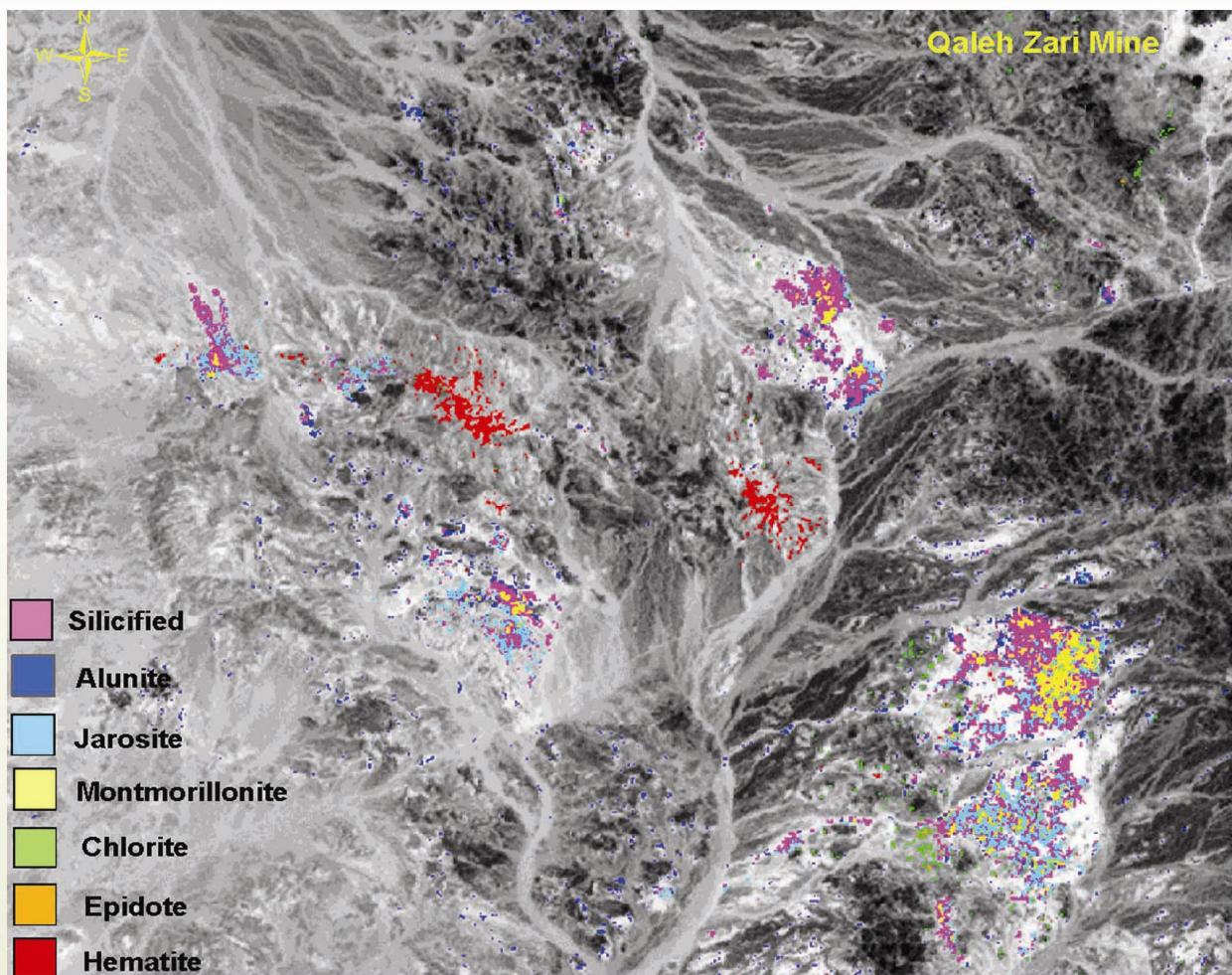


علمی- پژوهشی

# زمین‌شناسی اقتصادی



این نشریه در ISC نمایه شده است

بِسْمِ اللّٰهِ الرَّحْمٰنِ الرَّحِيْمِ

نشریه زمین‌شناسی اقتصادی  
دانشگاه فردوسی مشهد

سال ۱۳۸۹، شماره ۲ (جلد ۳)

تاریخ انتشار

پاییز ۱۳۸۹

پروانه انتشار نشریه ۷۹۳۱ - ۸۸/۷/۱۸ - ۱۳۸۸/۹/۱۸

وزارت فرهنگ و ارشاد اسلامی

بر اساس مجوز کمیسیون بررسی نشریات علمی کشور طی شماره ۴۱۴۳ - ۸۹/۵/۹  
این نشریه دارای اعتبار علمی - پژوهشی است.

این نشریه در پایگاه‌های زیر نمایه شده است:

# زمین‌شناسی اقتصادی

سال ۱۳۸۹، شماره ۲ (جلد ۳)

با شماره پروانه ۱۳۸۹/۷۹۳۱ از معاونت امور مطبوعاتی و اطلاع رسانی  
وزارت فرهنگ و ارشاد اسلامی

صاحب امتیاز: دانشگاه فردوسی مشهد

مدیر مسئول و سردبیر: دکتر محمدحسن کریمپور، استاد دانشگاه فردوسی مشهد

اعضای هیأت تحریریه:

دکتر محمدحسن کریمپور، استاد (دانشگاه فردوسی مشهد)

دکتر عبدالمجید یعقوبپور، استاد (دانشگاه تربیت معلم تهران)

دکتر محمدحسین آدابی، استاد (دانشگاه شهید بهشتی)

دکتر ابراهیم راستاد، دانشیار (دانشگاه تربیت مدرس تهران)

دکتر غلامرضا لشکری پور، استاد (دانشگاه فردوسی مشهد)

دکتر عباس مرادیان، دانشیار (دانشگاه شهید باهنر کرمان)

دکتر سیدرضا موسوی حرمی، استاد (دانشگاه فردوسی مشهد)

دکتر سید احمد مظاہری، دانشیار (دانشگاه فردوسی مشهد)

ناشر: گروه پژوهشی اکتشاف ذخایر معدنی شرق ایران، دانشکده علوم، دانشگاه فردوسی مشهد

شمارگان: ۵۰۰ نسخه

امور فنی و چاپ: مؤسسه چاپ و انتشارات دانشگاه فردوسی مشهد

حق اشتراک سالانه مجله با احتساب هزینه پست برای اشخاص و مؤسسات دانشگاهی ۲۰۰۰۰۰ ریال و

برای دانشجویان ۱۰۰۰۰۰ ریال است. لطفاً وجه اشتراک را به حساب جاری شماره ۴۲۵۰-۵۰۴۹۴

بانک تجارت شعبه دانشگاه فردوسی مشهد به نام مجله زمین‌شناسی اقتصادی واریز فرمائید.

تلفن و نمابر دفتر مجله: ۰۵۱-۸۷۸۸۰۵۴

پست الکترونیک: econg@um.ac.ir

نشانی وب سایت: <https://jm.um.ac.ir/index.php/econg>

## مشاوران علمی این شماره:

- دکتر علی امامعلی پور، استادیار- زمین‌شناسی اقتصادی (دانشگاه ارومیه)
- دکتر بتول تقی پور، استادیار- زمین‌شناسی اقتصادی (دانشگاه شیراز)
- دکتر محمد رضا حیدریان شهری، دانشیار - ژئوفیزیک (دانشگاه فردوسی مشهد)
- دکتر ابراهیم راستاد، دانشیار - زمین‌شناسی اقتصادی (دانشگاه تربیت مدرس تهران)
- دکتر محمدحسین ذرین کوب، استادیار- پترولوزی و زمین‌شناسی اقتصادی (دانشگاه بیرجند)
- دکتر سعید علیرضایی، استادیار- زمین‌شناسی اقتصادی (دانشگاه شهید بهشتی)
- دکتر مجید قادری، استادیار - زمین‌شناسی اقتصادی (دانشگاه تربیت مدرس تهران)
- دکتر محمدحسن کریم‌پور، استاد-زمین‌شناسی اقتصادی (دانشگاه فردوسی مشهد)
- دکتر علی اصغر کلاگری، دانشیار - زمین‌شناسی اقتصادی (دانشگاه تبریز)
- دکتر محمد لطفی، دانشیار- زمین‌شناسی اقتصادی (پژوهشکده علوم زمین، سازمان زمین‌شناسی تهران)
- دکتر فرید مر، استاد- زمین‌شناسی اقتصادی (دانشگاه شیراز)
- دکتر عباس مرادیان، دانشیار - پترولوزی (دانشگاه شهید باهنر کرمان)
- دکتر علیرضا مظلومی، استادیار - زمین‌شناسی اقتصادی (دانشگاه پیام‌نور مشهد)
- دکتر بهزاد مهرابی، دانشیار- زمین‌شناسی اقتصادی (دانشگاه تربیت معلم تهران)
- دکتر مجید هاشمی تنگستانی، استادیار - زمین‌شناسی اقتصادی (دانشگاه شیراز)
- دکتر عبدالمجید یعقوب‌پور، استاد - زمین‌شناسی اقتصادی (دانشگاه تربیت معلم تهران)

ویراستار متن فارسی: مهندس مصطفی کدکنی (دانشگاه فردوسی مشهد)

ویراستار متن انگلیسی: دکتر مجید قادری (دانشگاه تربیت مدرس تهران)

مدیر اجرایی: مهندس مليحه قورچی (گروه پژوهشی اکتشاف ذخایر معدنی شرق ایران، دانشگاه فردوسی مشهد)

نشانی: مشهد، پردیس دانشگاه فردوسی، دانشکده علوم، گروه پژوهشی اکتشاف ذخایر معدنی شرق ایران، دفتر مجله زمین‌شناسی اقتصادی. کد پستی ۹۱۷۷۹ - ۴۸۹۷۴

با سلام

۲۱ شهریور ۱۳۸۹ روز تأسیس انجمن زمین‌شناسی اقتصادی را به استانی، پژوهشگران و دانشجویان رشته زمین‌شناسی اقتصادی و رشته‌های مرتبط در سراسر کشور صمیمانه تبریک و شادباش می‌گوییم. ضمن استعانت از خداوند قادر متعال برای تحقق اهداف این انجمن، برای همکاران محترم آرزوی سلامت، موفقیت، همدلی و تلاش در جهت ارتقای جایگاه زمین‌شناسی اقتصادی ایران را دارم.

مواد معدنی در ادوار گذشته همواره نقش مهم و اساسی در زندگی انسان ایفا نموده است. میزان و نوع استفاده از مواد معدنی در تقسیمات زمانی، رابطه مستقیم با دانایی انسانها داشته است. امروزه مواد معدنی و معادن، جایگاه ویژه‌ای در اشتغال، اقتصاد، صنعت و استقلال کشورها دارند. پایدارترین اشتغال و درآمد مربوط به بخش معدن است. برای مثال، معدن مس پورفیری بینگام واقع در ایالت یوتای امریکا، از ۱۰۴ سال قبل تاکنون در حال بهره‌برداری است و حدود ۴ نسل در این معدن شاغل بوده‌اند. معدن مذکور نقش مهمی در تولید مس و اقتصاد امریکا در طول تمامی این سالها داشته است. کشورهای توسعه‌یافته، برنامه‌های ویژه و توجه جدی به اکتشاف و استخراج مواد معدنی دارند؛ از جمله می-توان کشورهای استرالیا، کانادا، امریکا و چین را نام برد.

زمین‌شناسان اقتصادی و رشته‌های مرتبط، مسئولیت شناسایی، اکتشاف و مدیریت ذخایر معدنی را در کشورهای توسعه‌یافته برعهده دارند. موفقیت در کشف ذخایر معدنی، مرهون زمین‌شناسان اقتصادی با تجربه، کارآمد، ماهر و برخوردار از آخرين یافته‌های دانش زمین‌شناسی اقتصادی است. با نگاهی به گذشته، می‌توان دریافت که ایرانیان در کشف و ذوب فلزات، دارای تاریخچه درخشناد و با قدمت چندین هزار ساله‌اند. نخستین آلیاژ (برنز) توسط ایرانیان اختراع شد. بنابراین، ایران در زمینه کشف مواد معدنی، مهد دانایی، استعداد، توانمندی و تلاش بوده و انجمن زمین‌شناسی اقتصادی ایران با توجه به پتانسیل بسیار ارزشمند و بالای کشور در خصوص مواد معدنی، تلاش خواهد نمود تا از طریق آموزش، تحقیقات و اصلاحات قانونی، بهترین جایگاه در کشف ذخایر معدنی را برای کشور مهیا سازد.

انجمن زمین‌شناسی اقتصادی ایران مصمم است با همدلی و تلاش استانی، پژوهشگران، دانشجویان و دستگاههای اجرایی مرتبط با برنامه‌ریزی، گامهای مهمی در راستای تحقق جایگاه مناسب اکتشاف ذخایر معدنی در کشور را فراهم نماید. موارد زیر در دستور کار انجمن قرار گرفته است:

- ۱- هدفمند نمودن تحقیقات و پژوهش‌ها در زمین‌شناسی اقتصادی (اکتشافات ذخایر معدنی). با توجه به پتانسیل و شرایط زمین‌شناسی و اولویت‌های تحقیقاتی- اکتشافی در خصوص اکتشاف ذخایر معدنی در مناطق مختلف کشور، این امر با مشارکت استانی، پژوهشگران و دستگاههای اجرایی مشخص خواهد شد.
- ۲- اساتید، پژوهشگران، دانشجویان دکتری و کارشناسی ارشد دانشگاهها و مراکز تحقیقاتی، مجری طرحهای اساتید، پژوهشگران، دانشجویان دکتری و کارشناسی ارشد دانشگاهها و مراکز تحقیقاتی، مجری طرحهای مزبور خواهند گردید.

در خصوص تعیین اولویت‌ها، پارامترهای متعددی مورد توجه قرار خواهد گرفت: ۱- تأمین مواد اولیه برای توسعه صنعت کشور، ۲- توسعه اشتغال در مناطق کم‌بخوردار با کشف ذخایر معدنی، ۳- تأمین مواد اولیه برای مصالح سبک و عایق-های حرارتی با توجه به افزایش نرخ انرژی، ۴- افزایش سهم صادرات مواد معدنی با تأکید بر ارزش افزوده، ۵- توجه

جدی به مسایل زیست محیطی اکتشاف و استخراج معادن، ۶- نوآوری در دانش و فناوری اکتشاف، ۷- اکتشاف مواد راهبردی و ۸- سایر پارامترها.

۲- رصد نمودن آموزش و تحقیقات زمین‌شناسی اقتصادی در کشورهای توسعه‌یافته و بومی‌سازی و بهروز رسانی آموزش و پژوهش زمین‌شناسی اقتصادی در ایران.

۳- خوشبختانه مجله زمین‌شناسی اقتصادی با کسب مجوز علمی- پژوهشی، زمینه چاپ تحقیقات و پژوهش‌های زمین‌شناسی اقتصادی در کشور را فراهم نموده است. با عنایت به این مهم که مجله زمین-شناسی اقتصادی، نمادی است از متخصصین زمین‌شناسی اقتصادی ایران، لذا از تمامی اساتید، پژوهشگران و دانشجویان دکتری درخواست می‌شود بهترین مقاله‌های علمی- پژوهشی خود را برای چاپ در این مجله ارسال نمایند.

۴- برنامه‌ریزی برای برگزاری کارگاه‌های آموزشی و تخصصی.

## فهرست

- بررسی خصوصیات کانی‌شناسی، ساختی، بافتی و ژئوشیمیایی معدن سرب نخلک، اصفهان ..... 131  
محمدعلی جزی و جمشید شهابپور
- زمین‌شیمی و پیدایش کانیهای گروه آلومینیم، فسفات - سولفات (APS) در زون دگرسانی آرژیلیک پیشرفت، شمال‌غرب شیرکوه، یزد ..... 153  
بتول تقی‌پور و فرید مر
- زمین‌شناسی، آلتراسیون، کانی‌سازی و ژئوشیمی محدوده جنوب ارغش (نیشابور) ..... 167  
زهرا کریمی سعیدآبادی، سیداحمد مظاہری، محمدحسن کریمپور
- بررسی انواع گونه‌های مولیبدنیت در فرآیند فرآوری مربوط به معدن مس سرچشم ..... 191  
بالنده امین‌زاده، جمشید شهابپور و مرتضی اسدی‌پور
- بررسی ژئوشیمی دگرسانیهای گرمابی مرتبط با کانی‌سازی طلای اپی‌ترمالی در ناحیه مسجدداغی، شرق جلفا، شمال‌باختر ایران ..... 199  
علی امامعلی‌پور، حسین عبدالی‌اسلاملو و بهزاد حاج‌علیلو
- زمین‌شناسی، دگرسانی، کانی‌سازی و مطالعات ژئوشیمیایی در منطقه کلاته‌تیمور، شمال‌شرق ایران ..... 217  
زهرا اعلمی‌نیا، محمدحسن کریمپور و محمدرضا حیدریان‌شهری
- کانی‌شناسی و ژئوشیمی عناصر نادر خاکی در کانسار روی - سرب - مس (نقره) گمیش‌تپه، جنوب‌غرب زنجان ..... 235  
طوبی صالحی، مجید قادری و نعمت‌الله رشیدنژاد عمران





## بررسی خصوصیات کانی‌شناسی، ساختی، بافتی و ژئوشیمیایی معدن سرب نخلک، اصفهان

محمدعلی جزی<sup>۱</sup>، جمشید شهاب‌پور<sup>۲</sup>

۱- دانشجوی کارشناسی ارشد زمین شناسی اقتصادی

۲- گروه زمین‌شناسی، دانشگاه شهید بهشتی، کرمان

دریافت مقاله: ۱۳۸۸/۱/۱۱، نسخه نهایی: ۱۳۸۹/۲/۱۸

### چکیده

معدن سرب نخلک در ۵۵ کیلومتری شمال شرق انارک و در امتداد رشته‌کوهی منفرد موسوم به کوه نخلک واقع شده است. کانی‌شناسی ماده معدنی ساده بوده و گالن و باریت، کانیهای اصلی و اولیه را تشکیل می‌دهند و سروزیت کانی اقتصادی ثانویه پس از گالن می‌باشد. کانیهای اسفالریت، کالکوپیریت، پیریت، تترائدریت- تناننتیت و آکانتیت از دیگر کانیهای اولیه‌اند که به صورت ادخالهای کمیابی درون گالن حضور دارند. علاوه بر سروزیت، دیگر کانیهای ثانویه عبارتند از: انگلزیت، پلاتریت، ولفنتیت، مالاکیت و غیره. سنگ میزبان در اثر فرآیند دولومیتی‌شدن به دولوستون تبدیل شده است. چهار نوع دولومیت در سنگ میزبان تشخیص داده شده‌اند که شناخته شده که شناخته شده‌ترین آنها دولومیت‌های نوع زین‌اسپی است. بافت‌های متنوعی از جمله بافت‌های برشی، کوکاد، نواریندی قشری و کلوفرم در رگه‌های کانسار وجود دارد که این بافت‌ها از نوع بافت‌های پرکننده فضای خالی هستند. آزمایش نمونه‌های گالن نخلک نشان داد که تعدادی از عناصر کمیاب ارزشمند درون این کانی تمرکز یافته‌اند که مهمترین آنها نقره است. جفت عناصر Zn-Cd، Ag-As، As-Sb و As-Cu دارای همبستگی بالایی نسبت به یکدیگر می‌باشند. برخی از همبستگیها به سبب حضور ادخال کانیهای بیگانه درون گالن است. نمودار سه‌تایی Ag-Sb-Bi نشان می‌دهد که گالن نخلک غنی از نقره و آنتیموان و فقیر از بیسموت می‌باشد. نسبت Sb/Bi (۳۷۷۳) در گالن، شرایط تشکیل در دمای پایین را نشان می‌دهد. با توجه به چینه‌شناسی کربناتی کرتاسه بالایی، دگرسانی دولومیتی سنگ میزبان، کانسارسازی دیرزاد و لایه‌کران، عدم ارتباط با فعالیتهای آذرین و همچنین بافت‌های پرکننده فضای خالی، ویژگیهای کانی‌شناسی و شواهد ژئوشیمیایی، مدل کانسارسازی نوع دره می‌سی‌پی برای کانسار سرب نخلک پیشنهاد می‌شود.

واژه‌های کلیدی: نخلک، گالن، پرکننده فضای خالی، عناصر کمیاب، نوع دره می‌سی‌پی.

به این دوره (سازند شتری)، با جنس دولومیت کاملاً متفاوت است. با توجه به تشابهات سنگهای گروه نخلک با سازند آقدربند در کپه‌داغ نظریاتی مبنی بر چرخش ۱۳۵ درجه‌ای ایران مرکزی در جهت عکس عقربه‌های ساعت مطرح شده است [۲]. سنگهای کرتاسه بالایی (واحد صدر)، سنگ میزبان اصلی کانسار نخلک را تشکیل می‌دهند که با مرز دگرشیب بر روی گروه نخلک قرار دارند [۴، ۳، ۵]، البته این مرز به صورت راندگی نیز در نظر گرفته شده است (شکل ۲).

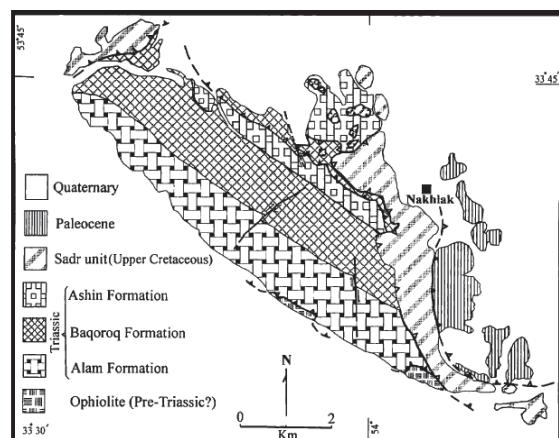
جنس سنگهای کرتاسه بالایی عمدتاً کربناته است که با رخساره کم‌عمق و گاهی نزدیک به ریف با ضخامت ۲۵۸ متر رخمنوں دارند [۴]. به طور کلی جنس این سنگها شامل: آهک، ماسه آهکی، آهک ماسه ای و دولومیت می‌باشد. جوانترین واحد سنگی در کوه نخلک واحد خالد است که با سن پالئوسن که با مرز گسله در کنار سنگهای کرتاسه بالایی جای گرفته است. سنگهای پالئوسن در کوه نخلک عمدتاً شامل رسوبات تخریبی دانه درشت است. ضخامت این سنگها با رخساره کنگلومرا ای زیرین (۶۰ متر زیرین) و سنگ آهک بالایی تا ۲۰۰ متر گزارش شده است [۶]. کانسار سازی در کوه نخلک به صورت لایه‌کران و ناهمشیب در سنگهای کرتاسه بالایی جای گرفته است. هدف از این تحقیق بررسی خاستگاه کانسار نخلک بر اساس شواهد کانی‌شناسی، ساخت و بافت و ژئوشیمی کانسار می‌باشد.



شکل ۲. قرارگیری سنگهای کرتاسه بر روی سنگهای تریاس.

#### مقدمه

معدن سرب نخلک از جمله معادن بزرگ و کهن زیرزمینی ایران به شمار می‌رود. این معدن در فاصله ۱۲۰ کیلومتری شمال شرق شهر نائین، ۵۵ کیلومتری شمال شهر انارک و با مختصات جغرافیایی طول  $۵۰^{\circ} ۵۳'$  شرقی و عرض  $۳۴^{\circ} ۳۳'$  شمالی در استان اصفهان واقع شده است. معدن نخلک در حاشیه شرقی یک رشته کوه منفرد به نام کوه نخلک جای گرفته است. کوه نخلک از نظر ساختاری در خردۀ قاره ایران مرکزی و در بلوک یزد قرار دارد. واحدهای سنگی سازنده کوه نخلک از قدیم به جدید عبارتند از: سنگهای اولترامافیک، سنگهای تریاس (گروه نخلک)، سنگهای کرتاسه بالایی (واحد صدر) و سنگهای پالئوسن (واحد خالد) (شکل ۱). سنگهای اولترامافیک در کوه نخلک به صورت دو عدسی کوچک (کمتر از ۱ کیلومتر)، در قسمت جنوبی قرار دارند و به طور کلی از سرپانتینیت، پریدوتیت سرپانتینی و گابرو تشکیل یافته‌اند. تعیین سن دقیق این سنگها صورت نگرفته است؛ ولی به واسطه قرارگیری این سنگها در زیر واحد تریاس، سن این سنگها به قبل از تریاس نسبت داده شده است [۱]. سنگهای تریاس یا گروه نخلک با مرز راندگی به روی سنگهای اولترامافیک قرار گرفته‌اند و با ضخامت ۲۷۰۱ متر به صورت ناویدیسی نامتقارن، قسمت اعظم کوه نخلک را تشکیل می‌دهند. گروه نخلک شامل سه سازند علم، باقروق و عشین است که جنس این سازندها به طور کلی شامل شیل، ماسه سنگ و کنگلومرا می‌شود. جنس سنگهای تریاس نخلک با دیگر سنگهای مربوط



شکل ۱. نقشه زمین‌شناسی کوه نخلک (بر گرفته از علی و همکاران (۱۹۹۷).

(Cu<sub>12</sub>As<sub>4</sub>S<sub>13</sub>) – تنانیتیت (Cu<sub>12</sub>Sb<sub>4</sub>S<sub>13</sub>)، آگانتیت (Ag<sub>2</sub>S) و گالن حضور دارند و هیچ‌کدام در مقیاس ماکروسکوپی قابل مشاهده نیستند. علاوه بر سروزیت، کانیهای فرعی و کمیاب ثانویه عبارتند از: انگلزیت، پلاتنریت (PbO<sub>2</sub>)، مازیکوت (PbO)، ولفنت (PbMoO<sub>4</sub>)، کوولیت، مالاکیت، کالکانتیت، میمتیت (Pb<sub>5</sub>(AsO<sub>4</sub>)<sub>3</sub>Cl)، مینیوم (Pb<sub>5</sub>O<sub>4</sub>) و اکسیدهای آهن و منگنز. علاوه بر باریت، به مقدار کمتر کلسیت و دولومیت به عنوان کانیهای باطله در کانسار حضور دارند.

در ادامه شرح مختصری از برخی کانیها و نحوه رخداد آن آورده شده است.

گالن: کانی اصلی و اولیه در کانسار نخلک است که به صورت درشت بلور درون شکافها و رگه‌ها و ریز بلور به صورت پرکننده فضای خالی بین قطعات برش حضور دارد. رخداد سولفیدها در اندازه‌های ریز و درشت می‌تواند به سرعت متفاوت اختلاط سیالات کانسارساز با هم نسبت داده شود [۷]. از نظر توالی کانسارسازی، گالن مقدم بر هرگونه کانسازی دیگر است؛ به طوری که این کانی به شکل ریز بلور و نازک لایه به صورت قشری به روی تمامی برشها و سطوح شکافها و فضاهای خالی حضور دارد. این حالت از کانی‌سازی به دلیل کاهش ناگهانی دما و واکنش سریع سیالات کانسار ساز در اثر برخورد با سنگ میزبان ایجاد شده است و این بافت خاص کانسارهای با بافت پرکننده فضای خالی است [۸] (شکل ۳). شکل بلورهای گالن مکعبی و اندازه آن بین ۰/۱۵ تا ۰/۲ میلی‌متر و به ندرت ۱۰ میلی‌متر متغیر است. بلورهای مکعبی گالن، خاص کانسارهای دما پایین بوده و معمولاً غنی از آنتیموان و فقیر از بیسموت می‌باشد [۹]، که در نمونه‌های گالن نخلک، غنی بودن از آنتیموان و فقیر بودن از بیسموت توسط آنالیزهای انجام شده مورد تأیید قرار گرفت.

اسفالریت، پیریت و کالکوپیریت: این کانیهای ندرتاً به صورت ادخالهایی با اندازه چند میکرون تا حداقل ۱۰۰ میکرون به صورت بی‌شکل تا نیمه خودشکل درون گالن پراکنده شده‌اند. ادخالهای پیریت و کالکوپیریت معمولاً اکسید شده‌اند و به صورت اکسیدهای آهن و کوولیت درآمده‌اند (شکل ۴).

### روش مطالعه

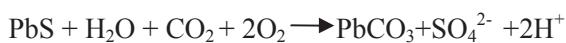
پس از انجام مطالعات کتابخانه‌ای بازدید از معدن و عملیات نمونه‌برداری طی چند مرحله صورت گرفت. در مجموع بیش از ۱۰۰ نمونه از ماده معدنی و سنگ میزبان به صورت تصادفی انتخاب گردید. از نمونه‌های برداشت شده در حدود ۸۰ مقطع نازک و صیقلی تهیه و مطالعه گردید. تعداد ۱۰ عدد نمونه از ماده معدنی و سنگ میزبان به روش XRD در آزمایشگاه زمین‌شناسی دانشگاه شهید باهنر کرمان مورد بررسی قرار گرفت. با توجه به این که معدن نخلک یک معدن سرب می‌باشد و کانی گالن تشکیل‌دهنده اصلی ماده معدنی است، کانی گالن جهت بررسیهای ژئوشیمیایی انتخاب گردید. با توجه به پایین بودن مقادیر عناضر در کانی گالن، روش تجزیه ICP-MS به عنوان روش مناسب انتخاب و عمل تجزیه نمونه‌ها در آزمایشگاه ALS-Chemex کانادا صورت گرفت. برای به دست آوردن نمونه‌های تا حد امکان خالص گالن جهت آنالیز، بدین صورت عمل شد که پس از مطالعه مقدماتی مقاطع صیقلی ۱۸ نمونه مناسب انتخاب گردید که ۲ عدد از آنها تکراری بودند. نمونه‌های انتخاب شده در هاون سرامیکی عاری از هرگونه آلودگی خرد گردید و سپس توسط الکهایی با مشاهدی به ترتیب ۶، ۱۲، ۱۶، ۱۸ و ۲۰ به اندازه‌های مختلف تفکیک گردید. در نهایت از نمونه‌های با اندازه ۱/۱۶ تا ۱/۱۳ میلی‌متر (بین الک ۱۲ و ۱۶) و نیز ۱/۱۳ تا ۱ میلی‌متر (بین الک ۱۶ و ۱۸)، برای جداسازی نمونه‌های خالص گالن در زیر میکروسکوپ دوچشمی (Binocular Microscope)، استفاده گردید. پس از دریافت نتایج حاصل از روش تجزیه ICP-MS، مقدار نقره در گالن خالص شده نخلک به روش جذب اتمی نیز مورد تجزیه قرار گرفت. تجزیه جذب اتمی برای عنصر نقره در مجتمع پژوهشگاه کاربردی سازمان زمین‌شناسی و برای ۱۸ نمونه انجام گردید.

### بحث و بررسی

#### ۱) کانی‌شناسی

کانی‌شناسی کانسار نخلک ساده بوده و گالن و باریت کانیهای اصلی و اولیه و سروزیت کانی ثانویه اقتصادی پس از گالن است. کانیهای فرعی و کمیاب اولیه عبارتند از: اسفالریت، پیریت،

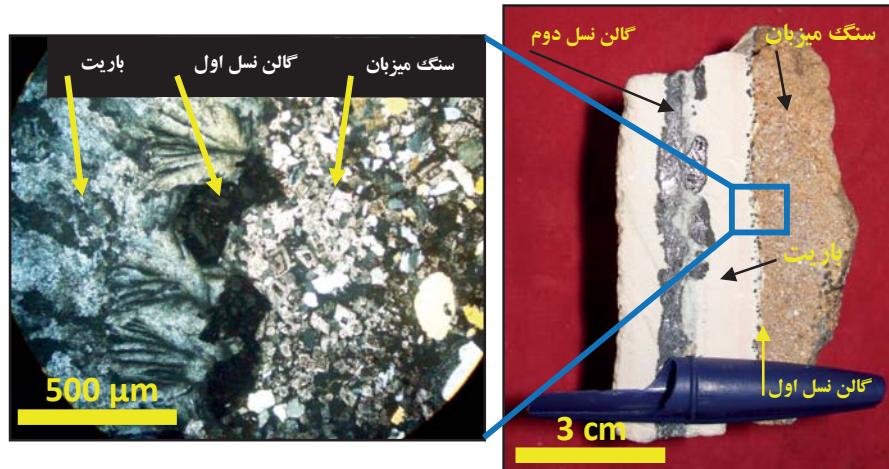
سروزیت است (شکل ۶). با توجه به سنگ میزبان کربناته و در نتیجه حضور کربنات در محیط، فراوانی مطلق این کانی نسبت به دیگر کانیهای ثانویه سرب قابل توجیه است. فرآیند زیر را می‌توان برای تشکیل سروزیت ارائه کرد [۸] :



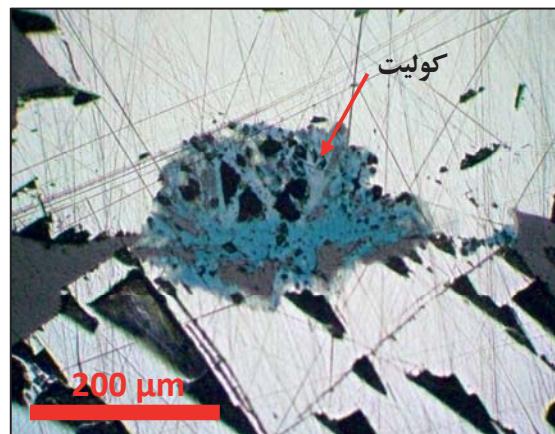
در مقیاس ماکروسکوپی، سروزیت به شکل صفحات درهم تنیده شیشه‌ای رنگ در شکافها و حفرات وجود دارد و به شکلهای رگه‌چهایی، انتشاری، ژئودی و باندهای قشری نیز دیده می‌شود.

ترائدریت-تنانتیت: این دو کانی به صورت محلول، به شکل ادخالهای بی‌شکل و با حالت گرد به صورت کمیاب درون گالن حضور دارند. اندازه این کانیها در حد چند میکرون تا حداقل ۵۰ میکرون قابل مشاهده است (شکل ۵). از مشخصات بارز این کانیها نسبت به گالن در زیر میکروسکپ، به سختی بالاتر کانیهای ترائدریت-تنانتیت باز می‌گردد، بدین صورت که خشکهای سایش روی سطح گالن با رسیدن به کانیهای ترائدریت-تنانتیت به اتمام می‌رسد و مجدداً با رسیدن به گالن ادامه این خط سایش مشاهده می‌شود.

سروزیت: فراوانترین کانی ثانویه سرب در این کانسار



شکل ۳. گالن نسل اول در حالت ماکروسکوپی و میکروسکوپی.

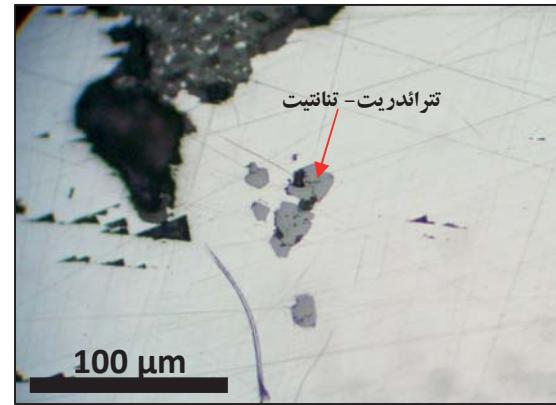
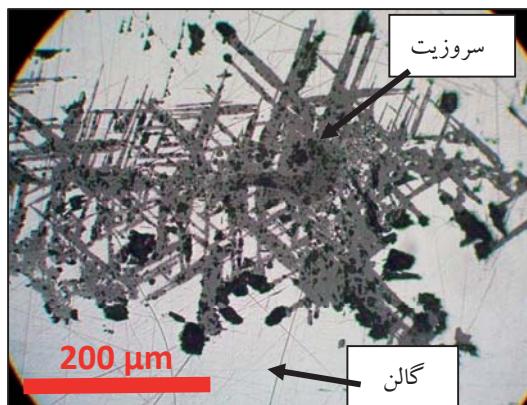


شکل ۴. کولیت معمولی با ماکل موج دار در حاشیه هوازده گالن

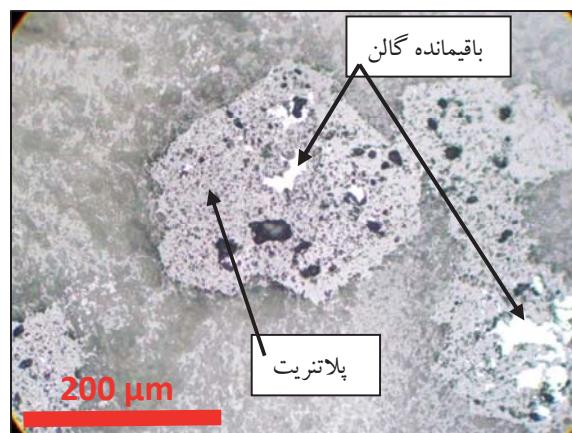
انگلزیت منجر به تشکیل بافت‌های جانشینی متنوعی شده است که از آن جمله بافت‌های جانشینی خوردگی (Caries)، کناره‌ای (Boundary)، اسکلتی، جانشینی شبکه‌ای (Network replacement)، جانشینی در امتداد رخ (شکل ۶)، برجای مانده جانشینی (Cleavage replacement) و برجای مانده جانشینی (Replacement relict texture)، قابل مشاهده است. در بافت برجای مانده جانشینی، گالن اولیه توسط کانیهای ثانویه جانشین شده و فقط قالبی از کانی گالن باقی‌مانده است (شکل ۷).

پلاتنریت: این کانی به صورت پوششی خاکی سیاه رنگ در سطوح تونلها و کارگاههای قدیمی استخراج و در نقاطی با مقدار اکسیژن بالا به عنوان اصلی‌ترین کانی اکسیدی سرب در کانسار نخلک حضور دارد. این کانی خاص نقاط نفاط با آب و هوای خشک است. این کانی در محیط‌های اسیدی، در پتانسیل اکسیداسیون (Eh) بالا به وجود می‌آید و با افزایش pH این کانی می‌تواند در پتانسیل اکسیداسیون پایین‌تر نیز تشکیل شود [۱۰].

جانشینی گالن توسط سروزیت و پلاتنریت و به مقدار کمتر



شکل ۵. ادخالهای تترادریت-تنانتیت درون گالن که خشکهای سایش از آن عبور نمی‌کند. شکل ۶. بافت جانشینی گالن توسط سروزیت در امتداد رخ.



شکل ۷. بافت بر جای مانده جانشینی از گالن توسط پلاتنریت.

خشک همچون منطقه نخلک می‌باشد. منبع مس در این کانیها احتمالاً ادخالهای کالکوپیریت و تترائدریت- تنانتیت درون گالن است.

میمیتیت( $Pb_5(AsO_4)_3Cl$ ): به مقدار بسیار کمی در سطوح کمتر اکسیده شده همراه با سروزیت و پلاتنریت مشاهده می‌شود. این کانی به لحاظ رنگی، طیفی از رنگهای سبز و زرد را به نمایش می‌گذارد. ادخالهای تترائدریت- تنانتیت درون گالن می‌تواند منبع عناصر لازم برای تشکیل این کانی باشد.

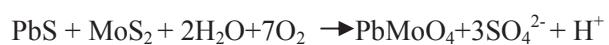
باریت: اصلی‌ترین کانی باطله همراه با ماده معدنی بوده و به صورت توده‌ای در رگه‌ها، رگه‌چه‌ها، فضای بین قطعات برشی و نیز به عنوان پر کننده فضای بین بلورهای گالن حضور دارد. این کانی بافت‌های متنوعی همچون کلوفرم (Colloform) (شکل ۸)، رشد شعاعی و نیمه‌موازی (sub-parallel and radial) (Plumose pattern)، بافت دم چلچله ای و دم جاروبی (شکل ۹) نشان می‌دهد که همگی نشان از رشد در دمای پایین و در فضای خالی است. ماکل پلی سنتیک و ساعت شنی از مشخصاتی است که در برخی از نمونه‌های باریت نخلک قابل مشاهده است



شکل ۹. باریت با بافت دم جاروبی

ولفنیت( $PbMoO_4$ ): این کانی به همراه سروزیت در شکافها به صورت پولکهای نارنجی و خود شکل تتراغونال به طور کمیابی دیده می‌شود. مولیبدن لازم برای تشکیل ولفنیت احتمالاً از ساختار شبکه‌ای گالن خارج شده و یا از ادخالهای میکروسکپی مولیبدنیت درون گالن منشأ گرفته است. در منطقه اکسیدی حامل اصلی مولیبدن کانی ولفنیت است که می‌تواند مقادیری از عناصر تنگستن، کروم، وانادیوم، مس و کلسیم را نیز در ساختار خود نگه دارد [۱۱].

واکنش زیر را می‌توان برای تشکیل ولفنیت پیشنهاد کرد [۹]:



کولیت: کولیت در برخی مقاطع تجزیه شده گالن به همراه سروزیت قابل مشاهده است (شکل ۴). کولیت از نوع معمولی بوده و چند رنگی شدید نشان می‌دهد. مس خارج شده از ساختار بلوری گالن یا کالکوپیریت با سولفات موجود در محیط ترکیب شده و طبق واکنش زیر می‌تواند کولیت را ایجاد نماید [۸]:



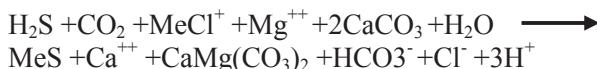
مالاکیت و کالکانتیت: این کانیها در داخل برخی رگه‌ها دیده می‌شوند. کالکانتیت بهدلیل حلایت در آب، خاص محیط‌های



شکل ۸. باریت با بافت کلوفرم.

که بر عکس دولومیت نوع دوم به صورت حاشیه تیره و مرکز روشن قابل مشاهده است (شکل ۱۱). تفاوت در ساخت منطقه‌ای دولومیتهای مختلف مربوط به تغییرات متوالی شرایط فیزیکوشیمیابی (مانند Eh) سیالاتی است که عامل حمل مقادیر متفاوتی از  $\text{Fe}^{++}$  و  $\text{Mn}^{++}$  و عناصر دیگر هستند [۷].

دولومیت نوع چهارم: این دولومیتها درشت و دارای سطوح خمیده هستند. این نوع دولومیت در فضای خالی بین دیگر انواع دولومیت و در حفرات سنگ میزبان دیده می‌شود. این نوع دولومیت همراه با کانسارسازی و گاهی موقع تا مراحل آخر کانسارسازی به صورت همرشدیافته با گالن قابل مشاهده است (شکل ۱۲). خصوصیات ذکر شده مشابه با دولومیتهای نوع زین‌اسبی (Saddle dolomite) است. دولومیتهای زینی همراه با فازهای گرمابی و در دمای ۶۰ تا ۲۰۰ درجه سانتی‌گراد تنشین می‌شود و فرآیند زیر را می‌توان برای تشکیل آن پیشنهاد کرد [۱۳] :



Me در رابطه بالا می‌تواند آهن، سرب و یا روی باشد که به ترتیب به تشکیل کانیهای پیریت، گالن و اسفالریت می‌انجامد. از اشکال فرعی قابل مشاهده می‌توان به دولومیتهای تشکیل شده در شکستگیها که به صورت نا منظم و حالت زیگزاگ هم مرکز هستند، نیز اشاره کرد (شکل ۱۳). مینیزیم لازم برای دولومیتی شدن سنگ میزبان از تبدیل کانیهای رسی و بی‌آب شدن شیل فراهم می‌شود [۷].

### (۳) ساخت و بافت

#### الف- ساختار ماده معنده

به طور کلی ماده معنده در کانسار نخلک به شکل رگه‌هایی با ضخامت‌های متفاوت دیده می‌شود. شیب رگه‌های معنده زیاد بوده و معمولاً بین ۶۵ تا ۹۰ درجه متغیر است. رگه‌ها به صورت تقریباً موازی با هم قرار گرفته‌اند و به ندرت همدیگر را قطع کرده و امتداد عمدۀ آنها شرقی- غربی است (شکل ۱۴). برای

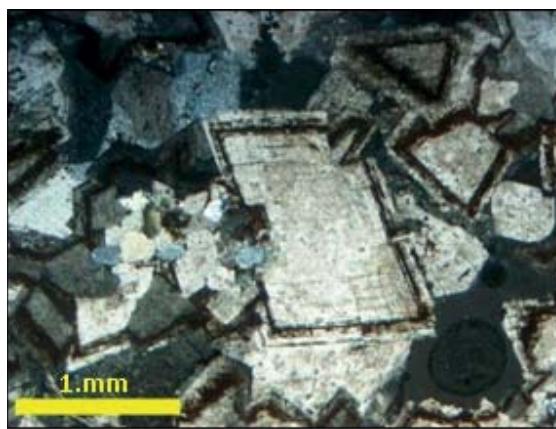
### ۲) دگرسانی سنگ میزبان

دگرسانی سنگ میزبان در کانسار نخلک در محدوده رگه‌های معنده بخوبی دیده می‌شود. دگرسانیهای مشاهده شده شامل تشکیل کربناتهای گرمابی (دولومیت و کلسیت) و رسی شدن می‌شود. دولومیتی شدن اصلی ترین دگرسانی مشاهده شده در سنگ میزبان است. دولومیتها به صورت پرکننده فضای خالی، سیمان سنگ میزبان و یا جانشین کننده کربنات اولیه در سنگ میزبان و نیز همراه با ماده معنده حضور دارند. در مطالعات میکروسکوپی سنگ میزبان و ماده معنده نوع دولومیت تشخیص داده شده است که از نظر شکل، اندازه، ادخال و منطقه‌بندی با یکدیگر متفاوتند.

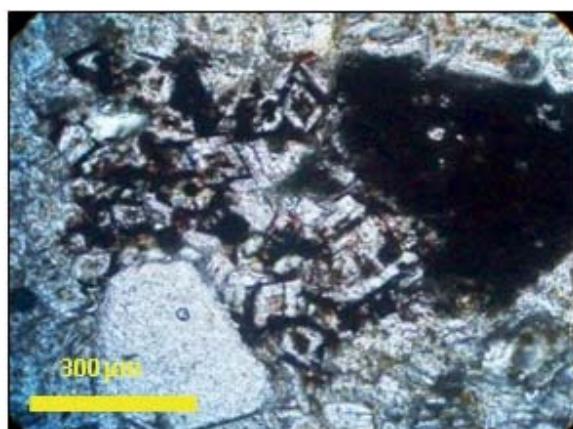
دولومیت نوع اول: ریز بلور و عمدتاً بی‌شکل هستند و به صورت گستردۀ تری نسبت به دیگر انواع دولومیتها در سنگ میزبان حضور دارند. این دولومیتها عموماً با کانی سولفیدی همراه نیستند و احتمالاً منشأ دیاژنزی دارند. اندازه این دولومیتها از چند میکرون تجاوز نمی‌کند.

دولومیت نوع دوم: این دولومیتها به صورت درشت‌تر نسبت به نوع اول و خود شکل با اندازه‌های در حد چند ده میکرون و با بافت دانه‌شکری حضور دارند. زونینگ کاملاً مشخص در این دولومیت بدین صورت دیده می‌شود که قسمت مرکز بلور تیره و حاشیه روشن می‌باشد. این دولومیتها با کانیهای سولفیدی همراه بوده و در برخی مواقع فضای بین بلورها و نیز اطراف بلورهای دولومیت تخلخل بین بلوری و نیز جانشین شده است. پرشدگی تخلخل بین بلوری و نیز جانشینی حاشیه بلورهای دولومیت توسط گالن نشان‌دهنده تقدم این دولومیتها نسبت به کانسارسازی است (شکل ۱۰). تخلخل بین بلوری، نتیجه جانشینی دولومیت به جای کلسیت است، که به دلیل چگال‌تر بودن دولومیت نسبت به کلسیت، تخلخل سنگ در حدود ۱۲/۵ درصد افزایش می‌یابد [۱۲].

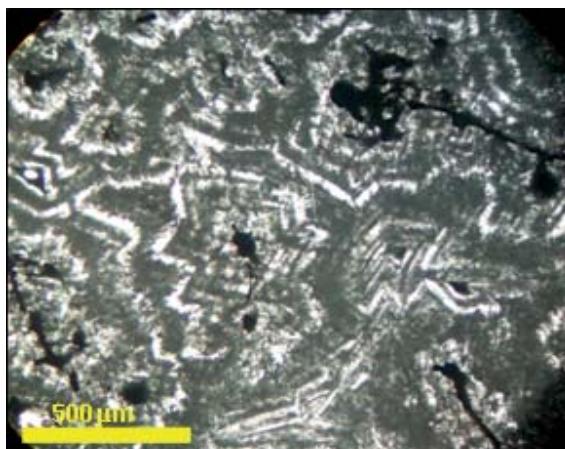
دولومیت نوع سوم: این دولومیتها کاملاً خود شکل و درشت بوده و اندازه آن تا ۲ میلی‌متر نیز می‌رسد. از خصوصیات مهم این دولومیت حضور ساخت منطقه‌ای کاملاً مشخص در آن است



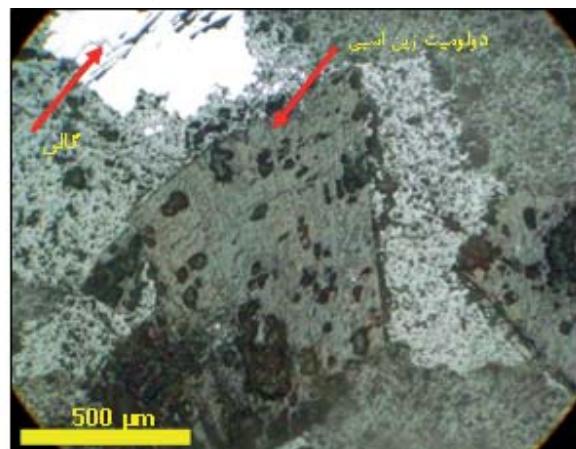
شکل ۱۱. دولومیت نوع سوم درشت بلور و با حاشیه تیره.



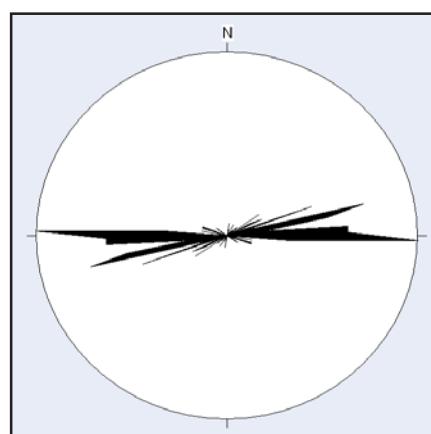
شکل ۱۰. جانشین شدن حاشیه بلورهای دولومیت نوع دوم توسط گالن.



شکل ۱۳. دولومیتهای رشد کرده در شکافها با حالت زیگزاگی شکل و هم مرکز.



شکل ۱۲. بلور دولومیت زین اسپی به صورت همرشدی با گالن.



شکل ۱۴. امتداد عمده رگهای معدنی تقریباً شرقی = غربی و تقریباً ۸۰ درجه نسبت به شمال است (تعداد کل داده‌ها = ۱۸۰ عدد).

هستند که کم و بیش دگرسان شده و با اندازه از چند سانتی‌متر تا چند ده سانتی‌متر درون رگه‌ها قرار گرفته‌اند و توسط ماده معدنی سیمان شده‌اند. برشهای حاصل از خرد شدن سنگها را بر اساس جدایش قطعات برش از یکدیگر، مقدار چرخش و ساییدگی قطعات برش می‌توان به انواع مختلف تقسیم‌بندی کرد [۱۵] (شکل ۱۶). [۱۵]

شکل ۱۵. الف. گسلها و شکستگی‌های با امتداد NNW تا NW-SE در اثر عملکرد گسلهای بزرگ منطقه مانند گسل بزرگ کویر و چوپانان ایجاد شده‌اند (ندیمی و ندیمی<sup>۱</sup>، ۲۰۰۸ با تغییرات).

ب. کوه نخلک محصور به گسلهای ذکر شده در بالا می‌باشد. کوه نخلک در اثر عملکرد گسلهای کوچکترو چپ‌گرد به بلوک‌هایی تقسیم شده‌است.

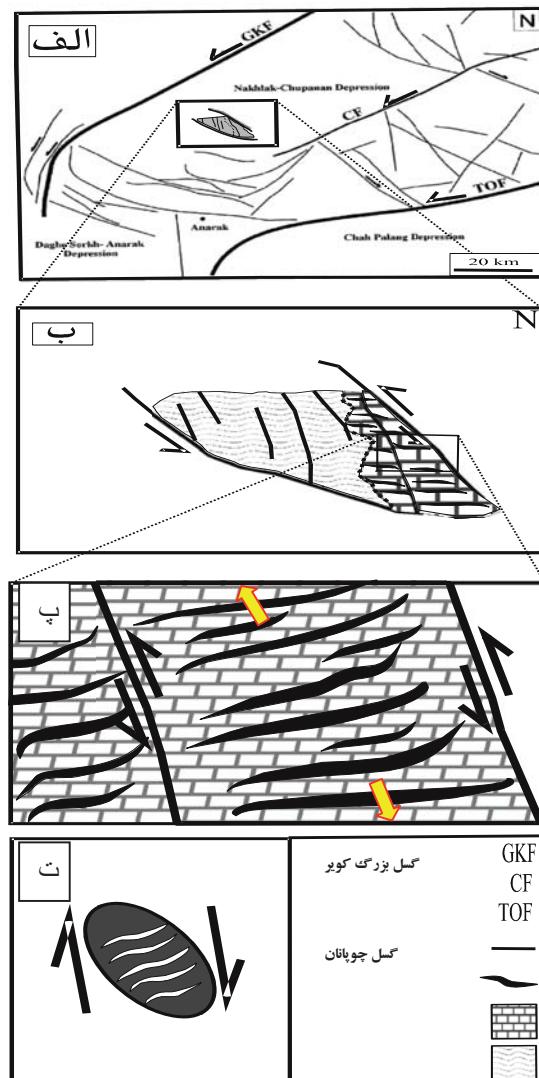
پ. عملکرد گسلهای چپ‌گرد در کربناتهای کرتاسه باعث ایجاد محیط کششی در جهت عمود بر جهت امتداد رگه‌ها شده و در نتیجه ساختارهایی مانند مناطق شکستگی، شکاف و گسلهای نرمال را ایجاد نموده که در مرحله بعد توسط ماده معدنی پرشده است.

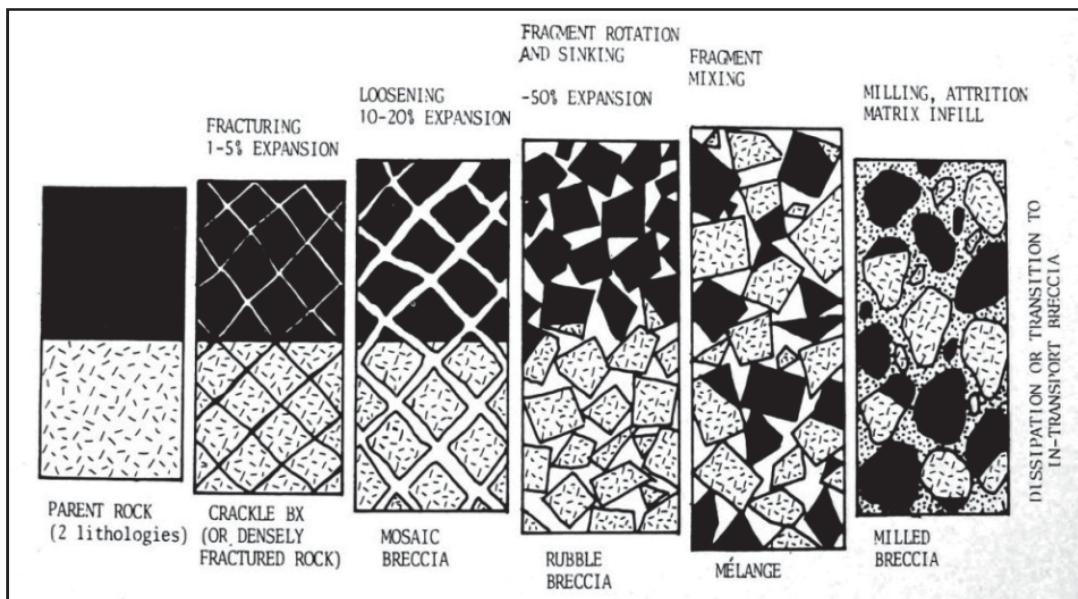
ت. این شکل شماتیک نحوه به وجود آمدن شکافها و دیگر ساختارهای کششی در اثر نیروهای حاصل از عملکرد گسلهای چپ‌گرد را نشان می‌دهد.

ایجاد چنین رگه‌هایی وجود نیروهای کششی عمود بر امتداد رگه‌ها لازم است [۱۴]. براساس مطالعات تکتونیکی می‌توان شکل ۱۵ را به عنوان مدل ایجاد فضای خالی مناسب جهت کانسارسازی پیشنهاد کرد.

ب- شکل قرار گیری ماده معدنی درون رگه‌ها ماده معدنی به فرمهای مختلفی درون رگه‌ها قرار دارد که در زیر به برخی از آنها اشاره می‌شود:

بافت برشی (breccia texture): این بافت عمده‌ترین شکل کانسارسازی در کانسار نخلک است. برشهای از جنس سنگ دیواره





شکل ۱۶. سری تکاملی برشهای تخریبی در واحدهای سنگی (لازنیکا، ۱۹۸۹).

بافت ساییده شده: در آخرین مرحله از تشکیل برشها در ماده معدنی، این بافت شکل گرفته است که در آن قطعات برش به طور کامل اختلاط یافته و با حاشیه گردشده در سیمانی از ماده معدنی قرار گرفته اند. برای تشکیل این بافت قطعات خرد شده سنگ میزان درون جریان سیال کانه‌ساز غوطه‌ور شده و همراه با آن حرکت نموده اند (شکل ۲۰).

**بافت تجمعات برشی (Breccia aggregate):** در این بافت، قطعات برش در واقع خود ماده معدنی هستند؛ بدین صورت که بافت اولیه قشری در اثر عملکرد حرکات تکتونیکی یا فشار سیالات خرد شده و به صورت قطعات برش تجمع یافته اند و در مرحله بعدی توسط ماده معدنی سیمان شده اند. این بافت می‌تواند به عنوان شاهدی مبنی بر وجود حرکات تکتونیکی در حین کانسارسازی تلقی شود. این بافت هم در مقیاس میکروسکوپی (شکل ۲۱) و هم در مقیاس ماکروسکوپی (شکل ۲۲) قابل مشاهده است. شکل ۲۳ نحوه تشکیل این گونه برشها را نشان می‌دهد.

بافتهای برشی مشاهده شده در کانسار نخلک شامل بافت برش خرد شده (Crackle breccia)، بافت برش موزائیکی (Mosaic breccia)، بافت برش رابل (Rubble breccia) و برش ساییده شده (Milled breccia)، می‌باشد. مختصات این برشها در زیر بررسی شده است:

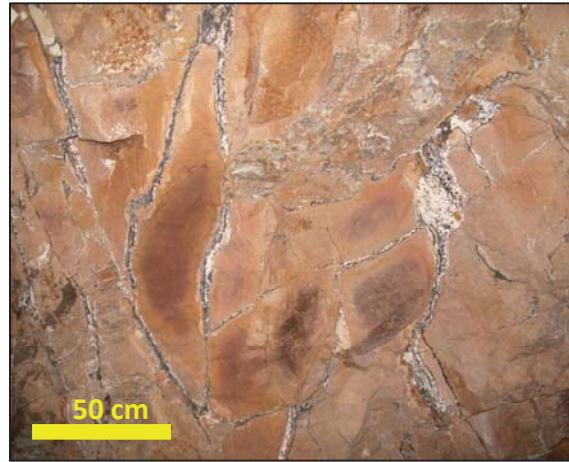
**برشی خرد شده:** در این نوع برش، هیچ‌گونه اثری از جابه‌جایی، چرخش و یا ساییدگی در قطعات برش مشاهده نمی‌شود. واقع این نوع برش در سنگ میزان قرار دارد و مرز بین سنگ میزان و شروع ماده معدنی است (شکل ۱۷).

**بافت برش موزائیکی:** این بافت نسبت به حالت قبل از بسط بیشتر شکستگیها و فاصله بیشتر بین قطعات بافت برش برخوردار است. این پدیده می‌تواند در اثر فشار سیالات کانسار ساز ایجاد شده باشد (شکل ۱۸).

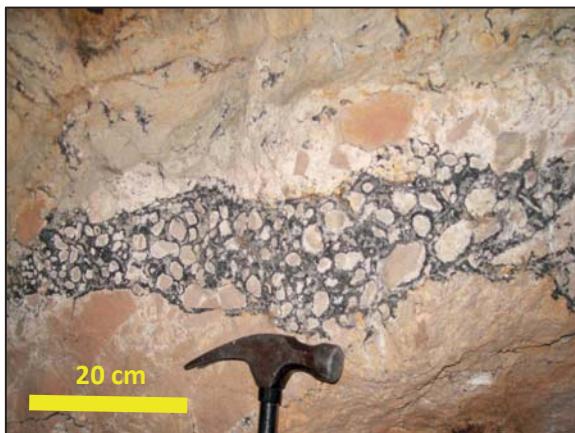
**بافت برش رابل:** لوه بر افزایش فاصله بین قطعات برش در این نوع بافت چرخش قطعات برش نیز صورت گرفته است. فشار سیالات و احتمالاً حرکات تکتونیکی به قدری بوده که توانایی چرخاندن قطعات برش را نیز داشته است (شکل ۱۹).



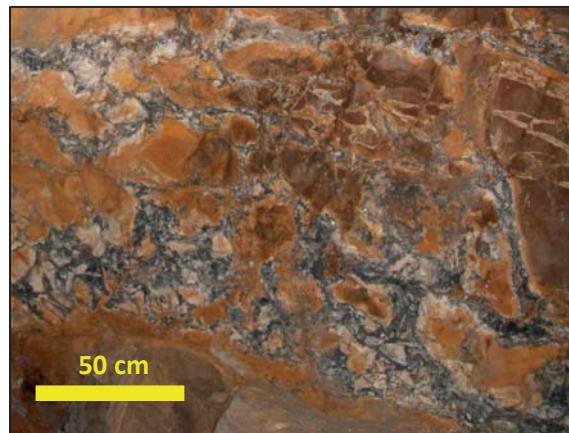
شکل ۱۸. بافت برشی موزائیکی شامل قطعات خرد شده سنگ میزبان و سیمان ماده معدنی.



شکل ۱۷. بافت برشی خرد شده شامل قطعات خرد شده سنگ میزبان و سیمان ماده معدنی.



شکل ۲۰. برشهای چرخیده و گرده شده سیمان شده با ماده معدنی.



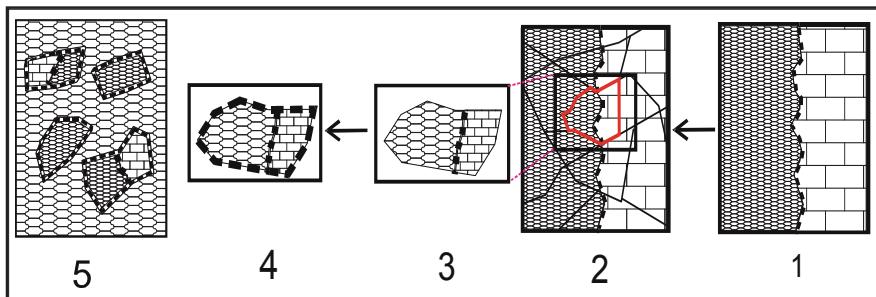
شکل ۱۹. برشهای رابل که شامل برشهای چرخیده سنگ میزبان و سیمان ماده معدنی است.



شکل ۲۲. قرارگیری قطعات بافت اولیه قشری. به صورت برش در میان رگه و سیمان شدگی توسط باریت نسل بعدی در مقیاس ماکروسکوپی.



شکل ۲۱. بافت کوکاد حاصل از ته نشینی نازک لایه گالن بر روی قطعه خرد شده از بافت اولیه قشری



شکل ۲۳. مراحل ایجاد بافت تجمعات برشی ۱) ایجاد بافت اولیه قشری با نازک لایه گالن و لایه باریت. ۲) خرد شدن بافت قشری در اثر حرکات تکتونیکی. ۳) شناور شدن قطعات خرد شده در سیالات کانسار ساز بعدی. ۴) ته نشست نازک لایه گالن بروی قطعات خرد شده و ایجاد بافت کوکاد. ۵) سیمان شدن قطعات شناور برشی توسط باریت نسل بعدی.

**بافت موزون (Rhythmic texture):** این بافت از تناوب تشکیل باریت و گالن درون شکافها حاصل می‌شود و به سبب نظم و ترتیب در قرارگیری کانه‌ها، از این بافت می‌توان به منظور درک توالی پاراژنزی استفاده کرد (شکل ۲۶).

در کلیه بافت‌هایی همچون بافت‌های قشری، کوکاد و موزون که ماده معدنی به صورت قشری روی سنگ دیواره قرار گیرد، اولین قشر ماده معدنی (گالن)، به صورت ریز بلور روی سطح سنگ دیواره قرار می‌گیرد. به احتمال زیاد این پدیده به سبب تبادل حرارتی سریع سیالات کانه‌ساز با سنگ دیواره حاصل شده است. این پدیده مشخصاً در کانسارهای با بافت پرکننده فضای خالی دیده می‌شود [۸].

**بافت خوش انگوری (Botryoidal texture):** بافت خوش انگوری از دسته بافت‌های کلوئیدی است و در این کانسار در کانی باریت و کلسیت دیده می‌شود و از رشد این کانیها بر روی سطح فضای خالی حاصل می‌شود که می‌تواند حالت هم مرکزی در قشرهای آن دیده شود.

**بافت انتشاری (Disseminated texture):** این بافت در نزدیکی رگها و درون سنگ میزان دیده می‌شود که در واقع حاصل نفوذ سیالات گرمابی به داخل سنگ میزان است. در مواردی نیز این بافت به صورت پرکننده فضای بین بلوری در سنگ میزان دولستون دیده می‌شود.

**بافت کوکاد (Cockade texture):** بافت کوکاد از بافت‌های شاخص پر کننده فضای خالی در کانسارهای سرب و روی با میزان کربناته است [۱۶]. در کانسار نخلک این بافت از رشد متناوب گالن و سپس باریت به روی سطح خارجی قطعات برش ایجاد شده است (شکل ۲۴). این بافت بیشتر در برش‌های نوع ساییده شده که بیشتر در معرض حرکت سیالات بوده‌اند، دیده می‌شود.

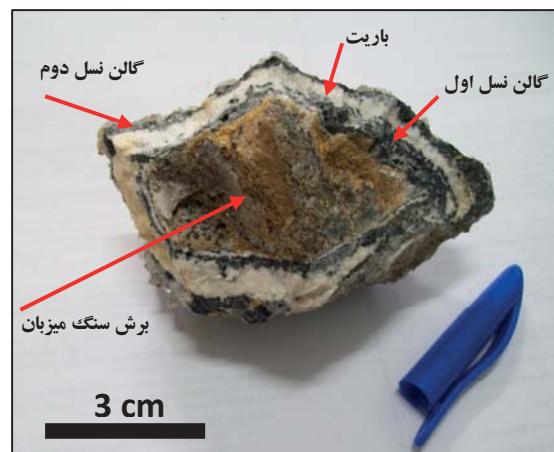
**بافت قشری (Crustification bounding):** حاصل رشد متناوب گالن و باریت درون شکافها و فضای خالی بدون حضور برش است (شکل ۲۵)، در این بافت ماده معدنی به طور قرینه نسبت به مرکز قرار دارد که به صورت قشرهایی روی سطح داخلی شکافها و حفرات را پر کرده و متناوباً از نظر ترکیب تغییر می‌نمایند که نشان‌دهنده تغییر در ترکیب سیال اولیه یا تغییر در عوامل مؤثر در ته نشست هرکدام از کانیها بوده است. عموماً مرکز این بافت خالی بوده یا با کانیهای ثانویه همچون سروزیت و ولفنیت پر شده است. بلورهای ماده معدنی در این بافت نسبت به بافت‌های ماده معدنی در بافت برشی درشت‌تر است که احتمالاً به سبب سرعت پایین ترکش و آرامش بیشتر سیالات و در نتیجه هسته‌زایی کمتر در این نقاط می‌باشد که باعث ایجاد بلورهایی با اندازه درشت‌تر شده است. این بافت غالباً در کانسارهای دمای پایین دیده می‌شود [۱۷].

فضای خالی باز شده در مرحله بعد با ماده معدنی(گالن) پر شده است.

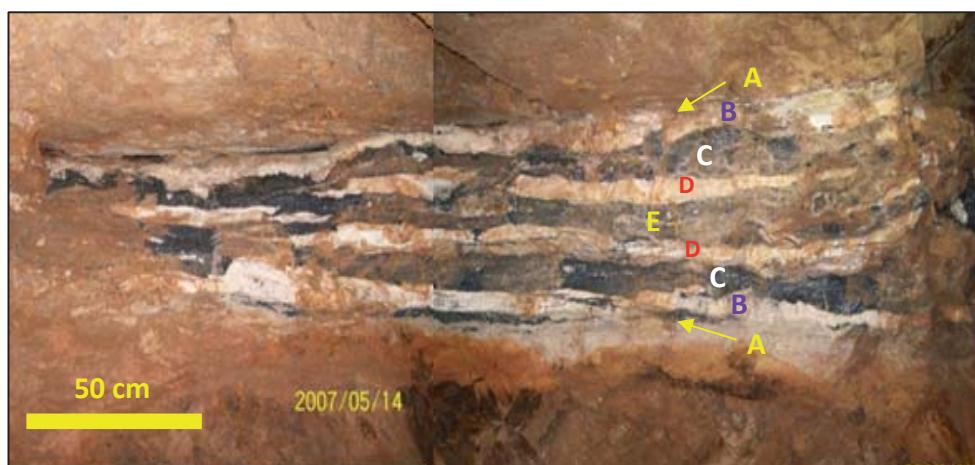
بازشدگی مجدد در تعداد کمی از رگه‌های کانی‌سازی شده صورت گرفته است و به عنوان مثال در شکلهای ۲۷ تا ۲۹ تا شکستگی که با بافت قشری پر شده است، مجدداً باز شده و



شکل ۲۵. لایه‌های متناوب گالن و باریت بر روی سطح داخلی شکاف.



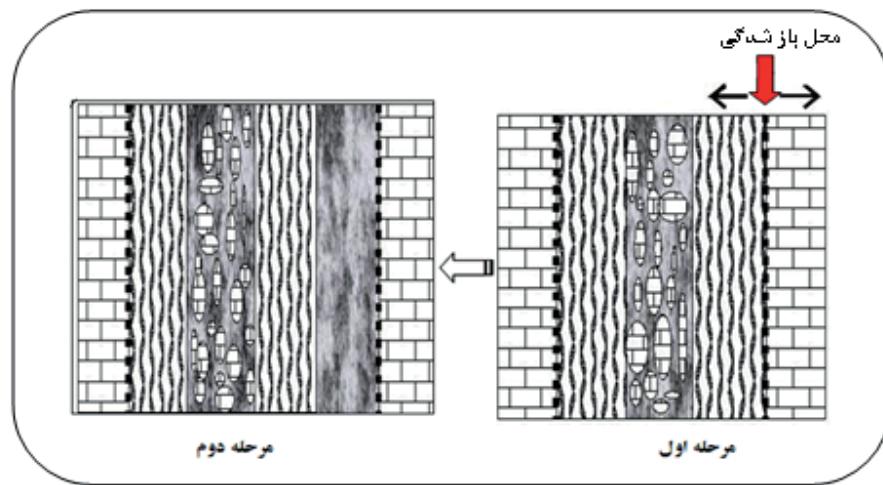
شکل ۲۴. تناب لایه‌های گالن و باریت بر روی سطح خارجی برش.



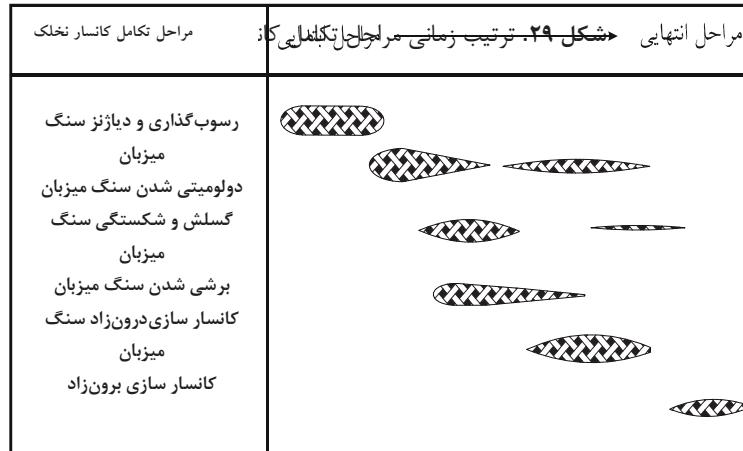
شکل ۲۶. تقارن لایه‌های گالن و باریت نسبت به مرکز رگه.



شکل ۲۷. قسمتی از رگه با باز شدگی مجدد رگه اولیه.



شکل ۲۸. مراحل تشکیل رگه با باز شدگی مجدد : ۱) تشکیل رگه با بافت قشری ۲) باز شدگی رگه در اثر تکتونیک و یا فشار سیالات در محل نشان داده شده و سپس پر شدگی شکاف ایجاد شده با سیالات کانسوار ساز مرحله بعد و تشکیل رگه‌چه گالن.



