ROMÂNIA
MINISTERUL EDUCAȚIEI ȘI CERCETĂRII
UNIVERSITATEA „VASILE ALECSANDRI” DIN BACĂU
ȘCOALA DE STUDII DOCTORALE
Calea Mărăşeşti, Nr. 157, Bacău, 600115
Tel. +40-234-542411, fax +40-234-545753
www.ub.ro; e-mail:rector@ub.ro

REZUMAT TEZĂ DE DOCTORAT

Doctorand
Ing. Petruț-Liviu BOGDAN

Conducător de doctorat:
Prof. univ. dr. ing. Dr. h. c. Valentin NEDEFF
Universitatea „Vasile Alecsandri” din Bacău
Membru corespondent ASAS „Gh. Ionescu Șișești” București

Domeniul de doctorat: INGINERIA MEDIULUI
Bacău, 2026

ROMÂNIA
MINISTERUL EDUCAȚIEI ȘI CERCETĂRII
UNIVERSITATEA „VASILE ALECSANDRI" DIN BACĂU
ȘCOALA DE STUDII DOCTORALE
Calea Mărăşeşti, Nr. 157, Bacău, 600115
Tel. +40-234-542411, fax +40-234-545753
www.ub.ro; e-mail:rector@ub.ro

Studii și cercetări privind cantitatea și calitatea apelor subterane din bazinul hidrografic Siret

REZUMAT

Doctorand
Ing. Petruț-Liviu BOGDAN

Conducător de doctorat:
Prof. univ. dr. ing. Dr. h. c. Valentin NEDEFF
Universitatea „Vasile Alecsandri" din Bacău
Membru corespondent ASAS „Gh. Ionescu Șișești" București

Comisia de îndrumare și integritate academică:

1. **Prof. univ. dr. ing. habil. Narcis BÂRSAN - UVABc**
2. **Conf. univ. dr. ing. Alisa - Vasilica ARUȘ - UVABc**
3. **CS III dr. biolog Gabriel-Alin IOSUB - SCDL Bacău**

Cuprins

INTRODUCRE 3

1. Aspecte generale privind apele subterane 3

1.1. Scopul și obiectivele cercetării 3

1.2. Structura tezei 4

2. Stadiul actual al cercetărilor privind cantitatea și calitatea apelor subterane în contextul utilizării tehnicilor GIS și a geostatisticii 4

3. Stabilirea bazei tehnice și a metodologiei de cercetare pentru analiza cantitativă și calitativă a apelor freatice din arealul studiat 5

4. Caracterizarea cantitativă și calitativă a acviferului freatic din sectorul amonte al confluenței Siret–Moldova 6

4.1. Baza de date hidrogeologice și hidrologice utilizată pentru analiza acviferului din arealul studiat 7

4.2. Elaborarea modelului conceptual al sectorului supus analizei 8

4.2.1. Schematizarea Spațială 8

4.2.2 Schematizarea hidrodinamică a acviferului 10

4.2.3. Schematizarea parametrică a acviferului 17

4.3. Caracterizarea fizico-chimică a apelor subterane 22

5. Integrarea analizelor hidrogeologice și geospațiale în caracterizarea acviferului freatic din sectorul Siret–Moldova 27

5.4. Analiza statistică integrată a parametrilor hidrogeologici (K, T, Np) și tematici (LULC, GPZ) 28

5.5. Harta integrată de favorabilitate hidrogeologică pentru managementul apelor subterane 29

5.6. Integrarea indicelui de calitate a apei subterane în areal 30

6. Concluzii generale 31

A. Cu privire la oportunitatea și relevanța temei 31

B. Cu privire la fundamentarea teoretică și metodologică a cercetării din arealul studiat 31

C. Cu privire la verificarea experimentală și validarea datelor utilizate în analiză 32

D. Cu privire la caracterul original al lucrării 33

E. Cu privire la căile de dezvoltare ulterioară a cercetării 34

F. Valorificarea rezultatelor studiilor și cercetărilor efectuate 35

Bibliografie 37

INTRODUCRE

Apele subterane reprezintă cea mai importantă sursă de apă dulce disponibilă, fiind folosită în toate mediile antropice, în agricultură, industrie, populație, cât și în alte ramuri de importanță majoră pentru oameni [37].

În acest cadru se înscrie și prezenta teză, care analizează apele subterane din bazinul Siret, pe sectorul cuprins între confluența râurilor Moldova și Siret și până la Nord, în dreptul localităților Gherăești, Iugani și Mircești, delimitat de profilele hidrogeologice corespunzătoare forajelor de la Gherăești și Mircești, aflate în administrarea Administrației Bazinale de Apă Siret.

Toate figurile și reprezentările cartografice la care face trimitere prezentul rezumat extins provin din versiunea integrală a lucrării de doctorat, în care sunt incluse și numerotate în forma lor finală

1. Aspecte generale privind apele subterane

În această zonă a bazinului hidrografic Siret, acviferele freatice, formate din nisipuri și pietrișuri cu permeabilitate ridicată, sunt supuse unor presiuni precum poluarea difuză din îngrășăminte azotate și reducerea infiltrării naturale datorită urbanizării [14, 29]. Monitorizarea realizată de Administrația Bazinală de Apă (ABA) Siret, prin rețeaua de foraje din aliniamentele Gherăești, Mircești și Roman, furnizează date esențiale despre nivelurile piezometrice și parametrii fizico-chimici, precum nitrații și amoniul, pentru perioada 2014–2022 [41]. Aceste informații permit evaluarea dinamicii hidrogeologice și a calității apei, fiind fundamentale pentru aplicarea unor strategii de management sustenabil conform Directivei Cadru 2000/60/CE [42].

1.1. Scopul și obiectivele cercetării

Scopul tezei este caracterizarea spațială și temporală a apelor subterane freatice din bazinul hidrografic Siret, pe sectorul delimitat între confluența Siret–Moldova și profilele hidrogeologice Gherăești–Mircești. Lucrarea abordează atât componenta cantitativă, cât și pe cea calitativă, utilizând date piezometrice și fizico-chimice furnizate de ABA Siret pentru perioada 2014–2022. Cercetarea se bazează pe metode moderne: modelare geostatistică (kriging direcțional și omnidirecțional), interpolare funcțională și analize GIS, pentru a obține o imagine completă a variațiilor spațiale și temporale ale acviferului. Obiectivele principale includ:

- cartografierea variațiilor spațiale ale nivelului freatic prin metode geostatistice;
- analiza distribuției adâncimii stratelor acvifere în relație cu structura geologică;
- dezvoltarea unor modele matematice care să descrie variațiile piezometrice;
- estimarea conductivității hidraulice și a transmisivității;
- evaluarea variației temporale a parametrilor fizico-chimici;
- verificarea conformității cu legislația europeană și națională;
- dezvoltarea unui cadru metodologic integrat GIS + geostatistică + interpolare.

1.2. Structura tezei

Teza este organizată în șase capitole. Introducerea prezintă contextul și relevanța temei. Capitolul 1 include obiectivele și structura tezei. Capitolul 2 analizează stadiul actual al cercetărilor, cu accent pe legislație și studii hidrogeologice relevante. Capitolul 3 prezintă metodele folosite: prelucrări statistice, modelare geostatistică, interpolare funcțională, analize GIS și metode fizico-chimice. Capitolul 4 include rezultatele detaliate și interpretarea lor, pornind de la baza de date, modelul conceptual, schematizarea spațială, hidrodinamică și analiza parametrilor. Capitolul 5 integrează rezultatele obținute cu studiile anterioare ale autorului, pentru obținerea unui produs final cu aplicabilitate practică. Capitolul 6 conține concluziile generale și direcțiile viitoare de cercetare.

2. Stadiul actual al cercetărilor privind cantitatea și calitatea apelor subterane în contextul utilizării tehnicilor GIS și a geostatisticii

Acest capitol prezintă evoluția cercetărilor din domeniul hidrogeologiei, plecând de la metodele clasice și empirice la modele cantitative, bazate pe legi fizice și metode numerice cu ajutorul tehnicii actuale.

Cu ajutorul lucrărilor de bază ale acestui domeniu ca Darcy, care a definit pentru prima dată curgerea apei prin medii poroase, până la studiile moderne ale lui Fitts (2022), domeniul hidrogeologiei a cunoscut o dezvoltare continuă [16, 23]. Lucrările lui Dupuit, Theis, Bear, Freeze și Cherry, sau Domenico și Schwartz au adus completări esențiale privind legătura dintre structura geologică, permeabilitate și mișcarea apelor subterane [4, 12, 15, 16, 18, 19, 22-24, 26, 38]. Aceste

cercetări stau și astăzi la baza interpretării nivelului piezometric și a determinării parametrilor hidrogeologici în studiile regionale și a scurgerii apelor subterane.

Dezvoltarea analizei hidrogeologice prin introducerea geostatisticii și a tehnicilor GIS care au permis reprezentarea spațială detaliată a datelor prin aplicarea diferitelor metode de interpolare cum ar fi Kriging, IDW, au devenit foarte importante si de o necesitate absolută în estimarea conductivității hidraulice, a nivelului freatic, a transmisivității și a altor parametri hidrogeologici [3, 11, 23, 31, 40]. Cu ajutorul acestor instrumente s-au putut evidenția caracteristicile acviferului și corelarea parametrilor hidrogeologici cu litologia zonei studiate. Integrarea datelor fizico-chimice în GIS, au dus la o caracterizare și o reprezentare a caracteristicilor chimice ale apelor subterane, prin determinarea faciesurilor hidrochimice, identificarea zonelor influențate antropicșsi stabilirea indexului calității apei.

În Romania etodele moderne de cercetare au fost integrate prin lucrări de referința ca cele elaborate de Scrădeanu (1996, 2001), Neagu (2017) și Vasile (2020), care au aplicat metode moderne de modelare numerică și de analiza geostatistică pe acvifere din diferite regiuni din Romania [33, 35, 36, 39].

Din punct de vedere legislativ, protejarea și monitorizarea apelor subterane sunt reglementate prin acte europene și naționale, precum Directiva Cadru Apă 2000/60/CE, Directiva 2006/118/CE, Directiva 91/676/CEE, Ordinul 621/2014 și Ordonanța nr. 7/2023 [42-46, 48]. Aceste documente stabilesc cerințele privind calitatea, cantitatea și monitorizarea apelor, oferind totodată cadrul legal pentru implementarea strategiilor de management la nivelul Administrațiilor Bazinale de Apă.

3. Stabilirea bazei tehnice și a metodologiei de cercetare pentru analiza cantitativă și calitativă a apelor freatice din arealul studiat

Capitolul 3 prezintă baza tehnică și metodologia utilizată în cadrul cercetării, instrumentele fiind conforme cu prevederile Directivei Cadru 2000/60/CE și ale Legii Apelor 107/1996 [42].

Schematizarea modelului a fost realizată pe trei componente: schematizarea spațială (delimitarea acviferului pe baza litologiei și secțiunilor hidrogeologice), schematizarea

parametrică (distribuția spațială a porozității, conductivității, transmisivității și realimentării) și schematizarea hidrodinamică (condițiile hidraulice din domeniul studiat).

Metodologia tehnică include utilizarea tehnologiei LiDAR, care funcționează prin emiterea și recepția unui fascicul laser pentru generarea norilor de puncte 3D, fiind esențială în obținerea modelelor digitale ale terenului [5, 25].

În paralel, Sistemul Informațional Geografic (GIS) a fost folosit pentru analiza distribuției spațiale a parametrilor hidrogeologici, integrarea datelor digitale și generarea hărților tematice privind nivelul piezometric, grosimea acviferului, conductivitatea hidraulică și alți parametri[1, 4, 10].

Modelarea geostatistică a constituit o etapă centrală, vizând analiza variabilității spațiale prin histogramare, normalizare, calcularea semivariogramelor direcționale și omnidirecționale, determinarea anizotropiei (orientare, raze major/minor), eliminarea trendului acolo unde a fost necesar și ajustarea modelelor teoretice pe baza semivariogramei[13, 20].

Metodele de teren au inclus determinarea nivelului piezometric în foraje și cu ajutorul freatimetrelor mecanice, electrice și a senzorilor cu transmisie GPRS. De asemenea măsuratorile în teren s-au făcut cu ajutorul unui GPS RTK Zenith 35 Pro, necesar pentru determinarea punctelor de monitorizare(MNT, fântâni, bălți).

Analiza calitativă a apelor subterane s-a realizat conform legislației în vigoare (Ordonanța 7/2023, Ordinul 621/2014), având în vedere procesele naturale și influențele antropice asupra compoziției chimice [47, 48] . Datele fizico-chimice au fost interpretate și reprezentate prin hărți tematice și diagrame Piper și Schoeller–Berkaloff [2, 27].

4. Caracterizarea cantitativă și calitativă a acviferului freatic din sectorul amonte al confluenței Siret–Moldova

Capitolul prezintă rezultatele obținute în cadrul studiului de caz derulat în acest areal, cercetarea fiind structurată pe două direcții majore: analiza cantitativă și analiza calitativă a apelor subterane.

Arealul studiat (fig. 4.1) are o suprafață de 174,36 km² și este delimitat la vest de râul Moldova, la est de râul Siret, la nord de aliniamentul de foraje Gherăești–Răchiteni, iar la sud de zona de confluență a râurilor Moldova și Siret.Limitele dinspre Est și Vest ale acestui areal

determinate de cursurile râurilor Siret și Moldova sunt foarte bine puse în evidență prin traseele albiilor minore meandrate în cazul râului Siret și despletite pe râul Moldova.

