



بررسی دگرسانی، کانه‌زایی و میانبارهای سیال ذخیره مس - طلای خوینرود، شمال ورزقان، استان آذربایجان شرقی، شمال غرب ایران

قهرمان سهرابی^{۱*}، فاطمه حسنی سوقی^۲، زهرا حسنی سوقی^۲

۱- گروه زمین‌شناسی، دانشگاه محقق اردبیلی، اردبیل، ایران

۲- گروه علوم زمین، دانشکده علوم طبیعی، دانشگاه تبریز، تبریز، ایران

(دریافت مقاله: ۱۴۰۱/۵/۵، نسخه نهایی: ۱۴۰۱/۸/۲۸)

چکیده: منطقه خوینرود در ۲۵ کیلومتری شمال شهرستان ورزقان، استان آذربایجان شرقی و در منطقه فلززایی ارسباران قرار دارد. سنگ‌های میزبان رگه- رگچه‌های کوارتز دارای ترکیب کوارتزومونونیتی و دیوریتی هستند. دگرسانی‌های قابل تشخیص پیرامون رگه- رگچه‌های کوارتزی شامل انواع سیلیسی، فلیک، آرژیلی و پروپیلیتی هستند. رگه- رگچه‌های کوارتزی بافت‌های نواری، شانه‌ای، پرکننده فضای خالی، حفره‌ای و برشی دارند. کانه‌زایی طی دو مرحله درون‌زاد و برون‌زاد رخ داده است. کانی‌های درون‌زاد شامل کانی‌های سولفیدی (کالکوپیریت، پیریت و بورنیت) و طلا هستند که با کانی‌های برون‌زاد چون اکسیدها و هیدروکسیدهای آهن (گوتیت، هماتیت و جاروسیت)، کربنات‌های مس (مالاکیت و آزوریت) و سولفیدهای ثانویه مس (کوولیت و کالکوسیت) همراهی می‌شوند. دماسنجی میانبارهای سیال دوفازی غنی از مایع در کانی کوارتز هم‌زاد با کانی‌سازی نشان می‌دهد که شوری میانبارهای سیال بین ۸ تا ۲۰ درصد وزنی معادل نمک طعام و دمای همگن‌شدگی آنها در گستره ۱۴۰ تا ۳۸۰ درجه سانتی‌گراد قرار است. بر اساس یافته‌های دماسنجی، لیگندهای مؤثر در حمل و نقل فلزها از نوع کلریدی و سولفیدی بوده و پدیده جوشش، سرد شدن و رقیق‌شدگی با سیال- های جوی مهم‌ترین سازوکارها در نهشت کانسنگ‌ها هستند. بررسی یافته‌های زمین‌شناسی، دگرسانی، کانی‌شناسی، بافتی و میانبارهای سیال در رگه- رگچه‌های کوارتز نشان می‌دهد که کانه‌زایی در منطقه خوینرود شباهت بسیاری به ذخایر فراگرمایی نوع سولفیدشدگی پایین دارد.

واژه‌های کلیدی: میانبارهای سیال؛ کانه‌زایی طلا؛ فراگرمایی؛ خوینرود؛ ورزقان.

مقدمه

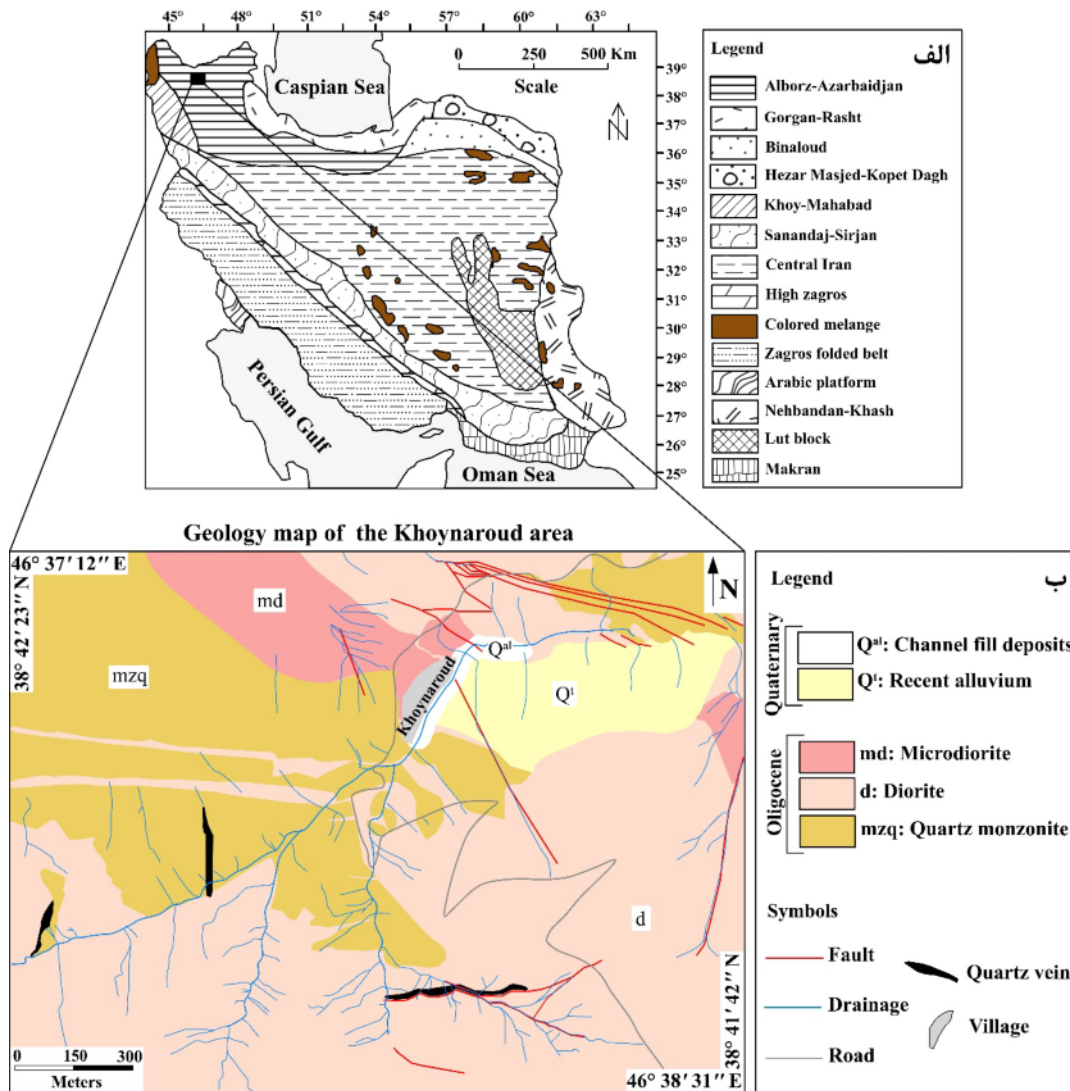
مشگین‌شهر، اهر، کلیبر، ورزقان، سیه‌رود و بلندی‌های ارسباران و قره‌داغ را شامل می‌شود، به‌عنوان یکی از مهم‌ترین و شناخته‌شده‌ترین مناطق فلززایی ایران با کانه‌زایی مس- مولیبدن و طلا مطرح است. این منطقه از نظر زمین‌شناسی از جنوب و جنوب‌غرب به گسل تبریز- سلطانیه، از شرق به گسل اردبیل- میانه و از شمال‌شرق به فروافتادگی نزدیک گسل شرقی- غربی مغان محدود است. ادامه این منطقه فلززایی در شمال به پهنه فلززایی قفقاز کوچک می‌رسد [۳]. بیشتر سنگ‌های سازنده منطقه فلززایی ارسباران را سنگ‌های

منطقه خوینرود در ۲۵ کیلومتری شمال شهرستان ورزقان در استان آذربایجان شرقی و در منطقه فلززایی ارسباران واقع است. این منطقه بر اساس تقسیم‌بندی پهنه‌های ساختاری ایران [۱] در پهنه البرز- آذربایجان (شکل ۱ الف) و از نظر موقعیت زمین‌شناسی بر نقشه زمین‌شناسی ۱:۱۰۰۰۰۰ ورزقان [۲] با مختصات عرض جغرافیایی ۳۸° ۴۱' ۴۲" تا ۳۸° ۲۳' ۴۲" شمالی و طول جغرافیایی ۳۷° ۱۲' ۴۶" تا ۳۸° ۳۱' ۴۶" شرقی دارد. منطقه فلززایی ارسباران که گستره شمال و غرب

۱:۲۰۰۰۰ بررسی شد و نقشه زمین شناسی و معدنی در مقیاس ۱:۵۰۰۰ تهیه گردید که بر اساس آن، مقدار طلا در نمونه های کانی سنگین از ۱ تا ۱۶۴ ذره و قطر آنها از ۷۵ تا ۱۴۰۰ میکرون متغیر است [۱۵]. سپس در سال ۱۳۸۵، عملیات اکتشافی (حفر ترانشه) در این منطقه توسط سازمان زمین شناسی و اکتشافات معدنی کشور انجام شد [۱۶]. در این پژوهش، افزون بر ویژگی های زمین شناسی، دگرسانی و کانه زایی، مشخصه های میانبارهای سیال و شرایط فیزیکوشیمیایی سیال های کانه ساز در منطقه بررسی شد. امید است نتایج این پژوهش بتواند برای پیشبرد اهداف اکتشافی در منطقه مفید و مؤثر واقع شود.

ماگمایی ترشیری تشکیل می دهند که از کرتاسه پسین با فعالیت های آتشفشانی از نوع آندزیتی شروع شده و به طور متناوب تا کواترنر ادامه می یابند [۴]. انواع کانسارها و نشانه های معدنی به صورت رگه ای (در نفوذی ها و آتشفشانی ها)، اسکارن و نیز پورفیری در گستره ای از سنگ های آتشفشانی ائوسن و نفوذی های پس از ائوسن در این منطقه شناسایی شده اند. کانسارهای سونگون [۵]، مسجدداغی [۶، ۷]، شرف آباد [۸]، صفی خانلو- نقدوز [۹، ۱۰]، نبی جان [۱۱]، مزرعه [۱۲] و استرقان [۱۳] از جمله کانسارهای این منطقه هستند.

