بیست و پنجمین همایش ملی انجمن زمین شناسی ایران
25th Conference of Geological Society of Iran
۵ و ۶ بهمن ماه ۱۴۰۱، دانشگاه صنعتی شاهرود
دانشگاه صنعتی شاهرود
Shahrood University of Technolo

انواع سامانه رگه- رگچه‌ای و دگرسانی همراه به عنوان کلید اکتشافی در کانسار مس بنگلو، جنوب شرق جیرفت

افسانه سلطانی[۱]*، علیرضا زراسوندی[۲]، نادر تقی‌پور، عادل ساکی، محسن رضایی ،نسیم حقیقت جو، غزال زراسوندی

soltani.afsane@ymail.com
Zarasvandi@scu.ac.ir

چکیده

کانسار مس پورفیری بنگلو در ۹۰ کیلومتری جنوب شرق جیرفت، بر روی کمان ماگماتیک سنوزوئیک کرمان، جنوبی‌ترین بخش کمربند ماگماتیک ارومیه – دختر در ایران واقع شده است. واحدهای سنگی در منطقه مورد مطالعه شامل توده‌های نفوذی و آتشفشانی است که در اثر محلول‌های گرمابی شدیداً دگرسان شده‌اند. توده نفوذی به ترکیب گرانیت، گرانودیوریت، دیوریت و کوارتز دیوریت تفکیک شدند. میزبان اصلی کانی‌سازی مس در منطقه بنگلو توده دیوریتی و کوارتزدیوریتی است. بیشتر کانی‌سازی به صورت افشان و چندین نسل از رگه- رگچه‌ها (۱) رگه کوارتز و کوارتز+ انیدریت، ۲) کوارتز± بیوتیت± مگنتیت، ۳) مگنتیت± کالکوپیریت، ۴) کوارتز±کالکوپیریت± مگنتیت±پیریت، ۵) کوارتز± انیدریت± آلکالن‌فلدسپار± پیریت± بیوتیت± مگنتیت± کالکوپیریت، ۶) کوارتز+کالکوپیریت+ مگنتیت+ پیریت± انیدریت، ۷) کوارتز+ کالکوپیریت+ پیریت، ۸) کوارتز+ کالکوپیریت+ پیریت± مولیبدنیت، ۹) پیریت ± کوارتز، ۱۰) کوارتز± آلکالی فلدسپار+ پیریت، ۱۱) پیریت+ کوارتز± سرسیت، ۱۲) کوارتز± پیریت± موسکویت ±کلریت± آلکالی فلدسپار± انیدریت± کلسیت، ۱۳) کلسیت رخ داده است. زون‌های دگرسانی پتاسیک، فیلیک، سرسیتی، آرژیلیکی، پروپیلیتیک، کربناتی در منطقه شناسایی شدند. مرحله کانی سازی اولیه به طور عمده شامل رگه‌های کوارتز+±کالکوپیریت± مگنتیت±پیریت و مرحله کانی سازی اصلی شامل کوارتز +پیریت+کالکوپیریت در زون پتاسیک و فیلیک است. وجود انواع میانبار سیال تک فازی بخار، دو فازی مایع- بخار، چند فازی مایع- بخار – جامد و همچنین فاز گازی CO_2 در رگچه‌های تشکیل شده در مراحل اولیه و مرحله اصلی کانی‌سازی و مرحله نهایی دیده می‌شوند. براساس مطالعات انجام شده، میزان و نوع کانه زایی موجود در این رگه ها، تفکیک شده است و نتایج به دست آمده نشانگر تطابق ترکیبی، کانی‌شناسی و ویژ گی های سیال کانه دار این کانسار با کانسارهای مس پورفیری است.

واژه‌های کلیدی: دگرسانی، رگه – رگچه، توده نفوذی، مس بنگلو، جیرفت، کمربند کرمان

Types vein-veinlets system and associated alteration as a key to exploratory in Bongaloo copper deposit, southeast of Jiroft

Abstract

Bangalo porphyry copper deposit is located 90 km southeast of Jiroft, on the Cenozoic Kerman magmatic arc, the southernmost part of the Urumieh-Dokhtarmagmatic belt in Iran. The rock units in the study area include intrusive and volcanic that have been severely altered by hydrothermal solutions. The intrusive mass was separated into granite, granodiorite, diorite and quartz diorite. The main host of copper mineralization in Bongaloo region is diorite and quartz diorite. Most of the mineralization has occurred as dissemination and several generations of vein-vein-veinlets include: 1) quartz vein and quartz+ anhydrite, 2) quartz± biotite± magnetite, 3) magnetite± chalcopyrite, 4) quartz± chalcopyrite ± magnetite± pyrite, 5) quartz± Anhydrite± alkali feldspar± pyrite± biotite± magnetite± chalcopyrite, 6) quartz+ chalcopyrite+ magnetite+ pyrite± anhydrite, 7) quartz+ chalcopyrite + pyrite ± molybdenite, 8) pyrite ± quartz, 10) quartz ± alkali feldspar + pyrite, 11) pyrite + quartz ± cercite, 12) quartz ± pyrite ± muscovite± chlorite ± alkali feldspar ± anhydrite± calcite 13) calcite. Potassic, phyllic, cercitic, argillic, propylitic, carbonate alteration zones were identified in the area. The early mineralization stages mainly include quartz+ chalcopyrite± magnetite± pyrite veins and the main mineralization stage includes quartz+ pyrite+ chalcopyrite in the potassic and phyllic zone. The presence of single-phase fluid inclusion vapor, two phase liquid-vapor, multi phase liquid-vapor-solid, and CO_2 gas phase can be seen in the veins formed in the early stages, the main stage of mineralization, and the final stage. Based on the conducted studies, the amount and type of mineralization in these veins has been separated and the obtained results indicate the compatibility of composition, mineralogy and ore fluid characteristics of this deposit with porphyry copper deposits.

