

کاربرد روش‌های آماری و فراکتالی در اکتشاف زمین‌شیمیایی رسوب‌های آبراه‌های و کانی‌سنگین در شناسایی کانی‌سازی مس پیرامون روستای حاجی‌آباد زاویه، استان مرکزی

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

۱- دانشکده علوم زمین، دانشگاه شهید بهشتی، تهران، ایران.

۲- سازمان زمین‌شناسی و اکتشاف معدنی کشور، پژوهشکده علوم زمین، تهران، ایران.

۳- سازمان زمین‌شناسی و اکتشاف معدنی کشور، گروه اکتشاف، تهران، ایران

(دریافت مقاله: ۱۴۰۴/۲/۱۰، نسخه نهایی: ۱۴۰۴/۵/۲۵)

چکیده: منطقه مورد بررسی در شرق روستای حاجی‌آباد، در استان مرکزی واقع است. قدیمی‌ترین واحدهای زمین‌شناسی این منطقه سنگ‌های آتشفشانی و آتشفشانی - رسوبی با سن ائوسن هستند. اکتشافات زمین‌شیمی و کانی‌سنگین به صورت اصولی در منطقه انجام و ۱۴۱ نمونه رسوب آبراه‌های و ۵۹ نمونه کانی‌سنگین برداشت شد. داده‌های برآمده از نتایج تجزیه نمونه‌ها با نرم‌افزار Spss داده‌پردازی شد از جمله ضریب همبستگی محاسبه گردید و تجزیه عاملی و تجزیه خوشه‌ای انجام شد. برای محاسبه حدود زمینه و ناهنجاری از دو روش غیرساختاری و روش ساختاری (روش فرکتالی عیار - مساحت) استفاده شد و نقشه‌هایی به روش وزنی معکوس فاصله (IDW) با نرم افزار ArcGis رسم و با هم مقایسه شدند. پنج گستره برای انجام عملیات کنترل ناهنجاری انتخاب شد و بررسی‌های صحرائی نشان‌دهنده آثار کانی‌سازی مس در سنگ‌های آندزیتی تا آندزیت‌بازالت‌پورفیری واقع در شمال منطقه بوده است. بیشترین مقدار مس در نمونه‌های سنگ برداشت‌شده از این واحد ۳/۵۷٪ بود. کانی‌های مس در سه فاز سولفیدی (کالکوپریت، بورنیت، کالکوسیت، دیژنیت، کولیت)، اکسیدی (تنوریت و کوپریت) و کربناتی (ازوریت و مالاکیت) هستند. بافت کانی‌سازی مس، جانمایی، پرکننده فضای خالی و رگه‌ای است. با توجه به شواهد به دست آمده کانی‌سازی‌های مس دیده شده در این منطقه شباهت قابل توجهی با کانسارهای نوع مانتو دارند.

واژه‌های کلیدی: اکتشاف زمین‌شیمیایی، کانی‌سنگین، کانی‌سازی مس، زاویه، ایران مرکزی.

مقدمه

سطحی برونزاد می‌شود [۲]. از آنجا که در اکتشافی زمین شیمیایی ناحیه‌ای و نیمه‌تفصیلی، گسترش منطقه مورد نظر به نسبت زیاد است، هاله‌های سنگ زمین‌شیمیایی ثانویه، بررسی می‌شوند. از این رو اساس روش اکتشاف زمین‌شیمیایی رسوب‌های آبراه‌های بررسی هاله‌های پراکندگی ثانویه عناصر در مواد سطحی برآمده از هوازدگی برونزاد نهشته‌های کانساری است [۳]. در این روش فرض بر آن است که هر نمونه رسوب آبراه‌های معرف محیط، شرایط و ترکیب شیمیایی سنگ‌های

یکی از روش‌های اکتشافی ذخایر معدنی در مقیاس ناحیه‌ای، اکتشافات زمین‌شیمیایی رسوب آبراه‌های و کانی‌سنگین است که موجب کاهش هزینه‌ها می‌شود و اثر زیادی در شناسایی مناطق مستعد کانی‌سازی دارد [۱]. اکتشافی زمین‌شیمیایی خود شامل مراحل نمونه‌برداری، آماده‌سازی، تجزیه شیمیایی، پردازش و تفسیر داده‌هاست و سبب یافتن تمرکز غیرعادی عناصر در ارتباط با کانی‌سازی احتمالی در محیط‌های به نسبت

*نویسنده مسئول، تلفن: ۰۲۱۶۴۵۹۲۳۵۱، پست الکترونیکی: afshinakbarpour@gmail.com



حاجی‌آباد استان مرکزی قرار دارد. این منطقه بخشی از کمربند ارومیه - دختر است (شکل ۱ الف) که اغلب با سنگ‌های آتشفشانی و آتشفشانی - رسوبی سنوزوئیک پوشیده شده است [۱۷].

کمان ماگمایی ارومیه - دختر از نظر اقتصادی اهمیت دارد 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 بالآمده و در مرحله دوم، پس از آماس یا بالآمدگی پی‌سنگ، یک سامانه کافتی همراه با فعالیت آتشفشانی متعدد به وجود آمده است [۱۸]. این منطقه از نظر زمین ساختی تنوع و پویایی زیادی دارد و گسل‌ها و دایک‌های بسیاری در آن وجود دارند. گسل‌ها اغلب روند شمال غربی - جنوب شرقی دارند و روند دایک‌ها نیز شبیه گسل-هاست [۱۹]. براساس نقشه زمین‌شناسی با مقیاس ۱:۱۰۰۰۰۰ زاویه [۲۰]، واحدهای آتشفشانی و توده‌های نفوذی نیمه‌عمیق بخش زیادی از منطقه مورد بررسی را تشکیل می‌دهند (شکل ۱ ب). به‌طورکلی، واحدهای سنگ‌شناسی رخنمون‌یافته در منطقه مورد بررسی را می‌توان به دو گروه تقسیم کرد؛ گروه اول واحدهای ائوسن هستند 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 آذرآواری آندزیتی و توف‌های سفیدرنگ اسیدی بوده که در نیمه جنوبی و جنوب‌غربی نقشه زمین‌شناسی در نزدیکی روستای مرتضی‌قلی واقع هستند. 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 با دایک‌های اغلب بازیک قطع می‌شوند [۲۰]. در شمال منطقه، سنگ‌های ائوسن با 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 دارند. بهترین نمونه‌های تناوب این دو بخش در کوه سید باباغار در شمال تا شمال شرقی منطقه مورد بررسی قرار دارند. گروه دوم واحدهای الیگومیوسن هستند که در منطقه

