

بررسی‌های دورسنجی، زمین‌شناسی، دگرسانی، کانی‌سازی و ژئوشیمیایی در گستره‌ی پی- جوئی مس - طلا بالازرد، غرب نهبندان

روح اله میری بیدختی^{۱*}، محمدحسن کریم‌پور^۲، سید احمد مظاهری^۲

۱- گروه زمین‌شناسی، دانشکده علوم، دانشگاه فردوسی مشهد

۲- مرکز تحقیقات ذخایر معدنی شرق ایران، دانشگاه فردوسی مشهد

(دریافت مقاله: ۹۱/۱۲/۲، نسخه نهایی: ۹۲/۳/۲۶)

چکیده: گستره‌ی بالازرد در غرب نهبندان و در بخش مرکزی لوت واقع شده است. واحدهای سنگی این منطقه شامل ریولیت و آندزیت با سن ائوسن بوده که توده‌های نیمه نفوذی حدواسط با ترکیب مونزودیوریت تا دیوریت پورفیری در آن نفوذ کرده‌اند. شواهدی نظیر وجود کانی‌سازی سولفیدی پراکنده دانه و نیز دگرسانی‌های شدید، متنوع و گسترده (در مساحتی بالغ بر ۲۰ کیلومتر مربع)، نشان‌دهنده‌ی پتانسیل بالای کانی‌سازی در این گستره‌ی است. دگرسانی‌های وسیع شامل آرژیلیک، سرسیت-آرژیلیک، سیلیسی-آرژیلیک، آرژیلیک پیشرفته و پروپلیتیک واحدهای آتشفشانی و نفوذی منطقه را تحت‌تاثیر قرار داده است. کانی‌سازی به‌شکل افشان و رگه‌ای مشاهده می‌شود. مجموعه‌ی کانیایی درون‌زاد شامل پیریت و کالکوپیریت در توده‌های نفوذی و پیریت، اسفالریت، کالکوپیریت و گالن در رگه‌های کوارتز-کربنات هستند. همچنین کانی‌های ثانویه شامل کولیت، کالکوزیت، مالاکیت و آزوریت در رگه‌های کوارتز-کربنات دیده می‌شوند. براساس داده‌های زمین‌شیمی، عناصر طلا، نقره، مس، روی، آنتیموان، آرسنیک و سرب به ترتیب با بیشترین مقدار ۲۴۷۰ ppb، ۱۱۴ ppm، ۱۲۵۰ ppm، ۲۴۶۲ ppm، ۱۰۳ ppm، ۹۸ ppm و ۹۶۸ ppm بیهنجاری نشان می‌دهند. بررسی‌های زمین‌شناسی، کانی‌شناسی، دگرسانی و ژئوشیمیایی در گستره‌ی بالازرد نشان دهنده‌ی کانی‌سازی سولفیدی در رگه‌های کوارتز-کربنات در اثر عملکرد یک گرماب که در مسیر گسلها و زونهای برشی در حرکت بوده است ایجاد شده‌اند. علاوه بر این کانی‌سازی وسیع و پراکنده پیریت و به مقدار کمتر کالکوپیریت همراه با زونهای دگرسانی، نمایانگر فعالیت گسترده‌ی گرماب‌ها در منطقه است.

واژه‌های کلیدی: دگرسانی؛ آستر؛ رگه‌ی کوارتز-کربنات؛ بالازرد؛ نهبندان.

مقدمه

است که از ژوراسیک آغاز شده و در ترشیاری به اوج خود رسیده است، بطوری که سنگهای آتشفشانی-نفوذی ترشیاری، به ویژه ائوسن، با ضخامت حدود ۲۰۰۰ متر، بیش از نیمی از بلوک لوت را می‌پوشاند [۲]. بلوک لوت به واسطه‌ی داشتن موقعیتهای زمین‌ساختی مختلف در زمانهای گذشته و به دنبال آن وجود حجم بزرگ ماگماتیسم با ویژگیهای ژئوشیمیایی متفاوت، دارای پتانسیل مناسبی برای کانی‌سازی‌های مختلف فلزی و غیر فلزی است [۳]. در بخش شرقی این بلوک

منطقه‌ی پی‌جوئی بالازرد در شرق ایران و در گستره‌ای بین طول‌های $59^{\circ}03'00''$ تا $59^{\circ}07'50''$ شرقی و عرض‌های جغرافیایی $31^{\circ}09'00''$ تا $31^{\circ}11'20''$ شمالی و در ۴۰ کیلومتری غرب روستای دهسلم در استان خراسان جنوبی قرار گرفته است (شکل ۱) [۱]. این منطقه از نظر تقسیمات ساختاری در بخش مرکزی بلوک‌لوت قرار دارد [۲]. یکی از ویژگیهای منحصر بفرد بلوک لوت، فعالیتهای ماگماتیسمی آن

* نویسنده مسئول، تلفن: ۰۹۱۵۳۶۲۴۹۸۴، نمابر: ۸۷۹۷۲۷۵ (۰۵۱۳)، پست الکترونیکی: miri1358@yahoo.com.au

و ۱:۱۰۰۰۰۰)، توده‌های نفوذی این گستره مشخص نشده است و در نقشه ژئوشیمی ۱:۱۰۰۰۰۰ منطقه نیز از این گستره نمونه‌برداری صورت نگرفته است. هدف از این پژوهش دریافت داده‌های زمین‌شناسی با تاکید ویژه بر شناسایی و جدایی توده‌های نفوذی، دگرسان، کانی‌سازی و ژئوشیمی دقیق و با مقیاس مناسب و تحلیل سیستم کانی‌سازی در منطقه است.

روش بررسی

فعالیت‌های صورت گرفته بر مبنای مشاهدات صحرایی، نمونه‌برداری از واحدهای سنگی و بررسی‌های آزمایشگاهی شامل موارد زیر بوده‌اند:

۱- پردازش تصاویر ماهواره‌ای ASTER به‌منظور جدایی منطقه‌های دگرسان و شدت و پراکندگی آنها با استفاده از نرم‌افزار ENVI 4.2

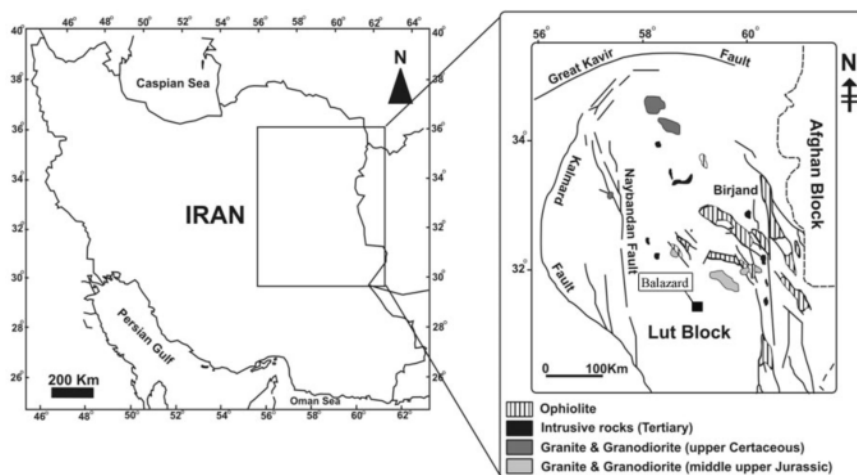
۲- بررسی‌های صحرایی و برداشت اطلاعات لازم برای تهیه نقشه از قبیل شناسایی واحدهای سنگی و ساختارهای زمین-ساختی، ۳- نمونه‌برداری از واحدهای سنگی (بیش از ۱۰۰ نمونه) به‌منظور بررسی‌های سنگ‌شناسی، دگرسانی و کانی-سازی و تهیه و بررسی ۵۰ مقطع نازک و صیقلی

۴- تهیه نقشه‌ی زمین‌شناسی و دگرسانی رقومی منطقه با مقیاس ۱:۱۰۰۰۰

۵- برداشت، آماده‌سازی و تجزیه‌ی ۱۰ نمونه سنگی، که به صورت خرده سنگی از عرض رگه‌ها برداشت شده بودند و توسط شرکت زراژما مورد بررسی قرار گرفتند. آنالیز نمونه‌های سنگی برداشت شده برای عنصر طلا به روش عیارسنجی آذری (Fire assay)

