



## الگوی کانه‌زایی کانسار مس - طلا چهارگنبد (سیرجان)، با استفاده از مطالعات کانی‌شناسی، دگرسانی، ژئوشیمیایی و آزمونهای آماری چند متغیره

سید جابر یوسفی\*، عباس مرادیان

گروه زمین‌شناسی دانشگاه شهید باهنر کرمان

دریافت مقاله: ۱۳۹۰/۱۱/۱۶، پذیرش: ۱۳۹۱/۲/۱۱

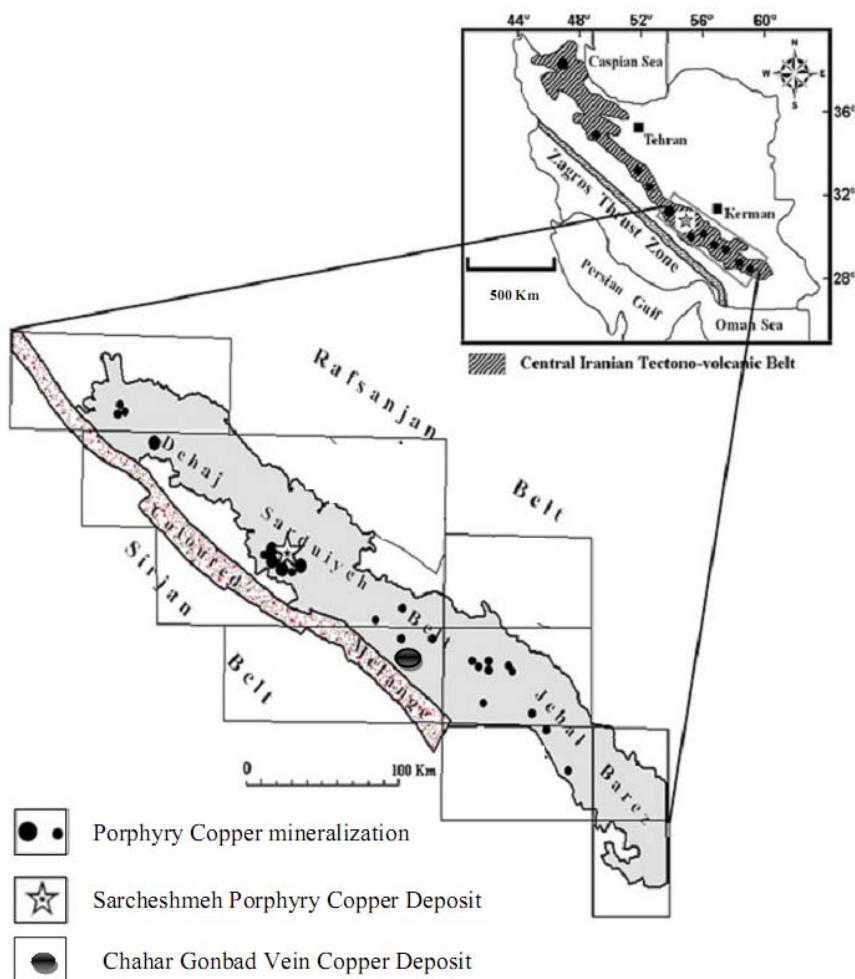
### چکیده

منطقه مورد مطالعه در جنوب‌شرق ایران، حدود ۱۱۰ کیلومتری جنوب‌غربی کرمان قرار گرفته است. واحدهای زمین‌شناسی در منطقه شامل سنگ‌های افیولیتی، سنگ‌های آتشفسانی، توده‌های نفوذی و سنگ‌های رسوبی می‌باشند. کانسارسازی در امتداد گسل چهارگنبد درون سنگ‌های آندزیتی، آندزیت بازالتی و توف‌های آندزیتی به صورت رگه‌ای رخ داده است. کانی‌سازی سولفیدی در سنگ‌های کانه‌زا به سه صورت انتشاری، رگه‌چهای و رگه‌ای دیده می‌شوند که در این میان، پیریت و کالکوپیریت مهم‌ترین کانه‌های سولفیدی می‌باشند. دگرسانی‌ها در منطقه مورد مطالعه شامل دگرسانی‌های آرژیلیک، فیلیک و پروپیلیتیک می‌باشند. عناصر طلا، بیسموت، مس، گوگرد و سلنیم نسبت به سایر عناصر غنی‌شدگی بالاتری دارند، غنی‌شدگی این عناصر نسبت به زمینه طبیعی منطقه به ترتیب ۳۲۱، ۳۲۱، ۵۰۳، ۳۹۳، ۷۰۳، ۲۰۸ و نسبت به کلارک ۴۰۱، ۵۳۲، ۲۲۲، ۱۰۱ و ۱۵۶ برابر می‌باشد. براساس آزمون‌های چند متغیره آماری، سه فاز اصلی کانه‌زایی در کانسار شناسایی شد که در اولین فاز، آرسنیک، کادمیم، سرب، روی و کلسیم در رگه‌های کلسیتی گرمابی غنی شده‌اند؛ در فاز دوم، مس، طلا، نقره، بیسموت، آهن و گوگرد درون رگه‌های سولفیدی غنی‌شدگی نشان می‌دهند و فاز سوم کانه‌زایی شامل غنی‌شدگی نیکل، منگنز، سلنیم و آنتیموان می‌باشد و مبین مرحله حدواسطی بین دو فاز کانه‌زایی قبلی است.

واژه‌های کلیدی: الگوی کانه‌زایی، کانسار مس، طلا، دگرسانی، ژئوشیمی، چهارگنبد، سیرجان.

۵۸۰-۲۹۰ جای گرفته است (شکل ۱). کانسار چهارگنبد در طی عملیات اکتشافی شرکت سهامی کل معادن درسال ۱۳۳۵ کشف گردید. با ادامه عملیات اکتشافی این نتیجه حاصل شد که کانسار چهارگنبد وسعت زیادی داشته و مستلزم اکتشاف دقیقی است، بدین منظور درسال ۱۳۴۵ طی قراردادی با مؤسسه ژئوفیزیکی و عملیات زمین‌شناسی یوگسلاوهای سابق، مطالعات اکتشافی وسیعی در منطقه صورت گرفت.

مقدمه  
کانه‌زایی رگه‌ای مرتبط با سیستم‌های پورفیری در ایران با توده‌های نفوذی گرانوودیوریتی به سن میوسن همراه است که در کمربند آتشفسانی، نفوذی سهند. بزمان واقع شده‌اند (شکل ۱) [۱]. فعالیتهای آتشفسانی، نفوذی و کانه‌زایی در کمربند آتشفسانی، نفوذی سهند. بزمان در ارتباط با فرورانش پوسته اقیانوسی نئوتیس به زیر ایران مرکزی در طول گسل رورانده زاگرس است [۲]. بخش جنوب‌شرقی کمربند آتشفسانی، نفوذی سهند. بزمان در استان کرمان قرار دارد و به کمربند فرعی دهچ- ساردوئیه معروف است [۳] و یکی از مناطق اصلی کانه‌زایی مس در ایران به شمار می‌رود [۴] که در آن بیش از ۵۰ کانسار و رخداد معدنی پورفیری و رگه‌ای شناسایی شده است [۵]. محدوده معدنی مس- طلا چهارگنبد در بخش جنوب‌شرقی ایران در حدود ۱۱۰ کیلومتری جنوب‌غربی کرمان در طول شرقی و ۱۹°-۵۶° عرض شمالی



شکل ۱. موقعیت زمین‌شناسی کانسار چهارگنبد در کمان ماقمایی سهند. [۶]

#### زمین‌شناسی منطقه مورد مطالعه

در منطقه چهارگنبد قدیمی‌ترین سنگها که دارای روند شمال‌غرب-جنوب‌شرق می‌باشند با عنوان آمیزه رنگین شناخته می‌شوند، که از مخلوط ناهمنگ سنگهای فوق بازی و چرت (رادیولاریت؟) تشکیل شده‌اند. این سازند با یک ناپیوستگی توسط سنگهای آندزیت ویتروفیر، بازالت‌های الیوین‌دار و توف آندزیتی با سن ائوسن پایانی-البگوسن آغازین پوشیده شده است که سازند علیمرادی نامیده می‌شود[۸]. غالب‌ترین سیمای چینه‌شناسی در منطقه موردن بررسی آهکها می‌باشند که به طور پیش‌روندهای از غرب تا شرق بر روی سنگهای دگرگونه و سازندهای آمیزه رنگین و علیمرادی قرار گرفته‌اند. این آهکها به عنوان عضو سعیدآباد شناخته می‌شوند. در بالای این عضو یک توالی از ماسه سنگهای دانه درشت و کنگلومرای حاوی قطعات آهکی و یا

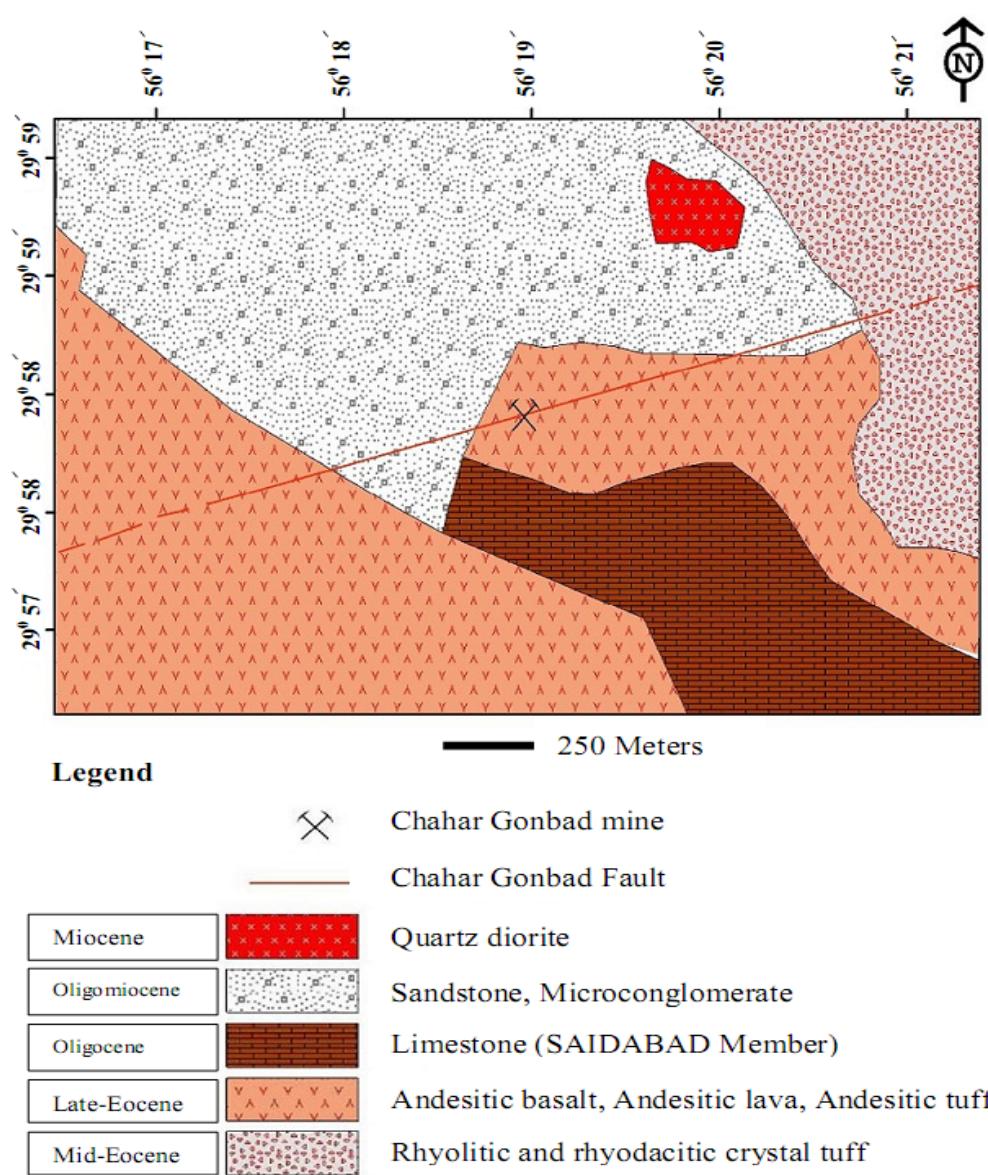
در سال ۱۳۷۰ شرکت سهامی کل معادن پس از وقفه‌ای ۲۰ ساله، اقدام به راه اندازی و شروع مجدد فعالیت در کانسار چهارگنبد کرد. بعد از این تاکنون طرحهای اکتشافی متعددی در این محدوده صورت گرفته و منجر به استخراج مس به صورت روباز و زیر زمینی شده است[۷]. میانگین مقادیر مس، طلا و نقره در کانسار چهارگنبد به ترتیب  $19/24\%$ ،  $15/5\text{ppm}$  و  $355\text{ppm}$  می‌باشد[۸]. با وجود مطالعاتی که تاکنون در محدوده معدنی چهارگنبد صورت گرفته است تاکنون الگوی کانه‌زایی برای این کانسار ارائه نشده است لذا هدف اصلی این پژوهش مشخص نمودن الگوی کانه‌زایی در این کانسار می‌باشد که برای این امر از مطالعات کانی‌شناسی، دگرسانی، ژئوشیمی تودهی معدنی و آزمونهای آماری چند متغیره استفاده شده است.