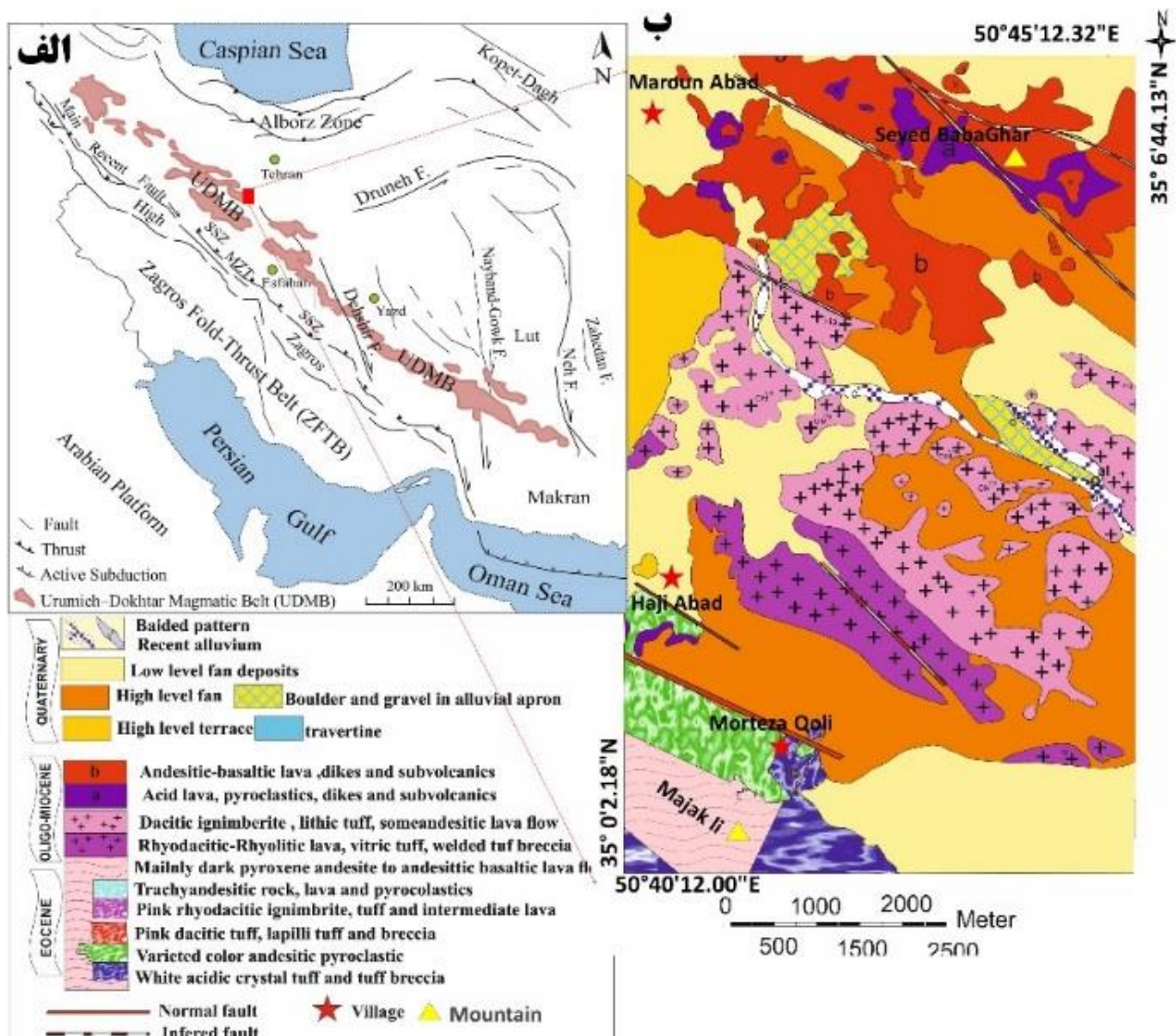
بالادست حوضه آبریز خود است [۴]. از نتایج زمین شیمیایی به‌دست‌آمده برای تفکیک جوامع مختلف و همچنین تعیین حد آستانه‌ای یا کمترین مقدار ناهنجاری برای هر عنصر در منطقه مورد بررسی بهره‌گیری می‌شود [۵]. اغلب به‌منظور جدایش ناهنجاری‌ها و مقدار زمینه از روش‌های مختلف ساختاری (روش‌های فرکتالی) و غیرساختاری (روش‌های آماری کلاسیک) استفاده می‌کنند. تفاوت روش فرکتالی با روش‌های آماری کلاسیک در تعیین موقعیت فضایی نمونه‌ها و اثری است که در شناسایی و گسترش ناهنجاری‌ها دارد. روش عیار - مساحت از روش‌های فرکتالی برای جداسازی جوامع ناهنجاری از پس‌زمینه بر اساس رفتار فرکتالی پراکندگی‌های زمین شیمیایی در طبیعت و بر پایه مساحت دربردارنده یک عیار است [۶]. در بررسی‌های زمین شیمیایی ۱:۱۰۰۰۰۰ ورقه زاویه، ناهنجاری‌هایی از کانی‌سازی مس دیده شد که بر اساس آن، برای ادامه عملیات اکتشافی زمین‌شیمیایی در مقیاس ۱:۲۵۰۰۰ برنامه‌ریزی شد. نتایج نشان‌دهنده غنی‌شدگی برخی عناصر از جمله مس، آرسنیک، باریوم، نقره، سرب، روی، آنتیموان و زیرکونیم و تأیید آن با بررسی کانی‌سنگین است و امید بخش بودن نمونه برداری سنگ زمین‌شیمیایی در ناهنجاری‌های منطقه سبب گردید تا نسبت به اکتشافی تفصیلی‌تر در آن اقدام شود [۷]. قرارگیری منطقه مورد بررسی در کمربند ارومیه دختر و وجود کانی‌سازی‌های مس چاقو [۸]، کهنک [۹]، نارباغی [۱۰]، علیشار [۱۱]، مسجد داغی [۱۲-۱۵] و کهک [۱۶] در این کمربند، نشان‌دهنده جایگاه مناسب برای ادامه عملیات اکتشافی بوده است. در این پژوهش، بی‌هنجاری‌های زمین‌شیمیایی شناسایی شده، مناطق امیدبخش معدنی براساس داده‌های زمین شیمیایی ورقه ۱/۱۰۰۰۰۰ زاویه بررسی گردیده، دو روش کلاسیک و فرکتالی (عیار - مساحت) مقایسه شده و حدود ناهنجاری و اثر آن در نمایش گسترش بی-هنجاری‌ها در شناسایی کانی‌سازی مس پیرامون روستای حاجی‌آباد زاویه تعیین شده است.

زمین‌شناسی

منطقه مورد بررسی با وسعت ۹۶ کیلومتر مربع، بین طول‌های جغرافیایی "۴۰'۱۲" ۵۰° تا "۴۵'۱۲" ۵۰° شرقی و عرض‌های جغرافیایی "۳۵'۴۴" ۳۵° تا "۳۵'۰۲" شمالی در شرق روستای

توان به دو واحد مجزا تفکیک کرد: ۱) واحد ریولیتی- ایگنمبریتی که در مرکز و جنوب منطقه با روند شمال‌غرب - جنوب‌شرقی گسترش دارد و شامل توف‌های جوش خورده، لایه‌های ایگنمبریتی و گدازه‌های جریان‌ی با ترکیب ریوداسیتی - ریولیتی و به رنگ بنفش تا قرمز است و ۲) واحد ایگنمبریتی - لایتی - داسیتی با رنگ قرمز در مرکز منطقه اکتشافی که روندی شبیه واحد ریولیتی - ایگنمبریتی دارد [۲۰].

گسترش بیشتری دارند. این واحدها شامل سنگ‌های اسیدی و سنگ‌های آندزیتی - بازالتی هستند که در نقشه زمین‌شناسی به ترتیب با حروف a و b معرفی شده اند، همراه با واحد ریولیتی - ایگنمبریتی، واحد ایگنمبریتی - لایتی - 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 منطقه واقع هستند. واحدهای ایگنمبریتی را می-

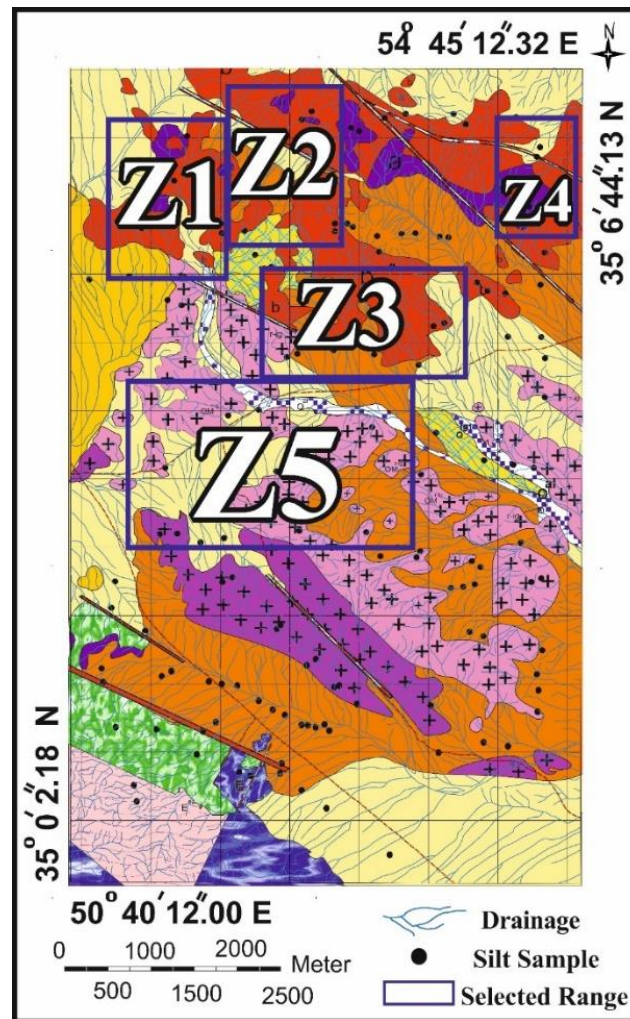


شکل ۱ الف: موقعیت منطقه مورد بررسی در کمر بند ماگمایی ارومیه - دختر، ب: نقشه زمین‌شناسی منطقه مورد بررسی [۲۰].

مواد و روش‌ها

در این پژوهش ۱۴۱ نمونه رسوب رودخانه‌ای از بستر آبراهه‌ها با الکترون مش ۸۰ و با رعایت اصول نمونه‌برداری که توسط پژوهشگران بسیاری از جمله حسینی پاک [۲۱]، یزدی [۲۲] و بالدوین [۲۳] ارائه گردیده است، برداشت شد و موقعیت آن‌ها در شکل ۲ نشان داده شده است. وزن نمونه‌های برداشت‌شده حدود ۲۵۰ تا ۳۰۰ گرم بود [۵]. تعداد ۵۹ نمونه کانی‌سنگین با در نظر گرفتن ویژگی‌های مهم محل نمونه، با استفاده از الکترون مش ۲۰ برداشت شد [۲۴]. چگالی نمونه‌برداری در هر کیلومترمربع سه نمونه رسوب آبراهه‌ای و یک نمونه کانی‌سنگین بوده است. نمونه‌ها در آزمایشگاه سازمان زمین‌شناسی

و اکتشافات معدنی کشور با طیف-سنج نشر نوری پلاسما جفت شده القایی (ICP-OES) مدل Varian 735-ES برای ۵۲ عنصر تجزیه شدند که حد تشخیص این دستگاه برای عنصر مس ۰٫۶ ppm است. در جدول ۱ نتایج تجزیه ۱۴۱ نمونه آورده شده است. همچنین در مرحله کنترل ناهنجاری زمین‌شیمیایی گستره‌های امیدبخش، تعداد ۳۴ نمونه سنگ زمین‌شیمیایی برداشت و تجزیه شد و نتایج مربوط به ۳۰ عنصر در ۱۰ نمونه انتخاب شده در جدول ۲ آورده شده است. در پایان، ۹ مقطع صیقلی از واحد آندزیت-بازالتی و کانی‌سازی مس تهیه و مورد بررسی شدند.



