

APLICAREA ANALIZEI FACTORIALE ÎN STUDIUL POLUĂRII RÂULUI ARIEȘ (MUNȚII APUSENI)

FORRAY FERENC LÁZÁR¹

ABSTRACT. In the present study we try to use factor analysis in the characterisation of river water chemistry between the municipalities of Cheia and Muncel along a 54-km stretch of the Aries River (NW Romania). The results show that 4 factors can explain 88% of the water chemistry. The first factor explains 39% of the total data variance, and represents the water-rock interactions. This high percent indicates the importance of water rock interactions in defining the chemistry of surface waters. The second factor explains 23% of the data variation and represents the influence of mining effluents. The influence of the mine tailings on water chemistry is represented by the third factor. The sum of the second and the third factor can explain 40% of the total data variance, which confirms that the Arieș River is highly polluted by the mining industry. The last factor, which explains 8% of data variation represents the influence of the agricultural and domestic effluents.

Key words: analiză factorială, poluare minieră

1. Introducere

Analizele chimice ale apelor se folosesc în general pentru definirea tipului de apă, pe baza diagramelor Piper, Durov, Schoeller și altele.

Aceste diagrame surprind doar o parte din caracteristicile apei, motiv pentru care unele au fost perfecționate. Diagramele extinse relevă anumite caracteristici ale apelor și permit încadrarea mai riguroasă a acestora.

Diagramele sus menționate nu pot surprinde variațiile mici în chimismul apelor. Analiza mai complexă a chimismului apelor, folosind metode statistice (histograme, corelații), sunt necesare pentru a determina caracteristicile calității apelor și pentru identificarea diferitelor surse potențiale de poluare.

Analiza factorială (AF) este o metodă statistică care permite surprinderea diferitelor fenomene care contribuie la definirea caracterului chimic al apelor. Avantajele acestei metode au fost confirmate de mai mulți autori (Dalton și Upchurch, 1978; Jayakumar și Siraz, 1997; Paalman et al. 1997).

Metoda AF a fost utilizată cu succes în studiul chimismului apelor freactice (Dawdy și Feth, 1967; Hitchon et al. 1971; Lawrence și Upchurch,

¹ Department of Mineralogy, "Babeș-Bolyai" University, M.Kogălniceanu 1, 3400 Cluj-Napoca, Romania. E-mail: forray@bioge.ubbcluj.ro

1976; Ashley și Lloyd, 1978; Razack și Dazy, 1990; Briz-kishore și Murali, 1992; Paalman et al. 1997), în studiul apelor freatice din zone recifale sau în zone de țărm (Seyhan et al. 1985; Ruiz et al. 1990; Jayakumar și Siraz, 1997). Analiza factorială poate fi utilizată cu succes, în studiul contaminării apelor freatice de către industrie și în identificarea surselor de poluare (Melloul și Collin, 1992), atât pentru industria minieră (Love și Hallbauer, 1998) cât și pentru industria chimică sau metalurgică (Subbarao et al. 1996).

Pe baza corelației variabilelor, prin metoda AF se determină un număr mic de variabile latente, numiți factori, care pot să explice marea majoritate a variației datelor de observație.

2. Tehnica probării și metoda de analiză

Probele de apă au fost colectate în recipiente noi de polietilenă de 100 ml. Fiecare recipient a fost spălat la locul de colectare cu apa râului, pentru a reduce posibilitățile contaminării probei cu impurități rezultate din procesul de fabricație a recipientului. Punctul de colectare a apei a fost la 1 m de marginea râului și de la o adâncime de 10 cm. Pentru a evita procesele ulterioare de oxidație ce pot să apară la interfața apă-aer, recipientele au fost umplute complet cu apă, iar închiderea capacului s-a realizat în timpul imersiei. Ulterior pentru a reduce la minimum degradarea probelor, acestea au fost păstrate la 4°C până în momentul analizei. Această metodă de păstrare a probelor la rece a fost recomandată de Herr și Gray (1997) pentru cazul în care se urmărește analiza mobilității metalelor în faza apoasă.

Au fost colectate 14 probe de apă între localitățile Cheia și Muncel (fig. 1) pe o distanță de aproximativ 54 km. Măsurătorile de pH și conductivitate pentru probele prelevate, au fost realizate în laborator cu aparatele GPHR 1400 și respectiv CyberScan CON 20. Pentru analiza chimică a probelor a fost utilizată metoda de electroforeză capilară (Forray și Hallbauer, 2000) cu ajutorul aparatului Waters Quanta 4000.

