

بررسی ژئوشیمیایی توزیع عناصر نادر خاکی و سایر عناصر استراتژیک در رسوبات آبراهه‌ای برگه ۱:۱۰۰۰۰۰ خوی آذربایجان غربی براساس آنالیز حوضه‌های آبریز و تحلیل مؤلفه‌های اصلی

علی پاسیار^۱، امیرحسین کوهساری^{۲*}، فرهاد محمدتراب^۳

۱- دانشجوی دکتری، دانشکده مهندسی معدن و متالورژی، دانشگاه یزد

۲- دانشیار، دانشکده مهندسی معدن و متالورژی، دانشگاه یزد

۳- دانشیار، دانشکده مهندسی معدن و متالورژی، دانشگاه یزد

(دریافت: آبان ۱۳۹۴، پذیرش: آذر ۱۳۹۶)

چکیده

روش‌های تحلیل مؤلفه‌های اصلی و آنالیز حوضه‌های آبریز در بررسی داده‌های ژئوشیمیایی رسوبات آبراهه‌ای برای مشخص کردن مناطق دارای پتانسیل معدنی از اهمیت بالایی برخوردار است و می‌تواند سهم ویژه‌ای در برنامه‌ریزی‌های پی‌جویی و مراحل بعدی اکتشاف داشته باشد. در این مطالعه داده‌های حاصل از برداشت ۸۴۳ نمونه رسوبات آبراهه‌ای در برگه ۱:۱۰۰۰۰۰ خوی واقع در استان آذربایجان غربی، به وسیله این روش‌ها مورد بررسی قرار گرفت. ابتدا با استفاده از روش تحلیل مؤلفه‌های اصلی، ابعاد متغیرها که همان عناصر نادر خاکی (*Ce, Eu, Dy, La, Nd, Sc, Sm, Y* و *Yb*) به همراه عناصر مس، سرب، روی، کروم، طلا و نقره هستند، کاسته و مؤلفه‌های اصلی آنها انتخاب شدند و ارتباط هر متغیر با فاکتورهای به دست آمده مشخص گردید. سپس با استفاده از روش آنالیز حوضه‌های آبریز که از سطح واقعی حوضه آبریز و واحدهای زمین‌شناسی و به کار بردن لیتولوژی‌های بالا دستی در روابط مربوطه استفاده شده است، مقادیر زمینه عناصر محاسبه و جداسازی بی‌هنجاری‌های محلی صورت گرفت. نتایج به صورت نقشه‌های پتانسیل برای این عناصر به صورت داده‌های خام و داده‌های حاصل از روش آنالیز حوضه‌های آبریز بر روی نتایج به دست آمده از کریجینگ معمولی مؤلفه‌های اول و دوم روش تحلیل مؤلفه‌های اصلی، ارائه گردید. علاوه بر این که مشخص شد روش آنالیز حوضه‌های آبریز توانایی تفکیک بهتر بی‌هنجاری‌های محلی از زمینه را دارا هستند، این دو روش ذکر شده نیز به طور محسوسی یکدیگر را مورد تأیید قرار می‌دهند.

کلید واژه‌ها

ژئوشیمی، عناصر نادر خاکی، حوضه آبریز، آنالیز مؤلفه‌های اصلی، خوی

* عهده دار مکاتبات: kohsary@yazd.ac.ir

۱- مقدمه

به کار گرفتند. به این صورت که از مساحت واقعی در روابط محاسبه مقدار زمینه برای هر نمونه در حوضه آبریز استفاده نمودند [۱۵]. در این پژوهش داده‌های حاصل از برداشت ۸۴۳ نمونه رسوبات آبراهه‌ای در برکه ۱:۱۰۰۰۰۰ خوی واقع در استان آذربایجان غربی، بوسیله روش‌های تحلیل مؤلفه‌های اصلی و آنالیز حوضه‌های آبریز مورد بررسی قرار می‌گیرند. ابتدا با استفاده از روش تحلیل مؤلفه‌های اصلی، ابعاد متغیرها که همان عناصر نادر خاکی (Ce, Eu, Dy, La, Nd, Sc, Sm, Y, Yb) به همراه عناصر مس، سرب، روی، کروم، طلا و نقره هستند، کاسته و مؤلفه‌های اصلی آنها انتخاب می‌شوند و ارتباط هر متغیر با فاکتورهای بدست آمده مشخص گردید. سپس با استفاده از روش آنالیز حوضه‌های آبریز که از سطح واقعی حوضه آبریز و واحدهای زمین‌شناسی و به کار بردن لیتولوژی‌های بالا دستی در روابط مربوطه استفاده می‌شود، مقادیر زمینه عناصر محاسبه و جداسازی بی‌هنجاری‌های محلی صورت می‌گیرد. نتایج به صورت نقشه‌های پتانسیل برای این عناصر به صورت داده‌های خام و داده‌های حاصل از روش آنالیز حوضه‌های آبریز بر روی نتایج بدست آمده از کریجینگ معمولی مؤلفه‌های اول و دوم روش تحلیل مؤلفه‌های اصلی، ارائه خواهد شد.

۲- روش‌های PCA و CBA

تحلیل داده‌های چندگانه در پردازش داده‌ها و اطلاعات نقش اساسی دارد. مجموعه داده‌های چندگانه، حالت‌ها و متغیرهای زیادی را برای هر نمونه در بر دارد. اگر در هر مجموعه n متغیر وجود داشته باشد، هر متغیر می‌تواند دارای چند بعد باشد. با توجه به این که درک و فهم فضای چند بعدی دشوار است، روش تحلیل مؤلفه‌های اصلی ابعاد کلیه مشاهدات را بر اساس شاخص ترکیبی و دسته‌بندی مشاهدات مشابه کاهش می‌دهد. در این روش متغیرهای موجود در یک فضای چند حالتی همبسته به یک مجموعه از مؤلفه‌های غیر همبسته خلاصه می‌شوند که هر یک از آنها ترکیب خطی از متغیرهای اصلی هستند. مؤلفه‌های غیر همبسته به دست آمده، مؤلفه‌های اصلی (PC^k) نامیده می‌شوند که از بردارهای ویژه ماتریس کواریانس یا ماتریس همبستگی متغیرهای اصلی به دست می‌آیند. به طور کلی کاربرد عمده روش تحلیل مؤلفه‌های اصلی، عبارت است از

تاکنون روش‌ها و مطالعات زیادی برای تجزیه و تحلیل داده‌ها و تعیین آنومالی‌های ژئوشیمیایی در نمونه‌های برداشت شده از رسوبات آبراهه‌ای گسترش یافته است [۱-۸]. در این پژوهش با مقایسه دو روش تحلیل مؤلفه‌های اصلی (PCA^1) و آنالیز حوضه‌های آبریز (CBA^2)، به بررسی توزیع عناصر نادر خاکی (Ce, Eu, Dy, La, Nd, Sc, Sm, Y, Yb) و شناسایی آنومالی‌ها پرداخته شده است.

مهمترین کاربرد تحلیل مؤلفه‌های اصلی، اندازه‌گیری و شناخت ساختارهای پیچیده، شاخص‌سازی، کاهش داده‌ها و حذف اثر سنگ شناسی است و به خصوص در شرایطی که ابعاد داده‌ها و ترکیب ساختار آنها مشخص نباشد، مفید خواهد بود. این روش اجازه می‌دهد که ابعاد داده‌های اولیه کاهش یابند و فاکتورها و متغیرهای جدیدی حاصل از یک ترکیب خطی از متغیرهای اصلی بدست آید [۹ و ۱۰]. ریس و همکاران در یک بررسی زمین آماری در سه منطقه از کشور پرتغال، به شناسایی آنومالی‌های طلا با استفاده از روش تحلیل مؤلفه‌های اصلی پرداختند و بوسیله روش تحلیل کریجینگ فاکتوری (FKA^3) ارتباط فضایی بین پارامترهای اصلی به دست آمده از روش PCA را تخمین زدند و نتایج با کانسارهای طلای موجود مورد ارزیابی قرار گرفت [۱۱]. همچنین تاوارس و همکاران نیز در منطقه Alentejo در کشور پرتغال، عناصر مختلف را بوسیله روش تحلیل مؤلفه‌های اصلی بررسی کردند. پس از ایجاد ماتریس همبستگی و شناسایی پارامترهای اصلی، اقدام به تخمین این پارامترها در سایر نقاط منطقه با روش‌های مختلف زمین آماری نمودند [۱۲]. در مورد روش آنالیز حوضه‌های آبریز می‌توان گفت در پهنه و گستره ایران به دلیل وجود دشت‌های وسیع آبرفتی و سیلابی، مخروط افکنه‌ها، سواحل گسترده، ماسه‌های بادی، حوضه‌های آبریز وسیع و... به وسیله تحلیل داده‌های ژئوشیمیایی می‌توان به منابع معدنی ارزشمندی در راستای توسعه پایدار دست یافت [۱۳]. رز و همکاران اولین بار در سال ۱۹۷۰ ارتباط مستقیم محتوای نمونه‌های برداشت شده با مساحت لیتولوژی‌های واقع در حوضه آبریز و رابطه معکوس آن با مساحت حوضه آبریز را اثبات نمودند [۱۴]. عبدالملکی و همکاران در طی مطالعه‌ای بر روی برکه ۱:۵۰۰۰۰ رودبار، تأثیر شیب را در محاسبه مساحت واقعی

کاهش تعداد متغیرها و یافتن ساختار ارتباطی بین متغیرها است.

