

بررسی بافت‌های کوارتز در کانسار مس سرچشمه با استفاده از سامانه تصویرگیری میکروسکوپ الکترونی - کاتدولومینسانس

سمانه نصیری بزنجانی^{۱*}، محمد بومری^۲، حبیب بیابانگرد^۳ و مهدی عبداللهی^۴

^۱ دانشجوی دکترا، گروه زمین‌شناسی، دانشگاه شهید بهشتی، تهران، ایران
^۲ دانشیار، گروه زمین‌شناسی، دانشگاه سیستان و بلوچستان، زاهدان، ایران
^۳ استادیار، گروه زمین‌شناسی، دانشگاه سیستان و بلوچستان، زاهدان، ایران
^۴ دانشجوی دکترا، دانشگاه آزاد اسلامی، واحد علوم و تحقیقات، تهران، ایران
 تاریخ دریافت: ۱۳۹۳/۱۰/۲۹ تاریخ پذیرش: ۱۳۹۴/۰۴/۰۸

چکیده

مشخصات متمایز کاتدولومینسانس (CL) کانی‌های شاخص همچون کوارتز امکان شناسایی سریع اجزای کانی‌های مختلف و پراکنندگی آنها در سنگ‌ها را با استفاده از میکروسکوپ کاتدولومینسانس فراهم می‌کند. کوارتز نه تنها یکی از کانی‌های اصلی سنگ‌های نفوذی فلسیک همراه با کانسارهای مس پورفیری، بلکه فراوان‌ترین کانی گرمایی در دگرسانی پتاسیک و فلیک است. هر چند مطالعه کوارتز در تصاویر الکترونی پس پراکنش یافته (BSE) سودمند است، اما بررسی کوارتز با استفاده از میکروسکوپ الکترونی روبشی - کاتدولومینسانس (SEM-CL) بافت‌های زیادی (منطقه‌بندی، شکستگی‌های ریز ترمیم یافته، بافت‌های تار عنکبوتی) را آشکار کرد که در تصاویر الکترونی پس پراکنش یافته دیده نمی‌شود. منطقه‌بندی‌های دیده شده بازتابی از تغییرات فیزیکی و شیمیایی طول رشد در محیط ته‌نشست (مانند منطقه‌بندی هم‌مرکز) هستند. شکستگی‌های ریز ترمیم یافته و بافت‌های تار عنکبوتی در برخی از دانه‌های کوارتز وجود دارند. هدف اصلی این پژوهش بررسی بافت‌ها و نسل‌های کوارتز در مناطق پتاسیک و فلیک در کانسار مس سرچشمه است. بررسی کوارتز توسط SEM-CL در این کانسار نسل‌های مختلفی از کوارتز (در درشت‌بلورها و رگه‌ها) را آشکار کرد که در شرایط متفاوتی ته‌نشین شده‌اند. کوارتزهای موجود در نمونه‌های مورد مطالعه بیشتر لومینسانس آبی نشان می‌دهند.

کلیدواژه‌ها: کاتدولومینسانس، شکستگی‌های ریز ترمیم یافته، بافت‌های تار عنکبوتی، کوارتز، سرچشمه.

E-mail: saman43@yahoo.com

*نویسنده مسئول: سمانه نصیری بزنجانی

۱- پیش‌نوشتار

در این زمینه وجود دارد (Rusk & Reed, 2002; Landwing & Pettke, 2005; Muller et al., 2010; Wiebe et al., 2007). با توجه به اینکه کانسار مس سرچشمه یکی از بزرگ‌ترین و مهم‌ترین کانسارهای مس پورفیری در جهان است، تاکنون مطالعاتی در زمینه بررسی و تحلیل فابریک کاتدولومینسانس کوارتز در کانسار مس سرچشمه با استفاده از سامانه تصویرگیری رنگی میکروسکوپ الکترونی کاتدولومینسانس (SEM-CL) برای تعیین نسل‌های مختلف کوارتز صورت نگرفته است. کاتدولومینسانس عبارت است از انتشار پرتو مری از یک ماده هنگامی که تحت تأثیر بمباران الکترون‌های حاصل از یک منبع کاتدی قرار گرفته باشد (Boggs & Krinsley, 2006). واژه کاتدولومینسانس بیشتر به اختصار CL گفته می‌شود. از آنجایی که کوارتز یکی از مهم‌ترین کانی‌های موجود در کانسارهای مس پورفیری است و نه تنها در انواع توده‌های نفوذی پورفیری دیده می‌شود بلکه در همه مراحل کانی‌زایی مس و دگرسانی‌ها تشکیل می‌شود، بنابراین استفاده از این روش همراه با مطالعات سنگ‌نگاری و یا تصاویر الکترونی پس پراکنش یافته می‌تواند در تشخیص مراحل کانی‌زایی و انواع بافت‌های کوارتز و چگونگی رشد آن بسیار موفقیت‌آمیز باشد. با این روش می‌توان بافت، منطقه‌بندی و مراحل رشد را در کوارتز تشخیص داد. روش میکروسکوپ الکترونی روبشی - کاتدولومینسانس (SEM-CL)، بافت‌هایی را در کوارتز مشخص می‌کند که با استفاده از میکروسکوپ نوری معمولی و تصاویر الکترونی پس پراکنش یافته نمی‌توان آن را دید. این بافت‌های مخفی اطلاعاتی را در مورد شرایط فیزیکی رشد کوارتز به دست می‌دهند. بنابراین این روش می‌تواند کمکی در راستای تشخیص و شناسایی فابریک‌های مختلف در کوارتز مانند منطقه‌بندی، شکستگی‌های ریز ترمیم یافته و انحلال (شکستگی‌های دیر هنگام) باشد که در دیگر روش‌ها نمی‌توان آن را دید.

