

کانی سازی و اکتشافات ژئوشیمیایی در کمر بند ولکانیکی - پلوتونیک هلاک آباد (جنوب سبزوار) با نگرشی بر اکتشاف مس پورفیری

محدثه پناهی شهری^۱، محمد حسن کریم پور، فاطمه شبانی

گروه پژوهشی اکتشاف ذخایر معدنی شرق ایران، دانشگاه فردوسی مشهد

دریافت مقاله: ۱۳۸۸/۱۰/۵، نسخه نهایی: ۱۳۸۹/۱/۱۸

چکیده

منطقه مورد مطالعه در ۳۰ کیلومتری جنوب سبزوار و محدوده روستای هلاک آباد واقع شده است. کانی سازی به دو صورت فلزی و غیرفلزی (کائولین) صورت گرفته است. کانی سازی پیریت به صورت بافت افشان و رگچه ای و مرتبط با آلتراسیون نوع آرژیلیک در محل توده های نفوذی مونزونیتی تشکیل شده است. کالکوپیریت نیز به طور محدود در محل رگچه ها همراه با پیریت دیده می شود. اکسیداسیون کانیهای سولفیدی اولیه سبب تشکیل مقادیر زیادی از کانیهای اکسید- سولفات آهن مانند هماتیت، لیمونیت و ژاروسیت در بخشهای سطحی شده است. اکتشافات ژئوشیمیایی بر مبنای رسوبات رودخانه ای و سنگی مورد بررسی قرار گرفت. نتایج آنالیز رسوبات رودخانه ای و سنگی، بی هنجاری مس و روی را در قسمتهایی از منطقه نشان می دهد. بی هنجاری مس و روی به ترتیب در بخش غربی معدن هلاک آباد به بیش از ۵۰۰ و ۹۰۰ ppm می رسد. در بخش شرقی منطقه با وجود افزایش میزان کانی سازی سولفیدی (پیریت) مقادیر عناصر مس و روی کاهش نشان می دهد. این پدیده به دلیل هوازدگی و اکسید شدن کانیهای سولفیدی در سطح و انحلال این عناصر است. وجود سیستم آلتراسیونی مناسب، توده های نیمه عمیق مونزونیتی و الگوی کلی زمین شناختی در منطقه مؤید پتانسیل اکتشافی برای سیستم مس پورفیری در منطقه هلاک آباد است.

واژه های کلیدی: ایران، هلاک آباد، مس پورفیری، کانی سازی، ژئوشیمی.

مقدمه

مظلوم [۲]، شبانی [۳]، پناهی [۴] و حسینی نژاد [۵] مطالعه شده و بر مبنای کانی شناسی، آلتراسیون، کانی سازی و ژئوشیمی در مقیاس ۱:۱۰۰۰۰ ارائه گردیده است. برپایه اطلاعات پردازش داده های ماهواره ای، مشاهدات صحرایی و شواهد آلتراسیونی، منطقه مورد مطالعه جهت بررسی پتانسیل کانی سازی مس پورفیری معرفی و مطالعه شد. محیط های تکنونیک فشارشی، پوسته های قاره ای ضخیم شده و فعالیتهای بالآمدگی و فرسایش با تشکیل تعداد زیادی از این گونه کانسارها در ارتباط است [۶].

منطقه مطالعاتی در ۳۰ کیلومتری جنوب سبزوار و اطراف روستای هلاک آباد واقع شده و به صورت کمر بندی به درازای ۷ کیلومتر و پهنای ۰/۵ کیلومتر با روند شمال غرب- جنوب شرق گسترده شده است. از سال ۱۳۷۷ تا کنون پروژه های مختلف زمین شناسی و ژئوشیمی توسط شرکتهای خارجی، سازمان زمین شناسی و مرکز تحقیقات ذخایر معدنی شرق ایران بر روی این کمر بند صورت پذیرفته است. این مطالعات در مقیاس برگه ۱:۱۰۰۰۰۰ ششتم انجام شده [۱] و در مقیاس محلی تا کنون بررسی دقیق سنگ شناسی و ژئوشیمی صورت نگرفته است. قسمتهای مختلف کمر بند توسط

د) اندازه‌گیری میزان پذیرفتاری مغناطیسی در تعدادی از واحدهای سنگی منطقه.

زمین‌شناسی

از دیدگاه زمین‌شناسی عمومی، منطقه مورد مطالعه در زون ایران میانی و به طور جزئی در بخشی از زون سبزواری قرار می‌گیرد. رخدادهای ماگماتیک عمدتاً به دوران سنوزوئیک مربوط بوده [۱] و قدیمی‌ترین واحد موجود به نئوکومین نسبت داده شده است [۱۴]. سن واحدهای نفوذی (الیگومیوسن؟) جوان‌تر از واحدهای آتشفشانی تعیین شده است.

براساس مطالعات مظلوم [۲]، شبانی [۳]، پناهی [۴] و حسینی‌نژاد [۵] که در مقیاس ۱:۱۰۰۰۰ بر روی منطقه صورت پذیرفته است عمدتاً توده‌های آذرین حدواسط تا آتشفشانی شناسایی شده‌اند. توده‌های حدواسط به ترتیب وسعت شامل کوارتز مونزونیت پورفیری، کوارتز مونزودیوریت پورفیری، هورنبلند کوارتز مونزودیوریت پورفیری، مونزودیوریت پورفیری، کوارتز دیوریت پورفیری و دیوریت پورفیری می‌باشند. واحدهای آتشفشانی را عمدتاً آندزیت تشکیل می‌دهد و در قسمتهایی داسیت و بازالت نیز وجود دارد. نقشه زمین‌شناسی منطقه با مقیاس ۱:۱۰۰۰۰ در شکل (۱) ارائه شده است.

دگرسانی

به دلیل گسترش فعالیت‌های هیدروترمالی در منطقه زون‌های آلتراسیون گسترده‌گی قابل ملاحظه‌ای یافته‌اند. از آنجایی که فرآیند آلتراسیون در ارتباط تنگاتنگ با کانی‌سازی می‌باشد لازم دیده شد تغییرات اتفاق افتاده در سنگ‌های منطقه در غالب نقشه زون‌بندی آلتراسیون در شکل (۲) ارائه گردد.

این آلتراسیون‌ها بدون تفکیک زیر مجموعه‌های آنها شامل آلتراسیون پروپلیتیک، آرژیلیک، سیلیسی و سرسیتی می‌باشند. محلول‌های مرتبط با کانی‌سازی و محلول‌های غیرمرتبط با کانی‌سازی در فرآیند آلتراسیون منطقه مؤثر بوده‌اند. این محلول‌ها به ترتیب مسؤول ایجاد آلتراسیون‌های غالب آرژیلیک-سرسیتی و پروپلیتیک-سیلیسی می‌باشند.

در کشور ما اغلب کانسارهای مس پورفیری شناخته شده در کمربند کوه‌زایی سهند- بزمان (ارومیه‌دختر) مربوط به سن سنوزوئیک اتفاق افتاده است. این کمربند به وسیله فرورانش صفحه عربی به زیر ایران مرکزی در طی کوه‌زایی آلپی تشکیل شده است [۷، ۸، ۹ و ۱۰]. همچنین فرورانش و زون برخورد مربوط به پالئوسن تا الیگوسن، سبب فعالیت‌های آذرین نفوذی آتشفشانی آلکان و کالک‌آلکان شدید و گسترده گردیده است [۱۱، ۱۲ و ۱۳].

هدف از این پژوهش بررسی کانی‌سازی‌های صورت گرفته در منطقه به همراه تفسیر مطالعات ژئوشیمیایی و ارتباط آن با سیستم‌های مس پورفیری می‌باشد.

روش مطالعه

الف) پردازش داده‌های ماهواره Aster و Landsat به منظور شناسایی کانی‌های خاص معرف زون‌های آلتراسیونی در منطقه،
ب) ترسیم نقشه‌های زمین‌شناسی و آلتراسیون در مقیاس ۱:۱۰۰۰۰ از منطقه‌ای به وسعت حدود ۱۰ کیلومترمربع،

پ) برداشت بیش از ۱۸۰ نمونه جهت مطالعه دقیق پتروگرافی و آلتراسیون برای تفکیک توده‌های نفوذی موجود و تشخیص زون‌بندی آلتراسیون‌ها

ت) برداشت ۵۰ نمونه جهت تهیه بلوک‌های صیقلی و مقاطع نازک صیقلی برای مطالعات کانه‌نگاری