پودر شده در محلول چهار اسید شامل اسید نیتریک ۸۰٪، اسید فلوریک، اسید کلریک و اسید پرکلریک، نمونه‌های محلول برای تجزیه شیمیایی به آزمایشگاه Labwest استرالیا ارسال و برای تجزیه عنصر از روش ICP-MS استفاده گردید. برای بررسی دقت اندازه‌گیری، یک نمونه تکراری در بین نمونه‌ها ارسالی قرار داده شد و همراه با سایر نمونه‌ها مورد تجزیه شیمیایی قرار گرفت. با بررسی مقادیر عناصر در نمونه‌های تکراری و تعیین درصد خطا توسط فرمول  $\frac{25}{1000}$  مشخص شد که خطای به دست آمده کمتر از ۱۰٪ بوده و لذا تجزیه شیمیایی عناصر از دقت قابل قبولی برخوردار بوده‌اند. با توجه به نتایج کنترل کیفیت داده‌ها (QC) مشخص شد که داده‌ها دارای صحت مورد قبول نیز می‌باشند. برای پردازش روی مقادیر عناصر و تحلیل آماری آنها از نرم افزار SPSS.16 و Excel در محیط Windows XP استفاده گردید. در این مقاله برای بررسیهای کانی‌شناسی از میکروسکپ نوری Olympus B-12 در آزمایشگاه سنگ‌شناسی دانشگاه شهیدبهشت کرمان استفاده گردید. برای بررسی ژئوشیمیایی نمونه‌های سنگی ابتدا بر طبق جدول خلاصه آماری و نمودارهای فراوانی توزیع آماری عناصر مورد تحلیل قرار گرفت، سپس برای تعیین میزان افزودگی و کاهیدگی عناصر در سنگهای منطقه مقادیر متوسط عناصر نسبت به دو مرجع کلارک و زمینه طبیعی (زمینه طبیعی عبارت از سنگ غیردگرسان و غیر هوازدهای می‌باشد که نشان دهنده مقادیر طبیعی عناصر در سنگهای منطقه است) سنجیده شد. برای بی‌بردن به روابط ژئوشیمیایی بین عناصر مختلف ضریب همبستگی پیرسون (Pearson Correlation) در سطح ۹۹/۹۹٪ و ۹۹/۹۵٪ محاسبه گردید. برای تعیین فازهای مختلف کانه‌زایی از آزمون PCA استفاده شد. آزمون PCA یک روش آماری مناسب برای ارزیابی ارتباط بین متغیرهای آماری (در اینجا عناصر) از طریق کاهش پیچیدگی بین مجموعه داده‌های است. برای این منظور آزمون PCA متغیرهای آماری را در یک قالب جدید با حذف متغیرهای غیرضروری و بر جسته کردن متغیرهای با درجه اهمیت بالا، بررسی می‌کند. درجه اهمیت متغیرهای جدید براساس شاخص کایزر [۹] تعیین می‌گردد. براین اساس در متغیرهای جدید تنها مواردی که دارای شاخص بزرگ‌تر از یک هستند دارای اهمیت بوده و در تحلیل آماری بررسی می‌شوند.

توالی ضخیم از سنگهای پیروکلاستیک زیردریایی، گریوک، مارن و آهک نودولی دیده می‌شود که سازند چهارگنبد نامیده می‌شود. سن تعیین شده برای این سازند محدوده بالایی می‌وسن میانی است [۸]. بعد از میوسن میانی، چین خوردگی و گسلش بر منطقه تأثیر گذاشته‌اند. توده‌های نفوذی دیوریت امتداد ساختارها (زون‌های گسله اصلی) فعالیت گرمابی باعث کانه‌زایی کالکوپیریت و مقادیر فرعی از اسفالریت و گالن شده است که در محل تقاطع گسل‌ها، کانه‌زایی شدیدتر می‌باشد. در نهایت یک کنگلومرا با سن احتمالی پلیستوسن چین خوردگی چهارگنبد را پوشانده است [۸]. با بررسیهای صحرایی انجام شده، واحدهای زمین‌شناسی در گستره مورد مطالعه را می‌توان به ۴ دسته کلی تقسیم کرد: که شامل ۱- سنگهای افیولیتی، ۲- سنگهای آتشفسناتی، ۳- توده‌های نفوذی و ۴- سنگهای رسوبی می‌باشند. سنگهای افیولیتی در منطقه شامل رگه‌های لیسونیتی، سنگهای سرپانتینی شده، گابرو دگرسان شده، سنگهای اسپیلیتی با میان لایه‌های آهک، پلازیک و سنگهای اسپیلیتی همراه با توف و رادیولاریت، آگلومرا (اسپیلیتی- دیابازی) همراه با دایک‌های دیابازی می‌باشند. سنگهای آتشفسناتی منطقه شامل توف‌های بلوری ریولیتی- ریوداسیتی با رنگ روشن، توف و برش‌های تراکیتی و آندزیتی با میان لایه‌هایی از گدازه‌های آندزیتی است. سنگهای نفوذی در منطقه را می‌توان به دو دسته سنگهای گرانیت- گرانودیوریت و کوارتز دیوریت تقسیم نمود. واحدهای رسوبی در منطقه شامل سنگهای آهک پلازیک، سنگ آهک بلورین با لایه‌بندی ضخیم، تناوب ماسه سنگهای زرد رنگ با سنگ آهک نومولیت‌دار خاکستری رنگ با لایه بندی خوب، ماسه سنگ و میکروکنگلومرا و سنگهای آهکی با فسیل‌های اسفنج و جلبک می‌باشد.

#### روش مطالعه

برای مطالعات کانی‌شناسی و ژئوشیمیایی سنگهای محدوده معدنی چهارگنبد بعد از مطالعات صحرایی تعداد ۱۸ نمونه سنگی برداشت گردید. از نمونه‌های برداشت شده، بعد از انتقال به آزمایشگاه، جهت مطالعات کانی‌شناسی مقاطع نازک و صیقلی تهیه گردید. برای مطالعات ژئوشیمیایی، نمونه‌های سنگی با هاون چینی پودر گردید و بعد از احلال نمونه‌های



شکل ۲. نقشه زمین‌شناسی محدوده‌ی معنی چهارگنبد.

نمودارهای خوشه‌ای استفاده شده است و فواصل بین خوشه‌ها نیز با استفاده از ضریب همبستگی پیرسون (Pearson) مرتب شده‌اند.

#### بحث و بررسی

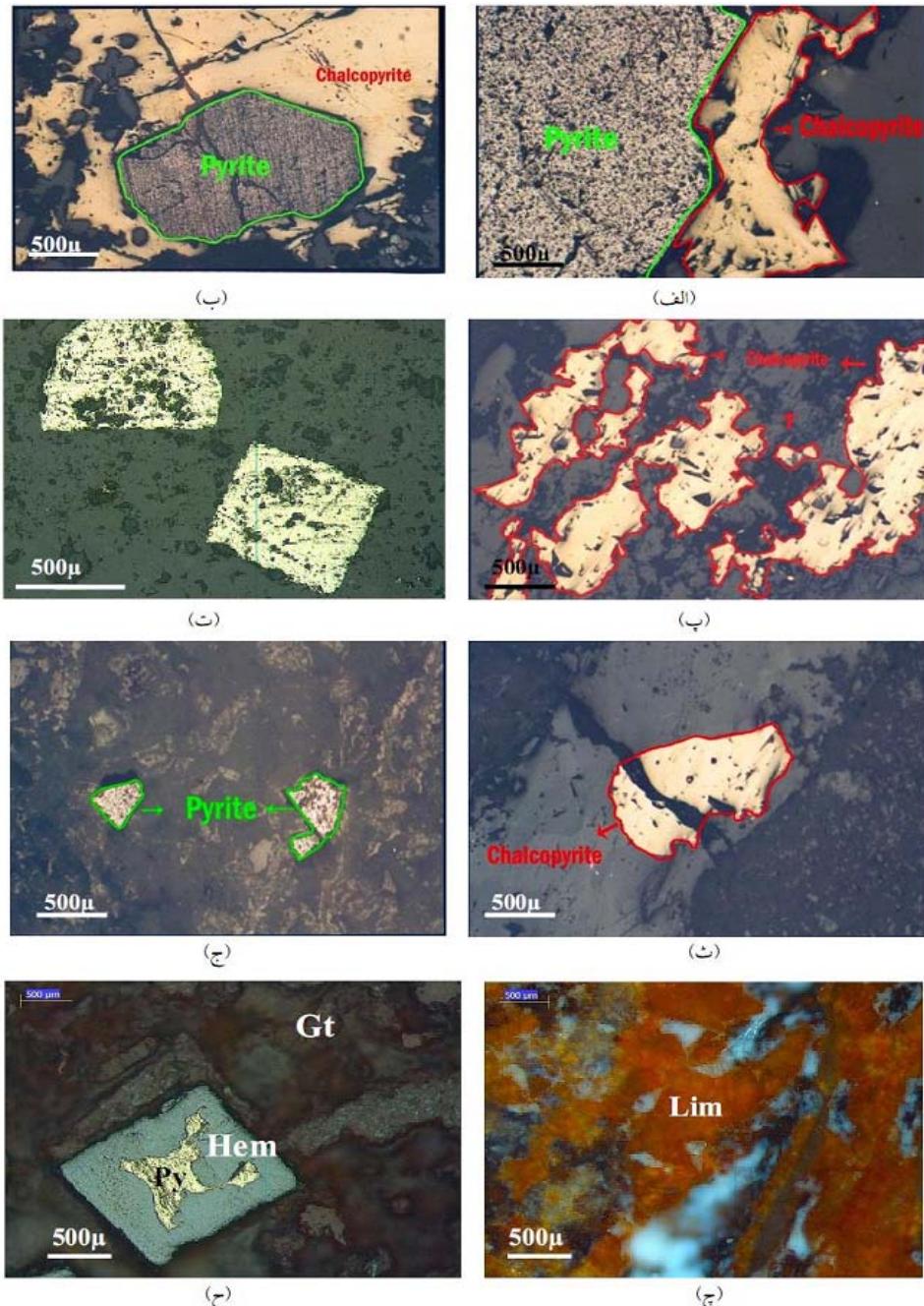
کانه‌زایی در معدن چهارگنبد در اثر عبور سیالات گرمایی در طول سیستم گسلی چهارگنبد و در سنگهای دیواره آندزیتی، آندزیت بازالتی و توفها به وجود آمده است، فرم کانسارسازی به صورت رگه‌ای و عدسی شکل در امتداد شمال‌شرق-جنوب‌غرب و با شیب ۷۶ درجه در جهت شمال‌غرب می‌باشد. با

