

کاربرد روش‌های آماری و فراکتالی در اکتشافات ژئوشیمیایی رسوبات آبراهه‌ای و کانی‌سنگین در شناسایی کانی‌سازی مس اطراف روستای حاجی‌آباد زاویه، استان

مرکزی

سید محمدحسین موسوی‌زاده^۱، دکتر افشین اکبرپور^{۲*}، دکتر محمود مهرپرتو^۳، مهندس عبدالسمیع سعیدی^۴

^۱ دانشجوی دکتری زمین‌شناسی اقتصادی، دانشکده علوم زمین، دانشگاه شهید بهشتی، تهران، ایران.

^۲ عضو هیئت‌علمی، سازمان زمین‌شناسی و اکتشافات معدنی کشور، پژوهشکده علوم زمین، تهران، ایران.

^۳ عضو هیئت‌علمی، سازمان زمین‌شناسی و اکتشافات معدنی کشور، پژوهشکده علوم زمین، تهران، ایران.

^۴ کارشناسی ارشد مهندسی معدن، سازمان زمین‌شناسی و اکتشافات معدنی کشور، گروه اکتشاف، تهران، ایران.

چکیده

محدوده مورد مطالعه در شرق روستای حاجی‌آباد، در استان مرکزی واقع است. قدیمی‌ترین واحدهای زمین‌شناسی این محدوده سنگ‌های آتشفشانی و آتشفشانی - رسوبی با سن ائوسن است. اکتشافات ژئوشیمی و کانی‌سنگین به صورت سیستماتیک در محدوده انجام و ۱۴۱ نمونه رسوب آبراهه‌ای و ۵۹ نمونه کانی‌سنگین برداشت شد. داده‌های حاصل از نتایج آنالیز نمونه‌ها به کمک نرم‌افزار (Spss) مورد داده‌پردازی از جمله محاسبه ضریب همبستگی، تجزیه عاملی و تجزیه خوشه‌ای قرار گرفتند. برای محاسبه حدود زمینه و ناهنجاری از دو روش غیر ساختاری و روش ساختاری (روش فرکتالی عیار - مساحت) استفاده شد و نقشه‌هایی به روش IDW (Inverse Distance Weighted) با نرم افزار (ArcGis) ترسیم و با یکدیگر مقایسه شدند. پنج محدوده برای انجام عملیات کنترل ناهنجاری انتخاب شد و بررسی‌های صحرایی نشان‌دهنده آثار کانی‌سازی مس در سنگ‌های آندزیتی تا آندزیت‌بازالت‌پورفیری واقع در شمال محدوده بوده است. حداکثر مقدار مس در نمونه‌های سنگ برداشت شده از این واحد ۳/۵۷٪ بود. کانی‌های مس در سه فاز سولفیدی (کالکوپیریت، بورنیت، کالکوسیت، دیژنیت، کوولیت) اکسیدی (تنوریت و کوپریت) و کربناته (ازوریت و مالاکیت) هستند. بافت کانی‌سازی مس، جانشینی، پرکننده فضای خالی و رگه‌ای است. با توجه به شواهد به دست آمده کانی‌سازی‌های مس مشاهده شده در این محدوده شباهت قابل توجهی با کانسارهای تیپ مانتو دارند.

واژگان کلیدی: اکتشاف ژئوشیمیایی، کانی‌سنگین، کانی‌سازی مس، زاویه، ایران مرکزی

Application of statistical and fractal methods in geochemical explorations of the stream sediments and heavy minerals in identifying Cu mimeralization Hajiabad, Zavieh, Markazi Province

Mohammad Hosein Musavizadeh¹, Afshin Akbarpur^{2*}, Mahmood Mehrparto³, Abdosamie saeedi⁴

¹PhD Candidate of Economic Geology, Faculty of Earth Sciences, Shahid Beheshti university, Tehran, Iran.

²Assistant Professor, Geological Survey and Mineral Exploration, Institute of Earth Sciences, Tehran, Iran.

³Assistant Professor, Geological Survey and Mineral Exploration, Institute of Earth Sciences, Tehran, Iran.

⁴Master of Mining Engineering, Geological Survey and Mineral Exploration, Exploration Group, Tehran, Iran.

Abstract

The studied area is located in the east of Haji - Abad village, Markazi Province, central Iran. The oldest geological units of this area are volcanic and volcanic-sedimentary rocks with Eocene age. Geochemical and heavy mineral systematically Explorations were applied in the area and during it, 141 silt samples and 59 heavy mineral samples were collected. Data from chemical analysis of samples were subjected to data processing with (Spss) such as correlation factor analysis and cluster analysis. To calculate background and anomaly value, the non-structural method and structural method (fractal method - area) were used and maps were drawn by IDW (Inverse Distance Weighted) method with ArcGis software and compared with each other. In the following, five ranges were selected for field control and it shows the effects of copper mineralization in andesite rocks on andesite basalt porphyry located in the north of the range. The maximum amount of copper in the rock samples taken from this unit was 3.57%. Copper minerals in three phases. Sulfide copper minerals are chalcopyrite, bornite, chalcocite, digenite, covellite, and oxide copper minerals are tenorite and cuprite, and also carbonate copper minerals are azurite and malachite. Cooper mineralization's textures are replacement, filling open space and veins. Eventually can be said that the copper mineralizations observed in this area have a significant similarity with Manto-type deposits.

Keywords: *Cu Mineralization, geochemical explorations, Heavy mineral, Manto type, Zavieh, Central Iran.*

۱- مقدمه

یکی از روش‌های اکتشاف ذخایر معدنی در مقیاس ناحیه‌ای، اکتشافات ژئوشیمیایی رسوب آبراهه‌ای و کانی‌سنگین است که موجب کاهش هزینه‌های اکتشاف شده و تأثیر زیادی در شناسایی مناطق مستعد کانی‌سازی دارد [۱]. اکتشاف ژئوشیمیایی خود شامل مراحل نمونه‌برداری، آماده‌سازی، تجزیه شیمیایی، پردازش و تفسیر داده‌ها است و سبب یافتن تمرکز غیرعادی عناصر مرتبط با کانی‌سازی احتمالی در محیط‌های نسبتاً سطحی سوپرژن می‌شود [۲]. از آنجایی که در اکتشافات ژئوشیمیایی ناحیه‌ای و نیمه‌تفصیلی، وسعت محدوده مورد مطالعه نسبتاً زیاد است، هاله‌های لیتوژئوشیمیایی ثانویه، مورد بررسی و مطالعه قرار می‌گیرند. از این رو مبنای روش اکتشافات ژئوشیمیایی رسوبات آبراهه‌ای بر مطالعه هاله‌های پراکندگی ثانویه عناصر در مواد سطحی حاصل از هوازدگی سوپرژن نهشته‌های کانساری استوار است [۳]. در این روش فرض بر آن است که هر نمونه رسوب آبراهه‌ای، معرف محیط، شرایط و ترکیب شیمیایی سنگ‌های بالادست حوضه آبریز خود است [۴]. از اطلاعات ژئوشیمیایی به دست آمده، برای تفکیک جوامع مختلف و همچنین تعیین حد آستانه‌ای یا حداقل مقدار ناهنجاری برای هر عنصر در منطقه مورد مطالعه بهره‌گیری می‌شود [۵]. معمولاً به منظور جدایش ناهنجاری‌ها و مقدار زمینه از روش‌های مختلف ساختاری (روش‌های فرکتالی) و غیرساختاری (روش‌های آماری کلاسیک) استفاده می‌کنند. تفاوت روش فرکتالی با روش‌های آماری کلاسیک در تعیین موقعیت فضایی نمونه‌ها و تأثیری است که در شناسایی و گسترش ناهنجاری‌ها دارد. روش عیار - مساحت یکی از روش‌های فرکتالی برای جداسازی جوامع ناهنجاری از پس زمینه بر اساس رفتار فرکتالی پراکندگی‌های ژئوشیمیایی در طبیعت و مبتنی بر مساحتی است که از یک عیار را شامل می‌شود [۶]. در مطالعات ژئوشیمیایی ۱:۱۰۰۰۰۰ ورقه زاویه، ناهنجاری‌هایی از کانی‌سازی مس مشاهده گردید که بر اساس آن جهت ادامه عملیات اکتشافی ژئوشیمیایی در مقیاس ۱:۲۵۰۰۰ برنامه‌ریزی شد. نتایج نشان‌دهنده غنی‌شدگی برخی عناصر از جمله مس، آرسنیک، باریم، نقره، سرب، روی، آنتیموان و زیرکونیم و تأیید آن به وسیله مطالعات کانی‌سنگین است و امید بخش بودن نمونه برداری لیتوژئوشیمیایی در ناهنجاری‌های محدوده سبب گردید تا نسبت به اکتشاف تفصیلی‌تر در آن اقدام شود [۷]. قرارگیری محدوده مورد مطالعه در کمربند ارومیه دختر و وجود کانی‌سازی‌های مس چاقو [۸]، کهنک [۹]، نارباغی [۱۰]، علیشار [۱۱]، مسجد داغی [۱۲-۱۳-۱۴-۱۵] و کهک [۱۶] در این کمربند، نشان‌دهنده جایگاه مناسب برای ادامه عملیات اکتشافی بوده است. هدف از انجام این مطالعه شناسایی بی‌هنجاری‌های زمین‌شیمیایی، بررسی مناطق امیدبخش معدنی، براساس مطالعات ژئوشیمیایی ورقه ۱:۱۰۰۰۰۰ زاویه، مقایسه دو روش کلاسیک و فرکتالی (عیار - مساحت) تعیین حدود ناهنجاری و تأثیر آن در نمایش وسعت بی‌هنجاری‌ها در شناسایی و بررسی کانی‌سازی مس اطراف روستای حاجی‌آباد زاویه بوده است.

۲- زمین‌شناسی

منطقه مورد مطالعه با وسعت ۹۶ کیلومترمربع، بین طول‌های جغرافیایی $40^{\circ} 12'$ تا $45^{\circ} 12'$ و عرض‌های جغرافیایی $35^{\circ} 44'$ تا $35^{\circ} 02'$ شمالی در شرق روستای حاجی‌آباد استان مرکزی قرار دارد. این منطقه بخشی از کمربند ارومیه - دختر است (شکل الف-۱) که اغلب توسط سنگ‌های آتشفشانی و آتشفشانی - رسوبی سنوزوئیک پوشیده شده است [۱۷]. کمان ماگمایی ارومیه - دختر به لحاظ اقتصادی حائز اهمیت بوده و دربرگیرنده بخش زیادی از ذخایر مس ایران است [۱۱]. شواهد مختلف زمین‌شناسی نشان می‌دهند که آتشفشان‌های ترشیری این منطقه در دو مرحله تشکیل شده‌اند. در مرحله نخست پی‌سنگ مجموعه