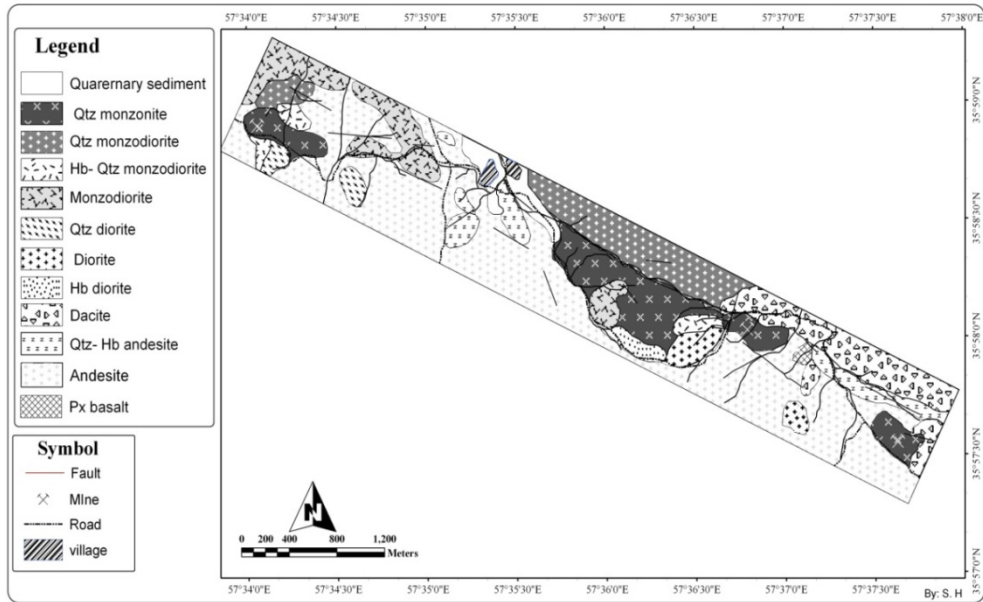
ث) برداشت تعدادی نمونه سنگی از زون‌های با حداقل آلتراسیون برای آنالیز عناصر اصلی و جزئی

ج) تهیه مقاطع نازک (۲۰۰ عدد)، نازک-صیقلی (۲۳ عدد) و صیقلی (۱۵ عدد)، مطالعات کانه‌نگاری و بافت‌شناسی

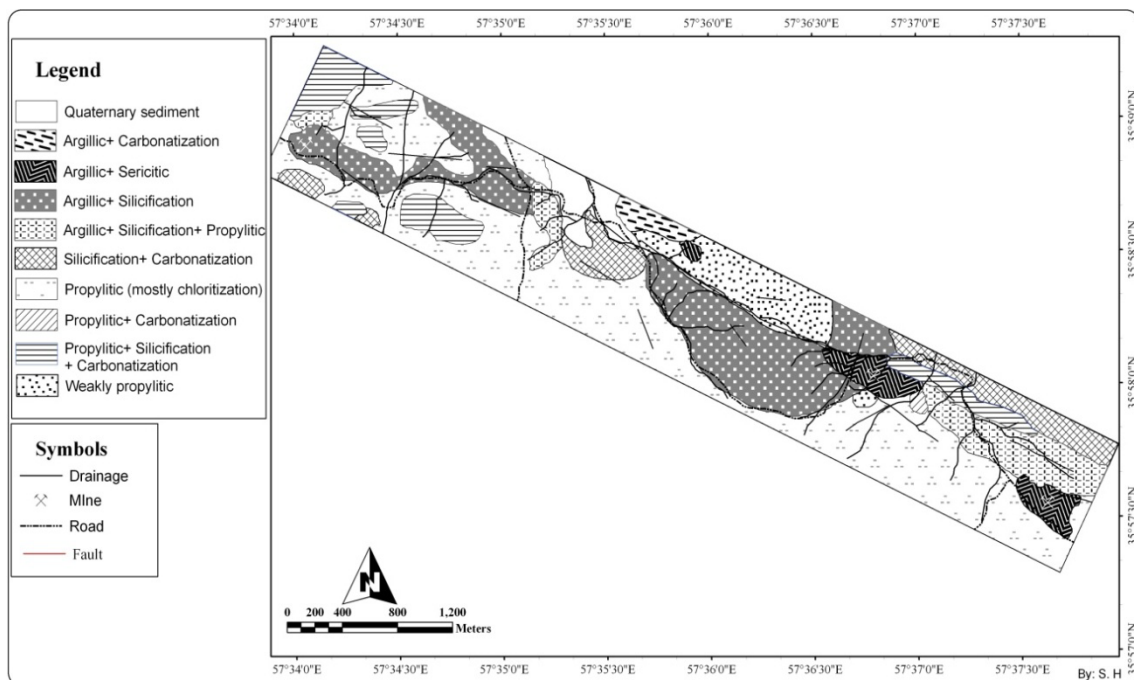
چ) برداشت حدود ۴۰ نمونه رسوب رودخانه

ح) برداشت ۷۰ نمونه خرده سنگی و تجزیه به روش جذب اتم برای عناصر Cu, Zn, Pb, Ag, Sb, Mo در گروه شیمی دانشگاه فردوسی مشهد و ترسیم نقشه‌های مربوطه

خ) آنالیز نمونه‌های با بالاترین میزان مس برای عنصر Au در آزمایشگاه سازمان زمین‌شناسی کشور به روش جذب اتمی+ کوره گرافیتی



شکل ۱. نقشه زمین‌شناسی منطقه.



شکل ۲. نقشه آلتراسیون منطقه.

کانی‌سازی

در محدوده مورد مطالعه کانی‌سازی به دو صورت فلزی و غیر فلزی صورت گرفته‌است. عمده گستردگی کانی‌سازی فلزی در شرق بوده و به سمت غرب از شدت آن کاسته می‌شود. در کنسارهای پورفیری، کانی‌سازی مستقیماً با کانی‌شناسی آن در ارتباط است. [۱۵]. بنابراین بررسی کانی‌سازیهایی صورت‌گرفته گام مؤثری در شناخت بهتر نوع کنسار می‌باشد. کانی‌سازی غیرفلزی عمدتاً از نوع کائولن و محدود به زون آلتراسیونی آرژیلیک است. روند گسترش آن شرقی-غربی بوده و با ظهور بیش از ۶ معدن فعال کائولن در طول کمربند مشخص می‌شود. کانی سولفیدی همراه عمدتاً پیریت است و درصد آن از غرب به شرق افزایش قابل ملاحظه‌ای می‌یابد.

بر اساس شواهد صحرایی و مطالعات آزمایشگاهی، کانی‌سازی فلزی در منطقه به صورت سین‌ژنتیک عمدتاً در زون آرژیلیک رخ داده است. وجود توده‌های نفوذی به عنوان منشأ سیالات گرمایی، سبب آلتراسیون سنگها شده است. هم‌زمان با این فرایند، کانی‌سازی فلزی اولیه نیز از جمله پیریت، کالکوپیریت، بورنیت، کالکوزین، اسفالریت و مگنتیت (؟) به وجود آمده است. کانیهای ثانویه از قبیل اکسیدهای آهن به فراوانی به خصوص در بخشهای سطحی دیده می‌شود. از جمله این کانیها ژاروسیت، همتایت، گوتیت و لیمونیت است. کوپریت و کالکوزین، دو اکسید و سولفید مس هستند که در منطقه با فراوانی کمتر دیده شدند. آثار کانی‌سازی ترکیبات کربنات مس شامل آزوریت و مالاکیت به میزان کم در زون آلتراسیون پروپلیتیک در بخش‌های غربی نمود یافته است.

فرآیند کانی‌سازی به دو صورت تأخیری (رگه‌ای) و هم‌زمان (پراکنده) به وقوع پیوسته است. کانی‌سازی هم‌زمان به صورت افشان در متن سنگهای مونزونیتی رخ داده و عمدتاً شامل پیریت است. نسل دوم کانی‌سازی بیشتر به صورت رگه‌ای در زون‌های گسل‌خورده دیده می‌شود. این رگه‌ها عمدتاً شامل پیریت، کالکوپیریت و کوارتز است که در بخشهای سطحی به همتایت و ژاروسیت تبدیل شده است.

زون‌بندی کانی‌سازی در منطقه مورد مطالعه را می‌توان به صورت زیر بیان کرد:

۱- زون آلتراسیونی اکسیدی؛ شامل اکسی‌هیدروکسیدها (همتایت و گوتیت)، کربنات‌ها (کلسیت و سیدریت) و

سولفات‌های آهن و آلومینیوم (ژاروسیت و آلونیت).

۲- زون سولفات- سولفید؛ شامل پیریت، کالکوپیریت، بورنیت و ژیبس است. این زون در اثر فعالیتهای معدن‌کاری در منطقه قابل دسترسی است.

۳- زون سولفیدی؛ شامل پیریت، کالکوپیریت، کوارتز و آلونیت است.

دست‌کم دو نسل از پیریت را می‌توان تفکیک نمود: نسل اول؛ پیریت به صورت کاملاً شکل‌دار و با بافت افشان در زمینه سنگهای آرژیلیتیزه (شکل ۳ الف). نسل دوم؛ بی‌شکل همراه با پاراژنز کانیهای کالکوپیریت، اسفالریت و بعضاً کالکوزین در محل رگه‌ها (شکل ۳ ب).

