



## تفکیک آنومالی‌های ژئوشیمیایی آبراهه‌ای با استفاده از روش مولفه‌های اصلی در منطقه جنوب بستان آباد (استان آذربایجان شرقی)

حسین ناصری<sup>۱</sup>، سید غفور علوی<sup>۲</sup>

<sup>۱</sup> گروه علوم زمین، دانشکده علوم طبیعی، دانشگاه تبریز، ایران Hossein.naseri@Tabri.ac.ir

<sup>۲</sup> گروه علوم زمین، دانشکده علوم طبیعی، دانشگاه تبریز، ایران ghafour-alavi@tabrizu.ac.ir

### چکیده

منطقه جنوب قره‌چمن به وسعت تقریبی ۱۳۲ کیلومترمربع در جنوب تبریز و جنوب شرق شهرستان بستان‌آباد واقع شده است. این منطقه به دلیل حضور توده‌های نفوذی متعدد، دگرسانی‌های گسترده و معادن و اندیس‌های مختلف جهت شناسایی و جدایش آنومالی‌های ژئوشیمیایی آبراهه‌ای انتخاب گردید. برای این منظور در این پژوهش از روش آنالیز مولفه‌های اصلی (PCA) بر روی داده‌های ۸۲۰ نمونه رسوب آبراهه‌ای استفاده شده است. روش آنالیز مولفه‌های اصلی (PCA) بر روی عناصر مرتبط با کانی‌زایی‌های تیپ گرمایی اعمال شده که در آن فاکتور اول (PC1) با واریانس ۳۰/۵ درصد بیشترین و فاکتور ۴ (PC4) با واریانس ۸/۸ درصد کمترین تأثیر را داشته‌اند. بر این اساس عناصر روی، سرب، کبالت و جیوه در مولفه اول (PC1)، عناصر طلا، آرسنیک، نقره و مس در مولفه دوم (PC2)، عناصر بیسموت و قلع در مولفه سوم (PC3)، و عناصر مولیبدن، گوگرد و تا حدودی طلا در مولفه چهارم (PC4) از بیشترین همبستگی برخوردار هستند. نتایج به دست آمده حاکی از همخوانی گسترش کانی‌زایی طلا و مس به دست آمده از روش فاکتور دوم از مولفه‌های اصلی (PCA) و کانی‌زایی مولیبدن با فاکتور چهارم (PCA) است که نشان از تأثیر فاکتور دوم بر کانی‌زایی در این منطقه می‌باشد.

**کلیدواژه:** رسوبات آبراهه‌ای، مولفه‌های اصلی، پارامترهای آماری، جنوب قره‌چمن.

### Abstract

The southern region of Qarachaman is situated in the south of Tabriz and southeast of Bostanabad city, covering approximately 132 square kilometers. This area was chosen specifically because it contains numerous intrusive masses, extensive changes, and various mines and indicators that help identify and isolate geochemical anomalies within water bodies. To achieve this, we utilized the principal component analysis (PCA) method on a dataset consisting of 820 river sediment samples. This analysis focused on elements associated with hydrothermal type mineralizations. The PCA method yielded significant insights, with the first factor (PC1) accounting for the highest variance of 30.5%, while the fourth factor (PC4) had the least impact, with a variance of 8.8%. The first component (PC1) exhibited a strong correlation with zinc, lead, cobalt, and mercury elements. On the other hand, the second component (PC2) showed a connection with gold, arsenic, silver, and copper elements. The third component (PC3) was found to have a correlation with bismuth and tin elements. Lastly, the fourth component (PC4) indicated a moderate correlation with molybdenum, sulfur, and to some extent, gold. The results obtained from this analysis demonstrate that the expansion of gold and copper mineralization, as determined by the fractal method, aligns with the second factor of the principal components (PCA). Conversely, molybdenum mineralization corresponds to the fourth factor (PCA), highlighting the influence of the second factor on mineralization in this area. Overall, these findings indicate that the region shows potential for fertile deposits of gold and copper.

