și identificarea capacității de reîncărcare a apelor subterane s-a obținut o valoare procentuală de suprapunere. Alegerea stratului tematic pentru identificarea capacității de reîncărcare a apelor subterane s-a realizat ținând cont de rezultatele obținute în cadrul capitolului IV.

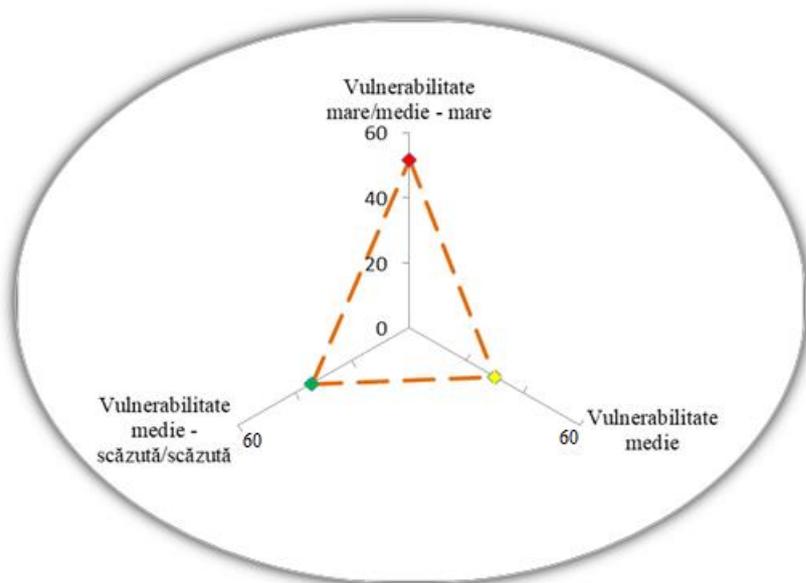


Figura 21. Validare rezultatelor vulnerabilității sociale

Rezultatele suprapunerii au evidențiat faptul că din totalul de kilometri pătrați aferenți claselor cu vulnerabilitate mare și medie – mare din cadrul analizei PCA, 51,6 % se suprapun peste rezultatele claselor de capacitate de reîncărcare foarte scăzută și scăzută din cadrul analizei CT (figura 83).

Concluzii

Prezenta lucrare abordează problematica cotidiană privind variațiile și diminuarea apelor subterane și propune, prin utilizarea unor metode de cercetare clasice și moderne și a tehnicilor de analiză spațială din cadrul sistemelor informatice geografice, identificarea arealelor cu problemele din punct de vedere al dinamicii temporale și vulnerabilității sociale. Aplicabilitatea studiului este dată de posibilitatea utilizării în cadrul unor proiecte de planificare în vederea diminuării vulnerabilității sociale indusă de apele subterane, cât și a planurilor de management în vederea reducerii supraexploatării necontrolate de către factorii socio-economici sau în cadrul planurilor de extindere ale sistemului de observații hidrogeologice.

Lipsa planurilor de management a resurselor de apă subterană aduce în prim plan factorul antropic. Societatea umană este principalul factor ce intensifică procesul de diminuare a resurselor de apă prin faptul că nu urmărește un plan bazat pe ideea de consum și conservare a resurselor ci un plan bazat doar pe consum. Prin suprapunerea acestui aspect peste variația spațio-temporală a condițiilor hidro-climatice se conturează termenul de remanență. Resursele consumate nu au timp să se refacă iar pierderile se cumulează pe scara temporală dând naștere secetelor hidrogeologice persistente.

Analiza factorilor hidro-climatici prin raportare la schimbările climatice globale a evidențiat o tendință de creștere a temperaturilor și a evapotranspirației în ultimele decenii. Precipitațiile prezintă atât o tendință de creștere ușoară cât și de scădere, rezultatul fiind diferit în funcție de localizare. Tendința de creștere a precipitațiilor este pusă pe baza apariției tot mai frecvente a caracterului de torențialitate, aspect ce facilitează procesul de scurgere și nu de infiltrare.

La nivel general, s-a observat faptul că variația nivelului piezometric, în Câmpia Colinară a Jijiei și a Bahluiului, este strâns legată de oscilația resurselor de apă de suprafață, în zonele joase ce au legătură cu o rețea hidrografică sau un corp de apă și în strânsă legătură cu variația temporală a precipitațiilor în cazul punctelor identificate pe interfluvii. Peste 60 % din punctele hidrogeologice analizate prezintă tendință de scădere a nivelului piezometric, cu un maxim ce se atinge în sezonul de toamnă și un minim în sezonul de primăvară.