گالن نخلک نسبتاً بالاست. نقره به شکلهای مختلفی می‌تواند در گالن متتمرکز شود که از آن جمله به صورت محلول جامد و ادخال کانیهای مختلف است. جانشینی نقره به جای سرب با توجه به شاعع یونی ( $Pb^{2+} = 1.20 \text{ A}$ ,  $Ag^+ = 1.26 \text{ A}$ ) امکان‌پذیر است؛ اما مقدار جانشینی متفاوت بوده و به حضور عناصر واسطه‌ای همچون آنتیموان و بیسموت بستگی دارد. این جانشینی به شکل رابطه روبرو قابل انجام است:

$$Ag^+ + (Sb, Bi) = 2Pb^{2+}$$

شکل دیگر تمرکز نقره در گالن به صورت حضور در کانیهای نقره‌دار مانند آکانتیت و تترائدریت-تنانتیت است که به صورت ادخال درون گالن حضور دارند. بالا بودن آنتیموان و نقره، حضور احتمالی تترائدریت-تنانتیت را نشان می‌دهد و کم بودن آنتیموان و بیسموت و بالا بودن نقره حضور احتمالی آکانتیت را در کانی گالن نشان می‌دهد [۱۹] با توجه به این که نسبت  $Ag = ۱۰۲۹ / ۶ \text{ ppm}$  در کانسار نخلک برابر  $Sb = ۳۷۷ / ۳ \text{ ppm} + Bi = ۰ / ۱ \text{ ppm}$  با ۲/۷ است، می‌توان انتظار داشت که علاوه بر حضور نقره در ترکیب تترائدریت-تنانتیت، مقداری از نقره در ترکیب آکانتیت نیز حضور داشته باشد. حضور کمیاب این ادخالها در مطالعات کانی‌شناسی نیز به اثبات رسیده است.

پ- مراحل کانسار سازی و توالی پاراژنزی سنگهای کربناتی کرتاسه بالایی در کوه نخلک، تحت تأثیر حرکات تکتونیکی منطقه، فضای لازم را برای کانسارسازی به دست آورده است. ضمناً این سنگها قبل از این مرحله تحت دولومیتی شدن قرار گرفته‌اند. در مرحله بعد ماده معدنی توسط سیالات کانسارساز در فضاهای خالی ایجاد شده نهشته شده است. در شکل ۲۹ مراحل تکامل کانسار به اختصار رایه شده کانیها نیز مراحل کانسارسازی درون‌زاد و بروز زاد، توالی پاراژنزی را می‌توان به صورت شکل ۳۰ برای این کانسار پیشنهاد داد.

#### (۴) ژئوشیمی

مطالعات نشان داده است که کانی گالن قادر است علاوه بر سازنده‌های اصلی خود ( $Pb, S$ ), عناصر دیگری همچون نقره، آنتیموان، بیسموت، آرسنیک، روی، کادمیوم، سلنیوم و مس را به صورت جزئی در خود جای دهد [۱۸]. نتایج آزمایش برخی از عناصر مهم به صورت مؤلفه‌های آماری در جدول ۱ آمده است که در زیر نیز مختصراً بررسی شده‌اند:

**نقره:** عنصر نقره را می‌توان مهمترین عنصر پس از سرب به عنوان فرآورده جاتی (By-product) در نظر گرفت. میانگین نقره در

مرحله برونزاد	مرحله درونزاد	کانی‌ها
		گالن
		باریت
		دولومیت
		سروزیت
		پلاتزیت
۲	۳	
۱		

شکل ۳۰. توالی پاراژنزی کانیهای اصلی کانسار نخلک.

آنتمیوان: مقدار آنتیموان در گالن نخلک نسبتاً بالاست. جانشینی آنتیموان در شبکه بلوری به همراه نقره و ادخالهای سولفوآنتیمونید همچون تترادریت را می‌توان از اشکال حضور آنتیموان در گالن نخلک در نظر گرفت. آنتیموان به مقدار بالا معمولاً در کانسارهای با دمای تشکیل پایین تمرکز می‌یابد [۹].

سلنیوم: مقدار سلنیوم در کانسار نخلک پایین است. سلنیوم به راحتی می‌تواند در گالن جانشین گوگرد شود و محلول جامد کلاستالیت ( $PbSe$ ), را ایجاد نماید. لوفتوس و سولومون [۲۳]، سلنیوم بالا در کانیهای سولفیدی را مربوط به خاستگاه آتشفسانی می‌دانند.

روی: معمولاً حضور روی در گالن به صورت ادخالهایی از اسفالریت در نظر گرفته می‌شود و کمتر پدیده جانشینی ممکن است روی دهد. در مطالعه مقاطع صیقلی این کانی به صورت ادخالهای کمیاب مشاهده شده است. میانگین فراوانی عناصر در رگه‌های معدن نخلک (جدول ۲)، و نیز در طبقه ۲۰۰-۱۶۵ متری (شکل ۳۱)، نشان می‌دهد که منطقه‌بندی خاصی در جهت عمودی و افقی کانسار وجود ندارد و تغییرات موجود به صورت محلی و موضعی عمل کرده‌اند.

آرسنیک: جانشینی با سرب و نیز به صورت ادخال کانیهایی همچون تنانتیت و آرسنوبیریت از اشکال احتمالی حضور آرسنیک در گالن نخلک می‌تواند در نظر گرفته شود. حضور کانی ثانویه میمتیت ( $Cl_3 AsO_4$ ), نیز تأییدی بر حضور این عنصر در کانسار است.

بیسموت: بیسموت عنصری است که در مقایسه با دیگر عناصر متتمرکز در گالن نخلک مقدار پایینی دارد. ملاخوف [۲۴]، بیان می‌دارد که تفاوت شاخصی بین ترکیب گالن در تیپ‌های مختلف وجود دارد. وی گالن‌های مرتبط با اسکارن و آتشفسانی را غنی از بیسموت شناسایی کرده است.

کادمیم: حضور کادمیم در گالن می‌تواند به صورت جانشینی با سرب صورت گیرد؛ ولی این جانشینی تا حد زیادی تحت تأثیر حضور اسفالریت می‌باشد؛ چرا که کادمیم تمایل زیادی به تمرکز در اسفالریت دارد. در ادامه برای اثبات این گفته در قسمت روابط عناصر بیشتر پرداخته خواهد شد.

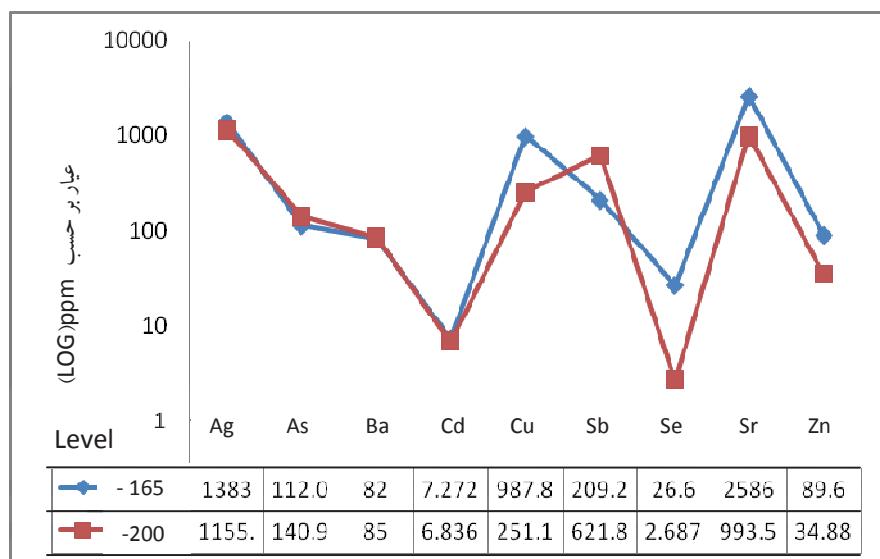
مس: ادخالهای کالکوپیریت، تترادریت-تنانتیت و جانشینی مس به جای سرب و نیز حضور کانیهای ثانویه مس همچون کوولیت می‌تواند از عوامل حضور مس در گالن نخلک به شمار رود.

جدول ۱. مؤلفه‌های آماری مربوط به نتایج آزمایش نمونه‌های گالن نخلک

	Ag	As	Bi	Cd	Cu	Sb	Se	Zn
N	۱۸	۱۸	۱۸	۱۸	۱۸	۱۸	۱۸	۱۸
Mean	۱۰۲۹,۶	۱۰۱,۶	۰,۱	۱۲,۹	۴۶۱,۲	۲۷۷,۳	۱۱,۸	۳۲۶,۶
Std. Deviation	۸۴۰,۸	۱۳۶,۳	۰,۱	۱۹,۶	۶۲۲	۲۲۰,۲	۲۰,۲	۱۱۲۶
Skewness	۰,۵	۱,۱	۱,۱	۳,۹	۲,۷	۱,۴	۲	۴,۲
Kurtosis	-۱,۲	-۰,۴	-۰,۴	۱۵,۶	۷,۲	۱,۱	۱۰,۲	۱۷,۸
Minimum	۹۸	۰,۱	۰,۰	۳,۴	۹۵,۷	۵۸,۳	۰,۵	۰,۱
Maximum	۲۶۰۰	۴۱۷	۰,۳	۸۹,۲	۲۴۹۰	۱۱۰۰	۸۴	۴۸۳۰

جدول ۲. میانگین فراوانی عناصر در برخی از رگه‌های معدن نخلک

	Ag	As	Cd	Cu	Sb	Se	Zn
۵ رگ	۳۲۰	۱,۷۲	۵,۰۳	۱۸۹,۲	۳۴۹,۷	۳,۲	۳۳,۲۲
۱۲ رگ	۱۳۱۵	۹۵,۲	۸۹,۲	۴۱۰	۲۸۹	۲۰	۴۸۳۰
۲۰ رگ	۲۱۶۰	۱۷۲,۱	۱۲,۵۳	۱۰۶۸	۲۳۲	۴۳,۵	۱۵۲,۵
۲۱ رگ	۱۸۶۵	۲۵۲	۷,۵۶	۱۴۹۹	۳۵۴,۲	۱۸,۲۵	۹۲
۲۴ رگ	۱۶۲۸	۲۰۷,۷	۶,۴۳	۲۱۷	۷۷۵,۱	۳,۷۵	۱۸
۲۶ رگ	۶۵۰	۱,۹	۷,۴۹	۱۴۱,۵	۱۶۹	۴	۴
۳۳ رگ	۹۸	۳۰,۳	۱۴,۳	۱۸۵	۵۸,۳	۱۸	۲۴۲
۳۴ رگ	۱۰۲	۰,۵	۹,۶۹	۱۵۲	۹۸,۷	۱۴	۲۶
۳۵ رگ	۲۰۵	۱۲,۹	۲۱	۴۶۵	۱۵۴,۵	۲	۴۹



شکل ۳۱. نمودار مقدار عناصر در دو طبقه ۱۶۵- و ۲۰۰- متری همراه با مقدار این عناصر برای هر طبقه (رگه‌هایی که فقط در یک طبقه داده داشته‌اند، حذف گردیده است).

همبستگی مثبت متوسط دارد که از حضور احتمالی کانی آرسنوبیپیریت حکایت دارد.

**بیسموت:** بیسموت با عده عناصر از جمله نقره، آنتیموان و آرسنیک همبستگی نشان نمی‌دهد. نبود همبستگی از عدم جایگاه بیسموت در کانیهای عناصر ذکر شده (نقره، آنتیموان و آرسنیک)، حکایت دارد. همبستگی مثبت ضعیفی بین بیسموت و مس وجود دارد که شاید علت آن تمرکز مختصراً بیسموت در ادخالهای کانی کالکوپیریت موجود در گالن باشد.

**کادمیم و روی:** این دو عنصر در بین دیگر زوجهای عنصری دارای بالاترین مقدار همبستگی می‌باشند و جالب این که این دو با هیچ کدام از دیگر عناصر همبستگی خاصی نشان نمی‌دهد. این شکل از همبستگی بین دو عنصر به سبب حضور این دو عنصر به صورت ادخالهای میکروسکپی اسفالریت به صورت مستقل درون گالن است [۲۱].

روابط بین عناصر مختلف به شکل ضریب همبستگی عناصر در جدول ۳ محاسبه شده که در زیر مختصراً بررسی شده‌اند:

**نقره:** نقره با آرسنیک همبستگی مثبت بالا، با مس همبستگی مثبت متوسط و با آنتیموان همبستگی مثبت ضعیف دارد. این سه عنصر (آرسنیک، مس و آنتیموان)، به همراه گوگرد سازنده‌های کانیهای تترائدریت- تنانتیت می‌باشد. با توجه به این که نقره با آرسنیک همبستگی بیشتری نسبت به آنتیموان نشان می‌دهد، احتمالاً نقره بیشتر در تنانتیت ( $\text{Cu}_{12}\text{As}_4\text{S}_{13}$ )، تمرکز می‌یابد. همبستگی مشاهده شده بین نقره و مس می‌تواند ناشی از جانشینی نقره در ساختار کالکوپیریت نیز باشد [۲۰]. رابطه خاصی بین نقره و روی وجود ندارد که عدم جانشینی نقره در ساختار اسفالریت را نمایانگر است.

**آرسنیک:** آرسنیک با مس و آنتیموان همبستگی مثبت متوسط نشان می‌دهد که احتمالاً به‌واسطه حضور این عناصر در کانیهای تترائدریت- تنانتیت است. علاوه بر این آرسنیک با آهن

جدول ۳. مقادیر همبستگی محاسبه شده و علامت اختصاری مربوط به هر چفت عنصر\*

\* همبستگی مثبت بالا، ++ همبستگی مثبت متوسط، + همبستگی منفی ضعیف، - همبستگی منفی ضعیف و n.c عدم همبستگی

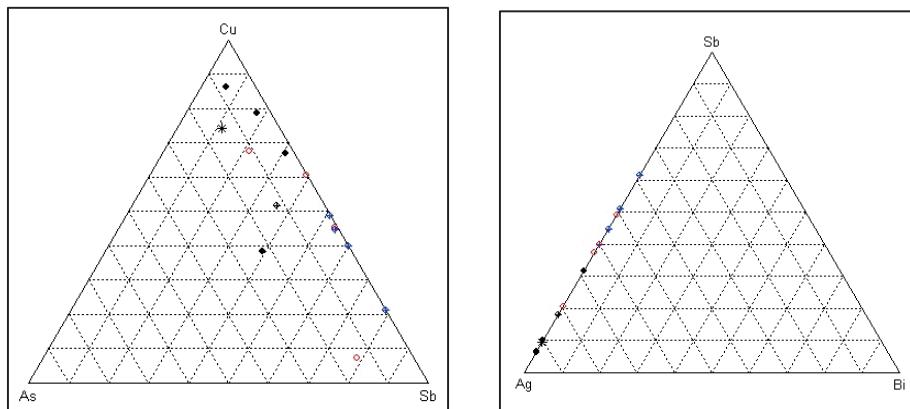
	Ag	As	Bi	Cd	Cu	Sb	Se	Zn
Ag	1	+++	n.c	n.c	++	+	++	n.c
As	0.725	1	n.c	n.c	++	++	++	n.c
Bi	0.116	0.113	1	n.c	+	n.c	n.c	n.c
Cd	0.069	0.025	-0.157	1	n.c	n.c	n.c	+++
Cu	0.657	0.418	0.348	0.002	1	-	+++	n.c
Sb	0.355	0.552	-0.122	-0.115	-0.235	1	-	n.c
Se	0.504	0.419	-0.075	0.177	0.738	-0.246	1	n.c
Zn	0.093	0.012	-0.166	0.979	0.001	-0.083	0.146	1

Co/Ni > ۱ (یعنی Co>Ni) باشد، خاستگاه ماگمایی - گرمایی برای کانسار در نظر گرفته می‌شود. این نسبت با احتیاط برای گالن کانسار نخلک محاسبه گردید که برابر با ۰/۵ می‌باشد. مقدار به دست آمده نشان‌دهنده عدم ارتباط با فعالیت آذرین برای کانسار نخلک می‌باشد، البته باید توجه داشت که این نسبت با احتیاط به کار برده می‌شود.

نسبت Sb/Bi به طور خاص برای گالن به کار برده می‌شود. این نسبت در گالن نشان‌دهنده دما و فشار تشکیل کانی است. به طوری که اگر نسبت فوق کمتر از ۰/۶ باشد، نشان‌دهنده تشکیل کانی در دمای بالاست و مقادیر بیشتر این نسبت نشان‌دهنده تشکیل در دمای پایین است [۲۴]. مالاخوف [۲۴] کانیهای سولفوآسیموتینید را خاص تیپ کانسارهای دما بالا و سولفوآنتیموانید را خاص تیپهای دما پایین دانسته است. نسبت عناصر Sb/Bi در کانی گالن نخلک محاسبه گردید و برابر با ۳۷۷۳ شد که این مقدار نشان‌دهنده تشکیل گالن نخلک در دمای پایین است.

در نمودارهای سه‌تایی Ag-Sb-Bi تمامی نمونه‌ها در ضلع آنتیموان- نقره تجمع یافته‌اند که تمایل به سمت راس نقره بیشتر است. در نمودار Cu-Sb-As که در واقع عناصر فلزی اصلی سازنده کانیهای تترائدریت- تنانتیت می‌باشد، به نظر می‌رسد که بیشتر نمونه‌ها به ضلع مس - آنتیموان تمایل دارند که این شاید از بیشتر بودن کانی تترائدریت نسبت به کانی تنانتیت حکایت دارد (شکل ۳۲).

همان‌طور که گفته شد کانیهای سولفیدی همچون گالن به ندرت خالص بوده و معمولاً مقادیر متفاوتی از عناصر فرعی و کمیاب دارند. جایگزینی عناصر فرعی و کمیاب به عوامل فیزیکی و شیمیایی فراوانی بستگی دارد که از جمله این عوامل pH، دما، فشار و غیره است. با تعیین این نسبتها می‌توان تا حدودی شرایط حاکم بر محیط را در حین تشکیل کانسار ارزیابی کرد. دیویدسون [۲۲]، نسبت کبالت به نیکل را برای تشخیص پیریت کانسارهای رسوبی از ماگمایی - گرمایی پیشنهاد نموده است. لوفتوس و سولومون [۲۳]، این نسبت را به صورت کمتر یا بیشتر از یک بیان کرده‌اند؛ به طوری که اگر نسبت  $\text{Co}/\text{Ni} < 1$  باشد، نشان‌دهنده خاستگاه رسوبی و اگر نسبت  $\text{Ni}/\text{Co} > 1$  (یعنی  $\text{Ni}>\text{Co}$ ) باشد، نشان‌دهنده خاستگاه رسوبی و اگر نسبت



شکل ۳۲. پراکندگی عناصر درون گالن نخلک در نمودارهای سه تابی Cu-Sb-As و Ag-Sb-Bi.

(۳۲۶ ppm) که هر کدام از این عناصر می‌توانند به عنوان محصول جانبی نیز در نظر گرفته شوند. مقدار نقره در گالن نخلک نسبتاً بالاست.

از آنجایی که هیچ‌گونه فعالیت آذرین در مجاورت کانسار نخلک دیده نمی‌شود، نمی‌توان بالا بودن نقره را به این گونه فعالیتها نسبت داد و احتمالاً این بالاتر بودن به سبب دخالت ژئوشیمی محلی، تأثیرات سنگ میزبان، واکنش با سنگ‌های در مسیر حرکت سیالات کانسارساز و نیز شرایط کانه‌زایی است. با توجه به چینه‌شناسی کربناتی کرتاسه بالایی، دگرسانی دولومیتی سنگ میزبان، کانسارسازی دیرزاد و لایه کران، عدم ارتباط با فعالیتها آذرین و همچنین بافت‌های پرکننده فضای خالی، ویژگی‌های کانی‌شناسی و شواهد ژئوشیمیایی، معدن نخلک شباهت بسیار زیادی به کانسارهای نوع دره می‌سی‌پی نشان می‌دهد و در واقع این معدن را می‌توان به عنوان یک نمونه شاخص از کانسارهای نوع دره می‌سی‌پی در ایران در نظر گرفت.

#### مراجع

- [۱] اوزیری ح.، "مطالعه لیتواستراتی‌گرافی، بیواستراتی‌گرافی و محیط‌های رسوبی سنگ‌های تریاس ناحیه نخلک واقع در شمال شرق اتارک (محدوه ساختاری ایران مرکزی) و تهیه نقشه ۱:۲۰۰۰۰ ناحیه مورد مطالعه" رساله دکتری (Ph.D)، دانشگاه آزاد اسلامی واحد علوم و تحقیقات، (۱۳۷۵) ۳۴۴ ص.

**نتیجه‌گیری**  
کانسارسازی در نخلک به شکل رگه‌هایی با امتداد شرقی- غربی به صورت لایه‌کران و ناهمشیب در کربناتهای کرتاسه بالایی جای گرفته است. کانی‌شناسی کانسار شامل گالن و باریت به عنوان کانی‌های اصلی و اولیه می‌باشد. سروزیت کانی ثانویه اقتصادی پس از سرب است. کانی‌های فرعی و کمیاب اولیه که به صورت ادخال درون گالن حضور دارند عبارتند از: اسفالریت، پیریت، کالکوپیریت، تترادریت  $(\text{Cu}_{12}\text{Sb}_4\text{S}_{13})$  - تنانیت  $(\text{Cu}_{12}\text{As}_4\text{S}_{13})$  و آکانتیت  $(\text{Ag}_2\text{S})$ . علاوه بر سروزیت، فرآیندهای برون‌زاد باعث ایجاد کانی‌های ثانویه دیگری از جمله: انگلزیت  $(\text{PbO}_2)$ ، پلاتنریت  $(\text{PbSO}_4)$ ، مازیکوت  $(\text{PbO})$ ، ولفنیت  $(\text{PbMoO}_4)$ ، کولیت  $(\text{CuS})$ ، ملاکیت، کالکانیت، میمتیت  $(\text{Fe}_3\text{O}_4)$ ، مینیوم  $(\text{Pb}_5(\text{AsO}_4)_3\text{Cl})$  و اکسیدهای آهن و منگنز نیز شده است. بافت‌های متنوعی از ماده معدنی مشاهده شده که همگی از نوع پرکننده فضای خالی در دمای پایین هستند. در مورد نحوه ایجاد فضای خالی باید گفت که فعالیت گسلهای منطقه به حرکات تکتونیکی منجر شده است و این حرکات در مرحله بعد طبق مدلی که ارائه گردید باعث ایجاد درز و شکافهای مناسب جهت کانسارسازی شده است. تجزیه نمونه‌های گالن نشان داد از جمله عناصری که در این کانی حضور دارند عبارتند از: نقره (۱۰۲۹ ppm)، آرسنیک (۴۶۱ ppm)، مس (۳۷۷ ppm) و روی (۱۰۱ ppm).

- Carbonate Strata* ", AAPG Mem, v. 63 (1995) 301–306.
- [۱۴] کریم پور م. ح. و سعادت س. " زمین‌شناسی اقتصادی کاربردی "، انتشارات ارسلان، (۱۳۸۱) ۵۳۵ ص.
- [۱۵] Laznicka P. " breccias and ores. Part 1: History, organization and petrography of breccias .", Ore Geology Rev., v. 4 (1989) 314-344.
- [۱۶] Shadlun T. N. " Ore texture as indicators of formation conditions of mineral paragenesis in different type of stratiform lead- zinc deposits ", Heidelberg, ( 1980) 607- 624.
- [۱۷] Ineson P.R. " Introduction to Practical Ore Microscopy ". Longman publishers, (1989) 181.
- [۱۸] Ahrens L., " The use of ionization potentials. II. Anion affinity and geochemistry ", Geochim. et Cosmochim. Acta, v. 4 (1953) 1-29.
- [۱۹] Lueth V.W., Megaw P.K.M., Pinatore N.E., and Goodell P.C. " Systematic variation in galena solid solution at Santa Eulaia Chihuahua, Mexico ", Economic Geology, V.95 (2000) 1673-1687.
- [۲۰] Amcoff O. " Distribution of silver in massive sulfide ores, Mineralium Deposita ", v. 19 (1984) 63-69.
- [۲۱] Fernandez P. F.J. and Izard M.A. " Trace element content in galena and sphalerite from ore deposits of the Alcudia Valley mineral field(Eastern Sierra Morena, Spain) ", Journal of Geochemical Exploration, v. 86 (2005) 1-25.
- [۲۲] Davidson C.F. " On the cobalt: nickel ratio in ore deposits ". Mineral. Mag, v. 106 (1962) 78-85.
- [۲۳] Loftus- Hills G. and Solomon M. " Cobalt, nickel and selenium in sulphides as indicators of genesis ", Mineralium Deposita, v. 2 (1967) 228-242.
- [۲۴] Malakhov A.A. " Bismuth and antimony in galenas as indicators of some conditions of ore formation ". Geochemistry International,v.7( 1968) 1055-1068.
- [۲] Alavi M., Vaziri S.H., Seyed-Emami K., and Lasemi V., " The Triassic and associated rocks of the Nakhlak and Aghdarband areas in Central and Northeastern Iran as remnants of the Southern Turanian continental margin ", G.S.A .Bulletin, v. 109, no.12 (1997) 1563-1575.
- [۳] Rasa I., " Geologisch, Petrographische untersuchungen in der Blie \_ Lagerstaette Nakhlak , Zentraliran ", Heidel. Geo. Abh Band 10 (1987) 191.
- [۴] خسرو تهرانی خ. " زمین‌شناسی ایران "، انتشارات پیام نور شماره ۳۲۷ (۱۳۷۵) ۵۸۴ ص.
- [۵] Holzer H. F., and Ghassernipour R. " Geology of the Nakhlak lead mine area (Anarak district. Central Iran) ", Geol. Surv. Iran, (1969) 44.
- [۶] حاجیان ج، "زمین‌شناسی ایران (پالئوسن و آئوسن در ایران)"، انتشارات سازمان زمین‌شناسی و اکتشافات معدنی کشور. شماره ۲۸ (۱۳۷۵) ۴۶۰ ص.
- [۷] Ghazban F., Mcnutt R.h., and Schwarcz H.P. " Genesis of sediment- hosted Zn-Pb-Ba deposits in the Irankuh district, Esfahan Area, West- Central Iran ", Economic Geology, v. 89 (1994) 1262-1278.
- [۸] Guilbert J.M., and Park Jr. C.F. " The Geology of Ore Deposits, Freeman and Company ", New York,( 1997) 985.
- [۹] Marshal R.R. and Joensuu O. " Crystal habit and trace element content of some galena ", Economic Geology, v. 56 (1961) 758-771.
- [۱۰] Mason, B., C.B. Moore. " Principles of Geochemistry ", John Wiley and Sons, Inc. (1982) 329-341.
- [۱۱] Williams S.A. " The Significance of Habit and Morphology of Wulfenite ", The American Mineralogist, v. 51 (1966) 1212-1217.
- [۱۲] رحیم پور بناب ح. " سنگ‌شناسی کربناته: ارتباط دیابتز نر و تکامل تخلخل "، انتشارات دانشگاه تهران، (۱۳۸۴) ۴۸۷ ص.
- [۱۳] Hill C.A. "  $H_2S$ - related porosity and sulfuric acid oil-field karst. In: Budd, D.A., Saller, A.H., Harris, P.M. Eds., Unconformities and Porosity in





## زمین‌شیمی و پیدایش کانیهای گروه آلومینیم، فسفات- سولفات (APS) در زون دگرسانی آرژیلیک پیشرفته، شمال غرب شیرکوه، یزد

بتول تقی‌پور<sup>۱</sup>، فرید مر

بخش علوم زمین، دانشکده علوم، دانشگاه شیراز

دریافت مقاله: ۱۳۸۸/۱۲/۱۳، نسخه نهایی: ۱۳۸۹/۴/۲۷

### چکیده

توده‌های لوکوکرات با ترکیب گرانیتی تا گرانودیوریتی در شمال غرب باتولیت شیرکوه، واحدهای رسوبی منطقه شامل کنگلومرا (کرتاسه پایینی)، ماسه‌سنگ و شیل- ماسه‌سنگ‌های تریاس- ژوراسیک را تحت تأثیر قرار داده‌اند. توده‌های لوکوکرات در پی ایجاد دگرگونی مجاورتی در منطقه، دگرسانی گرمابی وسیعی را در این سنگ‌های میزبان به وجود آورده‌اند. فازهای دگرسانی تأخیری بیشتر ماسه‌سنگ‌های آركوزی سازند سنگستان را تحت تأثیر قرار داده و سبب شکل‌گیری زونهای دگرسانی پروپیلیتیک، کوارتز- سریسیت، آرژیلیک پیشرفته و سیلیسی در منطقه شده است. زون کوارتز- سریسیت گستردگرترین زون دگرسانی در این منطقه است. زون دگرسانی آرژیلیک پیشرفته با مجموعه کانیهای زیر مشخص شده است: ژاروسیت، آلونیت و فیروزه، که این کانیها جزئی از کانیهای آلومینیم، فسفات- سولفات‌دار (APS) می‌باشند. با در نظر گرفتن مجموعه کانیهای ژاروسیت، آلونیت و فیروزه و واکنشهای رخ داده بین این کانیها، دگرسانیهای این منطقه در یک سامانه با فوگاسیته بالای اکسیژن و اسیدیته بالا شکل گرفته است.

**واژه‌های کلیدی:** شیرکوه، توده‌های لوکوکرات، دگرسانی، ژاروسیت، فیروزه.

### مقدمه

نفوذی علی آباد - دره زرشک را با روش  $^{40}\text{Ar}/^{39}\text{Ar}$  و K-Ar انجام داده‌اند. اسلامی‌زاده [۴] سنگ‌های آذرین علی آباد- دره زرشک را از دیدگاه پترولولژی و زونهای دگرسانی مس پورفیری بررسی کرده است.

مکی‌زاده [۵] در رساله دکتری خود اسکارنهای استان یزد شامل این منطقه را مطالعه نموده است. تقی‌پور [۶] نیز کانی- شناسی و زمین‌شیمی دگرسانیهای گرمابی زون ماقمatisم سنوزوئیک ایران مرکزی را بررسی کرده است. در این مقاله هدف کانی‌شناسی، زمین‌شیمی و تعیین واکنش‌گیهای فیزیکوشیمیایی سیالات دگرسان کننده وابسته به لوکوگرانیتهای منطقه دامک است.

منطقه دامک (علی آباد) در ۵۵ کیلومتری جنوب غرب یزد بین طولهای جغرافیایی شرقی  $۴۸^{\circ}$ ،  $۵۴^{\circ}$  تا  $۵۳^{\circ}$  و عرضهای جغرافیایی شمالی  $۳۸^{\circ}$ ،  $۳۱^{\circ}$  تا  $۴۱^{\circ}$  واقع شده است. دسترسی به محدوده مورد مطالعه از مسیر یزد- تفت- علی آباد (جاده اصلی) امکان‌پذیر است.

از میان مطالعاتی که تا کنون در ارتباط با توده‌های نفوذی و دگرسانیهای وابسته در منطقه دامک صورت گرفته است، می‌توان به موارد زیر اشاره کرد: خلیلی و همکاران [۱] اولین بار وجود گارنت و آلونیت را ناشی از فعالیتهای گرمابی در دامک گزارش کرده‌اند. رضائیان و همکاران [۲] پیدایش فیروزه را از دیدگاه واکنشهای شیمیایی محتمل و کانی‌شناسی مورد بررسی قرار دادند. زراسوندی و همکاران [۳] تعیین سن توده‌های

### پی‌جوییهای صحرایی منطقه علی آباد

توده‌های نفوذی منطقه مورد بررسی در غرب باتولیت گرانیتی شیرکوه قرار دارند. در جنوب منطقه دو توده جدآگانه رخمنون دارند. این توده‌ها دو سازند عمدۀ منطقه یعنی ماسه سنگها و شیل‌های تریاس - ژوراسیک و کنگلومراها - ماسه سنگهای (سازند سنگستان) را قطع کرده‌اند، و باعث رخداد دگرسانیهای گرمابی در این واحدها (بهویژه سازند سنگستان) شده‌اند. توده‌های نفوذی منطقه دامک کاملاً لوکوکرات هستند، دگرسانی و شکستگیهای زیادی فراوان در این توده‌ها دیده می‌شود. ترکیب این توده‌ها از گرانیت تا گرانودیوریت و تونالیت تغییرمی‌کند. بافت گرانوفیری، مرتار، پورفیروئید، میکروگرافیک و گرانولر متوسط در این سنگها دیده می‌شود. توده‌های نفوذی گرانودیوریتی- تونالیتی در این منطقه، سازند سنگستان را تحت تأثیر قرار داده‌اند. تأثیر توده نفوذی سبب دگرسانی گسترده در منطقه دامک شده است. زونهای دگرسانی مشاهده شده در این منطقه شامل پروپلیتیک، فیلیک، آرژیلیک پیشرفت و سیلیسی می‌شود. زون کوارتز- سریسیت بیشترین بخش دگرسانی را در منطقه تشکیل می‌دهد. سریسیتی شدن فلدسپاتهای سازنده کنگلومرا و بهویژه ماسه سنگهای آرکوزی به طور گسترده دیده می‌شود. زون آرژیلیک در این منطقه توسعه کمتری دارد و زون آرژیلیک پیشرفتی با تشکیل کانیهای آلونیت- ژاروسیت و فیروزه درون زون فیلیک پراکنده است. آلونیت به رنگ سفید تا سبز خیلی کمرنگ با جلای خاکی، شکست صدفی به گونه رگه‌چهای تا قلوهای دیده می‌شود. پیدایش ژاروسیت فراگیر است. این کانی به رنگ قهوه‌ای مایل به زرد و حنایی با رخداد رگه‌چهای دیده می‌شود. فیروزه به صورت قلوهای تا رگه‌چهای همراه با آلونیت، ژاروسیت و کوارتز مشاهده می‌شود. در مشاهدات صحرایی رخداد مس تنها به صورت آغشتگی سنگها با مالاکیت، آزویریت نمایان است. اکسیدهای آهن (به‌خصوص پیریتهای تمام شکل‌دار (مکعبی) که همه به گوتیت تجزیه شده‌اند) همراه با کوارتز تداعی‌کننده بخش کلاهک آهنه است [۵]. این بخش در همراهی با کانیهای اسکارن (گارنت) است. برداشت‌های صحرایی و مشاهدات کانی‌شناختی نشان می‌دهد که دگرسانیهای گرمابی بعد از پیدایه دگرگونی مجاورتی (اعمال شوک گرمابی و شکل‌گیری اسکارنها) در یک گستره فراگیر (شامل توده نفوذی، سنگهای اسکارنی شده و همچنین

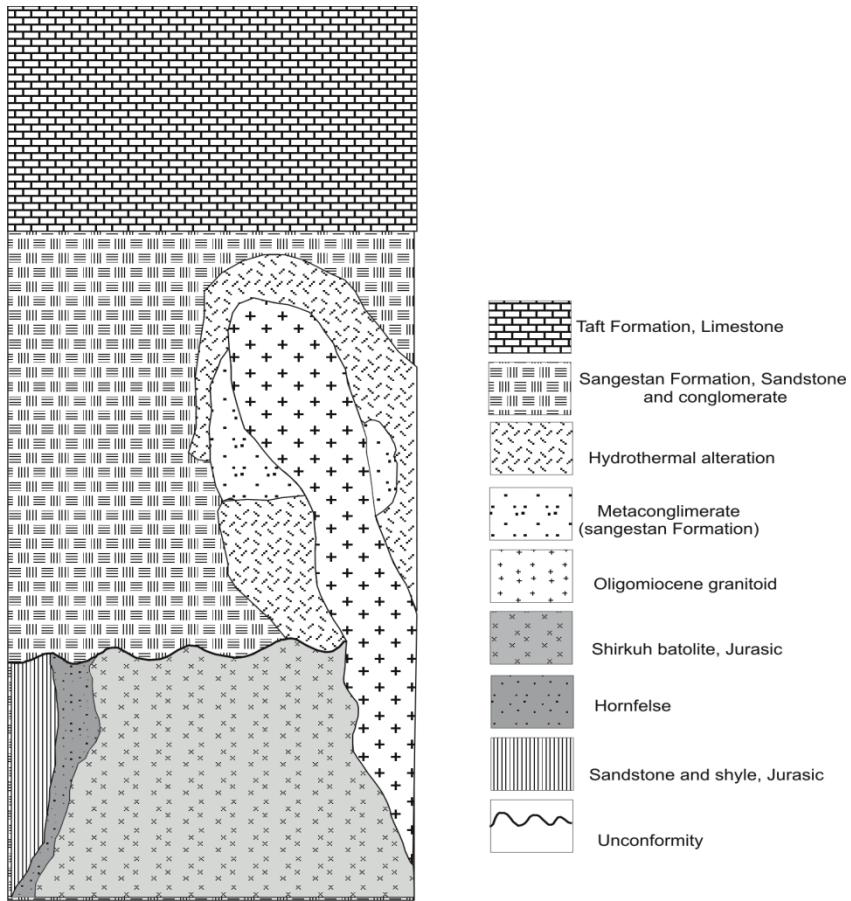
### روش مطالعه

پس از انجام مطالعات صحرایی و نمونه‌برداری، مطالعات پتروگرافی با استفاده از میکروسکپ نوری مدل BH2 انجام گرفت. برای شناخت فازهای کانیایی از پراش سنجی پرتو X (XRD) و برای تعیین ترکیب زمین شیمیایی کانیهای حاصل از دگرسانی با استفاده از فلورسانس پرتو X (XRF) در آزمایشگاه مرکزی دانشگاه اصفهان (دستگاه‌های S-4 بروکر) استفاده شده‌اند. برخی از تجزیه‌های XRF نیز توسط شرکت کیان طیف زاگرس انجام شده است. آنالیزهای نقطه ای توسط دستگاه الکترون مایکروپرورب مدل کامکا SX-50 در دانشگاه‌های کالسروهه (آلمان) و استراسبورگ (فرانسه) انجام گرفت.

### زمین‌شناسی عمومی منطقه

این منطقه بخشی از نوار ماقماتیسم سنوزوئیک ایران مرکزی در شمال غرب شیرکوه را تشکیل می‌دهد. پی‌سنگ منطقه را سازند نای‌بند تشکیل می‌دهد. نبوی [۷] سن این گرانیت را ژوراسیک در نظر گرفته است. فورستر [۸] با استفاده از روش Rb-Sr سن گرانیت شیرکوه را  $175 \pm 10$  میلیون سال تعیین نموده است. با توجه به داده‌های ایزوتوپی و سن نسبی می‌توان این باتولیت را به کوه‌زایی کیمیرین پسین نسبت داد. فراسایش پسین سبب انباشت ضخامت زیادی از ماسه سنگ - کنگلوماری (سازند سنگستان) در گودالهای گسلی غرب باتولیت شده است [۵].

سازندهای سنگستان و تفت (آهکهای اربیتولین‌دار) با ناپیوستگی آذرین‌پی، برروی باتولیت شیرکوه (پس از کرتاسه) قرار دارند. در این میان فازهای تأخیری جوانتر از گرانیت شیرکوه [۹] توده‌های نفوذی بزرگ لوکوکرات و توده‌های کوچک ساب ولکانیک گرانیت‌وئیدی را در منطقه علی‌آباد تشکیل داده و تمام واحدهای پیشین را قطع کرده‌اند (شکل ۱). زراسوندی [۱۰] با استفاده از روش K-Ar سن مطلق ۳۰ میلیون سال را برای گرانیتها و سن بخش‌های جوانتر کوارتز مونزونیت- گرانودیوریت را  $46 \pm 14$  میلیون سال تعیین کرده است.



شکل ۱. واحدهای زمین‌شناسی مختلف در منطقه دامک، موقعیت لوکوگرانیتها نسبت به باтолیت شیرکوه، بدون مقیاس [۵].

دامک میکروگرافیک، پورفیروئید، گرانوفیریک و مرtar (ساروجی) است. در این ارتباط هم رشدی نیمه شعاعی کوارتز درون آلکالی فلدسپات به دور یک هسته آلکالی فلدسپات (شکل ۲. الف) و یا هم رشدی کوارتز با آلکالی فلدسپات‌ها رایج‌ترین بافت در توده دامک است. رشد شعاعی کوارتز در آلکالی فلدسپات پیرامون فنوکریستهای کوارتز با حواشی گردشده دیده شده است. در این سنگها آلبیت با ماکل صفحه شطرنجی نیز دیده می‌شود (شکل ۲. ب). جابه‌جایی در سطوح ماکل و خمشدگی ماکل در فلدسپات‌ها، وجود درشت بلورهای کوارتز با خاموشی موجی و شکستگی‌های فراوان از پدیده‌های است که در سنگهای نفوذی با بافت مرtar دیده می‌شود. توالی تخریبی سازند سنگستان (کنگلومرا، میکروکنگلومرا و ماسه سنگهای قرمز) در محدوده مورد مطالعه از دیدگاه

سنگهای دگرسان‌شده دور از اسکارنها) عمل کرده‌اند. بنابراین در پی شکل‌گیری اسکارن سیالات گرمابی تأثیر داشته‌اند و گروه کانیهای ویژه را پدید آورده‌اند.

#### پتروگرافی توده‌های نفوذی و دگرسانیهای گرمابی توده‌های نفوذی

بیشتر توده‌های نفوذی منطقه دامک لوکوکرات بوده و ترکیب شیمیایی آنها از گرانیت تا گرانودیوریت در نوسان است [۹]. بر مبنای شواهد پتروگرافی کانیهای اصلی این سنگها عبارتند از: کوارتز، ارتوکلاز، پلازیوکلاز، بیوتیت، مسکویت، آمفیبول به مقدار کم (هورنبلند سبز) و در بخش‌های مافیک‌تر کلینوپیروکسن نیز دیده می‌شود. کانیهای فرعی این سنگها آپاتیت، زیرکن، کانیهای اپک و اسفن است. بافت توده نفوذی آپاتیت، کانیهای اپک و اسفن است.

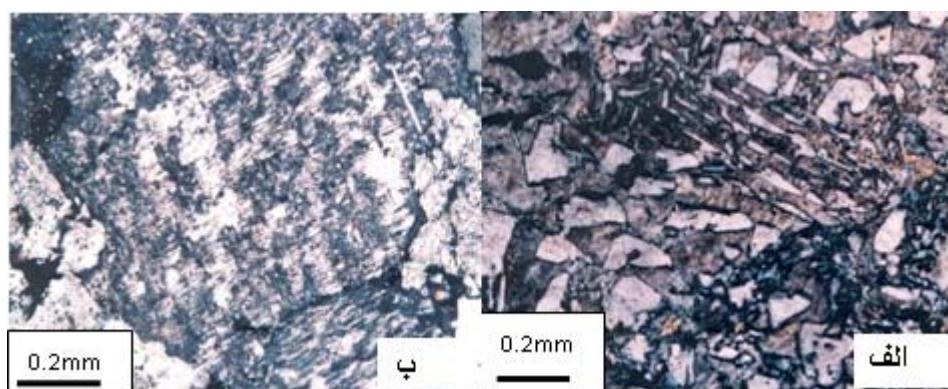
می‌شوند (شکل ۳.الف). در برخی موارد بلورهای مسکویت به طور بخشی به شکل جانشینی در ارتوکلاز مشاهده شده است. در آرکوزها دگرسانی کامل فلدسپاتها به سریسیت و همچنین تجمع مسکویت همراه کوارتز در برخی نواحی توسعه دارد (شکل ۳.ب)، در دایکهای آذرین و زبانه‌ها نیز سریسیتی شدن شدید فنوکریستها دیده می‌شود.

از دیگر پدیده‌های مرتبط با سریسیتی شدن جانشینی کامل بیوتیت توسط مسکویت و کانی کدر است (شکل ۳ پ) که در توده نفوذی دیده می‌شود. پیدایش کرونodium همراه با سریسیت یکی از موارد نادر در میکروکنگلومراهای دگرسان این منطقه است (شکل ۳.ت). شکل ویژه بلورهای کرونodium یعنی بافت عدم تعادل آنها با سریسیتهای زمینه نشان می‌دهد که آنها به خرج سریسیت در مرحله پیشرفت‌تر دگرسانی و در دمای بالاتر شکل گرفته‌اند. رنگ آبی کرونodium نشان می‌دهند که از نوع سافیر هستند.

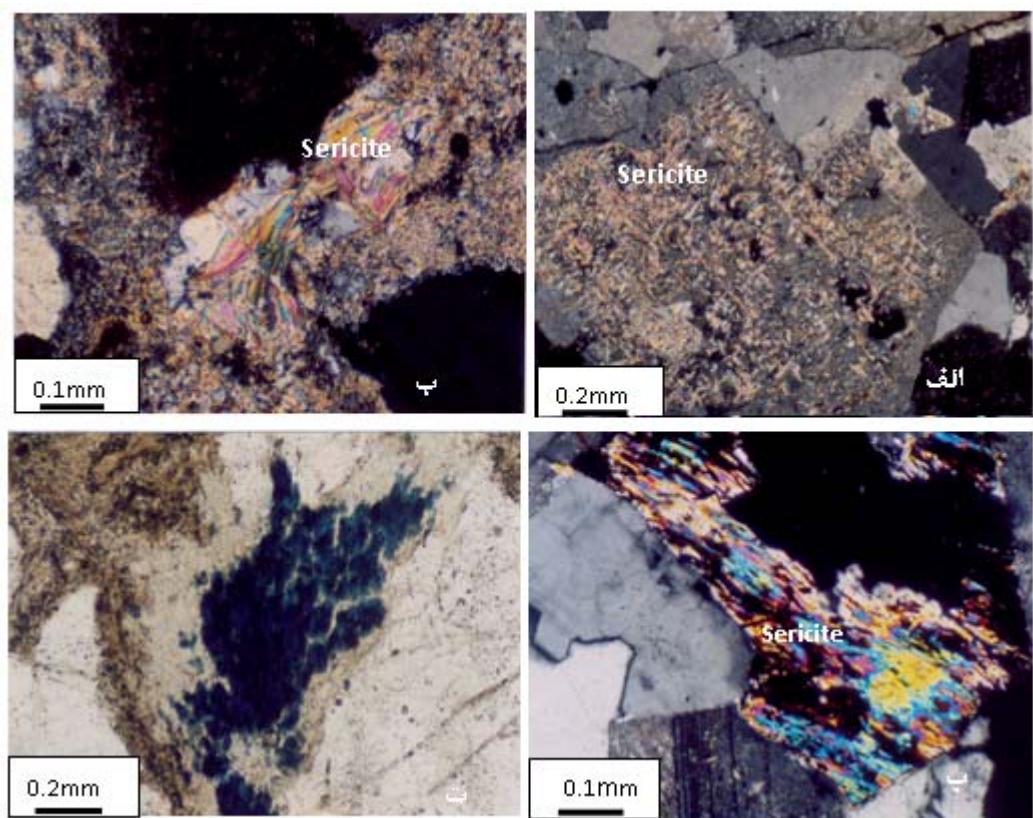
سنگ‌شناسی تخریبی شامل کوارتزیت، سیلتستون و کمتر شیل و سنگ آهک از سازندهای رسوی ژوراسیک می‌شود. از نمودهای عمدۀ دگرسانی منطقه دامک (توده نفوذی و سنگ‌های کنگلومراهای تا ماسه سنگی‌های آرکوزی) می‌توان به سریسیتی شدن، سیلیسی شدن (به صورت تؤام یا جداگانه) و دگرسانی اسید- سولفات (شکل‌گیری ژاروسیت- آلونیت و به دنبال آن فیروزه) اشاره کرد، همچنین دگرگونی از نوع اسکارن نیز ( تنها در قله‌های آهکی کنگلومراها) در این منطقه دیده شده است. ماسه‌سنگ‌های سنگستان ترکیب سنگ‌شناختی آرکوز دارند و دگرسانی شدیدی را متحمل شده‌اند.

#### سریسیتی شدن

سریسیتی شدن فرآگیرترین نمود دگرسانی در منطقه مورد مطالعه است. فلدسپات‌های قلیایی با الگوهای متفاوتی سریسیتی شده‌اند [۱۱]. توسعه سریسیت ترجیحاً در امتداد رخهای آلبیت و ارتوکلاز و بخش یکنواخت آن در تمام بلورها دیده



شکل ۲. الف، بافت میکروگرافیک در توده نفوذی دامک (Xpl). ب. ماکل صفحه شطرنجی در توده نفوذی دامک (Xpl).



شکل ۳. الف. سریسیتی شدن تدریجی یک پلازیوکلаз، جهت‌گیری مسکویت دانه‌ریز در امتداد رخ مشهود است (xpl). ب. گرد هم‌آرایی کوارتز و مسکویتهای درشت‌دانه در بخشی از ماسه‌سنگ‌های آرکوزی با دگرسانی کوارتز-سریسیت (xpl). پ. جانشینی کامل بیوتیت در لوکوگرانیت توسط مسکویت و کانیهای اپاک (apl). ت. بلورهای کروندم بی‌شکل با حواشی گردشده، به نظر می‌رسد در امتداد ترجیحی بلورهای ریز سریسیت و به خرج آنها در حال رشد هستند (ppl).

تبديل شده‌اند (شکل ۴ ب). قطع شدگی بلورهای کوارتز (توسط ژاروسیت‌های رگه‌چهای) با خاموشی موجی (در بخش‌های سریسیتی شده و همچنین حاوی بافت مرtar در توده نفوذی) نشان می‌دهد که ژاروسیت‌سازی در دامک تا بعد از یک فاز فشاری درون توده نفوذی ادامه داشته است. که این امر مستلزم شناخت سازوکار سامانه گرمابی توده نفوذی (رخداد پدیده هیدروفراکچنیک) دامک است. تشکیل فیروزه نیز ارتباط تنگاتنگ با سنگ‌های سریسیتی شده نشان می‌دهد. این کانی ریز بلورین بوده و در مقاطع نازک میکروسکوپی در ppl با برjestگی ضعیف قهوه‌ای-زرد کم رنگ و در xpl با بی‌رفتگی بسیار ضعیف (خاکستری تا خاکستری تیره سری اول) دیده می‌شود (شکل ۴ ت).

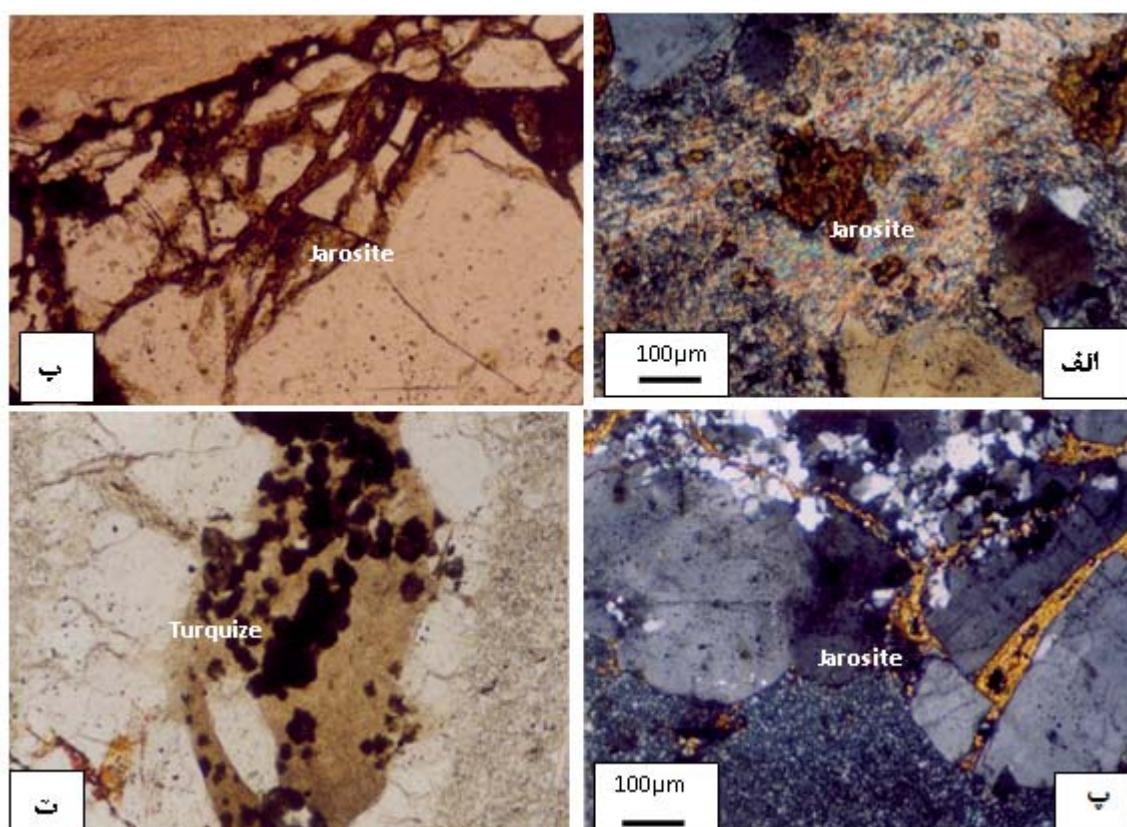
**آرژیلیک پیشرفته**  
در زون دگرسانی سریسیتی، هم‌یافته ژاروسیت دیده شده است. ژاروسیت با رنگ زرد عسلی خاص (ppl)، برjestگی بالا و رنگ‌های تداخلی سری بالا دیده می‌شود. ارتباط تنگاتنگ این کانی به شکل بلورهای پراکنده درون بخش‌های سریسیتی شده دانه‌ریز، یا پرکننده فضای خالی بلورهای مسکویت واضح است، ژاروسیت به شکل منفرد درون فلدسپات‌های سریسیتی شده (سودومورف) هم دیده می‌شود (شکل ۴ الف). درون ماسه‌سنگ‌های آرکوزی سریسیتی شده رخداد این کانی کمتر است و بیشتر به شکل دانه‌های مستقل دیده می‌شود. ژاروسیت به شکل رگه‌های منفرد و یا انبوه (با بافت استوکورک) نیز دیده شده است (شکل ۴ ب). بلورهای ژاروسیت در تمام موارد از حاشیه یا به شکل نامنظم به اکسیدهای آهن (گوتیت؟)

بسیار نادر است.

برپایه تجزیه‌های پراش سنجی پرتو X کانیهای زیر که نشان‌دهنده زون آرزیلیک پیشرفته می‌باشند، در منطقه دامک مشخص شده‌اند (جدول ۱).

آلونیت‌ها بسیار دانه‌ریز هستند. به‌طوری که تشخیص میکروسکوپی آنها بسیار دشوار است. برای تأیید وجود آنها از آنالیزهای XRF و XRD استفاده شده است (جدول ۲ و شکل ۶) رگه‌چهای فیروزه در هم‌یافته با کوارتز و ژاروسیت در مشاهدات میکروسکوپی دیده می‌شود.

این کانی با کوارتز (سیلیسی‌شدن) در مجاورت رگه‌چهای دیده می‌شود، رخداد ژاروسیت تقریباً در همه موارد همراه با فیروزه است. آنچه مسلم است ژاروسیت به شکل تأخیری نسبت به فیروزه دیده می‌شود. در برخی موارد ژاروسیت‌های دانه‌ای درون رگه‌چهای فیروزه به شکل میانبار مانند دیده می‌شوند. که این پدیده بیانگر تبلور ژاروسیت‌ها در آخرین مرحله پرشدگی رگه‌چهای بعد از فیروزه است. رگه‌چهای فیروزه درون ماسه‌سنگ‌های آركوزی نیز به واضح دیده می‌شوند. این کانی حتی به شکل جانشینی در خرده‌سنگ‌های شیلی ماسه سنگها و میکروکنگلومراهای دگرسان نیز دیده شده است که این رخداد



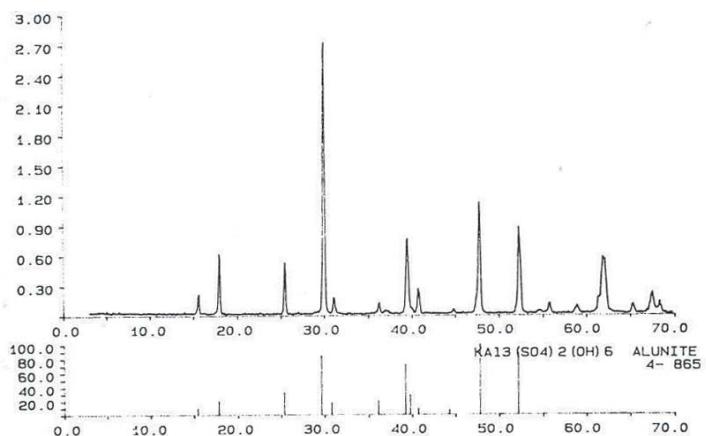
شکل ۴. الف. جانشینی ژاروسیت‌ها درون بلورهای فلدسپات قلیایی که با حفظ شکل سریسیتی شده است (xpl). ب. رگه‌چهای ژاروسیت درون بلورهای کوارتز با بافت شبکه‌ای توسعه یافته‌اند (ppl). پ. هم‌یافته فیروزه، کوارتزهای دانه درشت متعلق به سنگ گرانوڈیوریت و کوارتزهای دانه‌ریز مربوط به سیلیسی‌شدن و قطع شدن نهایی همه آنها توسط رگه‌چهای ژاروسیت (xpl). ت. هم‌یافته ژاروسیت‌های دانه‌ای و اکسیدشده (گوتیت؟) درون یک رگه فیروزه، سیلیسی شدن حاشیه رگه‌چه توسط نمود واضح بلورهای کوارتز به خوبی دیده می‌شود (ppl).

جدول ۱. مجموعه‌های کانی که از تجزیه XRD حاصل شده است (دانشگاه هامبورگ).

نمونه	کانی‌شناسی
D-1	Muscovite, quartz
D-2	Alunite
D-3	Turquoise, quartz
D-4	Goethite, quartz

جدول ۲. آنالیز XRF دو نمونه رگه‌چه آلونیت

نمونه	D-3	D-4
SiO <sub>2</sub>	۰/۵۴	۰/۶۷
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	۲۸/۷	۲۸
TiO <sub>2</sub>	۰/۰۲	۰/۰۱
Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	۰/۹۹	۲/۲۲
CaO	۰/۰۶	۱/۶۳
MgO	۰/۲۳	۰/۲
K <sub>2</sub> O	۱۳/۷	۱۳/۹
Na <sub>2</sub> O	۰/۵۷	۰/۳۳
SO <sub>3</sub>	۴۵/۱	۴۴/۲
L.O.I	۶/۱۰	۴/۲۲
Total	۹۷/۰۱	۹۵/۴۸



شکل ۵. الگوی پراش سنجی نمونه آلونیت.

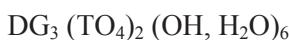
## سیلیسی شدن

### بحث و بررسی

توسعه دگرسانی در شمال غرب شیرکوه وابسته به توده‌های لوکوگرانیتی به سن الیگوسن است. مجموعه زونهای دگرسانی پروپلیتیک، فیلیک، آرژیلیک پیشرفت و سیلیسی در این منطقه شکل گرفته است.

زون دگرسانی آرژیلیک پیشرفت که اهمیت زیادی در مطالعات اقتصادی دارد، در منطقه دامک با نمود کانیهای گروه APS (Aluminum-phosphate-sulfate) مشخص شده است. این کانیها به ترتیب فراوانی ژاروسیت، فیروزه و آلونیت می‌باشند.

کانیهای خانواده ژاروسیت معمولاً فازهای ثانویه‌ای هستند که حاصل اکسایش ذخایر سولفیدی همراه با سنگهای اسیدی می‌باشند [۱۲ و ۱۳]. کانیهای گروه ژاروسیت زیرمجموعه‌ای از خانواده آلونیت با فرمول عمومی زیرمی‌باشند:



D توسط Ba, Sr, K, Na و OH جایگزین می‌شود. در این فرمول G نشان‌دهنده  $\text{Fe}^{3+} > \text{Al}^{3+}$  و  $\text{SO}_4^{2-}$  نیز ۷۵٪ و یا کل  $\text{TO}_4$  را به خود اختصاص می‌دهد [۱۲]. تمام نمونه‌های

سیلیسی شدن به سهولت در نمونه‌های دستی و رخنمونهای صحرایی دیده می‌شود. در مقاطع میکروسکوپی رخداد سیلیس به شکلهای زیر است:

الف: نامنظم و پراکنده درمتن سنگ. این مورد به صورت روکش بر روی کوارتزهای قدیمی و یا در همراهی با سریسیت دیده شده است.

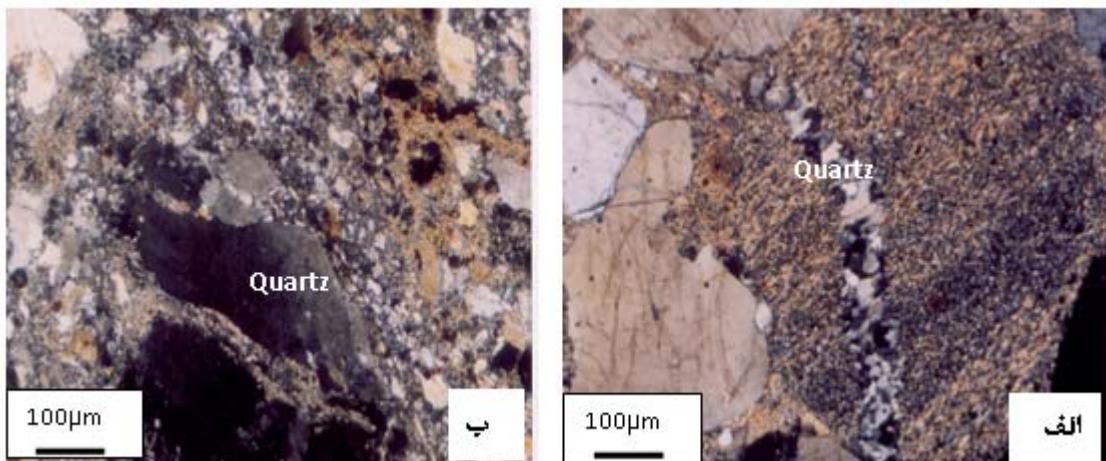
ب: رگه‌چهای

پ: تشکیل در حاشیه رگه‌چهای فیروزه.

رگه‌چهای کوارتز به طور مستقل رایجترین نوع سیلیسی شدن هستند (شکلهای ۶. الف و ۶ ب). مطالعه مقاطع میکروسکوپی نشان می‌دهد که در دگرسانیهای دامک رخداد فلدسپات‌های قلیایی تأخیری نیز دیده می‌شود، این نوع دگرسانی که بسیار کم در توده نفوذی دیده می‌شود به شکل رگه‌چهای باریکی از ارتوکلاز (?) درون پلاژیوکلازهای قدیمی است.

### سایر دگرسانیها

در آرکوزها و کنگلومراهای دگرسان شده مجاور توده نفوذی، رخداد اپیدوت به خرج فلدسپات‌های آرکوز دیده می‌شود. این نوع دگرسانی در همراهی با دگرگونی از نوع اسکارنی شدن قلوه‌های کربناته کنگلومراها [۵] در ارتباط با توده نفوذی است.

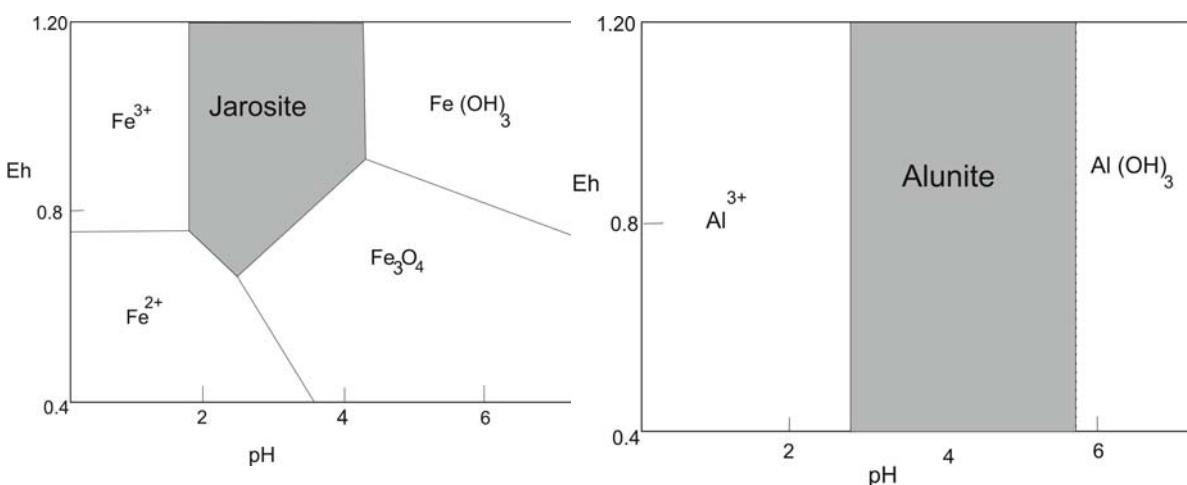


شکل ۶. الف. تجمع کوارتزهای دانه‌ریز در یک رگه‌چه که خرده سنگی از جنس سیلتستون را در آرکوز قطع کرده است. لایه بندی رسوی تا حدودی در این خرده سنگ دیده می‌شود (xpl). ب. کوارتز رگه‌چه ای حاصل کوارتزهای دانه ریز که بعد از رخداد برش در گرانودیوریت شکل گرفته است. زمینه سنگ از کوارتزهای دانه ریز و سریسیت تشکیل شده است (xpl).

کانیهای گروه آلونیت- ژاروسیت تابع دو عامل pH و Eh می‌باشد (شکل ۷ و ۸). این کانیها در محیط اکسیده و اسیدی پایدار هستند.

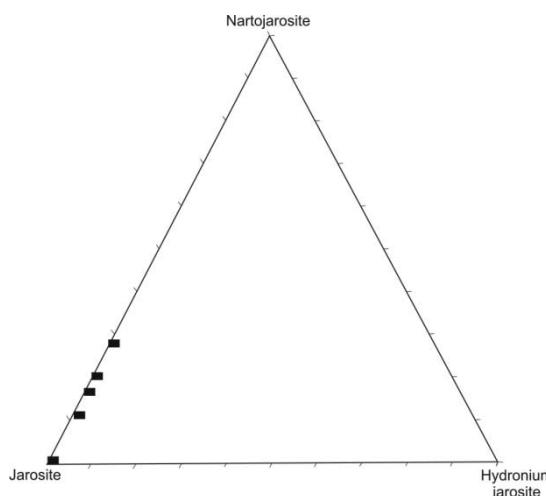
برای نام‌گذاری کانیهای خانواده آلونیت از نمودار سه‌تایی Ca، Na و K (شکل ۹) و برای گروه ژاروسیت از نمودار (شکل ۱۰) استفاده شده است. با توجه به شکلهای ۹ و ۱۰ انمونه‌های دامک آلونیت خالص و ژاروسیت متمایل به قطب ناترو می‌باشند.

ژاروسیت طبیعی محلول جامدی از ژاروسیت یا فرمول  $KFe_3^{3+}(SO_4)_2(OH)_6$  ناتروژاروسیت با فرمول  $NaFe_3^{3+}(SO_4)_2(OH)_6$  و هیدرونیوم ژاروسیت  $(H_3O)Fe_3^{3+}(SO_4)_2(OH)_6$  می‌باشد. هیدرونیوم ژاروسیت در شرایط اکسایش شدید سولفیدها تشکیل می‌شود و یا جایی که دسترسی به Na و K محدود باشد [۱۴]. ژاروسیت کانی رایج همراه با آبهایمعدنی اسیدی است [۱۵]. محدوده پایداری ژاروسیت بین ۰/۵ تا ۵ pH است. پایداری

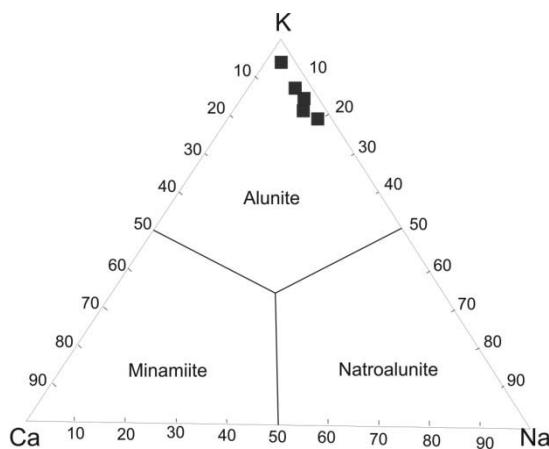


شکل ۸. شرایط پایداری ژاروسیت که تابع دو عامل Eh و pH است [۱۶].

شکل ۷. شرایط پایداری آلونیت که تابع دو عامل Eh و pH می‌باشد [۱۶].



شکل ۹. نام‌گذاری کانیهای گروه ژاروسیت دامک در نمودار (ژاروسیت، ناتروژاروسیت و هیدرونیوم ژاروسیت) [۱۷].



شکل ۱۰. نام‌گذاری کانیهای گروه آلونیت دامک در نمودار (آلونیت، ناتروآلونیت و مینامیت) [۱۸].

فلدسپارهای سازنده توده نفوذی کنگلومراها و بهویژه ماسه سنگهای آرکوزی به طور گستردۀ دیده می‌شود. کائولینیتی شدن این سنگها نیز به مقدار کم دیده می‌شود. برای مجموعه کانیهای تشکیل شده در منطقه دامک می‌توان جدول روابط پاراژنزی را پیشنهاد نمود (جدول ۳). ابتدا در یک محیط با فوگاسیته اکسیژن بالا پیریت به گوئتیت پسودومرف شده‌اند،

برداشت‌های صحرایی و مشاهدات کانی‌شناختی نشان می‌دهند که دگرسانیهای گرمابی بعد از پدیدۀ دگرگونی مجاورتی (اعمال شوک گرمابی و شکل‌گیری اسکارنها) در یک گسترهٔ فراگیر عمل کرده‌اند. بنابراین در پی شکل‌گیری اسکارن سیالات گرمابی تأثیر داشته‌اند و گروه کانیهای پیش‌بازی را پدید آورده‌اند. سریسیتی شدن برای تشکیل مجموعه کانیهای زون دگرسانی آرژیلیک پیشرفتۀ می‌توان واکنشهای زیر را پیشنهاد نمود.

جدول ۳. روابط پاراژنزی کانیها (گامه‌های کانی سازی)، همان‌گونه که مشاهده می‌شود به دنبال فرآیند اکسایش و آزاد شدن سیالات اسیدی در محیط، کانیهای دگرسانی فیلیک و آرژیلیک پیشرفتۀ شکل گرفته‌اند

کانیها	اکسیداسیون (جوی؟)	دگرسانی فیلیک	دگرسانی آرژیلیک پیشرفتۀ
کوارتز	—	—	—
کانه اولیه مس؟			
کلریت			
اکسیدهای آهن	—		
مالاکیت - آزوریت	—		
سریسیت		—	
کائولینیت		—	
آلونیت			—
ژاروسیت			—
فیروزه			—

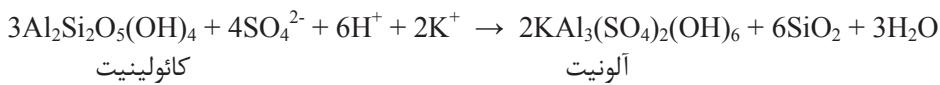


پیریت

گوئیت

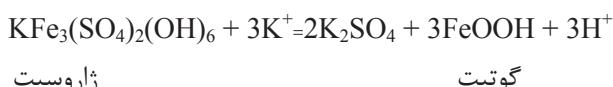
سریسیت، کائولینیت و در نهایت آلونیت و ژاروسیت (شکل ۸) تشکیل می‌شود:

واکنش فوق شکل گیری اسید سولفوریک و درنتیجه یک محیط با غلظت بالای  $H^+$  و  $SO_4^{2-}$  را به دنبال دارد و شرایط دگرانی فلزسپارهای ماسه سنگهای آرکوزی و کنگلومراها برای پیدایش

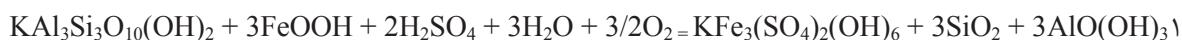


این از واکنشهای فوق بنیان سولفات و آهن مورد نیاز برای شکل‌گیری ژاروسپیت در دسترس قرار می‌گیرد:

سیلیس آزاد شده از واکنشهای بالا می‌تواند دگرسانی از نوع سیلیسی شدن را در سنگهای دگرسانی پایعث شود. علاوه بر



آن گونه که در مطالعات پتروگرافی دیده شد تبدیل مستقیم سریسیت به ژاروسیت نیز ممکن است لذا واکنش احتمالی این تبدیل را می‌توان به صورت زیر در نظر گرفت:

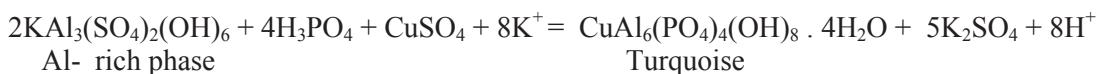


گوتیت مسکوپیت

زار و سیت

شکل گیری فیروزه فراهم نماید. همچنین در بخش‌های اکسیدان، کانه‌های اولیه مس نظیر کالکوپیریت به سولفات مس تبدیل شوند. فیروزه ممکن است به خرج فسفر آزاد شده در محیط و بدون دخالت آلونیت در رگه‌چه‌ها مطابق واکنش‌های زیر شکل گردید:

برای توجیه پیدایش فیروزه در مجموعه کانیایی می‌توان چنین درنظر گرفت که در مرحله اول آب‌شویی (leaching) حجم بزرگی از ماسه‌سنگهای آركوزی و همچنین کنگلومراهای پلی‌ژنتیک سازند سنگستان می‌تواند فسفات موردنیاز را فراهم نماید. اندیس مس دامک که بدون تردید در ارتباط با ماقمایسم همین منطقه است، می‌تواند مس را برای



### نتیجه گیری

ماگماتیسم تأخیری در حاشیه غربی با تولیت شیرکوه با سن الیگومن سبب همپوشانی شکل‌گیری اسکارن و دگرسانیهای گرمایی شده است که در این میان پیدایش مجموعه کانیایی متنوع و پیچیده امکان‌پذیر شده است. وجود شکستگیهای فراوان در توده نفوذی و ایجاد بافت‌هایی که حاکی از انفجار هیدروترمال منسوب به یک توده نفوذی و نیمه عمیق و سامانه هیدروترمال (همراه مس پورفیری) است می‌تواند کاهش ناگهانی فشار را به شکل دوره‌ای بر محلولهای اسکارن‌ساز و جوشش هیدروترمالی تداعی کند. در مجموع می‌توان ریشه تغییرات فیزیکی-شیمیایی در سامانه گرمایی را در تغییرات فیزیکی-شیمیایی توده نفوذی جست و جو کرد.