**Key words:** streamsediments, Factor analysis, Statistical parameters., South Qarachaman

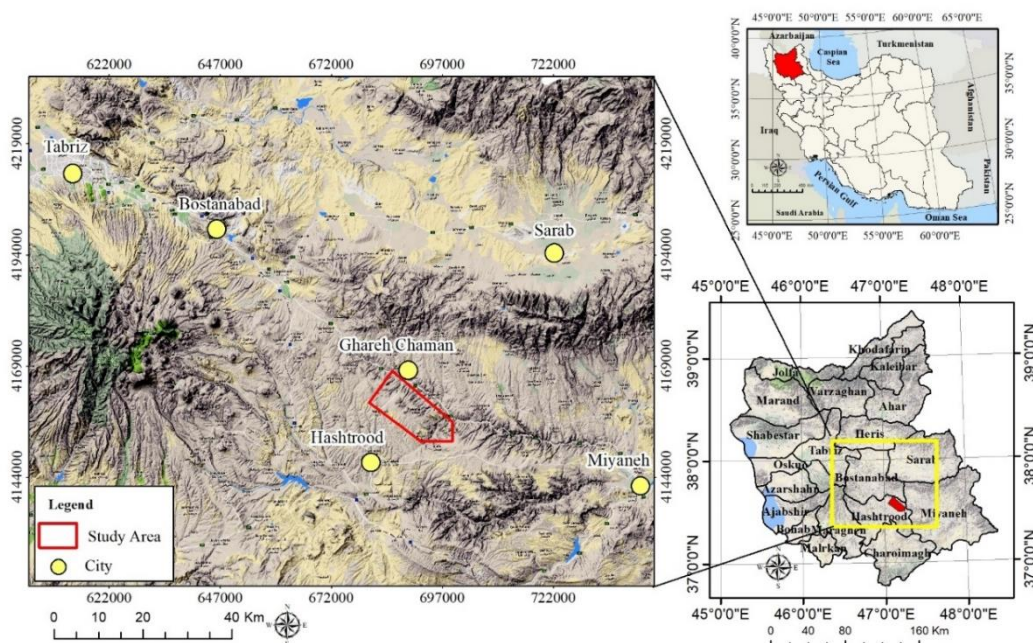


**مقدمه:**

جداسازی جوامع ژئوشیمیایی با استفاده از داده‌های رسوبات آبراهه‌ای یک امر بسیار مهم در برنامه‌های اکتشاف ژئوشیمیایی منطقه‌ای می‌باشد. به منظور مشخص نمودن الگوهای مربوط به آنومالی‌های ژئوشیمیایی، ویژگی‌های مختلفی از مجموعه داده‌های ژئوشیمیایی شامل توزیع فراوانی داده‌ها و تغییرپذیری مکانی آنها باید در نظر گرفته شوند [1]. جدایش آنومالی از زمینه یکی از مهم‌ترین و کلیدی‌ترین مراحل در اکتشافات ژئوشیمیایی می‌باشد. روش‌های مختلفی برای جداسازی و تشخیص مناطق آنومالی از زمینه وجود دارد که از روش‌های آماری ساده (براساس پارامترهای آماری تابع توزیع) تا روش‌های پیچیده فرکتال (براساس ساختار فضایی داده‌ها) را شامل می‌شوند [2]. نتایج حاصل از روش‌های سنتی مبتنی بر آمار کلاسیک تا مدت‌ها به عنوان تنها روش‌های تحلیل داده‌های اکتشافی ژئوشیمیایی مورد استفاده قرار می‌گرفتند که این روش‌ها دارای نقایصی از قبیل شرط تبعیت از توزیع نرمال، حذف تعدادی از داده‌ها به عنوان خارج از ردیف، عدم توجه به توزیع فضایی داده‌ها و نیز عدم توجه به شکل هندسی آنومالی‌ها هستند [3]. برای دستیابی به مقادیر آنومالی مربوط به چندین عنصر مرتبط با کانی‌زایی و برجسته‌سازی مقادیر آنومالی می‌توان از تحلیل‌های آماری چند متغیره نظیر تحلیل مولفه‌های اصلی (PCA) استفاده کرد [4]. در این مقاله سعی شده است پس از بررسی نقشه‌های زمین‌شناختی-ساختاری منطقه مورد مطالعه و با استفاده از تحلیل مولفه‌های اصلی، روندهای آنومالی با استفاده از عناصر مرتبط با کانی‌زایی در رسوبات آبراهه‌ای جنوب قره-چمن مشخص شوند.

**زمین شناسی محدوده مورد مطالعه**

محدوده مورد مطالعه در جنوب استان آذربایجان شرقی (شمال باختری ایران)، حد فاصل شهرهای هشترود و قره چمن واقع شده است (شکل ۱). با توجه به حضور توده‌های نفوذی متعدد، دگرسانی‌های گسترده و معادن و اندیس‌های مختلف و مطالعات قبلی، محدوده مورد نظر به صورت یک هفت ضلعی با مساحت بیش از ۱۳۲ کیلومتر مربع واقع در جنوب نقشه زمین شناسی ۱:۱۰۰,۰۰۰ ترکمن چای- قره چمن انتخاب شده است.



شکل ۱- موقعیت محدوده مورد مطالعه در شمال باختری ایران، استان آذربایجان شرقی و نسبت به شهرهای اطراف.

بر اساس رده‌بندی واحدهای تکتونیکی مهم باختر ایران که توسط [5] و [6] انجام گرفته، محدوده مورد مطالعه بخشی از کمان ماگمایی ارومیه- دختر است. مهمترین سنگ‌های متعلق به ائوسن، شامل سنگ‌های آتشفشانی، آذرآوری و به مقدار بسیار کمتر سنگ‌های رسوبی آواری و آهکی می‌باشد. ترکیب سنگ‌های آتشفشانی بیشتر آندزیتی و به مقدار کمتر بازالتی است. واحدهای سنگی متعلق به الیگوسن با

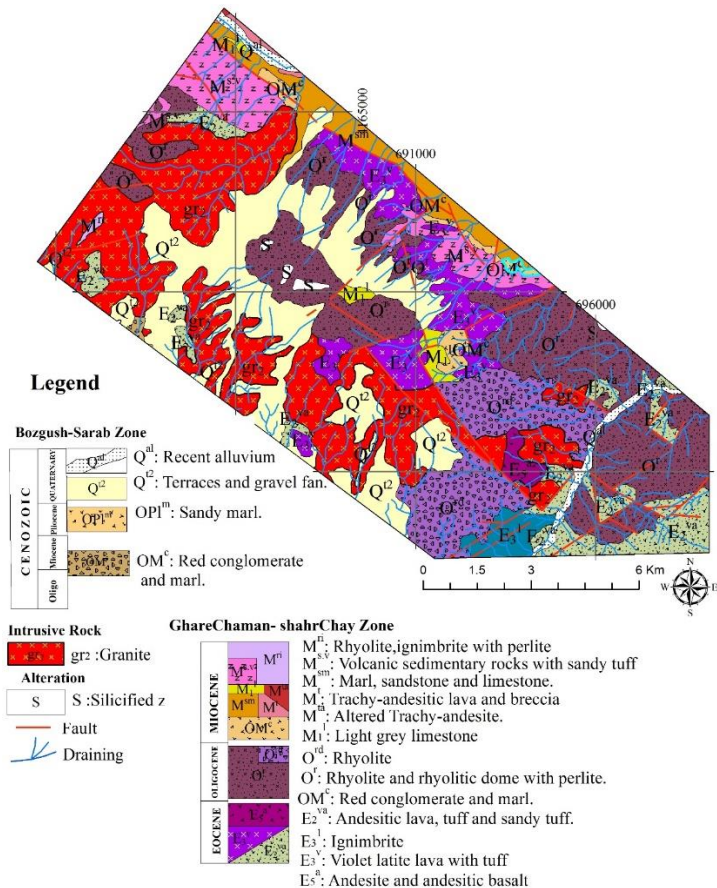
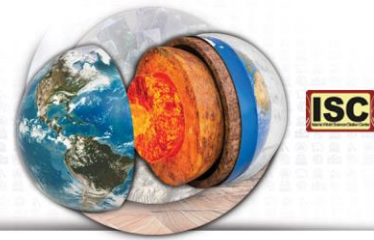