شکل ۲. موقعیت گستره‌های Z1 تا Z5 بر روی نقشه زمین‌شناسی منطقه و محل برداشت نمونه‌ها.

جدول ۱ داده‌های خام تجزیه 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	۳۷.۸	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	۳۰۲۲.۳	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	۶.۲	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 ۲ داده‌های خام تجزیه 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)
۷۹۹۵	۳۵۷۱۱	۲۱۵۴۳	۹۶۴۰	۳۴۴۲۳	۱۶۶۳۰	۳۲۰۴۹	۱۴۵۳۸	۱۵۳۱۷	۲۱۸۰۶	Cu (ppm)
۱,۱۲	۱,۰۵	۶,۱۴	۲,۴۴	۲,۳۷	۲,۴۷	۱,۹۳	۳,۶۱	۱,۸۰	۰,۸۰	Fe (%)
۰,۵۹	۰,۰۹	۱,۴۳	۳,۸۶	۰,۰۹	۴,۷۸	۴,۷۰	۲,۰۴	۵,۴۸	۱,۷۰	K (%)
۴۸,۳	۶۱,۶	۴۳,۲	۳۴,۱	۳۰,۸	۲۷,۷	<۲۰,۰	۱۵,۸	۲۹,۸	۳۹,۷	Li (ppm)
۰,۰۵	۰,۰۳	۰,۰۶	۰,۱۲	۰,۰۳	۰,۰۴	۰,۰۷	۰,۰۸	۰,۱۵	۰,۰۵	Mg (%)
۲۹۷	۱۷۹۱	۳۹۴۱	۱۲۱۷	۲۸۸۸	۷۶۰	۱۱۲۸	۹۵۷	۱۳۳۷	۳۹۰	Mn (ppm)
۰,۱۹	۰,۳۳	۰,۴۲	۱,۶۰	۰,۲۵	۲,۰۱	۱,۸۲	۰,۸۶	۰,۳۱	۰,۵۸	Na (%)
<۵,۰۰	۱۰,۳	۵,۷۷	۵,۲۱	۹,۳۷	۶,۲۳	۱۰,۷	۶,۹۱	۱۱,۷	۷,۶۴	Nb (ppm)
<۱۰,۰	<۱۰,۰	۲۰,۲	۱۴,۲	۱۴,۲	۱۲,۴	۱۲,۵	<۱۰,۰	۱۴,۳	<۱۰,۰	Nd (ppm)
<۱۰,۰	<۱۰,۰	<۱۰,۰	<۱۰,۰	<۱۰,۰	<۱۰,۰	<۱۰,۰	<۱۰,۰	<۱۰,۰	<۱۰,۰	Ni (ppm)
۲۰,۵	۵۸۳	۵۵۵	۷۵۰	۵۱۲	۸۷۲	۱۰۰,۶	۴۸۷	۷۸۳	۶۰,۷	P (ppm)
<۲۰,۰	<۲۰,۰	<۲۰,۰	<۲۰,۰	<۲۰,۰	<۲۰,۰	<۲۰,۰	<۲۰,۰	<۲۰,۰	<۲۰,۰	Pb (ppm)
<۲۰,۰	۳,۰۱	۵,۲۵	۶,۸۰	۲,۳۷	۶,۶۴	۷,۴۰	۷,۵۱	۱۳,۶	۵,۱۷	Sc (ppm)
۹۴,۱	۷۸,۸	۱۲۴	۱۶۸	۹۱,۷	۱۷۴	۱۷۳	۶۸۹	۹۶,۰	۱۱۷۴	Sr (ppm)
۲۲۷	۱۷۹	۸۵۰	۲۰۶۸	۷۰,۵	۱۸۴۳	۱۸۸۴	۱۶۷۰	۳۰۴۴	۱۱۵۱	Ti (ppm)
۷,۶۷	۱۷,۵	۲۴,۳	۳۱,۱	۱۸,۰	۲۲,۱	۲۵,۴	۳۱,۵	۷۷,۰	۱۸,۶	V (ppm)
۶,۹۷	۸,۴۷	۳۴,۴	۲۴,۰	۳۳,۵	۲۱,۶	۲۴,۱	۱۷,۶	۳۵,۳	۱۷,۵	Y (ppm)
<۵,۰۰	<۵,۰۰	<۵,۰۰	<۵,۰۰	<۵,۰۰	<۵,۰۰	<۵,۰۰	<۵,۰۰	<۵,۰۰	<۵,۰۰	Yb (ppm)
۱۰,۳	۳۸,۱	۲۷,۰	۲۳,۰	۳۶,۳	۳۲,۲	۴۸,۳	۴۱,۰	۲۷,۴	۳۲,۶	Zn (ppm)
۳۰,۱	۱۳,۹	۸۳,۳	۲۱۹	<۱۰,۰	۲۲۸	۲۳۸	۱۹۳	۲۳۵	۱۴۴	Zr (ppm)
۱۰,۲	۸,۱۷	۵,۴۸	۲,۳۴	۶,۶۲	۶,۵۹	۱۲,۴	۳,۲۴	۵,۱۴	۱۱,۳	Ag (ppm)
۲۲,۳	۱۲,۰	۵۲,۹	۸,۷۰	۵۹,۹	۵,۱۱	<۵,۰۰	۱۲,۹	۱۳,۵	۲۷,۱	Co (ppm)
۷,۴۱	۱۱,۰	۴۲,۷	۳۱,۱	۲۸,۱	۲۹,۳	۲۸,۳	۱۶,۴	۲۷,۵	۱۲,۷	Ce (ppm)
<۵,۰۰	<۵,۰۰	<۵,۰۰	<۵,۰۰	<۵,۰۰	<۵,۰۰	<۵,۰۰	<۵,۰۰	<۵,۰۰	<۵,۰۰	Cd (ppm)
<۵,۰۰	۶,۵۸	۲۳,۹	۱۶,۴	۱۴,۶	۱۵,۱	۱۴,۶	۷,۷۳	۱۳,۸	۵,۴۷	La (ppm)
۴,۵۳	۱,۹۱	۶,۱۳	۳,۸۵	۴,۹۴	۱,۶۴	۲,۲۶	۱,۵۷	۳,۰۵	۱,۲۱	Ca (%)

پردازش داده‌های تجزیه شیمیایی

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

روش‌های آماری

داده‌های خام تجزیه شیمیایی نمونه‌های رسوب آبراه‌های، پردازش‌های آماری شد. مراحل مختلف داده‌پردازشی شامل

فایل‌بندی داده‌های خام، پردازش داده‌های سنسورد شده (جدول ۳)، محاسبه پارامترهای آماری تک متغیره (جدول ۴)، بررسی بهنجار بودن یا نبودن داده‌ها و در صورت نیاز استفاده از روش‌های بهنجارسازی، رسم منحنی‌های فراوانی داده‌های خام و بهنجار (شکل ۳)، محاسبه و رسم ضرایب همبستگی دومتغیره (جدول ۵)، بررسی آماری چند متغیره، تجزیه عاملی (Factor Analysis) (جدول‌های ۶ و ۷) و تجزیه و تحلیل خوشه‌ای داده‌ها (شکل ۴) است. داده‌های سنسورد شده به داده‌هایی گفته می‌شود که توسط آزمایشگاه به صورت مقادیر کمتر یا بیشتر از یک عدد گزارش می‌شوند. امکان استفاده از

داده‌های سنسورد شده در فرآیندهای آماری و مدل‌سازی‌ها وجود ندارد. همچنین نرم افزارهای داده پردازشی در رایانه نیز فقط داده عددی را برای هر متغیر (عنصر) و هر شماره نمونه می شناسد. روش جایگزینی ساده وقتی تا ۱۰ درصد داده‌ها به صورت سنسورد شده باشد، استفاده می‌شود [۲۵]. در این پژوهش نیز از روش جایگزینی استفاده شد و عناصری که داده-

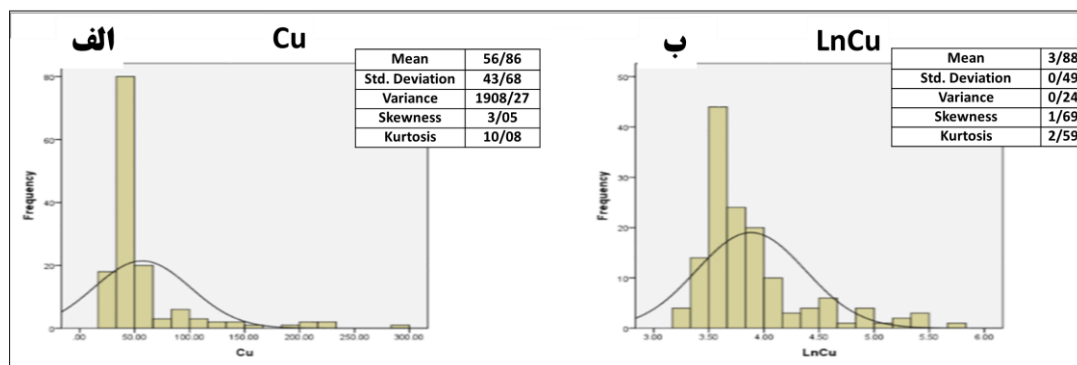
های سنسورد شده آنها بیش از ۱۰ درصد بود (طلا و بیسموت) از داده پردازشی کنار گذاشته شدند (جدول ۱). پارامترهای آماری تک متغیره چون میانگین، مد، میانه، انحراف معیار، کشیدگی و چولگی با نرم‌افزار SPSS برای داده‌های خام و بهنجار همه عناصر محاسبه شد که نتایج مربوط به داده‌های عنصر مس در جدول ۴ آورده شده است.

