

زمین‌شناسی، کانه‌زایی و ویژگی‌های میانبارهای سیال در کانسار مس (سرب- روی) قوزلو، شمال معدن سرب و روی انگوران، منطقه فلززایی تکاب- ماهنشان

حافظ مرنگی^۱، محمد رضا حسین‌زاده^{۱*}، کمال سیاه‌چشم^۱، سجاد مغفوری^۲

۱- گروه علوم زمین، دانشکده علوم طبیعی، دانشگاه تبریز، تبریز، ایران

۲- گروه زمین‌شناسی اقتصادی، دانشکده علوم پایه، دانشگاه تربیت مدرس، تهران، ایران

(دریافت مقاله: ۱۴۰۳/۱۰/۱۲، نسخه نهایی: ۱۴۰۳/۱۱/۲۳)

چکیده: کانسار مس (سرب- روی) قوزلو در زیرپهنه تکاب- ماهنشان، در جنوب غرب استان زنجان و شمال غرب ایران قرار دارد. در این پژوهش، زمین‌شناسی، کانی‌سازی، دگرسانی، جایگاه زمین‌ساختی و میانبارهای سیال این معدن بررسی شده است. مجموعه دگرگونی نئوپروتروزوئیک- کامبرین پیشین در منطقه مورد بررسی شامل انواع آمفیبولیت، انواع مختلف گنیس و میان لایه‌های مرمری به همراه بقایای سنگ‌های فرامافیک سرپانتینی است و سنگ‌های دگرگونی منطقه در رخساره‌ی آمفیبولیت دگرگون شده و تا مرحله‌ی ذوب بخشی و تشکیل میگماتیت پیش رفته‌اند. کانی‌سازی مس (سرب و روی) قوزلو در سنگ میزبان آمفیبولیت و مرمر و اغلب درون واحد مرمری و برخوردگاه بین آنها و به صورت توده‌ای، لایه‌ای، لامینه‌ای، رگچه‌ای، پراکنده، برشی، نواری و جانشینی تشکیل شده است. کالکوپریت، گالن، اسفالریت و پیریت به همراه هماتیت ورقه‌ای (اسپیکولاریت)، مهم‌ترین کانی‌های معدنی درون‌زاد بوده و شاخص‌ترین کانه‌های برونزاد شامل کالکوسیت، کوولیت، مالاکیت، آزوریت، اسمیت‌زونیت، سروزیت، هماتیت و گوتیت هستند. بخش غالب سنگ میزبان در پهنه‌های کانه‌دار، شواهدی از دگرگونی مجاورتی را با حضور شاخص کانی‌های پیروکسن، گارنت، آمفیبول و اپیدوت به همراه کوارتز و کانی‌های کربناتی نشان می‌دهند. شاخص‌ترین دگرسانی سنگ میزبان سیلیسی شدن و اپیدوتی شدن هستند و پهنه‌های کانه‌دار دگرسانی اکسید آهنی و کربناتی را نشان می‌دهند. میانبارهای سیال درون کانی‌های کوارتز و اسفالریت از معدن قوزلو بررسی شدند. در میانبارهای سیال اسفالریت، دمای همگن شدگی از ۱۴۵ تا ۳۴۴ درجه سانتی‌گراد و شوری بین ۳ تا ۷ درصد وزنی معادل NaCl متغیر است. در میانبارهای سیال کوارتز، دمای همگن شدگی از ۱۲۵ تا ۵۷۰ درجه سانتی‌گراد و شوری بین ۲/۵ تا ۴۴/۵ درصد وزنی معادل NaCl متغیر است. بر این اساس و با ترکیب نتایج بازدیدهای صحرایی، شواهد میکروسکوپی، همبرزادی کانیایی با داده-های میانبارهای سیال، چنین برداشت می‌گردد که مرحله اول کانه‌زایی همزاد با سنگ میزبان از نوع کانسار سولفید توده‌ای (VMS) تشکیل شده و سپس کانی‌سازی اسکارنی با سیال‌های برآمده از توده نفوذی رخ داده است.

واژه‌های کلیدی: میانبار سیال؛ قوزلو؛ مس (سرب- روی)؛ کانسار سولفید توده‌ای؛ اسکارن؛ تکاب- ماهنشان.

مقدمه

۳۶° شمالی و در فاصله هوایی حدود ۱۰ کیلومتری شمال معدن روی- سرب انگوران واقع است. دسترسی به منطقه مورد بررسی از راه کوتاه‌ترین مسیر (زنجان، دندی، روستای قوزلو) حدود ۱۲۵ کیلومتری است که این راه تا روستای قوزلو

کانسار مس، سرب و روی قوزلو در استان زنجان، در ۳۳ کیلومتری شمال غرب شهر دندی، در طول‌های جغرافیایی ۱۴° ۴۷° تا ۳۰° ۴۷° شرقی و عرض‌های جغرافیایی ۳۹° ۳۶° تا ۴۸°

*نویسنده مسئول، تلفن: ۰۴۱-۳۳۳۹۲۶۹۷، پست الکترونیک: Mr.hosseinzadeh1352@gmail.com

Copyright © 2025 The author(s). This work is licensed under a Creative Commons Attribution-NonCommercial 4.0



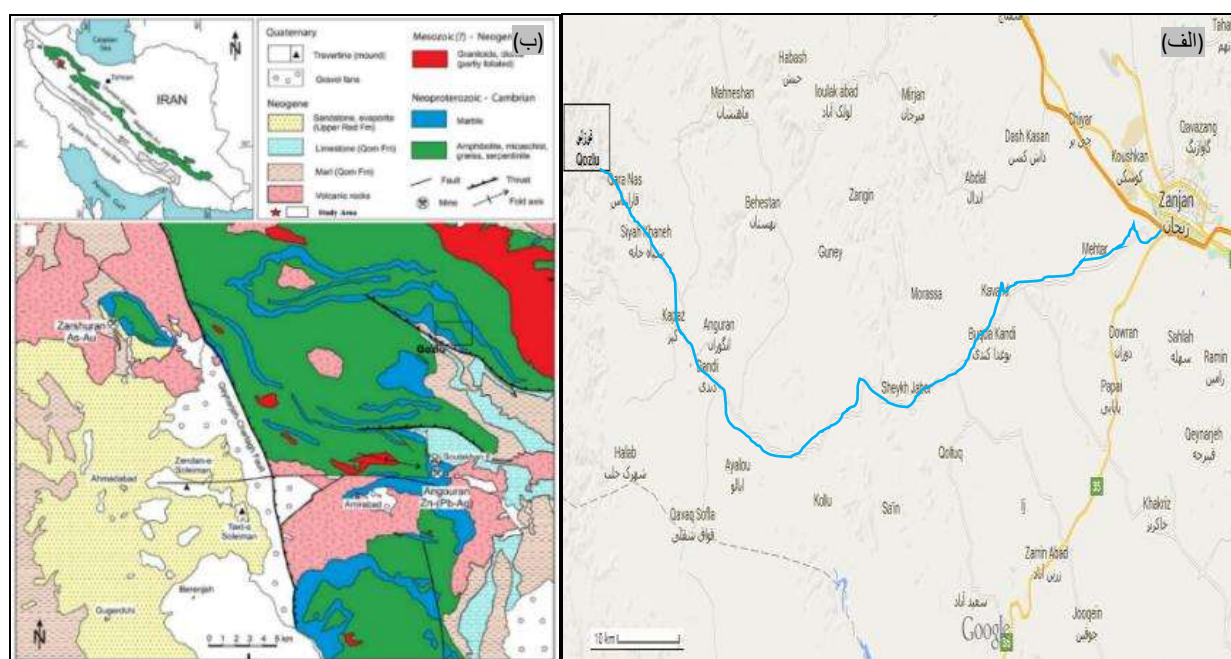
International License (<https://creativecommons.org/licenses/by-nc/4.0/>) Non-commercial uses of the work are permitted, provided the original work is properly cited

توالی دگرگونی ناحیه‌ای شده که گاهی با کانه‌زایی‌های آهن (چون کانسارهای علم‌کندی و قینرجه) و کمتر با سرب-روی (مانند کانسارهای علم‌کندی و قره‌داش) همراه است [۴-۸]. تاکنون بررسی‌های متعددی در ارتباط با سنگ‌های دگرگونی ناحیه‌ای و کمتر پیرامون سنگ‌های دگرگونی مجاورتی این منطقه انجام شده و نتایج مهمی در مورد شرایط ترمودینامیکی تشکیل آنها به‌دست آمده است [۹-۱۶]. کانسار قوزلو یکی از کانه‌زایی‌های مس (سرب-روی) دارای شواهدی از هاله‌های دگرگونی مجاورتی در زیرپهنه تکاب-تخت‌سلیمان-انگوران بوده که در ۳۳ کیلومتری شمال غربی شهر دندی و در شمال روستای قوزلو و فاصله هوایی ۳/۵ کیلومتری جنوب شرقی نهشته مس (سرب-روی) قره‌داش واقع است.

در نگاه کلی، کانسار قوزلو یک کانسار عدسی‌شکل معرفی شده که در پهنه‌های گسله بین واحدهای مرمری کمر بالا و آمفیبولیت کمر پائین نهشته شده است. البته در بعضی بخش‌ها، شکل وصله‌ای (patchy) نیز در آن دیده می‌شود.

آسفالت بوده و جاده اختصاصی معدن به طول حدود ۳ کیلومتر خاکی است (شکل ۱ الف). این کانسار در بخش مرکزی چارگوش زمین‌شناسی ۱:۲۵۰۰۰۰ تکاب و ورقه زمین‌شناسی ۱:۱۰۰۰۰۰ تخت‌سلیمان قرار دارد و از نظر ساختاری در پهنه سنندج-سیرجان [۱] واقع است (شکل ۱ ب)؛ گفتنی است که در مورد پهنه ساختاری این منطقه، تاکنون توافق نظری نبوده است و براساس شواهد زمین‌شناسی و سنگ‌شناسی، بیشترین انطباق را با خرد قاره ایران مرکزی دارد.

منطقه قوزلو بخشی از زیرپهنه تکاب-تخت‌سلیمان-انگوران است. این زیر پهنه به عنوان بخشی از پهنه سنندج-سیرجان، به طور عمده از سنگ‌های دگرگونی ناحیه‌ای (بیشتر شامل انواع شیست‌ها، آمفیبولیت، گنیس و مرمر) به سن پرکامبرین و پالئوزوئیک تشکیل شده است که در برخی مناطق، توده‌های گرانیتوئیدی مزوزوئیک (تریاس میانی-پسین) به درون آنها نفوذ کرده‌اند [۲، ۳]. نفوذ توده‌ها اغلب سبب ایجاد هاله‌های دگرگونی مجاورتی در بخش‌های مرمری



شکل ۱ الف- راه‌های دسترسی به منطقه مورد بررسی (گستره مورد بررسی با مستطیل مشخص گردیده است)، ب- موقعیت کانسار قوزلو بر نقشه زمین‌شناسی ساده شده بر اساس نقشه‌های چارگوش ۱:۲۵۰۰۰۰ تکاب [۱۷] و ورقه ۱:۱۰۰۰۰۰ تخت سلیمان [۲]، نسبت به کانسارهای زرشوران و انگوران در پهنه تکاب، بر گرفته از مرجع [۱۸].

روش بررسی

برای انجام این پژوهش، طی عملیات صحرایی تعداد ۱۳۰ نمونه سنگی از واحدهای رخنمون یافته به منظور بررسی‌های سنگ-شناسی، کانی‌شناسی و زمین‌شیمیایی برداشت شد و تعداد ۲۵ مقطع نازک، ۵۰ مقطع نازک-صیقلی، ۱۰ مقطع صیقلی از نمونه‌ها تهیه گردید. همچنین به منظور بررسی میانبارهای سیال از نمونه‌های برداشت شده از رگه‌های کوارتزی همراه بخش کانی‌سازی و اسفالریت‌ها در کانسار قوزلو، تعداد ۵ مقطع دوبر صیقل مناسب تهیه شد. همه مقاطع در آزمایشگاه شرکت زرجویان فلات قاره در پارک علم و فناوری دانشگاه تحصیلات تکمیلی علوم پایه زنجان تهیه و سنگ‌نگاری شدند. پس از آن، بررسی‌های کامل ریزدماسنجی با میکروسکوپ Leitz با صفحه گرم کننده و سرد کننده لینکام مدل THMCG 600 با گستره‌ی دمایی ۱۹۶- تا ۶۰۰ درجه‌ی سانتیگراد، در دانشگاه تربیت مدرس و دانشگاه لرستان انجام شد.

زمین‌شناسی

در تقسیم‌بندی پهنه‌های رسوبی-ساختاری ایران [۱۹]، منطقه قوزلو در زیرپهنه کاملاً دگرشکل‌شده از پهنه سهندج-سیرجان [۲۰] واقع است (شکل ۱). بطور کلی منطقه قوزلو در بخش مرکزی و شمال چارگوش ۱:۲۵۰۰۰۰ تکاب قرار دارد. سنگ‌های دو دوره زمانی پرکامبرین و الیگومیوسن آشکارا در این ناحیه بروزندگی گسترده دارند. سنگ‌های وابسته به پرکامبرین در این منطقه شامل گنیس، آمفیبولیت، میکاشیست، مرمر و میگماتیت، با رخساره شیست‌سبز و آمفیبولیت دربردارنده اپیدوت و کلریت و آمفیبولیت‌ها هستند که در زیر سنگ‌های دگرگون شده سازند کهر جای دارند. سنگ‌های این مجموعه اغلب در رخساره آمفیبولیت، دگرگون شده‌اند و سنگ خاستگاه آن‌ها شامل سنگ‌های آذرین مافیک و فرامافیک است. مرمرهای با ضخامت ۱۰-۱۵ متر، مربوط به دوران پرکامبرین، به‌صورت میان‌لایه، درون آمفیبولیت‌های منطقه قرار دارند. سنگ‌شناسی غالب منطقه آمفیبولیت‌های چین‌خورده، همراه با شیست آهکی، آمفیبول شیست و انواع گنیس است (شکل ۲).

