چهل و دومین گردهمایی (همایش) ملی
علوم زمین
The 42nd National Geosciences Congress
www.geoconf.ir

ویژگی‌های زمین‌شناسی، کانی‌شناسی و ساخت و بافت در کانه‌زایی چندفلزی اپیک، جنوب اشتهارد، استان البرز

عاطفه مددی[۱]، حسین کوهستانی (نویسنده مسئول)[۲*]، میر علی اصغر مختاری[۳]، ناهید رحمتی[۴]

[۱] دانشجوی کارشناسی ارشد زمین‌شناسی اقتصادی، دانشگاه زنجان، زنجان ateffemadadi1377@gmail.com
[۲] دانشیار گروه زمین‌شناسی، دانشگاه زنجان، زنجان kouhestani@znu.ac.ir
[۳] دانشیار گروه زمین‌شناسی، دانشگاه زنجان، زنجان amokhtari@znu.ac.ir
[۴] کارشناسی ارشد، گروه زمین‌شناسی، دانشگاه زنجان، زنجان nahid.rahmati20@gmail.com

چکیده

کانه‌زایی چندفلزی اپیک در فاصله حدود ۱۴ کیلومتری جنوب اشتهارد در استان البرز قرار دارد. کانه‌زایی مس، سرب و روی در اپیک به‌صورت پهنه‌های سیلیسی- سولفیدی (N90E/60-70N) درون توالی توفی و گدازه‌ای ائوسن رخ داده و حدود ۱ کیلومتر درازا و تا ۲ متر پهنا دارد. شش مرحله کانه‌زایی در اپیک قابل تفکیک است که کانه‌زایی مس، سرب و روی در مرحله دوم کانه‌زایی رخ داده است. دگرسانی گرمابی شامل دگرسانی‌های سیلیسی، کربناتی، آرژیلیک حدواسط و پروپیلیتیک می‌باشد. پیریت، کالکوپیریت، گالن، اسفالریت، پیرولوسیت، پسیلوملان، کوارتز، باریت، کلسیت و سریسیت- ایلیت، کانی‌های تشکیل‌دهنده کانسنگ در کانه‌زایی چندفلزی اپیک هستند. سروزیت، اسمیت‌زونیت، مالاکیت، کالکوسیت و گوتیت در اثر فرایندهای برون‌زاد تشکیل شده‌اند. انواع بافت کانسنگ شامل دانه‌پراکنده، رگه- رگچه‌ای، بِرشی، پوسته‌ای، گل‌کلمی، کاکلی، پرمانند، تیغه‌ای، بازماندی، جزیره‌ای، پُرکننده فضای خالی و جانشینی می‌باشد. کانه‌زایی مس، سرب و روی در اپیک از نوع کانسارهای اپی‌ترمال سولفیداسیون حدواسط است.

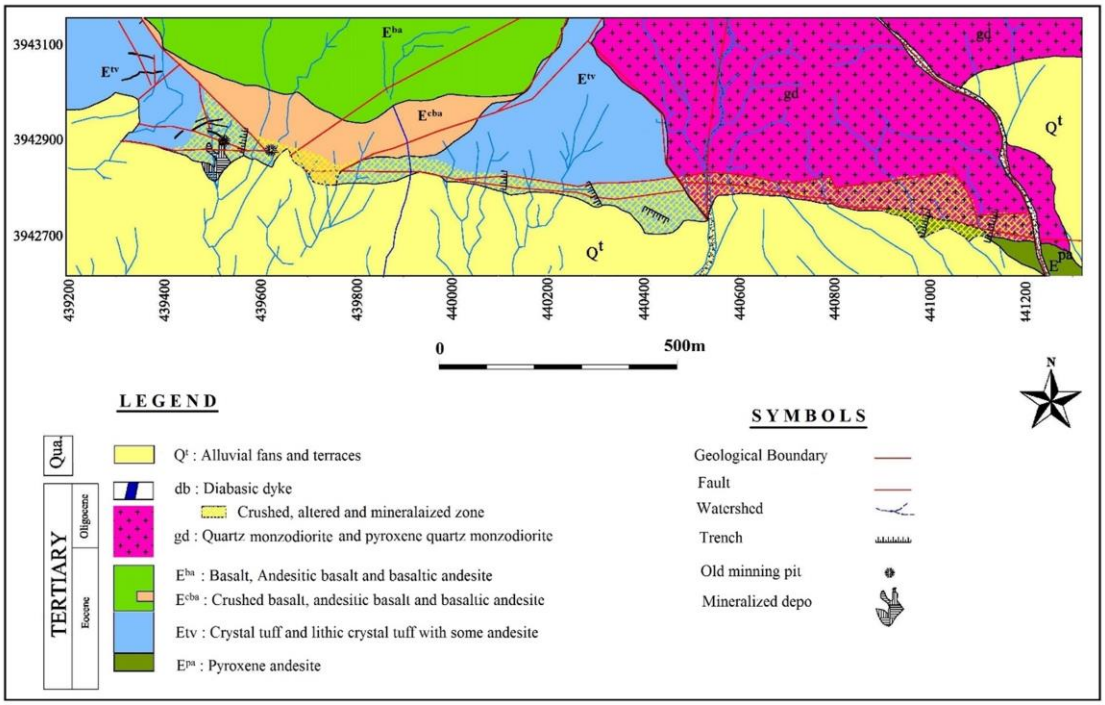
واژه‌های کلیدی: کانه‌زایی مس، سرب و روی، اپی‌ترمال سولفیداسیون حدواسط، اپیک، اشتهارد، البرز

۱. مقدمه

کانه‌زایی چندفلزی اپیک در فاصله حدود ۱۴ کیلومتری جنوب اشتهارد در استان البرز با مختصات ۳۹۴۳۸۵۱ شمالی و ۴۳۹۵۰۶ خاوری (زون مختصاتی 39S) قرار دارد. این منطقه بخشی از کمربند آتشفشانی مردآباد- بوئین‌زهرا در شمال کمربند ماگمایی ارومیه- دختر است. این کمربند آتشفشانی میزبان کانه‌زایی‌های چندفلزی (مس، سرب، روی و طلا) متعددی مانند لک، ده‌بالا، کوه جارو، رودک، گوموشلو، گوموش داش، قزل‌چشمه، بیدستان، افشارآباد، بوجعفر، گیلان‌دره، آتش‌انبار، رامند و کورچشمه است [۱، ۲، ۳، ۴، ۵، ۶، ۷، ۸]. کانه‌زایی چندفلزی اپیک یکی از کانه‌زایی‌های موجود در کمربند آتشفشانی مردآباد- بوئین‌زهرا می‌باشد که حدود ۵۰ سال گذشته به‌صورت زیرزمینی مورد استخراج قرار گرفته و در حال حاضر به‌صورت معدن متروکه، غیرفعال است. با این وجود، تاکنون مطالعه علمی دقیقی بر روی آن انجام نشده است. در این مقاله، ویژگی‌های زمین‌شناسی، کانی‌شناسی و ساخت و بافت این کانه‌زایی بر اساس نتایج مطالعات صحرایی و آزمایشگاهی بررسی شده است.

