



زمین‌شناسی، دگرسانی و کانی‌زایی گرمابی در منطقه ریحال، زون فلززایی ارسباران، شرق اهر (استان آذربایجان شرقی)

سید غفور علوی^۱، حسین ناصری^۲، حامد علیخان نژاد^۳

استادیار، گروه علوم زمین، دانشکده علوم طبیعی، دانشگاه تبریز، تبریز، ایران Ghafour-alavi@tabrizu.ac.ir

دانشجوی دکترا، گروه علوم زمین، دانشکده علوم طبیعی، دانشگاه تبریز، تبریز، ایران Hossein.naseri@tabrizu.ac.ir

کارشناسی ارشد، گروه علوم زمین، دانشکده علوم طبیعی، دانشگاه تبریز، تبریز، ایران Hamed-Alikhanneghdi@tabrizu.ac.ir

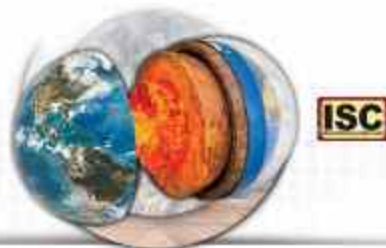
چکیده

کانی‌سازی ریحال به عنوان بخشی از زون فلززایی ارسباران در حدود 22 کیلومتری شرق شهرستان اهر، استان آذربایجان شرقی واقع شده است. واحدهای سنگی رخنمون یافته در مناطق مورد مطالعه شامل سنگ‌های آذرین بیرونی آندزیت و آندزیت بازالت، دایک‌های حدواسط و آبرقت‌های کواترنری است. واحدهای سنگی این مناطق از نظر سنی از ائوسن بالایی تا کواترنری می‌باشند. زون‌های دگرسانی رخنمون یافته در این مناطق به‌طور عمده شامل سیلیسی، آرژلیک و قلیلیک همراه با زون سیلیسی-برتی می‌باشند. مطالعه کانی‌شناسی زون‌های دگرسان نشان می‌دهد که کوارتز، اپلیت، کانولینیت، سریسیت و کلریت مهم‌ترین کانی‌های درونزاد و لیمونیت، گوئیت، هماتیت، مالاکیت و آزوریت کانی‌های بارز برونزاد در این مناطق هستند. کانه‌زایی در این مناطق به صورت رگه-رگچه‌ای در داخل شکستگی‌ها و زون‌های گسلی صورت گرفته است. بر طبق مطالعات صورت گرفته کانی‌زایی هیپوزن شامل پیریت، کالکوپیریت، بورنیت، تتراهدريت، و کانی‌های سوپرزین شامل کوولیت، کالکوسیت و اکسیدها و هیدرواکسیدهای آهن می‌باشند. رخداد کانی‌زایی احتمالی طلا می‌تواند در مرحله اصلی کانه‌زایی در داخل رگه-رگچه‌های سیلیسی-سولفیدی و احتمالاً در ارتباط با کانی‌های پیریت و کالکوپیریت تشکیل شده باشد. یافته‌های حاصل حاکی از آن است که این کانی‌زایی در منطقه مورد مطالعه از نوع اپی‌ترمال سولفیداسیون پایین می‌باشد. کلیدواژه‌ها: دگرسانی گرمابی، کانی‌زایی گرمابی، توالی پاراژنی، محدوده ریحال.

Abstract

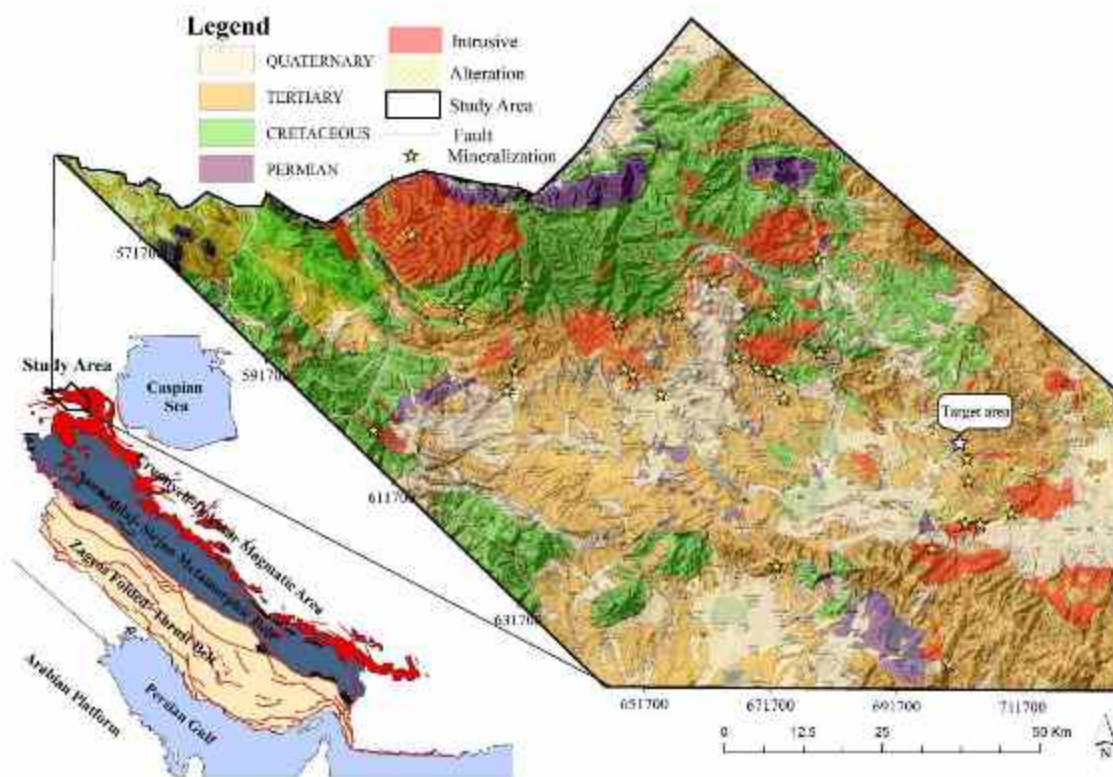
Rihal Mining is located in the Arasbaran metallurgical zone, about 22 km east of Ahar city, East Azarbaijan province. The outcrop rock units in the studied areas include andesite and andesite basalt igneous rocks, intermediate dykes, and Quaternary alluviums. The rock units of these areas range in age from Upper Eocene to Quaternary. Alteration zones exposed in these areas mainly include siliceous, argillic, and phyllic along with a siliceous-shear zone. The mineralogical study of Degarsan zones shows that quartz, illite, kaolinite, sericite, and chlorite are the most important endogenous minerals, whereas limonite, goethite, hematite, malachite, and azurite are prominent exogenous minerals in these areas. Mineralization in these areas has taken place in the form of veins within fractures and fault zones. According to the studies, hypogene mineralization includes pyrite, chalcopyrite, bornite, tetrahedrite, and supergene mineralization includes covellite, chalcocite, and iron oxides and hydroxides. The possible occurrence of gold mineralization can be formed in the main stage of mineralization inside siliceous-sulphide veins and probably in connection with pyrite and chalcopyrite minerals. The findings indicate that this mineralization in the studied area is of the low sulphidation epithermal type.