آتش‌فشانی بالاآمده و در مرحله دوم، پس از آماس یا بالاآمدگی پی‌سنگ، یک سیستم کافتی همراه با فعالیت آتش‌فشانی متعدد، به وجود آمده است [۱۸]. این محدوده به لحاظ تکتونیکی از تنوع و پویایی زیادی برخوردار است و گسل‌ها و دایک‌های زیادی در آن وجود دارد. گسل‌ها عموماً روند شمال غربی - جنوب شرقی دارند و روند دایک‌ها نیز مشابه گسل‌ها است [۱۹]. براساس نقشه زمین‌شناسی با مقیاس ۱:۱۰۰۰۰۰ زاویه [۲۰] واحدهای آتش‌فشانی و توده‌های نفوذی نیمه‌عمیق بخش بزرگی از محدوده مورد مطالعه را تشکیل می‌دهد (شکل ۱-ب). به‌طور کلی واحدهای سنگ‌شناسی رخنمون‌یافته در منطقه مورد مطالعه را می‌توان به دو گروه تقسیم کرد: گروه اول واحدهای ائوسن که قدیمی‌ترین سنگ‌های منطقه را تشکیل می‌دهند. این واحدها که رخنمون چندانی ندارند و در مجموع کمتر از یک‌هشتم مساحت کل منطقه را پوشش می‌دهند؛ شامل واحدهای پیروکلاستیک آندزیتی و توف‌های سفیدرنگ اسیدی می‌باشند که در نیمه جنوبی و جنوب‌غربی نقشه زمین‌شناسی در نزدیکی روستای مرتضی‌قلی واقع شده‌اند. همچنین گدازه‌های آندزیتی - بازالتی و واحد پیروکسن‌آندزیت که در جنوب‌غربی منطقه و نزدیکی کوه مجک‌لی رخنمون دارند، دارای رنگ تیره و ترکیب شیمیایی حد واسط تا بازیک هستند و گاهی بوسیله دایک‌های اغلب بازیک قطع می‌شوند [۲۰]. در شمال محدوده سنگ‌های ائوسن بوسیله سنگ‌های اسیدی تا بازیک پوشیده یا قطع می‌شوند که در حالت عادی سنگ‌های سفید رنگ اسیدی به صورت افقی در زیر سنگ‌های تیره‌رنگ بازیک قرار می‌گیرند. بهترین نمونه‌های تناوب این دو بخش در کوه سید بابا‌غار در شمال تا شمال شرقی منطقه مورد مطالعه قرار دارد. گروه دوم واحدهای الیگومیوسن هستند که در منطقه گسترش بیشتری دارند. این واحدها شامل سنگ‌های اسیدی و سنگ‌های آندزیتی - بازالتی که در نقشه زمین‌شناسی به ترتیب با حروف (a) و (b) معرفی شده‌اند، همراه با واحد ریولیتی - ایگنمبریتی، واحد ایگنمبریتی - لاتیتی - داسیتی و همچنین دایک‌های اغلب بازیک هستند. از دیگر واحدهای سنگی این منطقه می‌توان به سنگ‌های آتش‌فشانی اسیدی ایگنمبریتی با سن الیگومیوسن و میوسن اشاره کرد که در جنوب‌غرب این محدوده واقع گردیده‌اند. واحدهای ایگنمبریتی به دو واحد مجزا قابل تفکیک می‌باشند؛ یکی واحد ریولیتی - ایگنمبریتی که در مرکز و جنوب محدوده با روند شمال‌غرب - جنوب - شرقی در منطقه گسترش دارد و متشکل از توف‌های جوش خورده، لایه‌های ایگنمبریتی و گدازه‌های جریانی با ترکیب ریوداسیتی - ریولیتی بوده که به رنگ بنفش تا قرمز است. واحد دوم ایگنمبریتی - لاتیتی - داسیتی با رنگ قرمز است که در مرکز محدوده اکتشافی قرار دارد و روندی مشابه واحد ریولیتی - ایگنمبریتی دارد [۲۰].

۳- مواد و روش‌ها

در این تحقیق ۱۴۱ نمونه رسوب رودخانه‌ای از بستر آبراهه‌ها با الک ۸۰ مش و با رعایت اصول نمونه‌برداری که توسط محققان زیادی از جمله حسنی پاک [۲۱]، یزدی [۲۲] و بالدوین [۲۳] ارائه گردیده، برداشت شد و موقعیت آن‌ها در (شکل ۹) نشان داده شده است. وزن نمونه‌های برداشت شده حدود ۲۵۰ الی ۳۰۰ گرم بود [۵]. تعداد ۵۹ نمونه کانی‌سنگین با در نظر گرفتن ویژگی‌های مهم محل نمونه، با استفاده از الک ۲۰ مش برداشت شد [۲۴]. چگالی نمونه‌برداری در هر کیلومتر مربع سه نمونه رسوب آبراهه‌ای و یک نمونه کانی‌سنگین بوده است. نمونه‌ها در آزمایشگاه سازمان زمین‌شناسی و اکتشافات معدنی کشور با دستگاه طیف - سنجی نشر نوری پلاسمای جفت شده القایی (ICP Optical Emission Spectrometer) مدل Varian 735-ES برای ۵۲ عنصر آنالیز شدند که حد تشخیص این دستگاه برای عنصر مس ۰/۶ ppm است. در (جدول ۱۱) نتایج مربوط به آنالیز ۱۴۱ نمونه نشان داده شده است. همچنین در مرحله کنترل

ناهنجاری ژئوشیمیایی محدوده‌های امیدبخش، تعداد ۳۴ نمونه لیتوژئوشیمیایی برداشت و تجزیه شد و نتایج مربوط به ۳۰ عنصر در ۱۰ نمونه انتخاب شده در (جدول ۱۲) آورده شده است. در نهایت ۹ مقطع صیقلی از واحد آندزیت-بازالتی و کانی‌سازی مس تهیه و مورد مطالعه قرار گرفت.

۳-۱- پردازش داده‌های حاصل از تجزیه شیمیایی

در این پژوهش به منظور تعیین روابط بین عناصر و گروه‌های عنصری و در نهایت جدایش ناهنجاری از زمینه از دو روش غیرساختاری و ساختاری استفاده گردید. در روش غیرساختاری از پردازش تک متغیره و چندمتغیره استفاده شد. روش ساختاری نیز مبتنی بر مدل‌های فرکتالی گوناگون است که در این پژوهش مدل فرکتالی عیار - مساحت بررسی شده است.

۳-۲- روش‌های آماری

داده‌های خام حاصل از آنالیز شیمیایی نمونه‌های رسوب آبراهه‌ای، مورد پردازش‌های آماری قرار گرفت. مراحل مختلف داده‌پردازی عبارت‌اند از: فایل‌بندی داده‌های خام، پردازش داده‌های سنسورد (جدول ۱)، محاسبه پارامترهای آماری تک متغیره (جدول ۲)، بررسی نرمال بودن یا نبودن داده‌ها و در صورت نیاز استفاده از روش‌های نرمال‌سازی، رسم منحنی‌های فراوانی داده‌های خام و نرمال (شکل ۴)، محاسبه و رسم ضرایب همبستگی دومتغیره (جدول ۳)، بررسی آماری چند متغیره، تجزیه عاملی (Factor Analysis) (جدول ۴ و ۵) و تجزیه و تحلیل خوشه‌ای داده‌ها (Cluster Analysis) (شکل ۵). داده‌های سنسورد به داده‌هایی گفته می‌شود که توسط آزمایشگاه به صورت مقادیر کمتر یا بیشتر از یک عدد گزارش می‌شوند. امکان استفاده از داده‌های سنسورد در فرآیندهای آماری و مدل‌سازی‌ها وجود ندارد. همچنین نرم افزارهای داده پردازی در رایانه نیز فقط داده عددی را به ازای هر متغیر (عنصر) و هر شماره نمونه می‌شناسد. روش جایگزینی ساده وقتی حداکثر ۱۰ درصد داده‌ها به صورت سنسورد باشد، مورد استفاده قرار می‌گیرد [۲۵]. در این پژوهش نیز از روش جایگزینی استفاده شد و عناصری که داده‌های سنسورد آنها بیش از ۱۰ درصد بود (طلا و بیسموت) از داده پردازی کنار گذاشته شدند (جدول ۱). پارامترهای آماری تک متغیره از قبیل، میانگین، مد، میانه، انحراف معیار، کشیدگی و چولگی با استفاده از نرم‌افزار SPSS برای داده‌های خام و نرمال تمامی عناصر محاسبه شد که نتایج مربوط به داده‌های عنصر مس در (جدول ۲) آورده شده است.

پیش از محاسبه پارامترهای آماری چند متغیره، نرمال بودن یا نبودن داده‌ها مورد بررسی قرار گرفت. روش‌های مختلفی برای بررسی نرمال بودن یا نبودن داده‌های آماری وجود دارد که می‌توان به آزمون کولموگروف - اسمیرنوف و آزمون شاپیرو - ویلک و شکل کشیدگی و چولگی اشاره نمود [۲۶]. در این پژوهش، با استفاده از نرم‌افزار SPSS و از طریق آزمون کولموگروف - اسمیرنوف و همچنین تشخیص از روی شکل کشیدگی و چولگی نسبت به بررسی نرمال بودن داده‌ها اقدام شد. مقدار کشیدگی و چولگی داده‌های عنصر مس بالاتر از ۳ و صفر است. نرمال سازی داده‌ها با استفاده از روش تبدیل لگاریتمی صورت پذیرفت.

۳-۲-۱. ضریب همبستگی

در بررسی‌های تک متغیره روابط بین متغیرها در نظر گرفته نمی‌شود و عملیات پردازش روی متغیر بدون در نظر گرفتن ارتباط بین متغیرها صورت می‌گیرد. در صورتیکه در زمین‌شناسی اقتصادی روابط و همبستگی ژنتیکی مستقیم و معکوس بین عناصر در کانسارهای گوناگون از اهمیت ویژه‌ای برخوردار است. ضریب همبستگی از ۱- تا ۱+ متغیر است. ضریب همبستگی عنصر مس به روش پیرسون نشان‌دهنده همبستگی متوسط عنصر مس با عناصر آنتیموان، نقره، مولیبدن، استرانسیم، منگنز و روی است. در این میان بیشترین

مقدار همبستگی عنصر مس با سرب به مقدار (۰/۷۱۳) است. مقادیر همبستگی عنصر مس با سایر عناصر در (جدول ۳) نشان داده شده است. همراهی مس با سرب و نقره در شناسایی کانسارهای تیپ مانتو دارای اهمیت است [۲۷].

۳-۲-۲. تجزیه عاملی

هدف از تجزیه عاملی، شناسایی اصلی‌ترین متغیرهای کنترل‌کننده (اصلی) از متغیرهای با اهمیت کمتر (فرعی) و کم کردن تعداد ابعاد داده‌های ژئوشیمیایی است. در این صورت می‌توان با حداقل تعداد متغیرهای عاملی (فاکتوری)، حداکثر تنوع بین داده‌ها را توضیح داد و سهم نسبی هر یک از متغیرهای عاملی در توجیه تغییرپذیری را مشخص نمود [۲۸]. نتایج تجزیه عاملی داده‌ها نشان می‌دهد که بیشترین مشارکت مربوط به عنصر گالیم با مقدار (۰/۹۳۴) می‌باشد. عناصر در هفت فاکتور دسته‌بندی شدند که فاکتورهای اول و دوم در مجموع (۵۱/۶۰) درصد در واریانس عمومی داده‌ها مؤثر است. مس همراه عناصر نقره، آرسنیک، باریم، هافنیم، لیتیم، منگنز، مولیبدن، سرب، آنتیموان، استرانسیم و روی در عامل اول قرار دارد. همچنین عناصر کبالت، کروم، گالیم، نیوبیوم، نیکل، تیتانیم، روی و زیرکونیم در عامل دوم جای می‌گیرند. نتایج تجزیه عاملی نشان‌دهنده همخوانی این روش با ضریب همبستگی عنصر مس با نقره، سرب، آنتیموان، مولیبدن، استرانسیم، منگنز و روی و تأیید صحت این نتایج است.

۳-۲-۳. آنالیز خوشه‌ای

تجزیه خوشه‌ای یکی از ابزارهای مفید تحلیل داده‌ها است که هدف آن نظم دادن به عناصر مختلف در یک گروه داده بر اساس نزدیکی و دوری از یکدیگر است. اگر دو عنصر به یک گروه تعلق داشته باشند درجه ارتباط بین آنها حداکثر (دارای بیشترین ارتباط) و در غیر این صورت حداقل (کمترین ارتباط) است. هدف از خوشه بندی داده‌ها آن است که مشاهدات را به گروه‌های متجانس تقسیم کنیم، به طوری که مشاهدات هر گروه بیشترین شباهت و مشاهدات گروه‌های مختلف کمترین شباهت را با هم داشته باشند [۲۹-۳۰]. بررسی پردازش خوشه‌ای در محدوده مورد مطالعه نشان‌دهنده قرارگیری عنصر مس همراه با مولیبدن، منگنز، سرب و نقره در یک خوشه است. گروه‌های به دست آمده از این روش در (جدول ۶) و (شکل ۵) به خوبی قابل مشاهده است. نتایج بدست آمده از این روش نیز نشان‌دهنده تأیید نتایج تجزیه عاملی و ضریب همبستگی و همراهی عناصر مس، سرب، نقره آنتیموان و منگنز است.

