

Geology, mineralogy, and characteristics of fluid inclusion in Quzlo Cu (Pb-Zn) deposit, north of Angouran lead and zinc mine, Takab-Mahenshan metallogenic zone

Hafez Marangi¹, Mohammad Reza Hosseinzadeh^{1*}, Kamal Siahcheshm¹, Sajjad Maghfouri²

¹ Department of Earth Sciences, Faculty of Natural Sciences, University of Tabriz, 5166616471 Tabriz, Iran

² Department of Economic Geology, Faculty of Basic Sciences, Tarbiat Modares University, Tehran, Iran

*Corresponding author, Tel: +98(41) 33392697, Fax: +98 (41) 33392697, Mobile: (+98) 09143065872

E-mail: Mr.hosseinzadeh1352@gmail.com

Abstract

The Quzlo Cu (Pb-Zn) deposit is located in the Takab-Mahneshan sub-zone in the Sanandaj-Sirjan zone, NW Iran. This study investigates the geology, mineralization, alteration, and fluid inclusions of this deposit. The Neoproterozoic-Early Cambrian metamorphic complex in the study area includes amphibolites, various gneisses, and marble interlayers with remnants of serpentine ultramafic rocks, and the metamorphic rocks of the area have been metamorphosed in the amphibolite facies and have progressed to the stage of partial melting and migmatite formation. The Quzlo copper (lead-zinc) mineralization is hosted by amphibolite and marble and is mainly formed within the marble unit and the contact between them as massive ore, layers, laminae, veinlets, disseminated, brecciated, banded ore and replacement. Chalcopyrite, galena, sphalerite, and pyrite, along with specularite, are the most important hypogene minerals, and the most prominent supergene minerals include chalcocite, covellite, malachite, azurite, smithsonite, cerussite, hematite, and goethite. The majority of the host rock in the ore-bearing zones has recorded evidence of contact metamorphism with the presence of pyroxene, garnet, amphibole, and epidote along with quartz and carbonate minerals. The most prominent host rock alteration includes silicification and epidotization, and the ore-bearing zones show iron oxide alteration and carbonatization. Microthermometry of fluid inclusions was carried out on quartz and sphalerite minerals from the Quzlo deposit. For fluid inclusions within sphalerite, the homogenization temperature varies from 145 to 344 °C and salinity varies from 3 to 7 wt% NaCl_{eq}. For fluid inclusions within quartz, the homogenization temperature ranges from 125 to 570 °C and salinity varies from 2.5 to 44.5 wt% NaCl_{eq}. Accordingly, and by combining field observations, microscopic evidence, and mineral paragenesis with fluid inclusion data, it is inferred that the first mineralization phase is syngenetic with the host rock and is VMS type, followed by later skarn formation by fluids originated from intrusive bodies.

Keywords: fluid inclusion, Quzlo, Cu (Pb-Zn), VMS, Skarn, Takab-Mahnesan.

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

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

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

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

چکیده:

کانسار مس (سرب- روی) قوزلو در زیر پهنه تکاب- ماهنشان، در جنوب غرب استان زنجان و شمال غرب ایران قرار دارد. در این مطالعه، زمین‌شناسی، کانی‌سازی، دگرسانی، جایگاه تکتونیکی و میانبارهای سیال این معدن مورد بررسی قرار گرفته است. کمپلکس دگرگونی نئوپروتروزوئیک- کامبرین پیشین در منطقه مورد مطالعه شامل انواع آمفیبولیت، انواع مختلف گنیس و میان لایه‌های مرمری به همراه بقایای سنگ‌های الترامافیک 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 غالباً در داخل واحد مرمری و کنتاکت بین آنها تشکیل شده و به صورت توده‌ای، لایه‌ای، لامینه‌ای، رگچه‌ای، پراکنده، برشی، نواری و جانشینی تشکیل شده است. کالکوپیریت، گالن، اسفالریت و پیریت به همراه هماتیت ورقه‌ای (اسپکیولاریت)، مهم‌ترین کانی‌های معدنی درون‌زاد هستند و شاخص‌ترین کانه‌های برون‌زاد شامل کالکوسیت، کوولیت، مالاکیت، آزوریت، اسمیت‌زونیت، سروزیت، هماتیت و گوتیت هستند. بخش غالب سنگ میزبان در زون‌های 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 شامل سیلیسی شدن و اپیدوتی شدن است و زون‌های کانه‌دار، دگرسانی اکسید آهنی و کربناتی را نشان می‌دهند. مطالعه میانبارهای سیال درون کانی‌های کوارتز و اسفالریت از معدن قوزلو انجام شد. در میانبارهای سیال اسفالریت، دمای همگن شدن از ۱۴۵ تا ۳۴۴ درجه سانتی‌گراد و شوری بین ۳ تا ۷ درصد وزنی معادل NaCl متغیر است. در میانبارهای سیال کوارتز، دمای همگن شدن از ۱۲۵ تا ۵۷۰ درجه و شوری بین ۲/۵ تا ۴۴/۵ درصد وزنی معادل NaCl متغیر می‌باشد. بر این اساس و با تلفیق مشاهدات صحرایی، شواهد میکروسکوپی، پاراژنز کانیایی با داده‌های میانبارهای سیال، چنین استنباط می‌گردد که مرحله اول کانه‌زایی، هم‌زاد با سنگ میزبان از نوع VMS تشکیل شده و سپس کانی‌سازی اسکارنی توسط سیالات برخاسته از توده نفوذی صورت گرفته است.

واژه‌های کلیدی: میانبار سیال، قوزلو، مس (سرب- روی)، VMS، اسکارن، تکاب- ماهنشان.

کانسار مس، سرب و روی قوزلو، در استان زنجان، در فاصله ۳۳ کیلومتری شمال غرب شهر دندی، در بین طول‌های جغرافیایی $47^{\circ} 14'$ تا $47^{\circ} 30'$ شرقی و عرض‌های جغرافیایی $36^{\circ} 39'$ تا $36^{\circ} 48'$ شمالی و تقریباً در فاصله هوایی ۱۰ کیلومتری شمال معدن روی- سرب انگوران واقع شده است. راه‌های دسترسی به منطقه مورد مطالعه، از طریق کوتاه‌ترین مسیر (زنجان، دندی، روستای قوزلو) مسیری حدوداً ۱۲۵ کیلومتری است که این راه تا روستای قوزلو آسفالت‌ه می‌باشد و جاده اختصاصی معدن به مسافت حدود ۳ کیلومتر خاکی است (شکل ۱- الف). این کانسار در قسمت مرکزی چهارگوش زمین‌شناسی ۱:۲۵۰۰۰۰ تکاب و ورقه زمین‌شناسی ۱:۱۰۰۰۰۰ تخت‌سلیمان قرار دارد و از نظر ساختاری در پهنه سنجند- سیرجان [۱] قرار گرفته است (شکل ۱- ب)؛ شایان ذکر است، در خصوص پهنه ساختاری این منطقه، تاکنون اجماع نظری ایجاد نشده و براساس شواهد زمین‌شناسی و سنگ‌شناسی، بیشترین انطباق را با خردقاره ایران مرکزی دارد.

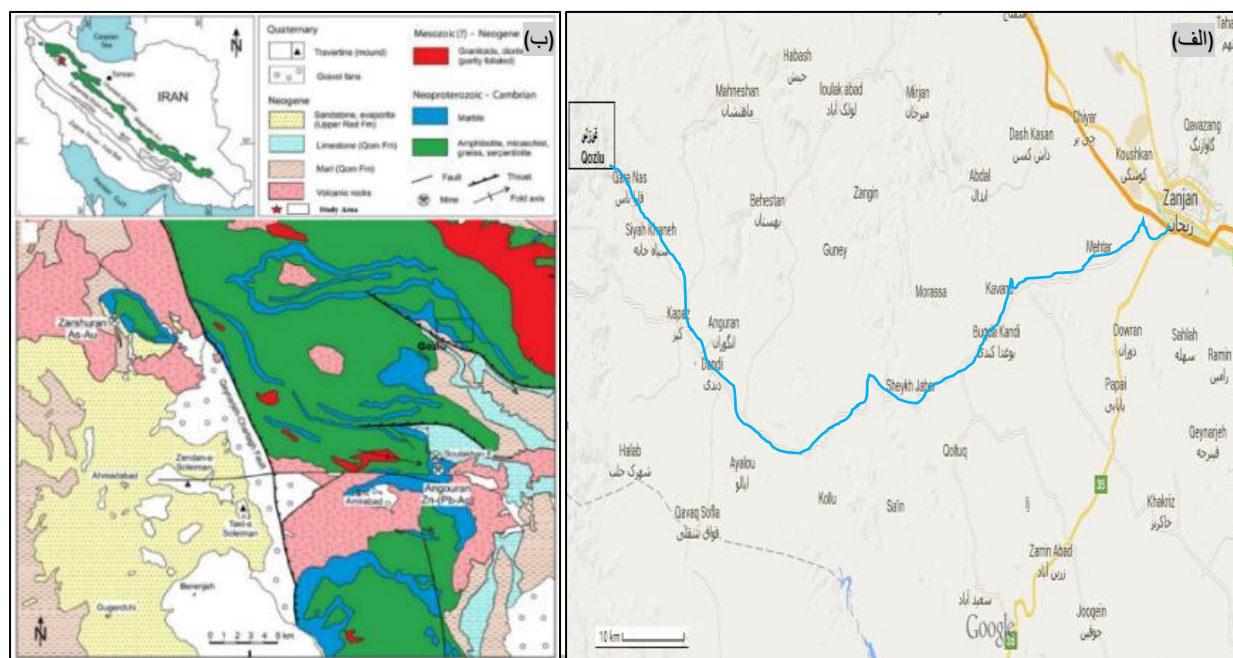
منطقه قوزلو بخشی از زیر پهنه تکاب- تخت‌سلیمان- انگوران است. این زیر پهنه به عنوان بخشی از پهنه سنجند- سیرجان، به طور عمده از سنگ‌های دگرگونی ناحیه‌ای (عمدتاً شامل انواع شیست‌ها، آمفیبولیت، گنیس و مرمر) به سن پرکامبرین و پالئوزوئیک؟ تشکیل شده است که در برخی مناطق، توده‌های گرانیتوئیدی مزوزوئیک (تریاس میانی- بالایی) به داخل آنها نفوذ کرده‌اند [۳، ۲]. نفوذ توده‌ها اغلب سبب ایجاد هاله‌های دگرگونی مجاورتی در بخش‌های مرمری توالی دگرگونی ناحیه‌ای شده است که بعضاً با کانه‌زایی‌های آهن (مانند کانسارهای علم‌کندی و قینرجه) و به میزان کمتر سرب- روی (مانند کانسارهای علم‌کندی و قره‌داش) همراه می‌باشد [۴-۸]. تاکنون مطالعات متعددی در ارتباط با