ترکیب گرانیتوئیدی به شکل توده‌های نفوذی و سنگ‌های آتشفشانی ریولیتی در بخش‌های شمالی شهرستان هشتگرد دارای گسترش فراوان هستند و برنزد آنها عمدتاً از یک روند شمال باختری - جنوب خاوری تبعیت می‌کند. به طور کلی فعالیت‌های آتشفشانی ائوسن بوسیله فعالیت‌های آذرین نفوذی الیگو- میوسن دنبال شده است که نتیجه آن جایگیری توده‌های آذرین گرانیتی و گرانودیوریتی در داخل توالی‌های آتشفشانی ائوسن بوده است [7]. کانی‌زایی‌ها و دگرسانی‌ها در حد فاصل شهرستان‌های هشتگرد- قره چمن حاصل این فعالیت‌ها هستند. سنگ‌های نفوذی مربوط به الیگوسن در نقاط مختلف منطقه به صورت توده‌های بزرگ و کوچک پراکنده بوده و در بیشتر نقاط، سنگ‌های آتشفشانی مربوط به ائوسن را قطع کرده‌اند. مهمترین توده‌های نفوذی موجود در منطقه شامل توده گرانیتی قره بلاغ - اکوزگبندی (gr1)، توده گرانیتی قران قیه (gr2)، توده گرانیتی gr3 و توده بزرگ آلکالی سینیتی سراب (Sn) هستند. در این محدوده توده گرانیتی قران تپه (gr2) به صورت گسترده حضور دارد. قدیمی‌ترین واحد شناسایی شده در این محدوده متعلق به دوره ائوسن با ترکیب گدازه‌های آندزیتی و بازالت آندزیت ( $E^{sa}$ ) آغاز شده و با گدازه‌های با ترکیب لاتیت- توف ( $E^{3v}$ )، ایگنمبریتی ( $E^{3l}$ ) و گدازه‌های آندزیتی تا توف ماسه‌ای ( $E^{2va}$ ) به پایان می‌رسد. واحدهای دوران الیگوسن با ترکیب عمدتاً ریولیتی ( $O^{rd}$ ) و دم ریولیتی ( $O^f$ ) به طور گسترده در محدوده مورد مطالعه گسترش داشته و واحدهای قدیمی‌تر را قطع کرده و در بخش‌های از آن دگرسانی‌های گسترده‌ای قابل مشاهده است. تنها واحد رسوبی دوران الیگو- میوسن ( $OM^c$ ) در منطقه شامل سنگ‌های کنگلومرایی با میان لایه‌های ماسه‌سنگی و به طور محلی، مارنی است که از گسترش محدودی در این منطقه برخوردار است. واحدهای سنگی دوران میوسن با آهک- های خاکستری ( $M^{11}$ ) آغاز شده و با واحدهای با ترکیب گدازه‌های تراکی آندزیتی ( $M^{1a}$ )، برش‌های ولکانیکی با ترکیب تراکی آندزیتی ( $M^1$ )، واحد مارن-ماسه سنگ و آهک ( $M^{sa}$ )، سنگ‌های با ترکیب گدازه‌های آتشفشانی- رسوبی توف‌های ماسیه‌ای ( $MS.v$ ) و در نهایت با واحد ریولیتی - ایگنمبریتی ( $M^{ri}$ ) به پایان می‌رسد. تنها واحد سنگی دوران پلیوسن را مارن‌های رسی ( $OPL^{m1}$ ) تشکیل می‌دهند (شکل ۲). جوان‌ترین واحدهای موجود در محدوده متعلق به دوران کواترنری ( $Q^{al}$ ,  $Q^{12}$ ) هستند که عمدتاً مناطق پست را تشکیل داده و زیر کشت کشاورزی قرار گرفته‌اند.

#### مواد و روش‌ها:

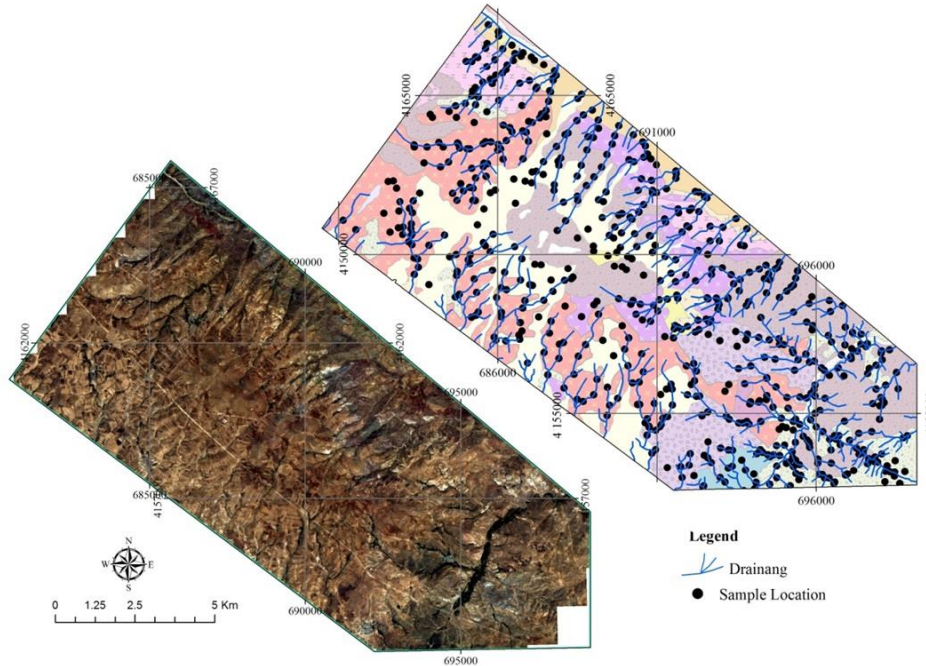
#### روش مطالعه:

در این پژوهش ۸۱۵ نمونه رسوب آبراهه‌ای از محدوده مورد مطالعه پس از مشخص کردن شبکه نمونه‌برداری و تعیین نقاط آن بر روی نقشه توپوگرافی و یافتن آنها در روی زمین با دستگاه مکان‌یاب، از رسوبات آبراهه‌ای برداشت گردید (شکل ۳). در محل هر نمونه پس از کنار زدن مواد سطحی بستر آبراهه توسط بیلچه اقدام به نمونه‌برداری شد تا از برداشت مواد آلی اجتناب شود چرا که اغلب به دلیل ارتباط با پدیده جذب، غلظت فلزات در آنها بالا است و در بیشتر موارد، ناهنجاری در این مواد بی‌اهمیت بوده و ارتباطی با کانی‌سازی ندارد. در جاهائی که عرض آبراهه‌ها کم بود سعی شد تا حد امکان نمونه‌ها از وسط آبراهه‌ها برداشت شوند. همچنین از برداشت واریزه‌های کنار آبراهه‌ها اجتناب شد، زیرا این اجزاء معرف ترکیب میانگین رسوبات حوضه آبریز نیستند. پس از اتمام نمونه برداری از رسوبات آبراهه‌ای بر اساس طرح از پیش تعیین شده و انتقال آنها به محل کمپ، ابتدا نمونه‌های خیس در دمای محیط خشک شده و سپس با الک ۸۰- مش دانه‌بندی و شماره‌گذاری شده و به آزمایشگاه ارسال شدند. آماده‌سازی در آزمایشگاه شامل پودر کردن و همگن‌سازی می‌باشد. در این مرحله نمونه‌های آبراهه‌ای به وسیله پودرکننده حلقوی تا زیر ۲۰۰- مش پودر شده و بخشی از هر نمونه برای تجزیه برداشته و بقیه بایگانی شدند. نمونه‌ها در آزمایشگاه شرکت توسعه علوم زمین پس از انحلال به روش چهار اسید، مورد آنالیز چند عنصری ICP-OES قرار گرفته و طلا در آنها به روش اسپکتوگراف نشری و جذب اتمی اندازه گیری شد.