۲. زمین‌شناسی و سنگ‌شناسی

براساس نقشه زمین‌شناسی مقیاس ۱:۱۰۰،۰۰۰ اشتهارد [۹] و با توجه به مطالعات صحرایی انجام‌شده در قالب تهیه نقشه ۱:۱،۰۰۰ (شکل ۱)، واحدهای سنگی موجود در منطقه اپیک مربوط به تناوب واحدهای توفی و گدازه‌ای ائوسن بوده و شامل گدازه‌های پیروکسن آندزیت، آندزیت و بازالت آندزیتی، تراکی‌آندزیت- ریوداسیت، توف و ایگنیمبریت است که توسط توده نفوذی با ترکیب کوارتز مونزودیوریت- پیروکسن کوارتز مونزودیوریت مورد هجوم قرار گرفته و قطع شده‌اند. با توجه به مطالعات [۱۰]، سن این توده احتمالاً ائوسن میانی باشد.



شکل ۱- نقشه زمین‌شناسی مقیاس ۱:۱،۰۰۰ کانه‌زایی چندفلزی اپیک (با تغییرات از [۱۱]).

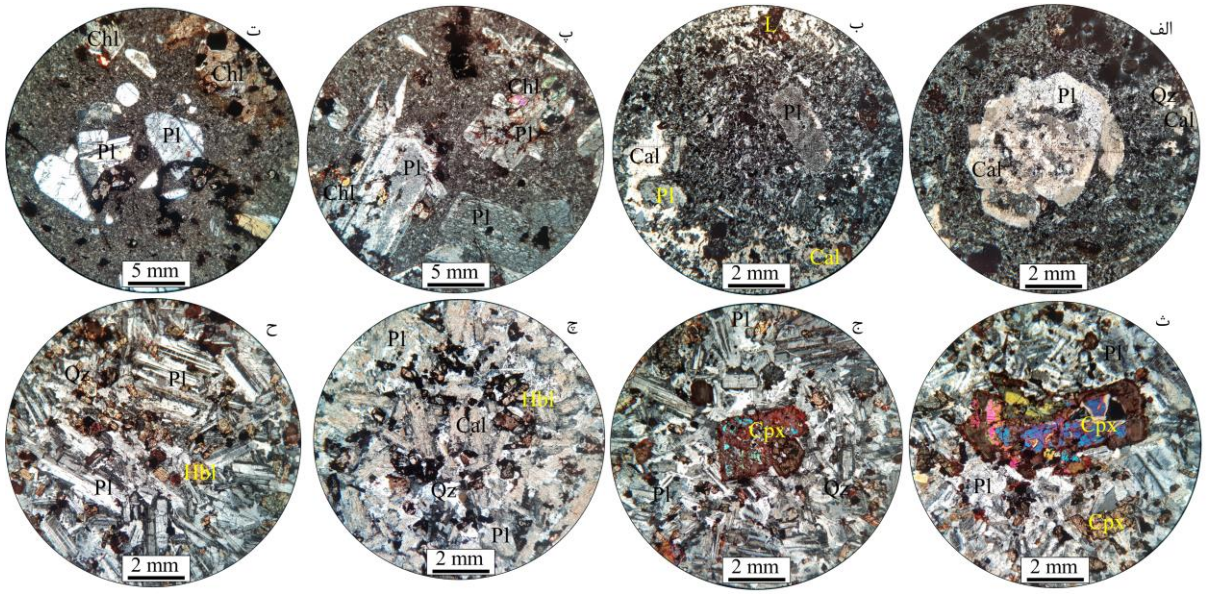
براساس مطالعات سنگ‌شناسی، کریستال توف‌ها تا لیتیک کریستال توف‌های حدواسط- اسیدی دارای کانی‌های پلاژیوکلاز، کوارتز، آمفیبول‌های جانشین‌شده و کانی‌های کدر می‌باشند (شکل ۲-الف و ب). قطعات سنگی با فراوانی کم، دیگر متشکله این سنگ‌ها هستند. کانی‌های یادشده به همراه قطعات سنگی در سیمانی از کلسیت پراکنده هستند. بلورهای کلسیت موجود در زمینه دارای ماکل نواری مشخصی هستند. پلاژیوکلازها به‌صورت بلورهای نیمه‌شکل‌دار و عمدتاً به حالت شکسته‌شده با گوشه‌های تیز دیده می‌شوند. قطعات

سنگی (با ابعاد تا ۲ میلی‌متر) زاویه‌دار تا نیمه‌گردشده بوده و دارای بافت پورفیری تا پورفیری میکرولیتی هستند. تعدادی کانی جانشین‌شده توسط کلسیت و هیدروکسیدهای آهن نیز در این سنگ‌ها مشاهده می‌شود که به نظر می‌رسد کانی اولیه از نوع آمفیبول بوده است.

بازالت‌های و بازالت‌های آندزیتی دارای بافت‌های پورفیری و گلومروفیری هستند (شکل ۲-پ و ت). درشت‌بلورهای این سنگ‌ها شامل پلاژیوکلاز، کلینوپیروکسن و آمفیبول‌های جانشین‌شده توسط کلسیت و کانی‌های کدر در یک زمینه دانه‌ریز می‌باشند. پلاژیوکلازها (ابعاد تا ۳ میلی‌متر) به‌صورت بلورهای شکل‌دار و نیمه‌شکل‌دار با ماکل نواری دیده می‌شوند. برخی از بلورهای پلاژیوکلاز، منطقه‌بندی داشته و برخی دارای ادخال پیروکسن می‌باشند. این بلورها بعضاً به کانی‌های رسی و تا حدودی سریسیت دگرسان شده‌اند. برخی بلورهای پلاژیوکلاز بافت غربالی نشان می‌دهند. کلینوپیروکسن‌ها (ابعاد عمدتاً کمتر از ۱ میلی‌متر) با شدت‌های مختلفی به کلریت دگرسان شده‌اند. در برخی از بلورهای کلینوپیروکسن، دگرسانی به کلسیت و کلریت همراه با تشکیل کانی‌های کدر نیز مشاهده می‌شود. یکسری بلورهای منشوری در این سنگ‌ها مشاهده می‌شود که توسط کلسیت و حاشیه متشکل از کانی‌های کدر جانشین شده‌اند. این بلورها احتمالاً آمفیبول بوده‌اند. به‌صورت بسیار محدود، بلورهای کوارتز گردشده با حاشیه واکنشی در این سنگ‌ها دیده می‌شود که می‌توان آنها را به‌عنوان بیگانه‌بلور در نظر گرفت. کانی‌های کدر، هم به‌صورت اولیه و هم در نتیجه دگرسانی کانی‌های مافیک تشکیل شده‌اند.