جدول ۳ اصلاح داده‌های سنسورد شده به روش جایگزینی ساده.

اصلاح شده	(ppm) حد آشکارسازی	نمونه سنسورد شده	عنصر
spent terms	ppb5	۹۲	Au(ppb)
spent terms	۰/۱	۱۴۱	Bi(ppm)
۱۳۳۳۳/۳	۱۰۰۰۰/۰	۳	Ba
۰/۰۷۵	۰/۱	۳	Ge
۰/۰۳۸	۰/۰۵	۹	Hg
۰/۰۷۵	۰/۱	۴	Sb
۱۳۳۳۳/۳	۱۰۰۰۰/۰	۲۰	Ti

جدول ۴ مقایسه پارامترهای آماری داده‌های خام و بهنجار شده عنصر مس.

عنصر	Cu	
	خام	بهنجار
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



شکل ۳ الف- نمودارهای ستونی فراوانی (الف) داده‌های خام عنصر مس و (ب) داده‌های بهنجار عنصر مس.

جدول ۵ میزان همبستگی عنصر مس با سایر عناصر در منطقه مورد بررسی با استفاده از روش پیرسون

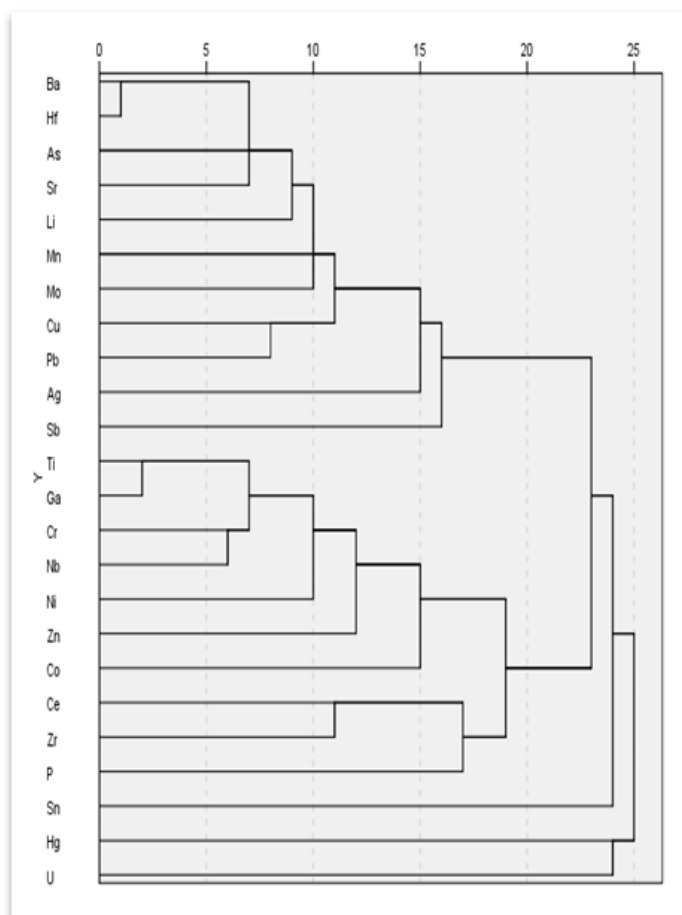
Ag	As	Ba	Ce	Co	Cr	Cu	Ga
۰٫۵۰۸	۰٫۶۷۹	۰٫۶۳۱	-۰٫۰۱	۰٫۱۴	-۰٫۲۲۱	۱	۰
Hf	Hg	Li	Mn	Mo	Nb	Ni	P
۰٫۶۳۸	-۰٫۰۱	۰٫۶۷۹	۰٫۵۹۲	۰٫۵۵۵	۰٫۲۴۹	-۱۴	۰٫۰۱
Pb	Sb	Sn	Sr	Ti	U	Zn	Zr
۰٫۷۱۳	۰٫۴۰۵	۰٫۰۶	۰٫۵۴۷	-۰٫۰۲	-۰٫۱	۰٫۴۳۲	۰٫۰۹

جدول ۶ عناصر عوامل اول و دوم به‌دست‌آمده از تجزیه عاملی پس 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	۷۵/۱۳۱	۱/۴۲۷	۵/۹۴۴	۷۴/۷۹۶
7	۱/۰۰۹	۴/۲۰۵	۷۹/۳۳۶	۱/۰۹۰	۴/۵۴۰	۷۹/۳۳۶

جدول ۷ عناصر عامل‌های اصلی پس از چرخش متغیرها در تجزیه عاملی.

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



شکل ۴ نمودار درختی به دست آمده از تجزیه خوشه‌ای داده‌ها.

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 است. عناصر در هفت عامل دسته‌بندی شدند که عوامل اول و دوم در مجموع ۵۱/۶۰ درصد در واریانس عمومی داده‌ها مؤثر هستند. 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 نتایج این روش با ضریب همبستگی عنصر مس با نقره، سرب، آنتیموان، مولیبدن، استرانسیم، منگنز و روی و تأیید درستی این نتایج است.

تجزیه خوشه‌ای

تجزیه خوشه‌ای از ابزارهای مفید تحلیل داده‌ها با هدف نظم دادن به عناصر مختلف در یک گروه داده بر اساس نزدیکی و دوری از هم است. اگر دو عنصر از یک گروه باشند درجه ارتباط بین آنها بیشینه و در غیر این صورت ارتباط آنها کمینه است. هدف از خوشه بندی داده‌ها تقسیم مشاهده‌ها به گروه‌های متجانس است، به طوری که مشاهده‌های هر گروه بیشترین شباهت و مشاهده‌های گروه‌های مختلف کمترین شباهت را با هم داشته باشند [۲۹، ۳۰]. پردازش خوشه‌ای در منطقه مورد بررسی نشان‌دهنده قرارگیری عنصر مس همراه با مولیبدن، منگنز، سرب و نقره در یک خوشه است. گروه‌های به دست آمده از این روش در جدول ۸ و شکل ۴ به خوبی قابل مشاهده هستند. نتایج بدست آمده از این روش نیز تأیید کننده نتایج تجزیه عاملی و ضریب همبستگی و همراهی عناصر مس، سرب، نقره آنتیموان و منگنز است.

پیش از محاسبه پارامترهای آماری چند متغیره، بهنجار بودن یا نبودن داده‌ها بررسی شد. روش‌های مختلفی برای این منظور وجود دارد که می‌توان به آزمون کولوموگروف - اسمیرنوف و آزمون شاپیرو - ویلک و شکل کشیدگی و چولگی اشاره نمود [۲۶]. در این پژوهش، با نرم‌افزار SPSS و بر پایه آزمون کولوموگروف - اسمیرنوف و همچنین تشخیص از روی شکل کشیدگی و چولگی بهنجار بودن داده‌ها بررسی شد. مقدار کشیدگی و چولگی داده‌های عنصر مس بیش از ۳ و صفر است. داده‌ها با روش تبدیل لگاریتمی بهنجار شدند.

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. این در حالی است که در زمین‌شناسی اقتصادی، روابط و همبستگی زایشی مستقیم و معکوس بین عناصر در کانسارهای گوناگون اهمیت ویژه‌ای دارد. 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 و به مقدار ۰/۷۱۳ است. مقادیر همبستگی عنصر مس با سایر عناصر در جدول ۳ آورده شده است. همراهی مس با سرب و نقره در شناسایی کانسارهای نوع مانتو دارای اهمیت است [۲۷].

تجزیه عاملی

هدف از تجزیه عاملی، شناسایی اصلی‌ترین متغیرهای کنترل‌کننده (اصلی) از متغیرهای با اهمیت کمتر (فرعی) و کم کردن تعداد ابعاد داده‌های زمین‌شیمیایی است. در این صورت می‌توان با کمترین تعداد متغیرهای عاملی، بیشترین تنوع بین

جدول ۸ گروه‌های به‌دست‌آمده از تجزیه 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				