شکل 2- نقشه زمین‌شناسی محدوده مورد مطالعه (برگرفته از نقشه زمین‌شناسی ۱:۱۰۰۰۰۰ قره‌چمن

با توجه به جایگیری توده‌های نفوذی متعدد در داخل واحدهای ولکانیکی ائوسن، احتمال رخداد کانی‌زایی‌های از نوع پورفیری، اسکارن و رگه‌ای در این منطقه وجود دارد و لذا، برای اثبات حضور کانی‌زایی فلزی در منطقه از عناصر طلا، مس، مولیبدن، سرب و روی که دارای پتانسیل بالا برای این نوع تیپ‌های کانی‌زایی هستند استفاده شده است. در گام نخست برای ارزیابی هر یک از عناصر، پارامترهای آماری توسط نرم افزار SPSS ۲۲ مورد محاسبه قرار گرفت. طبق این پارامترها و پس از رسم نمودار توزیع فراوانی این عناصر مشخص شد که توزیع این عناصر نرمال نبوده و دارای چولگی می‌باشد. لازم بود قبل از مدل‌سازی جهت استفاده در روش آنالیز فاکتوری، مقادیر خام عناصر با استفاده از یک تابع تبدیل مناسب نرمال شوند و داده‌های خارج از رده حذف گردند. در این پژوهش برای نرمال‌سازی داده‌ها از تابع تبدیل لگاریتمی استفاده شده است، زیرا در بررسی طبیعت توزیع داده‌های ژئوشیمیایی، توزیع نرمال از اهمیت خاصی برخوردار است. با استفاده از تابع تبدیل لگاریتمی، اختلاف بین مقادیر بالا و پایین داده‌ها کاهش یافته و امکان مقایسه بهتر آنها فراهم می‌شود. پس از نرمال‌سازی داده‌ها (جدول ۱)، نمودار توزیع فراوانی این عناصر مجدداً رسم شدند (شکل ۴) و مشخص شد که به یک حالت نرمال قابل قبول رسیده‌اند و می‌توان از داده‌های نرمال شده برای مدل‌سازی به ویژه در تحلیل داده‌ها به روش آنالیز فاکتوری استفاده نمود.