در سال ۱۳۶۴، به حضور طلا در منطقه خوینرود اشاره شد [۱۴]. در سال ۱۳۷۰، پتانسیل طلا و سایر عناصر در منطقه خوینرود به روش زمین شیمیایی و کانی های سنگین در مقیاس



شکل ۱ الف) موقعیت منطقه مورد بررسی بر نقشه تقسیم بندی پهنه های ساختاری ایران [۱] و ب) نقشه زمین شناسی منطقه خوینرود که با تغییرات از مرجع [۲] برگرفته شده است.

روش بررسی

بررسی‌های انجام شده در این پژوهش دربرگیرنده دو بخش صحرایی و آزمایشگاهی است. در بخش صحرایی، پیمایش و بازدیدهای صحرایی برای شناسایی پهنه‌های دگرسانی، کانی‌سازی، رگه-رگچه‌های کوارتزی، بررسی ارتباط بین آنها و سنگ‌های میزبان و نمونه‌گیری از آنها (حدود ۵۰ عدد) به منظور بررسی‌های آزمایشگاهی انجام شد. در بخش آزمایشگاهی، ۲۰ مقطع نازک و ۱۰ مقطع نازک-صیقلی برای سنگ‌نگاری و کانه‌نگاری تهیه و در آزمایشگاه زمین‌شناسی دانشکده علوم پایه دانشگاه محقق اردبیلی بررسی گردید. برای بررسی میانبارهای سیال، ۵ مقطع دوبر صیقلی از رگه-رگچه‌های کوارتزی تهیه شد. بررسی‌های سنگ‌نگاری میانبارهای سیال با میکروسکوپ المپوس مدل BX50 و با عدسی 100X انجام شد. اندازه‌گیری‌های دماسنجی بر میانبارهای سیال با دستگاه لینکام مدل THMSG600 صورت گرفت. گستره دمایی دستگاه از +۶۰۰ تا -۱۹۶- درجه سانتی‌گراد با دقت ۰/۰۱ درجه سانتی‌گراد است. واسنجی دستگاه به کمک استانداردهای نیترات سدیم با نقطه ذوب ۳۰۶/۸+ درجه سانتی‌گراد و تتراکلرید کربن با نقطه ذوب ۲۲/۹۹- درجه سانتی‌گراد انجام شد.

بحث و بررسی**زمین‌شناسی و سنگ‌نگاری**

با توجه به نقشه زمین‌شناسی منطقه خوی‌نورد، مجموعه واحدهای سنگی برونزدیافته شامل واحدهای کوارتزمونزونیته، دیوریتی، میکرودیوریتی و رسوب‌های کواترنری هستند (شکل ۱ ب) که در ادامه توصیف می‌شوند.

واحد کوارتزمونزونیته (mzq): این توده نفوذی از نظر سنی مربوط به الیگوسن است [۲] و به صورت یک توده بیضوی شکل و در راستای تقریبی شرقی-غربی برونزد دارد (شکل ۲ الف). قطر بزرگ این توده بیضوی شکل حدود ۲/۶ کیلومتر و قطر کوچک آن حدود ۰/۹ کیلومتر است، از اینرو می‌توان آن را به شکل یک استوک بیضوی کوچک در نظر گرفت. این استوک کوارتزمونزونیته از شرق و غرب با توده دیوریتی در بر گرفته شده است. در برخی بخش‌ها، این واحد سنگی رگه-رگچه‌های کوارتزی را میزبانی می‌کند. ویژگی‌های بافتی این توده نشان‌دهنده بافت پورفیری است. به توده نفوذی یاد شده دو توده دیوریتی و دایک‌های وابسته هجوم آورده‌اند. برونزد این دو

توده دیوریتی بیشتر در جنوب شرق، جنوب و جنوب غرب واحد کوارتزمونزونیته است. روند اغلب دایک‌ها شمال غرب-جنوب شرق تا شرقی-غربی است و تعدادی از آنها دارای روند شمالی-جنوبی تا شمال شرق-جنوب غرب هستند. واحد سنگی کوارتزمونزونیته در زیر میکروسکوپ دارای بافت پورفیری و دربردارنده بلورهای پلاژیوکلاز در زمینه ریزبلوری از کوارتز، فلدسپار قلیایی و پلاژیوکلاز است (شکل ۲ ب). پلاژیوکلازها به صورت بلورهای نیمه‌شکل‌دار (۰/۵ تا ۳ میلی‌متر) هستند و اغلب به کانی‌های ثانویه سریسیت، اپیدوت، کانی‌های رسی و کلسیت دگرسان شده‌اند (شکل ۲ ب). فلدسپارهای قلیایی به صورت بلورهای بی‌شکل در متن سنگ پراکنده هستند. بلورهای بیوتیت، آمفیبول، آپاتیت و زیرکن نیز به صورت کانی‌های فرعی حضور دارند. کانی‌های بیوتیت و آمفیبول به صورت بلورهای نیمه‌شکل‌دار تا شکل‌دار (۰/۸ تا ۱ میلی‌متر) دیده می‌شوند و اغلب به مجموعه‌ای از کانی‌های ثانویه کلریت، کانی‌های رسی و اکسیدهای آهن تجزیه شده‌اند. کانی‌های ثانویه کوارتز و اکسیدهای آهن به صورت پراکنده و رگچه‌ای در متن سنگ دیده می‌شوند.

واحد دیوریتی (d): این توده نفوذی بیشترین حجم برونزدهای جنوب و جنوب شرق منطقه مورد بررسی را شامل می‌شود. اغلب رگه-رگچه‌های کوارتزی در این واحد سنگی میزبان برونزد یافته‌اند (شکل ۱ ب). این توده دیوریتی توده کوارتزمونزونیته را قطع کرده و از آنجا که خود با رگه-رگچه‌های کوارتزی قطع شده است، به نظر می‌رسد که زمان نفوذ آن پس از تزریق توده کوارتزمونزونیته و پیش از فعالیت‌های گرمایی استوک پورفیری بوده است. وجود میانبارهایی از واحد کوارتزمونزونیته درون توده دیوریتی را می‌توان شاهدی بر این امر دانست. دایک‌های با ترکیب شبیه توده دیوریتی، توده کوارتزمونزونیته پورفیری را قطع کرده‌اند، که به نظر می‌رسد که از همان توده شکل گرفته و در زمان جایگیری توده دیوریتی در شکستگی‌های استوک کوارتزمونزونیته به صورت دایک نفوذ کرده‌اند (شکل ۲ ب). این دایک‌ها اغلب دارای روند شمال غرب-جنوب شرق تا شرقی-غربی با راستای شیب شمال شرق هستند. اندازه شیب دایک‌ها نیز ۷۰ تا ۹۰ درجه است. از نظر ماکروسکوپی، اغلب این نمونه‌ها رنگ سبز روشن تا تیره و بافت پورفیری دارند که با درشت بلورهای پلاژیوکلاز و آمفیبول مشخص می‌شوند. کلریت

روشن، سبز روشن تا قهوه‌ای هستند و بافت آنها نیز پورفیری است.

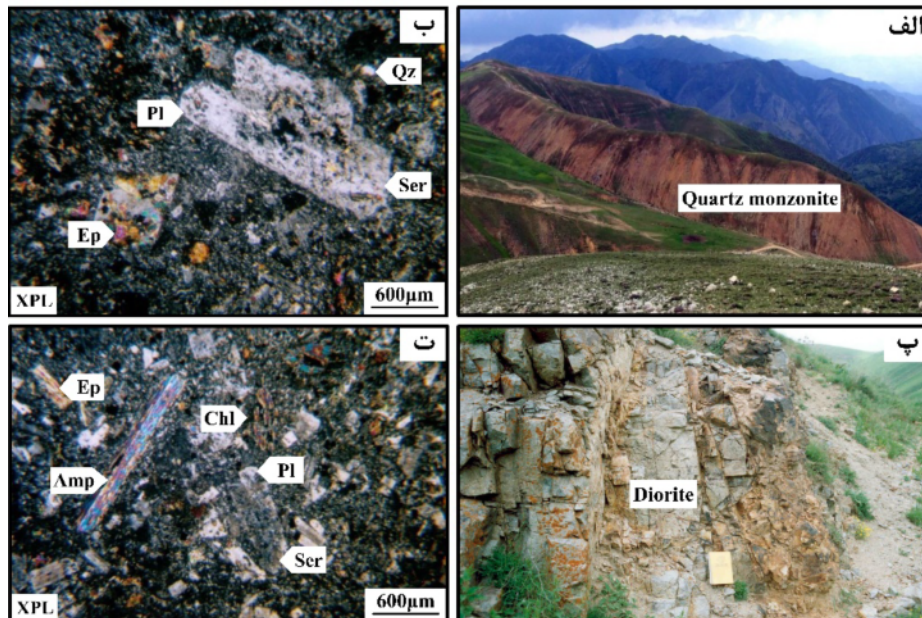
رسوب‌های کواترنری (Q^1 ، Q^{al}): واحد Q^1 شامل رس، قلوه‌سنگ و لای و واحد Q^{al} شامل شن، لای و ماسه‌سنگ هستند که پادگان‌های آبرفتی و مخروط‌افکنه‌های جوان را در منطقه تشکیل می‌دهند [۲].