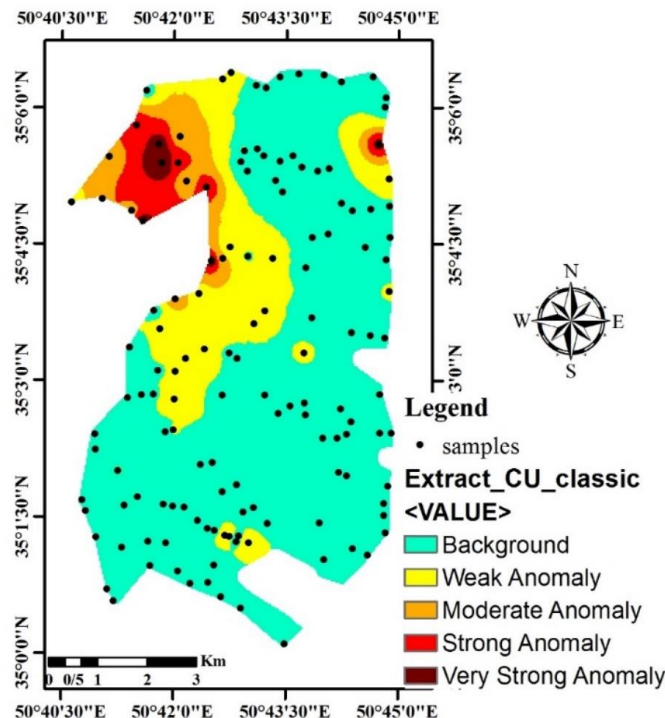
معیار، حد آستانه از جمع میانگین و دوبرابر انحراف معیار و حد ناهنجاری از جمع میانگین و سه برابر انحراف معیار به دست می آید. نقشه توزیع مس بر پایه روش غیرساختاری براساس درون یابی وزنی معکوس فاصله (IDW) با نرم افزار ArcGis رسم شده که در شکل ۵ نشان داده شده است. روش های قدیمی رایج برای تجزیه و تحلیل داده های زمین شیمیایی از جمله روش آمار کلاسیک، روش تحلیل اکتشافاتی داده ها (EDA) و روش انحراف مطلق میانه (MAD) کمبودهایی داشتند که می توان به از دست دادن برخی داده ها به علت خارج از ردیف بودن، در نظر نگرفتن توزیع فضایی داده ها، الزام بهنجار بودن و همچنین در نظر نگرفتن شکل هندسی ناهنجاری ها اشاره نمود [۳۴]. داده های زمین شیمیایی رفتاری چند فرکتال دارند که وابسته به شدت تغییرها در شرایط زمین شناسی، دگرسانی، هوازدگی سطحی، کانی سازی و در پایان مراحل غنی شدگی یک عنصر است [۳۵].

تعیین حدود زمینه، آستانه و ناهنجاری و رسم نقشه ها

تفکیک مقدار ناهنجاری های زمین شیمیایی از زمینه را می توان مهم ترین بخش یک عملیات اکتشافاتی دانست [۳۱، ۳۲] برای تفکیک حد زمینه، آستانه و ناهنجاری روش های مختلفی وجود دارد که به طور کلی می توان آنها را به دودسته روش های ساختاری و روش های غیرساختاری تقسیم کرد. روش های غیر وابسته به پارامترهای توزیع، حدود ناهنجاری را نشان می دهند و در روش های ساختاری، برای شناسایی حدود آستانه ای و ناهنجاری، ساختار، ارتباط فضایی و موقعیت نمونه ها نیز در نظر گرفته می شود [۲۶]. در استفاده از آمار کلاسیک، پیش فرض این است که نمونه ها مستقل هستند و از روش های مشخصی برای توزیع بهنجار داده های زمین شیمیایی استفاده می شود [۳۳]. در منطقه مورد بررسی، حد زمینه، آستانه و ناهنجاری به روش غیرساختاری محاسبه شده و نتایج آن در جدول ۹ آورده شده است. در این روش حد زمینه از جمع میانگین و انحراف

جدول ۹ جدایش حدود زمینه، آستانه و ناهنجاری به روش غیر ساختاری

Cu (ppm)	
Mean	۸۶٫۵۶
Std. Deviation	۶۸٫۴۲
$\bar{X} + S$	۱۵۵٫۰۰
$\bar{X} + 2S$	۲۳۱٫۴۴
$\bar{X} + 3S$	۳۶۸٫۲۸

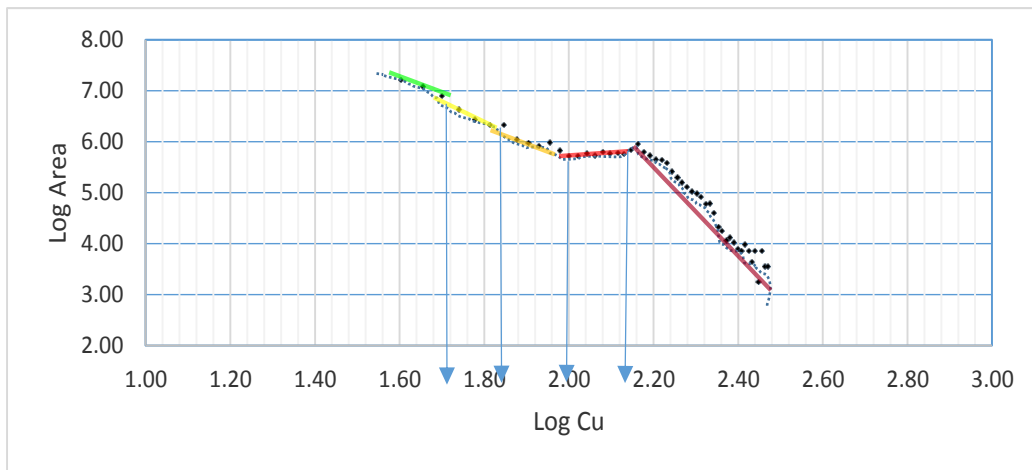


شکل ۵ نقشه توزیع مس در منطقه بر پایه داده های روش غیرساختاری براساس درون یابی وزنی معکوس فاصله (IDW).

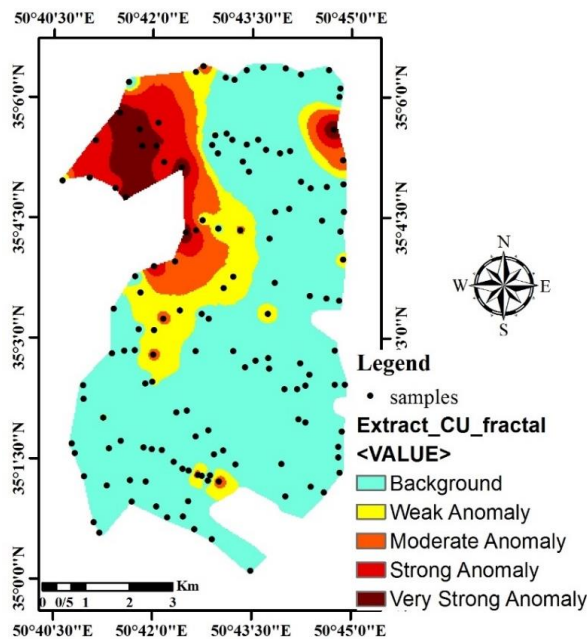
روش فرکتالی

برای تحلیل داده‌های زمین‌شیمیایی چندین روش فرکتالی تاکنون پیشنهاد شده که از جمله آنها می‌توان به عیار-مساحت، تعداد-اندازه، عیار-فاصله، عیار-حجم و عیار-تعداد [۳۶، ۵] اشاره نمود. در این پژوهش از مدل فرکتالی عیار-مساحت حد زمینه و ناهنجاری با استفاده از نمودار لگاریتمی محاسبه شد (شکل ۶). روش عیار-مساحت بر پایه تغییر مساحت نسبت به تغییر عیار است. از این روش برای محاسبه مساحت اشغال شده توسط هر عیار، از درونیابی وزن‌دهی معکوس فاصله (IDW) با نرم افزار Arc GIS استفاده گردید. برآوردهای عکس فاصله نسبت به شعاع همسایگی و توان

فاصله به کار رفته در وزن‌ها بسیار حساس هستند. دقت برآورد با کاهش شعاع همسایگی و افزایش توان فاصله افزایش می‌یابد [۳۷]. در ادامه نمودار تغییرات لگاریتمی مساحت نسبت به تغییرات لگاریتمی عیار با نرم افزار اکسل رسم گردید که در شکل ۶ نشان داده شده است. با رسم این تغییرها در نمودار لگاریتمی، بعد هر جامعه از شیب‌خط برازش به آن (شکل ۶) به دست می‌آید [۳۸]. بر پایه حدود به دست آمده از این روش، نقشه ناهنجاری‌ها دوباره رسم شده است (شکل ۷). در نتیجه می‌توان حد زمینه، آستانه و ناهنجاری را مشخص نمود (جدول ۱۰).



شکل ۶ نمودار لگاریتمی عیار - مساحت داده‌های مس.



شکل ۷ نقشه توزیع مس در منطقه بر پایه داده‌های روش ساختاری براساس روش IDW.

جدول ۱۰ 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

بحث

مساحت و تغییرهای ناهنجاری‌های زمین شیمیایی دو موضوع بسیار مهم در عملیات اکتشافی زمین شیمیایی ناحیه‌ای و نیمه تفصیلی است [۵، ۲۸، ۳۸]. مساحت از نظر بهینه سازی و هزینه عملیات اکتشافات دارای اهمیت است [۲۳]. تغییرها عیار برای جدایش ناهنجاری‌های درجه یک، دو و سه از حد زمینه ضروری است. بی دقتی 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 پردازشی یا مدل سازی‌های ریاضی مختلف برای تعیین بهتر گسترش ناهنجاری و تغییرهای عیار آن است [۲، ۳۴-۳۹].

در این پژوهش، مقایسه مساحت ناهنجاری‌های زمین شیمیایی در نقشه‌های رسم شده در شکل‌های ۵ و ۷ نشان داد که مساحت ناهنجاری در روش فرکتالی عیار - مساحت بیشتر از روش غیرساختاری است. مقایسه این شکل‌ها و تغییرهای مقدار مساحت ناهنجاری‌ها در جدول ۱۱ آورده شده است.

