

بررسی نوع و خاستگاه کانه‌زایی مس در رخدادهای معدنی علی‌آباد موسوی - خان‌چای، خاور زنجان، با استفاده از داده‌های سنگ‌شناسی، کانی‌شناسی و زمین‌شیمیایی

میرعلی اصغر مختاری^۱، حسین کوهستانی^{۱*} و عارفه سعیدی^۲

^۱استادیار، گروه زمین‌شناسی، دانشکده علوم، دانشگاه زنجان، زنجان، ایران
^۲کارشناسی ارشد، گروه زمین‌شناسی، دانشکده علوم، دانشگاه زنجان، زنجان، ایران

تاریخ دریافت: ۱۳۹۴/۰۵/۰۵ تاریخ پذیرش: ۱۳۹۴/۱۱/۰۷

چکیده

رخدادهای معدنی مس علی‌آباد موسوی - خان‌چای در منطقه طارم و در فاصله ۳۰ کیلومتری خاور زنجان جای گرفته است. سنگ‌های رخنمون یافته در منطقه شامل مجموعه‌ای از سنگ‌های آتشفشانی و آتشفشانی-رسوبی ائوسن (معادل سازند کرج) است که توسط توده‌های نفوذی الیگوسن با ترکیب کلی کوارتز مونوزونیتی مورد هجوم قرار گرفته‌اند. کانه‌زایی مس در این منطقه به صورت رگه و رگچه‌های کوارتزی مس‌دار درون واحدهای توفی حدواسط و گدازه‌های آندزیتی رخ داده است. بر پایه مطالعات میکروسکوپی، کانه‌های موجود در کانی‌سازی منطقه مورد مطالعه شامل کالکوپیریت و به مقدار کمتر پیریت و اولیژیست و کانی‌های باطله شامل کوارتز و کلریت است. بافت کانه‌ها شامل دانه پراکنده، رگه - رگچه‌ای، پرشی، پرکننده فضاهای خالی و جانیشینی است. دگرسانی‌های موجود شامل سیلیسی و کلریتی شدن در بخش‌های کانه‌دار است. دو مرحله کانه‌زایی اولیه و ثانویه در رخدادهای معدنی مس علی‌آباد موسوی - خان‌چای قابل تشخیص است. کانه‌زایی مرحله اولیه با تشکیل پیریت و کالکوپیریت‌های دانه پراکنده درون واحدهای توفی و گدازه‌ای (زیرمرحله اول) آغاز و به ترتیب با ته‌نشست کوارتز، کالکوپیریت و پیریت در رگه‌ها و سیمان گرمایی پرش‌ها (زیرمرحله دوم)، رگچه‌های منفرد و یا دسته‌رگچه‌های نیمه‌موازی تا متقاطع کوارتز (زیرمرحله سوم) و سرانجام رگه و رگچه‌های کوارتزی - اولیژیستی (زیرمرحله چهارم) مشخص می‌شود. مالاکیت، آزوریت و هیدروکسیدهای آهن با بافت‌های رگه - رگچه‌ای و پرکننده فضاهای خالی در مرحله ثانویه تشکیل شده‌اند. مقایسه الگوی عناصر خاکی کمیاب در سنگ‌های میزبان بدون کانه‌زایی و بخش‌های کانه‌دار بیانگر غنی‌شدگی این عناصر در بخش‌های کانه‌دار است. این امر می‌تواند نشان‌دهنده بالا بودن غلظت عناصر خاکی کمیاب در سیال‌های کانه‌ساز و یا واکنش بالای سیال به سنگ در منطقه علی‌آباد موسوی - خان‌چای باشد. غنی‌شدگی عناصر کانه‌ساز (Zn و Pb، Cu) در بخش‌های کانه‌دار بیانگر شسته‌شدن عناصر از سنگ میزبان دگرسان شده به بخش‌های کانه‌دار توسط سیال‌های کانه‌ساز است. ویژگی‌های رخدادهای معدنی مس علی‌آباد موسوی - خان‌چای با کانسارهای مس نوع رگه‌ای قابل مقایسه است.

کلیدواژه‌ها: کانه‌زایی مس، نوع رگه‌ای، علی‌آباد موسوی - خان‌چای، طارم، زنجان.

*نویسنده مسئول: حسین کوهستانی

E-mail: kouhestani@znu.ac.ir

۱- پیش‌نویس

برای اکتشاف کانه‌زایی‌های مشابه را در کمر بند فلز زایی طارم - هشتجین معرفی کند و به عنوان الگوی اکتشافی مورد استفاده قرار گیرد.

۲- روش مطالعه

به منظور مطالعه زمین‌شناسی و کانه‌زایی منطقه مورد مطالعه، افزون بر انجام مطالعات صحرایی و تهیه نقشه زمین‌شناسی با مقیاس ۱:۱۰۰۰۰۰، ۳۲ مقطع نازک، ۶ مقطع نازک - صیقلی و ۳ مقطع صیقلی از واحدهای سنگی و بخش‌های کانه‌دار تهیه و مطالعه شد. سپس بر پایه تغییرات سنگ‌شناسی، دگرسانی و کانه‌زایی، ۴ نمونه از واحدهای سنگی و بخش‌های کانه‌دار برای تعیین میزان عناصر کمیاب و خاکی کمیاب به روش ICP-MS در آزمایشگاه شرکت کیمیا پژوه البرز در اصفهان، تجزیه شد.

۳- زمین‌شناسی و سنگ‌شناسی منطقه مورد مطالعه

با توجه به نقشه زمین‌شناسی ۱:۱۰۰۰۰۰ طارم (امینی، ۱۳۷۹) و بر پایه مطالعات صحرایی انجام شده، واحدهای سنگی رخنمون یافته در منطقه شامل مجموعه‌ای از سنگ‌های آتشفشانی و آتشفشانی-رسوبی ائوسن است که توسط توده‌های نفوذی الیگوسن با ترکیب کلی کوارتز مونوزونیتی قطع شده‌اند (شکل ۱). واحدهای ائوسن در منطقه طارم هم‌ارز با بخش‌های جوان‌تر سازند کرج در نظر گرفته شده و به دو عضو کردکند و آمدن تقسیم شده‌اند (Hirayama et al., 1966). بر این اساس، واحدهای سنگی موجود در منطقه مورد مطالعه متعلق به عضو کردکند هستند. زمین‌شناسی این واحدها به شرح زیر است:

رخدادهای معدنی مس علی‌آباد موسوی - خان‌چای در فاصله ۳۰ کیلومتری خاور زنجان، در محدوده‌ای با طول جغرافیایی ۴۸° ۴۱' تا ۴۸° ۴۸' و عرض جغرافیایی ۳۶° ۴۲' تا ۳۶° ۴۸' شمالی، در بخش مرکزی بر گره ۱:۱۰۰۰۰۰ طارم (امینی، ۱۳۷۹) جای گرفته است. بر پایه تقسیمات پهنه‌های ساختاری-رسوبی ایران (Alavi, 1994)، این رخدادهای معدنی در پهنه البرز و زیرپهنه طارم قرار می‌گیرد. از دیدگاه فلز زایی، کمر بند فلز زایی طارم - هشتجین میزبان انواع مهمی از کانه‌زایی‌های فلزی آهن، مس و پلاست (قربانی، ۱۳۸۶). از کانسارها و رخدادهای معدنی مهم موجود در این کمر بند می‌توان به آهن مروارید (ناتیان و همکاران، ۱۳۸۶؛ مظهری، ۱۳۸۹؛ ناتیان و قادری، ۱۳۹۳)، سرخه‌دیزج (مؤید و مودن، ۱۳۸۰) و ذاکر (مؤید و مودن، ۱۳۸۰؛ ناتیان و همکاران، ۱۳۸۶؛ ناتیان، ۱۳۸۷؛ خان‌محمدی و همکاران، ۱۳۸۸)، مس رشت‌آباد (خاکزاد و حاج‌علیلو، ۱۳۷۸)، ماری (حاتمی و همکاران، ۱۳۹۰)، علی‌آباد (کوهستانی و مختاری، ۱۳۹۲)، طلای گلوچه (مهرابی و همکاران، ۱۳۸۸ و ۱۳۸۹) و لهنه (مافی و همکاران، ۱۳۹۰) اشاره کرد. این کانی‌زایی‌ها، بیشتر سن ترشیری دارند (Hirayama et al., 1966).

مطالعات اکتشافی روی کانی‌سازی مس در منطقه علی‌آباد موسوی - خان‌چای توسط مهندسین مشاور کان ایران (۱۳۷۷) و کوهستانی و مختاری (۱۳۹۲) انجام شده است، ولی مطالعات پژوهشی دقیق روی ویژگی‌های آن تاکنون صورت نگرفته است. بر این اساس، در این نوشتار، ویژگی‌های زمین‌شناسی، کانه‌زایی و زمین‌شیمیایی این رخدادهای معدنی، مورد بررسی قرار گرفته و نوع کانه‌زایی و خاستگاه آن تعیین شده است. مطالعه دقیق این نوع کانه‌زایی‌ها می‌تواند عوامل کلیدی توزیع زمانی و مکانی

این توده‌ها به درون واحدهای آذرآواری ائوسن (واحدهای توفی E_k^{11} و E_k^{13}) نفوذ (شکل‌های ۱ و ۲- الف و ب) و در محل تماس، هاله‌های دگرگونی مجاورتی (هورنفلسی شدن) ایجاد کرده‌اند.

افزون بر واحدهای یادشده، درون واحدهای آتشفشانی- رسوبی منطقه، به‌ویژه درون واحد توفی E_k^{11} ، دایک‌هایی از نوع آندزیتی- تراکی آندزیتی با بافت پورفیری وجود دارد. این سنگ‌ها به رنگ عمومی خاکستری روشن تا مایل به سبز هستند و با راستای عمومی شمالی- جنوبی در منطقه دیده می‌شوند. ستبرای این دایک‌ها تا ۱۰ متر می‌رسد و ادامه آنها به سوی توده نفوذی، درون توده قابل پیگیری نیست. این موضوع بیانگر سن نسبی جوان‌تر توده‌های نفوذی در مقایسه با دایک‌هاست. از سوی دیگر، امتداد رگه‌های کوارتزی کانه‌دار در بخش مرکزی منطقه، دایک‌ها را قطع کرده است که این موضوع نیز بیانگر جوان‌تر بودن سن کانی‌سازی در مقایسه با دایک‌هاست.

۴- کانه‌زایی

بر پایه مطالعات صحرایی، کانه‌زایی مس در منطقه علی‌آباد موسوی- خان‌چای به صورت رگه و رگچه‌ای درون واحدهای آتشفشانی و آتشفشانی- رسوبی ائوسن رخ داده است. کانه‌زایی اصلی در بخش مرکزی منطقه و به صورت رگه و رگچه‌های کوارتزی به درازای تقریبی ۶۰۰ متر و ستبرای تا ۳ متر (متوسط ۱/۵ متر) در امتداد شمال خاوری- جنوب باختری (N40E) و شیب نزدیک به ۷۰ درجه به سوی شمال باختری (N50W) درون کریستال‌توف‌ها و لیتیک کریستال‌توف‌های واحد E_k^{11} رخ داده است (شکل‌های ۳- الف و ب). کانه‌زایی مس در رخنمون‌های سنگی این بخش شامل کالکوپیریت و آغشتگی‌های مالاکیت و آزوریت است (شکل‌های ۳- پ و ت). بخش دوم کانه‌زایی در بخش خاوری منطقه و به صورت رگه و رگچه‌های کوارتزی مس‌دار با میزبان گدازه‌های آندزیتی (واحد E_k^{11}) و واحد کریستال توفی رخ داده است. رگه کانه‌دار اصلی در این بخش حدود ۱۵۰ متر درازا، یک متر ستبرای و همانند رگه بخش مرکزی امتداد شمال خاوری- جنوب باختری (N40E) دارد و شیب آن ۶۸ درجه به سوی شمال باختری (N50W) است (شکل ۳- ث). پهنه دارای کانی‌سازی رگچه‌ای حدود ۵۰ متر ستبرای دارد. ستبرای رگچه‌های کانه‌دار در این پهنه از چند میلی‌متر تا بیشینه ۵ سانتی‌متر متغیر است. کانه‌زایی مس در رخنمون‌های سنگی بخش خاوری شامل کالکوپیریت، پیریت و آغشتگی‌های مالاکیت و گاه آزوریت است (شکل‌های ۳- ج و چ).

