



پردازش داده‌های لیتوژئوشیمیایی منطقه جبال بارز استان کرمان به منظور تهیه نقشه ناهنجاری مس

سارا فخاری^۱، علیرضا جعفری‌راد^{۲*}، پیمان افضل^۳، محمد لطفی^۴

۱- دانشجوی دکترا زمین‌شناسی اقتصادی، گروه زمین‌شناسی، واحد علوم و تحقیقات، دانشگاه آزاد اسلامی، تهران، ایران

۲- استادیار زمین‌شناسی اقتصادی، گروه زمین‌شناسی، واحد علوم و تحقیقات، دانشگاه آزاد اسلامی، تهران، ایران

۳- دانشیار مهندسی معدن، گروه مهندسی معدن، دانشکده فنی و مهندسی، واحد تهران جنوب، دانشگاه آزاد اسلامی، تهران، ایران

۴- دانشیار زمین‌شناسی اقتصادی، گروه زمین‌شناسی، واحد تهران شمال، دانشگاه آزاد اسلامی، پژوهشکده علوم زمین وابسته به سازمان زمین‌شناسی و

اکتشافات معدنی کشور، تهران، ایران

* عهده‌دار مکاتبات: alirad@yahoo.com

دریافت مقاله: ۱۳۹۵/۶/۱۳، پذیرش مقاله: ۱۳۹۵/۸/۸

چکیده

کمرند ماگمایی ارومیه- دختر از مهمترین بسترهای فلززایی ایران به شمار می‌رود که در طول آن تحقیقات و کاوش‌های اکتشافی متعددی جهت کشف فلزاتی از قبیل مس انجام گرفته است. بخش جنوبی این کمرند در محدوده زمین‌شناسی جبال بارز به دلایل وجود توپوگرافی کوهستانی و خشن و نیز وجود برخی ناملایمت‌های امنیتی، کمتر مورد بررسی قرار گرفته است. در این پژوهش، یک نمونه‌برداری لیتوژئوشیمیایی سیستماتیک از واحدهای سنگی منطقه در یک محدوده انتخابی به مساحت ۱۴۰/۲۸ کیلومتر مربع انجام و از مجموع نمونه‌های مأخوذه ۳۶۸ نمونه مورد آنالیز شیمیایی ICP قرار گرفته است. داده‌های به دست آمده تحت روش‌های ژئوشیمیایی در دو سطح آمار کلاسیک و آمار فرکتال جهت تولید نقشه‌های ناهنجاری عنصر مس تحلیل گردیده است. بر پایه نتایج آنالیزهای انجام شده، بیشترین عیار مس ۸۵۱۹۶ پی‌پی‌ام گزارش شده است. حد آستانه برآورد شده بر مبنای آمار فرکتال ۱۱۴۸۱ پی‌پی‌ام محاسبه گردید که حاکی از شدت گرفتن آنومالی و بارز شدن فازهای کانه‌زایی اولیه، سوپرژن و غنی‌شدگی در روش فرکتالی است. همچنین بارز شدن محدوده ناهنجاری حلقوی مس با غنی‌شدگی به سمت مرکز در نقشه نهایی کنتوری عیار مس، ژنز پورفیری آنومالی برآورد شده در منطقه را محتمل می‌سازد.

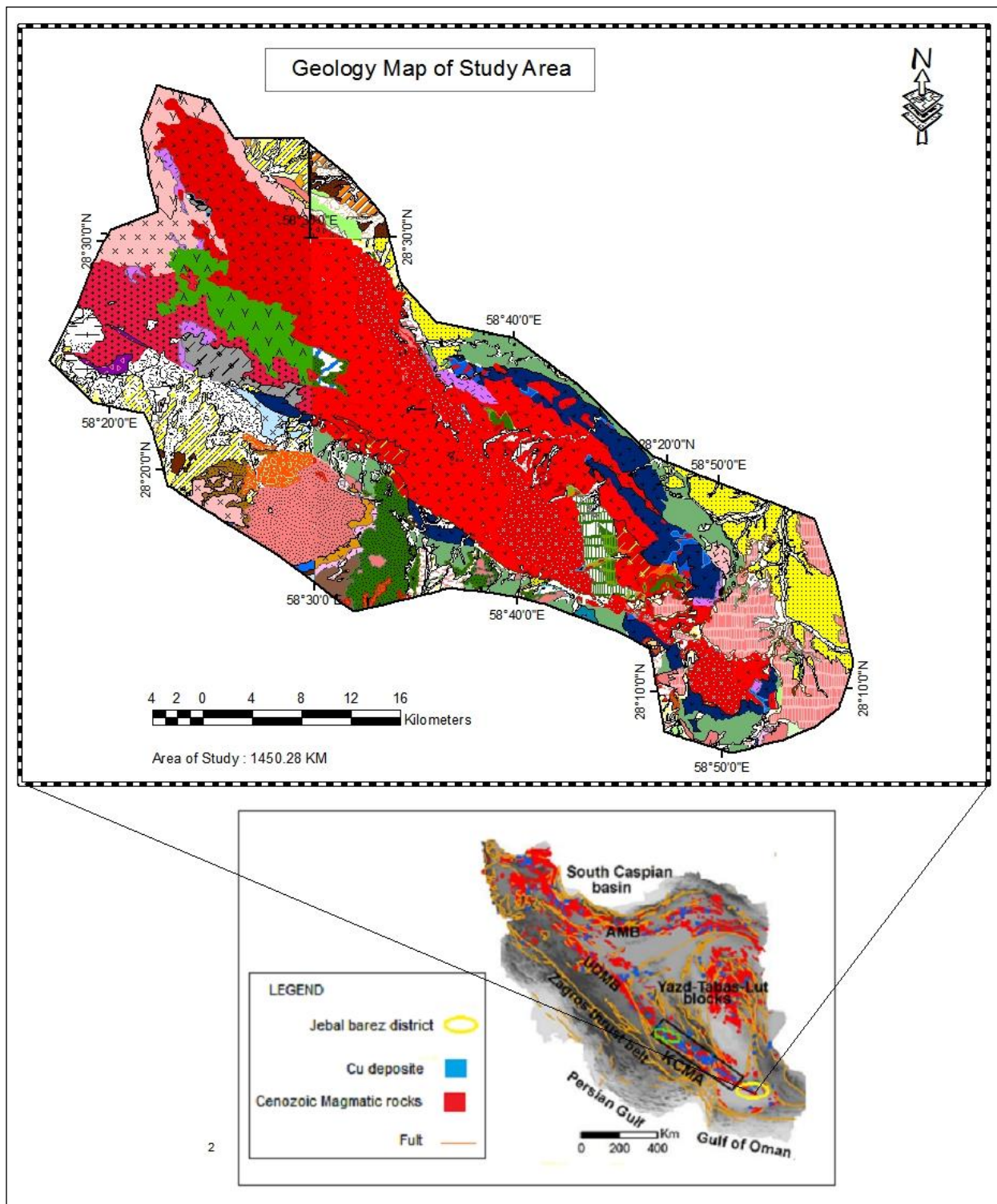
واژه‌های کلیدی: جبال بارز، لیتوژئوشیمیایی، روش فرکتالی عیار- مساحت، آنومالی حلقوی