کانسار مس پورفیری سرچشمه با مختصات "۲۰' ۵۲' ۵۵" طول خاوری و "۴۰' ۵۶' ۲۹" عرض شمالی در ۱۶۰ کیلومتری جنوب باختری کرمان و ۵۰ کیلومتری رفسنجان قرار دارد. کانی‌زایی در این کانسار بیشتر به صورت شبکه‌ای از رگه و رگچه‌های کوارتز - سولفید در مساحتی بیش از ۲ کیلومتر مربع به صورت تقریباً یکنواخت بیشتر در یک استوک پورفیری گرانودیوریتی معروف به پورفیری سرچشمه و در سنگ‌های آتشفشانی پراکنده شده است. کانی‌زایی در این کانسار به صورت درون‌زاد، سولفیدی غنی شده ثانویه و اکسیدی رخ داده است. در محدوده معدن واحدهای متفاوت سنگی از دید ترکیبی و سنی (از پالئوژن تا عهد حاضر) وجود دارد. بر پایه مطالعات انجام شده، در معدن مس سرچشمه، هفت نوع سنگ مشخص شده است که عبارتند از: آندزیت، استوک پورفیری سرچشمه، پورفیری دانه‌ریز تأخیری، دایک هورنبلند پورفیری پیشین، دایک هورنبلند پورفیری پسین، دایک فلدسپار پورفیری، دایک بیوتیت پورفیری و کوارتز چشمی پورفیری و گرانیتهای پورفیری (گفتگوی شفاهی با کارشناسان معدن مس سرچشمه). گرانیتهای پورفیری و کوارتز چشمی پورفیری در باختر معدن گسترش دارند. الگوی دگرسانی این کانسار قابل مقایسه با الگوی دگرسانی دیگر کانسارهای مس پورفیری توصیف شده توسط Lowell & Gilbert (1970) است. به طوری که دگرسانی پتاسیک در مرکز سامانه و دگرسانی بیوتیتی در سنگ‌های دیواره‌ای گسترش یافته است و هر دو توسط دگرسانی فلیک پوشیده می‌شوند. دگرسانی فلیک در استوک پورفیری سرچشمه و نیز در پیرامون دگرسانی بیوتیتی با شدت بیشتری گسترش می‌یابد. سرانجام دگرسانی پروپلیتیک به سوی خارج سامانه در سنگ‌های دیواره‌ای آندزیتی گسترش یافته است (شفیعی، ۱۳۷۹). در ایران هنوز مقاله یا پژوهش منتشر شده‌ای از مطالعات کاتدولومینسانس روی کوارتز در کانسارهای مس پورفیری وجود ندارد؛ ولی در مقیاس جهانی مطالعات کمی

۲- روش پژوهش

تحت تأثیر قرار دهد (Gotte et al., 2001). در تصویر SEM-CL این نمونه ۵ نسل کوارتز با درخشندگی متفاوت دیده می‌شود؛ در صورتی که در تصویر الکترونی پس‌پراکنش یافته تنها یک نسل دیده می‌شود. ابتدا کوارتز Q1 (با CL آبی فیروزه‌ای) نهشته، سپس کوارتز Q2 (با CL آبی روشن) تشکیل و در مرحله بعدی ابتدا کوارتز Q3 (CL آبی) و سپس Q4 (CL سبز تیره) نهشته شده است و در پایان کوارتز Q5 (CL سرخ تیره) که بیشتر در شکستگی‌های میان دیگر نسل‌ها دیده می‌شود، تشکیل شده است. (Marshall (1988) بر این باور است که نمود لومینسانس درونی با وجود نواقص در کانی‌ها همراه است و کانی‌های تشکیل شده در دماهای بالاتر نواقص بیشتر و لومینسانس درخشان‌تری نشان می‌دهند؛ اما کانی‌های مشابه که با سرعت کمتر و در دمای پایین‌تر تشکیل شده‌اند نواقص کمتری دارند. بنابراین، کوارتز نسل اول که معمولاً در دماهای بالاتر و زمان کوتاه‌تری نسبت به کوارتز نسل دوم تشکیل شده است، درخشش کلی بیشتری نشان می‌دهد و به همین ترتیب به سوی نسل‌های جوان‌تر درخشش کوارتز کمتر می‌شود. همان‌گونه که در شکل ۱ دیده می‌شود کانی‌زایی بیشتر با کوارتزهای نسل چهارم و پنجم همراه است.