سنگ‌های دگرگونی ناحیه‌ای و به میزان کمتر سنگ‌های دگرگونی مجاورتی این منطقه انجام شده و نتایج مهمی در خصوص شرایط ترمودینامیکی تشکیل آنها به‌دست آمده است [۹-۱۶]. کانسار قوزلو یکی از کانه‌زایی‌های مس (سرب- روی)، دارای شواهدی از هاله‌های دگرگونی مجاورتی در زیر پهنه تکاب- تخت‌سلیمان- انگوران است که در فاصله ۳۳ کیلومتری شمال غربی شهر دندی و در شمال روستای قوزلو و فاصله هوایی ۳،۵ کیلومتری جنوب شرقی اندیس مس (سرب- روی) قره‌داش واقع شده است.

در نگاه کلی، کانسار قوزلو یک کانسار عدسی شکل معرفی شده که در زون‌های گسله ما بین واحد مرمری کمر بالا و آمفیبولیت کمر پائین نهشته شده است. با این وجود در بعضی قسمت‌ها، شکل و صله‌ای (patchy) نیز در آن دیده می‌شود.

روش بررسی

برای انجام این پژوهش، طی عملیات صحرایی تعداد ۱۳۰ نمونه سنگی از واحدهای رخنمون یافته به منظور بررسی‌های سنگ‌شناسی، کانی‌شناسی و زمین‌شیمیایی برداشت شد و تعداد ۲۵ مقطع نازک، ۵۰ مقطع نازک- صیقلی، ۱۰ مقطع صیقلی از نمونه‌ها تهیه شد. همچنین به منظور بررسی میانبرهای 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 واقع در پارک علم و فناوری دانشگاه تحصیلات تکمیلی علوم پایه زنجان توسط نگارنده تهیه و سنگ‌نگاری شدند. پس از آن، بررسی‌های کامل ریزدماسنجی با میکروسکوپ Leitz صفحه گرم‌کننده و سرد‌کننده لینکام مدل THMCG 600 با گستره‌ی دمایی ۱۹۶- تا ۶۰۰ درجه‌ی سانتیگراد، در دانشگاه تربیت مدرس و دانشگاه لرستان انجام شد.

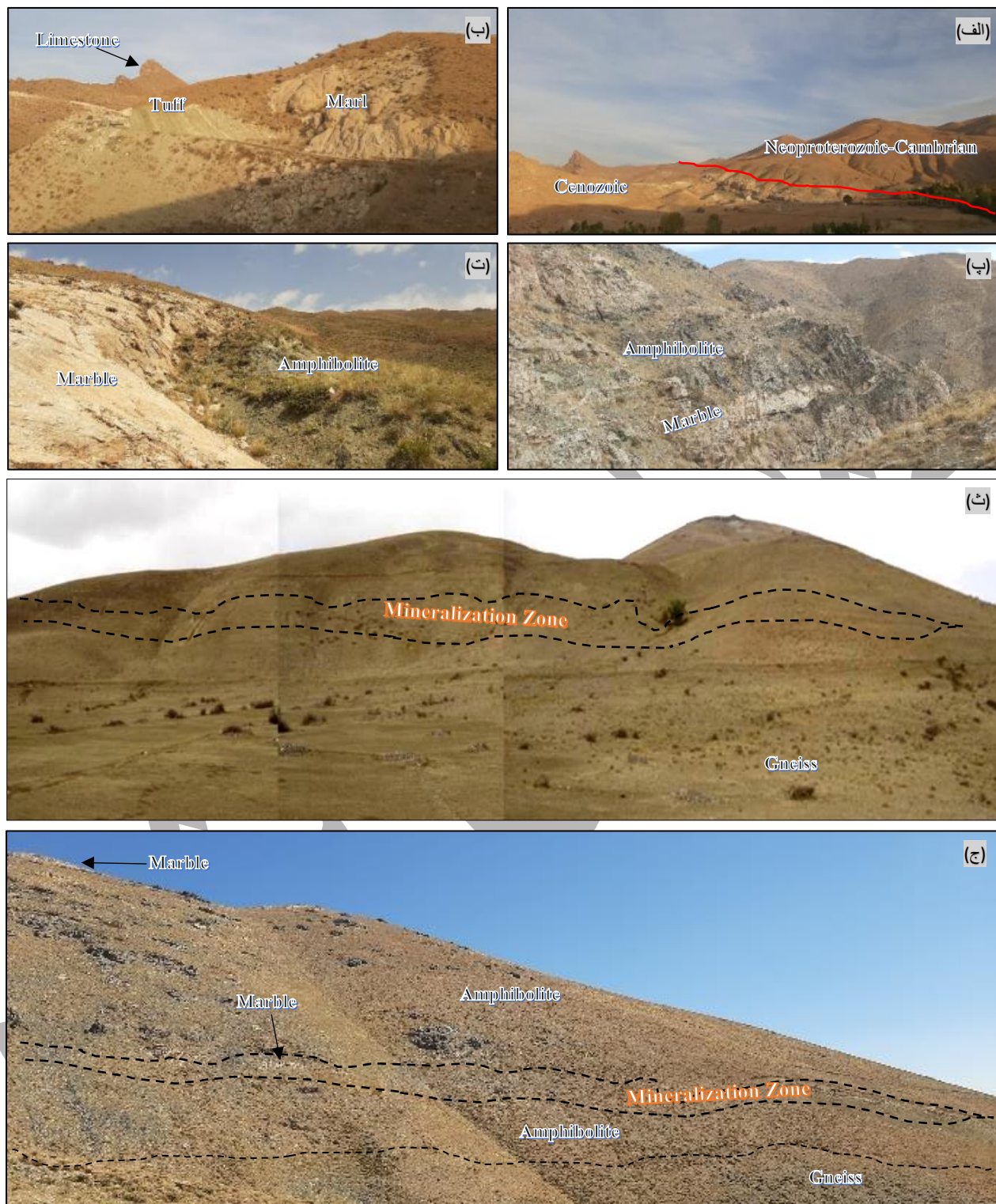


شکل ۱) الف- راه‌های دسترسی به محدوده مورد مطالعه (محدوده مورد مطالعه با کادر مشخص گردیده است)، ب- موقعیت کانسار قوزلو بر روی نقشه زمین‌شناسی ساده شده بر اساس نقشه‌های چهارگوش ۱:۲۵۰۰۰۰ تکاب [۱۷] و ورقه ۱:۱۰۰۰۰۰ تخت سلیمان [۲]، نسبت به کانسارهای زرشوران و انگوران در زون تکاب، بر گرفته از [۱۸].