۳-۳. تعیین حدود زمینه، آستانه و ناهنجاری و رسم نقشه‌ها

تفکیک مقدار ناهنجاری‌های ژئوشیمیایی از زمینه را می‌توان مهم‌ترین بخش یک عملیات اکتشافی دانست [۳۱-۳۲]. برای تفکیک حد زمینه، آستانه و ناهنجاری روش‌های مختلفی وجود دارد که به‌طور کلی این روش‌ها را می‌توان به دودسته روش‌های ساختاری و روش‌های غیرساختاری تقسیم کرد. روش‌های غیر مبتنی بر پارامترهای توزیع، حدود ناهنجاری را نشان می‌دهند و در روش‌های ساختاری، برای شناسایی حدود آستانه‌ای و ناهنجاری؛ ساختار، ارتباط فضایی و موقعیت نمونه‌ها نیز در نظر گرفته می‌شود [۲۶]. در استفاده از آمار کلاسیک، پیش‌فرض بر این است که نمونه‌ها مستقل بوده و از روش‌های مشخصی برای توزیع نرمال داده‌های ژئوشیمیایی استفاده می‌شود [۳۳]. در محدوده مورد مطالعه حد زمینه، آستانه و ناهنجاری به روش غیر ساختاری محاسبه شده است و نتایج آن در (جدول ۷) نشان داده شده است. در این روش حد زمینه از جمع میانگین و انحراف معیار، حد آستانه از جمع میانگین و دو برابر انحراف معیار و حد ناهنجاری از جمع

میانگین و سه برابر انحراف معیار به دست می‌آید. نقشه توزیع مس مبتنی بر روش غیر ساختاری با استفاده از تکنیک درون‌یابی (IDW (Inverse Distance Weighted) با نرم افزار ArcGis ترسیم شده که در (شکل ۶) نشان داده شده است. روش‌های قدیمی رایج برای تجزیه و تحلیل داده‌های ژئوشیمیایی از جمله روش آمار کلاسیک، روش (EDA) تحلیل اکتشافی داده‌ها (Exploratory Data Analysis) و روش (MAD) انحراف مطلق میانه (Median absolute deviation) کمبودهایی داشتند که می‌توان به از دست دادن برخی داده‌ها به علت خارج از ردیف بودن، در نظر نگرفتن توزیع فضایی داده‌ها، الزام نرمال بودن و همچنین عدم لحاظ شکل هندسی ناهنجاری‌ها اشاره نمود [۳۴]. داده‌های ژئوشیمیایی رفتاری مولتی فرکتال دارند که متأثر از شدت تغییرات در شرایط زمین‌شناسی، دگرسانی، هوازدگی سطحی، کانی‌سازی و در نهایت مراحل غنی‌شدگی یک عنصر است [۳۵].

۳-۴- روش فرکتالی

برای تحلیل داده‌های ژئوشیمیایی چندین روش فرکتالی تاکنون پیشنهاد شده که از جمله آنها می‌توان به عیار- مساحت، تعداد- اندازه، عیار- فاصله، عیار- حجم و عیار- تعداد [۵-۳۶] اشاره نمود. در این پژوهش از مدل فرکتالی عیار- مساحت و حد زمینه و ناهنجاری با استفاده از نمودار لگاریتمی محاسبه شده است (شکل ۷). روش عیار- مساحت بر مبنای تغییرات مساحت نسبت به تغییرات عیار است. از این روش برای محاسبه مساحت اشغال شده توسط هر عیار، از روش درون‌یابی وزن‌دهی معکوس فاصله (IDW) به کمک نرم افزار Arc GIS استفاده گردید. برآوردهای عکس فاصله نسبت به شعاع همسایگی و توان فاصله به کار رفته در وزن‌ها بسیار حساس می‌باشند. دقت برآورد در صورتی که شعاع همسایگی کاهش و توان فاصله افزایش یابد، افزایش پیدا می‌کند [۳۷]. در ادامه نمودار تغییرات لگاریتمی مساحت در برابر تغییرات لگاریتمی عیار (شکل ۷) که با نرم افزار Excel رسم گردیده، نشان داده شده است. با ترسیم این تغییرات در نمودار لگاریتمی، بُعد هر جامعه از طریق شیب خط برازش به آن (شکل ۷) به دست می‌آید [۳۸]. مبتنی بر حدود به دست آمده از این روش، نقشه ناهنجاری‌ها مجدد ترسیم شده است (شکل ۸). در نتیجه می‌توان حد زمینه، آستانه و ناهنجاری را مشخص نمود (جدول ۸).

۴- بحث

مساحت و تغییرات ناهنجاری‌های ژئوشیمیایی دو موضوع بسیار مهم در عملیات اکتشافات ژئوشیمیایی ناحیه‌ای و نیمه تفصیلی است [۲۸-۵]. مساحت از نظر بهینه سازی و هزینه عملیات اکتشافی دارای اهمیت است [۲۳]. تغییرات عیار برای جدایش ناهنجاری‌های درجه یک، دو و سه از حد زمینه ضروری است. عدم دقت در تعیین حد جدایش ناهنجاری‌های درجه یک از دو ممکن است سبب از دست رفتن اثری از کانی سازی شود. استفاده از روش‌های آماری و داده پردازی یا مدل‌سازی‌های ریاضی مختلف جهت تعیین بهتر وسعت ناهنجاری و تغییرات عیار آن است [۲-۳۴-۳۶-۳۵].

در این پژوهش مقایسه مساحت ناهنجاری‌های ژئوشیمیایی در نقشه‌های ترسیم شده در اشکال (۶ و ۸) نشان داد که مساحت ناهنجاری در روش فرکتالی عیار- مساحت بیشتر از روش غیرساختاری است. مقایسه شکل‌های (۶ و ۸) و تغییرات مقدار مساحت ناهنجاری‌ها در جدول ۹ اندازه‌گیری و قابل مشاهده است.

در عملیات اکتشافات ژئوشیمیایی کنترل ناهنجاری‌های ژئوشیمیایی دارای اهمیت ویژه‌ای است. این بخش راستی آزمایی ناهنجاری با کانی‌سازی و شرایط زمین‌شناسی است. بررسی‌های ژئوشیمیایی در این تحقیق ۵ محدوده امیدبخش (Z1, Z2, Z3, Z4, Z5) را مشخص نمود (شکل ۹). کنترل صحرایی محدوده‌ها نشان‌دهنده وجود آثار کانی‌سازی مس در سه محدوده (Z2, Z3, Z4) بود. در دو محدوده Z2 و Z3 آثار کانی‌سازی مس (آزوریت و ملاکیت) به صورت رگه‌ای با روند شرقی - غربی است. در محدوده Z2 رگه‌ای با طول حدود ۳۵۰ متر و عرض متغیر از ۲ تا ۷ متر در سنگ‌های آندزیتی - بازالتی دیده می‌شود. محدوده Z3 دارای کانی‌سازی به صورت عدسی شکل (۱۴۰-۲۰ سانتی متر)، منقطع و طول تقریبی ۲۵۰ متر قابل مشاهده است (شکل ۳). حداکثر مقدار مس در محدوده‌های Z2, Z3 و Z4 با توجه به داده‌های لیتوژئوشیمیایی برداشت شده به ترتیب برابر ۳/۵، ۲/۱۸ و ۰/۷ درصد است.

بررسی‌های صحرایی نشان‌دهنده دگرسانی‌های آرژیلیک، هماتیتی، کربناتی، کلسیمی و سیلیسی است که با نتیجه مطالعات XRD و وجود کانی‌های هماتیت، کائولینیت، کوارتز، کلسیت و ارتوکلاز تطابق دارد. دگرسانی هماتیتی معمولاً ارتباط زیادی با کانه‌زایی‌های مس دارد. این دگرسانی با سیالاتی که موجب اکسید شدن محیط می‌شوند، همراه است و اغلب سبب تشکیل کانی‌هایی با نسبت Fe^{+3}/Fe^{+2} بالا به ویژه هماتیت می‌گردد. دگرسانی هماتیتی با فلدسپار پتاسیم، سرسیت، کلریت و اپیدوت نیز همراه است [۴۰]. دگرسانی‌های سیلیسی و کلسیمی نیز با کانه‌زایی‌های مس مرتبط هستند [۴۱]. همراهی کانی‌های مس دار با هماتیت، کلسیت و کوارتز در مطالعات صحرایی و پراش پرتو ایکس محدوده مورد مطالعه مطابقت دارد. دگرسانی سیلیسی و کربناتی از دگرسانی‌های رایج در کانسارهای مس نوع طبقات سرخ آتش‌فشانی [۴۲] و کانسارهای مس نوع مانتو هستند [۴۳-۴۴].

کانی‌سازی مس در بخش‌هایی از محدوده مورد مطالعه به صورت رگه‌ای و پراکنده وجود دارد. سنگ میزبان این کانی‌سازی‌ها به طور عمده آندزیت تا آندزیت - بازالت است. در شکل (۳) آثار کانی‌سازی مس و روند و ضخامت آن نشان داده شده است. برای شناسایی کانی‌های اصلی مس دار و بافت آن‌ها ۹ نمونه، مورد مطالعه قرار گرفت، مطالعات مقاطع صیقلی نشان داد که کانی‌های مس به سه فاز سولفیدی، اکسیدی و کربناته تفکیک می‌شوند. کانی‌های سولفیدی شامل، کالکوپریت، بورنیت، کالکوسیت، دیژنیت و کوولیت است که عمدتاً مربوط به فاز هیپوژن هستند. کانی‌های اکسیدی تنوریت، کوپریت و کانی‌های کربناته ملاکیت و آزوریت هستند که در شکل‌های (۲-الف و ۲-ب) نشان داده شده است. این کانی‌ها (کانی‌های اکسیدی و کربناته مس) به فاز سوپرژن تعلق دارند. بیشترین مقدار کانی سولفیدی مس مربوط به کالکوسیت و دیژنیت و در مجموع بیشترین کانی مس در تمام نمونه‌ها با توجه به توسعه فعالیت‌های سوپرژن ملاکیت است. بافت‌های اصلی این کانی‌ها در مقاطع، جانشینی، رگه‌ای، پرکننده فضای خالی و بافت کلونیدال حاصل از دگرسانی‌های کانی‌های سولفیدی مس، هستند. بافت کلونیدال دارای ترتیب کالکوسیت، دیژنیت و در مواقعی بورنیت در مرکز است. گاهی کوولیت جانشین آن‌ها شده و در حاشیه کانی‌های اکسیدی و کربناته مس قرار گرفته است (شکل ۲-ج). فعالیت‌های سوپرژن در منطقه گسترده‌تری زیادی دارند که با وجود کالکوسیت، کوولیت و ملاکیت در (شکل ۲-ب) دیده می‌شود. کانی‌های پیریت، هماتیت، لیمونیت و گوتیت نیز در مقاطع وجود دارند. پیریت‌ها غالباً بسیار ریز و اندازه‌هایی در حد چند میکرون دارند و به طور عمده هماتیت جانشین آن‌ها شده است. در (شکل ۲-د) تنوع کانی‌های مس دار به خوبی دیده می‌شود. اکسیداسیون پیریت در سطوح و مجاورت

هوا موجب پیدایش اکسیدهای آهن می‌گردد. این کانی‌ها به صورت ریزدانه و در مرحله هیپوژن تشکیل شده و پیدایش آن‌ها تا مرحله غنی‌شدگی سوپرژن تداوم داشته است. این کانی‌ها امکان حضور در محدوده زیادی از تغییرات غلظت اکسیژن و گوگرد را دارند [۴۵]. هماتیت نیز به صورت پرکننده رگه‌ها و فضاهای خالی و گاهی جانشینی به جای پیریت و همچنین بلورهای سوزنی شکل اسپیکولاریت دیده می‌شوند. هماتیت به صورت خود شکل به ندرت وجود دارد. گوتیت و لیمونیت هم به طور عمده پرکننده رگه‌ها و فضاهای باز هستند و معمولاً سطح نمونه‌ها توسط آن‌ها پوشیده شده است. ویلسون بر این باور است که توالی بورنیت، دیژنیت، کالکوسیت، مس طبیعی و کوولیت در شیلی، نشانگر کانسارهای تیپ مانتو است [۴۷]. همچنین مهم‌ترین کانی‌های سولفیدی در کانسار مس چینه‌کران ماری بورنیت، کالکوسیت، کالکوپیریت، پیریت و کوولیت هستند که تحت تأثیر شرایط سوپرژن به آزوریت و مالاکیت تبدیل شده‌اند [۴۸].