۲- تحلیل فابریک کاتدولومینسانس کوارتز در استوک پورفیری سرچشمه: شکل‌های ۲ و ۳ تصاویری از یک درشت‌بلور کوارتز (با منشأ ماگمایی) و یک رگه کوارتز (با منشأ گرمایی) را در سنگ استوک پورفیری سرچشمه در پهنه فلیک نشان می‌دهند. از جمله فابریک‌های کاتدولومینسانس دیده شده در این درشت‌بلور و رگه کانی‌زا شکستگی‌های ترمیم‌یافته، رگه‌ها و لکه‌های CL تاریک (بافت‌های تارعنکبوتی) و شکستگی‌های دیرهنگام هستند (شکل‌های ۲-ب و ۳-ب). تصاویر BSE (شکل‌های ۲-الف و ۳-الف) تنها یک نسل کوارتز در درشت‌بلور و یا رگه را نشان می‌دهند. اما در تصاویر SEM-CL (اعم از درشت‌بلور و رگه کوارتز) ۶ نسل کوارتز دیده می‌شود. ابتدا کوارتز Q1 (کوارتز با CL آبی فیروزه‌ای) نهشته و سپس کوارتز Q2 (CL آبی) تشکیل شده است. در مرحله سوم، کوارتز Q3 (CL آبی به نسبت تیره) و در مرحله چهارم، کوارتز Q4 (CL سبز تیره) روی نسل سوم به وجود آمده است. در مرحله پنجم، کوارتز Q5 (CL سرخ تیره) که بیشتر در میان دیگر نسل‌ها دیده می‌شود، تشکیل شده است. نسل‌های چهارم و پنجم (شکستگی‌های دیرهنگام)، نسل‌های اول، دوم و سوم را قطع کرده‌اند و معمولاً همراه با یکدیگر دیده می‌شوند. در پایان کوارتز Q6 (جوان‌ترین نسل کوارتز که همان شکستگی‌های ریز ترمیم یافته و بافت‌های عنکبوتی مانند "بدون لومینسانس" هستند، تشکیل شده است. این فابریک‌ها در تصاویر پس‌پراکنش یافته دیده نمی‌شوند. همان‌گونه که در تصاویر الکترونی پس‌پراکنش یافته (شکل‌های ۲-الف و ۳-الف) دیده می‌شود، دو نوع کوارتز از دید اندازه و گسترش کانی‌زایی متفاوت هستند، به گونه‌ای که گسترش کانی‌زایی (کانی‌های سفید رنگ "پیریت و کالکوپیریت" که در تصاویر کاتدولومینسانس به رنگ سیاه دیده می‌شوند) در رگه کوارتز گرمایی بیشتر است. ویژگی‌های کاتدولومینسانس درشت‌بلور کوارتز با کوارتزهای رگه‌ای متفاوت است؛ به گونه‌ای که میزان شکستگی‌های ریز ترمیم یافته و بافت‌های تارعنکبوتی در درشت‌بلور کوارتز بیشتر است و به همین دلیل کمی تیره‌تر از رگه کوارتز دیده می‌شود. همان‌گونه که در شکل‌های ۲ و ۳ دیده می‌شود کانی‌زایی بیشتر با کوارتزهای نسل چهارم و پنجم رخ داده است. کوارتز نسل ششم بدون کانی‌زایی است. کوارتز، سرسیت (فلو سیلیکات‌ها) و پیریت دیده شده در تصاویر الکترونی پس‌پراکنش یافته نشان‌دهنده دگرسانی فلیک در این سنگ است.

به احتمال زیاد منشأ اصلی سیلیس برای تشکیل کوارتز در شکستگی‌های دیرهنگام (نسل چهارم و پنجم)، انحلال کوارتزهای کهن‌تر و ایجاد شکستگی‌های جدید در مرز میان دانه‌های کوارتز و یا روی آنها و در پایان پر شدن آنها توسط سیلیس ثانویه است. منشأ سیال تشکیل‌دهنده این نوع از کوارتز به احتمال زیاد سیال‌هایی با درجه

ابتدا ۲۵ مقطع نازک- صیقلی از پهنه‌های دگرسانی مختلف معدن سرچشمه تهیه و توسط میکروسکوپ سنگ‌شناسی در آزمایشگاه زمین‌شناسی دانشگاه سیستان و بلوچستان مطالعه شد. از میان نمونه‌ها، تعدادی نمونه انتخاب و توسط SEM-CL در دانشگاه نئورونزویک کانادا مورد تجزیه قرار گرفت. تجزیه‌ها روی کوارتزهای موجود با روش سامانه تصویرگیری رنگی میکروسکوپ الکترونی کاتدولومینسانس (SEM-CL) مجهز به Gatan Chroma CL و با یک ابر گمانه‌زن خودکار مدل JEOL-6400 در کانادا با ولتاژ شتاب‌دهنده ۲۰ کیلوولت و جریان پرتو ۳۰ نانوآمپر انجام شده است. تصاویر الکترونی پس‌پراکنش یافته مطابق با همان تصاویر SEM-CL تهیه و با یکدیگر مقایسه شد. سپس با توجه به تفاوت رنگ کاتدولومینسانس و درجه درخشندگی، انواع نسل‌ها در بلورها یا رگه‌های کوارتز شناسایی شد.

۳- بحث

پدیده کاتدولومینسانس توسط انتشار فوتون‌ها در پاسخ به بمباران الکترونی به وجود می‌آید و می‌تواند با میکروسکوپ الکترونی (SEM) مجهز به آشکارساز CL دیده شود. تجزیه SEM-CL یک روش مؤثر برای دیدن ریزبافت‌های موجود در کانی‌هاست که در میکروسکوپ نوری معمولی نمی‌توان آنها را دید (Gotze et al., 2001). این بافت‌ها اطلاعاتی را در مورد شرایط فیزیکی رشد انواع کوارتز در اختیار می‌گذارند. بنابراین این روش می‌تواند کمکی در راستای تشخیص و شناسایی فابریک‌های موجود در کانی‌ها و سنگ‌ها مانند منطقه‌بندی، بقایای نسل گوناگون یک کانی، شکستگی‌های ریز ترمیم یافته و شکستگی‌های دیرهنگام باشد. رنگ کاتدولومینسانس انواع کانی‌های با منشأهای مختلف آذرین، رسوبی، دگرگونی و گرمایی، متفاوت است. رنگ کاتدولومینسانس کوارتز در نمونه‌های مورد مطالعه از آبی تیره، آبی روشن، آبی فیروزه‌ای، سرخ تیره، سبز تیره تا سیاه تغییر می‌کند.

