

## Raport științific final

### al proiectului: **VULNERABILITATEA RESURSELOR DE APĂ DIN SUBTERAN DIN PODIȘUL MOLDOVEI LA SCHIMBĂRILE CLIMATICE/THE VULNERABILITY OF UNDERGROUND WATER RESOURCES FROM MOLDAVIAN PLATEAU TO CLIMATE CHANGES (CHUWAT)**

**Număr de proiect 149/2020; Cod PN-III-P1-1.1-TE-2019-0286**

**Problematica inițială.** Strategiile de dezvoltare și nivelul de securitate socio-economică necesită o atenție deosebită asupra managementului resurselor de apă din subteran, mai ales că acestea reprezintă principalul rezervor de apă dulce la scară continentală. Presiunea antropogenă, dublată de schimbările climatice actuale și viitoare, arată modificări substanțiale ale binomului apă subterană-climat (Taniguchi, Holman, 2010). Variabilitatea crescândă a impulsului hidric atmosferic, care se reflectă în conținutul de umiditate al solului și în relația dintre apa de la suprafață și apa subterană reprezintă cea mai mare provocare în modul de gestionare a unei resurse vitale pentru societate (Taylor et al, 2012). Mai mult, lipsa informațiilor și a studiilor specifice care ar putea arăta gradul de vulnerabilitate a generat o serie de restricții în evaluarea impactului schimbărilor climatice asupra resurselor de apă din subteran. În acest sens, trebuie făcută o reevaluare a acestor resurse, în principal în partea de est a României (care se suprapune din punct de vedere geografic, în mare parte, peste Podișul Moldovei), regiune care este afectată de modalitatea în care comunitățile utilizează apa din subteran, mai ales în zone rurale. Mai mult decât atât, pe fondul apariției, în ultimele decade a unor episoade de secete severe (cum ar fi în 2000, 2007, 2011, 2012, 2018, 2020 și 2022) lipsa informațiilor exacte cu privire la caracteristicile hidrogeologice ale hidrostructurilor în care sunt cantonate acviferele (adâncimea apei, debitul de curgere, caracteristicile geofizice ale structurilor geologice și ale circulației apelor subterane,) au condus la o serie de măsuri administrative care au avut o rată scăzută de eficacitate în asigurarea nivelului de apă pentru populație, în condiții extreme. De exemplu, în urma secetei severe din vara anului 2007 prin Hotărârea Guvernului (HG 822/2007) s-a propus executarea unor puțuri de adâncime în vederea suplimentării cererii de apă în zonele critice cu risc ridicat în situații de secetă din județul Vaslui. Din cele 35 de fântâni executate, 16 nu au fost niciodată folosite până acum, altele 7 au apă arteziană și nu pot fi conectate la sistemele de alimentare cu apă, 4 au fost colmatate, 5 sunt folosite prin racordarea rețelelor de alimentare cu apă locală și 3 nu au fost finalizate (din cauza lipsei de fonduri sau a calității proaste a apei). Având în vedere că aceeași situație s-a întâmplat în întreaga regiune, merită subliniată necesitatea unei evaluări a vulnerabilității resurselor de apă subterană, mai ales că în această zonă, unde 50% din populație trăiește în comunități rurale unde principala sursă de alimentare cu apă este asigurată direct din subteran prin puțuri și foraje individuale (doar 25% din populația rurală, din această regiune, este racordată la un sistem centralizat de alimentare cu apă). De asemenea, din punct de vedere juridic trebuie să existe o transpunere a Directivelor Europene privind vulnerabilitatea acviferelor. Conform Directivei 2000/60/CE, în cadrul Podișului Moldovei au fost identificate 7 corpuri de apă subterană, iar matricea de evaluare care presupune analiza riscului calitativ și cantitativ al fiecărui corp de apă din subteran arată că 5 din cele 7 corpuri aparțin clasei de risc ridicat sau mediu. Corpul de apă subterană transfrontalier ROPR05 (aferent Podișului Central Moldovenesc), unde apa subterană are caracter ascensional, fiind cantonat în depozitele sarmato-ponțiane, are o importanță economică mai mică. Pe acest fond socio-economic, schimbările climatice, din ce în ce mai prezente, provoacă o serie de probleme reale prin scăderea aportului hidric atmosferic (în perioada sezonului rece, când are loc cel mai important transfer între apele de suprafață și apele subterane), și creșterea ratei de evapotranspirație (indusă de temperaturile mai ridicate din sezonul cald) necesită o analiză amănunțită a efectelor acestora asupra resurselor de apă din subteran din această regiune.

**Obiectivele principale ale proiectului.** Lipsa infrastructurii care să permită populației locale, preponderent rurale, un acces constant la resursele de apă, impune utilizarea apei subterane în mare parte cu multe implicații asupra calității și condițiilor de manifestare spațială. Efectul schimbărilor climatice din

ultimele decenii, alături de impactul uman, induce un risc major asupra acestei resurse. Principalele obiective ale acestui proiect sunt:

1. Identificarea hidrostructurilor specifice condițiilor geologice din Podișul Moldovei;
2. Identificarea zonelor vulnerabile la modificări ale nivelului apei subterane;
3. Aplicarea modelelor climatice regionale la nivelul Podișului Moldovei pentru evaluarea impactului schimbărilor climatice asupra resurselor de apă din subteran;
4. Modelarea răspunsului resurselor de apă din subteran la scenariile actuale și viitoare ale schimbărilor climatice.

5. Extinderea măsurătorilor nivelului apelor subterane în zona rurală a Podișului Moldovei pentru a identifica zonele vulnerabile la diferite scenarii de schimbări climatice. Aceste măsurători vor înlocui lipsa datelor din sistemele naționale de monitorizare gestionate de Institutul Național de Hidrologie și Gospodărire a Apelor privind variațiile nivelului apei subterane;

6. Elaborarea indicelui de vulnerabilitate subterană (indicele **IVS**) pe baza diversilor parametri: climatici (precipitații și temperaturi), hidrologici (densitatea rețelei hidrografice), hidrogeologici (nivelul apei subterane, textura solului, capacitatea de infiltrare), geologici (tipul structurilor geologice) și sociali (densitatea populației, tipul sistemului de alimentare cu apă pentru populație);

7. Evaluarea impactului uman asupra resurselor de apă subterane dat fiind că în această regiune cererea de apă a crescut, atât pentru alimentarea cu apă a sistemului public, cât și pentru utilizarea acesteia în agricultură. Aceasta va avea un rol major în reducerea supraexploatării resurselor de apă subterană.

Obiectivele menționate pot fi integrate în politicile de gospodărire a apelor la nivel regional, având în vedere creșterea presiunii umane și dezvoltarea socio-economică a zonei. Aplicarea modelelor climatice regionale pentru evaluarea impactului schimbărilor climatice asupra resurselor de apă subterane oferă posibilitatea extinderii obiectivelor de cercetare incluse în cadrul acestui proiect și în cadrul altor proiecte, prin continuarea temelor științifice prin programe de cercetare doctorală și postdoctorală.

Pentru atingerea fiecărui obiectiv au fost propuse mai multe etape de lucru:

#### **Etapa 1: Evaluarea condițiilor hidrogeologice și realizarea bazei de date care a cuprins:**

##### **1.1. Realizarea bazei de date hidrogeologice și climatice și**

##### **1.2. Măsurători sistematice a nivelului apelor din subteran în diferite zone din Podișul Moldovei**

În acest sens au fost realizate o serie de activități care au vizat:

##### **1.1.1. Identificarea punctelor hidrogeologice și stațiilor meteorologice a caror baza de date vor fi utilizate pentru prelucrarea ulterioară precum și analiza bazelor de date naționale și internaționale și on-line.**

În ceea ce privește identificarea punctelor hidrogeologice au fost analizate bazele de date existente în arhiva Administrației Bazinale pentru Apa Prut-Bârlad în vederea achiziționării unor serii complete de date lunare și anuale a variației nivelului freatic pentru arealul cercetat. Astfel au fost analizate **241 de foraje hidrogeologice** răspândite spațial pe tot teritoriul Podișului Moldovei. Din acestea doar **148** îndeplineau condițiile de omogenitate și continuitate a șirului de date pentru perioada **1983-2020** (din 1983 au început să fie realizate măsurători sistematice asupra variației nivelului piezometric în cadrul forajelor hidrogeologice aflate sub monitorizarea acestei administrații) și datele aferente au fost achiziționate la începutul anului 2021. În paralel au fost începute o serie de măsurători sistematice asupra nivelului freatic al apelor din subteran, pentru tot Podișul Moldovei, în perioada septembrie 2020-septembrie 2022 în diverse puncte de măsurare (fântâni, foraje, puțuri). În cazul punctelor de măsurare a adâncimii nivelului freatic au fost respectate o serie de criterii pe care trebuie să le îndeplinească punctele de observație: i) să nu fie influențate de activitatea antropică (prin prelevări sau infiltrări de apă în subteran; ii) nivelele freatic să reflecte variația pânzei freatic din stratele acvifere libere sau semi-captive; iii) distribuția spațială a punctelor de măsurare să țină cont de condițiile geologice specifice Podișului Moldovei și să cuprindă diferitele tipuri de hidrostructuri specifice (în depozite eluviale, deluviale, coluviale, proluviale și aluviale). Aceste măsurători sunt efectuate pentru a identifica arealele vulnerabile la variațiile condițiilor climatice (secete sau precipitații în exces). Măsurătorile efectuate au evidențiat în prima fază (perioada septembrie-decembrie 2020) existența unei

perioade de secetă hidrogeologică, atenuată înspre primăvara și vara anului 2021 datorită precipitațiilor căzute, dar a care a revenit și mai accentuat în perioada august-decembrie 2021, (mai ales în partea nordică a regiunii) cu impact asupra secetei de la nivelul întregului an 2022. Forajele hidrogeologice și stațiile meteorologice a căror serii de date a fost analizate și punctele de observație identificate în cadrul Podișului Moldovei sunt reprezentate în figura 1.

Pentru datele climatice au fost extrase valorile lunare și anuale pentru temperature aerului (°C) și precipitații atmosferice (mm), pentru 8 stații meteorologice distribuite uniform pe toată suprafața Podișului Moldovei. Stațiile meteorologice utilizate sunt: Darabani, Botoșani, Cotnari, Iași, Vaslui, Bârlad, Tecuci și Galați. Datele acoperă o perioadă de 38 de ani, din 1983 până în 2020, și au fost extrase din setul de date climatice ROCADA furnizat ca bază de date de tip grid de către Administrația Națională de Meteorologie (Dumitrescu, Birsan, 2015) pentru perioada 1983-2013 și din modelul ERA 5 produs de Centrul pentru prognoze meteorologice pe termen mediu, în cadrul Serviciului Copernicus privind schimbările climatice (C3S) (Hersbach et al., 2020) pentru perioada 2014-2020.

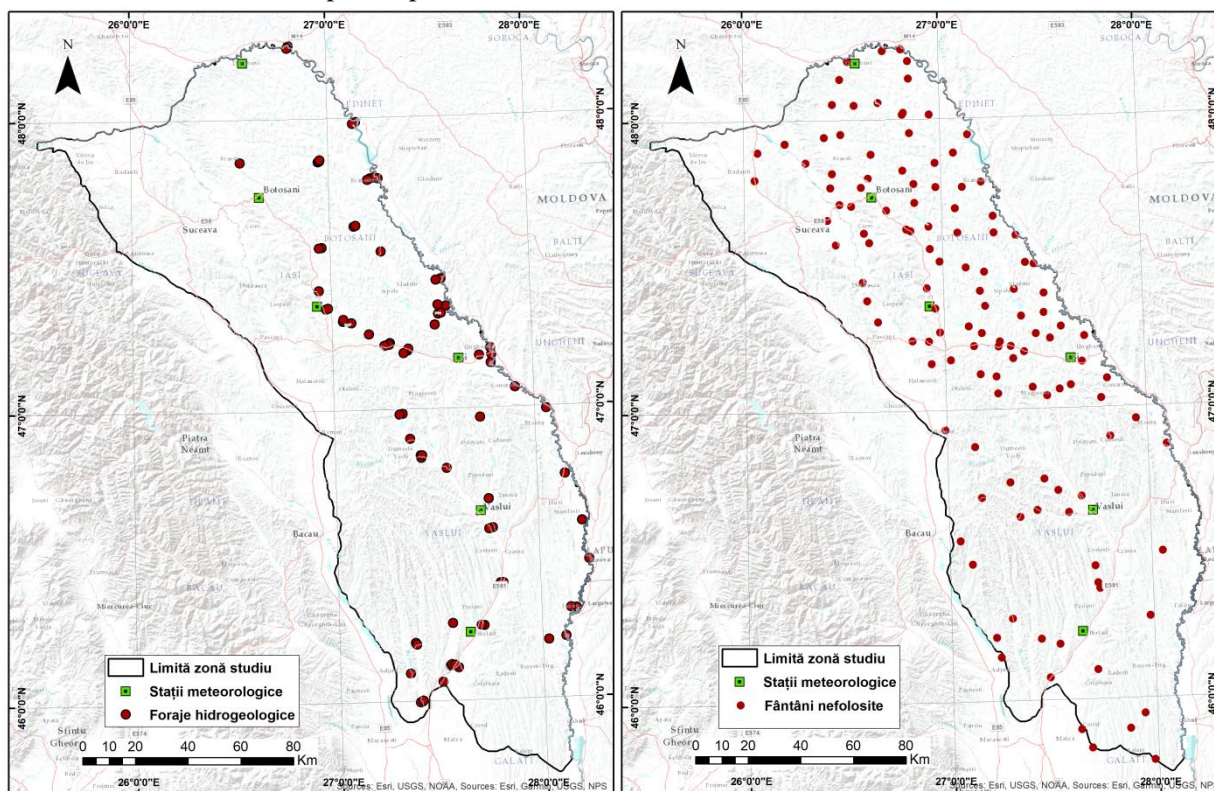


Figura 1. Foraje hidrogeologice, stații meteorologice și puncte de observație a variației nivelului freatic analizate în cadrul Podișului Moldovei

### 1.2.1. Identificarea condițiilor hidrogeologice din Podișului Moldovei

Podișul Moldovei are o suprafață de peste 25000 km<sup>2</sup> în care trăiesc aproximativ 2,5 milioane de locuitori, și se suprapune peste partea de est a României, cuprinsă în cea mai mare parte între râurile Siret și Prut, la granița cu Ucraina (în nord) și Republica Moldova (în est). Din punct de vedere economic și social este inclus în regiunile vulnerabile transfrontaliere/comune cu alte țări. Relieful tipic de podiș domină topografia, cu altitudini cuprinse între 15 și 450 m. Din punct de vedere geologic, în partea de sud predomină nisipurile unde rata mare de infiltrație a apei din precipitații diminuează scurgerea de suprafață. În centru, există un amestec de nisipuri și depozite argiloase, care favorizează alunecările de teren și eroziunea în suprafață (Mărgarint, Niculiță 2016). În partea nordică, depozitele de argile și marne sunt predominante, în timp ce în nord-vest sunt mai frecvente depozitele argiloase și grezoase (Panaitescu 2007).