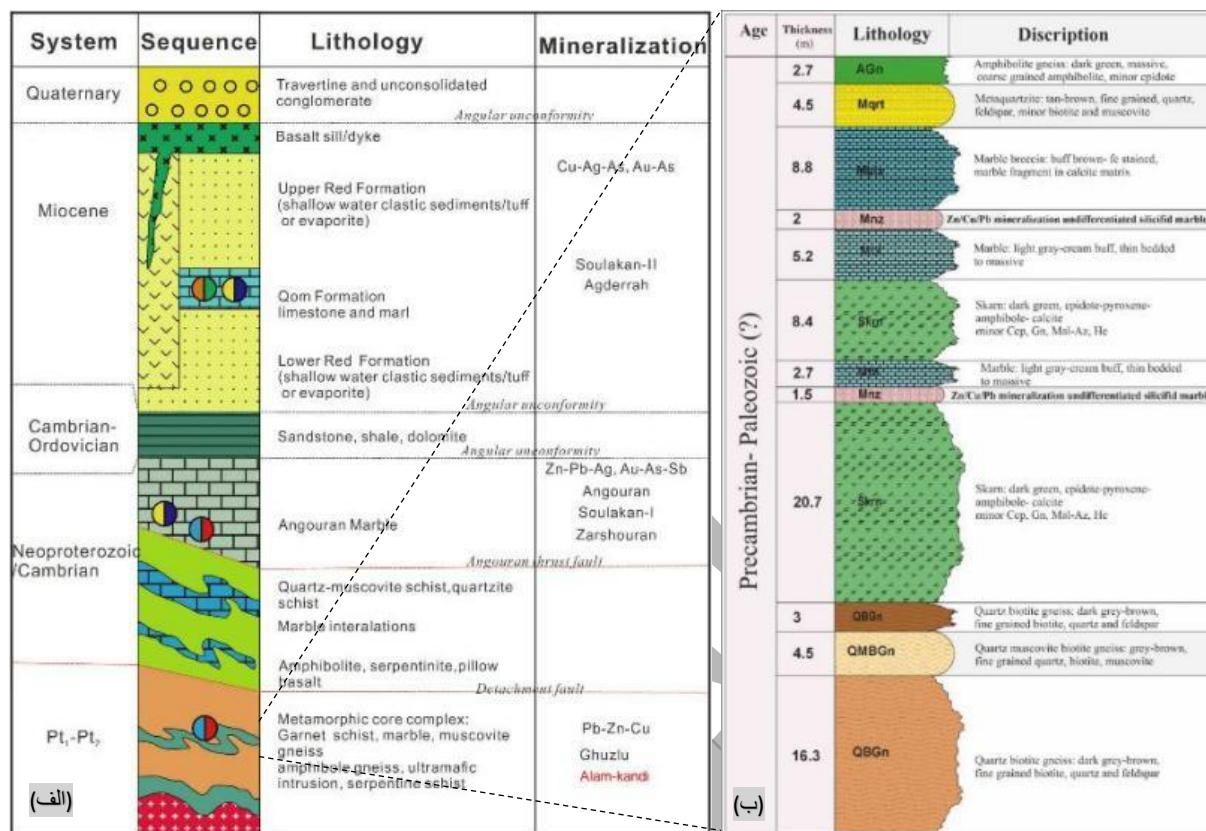
زمین‌شناسی

میان‌لایه، داخل آمفیبولیت‌های منطقه قرار دارند. لیتولوژی غالب منطقه آمفیبولیت‌های چین‌خورده، همراه با کالک شیست، آمفیبول شیست و انواع گنیس می‌باشد (شکل ۲). سنگ‌های منسوب به الیگوسن-میوسن شامل توالی‌های کربناتی، دولومیتی، پلیتی و گری‌وکی می‌باشند. براساس شواهد صحرایی، در منطقه‌ی قوزلو، سنگ‌های دگرگونی منتسب به نئوپروتروزوئیک-کامبرین، با مرز گسلی (گسل قره‌ناس) در کنناکت با سنگ‌های رسوبی و آذرآواری سنوزوئیک قرار گرفته‌اند (شکل ۲-الف). واحدهای سنوزوئیک متشکل از توف‌های اسیدی به همراه توالی مارن‌های رنگی، میان‌لایه‌های تبخیری (گچ)، ماسه‌سنگ، کنگلومرا و آهک‌های فسیل‌دار می‌باشند (شکل ۲-ب). کانه‌زایی در محدوده معدنی قوزلو، در سنگ میزبان نئوپروتروزوئیک-کامبرین و حداقل در دو افق تشکیل شده است (شکل ۲-ث، ج). در ادامه واحدهای سنگی و کانه‌زایی، به صورت مفصل توصیف شده است.

در تقسیم‌بندی پهنه‌های رسوبی-ساختاری ایران [۱۹]، منطقه قوزلو در زیرپهنه کاملاً دگرشکل شده از پهنه سندانج-سیرجان [۲۰] واقع شده است (شکل ۱). بطور کلی منطقه قوزلو در قسمت مرکزی و شمال چهارگوش ۱:۲۵۰۰۰۰ تکاب قرار دارد. سنگ‌های دو برهه زمانی پرکامبرین و الیگومیوسن بطور واضح در این ناحیه بروزندگی گسترده دارند. سنگ‌های منسوب به پرکامبرین در منطقه فوق شامل گنایس، آمفیبولیت، میکاشیست، مرم‌ر و میگم‌اتیت، با رخساره شیست‌سبز و آمفیبولیت حاوی اپیدوت و کلریت و آمفیبولیت‌ها است که در زیر سنگ‌های دگرگون شده سازند کهر جای می‌گیرند. سنگ‌های این مجموعه اغلب در رخساره آمفیبولیت، دگرگون شده‌اند و سنگ منشأ آن‌ها شامل سنگ‌های آذرین مافیک و الترامافیک است. مرم‌های با ضخامت ۱۰-۱۵ متر، مربوط به دوران پرکامبرین، به‌صورت



شکل ۲) الف- نمایی از مرز گسلی و راندگی سنگ‌های دگرگونی نئوپروتروزوئیک- کامبرین بر روی واحدهای سنوزوئیک (دید به سمت شمال غرب)، ب- واحدهای سنوزوئیک متشکل از 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 (با تغییرات از [۱۹، ۳])، ب- ستون چینه‌شناسی معدن مس-سرب و روی قوزلو (بر اساس مطالعه مغزه‌های حفاری توسط نگارنده).

سنگ‌های الترامافیک سرپانتینیزه

سنگ‌های الترامافیک در محدوده معدنی قوزلو دارای رخنمون هستند و به شدت به سرپانتین تبدیل شده‌اند. شواهد بافتی و کانی‌شناسی نشان می‌دهد، سنگ‌های الترامافیک شامل پیروکسنیت‌ها و سنگ‌های پریدوتیتی از جمله دونیت و هارزبورژیت بوده‌اند. بخش عمده‌ی کانی‌های تشکیل دهنده به سرپانتین و کانی‌های کربناتی تبدیل شده و بقایای الیوین و پیروکسن در زمینه باقی مانده‌اند (شکل ۴-الف). شواهد صحرایی نشان می‌دهد، رخنمون‌های سنگ‌های الترامافیکی توسط ساختارهای گسلی کنترل می‌شوند و احتمالاً گسل‌های معکوس در منطقه باعث بالا آمدگی آنها شده‌اند.

بیوتیت گنیس

بیوتیت گنیس‌ها را در محدوده این معدن می‌توان به دو

لیتولوژی سنگ‌های الترامافیک و دگرگونی ناحیه‌ای

براساس شواهد صحرایی، به طور کلی، واحدهای سنگی در محدوده معدنی قوزلو، متشکل از سنگ‌های دگرگونی از جمله انواع گنیس، انواع آمفیبولیت، میان لایه‌های مرمری، میگماتیت و آهک‌های مرمری به همراه رخنمون‌هایی از سنگ‌های الترامافیک سرپانتینیزه هستند. این مجموعه دگرگونی در نقشه زمین‌شناسی ۱:۲۵۰۰۰۰ تکاب [۲۱]، با عنوان کمپلکس 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 اعتقاد باباخانی و قلمقاش [۲]، این مجموعه دگرگونی همراه با سنگ‌های الترامافیک دگرگون‌شده، بقایای پوسته اقیانوس پالئوتتیس هستند. در ادامه واحدهای سنگی به صورت مختصر توصیف شده است.

کانه‌زایی مس-سرب و روی هستند.

میان لایه‌های مرمری

میان لایه‌های مرمری غالباً در داخل آمفیبولیت‌ها تشکیل شده‌اند و بعضاً ضخامت آنها به بیش از ۴۰ تا ۵۰ متر می‌رسد که می‌توان به صورت واحدی مجزا تفکیک کرد. میان لایه‌های مرمری کنترل کننده اصلی کانه‌زایی در معدن قوزلو هستند. براساس شواهد کانی‌شناسی، میان لایه‌های مرمری متنوع بوده و به انواع مرمر، اپیدوت مرمر و کوارتز اپیدوت مرمر قابل تفکیک می‌باشند. فابریک آنها اغلب گرانوبلاستیک است. میان لایه‌ی مرمری متشکل از کانی‌های کربناتی با فابریک گرانوبلاستیک و میزبان کانه‌زایی در این کانسار است. در مرمر کانه‌دار و علی‌الخصوص بخش‌های کانه‌دار سیلیسی، کوارتز به صورت بلورهای کاملاً شکل‌دار تشکیل شده است و کانی‌های سولفیدی بخش‌های کربناتی، شدیداً اکسیده شده است. سنگ‌های کربناتی کانه‌دار در برخی بخش‌ها شدیداً سیلیسی هستند و برخی از آنها بافت برشی را نشان می‌دهند (شکل ۴-د، ر).

آهک مرمری

در محدوده معدنی قوزلو، بر روی آمفیبولیت‌ها، واحد کربناتی ضخیم لایه قرار گرفته و در بخش جنوبی کانسار و بخش غربی محدوده رخنمون گسترده دارد. این واحد در بخش جنوبی معدن، میزبان کانه‌زایی مس (سرب-روی) است. در مقیاس میکرو سکویی دارای فابریک گرانوبلاستیک می‌باشد (شکل ۴-د).

لیتولوژی سنگ میزبان کانه‌زایی

به طور کلی دو لیتولوژی اصلی الف) آهک‌های مرمری و ب) آمفیبولیت‌های اپیدوتی شده با میان لایه‌ی مرمری را می‌توان به عنوان میزبان کانه‌زایی در این معدن در نظر گرفت. کانه‌زایی به صورت همروند با سنگ میزبان و همچنین در کنتاکت گسله و مناطق برشی، بین واحدهای آهک مرمری و آمفیبولیت‌های اپیدوتی شده متمرکز شده است. آهک‌های مرمری اصلی‌ترین

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 است. گنیس بیوتیت‌دار غالباً از کانی‌های فلدسپاتی از جمله پلاژیوکلاز و فلدسپات پتاسیم به همراه کوارتز و مقادیر کمی بیوتیت تشکیل شده است (شکل ۴-ب، پ). در واحد کوارتز بیوتیت گنیس، بیوتیت جزء کانی‌های غالب سنگ است. در رخنمون صحرایی، نمونه دستی و میکروسکوپی، دارای فابریک چشمی بوده (شکل ۴-ت) و گنیسوسیت را به وضوح 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).

