

تجزیه و تحلیل داده‌های ژئوشیمی اکتشافی در محدوده معدن سرب و روی ایرانکوه اصفهان با استفاده از روش‌های تحلیل اکتشافی داده‌ها (EDA) و هندسه فرکتال

سید حسین مجتهدزاده^{۱*}، مهدی بمانی^۲، سعیده ملک زاده^۳

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

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

۳- دانش‌آموخته کارشناسی ارشد، دانشکده مهندسی معدن و متالورژی، دانشگاه یزد

(دریافت: اسفند ۱۳۹۴، پذیرش: تیر ۱۳۹۶)

چکیده

معدن سرب و روی ایرانکوه در رشته‌کوهی به همین نام در ۲۰ کیلومتری جنوب غرب اصفهان واقع شده است. بخش‌های معدنی تپه سرخ، گوشفیل، خانه گرگی و ... در این منطقه شناسایی شده که جداگانه تعیین ذخیره شده و بعضاً مورد بهره‌برداری قرار گرفته است. این مطالعه به منظور شناسایی آنومالی‌ها و اندیس‌های سرب و روی در بین دو منطقه معدنی تپه سرخ و گوشفیل انجام گردیده است. در این مطالعه ۸۰۴ نمونه خاک به‌طور سیستماتیک در دو مرحله برداشت شده و نمونه‌ها پس از آماده‌سازی‌های لازم برای ۳۵ عنصر آنالیز شده‌اند. در این مطالعه از ۱۲ عنصر برای تجزیه و تحلیل استفاده شده است. برای شناسایی و تفکیک آنومالی‌ها در این مطالعه از سه روش آمار کلاسیک، هندسه فرکتال و EDA (تحلیل اکتشافی داده‌ها) استفاده شده است. قبل از انجام تجزیه و تحلیل اصلی با روش‌های فوق‌الذکر، ابتدا پردازش اولیه داده‌ها شامل اصلاح داده‌های سنسورد و جداسازی داده‌های خارج از رده انجام گردید. سپس نرمال بودن داده‌ها بررسی شد. داده‌های اولیه عناصر Mg ، Ca و K نرمال بودند ولی بقیه عناصر با تبدیل لگاریتمی ساده و یا سه پارامتری نرمال‌سازی شدند. روش آمار کلاسیک با توجه به پارامترهای آماری به دست آمده و فرمول‌های استاندارد، مقادیر آنومالی و زمینه در مورد هر عنصر جداسازی گردید. برای جداسازی زمینه از آنومالی با روش فرکتال از مدل عیار - مساحت در محیط GIS استفاده شد. جداسازی آنومالی از زمینه با روش EDA نیز به کمک نمودار جعبه‌ای انجام گردید. سپس نقشه‌های مربوط به هر عنصر با کاربرد سه روش نامبرده رسم شدند. به‌طور کلی نقشه‌های تهیه شده انطباق خوبی با هم دارند ولی روش فرکتالی به علت ساختاری بودن دارای قابلیت اعتماد بیشتری است. مناطقی که در سه روش آنومالی نشان دادند، دارای اولویت بالاتری جهت مطالعات بعدی می‌باشند. عناصر اصلی شامل Pb ، Zn و Cd در شمال غرب، مرکز و جنوب شرق آنومالی نشان می‌دهند. آنومالی‌های به دست آمده با نتایجی که از مطالعات سطحی به دست آمده انطباق خوبی نشان می‌دهند. جهت انجام مراحل بعدی اکتشاف و بررسی‌های بیشتر آنومالی‌ها، استفاده از روش ژئوفیزیکی IP پیشنهاد گردید.

کلید واژه‌ها

آمار کلاسیک، هندسه فرکتال، تحلیل اکتشافی داده‌ها، آنومالی ژئوشیمیایی، سرب و روی ایرانکوه

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

۱- مقدمه

ژئوشیمی اکتشافی تعریف بعد برای خطوط هم مقدار مربوط به زمینه یا آنومالی است. بر اساس این فرضیه بعد این گونه خطوط با هم متفاوت است. بنابراین با تعیین بعد می‌توان مرز آنومالی از زمینه را جدا نمود [۲].

روش تحلیل اکتشافی داده‌ها (EDA)، وسیله مناسبی برای تحلیل داده‌های ژئوشیمی اکتشافی می‌باشد، بدون این که نیازی به نرمال کردن داده‌ها داشته باشد. روش EDA توسط تدکی (۱۹۷۷) و هولگین و همکاران (۱۹۸۲) معرفی و توسعه یافته است. این روش جزء روش‌های آماری موسوم به (*Robust Statistic*) روش آماری با عدم حساسیت به تغییرات مقدار در نمونه‌ها) دسته‌بندی می‌شود. در روش EDA تجزیه و تحلیل‌ها به طور عمده با توجه به نمایش نموداری داده‌ها صورت می‌گیرد. بیش از ۳۰ نوع نمودار آماری مختلف در روش EDA معرفی شده است، که هر کدام در تجزیه و تحلیل داده‌ها در رشته‌های مختلف کاربرد دارد. روش‌های نموداری EDA متنوع و شامل نمودارهای: احتمال، هیستوگرام، میانگین، انحراف معیار، نمودار پراکندگی داده‌ها و ... هستند. ژئوشیمی اکتشافی بیشتر متکی بر روش‌های نموداری EDA است. نمودار رایج جهت استفاده در ژئوشیمی، نمودار جعبه‌ای، هیستوگرام، نمودار پراکندگی داده‌ها است. از نمودار جعبه‌ای عمده‌تاً جهت مقایسه داده‌های مختلف و نیز جداسازی آنومالی‌ها استفاده می‌شود [۳-۹].

مهم‌ترین کاربرد نتایج این مطالعه مشخص شدن مناطق آنومالی در قسمت‌های پوشیده در منطقه ایرانکوه اصفهان است. محل‌های به دست آمده در مراحل بعد باید مورد تجزیه و تحلیل بیشتر قرار گرفته و واقعی یا کاذب بودن آن‌ها مشخص شده و مورد ارزیابی و اولویت‌بندی قرار گیرند. در مراحل بعد می‌توان در مناطق مشخص شده، مطالعات اکتشافی تفصیلی‌تر و یا حتی حفاری اکتشافی انجام داد.

۲- زمین‌شناسی منطقه مورد مطالعه

منطقه مورد مطالعه (ایرانکوه) در زون سنندج - سیرجان واقع شده است که تشکیل کانسارهای سرب و روی را فورستر (۱۹۷۸) مرتبط با کافت‌های حاصل از تفکیک گندوانا دانسته است و طبق نظر لیسن بی و اوزونلر (۱۹۸۸) و غضبان و حاجی‌کاظمی (۱۹۹۴) مدل

رشته‌کوه ایرانکوه در ۲۰ کیلومتری جنوب غربی شهرستان اصفهان واقع شده است. در این رشته‌کوه انباشتگی‌هایی از ماده معدنی سرب و روی نهفته است که طی سال‌های گذشته مورد اکتشاف و بهره‌برداری قرار گرفته است. این منطقه به بلوک‌های معدنی و کانسارهای مختلفی تقسیم می‌شود که عمدتاً عبارت از کانسارهای کلاه دروازه، گود زندان، خانه گرگی در یال جنوبی و کانسارهای تپه سرخ و گوشفیل در یال شمالی است. سرب و روی در این منطقه عمدتاً در آهک‌های کرتاسه متمرکز است [۱]. ضمن بهره‌برداری از قسمت‌های مختلف متناسب با نیاز، فعالیت‌های اکتشافی زیادی طی سال‌های گذشته در این منطقه انجام شده است. یکی از این فعالیت‌ها که در سال‌های اخیر انجام شده است، برداشت‌های اکتشافی ژئوشیمیایی با استفاده از نمونه‌برداری از خاک در طی دو مرحله بوده است. در این فعالیت‌ها بالغ بر ۸۰۰ نمونه برداشت گردیده که روی آن‌ها آنالیز شیمیایی ۳۵ عنصری انجام شده است. هدف از این برداشت‌ها کشف ذخایر پنهان سرب و روی در منطقه بوده است. در این مطالعه داده‌های اکتشافی ذکر شده جهت کشف آنومالی‌های پنهان مورد تجزیه و تحلیل قرار گرفت. جهت این کار از سه روش آمار کلاسیک، هندسه فرکتال و تحلیل اکتشافی داده‌ها که به اختصار EDA گفته می‌شود، استفاده گردید.

هندسه فرکتال رویکرد جدید علم ریاضی به اشیاء متشابه است. هندسه اقلیدسی قادر به توصیف و فرموله کردن اشکال و اجسام نامنظم نیست. برای انجام این کار از هندسه فرکتال کمک گرفته می‌شود. این علم در سال ۱۹۷۵ توسط مندلبورت معرفی گردید. وی نخستین بار آن را در علم جغرافیا به کار گرفت. ولی امروزه کاربرد آن در علوم مختلف برای توصیف و فرموله کردن اشکال پیچیده توسعه یافته است. در هندسه فرکتال بعد یکی از مهم‌ترین عوامل به حساب می‌آید و برای اشیاء و اجسام و خطوط با توجه به درجه سادگی یا پیچیدگی آن‌ها بعد تعریف می‌شود. بر اساس یافته‌های این علم بعد می‌تواند عدد اعشاری نیز باشد. مثلاً بعد یک خط بسته به اینکه خط مستقیم باشد یا خط بسیار پیچیده که کل صفحه را شامل شود بین یک تا ۲ متغیر است. اساس استفاده از فرکتال در

Cu, S, Sb, Fe, Pb و *Zn* که پاراژنز سرب و روی هستند، استفاده گردید. عناصر *Ca* و *Mg* برای بررسی نوع سنگ‌های منطقه به کار برده شد.

۳-۱- بررسی نرمال بودن داده‌ها

بعد از این که مقادیر خارج از ردیف به روش دورفل اصلاح شد، باید به بررسی نرمال بودن داده‌ها پرداخت. برای این کار در نرم افزار *spss* هیستوگرام و نمودار احتمال هریک از عناصر برای داده‌های خام رسم می‌شود. هم‌چنین باید پارامترهای آماری را برای داده‌ها محاسبه شود، که این پارامترها را در جدول ۱ می‌توان مشاهده نمود. همان‌طور که مشخص است، اگر مبنا نزدیکی بیشتر چولگی به صفر (محدوده ۰-۰/۵) در نظر گرفته شود و هم‌چنین با توجه به نمودارهای احتمال داده‌های خام و هیستوگرام‌های رسم شده عناصر، خواهیم دید که اکثر عناصر رفتاری غیر نرمال دارند که باید اصلاح شده تا به نرمال نزدیک شوند.

بر اساس جدول ۱ و هیستوگرام عناصر مختلف، به غیر از *Ca* و *Mg* و *S* هیچ‌کدام از عناصر نرمال نیستند و باید تغییرات لازم را اعمال نمود تا به نرمال نزدیک شوند.

۳-۲- توابع توزیع و توابع تبدیل

برای نرمال کردن داده‌ها در ژئوشیمی از تبدیلات لگاریتمی، لگاریتم سه پارامتری و هم‌چنین از تبدیل کاکس و باکس استفاده می‌شود. در این پروژه برای نرمال کردن داده‌ها از سه روش فوق استفاده شد و پس از مقایسه داده‌ها و پارامترهای آماری آنها در نهایت به دلیل اینکه دو روش لگاریتمی و لگاریتم سه پارامتری تغییرات کمتری را در داده‌ها ایجاد نمود، از این دو روش به عنوان روش نرمال‌سازی استفاده شد.

۳-۳- تبدیل لگاریتمی یا توزیع لاگ نرمال

در مورد داده‌های منطقه ایرانکوه، بعد از تغییر داده‌ها به لگاریتمی، پارامترهای آماری آنها با هیستوگرام مربوط، مورد بررسی قرار گرفت و در نهایت وضعیت نرمال بودن آنها بررسی شد. با توجه به پارامترهای آماری داده‌های لاگ نرمال، عناصر *Pb* و *Zn*، *Sb*، *Cd*، *Ba* تا حدودی از توزیع لاگ نرمال پیروی می‌کنند، اما عناصر *Cu*، *As*، *Ag* و *Fe* با تغییر شکل لگاریتمی نرمال نشده‌اند و برای اصلاح و نرمال کردن آنها از تبدیل سه لگاریتمی یا کاکس و باکس استفاده می‌شود.

کانسارسازی ارائه شده برای این کانسار مدل دره می‌سی‌سی‌پی است [۱۰].