۳-۱. تحلیل فابریک کاتدولومینسانس کوارتز

تغییرپذیری در رنگ لومینسانس و در باندهای نشر کاتدولومینسانس می‌تواند ناشی از نواقص ذاتی باشد که شامل لغزش‌های انتقالی، نواقص نقطه‌ای و یا میانبراهای جامد، مایع و یا گاز موجود در کانی هستند (Gotze et al., 2001) و یا می‌تواند ناشی از نواقص بیرونی باشد. هدف از این پژوهش معرفی کاربردهایی از روش کاتدولومینسانس است که برای مطالعه مسائل مختلف از جمله دیدن فابریک‌ها و بافت‌هایی است که به وسیله کاتدولومینسانس آشکار می‌شوند و در دیگر روش‌ها از جمله تصاویر الکترونی پس‌پراکنش یافته (BSE) دیده نمی‌شوند. با توجه به تصاویر کاتدولومینسانس، منطقه‌بندی، شکستگی‌های دیرهنگام، شکستگی‌های ریز ترمیم یافته، رگه‌ها و لکه‌های تاریک (بافت‌های تارعنکبوتی) موجود در کوارتز تشخیص داده شد که در تصاویر الکترونی پس‌پراکنش یافته دیده نشده بود. یکی دیگر از کاربردهای کاتدولومینسانس تعیین نسل‌های مختلفی از کوارتز است که در شرایط فیزیکی و شیمیایی مختلفی تشکیل شده‌اند. در ادامه انواع فابریک و نسل‌های مختلف کوارتز موجود در نمونه‌های مختلف از جمله آندزیت‌ها و استوک پورفیری سرچشمه که کانی‌زایی در آنها بیشتر رخ داده است شرح داده خواهد شد.

۳-۱-۱. تحلیل فابریک کاتدولومینسانس کوارتز در سنگ‌های آندزیتی: شکل ۱-الف تصویر BSE و شکل ۱-ب تصویر SEM-CL دانه‌های کوارتز گرمایی موجود در حفرات پهنه‌های پتاسیک و فلیک را در یک سنگ آندزیتی در کانسار مس سرچشمه نشان می‌دهد. یک اشکال در مطالعه کاتدولومینسانس کوارتز که معمولاً به علت افزایش ریزبافت‌ها از یک نمونه پدید می‌آید این است که گاهی رنگ CL از آبی به سرخ متمایل می‌شود. روشن است که این تغییر می‌تواند شناسایی و تفسیر منشأ را

سرخ تیره) و ۷- کوارتز نسل هفتم (شکستگی‌های ریز ترمیم یافته بدون لومینسانس) است. شکستگی‌های دیر هنگام، نسل‌های اول، دوم و سوم و چهارم را قطع کرده‌اند؛ بنابراین پس از آنها تشکیل شده‌اند. کانی‌زایی بیشتر با کوارتزهای نسل پنجم و ششم دیده می‌شود. در دانه‌های پراکنده موجود در شکل ۵- ب، ۶ نسل کوارتز وجود دارد که طبق تقدم و تأخر پیدایش شامل ۱) کوارتز نسل اول (CL آبی روشن)، ۲) کوارتز نسل دوم (CL آبی)، ۳) کوارتز نسل سوم (CL آبی تیره)، ۴) کوارتز نسل چهارم (CL سبز تیره)، ۵) کوارتز نسل پنجم (CL سرخ تیره) و ۶) کوارتز نسل ششم (شکستگی‌های ریز ترمیم یافته بدون لومینسانس) است. در اینجا کوارتزهای نسل چهارم و پنجم شکستگی‌های دیر هنگامی هستند که حد فاصل میان کوارتزهای نسل اول تا سوم به وجود آمده‌اند. رنگ‌های سفید و شیری دیده شده در تصاویر الکترونی پس‌پراکنش یافته که در تصاویر کاتدولومینسانس به رنگ سیاه دیده می‌شوند، کانی‌زایی را نشان می‌دهند که بیشتر شامل کالکوپیریت، کالکوسیت و مولیبدنیت است. کانی‌زایی بیشتر با کوارتزهای نسل چهارم و پنجم دیده می‌شود.

۴- نتیجه‌گیری

با توجه به مطالعات SEM-CL مقاطع نازک- صیقلی سنگ‌های استوک پورفیری سرچشمه و آندزیت‌ها، نسل‌های بسیاری از کوارتز در درشت‌بلورها (ماگمایی)، رگه‌های کانی‌زا و غیر کانی‌زا و دانه‌های گرمایی کوارتز که در شرایط فیزیکی و شیمیایی متفاوت نهشته شده‌اند، شناسایی شد. درخشش بیشتر نسل‌های قدیمی‌تر کوارتز و قطع شدن آن توسط کوارتزهای نسل جدیدتر (با درخشش کمتر) بیانگر این است که این نسل‌های کوارتز در دمایی بیشتر از نسل‌های جدیدتر تشکیل شده‌اند. بنابراین ترکیب سیالی که سبب تشکیل هر نسل از کوارتز (مانند شکستگی‌های دیر هنگام) شده است، بسیار متفاوت با ترکیب سیالی است که سبب تشکیل کوارتزهای قدیمی‌تر از آن شده است. درخشش بسیار ضعیف شکستگی‌های ریز ترمیم یافته در تصاویر CL رنگی نشان می‌دهد که SiO_2 ترمیم کننده شکستگی در دمایی کمتر از دمای تبلور اولیه کوارتز، به آرامی از سیال‌ها نهشته شده است. بافت‌های تار عنکبوتی همانند شکستگی‌های ترمیم یافته طرح‌های ثانویه‌ای هستند که در هنگام سرد شدن کانی‌های کوارتز ایجاد شده‌اند. در تصاویر الکترونی پس‌پراکنش یافته (BSE) منطقه‌بندی دیده نمی‌شود و این امر نشان‌دهنده آن است که علت ظهور منطقه‌بندی اختلاف در ترکیب شیمیایی عناصر اصلی نیست. منطقه‌بندی‌های (منطقه‌بندی هم‌مرکز) دیده شده بازتابی از تغییرات فیزیکی و شیمیایی طول رشد در محیط ته‌نشست است. از دید اکتشافی روش SEM-CL برای مشخص کردن انواع نسل‌هایی از کوارتز به کار برده می‌شود که در تصاویر BSE دیده نمی‌شود و ارتباط کانی‌زایی را با این نسل‌ها آشکار می‌کند. بنابراین استفاده از این روش همراه با تصاویر BSE می‌تواند در تشخیص مراحل اصلی کانی‌زایی کوارتز بسیار موفقیت‌آمیز باشد.

