

بررسی همبستگی ژئوشیمیایی عناصر در سیستم‌های عددی باز و بسته مطالعه موردی کانسار مس کوه پنج (استان کرمان)

پریسا روشنی رودسری^۱، احمدرضا مختاری^{۲*}، سید حسن طباطبایی^۳

۱- دانشجوی کارشناسی ارشد اکتشاف معدن، دانشکده مهندسی معدن، دانشگاه صنعتی اصفهان

۲- استادیار دانشکده مهندسی معدن، دانشگاه صنعتی اصفهان

۳- استادیار دانشکده مهندسی معدن، دانشگاه صنعتی اصفهان

(دریافت ۳۰ خرداد ۹۰، پذیرش اردیبهشت ۹۲)

چکیده

داده‌های ژئوشیمیایی به علت حضور داده‌های پرت و همچنین وجود چولگی در توزیع داده‌ها معمولاً به صورت داده‌های ترکیبی که دارای سیستم عددی بسته هستند، مطرح می‌شوند. سیستم عددی بسته به مجموعه داده‌هایی گفته می‌شود، که متشکل از چند متغیر می‌باشند، مجموع مقادیر متغیرها معمولاً ثابت و برابر واحد (۱۰۰٪) است. در این صورت اگر یک متغیر افزایش یابد، سایر متغیرها به اجبار کاهش می‌یابند. با محاسبه ضرایب همبستگی داده‌های سیستم عددی باز و بسته می‌توان دریافت که یک افزایش در مقادیر سیستم عددی بسته وجود دارد که غیر واقعی و کاذب است. ویژگی این چنین داده‌هایی مانع از به کارگیری تکنیک‌های آماری استاندارد بر روی آن‌ها می‌گردد. بدین منظور روش‌های مختلفی برای باز کردن سیستم داده‌ها بیان شده‌اند. در این پژوهش از روش‌های تبدیل لگاریتمی افزایشی، تبدیل لگاریتمی میان مرکز و تبدیل لگاریتمی ایزومتری برای باز کردن داده‌های ژئوشیمیایی منطقه کوه پنج استفاده شده است. به منظور مقایسه نتایج به دست آمده از این سه تبدیل و همچنین مقایسه با حالت بسته بودن، ضریب همبستگی بین عناصر محاسبه و آنالیز خوشه‌ای بر روی داده‌ها انجام شد. با توجه به نتایج به دست آمده، تجزیه و تحلیل داده‌ها پس از باز کردن سیستم به واقعیت نزدیک تر بوده و می‌توان گفت روش تبدیل لگاریتمی میان مرکز نسبت به دو روش دیگر ارجحیت دارد.

کلمات کلیدی

همبستگی ژئوشیمیایی، سیستم‌های عددی باز و بسته، کانسار مس کوه پنج

۱- مقدمه

سیستم عددی بسته به مجموعه داده‌هایی گفته می‌شود، که متشکل از چند متغیر می‌باشند که یک یا چند محدودیت بر روی داده‌ها اعمال می‌شود. مجموع مقادیر متغیرها معمولاً ثابت و برابر ۱۰۰ و یا واحد است. در ژئوشیمی این داده‌ها به صورت درصد یا ppm بیان می‌شوند. با محاسبه ضرایب همبستگی داده‌های سیستم عددی باز و بسته می‌توان دریافت که یک افزایش در مقادیر سیستم عددی بسته وجود دارد که غیر واقعی و کاذب است. افراد زیادی از جمله پیرسن (۱۸۹۷)، سارمانوف و ویستلیوس (۱۹۵۹)، کرومبین (۱۹۷۱)، باتلر (۱۹۷۹)، داویس (۱۹۸۶)، رولینسون (۱۹۹۵)، آیچسون و اگازکیو (۲۰۰۵) در مورد سیستم عددی بسته کار کرده‌اند [۱] - [۷]. داده‌های ژئوشیمیایی به علت حضور داده‌های پرت و همچنین وجود چولگی راست در توزیع داده‌ها معمولاً به صورت داده‌های ترکیبی که دارای سیستم عددی بسته هستند، مطرح می‌شوند. متغیرها در این نوع داده‌ها به طور مستقل نمی‌توانند تغییر کنند و تغییرات آن‌ها وابسته به یکدیگر خواهد بود. همچنین یک همبستگی کاذب و ساختگی به علت مجموع ثابت متغیرها ایجاد می‌شود. ویژگی این چنین داده‌هایی مانع از به کارگیری تکنیک‌های آماری استاندارد بر روی آن‌ها می‌گردد. چرا که این تکنیک‌ها برای داده‌هایی که در محدوده $-\infty$ تا $+\infty$ تغییر می‌کنند، طراحی شده است. در صورتی که در داده‌های سیستم بسته مقدار هر ترکیب مثبت و بین ۰ تا ۱۰۰ (مقدار ثابت) است. در این صورت اگر یک متغیر افزایش یابد، سایر متغیرها به اجبار کاهش می‌یابند. به سبب وجود این چنین خواصی از روش‌های آماری مانند آنالیز فاکتوری، آنالیز تمایز و آنالیز مؤلفه اصلی که بر مبنای ماتریس کوواریانس و یا ماتریس ضرایب همبستگی هستند، نمی‌توان از داده‌های ترکیبی به صورت خام استفاده نمود. با این وجود هنوز هم توجه عمده‌ای به این مشکلات نمی‌شود، زیرا تا سال ۱۹۸۰، هیچ روشی برای غلبه بر این مشکل ارائه نشده بود و همچنین در بسیاری از موارد به کارگیری روش‌های آماری ظاهراً نتایج قابل تفسیر و معقولی به دست می‌داده است [۸]، [۹].

راک (۱۹۸۸) مسائل مربوط به استفاده از تحلیل آماری بر روی داده‌های ترکیبی را این چنین توصیف نمود:

۱) روند و تعیین فاکتورهای کنترل‌کننده بر اساس

دیاگرام مؤلفه اصلی و همچنین سنگ‌شناسی می‌تواند

کم و یا بدون اهمیت از لحاظ زمین‌شناسی باشد.

۲) نحوه توزیع داده‌ها (چولگی و کشیدگی) می‌تواند

ناشی از بسته بودن (Closure) باشد.

۳) دندوگرام ناشی از آنالیز خوشه‌ای می‌تواند به شدت

نادرست باشد.

۴) نتایج آنالیز تمایز گمراه‌کننده خواهد بود.

۵) ضرایب همبستگی کاذب و ساختگی خواهد بود.

۶) نتایج تحلیل‌ها عمدتاً ناقص است، زیرا از تکنیک‌هایی

استفاده شده که برای این چنین داده‌هایی طراحی

نشده‌اند [۱۰].

چایس (۱۹۷۱، ۱۹۶۰، ۱۹۸۳) چنین بیان می‌کند که

مشکل اصلی تحلیل آماری داده‌های ترکیبی با استفاده از

روش‌های مرسوم، عدم قطعیتی است که همراه نتایج است.

همچنین امکان تشخیص عوامل ساختگی (کاذب) ایجاد شده بر

روی داده‌ها با عوامل اصلی (طبیعی) وجود ندارد [۱۱] - [۱۳].

در تحلیل داده‌های اکتشافی، برای باز کردن داده‌ها و حذف

اثر بسته بودن روش‌های مختلفی ارائه شده است. از مهم‌ترین

این روش‌ها تبدیل نسبت لگاریتمی افزایشی، تبدیل نسبت

لگاریتمی میان مرکز و تبدیل نسبت لگاریتمی ایزومتریک است.

ضرایب به دست آمده از نسبت‌های لگاریتمی، متغیرهای

تصادفی هستند که بین $-\infty$ تا $+\infty$ تغییر می‌کنند. بنابراین

امکان تحلیل آماری چند متغیره بر روی آن‌ها آسان است [۸]،

[۹]، [۱۴].

۱-۱- تبدیل لگاریتمی افزایشی

آیچسون (۱۹۸۲) نسبت لگاریتمی افزایشی

(Logratio Transformation Additive) را مطرح نمود. در

این تبدیل از بین متغیرهای موجود یک متغیر انتخاب می‌شود

و سایر متغیرها بر آن تقسیم گردیده سپس از آن‌ها لگاریتم

گرفته می‌شود. بدین ترتیب سیستم از حالت بسته خارج

می‌گردد ولی متغیر انتخاب شده از مجموعه داده‌ها حذف

می‌شود. در این صورت باید در انتخاب این متغیر دقت شود،

زیرا اگر متغیر انتخاب شده تشکیل‌دهنده (متغیر) اصلی سنگ

باشد، باز هم نوعی همبستگی کاذب ایجاد می‌گردد. در

ژئوشیمی برای انتخاب متغیر از عناصر فرعی و یا ردیاب مانند

Ti, Zr استفاده می‌شود، چون این عناصر اگر از مجموعه داده‌ها

حذف گردند در تحلیل اکتشافی کانسار مشکلی ایجاد نمی‌شود.