بررسی و مقایسه ویژگی‌های مختلف کانی‌سازی مس حاجی‌آباد زاویه در محدوده‌های Z_2 , Z_3 و Z_4 و موقعیت تکتونیکی کانی‌سازی‌های مس در این محدوده‌ها نشان‌دهنده قرارگیری در کمان آتش‌فشانی است. از نظر کانی‌شناسی کانی‌های مس شامل کالکوپیریت، بورنیت، کالکوسیت، دیژنیت، کوولیت، تنوریت، کوپریت و مالاکیت شناسایی شده‌اند. سنگ میزبان کانی‌سازی مس آندزیت - بازالت است و ساخت و بافت کانی‌ها اغلب پرکننده فضای خالی و رگه‌ای است. مقایسه کانی‌سازی‌های مس در سه محدوده Z_2 , Z_3 و Z_4 با کانسارهای مس تیپ مانتو در نقاط مختلف ایران و جهان نشان‌دهنده وجود شباهت با این نوع کانسارها است. این کانسارها عبارتند از کانسار ماری [۴۸]، کانسار کَشکوئیه [۴۹-۵۰]، کانسار مهکی [۴۳]، کانسار عباس‌آباد [۵۱]، کانسار ورزگ [۵۲]، کانسار نارباغی [۱۰]، کانسار شمال شیلی [۴۴]، زینجیانگ چین [۵۳] و شرق تینشان [۵۴] که در (جدول ۱۰) مقایسه برخی از آنها با کانسار حاجی‌آباد زاویه نشان داده شده است.

۵- برداشت

مطالعات ژئوشیمیایی و کانی‌سنگین در محدوده حاجی‌آباد زاویه سه محدوده امیدبخش از نظر کانی‌سازی مس را نشان داد. نتایج حاصل از مطالعات آماری تک‌متغیره و چندمتغیره نشان‌دهنده ناهنجاری‌های مهم مس و همراهی آن در سه محدوده با عناصر سرب، نقره، آنتیموان، استرانسیم، منگنز و روی است. مطالعات کانی‌سنگین نشان‌دهنده آثاری از کانی‌سای مس به صورت مالاکیت است. مقایسه دوروش ساختاری و غیر ساختاری در تعیین حد زمینه و ناهنجاری نشان‌دهنده وسعت بیشتر ناهنجاری‌های مهم ژئوشیمیایی در روش ساختاری است. بررسی مناطق امیدبخش از نظر صحرایی و رگه‌های کانی‌سازی مس و مقادیر آن در نمونه‌های لیتوژئوشیمیایی، موقعیت تکتونیکی، کانی‌شناسی، سنگ میزبان، ساخت، بافت و دگرسانی نشان‌دهنده شباهت کانی‌سازی مس در محدوده‌های Z_2 , Z_3 و Z_4 با کانسارهای مس نوع مانتو است.

۶- قدردانی

بدینوسیله از مدیران و کارشناسان سازمان زمین‌شناسی و اکتشافات معدنی کشور به خصوص معاونت اکتشاف، مدیریت آزمایشگاه‌ها و پژوهشکده علوم زمین و سایر عزیزانی که در انجام این پژوهش حداکثر همکاری و همراهی را با ما داشتند کمال تشکر و قدردانی را داریم. بررسی‌های صحرایی و داده‌های آزمایشگاهی با حمایت پژوهشکده علوم زمین در قالب پایان‌نامه کارشناسی ارشد سیدمحمدحسین موسوی‌زاده صورت پذیرفته است.

همچنین از سردبیر و داوران محترم نشریه بلورشناسی و کانی شناسی ایران که با حسن نظر و راهنمایی‌های خود بر غنای این مقاله افزودند، صمیمانه تشکر نموده و برایشان آرزوی سلامتی و موفقیت داریم.

جدول ۱: اصلاح داده‌های سنسورد به روش جایگزینی ساده

	element	sensord sample	detection limit(ppm)	Corrected
Unusable	Au(ppb)	۹۲	ppb۵	spent terms
Unusable	Bi(ppm)	۱۴۱	۰/۱	spent terms
Correction	Ba	۳	۱۰۰۰۰/۰	۱۳۳۳۳/۳
Correction	Ge	۳	۰/۱	۰/۰۷۵
Correction	Hg	۹	۰/۰۵	۰/۰۳۸
Correction	Sb	۴	۰/۱	۰/۰۷۵
Correction	Ti	۲۰	۱۰۰۰۰/۰	۱۳۳۳۳/۳

جدول ۲: مقایسه پارمترهای آماری داده‌های خام و نرمال شده عنصر مس

Element	Cu	
	Raw	normal
Num	۱۴۱	۱۴۱
Mean	۵۶/۸۶	۳/۸۸
Median	۴۱/۰۰	۳/۷۱
Mode	۳۸/۶۰	۳/۵۶
Std. Deviation	۴۳/۶۸	۰/۴۹
Variance	۱۹۰۸/۲۷	۰/۲۴
Skewness	۳/۰۵	۴/۶۹
Kurtosis	۱۰/۰۸	۲/۵۹

جدول ۳: میزان همبستگی عنصر مس با سایر عناصر در محدوده مورد مطالعه با استفاده از روش پیرسون

Ag	As	Ba	Ce	Co	Cr	Cu	Ga
۰/۵۰۸	۰/۶۷۹	۰/۶۳۱	-۰/۰۱	۰/۱۴	-۰/۲۲۱	۱	۰
Hf	Hg	Li	Mn	Mo	Nb	Ni	P
۰/۶۳۸	-۰/۰۱	۰/۶۷۹	۰/۵۹۲	۰/۵۵۵	۰/۲۴۹	-۱۴	۰/۰۱
Pb	Sb	Sn	Sr	Ti	U	Zn	Zr
۰/۷۱۳	۰/۴۰۵	۰/۰۶	۰/۵۴۷	-۰/۰۲	-۰/۱	۰/۴۳۲	۰/۰۹

جدول ۴: عناصر فاکتورهای اول و دوم به دست آمده تجزیه عاملی بعد از چرخش متغیرها

Component	Initial Eigenvalues			Rotation Sums of Squared Loadings		
	Total	% of Variance	Cumulative %	Total	% of Variance	Cumulative %
1	۷/۱۲۰	۲۹/۶۶۶	۲۹/۶۶۶	۶/۷۵۴	۲۸/۱۴۰	۲۸/۱۴۰
2	۵/۲۶۴	۲۱/۹۳۴	۵۱/۶۰۰	۵/۱۷۳	۲۱/۵۵۶	۴۹/۶۹۶
3	۲/۰۵۰	۸/۵۴۱	۶۰/۱۴۲	۱/۶۰۲	۶/۶۷۶	۵۶/۳۷۱

4	۱/۲۹۵	۵/۳۹۶	۶۵/۵۳۸	۱/۵۰۳	۶/۲۶۳	۶۲/۶۳۴
5	۱/۲۶۱	۵/۲۵۶	۷۰/۷۹۳	۱/۴۹۲	۶/۲۱۷	۶۸/۸۵۲
6	۱/۰۴۱	۴/۳۳۸	۷۵۱۳۱	۱/۴۲۷	۵/۹۴۴	۷۴/۷۹۶
7	۱/۰۰۹	۴/۲۰۵	۷۹/۳۳۶	۱/۰۹۰	۴/۵۴۰	۷۹/۳۳۶

جدول ۵ عناصر عامل‌های اصلی پس از چرخش متغیرها در تجزیه عاملی

Rotated Component Matrix										
1	Cu	As	Ba	Hf	Li	Mn	Mo	Pb	Sb	Sr
2	Co	Cr	Ga	Nb	Ni	Ti	Zn	Zr		

جدول ۶ گروه‌های به‌دست‌آمده از آنالیز خوشه‌ای

A	A1	Ce	Zr	P		
	A2	Co	Zn	Ni		
	A3	Ti	Ga	Cr	Nb	
B	B1	Mo	Mn	Cu	Pb	Ag
	B2	Ba	Hf	As	Sr	Li
	B3	Sb				

جدول ۷ جدایش حدود زمینه، آستانه و ناهنجاری به روش غیر ساختاری

Cu (ppm)	
Mean	۵۶/۸۶
Std. Deviation	۴۳/۶۸
$\bar{X} + S$	۱۰۰/۵۵
$\bar{X} + 2S$	۱۴۴/۲۳
$\bar{X} + 3S$	۱۸۷/۹۱

جدول ۸ جدایش حدود زمینه، آستانه و ناهنجاری به روش ساختاری

Cu (ppm)	
Background	۲۴-۵۵
Weak Anomaly	۵۵-۷۰
Moderate Anomaly	۷۰-۱۰۰
Strong Anomaly	۱۰۰-۱۵۰
Very Strong Anomaly	۱۵۰-۲۹۴

جدول ۹ مقایسه مساحت ناهنجاری‌های به دست آمده (با استفاده از نرم افزار ArcGis) در دو روش ساختاری و غیر

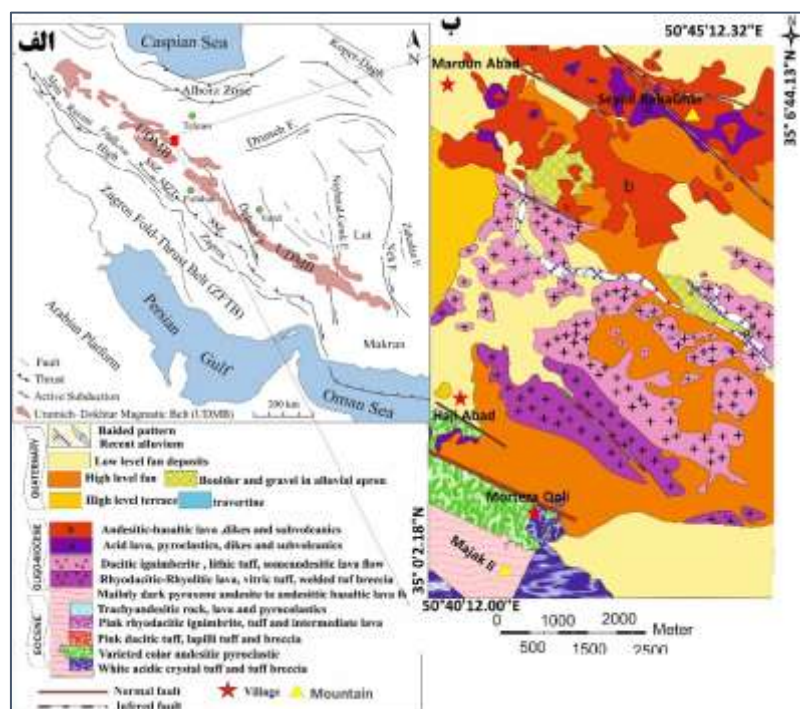
ساختاری

Classic			Fractal			
Count	square meter	square kilomete	Count	square meter	square kilomete	
۴۳۵۵۱	۳۹۱۹۵۹۰۰	۳۹۰۱۹۵۹	۳۸۴۰۲	۳۴۵۶۱۸۰۰	۳۴/۵۶۱۸	Background
۱۰۴۲۸	۹۳۸۵۲۰۰	۹/۳۸۵۲	۱۱۵۳۲	۱۰۳۷۸۸۰۰	۱۰/۳۷۸۸	Weak Anomaly
۳۲۹۰	۲۹۶۱۰۰۰	۲/۹۶۱	۴۰۴۵	۳۶۴۰۵۰۰	۳/۶۴۰۵	Moderate Anomaly
۲۱۹۰	۱۹۷۱۰۰۰	۱/۹۷۱	۳۷۰۹	۳۳۳۸۱۰۰	۳/۳۳۸۱	Strong Anomaly
۶۵۷	۵۹۱۳۰۰	۰/۵۹۱۳	۲۴۲۸	۲۱۸۵۲۰۰	۲/۱۸۵۲	Very Strong Anomaly