در مورد روش آنالیز حوضه‌های آبریز و اساس این روش هاوکس رابطه (۱) را ارائه نمود [۱۶].

$$A_i Y_i = A_a Y_a + Y_i' (A_i - A_a) \quad (1)$$

در این رابطه A_i و Y_i به ترتیب مساحت حوضه آبریز و مقدار نمونه i ($i=1,2,\dots,n$) و A_a و Y_a مقدار مساحت و مقدار نمونه آنومال و Y_i' نیز مقدار زمینه عنصر در حوضه آبریز هستند. با توجه به واحدهای لیتولوژی موجود در حوضه‌های آبریز می‌توان مقدار زمینه محلی را برای هر نمونه محاسبه نمود [۱۷، ۱۸]. برای این کار، ابتدا باید میانگین وزنی تک عنصری در واحدهای لیتولوژی موجود در منطقه را طبق رابطه (۲) محاسبه نمود.

$$M_j = \frac{\sum_{i=1}^n Y_i X_{ij}}{\sum_{i=1}^n X_{ij}} \quad (2)$$

در این رابطه M_j میانگین وزنی یک عنصر در واحد لیتولوژی j ($j=1,2,\dots,m$) و X_{ij} مساحت واحد زمین‌شناسی j ام خواهد بود. پس از این مرحله، مقدار زمینه محلی هر عنصر طبق رابطه (۳) محاسبه می‌شود.

$$Y_i' = \frac{\sum_{j=1}^m M_j X_{ij}}{\sum_{i=1}^m X_{ij}} \quad (3)$$

در این پژوهش نیز علاوه بر تأثیر دادن فاکتور شیب در روابط فوق و به دست آوردن مساحت واقعی، فقط واحدهای لیتولوژی بالا دست هر نمونه از رسوبات آبراهه‌ای در محاسبه زمینه محلی استفاده شده است. بنابراین در مخرج رابطه (۳) مجموع مساحت‌های واحدهای زمین‌شناسی در هر حوضه برابر مساحت کل حوضه آبریز نخواهد بود [۱۳].

۳- موقعیت جغرافیایی و زمین‌شناسی برگه خوی

ورقه خوی که بخشی از شمال شرقی چهارگوشه ۱:۲۵۰۰۰۰ خوی را شامل می‌گردد، در محدوده طول جغرافیایی $45^{\circ}00' - 44^{\circ}30'$ شرقی و عرض جغرافیایی $39^{\circ}00' - 38^{\circ}30'$ شمالی در استان آذربایجان غربی جای دارد. شهرستان خوی در حاشیه جنوب شرقی منطقه قرار

گرفته و بزرگترین ناحیه مسکونی را تشکیل می‌دهد. این ناحیه از نظر آب و هوایی معمولاً دارای زمستان‌های سرد و نیمه‌خشک و تابستان‌های معتدل بوده و میانگین دمای هوا در خوی ۱۱/۸ درجه سانتی‌گراد و میانگین نوسان دمای سالانه آن بیش از ۲۵ درجه سانتی‌گراد است. بنابراین اغلب میانگین دما در ماه‌های زمستان به زیر صفر درجه می‌رسد. متوسط میزان بارندگی سالانه ۳۳۴ میلی‌متر و رطوبت نسبی حدود ۶۲ است. آب مورد لزوم کشاورزی منطقه از آب رودخانه‌ها، چشمه‌ها و یا آب‌های زیرزمینی تأمین می‌شود.

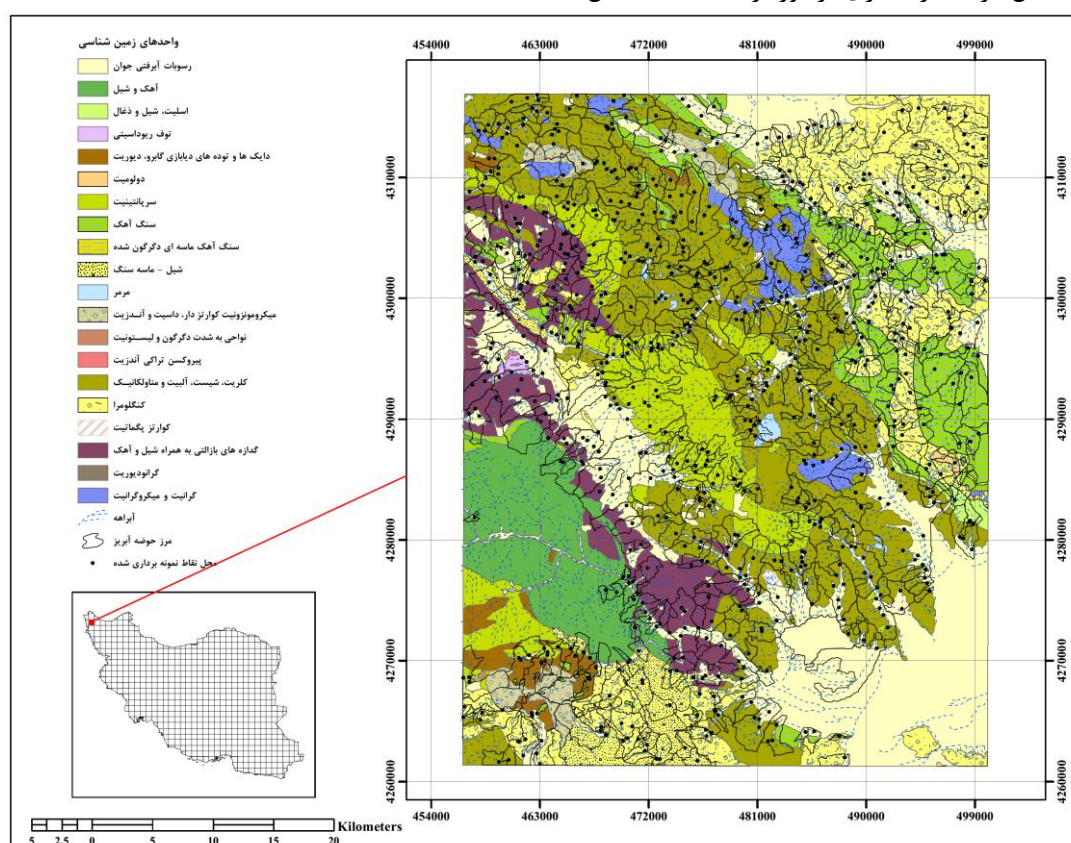
با توجه به گوناگونی در ترکیب سنگ‌ها و نهشته‌ها، نوع فرسایش و گسترش سنگ‌ها یکسان نبوده به طوری که بخش‌های کم ارتفاع را بیشتر سنگ‌های دگرسان شده فوق بازیک، کنگلومراهای جوان تشکیل داده و بلندی‌های منطقه را که بیشتر در قسمت غربی ورقه قرار دارند، سنگهای دیابازی، آتشفشانی می‌سازند، به طوری که دره‌های پدیدار شده در این نواحی معمولاً ژرف بوده و شیب توپوگرافی آنها از ۷۰ درجه نیز تجاوز می‌کند. کوه اورین واقع در جنوب غربی ناحیه با ارتفاع ۳۶۲۲ متر از سطح دریا بلندترین نقطه و پیرامون شهرستان خوی با ارتفاع ۱۰۸۰ متر پست‌ترین نقطه ورقه مورد مطالعه را می‌سازند. به جز واحدهای سنگی دگرگونه با ترکیب سنگ‌شناسی گنیس، میگماتیت و کوارتزیت که احتمالاً متعلق به پرکامبرین است و قدیمی‌ترین واحد محسوب می‌گردد، دیگر واحدهای سنگی نظیر آهک‌های نومولیت دار، شیل، جریان‌های گدازه بالشی، متاولکانیک‌ها و ... وجود دارد و عمده واحد زمین‌شناسی در این ورقه سنگ‌های دگرگونی، کلریت، شیست و گنیس هستند. شکل ۱ موقعیت حوضه‌های آبریز، محل نمونه‌های رسوبات آبراهه‌ای و نقشه زمین‌شناسی برگه خوی را نشان می‌دهد [۱۳].