دگرسانی

دگرسانی گرمابی در منطقه خوینرود گستردگی به نسبت زیادی دارد، ولی بیشترین شدت آن به‌طور معمول به پیرامون پهنه‌های کانه‌دار محدود می‌شود. بر اساس بررسی‌های صحرایی و میکروسکوپی، عمده‌ترین دگرسانی‌ها در منطقه خوینرود شامل انواع دگرسانی‌های سیلیسی، فلیک، آرژیلیک و پروپیلیتیک هستند. این دگرسانی‌ها در هر دو واحد سنگی میزبان (کوارتزمونزونیتی و دیوریتی) شناسایی شده‌اند. به‌طور کلی، با دور شدن از رگه-رگچه‌های کوارتزی از شدت دگرسانی کاسته می‌شود، به‌طوری‌که در نزدیکی رگه-رگچه‌های کوارتزی، دگرسانی‌های سیلیسی و فلیک و در فاصله دورتر از رگه-رگچه‌ها، دگرسانی‌های آرژیلیک و پروپیلیتیک غالب هستند.

و اپیدوت در این نوع سنگ‌ها در مقیاس ماکروسکوپی به مقدار کم دیده می‌شوند. این سنگ‌ها در زیر میکروسکوپ دارای بافت پورفیری و شامل بلورهای پلاژیوکلاز و آمفیبول در زمینه ریزسنگی از پلاژیوکلاز و آمفیبول هستند (شکل ۲ ت). پلاژیوکلازها به‌صورت بلورهای نیمه‌شکل‌دار هستند و اغلب به کانی‌های ثانویه سریسیت، اپیدوت و کانی‌های رسی تجزیه شده‌اند (شکل ۲ ت). بلورهای آمفیبول به‌صورت نیمه‌شکل‌دار هستند و بیشتر به کانی‌های ثانویه کلریت دگرسان شده‌اند. آپاتیت‌ها نیز به عنوان کانی‌های فرعی در این سنگ‌ها حضور دارند. کانی‌های کلریت و اپیدوت به صورت پراکنده و کانی ثانویه کوارتز به‌صورت رگچه‌ای در متن سنگ دیده می‌شوند.

واحد میکرودیوریتی (md): این واحد در بخش‌های میانی و شرقی منطقه به‌صورت توده‌ای دیده می‌شود (شکل ۱ ب). دایک‌هایی با این نوع ترکیب در برخی بخش‌ها توده کوارتزمونزونیت پورفیری را قطع نموده‌اند. روند تقریبی این نوع دایک‌ها شمالی-جنوبی با شیب حدود ۷۰ درجه به سمت غرب است. سامانه درزه‌ها در این توده با فواصل کم در راستاهای مختلف دیده می‌شود و از این رو، در بیشتر بخش‌ها خردشدگی زیادی وجود دارد و قطعه‌های آن بسیار زاویه‌دار هستند. سنگ‌های این واحد از نظر ماکروسکوپی به رنگ خاکستری

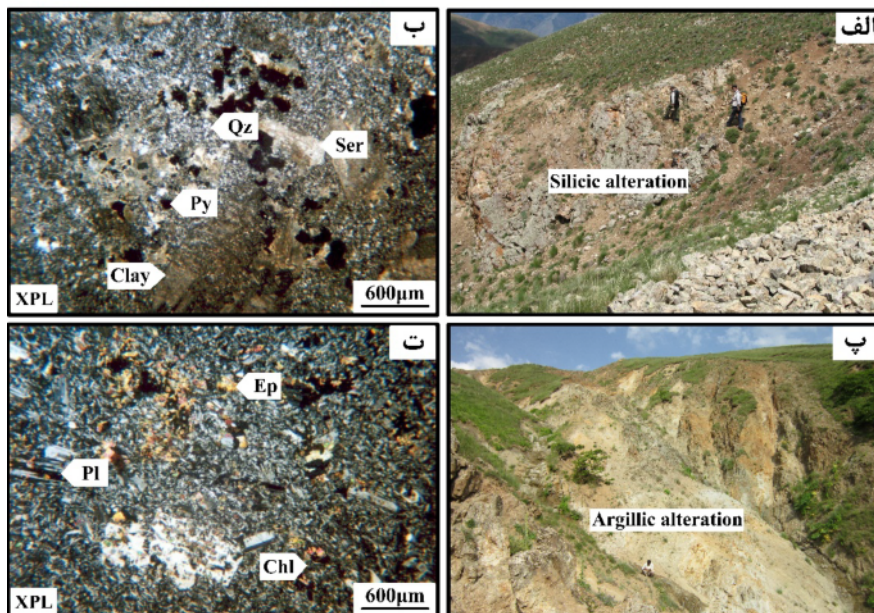


شکل ۲ تصاویر صحرایی و میکروسکوپی از واحدهای سنگی منطقه خوینرود: الف) برونزد صحرایی از واحد کوارتزمونزونیتی (دید به سمت شمال)، ب) دگرسانی پلاژیوکلازها به کانی‌های سریسیت و اپیدوت در واحد سنگی کوارتزمونزونیتی، پ) نمای صحرایی از دایک دیوریتی (دید به سمت شمال غرب) و ت) دگرسانی پلاژیوکلازها به کانی‌های سریسیت و اپیدوت و دگرسانی آمفیبول به کانی کلریت در واحد سنگی دیوریتی. (Chl: کلریت، Ser: سریسیت، Ep: اپیدوت، Pl: پلاژیوکلاز، Qz: کوارتز و Amp: آمفیبول [۱۷]).

دگرسانی آرژیلیکی تبدیل می‌شود. دگرسانی آرژیلیکی: گستردگی دگرسانی آرژیلیکی نسبت به سایر دگرسانی‌ها در منطقه زیاد است و در لبه دگرسانی سریسیتی دیده می‌شود. این پهنه دگرسانی به‌طور عمده به‌رنگ سفید تا زرد و در برخی بخش‌ها به‌دلیل حضور اکسیدها و هیدروکسیدهای آهن، به‌رنگ نارنجی تا قرمز دیده می‌شود (شکل ۳ پ). براساس بررسی‌های میکروسکوپی، دگرسانی آرژیلیکی با حضور کانی‌های رسی مشخص می‌شود. در این نوع دگرسانی، کانی‌های رسی اغلب بلورهای پلاژیوکلاز و سریسیت را جانشین کرده‌اند.

دگرسانی پروپیلیتیک: این نوع دگرسانی گسترش کمتری در منطقه دارد و با رنگ سبز تیره قابل تشخیص است. این دگرسانی محدودکننده بخش‌های خارجی سامانه دگرسانی گرمابی در منطقه است. به‌طور عمده دگرسانی پروپیلیتی شدت بالایی ندارد و بافت اولیه سنگ‌ها به‌ندرت در این پهنه دگرسانی از بین رفته است. بر پایه بررسی‌های میکروسکوپی، کانی‌های اصلی این نوع دگرسانی در منطقه اپیدوت و کلریت هستند که در آن کانی‌های پلاژیوکلاز به‌صورت بخشی با اپیدوت و کانی‌های فرومنیزین (آمفیبول و بیوتیت) با کلریت جانشین شده‌اند (شکل ۳ ت). کانی‌های کلریت اغلب به رنگ سبز دیده می‌شوند و گاهی دارای بافت شعاعی هستند.

دگرسانی سیلیسی: دگرسانی سیلیسی مهمترین دگرسانی در منطقه بوده و اغلب به‌صورت رگه- رگچه‌ای و سیلیسی شدن سنگ‌های میزبان رخ داده است (شکل ۳ الف). این نوع دگرسانی در ارتباط تنگاتنگ با رگه- رگچه‌های کانه‌دار است و به‌طور عمده در لبه رگه- رگچه‌ها دیده می‌شود. پهنه‌های دربردارنده این دگرسانی اغلب به‌دلیل مقاومت بیشتر نسبت به هوازدگی، از نظر مکان‌نگاری به‌صورت مناطق برجسته برونزد دارند. بر اساس بررسی‌های میکروسکوپی، کانی‌های کوارتز مهمترین کانی‌های سازنده این پهنه هستند که به‌صورت بلورهای ریز و درشت حضور دارند. این بلورهای کوارتز به‌صورت رگچه‌ای، پرکننده فضاهای خالی و جانشینی در زمینه سنگ‌های میزبان (کوارتزومونونیت و دیوریت) تشکیل شده‌اند. دگرسانی فیلیک (یا سریسیتیک): در منطقه مورد بررسی، دگرسانی سریسیتی اغلب پیرامون دگرسانی سیلیسی دیده می‌شود. دگرسانی سریسیتی گسترش به نسبت محدودی در منطقه دارد و به‌رنگ سفید تا خاکستری دیده می‌شود. بر اساس بررسی‌های میکروسکوپی، این نوع دگرسانی با حضور کانی‌های سریسیت، کوارتز و پیریت همراه با مقادیر کمی از کانی‌های رسی قابل شناسایی است (شکل ۳ ب). کانی‌های پلاژیوکلاز در این پهنه به‌طور بخشی به سریسیت تجزیه شده‌اند. این نوع دگرسانی به‌طور تدریجی به سمت بیرون به



شکل ۳ تصاویر صحرایی و میکروسکوپی از پهنه‌های دگرسانی در منطقه خوینرود: الف) تصویر صحرایی از پهنه دگرسانی سیلیسی (دید به سمت شمال)، ب) حضور کانی‌های کوارتز، سریسیت و پیریت به همراه کانی‌های رسی در پهنه دگرسانی فیلیک، پ) نمای صحرایی از پهنه دگرسانی آرژیلیکی (دید به سمت شمال) و ت) حضورهای کانی‌های اپیدوت و کلریت در پهنه دگرسانی پروپیلیتیک. Qz: کوارتز، Ep: اپیدوت، Chl: کلریت، Ser: سریسیت، Pl: پلاژیوکلاز، Py: پیریت و Clay: کانی‌های رسی [۱۷].