پیریت بیشترین گسترش را در بین کانیهای فلزی در مرحله اولیه کانی‌سازی دارد و اولین کانی سولفیدی تشکیل شده در این مرحله است. گسترش اصلی آن در منطقه به صورت بلوری ریزدانه (حدود ۲-۳ mm) و متوسط دانه (۵/۰ cm)، عمدتاً به صورت شکل‌دار با فراوانی متوسط ۱۰٪ است. این نوع پیریت‌ها دارای بافت پراکنده در زمینه سنگهای مونزونیتی هستند. درشت بلورهای پیریت با فراوانی کمتر دیده می‌شوند. در شرق محدوده، پیریت مرتبط با آلتراسیون‌های آرژیلیک و به ویژه فیلیک و در غرب بیشتر با آلتراسیون پروپلیتیک همراه است. همراهی این کانی بیشتر با واحدهای سنگی مونزونیت، داسیت و لاتیت در شرق و آندزیت‌ها در مرکز و غرب منطقه می‌باشد. اکسیداسیون پیریت در مناطق سطحی سبب تشکیل اکسیدهای آهن در منطقه شده است (شکل ۳ ث).

کانه اصلی مس در منطقه کالکوپیریت است که گسترش کمتری نسبت به پیریت دارد. کالکوپیریت به صورت رگه‌ای در محل‌های گسل‌خورده و تکتونیزه همراه با پیریت و کوارتز دیده می‌شود (شکل ۳ ب). تشکیل این کانی را می‌توان مربوط به نسل دوم کانی‌سازی دانست. کالکوپیریت معمولاً همراه با پیریت در بخشهایی که توسط فعالیتهای معدن‌کاری حفاری تا بخشهای عمیق‌تر انجام شده، دیده می‌شود (شکل ۳ ت). در مطالعه مقاطع صیقلی اسفالریت در حاشیه شکستگیهای کالکوپیریت مشاهده می‌شود (شکل ۳ پ). نسبتهای کانی‌سازی پیریت- کالکوپیریت در سیستم‌های پورفیری به نوع سنگ و زون‌های آلتراسیونی که آن را احاطه می‌کند وابسته هستند [۱۶].

کوچکی از غرب و در زون آلتراسیون پروپلیتیک مشاهده می‌شود.

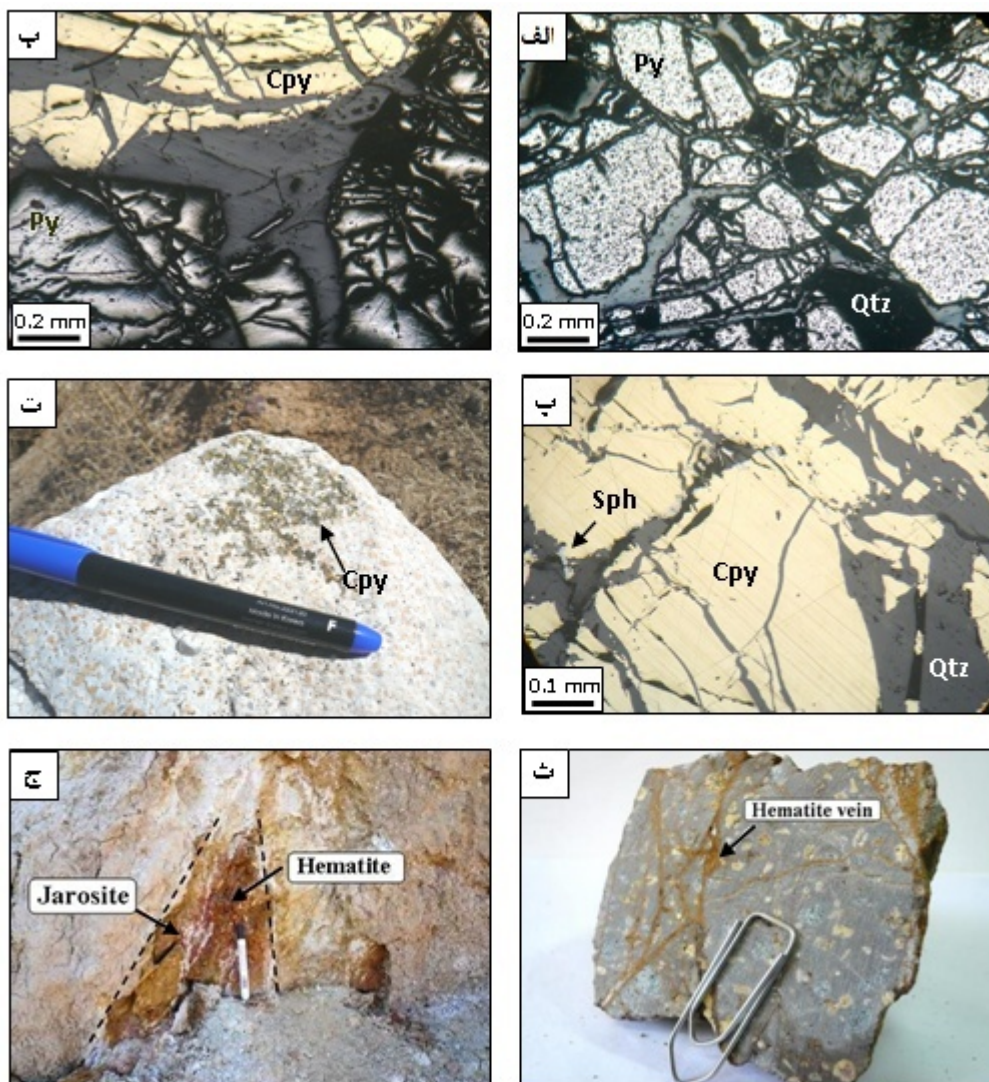
نقشه زون‌بندی کانی‌سازی منطقه در (شکل ۴) ارائه شده است. به‌طور کلی توالی پاراژنزی در منطقه مورد مطالعه را می‌توان به دو گروه کانیه‌های هیدروترمالی و اکسیدان تقسیم نمود. کانیه‌های هیدروترمالی شامل پیریت، کالکوپیریت و کمی هماتیت بوده و کانیه‌های اکسیدی از جمله هماتیت، گوتیت، مالاکیت و آزوریت است.

کانی‌سازی هیدروترمالی منطقه با بافت پراکنده و نیز به صورت رگچه مشاهده می‌گردد. فراوانترین کانی این گروه پیریت است که عمدتاً به همراه زون آرژیلیک و به حالت پراکنده مشاهده می‌گردد. کالکوپیریت در درجه دوم با فراوانی کمتر و به‌طور عمده در زون آلتراسیونی آرژیلیک-سیلیسی با بافت پراکنده قابل مشاهده است. شواهد صحرایی و پتروگرافی نشان می‌دهد که به احتمال زیاد تشکیل این کانی بعد از پیریت بوده است. کمی قبل از پایان یافتن مرحله کانی‌سازی اولیه، کانیه‌های فلزی تشکیل شده تحت تأثیر عوامل اکسیداسیون قرار گرفته و در نتیجه کانی‌های اکسیدان را به وجود می‌آورند. اولین کانی که در زون اکسیدان از اکسیداسیون کانیه‌های سولفیدی حاصل شده هماتیت و کانی فلزی بعدی گوتیت است. لیمونیت و ژاروسیت نیز به صورت خاکهای زرد و نارنجی رنگ در سطح رخنمون داشته و در ارتباط با مرحله اکسیداسیون می‌باشند. پراکندگی کانیه‌های کربناته مس از جمله آزوریت و مالاکیت بسیار ناچیز و به صورت سطحی در ارتباط با زون آلتراسیون پروپلیتیک در غرب منطقه است.

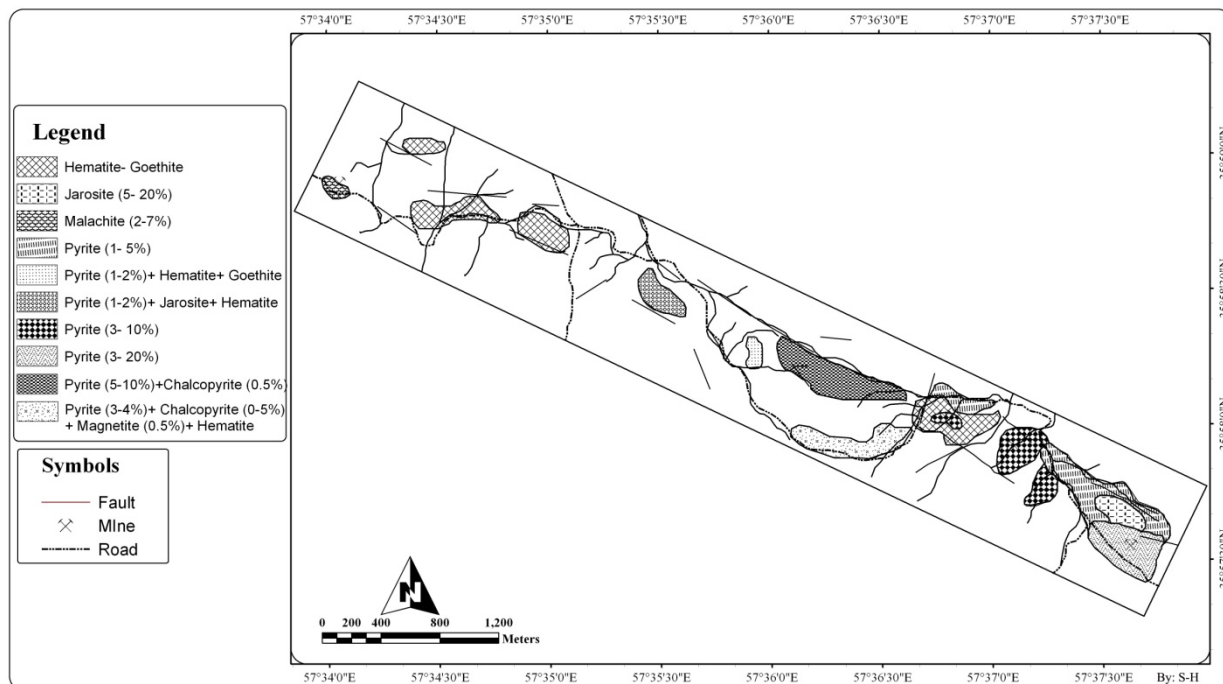
توالی تشکیل کانیه‌ها در منطقه مورد مطالعه در (شکل ۵) نشان داده شده است.