۱- مقدمه

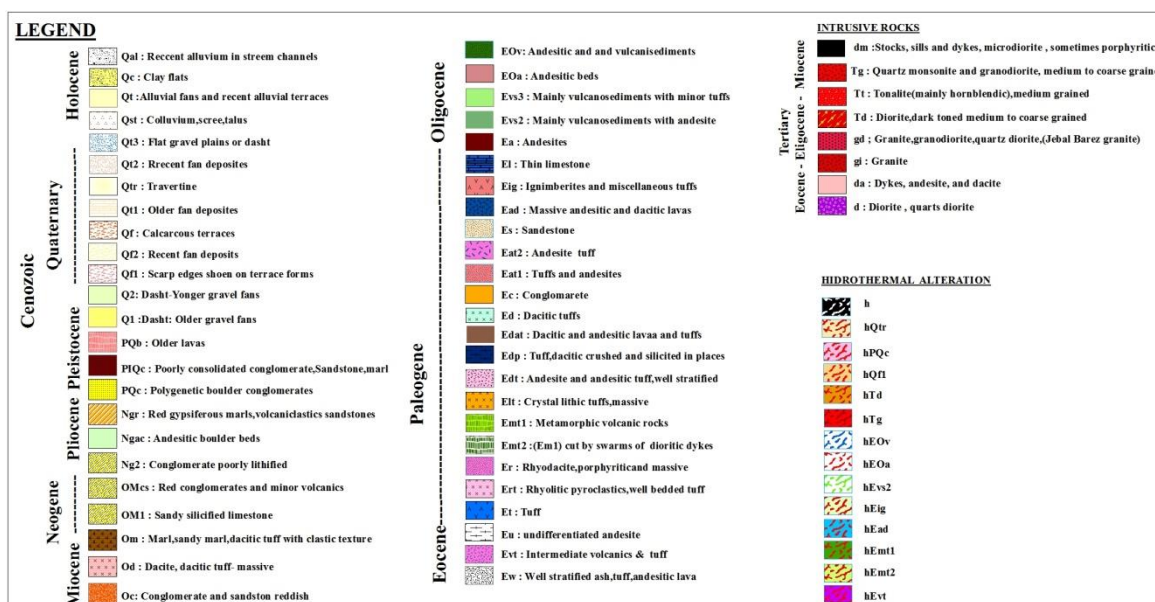
جبال بارز در نوار ولکانیکی ایران مرکزی یعنی کمرند ارومیه- دختر واقع است که این کمرند مهمترین کمرند فلززایی ایران بوده و بر کمرند کوهزایی آلپ- هیمالیا منطبق است. از آنجایی که ارومیه- دختر نتیجه فروانش پوسته اقیانوسی نئوتتیس به زیر پوسته قاره‌ای ایران مرکزی است همانند سایر کانسارهای ماگمایی حاشیه قاره، مانند آند و کردیلرا میزبان کانسارهای مس پورفیری همراه با دیگر کانسارهای وابسته به این خاستگاه ژئودینامیکی همچون کانسارهای رگه‌ای می‌باشد (Shafiei et al., 2009). تحلیل داده‌های ژئوشیمیایی ابزاری قدرتمند جهت آشکارسازی مناطق ناهنجار عناصر می‌باشد. در این راستا پس از اتمام عملیات نمونه‌برداری سیستماتیک و انجام آنالیزهای شیمیایی مناسب جهت تعیین عیار عناصر مختلف، عیارهای به دست آمده به صورت بانک اطلاعاتی منظم گردآوری و تحت روش‌های پیش‌پردازش آماری قرار گرفته‌اند. سپس با ورود داده‌های تنظیم شده به محیط نرم‌افزارهای آماری و ترسیمی، داده‌پردازی‌های لازم تحت فازهای آنالیز آماری کلاسیک و آنالیز آماری فرکتال به منظور کشف و معرفی زون‌های کانی‌سازی انجام گرفته است.