نسبت به دو روش فوق کمی پیچیده‌تر خواهد بود و قواعد متفاوتی برای انجام آن وجود دارد. در این روش هر متغیر بر ریشه مجموع متغیرهای دیگر تقسیم می‌شود، سپس از مقادیر به دست آمده لگاریتم گرفته می‌شود و در آخر در یک ضریبی که وابسته به تعداد متغیرها است ضرب خواهد شد. پس از انجام این تبدیل بر روی داده‌ها ارتباط مستقیم بین متغیرهای اصلی از بین می‌رود [۱۸]، [۱۹].

$$X = (x_1, x_2, \dots, x_D)$$

$$ilr(x) = \sqrt{\frac{D-i}{D-i+1}} \ln \frac{x_i}{D - i \sqrt{\frac{D}{\prod_{j=i+1}^D x_j}}} \quad (3)$$

۴-۱- ضریب همبستگی داده‌های ترکیبی

وقتی با داده‌های ژئوشیمیایی کار می‌کنیم باید به مشکل بسته بودن سیستم داده‌ها توجه کرد. نمونه بارز این چنین داده‌هایی، نتایج آنالیز XRF است که مجموع آن‌ها برابر ۱۰۰ است. اگر بسته بودن یک مشکل ذاتی برای همه داده‌های ترکیبی باشد، مهم نیست که آیا اجزای اصلی مشخص شده‌اند یا نه؟ حتی اگر فقط عناصر کمیاب استفاده شده باشند، بهتر است از باز کردن سیستم استفاده شود. برای تحلیل ضریب همبستگی این چنین داده‌هایی ابتدا باید این داده‌ها توسط تبدیل لگاریتمی افزایشی یا تبدیل لگاریتمی میان مرکز باز شوند. در اینجا نمی‌توان از تبدیل لگاریتمی ایزومتری استفاده نمود، زیرا در این روش ارتباط بین متغیرهای اصلی به طور کامل از حالت مستقیم منحرف می‌شود. در نتیجه برای مطالعه ضریب همبستگی مناسب نیست. وقتی از تبدیل لگاریتمی افزایشی برای باز کردن سیستم استفاده می‌شود، ضریب همبستگی به عنصر انتخاب شده بستگی دارد نه به متغیرهای اصلی دیگر. در اینجا ضریب همبستگی محاسبه شده پس از این تبدیل به مراتب قابل تفسیرتر است. وقتی از تبدیل لگاریتمی میان مرکز جهت باز کردن سیستم استفاده کنیم، ضریب همبستگی مرتبط با میانگین هندسی متغیرها است. در اینجا نیز چون مسئله انتخاب متغیر مطرح نیست تبدیل لگاریتمی میان مرکز برای تحلیل ضریب همبستگی ارجحیت دارد [۸].

۲- موقعیت جغرافیایی و زمین‌شناسی منطقه مورد مطالعه

منطقه کوه پنج در جنوب غرب استان کرمان بین طول‌های جغرافیایی $53^{\circ}02'56''$ و $56^{\circ}06'00''$ و عرض‌های جغرافیایی 13°

این روش غیر عینی خواهد بود، زیرا به انتخاب متغیر تقسیم‌کننده وابسته است و این متغیر بر اساس تجربه و اعمال نظر شخصی تعیین می‌گردد و هیچ نظریه خاصی برای آن تعریف نشده است. با استفاده از این روش رابطه مستقیم بین داده‌های اصلی یا واحد اندازه‌گیری آن‌ها تحت این تبدیل از بین می‌رود، همچنین یکی از نکات بسیار مهم در انجام این تبدیل، انتخاب متغیر تقسیم‌کننده است [۸]، [۹]، [۱۵]، [۱۶].

$$X = (x_1, x_2, \dots, x_D)$$

$$alr(x) = \left[\ln \frac{x_1}{x_j}, \dots, \ln \frac{x_j^{-1}}{x_j}, \ln \frac{x_j^{+1}}{x_j}, \dots, \ln \frac{x_D}{x_j} \right] \quad (1)$$

۲-۱- تبدیل لگاریتمی میان مرکز

آیچسون (۱۹۸۶) نسبت لگاریتمی میان مرکز را مطرح نمود. در این روش بهتر است از هر متغیر لگاریتم گرفته شود، سپس لگاریتم میانگین هندسی متغیرها از آن‌ها کسر گردد. در اینجا باید همه متغیرها واحد یکسان داشته باشند. در این روش نسبت به روش قبل، متغیری از مجموعه داده‌ها حذف نمی‌شود. ولی یکی از معایب این روش معکوس ناپذیر بودن ماتریس کواریانس متغیرهاست (دترمینان برابر صفر). بنابراین بسیاری از تحلیل‌های آماری چند متغیره را نمی‌توان بر روی داده‌ها انجام داد. همان طور که برای لگاریتم افزایشی بیان شد، با استفاده از تبدیل لگاریتمی میان مرکز نیز ارتباط بین داده‌های اصلی و یا واحد اندازه‌گیری آن‌ها از بین می‌رود. چون در این تبدیل هیچ متغیری از مجموعه داده‌ها حذف نمی‌شود، این روش را می‌توان نسبت به روش قبل ترجیح داد [۱۷].

$$X = (x_1, x_2, \dots, x_D)$$

$$clr(x) = \left[\ln \frac{x_i}{\sqrt[D]{\prod_{i=1}^D x_i}}, \dots, \ln \frac{x_D}{\sqrt[D]{\prod_{i=1}^D x_i}} \right] \quad (2)$$

۳-۱- تبدیل لگاریتمی ایزومتری

اگازکیو (۲۰۰۳) روش تبدیل لگاریتمی ایزومتری (Isometric Logratio Transformation) را پیشنهاد کرد. این تبدیل بر تبدیل لگاریتم میان مرکز غلبه می‌کند و امکان محاسبه معکوس ماتریس کواریانس وجود دارد، علاوه بر آن از لحاظ خواص هندسی ترجیح داده می‌شود. ولی این روش

۵۰° ۲۹' و ۵۳° ۲۹' و در ۳۰ کیلومتری جنوب شرق معدن مس سرچشمه واقع شده است که به لحاظ زمین‌شناسی و محیط ساختمانی مشابه آن است. این منطقه در تقسیم‌بندی زمین‌شناسی ایران در کمربند ارومیه دختر و در تقسیم‌بندی زمین‌شناسی کرمان در کمربند دهج - ساردوئیه واقع شده است [۲۰]. منطقه مورد مطالعه از مجموعه‌های آتشفشانی - رسوبی شامل آندزیت، تراکی آندزیت، بازالت، سنگ‌های آذرآواری و ماسه‌سنگ با سن ائوسن تشکیل شده است. این مجموعه توسط یک توده نفوذی به سن احتمالی الیگومیوسن قطع شده است [۲۱]. توده نفوذی دارای چندین فاز ماگمایی است که ترکیب آن از دیوریت تا کوارتز دیوریت و از میکرو کوارتز دیوریت تا میکرو گرانو دیوریت متغیر است (شکل ۱). در منطقه کوه پنج انواع دگرسانی‌های شاخص کانسارهای مس پورفیری مشاهده شده است. دگرسانی پتاسیک ضعیف بیوتیتی در واحد کوارتز دیوریت و دگرسانی پتاسیک متوسط (فلدسپار پتاسیم ثانویه) در گرانودیوریت پورفیری دیده می‌شود. دگرسانی فیلیک بخش وسیعی از سنگ‌های داسیتی را تحت تأثیر قرار داده است. دگرسانی رسی در بخشی از توده نفوذی و همچنین در سنگ‌های داسیتی دیده می‌شود. دگرسانی پروپیلیتیک در حاشیه شمالی و جنوبی کانسار، سنگ‌های آتشفشانی و مواد آذرآواری را تحت تأثیر قرار داده است. کانی سازی در سه منطقه شامل درون زاد، غنی‌شدگی سولفیدی ثانویه و اکسیدی حضور دارد. پارائز کانی‌ها در منطقه درون زاد شامل کالکوپریت، مولیبدنیت، تتراهدريت و پیریت است. در منطقه غنی‌شدگی سولفیدی ثانویه حضور کوولیت، کالکوسیت و بورنیت به ثبت رسیده است. کانی‌های منطقه اکسید شامل ژاروسیت، گوتیت، مالاکیت، آزوریت و همتایت می‌باشد. کانسار کوه پنج از نوع مس-مولیبدن پورفیری است که عمده توده معدنی در قسمت مرکزی منطقه با روند شمال‌غربی- جنوب شرقی واقع بر سنگ‌های دیوریت تا کوارتز دیوریت قرار دارد [۲۱].