توده نفوذی دارای ترکیب پیروکسن کوارتز مونزودیوریت در بخش حاشیه‌ای و کوارتز مونزودیوریت در بخش‌های مرکزی می‌باشد. پیروکسن کوارتز مونزودیوریت‌ها دارای بافت هتروگرانولار و افیتیک می‌باشند (شکل ۲-ث و ج). کانی‌های اولیه آنها شامل پلاژیوکلاز، کلینوپیروکسن، هورنبلند، کوارتز، آلکالی فلدسپار و کانی‌های کدر بوده و کانی‌های ثانویه شامل کلریت، کانی‌های رسی و کانی‌های کدر هستند. کانی اصلی این سنگ‌ها پلاژیوکلاز است. پلاژیوکلازها به‌صورت بلورهای شکل‌دار تا نیمه‌شکل‌دار و دارای ماکل نواری بوده و برخی از آنها دارای منطقه‌بندی می‌باشند. فراوانی این بلورها حدود ۶۰ درصد بوده و دارای ابعاد متغیر هستند به‌نحویکه طول آنها به ۲/۵ میلی‌متر هم می‌رسد ولی عمدتاً ابعاد آنها حدود ۱میلی‌متر است. کلینوپیروکسن‌ها به‌صورت بلورهای شکل‌دار تا نیمه شکل‌دار دیده شده و عمدتاً به کلریت و کانی‌های کدر ثانویه دگرسان شده‌اند. بعضاً، بقایای کلینوپیروکسن به‌صورت جزیره‌ای در داخل کلریت‌ها قابل شناسایی است. فراوانی کلینوپیروکسن‌ها حدود ۲۰ درصد بوده و ابعاد آنها نیز کمتر از ۱ میلی‌متر (عمدتاً حدود ۰/۵ میلی‌متر) می‌باشد. در برخی از بلورهای کلینوپیروکسن، ادخال پلاژیوکلاز مشاهده می‌شود که منجر به تشکیل بافت افیتیک شده است. هورنبلند کاملاً توسط کلریت و کانی‌های رسی جانشین شده است. فراوانی هورنبلندها حدود ۱۰ درصد بوده و ابعاد آنها عموماً ۰/۵ میلی‌متر و کمتر است. بلورهای بی‌شکل کوارتز با فراوانی حدود ۵ درصد در ابعاد کمتر از ۰/۵ میلی‌متر در فضای بین دیگر کانی‌ها دیده می‌شود. آلکالی فلدسپار به‌صورت بلورهای بی‌شکل با فراوانی حدود ۵ درصد و ابعاد حدود ۰/۵ میلی‌متر در فضای بین کانی‌ها وجود دارد. کانی‌های کدر هم به‌صورت اولیه و هم به‌صورت ثانویه و با فراوانی حدود ۳ درصد در متن سنگ پراکنده هستند.

پیروکسن کوارتز مونزودیوریت‌ها دارای بافت‌های میکروگرانولار تا پورفیروئیدی هستند (شکل ۲-چ و ح). کانی‌های اولیه این سنگ‌ها شامل پلاژیوکلاز، هورنبلند، کوارتز، آلکالی فلدسپار و کلینوپیروکسن بوده و کانی‌های ثانویه عبارت از سریسیت، کلسیت، کلریت، کانی‌های کدر و کوارتز است. کانی‌های فرعی شامل آپاتیت و کانی‌های کدر اولیه می‌باشند. کانی مهم و غالب این سنگ‌ها پلاژیوکلاز با فراوانی حدود ۵۰ درصد است. ابعاد بلورهای پلاژیوکلاز تا ۲ میلی‌متر رسیده و برخی از آنها دارای منطقه‌بندی هستند. پلاژیوکلازها اغلب به کلسیت و سریسیت دگرسان شده‌اند. هورنبلندها فراوانی حدود ۲۵ درصد داشته و ابعاد آنها تا ۱ میلی‌متر هم می‌رسد. هورنبلندها تماماً به‌وسیله کلسیت و کانی‌های کدر جانشین شده‌اند. کوارتز به‌صورت بلورهای بی‌شکل در ابعاد کمتر از ۱ میلی‌متر (عمدتاً کمتر از ۰/۵ میلی‌متر) با فراوانی بیشتر از ۱۰ درصد حضور دارد. در برخی نقاط، بافت شبه‌گرافیکی در نتیجه هم‌رشدی کوارتز و آلکالی فلدسپار تشکیل شده است. کلینوپیروکسن‌ها به‌صورت بلورهای شکل‌دار با فراوانی محدود و کمتر از ۲ درصد در این سنگ‌ها حضور دارند که ابعاد آنها عمدتاً کمتر از ۱ میلی‌متر است. کلینوپیروکسن‌ها با درجات شدیدی به کلریت و کلسیت دگرسان شده‌اند. کانی‌های کدر شامل کانی‌های کدر شکل‌دار اولیه و کانی‌های کدر ثانویه بی‌شکل حاصل از دگرسانی کلینوپیروکسن‌ها و آمفیبول‌ها در این سنگ‌ها حضور دارند.