3. Analiza factorială

Pentru AF au fost selectați 14 ioni sau radicali pentru cele 14 probe de apă (tabelul 1). Înaintea realizării AF (*R-mode*) este necesar ca toate variabilele să aibă o distribuție normală (Lawrence și Upchurch, 1982) sau ca toate datele să fie standardizate, adică media fiecărei variabile să fie nulă iar deviația standard să fie egală cu 1 (Gupta și Subramanian, 1998). După standardizarea datelor conform modelului lui Gupta și Subramanian (1998) a fost calculată matricea de corelație pentru cele 14 variabile (tabelul 2).

APLICAREA ANALIZEI FACTORIALE ÎN STUDIUL POLUĂRII RÂULUI ARIEȘ (MUNȚII APUSENI)

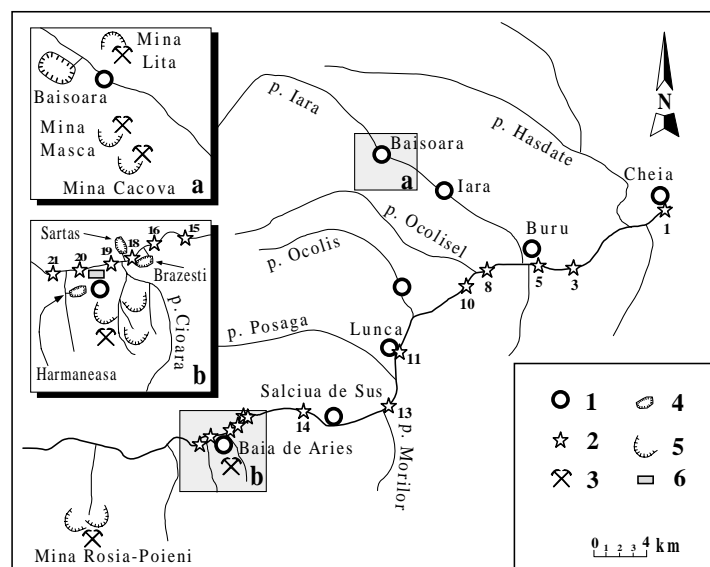


Fig. 1. Principalele zone miniere din perimetrul studiat, care contribuie la poluarea râului Arieș. 1 – localități; 2 – puncte de probare; 3 – mine; 4 – iazuri de decantare; 5 – halde de steril; 6 – uzină de preparare a minereului.

Coeficientul de corelație are valori pozitive mai ridicate în cazul cuplului Ca-Sr (0,93), deoarece razele ionice au valori apropiate; aceste două elemente se pot substitui prin diadochie, fapt ce poate explica corelația între acești ioni. Corelația negativă între pH și concentrația ionilor de cupru (-0,92) pe de o parte și între pH și concentrația ionilor de zinc (-0,83) pe de altă parte indică dependența dintre cele două elemente (Cu și Zn) în relație inversă cu pH-ul. La creșterea pH-ului are loc o scădere a concentrației Cu și Zn. Diferența dintre coeficientul de corelație a cuplului pH-Cu și pH-Zn sugerează o mai slabă dependență a concentrației de Zn de valoarea pH-ului.

Tabelul 1.

Compoziția chimică parțială² a probelor de apă

Proba	pH	EC μS/cm	Concentrația (mg/l)											
			Ca	Mg	Na	K	Sr	Mn	NH ₄	Zn	Cu	Cl	SO ₄	NO ₃
1	7,5	486	73	8,6	15,6	4,5	0,164	0,207	0,084	-	-	12,0	102	3,3
3	7,5	323	47	6,3	7,4	3,2	0,147	0,216	0,088	-	-	5,9	57	3,8
5	7,4	328	49	7,1	7,3	1,0	0,147	0,229	0,081	-	-	6,3	64	2,7
8	7,4	343	46	6,2	7,0	2,5	0,148	0,251	0,093	-	-	5,1	80	2,8

² Analiza completă a probelor a fost publicată de Forray și Hallbauer (2000).