Key words: Hydrothermal alteration, hydrothermal mineralization, paragenetic sequence, Rihal area.



مقدمه

مطالعاتی که در چند سال اخیر توسط سازمان زمین‌شناسی و اکتشافات معدنی کشور و همچنین پژوهشگران دانشگاهی در زون فلززایی ارسباران صورت گرفته است، سبب شناسایی رخدادهای گوناگونی از کانه‌زایی در این ناحیه شده است. از جمله این کانه‌زایی‌ها می‌توان به کانسار اپی‌ترمال طلای زایلیک-ساریلار، محدوده کانی‌زایی یوسفلو-صفی‌خانلو-نوقدوز، کانسارهای اسکارن و پورقیری مزرعه، انجرد و گودال اشاره کرد. مطالعات نسبتاً جامعی بر روی کانی‌سازی‌های متنوع موجود در این زون از جمله کانسار مس-مولیبدن پورقیری سونگون و اسکارن‌های همراه آن [1]، کانسار مس-طلای مسجددانی [2]، مس پورقیری سوناچیل [3]، مس-مولیبدن پورقیری هفت‌چشمه [4] [5] و مس مولیبدن کیفال-بارملک [6] انجام داده‌اند، همچنین چندین کانسار مهم طلای اپی‌ترمال نظیر زایلیک-صفی‌خانلو [7]، شرق‌آباد-هیزه‌جان [1] [8] و نیز پژوهش پیش رو بر روی همین زون در ناحیه شرق اهر مورد بررسی قرار گرفته‌اند. کانی‌زایی محدوده ریحال در 22 کیلومتری شرق اهر با مختصات جغرافیایی 701450 UTM تا 702300 خاوری و 425975 تا 426035 شمالی در زون فلززایی ارسباران واقع شده است (شکل 1). واحدهای آتشفشانی ائوسن به عنوان سنگ میزبان این کانه‌زایی محسوب می‌شوند. این پژوهش به معرفی کانی‌زایی ریحال به عنوان نوع اپی‌ترمال سولفیداسیون پایین پرداخته است.



شکل 1: موقعیت جغرافیایی محدوده ریحال در زون کانی‌زایی ارسباران



زمین‌شناسی

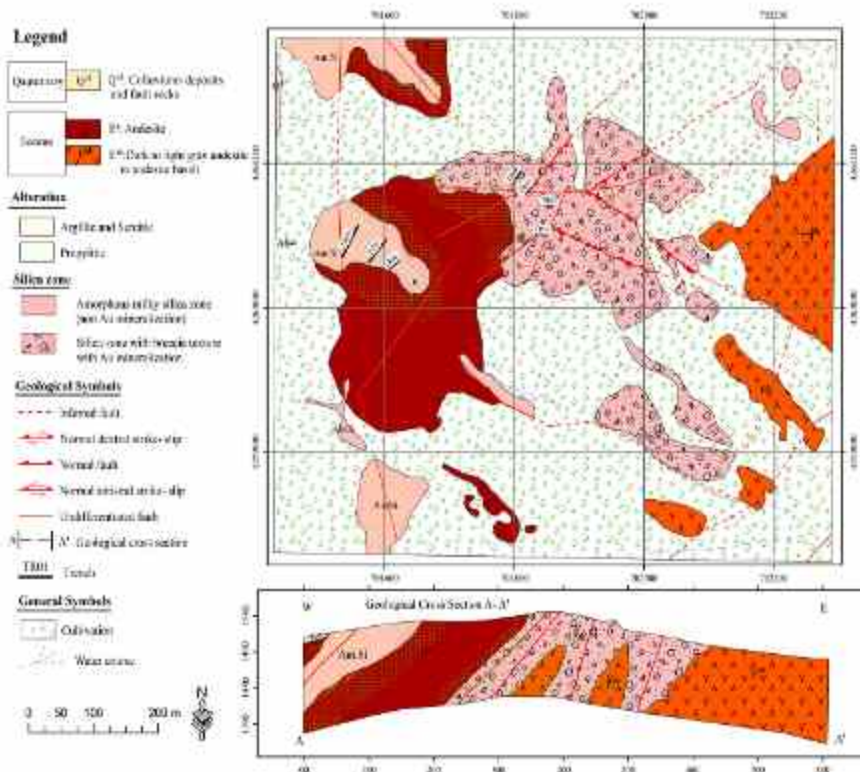
کمر بند فلز زایی ارسباران، شامل مناطق شمال و غرب مشکین شهر، اهر، کلیبر، ورزقان، سیه رود، بلندی‌های ارسباران و قره‌داغ می‌باشد. مناطق شرق و جنوب شرق اهر از نظر زمین‌شناسی دارای واحدهای سنگ شناختی نسبتاً یکسانی می‌باشند. براساس نقشه زمین‌شناسی 1:100000 اهر [9]. گدازه‌های آندزیتی و آندزیت-بازالتی اتوسن بخش وسیعی از منطقه را پوشانده‌اند. در منطقه مورد مطالعه ریحال گدازه‌های آتشفشانی اتوسن دارای بیشترین گسترش بوده و مهم‌ترین واحدهای سنگی منطقه را تشکیل می‌دهد و میزبان کانی‌زایی طلا نیز همین واحد می‌باشد. زمین ریخت‌شناسی خشن این منطقه توسط سه عامل سنگ‌شناختی، حرکات زمین‌ساختی و فرسایش کنترل می‌شود که از بین این سه مورد، عامل سنگ‌شناختی منطقه شامل سنگ‌های آتشفشانی اسیدی و حدواسط و سنگ پوش‌های سیلیسی شده نقش بسزایی در تعیین مورفولوژی منطقه ایفا می‌کند. از نظر زمین ریخت‌شناسی، این منطقه بخشی از رشته کوه‌های قره‌داغ بشمار می‌آید که این رشته‌کوه‌ها شمالی‌ترین و بزرگ‌ترین واحد از هفت واحد کوهستانی تشکیل دهنده آذربایجان هستند. با توجه به نقشه زمین‌شناسی منطقه مورد مطالعه ریحال، مجموعه واحدهای سنگی به شرح زیر است (شکل 2):

