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: ۲۹/ ۱۰/ ۱۳۹۳ تاریخ پذیرش: ۰۸/ ۰۴/ ۱۳۹۴

چکیده

مشخصات متمایز کاتدولومینسانس (CL) کانی‌های شاخص همچون کوارتز امکان شناسایی سریع اجزای کانی‌های مختلف و پراکندگی 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 گرمابی در دگرسانی پتاسیک و فیلیک است. هر چند مطالعه کوارتز در تصاویر الکترونی پس پراکنش‌یافته (BSE) سودمند است، اما بررسی کوارتز با استفاده از میکروسکوپ الکترونی روبشی- کاتدولومینسانس (SEM-CL) بافت‌های زیادی (منطقه‌بندی، شکستگی‌های ریز ترمیم‌یافته، بافت‌های تارعنکبوتی) 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 تارعنکبوتی در برخی از دانه‌های کوارتز وجود دارند. هدف اصلی این پژوهش بررسی بافت‌ها و نسل‌های کوارتز در مناطق پتاسیک و فیلیک 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.

***نویسنده مسئول:** سمانه نصیری بزنجانی
E-mail: samanen43@yahoo.com

۱- پیش‌نوشتار

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 به‌صورت شبکه‌ای از رگه و رگچه‌های کوارتز- سولفید در مساحتی بیش از ۲ کیلومتر مربع به‌صورت تقریباً یکنواخت بیشتر در یک استوک پورفیری گرانودیوریتی معروف به پورفیری سرچشمه و در سنگ‌های آتشفشانی پراکنده شده است. کانی‌زایی در این کانسار به‌صورت 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. به‌طوری که دگرسانی پتاسیک در مرکز سامانه و دگرسانی بیوتیتی در سنگ‌های دیواره‌ای گسترش یافته است و هر دو توسط دگرسانی فیلیک پوشیده می‌شوند. دگرسانی فیلیک 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 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 مرئی 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 پس‌پراکنش‌یافته 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 پراکنش‌یافته 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 ترمیم‌یافته و انحلال (شکستگی‌های دیرهنگام) باشد که در دیگر روش‌ها نمی‌توان آن را دید.

۲- روش پژوهش

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 نئوبرونزویک 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 به‌وجود 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; Pagel et al., 2000). 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 ترمیم‌یافته و شکستگی‌های دیرهنگام باشد. رنگ کاتدولومینسانس انواع کانی‌های با منشأهای مختلف آذرین، رسوبی، دگرگونی و گرمابی، 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 میانبارهای 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 پس‌پراکنش‌یافته (BSE) دیده نمی‌شوند. با توجه به تصاویر کاتدولومینسانس، منطقه‌بندی، شکستگی‌های دیرهنگام، شکستگی‌های ریز ترمیم‌یافته، رگه‌ها و لکه‌های تاریک (بافت‌های تارعنکبوتی) موجود در کوارتز تشخیص داده شد که در تصاویر الکترونی پس پراکنش‌یافته 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.

- تحلیل فابریک کاتدولومینسانس کوارتز در سنگ‌های آندزیتی: شکل ۱- الف تصویر BSE و شکل ۱- ب تصویر SEM-CL دانه‌های کوارتز گرمابی موجود در حفرات پهنه‌های پتاسیک و فیلیک را در یک سنگ آندزیتی در کانسار مس سرچشمه نشان می‌دهد. یک اشکال در مطالعه کاتدولومینسانس کوارتز که معمولاً به علت افزایش پرتوافکنی 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 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 پس‌پراکنش‌یافته 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.