هر کدام از متغیرهای جدید درصد مشخصی از واریانس داده‌ها را شامل می‌شوند که معمولاً مؤلفه اول بیشترین مقدار واریانس را داشته و به تدریج مؤلفه‌ی بعدی دارای واریانس کمتری خواهد بود [۱۰]، و همچنین برای دسته عناصر بر اساس روابط ژئوشیمیابی بین آنها، آنالیز خوشه‌ای روی نمونه‌ها انجام شد. در آنالیز خوشه‌ای عناصر و یا متغیرهای آماری براساس میزان همبستگی آماری (ناشی از رفتار ژئوشیمیابی بین عناصر) به خوشه‌ها و یا شاخه‌هایی تقسیم می‌شوند که بیانگر میزان ارتباط آنها با یکدیگر است. در اینجا از روش آماری بین گروهی (Within groups) برای رسم

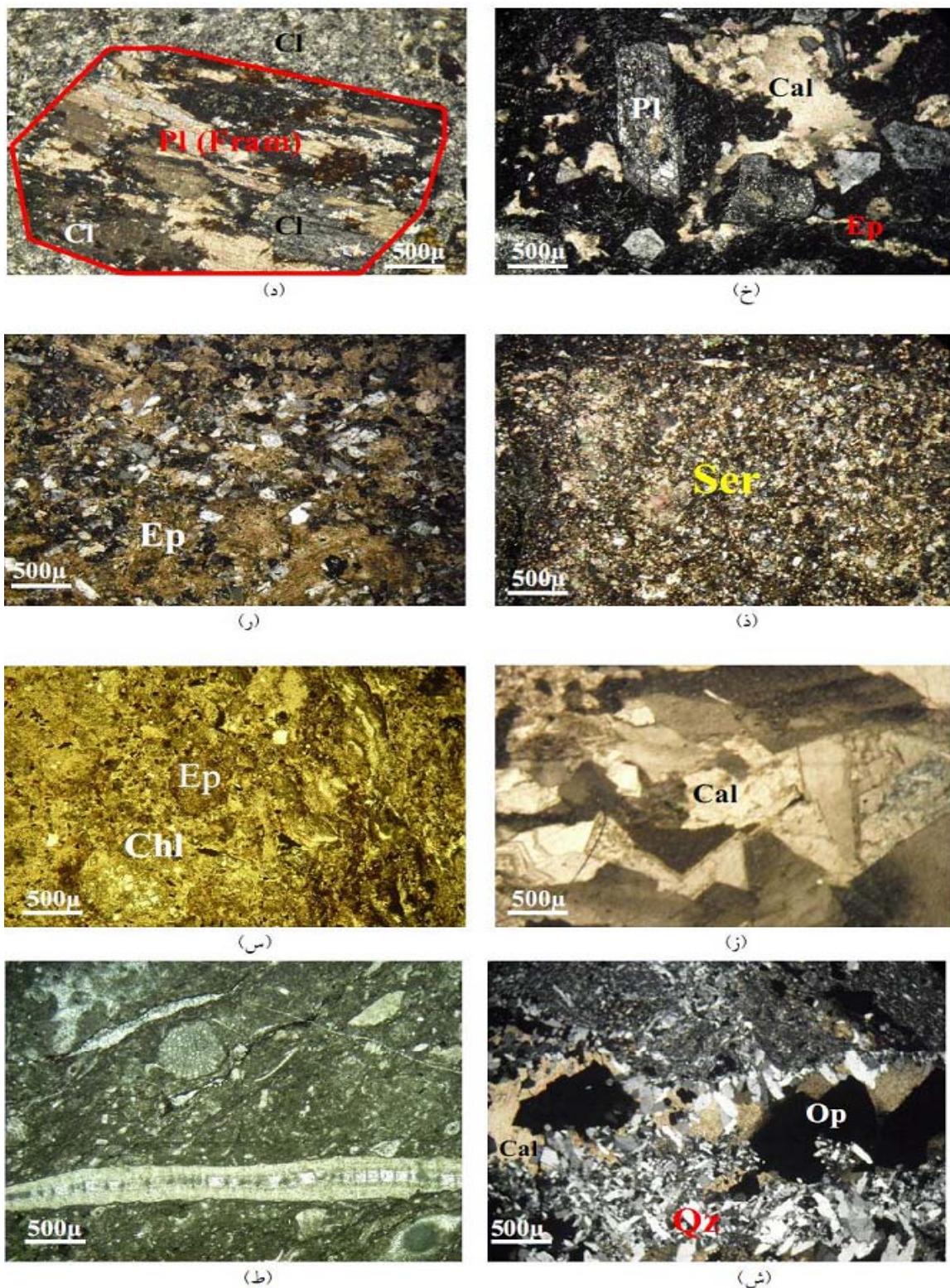
## کانی‌شناسی

در محدوده معدنی چهارگنبد کانه‌زایی به دو شکل اولیه و ثانویه و به صورت فلزی و غیر فلزی انجام شده است (شکل ۳ و ۴).

توجه به حضور فسیل لپیدوسلکلینا (*Lepidocyclina*) در لایه‌های آهکی که توسط توده معدنی قطع گردیده، می‌توان گفت که کانه‌زایی احتمالاً در ائوسن میانی تا میوسن زیرین (اکیتانین) یا بعد از آن اتفاق افتاده است (شکل ۴ ط).



شکل ۳. تصاویر میکروسکوپی (نور انعکاسی) کانی‌ای سنگهای کانه‌زا: (الف)، (ب) و (پ) کانی‌سازی پیریت و کالکوپیریت به صورت رگ‌چهای در رگ‌های سیلیسی. (ت) و (ج) کانه‌زایی پیریت به صورت انتشاری در سنگهای توفی. (ث) کالکوپیریت به صورت ادخال در رگ سیلیسی. (ج) کانی‌لیمونیت در اثر اکسیداسیون کانیهای سولفیدی در گوسان. (ح) هوارددگی پیریت؛ پیریت در وسط؛ هماتیت در حاشیه پیریت و گوتیت در اطراف هماتیت (Gt گوتیت، Hem هماتیت، Lim لیمونیت، Py پیریت).



شکل ۴. تصاویر میکروسکوپی (نور عبوری) کانیهای سنگهای دیواره و اطراف معدن خ) کانی پلازیوکلаз دگرسان شده، کلسیت ثانویه و اپیدوت نشان دهنده دگرسانی پروپیلیتیک. (د) کانی رسی در زمینه سنک و قالب پلازیوکلاز که در بعضی نقاط تبدیل به کانی رسی شده که مشخص کننده دگرسانی رسی (آرژیلیک) می‌باشد. (ذ) کانی سرسیت در تمامی مقطع، نشان دهنده دگرسانی فیلیک. ر) و س) کانی اپیدوت و کلسیت در زمینه سنگ، ناشی از تأثیر دگرسانی پروپیلیتیک بر سنگهای منطقه. ش) کانی سازی گرمابی کوارتز با بافت شانه‌ای و کلسیت همراه با کانیهای اپک کلسیت، Pl پلازیوکلاز، Ep اپیدوت، Chl سرسیت، Cl کانی رسی، Op کانی اپک، Qz کوارتز.

مس در معدن چهارگنبد است. این کانی نسبت به پیریت در سنگهای میزبان تمرکز کمتری دارد. کالکوپیریت در سنگهای میزبان منطقه به دو صورت رگ‌چهای و رگهای همراه با پیریت دیده می‌شود (شکل ۳ الف تا پ). در مقاطع صیقلی کالکوپیریت به صورت نیمه شکل‌دار است که گاهی تا ۴۰ درصد سنگ را تشکیل می‌دهد. کالکوپیریت در سطح تحت تأثیر هوازدگی تبدیل به مالاکیت و آزوریت شده است که این کانیها از گسترش کمی برخوردار هستند. هماتیت با فرمول  $\text{Fe}_2\text{O}_3$  در گوسان‌های منطقه بیشترین گسترش را دارد (شکل ۳ ح و ۵) بنابراین مشخص می‌شود که این کانی به صورت ثانویه در نتیجه هوازدگی و تخریب کانیهای سولفیدی تشکیل شده است. هماتیت در مقاطع صیقلی در اطراف کانی پیریت دیده می‌شود که نشان دهنده هوازدگی و تخریب اکسید آهن می‌توان به کانیهای گوتیت ( $\text{FeO}(\text{OH})$ ) و لیمونیت ( $\text{Fe}_2\text{O}_3 \cdot \text{H}_2\text{O}$ ) اشاره کرد (شکل ۳ ح و ح) این کانیها همراه با هماتیت در زون دگرسانی فیلیک که در سطح قرار دارد، دیده می‌شوند و باعث تغییر رنگ آن شده‌اند. کانیهای غیرفلزی شامل کوارتز و کلسیت می‌باشند که از مهمترین کانیهای گانگ در کانسار مورد مطالعه به شمار می‌روند. این کانیها به صورت رگهای و رگ‌چهای در سنگهای کانه‌زا همراه با کانی پیریت دیده می‌شوند (شکل ۴ ش) که نشان دهنده تنشیست آنها از محلولهای گرمابی همراه با کانی پیریت در طی فرآیندهای کانسارسازی می‌باشد.

کانیهای فلزی که شامل کانیهای پیریت و کالکوپیریت می‌باشند به صورت رگهای، رگ‌چهای و انتشاری در سنگ میزبانهای ولکانیکی حضور دارند (شکل ۳ الف تا ج). سایر کانیهای فلزی در منطقه شامل کانیهای ثانویه هماتیت، گوتیت و لیمونیت می‌باشد که در گوسان‌های منطقه حضور دارند (شکل ۳ ح و ح). کانیهای غیرفلزی کوارتز (با بافت شانه‌ای) و کلسیت به صورت رگهای درون سنگهای کانسارسازی شده حضور دارند که احتمالاً توسط محلولهای گرمابی ته نشین شده‌اند (شکل ۴ ش). پیریت با فرمول  $\text{FeS}_2$  دارای بیشترین تمرکز در سنگهای کانه‌زا می‌باشد. این کانی به صورت انتشاری در اندازه کمتر از یک میلی‌متر، به شکل رگه‌چهای با ضخامت کمتر از ۱ سانتی‌متر و به حالت رگهای در ضخامت بیش از ۱۰ سانتی‌متر شکل (۶) در سنگهای میزبان حضور دارد. بیشترین درصد پیریت مربوط به رگهایی است که در محل تقاطع گسل چهارگنبد با گسل مضطرب وجود دارند که در برخی موارد تا ۷۵ درصد رگه را تشکیل می‌دهند. این کانی به صورت نیمه شکل‌دار همراه با کانیهای کالکوپیریت، کوارتز گرمابی و کلسیت گرمابی دیده می‌شود. بنابراین مشخص می‌شود که پیریت به سه صورت مختلف در سنگهای میزبان منطقه تشکیل شده است. در اولین حالت پیریت به صورت انتشاری در سنگهای توفی (که تحت تأثیر دگرگونی مجاورتی هورنفلسی شده‌اند)، دومین حالت پیریت به صورت رگه‌چهای در رگه‌های کوارتز و کلسیت گرمابی و در سومین حالت پیریت در رگه‌های ضخیم همراه با کالکوپیریت شکل گرفته‌است. کالکوپیریت با فرمول  $\text{CuFeS}_2$  کانه اصلی



شکل ۵. گوسان هماتیتی در دیوارهای بالایی کانسار چهارگنبد.