واحد آندزیت بازالتی: این واحد شامل گدازه‌های آتشفشانی با ترکیب غالب و آندزیت تا بازالتی می‌باشند که بخش بزرگی از منطقه را شامل می‌شوند. در بعضی نقاط منطقه دایک‌هایی با ترکیب کانیایی مشابه (آندزیت تا بازالت) با ضخامت حدود 5 متر با امتداد شمالی-جنوبی سنگ میزبان را قطع نموده‌اند. گدازه‌های آتشفشانی واحد E^{ab} دربرگیرنده‌ی رگه‌های سیلیسی کانه‌دار می‌باشند که در این واحد آتشفشانی نفوذ کرده‌اند. این واحد دگرسانی هیدروترمالی شدید و گسترده‌ای مخصوصاً در محدوده بلاقصل رگه‌های سیلیسی متحمل شده است (شکل 2).

واحد آندزیتی: این واحد به شکل تپه‌های کم ارتفاع یا سطوح فرسایش یافته به رنگ خاکستری در منطقه رخنمون یافته است. واحد آندزیتی در قسمت‌هایی از منطقه به صورت مگاپورقیر با پلاژیوکلازهایی بزرگتر از 5 میلی‌متر دیده می‌شود. واحد آندزیتی میزبان رگه-رگچه‌ی سیلیسی-برشی کانه‌دار می‌باشد در نزدیکی رگه سیلیسی بر اثر دگرسانی سیلیسی و تغییرات بعدی، بافت و مجموعه کانیایی اولیه خود را از دست داده است و تنها بر اساس شیب کانی‌ها و آثار بافتی مربوطه می‌توان سنگ اولیه را تشخیص داد که از نوع ولکانیک با بافت پورقیری و میکروپورقیری و به احتمال، در محدوده ترکیبی آندزیت قرار دارد. اما نمونه‌های نسبتاً سالم سنگ میزبان در قواصل دورتری از رگه سیلیسی بافت می‌شود که دچار دگرسانی پروپیلیتیک ضعیفی شده‌اند و به سرسیت و کلسیت و کلریت تبدیل شده‌اند.

روش پژوهش

مطالعات صحرایی شامل کنترل واحدهای سنگی موجود در نقشه زمین‌شناسی، نمونه‌برداری از سنگ‌های آذرین میزبان کانی‌زایی، رگه-رگچه‌های کانه‌زایی شده و بخش‌های دگرسان به صورت منظم و تصادفی و شناسایی گسل‌ها و شکستگی‌ها می‌باشد انجام شد و سپس از نمونه‌های برداشت شده، نمونه‌های مناسب برای مطالعات بعدی انتخاب شد و سپس 20 مقطع نازک و 10 مقطع در کارگاه سنگبری دانشگاه تبریز تهیه شد.



شکل 2: نقشه زمین‌شناسی محدوده کانی‌زایی ریحال.

نتایج و بحث

دگرسانی:

گسل‌ها و شکستگی‌های فراوان در این مناطق مجاری مناسبی جهت عبور محلول‌های گرمایی فراهم نموده، در نتیجه در گسترش زون‌های دگرسانی نقش قابل ملاحظه‌ای ایفا نموده‌اند. عبور فلوییدهای گرمایی در امتداد این گسل‌ها و شکستگی‌ها علاوه بر دگرسانی سنگ‌های مسیر، باعث نه نشینی کانی‌ها و تشکیل رگه‌های سیلیسی نیز شده است. مطالعات نشان می‌دهد که دگرسانی در این مناطق شامل انواع: سیلیسی، فیلیک و آرژیلیک می‌باشد (شکل 3).

دگرسانی سیلیسی

دگرسانی سیلیسی بر اثر اضافه شدن SiO_2 به سنگ‌ها توسط محلول‌های گرمایی و یا بالا رفتن سیلیس به دلیل انحلال مواد دیگر در سنگ تشکیل می‌گردد و با مجموعه کانی‌های کوارتز، سرسیت و کلسدونی مشخص می‌شود [10]. زون سیلیسی یکی از مهم‌ترین زون‌های دگرسان موجود در منطقه می‌باشد و از ابتدای تشکیل سامانه تا انتهای فعالیت آن تأثیرگذار بوده است. سیلیسی شدن به‌طور عمده چسبیده به رگه‌های کانی‌زایی شده و در مرکز سامانه و درون سنگ‌های آندزیتی اتفاق افتاده و گاهی بشکل عدسی مانند درون دگرسانی آرژیلیک نیز مشاهده می‌گردد و به دلیل مقاومت بالا در برابر فرسایش، در منطقه بشکل کلاهک‌های سیلیسی صخره‌ساز عمل کرده است. رنگ این زون از خاکستری تا قهوه‌ای



متغییر است و شامل کانی‌های کوارتز و کلدونی به همراه مقدار کمی کانی‌های رسی می‌باشد. کوارتز به صورت رگچه‌ای در زمینه سنگ، پرکننده فضاها یا خالی، جانشینی یا تبلور مجدد رخ داده است. کلدونی به شکل ذرات ریزدانه و یا بصورت رگچه‌ای با بافت کلوقرم و شعاعی دیده می‌شود. سرسیت و کانی‌های رسی نیز به شکل پراکنده و ریزدانه در زمینه سنگ میزبان و فضای بین ذرات کوارتز و یا به شکل جانشینی به جای کانی‌های اولیه مثل فلدسپار و بیوتیت تشکیل شده‌اند. گاهی در کلاهک‌های سیلیسی آثار حفره‌ای و تیغه‌های سیلیسی نیز دیده می‌شود که نشان‌گر جوشش سیال گرمایی هنگام رسیدن به زون‌های سطحی است (شکل 4- الف).