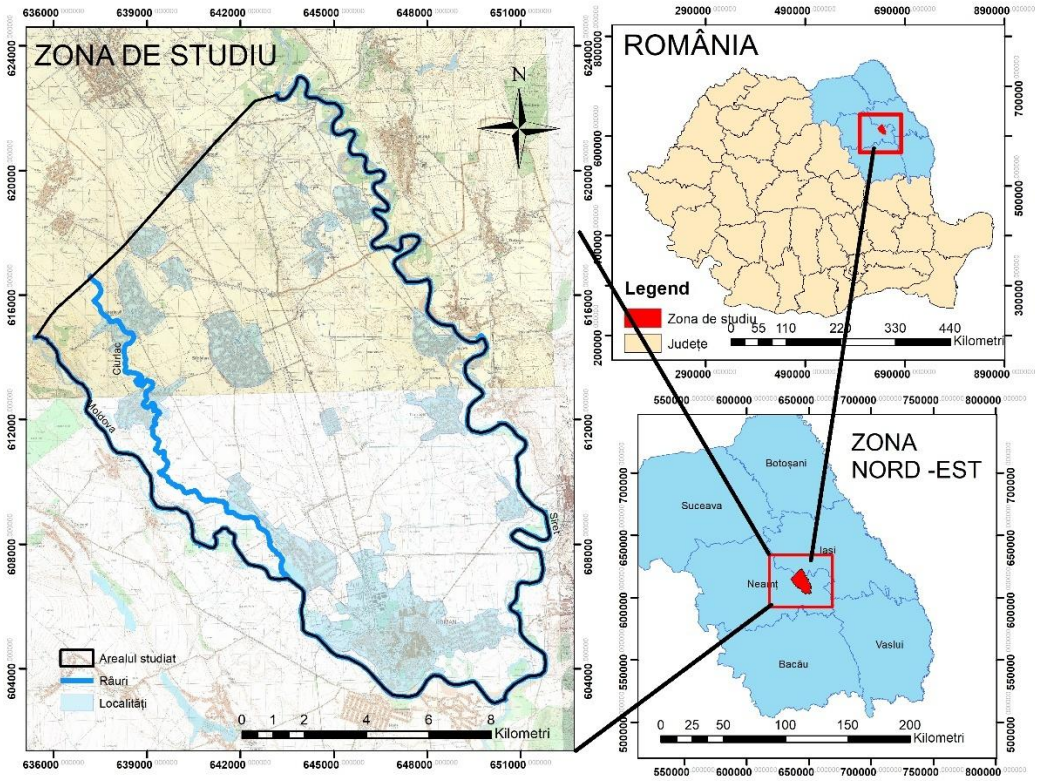


Fig. 4.1. Arealul zonei studiate.

4.1. Baza de date hidrogeologice și hidrologice utilizată pentru analiza acviferului din arealul studiat

În contextul acestei lucrări de doctorat, au fost analizate peste 115 foraje cu adâncimi de până la 35 m. În urma unei analize și trieri riguroase ale datelor din foraje aceasta lista s-a rezumat la 49 de foraje. Aceste foraje aparțin Retelei Hidrogeologice Naționale (17 foraje) sau sunt forajele ce sunt utilizate pentru alimentarea cu apă a localităților (8) adiacente sau aparțin unor foste companii de stat cum ar fi fostele CAP-uri (Cooperativă Agricolă de Producție) sau IAS-uri (Întreprindere Agricolă de Stat) ale localităților Tamășeni și Roman [41].

4.2. Elaborarea modelului conceptual al sectorului supus analizei

Modelul conceptual reprezintă sinteza simplificată a structurii acviferului, fundamentată pe date geologice, geomorfologice și hidrogeologice, și constituie baza celor trei modele: spațial, hidrodinamic și parametric.

4.2.1. Schematizarea Spațială

Determinarea extinderii spațiale a unei hidrostructuri presupune stabilirea geometriei în care se desfășoară curgerea apelor subterane [17].

4.2.1.1. Modelul digital al terenului

În ceea privește schematizarea spațială a hidrostructurii acviferului, s-a determinat modelul digital al terenului realizat prin combinarea rasterelor LIDAR (5×5 m) și SRTM (30×30 m), verificarea acurateții făcându-se prin 206 măsurători RTK, unde ecartul erorilor s-a încadrat între +0,77 m (P198) și –1,31 m (P68), valori considerate acceptabile pentru MNT.

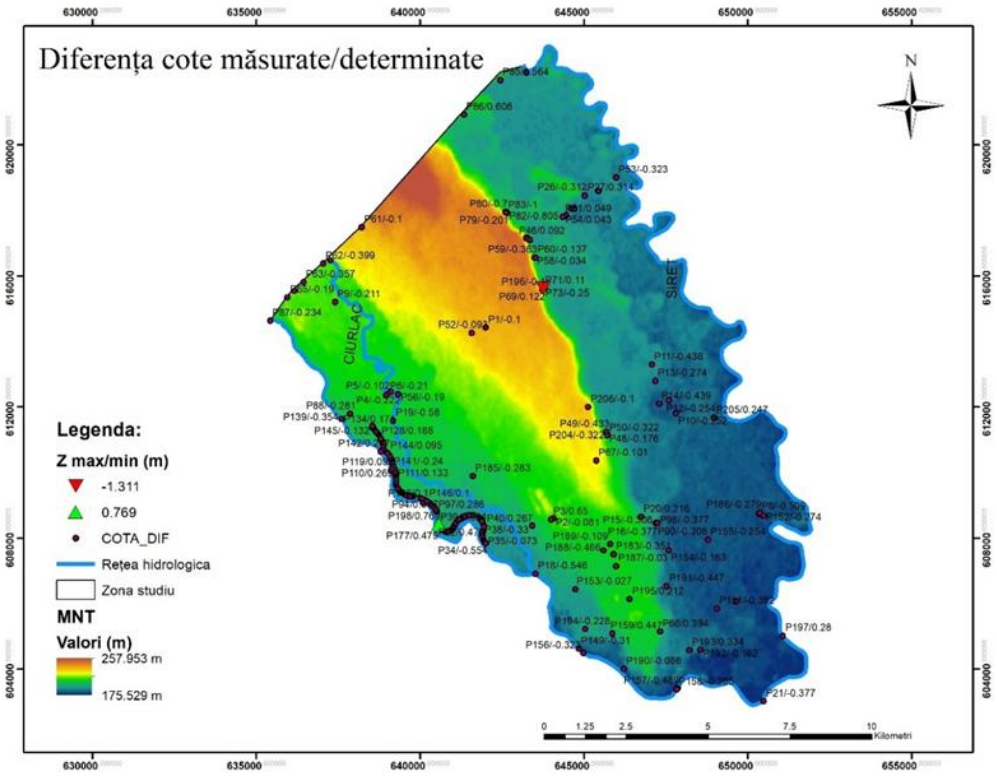


Fig. 4.8. Distribuția spațială a punctelor măsurate în teren.

În această etapă a schematizării spațiale, pe baza forajelor analizate au fost determinate hărțile grosimii și adâncimii culcușului, care au evidențiat distribuția sedimentară controlată de luncă și terase, cu zone permeabile bine conturate în sectorul vestic. S-au folosit ca metode de interpolare Kriging Ordinar și IDW [32].

Grosimea stratului poros-permeabil (fig. 4.10) determinată pe baza forajelor analizate variază semnificativ în areal, de la 0,7 la 6,9 m, valorile reflectând configurația teraselor Moldovei și Siretului, aspect evidențiat în harta prezentată în figura următoare.

Adâncimea culcușului acviferului (fig.4.11) variază între 3,5 și 27,8 m, cu valori reduse în luncile Moldovei și Siretului și valori ridicate pe interfluviile înalte (Traian, Săbăoani, Gherăești), distribuția izoadâncimilor reflectând influența directă a reliefului și litologiei asupra structurii acviferului.

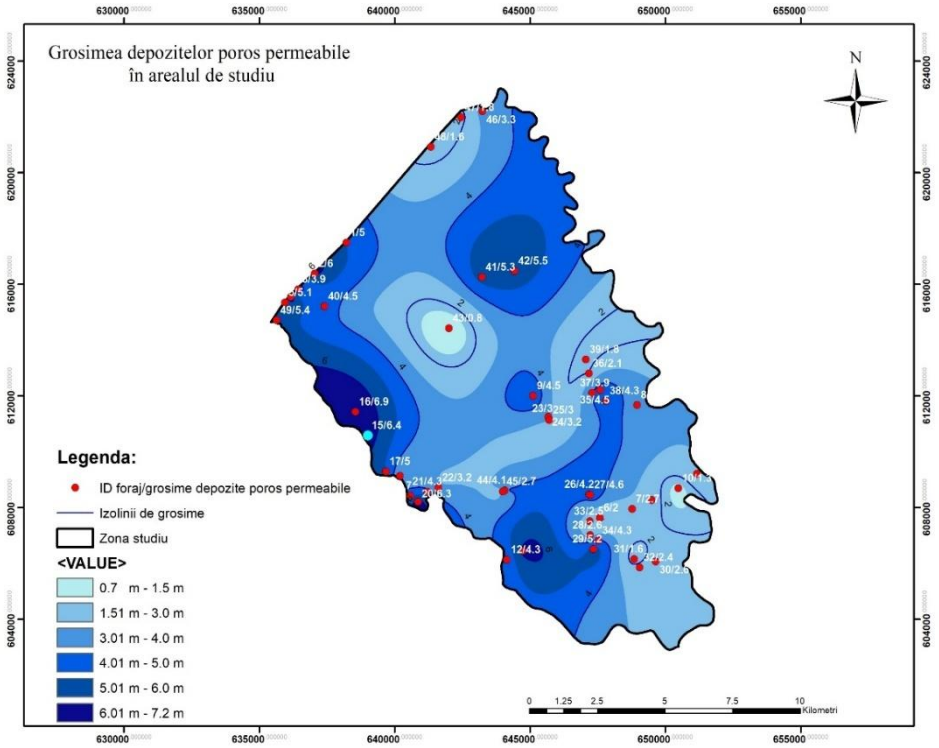


Fig. 4.10. Harta grosimilor poros permeabile în raport cu suprafața terenului.

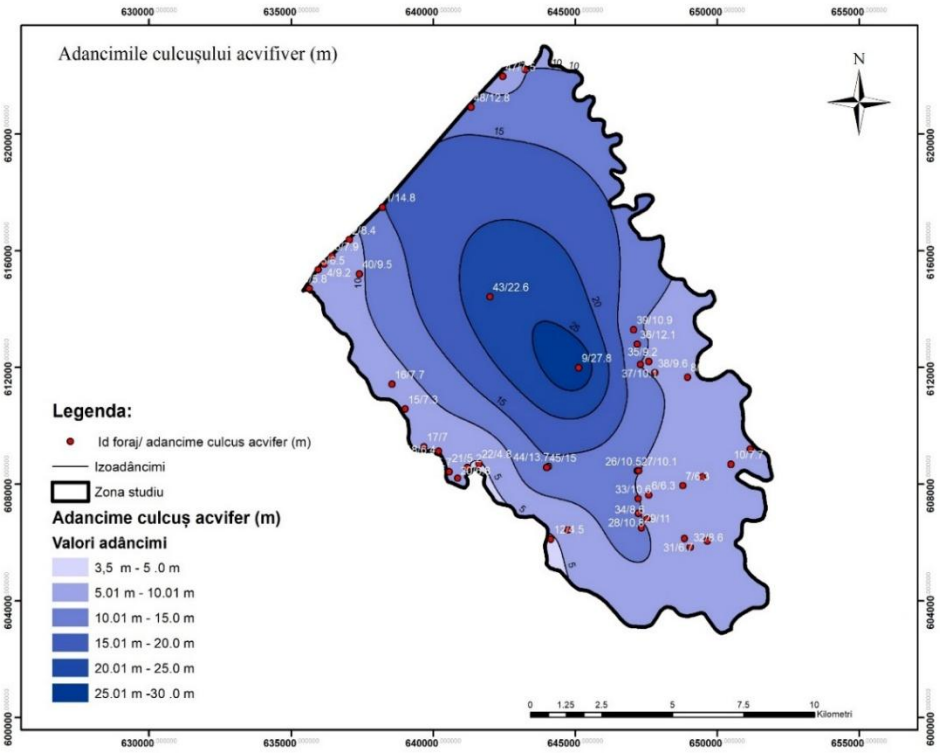


Fig. 4.11. Izoadâncimile culcușului acviferului.

4.2.2 Schematizarea hidrodinamică a acviferului

Scopul etapei de schematizare hidrodinamică este reprezentat prin stabilirea contextului energetic în care are loc curgerea apei subterane în cadrul sistemului acvifer analizat.

4.2.2.1. Spectrul hidrodinamic al acviferului

În vederea realizării și analizei variației spațiale a nivelului hidrostatic s-au efectuat măsurători în teren în perioada 20–21 septembrie 2019,unde s-au folosit un număr de date din 97 de puncte de măsurare: 10 foraje aparținând ABA Siret, 45 fântâni măsurate în teren, 8 bălți și lacuri care interceptează freaticul, iar restul punctelor situate pe râurile Siret și Moldova (13, respectiv 21 de puncte) prezentate în fig.4.12.

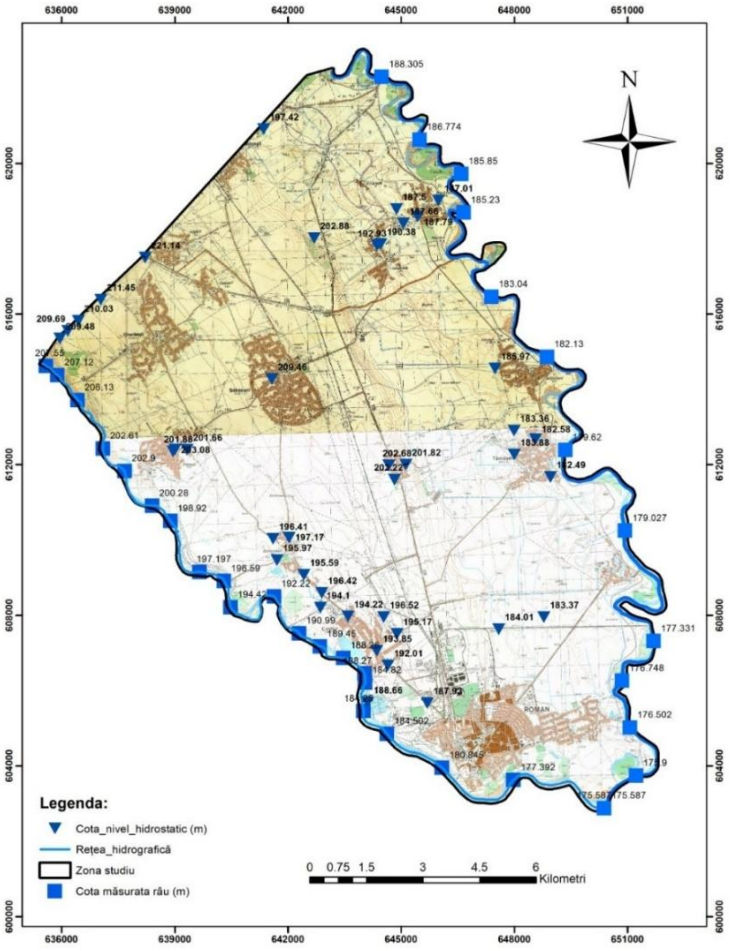


Fig. 4.12. Distribuția spațială a punctelor de piezometrie și a cotelor nivelului hidrostatic măsurate în teren în perioada 20–21 septembrie 2019.