شکل 3- موقعیت نمونه‌های آبراه‌های برداشت شده از محدوده مورد مطالعه

### آنالیز فاکتوری

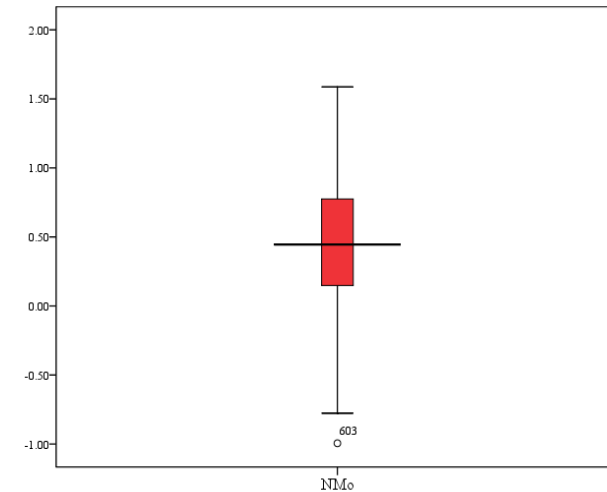
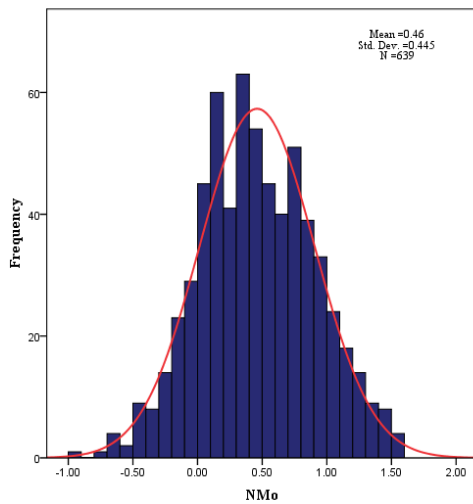
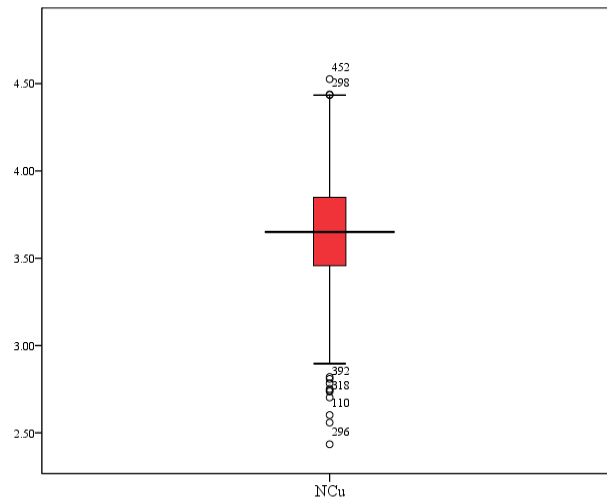
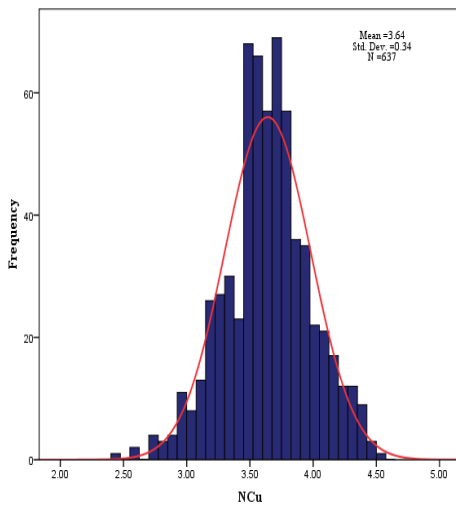
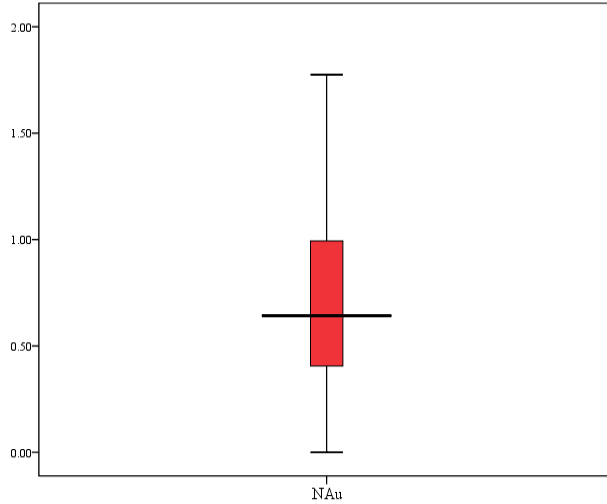
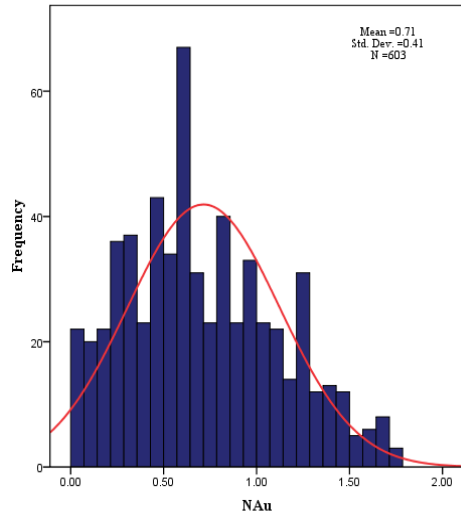
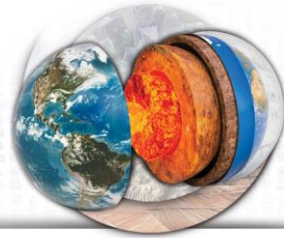
تجزیه و تحلیل عاملی (فاکتوری) یکی از روش‌های تجزیه و تحلیل چند متغیره است که به طور گسترده‌ای در اکتشافات ژئوشیمیایی رسوبات آبراه‌های به منظور شناسایی مناطق و نواحی امید بخش کانی‌سازی استفاده می‌شود [8، 9، 10، 11، 12]. در آنالیز فاکتوری مانند بسیاری از تکنیک‌های آماری دیگر فرض می‌شود که داده‌ها از توزیع نرمال (یا متقارن) تبعیت می‌کنند. با این حال، در حال حاضر داده‌های اکتشافات ژئوشیمیایی شناخته شده تقریباً هرگز یک توزیع نرمال را نشان نمی‌دهند [13] علاوه بر این، ترکیب داده‌های ژئوشیمیایی رسوبات آبراه‌های معرف یک سیستم بسته که در آن متغیرهای منفرد، مستقل از یکدیگر هستند نیست، بلکه بخشی از یک کل است [14 و 15]. لذا در این روش نیز لازم است از داده‌های نرمال شده استفاده شود [14 و 15] که برای این منظور همه داده‌های حاصل از آنالیز (۵۴ عنصر) در نرم‌افزار SPSS نرمال شده و مورد استفاده قرار گرفتند. روش‌های فاکتوری شامل دو رده گسترده تکنیک‌های نوع R و نوع Q می‌باشند که در این پژوهش از بین تکنیک‌های نوع R، روش تجزیه و تحلیل مؤلفه‌های اصلی به عنوان روش تجزیه به عوامل استفاده شده است [16 و 17]. تجزیه به عوامل از تکنیک‌های آماری با کاربرد گسترده در مطالعات ژئوشیمیایی است [18] که به ویژه به عنوان روش طبقه‌بندی برای مطالعات ژئوشیمیایی و تعیین منشأ آنها و شناسایی فرآیندهای مؤثر در آنها به کار برده می‌شود [17 و 19]. این آنالیز عمدتاً سعی در تفسیر یا آشکارسازی ساختارهای اساسی ساده و فرآیندهای اصلی حاکم بر منطقه به وسیله کاهش و طبقه‌بندی داده‌ها دارد [20، 21، 22، 23، 24]. در این روش، تولید گروه متغیرهای جدید از داده‌های اولیه دارای رابطه خطی با همدیگر صورت می‌پذیرد [25] و برای اعتبارسنجی بررسی داده‌ها از جدول تست KMO استفاده می‌شود (جدول 2). در واقع، این جدول جهت تأیید یا رد آنالیز فاکتوری کاربرد دارد. مقادیر KMO بالاتر از 0/9 بیانگر این است که انجام آنالیز فاکتوری از اعتبار بالایی برخوردار است. به همین ترتیب مقادیر 0/8 از اعتبار بالا، 0/7 متعادل، 0/6 متوسط، مقادیر 0/5 از اعتبار ناچیز و مقادیر کمتر از 0/5 فاقد اعتبار جهت انجام آنالیز فاکتوری است. با توجه به جدول 3 نتایج بدست آمده برای داده‌های منطقه مورد مطالعه کمی بیش از 0/7 بوده که از اعتبار متعادلی برخوردار است.



جدول ۱- پارامترهای آماری محاسبه شده برای عناصر طلا، مس، مولیبدن، سرب و روی با استفاده از داده‌های نرمال شده

Statistics					
	NAu	NCu	NMo	NPb	NZn
Mean	0.71	3.64	0.46	3.81	4.42
Median	0.64	3.65	0.44	3.78	4.39
Mode	0.47	3.50 <sup>a</sup>	0.09	3.59	4.34
Skewness	0.35	-0.141	0.025	0.270	0.372
Std. Error of Skewness	0.10	0.09	0.097	0.09	0.09
Kurtosis	-0.572	0.28	-0.225	0.70	0.07
Std. Error of Kurtosis	0.199	0.193	0.193	0.19	0.197
Minimum	0.00	2.43	-0.99	2.88	3.57
Maximum	1.77	4.53	1.59	4.54	5.28
Sum	430.8	2319.2	294.20	2455.2	2723.00