- 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 گرمابی) را در سنگ استوک پورفیری سرچشمه در پهنه فیلیک 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 کوارتزی) 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 به‌وجود 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 عنکبوت مانند "بدون لومینسانس" هستند)، تشکیل شده است. این فابریک‌ها در تصاویر پس‌پراکنش‌یافته دیده نمی‌شوند. همان‌گونه که در تصاویر الکترونی پس‌پراکنش‌یافته (شکل‌های ۲- الف و ۳- الف) دیده می‌شود، دو نوع کوارتز از دید اندازه و گسترش کانی‌زایی متفاوت هستند، به‌گونه‌ای که گسترش کانی‌زایی (کانی‌های سفید رنگ "پیریت وکالکوپیریت" که در تصاویر کاتدولومینسانس به رنگ سیاه دیده می‌شوند) در رگه کوارتز گرمابی بیشتر است. ویژگی‌های کاتدولومینسانس درشت‌بلور کوارتز با کوارتزهای رگچه‌ای متفاوت است؛ به‌گونه‌ای که میزان شکستگی‌های ریز ترمیم‌یافته و بافت‌های تارعنکبوتی در درشت‌بلور کوارتز بیشتر است و به همین دلیل کمی تیره‌تر از رگه کوارتزی 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 (فیلو سیلیکات‌ها) و پیریت دیده شده در تصاویر الکترونی پس‌پراکنش‌یافته نشان‌دهنده دگرسانی فیلیک 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

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

شکستگی‌های ریز ترمیم‌یافته (Healedmicro fractures) به شکل خطوط سیاه نازک در تصاویر SEM-CL دیده می‌شوند. این شکستگی‌ها در تصاویر پس‌پراکنشی دیده نمی‌شوند و مشخص‌کننده این هستند که مواد ترمیم‌کننده شکستگی، SiO_2 هستند. درخشش بسیار ضعیف این شکستگی‌ها در تصاویر CL رنگی نشان می‌دهد که SiO_2 ترمیم‌کننده 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 نهشته‌شدن SiO_2 از سیال‌های غنی از سیلیس در دماهای کمتر موجب پرشدن و ترمیم شکستگی‌ها می‌شود. یکی از آشکارترین ویژگی‌های CL کوارتز آذرین درونی و گرمابی، 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 روبشی 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 به‌عنوان آثار ضعف یاد کرده و اظهار داشته‌اند که این عنکبوت‌ها در مقایسه با کوارتز میزبان از عناصر فرعی مانند Li، Ti، K و Al تهی هستند.

شکل ۴ تصاویر مربوط به رگه کوارتز گرمابی در پهنه فیلیک و شکل ۵ تصاویر مربوط به دانه‌های کوارتز گرمابی 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 به‌وجود می آورند به جانشینی عناصر فرعی مربوط هستند. منطقه‌بندی دیده شده منعکس‌کننده تغییرات فیزیکی و شیمیایی در طی رشد در محیط ته‌نشست و یا ته‌نشینی نامتعادل در سطوح کانی است. Al و Ti عناصر اصلی فعال‌کننده‌ای 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 جبران‌کننده‌ای 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 جبران‌کننده داخلی ایجاد می‌کند (Muller et al., 2000).