کانی کوپریت در زیر زون گوسان منطقه در محل سینه‌کار معدن دربند به صورت لایه خاکستری رنگ در زون آرژیلیک دیده می‌شود. این لایه در بخشهایی به وسیله زون آرژیلیک قطع شده است. جنس این لایه در مطالعات XRD کوارتز و کوپریت تشخیص داده شد. با توجه به شواهد موجود می‌توان استنباط کرد که این لایه به صورت اولیه در زون احیایی (سوپرژن) تشکیل شده است. جنس اولیه این لایه می‌تواند کالکوزین و یا دیگر ترکیبات مس در محیط احیایی باشد. به نظر می‌رسد فرآیندهای تکتونیکی سبب انتقال این لایه به سطح شده، اکسیداسیون و شست‌وشوی سولفید موجود، کانی کوپریت را ایجاد نموده است. فراوانی این کانی در بخشهای سطحی بیشتر دیده می‌شود و حاصل تبدیل کانیه‌های سولفیدی مانند پیریت در اثر فرآیندهای اکسیداسیون است. ژاروسیت در زون آرژیلیک سبب ایجاد رنگ زرد کهربایی در سطح کائولن شده است (شکل ۳ ج). هماتیت از کانیه‌های رایج در منطقه است. این کانی به همراه لیمونیت، گوتیت و ژاروسیت در زون اکسیدان یافت می‌شود. هماتیت حاصل از هوازدگی سبب تغییر رنگ کلی سنگهای منطقه به ویژه در زون آرژیلیک شده است. در مقیاس میکروسکوپی و ماکروسکوپی، هماتیت با دیگر اکسیدهای آهن به صورت رگچه‌ای مشاهده می‌شود (شکل ۳ ج). علاوه بر هماتیت حاصل از اکسیداسیون، این کانی در معدودی از سنگهای اسیدی منطقه به صورت اولیه با هابیت اسپیکولاریت دیده شد. طبیعتاً این هماتیت محصول یک سیال هیدروترمالی با شرایط کاملاً اکسیدان است. مجموعه اکسیدهای (ژاروسیت، هماتیت و به مقدار کم گوتیت) به همراه لیمونیت در بالای سیستم‌های غنی از پیریت با حدود ۴ تا ۵ درصد کل سولفیدها گسترش می‌یابند [۱۷].

دو کانی مالاکیت و آزوریت به صورت سطحی تنها در بخش



شکل ۳. نمایی از انواع و نحوه کانی‌سازی در منطقه، کانی‌سازی پیریت در شکستگی‌های سنگ (الف)، کانی‌سازی پیریت با یافت کاتاکلاستیک و کالکوپیریت (ب)، کانی کالکوپیریت از حاشیه به کانی اسفالریت تبدیل شده است (پ)، کانی‌سازی کالکوپیریت به صورت افشان (ت). رگه‌های کانی‌سازی هماتیت (حاصل اکسیداسیون پیریت) در نمونه داسیتی (ث)، یک رگه کانی‌سازی ژاروسیتی - هماتیتی در زون آلتراسیون آرژیلیک (ج).



شکل ۴. نقشه کانی‌سازی منطقه.

هوازگی	هیدروترمال	کانی
	—————	پیریت
	—————	کالکوپیریت
—————		کوپریت
—————		کالکوزین
	مگنتیت
	هماتیت
—————		لیمونیت
—————		زاروسیت
—————		آزوریت
—————		مالاکیت
—————		کوارتز
—————	—————	کانولینیت
	کلریت
	اپیدوت
	—————	کلسیت

افزایش زمان و دما

شکل ۵. توالی پاراژنزی کانیه‌ها.

ژئوشیمی

یکی از اهداف اکتشاف ژئوشیمیایی دست‌یابی به تمرکز غیرعادی عناصری است که در ارتباط با کانی‌سازی باشند. در عملیات صحرایی به منظور تجزیه شیمیایی و در اختیار داشتن تمرکز درستی از پراکندگی عناصر خاص در هاله‌های ژئوشیمیایی ثانویه و اولیه، دو سری نمونه‌برداری از رسوبات رودخانه‌ای و نمونه‌برداری سنگی انجام شده است. نمونه‌های برداشت‌شده پس از فرآیندهای خردایش، نمایش و آماده‌سازی به روش اسپکترومتری جذب اتمی در دانشگاه فردوسی مشهد آنالیز شدند. این آنالیز برای عناصر مس، سرب، روی، نقره، آنتیموان و در تعدادی از نمونه‌ها برای مولیبدن صورت گرفت. مقادیر مولیبدن اندازه‌گیری شده همگی کمتر از ۱ ppm را نشان می‌دهد که بسیار ناچیز است.

متوسط عبار عنصر مس در سنگهای حد واسط که غالب منطقه را تشکیل می‌دهند معادل ۴۰ ppm و فراوانی حد زمینه عنصر روی در این سنگها معادل ۷۵ ppm معرفی شده است [۱۸]. البته این عناصر در رسوبات رودخانه‌ای به دلیل شست‌وشو از بالادست، مقادیر بالاتری از حد زمینه خواهند داشت.

نقاط مناسب برای برداشت نمونه‌های رسوب آب‌راهه در منطقه مورد مطالعه براساس مطالعات زمین‌شناسی، آلتراسیون، توپوگرافی و تصاویر ماهواره‌ای پردازش‌شده انتخاب گردید. نمونه‌برداری از این رسوبات به منظور تعیین هاله‌های ژئوشیمیایی ثانویه می‌باشد. تعداد ۳۱ نمونه رسوب آب‌راهه در بخش مطالعات ژئوشیمیایی رسوبی مورد بررسی قرار گرفت. موقعیت برداشت نمونه‌های رسوبی و مقادیر عناصر مهم در شکل (۶) نشان داده شده‌است. طبق نتایج آنالیز، از بین این عناصر در رسوبات رودخانه منطقه، تنها دو عنصر مس و روی دارای آنومالی بوده و عناصر Ag، Sb و Mo دارای مقادیر ناچیزی هستند (جدول ۱). بیشترین میزان فراوانی عنصر مس و روی در قسمت‌های مرکزی و به سمت غرب محدوده مطالعاتی متمرکز شده است. در این مناطق فراوانی مس از ۱۳۳ ppm تا ۲۰۸ ppm و فراوانی روی از ۱۰۰ ppm تا ۴۲۰ ppm در غرب متغیر می‌باشد (شکل ۶).