نقش احتمالی آبهای جوی یا آبهای محبوس موجود در واحد کنگلومراتی (با نفوذپذیری بالا) در رقیق شدن مجموعه کانیایی دگرسانی هیدروترمال مشاهده شده در منطقه می‌تواند معرف دگرسانی از نوع اسید - سولفات یا آلونیت - کائولینیت [۱۹] باشد. این نوع دگرسانی هیدروترمال یکی از ویژگیهای نهشته‌های مس پورفیری و اپیترمال طلاست.

### سپاسگزاری

نویسنده‌گان این مقاله از حمایتهای دانشگاه شیراز و اصفهان در به انجام رساندن این پروژه قدردانی می‌کنند. همچنین از راهنمایی‌های بی دریغ جناب آقای دکتر محمد علی مکی زاده (دانشگاه اصفهان) بسیار تشکر می‌شود.

### مراجع

- [۱] خلیلی م.، گزارش ماگماتیسم باقی‌آباد - ده بالا، شرق با تولیت شیرکوه، دانشگاه اصفهان، منتشر نشده (۱۳۷۴) ۱۵۷ ص.
- [۲] رضائیان ک، نقره ظیان، م.، مکی‌زاده، م. ع. و شرافت، ش.، زمین‌شناسی و ژئو‌اندیسیس کانی فیروزه، علی‌آباد (تفت یزد)، مجله پژوهشی دانشگاه اصفهان (علوم پایه) جلد هیجدهم، شماره ۲ (۱۳۸۲) ۱۴۵-۱۵۸ ص.
- [۳] زراسوندی ع.، زنتیلی، م.، لیاقت، س.، مر، ف.، امامی، م. ح.، یعقوب‌پور، ع.، تعیین سن توده‌های نفوذی و کانه‌زایی مس پورفیری در منطقه علی‌آباد و دره زرشک یزد به روش  $K-Ar$  و  $^{40}Ar/^{39}Ar$ ، چکیده مقالات بیست و سومین گردهمایی علوم
- [۴] اسلامی‌زاده ع.، پترولوژی سنگهای آذرین علی‌آباد و دره زرشک ناحیه یزد (زون ایران مرکزی) و کانه‌زایی مس وابسته به آن، پایان‌نامه دکتری، دانشگاه آزاد اسلامی ایران، واحد علوم و تحقیقات (۱۳۸۲) ۲۳۱ صفحه.
- [۵] نبوی، م. ح.، نقشه چهارگوش یزد، مقیاس ۱:۲۵۰/۰۰۰ سازمان زمین‌شناسی کشور (۱۹۷۲).
- [۶] تقی‌پور، ب.، ۱۳۸۶، کانی‌شناسی و ژئوشیمی دگرسانیهای گرمایی در کمان ماگماتیسم سنموزوئیک ایران مرکزی (استان اصفهان) والبرز غربی، زون طارم سفلی (استان قزوین)، دانشگاه اصفهان (۱۳۸۶) ۲۱۱ ص.
- [۷] مکی‌زاده، م. ع.، بررسی کانی‌شناسی و پترولوژیکی اسکارن‌های ایران مرکزی (استان یزد)، پایان نامه دکتری، دانشگاه شهید بهشتی (۱۳۸۶) ۱۸۸ صفحه.
- [۸] Forster, H., Mesozoic-Cenozoic metallogenesis in Iran, Journal of the Geological society of London, V. 135, (1978) 443-445.
- [۹] سبزه‌ئی م.، روش روان ج.، ناظم‌زاده شعاعی م و علائی مهابادی س، گزارش اکتشافات فلدسپات و کائولن در منطقه یزد، مدیریت زمین‌شناسی منطقه جنوب خاوری مرکز کرمان، (۱۳۶۵) ۶۲ ص.
- [۱۰] Zaravand A. Liaghats and Zentill, M., Geology of the Darreh-Zereshk and Ali-Abad porphyry copper deposits, Central Iran, International Geology Review, V. 47(2005) 620-646.
- [۱۱] Taghipour B., Noorbehesht I., The occurrences of turquoise in advanced argillic alteration of Darreh-Zereshk and Ali Abad porphyry copper deposite, Taft-Yazd province, Central Iran, Abstracts of the 17th Annual V. M. Goldschmidt Conference Cologne, Germany, Geochemica et Cosmochimica Acta, (2007) A 992.
- [۱۲] Jambor J. L., Mineralogy of sulfide-rich tailings and their oxidation products. In Environmental Geochemistry of sulfide mine-wastes (J. L. Jambor & D. W. Blowes, eds mineral Assoc. Can. Short course 22 (1994) 59-102.
- [۱۳] Stoffregen R. E., Alpers C. N., and Jambor J.L., Alunite-jarosite crystallography, thermodynamic and geochronology. In sulfate minerals, crystallography geochemistry and environmental significance (C. N. Alpers, J. L. Jambor & D. K. Nordstro, eds) Rev. Mineral.

- Jambor & D. K. Nordstrom, eds. Rev. Mineral. Geochem. 40 (2000) 405-443.
- [15] Keith W J., Calk L., and Ashley R. P.,  
*and water from the richmond mine, Iron mountain, California, the canadian mineralogist*, 43(2005) 1225-1242.
- [18] Celik M., *Minamilte and alunite occurrences formed from volcanic Emanations, west. Southwest of konya, Turkey*, 2(1999) 89-97.[19] Foster, R. D., Gold metallogeny and exploration, Chapman & Hall (1996) 432 p.
- Geochem. 40 (2000) 454-475.
- [14] Dutrizac J. E. and Jambor J. L., *Jarosite and their application in hydrometallurgy, In sulfate minerals: crystallography, Geochemistry and environment, (Significance C. N. Alpers, J. L. Crystals of coexisting alunite and jarosite, gold field, Nevada. United States Geology Survey professional paper, 1124-C, (1979) C-C5.*
- [16] Darke K. E., Boyce A. J., Clapperton C.M., Fallick A. E., Redwood S.D., and Rice C. M., *Supergene mineralization at the Kori Kollo gold mine, Bolivia, Explororation mining Geology*, 6 (1997) 209-221.
- [17] Jamieson H. E, Robinson C., Alpers C., Nordstrom D., poustovetov A., and Lowers H., *The composition of coexisting jarosite-group minerals*





## زمین‌شناسی، آلتراسیون، کانی‌سازی و ژئوشیمی محدوده جنوب ارغش (نیشابور)

زهرا کریمی سعیدآبادی، سیداحمد مظاہری، محمدحسن گریمپور

گروه پژوهشی اکتشاف ذخایر معدنی شرق ایران، دانشگاه فردوسی مشهد

دریافت مقاله: ۱۳۸۸/۱۱/۲۰، نسخه نهایی: ۱۳۸۹/۴/۵

### چکیده

منطقه ارغش در ۴۵ کیلومتری جنوب‌غرب نیشابور واقع شده است. واحدهای نیمه‌عمیق در منطقه شامل بیوتیت هورنبلند کوارتز مونزودیوریت پورفیری، هورنبلند بیوتیت کوارتز مونزودیوریت پورفیری، هورنبلند مونزونیت پورفیری، بیوتیت هورنبلند مونزونیت پورفیری، مونزودیوریت پورفیری و بیوتیت کوارتز مونزودیوریت پورفیری می‌باشد. واحدهای آشفشانی در منطقه شامل هورنبلند بیوتیت داسیت، بیوتیت هورنبلند داسیت، آندزیت و بازالتبالشی است. واحدهای درونی شامل هورنبلند مونزودیوریت، هورنبلند مونزونیت، کوارتز مونزونیت، هورنبلند کوارتز مونزودیوریت، بیوتیت گرانوڈیوریت، هورنبلند گرانوڈیوریت، بیوتیت کوارتز دیوریت و پیروکسن دریت می‌باشد.

پنج نوع آلتراسیونی که در منطقه شناسایی شده شامل پتاسیک، پروپیلیتیک، کربناته، سیلیسی و سرسیتی است و براساس فراوانی کانیهای حاصل از دگرسانی به ۱۲ زون تفکیک شده است. کانی‌سازی اولیه از نوع کانی سولفیدی پیریت به صورت افسان با فراوانی ۳-۴٪ بوده و کانی‌سازی ثانویه شامل لیمونیت، هماتیت و ژاروسیت است. برای انجام مطالعات دقیق هاله‌های ژئوشیمیایی و مشخص کردن زون‌بندی ژئوشیمیایی عناصر، تعداد ۲۰ نمونه خردسنجی و ۸ نمونه رسوب آبراهه برداشت شد. نمونه‌ها به روش طیفسنجی جذب اتمی (AAS) برای فراوانی عناصر (Cu, Zn, Pb, Ag and Sb) آنالیز شدند. در نمونه‌های رسوب رودخانه فراوانی مس ppm 34-58، روی ppm 45-422، سرب ppm 28-42 و نقره ppm 12 می‌باشد، در حالی‌که در نمونه‌های خردسنجی میزان مس ppm 8-1137، روی ppm 13-411، سرب ppm 3-32 و نقره ppm 3-32 است.

**واژه‌های کلیدی:** ارغش، مس پورفیری، پتاسیک، ایران مرکزی.

در محدوده‌ای به وسعت ۲۵ کیلومترمربع تحت عنوان پروژه اکتشاف طلا توسط سازمان زمین‌شناسی می‌باشد ولی در منطقه مورد نظر تاکنون کار تحقیقاتی انجام نگرفته است. امروزه ارتباط کانی‌سازی هیدروترمال نوع رگه‌ای با توده‌های نفوذی ثابت شده است و نمونه‌های فراوانی را از این مورد می‌توان نام برد.

همچنین در مناطقی از جهان و هم در ایران می‌توان کانی‌سازی اپیترمال رگه‌ای را در مجاورت یک سیستم پورفیری مشاهده کرد. گاهی از این کانی‌سازی رگه‌ای به عنوان کلیدی برای کشف ذخایر پورفیری نام می‌برند [۱].

**مقدمه**

منطقه مطالعاتی در استان خراسان رضوی و در فاصله ۴۵ کیلومتری جنوب غرب شهرستان نیشابور در گستره‌ای بین طولهای جغرافیایی  $۵۸^{\circ}۳۳'۵۶''$  تا  $۵۸^{\circ}۳۵'۰۰''$  شرقی و عرضهای جغرافیایی  $۳۵^{\circ}۵۱'۰۲''$  تا  $۳۵^{\circ}۵۵'۱۰''$  شمالی قرار دارد. این منطقه از نظر تقسیمات ساختاری در زون ایران مرکزی قرار دارد و در ورقه ۱:۱۰۰۰۰ کدکن واقع شده است. دسترسی به این منطقه از طریق جاده اصلی نیشابور به کاشمر و راههای فرعی منشعب شده از آن امکان‌پذیر است. مطالعات انجام شده پیشین شامل یکسری مطالعات در شرق منطقه مورد مطالعه

غرب برگه ۱:۱۰۰۰۰ کدکن قرار گرفته است. بنابراین نقشه کلیه واحدهای نفوذی تحت عنوان دیوریت و گرانیت معرفی شده‌اند. ولی بررسیهای صحرایی و آزمایشگاهی نشان داد که توده‌های نفوذی در منطقه بسیار متنوع هستند. براساس بررسیهای صحرایی و آزمایشگاهی انجام شده، واحدهای زمین‌شناسی در گستره مورد مطالعه را می‌توان به سه دسته تقسیم کرد (شکل ۱):

- ۱- سنگهای رسوبی پیش از ائوسن که عمدتاً ماسه‌سنگ، آهک نومولیتدار و تراس‌های آبرفتی هستند،
- ۲- واحدهای آتشفسانی به سن ائوسن با ترکیب عمدۀ آندزیتی و داسیتی،
- ۳- توده‌های نفوذی به سن الیگومیوسن که درون واحدهای فوق تزریق شده‌اند.

توده‌های نفوذی در گستره پی‌جوبی عبارتند از: هورنبلند مونزودیوریت، هورنبلند مونزونیت، کوارتز مونزونیت، هورنبلند کوارتز مونزودیوریت، بیوتیت هورنبلند گرانودیوریت، بیوتیت کوارتز گرانودیوریت، بیوتیت هورنبلند گرانودیوریت، بیوتیت هورنبلند دیوریت و پیروکسن دلریت با بافت گرانولار و بیوتیت هورنبلند کوارتز مونزودیوریت پورفیری، هورنبلند بیوتیت کوارتز مونزودیوریت پورفیری، هورنبلند مونزونیتپورفیری، بیوتیت هورنبلند مونزونیت پورفیری، مونزودیوریت پورفیری و بیوتیت کوارتز مونزودیوریت پورفیری با بافت پورفیری. واحدهای آتشفسانی منطقه عبارتند از: هورنبلند بیوتیت داسیت، بیوتیت هورنبلند داسیت، آندزیت و بازالت بالشی. هورنبلند مونزونیت در مرکز و بخش کوچکی از جنوب منطقه رخمنون دارد که دارای بافت گرانولار است کانیهای تشکیل-دهنده این نوع سنگها شامل پلاژیوکلاز، آکالی‌فلدسبات، هورنبلند و تا حدودی کوارتز می‌باشد. در این واحد در بعضی نقاط پلاژیوکلازها تا ۱۵٪ به سرسیت آلتله شده‌اند و بلورهای هورنبلند نیز به کربنات و کلریت و اپیدوت

در کشور ما اغلب کانسارهای مس پورفیری شناخته شده در کمربند کوه‌زایی شاهند- بزمان (ارومیه-دختر) مربوط به سن سنوزوئیک اتفاق افتاده است. این کمربند به وسیله فروزانش صفحه عربی به زیر ایران مرکزی در طی کوه‌زایی آپی تشکیل شده است [۲-۵]. همچنین فروزانش و زون برخورد مربوط به پالتوسون تا الیگوسن، سبب فعالیتهای آذرین نفوذی و آتشفسانی آکالان و کالک‌آکالان شدید و گستردۀ گردیده است [۶]. محیط‌های تکتونیکی فشارشی، پوسته‌های قاره‌ای ضخیم‌شده و فعالیتهای بالامدگی و فرسایش با تشکیل تعداد زیادی از این گونه کانسارها در ارتباط است [۷]. هدف از این پژوهش مطالعه سنگ‌شناسی، آلتراسیون، کانی‌سازی و ژئوشیمی جنوب روستای ارغش است. در این راستا داده‌های مناسبی تولید شدند از جمله: تهیه نقشه‌های زمین‌شناسی و آلتراسیون، کانی‌سازی، اکتشافات ژئوشیمیایی براساس رسوبات رودخانه‌ای و سنگ.

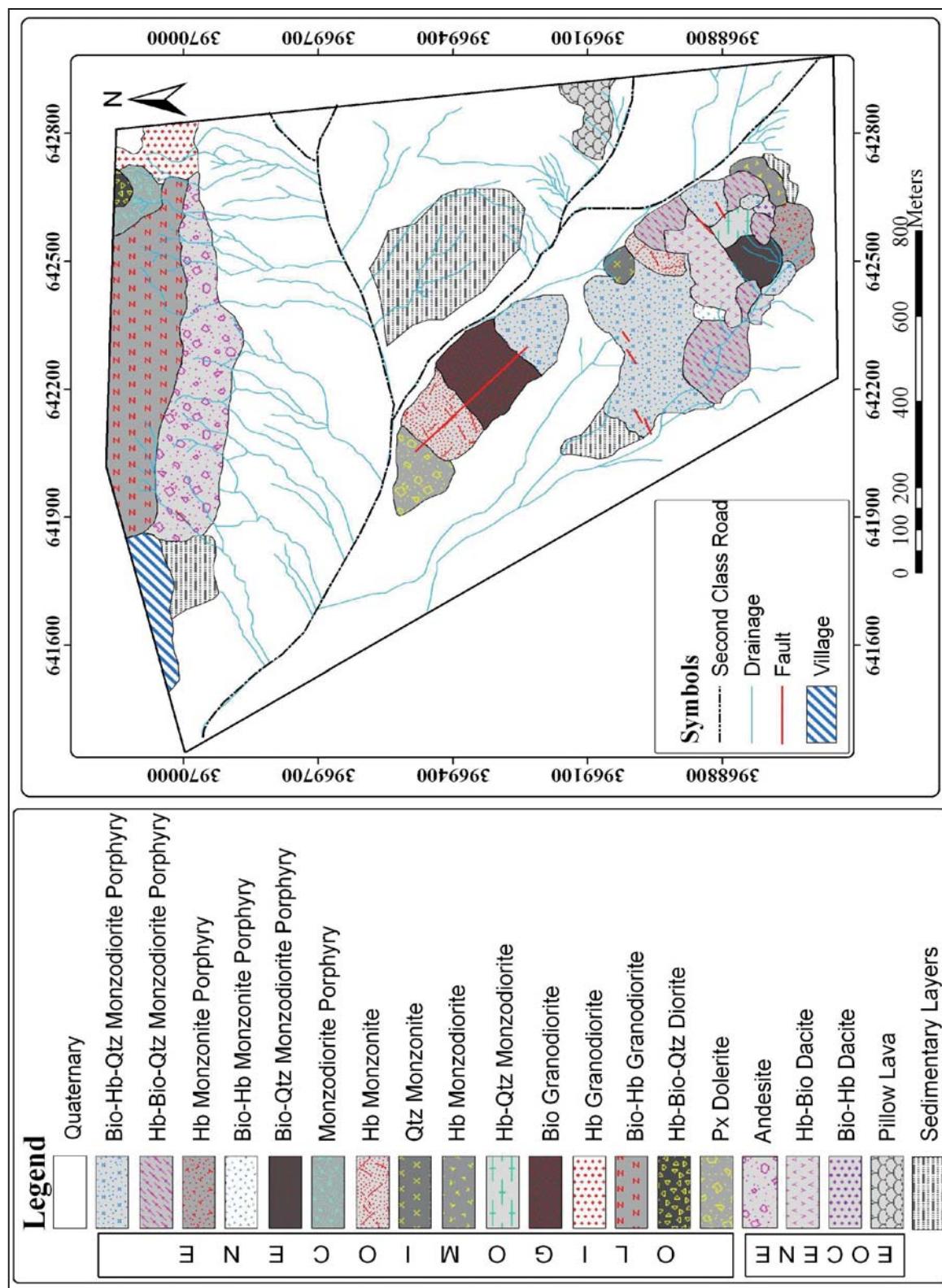
#### روش مطالعه

بررسیهای آزمایشگاهی و صحرایی انجام شده در منطقه شامل مراحل زیر است:

(الف) پردازش داده‌های ماهواره استر به منظور شناسایی کانیهای حاصل از آلتراسیون، (ب) تهیه نقشه زمین‌شناسی در مقیاس ۱:۱۰۰۰ در منطقه‌ای به وسعت ۴ کیلومترمربع، (پ) تهیه نقشه آلتراسیون و کانی‌سازی در مقیاس ۱:۱۰۰۰ در منطقه‌ای به وسعت ۴ کیلومترمربع، (ت) برداشت حدود ۶۰ نمونه سنگی جهت مطالعات سنگ‌شناسی، دگرسانی و کانی‌سازی، (ث) بررسی سنگ‌شناختی، دگرسانی و کانی‌سازی در ۵۰ مقطع نازک و ۵ مقطع نازک صیقلی، (ج) برداشت ۸ نمونه رسوبات رودخانه‌ای جهت مطالعات ژئوشیمیایی رسوبات رودخانه‌ای برای ۴ عنصر Cu, Zn, Pb, Ag، (چ) برداشت، خردایش و نرمایش ۲۰ نمونه خرده‌سنگی جهت مطالعات ژئوشیمیایی بر مبنای سنگ.

#### زمین‌شناسی

منطقه ارغش از نظر زمین‌شناسی ناحیه‌ای در گوشه شمال



شكل ۱. نقشه زمین‌شناسی منطقه مورد مطالعه.

شرق منطقه رخمنون دارد. بافت گرانولار در این واحد مشاهده می‌شود. کانیهای عمدۀ در این واحد سنگی عبارتند از: پلازیوکلاز، هورنبلند، بیوتیت، کوارتز و مقادیر بسیار کمی آلکالی‌فلدسپات. در این واحد آلتراسیون پتاسیک مشاهده می‌شود و بیوتیت‌های ثانویه به وفور در متن سنگ پراکنده‌اند. احتمالاً بخشی از بیوتیت‌های ثانویه از دگرسانی بیوتیت و بخشی از دگرسانی هورنبلند ایجاد شده‌اند.

بیوتیت گرانودیوریت در مرکز منطقه بروزنزد دارد. در این واحد بافت گرانولار مشاهده می‌شود. کانیهای عمدۀ این واحد پلازیوکلاز، بیوتیت، کوارتز و کمی آلکالی‌فلدسپات است. کانی فرعی آپاتیت و زیرکن در این واحد مشاهده می‌شود. در این واحد بیوتیت‌ها دو نسل را نشان می‌دهند به این صورت که این دو نوع بیوتیت از نظر سایز، رنگ، بی‌رفرنژانس و ترکیب با هم متفاوت هستند. آلتراسیونی که در این واحد مشاهده می‌شود سرسیتیک + پروپیلیتیک است.

هورنبلند گرانودیوریت در شمال شرق منطقه بروزنزد دارد. بافت این واحد گرانولار است. کانیهای عمدۀ در این واحد به ترتیب فراوانی عبارتند از: پلازیوکلاز، کوارتز، هورنبلند و کمی آلکالی‌فلدسپات. آلتراسیونی که در این توده‌ها مشاهده می‌شود سرسیتیک + کربناته است. در این توده‌ها اکثر هورنبلندها در حال تبدیل به اکتینولیت هستند، چون کاملاً رشته رشته شده‌اند. در این واحدها رگه‌های کربناته نیز مشاهده می‌شوند.

بیوتیت هورنبلند گرانودیوریت بیشترین رخمنون را در بین کلیه واحدهای نفوذی با بافت گرانولار دارا می‌باشد. رخمنون این واحد در شمال منطقه با امتداد شرقی- غربی است. این واحد بیشتر آلتراسیون پروپیلیتیک + سرسیتی را متحمل شده است. البته شدت آلتراسیون در این توده‌ها بسیار کم است.

پیروکسن درلیت در بخشی از مرکز منطقه مورد مطالعه رخمنون دارد. این واحد بر روی زمین رنگ خاکستری تیره دارد. در این واحد بیش از ۹۰٪ بلورها را پلازیوکلازها تشکیل می‌دهد. ابعاد پلازیوکلازها از  $1/4$ - $1/2$  میلی‌متر متغیر است. کربنات در متن سنگ نیز مشاهده می‌شود. کانی مافیکی که در این واحد مشهود است، پیروکسن می‌باشد که کاملاً شکل‌دار است و فراوانی آن در نمونه‌ها حدود ۵-۷٪ می‌باشد. ابعاد پیروکسن‌ها حدود  $1/8$  میلی‌متر است. در این واحد آلتراسیون پروپیلیتیک + سرسیت + کربنات مشاهده می‌شود. گاه بلورهای پلازیوکلاز کربناتی ولی بیشتر زوئیتی شده‌اند به

آلتره شده‌اند که گاهی این تبدیل به صورت کامل بوده است. در برخی از نمونه‌ها در متن سنگ و بین بلورهای فلدسپات کلریت و کربنات به صورت پراکنده دیده می‌شود که از روی شکل کلریت‌ها در برخی مناطق، مشخص است که از دگرسانی هورنبلند تشکیل شده‌اند.

کوارتز مونزونیت در بخش کوچکی از جنوب منطقه رخمنون دارد. بافت این واحد گرانولار است. در این واحد کانیهای مهم عبارتند از: پلازیوکلاز، آلکالی‌فلدسپات و کوارتز. در این واحد کوارتز به فراوانی یافت می‌شود ولی بلورهای کاملاً بدون شکلی، دارد.

در بین بلورها کلریت و کربنات قرار دارد ولی چون شکل مشخصی ندارند کانی اولیه آنها معین نیست. در این واحد محلولها بسیار شدید عمل کرده‌اند و باعث تبدیل اپکها به هماتیت و لیمونیت شده‌اند.

هورنبلند کوارتز مونزودیوریت نیز در جنوب منطقه رخمنون دارد. در این واحد بافت گرانولار مشاهده می‌شود. کانیهای عمدۀ موجود در این واحد عبارتند از: پلازیوکلاز، هورنبلند، کوارتز و کمی آلکالی‌فلدسپات. در این واحد کلریت در بین بلورها قرار گرفته است که در برخی مناطق از روی شکل کلریت‌ها می‌توان به کانی اولیه تشکیل‌دهنده آنها پی برد. آلتراسیون سرسیت + کربناته + سیلیسی در این واحد دیده می‌شود. کانیهای اپک شکل‌دار تا نیمه شکل‌دار با فراوانی حدود ۲-۵٪ مشاهده می‌شوند.

هورنبلند مونزودیوریت در جنوب منطقه بروزنزد دارد. بافت این واحد گرانولار است. در این واحد سنگی پلازیوکلاز بسیار فراوان است (با فراوانی حدود ۶۰٪) ولی آلکالی‌فلدسپات بسیار کم دیده می‌شود. اکثر بلورهای پلازیوکلاز تا حدود ۱۰٪ به کربنات تبدیل شده‌اند. کلریت و اپک فضای بین بلورها را پر کرده است. این کانیهای اپک مگنتیت هستند چون در بعضی مناطق شکل کاملاً واضحی دارند و هم این که این نمونه‌ها پذیرفتاری بالای را نشان می‌دهند. این کلریت‌ها احتمالاً از هورنبلند تشکیل شده‌اند ولی هیچ بقایایی از هورنبلند بر جای نمانده است. کربنات هم لزوماً درون پلازیوکلاز نیست بلکه در متن سنگ به صورت پراکنده هم دیده می‌شود. کلریتها حدود ۱۰ تا ۱۵٪ نمونه را اشغال کرده‌اند. آلتراسیون غالب در این واحد پروپیلیتیک + کربناته است.

هورنبلند بیوتیت کوارتزدیوریت در بخش کوچکی از شمال

حدود ۶۰-۶۵٪ آن را تشکیل می‌دهد و عمدتاً از فلدوپات‌های دانه‌ریز و مقادیر کمی کوارتز تشکیل شده است. در این واحد رگچه‌های سیلیسی نیز در مقاطع میکروسکوپی به چشم می‌خورد. کانی فرعی عده و با ابعاد نسبتاً درشت در این واحد آپاتیت است که ابعاد حدود ۰/۲ میلی‌متر دارد. کانی آپاتیت در صورت فراوانی می‌تواند نشانگر غنی‌شدگی فسفات در مذاب سیلیکاته باشد [۸]. آلتراسیون قابل مشاهده در این واحد پروپیلیتیک + سرسیت + کربنات است.

بیوتیت هورنبلند مونزوویت پورفیری در بخش بسیار کوچکی از جنوب منطقه بروند زد دارد. در نمونه دستی بافت واضح پورفیری با زمینه ریزبلور مشهود است. فنوکریستها در این واحد عبارتند از: پلازیوکلاز با فراوانی حدود ۱۰-۱۵٪، آکالالی-فلدوپات با فراوانی ۱۰-۱۲٪، هورنبلند با فراوانی حدود ۱۰-۱۵٪ و بیوتیت با فراوانی حدود ۳-۵٪. در زمینه این سنگها فلدوپات ریزبلور و کوارتز به مقدار کم حضور دارند. کانیهای فرعی مشاهده شده در این نمونه‌ها اسفن و آپاتیت است. آلتراسیون عده در این واحد پروپیلیتیک + سرسیت + کربنات می‌باشد.

بیوتیت کوارتز مونزوویت پورفیری در بخشی از جنوب منطقه مشاهده می‌شود. در نمونه‌های دستی بافت پورفیری ضعیفی قابل رویت است ولی در نمونه‌های میکروسکوپی این بافت کاملاً مشهود است. فنوکریستها این واحد عبارتند از: پلازیوکلاز با فراوانی حدود ۱۵-۲۰٪، آکالالی‌فلدوپات با فراوانی حدود ۳-۴٪ و بیوتیت با فراوانی حدود ۱۰-۱۲٪. کوارتز در زمینه سنگ به صورت کاملاً شکل‌دار مشاهده می‌شود. در زمینه سنگ علاوه بر کوارتز، فلدوپات‌های دانه‌ریز هم مشاهده می‌شوند. کانی فرعی شاخص در این واحد آپاتیت می‌باشد. این واحد عمدتاً تحت تأثیر آلتراسیون سرسیت + پروپیلیتیک + سیلیسی قرار گرفته است.

مونزوویت پورفیری در بخش کوچکی از شمال منطقه بروند زد دارد. بافت پورفیری در این واحد مشهود است. زمینه این واحد نیز از پلازیوکلازهای ریزبلور تشکیل شده است. اکسیدهای آهن در این واحد به شکل جهت‌داری در درزهای مشاهده می‌شوند که علت این اشکال ایجاد شده، یکی به دلیل فشار که درزهای را باز کرده است و یکی هم به علت جریان ماقما بوده است. کانی فلزی بی‌شکل نیز در این واحد مشاهده می‌شود که دلیل پذیرفتاری بالای این واحد به احتمال قوی

طوری که در مجموعه آنها می‌توان اپیدوت را مشاهده کرد. هیچ‌گونه دگرسانی در بلورهای پیروکسن مشاهده نمی‌شود. کانیهای فلزی در این واحد به صورت پراکنده در مقاطع میکروسکوپی مشاهده می‌شود که برخی از آنها کاملاً شکل مکعبی پیریت را دارا هستند.

بیوتیت هورنبلند کوارتز مونزوویت پورفیری بیشترین گسترش را در میان کلیه واحدهای نفوذی با بافت پورفیری دارد و رخنمون این واحد در جنوب منطقه است. در نمونه دستی بافت پورفیری کاملاً مشهود است. فنوکریستها عده در این واحد عبارتند از پلازیوکلاز با فراوانی ۱۰-۱۵٪، هورنبلند با فراوانی حدود ۱۰-۱۲٪، بیوتیت با فراوانی حدود ۵-۷٪ و آکالالی‌فلدوپات با فراوانی حدود ۵-۷٪. کانی فرعی عده در این واحد، آپاتیت است که کاملاً شکل‌دار می‌باشد. پیریت نیز به صورت کاملاً مکعبی در این سنگها مشاهده می‌شود. در زمینه این سنگها بلورهای کوارتز به صورت ریزبلور و کاملاً شکل‌دار به میزان حدود ۷-۱۰٪ حضور دارند. در زمینه این سنگها علاوه بر کوارتز، کلریت و فلدوپات ریزبلور نیز مشاهده می‌شود. این واحدها عمدتاً تحت تأثیر آلتراسیون پروپیلیتیک + سرسیت + کربنات قرار گرفته‌اند. عده کانیهای ثانویه کلریت، سرسیت و کربنات هستند.

هورنبلند بیوتیت کوارتز مونزوویت پورفیری به صورت پراکنده در بخش‌های جنوبی منطقه مورد مطالعه بروند زد دارد. در این واحد نیز مانند واحد پیشین بافت پورفیری کاملاً در نمونه دستی قابل مشاهده است. فنوکریستها عبارتند از: پلازیوکلاز با فراوانی حدود ۱۵-۲۰٪، بیوتیت با فراوانی ۱۰-۱۲٪، هورنبلند با فراوانی حدود ۵-۷٪ و آکالالی‌فلدوپات با فراوانی حدود ۳-۵٪. زمینه این سنگها حدود ۵-۶۰٪ کل سنگ را شامل می‌شود. کانیهای عده موجود در زمینه کوارتز، فلدوپات ریزبلور و کلریت است. عده آلتراسیون قابل مشاهده در این واحد، سرسیت + پروپیلیتیک + کربنات می‌باشد. اکسیدهای آهن به صورت رگه‌ای در این واحد به وفور مشاهده می‌شوند.

هورنبلند مونزوویت پورفیری در جنوبی‌ترین بخش منطقه مورد مطالعه واقع شده است. بافت این واحد پورفیری می‌باشد و زمینه نسبتاً ریزی از انواع فنوکریستها در این واحد عبارتند از: پلازیوکلاز با فراوانی حدود ۷-۹٪ می‌باشد. با فراوانی حدود ۵-۶٪ و هورنبلند با فراوانی حدود ۲۰-۲۵٪. زمینه این واحد

این واحد نیز بافت بادامکی مشاهده می‌شود. درون حفرات این سنگها سیلیس و کربنات دیده می‌شود.

### دگرسانی

زونهای دگرسانی از لحاظ ژنتیکی ارتباط خاصی با زون‌های کانی‌سازی دارند. به طور کلی کانسارهای مس پورفیری دارای هالهای عظیمی از مجموعه‌های زون‌بندی آلتراسیون هستند که مربوط به بخش بالایی این سیستم‌ها در سطح می‌باشد [۹]. به هر حال، این قبیل هاله‌ها عموماً به وسیله پوششی از آلتراسیون احاطه می‌شوند که ممکن است شاخصهای محل دفن کانسار را با نفوذی‌ها و یا فرآیندهای سوپرژن بپوشاند [۱۰]. تصاویر پردازش شده منطقه ارغش در شکل‌های ۲ و ۳ مشاهده می‌شوند.

براساس مطالعات انجام شده ۵ نوع دگرسانی در گستره پی‌جویی تفکیک شده‌اند (شکل ۴) که عبارتند از: ۱) دگرسانی پتاسیک، ۲) دگرسانی پروپیلیتیک، ۳) دگرسانی سرسیستیک، ۴) دگرسانی کربناته، ۵) دگرسانی سیلیسی. که این ۵ نوع آلتراسیون براساس فراوانی کانیهای حاصل از دگرسانی به ۱۲ زون تفکیک شده‌اند که این زون‌ها عبارتند از: زون کلریتی، زون پروپیلیتیک + سرسیستیک + کربناته، زون سرسیستیک + پروپیلیتیک + کربناته، زون سرسیستیک + آرژیلیک + کربناته، زون سرسیستیک + پروپیلیتیک + سیلیسی، زون سرسیستیک + پروپیلیتیک، زون سرسیستیک + پروپیلیتیک + آرژیلیک، زون کربناته + پروپیلیتیک، زون کربناته + سیلیسی، زون سیلیسی، زون سیلیسی + سرسیست + پروپیلیتیک و زون پتاسیک. انواع

زون‌های دگرسانی به اختصار عبارتند از:

زون آلتراسیون کلریتی به صورت تقریباً فراگیر و گستردگی در شمال و مرکز منطقه مورد مطالعه دیده می‌شود و اغلب در ارتباط با توده‌های بیوتیت هورنبلند گرانوودیوریت در شمال و بیوتیت گرانوودیوریت در مرکز منطقه می‌باشد. فراوانی کلریت در این زون در حدود ۱۰ تا ۱۲٪ است. کلریت گاهی به صورت پرکننده فضاهای خالی در متن سنگهای منطقه دیده می‌شود. در این زون آلتراسیونی تنها کانی شاخص دگرسانی کلریت است که از دگرسانی کانیهایی مانند بیوتیت و هورنبلند تشکیل شده است. کلریت در اکثر موارد غنی از منیزیم است.

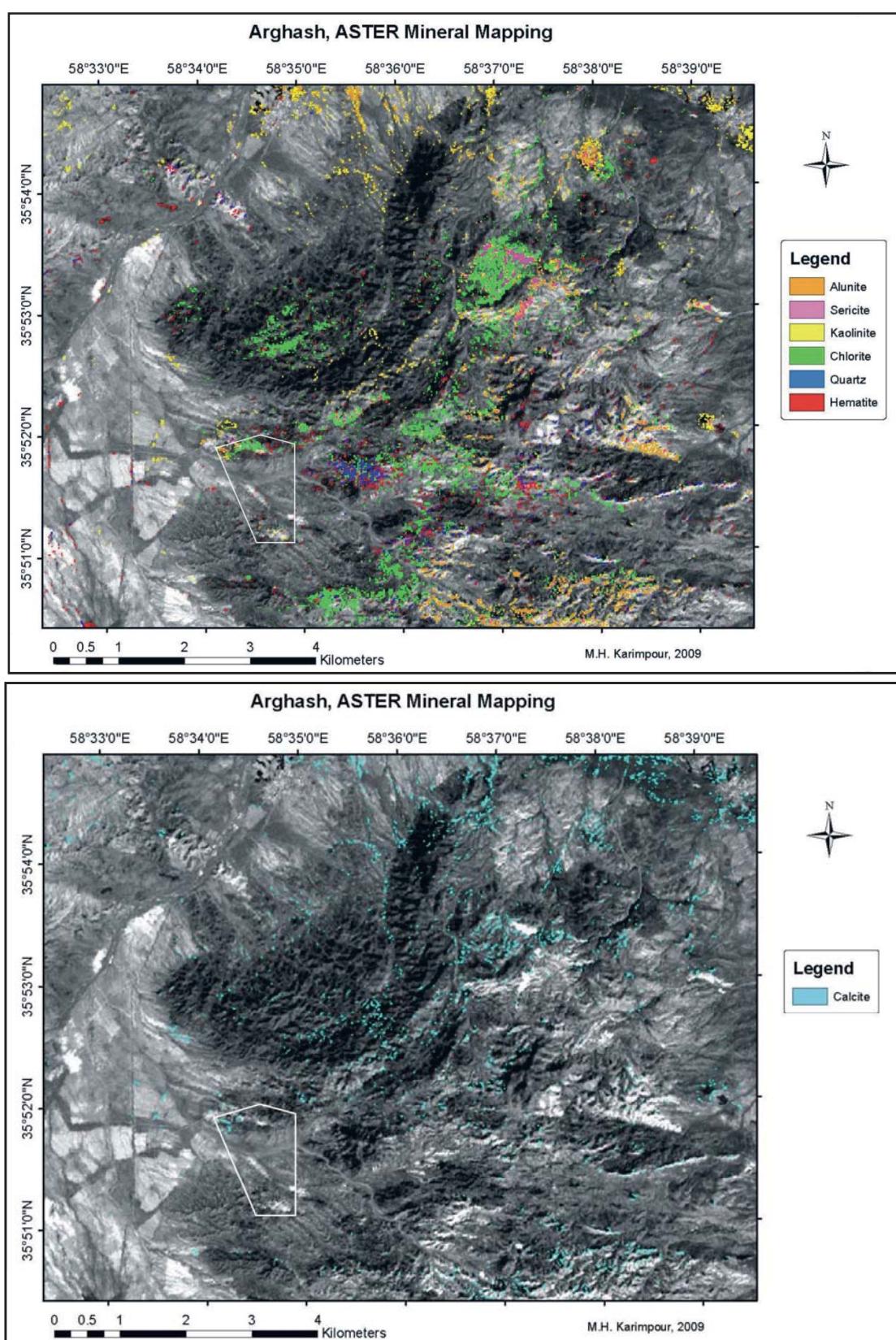
مگنتیت است. آلتراسیون قابل مشاهده در این واحد پروپیلیتیک + سرسیست + کربنات می‌باشد.

هورنبلند بیوتیت داسیت در بخشی از جنوب منطقه رخمنون دارد. بافت مشاهده شده در این واحد پورفیری با فنوکریست‌های درشت پلازیوکلاز و زمینه کاملاً دانه‌ریز است. فنوکریست‌ها عبارتند از: پلازیوکلاز با فراوانی حدود ۱۰-۱۲٪ و هورنبلند با فراوانی حدود ۴-۶٪. زمینه در این واحد حدود ۶۰-۶۵٪ را تشکیل می‌دهد. در زمینه عمدتاً کوارتز با بلورهای بسیار ریز مشاهده می‌شود. این واحد تحت تأثیر آلتراسیون سرسیست + پروپیلیتیک + آرژیلیک قرار گرفته است. هورنبلندها کاملاً اوپاسیت شده است که همین مطلب ولکانیک بودن این واحد را تأیید می‌نماید. از آنجایی که هورنبلندها چروکیده نشده‌اند و حاشیه سالمی دارند می‌توان پی‌برد که ماجما حرارت چندانی نداشته است و نشانگر اسیدی بودن ماجما می‌باشد.

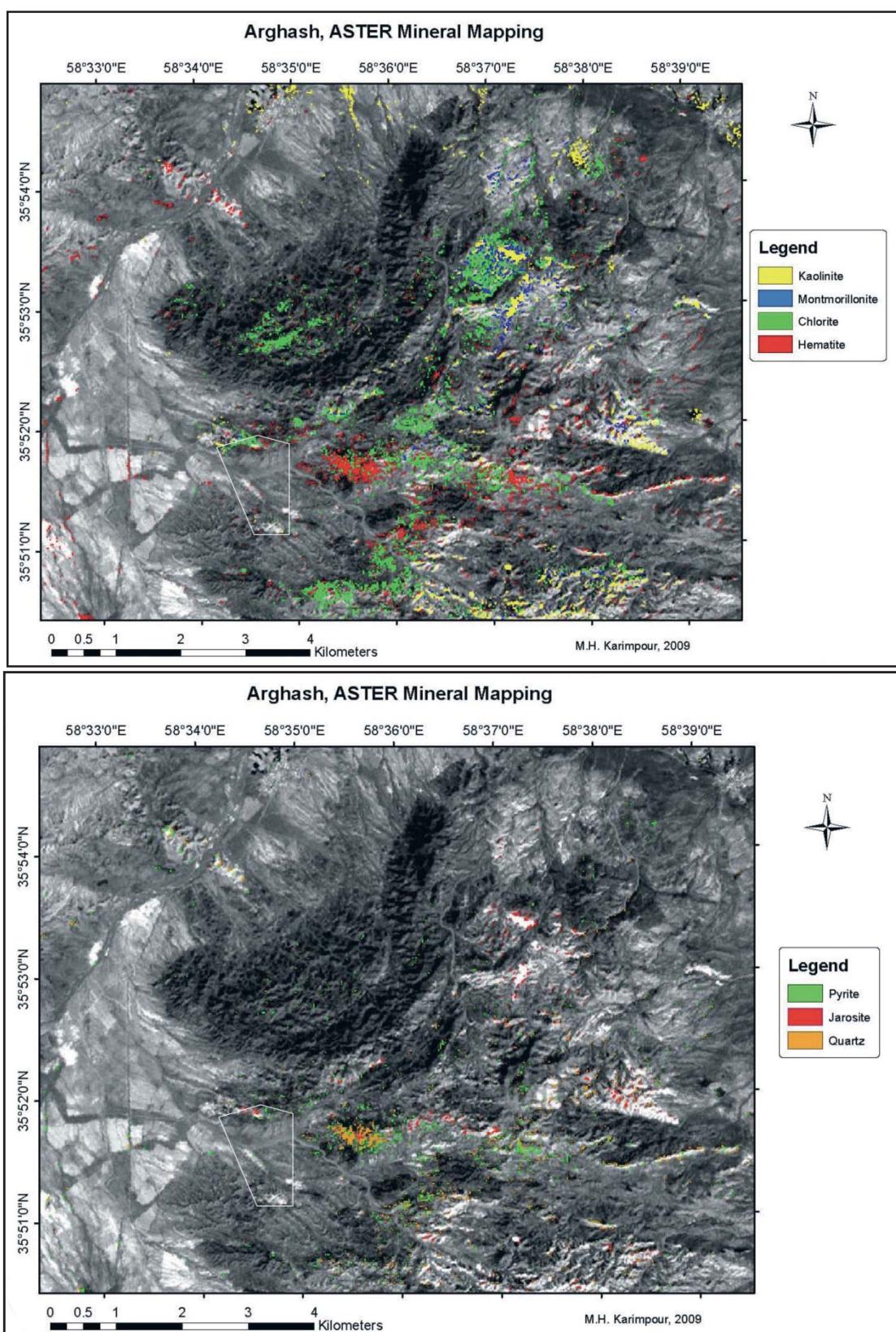
بیوتیت هورنبلند داسیت در بخش بسیار کوچکی از جنوب منطقه رخمنون دارد. در نمونه‌های دستی کاملاً بافت پورفیری دیده می‌شود. زمینه در این واحد بسیار ریزبلور است. فنوکریست‌ها عبارتند از: پلازیوکلاز با فراوانی حدود ۱۰-۱۲٪، هورنبلند با فراوانی ۸-۱۰٪ و بیوتیت با فراوانی ۵-۶٪. در زمینه سنگ علاوه بر وجود کوارتز فراوان، کلریت هم مشاهده می‌شود. کانی فرعی عده در این واحد آپاتیت می‌باشد. در این واحد آلتراسیون بسیار شدید سرسیست + پروپیلیتیک + کربنات مشهود است.

آندرزیت بیشترین گسترش را در میان واحدهای ولکانیک خصوصاً در شمال منطقه مورد مطالعه برخوردار است. بافت بادامکی کاملاً در این واحد واضح می‌باشد. این آندزیت‌ها بیشتر از پلازیوکلاز تشکیل شده‌اند. ابعاد حفرات از ۰/۳-۰/۳ میلی‌متر متغیر است. رگچه‌های کربناته-سیلیسی در این واحد به وفور مشاهده می‌شود. ضخامت رگه‌ها از ۰/۸-۰/۲ میلی-متر متغیر است. در زمینه این سنگها کربنات مشاهده می‌شود. پلازیوکلازها عمدتاً کربناته و گاهی سیلیسی شده‌اند. حفرات موجود در این واحد توسط کربنات، کربنات و کلریت و کربنات و سیلیس پر شده‌اند.

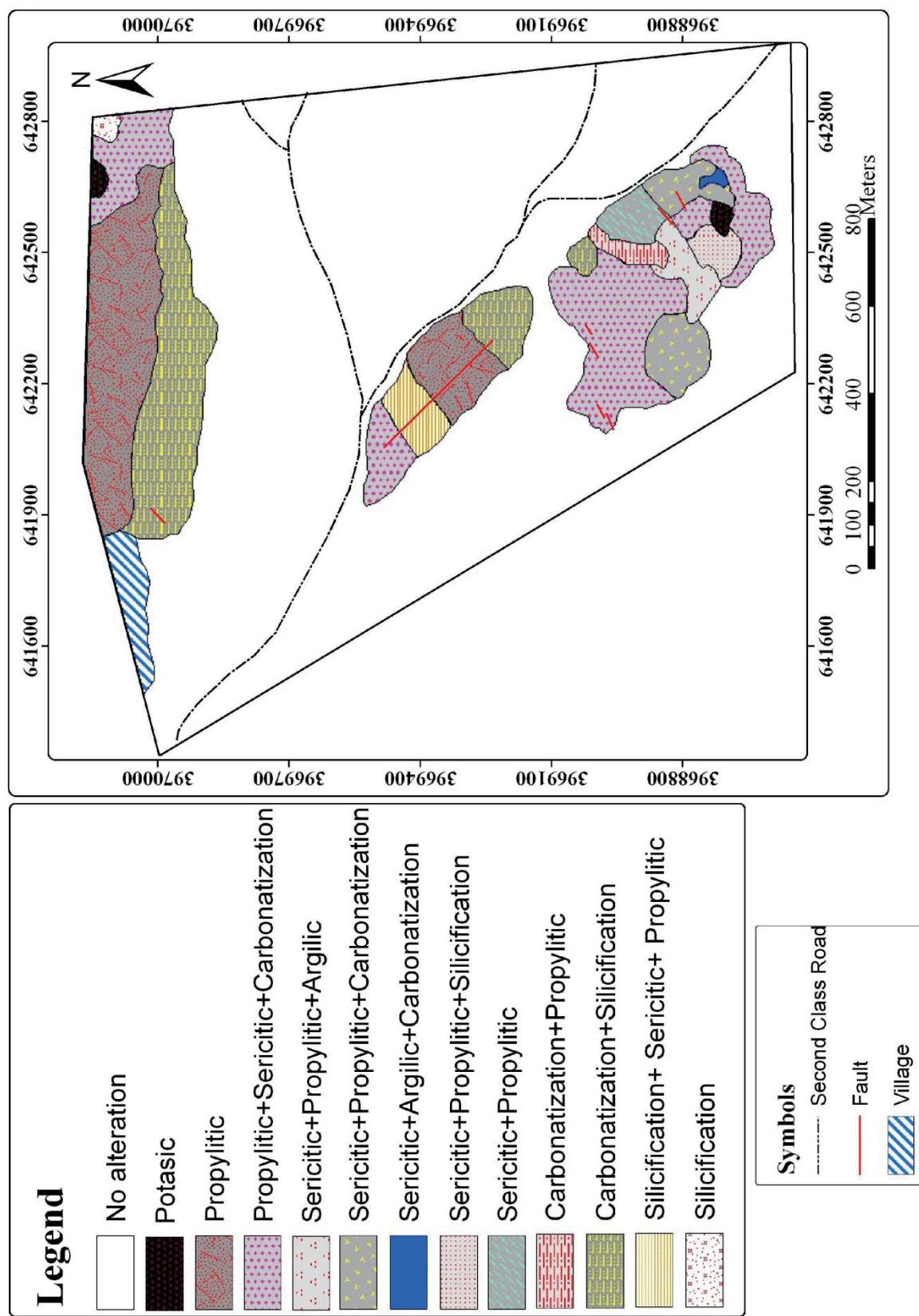
باالت بالشی در بخش کوچکی از شرق منطقه مشاهده می‌شود که از نظر کانی‌شناسی مشابه آندزیت‌ها می‌باشد. در



شکل ۲. تفکیک کانیهای حاصل از آلتراسیون کل منطقه با استفاده از پردازش تصاویر ماهواره استر و موقعیت منطقه مورد مطالعه.



شکل ۳. تفکیک کانیهای حاصل از آلتراسیون کل منطقه با استفاده از پردازش تصاویر ماهواره استر و موقعیت منطقه مورد مطالعه.



شکل ۴. نقشه آلتراسیون منطقه مورد مطالعه

فلدسپات‌های آلکالی حاصل شده‌اند. لازم به ذکر است که در بیشتر نمونه‌ها، کانیهای رسی از محل شسته شده و تنها قالب فلدسپات آلکالی بر جای مانده است.

زون آلتراسیون سرسیتیک + پروپیلیتیک + سیلیسی نیز در جنوب منطقه و همراه با توده‌های بیوتیت کوارتز مونزوودیوریت پورفیری مشاهده می‌شود. در این زون گاهی به همراه سرسیت، کلریت و اپیدوت و سیلیس نیز دیده می‌شود. این سیلیسی شدن بیشتر در حاشیه پلاژیوکلازها مشاهده می‌شود.

زون آلتراسیون سرسیتیک + پروپیلیتیک در بخش کوچکی از جنوب منطقه و به همراه توده‌های هورنبلند بیوتیت کوارتز مونزوودیوریت پورفیری دیده می‌شود. در این علاوه بر سرسیت حاصل از پلاژیوکلاز و بیوتیت، کلریت نیز دیده می‌شود که از دگرسانی بیوتیت و هورنبلند حاصل شده است.

زون آلتراسیون سرسیتیک + پروپیلیتیک + آرژیلیک نیز در جنوب منطقه همراه با واحد هورنبلند بیوتیت داسیت دیده می‌شود و علاوه بر سرسیت که به وفور موجود است، کلریت و کانیهای رسی نیز دیده می‌شوند. کانیهای رسی اکثراً از دگرسانی آلکالی فلدسپات‌ها ایجاد شده‌است. در بسیاری از موارد کانیهای رسی از نمونه‌ها شسته شده‌اند و تنها قالب بلور باقی مانده است.

زون آلتراسیون کربناتی + پروپیلیتیک در بخشی از جنوب منطقه و همراه با واحد هورنبلند مونزوونیت دیده می‌شود. در این زون گاهی کربنات به صورت رگه‌ای و گاهی از دگرسانی پلاژیوکلاز و گاهی نیز در متن سنگ به صورت پراکنده مشاهده می‌شود. گاهی فراوانی کربنات در متن سنگ به حدود ۱۵٪ نیز می‌رسد. تبدیل شدگی کانیهای مافیک به کربنات نیز در این زون مشهود است. کانی کلریت حاصل آلتراسیون کانیهای فرومیزین‌دار (هورنبلند و بیوتیت) نیز در منطقه دیده می‌شود زون آلتراسیون کربناتی + سیلیسی در مرکز منطقه همراه با واحد بیوتیت هورنبلند کوارتز مونزوودیوریت پورفیری و در شمال منطقه همراه با واحد آندزیتی حفره‌دار دیده می‌شود. محلولهای حاوی بی‌کربنات در این زون به سنگها هجوم آورده و آن را دگرسان نموده‌اند. در این زون در برخی از نمونه‌ها به همراه کربنات، سیلیس نیز یا در زمینه سنگ و یا به صورت رگه‌ای دیده می‌شود. در واحد آندزیتی حفرات بیشتر توسط کربنات و بعضاً توسط کربنات و کلریت یا کربنات و سیلیس پر شده‌اند. رگه‌های سیلیسی - کربناته در این زون به وفور

زون آلتراسیون پروپیلیتیک + سرسیتیک + کربناتی نیز در منطقه از گستردگی قابل توجهی برخوردار است به طوری که در شمال شرق (همراه با توده‌های هورنبلند گرانوودیوریت)، مرکز (همراه با واحدهای پیروکسن دولریت) و جنوب (همراه با واحدهای بیوتیت هورنبلند کوارتز مونزوودیوریت پورفیری) منطقه مورد مطالعه دیده می‌شود. کانیهای حاصل از آلتراسیون در این زون به ترتیب فراوانی عبارتند از: کلریت، کمی اپیدوت، سرسیت و کربنات. کلریت با رنگ سبز کاملاً مشخص و بی‌رفرنزنس سبز و قهوه‌ای از دگرسانی کانیهای فرومیزین‌دار (هورنبلند و بیوتیت) از حاشیه به سمت مرکز بلور حاصل شده است. کلریت با فراوانی حدود ۵ تا ۱۰٪ در این سنگها حضور دارد. در این سنگها اپیدوت با فراوانی حدود ۱ تا ۳٪ مشاهده می‌شود.

در بعضی از نمونها هورنبلند کاملاً به کانیهای اپک تبدیل شده است. اپیدوت در این زون آلتراسیونی بیشتر در واحد پیروکسن‌دولریت مشاهده می‌شود که در آن بلورهای پلاژیوکلاز زوئیتی شده‌اند. سرسیت نیز در بسیاری از نمونه‌ها در این زون مشاهده می‌شود که بیشتر از دگرسانی پلاژیوکلازها و بیوتیت‌ها حاصل شده است. در این زون گاهی کربنات‌ها با بی‌رفرنزنس زرد طلایی در مرکز بلورهای پلاژیوکلاز و گاهی به صورت رگه‌ای و بعضاً به صورت پراکنده در متن سنگ حضور دارند. فراوانی سرسیت در مقایسه با کربنات در این زون بیشتر است.

زون آلتراسیون سرسیتیک + پروپیلیتیک + کربناتی بیشتر در جنوب منطقه و همراه با توده‌های هورنبلند بیوتیت کوارتز مونزوودیوریت پورفیری مشاهده می‌شود. در این زون گاهی سرسیت و کلریت و گاهی سرسیت و کربنات و گاهی هر سه کانی با هم دیده می‌شوند. در بیشتر نمونه‌ها دگرسانی سرسیتیک بین ۵ تا ۲۰٪ است. در این زون بیوتیتها نیز به طور کامل به سرسیت آلتره شده‌اند. لازم به ذکر است که از نظر زمانی این کربنات‌ها و کلریت‌ها نسبت به سرسیت جوانتر هستند و بعد از آنها در محلول فراوان شده و آلتراسیون ایجاد کرده‌اند.

زون آلتراسیون سرسیتیک + آرژیلیک + کربناته وسعت بسیار ناچیزی دارد به طوری که تنها در بخش محدودی از جنوب منطقه همراه با توده‌های بیوتیت هورنبلند کوارتز مونزوودیوریت پورفیری مشاهده می‌شود. در این زون به همراه سرسیت کانیهای رسی نیز دیده می‌شوند که بیشتر از دگرسانی

بحث شود لازم به ذکر است که در شرق منطقه مورد مطالعه ۵ اندیس طلا و یک اندیس آنتیموان شناسایی شده است. در ۵ کیلومتری شمال شرق منطقه نیز معدن طلای هیدروترمالی اراغش واقع شده است. در شرق منطقه نیز معدن کاٹولن حاصل از آلتراسیون شدید آرژیلیک وجود دارد. در کل در شمال غرب ورقه کدکن به دلیل وجود درز و شکافهای متعدد و تریق توده‌های نفوذی، زمینه برای تشکیل انواع ذخایر فلزی و غیر فلزی فراهم شده است.

در منطقه مورد پی‌جويی کانی‌سازی به دو نوع اولیه و ثانویه مشاهده می‌شود. کانی‌سازی اولیه به صورت بلورهای پراکنده پیریت با حداکثر اندازه حدود ۵ میلی‌متر در سطح مشاهده می‌شود که تا حدود ۹۰٪ به اکسیدهای آهن ثانویه مانند هماتیت، گوتیت و لیمونیت تبدیل شده است.

مقادیر پیریت در شمال منطقه در زون آلتراسیون کلریتی بیشتر از سایر مناطق است. پیریت می‌تواند در محدوده وسیعی از تغییرات  $FO_2$  و  $FS_2$  حضور داشته باشد بنابراین نمی‌توان از این کانی جهت تعیین محدوده خاصی از فوگاسیته گوگرد و اکسیژن استفاده کرد [۱۱]. در منطقه مورد مطالعه این کانی به صورت شکل‌دار و نیمه شکل‌دار و بیشتر به صورت منفرد دیده می‌شود. به طور یقین منشأ این پیریت‌های شکل‌دار سیال هیدروترمالی است. در منطقه مورد مطالعه فراوانی دانه‌های پیریت با ابعاد آن نسبت معکوس دارد یعنی در مناطقی که فراوانی دانه‌های پیریت زیاد است، ابعاد بلورها کوچک است و بالعکس.

کانی‌سازی اولیه دیگری که در غرب منطقه مشاهده می‌شود رگه‌های کلسیتی می‌باشد (شکل ۵) که عمدهاً روند شمال شرق-جنوب غرب دارند و ضخامت آنها از ۰/۵ تا ۱/۵ متر متغیر است.

کانی‌سازی ثانویه در منطقه عمدهاً شامل اکسیدهای ثانویه آهن و کربناتهای مس است. هماتیت، لیمونیت و گوتیت در برخی مناطق به وفور مشاهده می‌شود که حاکی از کانی‌سازی سولفیدی در عمق می‌باشد. کانی‌سازی مس نیز به صورت کربناتهای مس (آزوریت و مالاکیت) در شمال منطقه در زون آلتراسیون کلریتی مشاهده می‌شود. یکی از کانیهایی که حاصل فرآیندهای سوپرژن در منطقه است ژاروسیت می‌باشد. این کانی تنها در حضور آب تشکیل می‌شود [۱۲] و تحت شرایط کاملاً اسیدی با pH بین ۲ و ۳ و دمای کمتر از

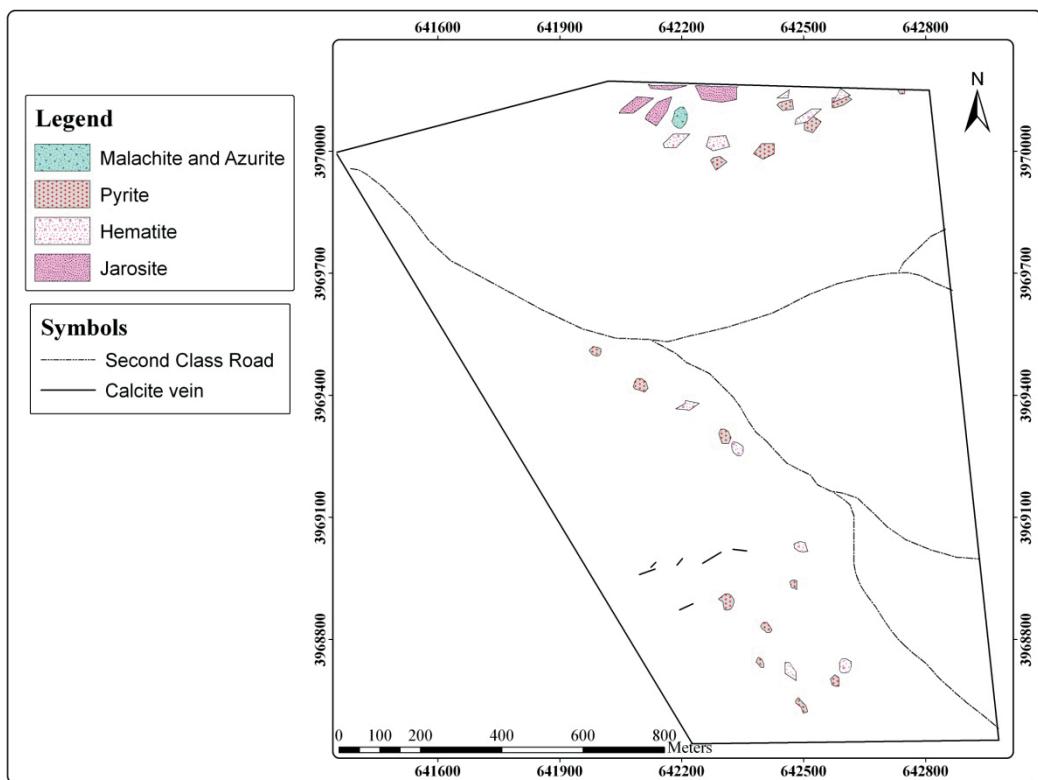
به چشم می‌خورند. در نمونه‌های آندزیتی بیشتر پلازیوکلازها به کربنات دگرسان شده‌اند. زون آلتراسیون پتاسیک در بخش بسیار کوچکی از شمال غرب و جنوب منطقه دیده می‌شود. در شمال غرب منطقه این نوع آلتراسیون در واحد هورنبلنگ بیوتیت کوارتز دیوریت دیده می‌شود در حالی که در جنوب منطقه همراه با واحد هورنبلنگ بیوتیت کوارتز مونزوودیوریت پورفیری مشاهده می‌شود. در این آلتراسیون کانی شاخص آلتراسیونی، بیوتیت ثانویه است. در این آلتراسیون مشاهده می‌شود که بیوتیت‌های اولیه و هورنبلنگ در حال تبدیل به بیوتیت‌های ثانویه هستند و برخی از بیوتیت‌های ثانویه نیز در حال تبدیل به کلریت هستند. در یکی از نمونه‌ها، بیوتیت‌های ثانویه به مقدار زیادی به صورت پراکنده در سنگ دیده می‌شود به طوری که دیگر هیچ نشانی از کانی اولیه وجود ندارد و بیوتیت‌های ثانویه نیز در حال تبدیل به کلریت هستند. در مواردی هم مشاهده می‌شود که کانی اولیه کاملاً به مجموعه‌ای از بیوتیت‌های ثانویه و کانیهای اپک دگرسان شده است.

زون آلتراسیون سیلیسی در بخش کوچکی از شمال شرق منطقه مشاهده می‌شود. در این بخش سنگها کاملاً سیلیسی شده‌اند به طوری که نمی‌توان سنگ اولیه را مشخص کرد. در این زون کانی کلریت و اکسیدهای آهن (کانیهای اپک) فضای خالی بین ذرات سیلیس را پرکرده‌اند. این پدیده نشانگر این مطلب است که پس از فرآیند سیلیسی‌شدن، محلولهای غنی از آهن و منیزیم سنگهای این بخش را مورد هجوم قرار داده‌اند و باعث ایجاد کانیهای آهن و منیزیم‌دار (کلریت و کانیهای اپک) در فضاهای خالی بین قطعات سیلیس شده‌اند.

زون آلتراسیون سیلیسی + سرسیتیک + پروپیلیتیک در مرکز منطقه و همراه با توده‌های هورنبلنگ مونزوونیتی دیده می‌شود. در این زون در حاشیه بلورهای پلازیوکلاز می‌توان سیلیسی شدن را مشاهده کرد. در برخی قسمتها سیلیس در متن سنگها و به صورت رگه‌ای نیز حضور دارد. در این زون سرسیتی شدن پلازیوکلاز و بیوتیت نیز مشاهده می‌شود. همچنین همراه با سیلیسی شدن سنگ، کلریتی شدن کانیهای فرومیزین‌دار هم به میزان محدود مشاهده می‌شود.

### کانی‌سازی

قبل از این‌که در مورد کانی‌سازی در منطقه مورد پی‌جويی



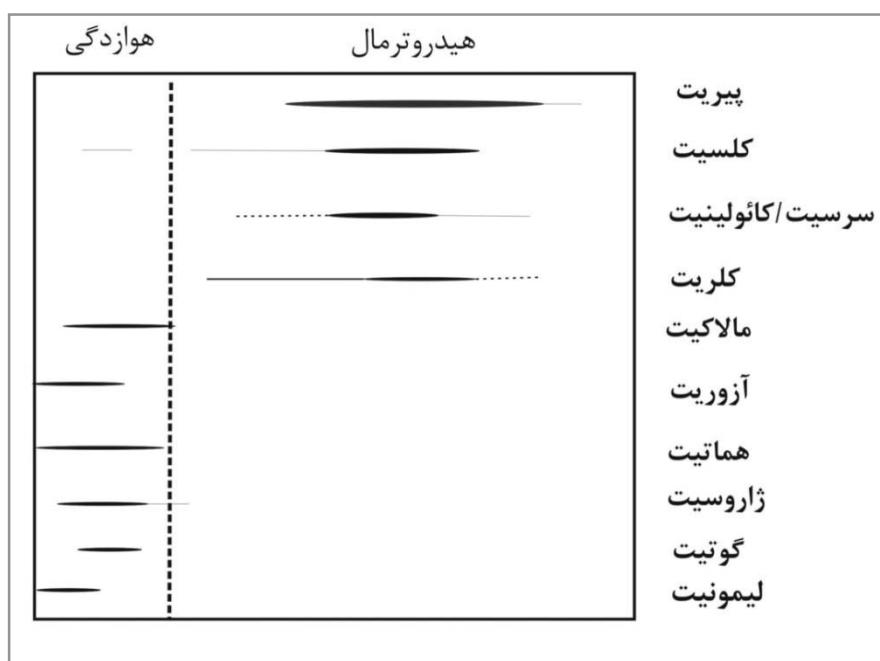
شکل ۵. نقشه کانی‌سازی در منطقه مورد مطالعه

و تنها کانی سولفیدی تشکیل شده در این مرحله است. کمی قبل از پایان یافتن مرحله کانی‌سازی اولیه، کانیهای فلزی تشکیل شده تحت تأثیر عوامل اکسیداسیون قرار گرفته و در نتیجه کانیهای اکسیدان را به وجود می‌آورند که در این زون از اکسیداسیون کانیهای سولفیدی حاصل شده هماتیت است. لیمونیت و ژاروسیت نیز به صورت خاکهای زرد و نارنجی رنگ در سطح رخمنون داشته و در ارتباط با مرحله اکسیداسیون می‌باشند.

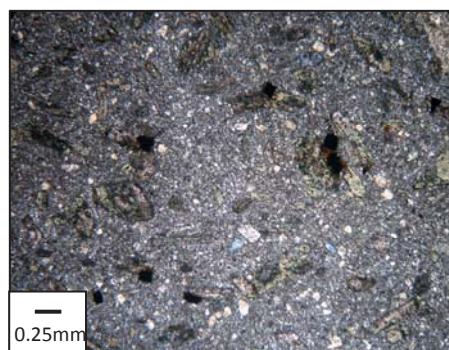
۱۵۰ درجه سانتی‌گراد. این کانی در محیط‌های اسیدی غنی از سولفات‌که از اکسیداسیون سولفیدها به ویژه پیریت حاصل آمده، تشکیل می‌شوند. این کانی به آسانی دگرسان شده و به لیمونیت تبدیل می‌شود. کانی ژاروسیت در محدوده نسبتاً کوچکی پایدار است.

#### توالی پاراژنزی در منطقه

توالی پاراژنزی را می‌توان به دو گروه کانیهای اولیه و اکسیدان تقسیم نمود (شکل ۶). پیریت تنها کانی فلزی بوده و بیشترین گسترش را در مرحله کانی‌سازی اولیه دارد (شکل ۷)



شکل ۶. توالی پارازنزی کانیهای اولیه و ثانویه منطقه.



شکل ۷. نمونه‌ای از پیریت به صورت پراکنده در متن سنگ

### اکتشافات ژئوشیمیایی بر مبنای رسوبات رودخانه‌ای

برای توزیع بهینه نمونه‌ها و طراحی اولیه نقاط نمونه‌برداری، ابتدا نقشه آبراهه‌های ناحیه با توجه به تصاویر ماهواره‌ای Google Earth با وضوح بالا ترسیم گردید. سپس سعی شد محله‌ای مستعد نمونه‌برداری با توجه به موقعیت انشعابات اصلی و فرعی آبراهه‌ها و سرشاخه‌های آبراهه درست در محلی که چند آبراهه به هم می‌پیوندند، صورت پذیرد.

نکات مهمی که در حین نمونه‌برداری رعایت شده عبارتند از:  
۱) ابتدا قشر رویی آبراهه به عمق ۲۰ سانتی‌متر برداشته شد و سپس نمونه‌برداری از سطح زیرین انجام شد، ۲) نمونه‌ها در

### ژئوشیمی

یکی از اهداف اکتشاف ژئوشیمیایی دستیابی به تمرکز غیرعادی عناصری است که در ارتباط با کانی‌سازی باشند. توزیع آماری عناصر اصلی در طبیعت عادی است. در شرایطی که سنگها تحت تأثیر دگرسانی و کانسسارسازی قرار گرفته باشند، این توزیع از حالت عادی خارج گشته و به شکل غیرعادی در می‌آید [۱۳]. در منطقه مطالعاتی اکتشافات ژئوشیمیایی بر اساس سنگ و رسوبات رودخانه‌ای انجام شد.

سرب در رسوبات رودخانه‌ای : بر اساس نتایج حاصل از آنالیز جذب اتمی در منطقه مورد مطالعه مشاهده شد که میزان سرب در این منطقه بین  $28\text{ ppm}$  در نمونه ۱ و  $42\text{ ppm}$  در نمونه ۷ در نمونه متغیر است که نمی‌توان آن را آنومالی به حساب آورد زیرا مقادیر آن بسیار کم است (شکل ۱۰). کمترین میزان سرب در جنوب شرق منطقه و بیشترین مقدار آن در شمال منطقه مورد مطالعه است. کمترین میزان سرب در ارتباط با واحد بیوتیت هورنبلند مونزودیوریت پورفیری و بیشترین میزان آن در ارتباط با واحد آندزیت حفره‌دار است.

نقره در رسوبات رودخانه‌ای : نتایج آنالیزها نشان می‌دهند که مقادیر این عنصر در حد زمینه است و آنومالی خاصی در منطقه مورد مطالعه نشان نمی‌دهد. بیشترین میزان این عنصر در منطقه مورد مطالعه  $12\text{ ppm}$  در نمونه ۱ است و کمترین میزان آن حدود  $2 \text{ ppm}$  می‌باشد (شکل ۱۱).

### همبستگی عناصر در رسوبات رودخانه‌ای

مس و روی : بر اساس نمودار رسم شده برای دو عنصر مس و روی مشاهده می‌شود که همبستگی مثبتی بین این دو عنصر وجود دارد، یعنی با افزایش میزان مس به مقادیر روی نیز افزوده می‌شود و بالعکس (شکل ۱۲).

سرب و روی : همان‌طوری که در نمودار دیده می‌شود میزان روی در نمونه ۲ بیشترین آنومالی را نشان می‌دهد و این در حالی است که در کل، سرب روند عادی را نشان می‌دهد (شکل ۱۳).

### اکتشافات ژئوشیمیایی بر مبنای سنگ

به منظور بررسی هاله اولیه در منطقه مورد مطالعه نمونه‌برداری از رخنمنهای سنگی که بیشترین آلتراسیون و کانی‌سازی در آنها مشاهده می‌شد با در نظر گرفتن وضعیت منطقه از نظر زون‌بندی، نوع و شدت دگرسانی و کانی‌سازی انجام شد. نمونه‌برداری در منطقه به روش خرده‌سنگی (chip) composite انجام پذیرفت که یک روش نمونه‌برداری ژئوشیمیایی است و بر اساس آن برداشت تکه‌های کوچک سنگی در حد چند سانتی‌متر و هر تکه حدود  $50 \text{ g}$  و در یک محدوده خاص و با شعاع معین است، انجام می‌شود. ابعاد سطحی که از آن نمونه‌برداری خرده‌سنگی انجام می‌دهیم تابع شعاع زون کانی‌سازی می‌باشد.

محل با الک معمولی الک شدن تا نمونه‌های خرده‌سنگی از رسوبات مورد نظر جدا شوند،  $3$  حدود  $4-3 \text{ کیلوگرم}$  از نمونه‌های الک شده با اندازه ماسه برداشت گردید،  $4$  رسوبات در کیسه‌های پلاستیکی تمیز ریخته شد تا از ورود هرگونه آلودگی به درون آنها جلوگیری شود،  $5$  در پایان نمونه‌ها به دقیق شماره‌گذاری شد و محل دقیق نمونه‌برداری توسط GPS یادداشت شد. از منطقه مورد پی‌جویی جمعاً  $8$  نمونه رسوب رودخانه‌ای با رعایت موارد مذکور برداشت شد.