۴- نتایج و بحث

یکی از مراحل مهم و اساسی هر فاز اکتشافی طراحی نقاط نمونه‌برداری است که بعنوان اساس و پایه کار بایستی بدون خطا و یا با کمترین خطا صورت گیرد. طراحی یاد شده با بررسی و شناخت حوضه‌های آبریز و شبکه آبراهه‌ها و با هدف نمونه برداری از رسوبات رودخانه‌ای توسط سازمان زمین‌شناسی انجام گرفته است. شبکه نمونه‌برداری این پروژه طوری صورت گرفته که ۸۴۳ نمونه ژئوشیمی از رسوبات

فعال بودن پدیده رقیق‌شدگی در حوضه‌های آبریز وسیع و کاهش شدت آنومالی‌های احتمالی در محل اتصال آبراهه‌ها به یکدیگر لازم است چنین حوضه‌های آبریزی به حوضه‌های کوچک‌تر تقسیم گردند. نمونه‌های ژئوشیمی از بستر آبراهه و با استفاده از جزء زیر الک ۸۰ مش برداشت شده است که خود در واقع نوعی آماده‌سازی مقدماتی نیز تلقی می‌شود. وزن نمونه برداشت شده حدود ۱۵۰ گرم است.

آبراهه‌ای، حداکثر سازگاری را با عواملی نظیر چینه‌شناسی، سنگ‌شناسی، تکتونیک و نتایج حاصل از مطالعات ژئوشیمیایی گذشته داشته باشد. در طراحی نمونه‌ها، چگالی نمونه‌برداری در نواحی اطراف گسل‌ها و تقاطع آنها، زون‌های دگرسان شده بعد از ماگمایی و مناطقی که در بخش فوقانی توده‌های نفوذی و غیر عمیق قرار دارند (این توده‌ها روی نقشه ژئوفیزیک هوایی مشخص می‌شوند) به علت پتانسیل معدنی محتمل، از مقدار بالاتری برخوردار هستند. به دلیل



شکل ۱: موقعیت منطقه مورد مطالعه و نقشه زمین‌شناسی برگه خوی به همراه حوضه‌های آبریز منطقه (پاسپار و تراب، ۱۳۹۳، نقشه اصلی زمین‌شناسی توسط سازمان زمین‌شناسی کشور تهیه شده است)

اکتشافی ورقه خوی، داده‌های خارج از حد تشخیص دستگاه مشخص و توسط روش‌های جایگزینی ساده و بیشترین درست نمائی کوهن جایگزین شدند [۱۳]. جدول ۱ اطلاعات آماری مربوط به عناصر نادر خاکی و سایر عناصر استراتژیک آنالیز شده را نشان می‌دهد.

برای استفاده از روش تحلیل مؤلفه‌های اصلی، ابتدا باید ماتریس همبستگی آنها تشکیل شود. این ماتریس که به وسیله روش پیرسون محاسبه شده، در جدول ۲ قابل مشاهده است.

نمونه‌ها پس از کنترل نهایی همراه با لیست مربوطه برای آنالیز به آزمایشگاه ارسال شدند. سیر آماده سازی نمونه‌ها با خردایش آغاز و با پودر کردن نمونه‌ها تا قطر ۲۰۰ مش ادامه یافت. نمونه‌ها پس از همگن‌سازی اولیه در حجمی در حدود ۲۵ سانتی‌متر مکعب تا حدود ۲۰۰ مش پودر شده و مابقی آنها به صورت بایگانی ذخیره شدند. روش آنالیز همه عناصر روش ICP-OES می‌باشد. در مواردی که سنجش‌های نسبی صورت می‌گیرد مانند جداسازی زمینه از آنومالی، وجود داده‌های خارج از حد تشخیص دستگاه (سنسورد) موجب ارزیابی‌های غیر دقیق می‌شود. در آنالیز محدوده

جدول ۱: اطلاعات آماری عناصر در ۸۴۳ نمونه از رسوبات آبراهه ای

متغیرها	مقدار کمینه (ppm)	مقدار بیشینه (ppm)	میانگین (ppm)	انحراف استاندارد
Au*	1.00	9.00	3.53	1.46
Ag	0.08	123.72	0.44	4.32
Ce	4.22	248.62	59.93	28.53
Cr	24.00	5951.00	483.09	500.38
Cu	7.66	140.03	46.45	21.61
Dy	0.85	13.06	4.93	1.37
Eu	0.18	5.25	1.39	0.58
La	1.51	136.60	26.78	16.04
Nd	-2.65	108.16	24.24	12.54
Pb	1.00	9.00	2.76	2.07
Sc	3.52	62.77	21.84	9.76
Sm	1.36	20.86	6.17	2.06
Zn	24.55	544.00	71.51	27.65
Yb	0.74	6.16	2.94	0.79
Y	3.15	91.20	24.64	8.42

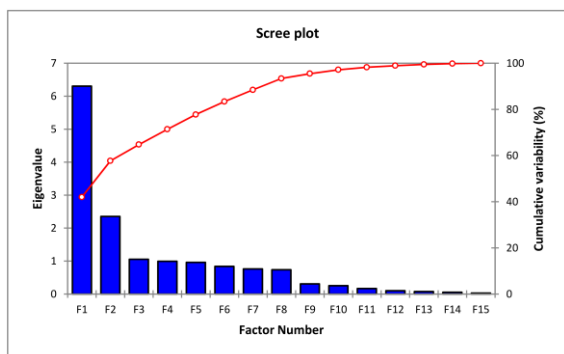
* عیار طلا بر حسب ppb

جدول ۲: ماتریس همبستگی متغیرها

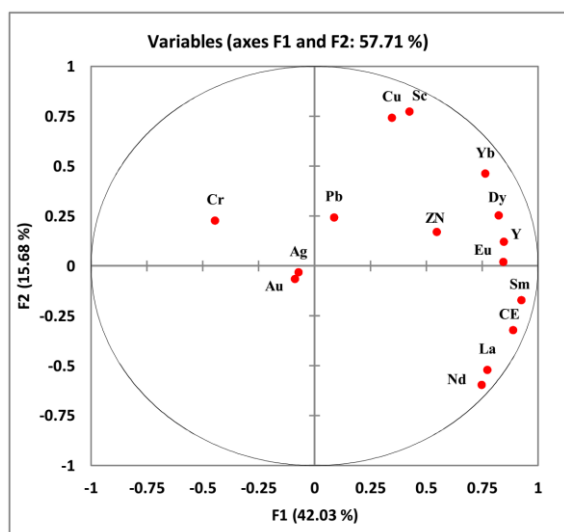
متغیرها	Au	Ag	Ce	Cr	Cu	Dy	Eu	La	Nd	Pb	Sc	Sm	Zn	Yb	Y
Au	1.00	0.02	-0.06	0.08	-0.05	-0.04	-0.03	-0.05	-0.02	-0.07	-0.09	-0.07	-0.04	-0.06	-0.11
Ag	-0.02	1.00	-0.05	0.05	-0.03	-0.05	-0.05	-0.03	-0.03	-0.01	-0.03	-0.04	-0.05	-0.06	-0.06
Ce	-0.06	0.05	1.00	-0.34	0.13	0.56	0.76	0.94	0.84	0.04	0.20	0.91	0.41	0.48	0.63
Cr	0.08	0.05	-0.34	1.00	-0.09	-0.32	-0.37	-0.33	-0.44	0.01	0.07	-0.34	-0.18	-0.24	-0.34
Cu	-0.05	0.03	0.13	-0.09	1.00	0.39	0.38	-0.07	-0.14	0.14	0.67	0.17	0.33	0.49	0.21
Dy	-0.04	0.05	0.56	-0.32	0.39	1.00	0.62	0.41	0.50	0.05	0.44	0.66	0.42	0.82	0.84
Eu	-0.03	0.05	0.76	-0.37	0.38	0.62	1.00	0.62	0.65	0.06	0.43	0.78	0.37	0.60	0.55
La	-0.05	0.03	0.94	-0.33	-0.07	0.41	0.62	1.00	0.85	-0.01	-0.02	0.84	0.31	0.32	0.53
Nd	-0.02	0.03	0.84	-0.44	-0.14	0.50	0.65	0.85	1.00	-0.05	-0.15	0.76	0.29	0.26	0.53
Pb	-0.07	0.01	0.04	0.01	0.14	0.05	0.06	-0.01	-0.05	1.00	0.18	0.08	0.04	0.10	0.08
Sc	-0.09	0.03	0.20	0.07	0.67	0.44	0.43	-0.02	-0.15	0.18	1.00	0.33	0.25	0.63	0.39
Sm	-0.07	0.04	0.91	-0.34	0.17	0.66	0.78	0.84	0.76	0.08	0.33	1.00	0.42	0.59	0.74
Zn	-0.04	0.05	0.41	-0.18	0.33	0.42	0.37	0.31	0.29	0.04	0.25	0.42	1.00	0.40	0.48
Yb	-0.06	0.06	0.48	-0.24	0.49	0.82	0.60	0.32	0.26	0.10	0.63	0.59	0.40	1.00	0.79
Y	-0.11	0.06	0.63	-0.34	0.21	0.84	0.55	0.53	0.53	0.08	0.39	0.74	0.48	0.79	1.00