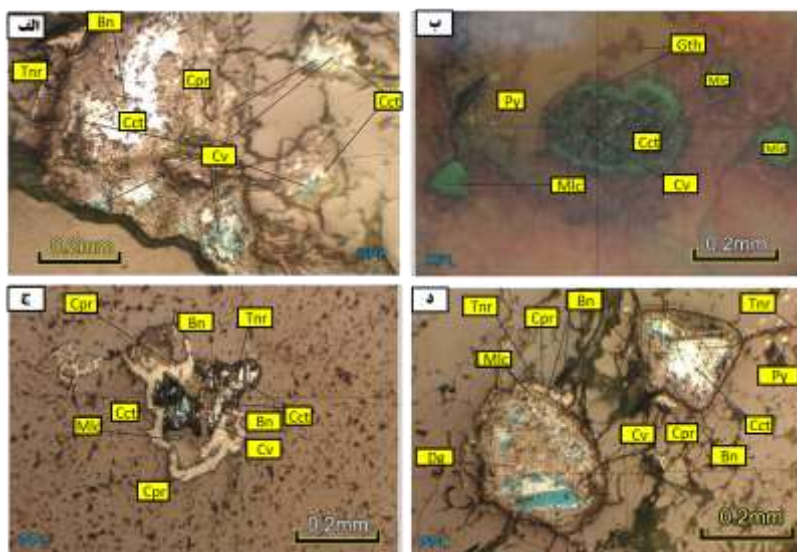
۶۰۱۱۶	۵۴۱۰۴۴۰	۵۴/۱۰۴۴	۶۰۱۱۶	۵۴۱۰۴۴۰	۵۴/۱۰۴۴	Total
-------	---------	---------	-------	---------	---------	-------

جدول ۱۰ مقایسه کانسار حاجی آباد با برخی کانسارهای مشابه

ویژگی‌های شاخص	کانسار ماری	کانسار کشکوئیه	کانسار مهکی	کانسار ورزگ	کانسار نارباغی	حاجی آباد
موقعیت جغرافیایی	۴۰ کیلومتری شمال زنجان	غرب رفسنجان	شمال غرب ده‌بید فارس	۱۵ کیلومتری شرق قائن	۲۶ کیلومتری شمال شرق ساوه	جنوب شرقی زاویه
محیط تکتونیکی	ریفت درون قوس ماگمایی	محیط کششی پشت کمان	ریفت درون کمان آتشفشانی	ریفت درون قاره‌ای	کمان ماگمایی ارومیه- دختر	کمان ماگمایی ارومیه- دختر
سنگ میزبان	تراکی آندزیت مگا پورفیری	آندزیت دارای شکل بادامکی	واحد آذرآواری با ترکیب آندزیتی	آندزیت تا آندزیت بازالت بادامکی	توف سیلتی با میان لایه‌هایی از توف برش و آندزیت	آندزیت تا آندزیت بازالت پورفیری
کانی شناسی	کالکوسیت و بورنیت، کالکوپیریت، ت، پیریت و هماتیت	بورنیت، کالکوسی، ت، کالکوپیریت، پیریت، دیژنیت و هماتیت	کالکوسیت و بورنیت	کالکوسیت، دیژنیت، کالکوپیریت، کوولیت و مس طبیعی	مالاکیت، آزوریت، هماتیت و به مقدار کم کالکوسیت	کالکوسیت، دیژنیت، کوولیت، مالاکیت، آزوریت و به مقدار کم کالکوپیریت
کانی‌های باطله	کربنات، کوارتز، کلریت، اپیدوت و فلدسپار	کربنات و به میزان کمتر سیلیس، کلریت و هماتیت	اپیدوت، کربنات، کلریت و آلکالی فلدسپار	کربنات، کلریت، زئولیت و کوارتز	کربنات، کوارتز، کلریت و اپیدوت	هماتیت، کربنات، کوارتز
دگرسانی	کربناتی، کلریتی، اپیدوتی، سریسیتی و سیلیسی	کربناتی، هماتیتی، ی و سریسیتی	کلریتی، سیلیسی، کلسیتی	اپیدوتی، سیلیسی، کربناتی و کلریتی	کربناتی، کلریتی، اپیدوتی و سیلیسی	کلسیتی، سیلیسی، هماتیتی و آرژلیک
سن واحد میزبان	ائوسن	ائوسن	کرتاسه زیرین	پالئوسن- ائوسن	ائوسن	اولیگومیوسن
ساخت و بافت	پرکننده فضای خالی، دانه پراکنده، رگه- رگچه‌ای و جانشینی	پرکننده فضای خالی، دانه پراکنده، رگه- رگچه‌ای و جانشینی	پرکننده فضای خالی، دانه پراکنده، رگه- رگچه‌ای و جانشینی	رگه- رگچه‌ای و دانه پراکنده و بادامکی	پرکننده فضای خالی، دانه پراکنده، رگه- رگچه‌ای و جانشینی	پرکننده فضای خالی، رگه- رگچه‌ای و جانشینی
شکل هندسی	استراتاباند	استراتاباند	استراتاباند	استراتاباند	استراتاباند	استراتاباند
منبع	حسین زاده و همکاران (۱۳۹۳)	ابولی و همکاران (۱۳۹۰)	بوبری و همکاران (۱۳۸۸)	علی زاده و همکاران (۱۳۹۱)	فضلی و همکاران (۱۳۹۳)	تحقیق حاضر



شکل ۱) الف: موقعیت محدوده مورد مطالعه در در کمربند ماگمایی ارومیه - دختر [۳۹] ب: نقشه زمین‌شناسی محدوده مورد مطالعه، [۲۰].

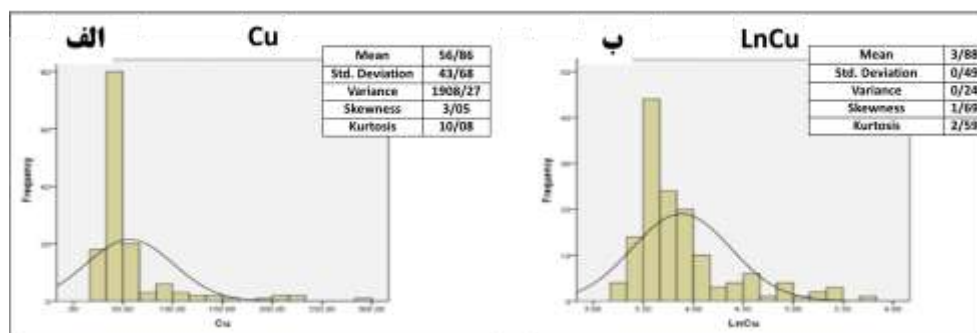


شکل ۲ مطالعه مقاطع صیقلی. الف- حضور کالکوسیت و کمی بورنیت در مرکز در حالی که گاهی کوولیت جانشین آنها شده است. در حاشیه نیز کوپریت و تنوریت قرار دارند. ب- مالاکیت هم پرکننده حفرات است هم در حاشیه کالکوسیت‌هایی که در حال تبدیل به کوولیت هستند، قرار گرفته است. در این تصویر گوتیت و پیریت بسیار ریز دانه نیز مشهود است. ج- بافت کلئیدال کانی‌های مس در توالی کالکوسیت، بورنیت، کوولیت، کوپریت و تنوریت به همراه مالاکیت دیده می‌شود. د- کالکوسیت و دیژنیت در مرکز و در حال تبدیل به کوولیت که توسط کوپریت و تنوریت و مالاکیت محصور شده اند (بافت جانشینی). مقدار کمی بورنیت خارج از توالی مذکور وجود دارد. ذرات بسیار ریز پیریت نیز سمت راست بالا دیده می‌شود.

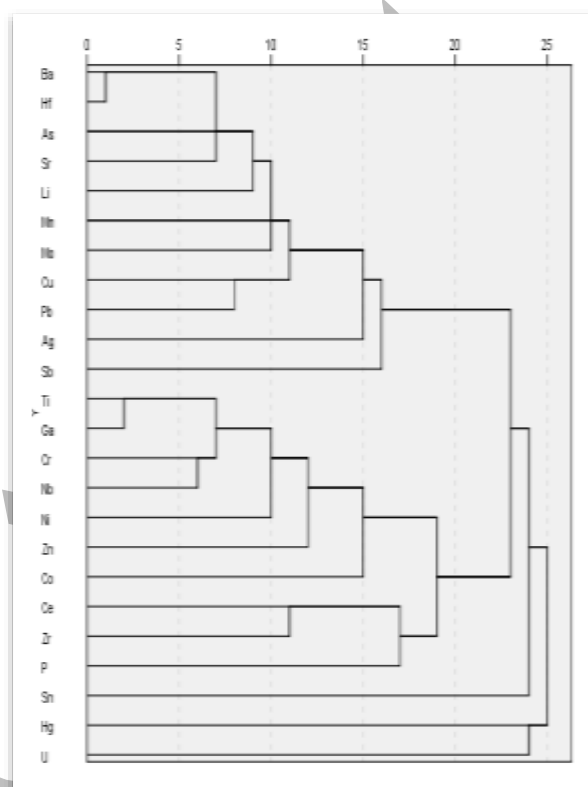
Py:pyrite, Bn:Bornite, Cpr:chalcopyrite, Cv:covellite, Cct:chalcocite, Tnr:tenorite, Dg:digenite, Mlc:malachite, Gth:goethite, [46]