پلازیوکلار به کانیهای رسی دیده می‌شود که به دلیل شدت دگرسانی تنها شکل ایدیومرف پلازیوکلارها باقی مانده است. این دگرسانی در کانسار چهارگندب سنگهای آندزیتی و توفها را تحت تأثیر قرار داده و با کانیهای رسی و سریست مشخص می‌باشد.

#### دگرسانی فیلیک

دگرسانی فیلیک یا سریست در نتیجه شسته شدن سدیم و کلسیم از کانیهای آلومینوسیلیکاتی و منیزیم‌دار به وجود می‌آید [۱۴] کانیهای شاخص این دگرسانی شامل مجموعه سریست، بیوتیت، هیدرومیکا و کلریت [۱۲]، سریست، کوارتز [۱۵] و سریست، کوارتز، پیریت، کلریت [۱۳] است. این دگرسانی در کانسار چهارگندب به رنگ خاکستری روشن دیده می‌شود و سنگهای میزبان آندزیتی و پیروکلاستیکی را تحت تأثیر قرار داده است. شکل (۴) تبدیل پلازیوکلار به سریست را نشان می‌دهد. به طور کلی اجتماع پیریت، کوارتز، سریست همراه با کانیهای رسی ویژگی عمدۀ این دگرسانی در کانسار چهارگندب است. پیریت مهمترین کانی سولفیدی در این زون است که به صورت انتشاری و رگه‌ای دیده می‌شود (شکل ۶).

#### دگرسانی

با مطالعات صحرایی و مقاطع نازک سه نوع دگرسانی در ارتباط با فرایندهای کانسارسازی در کانسار چهارگندب شناسایی شد. این دگرسانیها غالباً در سنگهای میزبان اطراف گسل چهارگندب دیده می‌شود. در سنگهای دیواره نزدیک زون گسلی دگرسانی آرژیلیک پیشرفتۀ حضور دارد که در نتیجه فرایندهای گرمابی تشکیل شده است. با فاصله گرفتن از زون گسلی، دگرسانی فیلیک جایگزین زون آرژیلیک پیشرفتۀ می‌شود. آخرین دگرسانی دگرسانی زون پیروپیلیتیک می‌باشد که در سنگهای محدوده‌ی بیرونی کانسار گسترش یافته است.

#### دگرسانی آرژیلیک پیشرفتۀ

دگرسانی آرژیلیک با مجموعه کانیایی کائولینیت- مسکویت [۱۱]، کائولینیت- مونتموریلونیت- کلریت [۱۲]، کائولینیت- دیکیت- پیروفیلیت (آرژیلیک پیشرفتۀ) و کائولینیت- مونتموریلونیت- کلریت (آرژیلیک متوسط) [۱۳] مشخص می‌شود. در کانسار رگه‌ای چهارگندب زون آرژیلیک بر اساس تجزیه‌های XRD غالباً از کانی کائولینیت، دیکیت و پیروفیلیت تشکیل شده است. لذا این زون احتمالاً در نتیجه عبور سیالات گرمابی با pH پایین از میان زون گسلی چهارگندب تشکیل شده است. در شکل (۴) تبدیل کانی



شکل ۶. دگرسانی فیلیک و حضور رگه سولفیدی در آن.

دگرسانی پروپیلیتیک در کانسار چهارگندب به صورت زون سبز رنگی در خارجی‌ترین قسمت کانسار دیده می‌شود. آندزیتها که دگرسانی پروپیلیتیک را تحمل نموده‌اند اغلب دانه ریز بوده و به رنگ سبز همراه با رگه‌های فراوان کوارتز و کلسیت

#### دگرسانی پروپیلیتیک

دگرسانی پروپیلیتیک تحت تأثیر آبهای جوی و ماقمایی تشکیل، و توسط مجموعه کانیایی سریست- اپیدوت- کلریت- کلسیت [۱۱] و کلریت- اپیدوت [۱۲] شناخته می‌شود.

کادمیوم، کبات، مولیبدن، نیکل، روی، گوگرد، آنتیموان و سلنیم بیانگر دو جمعیت، و نمودار فراوانی سرب، آهن، مس، نشان دهنده سه جمعیت و نمودار فراوانی منگنز نمایانگر یک جمعیت در سنگهای کانه‌زا، کانسار چهارگنبد می‌باشد. به منظور بررسی میزان غنی‌شدگی عناصر مذکور در کانسار مورد مطالعه میانگین عناصر نسبت به دو مرجع کلارک و زمینه طبیعی این عناصر در سنگهای منطقه (زمینه طبیعی عبارت از سنگی که در خارج از محدوده کانسارسازی در منطقه بوده و فاقد هر گونه دگرسانی و هوازدگی است، در این پژوهش جنس سنگ آندزیز می‌باشد) و نتایج آن در شکل (۸ و ۹) ارائه شده است. بنابر نمودارهای شکل (۸ و ۹) مشخص می‌شود که عناصر طلا، بیسموت، مس، گوگرد و سلنیم نسبت به بقیه عناصر غنی‌شدگی بالاتری دارند، غنی‌شدگی این عناصر نسبت به زمینه طبیعی منطقه به ترتیب ۳۲۱، ۵۰۳، ۳۹۳، ۷۰۳، ۲۰۸ و نسبت به کلارک ۴۰۱، ۲۲۲، ۵۳۲، ۱۰۱ و ۱۵۶ برابر می‌باشد.

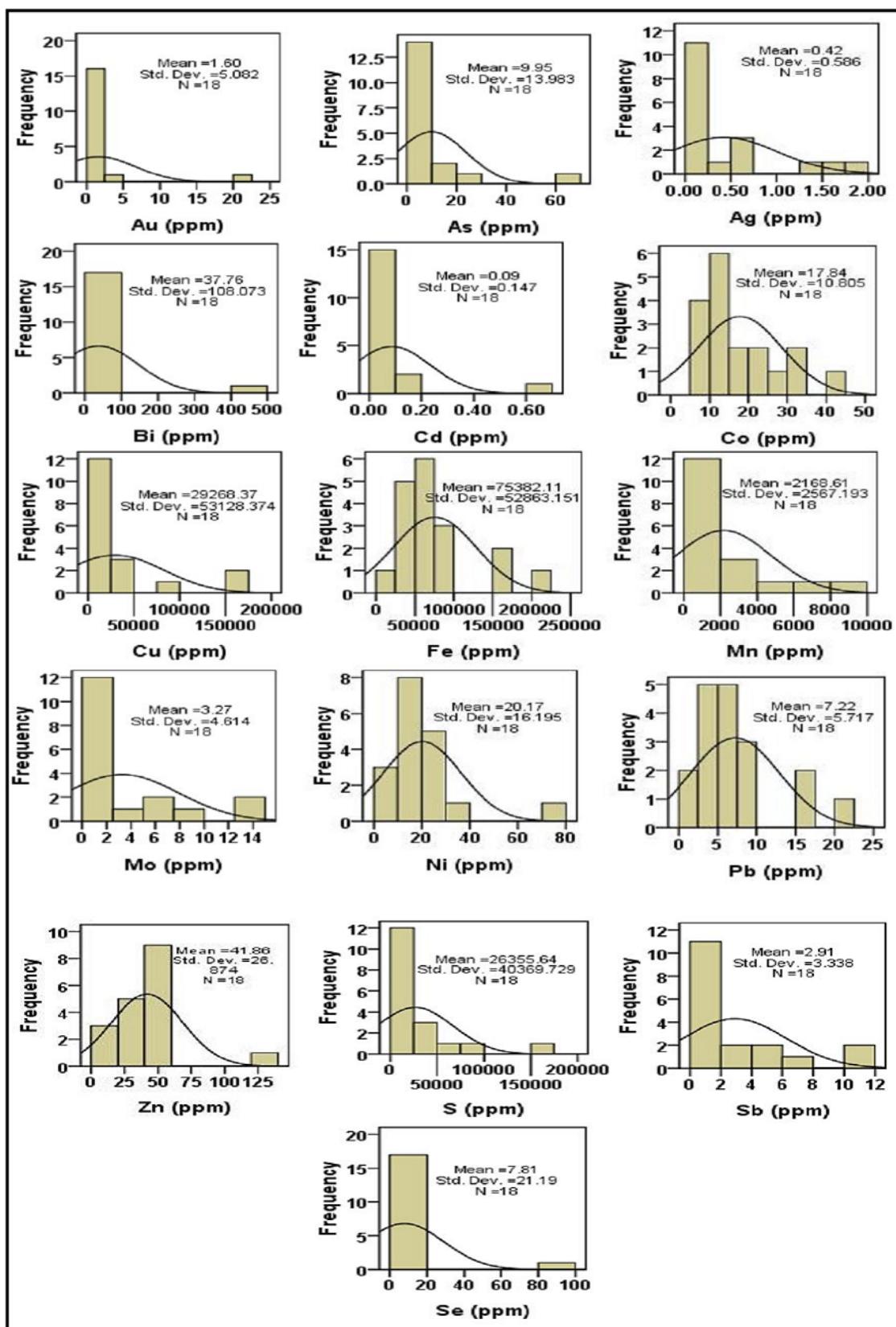
شناخته می‌شوند. در مقاطع نازک این دگرسانی کانیهای پلازیوکلаз به سریست، کلسیت، اپیدوت و کلریت تبدیل شده‌اند (شکل ۴ خ و س).

#### بررسیهای ژئوشیمیابی بررسی فراوانی و توزیع آماری و ضریب غنی‌شدگی عناصر در سنگهای کانه‌زا

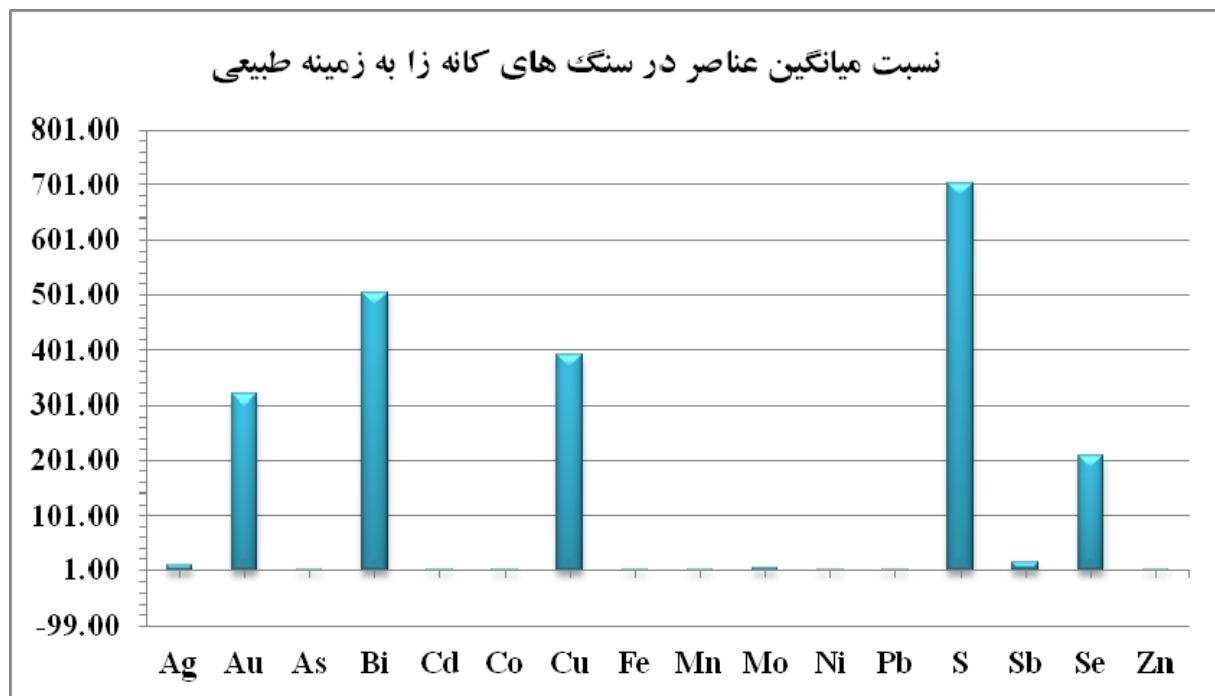
به منظور بررسی ژئوشیمیابی عناصر در سنگهای کانه‌زا منطقه مورد مطالعه، نتایج حاصل از تجزیه شیمیابی عناصر توسط پارامترهای آماری مختلف مورد تحلیل و تفسیر قرار گرفت. در جدول (۱) و شکل (۷) خلاصه آماری و نمودارهای فراوانی مربوط به عناصر در سنگهای کانه‌زا آورده شده است. با توجه به مقدار چوگنی در جدول (۱) و شکل (۷) مشخص می‌شود که توزیع آماری نقره، طلا، آرسنیک، بیسموت، کادمیم، مس، آهن، منگنز، مولیبدن، نیکل، سرب، گوگرد، آنتیموان، سلنیم و روی غیرعادی است؛ و توزیع آماری کبات نزدیک به عادی می‌باشد. نمودارهای فراوانی طلا، آرسنیک، نقره، بیسموت،