بر پایه مطالعات صحرایی و میکروسکوپی انجام شده، کانه‌زایی مس در منطقه علی‌آباد موسوی- خان‌چای به دو مرحله اولیه و ثانویه قابل تفکیک است. روابط بافتی و مجموعه کانی‌شناسی موجود در بخش‌های کانه‌دار نشان می‌دهد که ته‌نشست کانی‌ها در مرحله اولیه به صورت یک توالی پیوسته در چهار زیرمرحله رخ داده است. در ابتدای این مرحله (زیرمرحله اول)، تزریق سیال‌های کانه‌ساز به درون توف‌ها و گدازه‌های منطقه سبب تشکیل پیریت و کالکوپیریت‌های دانه‌پراکنده و گاه رگچه‌ای شده است. به دلیل نفوذپذیری بالاتر توف‌ها، شدت کانه‌زایی سولفیدی یاد شده در واحدهای توفی بیشتر از گدازه‌هاست. گسترش این کانه‌زایی در رخدادهای معدنی مس علی‌آباد موسوی- خان‌چای زیاد نیست و تنها شواهدی از آن به صورت خرده‌سنگ‌ها و خرده کانی‌های گردشده دیده می‌شود (شکل‌های ۴- الف تا پ). ادامه کانی‌سازی در مرحله اولیه با ته‌نشست کالکوپیریت، پیریت و کوارتز در رگه‌ها و سیمان‌گرمایی پرش‌ها (زیرمرحله دوم) مشخص می‌شود (شکل‌های ۴- ت و ث). ستبرای رگه‌ها تا بیشینه ۵ میلی‌متر تغییر می‌کند. کالکوپیریت بیشتر به صورت بلورهای شکل‌دار تا نیمه‌شکل‌دار و گاه بی‌شکل و پیریت به صورت بلورهای بی‌شکل تا نیمه‌شکل‌دار دیده می‌شود. پیریت فراوانی بسیار کمتری نسبت به کالکوپیریت دارد. کوارتزها معمولاً به صورت بلورهای درشت شکل‌دار تا نیمه‌شکل‌دار دیده می‌شوند

– **واحد E_k^{11} :** این واحد شامل گدازه‌های آندزیتی خاکستری تا صورتی رنگ است که به‌طور همیشگی با واحد توفی E_k^{11} پوشیده شده و توسط توده نفوذی کوارتزومونزوگابرویی- کوارتزومونزونیته مورد هجوم قرار گرفته‌اند (شکل ۲- الف). نتایج مطالعات سنگ‌نگاری نشان می‌دهد که این گدازه‌ها دارای بافت پورفیری با درشت‌بلورهای شکل‌دار پلاژیوکلاز (گاهی تا اندازه ۱ سانتی‌متر) در زمینه‌ای دانه‌ریز متشکل از تیغه‌های پلاژیوکلاز و کانی‌های مافیک کلریتی شده هستند.

– **واحد E_k^{12} :** این واحد گسترده‌ترین واحد سنگی موجود در منطقه است و شامل تناوبی از لایه‌های نازک تا متوسط توف (کریستال‌توف)، کریستال‌لیتیک‌توف، لیتیک کریستال‌توف و خاکستر توف)، توف ماسه‌ای، ماسه‌سنگ توفی، ماسه‌سنگ و سیلت سنگ به رنگ خاکستری تیره تا متمایل به بنفش است که در بخش قاعده‌ای آن، لایه‌های شیل و سیلت سنگ خاکستری رنگ رخنمون دارند. واحد E_k^{11} به صورت همیشگی روی واحد گدازه آندزیتی E_k^{11} جای گرفته است و خود به صورت همیشگی با واحد توفی روشن رنگ E_k^{12} پوشیده می‌شود (شکل‌های ۲- الف و ب). روند عمومی لایه‌های این واحد شمال باختری- جنوب خاوری با شیب متوسط ۱۵ تا ۲۵ درجه به سوی جنوب باختری است. در بخش‌های بالایی این واحد، میان‌لایه‌هایی از گدازه‌های بازالتی تیره رنگ (واحد E_k^{12}) رخنمون دارد. نتایج مطالعات سنگ‌نگاری نشان می‌دهد که این گدازه‌ها دارای بافت پورفیری و گلوپورفیری متشکل از درشت‌بلورهای پلاژیوکلاز، کلینوپیروکسن و اولوین در زمینه‌ای ریزبلور از جنس همان کانی‌ها هستند. واحد E_k^{11} توسط توده نفوذی کوارتزومونزوگابرویی مورد هجوم قرار گرفته و هاله دگرگونی مجاورتی ضعیفی در پیرامون آن تشکیل شده است. درجه دگرگونی در حد رخساره آلپیت- اپیدوت هورنفلس است و ستبرای هاله دگرگونی تا ۵۰ متر می‌رسد.

– **واحد E_k^{12} :** این واحد شامل توف پرش، توف پامیسی و توف جوش خورده در بخش زیرین و لیتیک‌توف، کریستال‌توف و خاکستر توف در بخش بالایی است. واحد E_k^{12} به دلیل رنگ روشن‌تر از واحدهای مجاور، ترکیب اسیدی، گسترش زیاد و ستبرای کم (تا ۲۰ متر)، در منطقه علی‌آباد موسوی- خان‌چای و مناطق مجاور به‌عنوان لایه راهنما قابل شناسایی است. این واحد لایه‌بندی متوسط تا ستبر دارد؛ به صورت همیشگی روی واحد E_k^{11} جای گرفته است و خود توسط واحد گدازه‌ای- توفی E_k^{13} پوشیده می‌شود (شکل‌های ۲- الف و ب). گذر این توف‌ها به واحدهای توفی و رسوبات زیرین، ناگهانی و همراه با نمود چینه‌ای ضعیف است.

– **واحد E_k^{13} :** این واحد شامل تناوبی از گدازه‌های آندزیتی و آندزیت بازالتی و توف‌های حدواسط به رنگ سبز تا خاکستری مایل به قهوه‌ای با میان‌لایه‌هایی از ماسه‌سنگ، سیلت سنگ و گل سنگ است. واحد E_k^{13} به صورت همیشگی روی واحد E_k^{12} جای گرفته است و خود توسط واحد توفی- ماسه‌سنگی E_k^{13} به صورت همیشگی پوشیده می‌شود (شکل‌های ۲- الف و ب).

– **واحد E_k^{13} :** این واحد از تناوب لایه‌های متوسط تا ستبر ماسه‌سنگ، سیلت سنگ، ماسه‌سنگ توفی، توف ماسه‌ای و توف (کریستال‌توف و لیتیک کریستال‌توف) و گاه شیل به رنگ خاکستری تیره تا خاکستری مایل به سبز تشکیل شده است.

– **توده‌های نفوذی (Mz-gh):** این توده‌ها که در پیرامون روستاهای علی‌آباد و خان‌چای رخنمون دارند، توده‌های نیمه‌ژرف با ترکیب کانی‌شناسی کوارتزومونزوگابرویی- کوارتزومونزونیته هستند. در مقاطع میکروسکوپی، بافت آنها پورفیری تا پورفیروئیدی، هتروگرانولار تا سری‌ایتی، افیتیک، ساب‌افیتیک و غربالی بوده و کانی‌های تشکیل‌دهنده آنها پلاژیوکلاز، کلینوپیروکسن، آمفیبول، فلدسپار قلیایی (ارتوز) و بیوتیت است. مجموعه کانی‌های یاد شده، در زمینه‌ای ریزبلور متشکل از کوارتز و فلدسپار (پلاژیوکلاز و فلدسپار قلیایی) حضور دارند. ترکیب این توده‌ها در بخش‌های قاعده‌ای و تراز ارتفاعی پایین، کوارتزومونزوگابرو و در بخش‌های بالایی و مرتفع، کوارتزومونزودوریت و حتی کوارتزومونزونیته است.

(شکل‌های ۶-ث و ج) و اندازه‌ای کمتر از ۱ میلی‌متر تا چند سانتی‌متر دارند. بر پایه اندازه بلورها، کوارتزهای موجود را می‌توان در دو دسته ریزبلور و درشت‌بلور (Dong et al., 1995; Kouhestani et al., 2012) تقسیم‌بندی کرد. کلریت معمولاً در رگچه‌ها و یا حفرات دیده می‌شود.

بر پایه مطالعات صحرایی، نمونه دستی و میکروسکوپی، توالی پاراژنری کانی‌ها در منطقه علی‌آباد موسوی-خان‌چای را می‌توان به دو مرحله اولیه و ثانویه تقسیم کرد (شکل ۷). با توجه به ترکیب کانی‌شناسی و روابط بافتی، مرحله اولیه به چهار زیرمرحله قابل تفکیک است. زیرمرحله اول با حضور پیریت و کالکوپیریت با بافت دانه‌پراکنده و گاه رگچه‌ای مشخص می‌شود. زیرمرحله دوم با تشکیل بخش‌های کوارتز-سولفیدی (کالکوپیریت و پیریت) به صورت رگه-رگچه‌ای و سیمان گرمابی برش‌های زیرمرحله اول است. کوارتز تشکیل‌دهنده اصلی زیرمرحله سوم است که به صورت رگچه‌های منفرد و یا دسته‌رگچه‌های نیمه‌موازی تا متقاطع مشخص می‌شود. زیرمرحله چهارم شامل رگه و رگچه‌های کوارتز-اولیژیستی است. تشکیل مالاکیت، آزوریت، کلریت و هیدروکسیدهای آهن با بافت‌های جانیشینی، رگچه‌ای، پُرکننده فضای خالی و بازماندی مربوط به مرحله ثانویه است.

تغییر در ترکیب کانی‌شناسی از سولفیدی به اکسیدی در توالی پاراژنری نهشته‌های معدنی به تغییرات فوگاسیته اکسیژن و گوگرد سیال‌کانه‌ساز ارتباط داده شده است (Cooke & Simmons, 2000). به این مفهوم که محلول‌کانه‌ساز در مراحل ابتدایی، ماهیت احیایی داشته است و کانی‌های سولفیدی (مانند پیریت و کالکوپیریت) از آن نهشته شده‌اند. به تدریج با افزایش نسبت آب‌های جوی اکسیژن‌دار، فوگاسیته اکسیژن بالا رفته و کانی‌های اکسیدی (اولیژیست) در مراحل پایانی کانه‌زایی نهشته شده است. تغییرات مشابهی برای برخی از کانه‌زایی‌های موجود در زیرپهنه طارم-هشتجین (مانند کانسارهای مس-طلاهی خلیفه‌لو و گلوچه) نیز گزارش شده است (مهرابی و همکاران، ۱۳۸۸؛ حسین‌زاده و همکاران، ۱۳۹۵).

۶- دگرسانی

بر پایه نتایج مطالعات صحرایی و میکروسکوپی، دگرسانی در منطقه علی‌آباد موسوی-خان‌چای گسترش چندانی ندارد و به بخش‌های سیلیسی و کلریتی شده بخش‌های کانه‌دار محدود می‌شود. در بیرون از بخش‌های کانه‌دار، دگرسانی به صورت سرسیستی-کلسیتی-کلریتی شدن (دگرسانی پروپلیتیک) سنگ‌های میزبان رخ داده است. دگرسانی سیلیسی بیشتر به صورت رگچه‌ای و یا سیمان گرمابی برش‌ها رخ داده و منطبق بر بخش‌های کانه‌دار است (شکل‌های ۸-الف و ب). ستبرای رگچه‌های کوارتز-اولیژیستی به یک سانتی‌متر می‌رسد. در مقطع نازک، بلورهای کوارتز موجود در این رگچه‌ها به صورت نیمه‌شکل‌دار تا بی‌شکل با اندازه‌های مختلف دیده می‌شوند. دگرسانی کلریتی به صورت رگچه‌ای رخ داده و یا فضای میان سیمان سیلیسی را پُر کرده است (شکل‌های ۸-پ و ت). دگرسانی پروپلیتیک گسترش زیادی در منطقه علی‌آباد موسوی-خان‌چای دارد و بیشتر در بخش‌های بیرونی پهنه‌های کانه‌زایی دیده می‌شود. این دگرسانی با سرسیستی، کرناتی و کلریتی شدن پلاژیوکلازها و کانی‌های مافیک سنگ مشخص می‌شود (شکل‌های ۸-ث و ج). کوارتز حاصل از این دگرسانی به میزان کم در زمینه سنگ دیده می‌شود. دگرسانی پروپلیتیک محدود کننده بخش بیرونی سامانه دگرسانی در منطقه است.