کانی‌سازی‌های متعددی گزارش شده‌اند که از مهمترین آنها می‌توان به کانسارهای مس-طلای پورفیری ماهرآباد و خویپک [۵،۴]، طلای اپی‌ترمال سولفید بالای کوه‌شاه [۶]، طلای اپی‌ترمال سولفید بالای چاه‌شلجی [۷]، کانی‌سازی مس پورفیری و اسکارن مس پورفیری در منطقه ده‌سلم [۸] و کانسار اپی-ترمال چندفلزی مس-روی ماهور [۱۰،۹] اشاره کرد. بازه‌ی زمانی بین ۴۲ تا ۳۳ میلیون سال پیش از (اوسن میانی تا اوایل الیگوسن)، مهمترین پنجره‌ی زمانی کانی‌سازی در شرق ایران است، بنابراین گرانیتهای تشکیل شده در این پنجره-ی زمانی برای انواع کانی‌سازی مس-طلای پورفیری، طلای اپی‌ترمال سولفید بالا، اسکارن آهن، رگه‌های Sb, Zn, Pb و IOCG پتانسیل دارند [۱۱]. در گستره‌ی بالازرد کانی‌سازی اپی‌ترمال طلا، مس و روی در رگه‌های کوارتز-کربنات صورت گرفته است [۱۲]. بین ذخایر اپی‌ترمال طلا و ذخایر مس-طلای پورفیری ارتباط مکانی و زمانی وجود دارد که این ارتباط در مناطق مختلف جهان، به اثبات رسیده است [۱۳]. علاوه بر این بررسی‌ها معلوم شد که یک همراهی ژنتیکی بین ذخایر پورفیری و کانی‌سازی اپی‌ترمال سولفید بالای Cu, Au, Ag با زون‌های دگرسانی سیلیسی و آرژیلیک پیشرفته درون‌زاد وجود دارد [۱۴].

به دلیل دوری از مرکز، بدی شرایط آب و هوایی و ناامنی در زمانهای گذشته، کارهای انجام شده قبلی در این منطقه بسیار کم و تنها در حد تهیه نقشه‌های زمین‌شناسی با مقیاس ۱:۲۵۰۰۰۰ چاهوک [۱۵] و ۱:۱۰۰۰۰۰ ده‌سلم [۱۶] و بررسی-های ژئوشیمی آبراهه‌ای با مقیاس ۱:۱۰۰۰۰۰ [۱۷] است. علاوه بر این در نقشه‌های زمین‌شناسی پیشین (مقیاس ۱:۲۵۰۰۰۰



شکل ۱ موقعیت جغرافیایی گستره‌ی پی‌جوئی بالازرد در شرق ایران و بلوک لوت، تصویر با اندکی تغییر از [۱].

دگرسانی فلیک و آرژیلیک، می‌توان محل‌های مناسب برای تشکیل کانی‌سازی را در مقیاس ناحیه‌ای انتخاب کرد [۲۱]. گستره‌ی بالازرد در مناطق خشک و کویری واقع شده است و به علت نداشتن پوشش گیاهی، برای پردازش تصاویر ماهواره‌ای و تشخیص مناطق احتمالی دگرسان با صرف زمان کم مناسب است. برای پردازش تصاویر STER منطقه، از روش تفکیک SAM (Spectral Angle Mapper)، استفاده شده است. کانی‌های شناخته شده عبارتند از هماتیت، سیلیس، کائولینیت، سرسیت، ژاروسیت، کلریت و اپیدوت. شدت و گسترش پراکندگی این کانی‌ها منجر به شناسایی و جدایش دگرسان‌های مختلف شده است (شکل‌های ۲ و ۳). این دگرسان‌ها از حاشیه به مرکز شامل پروپلیتیک دگرسان (شکل ۲) و در مرکز سرسیتیک و آرژیلیک دگرسان است و با توجه به گسترش نسبتاً زیاد، از نظر پی‌جوئی از اهمیت بالایی برخوردارند. وجود دگرسانی پروپلیتیک در حاشیه و سرسیتیک و آرژیلیک دگرسان در مرکز بسیار نزدیک به الگوی دگرسانی در ذخایر مس پورفیری است [۲۲]. حضور این دگرسانی‌ها، با مشاهدات دقیق صحرایی و بررسی‌های سنگ‌نگاری نیز به اثبات رسیده است.

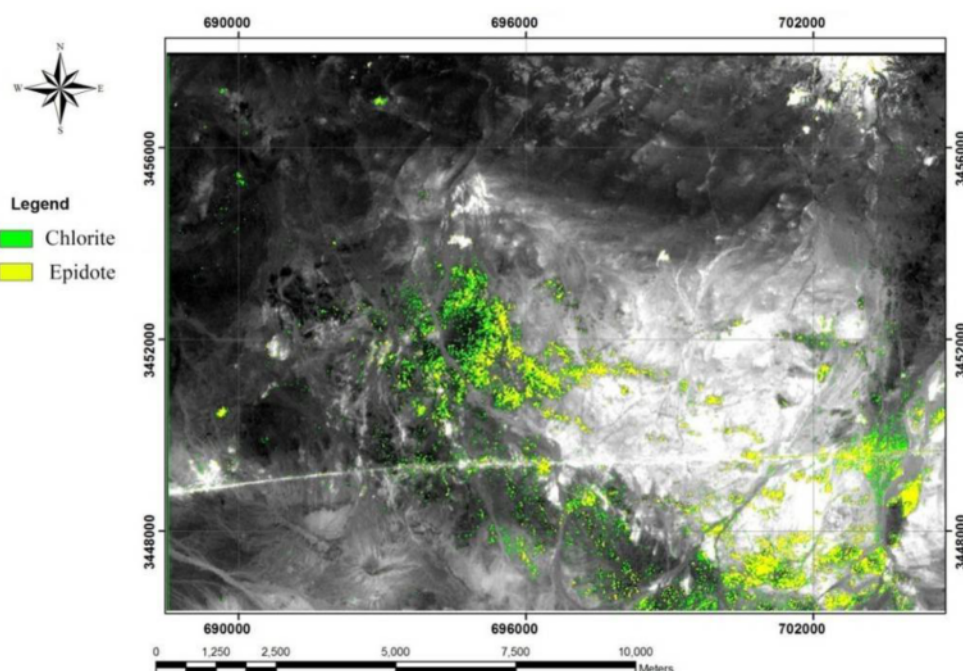
صورت گرفت. در این روش تجزیه‌ی طلا با بکارگیری مواد کمک ذوب متشکل از اکسید سرب، بوراکس و سوداش، طی فرایند ذوب (Fusion)، کوپلاسیون (Cupellation) و انحلال اسیدی صورت می‌گیرد. سپس اندازه‌گیری عیار طلا به‌وسیله‌ی ICP-OES صورت گرفت. آنالیز سایر عناصر با روش ICP-OES انجام شده است.