کهن‌ترین سنگ‌های این منطقه وابسته به ژوراسیک زیرین بوده که از شیل‌های سیاه همراه با سیلت استون و ماسه سنگ پدید آمده‌اند و تنها در یال شمالی این رشته‌کوه بیرون‌زدگی دیده می‌شود. این شیل‌ها با شیل‌های شمشک همسان هستند. سازه‌های ژوراسیک میانی و بالایی (دوگر و مالم) در این رشته‌کوه دیده نشده است. سنگ‌های اصلی این رشته‌کوه، در برگیرنده سنگ‌های کربناته کرتاسه، به گونه دگرشیبی بر روی سنگ‌های ژوراسیک زیرین نشسته‌اند. این نهشته‌ها از دیدگاه سنی وابسته به بارمین تا آلبین زیرین هستند. ضخامت این نهشته‌ها نزدیک به ۸۰۰ متر است که همه از آهک و دولومیت همراه مقدار کمی شیل و مارن پدید آمده‌اند [۱۱]. سازه‌های اصلی منطقه در ستون سنگ‌شناسی (شکل ۱) نشان داده شده‌اند.

همان‌گونه که گفته شد رشته ایرانکوه در یک زون گسله جای دارد. این گسل‌ها دارای دو جهت همگانی است.

✓ گسل‌های اصلی که دارای روند *NW-SE* و به‌طور

تقریبی هم جهت رشته‌کوه هستند.

✓ گسل‌های عرضی منطقه که دارای جهاتی به‌طور

تقریبی شمالی-جنوبی هستند.

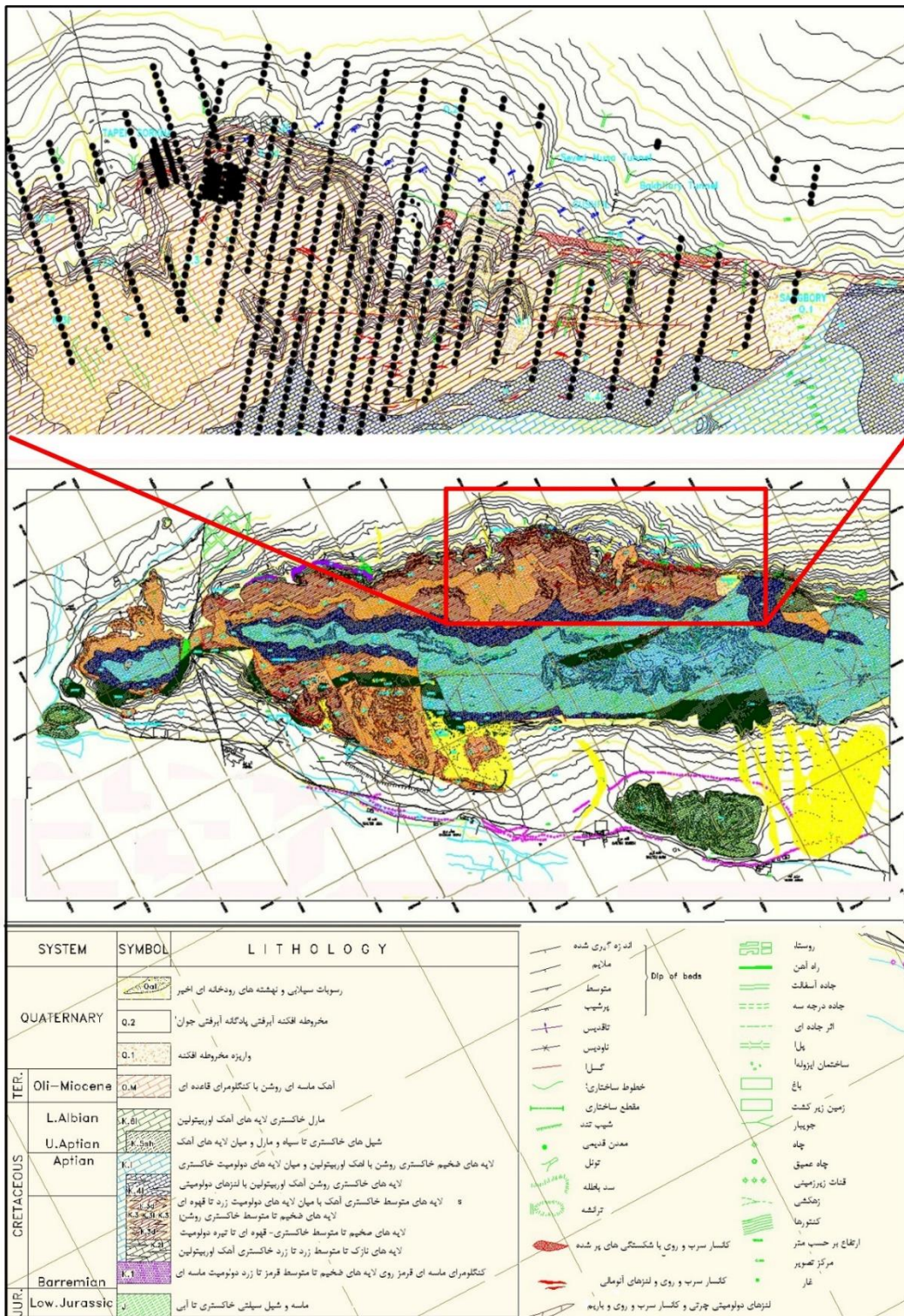
گسل‌های کلاه‌دروازه، خانه‌گرگی، گسل عرضی خانه گرگی (چشمه زرد)، گردنه و گسل گوشفیل از گسل‌های مهم در این رشته‌کوه هستند.

۳- نمونه برداری

برای ارزیابی پتانسیل ماده معدنی در منطقه گوشفیل نمونه‌برداری ژئوشیمیایی از خاک توسط شرکت باما در دو مرحله انجام شده است و با استفاده از شبکه با ابعاد 40×100 و 25×50 تعداد ۸۰۴ نمونه در محدوده بین معادن تپه سرخ و گوشفیل به دست آمد. محدوده نمونه‌برداری این نقاط در شکل ۱ نشان داده شده است.

نمونه‌های مذکور در آزمایشگاه *ALS chemex* با استفاده از روش *ICP* برای ۳۵ عنصر آنالیز شد. با بررسی‌هایی که روی داده‌ها انجام شد، داده‌های مورد استفاده در این پروژه فاقد داده‌های سنسورد بودند.

چون هدف این مطالعه بررسی آماری و در نهایت تعیین آنومالی‌های سرب و روی است، از عناصر *Ag*، *As*، *Ba*، *Cd*،



شکل ۱: ستون سنگ‌شناسی منطقه ایرانکوه [۱] و محدوده نمونه‌برداری در منطقه زمین‌شناسی مورد مطالعه

۳-۴- تبدیل لگاریتمی سه پارامتری

در این مطالعه برای عناصر Ag ، As ، Cu و Fe از روش فوق‌الذکر استفاده شد. پارامترهای آماری مربوط به این

عناصر نشان می‌دهد با تغییر لگاریتم سه پارامتری به حالت نرمال نزدیک شده‌اند. بعد از بررسی پارامترهای آماری در مورد عناصری که با سه روش مذکور به دست آمدند، به

و تحلیل استفاده می‌گردد. به منظور کاهش حجم مقاله، از نمایش پردازش تمامی عناصر خودداری شده است، از این رو هیستوگرام‌ها و نمودارهای احتمال مربوط به داده‌های نرمال شده عناصر *Ag, Ba, Pb* و *Zn* در شکل ۲ مشاهده می‌شود.

دلیل تغییر شکل کمتری که در داده‌های حاصل از دو روش لگاریتم طبیعی و لگاریتم سه پارامتری ایجاد شد، از این دو روش استفاده شد.

جدول ۲ پارامترهای آماری داده‌های نرمال شده را نشان می‌دهد که به عنوان داده‌های لازم برای مراحل بعدی تجزیه

جدول ۱: پارامترهای آماری محاسبه شده برای داده‌های خام

عنصر	تعداد نمونه‌ها	میانگین	میانه	انحراف معیار	چولگی	کشیدگی	کمینه	بیشینه
Ag	۸۰۴	۱/۳۰۶۸	۰/۷	۲/۰۱۶۸	۳/۶۷۴	۱۷/۰۱۹	۰/۱	۱۷/۰۱
As	۸۰۱	۳۰/۶۸۶۲	۲۵	۱۸/۲۳۴	۲/۷۲۹	۹/۸۱۵	۸	۱۵۶/۳۳
Ba	۸۰۴	۱۰۵۰/۲	۹۹۰	۴۹۴/۹۸	۱/۱۶۹	۲/۲۸۳	۱۶۰	۳۱۹۸/۴۱
Ca	۸۰۴	۱۱/۵۷۳۴	۱۱/۵۵	۱/۱۱۲	۰/۵۲۸	۴/۸۱۹	۴/۵۷	۱۶/۳۹
Cd	۸۰۴	۲/۲۸۵۹	۱/۷	۲/۱۲۵۸	۲/۴۶۶	۶/۹۴۱	۰/۴	۱۴/۰۱
Cu	۸۰۳	۲۶/۹۱۸۲	۲۵	۷/۵۴۳۳	۳/۱۶۴	۱۳/۸۹۴	۱۴	۸۸/۰۳
Fe	۸۰۴	۲/۸۹۱	۲/۷۸	۰/۵۱۲۱	۳/۹۵۱	۳۰/۶۹۴	۲/۰۵	۸/۸۳
Pb	۸۰۴	۸۸۱/۲۴	۴۸۷	۱۱۰۵/۵	۲/۷۳	۷/۷۶۳	۴۷	۵۷۳۸/۸۸
S	۸۰۴	۰/۰۷۴۱	۰/۰۷	۰/۰۳۶۸	۱/۵۱۸	۳/۶۲۹	۰	۰/۲۶
Sb	۸۰۴	۶/۸۱۳۷	۵	۶/۴۱۱۵	۲/۸۹۳	۱۰/۵۰۹	۱	۵۰/۴۷
Zn	۸۰۴	۱۴۲۰/۶	۱۰۹۲/۵	۱۰۹۴/۳	۲/۲۵۱	۶/۱۴۹	۱۳۴	۷۰۸۸/۸۳

جدول ۲: پارامترهای آماری مربوط به داده‌های نرمال شده

عنصر	میانگین	میانه	انحراف معیار	چولگی	کشیدگی	کمینه	بیشینه
Ln(Ba)	۶/۸۴۵	۶/۸۹۷۷	۰/۴۸۷۴	-۰/۴۵۴	۰/۴۹۶	۵/۰۸	۸/۰۷
Ln(Cd)	۰/۵۲	۰/۵۳۱	۰/۷۶	۰/۲۸۸	-۰/۰۸۹	-۰/۹۲	۲/۶۴
Ln(Sb)	۱/۶۳۹	۱/۶۰۹	۰/۷۰۱	۰/۶۱	۰/۱۲	۰	۳/۹۲
Ln(Zn)	۷/۰۳۳	۶/۹۹۶	۰/۶۵۸	۰/۱۷۴	۰/۱۷۶	۴/۹	۸/۸۷
Ln(Pb -46.83)	۶/۱۲۵	۶/۰۸۷	۱/۱۱۹	-۰/۳۷۷	۳/۰۰۹	-۱/۸	۸/۶۵
Ln(Ag - .03)	۰/۵۷۸	-۰/۴	۱/۳۲۷	-۰/۰۱۴	-۲/۶۰۷	-۲/۶۶	۲/۸۳
Ln(As - 7.8)	۲/۹۰۸	۲/۸۴۵	۰/۶۵۷	-۰/۱۵۵	۳/۱۴۸	-۱/۶۱	۵
Ln(Cu - 12.5)	۲/۵۷۸	۲/۵۲۶	۰/۳۹۹	۰/۶۶۷	۳/۴۹۶	۰/۴۱	۴/۳۲
Ln(Fe - 2.02)	۰/۲۶۵	-۰/۲۷۶	۰/۴۷۸	-۰/۴۳۷	۳/۰۴	-۳/۵۴	۱/۰۶

زیاد بودن تعداد عناصر مورد بررسی، در شکل ۳ فقط نقشه آنومالی عناصر *Zn, Fe, Mg, Sb, Ag* و *Cu* آورده شده است.