سپاسگزاری

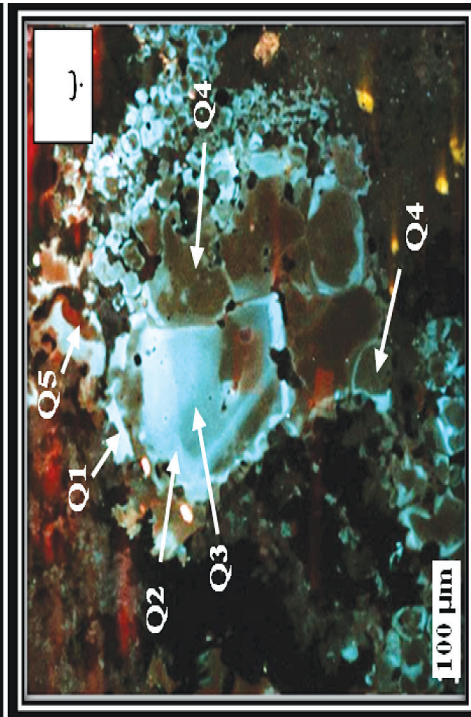
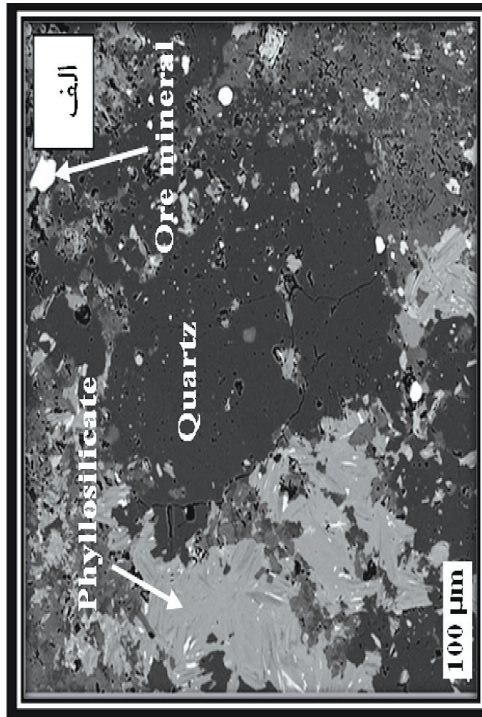
این پژوهش در قالب پایان‌نامه کارشناسی ارشد در دانشگاه سیستان و بلوچستان و با حمایت مالی شرکت ملی صنایع مس ایران انجام شده است. بدین وسیله از شرکت ملی صنایع مس ایران به خاطر حمایت مالی از این پژوهش صمیمانه سپاسگزاری می‌شود. از جناب آقای مهندس سبزیلیان و مهندس قاسمی به خاطر همکاری بی‌دریغ‌شان در انجام این پژوهش و از سرکار خانم مرضیه حسینی که برای راهنمایی‌های بی‌دریغ و ارزنده‌شان در طول مدت اجرای طرح سپاسگذاری می‌شود.

شوری کم تا متوسط است (Muller et al., 2010). در ادامه به توصیف شکستگی‌های ریز ترمیم یافته و بافت‌های تار عنکبوتی و چگونگی تشکیل آنها در سنگ‌های مورد مطالعه پرداخته خواهد شد.