۷- داده‌های زمین‌شیمیایی بخش‌های کانه‌دار

در این بخش، ویژگی‌های زمین‌شیمیایی بخش‌های کانه‌دار در رخدادهای معدنی مس علی‌آباد موسوی-خان‌چای مورد بررسی قرار می‌گیرد. هدف از این مطالعات، تعیین غنی‌شدگی‌ها و تهی‌شدگی‌های عنصری مرتبط با دگرسانی‌های گرمابی در

و بافت‌شانه‌ای تا دندان‌سگی دارند. زیرمرحله سوم با ته‌نشست کوارتز به صورت رگچه‌های منفرد و یا دسته‌رگچه‌های نیمه‌موازی تا متقاطع مشخص می‌شود که رگه‌ها و برش‌های گرمابی زیرمرحله دوم را قطع کرده‌اند (شکل‌های ۴-ج و چ). هیچ گونه کانی سولفیدی در این زیرمرحله تشکیل نشده است. ستبرای رگه-رگچه‌های کوارتز تا ۲ میلی‌متر متغیر است. رگه-رگچه‌های این زیرمرحله توسط رگه-رگچه‌های زیرمرحله چهارم قطع شده‌اند. پایان ته‌نشست کانی‌ها در مرحله اولیه در رخداد معدنی مس علی‌آباد موسوی-خان‌چای مربوط به تغییر شرایط شیمیایی سیال‌کانه‌ساز از احیایی به اکسیدی است. این تغییر شرایط، سبب ته‌نشست رگه و رگچه‌های کوارتز-اولیژیستی در زیرمرحله چهارم شده است که زیرمرحله‌های کانه‌دار پیشین را قطع کرده‌اند. در مقیاس میکروسکوپی، این رگه-رگچه‌ها، ستبرایی حدود ۲ سانتی‌متر دارند و بافت پُرکننده فضای خالی نشان می‌دهند. در مقاطع میکروسکوپی، اولیژیست‌ها به صورت بلورهای شکل‌دار تا نیمه‌شکل‌دار در اندازه‌هایی تا یک میلی‌متر دیده می‌شوند (شکل‌های ۴-ج و خ).

بر پایه مطالب بالا، سه فاز تزریق رگچه‌های کوارتز به درون واحدهای سنگی منطقه رخ داده است که در این میان، فاز نخست با کانی‌های سولفیدی (پیریت و کالکوپیریت) همراه بوده و از دید کانی‌زایی دارای اهمیت است. فاز دوم بدون کانی‌های سولفیدی و فاز سوم با اولیژیست همراه است.

۵- کانی‌شناسی و ساخت و بافت ماده معدنی و مواد باطله

مطالعات کانه‌نگاری نمونه‌های برداشت‌شده از پهنه‌های کانه‌دار در منطقه علی‌آباد موسوی-خان‌چای بیانگر کانی‌شناسی ساده ماده معدنی در این منطقه است. بر پایه این مطالعات، کالکوپیریت و به مقدار کمتر پیریت و اولیژیست کانی‌شناسی اصلی ماده معدنی را تشکیل می‌دهند. مالاکیت، آزوریت، کولیت، دیژنیت، گوتیت و لپیدوکروسیت در اثر فرایندهای پروژاد تشکیل شده‌اند. کوارتز و کلریت کانی‌های اصلی مواد باطله در این رخداد معدنی هستند. بر پایه این مطالعات، بافت ماده معدنی در رخداد معدنی مس علی‌آباد موسوی-خان‌چای از نوع دانه‌پراکنده، رگه-رگچه‌ای، پرشی، پُرکننده فضای خالی و جانیشینی است (شکل ۵).

کالکوپیریت بیشتر به صورت بلورهای درشت شکل‌دار تا نیمه‌شکل‌دار و گاه بی‌شکل دیده و در بیشتر موارد از حاشیه‌ها و در امتداد شکستگی‌ها به کولیت و دیژنیت و یا گوتیت و لپیدوکروسیت دگرسان شده است (شکل ۶-الف). شدت دگرسانی گاه به حدی است که این کانی به طور کامل به گوتیت تبدیل شده و تنها بقایایی از آن به صورت بافت بازماندی و یا جزیره‌ای (Smirnov et al., 1983; Ineson, 1989) باقی مانده است. پیریت به صورت بلورهای بی‌شکل تا نیمه‌شکل‌دار ریز تا گاه درشت دیده می‌شود. این کانی بیشتر در همراهی با کالکوپیریت دیده می‌شود و نسبت به آن فراوانی بسیار کمتری دارد. پیریت معمولاً به گوتیت دگرسان شده (شکل ۶-ب) و گاه تنها بقایایی از آن باقی مانده است. پیریت‌ها بیشتر دانه‌پراکنده هستند و بافت حفره حفره نشان می‌دهند. اولیژیست معمولاً به صورت بلورهای تیغه‌ای درشت شکل‌دار تا نیمه‌شکل‌دار تا اندازه یک سانتی‌متر در رگه و رگچه‌های کوارتز-اولیژیستی دیده می‌شود (شکل ۶-پ). کولیت و دیژنیت حاصل فرایندهای دگرسانی کالکوپیریت هستند و بیشتر در حاشیه‌های دگرسان شده این بلور دیده می‌شوند (شکل ۶-ت). مالاکیت و آزوریت محصول دگرسانی کالکوپیریت هستند و حفرات و فضاهای خالی را پُر کرده‌اند (شکل ۶-ث). گوتیت و لپیدوکروسیت از دگرسانی کالکوپیریت و پیریت حاصل شده‌اند و گاه بافت کلوفرمی و شعاعی نشان می‌دهند. کوارتز و کلریت مواد باطله اصلی را در رخداد معدنی مس علی‌آباد موسوی-خان‌چای تشکیل می‌دهند. کوارتزها معمولاً به صورت بلورهای نیمه‌شکل‌دار تا بی‌شکل روشن، سفید و یا خاکستری‌رنگ در رگه-رگچه‌های کوارتز و سیمان گرمابی برش‌ها دیده شده

و Be غنی و از عناصر Ca و Cr تهی شده‌اند (شکل ۱۰-الف). در این بخش‌ها، عناصری مانند K، Sc و Hf تهی‌شدگی و عناصری مانند Th، Cs و Nb غنی‌شدگی مثبت کوچکی نشان می‌دهند. همچنین، کریستال‌توف دگرسان شده نسبت به کریستال‌توف سالم از عناصر K، Ca، Cr، Hf و Ta غنی‌شدگی و از عناصر Ba، Y، Th، V، Cs، Co، Sc، Li، Sr، Nb، Ga، Ni و Be تهی‌شدگی نشان می‌دهد (شکل ۱۰-الف). با توجه به نوع دگرسانی‌های منطقه، غنی‌شدگی در میزان کلسیم و پتاسیم را باید به‌ترتیب به دگرسانی‌های کربناتی و سرسیتی در کریستال‌توف دگرسان شده مرتبط دانست. همچنین، غلظت همه عناصر خاکی کمیاب در بخش‌های کانه‌دار نسبت به کریستال‌توف سالم، غنی شده است (شکل ۱۰-ب). در برابر آن، بیشتر این عناصر (به جز Pr و Eu، Ho) در کریستال‌توف دگرسان شده نسبت به کریستال‌توف سالم تهی‌شدگی نشان می‌دهند (شکل ۱۰-ب). غنی‌شدگی عناصر کمیاب و خاکی کمیاب در بخش‌های کانه‌دار و تهی‌شدگی آنها در کریستال‌توف‌های دگرسان شده، نشان‌دهنده واکنش بالای سیال به سنگ و تحرک این عناصر از سنگ میزبان به بخش‌های کانه‌دار (تراوش جانبی) است (Alderton et al., 1980). مقایسه غلظت عناصر کمیاب در بخش‌های کانه‌دار و میانگین توده نفوذی سالم خان‌چای نشان‌دهنده غنی‌شدگی عناصر V، Zn، Y، Ba، Cu، Pb، Ag، Sr، Li، Ni، Ga، Nb، Co، Cr، Sc، Hf و Be و تهی‌شدگی عناصر Zr و Ta در بخش‌های کانه‌دار است (شکل ۱۰-پ). همچنین، بخش‌های کانه‌دار نسبت به میانگین توده نفوذی خان‌چای از عناصر REE (به جز Lu) غنی شده‌اند (شکل ۱۰-ت). این غنی‌شدگی برای عناصر LREE بسیار بیشتر از عناصر HREE است. به‌طور کلی، با توجه به نمودارهای عنکبوتی (شکل ۹) و غنی‌شدگی - تهی‌شدگی عناصر (شکل ۱۰) می‌توان اظهار داشت که سیال‌های گرمایی مشتق شده از توده‌های کوارتزموئز و گابرویی الیگوسن و سیال‌های جوی گرم شده در مجاورت آنها سبب شسته شدن عناصر مختلف از توف‌ها و گدازه‌های ائوسن شده و این عناصر را در امتداد شکستگی‌های موجود در واحدهای میزبان به صورت رگه‌های کانه‌دار نهشته کرده‌اند. به بیان دیگر، با توجه به غنی‌شدگی عناصر فلزی (Cu، Pb و Zn) در بخش‌های کانه‌دار، می‌توان گفت که در اثر دگرسانی سنگ‌های میزبان در طول مسیر بالآمدگی سیال‌های ماگمایی مشتق از توده‌های کوارتزموئز و گابرویی و سیال‌های گرمایی با منشأ جوی، مس و عناصر همراه از سنگ‌های میزبان شسته و در طول شکستگی‌ها به صورت رگه‌ای نهشته شده‌اند.

۸- نوع و خاستگاه کانه‌زایی مس در رخدادهای معدنی علی‌آباد موسوی - خان‌چای

با توجه به مطالعات انجام شده در این پژوهش و همچنین مقایسه ویژگی‌های زمین‌شناسی، کانی‌شناسی و ساخت و بافت ماده معدنی در منطقه مورد مطالعه با نوع‌های مختلف کانسارهای مس، کانه‌زایی مس در منطقه علی‌آباد موسوی - خان‌چای شباهت زیادی با کانسارهای مس رگه‌ای دارد. بر پایه مطالعات صحرائی، میکروسکوپی و زمین‌شیمیایی، تکوین این رخدادهای معدنی را می‌توان به صورت یک توالی چهار مرحله‌ای خلاصه کرد:

مرحله نخست با تشکیل توالی‌های آتشفشانی و آتشفشانی-رسوبی ائوسن منطقه (امینی، ۱۳۷۹) همراه است (شکل ۱۱-الف). در مقیاس بزرگ‌تر، این واحدها بخش‌هایی از واحدهای کردکند معادل سازند کرج (Hirayama et al., 1966) به شمار می‌روند. در مرحله دوم، مجموعه‌های سنگی تشکیل شده در مرحله پیش توسط دایک‌هایی با ترکیب آندزیتی-تراکی آندزیتی قطع شده‌اند (شکل ۱۱-ب). مرحله سوم با نفوذ توده‌های کوارتزموئز و گابرویی الیگوسن (امینی، ۱۳۷۹؛ سعیدی، ۱۳۹۳؛ Nabatian et al., 2014) به درون توالی‌های آتشفشانی و آتشفشانی-رسوبی ائوسن مشخص می‌شود (شکل ۱۱-پ). ادامه نیافتن دایک‌های آندزیتی-تراکی آندزیتی

سنگ‌های میزبان و بخش‌های کانه‌دار است. نتایج تجزیه‌های شیمیایی نمونه‌های منطقه علی‌آباد موسوی - خان‌چای در جدول ۱ آورده شده است.