اکتشافات براساس رسوبات آب‌راهه‌ای در مراحل اولیه

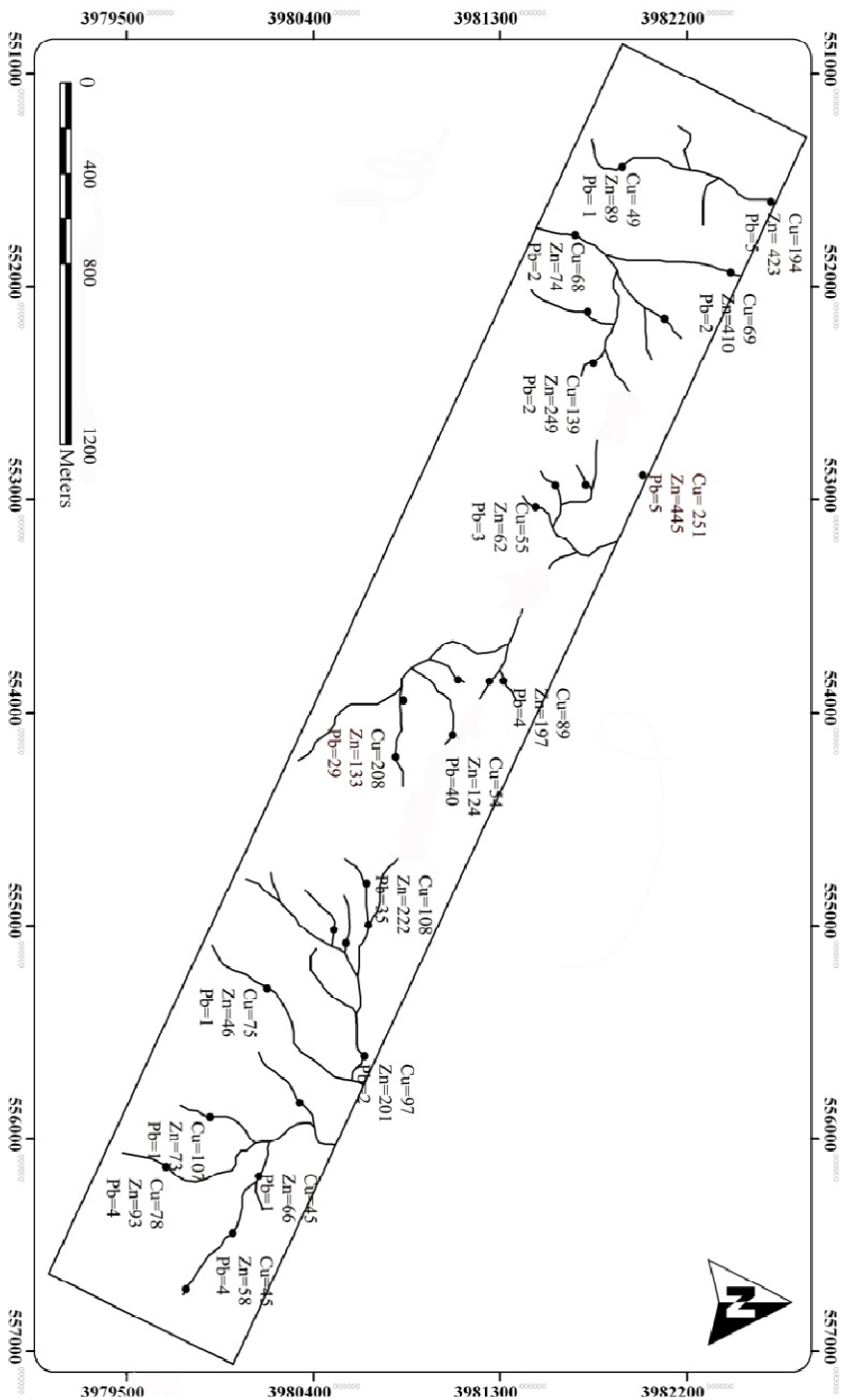
شناسائی صورت می‌گیرد. بررسیهای لیتوژئوشیمیایی در راستای تائید آنومالی‌های حاصل از رسوبات انجام می‌پذیرد. نمونه‌های سنگی به منظور مطالعات ژئوشیمیایی (۶۸ نمونه) از زون‌های کانی‌سازی و آلتراسیونی مرتبط با آن به روش chip composite برداشت شدند. فراوانی مس بین ۱۰۰ ppm در شرق تا ۵۹۵ ppm در مرکز منطقه متغیر است. فراوانی عنصر روی در نمونه‌های سنگی بین ۱۰۰ تا بیش از ۹۰۰ ppm می‌باشد (جدول ۲). به منظور تفکیک دقیق محل فراوانیهای عناصر مس و روی در منطقه سعی شده است تا از نقشه‌های کانتوربندی شده و تصاویر سه‌بعدی استفاده شود. این تصاویر فراوانی مقادیر مس و روی را عمدتاً در مرکز و بخشی از شمال محدوده نشان می‌دهند (شکل‌های ۷ و ۸ الف و ب).

ناهنجاریهای مس و دیگر عناصر با نقشه زمین‌شناسی تطبیق داده شدند. در این بررسی ارتباط توده‌های نفوذی مونزونیتی و کوارتز مونزونیتی با کانی‌سازی و نقاط ناهنجاری روشن است. در برخی نقاط هم‌پوشانی ناهنجاری مس و روی مشهود است. پس از مشاهده نتایج آنالیز، نمونه‌هایی که بیشترین میزان عنصر مس را دارا بودند برای تعیین مقدار طلا مورد آنالیز قرار گرفت (جدول ۳). نقشه توزیع ژئوشیمیایی عنصر طلا نشان می‌دهد که بیشترین میزان آن در قسمت‌های مرکزی محدوده مطالعاتی متمرکز شده است (شکل ۹). به نظر می‌رسد که این فراوانی ارتباط خاصی با پراکندگی مس در بخش مرکزی منطقه نشان می‌دهد و نیاز به بررسیهای تفصیلی‌تری در زمینه مطالعات تحت‌الارضی دارد.

در مقایسه نتایج آنالیز عناصر مس و روی در نمونه‌های رسوب و خرده‌سنگی ارتباط قابل ملاحظه‌ای بین این عناصر به خصوص در رسوبات رودخانه‌ای قابل مشاهده است (شکل ۱۰ الف و ب). همبستگی خطی معمولاً رابطه ژنتیکی و کانی‌زایی دو عنصر را نسبت به هم نشان می‌دهند. وجود همبستگی بیشتر بین این عناصر در رسوبات شاید به دلیل شست‌وشوی همزمان این عناصر با یکدیگر و ته‌نشست توسط آب‌راهه‌ها در محیط‌های مناسب رسوب‌گذاری باشد در صورتی که در رخنمون‌های سنگی عمل جابه‌جایی عناصر به کندی صورت می‌گیرد.

جدول ۱. نتایج آنالیز ژئوشیمیایی رسوبات رودخانه‌ای.

Sampel No	Cu (ppm)	Zn (ppm)	Pb (ppm)	Ag (ppm)	Sb (ppm)
S1	۶۸	۷۴	۲	۱	۳
S2	۴۹	۸۹	۱	۱	۳
S3	۵۰	۵۷	۲	۱	۴
S4	۱۳۹	۲۴۹	۲	۱	۳
S5	۹۹	۱۸۶	۲	۰	۴
S6	۶۹	۴۱۰	۲	۱	۴
S7	۱۹۴	۴۲۳	۵	۱	۴
S8	۲۵۱	۴۴۵/۹	۴/۹	۰/۲	۲/۵
S9	۳۴/۷	۵۰/۹	۵۵۰/۱	۰/۴	۲/۵
S10	۴۸/۸	۵۵/۳	۳/۸	۰/۸	۱/۸
S11	۵۵/۸	۶۲	۳/۲	۱/۲	۱/۷
S12	۸۹/۲	۱۹۷	۴/۵	۰/۲	۴/۱
S13	۹۱	۱۸۴	۱۰	۱	۰
S14	۱۳۳	۱۳۹	۴۰	۰	۰
S15	۵۴	۱۲۴	۴۰	۰	۰
S16	۲۰۸	۱۳۳	۲۹	۰	۰
S17	۲۰۷/۶	۱۳۲/۶	۲۹/۲	<۱	---
S18	۹۹/۴	۶۵/۶	۲۵/۴	<۱	---
S19	۱۰۸/۲	۲۲۲/۶	۳۵/۹	<۱	---
S20	۱۰۱/۱	۲۶۳/۷	۳۳/۷	<۱	---
S21	۱۶۷	۱۷۱/۴	۲۴/۴	<۱	---
S22	۷۵/۱	۱۹۲/۸	۳۵/۲	<۱	---
S23	۴۵/۱	۵۸/۷	۳/۷	۰/۵	۱/۶۹
S24	۳۷/۴	۶۴	۱/۱	۰/۷	۱/۵
S25	۷۸/۴	۹۳/۸	۴	۰/۶	۱/۷
S27	۹۷/۵	۲۰۱/۳	۱/۵	۰/۲	۱/۷
S28	۴۴/۹	۹۰/۶	۰/۷	۰/۹	۱/۶
S29	۴۵/۶	۶۶/۸	۰/۹	۰/۸	۲
S30	۷۵	۴۶/۹	۰/۷	۰/۳	۱/۹
S31	۱۰۷/۶	۷۳	۱	۰/۲	۱/۴