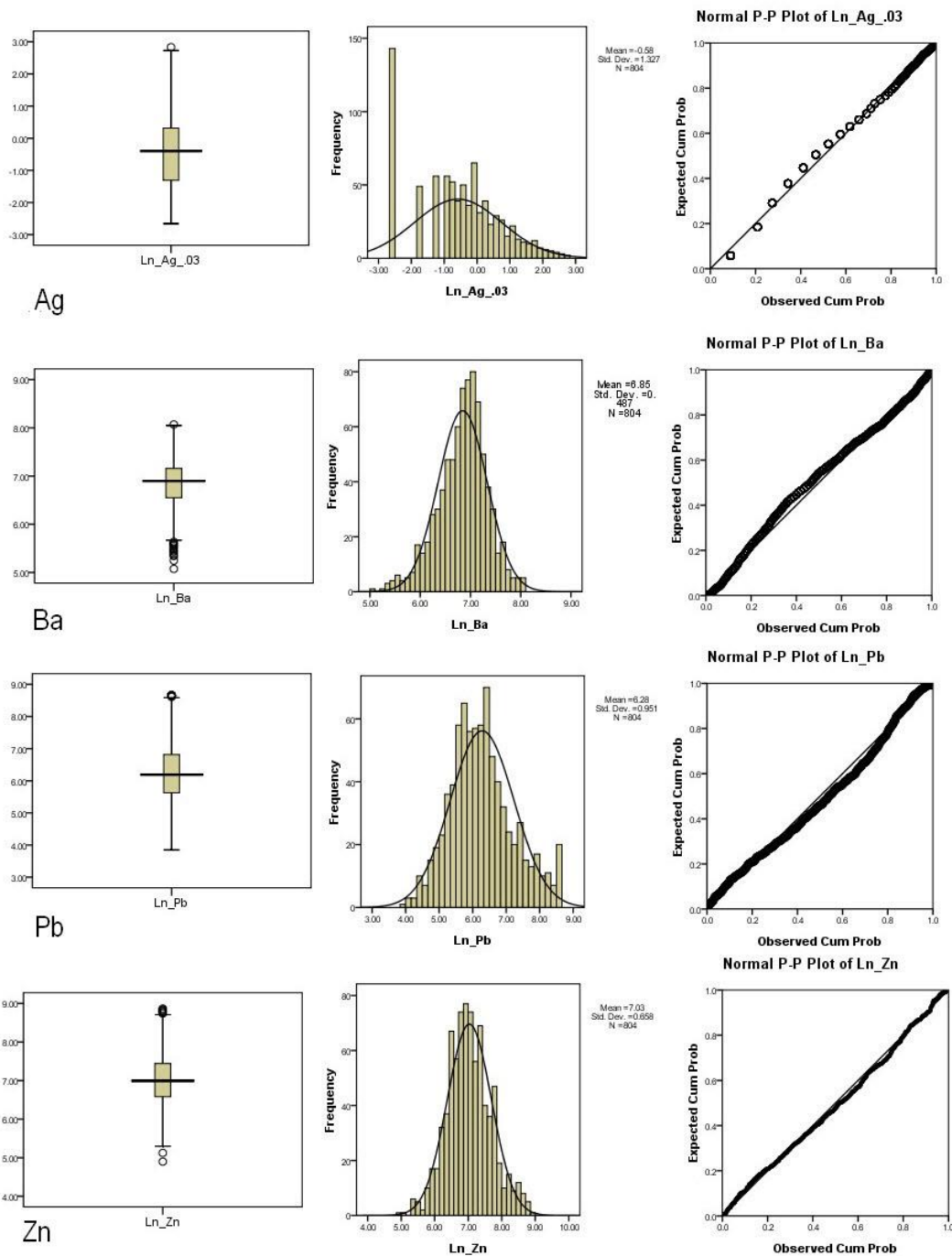
در نقشه ژئوشیمیایی کلاسیک سرب و روی در مناطق شمال غرب و جنوب شرق آنومالی نشان داده است که می‌تواند دلیل بر کانی‌سازی سرب و روی باشد. اما برخی از آنومالی‌ها که انتظار بود پدیدار شوند (در قسمت شمال غربی نقشه سرب و جنوب شرق نقشه روی که از اکتشافات

۴- جداسازی آنومالی‌ها بر اساس روش آمار کلاسیک

بر اساس مقادیر میانگین و انحراف معیاری که از داده‌های نرمال به دست آمد، می‌توان زمینه، حد آستانه و آنومالی ممکن و احتمالی را به دست آورد. این محاسبات در جدول ۳ آورده شده است. سپس با داشتن مقادیر ذکر شده، نقشه‌های ژئوشیمیایی این عناصر در نرم افزار *surfer* رسم می‌شود تا مناطق امیدبخش آنومالی مشخص شود. به دلیل

آهکی واقع شده‌اند. البته در بقیه مناطق نیز این نوع سنگ‌ها وجود دارد، اما آنومالی‌ای ظاهر نشده است. برای آنومالی ظاهر شده در نقشه منیزیم که در قسمت‌های شمال غربی و جنوبی آنومالی داریم که در نقشه زمین‌شناسی این نقاط، سنگ‌های آهکی با میان‌لایه‌های دولومیت هستند.

قبل از آنومالی به دست آمده است) به این روش ظاهر نشد. نقشه ژئوشیمیایی نقره تقریباً منطبق با نقشه سرب است. از این رو می‌توان نتیجه گرفت که مقادیری نقره با سرب همراه است. در نقشه کلسیم، مقادیر بالای این عنصر در قسمت شمال غرب و مرکزی نقشه دیده می‌شوند. این مناطق با بررسی نقشه زمین‌شناسی، در سنگ‌های



شکل ۲: نمودار جعبه‌ای، نمودارهای احتمال و هیستوگرام مربوط به داده‌های نرمال شده عناصر Ag, Ba, Pb, Zn

جدول ۳: مقادیر محاسبه شده زمینه، حدآستانه و آنومالی ممکن و احتمالی داده‌های نرمال شده

Elements	\bar{x}	S	$\bar{x} + s$	$\bar{x} + 2s$	$\bar{x} + 3s$	$\text{Exp}(\bar{x} + s)$	$\text{Exp}(\bar{x} + 2s)$	$\text{Exp}(\bar{x} + 3s)$
ln(Ag-03)	-0.57	1/326	0.748	2/075	3/402	2	8	30
ln(As-7.8)	2/90	0/667	3/568	4/236	4/903	35	70	135
Ln(Ba)	6/874	0/432	7/306	7/738	8/17	1489	2294	3533
Ca	11/57	1/112	12/685	13/79	14/90			
ln(Cd)	0/379	0/933	1/313	2/246	3/179	3/71	9/5	24
ln(Cu-12.5)	2/578	0/39	2/978	3/378	3/775	20	29	44
Ln(Fe-2.021)	0/27	0/47	0/213	0/691	1/169	1/23	1/99	3/21
Mg	3/28	0/621	3/903	4/523	5/145			
Ln(Pb - 46.83)	6/12	1/119	7/245	8/364	9/484	1401	4292	13152
S	0/074	0/036	0/111	0/147	0/184			
Ln(Sb)	1/96	0/701	2/341	3/042	3/743	10	21	42
Ln(Zn)	7/033	0/658	7/692	8/35	9/009	2191	4233	8177

با انجام تجزیه عاملی بر روی داده‌های اصلاح شده، باید میزان اعتبار آن را بررسی کنیم. آزمون‌های *KMO* و *Bartlett* شاخصی برای اعتبار متغیرها هستند. مقادیر بزرگ *KMO* دلالت بر تایید تجزیه عاملی دارد. برای مقادیر حدود 0/9 این کمیت، تجزیه عاملی بسیار مناسب، اطراف 0/8 مناسب، 0/7 متعادل، 0/6 متوسط، 0/5 ناچیز و کمتر از 0/5 نامناسب می‌باشد. در جدول 4 جدول مقدار *KMO* برابر 0/78 است که بیانگر مناسب بودن این روش است.

در جدول 5 که جدول بلوک‌بندی داده‌ها¹ نام دارد، میزان اشتراک هر متغیر با بخشی از واریانس آن است که به عامل‌های مشترک مربوط می‌شود. در ستون استخراج²، این مقادیر پس از ساختن عامل‌ها نشان داده شده‌اند. مقادیر بالاتر از 0/5 اهمیت دارند که در جدول مربوطه تمام مقادیر بالاتر از 0/5 هستند.

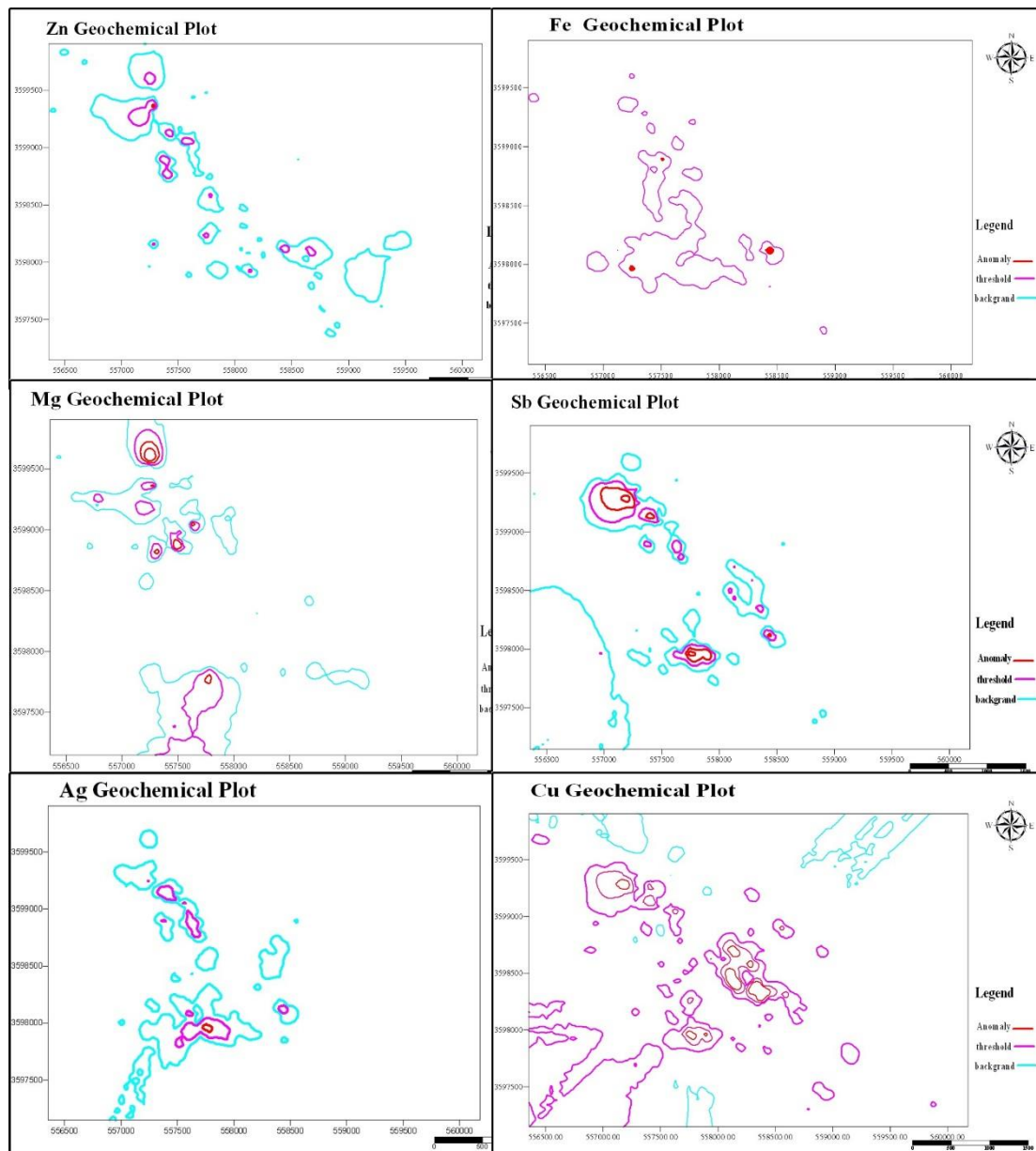
جدول 6 که تغییر واریانس کل مقادیر ویژه است و درصد واریانس متناظر با عوامل محاسبه شده و سپس مقادیر بزرگ‌تر از یک استخراج و دوران داده شده‌اند. با توجه به این جدول 3 عامل استخراج شده 99/34٪ واریانس نمونه‌ها را در بر می‌گیرد. از میان این فاکتورها، فاکتور اول با 97٪ بیشترین و فاکتور سوم با 0/92٪ کمترین مقادیر را نشان داده‌اند. مقدار فاکتور اول و دوم حدود 98٪ تغییرات را پوشش می‌دهد که حد بسیار خوبی است. این موارد به صورت شماتیک در نمودار شکل 4 قابل مشاهده است.

نقشه‌های ژئوشیمیایی کادمیم و آنتی موان تقریباً منطبق با نقشه روی است که حاکی از آن است که با روی همراه هستند. در نقشه باریم با بررسی نقشه زمین‌شناسی کانی‌سازی باریم صورت گرفته است. نقشه ژئوشیمیایی گوگرد، در قسمت شمال و شمال غربی و جنوب شرقی آنومالی ظاهر شده است، که این مناطق با نقشه آنومالی سرب و روی مطابقت دارد.