موسکوویت گنیس

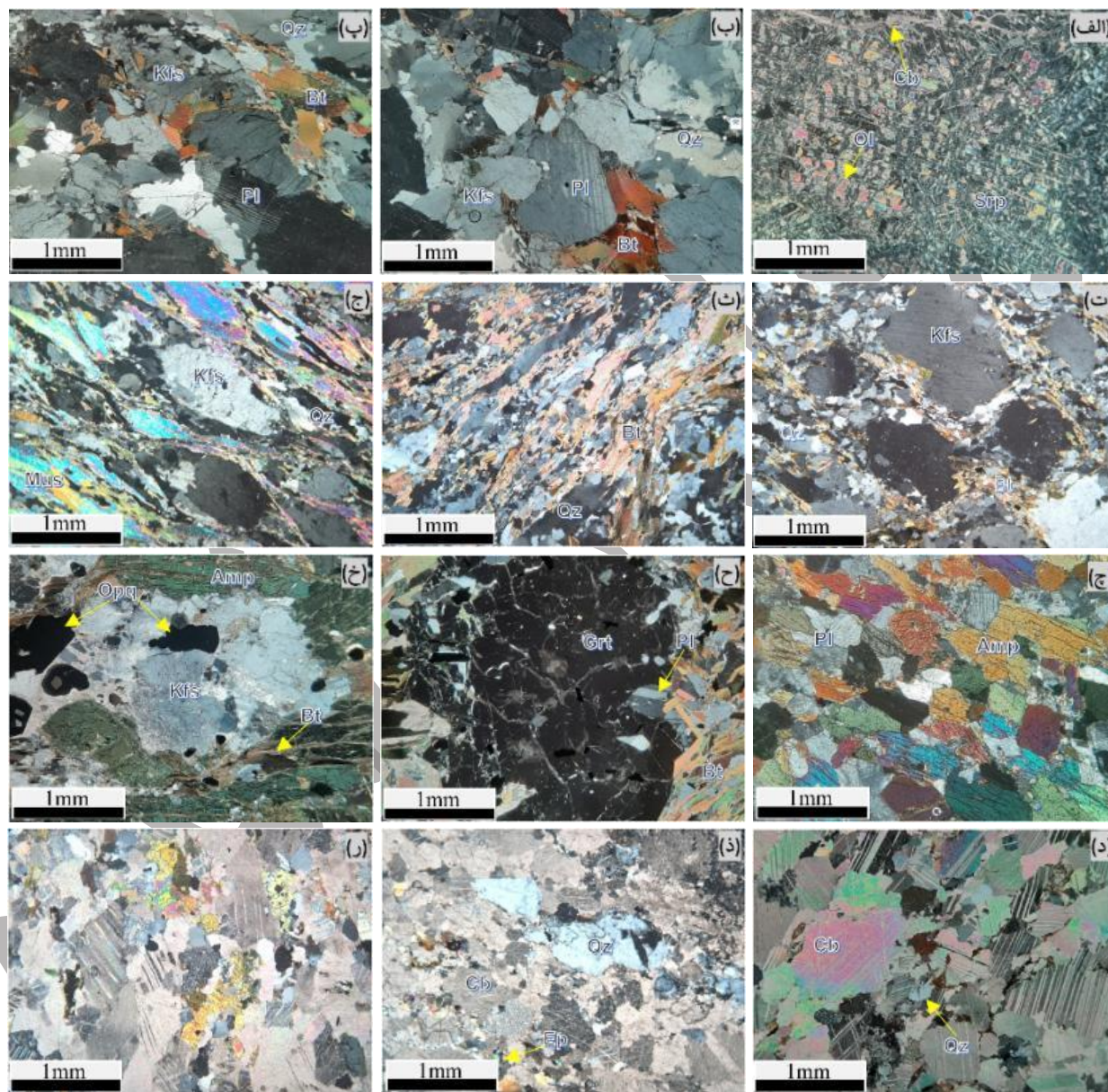
در واحد موسکوویت گنیس، موسکوویت جزء کانی‌های غالب سنگ است. کانی‌های اصلی شامل کوارتز، موسکوویت، فلدسپات پتاسیم و پلاژیوکلاز به همراه کانی‌های فرعی بیوتیت و کانی‌های کدر هستند (شکل ۴-ج). این سنگ در رخنمون صحرایی و نمونه دستی، دارای فابریک چشمی بوده و درشت بلورها از جنس کانی‌های فلدسپاتی هستند. کانی‌های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

آمفیبولیت

آمفیبولیت‌ها در این منطقه دارای تنوع زیادی هستند. از مهم‌ترین آنها می‌توان به آمفیبولیت نرمال (شکل ۴-چ)، آمفیبولیت شیست، گارنت بیوتیت آمفیبولیت (شکل ۴-ح) و اپیدوت آمفیبولیت اشاره کرد. براساس مطالعات پتروگرافی، آمفیبولیت‌ها در این محدوده متشکل از کانی‌های آمفیبول، پلاژیوکلاز، فلدسپات پتاسیم، کوارتز، کربنات، بیوتیت، گارنت و کانی‌های کدر و دارای فابریک نماتوبلاستیک، گرانوبلاستیک و پورفیروبلاستیک هستند. آمفیبولیت‌های اپیدوتی شده در این معدن در کنتاکت با میان لایه‌های مرمری، میزبان

سنگ میزبان آمفیبولیتی دگرسان بوده و اپیدوتی شدن در آن قابل ملاحظه است. در سنگ میزبان آمفیبولیتی، کانی اپیدوت مشاهده می‌گردد که کلسیت و کلریت نیز آن را همراهی می‌کنند.

سنگ میزبان ماده معدنی در این معدن به شمار می‌روند. بین این دو واحد سنگی، یک واحد اپیدوت-مرمر (Epidote - Marble) نیز وجود دارد که زون حدواسط این دو سنگ می‌باشد. این زون حدواسط در تمامی مناطق عمومیت ندارد و عمدتاً در بخش‌های جنوب‌شرقی معدن مشاهده می‌گردد.



شکل ۴) تصاویر میکروسکوپی از لیتولوژی و میزبان کانه‌زایی مس-سرب و روی قوزلو. الف) بقایای الیون در زمینه شدیداً سرپانتینی، ب) پ، فابریک گرانوبلاستیک در بیوتیت گنیس، ت) فابریک چشمی در بیوتیت گنیس، ث) تشکیل و جدایش کوارتز و بیوتیت و ایجاد گنیسوسیت، ج) ایجاد فابریک چشمی در موسکویت گنیس، چ) فابریک گرانوبلاستیک در آمفیبولیت نرمال، ح) بلور گارنت در زمینه متشکل از آمفیبول، بیوتیت و کوارتز، خ) آمفیبولیت متشکل از آمفیبول و پلاژیوکلاز با فابریک گرانوبلاستیک، د) مرممر با فابریک گرانوبلاستیک، ذ) کوارتز مرممر، ر) اپیدوت کوارتز مرممر، علائم اختصاری کانی‌ها از [۲۲]. Pl: پلاژیوکلاز، Amp: آمفیبول، Cb: کرنات، Qz: کوارتز، Px: پیروکسن، Grt: گارنت، Ep: اپیدوت، Bt: بیوتیت، Opq: کانی کدر).

پتروگرافی سنگ‌های دگرگونی مجاورتی و میزبان کانه‌زایی

بر اساس مشاهدات صحرایی و مطالعات میکروسکوپی، شواهد دگرگونی مجاورتی در سنگ‌های میزبان کانی‌سازی شده قابل مشاهده است. رخنمون توده نفوذی در کنتاکت با کانه‌زایی دیده نمی‌شود. آمفیبولیت در کنتاکت با میان لایه‌های مرمری، شدیداً متاسوماتیزه شده و به اپیدوت دگرسان شده و میان لایه‌های مرمری شدیداً سیلیسی شده‌اند. کانی‌های شاخص متاسوماتیک در این معدن شامل پیروکسن، اپیدوت، آمفیبول، گارنت، کوارتز و کربنات‌ها هستند. بخش‌های متاسوماتیزه را براساس پاراژنز کانیایی، می‌توان به اپیدوت اسکارن، پیروکسن 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 بوده و دارای فابریک گرانوبلاستیک است. 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 به صورت پراکنده در سنگ دیده می‌شوند (شکل ۵-الف، ب).

پیروکسن گارنت اسکارن: کانی‌های اصلی پیروکسن گارنت اسکارن شامل اپیدوت، پیروکسن، کوارتز، گارنت و کربنات هستند و این زیرگروه اسکارن دارای بافت گرانوبلاستیک 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).

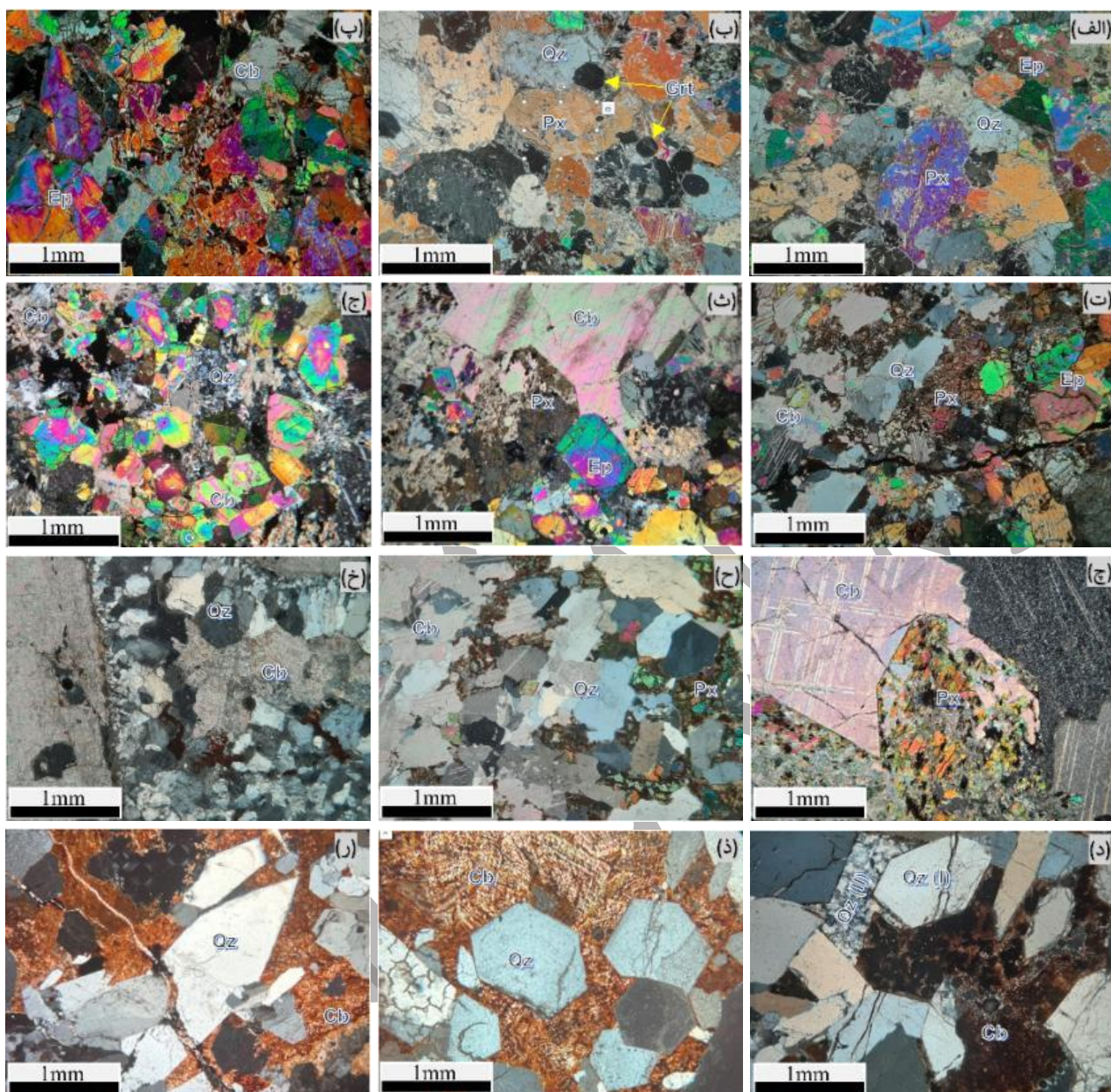
اپیدوت اسکارن: کانی‌های اصلی شامل اپیدوت، پیروکسن، کوارتز، ترمولیت/اکتینولیت و کربنات هستند و این زیرگروه اسکارن دارای بافت گرانوبلاستیک است. فراوانی اپیدوت در این سنگ بیشتر از پیروکسن است. کوارتز و کربنات‌ها در