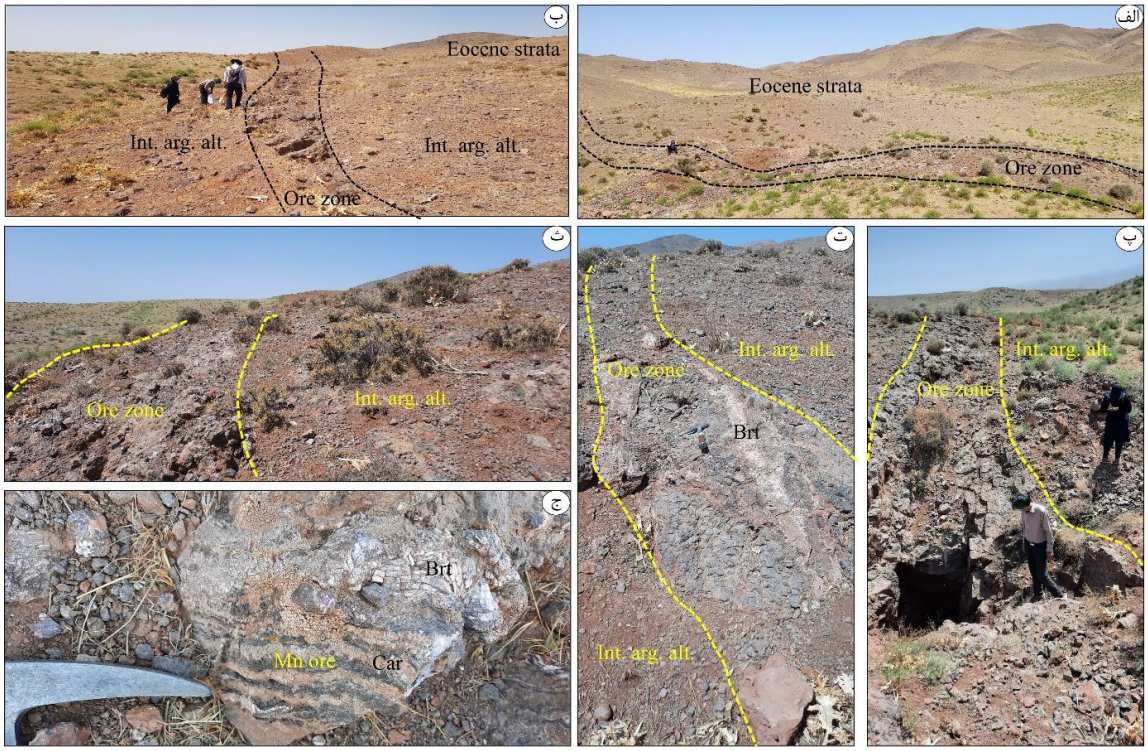


شکل ۲- تصاویر میکروسکوپی (نور عبوری XPL) از کانی‌شناسی و بافت واحدهای سنگی موجود در منطقه ایپک. الف- درشت‌بلور پلاژیوکلاز با دگرسانی به کلسیت همراه با کوارتز در کریستال توف تا لیتیک کریستال توف‌های حدواسط- اسیدی. ب- پلاژیوکلاز و کانی‌های جانشین‌شده توسط کلسیت در کریستال توف تا لیتیک کریستال توف‌های حدواسط- اسیدی. پ- بافت پورفیری با بلورهای درشت پلاژیوکلاز در زمینه دانه‌ریز سنگ در گدازه‌های بازالتی- بازالت آندزیتی. ت- بلورهای پلاژیوکلاز، پیروکسن دگرسان‌شده به کلریت و هورنبلندهای دگرسان‌شده به کلسیت و کانی کدر در گدازه‌های بازالتی- بازالت آندزیتی. ث- بافت هتروگرانولار و افیتیک با بلورهای پلاژیوکلاز و کلینوپیروکسن در پیروکسن کوارتز مونزودیوریت. ج- ادخال پلاژیوکلاز در کلینوپیروکسن و تشکیل بافت افیتیک در پیروکسن کوارتز مونزودیوریت. چ و ح- بافت‌های میکروگرانولار تا پورفیروئیدی با بلورهای پلاژیوکلاز و هورنبلندهای با حاشیه اوپاسیته در کوارتز مونزودیوریت. علائم اختصاری کانی‌ها از [۱۲] اقتباس شده است. (Cal: کلسیت، Chl: کلریت، Cpx: کلینوپیروکسن، Hbl: هورنبلند، L: قطعه سنگی، Opq: کانی کدر، Pl: پلاژیوکلاز، Qz: کوارتز)

۳. کانه‌زایی و دگرسانی

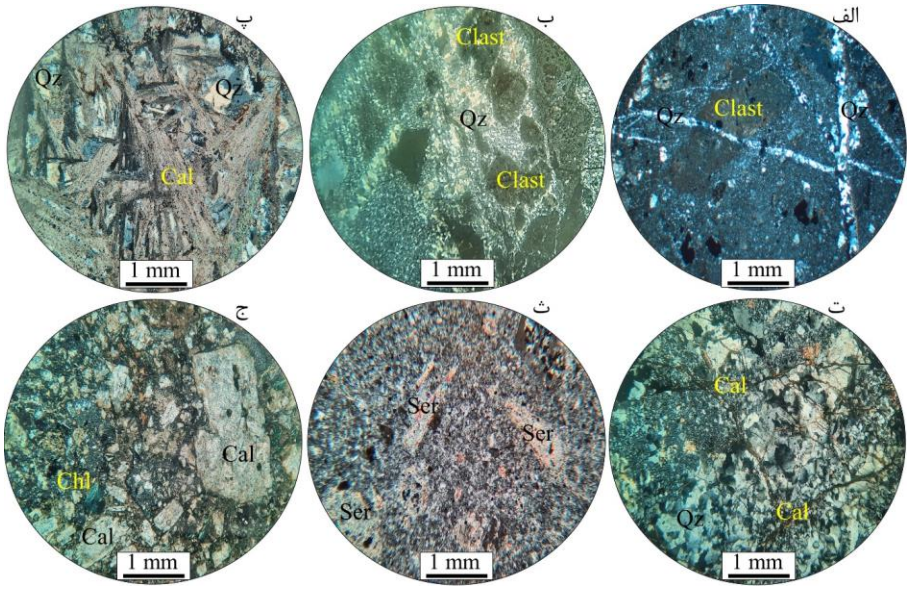
براساس مطالعات صحرایی، کانه‌زایی مس، سرب و روی در ایپک به‌صورت پهنه‌های سیلیسی- سولفیدی درون توالی توفی و گدازه‌ای ائوسن رخ داده است (شکل ۳-الف و ب). پهنه کانه‌دار دارای روند تقریبی خاوری- باختری با شیب حدود ۷۰-۶۰ درجه به سمت شمال بوده و حدود ۱ کیلومتر درازا و تا ۲ متر پهنا دارد. آثار اکتشافی و استخراجی قدیمی به‌صورت حفر ترانشه‌های اکتشافی و تونل‌های استخراجی در چندین بخش از پهنه کانه‌زایی دیده می‌شود (شکل ۳-پ) که در برخی نقاط، حجم کوچکی از ماده معدنی استخراجی در حاشیه آنها انباشته شده است. دگرسانی آرژیلیک حدواسط به ضخامت ۳ تا ۱۰ متر در اطراف پهنه کانه‌دار و به‌ویژه در کمر بالای آن قابل مشاهده است (شکل ۳-ب تا ث). ساخت و بافت ماده معدنی در مقیاس رخنمون بیشتر از نوع برشی، پوسته‌ای، گل‌کلمی، دانه‌پراکنده و پرکننده فضاهای خالی است (شکل ۳-ج). عیار نمونه‌های برداشت‌شده از پهنه کانه‌دار تا بیش از ۱۰ درصد سرب، بیش از ۱۰ درصد روی، ۴/۷ درصد مس و تا بیش از ۲۰۰ گرم در تن نقره را مشخص کرده است.

دگرسانی گرمابی در کانه‌زایی چندفلزی ایپک شامل انواع دگرسانی‌های سیلیسی، کربناتی، آرژیلیک حدواسط و پروپیلیتیک است. دگرسانی سیلیسی به‌صورت رگه- رگچه‌ای و سیمان برش‌های گرمابی دیده شده و منطبق بر پهنه‌های کانه‌دار است (شکل ۴-الف و ب) ستبرای رگچه‌های کوارتزی در این دگرسانی تا ۵ میلی‌متر می‌رسد. در مقاطع میکروسکوپی، کوارتز به‌صورت بلورهای ریز تا درشت نیمه‌شکل‌دار تا بی‌شکل قابل مشاهده است. دگرسانی کربناتی به دو نوع قابل تفکیک است. دگرسانی کربناتی نوع اول شامل کلسیت‌های با بافت تیغه‌ای است که همراه با کوارتز در سیمان برش‌های گرمابی دیده می‌شوند (شکل ۴-پ). این نوع از دگرسانی کربناتی ارتباط