کانه‌زایی

کانی‌سازی در منطقه خوی‌نرود به صورت رگه- رگچه‌های کوارتزی و بیشتر در راستای پهنه‌های گسلی و درون شکستگی‌ها روی داده است (شکل ۴ الف). رگه- رگچه‌های کوارتزی در منطقه توسط هر دو واحد کوارتزمنزونیتی و دیوریتی میزبانی می‌شوند، ولی اغلب این رگه- رگچه‌ها در واحد دیوریتی دیده شده‌اند. راستای این رگه‌ها متفاوت بوده و از شرقی- غربی تا شمالی- جنوبی متغیر است. شیب رگه‌ها نیز زیاد بوده و به‌طور تقریبی تا ۸۰ درجه اندازه‌گیری شده است. شیب در رگه‌هایی با راستای شرقی- غربی به سمت شمال و در رگه‌هایی با راستای شمالی- جنوبی به سمت غرب است. رگه‌های کوارتزی دارای طولی بین ۱۰ تا ۳۵۰ متر و ضخامتی بین ۳ تا ۱۵ متر هستند. این رگه- رگچه‌ها اغلب به رنگ سفید چرک دیده می‌شوند و گاهی ساخت داربستی را تشکیل داده‌اند (شکل ۴ ب). همچنین رگه- رگچه‌های کوارتزی بافت‌های نواری (شکل ۴ پ)، شانه‌ای (شکل ۴ ت)، پرکننده فضای خالی (شکل ۴ ث)، حفره‌ای و برشی (شکل ۴ ج) نشان می‌دهند. کانی‌سازی در رگه- رگچه‌های کوارتزی شامل کانی‌های سولفیدی (کالکوپیریت، پیریت و بورنیت) و طلاست.

بر اساس بررسی‌های صحرایی و میکروسکوپی، کانه‌زایی در منطقه خوی‌نرود طی دو مرحله درون‌زاد و برون‌زاد روی داده است. در مرحله درون‌زاد، فعالیت محلول‌های گرمایی سبب تشکیل رگه- رگچه‌های کوارتزی و گسترش پهنه‌های دگرسانی (سیلیسی، فلیک، آرژیلیک و پروپیلیتیک) پیرامون آنها شده است. کانی‌سازی سولفیدی (کالکوپیریت، پیریت و بورنیت) و طلا در این مرحله از کانه‌زایی رخ داده است. در مرحله برون‌زاد، واکنش سیال‌های جوی فرورو با کانی‌های سولفیدی اولیه سبب تشکیل کانی‌های ثانویه چون اکسیدها و هیدروکسیدهای آهن (گوتیت، هماتیت و جاروسیت)، کربنات‌های مس (مالاکیت و آزوریت) و سولفیدهای ثانویه مس (کولیت و کالکوسیت) شده است.

کالکوپیریت مهم‌ترین و فراوان‌ترین کانی سولفیدی مس در منطقه خوی‌نرود است و به صورت بی‌شکل تا نیمه‌شکل‌دار حضور دارد (شکل ۵ الف). این کانی اغلب با اندازه‌های ۵۰ میکرون تا چند میلی‌متر به صورت لکه‌ای و پراکنده در زمینه سیلیسی دیده می‌شود. بخشی از کانی کالکوپیریت در اثر فرآیندهای برون‌زاد اغلب از لبه با کانی‌های مالاکیت، آزوریت، گوتیت،

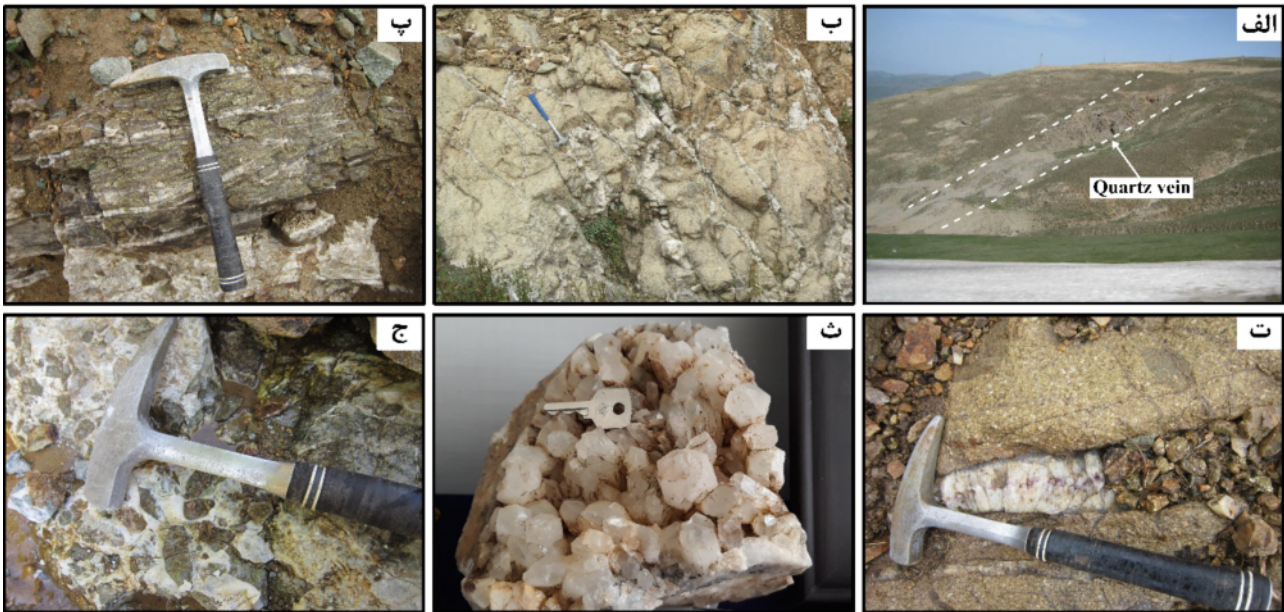
هماتیت، جاروسیت، کولیت و کالکوسیت جانشین شده است (شکل ۵ ب). پیریت نسبت به کالکوپیریت فراوانی کمتری دارد و به صورت شکل‌دار تا نیمه‌شکل‌دار و با اندازه ۱۰۰ تا ۳۰۰ میکرون اغلب به صورت پراکنده درون بلورهای کوارتز دیده می‌شود. این کانی اغلب به گوتیت، هماتیت و جاروسیت تبدیل شده است (شکل ۵ پ). کانی بورنیت بیشتر همراه با کالکوپیریت یافت می‌شود و به‌طور ترجیحی جانشین آن شده است. این کانی اغلب با گوتیت، هماتیت، جاروسیت، مالاکیت و آزوریت جانشین شده است (شکل ۵ ب). طلا نیز به صورت پراکنده و آزاد با اندازه‌های بسیار ریز درون کانی‌های کوارتز حضور دارد (شکل ۵ ت). مالاکیت و آزوریت که ناشی از دگرسانی کانی‌های کالکوپیریت و بورنیت هستند، در نتیجه واکنش مس آزادشده با کمپلکس کربناتی تشکیل شده‌اند. این کانی‌ها به صورت پراکنده و پرکننده حفره‌ها و فضاهای خالی قابل دیده هستند. مالاکیت گاهی با بافت رشته‌ای نیز در منطقه دیده می‌شود (شکل ۵ ث). آزوریت فراوانی کمتری نسبت به مالاکیت دارد و با رنگ آبی لاجوردی در منطقه قابل تشخیص است (شکل ۵ ج). گوتیت، هماتیت و جاروسیت در اثر اکسایش کانی‌های سولفیدی اولیه تشکیل شده‌اند و اغلب به صورت جانشینی در کناره‌های کانی‌های سولفیدی دیده می‌شوند (شکل‌های ۵ ب و پ). کولیت و کالکوسیت به صورت جانشینی در لبه کانی کالکوپیریت حضور دارند.

کانی‌های باطله موجود در منطقه کوارتز و کلسیت هستند که کوارتز اصلی‌ترین کانی باطله در منطقه محسوب می‌شود. این کانی را می‌توان بر اساس اندازه بلورها به دو دسته ریزبلور و درشت بلور تقسیم نمود. بلورهای کوارتز به صورت نهان‌بلور تا بلورهای خودشکل و درشت به رنگ سفید تا خاکستری در رگه- رگچه‌های کوارتزی قابل شناسایی هستند. کلسیت در مقطع میکروسکوپی به صورت بلورهای ریز و درشت با بافت پرکننده فضای خالی و رگچه‌ای حضور دارد.

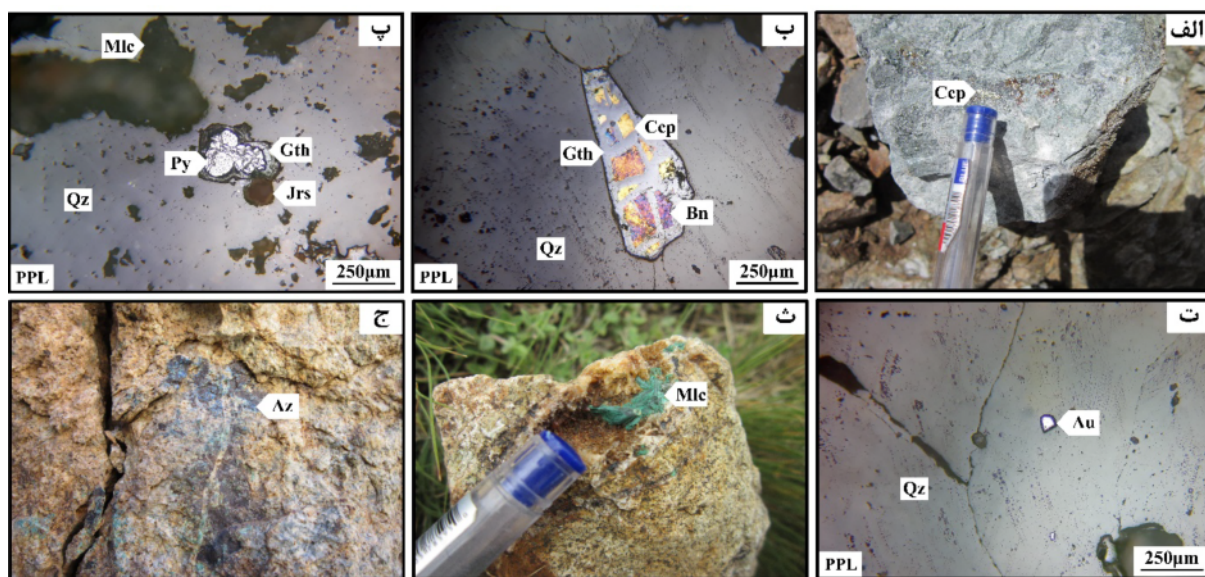
بررسی**میانبارهای سیال**

بررسی میانبارهای سیال، می‌توان افزون بر دمای شکل‌گیری کانسار، ترکیب شیمیایی سیال‌های کانه‌ساز را نیز تا حدی تعیین کرد. افزون بر این، بررسی میانبارهای سیال به عنوان روشی مستقیم برای تشخیص وضعیت سیال‌های کانه‌ساز و فرآیندهای مؤثر در تشکیل کانسار اهمیت بسیاری دارد و