مقدمه

کانسارهای پورفیری از نظر مکانی و فضایی در ارتباط با توده‌های نفوذی حدواسط – سیلیسی به عنوان منبع جهانی ذخایر مولیبدن (بیش از ۷۵٪) ، مس با (بیش از ۵۰٪) و طلا (بیش از ۲۰٪) محسوب می‌شوند (Sillitoe, 2010). کانسارهای مس پورفیری به عنوان سیستم‌های نوع پورفیری غالباً در حاشیه صفحات همگرا توسعه یافته‌اند (Sillitoe, 2010).و در ایالت‌های متالوژنیک گسترده، نسبتاً باریک و خطی مانند نظیر کمربند کوهزایی آلپ – هیمالیا (Sinclair and Goodfellow, 2007) شکل گرفته‌اند. ایران در قسمت میانی کمربند کوهزایی آلپ – هیمالیا میزبان کانسارهای متوسط تا بزرگی از جمله سرچشمه، سونگون و میدوک بر روی کمان ماگماتیک ارومیه- دختر می‌باشد. کمان ماگماتیک ارومیه دختر در ایران مرکزی ترکیب ماگماتیسم از کالک آلکالن در ائوسن به شبه آداکیتی در الیگو- میوسن تغییر می‌کند (Richards et al., 2012, Karimpour and Sadeghi, 2019). بخش جنوبی از کمربند آتشفشانی – نفوذی ایران مرکزی واقع در استان کرمان به عنوان یکی از گسترده‌ترین مناطق تشکیل کانسارهای مس پورفیری در طول کمربند ارومیه – دختر محسوب می‌شود. دوره اصلی شکل‌گیری کانسارهای پورفیری از جمله چندین کانسار مس پورفیری بزرگ از جمله سرچشمه و میدوک در زون کرمان در میوسن اولیه تا میانی رخ می‌دهد که همزمان با برخورد پایانی بین صفحات افریقا- عربی و اوراسیا می‌باشد (Taghipour et al., 2008, Soorani et al., 2022). کانسار مس بنگلو در استان کرمان، ۱۵۰ کیلومتری جنوب شرق شهرستان بم، ۹۰ کیلومتری جنوب شرق شهرستان جیرفت، بین عرض‌های جغرافیایی″۱/۲۸ ′۱۷ °۲۸ تا ″۳۲ ′۱۸ °۳۵ شمالی و طول‌های جغرافیایی ″۳۲ ′۳۳ °۵۸ تا ″۱۱ ′۲۵ °۵۷ شرقی، بخشی از کمربند ماگمایی جنوب ارومیه - دختر است. در این پژوهش، به بررسی زمین‌شناسی، سنگ‌شناسی، هاله‌های دگرسانی و کانی‌شناسی به عنوان کلید اکتشافی در کانسار مس بنگلو می‌پردازیم.

مواد و روش

در این پژوهش، پس از تهیه نقشه بزرگ مقیاس منطقه با استفاده از تصاویر ماهواره‌ایی و پیمایش صحرایی و نقشه صد هزار نگیسان، ۱۵ نمونه از واحدهای سنگی منطقه به منظور بررسی زمین‌شناسی، سنگ‌شناسی، کانی‌شناسی و دگرسانی برداشت شد. همچنین برداشت نمونه‌های مغزه‌های حفاری به تعداد ۳۰ نمونه از عمق‌های مختلف از سه گمانه انجام گرفت. برای بررسی‌های کانه‌نگاری، کانی‌شناسی و دسته‌بندی انواع رگه – رگچه‌های کانه‌دار در کانسار مس بنگلو تعداد ۵۰ مقطع نازک – صیقلی و ۷ نمونه دوبر صیقلی در آزمایشگاه دانشکده علوم زمین دانشگاه شهید چمران اهواز و دانشگاه دامغان تهیه و بررسی شد.

بحث و بررسی

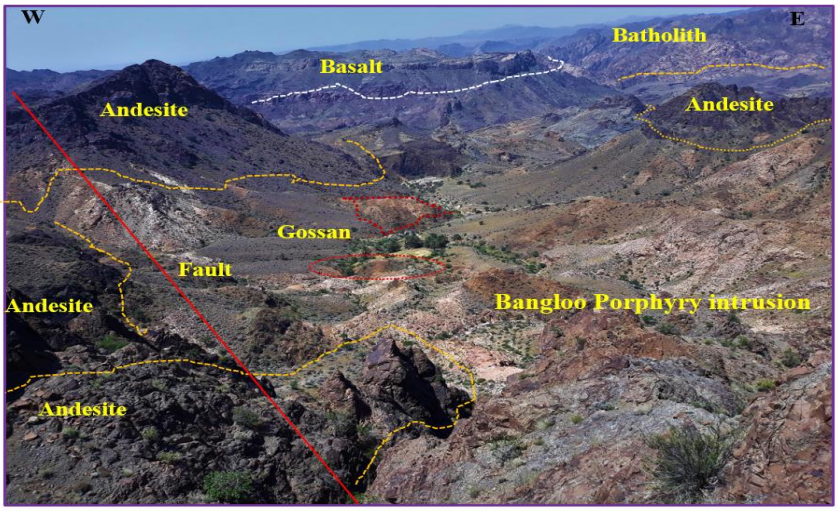
زمین‌شناسی منطقه مورد مطالعه

در مقیاس ناحیه‌ای و از نظر زمین‌شناسی منطقه مورد مطالعه در بخش جنوبی کمربند ماگماتیک ارومیه - دختر، بر روی کمان ماگماتیک سنوزوئیک کرمان و در محدوده نقشه صد هزار نگیسان واقع شده است. کمربند ماگماتیک ارومیه — دختر با بیش از ۲۰۰ کیلومتر از شمال غربی تا جنوب شرقی در ایران در امتداد رشته کوه زاگرس واقع شده است (Alavi, 2007) و با کانسارهای معدنی پورفیری هیدروترمال ماگمایی و ذخایر اپی‌ترمال مرتبط شناخته شده است (Richards, 2015). جنوبی‌ترین بخش کمربند ماگماتیک ارومیه — دختر با عنوان کمان ماگماتیک سنوزوئیک کرمان شناخته شده است. تاریخچه کمربند ماگمایی سنوزوئیک کرمان و کمربند اصلی ارومیه- دختر ممکن است مربوط به تغییرات منطقه‌ای در شرایط تکتونیکی برخوردی باشد (Shafiei, 2008). فعالیت‌های نفوذی ترشیری در بخش کمان کرمان به دو قسمت تفکیک می‌شوند:۱) ائوسن - الیگوسن (جبال بارز) با ترکیب گابرو تا گرانیت‌های نابارور و معادل آتشفشانی در جنوب شرقی و مرکز کمربند ماگماتیک سنوزوئیک کرمان و ۲) میوسن میانی -پایانی (کوه پنج) با ترکیب دیوریت تا استوک‌های گرانودیوریتی با بافت پورفیری در شمال غربی و مرکز کمربند ماگماتیک سنوزوئیک کرمان.