مقادیر آنومالی آهن در امتداد شمال غرب تا جنوب شرق پدیدار شده که این ناحیه با نقشه سرب و روی موافق است. مس هم یکی دیگر از پارائزهای سرب و روی است و در نقشه مربوط به مس دیده می‌شود که مانند آهن در امتداد شمال غرب تا جنوب شرق آنومالی داریم. آرسنیک به عنوان ردیاب برای سرب و روی در نظر گرفته می‌شود و آنومالی که در نقشه ژئوشیمیایی آرسنیک نشان داده است، در قسمت‌های شمال غرب و جنوب شرق است.

۵- تجزیه و تحلیل فاکتوری

هدف از به‌کارگیری این تکنیک تشخیص متغیرهای کنترل‌کننده اصلی از متغیرهای فرعی و یا به عبارت دیگر یافتن کمینه تعداد متغیرهایی که بتوانند بیشترین درصد تغییرات مشاهده شده را در داده‌های ژئوشیمیایی، تشریح نمایند. حداقل تعداد متغیرهای اصلی کنترل‌کننده تغییرات را فاکتور می‌نامند [۲].



شکل ۳: نقشه ژئوشیمیایی آمار کلاسیک عناصر Zn, Fe, Mg, Sb, Ag, Cu

این روش‌ها همان دوران عوامل هستند و به دو نوع دوران عمود و مایل تقسیم می‌شوند. دوران‌های عمود استقلال عامل‌ها را از بین برده و آن‌ها را به هم وابسته می‌کند. در این بخش از روش واریامکس^۳ برای دوران عوامل استفاده شده که دورانی متعامد را بر روی ضرایب عامل صورت می‌دهد. از این روش مقادیری نسبتاً کوچک (قدر مطلق) و یا صفر به ستون‌های ماتریس ضرایب عامل اختصاص می‌دهد. در نتیجه عواملی ایجاد می‌شوند که یا شدیداً به متغیرها وابسته هستند و یا مستقل از آنها هستند. این کار باعث ساده‌تر شدن تعبیر عامل‌ها خواهد شد.

جدول ۴: آزمون KMO برای تجزیه و تحلیل فاکتوری داده‌ها

KMO and Bartlett's Test	
Kaiser-Meyer-Olkin Measure of Sampling Adequacy.	۰/۹۲
Bartlett's Test of Sphericity	ApproxChiSquare ۳۹۵۵۲
	Df ۶۶
	Sig. صفر

چون در بسیاری موارد تعدادی متغیرها به یک عامل ویژه یا حتی به تعدادی از عامل‌ها بستگی دارند، تعبیر عوامل مشکل خواهد بود. از این‌رو روش‌هایی هستند که بدون تغییرات میزان اشتراک، باعث تعبیر ساده‌تر عوامل می‌شوند.

جدول ۵: جدول بلوک‌بندی با استفاده از تجزیه و تحلیل فاکتوری بر روی داده‌ها

Communalities		
	Initial	Extraction
Ca	۱	۰/۹
S	۱	۰/۹۹
Mg	۱	۰/۸۹
Ln(Fe -2.021)	۱	۰/۸
Ln(Cu - 12.5)	۱	۰/۹
Ln(As -7.8)	۱	۰/۹۱
Ln(Ag -.03)	۱	۰/۹۸
Ln(Pb)	۱	۰/۹۶
Ln(Zn)	۱	۰/۹۸
Ln(Sb)	۱	۰/۹۵
Ln(Cd)	۱	۰/۹
Ln(Ba)	۱	۰/۹

Extraction Method: Principal Component Analysis.

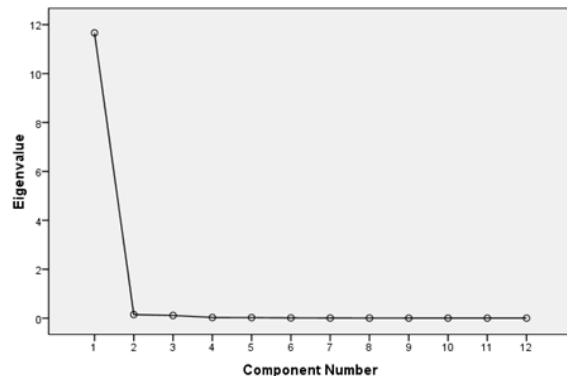
در نقشه کلاسیک سرب و روی بود، و همچنین با آنومالی‌های عناصر کادمیم، آنتی‌مان و نقره که با این کانی‌سازی همراهی می‌کنند، تطابق دارد. آرسنیک به عنوان ردیاب و پاراژنز سرب و روی است. نقشه فاکتوری دو، روند شمال غرب تا جنوب شرق دارد که برای Mg ، Ca نشانگر ساختارهای آهکی و دولومیتی است. هم‌چنین در این روند که با آنومالی که برای سرب و روی مشخص شد، که می‌تواند حاکی از سولفیدهای سرب و روی باشد. در نقشه فاکتوری ۳ فقط در قسمت شمال غرب آنومالی نشان داد. که می‌تواند بر کانی‌سازی باریت دلالت داشته باشد.

۶- جداسازی آنومالی‌ها با استفاده از هندسه فرکتال

هدف از این قسمت، قبل از رسیدن به مرحله جداسازی جامعه آنومالی از زمینه است که با تخمین حد آستانه‌ای صورت می‌گیرد. در یک سری داده ژئوشیمیایی با دو گروه داده فرکتالی متصل به هم مواجه هستیم که یک گروه معرف زمینه و گروه دیگر معرف آنومالی است. در اینجا برای جدایش جامعه آنومالی سعی می‌شود غلظتی بحرانی که در محدوده آن بعد فرکتالی تغییر می‌کند (از بعد کمتر مربوط به جامعه زمینه با سطوح ژئوشیمیایی هموار به بعد بیشتر مربوط به جامعه آنومالی با سطح ژئوشیمیایی ناهموار) به عنوان حد آستانه‌ای معرفی گردد. بنابراین در این روش از توزیع فراوانی عناصر و شکل هندسی آنومالی به طور هم‌زمان برای تشخیص حد آستانه‌ای و جدایش جامعه آنومالی و زمینه استفاده می‌گردد [۲].

در این قسمت برای انجام روش فرکتال از نرم افزار ArcGIS استفاده شد. در شکل ۶ نمودار شماتیک این عملیات را در ArcGIS نشان می‌دهد. نمودارهای حاصل برای عناصر Zn ، Ag ، Ba ، Cu ، Fe ، Pb در شکل ۷ نشان داده شده است. هم‌چنین برای فاکتورهایی که در قسمت تحلیل آماری به دست آمد، روش فرکتال اعمال شد که نمودارهای عیار - مساحت سه فاکتور در شکل ۸ آمده است. نقاطی که جوامع ژئوشیمیایی را از هم مجزا می‌کنند و در نمودارهای عیار - مساحت به دست آمده، در جدول ۸ و در نمودارهای عیار - مساحت به دست آمده است. با اطلاعاتی که از نمودارهای عیار - مساحت به دست آمد، نقشه‌های فرکتالی عناصر و فاکتورها رسم شد، که به ترتیب در شکل ۹ و شکل ۱۰ نشان داده شده است.

Scree Plot



شکل ۴: نمودار اسکری پلات تجزیه و تحلیل فاکتوری داده‌ها

جدول ماتریس ضرایب عامل‌های دوران شده را نشان می‌دهد. بر اساس این ماتریس عناصر به ۳ فاکتور تقسیم شده است:

- ✓ فاکتور اول شامل Ag ، Pb ، Zn ، Sb ، Cd و As است که این عناصر پاراژنز یکدیگر هستند.
- ✓ فاکتور دوم شامل Ca ، Cu ، Mg و S است.
- ✓ فاکتور سوم شامل Ba و Fe است.

در شکل ۵ نقشه‌های فاکتوری برای سه فاکتور به دست آمده نشان داده شده است.

در نقشه فاکتوری ۱، که حاوی عناصر اصلی و فرعی کانی‌سازی است و کنترل کننده کانی‌زایی است، آنومالی‌ها روند شمال غرب - جنوب شرق دارند که با آنومالی‌هایی که

جدول ۶: جدول تعبیر واریانس کل مقادیر ویژه حاصل از تجزیه و تحلیل فاکتوری داده‌ها

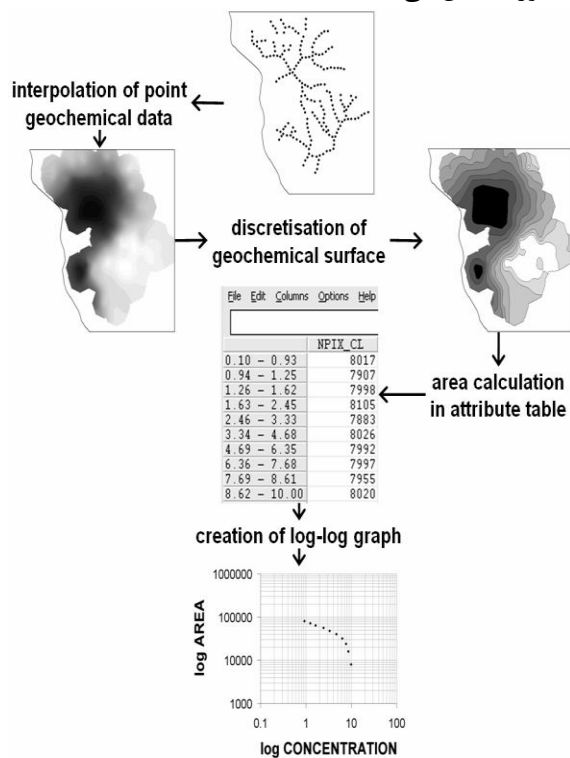
Total Variance Explained									
Rotation Sums of Squared Loadings			Extraction Sums of Squared Loadings			Initial Eigenvalues			Component
Cumulative %	% of Variance	Total	Cumulative %	% of Variance	Total	Cumulative %	% of Variance	Total	
۳۵/۹۹	۳۵/۹۹۱	۴/۳۱۹	۹۷/۱۸۶	۹۷/۱۸۶	۱۱/۶۶۲	۹۷/۱۸۶	۹۷/۱۸۶	۱۱/۶۶۲	۱
۶۸/۷۲	۳۲/۷۳	۳/۹۲۸	۹۸/۴۲	۱/۲۳۴	۰/۱۴۸	۹۸/۴۲	۱/۲۳۴	۰/۱۴۸	۲
۹۹/۳۴	۳۰/۶۲۵	۳/۶۲۵	۹۹/۳۵	۰/۹۲۶	۰/۱۱۱	۹۹/۳۵	۰/۹۲۶	۰/۱۱۱	۳
						۹۹/۵۷۶	۰/۲۳	۰/۰۲۸	۴
						۹۹/۷۶۵	۰/۱۸۹	۰/۰۲۳	۵
						۹۹/۸۴۹	۰/۰۸۳	۰/۰۰۱	۶
						۹۹/۹۰	۰/۰۵۱	۰/۰۰۶	۷
						۹۹/۹۳۸	۰/۰۳۸	۰/۰۰۵	۸
						۹۹/۹۶۴	۰/۰۲۶	۰/۰۰۳	۹
						۹۹/۹۸۲	۰/۰۱۸	۰/۰۰۲	۱۰
						۹۹/۹۹۳	۰/۰۱۲	۰/۰۰۱	۱۱
						۱۰۰	۰/۰۰۷	۰/۰۰۱	۱۲

Extraction Method: Principal Component Analysis.