۶- بررسی و تفسیر داده‌های ژئوشیمیایی حاصل از آنالیز نمونه‌های سنگی

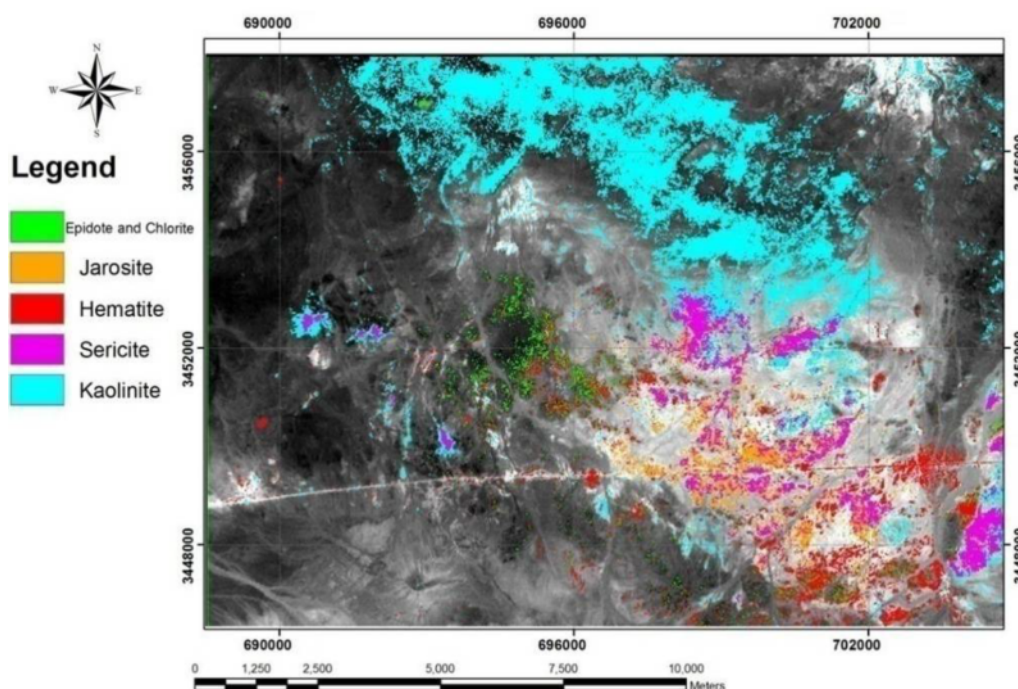
۷- جمع‌بندی و تفسیر نتایج

دورسنجی

بررسی‌های دورسنجی و به‌کارگیری داده‌های ماهواره‌ای برای آشکارسازی زون‌های دگرسانی، در دهه‌های اخیر مورد توجه خاصی قرار گرفته است [۱۸]. استفاده از روش‌های نوین پردازش تصاویر ماهواره‌ای در پی‌جوئی‌ها و زمین‌شناسی در سال‌های به‌کار گرفته شده‌اند [۱۹]. داده‌های ماهواره ASTER از سال ۲۰۰۰ برای بررسی‌های زمین‌شناسی و کانی‌سازی مورد استفاده قرار گرفته‌اند [۲۰]. با پردازش داده‌های ماهواره‌ای آستر به‌منظور تهیه نقشه‌های معرف زون‌های دگرسان و کانی‌سازی در ذخایر مس پورفیری، نظیر



شکل ۲ پردازش تصویر سنجنده آستر برای کانیهای اپیدوت و کلریت به روش SAM.



شکل ۳ پردازش تصویر سنجنده آستر برای کانی‌های کائولینیت، سرسیت، کلریت، اپیدوت، هماتیت و ژاروسیت به روش SAM.

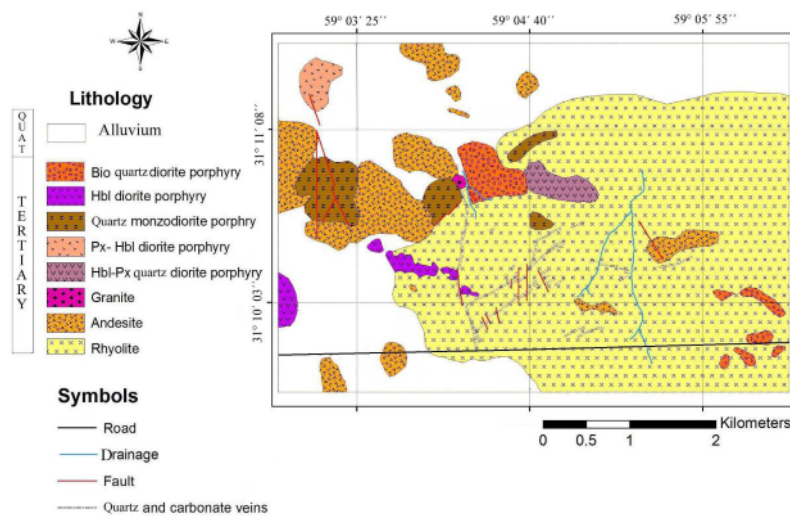
زمین‌شناسی

گستره‌ی پی‌جویی بالازرد از نظر زمین‌شناسی ناحیه‌ای، در بخش غربی برگه ۱:۱۰۰۰۰۰ ده‌سلم قرار گرفته است. بنابراین نقشه، بخش بزرگی از منطقه با سنگ‌های آتشفشانی در حد ریولیت و آندزیت وابسته به آئوسن پوشیده شده است. بررسی‌های صورت گرفته در این پژوهش نشان داد که بسیاری از واحدهایی که در نقشه‌ی سنگ آتشفشانی معرفی شده‌اند، توده‌های نفوذی نیمه‌عمیق هستند. برپایه بررسی‌های صحرایی و آزمایشگاهی، واحدهای سنگی در گستره‌ی پی‌جویی بالازرد را می‌توان به سه بخش واحدهای آتشفشانی، توده‌های نفوذی نیمه‌عمیق و عمیق تقسیم کرد. واحدهای آتشفشانی شامل ریولیت و آندزیت هستند، که بین آنها ریولیت بیشترین گسترش را دارد (شکل ۴ و ۵ الف). بافت این سنگها پورفیری و جریان‌ی با زمینه‌ی شیشه‌ای و ریز دانه است. توده‌های نفوذی نیمه عمیق حدواسط با بافت پورفیری در بخشهای مختلف گستره، بخصوص در بخشهای شمالی، رخنمون دارند. این واحدها در سنگهای آتشفشانی نفوذ کرده‌اند و به این دلیل سن نسبی آنها در نقشه‌ی پسا آئوسن در نظر گرفته شده است. در این بررسی ۵ توده‌ی نفوذی نیمه‌عمیق در سطح شناسایی شده‌اند (شکل ۴) عبارتند از کوارتز مونزودیوریت پورفیری،

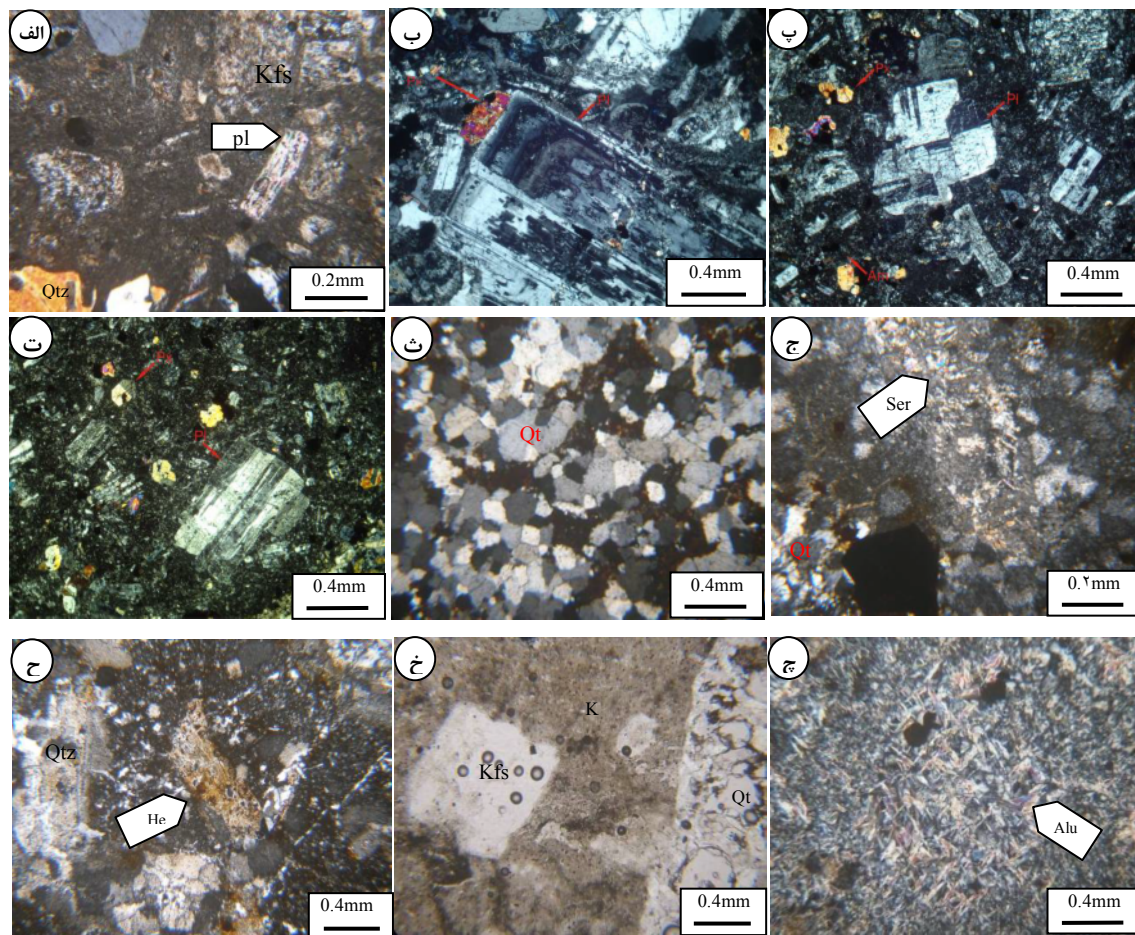
بیوتیت کوارتز دیوریت پورفیری، پیروکسن هورنبلند دیوریت پورفیری، هورنبلند پیروکسن کوارتز دیوریت پورفیری و هورنبلند دیوریت پورفیری.