۷-۱. الگوی عناصر خاکی کمیاب در بخش‌های کانه‌دار

الگوی عناصر خاکی کمیاب (REE) برای بخش‌های کانه‌دار منطقه علی‌آباد موسوی - خان‌چای که با کندریت (Nakamura, 1974) بهنجار شده‌اند، در شکل ۹-الف نشان داده شده است. همان‌گونه که در این شکل دیده می‌شود، الگوی این عناصر برای بخش‌های کانه‌دار دارای یک شیب منفی با غنی‌شدگی از LREE و الگوی به نسبت سطح HREE به همراه بی‌هنجاری منفی Eu و Dy است. معمولاً تفکیک LREE و HREE می‌تواند در ۴ حالت رخ دهد (Rolland et al., 2003): (۱) LREE تهی شده بدون هرگونه تفکیک مشخص میان LREE و HREE؛ (۲) LREE غنی شده یا کمتر تهی شده نسبت به HREE؛ (۳) LREE تهی شده نسبت به HREE؛ (۴) HREE غنی شده نسبت به LREE. بر این اساس، تفکیک این عناصر در بخش‌های کانه‌دار رخداد معدنی مس علی‌آباد موسوی - خان‌چای، نشان‌دهنده LREE غنی شده یا کمتر تهی شده نسبت به HREE است. بی‌هنجاری Eu منفی ($Eu/Eu^* = 0.36$) بر اثر فرایندهای دگرسانی گرمایی و خروج آن از محیط توسط کمپلکس‌ها ایجاد می‌شود (Whitford et al., 1988; Dokuz et al., 2005; Wang et al., 2006).

الگوی REE برای بخش‌های سیلیسی - سولفیدی کانه‌دار، کریستال‌توف میزبان سالم و بدون کانه‌زایی، کریستال‌توف دگرسان شده و میانگین داده‌های توده نفوذی خان‌چای (سعیدی، ۱۳۹۳) که با کندریت (Nakamura, 1974) بهنجار شده‌اند، در شکل‌های ۹-ب و پ نشان داده شده است. بر پایه این شکل، الگوی عناصر خاکی کمیاب در بخش‌های کانه‌دار با الگوی این عناصر در سنگ‌های میزبان شباهت به نسبت خوبی دارد؛ با این تفاوت که بخش‌های کانه‌دار تمرکزهای بالاتری از عناصر REE نشان می‌دهند. البته مقادیر عناصر HREE در بخش‌های کانه‌دار با مقادیر این عناصر در توده نفوذی خان‌چای نزدیک است (شکل ۹-پ). همان‌گونه که در شکل ۹-ب دیده می‌شود، کریستال‌توف دگرسان شده نسبت به کریستال‌توف سالم از REE (به جز Eu، Sm و Ho) تهی شده است. به باور (Alderton et al., 1980)، به دست آمدن یا از دست رفتن REE‌ها در طی دگرسانی توسط چند عامل کنترل می‌شود: (۱) تمرکز REE‌ها در کانی‌های واکنش‌دهنده؛ (۲) پایداری نسبی کانی‌ها در برابر سیال؛ (۳) در دسترس بودن جایگاه در کانی‌های ثانویه برای REE‌هایی که در طی دگرسانی رها شده‌اند؛ (۴) غلظت REE‌ها در سیال‌ها؛ (۵) توانایی سیال به‌منظور به حرکت در آوردن REE‌ها. بر این اساس، به نظر می‌رسد در منطقه علی‌آباد موسوی - خان‌چای، کانی‌شناسی کانی‌های ثانویه تشکیل شده طی دگرسانی و ماهیت احیایی سیال‌های گرمایی (وجود بی‌هنجاری منفی Eu) در تمرکز و تحرک عناصر REE نقش داشته است. افزون بر این، نسبت بالای LREE/HREE می‌تواند ناشی از تأثیر سیال‌های ماگمایی-گرمایی کلر و فلوئوردار باشد که سبب شستشوی LREE از سنگ میزبان و حمل آنها به درون بخش‌های کانه‌دار شده است (Pirajno, 1992).

۷-۲. تهی‌شدگی و غنی‌شدگی در بخش‌های کانه‌دار

نمودارهای غنی‌شدگی و تهی‌شدگی یکی از راه‌های نشان دادن غنی یا فقیر شدن نسبی عناصر کمیاب و اصلی هستند. از این نمودارها برای نمایش تحرک عناصر در پهنه‌های دگرسانی و کانی‌سازی نیز می‌توان استفاده کرد که در این حالت، غنی‌شدگی و تهی‌شدگی، نسبت به سنگ میزبان دگرسان نشده سنجیده می‌شود. الگوی عناصر کمیاب و REE در بخش‌های سیلیسی - سولفیدی کانه‌دار که نسبت به کریستال‌توف میزبان سالم و بدون کانه‌زایی و میانگین داده‌های توده نفوذی سالم خان‌چای (سعیدی، ۱۳۹۳) بهنجار شده‌اند، در شکل ۱۰ نشان داده شده است. همان‌گونه که در این شکل دیده می‌شود، بخش‌های کانه‌دار نسبت به کریستال‌توف سالم، از عناصر Ba، Y، Zn، V، Co، Rb، Zr، Pb، Cu، Ag، Li، Sr، Ga، Ni، Ta

ایران انجامیده است. بیشتر این کانه‌زایی‌ها درون واحدهای آتشفشانی و آتشفشانی-رسوبی اتوسن (معادل سازند کرج) و در نزدیکی توده‌های نفوذی قرار دارند، بنابراین، به نظر می‌رسد که این مجموعه‌های سنگی به‌ویژه در مناطقی که مورد هجوم توده‌های نفوذی الیگوسن قرار گرفته‌اند، از دید اکتشاف مس اهمیت بالایی دارند. بررسی این واحدهای سنگی در منطقه و تعمیم خواهد به دست آمده از آنها به مناطق مشابه در پهنه البرز می‌تواند به شناسایی این نوع از کانسارهای مس بیانجامد. افزون بر این، غنی‌شدگی عناصر خاکی کمیاب در بخش‌های کانه‌دار و تهی‌شدگی آنها در سنگ‌های میزبان دگرسان شده بیانگر میزان بالای واکنش میان سیال‌های کانه‌ساز و سنگ میزبان و تحرک این عناصر از سنگ میزبان به بخش‌های کانه‌دار است. توجه به این ویژگی ژئوشیمیایی می‌تواند به عنوان معیاری برای اکتشاف در مناطق مشابه مورد استفاده قرار گیرد.

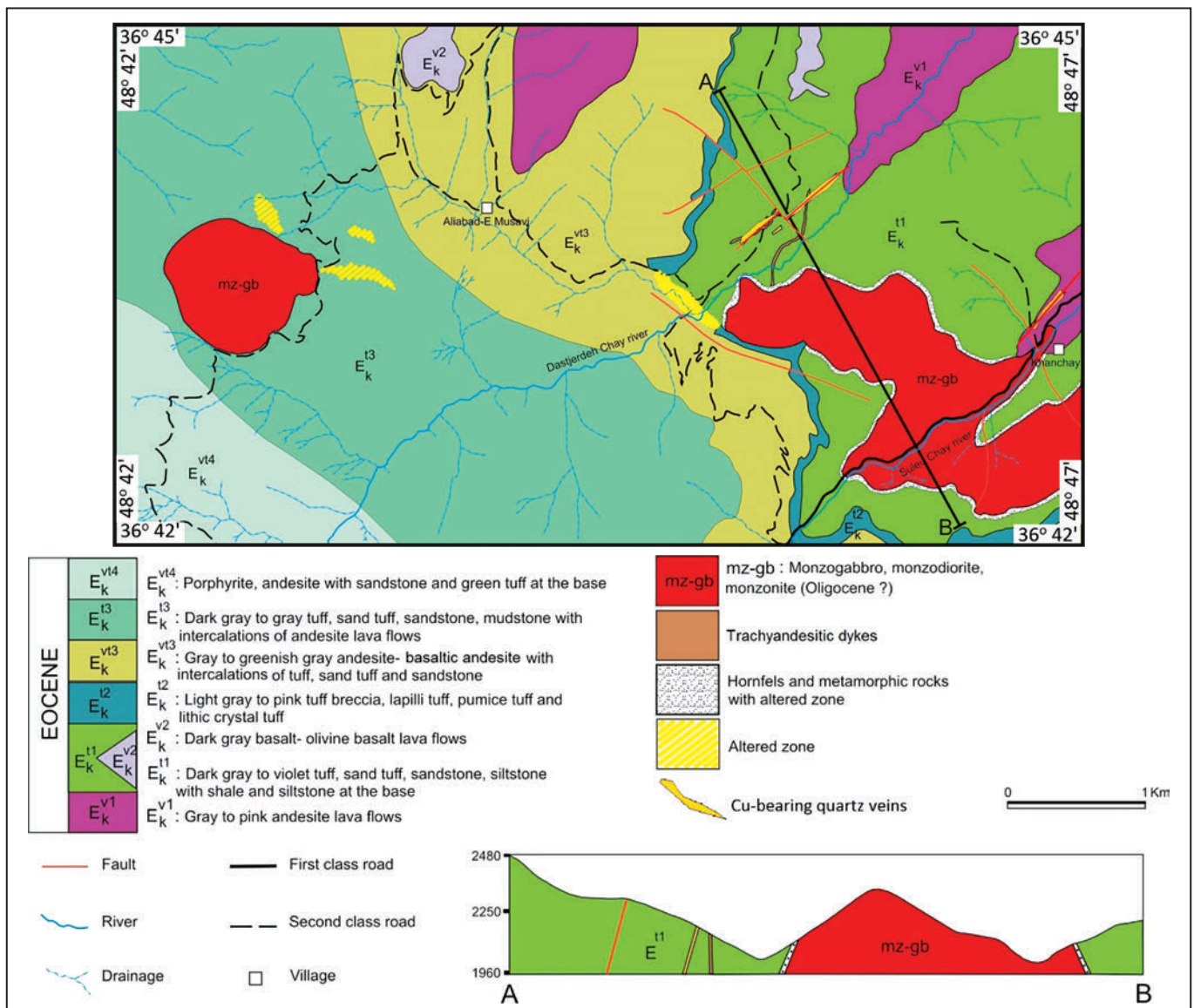
سپاسگزاری

نگارندگان از حمایت‌های مالی دانشگاه زنجان برای انجام این پژوهش و همچنین از داوران محترم مقاله به‌خاطر راهنمایی‌های علمی ارزنده ایشان که سبب غنای بیشتر مقاله حاضر شده است، سپاسگزاری می‌کنند.

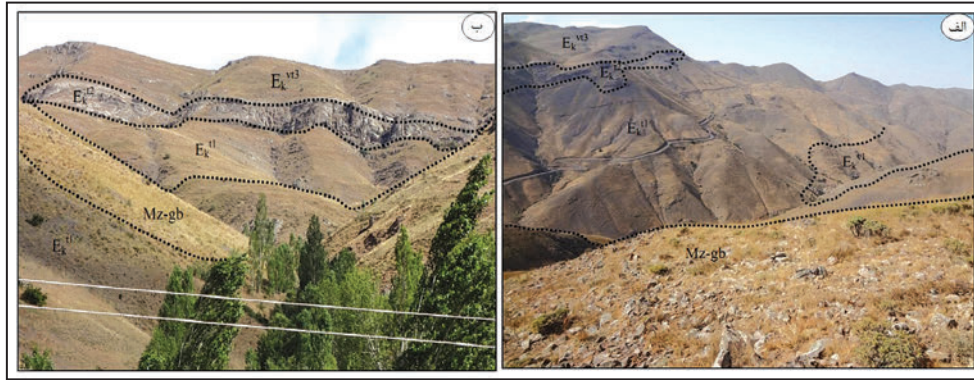
درون توده‌های نفوذی نشان می‌دهد که سن توده‌ها نسبت به دایک‌ها جوان‌تر است. توده‌های یاد شده به‌عنوان موتور گرمایی رفتار کرده و سبب چرخش آب‌های جوی در منطقه شده‌اند. این آب‌ها افزون بر گسترش پهنه‌های دگرسانی در منطقه، سبب شسته شدن مس از سنگ‌های مسیبر و تمرکز دوباره آنها به‌صورت رگه‌های کوارتزی مس‌دار شده است (شکل ۱۱-پ). احتمال اینکه بخشی از ماده معدنی و سیال‌های گرمایی از توده‌های کوارتزمونزوگابرویی الیگوسن منشأ گرفته باشد نیز وجود دارد. امتداد رگه‌های کانه‌دار درون دایک‌ها بیانگر جوان‌تر بودن سن کانی‌سازی در مقایسه با دایک‌هاست. مرحله چهارم شامل بالاآمدگی ناحیه و گسترش فرایندهای هوازدگی و فرسایش در منطقه است (شکل ۱۱-ت).