فضای بین بلورهای اپیدوت و پیروکسن و همچنین در شکستگی‌های بلورهای اپیدوت تشکیل شده‌اند (شکل ۵-ث).

پیروکسن اپیدوت اسکارن: کانی‌های اصلی شامل پیروکسن و اپیدوت هستند و بافت گرانوبلاستیک 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 دارد 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 مقدار کمی پیروکسن و کربنات با فابریک گرانوبلاستیک است. در شکستگی‌های گارنت، کربنات‌ها و کلریت تشکیل شده‌اند. در این زیرزون شکستگی‌هایی وجود دارد که با کانی‌های کربناتی پر شده‌اند. کانی‌های کدر ریز و نیمه‌خودشکل به صورت پراکنده در سنگ دیده می‌شوند. کانی‌سازی اصلی در این زون شامل گالن و همی‌مورفیت هستند (شکل ۵-چ، ح).

مرمر سیلیسی: کانی‌های اصلی مرمر سیلیسی شامل کلسیت، دولومیت و کوارتز است. میزبان اصلی کانه‌زایی است. کوارتز به صورت بلورهای شکل‌دار و به همراه کانه‌های سولفیدی در زمینه کربناتی تشکیل شده است. همچنین ادخال‌های کانه‌های سولفیدی در داخل بلورهای شکل‌دار کوارتز تشکیل شده است. 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 (شکل ۵-خ تا ز).

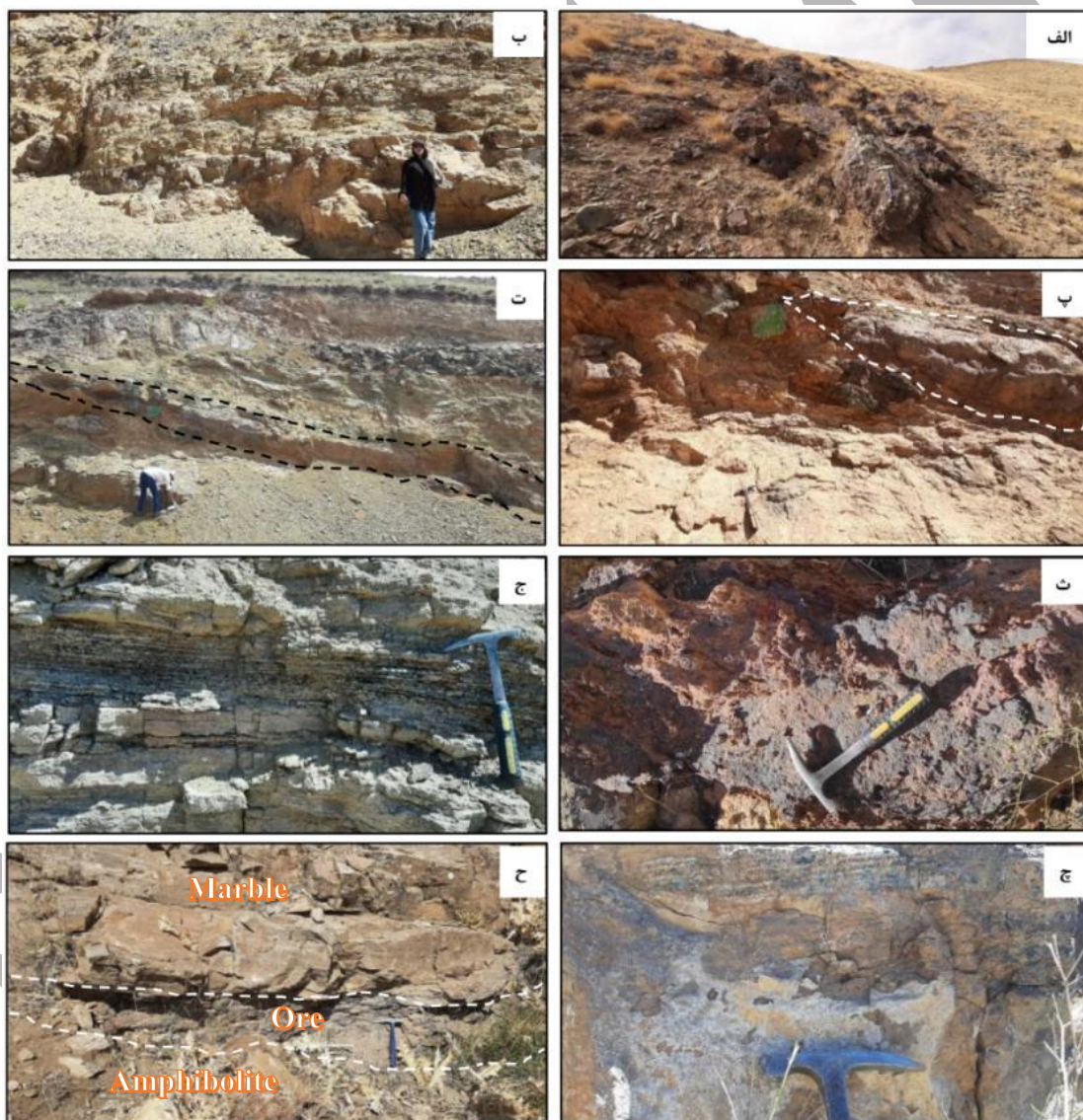


شکل ۵ تصاویر میکروسکوپی از نمونه‌های اسکارن معدن مس (سرب-روی) قوزلو. الف) بلورهای پیروکسن (Px) همراه با اپیدوت (Ep) با فابریک گرانوبلاستیک؛ ب) بلورهای خودشکل گارنت (Grt) در زمینه متشکل از پیروکسن و کوارتز (Qtz) با فابریک گرانوبلاستیک؛ پ) تشکیل اپیدوت با فابریک گرانوبلاستیک که توسط رگچه کربناتی (Cb) قطع شده است؛ ت) تشکیل کوارتز به همراه پیروکسن، اپیدوت و کربنات با فابریک گرانوبلاستیک؛ 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 شده 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 متشکل از کربنات‌های اکسید آهنی، نور عبوری XPL.

کانه‌زایی

براساس شواهد صحرایی و در نگاه کلی، کانه‌زایی در معدن قوزلو از روند لایه‌بندی تبعیت می‌کند. مهم‌ترین کنترل کننده کانه‌زایی، میان‌لایه مرمری است و کانه‌زایی در کنتاکت آمفیبولیت‌های فرودیواره با میان‌لایه‌ی مرمر تشکیل شده است. زون‌های کانه‌دار به شدت سیلیسی و اپیدوتی شده است 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 مرمری، در اثر فرآیندهای سوپرژن به طور کامل اکسیده شده است 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).



شکل ۶ تصاویر صحرایی از ژئومتری و ساختار کانه‌زایی مس (سرب- روی) در کانه‌زایی قوزلو؛ الف) بخش کاملاً اکسیده (زون شسته شده) کانه‌زایی؛ ب) میان‌لایه 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 شیهه لامینه‌ای و شبه لایه‌ای؛ ح- کانه‌زایی در افق زیرین میان‌لایه‌ی مرمری با بافت و ساخت شبه لایه‌ای.

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، دانه-پراکنده، رگچه‌ای، برشی و نواری تشکیل شده است (شکل ۷ و شکل ۸). کانه‌های اصلی شامل کالکوپیریت، گالن، اسفالریت، پیریت و هماتیت (اسپیکولاریت) هستند. کانی‌های ثانویه حاصل از فرایند سوپرژن شامل سروزیت، اسمیت‌زونیت، کوولیت، کالکوسیت، گوتیت، آزوریت و ملاکیت 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 می‌باشد. کالکوپیریت، پیریت، گالن و اسفالریت از مهم‌ترین کانه‌های همراه با این ساخت و بافت می‌باشند (شکل ۷- الف، ب).