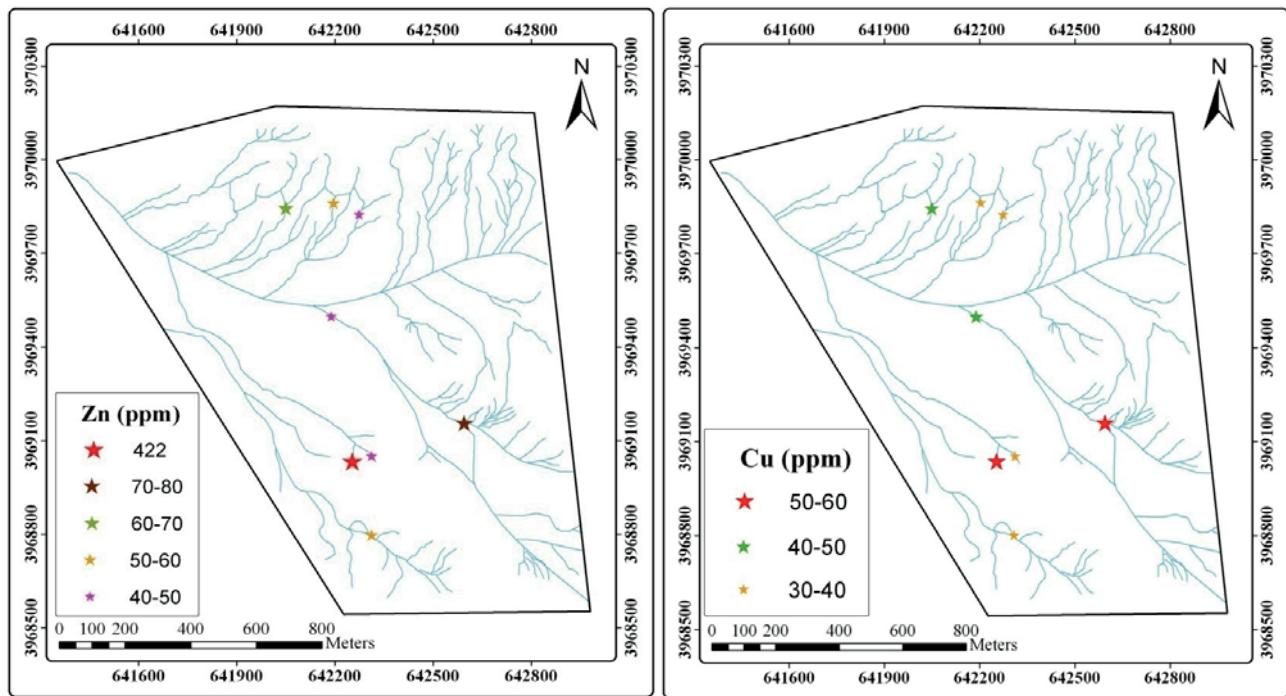
کلیه نمونه‌ها برای  $4$  عنصر  $\text{Cu}, \text{Zn}, \text{Ag}, \text{Pb}$  به روش اسپکتروفوتومتری جذب اتمی (AAS) مورد آنالیز قرار گرفتند. نتایج حاصل از آنالیز جذب اتمی نمونه‌های رسوب رودخانه‌ای در جدول ۱ آمده است.

مس در رسوبات رودخانه‌ای: حد زمینه برای عنصر مس در رسوبات رودخانه‌ای کانسارهای مس پورفیری معمولاً بیش از  $1$   $1/5$  درصد وزنی است. با توجه به نتایج تجزیه شیمیایی صورت گرفته در منطقه مورد مطالعه که بخشی از کمرنبد ولکانیک- پلوتونیک سبزوار است، دامنه تغییرات این عنصر در رسوبات رودخانه‌ای از  $34\text{ ppm}$  در نمونه شماره  $5$  تا  $58\text{ ppm}$  در نمونه شماره  $2$  متغیر است (شکل ۸). بیشترین میزان  $\text{Cu}$  در مریوط به نمونه  $2$  در جنوب غرب منطقه و در شرق منطقه است که حاکی از یک آنومالی بزرگتر در بالادست آبراهه مورد نظر است. عمدۀ آنومالی‌های مس در رسوبات رودخانه‌ای منطقه مربوط به آبراهه‌های منشأ گرفته از واحد بیوتیت هورنبلند کوارتز دیوریت پورفیری می‌باشد. بسته به اینکه آبراهه از چه مسیری حرکت کرده و از چه سنگهایی منشأ گرفته، میزان فراوانی عنصر مس در آن متفاوت است.

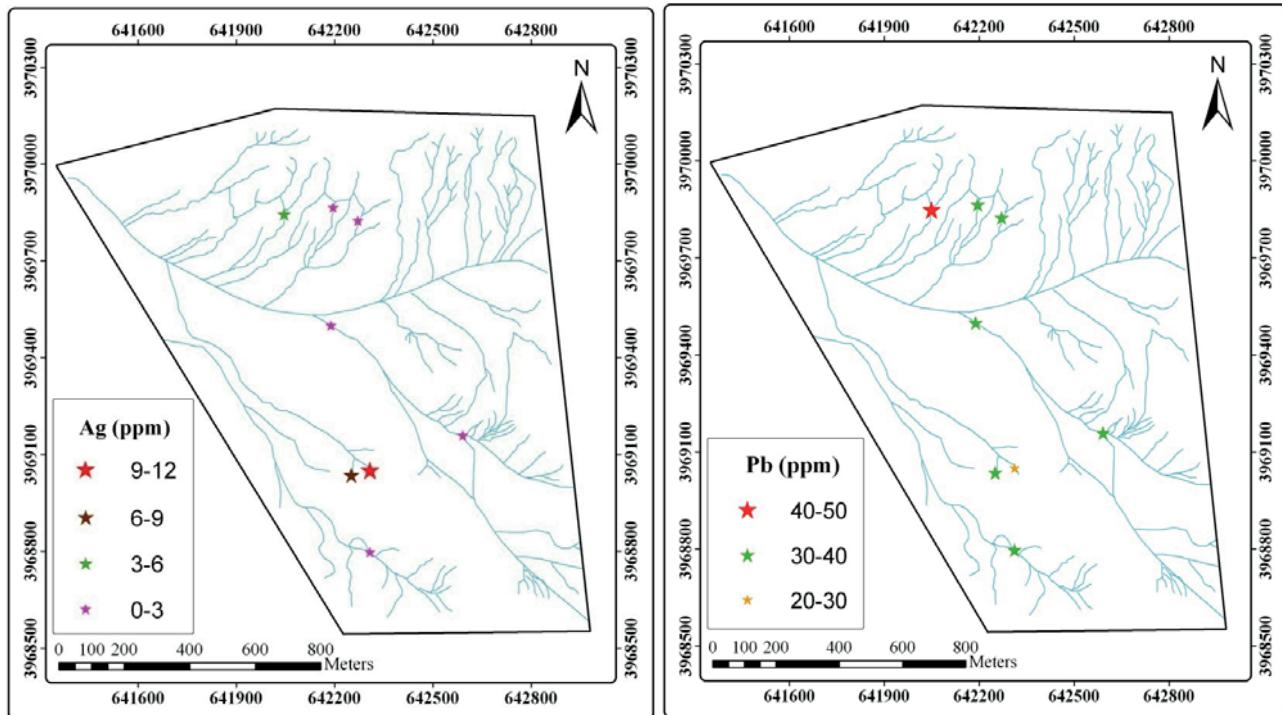
روی در رسوبات رودخانه‌ای: مقادیر روی در کانسارهای مس پورفیری بیش از  $250\text{ ppm}$  تا  $300\text{ ppm}$  است. بر اساس تجزیه‌های شیمیایی انجام شده میزان عنصر روی در رسوبات آبراهه‌ای منطقه مورد مطالعه بین  $44\text{ ppm}$  در نمونه  $1$  تا  $422\text{ ppm}$  در نمونه  $2$  متغیر است (شکل ۹). که بیشترین میزان عنصر روی در جنوب غرب و شرق منطقه است. بیشترین میزان روی در جنوب غرب منطقه منشأ گرفته از آبراهه‌ای است که در ارتباط با واحد بیوتیت هورنبلند- کوارتز دیوریت پورفیری و آلتراسیون پروپیلیتیک- سرسیتیک و در شرق منطقه در ارتباط با واحد هورنبلند بیوتیت مونزودیوریت است.

جدول ۱. میزان عناصر مس، روی، سرب و نقره در نمونه‌های رسوب رودخانه‌ای منطقه مورد مطالعه

شماره	کد نمونه	Cu (ppm)	Zn (ppm)	Pb (ppm)	Ag (ppm)
۱	S-1	۴۰	۴۵	۲۸	۱۲
۲	S-2	۵۸	۴۲۲	۳۴	۸
۳	S-3	۳۸	۵۴	۳۴	۲
۴	S-4	۴۳	۴۸	۳۱	۲
۵	S-5	۳۴	۴۹	۳۹	۲
۶	S-6	۳۵	۵۱	۳۲	۲
۷	S-7	۴۸	۶۲	۴۲	۳
۸	S-8	۵۰	۷۲	۳۳	۲

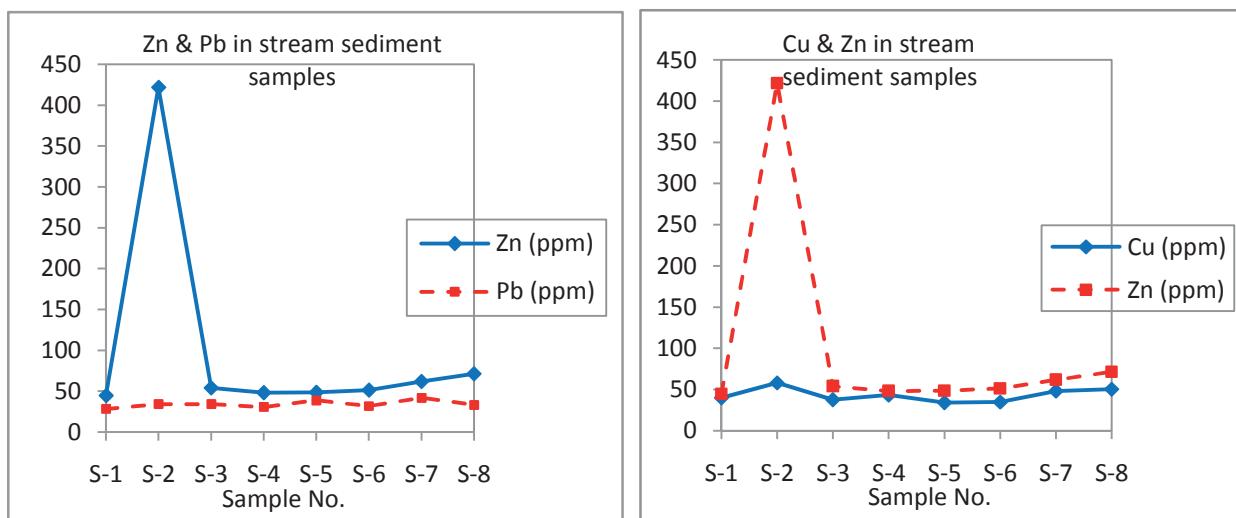


شکل ۸. توزیع ژئوشیمیایی عنصر مس نسبت به موقعیت آبراهه‌ها



شکل ۱۱. توزیع ژئوشیمیابی عنصر نقره نسبت به موقعیت آبراهه‌ها

شکل ۱۰. توزیع ژئوشیمیابی عنصر سرب نسبت به موقعیت آبراهه‌ها



شکل ۱۳. نمودار ارتباط بین مقادیر روی و سرب در رسوبات آبراهه‌ای.

شکل ۱۲. نمودار ارتباط بین مقادیر مس و روی در رسوبات آبراهه‌ای.

واحدهای هورنبلند مونزونیت پورفیری است که آلتراسیون پروپیلیتیک- کربناتی را متحمل شده‌اند. نقشه توزیع ژئوشیمیابی این عنصر بر روی نقشه آلتراسیون در شکل ۱۶ نشان داده شده است.

نقره در نمونه‌های خرده‌سنگی: مقادیر عنصر نقره از حدود ۲ ppm در نمونه ۱۶ تا ۳۲ ppm در نمونه ۱۲ در تغییر است. در کل نمونه‌ها ۳ نمونه آنومالی بالای ۲۰ ppm را نشان می‌دهند. مقادیر بالای عنصر نقره در ارتباط با واحدهای بیوتیت هورنبلند مونزودیبوریت پورفیری می‌باشد که آلتراسیون پروپیلیتیک- سرسیتی را متحمل شده‌اند. نقشه توزیع ژئوشیمیابی این عنصر بر روی نقشه آلتراسیون در شکل ۱۷ نشان داده شده است.

### همبستگی عناصر در نمونه‌های خرده‌سنگی

مس و روی : میزان مس در نمونه‌های سنگی به مراتب از میزان روی بیشتر بوده ولی در کل این دو عنصر با یکدیگر همبستگی مثبتی را نشان می‌دهند. روند تغییرات مس در نمونه‌های سنگی منطقه بیشتر از روی است. مقادیر آنومالی عناصر مس و روی عمدتاً در ارتباط با واحد هورنبلند مونزونیت پورفیری بوده و ارتباط خاصی با دگرسانی پروپیلیتیک و پتاسیک در منطقه دارد (شکل ۱۸).

مس- روی- سرب : همان طور که در بالا مشاهده گردید، همبستگی مثبتی بین مس و روی در نمونه‌های خرده‌سنگی منطقه وجود دارد ولی این دو عنصر رابطه چندانی با سرب در منطقه ندارند و مقادیر سرب تقریباً روند ثابتی را نشان می‌دهد (شکل ۱۹).

سرب و نقره : در کل مقادیر سرب در منطقه بیشتر از مقادیر نقره می‌باشد. در برخی از نمونه‌ها با افزایش مقدار سرب، میزان نقره هم زیاد می‌شود ولی در برخی نمونه‌ها این رابطه معکوس است. در کل همبستگی چندانی بین مقادیر این دو عنصر وجود ندارد (شکل ۲۰).

چون نتایج ژئوشیمیابی باید معرف مکان و منطقه برداشت نمونه باشد، ضرورت دارد در هنگام انتخاب و برداشت خرده- سنگ‌ها، موضوع توزیع یکسان و پوشش یکواخت را مد نظر قرار داد و از برداشت خرده‌سنگ‌هایی که عمدتاً شامل بخش‌های کانی‌سازی می‌باشد، پرهیز نمود. وزن هر نمونه برای نمونه‌های سطحی ۲ تا ۳ کیلوگرم می‌باشد. در مجموع در مقطعه ۲۰ نمونه خرده سنگی برداشت گردید. کلیه نمونه‌های خرده‌سنگی پس از مراحل محلول‌سازی مورد آنالیز جذب اتمی قرار گرفتند که نتایج حاصله در جدول ۲ ارائه شده است.

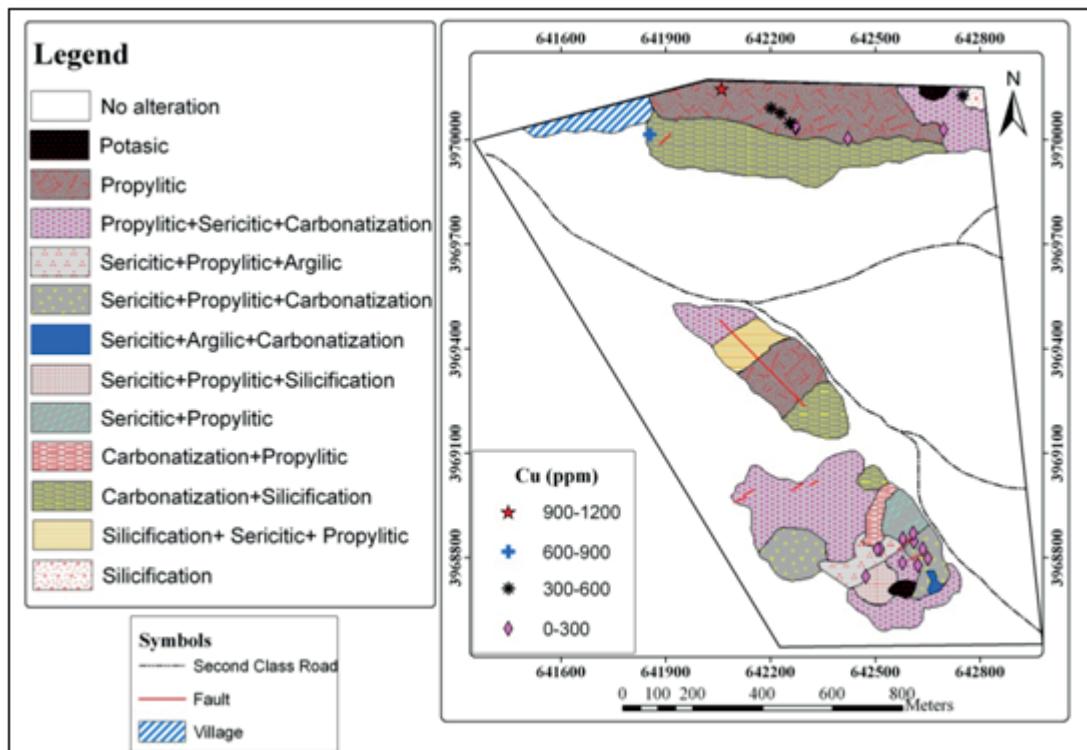
مس در نمونه‌های خرده‌سنگی: در نمونه‌های خرده‌سنگی آنالیز شده میزان فراوانی مس از ۸ ppm در نمونه ۱ تا ۱۱۳۷ ppm در نمونه ۱۹ متغیر است که تقریباً نیمی از نمونه‌ها آنومالی نشان می‌دهند. واحد سنگی مربوط به بیشترین آنومالی‌ها در حد هورنبلند مونزونیت پورفیری می‌باشد و این واحد سنگی آلتراسیون پروپیلیتیک- کربناتی را متحمل شده است. بررسی نتایج نشان می‌دهد که فراوانی عنصر مس در آلتراسیون پتاسیک و پروپیلیتیک بیشتر است. نقشه توزیع ژئوشیمیابی این عنصر بر روی نقشه آلتراسیون در شکل ۱۴ نشان داده شده است.

روی در نمونه‌های خرده‌سنگی : بر اساس نتایج به دست آمده مشاهده شد که مقادیر روی نیز همانند مس مقادیر بالایی را در منطقه مورد مطالعه نشان می‌دهد. مقادیر عنصر روی بین حدود ۱۳ ppm در نمونه ۱ و ۴۱ ppm در نمونه ۱۹ متغیر است. واحد سنگی مربوط به بیشترین مقادیر روی در حد هورنبلند مونزونیت پورفیری می‌باشد و این واحدهای سنگی آلتراسیون پروپیلیتیک- کربناتی را متحمل شده‌اند. فراوانی عنصر روی در آلتراسیون پروپیلیتیک بیشتر است. نقشه توزیع ژئوشیمیابی این عنصر بر روی نقشه آلتراسیون در شکل ۱۵ نشان داده شده است.

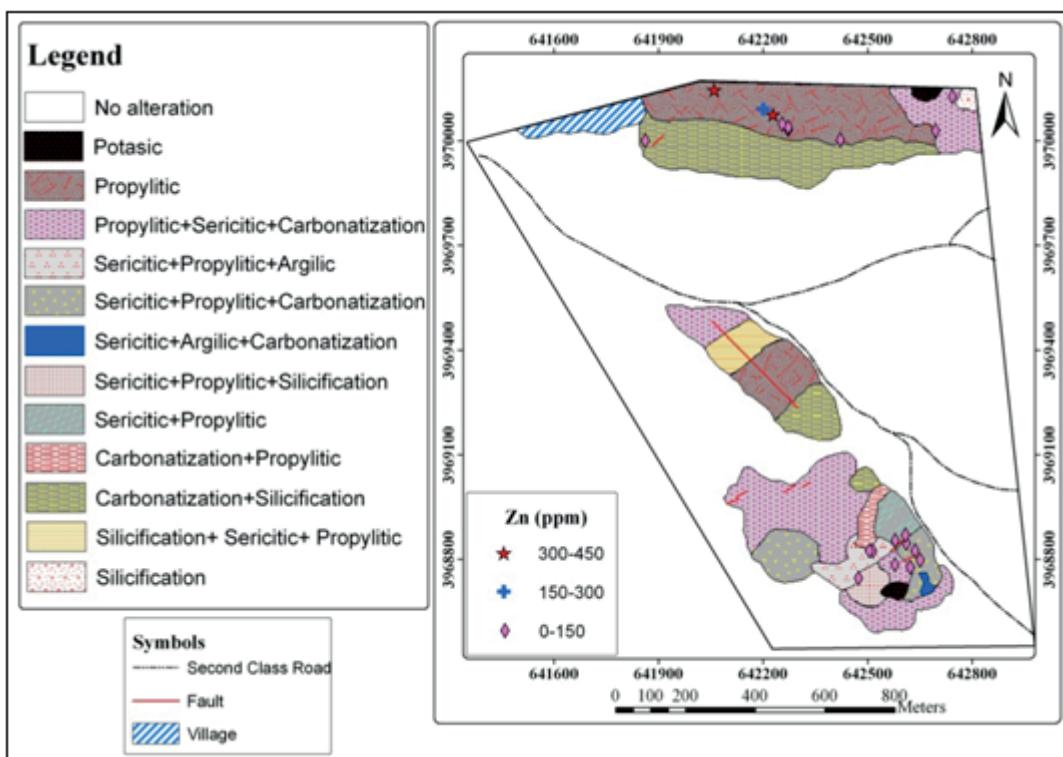
سرب در نمونه‌های خرده‌سنگی: مقادیر سرب در نمونه‌های سنگی از حدود ۱۵ ppm در نمونه ۱۲ تا ۹۷ ppm در نمونه ۷ متغیر است. در کل نمونه‌ها ۸ نمونه آنومالی بیشتر از ۵۰ ppm را نشان می‌دهند. ماکریم مقادیر سرب در منطقه در ارتباط با

جدول ۲. میزان عناصر مس، روی، سرب و نقره در نمونه‌های خردمنگی منطقه مورد مطالعه.

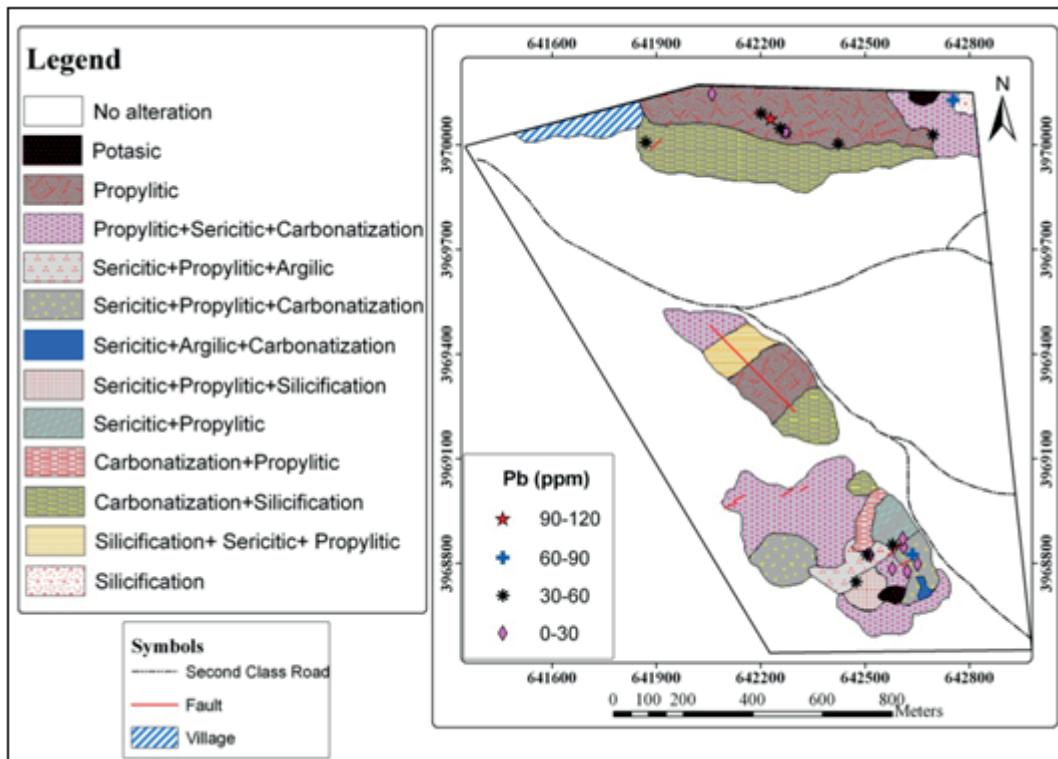
شماره	کد نمونه	Cu (ppm)	Zn (ppm)	Pb (ppm)	Ag (ppm)
۱	Ch-1	۸	۱۳	۵۸	۱۴
۲	Ch-2	۲۱	۳۹	۴۱	۷
۳	Ch-3	۲۴	۵۲	۴۱	۳
۴	Ch-4	۵۹۱	۵۸	۶۰	۳۹
۵	Ch-5	۸۶	۴۴	۴۱	۲۷
۶	Ch-6	۴۱۹	۱۵۶	۵۴	۳
۷	Ch-7	۵۰۷	۳۰۱	۹۷	۹
۸	Ch-8	۵۰	۲۹	۵۳	۲۱
۹	Ch-9	۹۶	۱۰۳	۵۳	۱۹
۱۰	Ch-10	۲۹	۶۷	۶۵	۱۳
۱۱	Ch-11	۲۹	۵۳	۲۳	۲
۱۲	Ch-12	۳۰	۳۹	۱۵	۳۲
۱۳	Ch-13	۱۴۵	۵۱	۲۵	۳
۱۴	Ch-14	۴۲	۴۸	۲۳	۴
۱۵	Ch-15	۴۸	۶۲	۲۶	۱۴
۱۶	Ch-16	۲۴	۳۹	۱۹	۲
۱۷	Ch-17	۲۶۹	۲۸	۲۳	۳
۱۸	Ch-18	۳۷۶	۳۴	۴۱	۴
۱۹	Ch-19	۱۱۳۸	۴۱۱	۲۵	۲۶
۲۰	Ch-20	۷۸۴	۱۰۴	۴۴	۵



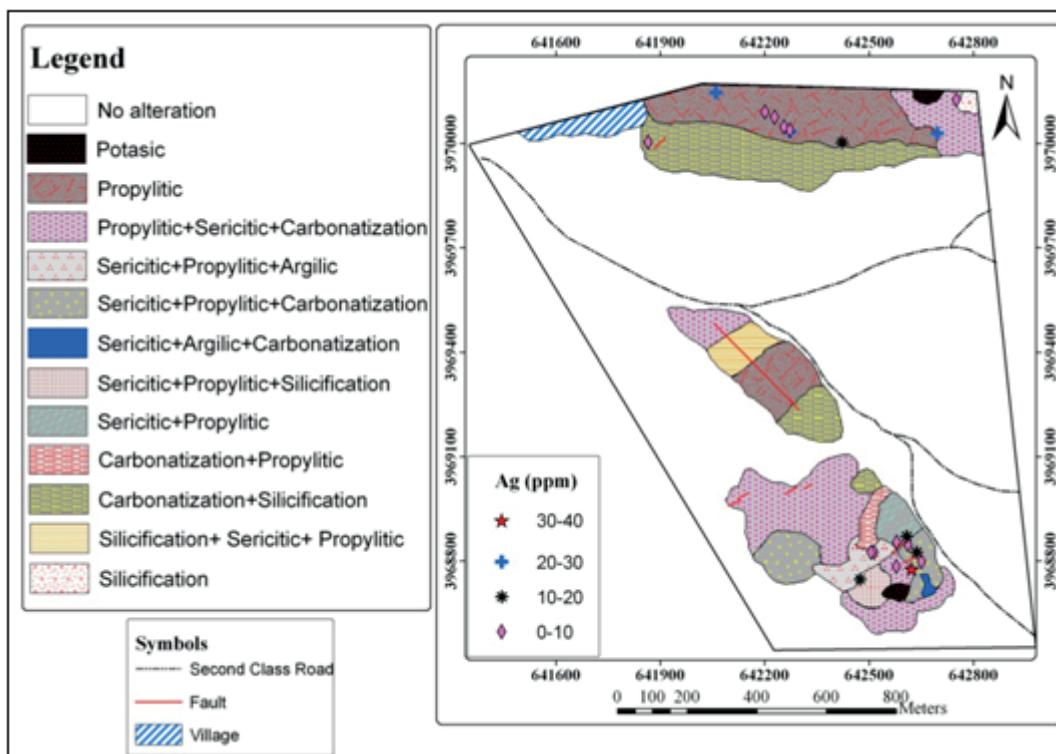
شکل ۱۴. توزیع ژئوشیمیایی عنصر مس در نمونه‌های خردسنگی.



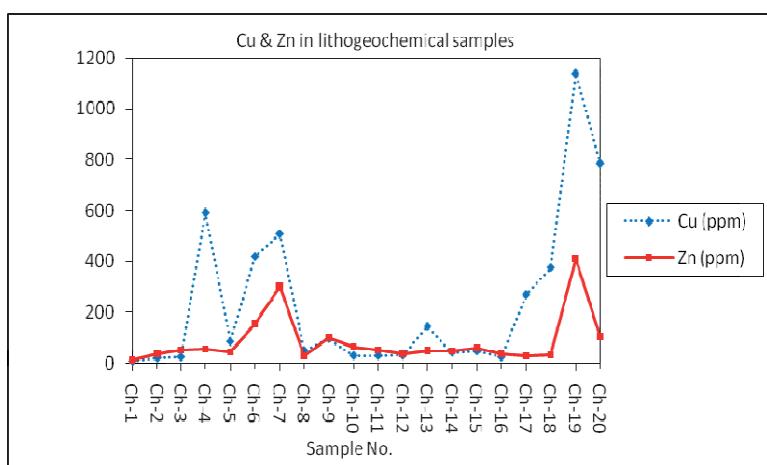
شکل ۱۵. توزیع ژئوشیمیایی عنصر روی در نمونه‌های خردسنگی.



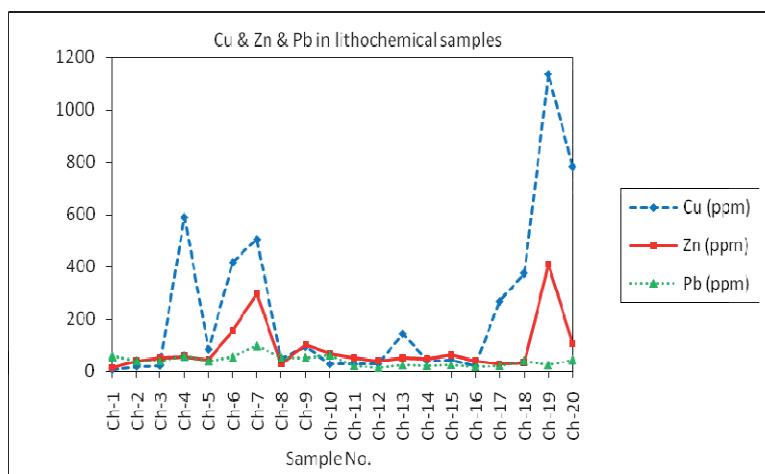
شکل ۱۶. توزیع ژئوشیمیایی عنصر سرب در نمونه‌های خردسنجی.



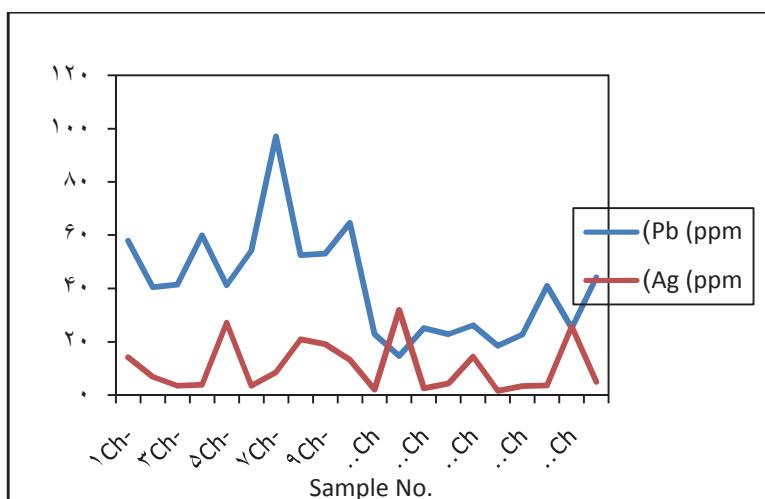
شکل ۱۷. توزیع ژئوشیمیایی عنصر نقره در نمونه‌های خردسنجی.



شکل ۱۸. نمودار ارتباط بین مقدار مس و روی در نمونه‌های خردسنجی.



شکل ۱۹. نمودار ارتباط بین عناصر مس، روی و سرب در نمونه‌های خردسنجی.



شکل ۲۰. نمودار ارتباط بین عناصر سرب و نقره در نمونه‌های خردسنجی.

سازی تقسیم‌بندی کرد. این محلولها به ترتیب مسؤول ایجاد آلتراسیون‌های سرسیتی- پروپیلیتیک و سیلیسی- کربناته هستند.

فرآیند کانی‌سازی به دو صورت اولیه و ثانویه در منطقه مشاهده می‌شود. کانی‌سازی اولیه به صورت پراکنده در متن سنگهای حدواسط مشاهده می‌شود و عمدتاً پیریت است. کانی- سازی ثانویه بیشتر به صورت اکسیدهای آهن می‌باشد. بیشترین میزان آنومالی مس در نمونه‌های مربوط به رسوبات آبراهه‌ای در حد  $58 \text{ ppm}$  و در ارتباط با جنوب غرب و شرق منطقه است. این در حالی است که بیشترین میزان آنومالی این عنصر در نمونه‌های خرده‌سنگی در حدود  $1137 \text{ ppm}$  و مربوط به بخش شمالی منطقه است. عمدت آنومالی‌های مس در رسوبات رودخانه‌ای مربوط به آبراهه‌های منشا گرفته از واحد.

بیوتیت هورنبلندر کوارتز دیوریت پورفیری می‌باشد. عناصر مس و روی در نمونه‌های رسوب رودخانه‌ای و نمونه‌های خرده‌سنگی همبستگی مثبت بالایی را نشان می‌دهند. به طور کلی مقادیر مربوط به آنومالی این عناصر در نمونه‌های خرده‌سنگی به مراتب بیشتر از نمونه‌های رسوب رودخانه‌ای است.

آنومالی عناصر مس و روی در نمونه‌های خرده‌سنگی ارتباط مستقیمی با دگرسانی پروپیلیتیک در منطقه داشته و همراه با واحد بیوتیت هورنبلندر گرانوودیوریت مشاهده می‌شوند.

آنومالی سرب در بخش شمالی منطقه مشاهده می‌شود و در ارتباط با واحد بیوتیت هورنبلندر گرانوودیوریت می‌باشد.

از آنجائی‌که یک معدن کائولن (با ژنز دگرسانی و دارای منشا گرمابی) در شرق منطقه مورد مطالعه وجود دارد می‌توان استنباط کرد که زون آرژیلیک سیستم در شرق منطقه واقع شده است.

ارتباط منطقه مورد مطالعه با زون فورانش حاشیه قاره و همچنین وجود زون‌های دگرسانی متنوع و آنومالی‌های ژئوشیمیابی عناصر مرتبط، این منطقه را از دیدگاه اکتشافات مس پورفیری حائز اهمیت نموده است.

**برداشت**  
منطقه ولکانیک- پلوتونیک ارغش واقع در جنوب غرب نیشابور از سنگهای آذرین نفوذی و آتشفسانی تشکیل شده است. واحدهای نفوذی غالباً به شکل استوک در منطقه مشاهده می‌شوند. واحدهای ولکانیکی در منطقه از واحدهای نفوذی قدیمی‌تر هستند به طوری‌که سن واحدهای نفوذی الیگومیوسن است. طیف ترکیبی سنگهای آتشفسانی از بازالت و پیروکسن آندزیت تا داسیت متغیر است.

سنگهای نفوذی در منطقه مورد مطالعه از گسترش زیادی به خصوص در جنوب آن برخوردار هستند. از میان کلیه واحدهای نفوذی واحد بیوتیت هورنبلندر کوارتز مونزوودیوریت پورفیری بیشترین گسترش را در منطقه دارد. بافت مشاهده شده در توده‌های نفوذی گرانولار و پورفیری می‌باشد.

بر اساس پردازش تصاویر ماهواره‌ای و شواهد صحرایی دگرسانی شدیدی در منطقه مشاهده می‌شود. دگرسانیهای متنوع پتاسیک، پروپیلیتیک، سرسیتیک، کربناته، سیلیسی در منطقه مشاهده می‌شوند. عملکرد دگرسانی در منطقه وسیع و شدید بوده و باعث توزیع مجدد و تحرک عناصری  $\text{Ca}^{2+}$ ,  $\text{Mg}^{2+}$ ,  $\text{Na}^+$ ,  $\text{K}^+$  شده و از طرف دیگر موجب اضافه شدن بعضی از عناصر به سنگها شده است.

دگرسانی پتاسیک در دو بخش کوچک در شمال و جنوب منطقه مشاهده می‌شود. در این نمونه‌ها بیوتیت‌های ثانویه کاملاً مشهود هستند. این بیوتیت‌های ثانویه بیشتر از بیوتیت‌ها و بعضی از هورنبلندر ایجاد شده‌اند. برخی از بیوتیت‌های ثانویه در حال تبدیل به کلریت است.

از آنجائی‌که زون پتاسیک در دو بخش در سطح زمین رخمنون یافته است می‌توان استنباط کرد که در این دو بخش یکی عامل گسلها باعث بالا آمدن این منطقه شده است و دیگری عامل فرسایش در این بخش شدید عمل کرده است و در مجموع این دو عامل باعث رخمنون یافتن زون پتاسیک در سطح شده است.

محلولهای موثر در فرآیند آلتراسیون را می‌توان به دو دسته محلولهای مرتبط با کانی‌سازی و محلولهای غیرمرتبط با کانی-

## منابع

- Fifth Symposium, Snowbird, Utah, Abstract, No. 88, (1978).
- [7] Cooke et al. "Giant Porphyry Deposits: Characteristics, Distribution, and Tectonic Controls", *Economic Geology*, (2005) 801-818.
- [8] عطایپور، م.ح، "بررسی ویژگیهای زئوژیمیایی و پترولوریکی توده‌های نفوذی گرانیت‌وئیدی ایران"، سازمان زمین‌شناسی و اکتشافات معدنی کشور، (۱۳۷۷) ۸۱، ۲۱.
- [9] Lowell, J. D., and Guilbert, J. M., "Lateral and vertical alteration-mineralization zoning in porphyry ore deposits": *Economic Geology*, v. 65, (1970) 373-408.
- [10] Kirkham, R. V., "Intermineral intrusions and their bearing on the origin of porphyry copper and molybdenum deposits": *Economic Geology*, v. 66, (1971) 1244-1246.
- [11] کریمپو، م.ح، سعادت، س، "زمین‌شناسی اقتصادی کاربری، ویرایش جدید، نشر مشهد، (۱۳۸۱) ۱۸۰-۱۹۵.
- [12] Rothestein, Y., "Spectroscopy of Jarosite minerals", mount Haloke college, PHD thesis, (2006).
- [13] Rose, A. W., and Burt, D. M., "Hydrothermal alteration in Barnes, H. L., ed., *Geochemistry of hydrothermal ore deposits*", 3<sup>rd</sup> edition: New York, USA, Jone wiley and sons, (1979) 173- 235.
- [1] کریمپور، م، "ویژگی‌های پترولوریکی و کانه‌زایی در گرانیت‌وئیدهای فردوس"، چهاردهمین همایش بلور و کانی (۱۳۸۵).
- [2] Berberian, M., King, G. C., "Towards a paleogeography and tectonic evolution of Iran", *Canadian Journal of Earth Sciences* 18, (1981) 210-265.
- [3] 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) 408-422.
- [4] 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) 561-572.
- [5] Hezarkhani, A., "Petrography of intrusive rocks within the sungun porphyry copper deposit, Azarbaijan, Iran", *Journal of Asian Earth Sciences*, England 73, (2006c) 326-340.
- [6] 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





## بررسی انواع گونه‌های مولیبدنیت در فرآیند فرآوری مربوط به معدن مس سرچشمه

بالنده امین‌زاده<sup>۱</sup>، جمشید شهاب‌پور<sup>۱</sup>، مرتضی اسدی‌پور<sup>۲</sup>

۱- گروه زمین‌شناسی، دانشگاه شهید باهنر، کرمان

۲- مجتمع مس سرچشمه

دریافت مقاله: ۱۳۸۹/۱/۱۹، نسخه نهایی: ۱۳۸۹/۳/۲۶

چکیده

مولیبدنیت در کانسار مس پورفیری سرچشمه در ۵ فرم مختلف تشکیل شده است که عبارتند از: (۱) مولیبدنیت در رگه‌های کوارتز؛ (۲) مولیبدنیت در رگه‌های کوارتز که توسط رگه‌های پیریت پر شده‌اند؛ (۳) مولیبدنیت در رگه‌های کوارتز - پیریت - کالکوپیریت؛ (۴) رگه‌های مولیبدنیت با مقادیر بسیار پایین کوارتز و (۵) مولیبدنیت انتشاری. رگچه‌های دارای مولیبدنیت به دلیل درشت بودن ذرات مولیبدنیت در آنها در صورت خردایش مناسب (ذرات مولیبدنیت در اندازه ۷۴ میکرون) به آسانی از دانه‌های باطله جدا شده و بازیابی مولیبدنیت از آنها به‌خوبی انجام می‌گیرد. آنچه باعث افت شدید در بازیابی مولیبدنیت در برخی روزها گردیده است، وجود مولیبدنیت‌های انتشاری است. این نوع مولیبدنیت‌ها به دلیل دانه‌ریز بودن در مرحله خردایش به درجه آزادی مطلوب نمی‌رسند و در صورت خردایش تا حد ۷۴ میکرون نیز در مراحل فلوتاسیون مانند یک کانی هیدروفیل رفتار می‌کنند و در فاز باطله تجمع می‌یابند.

**واژه‌های کلیدی:** مولیبدنیت، فرآوری، معدن مس سرچشمه.

آن است.

مقدمه

امروزه بخش اعظم مولیبدن جهان از کانسارهای مولیبدن پورفیری و درصد قابل توجهی از کانسارهای مس پورفیری واقع در حاشیه قاره‌ها به دست می‌آید. مصرف مهم و عمده مولیبدن در تهیه فولاد است که باعث افزایش سختی و مقاومت آن در برابر سائیدگی و خوردگی می‌شود.

مصارف دیگر مولیبدن استفاده به عنوان ماده رنگی، کاتالیزور و مصارف شیمیایی و تهیه گریس است. در ایران آثار مولیبدنیت در تعدادی از کانسارهای مس پورفیری گزارش شده است؛ اما به غیر از مجتمع مس سرچشمه که در آن مولیبدنیت به عنوان محصول فرعی به صورت کنسانتره مولیبدنیت استحصال می‌شود، در سایر نقاط مطالعات زیادی انجام نشده است.

هدف از این تحقیق تعیین فرمهای مختلف مولیبدنیت در معدن مس سرچشمه و تعیین تأثیر نوع مولیبدنیت در بازیابی

زمین‌شناسی معدن مس سرچشمه

زمین‌شناسی معدن مس سرچشمه توسط بازین و همکاران (۱۹۶۵)، واترمن (۱۹۷۷)، اطمینان (۱۹۷۷)، شهاب‌پور (۱۹۸۲)، شهاب‌پور و همکارش (۱۹۸۷)، مطالعه شده است.

فاز اصلی نفوذی و مولد کانه‌زایی در منطقه سرچشمه با ترکیب گرانوویوریت به سن ۱۲/۵ میلیون سال [۳] منشأ کانه‌زایی مس و مولیبدن در معدن می‌باشد. این توده استوک مانند در سنگهای آتشفسانی ائوسن منطقه نفوذ کرده و محدوده‌ای به وسعت ۲ کیلومتر مربع را ضمن دگرسانی، کانه‌سازی نموده است. در ناحیه معدن پس از نفوذ و جایگیری استوک پورفیری تعدادی دایک همزمان با کانه‌زایی، در مراحل آخر کانه‌زایی و بعد از کانه‌زایی [۳] با روند عمومی شمال- شمال غربی و جنوب- جنوب شرقی

برای بررسی رفتار متالورژیکی نمونه‌های آماده شده، آزمون شناورسازی با شرایط معمول کارخانه تغییض مس-مولبیدن بر روی هر گونه مولبیدنیت به صورت جداگانه انجام شد. مواد شیمیایی مورد استفاده به شرح زیر بود.

کلکتورها عبارتند از:

(Alkly Dithophosphate) AERO 407  
(Sodium Isopropyl Xantate ) Z11

کف سازها عبارتند از:

(Polypropylene Glycal Methyl Ether و ) MIBC  
Dowfirth250

MIBC، Z11، R407 و DF250، Fuel به ترتیب ۱۸، ۱۶، ۱۵، ۱۰ و ۱۱ گرم بر تن جامد بود. آزمون شناورسازی در سلول ۵ لیتری دستگاه شناورسازی Denver از نوع D12 با سرعت چرخش همزمان ۱۴۰۰ دور در دقیقه انجام شد.

pH نمونه‌ها با ۳۰ درصد جامد با استفاده از شیرآهک به ۱۱/۵ رسانیده شد. پس از افزودن مواد شیمیایی به مدت ۲ دقیقه زمان آماده سازی در نظر گرفته شد. کف‌گیری به طور پیوسته از سطح سلول و هر ۱۰ ثانیه یکبار در زمان ۸ دقیقه انجام شد. نمونه‌های کنسانتره و باطله گونه‌های مختلف مولبیدنیت پس از آبگیری همراه با خوراک جهت تعیین عیار عناصر مولبیدن و مس به آزمایشگاه ارسال شد.

**انواع گونه‌های مولبیدنیت در کانسار مس سرچشمه**

در نمونه‌های برداشت شده از جبهه کارهای مختلف معدن و نمونه‌های حفاری الماسی مولبیدنیت به ۵ فرم مختلف دیده می‌شود که عبارتند از : ۱- مولبیدنیت در رگه‌های کوارتز (شکل ۱)، ۲- مولبیدنیت در رگه‌های کوارتز که توسط رگه-پیریت پر شده‌اند (شکل ۲)، ۳- مولبیدنیت در رگه‌های کوارتز-کالکوپیریت- پیریت (شکل ۳)، ۴- رگه‌های مولبیدنیت با مقادیر بسیار پایین کوارتز که ظاهری شبیه به مولبیدنیت قشری یا سطحی دارند. این رگه‌ها به دلیل بالا بودن مقدار زیاد مولبیدنیت دارای سختی بسیار پایینی می‌باشند که بعد از تشکیل آنها در اثر استرس به آنها باعث شکستگی در رگه‌ها شده و روی سنگ میزان پایین کوارتز قشری یا سطحی دیده می‌شوند(شکل ۴)، ۵- مولبیدنیت انتشاری (شکل ۵)[۶].

در سنگهای قدیمی‌تر از جمله سنگهای آتش‌شانی همبر، استوک پورفیری سرچشم، پورفیری دانه‌ریز تأخیری نفوذ و آنها را قطع کرده و در برخی مناطق باعث شکستگی و جابه‌جا شدن قسمت‌هایی از استوک و همچنین قطع شدن کانه‌زایی گردیده است [۳].

طرح کلی دگرسانی کانسار سرچشم به صورت زیر است: دگرسانی پتابسیک در مرکز سیستم و دگرسانی بیوتیتی در سنگهای دیواره‌ای توسعه یافته است و هر دو توسط دگرسانی فیلیک متأثر شده‌اند. دگرسانی پروپیلیتیک به طرف خارج سیستم در سنگهای دیواره‌ای آندزیتی گسترش دارد. کانه‌زایی مس در کانسار سرچشم در منطقه درون‌زاد به صورت رگچه‌ای و انتشاری و کانه‌زایی مولبیدن عمدتاً به صورت رگچه‌ای رخ داده است. حداکثر عیار مس درون‌زاد به صورت یک حلقه در آندزیت‌های بیوتیتیک در فصل مشترک با استوک پورفیری سرچشم رخ داده و حداکثر عیار مولبیدن نیز در درون حلقه حاوی حداکثر عیار مس قرار دارد [۳، ۵].

### روش مطالعه

به منظور شناخت تأثیر انواع گونه‌های مولبیدنیت در چرخه بازیابی مس- مولبیدن انواع گونه‌های مولبیدنیت شناسایی شد؛ سپس در طی نمونه‌برداری از هر گونه سنگ معدن حاوی مولبیدنیت حدود ۲۰ کیلوگرم جمع آوری گردید. آماده سازی ۲۰ کیلوگرم از هر گونه مولبیدنیت با سنگ میزانهای مختلف از جبهه‌های استخراجی مربوط به معدن مس سرچشم شامل مراحل زیر می‌باشد:

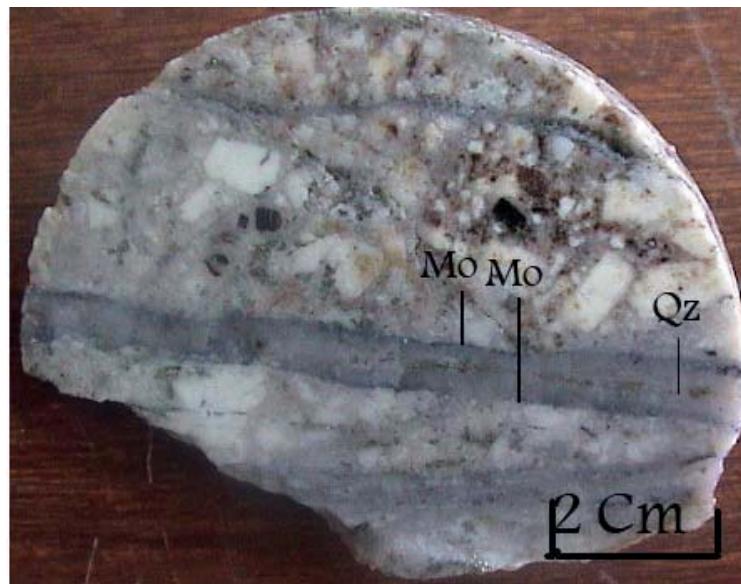
- الف - خردایش نمونه‌ها که توسط سنگ شکن انجام گرفت؛
- ب - سرند کردن نمونه‌ها به منظور رسیدن قطر نمونه‌ها به حد ۲ میلی‌متر (زیر الک ۱۰ مش)؛
- پ - تقسیم نمونه‌ها در اندازه‌های ۱۴۶۰ گرم.

به منظور به دست آوردن زمان لازم نمونه‌ها در آسیای گلوله‌ای برای دستیابی ۷۰ درصد نمونه‌ها به اندازه ۷۴ میکرون (زیر ۲۰۰ مش)، ۳ نمونه از میان نمونه‌های آماده شده از هر گونه مولبیدنیت انتخاب شد. نمونه‌ها درون آسیای گلوله‌ای آزمایشگاهی با ۵۰٪ جامد همراه با ۵ گرم آهک جهت رسیدن pH مورد نظر در زمانهای مختلف خردایش قرار گرفتند. با رسم منحنی زمان خردایش بر حسب درصد عبوری از سرند ۲۰۰ مش (۷۴ میکرون) زمان خردایش بدست آمد.

به منظور تعیین تأثیر خردایش در یازیابی مولیبدن برای نمونه‌هایی که دارای عیار پایین می‌باشند (سنگ معدنهایی که فاقد رگه مولیبدنیت بوده و دارای مولیبدنیت انتشاری می‌باشند) آزمون شناورسازی با خردایش ۸۰٪ ذرات زیر ۲۰۰ مش (۷۴ میکرون) انجام شد و نتایج در جدول ۲ خلاصه شده است. جهت بررسی علت راه یافتن مولیبدنیت به فاز باطله، از باطله گونه مولیبدنیت انتشاری با خردایش ۸۰٪ ذرات زیر ۲۰۰ مش مقطع صیقلی تهیه گردید. مطالعه کانی‌شناسی انجام گرفته نشان داد که دانه‌های مولیبدنیت راه یافته در فاز باطله، دارای اندازه ۷ تا ۱۵ میکرون و با درجه آزادی ۱۰۰ درصد می‌باشند. بنابراین می‌توان نتیجه گرفت که با خردایش ۸۰٪ ذرات زیر ۲۰۰ مش (۷۴ میکرون) دانه‌های مولیبدنیت انتشاری به درجه آزادی مطلوب می‌رسند اما از آنجا که سطوح قاعده ذرات مولیبدنیت آبران هستند و سطوح جانبی یا لبه‌های کریستال مولیبدنیت آب پذیرند، در اثر ریز بودن دانه‌های مولیبدنیت در سنگ معدن، درصد سطوح آب‌پذیر نسبت به آبران بیشتر بوده است، لذا مولیبدنیت به صورت یک کانی هیدروفیل رفتار کرده و در فاز باطله تجمع می‌یابد.

برای بررسی انواع گونه‌های مولیبدنیت در چرخه بازیابی، انواع سنگ معدن حاوی مولیبدنیت جمع‌آوری و آزمونهای خردایش برای دستیابی ۷۰ درصد نمونه‌ها به اندازه ۷۴ میکرون به صورت جدایانه انجام شد؛ سپس آزمون شناورسازی با شرایط معمول کارخانه تغذیه مس- مولیبدن بر روی هرگونه مولیبدنیت انجام گردید.

مطابق جدول ۱ میزان بازیابی مولیبدن برای گونه مولیبدنیت-کوارتز- کالکوپیریت-پیریت، رگه‌های مولیبدنیت با مقدار کوارتز بسیار پایین، رگه‌های کوارتز- مولیبدنیت و مولیبدنیت انتشاری در سنگ میزبان به ترتیب ۸۹/۳۳٪، ۹۱/۰۶٪ و ۹۴/۳۳٪ و ۶۱/۲۴٪ به دست آمد. با توجه به نتایج به دست آمده از آزمون شناورسازی بر روی انواع گونه‌های حاوی مولیبدنیت می‌توان چنین نتیجه گرفت که بین میزان بازیابی مولیبدن و عیار آن در خوراک سلولهای فلوتاسیون ارتباط مستقیمی وجود دارد. رگچه‌های دارای مولیبدنیت با عیار بالای مولیبدن در آنها به دلیل درشت بودن اندازه ذرات مولیبدنیت در صورت خردایش مناسب (۷۰٪ ذرات زیر ۲۰۰ مش یا ۷۴ میکرون) به آسانی از دانه‌های گانگ جدا شده و بازیابی مولیبدن در آنها به خوبی انجام می‌گیرد.



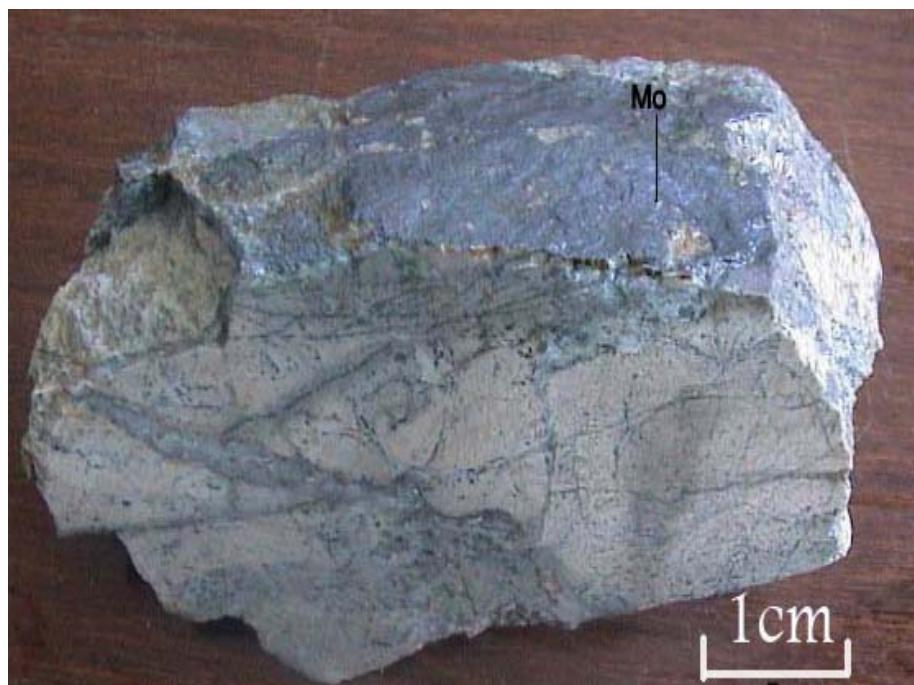
شکل ۱. تصویری از رگه کوارتز- مولیبدنیت مولیبدنیت. Mo: کوارتز Qz:



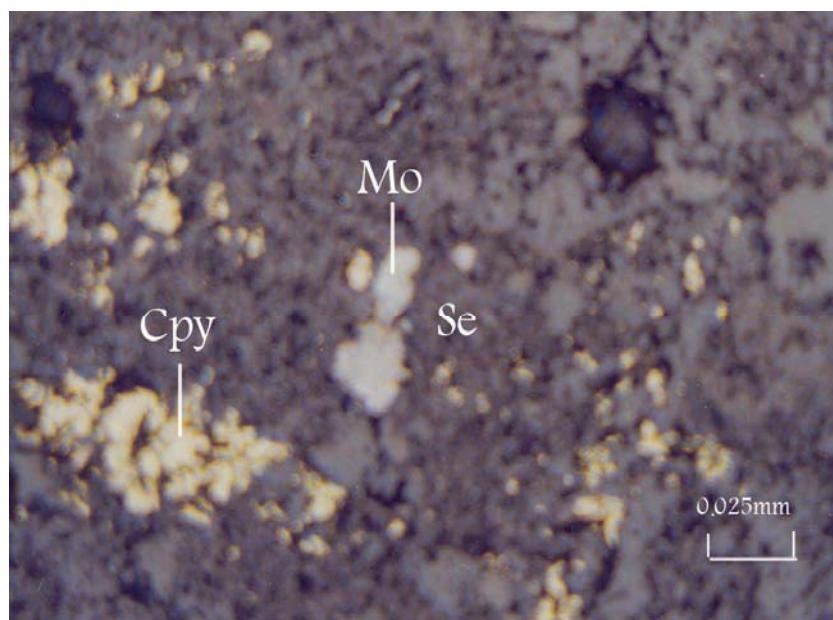
شکل ۲. تصویری از رگه پیریت که در مرکز رگه کوارتز- مولیبدنیت قرار گرفته است پیریت: Py مولیبدنیت: Mo.



شکل ۳. تصویری از رگه کوارتز- مولیبدنیت - کالکوپیریت.



شکل ۴. تصویری از رگه مولیبدنیت در سنگ آندزیتی با دگرسانی فیلیک.



شکل ۵. تصویری از مولیبدنیت انتشاری. مولیبدنیت: Mo کالکوپیریت: Cpy سرسیت: Se

جدول ۱. نتایج آزمون شناورسازی انواع گونه‌های حاوی مولیبدنیت با شرایط کارخانه تغليظ مس - مولیبدن (۱- رگه‌های کوارتز- پیریت- کالکوپیریت - مولیبدنیت؛ ۲- رگه‌های مولیبدنیت با مقادیر پایین کوارتز؛ ۳- رگه‌های کوارتز - مولیبدنیت و ۴- مولیبدنیت انتشاری در سنگ میزبان).

شماره تست	نمونه	٪			Feed Assay(Calculated)%			٪ بازیابی		معرفها(gr/t)				
		Cu	Mo	CuO	Cu	Mo	CuO	Cu	Mo	Z11	R407	Dow.F	MIBC	fuel
۱	خوارک	۱/۱۶	۰/۱۴۹	۰/۰۶۰	۱/۳۱	۰/۱۷۴	۰/۰۶۲	۹۲/۹۱	۸۹/۳۳	۱۸	۱۸	۱۵	۱۶	۱۰
	کنسانتره	۷/۹۱	۰/۰۱۱	۰/۲۴۰										
	باطله	۰/۱۱	۰/۰۲۲	۰/۰۳۰										
۲	خوارک	۰/۸۹	۰/۲۸۷	۰/۰۳	۰/۹۸	۰/۲۸۵	۰/۰۳۲	۹۱/۶۷	۹۱/۰۶	۱۸	۱۸	۱۵	۱۶	۱۰
	کنسانتره	۱۰/۱۵	۲/۹۲۳	۰/۱۶۰										
	باطله	۰/۰۹	۰/۰۲۸	۰/۰۲۰										
۳	خوارک	۱/۴۳	۰/۲۳۴	۰/۰۶۰	۱/۶۲	۰/۲۵۵	۰/۰۶۲	۹۶/۰۹	۹۴/۳۳	۱۸	۱۸	۱۵	۱۶	۱۰
	کنسانتره	۱۶/۵۵	۲/۲۶۱	۰/۴۷۰										
	باطله	۰/۰۷	۰/۰۱۶	۰/۰۲۰										
۴	خوارک	۰/۴۹	۰/۰۱۱		۰/۴۲	۰/۰۱۷		۷۸/۲۷	۶۱/۲۴	۱۸	۱۸	۱۵	۱۶	۱۰
	کنسانتره	۶/۰۰	۰/۱۹۰	۰/۰۸										
	باطله	۰/۱۰	۰/۰۰۷	TR										

جدول ۲. نتایج آزمون شناورسازی با خردایش ۸۰٪ ذرات زیر ۲۰۰ مش برای گونه مولیبدنیت انتشاری.

نوع گونه سنگ معدن	% Mo	% Cu	درصد بازیابی	
			% Mo	% Cu
مولیبدنیت انتشاری	۰/۰۱۷	۰/۴۲	۶۱/۸۴	۹۷/۳۵

## نتایج

رگچه‌های حاوی مولیبدنیت به دلیل بالا بودن عیار مولیبدن در آنها و درشت بودن اندازه مولیبدنیت، در صورت خردایش مناسب (۷۴ میکرون) به آسانی از دانه‌های گانگ (باطله) جدا شده و بازیابی مولیبدنیت در آنها به خوبی انجام می‌گیرد. آنچه باعث افت شدید در بازیابی مولیبدنیت در برخی روزها گردیده است، وجود مولیبدنیت‌های انتشاری است. این نوع مولیبدنیت‌ها به دلیل دانه ریز بودن در مرحله خردایش به درجه آزادی مطلوب نمی‌رسند و در صورت خردایش مناسب نیز در مراحل شناورسازی مانند یک کانی هیدروفیل رفتار می‌کنند و در فاز باطله تجمع می‌یابند.

## مراجع

- [1] Bazin D., Hubner H., Sjrpma A., “Geological investigation in Kerman Copper region”: Iran Geol. Survey. Internal rept (1968).
- [2] Etminan H. “Le Porphyry cuprifere de Sar

*Cheshmeh Role des phases fluids dans les mecanismes alteration et de mineralization”, Iran Geol. Survey (1977) 242p.*

[3] Shahabpour J., “Aspects of alteration and mineralization at the Sar Cheshmeh copper-molybdenum deposit. Kerman, Iran”: Unpub Ph.D. thesis. Leeds University (1982) 342p.

[4] Shahabpour J. Kramers J.D., “Lead isotope data from the Sar Cheshmeh porphyry copper deposit Kerman, Iran”. Mineralium Deposita 22 (1987) p. 278-281.

[5] Waterman G.C. Hamilton R., “The Sar Cheshmeh porphyry coppr deposit”. ECON. GEOL. V. 70 (1975) p. 568-576.

[6] امین‌زاده ب.، ”مطالعه کانی شناسی و ژئوشیمی سیالات درگیر در ارتباط با کانسارسازی مولیبден در معدن مس سرچشم و کاربرد آن در بازیابی موثر مولیبден”， پایان‌نامه کارشناسی ارشد زمین‌شناسی اقتصادی، دانشگاه شهید باهنر کرمان (۱۳۸۵) ۱۱۲ صفحه.





## بررسی ژئوشیمی دگرسانیهای گرمابی مرتبط با کانی‌سازی طلای اپی‌ترمالی در ناحیه مسجدداغی، شرق جلفا، شمال‌باخته ایران

علی‌امامعلی‌پور<sup>۱</sup>، حسین‌عبدلی‌اسلاملو<sup>۲</sup>، بهزاد‌ حاج‌علیلو<sup>۲</sup>

۱- گروه مهندسی معدن، دانشگاه ارومیه

۲- گروه زمین‌شناسی دانشگاه پیام‌نور، مرکز تبریز

دریافت مقاله: ۱۳۸۸/۹/۱۵، نسخه نهایی ۲/۳

### چکیده

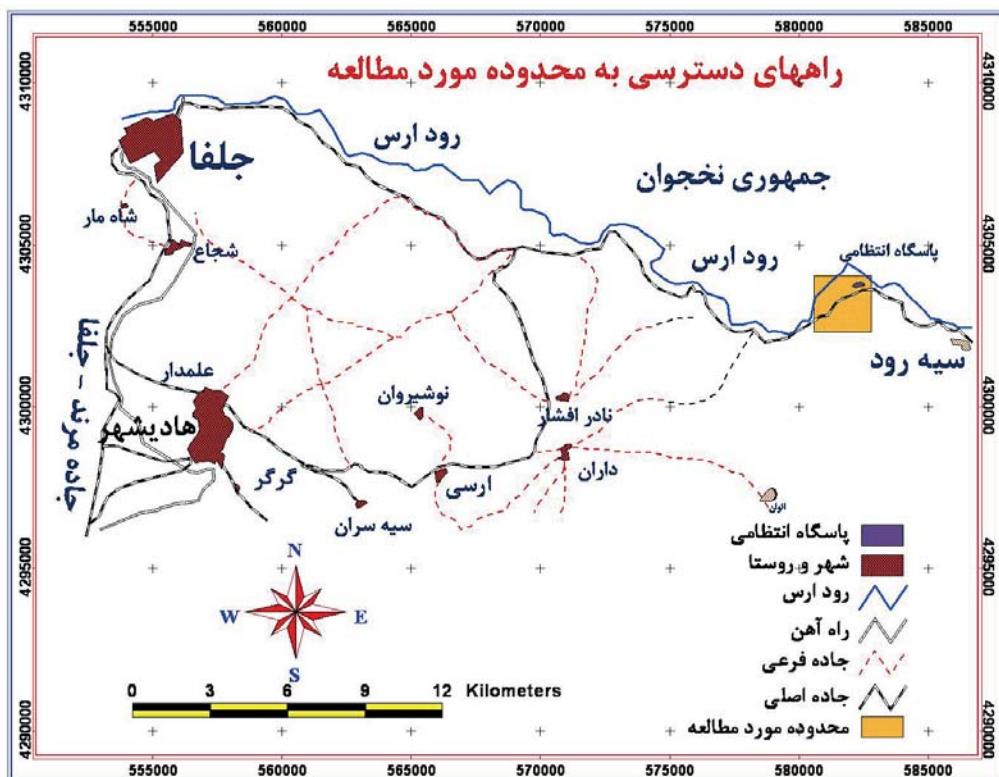
در ناحیه مسجدداغی، دو نوع کانی‌سازی مس پورفیری-طلای اپی‌ترمالی در پیوند با یک مجموعه آذرین آتش‌فشنانی-نفوذی حدوداً روی داده است. انواع دگرسانیهای سیلیسی، آرژیلیک پیشرفت، آرژیلیک حدوداً و پروپیلیتیک در ارتباط با کانی‌سازی اپی‌ترمالی شناخته شده‌اند که حالت منطقه‌ای دارند. بررسی تغییرات جرمی عناصر با استفاده از عنصر Zr به عنوان عنصر بی‌تحرک ناظر، گویای غنی‌شدگی  $\text{SiO}_2$  و تا حدودی  $\text{K}_2\text{O}$  و  $\text{Al}_2\text{O}_3$ ،  $\text{Na}_2\text{O}$ ،  $\text{MgO}$  و  $\text{CaO}$  در زون دگرسانی سیلیسی است. عناصر  $\text{Sr}$ ,  $\text{Pb}$ ,  $\text{SO}_3$ ,  $\text{Al}_2\text{O}_3$ ,  $\text{SiO}_2$ ,  $\text{K}_2\text{O}$  و  $\text{Cu}$  نیز دارای غنی‌شدگی هستند. زون دگرسانی آرژیلیک پیشرفت، در اکسیدهای اصلی  $\text{O}$ ,  $\text{As}$ ,  $\text{Rb}$ ,  $\text{Ba}$  و  $\text{Zn}$  غنی‌شدگی و در  $\text{MnO}$  و  $\text{Na}_2\text{O}$ ,  $\text{Fe}_2\text{O}_3$ ,  $\text{CaO}$  و  $\text{L.O.I}$  تهی‌شدگی نشان می‌دهند. در این زون  $\text{Sr}$ ,  $\text{Ba}$ ,  $\text{Cu}$  و  $\text{MgO}$  یافته‌اند. زون پروپیلیتیک از نظر اکسیدهای  $\text{CaO}$ ,  $\text{MgO}$ ,  $\text{SiO}_2$  و  $\text{L.O.I}$  غنی‌شدگی و در اکسیدهای  $\text{Na}_2\text{O}$  و  $\text{K}_2\text{O}$  تهی‌شدگی نشان می‌دهد. شواهد ژئوشیمیایی و کانی‌شناسی نشان می‌دهند که آب‌شویی گرمابی فلدسپارها و کانی‌های مافیک در سنگ اولیه، و تشکیل تجمعات کوارتز، کائولینیت، پیریت، باریت، آلونیت و سرسیت در زون آرژیلیک پیشرفت و تجمعات کلریت، اپیدوت و کلسیت در زون پروپیلیتیک، مسؤول ایجاد تغییرات شیمیایی یاد شده است. به نظر می‌رسد افزایش و کاهش عناصر توسط عواملی نظیر ترکیب شیمیایی محلولهای گرمابی، تغییرات دما و نسبت سنگ/آب کنترل شده است. شاخصهای دگرسانی CIA و MIA در سنگهای دگرسان، نشانگر بالا بودن شدت دگرسانیهای سیلیسی و آرژیلیک پیشرفت در مقایسه با زون پروپیلیتیک است.

واژه‌های کلیدی: ژئوشیمی، دگرسانی، اپی‌ترمال، تغییرات جرمی، مسجدداغی، جلفا.

ناحیه، بخشی از زون فلزی ارسباران (اهر) را تشکیل می‌دهد<sup>[۳]</sup>. زون فلزی ارسباران در شمال باخته کشور واقع شده و نواحی اهر، کلیبر، ورزقان و سیه رود را در بر می‌گیرد. این محدوده در سال ۱۳۷۹ شناسایی شد و از سال ۱۳۷۹ تا ۱۳۸۴ از سوی طرح اکتشاف سراسری وابسته به سازمان زمین‌شناسی و اکتشافات معدنی کشور تحت پوشش عملیات اکتشافی قرار گرفت. عملیات اکتشافی گسترده‌ای در سالهای اخیر توسط شرکت ملی صنایع مس ایران در این ناحیه برای اکتشاف مس پورفیری شروع شده و در حال حاضر نیز حفاری

<sup>۱</sup> مسؤول مکاتبات a.imamalipour@urmia.ac.ir

مقدمه  
منطقه کانه‌دار مسجدداغی مشتمل بر کانی‌سازی‌های مس پورفیری-طلای اپی‌ترمالی، در ۳۵ کیلومتری شرق جلفا (استان آذربایجان شرقی) به مختصات جغرافیایی "۰°۳'۵۷"، "۱۱°۳۸'۰۷" طول شرقی و "۴۴°۵۲'۴۵" عرض شمالی واقع است(شکل ۱). از نظر زمین‌شناسی ناحیه‌ای، منطقه مورد بررسی در شمال باخته واحد زمین‌ساختی البرز - آذربایجان (در تقسیم بندی [۱]) و پهنه ایران میانی (در تقسیم بندی [۲]) قرار گرفته است. این



شکل ۱. موقعیت جغرافیایی کانسار مس پورفیری- طلای اپی ترمالی مسجدداغی.

سنگهای آذرآواری وابسته به آنها تزریق شده است. یکسری دایکهای آندزیتی تأخیری نیز این مجموعه را قطع می‌کنند [۵] و [۶]. شکل ۲، واحدهای سنگی منطقه مسجدداغی را نشان می‌دهد.

کانی‌سازی و دگرسانیهای همراه آن در دو سیستم پورفیری (تیپ دیوریتی) و طلای اپی ترمالی در این سنگها روی داده است [۴]. کانی‌سازی اپی ترمالی حالت تأخیری داشته و به صورت رگه‌های کانه‌دار سنگهای آتشفسانی را با راستای تقریباً خاوری - باختری بریده‌اند [۴].

بر اساس بررسی ژئوشیمیایی، سنگهای منطقه در محدوده کالک آلکالن با پاتسیم متوسط تا بالا و بر اساس نمودار دو متغیره  $\text{Y}+\text{Nb}-\text{Rb}$  سنگهای منطقه در محدوده گرانیتوبئیدهای کمان آتشفسانی قرار می‌گیرند. محیط تکتونیکی سنگهای پاتسیک منطقه با استفاده از نمودارهای خاص سنگهای پاتسیک پیشنهادی، مرتبط با قوس می‌باشد [۵].