شکل ۳-الف و ب- نماهایی از پهنه کانه‌دار در کانه‌زایی چندفلزی اپیک که توالی سنگی ائوسن میزبان خود را قطع کرده است (دید تصویر الف به سمت شمال و تصویر ب به سمت باختر). در تصویر ب، هاله دگرسانی آرژیلیک حدواسط (Int. arg. alt.) در اطراف پهنه کانه‌دار قابل مشاهده است. پ- نمایی از دهانه تونل استخراجی قدیمی حفرشده بر روی پهنه کانه‌دار (دید به سمت باختر). هاله دگرسانی آرژیلیک حدواسط در کمر بالای پهنه کانه‌دار قابل مشاهده است. ت و ث- نماهایی از هاله دگرسانی آرژیلیک حدواسط در اطراف و کمر بالای پهنه کانه‌دار (دید هر دو تصویر به سمت خاور). ج- نمایی نزدیک از بافت‌های برشی، پوسته‌ای و گل‌کلمی ماده معدنی در مقیاس رخنمون. علائم اختصاری کانی‌ها از [۱۲] اقتباس شده است. (Car: کربنات، Brt: باریت)

نزدیکی با پهنه‌های سیلیسی کانه‌دار دارد. نوع دوم دگرسانی کربناتی شامل کلسیت با بافت‌های رگه- رگچه‌ای و بعضاً پرکننده فضاهای خالی است (شکل ۴-ت). رگه- رگچه‌های کلسیتی این نوع از دگرسانی کربناتی معمولاً رگچه‌های کوارتزی کانه‌دار را قطع می‌کنند که نشان‌دهنده تشکیل آنها در مراحل پایانی دگرسانی گرمابی است. دگرسانی آرژیلیک حدواسط با ضخامت ۳ تا ۱۰ متر، در اطراف و کمر بالای پهنه سیلیسی- سولفیدی کانه‌دار قابل مشاهده است (شکل ۳-ب تا ث). این دگرسانی عموماً توسط شکستگی‌ها کنترل شده و در مقیاس رخنمون سبب تغییر رنگ سنگ‌ها به سفید تا زرد و قرمز آجری شده است. در مقاطع میکروسکوپی، دگرسانی آرژیلیک حدواسط را می‌توان به‌صورت جانشینی پلاژیوکلاز توسط مجموعه ایلیت و سریسیت همراه با مقادیر اندکی کوارتز و کلسیت تشخیص داد (شکل ۴-ث). دگرسانی پروپیلیتیک با گسترش زیاد اغلب در خارج از پهنه کانه‌دار رخ داده است. در رخنمون‌های صحرایی این دگرسانی عموماً به رنگ سبز دیده می‌شود. دگرسانی پروپیلیتیک دارای شدت‌های کم تا متوسط است به‌نحویکه بافت کانی‌ها معمولاً در آن حفظ می‌شود. این دگرسانی بیشتر با جانشینی پلاژیوکلاز، هورنبلند و پیروکسن توسط مجموعه کلریت، اپیدوت، سریسیت و کربنات مشخص می‌شود (شکل ۴-ج). طی دگرسانی پروپیلیتیک، کوارتز به میزان کم در زمینه سنگ تشکیل می‌شود.



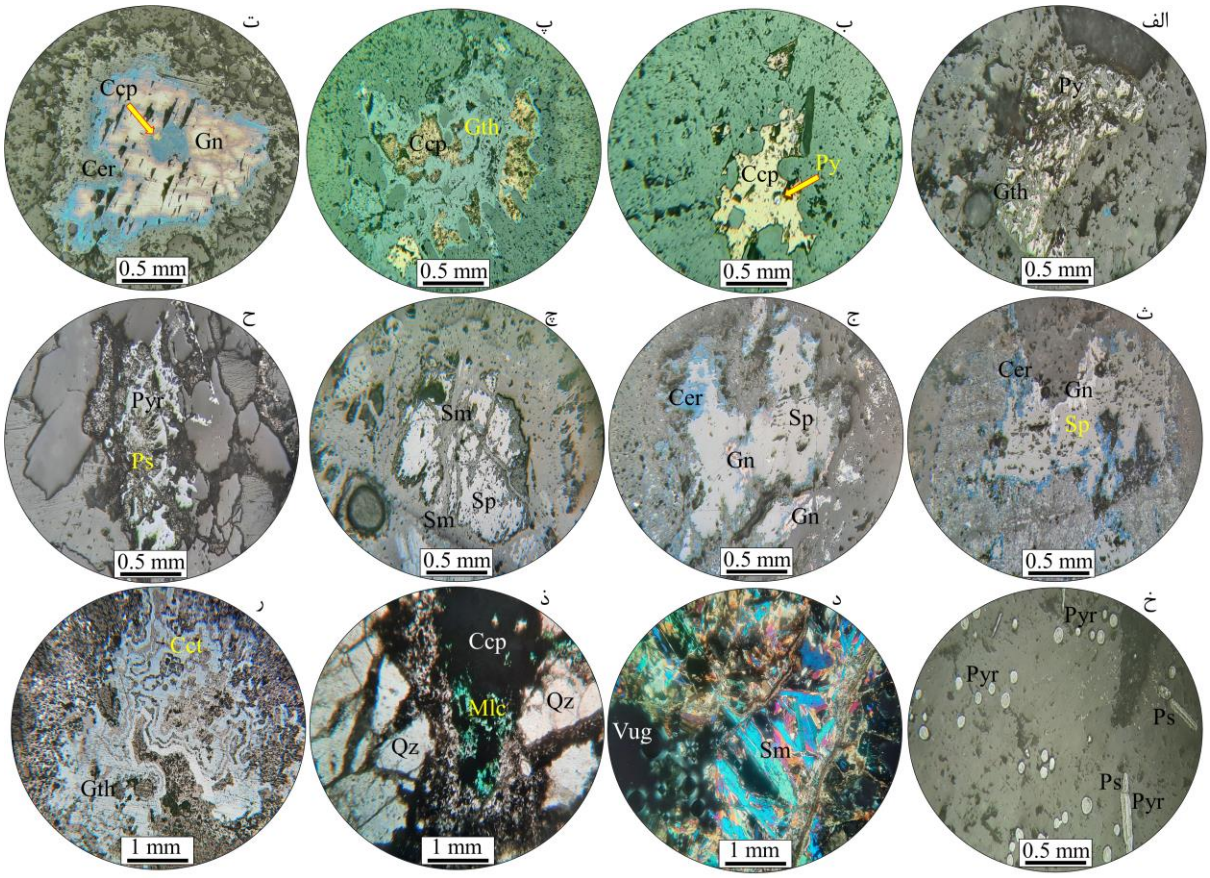
شکل ۴- تصاویر میکروسکوپی (نور عبوری XPL) از انواع دگرسانی‌ها در کانه‌زایی چندفلزی اپیک. الف و ب- کوارتز با بافت رگه-رگچه‌ای (الف) و سیمان برش‌های گرمابی (ب) در دگرسانی سیلیسی. پ- کلسیت‌های تیغه‌ای در دگرسانی کربناتی نوع اول در سیمان برش‌های گرمابی. ت- رگچه‌های کلسیتی تأخیری در دگرسانی کربناتی نوع دوم. ث- دگرسانی پلاژیوکلاز به سریسیت- ایلیت در دگرسانی آرژیلیک حدواسط. ج- دگرسانی پلاژیوکلاز و کانی‌های مافیک به کلسیت و کلریت در دگرسانی پروپیلیتیک. علائم اختصاری کانی‌ها از [۱۲] اقتباس شده است. (Cal : کلسیت، Chl: کلریت، Qz: کوارتز، Ser: سریسیت)

۴. کانی‌شناسی و ساخت و بافت کانسنگ

پیریت، کالکوپیریت، گالن، اسفالریت، پیرولوسیت، پسیلوملان، کوارتز، باریت، کلسیت و سریسیت- ایلیت، کانی‌شناسی کانسنگ در کانه‌زایی چندفلزی اپیک هستند. سروزیت، اسمیت‌زونیت، مالاکیت، کالکوسیت و گوتیت در اثر فرایندهای برون‌زاد تشکیل شده‌اند. انواع بافت کانسنگ شامل دانه‌پراکنده، رگه- رگچه‌ای، بِرشی، پوسته‌ای، گل‌کلمی، کاکلی، پرمانند، تیغه‌ای، بازماندی، جزیره‌ای، پُرکننده فضای خالی و جانشینی است.