- کوارتز مونزودیوریت پورفیری در مرکز و شرق نقشه رخنمون دارد (شکل ۴). بافت سنگ پورفیری است. کانی‌های درشت تشکیل‌دهنده‌ی سنگ شامل ۲۵ تا ۳۰ درصد پلاژیوکلاز (آندزین - لابرادوریت)، ۱۰ تا ۱۵ درصد فلدسپات پتاسیم، ۵ تا ۷ درصد کوارتز و ۳ تا ۵ درصد هورنبلند. زمینه‌ی سنگ نیز شامل کانی‌های یاد شده همراه با دگرسانی سیلیسی و آلونیتی است. در این واحد، پلاژیوکلازها در بعضی نقاط به اپیدوت و کرنات دگرسان شده و بلورهای هورنبلند نیز به کلریت و مگنتیت تبدیل شده‌اند.

- واحد پیروکسن هورنبلند دیوریت پورفیری در شمال غرب نقشه رخنمون دارد (شکل ۴). بافت این واحد پورفیری است. کانی‌های درشت مهم این واحد عبارتند از: پلاژیوکلاز (آندزین) دارای منطقه‌بندی (۳۰ تا ۳۵ درصد)، هورنبلند ۶ تا ۱۰ درصد، پیروکسن نوع اوژیت (۵ تا ۷ درصد). بلورهای پلاژیوکلاز در این توده در حد ۱۵ تا ۲۰ درصد به اپیدوت تبدیل شده‌اند. در زمینه سنگ علاوه بر کانی‌های یاد شده، کانی کدر به صورت پراکنده حضور دارد.



شکل ۴ نقشه زمین‌شناسی منطقه پی‌جوئی بالازرد.



شکل ۵ الف- تصویر میکروسکوپی از ریولیت‌های منطقه (XPL) ب- تصویر میکروسکوپی از کوارتز مونزودیوریت پورفیری (XPL) پ- تصویر میکروسکوپی از پیروکسن هورنبلند دیوریت پورفیری، کانی هورنبلند به کلریت دگرسان شده است. (XPL) ت- تصویر میکروسکوپی از آندزیت (XPL) ث- تصویر میکروسکوپی از رگه کوارتزی (XPL) ج- تصویر میکروسکوپی از دگرسانی آرژلیک-کوارتز-سرسیت-پیریت (XPL) ح- تصویر میکروسکوپی از دگرسانی سیلیس-آرژلیک-زمینه آرژیلی شده است و پیریت نیز به اکسیدهای آهن تبدیل شده است (XPL) خ- تصویر میکروسکوپی از دگرسانی سیلیس-آرژلیک (PL) چ- تصویر میکروسکوپی از دگرسانی آرژلیک پیشرفته (XPL) علائم اختصاری [۲۲] و Ser برای سرسیت، Alu برای آلونیت استفاده شده است.

دگرسانی

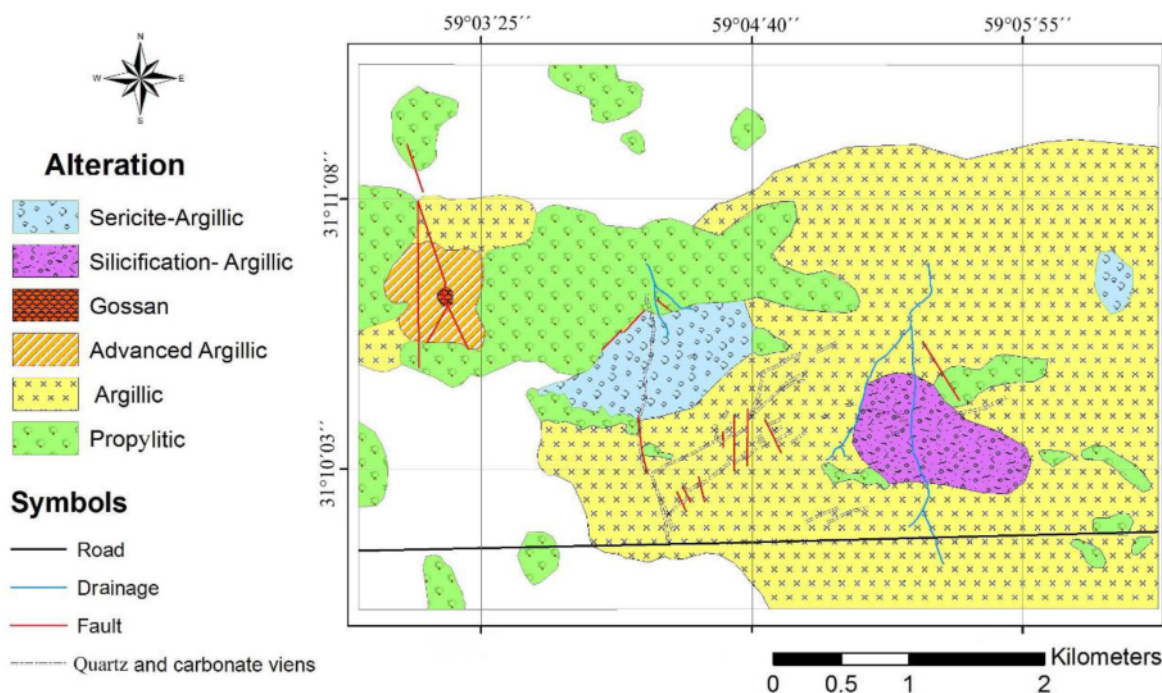
بر پایه‌ی بررسی‌های صحرایی و آزمایشگاهی معلوم شد که ساخت واحدهای آتشفشانی و برخی توده‌های نیمه‌عمیق موجود در این گستره، تحت تاثیر گرمایی‌ها قرار گرفته‌اند، بخصوص ریلیت‌های گستره تحت تاثیر توده‌های نفوذی به شدت دگرسان شده‌اند. بر این اساس، ۵ نوع دگرسانی اصلی در سطح شناسایی شده است که عبارتند از: ۱- آرژیلیک (بر اساس بررسی‌های سنگ‌نگاری، دگرسانی‌های سرسیتیک-آرژیلیک و سیلیسی-آرژیلیک نیز به صورت زیرگروه تفکیک شده‌اند) ۲- پروپلیتیک ۳-آرژیلیک پیشرفته ۴-سیلیسی-کربناتی ۵-گوسان (شکل ۶).

پروپلیتیک: دگرسانی پروپلیتیک گستره‌ی بالایی داشته و از کانی‌های کلریت، سرسیت، کلسیت و اپیدوت تشکیل شده است که در زمینه و به صورت جانشینی در کانی‌های مافیک و بخشی از بلورهای فلدسپات مشاهده می‌شوند. مقدار این کانی‌ها در نقاط مختلف متفاوت است. مقدار اپیدوت از ۲۰ تا ۳۵ درصد و کلریت از ۵ تا ۱۵ درصد متغیر است. اغلب این کانی‌ها حاصل دگرسانی هورنبلند و پلاژیوکلاز است. کانی‌سازی پیریت به‌صورت افشان در این منطقه دیده می‌شود.

بیوتیت کوارتز دیوریت پورفیری در غرب و مرکز نقشه دیده می‌شود (شکل ۴). این واحد با بافت پورفیری و کانی‌های درشت از ۳۰ تا ۳۵ درصد پلاژیوکلاز، ۵ تا ۱۰ درصد بیوتیت، ۲ تا ۳ درصد هورنبلند و ۵ تا ۷ درصد کوارتز تشکیل شده است. زمینه سنگ نیز شامل کانی‌های فنوکریست است. پلاژیوکلازها در بعضی نقاط تبدیل به کلریت و اپیدوت شده و هورنبلند و بیوتیت نیز به کلریت دگرسان شده‌اند.

واحد هورنبلند پیروکسن کوارتز دیوریت پورفیری در مرکز نقشه رخنمون دارد. این واحد دارای بافت پورفیری با ۵۰ تا ۶۰ درصد فنوکریست است. فنوکریست‌های مهم در این واحد عبارتند از ۳۰ تا ۳۵ درصد پلاژیوکلاز، ۱۰ تا ۱۵ درصد پیروکسن، ۵ تا ۱۰ درصد هورنبلند که به‌طور بخشی به کانی کلریت دگرسان شده‌اند. این واحد پروپلیتیک است.