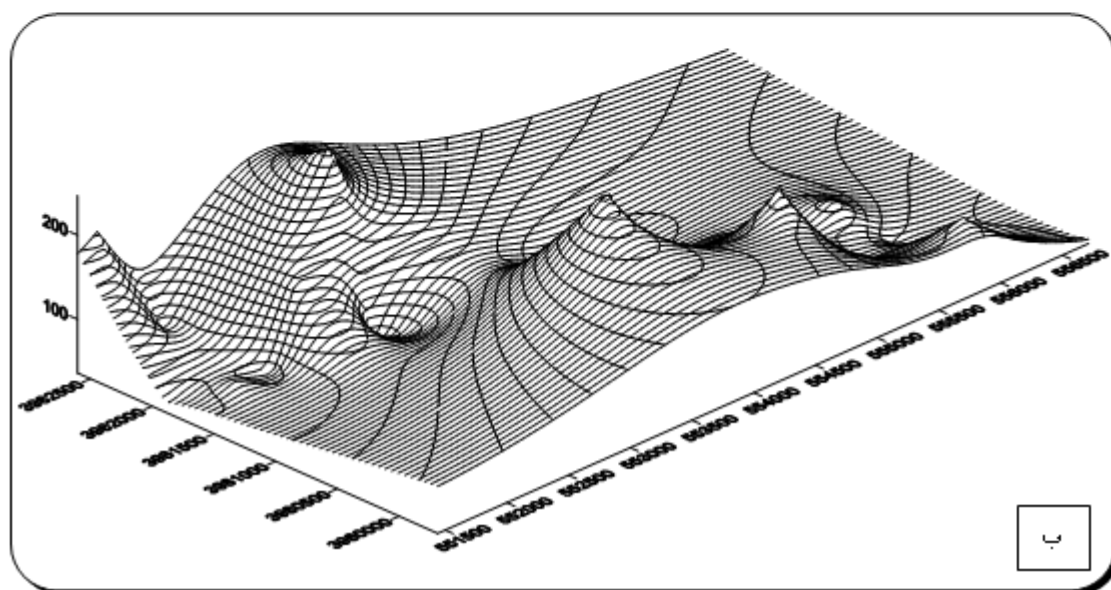
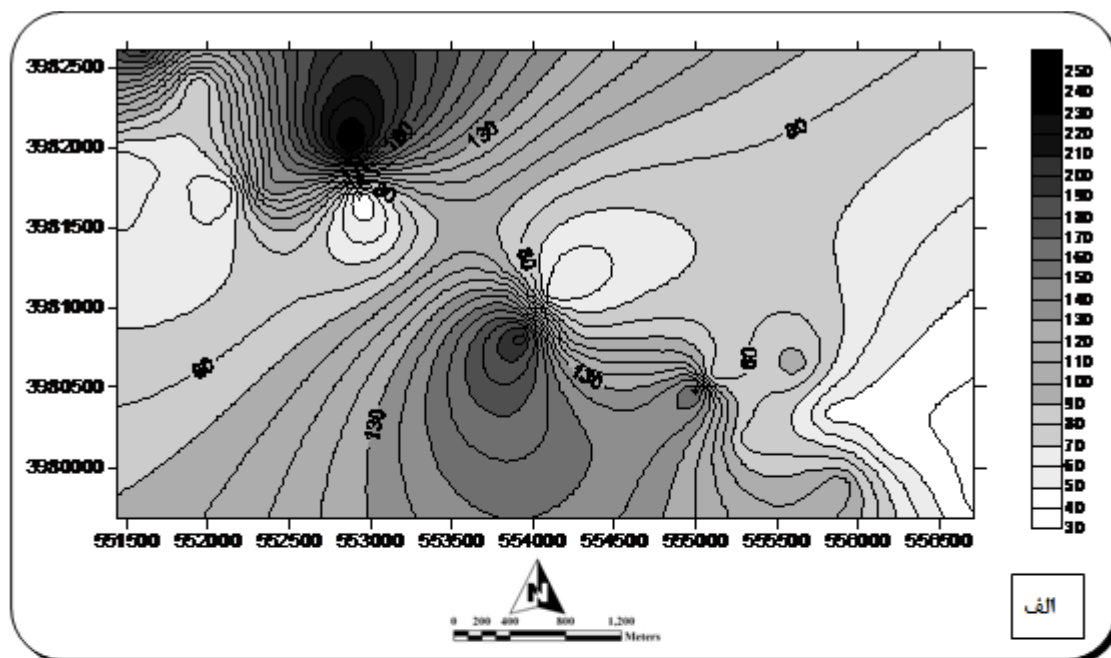
شکل ۶. موقعیت رسوبات رودخانه‌ای و میزان فراوانی عناصر مس، روی و سرب در هر نقطه بر حسب ppm.

جدول ۲. نتایج آنالیز ژئوشیمیایی نمونه‌های سنگی.

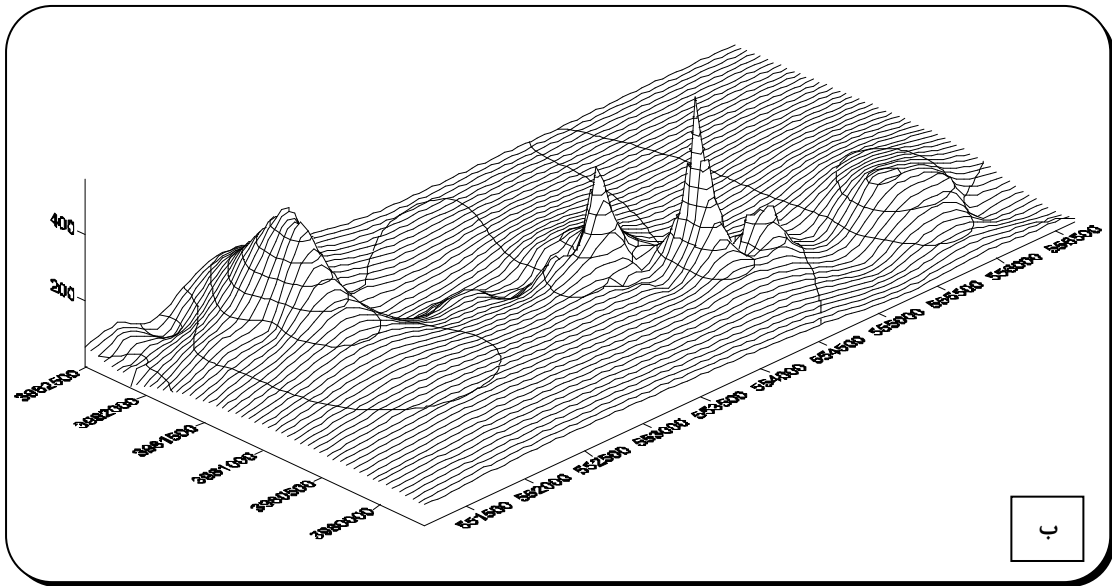
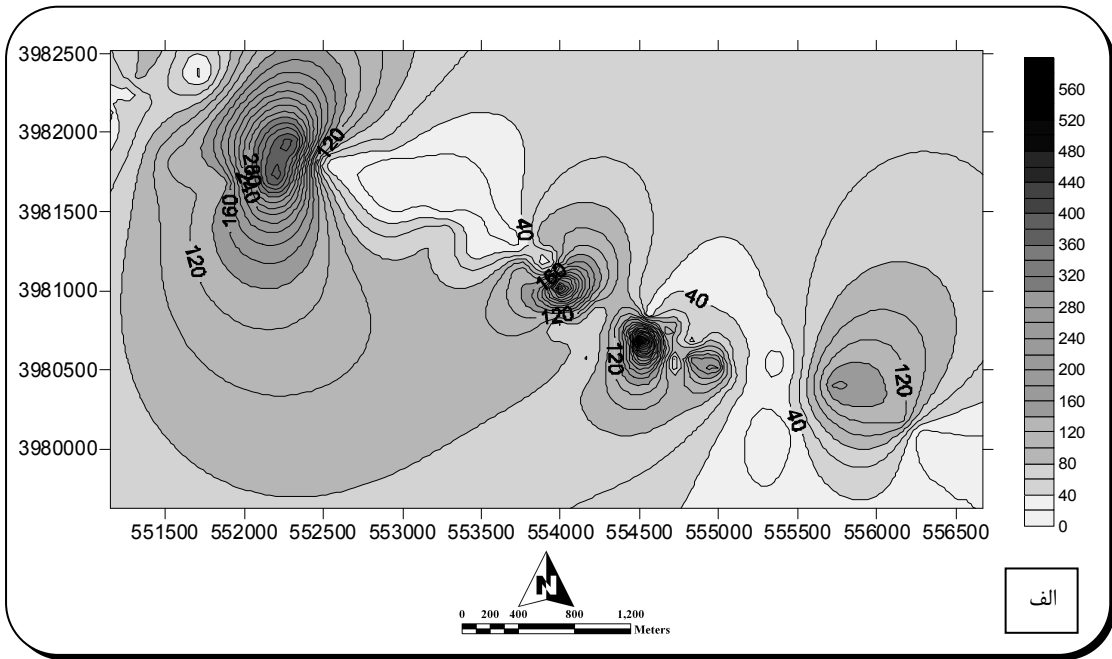
Sample No.	Cu (ppm)	Zn (ppm)	Pb (ppm)	Ag (ppm)	Sb (ppm)
R5	۰	۱۲۳	۱	۰	۳
R6	۲۰۱	۴۰۴	۱	۰	۴
R7	۲۵	۲۵	۱	۱	۲
R8	۵۰	۸۴	۱	۱	۷
R9	۲۶۷	۸۷	۱	۰	۶
R10	۱	۹	۰	۰	۳
R11	۲۲۰	۴۰۰	۲	۱	۹
R12	۱۵۵	۲۶۷	۱	۰	۷
R13	۲	۲۷	۰	۰	۵
R14	۱۵/۴	۵۲/۹	۲/۹	۰/۴	۲/۵
R15	۷/۱	۵/۶	۱/۴	۰/۵	۱/۸
R16	۲/۵	۵/۸	۱/۷	۰/۱	۱/۷
R17	۱۷۵/۹	۷۸/۲	۳/۹	۰/۸	۴/۱
R18	۷/۸	۷۵	۲/۲	۰/۷	۳/۲
R19	۱۸/۴	۷۵	۱/۵	۰/۴	۲/۲
R20	۲۵	۹/۴	۲/۲	۰/۶	۱/۸
R21	۵۹/۵	۱۱/۹	۱/۷	۰/۶	۱/۲
R22	۲۴/۹	۱۰۲/۴	۱/۹	۰/۵	۱/۹
R23	۶/۴	۸۵	۲/۱	۰/۴	۲/۱
R24	۲۳/۵	۲۴/۶	۴۱/۸	۶	۰
R25	۵۸/۴	۳۰/۳	۱۰	۶	۰
R26	۴۵/۵	۱۴/۷	۱۰	۱	۰
R27	۱۴/۴	۱۴۰/۶	۶۶/۸	۴	۰
R28	۱۹/۵	۴۱۸/۸	۵۷/۱	۴	۰
R29	۳۹/۸	۷۴/۹	۱۰	۴	۰
R30	۸۴/۱	۵/۸	۱۰	۱	۰
R31	۲	۲۶/۹	۰	۴/۷	۰/۳
R32	۱۰۹/۳	۵۴	۱۰	۱	۰
R33	۵۹۵/۹	۵۵	۶۳/۹	۱	۰
R34	۳۷/۵	۱۸۶/۸	۱۰	۱	۰
R35	۱۲۲/۹	۶۱۸	۱۰	۵	۰
R36	۷۳/۲	۹۴/۳	۱۰	۵	۰
R37	۱۰۰/۵	۵۶/۲	۱۰	۵	۰
R38	۳۸/۶	۹۲/۹	۱۰	۱	۰
R39	۱۹/۹	۲۲/۸	۱۰	۵	۰
R40	۹۷/۶	۹۶۰	۷۱۹/۷	۱۳	۰