همچنین شکل ۲ نمودار اسکری به دست آمده از این روش را نشان می‌دهد.

مقادیر بردار ویژه هر یک از مؤلفه‌ها و سهم واریانس و واریانس تجمعی آنها در جدول ۳ نشان داده شده است



شکل ۲: مقادیر ویژه مؤلفه‌های اصلی



شکل ۳: نمودار ارتباط بین متغیرها و مؤلفه‌های اصلی اول و دوم

نحوه و مبنای تفکیک حوضه آبریز بر اساس تراکم آبراهه‌ها و شیب توپوگرافی زمین است که برای تعیین حوضه‌های آبریز در این ورقه، از رقومی کردن نقشه‌های توپوگرافی ۱:۵۰۰۰۰ و به کمک نرم‌افزارهای ArcGIS و جعبه ابزار ArcHydro Tools استفاده شد. همچنین پس از ترسیم نقشه شیب بر اساس توپوگرافی منطقه، مقادیر مساحت واقعی در هر پیکسل طبق رابطه (۴) محاسبه گردید. در این رابطه A_r و A_h به ترتیب مقدار مساحت واقعی و افقی در هر پیکسل از تصویر و α نیز مقدار شیب بر حسب درجه خواهد بود.

$$A_r = \frac{A_h}{\cos(\alpha)} \quad (4)$$

با توجه به لیتولوژی منطقه، تعداد ۱۷ واحد زمین‌شناسی در محدوده‌ی نمونه‌های آبراهه‌ای برداشت شده، تفکیک شدند. مقدار میانگین وزنی هر عنصر در لیتولوژی خاص بر اساس رابطه (۲) محاسبه و مقادیر آن در جدول ۵ نمایش داده شده است.

جدول ۳: مقادیر بردار ویژه، واریانس و واریانس تجمعی هر یک از مؤلفه‌ها

مؤلفه‌ها	مقادیر ویژه	واریانس (%)	واریانس تجمعی (%)
F1	6.304	42.030	42.030
F2	2.353	15.683	57.713
F3	1.054	7.026	64.739
F4	0.993	6.622	71.361
F5	0.962	6.413	77.774
F6	0.840	5.603	83.376
F7	0.761	5.074	88.451
F8	0.737	4.914	93.364
F9	0.310	2.067	95.431
F10	0.255	1.697	97.128
F11	0.167	1.116	98.244
F12	0.102	0.679	98.922
F13	0.078	0.520	99.442
F14	0.054	0.360	99.803
F15	0.030	0.197	100.000

همانطور که مشاهده می‌شود، مقدار ویژه بردار اول ۶/۳، مقدار بردار ویژه دوم ۲/۳ و مقدار ویژه بردار سوم به بعد مساوی و کمتر از ۱ است. یعنی در ابتدا میزان کاهش اهمیت سریع بوده و سپس سرعت کاهش قطع می‌شود. نقطه شکستگی، حداکثر تعداد مؤلفه‌های اصلی را که باید در نظر گرفته شود را نشان می‌دهد. یک PC کمتر از عددی که شکستگی را نشان می‌دهد نیز می‌تواند مناسب باشد. بر این اساس در شکل ۲ می‌توان دو مؤلفه اول را انتخاب نمود.

جدول ۴ نیز ارتباط بین متغیرها و فاکتورهای به دست آمده را نشان می‌دهد و همچنین در شکل ۳ می‌توان ارتباط متغیرها را با مؤلفه‌های اول و دوم ملاحظه نمود. چنانچه در جدول ۴ مشاهده می‌شود، همه عناصر نادر خاکی به جز عنصر اسکاندیم که به مؤلفه دوم وابسته است، به مؤلفه اول وابسته هستند. این موضوع در شکل ۳ نیز قابل مشاهده است. بیشترین همبستگی به مؤلفه اول مربوط به عنصر ساماریوم است. سایر عناصر استراتژیک مثل نقره، مس، کروم، سرب و روی به ترتیب به مؤلفه‌های چهارم، دوم، ششم، پنجم و هشتم همبستگی مثبت و عنصر طلا نیز همبستگی منفی با مؤلفه سوم نشان داده اند.

جدول ۴: ارتباط بین متغیرها و فاکتورهای بدست آمده از روش PCA

	F1	F2	F3	F4	F5	F6	F7	F8
Au	-0.09	-0.07	-0.76	0.30	0.46	-0.32	-0.03	0.00
Ag	-0.07	-0.03	0.38	0.89	-0.15	-0.17	-0.01	0.02
Ce	0.89	-0.32	0.05	0.04	0.15	0.15	0.14	-0.04
Cr	-0.45	0.23	-0.05	0.23	0.38	0.68	-0.15	0.17
Cu	0.35	0.74	-0.05	0.02	-0.03	-0.09	0.43	-0.11
Dy	0.82	0.25	-0.11	0.02	-0.14	-0.09	-0.32	0.01
Eu	0.84	0.02	-0.03	0.05	0.09	0.02	0.26	-0.24
La	0.77	-0.52	0.06	0.04	0.15	0.16	0.10	-0.02
Nd	0.75	-0.59	0.00	0.01	0.03	-0.02	0.02	-0.02
Pb	0.09	0.24	0.54	-0.18	0.67	-0.36	-0.11	0.11
Sc	0.42	0.78	0.02	0.07	0.10	0.19	0.07	-0.19
Sm	0.92	-0.17	0.05	0.04	0.12	0.13	0.00	-0.05
Zn	0.55	0.17	-0.08	-0.01	-0.10	-0.03	0.29	0.75
Yb	0.76	0.46	-0.09	0.02	-0.10	-0.02	-0.29	-0.05
Y	0.85	0.12	-0.01	-0.02	-0.13	-0.03	-0.41	0.15

جدول ۵: مقادیر میانگین وزنی هر عنصر (بر حسب ppm) در هر یک از واحدهای زمین شناسی (Mj) در برگه ۱:۱۰۰۰۰۰ خوی