În ceea ce privește clima regiunii, predomină trăsăturile continentale destul de accentuate, cu temperaturi maxime și precipitații vara (iunie sau iulie) în timp ce valorile minime se înregistrează în timpul iernii (ianuarie sau februarie). Temperatura medie anuală crește de la 7-8°C, în nord, la 9-10°C, în sudul

regiunii. Cantitățile anuale de precipitații variază de la 620 la 480 mm și scad de la nord la sud. În timpul iernii, precipitațiile sunt în principal solide și cele mai multe dintre ele se păstrează ca strat de zăpadă până în primăvară din cauza temperaturilor negative frecvente care variază de la  $-4^{\circ}\dots-6^{\circ}\text{C}$  în nord și  $-2^{\circ}\dots-3^{\circ}\text{C}$  în sud (Sandu et al. 2008). Variația sezonieră indică faptul că cantitățile de precipitații înregistrate vara sunt de două ori până la trei ori mai mari în comparație cu cele căzute în timpul iernii (Sfîca et al. 2017). În Podișul Moldovei, debitele râurilor mici (cu lungimi de sub 50 km) sunt destul de reduse, sub  $1\text{ m}^3/\text{s}$  ca valori medii lunare și anuale, iar regimul acestora se caracterizează printr-un maxim de primăvară, precum și printr-un minim la sfârșitul verii și la începutul toamnei.

Conform Directivei Cadru 2000/60/CE, în partea de est a României au fost identificate 7 corpuri de apă subterană (6 naționale și unul transfrontalier cu Republica Moldova): ROPR01 – Lunca superioară a râului Prut și a afluenții acestuia. Afluenți, ROPR02 –Lunca inundabilă mijlocie a râului Prut și afluenții săi, ROPR03 –Lunca inundabilă a râului Bârlad și afluenții săi, ROPR04 – Câmpia Covurluiului, ROPR05 – Podișul Central Moldovenesc, ROPR06 – Câmpia Tecuciului, ROPR07 – Câmpia Moldovei (Figura 2). Toate cele 7 corpuri de apă subterană identificate aparțin tipului poros, fiind acumulate în depozite cuaternare și sarmato-pontiene. Majoritatea corpurilor de apă subterană 6 (ROPR01, ROPR02, ROPR03, ROPR04, ROPR06 și ROPR07) au fost delimitate în zonele inundabile ale principalelor râuri care drenează regiunea (Prut, Bârlad și Siret), fiind dezvoltate în depozite aluviale cuaternare, poros-permeabile. Situate aproape de suprafața solului, aceste corpuri de apă subterană au un nivel piezometric liber și sunt supuse presiunilor antropice atât cantitativ, cât și calitativ.

Resursele de apă subterană sunt estimate la 251,4 milioane  $\text{m}^3$  (cu un debit de  $7,97\text{ m}^3/\text{s}$ ), din care 34,7 milioane  $\text{m}^3$  ( $1,1\text{ m}^3/\text{s}$ ) provin din surse de apă subterană, situate în apropierea suprafeței și 216,7 milioane  $\text{m}^3$  ( $6,87\text{ m}^3/\text{s}$ ), din surse de adâncime (ANAP, 2018).

La nivelul Podișului Moldovei au fost identificate hidrostructuri de adâncime și de suprafață (Panaiteescu, 2007, Dragomir, 2008, Minea 2012).

*Hidrostructurile de adâncime captive (cu sau fără presiune)* sunt, în general, situate sub nivelul talvegurilor râurilor și sunt cantonate în depozite permeabile de vârstă sarmațiană, badeniană, cretacică siluriană și proterozoică (ale cristalinelui fisurat) și au fost interceptate de forajele executate în albiile majore ale principalelor râuri din Podișul Moldovei și din zonele interfluviale. Condițiile de zăcământ, cu depozite geologice monoclinale înclinate spre sud-est, asigură acestor hidrostructuri posibilități de alimentare numai prin capete de strat. În general aceste hidrostructuri conțin atât ape oligominerale potabile și nepotabile, cât și ape cu mineralizație ridicată, recomandate în scopuri terapeutice.

În cadrul *hidrostructurilor de suprafață* aflate, de obicei, deasupra talvegurilor, sunt incluse:

a) *hidrostructuri de descărcare de tip interfluviu*, ale căror acvifere se află la baza depozitelor loessoide și în depozitele sarmațianului superior și meoțianului, cu alimentare pluvio-nivală și din apele de suprafață, identificate în zona Câmpiei Colinare a Jijiei și a Bahlului (în nord), Colinelor Tutovei și Dealurilor Fălciului (în centru) și Podișului Covurlui (în partea sudică);

b) *hidrostructuri de descărcare ale depozitelor aluvionare de terasă*, cu alimentare pluvio-nivală și din apele de suprafață, identificate în lungul rețelei hidrografice principale (râurile Prut, Siret, Bârlad, Jijia și Bașeu) și secundare (râurile Bahlui, Vasluț, Tutova etc);

c) *hidrostructuri de descărcare din depozitele aluvionare ale albiilor majore* ale principalelor cursuri de apă din cadrul Podișului Moldovei (râurile Prut, Siret, Bârlad și Jijia) cu alimentare principală din apele de suprafață de origine pluvio-nivală.

d) *hidrostructuri de descărcare de tip gresie oolitică* dezvoltate deasupra și mai rar sub nivelul de bază, cu alimentare pluvio-nivală și din apele de suprafață, reprezentate în cadrul Podișului Moldovei prin hidrostructura Dealul Mare-Hârlău (în partea nord-vestică), hidrostructura aferentă Podișului Central Moldovenesc (în partea centrală a regiunii).



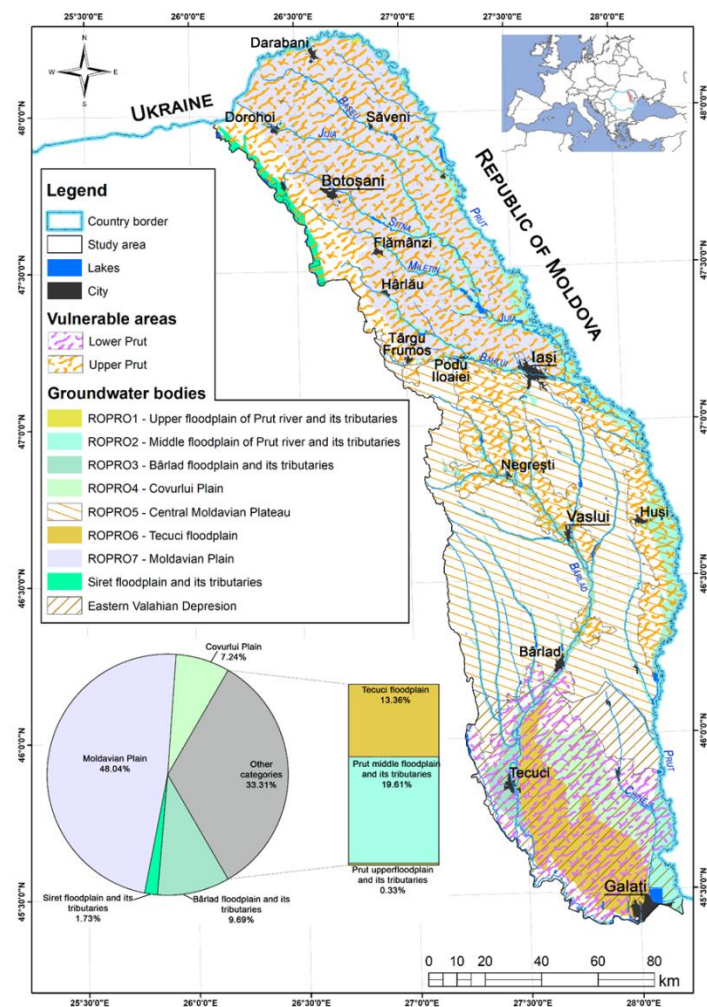


Figura 2. Corpuri de apă din subteran aferente Podișului Moldovei (Minea et al., 2020)

## Etapa 2. Procesarea datelor și efectuarea măsurătorilor hidrogeologice

### 2.1. Prelucrarea datelor hidrogeologice și climatice pentru a detecta tendințele din ultimele decenii

#### 2.1.1. Detectarea tendințelor liniare ale seriilor de date; Detectarea posibilelor puncte ale tendințelor schimbării și detectarea tendințelor secvențiale.

După achiționarea datelor hidrogeologice și meteorologice a început etapa testării omogenității seriilor de date. În prealabil s-a verificat *calitatea seriilor de date* pentru a detecta erorile de măsurare din șirurile de date utilizate. Acestea pot fi determinate de introducerea eronată a datelor în bazele de date utilizate mai ales înainte de 1990, când măsurătorile hidrogeologice se realizau de multe ori expeditionar și datele nu reflectau situația reală, din teren. În acest sens au fost comparate seriile de date de la forajele hidrogeologice învecinate din cadrul aceleiași stații hidrogeologice sau situate în cadrul aceluiași bazin hidrografic pentru a fi scoase în evidență greșelile de măsurare sau introducerea datelor în baza de date hidrogeologică aferentă. Practic în cadrul aceleiași stații hidrogeologice sau bazin hidrografic tendințele de creștere sau descreștere a nivelului piezometric se păstrează de la o lună la alta fără a se depăși intervalul de  $\pm 5\%$ . Valorile care depășesc acest interval sunt reanalizate și corectate în funcție de valorile nivelului piezometric de la forajele învecinate.

Pentru detectarea tendințelor au fost utilizate 3 metode statistice: testul non-parametric Mann-Kendall (MK), Innovative Trend Analysis Method (ITA) și testul Spearman's Rho (SR).

a) *Testul non-parametric Mann Kendall (MK)* are avantajul de a fi mai puțin sensibil la valorile extreme care pot aduce o oarecare abatere în analiza statistică și poate a fi aplicat la seturi de date care nu se încadrează într-o distribuție statistică (Tabari et al., 2017). În consecință, această metodă a fost utilizată în

mare măsură pentru a detecta tendințele în serii de date climatice și hidrologice, cum ar fi temperatura, precipitațiile, stratul de zăpadă, scurgerea râurilor etc. (El Kenawy și colab., 2011; Bîrsan și colab., 2014; Asfaw și colab., 2018).

b) *Innovative Trend Analysis Method (ITA)* dezvoltată de Şen (2012) a fost aplicată la diferiți parametri hidroclimatici deoarece analiza comparativă a seriilor de date se poate face fără asumări statistice (Dabanli et al. 2016). Metoda presupune separarea setului de date în două subserii egale în ordine crescătoare. Seriile sunt trasate într-un sistem de coordonate carteziene bidimensionale și comparate cu linia mediană (1:1). Dacă în grafic punctele sunt situate deasupra liniei mediane, ele reprezintă o tendință de creștere, în timp ce punctele situate sub linie reprezintă tendințe de scădere. Pentru şirurile de date hidrogeologice şirurile anotimpuale și anuale au fost împărțite în două serii de date pentru perioada 1983-2001 și 2002-2020. Dacă punctele sunt concentrate de-a lungul liniei medii, ele nu indică nicio tendință.

c) Testul *Spearman's Rho Test (SR)* este o altă metodă neparametrică bazată pe rangul valorilor în şirul de date, utilizată pentru a analiza variațiile parametrilor hidroclimatici pentru a compara rezultatele cu alte metode statistice (cum ar fi MK sau ITA).

Măsurătorile pentru determinarea nivelului apei din subteran sunt raportate la de suprafața terenului. În acest caz, analiza rezultatelor privind valorile tendințelor obținute prin diferite metode statistice trebuie să țină cont de acest sistem de raportare care va fi interpretat invers față de sistemul de analiză a parametrilor climatici și hidrologici (Figura 3).

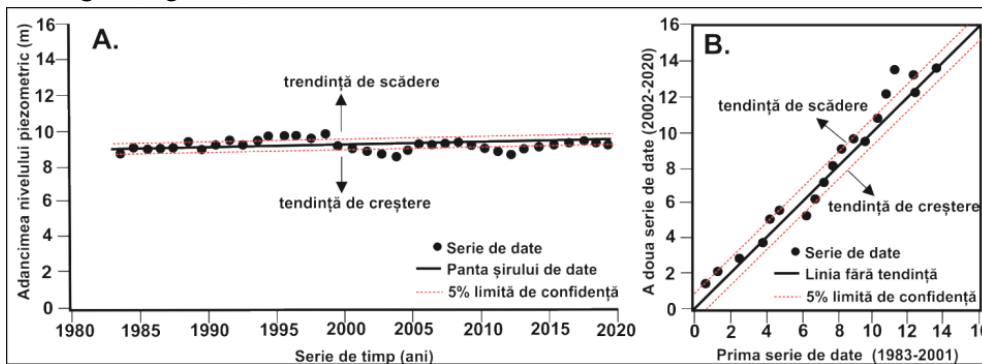


Figura 3. Interpretare grafică pentru tendințele nivelului apei subterane folosind testul MK (A) și metoda ITA (B)

Rezultatele tendințelor nivelului piezometric sunt reprezentate pentru fiecare metodă statistică de analiză în figurile 4-6.