هورنبلند دیوریت دگرسان در بخش کوچکی از جنوب غرب نقشه رخنمون دارد (شکل ۴). بافت آن پورفیری با زمینه میان دانه است. کانی‌های درشت آن شامل ۳۰ تا ۳۵ درصد پلاژیوکلاز، در حدود ۵ درصد فلدسپات پتاسیم، ۵ تا ۱۰ درصد هورنبلند و ۳ تا ۴ درصد کوارتز است. زمینه‌ی آن از پلاژیوکلاز، فلدسپات پتاسیم، هورنبلند و کوارتز تشکیل شده است. دگرسانی غالب در این توده پروپلیتیک است.



شکل ۶ نقشه‌ی دگرسانی گستره‌ی پی‌جویی بالازرد.

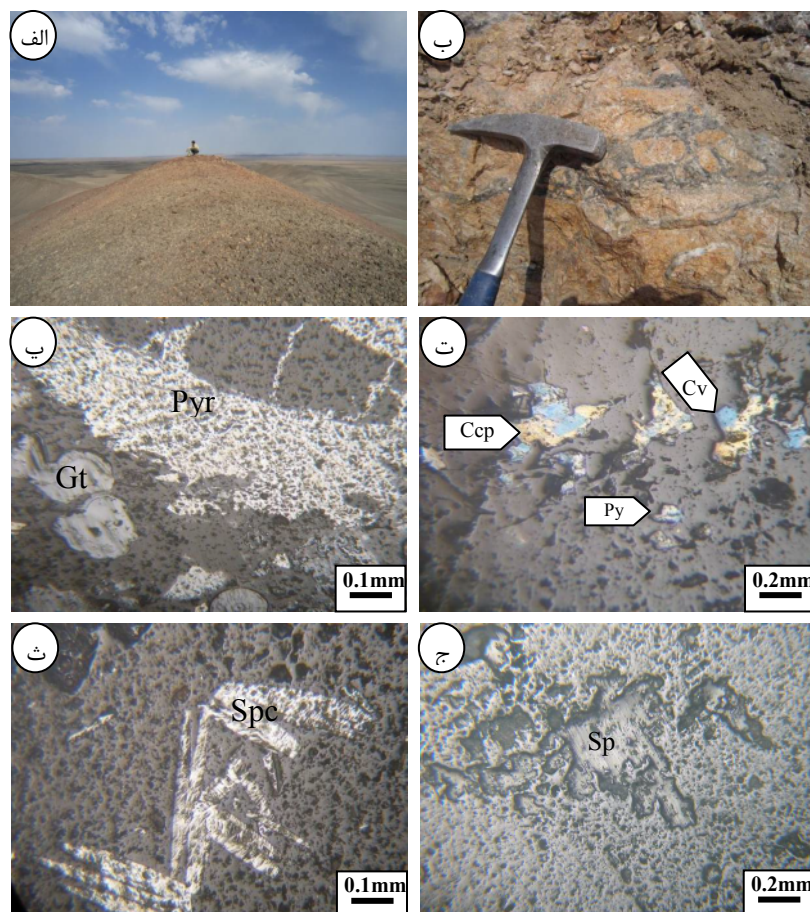
کانی‌های رسی و بخش‌های سیلیسی، سرسیتی، سولفید اکسیده، لیمونیت، ژاروسیت و بخصوص آلونیت مشخص می‌شود (شکل ۵ چ).

سیلیسی-کربناتی: این دگرسانی همراه با رگه‌هایی از کانی‌سازی مشاهده می‌شود. کانی کوارتز و کلسیت، کانیهای اصلی این دگرسانی بحساب می‌آیند (شکل ۵ ث). این دگرسانی همراه با رگه‌ها در بخش‌های مختلف گستره گسترش دارد.

گوسان: با توجه به اینکه از تخریب سولفیدها ایجاد شده است، می‌توان آنرا نوعی کانی‌سازی دانست. در مرتفع‌ترین بخش زون آرژیلیک پیشرفته، زونهای سرخ تیره تا قهوه‌ای به همراه با رگچه‌های کوارتزی و رگچه‌های لیمونیت، ژاروسیت و گوتیت مشاهده می‌شوند که موجب تشکیل کلاhek گوسان شده است (شکل ۷ الف).

آرژیلیک: این منطقه به علت شدت بالای دگرسانی، با تخریب بافتی همراه است و گستره‌ی گسترده‌ای از نقاط کم‌ارتفاع و تپه ماهوری را شامل می‌شود. کانیهای رسی، مهم محصول دگرسانی هستند. از دیگر کانیهای دگرسان این منطقه می‌توان از مقادیر متوسط تا کم کوارتز و سرسیت نام برد. برحسب مقدار کوارتز و سرسیت دو دگرسانی سرسیتی-آرژیلیک و سیلیسی-آرژیلیک جدا از یکدیگر دیده می‌شوند. این دگرسانی بخش بزرگی از واحدهای سنگی را تحت‌تأثیر قرار داده است (شکل ۶). واحدهای ریولیتی منطقه، تحت تأثیر این دگرسانی قرار گرفته‌اند (شکل ۵ ح). این زون در صحرا به رنگ زرد دیده شد. شدت این دگرسانی در بخش‌های مختلف متفاوت است. بیشترین شدت این دگرسانی در مرکز و بخش شرقی دیده می‌شود.

آرژیلیک پیشرفته: دگرسانی آرژیلیک پیشرفته ارتفاع ساز و با



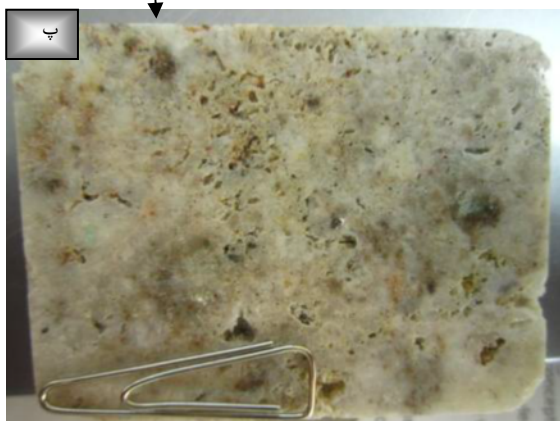
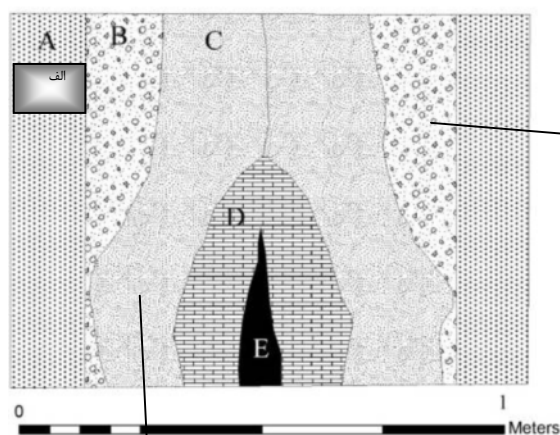
شکل ۷ الف- کلاhek گوسان (دید به سمت شمال) ب- کانی‌سازی پیرولوژیت و گوتیت در زمینه‌ی برش گرمایی پ- کانی‌زایی گوتیت و پیرولوژیت ت- کانی‌سازی کالکوپیریت، کولیت و پیریت در رگه‌های کوارتز-کربنات ث- کانی اسپیکیولاریت ج- کانی اسفالریت × علائم اختصاری بر اساس [۲۲] و Spc برای اسپیکیولاریت استفاده شده است.

کانی‌سازی

کانی‌سازی در این گستره به دو صورت رگه‌ای و پراکنده مشاهده می‌شوند. کانی‌سازی در سطح به صورت کانی‌سازی سولفیدی افشان و با گسترش گسترده در واحدهای آتشفشانی و نفوذی است. کانی‌سازی افشان بیشتر پیریت (۲ تا ۵ درصد) و کمتر کالکوپیریت است که به صورت دانه‌های پراکنده در متن سنگ تشکیل شده‌اند. بیشترین پراکندگی کانی‌سازی افشان، در زون دگرسانی پروپلیتیک و آرژیلیک-سرسیتی مشاهده می‌شود.