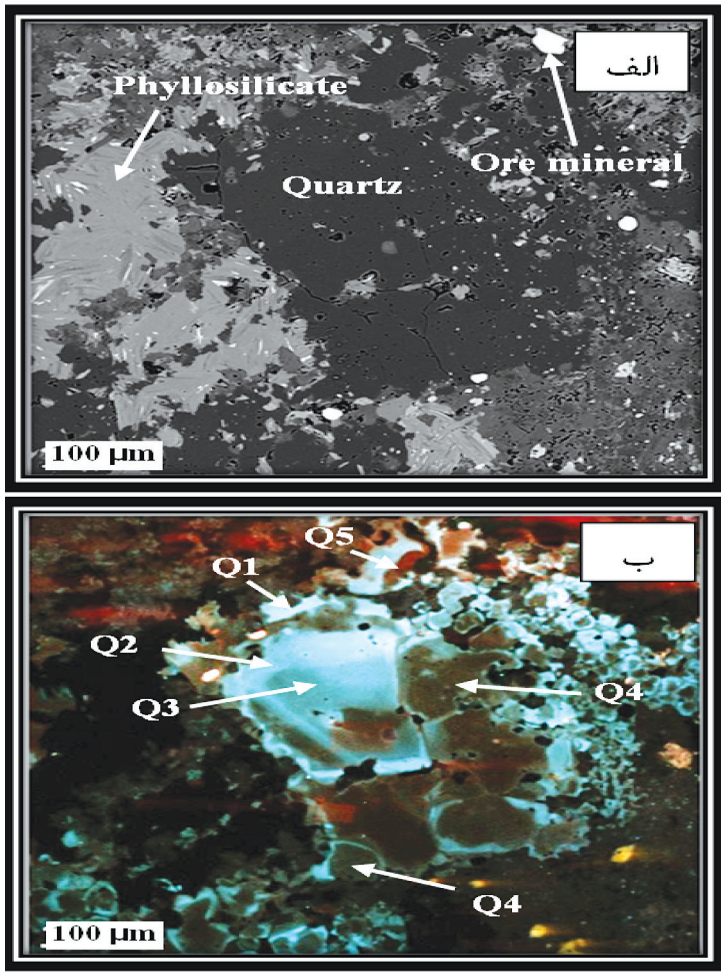
در رگه کوارتزی موجود در شکل ۴- ب، ۷ نسل کوارتز وجود دارد که طبق تقدم و تأخر پیدایش شامل ۱) کوارتز نسل اول (CL آبی روشن)، ۲) کوارتز نسل دوم (CL آبی)، ۳) کوارتز نسل سوم (CL آبی متمایل به سبز)، ۴) کوارتز نسل چهارم (CL آبی تیره)، ۵) کوارتز نسل پنجم (CL سبز)، ۶) کوارتز نسل ششم (CL سرخ تیره) و ۷- کوارتز نسل هفتم (شکستگی‌های ریز ترمیم‌یافته بدون لومینسانس) است. شکستگی‌های دیرهنگام، 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 ترمیم‌یافته بدون لومینسانس) است. در اینجا کوارتزهای نسل چهارم و پنجم شکستگی‌های دیرهنگامی هستند که حد فاصل میان کوارتزهای نسل اول تا سوم به وجود آمده‌اند. رنگ‌های سفید و شیری دیده شده در تصاویر الکترونی پس‌پراکنش‌یافته 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

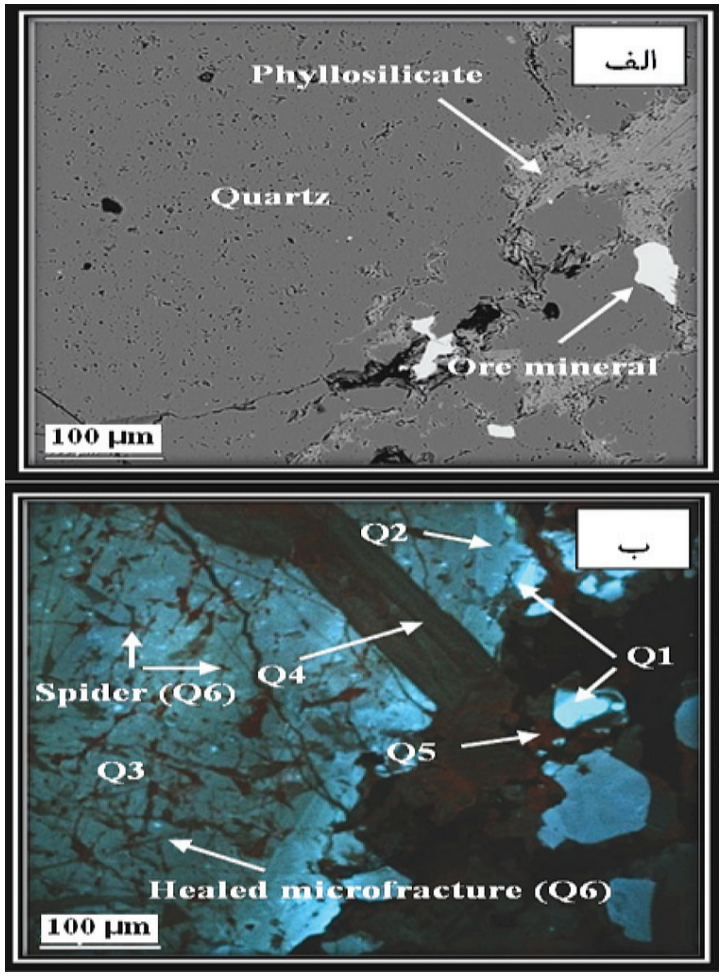
با توجه به مطالعات SEM-CL مقاطع نازک- صیقلی سنگ‌های استوک پورفیری سرچشمه و آندزیت‌ها، نسل‌های بسیاری از کوارتز در درشت‌بلورها (ماگمایی)، رگه‌های کانی‌زا و غیر کانی‌زا و دانه‌های گرمابی کوارتز که در شرایط فیزیکی و شیمیایی متفاوت نهشته شده‌اند، شناسایی شد. درخشش بیشتر نسل‌های قدیمی‌تر کوارتز و قطع شدن 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 دیرهنگام) شده است، بسیار متفاوت با ترکیب سیالی است که سب تشکیل کوارتزهای قدیمی‌تر از آن شده است. درخشش بسیار ضعیف شکستگی‌های ریز ترمیم‌یافته 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 تارعنکبوتی همانند شکستگی‌های ترمیم یافته طرح‌های ثانویه‌ای هستند که در هنگام سرد شدن کانی‌های کوارتز ایجاد شده‌اند. در تصاویر الکترونی پس‌پراکنش‌یافته (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