4.2.2.2. Spectrul hidrodinamic al acviferului prin analiza statistică

Scopul acestei analize este caracterizarea spectrului hidrodinamic al acviferului prin evidențierea tendințelor spațiale, a variabilității statistice și a structurii de corelație spațială a nivelului piezometric, precum și evaluarea performanței modelelor teoretice (sferic, gaussian și exponențial) prin metoda cross-validation.

Analiza tendinței valorilor piezometrice (Trend analysis)

Pe baza fig. 4.13 si 4.14 analiza tendinței valorilor piezometrice a arătat o scădere clară pe direcția Vest–Est ($R^2 \approx 0.73$), respectiv o variație mai redusă pe direcția Sud–Nord ($R^2 \approx 0.33$), confirmând existența unei anizotropii pe direcția generală NV–SE, care justifică modelarea direcțională ulterioară

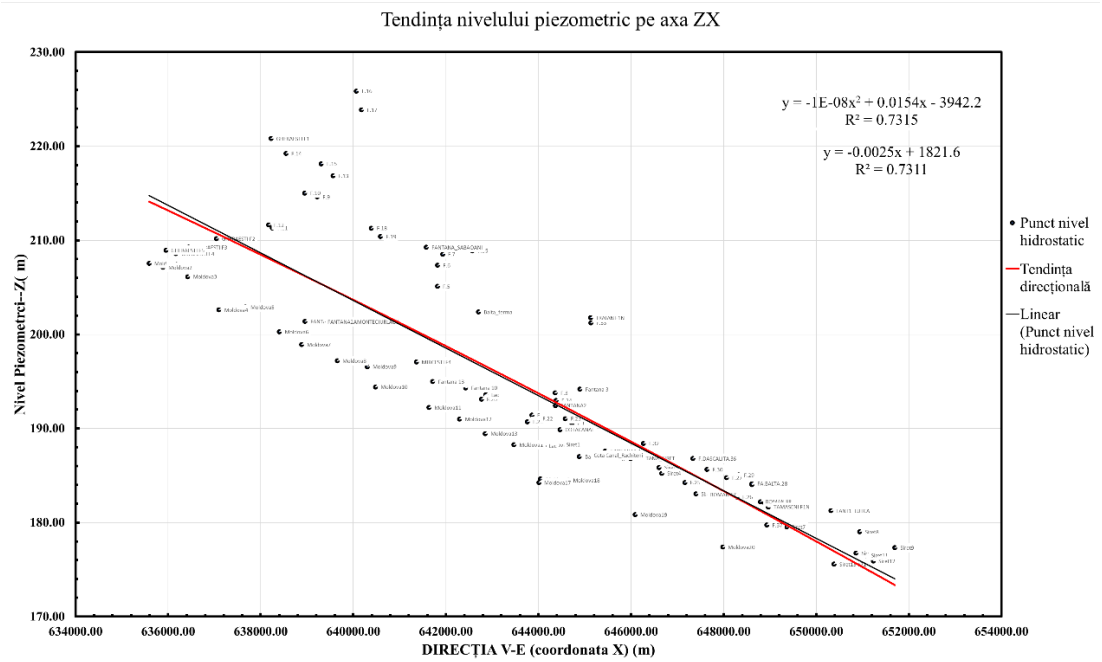


Fig. 4.13. Tendința nivelului piezometric pe direcția Vest-Est

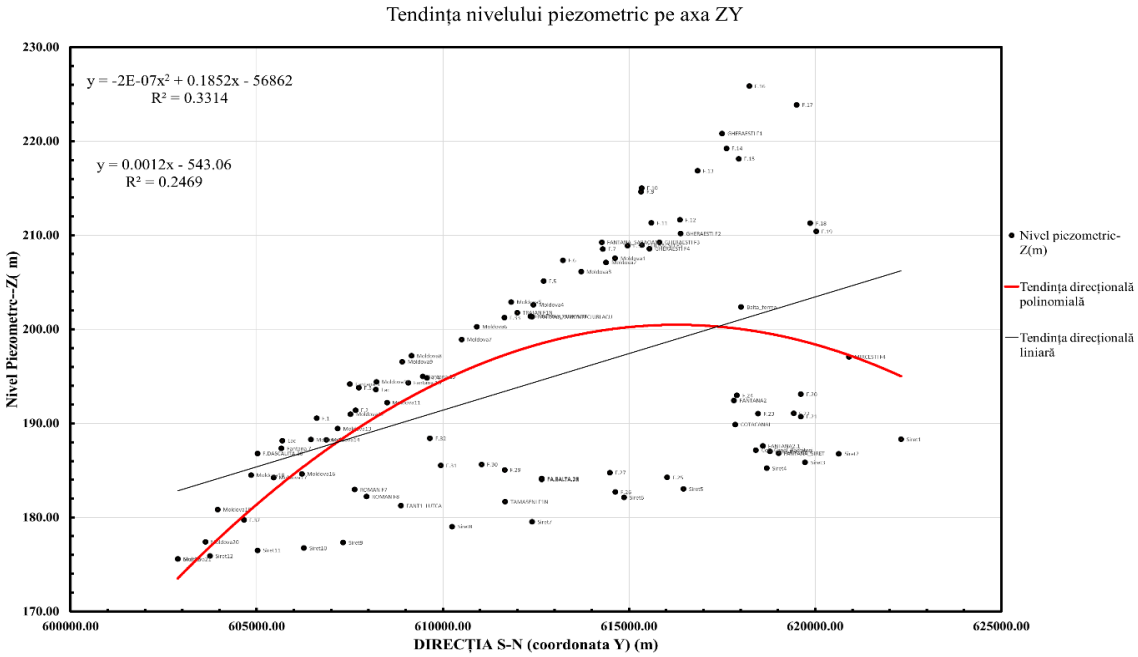


Fig. 4.14. Tendința nivelului piezometric pe direcția SUD-NORD

Analiza tendinței spațiale realizată în ArcMap 10.8 a arătat că nivelul piezometric prezintă o variație polinomială de ordinul 2, cu o scădere generală NV–SE (Moldova - Siret).

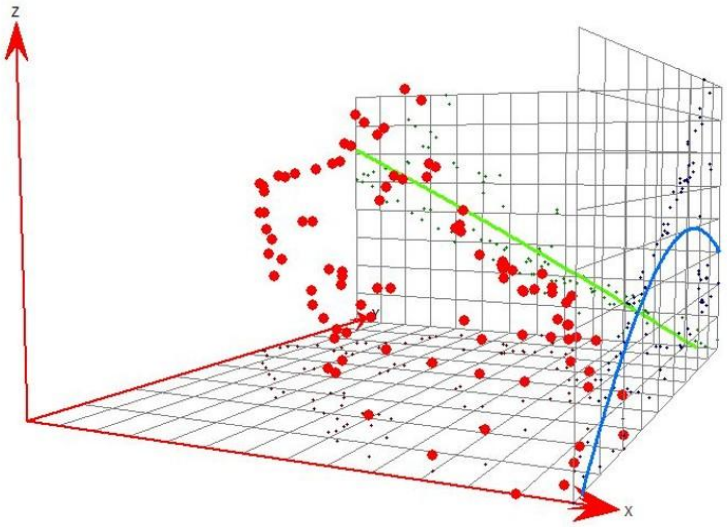


Fig. 4.17. Analiza trendului spațial – distribuția 3D a nivelului piezometric in ArcMAP10.8.

Pentru caracterizarea structurii spațiale a valorilor piezometrice au fost generate semivariograme experimentale pe direcția principală de continuitate determinată prin analiza trendului.

Pentru interpolarea piezometriei au fost testate trei modele teoretice Gaussian, Sferic și Exponențial, folosind aceiași parametri variografici și aceeași direcție principală de anizotropie.Analiza variabilității spațiale a nivelului piezometric a evidențiat o anizotropie clară pe direcția NV–SE, determinată de relația dintre morfologie și structura sedimentară. Pe baza acesteia, modelarea geostatistică a fost realizată direcțional, iar modelul Gaussian a furnizat cele mai bune rezultate de interpolare.

Tabelul 4.4. Rezultatul validării încrucișate pentru cele trei modele teoretice.

Model variografic	**ME**	**RMSE**	**MSE**	**RMSSE**	**ASE**
Sferic	–0.04908	2.15885	–0.01536	0.82369	2.55887
Gaussian	–0.03622	**2.00864**	–0.01307	**0.99839**	**1.99229**
Exponențial	–0.04415	2.37194	–0.01264	0.78221	2.92724

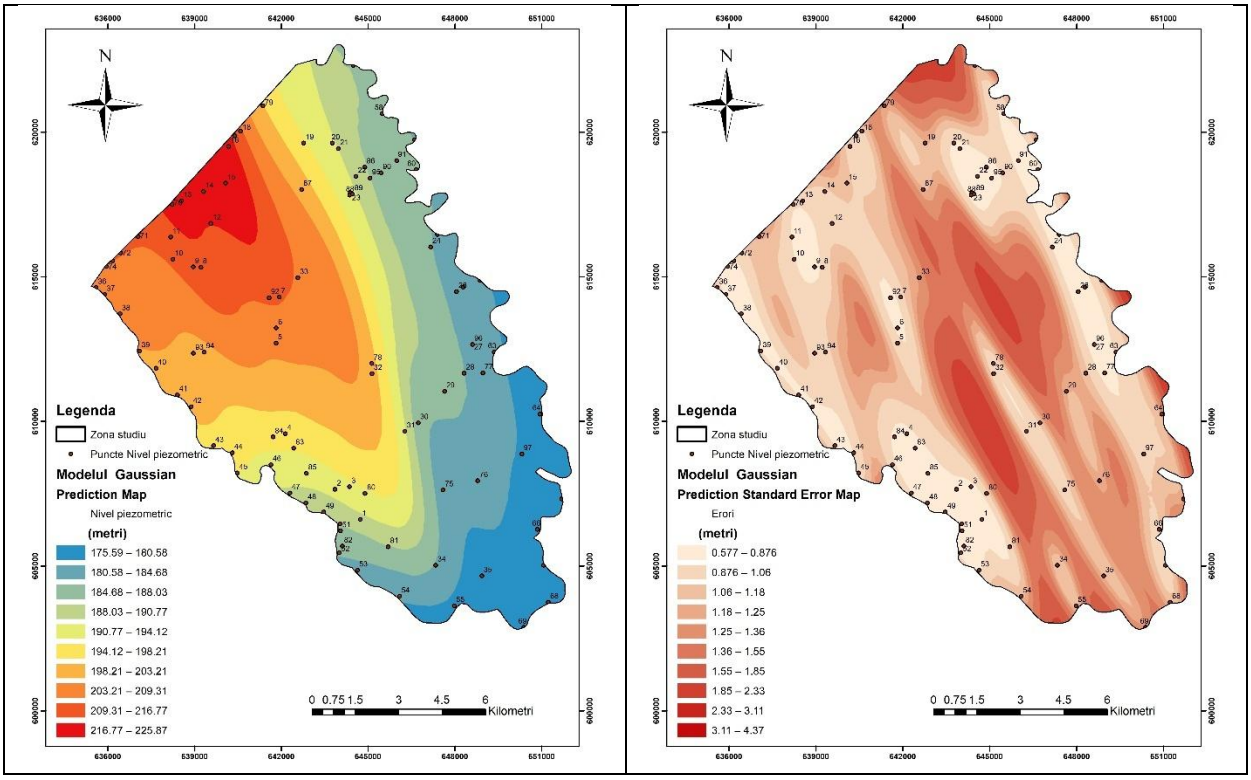


Fig. 4.29. a) Harta nivelurilor piezometrice prezise– model gaussian;b) harta erorilor de predicție – model gaussian.

Suprafața piezometrică obținută prin kriging Gaussian arată o scădere regională a nivelului hidrostatic dinspre vest către est, ceea ce confirmă direcția principală de curgere Moldova → Siret. Diferența totală de nivel este de aproximativ 40–45 m pe întreaga lungime a arealului, iar gradientul hidraulic variază între 1–1,5‰ în partea vestică, 2–2,5‰ în zona centrală și până la 3–3,5‰ spre lunca Siretului. Valorile mai ridicate din zonele Gherăești–Traian și cele mai mici din proximitatea Siretului reflectă controlul direct exercitat de relief și litologie asupra scurgerii subterane.

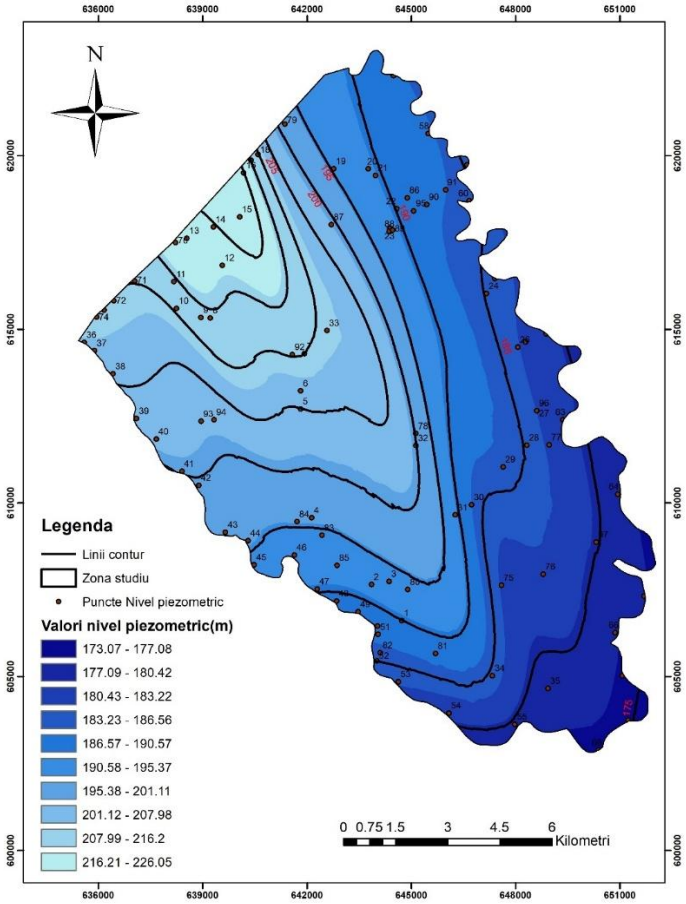


Fig. 4.35. Direcția de curgere a apelor freatice.