جدول ۱۲ ادامه. نتایج آنالیز ژئوشیمیایی نمونه‌های سنگی.

Sample No.	Cu (ppm)	Zn (ppm)	Pb (ppm)	Ag (ppm)	Sb (ppm)
R41	۱۹/۳	۴۰/۹	۴۲/۸	۱	۰
R42	۵۳/۱	۱۵۵/۶	۹۱/۱	۲۸/۲	۰
R43	۱۴/۶	۵/۳	۶۸/۴	۱۰	۰
R44	۱۷/۵	۵/۷	۷۰/۵	۱۰	۰
R45	۳۵/۷	۷۲/۶	۱۰	۱	۰
R46	۴۳۲/۴	۱۷۹/۹	۱۰	۱	۰
R47	۴۰/۳	۲۵/۷	۱۰	۱	۰
R48	۲۳/۸	۱۰/۱	۴۰/۷	۱	۰
R49	۳۵/۵	۳۰/۱	۱۰	۱	۰
R50	۱۶/۱	۵۳/۱	۱۰	۱	۰
R51	۱۰۵/۴	۶۰	۱۰	۱	۰
R52	۱۵۰/۹	۱۶۶/۸	۱۰	۱	۰
R53	۳۸۳/۷	۲۱۶/۹	۱۰	۱	۰
R54	۵۸/۴	۴۸/۶	۷۱/۶	۵	۰
R55	۲	۴۸/۸	۲	۱	۲/۱
R56	۲	۹/۵	۲/۵	۱	۲/۱
R57	۲۰/۱	۲۹/۱	۳/۲	۱	۲/۶
R58	۶۸/۶	۳۸/۸	۳/۲	۱	۲/۴
R59	۲	۳/۸	۲	۱	۲/۹
R60	۲۹/۲	۱۶۷/۶	۲۵	۱	۲/۱
R61	۱۱۹/۳	۲۷/۹	۳/۲	۱	۲/۳
R62	۲	۸/۵	۲/۵	۱	۲/۳
R63	۲	۱۰/۱	۳	۱	۲
R64	۲	۷/۲	۲/۸	۱	۲/۵
R65	۲	۳۰/۶	۳/۲	۱	۲/۸
R66	۲	۱۲/۴	۴	۱	۲/۱
R67	۲	۸	۴	۱	۰/۵
R68	۳۲/۲	۱۲۷/۷	۳/۲	۱	۰/۵
R1	۱	۳	۱	۱	۲
R2	۱	۵۷	۲	۱	۴
R3	۶۶	۶۲	۱	۰	۴
R4	۱۰۳	۱۳۲	۲	۰	۴



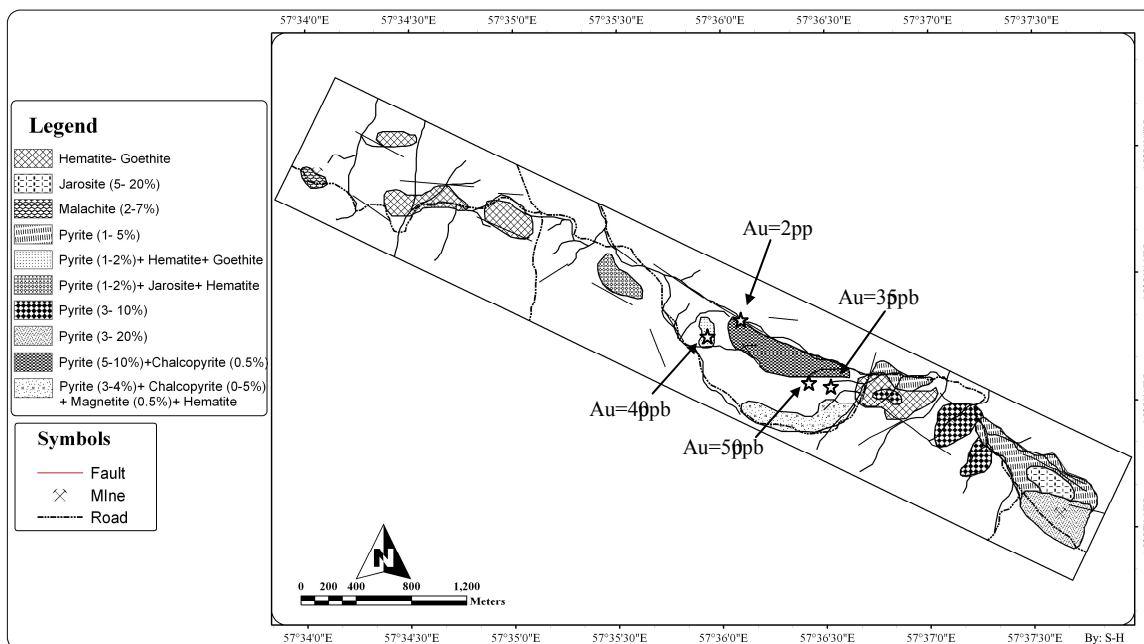
شکل ۷. نقشه کانٹوری پراکندگی مس در نمونه‌های خرده‌سنگی (الف)، نقشه سه بعدی پراکندگی مس در نمونه‌های خرده‌سنگی (ب).



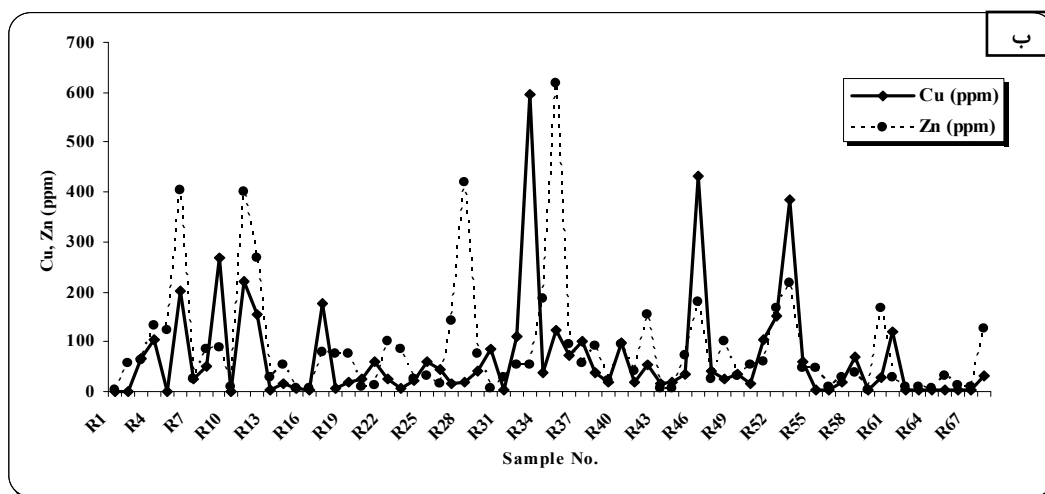
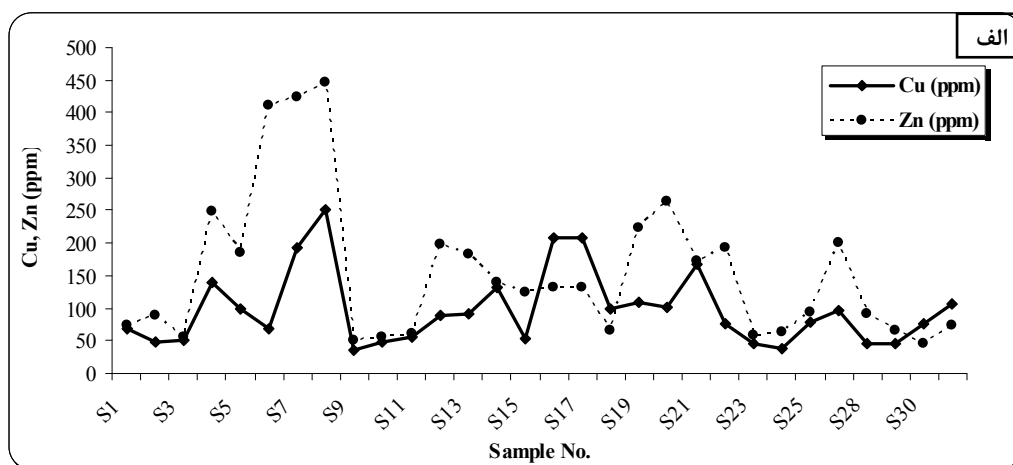
شکل ۸. نقشه کانتوری پراکندگی روی در نمونه‌های خرده‌سنگی (الف)، نقشه سه بعدی پراکندگی روی در نمونه‌های خرده‌سنگی (ب).