اطلاعات مهمی از خاستگاه و تکامل سیال‌ها ارائه می‌دهد [۱۸]. کانی‌سازی بررسی شدند. پس از بررسی‌های سنگ‌نگاری مقاطع دوبر صیقلی، آزمایش‌های دماسنجی برای آنها انجام شد. منطقه خوینرود، میانبارهای سیال کانی‌های کوارتز همزاد با



شکل ۴ تصاویر صحرایی و مزوسکوپی از رگه- رگچه‌های کوارتز و بافت‌های موجود در آنها در منطقه خوینرود: الف) نمای صحرایی از رگه کوارتزی در واحد سنگی دیوریتی (دید به سمت شمال شرق)، ب) ساخت داربستی در رگه- رگچه‌های کوارتزی، پ) بافت نواری در رگه- رگچه‌های کوارتز، ت) نمایی از بافت شانه‌ای در بلورهای کوارتز، ث) رخنمونی از بلورهای کوارتز با بافت پرکننده فضای خالی و ج) نمایی از برشی شدن رگه- رگچه‌های کوارتزی.



شکل ۵ تصاویر مزوسکوپی و میکروسکوپی از کانی‌های درونزاد و برونزاد در رگه- رگچه‌های کوارتزی منطقه خوینرود: الف) کانه‌زایی کالکوپیریت در رگه- رگچه‌های کوارتزی، ب) کالکوپیریت و بورنیت که توسط گوتیت جانشین شده‌اند، پ) کانی پیریت که به گوتیت و جاروسیت دگرسان شده است، ت) حضور ذره طلا درون بلورهای کوارتز، ث) کانی‌سازی ملاکیت با بافت رشته‌ای و ج) نمایی از کانی آزوریت به رنگ آبی لاجوردی. (Qz: کوارتز، Ccp: کالکوپیریت، Gth: گوتیت، Bn: بورنیت، Py: پیریت، Jrs: جاروسیت، Mlc: ملاکیت و Az: آزوریت [۱۷]).

به صورت بی‌شکل تا نیمه‌شکل‌دار در کنار میانبرهای سیال دوفازی غنی از مایع دیده می‌شوند (شکل ۶ الف).

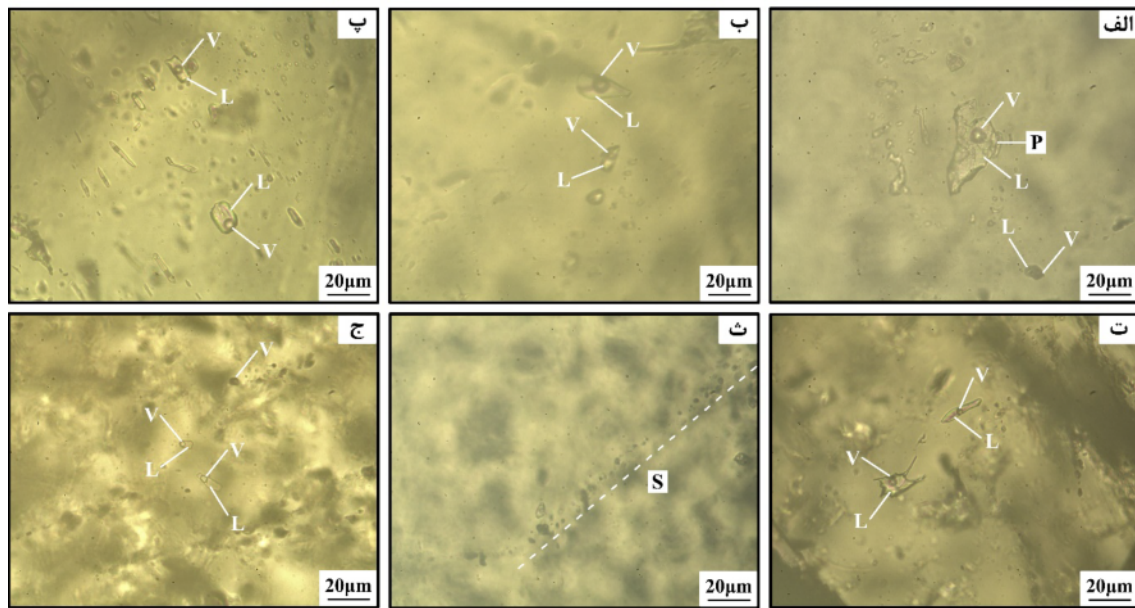
تک فاز گازی (V): این نوع میانبرهای سیال نسبت به سایر میانبرها فراوانی بسیار کمتری دارند و اندازه آنها نیز اغلب کمتر از ۱۰ میکرون است. بیشتر حجم (حدود بیش از ۹۵ درصد) این نوع میانبرها را فاز گازی تشکیل می‌دهد. این نوع میانبرها به طور عمده به شکل‌های کروی و نامنظم تا نیمه‌شکل‌دار وجود دارند و همراه با میانبرهای سیال دوفازی غنی از مایع هستند (شکل ۶ ج).

دماسنجی میانبرهای سیال: به دلیل ریز بودن میانبرهای سیال دوفازی غنی از گاز و امکان بروز خطا، بررسی‌های دماسنجی فقط برای میانبرهای سیال دوفازی غنی از مایع انجام شد. برای این منظور، نخست عمل سرمایش و سپس گرمایش بر میانبرهای سیال صورت گرفت. طی سرمایش، انجماد پایانی میانبرهای سیال در گستره دمایی ۸۰- تا ۹۰- درجه سانتی‌گراد انجام شد. با افزایش دما، نخستین نقطه ذوب یخ (T_{fm}) تعیین شد که حدود ۲۱- درجه سانتی‌گراد به دست آمد. مقادیر دمای همگدازی (T_{fm}) میانبرها نشان می‌دهد که NaCl نمک محلول غالب در سیال‌های گرمایی بوده است. سپس دماهای ذوب آخرین قطعه یخ (T_{m_{ice}}) اندازه‌گیری شد که مقادیر آن در گستره ۱۶/۷۰- تا ۵/۱۰- درجه سانتی‌گراد متغیر است. شوری میانبرهای سیال بر اساس مقادیر T_{m_{ice}} [۲۱] در گستره ۸ تا ۲۰ درصد وزنی معادل نمک طعام محاسبه شد اما بیشترین فراوانی شوری به دست آمده مربوط به مقادیر بین ۱۱ تا ۱۲/۵ درصد وزنی معادل نمک طعام است (شکل ۷ الف). طی گرمایش، میانبرهای سیال تا دمای حدود ۵۵۰ درجه سانتی‌گراد گرم شده و همه آنها با از بین رفتن فاز گازی همگن شدند. دمای همگن‌شدگی میانبرهای سیال در گستره ۱۴۰ تا ۳۸۰ درجه سانتی‌گراد بوده و بیشترین فراوانی آن مربوط به گستره دمایی ۲۳۰ تا ۲۶۰ درجه سانتی‌گراد است (شکل ۷ ب). نتایج به دست آمده از بررسی‌های دماسنجی میانبرهای سیال در جدول ۱ آورده شده است.

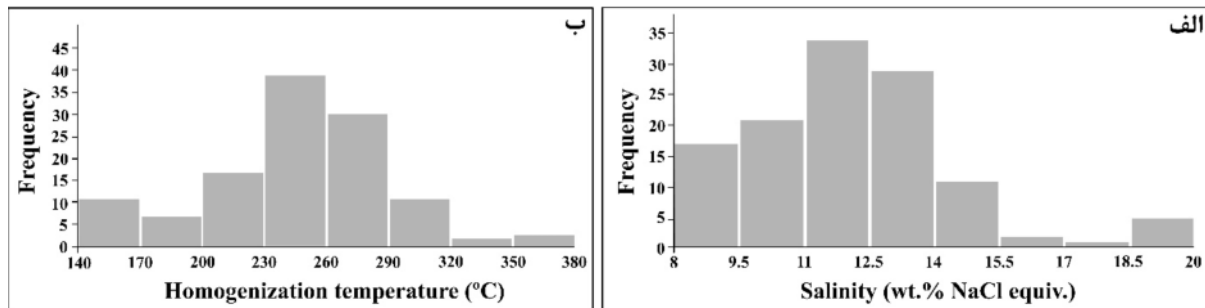
سنگ‌نگاری میانبرهای سیال: در بررسی‌های سنگ‌نگاری میانبرهای سیال، ویژگی‌هایی چون شکل، نوع، اندازه، درجه پرشدگی و نسبت‌های فازی آنها بررسی شدند. میانبرهای سیال موجود در کانی‌های کوارتز منطقه خوینرود از نظر ریخت‌شناسی به صورت نامنظم و بی‌شکل، کشیده، بیضوی و نیمه‌شکل‌دار تا شکل‌دار دیده می‌شوند (شکل‌های ۶ الف تا ت) و شامل انواع اولیه (P، شکل ۶ الف) و ثانویه (S؛ شکل ۶ ث) هستند [۱۹]. دماسنجی اغلب برای میانبرهای سیال اولیه انجام شد. اندازه میانبرهای سیال در منطقه خوینرود کمتر از ۵ تا ۳۵ میکرون (اغلب ۱۰ تا ۲۰ میکرون) است و گاهی پدیده باریک‌شدگی نیز در آنها دیده می‌شود (شکل ۶ ت). هیچ شاهدهی از وجود CO₂ مایع یا گاز و کانی‌های نوزاد در میانبرهای سیال منطقه خوینرود دیده نشد. میانبرهای سیال بررسی شده را می‌توان بر پایه مقدار فازی موجود [۲۰] و به ترتیب فراوانی به انواع دوفازی غنی از مایع (L+V)، دوفازی غنی از گاز (V+L) و تک‌فاز گازی (V) تقسیم نمود که در ادامه توضیح داده می‌شود.