۹- نتیجه‌گیری

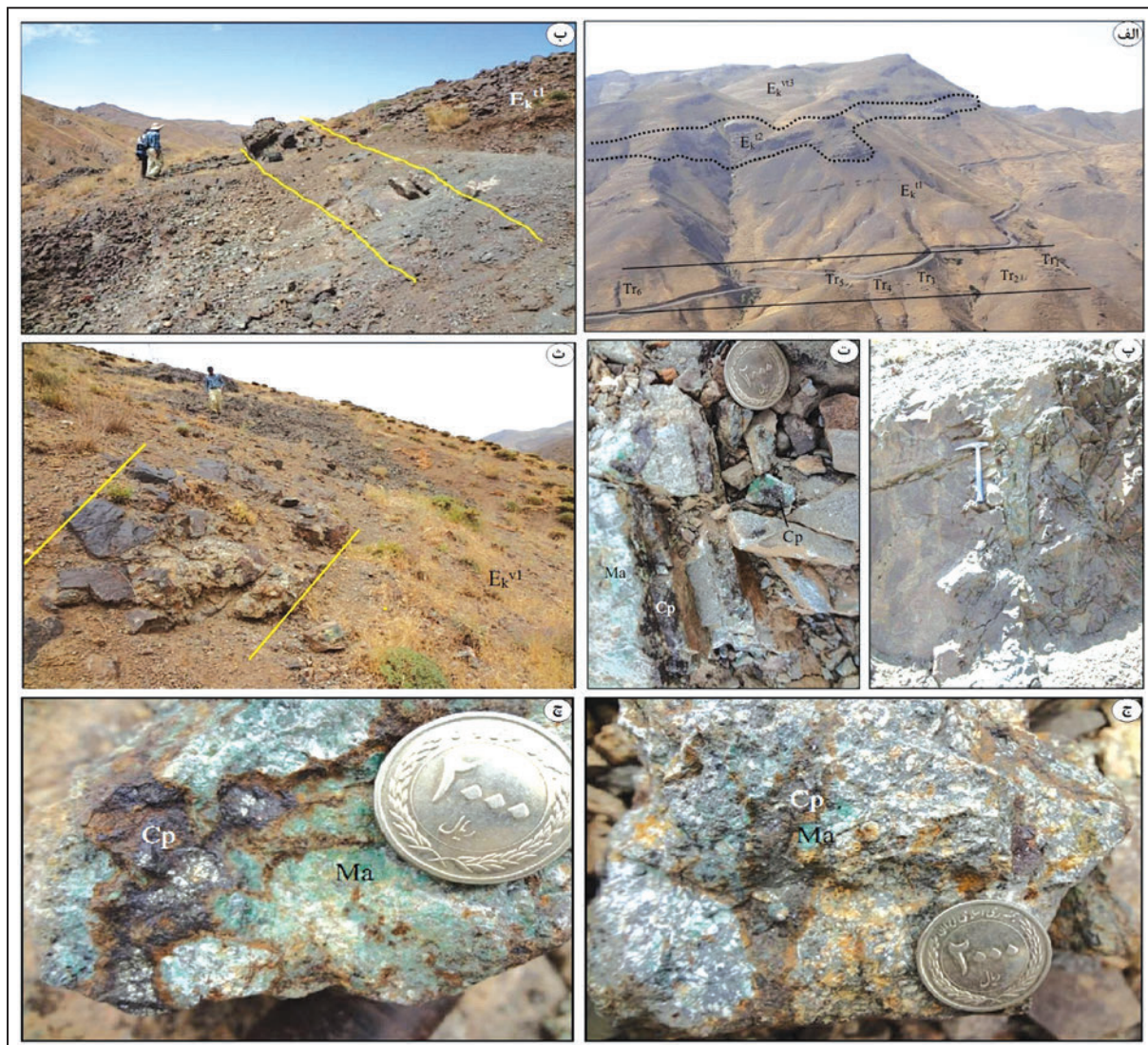
نتایج به دست آمده از مشاهدات صحرایی، ساخت و بافت، سنگ میزبان، پاراژنز، زمین‌شیمی و دگرسانی‌های تشکیل شده در رخدادهای معدنی مس علی‌آباد موسوی-خان‌چای، همگی نشان از آن دارد که این رخدادهای معدنی از نوع کانسارهای مس رگه‌ای است. مطالعات انجام شده طی سال‌های اخیر در منطقه طارم-هشتجین به شناسایی کانسارها و اندیس‌های بسیاری از این نوع کانه‌زایی مس در این منطقه از



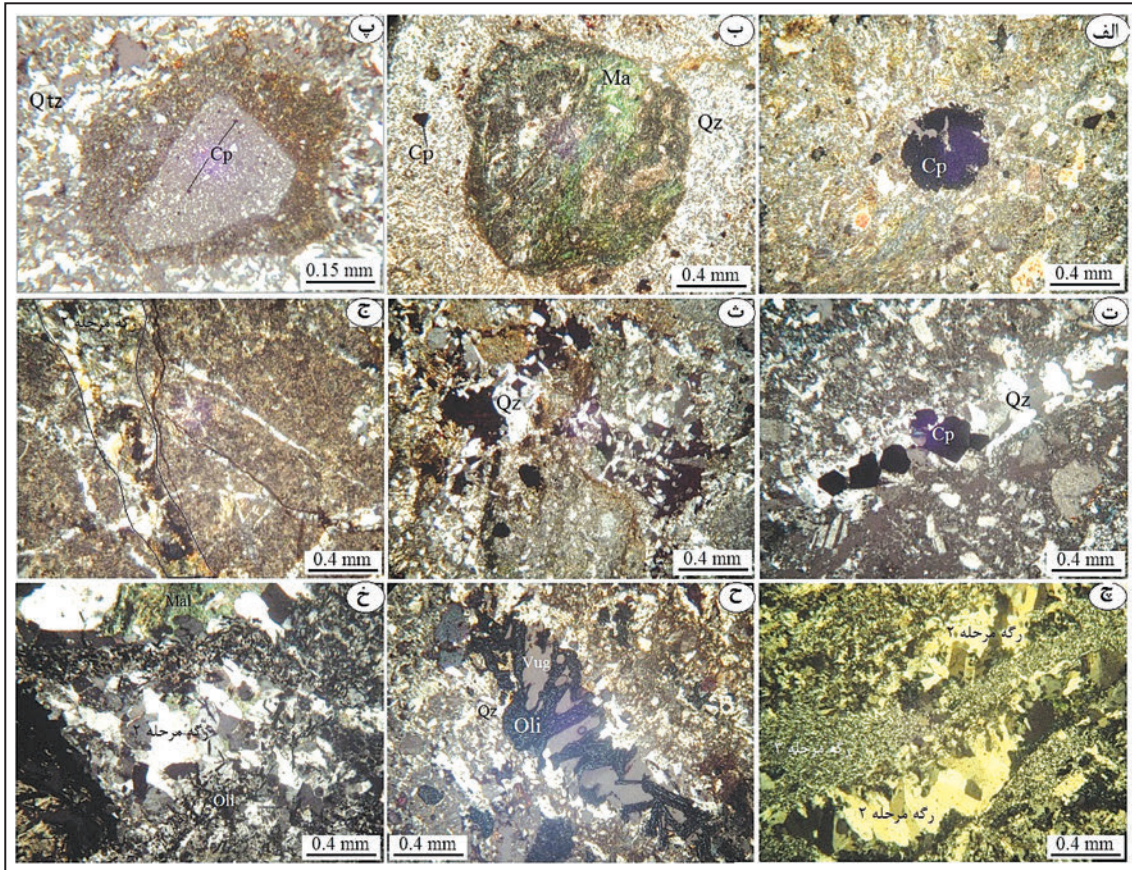
شکل ۱- نقشه زمین‌شناسی منطقه علی‌آباد موسوی-خان‌چای و موقعیت رگه‌های کانه‌دار روی آن.



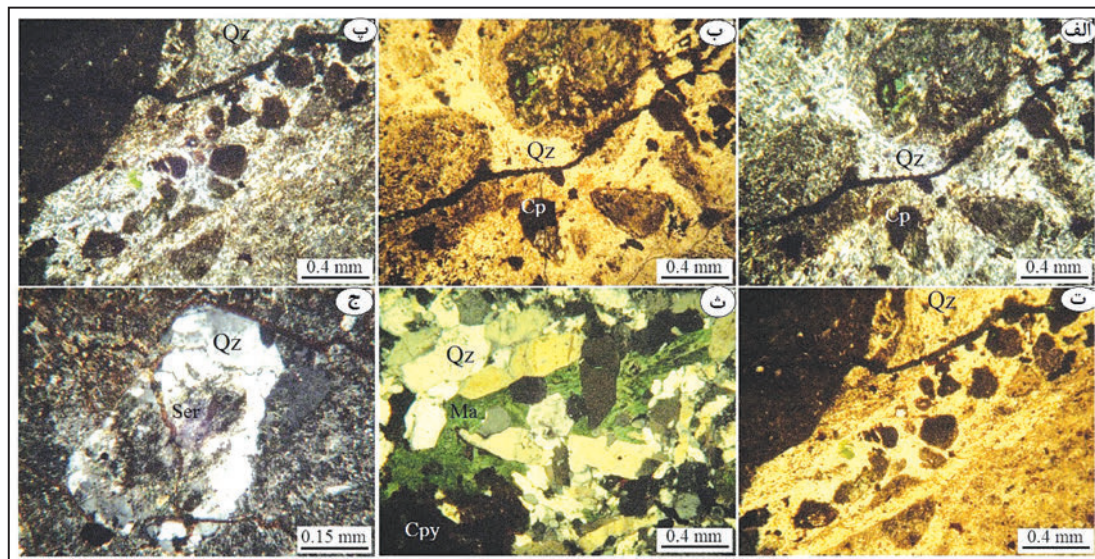
شکل ۲- الف) نمایی از توالی واحدهای E_k^{v1} , E_k^{v2} , E_k^{v3} به صورت پیوسته و همشیب (دید به سوی شمال باختری). در نمای نزدیک، توده کوآرتزومونوزوگابرویی دیده می‌شود؛ ب) نمایی از واحد E_k^{v2} با رنگ روشن در میان واحد توفی E_k^{v1} و واحد گدازه‌های E_k^{v3} (دید به سوی جنوب خاوری). نفوذ توده کوآرتزومونوزوگابرویی درون واحد توفی E_k^{v1} دیده می‌شود.