مطالعات پتروگرافی محدوده مورد مطالعه

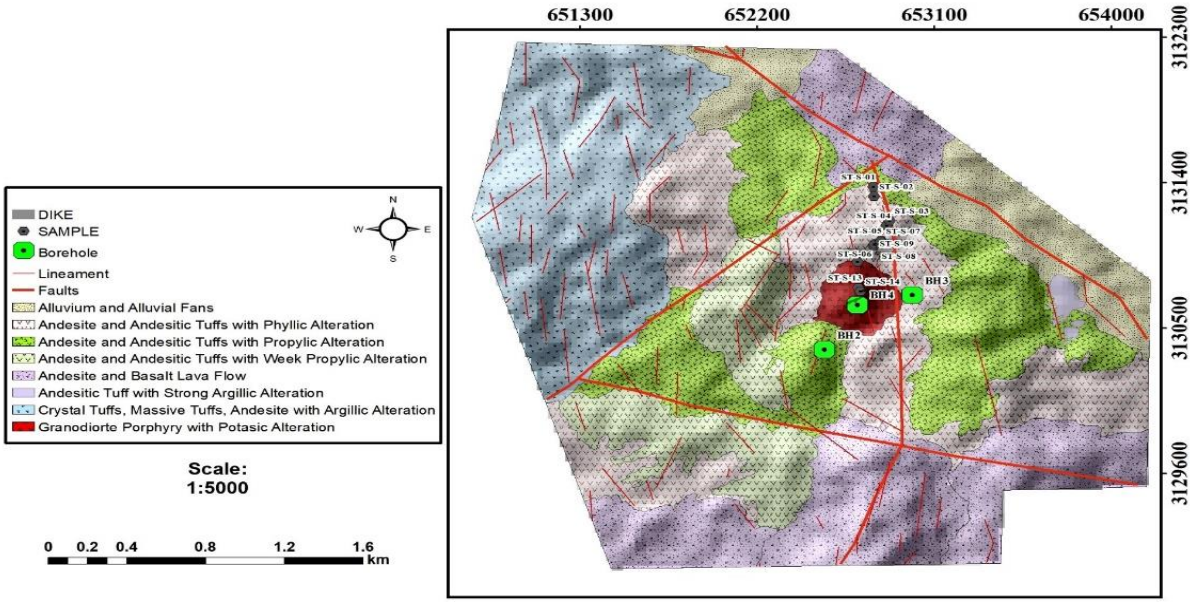
براساس مطالعات صحرایی و آزمایشگاهی صورت گرفته، واحدهای سنگی مورد مطالعه به سه مجموعه مختلف قابل تفکیک می‌باشند که عبارتند از: ۱) مجموعه آتشفشانی: قدیمی‌ترین واحدهای سنگی با سن ائوسن شامل مجموعه آتشفشانی با طیف ترکیبی آندزیت پورفیری، آندزیت – بازالت می‌باشند.۲) مجموعه آذرآواری: واحدهای سنگی با سن ائوسن با ترکیب آندزیت و

آندزیت- بازالت پورفیری می‌باشد. ۳) مجموعه توده نفوذی: توده‌های نفوذی با ترکیب گرانیت، گرانودیوریت، دیوریت و کوارتز دیوریت در قسمت مرکزی محدوده مورد مطالعه در بین واحدهای آتشفشانی و آذرآواری ائوسن نفوذ کرده است (شکل۱). توالی آتشفشانی عظیم ائوسن به خصوص درجایی که در ارتباط با نفوذی‌ها هستند به شدت گسله شده‌اند. کانه‌زایی کانسار مس مورد نظر به همراه فعالیت‌های دگرسانی شدید به توده‌ی نفوذی وابسته است. علاوه بر این، مجموعه‌ای از دایک‌های پورفیری تأخیری با ترکیب دیوریت تا کوارتزدیوریتی در بخش مرکزی و شرق محدوه رخنمون دارد.



شکل ۱ : تصویر صحرایی از واحدهای سنگی دربرگیرنده ماده معدنی در منطقه بنگلو

به منظور تفکیک واحدهای سنگی و ارتباط آنها با کانی‌سازی نقشه زمین‌شناسی بزرگ مقیاس منطقه بنگلو تهیه شد (شکل ۲). با استفاده از اطلاعات موجود در نقشه زمین‌شناسی بزرگ مقیاس واحدهای سنگی رخنمون یافته در منطقه معدنی بنگلو شرح داده شده و با تکیه بر اطلاعات صحرایی، بررسی‌های سنگ‌شناختی، مطالعات میکروسکوپی شیمیایی به بررسی ویژگی‌های سنگ‌شناسی، کانی‌شناسی، کانه‌زایی، دگرسانی واحدهای آتشفشانی و توده نفوذی می‌پردازیم.



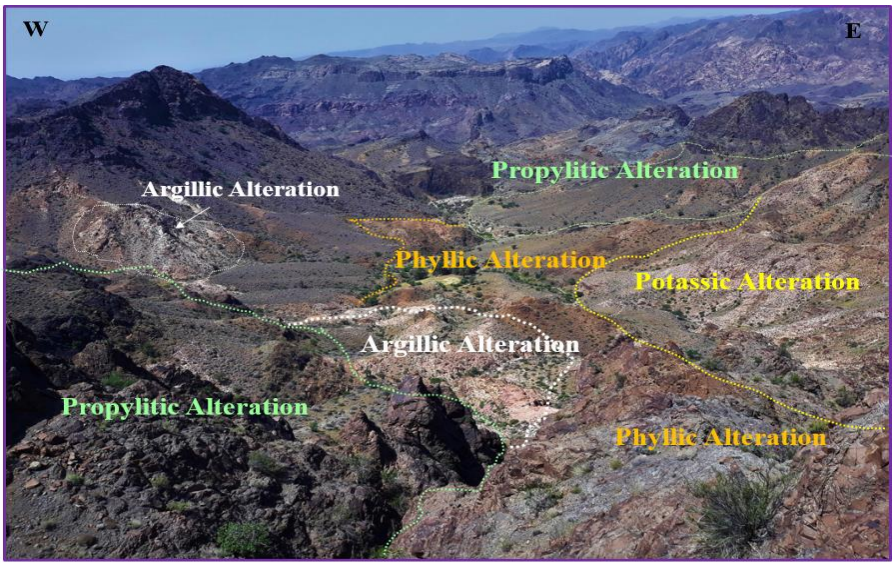
شکل ۲- نقشه زمین شناسی بزرگ مقیاس منطقه بنگلو به همراه موقعیت نمونه های برداشت شده

الف- واحد آندزیت پورفیری: سنگ‌های آندزیتی با بافت پورفیری دارای طیف متنوعی از رنگ‌های خاکستری روشن متمایل به قهوه‌ای، سبز در سطح هوازده و در سطح تازه خاکستری تیره مشاهده می‌شود. براساس مشاهدات میکروسکوپی، کانی‌های اصلی