جدول ۱. خلاصه آماری عناصر در سنگهای کانه‌زا کانسار چهارگنبد.

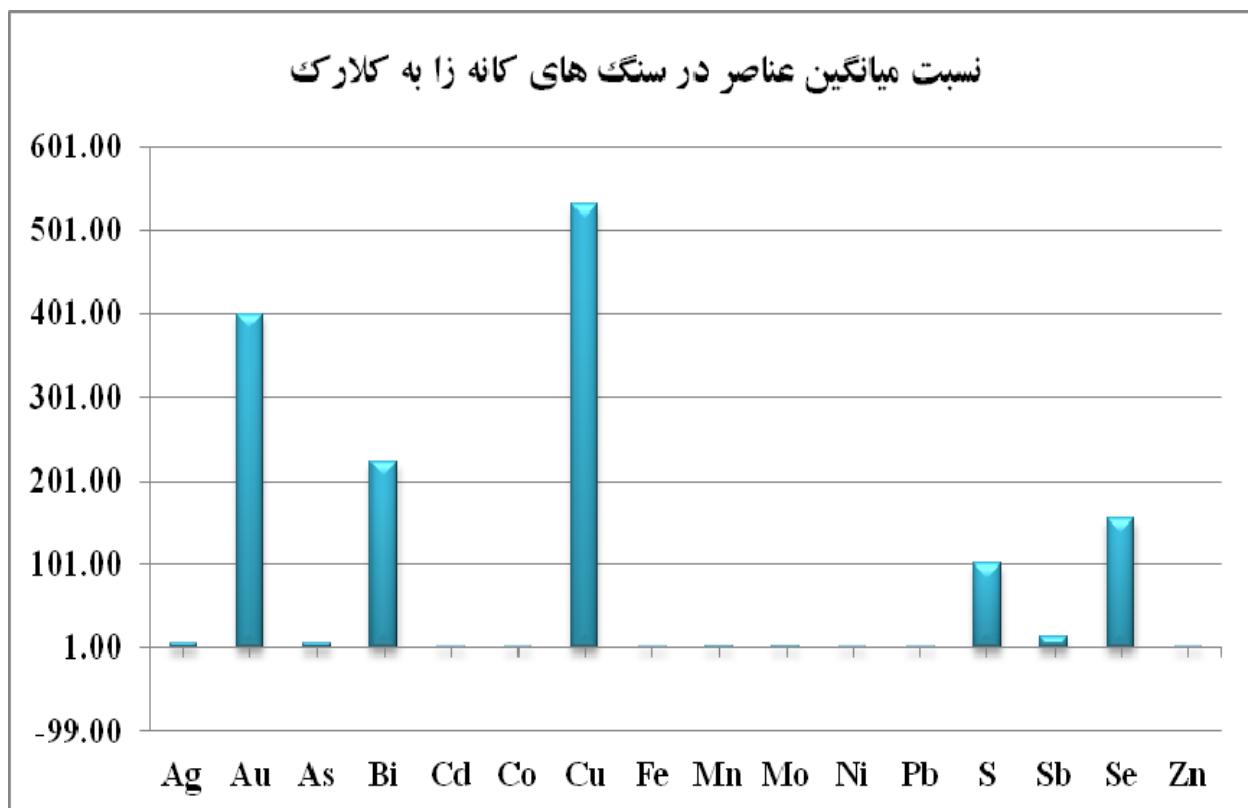
	میانگین	میانه	نما	چوگنی	دامنه تغییرات	حداقل	حداکثر
Ag	۰/۴۲	۰/۰۸	۰/۰۳	۱/۵۹	۱/۷۷	۰/۰۳	۱/۸
Au	۱/۶	۰/۰۳	۰/۰۰۵	۴/۰۹	۲۱/۷۲	۰/۰۰۵	۲۱/۷۳
As	۹/۹۵	۵/۴	۴/۴	۳/۳۴	۵۹/۴	۲/۱	۶۱/۵
Bi	۳۷/۷۶	۲	۰/۱	۲/۹۲	۴۵۹/۹	۰/۱	۴۶۰
Cd	۰/۰۹	۰/۰۴	۰/۰۴	۳/۹۲	۰/۶۲	۰/۰۴	۰/۶۶
Co	۱۷/۸۴	۱۳/۰۵	۶	۰/۹۵	۳۶/۷	۶	۴۲/۷
Cu	۲۹۲۶۸/۳۷	۱۵۵/۱۵	۶	۱/۹۶	۱۶۷۹۹۴	۶	۱۶۸۰۰
Fe	۷۵۳۸۲/۱۱	۶۰۷۳۸/۵	۲۴۸۲۷	۱/۵۴	۱۸۲۴۷۵	۲۴۸۲۷	۲۰۷۳۰۲
Mn	۲۱۶۸/۶۱	۸۹۵/۵	۱۸۰	۱/۹۳	۹۳۵۶	۱۸۰	۹۵۳۶
Mo	۳/۲۷	۰/۸۵	۰/۳	۱/۶۱	۱۴	۰/۱	۱۴/۱
Ni	۲۰/۱۷	۱۵	۱۵	۲/۷۴	۷۳	۴	۷۷
Pb	۷/۲۲	۵/۱	۵	۱/۵۸	۲۰	۲	۲۲
S	۲۶۳۵۵/۶۴	۱۱۹۵۰	۳۷/۵	۲/۳۲	۱۵۴۹۶۲/۵	۳۷/۵	۱۵۵۰۰
Sb	۲/۹۱	۱	۰/۶	۱/۶	۱۰/۶	۰/۵	۱۱/۱
Se	۷/۸۱	۰/۵۶	۰/۳۸	۳/۹۹	۹۰/۹۳	۰/۱۵	۹۱/۰۸
Zn	۴۱/۸۶	۴۳/۸۵	۱۲	۲/۰۸	۱۱۸/۱	۱۲	۱۳۰/۱



شکل ۷. نمودارهای فراوانی عناصر در سنگهای کانه‌زا کانسار چهارگنبد.



شکل ۸. میزان غنی‌شدگی عناصر در سنگهای کانه‌زا نسبت به زمینه طبیعی منطقه.



شکل ۹. میزان غنی‌شدگی عناصر در سنگهای کانه‌زا نسبت به زمینه طبیعی منطقه.

همبستگی را با مس، آهن و گوگرد دارد، از این رو مشخص می‌شود که نقره در کانی کالکوپیریت جانشین مس و آهن شده است. ۵. طلا با بیسموت، مس، آهن و گوگرد دارای ضریب همبستگی معنی‌دار در سطح ۹۹ درصد می‌باشد؛ که در این میان بالاترین و پایین‌ترین ضریب همبستگی را به ترتیب با بیسموت و آهن داشته است، لذا احتمالاً طلا در کانیهای بیسموت‌دار نظیر ویتیچینیت جانشین شده است. ۶. آهن در سطح اطمینان ۹۹ درصد با عناصر منگنز، نیکل، گوگرد، آنتیموان و سلنیم دارای ضریب همبستگی معنی‌دار است، که در این میان بیشترین ضریب همبستگی را با گوگرد و سلنیم دارد، که این امر احتمالاً ناشی از جانشینی سلنیم به جای گوگرد در کانیهای سولفیدی نظیر پیریت می‌باشد و همچنین منگنز و نیکل نیز احتمالاً جانشین آهن شده‌اند.

#### الگوی احتمالی کانسارسازی در منطقه

در منطقه چهارگنبد توالیهای سنگی شامل سنگهای توفی و پیروکلاستیک، سنگهای ولکانیکی آندزیتی و آندزیت بازلتی و سنگهای رسوبی شامل ماسه‌سنگ، آهک‌ماسه‌ای و آهک می‌باشد. همچنین توده‌های نفوذی وسیعی همچون توده نفوذی تخت در منطقه وجود دارد که باعث ایجاد دگرسانیهای وسیعی در منطقه شده‌اند. در محدوده معدنی مس چهارگنبد کاندزایی مس- طلا به صورت رگه‌ای در امتداد گسلهای اصلی چهارگنبد و مضطرب اتفاق افتاده است. دگرسانیهای موجود در منطقه شامل دگرسانی پروپیلیتیک (در سنگهای محدوده بیرونی معدن)، دگرسانی فیلیک (در سنگهای دیواره معدن) و دگرسانی آرژیلیک پیشرفت‌هه (در محل تقاطع گسل چهارگنبد و مضطرب) می‌باشد. کانسارسازی در سنگهای کانهزا در سه نوع انتشاری (کانیهای سولفیدی ریز با قطر کمتر از ۱ میلی‌متر در سنگهای توفی)، کانسارسازی رگه‌چهای (رگه‌چهای کوارتز و کلسیت گرمابی و رگه‌چهای کانیهای سولفیدی با ضخامت کمتر از ۱ سانتی‌متر) و کانسارسازی رگه‌ای حاوی کانیهای سولفیدی با ضخامت بیش از ۲۰ سانتی‌متر، رخ داده است. در مبحث ژئوشیمی عناصر سنگهای کانهزا، مشخص شد که عناصر مس، طلا، بیسموت، منگنز، آنتیموان، سلنیم، نقره و نیکل در کانیهای سولفیدی بالاترین تمرکز و غنی‌شدگی را نشان می‌دهند؛ و عناصر آرسنیک، کادمیم، کلسیم، مولیبدن، سرب و روی در سنگهای کانهزا حاوی رگه‌چهای کلسیتی، سیلیسی و سولفیدی بیشترین تمرکز را دارند.