Lipsa punctelor de observație din zona interfluvială a îngreunat obținerea unei idei clare referitoare la distribuția tendințelor din foraje hidrogeologice pe clase de adâncime. Cu toate acestea până la adâncimea de 10 m s-a observat o strânsă interdependență cu apele de suprafață, dependență ce scade cu adâncimea, în care tendințele negative se înregistrează preponderent toamna iar cele pozitive preponderent primăvara. Perioada în care s-au înregistrat cele mai însemnate scăderi ale nivelului piezometric a fost 2010 - 2020.

Potențialul de reîncărcare a nivelului piezometric (AHP și CT) identificat utilizând cele două metode de analiză multicriterială a scos în evidență partea sudică și sud-vestică ca având cele mai însemnate probleme. Rezultatele expun un procentaj asemănător pe clasele de capacitate. În clasa cu potențial de reîncărcare „foarte scăzut” cele două metodologii au evidențiat aproximativ același procentaj de acoperire, AHP – 10,99 % iar CT – 11,87 %. În clasa „scăzut” se remarcă un rezultat ce diferă cu aproximativ 3 % în favoarea metodologiei CT. Clasa „medie” și cea „ridicată” prezintă un procent ce detașează cele două metodologii în ceea ce privesc suprafețele de acoperire, diferența fiind de aproximativ 7 %. Dacă AHP expune valori de 27,9 % pentru clasa „mediu” CT expune 34,9 %, iar pentru clasa „ridicat” AHP supraestimează suprafața în detrimentul CT. Procesul de validare și alegere a unui metodologii ce poate fi utilizată în identificarea vulnerabilității sociale a evidențiat metodologia teoriei catastrofei (CT) ca având un grad mai mare de acuratețe.

Pe fondul scăderii nivelului piezometric din ultimul deceniu și pe baza observațiilor în teren, în special a observațiilor din zonele interfluviale unde nu se respectă un tipar de variație, s-a calculat un indice al secetei hidrogeologice (SGI). Clasificarea secetelor s-a realizat tot pe baza claselor de adâncime. S-a observat faptul că diminuarea resursei de apă din profunzime este tot mai pregnantă datorită conjugării dintre impactul schimbărilor climatice actuale și influența antropică.

Vulnerabilitatea socială indusă de apele subterane expune tot partea sudică a teritoriului studiat ca fiind cea puternic afectată la care se adaugă și partea central-estică. Validarea suportului cartografic s-a realizat prin suprapunere cu rezultatele obținute utilizând metodologia teoriei catastrofei. Rezultatele suprapunerii au expus faptul că din totalul de kilometri pătrați aferenți claselor cu vulnerabilitate mare și medie – mare din cadrul analizei PCA, 51,6 % se suprapun peste rezultatele claselor de capacitate de reîncărcare foarte scăzută și scăzută din cadrul analizei CT. În cazul claselor de vulnerabilitate medie – scăzută și scăzută prin suprapunere cu clasele de potențial ridicat și foarte ridicat s-a obținut un rezultat de suprapunere de 34,3 % iar în cazul claselor medii un rezultat de 30,1%.

În urma analizelor efectuate s-a constatat faptul că arealul analizat se confruntă cu o diminuare a resurselor de apă din subteran, diminuare care a prins contur în ultimele două decenii, cu precădere în ultimul deceniu. Situația actuală este o consecință a scăderilor anuale determinate de efectele schimbărilor climatice ce se manifestă prin perioade aride și precipitații ce nu respectă tiparul deceniilor trecute, de impactul antropic indus prin creșterea consumului de apă și nu în ultimul rând datorită lipsei implementării unor planuri de management cu soluții practice. Supraexploatarea resurselor de apă din subteran din ultimul deceniu a generat un „efect de domino” ce se continuă de la un an la altul. O evoluție în acest ritm, în care analiza cantitativă dintre supraexploatarea și reîncărcare este în defavoarea celei din urmă, poate genera o diminuare accentuată a resurselor de apă și o „criză a apei” în următorul deceniu, în arealul analizat.