۲- زمین‌شناسی محدوده

کمپلکس گرانیتوئیدی جبال بارز، طی عملکرد ۳ فاز متفاوت در مرحله سوم فعالیت ماگمایی کمرند ارومیه- دختر در الیگو- میوسن شکل گرفته است. فاز اول شامل شکل‌گیری بدنه اصلی جبال بارز با ترکیب سنگ‌نگاری کوارتزیدوریت تا گرانودوریت است که حاصل تفریق ماگمایی با سرشت کالک‌آلکانل سری ساب‌آلکانل است (Rasoli et al., 2016). در فاز دوم، توده‌های پورفیری به درون این مجموعه پلوتونیک اصلی نفوذ کرده‌اند (Rasoli et al., 2016). ترکیب سنگ‌نگاری این توده‌ها به طور غالب گرانودوریتی تا گرانیتی است. توده‌های نفوذی فاز سوم دارای ترکیب آلکالی گرانیتی بوده، که به درون توده‌های نفوذی پیشین تزریق شده‌اند (قربانی، ۱۳۹۳). از آنجایی که فعالیت ساختاری منطقه تحت‌تاثیر پدیده فروانش و شکل‌گیری زاگرس است، لذا روند ساختمانی جبال بارز به تبعیت از کمرند آتشفشانی ارومیه- دختر، به موازات امتداد زاگرس یعنی شمال غرب- جنوب شرق بوده و گسل‌های منطقه نیز در راستای همین روند شکل گرفته است. این گسل‌ها در حاشیه باتولیت‌ها و احتمالاً به واسطه جایگیری نفوذی‌ها در اواخر الیگوسن و اوایل میوسن شکل گرفته‌اند. نقشه لیتولوژی محدوده مطالعاتی جبال بارز در شکل ۱، نمایش داده شده است.



شکل ۱- الف- نقشه زمین‌شناسی منطقه مورد مطالعه، جبال بارز، کمر بند ماگمایی سنوزوییک کرمان. برگرفته از نقشه‌های زمین‌شناسی ۱:۱۰۰۰۰۰۰ حنا (Dimitrijevic, 1973)، نگيسان (Dimitrijevic, 1973 و Eftekhar-Najad, 1989) و نماشیر (Dimitrijevic, 1973 و Faridi & Rasytin, 2002) و جبال بارز (Dimitrijevic, 1973)

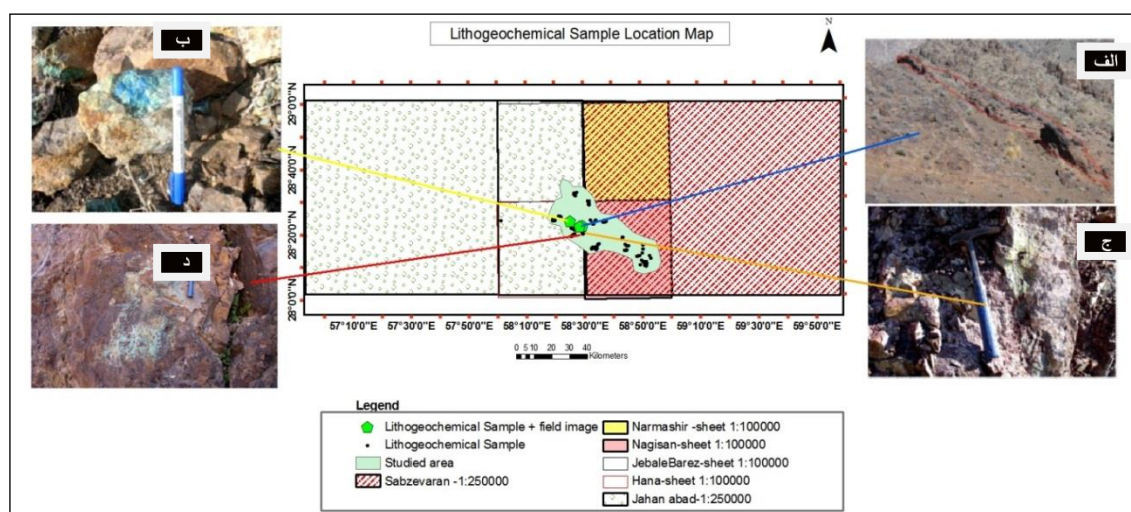


شکل ۱- ب- راهنمای نقشه زمین‌شناسی منطقه مورد مطالعه، جبال بارز، کرماند ماگمایی سنوزویک کرمان

۳- ابزار پژوهش

می‌دهد. نتایج عیارهای به دست آمده به صورت بانک اطلاعاتی منظم گردآوری و به منظور تعدیل داده‌های سنسورد و خارج از رده، تحت روش‌های پیش‌پردازش آماری قرار گرفته‌اند. پس از اتمام مراحل پیش‌پردازش، با ورود داده‌های تنظیم شده به محیط نرم‌افزارهای آماری و ترسیم SPSS و Rockworks، داده‌های لازم تحت فازهای آنالیز آماری تک متغیره و آنالیز آماری فرکتال به منظور معرفی زون‌های کانی‌سازی انجام گرفته است.

در محدوده اکتشافی تعداد ۳۶۸ نمونه سنگی با هدف آنالیز لیتوژئوشیمیایی به روش ICP (جهت تعیین عیار ۲۶ عنصری با هدف اصلی تعیین عیار مس) و تعداد ۲۳۵ نمونه با هدف آزمایش طلا به روش کوره گرافیتی در آزمایشگاه مرکز تحقیقات فرآوری مواد معدنی ایران مورد آزمایش قرار گرفته است. شکل ۲، نقشه توزیع نقاط نمونه‌برداری را نشان



شکل ۲- موقعیت نقاط نمونه‌برداری در سطح برگه‌های زمین‌شناسی منطقه جبال بارز و تصویر ماکروسکوپی ۴ نمونه انتخابی جهت آنالیز شیمیایی الف) رگه سیلیسی- سولفیدی ب) بخش کانه‌دار و سولفیدی ج) واحد گرانودیوریتی دگرسان شده با آثار آغستگی آزوریت و ملاکیت د) رگه سیلیسی سولفیددار همراه با آغستگی ملاکیت

۴- روش‌های پژوهش

نخست آماده‌سازی و پیش‌پردازش داده‌ها و فاز دوم پردازش و تولید نقشه ناهنجاری انجام شده است.