پیریت به‌صورت بلورهای بی‌شکل ریز تا درشت (اندازه بین ۱۰ میکرون تا ۱ میلی‌متر) با بافت دانه‌پراکنده در بخش‌های کانه‌دار حضور دارد. این کانی معمولاً از حاشیه‌ها و در امتداد شکستگی‌ها به گوتیت دگرسان شده و تنها بقایایی از آن با بافت‌های بازماندی و جزیره‌ای باقی مانده است (شکل ۵-الف). در برخی از نمونه‌ها، ادخال‌هایی ریز از پیریت درون کالکوپیریت دیده می‌شود (شکل ۵-ب). کالکوپیریت معمولاً به‌صورت بلورهای نیمه‌شکل‌دار تا بی‌شکل با اندازه متوسط تا درشت (بعضاً تا اندازه ۲ سانتی‌متر) با بافت دانه‌پراکنده در بخش‌های کانه‌دار دیده می‌شود. در بیشتر بخش‌های کانه‌دار، کالکوپیریت توسط گوتیت و گاه کالکوسیت جانشین شده و بقایای آن بافت‌های بارماندی و جزیره‌ای را تشکیل داده است (شکل ۵-پ).

گالن بیشتر به‌صورت بلورهای نیمه‌شکل‌دار تا بی‌شکل درشت (تا اندازه ۲ سانتی‌متر) در بخش‌های کانه‌دار حضور دارد. در بیشتر نمونه‌ها، گالن‌ها از حاشیه و در امتداد شکستگی‌ها به سروزیت دگرسان شده (شکل ۵- ت تا ج) و گاه بقایایی از آنها با بافت بازماندی و جزیره‌ای باقی مانده است. در برخی از بخش‌ها، ادخال‌های ریزی از کالکوپیریت داخل گالن دیده می‌شود (شکل ۵-ت). گالن معمولاً با اسفالریت هم‌رشدی نشان می‌دهد (شکل ۵-ث و ج). اسفالریت بیشتربه‌صورت بلورهای ریز تا متوسط بی‌شکل تا نیمه‌شکل‌دار به رنگ عسلی (فقیر از آهن) در بخش‌های کانه‌دار دیده می‌شود. اسفالریت معمولاً با گالن هم‌رشدی دارد (شکل ۵-ث و ج). در برخی از نمونه‌ها، ادخال‌هایی از گالن درون اسفالریت دیده می‌شود (شکل ۵-ج). اسفالریت معمولاً از حاشیه‌ها و در امتداد شکستگی‌ها به اسمیت‌زونیت دگرسان شده است (شکل ۵-چ).

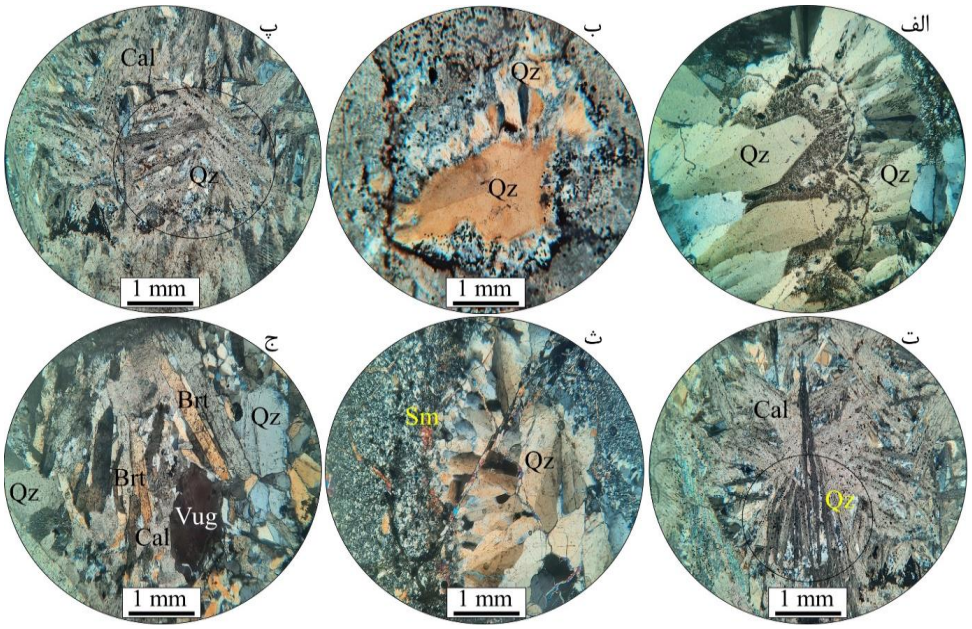


شکل ۵- الف- دگرسانی بلور بی‌شکل پیریت به گوتیت از حاشیه و در امتداد شکستگی‌ها و تشکیل بافت‌های بازماندی و جزیره‌ای. ب- بلور بی‌شکل کالکوپیریت دارای ادخال ریز پیریت. پ- دگرسانی کالکوپیریت از حاشیه و در امتداد شکستگی‌ها به گوتیت و تشکیل بافت‌های بازماندی و جزیره‌ای. ت- بلور بی‌شکل گالن با حاشیه دگرسان‌شده به سروزیت و دارای ادخال ریز کالکوپیریت. ث و ج- هم‌رشدی گالن و اسفالریت. گالن از حاشیه به سروزیت دگرسان شده است. در تصویر ج، ادخال گالن داخل اسفالریت نیز دیده می‌شود. چ- دگرسانی اسفالریت به اسمیت‌زونیت از حاشیه‌ها و در امتداد شکستگی‌ها. ح- پیرولوسیت و پسیلوملان با بافت گل‌کلمی. خ- پیرولوسیت و پسیلوملان با بافت‌های گل‌کلمی و تیغه‌ای (جانشین‌شده در قالب کلسیت‌های تیغه‌ای). د- بلورهای رشته‌ای و شعاعی اسمیت‌زونیت با بافت پرکننده فضای خالی. ذ- مالاکیت با بافت پرکننده فضای خالی. ر- دگرسانی کالکوپیریت به کالکوسیت و گوتیت. تصاویر د و ذ به‌ترتیب در نور عبوری XPL و PPL و بقیه تصاویر در نور بازتابی تهیه شده‌اند. علائم اختصاری کانی‌ها از [۱۲] اقتباس شده است. (Ccp: کالکوپیریت، Cer: سروزیت، Cct: کالکوسیت، Gn: گالن، Gth: گوتیت، Mlc: مالاکیت، Ps: پسیلوملان، Py: پیریت، Pyr: پیرولوسیت، Qz: کوارتز، Sm: اسمیت‌زونیت، Sp: اسفالریت)