۳- مواد و روش تحقیق

به منظور بررسی ژئوشیمیایی سطحی کانسار کوه پنج در محدوده‌ای به وسعت ۶/۵ کیلومترمربع در سلول‌های ۱۰۰×۱۰۰ متر نمونه‌های سنگی به تعداد ۶۱۲ نمونه برداشت و برای ۴۳ عنصر آنالیز شده‌اند، عنصر طلا به روش Fire Assay و سایر عناصر به روش ICP مورد آنالیز قرار گرفته‌اند. آنالیز این

نمونه‌ها در آزمایشگاه Amdel استرالیا صورت گرفته است [۲۲]. در اینجا داده‌هایی که دارای مقادیر کمتر از حد قابل ثبت روش آنالیز بودند، با مقدار ۳/۴ حد قابل ثبت جایگزین شده است. همچنین داده‌های خارج از رده یا پرت نیز در مجموعه داده‌ها وجود نداشته است. به منظور مطالعات آماری پایه، پارامترهای داده‌های خام ۱۴ عنصر ارائه شده است (جدول ۱). دامنه تغییرات مس از ۵/۹ ppm تا ۳۹۹۰ ppm، مولیبدن از ۰/۰۷۵ ppm تا ۱۱۰ ppm و طلا از ۰/۷۵ ppb تا ۳۵ ppb در منطقه متغیر است. به منظور باز کردن سیستم داده‌های فوق از هر سه روش تبدیل نسبت لگاریتمی افزایشی، تبدیل نسبت لگاریتمی میان مرکز و تبدیل نسبت لگاریتمی ایزومتریک استفاده شد. نمودار پراکندگی برای عناصر مختلف بر اساس نتایج حاصل از هر یک از روش‌های $\ln$, $\ln$, $\ln$ نسبت به حالت اولیه رسم گردید (اشکال ۲ و ۳). با توجه به شکل‌های رسم شده می‌توان گفت پس از باز کردن سیستم در نسبت نمونه‌ها با یکدیگر برای غلظت‌های متفاوت تغییر ایجاد شده که از خط مستقیم با زاویه ۴۵ درجه منحرف شده است. بر این اساس نسبت تغییرات نمونه‌ها با غلظت پایین با شدت بیشتری نشان داده شده است، در صورتی که نمونه‌های با غلظت بالاتر با شدت کمتری تغییرات نشان می‌دهند.

۳-۱- تحلیل ضریب همبستگی در حالت سیستم باز و بسته

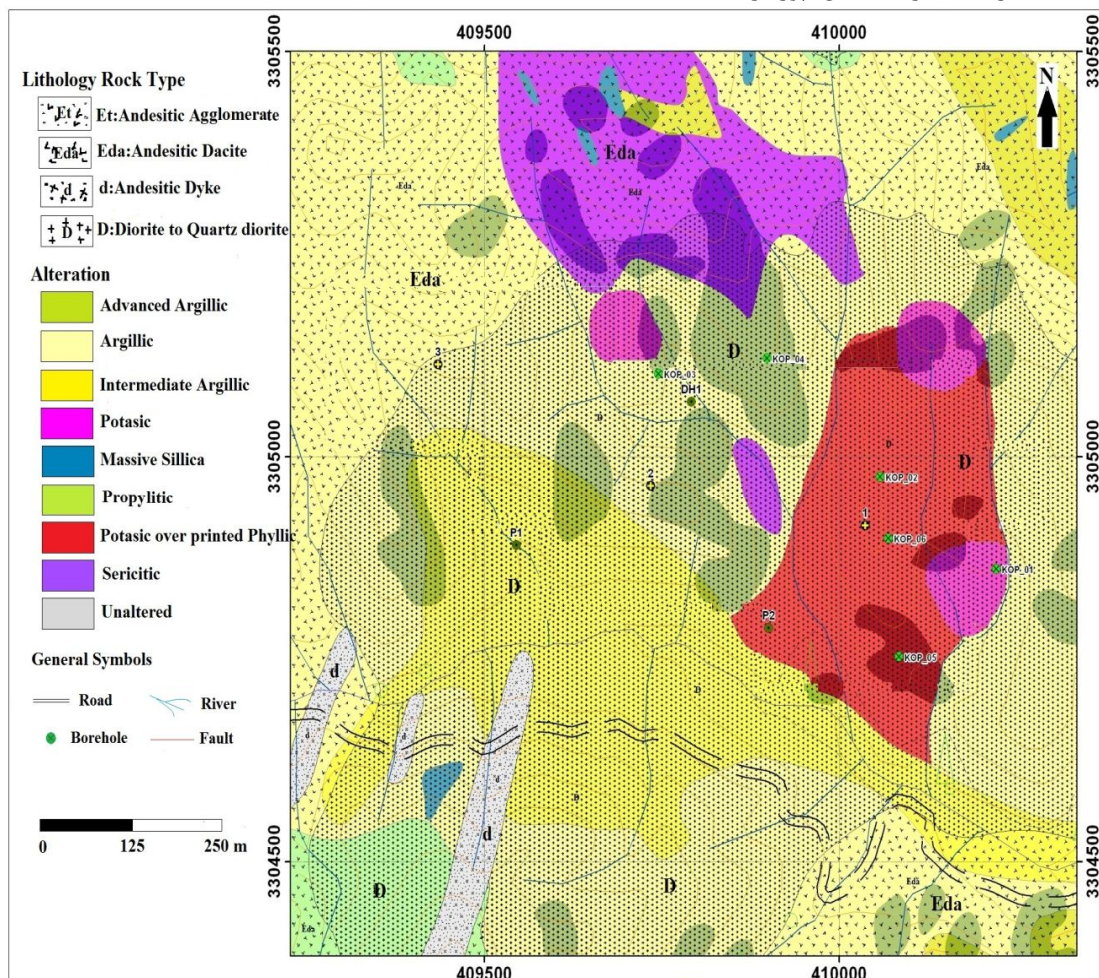
به منظور تحلیل ضریب همبستگی در حالت سیستم باز و بسته، ضریب همبستگی بین داده‌ها در حالت سیستم بسته به دلیل غیر نرمال بودن داده‌ها از روش اسپیرمن و برای نتایج تبدیل لگاریتمی افزایشی و تبدیل لگاریتمی میان مرکز از روش پیرسن محاسبه شد (جدول ۲، ۳، ۴). با مقایسه جداول ۲، ۳، ۴ ضریب همبستگی در سیستم بسته بین مس و مولیبدن برابر ۰/۶۴ و بین مس و طلا ۰/۳۲ است، در سیستم باز به روش نسبت لگاریتمی افزایشی بین مس و مولیبدن برابر ۰/۸۴ و بین مس و طلا ۰/۶۵ است، در سیستم باز به روش تبدیل لگاریتمی میان مرکز بین مس و مولیبدن برابر ۰/۶۸ و بین مس و طلا ۰/۲۹ است. همان‌طور که قبلاً اشاره شده برای تحلیل ضریب همبستگی نمی‌توان از روش تبدیل لگاریتمی ایزومتریک استفاده نمود، همچنین چون روش تبدیل لگاریتمی افزایشی به انتخاب متغیر وابسته است و با تغییر متغیر تقسیم‌کننده جواب متفاوتی به دست می‌آید، بنابراین جهت بررسی ضریب همبستگی در مجموعه داده‌های با سیستم بسته جهت باز کردن سیستم، تنها می‌توان از تبدیل لگاریتمی میان مرکز

استفاده نمود.