#### ضریب همبستگی و ارتباط ژئوشیمیایی بین عناصر

همبستگی عبارت است از سنجشی از شدت وابستگی دو متغیر اندازه‌گیری شده در مجموعه‌ای از داده‌های منفرد [۱۶]. وضعیت توزیع و پراکندگی عناصر مختلف در واحدهای سنگی یک کانسار و بررسی ارتباط و وابستگی این عناصر با یکدیگر، از مهم‌ترین موارد در بررسیهای ژئوشیمیایی است، زیرا با استفاده از آن می‌توان تا حدودی به محیط و فرآیندهای مؤثر در تشکیل کانسار پی برد [۱۷]. در این بخش از تحقیق، به منظور تعیین ارتباط بین عناصر در سنگهای کانهزا، ضرایب همبستگی در ماتریس همبستگی این عناصر محاسبه گردید (جدول ۲). بررسی ضرایب همبستگی نتایج زیر را ارائه می‌دهد: ۱. مس، آهن و گوگرد در سطح ۹۹ درصد دارای ضریب همبستگی معنی‌دارند که با حضور کالکوپیریت در مطالعات میکرالوگرافی تطابق دارد و لذا مشخص می‌شود که همبستگی بین این عناصر ناشی از حضور آنها در کانی کالکوپیریت در سنگهای کانهزا منطقه می‌باشد. ۲. بیسموت در سطح اطمینان ۹۹ درصد ضریب همبستگی معنی‌دار با مس، آهن و گوگرد دارد که در این میان بیشترین ضریب همبستگی را با گوگرد بعد با مس و آهن دارد، بالا بودن ضریب همبستگی بیسموت با گوگرد و مس احتمالاً ناشی از حضور کانی ویتیچینیت ( $\text{Cu}_3\text{BiS}_3$ ) به فرمول (Wittichenite) در رگه‌های سولفیدی است که احتمالاً آهن که ضریب همبستگی معنی‌دار کمتری با این عناصر دارد به صورت فرعی جانشین مس در این کانی شده است. ۳. آرسنیک با کلسیم، کادمیم، مولیبدن، سرب، منگنز، نیکل و روی دارای ضریب همبستگی معنی‌دار در سطح ۹۹ درصد می‌باشد، با توجه به این که آرسنیک، کادمیم، سرب و مولیبدن در محیط‌های قلیایی به صورت محلول حضور دارند [۱۸] همبستگی بین عناصر مذکور و کلسیم نشان دهنده حمل این عناصر توسط محلولهای گرمابی سرشار از کلسیم با ماهیت قلیایی می‌باشد که در طی فرآیندهای گرمابی در منطقه همراه با تشکیل رگه‌های کربناتی تهشین شده‌اند. همبستگی معنی‌دار روی، نیکل و منگنز با این عناصر احتمالاً ناشی از تهشیست آنها در طی واکنشهای محلولهای گرمابی حاوی آنها با رگه‌های کربناتی بوده است. ۴. نقره در سطح ۹۹ درصد با طلا، بیسموت، مس، آهن، منگنز، نیکل، گوگرد، آنتیموان و سلنیم دارای ضریب همبستگی معنی‌دار است که در این میان بیشترین ضریب

جدول ۲. ضریب همبستگی بین عناصر در سنگهای کانه‌زایی کانسار چهارگنبد.

	<b>Ag</b>	<b>Au</b>	<b>As</b>	<b>Bi</b>	<b>Cd</b>	<b>Co</b>	<b>Cu</b>	<b>Fe</b>	<b>Mn</b>	<b>Mo</b>	<b>Ni</b>	<b>Pb</b>	<b>S</b>	<b>Sb</b>	<b>Se</b>	<b>Zn</b>
<b>Ag</b>	۱	۰/۸۵۱ <sup>xx</sup>	۰/۱۱۵۱	۰/۱۰۴	-۰/۰۷۵	-۰/۰۹۴۰ <sup>xx</sup>	۰/۰۸۵۱ <sup>x</sup>	۰/۰۸۵۱ <sup>xx</sup>	۰/۰۳۹۳	۰/۰۳۱۴	۰/۰۳۱۴	-۰/۰۷۶۷ <sup>xx</sup>	۰/۰۹۴۳ <sup>xx</sup>	۰/۰۳۰۴	-۰/۰۳۰۴	
<b>Au</b>		۱	-۰/۰۹۶۷ <sup>xx</sup>	۰/۰۹۶۷ <sup>xx</sup>	-۰/۰۳۰۲	-۰/۰۴۷۱ <sup>x</sup>	-۰/۰۴۷۱ <sup>x</sup>	-۰/۰۴۱	۰/۰۱۳۰	-۰/۰۰۵۷	-۰/۰۰۵۲	-۰/۰۰۵۲	-۰/۰۰۰۸	-۰/۰۰۰۸	-۰/۰۱۱۲	
<b>As</b>			۱	-۰/۰۰۴	-۰/۰۰۴	-۰/۰۰۴۰ <sup>xx</sup>	-۰/۰۰۴۳	-۰/۰۰۴۹	-۰/۰۰۴۹	-۰/۰۰۴۹	-۰/۰۰۴۹	-۰/۰۰۴۹	-۰/۰۰۴۹	-۰/۰۰۴۹	-۰/۰۰۴۹	
<b>Bi</b>				۱	-۰/۰۰۵	-۰/۰۰۵۸	-۰/۰۰۶۲	-۰/۰۰۶۶	-۰/۰۰۶۶	-۰/۰۰۶۸	-۰/۰۰۶۸	-۰/۰۰۶۸	-۰/۰۰۶۸	-۰/۰۰۶۸	-۰/۰۰۶۸	
<b>Cd</b>					۱	-۰/۰۰۱	-۰/۰۰۱	-۰/۰۰۱	-۰/۰۰۱۱	-۰/۰۰۱۱	-۰/۰۰۱۱	-۰/۰۰۱۱	-۰/۰۰۱۱	-۰/۰۰۱۱	-۰/۰۰۱۱	
<b>Co</b>						۱	-۰/۰۰۲	-۰/۰۰۲	-۰/۰۰۲	-۰/۰۰۲۰	-۰/۰۰۲۰	-۰/۰۰۲۰	-۰/۰۰۲۰	-۰/۰۰۲۰	-۰/۰۰۲۰	
<b>Cu</b>							۱	-۰/۰۰۴۴ <sup>xx</sup>								
<b>Fe</b>								۱	-۰/۰۰۷	-۰/۰۰۷	-۰/۰۰۷	-۰/۰۰۷	-۰/۰۰۷	-۰/۰۰۷	-۰/۰۰۷	
<b>Mn</b>									۱	-۰/۰۰۹۷ <sup>xx</sup>						
<b>Mo</b>										۱	-۰/۰۱۴۹	-۰/۰۱۴۹	-۰/۰۱۴۹	-۰/۰۱۴۹	-۰/۰۱۴۹	
<b>Ni</b>											۱	-۰/۰۱۵۰	-۰/۰۱۵۰	-۰/۰۱۵۰	-۰/۰۱۵۰	
<b>Pb</b>												۱	-۰/۰۱۴۷	-۰/۰۱۴۷	-۰/۰۱۴۷	
<b>S</b>													۱	-۰/۰۱۱۷ <sup>x</sup>	-۰/۰۱۱۷ <sup>x</sup>	
<b>Sb</b>														۱	-۰/۰۱۳۴ <sup>xx</sup>	
<b>Se</b>															۱	-۰/۰۱۰۲
<b>Zn</b>																۱

<sup>xx</sup>. Correlation is significant at the 0.01 level (2-tailed).<sup>x</sup>. Correlation is significant at the 0.05 level (2-tailed).

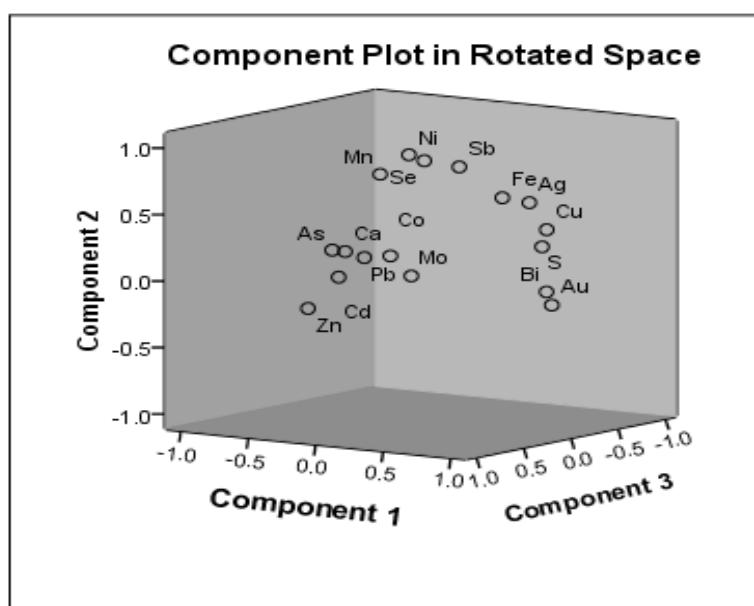
سنگهای است. بنابراین طبق این شواهد می‌توان بیان نمود که مراحل کانسارسازی در معدن مس- طلا چهارگندب به صورت زیر می‌باشد: در اولین مرحله با نفوذ توده‌های گرانیتی تا گرانودیوریتی به درون توالیهای سنگی در منطقه و تفرقی این توده‌های نفوذی و تجمع سیالات و محلولهای گرمابی با انواع کمپلکس‌های حاوی عناصر کالکوفیل در سطوح بالای این توده‌های نفوذی، فشار بخار زیاد سیالات باعث به حرکت در آمدن این محلولها در امتداد مناطق ضعیفی همچون گسل چهارگندب و مضطرب شده‌اند، با به حرکت در آمدن این محلولهای اسیدی و برخورد آنها با توالیهای سنگی منطقه مانند توالیهای آمیزه رنگین (شامل سنگهای لیسونیتی، آهک، مارن و چرت)، سنگهای ولکانیکی آندزیتی و آندزیت بازالتی و توالیهای رسوبی مانند آهکها و همچنین ترکیب شدن این محلولها با آبهای سطحی، دمای این محلولها به شدت پایین می‌آید و همچنین ماهیت اسیدی این محلولهای گرمابی به قلیایی بودن تغییر می‌نماید بنابراین این محلولها که دمای آنها (با توجه به ماکل کلسیت) تا زیر ۲۰۰ درجه سانتی‌گراد کاهش یافته است شروع به تهشیین عناصر اولیه خود مانند مس و سایر عناصر دما بالا که در محیط اسیدی محلول هستند، نموده و همچنین عناصری مانند آرسنیک و کادمیم را که در محیط قلیایی محلول هستند از توالیهای سنگهایی مانند ولکانیک‌ها شسته و به سطح آورده است و تشکیل رگه‌های کلسیتی حاوی عناصر آرسنیک، سرب، و کادمیم را داده است. با ادامه عبور محلولهای گرمابی، به دلیل این که توالیهای سنگهای منطقه دیگر توان تغییر در pH محلولهای گرمابی را نداشته اند (به دلیل شستشو توسط محلولهای قبلی) و دمای سنگهای مسیر عبور محلولهای گرمابی افزایش یافته است بنابراین در این مرحله محلولهای اسیدی و دما بالاتری حضور داشته‌اند، در این زمان محلولهای اسیدی و دما بالا علاوه بر حمل عناصر از توده نفوذی، شروع به شستن عناصری که قبلاً در پی افزایش pH و کاهش دما نهشته شده بودند، می‌نمایند و بنابراین در این مرحله شاهد غلظت بالای از عناصر در محلولهای گرمابی اسیدی و دما بالا هستیم که با نزدیک شدن به سطح و کاهش فشار شروع به تهشیست این عناصر (مس و طلا و بیسموت) به صورت رگه‌های سولفیدی می‌نماید.