دوفازی غنی از مایع (L+V): این نوع میانبرهای سیال نسبت به انواع دیگر بیشترین فراوانی را دارند و اغلب به صورت شکل‌های نامنظم، کروی، مربع، مستطیل، کشیده و نیمه‌شکل‌دار تا شکل‌دار هستند. این نوع میانبرها هم به صورت اولیه و هم به صورت ثانویه وجود دارند. در این نوع میانبرهای سیال، فاز مایع غالب است و به طور تقریبی بیش از ۸۰ درصد حجمی میانبرها را تشکیل می‌دهد و درجه پرشدگی آنها بیشتر است. اندازه این نوع میانبرها اغلب بین ۱۰ تا ۲۰ میکرون متغیر است و پدیده باریک‌شدگی نیز بیشتر در این نوع میانبرها دیده می‌شود (شکل‌های ۶ الف تا ت).

دوفازی غنی از گاز (V+L): فاز گازی در این نوع میانبرهای سیال غالب بوده و حدود بیش از ۷۰ درصد حجم میانبرها را اشغال کرده است، از اینرو، این نوع میانبرها درجه پرشدگی پایینی دارند. این نوع میانبرها نسبت به میانبرهای سیال دوفازی غنی از مایع فراوانی کمتری دارند و اندازه بیشتر آنها به طور تقریبی ۱۰ تا ۱۵ میکرون است. این نوع میانبرها بیشتر



شکل ۶ تصاویر میکروسکوپی از انواع میانبارهای سیال در کانی‌های کوارتز منطقه خوینرود: الف) میانبار سیال اولیه دو فازی غنی از مایع (L+V) با شکل نامنظم در کنار میانبار سیال دو فازی غنی از گاز (V+L)، ب) میانبارهای سیال دو فازی غنی از مایع (L+V) با شکل بیضوی، پ) میانبارهای سیال دو فازی غنی از مایع (L+V) که به صورت مربع و مستطیلی شکل دیده می‌شوند، ت) میانبار سیال دو فازی غنی از مایع (L+V) با شکل کشیده و میانبار سیالی که دچار پدیده باریک‌شدگی شده است، ث) میانبارهای سیال ثانویه و ج) میانبارهای سیال دو فازی غنی از مایع (L+V) همراه با میانبار سیال تک فاز گازی (V).



شکل ۷ الف) نمودار ستونی شوری (بیشترین فراوانی مربوط به گستره ۱۱ تا ۱۲/۵ درصد وزنی معادل نمک طعام است) و ب) نمودار ستونی دمای همگن‌شدگی (بیشترین فراوانی مربوط به گستره ۲۳۰ تا ۲۶۰ درجه سانتی‌گراد است) برای میانبارهای سیال منطقه خوینرود.

جدول ۱ نتایج بررسی‌های دماسنجی میانبارهای سیال در منطقه خوینرود.

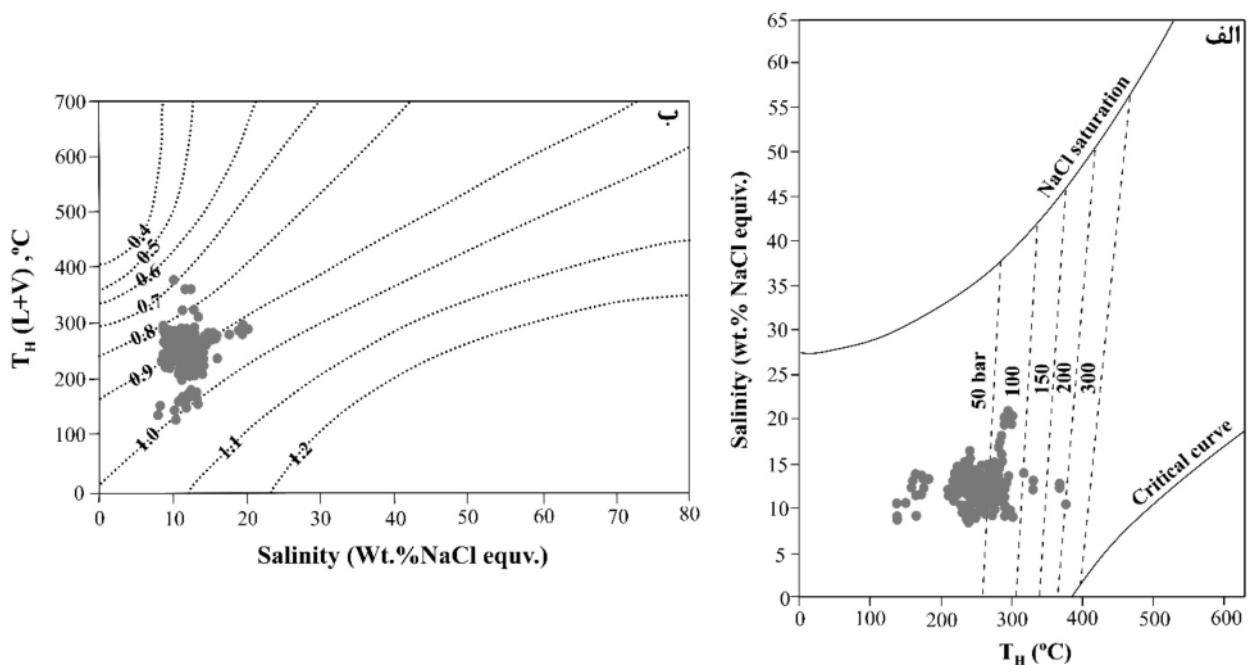
شماره نمونه	تعداد	اندازه (µm)	کانی	نوع	T _{mice} (°C)	Wt% NaCl _{eq}	Th (°C)	چگالی (g.cm ³)
KH-1	۲۱	۳۵-۹	کوارتز	L+V	(-۵۶۶)-(-۱۶/۱۹)	۸/۱۹-۷۵/۵۹	۳۰۱-۲۱۶	۰/۰-۸۴/۹۴
KH-2	۲۴	۳۵-۱۰	کوارتز	L+V	(-۵۸۰)-(-۱۶/۷۰)	۸/۲۰-۹۴	۳۸۰-۲۱۷	۰/۰-۶۸/۹۴
KH-3	۲۹	۳۰-۹	کوارتز	L+V	(-۵۱۰)-(-۱۰/۱۲)	۱۴-۸/۰۶	۲۸۳-۱۴۰	۰/۱-۸۶
KH-4	۲۳	۳۲-۸	کوارتز	L+V	(-۵۲۶)-(-۱۰/۱۲)	۸/۱۴-۲۷/۰۶	۳۰۰-۱۴۰	۰/۱-۸۱
KH-31	۲۳	۳۵-۱۳	کوارتز	L+V	(-۵۸۰)-(-۱۲/۰۱)	۸/۱۵-۹۴/۹۶	۳۶۸-۲۰۹	۰/۰-۷۳/۹۵

سیال تک‌فاز گازی می‌تواند بیانگر آن باشد که سیال‌های کانه‌ساز طی نهشت کانسنگ‌ها دستخوش پدیده جوشش شده‌اند [۲۲، ۲۳]. از اینرو، با توجه به رخداد فرآیند جوشش در

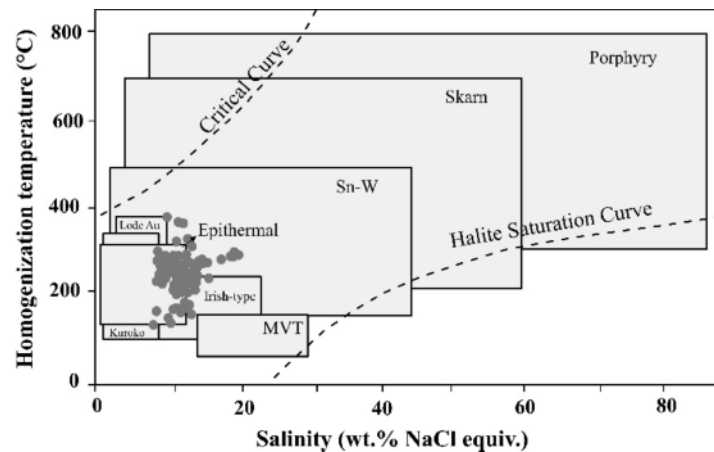
ویژگی و تکامل سیال‌های کانه‌ساز وجود بافت برشی در رگه- رگچه‌های کوارتزی و همچنین همزیستی میانبارهای سیال دوفازی غنی از مایع با میانبارهای

بورنیت و طلا [۲۶]، تشکیل بافت‌هایی از قبیل نواری، شانه‌ای، پرکننده فضای خالی، حفره‌ای و برشی در رگه- رگچه‌های کوارتزی [۲۷]، گسترش انواع دگرسانی‌های سیلیسی، فلیک، آرژلیک و پروپیلیتیک [۲۸، ۲۹] و همچنین مقادیر شوری و دمای همگن‌شدگی میانبراهای سیال [۳۰] می‌تواند بیانگر آن باشد که کانی‌سازی در منطقه خوی‌نرود در ردیف کانسارهای فراگرمایی نوع سولفیدشدگی پایین قرار دارد. در جدول ۲ ویژگی‌های ذخیره مس- طلاي خوی‌نرود با برخی از کانسارهای فراگرمایی نوع سولفیدشدگی پایین در ایران مقایسه شده است [۳۱-۳۴]. برای تعیین نوع کمپلکس‌های مؤثر در حمل فلزها می‌توان از نمودار دو متغیره دمای همگن‌شدگی نسبت به شوری استفاده کرد [۳۵]. بر این اساس، لیگندهای مؤثر در حمل و نقل فلزها در منطقه خوی‌نرود از هر دو نوع کلریدی و سولفیدی بوده‌اند (شکل ۱۰ الف). براساس نمودار شوری نسبت به دمای همگن‌شدگی استفاده شده برای تعیین روند تکاملی سیال‌های کانه‌ساز در منطقه خوی‌نرود [۱۸، ۲۰]، پدیده‌های جوشش، سرد شدن و رقیق‌شدگی با سیال‌های جوی مهمترین عوامل در نهشت کانسنگ‌ها بوده‌اند (شکل ۱۰ ب).