سنگ‌ها عبارتند از پلاژیوکلاز، کانی‌های فرومنیزین از جمله هورنبلند، بیوتیت اولیه، بیوتیت ثانویه به مقدار فراوان و پیروکسن در این سنگها دیده شد. پلاژیوکلاز از جمله فراوان‌ترین اجزای تشکیل دهنده این سنگ‌هاست. در برخی موارد بیوتیت و آمفیبول به شدت دگرسان شده و به مجموعه‌ای از کانی‌های تجزیه‌ای مانند اکسید آهن، کلسیت، کلریت، اپیدوت تبدیل شده‌اند. **ب- واحد آذرآواری:** مجموعه آذرآواری با سن ائوسن با ترکیب آندزیت و آندزیت- بازالت پورفیری می‌باشد. توف‌های خاکستری دستخوش فرایند دگرسانی شده‌اند تا آنجا که در اغلب نمونه شدت دگرسانی به حدی است که کانی‌های ثانویه از جمله کلسیت و کلریت به میزان فراوان به وجود آمده است. **ج- توده‌های نفوذی:** توده نفوذی به شکل دایک و استوک و در ارتباط با کانی‌سازی دیده می‌شوند. این توده‌ها از نظر ترکیبی از گرانودیوریت، دیوریت تا کوارتزدیوریت متغییرند و اغلب با بافت گرانولار و پورفیری درشت دانه دارند. این توده‌ها دچار دگرسانی شده‌اند و کانی‌سازی به صورت رگچه‌ای و پراکنده در آن‌ها دیده می‌شود. کانی‌های اصلی شامل پلاژیوکلاز (۶۰-۴۵ درصد حجمی)، آمفیبول (۱۰-۲۰ درصد حجمی)، بیوتیت (۲۰- ۳۰ درصد حجمی) و پیروکسن با مقدار کم کوارتز می‌باشند. پلاژیوکلاز به شدت دچار دگرسانی سرسیتی و سوسوریتی شده‌اند. بیوتیت کانی فرومنیزین است که کانی‌های اصلی را همراهی می‌کند و به دو گونه اولیه (ماگمایی) و ثانویه (گرمابی) یافت می‌شود. بیوتیت اولیه اغلب درشت‌تر هستند و به صورت منفرد از بلورهای شکل‌دار تا نیمه‌شکل‌دار و به رنگ قهوه‌ای آمفیبول کانی فرومنیزین دیگری است که از نوع سبز و قهوه‌ای بوده و بیشتر نیمه‌شکل‌دار هستند و به کانی‌های دیگر از جمله کلریت، اکسیدهای آهن دگرسان شده‌اند. واحدهای مورد بررسی تحت تأثیر دگرسانی شدیدی از جمله پتاسیک، فیلیک، پروپیلی‌تیکی قرار گرفته‌اند. به طوری که اغلب پلاژیوکلازها به کلریت، سرسیت، کلسیت و کانی‌های فرومنیزین بیوتیت و هورنبلند نیز به کلریت و اپیدوت دگرسان شده‌اند. توده نفوذی گرانودیوریتی وسعت کمتری نسبت به توده نفوذی کوارتز دیوریتی دارد و با رنگ ظاهری خاکستری روشن و فلدسپارهای پتاسیم صورتی رنگ و بافت دانه‌ای است. از مهم‌ترین کانی‌های آن می‌توان به درشت بلورهای فلدسپار پتاسیم، کوارتز، پلاژیوکلاز، هورنبلند و بیوتیت اشاره کرد.

مطالعات دگرسانی و کانی‌شناسی

دگرسانی‌ها در توالی آتشفشانی و آذرآواری و همچنین توده نفوذی از گسترش قابل توجهی برخوردار هستند. بر اساس بررسی‌های صحرائی و آزمایشگاهی مجموعه دگرسانی‌ها در مناطق مورد مطالعه عبارتند از: ۱) دگرسانی پتاسیک، ۲) دگرسانی فیلیک، ۳) دگرسانی سرسیتی ۴) دگرسانی آرژیلیکی، ۴) دگرسانی پروپیلیتیک، ۵) دگرسانی سیلیسی و ۶) دگرسانی کربناتی (شکل ۳).



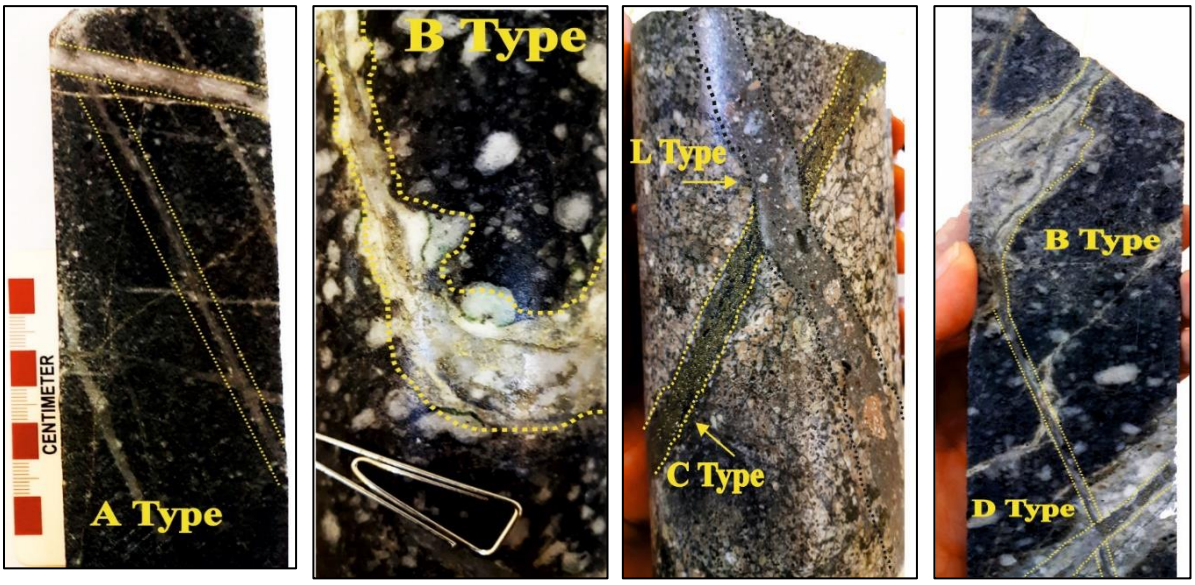
شکل ۳: تصویر صحرایی از دگرسانی‌های پتاسیک، فیلیک، آرژیلیک و پروپیلی‌تیک دربرگیرنده سنگ‌های آتشفشانی و توده نفوذی