4.2.2.3. Analiza variației nivelului subteran

Analiza variației nivelului hidrostatic în perioada 2014–2022, corelată cu datele pluviometrice de la stația Nicolae Bălcescu, evidențiază o tendință generală de scădere a nivelului freatic în toate cele 7 foraje monitorizate. Această evoluție este asociată reducerii aportului pluviometric, deoarece majoritatea anilor analizați au înregistrat precipitații sub media multianuală 2010–2022, cu extreme între 1154,4 l/mp în 2016 și doar 399,5 l/mp în 2022. Scăderea resurselor freatice este astfel corelată direct cu diminuarea precipitațiilor, cele mai ridicate valori fiind specifice verii, iar cele mai reduse intervalului de iarnă

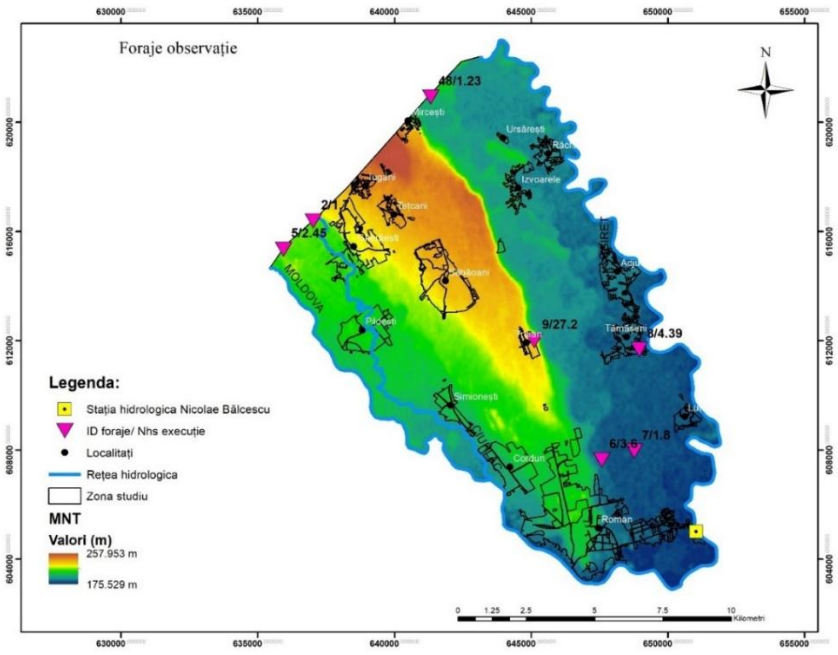


Fig. 4.36. Distribuția spațială a forajelor de piezometrie.

4.2.2.4. Modelarea matematică a nivelului piezometric

Seria piezometrică 2014–2022 a fost analizată utilizând modelarea funcțională în TableCurve 3D, pentru a identifica tendințele de lungă durată ale nivelului freatic. Suprafața 3D generată pentru fiecare lună (ex. fig. 4.51) arată o variație coerentă, stabilă, fără discontinuități sau rupturi în comportamentul acviferului.

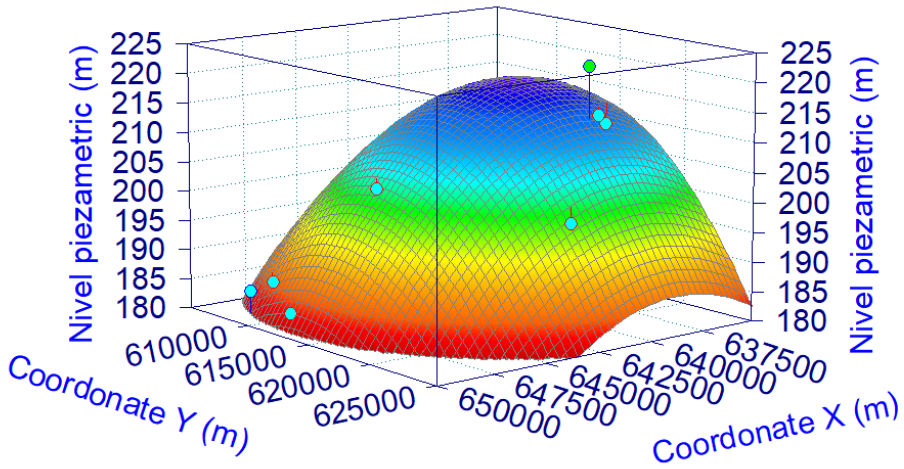


Fig. 4.51. Suprafața continuă a variației nivelului piezometric pentru luna iunie 2014.

Modelarea matematică confirmă o scădere lentă și constantă a nivelului hidrostatic pe perioada analizată, corelată cu reducerea precipitațiilor. Ajustarea modelelor a avut o fidelitate ridicată (R^2 ~0,91–0,92), ceea ce susține stabilitatea interpretării.

4.2.3. Schematizarea parametrică a acviferului

Schematizarea parametrică a acviferului s-a concentrat pe determinarea conductivității hidraulice (K) și a transmisivității (T), cei doi parametri care definesc capacitatea acviferului de a permite curgerea apei și de a debita prin întreaga grosime saturată.

4.2.3.1 Conductivitatea hidraulică

Conductivitatea hidraulică, parametru fundamental al curgerii subterane, a fost determinată pe baza a 34 de puncte de observație, valorile K variind semnificativ în areal (9,95–171,72 m/zi), în concordanță cu heterogenitatea litologică pusă în evidență în harta din fig. 4.53.

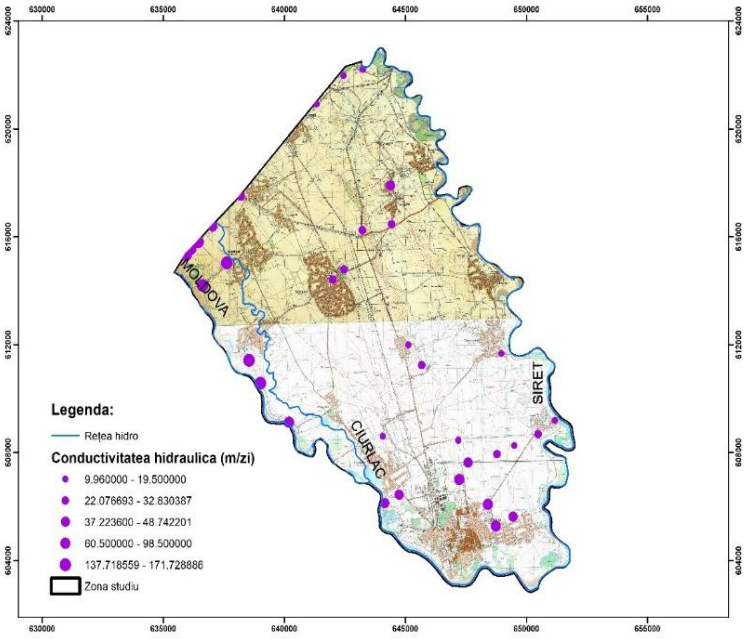
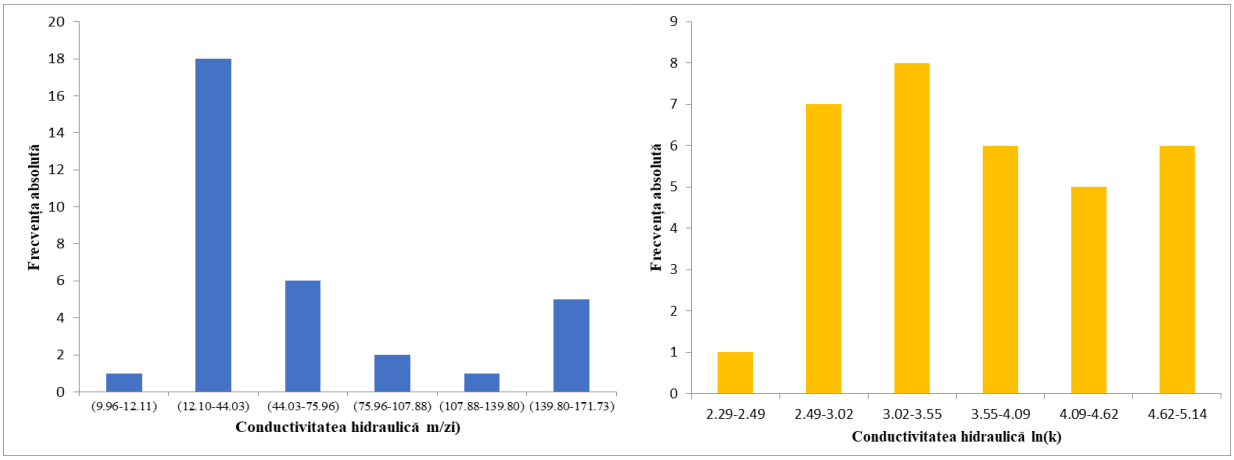


Fig. 4.53. Conductivitatea hidraulică în puncte de observații.

4.2.3.1.1. Analiza distribuției globale a conductivității hidraulice

Distribuția brută a valorilor K este puternic asimetrică (asimetrie 1,33; extindere 161,77 m/zi), motiv pentru care s-a aplicat o transformare logaritmică ce a redus asimetria la 0,42 și a

generat o distribuție mult mai omogenă, fapt evidențiat în cele două histograme prezentate (fig.4.54).



a) b)

Fig. 4.54. a)Histograma valorilor conductivității hidraulice; b)Histograma valorilor logaritmate ale conductiviației hidraulice.

4.2.3.1.2. Analiza dispersiei spațiale

Pentru stabilirea modelului optim de interpolare a conductivității hidraulice au fost testate trei modele teoretice de semivariogramă — Gaussian, Sferic și Exponențial — evaluarea lor fiind realizată prin indicatorii standard de validare (ME, RMSE, ASE, RMSSE, R^2). Rezultatele sintetizate în Tabelul 4.10 arată că modelul Gaussian oferă cea mai bună concordanță între valorile observate,motiv pentru care a fost selectat pentru generarea hărții finale a distribuției K în arealul studiat.

Tabelul 4.10 Comparația modelelor teoretice prin validarea încrucișată.

Nr.	Model	ME	RMSE	MSE	RMSSE	ASE	R^2
1	SFERIC	0.0199	0.4886	0.0097	0.8858	0.5741	0.6689
2	GAUSSIAN	0.0055	0.4870	-0.0024	0.8697	0.5735	0.6712
3	EXPONENȚIAL	0.0266	0.5011	0.0127	0.9553	0.5772	0.6522

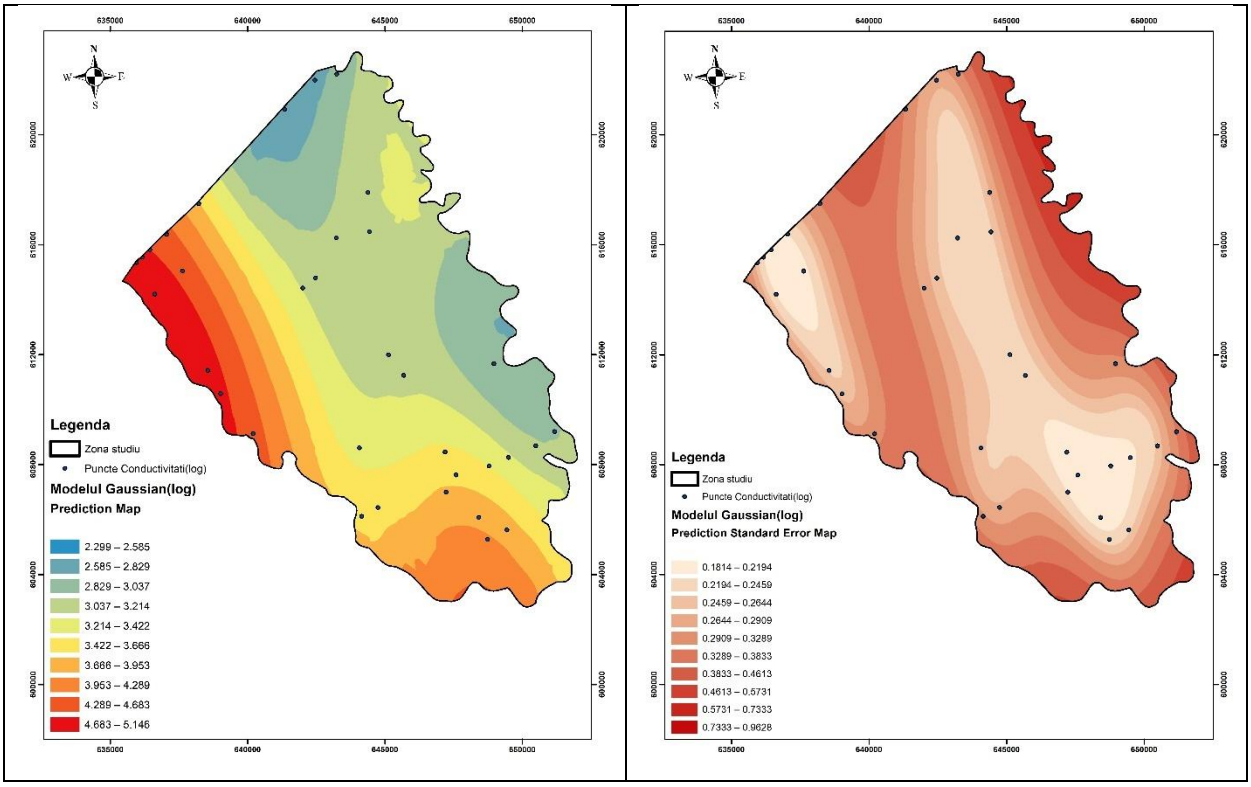


Fig. 4.62. a)Harta conductivității hidraulice prezise(log K) – model Gaussian;b) harta erorilor de predicție(log K)-model Gaussian.