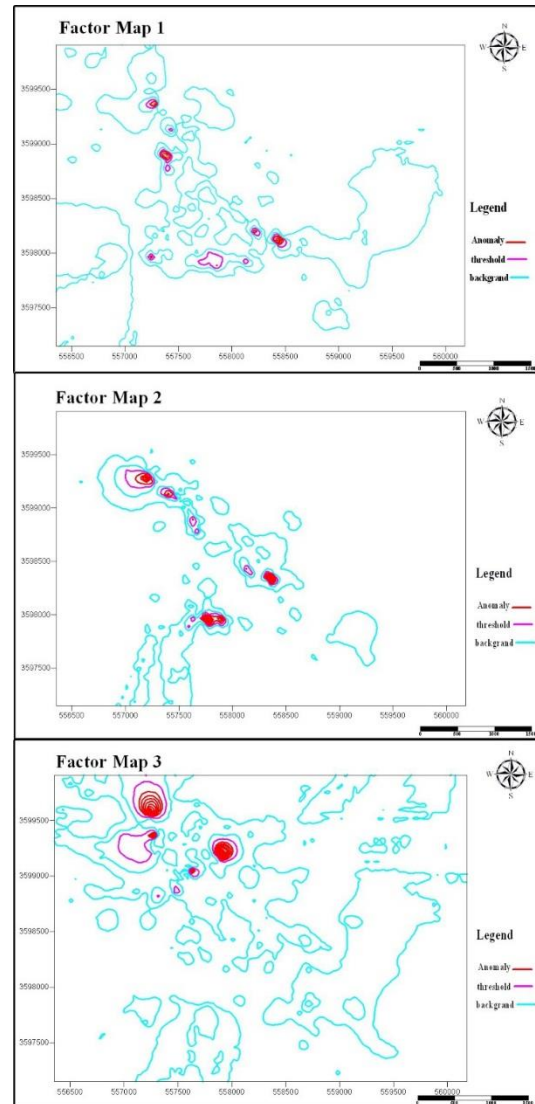
جدول ۷: ماتریس چرخش یافته مؤلفه‌های داده‌ها

Rotated Component Matrix ^a			
Component	Element		
	۳	۲	۱
Ca	۰/۴۶۱	۰/۶۲۹	۰/۴۷۲
S	۰/۴۱۲	۰/۷۳۱	۰/۵۴
Mg	۰/۵۶۵	۰/۶۰۷	۰/۵۴۹
Ln(Fe-2.021)	۰/۶۷۲	۰/۴۹۸	۰/۵۴۵
Ln(Cu-12.5)	۰/۵۷۵	۰/۶۷۳	۰/۴۵۸
Ln(As-7.8)	۰/۵۳۴	۰/۵۶۱	۰/۶۲۷
Ln(Ag-.03)	۰/۴۵۹	۰/۴۴۸	۰/۷۶
Ln(Pb)	۰/۵۰۶	۰/۵۶۸	۰/۶۴۵
Ln(Zn)	۰/۵۶۶	۰/۵۳۱	۰/۶۲۸
Ln(Sb)	۰/۴۲۷	۰/۵۹	۰/۶۷۸
Ln(Cd)	۰/۵۰۱	۰/۵۳۱	۰/۶۸
Ln(Ba)	۰/۶۴۶	۰/۴۲۱	۰/۶۳۳

مس در مرکز نقشه آنومالی ظاهر شده است و در نقشه کلاسیک نیز همین نقاط را برای آنومالی داریم. آهن با روش فرکتال در یک روند شمال غرب تا جنوب شرق و مرکز آنومالی را در بر دارد که این روند را در نقشه کلاسیکی هم داریم. نقشه فرکتالی سرب در امتداد شمال غرب تا جنوب شرق آنومالی‌هایی پدیدار شده‌اند که در نقشه آمار کلاسیک آن تنها در جنوب شرق آنومالی داریم. در مورد گوگرد در روش فرکتال در شمال غرب، آنتی‌موان در قسمت شمال غرب و جنوب شرق و روی در امتداد شمال غرب تا جنوب شرق آنومالی‌ها قابل مشاهده هستند. در مورد این عناصر در نقشه کلاسیکی‌شان به ترتیب در قسمت‌های شمال غرب و جنوب شرق برای گوگرد و آنتی‌موان و شمال غرب برای روی آنومالی ظاهر شده است. نقشه‌هایی فاکتوری از روش فرکتال ۱ و ۲ و ۳ آنومالی‌های گسترده‌تری نسبت به روش فاکتوری نشان می‌دهند.

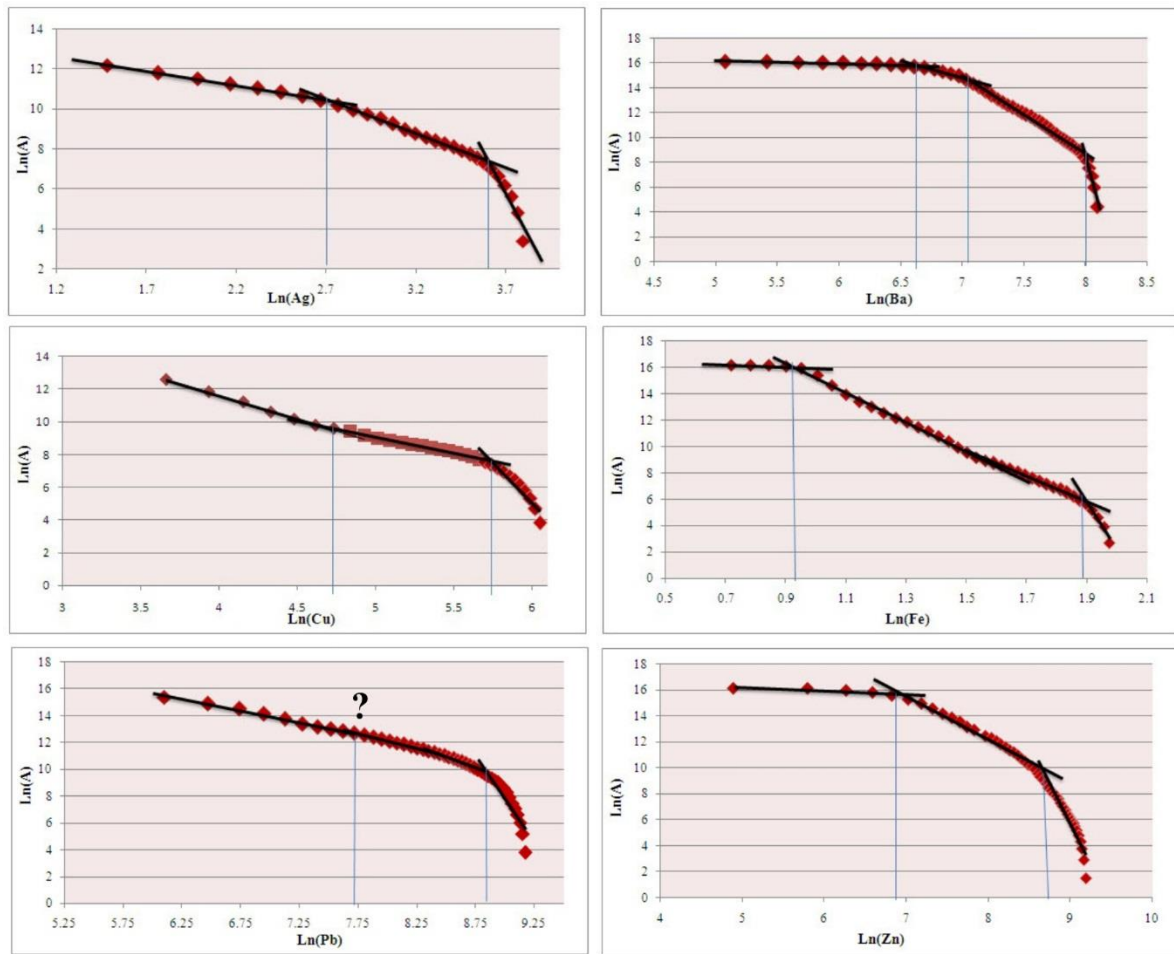


شکل ۶: نمودار شماتیک برای به دست آوردن پارامترها در روش فرکتالی عیار - مساحت [۱۱].

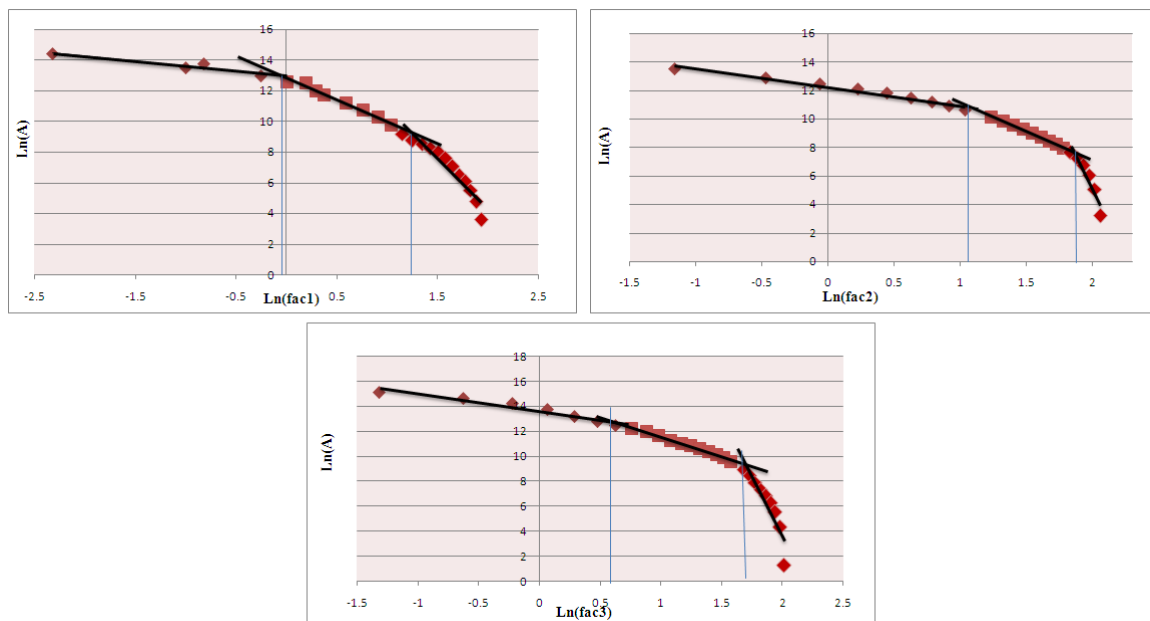


شکل ۵: نقشه فاکتورهای ۱، ۲ و ۳

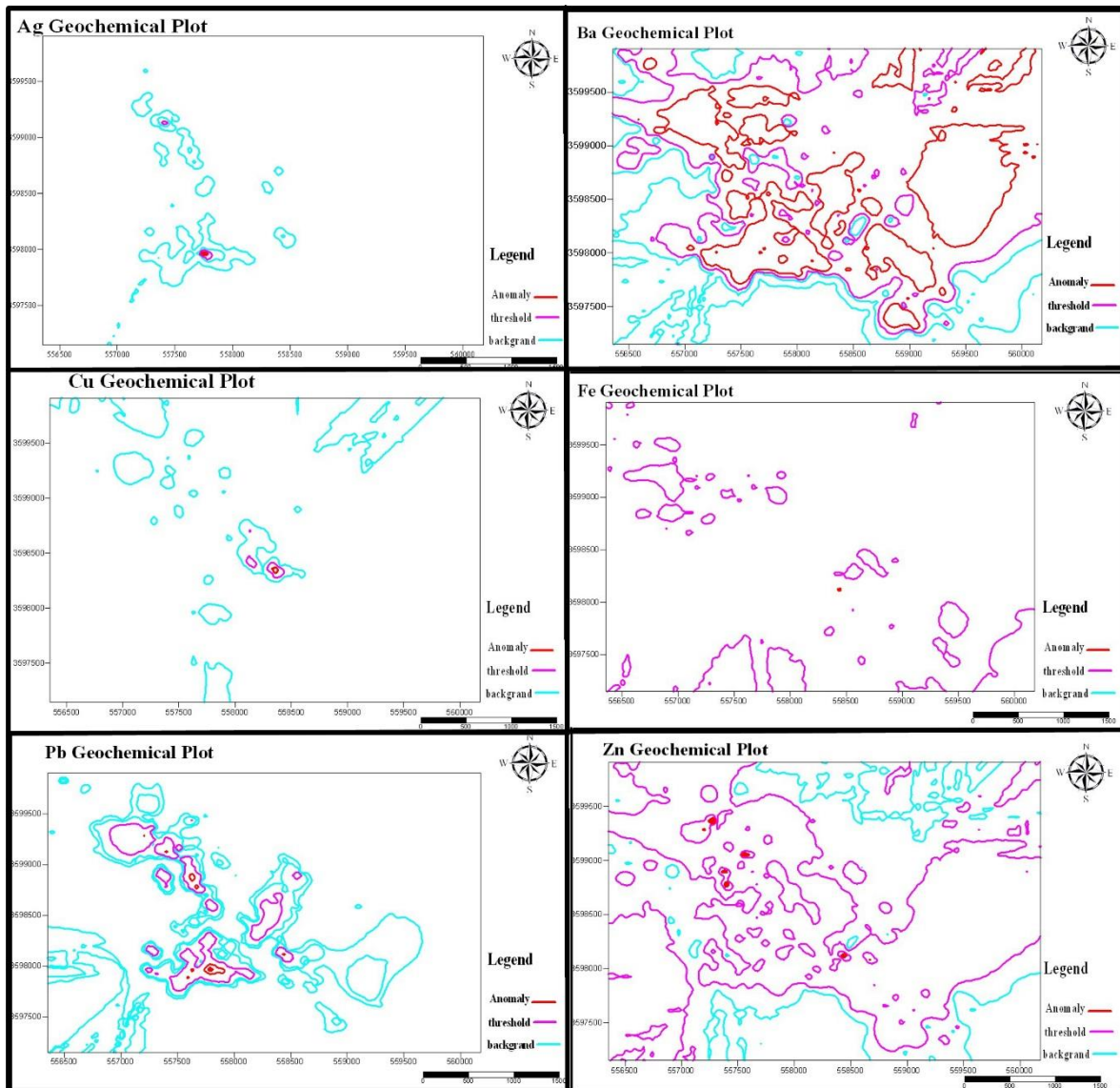
نقشه‌ی فرکتالی برای سرب در شمال غرب و جنوب شرق آنومالی نشان داده است که در مقایسه با نقشه آمار کلاسیک، آنومالی در قسمت شمال غرب فقط ظاهر شده است. برای آرسنیک در روش فرکتال در قسمت‌های شمال غرب تا جنوب شرق و در قسمت جنوب غرب آنومالی نشان داده است. در نقشه کلاسیکی آرسنیک هم این نقاط به عنوان آنومالی ظاهر شده‌اند. عنصر باریم در نقشه فرکتالی مربوطه، در نواحی شمال غرب تا جنوب شرق و مرکز و شمال شرق آنومالی دیده می‌شود درحالی‌که در نقشه کلاسیکی آن تنها در شمال غرب و قسمتی از مرکز این آنومالی‌ها قابل مشاهده است. کلسیم و منیزیم در قسمت‌های شمال غرب و کلسیم در مرکز هم آنومالی‌هایی وجود دارد، با نگاه به نقشه کلاسیک این دو عنصر تقریباً مشابه نقشه فرکتالی آنها است. کادمیم در شمال غرب و