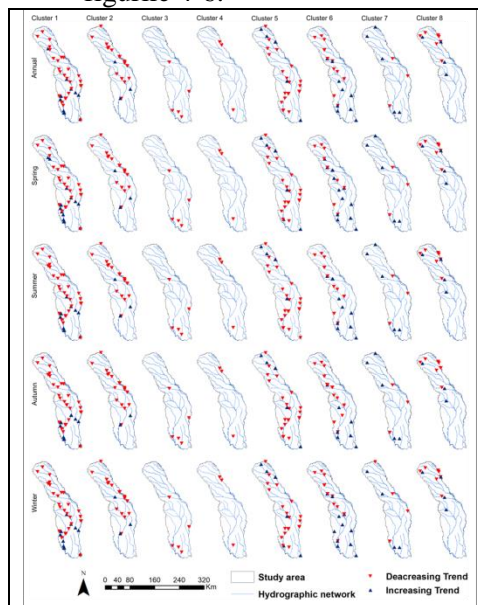


Figura 4. Distribuția spațială ale tendințelor sezoniere și anuale la nivel de cluster folosind testul MK

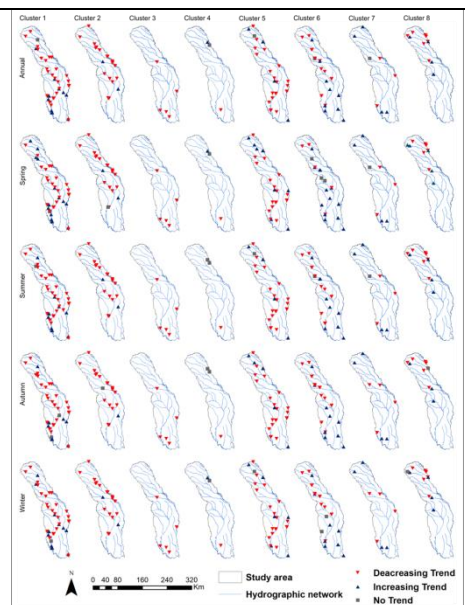


Figura 5. Distribuția spațială ale tendințelor sezoniere și anuale la nivel de cluster folosind ITA method

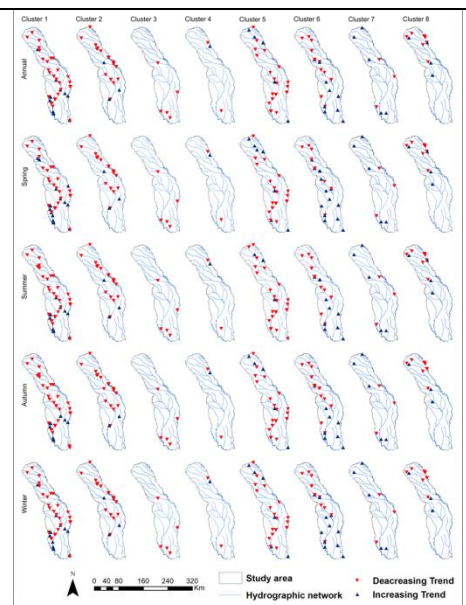


Figura 6. Distribuția spațială ale tendințelor sezoniere și anuale la nivel de cluster folosind SR test

## **2.2. Măsurători sistematice a nivelului apelor subterane în diferite zone din Podișul Moldovei pentru fiecare tip de structură hidrogeologică și identificarea zonelor vulnerabile la variații importante la nivelul apei subterane.**

În cadrul acestei etape au fost realizate măsurători ale nivelului freatic începute în perioada septembrie-noiembrie 2020 în tot Podișul Moldovei și pe întreg parcursul anului 2021 și până în septembrie 2022. Au fost identificate 4 situații în care variațiile nivelului freatic vulnerabilează anumite areale:

- 1) Zonele aflate în apropierea marilor acumulări din Câmpia Jijiei și a Bahluiului și din lungul râului Bârlad și al afluenților, acolo unde variațiile nivelului apei condiționează variațiile nivelului freatic impunând o creștere a acestuia până foarte aproape de suprafața terenului (zona lacurilor de acumulare Belcești de pe râul Bahlui);
- 2) Zone unde activitățile umane, în special prin practicarea legumiculturii, impun extragerea apei din subteran cu ajutorul pompelor și utilizată intensiv, coroborată și cu depozitele geologice predominant nisipoase a determinat o scădere a nivelului freatic raportată la suprafața topografică. Practic pe suprafețe mari din Podișul Covurlui și nordul Câmpiei Siretului inferior (arealul Tecuci –Matca – Cudalbi – Pechea – Liești –Tecuci) și din partea sud-vestică a Colinelor Tutovei (pe interfluviul dintre râurile Bârlad și Siret pe aliniamentul localităților Nicorești-Bucuiumeni-Homocea) nivelul freatic nu a mai putut fi interceptat decât sporadic după perioade de precipitații abundente.
- 3) Zone situate în partea nordică a Podișului Bârladului (în subunitatea Podișului Central Moldovenesc, în depozitele eluviale și deluviale alcătuite predominant din nisipuri sau nisipuri în amestec cu argile și marne, zona comunei Mădărjac, de exemplu) unde datorită apariției fenomenelor de secetă meteorologică, translată temporal în secetă hidrologică și hidrogeologică, nivelul freatic a scăzut foarte mult în perioadele septembrie-noiembrie 2020, august-decembrie 2021 și martie-septembrie 2022. Având în vedere lipsa unor alternative în alimentarea cu apă a populației locale întregul areal este extrem de vulnerabil la variațiile nivelului freatic, mai ales în perioadele secetoase (Minea et al, 2021).
- 4) Totodată au fost identificate areale importante cu suprafețe de peste 250 km<sup>2</sup> fără nicio posibilitate de a evalua variația nivelului freatic. Acestea se extind în cea mai mare parte în zona utilizată preponderent agricol în bazinul superior al râului Bașeu (la nord de localitatea Havârna), pe interfluviul dintre Jijia și Prut (la nord de localitatea Bivolari) sau în partea sud-estică a Dealurilor Fălciului (la est de orașul Târgu Bujor) ori în Podișul Covurluiului (unde în afara forajelor hidrogeologice aflate la mare adâncime și monitorizate de Administrația Bazinală pentru Apă Prut-Bârlad nu au fost identificate alte posibile puncte de observație (fântâni sau puțuri).

## **2.3. Aplicarea modelelor climatice regionale la nivelul Podișului Moldovei pentru a evalua impactul schimbărilor climatice asupra resurselor de apă subterane**

### **2.3.1. Calibrarea modelului climatic; Validarea modelului ales prin simulări pentru zone reprezentative;**

Pentru a identifica cel mai potrivit scenariu climatic au fost analizate 10 modele climatice regionale (MCR, bias corected) ale temperaturii și precipitațiilor zilnice ale aerului pe teritoriul României (denumite RoCliB). Cele 10 modele climatice regionale utilizate sunt prezentate în tabelul 1. Aceste MCR ajustate sunt disponibile în format on-line în fișiere compatibile netCDF CF-1.4. Datele se bazează pe proiecțiile climatice zilnice de-a lungul secolului 21 la o rezoluție spațială de 0,11° (aproximativ 12,5 km × 12,5 km), din inițiativa EURO-CORDEX (Mezghani et al., 2017).

Au fost utilizate două proiecții climatice (Regional Concentration Pathways-RCP): cele moderate (forțarea radiativă să se stabilizeze la 4,5 W/m<sup>2</sup> înainte de anul 2100) și cel extreme (forțarea radiativă să se stabilizeze la 8,5 W/m<sup>2</sup> înainte de anul 2100). De obicei, aceste proiecții corespund unui scenariu moderat (RCP4.5) și unui scenariu extrem de schimbări climatice (RCP8.5).

Tabel 1. Modele climatice regionale selectate

Nr	Institutia sau grupul de lucru care a elaborat modelul	MCR Model	GCM Institute	GCM Driving	Run
1	Climate Limited-area Modelling Community (CLMcom)	CCLM4-8-17	CNRM-CERFACS	CNRM-CM5	r1i1p1
2	Royal Netherlands Meteorological Institute (KNMI)	RACMO22E	CNRM-CERFACS	CNRM-CM5	r1i1p
3	Swedish Meteorological and Hydrological Institute (SMHI)	RCA4	CNRM-CERFACS	CNRM-CM5	r1i1p
4	Climate Limited-area Modelling Community (CLMcom)	CCLM4-8-17	ICHEC	EC-EARTH	r1i1p1
5	Swedish Meteorological and Hydrological Institute (SMHI)	RCA4	ICHEC	EC-EARTH	r1i1p1
6	Royal Netherlands Meteorological Institute (KNMI)	RACMO22E	ICHEC	EC-EARTH	r12i1p1
7	Danish Meteorological Institute (DMI)	HIRHAM5	ICHEC	EC-EARTH	r12i1p1
8	Climate Limited-area Modelling Community (CLMcom)	CCLM4-8-17	MPI-M	MPI-ESM-LR	r1i1p1
9	Swedish Meteorological and Hydrological Institute (SMHI)	RCA4	MPI-M	MPI-ESM-LR	r3i1p1
10	Climate Service Center Germany (GERICS)	REMO2015	NCC	NorESM1-M	r1i1p1

Pentru a identifica legătura dintre elementele climatice și variațiile nivelului piezometric a fost utilizate modelele autoregressive. Rețelele neuronale artificiale (ANN) au fost utilizate pe scară largă în ultimele două decenii pentru prognoza diferitelor variabile de mediu. Acest tip de modele *cutie neagră* emulează comportamentul creierului uman și pot descoperi relații între variabile prin aplicarea anumitor algoritmi de antrenament pe datele disponibile. ANN-urile sunt utile în special pentru investigarea scenariilor complexe atunci când o înțelegere precisă a proceselor relevante este limitată, prezentând adesea performanțe comparabile cu cele ale modelelor numerice (Sahoo et al., 2017). Datorită capacității lor de a capta dinamica și neliniaritățile sistemului, ANN-urile sunt ideale pentru studiul sistemelor hidrologice care au de obicei variabilitati spațio-temporale semnificative.

Rezultatele obținute indică faptul că pentru cele mai importante clustere (2 și 4) cei mai importanți parametri climatici pentru variabilitatea lunară la nivelul solului sunt reprezentați de temperatura medie și maximă a aerului, deficit de apă de vapori, umiditate relativă, precipitații, evaporare. Adâncimea nivelului apei subterane este direct corelată cu temperatura medie și maximă a aerului, deficitul de apă și evaporarea. Umiditatea relativă, evaporarea și bilanțul apei sunt în schimb corelate negativ cu adâncimea apei subterane. Astfel, temperatura mai mare/măi scăzută a aerului, vaporii de apă și evaporarea sunt legate de nivelul mai scăzut/măi ridicat al apei subterane, în timp ce umiditatea relativă, cantitatea de precipitații și echilibrul apei sunt legate de nivelul măi ridicat/măi scăzut al apei subterane.

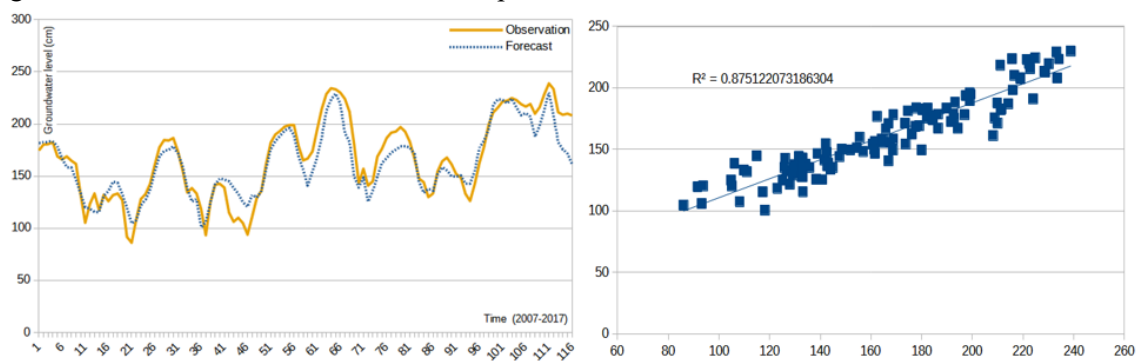


Figura 8. Comparație între datele privind nivelul apei subterane observate și nivelul apei subterane prezis de modelul NARX în testare (stânga) și variabilitatea explicată (dreapta)

Rezultatele proiecțiilor climatice indică o creștere clară a temperaturii aerului, care este de așteptat să crească constant spre sfârșitul secolului. Într-un scenariu de caz moderat (RCP4.5), creșterea temperaturii medii pentru 2100 este limitată la +2,5°C peste media 1980-2010, în timp ce pentru scenariul de caz extrem (RCP4.5) o creștere care depășește 4,0°C este indicat. În ceea ce privește cantitatea anuală de precipitații, nu sunt prezentate modificări majore în niciunul dintre cele două scenarii. Cu toate acestea, conform altor studii,



modificările cantității de precipitații pot duce la o variabilitate mai mare cu cantități mari de precipitații, urmate de perioade intense de secetă la scară de timp sub-anuală.

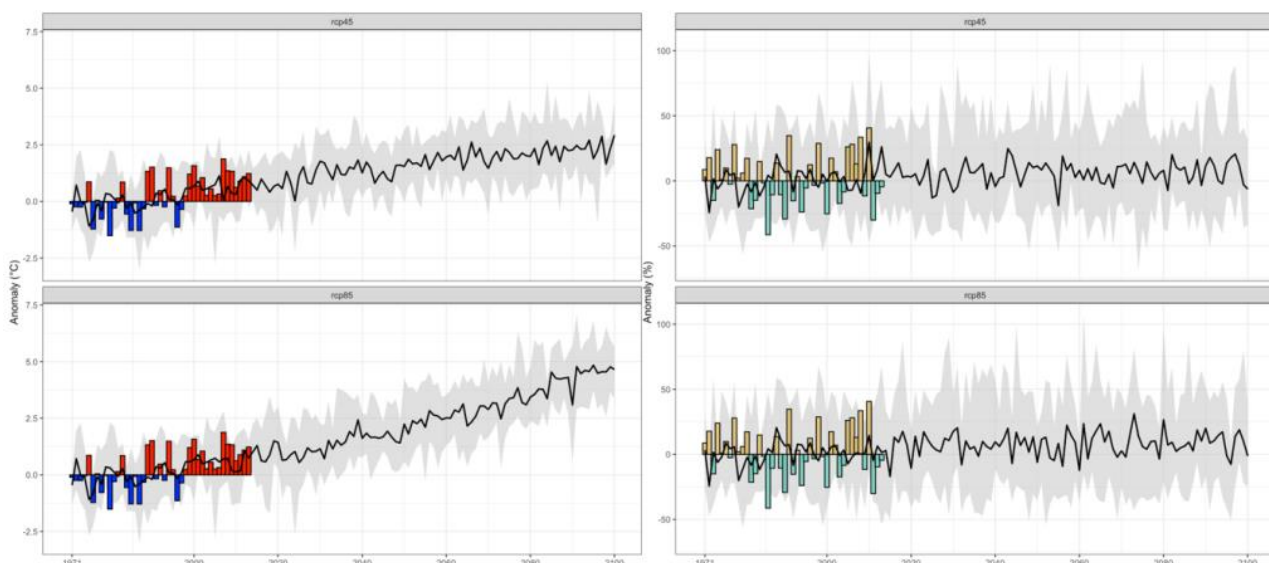


Figura 9. Proiecțiile climatice ale temperaturii aerului și cantității de precipitații în regiunea de studiu pentru un scenariu de schimbări climatice moderate (RCP4.5) și extreme (RCP8.5) pentru 2020-2100 (sursa de date: RoCLIBv.01)