continuare Tabelul 1

Proba	pH	EC μS/cm	Concentrația (mg/l)											
			Ca	Mg	Na	K	Sr	Mn	NH ₄	Zn	Cu	Cl	SO ₄	NO ₃
10	7,1	348	49	6,9	8,2	1,5	0,148	0,274	0,096	0,175	-	4,0	79	2,5
11	7,1	332	47	7,2	6,1	1,6	0,148	0,279	0,091	0,172	-	5,1	76	4,0
13	7,4	333	42	6,3	5,6	1,6	0,147	0,278	0,086	0,181	-	8,8	160	5,2
14	6,2	334	43	5,5	8,5	1,5	0,145	0,264	0,093	0,196	-	7,9	167	6,0
15	6,0	361	44	5,8	7,3	1,8	0,149	0,261	0,097	0,236	0,227	10,6	176	6,6
16	5,8	393	45	7,4	7,3	2,7	0,147	0,272	0,104	0,235	0,319	9,8	185	4,9
18	5,8	417	46	6,6	7,2	2,7	0,145	0,280	0,098	0,213	0,340	3,4	71	-
19	5,5	420	43	6,6	4,4	3,0	0,146	0,284	0,082	0,237	0,350	2,3	155	3,0
20	5,3	426	40	7,0	4,0	1,8	0,147	1,000	0,084	0,256	0,406	4,3	147	5,6
21	5,3	431	42	7,2	4,3	2,3	0,142	2,000	0,089	0,236	0,324	2,4	151	2,1

Tabelul 2.

Matricea de corelație pentru cele 14 variabile

	Ca	Cl	Cu	EC	K	Mg	Mn	Na	NH ₄	NO ₃	pH	SO ₄	Sr	Zn
Ca	1													
Cl	0.49	1												
Cu	-0.41	-0.34	1											
EC	0.43	0.01	0.59	1										
K	0.63	0.21	0.13	0.66	1									
Mg	0.69	0.14	0.06	0.64	0.48	1								
Mn	-0.30	-0.43	0.49	0.39	-0.07	0.17	1							
Na	0.92	0.66	-0.49	0.27	0.54	0.45	-0.43	1						
NH ₄	-0.19	0.17	0.16	-0.14	-0.06	-0.22	-0.15	0.04	1					
NO ₃	-0.22	0.58	-0.08	-0.26	-0.27	-0.33	-0.13	-0.05	0.03	1				
pH	0.51	0.35	-0.92	-0.48	0.04	0.11	-0.56	0.51	-0.21	-0.06	1			
SO ₄	-0.35	0.31	0.49	0.24	-0.08	-0.20	0.27	-0.24	0.18	0.64	-0.62	1		
Sr	0.93	0.64	-0.35	0.43	0.60	0.61	-0.37	0.87	-0.21	0.07	0.47	-0.16	1	
Zn	-0.59	-0.23	0.71	0.22	-0.30	-0.22	0.37	-0.55	0.35	0.24	-0.83	0.69	-0.49	1

Acest lucru se poate explica prin marea mobilitate a ionului Zn, care se prezintă sub formă de ion liber Zn²⁺ în soluții acide și neutre (Brookins, 1988).

Plecând de la matricea de corelație dintre elementele determinate, se consideră că fiecare variabilă analizată reprezintă un factor. A fost calculată în continuare varianța standardizată asociată cu un anumit factor (notat prescurtat EV - *eigenvalues*). Acest EV cuantifică contribuția factorului la varianța totală. Pentru reducerea factorilor a fost utilizată metoda lui Kaiser (1958). Potrivit acestei metode, contribuția factorilor este semnificativă când EV>1. Cei 14 factori au fost grupați în patru procese (numite în continuare factori) care reprezintă fenomene care pot explica variația datelor (tabelul 3 și fig. 2).

Tabelul 3. Valorile EV, PV și CP pentru probele analizate. PV reprezintă– procentul variației iar PC – procentul cumulat al variației.

Variabile	Factor	EV	PV	CP
Ca	1	5.483	39.2	39.2
Cl	2	3.266	23.3	62.5
Cu	3	2.352	16.8	79.3
EC	4	1.144	8.2	87.5
K	5	0.606	4.3	91.8
Mg	6	0.429	3.1	94.9
Mn	7	0.265	1.9	96.7
Na	8	0.170	1.2	98
NH ₄	9	0.154	1.1	99.1
NO ₃	10	0.071	0.5	99.6
pH	11	0.046	0.3	99.9
SO ₄	12	0.011	0.1	100
Sr	13	0.004	0	100
Zn	14	0.000	0	100

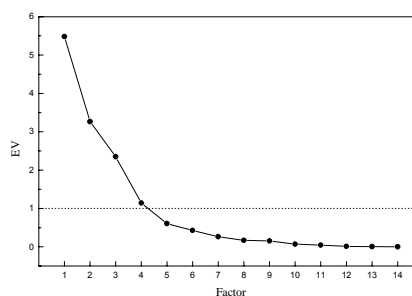


Fig. 2. Reprezentarea contribuției factorilor la EV.