Bibliografie

1. Abdalla F., (2012) - *Mapping of groundwater prospective zones using remote sensing and GIS techniques: A case study from the Central Eastern Desert, Egypt*. Journal of African Earth Sciences. 70: 8–17;
2. Abdi, H., Williams, L. J., (2010) - *Principal component analysis*. Wiley Interdisciplinary Reviews: Computational Statistics, 2(4), 433-459;
3. Abson D.J., Dougill A.J., Stringer L.C., (2012) - *Using Principal Component Analysis for information-rich socio-ecological vulnerability mapping in Southern Africa*. Applied Geography, 35, 515 – 524;
4. Administrația Națională Apele Române (2018) - *Planuri de Management bazinal, Planul de management pentru bazinul hidrografic Prut-Barlad 2016 – 2021*;
5. Agrawal, N.; Gupta, L.; Dixit, J., (2021) - *Assessment of the Socioeconomic Vulnerability to Seismic Hazards in the National Capital Region of India Using Factor Analysis*. Sustainability, 13, 9652. <https://doi.org/10.3390/su13179652>;
6. Alexandersson H., (1986) - *A homogeneity test applied to precipitation data*. International Journal of Climatology 6: 661–675;
7. Apetrei M., Bojoi I., Lupașcu Gh., Rusu C. (1990) - *Considerații privind unele proprietăți ale depozitelor de suprafață din sudul Câmpiei Moldovei, zona Tansa-Belcești*. Lucr. Semin. Geogr. „Dimitrie Cantemir”, nr. 9 / 1988, Iași;
8. Asfaw A, Simane B, Hassen A, Bantider A., (2018) - *Variability and time series trend analysis of rainfall and temperature in northcentral Ethiopia: a case study in Woleka sub-basin*. Weather Clim Extrem 19:29–41. <https://doi.org/10.1016/j.wace.2017.12.002>;
9. Bagyaraj, M., Ramkumar, T., Venkatramanan, S., Gurugnanam, B., (2013) - *Application of remote sensing and GIS analysis for identifying groundwater potential zone in parts of Kodaikanal Taluk, South India*. Frontiers of Earth Science. 7 (1): 65-75;
10. Băcăuanu V. (1968) - *Câmpia Moldovei - studiu geomorfologic*. Edit. Academiei R.S.R, București;
11. Boicu D., Minea I., Niacșu L., (2020) - *Landslides and groundwater dynamics. Case study in Moldavian Tableland (Romania)*. International Scientific Conference Geobalcanica 2020, 111-118, doi.org/10.18509/GBP.2020.14;
12. Brânzilă M., (1999) - *Geologia părții sudice a Câmpiei Moldovei*. Ed. Corson, Iași;
13. Bucherie A., et al., (2022) - *A comparison of social vulnerability indices specific to flooding in Ecuador: principal component analysis (PCA) and expert knowledge*, <https://doi.org/10.1016/j.ijdr.2022.102897>;
14. Bucureșteanu Maria, (1991) - *Quelques aspects géochimiques des dépôts Sarmatiens de la colline Humărie-Hârlău*. Lucr. Sem. Geogr. „Dimitrie Cantemir”, Iași. pag.11-21. Catena, 172, pp. 295-312;
15. Cădere, R., Avrănescu, E., Tomescu, G., Radulescu, Maria., Roșescu, Elena, Constantinescu, T., Simionescu, N., Șerbănescu, L., Pașcanu, Gh. (1964) - *Studiul hidrogeologic de sinteză pentru teritoriul Republicii Populare Române*, Stud. Hidrogeol., ISCH- C. S. A., București, vol. 3, p. 7 – 198;
16. Çelik R., (2019) - *Evaluation of groundwater potential by GIS-based multicriteria decision making as a spatial prediction tool: Case study in the Tigris River Batman-Hasankeyf Sub-Basin, Turkey*. Water, 11(12): 2630;
17. Chakraborty R, Pal S.C Malik S, Das B., (2018) - *Modeling and mapping of groundwater potentiality zones using AHP and GIS technique: a case study of Ranigan Block, Paschim Bardhaman, West Bengal*. Modeling Earth System and Environment, 4:1085–1110 doi.org/10.1007/s40808-018-04718;
18. Chendeș V., (2007) - *Scurgerea lichidă și solidă în Subcarpații de curbură*. Academia Română, Institutul de Geografie, Biblioteca Institutului de Geografie, București;
19. Cheval S. et. al., (2022) - *Climate change perception in Romania*. Theoretical and applied climatology. DOI: 10.1007/s00704-022-04041-4;
20. Cobălcescu Gr., (1862) - *Calcariul de la Răpidea*. Rev.Rom. pentru Științe, Literesși Arte, an II, București.pag.685-699;
21. Croitoru, A.E., & Minea I., (2015) - *The impact of climate changes on rivers discharge in Eastern Romania*. Theoretical and Applied Climatology, 1434-4483;