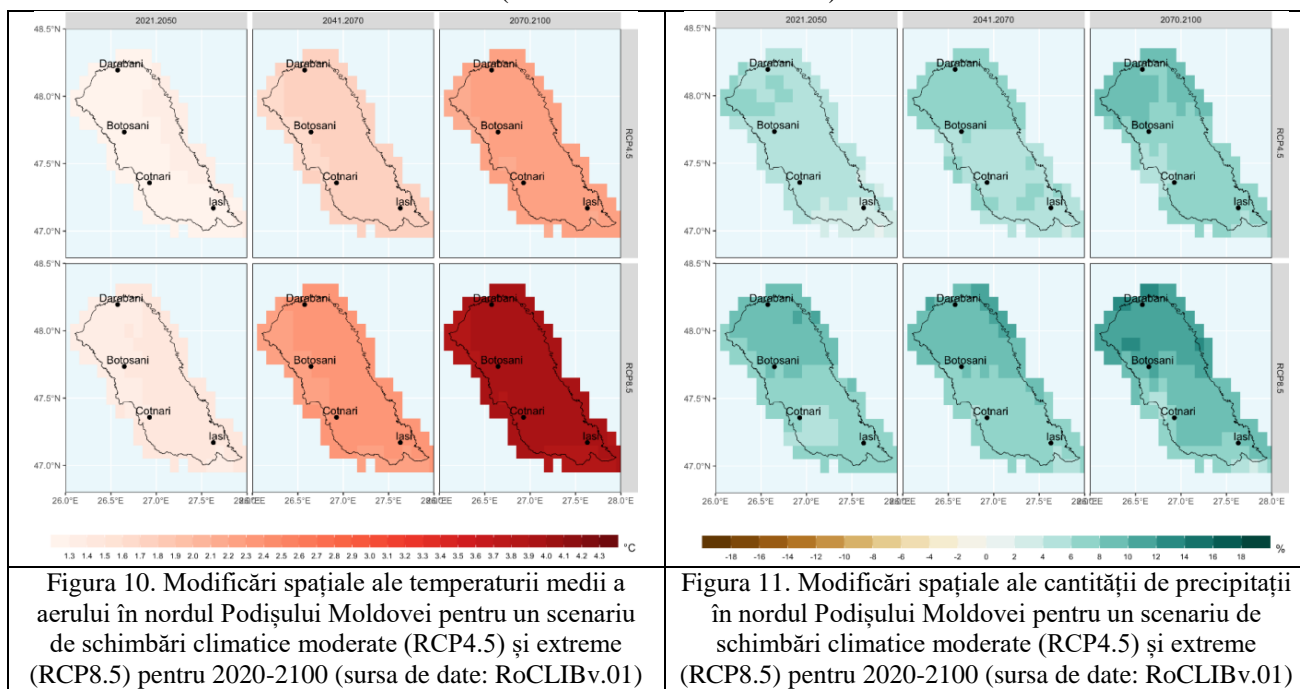


Figura 10. Modificări spațiale ale temperaturii medii a aerului în nordul Podișului Moldovei pentru un scenariu de schimbări climatice moderate (RCP4.5) și extreme (RCP8.5) pentru 2020-2100 (sursa de date: RoCLIBv.01)

Figura 11. Modificări spațiale ale cantității de precipitații în nordul Podișului Moldovei pentru un scenariu de schimbări climatice moderate (RCP4.5) și extreme (RCP8.5) pentru 2020-2100 (sursa de date: RoCLIBv.01)

În funcție de modelele climatice asociate cantităților de precipitații au fost proiectate evoluția nivelului piezometric (Figurile 12 și 13).



Figura 12. Evoluția proiectată a nivelului mediu al apei subterane în funcție de scenariile climatice moderate (RCP4.5) și extreme (RCP8.5) pentru media Clusterului 2 și forajul hidrogeologic Corlateni

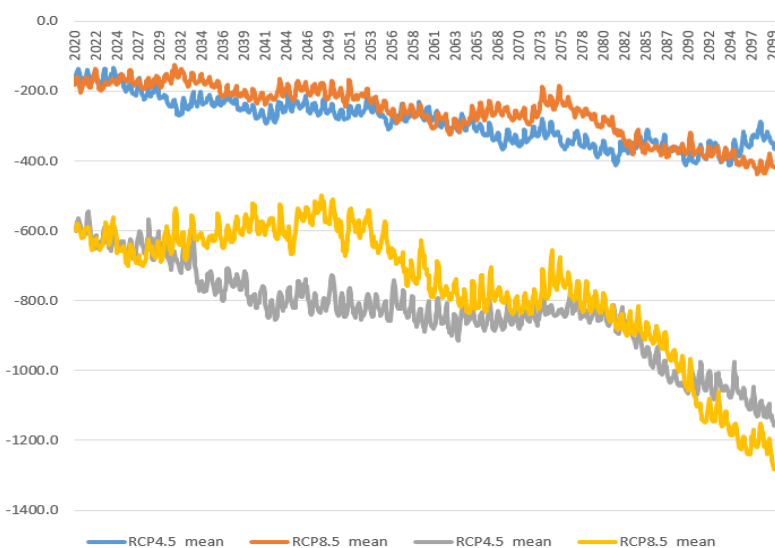


Figura 13. Evoluția proiectată a nivelului piezometric în funcție de scenariile climatice moderate (RCP4.5) și extreme (RCP8.5)

## 2.5. Elaborarea indicelui vulnerabilității socio-economice în raport cu resursele de apă din subteran (indicele SoGwVI)

### 2.5.1. Analiza parametrilor meteorologici, hidrogeologici, hidrologici și sociali utilizați pentru elaborarea indicelui de vulnerabilitate a resurselor de apă din subteran din Podisul Moldovei

Evaluarea presiunii umane asupra resurselor de apă din subteran din partea de est a României poate fi realizată printr-o multitudine de metodologii. Pentru a identifica gradul de vulnerabilitate a resurselor de apă din această regiune am optat pentru estimarea unui indice de exploatare al apei din subteran (GroundWater Exploitation Index - GWEI) și un indice care să evidențieze vulnerabilitatea socială în fața acestei resurse Social-groundwater vulnerability index - SoGwVI)

GWEI index a fost calculat pe baza metodologiei asociată indicelui de exploatare al apei (Water exploitation index dezvoltat de către Agenția Europeană de Mediu și transferat de la nivel de țară la nivel de bazin sau subbazin hidrografic (WEI+) (EEA Water Exploitation Index Plus WEI+ for river basins districts, 2017). Acest indice exprimă nivelul presiunii pe care activitățile antropogene o exercită asupra resurselor naturale de apă într-un anumit spațiu (subbazin hidrografic, bazin hidrografic, teritoriu național sau regiune), în vederea identificării acelor zone predispuse la deficit de apă. Matematic acest indice se calculează ca fiind raportul dintre cererea medie pentru apă și resursele de apă pe termen lung care se regăsesc la nivelul unei

regiuni. În același timp scoate în evidență impactul antropic asupra resurselor de apă prin modul de utilizare al apei în diverse domenii. Prin extrapolarea modului de analiza a acestui indice poate fi calculat un indice de tipul GroundWater Exploitation Index (GWEI) ce poate fi aplicat corpurilor de apă din subteran dintr-o anumită regiune.

$$GWEI = \frac{Vi}{\sum Vi,j/n} * 100$$

unde:  $V_i$  reprezintă captarea anuală a apei subterane din corpul specific de apă subterană și  $\sum Vi,j$  volumul anual pe termen lung de apă subterană disponibilă pentru captare,  $n$  este numărul de ani analizați. Abordări metodologice similare au fost realizate parțial de Changming et al. (2001) și Wang și Wu (2006). Ca și în cazul WEI+ dacă valorile GWEI se situează sub 10%, atunci se consideră ca resursele de apă nu sunt supuse unei presiuni antropice. Dacă valorile sunt cuprinse între 10 și 20% atunci se consideră că resursele de apă sunt supuse unei presiuni antropice reduse, iar valori ale indicelui de exploatare cuprinse între 20% și 40% indica existența unei presiuni antropice ridicate asupra resurselor de apă. Valori ridicate ale GWEI, de peste 40% indică existența unei presiuni extreme asupra resurselor de apă, cu impact devastator pe termen mediu și lung. Perioada minimă care se ia în considerare pentru calcularea mediei anuale pe termen lung a GWEI+ este de 20 ani. Din datele oficiale care au fost publicate la nivelul României putem estima valorile GWEI pentru partea de est a țării, pentru perioada 1990-2017. Evaluările globale bazate pe informații vechi publicate în perioada 1970-1990 nu pot fi considerate ca o bază de date pentru studii științifice corecte cu privire la modificările care au avut loc în nivelul apei subterane în ultimele decenii, la nivel național sau regional.

Evoluția indicelui GWEI pentru partea de est a României a fost analizată pentru fiecare corp de apă din subteran. Distribuția spațială a forajelor hidrogeologice ne-a permis să extragem o serie de concluzii în ceea ce privește presiunea umană asupra resurselor de apă. Astfel corpurile de apă care sunt situate în zone mai joase, unde utilizarea terenului este preponderent agricolă (în partea sudică și nord-estică) valorile GWEI tind să crească în ultimele două decenii. Extragerea apei din subteran pentru diverse activități agricole au dus la creșterea presiunii antropice asupra acestor de resurse de apă. Corpurile de apă din subteran situate în lungul principalelor râuri care drenează regiunea (ROPR03, ROPR04, ROPR06 and ROPR07) și aflate în zone mai dens populate și mai intens utilizate agricol au o evoluție negativă a indicelui GWEI accentuată și de supraexploatarea apei din subteran în perioadele secetoase. Presiunea antropică tot mai crescândă se manifesta mai ales la nivelul corpurilor de apă din subteran ROPR04 and ROPR06 unde investițiile făcute de locuitori în dezvoltarea legumiculturii ca activitate economică de bază au dus la o cerere foarte mare de apă, de multe ori preluată direct din subteran prin puturi individuale de exploatare. Corpul de apă din subteran ROPR05 cu rezerve de apă importante aflate la adâncimi de peste 10 m și care acoperă un areal, mai puțin populat și mai împădurit nu are fluctuații semnificative ale GWEI.

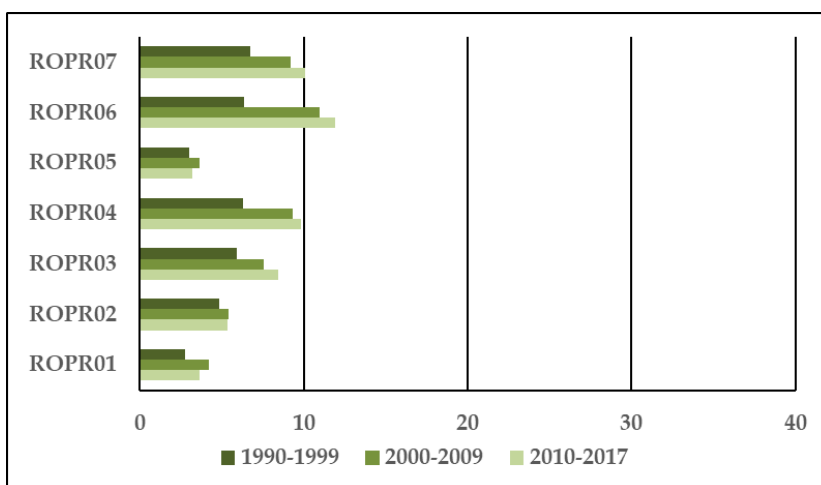


Figure 14. Evoluția decadală a indicelui GWEI în corpurile de apă din subteran din Podișul Moldovei (Minea et al., 2020)

Corpurile de apă situate în lungul râului Prut de asemenea nu reflectă o presiune antropică semnificativă în ultimele decenii datorită sistemelor de irigații ce preiau apa din resursele de suprafață dezvoltate în ultimele decenii. Evoluția temporală a acestui indicator nu arată o tendință clară. Se observă că în ultimele decade frecvența încadrării GWEI pentru ROPR04, ROPR06 and ROPR07 în clasa valorilor cuprinsă între 10 și 20%, și chiar 20 și 40% arată creșterea presiunii antropice, chiar dacă redusă la nivel actual, asupra resurselor de apă din subteran. Valorile medii ale GWEI pentru diferite decade nu indică o presiune antropică asupra rezervelor de apă din subteran din regiune (Figura 16). Se remarcă totuși câțiva ani cu valori mai ridicate ale GWEI (2000, 2007, 2012) când 4 din cele 7 corpuri de apă din subteran analizate indică o creștere a presiunii antropice, iar în anul 2012 la ROPR06 chiar se atinge nivelul unei presiuni antropice semnificative.

În urma măsurătorilor efectuate în teren s-a observat că presiunea antropică asupra resurselor de apă din subteran din podișul Moldovei este una exponențială. În acest sens pe baza datelor referitoare la nivelul piezometric din forajele monitorizate de Administrația Bazinală pentru apă Prut-Bârlad și a celor efectuate în etapele succesive de teren din perioada septembrie 2020-septembrie 2022 s-au analizat efectele asupra resurselor de apă din subteran din această regiune manifestate de lipsa precipitațiilor din perioadele de secetă. Pentru evaluarea presiunii climatice, analiza s-a concentrat pe evoluția perioadelor de secetă hidrogeologică ca efect al schimbărilor climatice observate în regiune. A fost utilizat Standardized groundwater Index (SGI) propus de Bloomfield și Marchant (2013). Acest indice se bazează pe metodologia SPI (McKee et al., 1993), dar în loc să folosească o distribuție gamma sau log-normală pentru a transforma seria de date, folosește o transformare non-parametrică a seriei de date. Acest lucru se datorează faptului că SGI nu reflectă o acumulare pe o anumită perioadă, din cauza naturii nivelului apei subterane. Normalizarea neparametrică atribuie o valoare nivelului apei subterane măsurate, pe baza rangului acestora într-un set de date (de la o anumită lună dintr-un anumit an). Normalizarea se face prin aplicarea funcției de distribuție cumulativă normală inversă la seriile de date. Valorile obținute sunt incluse în intervalul  $1/2n$  la  $1/1-2n$  și distribuția SGI trece testul Kolmogorov-Smirnov privind normalitatea.

După obținerea valorilor SGI pentru fiecare lună pot fi calculate valorile SGI la nivel de anotimpuri și ani. Rezultatele pot fi clasificate în funcție de indicii de secetă utilizați pentru secetele hidrologice, astfel: pentru valorile SGI sub  $-2$  corespund secetei extreme, valorile SGI între  $-2$  și  $-1,5$  corespund secetei severe, valorile SGI între  $-1,5$  și  $-1$  corespund unei secete moderate, valorile SGI între  $-1$  și  $0$  corespund unei secete minore, iar valorile SGI peste  $0$  nu indică nicio secetă produsă. Metodologia a fost aplicată pentru toate corpurile de apă din subteran din Podișul Moldovei în paralel cu metodologia aplicată pentru determinarea secetelor meteorologice și hidrologice (Minea et al. 2021).