Pentru simplificarea interpretării factorilor, am utilizat metoda Varimax, cea mai comună metodă de rotire ortogonală. Cu această metodă au fost calculați coeficienții factorilor (tabelul 4) care au o valoare pozitivă (valori pozitive mai mici de 1), care au valoarea 0 sau care au o contribuție negativă (valori negative mai mici de 1) raportați la diferite variabile. Coeficienții factorilor (factor loadings) sunt o măsură a gradului de apropiere între variabilă și factor. Valorile pozitive ale coeficienților indică o creștere a contribuției variabilei odată cu creșterea coeficientului, iar o valoare negativă a ei indică o descreștere a contribuției variabilei odată cu creșterea coeficientului (Lawrence și Upchurch, 1982).

Tabelul 4. Rezultatul analizei factoriale. PV reprezintă– procentul variației iar PC – procentul cumulat al variației.

Variabila	Factor 1	Factor 2	Factor 3	Factor 4
Ca	0.893	-0.416	-0.005	-0.046
Sr	0.858	-0.369	0.263	-0.069
K	0.818	0.076	-0.132	0.082
Na	0.784	-0.482	0.170	0.200
Mg	0.781	0.069	-0.188	-0.267
EC	0.757	0.610	-0.097	-0.140

continuare Tabelul 4

Variabila	Factor 1	Factor 2	Factor 3	Factor 4
pH	0.130	-0.959	-0.019	-0.084
Cu	0.016	0.938	-0.103	0.071
Zn	-0.310	0.816	0.204	0.208
Mn	-0.078	0.654	-0.190	-0.448
NO ₃	-0.224	0.009	0.935	-0.041
Cl	0.428	-0.322	0.763	0.234
SO ₄	-0.092	0.635	0.709	0.061
NH ₄	-0.102	0.157	0.030	0.923
PV	39.2	23.3	16.8	8.2
PC	39.2	62.5	79.3	87.5

4. Interpretarea factorilor

Factorul 1

Factorul 1 conține toți cationii principali conservativi din apele râurilor (Ca, K, Na, Mg, Sr) și conductivitatea electrică (EC) reprezentând influența formațiunilor geologice pe care râul le străbate, asupra caracterului chimic al apei, adică interacțiunea dintre apă și roci (rock-water interaction). Coeficienții de corelație pozitivi dintre Ca, Sr, K, Na, Mg, EC și factorul 1 indică o creștere a concentrației acestor cationi și a conductivității electrice pe măsura creșterii interacțiunii dintre apă și rocile pe care le străbate. Un factor similar a fost determinat de Gupta și Subramanian (1998) pentru râul Gomti (India). De asemenea acest factor explică aproape în aceeași măsură variația chimismului râului Arieș (39,2%) ca și factorul principal determinat de Gupta și Subramanian (1998) pentru râul Gomti (39,8%), exprimând variația chimismului râului.

Dintre cationii incluși în factorul 1, Ca are coeficientul de corelație cel mai mare, fapt ce sugerează rolul pe care acest cation îl joacă în ajustarea pH-ului apelor (sistemul de buffering carbonatic).

Factorul 2

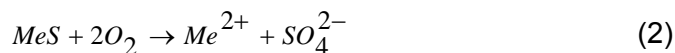
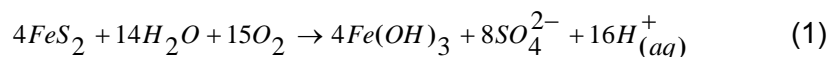
Factorul 2 conține variabilele pH, Cu, Zn, Mn și definește poluarea realizată de efluenții proveniți din activitatea minieră din sectorul de extracție. Activitatea ionului de hidrogen (pH-ul) prezintă un coeficient de corelație negativ cu factorul 2 (-0,96), adică o descreștere a pH-ului odată cu creșterea influenței efluenților proveniți de la sectorul de extracție, fenomen care este în deplină concordanță cu ecuația (1) de oxidare a piritei. Prin oxidarea piritei are loc o creștere a concentrației ionilor de hidroniu.

Cuprul și zincul, pe baza coeficientului de corelație pozitiv cu factorul 2 (0,94 respectiv 0,82) sugerează creșterea concentrației acestor ioni în cazul influenței efluenților proveniți din sectorul de extracție. Creșterea concentrației de metale în apele de mină, favorizată de pH-ul scăzut, a fost observat de Wieder și Novák (1995), Gräber și Frimmel(1996) și Robertson (1996).