۲-۳- آنالیز خوشه‌ای در حالت سیستم باز و بسته

به منظور بررسی تغییرات ناشی از تبدیلات فوق بر روی داده‌ها، آنالیز خوشه‌ای به روش وارد بر روی هر یک از تبدیلات انجام شد (اشکال ۴، ۵، ۶ و ۷). با مقایسه دندروگرام رسم شده بر اساس داده‌های خام با سه دندروگرام ناشی از داده‌های تبدیل یافته نتایج زیر حاصل می‌شود: نتایج آنالیز خوشه‌ای حاصل از تبدیل لگاریتمی افزایشی و ایزومتریکی مشابه است. در دندروگرام رسم شده بر اساس داده‌های خام مس همراه طلا در یک خوشه جای گرفته است در حالی که در سایر دندروگرام‌ها مس همراه با مولیبدن طبقه‌بندی شده است. عنصر رنیوم (*Re*) در دندروگرام ناشی از داده‌های تبدیل یافته به روش لگاریتم میان مرکز، لگاریتم ایزومتریکی و لگاریتم افزایشی همراه با مس و مولیبدن در یک خوشه قرار می‌گیرد. زیرا رنیوم معمولاً در مولیبدنیت که همراه کانسارهای مس پورفیری است، یافت

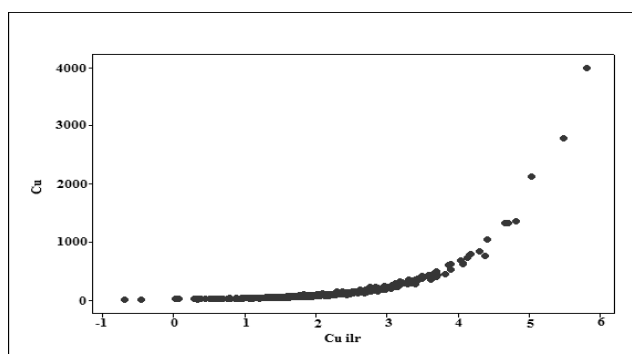
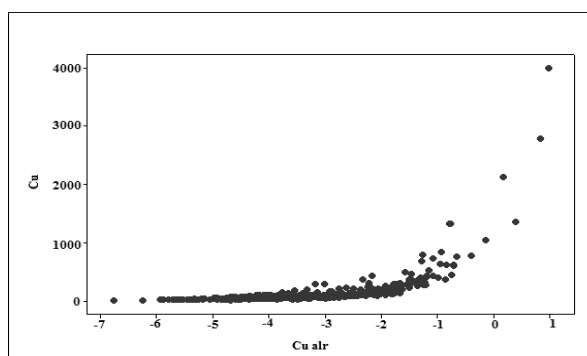
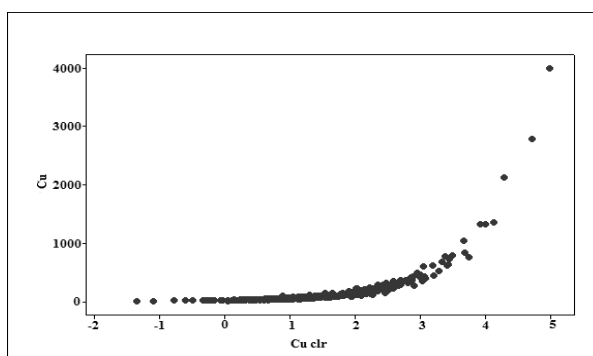
می‌شود. همچنین عنصر رنیوم به عنوان ردیاب مس پورفیری مطرح می‌شود و به عنوان یک محصول جانبی از مولیبدن و مس به دست می‌آید. بنابراین باید نزدیک مولیبدن و مس طبقه‌بندی شود [۲۴]. در دندروگرام‌های ناشی از داده‌های تبدیل یافته به روش لگاریتم میان مرکز و لگاریتم ایزومتریکی، عناصر *Al*، *K*، *Tl* در یک خوشه طبقه‌بندی می‌شوند، که معرف کانی‌های سیلیکاته و نشان‌دهنده وجود آلتراسیون پتاسیک در منطقه می‌باشند. یکی از ویژگی‌های بارز کانسار کوه پنج آلتراسیون پتاسیک در منطقه است [۲۲]. در منطقه کوه پنج رگچه‌های کوارتز مگنتیت نوع *A* که همراهی طلا را معمولاً در کانسارهای پورفیری نشان می‌دهند، یافت می‌شوند [۲۵]. [۲۶]. به همین دلیل عنصر طلا نزدیک به خوشه مس و مولیبدن به همراه نقره طبقه‌بندی می‌گردد.



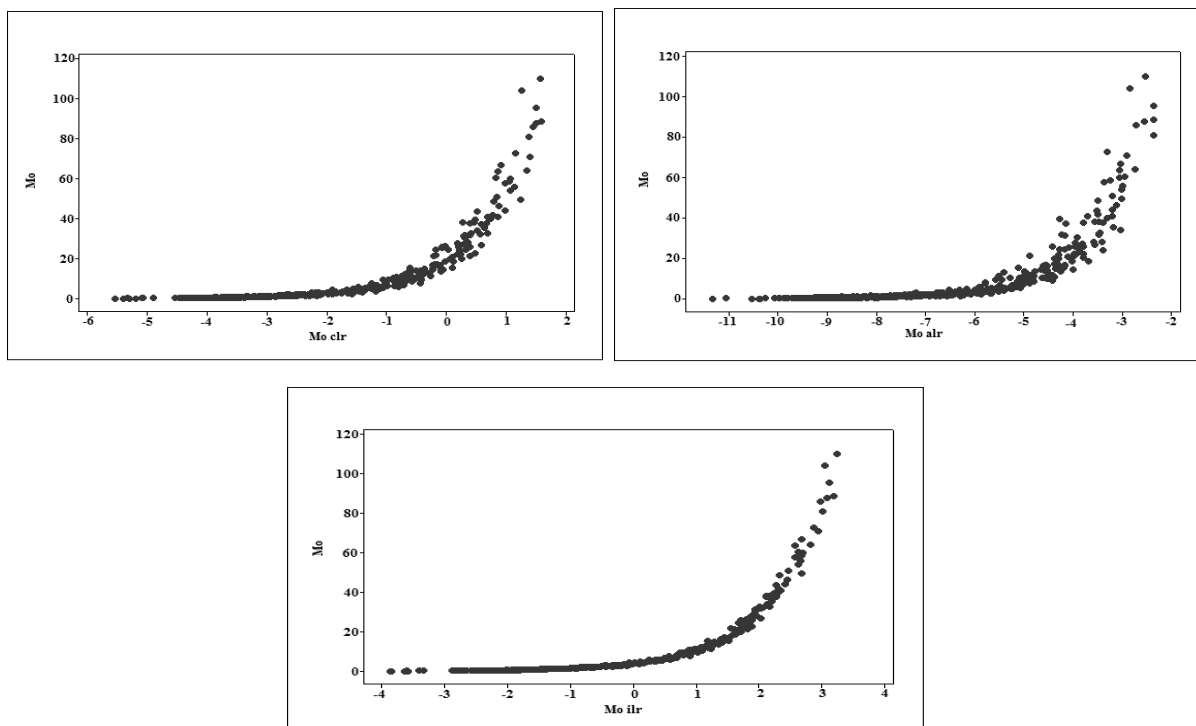
شکل ۱: نقشه زمین‌شناسی و آلتراسیون کانسار مس-مولیبدن کوه پنج [۲۳]

جدول ۱: پارامترهای آماری عناصر در نمونه‌های سنگی (همه عناصر بر حسب ppm، طلا بر حسب ppb)

کشی‌دگی	چولگی	میانه	بیشینه	کمینه	انحراف معیار	میانگین	مقدار	متغیر
۱۶/۲۲	۳/۵۷	۰/۱۹	۲/۶۶	۰/۰۰۸	۰/۳۴	۰/۲۹	۶۱۲	Ag
۰/۵	-۰/۰۹	۸۶۶۰۰	۱۱۴۰۰۰	۴۲۱۰۰	۹۷۴۸	۸۶۸۶۷	۶۱۲	Al
۷۵/۸۵	۷/۲۹	۰/۷۵	۳۵	۰/۷۵	۲/۴۹	۱/۶۳	۶۱۲	Au
۸/۹۹	۱/۶۹	۵۷۸	۱۹۴۰	۱۱۷	۱۷۲/۰۱	۵۸۵/۵۸	۶۱۲	Ba
۱۴۲/۵۸	۹/۱۳	۰/۵	۲۴/۸	۰/۰۷۵	۱/۴	۰/۹	۶۱۲	Bi
۱/۱	۱/۱۳	۱۳۹۰۰	۸۵۳۰۰	۷۹۳	۱۵۳۹۲	۱۶۹۸۵	۶۱۲	Ca
۱۱۷/۱۲	۹/۴۵	۶۰	۳۹۹۰	۵/۹	۲۵۳/۴	۱۱۹/۲	۶۱۲	Cu
۵/۰۸	۲/۱۸	۲۶۲۰۰	۱۱۰۰۰۰	۴۸۸۰	۱۳۴۶۷	۲۹۶۸۴	۶۱۲	Fe
۰/۶۳	-۰/۰۱	۲۱۶۰۰	۴۴۸۰۰	۲۳۷۰	۶۴۱۸	۲۱۵۹۱	۶۱۲	K
۸/۸۴	۲/۰۸	۴۳۸	۴۲۲۰	۲۰	۴۶۵/۲	۴۷۶/۲	۶۱۲	Mn
۱۵/۰۳	۳/۶۱	۰/۹۵	۱۱۰	۰/۰۷۵	۱۵/۰۶	۶/۹	۶۱۲	Mo
۱۵/۳۳	۳/۴۳	۲۶/۴	۴۹۶	۰/۱۵	۵۹/۹۵	۴۷/۷۷	۶۱۲	Pb
۲۳۱/۴۹	۱۳/۹۱	۰/۰۰۳	۰/۱۳	۰/۰۰۱	۰/۰۰۷	۰/۰۰۴	۶۱۲	Re
-۰/۴	۰/۶۸	۰/۹	۲/۹	۰/۰۷۵	۰/۶	۰/۹۹	۶۱۲	Tl