پیرولوسیت و پسیلوملان با فراوانی محدود در رگه و رگچه‌های کوارتز- کلسیتی منگنزدار حضور دارند. این کانی‌ها به‌صورت بلورهای بی‌شکل تا نیمه‌شکل‌دار با بافت‌های پرکننده فضای خالی و گل‌کلمی دیده شده و معمولاً با یکدیگر هم‌رشدی دارند. (شکل ۵-ح و خ). در برخی از نمونه‌ها، پیرولوسیت و پسیلوملان بافت تیغه‌ای ناشی از جانشینی این کانی‌ها به‌جای کلسیت‌های تیغه‌ای را نشان می‌دهند (شکل ۵-خ). سروزیت، اسمیت‌زونیت، مالاکیت، کالکوسیت و گوتیت کانی‌های برون‌زاد در کانه‌زایی چندفلزی اپیک هستند که در بخش‌های کم‌عمق پهنه‌های کانه‌دار دیده می‌شوند. سروزیت و اسمیت‌زونیت به‌ترتیب جانشین گالن و اسفالریت شده‌اند (شکل ۵-ت تا چ). اسمیت‌زونیت معمولاً به‌صورت بلورهای رشته‌ای و شعاعی در مسیر شکستگی‌ها و حفرات در بخش‌های سطحی پهنه‌های کانه‌دار دیده می‌شود (شکل ۵-د). با توجه به فراوانی محدود اسفالریت در نمونه‌های سطحی، احتمالاً بخش اصلی اسفالریت طی فرایندهای برون‌زاد به

اسمیت‌زونیت دگرسان شده است. مالاکیت معمولاً بافت پرکننده فضای خالی نشان می‌دهد (شکل ۵-ذ). کالکوسیت اغلب جانشین کالکوپیریت شده است (شکل ۵-ر). گوتیت محصول دگرسانی پیریت و کالکوپیریت است (شکل ۵-الف و پ). در برخی از نمونه‌ها، گوتیت در همراهی با کالکوسیت، جانشین کالکوپیریت شده است (شکل ۵-ر).

کوارتز، باریت، کلسیت و سریسیت- ایلیت کانی‌های باطله در کانه‌زایی چندفلزی اپیک هستند. کوارتز فراوان‌ترین کانی باطله در این کانه‌زایی است که به‌صورت بلورهای بی‌شکل تا شکل‌دار ریز (کمتر از ۲۰۰ میکرون) و درشت (تا ۱ سانتی‌متر) در رگه- رگچه‌های سیلیسی و سیمان سیلیسی برش‌های گرمابی دیده می‌شود. کوارتزها اغلب دارای بافت‌های رگه- رگچه‌ای و پُرکننده فضای خالی هستند. در برخی از نمونه‌ها، کوارتزها بافت‌های پوسته‌ای، گل‌کلمی، کاکلی، تیغه‌ای (جانشین‌شده در قالب کلسیت‌های تیغه‌ای) و پَرمانند نشان می‌دهند (شکل ۶-الف تا ث). باریت بیشتر به‌صورت بلورهای شکل‌دار تا نیمه‌شکل‌دار در مقاطع میکروسکوپی دیده شده و ابعاد طولی بلورهای درشت آن گاه تا دو سانتی‌متر می‌رسد (شکل ۶-ج). کلسیت بیشتر به‌صورت بلورهای بی‌شکل تا شکل‌دار دیده شده و معمولاً بافت‌های رگچه‌ای، پرکننده فضا خالی و تیغه‌ای نشان می‌دهد (شکل‌های ۴-پ و ت و ۶-پ، ت و ج). سریسیت- ایلیت به‌صورت بلورهای ریز (۵ تا ۵۰ میکرون) در مقاطع نازک میکروسکوپی دیده می‌شوند که جانشین پلاژیوکلاز شده‌اند (شکل ۴-ث).

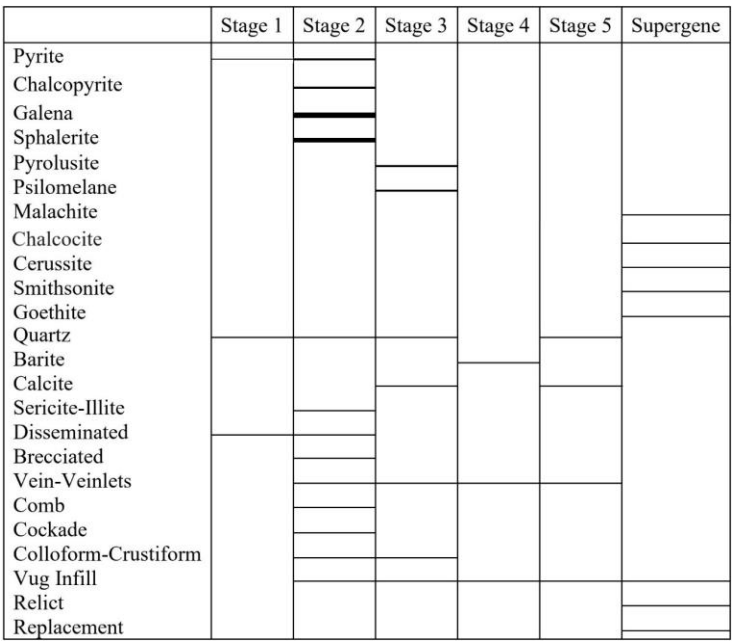


شکل ۶- الف- بافت‌های پوسته‌ای، گل‌کلمی و پرمانند کوارتز. ب- رشد کوارتز با بافت کاکلی بر روی خرده‌کانی کوارتز. پ و ت- کوارتز با بافت تیغه‌ای (به بخش‌های مشخص‌شده با دوایر مشکی توجه شود) حاصل جانشینی کوارتز در قالب کلسیت‌های تیغه‌ای. ث- بلورهای درشت کوارتز با بافت پرمانند. ج- بلورهای شکل‌دار و درشت باریت. همه تصاویر در نور عبوری XPL تهیه شده‌اند. علائم اختصاری کانی‌ها از [۱۲] اقتباس شده است. (Brt: باریت، Cal: کلسیت، Qz: کوارتز، Sm: اسمیت‌زونیت، Vug: فضای خالی)