شکل ۷: نمودارهای عیار - مساحت برای عناصر *Ag, Ba, Cu, Fe, Pb, Zn*



شکل ۸: نمودارهای عیار - مساحت فاکتورهای ۱، ۲ و ۳



شکل ۹: نقشه ژئوشیمیایی Ag, Ba, Cu, Fe, Pb, Zn با روش فرکتال

خارج از رده‌ها تاثیر نمی‌گذارند. این مقادیر در نمودار جعبه‌ای مستلزم این است که این نمودار به حساسیت در برابر مقادیر خارج از رده در مجموعه داده‌ها مقاوم است [۱۱].

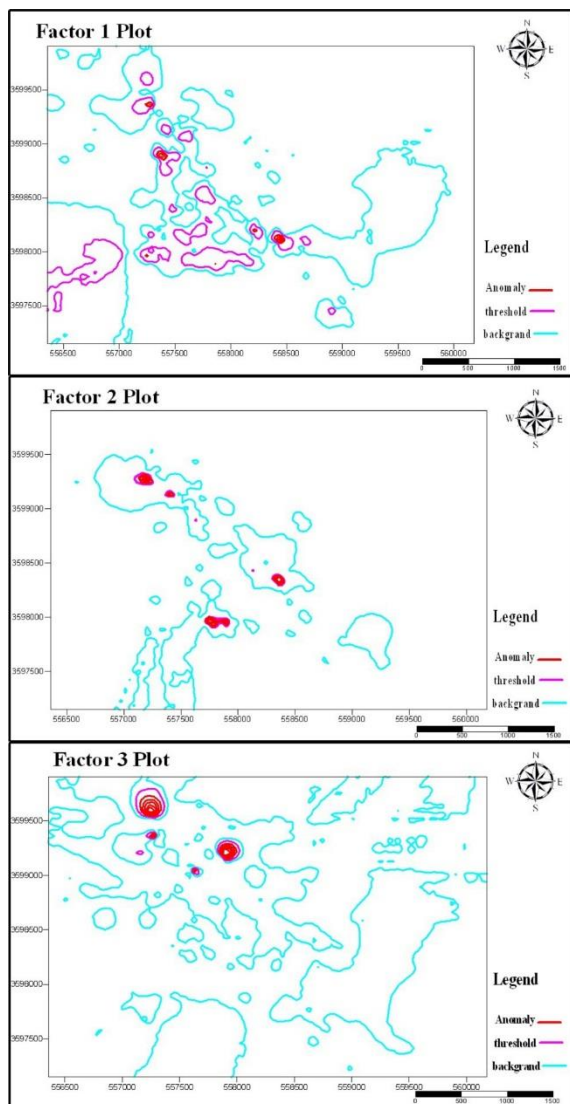
از کمینه تا بیشینه داده‌ها به دو قسمت مساوی تقسیم می‌شوند. نصف کمینه تا میانه و نصف بیشینه تا میانه به ترتیب مقادیر LH و UH را تعیین می‌کنند. LH و UH میانه، داده‌ها را تقریباً به چهار قسمت مساوی تقسیم می‌کنند که به آن‌ها چارک^۶ می‌گویند. کمینه تا LH را با Q_1 ، از LH تا میانه با Q_2 ، میانه تا UH با Q_3 و از UH تا بیشینه با Q_4 مشخص می‌کنند. تفاوت قدر مطلق میان LH و UH را IQR یا عرض هینگ در نظر می‌گیرند [۱۱].

۷- کاربرد EDA برای جداسازی آنومالی‌ها بر روی داده‌های منطقه ایرانکوه

هدف EDA بر این است که مشاهدات با محاسبات حاصل از نمودارهای آماری به ما اجازه دهد که رفتار و ساختار داده‌ها را بشناسیم. EDA با استفاده از روش‌های گرافیکی (نمودار جعبه‌ای، هیستوگرام و نمودار پراکندگی داده‌ها) توزیع داده‌ها بررسی می‌شود.

در نمودار جعبه‌ای، جعبه تقریباً ۵۰٪ از مجموعه داده‌ها را نشان می‌دهد. ۲۵٪ داده‌ها خارج از رده‌ها هستند که این مقادیر روی میانه و هینگ‌ها^۴ اثر نمی‌گذارند. به علاوه؛ به خاطر این که خط‌چین داخلی با IQR ^۵ تعیین می‌شود، روی

را مشخص می‌کند. $MIN - LW$ زمینه خیلی کم^{۱۴} را تعیین می‌کند. مقادیر خارج از خط چین داخلی^{۱۵} خارج رده‌ها هستند. داده‌های میان $Inner$ و $Outer$ خارج از رده‌های ملایم^{۱۶} هستند. داده‌های بعد از $Outer$ مقادیر غیر معمول هستند [۱۱].



شکل ۱۰: نقشه ژئوشیمیایی فاکتور ۱، ۲ و ۳ با روش فرکتال

۵ پارامتری که از نمودار به دست می‌آیند، خصوصیت زیر را برای داده‌ها مشخص می‌کنند:

- ✓ گستردگی^{۱۷} داده‌ها
- ✓ چولگی^{۱۸} داده‌ها
- ✓ طول دنباله^{۱۹}
- ✓ موقعیت یا تمایل مرکزی داده‌ها^{۲۰}
- ✓ خارج از رده‌ها^{۲۱}

جدول ۸: نقاط به دست آمده از تفکیک جوامع آنومالی در نمودارهای عیار - مساحت

عناصر	۱	۲	۳
Ag	۲/۷	۳/۶	
As	۴/۸	۵/۱	
Ba	۶/۷	۷/۰۴	۸
Ca	۲/۴۳	۲/۷۷	
Cd	۱/۹	۲/۳	۳/۳
Cu	۴/۹	۵/۵	۵/۹
Fe	۰/۹۲	۱/۸۹	
Mg	۱/۰۶	۱/۵	
Pb	۷/۶	۸/۸	
S	۰/۰۶	۰/۴۷	
Sb	۳/۱۴	۴/۴	
Zn	۶/۹	۸/۷	
Fac1	۰/۰۶	۱/۲۲	
Fac2	۱/۰۷	۱/۸۵	
Fac3	۰/۶۱	۱/۷	

برای کلاس‌بندی داده‌ها، از نمودار جعبه‌ای استفاده می‌شود. همان‌گونه که در شکل ۱۱ نشان داده شده داده‌ها به ۵ کلاس تقسیم می‌شوند:

- $Min^Y - LW^A$ ✓
- $LW - LH^A$ ✓
- $LH - UH^{10}$ ✓
- $UH - UW^{11}$ ✓
- $UW - Max$ ✓

UIF که در شکل ۱۱ مشخص است، معمولاً به عنوان حدآستانه تعیین می‌شود و مقادیر زمینه و آنومالی را جدا می‌کند. هم‌چنین UOF خط چین بعد از UIF که شامل تعدادی از خارج از رده‌ها می‌شود، هم به عنوان حد آستانه انتخاب می‌شود. در بعضی داده‌ها، ممکن است UOF در داده‌ها وجود نداشته باشد، چون بستگی به توزیع داده‌ها دارد، به این خاطر همان UIF را حدآستانه در نظر می‌گیرند. آنومالی‌ها بعد از UW ظاهر می‌شوند. UW به صورت یک خطک در شکل ۱۱ نشان داده شده است. بنابراین داده‌ها در فاصله کلاس $UH - UW$ (بیشتر از ۲۵٪ داده‌ها) می‌توانند زمینه مقدار بالا^{۱۲} را مشخص کند، مقادیر در کلاس $LH - UH$ بیش از ۵۰٪ داده‌ها، زمینه را تعیین می‌کنند. $LW - LH$ (۲۵٪ از داده‌ها) زمینه با مقدار کم^{۱۳}

جدول ۹: پارامترهای آماری مربوط به نمودار جعبه‌ای داده‌های خام

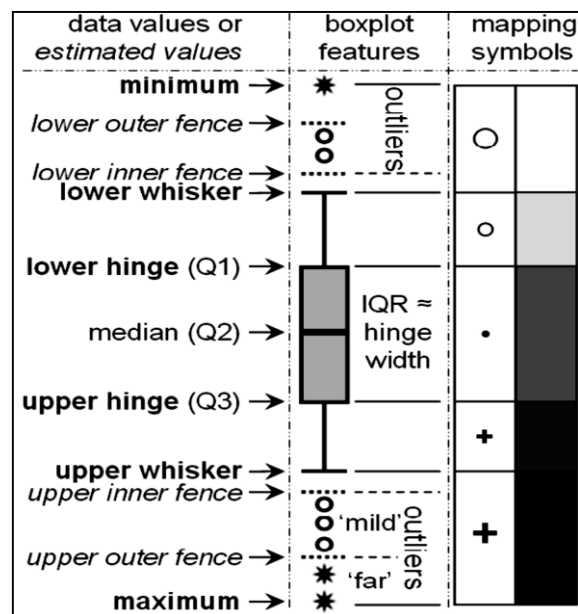
element	Min	LW	Lh	h-Spread	Uh	UW	Max	Threshold
Ag	۰/۱	۰/۱	۰/۵	۰/۶	۰/۵	۴	۷۱/۹	۴/۵
As	۲۶	۰/۱	۲۰	۱۰	۳۰	۶۵	۵۵۳	۴۰
Ba	۷۵	۷۵	۷۰۰	۵۹۵	۱۲۹۵	۲۱۵۷	۳۴۰۰	۲۱۷۸/۵
Ca	۴/۵۷	۹/۲	۱۰/۹	۱	۱۱/۹	۱۳/۹	۲۳/۶	۱۳/۴
Cd	۰/۴	۰/۴	۱	۲	۳	۵	۳۸	۶
Cu	۱۴	۱۵	۲۲	۷	۲۹	۳۵	۶۳۶	۳۹/۵
Fe	۲/۰۵	۲/۱	۲/۷	۰/۵	۳/۲	۳/۷	۸/۸	۳/۹۵
Pb	۴۷	۷۵	۲۸۹	۷۸۹	۹۰۰	۱۸۵۰	۱۰۰۰۰	۲۰۹۸۳/۵
S	۰/۰	۰/۰	۰/۰۵	۰/۰۴۵	۰/۰۹۵	۰/۱۵	۲/۱۵	۰/۱۶
Sb	۱	۱/۱	۳	۵	۸	۱۵	۱۶۴	۱۵/۵
Zn	۱۳۴	۱۳۴	۷۰۰	۱۰۰۰	۱۷۰۰	۳۱۰۰	۱۰۰۰۰	۳۲۰۰

$MAD^{۲۲}$ انحراف قدر مطلق میانه است که از رابطه ۲ به دست می‌آید. حد آستانه‌ای که از رابطه ۱ برآورد می‌شود با حد آستانه روش آمار کلاسیک از لحاظ عملکرد مشابه هستند اما از نظر ساختاری تفاوت دارند [۱۲].