شکل ۲: نمودار پراکندگی عنصر مس حاصل از تبدیل alr، elr، ilr نسبت به مس داده خام



شکل ۳: نمودار پراکندگی عنصر مولیبدن حاصل از تبدیل clr, alr, ilr نسبت به مولیبدن داده خام

جدول ۲: ضریب همبستگی اسپیرمن عناصر در نمونه‌های سنگی (سیستم بسته)

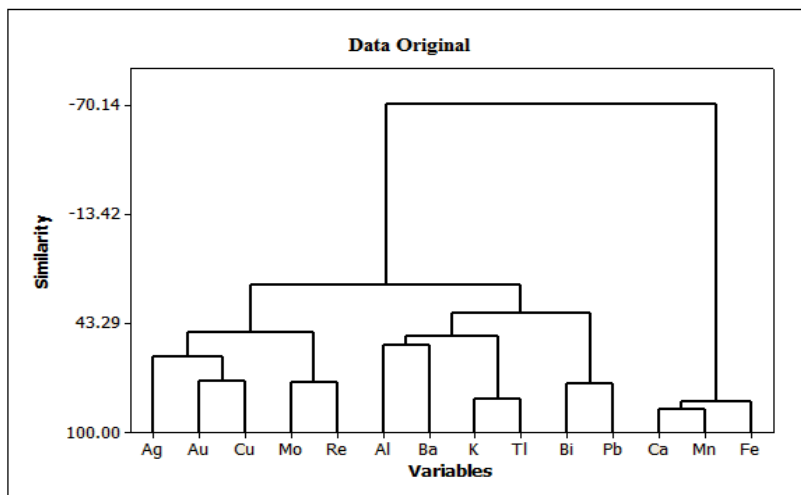
Variables	Ag	Al	Au	Ba	Bi	Ca	Cu	Fe	K	Mn	Mo	Pb	Re	Tl
Ag	۱													
Al	۰/۰۲	۱												
Au	۰/۴۵	۰/۰۵	۱											
Ba	۰/۰۵	۰/۱۲	۰/۰۰۲	۱										
Bi	۰/۲۲	۰/۰۷	۰/۳۵	-۰/۰۲	۱									
Ca	-۰/۰۳	-۰/۰۳	-۰/۳	-۰/۰۰۴	-۰/۶۶	۱								
Cu	۰/۲۷	۰/۱۶	۰/۳۲	۰/۱۱	۰/۳	-۰/۴	۱							
Fe	۰/۱	۰/۱۴	-۰/۰۴	۰/۱۴	-۰/۲۴	۰/۴۴	۰/۱۴	۱						
K	۰/۰۲	۰/۱۲	۰/۲۱	۰/۲۹	۰/۳۳	-۰/۵۹	۰/۳۱	-۰/۲۳	۱					
Mn	۰/۰۷	-۰/۰۰۵	-۰/۱۷	۰/۰۶	-۰/۵۶	۰/۸۶	-۰/۳۶	۰/۵۱	-۰/۵	۱				
Mo	۰/۲۳	۰/۱۴	۰/۳۷	۰/۱۲	۰/۵۸	-۰/۷۶	۰/۶۴	-۰/۱۴	۰/۵۶	-۰/۶۶	۱			
Pb	۰/۲۶	۰/۰۳	۰/۲۵	۰/۰۴	۰/۵۶	-۰/۴۹	۰/۱۷	-۰/۲۸	۰/۲۵	-۰/۳۳	۰/۴۲	۱		
Re	۰/۲	۰/۰۹	۰/۲۲	۰/۰۲	۰/۱۹	-۰/۱۹	۰/۲۹	۰/۰۸	۰/۰۸	-۰/۱۹	۰/۳۱	۰/۰۰۲	۱	
Tl	۰/۱۱	۰/۱۷	۰/۳	۰/۱۴	۰/۶۷	-۰/۸۵	۰/۳۷	-۰/۳۹	۰/۶۶	-۰/۷۱	۰/۷۳	۰/۵۵	۰/۱۶	۱

جدول ۳: ضریب همبستگی عناصر بر اساس نتایج تبدیل نسبت لگاریتمی افزایشی

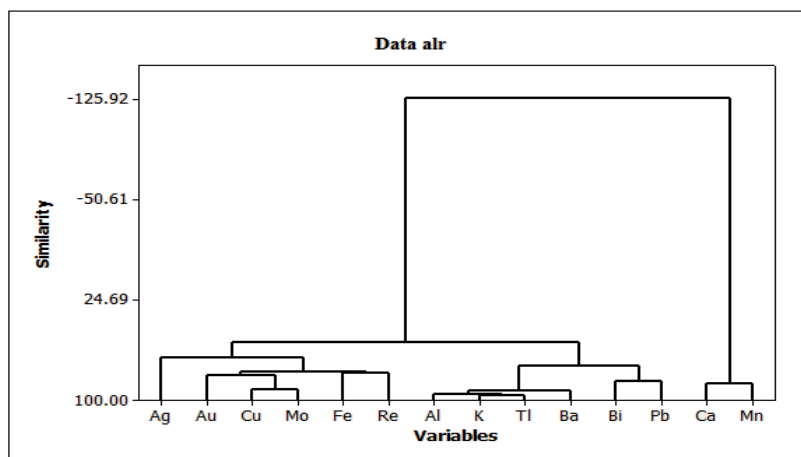
Variables	Ag	Al	Au	Ba	Bi	Ca	Cu	Fe	K	Mn	Mo	Pb	Re	Tl
Ag	۱													
Al	۰/۴۳	۱												
Au	۰/۶۲	۰/۶۷	۱											
Ba	۰/۴۱	۰/۸۶	۰/۶۱	۱										
Bi	۰/۵۱	۰/۷۳	۰/۶۵	۰/۶۴	۱									
Ca	-۰/۴۶	-۰/۶	-۰/۶۱	-۰/۵۱	-۰/۷۲	۱								
Cu	۰/۵	۰/۷	۰/۶۵	۰/۶۵	۰/۵۹	-۰/۵۶	۱							
Fe	۰/۳۵	۰/۷۲	۰/۵۲	۰/۶۱	۰/۵۵	-۰/۴۱	۰/۶۶	۱						
K	۰/۴۲	۰/۹۱	۰/۶۶	۰/۹	۰/۶۸	-۰/۶	۰/۶۸	۰/۵۸	۱					
Mn	-۰/۳۲	-۰/۶۱	-۰/۴۳	-۰/۵	-۰/۶۲	۰/۷۵	-۰/۵۱	-۰/۴۲	-۰/۵۶	۱				
Mo	۰/۵۳	۰/۷۸	۰/۷۱	۰/۷۲	۰/۶۹	-۰/۷	۰/۸۴	۰/۶۹	۰/۷۷	-۰/۶۵	۱			
Pb	۰/۴۹	۰/۶۷	۰/۵۸	۰/۶۲	۰/۷۱	-۰/۶	۰/۴۹	۰/۳۷	۰/۶۶	-۰/۴۴	۰/۵۸	۱		
Re	۰/۴۲	۰/۶۵	۰/۵۸	۰/۵۹	۰/۵۳	-۰/۴۸	۰/۶۳	۰/۵۹	۰/۵۸	-۰/۴۸	۰/۶۹	۰/۴	۱	
Tl	۰/۴۹	۰/۹۲	۰/۶۹	۰/۸۷	۰/۷۹	-۰/۷۱	۰/۶۸	۰/۶	۰/۹۳	-۰/۶۱	۰/۷۸	۰/۷۷	۰/۵۹	۱