عامل‌هایی که دارای مقادیر ویژه بزرگتر از ۱ باشند برای استنتاج‌های بعدی مورد قبول واقع می‌شوند که اولین عامل استخراجی دارای بیشترین واریانس کل است [۱۷]. بزرگی میزان اشتراک‌ها به تعداد عامل‌هایی بستگی دارد که حفظ می‌شوند به طوری که تعداد ۲ یا ۹ عامل حداقل تعدادی است که به علت سهولت نمایش نمودارهای پراکنشی، قابل استخراج است که باعث افزایش اشتراک‌ها و تفسیر سریع عامل‌ها و فرآیندهای مربوطه می‌گردد [۲۵]. پس از تعیین عامل‌ها، جفت داده‌های تحت تأثیر بار عاملی دوباره تولید می‌شوند و ماتریس همبستگی داده‌های دوباره تولید شده و ماتریس همبستگی بین متغیرهایی که به وسیله عامل‌های تعیین شده برآورد نمی‌شوند را به وجود می‌آورند [۲۵]. به منظور یافتن موقعیت‌های جدیدتر و بهتر می‌توان به وسیله چرخش (Kaiers varimax) از نوع ساختار ساده متعامد برای حرکت محورهای عاملی به موقعیت‌های جدید استفاده کرد. این چرخش، موقعیت متغیرها را نسبت به همدیگر تغییر نداده و فقط رابطه آنها نسبت به محور عاملی را تغییر می‌دهد [۲۵]. نتیجه این عمل، حاصل شدن وزن‌های عاملی بالاتر (نزدیک ۱) برای متغیرهای مرتبط با آن عامل و نیز وزن‌های عاملی پایین (نزدیک ۳) برای متغیرهای باقیمانده می‌باشد [۱۷]. پس از استخراج عامل‌های اصلی مؤثر، تفسیر عامل‌های اساسی مؤثر بر ژئوشیمی منطقه به وسیله پارامترهای مؤثر در هر عامل صورت می‌پذیرد. جهت تجزیه به عوامل در این پژوهش، ابتدا داده‌های مورد استفاده استاندارد و سپس عوامل از آنها استخراج گردید (جدول ۴) و با توجه به شکل ۵، چهار عامل از دوازده عامل که مقادیر بزرگتر از یک دارند به عنوان عامل اصلی شناسایی شدند. جدول ۳ درصد واریانس و واریانس تجمعی را نشان می‌دهد که چهار عامل اول به ترتیب درصد واریانس‌های ۳۰/۵، ۱۳/۵، ۹/۸ و ۸/۸، ۶۲ درصد از تغییرات را نشان می‌دهند. درصد واریانس هر یک از مشخصه‌ها نشان از اهمیت هر عامل در ژئوشیمی منطقه دارد.

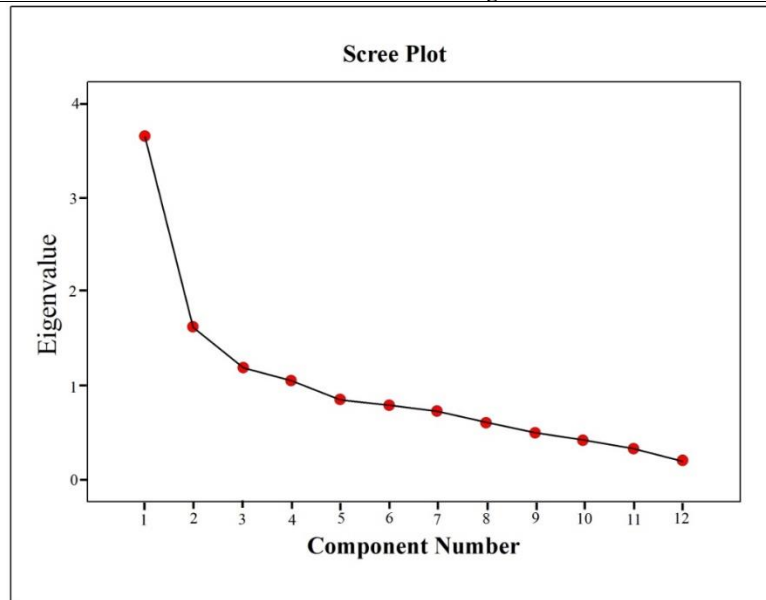


شکل ۴- نمودار توزیع فراوانی داده‌های نرمال شده برای پنج عنصر طلا، مس و مولیبدن



جدول ۲ - جدول تست KMO - آنالیز فاکتوری

KMO and Bartlett's Test		
Kaiser-Meyer-Olkin Measure of Sampling Adequacy.	0.703	
Approx. Chi-Square	2.216E3	
Bartlett's Test of Sphericity	df	66
	Sig.	.000



شکل ۵- نمودار Scree Plot - آنالیز فاکتوری.

### نتایج و بحث:

#### نتایج حاصل از داده‌های آنالیز فاکتوری

بر اساس داده‌های آنالیز فاکتوری (جدول ۴) و واریانس پوشش‌دهنده هر فاکتور (جدول ۳) و بررسی پارائنز و ویژگی‌های ژئوشیمیایی عناصر تشکیل‌دهنده هر فاکتور، چهار فاکتور (عامل) موثر در منطقه مورد مطالعه بدست آمده است که در آن فاکتور یک متشکل از عناصر جیوه، کبالت و روی بوده و واریانس پوشش‌دهنده آن ۳۰/۵ درصد و نتایج آنالیز فاکتوری به ترتیب شامل ۰/۸۳، ۰/۷۰ و ۰/۶۱ است که با توجه به شکل ۶- الف، بیشترین غلظت در شمال و نیمه غربی بخش مرکزی محدوده مورد مطالعه حاصل شده است. فاکتور دوم متشکل از عناصر سرب، نقره، آرسنیک، مس و تا حدودی طلا است. واریانس پوشش‌دهنده آن ۱۳/۵ بوده و نتایج آنالیز فاکتوری این عناصر به ترتیب شامل ۰/۴۷، ۰/۷۵، ۰/۶۴، ۰/۵۰ و ۰/۵۱ است. بخشی از آنومالی عناصر مورد نظر در این فاکتور قرار دارند به شکلی که می‌توان گفت یکی از فاکتورهای اصلی آنومالی است. با توجه به شکل ۶- ب، آنومالی این فاکتور در نیمه شمالی و به طور پراکنده در نیمه جنوبی محدوده قرار دارد. فاکتور سه متشکل از عناصر بیسموت و آنتیموان بوده و واریانس پوشش‌دهنده آن ۹/۸ می‌باشد. نتایج آنالیز فاکتوری برای این دو عنصر به ترتیب شامل ۰/۸۸ و ۰/۸۴ بوده و با توجه به شکل ۶- پ، بیشترین اثر آنومالی این فاکتور در بخش جنوبی مرکزی محدوده، خصوصاً نیمه غربی بخش مرکزی مشاهده می‌شود. در نهایت فاکتور چهار شامل عناصر مولیبدن، گوگرد و تا حدودی طلا بوده و واریانس پوشش‌دهنده آن ۸/۸ می‌باشد. این فاکتور کمترین تأثیر را در پراکندگی آنومالی در این محدوده دارد. نتایج آنالیز فاکتوری برای این عناصر به ترتیب شامل ۰/۷۹، ۰/۷۷ و ۰/۵۱ بوده و با توجه به شکل ۶- ت، بیشترین گسترش آن در نیمه شمالی محدوده بوده و در بخش جنوبی نیز، با وسعت کم دیده می‌شود.