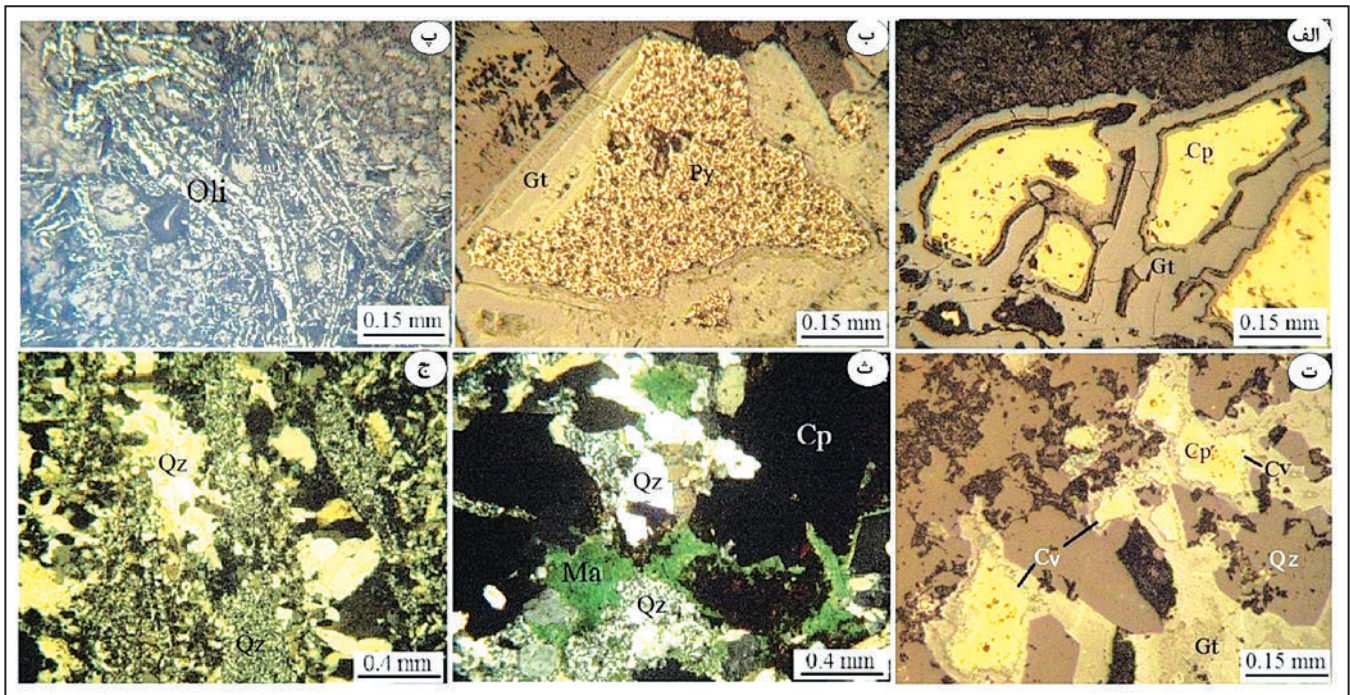
شکل ۳- الف) دورنمایی از موقعیت پهنه کان‌زایی در بخش مرکزی منطقه علی‌آباد موسوی- خان‌چای و ترانشه‌های حفر شده روی آن (دید به سوی باختر)؛ ب) نمای نزدیک از رگه کان‌زایی در بخش مرکزی منطقه (دید به سوی جنوب باختر)؛ پ و ت) دو نمای نزدیک از پهنه کان‌زایی در بخش مرکزی منطقه. کان‌زایی به صورت رگه‌های کوآرتزی غنی از کالکوپیریت با آغشتگی مالاکیت در امتداد پهنه‌های شکستگی رخ داده است؛ ث) نمایی از رگه کان‌دار اصلی در بخش خاوری منطقه (دید به سوی شمال- شمال خاوری)؛ ج و چ) نمایی نزدیک از کان‌زایی مس به صورت رگچه‌های کالکوپیریت و آغشتگی‌های مالاکیت درون گدازه‌های آندزیتی در بخش خاوری منطقه (Cp: کالکوپیریت، Ma: مالاکیت). نشانه‌های اختصاری کانی‌ها از Whitney & Evans (2010) برگرفته شده است.



شکل ۴- تصاویر میکروسکوپی از توالی ته‌نشست کانی‌ها در مرحله اولیه کانه‌زایی در رخدادهای معدنی مس علی‌آباد موسوی-خان‌چای. الف) خرد کانی کالکوپیریت گرد شده زیر مرحله اول در واحد کریستال توف؛ ب) خرد سنگ گرد شده زیر مرحله اول در سیمان سیلیسی-سولفیدی زیر مرحله دوم؛ کالکوپیریت‌ها به مالاکیت دگرسان شده‌اند؛ پ) خرد سنگ نیمه‌گرد شده لیتیک کریستال توفی دارای خرد سنگ گدازه آندزیتی کانه‌دار در سیمان سیلیسی زیر مرحله دوم؛ ت) رگه‌های کوارتز-سولفیدی زیر مرحله دوم که سنگ میزبان کریستال توفی را قطع کرده‌اند؛ ث) رخدادهای کوارتز و سولفیدهای زیر مرحله دوم به صورت سیمان گرمایی برش‌ها. جنس خرد سنگ‌ها از نوع کریستال توف است؛ ج) دسته‌رگچه‌های نیمه‌موازی تا متقاطع کوارتزی زیر مرحله سوم که رگه سیلیسی-سولفیدی زیر مرحله دوم را قطع کرده‌اند؛ چ) رگه کوارتزی ریزبلور زیر مرحله سوم که رگه کوارتزی درشت‌بلور زیر مرحله دوم را قطع کرده است؛ ح و خ) رگچه‌های کوارتز-اولیژیستی زیر مرحله چهارم که رگه‌های کوارتز-سولفیدی زیر مرحله دوم را قطع کرده‌اند. همه تصاویر در نور XPL گرفته شده است (Cp: کالکوپیریت، Oli: اولیژیست، Ma: مالاکیت، Qz: کوارتز).



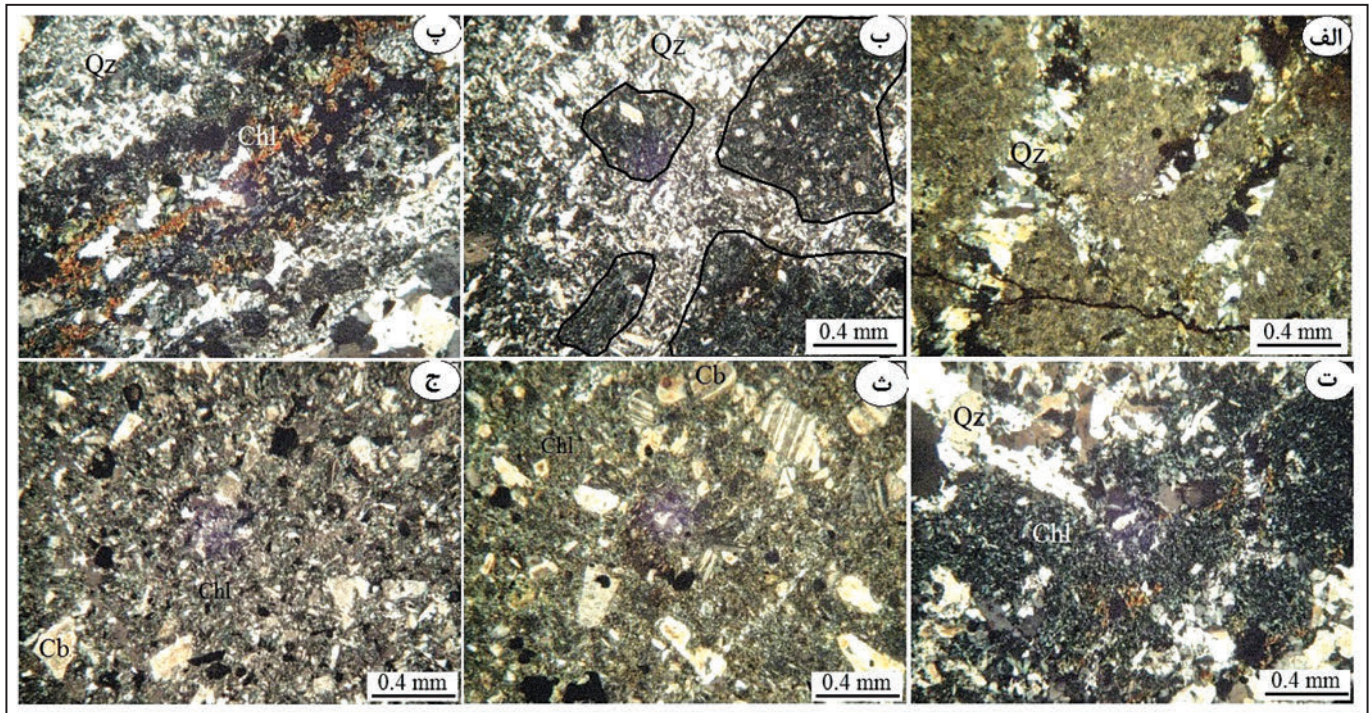
شکل ۵- تصاویری از: الف تا ت) بافت برشی؛ ث) پرکننده فضای خالی (ج) جانشینی در رخدادهای معدنی مس علی‌آباد موسوی-خان‌چای. در تصویر ث، مالاکیت فضای خالی میان کوارتز و کالکوپیریت را پر کرده است. در تصویر ج، کوارتز و سریسیست جانشین پلاژیوکلاز شده‌اند. تصاویر ب و ت در نور PPL و بقیه تصاویر در نور XPL گرفته شده است (Cp: کالکوپیریت، Ma: مالاکیت، Qz: کوارتز، Ser: سریسیست).



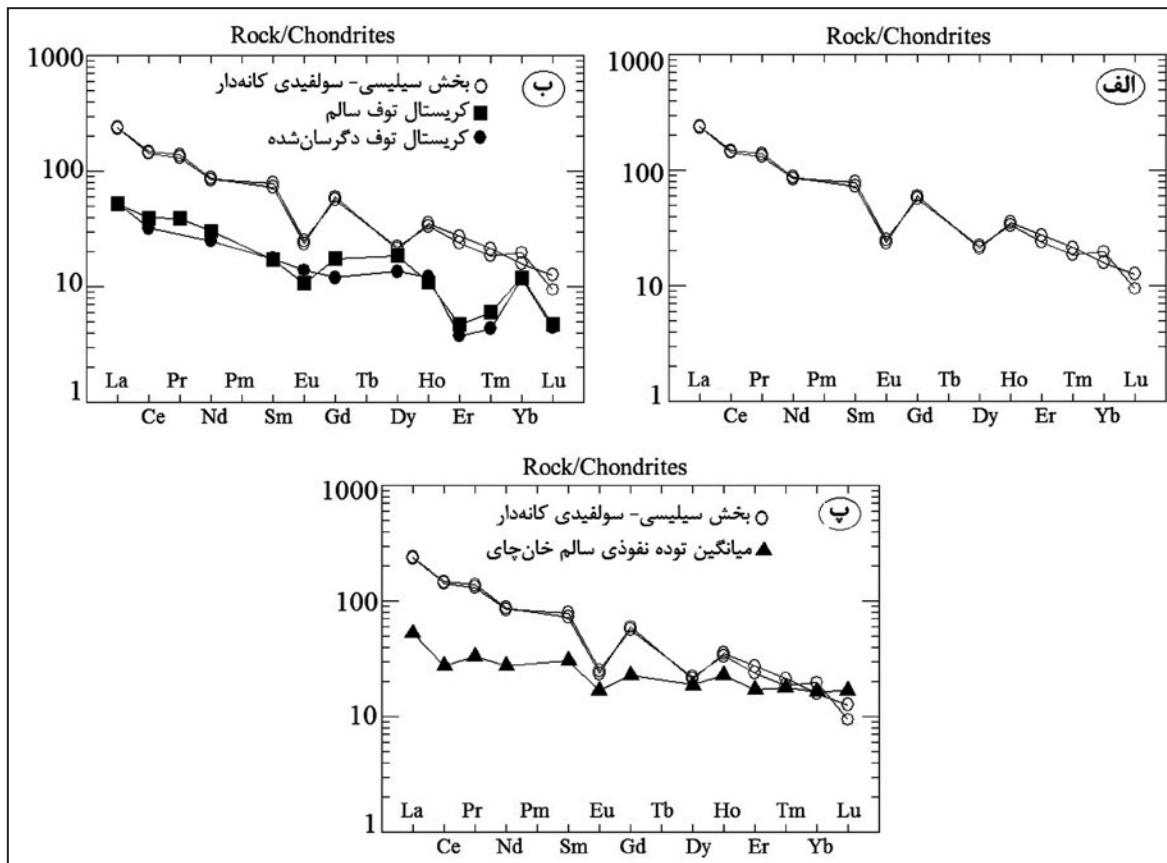
شکل ۶- تصاویر میکروسکوپی از مواد معدنی و باطله در رخدادهای معدنی مس علی‌آباد موسوی-خان‌چای. الف) بلور نیمه‌شکل‌دار کالکوپیریت که از حاشیه‌ها و در امتداد شکستگی‌ها به گوتیت دگرسان شده و بافت جزیره‌ای و یا بازماندی تشکیل داده است؛ ب) بلور نیمه‌شکل‌دار تا بی‌شکل پیریت با بافت حفره حفره که از حاشیه‌ها به گوتیت دگرسان شده است؛ پ) بلورهای تیغه‌ای اولیژیست؛ ت) کانی کولیت که از حاشیه‌ها جانشین کالکوپیریت شده است؛ ث) مالاکیت با بافت پُرکننده فضاهای خالی؛ ج) انواع کوارتزهای ریز و درشت بلور. تصاویر الف تا ت در نور بازتابی و تصاویر ث و ج در نور XPL گرفته شده است (Cp: کالکوپیریت، Cv: کولیت، Gt: گوتیت، Ma: مالاکیت، Py: پیریت، Qz: کوارتز).