شکل 3- نمای نزدیک از زون‌های دگرسانی محدوده ریحال

دگرسانی فیلیک

دگرسانی فیلیک در انواع کانسارهای هیدروترمالی متداول است و معمولاً در بازه گسترده‌ای از دما توسط هیدرولیز فلدسپارها به سرسیت همراه با کوارتز، کلریت و پیریت تشکیل می‌شوند [11]. زون فیلیک در این منطقه گسترش محدودی دارد و فقط در مجاورت زون سیلیسی در سنگ‌های میزبان آندزیتی مشاهده می‌شود و به تدریج به زون آرژیلیک تبدیل می‌گردد. مهم‌ترین کانی‌های این زون شامل کوارتز، سرسیت و مقدار کمی کانی‌های اویک بویژه پیریت می‌باشد. در برخی نقاط شدت دگرسانی به حدی بالا بوده که فقط شیمی از پلاژیوکلازها قابل تشخیص است. سرسیت به شکل پولک‌های ریز و پیریت بصورت بلورهای نیمه شکل‌دار و پراکنده در متن سنگ بوده و گاهی در رگچه‌ها دیده می‌شوند. پیریت به دنبال آزاد شدن آهن از دگرسانی کانی‌های قرومنیزین مانند آمفیبول و بیوتیت در اثر واکنش H_2S سیالات دگرسان کننده تشکیل شده است (شکل 4- ب).

دگرسانی آرژیلیکی

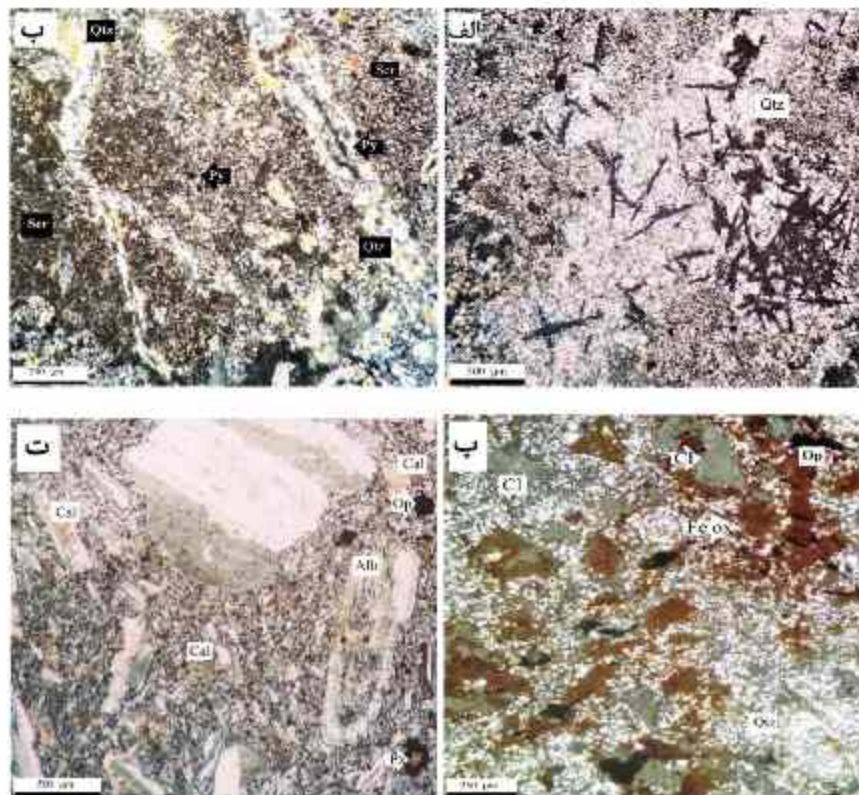
هیدرولیز شدید سیلیکات‌های آلومینیوم‌دار سنگ‌ها در محیط اسیدی موجب تشکیل زون آرژیلیک می‌شود. این دگرسانی یا حضور کانی‌های رسی از قبیل کائولینیت، ایلیت، سرسیت، مونت مورونیت، کلریت، پیروفیلیت و اسمکتیت مشخص می‌شود [12][13]. دگرسانی آرژیلیکی گسترش زیادی در اطراف رگه‌های سیلیسی دارد. وجود اکسیدها و هیدروکسیدهای آهن در این زون باعث ایجاد رنگ‌های قرمز، زرد و نارنجی



شده است. نتایج آنالیزهای XRD نشان می‌دهد که این دگرسانی از نوع آرژلیک حدواسط بوده (عدم وجود کانی‌های مثل پیروفیلیت و آندالوزیت) و مهم‌ترین کانی‌های رسی در این زون شامل ایلیت و به مقدار کمتر کائولینیت و مونت موریلونیت می‌باشد [14]. حضور کانی‌هایی مثل ایلیت، اسمکتیت و کلریت نشان‌دهنده pH خنثی و حضور کانی‌هایی مثل کائولینیت، دیاسپور و آاناتاز نشان‌دهنده pH اسیدی محلول‌های هیدروترمال است [15]. بنابراین به نظر می‌رسد pH محلول‌های هیدروترمال در این منطقه در حد خنثی تا کمی اسیدی بوده است (شکل 4-پ).

دگرسانی پروپیلیتیک

این دگرسانی خارجی‌ترین دگرسانی موجود در منطقه می‌باشد که به‌صورت ضعیف در حاشیه خارجی دایک‌ها و سنگ میزبان رگه‌های طلادار قابل مشاهده است. این دگرسانی در ظاهر به رنگ خاکستری مایل به سبز و در مقاطع میکروسکوپی به شکل تبدیل پلاژیوکلازها و کانی‌های فرومنیزین به کلریت و کلسیت قابل مشاهده می‌باشد (شکل 4-ت).