با توجه به مقادیر حد آستانه‌ای که از روش آماری مذکور به دست آمده و مقادیری که از روی نمودار جعبه‌ای برآورد شد، مشخص است که این مقادیر نزدیک هم هستند و در بعضی موارد مانند هم هستند.

از روی جدول ۹ و جدول ۱۰ نقشه حد آستانه‌ای برای EDA در نرم‌افزار ArcMap تهیه می‌شود. در نقشه‌های حد آستانه‌ای EDA که آنومالی و زمینه را از هم جدا می‌کند، می‌توان جاهایی که آنومالی بروز پیدا می‌کند را مشخص کرد. با تعیین حد آستانه‌ای که به دست آوردیم، مقادیر آنومالی و زمینه مشخص می‌شوند. نقشه‌های به دست آمده برای عناصر *Ag, Ba, Cu, Fe, Pb, Zn* در شکل ۱۳ نشان داده شده است.

در نقشه EDA نقره، در امتداد شمال غرب تا جنوب آنومالی نشان می‌دهد. نقره هم یکی از پارازترهای سرب و روی است. در مقایسه با نقشه‌های آمار کلاسیک و فرکتال، آن‌ها فقط در قسمت جنوب شرق آنومالی ظاهر شده است. در صورتی که در امتداد شمال غرب تا جنوب شرق طبق اکتشافی که در قبل صورت گرفته است، کانی‌سازی داشتیم. هم چنین در نقشه EDA در این امتداد آنومالی نشان می‌دهد.



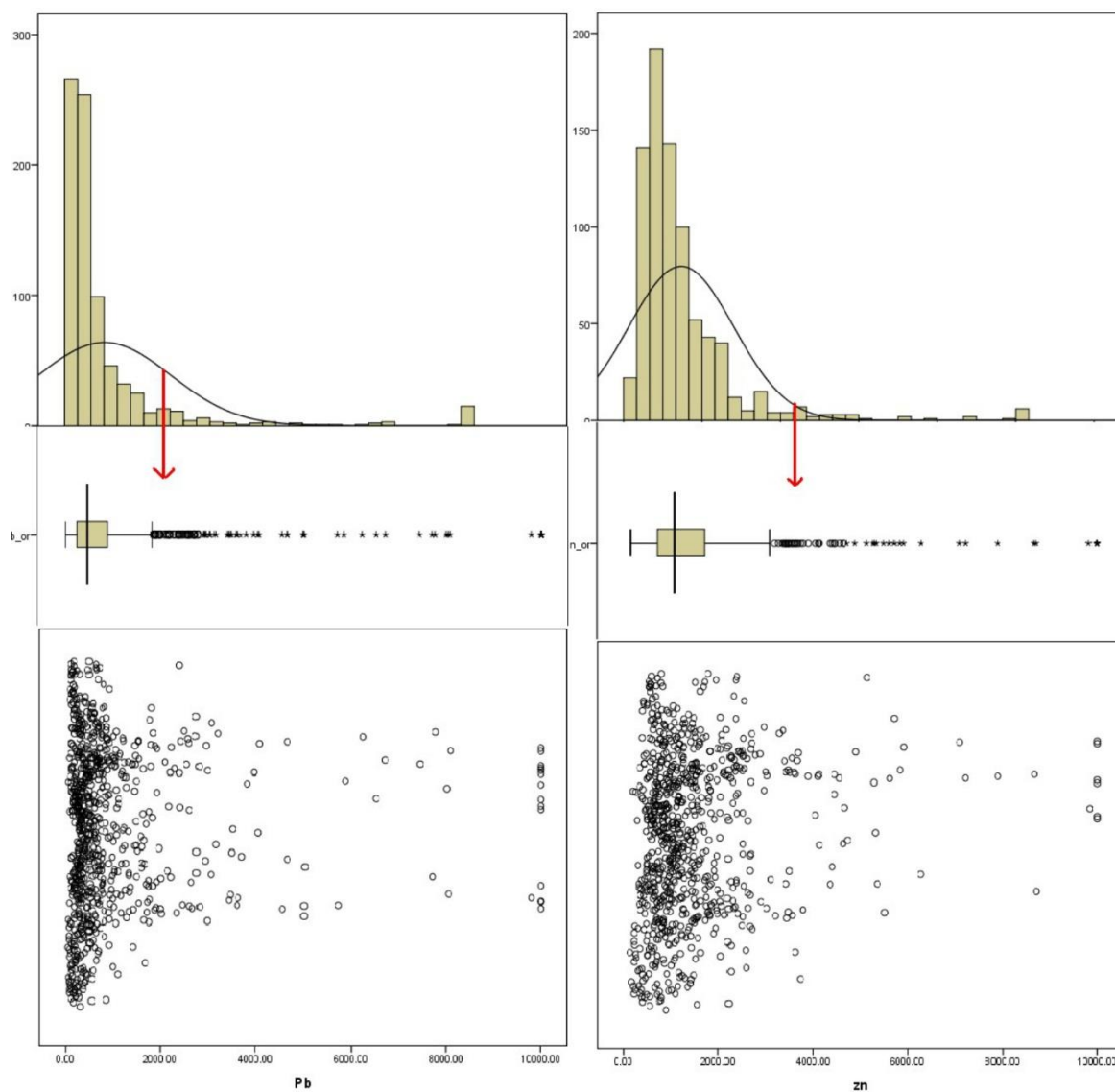
شکل ۱۱: علائم نمودار جعبه‌ای و کلاس‌بندی داده‌ها [۱۱]

با توجه به نمودار جعبه‌ای، داده‌ها کلاس‌بندی شده و میزان حد آستانه نیز مشخص می‌گردد. در جدول ۹ پارامترهای آماری مربوط به نمودار جعبه‌ای عناصر، که به عنوان نمونه برای عناصر سرب و روی در شکل ۱۲ نمایش داده شده، مشخص شده است.

در جدول ۱۰ پارامترهای آماری مربوط به مقدار حد آستانه با روش آماری زیر به دست می‌آید:

$$\text{Threshold} = \text{Median} + 2\text{MAD} \quad (۱)$$

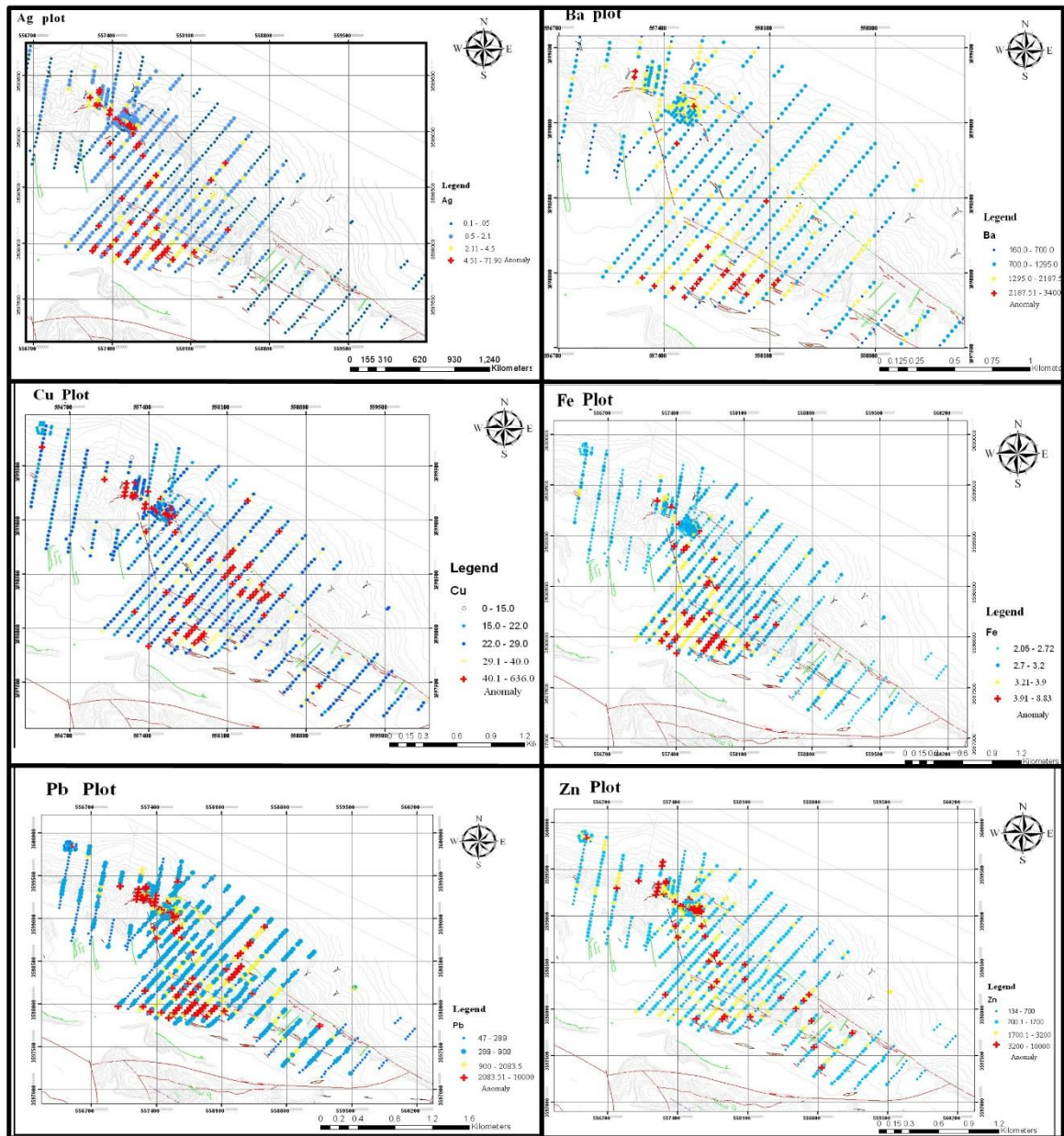
$$\text{MAD} = \text{Median}[|x_i - \text{median}(x_i)|] \quad (۲)$$



شکل ۱۲: نمودار جعبه‌ای، هیستوگرام و پراکندگی داده‌ها برای عناصر Pb و Zn . علامت فلش حدآستانه را نشان می‌دهد

جدول ۱۰: تعیین حدآستانه با روش آماری $Median+2MAD$

Element	Mean	Median	Std.Deviation	MAD	Median+2MAD
Ag	۲/۲۱۷	۱/۶۵۹	۴/۳۶۳	۱/۴۱۲	۴/۵
As	۳۲/۸	۲۵	۳۴/۲۱	۷/۴۸	۴۰
Ba	۱۵۰۱	۱۴۱۰	۳۹۹	۳۹۰	۲۱۹۰
Ca	۱۲/۸۲۱	۱۱/۷۵	۱/۱۹۷	۰/۷۵	۱۳/۲۵
Cd	۳/۵۴	۲/۵۳	۲/۹۸	۱/۶۵	۵/۸۳
Cu	۲۹/۰۰۱	۲۸/۵۴۹	۱۲/۴۵	۵/۷۷	۴۰
Fe	۳/۹۹	۲/۸۸	۰/۵۱۲	۰/۵۰۱	۳/۸۸
Mg	۳/۲۸	۳/۲۲	۰/۶۴	۰/۹۸	۵/۲
Pb	۱۰۰۸/۸	۹۰۰	۱۶۷۱/۹	۵۹۱/۷۷۵	۲۰۸۳/۵۵
S	۰/۱	۰/۰۸۵	۰/۰۴	۰/۰۳۵	۰/۱۵۵
Sb	۸/۵۲۸	۷/۵	۱۰/۸۹۱	۴	۱۵/۵
Zn	۱۶۹۳/۲	۱۴۷۰/۳	۱۳۱۴/۹	۸۶۴/۸۵	۳۲۰۰



شکل ۱۳: نقشه حد آستانه‌های EDA برای عناصر Ag, Ba, Cu, Fe, Pb, Zn

کلاسیک تنها در گوشه فوقانی شمال غرب آنومالی ظاهر شده است.

گوگرد در EDA در قسمت شمال غرب و جنوب شرق، در فرکتال فقط در شمال غرب و روش آمار کلاسیک مانند EDA آنومالی نشان دادند. چون سرب و روی به صورت PbS و ZnS وجود دارند، گوگرد در روندی که سرب و روی آنومالی داشتند، آنومالی نشان داد.