در اکتشاف‌های زمین شیمیایی کنترل ناهنجاری‌های زمین شیمیایی دارای اهمیت ویژه‌ای است. این بخش راستی آزمایی ناهنجاری با کانی‌سازی و شرایط زمین‌شناسی است. بررسی‌های زمین شیمیایی در این پژوهش ۵ گستره امیدبخش $Z1$, $Z2$, $Z3$, $Z4$, $Z5$ را مشخص نمود (شکل ۲). کنترل صحرایی گستره‌ها نشان‌دهنده وجود آثار کانی‌سازی مس در سه گستره $Z2$, $Z3$, $Z4$ بود. در دو گستره $Z2$ و $Z3$ آثار

کانی‌سازی مس (آزوریت و ملاکیت) به صورت رگه‌ای با روند شرقی - غربی است. در گستره $Z2$ رگه‌ای با طول حدود ۳۵۰ متر و عرض متغیر از ۲ تا ۷ متر در سنگ‌های آندزیتی - بازالتی دیده می‌شود. گستره $Z3$ دارای کانی‌سازی به صورت عدسی شکل (۱۴۰-۲۰ سانتی متر)، منقطع با طول تقریبی ۲۵۰ متر است (شکل ۸). بیشترین مقدار مس در گستره‌های $Z2$, $Z3$ و $Z4$ با توجه به داده‌های سنگ زمین شیمیایی برداشت شده به ترتیب برابر با ۳/۵، ۲/۱۸ و ۰/۷ درصد است.

بررسی‌های صحرایی نشان‌دهنده دگرسانی‌های آرژیلیک، هماتیتی، کربناتی، کلسیمی و سیلیسی است که با نتایج پراش پرتوی ایکس (XRD) و وجود کانی‌های هماتیت، کائولینیت، کوارتز، کلسیت و ارتوکلاز همخوانی دارد. دگرسانی هماتیتی اغلب ارتباط زیادی با کانه‌زایی‌های مس دارد. این دگرسانی با سیال‌هایی 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 در ارتباط هستند [۴۱]. همراهی کانی‌های مس‌دار با هماتیت، کلسیت و کوارتز در بررسی‌های صحرایی و پراش پرتو ایکس منطقه همخوانی دارد. دگرسانی سیلیسی و کربناتی از دگرسانی‌های رایج در کانسارهای مس نوع لایه‌های سرخ آتشفشانی [۴۲] و کانسارهای مس نوع مانتو هستند [۴۳، ۴۴].

جدول ۱۱ مقایسه مساحت ناهنجاری‌های به دست آمده (با نرم افزار ArcGis) در دو روش ساختاری و غیر ساختاری

Classic			Fractal			
Count	square meter	square kilomete	Count	square meter	square kilomete	
۴۳۵۵۱	۳۹۱۹۵۹۰۰	۳۹،۱۹۵۹	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	۵۴۱۰۴۴۰۰	۵۴،۱۰۴۴	۶۰۱۱۶	۵۴۱۰۴۴۰	۵۴،۱۰۴۴	Total



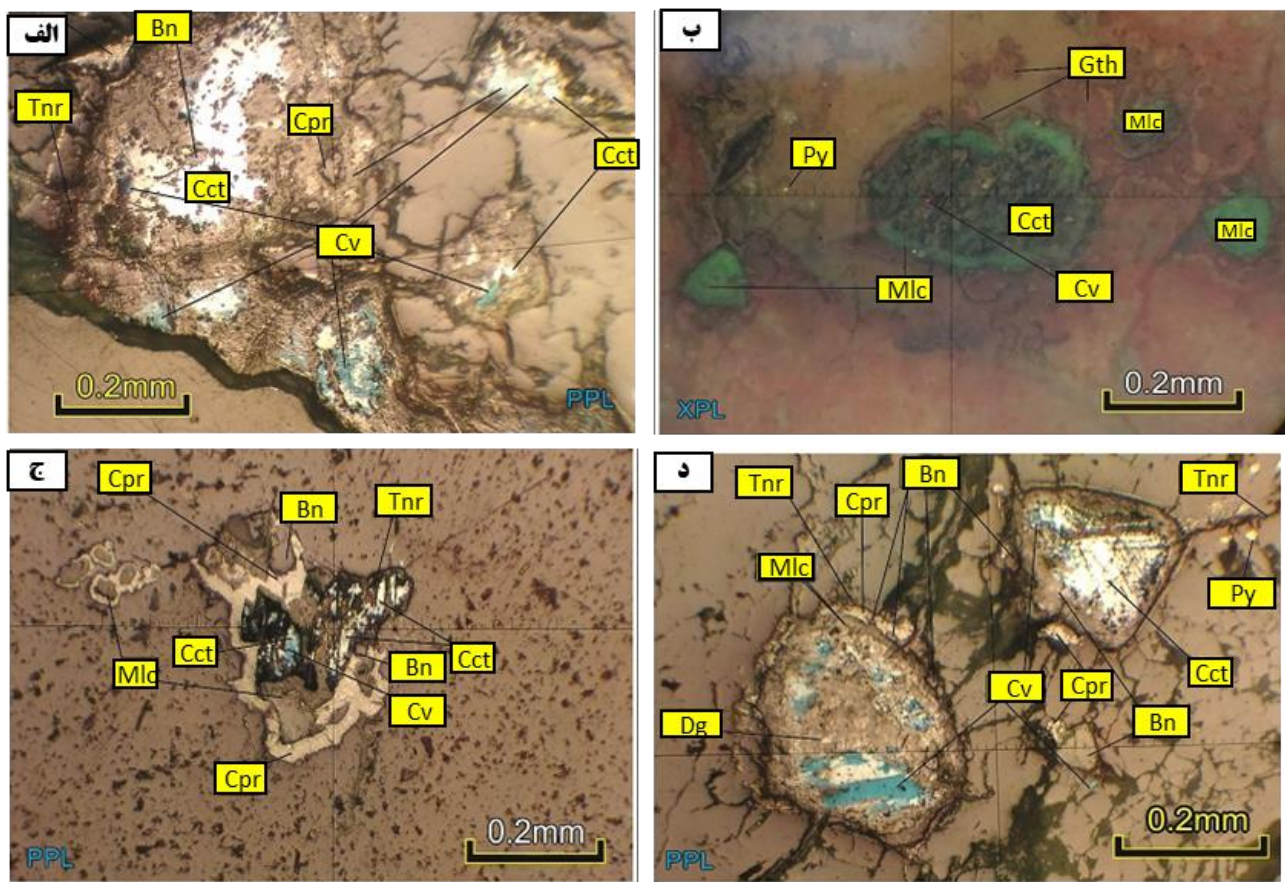
شکل ۸ آثار و روند کانی‌سازی مس: الف) روند شرقی - غربی کانی‌سازی مس (آزوریت و مالاکیت) ضخامت این کانی‌سازی بین ۴۰ تا ۸۰ سانتی متر متغیر است و ب) آثار کانی‌سازی مالاکیت (Mlc) بر سنگ‌های آتشفشانی [۲۸].

دارند که باوجود کالکوسیت، کوولیت و مالاکیت در شکل ۹ ب دیده می‌شود. کانی‌های پیریت، هماتیت، لیمونیت و گوتیت نیز در مقاطع وجود دارند. پیریت‌ها اغلب بسیار ریز با اندازه در حد چند میکرون هستند و به‌طور عمده هماتیت جانشین آن‌ها شده است. در شکل ۹ ت، تنوع کانی‌های مس‌دار به خوبی دیده می‌شود. اکسایش پیریت در سطوح و معرض هوا موجب پیدایش اکسیدهای آهن می‌گردد. این کانی‌ها به‌صورت ریزدانه و در مرحله درونزاد تشکیل شده‌اند و پیدایش آن‌ها تا مرحله غنی‌شدگی برونزاد ادامه داشته است. این کانی‌ها امکان حضور در گستره زیادی از غلظت اکسیژن و گوگرد را دارند [۴۵، ۴۶]. هماتیت نیز به‌صورت پرکننده رگه‌ها و فضاهای خالی و گاهی جانشینی به‌جای پیریت و همچنین بلورهای سوزنی شکل اسپیکولاریت دیده می‌شود. هماتیت به‌صورت خود شکل به‌ندرت وجود دارد. گوتیت و لیمونیت نیز به‌طور عمده پرکننده رگه‌ها و فضاهای باز هستند و اغلب سطح نمونه‌ها با آن‌ها پوشیده شده است. ویلسون [۴۷] بر این باور است که توالی بورنیت، دیژنیت، کالکوسیت، مس طبیعی و کوولیت در شیلی، نشانگر کانسارهای نوع مانو است. همچنین مهم‌ترین کانی‌های سولفیدی در کانسار مس چینه‌کران ماری بورنیت، کالکوسیت، کالکوپیریت، پیریت و کوولیت هستند که در اثر شرایط برونزاد به آزوریت و مالاکیت تبدیل شده‌اند [۴۸].