فرآیندهای دگرسانی معمولاً در ارتباط بسیار نزدیک با کانی‌سازی گرمابی و در واقع بخشی از آن هستند. مطالعه زونهای مختلف دگرسانی، از آن جا که بهترین نشانگر محل

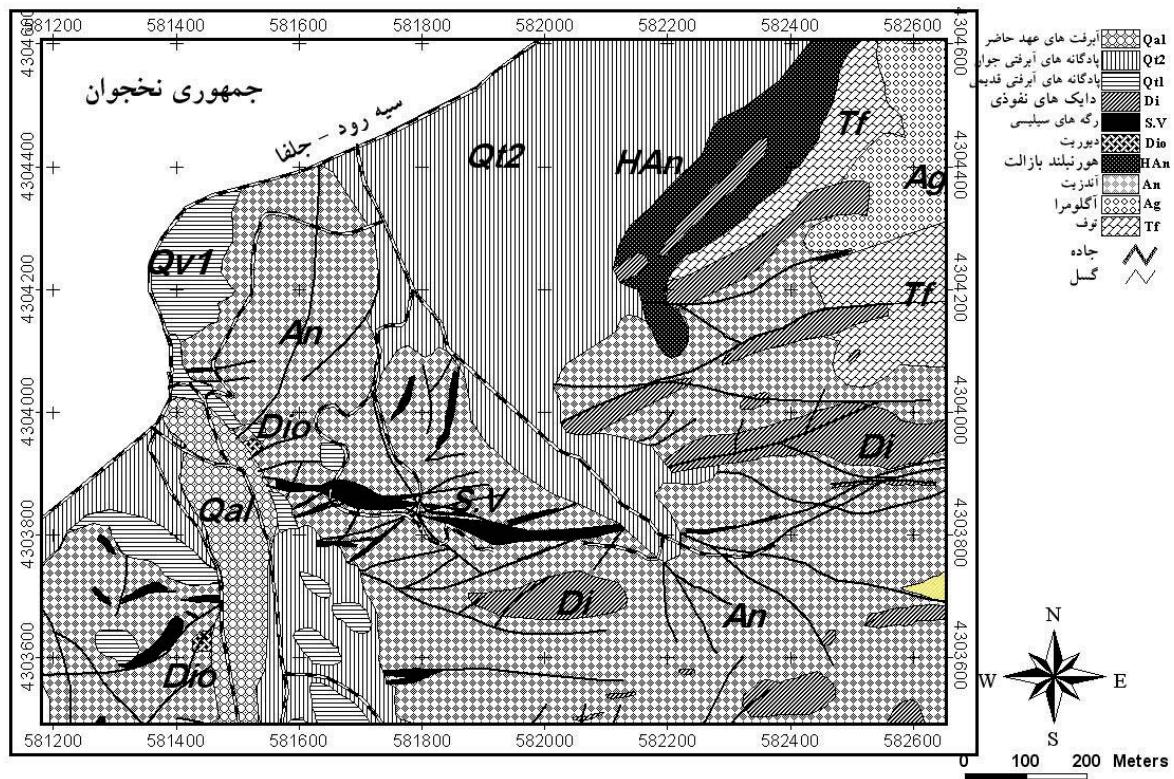
گمانه‌ها ادامه دارد. بر اساس اطلاعات حاصل از حفر ۱۲ ترانشه ۱۰ گمانه اکتشافی برای این رگه ذخیره‌ای حدود ۱/۲ تن با عیار میانگین ۲ گرم در تن محاسبه شده است و می‌تواند دارای ارزش معدن کاری باشد [۴].

از نظر زمین‌شناسی در منطقه مسجدداغی توالیهایی از سنگهای تخریبی (فیلیش) ائوسن به همراه سنگهای آذرین درونی و بیرونی ائوسن - الیگوسن دیده می‌شود. مهمترین رویداد پلوتونیکی ناحیه که غالب کانی‌سازیهای فلزی در ارتباط با آن می‌باشد، توده نفوذی قره‌داغ واقع در خاور منطقه کانه‌دار مسجد داغی است. با توجه به تنوع واحدهای آتشفسانی و نفوذی، نحوه استقرار و ارتباط آنها به نظر می‌رسد مجموعه مسجدداغی یک آتشفسان چینهای و یا آتشفسان مرکب قدیمی به سن ائوسن - الیگوسن است [۴]. روندهای عمده ساختمانی اعم از صفحه محوری چینهای یا امتداد گسلها در این ناحیه تقریباً شمال غرب - جنوب شرق هستند.

واحدهای سنگی این ناحیه به طور عمده شامل توده نفوذی که‌ژرفای با ترکیب سنگ‌شناسی دیوریت پورفیری است که به درون سنگهای آتشفسانی نوع آندزیتی - تراکی آندزیتی و

دگرسانیهای مرتبط با سیستم پورفیری ناحیه مسجدداغی پیش از این توسط برخی پژوهشگران مورد بررسی قرار گرفته است، در این پژوهش ژئوشیمی دگرسانی گرمابی مرتبط با کانی‌سازی اپیترمالی مورد توجه قرار می‌گیرد.

کانی‌سازی هستند، در انجام کارهای اکتشافی بسیار مهم و تأثیرگذارند. در زونهای دگرسانی که همراه با کانی‌سازی گرمابی هستند، غنی‌شدگی و فقیرشدگی عناصر نسبت به سنگ میزبان دگرسان نشده سنجیده می‌شود [۷].



شکل ۲. نقشه زمین شناسی محدوده کانه‌دار مسجدداغی، اقتباس [۴].

قرار گرفت. تعداد ۱۰ نمونه از زونهای مختلف دگرسانی سیلیسی، آرژیلیک پیشرفت، آرژیلیک حد واسط و پروپلیتیک، و نیز سنگهای سالم و دگرسان نشده (۲ نمونه) برداشت و به روش XRF برای اکسیدهای اصلی و برخی از عناصر کمیاب (آنالیز ۳۴ عنصری) تجزیه شیمیایی شدند. در این بررسیها، از نتایج تجزیه ۲۷ عنصر استفاده شده است (جدول ۱). در انتخاب سنگهای سالم، فاصله مکانی آنها نسبت به مناطق کانه‌دار و دگرسانی مورد توجه قرار گرفت و با مطالعه میکروسکوپی از دگرسان نبودن آنها اطمینان حاصل شد. خطای آزمایشگاهی در تجزیه شیمیایی نمونه‌ها (بر پایه تعداد ۳ نمونه کنترلی) برای اکسیدهای اصلی کمتر از ۵ درصد و برای عناصر کمیاب در دامنه ۸-۵ درصد به دست آمد.

#### روش مطالعه

در این پژوهش، با بهره گیری از دانسته‌های پیشین در مورد منطقه کانه‌دار مسجدداغی، به منظور بررسی ژئوشیمی دگرسانیهای مرتبط با کانی‌سازی، از مناطق دگرسانی مختلف نمونه‌برداری انجام گرفت. از آن جا که هدف از این بررسیها، پرداختن به دگرسانیهای مرتبط با کانی‌سازی اپیترمالی (رگه‌ای) بود، زونهای دگرسانی عمقی مرتبط با سیستم پورفیری که بر اساس گمانه‌های اکتشافی شناسایی شده‌اند، مورد توجه قرار گرفته است. ترکیب کانی‌شناختی سنگهای دگرسان به روشهای سنگنگاری میکروسکوپی (۲۵ نمونه) و پراش اشعه ایکس (XRD) (۱۵ نمونه) مورد بررسی

جدول ۱. نتایج تجزیه‌های شیمیایی نمونه‌های انتخابی از زونهای دگرسانی و سنگهای دگرسان نشده

Sample	TR6	TR7	TR28	TR5-6	TR5-4	V1	TR39	TR38-1	TR38-2	TR5-5	TR5-7
<i>Wt %</i>											
SiO <sub>2</sub>	95.20	68.6	57.24	57.50	66.44	69.28	58.33	58.71	58.24	61.07	62.12
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	0.84	19.53	27.32	15.68	13.25	14.85	14.38	14.08	13.25	15.52	15.24
Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	0.80	2.34	3.23	6.83	5.36	2.48	4.83	4.91	6.30	5.63	6.20
CaO	0.09	0.13	0.35	4.24	1.39	2.49	6.02	6.35	7.17	3.02	3.27
Na <sub>2</sub> O	0.06	0.05	1.19	3.32	3.63	3.47	2.98	1.66	2.65	4.75	4.32
K <sub>2</sub> O	0.09	3.18	1.90	1.97	1.45	2.35	1.43	3.68	1.77	2.47	2.86
MgO	0.05	0.89	3.18	4.85	1.76	1.53	5.15	4.05	4.50	2.79	2.45
TiO <sub>2</sub>	0.01	0.231	0.449	0.551	0.388	0.266	0.388	0.457	0.733	0.412	0.255
MnO	0.02	0.12	0.026	0.131	0.262	0.034	0.262	0.138	0.176	0.034	0.10
SO <sub>3</sub>	0.02	0.87	0.31	0.003	0.086	0.143	0.345	0.143	0.023	0.143	0.105
L.O.I	0.85	3.23	4.45	3.56	5.75	3.62	5.39	5.60	4.96	3.41	2.80
<i>ppm</i>											
Ba	10000	4448	144	1347	2212	1687	2212	2098	2714	1706	1095
Sr	957	1058	320	998	1150	865	1150	1014	2004	1090	998
Cu	421	79	160	7998	49	58	60	97	71	382	125
Zn	252	15	19	263	65	69	136	85	127	102	85
Pb	820	128	22	32	42	35	13	20	24	25	32
V	8.0	78	19	150	45	49	108	116	24	111	95
Ce	2.5	62	44	42	34	38	18	56	165	38	32
La	1.3	29	29	20	21	19	16	27	72	21	19
Nb	0.2	2	2	5	5	6	20	17	30	24	22
Zr	20	154	136	156	192	199	156	199	158	201	198
Y	0.5	27	25	21	19	23	18	24	24	20	18
Rb	3	131	73	59	85	97	45	90	85	71	65
Co	0.5	3	9	19	5	4	9	2	15	7	9
Ni	4	4	2	94	5	7	10	14	48	38	25
As	1	816	26	7	7	5	2	9	30	35	28
Total	97.80	99.73	99.69	99.63	100.11	100.67	99.67	100.09	100.24	100.78	99.98

گمانه‌ها قابل تطابق نیست. با فاصله گرفتن از مرکز کانی‌سازی پورفیری حجم برشها افزایش یافته و در واقع رگه‌های کانی‌سازی شده طلای اپی‌ترمال اغلب منطبق بر مناطق برشی شده می‌باشند<sup>[۴]</sup>. رگه‌های اپی‌ترمال با مقادیر بالای کانی‌سازی پورفیری As, Zn, Pb و Au مشخص می‌گردند که با مجموعه عناصر کانی‌سازی پورفیری Mo و Cu متفاوتند. در مناطق هم‌پوشانی دو سیستم عیار As و Au در زون پورفیری افزایش می‌یابد<sup>[۴]</sup>.

چهار نوع دگرسانی سیلیسی، آرژیلیک پیشرفته، آرژیلیک و سرسیتیک در گستره مسجدداغی قابل تشخیص است. افزون بر آن دگرسانی پتاسیک (نوع بیوتیت) در مغزه‌های حفاری شناسایی شده که با کانی‌سازی پورفیری عمقی در ارتباط است. دگرسانیهای منطقه متأثر از انواع مرتبط با کانی‌سازی پورفیری و دگرسانی تأخیری مربوط به کانی‌سازی اپی‌ترمالی هستند. اثرات روی هم افتادن (Overprinting) فاز دگرسانی تأخیری بر روی فاز دگرسانی پیشین به چشم می‌خورد. از میان دگرسانیهای یاد شده به نظر می‌رسد که انواع سیلیسی، آرژیلیک پیشرفته و آرژیلیک بیشترین ارتباط را با کانی‌سازی اپی‌ترمالی داشته باشند. دگرسانی همراه با کانی‌سازی اپی‌ترمالی طلداری منطقه‌بندی است و از مرکز (دگرسانی سیلیسی مرکزی) به سمت حاشیه با دور شدن از منبع حرارتی، دگرسانیهای آرژیلیک پیشرفته، آرژیلیک حدواسط و پروپلیتیک (کلربیتی) قراردارند. به نظر می‌رسد که دگرسانی پروپلیتیک که در گستره وسیعی سنگها را تحت تأثیر قرارداده است، با کانی‌سازی پورفیری مرتبط با استوک پورفیری واقع در عمق در ارتباط باشد.

زون دگرسانی سیلیسی از شاخص‌ترین دگرسانیهای منطقه است که به صورت رگه‌ها و رگه‌های فراوان در متن سنگ میزبان آندزیتی در ارتباط با کانی‌سازی محدوده مشخص می‌باشد. بافت‌های شاخص در این دگرسانی شامل پرشدگی فضاهای باز، برشی (نشان‌دهنده طبیعت انفجاری سیال هیدرоторمالی و احتمالاً به واسطه جوشش)، کوکاد (تاج خروسی)، موژاییکی و نواربندی پوسته‌ای (اثر رسوب-گذاری بی‌درپی کانیها از دیواره) و بافت حفره‌ای (Vuggy Silica) است که نشان‌دهنده شرایط تشکیل در دما و فشار نسبتاً پایین و شرایط جوشش است<sup>[۸] و [۹]</sup> (شکل ۳-ث و چ). این فرآیند، نتیجه آب‌شوبی بسیاری از اجزای سنگ از

### بحث و بررسی

#### ماهیت کانی‌سازی و انواع دگرسانیها

در منطقه مسجدداغی در بخش فوقانی سیستم پورفیری، ذخیره طلای اپی‌ترمال نوع سولفیداسیون بالا حضور دارد<sup>[۵]</sup>. این کانی‌سازی بیشترین گسترش سطحی را در میان کانی‌سازیها داشته و به صورت زونهایی از سنگهای سیلیسی شده، رگه‌های کوارتزی و استوکورکهای سیلیس با ضخامت و طولهای بسیار متنوع دیده می‌شود. تعداد ۴ رگه کانه‌دار در این محدوده مورد اکتشاف قرار گرفته است. طول بزرگترین رگه حدود ۷۰۰ متر و پهنای آن در برخی قسمتها به ۱۰ متر و حتی بیشتر می‌رسد، ولی ضخامت واقعی آن بر اساس حفاریهای اکتشافی ۵ متر به دست آمد است<sup>[۴]</sup> (شکل ۲). رگه‌های کانه‌دار به دلیل حضور رگه‌های کوارتزی و زونهای سیلیسی برجسته‌تر از سنگهای درون‌گیر دیده می‌شوند (شکل ۳-الف). ترکیب کانی‌شناسی این رگه‌ها عموماً کوارتز ± باریت با مقادیر بسیار اندکی سولفید (پیریت، کالکوپیریت، اسفالریت و گالن) است. کانی‌سازی به شدت تحت کنترل ساختارها و گسلها بوده و هم‌زمانی مکانی و زمانی را با دگرسانی سیلیس بازماندی نشان می‌دهد. طلا که در این تیپ کانی‌سازی با کوارتز حضور دارد عیاری تا ۵ ppm را نشان می‌دهد اما عیار میانگین رگه اصلی کانی‌سازی ۲ گرم در تن گزارش شده است<sup>[۴]</sup>. شواهد زیر، دال بر رخداد کانه‌زایی اپی‌ترمالی نوع سولفیداسیون بالا در این منطقه است<sup>[۵]</sup>:

- همراهی با سنگهای آتش‌شانی آندزیت و توده‌های نفوذی کم‌زرفای دیوریت پورفیری.

- حضور دگرسانیهای فراگیر سیلیسی، آرژیلیک پیشرفته درون‌زاد همراه با آلونیت.

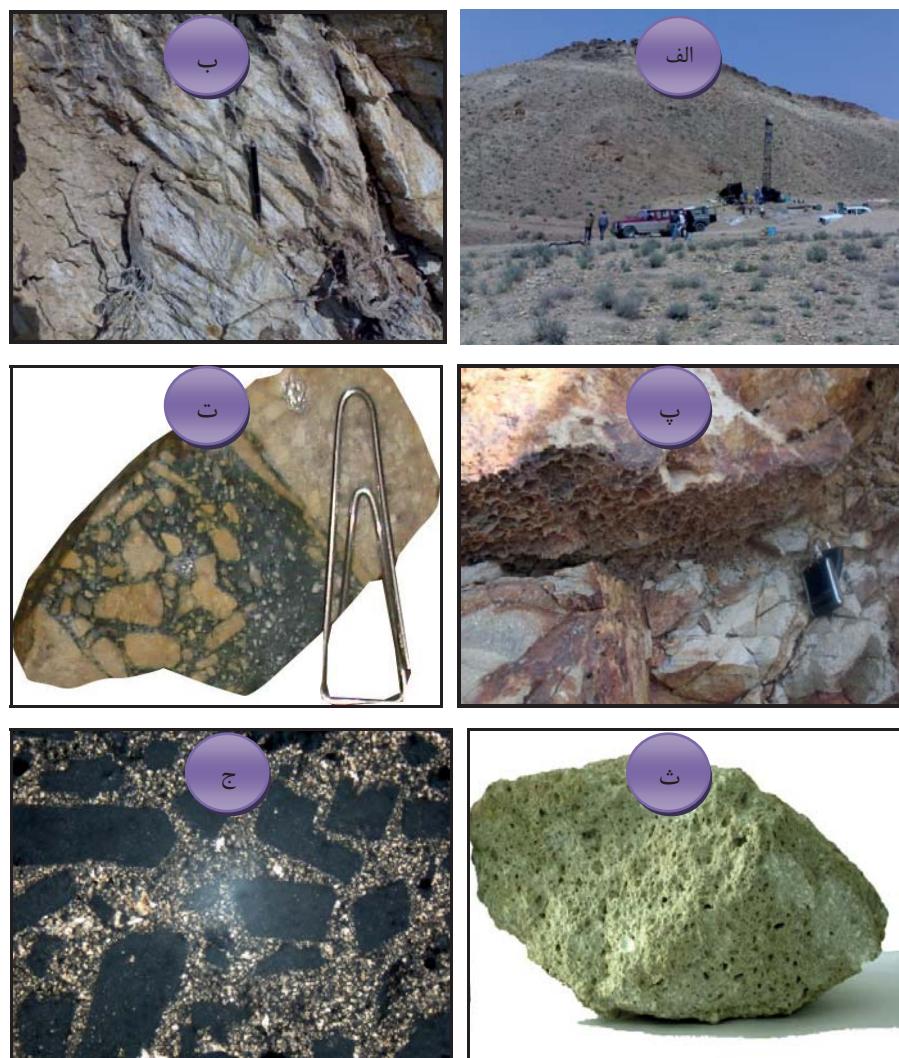
- حضور سیلیس با بافت‌های شاخص پرشدگی فضاهای خالی، رگه‌ای و حفره‌ای (شکلهای ۳-ث و چ).

- دمای به دست آمده از حرارت سنجی میانبارهای سیال نشان داده که دمای کانی‌سازی (رگه‌ای) بین ۲۴۰ تا ۲۸۰ درجه سانتی گراد، و شوری متوسط آن کمتر از ۱۰ درصد وزنی معادل کلرور سدیم بوده است<sup>[۵]</sup>.

- کانی‌سازی اپی‌ترمال در منطقه مسجدداغی طبیعتی بسیار انفجاری داشته و انواع مختلف برشها، برشهای فریتوماگماتیک و برشهای هیدرоторمال را ایجاد نموده است(شکل ۳-ت)، که نظم خاصی نداشته و اغلب در

به کانیهای رسی، مقادیر زیادی سیلیس در متن سنگ آزاد شده است. این زون در بیشتر قسمتها همراه اکسیدهای آهن مانند است. به همین لحاظ رخنمون این زون دگرسانی در بیشتر نواحی قرمز رنگ تا تیره است. در رخمنهای صحرائی، زون آژیلیک پیشرفته در مجاورت زون سیلیسی کانه‌دار و در ترانشهای موجود در محدوده قابل روئیت است (شکل ۳-پ)، اگرچه در بیشتر موارد، مرز بین این دو زون تدریجی بوده و قابل تشخیص یا نقشه‌برداری نیست.

جمله Al توسط سیال هیپوزن اسید هیدروکلریک- سولفوریک با pH بسیار پایین است. این آب‌شویی یک بازمانده سیلیسی بر جای می‌گذارد که کوارتز گاهی با بافت حفره‌ای (Vuggy) تبلور دوباره می‌یابد و همچنین می‌تواند دگرسانی آژیلیک پیشرفته را ایجاد کند [۱۰]. حضور رگه‌های سیلیسی و گاهی کوارتز با بافت حفره‌ای در منطقه می‌تواند تأییدی بر اسیدی بودن محلولها و  $\text{pH} > 2$  باشد. فازهای کریپتوکریستالین سیلیس نیز به فراوانی تشکیل شده‌اند. از سوی دیگر در طول این دگرسانی با تبدیل کانیهایی مثل پلازیوکلازها و فلدسپات‌ها



شکل ۳. رگه کانه‌دار اصلی با زون سیلیسی مرکزی و دگرسانیهای آژیلیک پیشرفته و آژیلیک پیرامون آن (الف)، استوکورک سیلیسی در زون آژیلیک پیشرفته (ب)، همبری بین زونهای سیلیسی و آژیلیک پیشرفته (پ)، برشهای گرمایی (فریتوماگماتیک) در زون سیلیسی حاوی طلا (ت)، سیلیس با بافت حفره‌ای در زون سیلیسی مرکزی، حاصل شست و شوی سنگ توسط محلولهای اسیدی (ث)، تصویر میکروسکوپی از سیلیس حفره ای، حفرات خالی ایجاد شده ناشی از تخریب پلازیوکلازها، و (نور پلاریزه، بزرگنمایی ۴۰ برابر).

آرژیلیک حجم بیشتری از منطقه دگرسانی را پیرامون زون سیلیسی مرکزی تشکیل می‌دهند، نمونه‌های مورد استفاده در این نمودارها به این دگرسانیها تعلق دارند. نمودار نسبت اندیس سرسیتی شدن به  $\text{CaO}$  (شکل ۷)، نشانگر افزایش  $\text{K}_2\text{O}$  در سنگهای دگرسان شده است، در مقابل مقادیر  $\text{CaO}$  در سنگهای غیر دگرسان (یا با دگرسانی اندک) بالاست. تخریب پلازیوکلازها در سنگهای دگرسان و تشکیل سرسیت و کانیهای رسی می‌تواند مسؤول تغییرات یاد شده باشد. فروشست شدید  $\text{CaO}$  در نمونه‌های دگرسان شده مشخص می‌باشد (مقادیر  $\text{CaO}$  پایین است). یک نمونه از سنگهای دگرسان حاوی مقدار بالایی از  $\text{CaO}$  است که احتمالاً به دلیل تشکیل کانی ثانوی کلسیت در آن است. در نمودار نسبت اندیس سرسیتی شدن در مقابل ( $\text{Na}_2\text{O} + \text{K}_2\text{O}$ ) (شکل ۶)، مقدار این اندیس بالاست که گویای افزایش نسبی  $\text{O}$  در برابر مجموع ( $\text{Na}_2\text{O} + \text{K}_2\text{O}$ ) است. این نکته همچنین می‌تواند بر فروشست شدید سدیم ( $\text{Na}_2\text{O} + \text{K}_2\text{O}$ ) دلالت کند. در نمونه‌های غیردگرسان مقدار ( $\text{Na}_2\text{O} + \text{K}_2\text{O}$ ) پایین نیست، از این رو کاهش مقدار سدیم در نمونه‌های دگرسان شده به دلیل فروشست آن است.

به منظور شناخت رفتار ژئوشیمیای عناصر و فرآیندهای ژئوشیمیایی در گیر در حین دگرسانیهای گرمابی مرتبط با کانی‌سازی طلا در این منطقه از روش بررسی تغییرات جرم عناصر استفاده گردید. روابط جرم بین سنگ مادر و محصولات دگرسانی از طریق افزایش یا کاهش عناصر تعیین می‌شود. تحرك عناصر نتیجه‌ای از شکسته شدن کانیهای معین با پیشرفت دگرسانی و تنهشینی آنها می‌باشد [۱۲]. در بازالتها و آندزیتها مقادیر قابل توجهی از عناصر کمیاب در ترکیب کانیهای اولیه (مانند پلازیوکلاز و پیروکسن) وارد می‌شوند. عناصر کمیابی که در ساختار این کانیها جای گرفته‌اند، می‌توانند توزیع دوباره یابند یا از سیستم خارج شوند. حفظ عناصر کمیاب در زون دگرسان به تشکیل و پایداری کانیهای ثانویه که می‌توانند میزان این عناصر باشند، بستگی دارد. کانیهای ثانویه مانند رسهای، زئولیت‌ها، فسفات‌ها و اکسی/هیدروکسیدهای آهن محصولات رایج دگرسانی کانیهای اولیه هستند و می‌توانند حاوی عناصر کمیاب به عنوان اجزای اصلی یا فرعی باشند [۱۳]. روش‌های مختلفی برای محاسبه تغییر جرم عناصر در سیستمهای دگرسان، توسعه یافته که از آن جمله می‌توان به روش فاکتور حجم [۱۴]، روش ایزوکون [۱۵] و

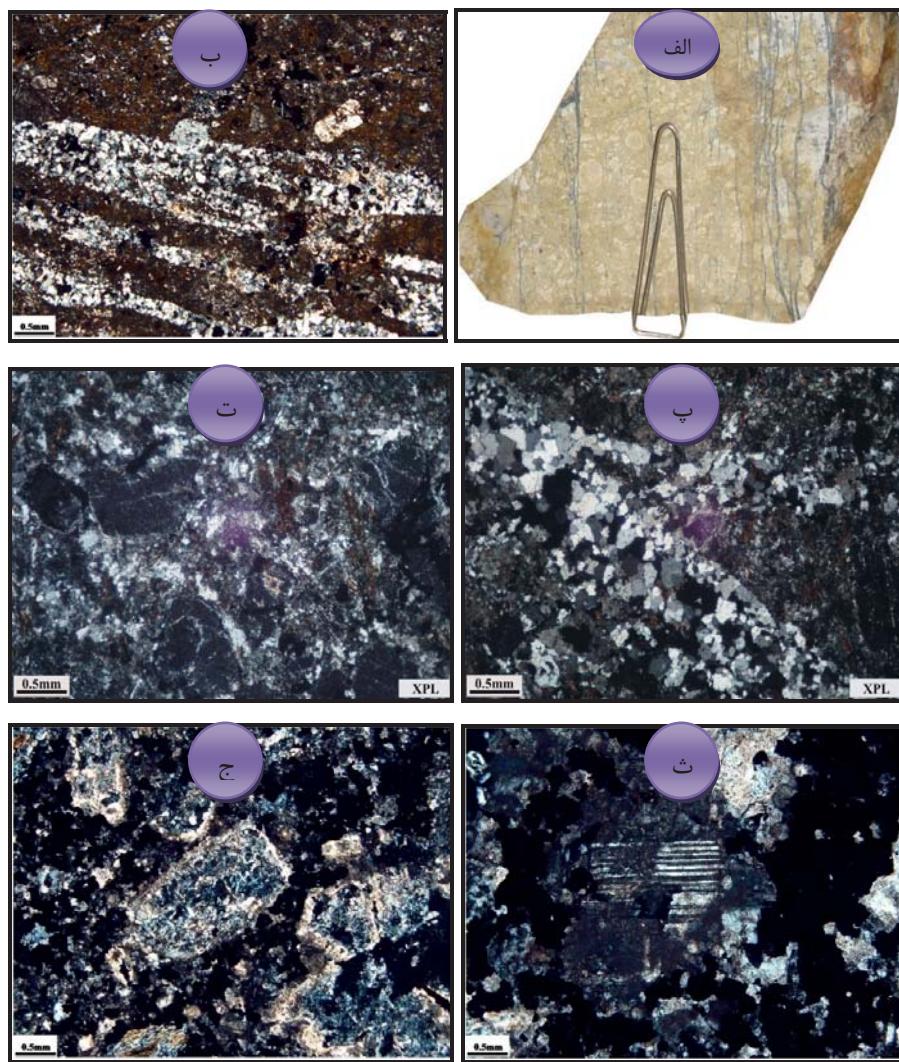
در زون آرژیلیک پیشرفته بیشتر پلازیوکلازهای سنگها به‌طور کامل تبدیل به کانیهای رسی (کائولینیت) شده‌اند (شکلهای ۴-الف و ب). مطالعات میکروسکپی و نتایج پراش پرتو ایکس کانی‌شناسی این زون را به صورت مجموعه کوارتز، کائولینیت، باریت، آلونیت، تورمالین، پیریت و کائولینیت مشخص می‌کند؛ افزون بر آن، کانیهای سرسیت، هماتیت، ژیپس و گوگرد نیز کم و بیش حضور دارند. تورمالین اغلب در برشهای همراه با کوارتز زمینه یا سیمان برشی حضور دارد. حضور این کانی می‌تواند بر نقش سیالات اسیدی غنی از مواد فرار در کانی‌سازی دلالت کند. شکل ۵، نمودار پراش پرتو ایکس مربوط به یکی از نمونه‌های برداشته شده از این زون را نشان می‌دهد. دگرسانی آرژیلیک حدواتسط با دور شدن از رگه اصلی (مرکز زون کانه‌دار)، قابل مشاهده است. تبدیل فلذسپارها به کانیهای رسی (مونت موریلیونیت و کائولینیت) فرآیند اصلی در این دگرسانی است، اگرچه کانیهای سرسیت، اپیدوت، کربناتها، کوارتز و پیریت نیز گاه تشکیل شده‌اند (شکلهای ۴-پ و ت). کانیهای اپک این زون شامل پیریت، گوتیت است. پیریت به صورت بلورهای شکل دار تا نیمه شکل دار ریز در متن سنگ پراکنده است. در بعضی قسمتها پیریت به گوتیت دگرسان شده است.

دگرسانی پروپلیتیک، خارجی ترین زون دگرسانی مرتبط با کانی‌سازی اپی‌ترمالی منطقه است، مرز این زون دگرسانی تدریجی و نامشخص است. پاراژنز کانیها شامل کلریت، اپیدوت و به مقدار کم سرسیت، رس و کانیهای سولفیدی است (شکلهای ۴-ث و ج). پلازیوکلازها به کلریت و به‌طور بخشی به کلریت، سرسیت، اپیدوت دگرسان شده‌است. سولفید غالب پیریت است که نسبت به سایر زونها از مقدار اندکی برخوردار است. به نظر می‌رسد که دگرسانی پروپلیتیک بیشتر با سیستم کانی‌سازی پورفیری عمقی در ارتباط باشد تا سیستم اپی‌ترمالی تأخیری.

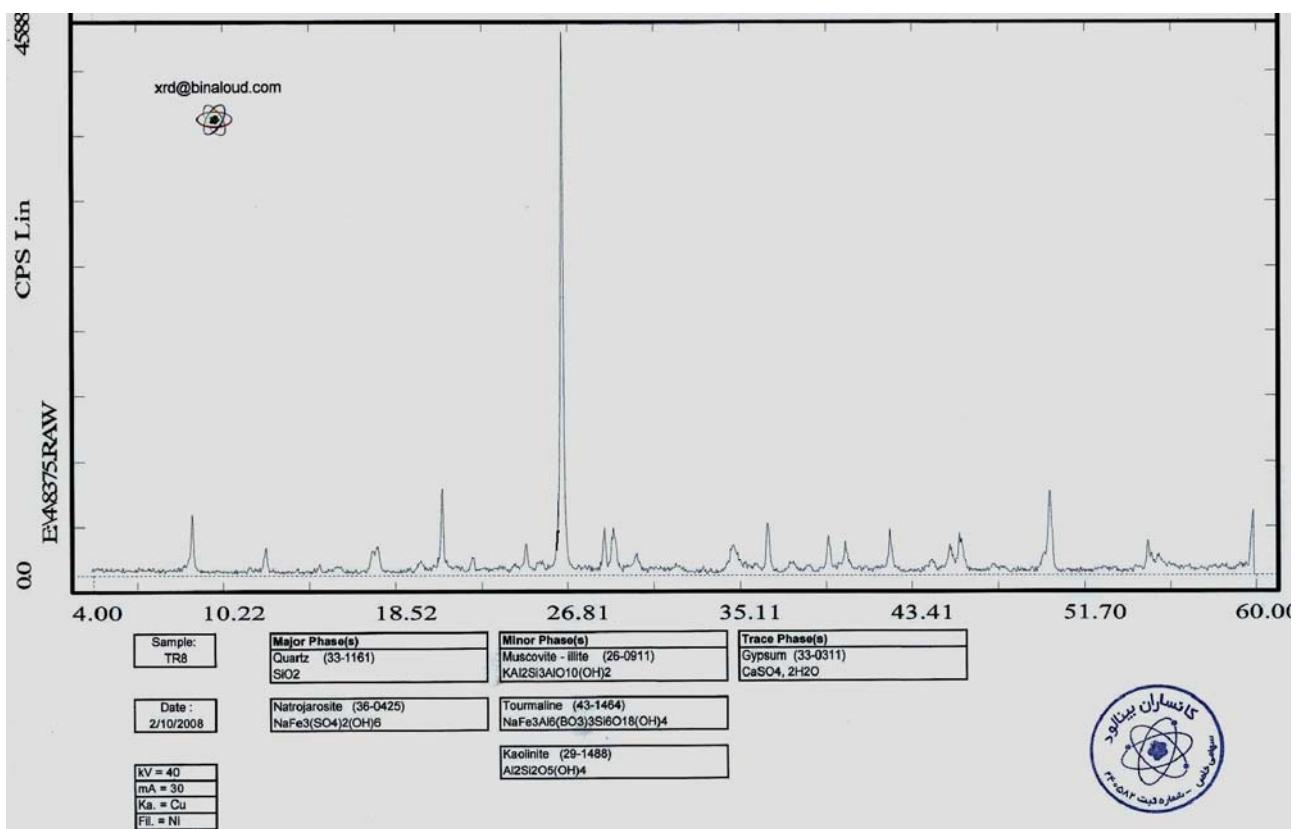
### ژئوشیمی دگرسانیهای گرمابی

برای تعیین قلمرو ژئوشیمیایی و جدایش سنگهای دگرسان از انواع دگرسان نشده (سنگهای سالم) یا کمتر دگرسان شده، از نمودار تغییرات عناصری مانند ( $\text{Na}_2\text{O} + \text{K}_2\text{O}$ ) و  $\text{CaO}$  در مقابل پارامتر ( $\text{K}_2\text{O} / \text{Na}_2\text{O} + \text{K}_2\text{O}$ ) که اصطلاحاً به اندیس سرسیتی معروف است [۱۱]، استفاده شده‌است (شکلهای ۶، ۷ و ۸). با توجه به این که دگرسانیهای آرژیلیک پیشرفته و

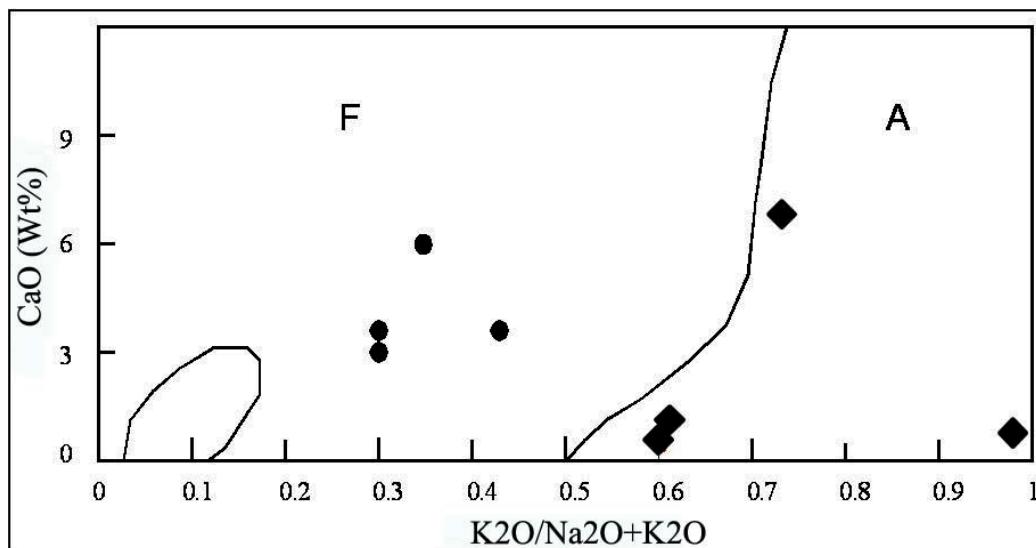
عنصری تحرک [۱۱]، [۱۶] و [۱۷] اشاره کرد. در این پژوهش از روش تغییرات جرم مک لین [۱۱] که بر اساس سه مؤلفه زیر بنا شده، استفاده شده است.



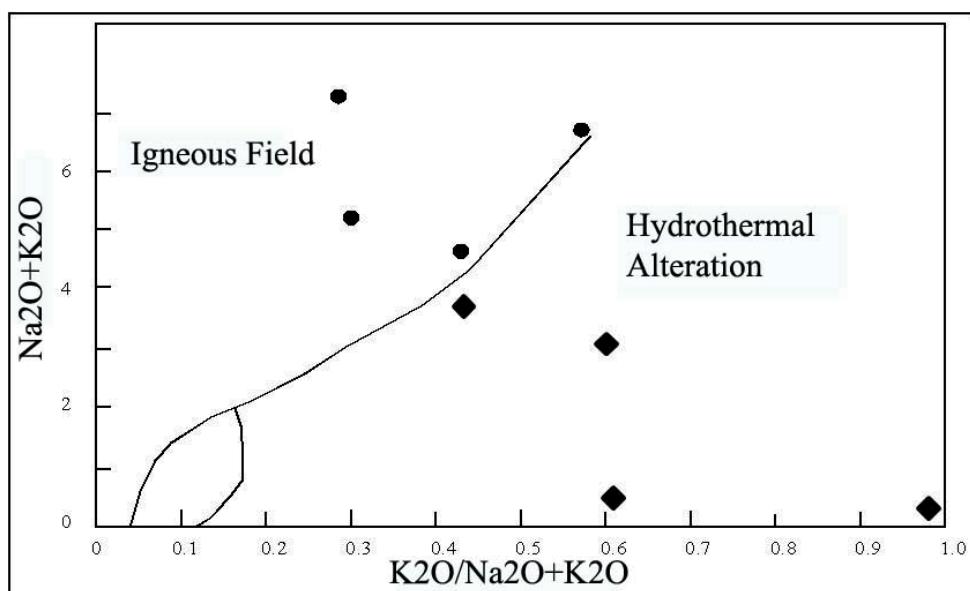
شکل ۴. دگرسانی آرژیلیک پیشرفته (جايگزيني كامل فنوکريستهای فلدسيپارها آنها توسط کانيهای رسی و رگه های سيليسی) (الف)، تصویر ميكروسكopicی شکل قبلی (جايگزيني رگه های سيليسی و کانيهای رسی در کانيهای اولیه سنگ) (ب)، تصاویر ميكروسكopicی از نمونه برداشت شده از دگرسانی آرژیلیک (جايگزيني فلدسيپارها توسط کانيهای رسی و رگه سيليسی) (پ و ت)، آليت ثانويه و همرشدی آن با اپيدوت و كلريت در زون دگرسانی پروپليتيك (ت)، دگرسانی پروپليتيك (كلريت نوع پنین، اپيدوت، کانيهای رسی، و مقدار قابل توجه کانيهای سولفيدي اغلب پيريت) (ج).



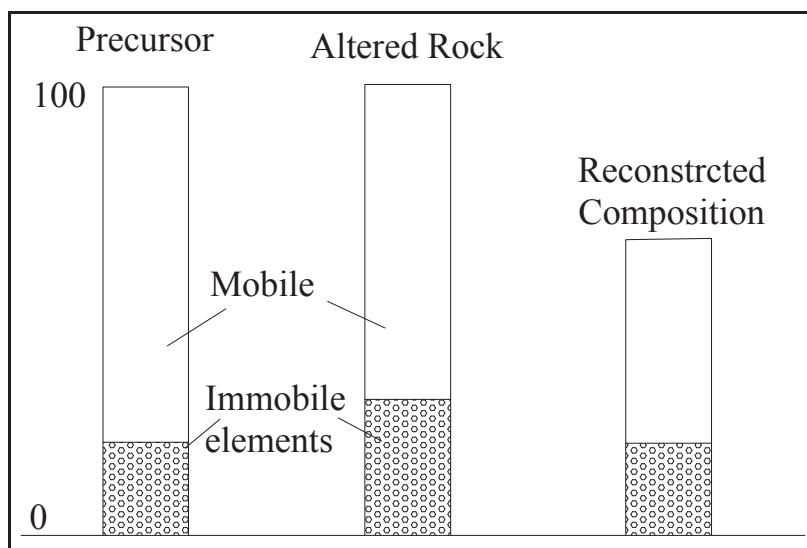
شکل ۵. نمودار پراش پرتو ایکس مربوط به یک نمونه برداشته شده از زون دگرسانی آرژیلیک پیشرفت.



شکل ۶. نمودار نسبت اندیس سرسیتی شدن در مقابل (CaO) در نمونههای مربوط به زون آرژیلیک (مربع در محدوده A) و غیردگرسان (دوایر مشکی در محدوده F) محدوده مورد مطالعه، نمودار از [۱۱].



شکل ۷. نمودار نسبت اندیس سرسیستی شدن در مقابل  $Na_2O+K_2O$ ، در نمونه‌های مربوط به زون آرژیلیک (مربع) و غیردگرسان (دوایر مشکی) محدوده مورد مطالعه، نمودار از [۱۱].



شکل ۸. ارتباط بین ترکیب بازسازی شده، ترکیب سنگ مادر و سنگ دگرسان [۴].

- عنصری که در سنگ میزبان آندزیتی فراوانی عنصر Zr داشته باشد (Zr Andesite) و عنصری که در زونهای دگرسانی Zr Alteration Zone فراوانی نداشته باشد (Zr Alteration Zone).

۳- ترکیب بازسازی شده (Reconstructed Composition): این مؤلفه منعکس کننده جرم واقعی از سنگ دگرسان شده است که از عناصر متحرک غنی یا تهی می‌شود و با استفاده از معادله زیر محاسبه می‌شود. مفهوم ترکیب بازسازی شده در شکل ۸ نشان داده شده است. ترکیب بازسازی شده سنگ دگرسان از طریق تغییر جرم عناصر بی‌تحرک در سنگ دگرسان نسبت به سنگ مادر محاسبه می‌شود:

۱- عنصر بی‌تحرک شاخص: عناصری مانند Al و Zr, Nb, Ti در طول فرآیندهای دگرسانی کم تحرکند [۱۱] و [۱۶]. در این پژوهش، از عنصر Zr به عنوان عنصر ناظر بی‌تحرک بر اساس فراوانی و رفتار یکسان در طول دگرسانی استفاده شده است.

۲- عامل غنی‌شدن (Enrichment Factor): عامل غنی‌شدن یا عوامل غنی‌شدنی بر اساس مقادیر Zr در نمونه مربوط به سنگ میزبان آندزیتی- تراکی آندزیتی و زونهای مختلف دگرسان با استفاده از معادله زیر محاسبه می‌شود:

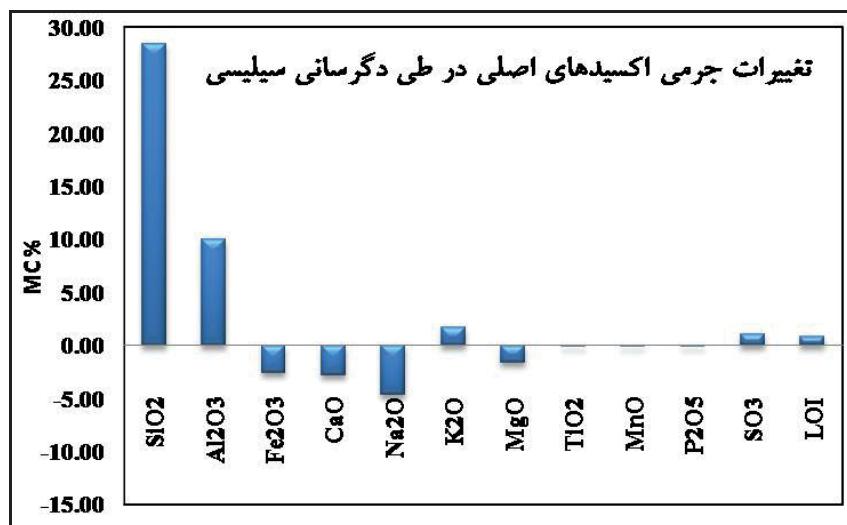
$$E.F. = \frac{Zr \text{ Andesite}}{Zr \text{ Alteration Zone}}$$

Rb, Cu و Sr دارای غنی‌شدگی هستند، بهویژه باریم که افزایش چشم‌گیری را در نشان می‌دهد (شکل ۱۰). این غنی‌شدگی با تشکیل باریت در رگه‌های سیلیسی محدوده همخوانی دارد. بررسی تغییرات عناصر جزیی Ni, Co, Cr و Zn بیانگر تهی‌شدگی عناصر این گروه و نیز آب‌شویی مس در زون سیلیسی است. عنصر As نیز دارای روند افزایشی است. غنی‌شدگی این عنصر می‌تواند با فرآیند کانی‌سازی طلا همراه باشد. اگرچه به دلیل در اختیار نبودن مقدار عنصر طلا در سنگ دگرسان نشده اولیه، تغییرات جرمی آن در زون سیلیسی در شکل ۹ ارائه نشده است، بررسی توزیع عنصر این در زونهای دگرسانی نشان می‌دهد که این عنصر بیشترین تمرکز را در زون سیلیسی دارد و میانگین عیار آن به ۲ گرم در تن می‌رسد [۴].

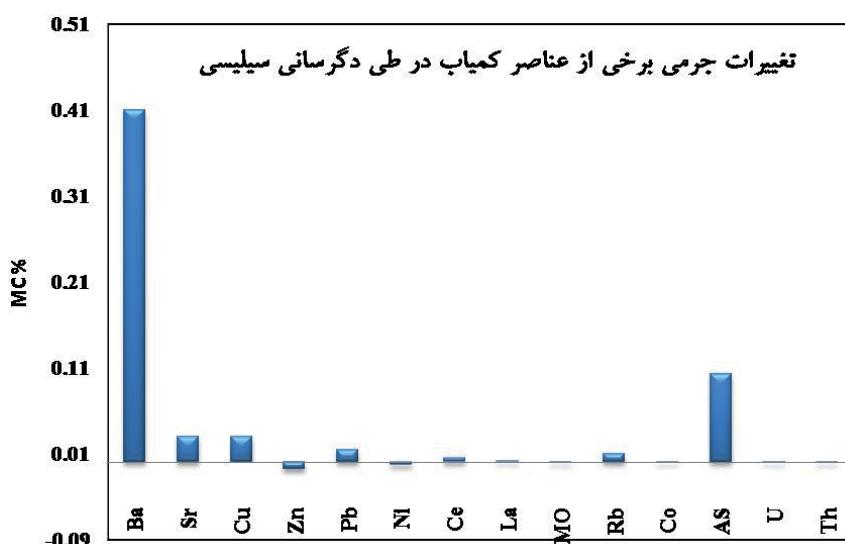
می‌شود. به عبارت دیگر کاهش عناصر متحرک در سنگ دگرسان، افزایش عناصر بی‌تحرک را باعث می‌شود.  
 $R.C = E.F. \times$   
 با بهدست آوردن مؤلفه‌های بالا، تغییرات جرم اکسیدها و عناصر محاسبه شده است.

$$M.C = R.C.$$

فراآنی عنصر در سنگ مادر آندزیتی در زون دگرسانی سیلیسی، سنگ اولیه متحمل آب‌شویی کامل به وسیله سیالات فوق العاده اسیدی با  $pH < 3$  می‌شود [۱۸]. این سیالات، در طی دگرسانی سنگ بازماندی متخلخل با حدود ۹۵-۹۰ درصد  $SiO_4$  تولید می‌کنند. تغییرات جرمی عناصر اصلی و فرعی در این زون، غنی‌شدگی  $SiO_4$  و تهی‌شدگی سایر اکسیدهای  $Na_2O$ ،  $CaO$  و  $MgO$  را نشان می‌دهد (شکل ۹). عناصر فلزی  $Ba$ ،



شکل ۹. تغییرات جرم اکسیدهای اصلی در زون دگرسانی سیلیسی نسبت به سنگ اولیه



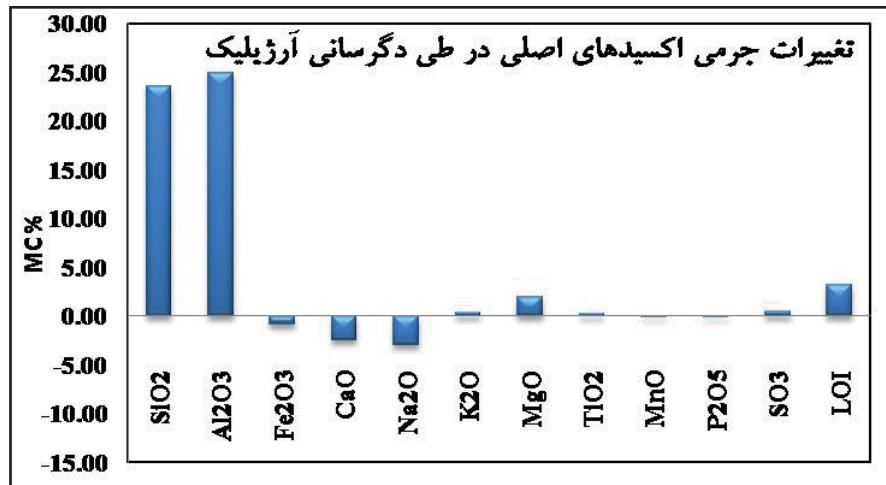
شکل ۱۰. تغییرات جرم برخی عناصر کمیاب در زون دگرسانی سیلیسی نسبت به سنگ اولیه

در میان عناصر کمیاب و نیز عناصر فلزی، عناصر Cu, Sr و Ba و نیز Zn دارای تهی شدگی هستند(شکل ۱۲). تهی شدگی مس و روی در محیط‌های دگرسانی به آب‌شویی کانیهای سولفیدی اولیه نسبت داده شده است [۲۰]. کاهش جرم این عناصر همچنین می‌تواند به واسطه دگرسانی کانیهای آمفیبول و بیوتیت که به طور جزیی حامل آنها هستند، شدت یابد. فروشست فلدسپارها (که معمولاً حامل کلسیم، باریم و استرانسیوم هستند) توسط سیالات اسیدی، احتمالاً سبب کاهش این عناصر در زون آرژیلیک پیشرفته شده است. به دلیل شباهت شعاع یونی Ca با Sr، این عنصر می‌تواند در ساختار کانیهای کلسیم‌دار مانند پلاژیوکلازها جای‌گرفته باشد. افزایش جزئی Rb در ارتباط با افزایش جزئی K<sub>2</sub>O می‌باشد. عناصر Pb, Ni, Ce, La, Mo, Co, As, U, Th خود نشان می‌دهند.

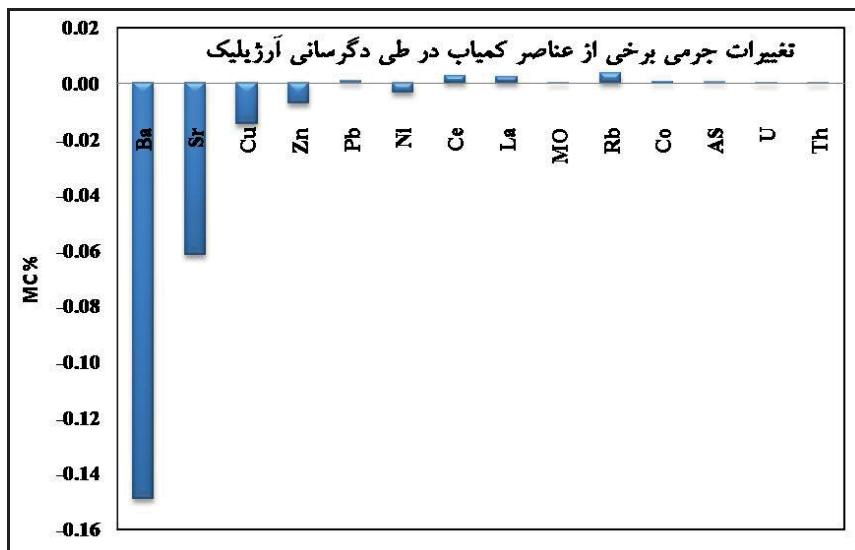
تغییرات عنصری در زون دگرسانی آرژیلیک (پیشرفت) شامل SiO<sub>4</sub>, L.O.I., SO<sub>3</sub>, Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>, MgO و تهی شدگی در اکسیدهای CaO, Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub> و MnO Na<sub>2</sub>O و Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> SiO<sub>4</sub> می‌باشد. بیشترین افزایش را نشان می‌دهند که دلیل آن تشکیل سیلیس (فازهای مختلف)،

کائولینیت و سرسیت در این زون است(شکل ۱۱). تهی شدگی عناصر Ca و Na می‌تواند در ارتباط با دگرسانی پلاژیوکلاز، بیوتیت و آمفیبول صورت گرفته باشد. غنی شدگی به واسطه افزایش سیلیس ناشی از آب‌شویی سایر تشکیل‌دهنده‌ها و نیز افزایش سیلیس به صورت رگه‌های کوارتزی است.

غنی شدگی LOI در این زون نیز می‌تواند به دلیل تشکیل کانیهای ثانویه آب‌دار بهویژه کانیهای رسی باشد. کاهش جرم می‌تواند به واسطه شرایط احیایی محلی بوده باشد که اجزاء Fe مهاجرت Fe<sup>2+</sup> را همراه با سایر عناصر حساس به شرایط اکسایش-کاهش به خارج از سیستم داده است [۱۹].



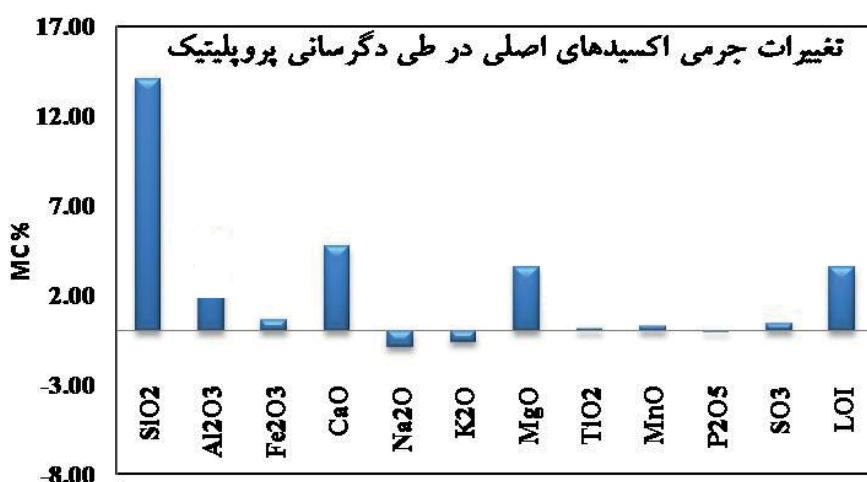
شکل ۱۱. تغییرات جرم اکسیدهای اصلی در زون دگرسانی آرژیلیک پیشرفتہ نسبت به سنگ اولیه.



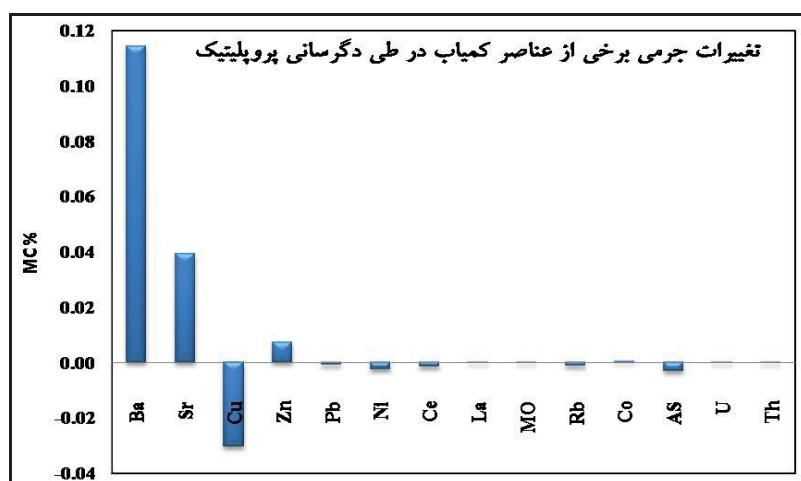
شکل ۱۲. تغییرات جرم برخی از عناصر کمیاب در زون دگرسانی آرژیلیک پیشرفتہ نسبت به سنگ اولیه.

اپیدوت باشد. همچنین بخشی از غنی شدگی CaO می‌تواند به واسطه تهنشینی کلسیت باشد [۱۹]. در میان عناصر جزئی، عناصر Ba و Sr ، و تا حدودی Zn دارای غنی شدگی و عناصر Cu و Th, U, As, Co, Rb, Mo, La, Co, Ni, Pb دارای تهی شدگی هستند (شکل ۱۴).

نمودار تغییرات جرمی عناصر در زون دگرسانی پروپلیتیک نشانگر غنی شدگی در اکسیدهای Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> , SiO<sub>4</sub> , Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub> و MgO ، CaO, K<sub>2</sub>O و Na<sub>2</sub>O و Tehee شدگی در اکسیدهای Na<sub>2</sub>O و K<sub>2</sub>O است(شکل ۱۳). کاهش Na<sub>2</sub>O و K<sub>2</sub>O می‌تواند به دلیل دگرسانی کانیهایی مانند بیوتیت و فلدوپارها باشد. غنی شدگی واسطه تشکیل کانیهای آلومینوسیلیکاته از جمله کلریت و



شکل ۱۳. تغییرات جرم اکسیدهای اصلی در زون دگرسانی پروپلیتیک نسبت به سنگ اولیه.



شکل ۱۴. تغییرات جرم برخی از عناصر کمیاب در زون دگرسانی پروپلیتیک نسبت به سنگ اولیه.

فرآیند دگرسانی، تخریب فلزسپارها و تشکیل کانیهای رسی (به ویژه کائولینیت) است. کمترین مقدار CIA مربوط به زون پروپلیتیک است. برای ارزیابی شدت دگرسانی (تخریب) کانیهای تشکیل‌دهنده سنگ میزبان منطقه، همچنین از روش محاسبه شاخص دگرسانی کانی‌شناختی MIA (Mineralogical Index of Alteration) (ارائه شده توسط [۲۳] استفاده شد(جدول ۲).

MIA =  $2 \times (CIA - 50)$  بر اساس مقدار MIA شدت هوازدگی (یا دگرسانی) را به ۴ دسته کلی به شرح زیر تقسیم شده است [۲۳]: (الف) نمونه سالم بدون تأثیر هوازدگی (۰٪)، (ب) شدت هوازدگی ضعیف (۲۰-۴۰٪)، (پ) شدت هوازدگی متوسط (۶۰-۸۰٪)، (ج) شدت هوازدگی شدید تا بسیار شدید (۸۰-۱۰۰٪).

شاخص شیمیایی و کانی‌شناختی دگرسانی شدت دگرسانی از طریق محاسبه شاخص شیمیایی دگرسانی (CIA) با استفاده از نسبتهای مولکولی محاسبه می‌شود [۲۱ و ۲۲]. محاسبه CIA اندازه گیری نسبت  $Al_2O_3$  در مقابل اکسیدهای ناپایدار شیمیایی ( $Na_2O + K_2O + CaO$ ) می‌باشد.

$CIA = Al_2O_3 / (Al_2O_3 + Na_2O + K_2O + CaO)$  به طور کلی فرآیندهای دگرسانی و هوازدگی به خارج نمودن عناصر قابل حل و افزایش مقدار CIA منجر می‌شود. با افزایش CIA مقدار  $Al_2O_3$  افزایش  $Na_2O + K_2O + CaO$  کاهش می‌یابد. در دگرسانیهای مورد مطالعه، مقدار CIA در محدوده ۶۰/۷۰ تا ۸۸/۸۲ تغییر می‌کند(جدول ۲). بالاترین مقدار CIA مربوط به زون آرژیلیک پیشرفت‌ه است که غالباً به دلیل شدت

نشانگر شدت دگرسانی شدید تا بسیار شدید در این زونهاست. زون پروپلیتیک از این نظر، شدت دگرسانی ضعیفی را نشان می‌دهد.

مقدار MIA برابر ۱۰۰ درصد، نشان‌دهنده تبدیل کامل کانیهای اولیه به کانیهای ثانویه است. بیشترین مقدار MIA به زونهای دگرسانی سیلیسی و آرژیلیک پیشرفتہ تعلق دارند که

جدول ۲. مقادیر CIA و MIA در زونهای دگرسانی منطقه.

	Silica Alteration	Advanced argillic Alt.	Propylitic Alt.
CIA	۵۸/۳۲-۷۷/۷۸	۸۸/۸۲	۶۰/۷۰
MIA	۷۰/۶۴-۵۵/۵۶	۷۷/۶۳	۲۱/۴۰

رگه-رگچه‌های سیلیسی تأخیری است. در زون پروپلیتیک، عناصر منیزیم، کلسیم، مواد فرار (آب) و تا حدودی سیلیسیم افزایش، و عناصر سدیم و پتاسیم کاهش یافته‌اند. شواهد ژئوشیمیایی و کانی‌شناسی نشان می‌دهند که آب‌شویی گرمابی کانیهای اولیه سنگهای مسیر محلولهای گرمابی، و تشکیل تجمعات کوارتز، کائولینیت، باریت، پیریت، آلونیت، ژیپس و سرسیت در زون آرژیلیک پیشرفتہ و تجمعات کلریت، اپیدوت و کلسیت در زون پروپلیتیک مسؤول ایجاد تغییرات شیمیایی یاد شده‌است. با دور شدن از مرکز سیستم کانی‌سازی ماهیت دگرسانی تغییر می‌کند. به اعتقاد [۲۴]، عوامل مختلفی همچون دما، فشار، ترکیب سنگ اولیه، ترکیب شیمیایی اولیه محلول گرمابی و نسبت  $w/w$ ، ماهیت و مقدار کانیها را در تجمعات دگرسانی مشخص می‌کنند.

بررسی شاخص شیمیایی دگرسانی (CIA) و شاخص کانی‌شناختی دگرسانی (MIA) در زونهای دگرسانی گویای شدت فرآیندهای دگرسانی در زونهای سیلیسی و آرژیلیک پیشرفتہ است. آب‌شویی شدید کانیهای اولیه همچون فلدسپار، آمفیبول، بیوتیت و سولفیدها توسط محلولهای با pH پایین و تشکیل فازهای مختلف سیلیس، کائولینیت و سرسیت در این زونها در حین فرآیندهای کانی‌سازی و دگرسانی سبب پیدایش چنین تغییراتی شده است. بررسی ژئوشیمیایی تغییرات جرم عناصر در زونهای دگرسانی همراه با بررسی کانی‌شناسی می‌تواند در شناخت ماهیت محلولهای گرمابی و شرایط کانی‌سازی مفید واقع شود. افزون بر آن، توسعه روشهایی برای شناخت زونهای دگرسانی می‌تواند راهنمای ارزشمندی در شناسایی مناطق کانه‌دار و طراحی برنامه‌های اکتشافی باشد.

برداشت  
منطقه مسجدداغی سیستمهای کانی‌سازی جالب توجهی از مس پورفیری (نوع دیوریتی) و طلای اپیترمالی را به نمایش می‌گذارد. کانی‌سازی طلای اپیترمالی حالت تأخیری داشته و به فرم رگهای سنگهای آتش‌فرشانی با ترکیب آندزیتی- تراکی آندزیتی میزبان را قطع می‌کند. این کانی‌سازی با فرآیند دگرسانی وسیعی همراه است، به طوری که سبب پیدایش زونهای مختلف دگرسانی با حالت منطقه‌ای شده است. زون مرکزی سیلیسی شامل منطقه‌ای به شدت برخی است که بیشترین تمرکز طلا را با خود به همراه دارد. این زون عمدتاً از کوارتز (به همراه کالسدوئن)، باریت و سولفید تشکیل می‌یابد. به سمت حاشیه زون آرژیلیک پیشرفتہ با فراوانی کانیهای کائولینیت، سرسیت، آلونیت به همراه تورمالین و کوارتز جای دارد. زونهای آرژیلیک حدواتسط و پروپلیتیک(کلریتی) در فاصله دورتری از مرکز سیستم واقع هستند.

شرایط تشکیل و ترکیب کانی‌شناختی هر کدام از این دگرسانیهای با دیگری متفاوت است. تغییرات جرمی عناصر در سنگهای دگرسان نسبت به سنگهای نادگرسان انکاسی از تغییرات کانی‌شناسی دگرسانی است. از نظر ژئوشیمیایی زون دگرسانی سیلیسی با غنی شدگی سیلیسیم و تا حدودی آلومینیم و پتاسیم و تهی شدگی سدیم، منیزیم و کلسیم شناخته می‌شود. همچنین عناصر فلزی باریم، روبيدیم، استرانسیوم و مس، دارای غنی شدگی هستند. در زون آرژیلیک پیشرفتہ، عناصر پتاسیم، سیلیسیم، آلومینیم، منیزیم و آب (در قالب کانیهای آبدار) دارای غنی شدگی، و عناصر کلسیم، آهن، سدیم و منگنز، و نیز عناصر فلزی باریم، روبيدیم و استرانسیوم دارای تهی شدگی هستند. افزایش سیلیسیم در این زون احتمالاً به علت حضور

*groundwater transport at Mt. Enta volcano (sicily", Geochimica et Cosmochimica Acta Vol. 64(11), 2000, pp. 1827-1841*

[13] Terakado, Y., Fujitani, T., "Behaviour of the rare earth elements and other trace elements during interactions between acidic hydrothermal solutions and silicic volcanic rocks", southwestern Japan, *Geochimica et Cosmochimica Acta*, Vol 62(11), 1998, pp. 1903-1917.

[14] Gresens, R.L., "Composition- volume relationships of metasomatism", *Chemical Geology*, Vol. 2, 1967, pp.47-55.

[15] Grant, J.A., "The isocon diagram- a simple solution to Gresens equation for metasomatic", *Economic Geology* Vol. 81, 1986, pp.1976-1982.

[16] MacLean, W.H., Kranidiotis, P., "Immobile elements as monitors of mass transfer in hydrothermal alteration: Phelps Dodge massive sulfide deposit, Matagami, Quebec", *Economic Geology* Vol. 82, 1987,pp. 951-962.

[17] Nesbitt, H.W., Markovics, G., "Weathering of granodioritic crust, long- term storage of elements in weathering profiles and petrogenesis of siliciclastic sediments", *Geochimica et Cosmochimica Acta*, Vol 61, 1997, pp. 1653-1670.

[18] Fulignati, P., Gioncad, A., Sbrana, A., "Rare earth element (REE) behaviour in the alteration facies of the active magmatic- hydrothermal system of volcano (Aeolian Islands, Italy)", *Journal of Volcanology and Geothermal Research*, Vol. 88, 1999, pp. 325-342.

[19] Kirschbaum, A., Martinez, E., Pettinari, G., Herrero, S., "Weathering profiles in granites, Sierra Norte (Cordoba, Argentina)", *Journal of south American Earth Sciences*, Vol. 19, 2005, pp. 479-493.

[20] Bache, W., Peucker-Ehrenbrink, B., Hart, S.R., Blusztajn, J.S., "Geochemistry of hydrothermally altered oceanic crust: DSDP/ODP Hole 504B- Implications for seawater-crust exchange budgets and Sr- and Pb isotopic evolution of the mantle", *Geochem. Geophys. Geosys.*, Vol. 4(3), 2003. 8904. doi: 10.1029/2002GC000419.

[21] Nesbitt, H.W., Young, G.M., "Early proterozoic climates and plate motions inferred from major element chemistry of lutites, *Nature*", Vol. 279, 1982, pp. 715-717.

#### مراجع :

- [۱] نبوی، م.ح، "دیباچه ای بر زمین‌شناسی ایران"، انتشارات سازمان زمین‌شناسی کشور، ۱۳۵۵
- [۲] آقاباتی، سید علی، "زمین‌شناسی ایران"، انتشارات سازمان زمین‌شناسی و اکتشافات معدنی کشور، ۱۳۸۳
- [۳] قربانی، م، "زمین‌شناسی اقتصادی ذخایر معدنی و طبیعی"، موسسه پژوهشی آرین زمین، ۱۳۸۶
- [۴] فرد، م، علی اکبری، ح، محمدی، ب. و سمایی، س، "گزارش نقشه زمین‌شناسی ۱/۱۰۰۰ و حفاریهای انجام گرفته در منطقه مسجد داغی (سیه رود جلفا)", پژوهه اکتشاف مس و طلا در زون ارسباران، سازمان زمین‌شناسی و اکتشافات معدنی کشور، ۱۳۸۴
- [۵] عبدالی اسلاملو، ح، "بررسی ژئوشیمی، دگرسانی و منشأ کانی‌سازی طلا در منطقه سیه رود استان آذربایجان شرقی"، پایان نامه کارشناسی ارشد، دانشگاه پیام نور، مرکز تبریز، ۱۳۸۸
- [۶] امامعلی پور، ع، عبدالی اسلاملو، ح، و عابدینی، ع، "الغیرات جرمی عناصر طی دگرسانیهای گرمابی مرتبط با کانی‌سازی اپی ترمالی طلا در ناحیه مسجد داغی (شرق جلفا)", دوازدهمین همایش انجمن زمین‌شناسی ایران، ۳۰ بهمن ۱۳۸۷، اهواز.
- [7] Rollinson, H., "Using geochemical data: evaluation, Presentation", interpretation, Longman Scientific and Technical, 1993, 352pp.,
- [8] Reyes, A.G., "Petrology of Philippine geothermal systems and The application of alteration mineralogy to their assessment". *Journal of Volcanology and Geothermal Research*, Vol 43, 1990 , pp. 279-309.
- [9] Brown, P.R.L., "Hydrothermal alteration in active geothermal field Review", *Earth planet Science* 6, 1978.
- [10] Hedenquist, J.W., Arribas , A.Jr. , & Gonzalez-Urien , E., "Exploration for epithermal gold deposits" : *Reviews in Economic Geology*, Vol. 13, 2000, pp. 245-277.
- [11] MacLean, W.H., "Mass change calculations in altered rock series", *Mineralium Deposita* Vol. 25, 1990, pp. 44-49.
- [12] Aiuppa, A., Allard, P., D., Alessandro, W., Michel, A., Parello, F., Treuil, M., valeza, M., "Mobility and fluxes of major elements, minor and trace metals during basalt weathering and

- [24] Barnes, H.L., “*Geochemistry of hydrothermal ore deposits*”, John Wiley-Interscience publication, 3rd edition, 1997, 963p.
- [22] Fedo, C.M., Nesbitt., H.W., Young, G.M., “*Unraveling the effects of potassium metasomatism in sedimentary rocks and paleosols, With implications for paleoweathering conditions and provenance*”, Geology 23, 1995, 921-924.
- [23] Voicu, G., Bardoux, M., Jebrak, M., “*Normative Mineralogical calculations for tropical weathering profiles*”, Winnipeg 96, Ann. Meet., Geol. Asso. Can. Mineral. Assoc. Can. Prog., Vol 21, 1996 , A-69.





## زمین‌شناسی، دگرسانی، کانی‌سازی و مطالعات ژئوشیمیایی در منطقه کلاته‌تیمور، شمال شرق ایران

زهرا اعلمی‌نیا<sup>۱</sup>، محمدحسن کریم‌پور، محمدرضا حیدریان‌شهری

گروه پژوهشی اکتشاف ذخایر معدنی شرق ایران، دانشگاه فردوسی مشهد

دریافت مقاله: ۱۳۸۸/۱۱/۱۳، نسخه نهایی ۱۳۸۹/۳/۲۰

### چکیده

منطقه کلاته‌تیمور در ۲۰ کیلومتری شمال غرب کاشمر و ۴ کیلومتری رستمی کلاته‌تیمور در استان خراسان رضوی قرار دارد. این منطقه جزیی از کمربند آتشفسانی- درونی شمال گسل درونه است و از نظر ساختاری در جنوب زون سیزوار، حد فاصل گسلهای درونه و تکنار واقع شده است. سنگهای منطقه شامل دو واحد اصلی مجموعه سنگهای آذرآواری- آتشفسانی با سن اوسن زیرین تا میانی و سنگهای نیمه عمیق می‌باشد. سنگهای آتشفسانی با طیف ترکیبی آندزیت بازالت، آندزیت، لاتیت، تراکیت، داسیت و ریوداسیت به صورت گدازه، توف، لاپیل توف و آگلومرا دیده می‌شود. بر اساس پیامیشهای صحرابی و مطالعات آزمایشگاهی، چندین توده نفوذی در منطقه برای اولین بار شناسایی شد. توده‌های نفوذی با رخنمون کوچکی به شکل استوک دیده می‌شوند. نفوذیها شامل کوارتز هورنبلند بیوتیت مونزوودیوریت پورفیری، کوارتز بیوتیت مونزوودیوریت پورفیری و میکروودیوریت می‌شود. بازسازی هالهای دگرسانی در محدوده مورد نظر با استفاده از طول موجهای VNIR و SWIR مربوط به تصاویر ستجنده‌های ETM<sup>+7</sup> و استر انجام گرفت. آلتراسیون در منطقه، گسترده‌گی خطی دارد و شامل انواع پروپیلیتیک، سرسیتیک، آرزیلیک و سیلیسی است. با وجود وسعت زیاد آلتراسیون در منطقه، وسعت کانی‌سازی در سطح محدود است. فراوانی کانی‌سازی سولفیدی کمتر از ۳٪ و بیشتر به شکلهای افشار، استوکورک و برکنده فضای خالی دیده می‌شود. در منطقه چشمنه نقره، آثار فعلیتهای معدن کاری قدیمی مشاهده می‌شود که بیانگر اهمیت معدنی این منطقه در زمانهای گذشته است. اکتشافات ژئوشیمیایی باعث کشف ناهنجاریهای از عناصر طلا، مس، سرب، روی، نقره، ارسنیک، آنتیمون، جیوه و بیسموت گردیده است. بررسیهای ژئوشیمی سنگی در نواحی آلتراسیون، نشان‌دهنده همبستگی طلا با عناصر مس، سرب، روی و نقره می‌باشد. با توجه به الگوی آلتراسیون، توزیع غیریکنواخت کانی‌سازی و درصد پایین کانی‌زایی سولفیدی، مطالعات بیشتر می‌تواند بر روی سیستم منطقه در تیپ کانسار طلا- مس گرمابی از نوع کم‌سولفید صورت گیرد.