جدول ۴: ضریب همبستگی عناصر بر اساس نتایج تبدیل نسبت لگاریتمی میان مرکز

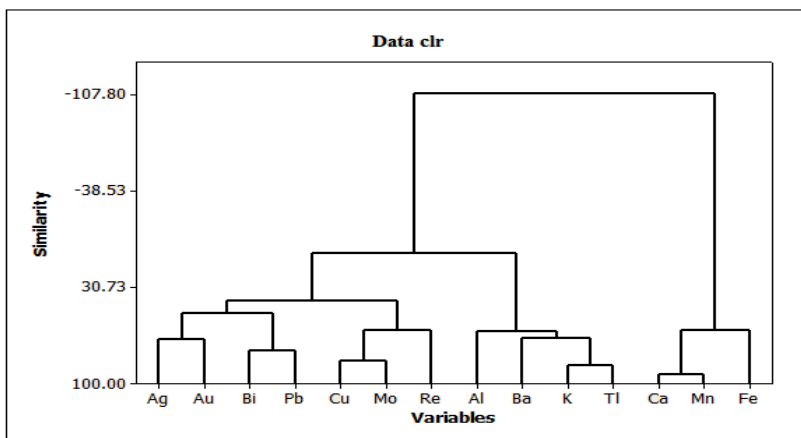
Variables	Ag	Al	Au	Ba	Bi	Ca	Cu	Fe	K	Mn	Mo	Pb	Re	Tl
Ag	۱													
Al	-۰/۲۹	۱												
Au	۰/۳۷	-۰/۱	۱											
Ba	-۰/۱۹	۰/۲۹	-۰/۰۸	۱										
Bi	۰/۱۸	۰/۱	۰/۳۳	۰/۰۳	۱									
Ca	-۰/۱۹	-۰/۱۲	-۰/۴۴	-۰/۱۱	-۰/۷۱	۱								
Cu	۰/۱۵	-۰/۱	۰/۲۹	-۰/۰۴	۰/۲۶	-۰/۵۱	۱							
Fe	-۰/۱۵	۰/۰۸	-۰/۲۲	-۰/۱۶	-۰/۳۱	۰/۴۵	-۰/۱۲	۱						
K	-۰/۱۵	۰/۴۳	۰/۱۳	۰/۵۵	۰/۳۱	-۰/۵۴	۰/۱۹	-۰/۴۸	۱					
Mn	-۰/۱۱	-۰/۳۱	-۰/۳۱	-۰/۲	-۰/۶۶	۰/۸۷	-۰/۵۱	۰/۳۵	-۰/۵۷	۱				
Mo	۰/۱۶	۰/۰۱	۰/۳۸	۰/۰۶	۰/۵۱	-۰/۸	۰/۶۸	-۰/۲۸	۰/۴۱	-۰/۷۹	۱			
Pb	۰/۱۷	-۰/۰۵	۰/۲	-۰/۰۰۴	۰/۵۲	-۰/۵۵	۰/۰۷	-۰/۵۵	۰/۲۵	-۰/۴۴	۰/۲۸	۱		
Re	۰/۰۸	۰/۰۵	۰/۲۱	۰/۰۱	۰/۱۷	-۰/۲۹	۰/۲۹	-۰/۰۱	۰/۰۶	-۰/۳۵	۰/۳۹	-۰/۰۵	۱	
Tl	۰/۰۳	۰/۳۱	۰/۲۶	۰/۳۴	۰/۶۳	-۰/۸۲	۰/۲۹	-۰/۵۵	۰/۷۴	-۰/۷۸	۰/۶	۰/۵۶	۰/۱۴	۱



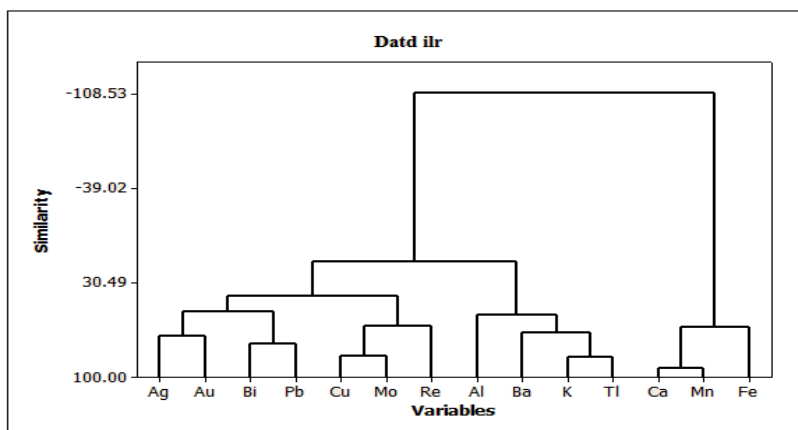
شکل ۴: دندروگرام حاصل از آنالیز خوشه‌ای بر روی داده‌های خام



شکل ۵: دندروگرام حاصل از آنالیز خوشه‌ای بر روی داده‌های تبدیل لگاریتمی افزایشی



شکل ۶: دندروگرام حاصل از آنالیز خوشه‌ای بر روی داده‌های تبدیل لگاریتمی میان مرکز

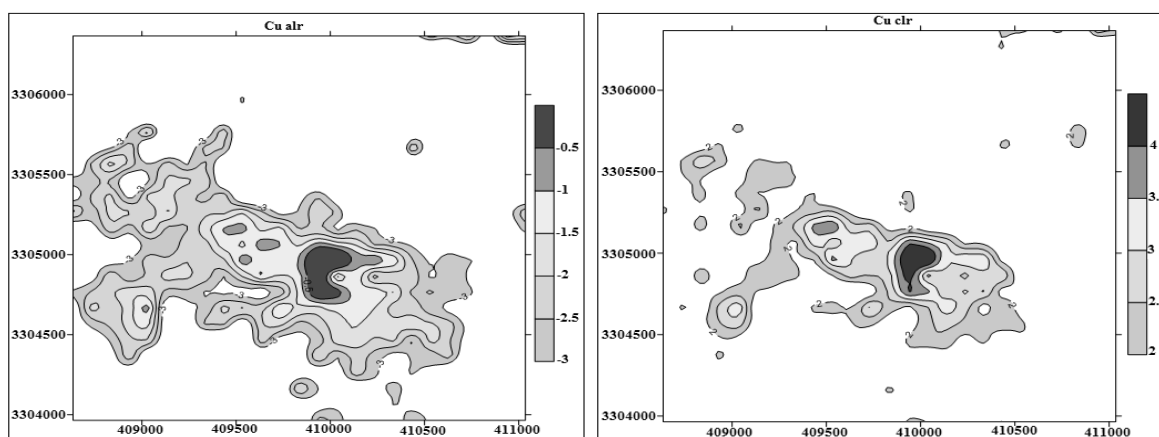


شکل ۷: دندروگرام حاصل از آنالیز خوشه‌ای بر روی داده‌های تبدیل لگاریتمی ایزومتری

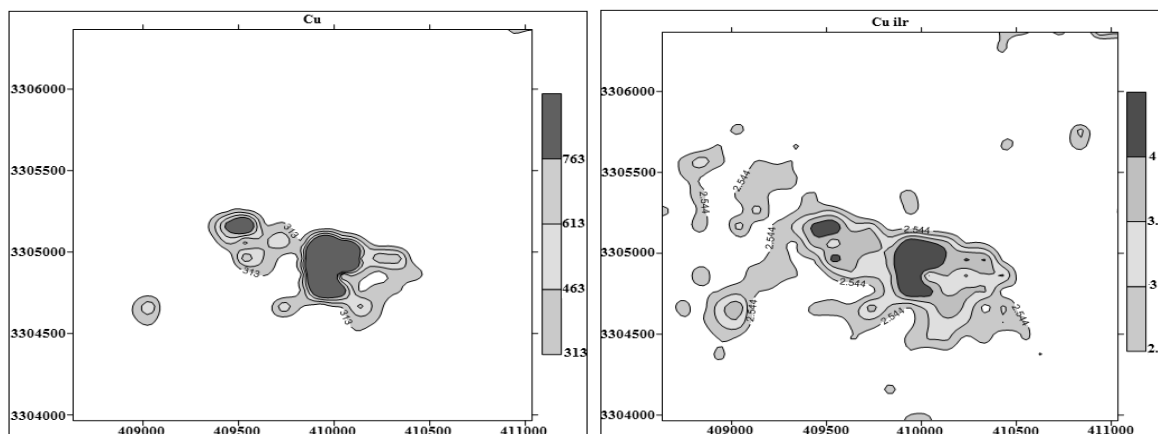
۴- بحث و بررسی

شرقی مشاهده می‌شود، پس از باز کردن سیستم وسعت مناطق امید بخش افزایش می‌یابند و منطقه وسیع تری را به عنوان آنومالی مولیبدن نشان می‌دهند. روند تغییرات طلا به صورت پراکنده و در قسمت مرکزی، شرقی و غربی منطقه دیده می‌شود و همچنین برای این عنصر نیز با باز کردن سیستم، وسعت محدوده آنومالی افزایش یافته است. بنابراین با توجه به نقشه‌های کنتوری رسم شده برای هر یک از عناصر مس، مولیبدن و طلا در دو حالت سیستم باز و بسته می‌توان به این نکته اشاره نمود که پس از باز کردن سیستم محدوده آنومالی هر یک از عناصر افزایش یافته و وسعت هاله‌های ثبتي افزایش می‌یابد.