بافت و ساخت برشی

این بافت و ساخت در کانسار قوزلو شاخص می‌باشد. کالکوسیت و کالکوپیریت از مهم‌ترین کانه‌های همراه با این ساخت و بافت می‌باشند. البته بدلیل دگرسانی کالکوپیریت و تبدیل آن به مجموعه‌ای از کانه‌های اکسید آهن و کالکوسیت،

به رنگ تیره دیده می‌شود. در فضای بین قطعات سیلیسی کانه‌های سولفیدی قرار گرفته است (شکل ۷- ت، ث).

بافت و ساخت دانه پراکنده

این ساخت و بافت در نمونه‌های مرتبط با مغزه‌ها مشاهده می‌شود. در رخنمون سطحی، کالکوپیریت با بافت دانه پراکنده در آمفیبولیت‌های اپیدوتی دیده می‌شود (شکل ۸- ث، خ).

بافت و ساخت توده‌ای

این ساخت و بافت را می‌توان هم در نمونه‌های دستی و نیز در رخنمون کانسار مشاهده نمود. کانه‌های شاخص در بخش-هایی که این بافت و ساخت را دارند، شامل کالکوپیریت، اسفالریت، گالن، کالکوسیت، اسمیت‌زونیت، آزوریت و ملاکیت می‌باشد. شکل (۸- ب) نمونه دستی از کانسنگ با بافت توده‌ای و لامینه‌ای را نشان می‌دهد.

بافت و ساخت رگه و رگچه‌ای

این ساخت و بافت را می‌توان هم در نمونه‌های دستی و نیز در رخنمون کانسار مشاهده نمود. کانه‌های شاخص آن، شامل کالکوپیریت، گالن، کالکوسیت، آزوریت و ملاکیت می‌باشد (شکل ۷- پ و شکل ۸- چ).



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 کالکوپیریت و ملاکیت) 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 ملاکیت 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 لامینه کانه‌زایی اسفالریت و گالن در سنگ میزبان کربناتی سیلیسی شده؛ ت) اسفالریت، گالن و کالکوپیریت با بافت دانه پراکنده در زمینه کربناتی؛ ث) تشکیل اسفالریت با بافت دانه پراکنده در زمینه سیلیسی؛ ج) تشکیل کالکوپیریت با بافت لامینه‌ای تا شبه لامینه‌ای؛ چ) تشکیل هماتیت با بافت رگچه‌ای و پراکنده در زمینه؛ خ) تشکیل کالکوپیریت با بافت دانه پراکنده در بخش آمفیبولیت متاسوماتیزه، (Gn: گالن، Ccp: کالکوپیریت، Cb: کربنات، Qz: کوارتز، Sp: اسفالریت).

دگرسانی

بطور کلی انواع دگرسانی در کانه‌زایی مس-سرب-روی قوزلو شامل کربن‌زدایی، اکتینولیتی-اپیدوتی‌شدن، کربناتی‌شدن و سیلیسی‌شدن است و دگرسانی اکتینولیتی-اپیدوتی، محصول تبدیل کانی‌های کالک‌سیلیکاته بی‌آب (گارنت و کلینوپیروکسن) به کانی‌های کالک‌سیلیکاته 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 (اسپیکیولاریت) هستند. این کانه‌ها براساس سنگ میزبان و زون‌بندی کانیایی به ۵ دسته به شرح زیر قابل تفکیک هستند: 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 (اسپیکیولاریت).

کالکوپیریت: مهم‌ترین و فراوان‌ترین کانه درونزاد در معدن قوزلو، کالکوپیریت است. در طی چندین مرحله و در تمامی مراحل کانه‌زایی درونزاد، این کانه با بافت دانه پراکنده، توده‌ای، لامینه‌ای و رگچه‌ای تشکیل شده است. شواهد بافتی نشان می‌دهد، کالکوپیریت توده‌ای بلورهای شکل‌دار پیریت را احاطه کرده است (شکل ۹-الف) و همچنین کالکوپیریت در داخل بلور شکل‌دار کوارتز به دام افتاده و کالکوپیریت‌های فاز تأخیری بلورهای کوارتز را احاطه کرده‌اند (شکل ۹-الف). اذخال‌های کالکوپیریت در داخل گالن دیده می‌شود و نشان دهنده تشکیل کالکوپیریت قبل از گالن می‌باشد. شواهدی از هم‌رشدی کالکوپیریت با گالن و اسفالریت در برخی از نمونه‌های وجود دارد. گروه دیگر کالکوپیریت به صورت اذخال در داخل اسفالریت‌ها تشکیل شده است. در سنگ میزبان آمفیبولیت متاسوماتیزه، کالکوپیریت با بافت دانه‌پراکنده و به همراه

هماتیت ورقه‌ای (اسپیکیولاریت) تشکیل شده و در سنگ میزبان آهک مرمری، کالکوپیریت با بافت رگچه‌ای تشکیل شده است.

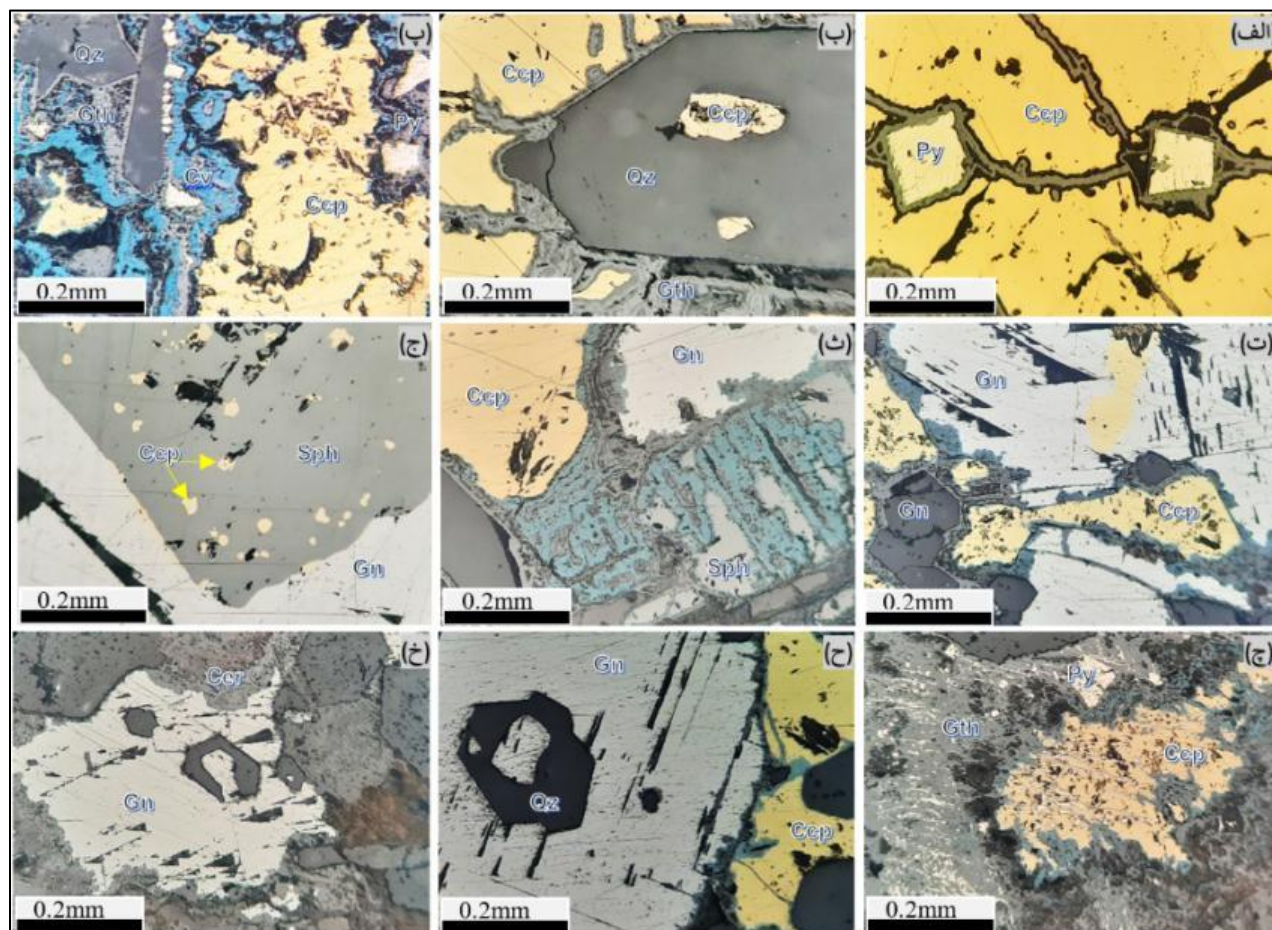
اسفالریت: مهم‌ترین و اصلی‌ترین کانه‌ی درونزاد روی در کانه‌زایی قوزلو بوده و غالباً در سنگ میزبان کربناتی با بافت توده‌ای، دانه‌پراکنده و شبه لامینه‌ای تشکیل شده است. دارای هم‌رشدی با کانه‌های کالکوپیریت، گالن و پیریت است. برخی از بلورهای اسفالریت، عاری از هرگونه اذخال هستند، ولی بعضی از آنها اذخال‌های کالکوپیریتی را در خود دارند (شکل ۹-ج). اذخال‌های کالکوپیریتی در برخی از بلورها به صورت پراکنده در تمامی سطح دیده می‌شوند و در بعضی از آنها در حاشیه و محل رشد بلورها به صورت زون‌بندی دیده می‌شوند. برخی از اسفالریت‌ها به کانی‌های ثانویه اسمیت‌زونیت، همی-مورفیت و کالکوسیت دگرسان شده‌اند (شکل ۹-ث).