Pentru analiza secetelor hidrogeologice au fost agregate datele de la forajele hidrogeologice incluse la nivelul fiecărui corp de apă, astfel încât rezultatele să reprezinte evoluția acestui parametru pentru întreg corpul de apă analizat. Apariția secetelor hidrogeologice reprezintă o etapă finală a unui lung proces manifestare a lipsei unor cantități semnificative de apă care provine din precipitații. De aceea rezultatele obținute rareori pot fi corelate cu evoluția parametrilor hidro-climatici de la suprafață. În condițiile în care aportul de apă se reduce semnificativ, seceta hidrogeologică se manifestă la adâncimi din ce în ce mai mari reducând volumele de apă din subteran spre valori care nu mai reprezintă importanța economică. Evoluția temporală a secetelor hidrogeologice a fost analizată la nivel corp de apă pe baza datelor provenite de la forajele hidrogeologice incluse în cadrul corpului de apă subteran respectiv.

În urma reprezentării grafice cumulate a valorilor indicelui SGI pentru toate forajele hidrogeologice din regiune, pentru perioada 1983-2020 se observă o succesiune de 3 perioade de secetă hidrogeologică importante. Prima perioadă apare la începutul intervalului de timp analizat între 1983-1986, ca efect al unei perioade de secetă atmosferică și hidrologică manifestată încă din anul 1982. Cea de-a doua perioadă s-a manifestat la începutul anilor 2000, cu o succesiune de 1-3 ani cu valori ale SGI mai mici de  $-1,5$  la peste 80% din forajele analizate. A treia perioadă de secetă hidrologică apare după anul 2007 și se extinde, cu mici excepții, la peste 75% din foraje până în prezent (figura 17) La nivelul corpurilor de apă prin agregarea valorilor SGI pentru toate forajele hidrogeologice incluse se observă că la 2 corpuri de apă din subteran



ROPR03 și ROPR05 nu s-au manifestat secete hidrogeologice semnificative. La 3 corpuri de apă din subteran ROPR01, ROPR06 și ROPR07 chiar la nivelul anului 1983 valorile agregate ale SGI evidenziază o seceta hidrogeologică semnificativă. Alte secete hidrogeologice semnificative apar la nivelul anului 1984 pentru corpurile de apă din subteran ROPR01, ROPR02, ROPR06 și ROPR07 și la nivelul anului 2000 pentru corpurile de apă din subteran ROPR01 și ROPR07 și la toate corpurile de apă după anul 2012 până în prezent.

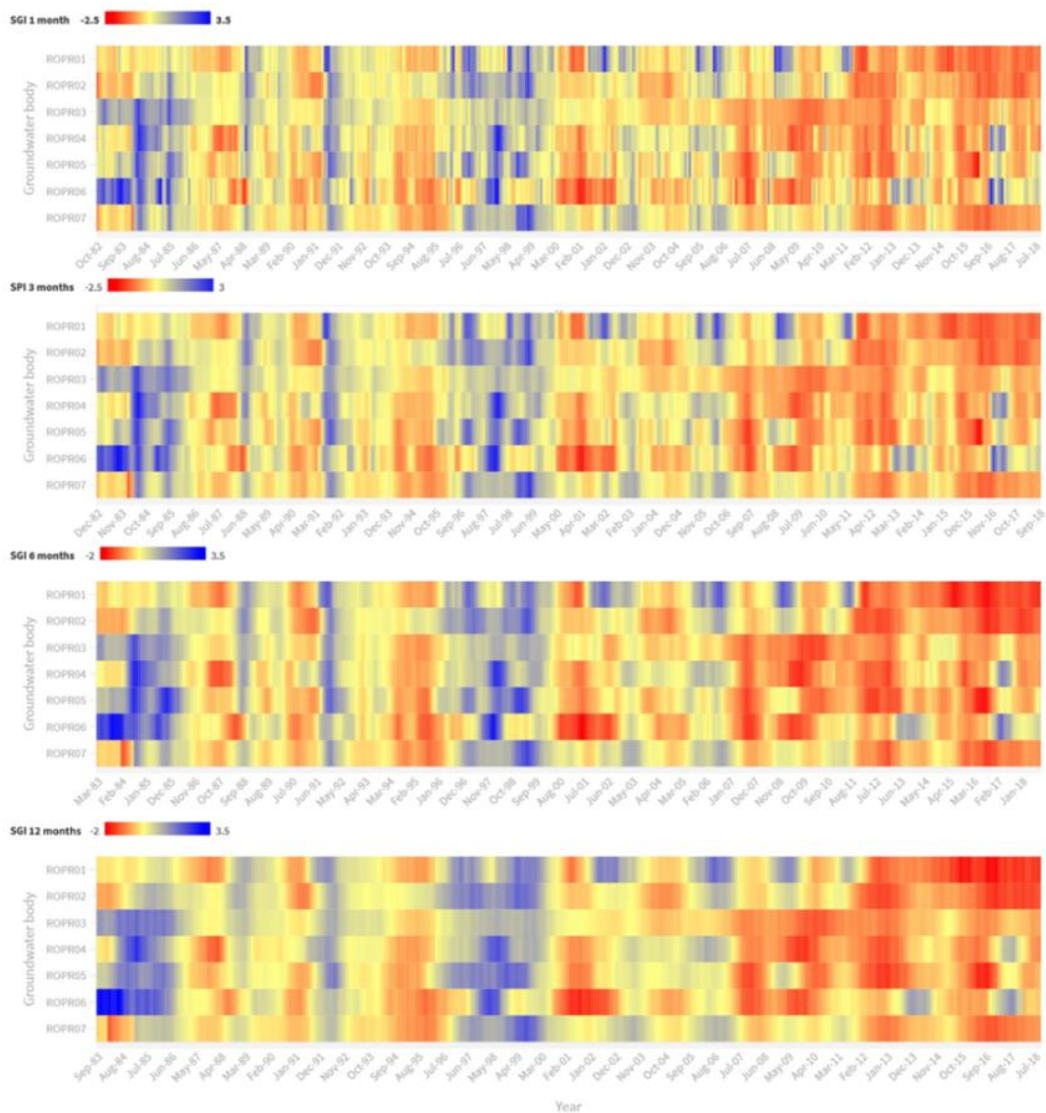


Figura 15. Evoluția SGI pentru foraje hidrogeologice cu adâncimea apei subterane sub 5 metri (Minea et al., 2021)

În vederea evaluării vulnerabilității socio-economice în raport cu resursele de apă din subteran, a fost calculat și un indice de tipul Social-Groundwater Vulnerability Index (SoGwVI) utilizând Principal Component Analysis (PCA) în vederea reducerii setului de date și gruparea în componente principale. PCA este o tehnică multivariată care poate fi utilizată pentru a analiza mai multe variabile dependente într-un set de date și extrage informații relevante sub forma unui set (reduc) de noi variabile (Abdi, Williams, 2010). Alegerea variabilelor reprezintă un proces important în cadrul analizelor bazate pe indicatori. În această analiză au fost luate în considerare două aspecte ale vulnerabilității. În primul rând au fost selectați indicatorii socio-economici referitori la calitatea locuirii, care au fost extrași la nivel de unitate administrativ-teritorială (UAT) și indicatori privind condițiile naturale și hidro-climatice care au fost extrași utilizând instrumentul de statistică zonală (Zonal Statistic Tool) la nivel de UAT.

Stratele tematice utilizate de tip vector (au fost convertite în date raster cu aceeași rezoluție spațială ca și seturile de date originale) sau raster, precum altitudinea, panta terenului, densitatea rețelei hidrografice, permeabilitatea solului, textura solului și modul de utilizare al terenului, au fost normalizate la o scară comună (comparabilă) prin acordarea unor note de bonitare de la 1 la 5, unde nota 1 – a fost acordată categoriilor care au o influență redusă în analiza vulnerabilității și nota 5 – celor care influențează într-un grad major vulnerabilitatea (Figura 18). Normalizarea este utilizată pentru o transformare liniară care păstrează ierarhizarea și structura de corelare a variabilelor și permite ca aceste variabile să fie utilizate împreună (Tran et al., 2010). Stratele tematice au fost reclasificate după normalizare, iar mai apoi utilizând Zonal Statistic Tool au fost extrase mediile pentru fiecare indicator în parte în vederea integrării acestora în analiza PCA.

Evaluarea tendințelor a fost realizată pe baza metodologiei propusă de Șen (2012) și descrisă mai sus. Indicatorii selectați în analiza vulnerabilității au unități de măsurare diferite, astfel în aplicarea PCA este necesară standardizarea variabilelor independente prin aplicarea Z score pentru ca fiecare dintre variabile să contribuie în mod egal în analiză, utilizând formula:

$$Z = \frac{X_i - \bar{X}}{\sigma}$$

unde:  $X_i$  este valoarea componentului analizat la nivel de UAT,  $\bar{X}$  reprezintă valoarea medie a  $X_{i,j}$  și  $\sigma$  este deviația standard a șirului de date aferent  $X_{i,j}$ . Analiza PCA a fost realizată utilizând the Statistical Package for Social Sciences (SPSS), Versiunea 23, prin procedura de reducere factorială (Varimax rotation – folosită ca metoda de extracție a componentelor) ce a generat un set de factori independenți.

În cadrul analizei factoriale, Kaiser-Mayer-Olkin (KMO) și Bartlett's test sunt utilizate pentru a verifica caracterul adecvat al indicatorilor. Valoarea KMO indică dacă setul de date este adecvat pentru aplicarea analizei statistice PCA. Dacă valoarea KMO este mai mare de 0.5, atunci setul de date este considerat adecvat pentru variabilele selectate, iar dacă Bartlett's test of sphericity arată o valoare a nivelului de semnificație, unde  $p \leq 0,05$  pentru analizele rulate, atunci PCA poate fi utilizat cu variabilele selectate (Agrawal et al. 2021). Fiecare componentă a fost denumită și atribuită cardinalitatea (Tabelul 4) în funcție de impactul pe care îl are componenta respectivă în ecuația finală (+ crește vulnerabilitatea și – scade vulnerabilitatea) (Török et al 2021).

Pentru calcularea SoGwVI au fost luate în analiză 6 componente principale obținute din aplicarea PCA. Denumirea acestora a fost dată după variabilele din care fac parte aceste componente. În formula de calcul au fost incluse rezultatele obținute din aplicarea PCA – regression factor score pentru fiecare unitate administrativ teritorială în parte și înmulțirea cu procentul aferent explicării varianței.

Următorul pas constă în aplicarea SoGwVI pentru UAT-urile din județele Botoșani, Iași, Neamț, Bacău, Vaslui și Galați care se suprapun peste Podișul Moldovei prin aplicarea următoarei ecuații:

$$\text{SoGwVI} = \left(\frac{F1}{4} * 26.326\right) + \left(\frac{F2}{3} * 7.770\right) + \left(\frac{F3}{3} * 8.345\right) - \left(\frac{F4}{3} * 7.227\right) + \left(\frac{F5}{5} * 15,249\right) - \left(\frac{F6}{3} * 12.132\right)$$

Software-ul ESRI (ArcGIS PRO) a stat la baza obținerii rezultatelor pe baza căreia a fost făcută evaluarea SoGwVI. După aplicarea formulei datele obținute au fost reprezentate în termeni de abatere standard în 5 clase de vulnerabilitate.

Primul component referitor la condițiile economice cuprinde: densitatea populației, suprafața construită, cantitatea de apă potabilă distribuită și lungimea totală de distribuție a rețelei de apă potabilă. Variabilele incluse în cadrul acestui component sunt considerate ca având un impact major în creșterea vulnerabilității sociale. Acest lucru rezidă din faptul că indicatorii precum: cantitatea de apă potabilă distribuită are o valoare a greutateii de 0,97. Acest lucru este în strânsă legătură cu densitatea populației următoarea variabilă ca greutate (0,964). La nivelul întregului areal 29% din comunele analizate au peste 2000 de locuitori (față de o densitate medie 95 locuitori/km<sup>2</sup> calculată la nivelul celor 6 județe, sau 79 locuitori/km<sup>2</sup> la nivelul întregii țări) ceea ce impune o cerință foarte mare pentru alimentarea cu apă și crearea unui confort habitational.

Tabelul 4 Principalele componente și variabile analizate în cadrul SoGwVI

Componentul	Cardinalitatea	Variabilele	Greutatea	Procent de explicare a varianței (%)
<b>Condiții economice (F1)</b>	+	Densitatea populației (loc/km <sup>2</sup> )	<b>0.964</b>	<b>26.326</b>
		Suprafața construită (ha)	<b>0.945</b>	
		Cantitatea de apă potabilă distribuită (mii m <sup>3</sup> )	<b>0.970</b>	
		Lungimea totală a rețelei de distribuție apei potabile (km)	<b>0.869</b>	
<b>Condiții sociale (F2)</b>	+	Populația cu vârsta de sub 5 ani (%)	<b>0.891</b>	<b>7.770</b>
		Populația cu vârsta de peste 65 ani (%)	<b>0.876</b>	
<b>Gradul de racordare la utilități (F3)</b>	+	Locuințe racordate la apă curentă (%)	<b>0.820</b>	<b>8.345</b>
		Locuințe racordate la apa caldă (%)	<b>0.732</b>	
		Locuințe cu baie (%)	<b>0.769</b>	
<b>Condiții asociate modului de utilizare a terenului (F4)</b>	-	Densitatea rețelei hidrografice	<b>-0.763</b>	<b>7.227</b>
		Textura	<b>0.732</b>	
		Utilizarea terenului	<b>0.852</b>	
<b>Condiții climatice și geomorfologice (F5)</b>	+	Temperatura multianuală	<b>0.902</b>	<b>15.249</b>
		Precipitații multianuale (mm)	<b>-0.878</b>	
		Permeabilitatea rocilor	<b>0.820</b>	
		Panta terenului	<b>0.723</b>	
		Altitudinea reliefului	<b>0.764</b>	
<b>Condiții hidrogeologice (F6)</b>	-	Amplitudinea maximă a nivelului piezometric (cm)	<b>0.922</b>	<b>12.132</b>
		Grosimea stratului acvifer (m)	<b>0.865</b>	
		Tendința nivelelor piezometrice	<b>0.734</b>	
Kaiser-Mayer-Olkin Measure of Sampling Adequacy 0.739 Bartlett's Test of Sphericity 0.000		Extraction Method: PCA. Rotation Method: Varimax with Kaiser Normalization		

În ceea ce privește lungimea totală a rețelei de distribuție a apei potabile peste 135 de comune de comune (41,8%) nu dispun de o astfel de utilitate și fără posibilități de racordare la sistemele regionale de alimentare cu apă (majoritatea fiind amplasate în partea sudică a județului Iași sau nordică a județului Botoșani, în nordul și estul județului Vaslui, și estul județului Galați, la distanță destul de mare față de principalele centre urbane alimentate cu apă din resurse locale sau din arealele montane). Arealul încadrat în categoria cu cea mai mare vulnerabilitate corespunde ariei metropolitane Iași, datorită presiunii ridicate date de o densitate foarte mare a populației și a cererii pentru creșterea calității vieții cotidiene (construcții de locuințe cu un conform minim racordate la rețeaua de alimentare cu apă). Mare parte din suprafața regiunii este utilizată agricol. Terenurile agricole fiind incluse în categoria celor neirigate (notată cu valoarea 5 în sistemul de bonitare utilizat) care imprimă o vulnerabilitate crescută a resurselor de apă din subteran. Din perspectiva acestui parametru partea de nord-vest și centru mai înaltă acoperită cu păduri de foioase specifice unui climat temperat reduc gradul de vulnerabilitatea hidrogeologică.