Mineralogy		Stages	Hypogene				Supergene
			Substage 1	Substage 2	Substage 3	Substage 4	
Ore	Pyrite		—	—			
	Chalcopyrite		—	—			
	Oligist				—		
	Malachite- Azurite					—	
	Covellite- Digenite					—	
	Goethite-Lepidocrocite					—	
Gangue	Quartz		—	—	—		
	Chlorite					—	
Textures	Disseminated	—					
	Brecciated		—				
	Veinlet-Vein	—	—	—	—	—	
	Open Space Filling					—	
	Replacement-Relict					—	

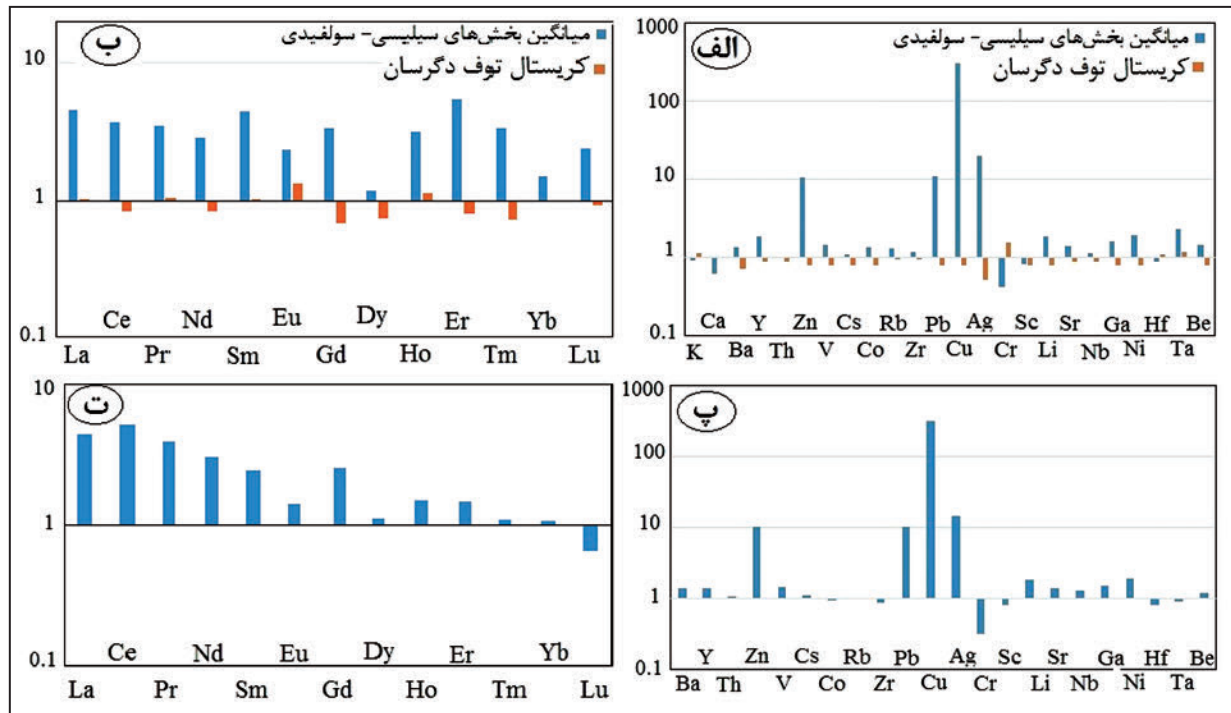
شکل ۷- توالی پاراژنزی، فراوانی نسبی و ساخت و بافت کانی‌ها برای مواد معدنی و باطله در رخدادهای معدنی مس علی‌آباد موسوی-خان‌چای.



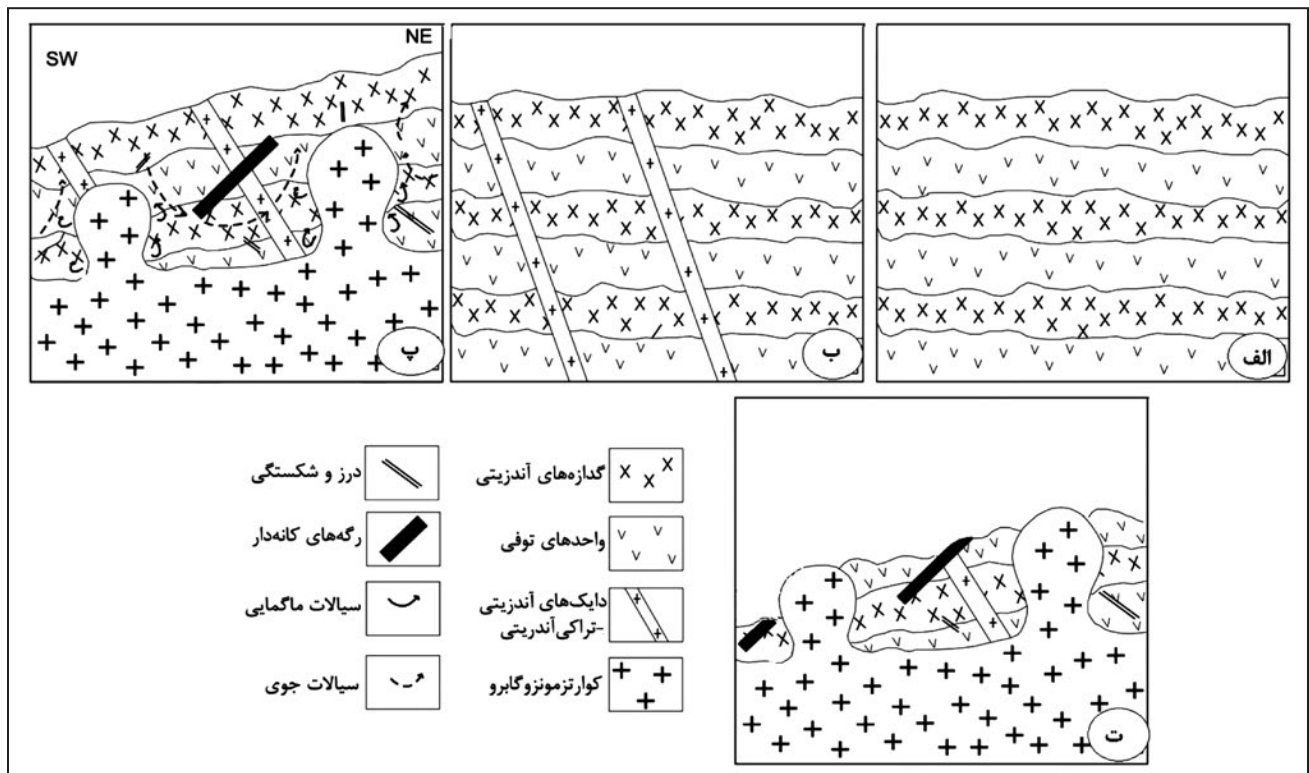
شکل ۸- تصاویر میکروسکوپی از انواع دگرسانی موجود در رخداد معدنی مس علی آباد موسوی - خان چای. الف) دگرسانی سیلیسی به صورت رگچه‌ای؛ ب) دگرسانی سیلیسی به صورت سیمان گرمابی پرش‌ها؛ پ) دگرسانی کلریتی به صورت رگچه‌ای؛ ت) دگرسانی کلریتی به صورت پُرکننده فضای میان سیمان سیلیسی؛ ث و ج) دگرسانی بخشی تا گسترده پلاژیوکلازها به سرسیت و کربنات به همراه کلریتی شدن زمینه در بخش‌های پروپلیتیکی شده منطقه. بلورهای تیره، کانی‌های معدنی هستند. همه تصاویر در نور XPL گرفته شده است (Cb: کربنات، Chl: کلریت، Qz: کوارتز).



شکل ۹- نمودار تمرکز عناصر خاکی کمیاب برای بخش‌های سیلیسی - سولفیدی کانه‌دار، کریستال توف سالم، کریستال توف دگرسان شده و میانگین داده‌های توده نفوذی خان چای در رخداد معدنی مس علی آباد موسوی - خان چای که با کندریت (Nakamura, 1974) بهنجار شده‌اند.



شکل ۱۰- نمودار عناصر الف) کیمیا ب) خاک کیمیا برای بخش‌های کانه‌دار و کریستال‌توف دگرسان‌شده در رخدادهای معدنی مس علی‌آباد موسوی-خان‌چای که با کریستال‌توف میزبان سالم بدون کانه‌زایی بهنجار شده‌اند؛ نمودار عناصر پ) کیمیا و ت) خاک کیمیا برای بخش‌های کانه‌دار در رخدادهای معدنی مس علی‌آباد موسوی-خان‌چای که با میانگین توده نفوذی سالم خان‌چای بهنجار شده‌اند.



شکل ۱۱- نمایی نمادین از مراحل تکوین و تکامل کانه‌زایی در منطقه علی‌آباد موسوی-خان‌چای. الف) تشکیل توالی آتشفشانی و آتشفشانی- رسوبی ائوسن؛ ب) قطع شدن واحدهای آتشفشانی و آتشفشانی- رسوبی ائوسن توسط دایک‌های آندزیتی- تراکی آندزیتی؛ پ) نفوذ توده‌های کوارتزموئوزگابرویی الیگوسن به درون واحدهای آتشفشانی و آتشفشانی- رسوبی ائوسن. این توده‌ها دایک‌ها را نیز قطع کرده است. نفوذ این توده‌ها سبب چرخش آب‌های جوی و شکل‌گیری کانه‌زایی مس به صورت رگه‌های کوارتزی مس‌دار درون واحدهای آتشفشانی و آتشفشانی- رسوبی ائوسن شده است؛ ت) بالآآمدگی ناحیه و گسترش فرایندهای هوازدگی و فرسایش.

جدول ۱- نتایج تجزیه‌های شیمیایی عناصر کمیاب و خاکی کمیاب برای واحدهای توفی (نمونه‌های A9 و A15) و بخش‌های کانه‌دار (نمونه‌های A30 و A43) در رخدادهای معدنی مس علی‌آباد موسوی-خان‌چای. همه داده‌ها بر حسب گرم در تن است (میانگین توده نفوذی خان‌چای (نمونه A20) از سعیدی، ۱۳۹۳).

Sample	Ba	Y	Th	Zn	V	Cs	Co	Rb	Zr	Pb	Cu	Ag	Cr
A9	468.7	24.53	7.48	14.92	206.54	1.91	19.38	98.4	193.7	7.23	67.95	0.36	43
A15	342.8	21.93	6.64	12.05	166.82	1.55	15.65	97.4	184.4	5.84	54.89	0.19	67.62
A20	452.30	33.17	7.58	15.34	208.54	1.94	28.11	129.10	266.88	7.69	66.36	-	56.33
A30	697.43	44.87	7.48	160.68	156.34	2.38	17.63	124.7	224.4	60.39	24369	8.9	23.45
A43	576.4	45.91	8.02	154.8	453.7	1.84	34.6	132.4	232.13	96.4	17369	5.4	12.4
Sample	Sc	Li	Sr	Nb	Ga	Ni	Hf	Ta	Be	La	Ce	Pr	Nd
A9	28.95	19.07	171.39	15.29	10.58	14.92	5.34	0.48	1.14	17.27	34.11	4.37	19.09
A15	23.39	15.41	154.91	13.83	8.34	12.05	5.98	0.57	0.92	17.34	27.75	0	15.63
A20	29.63	19.55	174.28	13.31	11.47	15.46	5.80	1.25	1.40	17.36	23.62	3.73	17.37
A30	24.44	31.52	243.4	17.84	16.96	29.43	4.69	1.07	1.74	78.67	123.78	14.68	53.14
A43	23.8	39.7	246.8	16.98	17.23	28.94	4.78	1.17	1.64	77.68	126.8	15.43	54.63
Sample	Sm	Eu	Gd	Dy	Ho	Er	Tm	Yb	Lu	*Eu/Eu			
A9	3.48	0.82	4.84	6.41	0.76	1.06	0.18	2.64	0.16	0.61			
A15	3.56	1.07	3.31	4.64	0.85	0.84	0.13	2.58	0.15	0.95			
A20	6.21	1.28	6.27	6.44	1.60	3.84	0.53	3.59	0.57	0.63			
A30	15.98	1.93	15.64	7.56	2.34	5.35	0.56	4.34	0.32	0.37			
A43	14.68	1.82	16.48	7.26	2.46	6.12	0.64	3.48	0.43	0.36			