دگرسانی پتاسیک: دگرسانی پتاسیک در منطقه بنگلو علاوه بر توده نفوذی مولد دگرسانی و کانه‌زایی، سنگ‌های آندزیتی را نیز تحت تأثیر قرار داده است و با مجموعه کانی‌های پلاژیوکلاز، کوارتز، آلکالن فلدسپار،کانی‌های فرومنیزین از جمله بیوتیت،

هورنبلند، سرسیت و کلریت مشخص می‌شود. بیوتیت به عنوان فراوان‌ترین کانی در این مجموعه به دو صورت اولیه (ماگمایی) و ثانویه (گرمابی) حضور دارد. بیوتیت تعادل دوباره یافته با جانشینی بیوتیت‌های ماگمایی توسط بیوتیت‌های گرمابی پدید آمده‌اند. علاوه بر این در برخی نمونه‌ها بیوتیت ماگمایی، گرمابی و تعادل مجددیافته توسط کلریت جانشین شده‌اند. بیوتیت‌های ماگمایی با شکل مشخص مستطیلی و رخ آشکار و بیوتیت‌های گرمابی بی شکل و به صورت پراکنده هستند و بعضاً جانشین پلاژیوکلاز و هورنبلندها شده‌اند. کانی‌های سولفیدی غالب در این مجموعه پیریت و کالکوپیریت می‌باشند. **دگرسانی فیلیک**: دگرسانی فیلیلک در منطقه بنگلو انواع دگرسانی قبلی را پوشش می‌دهد به طوری که در زون دگرسانی پتاسیک منجر به جانشینی فلدسپار پتاسیم و یا بیوتیت توسط کوارتز - سرسیت تا سرسیت – کوارتز – کربنات می‌شود . دگرسانی فیلیک، به ویژه زمانی که همراه با کوارتز – سرسیت و کالکوپیریت زون دگرسانی پروپیلی‌تیک را همپوشانی می‌کند، می‌تواند باعث افزایش عیار مس و طلا شود با این حال در بسیاری از فواصل دیگر به ویژه همراه با کوارتز و پیریت بالا سبب رقیق‌سازی عیار مس شود (Soloviev et al., 2019). براساس مطالعات صحرایی و میکروسکوپی دگرسانی فیلیک در محدوده مورد مطالعه براساس کانی‌هایی از جمله سریسیت، کلریت، موسکویت، کوارتز و کانی های اوپک شناسایی می‌شود. بر اساس مطالعات صورت گرفته در منطقه بنگلو، در مرز دگرسانی فیلیک و پتاسیک بیشترین زون کانه‌زایی رخ داده است. **دگرسانی سرسیتی**: سرسیتی شدن در این مجموعه به اندازه‌ای گسترده ست که می‌توان آن را در مجموعه مجزا بررسی نمود. زون سرسیت را می‌توان به دو زیرزون اصلی تقسیم نمود که عبارتند از: ۱- زیر زون سرسیت + پتاسیک و ۲- زیر زون سرسیت + آرژیلیک و ۳- زیر زون سرسیت – پروپیلی‌تیک. **دگرسانی آرژیلیکی**: از فرایندهای عمده دگرسانی، در محدوده معدنی بنگلو، آرژیلیکی شدن است که واحدهای سنگی توف و گدازه را تحت تأثیر قرار داده است. سنگ‌های این پهنه در محدوه مورد مطالعه بسیار نرم بوده و بسته به درجه خلوص آن‌ها، به رنگ‌های سفید تا زرد متمایل به قهوه‌ای (در اثر آغشتگی هماتیت) و سبز دیده می‌شوند. **دگرسانی پروپیلی‌تیک**: دگرسانی پروپیلیتیک در منطقه مورد مطالعه به طور گسترده رخ داده است و گاهی توسط دگرسانی فیلیک و آرژیلیک پوشانده می‌شود. در مشاهدات صحرایی در بخش حاشیه‌ای محدوده بنگلو دگرسانی اپیدوت به مقدار زیاد قابل مشاهد می‌باشند. کانی‌های اپیدوت و کلریت (در اثر دگرسانی آمفیبول‌ها) موجود در این سنگ‌ها باعث سبز رنگ شدن سطح این سنگ‌ها شده‌اند. این دگرسانی به رنگ سبز در واحدهای دیوریت و کوارتز دیوریت مشاهده می‌شوند. در این زون در سیستم گرمابی کانسار مس بنگلو دگرسانی پروپیلی‌تیک، کلریتی و اپیدوتی شدن در نمونه‌های سطحی و نمونه‌های مغزه در فاصله دورتر از توده آذرین درونی و بخش‌های عمیق‌تر رخ می‌دهند. **دگرسانی کربناتی**: همان طور که در بخش قبلی توضیح داده شد کانی‌های کربناتی حاصل از دگرسانی، معمولاً جزء کانی‌های وابسته به دگرسانی پروپیلیتک است ولی فراوانی آن در برخی بخش‌ها به قدری است که ترجیح داده می‌شود به عنوان دگرسانی جداگانه در نظر گرفته شود. این زون را می‌توان به چهار زیر زون اصلی تقسیم نمود که عبارتند از: ۱) زون کربناته (کلسیت + انیدریت)، ۲) زیر زون کربناته + سیلیسی، ۳) زیر زون کربناتی + سرسیتی و ۴) زیر زون کربناتی + پروپیلی‌تیک (کلسیت+ کلریت+ اپیدوت) می‌باشد. **دگرسانی سیلیسی**: در منطقه‌ی مورد مطالعه، سیلیسی شدن به صورت پرکننده‌ی رگه – رگچه و پراکنده در زمینه‌ی سنگ، در بخش‌های مختلف منطقه مشاهده می‌شود. کوارتز کانی اصلی این دگرسانی است و کانی‌های پیریت، کالکوپیریت، موسکویت نیز در آن حضو دارند. بلورهای درشت و شکل‌دار کوارتز دارای مرز مشترک هستند و معمولا تقاطع بین رگچه‌های ضخیم کوارتزی درشت دانه با رگچه‌های نازکتر کوارتزی با دانه‌های ریزتر به وضوح دیده می‌شود .

طبقه‌بندی رگه‌ها

سیستم استوک ورک در کانسار مس پورفیری بنگلو عمدتاً در بخش های مرکزی و عمیق کانسار توسعه یافته است. بر اساس پتروگرافی، داده‌های کانی‌شناسی چند نوع مختلف رگه تشخیص داده شد و آنها را مطابق شکل ۴ و جدول (۱) در تیپ‌های مختلف طبقه‌بندی شده است. (جدول ۱).