کانی‌سازی دیگری که در رگه‌های کوارتز-کربنات مشاهده می‌شود که کانی‌سازی سولفیدی آن شامل کانی‌های درون‌زاد پیریت، کالکوپیریت، اسفالریت و گالن می‌شود (شکل ۷). علاوه بر این کانی ثانویه کولیت نیز که از تبدیل کالکوپیریت ایجاد شده است در مقاطع صیقلی مشاهده می‌شود. در رگه‌های سیلیس-کربنات، قطعاتی از سنگهای آتشفشانی به شدت دگرسان (سیلیسی-آرژیلیکی) مشاهده می‌شود که در سیمانی

از کوارتز و کربنات قرار گرفته‌اند. کانی‌سازی در قطعات و نیز در سیمان دیده می‌شود که نشان دهنده‌ی کانی‌سازی دو مرحله-ای در منطقه است. این رگه‌ها بیشتر دارای روند شمالی-جنوبی و شمالشرق-جنوب غربی با ضخامت حداکثر ۱ متر و طول تا بیش از ۱۰۰۰ مترند که با توجه به اهمیت زیاد روی نقشه آورده شده‌اند. در این رگه‌ها، کانی‌سازی پیریت به صورت پراکنده و در حد ۱ تا ۲ درصد حضور دارد. این رگه با گسل‌های عرضی راستا لغز بریده و جابجا شده است. تشکیل دوگانه‌ی سنگ‌ها در ۴ مرحله صورت می‌گیرد که عبارتند از ۱- کوارتز خاکستری ریز دانه حاوی بافت‌های برش گرمایی که در قطعات برش و در زمینه‌ی کوارتز خاکستری، کانی‌سازی سولفیدی مشاهده می‌شود و بالاترین عیار طلا و عناصر دیگر نیز مربوط به این بخش از رگه است (شکل ۸-ب). ۲- کوارتز سفید ریزدانه حاوی کانی‌سازی سولفیدی (شکل ۸-پ) ۳- کلسیت فاقد کانی‌سازی و ۴- کانی‌سازی پیرولوژیت و اسپیکیولاریت.



شکل ۸ الف- نمودار شماتیک از مقطع عرضی رگه کوارتز-کربنات A- ریولیت دگرسان B- کوارتز خاکستری دارای قطعات برشی از سنگ دیواره C- کوارتز سفید دانه‌ریز D- کلسیت E- کانی‌سازی پیرولوژیت و اسپیکیولاریت ب- بلوک صیقلی بخش B قطعات برش از سنگ دیواره درون زمینه کوارتز خاکستری، حاوی کانی‌سازی سولفیدی در قطعات برشی و در زمینه سیلیسی پ- بلوک صیقلی بخش C، کوارتز سفید دانه‌ریز، حاوی کانی‌سازی سولفیدی.

گرمایی مشخص می‌شود (شکل ۷ پ و ث). دنباله‌ی پارائزنی مجموعه‌های کانی فلزی در گستره‌ی بالازرد در شکل ۹ مشاهده می‌شود.

پی‌جویی‌های ژئوشیمیایی بر مبنای سنگ

با توجه به بررسی‌های کانی‌سازی سولفیدی در رگه‌های کوارتز-کربنات، ۱۰ نمونه، به صورت خرده‌سنگی از این رگه‌ها برداشت شدند و مورد بررسی قرار گرفتند. نتایج بدست آمده در جدول ۱ ارائه شده‌اند.

طلا: این عنصر از ۱۳ تا ۲۴۷۰ میلی‌گرم در تن متغیر است (جدول ۱). بیشترین مقادیر در رگه‌های با روند شمال شرقی-جنوب غربی مشاهده می‌شوند (شکل ۱۰). این عنصر با عناصر مس، نقره، سرب و روی همبستگی شدیدی نشان می‌دهد (جدول ۲).

نقره: این عنصر از ۲ تا ۱۱۴ گرم در تن متغیر است. این عنصر با طلا همبستگی شدیدی نشان می‌دهد (جدول ۲). مس: با توجه به بررسی‌های کانی‌نگاری، این عنصر دارای کانی-سازی‌های پراکنده به صورت اولیه (کالکوپیریت) و ثانویه (مالاکیت و کولیت) است. مقدار این عنصر از کمتر از ۱ تا ۱۲۵۰ گرم در تن متغیر است. این عنصر با عناصر آرسنیک، طلا، آنتیموان و سرب همبستگی شدیدی نشان می‌دهد (جدول ۲).

نوع سوم کانی‌سازی در این منطقه برش گرمایی است (در مقیاس ۱:۱۰۰۰۰ قابل نمایش نیستند). این منطقه حاوی قطعات ریز و درشت زاویه‌دار از ۱ تا ۱۰ سانتی‌متر است (شکل ۷ ب) جنس این قطعات ریولیت است و به وسیله‌ی کوارتز و کربنات سیمانی شده است. کانی‌سازی پیریت در قطعات برشی‌شده و کانی‌سازی پیرولولزیت و اسپیکیولاریت در سیمان بین قطعات دیده می‌شود که بازگوکننده‌ی دو مرحله‌ی مختلف کانی‌سازی است. قطعات برشی به شدت دگرسان شده‌اند و به رنگ سفید دیده می‌شوند.

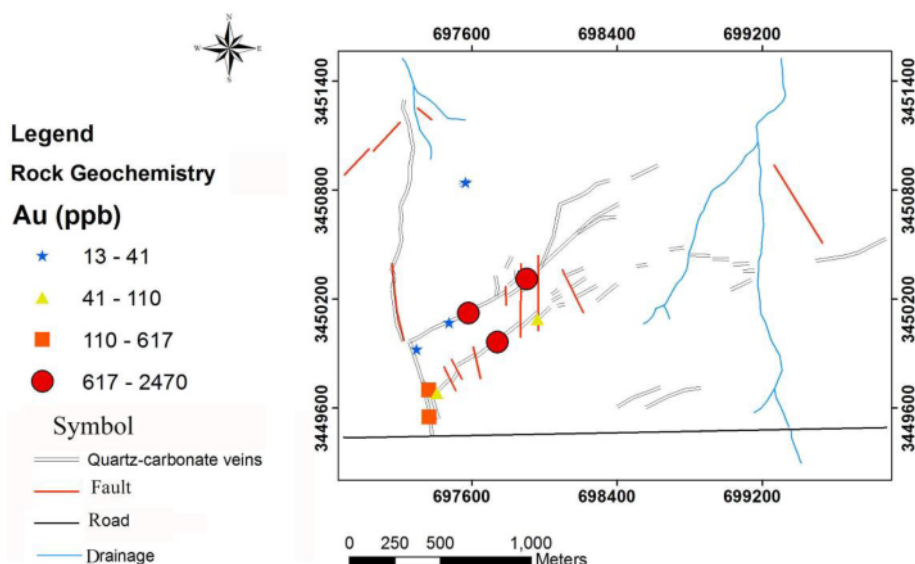
تفسیر زایشی این کانسار براساس بررسی‌های کانی نگاشت-ها بطور کلی نشانگر سه فاز مهم کانی‌سازی است: فاز اول که با کانی‌سازی پیریت به صورت پراکنده در متن ریولیت و توده-های نیمه عمیق نظیر کوارتزومونزودیوریت پورفیری و هورنبلند دیوریت پورفیری مشخص می‌شود. در سنگ‌های آتشفشانی این پیریت دگرسان شده و به اکسیدهای آهن تبدیل شده است. در توده‌های نیمه عمیق نظیر کوارتزادیوریت پورفیری در حدود ۵ درصد پیریت مشاهده می‌شود. فاز دوم کانی‌سازی اپی‌ترمال است که در زمانی دیرتر از فاز اول رخ داده و در رگه‌های کوارتز-کربنات مشاهده می‌شود. نمود آن عبارتند از کانی‌های کالکوپیریت، اسفالریت، گالن و پیریت. فاز سوم که در حقیقت هوازگی اکسیدی است، آخرین فعالیت کانی‌سازی در منطقه است و با کانی‌سازی در مرکز رگه‌های کوارتز-کربنات به صورت کانی‌های اسپیکیولاریت و پیرولولزیت و نیز زمینه‌ی برش‌های

زمان				کانی سازی
هوازگی اکسیدی	فاز دوم (کانی سازی اولیه در رگه‌های سیلیسی)	برشی شدن	فاز اول (کانی سازی اولیه)	
				پیریت
				کالکوپیریت
				اسفالریت
				گالن
				اسپیکیولاریت
				پیرولولزیت
				کولیت
				گوتیت
				هماتیت
				مالاکیت

شکل ۹ توالی پارائزنی مجموعه‌های کانیایی در محدوده بالازرد.