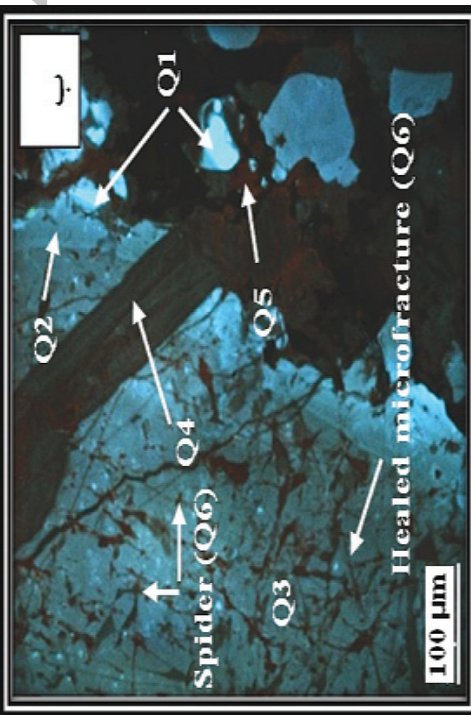
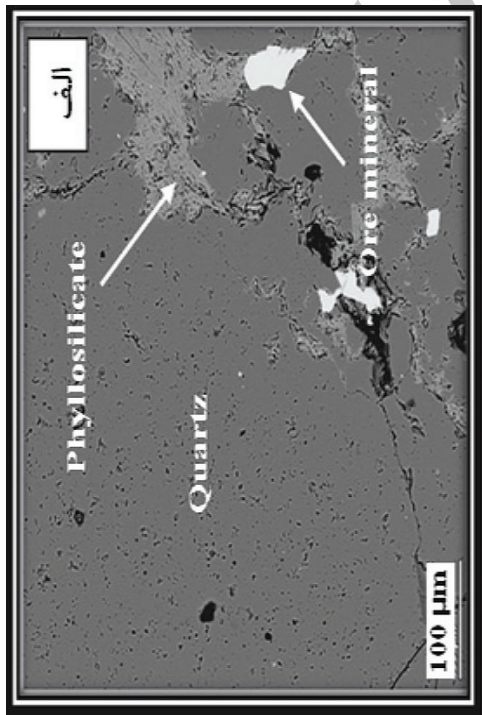
شکستگی‌های ریز ترمیم یافته (Healed micro fractures) به شکل خطوط سیاه نازک در تصاویر SEM-CL دیده می‌شوند. این شکستگی‌ها در تصاویر پس‌پراکنشی دیده نمی‌شوند و مشخص کننده این هستند که مواد ترمیم کننده شکستگی، SiO_2 هستند. درخشش بسیار ضعیف این شکستگی‌ها در تصاویر CL رنگی نشان می‌دهد که SiO_2 ترمیم کننده شکستگی در دمایی کمتر از دمای تبلور اولیه کوارتز، به آرامی از سیال‌ها نهشته شده است (Boggs & Krinsley, 2006). شکستگی دانه‌های کوارتز مسیر را برای ورود سیال‌ها به درون آنها باز می‌کند. سپس نهشته شدن SiO_2 از سیال‌های غنی از سیلیس در دماهای کمتر موجب پر شدن و ترمیم شکستگی‌ها می‌شود. یکی از آشکارترین ویژگی‌های CL کوارتز آذرین درونی و گرمایی، وجود لکه‌ها و رگه‌های کاتدولومینسانس تاریک و نامنظم است که تقریباً همیشه همراه با شکستگی‌های ترمیم یافته دیده می‌شوند و در تصاویر CL به شکل عنکبوت‌های نشسته روی تار به نظر می‌رسند (Boggs & Krinsley, 2006). این عنکبوت‌ها (Spiders) در تصاویر پس‌پراکنشی میکروسکوپ الکترونی روشی دیده نشده و تنها در تصاویر CL پدیدار شده‌اند (نسل ششم در شکل‌های ۲- ب و ۳- ب). این عنکبوت‌ها، طرح‌های ثانویه‌ای هستند و همانند شکستگی‌های ترمیم یافته در هنگام سرد شدن کانی‌های کوارتز و نه در زمان رشد کانی‌ها ایجاد شده‌اند. (Muller et al., 2010) از آنها به عنوان آثار ضعف یاد کرده و اظهار داشته‌اند که این عنکبوت‌ها در مقایسه با کوارتز میزان از عناصر فرعی مانند Al ، K ، Ti و Ni تهی هستند.

شکل ۴ تصاویر مربوط به رگه کوارتز گرمایی در پهنه فلیک و شکل ۵ تصاویر مربوط به دانه‌های کوارتز گرمایی در پهنه پتاسیک در استوک پورفیری سرچشمه را نشان می‌دهند. دانه‌های کوارتز موجود در رگه در تصویر کاتدولومینسانس منطقه‌بندی نشان می‌دهد (شکل ۴- ب)؛ در حالی که در تصویر الکترونی پس‌پراکنشی منطقه‌بندی دیده نمی‌شود (شکل ۴- الف). این امر نشان از آن دارد که علت ظهور منطقه‌بندی اختلاف در ترکیب شیمیایی عناصر اصلی نیست (Boggs & Krinsley, 2006). (Watt et al., 1997) دریافتند که منطقه‌بندی نوسانی در کوارتز در اثر رشد انتشاری از یک سیال به نسبت ساکن به وجود آمده و توسط نرخ رشد کانی و میزان تحرک رشد کنترل شده است. ایشان اظهار داشتند پرتوهای کاتدولومینسانسی که منطقه‌بندی را به وجود می‌آورند به جانشینی عناصر فرعی مربوط هستند. منطقه‌بندی دیده شده منعکس کننده تغییرات فیزیکی و شیمیایی در طی رشد در محیط ته‌نشست و یا ته‌نشینی نامتعادل در سطوح کانی است. Al و Ti عناصر اصلی فعال کننده‌ای هستند که موجب شدت پرتو CL در نوارهای درخشان می‌شوند. Al^{3+} شاخص‌ترین یون ناخالصی است که جانشین Si^{4+} در چهاروجهی سیلیس- اکسیژن می‌شود. در حالی که Fe^{2+} ، K^+ ، Na^+ ، Li^+ و H^+ یون‌های جبران کننده‌ای هستند که وارد فضاهای خالی می‌شوند (Boggs & Krinsley, 2006). یون Ti^{4+} نیز یک یون جانشینی مهم است که مراکز نقص به نسبت پایدار بدون بارهای جبران کننده داخلی ایجاد می‌کند (Muller et al., 2000).