واحد زمین شناسی	Au*	Ag	Ce	cu	Dy	Eu	La	Nd	Pb	Sc	Sm	Zn	Yb	Y
رسوبات آبرفتی جوان	3.2	0.3	68.2	52.8	5.5	1.6	27.9	29.5	3.2	23.1	6.8	81.4	3.1	26.5
کنگلومرا	3.6	0.7	61.5	36.6	4.6	1.5	29.0	26.7	2.3	19.1	6.0	66.2	2.8	22.5
سنگ آهک	3.5	0.3	52.7	24.6	3.8	1.1	26.3	28.3	2.2	11.0	5.4	53.6	2.3	19.8
شیل - ماسه سنگ	3.2	0.5	80.4	57.8	5.1	1.9	32.9	23.8	4.1	41.4	7.8	80.5	3.5	28.2
گدازه های بازالتی به همراه شیل و آهک	3.1	0.3	57.0	63.4	4.7	1.3	27.0	19.0	2.1	25.7	6.1	80.7	2.9	22.9
دولومیت	3.0	0.1	65.3	24.0	2.3	1.0	29.7	30.6	1.4	8.1	5.8	46.3	1.4	14.4
اسلیت، شیل و ذغال	2.5	0.5	77.7	36.0	4.9	1.2	31.8	34.9	2.9	13.6	5.9	114.4	2.3	24.6
دایک ها و توده های دیابازی گابرو، دیوریت	3.2	0.2	65.5	43.7	4.1	1.3	29.5	20.8	4.0	27.3	6.8	69.7	2.8	22.4
آهک و شیل	2.5	0.4	53.2	78.0	5.9	1.8	16.2	15.0	4.2	36.1	6.5	76.8	3.8	27.5
سرپانتینیت	3.5	2.2	31.4	31.2	3.8	0.7	13.9	14.7	2.2	16.5	4.1	52.9	2.1	15.9
سنگ آهک ماسه ای دگرگون شده	3.1	0.2	46.2	42.9	5.4	1.4	18.6	24.6	2.2	21.3	5.6	61.6	2.9	25.7
کلریت، شیست، آلبیت و متاولکانیک	3.5	0.2	64.8	47.7	5.3	1.3	29.5	25.5	3.0	22.0	6.5	79.3	3.1	29.0
مرمر	3.3	0.3	43.1	46.3	5.2	1.3	16.2	21.8	2.0	22.4	5.8	68.7	2.9	26.1
گرانیت و میکروگرانیت	3.6	0.2	58.9	46.1	4.7	1.2	27.6	26.2	3.3	18.0	5.6	70.9	2.5	26.1
میکرومونزونیت کوارتز دار، داسیت و آندزیت	2.6	0.3	56.0	53.3	4.7	1.1	26.7	18.8	3.6	26.2	6.4	64.6	3.1	26.0
گرانودیوریت	3.0	0.1	73.7	34.8	5.0	1.6	33.4	35.8	1.5	14.0	6.9	64.5	2.6	25.1
توف ریوداسیتی	2.3	0.2	74.7	42.7	5.1	1.6	39.1	34.2	2.4	17.5	7.1	76.1	2.5	20.7

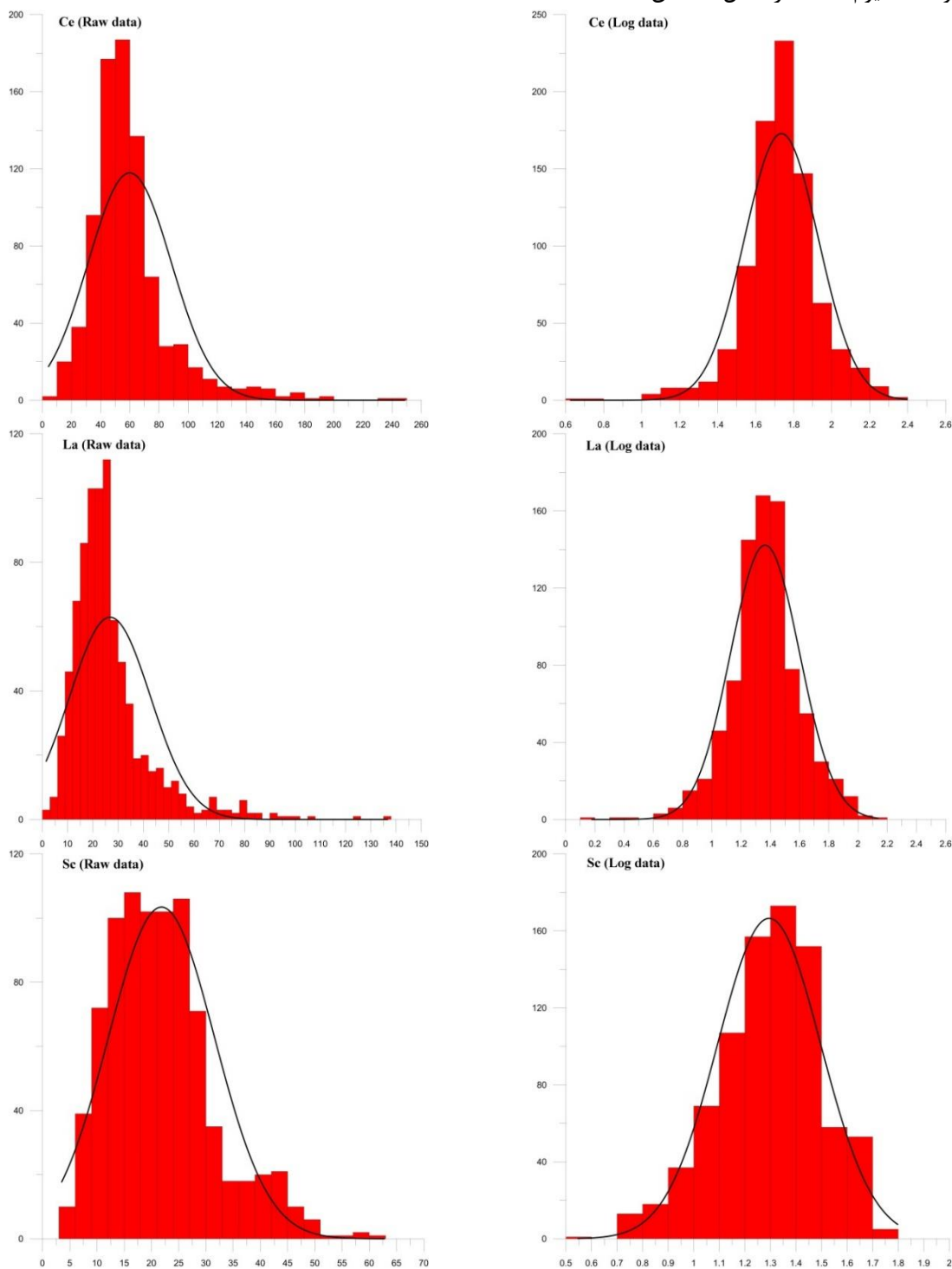
* عیار طلا بر حسب ppb

زمینه و تعداد کمی مقادیر آنومالی ممکن به طور معمول در اکتشافات ناحیه‌ای با برداشت رسوبات آبراهه‌ای مشاهده می‌شود که در آن وجود یک نمونه آنومال معرف وجود یک محدوده کانی سازی است [۱۹]. بر طبق تجزیه و تحلیل آماری در یک توزیع نرمال، ۹۵/۴۴ درصد داده‌ها، بین

بعد از مشخص کردن مقادیر میانگین وزنی هر عنصر، مقدار آنومالی محلی برای هر یک از نمونه‌های برداشت شده بر اساس رابطه (۳) محاسبه شد. برای جداسازی مقدار آنومالی از زمینه از برآورد حد آستانه بر اساس میانگین و انحراف معیار استفاده شده است. وجود تعداد زیادی مقادیر

باید توجه داشت که برخی مقادیر آنومالی محلی منفی بودند و برای اینکه بتوان توزیع لگاریتمی داده‌های را محاسبه نمود، کل مقادیر با عدد ثابتی جمع شدند و هیستوگرام مقادیر مثبت شده ترسیم شد و پس از محاسبه حد آستانه، مقدار ثابت از آن کاسته شد. نتایج حاصل از برآورد حدآستانه بر اساس میانگین و انحراف معیار در جدول ۶ آورده شده است.

$\bar{x} \pm 2S$ قرار می‌گیرد. بنابراین شرط این روش نرمال بودن توزیع داده‌ها می‌باشد. در این منطقه مقادیر خام اولیه و بازماند حاصل از نتایج آنالیز حوضه‌های آبریز از توزیع لگاریتمی تبعیت می‌کنند. به عنوان نمونه هیستوگرام توزیع داده‌های خام و لگاریتمی مربوط به عناصر سریم (Ce)، لانتان (La) و اسکاندیوم (Sc) در شکل ۴ نشان داده شده است.