Diferența de mobilitate între Cu și Zn (Zn prezintă o mobilitate mai mare decât Cu) este indicată și de coeficientul de corelație mai mare a Cu (0,94) față de Zn (0,82) (tabelul 2).

Factorul 3

Factorul 3 redă rolul ionilor NO_3^- , Cl^- și SO_4^{2-} . Acest factor indică influența iazurilor de decantare și într-o măsură mai mică interacțiunea dintre apă și rocă. Valorile coeficienților de corelație pozitivi dintre factorul 3 și concentrația ionilor NO_3^- , Cl^- , și SO_4^{2-} sunt direct proporționali cu concentrația acestora. Prezența sulfurilor în iazurile de decantare este determinată de randamentul scăzut al tehnologiei de extracție al uzinelor de preparare. În iazurile de decantare au loc următoarele reacții:



unde Me este un cation metalic bivalent. Aceste reacții de oxidare realizează o creștere accentuată a concentrației SO_4^{2-} în efluenții proveniți de la iazurile de decantare, mai ales în cazul în care conținutul de pirită în halda de steril este mare. Se remarcă, în cazul radicalului SO_4^{2-} , un coeficient de corelație mai mic (0,64) cu factorul 2, ceea ce indică de asemenea o contribuție a apelor de mină la creșterea concentrației de SO_4^{2-} în apa Arieșului.

Factorul 4

Factorul 4 este caracterizat de radicalul NH_4^+ și reflectă poluarea realizată de activitatea umană. Sursa de poluare o reprezintă deversările de ape menajere netratate sau a efluenților proveniți de la gospodării sau de la grajdurile de animale. Coeficientul de corelație pozitiv 0,92 (tabelul 7) indică creșterea concentrației de NH_4^+ odată cu creșterea influenței acestui factor.

5. INTERPRETAREA SCORULUI FACTORILOR

Folosind metoda regresiei, s-a calculat scorul factorilor pentru fiecare probă, utilizând programul SPSS 7.0 . Scorul factorilor obținuți prin această metodă au o medie egală cu 0 și o varianță egală cu pătratul corelației multiple dintre scorul factorilor estimați și cel real. Suma pătratelor diferențelor între valoarea adevărată a factorului și cea estimată este minimă.

După Dalton și Upchurch (1978), scorul factorilor poate fi considerat ca o măsură a intensității proceselor chimice. Regiunile în care valoarea scorului pentru un factor este mai mic decât -1, sunt neafectate de procesul descris de factorul respectiv în timp ce valorile mai mari de 1 indică zonele puternic afectate de procesele atribuite aceluia factor. În cazul valorilor situate între -1 și 1 zona este parțial afectată de fenomenul descris de acel factor.

Influența formațiunilor geologice - pe care râul Arieș le străbate - asupra caracterului chimic al apei, reprezentat de factorul 1 se menține în general la valori moderate (fig. 3).

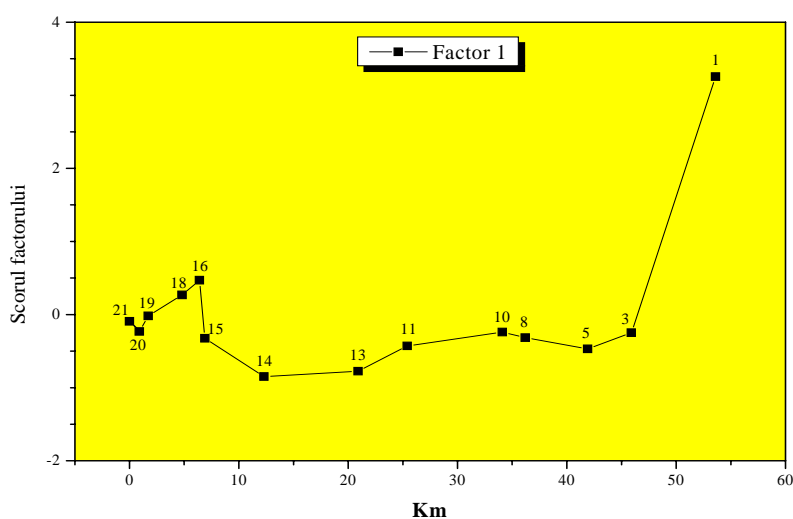


Fig. 3. Variația scorului factorului 1 între localitățile Muncel și Cheia. Numerele reprezintă punctele de prelevare a probelor.