تحلیل داده‌های به دست آمده از آنالیز ICP در دو فاز شامل فاز

۴-۱- پیش‌پردازش داده‌های ژئوشیمی

از زمینه و تعیین حد آستانه با ضریب اطمینان بالا) عبارت است از رابطه نمایی بین تغییرات غلظت یک مولفه با سطح درون‌یابی شده از همان مولفه با کمیت معین که می‌تواند ارتباط غیر خطی (نمادار از درجه n ام) بین عیار (در ژئوشیمی) را با سطوح زیر منحنی‌های هم بزرگا، هم شدت یا هم عیار بررسی نموده و امکان تفکیک جوامع بی‌هنجاری را بر اساس اصول هندسه فرکتال فراهم نماید. روش عیار-مساحت که توسط (Cheng et al., 1994) ارائه شده است، مبتنی بر میزان مساحتی است که هر عیار خاص در منطقه مورد مطالعه اشغال نموده است. هر چه عیار عنصر افزایش یابد میزان مساحت اشغالی توسط آن کاهش می‌یابد. امروزه یکی از مرسوم‌ترین روش‌ها برای نمایش توزیع عیار یک عنصر در یک منطقه، ترسیم نقشه کننتوری هم عیار عنصر مربوطه در منطقه مورد مطالعه است. اگر مقدار هر کننتور عیاری v در نظر گرفته شود، می‌توان یک معادله توانی برای تمرکز مواد با خواص فرکتالی ارائه نمود که از رابطه نمایی 1 تبعیت می‌کند (Cheng et al., 1994; Afzal et al., 2011).

$$A(\geq v) \propto v^{-\alpha} \quad \text{رابطه (۱)}$$

$A(\geq v)$ مساحت تجمعی محصورشده توسط خطوط هم‌عیاری است که عیار متناظر آنها بزرگتر یا مساوی v است. مقدار α نیز در حقیقت نمایانگر بُعد فرکتال مربوط به دامنه‌های متفاوت v می‌باشد. از آنجا که مدل‌های فرکتالی نوعی روابط نمایی بین این پارامترها برقرار می‌کند، لذا نمودار آنها در دستگاه مختصات تمام لگاریتمی به صورت دو یا چند خط در می‌آید. نمودار لگاریتمی عیار در برابر مساحت تجمعی در نقاطی می‌شکند یا به عبارتی تغییر شیب تند می‌دهد که این نقاط نمایانگر تغییر از زمینه به آنومالی‌های درجات مختلف و به تبع آن تغییرات در شرایط زمین‌شناسی به خصوص کانی‌سازی است. وجود یک رابطه معکوس بین عیار و مکان هندسی (مساحت هر سلول) نشان می‌دهد که میزان مساحت تجمعی (مساحت در برگیرنده یک عیار و عیار بیشتر از آن) نسبت عکس با افزایش آن عیار دارد. یعنی هر چه عیار عنصر افزایش یابد میزان مساحت اشغالی توسط آن کاهش می‌یابد (Li et al., 2003; Agterberg et al., 1996).

۵- بحث

در این پروژه به دلیل اینکه تعداد داده‌های سنسورد عنصر مس در مقابل کل داده‌ها ناچیز است (حدود ۱۵-۱۰ درصد) از یک روش جایگزینی ساده استفاده شده است. در این روش ساده مقادیر بیشتر از حد حساسیت را با $4/3$ آن و مقادیر کمتر از حد حساسیت دستگاه آنالیز با $3/4$ آن جایگزین گردیده است (جدول ۱). برای انجام آزمون مقادیر خارج از ردیف، ابتدا داده‌ها را به طور صعودی مرتب کرده و میانگین و انحراف معیار داده‌ها بدون در نظر گرفتن بزرگترین مقدار داده‌ها محاسبه می‌شود. سپس بزرگترین مقدار داده‌ها (XA) در صورتی که در رابطه 2 صدق کند، یک مقدار خارج از ردیف در نظر گرفته می‌شود:

$$X_A \geq \bar{X} + S.g \quad \text{رابطه (۲)}$$

داده‌های به دست آمده از آنالیز، خام هستند و لازم است ابتدا تحت یک سری روش‌های آماری به منظور تعدیل داده‌های خارج از رده و نیز داده‌های سنسورد، آماده گردند. تشخیص داده‌های خارج از رده و ساختارهای داده‌های غیرمعمول، یکی از مهمترین پیش‌پردازش‌ها در آنالیز آماری داده‌های ژئوشیمیایی است (Hair, 1998). داده‌های سنسورد به داده‌هایی گفته می‌شود که خارج از توان و حساسیت دستگاه آنالیزور بوده لذا قابل اندازه‌گیری نیستند. داده‌های سنسورد که در بین مقادیر آنالیز با علامت $>$ یا $<$ مشخص می‌گردند، موجب ارزیابی‌های غیر دقیق در سنجش‌های نسبی می‌گردند. حذف و تصحیح داده‌های پرت، دومین گام مرحله پیش‌پردازش داده‌های ژئوشیمی اکتشافی است. مقادیر خارج از رده به مقادیری اطلاق می‌شوند که بنا به دلایلی به گونه‌ای چشمگیر، خارج از جامعه اصلی قرار گرفته و خود را جدا از بقیه نمونه‌ها قرار داده‌اند. این داده‌ها فاصله زیادی از مرکز کل مشاهدات دارند و می‌توانند اثرات نامطلوبی بر نتایج روش‌های آماری از جمله جداسازی آنومالی از زمینه داشته باشند (Filzmoser et al., 2005). از مهمترین کارهای انجام شده در حذف و تعدیل داده‌های خارج از رده می‌توان به (Tukey, 1977)، (Lalor & Zhang, 2001) و (Reimann et al., 2005) اشاره کرد.