Indicatorii privind populația din zona studiată evidențiază o extindere remarcabilă în zona periurbană a municipiilor din cadrul Podișului Moldovei, unde se creează o presiune privind consumul de apă, iar în partea de nord a regiunii se evidențiază localități cu risc de depopulare (Muntele et al. 2021). Pe baza PCA la nivelul componentelor asociate evaluării condițiilor sociale explică 7,77 % din valoarea varianței, iar cele asociate cu apa din subteran și gradul de racordare la utilități explică 8,34% din valoarea varianței.

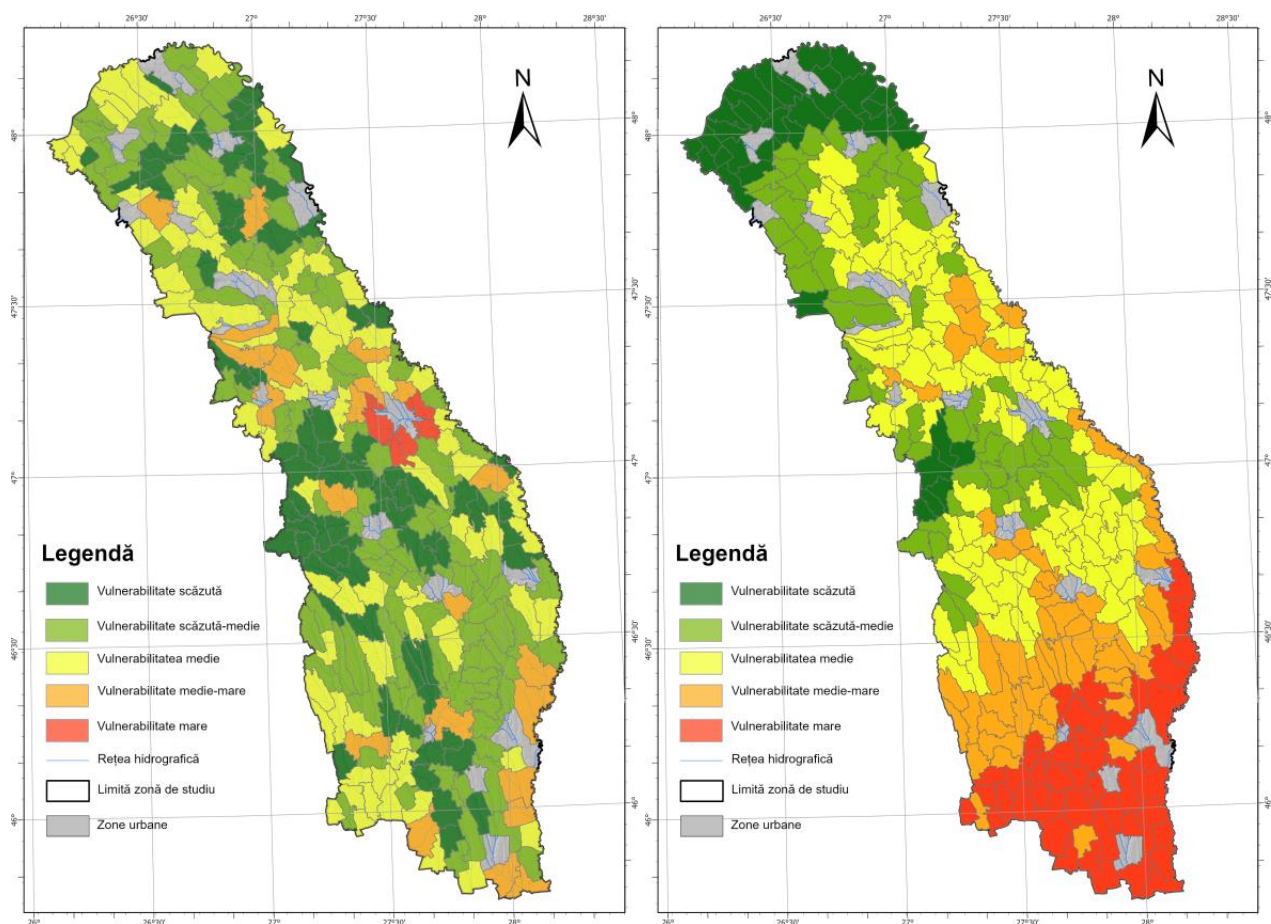


Figura 16. Distribuția spațială a valorilor principalelor condiții socio-economice și morfo-climatice analizate

Indicatorii privind modul de utilizare a terenului includ: modul de utilizare a terenului, textura și densitatea rețelei hidrografice. Cu excepția parametrului referitor la densitatea rețelei hidrografice ceilalți 2 parametri au fost supuși unui proces de bonitare prin care au fost acordate note de greutate de la 1 la 5 în funcție de rolul pe care îl pot juca în amplificarea sau diminuarea vulnerabilității. Textura și densitatea rețelei hidrografice sunt considerate elemente care influențează în mod direct capacitatea de înmagazinare a apei în subteran, și explică 7,22% din valoarea varianței. Condițiile climatice și geomorfologice explică 15,249% din valoarea varianței. Conform distribuției acestor două componente se observa că cea mai mare vulnerabilitate a condițiilor naturale se regăsește în zona central sudică a Podișului Moldovei și este determinată de altitudinea reliefului ceva mai redusă.

Valorile mai ridicate ale altitudinii reliefului, care determină precipitații mai bogate, alături de o permeabilitate mai ridicată a rocilor din partea de nord și vest a zonei analizate, fac ca multe din comunele analizate să fie incluse în categoria de vulnerabilitate redusă în ceea ce privește condițiile naturale.

Condițiile climatice analizate din perspectiva cantităților medii multianuale ale precipitațiilor influențează în mod direct gradul de alimentare a acviferelor. Cantitățile mai mari de precipitații corelate cu un grad mai mare de permeabilitate a rocilor din partea de vest și sud a zonei analizate reduc gradul de vulnerabilitate a comunităților locale față de resursele de apă din subteran. La acestea se adaugă și o grosime mai mare a stratului de zăpadă indusă de altitudinile reliefului mai mari care poate genera o alimentare mai îndelungată a acviferelor din zonele respective.

Condițiile hidrogeologice analizate din perspectiva tendințelor nivelului piezometric calculate pe baza ITA (Innovative Trend Analysis methods) și a grosimii straturilor acvifere restricționează spațial influența condițiilor climatice. Grosimea ceva mai redusă a straturilor acvifere din depozitele argiloase din partea central nordică a regiunii (sub 2 metri, față de o valoare medie la nivelul regiunii de 3,1 metri) crește gradul de vulnerabilitate a comunităților față de resursele de apă din subteran. La acestea se adaugă și valorile destul de ridicate ale amplitudinii maxime nivelului piezometric evaluată pe baza datelor de la cele

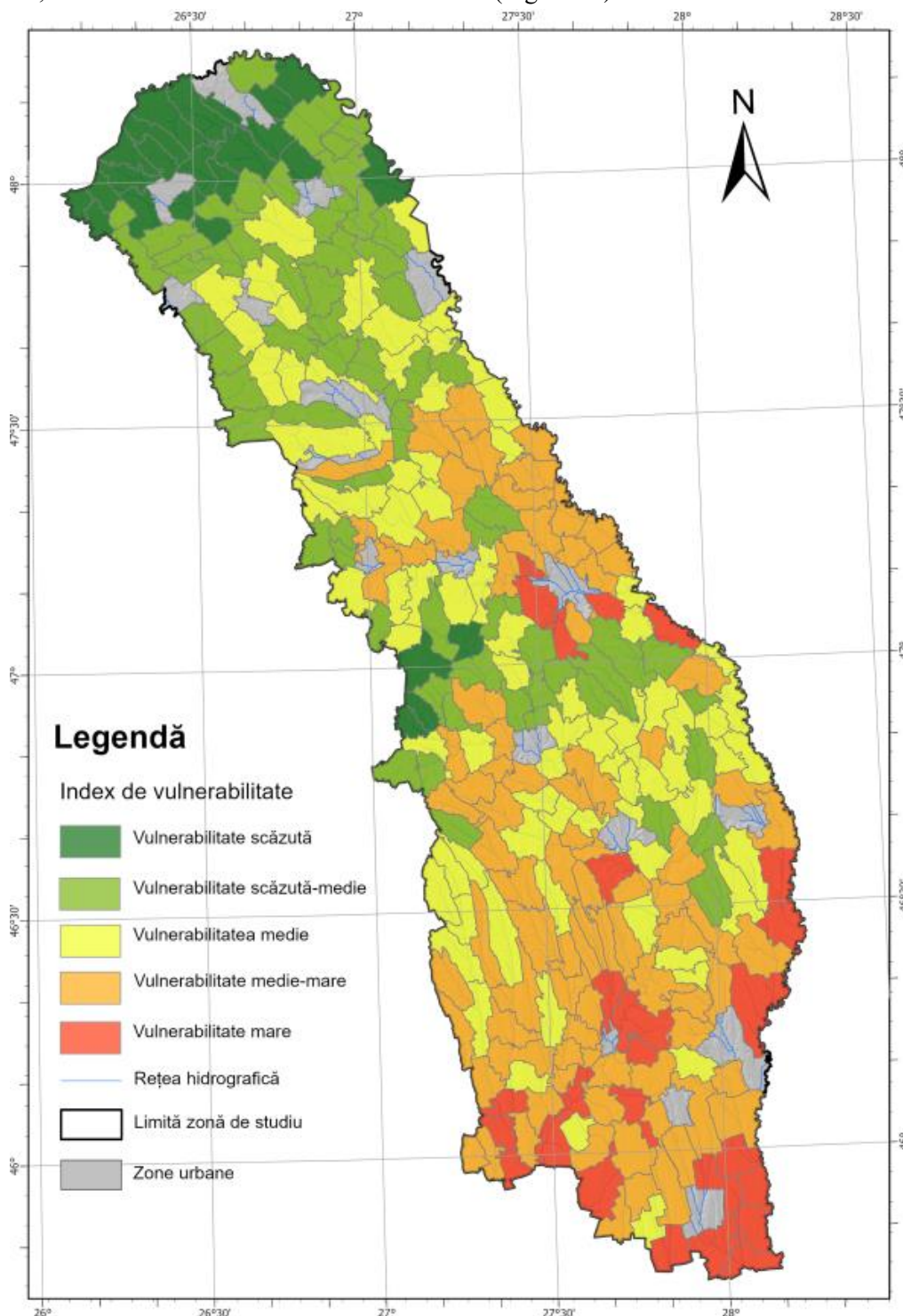


148 de foraje piezometrice analizate (de aproape 0,5 m în decursul întregii perioade de analiză) care arată oscilații importante ale resurselor de apă din subteran cu efect în modul de alimentare a acviferelor.

#### *Distribuția spațială a Social Groundwater Vulnerability Index*

Valorile finale ale SoGwVI au fost estimate pe baza valorilor regresiei multiple obținute din aplicarea analizei PCA pe cele 6 componente și a valorilor varianței, având la bază semnul cardinalității.

Clasificarea rezultatelor finale ale SoGwVI s-a realizat pe baza valorilor deviației standard în 5 clase: clasa cu valori ale deviației standard of SOGwVI peste 1.5 fiind asociată clasei cu vulnerabilitate foarte mare, cea cu valori cuprinse între -0,5 și +0,5 este asociată clasei cu vulnerabilitate medie, iar clasa cu valori mai mici de -1,5 fiind asociată cu vulnerabilitatea scăzută (Figura 17).



**Figura 17.** Distribuția spațială a scorului compozit al SoGwVI

Analizand distribuția spațială ale *Social-Groundwater Vulnerability Index* se remarcă că 5,4% din unitățile administrative analizate se includ în clasa cu vulnerabilitate foarte mare. Aici sunt incluse arealele care cuprind principalele comunele din jurul principalelor orașe din regiune (Iași, Vaslui, Bârlad, Galați) unde presiunea asupra resurselor de apă din subteran dată de densitatea populației este foarte mare. 26,1% din unitățile administrative analizate sunt incluse în categoria de vulnerabilitate mare, majoritatea fiind situate în partea central estică și sudică a regiunii unde componenta geologică și modul de utilizare a terenului predominant agricol generează o presiune mare asupra resurselor de apă din subteran. 38,7% din unitățile administrative analizate sunt incluse în clasa de vulnerabilitate medie, în mare parte fiind situate în partea central nordică a regiunii, unde valorile grosimii medii a stratului acvifer este mai mare și densitatea populației mai redusă. Comunele cu valori ale SoGwVI incluse în clasa de vulnerabilitate medie spre scăzută și redusă (21,9%, respectiv 7,9%) în general se grupează în partea de vest, nord și centru (suprapusă peste Podișul Central Moldovenesc) a regiunii, datorită efectelor pozitive pe care le au asupra resurselor de apă din subteran. Alitudinea mai ridicată a terenului care determină cantități mai mari de precipitații, o grosime mai mare a stratului de zăpadă și o acoperire a terenului cu păduri de foioase sunt factorii care reduc vulnerabilitatea. În majoritatea localităților situate în aceste două clase de vulnerabilitate, densitatea populației este mai scăzută, astfel încât presiunea asupra resurselor de apă este mult diminuată. În vederea validării distribuției obținute prin aplicarea acestui index, rezultatele au fost corelate cu analiza capacității de reîncărcare a acviferelor din această regiune, care a scos în evidență ca arealul central-estic prezintă o capacitate de alimentare redusă și este supus vulnerabilității induse de schimbările climatice (Minea et al. 2022), unde se adaugă și presiunea ridicată din punct de vedere antropic.