جدول ۱ آنالیز شیمیایی نمونه‌های وابسته به رگه‌های کوارتز- کربنات (داده ها بر حسب ppm و برای طلا بر حسب ppb)

Sample nu.	X	Y	Au	Ag	As	Cu	Mo	Pb	Sb	Zn
BZG-1	۵۹°۰۴'۱۵''	۳۱°۰۹'۴۸''	۶۱۷	۵۸٫۲	۸۰٫۳	۶۸۴	۱	۳۶۶	۸۰٫۳	۶۱۵
BZG-2	۵۹°۰۴'۱۲''	۳۱°۱۰'۰۰''	۲۱	۶	۳۴	۳۳	۱٫۱۲	۷	۱٫۰۹	۴
BZG-3	۵۹°۰۴'۱۹''	۳۱°۱۰'۰۵''	۴۱	۱٫۳	۱۱	۹	۱٫۰۷	۱۲	۱٫۱۶	۱۶
BZG-4	۵۹°۰۴'۲۳''	۳۱°۱۰'۰۶''	۲۰۸۶	۱۱۳٫۶	۸۴٫۳	۸۰۴	۰٫۹۴	۵۵۰	۱۰٫۱۲	۶۹۴
BZG-5	۵۹°۰۴'۳۸''	۳۱°۱۰'۰۵''	۱۱۰	۳٫۲	۷۱٫۹	۴۴۰	۰٫۹	۱۱۹	۱۰٫۲۱	۱۶۰
BZG-6	۵۹°۰۴'۲۳''	۳۱°۱۰'۳۰''	۱۳	۰٫۲۱	۷٫۲	۱	۱٫۰۴	۸	۰٫۹۳	۱
BZG-7	۵۹°۰۴'۱۵''	۳۱°۰۹'۵۳''	۹۳	۳۴٫۲	۴۲٫۹	۸۷	۰٫۹۴	۲۹	۱٫۱۳	۲۶
BZG-8	۵۹°۰۴'۱۵''	۳۱°۰۹'۵۲''	۴۱۸	۵٫۵	۷۸٫۱	۱۸۵	۱٫۰۱	۱۸۷	۵۷٫۶	۴۶۴
BZG-9	۵۹°۰۴'۳۵''	۳۱°۱۰'۱۲''	۲۱۱۸	۳۰٫۱	۹۷٫۷	۱۲۵۰	۱٫۰۲	۸۶۰	۱۰٫۲۵	۸۵۰
BZG-10	۵۹°۰۴'۳۵''	۳۱°۱۰'۰۱''	۲۴۷۰	۵۹٫۶	۶۶٫۲	۸۵۶	۲٫۹	۹۶۸	۳۹٫۲	۲۴۶۲



شکل ۱۰ نقشه ژئوشیمی تغییرات عنصر طلا در محدوده بالازرد

جدول ۲ ضریب همبستگی عناصر.

	Zn	Au	Sb	S	Pb	Mo	Cu	Bi	As	Ag
Zn	۱									
Au	۰٫۸۳۶	۱								
Sb	۰٫۲۸۷	۰٫۵۳۴	۱							
S	-۰٫۲۷۳	-۰٫۲۷۷	-۰٫۳۱۳	۱						
Pb	۰٫۸۸۵	۰٫۹۶۷	۰٫۵۵۲	-۰٫۳۲۴	۱					
Mo	۰٫۸۸۶	۰٫۵۵۹	-۰٫۱۳۵	-۰٫۱۶۲	۰٫۶۱۲	۱				
Cu	۰٫۶۷۲	۰٫۸۸۰	۰٫۷۸۲	-۰٫۳۸۳	۰٫۹۲۱	۰٫۲۹۹	۱			
Bi	-۰٫۰۲۵	-۰٫۱۵۹	-۰٫۴۵۷	۰٫۸۴۲	-۰٫۲۱۵	۰٫۲۱۰	-۰٫۴۲۱	۱		
As	۰٫۴۶۵	۰٫۶۳۹	۰٫۸۹۱	-۰٫۴۴۸	۰٫۶۷۸	۰٫۰۴۴	۰٫۸۱۹	-۰٫۵۱۱	۱	
Ag	۰٫۵۰۴	۰٫۷۱۹	۰٫۴۶۷	-۰٫۲۳۴	۰٫۶۰۱	۰٫۲۲۵	۰٫۶۱۲	-۰٫۳۰۳	۰٫۵۳۲	۱

سرب: این عنصر از ۷ تا ۹۶۸ گرم در تن متغیر است (جدول ۱). و مقادیر بالای آن با مقادیر بالای طلا، روی و مس همخوانی خوبی دارد (جدول ۲).

روی: این عنصر از ۱ تا ۲۴۶۲ گرم در تن متغیر است (جدول ۱). بیشترین مقادیر در رگه‌های با روند شمال شرقی-جنوب غربی مشاهده می‌شود. این عنصر با عناصر طلا، سرب و مولیبدن همبستگی شدیدی دارد (جدول ۲).

آنتیموان: این عنصر از ۱ تا ۱۰۳ گرم در تن متغیر است (جدول ۱). این عنصر با عناصر آرسنیک و مس همبستگی شدیدی نشان می‌دهد (جدول ۲).

آرسنیک: میزان این عنصر از ۷ تا ۹۸ گرم در تن متغیر است، در حالیکه این عنصر با عناصر مس و آنتیموان همبستگی شدیدی نشان می‌دهد (جدول ۲).

برداشت

کانی‌سازی در گستره‌ی بالازرد، در جایگاه زمین‌ساختی مناسب (بخش مرکزی بلوک‌لوت) و در ارتباط با توده‌های نفوذی نیمه‌عمیق و دگرسانی‌های وابسته به آنها تشکیل شده است. واحدهای آتشفشانی منطقه، دارای ترکیب اسیدی (ریولیت) و حدوداً (آندزیت) بوده که توده‌های نفوذی بیشتر حدوداً با ترکیب مونوزودیوریت تا دیوریت پورفیری در آن نفوذ کرده، و موجب دگرسانی و کانی‌سازی شده‌اند. دگرسانی در این محدوده، گستره‌ای بیش از ۲۰ کیلومتر مربع را می‌پوشاند و شامل زونهای دگرسانی آرژیلیک، سرسیت-آرژیلیک، سیلیسی-آرژیلیک، آرژیلیک‌پیشرفته و پروپلیتیک است. کانی‌سازی سولفیدی و اکسیدهای آهن به شکل‌های پراکنده در متن سنگ، بصورت رگه‌ای و برش گرمایی مشاهده می‌شوند. حضور، گسترش و شدت میزان اکسیدهای آهن پراکنده (تا ۱۵ درصد در زون گوسان) حاکی از قرارگیری زونهای سولفیدی با عیار بالا در معرض هوازدگی و اسیدشویی است. منطقه‌بندی‌های دگرسانی از نظر تنوع، گسترش و شکل، همچنین ویژگی‌های کانی‌سازی در این منطقه مشابه با سیستم‌های مس-طلای پورفیری و اپی‌ترمال با سولفید بالا است [۲۴، ۲۳]. مشاهدات صحرایی، بررسی‌های کانی‌شناسی، دگرسانی و ژئوشیمیایی در گستره‌ی بالازرد نشان می‌دهد، کانی‌سازی سولفیدی در رگه‌های کوارتز-کربنات در اثر عملکرد یک گرماب که در راستای گسل‌ها و زون‌های برشی در حرکت بوده، ایجاد شده است. کانی‌سازی در این رگه‌ها بنا به دلایل زیر از نوع طلا و نقره اپی‌ترمال می‌باشد:

۱- ارتباط کانی‌سازی با توده‌های نیمه عمیق حدوداً پورفیری ۲- دگرسانی گستره‌ی منطقه که رابطه‌ی تنگاتنگی با توده‌های نفوذی دارد. ۳- نوع کانی‌سازی به شکل‌های رگه‌ای و برش گرمایی ۴- مجموعه‌ی کانی‌های درونزاد که شامل پیریت، کالکوپیریت، اسفالریت و گالن است ۵- بیهنجاری بالای طلا (حداکثر ۲۴۷۰ میلی‌گرم در تن) و نقره (حداکثر ۱۱۴ گرم در تن) و نیز بیهنجاری آنومالی بالای عناصر سرب، روی، مس، آرسنیک و آنتیموان کانی‌سازی گسترده و پراکنده پیریت همراه با زونهای گسترده دگرسانی، نمایانگر فعالیت وسیع گرماب‌ها در منطقه بوده و شرایط را برای کانی‌سازی از نوع پورفیری مناسب ساخته است و کانی‌سازی رگه‌ای می‌تواند نشانه‌ای از کانی‌سازی گسترده پورفیری وابسته به توده‌های نفوذی در منطقه باشد. زونهای آلونیت شناسایی شده، به همراه گستره‌س زیاد دگرسانی آرژیلیک همراه با زونهای سرسیت-آرژیلیک، رگه‌های کوارتز-کربنات و کانی‌سازی گسترده اکسید آهن به صورت دانه‌های پراکنده، مشخص می‌سازد که سطح فرسایش فعلی، در حقیقت بخش سیستم رگه‌ای اپی‌ترمال و بخش بالایی یک سیستم پورفیری است.