میانبراهای سیال منطقه خوی‌نرود، فشار به‌دام افتادن سیال‌های کانه‌ساز معادل فشار ایستایی در دمای همگن‌شدگی است [۲۱]. براساس نمودار دمای همگن‌شدگی نسبت به شوری [۲۰]، فشار بیشتر میانبراهای سیال خوی‌نرود حدود ۵۰ بار برآورد می‌شود (شکل ۸ الف). این مقدار فشار می‌تواند بیانگر معادل عمق ۵۰۰ متری زیر سطح ایستایی باشد که نزدیک به عمق تشکیل بیشتر ذخایر فراگرمایی است [۲۴]. بر پایه یافته‌های برآمده از دمای همگن‌شدگی و شوری میانبراهای سیال می‌توان چگالی سیال را بدون در نظر گرفتن شرایط به‌دام افتادن آنها تعیین کرد [۲۵]. جایابی مقادیر دمای همگن‌شدگی و شوری میانبراهای سیال منطقه خوی‌نرود بر نمودار مرجع [۱۸] نشان می‌دهد که چگالی میانبراهای سیال در گستره ۰٫۶۸ تا ۱ گرم بر سانتی‌متر مکعب قرار دارد، اما بیشتر میانبراهای دارای چگالی‌هایی بین ۰٫۸۵ تا ۰٫۹۵ گرم بر سانتی‌متر مکعب هستند (شکل ۸ ب). از مقایسه نتایج دماسنجی میانبراهای سیال منطقه خوی‌نرود با نمودار مرجع [۱۸] مشخص می‌شود که یافته‌های میانبراهای سیال اغلب در گستره کانسارهای نوع فراگرمایی جای دارند (شکل ۹). افزون بر این، شواهدی چون حضور کانی‌های کالکوپیریت، پیریت،



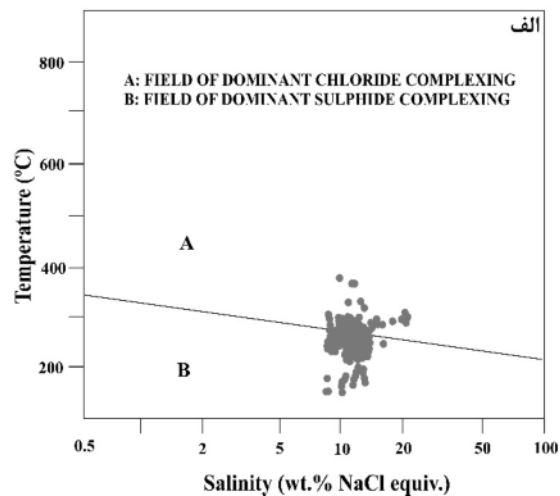
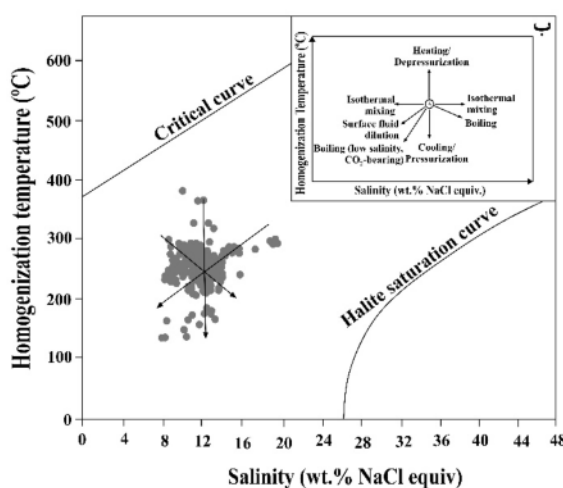
شکل ۸ الف) نمودار دو متغیره دمای همگن‌شدگی نسبت به شوری [۲۰] برای نشان دادن الگوی توزیع یافته‌های مربوط به میانبراهای سیال منطقه خوی‌نرود نسبت به منحنی‌های بحرانی و اشباع‌هالیت و ب) تغییرات مقدار چگالی میانبراهای سیال منطقه خوی‌نرود در نمودار دمای همگن‌شدگی نسبت به شوری [۱۸] که بیشتر مقادیر در گستره ۰٫۸۵ تا ۰٫۹۵ گرم بر سانتی‌متر مکعب قرار دارند.



شکل ۹ نمودار دمای همگن‌شدگی - شوری [۱۸] برای تعیین خاستگاه احتمالی سیال‌های گرمایی در منطقه خوینرود که در آن نقاط مربوط به یافته‌های میانبارها به طور عمده در گستره کانسارهای نوع فراگرمایی واقع هستند.

جدول ۲ مقایسه ویژگی‌های ذخیره مس - طلای خوینرود با برخی از کانسارهای فراگرمایی نوع سولفیدشدگی پایین در ایران.

ویژگی	شلنگ	شمال بزمان	کالچویه	قره‌چای	خوینرود
سنگ میزبان	توف، آندزیت و داسیت	آندزیت و توف	پیروکسن آندزیت و تراکی آندزیت	آندزیت و آلکالی گرانیت	کوارتزموزنویت و دیوریت
دگرسانی	پروپیلیتیک، آرژلیک حدواسط، سیلیسی و کربناتی	پروپیلیتیک، آرژلیک، سربستی، کربناتی و سیلیسی	پروپیلیتیک و سیلیسی	سیلیسی، فیلیک، فیلیک-آرژلیک و پروپیلیتیک	سیلیسی، فیلیک، آرژلیک و پروپیلیتیک
کانه‌ها	کالکوپیریت، پیریت و مگنتیت	پیریت، اسفالریت، گالن، طلا، الکتروم، کالکوپیریت، بورنیت، تنانتیت و انارژیت	کالکوپیریت، گالن، پیریت و مگنتیت	پیریت، کالکوپیریت و طلا	کالکوپیریت، پیریت، بورنیت و طلا
بافت	گل کلمی، شانه‌ای، قشرگونه، دانه‌ای، پرماندند، برشی، تیغه‌ای و جانشین	کولفرم، حفره‌ای، قشری، شانه‌ای، نواری و برش‌های گرمایی	پرکننده فضای خالی و رگه‌ای	برشی، پوسته‌ای، شانه‌ای و حفره‌ای	نواری، شانه‌ای، پرکننده فضای خالی، حفره‌ای و برشی
فلزها	مس، سرب، روی، طلا و نقره	طلا	مس	طلا	مس - طلا
دمای سیال (°C)	۳۱۳-۲۲۶	۲۹۶-۱۹۰	۳۲۴-۱۷۵	۳۴۰-۲۰۰	۳۸۰-۱۴۰
شوری سیال (wt.% NaCl)	۳٫۹-۴٫۹	۱٫۷-۲۲٫۷۷	۰٫۹-۱۶۶٫۱۸۸	۶٫۱۱-۲٫۷	۲۰-۸
مرجع	[۳۱]	[۳۲]	[۳۳]	[۳۴]	این پژوهش



شکل ۱۰ الف) نمودار شوری نسبت به دمای همگن‌شدگی [۳۵] برای مشخص کردن نوع کمپلکس‌های حمل‌کننده فلزها، که براساس آن، هر دو کمپلکس‌های سولفیدی و کلریدی در حمل و انتقال فلزهای کانسنگی در سیال‌های کانه‌ساز منطقه خوینرود نقش داشته‌اند و ب) نمودار شوری - دمای همگن‌شدگی [۲۰، ۱۸] برای یافته‌های میانبارهای سیال منطقه خوینرود که نشان‌دهنده فرآیندهای جوشش، سرد شدن و رقیق‌شدگی با سیال‌های جوی طی دگرگونی سیال گرمایی است.

برداشت

مهمترین نتایج به دست آمده از بررسی‌های سنگ‌نگاری، پهنه‌های دگرسانی و کانی‌سازی به همراه یافته‌های میانبارهای سیال در منطقه خوینرود به شرح زیر هستند:

۱- کانی‌سازی در منطقه خوینرود به صورت رگه- رگچه‌های کوارتزی در راستای پهنه‌های گسلی و درون شکستگی‌ها و طی دو مرحله درونزاد و برونزاد انجام شده است. توده‌های نفوذی با ترکیب کوارتزمونزونیتی و دیوریتی سنگ‌های میزبان این کانه‌زایی هستند.

۲- دگرسانی‌های سیلیسی، فلیک، آرژلیک و پروپیلیتیک پیرامون رگه- رگچه‌های کوارتزی گسترش یافته‌اند. بافت‌های نواری، شانه‌ای، پرکننده فضای خالی، حفره‌ای و برشی در رگه- رگچه‌های کوارتزی شناسایی شدند. کانه‌زایی درونزاد با حضور کانی‌های کالکوپیریت، پیریت، بونیت و طلا مشخص می‌شود که با کانی‌های برونزاد از جمله اکسیدها و هیدروکسیدهای آهن (گوتیت، همتایت و جاروسیت)، کربنات‌های مس (مالاکیت و آزوریت) و سولفیدهای ثانویه مس (کولیت و کالکوسیت) پوشانده شده‌اند.

۳- بر اساس مقدار فاز اصلی، سه نوع میانبار سیال (دوفازی غنی از مایع، دوفازی غنی از گاز و تک‌فاز گازی) شناسایی شد. بررسی‌های دماسنجی بر میانبارهای سیال دوفازی غنی از مایع موجود در کانی کوارتز تشکیل شده در زمان کانی‌سازی نشان داد که شوری آنها در گستره ۸ تا ۲۰ درصد وزنی معادل نمک طعام و دمای همگن‌شدگی آنها در گستره ۱۴۰ تا ۳۸۰ درجه سانتی‌گراد در تغییر است.