شکل 4- تصاویر میکروسکوپی دگرسانی‌ها. الف) دگرسانی سیلیسی با کانی کوارتز (Qtz) ب) دگرسانی فیلیک با کانی‌های کوارتز (Qtz)، سریسیت (Ser) و پیریت (Py). پ) دگرسانی آرژلیک با کانی‌های کوارتز (Qtz)، کانی‌های رسی (Cl)، اکسیدهای آهن (Fe ox) و کانی‌های تیره (Op). ت) دگرسانی پروپیلیتیک با کانی‌های کلسیت (Cal)، کانی‌های تیره (Op)، پیروکسن (Px) و کلریت (Cl).



کانی‌سازی

با توجه به نمونه‌برداری‌های صورت گرفته از سه زون سیلیسی-برشی در محدوده مورد مطالعه، کانی‌زایی سولفیدی در دو رگه و محدود به رگچه‌های سیلیسی-سولفیدی رگه‌های سیلیسی-برشی است. طول متوسط رگه‌های کانه‌دار حدود 80 متر و پهنای آن‌ها در حدود 4 متر است. این رگه‌ها در زون گسلی با میزبانی سنگ‌های آندزیتی تا آندزیت بازالتی با امتداد جنوب شرقی-شمال غربی تشکیل شده‌اند. کانی‌زایی طلا در رگه‌های کانه‌دار غالباً به صورت رگچه‌های سولفیدی برشی و پرکننده فضای خالی اتفاق افتاده است. مطالعات میکروسکوپی، بافت شناسی و آنالیزها نشان دهنده انطباق بسیار بالای کانی‌زایی سولفیدی و سیلیسی-برشی است. همچنین طلا به صورت آزاد در این سیستم مشاهده نمی‌شود بلکه در ساختار کانی‌هایی مانند پیریت و کالکوپیریت به صورت نامرئی تشکیل شده است. مطالعات نشان می‌دهند این رگه‌های کانه‌دار در سه مرحله، به شرح زیر به وجود آمده‌اند:

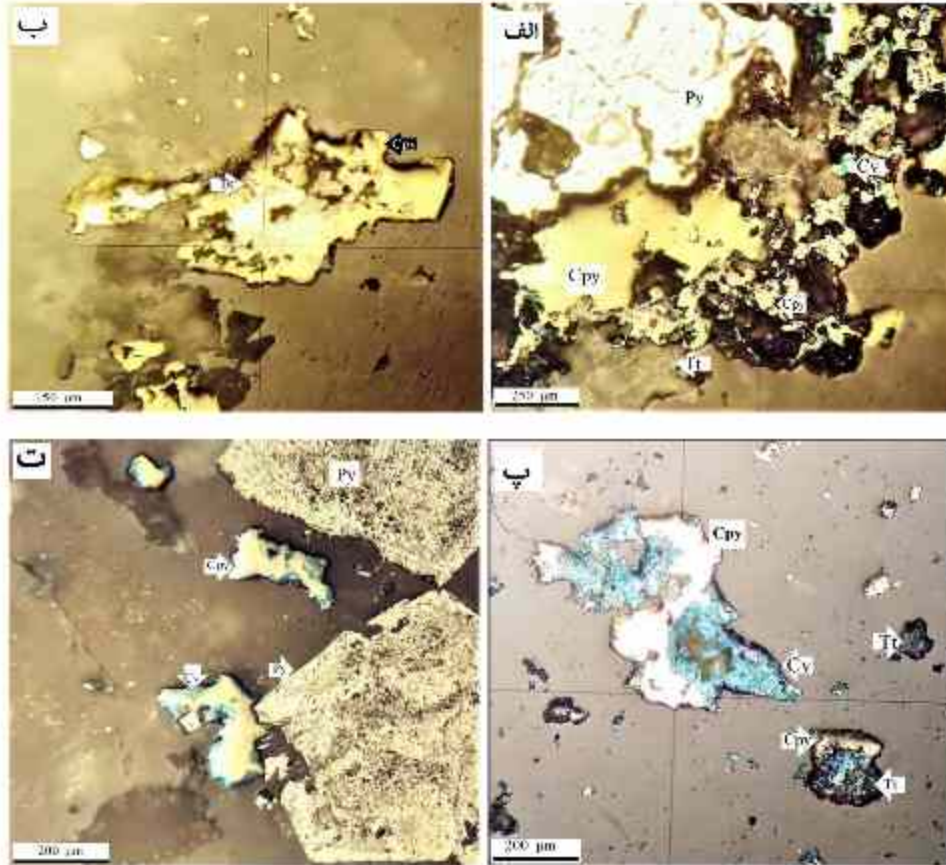
کانه‌های هیپوزن

پیریت (FeS_2): کانی پیریت فراوانترین کانی سولفیدی در این زون می‌باشد که به شکل بلورهای پوهدرال مکعبی و سابه‌درال و غالباً به صورت درشت و پراکنده (شکل 5- الف، ب، پ و ت) در رگه-رگچه‌های سیلیسی، دگرسانی فیلیک و آرژیلیک مشاهده می‌شود. این کانی در رگه-رگچه‌ها به صورت ریز و رگه‌ای و در داخل قطعات برشی شده به صورت درشت و شکل‌دار و جانشین شده بجای کانی‌های تسه شده دیده می‌شود. این کانی بعضاً از حواتی و شکستگی‌ها توسط کالکوپیریت جانشین شده است (شکل 5- ت). پیریت در نمونه‌های سطحی و سوپرژن به اکسیدهای آهن دگرسان شده است.

کالکوپیریت (CuFeS_2): کانی کالکوپیریت از شاخصترین کانی‌های سولفیدی مس در منطقه می‌باشد و همراه با پیریت و بورنیت در زون سیلیسی-برشی حضور دارد. کالکوپیریت بعضاً از نواحی متخلخل جانشین پیریت شده است و در برخی نمونه‌ها ادخال‌هایی از پیریت درون کالکوپیریت قابل مشاهده است. در بعضی موارد نیز، بورنیت یا تتراهدريت را از شکستگی‌ها جانشین کالکوپیریت شده است. در اثر فرایندهای سوپرژن از سمت حواتی به کولیت، کالکوسیت و آزوریت و مالاکیت دگرسان شده است (اشکال 5- الف، ب، پ و ت).