شکل ۴: تقسیم‌بندی رگه- رگچه به ۵ دسته رگه – رگچه نوع A، B، C، D و رگه رگچه تأخیری

۱- رگه کوارتز و کوارتز - انیدریت بدون کانه‌زایی: این رگه‌ها غالباً با ضخامت متغیر از رگه‌های نسبتاً باریک میلی‌متری تا رگه‌های نسبتاً ضخیم چند سانتی متر و گاهی به صورت متقاطع مشاهده می‌شوند. بلورهای کوارتز موجود در این رگه‌ها با بافت موزائیکی تا دانه‌ای دیده می‌شوند و بعضاً با انیدریت، فلدسپار آلکالن، کلسیت و سرسیست همراه هستند و در برخی موارد قطع کننده درشت بلورهای پلاژیوکلاز و بیوتی‌های اولیه و یا ثانویه می‌باشند. رگه‌ها کوارتز- انیدریت ممکن است با دانه‌های پراکنده پیریت و کالکوپیریت به مقدار خیلی کم نیز دیده شوند. به دلیل حضور بیوتیت‌های ثانویه و ارتوکلاز در اطراف این رگه‌ها می‌توان گفت این رگه‌ها در مراحله سیستم دگرسانی پتاسیم ایجاد شده‌اند قابل ذکر است بعضاً این رگه‌ها در زمینه‌ای با دگرسانی سرسیتی شدید نیز مشاهده می‌شوند.

۲- کوارتز_ بیوتیت_ مگنتیت: رگه با ضخامت کمتر از ۲ میلی‌متر که توسط رگه کوارتز- پیریت با دگرسانی وسیع اکسید آهن در اطراف قطع شده است. درجه متاسوماتیزم پتاسیم و بیوتیتی شدن در اطراف این رگه شدید می‌باشد. در واقع شاهد دو نسل از بیوتیت (اولیه و ثانویه) حضور دارند.

۳- رگه کوارتز _ کالکوپیریت _ مگنتیت: این رگه‌ها با ضخامت کمتر از ۲ میلی‌متری تا ۵ میلی‌متری در مقاطع میکروسکوپی و نمونه مغزه حفاری و گاهی همراه با پیریت دیده می‌شوند. کانه‌زایی اغلب در بخش مرکزی رگه و محل تقاطع رگه‌ها به مقدار زیاد رخ داده است. این رگه‌ها قطع کننده رگه‌های کوارتز- انیدریت و در برخی موارد قطع کننده رگه‌های هم نوع خود هستند. با حضور اتوکلاز، بیوتیت اولیه و ثانویه، هورنبلند، کلریت، اپیدوت این رگه همراه با دگرسانی پتاسیک ایجاد شده‌اند. سیالات درگیر غنی از فاز بخار به علاوه فاز غنی از مایع همراه با فاز جامد دارای هالیت و انیدریت در این رگه‌ها حضور دارند. سیال درگیر حاوی CO_2 دار در ابعاد خیلی ریز نیز دیده شده است.

۴- رگه مگنتیت ± کالکوپیریت: رگه نسبتاً باریک از مگنتیت و کالکوپیریت در اعماق ۵۰۰ متری که توسط رگه‌های ضخیم کوارتز- کالکوپیریت- پیریت- - مگنتیت قطع شده‌اند. این رگه‌ها به میزان کم و همراه با دگرسانی پتاسیک ایجاد می‌شوند.

۵- رگه کوارتز _ پیریت_ کالکوپیریت_ مگنتیت: این رگه‌ها با ضخامت کمتر از ۵ میلی‌متری و متقاطع در مقاطع میکروسکوپی و نمونه دستی دیده می‌شوند. کانی مگنتیت و پیریت هم در رگه‌ها و هم در اطراف رگه‌ها در زمینه از فراوانی بیشتری برخوردار است. گاهی بلورهای انیدریت به مقدار کم همراه با این رگه‌ها دیده می‌شوند. رگه‌های با ضخامت کمتر به صورت متقاطع با رگه‌های کوارتز و کوارتز- انیدریت دیده می‌شوند و رگه‌هایی که ضخامت بیشتری دارند به صورت منفرد دیده شده و قطع کننده کانی‌هایی دیگری از جمله بیوتیت ثانویه و کانه‌های فراوان مگنتیت در زمینه می‌باشند. این نوع رگه‌ها همراه با دگرسانی پتاسیک و همچنین دگرسانی سرسیتی شدن خفیف تا شدید ایجاد می‌شوند. سیالات درگیر غنی از فاز بخار به علاوه فاز غنی از مایع در این رگه‌ها حضور دارند.

۶- کوارتز +کالکوپیریت + مگنتیت+ پیریت+ انیدریت: این رگه با ضخامت ۰/۵ میلی‌متری تا ۵ میلی‌متری با حضور کالکوپیریت و پیریت به طور پراکنده در طول رگه و مگنتیت در امتداد رگه تمرکز دارند و با مقدار پایینی انیدریت همراه هستند. رگه‌های کوارتز- کالکوپیریت – مگنتیت و کوارتز- کالکوپیریت- پیریت قطع کننده این رگه‌ها هستند. براساس مطالعات صورت گرفته، این رگه همراه با دگرسانی پتاسیک و سرسیتی شدن شدید در اطراف رگه می‌باشد.

۷- رگه کوارتز_انیدریت_ آلکالن فلدسپار_ پیریت _بیوتیت_ مگنتیت _ کالکوپیریت: این رگه با ضخامت نسبتاً باریکی در حدود کمتر از ۱ میلی‌متری در طول رگه تغییرات کانی‌شناسی قابل توجهی برخوردار هستند. رگه کوارتز- انیدریت با ضخامت ۵ میلی‌متری دانه‌های پراکنده‌ای از پیریت و کالکوپیریت این رگه را قطع می‌کند. هاله‌های دگرسانی اطراف رگه‌ها حاوی بیوتیت ثانویه، فلدسپات آلکالن نشان از مرز دگرسانی پتاسیک- فیلیک می‌باشد. سرسیتی شدن در امتداد این رگه رخ داده است. سیالات درگیر تک فازی غنی از فاز بخار و دو فازی غنی از بخار و مایع در اندازه متوسط تا بزرگ در آنها دیده می‌شود. قابل ذکر است سیال درگیر حاوی CO_2 دار در ابعاد خیلی ریز نیز دیده شده است.