۴-۲- آمار کلاسیک تک متغیره

استفاده از آمار کلاسیک تک متغیره با برآورد خصوصیات نظیر میانگین، انحراف معیار، میانه، چولگی، کشیدگی و رسم هیستوگرام عناصر می‌تواند دیدی کلی از وضعیت عناصر در یک منطقه را ارائه دهد و در راستای تعیین آنومالی عناصر به کار رود (Hawkes et al., 1979). برای یک توزیع کاملاً متقارن چولگی صفر، برای یک توزیع نامتقارن با کشیدگی به سمت مقادیر بزرگتر چولگی مثبت و برای توزیع نامتقارن با کشیدگی به سمت مقادیر کوچکتر، مقدار چولگی منفی است. کشیدگی یا کورتیزس نشان‌دهنده قله‌مندی یک توزیع است و معیاری از تیزی منحنی در نقطه ماکزیمم است. کشیدگی مثبت یعنی قله‌ی توزیع موردنظر از توزیع نرمال بالاتر و کشیدگی منفی نشانه‌ی پایین‌تر بودن قله از توزیع نرمال است.

۴-۳- روش فرکتالی عیار-مساحت

به طور کلی داده‌های ژئوشیمیایی رفتار مولتی‌فرکتال یا چندفرکتالی دارند که این نشانگر میزان تغییرات در شرایط زمین‌شناسی، ژئوشیمیایی، دگرسانی، هوازدگی سطحی، کانی‌سازی و به دنبال آن مراحل غنی‌شدگی یک عنصر است (Goncalves et al., 2001). واژه فرکتال از کلمه یونانی Fractus به معنای شکستگی انتخاب گردیده و بیانگر خواص قطعه‌پذیری در سازوکار پدیده‌های طبیعی است (Mandelbrote, 1983). یکی از معادلات مهم و کاربردی در هندسه فرکتال (با کارایی بالا در اکتشافات ژئوشیمیایی برای جدایش جوامع آنومالی

مناسبی جهت تعیین مقدار زمینه دانست (Davis, 2002). بر این اساس مقادیر زمینه، حد آستانه و آنومالی‌ها در جدول ۳ گردآوری شده است که تنها حد آستانه حاصل از جمع میانه و انحراف معیار بر روی داده‌های موجود جواب داده است.

در این مطالعه برای درون‌یابی داده‌ها، روش کریجینگ مورد استفاده قرار گرفته است. کریجینگ در معنای تخصصی، یک روش درونیابی آماری مبنی بر الگوریتم حداقل مربعات نرمال شده با استفاده از واریوگرام‌هایی به عنوان توابع با حداقل واریانس است. این روش به طور کلی نوعی میانگین‌گیری متحرک جهت عیارسنجی و تخمین ذخایر کانساری است به این معنا که مقدار عیار نقاط نمونه‌برداری نشده بر اساس عیار نمونه‌های اطراف آنها، تخمین زده می‌شوند. کریجینگ برخلاف سایر روش‌های درون‌یابی مانند معکوس فاصله که یک روش درون‌یابی محلی است و مبتنی بر پیش‌بینی اندازه پارامتر مجهول (مثلاً عیار در محلی که نمونه‌برداری نشده) بر اساس پارامتر معلوم در نزدیکترین فاصله مکانی آن است یک روش جهانی است. بدان معنی که تمام مشاهدات منطقه مورد نظر مورد استفاده قرار می‌گیرد.

این روش در مورد مناطق کوهستانی بهترین و دقیق‌ترین خروجی را تولید می‌کند (قهرودی، ۱۳۸۱). نقشه مقدماتی پراکندگی عیار مس در منطقه بر مبنای کریجینگ و بهترین بیضوی ناهمسانگردی در شکل ۴ نشان داده شده است.

که در آن g حد آستانه‌ای مقادیر خارج از ردیف است که از نمودار دورفل به دست می‌آید. این کار تا آنجا انجام می‌گیرد که این رابطه دیگر صادق نباشد. بنابراین آخرین مقدار محاسبه شده به جای تمامی مقادیر خارج از ردیف جایگزین می‌گردد (حسنی پاک، ۱۳۸۴). جدول ۱ تعداد نمونه‌های خارج از رده برای عنصر مس بر اساس آزمون دورفل در سطح اعتماد ۹۹ درصد نشان می‌دهد.

پس از آماده‌سازی داده‌ها، در نهایت خصوصیات آماری مس منطقه جبال بارز محاسبه (جدول ۲) و هیستوگرام فراوانی آن که دارای چولگی مثبت است، ترسیم شده است (شکل ۳). این هیستوگرام نشان می‌دهد که میانگین عیار مس منطقه، بزرگتر از میانه و نما است و حداکثر داده‌ها دارای عیار کمتر از میانگین هستند. طبق نظر هاکس و وب لپلتیه زمینه را می‌توان مقدار میانه داده‌های ژئوشیمیایی در نظر گرفت. در این پروژه بر مبنای آمار کلاسیک از روش میانه و مقادیری از انحراف استاندارد ($M+nS$) جهت تعیین زمینه و آنومالی استفاده شده است که بر این اساس مقدار زمینه برابر مقدار میانه، حد آستانه‌ای برابر مقدار میانه به اضافه انحراف معیار هر متغیر در نظر گرفته می‌شود.