بورنیت (Cu_5FeS_4) از جمله کانی‌های سولفیدی هیپوزن در این زون می‌باشد که در نسل اول یا کالکوپیریت هم‌رشدی نشان می‌دهد ولی در مرحله سوپرژن جانشین کالکوپیریت شده است (شکل 5- پ).

تتراهدريت ($(\text{Cu,Fe})_{12}\text{Sb}_4\text{S}_{13}$): یکی از کانی‌های سولفوسالتی است که بطور جزئی در رگچه‌های سولفیدی تیره رنگ مشاهده می‌شود و ارتباط نزدیکی با کالکوپیریت دارد و ممکن است از حواتی جایگزین کالکوپیریت شده باشد (شکل 5- الف و ت). این کانی توسط فرایندهای سوپرژن به کولیت، کالکوسیت و مالاکیت دگرسان شده است.



شکل 5- تصاویر میکروسکوپی کانه‌ها. الف) کانه‌های پیریت، کالکوپیریت، کوولیت و تتراهدریت. ب) کانه‌های بورنیت و کالکوپیریت در زون کانی‌زایی هیپوزن. پ) کانه‌های کالکوپیریت و تتراهدریت در حال تبدیل به کوولیت. ت) تبدیل کانه‌های هیپوزن پیریت و کالکوپیریت به کانه‌های سوپرزن. Py: پیریت، Cpy: کالکوپیریت، Cv: کوولیت، Tt: تتراهدریت، Dg: دیژنیت، Br: بورنیت، Hem: هماتیت.

کانه‌های سوپرزن:

قرآیندهای سوپرزن در دو محیط احیا و اکسیدان رخ می‌دهد و طی این قرآیندها، نفوذ سیالات با منشأ جوی به زون‌های فوقانی کانسار، سبب دگرسانی سوپرزن می‌شود. زون اکسیدان سوپرزن دارای کربنات‌های مس، اکسیدها و هیدروکسیدهای آهن مانند هماتیت، گوتیت و جاروسیت است. اما زون احیا در سوپرزن دارای سولفیدهای ثانویه مس از قبیل کوولیت، کالکوسیت و دیژنیت می‌باشد که در نتیجه دگرسانی از سولفیدهای اولیه مس حاصل بوجود آمده‌اند.

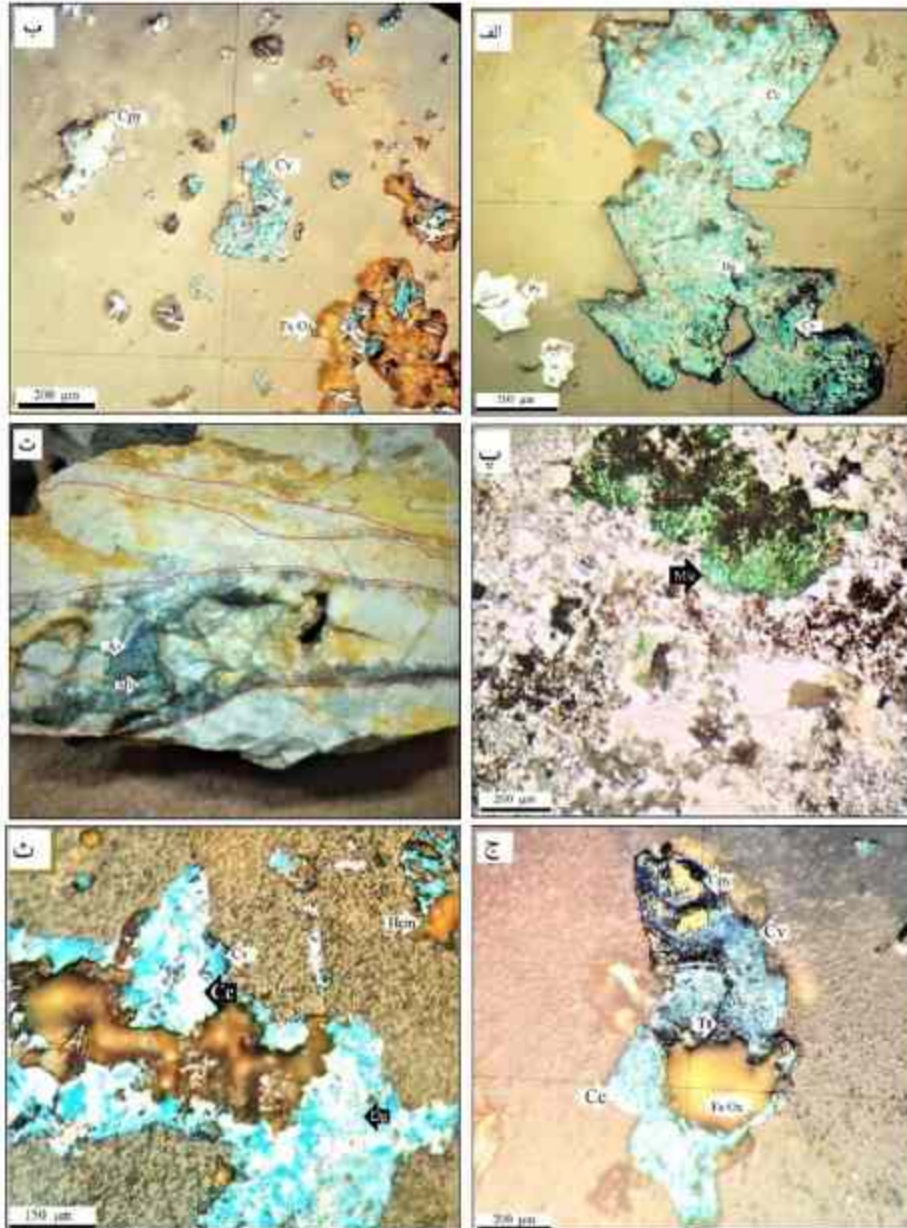
کوولیت (CuS)، کالکوسیت (Cu₂S) و دیژنیت (Cu₉S₅): این کانه‌های سولفیدی ثانویه تحت تأثیر دگرسانی سوپرزن کانه‌های سولفیدی هیپوزن مانند کالکوپیریت، بورنیت و سولفوسالت‌ها در زون احیا بوجود آمده‌اند و غالباً از حواتی و شکستگی‌ها جانشین این کانه‌ها شده‌اند (شکل 6- الف و ب). مالاکیت (Cu₂CO₃(OH)₂)، آزوریت (Cu₃(CO₃)₂(OH)₂)، این کانه‌ها از جمله کانه‌های ثانویه می‌باشند که در رگه- رگچه‌های دارای