۸- رگه کوارتز_ کالکوپیریت – پیریت – مولیبدنیت: ضخامت این رگه تا ۵ میلی‌متر می‌رسد و بیشتر از کالکوپیریت و پیریت با مقدار کمی مولیبدنیت تشکیل شده است. اطراف رگه به شدت تحت تأثیر سرسیتی شدن با مقدار زیاد انیدریت قرار گرفته است. این رگه به عنوان مرحله اصلی کانی‌سازی در نظر گرفته می‌شوند.

۹- رگه کوارتز _ کالکوپیریت_ پیریت: این رگه‌ها در اعماق مختلف با ضخامت ۲ تا ۵ میلی‌متری مشاهده می‌شوند. ضخامت این رگه‌ها از اعماق کمتر (حدود ۵ میلی‌متر) به سمت اعماق بیشتر (حدود ۲ میلی‌متر) کاهش می‌یابد. این رگه‌ها به عنوان مرحله اصلی کانی‌سازی در نظر گرفته می‌شوند. این رگه‌ها در نمونه‌های مغزه‌های حفاری مورد بررسی قرار گرفته و همراه با دگرسانی پتاسیک مرز پتاسیک - فیلیک و دگرسانی پروپیلی‌تیک ایجاد شده‌اند.

۱۰- رگه پیریت ± کوارتز: این رگه به طور پیوسته و با ضخامت ۱ سانتی‌متری در نمونه مغزه حفاری مشاهده شده و همراه با دگرسانی پتاسیک و فیلیک ایجاد شده‌اند. این رگه‌ها معمولاً قطع کننده رگه کوارتز – کالکوپیریت- پیریت_ انیدریت هستند.کوارتز واجد سیالات تک فازی V و LV می‌باشند.

۱۱- رگه پیریت ± کوارتز ± سرسیت: این رگه‌ها با عرض ۵ میلی‌متری در مقاطع میکروسکوپی با دگرسانی سرسیتی قابل توجه در اطراف رگه‌ها می‌باشند. رگه پیریت – کوارتز- سرسیت و رگه پیریت- کوارتز با حاشیه سرسیت – رسی (کائولن)، رگه‌های نسل بعد از مرحله کانی‌سازی اصلی محسوب می‌شوند. با وجود کوارتز محدود اما سیالات درگیر غنی بخار با غنی از مایع قابل توجهی همراه با فاز جامد در آن‌ها دیده می‌شود.

۱۲- رگه کوارتز _ آلکالی فلدسپار _ پیریت: این رگه‌ها با عرض ۵ میلی‌متری تا نسبتاً باریک اغلب همراه با پیریت در سرتاسر رگه و همراه با دگرسانی فیلیک ایجاد می‌شوند. کالکوپیریت و انیدریت با مقدار خیلی کمتر نیز حضور دارند. با این وجود سیالات درگیر محدود فازهای غنی از بخارو غنی از مایع و گاهی همراه با فاز جامد در این رگه‌ها دیده می‌شود. رخنمون این رگه‌ها در نمونه‌های سطحی با ضخامت پایین و در مغزه‌ها حفاری تا اعماق ۲۰۰ متری با ضخامت نسبتاً بیشتری دیده می‌شوند.

۱۳- رگه کوارتز _ پیریت _ موسکویت_ کلریت: رگه با عرض باریک در طول رگه تغییرات کانی‌شناسی با مقدار قابل توجهی از موسکویت قابل مشاهده است. این رگه‌ها بعضاً همراه با ارتوز، انیدریت و کلسیت دیده می‌شوند. این رگه قطع کننده رگه اصلی کوارتز- انیدریت با کمی پیریت و کالکوپیرت دانه پراکنده می‌باشد. این رگه همراه با دگرسانی پتاسیک ایجاد شده است. در بخش‌هایی که رگه حاوی کوارتز است سیالات درگیر چند فازی و دو فازی که عمدتاً VL هستند مشاهده می‌شود. همچنین سیال درگیر CO_2 دار ندرتاً دیده می‌شود.

۱۴- رگه کلسیتی: رگچه‌های تأخیری کلسیتی با ضخامت ۲ تا ۳ سانتی‌متری که قطع کننده رگه‌های کانه‌زا هستند.

توالی پاراژنز این رگه‌ها در جدول ... نشان داده شده است.

جدول ۱:طبقه‌بندی رگه- رگچه‌های کانسار مس پورفیری بنگلو

Vein type	Mineralogy	Alteration mineralogy	Alteration zone	Vein classification
I	کوارتز ± انیدریت	بیوتیت ثانویه، ارتوکلاز	پتاسیک	A1
II	کوارتز+ بیوتیت± مگنتیت	بیوتیت اولیه و ثانویه، فلدسپات آلکالن، کلریت، اکتینولیت	پتاسیک و کمی پروپیلی‌تیک	M1
III	مگنتیت ± کالکوپیریت	مگنتیت، بیوتیت ثانویه، سرسیت، کوارتز	پتاسیک و سرسیتی شدن	M1
IV	کوارتز+±کالکوپیریت± مگنتیت±پیریت	مگنتیت، بیوتیت، فلدسپات آلکالن، هورنبلندهای کلریتی شده، کلریت، انیدریت	پتاسیک و پروپیلی‌تیک	M2
V	کوارتز±انیدریت± آلکالن فلدسپار± پیریت ±بیوتیت± مگنتیت±کالکوپیریت	بیوتیت اولیه و ثانویه، ارتوکلاز، انیدریت،	پتاسیک	A2
VI	کوارتز +کالکوپیریت + مگنتیت+ پیریت± انیدریت	سرسیت، کوارتز	فیلیک (سرسیتی شدن شدید)	A3
VII	کوارتز+کالکوپیریت+ پیریت	سرسیت، کوارتز، پیریت	فیلیک	B1
VIII	کوارتز+کالکوپیریت + پیریت ± مولیبدنیت	بیوتیت ثانویه و گرمابی، کوارتز، آلکالن فلدسپات، انیدریت فراوان	پتاسیک	B2
IX	پیریت ± کوارتز	آلکالن فلدسپات، سرسیت، کلریت	پتاسیک ، فیلیک	D1
X	کوارتز ± آلکالی فلدسپار + پیریت	سرسیت، آلکالن فلدسپات	پتاسیک ، فیلیک	D1
XI	پیریت+ کوارتز ± سرسیت	سرسیت	فیلیک	D2
XII	کوارتز ± پیریت±موسکویت ±کلریت± فلدسپات آلکالن±انیدریت ± کلسیت	بیوتیت اولیه و ثانویه، هورنبلند سرسیتی و کلریتی شده، موسکویت، کلریت، سرسیت، کلسیتی	پتاسیک، فیلیک و پروپیلی تیک	C
XIII	کلسیت	کلسیت، کلریت، اپیدوت	پروپیلی‌تیک	L