برای درک روابط عناصر مختلف در سنگهای کانهزا آزمون مؤلفه‌های اصلی و آنالیز خوش‌های انجام گرفت که نتایج آزمون مؤلفه‌های اصلی در جداول (۳ و ۴) و شکل (۱۰) آورده شده است. بر طبق آزمون مؤلفه‌های اصلی عناصر مختلف به پنج دسته اصلی تقسیم شده‌اند؛ با بررسی این عناصر مشخص می‌شود که این عناصر دارای خواص ژئوشیمیایی مختلفی می‌باشند. گروه اول که شامل مؤلفه اول آزمون PCA می‌باشد در بردارنده آهن، مس، طلا، نقره، گوگرد و بیسموت است (که در کانیها و رگه‌های سولفیدی حضور دارند) با توجه به حضور گوگرد در این گروه مشخص می‌شود که محلولهایی که باعث نشینی این عناصر شده‌اند سرشار از کمپلکس‌های سولفیدی بوده‌اند، بنابراین به شدت خاصیت اسیدی داشته‌اند. مؤلفه دوم آزمون PCA شامل عناصر آنتیمون، سلنیم، منگنز و نیکل، آهن و نقره می‌باشند. گروه سوم شامل عناصر کلسیم، آرسنیک، سرب، کادمیم و روی است، در این گروه حضور کلسیم نشان دهنده قلیایی بودن محلولهای تهشین کننده این عناصر است و تنها استثنای عنصر روی است که به دلیل این که یک عنصر دما پایین می‌باشد احتمالاً با محلولهای دما پایین اسیدی حمل گشته و در مجاورت با رگه‌های گرمابی کلسیت تهشین شده است. مؤلفه چهارم و پنجم آزمون PCA، به ترتیب شامل عناصر کبات و مولیبدن است. برای توضیح مراحل تهشیت این گروه‌ها، ابتدا به بررسی دمای محلولهای حمل کننده این عناصر می‌پردازیم. برای تعیین محدوده دمایی محلولهای قلیایی که تشکیل رگه‌های کلسیتی را داده‌اند بر طبق نظر [۱۹] (ضخامت ماکلهای کلسیت بیانگر دمای تهشیست آن است) به بررسی ضخامت ماکلهای کلسیت در سنگهای کانهزا حاوی رگه‌های کلسیتی پرداخته شد. ماکل کلسیت در سنگهای کانهزا حاوی رگه‌های کلسیت گرمابی ساده و نازک است (شکل ۴) که نشان می‌دهند دمای تشکیل این رگه‌ها کمتر از ۲۰۰ درجه سانتی‌گراد است. بنابراین مشخص می‌شود که دمای کانسارسازی در سنگهای حاوی رگه‌های کلسیتی کمتر از ۲۰۰ درجه [۱۹] می‌باشد. از آنجایی که عناصر مس، طلا و بیسموت در دمای بالا حمل و تهشین می‌شوند می‌توان نتیجه گرفت که دمای تشکیل رگه‌های سولفیدی (که حاوی این عناصر می‌باشند) در معدن بالاتر از دمای کانسارسازی در

جدول ۳. اطلاعات مربوط به آزمون مؤلفه‌های اصلی در سنگهای کانه‌زا کانسار چهارگنبد.

Component	Initial Eigenvalues			Extraction Sums of Squared Loadings			Rotation Sums of Squared Loadings		
	Total	% of Variance	Cumulative %	Total	% of Variance	Cumulative %	Total	% of Variance	Cumulative %
۱	۶/۵۳۹	۳۸/۴۶۴	۳۸/۴۶۴	۶/۵۳۹	۳۸/۴۶۴	۳۸/۴۶۵	۴/۴۹۶	۲۶/۴۴۸	۲۶/۴۴۸
۲	۴/۳۸۵	۲۵/۷۹۶	۶۴/۲۵۹	۴/۳۸۵	۲۵/۷۹۶	۶۴/۲۵۹	۴/۳۸۴	۲۵/۷۸۷	۵۲/۲۳۵
۳	۲/۲۱۶	۱۳/۰۳۷	۷۷/۲۹۶	۲/۲۱۶	۱۳/۰۳۷	۷۷/۲۹۶	۳/۹۴۱	۲۳/۱۸۴	۷۵/۴۱۹
۴	۱/۴۱۰	۸/۲۹۲	۸۵/۵۸۸	۱/۴۱۰	۸/۲۹۲	۸۵/۵۸۸	۱/۴۹۳	۸/۷۸۳	۸۴/۲۰۲
۵	۱/۰۳۲	۶/۰۶۹	۹۱/۶۵۷	۱/۰۳۲	۶/۰۶۹	۹۱/۶۵۷	۱/۲۶۷	۷/۴۵۵	۹۱/۶۵۷
۶	۰/۰۱۹	۳/۰۵۱	۹۴/۷۰۸						
۷	۰/۳۴۲	۲/۰۱۱	۹۶/۷۲۰						
۸	۰/۲۳۶	۱/۳۸۹	۹۸/۱۰۹						
۹	۰/۱۷۳	۱/۰۱۶	۹۹/۱۲۴						
۱۰	۰/۰۸۶	۰/۰۵۰	۹۹/۶۳۰						
۱۱	۰/۰۳۶	۰/۲۱۱	۹۹/۸۴۱						
۱۲	۰/۰۲۰	۰/۱۱۶	۹۹/۹۵۷						
۱۳	۰/۰۰۴	۰/۰۲۴	۹۹/۹۸۱						
۱۴	۰/۰۰۳	۰/۰۱۵	۹۹/۹۹۶						
۱۵	۰/۰۰۱	۰/۰۰۴	۹۹/۹۹۹						
۱۶	۰/۰۰۰	۰/۰۰۱	۱۰۰						

Extraction Method: Principal Component Analysis.



شکل ۱۰ نمودار سه بعدی عناصر در آزمون مؤلفه‌های اصلی.

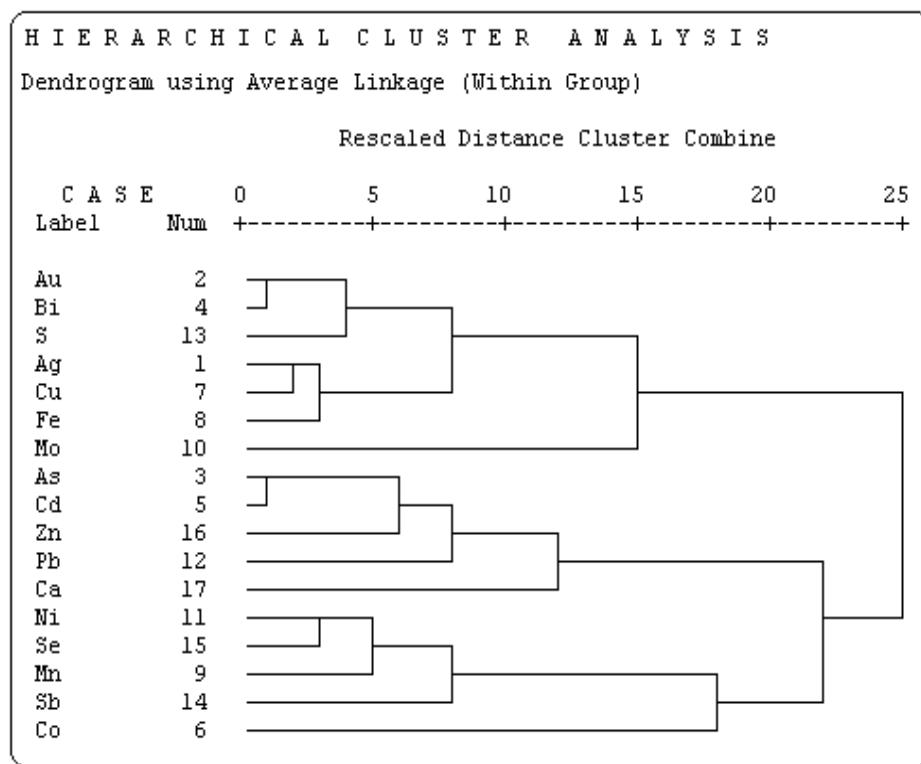
جدول ۴. اطلاعات مربوط به مؤلفه‌های اصلی در آزمون مؤلفه‌های کانهزا کانسار چهارگنبد.

	Rotated Component Matrix <sup>a</sup>				
	Component				
	۱	۲	۳	۴	۵
Ag	-0.763	0.610	-0.060	-0.037	0.150
Au	0.965	-0.133	-0.010	-0.177	0.031
As	-0.1042	0.307	0.877	-0.137	0.327
Bi	0.962	-0.027	0.041	-0.023	-0.010
Cd	0.033	0.117	0.917	-0.137	0.323
Co	-0.146	0.142	0.113	0.924	0.009
Cu	0.821	0.398	-0.161	-0.139	0.105
Fe	0.633	0.648	0.040	0.130	-0.112
Mn	0.047	0.1831	0.496	-0.165	0.046
Mo	0.137	0.047	0.296	0.022	0.925
Ni	0.060	0.938	0.212	0.077	0.030
Pb	0.160	0.264	0.825	0.256	-0.049
S	0.883	0.295	-0.024	0.181	0.116
Sb	0.198	0.1813	-0.124	-0.054	0.331
Se	0.165	0.902	0.197	0.144	-0.146
Zn	-0.214	-0.148	0.888	0.039	-0.057
Ca	-0.128	0.250	0.618	-0.628	-0.004

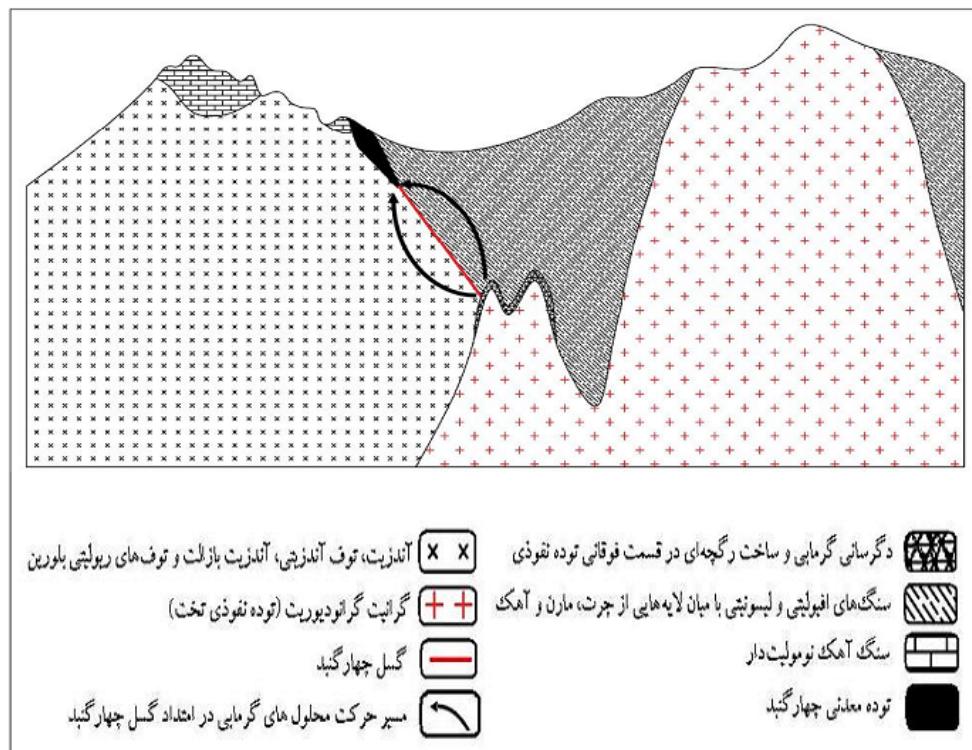
Extraction Method: Principal Component Analysis.  
Rotation Method: Varimax with Kaiser Normalization.  
a. Rotation converged in 5 iterations.