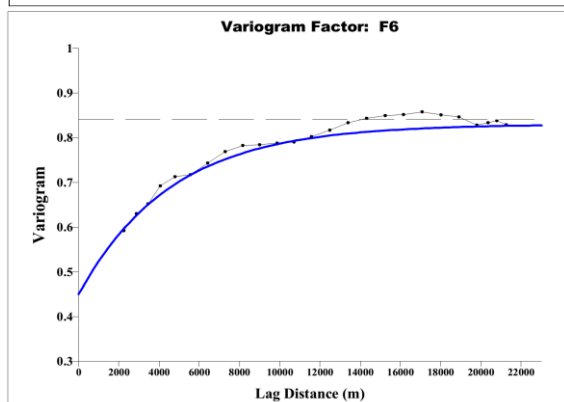
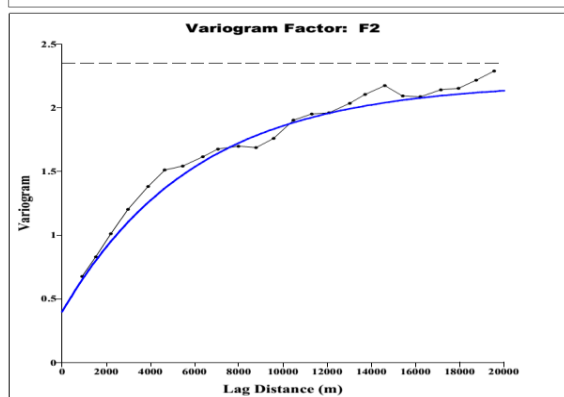
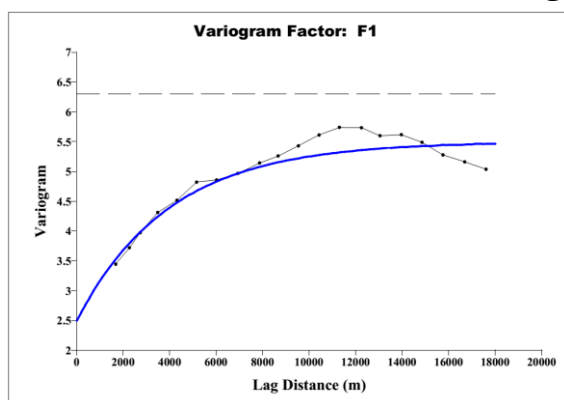


شکل ۴: هیستوگرام توزیع داده‌های خام و لگاریتمی مربوط به عناصر Ce، La و Sc

جدول ۶: مقادیر حد آستانه برای مقادیر خام اولیه و نتایج حاصل از آنالیز حوضه ای آبریز

نوع داده	مقادیر خام اولیه												
	Ce	Eu	Dy	La	Nd	Sc	Sm	Y	Yb	Cu	Cr	Pb	Zn
$\bar{x} \pm 2S$	133	3.1	8.6	68.7	63.7	50	11.2	47	5.2	111	211	7.3	125
نوع داده	نتایج حاصل از آنالیز حوضه ای آبریز												
	Ce	Eu	Dy	La	Nd	Sc	Sm	Y	Yb	Cu	Cr	Pb	Zn
$\bar{x} \pm 2S$	67.2	1.2	3.8	40.9	27.8	23.9	4.8	18	2	53	920	4.2	50

تفکیک آنومالی‌ها داشته و این روش‌ها یکدیگر را تأیید می‌نمایند.



شکل ۵: واریوگرام‌های مربوط به مؤلفه‌های ۱، ۲ و ۶ برای تخمین به روش کریجینگ معمولی

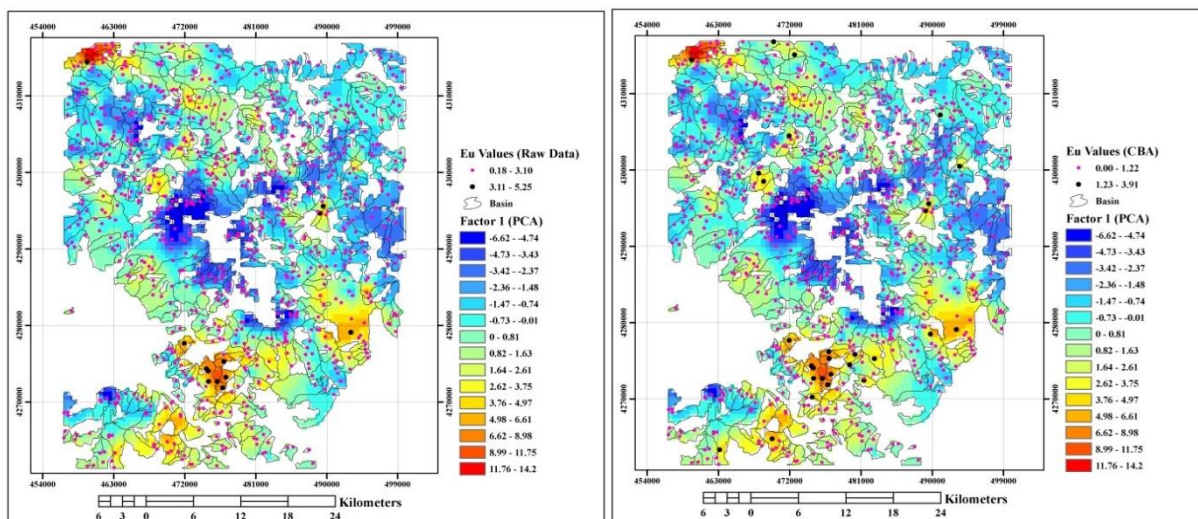
بر اساس نتایج بدست آمده از روش تحلیل مؤلفه‌های اصلی و محاسبه مؤلفه‌های اصلی اول و دوم برای هر یک از متغیرها، با استفاده از روش کریجینگ معمولی اقدام به تخمین این مؤلفه‌ها در سایر نقاط برگه ۱:۱۰۰۰۰۰۰ خوی شد. نتایج واریوگرافی مؤلفه‌های ۱، ۲ و ۶ در شکل ۵ نمایش داده شده است. همچنین با استفاده از روش آنالیز حوضه‌های آبریز و همچنین محاسبه حد آستانه، نقشه‌های جدایش آنومالی از زمینه مربوط به ۵ عنصر یوروپیم، ایتیریم، اسکاندیوم، مس و کروم ترسیم شدند.

شکل‌های ۶ و ۷ نقشه‌های نقاط آنومالی و زمینه حاصل از روش CBA و داده‌های خام مربوط به عناصر یوروپیم و ایتیریم که بر روی نقشه بدست آمده از کریجینگ معمولی مؤلفه اول قرار گرفته‌اند، را نشان می‌دهد. طبقه‌بندی رنگی مؤلفه‌ها در این نقشه‌ها بر اساس الگوریتم شکست طبیعی انجام گرفته است. انتخاب تعداد طبقات باید به درستی صورت گیرد. طبقات زیاد باعث پیچیدگی و سردرگمی و انتخاب طبقات کم به علت ساده‌سازی بیش از حد، سبب پنهان شدن جزئیات داده‌ها می‌شود. الگوریتم شکست طبیعی بر اساس گروه‌بندی طبیعی موجود در ذرات داده‌ها انجام می‌شود. نقاط شکستگی در بین دسته‌ها به گونه‌ای تعیین می‌شود که به بهترین وجه ممکن مقادیر مشابه به لحاظ طبیعت ذاتی در یک گروه با حداقل اختلاف بین داده‌ها در یک گروه جای داده می‌شوند و همچنین اختلاف بین طبقات در این الگوریتم حداکثر خواهد بود.

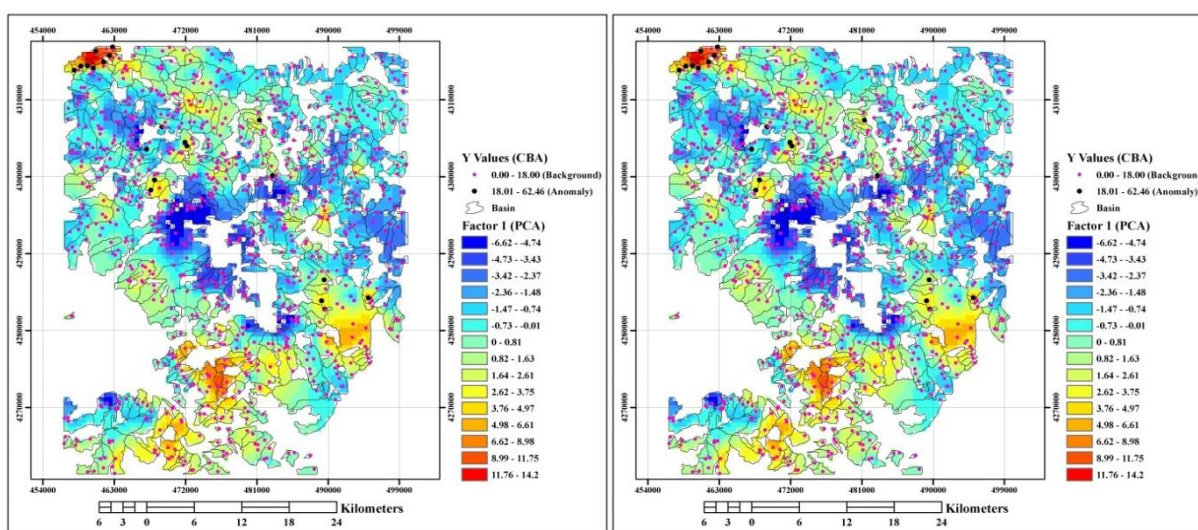
همانطور که در شکل‌های ۶ و ۷ مشاهده می‌گردد، طیف‌های رنگی متمایل به رنگ قرمز، وابستگی بیشتر به مؤلفه ۱ را نشان می‌دهد و نقاط آنومالی (نقاط سیاه رنگ) حاصل از روش CBA مربوط به این عناصر نسبت به مقادیر آنومالی جدا شده از داده‌های خام تطابق بهتری از لحاظ

بر روی نقشه بدست آمده از کریجینگ معمولی مؤلفه ششم را نشان می‌دهد. باید توجه داشت در شکل‌های ۶ تا ۱۰، در بقیه جاهایی که مقادیر تخمین زده شده مؤلفه‌ها زیادند، مربوط به سایر عناصر یا متغیرهای به کار برده شده در این مطالعه هستند.