جدول۲: توالی پاراژنز شماتیک از رگه‌ها در کانسار مس پورفیری بنگلو

Vein type	Vein mineralogy	Early mineralization	Main mineralization	Late mineralization
I	کوارتز ± انیدریت			
II	کوارتز+ بیوتیت± مگنتیت			
III	مگنتیت ± کالکوپیریت			
IV	کوارتز + کالکوپیریت + مگنتیت ± پیریت			
V	کوارتز±انیدریت± آلکالن فلدسپار± پیریت ±بیوتیت± مگنتیت ±کالکوپیریت			
VI	کوارتز +کالکوپیریت + مگنتیت+ پیریت± انیدریت			
VII	کوارتز+کالکوپیریت + پیریت ± مولیبدنیت			
VIII	کوارتز _ کالکوپیریت_ پیریت			
IX	پیریت ± کوارتز			
X	پیریت+ کوارتز ± سرسیت			
XI	کوارتز ± آلکالی فلدسپار _ پیریت			
XII	کوارتز ± پیریت ± موسکویت ± کلریت ± ارتوز ± انیدریت ± کلسیت			
XIII	کلسیت			

نتیجه‌گیری

در کانسار مس بنگلو تشکیل و تکامل سامانه کانه‌زایی و دگرسانی در ارتباط با توده نفوذی، لیتولوژی سنگ‌های دربرگیرنده، کنترل‌های ساختاری، محلول‌های گرمابی و دایک‌های با ترکیب دیوریتی تا کوارتز دیوریتی است که به صورت سامانه‌های مختلف رگه _ رگچه‌ای آشکار می‌شود. میزان و نوع کانه زایی موجود در این رگه ها، تفکیک شده است و نتایج به دست آمده نشانگر تطابق ترکیبی، کانی شناسی و ویژ گی های سیال کانه دار این کانسار با کانسارهای مس پورفیری است. با توجه به تفکیک رگه‌ها و سامانه کانه‌زایی در کانسار مس بنگلو می‌توان سه مرحله کانه‌زایی شامل مرحله اولیه، مرحله اصلی و مرحله نهایی طبق جدول (۲) برای کانی‌سازی رگه‌ها در نظر گرفت و رگه- رگچه‌ها را براساس ساختار، بافت و کانی‌شناسی طبق جدول (۱) در ۶ تیپ M، A، B، C، D و L طبقه‌بندی نمود. در مراحل اولیه تیپ M و A، مرحله اصلی کانی‌سازی تیپ B و مرحله پس از کانه‌زایی تیپ C، D و در مرحله نهایی L قرار می‌گیرد. وجود انواع میانبار سیال تک فازی بخار، دو فازی مایع- بخار، چند فازی مایع- بخار – جامد و همچنین فاز گازی CO_2 در رگچه‌های

تشکیل شده در مراحل اولیه و مرحله اصلی کانی‌سازی و مرحله پس از کانی‌سازی اصلی دیده می‌شوند. بیشترین حجم کانی‌سازی رگچه‌ای و افشان به همراه دگرسانی پتاسیک و تا حدی فیلیک صورت گرفته است. کانی‌های سولفیدی اصلی شامل پیریت، کالکوپیریت و مولیبدنیت به مقدار جزئی در رگه- رگچه‌های عمقی حضور دارند. مگنتیت کانی اکسیدی اصلی را تشکیل می‌دهد. مجموعه دگرسانی که توده نفوذی و سنگ آتشفشانی را تحت تأثیر قرار داده است زون دگرسانی پتاسیک، فیلیک، آرژیلیکی و پروپیلی‌تیکی است. دگرسانی پتاسیک و فیلیک به طور غالب توده نفوذی و دگرسانی پروپیلی‌تیک بر سنگ‌های آتشفشانی چیره شده است. گفتنی است که از دید اقتصادی و اکتشافی، گسترش توده های نفوذی پورفیری در کمان ماگمایی کرمان و رخداد کانه زایی های مس- مولیبدن پورفیری در آن به همراه مطالعات کانی شناسی و هاله های دگرسانی و طبقه‌بندی رگه- رگچه‌ها می‌تواند به عنوان ابزار اکتشافی در این پهنه و نیز در محیط‌های زمین‌شناسی مشابه مورد تأکید قرار داد.

مراجع

:

Alavi, M., 2007. Structures of the Zagros fold-thrust belt in Iran. American Journal of Science 307 (9), 1064–1095. https://doi.org/10.2475/09.2007.02.

Karimpour, M.H., Sadeghi, M., 2019. A new hypothesis on parameters controlling the formation and size of porphyry copper deposits: Implications on thermal gradient of subducted oceanic slab, depth of dehydration and partial melting along the Kerman copper belt in Iran. Ore Geol. Rev. 104, 522–539.

Richards, J.P., Spell, T.L., Rameh, E., Razique, A., Fletcher, T., 2012. High Sr/Y magmas reflect arc maturity, high magmatic water content, and porphyry Cu ± Mo ± Au potential: examples from the Tethyan Arcs of Central and Eastern Iran and Western Pakistan. Econ. Geol. 107, 295–332.

Sillitoe, R.H., 2010. Porphyry Copper Systems. Econ. Geol. 105, 3–41.

Sinclair, W.D., Goodfellow, W.D., 2007. Porphyry deposits. In: Goodfellow, W.D. (Ed.), Mineral Deposits of Canada: A Synthesis of Major Deposit-Types, District Metallogeny, the Evolution of Geological Provinces, and Exploration Methods, Geological Association of Canada, Mineral Deposits Division, Special Publication 5. Canada, Newfoundland, pp. 223–243

Soorani, L., Shafiei Bafti, B., Homam, S.M., Abbasloo, Z. and Taghizadeh Zanooghi, H., 2022. Hypogene enrichment in Miduk porphyry copper ore deposit, Iran. Scientific Reports, 12(1), pp.1-10.

Shafiei, B., Shahabpour, J. & Haschke, M. Transition from Paleogene normal calcalkaline to neogene adakitic-like plutonism and Cu-metallogeny in the Kerman porphyry copper belt: Response to neogene crustal thickening. J. Sci. Islam. 19, 67–84 (2008).

Taghipour, N., Aftabi, A. & Mathur, R. Geology and Re-Os Geochronology of Mineralization of the Miduk Porphyry Copper Deposit Iran. Resour. Geol. 58(2), 143–160 (2008