کانی‌سازی مس در بخش‌هایی از منطقه مورد بررسی به صورت رگه‌ای و پراکنده وجود دارد. سنگ میزبان این کانی‌سازی‌ها به‌طور عمده آندزیت تا آندزیت - بازالت است. در شکل ۸ آثار کانی‌سازی مس و روند و ضخامت آن نشان داده شده است. برای شناسایی کانی‌های اصلی مس‌دار و بافت آن‌ها، ۹ نمونه بررسی شدند، بررسی مقاطع صیقلی نشان داد که کانی‌های مس به سه فاز سولفیدی، اکسیدی و کربناتی تفکیک می‌شوند. کانی‌های سولفیدی شامل، کالکوپیریت، بورنیت، کالکوسیت، دیژنیت و کوولیت و بیشتر مربوط به فاز درونزاد هستند. کانی‌های اکسیدی تنوریت، کوپریت و کانی‌های کربناتی مالاکیت و آزوریت هستند که در شکل‌های ۹ الف و ت نشان‌داده شده است. این کانی‌ها (کانی‌های اکسیدی و کربناتی مس) از فاز برونزاد هستند. بیشترین مقدار کانی سولفیدی مس مربوط به کالکوسیت و دیژنیت و در مجموع بیشترین کانی مس در همه نمونه‌ها با توجه به گسترش فعالیت‌های برونزاد، مالاکیت است. بافت‌های اصلی این کانی‌ها در مقاطع، جانشینی، رگه‌ای، پرکننده فضای خالی و بافت کلونیدی ناشی از دگرسانی‌های کانی‌های سولفیدی مس هستند. بافت کلونیدی دارای ترتیب کالکوسیت، دیژنیت و گاهی بورنیت در مرکز است. گاهی کوولیت جانشین آن‌ها شده و در لبه کانی‌های اکسیدی و کربناتی مس قرار گرفته است (شکل ۹ پ). فعالیت‌های برونزاد در منطقه گسترش زیادی

کانی‌سازی‌های مس در سه گستره Z2, Z3 و Z4 با کانسارهای مس نوع مانو در نقاط مختلف ایران و جهان نشان‌دهنده وجود شباهت با این نوع کانسارهاست. این کانسارها عبارتند از کانسار ماری [۴۸]، کانسار کشکوئیه [۴۹، ۵۰]، کانسار مهکی [۴۳]، کانسار عباس آباد [۵۱]، کانسار ورزگ [۵۲]، کانسار نارباغی [۱۰]، کانسار شمال شیلی [۴۴]، زینجیانگ چین [۵۳] و شرق تینشان [۵۴] که در (جدول ۱۲) برخی از آنها با کانسار حاجی آباد زاویه مقایسه شده‌اند.

بررسی و مقایسه ویژگی‌های مختلف کانی‌سازی مس حاجی‌آباد زاویه در گستره‌های Z2, Z3 و Z4 و موقعیت زمین ساختی کانی‌سازی‌های مس در این گستره‌ها نشان‌دهنده قرارگیری در کمان آتشفشانی است. از نظر کانی‌شناسی، کانی‌های مس شامل کالکوپیریت، بورنیت، کالکوسیت، دیژنیت، کولیت، تنوریت، کوپریت و مالاکیت شناسایی شده‌اند. مس میزبان کانی‌سازی مس آندزیت - بازالت است و ساخت و بافت کانی‌ها اغلب پرکننده فضای خالی و رگه‌ای است. مقایسه



شکل ۹ تصاویر مقاطع صیقلی: الف- حضور کالکوسیت و کمی بورنیت در مرکز که گاهی کولیت جانشین آنها شده است و کوپریت و تنوریت لبه. ب) مالاکیت هم به صورت پرکننده حفره‌ها و هم در لبه کالکوسیت‌هایی که در حال تبدیل به کولیت هستند. در این تصویر گوتیت و پیریت بسیار ریز دانه نیز دیده می‌شوند. پ) بافت کلوتیدی کانی‌های مس در توالی کالکوسیت، بورنیت، کولیت، کوپریت و تنوریت به همراه مالاکیت. ت) کالکوسیت و دیژنیت در مرکز و در حال تبدیل به کولیت که با کوپریت و تنوریت و مالاکیت دربرگرفته شده‌اند (بافت جانشینی). مقدار کمی بورنیت خارج از این توالی وجود دارد. ذره‌های بسیار ریز پیریت نیز سمت راست بالا دیده می‌شود.

پیریت، Bn: بورنیت، Cpr: کالکوپیریت، Cv: کولیت، Cct: کالکوسیت، Tnr: تنوریت، Dg: دیژنیت، Mlc: مالاکیت و Gth: گوتیت [۴۶]

جدول ۱۲ مقایسه کانسار حاجی آباد با برخی کانسارهای مشابه.

ویژگی‌های شاخص	کانسار ماری	کانسار کشکویه	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 زمین ساختی	کافت درون قوس ماگمایی	محیط کشتی پشت کمان	کافت درون کمان آتشفشانی	کافت درون فاره‌ای	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 لای‌دار با میان لایه‌هایی از توف برش و آندزیت	آندزیت تا آندزیت بازالت پورفیری
کانی شناسی	کالکوسیت و بورنیت، کالکوپیریت، پیریت و هماتیت	بورنیت، کالکوسیت، کالکوپیریت، ریت، پیریت، دیژنیت و هماتیت	کالکوسیت و بورنیت	کالکوسیت، دیژنیت، ملاکیت، آزوریت، هماتیت و به مقدار کم کالکوپیریت	کالکوسیت، دیژنیت، کوولیت، ملاکیت، آزوریت و به مقدار کم کالکوپیریت	کالکوسیت، دیژنیت، کوولیت، ملاکیت، آزوریت و به مقدار کم کالکوپیریت
کانی‌های باطله	کربنات، کوارتز، کلریت، اپیدوت و فلدسپار	کربنات و به مقدار کمتر سلیس، کلریت و هماتیت	اپیدوت، کربنات، کلریت و فلدسپار قلیایی	کربنات، کلریت، زئولیت و کوارتز	کربنات، کوارتز، کلریت و اپیدوت	هماتیت، کربنات، کوارتز
دگرسانی	کربناتی، کلریتی، اپیدوتی، سریسیتی و سلیسی	کربناتی، هماتیتی و سریسیتی	کلریتی، سلیسی، کلسیتی	اپیدوتی، سلیسی، کربناتی و کلریتی	کربناتی، کلریتی، اپیدوتی و سلیسی	کلسیتی، سلیسی، هماتیتی و آرژیلیک
سن واحد میزبان	ائوسن	ائوسن	کرتاسه پیشین	پالئوسن- ائوسن	ائوسن	اولیگومیوسن
ساخت و بافت	پرکننده فضای خالی، دانه پراکنده، رگه- رگچه‌ای و جانشرینی	پرکننده فضای خالی، دانه پراکنده، رگه- رگچه‌ای و جانشرینی	پرکننده فضای خالی، دانه پراکنده، رگه- رگچه‌ای و جانشرینی	رگه- رگچه‌ای و دانه پراکنده و بادامکی	پرکننده فضای خالی، دانه پراکنده، رگه- رگچه‌ای و جانشرینی	پرکننده فضای خالی، رگه- رگچه‌ای و جانشرینی
شکل هندسی	چینه گران	چینه گران	چینه گران	چینه گران	چینه گران	چینه گران
مرجع	[۴۸]	[۴۹]	[۴۳]	[۵۲]	[۵]	این پژوهش

برداشت

بررسی‌های زمین شیمیایی و کانی سنگین در منطقه حاجی آباد زاویه سه گستره امیدبخش از نظر کانی‌سازی مس را نشان داد. نتایج بررسی‌های آماری تک‌متغیره و چندمتغیره نشان- دهنده ناهنجاری‌های مهم مس و همراهی آن در سه گستره با عناصر سرب، نقره، آنتیموان، استرانسیم، منگنز و روی است. بررسی کانی‌سنگین نشان‌دهنده آثاری از کانی‌سای مس به- صورت ملاکیت است. مقایسه دوروش ساختاری و غیرساختاری در تعیین حد زمینه و ناهنجاری نشان‌دهنده گسترش بیشتر ناهنجاری‌های مهم زمین شیمیایی در روش ساختاری است. بررسی مناطق امیدبخش از نظر صحرایی و رگه‌های کانی‌سازی مس و مقادیر آن در نمونه‌های سنگ زمین شیمیایی، موقعیت زمین ساختی، کانی‌شناسی، سنگ میزبان، ساخت، بافت و دگرسانی نشان‌دهنده شباهت کانی‌سازی مس در گستره‌های Z2, Z3 و Z4 با کانسارهای مس نوع مانتو است.

قدردانی

به این وسیله از مدیران و کارشناسان سازمان زمین‌شناسی و اکتشافات معدنی کشور به ویژه معاونت اکتشافات، مدیریت آزمایشگاه‌ها و پژوهشکده علوم زمین و سایر عزیزانی که در انجام این پژوهش همکاری و همراهی داشتند قدردانی می‌شود. بررسی‌های صحرایی و داده‌های آزمایشگاهی با حمایت پژوهشکده علوم زمین در قالب پایان‌نامه کارشناسی ارشد نویسنده اول انجام شده است. همچنین از سردبیر و داوران محترم نشریه بلورشناسی و کانی‌شناسی ایران که با حسن نظر و راهنمایی‌های خود بر غنای این مقاله افزودند، صمیمانه تشکر می‌شود.

مراجع

[1] Kylie P., "Application of lithogeochemistry to gold exploration in the St Ives goldfield, Western Australia", Exploration Environment Analysis. 7, 2 (2007) 99-108.

Haloes around Mineralized Veins of Masjeddaghi Area”, Jolfa. Geosciences Scientific Quarterly Journal, 16(63) (2007) (in Persian).

[13] Akbarpour A., Gholami N., Saiedi A., “*Geochemical Exploration and Study on Combined Haloes of Elements in Soil Samples of Masjeddaghi Jolfa Area*”, Scientific Quarterly Journal of Geosciences, 18(69) (2008) 144-151. DOI: 10.22071/gsj.2009.57546(in Persian)

[14] Imamali pour A., Khatamian M. E., Oskoui R., Abdollahi Sharif J., “*Geological, Alteration and magnetic anomaly pattern of Masjeddaghi porphyry copper deposit (East of Julfa)*”, Advanced Applied Geology, 1(2) (2011) 77-89.. (in Persian).