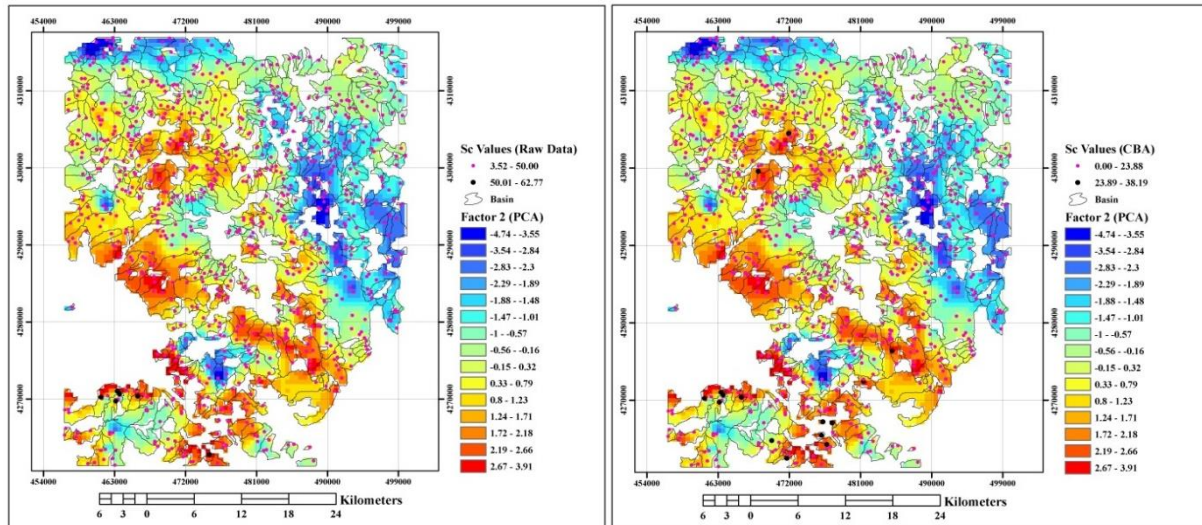
همانطور که قبلاً نیز به آن اشاره شد، عناصر اسکاندیوم و مس وابستگی بیشتری نسبت به مؤلفه ۲ در روش تحلیل مؤلفه‌های اصلی نشان داد. این مسئله به وضوح در شکل‌های ۸ و ۹ نیز مشاهده می‌گردد. شکل ۱۰ نیز نتایج این بررسی را در مورد عنصر کروم که بیشتر به مؤلفه ششم وابسته است،



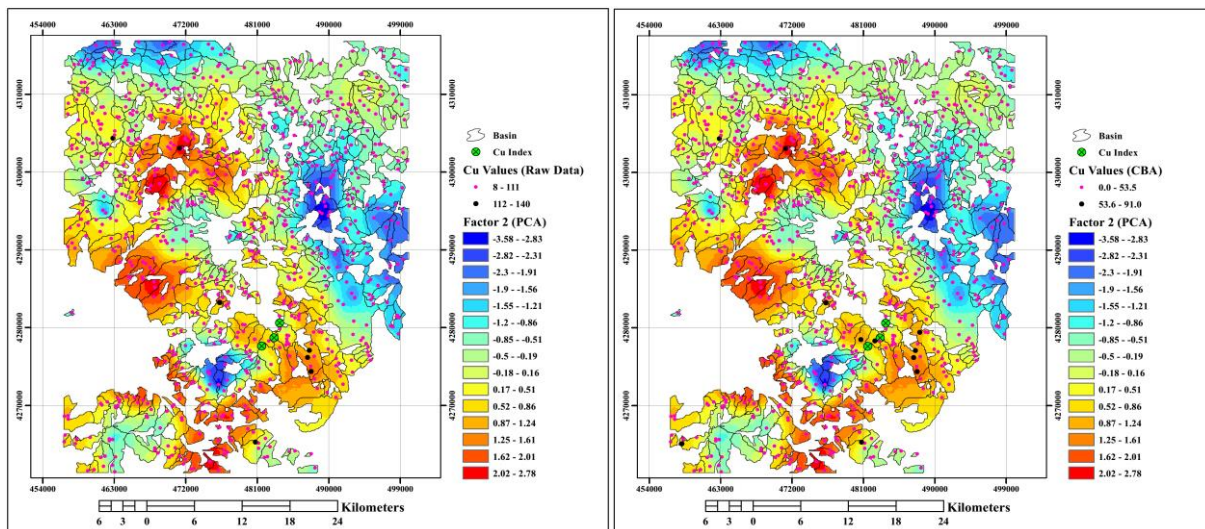
شکل ۶: نقشه‌های نقاط آنومالی (نقاط سیاه) و زمینه (نقاط صورتی) حاصل از روش CBA (سمت راست) و داده‌های خام (سمت چپ) مربوط به عنصر یوروپیم بر روی نقشه حاصل از کریجینگ معمولی مؤلفه اول (PCA)



شکل ۷: نقشه‌های نقاط آنومالی (نقاط سیاه) و زمینه (نقاط صورتی) حاصل از روش CBA (سمت راست) و داده‌های خام (سمت چپ) مربوط به عنصر ایتربیم بر روی نقشه حاصل از کریجینگ معمولی مؤلفه اول (PCA)



شکل ۸: نقشه‌های نقاط آنومالی (نقاط سیاه) و زمینه (نقاط صورتی) حاصل از روش CBA (سمت راست) و داده‌های خام (سمت چپ) مربوط به عنصر اسکاندیوم بر روی نقشه حاصل از کریجینگ معمولی مؤلفه دوم (PCA)



شکل ۹: نقشه‌های نقاط آنومالی (نقاط سیاه) و زمینه (نقاط صورتی) حاصل از روش CBA (سمت راست) و داده‌های خام (سمت چپ) مربوط به عنصر مس بر روی نقشه حاصل از کریجینگ معمولی مؤلفه دوم (PCA)

۵- نتیجه‌گیری

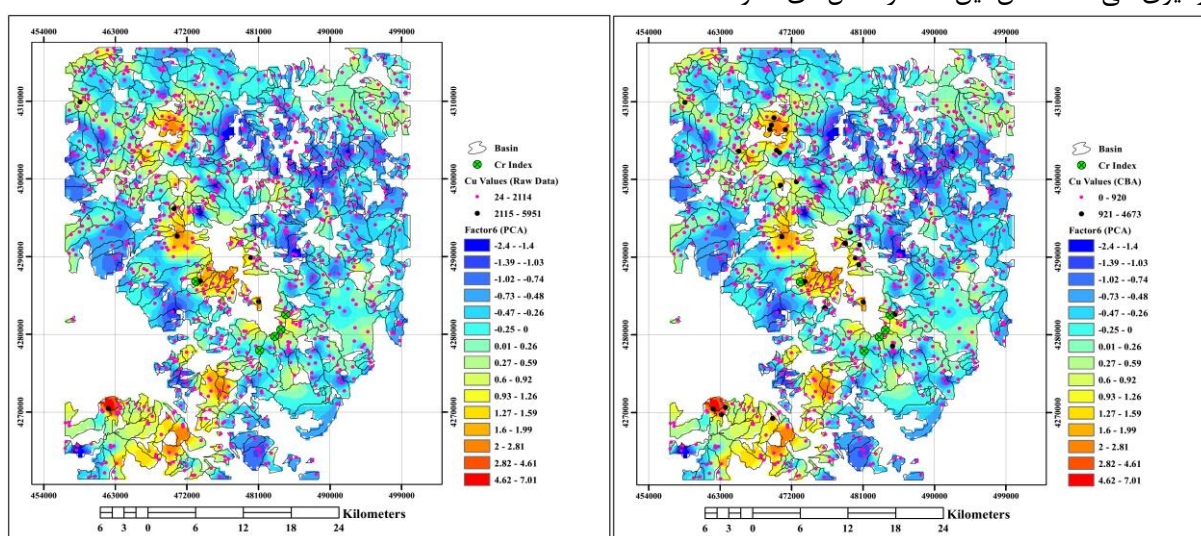
زمین آماری مؤلفه اول، مقادیر بی‌هنجار این مؤلفه و مناطق دارای پتانسیل عناصر نادر خاکی با طیف رنگی گرم و متمایل به قرمز در شکل‌های ۶ و ۷ مشخص گردید. این مناطق بی‌هنجار می‌تواند در اثر وجود واحدهایی همچون کلریت-شیست‌ها، آمفیبولیت‌ها و یا جریان گدازه‌های بازالتی در بالا دست به وجود آمده باشند. از درون‌یابی مؤلفه دوم که عناصر اسکاندیوم و مس که بیشترین همبستگی را نسبت به آن داشته‌اند (شکل‌های ۸ و ۹) می‌توان به این نتیجه رسید که وجود سنگ‌های اولترامافیکی مثل دونیت و هارزبورژیت و یا آمفیبولیت‌ها نقش مهمی را در ایجاد این مناطق بی‌هنجار ایفا می‌کنند. در مورد عنصر کروم و فاکتور ۶ هم به نظر