سنگ‌های وابسته به الیگوسن-میوسن شامل توالی‌های کربناتی، دولومیتی، پلیتی و ماسه سنگ تیره هستند. براساس شواهد صحرایی، در منطقه‌ی قوزلو، سنگ‌های دگرگونی وابسته به نئوپروتروزوئیک-کامبرین، با مرز گسلی (گسل قره‌ناس) در برخوردگاه با سنگ‌های رسوبی و آذرآواری سنوزوئیک قرار دارند (شکل ۲ الف). واحدهای سنوزوئیک شامل توف‌های اسیدی به همراه توالی مارن‌های رنگی، میان لایه‌های تبخیری (گچ)، ماسه‌سنگ، کنگلومرا و آهک‌های فسیل‌دار هستند (شکل ۲ ب). کانه‌زایی در گستره معدنی قوزلو، در سنگ میزبان

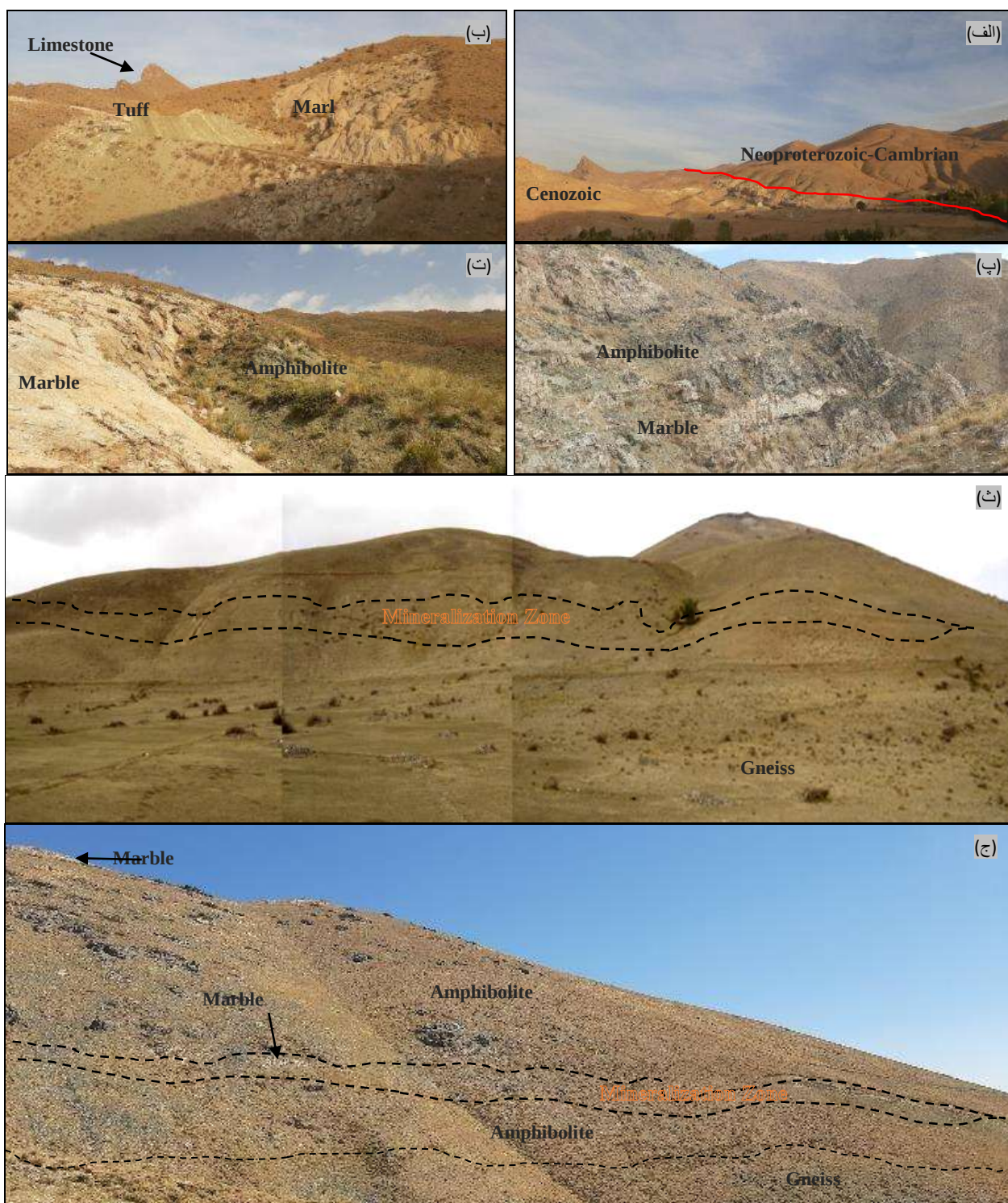
نئوپروتروزوئیک-کامبرین و دست کم در دو افق رخ داده است (شکل‌های ۲ ث، ج و ۳). در ادامه واحدهای سنگی و کانه‌زایی، به تفصیل توصیف می‌شوند.

سنگ‌شناسی سنگ‌های فرامافیک و دگرگونی ناحیه‌ای

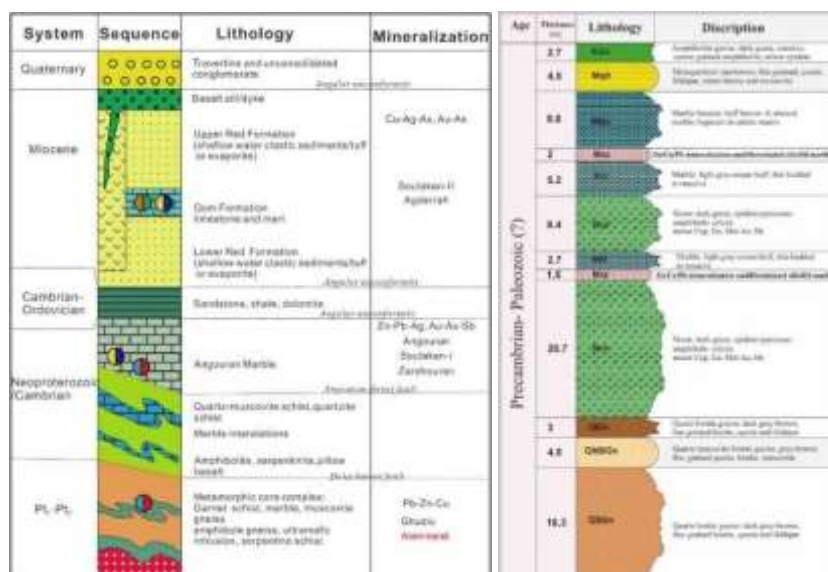
براساس شواهد صحرایی، به طور کلی، واحدهای سنگی در گستره معدنی قوزلو شامل سنگ‌های دگرگونی از جمله انواع گنیس، انواع آمفیبولیت، میان لایه‌های مرمری، میگماتیت و آهک‌های مرمری به همراه رخنمون‌هایی از سنگ‌های فرامافیک سرپانتینی شده هستند. این مجموعه دگرگونی در نقشه زمین-شناسی ۱:۲۵۰۰۰۰ تکاب [۲۱]، با عنوان مجموعه آمفیبولیت علم‌کندی معرفی شده است. از نظر شدت دگرگونی، واحدهای سنگی منطقه تا مرحله‌ی ذوب بخشی رسیده‌اند و در برخی از واحدهای سنگی، شواهدی از میگماتیت دیده می‌شود. به باور باباخانی و قلمقاش [۲]، این مجموعه دگرگونی همراه با سنگ-های فرامافیک دگرگون‌شده، بقایای پوسته اقیانوس پالئوتتیس هستند. در ادامه واحدهای سنگی به اختصار توصیف شده‌اند.

سنگ‌های فرامافیک سرپانتینی شده: سنگ‌های فرامافیک در گستره معدنی قوزلو دارای رخنمون هستند و به شدت به سرپانتین تبدیل شده‌اند. شواهد بافتی و کانی‌شناسی نشان می‌دهد که سنگ‌های فرامافیک شامل پیروکسنیت‌ها و سنگ-های پریدوتیتی از جمله دونیت و هارزبورژیت بوده‌اند. بخش عمده‌ی کانی‌های تشکیل دهنده به سرپانتین و کانی‌های کربناتی تبدیل شده‌اند و بقایای الیوپن و پیروکسن در زمینه وجود دارند (شکل ۴ الف). بر پایه شواهد صحرایی، رخنمون-های سنگ‌های فرامافیکی با ساختارهای گسلی کنترل می‌شوند و به احتمال بسیار گسل‌های معکوس در منطقه باعث بالا آمدگی آنها شده‌اند.

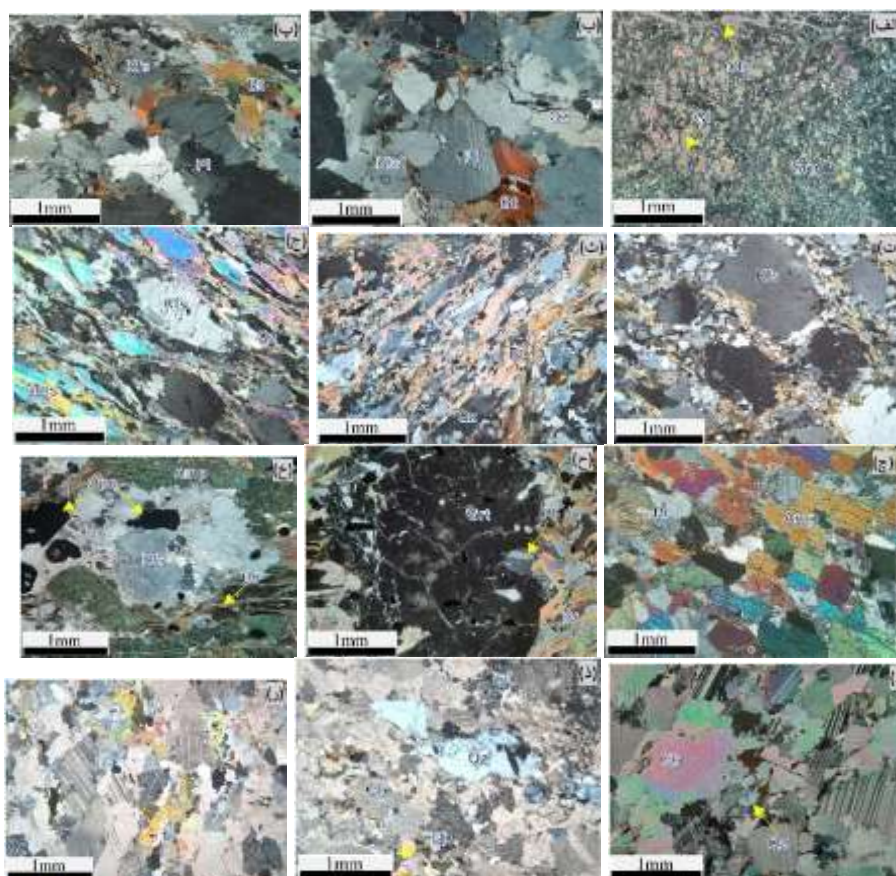
بیوتیت گنیس: بیوتیت گنیس‌ها را در گستره این معدن می‌توان به دو دسته گنیس بیوتیت‌دار و کوارتز بیوتیت گنیس تفکیک کرد. کانی‌های اصلی شامل کوارتز، بیوتیت، فلدسپات پتاسیم و پلاژیوکلاز به همراه کانی‌های فرعی موسکوویت و کانی‌های کدر هستند. گنیس بیوتیت‌دار اغلب از کانی‌های فلدسپاتی از جمله پلاژیوکلاز و فلدسپات پتاسیم به همراه کوارتز و کمی بیوتیت تشکیل شده‌اند (شکل‌های ۴ ب، پ). در واحد کوارتز بیوتیت گنیس، بیوتیت از کانی‌های غالب سنگ است. بیوتیت در رخنمون صحرایی، نمونه دستی و میکروسکوپی، دارای بافت چشمی است (شکل ۴ ت) و گنیسوارگی را آشکارا می‌توان در آن تشخیص داد. کانی‌های روشن از جمله کوارتز از کانی‌های ورقه‌ای تیره از جمله بیوتیت به خوبی تفکیک شده است (شکل ۴ ث).



شکل ۲ الف- نمایی از مرز گسلی و راندگی سنگ‌های دگرگونی نئوپروتروزوئیک- کامبرین بر واحدهای سنوزوئیک (دید به سمت شمال غرب)، ب- واحدهای سنوزوئیک شامل توف، مارن و سنگ آهک (دید به سمت شمال غرب)، پ- میان لایه‌های مرمری در واحد آمفیبولیتی (دید به سمت شرق)، ت- مرز گسلی آمفیبولیت با آهک‌های مرمری (دید به سمت شمال)، ث- نمایی از رخنمون کانه‌زایی در بخش جنوبی معدن قوزلو (دید به سمت شمال غرب)، ج- نمایی از رخنمون کانه‌زایی در بخش شمالی معدن قوزلو (دید به سمت شرق).



شکل ۳ الف- ستون چینه‌شناسی منطقه تکاب که سنگ‌های میزبان ذخایر معدنی اقتصادی را نشان می‌دهد (برگرفته از مراجع [۳، ۱۹] با تغییرات)، ب- ستون چینه‌شناسی معدن مس-سرب و روی قوزلو (بر اساس بررسی مغزه‌های حفاری در این پژوهش).



شکل ۴ تصاویر میکروسکوپی از سنگ‌شناسی و میزبان کانه‌زایی مس-سرب و روی قوزلو: الف) بقایای الیون در زمینه به شدت سرپانتینی، ب، پ) بافت دانه شکفتی در بیوتیت گنیس، ت) بافت چشمی در بیوتیت گنیس، ث) تشکیل و جدایش کوارتز و بیوتیت و ایجاد گنیسوارگی، ج) بافت چشمی در موسکویت گنیس، چ) بافت دانه شکفتی در آمفیبولیت عادی، ح) بلور گارنت در زمینه شامل آمفیبول، بیوتیت و کوارتز، خ) آمفیبولیت دربردارنده آمفیبول و پلاژیوکلاز با بافت دانه شکفتی، د) مرمر با بافت دانه شکفتی، ذ) کوارتز مرمر، ر) اپیدوت کوارتز مرمر (Pl: پلاژیوکلاز، Amp: آمفیبول، Cb: کربنات، Qz: کوارتز، Px: پیروکسن، Grt: گارنت، Ep: اپیدوت، Bt: بیوتیت، Opq: کانی کدر) [۲۲].