آنتی موان با دو روش EDA و کلاسیک مشابه هم آنومالی نشان دادند که در قسمت‌های شمال غرب، جنوب

در نقشه کلسیم به دست آمده از روش EDA در قسمت‌های شمال غرب، مرکز و جنوب شرق آنومالی پدیدار شده است. این مناطق منطبق با سنگ‌های آهک اوربیتولین است. در نقشه‌های آمار کلاسیک و فرکتال در مناطقی که EDA آنومالی نشان داد، آنومالی داشتند به غیر از مرکز که آن را نشان ندادند.

برای روی، در EDA در روند شمال غرب تا جنوب شرق آنومالی مشخص است اما در روش فرکتال، این روند کامل نیست و در نقاط میانی آنومالی نداریم. در روش آمار

کوچکی هم در قسمت شمال غرب نشان می‌دهد، درحالی‌که در نقشه کلاسیک اصلاً آنومالی ظاهر نشده است. در جدول ۱۱ مقدار حدآستانه که از سه روش به دست آمده است را نشان می‌دهد. با توجه به این جدول، مقادیر حدآستانه سه روش برای بعضی عناصر نزدیک به هم است و در بعضی دیگر دو روش هندسه فرکتال و *EDA* بیشتر به هم شبیه هستند.

شرق و مرکز بود؛ اما در روش فرکتال در قسمت مرکزی این آنومالی ظاهر نشده است.

نقشه کادمیم به روش *EDA* روند شمال غرب - جنوب شرق دارد. در نقشه‌های حاصل از فرکتال و آمار کلاسیک آنومالی تنها در قسمت شمال غربی می‌باشد و مانند *EDA* روند شمال غرب - جنوب شرق دارد. عنصر باریم در جنوب شرق آنومالی دارد و در نقشه فرکتال در جنوب شرق آنومالی دارد و *EDA* آنومالی خیلی

جدول ۱۱: مقادیر حدآستانه داده‌ها از سه روش آمار کلاسیک، هندسه فرکتال و *EDA*

عناصر	حدآستانه به روش آمار کلاسیک	حدآستانه به روش هندسه فرکتال	حدآستانه به روش <i>EDA</i>
Ag	۸	۹/۱	۴/۵
As	۷۰	۱۲۰	۳۷
Ba	۲۲۹۴	۷۷۲/۸	۲۱۸۷/۵
Ca	۱۳/۷۹	۱۲/۰۶	۱۳/۲۵
Cd	۹/۵	۹/۹	۵/۸۳
Cu	۲۹	۴۰	۴۰
Fe	۱/۹۹	۲	۳/۹
Mg	۳/۹	۴/۴	۵
Pb	۴۲۹۲	۱۹۸۸/۲	۲۰۸۳/۵
S	۰/۱۱	۰/۰۹	۰/۱۶
Sb	۲۱	۲۳/۱	۱۵/۵
Zn	۴۲۳۳	۳۶۲۵/۵	۳۲۰۰

کلاسیک حدآستانه بیشتری را نشان داده که بعضی نقاط را آنومالی نشان نمی‌دهد.

۸- مقایسه بین سه روش

برای جدا کردن جامعه زمینه از آنومالی، به روش آمار کلاسیک، مقدار $\bar{x} + 2s$ حدآستانه و مقادیر بیشتر از حدآستانه را تا مقدار $\bar{x} + 3s$ آنومالی احتمالی و بیشتر از آن آنومالی قطعی می‌باشند. با در نظر گرفتن این مقادیر در مورد داده‌ها، نقشه عناصر رسم گردید و نواحی ای که نشان‌دهنده آنومالی بودند، مشخص شدند. برای Zn در شمال غرب محدوده مورد مطالعه آنومالی نشان داده شد. در جنوب شرق نمایانگر آنومالی بود. عناصر Cd, Ag و Sb به ترتیب در قسمت‌های جنوب شرق، شمال غرب و در امتداد شمال غرب تا جنوب شرق آنومالی ظاهر شد. Ba آنومالی‌ای نشان نداد و Ca در محدوده شمال غرب، جنوب

مقدار حدآستانه ی عنصر سرب با روش‌های فرکتال و *EDA* تقریباً نزدیک هم است و مقادیر بعد از آن به عنوان آنومالی در نظر گرفته می‌شود. برای عنصر باریم مقدار حد آستانه از دو روش آمار کلاسیک و *EDA* به هم شبیه هستند و روش فرکتال حدآستانه کمتری نشان می‌دهد. برای کلسیم از سه روش حد آستانه‌ای مشابه به دست آمده است. آرسنیک از روش *EDA* و آمار کلاسیک حدآستانه‌ها مشابه‌اند و روش فرکتال حدآستانه‌ی بیشتری را در بردارد. برای کادمیم این مقادیر از سه روش تقریباً در یک حدود قرار دارند. مس از روش فرکتال و *EDA* دارای حد آستانه‌های مشابه است و آهن نیز مانند مس است. منیزیم از سه روش حدآستانه حدود ۴/۵ را دارد. برای گوگرد آمار کلاسیک و *EDA* و برای آنتی موان سه روش تقریباً در یک حدود هستند. در مورد عنصر روی، روش هندسه فرکتال و *EDA* حدآستانه مشابهی دارند. همین عنصر با روش آمار

است. آنومالی‌های ظاهر شده با نتایجی که از اکتشافات قبلی به دست آمده، مطابقت دارد.

۹- نتیجه گیری

مقایسه سه روش ذکر شده، نشان دهنده تطابق خوبی با هم است. روش فرکتال به علت ساختاری بودن قابلیت اعتماد بیشتری را دارد. با توجه به منابع موجود روش *EDA* نسبت به آمار کلاسیک ارجح است.

از آن جا که *EDA* روی داده‌های اولیه کار می‌کند، نتایج حاصل از آن با واقعیت تطابق خوبی دارد و آنومالی‌ها را بهتر نشان می‌دهد. روش فرکتال هم که به طور هم‌زمان توزیع فراوانی عناصر را با خاصیت فرکتالی بررسی می‌کند، جواب بهتری از آمار کلاسیک می‌دهد. بنابراین استفاده تنها از روش کلاسیک برای اکتشاف کافی نیست. به همین منظور پیشنهاد می‌شود که از روش‌های فرکتال و *EDA* به همراه آن استفاده شود. به نظر می‌رسد اولویت اول برای مطالعات بیشتر مانند حفاری، قسمت‌هایی هستند که در هر سه روش تأیید شده باشند. از آنجا که فعالیت‌های بعدی مانند حفاری هزینه‌بر هستند، پیشنهاد می‌شود که محل آنومالی‌های به دست آمده با بعضی روش‌های ژئوفیزیکی مانند *IP* و روش‌های دیگر بررسی شوند.

مراجع

- [1] Ghorbani, M., Tajbakhsh, P. & Khoie, N. (2000). "Lead and Zinc Deposits in Iran", GSI Book No 75:512 (In Persian).
- [2] Hasanipak A.A., Sharafaddin M. (2005). "Exploration Data Analysis". Tehran University, Tehran 996 p (In Persian).
- [3] NIST; (2005). "Exploratory Data Analysis", Engineering statistic handbook, www.itl.nist.gov/handbook/eda;
- [4] McQueen, K.G. (2006) "Identifying Geochemical Anomalies"; CRC LEME; Department of Earth and Marine Sciences; Australian National University, ACT 0200.
- [5] Kurzl, Hans. (1988) "Exploratory data analysis: recent advances for the interpretation of geochemical data", Journal of Geochemical Exploration, 30, 309-322.
- [6] Bounessah, M.; Atkin, B.P. (2003). An application of exploratory data analysis (EDA) as a robust non-parametric technique for geochemical

شرق و مرکز حاوی مقادیر آنومالی بود. در نقشه زمین‌شناسی منطقه مورد مطالعه، تمام آنومالی‌ها در سنگ‌های آهک اوربیتولین با میان لایه‌های دولومیت ظاهر شده‌اند.

با به کارگیری آنالیز فاکتوری، ماتریس ضرایب عامل‌های دوران شده به دست می‌آید که بر اساس این ماتریس عناصر به ۳ فاکتور تقسیم شده است: (۱) فاکتور اول شامل *Ag, Pb, Zn, Sb, Cd* و *As* است که این عناصر پارائنز یکدیگر هستند. (۲) فاکتور دوم شامل *Ca, Cu, Mg* و *S* است. (۳) فاکتور سوم شامل *Ba* و *Fe* است. سه فاکتور بیش از ۸۵ درصد تغییرات را توجیه می‌کند و فاکتور ۱ هم‌خوانی خوبی با آنالیز خوشه‌ای نشان می‌دهد.

با استفاده از هندسه فرکتال، با شناخت ماهیت فرکتالی توزیع عناصر با دقت بیشتر می‌توان آنومالی را از زمینه جدا نمود. با تبعیت از رابطه عیار - مساحت، نمودار لگاریتمی عیار - مساحت رسم می‌شود و در نقاطی که شیب نمودار تغییر می‌کند، به عنوان حدآستانه در نظر گرفته می‌شود. با داشتن این نقاط و حدآستانه، نقشه فرکتالی عناصر رسم می‌گردد. برای *Pb* و *Zn* در امتداد شمال غرب - جنوب شرق آنومالی نشان داده شد. *Ag, Cd* و *Sb* به ترتیب در قسمت‌های جنوب شرق، شمال غرب و در امتداد شمال غرب تا جنوب شرق آنومالی‌ها ظاهر شدند. نقشه فرکتالی *Sb* شبیه به نقشه آمار کلاسیک آنومالی نشان داد. *Ba* بر خلاف نقشه کلاسیکی آن که آنومالی نشان نداد، در قسمت جنوب شرق آنومالی ظاهر شد.

با استفاده از *EDA* نیز جوامع زمینه و آنومالی را از هم تفکیک شدند. بر اساس حد آستانه‌ای که از روی نمودار جعبه‌ای به دست آمد، نقشه حد آستانه‌ای آن رسم شد که نواحی زمینه و آنومالی جدا شدند. نقشه‌های به دست آمده برای عناصر *Pb* و *Zn* از شمال غرب تا جنوب شرق و پراکنندگی‌هایی در مرکز و قسمت فوقانی شمال غربی آنومالی نشان می‌دهد. *Ag* در امتداد شمال غرب تا جنوب آنومالی نشان می‌دهد. *Cd* مطابق با آنومالی سرب و روی است که از شمال غرب تا جنوب شرق است. *Sb* با دو روش *EDA* و کلاسیک مشابه هم آنومالی نشان دادند که در قسمت‌های شمال غرب، جنوب شرق و مرکز بود؛ اما در روش فرکتال در قسمت مرکزی این آنومالی ظاهر نشده

stream sediment data, *Journal of Environ Geol*, 58, 1479-1497.

[10] Shahabpoor, J. (2009). *Economic Geology*. Shahid Bahonar University of Kerman, 5 (In Persian).

[11] Hale, M., (2009). *Geochemical Anomaly and Mineral Prospectivity Mapping in GIS*, Handbook of exploration and environmental geochemistry, 11.

[12] Malekzade, S., (2010). "Geochemical data analysis of Irankouh (Esfahan) Pb- Zn mine, using exploratory data analysis (EDA) and fractal methods". M.Sc. Thesis, University of Yazd, Yazd, Iran, 163 pp. (In Persian with English abstract)

mapping in a semi-arid climate, *Journal of Applied Geochemistry*, 18, 1185-1195.

[7] Chiprés, J.A., Castro-Larragoitia, J.; Monroy, M.G. (2009). Exploratory and spatial data analysis (EDA-SDA) for determining regional background levels and anomalies of potentially toxic elements in soils from Catorce-Matehuala, Mexico, *Journal of Applied Geochemistry*, 24, 1579-1589.

[8] Yusta, I., Velasco, F., & Herrero, J. M. (1998). Anomaly threshold estimation and data normalization using EDA statistics: application to lithochemical exploration in Lower Cretaceous Zn-Pb carbonate-hosted deposits, Northern Spain, *Journal of Applied Geochemistry*, 13, 421-439.

[9] Zumlot, T., Goodell, P., & Howari, F. (2009). Geochemical mapping of New Mexico, USA, using

^{۱۲} High Background

^{۱۳} Low Background

^{۱۴} Very Low Background

^{۱۵} Inner Fence

^{۱۶} Mild

^{۱۷} Spread

^{۱۸} Skewness

^{۱۹} Lengths Of Tails

^{۲۰} Location or central tendency

^{۲۱} Outliers

^{۲۲} Median Absolute Deviation

^۱ Communalities

^۲ Extraction

^۳ Varimax

^۴ Hing

^۵ Inter Quartile Range, $IQR = Q3 - Q1$

^۶ quartile

^۷ Minimum

^۸ Lower Whisker

^۹ Lower Hing

^{۱۰} Upper hing

^{۱۱} Upper Whisker