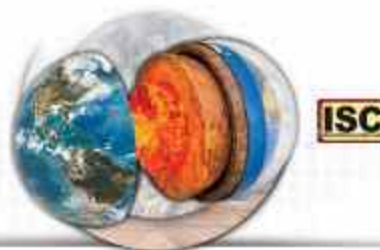
سولفید مس، در سطح برونزدها و در درز و شکستگی‌ها بافت می‌شوند. مالاکیت و آزوریت در زون اکسیدان به صورت نقطه‌ای با غالبیت مالاکیت دیده می‌شوند. این کانه‌ها در اثر خنثی شدن محلول‌های اسیدی پایین رونده مس‌دار حاصل از اکسیداسیون سولفیدهای مس‌دار هیپوزن، در برخورد با کربنات موجود در مسیر تشکیل شده‌اند (کل-6 پ و ت). جاروسیت ($(\text{SO}_4)_2(\text{OH})_6 \text{KFe}^{3+}$): این کانی در مقایسه با دیگر کانی‌های سوپرزون از فراوانی بیشتری برخوردار است و غالباً درون حفرات و شکستگی‌های کوارتز همراه با هماتیت و گوتیت تشکیل شده است. پتاسیم لازم جهت تشکیل جاروسیت از طریق دگرسانی سوپرزون سرسیت، و گوگرد و آهن آن نیز از دگرسانی پیریت و کالکوپیریت تامین شده است. اکسیدها و هیدروکسیدهای آهن از انواع این کانی‌ها، دو کانی گوتیت (FeOOH) و هماتیت (Fe_2O_3) حضور بیشتری در زون کانی‌سازی شده دارند که حاصل تست و شو و اکسیداسیون کانی‌های سولفیدی آهن‌دار اولیه مانند پیریت و کالکوپیریت می‌باشند (شک-6 ت و ج).

توالی پاراژنزی

بر اساس مطالعات کانی‌شناسی شامل دو مرحله هیپوزن و ثانویه یا سوپرزون می‌باشد (شکل-7). مرحله هیپوزن خود به 3 مرحله کانی‌زایی تقسیم می‌شود که بیشترین کانی‌زایی و مرحله اصلی آن را شامل می‌گردد و کانی‌های کالکوپیریت، پیریت، تتراهدريت، بورنیت، و احتمالاً طلا مربوط به مرحله اول کانی‌زایی است. کانی‌های کوارتز و پیریت در تمامی مراحل بخش هیپوزن تشکیل شده اند اما سایر کانی‌های این زون محدود به مرحله دوم زون هیپوزن می‌باشند. پیریت در تمامی مراحل کانی‌سازی هیپوزن به صورت نایب و پراکنده در متن سنگ و هم در رگچه‌های سیلیسی حضور دارد. کالکوپیریت، بورنیت، تتراهدريت و احتمالاً طلا کانه‌های هیپوزن موجود در رگچه‌های دارای کانی‌سازی می‌باشند. بورنیت که فراوانی محدودی نسبت به سایر کانه‌های منطقه دارد، عمدتاً در شکستگی‌های موجود در کالکوپیریت را پر کرده است و گاهی از سمت حواتی آن را جانشین کرده است. تتراهدريت و کالکوپیریت هم بافتی نشان می‌دهد و طلای نیز احتمالاً بصورت اذخال‌هایی جزئی و ریز در داخل سولفیدها دیده می‌شود. بعد از اتمام فعالیت‌های هیدروترمالی و ظاهر شدن زون‌های کانی‌سازی شده هیپوزن در نزدیکی سطح زمین و بالای سطح ایستایی، کانی‌های تشکیل یافته تحت تأثیر عوامل سوپرزون قرار گرفته و به کانی‌های اکسیدی، هیدروکسیدی و کربناته تبدیل شده‌اند. کانی‌هایی که در مرحله سوپرزون تشکیل یافته‌اند شامل کوولیت، کالکوسیت، مالاکیت، آزوریت، گوتیت، هماتیت و جاروسیت می‌باشند. گوتیت بر اثر اکسیداسیون کانی‌های سولفیدی اولیه مانند پیریت تشکیل شده و همراه با هماتیت و جاروسیت در سطوح هوازده و شکستگی‌ها دیده می‌شود. کوولیت و کالکوسیت معمولاً به صورت جانشینی در حاشیه‌ها و شکستگی‌های کالکوپیریت تشکیل شده‌اند. کانی‌های گوتیت، هماتیت، جاروسیت، مالاکیت و آزوریت در سطح رخنمون‌ها و سطح درز و شکستگی‌ها مشاهده می‌شوند.



شکل 6- تصاویر میکروسکوپی کانه‌ها. الف) و ب) تشکیل کانی‌های کوولیت، کالکوسیت و اکسید آهن در کانی‌زی سپرژن. پ) کانی‌های کالکوسیت و اکسید آهن در اطراف کانی کالکوپیریت. پ) کانی مالاکیت تشکیل شده در شکستگی‌ها و حفرات. ت) نمونه دستی از زون برشی و تشکیل مالاکیت در فضای شکستگی‌ها و ث و ج) تشکیل اکسیدهای آهن و کالکوسیت و دیژنیت بر روی کانی‌های هیپوزن کالکوپیریت و تتراهدريت. Py: پیریت، Cpy: کالکوپیریت، Cv: کوولیت، Cc: کالکوسیت، Tt: تتراهدريت، Dg: دیژنیت، Br: بوزنیت، Hem: همانیت.