جدول ۳ پارامترهای آماری فاکتورها همراه با واریانس تجمعی آنها

Component	Total Variance Explained								
	Initial Eigenvalues			Extraction Sums of Squared Loadings			Rotation Sums of Squared Loadings		
	Total	% of Variance	Cumulative %	Total	% of Variance	Cumulative %	Total	% of Variance	Cumulative %
1	3.662	30.520	30.520	3.662	30.520	30.520	2.069	17.240	17.240
2	1.627	13.562	44.082	1.627	13.562	44.082	1.963	16.358	33.598
3	1.187	9.891	53.973	1.187	9.891	53.973	1.892	15.766	49.364
4	1.058	8.820	62.792	1.058	8.820	62.792	1.611	13.428	62.792

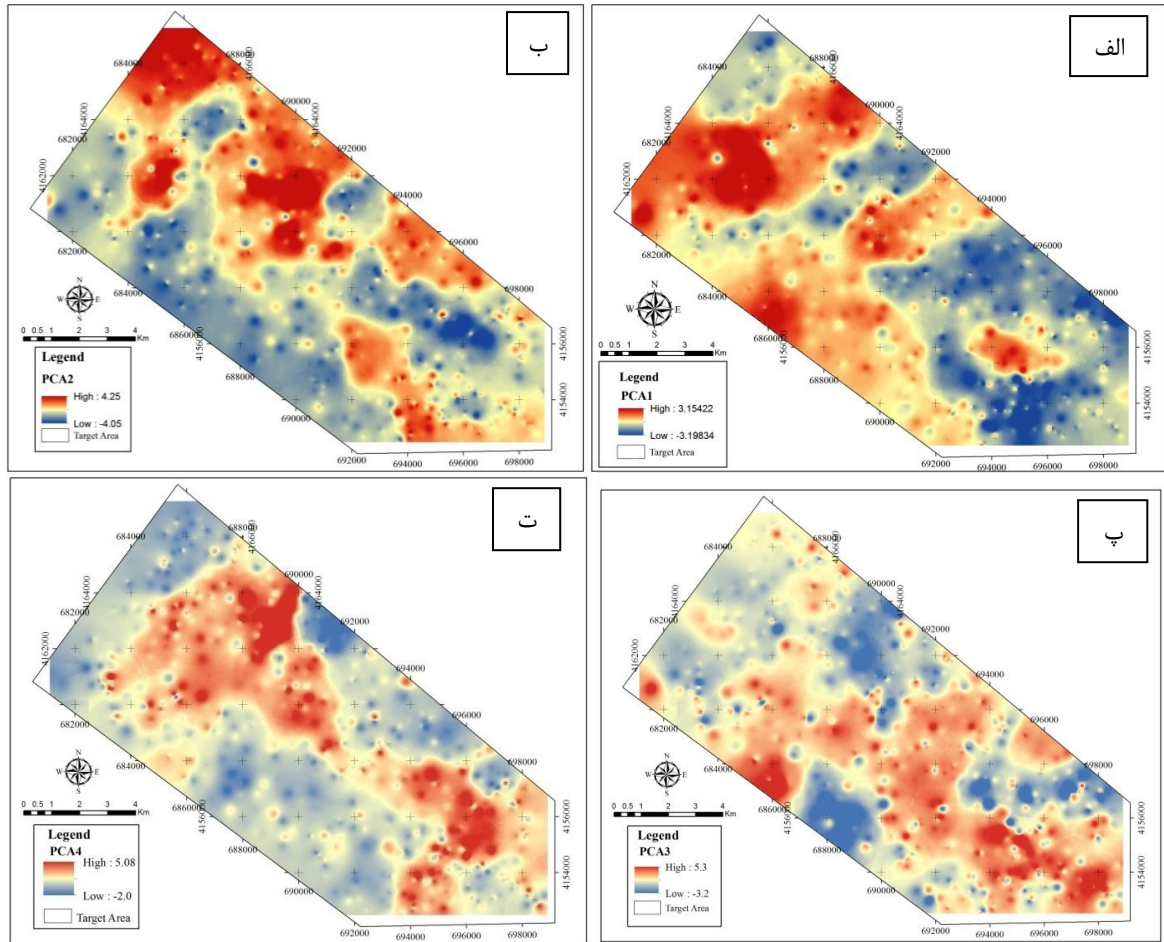
Extraction Method: Principal Component Analysis.

جدول ۵ - نتایج آنالیز فاکتوری جهت مشخص کردن عناصر مربوط به هر یک از فاکتورها

	Rotated Component Matrix <sup>a</sup>			
	Component			
	1	2	3	4
lnHg	0.839	-0.058	0.019	-0.046
lnZn	0.703	0.404	0.054	0.270
lnCo	0.614	0.155	0.457	-0.034
lnPb	0.552	0.472	0.132	0.258
lnAg	-0.033	0.753	0.025	-0.097
lnAs	0.173	0.641	0.177	0.074
lnAu	0.104	0.518	-0.145	0.516
lnCu	0.348	0.505	0.216	0.101
lnBi	0.106	0.067	0.884	-0.010
lnSb	0.097	0.131	0.845	0.066
lnS	0.053	-0.100	-0.095	0.773
lnMo	0.043	0.138	0.0242	0.759

Extraction Method: Principal Component Analysis.

Rotation Method: Varimax with Kaiser Normalization.