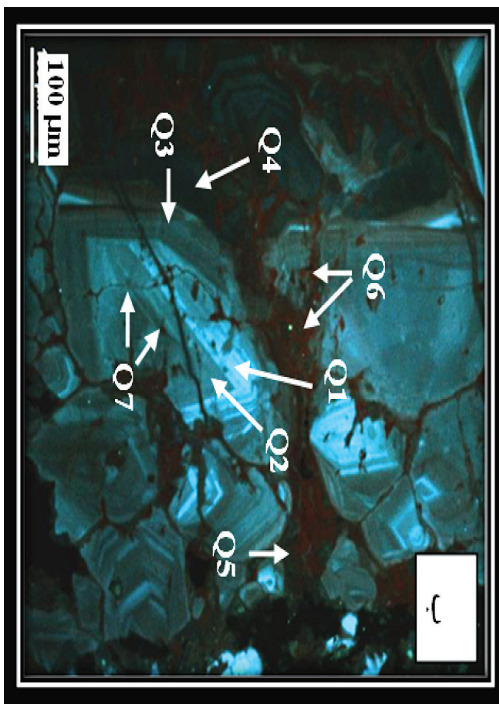
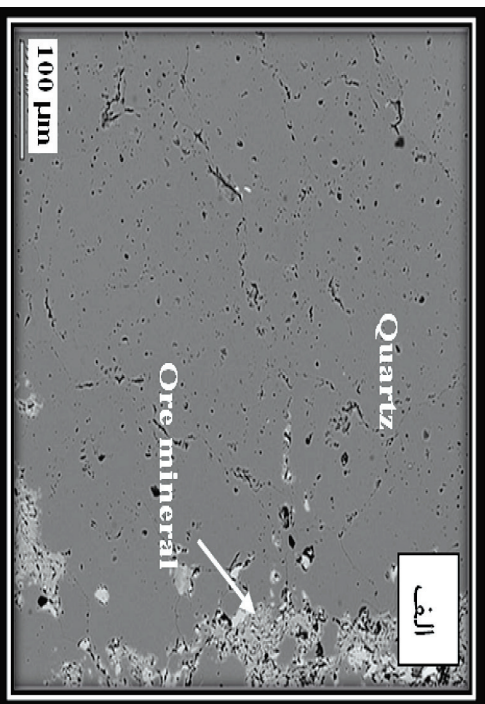
در رگه کوارتزی موجود در شکل ۴- ب، ۷ نسل کوارتز وجود دارد که طبق تقدم و تأخر پیدایش شامل ۱) کوارتز نسل اول (CL آبی روشن)، ۲) کوارتز نسل دوم (CL آبی)، ۳) کوارتز نسل سوم (CL آبی متمایل به سبز)، ۴) کوارتز نسل چهارم (CL آبی تیره)، ۵) کوارتز نسل پنجم (CL سبز)، ۶) کوارتز نسل ششم (CL



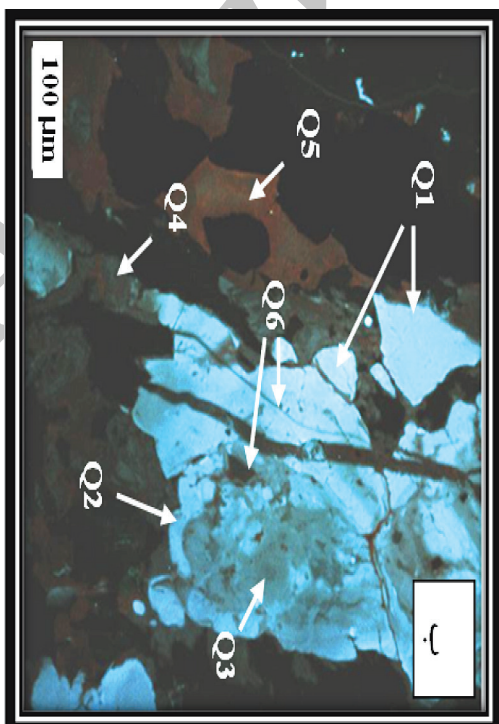
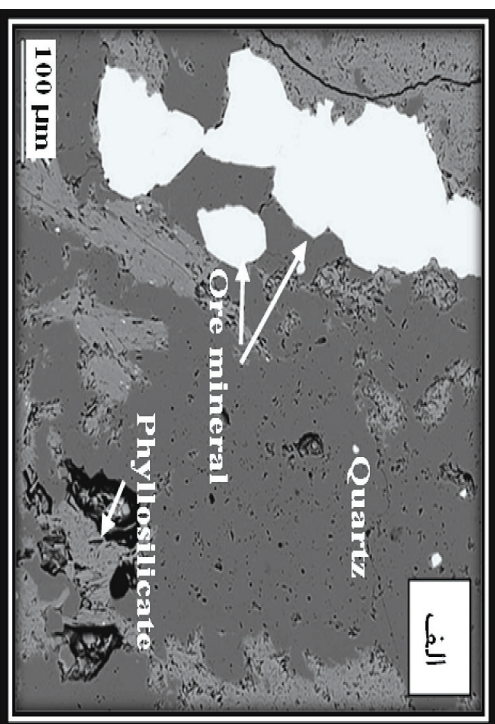
شکل ۱- تصاویر مربوط به دانه‌های گرمایی کوارتز در سنگ آندزیتی. الف) تصویر الکترونی پس پراکش یافته (BSE) از دانه‌های کوارتز، کانی‌های سفید رنگ پیریت و کالکوپیریت هستند؛ ب) تصویر SEM-CL از همان دانه‌های کوارتز موجود در تصویر الف با رنگ CL متفاوت.



شکل ۲- تصاویر مربوط به یک کوارتز درشت‌بلور (ماگمایی) در سنگ گرانودیوریتی استوک پورفیری سرچشمه. الف) تصویر الکترونی پس پراکشی (BSE) دانه کوارتز؛ ب) تصویر SEM-CL همان دانه با رنگ CL متفاوت. در این تصویر می‌توان شش نسل کوارتز دید.