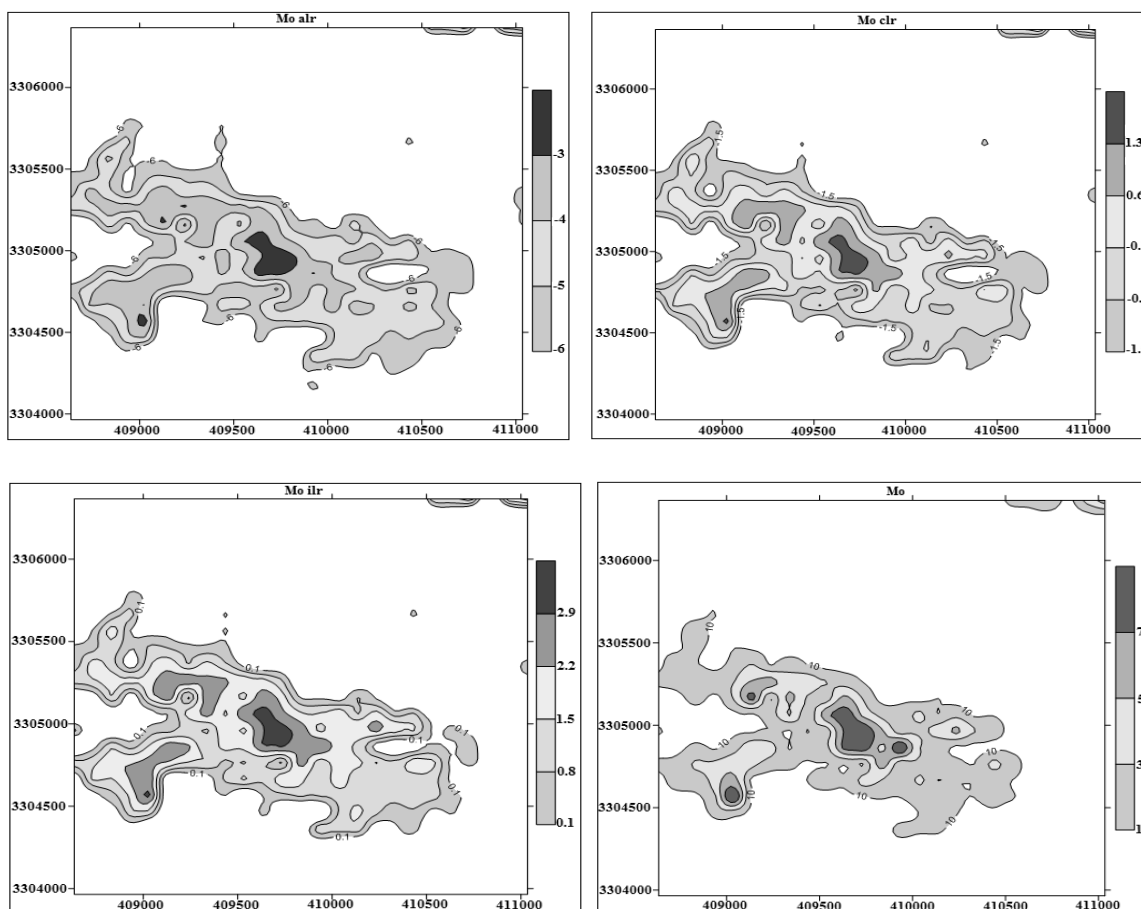
به منظور مطالعه تغییرات فضایی ناشی از تبدیل لگاریتمی افزایشی، لگاریتمی میان مرکز و لگاریتمی ایزومتری نقشه کنتوری برای عناصر مختلف رسم گردید (اشکال ۸، ۹ و ۱۰). در اینجا جهت جداسازی آنومالی از زمینه از روش آماری کلاسیک ($\bar{X} + 2S$) استفاده شد، بر این اساس حد آستانه‌ای و حد زمینه در هر یک از تبدیلات فوق محاسبه شده است. با توجه به نقشه‌های رسم شده آنومالی مس در قسمت مرکزی منطقه با روند شمال غربی- جنوب شرقی مشاهده می‌شود، برای عنصر مس پس از باز کردن سیستم توسط روش‌های ذکرشده، نقاط امید بخش بیشتری به عنوان آنومالی معرفی می‌گردد. در مورد عنصر مولیبدن نیز روند تغییرات به صورت شمال غربی- جنوب



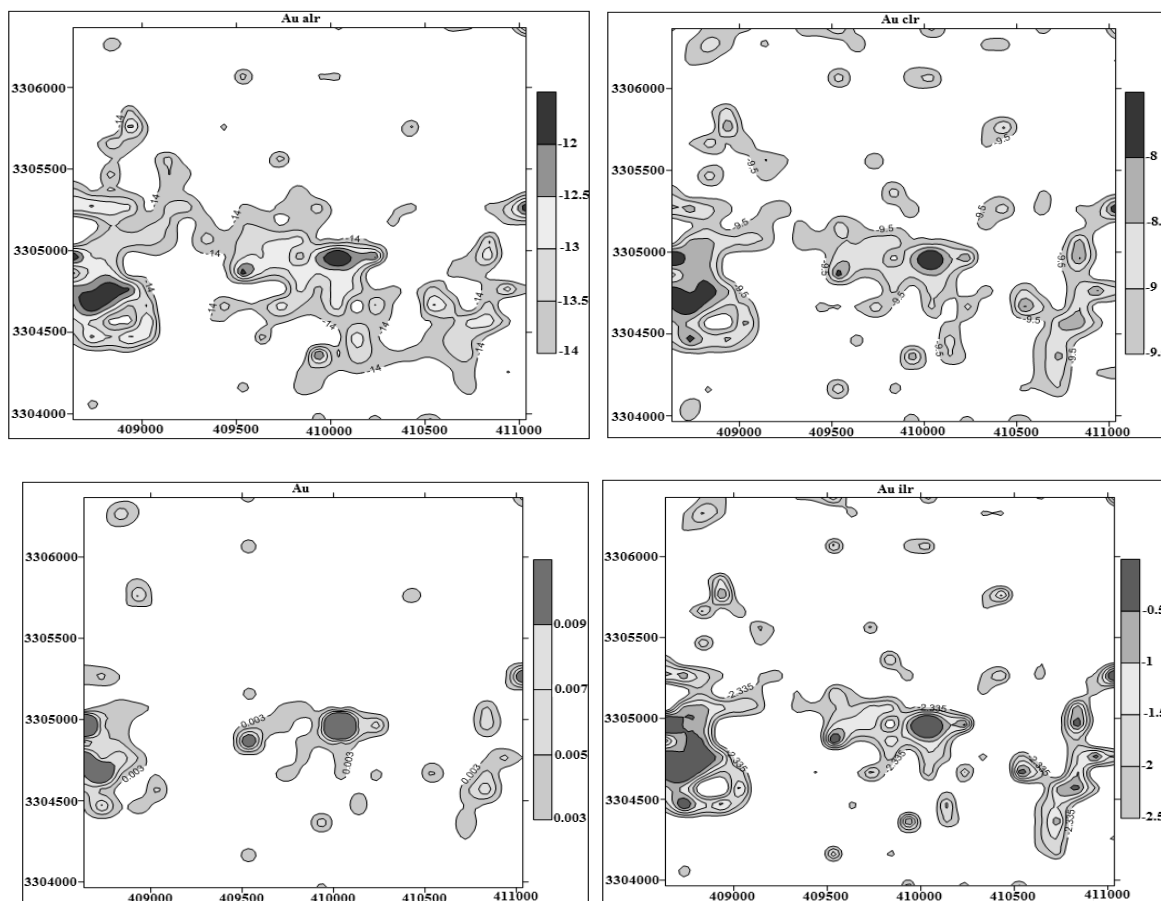
شکل ۸: نقشه کنتوری عنصر مس بر اساس تبدیلات لگاریتمی افزایشی، لگاریتمی میان مرکز، لگاریتمی ایزومتری و داده اصلی



ادامه شکل ۸: نقشه کنتوری عنصر مس بر اساس تبدیلات لگاریتمی افزایشی، لگاریتمی میان مرکز، لگاریتمی ایزومتریک و داده اصلی