سنگ‌شناسی سنگ میزبان کانه‌زایی

به‌طور کلی دو سنگ شناسی اصلی (۱) آهک‌های مرمری و (۲) آمفیبولیت‌های اپیدوتی شده با میان لایه‌ی مرمری را می‌توان به‌عنوان میزبان کانه‌زایی در این معدن در نظر گرفت. کانه‌زایی به‌صورت هم‌روند با سنگ میزبان و همچنین در برخوردگاه گسله و مناطق برشی، بین واحدهای آهک مرمری و آمفیبولیت‌های اپیدوتی شده متمرکز است. آهک‌های مرمری اصلی‌ترین سنگ میزبان ماده معدنی در این معدن به شمار می‌روند. بین این دو واحد سنگی، یک واحد اپیدوت-مرمر نیز وجود دارد که پهنه حدواسط این دو سنگ است. این پهنه حدواسط در همه مناطق وجود ندارد و بیشتر در بخش‌های جنوب‌شرقی معدن دیده می‌شود. سنگ میزبان آمفیبولیتی دگرسان بوده و اپیدوتی شدن در آن قابل ملاحظه است. در سنگ میزبان آمفیبولیتی، کانی اپیدوت دیده می‌شود که کلسیت و کلریت نیز آن را همراهی می‌کنند.

سنگ نگاری سنگ‌های دگرگونی مجاورتی و میزبان کانه‌زایی

بر اساس بازدیدهای صحرایی و بررسی‌های میکروسکوپی، شواهد دگرگونی مجاورتی در سنگ‌های میزبان کانی‌سازی شده وجود دارد. رخنمون توده نفوذی در برخوردگاه با کانه‌زایی دیده نمی‌شود. آمفیبولیت در برخوردگاه با میان لایه‌های مرمری، به شدت دگرنهاد شده و به اپیدوت دگرسان شده و میان لایه-های مرمری به شدت سیلیسی شده‌اند. کانی‌های شاخص دگرنهاد در این معدن شامل پیروکسن، اپیدوت، آمفیبول، گارنت، کوارتز و کربنات‌ها هستند. بخش‌های دگرنهاد را براساس هم‌برزادی کانیایی، می‌توان به اپیدوت اسکارن، پیروکسن اپیدوت اسکارن، پیروکسن آمفیبول اسکارن، پیروکسن گارنت اسکارن، پیروکسن اپیدوت کوارتز کربنات اسکارن تفکیک کرد.

اپیدوت-پیروکسن-آمفیبول اسکارن: کانی‌های اصلی شامل پیروکسن، آمفیبول و اپیدوت هستند و بافت دانه‌شکفتی دارد. فراوانی اپیدوت بیشتر از پیروکسن است. کوارتز و کربنات‌ها در فضای بین بلورهای اپیدوت و پیروکسن و همچنین در شکستگی‌های بلورهای آمفیبول تشکیل شده‌اند. در شکستگی‌های پیروکسن و آمفیبول، کربنات‌ها و کلریت تشکیل شده‌اند. شکستگی‌ها با کانی‌های کربناتی پر شده‌اند. کانی‌های کدر ریز و بی‌شکل به‌صورت پراکنده در سنگ دیده می‌شوند (شکل‌های ۵ الف، ب).

پیروکسن گارنت اسکارن: کانی‌های اصلی پیروکسن گارنت اسکارن شامل اپیدوت، پیروکسن، کوارتز، گارنت و کربنات

موسکویت گنیس: در واحد موسکویت گنیس، موسکویت از کانی‌های غالب سنگ است. کانی‌های اصلی شامل کوارتز، موسکویت، فلدسپات پتاسیم و پلاژیوکلاز به همراه کانی‌های فرعی بیوتیت و کانی‌های کدر هستند (شکل ۴ ج). این سنگ در رخنمون صحرایی و نمونه دستی، دارای بافت چشمی است و درشت بلورها از جنس کانی‌های فلدسپاتی هستند. کانی‌های کوارتز و فلدسپات از کانی‌های ورقه‌ای به خوبی در این سنگ تفکیک شده و گنیسوارگی را ایجاد کرده‌اند.

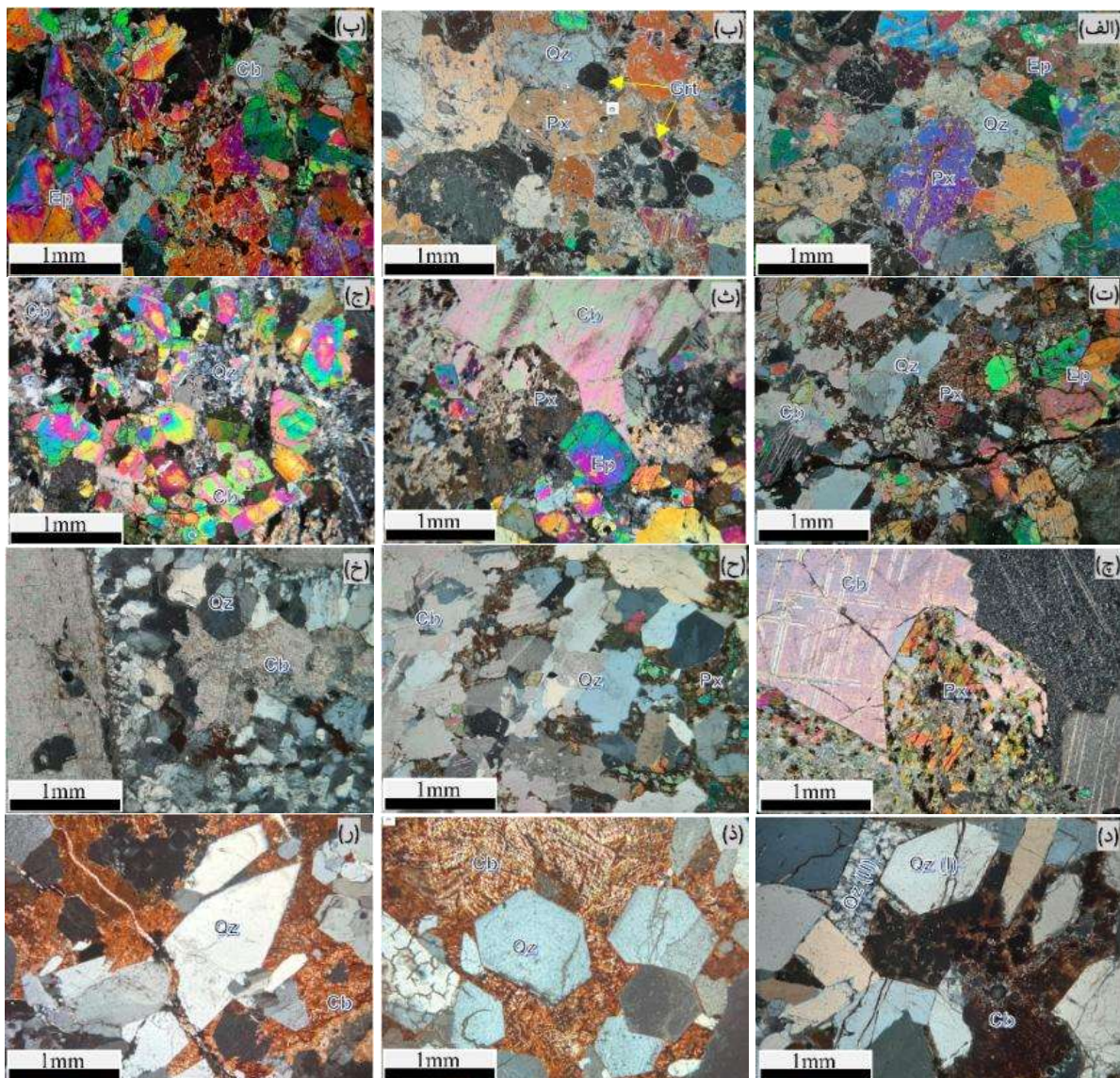
آمفیبولیت: آمفیبولیت‌ها در این منطقه دارای تنوع بسیاری هستند. از مهم‌ترین آنها می‌توان به آمفیبولیت عادی (شکل ۴ ج)، آمفیبولیت شیست، گارنت بیوتیت آمفیبولیت (شکل ۴ ح) و اپیدوت آمفیبولیت اشاره کرد. براساس بررسی‌های سنگ-نگاری، آمفیبولیت‌ها در این گستره متشکل از کانی‌های آمفیبول، پلاژیوکلاز، فلدسپات پتاسیم، کوارتز، کربنات، بیوتیت، گارنت و کانی‌های کدر تشکیل شده‌اند و دارای بافت نخ شکفتی، دانه شکفتی و شکفته بلوری هستند. آمفیبولیت‌های اپیدوتی شده در این معدن در برخوردگاه با میان لایه‌های مرمری، میزبان کانه‌زایی مس-سرب و روی هستند.

میان لایه‌های مرمری: میان لایه‌های مرمری اغلب در درون آمفیبولیت‌ها تشکیل شده‌اند و گاهی ضخامت آنها به بیش از ۴۰ تا ۵۰ متر می‌رسد که می‌توان آنها را به‌صورت واحدی مجزا تفکیک کرد. میان لایه‌های مرمری کنترل کننده اصلی کانه‌زایی در معدن قوزلو هستند. براساس شواهد کانی‌شناسی، میان لایه-های مرمری متنوع هستند و به انواع مرمر، اپیدوت مرمر و کوارتز اپیدوت مرمر تفکیک می‌شوند. بافت آنها اغلب دانه شکفتی است. میان لایه‌ی مرمری شامل کانی‌های کربناتی با بافت دانه شکفتی و میزبان کانه‌زایی در این کانسار است. در مرمر کانه‌دار و به ویژه بخش‌های کانه‌دار سیلیسی، کوارتز به صورت بلورهای کاملاً شکل‌دار تشکیل شده است و کانی‌های سولفیدی بخش‌های کربناتی، به شدت اکسیده شده‌اند. سنگ-های کربناتی کانه‌دار در برخی بخش‌ها به شدت سیلیسی هستند و برخی از آنها بافت برشی را نشان می‌دهند (شکل‌های ۴ د، ر).

آهک مرمری: در گستره معدنی قوزلو، روی آمفیبولیت‌ها، واحد کربناتی ضخیم لایه قرار داشته و در بخش جنوبی کانسار و بخش غربی گستره، رخنمون گسترده دارد. این واحد در بخش جنوبی معدن، میزبان کانه‌زایی مس (سرب-روی) بوده و در مقیاس میکروسکوپی دارای بافت دانه شکفتی است (شکل ۴ د).

کوارتز، ترمولیت، اکتینولیت و کربنات هستند و این زیرگروه اسکارن دارای بافت دانه شکفتی است. فراوانی اپیدوت در این سنگ بیشتر از پیروکسن است. کوارتز و کربنات‌ها در فضای بین بلورهای اپیدوت و پیروکسن و همچنین در شکستگی‌های بلورهای اپیدوت تشکیل شده‌اند (شکل‌های ۵ ت، ث).

هستند و این زیرگروه اسکارن دارای بافت دانه شکفتی است. فراوانی پیروکسن در این سنگ بیشتر از اپیدوت و گارنت است. کوارتز و کربنات‌ها در فضای بین بلورهای اپیدوت و پیروکسن تشکیل شده‌اند (شکل ۵ پ). اپیدوت اسکارن: کانی‌های اصلی شامل اپیدوت، پیروکسن،



شکل ۵ تصاویر میکروسکوپی از نمونه‌های اسکارن معدن مس (سرب-روی) قوزلو. الف) بلورهای پیروکسن (Px) همراه با اپیدوت (Ep) با بافت دانه شکفتی، ب) بلورهای خودشکل گارنت (Grt) در زمینه دربردارنده پیروکسن و کوارتز (Qtz) با بافت دانه شکفتی، پ) تشکیل اپیدوت با بافت دانه شکفتی که با رگچه کربناتی (Cb) قطع شده است؛ ت) تشکیل کوارتز به همراه پیروکسن، اپیدوت و کربنات با بافت دانه شکفتی، ث) تشکیل کانی‌های کربناتی در زمینه و فضای بین بلورهای شکل‌دار اپیدوت و پیروکسن؛ ج) تشکیل کوارتز و کربنات به همراه کانی‌های کدر در فضای بین بلورهای شکل‌دار اپیدوت؛ چ) بلورهای شکل‌دار پیروکسن دگرسان شده در زمینه کربناتی بلورین؛ ح) تشکیل پیروکسن ریز بلور در فضای بین بلورهای کوارتز و کربنات‌ها؛ خ) تشکیل کوارتز با بافت رگچه‌ای و شانه‌ای در زمینه کربناتی؛ د) تشکیل کانی‌های کربناتی آغشته به هیدروکسید آهن و کوارتز ریز تا مخفی بلور (Qtz II) در فضای بین بلورهای شکل‌دار کوارتز (Qtz I)، ذ، ر) بلورهای شکل‌دار کوارتز در زمینه دربردارنده کربنات‌های اکسید آهنی، (در نور عبوری قطبیده متقاطع، XPL).

مرمری، در اثر فرآیندهای برونزایی به طور کامل اکسیده شده و دارای ساختار توده‌ای است. از دیگر ساختارهای اصلی و اولیه کانه‌زایی می‌توان به ساخت و بافت برشی، دانه‌پراکنده، شبه لایه‌ای و شبه لامینه‌ای اشاره کرد (شکل ۶).