Harta cu valorile logaritmate, obținută în urma aplicării modelului Gaussian, a fost supusă procesului de transformare inversă folosind funcția EXP disponibilă in programul ArcGIs 10.8 [21, 30], în vederea readucerii datelor la scara inițială (m/zi). Astfel, s-a obținut harta finală a conductivității hidraulice interpolate pe toată suprafața de studiu.

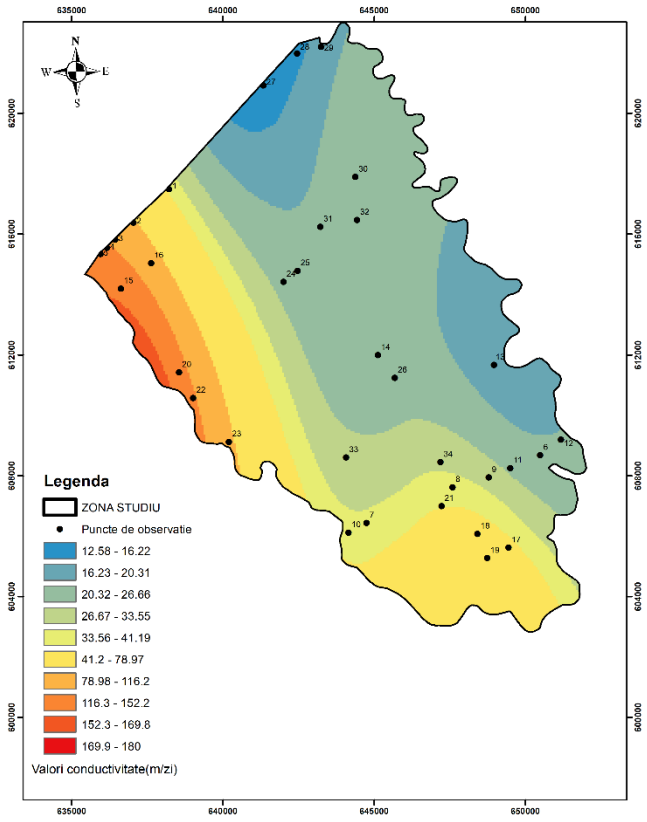


Fig. 4.65. a)Harta conductivității hidraulice (m/zi).

4.2.3.2 Transmisivitatea

Transmisivitatea a fost calculată pe baza conductivității hidraulice și a grosimii stratului saturat, fiind interpolată prin modelul Gaussian, care a oferit cele mai bune valori de validare unde $R^2 \approx 0,87–0,89$ (fig.4.66). Valorile mari se concentrează pe terasele joase ale Moldovei, unde apar depozite grosiere, iar valorile mici în Nord și Est, în zone cu litologie fină. Harta finală confirmă controlul litologic asupra distribuției transmisivității în areal (fig.4.67).

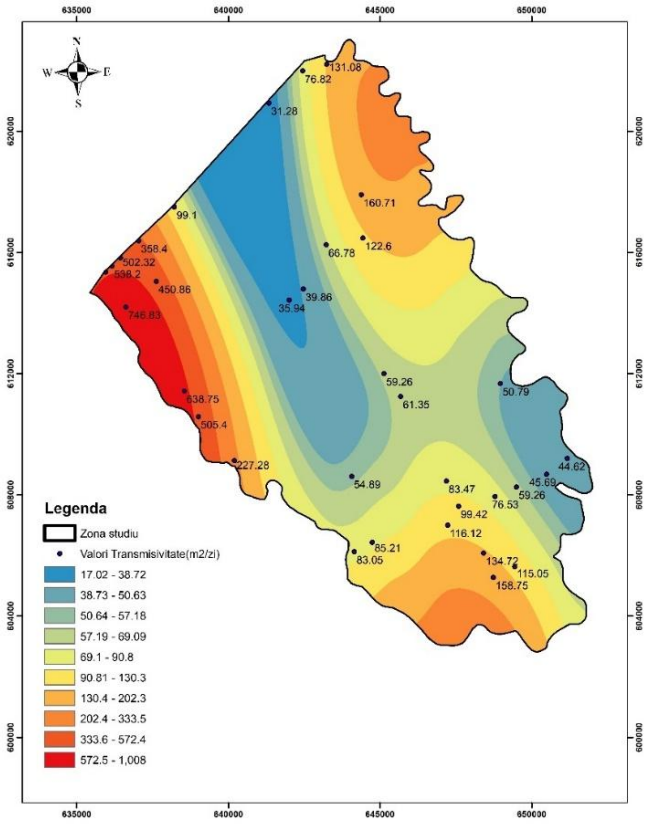


Fig. 4.66. Harta distribuției transmisivităților (m^2/zi).

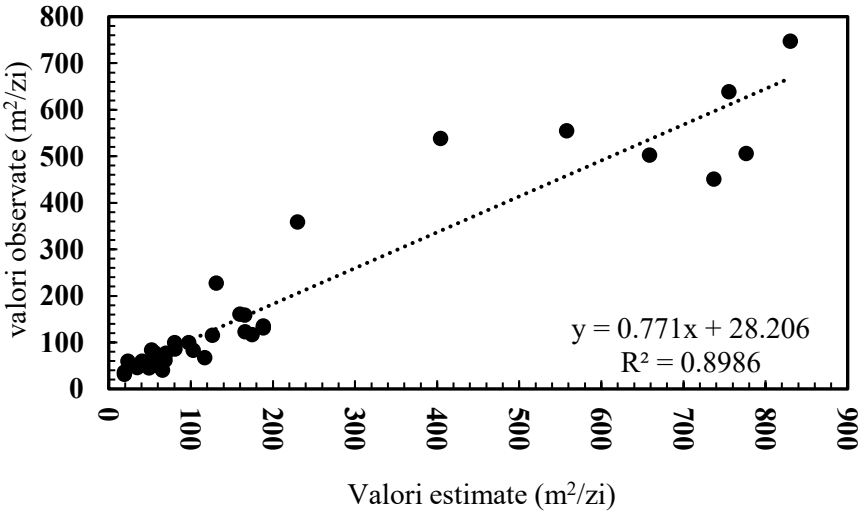


Fig. 4.67. Diagrama de dispersie T (observat vs. estimat) cu regresie liniară.

4.3. Caracterizarea fizico-chimică a apelor subterane

Analiza hidrochimică a inclus două campanii (2021 și 2022) în 12 foraje reprezentative pentru arealul dintre Siret și Moldova. Valorile ionilor majori au fost prelucrate statistic, analizate spațial în ArcGIS și interpretate prin diagrame Piper și Schoeller-Berkaloff pentru determinarea tipului de apă.

Cele 12 puncte de analiză (fig.4.68) includ foraje ale Rețelei Naționale Hidrogeologice (BH1–BH5), puțuri industriale (WI1–WI5) și captări locale (WD1–WD2). Majoritatea ionilor prezintă variații reduse între cei doi ani, menținând aceeași structură chimică în areal.

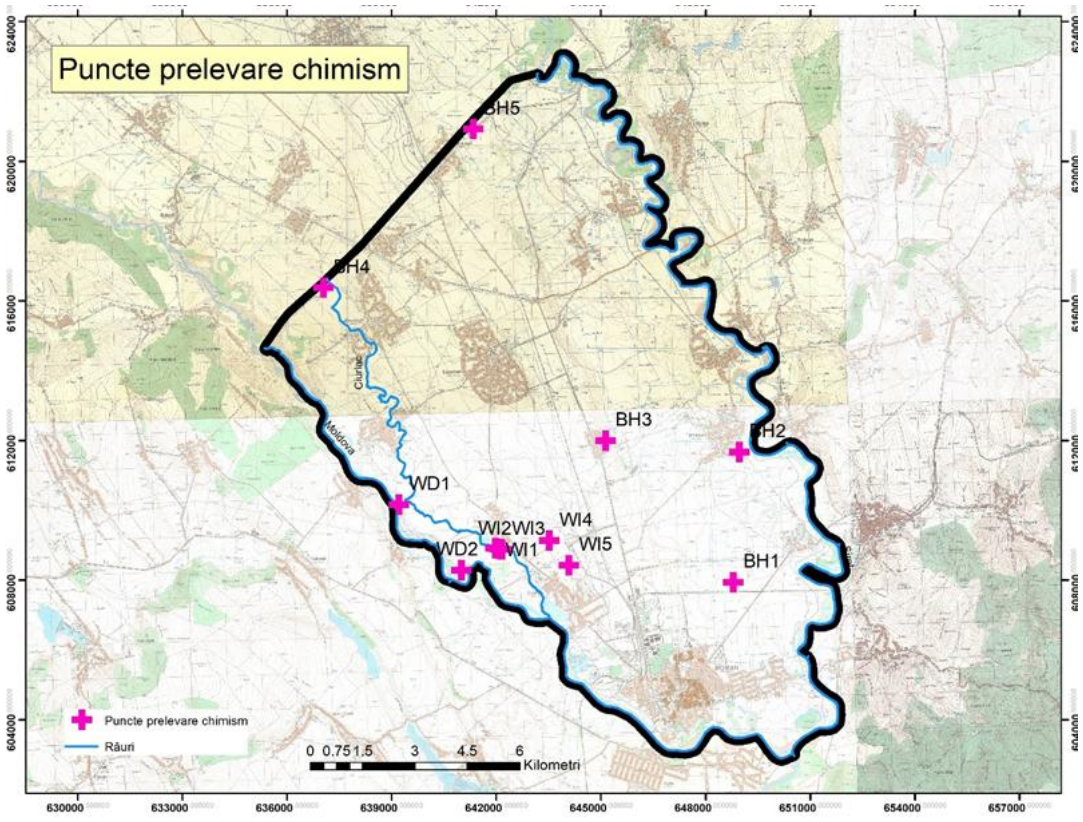
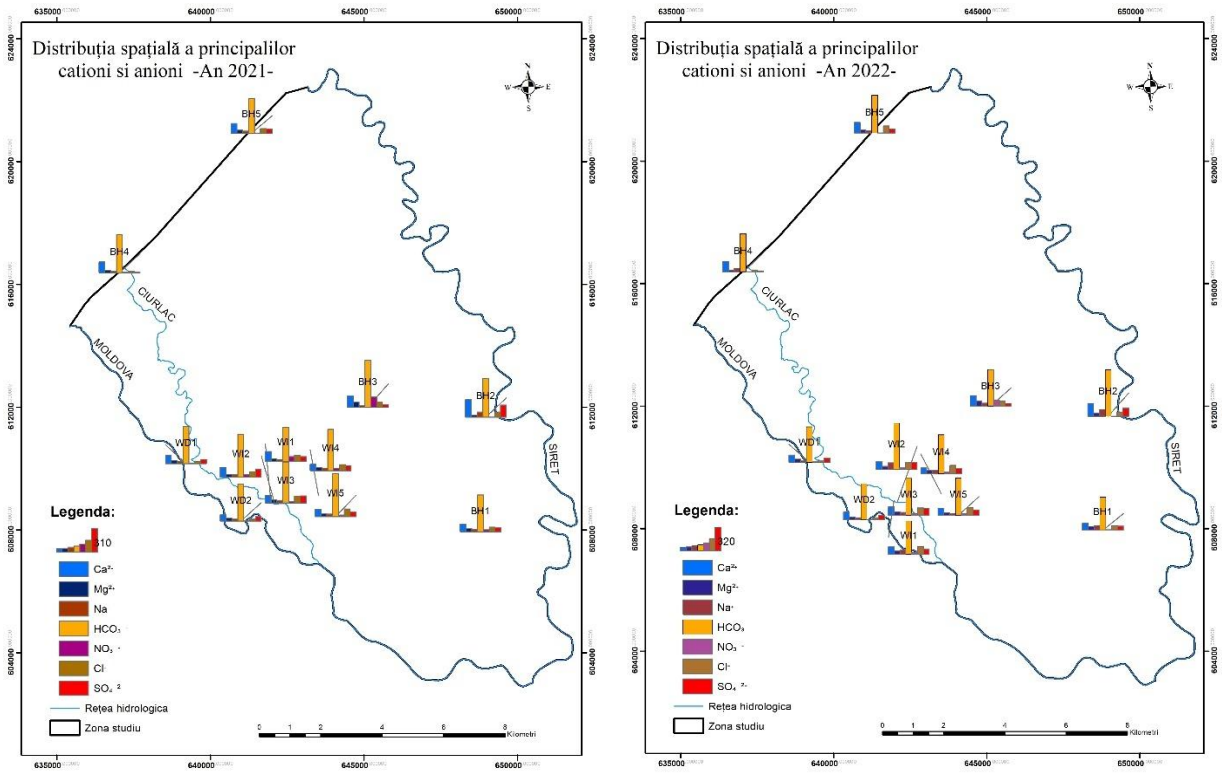


Fig. 4.68. Distribuția spațială a forajelor din care s-au prelevat probe chimice.

- Compoziția procentuală a ionilor majori



a) b)

Fig. 4.71. Distribuția procentuă a concentrațiilor principalilor anioni și cationi:a) 2021; b)2022.

Analiza datelor arată că faciesul hidrogeochimic dominant este bicarbonatat-calcic (Ca–HCO_3) în ambii ani analizați, specific acviferelor din pietrișuri și nisipuri cu circulație liberă. Ionul HCO_3^- registrează cele mai ridicate valori, urmat de calciu și magneziu, ceea ce indică un sistem controlat în principal de procese de dizolvare a carbonatelor. Anionii Cl^- și SO_4^{2-} sunt prezenți în concentrații reduse până la moderate, fără variații majore la nivel regional

Singurele creșteri semnificative ale sulfaților au fost observate în forajele BH2 și WI2, unde în 2021 s-au înregistrat valori de 161,5 mg/L și 103,66 mg/L, iar în 2022 de 110 mg/L și 98,5 mg/L. Aceste valori sugerează o influență locală punctuală, posibil legată de compoziția sedimentelor sau activități antropice din proximitate, fără a afecta însă structura generală a

acviferului. În afara acestor situații locale, nu s-au înregistrat depășiri majore ale parametrilor de calitate care să indice contaminări accentuate sau schimbări ale faciesului între cei doi ani.