**واژه‌های کلیدی:** پردازش تصاویر ماهواره، آلتراسیون، کانی‌زایی، ژئوشیمی سنگی.

قدیمی به صورت گودال و ترانشه در مناطق چشمه نقره، باغ قضی و سرتخت معدن دیده می‌شود که به نظر می‌رسد جهت استحصال مس، طلا و نقره بهره‌برداری می‌شده است [۳]. مطالعات قبلی در این محدوده شامل تهیه نقشه‌های زمین- شناسی ۱:۲۰۰۰۰، ۱:۵۰۰۰، مطالعات ژئوشیمیایی نیمه تفصیلی به روش رسوبات آبراهه‌ای و حفر ترانشه است [۴]، [۳]. در این پژوهش به علت وسعت و اهمیت زیاد دگرسانی در

منطقه کلاته تیمور در بخش جنوبی استان خراسان رضوی و بیست کیلومتری شمال غربی کاشمر قرار دارد که طی سالهای ۱۳۷۰-۱۳۷۵ در راستای اکتشافات ژئوشیمیایی ناحیه‌ای محور سمنان- تربت‌حیدریه توسط سازمان زمین‌شناسی کشور با همکاری کارشناسان چینی به عنوان یکی از پتانسیلهای طلا معرفی شد [۱]. در محدوده نامبرده کارهای معدن کاری

ريوش با گسل درونه است و با پنجره فرسایشی تکنار مشخص می‌شود (شکل ۱) [۶]. مولر و والتر ساختار درونی پنجره فرسایشی تکنار را به صورت یک تاقدیس شکنجی معرفی کرده‌اند که تاقدیس‌ها و ناویدیس‌های آن در برخی از قسمتها به وسیله سیستمهای گسلی عادی و معکوس درهم ریخته‌اند. دگرشکلی فشارشی سنگهای پرکامبرین و پالئوزوئیک آن را به واقعه کیمیرین پیشین نسبت داده‌اند [۷]. به عقیده لیندنبرگ و جاکوبس هاگن دگرشکلی کوه‌زایی پیش از پالئوسن به احتمالاً زیاد چندان مهم نبوده و حوادث تکتونیکی نخستین احتمالاً از نوع گسلش بلوکی و بالآمدگی منطقه‌ای بوده‌اند [۸]. سنگهای آتشفشاری و آتشفشاری رسوبی بخش مرکزی زون تکنار، توسط مجموعه‌ای نفوذی (گرانیت‌وئید بورنورد) مورد نفوذ قرار گرفته است.

بر اساس نوشته اسماعیلی و همکاران، گرانیت بورنورد در یک محیط تکتونیکی از نوع بالآمدگی خشکی‌زایی قاره‌ای (CEUG) تشکیل شده و در رد گرانیت‌های غیرکوه‌زایی نوع A می‌گیرد. این گرانیتها در یک محیط ریفت درون قاره‌ای (WPG) تشکیل شده که هرگز به مرحله اقیانوسی‌زایی نرسیده و از ذوب بخشی سنگهای پوسته قاره‌ای به وجود آمده‌اند [۹]. به عقیده سلطانی وجود مقادیر بالای  $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$  اولیه ( $0.7508 - 0.7507$ ) و مقادیر منفی  $\text{Nd}_{\text{CNd}} (-0.70)$  تا  $(-0.74)$  بیانگر آن است که مagma‌ای تولید کننده بورنورد به طور وسیعی با  $^{87}\text{Sr}$  مشتق شده از سنگهای مافیک قدیمی‌تر پوسته قاره‌ای آلوده شده یا مagma به وسیله ذوب بخشی از خود سنگ فلزیک قدیمی پوسته قاره‌ای تولید شده است. او بورنورد را گرانیت نوع I می‌داند [۱۰].

آنچه که به عنوان گرانیت بورنورد معرفی می‌شود در واقع مجموعه‌ای از سنگهای مختلف اسیدی و حدواتر در حد گرانیتی - گرانودیوریتی - تونالیتی، گابرو‌دیوریتی است [۱۱]. گرانیتها رنگ کاملاً روشن داشته و متوسط تا درشت بلور هستند. در حالی که دیوریت‌های تیره‌تر، دانه متوسط تا دانه‌ریز می‌باشند. به گفته رزاق منش گرانیتها از نوع آلکالی گرانیت و دیوریت‌ها از نوع هورنبلند دیوریت است.

منطقه، عمدۀ مطالعات بر روی نواحی دگرسانی منطقه انجام شده است.

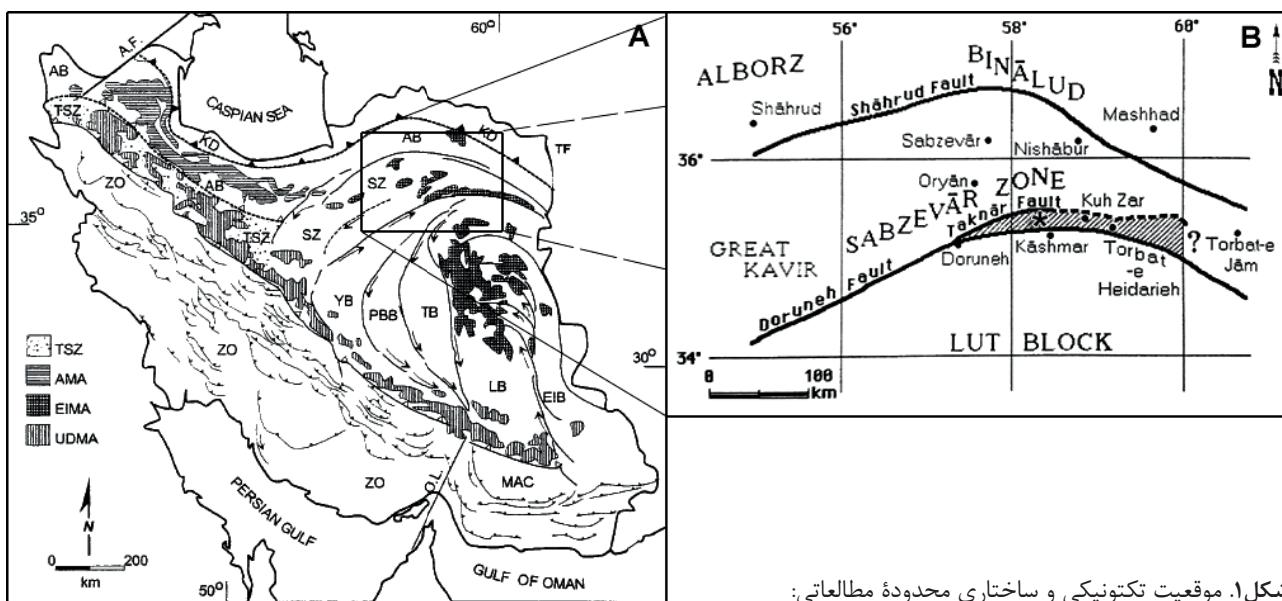
#### روش مطالعه

- پردازش داده‌های ماهواره لنdest<sup>+</sup> ETM<sup>+</sup> و استر منطقه با نرم افزار ER Mapper 6.3 جهت بارزسازی زونهای دگرسانی
- تهییه نقشه‌های زمین‌شناسی، کانی‌سازی و آلتراسیون با مقیاس ۱:۱۰۰۰ در وسعت ۵ کیلومتر مربع
- برداشت ۱۰۶ نمونه سطحی به منظور بررسیهای سنگ‌شناسی و تفکیک توده‌های نفوذی و ۸۰ نمونه آلتراسیونی بر اساس تصاویر ماهواره‌ای استر به منظور بررسی نوع و تغییرات آلتراسیون
- مطالعه میکروسکوپی ۷۲ مقطع نازک و بلوک نازک صیقلی و صیقلی برای بررسیهای پتروگرافی و کانی‌سازی
- برداشت ۲۴ نمونه سنگی از زونهای آلتراسیون و کانی‌سازی شده برای بررسیهای ژئوشیمیایی به روش خرد سنگی
- تجزیه نمونه‌ها با استفاده از اسپکتروگراف نشری برای عناصر کانه‌ساز  $\text{Cu}, \text{Au}, \text{Ag}, \text{Pb}, \text{Zn}$  و کنترل مجدد مقادیر بالا با دستگاه جذب اتمی و برای عناصر  $\text{Sb}, \text{As}, \text{Hg}, \text{Bi}$  استفاده از فلورسانس اتمی در آزمایشگاه سازمان زمین‌شناسی و اکتشافات معدنی کشور

- تعبیر و تفسیر نتایج حاصل و نتیجه‌گیری

#### زمین‌شناسی عمومی

با توجه به تقسیم‌بندی رسوبی ساختاری عمدۀ ایران محدوده در حاشیه شمالی ایران مرکزی جای می‌گیرد [۱۵]. از نگاه زمین‌ساخت و زیر پهنه‌های ایران مرکزی محدوده در بخش جنوبی زون سبزوار در میان دو گسل بزرگ کویر (درونه) و گسل تکنار (ریوش) قرار دارد که برخی از زمین‌شناسان از آن به عنوان زون تکنار نام می‌برند. جنبش‌های تکتونیکی در طول سنوزوئیک، موجب در هم ریختگی سیستم گسلی تکنار به ویژه در قسمت شرقی شده است و به همین دلیل مرز شرقی زون تکنار با ابهام رو به روست ولی حد غربی آن محل برخورد گسل



شکل ۱. موقعیت تکتونیکی و ساختاری محدوده مطالعاتی:

(A) نقشه راهنمای عناصر اصلی تکتونیکی ایران (با تغییراتی پس از علوی، ۱۹۹۷)؛ SZ : زون ساوه- تبریز، AMA: کمربند ماقمایی البرز، EIMA: کمربند ماقمایی شرق ایران، UDMD: کمان ماقمایی ارومیه- دختر؛ محدوده مطالعاتی در ناحیه EIMA قرار دارد [۹].  
(B) محدوده کلاته تیمور با علامت ستاره در زون تکنار (شمال غرب کашمر) مشخص شده است [۸].

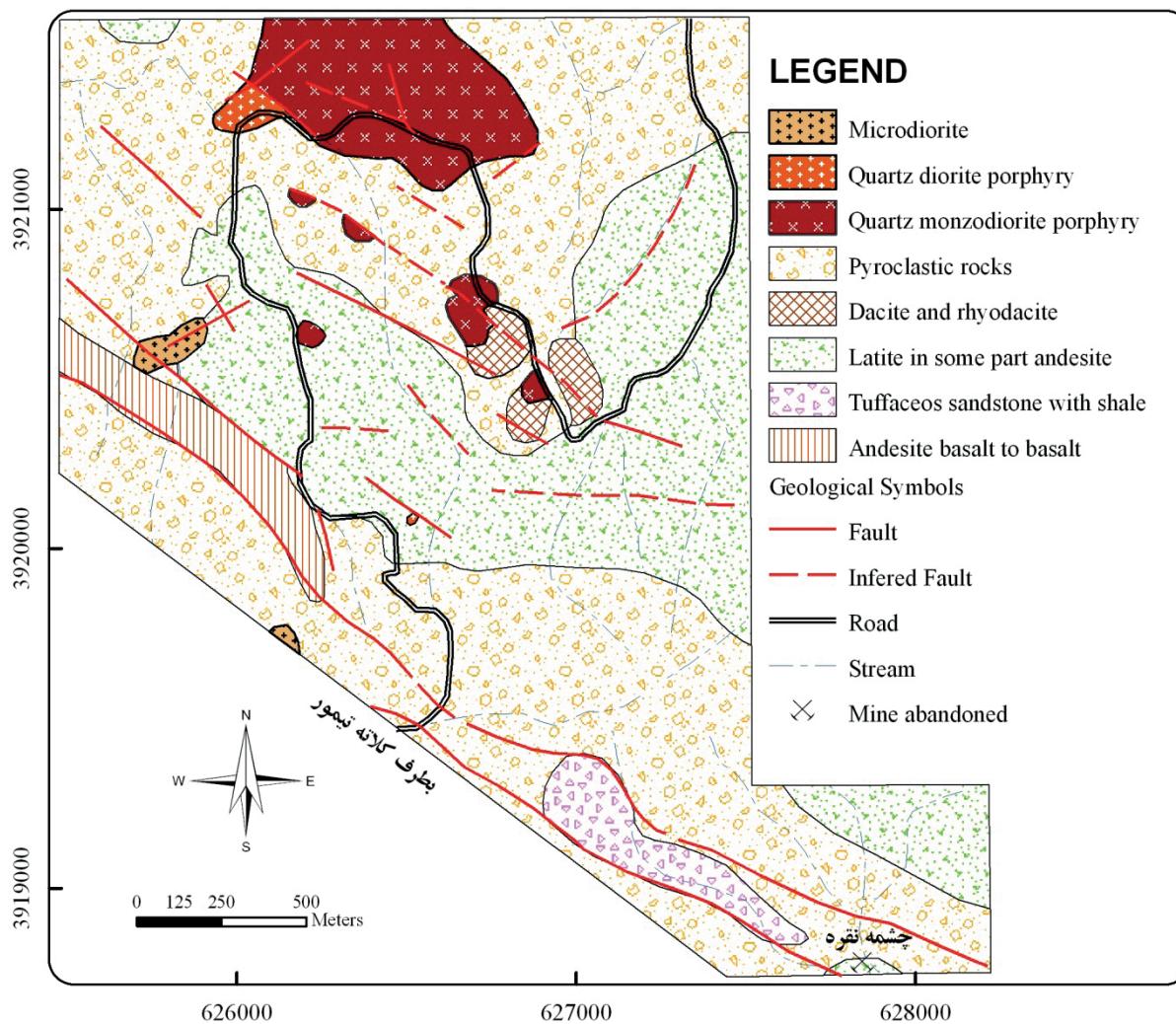
آن شمال غرب- جنوب شرق است. این سنگها بافت پورفیری- ارتوفیری و در حد ۳۰-۲۵٪ فنوکریست دارند. درشت بلورها شامل پلاژیوکلاز ۲۰٪، آلکالی فلدسپات کمتر از ۷٪، پیروکسن ۵-۱۰٪. سنگهای آندزیت، لاتیت و تراکیت به صورت متناوب بیشترین بروزن زد را در مرکز منطقه دارند (شکل ۲). این سنگها بافت پورفیری و گلومرپورفیری داشته و به طور متوسط ۷-۱۵٪ فنوکریست دارند. اندازه درشت بلورها از ۰/۵ تا ۲ میلی‌متر متغیر است. درشت بلورها اغلب شامل پلاژیوکلاز، آلکالی فلدسپات، هورنبلند و به میزان کمتر پیروکسن دیده می‌شود [۱۴].

داسیت‌ها و ریوداسیت‌ها رخنمون کمتری دارند و در شمال-شرق مشاهده می‌شوند (شکل ۲). بافت آنها پورفیری- ویتروفیری است. در حدود ۹-۷٪ فنوکریست دارند. اندازه متوسط فنوکریست در آنها ۱-۰/۱۵ میلی‌متر است [۱۵].  
سنگهای آذرآواری: سنگهای آذرآواری با بافت‌های پیروکلاستیک، پورفیری و شیشه‌ای دیده می‌شوند. در ناحیه شرقی منطقه، اندازه قطعات لیتیک داخل توف‌های کریستالی لیتیک، گاه به ۳۰ میلی‌متر می‌رسد. این توف‌ها به صورت توده‌ای هستند. توف‌های سبز لایه‌ای در ناحیه شمالی دیده می‌شود.

### زمین‌شناسی منطقه‌ای

محدوده مطالعاتی در کمربند آتشفسانی نفوذی شمال گسل خواف درونه قرار دارد. به استناد نقشه زمین‌شناسی ۱:۱۰۰۰۰۰ کاشمر، لیتلولوژی منطقه جوان بوده، و شامل مجموعه سنگهای آتشفسانی- آذرآواری با ترکیب حدواتست تا اسیدی است [۱۳]. قدیمی‌ترین لیتلولوژی منطقه، مربوط به اویل ائوسن زیرین است. مجموعه سنگهای آتشفسانی ترشیاری بیشترین رخنمون را در منطقه دارند. سنگهای آتشفسانی با ترکیب آندزیت بازالت، آندزیت، لاتیت، تراکیت، داسیت و ریوداسیت به صورت گدازه، توف، لاپیلی توف و آگلومرا دیده می‌شود. بر اساس پیمایش‌های صحراوی و مطالعات آزمایشگاهی چندین توده نفوذی شناسایی شد. توده‌های نفوذی رخنمون کوچکی در سطح زمین دارند و به شکل استوک دیده می‌شوند. نفوذیها شامل کوارتز هورنبلندبیوتیت مونزودیوریت پورفیری، کوارتزبیوتیت مونزودیوریت پورفیری، کوارتزدیوریت پورفیری و میکرودیوریت می‌باشد [۱۴].

سنگهای آتشفسانی: آندزیت بازالت‌ها قدیمی‌ترین سنگهای منطقه هستند و در غرب محدوده دیده می‌شوند و به صورت نواری باریک و پیوسته با مرزهای گسلی دیده می‌شوند (شکل ۲). روند



شکل ۲. نقشه زمین‌شناسی محدوده مطالعاتی [۱۴].

فنوکریست‌ها کوچکتر می‌شود. درصد کانیهای اپک (پیریت) که به شکل افشار در سطح سنگ دیده می‌شود، به ۲ تا ۳ درصد می‌رسد. رخنمون‌های توده ساب ولکانیک کوارتز دیوریت پورفیری در غرب منطقه دیده می‌شود (شکل ۲). زمینه آن افتیک و درصد فنوکریست‌ها بیشتر بوده و در حد ۳۵-۳۵٪ است. فنوکریست‌ها با اندازه متوسط ۲/۵-۲/۵ میلی‌متر دیده می‌شود [۱۴].

توده نفوذی میکرودیوریت در امتداد زون گسلی چند رخنمون کوچک دارد (شکل ۲). بافت آن گرانولار است. اندازه متوسط پلاژیوکلازها در حد ۰/۳ میلی‌متر است. فراوانی آنها در حد ۲۰ تا ۳۰ درصد دیده می‌شود. کانی مافیک از نوع کلینوپیروکسن و آمفیبول با فراوانی ۲ تا ۳ درصد وجود دارد.

توفیت‌ها در جنوب غرب معدن متروکه چشم‌نه نقره، به صورت تنابوی از شیل و ماسه‌سنگ با گدازه‌های آندزیتی که دارای لایه‌بندی و شیب کم حدود ۱۷/۵ درجه با امتداد شمال غرب-جنوب شرق است، مشاهده می‌شود [۱۵].

**سنگهای نفوذی:** بیشترین رخنمون از توده ساب ولکانیک کوارتز هورنبلند بیوتیت مونزودیوریت پورفیری در شمال محدوده دیده می‌شود که توپوگرافی ملایمی دارد (شکل ۲). دارای ۲۰-۲۵٪ فنوکریست در زمینه آپلیتی است. اندازه فنوکریست‌ها بین ۰/۳-۷ میلی‌متر متغیر است. در مرکز توده فنوکریست‌های هورنبلند گاه بیشتر از ۷ میلی‌متر رشد دارند و در حاشیه غربی توده به کوارتز بیوتیت مونزودیوریت پورفیری تبدیل می‌شود که میزان هورنبلند کمتر از بیوتیت است و اندازه

هیستوگرامها انجام و جهت برگزیدن سه‌گانه بهترین باندها، ترکیب رنگی با بیشترین اطلاعات ایجاد شد. در جدول (۱) باندهای ۵، ۳ و ۷ بیشترین انحراف معیار را دارند.

#### - تصاویر نسبتی

در تصاویر نسبتی، تغییرات ظرفی طیفی پدیده‌ها نسبتاً بهتر از تصاویر اصلی نمایان می‌گردد که این به دلیل حذف عوامل و مؤلفه‌هایی است که اثر نامطلوب مانند توپوگرافی دارند و بسته به منطقه و نوع کاربرد باید باندهای مناسب را برهم تقسیم کرد تا بهترین نتایج به دست آید [۱۸]. لذا با استفاده از مناطق شناخته شده در محدوده که دارای زون‌های دگرسانی مشخصی بودند تصاویر نسبتی مناسب تعیین گردید (جدول ۲). از امتیازات این تصاویر، تفکیک رنگی بسیار واضح مناطق دگرسانی در کلاته‌تیمور، تمیز نواحی کربناته از نواحی رسی و مرزبندی بسیار مشخص میان هاله‌ها با واحدهای لیتوژئیکی است (شکل ۳ و ۴) [۱۷]. روش تصاویر تفریقی نیز در منطقه اعمال شد اما تفکیک آنها از نواحی اطراف مقدور نبود و هاله‌ای در مرز نواحی دگرسانی دیده می‌شود که در همه‌جا به یک اندازه نیست.

کانی اپک در حد ۱/۵ درصد به صورت پراکنده و دانه‌ریز دیده می‌شود. متوسط اندازه کانی اپک (پیریت) در حد ۰/۰۳ میلی‌متر است [۱۴].

#### پردازش تصاویر ماهواره‌ای

به منظور بارزسازی هاله‌های دگرسانی در محدوده مورد نظر با استفاده از طول موجه‌ای VNIR و SWIR [۱۶] مربوط به تصاویر سنجنده ETM<sup>+</sup>7، عملیات آماری جهت انتخاب باندهای با کنتراست بیشتر، تکنیک نسبتهای باندی و تجزیه به مؤلفه‌های اصلی در فضاهای نمایشی RGB و ISH انجام شده که نتایج مشابهی در جهت تشخیص بهتر زون‌های دگرسانی و گسترش کانی سازی داشته است. در این تحقیق نرم افزار ER Mapper 6.3 جهت پردازش داده‌های سنجنده مربوط به صحنه اطلاعاتی با شماره گذر ۱۶۰۰اردیف ۳۵ پنجره‌ای به وسعت تقریبی ۱۶۰۰ کیلومتر مربع (ربع اول ورقه ۱:۱۰۰۰۰۰ کاشمر و ربع چهارم ورقه ۱:۱۰۰۰۰۰ فیض‌آباد) انتخاب شده است [۱۷].

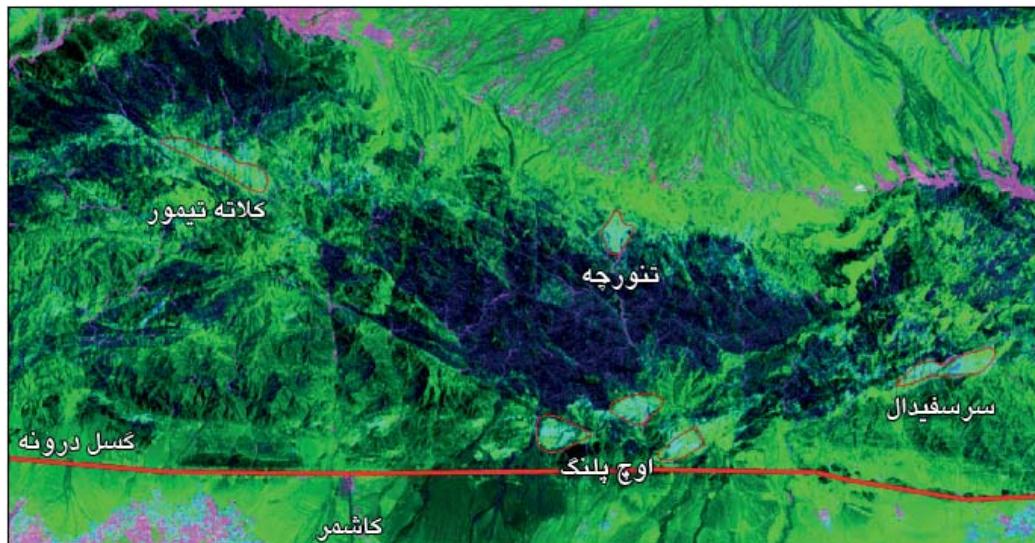
قبل از پردازش تصاویر، عملیات آماری (میانگین حسابی، میانه، انحراف معیار، مقادیر ویژه و کواریانس) محاسبه و یکنواختی

جدول ۱. محاسبه آماری انحراف معیار، میانگین، مقادیر ویژه باندهای ۱۲۳۴۵۷ لندست ۷ [۱۷].

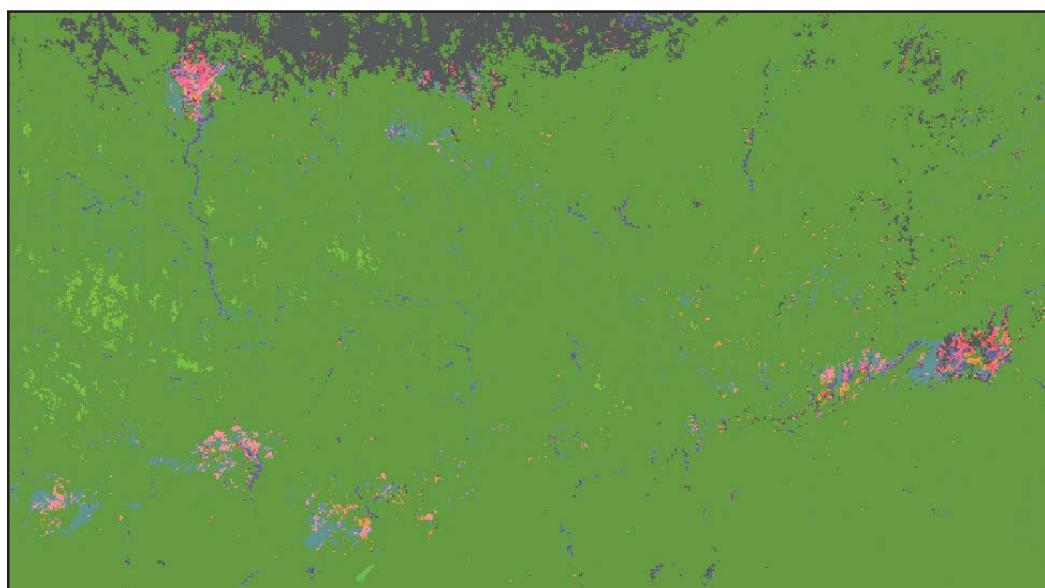
	Band1	Band2	Band3	Band4	Band5	Band7
Mean	۷۰/۵۳۸	۶۹/۹۸۹	۸۹/۱۲۱	۷۳/۴۷۰	۸۲/۶۲۳	۷۲/۷۸۰
Median	۷۶/۰۰	۷۵/۰۰	۹۵/۰۰	۷۹/۰۰	۸۸/۰۰	۷۸/۰۰
Std. Dev.	۲۲/۲۶۰	۲۳/۰۸۵	۳۰/۸۴۱	۲۵/۰۸۳	۲۹/۶۲۵	۲۶/۹۰۴
Corr. Eigen value	۶/۶۰۲	۰/۲۲۱	۰/۰۹۰	۰/۰۵۱	۰/۰۲۵	۰/۰۰۳
Cov. Eigen value	۷۳۱۷/۹۰۶	۴۲۸/۰۱۲	۵۷/۸۱۶	۳۹/۰۵۴	۲۰/۳۶۴	۱/۴۶۹

جدول ۲. نسبتهای جدید به دست آمده در RGB [۱۷].

۵/۷	۵/۲	۴/۳	R
۴/۳	۱/۴	۵	G
۴/۷	۵/۷	۵/۷	B
صورتی، ارغوانی، نارنجی، آبی	آبی فیروزه‌ای	رنگ	
صورتی و نخودی			
تنوع نواحی دگرسانی	تنوع نواحی دگرسانی	گسترش نواحی دگرسانی	توضیحات



شکل ۳. در نسبت جدید (4/3) R و (5/7) G و (5) B مرز مناطق دگرسانی شمال گسل درونه قابل تمیز از واحدهای دیگر هستند.



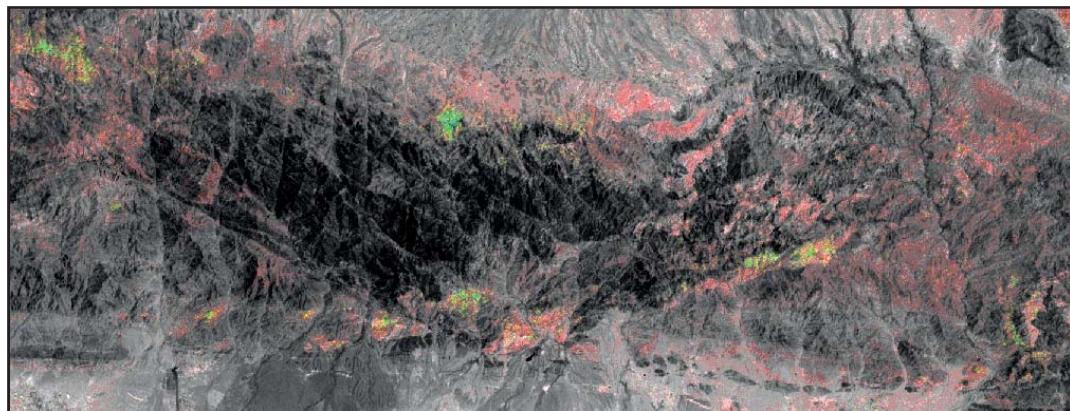
شکل ۴. در نسبت جدید (5/2) R و (4/7) G و (1/4) B مناطق دگرسانی با رنگهای صورتی، آبی، ارغوانی، نخودی دیده می‌شود.

ماتریس همبستگی، بیشترین و کمترین همبستگی بین باندها تعیین می‌شود و در انتخاب تجزیه به مؤلفه‌های اصلی از آنها استفاده می‌شود. بیشترین همبستگی در باندهای ۱ و ۲ و ۳ و ۵ و ۷ دیده می‌شود [۱۷]. به عبارتی این باندها در قسمت مرئی طیف بیشترین همبستگی را نشان می‌دهند و کمترین همبستگی میان باندهای ۱ و ۴ و ۵ و ۷ مشاهده می‌شود (جدول ۳). لذا جهت بارزسازی بیشتر در فضای نمایشی اشباع جلا شدت (HSI) از نسبت  $[PC1(۵,۴,۱) - PC2(۵,۴,۱)] / PC3(۵,۱,۷)$  استفاده گردید (شکل ۵).

- تجزیه به مؤلفه‌های اصلی غالباً داده‌های باندهای سنجنده‌های چند طیفی به خاطر تشابه بازتاب پدیده‌ها و همپوشانی حساسیت طیفی باندها، همبستگی بالایی دارند. این همبستگی بالا، نوعی تکرار اطلاعات بوده و با متراکم کردن اطلاعات در تصویر به تفسیر بهتر داده‌های ماهواره‌ای کمک خواهد کرد، به عبارتی روش PCA در جهت فشرده و متراکم کردن داده‌ها، حذف اطلاعات اضافی و تکراری طیفی عمل می‌کند و سپس با متمرکز کردن عمدۀ اطلاعات چند باندی که باهم همبستگی بالایی دارند و قرار دادن آنها در یک باند با واریانس بالا به کار می‌رود [۱۹]، پس با اندازه‌گیری

جدول ۳. محاسبه ماتریکس همبستگی بین باندهای ۱، ۲، ۳، ۴، ۵، ۷ از سنجنده ۷ ETM<sup>+</sup> [۱۷]

Correlation Matrix	Band1	Band2	Band3	Band4	Band5	Band7
Band1	1/00					
Band2	0/990	1/00				
Band3	0/962	0/984	1/00			
Band4	0/922	0/940	0/945	1/00		
Band5	0/932	0/961	0/966	0/943	1/00	
Band7	0/922	0/952	0/969	0/915	0/985	1/00



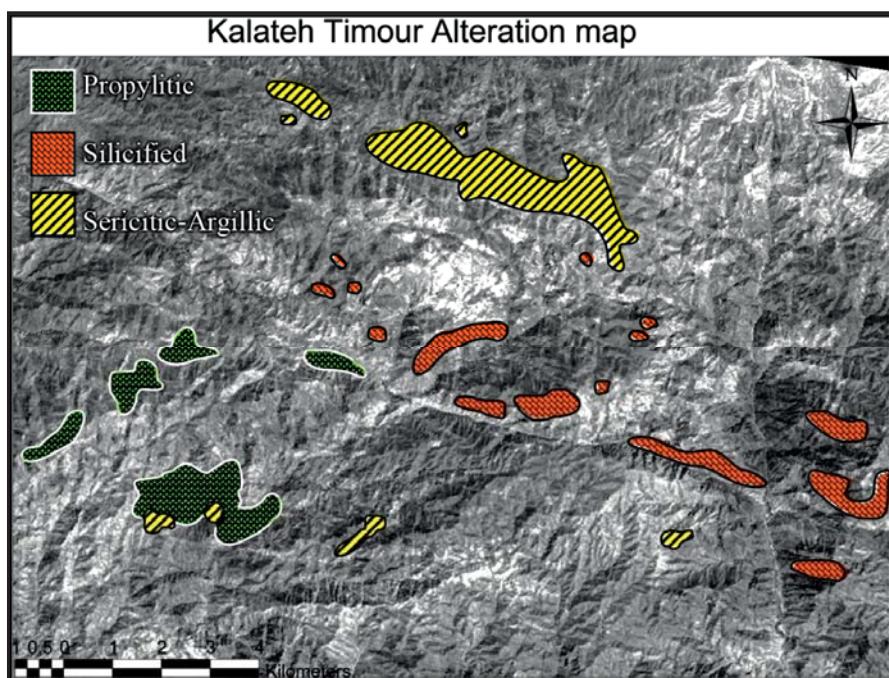
شکل ۵. روش [۱۷] HSI =  $[PC1(۵,۴,۱) - PC2(۵,۴,۱)] / PC3(۵,۱,۷)$

پراکنده در متن سنگ و پرکننده فضای خالی دیده می‌شود. رگه‌های موجود در این زون شامل کوارتز + کلریت، کوارتز + اپیدوت + کلسیت است که کوارتز با بافت شانه‌ای در حاشیه و کلریت و اپیدوت در وسط رگه دیده می‌شود. شدت دگرسانی این زون در واحد قدیمی آندزیت‌بازالت اوسن زیرین که در غرب منطقه رخمنون دارد؛ کم بوده و در کل سنگ به صورت اپیدوت (٪ ۷ تا ۱۰) + زوئزیت (کمتر از ٪ ۰.۲) + کلسیت (٪ ۰.۵) + رس دیده می‌شود و فاقد کانی‌زایی است. زون پروپلیتیک در سنگهای ساب ولکانیک کوارتز هورنبلند بیوتیت مونزودیوریت پورفیری و کوارتز دیوریت پورفیری که در شمال منطقه است؛ به صورت اپیدوت (٪ ۳ تا ۱۵) + کلریت (٪ ۱۰ تا ٪ ۰.۵) + زوئزیت (کمتر از ٪ ۰.۵) دیده می‌شود که همراه با کانی‌زایی سولفیدی از نوع پیریت به صورت افسان و استوکورک دیده می‌شود (شکل ۶).

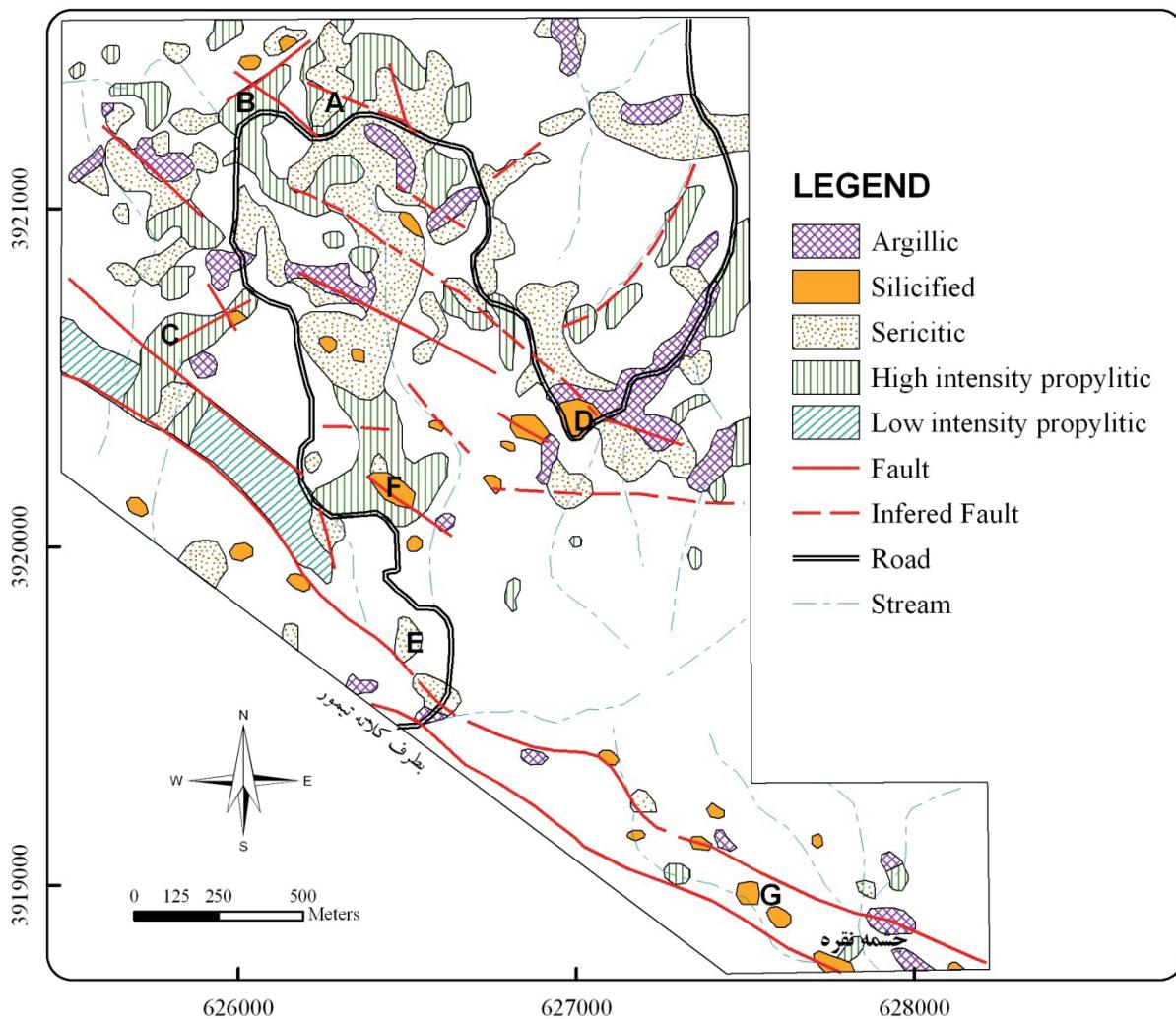
### دگرسانی و کانی‌سازی

در تصاویر پردازش شده لندست  $ETM^+$ ، نواحی دگرسانی گسترش وسیعی در محدوده مطالعاتی دارند. گستردگی دگرسانی منطقه راستای شمال‌غرب-جنوب‌شرق دارد (شکل ۶). به منظور تفکیک کانیهای موجود در زون‌های دگرسانی، داده‌های ماهواره استر با روش ویژه پردازش شد و کانیهای ژاروسیت، کلریت، سرسیت، کائولینیت، کوارتز، اکسیدهای آهن ثانویه شناسایی شدند. انواع زون‌های سرسیتیک، آرژیلیک، پروپلیتیک و سیلیسی مشاهده می‌شود.

بیشترین رخمنون زون پروپلیتیک در شمال و غرب منطقه مطالعاتی دیده می‌شود. وسعت رخمنون آن در منطقه مورد بررسی به  $0.3 \text{ کیلومتر مربع}$  می‌رسد. کانیهایی که در این زون دیده می‌شود بیشتر از نوع اپیدوت، کلریت، زوئزیت و به مقدار کمتر آلبیت و کربنات می‌باشد. اپیدوت و کلریت به دو صورت



شکل ۶. تفکیک زون‌های آلتراسیونی در تصویر ماهواره‌ای استر؛ نواحی دگرسانی در منطقه مطالعاتی در بخش شمالی تصویر با روند شمال غرب-جنوب شرق دیده می‌شود [۱۴]...



شکل ۷. نقشه آلتراسیون محدوده مطالعاتی؛ نقاط A,B,C,D,E,F,G نقاط کانی‌زایی هستند [۱۴].

بلورهای شکل‌دار تا نیمه شکل‌دار پیریت را به جای گذاشته است. اغلب این بلورهای سولفیدی اکسید شده در اندازه‌های کوچک از  $۰/۰۳$  تا  $۰/۲$  میلی‌متر دیده می‌شود. میزان اکسیدهای ثانویه حاصل سولفید در خود سنگ به حدود  $۱/۵$ % می‌رسد. تعداد رگه‌ها در سنگ زیاد بوده و گاه عرض رگه‌ها به ۱۰ تا ۱۵ میلی‌متر می‌رسد. در میان رگه‌ها قطعاتی از سنگ میزبان که سرسیتی شده است؛ به چشم می‌خورد. کوارتز در زمینه نیز به دو شکل اجتماع بلورهای ریزدانه کوارتز با حاشیه‌های کنگره‌دار و دیگری به شکل تبلور مجدد در زمینه سنگ دیده می‌شود. زون سرسیتیک با برون‌زد تقریبی  $۰/۴۵$

زون سیلیسی با الگوی مشخص در اطراف زون‌های گسلی دیده می‌شود و رخنمون آن به وسعت تقریبی  $۰/۰۵$  کیلومتر مربع می‌رسد. بیشترین رخنمون آن در منطقه چشمه نقره و در میان سنگهای آذرآواری است (شکل ۷). مهمترین کانی اصلی این زون کوارتز بوده که به دو شکل رگه (پرکننده فضای خالی) و پراکننده (اجتماع بلورهای کوارتز ثانویه در متن) سنگ دیده می‌شود. مقدار این کانی در رگه از ۳۵ تا ۵۰ درصد متغیر است. در کانی‌سازی پرکننده فضای خالی محلول سیلیسی به شکل بلورهای کوارتز دانه درشت تا متوسط با بافت موzaïکی در میان رگه رشد کرده و سپس محلول سولفیدی با عبور از داخل رگه

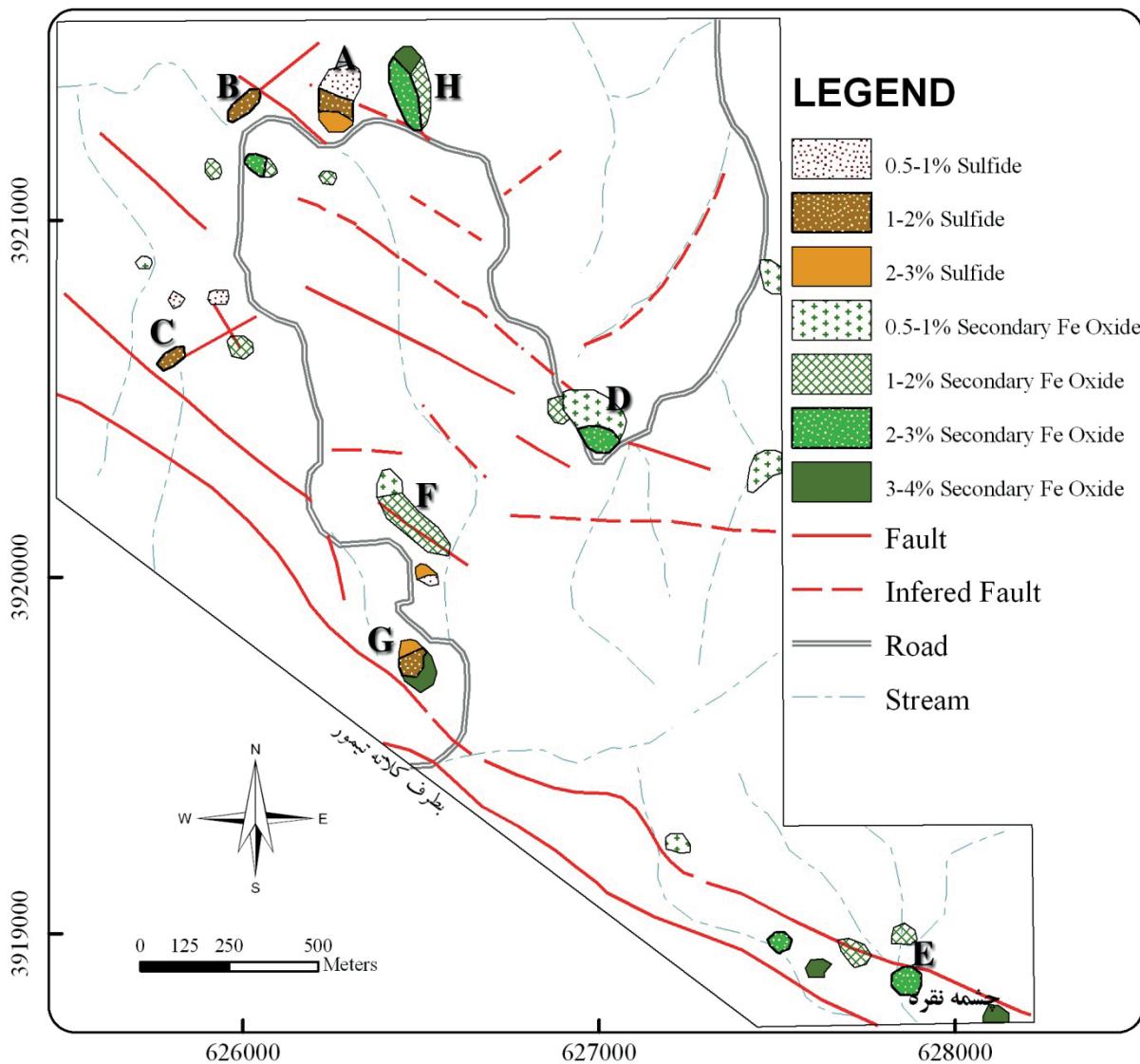
واقع در جنوب منطقه، دانه‌های کوارتز در حاشیه و پیریت‌ها به صورت خودشکل در مرکز دیده می‌شود. کانی‌سازی در زون اکسیدان بیشتر شامل اکسیدهای آهن، کربنات مس (مالاکیت، آزویریت) به صورت ثانویه در سطح زمین می‌باشد.

سولفید اولیه که کمتر اکسید شده، در چهار منطقه شمالی (A)، شمال‌غربی (B)، غربی (C) و جنوب‌غربی (G) تا ۳ درصد به صورت پراکنده در سنگ، استوکورک و پرکننده فضای خالی مشاهده می‌شود (شکل ۸). در بخش A کانی‌سازی اولیه به همراه توده‌های کوارتز هورنبلند بیوتیت مونزودیوریت پورفیری دیده می‌شود (شکل ۸). درصد پیریت‌های اولیه سنگ در حد ۱ تا ۳ درصد است. اندازه پیریت‌ها به طور متوسط از ۰/۰۲ تا ۲/۳ میلی‌متر متغیر است. پیریت‌ها به دو شکل دانه درشت و دانه ریز با بافت دانه‌ای و پراکنده در متن سنگ دیده می‌شود. پیریت‌های دانه درشت خودشکل بوده و گاهی اندازه آنها به حد اکثر ۰/۴ میلی‌متر می‌رسد و بیشتر در اطراف رگه‌ها پراکنده‌اند. رگه‌های کانی‌سازی بسیار نازک از جنس سیلیس کریپتوکریستالین و محلول آهن‌دار در سنگ دیده می‌شود. عرض این رگه‌ها به طور متوسط ۰/۰۳ میلی‌متری دیده می‌شود. گاهی رگچه‌ها اکسیده شده‌اند. کانی‌سازی در بخش B به همراه توده ساب ولکانیک کوارتز دیوریت پورفیری و در زون گسلی دیده می‌شود (شکل ۸). دانه‌های پیریت خودشکل در حد ۱/۵ درصد به شکل افشار در متن سنگ دیده می‌شود. پیریت‌ها در اندازه ۰/۰۱ تا ۰/۰۲ میلی‌متر متغیر است. دانه‌های پیریت با قطر متوسط ۰/۰۴ میلی‌متر، در متن سنگ دیده می‌شود. کانی‌سازی به شکل رگه‌های استوکورک دیده می‌شود. عرض رگه‌ها به طور متوسط در حد ۰/۰۴ میلی‌متر دیده می‌شود. در بخش C کانی‌سازی در توده میکرودیوریت در حد ۱/۵ درصد و به صورت پیریت‌زایی بوده است. پیریت‌ها به شکل افشار در متن سنگ دیده می‌شود. اندازه پیریت‌ها به طور متوسط به ۰/۰۵ میلی‌متر می‌رسد. به ندرت رگه در سنگ دیده می‌شود. رگه‌ها از جنس اپیدوت هستند. در بخش G کانی‌سازی در این بخش متفاوت بوده است به طوری که عمدۀ کانی‌سازی در قطعات بیگانه داخل توفهای منطقه دیده می‌شود (شکل ۸).

کیلومتر مربع بیشترین وسعت را در منطقه داشته و شامل سرسیت، کوارتز، پیریت و کانی رسی می‌باشد (شکل ۷). در زون سرسیتیک بخش شمالی محدوده، فلدسپات‌ها در حد ۵ تا ۲۰ درصد به سرسیت تبدیل شده است و گاه میزان سرسیت تا ۳۰٪ در متن سنگ گسترش دارد. کوارتز ثانویه در حدود ۷ تا ۱۰ درصد است. رگه‌های کوارتز به ندرت دیده می‌شود. در حد کمتر از ۰/۰۵٪ کانی‌سازی سولفیدی اکسید شده در رگه‌ها وجود دارد. کانیهای اپک در متن سنگ پراکنده و اکسید شده است و در حد ۰/۵ تا کمتر از ۱٪ متغیر است. در زون سرسیتیک بخش جنوب غربی، کانی‌سازی به صورت پراکنده و پرکننده فضای خالی در میان توفهای برشی دیده می‌شود و با توجه به مطالعات میکروسکوپی به نظر می‌رسد که کانی‌سازی موجود در قطعات سرسیتی به آلتراسیون خود سنگ ارتباطی نداشته باشد.

زون آرزیلیک نسبت به زون سرسیتیک گسترش کمتری دارد و بیشتر در شمال و غرب منطقه دیده می‌شود (شکل ۷). وسعت این زون در محدوده به ۰/۱۵ کیلومتر مربع می‌رسد. این زون به صورت کانی رس + کربنات + جزئی سرسیت در منطقه گسترش داشته و کوارتزهای ثانویه در غالب رگه‌های کوچک در زمینه مشاهده می‌شود. میزان اکسیدهای ثانویه موجود در این زون اغلب کمتر از ۰/۱٪ می‌رسد.

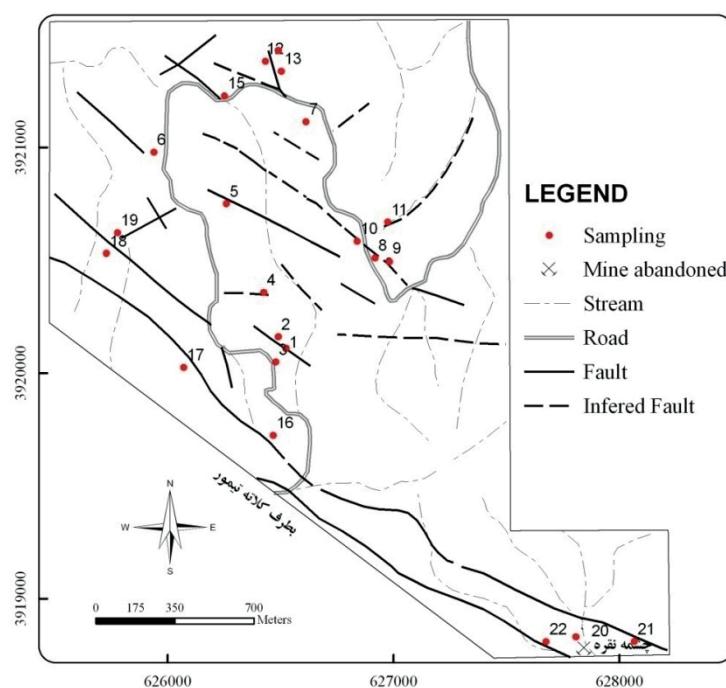
کانی‌سازی : در نواحی دگرسانی، کانی‌سازی از نوع سینزنیتیک مشاهده نشد و توزیع کانی‌سازی در زون‌های دگرسانی سیلیسی و پروپلیتیک بیشتر است. پیریت مهمترین و فراوانترین سولفید اولیه شناسایی شده است. درصد و فراوانی کانی‌سازی سولفیدی در منطقه محدود است و توزیع آن ناپیوسته است. میزان سولفید اولیه کمتر از ۳ درصد است. دانه‌های پیریت به دو شکل دانه درشت و دانه ریز به صورت استوکورک، پرکننده فضای درزهای افشار در زمینه سنگ تشکیل شده است. اندازه پیریت‌ها از ۰/۰۲ تا ۲/۳ میلی‌متر متغیر است. عرض رگه‌ها از ۰/۰۱ تا متوسط ۰/۵ میلی‌متر می‌رسد. شدت اکسیداسیون در منطقه زیاد بوده و پیریت‌ها گاه بخشی و گاه به طور کامل اکسید شده‌اند. رگه‌ها از جنس کوارنز + پیریت + اکسید آهن + کربنات، کوارتز + کلریت + پیریت، کوارتز کریپتوکریستالین + اکسید آهن، کوارتز + کلریت، کوارتز + اپیدوت و اپیدوت دیده می‌شود. در رگه‌های کوارتز + پیریت



شکل ۸. نقشه کانی‌زایی، زون‌های A,B,C,G کانی‌سازی اولیه و زون‌های D,E,F,H کانی‌سازی در زون گوسان هستند [۱۴].

روی با اسپکتروگراف نشری تجزیه و مقادیر بالا با دستگاه جذب اتمی کنترل شده‌اند. تجزیه عناظر جیوه، ارسنیک، آنتیمون و بیسموت با دستگاه فلورسانس اتمی اندازه‌گیری شده است. به منظور بررسی دقت نتایج تجزیه، ۲ نمونه از نمونه‌های آماده‌سازی شده به صورت تکراری انتخاب و در قالب ۲۴ نمونه، هر کدام از نمونه‌ها به وزن ۱۰ تا ۱۵ گرم جهت تجزیه به آزمایشگاه فرستاده شد (جدول ۴).

**ژئوشیمی سنگی در منطقه مطالعاتی**  
بر اساس شواهد صحرایی از زون‌های دگرسانی و کانی‌سازی، تعداد ۲۲ نمونه سنگی به روش خردمنگی به منظور پی‌جوییهای ژئوشیمیایی برداشت شد (شکل ۹). نمونه‌ها پس از خردایش و نرمایش در سازمان زمین‌شناسی مشهد، به منظور اندازه‌گیری عناظر طلا، مس، نقره، سرب، روی، ارسنیک، آنتیمون، بیسموت و جیوه به آزمایشگاه سازمان زمین‌شناسی و اکتشافات معدنی کشور فرستاده شد. عناظر طلا، مس، سرب و



شکل ۹. محل برداشت نمونه‌های ژئوشیمی سنگی.

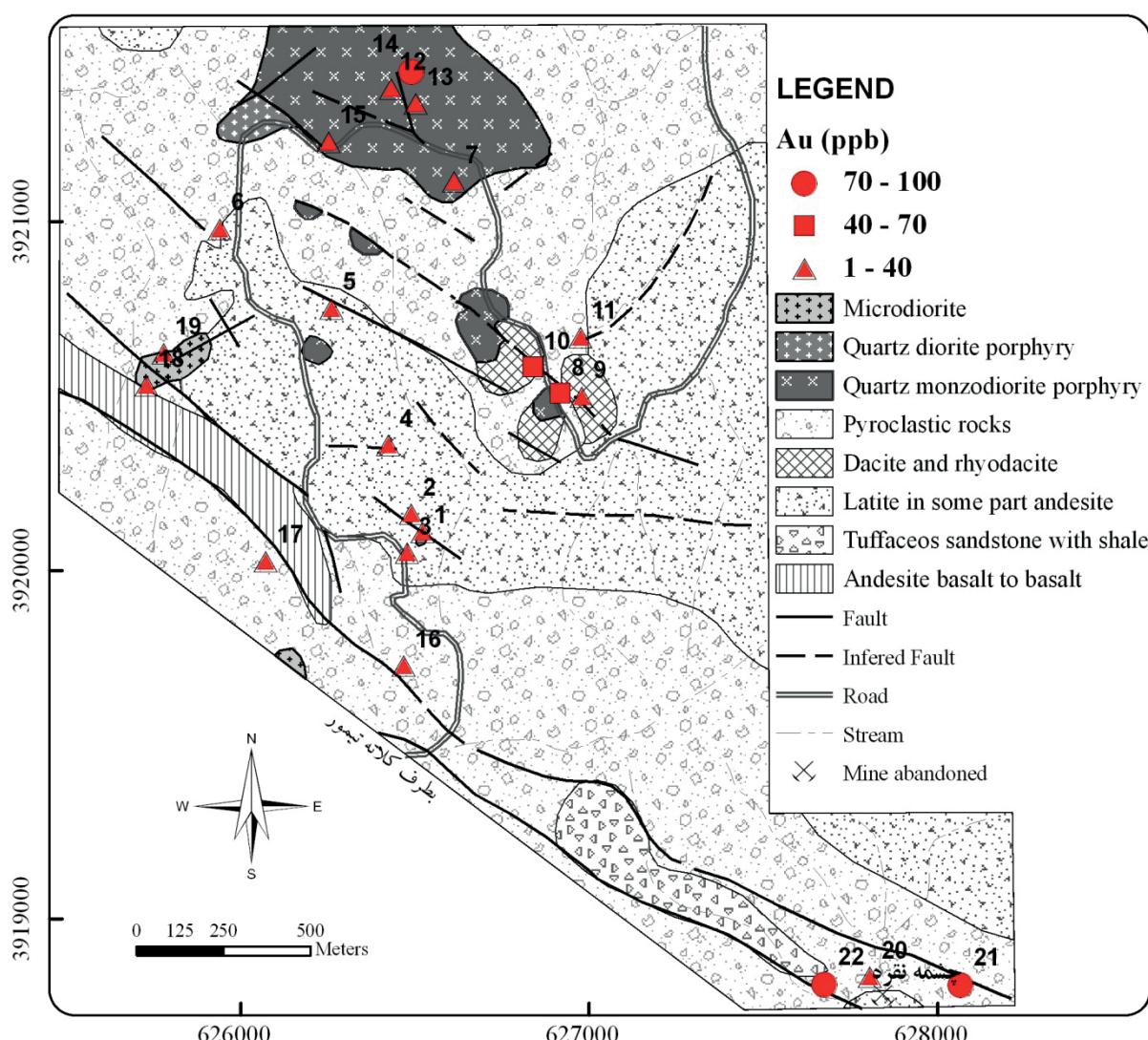
جدول ۴. نتایج تجزیه شیمیایی نمونه‌های سنگی منطقه کلاتنه‌تیمور.

Sample	Au (ppb)	Cu (ppm)	Pb (ppm)	Zn(ppm)	Ag(ppm)	Hg (ppm)	As (ppm)	Sb (ppm)	Bi (ppm)
83A.Kt 01	۳/۶	۶/۸	۱۵	۸۵	<۰/۰	<۰/۰	۱۸/۴	>۰/۷۳	>۰/۱۲
83A.Kt 02	۳/۶	۲۵	۲۳	۱۱۰	>۰/۲۱	<۰/۰	۱۹/۸	>۰/۰۳	>۰/۲۶
83A.Kt 03	۵/۶	۴۰	۱۶	۹۵	>۰/۲۲	<۰/۰	۱۲/۲	>۰/۶۴	>۰/۲
83A.Kt 04	۲۵	۱۴	۹	۷۵	>۰/۳۸	<۰/۰	۲۱	>۰/۴۲	<۰/۱
83A.Kt 05	۳۲	۲۳	۹۵	۱۱۰	>۰/۷۲	<۰/۰	۲۴/۲	>۰/۰۴	>۰/۳۳
83A.Kt 06	۵/۴	۱۶	۲۳	۴۵	>۰/۱	<۰/۰	۱۴/۹	<۰/۰	>۰/۳۷
83A.Kt 07	۷	۲۷	۸۰	<۳۰	>۰/۱	<۰/۰	۲۶/۳	>۰/۰۹	>۰/۴۹
83A.Kt 08	۶۴	۳۵	۱۳	۱۰۰	>۰/۵۴	>۰/۰	۴/۳	<۰/۰	۱/۰۳
83A.Kt 09	۲۷	۲۹	۳۹۲	۳۰۰	>۰/۰۳	>۰/۰	۶۲/۵	۱/۱۲۸	>۰/۷۴
83A.Kt 10	۴۴	۵۰	۷۰۰	<۳۰	>۰/۳	<۰/۰	۶	>۰/۰	<۰/۱
83A.Kt 11	۱/۹	۳۰	۱۱	۸۵	>۰/۱۴	<۰/۰	۹/۱	<۰/۰	>۰/۱۲
83A.Kt 12	۲۹	۲۸	۹۰	۶۵	>۰/۶۵	<۰/۰	۱۰۳/۷	۱/۶	>۰/۴۱
83A.Kt 13	۳۸	۵۴	۹۰	۱۱۰	>۰/۳	<۰/۰	۸۱/۳	۶/۳	>۰/۸
83A.Kt 14	۹۲	۳۴	۱۵	۱۴۵۰	>۰/۱۸	<۰/۰	۱۶	>۰/۸۳	<۰/۱
83A.Kt 15	۳/۸	۲۸	۷/۲	۹۰	>۰/۱۶	<۰/۰	۲۹/۱	>۰/۷۷	<۰/۱
83A.Kt 16	۶/۸	۶/۸	۷	۴۰	>۰/۱۵	<۰/۰	۴/۷	<۰/۰	<۰/۱
83A.Kt 17	۲۳	۶	۳۰	۴۰	>۰/۱۵	>۰/۰	۳۷	۱/۰۵۵	<۰/۱
83A.Kt 18	۴/۷	۲۷	۹۲	۲۹۰	>۰/۸۵	<۰/۰	۱۲/۳	۱/۹۱	>۰/۰۳
83A.Kt 19	۴/۵	۳۰	۷	۲۵۰	>۰/۳۵	<۰/۰	۶/۳	۲/۷	>۰/۱۲
83A.Kt 20	۶/۶	۲۳	۴۶	۲۶۰	>۰/۴۳	>۰/۰	۴۴/۳	۵/۵	<۰/۱
83A.Kt 21	۷۲	۴۰۵۵	۳۵	۲۰۰	>۰/۵۵	>۰/۰	۲۲۱	۱۰/۷	>۰/۱۱
83A.Kt 22	۷۹	۵۵۵	۵۰۰	۲۷۰۵	>۰/۸	>۰/۰	۶/۶	۲/۴	<۰/۱
Repetitious	۳۸	۲۱	۶۱	۱۶۰	>۰/۶۵	<۰/۰	۶۳/۱	۱/۳۷	>۰/۷۴
Repetitious	۵۷	۵۵۰	۴۵۰	۲۸۸۵	>۰/۸	>۰/۰	۵/۷	۲/۷	<۰/۱

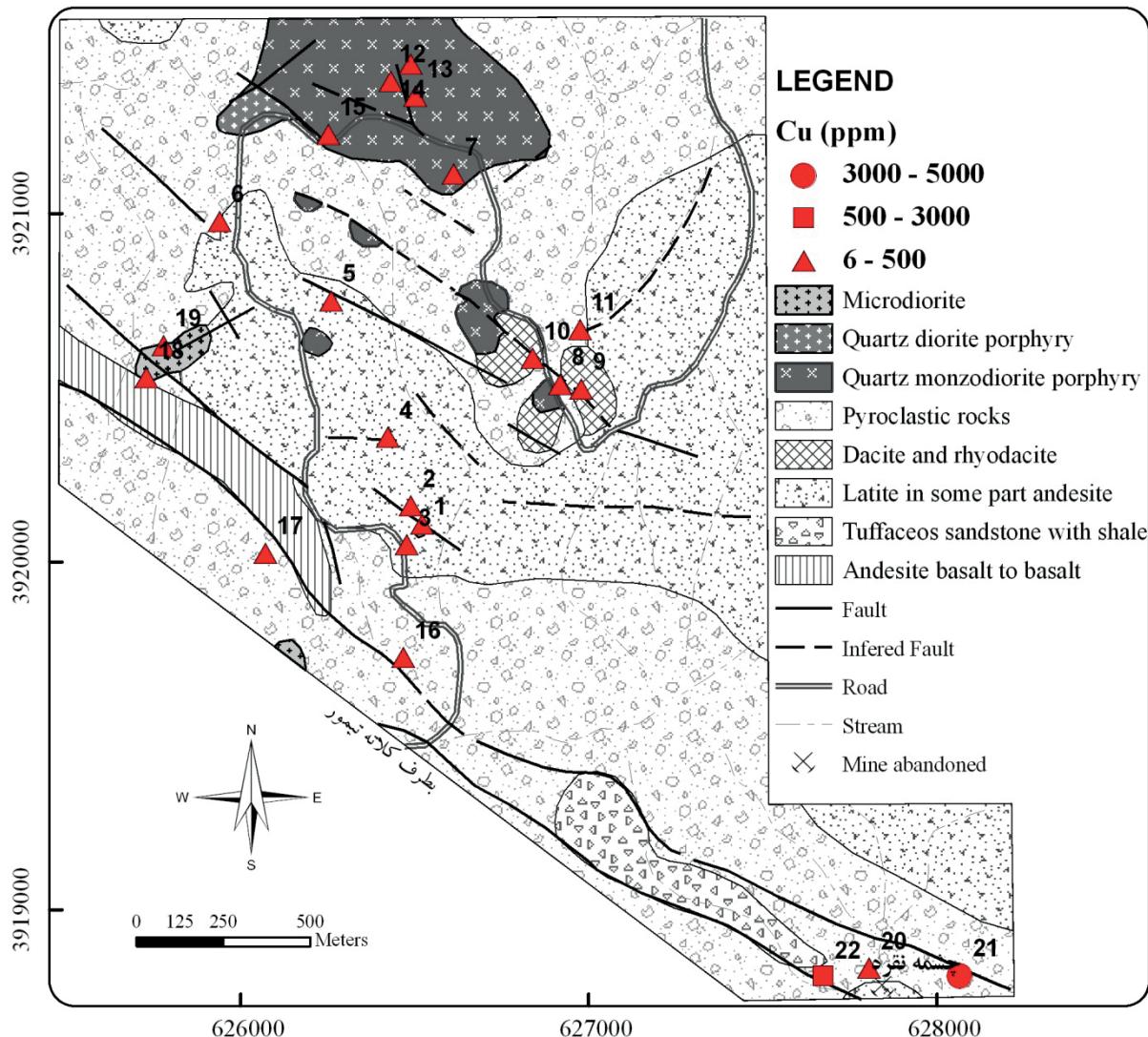
نمونه‌های ۲، ۱۱ و ۱۵ واقع در نواحی با آلتراسیون سرسیتی دیده می‌شود.

در الگوی ژئوشیمی مس، میزان مس از ۶ ppm تا ۴۰.۵۵ ppm تغییرات نشان می‌دهد (شکل ۱۱). بیشترین مقادیر مس در جنوب شرقی منطقه و کمترین مقادیر مس در جنوب غرب منطقه است. بیشترین مقادیر مس مربوط به نمونه‌های شماره ۲۱ و ۲۲ واقع در زون کانی‌سازی چشممه نقره می‌باشد. کمترین مقادیر مس در نمونه‌های ۱، ۱۶ و ۱۷ دیده می‌شود (شکل ۱۱).

الگوی پراکندگی ژئوشیمی طلا نشان می‌دهد که بیشترین مقدار طلا در شمال و جنوب شرقی منطقه پراکنده شده است. میزان اندازه‌گیری طلا بین ۳/۶ ppb تا ۹۲ ppb تغییر می‌کند (شکل ۱۰). نتایج تجزیه طلا با زون‌های دگرسانی کانی‌سازی و توده نفوذی مطابقت خوبی دارد. بیشترین میزان طلا در توده ساب ولکانیک کوارتز هورنبلند بیوتیت مونزونیت پورفیری دیده شده است که در زون پروپلیتیک واقع شده است و حاوی ۲ تا ۳ درصد پیریت می‌باشد. نمونه دیگر نیز مربوط به زون کانی‌سازی چشممه نقره می‌باشد [۲۰]. کمترین میزان طلا در



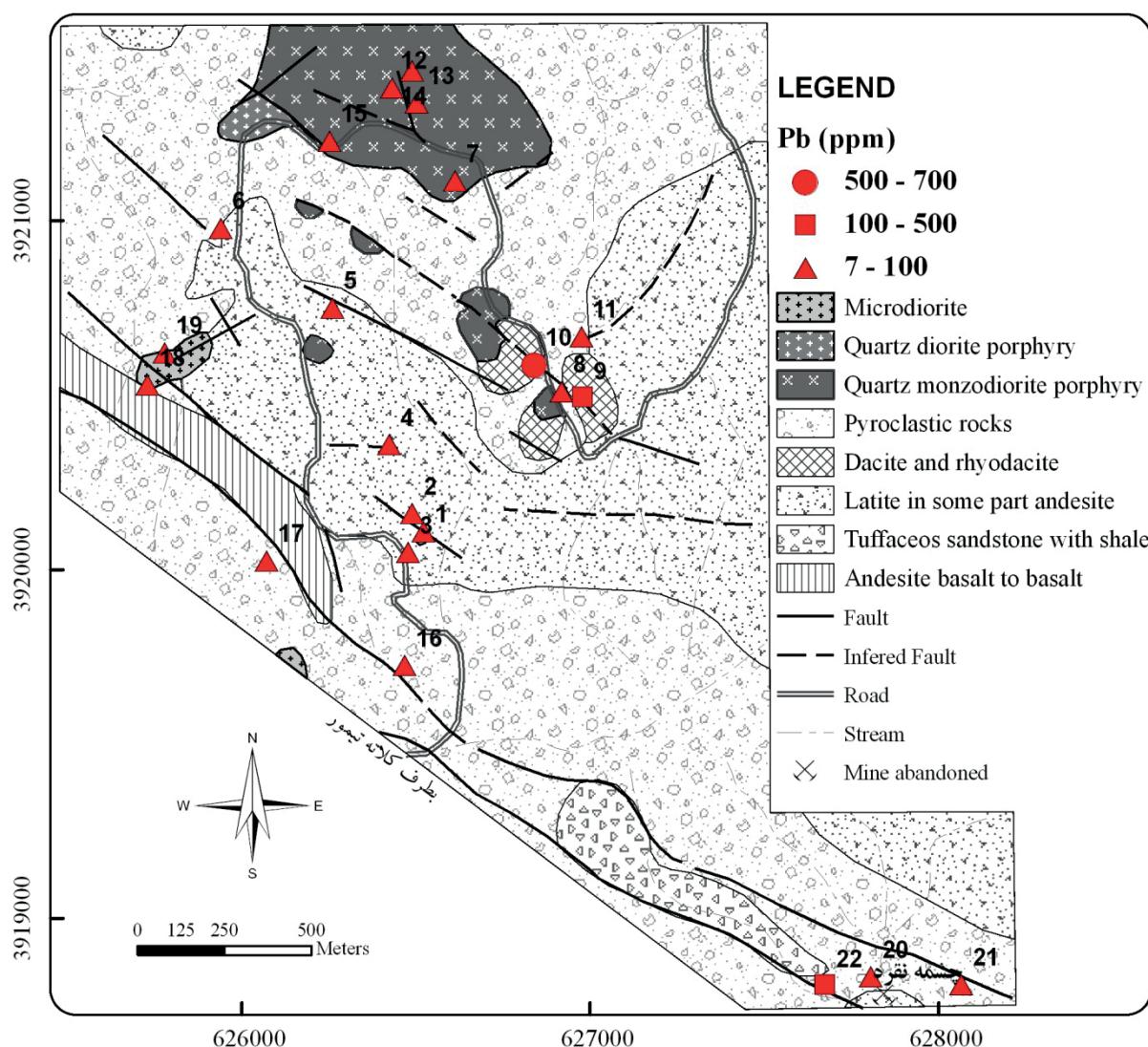
شکل ۱۰. الگوی پراکندگی میزان طلا در نمونه‌های سنگی برداشت شده.



شکل ۱۱. الگوی پر اکنندگی میزان مس در نمونه‌های سنگی پرداشت شده.

فراروانی نقره در منطقه از ppm ۰/۱ تا ۷/۶۵ ppm ۷/۶۵ متفاوت است (شکل ۱۳). بیشترین مقدار نقره در نمونه شماره ۱۲ در توده ساب ولکانیک کوارتز هورنبلند بیوپیت مونزودیوریت شمال منطقه و نمونه شماره ۲۰ که از توفهای سیلیس چشم نقره می باشد؛ دیده شده است. کمترین مقادیر نقره در نمونه شماره ۶ وجود دارد.