جهت تمایز بین آنومالی‌های ممکن، احتمالی و قطعی از حد آستانه‌ای به اضافه ضریبی از انحراف استاندارد هر متغیر استفاده می‌شود. به دلیل آنکه مقدار میانه مستقل از توزیع فراوانی داده‌ها بوده و از روی نمودار توزیع محاسبه نمی‌گردد و همچنین مستقل از مقادیر کرانه‌ای بوده و مقدار بیشینه و کمینه داده‌ها در آن تأثیری ندارد، می‌توان میانه را پارامتر بسیار

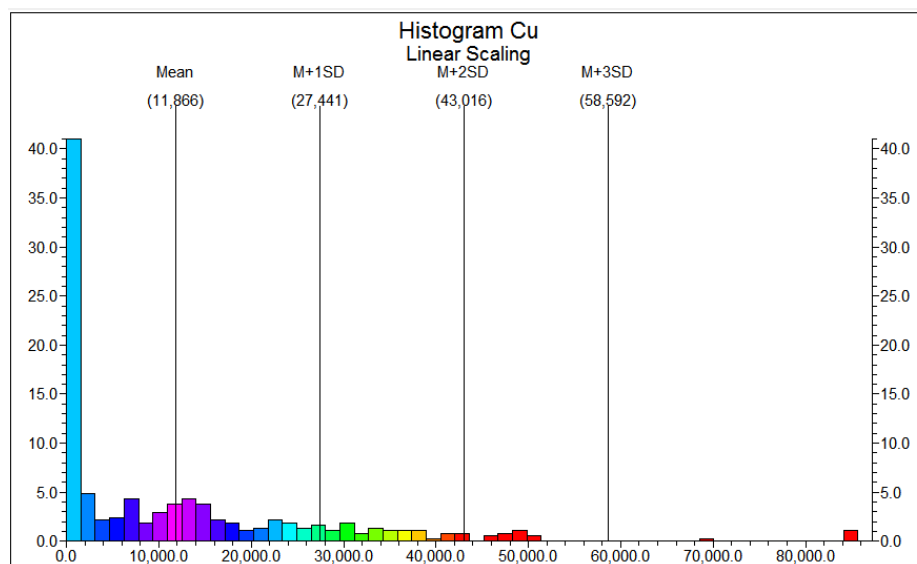
جدول ۱- تعداد داده‌های سنسورد و خارج از رده عنصر مس و مقدار جانشینی هر یک

عنصر	Cu
تعداد داده سنسورد	۱۴
مقدار جایگزینی داده سنسورد	۰/۰۶۶
تعداد داده خارج از رده	۳
مقدار جایگزینی داده خارج از رده	۸۵۱۹۶

جدول ۲- خصوصیات آماری عنصر مس پس از اعمال روش‌های پیش‌پردازش

Statistics

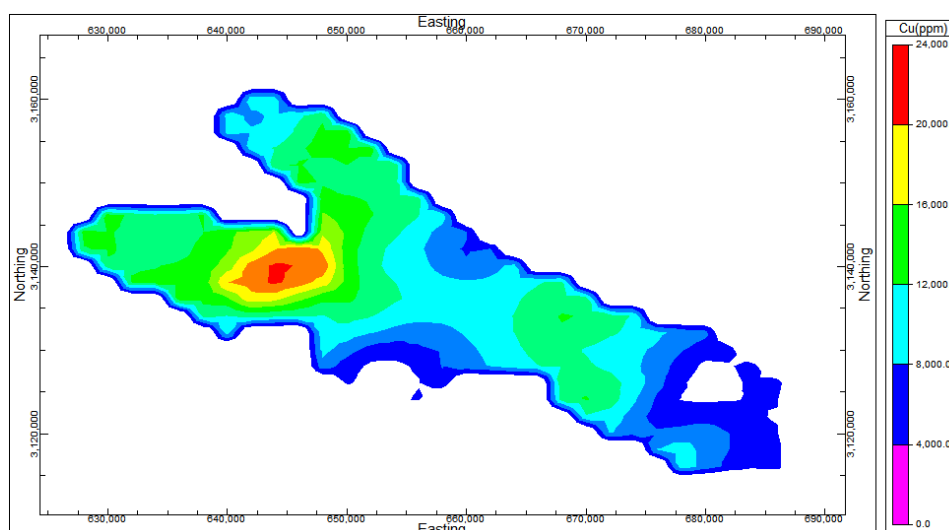
		Cu
N	Valid	368
	Missing	0
Mean		11865.9128
Median		5677.0000
Std. Deviation		15575.23420
Skewness		1.895
Std. Error of Skewness		.127
Kurtosis		4.631
Std. Error of Kurtosis		.254