Analiza fizico-chimică realizată pentru anii 2021 și 2022 arată că acviferul menține un facies stabil de tip Ca–HCO_3, cu variații mici între ani. Diagramele Piper și Schoeller confirmă gruparea compactă a probelor în câmpul apelor bicarbonatate, ceea ce indică o compoziție omogenă și lipsa unor procese semnificative de poluare în areal.

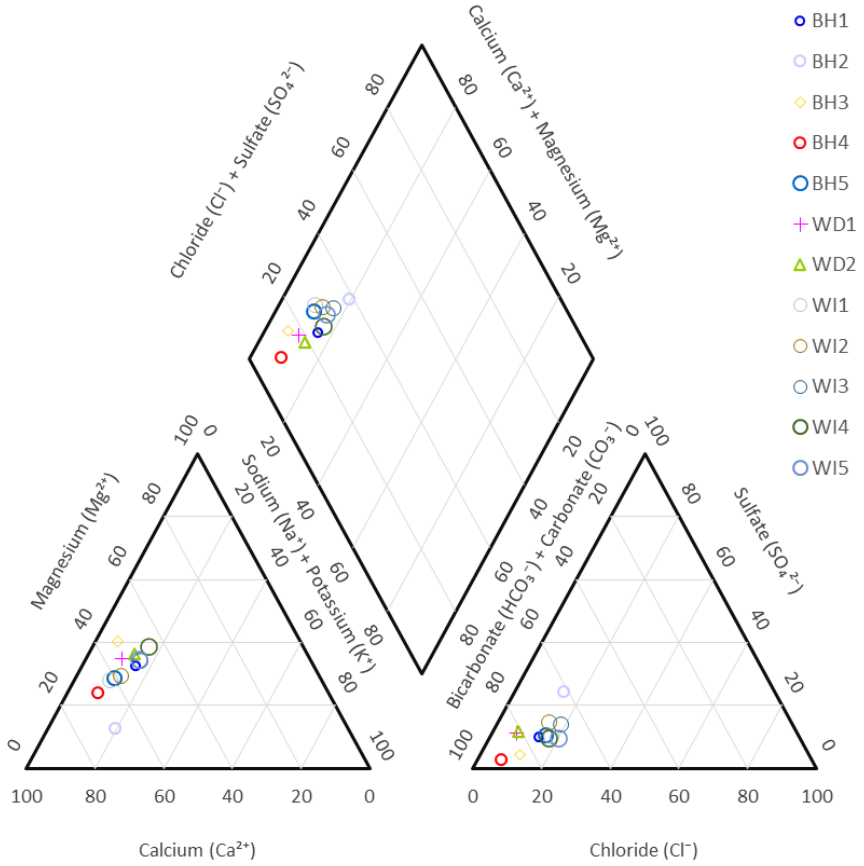


Fig. 4.72. Diagrama Piper corespunzătoare măsurătorilor din anul 2021.

Conform diagramei Piper [34] din figura 4.72, Diagrama Piper corespunzătoare anului 2021 confirmă dominanța cationilor calcici și a anionilor bicarbonatici, rezultând un tip de apă bicarbonatat calcic.

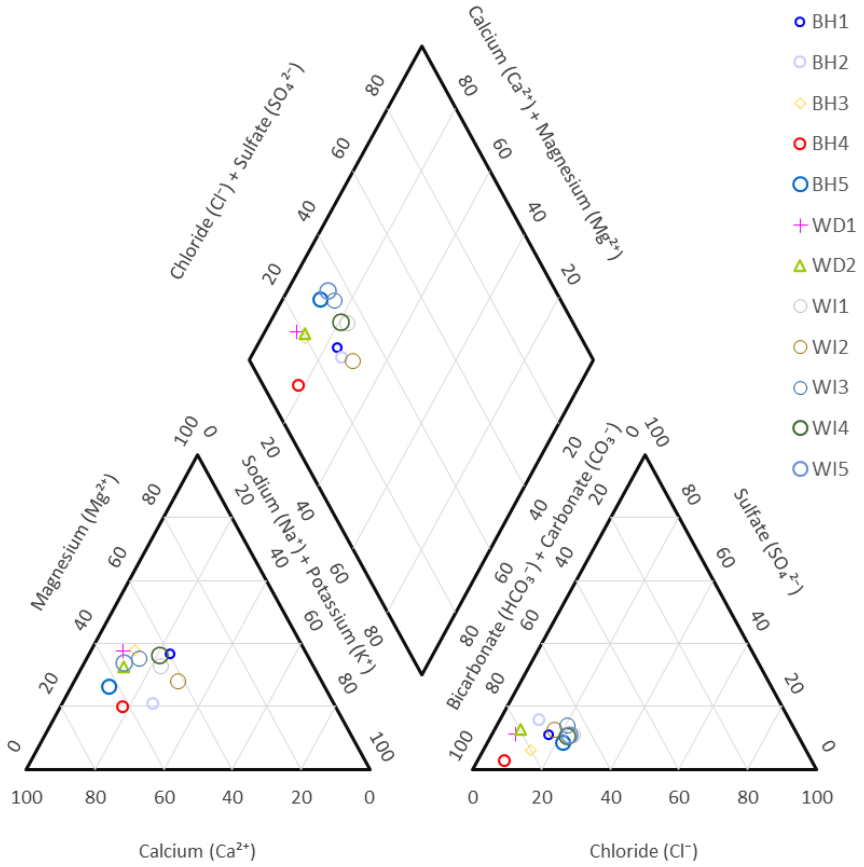


Fig.4.73. Diagrama Piper corespunzătoare măsuratorilor din anul 2022.

Analiza pentru anul 2022 nu arată schimbări majore față de 2021. Se observă doar că BH1, WI5 și WI2 nu prezintă un tip cationic dominant foarte clar. Anionii rămân însă predominant bicarbonatici, iar tipul general de apă este tot bicarbonatat calcic.

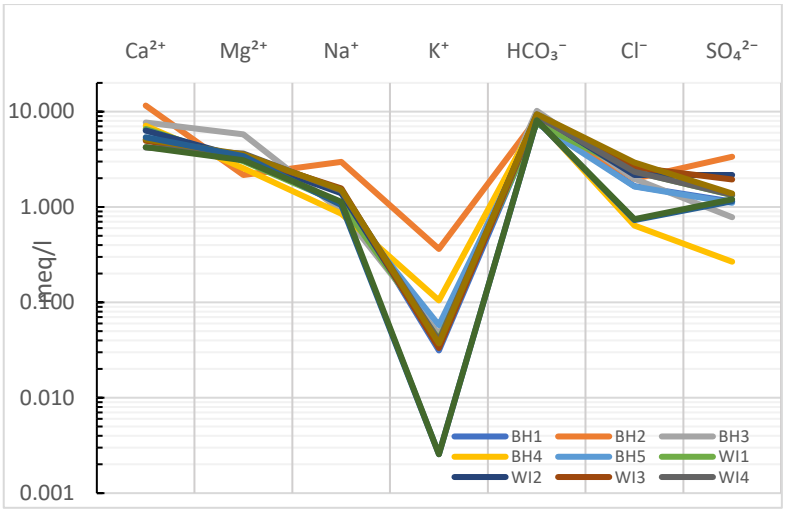


Fig.4.74. Graficul Schoeller-Berkaloff corespunzător măsuratorilor din anul 2021.

Pe graficul Schoeller-Berkaloff corespunzător probelor prelevate în anul 2021, se observă că toate forajele se corelează, indicând același tip de apă bicarbonatat calcic. De asemenea se observă ca toate forajele prezină aceeași tendință, cu valori mai crescute le sulfaților și ale magneziului. În concluzie, observațiile enumerate mai sus susțin rezultatul obținut din graficul Piper [34].

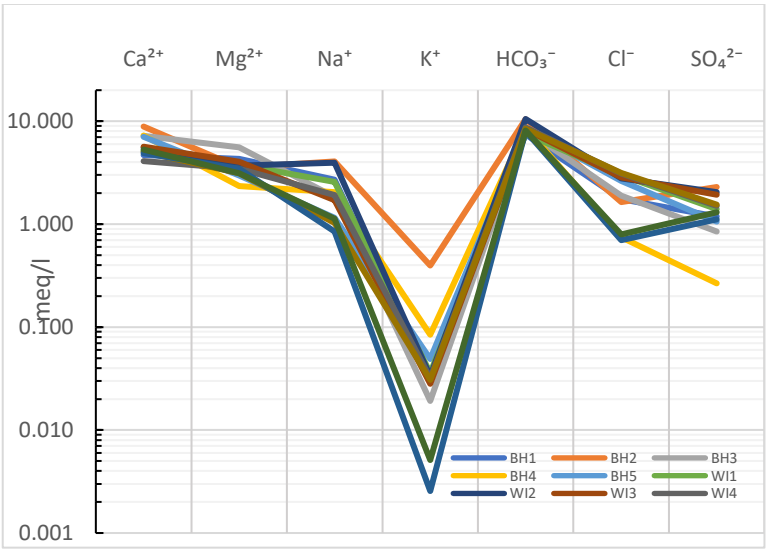


Fig. 4.75. Graficul Schoeller-Berkaloff corespunzător măsuratorilor din anul 2022.

5. Integrarea analizelor hidrogeologice și geospațiale în caracterizarea acviferului freatic din sectorul Siret–Moldova

Integrarea parametrilor hidrogeologici și geospațiali urmărește obținerea unui indicator unic al favorabilității acviferului freatic, prin combinarea conductivității hidraulice (K), transmisivității (T), potențialului hidrogeologic (GPZ), nivelului piezometric inversat (NP_inv) și utilizării terenurilor (LULC). Straturile GPZ și LULC provin din studii anterioare ale autorului, publicate separat, și au fost utilizate aici ca produse tematice validate, compatibile cu restul datelor și sunt utilizate aici în vederea interpretării distribuției parametrilor acviferului. [6, 7] .

Pentru evaluarea comparativă a rasterelor, au fost generate 130 de puncte distribuite aleator, cu distanță minimă de 250–300 m între ele, astfel încât toate clasele tematice (K, T, GPZ, NP_inv, LULC) să fie reprezentate. Valorile extrase în aceste puncte reprezintă eșantionul comun utilizat la toate analizele statistice (histograme, boxplot-uri, corelații, distribuții interne).

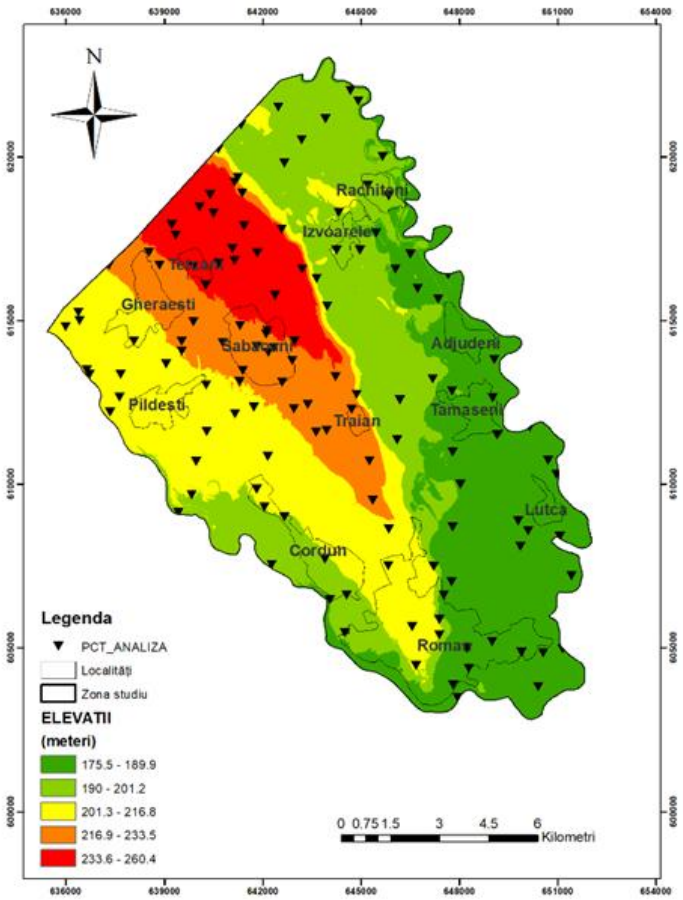


Fig. 5.4. Distribuția spațială a punctelor de analiză.

Tabelul 5.1. Distribuția punctelor pe clase tematice.

Clasă	LULC	Număr	Zone potențial acvifer	Număr
1	Corpuri de apă	17	GPZ 2(scăzut)	28
2	Vegetație înaltă	17	GPZ 3(mediu)	21
3	Vegetație joasă	23	GPZ 4 (ridicat)	41
4	Terenuri agricole	52	GPZ 5 (foarte ridicat)	40
5	Zone construite	21	–	–

5.1. Analiza statistică integrată a parametrilor hidrogeologici (K, T, Np) și tematici (LULC, GPZ)

Analiza statistică realizată pe cele 130 de puncte selectate în funcție de clasele LULC și GPZ a evidențiat variabilitatea reală a parametrilor hidrogeologici în areal. Histogramele arată clar eterogenitatea K și T, cu valori ale conductivității concentrate în intervalul 20–60 m/zi și cu transmisivități care depășesc local 800 m²/zi, specifice depozitelor grosiere din luncă și terasele joase. Nivelul piezometric variază în general între 185 și 215 m, surprinzând trecerea firească de la interfluviile înalte spre zona Siret–Moldova.

Boxplot-urile confirmă diferențele dintre clase: transmisivitatea crește sistematic odată cu potențialul GPZ, iar NP este cel mai coborât în clasele GPZ ridicate, ceea ce indică zonele favorabile acumulării și circulației subterane. Matricea Pearson arată relația puternică dintre K și T ($r \approx 0{,}93$) și corelația negativă NP–GPZ ($\approx -0{,}75$), în timp ce legăturile cu LULC sunt slabe, ceea ce întărește ideea că parametrii acviferului sunt controlați în principal de structura sedimentară și de morfologia zonei, nu de utilizarea terenurilor.