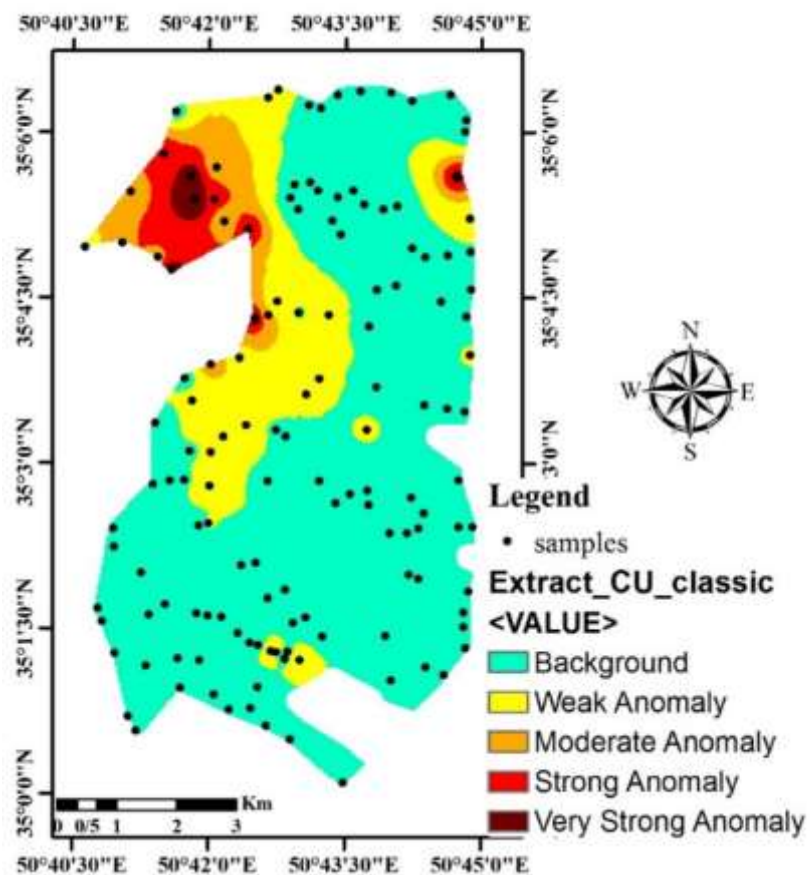
شکل ۳: آثار و روند کانی‌سازی مس الف-روند شرقی - غربی کانی‌سازی مس (آزوریت و مالاکیت) ضخامت این کانی - سازی متغیر بین ۴۰ تا ۸۰ سانتی متر است. ب- آثار کانی‌سازی مالاکیت بر سنگ‌های آتشفشانی Mlc:malachite [۲۸]



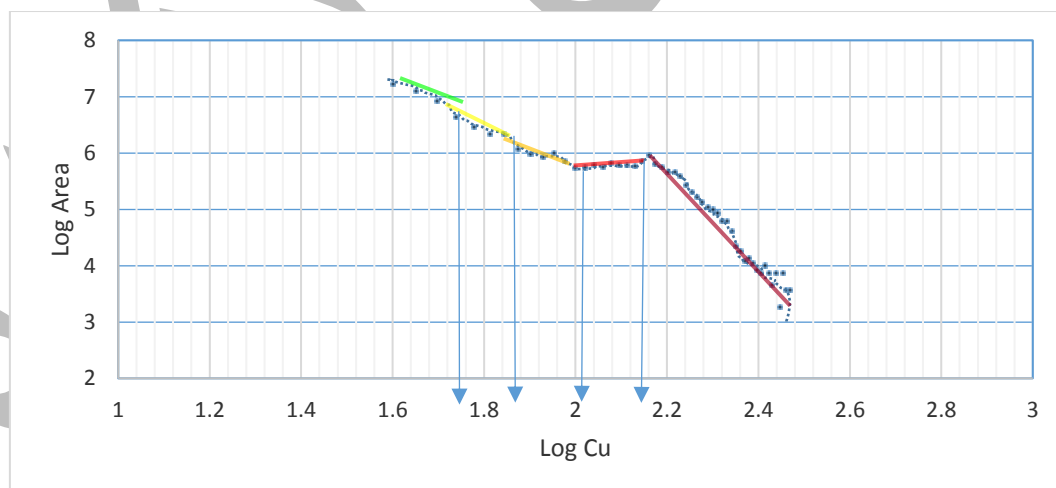
شکل ۴-الف- هیستوگرام فراوانی داده‌های خام عنصر مس. ب- داده‌های نرمال عنصر مس



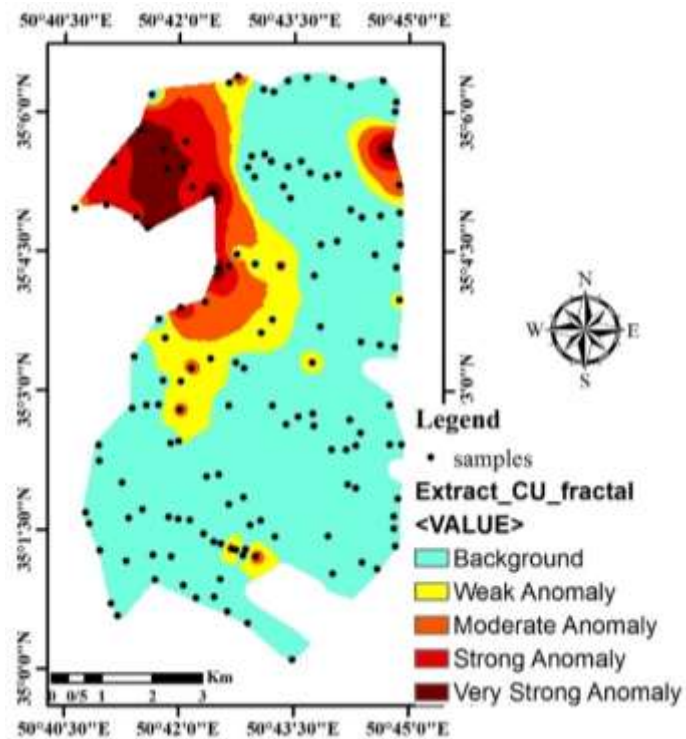
شکل ۵ دندوگرام حاصل از آنالیز خوشه‌ای داده‌ها



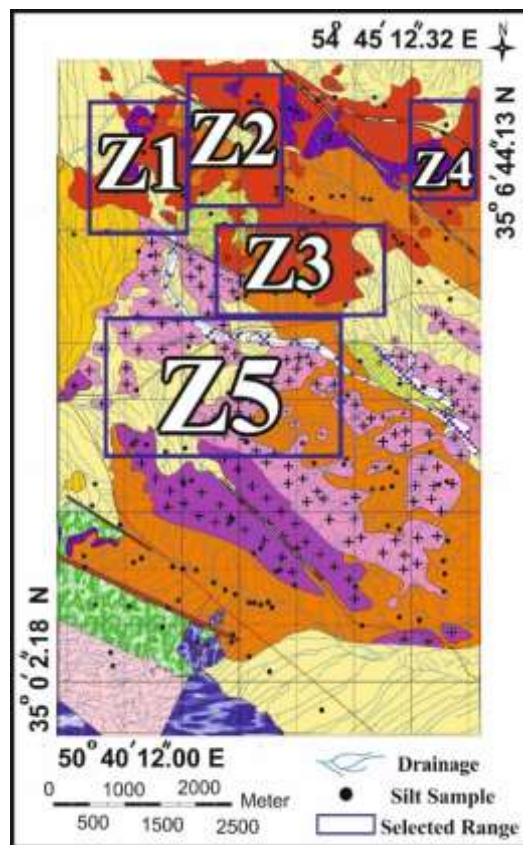
شکل ۶: نقشه توزیع مس در محدوده مبتنی بر داده‌های روش غیرساختاری با استفاده از تکنیک درونیابی وزن‌دهی معکوس فاصله (IDW: Inverse Distance Weighted)



شکل ۷: نمودار لگاریتمی عیار - مساحت داده‌های مس



شکل ۸: نقشه توزیع مس در محدوده مبتنی بر داده‌های روش ساختاری با استفاده از تکنیک IDW (Inverse Distance Weighted)



شکل ۹: موقعیت محدوده‌های Z1 تا Z5 بر روی نقشه زمین‌شناسی منطقه و محل برداشت نمونه‌ها

جدول ۱۱ داده‌های خام حاصل از آنالیز نمونه‌های رسوب انتخاب شده (برداشت شده با الک ۸۰ مش)

Z-۸۹	Z-۱۱۶	Z-۱۲۶	Z-۱۱۹	Z-۱۲۵	Z-۱۲۲	Z-۱۱۵	Z-۱۳۹	Z-۱۱۷	Z-۱۲۳	Z-۱۲۴	FieldNum.
۵۲	۶۳	۱۹۰	۴۰	۱۸۰	۲۳۵	۶۳	۱۴	۶۶	۱۴۰	۱۷۰	As(ppm)
۲	۳	۸	۲	۵	۶	۲	۲	۴	۴	۸	Sb(ppm)
<۰.۱۰	<۰.۱۰	<۰.۱۰	<۰.۱۰	<۰.۱۰	<۰.۱۰	<۰.۱۰	<۰.۱۰	<۰.۱۰	<۰.۱۰	<۰.۱۰	Bi(ppm)
۰/۱۶	۰/۴۶	۰/۲۳	۰/۲۸	۰/۲۱	۰/۱۹	۰/۳۵	<۰.۱۰	۰/۶۵	۰/۱۸	۰/۲۲	Hg(ppm)
۰/۹	۱/۶	۰/۸	۲/۲	۰/۷	۱/۴	۰/۴	۰/۸	۲/۱	۰/۹	۱/۶	Ag(ppm)
۶۰/۴	۷۷/۸	۱۵۱/۴	۵۷/۳	۱۰۷/۴	۱۴۴/۷	۸۷/۸	۲۷/۵	۱۰۳/۷	۱۰۸/۵	۱۳۶/۹	As(ppm)
۵۸۷۲/۳	۶۹۳۶/۸	>۱۰۰۰۰	۴۶۰۸/۷	۷۴۳۱/۳	>۱۰۰۰۰	۲۹۳۶/۱	۲۱۴۶/۱	۴۹۳۸/۸	۸۳۰۶/۵	۴۱۱۴/۴	Ba(ppm)
۱/۶	۱/۵	۱/۶	۱/۷	۱/۶	۱/۴	۱/۵	۱/۶	۱/۸	۱/۵	۱/۷	Be(ppm)
۲/۸	۲/۷	۳/۹	۳/۹	۳/۱	۳/۶	۲/۹	۱/۹	۴/۵	۲/۹	۳/۵	Cd(ppm)
۵۸/۱	۵۵/۵	۵۷/۸	۶۲/۲	۵۵/۱	۵۳/۰	۳۷/۰	۶۱/۲	۵۹/۸	۵۱/۸	۵۷/۹	Ce(ppm)
۲۰/۸	۱۸/۸	۲۲/۲	۲۱/۴	۲۵/۴	۲۲/۲	۲۱/۹	۱۲/۳	۲۵/۸	۲۵/۰	۲۲/۰	Co(ppm)
۶۹/۳	۵۲/۴	۵۵/۷	۱۶۲/۵	۴۱/۲	۵۱/۵	۵۰/۴	۷۵/۱	۶۸/۲	۹۰/۱	۵۰/۲	Cr(ppm)
۹۹/۶	۱۰۰/۸	۱۰۳/۴	۱۴۳/۴	۱۴۶/۹	۱۶۴/۶	۱۹۴/۸	۲۰۵/۷	۲۰۹/۵	۲۱۸/۱	۲۹۳/۶	Cu(ppm)
۲۸/۵	۳۰/۰	۳۶/۰	۳۶/۱	۲۴/۸	۳۲/۶	۲۸/۹	۲۷/۵	۴۴/۴	۲۹/۹	۲۹/۵	Ga(ppm)
۴/۸	۴/۵	۴/۶	۵/۲	۴/۸	۴/۳	۴/۰	۴/۲	۴/۹	۴/۵	۴/۵	Gd(ppm)