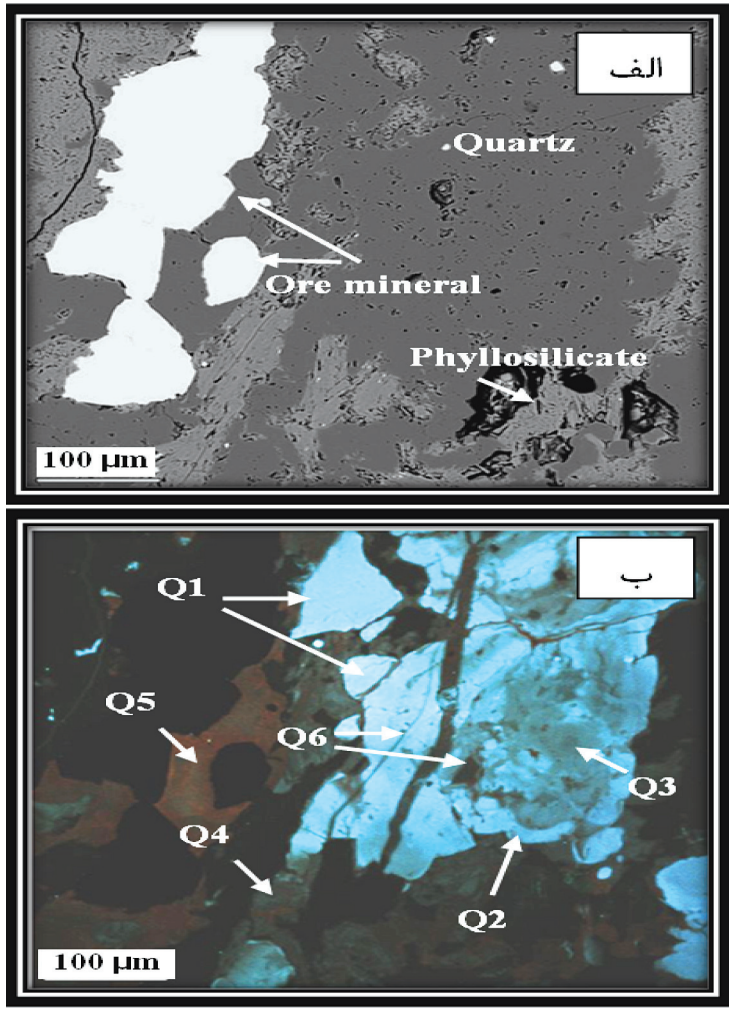
این پژوهش در قالب پایان‌نامه کارشناسی ارشد در دانشگاه سیستان و بلوچستان و با حمایت مالی شرکت ملی صنایع مس ایران انجام شده است. بدین وسیله از شرکت ملی صنایع مس ایران به خاطر حمایت مالی از این پژوهش صمیمانه سپاسگزاری می‌شود. از جناب آقای مهندس سبزعلیان و مهندس قاسمی به خاطر همکاری بی‌دریغ‌شان در انجام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