### **Impactul realizării SoGwVI**

Se estimează că la nivel global peste 2,5 miliarde de oameni depind de apele subterane pentru nevoile de bază zilnice de apă (UN, 2015). Aceeași dependență există și în partea de nord-est a României, unde mai mult de 50% din populație trăiește în mediul rural, unde principala sursă de alimentare cu apă provine din apele subterane, exploatate în principal prin puțuri individuale cu adâncimi cuprinse între 2 și 10 metri (Minea, Croitoru, 2017). Nivelul ridicat de dependență de resursele de apă din subteran arată că comunitățile și ecosistemele naturale sunt vulnerabile atât la variațiile naturale ale parametrilor climatici, cât și la impactul schimbărilor climatice și activităților antropice asupra apelor subterane (Nistor, 2019). Integrarea datelor privitoare la condițiile sociale, naturale și hidrogeologice în cadrul analizei de tip PCA și extrapolarea lor spațială cu ajutorul instrumentelor GIS facilitează mult interpretarea rezultatelor și permite analiza lor într-un context geografic mult mai larg. În ciuda diferențelor între variabilele utilizate analizate ca mijloc de a explica vulnerabilitatea socială în corelație cu resursele de apă din subteran, la nivelul literaturii de specialitate există unele variabile cheie comune tuturor indicatorilor examinați precum vârsta, statutul socio-economic și condițiile de viață (Swain et al., 2022). Cu toate acestea, fiecare regiunea are propriile sale caracteristici și constrângeri, iar acest lucru trebuie luat în considerare în timpul selecției variabilelor pentru a evita utilizarea celor care pot genera auto-corelații și obține rezultate neconcordante cu realitatea (Pacheco et al., 2013).

Întregul areal analizat este supus unei vulnerabilități naturale manifestate preponderent prin apariția extremelor climatice și hidrologice (Minea, Chelariu, 2021) care, în timp, duc la creșterea vulnerabilității sociale și economice (Minea, 2020). Analiza condițiilor climatice și hidrologice actuale referitoare la temperatura aerului, precipitații, evapotranspirația, scurgerea râurilor (Dumitrescu et al., 2015; Prăvălie et al., 2019) alături de scenariile climatice prognozate pentru întreaga regiune (Angearu et al., 2020, Sfică et al., 2022) sugerează o creștere a condițiilor de ariditate cu efect în scăderea potențialului de reîncărcare a acviferelor și de creștere a vulnerabilității comunităților dependente de alimentarea cu apă din subteran. Perspectivele climatice nu se anunță a fi foarte favorabile pentru întreaga regiune (Cheval et al., 2017). Acest lucru se reflectă și în percepția hazardelor naturale la nivelul stakeholderilor locali și regionali unde impactul schimbărilor climatice este considerat a fi la un nivel ridicat de amenințări și va afecta peste 40%

din populație (Margarint et al., 2021). Secetele climatice prelungite, transferate la nivelul componentei hidrice de suprafață și din subteran (Minea et al., 2021) afectează resursele de apă și așa destul de limitate. Recuperarea după astfel de evenimente este de obicei îndelungată la nivelul acviferelor, având în vedere timpul necesar reîncărcării acestora (Van Lanen, 2016). De altfel, manifestările climatice extreme, pe termen lung, cu precădere în apariția secetelor hidrologice și hidrogeologice din această regiune, impun regândirea întregului sistem de gospodărire a apelor și de alimentare cu apa a populației, ținând cont de frecvența și intensitatea tot mai mare a lor.

Acest tip de analiză poate completa studiile deja efectuate asupra vulnerabilității sociale și economice bazate pe metodologia PCA cum sunt cele referitoare la construirea unui indice integrat de vulnerabilitate socială în zonele urbane predispuse la inundații rapide (Fekete, 2009; Aroca-Jimenez et al., 2017) ori a hazardelor naturale (Ackhsa et al., 2019). Metodologii asemănătoare au fost dezvoltate și utilizați cu succes indici de analiză a vulnerabilității sociale la nivel local pentru a măsura vulnerabilitatea populației raportat la pericolele induse de cutremurele de pământ (Armas, Gavris, 2013), inundații (Török, 2018) și temperaturilor extreme (Torok et al., 2021). Considerăm că acest tip de analiză poate fi aplicat și în cazul vulnerabilității sociale induse de prezența și dinamica resurselor de apă din subteran și în viitorul apropiat este necesar să se efectueze analize similare la diferite scări spatio-temporale, luând în considerare factori locali naturali și antropici care generează acest tip de vulnerabilitate. Acest lucru este esențial pentru a identifica caracteristicile socio-demografice și naturale, care cresc capacitatea populației de a rezista, de a face față și de a se recupera după perioade în care anumite manifestări climatice și hidrologice extreme. Prin identificarea zonelor cu cea mai mare vulnerabilitate socială raportată și resursele de apă din subteran și indicele asociat poate ajuta factorii de decizie la elaborarea politicilor și planuri de acțiune pentru atenuare vulnerabilității și să prioritizeze măsurile de dezvoltare.

Limitarea cercetării efectuate rezidă în faptul că: i) analiza condițiilor geologice și hidrogeologice a fost făcută pe baza datelor de la forajele hidrogeologice care sunt amplasate în mare parte în lungul rețelei hidrografice (doar 10% sunt în zone interfluviale, iar nivelul piezometric se află la adâncimi foarte mari) ceea ce nu a permis o evaluare independentă la nivelul fiecărei unități administrativ teritoriale; ii) datele referitoare la componenta social-economică provin din bazele de date oficiale care de multe ori nu surprind realitatea socială, mai ales că această regiune este supusă unei accentuate migrații a populației în ultimele decenii (Dimitriu et al., 2013).

#### **Diseminarea rezultatelor.**

În cadrul proiectului au fost propuse participarea la **6 conferințe naționale** și **4 internaționale** și publicarea a **4 lucrări științifice cotate ISI** (în jurnale cu factor de impact peste 2 și clasificate în zona roșie sau galbenă conform metodologiei UEFISCDI) și a altor **4 lucrări în volumele conferințelor**. Rezultatele obținute au fost prezentate în **5 comunicări științifice** la **3 conferințe internaționale** susținute în străinătate, **11 prezentări** la **11 conferințe naționale** și internaționale susținute în România și publicate în **6 articole ISI** (fiecare cu factor de impact peste 2, și încadrate în **zona galbenă – 4 lucrări** și **zona roșie – 2 lucrări** conform metodologiei UEFISCDI). Totodată au fost publicate alte **5 lucrări științifice în volumele conferințelor**.

#### **Participări la conferințe internaționale:**

**1. Ohrid, Macedonia, 15-16 iunie 2021, 7<sup>th</sup> International Scientific Conference, GEOBALCANICA 2021** (participare on-line) cu lucrările:

a) *Groundwater level trends in the last decades in North-Eastern part of Romania*, autori: Ionuț Minea, Daniel Boicu, Marina Iosub, Oana-Elena Chelariu;

b) *A method of correlating piezometric levels with precipitation*, autori: Daniel Boicu și Ionuț Minea,

**2. Albena, Bulgaria, 18-22 august 2021, 21<sup>th</sup> International Multidisciplinary Scientific GeoConference SGEM 2021**, cu lucrările:

- a) *Hydrogeological drought between natural phenomenon and social vulnerability*, autori Ionuț Minea, Daniel Boicu, Marina Iosub;
- b) *The variation of groundwater in northeastern Romania in the last 3 decades -Case study: Moldova plain*, autori: Daniel Boicu, Ionuț Minea, Marina Iosub;
- 3. Granada, Spania, 19-24 iunie 2022**, 39th IAHR World Congress "From Snow to Sea" cu lucrarea *Multi-scale Analysis for Different Type of Drought in Temperate Climatic Conditions* autori: : Ionuț Minea, Marina Iosub, Daniel Boicu.

**Participări la conferințe naționale:**

1. **Iași**, 21 noiembrie 2020 (on-line) the 15<sup>th</sup> edition of the International Symposium "Present Environment and Sustainable Development" cu lucrarea: *The vulnerability of underground water resources from Moldavian Plateau to climate changes – project starting point*, autori: Ionuț Minea, Lucian Sfică, Mihai Florin Constantin, Marina Iosub, Oana-Elena Chelariu, Daniel Boicu
2. **București**, 4 decembrie 2020 (on-line) *Institutul de Geografie al Academiei Române*, Workshop-ul tinerilor cercetători, Ediția a XX-a, *Cercetarea 20ntegrate a mediului și dezvoltarea durabilă în antropocen*, cu lucrarea: *Noi metode de analiză a reîncărcării acviferelor în nord-estul României*, autori Daniel Boicu, Ionuț Minea, Constantin Rusu
3. **Cluj-Napoca, 23 martie 2021**, on-line, *The International Conference Air and Water - components of the environment*, 13<sup>th</sup> Edition cu lucrarea *Human impact on groundwater resources in Eastern Romania* autori Ionuț Minea, Daniel Boicu, Marina Iosub;
4. **Iași, 18 iunie 2021**, on-line, 16<sup>th</sup> edition of the International Symposium "Present Environment and Sustainable Development" cu lucrarea: *Groundwater drought evolution in Eastern Romania in the last decades (moderator)* autori Ionuț Minea, Marina Iosub, Daniel Boicu;
5. **Iași, 3-5 septembrie 2021**, *Lucrările Seminarului Geografic Internațional "Dimitrie Cantemir"* Ediția a XLI-a, cu lucrarea: *Multi-scale approach for hydrogeological drought in Moldavian Plateau* autori: Ionuț Minea, Daniel Boicu D, Marina Iosub;
6. **Tulcea, 8-11 septembrie 2021**, Conferința Internațională *Water resources and wetlands*, (5<sup>th</sup> edition): cu lucrarea: *Water deficit in north-eastern part of Romania* autori: Ionuț Minea, Daniel Boicu, Marina Iosub, Andrei Enea;
7. **Iași –Piatra Neamț, 16-18 septembrie 2021**, Conferința *Factori și procese pedogenetice din zona temperată*, Ediția a XXX-a, cu lucrarea: *Dinamica apelor subterane din partea nordică a Podișului Central Moldovenesc*, autori : Daniel Boicu, Ionuț Minea, Constantin Rusu;
8. **Cârlibaba, 6-8 octombrie 2021**, on line, *CARPATHIAN-BALKAN PALEOSCIENCE WORKSHOP (CBPW)*, cu lucrarea *The impact of climate changes on the variation of the groundwater level in the Moldavian Plateau*, autori: Ionuț Minea , Marina Iosub, Daniel Boicu;
9. **București 12 noiembrie 2021 (on-line)** the 2nd International Conference *Geographical Sciences and future of the world*, cu lucrarea: *Ground water levels under climate change pressure in north-eastern Moldova*, autori: Lucian Sfică, Ionuț Minea, Vlad-Alexandru Amihăesei, Robert Hrițac, Daniel Boicu;
10. **Cluj-Napoca, 18 martie 2022**, on-line, The International Conference *Air and Water - components of the environment*, 14th Edition cu lucrarea Minea I., Boicu D., Iosub M.: *Evaluation of The Groundwater Level Trends Using Different Statistical Methods* autori: Ionuț Minea , Daniel Boicu și Marina Iosub;
11. **Iași, 3-4 iunie 2022**, 17th edition of the International Symposium "Present Environment and Sustainable Development" cu lucrarea: *An approach for assessing social vulnerability related to groundwater resources at local level in North Eastern part of Romania*, autori Oana-Elena Chelariu, Ionuț Minea, Daniel Boicu și Marina Iosub;
12. **Iași, 14-16 octombrie 2022**, *Lucrările Seminarului Geografic Internațional "Dimitrie Cantemir"* Ediția a XLII-a cu lucrarea: *The vulnerability of underground water resources from Moldavian Plateau to climate changes – final evaluation of the project*, autori: Ionuț Minea, Lucian Sfică, Mihai Florin Constantin, Marina Iosub, Oana-Elena Chelariu, Daniel Boicu;



### **Articole publicate în cadrul proiectului:**

#### **Articole ISI:**

- 1) Minea I, Iosub M, Boicu D. 2020. *Groundwater Resources from Eastern Romania under Human and Climatic Pressure*. Sustainability. 12(24), doi:10.3390/su122410341
- 2) 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>.
- 3) Mihai F.C., Minea I. 2021. *Sustainable alternatives routes versus linear economy and resources degradation in Eastern Romania*, Sustainability, 13, 10574. <https://doi.org/10.3390/su131910574>
- 4) Minea I., Boicu D., Chelariu O.E., Iosub M., Enea A. 2022. *Assessment of recharge capacity potential of groundwater using comparative Multi-Criteria Decision Analysis approaches*, J. Geogr. Sci. 2022, 32(4): 735-756 <https://doi.org/10.1007/s11442-022-1970-0>.
- 5) Sfică L., Minea I., Hrițac R., Amihăesei V.A., Boicu D. 2022. *Projected changes of groundwater levels in northeastern Romania according to climate scenarios for 2020–2100*, Journal of Hydrology: Regional Studies, 41, <https://doi.org/10.1016/j.ejrh.2022.101108>.
- 6) Minea I, Boicu D, Amihăesei V., Iosub M 2022. *Identification of Seasonal and Annual Groundwater Level Trends in Temperate Climatic Conditions*. Front. Environ. Sci. 10:852695. doi: 10.3389/fenvs.2022.852695.
- 7) Minea Ionuț, Oana-Elena Chelariu, Daniel Boicu, Marina Iosub. 2022. *Assessing the social vulnerability associated to groundwater resources in temperate climatic conditions*, Applied Water (in review process).

#### **Articole publicate în volumele conferințelor:**

- 1) Minea I., Boicu D., Iosub M., Chelariu O.E. 2021. *Groundwater level trend in the last decades in north-eastern - part of Romania*, International Scientific Conference Geobalcanica 2021, 75-83, doi.org/10.18509/GBP210075i.
- 2) Boicu D., Minea I. 2021. *A method of correlating groundwater levels with precipitation*, International Scientific Conference Geobalcanica 2021, 29-35, doi.org/10.18509/GBP210029d.
- 3) Minea I., Boicu D., Iosub M. 2021. *Hydrogeological drought between natural phenomenon and social vulnerability*, International Multidisciplinary Scientific GeoConference on Water resources, Forest, Marine and Ocean Ecosystems, Conference Proceedings, Volume I, Hydrology and Water Resources, SGEM 2021, vol. 21 (in press).
- 4) Boicu D., Minea I., Iosub M. 2021. *The variation of groundwater in northeastern Romania in the last 3 decades - Case study: Moldova plain*, International Multidisciplinary Scientific GeoConference on Water resources, Forest, Marine and Ocean Ecosystems, Conference Proceedings, Volume I, Hydrology and Water Resources, SGEM 2021, vol. 21 (in press).
- 5) Minea I., Iosub M., Boicu D. 2022. *Multi-scale analysis for different type of drought in temperate climatic conditions*, Proceedings of the 39th IAHR World Congress 19–24 June 2022, Granada, Spain doi://10.3850/IAHR-39WC2521716X20221187.