Se remarcă o ușoară creștere a scorului factorului în regiunile în care apa Arieșului străbate formațiunile sedimentare aparținătoare cretacului și o tendință în general de scădere a scorului în zonele în care Arieșul străbate formațiunile metamorfice.

În zona Baia de Arieș - Brăzești (punctele de probare 19, 18, 16) se remarcă o influență mai puternică a interacțiunii dintre apele râului și formațiunile geologice datorită pH-ului scăzut. De asemenea o contribuție însemnată o au zonele alterate hidrotermale care favorizează reacțiile apă-rocă.

Ușoara creștere a scorului factorilor în zona Ocoliș - Ocolișel (punctele de probare 10 și 8) indică interacțiunea dintre rocile carbonatice și apele afluenților de stânga ai Arieșului. O creștere pronunțată a interacțiunii apă-rocă se înregistrează după punctul de probare 3 când Arieșul străbate formațiunile miocene care conțin sedimente evaporitice.

Variația scorului factorului 2 pune în evidență deversarea apelor de mină și parțial influența iazurilor de decantare (fig. 4).

Valorile ridicate ale scorului factorului 2 în punctele de probare 21, 20, 19 indică poluarea realizată de exploatarea minieră de la Roșia Poieni. Iazul situat pe Valea Sartăș nu contribuie la variația acestui factor datorită pH-ului foarte ridicat al efluentului (pH=11,8). Valoarea ridicată a pH-ului este cauzată de tratarea apelor provenite de la iazul de decantare, tratare care produce precipitarea metalelor iar apele deversate în Arieș nu contribuie în mod semnificativ la poluarea acestuia cu metale.

După localitatea Brăzești (punctul de probare 15) poluarea cu metale scade în general la valori moderate, până la confluența Arieșului cu pârâul Ocolişel. Numai după această confluență influența poluării Arieșului de către activitatea minieră din sectorul de extracție dispăre.

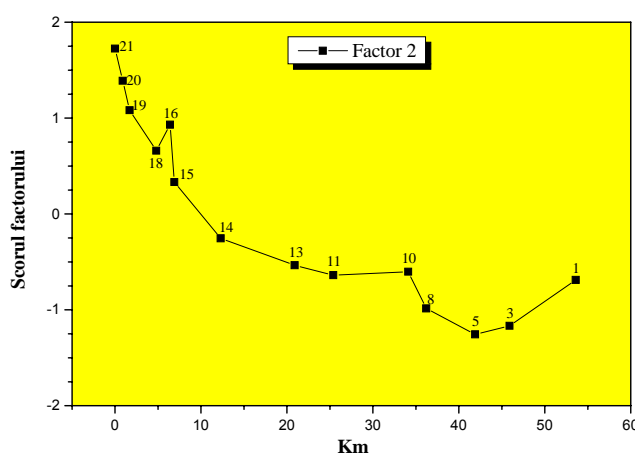


Fig. 4. Variația scorului factorului 2 între localitățile Muncel și Cheia. Numerele reprezintă punctele de prelevare a probelor.

Influența iazurilor de decantare și parțial a interacțiunii dintre apa râului Arieș și formațiunile neogene pe care le străbate este pusă în evidență de variația scorului factorului 3 (fig. 5).

O puternică creștere a scorului factorului 3 se înregistrează după localitatea Muncel, prin influența iazului de decantare situat pe Valea Ciuții (afluent de dreapta a Văii Hărmăneasa). O creștere semnificativă a scorului se înregistrează după deversarea efluenților de la iazul de decantare situat pe Valea Sartăș și în măsură mult mai mare datorită efluenților de la iazurile de decantare inactive situate în zona Sartăș și Brăzești.

Poluarea se menține pe o distanță mult mai mare până după localitatea Sălciua de Sus.

După acest sat, influența iazurilor de decantare devine moderată. Influența exploatarea miniere de pe Valea Iara este pusă în evidență de o ușoară creștere a scorului dar fără a indica o poluare semnificativă. Creșterea

accentuată a scorului după localitatea Cornești (punctele de probare 3 și 1) indică un aport a radicalului SO₄ datorită formațiunilor neogene.