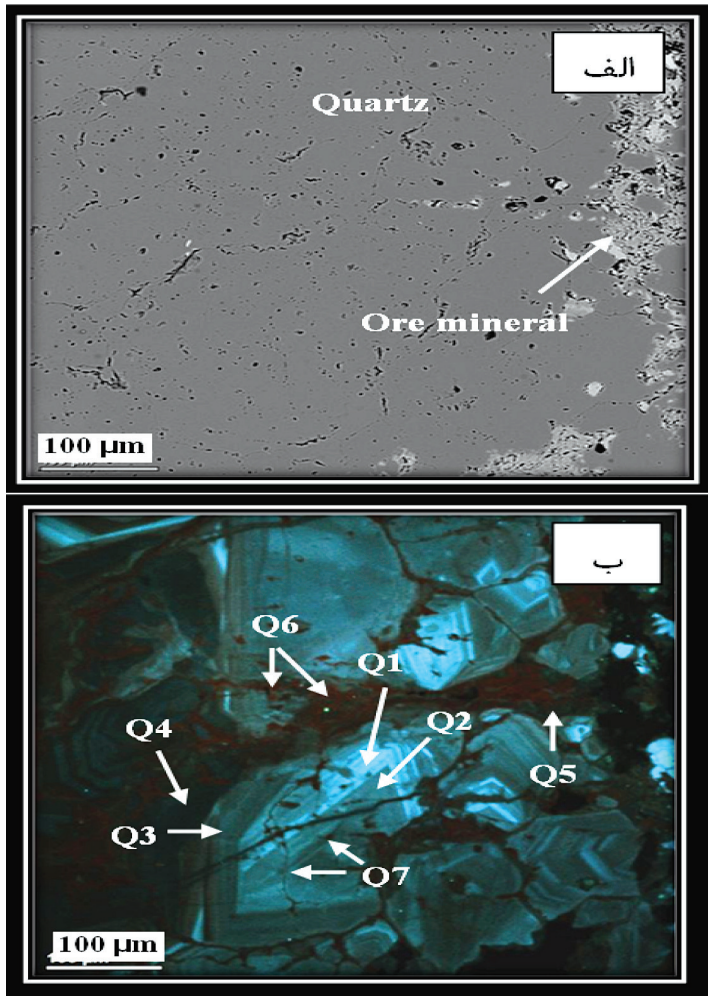
شکل ۱- تصاویر مربوط به دانه‌های گرمابی کوارتز در سنگ آندزیتی. الف) تصویر الکترونی پس پراکنش یافته (BSE) از دانه‌های کوارتز. کانی‌های سفید رنگ پیریت و کالکوپیریت هستند؛ ب) تصویر SEM-CL از همان دانه‌های کوارتز موجود در تصویر الف با رنگ CL متفاوت.



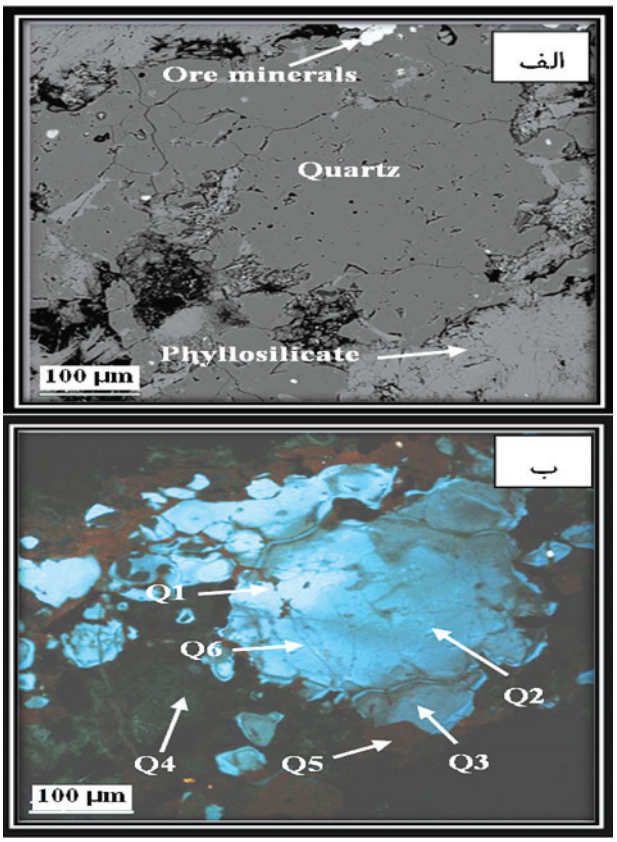
شکل ۲- تصاویر مربوط به یک کوارتز درشت‌بلور (ماگمایی) در سنگ گرانودیوریتی استوک پورفیری سرچشمه. الف) تصویر الکترونی پس پراکنشی (BSE) دانه کوارتز؛ ب) تصویر SEM-CL همان دانه با رنگ CL متفاوت. در این تصویر می‌توان شش نسل کوارتز دید.