ساخت و بافت ماده معدنی در کانسار قوزلو

براساس شواهد صحرایی و نمونه‌های دستی، کانه‌زایی در کانسار مس، سرب و روی قوزلو به صورت توده‌ای، لایه‌ای، دانه‌پراکنده، رگچه‌ای، برشی و نواری تشکیل شده است (شکل‌های ۷ و ۸). کانه‌های اصلی شامل کالکوپیریت، گالن، اسفالریت، پیریت و هماتیت (اسپیکولاریت) هستند. کانی‌های ثانویه برآمده از فرایند برونزایی شامل سرروزیت، اسمیت‌زونیت، کوولیت، کالکوسیت، گوتیت، آزوریت و مالاکیت و کانی‌های باطله اصلی شامل اپیدوت، کوارتز، کلسیت، آمفیبول و پیروکسن هستند. بافت و ساخت لایه‌ای و لامینه: این بافت و ساخت در کانسار قوزلو شاخص است. کالکوپیریت، پیریت، گالن و اسفالریت از مهم‌ترین کانه‌های همراه با این ساخت و بافت هستند (شکل-های ۷ الف، ب).

بافت و ساخت برشی

این بافت و ساخت در کانسار قوزلو شاخص است. کالکوسیت و کالکوپیریت از مهم‌ترین کانه‌های همراه با این ساخت و بافت هستند. البته بافت برشی بدلیل دگرسانی کالکوپیریت و تبدیل آن به مجموعه‌ای از کانه‌های اکسید آهن و کالکوسیت، به رنگ تیره دیده می‌شود. این بافت در فضای بین قطعه‌های سیلیسی کانه‌های سولفیدی قرار دارد (شکل ۷ ت، ث).

بافت و ساخت دانه پراکنده: این ساخت و بافت در نمونه‌های در ارتباط با مغزه‌ها دیده می‌شود. در رخنمون سطحی، کالکوپیریت با بافت دانه پراکنده در آمفیبولیت‌های اپیدوتی دیده می‌شود (شکل‌های ۸ ث، خ).

بافت و ساخت توده‌ای: این ساخت و بافت را می‌توان هم در نمونه‌های دستی و هم در رخنمون کانسار دید. کانه‌های شاخص در بخش‌هایی که این بافت و ساخت را دارند، شامل کالکوپیریت، اسفالریت، گالن، کالکوسیت، اسمیت‌زونیت، آزوریت و مالاکیت هستند. شکل ۸ ب نمونه دستی از کانسنگ بافت توده‌ای و لامینه‌ای را نشان می‌دهد.

بافت و ساخت رگه و رگچه‌ای: این ساخت و بافت را می‌توان هم در نمونه‌های دستی و هم در رخنمون کانسار دید. کانه‌های شاخص آن شامل کالکوپیریت، گالن، کالکوسیت، آزوریت و مالاکیت هستند (شکل‌های ۷ پ و ۸ ج).

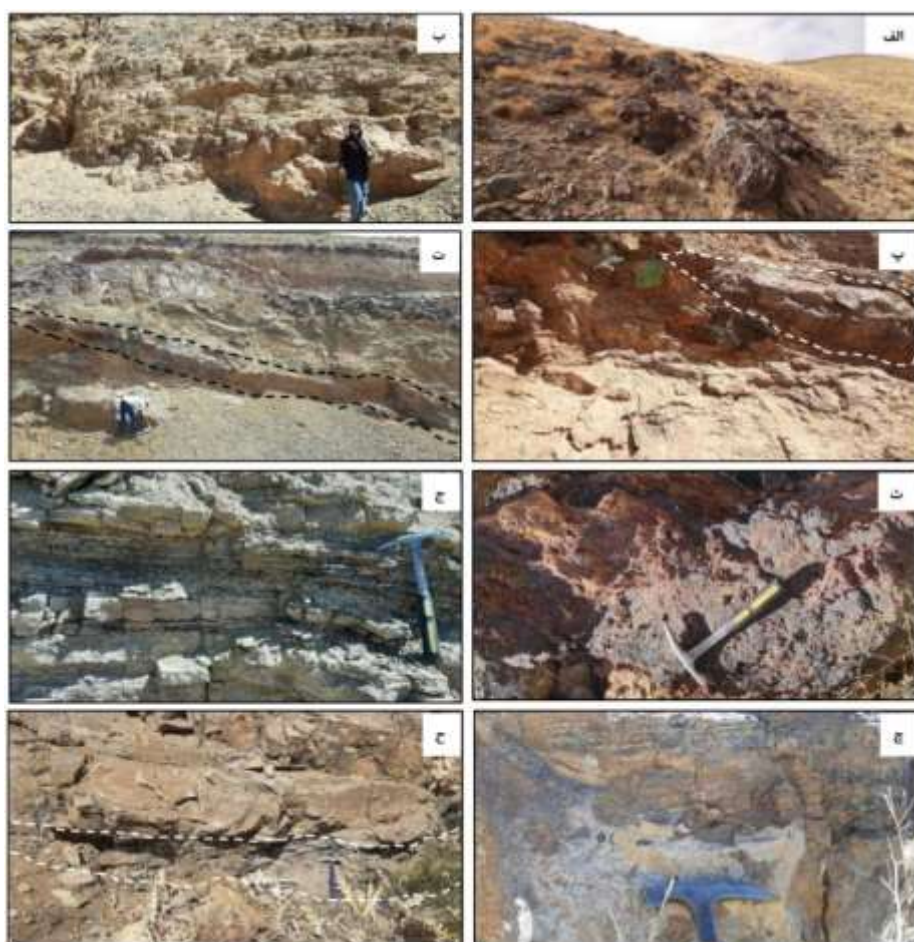
پیروکسن اپیدوت اسکارن: کانی‌های اصلی شامل پیروکسن و اپیدوت هستند و بافت دانه شکفتی نشان می‌دهند. فراوانی پیروکسن بیشتر از اپیدوت است. کوارتز و کربنات‌ها در فضای بین بلورهای اپیدوت و پیروکسن و همچنین در شکستگی‌های بلورهای پیروکسن تشکیل شده‌اند. در شکستگی‌های اپیدوت، کربنات‌ها و کلریت تشکیل شده‌اند. در این سنگ شکستگی‌هایی وجود دارند که با کانی‌های کربناتی پر شده‌اند. کانه‌های کالکوپیریت، گالن، اسفالریت و اسپیکولاریت با بلورهای ریز و بی‌شکل به صورت پراکنده در سنگ دیده می‌شوند (شکل ۵ ج).

کوارتز-کربنات-پیروکسن اسکارن: کانی‌های اصلی شامل کوارتز و گارنت ناهمسانگرد با کمی پیروکسن و کربنات با بافت دانه شکفتی هستند. در شکستگی‌های گارنت، کربنات‌ها و کلریت تشکیل شده‌اند. در این زیرپهنه شکستگی‌هایی وجود دارند که با کانی‌های کربناتی پر شده‌اند. کانی‌های کدر ریز و نیمه‌خودشکل به صورت پراکنده در سنگ دیده می‌شوند. کانی‌سازی اصلی در این پهنه شامل گالن و همی‌مورفیت هستند (شکل‌های ۵ چ، ح).

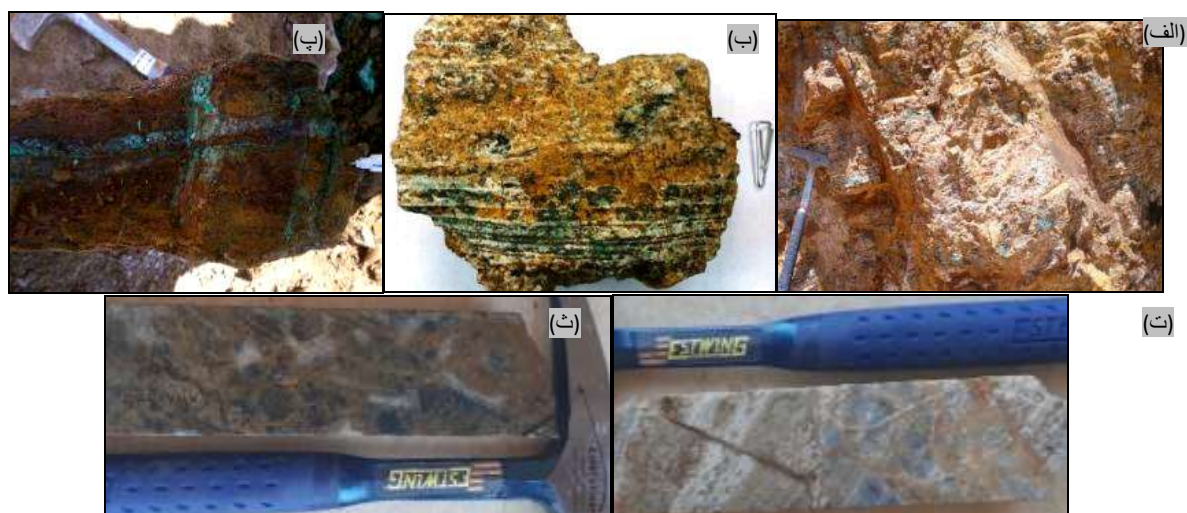
مرمر سیلیسی: کانی‌های اصلی مرمر سیلیسی شامل کلسیت، دولومیت و کوارتز هستند. مرمر سیلیسی میزبان اصلی کانه‌زایی است. کوارتز به صورت بلورهای شکل‌دار و به همراه کانه‌های سولفیدی در زمینه کربناتی تشکیل شده است. همچنین میانبارهای کانه‌های سولفیدی در درون بلورهای شکل‌دار کوارتز تشکیل شده‌اند. کانی‌های کربناتی در برخی از بخش‌ها سیمان بین بلورهای کوارتز را تشکیل داده و اغلب به هیدروکسیدهای آهن آغشته شده‌اند. در بخش‌هایی از کانسنگ، کوارتز شکل‌دار با بافت شانه‌ای تشکیل شده است (شکل‌های ۵ خ تا ر).

کانه‌زایی

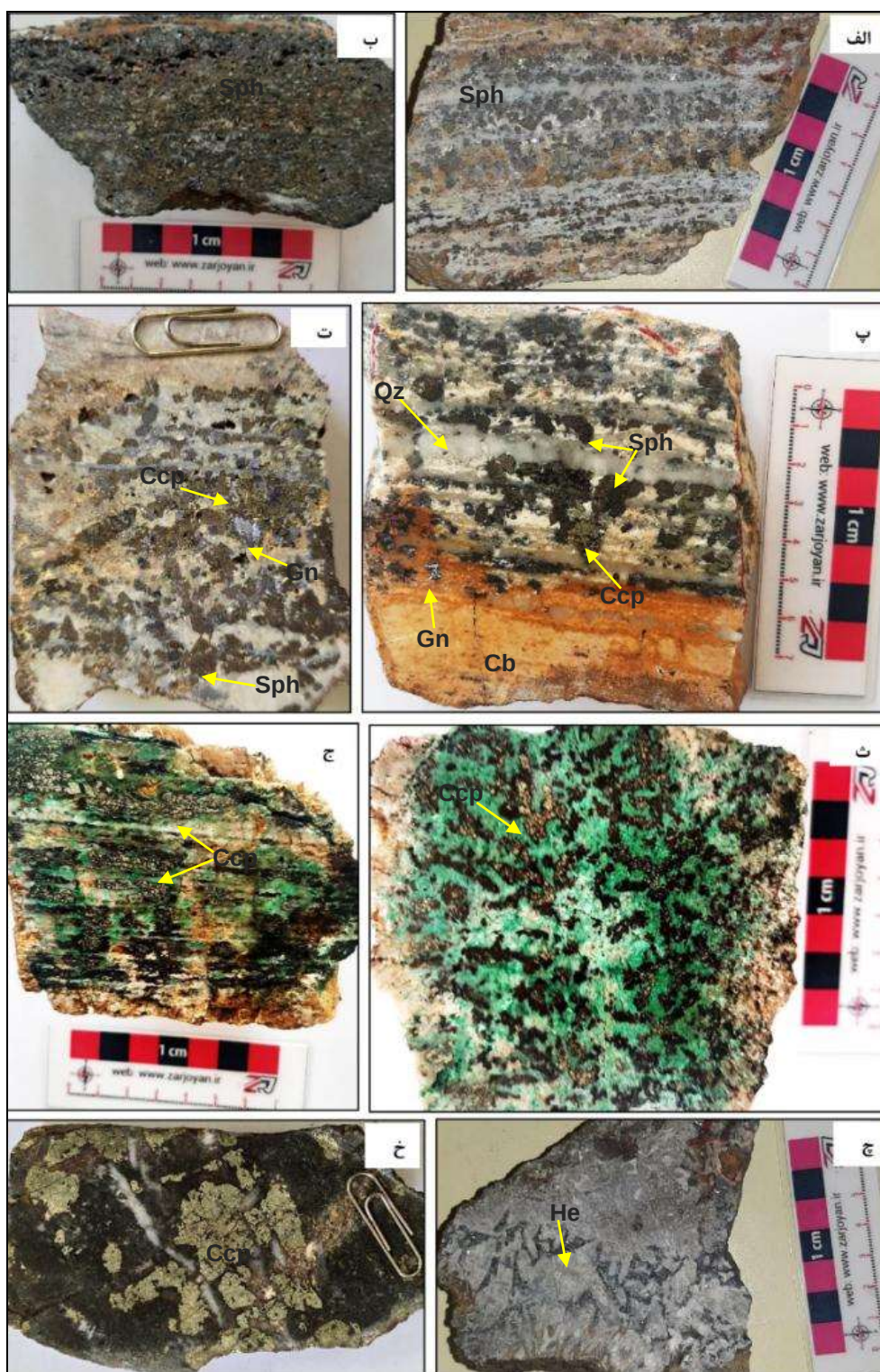
براساس شواهد صحرایی و در نگاه کلی، کانه‌زایی در معدن قوزلو از روند لایه‌بندی پیروی می‌کند. مهم‌ترین کنترل‌کننده کانه‌زایی، میان‌لایه مرمری بوده و کانه‌زایی در برخوردگاه آمفیبولیت‌های فرودیواره با میان‌لایه‌ی مرمر رخ داده است. پهنه‌های کانه‌دار به شدت سیلیسی و اپیدوتی شده‌اند به طوری که در رخنمون صحرایی، کوارتز بلورین به صورت پرکننده فضاهای خالی با بافت شانه‌ای و همچنین اپیدوت بلورین قابل مشاهده هستند. در رخنمون صحرایی، کانه‌زایی به صورت همروند با سنگ میزبان دگرگونی دیده می‌شود. در رخنمون سطحی، کانسنگ همروند با آمفیبولیت و میان‌لایه



شکل ۶ تصاویر صحرایی از هندسه و ساختار کانه‌زایی مس (سرب- روی) در کانه‌زایی قوزلو؛ الف) بخش کاملاً اکسید شده (پهنه شسته شده) کانه‌زایی، ب) میان لایه مرمری کنترل کننده کانه‌زایی در سینه کار افق شمالی، دید به سمت شمال، پ، ت) کانه‌زایی توده‌ای و همروند با سنگ میزبان، ث) کانه‌زایی با بافت توده‌ای، ج، چ) کانه‌زایی با بافت شبیه لامینه‌ای و شبه لایه‌ای، ح- کانه‌زایی در افق زیرین میان لایه‌ی مرمری با بافت و ساخت شبیه لایه‌ای.