۴- بر پایه نتایج دماسنجی میانبارهای سیال، سیال‌های کانه‌ساز دارای چگالی ۰٫۶۸ تا ۱ گرم بر سانتی‌متر مکعب و فشار حدود ۵۰ بار بوده‌اند که بر پایه این مقدار فشار، عمق کانی‌سازی حدود ۵۰۰ متری زیر سطح ایستایی برآورد شد. همچنین نتایج دماسنجی میانبارهای سیال نشان داد که کمپلکس‌های سولفیدی و کلریدی نقشی مهم در حمل فلزهای کانسنگی داشته‌اند و فرآیندهای جوشش، سرد شدن و رقیق‌شدگی با سیال‌های جوی از عوامل مؤثر در نهشت کانی‌های کانسنگی بوده‌اند.

۵- بررسی کانی‌شناسی کانی‌های سولفیدی، بافت‌های موجود در رگه- رگچه‌های کوارتز و یافته‌های میانبارهای سیال گویای آن است که کانی‌سازی در منطقه خوینرود را می‌توان از نوع ذخایر فراگرمایی نوع سولفیدیگی پایین در نظر گرفت.

قدردانی

بدین وسیله از زحمات جناب آقای مهندس علیزاده، مدیریت محترم شرکت فلزات پایه خوینرود که با فراهم کردن شرایط بازدید از منطقه و نمونه‌برداری نقش به‌سزایی در انجام هر چه بهتر این پژوهش بر عهده داشته‌اند، سپاسگزاری می‌شود.

مراجع

- [1] Nabavi M.H., "An introduction to the Iranian geology (in Persian)", Geological Survey of Iran, (1976) 110p.
- [2] Mehrpartou M., Aminifazl, A., Radfar J., "Geological map of the Varzaghan (1:100000 scale) (in Persian)", Geological Survey of Iran, Tehran (1992).
- [3] Ghorbani M., "An introduction to economic geology of Iran (in Persian)", Geological Survey and Mineral Exploration of Iran (2002) 659p.
- [4] Maghsoudi A., Rahmani M., Rashidi B., "Gold deposits and indications of Iran (in Persian)", Arian Zamin publication (2004) 364p.
- [5] Calagari A.A., "Geology and fracture- related hypogene hydrothermal alteration and mineralization of porphyry copper deposit at Sungun, Iran", Journal Geological Society of India 64 (2004) 595-618.
- [6] Sheikh S, Calagari A.A., Abedini A., "The mineralogy of alteration systems in Masjedaghi, east of Jolfa, East - Azarbaijan Province (in Persian)", Iranian Journal of Crystallography and Mineralogy 17 (4) (2010) 579-590.
- [7] Atalou S., Nazafati N., Lotfi M., Aghazadeh M., "Fluid inclusion investigations of the Masjed Daghi copper-gold porphyry-epithermal mineralization, East Azerbaijan Province, NW Iran", Open Journal of Geology 7(8) (2017) 1110-1127.
- [8] Pournik P., "Economic geology and Au exploration at Sharafabad-Hizehjan area (northwest of Varzaghan) (in Persian with English abstract)", Institute of Earth Science, Geological Survey of Iran (2002) 201p.

- [18] Wilkinson J.J., "Fluid inclusions in hydrothermal ore deposits", *Lithos* 55 (2001) 229-272.
- [19] Roedder E., "Discussion of a reassessment of phase-equilibria involving 2 liquids in the system $K_2O-Al_2O_3-FeO-SiO_2$ ", *Contributions to Mineralogy and Petrology* 82 (1984) 284-290.
- [20] Shepherd T.J., Rankin A.H., Alderton D.H., "A practical guide to fluid inclusion studies", Blackie, Glasgow (1985) 239p.
- [21] Bodnar R.J., "Introduction to aqueous-electrolyte fluid inclusions", In: Samson I., Anderson A., Marshal D., (Editors), *Fluid inclusions: Analysis and interpretation*. Mineralogical Association of Canada, Short Course 32 (2003) 81-100.
- [22] Simmons S.F., White N.C., John, D.A., "Geological characteristics of epithermal precious and base metal deposits", In: Hedenquist J.W., Thompson J.F.H., Goldfarb R.J., Richards J.P., (Editors), *Economic Geology One Hundredth Anniversary Volume*, Society of Economic Geologists, Littleton (2005) 485-522.
- [23] Moncada D., Mutchler S., Nieto A., Reynolds T.J., Rimstidt J.D., Bodnar R.J., "Mineral textures and fluid inclusion petrography of the epithermal Ag-Au deposits at Guanajuato, Mexico: Application to exploration", *Journal of Geochemical Exploration* 114 (2012) 20-35.
- [24] Bodnar, R.J., Lecumberri-Sanchez P., Moncada D., Steele-MacInnis M., "Fluid Inclusions in Hydrothermal Ore Deposits", In: Holland H.D., Turekian K.K., (Editors), *Treatise on Geochemistry*. Elsevier, Oxford (2014) 119-142.
- [25] Bodnar R.J., "A method of calculating fluid inclusion volumes based on vapor bubble diameters and PVTX properties of inclusion fluid", *Economic Geology* 78(3) (1983) 535-542.
- [26] Hedenquist J.W., Arribas A.R., Gonzalez-Urien E., "Exploration for epithermal gold deposits", In: Hagemann S.G., Brown P.E., (Editors), *Gold in 2000*, Society of Economic Geologists, Littleton (2000) 245-277.
- [27] Dong G., Morrison G., Jaireth S., "Quartz textures in epithermal veins, Queensland
- [9] Ghadimzadeh H., "Economic geology and Au exploration at Safikhanlou-Noghdouz area (SE Ahar) (in Persian with English abstract)", MSc Thesis, Institute of Earth Science, Geological Survey of Iran (2002) 232p.
- [10] Miranvari A.S., Calagari A.A., Siahcheshm K., Sohrabi G., "Investigation of genesis and fluid origin in Noghdouz gold bearing quartz veins, East Azarbaijan Province, northwest of Iran (in Persian)", *Iranian Journal of Crystallography and Mineralogy* 27 (3) (2019) 551-564.
- [11] Baniadam F., "Geology and genesis of gold-copper mineralization in Nabijan area (in Persian with English abstract)", MSc Thesis, Institute of Geoscience, Geological Survey of Iran (2003) 167p.
- [12] Gharesi M., Rasa I., Yazdi M., "Investigation of Mazraeh Skarn mineralization, North of Ahar, with an emphasis on fluid inclusion studies (in Persian)", *Iranian Journal of Crystallography and Mineralogy* 26 (1) (2018) 229-244.
- [13] Ferdowsi R., Calagari A.A., Hosseinzadeh M.R., Siahcheshm K., "Petrography, geochemistry and mineral chemistry of Astarghan granodioritic stock, Kharvana, East-Azarbaidjan (in Persian)", *Iranian Journal of Crystallography and Mineralogy* 23 (4) (2016) 759-774.
- [14] Momenzadeh M., "Evaluation of the known ore deposits in Ahar rectangle (in Persian)", Geological Survey and Mineral Exploration of Iran, Tehran, Report (1985).
- [15] Mobasher A., Azarm F., "Investigation and introduction of the potential of gold and other elements in the Khoynaroud area (northwest of Ahar) using the geochemical method and heavy minerals at 1:20000 scale (in Persian)", Geological Survey and Mineral Exploration of Iran, Tehran, Report (1991) 117p.
- [16] ESPEER Group., "Report of exploration of the Khoynaroud mineralized area (north of Varzaghan city, East Azarbaijan province) for the purpose of exploration of precious and base metals (in Persian)", Geological Survey and Mineral Exploration of Iran, Tehran (2006).
- [17] Whitney D.L., Evans B.W., "Abbreviations for names of rock-forming minerals", *American Mineralogist* 95 (2010) 185-187.

- [32] Omidvar Eshkalak M.R., Mokhtari A.A., "Geology, alteration, geochemistry and fluid inclusion of Au mineralization in the north Bazman (in Persian)", Journal of Geosciences 24 (95) (2015) 165-180.
- [33] Hosseini Dinani H., Bagheri H., Shamsipour Dehkordi R., "Mineralization and geochemical studies in the Kalchouyeh occurrence, southwest of Naein (in Persian)", Journal of Economic Geology 4 (2) (2012) 241-256.
- [34] Hassani Soughi Z., Calagari A.A., Sohrabi Gh., "Gold-sulfide mineralization and microthermometry in quartz veins/veinlets in the Gharehchay area, south of Tikmehdash, East-Azarbaidjan province (in Persian)", Iranian Journal of Crystallography and Mineralogy (29) (1) (2021) 97-110.
- [35] Pirajno F., "Hydrothermal processes and mineral systems", Springer Science, New York (2009) 1273p.
- "Classification, origin, and implication", Economic Geology 90(6) (1995) 1841-1856.
- [28] Cooke D.R., Mcpall D.C., Bloom M.S., "Epithermal gold mineralization, Acupan, Baguio District, Philipines, geology, mineralization, alteration and the thermochemical environment of ore deposition", Economic Geology 91(2) (1996) 243-272.
- [29] Sparkes G.W., "A prospector's guide to alteration and epithermal gold mineralization-Examples from Eastern Avalon", Technical Report, Geological Survey Newfoundland and Labrador, Canada (2012) 27p.
- [30] Corbett G., "Epithermal gold for explorationists", Australian Institute of Geoscientists 1 (2002) 1-26.
- [31] Salehi Tinooni M., Abedini A., Calagari A.A., "Investigation of mineralization, REE geochemistry, and fluid inclusions studies of the Shalang vein-type polymetallic ore deposit, southwest of Kerman (in Persian)", Iranian Journal of Crystallography and Mineralogy 27 (4) (2019) 767-780.