شکل ۳- نمودار هیستوگرام عنصر مس

جدول ۳- مقادیر زمینه، حد آستانه و آنومالی‌های مس بر مبنای آمار کلاسیک

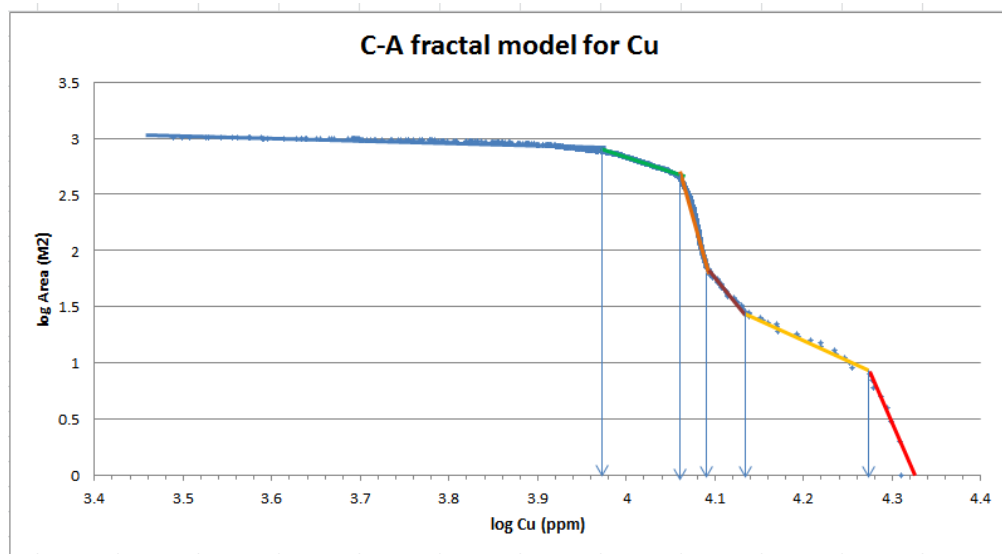
عنصر	مقدار زمینه = M	حد آستانه (M+S)	آنومالی ممکن (M+2S)	آنومالی احتمالی (M+3S)	آنومالی قطعی (M+4S)
مس	۵۶۷۷	۲۱۲۵۲/۲	۳۶۸۲۷	۵۲۴۰۲	۶۷۹۷۷



شکل ۴- نقشه مقدماتی پراکندگی مس در منطقه بر مبنای کریجینگ و بهترین بیضوی ناهمسانگردی

ناگهانی عیار به دلیل ایجاد پدیده لیچینگ و شسته شدن یک سری عناصر و نهایتاً غنی‌شدگی مس با ایجاد کانی‌های ثانویه مانند کالکوسیت شده است. به عبارتی می‌توان فاز اول کانه‌زایی را تا محدوده عیاری ۱/۱ درصد (به دلیل شیب یکنواخت خط شکست اول و دوم)، فاز دوم را محدوده عیاری ۱/۱ تا ۱/۳۴ درصد، فاز اصلی محدوده عیاری ۱/۳۴ تا ۱/۸ درصد و محدوده عیاری پس از آن را به عنوان زون غنی شده تخمین زد (شکل ۵ و جدول ۴). بر مبنای اطلاعات حاصل از منحنی فرکتال مس (شکل ۵) نقشه آنومالی قطعی مس تولید گردیده است (شکل ۶).

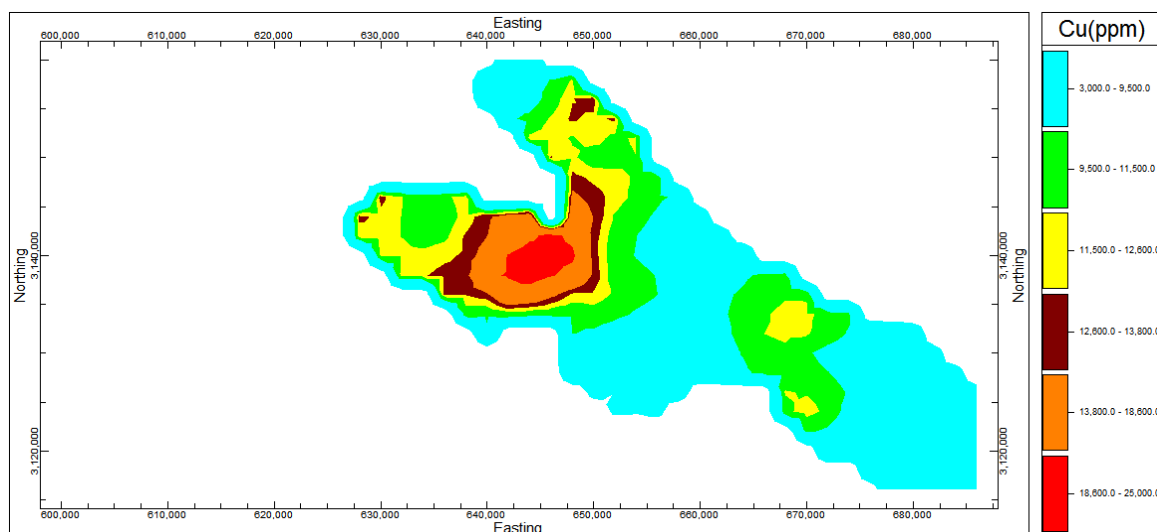
در راستای انجام تحلیل فرکتالی، نمودار فرکتال عیار-مساحت عنصر مس، برگرفته از نقشه کنترولی عیار مس (شکل ۴) ترسیم شده است (شکل ۵). به طوری که مشخص است ۶ جامعه تفکیک شده، ایجاد شده که مناطق ناهنجار در سمت راست نمودار قرار گرفته است. بر مبنای تجربه مطالعاتی و بررسی‌های منحنی‌های فرکتال می‌توان اذعان داشت که ایجاد دو پله اصلی در منحنی فرکتال مذکور حاکی از دو فاز کانه‌زایی، یعنی فاز اولیه با ساختار مس سولفیدی (سمت چپ نمودار) و فاز غنی‌شدگی سوپرژن با ساختار اکسیدی مس (سمت راست نمودار) دارد. زیرا معمولاً در کانسار مس، فرایند سوپرژن سبب بالارفتن