گالن: مهم‌ترین کانه سرب بوده و با کانه‌های اسفالریت و کالکوپیریت دارای هم‌رشدی است. کالکوپیریت را احاطه کرده است و نشان دهنده تشکیل کالکوپیریت قبل از گالن می‌باشد. اذخال‌هایی از گالن در داخل بلورهای کوارتز شکل‌دار دیده می‌شود (شکل ۹-ح) که در ادامه تبلور کانی‌ها، بلور کوارتز حاوی اذخال گالن، توسط گالن احاطه شده است (شکل ۹-خ) و در برخی بخش‌ها گالن با کوارتز دارای هم‌رشدی است. گالن در برخی از نمونه‌ها به صورت اذخال در داخل کالکوپیریت و اسفالریت دیده می‌شود. گالن با بافت رگچه‌ای در سنگ میزبان آهک مرمری نیز تشکیل شده است.

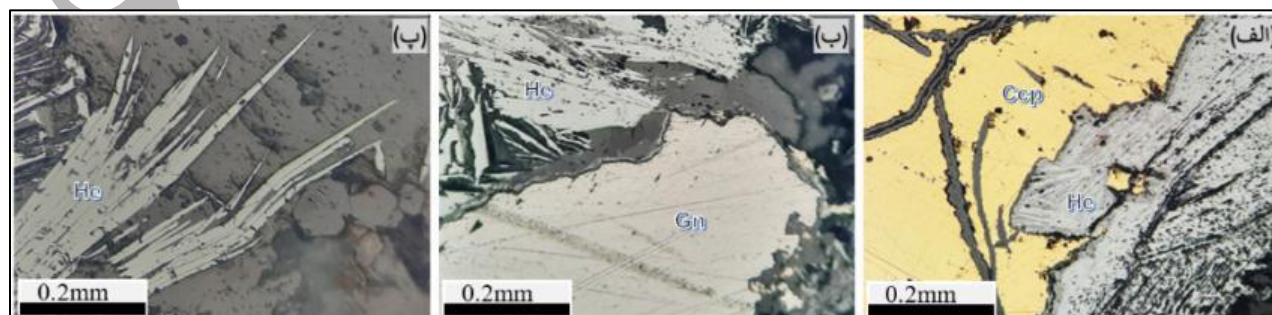
پیریت: پیریت به صورت شکل‌دار تا نیمه شکل‌دار با بافت دانه‌پراکنده تشکیل شده است. برخی از آنها در داخل کالکوپیریت، گالن و اسفالریت هستند و نشان دهنده تشکیل پیریت قبل از کانه‌های میزبان خود است و در برخی از بخش‌ها پیریت در حاشیه‌های این کانی‌ها دیده می‌شود و دارای هم‌رشدی هستند. پیریت‌های فاز تأخیری با 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
متاسوماتیزه و طی مراحل نهایی کانه‌زایی درون‌زاد با بافت دانه-
پراکنده، شعاعی (شکل ۱۰- پ) و رگچه‌ای به صورت جان‌شینی



شکل ۹) تصاویر مطالعات میکروسکوپی کانه‌های کانسار مس (سرب- روی) قوزلو در نور انعکاسی، الف) بلور شکل‌دار پیریت (Py) در داخل کالکوپیریت (Ccp)؛ ب) بلور کوارتز حاوی اذخال کالکوپیریت توسط فاز تأخیری کالکوپیریت احاطه شده است؛ پ) کالکوپیریت حاوی اذخال پیریت و دگرسان شده به کالکوسیت و کوولیت (Cv)؛ ت) کالکوپیریت توسط گالن (Gn) احاطه شده است؛ ث) هم‌رشدی گالن، کالکوپیریت و اسفالریت (Sph) و دگرسانی آنها به کانی‌های ثانویه؛ ج) اذخال‌های کالکوپیریت در داخل اسفالریت و تشکیل گالن در حاشیه اسفالریت؛ چ) تشکیل پیریت در شکستگی‌های کالکوپیریت؛ ح) گالن محصور در بلور کوارتز (Qz) که توسط گالن تأخیری احاطه شده و با کالکوپیریت دارای هم‌رشدی است؛ خ) هم‌رشدی کوارتز و گالن و تبدیل گالن به سروزیت (Cer).



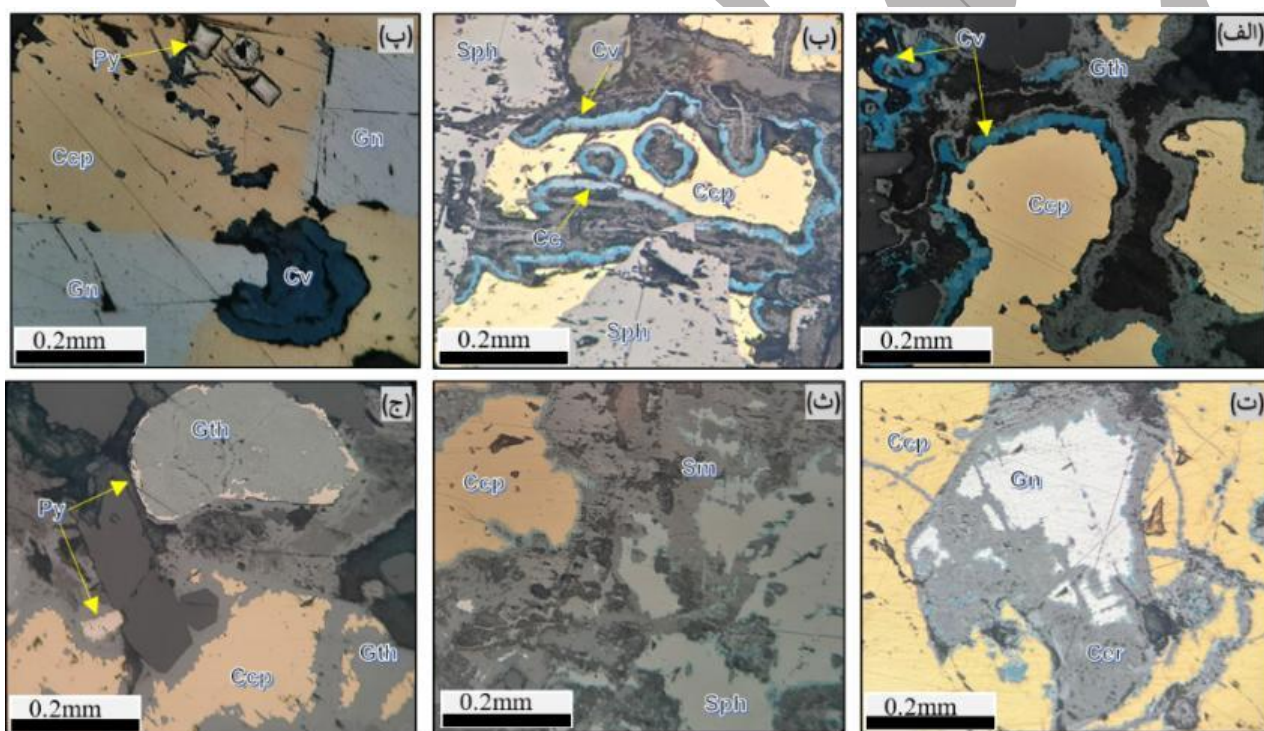
شکل ۱۰) تصاویر مطالعات میکروسکوپی کانه‌های کانسار مس (سرب- روی) قوزلو در نور انعکاسی، الف) تشکیل هماتیت (He) ورقه‌ای در کنار

کالکوپیریت (Ccp)؛ ب) تشکیل هماتیت در کنار گالن (Gn)؛ پ) تشکیل هماتیت ورقه‌ای با بافت شعاعی.

کانه‌های سوپرژن

از مهم‌ترین کانی‌های سوپرژن در این معدن می‌توان به کالکوسیت، کوولیت، آزوریت، مالاکیت، اسمیت‌زونیت، همی‌مورفیت، سرروزیت، آنکلیزیت، هماتیت و گوتیت اشاره نمود که حاصل دگرسانی کالکوپیریت، اسفالریت، گالن و پیریت هستند. به دلیل اینکه مس در معدن قوزلو دارای فراوانی غالب می‌باشد و به عنوان کانهازایی اصلی این معدن مطرح است، بنابراین کانی‌های سوپرژن مس دارای بیشترین

گسترش هستند. از جمله آنها می‌توان به کالکوسیت، کوولیت، آزوریت، مالاکیت اشاره کرد. جانشینی کالکوسیت و کوولیت به جای کانهای کالکوپیریت، اسفالریت و گالن به خوبی در تصاویر مینرالوگرافی مشهود هستند. تبدیل اسفالریت و گالن به کالکوسیت نشان می‌دهد که این کانها در ترکیب خود دارای محتوای مس بالایی بوده‌اند و حضور ادخال‌های کالکوپیریت در داخل اسفالریت شاهی بر این ادعاست.



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 سرروزیت (Cer)؛ ث) جانشینی اسفالریت با کالکوسیت و اسمیت‌زونیت (Sm) و جانشینی کالکوپیریت با کالکوسیت و گوتیت؛ ج) جانشینی پیریت و کالکوپیریت با گوتیت. علائم اختصاری کانی‌ها از [۲۲].

کالکوپیریت، پیریت، گالن و اسفالریت در سنگ میزبان کربناتی شدیداً سیلیسی تشکیل شده‌اند و این بافت می‌تواند مرتبط با کانهازایی همزاد (نوع VMS) با سنگ میزبان باشد. در برخی از بخش‌های سنگ کربناتی که تحت تأثیر فرایندهای اسکارنی قرار گرفته است، کانهازایی مس (سرب و

براساس مطالعات صحرایی و آزمایشگاهی، کانهازایی مس (سرب و روی) در این منطقه حداقل در دو شرایط و محیط متفاوت همزاد و غیرهمزاد با سنگ میزبان دگرگونی تشکیل شده است. براساس شواهد ساخت و بافت، برخی از نمونه‌ها دارای بافت شبه لایه‌ای و لامینه‌ای بوده و متشکل از کانهای

روی) با بافت دانه‌پراکنده تشکیل شده است. برخی از بخش‌های کانسنگ با میزبان کربناتی، به شدت سیلیسی شده است و بافت برشی را نشان می‌دهند و منطبق با کانه‌زایی غیرهمزاد با سنگ میزبان می‌باشد و شاهد دیگر آن، کانه‌زایی کالکوپیریت و همچنین اسپیکیولاریت همراه با اکتینولیت، اپیدوت و بقایای پیروکسن است که نشان دهنده کانه‌زایی غیر همزاد با سنگ میزبان می‌باشد.