مراجع

- [۱] ملک‌زاده آ، حیدریان م.ر، کریم‌پور م.ج، "کانی‌سازی و اکتشافات ژئوفیزیکی به روش IP/RS و مغناطیس‌سنجی زمینی در محدوده $MA-I$ و اطراف آن، منطقه اکتشافی مس-طلا پورفیری ماهرآباد شرق ایران"، مجله زمین‌شناسی اقتصادی ایران، (۱۳۸۸)، شماره ۱، جلد ۱ ص. ۱۷-۱.
- [۲] آقاباتی ع، "زمین‌شناسی ایران"، سازمان زمین‌شناسی و اکتشافات معدنی کشور، (۱۳۸۳)، ۶۰۶ صفحه.
- [3] Arjmandzadeh R., Karimpour M.H., Mazaheri S.A., Santos J.F., Medina J., Homam S.M., "Sr-Nd isotope geochemistry and petrogenesis of the Chah-Shaljami granitoids (Lut Block, Eastern Iran)". Journal of Asian Earth Sciences 41, (2011) 283-296.
- [۴] کریم‌پور م.ج، ملک‌زاده شفاوردی آ، مظاهری س.ا، حیدریان شهری م.ج، "ماگماتیزم و انواع کانی‌سازی مس، طلا، قلع و تنگستن در بلوک لوت"، مجموعه مقالات پانزدهمین همایش انجمن بلورشناسی و کانی‌شناسی ایران، دانشگاه فردوسی مشهد، (۱۳۸۶) ص. ۶۰۴-۵۹۸.
- [۵] ملک‌زاده شفاوردی آ، "زمین‌شناسی، کانی‌سازی، دگرسانی، ژئوشیمی، تفسیر داده‌های ژئوفیزیکی،

- [14] Cooke D.R., Deyell C.L., Waters P.J., Gonzales R.I., and Zaw K., "Evidence for Magmatic-Hydrothermal Fluids and Ore-Forming Processes in Epithermal and Porphyry Deposits of the Baguio District, Philippine", *Economic Geology*, v. 106, (2011), 1399–1424.
- [۱۵] حسینی ض، افشاریان زاده م، چاپچی ز، "نقشه زمین-شناسی ۱/۲۵۰۰۰۰ ده سلم (چاموک)", سازمان زمین‌شناسی و اکتشافات معدنی کشور (۱۳۷۱).
- [۱۶] اکرمی ا، نادری میغان ن، "نقشه زمین‌شناسی ۱/۱۰۰۰۰۰ ده سلم", سازمان زمین‌شناسی و اکتشافات معدنی-کشور (۱۳۸۴).
- [۱۷] براتی، ب، "برداشت ژئوشیمی برگه ۱/۱۰۰۰۰۰ ده سلم", سازمان زمین‌شناسی و اکتشافات معدنی کشور (۱۳۸۳).
- [18] Perez D.J., Crosta A.P., Souza Filho C.R., Marin G., "Mineral mapping exploration using hyperspectral AVIRIS data in Los Menucos area, Rio Negro province (67°51'W- 40°53'S), Argentina", 29th International Symposium on Remote Sensing of Environment, Buenos Aires, Argentina, 99-102.
- [19] Zhonghai He., Binbin He., Cui ying, "Hydrothermal alteration mapping using Aster data in east Kunlun mountain, Chin, Geoscience and Remote Sensing Symposium (IGARSS)", (2010), 4514 – 4517.
- [20] Beiranvand Pour, A., Hashim, M., "The application of ASTER remote sensing data to porphyry copper and epithermal gold deposits", *Ore Geology Reviews*, (2012), 44, 1–9.
- [21] Lowell, J.D., Guilbert, J.M., "Lateral and vertical alteration–mineralization zoning In porphyry ore deposits", *Economic Geology*, (1970), 65, 373–408.
- [22] Kretz R., "Symbols for rock-forming minerals", *American Mineralogist*, 68 (1983) 277–279.
- [23] Frotteir G.L., Burov.E., "The development and fracturing of plutonic apices: implications for porphyry ore deposits", *Earth and Planetary Science Letters*, (2003), 214, 341–356.
- [24] Sillitoe R., "Gold-rich porphyry deposits: descriptive and genetic models and their role in exploration and discovery", *SEG Reviews*, (2000), 13, 315–345.
- میکروتومتری، مطالعات ایزوتوپی و تعیین منشأ کانی‌سازی مناطق اکتشافی ماهرآباد و خوپیک، استان خراسان جنوبی، پایان نامه دکتری زمین‌شناسی اقتصادی، دانشگاه فردوسی مشهد، (۱۳۸۸)، ۶۰۰ صفحه.
- [۶] عبدی م، کریم‌پور م.ح، نجفی ع، "زمین‌شناسی، آتراسیون و پتانسیل کانه‌زایی در منطقه کوهشاه، خراسان جنوبی"، نخستین همایش انجمن زمین‌شناسی اقتصادی ایران، دانشگاه فردوسی مشهد (۱۳۸۹) ص. ۵۷۴–۵۶۷.
- [۷] ارجمندزاده ر، "مطالعات کانی‌سازی، ژئوشیمی، سن‌سنجی و تعیین جایگاه تکتونوماگمایی توده های نفوذی در اندیس معدنی ده سلم و چاه شلغمی، بلوک لوت، شرق ایران"، پایان نامه دکتری زمین‌شناسی اقتصادی، (۱۳۹۰)، ۳۶۹ صفحه.
- [۸] ارجمندزاده ر، کریم‌پور م.ح، سانتوز ژ.ف، مظاهری س.ا، مدینا ج، همام س.م. "تحول سیالات گرمایی در زونهای مختلف دگرسانی-کانی‌سازی در سیستم پورفیری ده سلم، بلوک لوت، شرق ایران"، دومین همایش انجمن زمین‌شناسی اقتصادی ایران، دانشگاه لرستان (۱۳۹۰).
- [۹] کارجو مهدی، گزارش اکتشاف مقدماتی در محدوده پروانه اکتشاف شرکت ماهر مس"، (۱۳۸۶)، ۲۷۰ صفحه.
- [۱۰] میرزایی راینی ر، احمدی ع، میرنژاد ح، "بررسی‌های کانی‌شناسی و شاره‌های درگیر در کانسار چندفلزی ماهر، شرق بلوت‌لوت، ایران مرکزی"، *مجله بلورشناسی و کانی‌شناسی ایران*، سال بیستم، شماره ۲، (۱۳۹۱)، ص ۳۰۷–۳۱۸.
- [۱۱] کریم‌پور م.ح، ملک‌زاده آ، فارمر ل، استرن ج، "پروژنر گرانیتوئیدها، سن‌سنجی زیرکن به روش U-Pb، ژئوشیمی ایزوتوپهای Sr-Nd و رخداد مهم کانی‌سازی ترشیاری در بلوک لوت، شرق ایران"، *مجله زمین‌شناسی اقتصادی ایران*، (۱۳۹۱)، شماره ۱، جلد ۴ ص. ۲۷–۱.
- [۱۲] میری ر، کریم‌پور م.ح، مظاهری ا، "مطالعه کانی‌زایی طلا، مس و روی در منطقه بالازرد، غرب شهرستان نهبندان"، چهارمین همایش انجمن زمین‌شناسی اقتصادی ایران، دانشگاه بیرجند (۱۳۹۱).
- [13] Deyell C.L., Hedenquist J.W., "Trace element geochemistry of enargite in the Mankayan district, Philippines", *Economic Geology*, v. 106, (2011) p. 1465–1478.