شکل ۵- نمودار فرکتال عیار- مساحت عنصر مس

جدول ۴- مقادیر زمینه، حد آستانه و آنومالی‌های مس بر مبنای آمار فرکتالی عیار- مساحت

عنصر	مقدار زمینه	حد آستانه	آنومالی ممکن	آنومالی احتمالی	آنومالی قطعی
مس	۹۳۳۲/۵۴	۱۱۴۸۱/۵۴	۱۲۳۰۲/۶۹	۱۳۴۸۹/۶۳	۱۸۶۲۰/۸۷



شکل ۶- نقشه کنتوری عیار مس در محدوده نمونه‌برداری بر مبنای روش آماری فرکتال عیار- مساحت

شواهد زمین‌شناس و زمین ساختاری می‌تواند دید بسیار بهتری از مراحل کانی‌زایی مس و نیز پراکندگی‌های ثانویه آن نشان دهد.

نتیجه‌گیری

در مرکز نقشه کنتوری پراکندگی عیار مس منتج شده از روش فرکتالی عیار- مساحت یک ناهنجاری حلقوی با میزان غنی‌شدگی حداقل ۱۸۶۰۰ پی‌پی‌ام معادل ۱/۸۶ درصد بارز شده است که عیار بالایی است. این الگوی ناهنجاری حلقوی با روند غنی‌شدگی به سمت مرکز با در نظر گرفتن خاستگاه تکتونیکی منطقه، احتمال ژنز پورفیری کانی‌زایی محدوده مطالعاتی را تقویت می‌بخشد که به یقین تلفیق نتایج ژئوشیمی حاصله با

تقدیر و تشکر

در پایان لازم می‌دانم از شرکت حدید گستر سیرجان به پاس فراهم نمودن نمونه‌ها و پرداخت هزینه‌های این پژوهش و از مرکز تحقیقات فراوری مواد معدنی ایران جهت انجام امور آنالیزهای مربوطه قدردانی نمایم.

مراجع

em Explor 72, P. 91-114.

Hair, J.F., Andersen, R.E., Tatham, R.L., and Black, W.C., 1998, "Multivariate Data Analysis", *Prentice Hall, Upper Saddle River, New Jersey*, P.110-134.

Lalor, G.C., and Zhang, C.; 2001, "Multivariate outlier detection and remediation in geochemical databases", *The Science of the Total Environment*, 281: P.99-109.

Li, C.; Ma, T. and Shi, J., 2003, "Application of a fractal method relating concentrations and distances for separation of geochemical anomalies from background", *Journal of Geochemical Exploration*, P. 167-175.

Mandelbrot, B.B., 1983, "The fractal geometry of nature. Freeman", *San Francisco*, P. 1-468.

Rasouli, J., Ghorbani, M., Ahadnejad, V., Poli, G., 2016, "Calk-alkaline magmatism of Jebal-e-Barez plutonic complex", *SE Iran: implication for subduction-related magmatic arc*, *Arab J Geosci.* 9, P. 287-309.

Reimann, C., Filzmoser, P., and Garrett, R.G., 2005, "Background and threshold: critical comparison of methods of determination", *Science of the Total Environment*, 346: P.1-16.

Rose, W., Hawkes, R.A.W., Webb, H.E., 1979, "Geochemistry in mineral exploration", *2nd Ed. Acad. Press, New York*, P. 657.

Shafiei, B., Haschke, M., Shahabpour, J., 2009, "Recycling of orogenic arc crust triggers porphyry Cu mineralization in Kerman Cenozoic arc rocks", *southeastern Iran. Minera. Depo.* 44, P. 265-283.

Tukey J., 1977, "Exploratory data analysis, Reading", *Massachusetts: Addison-Wesley*, P. 506.

حسنى پاك، ع.، ۱۳۸۴، "اصول اكتشافات ژئوشيميایی معدني" انتشارات دانشگاه تهران، ۴۶۵ صفحه.

قربانی، م.، ۱۳۹۳، "زمین‌شناسی ایران" آرين زمین، ۴۸۸ صفحه.

قهرودی تالی، ۱۳۸۱، "ارزیابی درون‌یابی بهروش کریجینگ" مرکز GIS جهاد دانشگاهی واحد دانشگاه تربیت معلم تهران، پژوهش‌های جغرافیایی، شماره ۴۳، ۱۰۸-۹۵ صفحه.

Afzal, P., Fadakar, A.Y., Khakzad, A., Moarefvand, P. & Rashidnejad Omran, N., 2011, "Delineation of mineralization zones in porphyry Cu deposits by fractal concentration-Vol. modeling", *J. Geochem. Explor.* 108, P, 220-232.

Agterberg, F.P., Cheng, Q., Brown, A., Good D., 1996, "Multifractal modeling of fractures in the Lac du Bonnet Batholith", *Manitoba. Comput. Geosci.* 22 (5), P.497-507.

Cheng, Q., Agterberg, F.P., Ballantyne, S.B., 1994, "The separation of geochemical anomalies from background by fractal methods", *J. Geochem. Explor.* 51, P.109-130.

Davis, J.C., 2002, "Statistics and data analysis in Geology (3th ed.)", *John Wiley & Sons Inc., New York*, P. 342-353.

Dimitrijevic, M. D., 1973, Geology of Kerman region. Geological Survey of Iran. Report YU/52.

Filzmoser, P., Garrett, R.G., and Reimann, C., 2005, "Multivariate outlier detection in exploration geochemistry", *Computers and Geosciences*, 31: P.579-587.

Goncalves, M.A., Mateus, A., Oliveira, V., 2001, "Geochemical anomalyseparation by multifractal modeling", *J Geoch-*