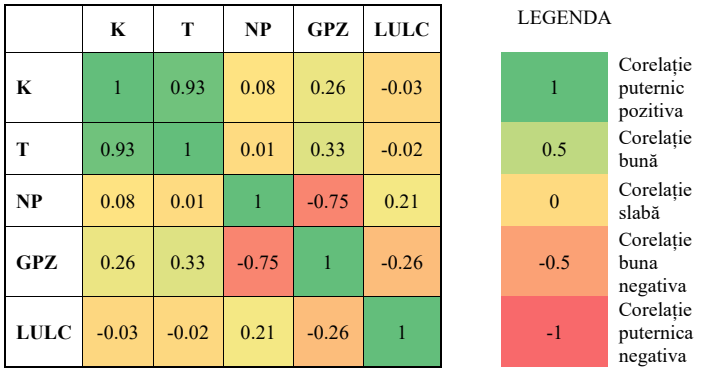


Fig. 5.8. Matricea coeficienților Pearson și harta termică asociată variabilelor K, T, NP, GPZ și LULC.

Aceste relații confirmă consistența modelului și modul în care factorii geomorfologici, hidrodinamici și antropici converg în evaluarea finală a favorabilității acviferului.

5.2. Harta integrată de favorabilitate hidrogeologică pentru managementul apelor subterane

Toate rasterele au fost aduse pe scara comună 1–5in functie de importanta clasei lor și combinate printr-un model ponderat (K=0.15; T=0.15; GPZ=0.30; NP_inv=0.25; LULC=0.15), pentru a obține o reprezentare comparabilă a condițiilor hidrogeologice din întreg arealul.

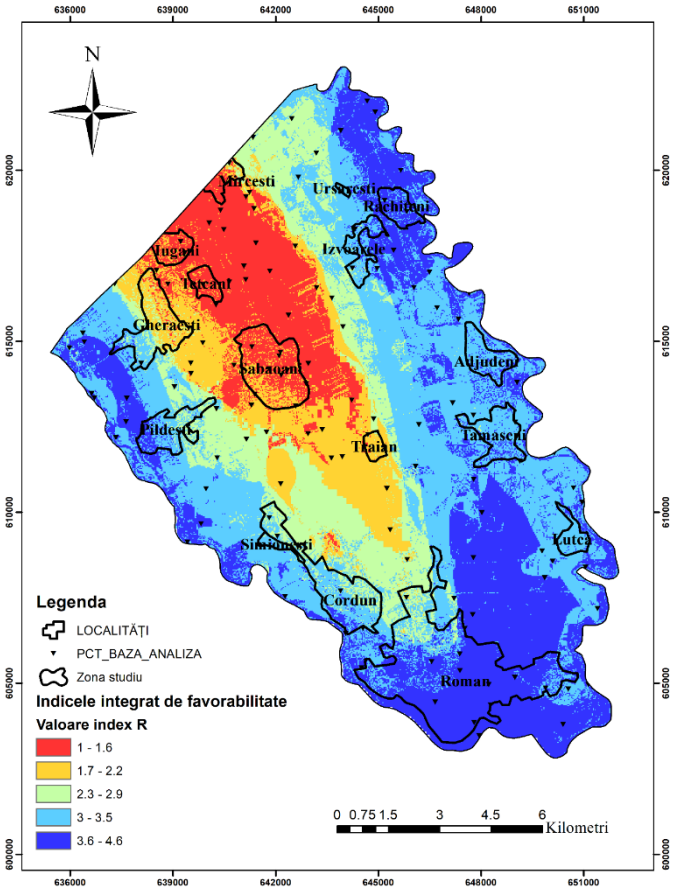


Fig. 5.12. Harta integrată a favorabilității hidrogeologice.

Harta indicelui integrat (R_final), cu valori între 1 și 4,55, evidențiază o trecere clară de la zonele înalte și slab permeabile ale interfluviului Săbăoani–Gherăești est–Traian superior–Pildești (R_final < 1,6), către terasele intermediare cu favorabilitate redusă–moderată (1,6–2,9), și până la

lunca și terasele foarte joase ale Siretului și Moldovei (R_final > 3,5), unde se concentrează cele mai bune condiții hidrogeologice — grosimi saturate mari, K și T ridicate și un nivel piezometric coborât. În ansamblu, indicele confirmă controlul geomorfologic și litologic: potențialul maxim este asociat depozitelor grosiere din luncă, iar cel minim interfluviilor înalte cu permeabilitate scăzută. Analiza statistică a celor 130 de puncte (SD ≈ 1.0, skewness ≈ –0.27) confirmă că harta integrată este robustă și poate fi folosită ca instrument operațional pentru evaluarea potențialului acviferului și pentru managementul resurselor subterane din sectorul Siret–Moldova

5.3. Integrarea indicelui de calitate a apei subterane în areal

Pentru evaluarea calității apei subterane din sectorul amonte de confluența râurilor Moldova și Siret, s-a inclus și analiza indicelui de calitate a apei (WQI) pentru anii 2021–2022, determinat pe baza parametrilor fizico-chimici monitorizați în punctele locale de observație. Metodologia aplicată este aceeași cu cea utilizată în studiul anterior realizat pe arealul Roman–Gherăești [8], ceea ce permite compararea directă a rezultatelor.

Indicele WQI a fost calculat după metodologia standard (pondere Wi și scor Qi) [9, 28], iar analiza WQI arată că apa subterană are, în ansamblu, o calitate foarte bună: în 2021 aproximativ **75%** dintre puncte s-au încadrat în clasa „excelentă” și **16,6%** în clasa „bună”, iar în 2022 proporția apelor „excelente” a crescut la **83,3%**, abaterile punctuale fiind asociate doar unor influențe locale (NH_4^+, NO_2^-), fără legătură cu structura acviferului.

Punct de probă	WQI 2021	Clasă 2021	WQI 2022	Clasă 2022
BH1	57.602	Medie / Acceptabilă	14.267	Excelentă
BH2	25.535	Bună	16.351	Excelentă
BH3	27.026	Bună	22.049	Excelentă
BH4	18.633	Excelentă	18.229	Excelentă
BH5	14.141	Excelentă	82.038	Slabă
WI1	30.173	Bună	30.064	Bună
WI2	21.635	Excelentă	22.457	Excelentă
WI3	14.196	Excelentă	15.392	Excelentă
WI4	13.435	Excelentă	14.261	Excelentă
WI5	18.088	Excelentă	18.347	Excelentă
WD1	6.144	Excelentă	6.014	Excelentă
WD2	4.305	Excelentă	7.186	Excelentă

LEGENDA

WQI	Clasificare
0-25	Excelentă
26-50	Bună
50-75	Medie/acceptabilă
75-100	Slabă
>100	Nepotabilă

Fig. 5.14. Evaluarea valoriolor WQI în punctele analizate.

Nu s-a realizat o hartă WQI deoarece numărul de puncte este redus și nu sunt distribuite uniform în teren. În aceste condiții, o interpolare nu ar fi fost relevantă. Analiza a fost păstrată la nivelul valorilor din fiecare foraj, care reflectă cel mai bine situația reală.

Nu există o corelare directă între parametrii hidrogeologici (K, T, NP) și valorile WQI, ceea ce sugerează că problemele sunt legate de influențe antropice locale, nu de structura sau dinamica acviferului.

6. Concluzii generale

Pe baza tuturor analizelor prezentate, concluziile generale ale lucrării subliniază atât particularitățile hidrogeologice ale sectorului Siret–Moldova, cât și potențialul de aplicare practică al rezultatelor.

În continuare este formulată concluzia finală care sintetizează esența întregului demers științific.

A. Cu privire la oportunitatea și relevanța temei

Tema este una actuală și necesară, având în vedere presiunile crescute asupra resurselor subterane de mică adâncime din zona Roman–Gherăești–Mircești, unde acviferul este folosit intens atât pentru alimentările publice, cât și pentru cele private. Datele disponibile erau dispersate în diverse rapoarte sau fișe de foraj, fără o analiză spațială coerentă și unitară.

Lucrarea acoperă astfel un gol real în cercetarea locală: nu exista o modelare geostatistică completă a conductivității hidraulice și a transmisivității, nu exista o hartă integrată de favorabilitate (K–T–LULC–NP–GPZ), iar informațiile privind calitatea apei erau prezentate fragmentat, fără un cadru interpretativ comun. Studiul vine într-un context favorabil, în acord cu cerințele Directivei 2000/60/CE, care solicită evaluarea resurselor de apă subterană într-o manieră integrată și bazată pe metode moderne de analiză GIS și geostatistică.

B. Cu privire la fundamentarea teoretică și metodologică a cercetării din arealul studiat

Fundamentarea teoretică a lucrării se bazează pe principiile clasice ale hidrogeologiei (legea lui Darcy, conceptele Dupuit–Theis) și pe abordările moderne privind caracterizarea

parametrilor acviferelor freatice. Acest cadru a permis definirea modelului conceptual și a parametrilor analizați (K, T, NP).

Metodologic, lucrarea integrează tehnici actuale utilizate în studiile hidrogeologice: prelucrări GIS (ArcGIS – Spatial Analyst, Geostatistical Analyst), analiza variogramelor, identificarea anizotropiei, interpolări prin kriging, modelări funcționale (TableCurve 3D), precum și metode de validare statistică (ME, RMSE, RMSSE, R^2). Baza de date a fost structurată din surse multiple: LiDAR și SRTM pentru MNT, măsurători RTK, fișe de foraj, niveluri piezometrice și analize fizico-chimice.

Modelarea seriei piezometrice 2014–2022 a permis urmărirea evoluției în timp a nivelului hidrostatic, în paralel cu variațiile precipitațiilor. În plus, integrarea parametrilor hidrogeologici cu hărțile tematice (LULC și GPZ — realizate anterior pe același areal) a permis trecerea la analiza multicriterială și la construirea hărții integrate de favorabilitate, esențială pentru interpretarea finală.

În completarea analizei cantitative, metodologia include și determinarea indicelui WQI pentru anii 2021–2022, calculat prin formula standard utilizată în literatura recentă, ceea ce permite integrarea aspectelor calitative în cadrul general al evaluării acviferului

C. Cu privire la verificarea experimentală și validarea datelor utilizate în analiză

Modelul conceptual și distribuția verticală a acviferului au fost fundamentate pe baza informațiilor litologice din 49 de foraje din zonă, utilizate pentru definirea grosimii și adâncimii stratului acvifer. Pe această structură s-au verificat ulterior datele experimentale prezentate mai jos.

Validarea datelor s-a bazat pe corelarea modelelor cu măsurătorile din teren și pe verificări statistice. Modelul digital al terenului (LiDAR + SRTM) a fost confirmat prin peste 200 de măsurători RTK, iar distribuția nivelului piezometric a fost verificată pe 97 de puncte, rezultând o suprafață piezometrică stabilă la nivelul întregului areal.

Seriile piezometrice 2014–2022 modelate în TableCurve 3D au obținut R^2 între 0.9129 și 0.924, confirmând acuratețea tendințelor în timp. Modelul Gaussian ales pentru interpolare a avut cele mai bune valori la cross-validation (RMSE ≈ 2 m).

Parametrii K și T au fost analizați statistic și sunt în concordanță cu litologia locală, iar datele hidrochimice (2021–2022) au confirmat un facies stabil HCO_3–Ca. În ansamblu, toate seturile de date sunt consistente și adecvate utilizării în analiza finală.

D. Cu privire la caracterul original al lucrării

Caracterul original al lucrării rezultă din aplicarea și combinarea a unsprezece modelări hidrogeologice, geostatistice, matematice, hidraulice, hidrochimice și multicriteriale, toate realizate pe baza unor date colectate, verificate și prelucrate manual. Toate aceste modele aplicate la nivelul sectorului Siret–Moldova, oferă o imagine completă asupra structurii acviferului, a funcționării sale dinamice și a calității apei, folosind un set coerent de analize spațiale și temporale:

- Modelarea grosimii stratului poros–permeabil a evidențiat o variație între 0.7–6.9 m și a permis delimitarea zonelor unde stratul permeabil este bine dezvoltat, oferind prima imagine completă asupra grosimii acviferului în areal.
- Modelarea adâncimii culcușului acviferului a arătat valori între 3.5–27.8 m, completând structura verticală a depozitelor aluvionare și conturând distribuția reală a stratului productiv.
- Modelarea topografiei (MNT), realizată din LiDAR + SRTM și validată prin 206 măsurători RTK, a confirmat un raster precis (–1.31 m până la +0.77 m), adecvat analizelor hidrogeologice.
- Modelarea piezometrică (kriging + variografie), bazată pe 97 de puncte, a identificat direcția majoră de continuitate (~157°) și a arătat că modelul Gaussian produce cea mai bună estimare, rezultând prima hartă piezometrică validată la nivelul întregului sector.
- Modelarea temporală a nivelurilor hidrostatice (TableCurve 3D) a evidențiat o scădere treptată a nivelului freatic (R^2 = 0.9129–0.924), corelată cu diminuarea precipitațiilor din 2010–2022.
- Analiza statistică a parametrilor K, T și NP (histograme, boxplot-uri, indicatori descriptivi) a demonstrat variabilitate mare la K, necesitatea transformării logaritmice și distribuții coerente pentru interpretările geostatistice ulterioare.

- Modelarea conductivității hidraulice (K) prin ordinary kriging a identificat valori mai mari în partea vestică, în concordanță cu depozitele grosiere, cu K predominant 20–60 m/zi și maxime >100 m/zi.
- Modelarea transmisivității (T) a scos în evidență variații mari determinate de grosimea stratului saturat, cu valori extreme >800–900 m²/zi, oferind prima hartă T detaliată pentru areal.
- Modelarea hidrochimică (diagrame Piper și Schoeller) a confirmat faciesul bicarbonatat–calcic (HCO_3–Ca) în ambii ani analizați (2021–2022), cu ușoare variații locale ale sulfaților.
- Modelarea indicelui de calitate WQI a arătat că majoritatea punctelor se încadrează în clasele „bună" și „excelentă", fără modificări majore ale comportamentului acviferului.
- Modelarea integrată K–T–NP–GPZ–LULC a generat prima hartă compozită de favorabilitate hidrogeologică (R_final), sintetizând structura, dinamica și condițiile de suprafață ale acviferului.
- Campania de teren (RTK + măsurători piezometrice) a asigurat baza de calibrare pentru toate etapele, prin ~200 puncte RTK și 97 determinări piezometrice, nivel de verificare care nu apare în studiile precedente pentru areal.
- Integrarea hărților GPZ și LULC (obținute anterior prin AHP și clasificare geospațială) a contribuit direct la structura hărții integrate, GPZ având ponderea maximă (0.30) în modelul final.