شکل ۶- نقشه‌های آنالیز فاکتوری برای عامل‌های الف (PCA1)، ب (PCA2)، پ (PCA3) و ت (PCA4)

### نتیجه گیری:

در این پژوهش از دو روش آنالیز فاکتوری و مدل فرکتالی عیار- مساحت جهت جداسازی آنومالی‌های زمین‌شیمیایی از حد زمینه و زون- های کانی‌زایی در پهنه مورد مطالعه به عنوان ابزاری ساده و مفید استفاده گردید. نتایج حاصل از داده‌های آنالیز فاکتوری نشان‌دهنده تأثیر ۴ فاکتور موثر به ترتیب با واریانس پوشش دهنده ۳۰.۵، ۱۳.۵، ۹.۸ و ۸.۸ می‌باشد. عناصر جیوه، کبالت و روی در فاکتور اول از بیشترین تمرکز برخوردار بوده و بیشترین غلظت آن نیز در شمال و نیمه غربی بخش مرکزی محدوده مطالعاتی حاصل شده است. فاکتور دوم با عناصر سرب، نقره، آرسنیک، مس و تا حدودی طلا جز فاکتورهای مهم و تأثیر گذار بر روی کانی‌زایی فلزی منطقه بوده و بیشترین غلظت آن نیز در نیمه شمالی و به طور پراکنده در نیمه جنوبی محدوده قرا گرفته است. فاکتور سوم شامل عناصر بیسموت و آنتیموان بوده و بیشترین تمرکز غلظت این فاکتور در بخش جنوبی و مرکزی است. فاکتور چهارم نیز شامل عناصر مولیبدن، گوگرد و تا حدودی طلا بوده که بیشترین غلظت آن در بخش شمالی محدوده است.



## References

- [1] Zuo, R. and Wang, J., 2016. Fractal/multifractal modeling of geochemical data: a review. *Journal of Geochemical Exploration*, 164, pp.33-41.
- [2] Cheng, Q., Agterberg, F.P., Ballantyne, S.B (1994) The separation of geochemical anomalies from background by fractal methods. *Journal of Geochemical Exploration*, 51:109–130.
- [3] Davis John.C, *Statistics and Data Analysis in Geology*, John Wiley and Sons Inc., New York (2002).
- [4] Parsa, M., Maghsoudi, A. and Ghezelbash, R., 2016. Decomposition of anomaly patterns of multi-element geochemical signatures in Ahar area, NW Iran: a comparison of U-spatial statistics and fractal models. *Arabian Journal of Geosciences*, 9(4), pp.1-16.
- [5] Alavi, M., 1994. Tectonics of the Zagros orogenic belt of Iran: new data and interpretations. *Tectonophysics* 229 (3), 211–238.
- [6] Mohajjel, M., Fergusson, C.L. and Sahandi, M.R. (2003) Cretaceous-Tertiary Convergence and Continental Collision, Sanandaj-Sirjan Zone, Western Iran. *Journal of Asian Earth Sciences*, 21, 397-412.
- [7] Mohajjel, M. & Fergusson, C. L. 2000. Dextral transpression in Late Cretaceous continental collision, Sanandaj-Sirjan zone, western Iran. *Journal of Structural Geology*, volume 22, 1125 – 1139.
- [8] Helvoort, P. J., Filzmoser, P. & Gaans, P. F. M., 2005- Sequential Factor Analysis as a new approach to multivariate analysis of heterogeneous geochemical datasets: An application to a bulk chemical characterization of fluvial deposits (Rhine–Meuse delta, The Netherlands), *Applied Geochemistry*, 20, 2233–2251.
- [9] Sun, X., Deng, J., Gong, Q., Wang, Q., Yang, L. & Zhao, Z., 2009- Kohonen neural network and factor analysis based approach to geochemical data pattern recognition, *Journal of Geochemical Exploration*, 103, 6–16.
- [10] Borovec, Z. (1996). Evaluation of the concentrations of trace elements in stream sediments by factor and cluster analysis and the sequential extraction procedure. *Science of the Total Environment*, 177(1), 237-250.
- [11] Reimann, C., Filzmoser, P., & Garrett, R. G. (2002). Factor analysis applied to regional geochemical data: problems and possibilities. *Applied Geochemistry*, 17(3), 185-206.
- [12] Kumru, M. N., & Bakac, M. 2003. R-mode factor analysis applied to the distribution of elements in soils from the Aydin basin, Turkey. *Journal of Geochemical Exploration*, 77(2), 81-91.
- [13] Reimann, C. & Filzmoser, P., 2000- Normal and lognormal data distribution in geochemistry: dead of a myth. *Consequences of geochemical and environmental data. Environ. Geol.* 39, 1001–1014.
- [14] Filzmoser, P., Hron, K., & Reimann, C. (2009a). Principal component analysis for compositional data with outliers. *Environmetrics*, 20(6), 621-632.
- [15] Carranza, E. J. (2011). From predictive mapping of mineral prospectivity to quantitative estimation of number of undiscovered prospects. *Resource Geology*, 61(1), 30-51.
- [16] Khan, T. A. (2011). Multivariate analysis of hydrochemical data of the groundwater in parts of Karwan–Sengar sub-basin, Central Ganga basin, India. *Global Nest J*, 13(3), 229-236.
- [17] Dragon, K. (2006). Application of factor analysis to study contamination of a semi-confined aquifer (Wielkopolska Buried Valley aquifer, Poland). *Journal of hydrology*, 331(1), 272-279.
- [18] 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.
- [19] Aris, A. Z., Abdullah, M. H., Ahmed, A., & Woong, K. K. (2007). Controlling factors of groundwater hydrochemistry in a small island's aquifer. *International Journal of Environmental Science & Technology*, 4(4), 441-450.



- [20] Suk, H., & Lee, K. K. (1999). Characterization of a ground water hydrochemical system through multivariate analysis: clustering into ground water zones. *Groundwater*, 37(3), 358-366.
- [21] Bu, H., Tan, X., Li, S., & Zhang, Q. (2010). Temporal and spatial variations of water quality in the Jinshui River of the South Qinling Mts., China. *Ecotoxicology and Environmental Safety*, 73(5), 907-913.
- [22] Papatheodorou, G., Demopoulou, G., & Lambrakis, N. (2006). A long-term study of temporal hydrochemical data in a shallow lake using multivariate statistical techniques. *Ecological Modelling*, 193(3), 759-776.
- [23] Yidana, S. M., Banoeng-Yakubo, B., & Sakyi, P. A. (2012). Identifying key processes in the hydrochemistry of a basin through the combined use of factor and regression models. *Journal of earth system science*, 121(2), 491-507.
- [24] Zhang, B., Song, X., Zhang, Y., Han, D., Tang, C., Yu, Y., & Ma, Y. (2012). Hydrochemical characteristics and water quality assessment of surface water and groundwater in Songnen plain, Northeast China. *water research*, 46(8), 2737-2748.
- [25] Davis, R. (1986). Concluding Address. In: THORNTON, I. & HOWARTH, R.J. (eds) *Applied Geochemistry in the 1980s*. Graham & Trotman, London, 346-347.