شکل ۷ تصاویری از بافت و ساخت لایه‌ای، لامینه‌ای، رگچه‌ای و برشی در کانسار قوزلو. الف) ساخت لایه‌ای در رخنمون ماده معدنی، تناوب لایه‌ای ماده معدنی (کالکوسیت کالکوپریت و مالاکیت) و سیلیس در سنگ میزبان با ترکیب کربناتی (مرمری)، ب) نمونه دستی انتخاب شده از رخنمون ماده معدنی با بافت لامینه‌ای، پ) تشکیل کانه‌زایی مس به صورت مالاکیت با بافت رگچه‌ای، ت، ث) نمونه مغزه‌های حفاری با بافت برشی.



شکل ۸ تصاویر نمونه دستی از کانه‌زایی مس (سرب- روی) در کانسار قوزلو: الف) بافت شبه لامینه کانه‌زایی اسفالریت و گالن در سنگ میزبان کربناتی سیلیسی شده، ب) کانه‌زایی اسفالریت و گالن با بافت توده‌ای، پ) بافت شبه لامینه‌ای کانه‌زایی اسفالریت و گالن در سنگ میزبان کربناتی سیلیسی شده، ت) اسفالریت، گالن و کالکوپیریت با بافت دانه پراکنده در زمینه کربناتی، ث) اسفالریت با بافت دانه پراکنده در زمینه سیلیسی، ج) کالکوپیریت با بافت لامینه‌ای تا شبه لامینه‌ای، چ) هماتیت با بافت رگه‌ای و پراکنده در زمینه، خ) کالکوپیریت با بافت دانه پراکنده در بخش آمفیبولیت دگرنهاده، (Gn: گالن، Ccp: کالکوپیریت، Cb: کربنات، Qz: کوارتز، Sp: اسفالریت).

دگرسانی

بطور کلی دگرسانی در کانه‌زایی مس-سرب-روی قوزلو در انواع کربن‌زدایی، اکتینولیتی-اپیدوتی‌شدن، کربناتی‌شدن و سیلیسی‌شدن بوده و دگرسانی اکتینولیتی-اپیدوتی ناشی از تبدیل کانی‌های آهکی سیلیکاتی بی‌آب (گارنت و کلینوپروکسن) به کانی‌های آهکی سیلیکاتی آب‌دار طی مراحل اسکارن‌زایی است.

کانه‌نگاری**کانه‌های درونزاد**

براساس شواهد نمونه دستی و میکروسکوپی، مهم‌ترین کانه‌های درونزاد در این معدن شامل کالکوپیریت، گالن، اسفالریت، پیریت و هماتیت (اسپیکولاریت) هستند. این کانه‌ها براساس سنگ میزبان و پهنه‌بندی کانیایی به ۵ گروه تفکیک می‌شوند: ۱- کالکوپیریت و پیریت، ۲- کالکوپیریت، گالن و پیریت، ۳- کالکوپیریت، اسفالریت، گالن و پیریت، ۴- گالن و اسفالریت و پیریت و ۵- کالکوپیریت و هماتیت (اسپیکولاریت).

کالکوپیریت: مهم‌ترین و فراوان‌ترین کانه درونزاد در معدن قوزلو، کالکوپیریت است. طی چند مرحله و در همه مراحل کانه‌زایی درونزاد، این کانه با بافت دانه پراکنده، توده‌ای، لامینه‌ای و رگچه‌ای تشکیل شده است. شواهد بافتی نشان می‌دهد که کالکوپیریت توده‌ای بلورهای شکل‌دار پیریت را در برگرفته (شکل ۹ الف) و همچنین کالکوپیریت در بلور شکل‌دار کوارتز به دام افتاده است و کالکوپیریت‌های فاز تأخیری بلورهای کوارتز را دربرگرفته‌اند (شکل ۹ الف). میانبارهای کالکوپیریت در گالن دیده می‌شوند و نشان دهنده تشکیل کالکوپیریت پیش از گالن هستند. شواهدی از هم‌رشدی کالکوپیریت با گالن و اسفالریت در برخی از نمونه‌ها وجود دارد. گروه دیگر کالکوپیریت به صورت میانبار در اسفالریت‌ها تشکیل شده است. در سنگ میزبان آمفیبولیت دگرنهاده، کالکوپیریت با بافت دانه-پراکنده و به همراه هماتیت ورقه‌ای (اسپیکولاریت) تشکیل شده و در سنگ میزبان آهک مرمری، کالکوپیریت با بافت رگچه‌ای شکل گرفته است.

اسفالریت: اسفالریت مهم‌ترین و اصلی‌ترین کانه‌ی درونزاد روی در کانه‌زایی قوزلو بوده و اغلب در سنگ میزبان کربناتی با بافت توده‌ای، دانه‌پراکنده و شبه لامینه‌ای تشکیل شده است. این کانه دارای هم‌رشدی با کانه‌های کالکوپیریت، گالن و پیریت است. برخی از بلورهای اسفالریت بدون هرگونه میانبار هستند،

ولی بعضی از آنها میانبارهای کالکوپیریتی را در خود دارند (شکل ۹-ج). میانبارهای کالکوپیریتی در برخی از بلورها به صورت پراکنده در همه سطح دیده می‌شوند و در بعضی از آنها، در لبه و محل رشد بلورها به صورت پهنه‌بندی دیده می‌شوند. برخی از اسفالریت‌ها به کانی‌های ثانویه اسمیت‌زونیت، همی-مورفیت و کالکوسیت دگرسان شده‌اند (شکل ۹ ث).

گالن: گالن مهم‌ترین کانه سرب بوده و با کانه‌های اسفالریت و کالکوپیریت دارای هم‌رشدی است. این کانه کالکوپیریت را دربرگرفته و نشان دهنده تشکیل کالکوپیریت پیش از گالن است. میانبارهایی از گالن در بلورهای کوارتز شکل‌دار دیده می‌شود (شکل ۹ ح) که در ادامه تبلور کانی‌ها، بلور کوارتز دربردارنده میانبار گالن، با گالن دربرگرفته (شکل ۹ خ) و در برخی بخش‌ها، گالن با کوارتز دارای هم‌رشدی است. گالن در برخی از نمونه‌ها به صورت میانبار در کالکوپیریت و اسفالریت دیده می‌شود. گالن با بافت رگچه‌ای در سنگ میزبان آهک مرمری نیز تشکیل شده است.

پیریت: پیریت به صورت شکل‌دار تا نیمه شکل‌دار با بافت دانه-پراکنده تشکیل شده است. برخی از آنها در درون کالکوپیریت، گالن و اسفالریت بوده و نشان دهنده تشکیل پیریت پیش از کانه‌های میزبان خود هستند و در برخی از بخش‌ها، پیریت در لبه‌های این کانی‌ها دیده می‌شود و دارای هم‌رشدی هستند. پیریت‌های فاز تأخیری با بافت رگچه‌ای در شکستگی‌های کالکوپیریت تشکیل شده‌اند (شکل ۹ چ).

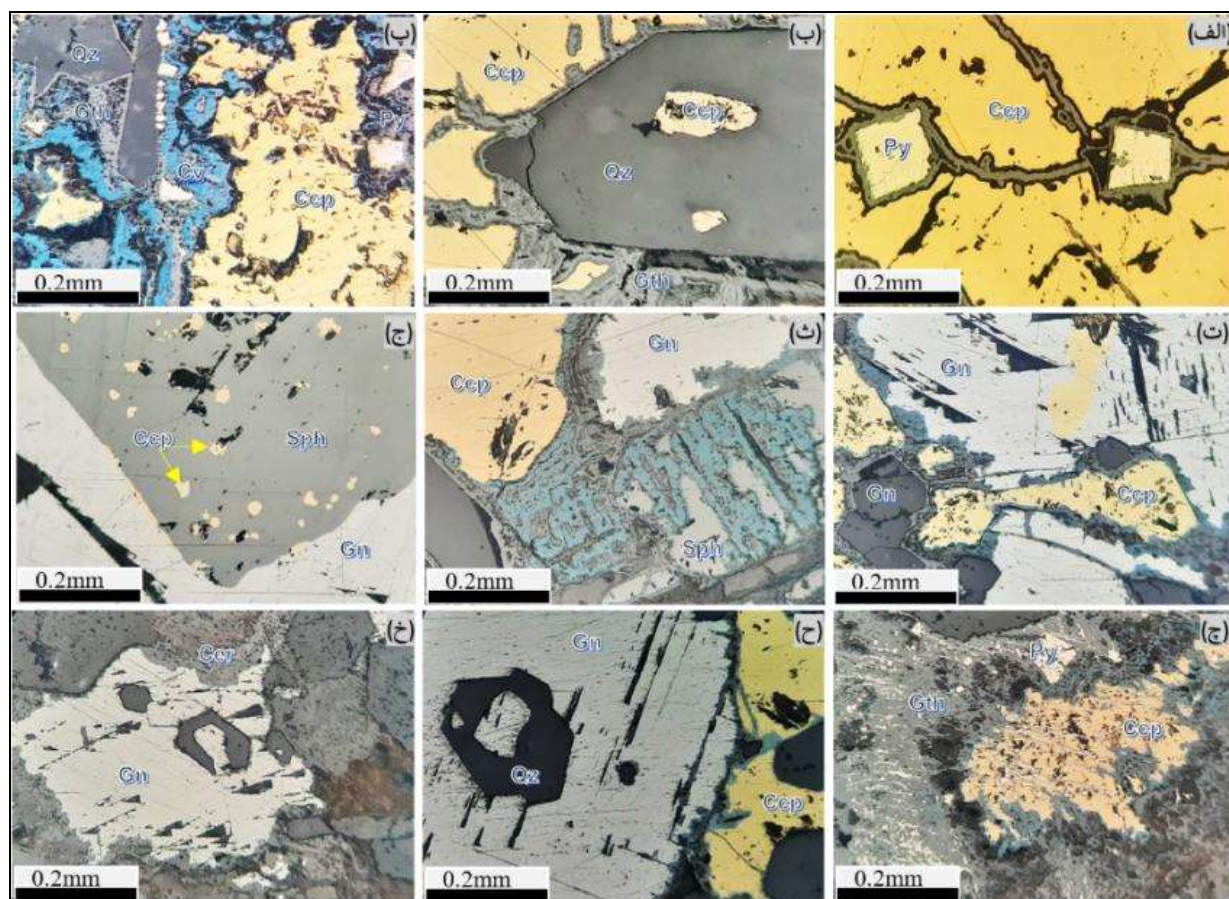
هماتیت: این کانه به صورت درونزاد و به همراه کالکوپیریت (شکل ۱۰ الف) و گالن (شکل ۱۰ ب) در آمفیبولیت دگرنهاده و طی مراحل نهایی کانه‌زایی درونزاد با بافت دانه‌پراکنده، شعاعی (شکل ۱۰ پ) و رگچه‌ای به صورت جانیشینی تشکیل شده است.

کانه‌های برونزاد

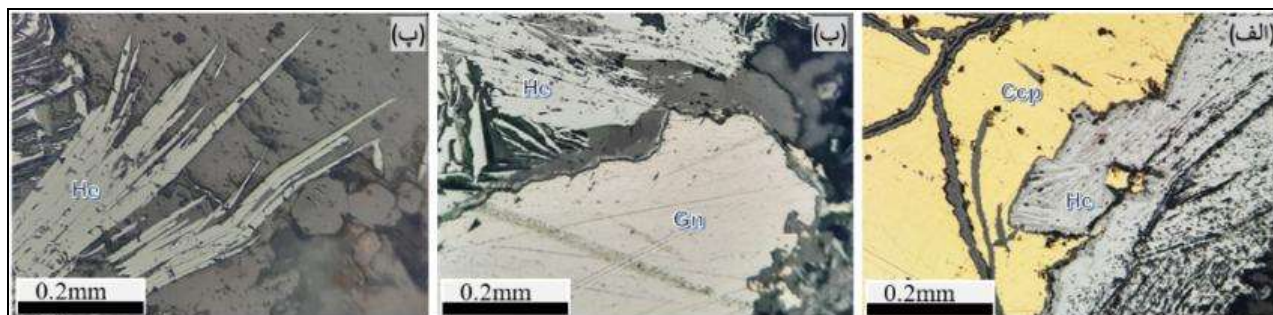
از مهم‌ترین کانی‌های برونزاد در این معدن می‌توان به کالکوسیت، کوولیت، آزوریت، مالاکیٹ، اسمیت‌زونیت، همی-مورفیت، سروزیت، آنگلیزیت، هماتیت و گوتیت اشاره نمود که برآمده از دگرسانی کالکوپیریت، اسفالریت، گالن و پیریت هستند. از آنجا که مس در معدن قوزلو بیشترین فراوانی را دارد و به عنوان کانه‌زایی اصلی این معدن مطرح است، کانی‌های برونزاد مس دارای بیشترین گسترش هستند. از جمله آنها می‌توان به کالکوسیت، کوولیت، آزوریت، مالاکیٹ اشاره کرد.