22. Cutter, S.L.; Boruff, B.J.; Shirley, W.L., (2003) - *Social vulnerability to environmental hazards*. Soc. Sci. Q. 84, 242–261;
23. Deepa S, Venkateswaran S, Ayyandurai R, Kannan R, Prabhu MV., (2016) - *Groundwater recharge potential zones mapping in upper Manimuktha Sub basin Vellar river Tamil Nadu India using GIS and remote sensing techniques*. Modeling Earth Syst Environ 2(3):137;
24. Dragomir S., (2008) - *Geochimia apelor subterane din județul Iași*. Edit. Universității „Alexandru Ioan Cuza”;
25. Dumitrescu A, Bîrsan M.V., (2015) - *ROCADA: a gridded daily climatic dataset over Romania (1961 - 2013) for nine meteorological variables*, Natural Hazards, 78(2), 1045 – 1063;
26. El Kenawy A., Lopez-Moreno J.I., Vicente-Serrano S.M., (2011) - *Recent trends in daily temperature extremes over northeastern Spain*. Natural Hazards and Earth System Science, 11, 2583–2603;
27. Erhan Elena, (2004) - *Aspecte ale foehnizării aerului în estul României*. Lucr. Sem. Geogr. „Dimitrie Cantemir”, nr. 23-24, 2002-2003, Iași, 2004;
28. Famiglietti J. S., (2014) - *The global groundwater crisis*. Nature Climate Change, 4: 945–948;
29. Fekete A., (2009) - *Validation of a social vulnerability index in context to river-floods in Germany*. Nat. Hazards Earth Syst. Sci., 9, 393–403;
30. Forman E., Gass S., (2001) - *The analytic hierarchy process: An exposition*. Operations Research, 49(4): 469–486;
31. Krishnan V., (2010) - *Constructing an Area-Based Socioeconomic Index: A Principal Components Analysis Approach**. Praxis und Klinik der Pneumologie, <https://doi.org/10.1055/s-0028-1098421>;
32. Krogulek E., (2018) - *Evaluating the risk of groundwater drought in groundwater-dependent ecosystems in the central part of the Vistula River Valley*. Pol EcohydrolHydrobiol 18(1):82–91. <https://doi.org/10.1016/j.ecohyd.2017.11.003>Kubicz J;
33. Kubicz J., Bak B., (2019) - *The reaction of groundwater to several months’ meteorological drought in Poland*. Pol J Environ Stud 28(1):187–195. <https://doi.org/10.15244/pjoes/81691>;
34. Malik, A., Kumar, A., Guhathakurta, P., Kisi, O., (2019) - *Spatial-temporal trend analysis of seasonal and annual rainfall (1966–2015) using innovative trend analysis method with significance test*. Arab. J. Geosci. 12, 328, 2-23, <https://doi.org/10.1007/s12517-019-4454-5>;
35. Martiniuc C., (1956) - *Contribuție la studiul hidrogeologic al regiunii orașului Iași. (Contribuție a l'etude hydrogeologique de la ville de Iassy et de la region environnante)*. Probleme de Geografie, București;
36. Matsumoto N., (1992) - *Regression analysis for anomalous changes of ground water level due to earthquakes*. Geophys Res Lett 19(12):1193–1196;
37. McKee, T. B., Doesken, N. J., and Kleist, J., (1993) - *The relationship of drought frequency and duration to time scales*. in: 8th Conference on Applied Climatology, Am. Meteorol. Soc. Boston;
38. McStraw, T.C.; Pulla, S.T.; Jones, N.L.; Williams, G.P.; David, C.H.; Nelson, J.E.; Ames, D.P. (2021) - *An Open-Source Web Application for Regional Analysis of GRACE Groundwater Data and Engaging Stakeholders in Groundwater Management*. JAWRA J. Am. Water Resour. Assoc., 1–15.
39. Mihalache M., Andrieș N., (1999) - *Solurile României*. Edit. Ex Ponto;
40. Mihăilă D., (2002) - *Clima Câmpiei Moldovei*. teză de doctorat, Univ. „Al.I.Cuza”, Iași;
41. Mihăilă D., (2006) - *Clima Câmpiei Moldovei*. teză de doctorat, Univ. „Al.I.Cuza”, Iași;
42. Minea I., (2012) - *Bazinul hidrografic Bahlui. Studiu hidrologic*. Edit. Universitatea „Alexandru Ioan Cuza”, Iași;
43. Minea I., (2020) - *The Vulnerability of Water Resources from Eastern Romania to Anthropic Impact and Climate Change*. In: Water Resources Management in Romania. Springer Water. Springer, Cham, 229-250. https://doi.org/10.1007/978-3-030-22320-5_7;
44. Minea I., Crăciun I., (2012) - *Simulation models to evaluate the groundwater resources in Bahlu river basin, Romania*. Journal of Environmental Protection and Ecology, 1600-1607;
45. Minea I., et al., (2021) - *Identification of Seasonal and Annual Groundwater Level Trends in Temperate Climatic Conditions*. Frontiers. DOI: 10.3389/fenvs.2022.852695;
46. Minea I., et al., (2022) - *Assessment of recharge capacity potential of groundwater using comparative multi-criteria decision analysis approaches*. Journal of Geographical Sciences DOI: 10.1007/s11442-022-1970-0;
47. Minea I., Iosub M., Chelariu O.E., **Boicu D.**, (2019) - *Hidrologia mediilor continentale: aplicații practice 2.0*. Editura Transversal;