شکل ۳- تصاویر مربوط به یک رگچه کوارتز گرمابی در سنگ استوک پورفیری سرچشمه نشان داده شده در شکل ۲. الف) تصویر الکترونی پس پراکنشی (BSE) رگچه کوارتز؛ ب) تصویر SEM-CL همان رگچه با رنگ CL متفاوت. در این تصویر می‌توان شش نسل کوارتز دید.



شکل ۴- تصاویر مربوط به دانه‌های کوارتز گرمابی در یک رگه در سنگ گرانودیوریتی استوک پورفیری سرچشمه. الف) تصویر الکترونی پس پراکنش یافته (BSE) از دانه‌های کوارتز موجود در رگه؛ ب) تصویر SEM-CL از دانه‌های کوارتز با رنگ کاتدولومینسانس متفاوت. دقت کنید که منطقه‌بندی، شکستگی‌های دیرهنگام، شکستگی‌های ریز ترمیم یافته و بافت‌های عنکبوتی (به مقدار جزیی) در تصاویر پس پراکنش یافته دیده نمی‌شوند.



شکل ۵- تصاویر مربوط به دانه کوارتز گرمابی در سنگ گرانودیوریتی استوک پورفیری 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 دیرهنگام و شکستگی‌های ریز ترمیم‌یافته (به مقدار جزیی) در تصاویر پس پراکنش یافته دیده نمی‌شوند.

کتابنگاری

شفیعی، ب.، ۱۳۷۹- مطالعه رخداد پراکندگی ژئوشیمیایی مدل فلززایی 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: cathodolumimescence (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 cathodolumimescence (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.

Investigation of quartz textures at Sarcheshmeh copper ore deposit using scanning electron microscope- cathodoluminescence

S. Nasiri Bezenjani [1*], M. Boomeri [2], H. Biabangard [3] & M. Abdollahy [4]

[1] Ph.D. Student, Department of Geology, Shahid Beheshti University, Tehran, Iran
[2] Associate Professor, Department of Geology, Sistan & Baluchestan University, Zahedan, Iran
[3] Assistant Professor, Department of Geology, Sistan & Baluchestan University, Zahedan, Iran
[4] Ph.D. Student, Islamic Azad University, Science and Research Branch, Tehran, Iran

Received: 2015 January 19 Accepted: 2015 June 29

Abstract

Distinct cathodoluminescence (CL) properties of certain minerals such as quartz allow rapid identification of the different mineral constituents and their distribution within rocks using CL microscopy. Quartz is not only one of the main mineral in felsic intrusive rocks associated with porphyry copper deposits, but is the most abundant hydrothermal mineral in potassic and phyllic alterations. Although the study of the quartz in Back Scattered Electrons (BSE) images is useful but study of quartz by Scanning Electron Microscope- Cathodoluminescence (SEM-CL) revealed many textures (zoning, healed microfractures and cobweb textures) that cannot be observed in backscattered electrons images. The observed zonations reflect chemical and/or physical changes during growth in the precipitation environment (i.e. concentric zonation). Healed microfractures and cobweb textures are present in some of the quartz grains. The main purpose of this study is investigation of quartz textures and generations by SEM-CL in potassic and phyllic zones of the Sarcheshmeh porphyry copper ore deposit. Investigation of quartz using SEM-CL in the deposit revealed different generations of quartz (in phenocrysts and veins) that have been precipitated under different conditions. Quartz in the studied samples predominantly exhibits blue luminescence.

Keywords: Cathodoluminescence, Healed microfractures, Cobweb textures, Quartz, Sarcheshmeh.

For Persian Version see pages 37 to 42

*Corresponding author: S. Nasiri Bezenjani; E- mail: samanen43@yahoo.com

Created with nitroPDF professional
download the free trial online at nitropdf.com/professional