می‌دهد که این کانه‌ها در ترکیب خود دارای مقدار مس بالایی هستند و حضور میانبارهای کالکوپیریت در درون اسفالریت شاهی بر این ادعاست (شکل ۱۱).

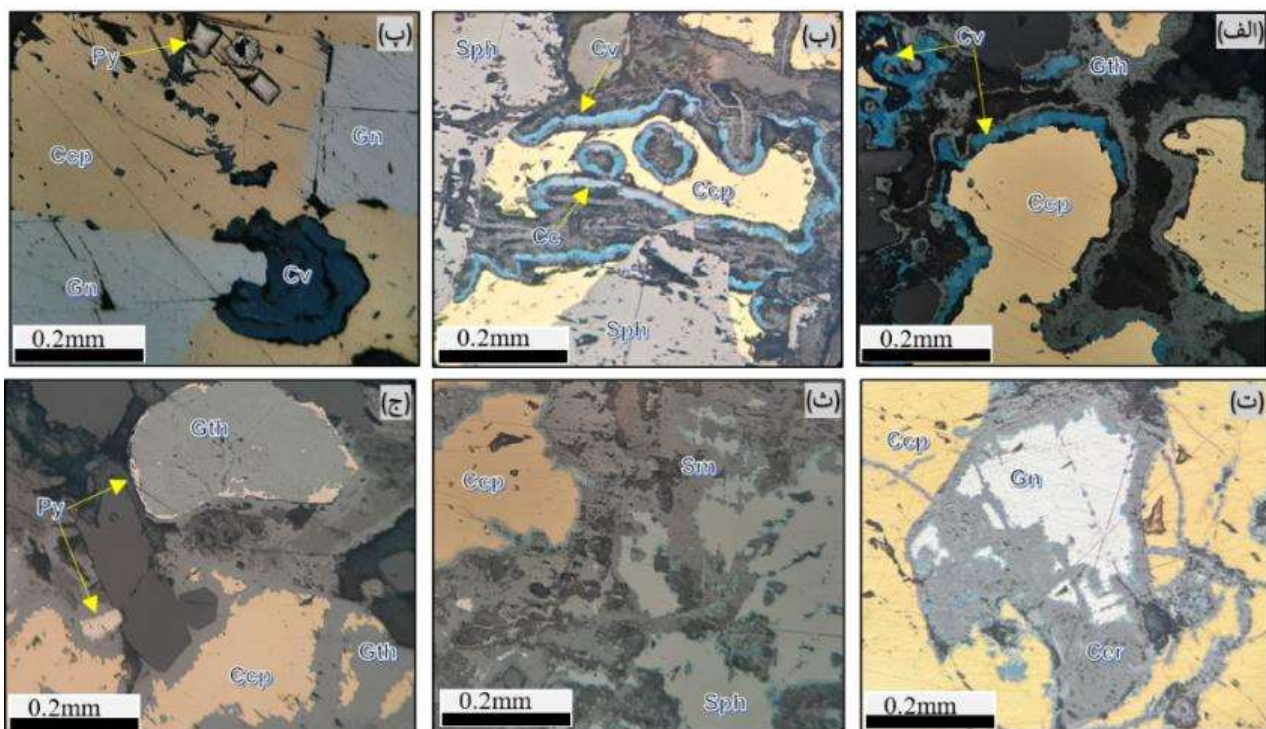
جانشینی‌های کالکوسیت و کوولیت به جای کانه‌های کالکوپیریت، اسفالریت و گالن به خوبی در تصاویر کانی نگاری نمایان هستند. تبدیل اسفالریت و گالن به کالکوسیت نشان



شکل ۹ تصاویر میکروسکوپی کانه‌های کانسار مس (سرب-روی) قوزلو در نور بازتابی: الف) بلور شکل‌دار پیریت (Py) در درون کالکوپیریت (Ccp)؛ ب) بلور کوارتز دارای میانبار کالکوپیریت که با فاز تأخیری کالکوپیریت دربرگرفته شده است، پ) کالکوپیریت دارای میانبار پیریت و دگرسان شده به کالکوسیت و کوولیت (Cv)؛ ت) کالکوپیریت دربرگرفته شده با گالن (Gn)، ث) هم‌رشدی گالن، کالکوپیریت و اسفالریت (Sph) و دگرسانی آنها به کانی‌های ثانویه؛ ج) میانبارهای کالکوپیریت در درون اسفالریت و تشکیل گالن در لبه اسفالریت؛ چ) تشکیل پیریت در شکستگی‌های کالکوپیریت؛ ح) گالن محصور در بلور کوارتز (Qz) که با گالن تأخیری دربرگرفته شده و با کالکوپیریت دارای هم‌رشدی است، خ) هم‌رشدی کوارتز و گالن و تبدیل گالن به سروزیت (Cer).



شکل ۱۰ تصاویر بررسی‌های میکروسکوپی کانه‌های کانسار مس (سرب-روی) قوزلو در نور بازتابی، الف) هماتیت (He) ورقه‌ای در کنار کالکوپیریت (Ccp)، ب) هماتیت در کنار گالن (Gn) و پ) هماتیت ورقه‌ای با بافت شعاعی.



شکل ۱۱ الف) جانشینی کالکوپیریت (Ccp) با کانی‌های ثانویه از جمله کوولیت (Cv) و گوتیت (Gth)؛ ب) هم‌رشدی اسفالریت (Sph) با کالکوپیریت و جانشینی کالکوپیریت با کوولیت و کالکوسیت؛ پ) جانشینی کالکوپیریت با کوولیت؛ ت) جانشینی گالن (Gn) با سروزیت (Cer)؛ ث) جانشینی اسفالریت با کالکوسیت و اسمیت‌زونیت (Sm) و جانشینی کالکوپیریت با کالکوسیت و گوتیت؛ ج) جانشینی پیریت و کالکوپیریت با گوتیت. نشانه‌های اختصاری کانی‌ها برگرفته از مرجع [۲۲] هستند.

پیروکسن بوده که نشان دهنده کانه‌زایی غیر هم‌زاد با سنگ میزبان است.

بررسی میانبارهای سیال

برای بررسی میانبارهای سیال در کانه‌زایی مس-سرب و روی قوزلو، کانی اسفالریت و همچنین کانی کوارتز در ارتباط با کانه-زایی در نظر گرفته شدند. نمونه‌های اسفالریت از کانسنگ لامینه‌ای و توده‌ای و نمونه کوارتز از بخش مرمر سیلیسی کانه-دار و بخش اسکارنی شامل بلورهای کوارتز شکل‌دار و هم‌زمان با کانه‌زایی انتخاب گردیدند.

سنگ‌نگاری میانبارهای سیال

رایج‌ترین شکل میانبارهای سیال در نمونه‌ها، انفرادی و دنباله-ای است (شکل ۱۲). میانبارهای سیال اولیه با شواهدی چون قرارگیری در پهنه‌های رشد بلور، توزیع تصادفی در سه بعد، مجزا بودن از میانبارهای سیال کناری و اندازه قابل توجهی نسبت به کانی میزبان تشخیص داده می‌شوند (شکل ۱۲ ت).

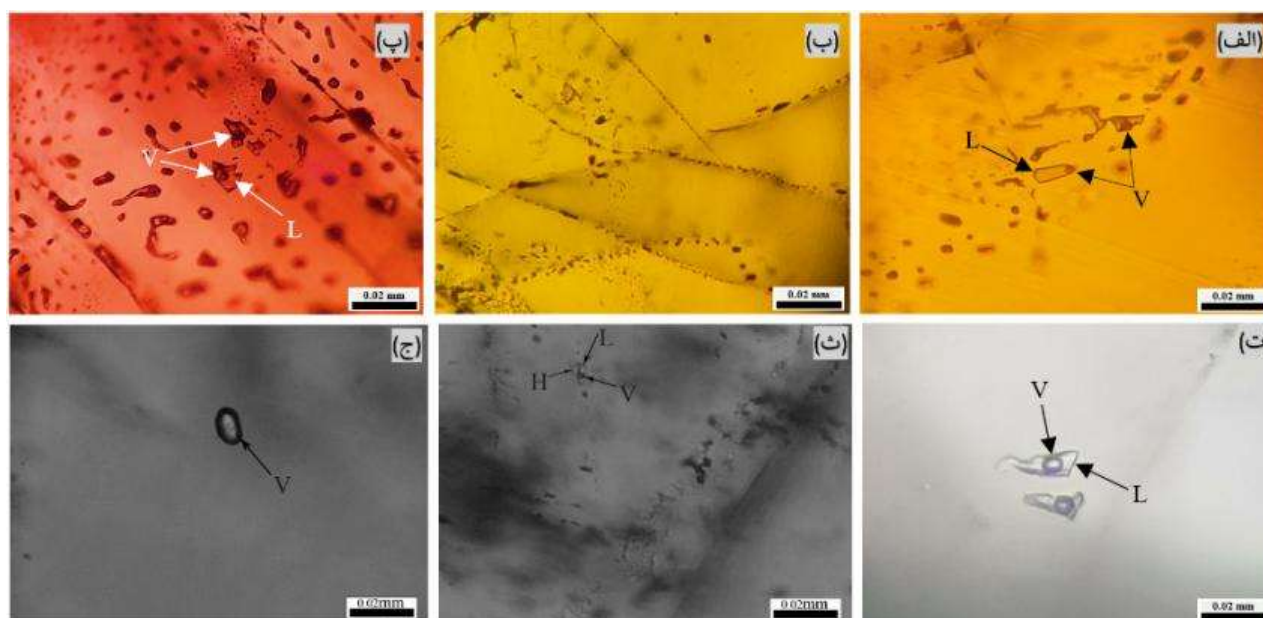
براساس بررسی‌های صحرایی و آزمایشگاهی، کانه‌زایی مس (سرب و روی) در این منطقه دست کم در دو شرایط و محیط متفاوت هم‌زاد و غیرهم‌زاد با سنگ میزبان دگرگونی رخ داده است. براساس شواهد ساخت و بافت، برخی از نمونه‌ها دارای بافت شبه لایه‌ای و لامینه‌ای و شامل کانه‌های کالکوپیریت، پیریت، گالن و اسفالریت در سنگ میزبان کربناتی به شدت سیلیسی هستند و این بافت می‌تواند در ارتباط با کانه‌زایی هم‌زاد (نوع کانسار سولفید توده‌ای، VMS) با سنگ میزبان باشد. در برخی از بخش‌های سنگ کربناتی که در معرض فرآیندهای اسکارنی قرار گرفته است، کانه‌زایی مس (سرب و روی) با بافت دانه‌پراکنده رخ داده است. برخی از بخش‌های کانسنگ با میزبان کربناتی به شدت سیلیسی شده اند و بافت برشی را نشان می‌دهند و منطبق با کانه‌زایی غیرهم‌زاد با سنگ میزبان هستند؛ شاهد دیگر آن، کانه‌زایی کالکوپیریت و همچنین اسپیکیولاریت همراه با اکتینولیت، اپیدوت و بقایای

(شکل‌های ۱۲ الف، پ)، ثانویه (شکل ۱۲ ب) و ثانویه کاذب هستند و براساس فاز تشکیل دهنده، به میانبرهای سیال تک فاز گازی (V)، تک فاز مایع (L)، دوفازی مایع-گاز غنی از گاز (V-L) و دوفازی مایع-گاز غنی از مایع (L-V) دسته بندی می‌شوند.

میانبرهای سیال کوارتز: براساس بررسی‌های میکروسکوپی، میانبرهای سیال از نظر شکل به صورت شکل‌دار تا بی‌شکل در کوارتزهای همزمان با کانه‌زایی وجود دارند و اندازه آنها از کوچکتر از ۲ میکرومتر تا بزرگتر از ۳۰ میکرومتر متغیر است. براساس خاستگاه، میانبرهای سیال موجود در کوارتزهای قوزلو از نوع اولیه، ثانویه و ثانویه کاذب هستند و براساس فاز تشکیل دهنده، به میانبرهای سیال تک فاز گازی (V)، تک فاز مایع (L)، دوفازی مایع-گاز غنی از گاز (V-L) و دوفازی مایع-گاز غنی از مایع (L-V) و سه فاز مایع-گاز-جامد (L-V-H) دسته بندی می‌شوند (شکل‌های ۱۲ ت، ث، ج). براساس شکل بلوری، کانی نوزاد موجود در میانبر سیال کوارتز هالیت است.

میانبرهای سیال ثانویه که بیشتر در ترک‌ها و شکستگی-های کوچک درون بلورها گسترش یافته‌اند، به صورت تک ردیفی و چند ردیفی در کنار هم مشخص هستند (شکل ۱۲ ب). شکل میانبرهای سیال گاهی با ویژگی‌های بلورشناسی کانی میزبان کنترل می‌شود [۲۳]. برای بررسی‌های ریز-دماسنجی از میانبرهای سیال اولیه استفاده شد، زیرا میانبرهای سیال ثانویه هیچ دانشی از ماهیت سیال در زمان تشکیل سیال ارائه نمی‌کنند [۲۴]. برای رده‌بندی میانبرهای سیال بر اساس نسبت‌های مختلف فازهای جامد، مایع و گاز از روش رایج نش [۲۵] استفاده شد. بر اساس سنگ‌نگاری انجام شده برای ۵ نمونه، سه نوع سیال درگیر تشخیص داده شد که در ادامه بیان می‌شوند.

میانبرهای سیال اسفالریت: براساس بررسی‌های میکروسکوپی، میانبرهای سیال از نظر شکل به صورت شکل‌دار تا بی‌شکل در اسفالریت‌ها وجود دارند و اندازه آنها از کوچکتر از ۲ میکرومتر تا بزرگتر از ۳۵ میکرومتر متغیر است. براساس خاستگاه، میانبرهای سیال موجود در اسفالریت‌های قوزلو از نوع اولیه



شکل ۱۲ تصاویری از میانبرهای سیال اولیه و ثانویه موجود در کانی میزبان اسفالریت و کوارتز مربوط به کانسار مس (سرب-روی) قوزلو. الف) میانبر سیال دو فاز در اسفالریت، ب) میانبر سیال ثانویه و ثانویه کاذب در اسفالریت، پ) میانبر سیال دوفازی در اسفالریت، ت) میانبر سیال دوفازی در کوارتز، ث) میانبر سیال سه فاز در کوارتز، ج) میانبر سیال تک فاز گازی در کوارتز، L: مایع، V: حباب گاز، H: نمک.