În ansamblu, originalitatea lucrării derivă din combinarea a 11 modelări distincte, validate cu date reale și integrate într-o structură coerentă. Zona a mai fost studiată punctual, însă lucrările existente acoperă doar anumite sectoare (vestice sau estice) și nu surprind întregul areal într-o formă unitară. Prezenta lucrare oferă prima integrare completă a datelor hidrogeologice, geostatistice și geospațiale pentru întreg sectorul Siret–Moldova.

E. Cu privire la căile de dezvoltare ulterioară a cercetării

Deși lucrarea oferă o imagine solidă asupra acviferului, unele limite rămân legate de numărul redus de foraje, de distribuția neuniformă a punctelor hidrochimice și de precizia variabilă a MNT-ului. Pe viitor, extinderea rețelei de observație, actualizarea periodică a stratului LULC și

dezvoltarea unui model numeric 2D/3D (MODFLOW/FEFLOW) ar putea rafina semnificativ rezultatele. Chiar dacă există câteva limite ale datelor (unele firești pentru un areal de dimensiunea asta), concluziile generale rămân stabile, iar baza creată poate fi folosită fără probleme ca punct de plecare pentru studii mai avansate sau pentru alte zone de interes.

F. Valorificarea rezultatelor studiilor și cercetărilor efectuate

Articole în curs de publicare în reviste cotate ISI:

Petrut-Liviu Bogdan, Valentin Nedeff, Mirela Panainte-Lehadus, Dana Chitimuș, Narcis Barsan , Florin Marian Nedeff, *Geostatistical Assessment of Hydraulic Conductivity for Sustainable Groundwater Management in the Siret–Moldova Confluence Area, Romania*

Articole publicate în reviste cotate ISI:

Bogdan, P.-L.; Nedeff, V.; Panainte-Lehadus, M.; Chitimuș, D.; Barsan, N.; Nedeff, F.M. Delineation of Groundwater Potential Zones Using Geospatial Techniques. Case Study: Roman City and the Surrounding Area in the Northeastern Region, Romania. *Water* **2024**, *16*, 3013. https://doi.org/10.3390/w16213013.

Articole publicate PROCEEDINGS

1. P. -L. Bogdan et al., "Applications of the GIS and Remote Sensing methods in the Land use and cover maps. Case study: Roman city and the surroundings of the Northern side area," 2022 8th International Conference on Energy Efficiency and Agricultural Engineering (EE&AE), Ruse, Bulgaria, 2022, pp. 1-5, doi: 10.1109/EEAE53789.2022.9831397.

2. P. -L. Bogdan, V. Nedeff, M. Panainte-Lehaduș, O. Irimia and E. Moșneguțu, "Integrated Assessment of Groundwater Quality: A Case Study of the Roman City and its Northern Surroundings," 2024 9th International Conference on Energy Efficiency and Agricultural Engineering (EE&AE), Ruse, Bulgaria, 2024, pp. 1-7, doi: 10.1109/EEAE60309.2024.10600508.

Conferințe internaționale :

1. Plenary presentation at The 16th International Conference of OPROTEH, May 25-27, 2021, Bacău: **Petrut Liviu Bogdan**, Valentin Nedeff, Narcis Barsan, Mirela Panaintelehadus, Emilian Mosnegutu, Dana Chitimus , -*Applications of the GIS and remote sensing methods in the Land use and cover maps. case study: Roman city and the surroundings of the north side area*.

2. **Petruț-Liviu Bogdan**, Valentin Nedeff, Narcis Bârsan, Mirela Panainte-Lehăduș, Dana Chițimuș, Florin Nedeff, Claudia Tomozei, Robert Gazda- *Delineation of groundwater potential zones using geospatial techniques.Case study: Roman city and the surroundings of the Northern side area The 18th International Conference poster, OPROTEH 2023, Bacău, Romania.*

3. **Petrut-Liviu Bogdan**, Valentin Nedeff, Narcis Barsan, Mirela Panaintelehadus, Dana Chitimus, Florin Marian Nedeff, Diana Carmen Mirila, Emilian Mosnegutu, Claudia Tomozei - *Estimating groundwater level in Roman city and northern counties using geostatistical methods: ordinary kriging and semivariograms,* abstract ,OPROTEH 2025, Bacău, Romania.

4. **Petrut-Liviu Bogdan**, Valentin Nedeff, Narcis Barsan, Mirela Panainte-Lehadus, Dana Chitimus, Florin Marian Nedeff., Applications of the GIS and Remote Sensing methods in the Land use and cover maps. Case study: Roman city and the surroundings of the Northern side area, participare, 8th International Conference on Energy Efficiency and Agricultural Engineering (EE&AE), Ruse, Bulgaria, 2022

5. **Petrut-Liviu Bogdan**, Valentin Nedeff, Mirela Panainte-Lehadus, Oana Irimia, Emilian Mosnegutu -Integrated Assessment of Groundwater Quality: A Case Study of the Roman City and its Northern Surroundings, participare, 9th International Conference on Energy Efficiency and Agricultural Engineering (EE&AE), Ruse, Bulgaria, 2024.

Bibliografie

1. Alley, W.M., Reilly, T.E., Franke, O.L., Sustainability of ground-water resources. US Department of the Interior, US Geological Survey, 1999.
2. Appelo, T., Postma, D., Geochemistry, groundwater and pollution (Second Edition), CRC Press, 2005, pp. 1-668.
3. Asadi, A., Adhikari, K., Minimizing Errors in the Prediction of Water Levels Using Kriging Technique in Residuals of the Groundwater Model, Water, vol. 14, no. 3, 2022, pp. 426.
4. Bear, J., Hydraulics of groundwater. Courier Corporation, 2012.
5. Birjaru, C., Combining laser scanning with digital images on aerial platforms in forestry applications, vol. 16, 2011, pp. 92-94.
6. Bogdan, L., Nedeff, V., Bârsan, N., Mirela, P., Chiţimus, D., Nedeff, F., Claudia, T., Applications of the GIS and Remote Sensing methods in the Land use and cover maps. Case study: Roman city and the surroundings of the Northern side area. 2022.
7. Bogdan, P.-L., Nedeff, V., Panainte-Lehadus, M., Chitimuș, D., Barsan, N., Nedeff, F.M., Delineation of groundwater potential zones using geospatial techniques. case study: roman city and the surrounding area in the northeastern region, Romania, Water, vol. 16, no. 21, 2024, pp. 3013.
8. Bogdan, P.-L., Nedeff, V., Panainte-Lehaduș, M., Irimia, O., Moșneguțu, E., Integrated Assessment of Groundwater Quality: A Case Study of the Roman City and its Northern Surroundings, 2024 9th International Conference on Energy Efficiency and Agricultural Engineering (EE&AE), 2024, pp. 1-7.
9. Brown, R.M., McClelland, N.I., Deininger, R.A., O'Connor, M.F., A water quality index—crashing the psychological barrier, Indicators of Environmental Quality: Proceedings of a symposium held during the AAAS meeting in Philadelphia, Pennsylvania, December 26–31, 1971, 1972, pp. 173-182.
10. Burrough, P., McDonnell, R., Principle of Geographic Information Systems, 1998.
11. Chandan, K.S., Yashwant, B.K., Optimization of groundwater level monitoring network using GIS-based geostatistical method and multi-parameter analysis: A case study in Wainganga Sub-basin, India, Chinese Geographical Science, vol. 27, no. 2, 2017, pp. 201-215.
12. Cherry, J.A., Freeze, R.A., Groundwater. Englewood Cliffs, NJ: Prentice-Hall, 1979.
13. Chiles, J.-P., Delfiner, P., Geostatistics: modeling spatial uncertainty. John Wiley & Sons, 2012.
14. Custodio, E., Bruggeman, G., Groundwater problems in coastal areas. 1987.
15. Custodio, E., Llamas, M.R., Hidrología subterránea, 1983.
16. Darcy, H., Les fontaines publiques de la ville de Dijon: Exposition et application des principes à suivre et des formules à employer dans les questions de distribution d'eau: Ouvrage terminé par un appendice relatif aux fournitures d'eau de plusieurs villes, au filtrage des eaux et à la fabrication des tuyaux de fonte, de plomb, de tôle et de bitume. Victor Dalmont, éditeur, 1856.
17. Dassargues, A., Modeles mathematiques en hydrogeologie. Editura Didactică şi Pedagogică R.A., 1995.
18. Domenico, P.A., Schwartz, F.W., Physical and chemical hydrogeology. John wiley & sons, 1997.
19. Dupuit, J.É.J., Études théoriques et pratiques sur le mouvement des eaux dans les canaux découverts et à travers les terrains perméables: avec des considérations relatives au régime des

grandes eaux, au débouché à leur donner, et à la marche des alluvions dans les rivières à fond mobile. Dunod, éditeur, 1863.
20. Eastman, J.R., Guide to GIS and image processing, Clark University, USA, vol. 2, 2001, pp. 144.
21. ESRI, ArcGIS Pro Help, https://pro.arcgis.com/en/pro-app/latest/help/analysis/geostatistical-analyst/choosing-a-lag-size.htm.
22. Fetter, C.W., Kreamer, D., Applied hydrogeology. Waveland Press, 2021.
23. Fitts, C.R., Groundwater Science. Academic Press, 2022.
24. Freeze, R.A., Cherry, J.A., Groundwater prentice-hall, Englewood Cliffs, NJ, vol. 176, 1979, pp. 161-177.
25. Hathcock, L., Evaluation of Current and Upcoming LIDAR Systems, Geosystems Research Institute Report, vol. 5070, 2017.
26. Heath, R.C., Basic ground-water hydrology. US Department of the Interior, US Geological Survey, 1998.
27. Hem, J.D., Study and interpretation of the chemical characteristics of natural water. Department of the Interior, US Geological Survey, 1985.
28. Horton, R.K., An Index Number System for Rating Water Quality, Journal of the Water Pollution Control Federation, vol. 37, no. 3, 1965, pp. 300-306.
29. Ionesi, B., Stratigrafia depozitelor miocene de platformă dintre valea Siretului şi valea Moldovei. Academia Republicii socialiste România, 1968.
30. Johnston, K., Ver Hoef, J.M., Krivoruchko, K., Lucas, N., Using ArcGIS geostatistical analyst. Esri Redlands, 2001.
31. Júnez-Ferreira, H.E., Hernández-Hernández, M.A., Herrera, G.S., González-Trinidad, J., Cappello, C., Maggio, S., De Iaco, S., Assessment of changes in regional groundwater levels through spatio-temporal kriging: application to the southern Basin of Mexico aquifer system, Hydrogeology Journal, vol. 31, no. 6, 2023, pp. 1405-1423.
32. Li, J., A Review of Spatial Interpolation Methods for Environmental Scientists. 2008.
33. Neagu, D., Managementul sistemului acvifer de mică și de mare adâncime din zona municipiului București.Teză de Doctorat, Universitatea București, Facultatea de Geologie și Geofizică, București, 2017.
34. Piper, A.M., A graphic procedure in the geochemical interpretation of water-analyses, Eos, Transactions American Geophysical Union, vol. 25, no. 6, 1944, pp. 914-928.
35. Scrădeanu, D., Modele geostatistice în hidrogeologie. Bucuresti, 1996.
36. Scrădeanu, D., Popa, R.-G., Geostatistică aplicată: Estimarea structurilor spaţiale. Partea 1. Editura Universităţii Bucureşti, 2001.
37. Shiklomanov, I.A., Appraisal and Assessment of World Water Resources, Water International, vol. 25, no. 1, 2000, pp. 11-32.
38. Theis, C.V., The relation between the lowering of the piezometric surface and the rate and duration of discharge of a well using ground-water storage, Eos, Transactions American Geophysical Union, vol. 16, no. 2, 1935, pp. 519-524.
39. Vasile, T.A., Sistemul eco-hidrogeologic al corpului de apă subterană ROIL16 – Câmpia Vlăsiei: Identificare, modelare, conexiuni. Teză de Doctorat, Bucuresti, 2021.
40. Xue, P., Wen, Z., Zhao, D., Jakada, H., Liang, X., Determination of hydraulic conductivity and its spatial variability in the Jianghan Plain using a multi-format, multi-method approach, Journal of Hydrology, vol. 594, 2021, pp. 125917.
41. XXX, Administrația Națională Apele Române-Administrația Bazinală de Apă Siret.

Date hidrologice si hidrogeologice din arhiva Administrației Bazinale de Apă Siret Bacău, 2022, no. Issue.
42. XXX, Directiva 2000/60/CE a Parlamentului European și a Consiliului din 23 octombrie 2000 de stabilire a unui cadru de politică comunitară în domeniul apei UE, 2000, no. Issue.
43. XXX, Directiva 2006/118/CE a Parlamentului European și a Consiliului din 12 decembrie 2006 privind protecția apelor subterane împotriva poluării și deteriorării, 2006, no. Issue.
44. XXX, Directiva Consiliului 91/676/CEE din 12 decembrie 1991 privind protecția apelor împotriva poluării cauzate de nitrații proveniți din surse agricole, Jurnalul Oficial al Comunităților Europene, L 375, 31.12.1991, p. 1–8.
45. XXX, Legea apelor, nr. 107/1996, 25 septembrie 1996. Monitorul Oficial al României, Partea I, nr. 219, 31 august 1996., București, 1996, no. Issue.
46. XXX, A.N. Apele Române Administrația Bazinală de Apă Siret Planul de management al spațiului hidrografic Siret actualizat, , 2022, no. Issue.
47. XXX, Ordinul 621/2014 privind aprobarea valorilor de prag pentru apă subterană din Romania, Anexa 2, corpul de apa ROSI03, 2014, no. Issue.
48. XXX, Ordonanța nr. 7 din 18 ianuarie 2023 privind calitatea apei destinate consumului uman, In: Monitorul Oficial Guvernul României, 2023, vol. 63 no. Issue.