۵. مراحل کانه‌زایی و توالی پاراژنزی کانی‌ها

مراحل کانه‌زایی در کانه‌زایی چندفلزی اپیک به شش مرحله قابل تفکیک است. مرحله اول کانه‌زایی با دگرسانی سیلیسی سنگ‌های میزبان همراه با اندکی پیریت ریز و بی‌شکل (اغلب اکسیده) با بافت دانه‌پراکنده مشخص می‌شود. مرحله دوم کانه‌زایی با حضور رگه- رگچه‌ها و بِرش‌های گرمابی با سیمان کوارتزی مشخص می‌شود که دارای مقادیر متغیری پیریت، کالکوپیریت، گالن و اسفالریت است. ضخامت رگه و رگچه‌های کوارتزی کانه‌دار این مرحله تا ۵ سانتی‌متر می‌رسد. مرحله سوم کانه‌زایی با حضور کوارتز و کلسیت همراه با اندکی کانه‌های اکسیدی منگنز (پیرولوسیت و پسیلوملان) در رگه‌ها و سیمان بِرش‌های گرمابی مشخص می‌شود. مرحله چهارم کانه‌زایی با رگه و رگچه‌های باریتی به ضخامت تا ۱۰ سانتی‌متر مشخص می‌شود. هیچ کانی سولفیدی با این مرحله تشکیل نشده است. مرحله

پنجم کانه‌زایی به آخرین فعالیت‌های گرمابی مرتبط بوده و هیچ کانی سولفیدی و اکسیدی با آن تشکیل نشده است. این مرحله با حضور کوارتز و کلسیت به‌صورت رگچه‌ای و پرکننده فضاهای خالی مشخص می‌شود. ضخامت رگه- رگچه‌های کوارتزی و کلسیتی این مرحله تا ۵ سانتی‌متر نیز می‌رسد. مرحله ششم کانه‌زایی مربوط به فرایندهای برون‌زاد بوده و طی آن کانی‌های سروزیت، اسمیت‌زونیت، مالاکیت، کالکوسیت و گوتیت با بافت‌های پرکننده فضای خالی، بازماندی و جانشینی تشکیل شده‌اند. مراحل کانه‌زایی و توالی پاراژنزی کانی‌ها در کانه‌زایی چندفلزی اپیک در شکل ۷ نشان داده شده است.



شکل ۷- مراحل کانه‌زایی، توالی پاراژنزی و ساخت و بافت کانسنگ در کانه‌زایی چندفلزی اپیک.

۶. نتیجه‌گیری

مقایسه شواهد زمین‌شناسی، کانه‌زایی، دگرسانی، کانی‌شناسی و ساخت و بافت در کانه‌زایی چندفلزی اپیک با انواع کانسارهای فلزات پایه نشان می‌دهد این کانه‌زایی را می‌توان در دسته کانسارهای اپی‌ترمال سولفیداسیون حدواسط [۱۳ و ۱۴] طبقه‌بندی کرد. مطالعات تکمیلی در دست انجام می‌تواند به فهم بهتر فرایندهای کانه‌ساز در این کانه‌زایی منجر گردد.

منابع

[۱] حبیبی، ج.، ۱۳۸۶. بررسی کانی‌شناسی، ژئوشیمی و ژنز کانسار پلی‌متال لک در سنگ‌های ولکانیکی، جنوب‌غرب بوئین‌زهرا، استان قزوین. پایان‌نامه کارشناسی ارشد، دانشگاه تبریز، ۱۵۵ صفحه.

[۲] گودرزی، ز.، مقدسی، س.ج.، برزگر، ح.، ۱۳۹۱. مراحل تشکیل و تکوین کانسار پلی‌متال لک بر پایه مطالعات سیالات درگیر، جنوب‌غرب بوئین زهرا، استان قزوین. دوفصلنامه یافته‌های نوین زمین‌شناسی کاربردی، ۶ (۱۲)، ۸۹-۷۴.

[۳] ابراهیمی، س.، ۱۳۹۴. بررسی توده نفوذی ده‌بالا، آلتراسیون و کانه‌سازی مرتبط با آن (جنوب بویین‌زهرا). پایان‌نامه کارشناسی ارشد، دانشگاه بین‌المللی امام خمینی، ۱۶۷ صفحه.

[۴] طالع فاضل، ا.، مرادی، م.، نجفی راشد، س.، ۱۴۰۱. تعیین نوع ذخایر مس با سنگ میزبان آتشفشانی در ناحیه معدنی کوه جارو (جنوب اشتهارد) براساس شواهد زمین‌شناسی، کانه‌زایی و میانبارهای سیال. زمین‌شناسی اقتصادی، ۱۴ (۱)، ۱۰۸-۶۸.

[۵] Yousefi, M., Rashidnejad Omran, N., Lotfi, M., Bazoobandi, M.H., 2017. Copper and gold mineralization features in Deh Bala region, south of Takestan. Open Journal of Geology, 7, 1022–1046.

[۶] خان‌احمدلو، س.، ۱۴۰۲. زمین‌شناسی، زمین‌شیمی و خاستگاه کانه‌زایی سرب- روی- مس کورچشمه، جنوب‌باختر تاکستان. پایان‌نامه کارشناسی ارشد، دانشگاه زنجان، ۷۴ صفحه.

[۷] خان‌احمدلو، س.، کوهستانی، ح.، مختاری، م.ع.ا.، رحمتی، ن.، ۱۴۰۱. ویژگی‌های زمین‌شناسی و کانه‌زایی در رخداد معدنی سرب- روی- مس کورچشمه، جنوب‌باختر تاکستان، استان قزوین. چهل و یکمین گردهمایی علوم زمین، سازمان زمین‌شناسی و اکتشافات معدنی کشور، تهران، ایران.

[۸] خان‌احمدلو، س.، کوهستانی، ح.، مختاری، م.ع.ا.، رحمتی، ن.، ۱۴۰۲. رخداد معدنی کورچشمه: کانه‌زایی اپی‌ترمال فلزات پایه نوع سولفیداسیون حدواسط در کمربند آتشفشانی مردآباد- بوئین‌زهرا. بیست و ششمین همایش انجمن زمین‌شناسی ایران، ارومیه، ایران.

[۹] یوسفی، م.، ۱۳۷۹. نقشه زمین‌شناسی ۱:۱۰۰،۰۰۰ اشتهارد. سازمان زمین‌شناسی و اکتشافات معدنی کشور.

[۱۰] Kazemi, K., Modabberi, S., Xiao, Y., Sarjoughian, F., Kananian, A., 2022. Geochronology, whole-rock geochemistry, Sr–Nd isotopes, and biotite chemistry of the Deh-Bala intrusive rocks, Central Urumieh-Dokhtar Magmatic Arc (Iran): Implications for magmatic processes and copper mineralization. Lithos, 408-409, 106544.

[۱۱] آقازاده، م.، براتی، ب.، ۱۳۸۵. نقشه زمین‌شناسی ۱:۱،۰۰۰ کانه‌زایی اپیک. شرکت آیمکو، تهران.

[۱۲] Whitney, D.L. and Evans, B.W., 2010. Abbreviations for names of rock-forming minerals. American Mineralogist, 95 (1), 185–187.

[۱۳] Hedenquist, J.W., Arribas, A., Gonzalez-Urien, E., 2000. Exploration for epithermal gold deposits. In: Gold in 2000. Hagemann, S.G., Brown, P.E., (Eds.), Reviews in Economic Geology, 13, 245–277.

[۱۴] Wang, L., Qin, K.Z., Song, G.Y., Li, G.M., 2019. A review of intermediate-sulfidation epithermal deposits and subclassification. Ore Geology Reviews, 107, 434–456.