جدول ۳. نتایج آنالیز طلا در نمونه‌های با بیشترین میزان آنومالی مس.

Sample No.	Au (ppb)
R ₃₃	۲
R ₄₆	۵۰
R ₅₃	۳۵
S ₁₇	۴۰



شکل ۹. نقشه توزیع عنصر طلا در نمونه‌های آنالیز شده.



شکل ۱۰. رابطه مستقیم Cu- Zn در نمونه‌های رسوب آبراهه‌ای منطقه (الف)، رابطه نسبتاً مستقیم Cu- Zn در نمونه‌های سنگی منطقه (ب).

بحث و برداشت

بر اساس مطالعات صحرایی و کانه‌نگاری، دست‌کم دو نسل کانی‌سازی در منطقه مورد مطالعه تفکیک گردید. کانی‌سازی به صورت فلزی و غیر فلزی (کائولن) صورت گرفته است. وجود کانی‌سازی فلزی اولیه و اکسیدان در منطقه از شاخصه‌های زون‌بندی کانی‌سازی محسوب می‌شود. کانی‌سازی فلزی اولیه از جمله پیریت، کالکوپیریت، بورنیت، کالکوزین، اسفالریت و مگنتیت (؟) بوده و به همراه آن کانیهای ثانویه از قبیل اکسیدهای فراوان آهن به خصوص در بخشهای سطحی دیده می‌شود. از جمله این کانیها ژاروسیت، همتایت، گوتیت و لیمونیت است. ترکیب سنگ منشأ کانی‌سازی‌های اخیر در محدوده مونزونیت تا کوارتز مونزونیت قرار می‌گیرد.

با توجه به پاراژنز کانیهای موجود و فراوانی کانیهای سولفیدی به خصوص پیریت در منطقه می‌توان دریافت که ترکیب سیال هیدروترمالی سولفیدی و اکسیدان بوده است. مطالعات ژئوشیمی صورت‌گرفته بر روی رسوبات آب‌راه‌های و نمونه‌های سنگی مؤید بی‌هنجاری عناصر مس و روی در بخش میانی منطقه و به ویژه غرب معدن هلاک‌آباد است. علاوه بر این دو عنصر آنومالی طلا نیز در بخشهای مرکزی تشخیص داده شد. مقایسه الگوی کانی‌سازی و آلتراسیون در منطقه و همچنین بررسی هاله‌های ژئوشیمی اولیه و ثانویه، شباهتهای زیادی را با سیستم‌های کانی‌سازی پورفیری نوع Cu-Au نشان می‌دهد.

مراجع

- [۱] جعفریان م.ب، جلالی ع، "نقشه زمین‌شناسی ۱/۱۰۰۰۰۰ ششتمد"، انتشارات سازمان زمین‌شناسی ایران، تهران (۱۳۷۷).
- [۲] مظلوم م، "بررسی و مطالعه پتروگرافی، دگرسانی و ژئوشیمی در غرب معدن کائولن هلاک‌آباد سبزوار با رویکرد اکتشاف مس پورفیری"، پایان‌نامه کارشناسی ارشد زمین‌شناسی اقتصادی، دانشگاه فردوسی مشهد (۱۳۸۶).
- [۳] شبانی ف، "زمین‌شناسی، کانی‌شناسی، آلتراسیون، کانی‌سازی و ژئوشیمی محدوده معدن کائولن همدی هلاک‌آباد سبزوار با نگرش اکتشاف مس پورفیری"، پایان‌نامه کارشناسی ارشد زمین‌شناسی اقتصادی، دانشگاه فردوسی مشهد، (۱۳۸۷) ۱۸۷ صفحه.
- [۴] پناهی م، "زمین‌شناسی، پتروگرافی، آلتراسیون و ژئوشیمی بخش شرقی کائولن همدی هلاک‌آباد (جنوب‌غرب سبزوار) با نگرش اکتشاف مس پورفیری و بررسی کانی‌شناسی، ژئوشیمی و اطلاعات دقیق مغناطیس‌سنجی در شرق معدن سنگ آهن ابوزر نیشابور (شمال‌شرق سبزوار)"، پایان‌نامه کارشناسی ارشد زمین‌شناسی اقتصادی، دانشگاه فردوسی مشهد، (۱۳۸۷) ۴۱۱ صفحه.
- [۵] حسینی‌نژاد س، "زمین‌شناسی، کانی‌شناسی، آلتراسیون، کانی‌سازی کائولن و ژئوشیمی محدوده معدن کائولن هلاک‌آباد، دربند و بهارستان با نگرش اکتشاف مس پورفیری"، پایان‌نامه کارشناسی ارشد زمین‌شناسی اقتصادی، دانشگاه فردوسی مشهد، (۱۳۸۷) ۲۰۲ صفحه.
- [۶] Cooke et al., "Giant Porphyry Deposits: Characteristics, Distribution, and Tectonic Controls", *Economic Geology*, 100: 801-818, (2005).
- [۷] Berberian M., King G.C., "Towards a paleogeography and tectonic evolution of Iran", *Canadian Journal of Earth Sciences* 18, (1981), p. 210-265.
- [۸] Hezarkhani A., "Hydrothermal evolutions at the Sar-Cheshmeh porphyry Cu-Mo deposit, Iran: evidence from fluid inclusions", *Journal of Asian Earth Sciences*, England 28 (2006a), p. 408-422.
- [۹] Hezarkhani A., "Alteration/mineralization and controls of chalcopyrite dissolution/deposition in the Raigan porphyry system, Bam-Kerman, Iran", *Journal of International Geology Review*, USA 48, (2006b), P. 561-572.
- [۱۰] Hezarkhani A., "Petrography of intrusive rocks within the sungun porphyry copper deposit, Azarbaijan, Iran", *Journal of Asian Earth Sciences*, England 73, (2006c), p. 326-340.
- [۱۱] Berberian M., "The southern Caspian: a compressional depression floored by a trapped, modified oceanic crust", *Canadian Journal of Earth Sciences* 20, (1983) p. 163-183.
- [۱۲] Etminan H., "Fluid inclusion studies of the porphyry copper ore bodies at Sar-Cheshmeh, Darreh Zar and Mieduk (Kerman region, southeastern Iran) and porphyry copper discoveries at Sar-Cheshmeh, Gozan, and Kighal, Azarbaijan region (northwestern Iran)", *International Association, Genesis of ore deposits Fifth Symposium, Snowbird, Utah, Abstract*, (1978) No. 88.
- [۱۳] Shahabpour J., "Aspects of Alteration and Mineralization at the Sar-Cheshmeh Copper

- [17] Anderson J.A., "Characteristics of leached capping and techniques of appraisal, in Titley, S. R., ed., *Advances in geology of the porphyry copper deposits, Southwestern North America: Tucson*", University of Arizona Press, (1982) 275-296.
- [18] Rose A.W., Burt D.M., "Hydrothermal alteration in Barnes, H.L., ed., *Geochemistry of hydrothermal ore deposit*", 3rd edition: New York, USA, John Wiley and sons, (1979) 173-235.
- Molybdenum Deposit*", Kerman, Iran. PhD Thesis (1982).
- [۱۴] سید امامی ک.، "کرتاسه پایینی در ایران"، شماره ۲۱، نشر دانشکده فنی تهران، دور دوم (۱۳۵۰) صص ۶۰-۸۱.
- [15] Simon G., Kesler S. E., Essene E. J., "Gold in porphyry copper deposits: Experimental determination of the distribution of gold in the Cu-Fe-S system at 400°C to 700°C", *Economic Geology*, v. 95, (2000) 259-270.
- [16] Waterman G.C., Hamilton R.L., "The Sar Cheshmeh porphyry copper deposit", *Economic Geology*, v.70,no.3, (1975) 568-576.