۱/۹	۱/۵	۲/۵	۰/۱	۲/۲	۲/۵	۲/۴	۱/۳	۲/۹	۱/۷	۲/۲	Ge(ppm)
۶۵/۰	۸۰/۷	۱۴۸/۱	۵۱/۳	۸۳/۶	۱۱۵/۶	۳۱/۳	۲۳/۰	۵۴/۵	۹۲/۹	۴۵/۱	Hf(ppm)
۰/۱۳	۰/۱۶	۰/۲۱	<۰.۰۵	۰/۱۳	۰/۱۰	۰/۱۸	۰/۱۳	۰/۱۱	۰/۲۶	۰/۱۸	Hg(ppm)
۲۸/۸	۲۷/۸	۲۸/۷	۳۰/۶	۲۸/۲	۲۶/۳	۲۱/۳	۳۲/۷	۳۰/۲	۲۷/۳	۲۸/۶	La(ppm)
۶۴/۵	۶۸/۵	۶۶/۷	۵۴/۷	۴۹/۵	۵۶/۰	۱۲۰/۵	۳۷/۲	۷۴/۲	۵۹/۴	۷۱/۸	Li(ppm)
۰/۵	۰/۶	۰/۹	۰/۶	۰/۷	۰/۸	۰/۶	۰/۴	۰/۸	۰/۶	۰/۸	Lu(ppm)
۱۷۳۵/۷	۲۴۵۶/۳	۳۵۱۷/۵	۱۷۷۰/۳	۳۳۹۵/۶	۲۸۴۱/۰	۲۸۲۰/۶	۱۴۷۲/۸	۲۶۱۳/۸	۲۳۴۴/۸	۳۰۳۲/۳	Mn(ppm)
۳/۰	۳/۰	۶/۷	۴/۴	۶/۴	۹/۸	۱/۵	۱/۸	۱۴/۹	۴/۹	۱۱/۸	Mo(ppm)
۱۴/۰	۱۴/۰	۱۱/۷	۱۶/۱	۱۰/۹	۱۰/۷	۱۰/۷	۱۵/۴	۱۵/۳	۱۲/۶	۱۲/۲	Nb(ppm)
۲۴/۵	۲۴/۲	۲۵/۸	۲۶/۵	۲۲/۸	۲۳/۰	۲۰/۶	۲۴/۵	۲۷/۰	۲۳/۲	۲۵/۵	Nd(ppm)
۲۸/۲	۲۷/۸	۲۶/۱	۴۴/۱	۲۳/۶	۲۸/۹	۲۱/۵	۳۳/۰	۲۹/۷	۳۸/۶	۲۸/۵	Ni(ppm)
۱۰۳۲/۱	۱۰۵۶/۸	۸۷۱/۰	۹۴۳/۱	۸۱۴/۰	۶۷۷/۴	۹۰۰/۳	۱۲۷۳/۵	۹۶۰/۸	۹۳۱/۷	۷۸۵/۰	P(ppm)
۸۲/۹	۵۹/۰	۲۷/۳	۱۷۱/۶	۳۲/۸	۴۷۶/۳	۱۷/۵	۳۵/۹	۱۵۰/۸	۱۲۸/۵	۲۹۴/۷	Pb(ppm)
۶/۹	۷/۳	۹/۱	۷/۸	۷/۹	۸/۳	۶/۹	۶/۴	۸/۸	۷/۲	۸/۳	Pr(ppm)
۲۲۸/۰	۲۱۷/۹	۲۰۴/۶	۱۱۶/۱	۲۰۱/۵	۲۰۰/۸	۵۲۴/۱	۸۹/۰	۲۷۸/۳	۱۹۴/۴	۲۳۵/۰	Rb(ppm)
۳/۵	۲/۳	۷/۷	۰/۴	۴/۶	۴/۹	۲/۰	۱/۴	۵/۵	۳/۰	۶/۸	Sb(ppm)
۲۷/۶	۲۸/۱	۳۳/۰	۲۸/۱	۲۶/۰	۲۷/۷	۳۳/۴	۲۳/۱	۳۰/۶	۲۷/۱	۲۸/۵	Sc(ppm)
۶/۴	۶/۳	۷/۲	۶/۷	۶/۳	۶/۲	۵/۷	۵/۵	۷/۲	۶/۳	۶/۶	Sm(ppm)
۴/۹	۴/۸	۲/۸	۹/۲	۸/۳	۴/۶	۵/۵	۴/۱	۵/۵	۶/۲	۷/۸	Sn(ppm)
۵۶۹/۳	۶۹۲/۴	۶۵۴/۴	۵۵۰/۴	۷۳۹/۷	۸۲۰/۳	۳۲۱/۵	۳۷۰/۴	۱۳۱۱/۵	۷۰۶/۷	۱۵۳۴/۱	Sr(ppm)
۱/۳	۱/۳	۱/۷	۱/۵	۱/۱	۱/۶	۱/۳	۱/۱	۱/۸	۱/۳	۱/۵	Ta(ppm)
۱/۵	۱/۶	۱/۹	۲/۰	۱/۴	۱/۸	۱/۶	۱/۵	۲/۵	۱/۶	۱/۶	Tb(ppm)
۵۶۲۶/۸	۵۷۴۸/۹	۶۸۸۷/۶	۷۰۵۷/۷	۴۶۶۰/۱	۶۲۲۹/۴	۵۵۹۸/۰	۵۳۸۲/۸	۸۷۰۵/۴	۵۷۴۲/۱	۵۵۸۲/۹	Ti(ppm)
۷/۴	۷/۳	۱۰/۰	۷/۶	۸/۲	۹/۳	۸/۰	۵/۶	۱۰/۲	۷/۸	۹/۶	Th(ppm)
۴/۷	۴/۶	۵/۲	۵/۱	۵/۲	۵/۰	۴/۱	۴/۵	۵/۰	۵/۳	۴/۹	U(ppm)
۱۳۴/۴	۱۴۹/۱	۲۲۸/۱	۱۸۳/۷	۱۴۲/۴	۲۱۴/۰	۱۶۱/۲	۱۲۰/۸	۲۴۷/۷	۱۵۷/۷	۱۷۹/۹	V(ppm)
۳۵/۸	۳۵/۸	۳۵/۶	۳۷/۸	۳۳/۲	۳۰/۳	۳۲/۶	۳۴/۱	۳۷/۹	۳۱/۸	۳۳/۸	Y(ppm)
۳/۹	۴/۰	۴/۱	۴/۲	۳/۹	۳/۶	۳/۷	۱۱/۵	۴/۵	۳/۶	۳/۹	Yb(ppm)
۳۰۵/۸	۳۰۸/۸	۱۴۱/۴	۳۷۹/۸	۱۸۲/۷	۱۷۹/۱	۲۴۲/۴	۱۱۹/۲	۴۱۷/۶	۱۸۴/۱	۲۳۶/۷	Zn(ppm)
۲۹۹/۴	۳۱۱/۱	۲۶۶/۰	۳۲۴/۹	۲۷۲/۵	۲۴۴/۷	۲۶۸/۲	۲۹۸/۵	۳۲۸/۵	۲۷۰/۵	۲۷۰/۸	Zr(ppm)

جدول ۱۲ داده‌های خام حاصل از نتایج آنالیز نمونه‌های سنگ انتخاب شده

Z-۱۲۶-۵	Z-۱۲۶-۲	Z-۱۲۳-۱۴	Z-۱۲۳-۱۲	Z-۱۲۳-۱۱	Z-۱۲۳-۸	Z-۱۲۳-۷	Z-۸۹-۴	Z-۸۹-۳	Z-۸۹-۱	Sample Label
۱/۰۷	۰/۹۴	۲/۶۴	۶/۸۶	۰/۳۳	۸/۳۳	۷/۲۹	۳/۱۲	۵/۴۷	۲/۱۵	Al (%)
۶۰۶	۱۷۶۱	۲۰۱۰	۵۰۲۵	۱۲۰۶	۳۳۱۱	۲۷۳۵	۲۲۴۹	۵۹۵	۲۶۲۸	Ba (ppm)
۱/۵۴	۲/۶۸	۲/۱۵	۱/۳۲	۲/۸۳	۰/۸۷	۰/۸۲	۱/۶۸	۰/۸۲	۰/۷۶	Be (ppm)
۳۷/۹	۷۷/۶	۵۴/۵	۲۲/۴	۷۱/۲	۱۴/۷	۳۲/۶	۸۰/۳	۲۸/۶	۷۱/۹	Cr (ppm)

7995	25711	21543	964.	24423	1663.	22.49	14538	15317	218.6	Cu (ppm)
1/12	1/0.5	6/14	2/44	2/37	2/47	1/93	3/61	1/8.	0/8.	Fe (%)
0/59	0/0.9	1/43	3/86	0/0.9	4/78	4/70	2/0.4	5/48	1/70	K (%)
48/3	61/6	43/2	34/1	30/8	27/7	<200	15/8	29/8	39/7	Li (ppm)
0/0.5	0/0.3	0/0.6	0/12	0/0.3	0/0.4	0/0.7	0/0.8	0/15	0/0.5	Mg (%)
297	1791	3941	1217	2888	760	1128	957	1337	390	Mn (ppm)
0/19	0/33	0/42	1/60	0/25	2/0.1	1/82	0/86	0/31	0/58	Na (%)
<500	10/3	5/77	5/21	9/37	6/23	10/7	6/91	11/7	7/64	Nb (ppm)
<100	<100	20/2	14/2	14/2	12/4	12/5	<100	14/3	<100	Nd (ppm)
<100	<100	<100	<100	<100	<100	<100	<100	<100	<100	Ni (ppm)
20.5	583	555	750	512	872	1006	487	783	607	P (ppm)
<200	<200	<200	<200	<200	<200	<200	<200	<200	<200	Pb (ppm)
<200	3/0.1	5/25	6/80	2/37	6/64	7/40	7/51	13/6	5/17	Sc (ppm)
94/1	78/8	124	168	91/7	174	173	689	96/0	1174	Sr (ppm)
227	179	850	2068	70/5	1843	1884	1670	3044	1151	Ti (ppm)
7/67	17/5	24/3	31/1	18/0	22/1	25/4	31/5	77/0	18/6	V (ppm)
6/97	8/47	34/4	24/0	33/5	21/6	24/1	17/6	35/3	17/5	Y (ppm)
<500	<500	<500	<500	<500	<500	<500	<500	<500	<500	Yb (ppm)
10/3	38/1	27/0	23/0	36/3	32/2	48/3	41/0	27/4	32/6	Zn (ppm)
30/1	13/9	83/3	219	<100	228	238	193	235	144	Zr (ppm)
10/2	8/17	5/48	2/34	6/62	6/59	12/4	3/24	5/14	11/3	Ag (ppm)
22/3	12/0	52/9	8/70	59/9	5/11	<500	12/9	13/5	27/1	Co (ppm)
7/41	11/0	42/7	31/1	28/1	29/3	28/3	16/4	27/5	12/7	Ce (ppm)
<500	<500	<500	<500	<500	<500	<500	<500	<500	<500	Cd (ppm)
<500	6/58	23/9	16/4	14/6	15/1	14/6	7/73	13/8	5/47	La (ppm)
4/53	1/91	6/13	3/85	4/94	1/64	2/26	1/57	3/0.5	1/21	Ca (%)

References:

- [1] Kylie, P., (2007). Application of lithogeochemistry to gold exploration in the St Ives goldfield, Western Australia. *Exploration Environment Analysis*. 7, 2, 99-108.
- [2] Ashofteh, A., abedini, A., Esmaili, D. (2019). Geochemical Exploration of drainage Sediments and Heavy Minerals in Sheet 1: 25,000 of the Qazvin. *Journal of Environmental Science Studies*, 4(3), 1720-1737. (in Persian)
- [3] Solovov, A. p., (1987), *Geochemical Prospecting*, Mir Publisher. Moscow, pp. 157-280.
- [4] Zolfaghari, A., Majidi Seyed Biglow, S., Hazareh, M., Nezafiti, N., and Khakzad, A. (2010). Gold exploration based on geochemical data of stream sediments using factor analysis in Alishar area, Markazi province. *Land and Resources*, 23-30. (in Persian)
- [5] Afzal, P., Ahmadi. K., Rahbar. K., (2017), Application of fractal-wavelet analysis for separation of geochemical anomalies. *Journal of African Earth Sciences*, Vol: 128, p: 27-36.
- [6] Yazdania, M., & Alinia, F. (2019). Geochemical anomaly separation by statistical and fractal methods in the Sehezar Valley of Tonekabon–Northern Iran.
- [7] Saeedi, A, Gholami, N. (2011), *Geochemical Exploration in Zaviyeh 1:100,000 Sheet*, Geochemical Exploration Department Geological Survey and Mineral Exploration of Iran.
- [8] Eghbali M A, (2005) Supervisor Abdulmajid Jacob Pour Adviser Professor Dr. Firooz Aliyah's Economic, Geological and Geochemical Studies Potential Copper Chghou (Southwest of Karaj) Kharazmi University Thesis (in Persian)
- [9] Asadi Harouni. H., Tabatabai S.H,(2006) *Mineralogical Characteristics - Molybdenum Porphyry Copper Index Alteration System* 13th Iranian Conference on Crystallography and Mineralogy(in Persian)
- [10] Fazli, N., Ghaderi, M., Movahednia, M., Maghfouri, S. (2021). Manto-type copper mineralization in the central part of the Urumieh-Dokhtar magmatic arc (Qom-Saveh region) with emphasis on the East Narbaghi deposit, northeast Saveh. *IRANIAN JOURNAL OF GEOLOGY*, 15(59), 69-90.
<https://www.sid.ir/en/journal/ViewPaper.aspx?id=860174> (in Persian)
- [11] Mokhtari, A. R., Ayati, F., Asadi Harooni, H., Bagheri, H., Gaedamini Harouni, M. (2015). Determination of Alishar Cu index (Markazi province) formation conditions using mineralogical and fluid inclusions data. *Iranian Journal of Petrology*, 6(21), 1-18. (in Persian)
- [12] Akbarpour, A, Rasa, I., Mehrpartou, M. (2007). Local and Marginal Mineralogy of Alteration Haloes around Mineralized Veins of Masjeddaghi Area, Jolfa. *Geosciences Scientific Quarterly Journal*, 16(63). (in Persian)
- [13] Akbarpour, A., Gholami, N., Saiedi, A. (2008). Geochemical Exploration and Study on Combined Haloes of Elements in Soil Samples of Masjeddaghi Jolfa Area. *Scientific Quarterly Journal of Geosciences*, 18(69), 144-151. DOI: 10.22071/gsj.2009.57546(in Persian)
- [14] Imamaliipour, A., Khatamian, M. E., Oskoui, R., & Abdollahi Sharif, J. (2011). Geological, Alteration and magnetic anomaly pattern of Masjeddaghi porphyry copper deposit (East of Julfa). *Advanced Applied Geology*, 1(2), 77-89.. (in Persian)
- [15] Laki Mahalleh.m, Ranjineh Khojasteh.E. (2015) Evaluation of grade and storage of Masjed Daghi copper deposit by determining and 3D modeling of estimation areas by geostatistical method, 2nd National Conference on Geology and Resource Exploration, (in Persian)

- [16] Kaboodi, Z., Ghaderi, M., Rastad, E. (2019). Mineralogy, texture and structure and genetic model of Kahak Manto-type copper deposit in the Eocene volcano-sedimentary sequence, south Qom. *Scientific Quarterly Journal of Geosciences*, 29(113), 145-154. DOI: 10.22071/gsj. 2018.99677.1273 . (in Persian)
- [17] Haghparast M – Barzegar. H Kazemi Mehrnia A – (2014) Geology, Petrography, and Mineralization of Kushk Bahram Copper Mineral Area (Zarandieh), Markazi Province 8th National Conference on Geology, Payame Noor University (in Persian)
- [18] Aghanbati. S A (2011) Geology and Mineral Power of Markazi Province Journal of Growth Education Geology Education Volume 16 Number 2
- [19] Yousefi, S., alipourasl, M. (2019). Vein-type copper mineralization in the Zarandieh area based on mineralogy, geochemistry, and fluid inclusions studies, Saveh, Markazi province. *Scientific Quarterly Journal of Geosciences*, 28(111), 203-214. DOI: 10.22071/gsj.2018.82635.1090 (in Persian)
- [20] Amidi S.M, Shahrabi M, Nabavi I., (2009). Geological map of Zavieh 1:100000, Geological Survey and Mineral Exploration of Iran.
- [21] Hassani Pak a.a. (1992), Mineral Sampling, University of Tehran Press, Tehran. (in Persian)
- [22] Yazdi. M, (2002), Conventional methods in exploration publications of Shahid Beheshti University. Tehran. (in Persian)
- [23] Baldwin, G. J. (2017) Stream Sediment Sampling as part of the New Geoscience Initiative to Study Epithermal Gold in the Cobequid Highlands, Colchester and Cumberland Counties: in Geoscience and Mines Branch, Report of Activities 2016-17; Nova Scotia Department of Natural Resources, Report ME 2017-001, p. 1-2.
- [24] Marjoribanks, R., (2010). Geological Methods in Mineral Exploration and Mining, Second Edition, Springer, p.248.
- [25] Hassani Pak a.a. (2012), Principles of Geochemical Exploration, Eighth Edition, University of Tehran Press. Tehran (in Persian)
- [26] Hassani Pak a.a. Sharafoddin M (2011), Exploration Data Analysis, Third Edition, University of Tehran Press. Tehran (in Persian)
- [27] Kabata-Pendias, A. and Mukherjee, A. B., (2007). Trace Elements from Soil to Human, Springer, 550p.
- [28] Akbarpour A., Gholami N., Azizi H., and Torab F.; (2012) "Cluster and R-mode factor analyses on soil geochemical data of Masjed-Daghi exploration area, northwestern Iran", Arab J Geosci 11-12.
- [29] Zare-Chahoki, M. A., 2011, Methods of Multivariate Analysis with SPSS, Publications of Faculty of Natural Resources, Tehran University, Tehran. (In Persian)
- [30] Sheykhfakhreddini, S., Abbasnezhad, A. (2014), Hydrogeochemical analysis of Bidkhan river in Bardsir, Kerman using principal component test and cluster analysis, Journal of environmental studies, Vol: 40, P: 139-152.
- [31] Jian, B. Porwal, A. Hart, C. Ford, A. Yu, L (2010) Mapping geochemical singularity using multifractal analysis: application to anomaly definition on stream sediments data from Fun in Sheet, Yunnan, China. *Journal of Geochemical Exploration*, 45:1-11.
- [32] Jian, B. Porwal, A. Hart, C. Ford, A. Yu, L (2010) Mapping geochemical singularity using multifractal analysis: application to anomaly definition on stream sediments data from Fun in Sheet, Yunnan, China. *Journal of Geochemical Exploration*, 45:1-11.

- [33] Carranza E.J.M (2009) "Chapter 6: Analysis of Geologic Controls on Mineral Occurrence", in. (Ed.): 'Handbook of Exploration and Environmental Geochemistry' Elsevier Science B.V., pp. 147-187.
- [34] Reimann, C., de Caritat, P., (2017), Establishing geochemical background variation and threshold values for 59 elements in Australian surface soil. *Science of the Total Environment*, Vol:578, P:633-648.
- [35] Goncalves MA, Mateus A, Oliveira V (2001) Geochemical anomaly separation by multifractal modeling. *J Geochem Explor* 72:91–114
- [36] Cheng, Q., Agterberg, F.P., Bonham-Carter, G.F., (1996), "A spatial analysis method for geochemical anomaly separation", *Journal of Geochemical Exploration* 56,183- 195
- [37] Mohammadzadeh Daroudi, M., and Safari Farfar, R. (2004). Comparison of interpolation methods for spatial data. *Journal of Sciences (Khwarazmi University)*, 3(4-3), 243-250.
- [38] Asadi Harouni. H., Kianpouryan, S., Lu. Y. J. McCuaig. T. C., (2014), Exploratory data analysis and C–A fractal model applied in mapping multi-element soil anomalies for drilling: A case study from the Sari Gunay epithermal gold deposit, NW Iran. *Journal of Geochemical Exploration*, Vol:145, p:233-241.
- [39] Alavijeh, B. S., Rashidnejad-Omran, N., Toksoy-Köksal, F., Xu, W., & Ghalamghash, J. (2019). Oligocene subduction-related plutonism in the Nodoushan area, Urumieh-Dokhtar magmatic belt: Petrogenetic constraints from U–Pb zircon geochronology and isotope geochemistry. *Geoscience Frontiers*, 10(2), 725-751.
- [40] Robb, L. (2005). *Introduction to Ore-forming Processes*. Blackwell Publishing, Malden, 373 pp.
- [41] Salehi, L., Rasa, I., Alirezaei, S., Kazemi Mehrnia, A. (2016). The Madan Bozorg, volcanic-hosted copper deposit, East Shahroud; an example of Manto type copper deposits in Iran. *Scientific Quarterly Journal of Geosciences*, 25(98), 93-104. DOI: 10.22071/gsj.2016.41166 (in Persian)
- [42] Cabral, A. R., 2007- Volcanic Red Bed copper mineralization related to submarine basalt alteration, Mont Alexandre, Quebec Appalachians, Canada. *Mineralium Deposita* 42: 901- 912.
- [43] Boveiri Konari, M., Rastad, E., Rashidnejad Omran, N. (2014). VOLCANIC RED BED TYPE COPPER (-SILVER) MINERALIZATION IN KESHTMAHAKI DEPOSIT, NORTHWEST OF SAFASHAHR, SOUTHERN SANANDAJ-SIRJAN ZONE. *GEOSCIENCES*, 24(93), 19-36. (in Persian)
- [44] Kojima, S., Trista-Aguilera, D., Hayashi, K.-I., (2009). Genetic aspects of the Manto-type copper deposits based on geochemical studies of north Chilean deposits, *Resour Geol* 59(1): 87–98, DOI:10.1111/j.1751-3928.2008.00081.
- [45] Karimpour M. H. and Saadat, S. (2005) *Applied economic geology*. Nature-Mashhad publication, Mashhad.
- [46] Whitney, D. L., and Evans, B. W. (2010) Abbreviation for names of rock-forming minerals. *American Mineralogist* 95:185-187.
- [47] Wilson, N.S.F., Zentilli, M., Spiro, B., (2003). A sulfur, carbon, oxygen, and strontium isotope study of the volcanic-hosted El Soldado Manto-type Cu deposit, Chile: The essential role of bacteria and petroleum. *Econ Geol* 98: 163–174.

- [48] Hosseinzadeh, M., Maghfouri, S., Moayyed, M. (2016). Introduction of Mari Copper Deposit as a Stratabound Manto-Type Copper Deposit in Tarom Zone, Northwest of Iran. *Iranian Journal of Geology*, 10(38), 17-37. (in Persian)
- [49] Abolipour, M., Rastad, E., Rashidnejad Omran, N. (2015). Manto-Type Copper Mineralization in Pyrobitumen-Bearing Porphyritic Andesite, Koshkoiye District of Rafsanjan, Dehaj-Sardoiye Subzone. *Scientific Quarterly Journal of Geosciences*, 24(95), 123-144. DOI: 10.22071/gsj.2015.42418 (in Persian)
- [50] Abolipour.m, Rastad. A, Rashid Nejad Omran. N, (2011), the role of pyrobitomanen and pyrite in the mineralization of Manto type copper in Kashkuieh region of Rafsanjan, Kerman province. *Proceedings of the 30th Earth Science Conference*. . (in Persian)
- [51] Samani, Bahram, 2002, Metallogeny of "mantle type" copper deposits in Iran, 6th conference of Geological Society of Iran, Kerman.
- [52] Alizadeh, V., Momenzadeh, M. & Emami, HM. 2013. Petrography, geochemistry, mineralogy, fluid inclusions and mineralization study of Varezg-Qayen copper deposit. *Geosciences* 22, 47–58.
- [53] Shen, P., Pan, H., Li, Z., Sun, J., Shen, Y., Li, C & Cao, C. (2020). A Manto-type Cu deposit in the Central Asian Orogenic Belt: The Hongguleleng example (Xinjiang, China). *Ore Geology Reviews*, 124, 103656.
- [54] Zhao, L., Han, J., Lu, W., Liang, P., & Jourdan, F. (2020). The Middle Permian Hongshanliang Manto-type copper deposit in the East Tianshan: Constraints from geology, geochronology, fluid inclusions and H–O–S isotopes. *Ore Geology Reviews*, 124, 103601.