[15] Laki Mahalleh m., Ranjineh Khojasteh E., “*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) (2015).

[16] Kaboodi Z., Ghaderi M., Rastad E., “*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) (2019) 145-154. DOI: 10.22071/gsj.2018.99677.1273 . (in Persian)

[17] Haghparast M., Barzegar H., Kazemi Mehrnia A., “*Geology, Petrography, and Mineralization of Kushk Bahram Copper Mineral Area (Zarandieh)*”, Markazi Province 8th National Conference on Geology, Payame Noor University(in Persian) (2014).

[18] Aghanbati S. A., “*Geology and Mineral Power of Markazi Province*”, Journal of Growth Education Geology Education Volume 16 Number 2, (2011).

[19] Yousefi S., alipourasl M., “*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) (2019) 203-214.

DOI: 10.22071/gsj.2018.82635.1090(in Persian)

[20] Amidi S.M., Shahrabi M., Nabavi I., “*Geological map of Zavieh 1:100000*”, Geological Survey and Mineral Exploration of Iran (2009).

[21] Hassani Pak a.a., “*Mineral Sampling*”, University of Tehran Press, Tehran. (in Persian) (1992).

[2] Ashofteh A., abedini A., Esmaeili D., “*Geochemical Exploration of drainage Sediments and Heavy Minerals in Sheet 1: 25,000 of the Qazvin*”, Journal of Environmental Science Studies, 4(3) (2019) 1720-1737. (in Persian)

[3] Solovov A. p., “*Geochemical Prospecting*, Mir Publisher”, Moscow, pp. 157-280 (1987).

[4] Zolfaghari A., Majidi Seyed Biglow S., Hazareh M., Nezafiti N., Khakzad A., “*Gold exploration based on geochemical data of stream sediments using factor analysis in Alishar area, Markazi province*”, Land and Resources, 23-30. (in Persian) (2010).

[5] Afzal P., Ahmadi K., Rahbar K., “*Application of fractal-wavelet analysis for separation of geochemical anomalies*”, Journal of African Earth Sciences, Vol: 128 (2017) p: 27-36.

[6] Yazdania M., Alinia F., “*Geochemical anomaly separation by statistical and fractal methods in the Sehezar Valley of Tonekabon–Northern Iran* (2019).

[7] Saeedi A., Gholami N., “*Geochemical Exploration in Zaviyeh 1:100,000 Sheet*”, Geochemical Exploration Department Geological Survey and Mineral Exploration of Iran (2011).

[8] Eghbali M. A., “*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) (2005).

[9] Asadi Harouni H., Tabatabai S.H., “*Mineralogical Characteristics - Molybdenum Porphyry Copper Index Alteration System*”, 13th Iranian Conference on Crystallography and Mineralogy(in Persian) (2006).

[10] Fazli N., Ghaderi M., Movahednia M., Maghfouri S., “*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) (2021) 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., “*Determination of Alishar Cu index (Markazi province) formation conditions using mineralogical and fluid inclusions data*”, Iranian Journal of Petrology, 6(21) (2015) 1-18. (in Persian).

[12] Akbarpour A., Rasa I., Mehrpartou M., “*Local and Marginal Mineralogy of Alteration*

- Environmental Geochemistry 'Elsevier Science B.V., (2009) pp. 147-187.
- [34] Reimann C., de Caritat P., "Establishing geochemical background variation and threshold values for 59 elements in Australian surface soil", Science of the Total Environment, Vol:578 (2017) P:633-648.
- [35] Goncalves M.A., Mateus A, Oliveira V., "Geochemical anomaly separation by multifractal modeling", J Geochem Explor 72 (2001) 91-114
- [36] Cheng Q., Agterberg F.P., Bonham-Carter G.F., "A spatial analysis method for geochemical anomaly separation", Journal of Geochemical Exploration 56 (1996) 183- 195
- [37] Mohammadzadeh Daroudi M., Safari Farfar R., "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., "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 (2014) p:233-241.
- [39] Alavijeh B. S., Rashidnejad-Omran N., Toksoy-Köksal F., Xu W., Ghalamghash J., "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) (2019) 725-751.
- [40] Robb L., "Introduction to Ore-forming Processes", Blackwell Publishing, Malden (2005) 373 pp.
- [41] Salehi L., Rasa I., Alirezaei S., Kazemi Mehrnia A., "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) (2016) 93-104. DOI: 10.22071/gsj.2016.41166 (in Persian)
- [42] Cabral A. R., "Volcanic Red Bed copper mineralization related to submarine basalt alteration, Mont Alexandre", Quebec Appalachians, Canada. Mineralium Deposita 42 (2007) 901- 912.
- [43] Boveiri Konari M., Rastad E., Rashidnejad Omran N., "VOLCANIC RED BED TYPE COPPER (-SILVER) MINERALIZATION IN KESHTMAHAKI DEPOSIT, NORTHWEST OF SAFASHAHR", SOUTHERN SANANDAJ
- [22] Yazdi M., "Conventional methods in exploration publications of Shahid Beheshti University", Tehran. (in Persian) (2002).
- [23] Baldwin G. J., "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 (2017) p. 1-2.
- [24] Marjoribanks R., "Geological Methods in Mineral Exploration and Mining", Second Edition, Springer (2010) p.248.
- [25] Hassani Pak a.a., "Principles of Geochemical Exploration, Eighth Edition", University of Tehran Press. Tehran(in Persian) (2012).
- [26] Hassani Pak a.a., Sharafoddin M., "Exploration Data Analysis, Third Edition", University of Tehran Press. Tehran(in Persian) (2011).
- [27] Kabata-Pendias A., Mukherjee A. B., "Trace Elements from Soil to Human", Springer, 550p. (2007).
- [28] Akbarpour A., Gholami N., Azizi H., Torab F., "Cluster and R-mode factor analyses on soil geochemical data of Masjed-Daghi exploration area, northwestern Iran", Arab J Geosci 1-12 (2012).
- [29] Zare-Chahoki M. A., "Methods of Multivariate Analysis with SPSS", Publications of Faculty of Natural Resources, Tehran University, Tehran. (In Persian) (2011).
- [30] Sheykhfakhreddini S., Abbasnezhad A., "Hydrogeochemical analysis of Bidkhan river in Bardsir, Kerman using principal component test and cluster analysis", Jurnal of environmental studies, Vol: 40 (2014) P: 139-152.
- [31] Jian B., Porwal A., Hart C., Ford A., Yu L., "Mapping geochemical singularity using multifractal analysis: application to anomaly definition on stream sediments data from Fun in Sheet", Yunnan, China. Journal of Geochemical Exploration (2010) 45:1-11.
- [32] Jian B., Porwal A., Hart C., Ford A., Yu L., "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 (2010)1-11.
- [33] Carranza E.J.M., "Chapter 6: Analysis of Geologic Controls on Mineral Occurrence", in. (Ed.): 'Handbook of Exploration and

- DOI: 10.22071/gsj.2015.42418 (in Persian).
- [50] Abolipour M., Rastad A., Rashid Nejad Omran N., "The role of pyrobitumen 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) (2011).
- [51] Samani Bahram, "Metallogeny of "mantle type" copper deposits in Iran", 6th conference of Geological Society of Iran, Kerman (2002).
- [52] Alizadeh V., Momenzadeh M., Emami H.M., "Petrography, geochemistry, mineralogy, fluid inclusions and mineralization study of Varezg-Qayen copper deposit", Geosciences 22 (2013) 47-58.
- [53] Shen P., Pan H., Li Z., Sun J., Shen Y., Li C., Cao C., "A Manto-type Cu deposit in the Central Asian Orogenic Belt: The Hongguleleng example (Xinjiang, China)", Ore Geology Reviews, 124 (2020) 103656.
- [54] Zhao L., Han J., Lu W., Liang P., Jourdan F., "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 (2020) 103601.
- SIRJAN ZONE. GEOSCIENCES, 24(93) (2014) 19-36. (in Persian)
- [44] Kojima S., Trista-Aguilera D., Hayashi K.I., "Genetic aspects of the Manto-type copper deposits based on geochemical studies of north Chilean deposits", Resour Geol 59(1) (2009) 87-98, DOI:10.1111/j.1751-3928.2008.00081.
- [45] Karimpour M. H., Saadat S., "Applied economic geology", Nature-Mashhad publication, Mashhad (2005).
- [46] Whitney D. L., Evans B. W., "Abbreviation for names of rock-forming minerals", American Mineralogist 95 (2010) 185-187.
- [47] Wilson N.S.F., Zentilli M., Spiro B., "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 (2003) 163-174.
- [48] Hosseinzadeh M., Maghfouri S., Moayyed M., "Introduction of Mari Copper Deposit as a Stratabound Manto-Type Copper Deposit in Tarom Zone, Northwest of Iran", Iranian Journal of Geology, 10(38) (2016) 17-37. (in Persian)
- [49] Abolipour M., Rastad E., Rashidnejad Omran N., "Manto-Type Copper Mineralization in Pyrobitumen-Bearing Porphyritic Andesite, Koshkoiye District of Rafsanjan, Dehaj-Sardoie Subzone", Scientific Quarterly Journal of Geosciences, 24(95) (2015) 123-144.