ریزدماسنجی میانبراهای سیال

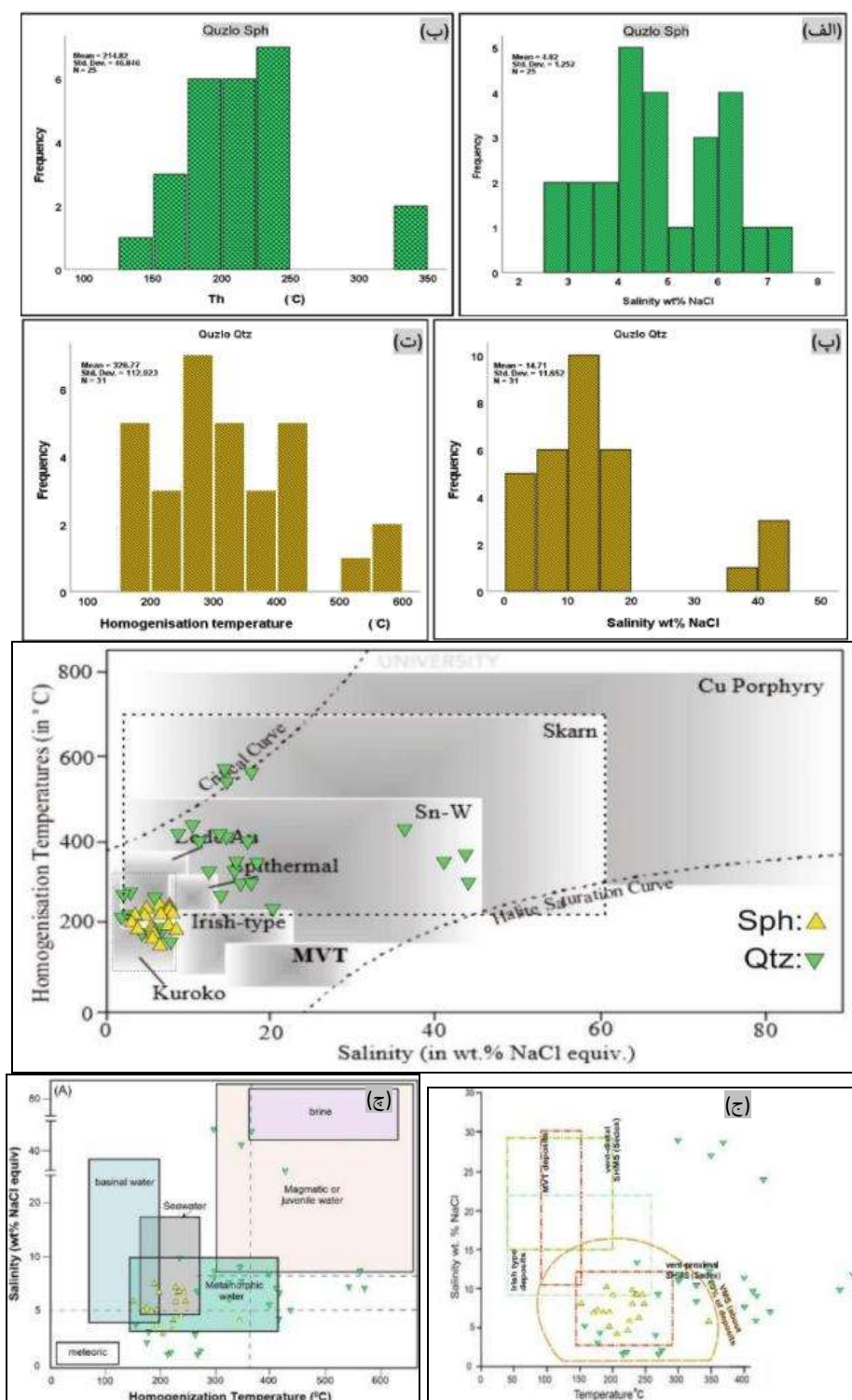
ریزدماسنجی میانبراهای سیال شامل بررسی غیرمخرب مقاطع مورد نظر برای تعیین دمای نخستین ذوب (Te)، دمای پایانی ذوب یخ (Tm) و دمای همگن شدگی سیال‌هاست که بر این اساس، می‌توان مقدار شوری و دمای سیال‌های کانه‌دار را به دست آورد. این فرایند با عملیات سرد کردن و گرم کردن انجام می‌شود. داده‌های به دست آمده از ریزدماسنجی میانبراهای سیال کانسار قوزلو در جدول ۱ آمده است.

ریزدماسنجی میانبراهای سیال کانی اسفالریت: برای

ریزدماسنجی تعداد ۲۵ سیال درگیر بررسی شدند. اغلب نخستین نقطه ذوب یا همگدازی یخ بیشتر از حدود ۲۱°C- به دست آمد. ذوب بلورهای یخ با وضوح بسیار خوب در گستره دمایی ۱/۸- تا ۴/۵- درجه سانتی‌گراد دیده شد و بر این اساس، شوری میانبراهای سیال از حدود ۲/۵ تا ۷/۵ درصد وزنی معادل NaCl متغیر است. دمای همگن شدگی به فاز مایع در گستره ۱۴۵ تا ۳۴۴ درجه سانتی‌گراد و با بیشترین فراوانی در گستره ۱۷۵ تا ۲۵۰ درجه سانتی‌گراد ثبت گردید. نتایج ریزدماسنجی در شکل‌های ۱۳ الف و ب نشان داده شده است.

جدول ۱ داده‌های اندازه‌گیری شده از میانبراهای سیال اسفالریت و کوارتز کانسار مس (سرب- روی) قوزلو.

No.	Sample	Mineral	Type	Tm (Last) °C	Th (Total) (°C)	Salinity (wt% NaCl aq.)
۱	Qu-4	Sphalerite	L+V	-۲	۳۱۸	۳.۲۲
۲			L+V	-۲.۶	۳۴۴	۴.۱۷
۳			L+V	-۱.۹	۲۰۱	۲.۹۱
۴			L+V	-۲.۸	۲۲۰	۴.۱۲
۵			L+V	-۲.۴	۱۸۸.۷	۳.۶۹
۶	Glu-5		L+V	-۳	۱۹۰	۴.۸۰
۷			L+V	-۳.۵	۲۴۳	۵.۶۲
۸			L+V	-۴	۲۴۰	۶.۳۷
۹			L+V	-۴.۵	۱۸۵	۷.۱۰
۱۰			L+V	-۴	۱۹۵	۶.۳۷
۱۱			L+V	-۳	۱۶۵	۴.۸۵
۱۲			L+V	-۳.۵	۱۴۵	۵.۶۲
۱۳			L+V	-۳.۱	۱۷۱	۵.۰۱
۱۴			L+V	-۳	۱۶۵	۴.۸۰
۱۵			L+V	-۳.۵	۲۲۵	۵.۶۲
۱۶			L+V	-۳	۱۸۰	۴.۸۰
۱۷			L+V	-۴	۲۳۳	۶.۳۰
۱۸			L+V	-۴	۲۳۰	۶.۳۰
۱۹			L+V	-۲.۷	۲۳۵	۴.۳۰
۲۰	Qu-2		L+V	-۴.۳	۲۲۵	۶.۸۰
۲۱			L+V	-۲	۳۱۷	۳.۲۷
۲۲			L+V	-۲.۵	۳۳۵	۴.۰۷
۲۳			L+V	-۱.۸	۳۱۰	۲.۹۵
۲۴			L+V	-۲.۵	۳۱۸.۵	۴.۰۷
۲۵	Qlu-1		L+V	-۲.۲	۱۸۸.۱	۳.۵۹
۲۶			L+V	-۲.۸	۱۷۶	۴.۵۰
۲۷			L+V	-۲.۸	۲۶۴	۶.۰۷
۲۸			L+V	-۱.۷	۲۲۰	۲.۷۰
۲۹	Qlu-2		L+V	-۱.۴	۲۱۵	۲.۳۰
۳۰			L+V	-۱.۴	۲۶۹	۲.۳۰
۳۱			L+V	-۱.۸	۲۷۳	۲.۹۰
۳۲			L+V	-۴.۲	۱۸۰	۶.۶۰
۳۳	Qlu-3		L+V	-۵.۱	۱۵۵	۷.۹۰
۳۴			L+V	-۴.۱	۱۸۰	۶.۵۲
۳۵			L+V	-۴	۱۸۰	۶.۳۰
۳۶			L-V	-۱.۲	۳۴۷	۱.۵
۳۷			L-V	-۱.۵	۳۴۵	۱.۶۷۶
۳۸			V+L	-۱۴.۲	۵۶۲	۱۶.۳۶
۳۹			L-V	-۱.۲	۳۲۵	۱.۵
۴۰			L+V+H		۳۶۵	۴۴.۱۰
۴۱			L-V	-۱۴.۲	۲۹۸	۱۶.۳۶
۴۲			L-V	-۱۰.۷	۵۷۰	۱۳.۹۹
۴۳			V+L	-۱۳.۷	۳۹۷	۱۶.۰۹
۴۴			L-V	-۱۰.۸	۴۱۰	۱۴.۰۷
۴۵			L-V	-۵.۸	۴۱۵	۸.۸۴
۴۶			V+L	-۷.۹	۳۹۸	۱۱.۳۰
۴۷			V+L	-۱۰	۴۱۵	۱۳.۳۸
۴۸			L-V	-۱۲.۸	۲۹۸	۱۵.۵۴
۴۹			L-V	-۱۷.۵	۲۳۵	۱۷.۶۱
۵۰			L+V+H		۴۲۵	۳۶.۷۰
۵۱			L-V	-۱۱	۵۴۱	۱۴.۲۳
۵۲			V+L	-۷.۲	۴۳۶	۱۰.۵۲
۵۳			L-V	-۱۰.۲	۲۶۷	۱۳.۵۶
۵۴			L+V+H		۳۴۷	۴۱.۶۰
۵۵			L-V	-۸.۹	۳۲۵	۱۲.۳۴
۵۶			L+V+H		۲۹۷	۴۴.۵۰



شکل ۱۳ الف) نمودار ستونی مقدار شوری در کانی اسفالریت، ب) نمودار ستونی دمای همگن شدگی در کانی اسفالریت، پ) نمودار ستونی مقدار شوری در کانی کوارتز، ت) نمودار ستونی دمای همگن شدگی در کانی کوارتز؛ ث) نمودار پراکندگی شوری و دمای همگن شدگی میانبارهای سیال در کانی‌های اسفالریت و کوارتز، همراه با گستره‌های کانسارهای نوع دره می‌سی‌سی‌پی MVT، فراگرمایی و ایرلندی، ج) نمودار شوری نسبت به دمای همگن شدگی برای میانبارهای سیال و انطباق سیال‌های کوارتز با کانسارهای اسکارنی، برگرفته از مرجع [۲۶]؛ چ) نمودار شوری نسبت به دمای همگن شدگی برای میانبارهای سیال و تفکیک خاستگاه میانبارهای سیال.

کانه‌زایی با ترکیبی از سیال‌های دگرگونی، ماگمایی و جوی بدست آمد (شکل ۱۳ چ).

براساس بررسی‌های ریزدماسنجی، دمای همگن‌شدگی و شوری اسفالریت و کوارتز اختلاف قابل توجهی دارند و دست کم دو جامعه آماری را ایجاد کرده‌اند. با ترکیب نتایج بررسی‌های صحرایی و میکروسکوپی با داده‌های میانبار سیال، اسفالریت و کوارتز با دما و شوری پایین با کانه‌زایی نوع VMS و اسفالریت و کوارتز با دما و شوری بالا با نوع اسکارنی در ارتباط هستند (شکل ۱۳ ث).

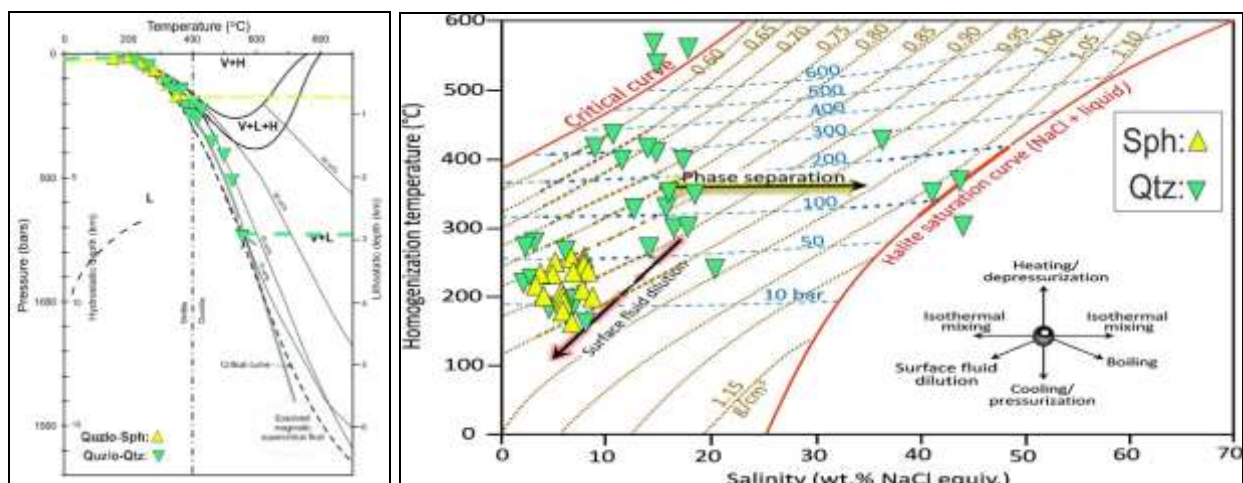
براساس نمودار تغییرات چگالی و فشار نسبت به دما و شوری، چگالی میانبارهای سیال کانسار قوزلو در گستره ۰/۶ تا ۱/۱ گرم بر سانتی‌متر مکعب متغیر است و بیشتر میانبارهای سیال در گستره فشار حدود ۱۰ تا ۴۰۰ بار متغیر هستند. بیشینه‌ی فشار میانبار کوارتز در دمای همگن‌شدگی حدود ۷۳۰ بار به ثبت رسیده است (شکل ۱۴ الف). با توجه به دمای همگنی میانبارهای سیال در نمودار دما نسبت به عمق [۲۷]، بیشینه عمق تشکیل میانبارهای سیال در کانه‌های اسفالریت، حدود ۸۰۰ متر و بیشینه عمق تشکیل کوارتز حدود ۲۹۰۰ متر است. بخش عمده‌ی داده‌های کوارتز و اسفالریت، عمق کمتر از ۱ کیلومتر را به ثبت رسانده‌اند (شکل ۱۴ ب).