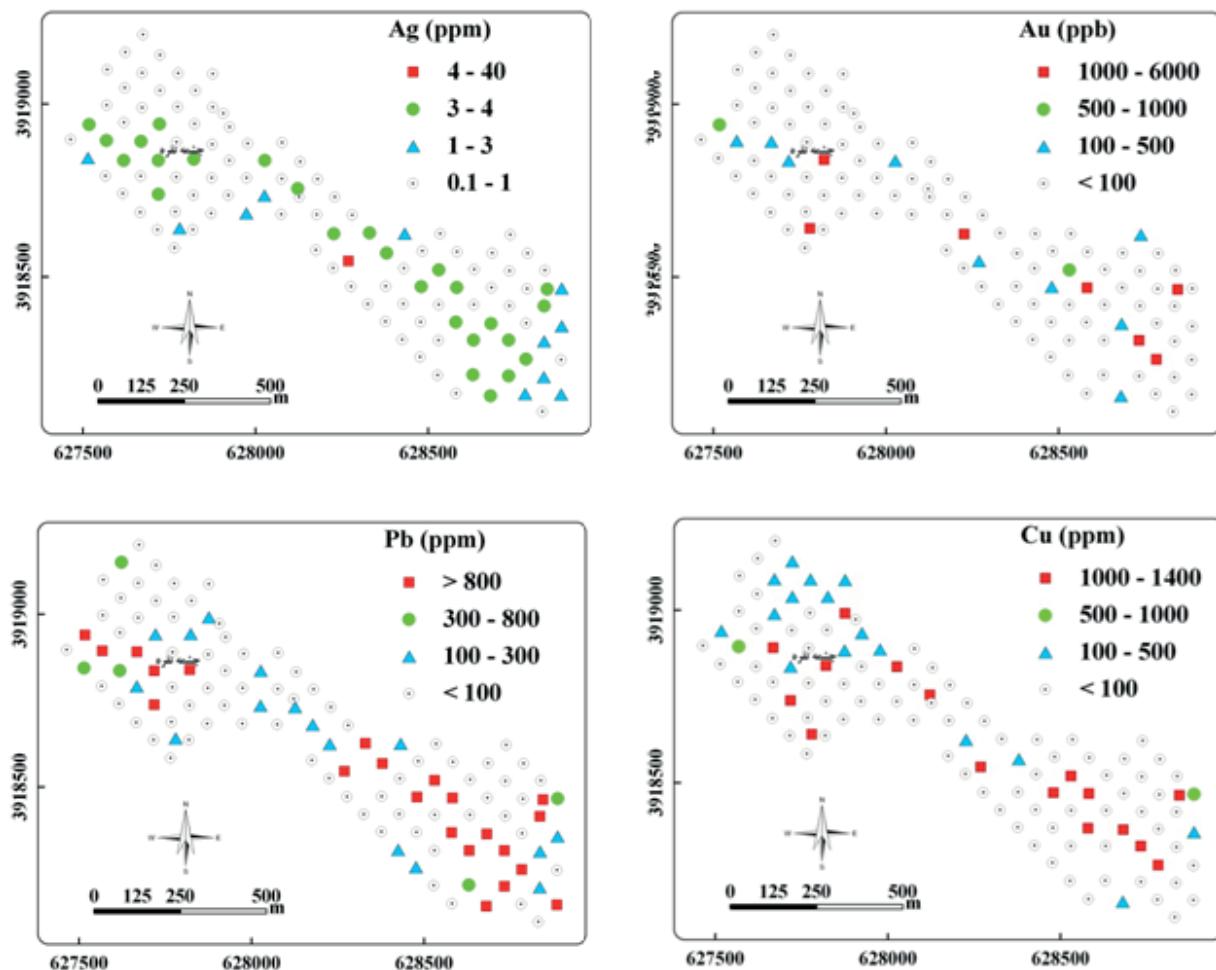
مقدار سرب بین ۷ ppm تا ۷۰۰ ppm تغییر می‌کند. بیشترین میزان سرب در نمونه‌های ۹، ۱۰ از زون سیلیسی واقع در بخش شمالی منطقه که در زون گوسان قرار دارد و نیز در نمونه ۲۲ که در زون کانی‌سازی چشمئونقره قرار دارد؛ دیده شده است [۲۰]. کمترین میزان سرب در نمونه‌های ۱۵، ۱۶ و ۱۷ می‌باشد (شکل ۱۲). در نمونه‌های مربوط به چشمئونقره کانی‌زایی گالن به صورت جزئی دیده می‌شود.



شکل ۱۲. الگوی پراکنش سرب در نمونه‌های سنگی برداشت شده.

می‌تواند معرف تفاوت در نوع محلول کانه‌دار در منطقه باشد. نابهنجاری اول مربوط به شمال و مرکز منطقه است که طلا با مس هم‌خوانی ندارد و نابهنجاری دوم ژئوشیمی در جنوب شرق منطقه در زون کانی‌سازی چشم‌نهاده باشد و طلا با مس هم‌خوانی دارد (شکل ۹). در نابهنجاری دوم، نمونه‌برداری لیتوژئوشیمی با تعداد نمونه بیشتری توسط سازمان زمین‌شناسی کشور صورت گرفته است که تفسیر نتایج آن در ادامه آمده است.

با توجه به شکل‌های شماره ۱۰، ۱۱ و ۱۲ در سه ناحیه دارای کانی‌زایی A، D و E نابهنجاری ژئوشیمی دیده می‌شود (شکل ۸). در نواحی آلتراسیونی مرکز و شمال منطقه، فراوانی عنصر طلا با عناصر نقره، سرب و روی همبستگی داشته و طلا با عنصر مس هم‌خوانی ندارد. اما در منطقه چشم‌نهاده با کانی‌زایی E، طلا با مس، نقره، سرب، روی، ارسنیک، آنتیمون و جیوه رابطه مستقیم دارد. هم‌خوانی مقادیر پایین عناصر با مقادیر پایین طلا دیده می‌شود. در منطقه مطالعاتی میان نابهنجاری طلا با عنصر بیسموت کمترین هم‌خوانی دیده می‌شود. با توجه به نتایج ژئوشیمی انجام گرفته از نمونه‌های سنگی دو نابهنجاری ژئوشیمی در منطقه دیده می‌شود که این



شکل ۱۳. توزیع عناصر طلا، نقره، مس و سرب در نمونه‌های سنگی چشم‌نهان.

است. میزان طلا در ۷ نمونه بیش از ۱ ppm می‌باشد. کمترین میزان نقره ۰/۰۷ ppm و بالاترین میزان اندازه‌گیری آن ۴۰ ppm است. فراوانی نقره تنها در یک نمونه بیش از ۴ ppm را نشان می‌دهد. کمترین میزان مس ۶۰ ppm و بیشترین میزان آن بالاتر از ۱۳۰۰ ppm می‌باشد. کمترین میزان سرب ۲/۵ ppm و بیشترین میزان اندازه‌گیری سرب بیش از ۸۰۰ ppm است (شکل ۱۳).

#### نتیجه‌گیری

بر اساس پیمایش‌های زمینی صورت گرفته برای اولین بار توده‌های نفوذی نیمه عمیق در منطقه شناسایی و معرفی شده است که شامل کوارتز هورنبلند بیوتیت مونزودیوریت پورفیری، کوارتز بیوتیت مونزودیوریت پورفیری، کوارتز دیوریت پورفیری شمال غرب منطقه می‌باشد.

**ژئوشیمی سنگی در چشم‌نهان**  
به منظور بررسی ژئوشیمی عناصر کانه‌ساز، تعداد ۱۲۳ نمونه سنگی از منطقه چشم‌نهان (نابهنجاری A) به روش شبکه‌بندی منظم و با فواصل ۱۰۰ متر برداشت شده است [۴]. نمونه‌برداری در امتداد گسل و به طول ۲ کیلومتر انجام شده است. نمونه‌ها پس از آماده‌سازی به منظور اندازه‌گیری عناصر طلا، مس، نقره، سرب، روی، مولیبدن، ارسنیک، انتیمون، جیوه و بیسموت به روش جذب اتمی تجزیه شده است [۴].

برای هر کدام از عناصر با استفاده از داده‌های تجزیه‌های لیتوژئوشیمیایی و موقعیت جغرافیایی هر نقطه در شبکه، نقاط هم‌غلاظت ترسیم و نتایج بررسی شد (شکل ۱۳) [۱۴].

تغییرات عیاری طلا در نابهنجاری چشم‌نهان ۱ تا ۱ ppb می‌باشد. بیشترین مقادیر با علامت مریع نشان داده شده و میکرو‌دیوریت می‌باشد که عمدۀ رخنمون آنها در شمال و

### قدردانی

لازم می‌دانیم از کارشناس محترم اکتشاف سازمان زمین‌شناسی شمال شرق کشور جناب آقای مهندس عسکری، ریاست محترم آزمایشگاه زرکاوون البرز جناب آقای مهندس شمسا به خاطر همکاری در آنالیز نمونه‌های ژئوشیمی و کارشناس محترم شرکت علوم زمین جناب آقای مهندس زمردیان تشکر نماییم.

### مراجع

- [۱] "گزارش عملیات اکتشافی چهارگوش ۱:۱۰۰۰۰ کاشمر"، سازمان زمین‌شناسی و اکتشافات معدنی کشور و شرکت اکتشافات ژئوشیمیایی جیانگشی چین، (۱۳۷۳).
  - [۲] Dezhong H., Delian L., Shuigen X., "Explanatory Text of Geochemical Map of Kashmar (7660)", Stream Sediment Survey, R. No. 20 (1995).
  - [۳] عسکری، "پروژه پی جویی و اکتشاف در ناحیه امید بخش کلاته تیمور"، طرح اکتشاف سراسری ذخایر معدنی (طرح طلا)، (۱۳۸۳).
  - [۴] "برداشت رسوبات رودخانه‌ای و نمونه‌های سنگی از آنومالی A در منطقه چشم نقره"، طرح طلا وابسته به سازمان زمین‌شناسی و اکتشافات معدنی کشور، (۱۳۸۱).
  - [۵] آقاباتی، "زمین‌شناسی ایران"، سازمان زمین‌شناسی و اکتشافات معدنی کشور، (۱۳۸۳) صفحه ۵۸۶.
  - [۶] Alavi M., "Tectonic Map of the Middle East. Geological Survey of Iran", Scale 1:5,000,000, 1 Sheet (1991).
  - [۷] Muller R., and Walter R., "Geology of the Precambrian- Paleozoic taknar inlier northwest of kashmar", khorasan province, NE Iran, GSI. Rep. No. 51(1983) p165-183.
  - [۸] Lindenberg H.G. and Jacobshagen V., "Post Paleozoic geology of the taknar zone and adjacent area", NE Iran, Khorasan, GSI. Rep. No. 51, (1983) 145-163.
  - [۹] Alavi M., Vaziri H., Seyed-Emami K., Lasemi Y., "Triassic and associated rocks of the Nakhlak and Aghdarband areas in central and northeastern Iran as remnants of the southern Turanian active continental margin", Geological Society of America Bulletin 109, (1997) 1563–1575.
- روش جدید پردازش تصاویر ماهواره‌ای لندست  $ETM^+ 7$  جهت آشکارسازی بهتر هاله‌های آلتراسیونی در کمربند خواف - درونه ارائه شده است. جهت شناسایی مناطق آلتراسیون در محدوده مطالعاتی، پس از انجام تبدیلات آماری و یکنواختی هیستوگرام‌ها، ترکیبات نسبتی زیر پیشنهاد شد:
- $$ISH = [ PC_1 (5,4,1) - PC_2 (5,4,1) ] / [ PC_1 (5,4,1) + PC_2 (5,4,1) ]$$
- $$RGB = (4/3-5/7) / (5/7-4/3-4/7)$$
- پس از بازرسازی تصاویر تنوع و گسترش آلتراسیون در منطقه کلاته‌تیمور مشاهده شد که پیمایش‌های زمینی آن را تأیید می‌کند. پردازش تصاویر ماهواره‌ای استر نقش گسلها را در کانی‌سازی تأیید نمود. روند اصلی گسلهای مهم جنوب شرقی - شمال غربی است.
- درجه و شدت زون‌های مختلف آلتراسیونی شناسایی، الگوی پراکندگی آنها در منطقه تعیین شده است. بر این اساس تنوع آلتراسیونی در منطقه زیاد بوده و شامل آلتراسیون پروپلیتیک، سیلیسی، سرسیتی و آرژیلیک می‌باشد. عمدۀ رخمنون آلتراسیون پروپلیتیک در شمال منطقه و آلتراسیون سیلیسی در شمال و جنوب شرق منطقه است که همراه با کانی‌سازی سولفیدی می‌باشد. شواهد مطالعات میکروسکپی از رگه‌های نواحی آلتراسیونی گویای آن است که منطقه بیش از دو بار تحت تأثیر محلولهای کانی‌ساز قرار گرفته است که با فاصله زمانی همراه بوده است.
- با وجود وسعت زیاد آلتراسیون در منطقه، وسعت کانی‌سازی محدود است. درصد و فراوانی کانی‌سازی سولفیدی در محدوده مطالعاتی محدود و بیشتر به شکلهای افسان، استوکورک و پرکننده فضای خالی است.
- بین فراوانی طلا با عناصر مس، سرب، روی و نقره همخوانی یکنواختی دیده نمی‌شود که می‌تواند بازگو کننده ترکیب محلول کانه‌دار باشد. کمترین همخوانی میان طلا و بیسموت است. بیشترین مقدار طلای اندازه‌گیری شده از منطقه چشممه - نقره به میزان  $5/89 \text{ ppm}$  می‌باشد.
- با توجه به الگوی آلتراسیون، توزیع غیر یکنواخت کانی‌سازی و درصد پایین کانی‌زایی سولفیدی، می‌تواند مطالعات بیشتر بر روی سیستم منطقه در تیپ کانسار طلا مس گرمابی از نوع کم سولفید صورت گیرد.

کلاته تیمور (خراسان رضوی)", چهاردهمین کنگره بلورشناسی و کانی‌شناسی ایران (۱۳۸۵).

[16] Rencz A.N., "Remote sensing for the earth science", Manual of Remote sensing, 3 th edition, v. 3, John Wiley and sons, Publisher (1999) 707 p.

[۱۷] کریم‌پور م.ح.، اعلمی‌نیا ز.، "ارائه روش جدید پردازش داده‌های ماهواره لنست ۷ در بازسازی بهتر هاله‌های آلتراسیون در کمریند خواف- درونه"، مجموعه مقالات دوازدهمین همایش انجمن بلورشناسی و کانی‌شناسی ایران، دانشگاه شهید چمران اهواز (۱۳۸۳) ص ۳۵۱.

[18] Crosta A. P., and Moore., "Enhancement of Landsat Thematic Mapper imagery for residual soil mapping in SW minais Gerais State", Brazil, A Prospecting case history in Greenstone belt terrain, Proceeding of the 7 th ERIM thematic conference, remote sensing for exploration geology(1989) p. 1173-1187.

[19] Robert K. Vincent, "Geological and Environmental Remote sensing", Prentice Hall Series in Geographic information science (1997) 365 p.

[۲۰] اعلمی‌نیا ز.، کریم‌پور، م.ح.، حیدریان شهری، م.ر.، "مطالعه ژئوشیمی و آلتراسیون به کمک تصاویر ماهواره ASTER در محدوده اکتشافی کلاته تیمور"، مجموعه مقالات سیزدهمین همایش انجمن بلورشناسی و کانی‌شناسی ایران، دانشگاه شهید باهنر کرمان (۱۳۸۴) صفحه ۱.

[۱۰] اسماعیلی د؛ کنعانیان ع. و ولی‌زاده م، "جایگاه تکتونیکی گرانیت بورنورد (تکنار) شمال غرب کاشمر"، چکیده مقالات دومین همایش انجمن زمین‌شناسی ایران، مشهد، (۱۳۷۷) ص ۴۶-۴۹.

[۱۱] سلطانی الف، "جدایش رستایت و واکنش نرم‌ال‌ماگمایی در گرانیتویید کاشمر به عنوان یک نمونه برگسته از انواع گرانیت‌های نوع I در حرارت پایین"، چکیده مقالات بیستمین گردهمایی علوم زمین، (۱۳۸۰) ۱۲۸ صفحه.

[۱۲] سپاهی‌گرو ع.ا.، "رده بندی و نامگذاری سنگ‌ها (آذرین و دگرگونی و رسوبی)", انتشارات نور علم، (۱۳۷۹) ۱۷۴ صفحه.

[13] Taheri J., Shaanian GH., Shjai Kaveh N., Bahremand M., Amirrazavi M., "Geological Map of Kashmar, 1:100000" (1377).

[۱۴] اعلمی‌نیا ز.، کریم‌پور م.ح.، حیدریان شهری، م.ر.، "اجرای تکنیک RS و GIS در نقشه ۱:۱۰۰۰۰ کاشمر به منظور انتخاب مناطق مناسب جهت مطالعات زمین‌شناسی و اکتشافات ژئوشیمیایی"، پایان نامه کارشناسی ارشد زمین‌شناسی اقتصادی، گروه زمین‌شناسی دانشگاه فردوسی مشهد، (۱۳۸۵) ۲۲۹ صفحه.

[۱۵] اعلمی‌نیا ز.، کریم‌پور م.ح.، حیدریان شهری، م.ر.، "زمین‌شناسی، آلتراسیون و کانی‌سازی در محدوده اکتشافی

## کانی‌شناسی و ژئوشیمی عناصر نادر خاکی در کانسار روی-سرب-مس (نقره) گمیش‌تپه، جنوب‌غرب زنجان

طوبی صالحی، مجید قادری\*، نعمت‌الله رشیدنژاد عمران

گروه زمین‌شناسی، دانشگاه تربیت مدرس، تهران، ایران

دریافت مقاله: ۱۳۸۹/۴/۲۳، نسخه نهایی: ۱۳۸۹/۷/۲۰

### چکیده

کانسار روی-سرب-مس (نقره) گمیش‌تپه در ۹۰ کیلومتری جنوب‌غرب زنجان و در بخش شمال‌غربی زون ارومیه-دختر قرار دارد. رخنمون‌های سنگی منطقه معدنی را توالی‌های آتش‌فشانی-رسوبی و رسوبی الیگومیوسن و مجموعه ولکانو-پلوتونیکی پلیوسن (دایک‌های با ترکیب آندزیت پورفیری، توده نیمه‌ عمیق داسیتی و ولکانیک‌های ریوداسیتی) تشکیل می‌دهند. از دگرسانی‌های موجود در کانسار می‌توان به دگرسانی‌های سیلیسی، سیلیسی-سولفیدی، سریسیتی، کربناتی، آرژیلیکی و پروپیلیتی اشاره کرد. کانه‌زایی اصلی در کانسار گمیش‌تپه، به صورت رگه‌ای و در امتداد گسلی نرمال با روند شمال‌شرقی-جنوب‌غربی و شب تقریباً قائم در سنگ‌های میزبان چون کربستال‌لیتیک‌ توف داسیتی، گنبدهای نیمه‌ عمیق داسیتی، خصوصاً توف ریولیتی رخ داده است. پاراژنز کانی‌شناسی در رگه‌های کانه‌دار از پیریت، آرسن‌پیریت، کالکوپیریت، بورنیت، اسفالریت فقیر از آهن، گالن، تتراهریت و اسپکیولاژیت تشکیل شده است که کانی‌هایی مانند کوارتز، کلسیت، کلریت و کانی‌های رسی، آنها را همراهی می‌کنند. براساس نتایج آنالیز‌های شیمیایی، میانگین عیار عناصر از رگه‌های کانه‌دار، شامل ۶٪ روی؛ ۴٪ سرب؛ ۲٪ مس و ۸۸ ppm نقره است. همچنان، الگوی توزیع عناصر نادر کانی‌شناسی دگرسان شده توده نیمه‌ عمیق داسیتی (پلیوسن) و توف ریولیتی (الیگومیوسن) در مقایسه با نمونه‌های سالم، از عناصر خاکی نمونه‌های دگرسان شده رفتارهای متفاوتی نشان می‌دهند. بی‌هنجاری منفی Eu در الگوهای بهنچار شده LREE غنی‌شدگی دارند، در صورتی که HREE رفتارهای متفاوتی نشان می‌دهند. بی‌هنجاری منفی Eu در الگوهای بهنچار شده کندریتی سنگ‌های فوق، در ارتباط با افزایش نسبت سنگ/سیال و تجزیه پلاژیوکلازهایی است که از Eu نسبتاً غنی هستند. الگوی عناصر نادر خاکی توف سیلتی (کمرپایین ماده معدنی) در مقایسه با سنگ دیواره رگه‌های کانه‌دار، غنی‌شدگی از همه REE و بی‌هنجاری مثبت از Eu نشان می‌دهد. اما در نمونه‌های کانستنگی، نسبت LREE به HREE و میزان Eu در مقایسه با توف ریولیتی (میزبان رگه‌های معدنی) و توف سیلتی، غنی‌شدگی بیشتری نشان می‌دهند که علت آن، تأثیر سیالات مامگمازی-گرمابی غنی از کلر است که سبب دگرسانی در طول زون کانه‌زایی، تهی‌شدگی از LREE و Eu در سنگ‌های میزبان و سرانجام، تمرکز و حمل این عناصر در سیال کانه‌ساز شده است.

واژه‌های کلیدی: مجموعه ولکانو-پلوتونیک پلیوسن، دگرسانی، روی-سرب-مس (نقره)، گمیش‌تپه، زنجان.

### مقدمه

کانسار روی-سرب-مس (نقره) گمیش‌تپه در ۹۰ کیلومتری جنوب‌غرب زنجان، با مختصات جغرافیایی  $30^{\circ}30'30''$  طول شرقی و  $55^{\circ}05'30''$  عرض شمالی واقع شده است. از آنجا که آخرین فازهای کانی‌سازی سرب و روی ایران، ذخایر روی و سرب رگه‌ای اپی‌ترمال با

سنگی میزبان (با انتخاب نمونه‌های سنگی سالم و کمتر دگرسان شده) با استفاده از روش فلورسانس پرتو ایکس (XRF) در سازمان زمین‌شناسی و اکتشافات معدنی کشور و بررسی توزیع و فراوانی عناصر موجود در پهنه کانه‌زایی و رفتار الگوهای عناصر نادر خاکی و کمیاب با روش‌های ICP-AES (در سازمان زمین‌شناسی و اکتشافات معدنی کشور) و آنالیز ۳۸ عنصری ICP-MS و ICP-AES (به روش ذوب لیتیم متабورات، در آزمایشگاه ALS-Chemex و نکوور کانادا) صورت گرفته است. همچنین به منظور سنجش عنصر طلا در رگه‌های کانه‌دار نیز از روش AAS در سازمان زمین‌شناسی و اکتشافات معدنی کشور استفاده شد.

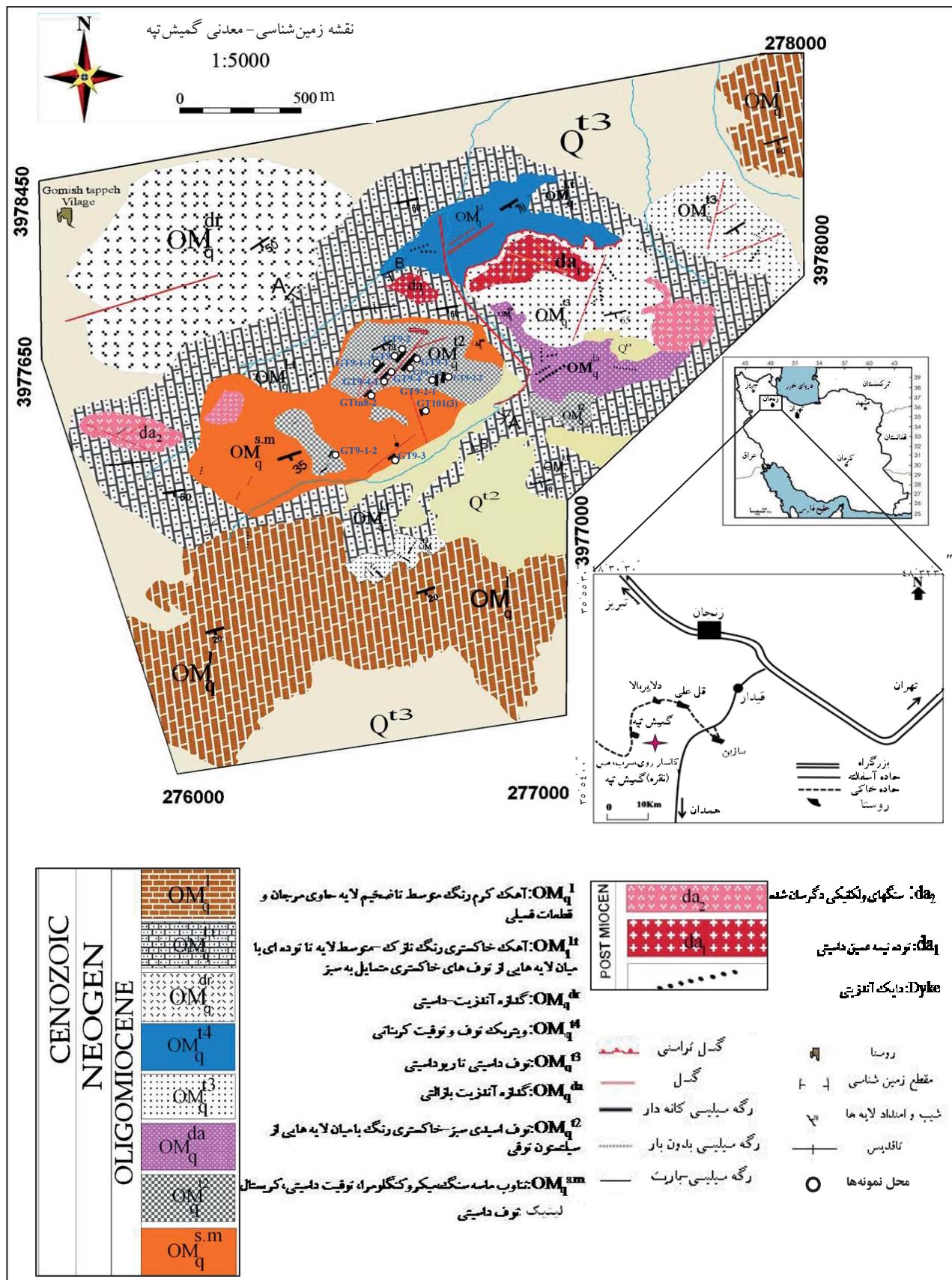
### زمین‌شناسی

با توجه به نقشه زمین‌شناسی-معدنی ۱:۵۰۰۰ گمیش‌تپه [۲]، قدیمی‌ترین واحدهای سنگی رخمنون یافته محدوده مورد مطالعه را سنگ‌های آتشفشاری-رسوبی و رسوبی الیگومیوسن با روند عمومی شمال‌شرقی-جنوب‌غربی تشکیل می‌دهند (شکل ۱). براساس بررسی‌های سنگ‌شناسی و ژئوشیمی عناصر اصلی در تجزیه سنگ کل [۲۱]، ترکیب شیمیایی سنگ‌های آذرین منطقه در نمودار [۵] در گستره ریولیت، داسیت تا آندزیت و آندزیت بازالت قرار می‌گیرند (شکل ۱۲)، به‌طوری‌که توالی سنگ‌شناسی واحدهای منطقه از قدیم به جدید شامل واحدهای ماسه‌سنگی-میکروکنگلومرا با میان‌لایه‌هایی از کریستال‌لیتیک‌توف و توفیت با ترکیب داسیت (OM<sub>q</sub><sup>s.m.</sup>)، توف‌های ریولیتی سیز تا خاکستری‌رنگ با میان‌لایه‌هایی از ویتریک‌توف و توف سیلتی (OM<sub>q</sub><sup>12</sup>)، آندزیت‌بازالت تیره (OM<sub>q</sub><sup>da</sup>)، توف ریوداسیتی (OM<sub>q</sub><sup>13</sup>)، آندزیت و توف با میان‌لایه‌هایی از توفیت کربناتی و مارن سیز رنگ (OM<sub>q</sub><sup>14</sup>) و گدازه داسیتی تا آندزیتی (OM<sub>q</sub><sup>dr</sup>) است. در بخش‌های بالایی این واحدهای خواص آذرآواری به تدریج کاهش یافته و به‌سمت رسوبی میل می‌کند، به‌طوری‌که آهک متوسط-ضخیم‌لایه تا تودهای خاکستری‌رنگ با میان‌لایه‌هایی از توف‌های شیلی خاکستری متمایل به سیز (OM<sub>q</sub><sup>1.t</sup>)، معادل سازند قم [۵]، بر روی آنها قرار می‌گیرد. وجود فسیل‌های دیسکو‌سیکلینا، گلوبیترینا، نومولیتس، اربیتوئیدس و میوزیپسینا، سن این واحد را الیگومیوسن پیشنهاد می‌کند [۶]. که به‌صورت بین‌انگشتی به آهک متوسط‌لایه تا تودهای

سنگ میزبان آتشفشاری و آتشفشاری-رسوبی ترشییری هستند که در کمربندهای ولکانو-پلوتونیک ارومیه-دختر، ترود-چاه‌شیرین، البرز-آذربایجان و شرق ایران شناخته شده‌اند [۱]؛ طی پژوهشی که در این منطقه معدنی صورت گرفت [۲]، کانسار گمیش‌تپه نیز به‌عنوان یکی از کانسارهای رگه‌ای اپی‌ترمال معرفی می‌گردد که در بخش شمال‌غربی کمربند ولکانو-پلوتونیک ارومیه-دختر قرار گرفته است. از جمله کانسارهای رگه‌ای اپی‌ترمال دیگر موجود در این کمربند می‌توان به کانسارهای آی‌قلعه‌سی در تکاب [۳]، حکان‌گچیلو در شمال‌شرقی رزن و باریک‌آب در شمال ایهرا [۴] اشاره کرد. بررسی‌های زمین‌شناسی همراه با حفر چندین حلقه تونل و ترانشه‌های اکتشافی و استخراجی در بخش‌های مختلف کانسار، حاکی از آن است که این کانسار از سالیان دور شناسایی شده و مورد بهره‌برداری قرار گرفته است، ولی از آنجا که تاکنون در خصوص چگونگی تشکیل آن مطالعه علمی دقیقی صورت نگرفته است؛ لذا در این مقاله، مطالعات کانی‌شناسی، بافتی، دگرسانی و رفتار ژئوشیمیایی عناصر نادر خاکی در پهنه کانه‌زایی این ذخیره مورد بررسی قرار گرفته تا بتواند به‌عنوان راه‌گشایی اکتشاف این‌گونه کانه‌زایی‌ها در پهنه ارومیه-دختر و سایر کمربندهای ولکانو-پلوتونیک ایران مورد استفاده قرار گیرد.

### روش مطالعه

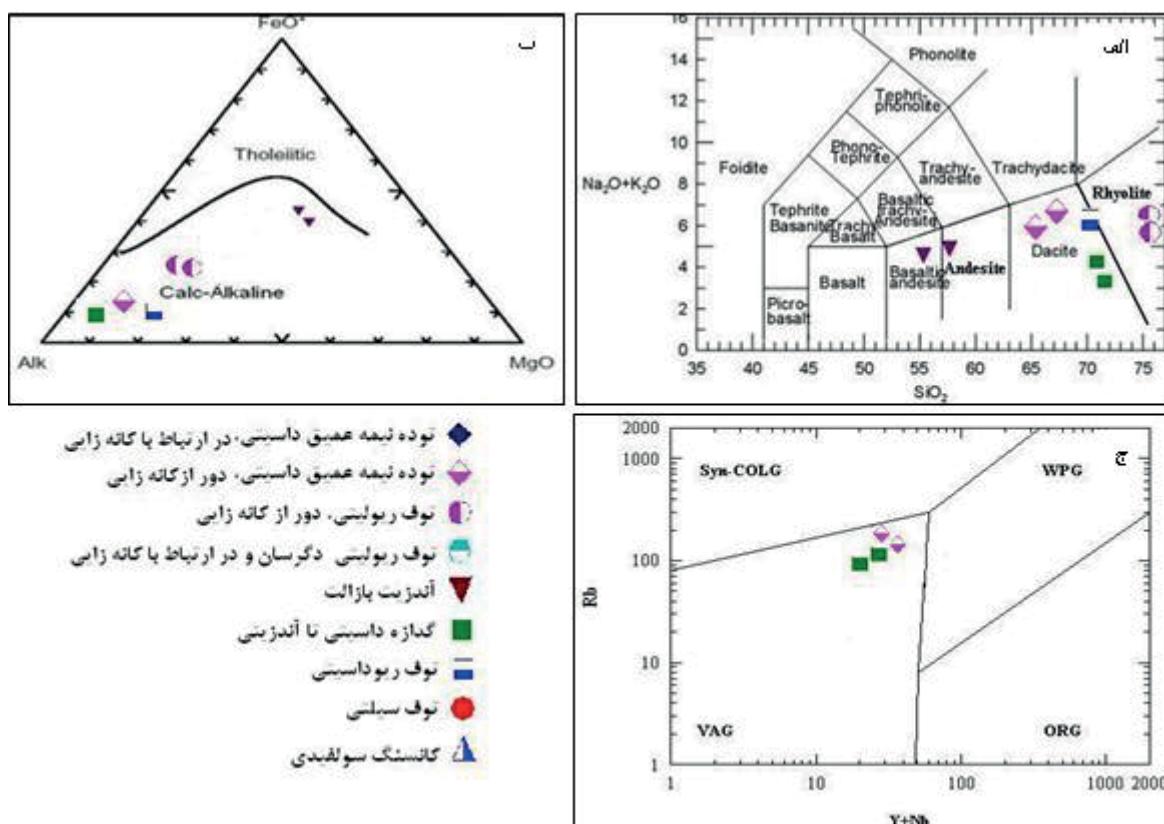
در این کار پژوهشی، پس از جمع‌آوری اطلاعات مربوط به منطقه، بررسی‌های صحرایی با تفکیک دقیق واحدهای سنگی، مطالعه ابعاد و گسترش پهنه کانی‌سازی، شناسایی انواع گسل‌ها و شکستگی‌های موجود در منطقه معدنی و تعیین ارتباط آنها با کانه‌زایی انجام شد. در ادامه از واحدهای سنگی مختلف، رگه‌های کانه‌دار موجود در تونل‌ها، ترانشه‌ها و پهنه‌های دگرسانی، نمونه‌برداری صورت گرفت. انتخاب و آماده‌سازی نمونه‌ها برای تهیه مقاطع میکروسکوپی نازک، نازک-صیقلی، صیقلی و آنالیزهای شیمیایی، مطالعه میکروسکوپی مقاطع، گام بعدی این کار پژوهشی بوده است [۲]. کانی‌های ناشناخته در بخش‌های کانه‌دار، به‌خصوص در زون‌های دگرسانی، به روش پراش اشعه X (XRD) و انجام آنالیزهای نقطه‌ای با استفاده از میکروسکوپ الکترونی (SEM-EDX) مدل XL30 در دانشگاه تربیت مدرس شناسایی شدند. شناخت ترکیب شیمیی واحدهای



شکل ۱. موقعیت کاسار گمیش‌تپه در جنوب‌غربی زنجان و نقشه زمین‌شناسی-معدنی ۱:۵۰۰۰ [۲]. نتایج آنالیز نمونه‌های معدنی در جدول ۴ آورده شده است.

جدول ۱. میزان عناصر اصلی (بر حسب %wt)، کمیاب و نادر خاکی (بر حسب ppm) در واحدهای سنگی منطقه و نمونه‌ای از ماده معدنی، براساس آنالیزهای XRF، ICP-MS، ICP-AES و محاسبه نسبت‌ها و پارامترهای محاسباتی مربوط به REE.

NO.	GT-168	GT-S1-4	GT-231	GT-254	GT-94	GT9-1-1
<b>SiO<sub>2</sub></b>	۷۳/۷۶	۷۴/۵۶	۶۷/۹۶	۶۷/۴۲	۵۹/۹۹	-
<b>Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub></b>	۱۴/۳۷	۱۲/۳۶	۱۴/۵۸	۱۶/۶۲	۱۴/۹۹	-
<b>Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub></b>	۰/۱۷	۰/۹۷	۲/۸۵	۲/۱۵	۵/۶۰	-
<b>CaO</b>	۱/۱	۰/۲۷	۰/۳۶	۲/۴۵	۲/۷۲	-
<b>MgO</b>	۱/۳۱	۰/۷۶	۳/۰۹	۲/۵۲	۲/۸۰	-
<b>Na<sub>2</sub>O</b>	۲/۸۸	۳/۸۳	۲/۲۰	۲/۱۵	۲/۲۸	-
<b>K<sub>2</sub>O</b>	۳/۲۲	۴/۴۲	۵/۱۹	۴/۰۷	۴/۵۴	-
<b>TiO<sub>2</sub></b>	۰/۱	۰/۱	۰/۲۸	۰/۳۸	۰/۸۷	-
<b>MnO</b>	۰/۱	۰/۱	۰/۱	۰/۱	۰/۲۸	-
<b>P<sub>2</sub>O<sub>5</sub></b>	۰/۱	۰/۱	۰/۱	۰/۱۲	۰/۲۵	-
<b>LOI</b>	۱/۶۱	۱/۰۲	۲/۶۷	۱/۵۷	۳/۷۷	-
<b>Total</b>	۹۹/۸۳	۹۹/۴۷	۹۹/۳۹	۹۹/۵۷	۹۹/۸۳	-
<b>Ba</b>	۲۴۹.	۲۲۸.	۱۱۷.	۲۰۱.	۲۰۷.	۱۰۵
<b>Cu</b>	۲۷	۵	۱۰	۶۷	۱۷	۱۰۰۰
<b>Cr</b>	۵۰	۱۴۰	۵۰	۶۰	۸۰	۱۰
<b>Ga</b>	۹/۹	۹/۲	۱۶/۳	۱۵/۷	۱۶/۴	۱۳/۲
<b>Pb</b>	۱۲۲	۲۰	۲۷	۸	۲۹	۱۳۴۰۰
<b>Nb</b>	۱۱/۸	۱۰/۱	۱۹/۳	۱۹	۱۵/۸	۰/۲
<b>Ni</b>	۵	۶	۵	۵	۳۷	۷
<b>Zn</b>	۹۴.	۲۸	۱۳۹.	۱۶۰	۹۷	۱۲۱۰۰
<b>Zr</b>	۱۵۳	۷۲	۲۰۵	۲۸۶	۱۷۰	۲۳
<b>Rb</b>	۱۴۶/۵	۱۴۶/۵	۱۴۲/۵	۱۶۹/۵	۱۵۵/۵	۴۸
<b>Sr</b>	۹۸/۹	۶۴/۶	۳۱/۴	۱۲۱/۵	۱۸۸/۵	۲۸/۹
<b>Th</b>	۱۵/۴	۱۴/۷۰	۲۵	۲۲/۵	۱۰/۹۰	۰/۱۳
<b>V</b>	۵	۶	۱۸	۱۴	۱۰۸	۱۳
<b>U</b>	۳	۳	۶	۵	۴	۲
<b>La</b>	۱۰/۵	۱۷/۵	۴۱/۷	۳۷/۱	۳۶/۵	۲۵/۳
<b>Ce</b>	۲۰	۳۲	۷۱	۶۰	۵۵	۱۲
<b>Pr</b>	۲/۲	۲/۷	۸/۹	۶/۵	۷/۸	۲/۹
<b>Nd</b>	۶/۹	۸/۹	۲۲	۲۲	۲۹	۱۰
<b>Sm</b>	۱/۲	۱/۵	۳/۵	۳/۷	۵/۵	۲
<b>Eu</b>	۰/۲	۰/۳	۰/۶	۰/۸	۱/۴	۲
<b>Gd</b>	۱/۱۲	۱/۵۸	۳/۷۱	۳/۷۲	۵/۷۲	۳/۰۵
<b>Tb</b>	۰/۱۶	۰/۲۱	۰/۵۱	۰/۵۱	۰/۸۱	۰/۴۲
<b>Dy</b>	۱/۲	۱/۴۴	۳/۲۵	۳/۱۷	۴/۸۷	۳/۵۵
<b>Ho</b>	۰/۳	۰/۳	۰/۷	۰/۷	۱	۰/۸
<b>Er</b>	۱/۱	۱/۱	۲/۴	۲/۳	۲/۸	۲/۱
<b>Tm</b>	۰/۲	۰/۲	۰/۴	۰/۳	۰/۴	۰/۳
<b>Yb</b>	۱/۵	۱/۴	۲/۷	۲/۵	۲/۶	۱/۶
<b>Lu</b>	۰/۲۳	۰/۲۳	۰/۴	۰/۳۹	۰/۳۹	۰/۱۹
<b>ΣREE</b>	۴۷/۰۵	۶۹/۲	۱۵۹/۷	۱۴۳/۳۹	۱۵۳/۱۶	۶۶/۵۲
<b>Ce/Ce*</b>	۰/۹۸	۱/۰۲	۰/۱۸	۰/۹۲	۰/۷۵	۰/۲۸
<b>Eu/Eu*</b>	۰/۸	۰/۷۶	۰/۷۵	۱/۱۴	۱/۳	۵
<b>Gd/Yb</b>	۰/۷۵	۱/۱۲	۱/۳۷	۱/۵	۲/۲	۱/۹
<b>Ce/Yb</b>	۱۳/۲۶	۲۳/۶۲	۲۶	۲۴/۴	۲۱/۳	۷/۶
<b>La/Lu</b>	۴۵/۶۵	۷۵/۶۵	۱۰/۱۷	۹۵/۱۲	۹۳/۶	۱۳۳/۱۵
<b>La/Yb</b>	۷	۱۲/۵	۱۵/۲۷	۱۵/۱	۱۴/۲۶	۱۶/۱
<b>La/Sm</b>	۸/۷۵	۱۱/۶	۱۲	۷/۳۲	۶/۶۳	۱۲/۶۵



شکل ۲. الف) ردهبندی سنگ‌های منطقه معدنی با استفاده از نمودار AFM [۱۵]. ب) نمودار TAS [۱۶]. ب) نمودار دوتایی Rb در مقابل Y+Nb برای تعیین موقعیت تکتونیکی سنگ‌های آذرین منطقه معدنی تولیتی سنگ‌های منطقه معدنی. ج) نمودار دوتایی Rb vs Y+Nb برای تعیین موقعیت تکتونیکی سنگ‌های آذرین منطقه معدنی [۱۷].

جدول ۲. نتایج آنالیز XRD برخی از نمونه‌ها در پهنه‌های دگرسان و بخش‌های کانه‌دار.

پهنه دگرسانی	نمونه	نتایج کانی‌شناسی
سیلیسی - سولفیدی	GT 245	کوارتز، هماتیت، گوتیت، سروزیت
	GT-S10	کوارتز، فلدسپار، پیریت، لیپدوكروسیت، هماتیت، کلینوکلر
سریسیتی	GT-T1S-W	کوارتز، اتوکلاز، آدولاریا، کلینوکلر، سروزیت، اسمیتزوونیت
	GT-247	کوارتز، فلدسپار، کلینوکلر، سرسیت، ایلیت
	GT-250	کوارتز، فلدسپار، آدولاریا، کلینوکلر
آردزیلیکی	GT205	کوارتز، فلدسپار، موسکویت، کائولینیت، کلسیت
	GT249	کوارتز، ارتوکلاز، مونتموریونیت، ناترونیت
	GT184	کوارتز، فلدسپار، موسکویت، ناترونیت
	GT232	کوارتز، آلبیت، ایلیت، کلینوکلر
	GT 248	کوارتز، کائولینیت، کلینوکلر
پروپیلیتی	GT252	کلینوکلر، اپیدوت، کلسیت، کوارتز، آلبیت
(کانسنگ سولفیدی) رگه سیلیسی کانه‌دار	Gt-S11-1	اسفالریت، گالن، ورتزیت، اسمیتزوونیت، همیمورفیت، مالاکیت، سروزیت، کوارتز، کائولینیت، کلینوکلر
	GT-S11-2	اسفالریت، گالن، همیمورفیت، اسمیتزوونیت، سروزیت، مالاکیت
	GT-T <sub>1</sub> S	کوارتز، سروزیت، اسمیتزوونیت، گالن، گوتیت
	GT-S6	همیمورفیت، اسمیتزوونیت، کوارتز، مونتموریونیت
	GT158	کوارتز، کلینوکلر، ایلیت، کالکوپیریت، پیریت، گالن، گوتیت

### دگرسانی

بررسی‌های صحرایی، مطالعات آزمایشگاهی و نتایج آنالیز XRD نشان می‌دهند که سنگ‌های آتشفسانی محدوده معدنی گمیش‌تپه در نتیجه صعود سیالات گرمابی تأخیری، به صورت متغیر و گاه پراکنده، دستخوش دگرسانی‌های گرمابی شده‌اند. همچنین در اطراف رگه‌های کانه‌دار، دگرسانی‌های گرمابی آنقدر شدید هستند که گاهی از چند سانتی‌متر و حتی در مواردی هاله‌های ضخیم در دو طرف یک رگه معدنی می‌سازند، اما با توجه به فعالیت‌های شدید تکتونیکی در منطقه معدنی و در هم‌ریختگی پهنه‌های دگرسانی، امکان تفکیک دقیق آنها میسر نشد. از آنجا که شناخت محصولات و فرآیندهای دگرسانی، که همراه با کانه‌زایی مشاهده می‌شوند، اساس شناسایی فرآیندهای مربوط به ژنز کانسار است و موجب پیشرفت در تکنیک‌های اکتشافی می‌شود [۹]. بنابراین تفکیک دگرسانی‌ها در منطقه معدنی به طور تقریبی و براساس توالی پارازنتیک کانی‌های مشاهده شده در بخش‌های مذکور صورت گرفت. به همین منظور، برای شناسایی کانی‌های ناشناخته در پهنه‌های دگرسان، نمونه‌هایی از این بخش‌ها به روش XRD آنالیز شد (جدول ۲).

دگرسانی سیلیسی که یکی از رایج‌ترین و شناخته‌شده‌ترین انواع دگرسانی در سیستم‌های گرمابی است [۱۰]، در منطقه مورد مطالعه، به صورت تشکیل رگه- رگچه‌های سیلیسی و سیلیسی‌شدن بخش‌هایی از سنگ‌های دیواره (میزان کانه‌زایی) نمود دارد که بر پهنه گسلی با روند شمال‌شرقی- جنوب‌غربی منطبق است. همچنین این دگرسانی در سایر بخش‌های منطقه معدنی، به صورت رگه- رگچه‌های سیلیسی تأخیری و بدون بار قابل مشاهده است. براساس مطالعات صحرایی و آزمایشگاهی، کانی‌شناسی رگه- رگچه‌های سیلیسی کانه‌دار را کوارتز نوع آمتیست، دودی، شیری و بی‌رنگ و سیلیس آمورف تشکیل می‌دهد. علاوه بر این، این دگرسانی در بخش‌های سطحی کانسار به صورت اپال، کالسدونی، ژاسپروئید با بافت توده‌ای و لامینه قابل تشخیص است. دگرسانی سیلیسی- سولفیدی از دیگر دگرسانی‌های مشاهده شده در کانسار است که بیشتر با رگه‌های سیلیسی کانه‌دار همراه است، به طوری که براساس نتایج آنالیز XRD نمونه‌های (GT 245, GT-S10)، (جدول ۲) و مطالعات میکروسکوپی، کوارتز، پیریت، اکسید و هیدروکسیدهای آهن (گوتیت و لپیدوکروسیت) و کلریت،

کرمزنگ با میان‌لایه‌هایی از توف‌های مارنی ( $OM_q^1$ ) است. علاوه بر این، در بخش‌های شمال، شمال‌شرقی و غرب منطقه معدنی، توده‌های نیمه عمیق داسیتی پلیوسن نیز رخمنون دارند که در واحدهای آتشفسانی- رسوی الیگومیوسن نفوذ کرده‌اند. همچنین، در بخش شرقی منطقه، دایک‌های آندزیتی با روند شمال‌شرقی- جنوب‌غربی و با رنگ سبز تیره برونزد دارند و واحد آندزیت بازالتی را قطع کرده‌اند.

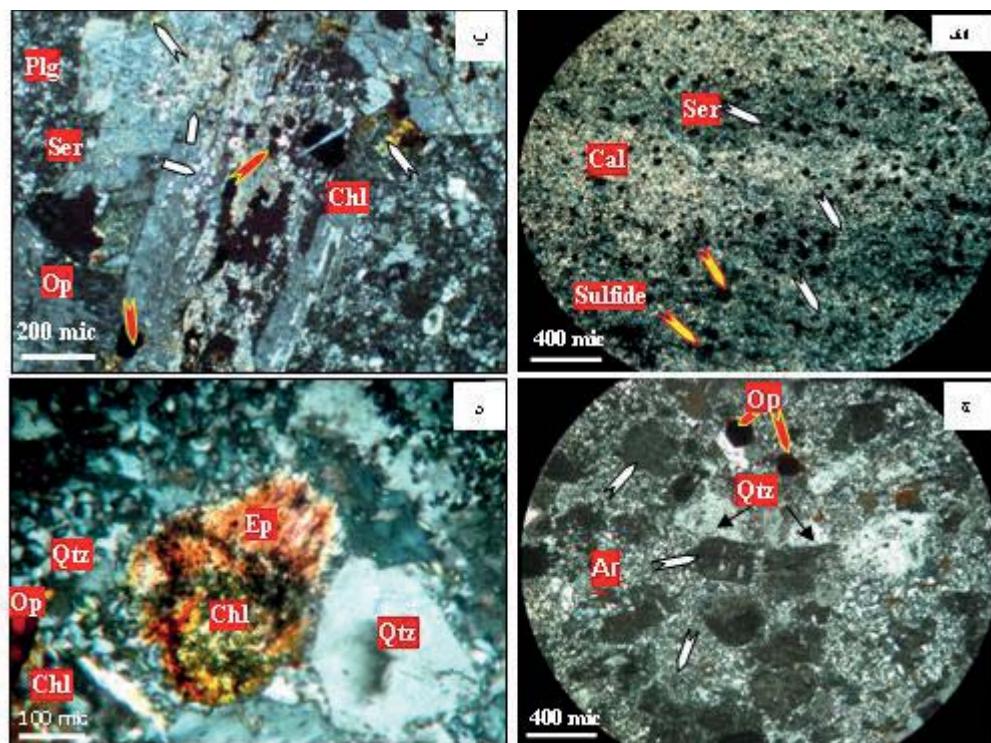
مجموعه سنگ‌های آذرین منطقه، از نظر ژئوشیمی سنگ [۲] (جدول ۱) و براساس نمودار [۷]، در سری ماگمایی آهکی- قلیایی قرار می‌گیرند (شکل ۲ ب). دامنه تغییرات  $K_2O$  در این سنگ‌ها نسبتاً گسترده است که می‌تواند ناشی از تحرک پذیری عنصر پتاسیم حین فرآیند دگرسانی سنگ‌های منطقه باشد. همچنین، بر پایه شیمی عناصر کمیاب (جدول ۱)، مجموعه مورد بررسی در گستره کمان‌های ماگمایی ناشی از فروراش قرار می‌گیرد [۸] (شکل ۲ ج). براساس مشاهدات صحرایی، توف ریولیتی، کریستال‌لیتیک‌توف داسیتی و توده نیمه عمیق داسیتی، سنگ‌های میزان ماده معدنی در کانسار گمیش‌تپه هستند.

براساس بررسی‌های زمین‌شناسی ساختمانی که در منطقه معدنی انجام شد [۲]، چندین نوع گسل با سازوکارهای مختلف شناسایی گردید که شامل گسل معکوس با روند شمال‌غربی- جنوب‌شرقی، گسل‌های نرمال با روند شمال‌شرقی- جنوب‌غربی و شیب نسبتاً تند به همراه مؤلفه‌های کوچکتری از آن با سازوکار شبکه‌ی و گسل‌های امتدادلغز راستگرد با روند شمال‌غربی- جنوب‌شرقی است. گسل معکوس در بخش شمالی منطقه معدنی، باعث بالاًمدن توف‌های ریوداسیتی بر روی واحد  $OM_q^{14}$  شده است، در صورتی که گسل‌های نرمال، مهمترین کنترل‌کننده‌های ساختاری در امر کانی‌سازی در منطقه معدنی هستند، به طوری که کانه‌زایی در کانسار گمیش‌تپه به صورت رگه- رگچه‌ای و در راستای فعالیت قابل مشاهده است. در عین حال، گسل‌های امتدادلغز هیچ ارتباطی با کانه‌زایی نشان نمی‌دهند، ولی تمامی منطقه را تحت تأثیر قرار داده‌اند، به طوری که فعالیت این گسل‌ها در منطقه معدنی، باعث خردشده‌گی و جابجایی واحدهای سنگی میزان کانه‌زایی و رگه‌های کانه‌دار شده است.

آهن جایگزین شده‌اند (شکل ۳ ب). گاهی این دگرسانی تا حدی پیش رفته که هیچ اثری از پلازیوکلاز و فلدسپات پتابسیم دیده نمی‌شود (شکل ۳alf). در این نوع دگرسانی، کوارتز از نوع ثانویه و بی‌شکل بوده که به صورت پراکنده، رگچه‌های میلی‌متری یا فضایپرکن در زمینه سنگ حضور دارد و به نظر می‌رسد که در اثر تبلور دوباره کوارتر اولیه و یا آزاد شدن سیلیس طی واکنش فلدسپات‌ها و تبدیل به سریسیت به وجود آمده باشد [۱۱]. همچنین نتایج به دست آمده از آنالیز XRD GT-T1S-W, GT250, GT-247) در اطراف رگچه‌های کانه‌دار (جدول ۲)، حاکی از حضور کانی رسی (ایلیت)، کلریت و آدولاریا (به مقدار بسیار متغیر) در این نمونه‌ها است.

محصول این دگرسانی هستند. این نوع دگرسانی در توده نیمه‌عمیق داسیتی نیز دیده می‌شود، به طوری که قالب کانی‌های فنوکریست چون پلازیوکلاز و آمفیبول و حفرات موجود در سنگ، به طور کامل بهوسیله کوارتز، پیریت‌های اکسیده، کلریت و کربنات پر شده است.

دگرسانی سریسیتی با پاراژنز کوارتز، سریسیت، پیریت و کلریت، در کانسار گمیش‌تپه قابل تشخیص است که گسترش قابل ملاحظه‌ای را در بخش‌های کانه‌دار و سنگ‌های آتشفسانی منطقه، خصوصاً توده نیمه‌عمیق داسیتی نشان می‌دهد، به طوری که در این واحدا، پلازیوکلاز و فلدسپات پتابسیم در امتداد رخها و از حاشیه و مرکز به سریسیت تبدیل شده و کانی‌های مافیک (بیوتیت و آمفیبول) با کلریت و اکسیدهای



شکل ۳. (الف) دگرسانی سریسیتی در توفیت داسیتی به همراه سولفید و کربنات که در اثر شدت دگرسانی، سنگ اولیه قابل تشخیص نیست. (ب) مقطع میکروسکوپی از توده نیمه‌عمیق داسیتی، سریسیتی‌شدن فنوکریست پلازیوکلاز به همراه کانی اپک (پیریت اکسیده) و حضور رگه-رگچه‌هایی از اکسید و هیدروکسید آهن و کلریت. (ج) تجزیه فنوکریست‌های فلدسپار به کانی‌های رسی همراه با فنوکریست‌های کوارتز در زمینه‌ای از کوارتز میکروکریستالین و فلدسپات‌های ریز تجزیه شده به کانی‌های رسی در نمونه‌ای از توف ریوداسیتی. (د) دگرسانی کانی مافیک (بیوتیت) به اپیدوت و کلریت همراه با کلریت و کانه‌های اپک در فضاهای خالی، در پهنه دگرسانی پروفیلیتی. سولفید (Sulfide)، کوارتز (Qtz)، کربنات (Cal)، سریسیت (Ser)، اپک (OP)، پلازیوکلاز (Plg)، اپیدوت (Ep)، کانی‌های رسی (Arg).

محدوده مورد بررسی، عبارت از کلریت آهن و منیزیم‌دار (کلینوکلر)، اپیدوت، کلسیت، کوارتز، زئولیت و آلیت (به مقدار کمتر) است. در برخی موارد، سریسیت، مونتموریونیت و اکسیدهای آهن، این مجموعه را همراهی می‌نمایند. در این زون، کلریت و اپیدوت جانشین کانی‌های مافیک (بیوتیت و آمفیبول) شده است (شکل ۳). کلریت، زئولیت، کربنات و اکسید و هیدروکسیدهای آهن، فضاهای خالی موجود در سنگ‌های آتشفسانی منطقه را پر کرده‌اند.

#### کانه‌زایی

براساس مشاهدات صحرایی و شواهد زمین‌شناختی و ساختاری، ژئومتری ماده معدنی در کانسار گمیش‌تپه به صورت رگه‌ای است که به پهنه گسلی و بهشدت دگرسان شده محدود شده و شامل رگه- رگچه‌های سیلیسی با دو روند شمال‌شرقی- جنوب‌غربی و شمال‌غربی- جنوب‌شرقی است. کانه‌زایی در رگه- رگچه‌های سیلیسی با روند شمال‌غربی- جنوب‌شرقی، شامل چند رگه- رگچه سیلیسی- سولفیدی فرعی با ضخامت ۱۰ تا ۲۰ سانتی‌متر و طول ۵۰ سانتی‌متر و بدون ارزش اقتصادی است که در بخش‌های بالایی توده نیمه‌عمیق داسیتی و در امتداد شکستگی‌های نرمال با همین روند تشکیل شده‌اند. این در حالی است که کانه‌زایی اصلی بالرزش اقتصادی، شامل رگه‌های سیلیسی با روند شمال‌شرقی- جنوب‌غربی با سنگ میزبان توف ریولیتی و کریستال لیتیک توف داسیتی است که در امتداد گسل‌های نرمال با روند N20-30E/70NW و در فاصله دور از (در حاشیه) توده نیمه‌عمیق داسیتی تشکیل شده‌اند. طول و ضخامت آنها به ترتیب حدود ۵۰ تا ۵۰۰ و ۱-۳ متر است و تمامی فعالیت‌های معدنی نیز در راستای آنها انجام گرفته است. بررسی‌های صحرایی و مطالعات آزمایشگاهی نشان می‌دهد که کانه‌زایی در رگه‌های مذکور طی سه مرحله و به صورت ۱) برش‌های هیدروترمالی (شکل ۴الف)، ۲) رگه- رگچه‌های سیلیسی- سولفیدی (شکل ۴ب) و سیلیسی- سولفیدی- کربناتی (شکل ۴ج)، ۳) رگه- رگچه‌های تأخیری با بافت نواری غنی از اسپکتیولاریت و سیلیس رخ داده است (شکل ۴). بدغیر از موارد فوق، رگه- رگچه‌های سیلیسی بدون بار با روندهای مختلف نیز در منطقه معدنی قابل مشاهده است که بخش‌های کانه‌دار را قطع کرده‌اند. بررسی

براساس مشاهدات صحرایی، دگرسانی کربناتی در حاشیه رگه‌های کانه‌دار و با حضور کانی‌های کلسیت، سیدریت، کلریت و کوارتز به همراه کانی‌های سولفیدی قبل مشاهده است. حالی دیگر از این دگرسانی در منطقه، تبدیل کانی‌های مافیک آمفیبول و پیروکسن، پلاژیوکلاز و فلدسپات‌های ریز موجود در زمینه واحدهای میزبان کانه‌زایی به کربنات و وجود رگه و رگچه‌های کلسیتی است.

دگرسانی آژیلیکی در بخش‌های شرقی و جنوبی منطقه مورد مطالعه (در توده نیمه‌عمیق داسیتی، توف‌های ریوداسیتی و گدازه‌های آندزیت بازالت) و همچنین در اطراف رگه‌های معدنی، به صورت درهم‌ریخته با دگرسانی کربناتی قابل مشاهده است. این نوع دگرسانی، ویژه کانسارهای اپی‌ترمال است [۱۱] و عموماً تحت تأثیر سیالات ماگمایی- گرمابی، بخارات اسیدی حاصل از سرد شدن سریع و یا آبهای جوی، در درجه حرارت بین ۱۰۰ و ۳۰۰ درجه سانتی‌گراد ایجاد می‌گردد [۱۲، ۱۳]. مطالعات آزمایشگاهی نشان می‌دهد که دگرسانی آژیلیکی در منطقه معدنی، به صورت فراگیر انتخابی عمل کرده است، به طوری که در مقاطع میکروسکوپی، جانشینی کانی‌های رسی به جای کانی‌های آلومینیم‌دار در فلدسپات پتانسیم و پلاژیوکلاز به طور کامل و گاه به صورت ناقص دیده می‌شود (شکل ۳ج). کوارتز، ایلیت، کائولینیت و مونتموریونیت از فراوان ترین کانی‌های موجود در دگرسانی‌های رسی هستند [۱۴]. بنابراین، براساس مشاهدات صحرایی و نتایج حاصل از آنالیز XRD (نمونه‌های GT249، GT205، GT184، GT232، GT 248، ایلیت، کائولینیت، مونتموریونیت و ناترونیت، مهمنترین پاراژنر کانی‌شناسی این دگرسانی را در کانسار گمیش‌تپه تشکیل می‌دهند (جدول ۲). در بخش‌هایی از منطقه که شدت دگرسانی بیشتر است، کلریت و کلسیت نیز از دیگر کانی‌های همراه این مجموعه هستند.

دگرسانی پر وبیلیتی فراگیرترین نوع دگرسانی در منطقه مورد مطالعه است که گسترش زیادی را در واحدهای آتشفسانی و بخش خارجی پهنه کانه‌زایی نشان می‌دهد. این نوع دگرسانی از واکنش سیالات ماگمایی یا گرمابی غنی از منیزیم، آهن، کلسیم، سدیم و یا بی کربنات با سنگ‌های آذرین ایجاد می‌شود [۱۳]. بر پایه بررسی‌های آزمایشگاهی و نتایج آنالیز XRD حاصل از نمونه GT252، پاراژنر این نوع دگرسانی در

و گاهی پیریت در میان آنها با بافت باقیمانده و آتولمانند قابل مشاهده است (شکل ۵پ). نسل سوم: شامل پیریت با بافت کلوفرمی و کمی گرد شده است که در مرحله تأخیری و افول سیستم هیدرотرمالی تشکیل شده است.

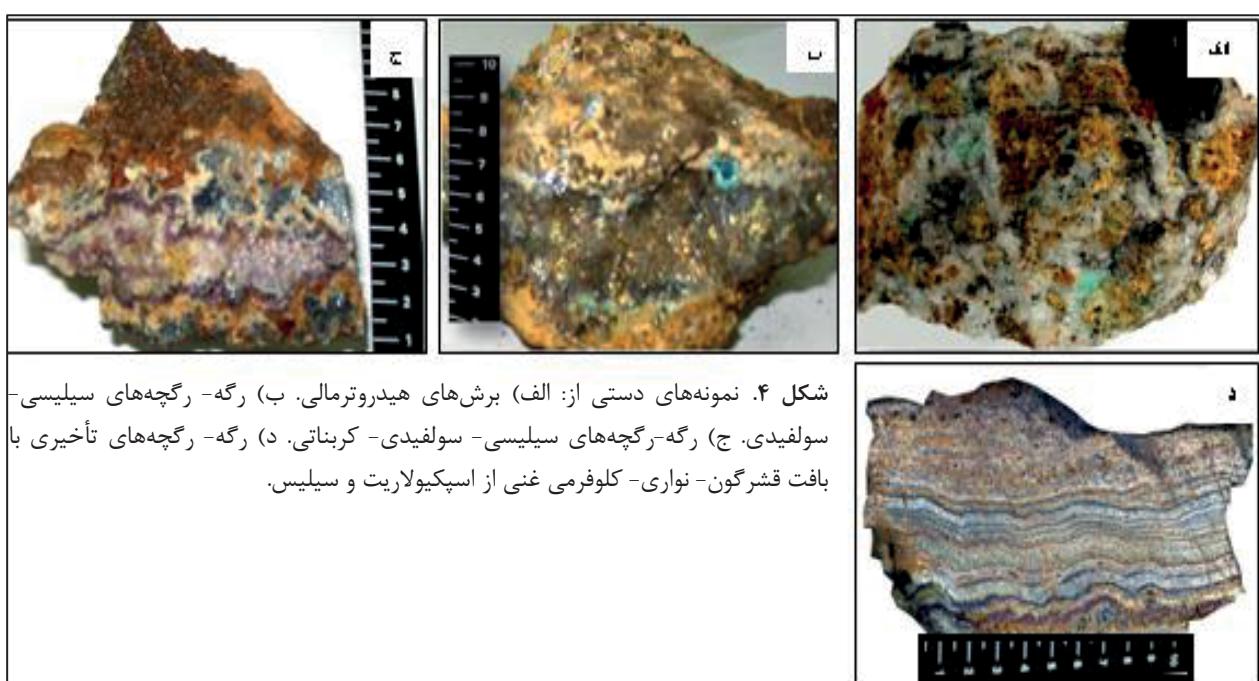
#### اسفالریت ( $ZnS$ )

با توجه به شدت دگرسانی و فعالیتهای سوپرژن در منطقه، اسفالریت در نمونه‌های دستی مشاهده نشد و فقط در بعضی از مقاطع میکروسکوپی و نتایج آنالیز میکروسکوپ الکترونی، این کانی به صورت نیمه‌شکل دار تا بی‌شکل، در اندازه‌های متفاوت (۵۰ میکرون تا حدود ۱ میلی‌متر) به مقدار بسیار کم شناسایی گردید. البته، در بررسی نتایج آنالیز XRD نمونه‌های سولفیدی (جدول ۲)، اسفالریت به همراه ورتزیت نیز گزارش شده است که با توجه به مطالعات میکروسکوپ الکترونی از نمونه GTS-st213 (جدول ۳)، میزان آهن آن بسیار پایین است. در مطالعه مقاطع میکروسکوپی، این کانی با کالکوبیریت و گالن مرز بسیار واضحی نشان می‌دهد (شکل ۵ت) که گویای همزمانی تشکیل آنها در مرحله دوم از فعالیتهای هیدرотرمالی است و حتی در بعضی از مقاطع، گالن از اطراف، اسفالریت را فرا گرفته یا از حاشیه جانشین آن شده است (شکل ۵چ).

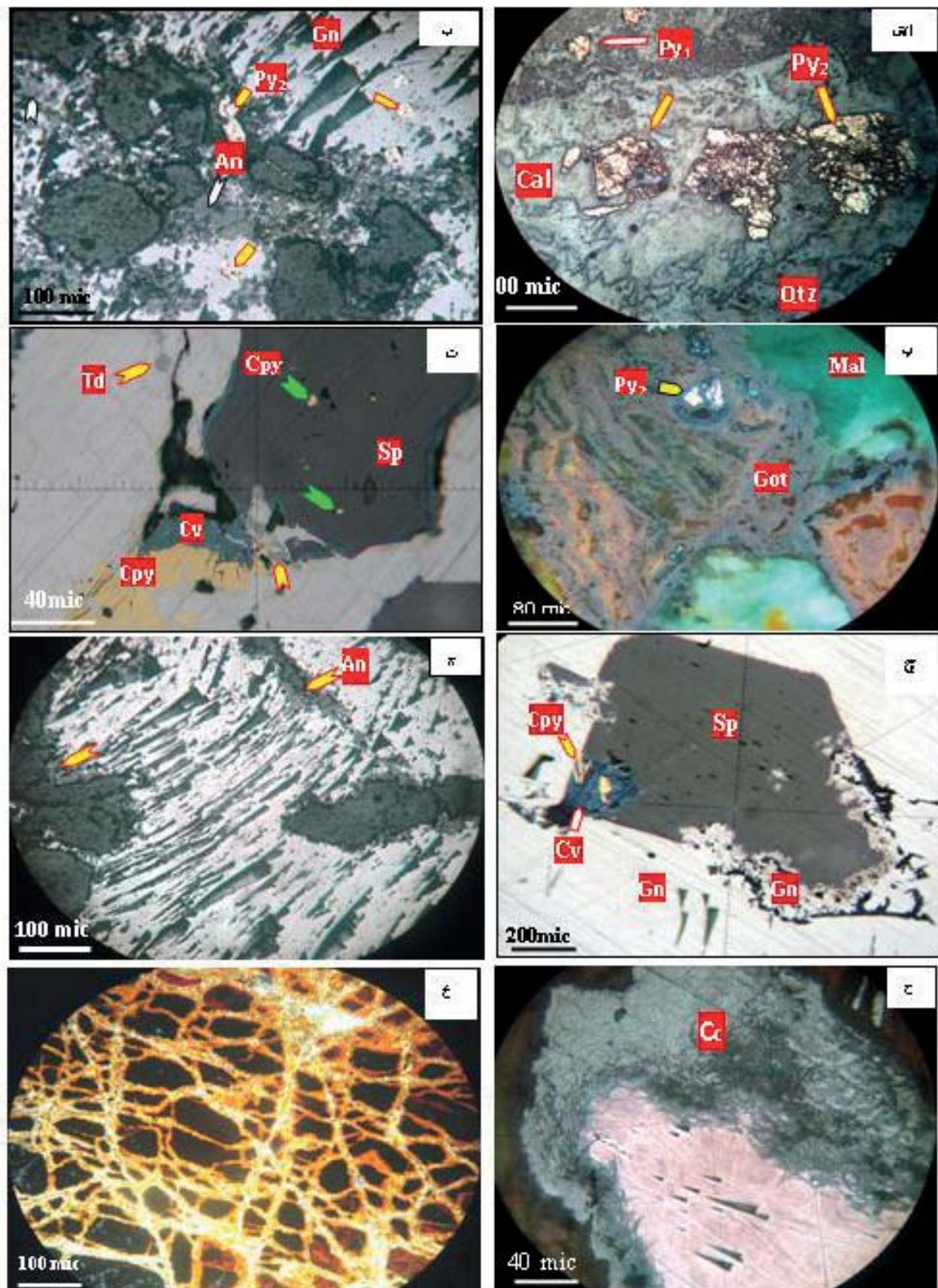
مقاطع میکروسکوپی، نتایج مطالعات میکروسکوپ الکترونی و آنالیز XRD نمونه‌ها، نشانگر تشکیل کانه‌های سولفیدی، سولفوسالتس، اکسیدی و کربناتی به صورت اولیه و ثانویه همراه با کانی‌های گانگ چون کوارتز، کلسیت، سریسیت، کلریت و کانی‌های رسی در مراحل کانه‌زایی ذکر شده است، که در زیر به معرفی این کانی‌ها، بافت‌های شاخص‌شان و تشکیل آنها در طول مراحل کانه‌زایی و ارتباط آنها با یکدیگر، پرداخته می‌شود.

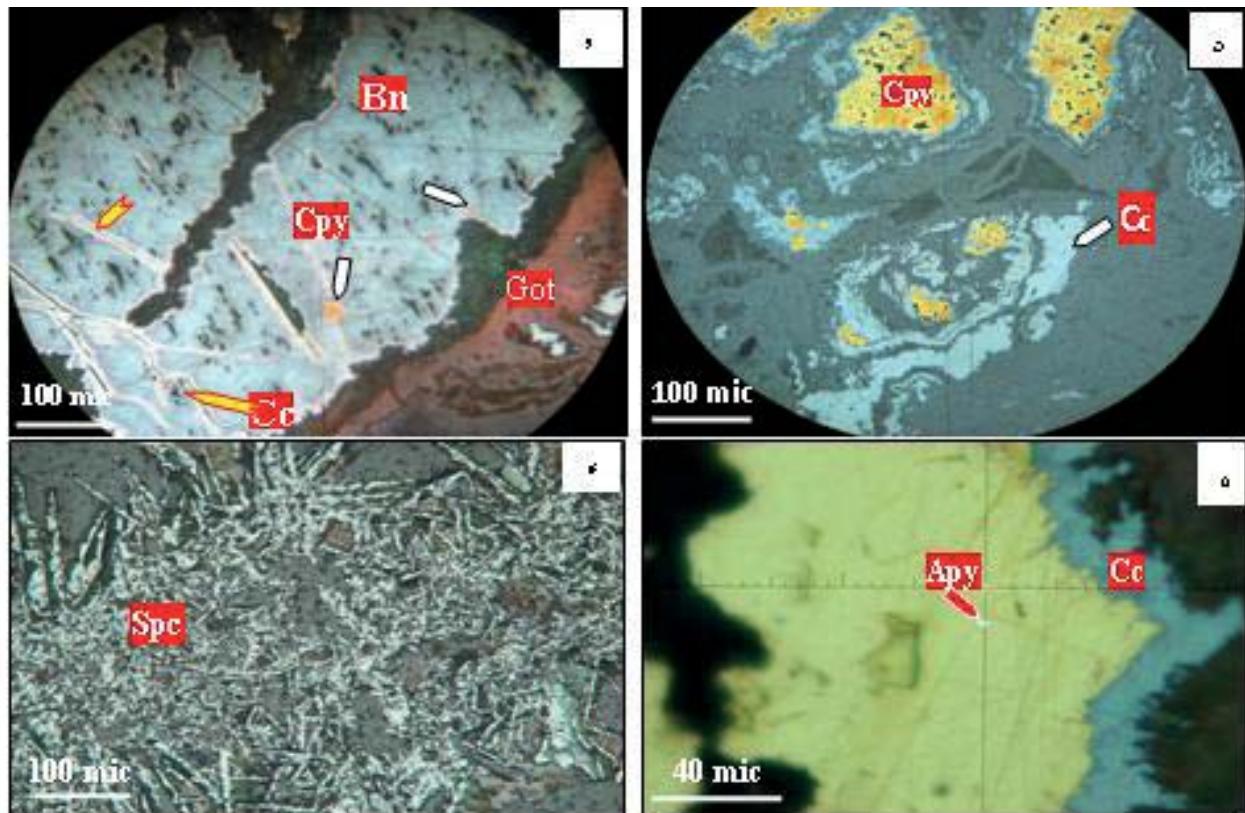
#### پیریت ( $FeS_2$ )

براساس مطالعات آزمایشگاهی، پیریت به صورت سه نسل قابل تفکیک است: نسل اول: مربوط به مرحله قبل از کانه‌زایی است و شامل پیریت ریزبلور تا دانه‌درشت (۲۰-۱۸۰ میکرون) و خودشکل است که به صورت دانه‌پراکنده در توده نیمه‌ عمیق داسیتی (در مقیاس نمونه دستی و میکروسکوپی) دیده می‌شود. نسل دوم پیریت با بافت کاتاکلاستی و برشی (شکل ۵الف)، شامل پیریت‌های نیمه‌شکل تا شکل دار است که طی مراحل هیدرотرمالی، همراه با کالکوبیریت و همچنین به صورت ادخال در امتداد رخ‌های گالن تشکیل شده است (شکل ۵ب). این کانی سولفیدی اکثراً از حواشی و مرز شکستگی‌ها به طور بخشی و گاه کامل، به اکسید و هیدرولیکسیدهای آهن (هماتیت، گوتیت و لپیدوکروپیت) با بافت کلوفرم تبدیل شده



شکل ۴. نمونه‌های دستی از: (الف) برش‌های هیدرотرمالی. (ب) رگه-رگچه‌های سیلیسی-سولفیدی. (ج) رگه-رگچه‌های سیلیسی-سولفیدی-کربناتی. (د) رگه-رگچه‌های تأخیری با بافت قشرگون-نواری-کلوفرمی غنی از اسپکیولاریت و سیلیس.