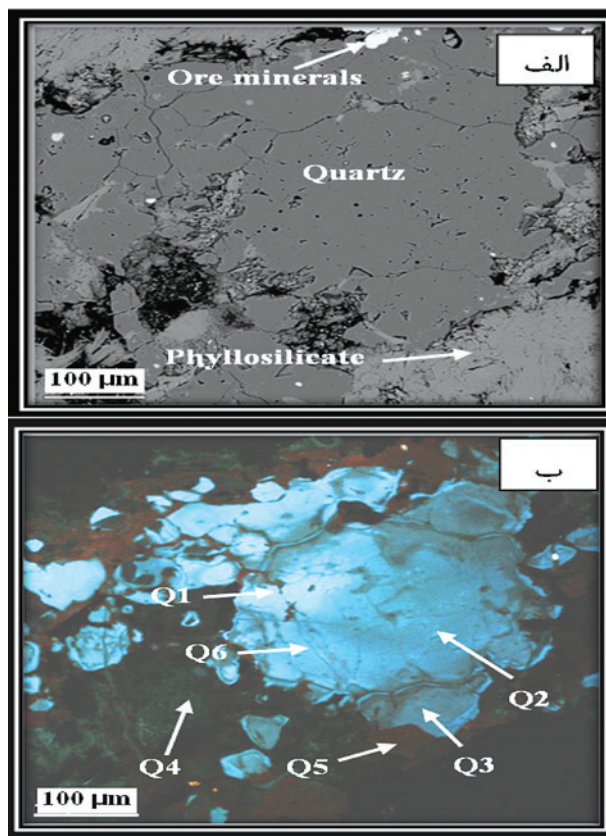


شکل ۴- تصاویر مربوط به دانه‌های کوارتز گرمایی در سنگ در گرانودیوریتی استروک پورفیری سرچشمه. الف) تصویر الکترونی پس پراکشی یافته (BSE) از دانه‌های کوارتز موجود در رگه؛ ب) تصویر SEM-CL از دانه‌های کوارتز با رنگ کاندولومینسانس متفاوت، دقت کنید که منطقه پندای، شکستگی‌های دیر هنگام، شکستگی‌های ریز تر نیم یافته و بافت‌های عکسیتی (به مقدار جزئی) در تصاویر پس پراکشی یافته دیده نمی‌شوند.



شکل ۳- تصاویر مربوط به یک رگه کوارتز گرمایی در سنگ استروک پورفیری سرچشمه نشان داده شده در شکل ۲. الف) تصویر الکترونی پس پراکشی (BSE) رگه کوارتز؛ ب) تصویر SEM-CL همان رگه با رنگ CL متفاوت. در این تصویر می‌توان نشانی نسل کوارتز دید.

شکل ۵- تصاویر مربوط به دانه کوارتز گرمابی در سنگ گرانودیوریتی استوک برفیری سرچشمه. الف) تصویر الکترونی پس پراکنش یافته (BSE) از دانه‌های کوارتز؛ ب) تصویر SEM-CL از همان دانه‌های کوارتز موجود. در تصویر الف با رنگ کاتدولومینسانس متفاوت. دقت شود که شکستگی‌های دیر هنگام و شکستگی‌های ریز ترمیم یافته (به مقدار جزئی) در تصاویر پس پراکنش یافته دیده نمی‌شوند.



کتابنگاری

شفیعی، ب.، ۱۳۷۹- مطالعه رخداد پراکندگی ژئوشیمیایی مدل فلزایی طلا و نقره در کانسار مس پورفیری سرچشمه، پایان‌نامه کارشناسی ارشد، دانشگاه شهید باهنر کرمان، دانشکده علوم، ۳۵۳ص.

References

- Boggs, S. & Krinsley, D., 2006- Application of Cathodoluminescence Imaging to the Study of Sedimentary Rocks, Cambridge University press, P. 165.
- Gotte, T. H., Neuser, R. K. & Richter, D., 2001- New parameters of quartz in sandstone-petrography: cathodoluminescence (CL)-investigation of mature sands and sandstones of north-western Germany, Abstracts of CL 2001 in Freiberg/Sachen, Germany.
- Gotze, J., Plotze, M. & Habermann, D., 2001- Origin, spectral characteristics and practical applications of the cathodoluminescence (CL) of quartz, a review. Mineralogy and Petrology, P. 225-250.
- Lowell, J. D. & Gilbert, J. M., 1970- Lateral and vertical alteration-mineralization zoning in porphyry ore deposits, Economic Geology, V. 65, p. 373-408.
- Landwing, M. R. & Pettke, T., 2005- Relationships between SEM-cathodoluminescence response and trace-element composition of hydrothermal vein quartz, American Mineralogy, V. 90, P. 122-131.
- Marshall, D. J., 1988- Cathodoluminescence of Geological Materials, Unwin Hyman Ltd, Boston, Massachusetts, P. 146.
- Muller, A., Herrington, R., Armstrong, R., Seltmann, R., Kirwin, D. J., Stenina, N. G. & Kronz, A., 2010- Trace elements and cathodoluminescence of quartz in stockwork veins of Mongolian porphyry-style deposits, Miner Deposita, V. 45, P. 707-727.
- Muller, A., Seltmann, R. & Behr, H. J., 2000- Application of cathodoluminescence to magmatic quartz in a tin granite-case study from the Schellerhau Granite Complex, Eastern Erzgebirge, Germany. Mineralium Deposita, P. 169-189.
- Pagel, M., Barbin, V., Blanc, P., Ohmenstetter, D., 2000- Cathodoluminescence in geosciences, New York, Springer, P.514.
- Rusk, B. & Reed, M., 2002- Scanning electron microscope-cathodoluminescence analysis of quartz reveals complex growth histories in veins from the Butte porphyry copper deposit, Montana. Geology, V. 30, P. 727-730.
- Watt, G. R., Wright, P., Galloway, S. & McLean, C., 1997- Cathodoluminescence and trace element zoning in quartz phenocrysts and xenocrysts, Geochimica et Cosmochimica Acta, P. 4337_4348.
- Wiebe, R. A., Wark, D. A. & Hawkins, D. P., 2007- Insights from quartz cathodoluminescence zoning into crystallization of the Vinalhaven granite, coastal Maine, Contributions to Mineralogy and Petrology, V. 154, P. 439- 453.