در این پژوهش تعداد ۸۴۳ نمونه رسوبات آبراهه‌ای مربوط به برگه ۱:۱۰۰۰۰۰ خوی واقع در استان آذربایجان غربی از لحاظ توزیع عناصر نادر خاکی مورد بررسی قرار گرفت. از روش تحلیل مؤلفه‌های اصلی برای شناخت ارتباط متغیرها استفاده شد و دو مؤلفه اول و دوم به عنوان مؤلفه‌های اصلی کانسار ساز برای عناصر نادر خاکی و مؤلفه‌های دوم تا هشتم برای سایر عناصر استراتژیک انتخاب شدند. همچنین برای جدایش بی‌هنجاری‌ها از مقدار زمینه از روش آنالیز حوضه‌های آبریز استفاده شد. با درون یابی

نتایج مربوط به عناصر مس و کروم را نشان می‌دهد، اندیس‌های معدنی موجود با دایر سبز رنگ مشخص شده‌اند و آنومالی‌های مشخص شده در روش آنالیز حوضه‌های آبریز تطابق بیشتری با اندیس‌های موجود در برگه خوی دارد. با توجه به حساسیت روش آنالیز حوضه‌های آبریز به جنس لیتولوژی‌های موجود در منطقه، اطلاع دقیق از مرز واحدهای زمین‌شناسی از اهمیت بالایی برخوردار بوده و بررسی این روش در مقیاس‌های بزرگتر می‌تواند نتایج بهتری را ارائه دهد.

می‌رسد وجود کمپلکس افیولیتی شامل واحدهایی مانند گابرو و جریان‌های گدازه‌های بازالتی در بالا دست در ایجاد این بی‌هنجاری مؤثر باشد.

در روش آنالیز حوضه‌های آبریز نیز نتایج نشان داد که تفکیک بی‌هنجاری‌های محلی باقی مانده حاصل از این روش نسبت به تفکیک داده‌های خام، انطباق بیشتری با نتایج روش تحلیل مؤلفه‌های اصلی خواهد داشت که این مسئله در ردیابی این عناصر استراتژیک در مطالعات آتی حائز اهمیت خواهد بود و از پنهان شدن بی‌هنجاری‌های احتمالی جلوگیری می‌کند. ضمن این که در شکل‌های ۹ و ۱۰ که



شکل ۱۰: نقشه‌های نقاط آنومالی (نقاط سیاه) و زمینه (نقاط صورتی) حاصل از روش CBA (سمت راست) و داده‌های خام (سمت چپ) مربوط به عنصر کروم بر روی نقشه حاصل از کریجینگ معمولی مؤلفه ششم (PCA)

Handbook of Exploration and Environmental Geochemistry, vol. 11. Elsevier, Amsterdam.

[4] Carranza. E.J.M.; 2010a; "Catchment basin modelling of stream sediment anomalies revisited: incorporation of EDA and fractal analysis", *Geochemistry, Exploration, Environment, Analysis* 10, 171–187.

[5] Carranza. E.J.M.; 2010b; "Mapping of anomalies in continuous and discrete fields of stream sediment geochemical landscapes", *Geochemistry, Exploration, Environment, Analysis* 10, 171–187.

[6] Carranza. E.J.M.; Hale. M.; 1997; "A catchment basin approach to the analysis of geochemical-geological data from Albay province, Philippines", *Journal of Geochemical Exploration* 60, 157–171.

[7] Óor. L.; Horváth. I.; Fügedi. U.; 1997; "Low-density geochemical mapping in Hungary", *Journal of Geochemical Exploration* 60, 55–66.

سپاسگزاری

از سازمان زمین‌شناسی کشور به دلیل در اختیار گذاشتن داده‌ها و اطلاعات لازم، تشکر و قدردانی می‌شود.

مراجع

[1] Bonham-Carter. G.F.; 1994; "Geographic Information Systems for Geoscientists: Modelling With GIS", Pergamon, Oxford.

[2] Carranza. E.J.M.; 2004a; "Usefulness of stream order to detect stream sediment geochemical anomalies", *Geochemistry: Exploration, Environment, Analysis* 4, 341–352.

[3] Carranza. E.J.M.; 2008; "Geochemical anomaly and mineral prospectivity mapping in GIS",

background values in stream sediment geochemistry”, *Economic Geology* 65(2): 156-165.

[15] Abdolmaleki. M.; Mokhtari. A.R.; Akbar. S., Alipour-Asll. M.; Carranza. E.J.M.; 2014; “Catchment basin analysis of stream sediment geochemical data: Incorporation of slope effect”, *Journal of Geochemical Exploration* 140, 96-103.

[16] Hawkes. H.E.; 1976; “The downstream dilution of stream sediment anomalies”, *Journal of Geochemical Exploration* 6(1-2): 345-358.

[17] Bonham-Carter. G.; Goodfellow. W.D.; 1984; “Autocorrelation structure of stream sediment geochemical data: interpretation of zinc and lead anomalies, Nahanni river area, Yukon Northwest Territories, Canada. In: G. Verly et al. (Eds.)”, *Geostatistics for Natural Resources Characterization, Part 2*, D. Reidel, Dordrecht, pp. 817-829.

[18] Bonham-Carter. G.F.; Goodfellow. W.D.; 1986; “Background corrections to stream geochemical data using digitized drainage and geological maps: application to Selwyn Basin, Yukon and Northwest Territories”, *Journal of Geochemical Exploration* 25(1-2): 139-155.

[19] Wellmer. F.W.; 1998; “Statistical Evaluations in Exploration for Mineral Deposits”, Springer New York, P.379.

[8] Spadoni. M.; Cavarretta. G.; Patera. A.; 2004; “Cartographic techniques for mapping the geochemical data of stream sediments: the sample catchment basin, approach”. *Environmental Geology* 45, 593-599.

[9] Jolliffe. I.T.; 1986; “Principal component analysis”, Springer-Verlag, New York.

[10] Boruvka. L.; Vacek. O.; Jehlicka. J.; 2005; “Principal component analysis as a tool to indicate the origin of potentially toxic elements in soils”, *Geoderma* 141 (3-4), 370-383.

[11] Reis. A.P.; Sousa. A.J.; Cardoso Fonseca. E.; 2003; “Application of geostatistical methods in gold geochemical anomalies identification (Motemor-o-Novo, Portugal)”, *Journal of Geochemical Exploration* 77 (1), 45-63.

[12] Tavares. M. T.; Sousa. A. J.; Abreu. M.M.; 2008; “Ordinary kriging and indicator kriging in the cartography of trace elements contamination in São Domingos mining site (Alentejo, Portugal)”, *Journal of Geochemical Exploration* 98, 43-56.

[13] Pasyar, A.; Mohammad Torab, F.; 2014; “Stream sediment geochemical anomaly separation on the basis of catchment basin analysis in the Khoy 1:100,000 geological sheet area, West Azerbaijan”, 33rd National Geosciences Symposium, In Persian.

[14] Rose. A.W.; Dahlberg. E.C.; Keith. M.L.; 1970; “Multiple regression technique for adjusting

³Factorial Kriging Analysis

⁴Principal Component

¹ Principal Component Analysis

²Catchment Basin Analysis