شکل ۵. (الف) پیریت‌های خرد شده با بافت کاتاکلاستی نسل دوم در رگه‌های سیلیسی- سولفیدی- کربناتی به همراه پیریت‌های نسل اول در زمینه سنگ میزبان. (ب) پیریت نسل دوم به صورت ادخال در گالن. گالن از حاشیه و مرکز به انگلزیت (An) تبدیل شده است. (پ) بافت کلوفرمی گوتیت که جانشین پیریت با بافت باقی‌مانده و آتول‌مانند شده است. (ت) حضور قطرک‌های کالکوپیریت در اسفالریت همراه با کالکوپیریت درشت‌بلور، تتراهدریت در گالن. (ج) جانشینی اسفالریت از حاشیه به‌وسیله گالن، گالن از اطراف نیز اسفالریت را در برگرفته است. (ح) چرخش و خمیدگی در گالن در اثر فرآیندهای تکتونیکی و جانشینی گالن به انگلزیت. (ج) جانشینی گالن از حاشیه توسط کالکوسیت. (خ) بافت برشی کالکوپیریت که توسط کانی‌های ثانویه مس و اکسید و هیدروکسیدهای آهن به هم جوش خورده است. (د) بافت کلوفیدی کالکوسیت که جانشین کالکوپیریت شده، کالکوپیریت به صورت بافت باقی‌مانده و جزیره‌ای دیده می‌شود. (و) ادخال کالکوپیریت در شبکه بورنیت و جانشینی کالکوسیت به جای بورنیت. (ه) ادخال آرسنوبیریت در کالکوپیریت. (ی) بلورهای سوزنی با بافت افسان اسپکیولاریت. Qtz: کوارتز، Py: پیریت، Bn: بورنیت، Cpy: کالکوپیریت، Sp: اسفالریت، Gn: گالن، Td: تراهدریت، CV: کولولیت، Cc: کالکوسیت، Mal: مالاکیت، Spc: اسپکیولاریت، Got: گوتیت، Apy: آرسنوبیریت، An: انگلزیت، Cal: کلسیت.

### کالکوپیریت ( $\text{CuFeS}_2$ )

کالکوپیریت مهمترین و فراوان‌ترین کانی سولفیدی مس در کانسار گمیش‌تپه است. این کانی با اندازه‌های متفاوت ۲۰- میکرون تا ۱ میلی‌متر) و بافت پرکننده فضای خالی و رگه‌ای، با بلورهای پیریت نسل دوم و در بعضی از مقاطع، همراه با اسفالریت و گالن قابل مشاهده است (شکل ۵). براساس مطالعات آزمایشگاهی، حالت برشی‌شدن و بافت کاتاکلاستی در این کانی (شکل ۵خ)، بی‌ارتباط با فعالیت‌های تکتونیکی بعد از کانه‌زایی در منطقه نیست. ملاکیت و آزوریت نیز از کانه‌های ثانویه مس در بخش‌های سطحی کانسار هستند که در اثر اکسایش کالکوپیریت حاصل شده‌اند. همچنین، این کانی در اثر فرآیندهای سوپرژن، از حاشیه یا از مرکز به‌وسیله دیژنیت، کوولیت و کالکوسیت (با بافت کلوئیدی)، (شکل ۵d) جانشین شده است.

### گالن (PbS)

کانی گالن با بافت توده‌ای، رگه- رگچه‌ای و پرکننده فضای خالی، همچنین به صورت بلورهای خودشکل کوبیک در سطح درزه‌ها و شکستگی‌های موجود در سنگ‌های میزبان کانسار قابل مشاهده است. همچنین، در اثر فرآیندهای تکتونیکی و دگر‌شکلی بعدی حاکم در منطقه، به شدت خرد شده و رخ‌های مثلثی شکل آن به مثلث‌هایی کشیده (شمیزیری شکل) تبدیل شده و حالت چرخشی و خمش در رخ‌های آن پدیدار شده است (شکل ۵ج). این کانی در شرایط سوپرژن به‌وسیله انگلزیت (شناسایی شده بر پایه نتایج آنالیزهای XRD و SEM) و سروزیت (با بافت کلوئیدال)، (جدول‌های ۲ و ۳) جانشین شده است (شکل ۵ب). همچنین، در امتداد رخ‌ها و از حاشیه، به کوولیت (با بافت جانشینی) و کالکوسیت (با بافت شبکه‌ای) نیز تبدیل شده است (شکل ۵ح).

جدول ۳. ترکیب شیمیایی کانی‌های مختلف براساس مطالعات میکروسکوپ الکترونی (SEM) بر حسب درصد وزنی.

No.	GTS9-st213 اسفالریت	GTS8(st222) گالن	GTS9(st219) گالن	GTS9(st7) گالن	GTS9(217) کالکوپیریت	GTS8(st221) انگلزیت	GTS8(st1) همی‌مورفیت	GTS9(st3) اکسید منگنز و آهن
Cs	۰/۳۵	-	-	-	-	-	-	-
Si	۲/۱۷	۱/۳۹	۱/۹۸	۰/۶۹	۱/۹۸	۱/۱۱	۱۲/۷۸	۲۵/۹۰
S	۱۹/۲۸	۱۲/۰۴	۱۳/۱۲	۱۵/۶۸	۱۹/۵۴	۸/۷۴	۰/۷۵	۴/۵۹
Ag	۰/۰۸	۰/۱۱	۰/۵۰	۰/۴	۰/۱۲	۰/۲۳	-	۰/۸۵
Mg	۰/۰۶	-	-	-	-	-	۰/۲۱	۰/۶۱
Mn	-	-	-	-	-	-	۰/۲۲	۱۲/۲۸
Sb	۰/۱۶	۰/۲۴	-	۰/۱۴	۰/۲۳	-	۰/۵۳	-
Te	۰/۳۳	۰/۱۳	۰/۳۰	-	۰/۱۱	-	-	-
Fe	۰/۴	۰/۵۶	۰/۱	۰/۵۱	۲۹/۴۶	۰/۸۳	۰/۷۷	۱۵/۷۸
Zn	۷۱/۳۵	۰/۳۲	۰/۲۱	-	۰/۷۸	۰/۲۳	۵۵/۴۶	۸/۴۲
Pb	۲/۲۶	۷۷/۵۰	۷۴/۶۸	۷۰/۱۱	۲/۱۲	۷۹/۴۲	-	-
K	۰/۱۰	-	-	-	-	-	-	-
Sr	-	۱/۴۶	-	-	۲/۶۹	-	-	-
Ts	۱/۰۲	-	۰/۵۷	-	۰/۵۷	۱/۸۵	-	-
Cd	۰/۵	-	-	-	-	-	۰/۱۹	۱/۲۷
Co	-	۰/۱۸	۰/۱۴	-	۰/۳۱	۰/۴۱	-	-
Ni	-	۰/۳۳	۰/۱۸	-	۰/۱۳	۰/۵۳	-	-
Cu	۱/۷۱	۰/۷۵	۰/۳۶	۶/۷۱	۳۶/۲۲	۰/۱۵	۵/۴۷	۱۲/۷۱
W	-	۰/۷۳	۰/۵۷	-	-	۰/۳۹	-	-
Ge	-	۱/۵۳	۲/۲۱	۱/۸۰	۲/۸۴	۱/۳۳	-	-
As	-	۱	۱/۰۳	۱/۹۸	۰/۳۴	۰/۸۸	۱/۱۴	۵/۱۷
Bi	-	۱/۶۳	۲/۱۷	-	۱/۲۴	۲/۱۱	۲/۶۳	۲/۱۷
Ta	-	-	-	-	-	-	-	-
Sn	-	-	۰/۱۸	-	-	۰/۲۶	-	-
Hg	-	-	-	-	-	-	۳/۱۷	۴/۷۵

همی‌مورفیت) شناسایی شدند (جدول ۲). بنابراین، میزان بالای عنصر روی در کانسار، در ارتباط با حضور فراوان کانه‌های کربنات و سیلیکات روی است. در بخش‌های سطحی کانسار، اسمیت‌زونیت به صورت آمورف، پودری‌شکل و سفید رنگ و نیز به صورت پرکننده فضای خالی با بافت کلوئیدی قابل مشاهده است (شکل ۶). کانه همی‌مورفیت با بافت کلوئیدی و کلوفرمی، به صورت پرکننده فضای خالی، در دیواره تونل‌های منطقه معدنی نیز دیده می‌شود (شکل ۶الف، ب).

#### انگلزیت ( $\text{PbCO}_3$ ) و سروزیت ( $\text{PbSO}_4$ )

انگلزیت و سروزیت، کانه‌های رایج در زون‌های اکسیدان بسیاری از کانسارهای سرب و روی هستند. حضور انگلزیت در کانسار گمیش‌تپه، بر پایه آنالیز XRD (جدول ۲) و مطالعات SEM از نمونه‌های برداشت‌شده از بخش‌های سوپرژن (جدول ۳)، تأیید شده است. این کانه با بافت پرکننده فضای خالی در امتداد رخ‌های گالن و شکستگی‌ها، جانشین آن شده است (شکل ۵ب، ج). علاوه بر این، براساس مطالعات میکروسکوپی، گالن از حواشی و در امتداد سطوح رخ و شکستگی‌ها به‌وسیله سروزیت جانشین شده است. در بررسی‌های صحرایی، این کانه با بافت کلوفرمی و کلوئیدال، درون فضاهای خالی و شکستگی‌ها مشاهده می‌شود (شکل ۶ع، ۶د). همچنین، در نتایج آنالیز XRD، سروزیت نیز گزارش شده است (جدول ۲).

#### کوارتز

مهمترین کانی گانگ همراه کانه‌ها در کانسار گمیش‌تپه، کوارتز است. در محدوده معدنی، این کانی به صورت انواع مختلف کوارتز (آمتیست، دودی، رزی، شیری و دانه‌شکری) قابل مشاهده است. در پنهان کانه‌زایی، این کانی با بافت‌های پرکننده فضای خالی، شانه‌ای (شکل ۴ج)، قشرگون-کلوفرمی-نواری (شکل ۶د) با سولفیدهای مختلف همراه است. بر پایه مطالعات میکروسکوپی، دو نسل کوارتز در رگه‌های سیلیسی کانه‌دار دیده می‌شود: کوارتز کریپتوکریستالین تا ریزبلور نسل اول، اغلب ابعاد کمتر از ۲۰۰ میکرون دارد. معمولاً با کانی‌های سولفیدی همراه است و در زیر میکروسوب، مرز مشخصی با کوارتزهای تأخیری نسل دوم دارد. کوارتز نسل دوم در ابعاد ۶۰۰ میکرون تا بیش از ۱ میلی‌متر، در کانسنگ سیلیسی (رگه و زون سیلیسی) به صورت بلورهای خودشکل و بسیار درشت در مرکز رگه تشکیل شده است.

#### (Cu<sub>5</sub>FeS<sub>4</sub>) بورنیت

بورنیت یکی دیگر از سولفیدهای مس در کانسار گمیش‌تپه است که براساس مطالعات میکروسکوپی، به صورت اولیه و به مقدار بسیار کم و گاه به شکل ادخال در شبکه کالکوپیریت یا بر عکس مشاهده می‌شود (شکل ۶و) که پدیده اخیر، نشان‌دهنده هم‌رشدی بورنیت با کالکوپیریت است. این کانی از حاشیه و در امتداد رخ‌ها به کالکوسیت و کوولیت با بافت تیغه‌ای و جانشینی تبدیل شده است (شکل ۶و).

#### ((Cu, Fe)<sub>12</sub>Sb<sub>4</sub>S<sub>13</sub>) تتراهریت

تنها کانی سولفوسالت حاوی نقره در کانسار گمیش‌تپه، تتراهریت است که به صورت بی‌شکل و در اندازه‌های متفاوت (از ۱۰ تا بیشتر از ۹۰ میکرون) همراه با گالن و اسفالریت دیده می‌شود (شکل ۶ت). همچنین، این کانی به صورت ادخال در داخل کانی‌های ذکر شده قابل مشاهده است.

#### (FeAsS) آرسنوبیریت

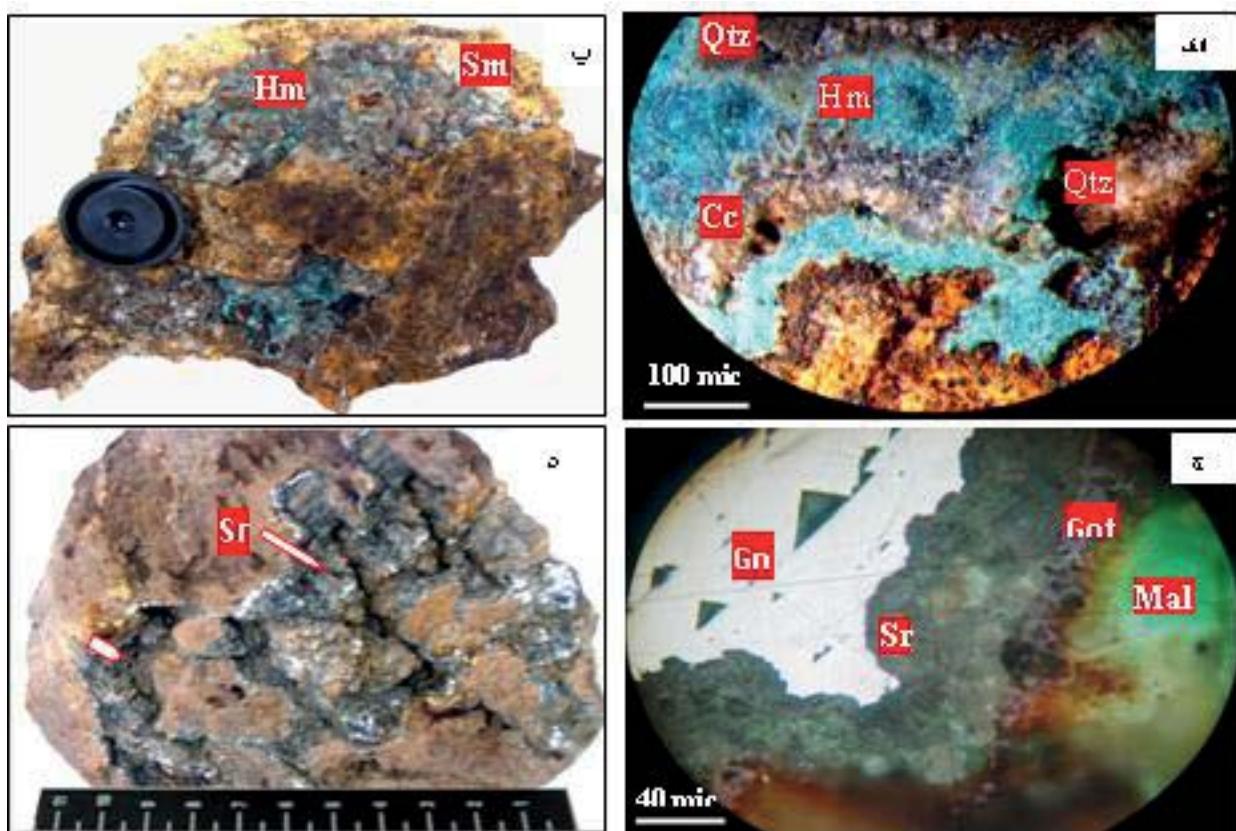
کانی آرسنوبیریت با درصد انکاس بالا (۵۱-۵۲ درصد) مشخص می‌شود. این کانی به صورت ادخال‌های بی‌شکل و بسیار دانه‌ریز در داخل کالکوپیریت‌ها، در مرحله دوم از فعالیت‌های هیدروترمالی دیده می‌شود (شکل ۶ه).

#### (Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub>) اسپکیولاریت

اسپکیولاریت با بلورهای سوزنی‌شکل، ریز تا درشت‌بلور و بافت افشاران (شکل ۶ی)، همراه با پیریت‌های اکسید شده، سیلیس آمورف، کوارتز کریپتوکریستالین و هیدروکسیدهای آهن در رگه‌هایی با بافت قشرگون-نواری، در بخش‌های نزدیک سطح پهنه کانه‌زایی قابل مشاهده است که براساس بررسی‌های صحرایی و مطالعات میکروسکوپی، نشانگر فاز تأخیری از فعالیت‌های هیدروترمالی می‌باشد.

#### (Zn<sub>4</sub>Si<sub>2</sub>O<sub>7</sub>(OH)<sub>2</sub>.H<sub>2</sub>O) همی‌مورفیت

(ZnCO<sub>3</sub>) از آنجا که اکسیداسیون کانسنگ‌های سولفیدی اولیه، در اثر تقابل و انحلال با آب‌های جوی (با نسبت بالای  $\text{CO}_2/\text{HCO}_3$ ؛ باعث تشکیل کانی‌های غیرسولفیدی می‌شود [۱۵])، در اثر فعالیت شدید فرآیندهای سوپرژن در منطقه معدنی گمیش‌تپه، کانه‌های سولفیدی به کانه‌های غیرسولفیدی تبدیل شده‌اند، به‌طوری‌که براساس بررسی‌های صحرایی، مطالعات میکروسکوپ الکترونی و نتایج آنالیز XRD، دو کانی مهم غیرسولفیدی روی در کانسار گمیش‌تپه (اسمیت‌زونیت و



شکل ۶. الف) نمونه دستی از بافت کلئیدی همی‌مورفیت به همراه اسیتی‌زونیت آمورف و پودری سفید رنگ. ب) همی‌مورفیت با بافت کلوفرمی که در اطراف کالکوسیت و در گانگ سیلیسی مشاهده می‌شود. ج) مقطع میکروسکوپی جانشینی گالن از حاشیه به‌وسیله سروزیت، اکسیدهای آهن در زمینه‌ای از کانی ملاکیت. د) نمونه دستی از کانی سروزیت با بافت پرکننده فضای خالی. Hm: همی‌مورفیت، Sm: اسیتی‌زونیت، Sr: سروزیت.

### بررسی تغییرات عناصر کمیاب و نادر خاکی در کانسار

#### گیمش تپه

داده‌های تجزیه عناصر نادر خاکی، بر حسب کندریت بهنجار شدند [۱۶]. در ادامه برای تعبیر و تفسیر رفتار عناصر نادر خاکی در نمونه‌های مختلف، مقادیر  $\Sigma\text{REE}$ ,  $\text{Ce}/\text{Ce}^*$ ,  $\text{Ce}/\text{Yb}$  و  $\text{La}/\text{Sm}$ ,  $\text{La}/\text{Yb}$ ,  $\text{Gd}/\text{Yb}$ ,  $\text{Eu}/\text{Eu}^*$  محاسبه گردید (جدول ۱). الگوی به دست آمده بررسی تغییرات عناصر کمیاب و نادر خاکی واحدهای سنگی منطقه به شرح زیر است:

در توده نیمه عمیق داسیتی، نمونه GT254، مربوط به بخش‌های غیردگرسان و دور از کانه‌زایی و نمونه GT231، در ارتباط با کانه‌زایی و حاوی دگرسانی‌های آرژیلی و سریسیتی است. نمونه دور از کانه‌زایی نسبت به نمونه GT231، از عناصر

### شواهد ژئوشیمیایی

به‌منظور بررسی رفتار ژئوشیمیایی عناصر اصلی، فرعی، کمیاب و نادر خاکی در منطقه معدنی، نمونه‌هایی از بخش‌های کانه‌دار، سنگ‌های میزبان کانه‌زایی (توف ریولیتی، توده نیمه عمیق داسیتی)، کمرپایین ماده معدنی (توف سیلتی) و واحدهای سنگی دور از گستره کانه‌زایی انتخاب و به روش‌های XRF و ICP-MS و ICP-AES آنالیز شدند (جدول ۱). با توجه به دگرسانی متغیر سنگ‌های آذرین منطقه، سعی شد تا برای بررسی رفتار عناصر کمیاب و نادر خاکی، از نتایج آنالیز دو نمونه مربوط به یک سنگ (یکی از بخش‌های نزدیک کانه‌زایی و دیگری نمونه سنگی سالم و کمتر دگرسان شده دور از کانه‌زایی) استفاده شود.

می‌دهد. بنابراین مشخص می‌شود که این عناصر، از نمونه GTS1-4 و کمرپایین ماده معدنی تهی شده است و در داخل رگه‌ها تمرکز یافته‌اند.

الگوی پراکندگی عناصر نادر خاکی در هر دو نمونه، از LREE غنی‌شدگی نشان می‌دهد، اما HREE رفتارهای متفاوتی دارند، به‌طوری که در نمونه GTS1-4، عناصر Tb, Gd, Dy غنی‌شدگی و Yb تهی‌شدگی نشان می‌دهد و سایر HREE تقریباً بدون تغییر هستند (شکل ۷ب). این در حالی است که مقدار Eu تغییر خاصی نشان نمی‌دهد و در هر دو نمونه دارای Ce/Yb, La/Lu بی‌هنجری منفی است. همچنین نسبت‌های Ce/Yb, La/Yb, GTS1-4 در نمونه GT168 نسبت به میانگین آنها در نمونه GT168 افزایش یافته است که می‌تواند حاکی از تأثیر سیال ماقمایی اسیدی، ایجاد دگرسانی سیلیسی و غنی‌شدگی نسبت LREE به HREE باشد [۱۹]. نسبت Ce/Ce\* در سنگ دیواره رگه کانه‌دار، ۱/۰۲ و Eu/Eu\* در این نمونه ۰/۷۶ است که به‌ترتیب از مقادیر معادل خود در توف ریولیتی دور از کانه‌زایی، بیشتر و کمتر هستند. شیب منفی بسیار کم در محل الگوی تخت HREE و  $\sum\text{REE}$  (۱۵۳ گرم در تن) از خصوصیات عناصر نادر خاکی در توف سیلتی (کمرپایین ماده معدنی) است (شکل ۷ب). عناصر REE در این سنگ نسبت به واحد میزان کانه‌زایی (GTS1-4) از همه عناصر غنی‌شدگی بیشتری نشان می‌دهند، به‌طوری که نسبت‌های Ce/Ce\* و Eu/Eu\* در این سنگ به‌ترتیب معادل ۰/۷۵ و ۰/۲۸ و مقادیر ۱۴/۲۵، ۲/۲ La/Lu, La/Sm, La/Yb, Gd/Yb، ۶/۶، ۹۳/۵۹ در مقایسه با میانگین آنها در سنگ دیواره رگه کانه‌دار، افزایش یافته‌اند (جدول ۳). یوروپیم در کمرپایین ماده معدنی، رفتار متفاوتی نسبت به توف ریولیتی و توده نیمه عمیق داسیتی دارد، به‌طوری که میزان Eu در این سنگ ۱/۴ است و بی‌هنجری مثبت نشان می‌دهد. بی‌هنجری مثبت Eu می‌تواند در ارتباط با دگرسانی‌های کلریتی و سریسیتی کانی‌های سیلیکاته سنگ [۲۰]، همچنین حضور کانی‌های مافیک (آمفیبیول و بیوتیت) و اکسیدهای آهن باشد [۲۱]. بنابراین، حضور کانی‌های مافیک (بیوتیت و مسکوویت) و اکسید و هیدروکسید آهن (حاصل از تجزیه پیریت) و دگرسانی‌های کلریتی ضعیف و سریسیتی در کمرپایین ماده معدنی، دلیل افزایش میزان Eu است.

Cu, Zn, Ba, Sr سنگ‌ها، به‌ترتیب افزایشی در حدود ۲/۳، ۲/۵، ۷، ۲۰، ۳/۵ می‌دهد که نشانگر غنی‌بودن توده داسیتی در این منطقه از عناصر یاد شده، خصوصاً روی و مس است. همچنین، از عنصر Nb به مقدار زیاد و از عناصر V و U به میزان محسوس تهی‌شدگی نشان می‌دهد.

الگوی تغییرات عناصر نادر خاکی (REE) در هر دو نمونه، با شبی نسبتاً زیاد و تفریق HREE از LREE مشخص می‌شود (شکل ۷الف).  $\sum\text{REE}$  و نسبت‌های Ce/Yb و La/Lu در نمونه دگرسان‌شده از مقادیر میانگین نمونه غیردگرسان بیشتر است که حاکی از غنی‌شدگی عناصر نادر خاکی سبک در نمونه GT231 است؛ ولی عناصر HREE (به‌جز Yb و Tm که در نمونه GT231 در مقایسه با نمونه GT254 غنی‌شدگی نشان می‌دهند)، تغییر خاصی نشان نمی‌دهند و نسبت La/Yb در هر دو نمونه با هم برابر است. همچنین نسبت Eu/Eu\* در نمونه دگرسان‌شده، معادل ۰/۷۵ و نسبت Ce/Ce\* ۰/۸۶ است (جدول ۱)، که به‌ترتیب نسبت به مقادیر معادل خود در نمونه سالم کمتر هستند و در واقع بی‌هنجری منفی Eu وجود دارد. از آنجا که افزایش در نسبت سنگ/سیال، شدت دگرسانی هیدرоторمال و تجزیه فلدوپات‌ها (پلازیوکلازها که از Eu دوظرفیتی نسبتاً غنی هستند)، باعث ایجاد بی‌هنجری منفی در Eu می‌شود [۱۷]، بنابراین، با توجه به‌اینکه حمل‌کننده اصلی Eu، پلازیوکلازها هستند، تخریب این کانی سبب مهاجرت عنصر Eu<sup>2+</sup> از آنها می‌گردد. در واقع، درجه بی‌هنجری منفی Eu، با پیشرفت دگرسانی به‌تدريج افزایش می‌يابد [۱۸]. همچنین Ce به‌مقدار ناچیز تهی‌شدگی نشان می‌دهد، لذا مقادیر ناچیزی از Ce به‌صورت Ce<sup>3+</sup> از محیط شسته شده است.

همچنین، به‌منظور بررسی توزیع عناصر نادر خاکی در توف ریولیتی (سنگ میزان اصلی کانه‌زایی) و توف سیلتی، دو نمونه GT168 (دور از محدوده کانه‌زایی) و GTS1-4 (در ارتباط با کانه‌زایی همراه با دگرسانی سیلیسی یا سنگ دیواره رگه‌های کانه‌دار) از توف ریولیتی و یک نمونه از توف سیلتی (GT94) انتخاب شد (جدول ۱). در بررسی عناصر کمیاب، نمونه GT168 نسبت به GTS1-4 و کمرپایین ماده معدنی، مشاهده می‌شود که مقادیر عناصر فلزی Zn, Pb, Cu نسبت به کلارک این عناصر در این نوع سنگ‌ها، مقادیر قابل توجهی را نشان

و سرب در شبکه کانه اسفالریت (نمونه GTS-st213)، به ترتیب ۲/۲۶٪ و ۱/۱٪ است (جدول ۲). همچنین گالن در شبکه خود، حاوی مقادیر قابل توجهی از عناصر مس، روی، نقره، تنگستن، بیسموت، تانتالیم و آرسنیک است (جدول ۲). در ضمن، کالکوپیریت نیز که با گالن و اسفالریت در مرحله دوم از فعالیتهای هیدروترمالی، همراه است، مقادیر بالایی از سرب، روی، بیسموت، ژرمانیم و استرانسیم را در شبکه خود نشان می‌دهد (جدول ۲)، که این نتایج، حاکی از همرشدی و تشکیل کانه‌های فوق از یک سیال کانه‌ساز است. براساس مطالعات ژئوشیمیابی، عنصر نقره نیز عیار قابل توجهی را در نمونه‌های معدنی دارد، بهطوری که عیار کمینه، میانگین و بیشینه این عنصر از رگه‌های کانه‌دار به ترتیب ppm ۴/۷۵، ۸۸، ۲۱۴، ۲۱۴/۱، ۱۲/۶۵، ۱۶/۱۱، ۱/۹ است. کاهش نسبت HREE به LREE در مقایسه با سنگ دیواره رگه کانه‌دار (GTS1-4) بالاتر است، به طوری که نسبت‌های La/Lu, La/Sm, La/Yb, Gd/Yb در کانسنگ سولفیدی به ترتیب برابر ۱۳۳/۱، ۱۲/۶۵، ۱۶/۱۱، ۱/۹ می‌تواند ناشی از تأثیر سیالات ماقمایی- گرمابی غنی از کلر و فلوئورداری باشد که سبب شستشو و حمل آنها گشته‌اند [۲۲]. عناصر Eu و Ce در نمونه کانسنگ سولفیدی به ترتیب بی‌هنجری مثبت و منفی نشان می‌دهند، به طوری که نسبت‌های Eu/Eu\* و Ce/Ce\* در آن به ترتیب معادل ۰/۰ و ۵ است. میزان بالای Ce در آن به ترتیب با فرآیندهای دگرسانی همراه با کانه‌زایی و تهی‌شدگی آن در سنگ میزان کانه‌زایی [۲۰]، حضور پیریت و ایجاد محیط احیایی و در نتیجه کاهش تحرک و غنی‌شدگی آن در داخل سیالات گرمابی کانه‌دار باشد [۲۳]. میزان بسیار پایین Ce در کانسنگ سولفیدی، حاکی از آن است که Ce با ظرفیت +۳ از محیط شسته شده است.

بررسی الگوی REE در بخش‌های کانه‌زایی، با انتخاب یک نمونه از کانسنگ‌های سولفیدی (GT-S9-1) انجام شد (جدول ۳). الگوی REE در این نمونه، به صورت نسبتاً مسطح با شیب منفی بسیار کم است که دارای غنی‌شدگی در همه عناصر نادر خاکی (به جز Lu که در نمونه کانسنگ، تهی‌شدگی نشان می‌دهد) است (شکل ۷ج). همچنین، نسبت HREE در مقایسه با سنگ دیواره رگه کانه‌دار (La/Lu, La/Sm, La/Yb, Gd/Yb) در کانسنگ سولفیدی به ترتیب برابر ۱۳۳/۱، ۱۲/۶۵، ۱۶/۱۱، ۱/۹ است. کاهش نسبت HREE به LREE، می‌تواند ناشی از تأثیر سیالات ماقمایی- گرمابی غنی از کلر و فلوئورداری باشد که سبب شستشو و حمل آنها گشته‌اند [۲۲]. عناصر Eu و Ce در نمونه کانسنگ سولفیدی به ترتیب بی‌هنجری مثبت و منفی نشان می‌دهند، به طوری که نسبت‌های Eu/Eu\* و Ce/Ce\* در آن به ترتیب معادل ۰/۰ و ۵ است. میزان بالای Ce در ارتباط با فرآیندهای دگرسانی همراه با کانه‌زایی و تهی‌شدگی آن در سنگ میزان کانه‌زایی [۲۰]، حضور پیریت و ایجاد محیط احیایی و در نتیجه کاهش تحرک و غنی‌شدگی آن در داخل سیالات گرمابی کانه‌دار باشد [۲۳]. میزان بسیار پایین Ce در کانسنگ سولفیدی، حاکی از آن است که Ce با ظرفیت +۳ از محیط شسته شده است.

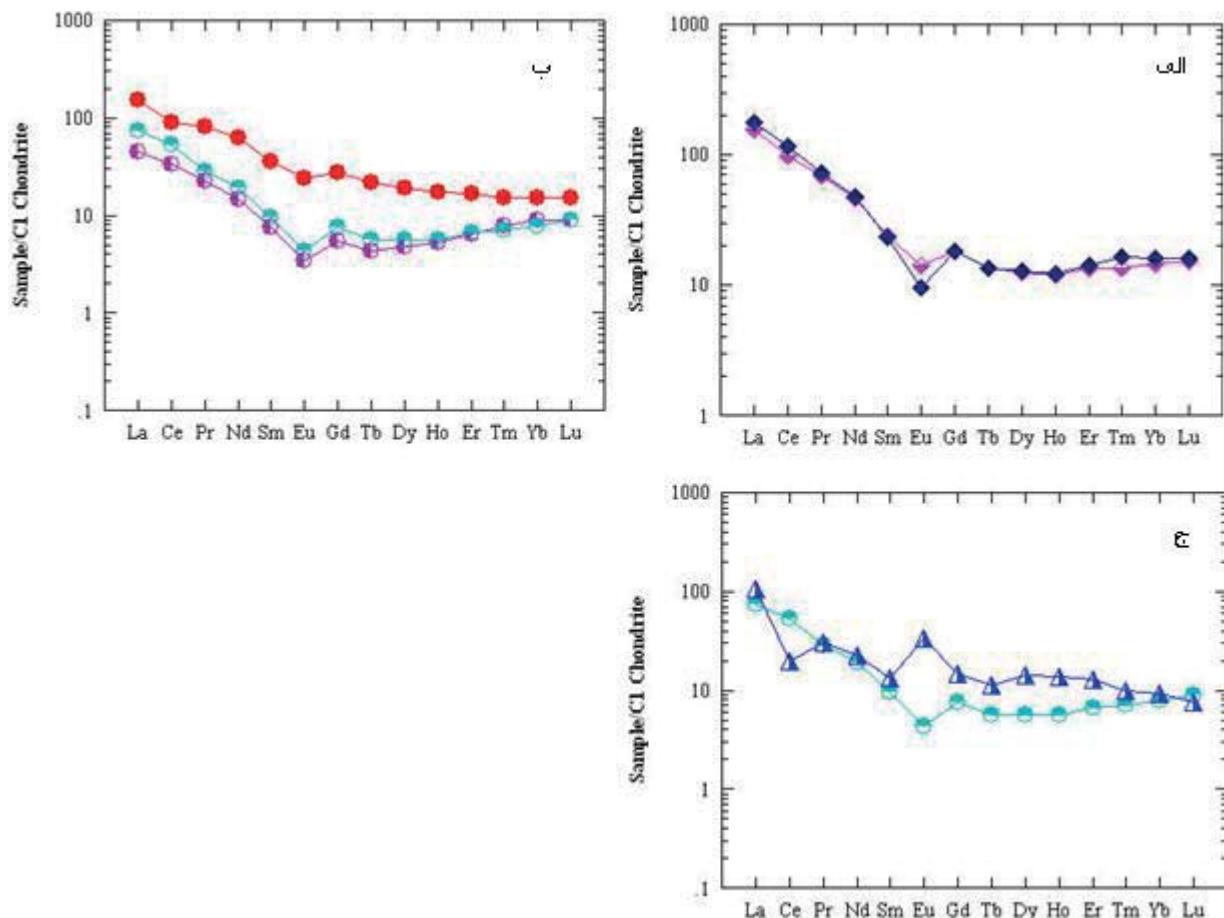
ژئوشیمی رگه‌های کانه‌دار در کانسار گمیش تپه به منظور اندازه‌گیری توزیع و فراوانی عناصر معرف کانی‌سازی و دیگر عناصر همراه آنها در کانسار گمیش تپه، از نتایج آنالیز ICP-AES حاصل از نمونه‌های انتخاب شده از بخش‌های مختلف پهنه کانه‌زایی و مطالعات میکروسکوپ الکترونی استفاده شد (جدول ۴). محل نمونه‌ها در شکل ۱ مشخص شده است. براساس نتایج آنالیزهای ژئوشیمیابی، عیار کمینه، میانگین و بیشینه عناصر (فلزات پایه) نمونه‌ها از رگه‌های کانه‌دار به ترتیب ۰/۴۵٪، ۰/۲۲٪، ۶٪، ۰/۴٪، ۱۳/۵٪، ۴٪، ۰/۴٪، ۰/۰۱٪، ۰/۰۶٪ مس به دست آمد. براساس این نتایج، توزیع عیار روی در رگه‌های کانه‌دار با فراوانی عناصر سرب و مس انطباق خوبی نشان می‌دهد. نتایج آنالیز نقطه‌ای بر روی چند نقطه از کانه‌های اسفالریت، گالن و کالکوپیریت، مؤید همین مطلب است (جدول ۲)، به طوری که بیشترین مقدار عناصر مس

عنصر طلا فقط در حد چند ppb گزارش شد.

های مختلف انتخاب و به روش AAS در سازمان زمین‌شناسی کشور آنالیز شد (جدول ۴)، ولی در نتایج بدست آمده، مقدار

جدول ۴. نتایج آنالیز شیمیایی نمونه‌های برگرفته از طول زون کانه‌زایی کانسار گمیش تپه، به روش‌های ICP-MS و ICP-AES (ppb Au) و سایر عناصر بر حسب .(ppm)

نمونه	Au	Ag	Pb	Zn	Cu	Mo	As	Sb	Bi	Ti	W	Sn
(رگه سیلیسی- سولفیدی- کربناتی) GT9	۲۱	۵۷	۳۹۷۹۸	۳۸۴۰۰	۱۳۷۸۶	۱/۲۱	۲۶	۱۳/۸	۱/۶	۵۲	۱	۰/۰
(رگه سیلیسی- سولفیدی- کربناتی) GT9-2	۸۰	۲۱۴/۳۷	۱۳۴۹۳۰	۲۵۶۸۰	۶۰۴۳/۱۲	۰/۷۷	۶/۹	۶۸	۰/۵<	۱۰	۰/۵<	۰/۵۸
(رگه سیلیسی- سولفیدی- کربناتی) GT9-2-2	۱۸	۸۶	۳۲۹۹۸	۲۰۸۰	۶۲۶۸	۱۰/۰	۲/۷	۶/۱	۹/۱	۷	۰/۵<	۰/۰
(رگه سیلیسی- سولفیدی) GT9-1	۲۳	۲۰۴/۲۸	۱۱۵۳۶۳	۹۲۶۲۴	۵۳۵۴۹	۱۷/۶۳	۶	۶۹	۱/۱۲	۶	۱۳/۱۴	۹
(رگه سیلیسی- سولفیدی) GT9-I-1	۲۶	۲۸	۱۳۴۰۰	۱۲۱۰۰	۱۰۰۰۰	۲	۵	۵۱	۱/۴۱	۲۰	۵	۱
(رگه سیلیسی- سولفیدی) GT9-I-2	۲۷	۳۸/۴۲	۴۰۹۶/۷	۴۵۵۵	۱۰۷۳	۳/۳۷	۲۲/۷	۴۲	۱/۲	۱۵۶	۲/۶۵	۷/۲۴
(رگه سیلیسی- سولفیدی) GT9-4	۶۰	۴۷۵	۲۸۶۰/۹۹	۷۳۰۷	۳۲۸۱۳/۷۶	۳/۱۴	۳/۵	۴۸	۰/۵<	۶	۱/۹۴	۵/۸۵
(برش هیدروترمالی) GT9-3	۳۳	۲۴/۵۶	۷۳۱/۲۶	۸۶۹۴۰	۲۸۵۷۷/۱۲	۱۷/۸۴	۱۳/۴۶	۵۶	۱/۸۱	۲۳	۴/۰۴	۱۱/۶۱
(برش هیدروترمالی) GT10I(3)	۵۵	۵۷/۱۲	۱۰۵۹۳	۲۲۷۱۳	۶۱۵۲۳	۴۳/۴۵	۱<	۵۵	۰/۵<	۶۳	۰/۰	۰/۹۷
(رگه نواری غنی از سیلیس و اسپکیولاریت) GTn8-2	۲۳	۵۵/۹۷	۸۳۹۴/۳۷	۴۴۲۰	۱۳۲۸/۸۹	۶/۷	۴۱/۵۸	۵۷	۲/۴۴	۱۵۳	۴/۶۴	۱۴



شکل ۷. (الف) مقایسه الگوی توزیع عناصر نادر خاکی در دو نمونه توده نیمه عمیق داسیتی. ب) مقایسه الگوی توزیع عناصر نادر خاکی برای دو نمونه از توف ریولیتی و توف سیلتی (کمرپایین ماده معدنی). الگوی توزیع عناصر نادر خاکی در نمونه کانسنگ سولفیدی و مقایسه آن با توف ریولیتی میزان کانه‌زایی (علام مطابق شکل ۶).

آنچه که اسفالریت با آهن پایین، یکی از خصوصیات مهم کانسارهای اپی‌ترمال نوع سولفیداسیون حدواسط زیرشاخه فلزات پایه- نقره است [۲۷]. بنابراین، از لحاظ کانی‌شناسی، کانسار گمیش‌تپه مشابه این گروه از کانسارهای اپی‌ترمال می‌باشد.

- بررسی کانی‌شناسی و ژئوشیمیایی عناصر در نمونه‌های معدنی نشان می‌دهد که در این کانسار، بالاترین تمرکز عناصر مربوط به روی و سرب است. عناصر مس و نقره نیز از همراهان کانه‌زایی در این کانسار هستند. میزان مس در بخش‌های عمیق کانسار گمیش‌تپه، بالا است و به سمت اعمق کمتر کانسار، عیار آن کاهش پیدا کرده و بر عکس میزان عناصر روی و سرب و نسبت Zn/Pb افزایش می‌یابد. در بخش‌های بالایی، عیار فلزات پایه، کاهش چشمگیری نشان داده و میزان نقره افزایش پیدا می‌کند. عناصر کادمیم، آرسنیک، آنتیموان، بیسموت، جیوه، گوگرد و منگنز نیز در پهنه کانه‌زایی، بی‌亨جاري نشان می‌دهند.

- از آنجاکه محیط‌های کششی پشت کمان‌های آتش‌شانی مرتبط با فرورانش، محیط‌های مناسبی برای تشکیل کانسارهای رگه‌ای اپی‌ترمال به‌شمار می‌آیند [۲۸]، بنابراین، براساس داده‌های ژئوشیمیایی عناصر اصلی و کمیاب، سنگ‌های آذرین در محدوده کانسار گمیش‌تپه نیز جزء سری آهکی- قلیایی محسوب می‌شوند و در گستره ماقماهای با ویژگی فرورانش قرار می‌گیرند. مقایسه رفتار عناصر نادر خاکی در توده نیمه‌عمیق داسیتی و توف ریولیتی، روندی کاملاً مشابه ولی با LREE نسبت‌های متفاوت را نشان می‌دهد. این روند از به‌شمت HREE شیدار بوده که غنی‌شدگی از LREE نشان می‌دهد. غلظت بالای LREE‌ها در این واحدها می‌تواند به دلیل درجات کم ذوب بخشی مواد منشأ و یا یک منشأ غنی- شده از آن باشد. الگوی یکدست عناصر نادر خاکی واحدهای مزبور، مؤید منشاء ماقمایی یکسان برای آنها است؛ اختلاف جزئی مانند  $\sum \text{REE}$  در آنها می‌تواند متأثر از فرآیندهای دگرسانی موجود در منطقه باشد. بی‌亨جاري منفی Eu در واحدهای مذکور، به‌وسیله پلازیوکلازها و فلدسپات‌های پتاسیم‌دار کنترل می‌شود. در مقابل، کمربایین ماده معدنی از همه مقادیر REE در مقایسه با میانگین آنها در سنگ دیواره رگه کانه‌دار، افزایش نشان می‌دهد. این امر بیانگر تحرک عناصر REE در طول فرآیند دگرسانی گرمابی سنگ دیواره ماده

### برداشت

- براساس مشاهدات صحرایی، شواهد زمین‌شناختی و ساختاری و مطالعات میکروسکوپی، کانه‌زایی در کانسار روی- سرب- مس (نقره) گمیش‌تپه، طی فرآیندهای هیدروترمالی و در ۳ مرحله رخ داده است. از مهمترین ویژگی‌های مرحله اول فعالیت‌های هیدروترمالی، می‌توان برش‌های هیدروترمالی را نام برد که در آن، قطعات برش‌ها عموماً توسط سولفیدهای فلزات پایه، کربنات‌ها و کوارتز ریزبیلور با بافت موزائیکی، سیمانی شده‌اند. از مرحله دوم فعالیت‌های هیدروترمالی، می‌توان به بافت‌های ویژه این مرحله مانند بافت‌های قشرگون، شانه‌ای، پرکننده فضای خالی و رگه- رگچه‌ای اشاره کرد. مهمترین و اصلی‌ترین مرحله کانی‌سازی بالهمیت اقتصادی، همین مرحله است، به‌طوری‌که براساس مطالعات آزمایشگاهی و ژئوشیمیایی (میکروسکوپ الکترونی و آنالیزهای XRD)، کانی‌سازی فلزات پایه (روی، سرب، مس) و نقره در این مرحله از فعالیت‌های هیدروترمالی رخ داده است. فاز تأخیری فعالیت‌های هیدروترمالی با بافت رگه- رگچه‌ای، نواری- قشرگون و نواری- کلوفرمی مشخص می‌شود. بافت‌های نواری- قشرگون- کلوفرمی از سیال تحت اشباع از سیلیس، در اثر سرد شدن سریع سیالات گرمابی در درجه حرارت کمتر از ۲۰۰ درجه سانتی‌گراد و نزدیک سطح در کانسارهای اپی‌ترمال تشکیل می‌شوند [۲۶].

- بر پایه مشاهدات صحرایی، مطالعات آزمایشگاهی و نتایج آنالیز XRD، دگرسانی‌های آرزیلیکی و پروپیلیتی گسترش بیشتری در سنگ‌های منطقه دارند، در صورتی که دگرسانی‌های سیلیسی، سیلیسی- سولفیدی و سریسیتی بیشترین گسترش را در ارتباط با بخش‌های کانه‌دار دارند. پاراژنر کانی‌شناسی رگه‌های کانه‌دار را پیریت، آرسنوبیریت، کالکوبیریت، بورنیت، اسفالریت فقیر از آهن، گالن، تتراهدریت و اسپکیولاریت تشکیل می‌دهد. کانی‌های غیرسولفیدی روی (اسمیت‌زنیت و همی‌مورفیت)، کربنات و سولفات سرب (سروزیت و انگلزیت) با بافت کلوفرم، کلؤنیدال (گل‌کلمی)، به‌همراه کانی‌های ثانویه مس (دیژنیت، کولولیت، کالکوسیت و مالاکیت) ترکیب کانی‌شناسی بخش‌های اکسیدان کانسار گمیش‌تپه هستند که در حفره‌ها، سطوح درزهای رگه‌ها شکل گرفته‌اند.

- براساس نتایج آنالیز میکروسکوپ الکترونی، اسفالریت موجود در کانسار گمیش‌تپه، با میزان آهن پایین تشخیص داده شد. از

- district and vicinity near Ely, Nevada", Economic Geology* 69 (1974) 46-58.
- [11] Pirajno F., "Hydrothermal Mineral Deposits, Principle and Fundamental Concept for the Exploration Geologist", Springer (1992) 706 p.
- [12] Sillitoe R.H., "Epithermal models: genetic types, geometrical control and shallow features", Geological Association of Canada Special Paper 40 (1993) 403-417.
- [13] Giggenbach W.F., "The origin and evolution of fluids in magmatic-hydrothermal systems", in Barnes, H.L, Geochemistry of Hydrothermal Ore Deposits, 3rd ed., New York, Wiley Interscience (1997) 737-796.
- [14] Cox K.G., Bell, J.D., Pankhurst, R.J., "The Interpretation of Igneous Rocks", London, Allen and Unwin (1979) 450 p.
- [15] Hitzman M.W., Reynolds, N.A., Sangster, D.F., Allen, C.R., Carman, C.E., "Classification, genesis, and exploration guides for nonsulfide zinc deposits", *Economic Geology* 98:4 (2003) 685-714.
- [16] Sun S.S., McDonough, W.F., "Chemical and isotopic systematics of oceanic basalts: implications for mantle composition and processes", *Geol. Soc. Lon., Spec. Pub.* 42 (1989) 313-345.
- [17] Lottermoser B.G., "Rare earth elements and hydrothermal ore formation processes", *Ore Geology Reviews* 7 (1992) 25-41.
- [18] Kikawada Y., Ossaka, T., Oj T., Honda, T., "Experimental studies on the mobility of lanthanides accompanying alteration of andesite by acidic hot spring water", *Chemical Geology* 176 (2001) 137-149.
- [19] Fulignati P., Gioncada, A., "Rare earth element behaviour in the alteration facies of the active magmatic-hydrothermal system of volcano (Aeolian Island, Italy)", *Journal of Volcanology and Geothermal Research* 88 (1998) 325-342.
- [20] Sverjensky D.A., "Europium redox equilibria in aqueous solution", *Earth Planet. Sci. Lett.* 67 (1984) 70-78.
- [21] Henderson P., "Rare Earth Element Geochemistry", Elsevier (1984).
- [22] Gramaccioli C.M., Diella, V., Demartin, F., "The role of fluoride complexes in REE geochemistry and the importance of 4f electrons: some complexes in minerals", *Euro. J. Min* 11:6 (1999) 983-992.
- [23] Shangui G., Jianquan, M., Qihou, Z., "Hydrothermal redistribution of rare-earth element in Pingxiang dacite", *Chinese Journal of*

معدنی است که با افزایش شدت دگرسانی، افزایش می‌یابد. همچنین، میزان Eu در این سنگ، افزایش یافته است. در صورتی که نسبت HREE به LREE نمونه کانسنگ در مقایسه با سنگ دیواره رگه کانه‌دار و کمرپایین ماده معدنی، بالاتر است که خاکی از نقش سیالات ماقمایی- گرمایی غنی از کلر در کانه‌زایی و انتقال عناصر کانه‌ساز به صورت کمپلکس‌های کلریدی است. آنومالی مثبت Eu نشان‌دهنده دگرسانی‌های موجود در طول زون کانه‌زایی و تهی‌شدگی این عنصر از واحدهای سنگی میزان و تمرکز آنها در سیال کانه‌ساز است.

#### مراجع

- [۱] قربانی م., "دیباچه‌ای بر زمین‌شناسی اقتصادی ایران", پایاگاه ملی داده‌های علوم زمین کشور (۱۳۸۱)، ۶۵۹ ص.
- [۲] صالحی ط., "کانی‌شناسی، ژئوشیمی و ژئر کانسار روی- سرب (نقره) گمیش‌تپه، جنوب‌غرب زنجان", پایان‌نامه کارشناسی ارشد، دانشگاه تربیت مدرس (۱۳۸۷) ۲۲۱ ص.
- [۳] شیرخانی م., "کانی‌شناسی، ژئوشیمی و ژئر کانه‌زائی روی- سرب و عناصر همراه در کانسار آی‌قلعه‌سی، جنوب‌خاروی تکاب", پایان‌نامه کارشناسی ارشد، دانشگاه تربیت مدرس (۱۳۸۵) ۱۴۳ ص.
- [۴] قربانی م., تاجبخش، پ., خوبی، ن., "کانسارهای سرب و روی در ایران", سازمان زمین‌شناسی و اکتشافات معدنی کشور، طرح تدوین کتاب زمین‌شناسی، شماره ۷۵ (۱۳۷۹).
- [۵] LeBas N.J., "The role of aluminous in igneous clinopyroxenes with relation to their parentage". *Am. J. Sci.* 260 (1962) 267-288.
- [۶] مجیدی‌فرد ج., "نقشه زمین‌شناسی ۱:۱۰۰۰۰ مرزبان", سازمان زمین‌شناسی و اکتشافات معدنی کشور (۱۳۸۵).
- [۷] Irvine T.N., Baragar, W.R.A., "A guide to the chemical classification of the common volcanic rocks", *Can. J. Earth Sci.* 8 (1971) 523-548.
- [۸] Pearce J.A., Harris, N.B.W., Tindle, A.G., "Trace element discrimination diagrams for the tectonic interpretation of granitic rocks", *Journal of Petrology* 25 (1984) 956-983.
- [۹] Lentz D.R., "Alteration and alteration processes associated with ore-forming system", Geological Association of Canada Short Course Notes 11 (1994) 16-22.
- [۱۰] Lovering T.G., Heyl, A.V., "Jasperoid as a guide to mineralization in the Taylor mining

- environments", Economic Geology* 95 (2000) 971-999.
- [27] Hedenquist J.W., Arribas, A., Gonzalez-Urien, E., "Exploration for epithermal gold deposits", *Reviews in Economic Geology* 13 (2000) 245-277.
- [28] Camprubí A., Albinson, T., "Epithermal deposits in México, update of current knowledge, and an empirical reclassification", *The Geological Society of America, Special Paper* 422 (2007) 14-39.
- geochemistry 21:2 (2002) 170-174.
- [24] Klein C., Hurlbut, C.S., "Manual of Mineralogy", John Wiley & Sons (1993) 681 p.
- [25] Schwartz M., "Cadmium in zinc deposits: economic geology of a polluting element", *Reviews in Economic Geology* 13 (2000) 445-469.
- [26] Simmons S.F., Browne, P.L., "Hydrothermal minerals and precious metals in the Broadlands-Ohaaki geothermal system: implications for understanding low-sulfidation epithermal

## راهنمای تنظیم مقاله برای چاپ در نشریه زمین‌شناسی اقتصادی

از اساتید و پژوهشگران گرامی که برای نشریه زمین‌شناسی اقتصادی مقاله ارسال می‌دارند در خواست می‌نماید در تنظیم و تدوین مقالات به نکات ضروری زیر توجه فرمایند.

(1) توصیه می‌شود محققین محترم تا حد امکان در متن مقاله خود به مقالاتی که در شماره‌های گذشته نشریه زمین‌شناسی اقتصادی مقاله چاپ شده است استناد نمایند. بدیهی است این امر می‌تواند در بالا بردن امتیاز نشریه در بین مجلات نمایه شده در ISC موثر باشد.

(2) مقالات ارائه شده دارای بخش‌های زیر باشد:

● عنوان	● چکیده	● مقدمه	● بحث و بررسی	● برداشت
● مراجع	● قدردانی			

(3) مقاله با نرم افزار Word-xp تایپ شود. ( نوع و اندازه قلمها در ادامه تعریف شده‌اند)

(4) در صفحه عنوان، نام نویسنده (یا نویسنده‌گان به ترتیب مورد نظر و مشخص کردن نویسنده مسئول با علامت \*)، نام و نشانی مؤسسه‌ای که کار در آن انجام شده، شماره تلفن، فاکس، پست الکترونیک، و تاریخ تنظیم مقاله، مشخص شود.

(5) چکیده مقاله به هر دو زبان فارسی و انگلیسی و حداکثر در 150 کلمه نوشته و چکیده انگلیسی روی صفحه‌ای جداگانه باشد.

(6) برای معرفی سریع مقاله چند واژه کلیدی (Keywords) در ارتباط با متن مقاله در زیر چکیده‌ها نوشته شود.

(7) در متن مقاله، مراجع به ترتیب با شماره 1 تا ... داخل دو بند، مثل [5]، مشخص شوند.

(8) فهرست مراجع فارسی یا لاتین مثل نمونه‌های زیرنوشته شوند:

1- کریم پور، روح، زاویخ، "دماستجی و شرایط فیزیکوشیمیایی محلول کانه‌دار بر مبنای کلربیت و سیالات درگیر در معدن مس قلعه زری"، مجله بلورشناسی و کانی شناسی ایران، شماره 1 (1385) ص 26-21.

[2] Mohajjal M., Fergusson C. L., Sahandi M. R., "Cretaceous-Tertiary convergence and continental collision, Sanandaj-Sirjan Zone, western Iran", Journal of Asian Earth Sciences 21 (2003) 397-412.

(9) توصیه می‌شود هنگام تنظیم مقاله از یکی از واژگان منتشر شده از طرف مرکز نشر دانشگاهی استفاده و از به کار بردن کلمات لاتین که هم ارز فارسی دارند خودداری شود. در مواردی که واژه لاتین با املای فارسی نوشته می‌شود عین کلمه لاتین در زیر همان صفحه با قيد شماره نوشته شود. تمام رقم‌ها در متن و جدول‌های مقالات فارسی باستی فارسی باشد.

(10) جدول‌ها بر کاغذ جداگانه نوشته و شماره‌گذاری و در متن مقاله فقط به شماره جدول اشاره شود. پهنهای جدول از 15 cm بیشتر نباشد.

(11) اصل عکس‌ها و نمودارها به صورت قابل چاپ در صفحه جدا از متن باشند. پهنهای شکل‌ها از 15 cm بیشتر نباشد.

(12) توضیح هر شکل در زیر آن و توضیح جدول بالای آن نوشته شود.

(13) تعداد صفحات مقاله حداکثر 20 صفحه A4 شامل شکل‌ها و جدول‌ها باشد.

(14) چهار نسخه اصلی از مقاله بر یک روی کاغذ A4 با حاشیه‌های 3 cm و فاصله خطها 1/5 برابر چاپ و به آدرس سردبیر نشریه ارسال شود.

(15) هر مقاله پس از تأیید مشاوران و هیأت تحریریه، توسط ویراستار نشریه ویرایش و تصویر نسخه آماده چاپ هر مقاله برای اظهار نظر نهایی به آدرس نویسنده مقاله ارسال می‌شود.

(16) تعداد 3 نسخه از مقاله چاپ شده به صورت رایگان برای نویسنده ارسال خواهد شد.

هنگام تایپ مقاله برای چاپ شده به صورت رایگان برای نویسنده ارسال خواهد شد.

قلم فارسی	قلم انگلیسی	
-----------	-------------	--

نازین 12	Time Med. 9	سر صفحه
نازین 16	Time Bold 14	عنوان مقاله
نازین سیاه 13	Time Bold 11	اسم نویسنده
نازین مایل 11	Time Italic 10	آدرس نویسنده و پست الکترونیک
نازین 11	Time Med. 10	تاریخ تنظیم
نازین مایل 12	Time Italic 11	واژه‌های کلیدی
نازین سیاه 11	Time Bold 11	مقدمه و عنوان هر بخش
نازین 12	Time Med. 11	متن مقاله
نازین سیاه 10	Time Bold 10	شماره شکل‌ها و جدول‌ها
نازین 11	Time Med. 10	زیرنویس شکل‌ها و جدول‌ها
نازین 12	Time Med. 11	مراجع
نازین 10	Time Med. 9	پانوشت‌ها



## Mineralogical, textural, structural and geochemical aspects of Nakhlak lead mine, Isfahan

Jazi, M.A., Shahabpour, J.

*Department of Geology, Faculty of Sciences, Shahid Bahonar University of Kerman*

Received: 2/11/2009, in revised form: 8/5/2010

### Abstract

Nakhlak lead mine is located at the Nakhlak mountain 55 km NE of Anarak town in Isfahan province. The mineralogy is simple; galena and barite are the main primary minerals and cerussite is the main secondary mineral. Sphalerite, pyrite, chalcopyrite, tetrahedrite-tennantite and acanthite occur as minor and trace mineral inclusions in galena. Secondary minerals are anglesite, plattnerite, wulfenite and malachite. The host rock has undergone a pre-mineralization dolomitization process. Four types of dolomite have been identified which saddle dolomite is the most distinguished. Open space filling textures occur in the form of breccia, cockade, crustification and colloform. Analysis of the galena samples indicates presence of many trace elements in galena among which silver is the most important. Element pairs such as Ag-As, Zn-Cd, As-Cu and As-Sb are highly correlated. This correlation may be explained by the presence of inclusions. Ag-Sb-Bi ternary diagram indicates that galena samples from Nakhlak are rich in Ag and Sb and poor in Bi. Sb/Bi (3773) ratio in galena is suggestive of a low temperature of formation for the deposit. The Upper Cretaceous carbonate host rocks and their dolomitization, the stratabound and epigenetic mineralization, the absence of igneous activity, the open space filling texture, the simple mineralogy and geochemistry all point to a Mississippi valley type model for the Nakhlak Pb deposit.

**Keywords:** Nakhlak, Galena, Open space filling, Trace element, Mississippi valley type.

<sup>1</sup>Corresponding author: mohamad.jazi@gmail.com



## Geochemistry and genesis of APS minerals in advanced argillic alteration zone, northwest of Shir-Kuh, Yazd

Taghipour, B., Moore, F.

Department of Earth Sciences, Faculty of Sciences, University of Shiraz, Iran

Received: 4/3/2010, in revised form: 18/7/2010

### Abstract

Northwest of Shir-Kuh batholith, a number of leucocratic granitic and granodioritic plutons have intruded sedimentary hosts including shale-sandstone (Triassic-Jurassic) and sandstone-conglomerate (Lower Cretaceous). Contact metamorphism and hydrothermal alterations are widespread. Late alteration assemblage mainly occurs in arkosic sandstones of Sangestan Formation and includes propylitic, quartz-sericitic, advanced argillic and silicific zones. Quartz-sericite zone is the most widespread. Advanced argillic alteration is characterized by the following assemblage: jarosite, alunite, turquoise, from the Al-Phosphate-Sulfate group (APS). Considering this mineral assemblage and probable interactions taking place between the minerals, a geochemical environment with high  $fO_2$  and low pH is thought to be prevailing at the time of alteration and formation of alunite, jarosite and turquoise.

**Keywords:** Shir-kuh, leucocratic intrusions, alteration, jarosites, turquoise.

<sup>1</sup>Corresponding author: taghipour@shirazu.ac.ir



## Geology, alteration, mineralization and geochemistry at south of Arghash (Neyshabour)

Karimi, Z., Mazaheri, S.A., Karimpour, M.H.

Research Center for Ore Deposits of Eastern Iran, Ferdowsi University of Mashhad

Received: 9/2/2010, in revised form: 26/6/2010

### Abstract

The Arghash area is located 45 km to southwest of Neyshabour. The subvolcanic rocks in the area consist of biotite hornblende quartz monzodiorite porphyry, hornblende biotite quartz monzodiorite porphyry, hornblende monzonite porphyry, biotite hornblende monzonite porphyry, monzodiorite porphyry and biotite quartz monzodiorite porphyry units. The volcanic rocks consist of hornblende biotite dacite, biotite hornblende dacite, and andesite and pillow lava. The plutonic rocks consist of hornblende monzodiorite, hornblende monzonite, quartz monzonite, hornblende quartz monzodiorite, biotite granodiorite, hornblende granodiorite, biotite hornblende granodiorite, biotite quartz diorite and pyroxene dolerite units. Five types of alteration including propylitic, carbonate, argillic, silicification and sericitic were recognized. Those are subdivided into twelve sub-zones based on the mineral abundances and intensity of alteration. Primary pyrite, 3-4%, is found mainly as disseminated. Secondary mineralization includes limonite, hematite and jarosite. Twenty rock chip and 8 stream sediment samples were collected for geochemical exploration. The samples were analysed for Cu, Zn, Pb, Ag and Sb using Atomic Absorption Spectrophotometric (AAS) method. In stream sediment samples, Cu abundance is 34-58 ppm, Zn 45-422 ppm, Pb 28-42 ppm and Ag 2-12 ppm; whereas in rock chip samples, Cu abundance is 8-1137 ppm, Zn 13-411 ppm, Pb 15-97 ppm and Ag 3-32 ppm.

**Keywords:** Arghesh, Porphyry copper, Potasic, Central Iran.

<sup>1</sup>Corresponding author: zks\_karimi@yahoo.com



## The study of molybdenite types related to the ore processing plant of the Sar Cheshmeh mine

Aminzadeh<sup>1</sup>, B., Shahabpour<sup>1</sup>, J., Asadipour<sup>2</sup>, M.

1-Department of Geology, Shahid Bahonar University of Kerman  
2-Sar Cheshmeh Copper Company

Received: 8/4/2010, in revised form: 16/6/2010

### Abstract

Molybdenite occurs in five forms in the Sar Cheshmeh porphyry copper deposit, namely, (1)-veinlets with quartz-molybdenite, (2)-veinlets with quartz-molybdenite that were filled with pyrite, (3)-veinlets with quartz-molybdenite-pyrite-chalcopyrite, (4)-Molybdenite veinlets with very low quartz and (5)-disseminated molybdenite grains. Because of their large size, the veinlet-related molybdenite grains are easily liberated from the gangue minerals, provided the grinding is properly conducted (74 micron). Because of their fine-grain size, the disseminated molybdenite grains are not liberated from the gangue and enter the tailings during the flotation process.

**Keywords:** *Molybdenite, Ore processing, Sar Cheshmeh mine.*

<sup>1</sup>Corresponding author: aminzadeh85@gmail.com



## Geochemistry of hydrothermal alterations associated with epithermal gold mineralization in Masjeddaghi area, east of Jolfa, NW Iran

Imamalipour<sup>1</sup>, A., Abdoli<sup>2</sup>, H., Hajalilo<sup>2</sup>, B.

1- Department of Mining Engineering, Urmia University

2- Department of Geology, Payam-e-Noor University of Tabriz

Received: 6/12/2009, in revised form: 23/4/2010

### Abstract

Two types of mineralization including porphyry copper and epithermal gold mineralization have occurred in relation with an intermediate volcano-plutonic complex in Masjeddaghi area. Different alterations including silica, advanced argillic, intermediate argillic and propylitic have been distinguished in relation with epithermal mineralization, which have a zonal pattern. Elemental mass gains and losses during alterations were calculated using Zr as an immobile monitor. Silica zone has enriched in SiO<sub>2</sub> and relatively in Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> and K<sub>2</sub>O, and has depleted in Na<sub>2</sub>O, MgO and CaO. Ba, Sr, Pb, Rb and Cu elements have also enriched. The advanced argillic zone shows enrichment in SO<sub>3</sub>, Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>, SiO<sub>2</sub>, K<sub>2</sub>O, MgO and L.O.I; and depletion in Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub>, CaO, Na<sub>2</sub>O, MnO and MgO. Barium, Cu, Sr and Zn have depleted in this zone. Propylitic zone has enriched in MgO, CaO, L.O.I and SiO<sub>2</sub>, and has depleted in Na<sub>2</sub>O and K<sub>2</sub>O. Geochemical and mineralogical evidences indicate that the hydrothermal leaching of mafic minerals in parent rocks and formation of quartz, kaolinite, sericite and alunite assemblage in advanced argillic zone; and chlorite, epidote and calcite assemblage in propylitic zone is responsible for the above mentioned chemical variations. It is likely that the gains and losses of elements have been controlled by agents such as water/rock ratios, temperature changes and chemistry of hydrothermal solutions. The CIA and MIA indicators in the altered rocks indicate the intensity of alteration in silica and advanced argillic zones in comparison with propylitic zone.

**Keywords:** *Geochemistry, Alteration, Epithermal, Mass changes , Masjeddaghi, Jolfa.*

<sup>1</sup>Corresponding author: a.imamalipour@urmia.ac.ir



## Geology, alteration, mineralization and geochemical study in Kalateh Taimour area, NE Iran

Alaminia, Z., Karimpour, M.H., Haidarian shahri, M.R.

Research Center for Ore Deposits of Eastern Iran, Ferdowsi University of Mashhad, Iran

Received: 2/2/2010, in revised form: 10/6/2010

### Abstract

The area is located 20 km northwest of Kashmar and about 4 km of Kalateh Taimour in Khorasan Razavi province. The study area is part of Tertiary volcanic-plutonic belt north of Daruneh fault and its situation in tectonic inliers between two important active faults, Doruneh and Taknar. Volcanic rocks are mainly intermediate to acid pyroclastic type. They formed during early Tertiary. The volcanic rocks of the Kalateh Taimour area are predominantly andesitic basalt, andesite, latite, trachyte, dacite and rhyodacite and are observed as lava, tuff, lapilli tuff and agglomerate. Field evidences and study show several subvolcanic bodies including quartz hornblende biotite monzodiorite porphyry, quartz biotite monzodiorite porphyry, quartz diorite porphyry and microdiorite which are intruded sometime in mid-Tertiary. In this belt, new methods of image processing were used for enhancing the alteration zones to help near infra red and short wavelength infrared and bands example band ratios and principle component method. Propylitic, sericitic and argillic are the main alteration types. Minor silicification is found in some areas. Alteration is extent but mineralization is limited. Mineralization is mainly controlled by fault system. Several mineralized faults are being discovered. Open space filling features are abundant. In the study area, disseminate and stock work mineralization are abundant. The amount of sulfide minerals is very small. Ancient mining is present in the area. Stream sediment geochemical study shows a very broad and high level of gold anomaly. Rock geochemical study show very high levels of Au, Ag, Cu, Pb, Zn and Au value is correlative to Cu, Pb, Zn and Ag values. Due to alteration modeling, non uniformity in mineralization and low abundance of sulfide mineralization suggest study in low sulphidation Au-Cu deposit.

**Keywords:** *Image processing, Alteration, Mineralization, Litogegeochemistry.*

<sup>1</sup>Corresponding author: Alaminia\_geo@yahoo.com



## Mineralogy and REE geochemistry at Gomish-Tappeh Zn-Pb-Cu (Ag) deposit, southwest of Zanjan

T. Salehi, M. Ghaderi \*, N. Rashidnejad-Omran

Department of Geology, Tarbiat Modares University, Tehran, Iran

Received: 14/7/2010, in revised form: 12/10/2010

### Abstract

Gomish-Tappeh Zn-Pb-Cu (Ag) deposit is located 90 km southwest of Zanjan, in northwestern part of Urumieh-Dokhtar volcano-plutonic zone. Exposed rocks at the area include Oligo-Miocene volcano-sedimentary and sedimentary sequences as well as Pliocene volcano-plutonic sequence (andesite porphyry dykes, dacitic subvolcanic dome and rhyodacitic volcanics). Alteration in the deposit developed as silicic, silicic-sulfidic, sericitic, carbonate, argillic and propylitic. Main mineralization at the Gomish-Tappeh deposit is observed as veins occurring in a steeply-deepening normal fault defined by an NE-SW trend in host rocks such as dacitic crystal litic tuff, dacitic subvolcanic dome, specifically the rhyolitic tuff. Paragenetic minerals in the ore veins consist of pyrite, arsenopyrite, chalcopyrite, bornite, low-Fe sphalerite, galena, tetrahedrite and specularite. Gangue minerals accompanying the ores include quartz, calcite, chlorite, sericite and clay minerals. Based on geochemical data, average grades for samples from the ore veins at the Gomish-Tappeh deposit are: 4% Pb, 6% Zn, 2% Cu and 88 ppm Ag. Moreover, REE distribution patterns for altered samples of the dacitic subvolcanic dome and acidic tuff when compared with fresh samples, show enrichment in LREE, while HREE demonstrate various behaviours. The negative Eu anomaly in chondrite-normalized REE patterns for these rocks is related to the increase in fluid/rock ratio and destruction of those grains of plagioclase enriched in Eu. REE distribution patterns for the silty tuff (footwall to the ore) compared with acidic tuff represent enrichment in all REE as well as positive Eu anomalies. However, the ore samples indicate more enrichment in LREE/HREE ratios and higher Eu contents when compared with wallrock of the ore veins (silty tuff). This is due to the influence of chloric magmatic-hydrothermal fluids that caused alteration along the ore zone, releasing LREE and Eu from the host rocks and finally, concentrating and transporting these elements in the ore fluid.

**Keywords:** Pliocene volcano-plutonic sequence, alteration, Zn-Pb-Cu (Ag), Gomish-Tappeh, Zanjan.

<sup>1</sup>Corresponding author: mghaderi@modares.ac.ir



*In the Name of God, the Beneficent, the Merciful*

## Journal of Economic Geology

2010-2011, No. 2 (Vol. 3)

Welcome to the online submission and editorial system for Journal of Economic Geology. Journal of Economic Geology is devoted to all aspects of research related to Economic Geology, Petrology, Geochemical Exploration, Geophysical Exploration and Environmental Geology. The Journal will be devoted primarily to research papers but short communications relating to new developments of broad interest, book reviews and technical reports of meetings will also be included.

**EDITOR:** Dr. Mohammad Hassan Karimpour

**EDITORIAL BOARD:**

Dr. Mohammad Hassan Karimpour (Prof., Ferdowsi University of Mashhad)  
Dr. Abdol Majid Yaghoubpur (Prof., Teacher Training University of Tehran)  
Dr. Mohammad Hossein Adabi (Prof., Shahid Beheshti University)  
Dr. Ebrahim Rastad (Associate Prof., Tarbiat Modares University)  
Dr. Gholam Reza Lashkaripour (Prof., Ferdowsi University of Mashhad)  
Dr. Abbas Moradian (Associate Prof., Shahid Bahonar University)  
Dr. Reza Moussavi Harami (Prof., Ferdowsi University of Mashhad)  
Dr. Ahmad Mazaheri (Associate Prof., Ferdowsi University of Mashhad)

**EDITING CONSULTANT**  
*Dr. M. Ghaderi and M. Kadkani*

**CONSULTANT**  
*M. Ghoorchi*

**Publisher,** Ferdowsi University of Mashhad

**Published by:** Ferdowsi University of Mashhad Press

**Address:** Research Center for Ore Deposit of Eastern Iran, Faculty of Science, Ferdowsi University of Mashhad, Iran

**P.O. BOX:** 91779-48974

**Tel:** +98-0511-8788054

**Fax:** +98-0511-8788054

**E-mail:** econg@um.ac.ir

**Web Site:** <https://jm.um.ac.ir/index.php/econg>



ISSN (P): 2008-7306  
ISSN (E): 2423-5865

# JOURNAL OF ECONOMIC GEOLOGY

Vol. 2, No.2, Autumn & Winter 2010-2011

## CONTENTS

<b>Mineralogical, textural, structural and geochemical aspects of Nakhlak lead mine, Isfahan.....</b>	<b>131</b>
Mohammad Ali Jazi and Jamshid Shahabpour	
<b>Geochemistry and genesis of APS minerals in advanced argillic alteration zone, northwest of Shir-Kuh, Yazd.....</b>	<b>153</b>
Batool Taghipour and Faride Moore	
<b>Geology, alteration, mineralization and geochemistry at south of Arghash (Neyshabour).....</b>	<b>167</b>
Zahra Karimi Saeid Abadi, Seyed Ahmad Mazaheri and Mohammad Hassan Karimpour	
<b>The study of molybdenite types related to the ore processing plant of the Sar Cheshmeh mine.....</b>	<b>191</b>
Balandeh Aminzadeh, Jamshid Shahabpour and Mortaza Asadipour	
<b>Geochemistry of hydrothermal alterations associated with epithermal gold mineralization in Masjeddaghi area, east of Jolfa, NW Iran.....</b>	<b>199</b>
Ali Imamalipour, Hossein Abdoli Eslamloo and Behzad Hajalilo	
<b>Geology, alteration, mineralization and geochemical study in Kalateh Taimour area, NE Iran.....</b>	<b>217</b>
Zahra Alaminia, Mohammad Hassan Karimpour and Mohammad Reza Heidarian Shahri	
<b>Mineralogy and REE geochemistry at Gomish-Tappeh Zn-Pb-Cu (Ag) deposit, southwest of Zanjan.....</b>	<b>235</b>
Tooba Salehi, Majid Ghaderi and Nematollah Rashidnejad Omran	