مؤلفه‌های اصلی، آنالیز خوشه‌ای روی مقادیر عناصر در سنگهای کانهزا صورت گرفت که نتایج آن در شکل (۱۱) ارائه شده است. بر اساس این آزمون عناصر به سه دسته تقسیم شده‌اند که خود دلیلی بر سه مرحله مختلف کانهزاًی در کانسار چهارگنبد است. در اولین دسته عناصر طلا، بیسموت، گوگرد، نقره، مس، آهن و مولبیدن قرار گرفته است. با توجه به حضور گوگرد در این گروه مشخص می‌شود که این عناصر در رگه‌های سولفیدی غنی شده‌اند؛ که با توجه به آزمون PCA مربوط به مراحل آخر کانهزاًی می‌باشند که محلولهای گرمابی اسیدی بوده‌اند. دسته دوم شامل عناصر آرسنیک، کادمیم، روی، سرب و کلسیم است، که حضور این عناصر با کلسیم در این آزمون نیز تصدیقی بر غنی‌شدگی عناصر مذکور در PCA رگه‌های کلسیتی می‌باشد. با مقایسه این نتایج با آزمون PCA مشخص می‌شود که این عناصر در مراحل اولیه کانهزاًی که محلولهای گرمابی توسط سنگهای مسیر عبور سیالات گرمابی، خاصیت قلیاًی پیدا کرده‌اند حمل شده‌اند و در سطح تنه‌نشین گشته‌اند. دسته سوم شامل عناصر نیکل، سلنیم، منگنز، آنتیموان و کبات است. این عناصر به استثنای کبات در آزمون PCA در مؤلفه دوم قرار دارند و همان طوری که ذکر شد احتمالاً مربوط به یک فاز حدواتسط بین محلولهای گرمابی قلیاًی اولیه و محلولهای اسیدی فاز آخر کانهزاًی می‌باشند.

تا کنون دو مرحله کانهزاًی در منطقه تشخیص داده شد: مرحله اول که در اثر محلولهای قلیاًی و دما پایین تشکیل شده بود و مرحله دوم توسط محلولهای دما بالا و اسیدی تشکیل شده است، بنابراین یک مرحله بینابین این دو گروه باید وجود داشته باشد. این مرحله توسط عناصر منگنز، نیکل، سلنیم و آنتیموان و تا حدودی آهن و نیکل که در مؤلفه دوم آزمون PCA قرار دارند، شناخته می‌شود. از نظر نوع احتمالی کانسارسازی با توجه به حضور دگرسانیهای آرژیلیک پیشرفته با کائولینیت، دیکیت و پیروفیلیت و همچنین کوارتز حفره‌ای در محل برخورد گسل چهارگنبد با گسل مضطرب می‌توان گفت که محلولهای گرمابی به شدت اسیدی بوده‌اند اما به دلایلی که در بالا ذکر شد و محلولهای گرمابی در طی عبور از سنگهای کربناتی و قلیاًی از اسیدی به قلیاًی تغییر نموده‌اند و نتوانسته اند باعث ایجاد دگرسانیهای آرژیلیک پیشرفته همراه با کوارتز حفره‌ای در وسعت زیاد شوند. از نظر ژئوشیمیابی در این کانسار مقدار بیسموت افزودگی ۲۲۲ برابر نسبت به کلارک نشان می‌دهد، که طبق گفته [۲۰] در کانسارهای اپی ترمال با سولفید بالا بر خلاف کانسارهای اپی ترمال با سولفید پایین این عنصر دارای افزودگی است. لذا می‌توان گفت که این کانسار احتمالاً یک کانسار اپی ترمال سولفید بالا باشد. به منظور بررسی دقیق نتایج آزمون



شکل ۱۱. نمودار آنالیز خوشهای عناصر در سنگهای کانهزا کانسار چهارگنبد.



شکل ۱۲. ارتباط کانسار چهارگنبد با توده نفوذی تخت و گسل چهارگنبد.

۱۰۱، ۵۳۲، ۲۲۲ و ۱۵۶ برابر می‌باشد. با توجه به حضور دگرسانی آرژیلیک پیشرفته با کانیهای رسی کائولینیت، دیکیت و پیروفیلیت و همچنین حضور کوارتز حفره‌ای در سنگهای دیواره‌ی این کانسار، احتمالاً نوع کانی سازی آن اپی‌ترمال با سولفید بالاست. بر اساس آزمونهای چند متغیره سه فاز اصلی کانه‌زایی در کانسار شناسایی شد که در اولین فاز آرسنیک، کادمیم، سرب، روی و کلسیم در رگه‌های کلسیتی گرمابی غنی شده‌اند؛ در فاز دوم مس، طلا، نقره، بیسموت، آهن و گوگرد درون رگه‌های سولفیدی غنی‌شده‌ی نیکل، منگنز، سلنیم و آنتیموان می‌باشد و مبین مرحله حداستی بین دو فاز کانه‌زایی قبلی می‌باشد.

#### منابع

- [1] Hassanzadeh J., "Metallogenic and tectono-magmatic events in SE sector of the Cenozoic active continental margin of center Iran (Shahr e Babak, Kerman province)", ph.D thesis, University of California, (1993) 201.
- [2] Foester H., "Mesozoic-Cenozoic metallogenesis in Iran", Journal of the Geological Society of London 135 (1978) 443-455.
- [3] Berberian M., King G. C. P., "Towards a paleogeography and tectonic evolution of Iran", Canadian Journal of Earth sciences 18 (1981) 210-265.
- [4] Aftabi A., Atapour H., "Regional aspects of shoshonitic volcanism in Iran", Episodes, 23 (2000) 119-125.
- [5] تقی‌پور ن، آفتایی ع، رمضانی م. ر، "بررسی هاله‌های دگرسانی- کانه‌زایی و الگوی پراکنده‌ی مس، مولیبدن، طلا و نقره در کانسار مس پورفیری میدوک، شهریابک، کرمان". مجله علوم زمین، شماره ۷۲ (۱۳۸۸) ص ۴۵ تا ۵۴.
- [6] Shahabpour J., Kramers J. D., "Lead isotope data from the Sarcheshmeh porphyry copper deposit, Iran", Mineralium Deposita 22 (1987) 275-281.
- [7] یوسفی شریک‌آباد س. ج، "بررسی اثرات زیست‌محیطی عناصر سمی در محدوده‌ی معدنی مس- طلا چهارگنبد، سیرجان"، پایان‌نامه کارشناسی ارشد (۱۳۹۰) ۲۸۴ ص.
- [8] Sjerp N., Issakhalian V., Brants A., "The Geological Environment of the ChaharGonbad Copper Mine: A Study in Tertiary Copper

#### نتیجه‌گیری

با بررسیهای صحرایی انجام شده، واحدهای زمین‌شناسی در گستره مورد مطالعه شامل سنگهای افیولیتی، سنگهای آتشفسانی، توده‌های نفوذی و سنگهای رسوبی می‌باشند. کانه‌زایی در معدن چهارگنبد در اثر عبور سیالات گرمابی در طول سیستم گسلی چهارگنبد و در سنگهای دیواره به وجود آمده است و فرم کانسارسازی به صورت رگه‌ای و عدسی شکل می‌باشد. در محدوده معدنی چهارگنبد کانه‌زایی به دو شکل اولیه و ثانویه و به صورت فلزی و غیر فلزی انجام شده است. کانیهای فلزی که شامل کانیهای پیریت و کالکوپیریت می‌باشند به صورت رگه‌ای، رگه‌چهای و انتشاری در سنگ میزبانهای ولکانیکی حضور دارند؛ سایر کانیهای فلزی در منطقه شامل کانیهای ثانویه هماتیت، گوتیت و لیمونیت است که در گوسانهای منطقه دیده می‌شوند. کانیهای غیرفلزی کوارتز (با بافت شانه‌ای) و کلسیت به صورت رگه‌ای درون سنگهای کانسارسازی شده حضور دارند که احتمالاً توسط محلولهای گرمابی ته نشین شده‌اند. دگرسانیها در منطقه شامل دگرسانیهای آرژیلیک، فیلیک و پروپیلیتیک می‌باشند، در سنگهای دیواره نزدیک زون گسلی دگرسانی آرژیلیک پیشرفته حضور دارد که در نتیجه فرآیندهای گرمابی XRD تشکیل شده است، زون آرژیلیک بر اساس تجزیه‌های غالباً از کانی کائولینیت، دیکیت و پیروفیلیت تشکیل شده است. با فاصله گرفتن از زون گسلی، دگرسانی فیلیک جایگزین زون آرژیلیک پیشرفته می‌شود و اجتماع پیریت، کوارتز، سرسیت همراه با کانیهای رسی ویژگی عمدۀ این دگرسانی در کانسار چهارگنبد است. آخرین دگرسانی زون پیروپیلیتیک می‌باشد که به صورت زون سبز رنگی در سنگهای محدوده بیرونی کانسار گسترش یافته است. آندزیت‌ها که دگرسانی پروپیلیتیک را تحمل نموده‌اند اغلب دانه ریز و به رنگ سبز همراه با رگه‌های فراوان کوارتز و کلسیت شناخته می‌شوند. توزیع آماری نقره، طلا، آرسنیک، بیسموت، کادمیم، مس، آهن، منگنز، مولیبدن، نیکل، سرب، گوگرد، آنتیموان، سلنیم و روی غیرعادی است، و توزیع آماری کبات نزدیک به عادی می‌باشد. طلا، بیسموت، مس، گوگرد و سلنیم نسبت به سایر عناصر غنی‌شده‌ی بالاتری دارند، غنی‌شده‌ی این عناصر نسبت به زمینه طبیعی منطقه به ترتیب ۴۰۱، ۳۲۱، ۵۰۳، ۳۹۳، ۷۰۳ و ۲۰۸ و نسبت به کلارک

- mineralization", Economic Geology, 75 (1981) 214-269.*
- [15] Sillito R. H., "the tops and bottoms of porphyry copper deposits" *Economical Geology*, 65 (1973) 799-815.
- [16] Rollinson H. R., "Using geochemical data: evolution, presentation", interpretation, London, UK, (1993) 652.
- [17] Barnes H. L., "Geochemistry of hydrothermal ore deposits", third, New York, John Wiley and Sons, (1997) 797.
- [18] Eby G. N., "Principles of Environmental Geochemistry", University of Massachusetts, Lowell, (2004) 515.
- [19] Burkhard M., "Calcite twins, their geometry, appearance and significance as stress-strain markers and indicators of tectonic regime: a review", *Journal of Structural Geology*, 15 (1993) 351-368.
- [20] White N. C., Hedenquist J., "Epithermal gold deposits: Styles, characteristics and exploration", published in SEG Newsletter, 23 (1995) 9-13.
- Mineralization", Geological Survey of Iran, Report 16 (1969) 64.*
- [9] Kaiser H. F., "The application of electronic computers to factor analysis", *Education Psychology*, 20 (1960) 141-151.
- [10] Khorasanipour M., Tangestani M., "Application of multivariate statistical methods to indicate the origin and geochemical behavior of potentially hazardous elements in sediments around the Sarcheshmeh copper mine, SE Iran," *Environmental Earth Science*, (2011) 1-17.
- [11] Gilmour p., "Grades of the porphyry copper deposits of southwestern North America", University of Arizona Press (1982) 736.
- [12] Lowell J. D., Guilbert J. M., "Lateral and vertical alteration mineralization zoning in porphyry ore deposits", *Economical Geology* 65 (1970) 373-408.
- [13] McMillan W. J., Panteleyev A., "Porphyry copper deposits, in Roberts, R. G., and Sheahan, P.A., (EDS) ", *Geoscience Canada*, 3 (1988) 194.
- [14] Beane R. E., Titly S. R., "porphyry copper deposits: part II: Hydrothermal alteration and