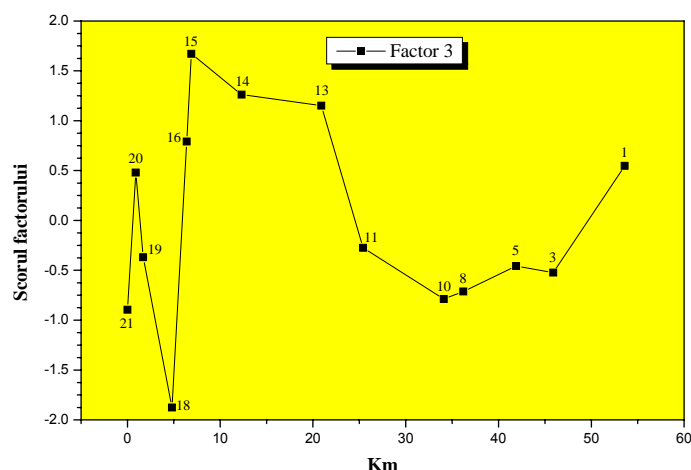


Fig. 5. Variația scorului factorului 3 între localitățile Muncel și Cheia. Numerele reprezintă punctele de prelevare a probelor.

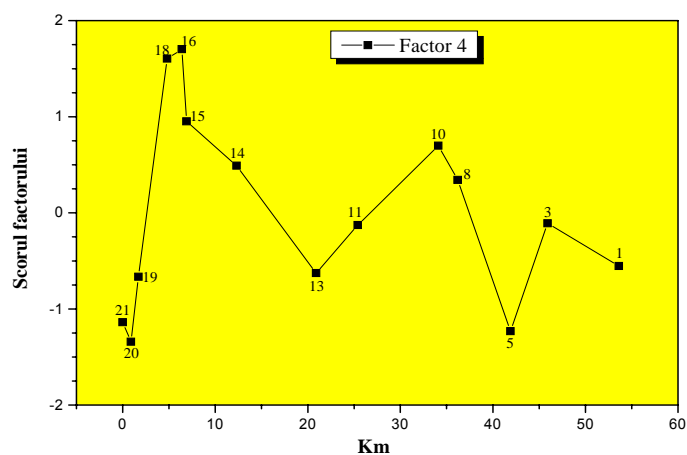


Fig. 6. Variația scorului factorului 4 între localitățile Muncel și Cheia. Numerele reprezintă punctele de prelevare a probelor.

Scorul factorului 4 prezintă în general valori mici care semnifică o poluare moderată cu NH₄ (fig. 6). În această tendință generală există mici variații ale acestui factor care reprezintă poluări locale cum este zona Baia de Arieș - Sălciua de Sus, zona Lunca și zona Buru. O poluare foarte puternică prin deversarea apelor menajere se înregistrează după localitatea Baia de Arieș și se menține până după localitatea Brăzești.

6. CONCLUZII

Pe baza celor 4 factori se poate explica în proporție de 88% dispersia concentrațiilor elementelor analizate, așa cum rezultă din valorile PV (tabelul 3). Dintre cei patru factori, cel mai mare procentaj care explică dispersia concentrațiilor îl are factorul 1. Valoarea lui este de 39%. Procentul ridicat indică importanța proceselor de interacțiune apă-rocă în definirea caracterului chimic al apelor de suprafață. Factorul 2 poate explica dispersia concentrațiilor în proporție de 23%, fapt care indică poluarea accentuată realizată de activitatea minieră din sectorul extractiv. Influența iazurilor de decantare (factorul 3) este cotate cu 17%. Acest procent indică o influență negativă mai redusă a iazurilor în comparație cu apele de mină. Însușind valorile PV a factorilor 2 și 3, care reprezintă activitatea minieră rezultată un procentaj de 40% care explică dispersia concentrațiilor. Valoarea ridicată a celor doi factori confirmă poluarea accentuată realizată de activitatea minieră în zona studiată. Factorul 4, cu o valoare a PV de 8%, arată o poluare mai puțin accentuată a râului Arieș datorată activităților umane (deversările de ape menajere de la gospodăria sau grajduri).