کتابنگاری

- امینی، ب.، ۱۳۷۹- نقشه زمین‌شناسی ۱:۱۰۰۰۰۰ طارم، سازمان زمین‌شناسی و اکتشافات معدنی کشور.
- حاتمی، ا.، ابراهیمی، م. و یاسمی، ن.، ۱۳۹۰- مطالعه کانه‌زایی در کانسار مس ماری، شمال زنجان، دومین همایش انجمن زمین‌شناسی اقتصادی ایران، دانشگاه لرستان.
- حسین‌زاده، م. ر.، مغفوری، س.، مؤید، م. و رحمانی، ا.، ۱۳۹۵- کانسار خلیفه لو: کانی‌زایی مس-طلائی اپی‌ترمال با سولفیداسیون بالا در زون ماگمایی طارم، شمال خرم‌دره. فصلنامه علوم زمین، شماره ۹۹.
- خاکزاد، ا. و حاج‌علیلو، ب.، ۱۳۷۸- بررسی کانی‌زایی‌های سرب، روی و مس مناطق شمال غرب زنجان و شرق میانه در ارتباط با دگرسانی‌های گسترده گرمایی، سومین همایش انجمن زمین‌شناسی ایران، دانشگاه شیراز.
- خان‌محمدی، ن.، خاکزاد، ا. و ایزدی‌ار، ج.، ۱۳۸۸- کانی‌شناسی، بافت و ساخت و ژنز کانسار آهن-آپاتیت ذاکر (شمال خاور زنجان)، فصلنامه علوم زمین، سال نوزدهم، شماره ۷۶، صص. ۱۱۹ تا ۱۲۶.
- سعیدی، ع.، ۱۳۹۳- پترولوژی و ژئوشیمی توده‌های نفوذی منطقه علی‌آباد موسوی-خان‌چای (منطقه طارم، استان زنجان) با نگرشی بر کانی‌سازی مس. پایان‌نامه کارشناسی ارشد، دانشگاه زنجان.
- قربانی، م.، ۱۳۸۶- زمین‌شناسی اقتصادی، ذخایر معدنی و طبیعی ایران، انتشارات ایران زمین، ۴۹۲ صفحه.
- کوهستانی، ح. و مختاری، م. ع.، ۱۳۹۲- ویژگی‌های زمین‌شناسی و کانه‌زایی رخداد معدنی مس علی‌آباد، منطقه طارم، خاور زنجان، هفدهمین همایش انجمن زمین‌شناسی ایران، دانشگاه شهید بهشتی.
- مافی، ح.، قربانی، م. و رضایی کهنائی، م.، ۱۳۹۰- پترولوژی سنگ‌های آتشفشانی طارم علیا محدوده کانسار دهنه، سی‌امین گردهمایی علوم زمین، سازمان زمین‌شناسی و اکتشافات معدنی کشور.
- مظهری، م.، ۱۳۸۹- کانی‌شناسی، ژئوشیمی و ژنز کانسار آهن آپاتیت‌دار علی‌آباد مروارید، جنوب شرق زنجان، پایان‌نامه کارشناسی ارشد، دانشگاه تربیت مدرس.
- مهرایی، ب.، چغانه، ن. و طالع‌فاضل، ا.، ۱۳۸۹- مطالعات پترولوژی، کانی‌شناسی و دگرسانی آنومالی ۴ کانسار پلی‌متال گلوچه (شمال غرب زنجان)، نخستین همایش انجمن زمین‌شناسی اقتصادی ایران، دانشگاه فردوسی مشهد.
- مهرایی، ب.، طالع‌فاضل، ا.، قاسمی سیانی، م. و اقبالی، م. ع.، ۱۳۸۸- بررسی نحوه کانی‌سازی و تشکیل کانسار رگه‌ای مس-طلائی گلوچه (شمال زنجان) بر اساس شواهد کانی‌شناسی، ژئوشیمی و سیالات درگیر، مجله علوم دانشگاه تهران، جلد ۳۵، شماره ۴، صص. ۱۸۵ تا ۱۹۹.
- مهندسین مشاور کان ایران، ۱۳۷۷- طرح اکتشاف نیمه‌تفضیلی کانسار مس علی‌آباد موسوی، سازمان صنعت، معدن و تجارت استان زنجان.

مؤید، م. و مؤذن، م.، ۱۳۸۰- کانی‌سازی آهن در ارتباط با توده‌های نفوذی اپی‌زون الیگوسن در منطقه ذاکر- سرخه دیزج (جنوب غربی طارم)، پنجمین همایش انجمن زمین‌شناسی ایران، دانشگاه تهران.

نباتیان، ق. و قادری، م.، ۱۳۹۳- کانی‌شناسی و ژئوشیمی عناصر خاکی کمیاب در کانسارهای اکسید آهن- آپاتیت ناحیه زنجان، فصلنامه علوم زمین، سازمان زمین‌شناسی و اکتشافات معدنی کشور، سال بیست و چهارم، شماره ۹۳، صص. ۱۵۷ تا ۱۷۰.

نباتیان، ق.، ۱۳۸۷- کانی‌شناسی، ژئوشیمی و ژنز کانسار اکسید آهن آپاتیت‌دار سرخه دیزج، جنوب شرق زنجان، پایان‌نامه کارشناسی ارشد، دانشگاه تربیت مدرس.

نباتیان، ق.، قادری، م.، رشیدنژاد عمران، ن. و دلیران، ف.، ۱۳۸۶- کانه‌زایی آهن آپاتیت‌دار در کانسارهای سرخه‌دیزج، علی‌آباد و مرواریه، جنوب شرق زنجان، پنزدهمین همایش انجمن بلورشناسی و کانی‌شناسی ایران، دانشگاه فردوسی مشهد.

References

- Alavi, M., 1994- Tectonic of the Zagros orogenic belt of Iran: new data and interpretations. *Tectonophysics*, 229: 211-238.
- Alderton, D. H., Pearce, M. & Potts, J. A., 1980- Rare earth element mobility during granite alteration: Evidence from southwest England. *Earth Planet Science Letters*, 49: 149-165.
- Cooke, D. R. & Simmons, S. F., 2000- Characteristics and genesis of epithermal gold deposits. *Economic Geology*, 13: 221-244.
- Dokuz, A., Tanyolcu, E. & Genc, S., 2005- A mantle and a lower crust derived bimodal suite in the Yusufeli Artvin area, NE Turkey: Trace element and REE evidence for Subduction- related rift origin of Early Jurassic Demirkent intrusive complex. *International Journal of Earth Sciences*, 95: 370-394.
- Dong, G., Morrison, G. & Jaireth, S., 1995- Quartz textures in epithermal veins, Queensland; classification, origin and implication. *Economic Geology*, 90: 1841-1856.
- Hirayama, K., Samimi, M., Zahedi, M. & Hushmand-Zadeh, A., 1966- Geology of the Tarom District, Western Part (Zanjan area north-west Iran), Geological Survey of Iran, Report 8, 31 p.
- Ineson, P. R., 1989- Introduction to practical ore microscopy. Longman Scientific and Technical, London, 181 pp.
- Kouhestani, H., Ghaderi, M., Zaw, K., Meffre, S. & Emami, M. H., 2012- Geological setting and timing of the Chah Zard breccia-hosted epithermal gold-silver deposit in the Tethyan belt of Iran. *Mineralium Deposita*, 47: 425-440.
- Nabatian, G., Ghaderi, M., Neubauer, F., Honarmand, M., Xiaoming, L., Dong, Y., Jiang, S. H., Quadt, A. & Bernroider, M., 2014- Petrogenesis of Tarom high-potassic granitoids in the Alborz-Azərbayjan belt, Iran: Geochemical, U-Pb zircon and Sr-Nd-Pb isotopic constraints. *Lithos*, 184-187: 324-345.
- Nakamura, N., 1974- Determination of REE, Ba, Fe, Mg, Na and K in carbonaceous and ordinary Chondrites. *Geochimica et Cosmochimica Acta*, 38: 755-773.
- Pirajno, F., 1992- Hydrothermal mineral deposits, principle and fundamental concept for the exploration geologist. Springer, 706 p.
- Rolland, Y., Cox, S., Boullier, A. M., Pennacchioni, G. & Mancktelow, N., 2003- Rare earth and trace element mobility in mid-crustal shear zones: insights from the Mont Blanc Massif (Western Alps). *Earth and Planetary Science Letters*, 214: 203-219.
- Smirnov, V. M., Ginzburg, A. I., Grigoriev, V. M. & Yakovlev, G. F., 1983- Studies of mineral deposits. Mir Publishers, Moscow, 288 p.
- Wang, Q., Wyman, D. A., Xu, J. F., Zhao, Z. H., Jian, P., Xiong, X. L., Bao, Z. W., Li, C. F. & Bai, Z. H., 2006- Petrogenesis of Cretaceous adakitic and shoshonitic igneous rocks in the Luzong area, Anhui province (eastern China): Implications for geodynamics and Cu-Au mineralization. *Lithos*, 89: 424-446.
- Whitford, D. J., Korsch, M. J., Porritt, P. M. & Craven, S. J., 1988- Rare earth element mobility around the volcanogenic polymetallic massive sulfide deposit at Que River, Tasmania, Australia. *Chemical Geology*, 68: 105-119.
- Whitney, D. & Evans, B. W., 2010- Abbreviations for names of rock-forming minerals. *American Mineralogist*, 95: 185-187.

Investigation on type and origin of Copper mineralization at Aliabad Mousavi- Khanchy occurrence, East of Zanjan, using petrological, mineralogical and geochemical data

M. A. A. Mokhtari ¹, H. Kouhestani ^{1*} & A. Saeedi ²

¹ Assistant Professor, Geology Group, Faculty of Science, University of Zanjan, Zanjan, Iran

² M.Sc., Geology Group, Faculty of Science, University of Zanjan, Zanjan, Iran

Received: 2015 July 27

Accepted: 2016 January 27

Abstract

Aliabad Mousavi- Khanchy Cu occurrence is located in the Tarom area, 30 km east of Zanjan. Rock units exposed in this area consist of Eocene volcanic and volcano-sedimentary units (equal to Karaj Formation) which are intruded by Oligocene quartz-monzonitic plutons. In this area, Cu mineralization occurs as Cu-bearing quartz veins and veinlets within the intermediate tuffs and andesitic lavas. Based on microscopic studies, ore minerals include chalcopyrite with minor pyrite and oligist, and quartz and chlorite are present as gangue minerals in the Aliabad Mousavi- Khanchy Cu occurrence. The ore minerals show disseminated, vein and veinlets, breccia, open space filling and replacement textures. Alteration is restricted to the silicified and chloritic altered parts of the ore zones. Two stages of hypogene and supergene mineralization can be distinguished at the Aliabad Mousavi- Khanchy Cu occurrence. The hypogene stage of mineralization is progressed from disseminated crystals of pyrite and chalcopyrite within the tuffs and lavas (substage 1) to quartz- chalcopyrite- pyrite-cemented veins and breccias (substage 2), individual or sets of quartz veins and veinlets (substage 3) and finally quartz- oligist veins and veinlets (substage 4). Malachite, azurite and Fe-hydroxides with veins and veinlets and open space filling textures are formed during supergene stage. REE pattern of the host rocks and the mineralized samples indicate that mineralized samples are enriched in REE. This signature may indicate high concentration of REE in ore-forming fluids and/or high water/rock interaction at Aliabad Mousavi- Khanchy area. Enrichment of ore-forming elements (Cu, Pb, Zn) in ore zones is also specifies leaching of elements from altered host rocks to ore zones by ore-forming fluids. Characteristics of Aliabad Mousavi- Khanchy Cu occurrence are comparable with vein type Cu deposits.

Keywords: Cu mineralization, Vein type, Aliabad Mousavi- Khanchy, Tarom, Zanjan.

For Persian Version see pages 259 to 270

*Corresponding author: H. Kouhestani; E-mail: kouhestani@znu.ac.ir