میانبارهای سیال کانی کوارتز: برای ریزدماسنجی تعداد ۳۱ سیال درگیر بررسی شدند. اغلب نخستین نقطه ذوب یا همگدازی یخ بیشتر از حدود ۲۱- درجه تعیین شد. ذوب بلورهای یخ با وضوح بسیار خوب در گستره‌ی دمایی ۱/۵- تا ۱۷/۵- درجه سانتی‌گراد دیده شد و بر این اساس شوری میانبارهای سیال در گستره وسیعی از ۲/۵ تا ۴۴/۵ درصد وزنی معادل NaCl و با بیشتر فراوانی در گستره ۲/۵ تا ۲۰ درصد وزنی معادل NaCl متغیر است. دمای همگن‌شدگی به فاز مایع در گستره‌ی دمایی ۱۵۵ تا ۵۷۰ درجه سانتی‌گراد و با بیشترین فراوانی در گستره ۲۵۰ تا ۴۵۰ درجه سانتی‌گراد ثبت گردید. نتایج ریزدماسنجی در شکل ۱۳ پ، ت نشان داده شده است.

خاستگاه میانبارهای سیال

میانبارهای سیال با میزبان کانی اسفالریت: با جایابی داده‌های دما و شوری میانبارهای سیال موجود در کانی اسفالریت معدن قوزلو در نمودار تعیین خاستگاه، خاستگاه سیال موثر در تشکیل کانه‌زایی با ترکیبی از سیال‌های دگرگونی، حوضه‌ای و جوی بدست آمد (شکل ۱۳ چ).

میانبارهای سیال با میزبان کانی کوارتز: با جایابی داده‌های دما و شوری میانبارهای سیال موجود در کانی کوارتز معدن قوزلو در نمودار تعیین خاستگاه، خاستگاه سیال موثر در تشکیل



شکل ۱۴ الف) نمودار تلفیقی تغییرات چگالی و فشار نسبت به دما و شوری برای میانبارهای سیال کانسار مس (سرب- روی) قوزلو، [۲۶، ۲۸، ۲۹، ۳۰]؛ ب) دمای همگنی میانبارهای سیال کانسار قوزلو در نمودار دما نسبت به عمق [۲۷].

برداشت

از بررسی‌های میکروسکوپی و میانبارهای سیال در کانه‌زایی مس، سرب و روی قوزلو نتایج زیر به دست آمد.

کانه‌های اصلی درون‌زاد شامل کالکوپیریت، اسفالریت، گالن و پیریت هستند که با بافت لامینه‌ای و شبه لایه‌ای، پراکنده، رگچه‌ای و برشی تشکیل شده‌اند و در اثر فرآیندهای ثانویه به کانی‌های برون‌زاد از جمله کالکوسیت، کوولیت، مالاکیت، آزوریت، اسمیت‌زونیت، همی‌مورفیت، سروزیت و گوتیت تبدیل شده‌اند. مهم‌ترین کانی‌های باطله کانسنگ شامل کربنات‌ها، کوارتز، پیروکسن، گارنت، اکتینولیت، اپیدوت و کلریت هستند. شواهد کانی‌شناسی و بافتی نشان می‌دهد، کانه‌زایی دارای پهنه‌بندی کانایی بوده و کالکوپیریت به عنوان کانه‌ی اصلی در همه مراحل کانه‌زایی حضور داشته است.

میانبارهای سیال اولیه، ثانویه و ثانویه کاذب در درون بلورهای اسفالریت دیده شدند که از نظر فراوانی، مقدار سیال-های ثانویه کاذب کمتر از بقیه است.

میانبارهای سیال، بیشتر دوفازی (L+V) بوده که غنی از فاز مایع هستند و در کانی کوارتز، سیال‌های سه فازی با شوری بالا نیز دیده گردید.

میانبارهای سیال اسفالریت دارای مقدار شوری پایین (۲/۵ تا ۷/۵ درصد وزنی معادل NaCl) و سیال‌های با میزبان کوارتز دارای گستره‌ی وسیعی از شوری (۲/۵ تا ۴۴/۵ درصد وزنی معادل NaCl) هستند.

دمای همگن‌شدگی برای میانبارهای سیال با میزبان اسفالریت ۱۴۵ تا ۳۴۴ درجه سانتی‌گراد و در میزبان کوارتز ۱۵۵ تا ۵۷۰ درجه سانتی‌گراد است.

بر پایه نمودار دمای همگن‌شدگی نسبت به شوری کانسارهای مختلف، سیال‌های کانه‌ساز از نوع حوضه‌ای، دگرگونی و ماگمایی و نمونه‌های بررسی شده در این کانسار در گستره کانسارهای نوع VMS و اسکارن قرار دارند. اختلاف دما و شوری سیال‌های کوارتز و اسفالریت شاهدهی بر این ادعاست. شواهد صحرایی، ساخت، بافت و کانی‌شناسی، از جمله ساخت و بافت لامینه‌ای تا شبه‌لامینه‌ای و همروندی آن با سنگ میزبان، همچنین موقعیت میانبارهای سیال از نظر دما و شوری، نشان دهنده‌ی رخداد کانه‌زایی همروند با سنگ میزبان

و از نوع کانسارهای نوع VMS است. از سویی، حضور کانی‌های شاخص اسکارنی از جمله گارنت و پیروکسن در پهنه‌های کانه-دار و دمای بالای سیال‌های کانه‌ساز (تا ۵۷۰ درجه سانتی‌گراد در کانی کوارتز)، تشکیل کانه‌زایی اسکارنی را در این منطقه تأیید می‌کنند. از این رو به نظر می‌رسد که کانه‌زایی نوع VMS در این منطقه رخ داده و در اثر توده‌های نفوذی پنهان و سیال‌های برآمده از آن، کانه‌زایی اسکارنی (اسکارنوئیدی) رخ داده است.

قدردانی

نگارندگان از حمایت و پشتیبانی دانشگاه تبریز و همچنین مساعدت‌های شرکت زرجویان فلات قاره برای تأمین مالی انجام بررسی‌ها و در اختیار قرار دادن امکانات آزمایشگاهی میکروسکوپی، قدردانی می‌نمایند.

مراجع

- [1] Stöcklin J., "Structural history and tectonics of Iran", a review. American Association of Petroleum Geologists Bulletin, 52 (1968) 1229-1258.
- [2] Babakhani A.R., Ghalamghash J., "Geological map of Takht-e-Soleyman, scale 1:100000", Geological Survey of Iran (1996).
- [3] Fonoudi M., Hariri A., "Geological map of Takab, scale 1:100000", Geological Survey of Iran (1999).
- [4] Qazvinizadeh A.M., "Genesis of Alamkandi Pb-Zn deposit, Zanjan Province", M.Sc. thesis, University of Kharazmi, Tehran (In Persian with English abstract) (2005).
- [5] Daliran F., "The carbonate rock-hosted epithermal gold deposit of Agdarreh, Takab geothermal field, NW Iran, hydrothermal alteration and mineralization", Mineralium Deposita 43(4) (2008) 383-404. <https://10.1007/s00126-007-0167-x>
- [6] Fallah Karimi Z., "Mineralogy and geochemistry of Qinarjeh Fe index (northeast of Takab, West Azerbaijan province)", M.Sc. Thesis, Urmia University, Urmia (2011).
- [7] Nouri F., Mokhtari M.A.A., Izadyar J., Kouhestani H., "Geological and mineralogical characteristics of Alamkandi Fe deposit, west of Zanjan. 35th National Congress on Geosciences,

- from in situ U-Pb geochronology", Journal of Sciences, Islamic Republic of Iran 24(3) (2013) 217–228.
- [16] Sarkhoshi A., Moazzen M., Izadyar J., "Mineral chemistry and P-T estimation of formation of garnet schists, Mount Argon, Angouran Mine", Quarterly Iranian Journal of Geology 10(38) (2014) 47–57 (In Persian with English abstract).
- [17] Alavi-Naini M., Hajian J., "Geology of Takab-Saein-Qaleh", Geological Survey of Iran Report No. 50, 99 p (1982).
- [18] Gilg H. A., Boni M., Balassone G., Allen C. R., Banks D., Moore F., "Marble-hosted sulphide ores in the Angouran Zn-(Pb-Ag) deposit, NW Iran: interaction of sedimentary brines with a metamorphic core complex", Mineralium Deposita 41: 1-16 (2006).
- [19] Alavi M., "Tectonics of the Zagros orogenic belt of Iran", new data and interpretations. Tectonophysics 229 (1994) 211–238. [https://doi.org/10.1016/0040-1951\(94\)90030-2](https://doi.org/10.1016/0040-1951(94)90030-2)
- [20] Mohajjel M., "Structure and Tectonic Evolution of Paleozoic-Mesozoic rocks, Sanandaj-Sirjan zone, Western Iran", Ph.D. thesis, University of Wollongong, Wollongong, Australia (1997).
- [21] Alavi M., Amidi M., "Geological map of Takab, scale 1:250000", Geological Survey of Iran (1976).
- [22] Whitney D.L., Evans B.W., "Abbreviations for names of rock-forming minerals", American Mineralogist 95 (2010) 185–187. <https://doi.org/10.2138/am.2010.3371>
- [23] Nash J. T., "Fluid inclusion petrology-data from porphyry copper deposits and applications to exploration", US GEOLOGICAL SURVEY PROFESSIONAL PAPER 907-D16 p (1976).
- [24] Simmons S.F., "Geological characteristics of epithermal precious and base metal deposits", 100th anniversary volume, 485-522.
- [25] Guilbert J.M., Park C.F., "The Geology of Ore Deposits", WH Freeman and Company, 985p (1997).
- [26] Wilkinson J.J., "Fluid inclusions in hydrothermal ore deposits", Lithos, 55 (2001) 229–272.
- Geological Survey of Iran, Tehran", Iran (In Persian with English abstract) (2017).
- [8] Nouri F., Mokhtari M.A.A., Izadyar J., Kouhestani H., "Geochemistry and petrogenesis of the Alamkandi granitoid body and Fe skarn (west of Mahneshan, Zanjan province)", Journal of Economic Geology 13(3) (2021) 507–536 (In Persian with extended English abstract). <https://dx.doi.org/10.22067/econg.v13i3.86285>
- [9] Hajialioghli R., Moazzen M., Droop G.T.R., Oberhänsli R., Bousquet R., Jahangiri A., Ziemann M., "Serpentine polymorphs and P-T evolution of meta-peridotites and serpentinites in the Takab area, NW Iran". Mineralogical Magazine 71(2) (2007a), 155–174. <https://10.1180/minmag.2007.071.2.203>
- [10] Hajialioghli R., Moazzen M., Jahangiri A., Droop G.T.R., Bousquet R., Oberhänsli R., "Petrogenesis of meta-peridotites in the Takab area, NW Iran", Goldschmidt Conference Abstracts, Cologne, Germany, A370 (2007b).
- [11] Hajialioghli R., Moazzen M., Jahangiri A., Oberhänsli R., Mocek B., Altenberger U., "Petrogenesis and tectonic evolution of metaluminous sub-alkaline granitoids from the Takab Complex, NW Iran", Geological Magazine 148(2) (2010) 250–268. <https://doi.org/10.1017/S0016756810000683>
- [12] Saki A., "Proto-Tethyan remnants in northwest Iran: Geochemistry of the gneisses and metapelitic rocks", Gondwana Research 17(4) (2010) 704–714. <https://doi.org/10.1016/j.gr.2009.08.008>
- [13] Saki A., Moazzen M., Oberhänsli R., "P-T evolution of the Precambrian Metamorphic Complex, NW Iran: a study of metapelitic rocks", Geological Journal 46(1) (2011) 10–25. <https://doi.org/10.1002/gj.1236>
- [14] Bakhshizad F., Ghorbani Gh., "Geochemistry, Geochronology and Tectonic Setting of Metamorphic Rocks from the Zanjan-Takab Region", Scientific Quarterly Journal of Geosciences 25(97) (2016) 361–374 (In Persian with English abstract). <https://doi.org/10.22071/gsj.2015.41537>
- [15] Moazzen M., Hajialioghli R., Möller A., Droop G.T.R., Oberhänsli R., Altenberger U., Jahangiri A., "Oligocene partial melting in the Takab metamorphic complex, NW Iran: Evidence

system at hydrostatic pressure", *Economic Geology* 66 (1971) 940–46.

[30] Driesner T., Heinrich C.A., "*The system H₂O-NaCl. Part I: Correlation formulae for phase relations in temperature-pressure-composition space from 0 to 1000°C, 0 to 5000 bar*", and 0 to 1 XNaCl. *Geochimica et Cosmochimica Acta* 71, (2007) 4880–901.

[27] Fournier R.O., "*Conceptual models of brine evolution*", U. S. Geological Survey professional paper, v. 1350 (1987) p. 1487-1506.

[28] Ahmad S.N., Rose A.W., "*Fluid inclusions in porphyry and skarn ore at Santa Rita*", New Mexico. *Economic Geology* 75 (1980) 229-50.

[29] Haas J.L., "*The effect of salinity on the maximum thermal gradient of a hydrothermal*