BIBLIOGRAFIE

1. Ashley R.P., Lloyd J.W. (1978), *An example of the use of factor analysis and cluster analysis in groundwater chemistry interpretation*. J Hydrol, 39, 355-364.
2. Briz-kishore B.H., Murali G. (1992), *Factor analysis for revealing hydrochemical characteristics of a water shed*. Environmental Geology, 19, 3-9.
3. Brookins D.G. (1988), *Eh-pH diagrams for geochemistry*. Springer-Verlag, Berlin Heidelberg, 176 p.
4. Dalton M.G., Upchurch S.B. (1978), *Interpretation of hydrochemical facies by factor analysis*. Ground Water, 16, 228-233.
5. Dawdy D.R., Feth J.H. (1967), *Application of factor analysis in study of chemistry of groundwater quality, Mojave River Valley, California*. Water Resource Research, 3, 505-510.
6. Forray F.L., Hallbauer D.K. (2000), *A study of the pollution of the Aries River (Romania) using capillary electrophoresis as analytical technique*. Environmental Geology, 39(12), 1372-1384.
7. Gräber G., Frimmel F.H. (1996), *Reaction von Sedimenten unterschiedlicher Herkunft unter oxidierenden Bedingungen in Abhängigkeit von pH-Wert*. Acta Hydrochim. Hydrobiol, 24 (4), 161-167.
8. Gupta L.P., Subramanian V. (1998), *Geochemical factors controlling the chemical nature of water and sediments in the Gomti river, India*. Environmental Geology, 36(1-2), 102-108.
9. Herr C., Gray N.F. (1997), *Sampling riverine sediments impacted by acid mine drainage: problems and solutions*. Environmental Geology, 29(1/2), 37-45.

10. Hitchon B., Billings G.K., Kolvan J.E. (1971), *Geochemistry and origin of formation waters in the Western Canada sedimentary basin. III. Factors controlling chemical composition*. *Geochimica and Cosmochimica Acta*, 35, 567-598.
11. Jayakumar R., Siraz L. (1997), *Factor analysis in hydrogeochemistry of coastal aquifers - a preliminary study*. *Environmental Geology*, 31(3/4), 174-177.
12. Kaiser H.F. (1958), *The varimax criteria for analytical rotation in factor analysis*. *Psychometrika*, 23, 187-200.
13. Lawrence F.W., Upchurch S.B. (1976), *Identification of geochemical patterns in groundwater by numerical analysis*. (Saleem Z.A.: *Advance in groundwater hydrology*), Water Resource Association, U.S.A., 199-214.
14. Lawrence F.W., Upchurch S.B. (1982), *Identification of recharge areas using geochemical factor analysis*. *Groundwater*, 20, 680-687.
15. Love D., Hallbauer D.K. (1998), *Characterisation of groundwater contamination in a dolomitic aquifer: A case study from the Far West Rand*. *Geocongress 98*, Geological Society of South Africa, Pretoria, 10 July 1998, 272-275.
16. Melloul A., Collin M. (1992), *The 'Principle components' statistical method as a complimentary approach to geochemical methods in water quality factor identification: application to the Coastal Plain aquifer of Israel*. *Journal of Hydrology*, 140, 49-73.
17. Paalman M., van de Meent-Olieman G.C., van der Weijden C.H. (1997), *Pyrite formation in estuarine Rhine/Meuse sediments and the impact on trace-metals. (Paalman M.: Processes affecting the distribution and speciation of heavy metals in the Rhine/Meuse Estuary)*. *Geologica Ultraiectina*, Utrecht University, Utrecht, 65-86.
18. Razack M., Dazy J. (1990), *Hydrochemical characterization of groundwater mixing in sedimentary and metamorphic reservoirs with combined use of piper's principal and factor analysis*. *J Hydrol*, 114, 371-393.
19. Robertson A. MacG. (1996), *The Importance of Site Characterization for Remediation of Abandoned Mine Lands. (U.S. EPA: Managing Environmental Problems at Inactive and Abandoned Metals Mine Sites)*, Seminar Publication EPA/625/R-95/007, U.S. Environmental Protection Agency, Cincinnati, 8-13.
20. Ruiz F., Gomis V., Blasco P. (1990), *Application of factor analysis to the hydrogeochemical study of a coastal aquifer*. *J Hydrol*, 119, 169-177.
21. Seyhan E.V., Van de Caried A.A., Engelen G.B. (1985), *Multivariate analysis and interpretation of the hydrochemistry of a dolomite reef aquifer, Northern Italy*. *Water Resurce Research*, 21, 1010-1024.
22. Subbarao C., Subbarao N.V., Chandu S.N. (1996), *Characterization of groundwater contamination using factor analysis*. *Environmental Geology*, 28(4), 175-180.
23. Wieder R.K., Novák M. (1995), *Biogeochemical processes during the treatment of acid mine drainage: The Kentucky wetland project*. (Pařava J., Křribek B., Źák K.: *Mineral Deposits: From Their Origin to Their Environmental Impacts*), A.A. Balkema, Rotterdam, 709-712.