#### **Apariții în mass media pentru popularizarea rezultatelor din proiect:**

**8 iulie 2022, Digi 24:** <https://www.digi24.ro/stiri/sci-tech/natura-si-mediu/de-ce-e-diferita-seceta-din-2022-in-romania-ultimii-20-de-ani-au-fost-o-continua-perioada-de-seceta-intrerupta-de-ani-mai-normali-2005917>  
**5 septembrie 2022, Ziarul de Iași:** <https://www.ziaruldeiasi.ro/stiri/un-expert-iesean-explica-de-ce-au-scazut-raurile-si-lacurile-din-judet-la-niveluri-istorice-de-ce-ploaia-de-acum-nu-este-suficienta--332463.html>

**Director proiect**  
**Conf.univ.dr. Ionuț MINEA**

### Referințe bibliografice:

1. Abdi, H., Williams, L. J. 2010. Principal component analysis. *Wiley Interdisciplinary Reviews: Computational Statistics*, 2(4), 433-459.
2. Administrația Națională Apele Române 2018. Planuri de Management bazinal, Planul de management pentru bazinul hidrografic Prut-Barlad 2016-2021. 2018, <http://www.rowater.ro/daprut/Plan%20management%20bazinal/Forms/AllItems.aspx>.
3. 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>
4. Alexandersson H., 1986. A homogeneity test applied to precipitation data. *International Journal of Climatology* 6: 661–675.
5. Angearu CV, Ontel I, Boldeanu G, Mihailescu D, Nertan A, Craciunescu V, Catana S, Irimescu A 2020. Multi-temporal analysis and trends of the drought based on MODIS data in agricultural areas. *Romania Remote Sens* 12(23):3940. <https://doi.org/10.3390/rs12233940>
6. Armaș, I., & Gavriș, A. (2013). Social vulnerability assessment using spatial multi-criteria analysis (SEVI model) and the Social Vulnerability Index (SoVI model)—a case study for Bucharest, Romania. *Natural hazards and earth system sciences*, 13(6), 1481-1499.
7. Aroca-Jimenez, E., Bodoque, J.M., Garcia, J. A., and Diez-Herrero, A. 2017. Construction of an integrated social vulnerability index in urban areas prone to flash flooding, *Nat. Hazards Earth. Syst. Sci.*, 17, 1541–1557, <https://doi.org/10.5194/nhess>.
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. Ashraf, M.S., Ahmad, I., Khan, N.M. Zhang F. Bilal A., Guo J. 2020 Streamflow Variations in Monthly, Seasonal, Annual and Extreme Values Using Mann-Kendall, Spearman's Rho and Innovative Trend Analysis. *Water Resour Manage* 35, 243–261 (2021). <https://doi.org/10.1007/s11269-020-02723-0>
10. Bîrsan M.V., Zaharia L., Chendes V., Branescu E. 2014. Seasonal trends in Romanian streamflow, *Hydrological Processes*, 28, 4496-4505.
11. Bloomfield, J.P.; Marchant, B.P. 2013. Analysis of groundwater drought building on the standardised precipitation index approach, *Hydrol. Earth Syst. Sci.*, 2013, 17, 4769–4787.
12. Bretotean M., Macalet R., Tenu A., Tomescu G., Munteanu M.T., Radu E., Radu, C., Dragusin, D. 2006. Romania's cross-border underground water bodies. *Hidrogeologia*, 7(1):16-21.
13. Changming L, Jingjie, Y., Kendy E. 2001. Groundwater Exploitation and Its Impact on the Environment in the North China Plain, *Water International*, 26, 2, 265-272, doi:10.1080/02508060108686913.
14. Cheval S, Dumitrescu A, Bîrsan M.V. 2017. Variability of the aridity in the South-Eastern Europe over 1961–2050, *Catena*, 151, 74–86, <https://doi.org/10.1016/j.catena.2016.11.029>.
15. Dabanli, I, Șen, Z., Yelegen, M.O., Şişman, E., Selek, B., & Guclu, Y.S. 2016 Trend assesment by the innovative Şen Method. *Water Resour Manag* 30, 5193-5203. <https://doi.org/10.1007/s11269-016-1478-4>.
16. Dimitriu R., Muntele I., Marcu S., Dimitriu A. 2013. *International migrations of the population from Moldavia*, Alexandru Ioan Cuza University Press (in Romanian).
17. Directiva Cadru pentru Apă 2000. *Water Framework Directive 2000/60/EC*.
18. Dumitrescu A., M.V. Bîrsan 2015. ROCADA: a gridded daily climatic dataset over Romania (1961–2013) for nine meteorological variables, *Nat. Hazards*, 78, 1045-1063.
19. Dumitrescu A, Bojariu R., Bîrsan M.V., Marin L., Manea A. 2015. Recent climatic changes in Romania from observational data (1961–2013), *Theor. Appl. Climatol.*, 122, 111-119.
20. Dragomir S. 1998. *Geochemia apelor subterane de pe teritoriul Județului Iași*, Edit. Univ. Al.I.Cuza, Iași.
21. 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.
22. European Environmental Agency, *Water Exploitation Index Plus WEI+ for river basins districts*. 2017. <http://www.eea.europa.eu/data-and-maps/explore-interactive-maps/water-exploitation-index-for-river-1>.
23. Fekete A, 2009. Validation of a social vulnerability index in context to river-floods in Germany, *Nat. Hazards Earth Syst. Sci.*, 9, 393–403
24. Guzman, S. M., Paz, J. O., & Tagert, M. L. M. (2017). The Use of NARX Neural Networks to Forecast Daily Groundwater Levels. *Water Resources Management*, 31(5), 1591–1603, doi: 10.1007/s11269-017-1598-5.
25. Hamed, K.H., 2009. Exact distribution of the Mann-Kendall trend test statistic for persistent data. *Journal of Hydrology*, 365, 86–94. doi:10.1016/j.jhydrol.2008.11.024
26. Hersbach H, Bell B, Berrisford P, et al. 2020. The ERA5 global reanalysis. *Q J R Meteorol Soc.* 146: 1999– 2049. <https://doi.org/10.1002/qj.3803>.
27. Jeong, J., Park, E., Chen, H., Kim, K.-Y., Shik Han, W., Suk, H. (2020). Estimation of groundwater level based on the robust training of recurrent neural networks using corrupted data. *Journal of Hydrology*, 582, 124512, doi: 10.1016/j.jhydrol.2019.124512
28. Kendall M.G., Gibbons, J.D. 1990. *Rank correlation methods*. 5<sup>th</sup> edition. London: Griffin.

29. Kisi, O.; Ay, M. 2017. Comparison of Mann-Kendall and innovative trend method for water quality parameters of Kizilirmak River, Turkey. *J Hydrology*, 513, 362-375. doi.org/10.1016/j.jhydrol.2016.04.065.
30. Nistor M.M. 2019. Vulnerability of groundwater resources under climate change in the Pannonian basin, *Geo-spatial Information Science*, 22:4, 345-358, <https://doi.org/10.1080/10095020.2019.1613776>
31. 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>.
32. Margarint MC, Niculita M. 2017. Landslide type and pattern in Moldavian Plateau, NE Romania. In: Rădoane M, Vespremeanu-Stroe A (eds), *Landform Dynamics and Evolution in Romania*. Springer 271–304. [http://dx.doi.org/10.1007/978-3-319-32589-7\\_12](http://dx.doi.org/10.1007/978-3-319-32589-7_12).
33. Margarint M.C., Niculita M., Roder G., Tarolli P. 2021. Risk perception of local stakeholders on natural hazards: implications for theory and practice, *Nat. Hazards Earth Syst. Sci.*, 21, 3251–3283, 2021. <https://doi.org/10.5194/nhess-21-3251-2021>.
34. McKee, T.B.; Doesken, N.J.; Kleist, J. 1993. The relationship of drought frequency and duration to time scale. In: *Proceedings of the Eighth Conference on Applied Climatology*, Anaheim, California, 17–22 January 1993. Boston, American Meteorological Society, 1993, 179–184.
35. Mezghani, A., Dobler, A., Haugen, J.E., Benestad, R.E., Parding, K.M., Piniewski, M., Kardel, I., and Kundewicz, Z.W. (2017). Chase-PL Climate projection dataset over Poland – bias adjustment of EURO-CORDEX simulations, *Earth Syst Sci Data*, 9, 905-925, doi : 10.51194/essd-9-905-2017
36. Minea I. 2012. Bazinul hidrografic Bahlui – studiu hidrologic, Edit. Univ.A.I.I.Cuza, Iași.
37. Muntele, I., Istrate, M., Horea-Șerban, R. I., & Banica, A. (2021). Demographic Resilience in the Rural Area of Romania. *A Statistical-Territorial Approach of the Last Hundred Years*. *Sustainability*, 13(19), 10902.
38. Onyutha C. 2020. Graphical-statistical method to explore variability of hydrological time series. *Hydrology Research*.
39. Pacheco, J., Casado, S., Porras, S. (2013) Exact methods for variable selection in principal component analysis: Guide functions and pre-selection, *Computational Statistics & Data Analysis*, 57, 1, 95-111, <https://doi.org/10.1016/j.csda.2012.06.014>.
40. Panaitescu E 2007. Acviferul freatic și de adâncime din bazinul hidrografic Bârlad. Casa Editoriala Demiurg, Iași.
41. Prăvălie, R.; Piticar, A.; Roșca, B.; Sfică, L.; Bandoc, G.; Tiscovschi, A.; Patriche, C.V. 2018. Spatio-temporal changes of the climatic water balance in Romania as a response to precipitation and reference evapotranspiration trends during 1961-2013. *Catena*, 172, 295-312. doi.org/10.1016/j.catena.2018.08.028.
42. Sahoo, S., Russo, T. A., Elliott, J., Foster, I. (2017). Machine learning algorithms for modeling groundwater level changes in agricultural regions of the U.S., *Water Resour. Res.*, 53, 3878– 3895, doi: 10.1002/2016WR019933.
43. Salmi T., Määttä A., Anttila P., Ruoho-Airola T., Amnell T. 2002. Detecting trends of annual values of atmospheric pollutants by the Mann-Kendall test and Sen's slope estimates - the Excel template application MAKESENS, *Publications on Air Quality*, No. 31, Finnish Meteorological Institute, Helsinki, Finland.
44. Sandu I., Pescaru V.I., Poiana I. 2008. *Clima României*, Editura Academiei, București.
45. Sen P.K. 1968. Estimates of the regression coefficient based on Kendall's tau, *Journal of the American Statistical Association*, 63, 1379–1389.
46. Șen, Z. 2012 Innovative trend analysis methodology. *J Hydrol Eng* 17, 1042-1046. [https://doi.org/10.1061/\(ASCE\)HE.1943-5584.0000556](https://doi.org/10.1061/(ASCE)HE.1943-5584.0000556)
47. Șen, Z. 2017 Innovative trend significance test and applications. *Theor. Appl. Climatol.* 127, 939-947, <https://doi.org/10.1007/s00704-015-1681-x>
48. Sfică L., Croitoru A.E., Iordache I., Ciupertea A.F. 2017. Synoptic Conditions Generating Heat Waves and Warm Spells in Romania. *Athmosfere*, 8, 3, 50. doi:10.3390/atmos8030050.
49. Swain, S., Mishra, S.K., Pandey, A. et al. Inclusion of groundwater and socio-economic factors for assessing comprehensive drought vulnerability over Narmada River Basin, India: A geospatial approach. *Appl Water Sci* 12, 14 (2022). <https://doi.org/10.1007/s13201-021-01529-8>
50. Taniguchi, M., Holman, I.P. 2010. *Groundwater Response to Changing Climate*, Selected Papers on Hydrogeology, 16.
51. Tabari, H., Taye, M.T., Onyutha, C., & Willems, P. 2017. Decadal analysis of river flow extremes using quantile-based approaches, *Water Resources Management*, 31, 3371-3387
52. Taylor et al 2012. Ground water and climate change, *Nature Climate Change*, 3, 322-329, doi:10.1038/nclimate1744.
53. Török I. 2018. Qualitative Assessment of Social Vulnerability to Flood Hazards in Romania. *Sustainability*, 10(10):3780. <https://doi.org/10.3390/su10103780>
54. Török, I., Croitoru A.E., Man T.C. 2021. Assessing the Impact of Extreme Temperature Conditions on Social Vulnerability, *Sustainability* 13, no. 15: 8510. <https://doi.org/10.3390/su13158510>
55. Tran, L. T., O'Neill, R. V., & Smith, E. R. (2010). Spatial pattern of environmental vulnerability in the Mid-Atlantic region, USA. *Applied Geography*, 30(2), 191 - 202.
56. UN: *Water for a sustainable world*, The United Nations World Water Development Report, ISBN 978-92-3-100071-3, available at: <http://unesdoc.unesco.org/images/0023/002318/231823E.pdf> (last access: March 2021), 2015.

57. Van Lanen, H. A. J., Laaha, G., Kingston, D. G., Gauster, T., Ionita, M., Vidal, J.-P., Vlnas, R., Tallaksen, L. M., Stahl, K., Hannaford, J., Delus, C., Fendekova, M., Mediero, L., Prudhomme, C., Rets, E., Romanowicz, R. J., Sebastien, G., Wong, W. K., Adler, M.J., Blauhut, V., Caillouet, L., Chelcea, S., Frolova, N., Gudmundsson, L., Hanel, M., Haslinger, K., Kireeva, M., Osuch, M., Sauquet, E., Stagge, J. H., Van Loon, A. F. 2016. Hydrology needed to manage droughts: the 2015 European case, *Hydrol. Process.*, 30, 3097–3104.
58. Wang, Z.Q., Wu, Q. 2006. Sustainability of Groundwater Resources and its Indicators (Proceedings of symposium S3 held during the Seventh IAHS Scientific Assembly at Foz do Iguacu, Brazil, April 2005). IAHS Publ. 302.
59. Wu, H., Qian, H. 2017. Innovative trend analysis of annual and seasonal rainfall and extreme values in Shaanxi, China, since the 1950s. *Int J Climatol* 37, 2582-2592. <https://doi.org/10.1002/joc.4866>.
60. Wunsch, A., Liesch, T., & Broda, S. 2021. Groundwater level forecasting with artificial neural networks: a comparison of long short-term memory (LSTM), convolutional neural networks (CNNs), and non-linear autoregressive networks with exogenous input (NARX). *Hydrology and Earth System Sciences*, 25(3), 1671–1687. doi: 10.5194/hess-25-1671-2021.
61. \*\*\*<https://www.ipcc.ch/report/ar5/syr/>