Minerals	→ Time →			Supergene alt.
	Hypogene mineralization			
	Stage I	Stage II	Stage III	
Sulfates & Sulfonates	Pyrite	—————		
	Chalcopyrite		—————	
	Bornite		—————	—————
	Tetrahedrite		—————	
	Covellite			—————
	Digenite			—————
	Chalcocite			—————
Oxides & Sulfates	Hematite			—————
	Jarosite			—————
	Goethite			—————
	Native Gold		—————	
Silicates & Carbonates	Quartz	—————		
	Malachite & Azurite			—————

شکل 7- نوالی پاراژنری انواع کانی‌های تشکیل یافته در مراحل کانی‌زایی در منطقه مورد مطالعه ریحال

برداشت

- 1- مطالعات کانی‌شناسی نشان‌دهنده سیستم کانه‌زایی رگه‌رگچه‌ای در این منطقه می‌باشد. کانه‌زایی در منطقه به‌صورت رگه‌رگچه‌ای در داخل شکستگی‌ها و زون‌های گسلی و به میزبانی سنگ‌هایی با ترکیب حدواسط و با سن ائوسن صورت گرفته است.
- 2- کانی‌سازی سولفیدی در دو مرحله هیپوژن و سوپرژن رخ داده است و پیریت مهم‌ترین کانی سولفیدی هیپوژن در این مناطق است که به‌صورت شکل‌دار و رگچه‌ای مشاهده می‌شود و بیشترین ارتباط را با کانه‌زایی طلا نشان می‌دهد. علاوه بر پیریت کانی‌هایی مانند کالکوپیریت، بورنیت و تتراهدريت از سایر کانی‌های سولفیدی هیپوژن در منطقه مورد مطالعه می‌باشند و از مهم‌ترین کانی‌های سوپرژن این منطقه می‌توان کوولیت، کالکوسیت، مالاکیت، آزوریت و اکسیدها و هیدروکسیدهای آهن را نام برد.
- 3- شواهد بافتی مانند برش هیدروترمالی و کلسیت تیغه‌ای و بافت کلوفرم در این منطقه نباید کننده جوشش سیال می‌باشد. جوشش سیال مهم‌ترین عامل ته‌نشینی فلزات در این منطقه بوده و سرد شدن سیال نیز در ته‌نشینی فلزات موثر بوده است.
- 4- در مجموع شواهد بافتی، کانی‌شناسی، آلتراسیون، سیالات درگیر (شوری پایین سیالات درگیر و رخداد جوشش به‌عنوان مهم‌ترین عامل ته‌نشینی فلزات) و منشأ متوریک همگی دال بر کانی‌سازی اپی‌ترمال سولفید پایین در این منطقه می‌باشند.



منابع

- [1] Calagari, A. A., 2004a. Geology and fracture-related hypogene hydrothermal alteration and mineralization of porphyry copper deposit at Sungun, Iran. *Journal of Geological Society of India* 64, 595-618.
- [2] Alirezaei, S., Ebrahimi, S., Pan, Y., 2008. Fluid Inclusion Characteristics of Epithermal Precious Metal Deposits in the Arasbaran Metallogenic Zone, Northwestern Iran [extended abs.], ACROFI-II, India 1-4.
- [3] Hosseinzadeh, M. R., Maghfouri, S., Ghorbani, M. and Moayyed, M. (2016) Vein- Veinlets related with Mineralization and Fluid Inclusion Studies in the Sonajil Porphyry Cu- Mo Deposit, Arasbaran Magmatic Zone. *Scientific Quarterly Journal of Geoscience* 26(101): 219- 231.
- [4] Zarnab Company., 2007. Geology and Alteration Studies of the Haftcheshmeh Area (National Iranian Copper Industries Company (NICICO)).
- [5] Mohammadi, M., and Borna, B., 2006. Report of Geology and drilling in the masjed daghi Area (National Iranian Copper Industries Company (NICICO)).
- [6] Simmonds, V., Calagari, A. A. and Kyser, K. (2015) Fluid inclusion and stable isotope studies of the Kighal porphyry Cu-Mo prospect, East- Azarbaijan, NW Iran. *Arabian Journal of Geosciences* 8: 437-453.
- [7] Ebrahimi, S., Alirezaei, S., Pan, Y., 2011. Geological sitting, alteration and fluid inclusion characteristics of Zaglic and Safikhanloo epithermal gold prospects, NW Iran. *Geological Society, London, Special publications* 350(1), 133-147.
- [8] Nakhjavani, B. and Alavi, S. G. (2018) Type of mineralization, Geochemistry of Alteration and Relation of Gold and associated elements in the Hizeh-jan area (NW Iran). *Iranian Journal of Crystallography and Mineralogy* 26(3): 673- 688
- [9] Mahdavi M.A., Aminifazl A., "Ahar 1:100000 Geologic map", Geological Survey and Mineral Exploration of Iran(1988).
- [10] Guilbert, J. M., Park, Jr. C. F., 1986. *The Geology of Ore Deposits*. Freeman and Company, New York.
- [11] Robb, L., 2005. *Introduction to Ore-forming Processes*. Blackwell Publishing, Malden, 373 p.
- [12] Sillitoe R, H., 2000. Gold-rich porphyry deposits: Descriptive and genetic models and their role in exploration and discovery, *SEG Reviews* 13, 315-345.
- [13] Seedorff, E., Dilles, J.H., Proffett, J, M., Einaudi, M.T., Zurcher, L., Stavast, W.J.A., Johnson, D.A., Barton, M.D., 2005. Porphyry deposits: Characteristics and origin of hypogene features. *Economic Geology*, 100th Anniversary Volume, 251-298.
- [14] Investigation of genesis and fluid origin in Noghduz gold bearing quartz veins, East Azarbaijan Province, northwest of Iran. *Iranian Journal of Crystallography and Mineralogy*. 27
- [15] Reyes, A. G., 1990. Petrology of Philippine geothermal systems and the application of alteration mineralogy to their assessment. *Journal of Volcanology and Geothermal Research*, 43(1), 279-309.