شکل ۹: نقشه کنتوری عنصر مولیبدن بر اساس تبدیلات لگاریتمی افزایشی، لگاریتمی میان مرکز، لگاریتمی ایزومتریک و داده اصلی



شکل ۱۰: نقشه کننتوری عنصر طلا بر اساس تبدیلات لگاریتمی افزایشی، لگاریتمی میان مرکز، لگاریتمی ایزومتریکی و داده اصلی

۵- نتیجه‌گیری

افزایشی به دلیل انتخاب متغیر تقسیم‌کننده توسط کاربر، نتایج مختلفی حاصل می‌شود. همچنین متغیر انتخاب‌شده از مجموعه داده‌ها حذف می‌گردد. در حالی که در روش تبدیل لگاریتمی میان مرکز متغیری از مجموعه داده‌ها حذف نمی‌گردد و همچنین جواب حاصل از این تبدیل یکتاست. تحلیل آنالیز خوشه‌ای انجام‌شده بر روی داده‌ها در دو حالت سیستم باز و بسته، نشان می‌دهد که پس از باز کردن سیستم داده‌ها به درستی طبقه‌بندی شده‌اند. به‌طوریکه عناصری مانند Al , K , Tl که معرف کانی‌های سیلیکاته و نشان‌دهنده وجود آلتراسیون پتاسیک در منطقه هستند، در یک خوشه قرار می‌گیرند. همچنین عنصر رنیوم که به عنوان ردیاب مس پورفیری است، همراه با مس و مولیبدن طبقه‌بندی می‌گردد. بنابراین با توجه به نتایج حاصل‌شده می‌توان به این نکته اشاره کرد که در تحلیل داده‌های ژئوشیمیایی به علت بسته بودن بهتر است از تبدیلات فوق جهت باز کردن سیستم استفاده نمود. هر چند که باید در استفاده از این تبدیلات دقت کافی داشت تا ارتباط

تبدیل داده‌ها اغلب در تحلیل گرافیکی و تحلیل آماری استفاده می‌شود. با استفاده از این تبدیلات، تأثیر برخی از متغیرهای غیرمعمول کاهش یافته و تأثیر متغیر اصلی افزایش می‌یابد. تبدیل لگاریتمی برای تجزیه و تحلیل داده‌های ژئوشیمیایی به علت وجود داده‌های پرت و همچنین وجود چولگی مثبت در توزیع داده‌ها سودمند است. برای تبدیل داده‌ها از سیستم بسته به سیستم باز می‌توان از هر سه روش تبدیل نسبت لگاریتمی افزایشی، تبدیل نسبت لگاریتمی میان مرکز و تبدیل نسبت لگاریتمی ایزومتریکی استفاده نمود. در این پژوهش پس از باز کردن سیستم، ضریب همبستگی بین عناصر از حالت کاذب و ساختگی خارج شده و ضریب همبستگی بین عناصر اصلی (تشکیل‌دهنده کانسار) مانند مس، مولیبدن و طلا به واقعیت نزدیک تر خواهد بود. با توجه به نتایج حاصل از روش تبدیل لگاریتمی افزایشی و تبدیل لگاریتمی میان مرکز که برای تحلیل ضریب همبستگی مورد استفاده قرار گرفت، می‌توان به این نکته اشاره کرد که در روش تبدیل لگاریتمی

- [15] Aitchison J. 1982. "The statistical analysis of compositional data (with discussion)". Journal of the Royal Statistical Society, Series B (Statistical Methodology), 44 (2), 139-177.
- [16] Carranza J., 2006. *Analysis and mapping of stream sediment geochemical anomalies: should we logratio transform the data?*. University of Twente.
- [17] Aitchison J. 1986. "The Statistical Analysis of Compositional Data. Monographs on Statistics and Applied Probability". Chapman & Hall Ltd, London. Reprinted (2003) with additional material by The Blackburn Press, Caldwell, NJ.
- [18] Egozcue J. J., Pawlowsky, G. V., Ateufigueras, G., Barcelo, V. C., 2003. "Isometric logratio transformations for compositional data analysis". *Mathematical Geology*, 35 (3), 279-300.
- [19] Egozcue J. J. & Pawlowsky, G. V. 2006. Simplicial geometry for compositional data. In: Buccianti, a., Viateu-Figueras, G. & Pawlowsky- Glahn, V. (eds) "Compositional Data Analysis in the Geosciences: From Theory to Practice". Geological Society, London, Special Publications, 264, 145-159.
- [۲۰] خالقی، ف؛ شهاب پور، ج؛ ۱۳۷۹؛ "بررسی توزیع ژئوشیمیایی عناصر مس، مولیبدن، سرب و روی در کانسار مس پورفیبری کوه پنج، کرمان؛" مجموعه مقالات نوزدهمین گردهمایی علوم زمین - سازمان زمین‌شناسی و اکتشافات معدنی کشور، تهران.
- [۲۱] خالقی، فاضل؛ ۱۳۸۰؛ پایان‌نامه کارشناسی ارشد مطالعه زمین‌شناسی اکتشاف ژئوشیمیایی نیمه تفصیلی و بررسی پتانسیل معدنی کانسار مس پورفیبری کوه پنج؛ دانشگاه شهید باهنر کرمان، کرمان.
- [۲۲] گزارش نهایی مطالعات زمین‌شناسی و آلتراسیون محدوده کوه پنج؛ ۱۳۸۶؛ شرکت ملی صنایع مس ایران.
- [23] Khosravi A., 2007, "Geological & Altration Map of Kohpanj Copper Deposit", Exploration Department.
- [24] Okan D., Yurdal G. 2011. "Re-Os molybdenite ages of granitoid-hosted Mo-Cu occurrences from central Anatolia (Turkey)". Department of Geological Engineering, Hacettepe University, 06800 Beytepe, Ankara, Turkey
- [25] Byron R., Robert A., Ayuso C., Robert R.S. 2008. "Preliminary Model of Porphyry Copper Deposits". U.S. Geological Survey, Reston, Virginia, [26] Aftabi, A. and Atapour, H. 2011 "Alteration Geochemistry of Volcanic Rocks around Sarcheshmeh Porphyry Copper Deposit, Rafsanjan, Kerman, Iran". Implications for Regional Exploration. *Resource Geology*, 61: 76-90.

داده‌های اصلی با یکدیگر حفظ شود، زیرا هر یک از روش‌های تبدیل لگاریتمی کاستی‌هایی دارند که در به‌کارگیری آن‌ها باید دقت شود.

۶- مراجع

- [1] Pearson K., 1897. "Mathematical contributions to the theory of evolution. On a form of spurious correlation which may arise when indices are used in the measurement of organs". *Proceedings of the Royal Society of London*, LX, 489-502.
- [2] Sarmanov O.V., Vistelius A. B. 1959. "On the correlation of percentage values". *Doklady of the Academy of Sciences of the USSR - Earth Sciences Section*, 126, 22-25.
- [3] Krumbein W. C., 1962. "Open and closed number systems in stratigraphic mapping". *American Association of Petroleum Geologists Bulletin*, 46, 2229-2245.
- [4] Butler J.C., 1979. "The effects of closure on the moments of a distribution". *Mathematical Geology*, 11 (1), 75-84.
- [5] Davis J. C. 1986. *Statistics and Data Analysis in Geology*. Wiley, New York.
- [6] Rollinson, H.R., 1995. "Using geochemical data: Evaluation, presentation, interpretation". Longman Geochemistry Series, Longman Group Ltd, Essex.
- [7] Aitchison J. & Egozcue J. J. 2005. "Compositional data analysis: where are we and where should we be heading ?". *Mathematical Geology*, 37 (7), 829-850.
- [8] Reimann C., Filzmoser P., Garrett R., Dutter G., 2008. *Statistical Data Analysis Explained: Applied Environmental Statistics with R*. 269-275 pp.
- [9] Pawlowsky V. G., Egozcue J. J., 2006. "Compositional data and their analysis: an introduction". Geological Society, London, Special Publications, v.264; p1-10.
- [10] Rock N.M.S., 1988. "Numerical Geology. Lecture Notes in Earth Sciences, 18". Springer-Verlag, Berlin.
- [11] Chayes F. 1960. "On correlation between variables of constant sum". *Journal of Geophysical Research*, 65 (12), 4185-4193.
- [12] Chayes F. 1983. "Detecting nonrandom associations between proportions by tests of remaining-space variables". *Mathematical Geology*, 15 (1), 197-206.
- [13] Chayes F., 1971. "Ratio Correlation. University of Chicago Press", Chicago, IL.
- [14] Aitchison J. 1984. "The statistical analysis of geochemical compositions". *Mathematical Geology*, 16 (6), 531-564.