48. Minea I., Romanescu G., (2007) - *Hidrologia mediilor continentale. Aplicații practice*. Edit. Casa Editorială Demiurg, Iași;
49. Minea I., Iosub M., **Boicu, D.**, (2021) - *Multi-scale approach for different type of drought in temperate climatic conditions*. Nat Hazards. <https://doi.org/10.1007/s11069-021-04985-2>;
50. Minea, I. & Croitoru, A.E., (2015) - *Climate Changes and their impact on the variation of groundwater level in the Moldavian Plateau (Eastern Romania)*. SGEM 2015, Conference Proceedings, Vol. I, 137-145;
51. Niculiță M., (2020) - *Evaluarea activității alunecărilor de teren din Podișul Moldovei în holocen și antropocen: element fundamental pentru evaluarea hazardului la alunecări de teren în contextul schimbărilor climatice (LAHAMP)*. Proiect de cercetare. Edit. Tehnopress;
52. Niculiță M., Andrei A., Lupu Cristina, (2017) - *The landslide database of the North-Eastern Romania*. In: Proceedings of Romanian Geomorphology Symposium, vol. 1, Alexandru Ioan Cuza University Press, Iasi, pp. 81-84, <http://dx.doi.org/10.15551/prgs.2017.81>;
53. Onyutha C., (2020) - *Graphical-statistical method to explore variability of hydrological time series*. Hydrology Research;
54. Paghida Natalia, (1963) - *Contribuții la studiul microfaunistic al Sarmațianului mediu din regiunea Pietrișul-Ruginoasa*. An.șt.Univ. Iași, secț II. (șt.nat.geol.)T.IX, Iași;
55. Paghida-Trelea N., (1969) - *Micro și mezofauna de apă dulce îndulcită din Basarabianul Podișului Central Moldovenesc*. An.șt.Univ. Iași, secț II. b., XV, Iași;
56. Paghida-Trelea N., Simionescu T. Olaru L., (1967) - *Contribuții la studiul micropaleontologic al Sarmațianului din împrejurimile orașului Hârlău*. Anal.șt.Univ. Iași, secț II., geol.-geogr., T.XIII, Iași;
57. Paghida-Trelea, N., Simionescu, T., (1966) - *Microfauna din sondajele de la Voinești-Iași*. An.șt.Univ. Iași, secț II.(șt.nat.)b.Geol. T.XII, Iași;
58. Panaitescu V. E., (2008) - *Acviferul freatic și de adâncime din Bazinul hidrografic Bârlad*. Edit. Casa Editorială Demiurg, Iași;
59. Pantazică Maria, Scharm Maria, (1983) – *Hidrologia uscatului*. Edit. Universitatea „Al.I.C.” Iași;