بررسی میانبارهای سیال

برای انجام مطالعات میانبارهای سیال در کانه‌زایی مس-سرب و روی قوزلو، کانی اسفالریت و همچنین کانی کوارتز مرتبط با کانه‌زایی، مورد مطالعه قرار گرفت. نمونه‌های اسفالریت از کانسنگ لامینه‌ای و توده‌ای و نمونه کوارتز از بخش مرمر سیلیسی کانه‌دار و بخش اسکارنی متشکل از بلورهای کوارتز شکل‌دار و همزمان با کانه‌زایی انتخاب گردید.

۱-۱- پتروگرافی میانبارهای سیال

رایج‌ترین شکل میانبارهای سیال در نمونه‌ها، انفرادی و دنباله‌ای 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).

میانبارهای سیال ثانویه که بیشتر در ترک‌ها و شکستگی‌های کوچک درون بلورها گسترش یافته‌اند، به صورت تک ردیفی و چند ردیفی در کنار هم مشخص هستند (شکل ۱۲-ب). شکل میانبارهای سیال گاهی با ویژگی‌های بلورشناسی کانی میزبان کنترل می‌شود [۲۳]. برای بررسی‌های ریزدما سنجی از میانبارهای سیال اولیه استفاده

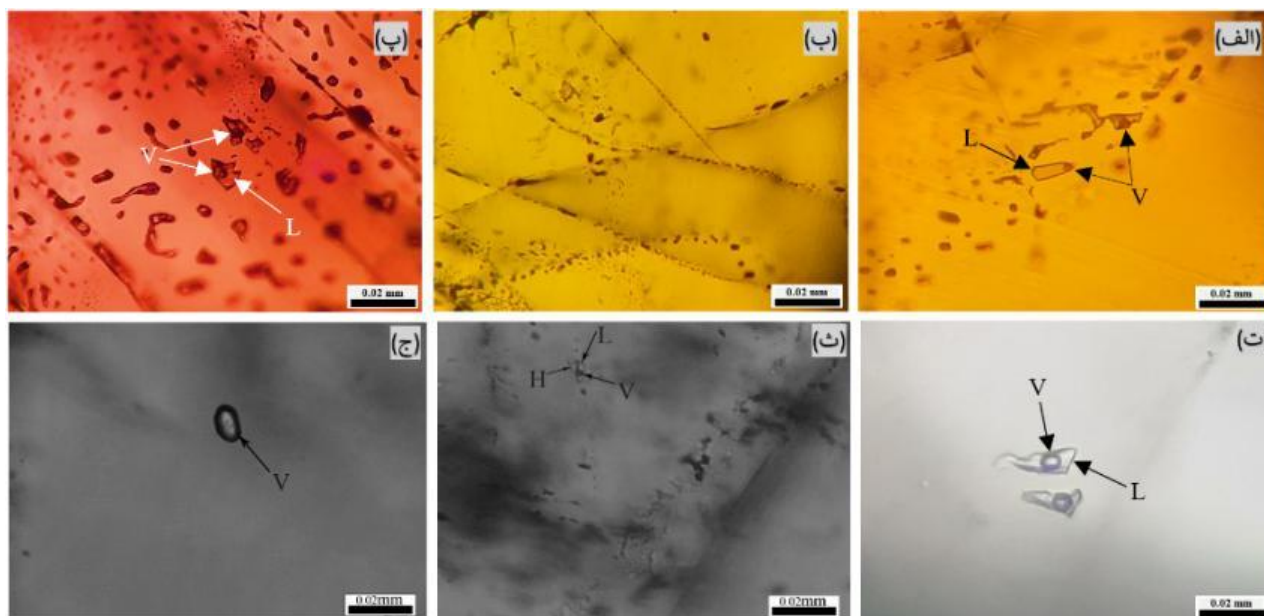
شد، زیرا میانبارهای سیال ثانویه هیچ دانشی از ماهیت سیال در زمان تشکیل سیال ارائه نمی‌کنند [۲۴]. برای رده‌بندی میانبارهای سیال بر اساس نسبت‌های مختلف فازهای جامد، مایع و گاز از روش رایج نش [۲۵] استفاده شد. بر اساس سنگ‌نگاری انجام شده برای ۵ نمونه، سه نوع سیال درگیر تشخیص داده شد که در ادامه بیان می‌شوند.

میانبارهای سیال اسفالریت

بر اساس مطالعات میکروسکوپی، میانبارهای سیال از نظر شکل به صورت شکل‌دار تا بی‌شکل در اسفالریت‌ها وجود دارند و ابعاد آنها از کوچکتر از ۲ میکرومتر تا بزرگتر از ۳۵ میکرومتر متغیر است. بر اساس ژنز، میانبارهای سیال موجود در اسفالریت‌های قوزلو، از نوع اولیه (شکل ۱۲-الف، پ)، ثانویه (شکل ۱۲-ب) و ثانویه کاذب هستند و بر اساس فاز تشکیل دهنده، میانبارهای سیال تک فاز گازی (V)، میانبارهای سیال تک فاز مایع (L)، دوفازی مایع-گاز غنی از گاز (V-L) و دوفازی مایع-گاز غنی از مایع (L-V) دسته‌بندی می‌شوند.

میانبارهای سیال کوارتز

بر اساس مطالعات میکروسکوپی، میانبارهای سیال از نظر شکل به صورت شکل‌دار تا بی‌شکل در کوارتزهای همزمان با کانه‌زایی وجود دارند و ابعاد آنها از کوچکتر از ۲ میکرومتر تا بزرگتر از ۳۰ میکرومتر متغیر است. بر اساس ژنز، میانبارهای سیال موجود در کوارتزهای قوزلو، از نوع اولیه، ثانویه و ثانویه کاذب هستند و بر اساس فاز تشکیل دهنده، میانبارهای سیال تک فاز گازی (V)، میانبارهای سیال 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) دسته‌بندی می‌شوند (شکل ۱۲-ت، ث، ج). بر اساس شکل بلوری، کانی نوزاد موجود در میانبار سیال کوارتز، هالیت است.



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

مطالعات میکروترمومتری در شکل ۱۳ (الف و ب) نشان داده شده است.

میکروترمومتری میانبرهای سیال کانی کوارتز

در مطالعات ترمومتری تعداد ۳۱ سیال درگیر مورد مطالعه قرار گرفتند. معمولاً اولین نقطه ذوب یخ یا یوتکتیک بیشتر از محدوده ۲۱- درجه مشاهده گردید. ذوب بلورهای یخ با وضوح بسیار خوب در محدوده دمایی ۱/۵- تا ۱۷/۵- درجه سانتی- گراد مشاهده گردید و بر این اساس شوری میانبرهای سیال در طیف گسترده‌ای از ۲/۵ تا ۴۴/۵ درصد وزنی معادل NaCl و با بیشتر فراوانی در محدوده ۲/۵ تا ۲۰ درصد وزنی معادل NaCl متغیر است. دمای همگن شدن به فاز مایع در محدوده- ی دمایی ۱۵۵ الی ۵۷۰ درجه سانتیگراد و با بیشترین فراوانی در محدوده ۲۵۰ الی ۴۵۰ درجه سانتی-گراد ثبت گردید. نتایج حاصل از مطالعات میکروترمومتری در شکل ۱۳ (پ، ت) نشان داده شده است.

منشأ میانبرهای سیال با میزبان کانی اسفالریت

با ترسیم کردن داده‌های دما و شوری میانبرهای سیال موجود در کانی اسفالریت معدن قوزلو در نمودار تعیین منشأ، منشأ سیال موثر در تشکیل کانه‌زایی، ترکیبی از سیالات

میکروترمومتری میانبرهای سیال کانسار قوزلو

بررسی میکروترمومتری میانبرهای سیال عبارت از مطالعه غیرمخرب مقاطع مورد نظر برای تعیین دمای اولین ذوب (T_e)، دمای نهایی ذوب یخ (T_m) و دمای همگن شدن سیالات (homogenization temperature) است که بر این اساس می‌توان میزان شوری و دمای سیالات کانه‌دار را به‌دست آورد. این فرایند توسط عملیات سرد کردن (Freezing) و گرم کردن (Heating) انجام می‌پذیرد. داده‌های به دست آمده از میکروترمومتری میانبرهای سیال کانسار قوزلو در جدول ۱ آمده است.

میکروترمومتری میانبرهای سیال کانی اسفالریت

در مطالعات میکروترمومتری تعداد ۲۵ سیال درگیر مورد مطالعه قرار گرفتند. معمولاً اولین نقطه ذوب یخ یا یوتکتیک بیشتر از محدوده ۲۱- درجه مشاهده گردید. ذوب بلورهای یخ با وضوح بسیار خوب تا محدوده دمایی ۱/۸- تا ۴/۵- درجه سانتی-گراد مشاهده گردید و بر این اساس شوری میانبرهای سیال از حدود ۲/۵ تا ۷/۵ درصد وزنی معادل NaCl متغیر است. دمای همگن شدن به فاز مایع در محدوده دمایی ۱۴۵ الی ۳۴۴ درجه سانتیگراد و با بیشترین فراوانی در محدوده ۱۷۵ الی ۲۵۰ درجه سانتی-گراد ثبت گردید. نتایج حاصل از

دگرگونی، حوضه‌ای و جوی بدست آمد (شکل ۱۳-ج).

براساس داده‌های میکروترمومتری، دمای همگن شدن و

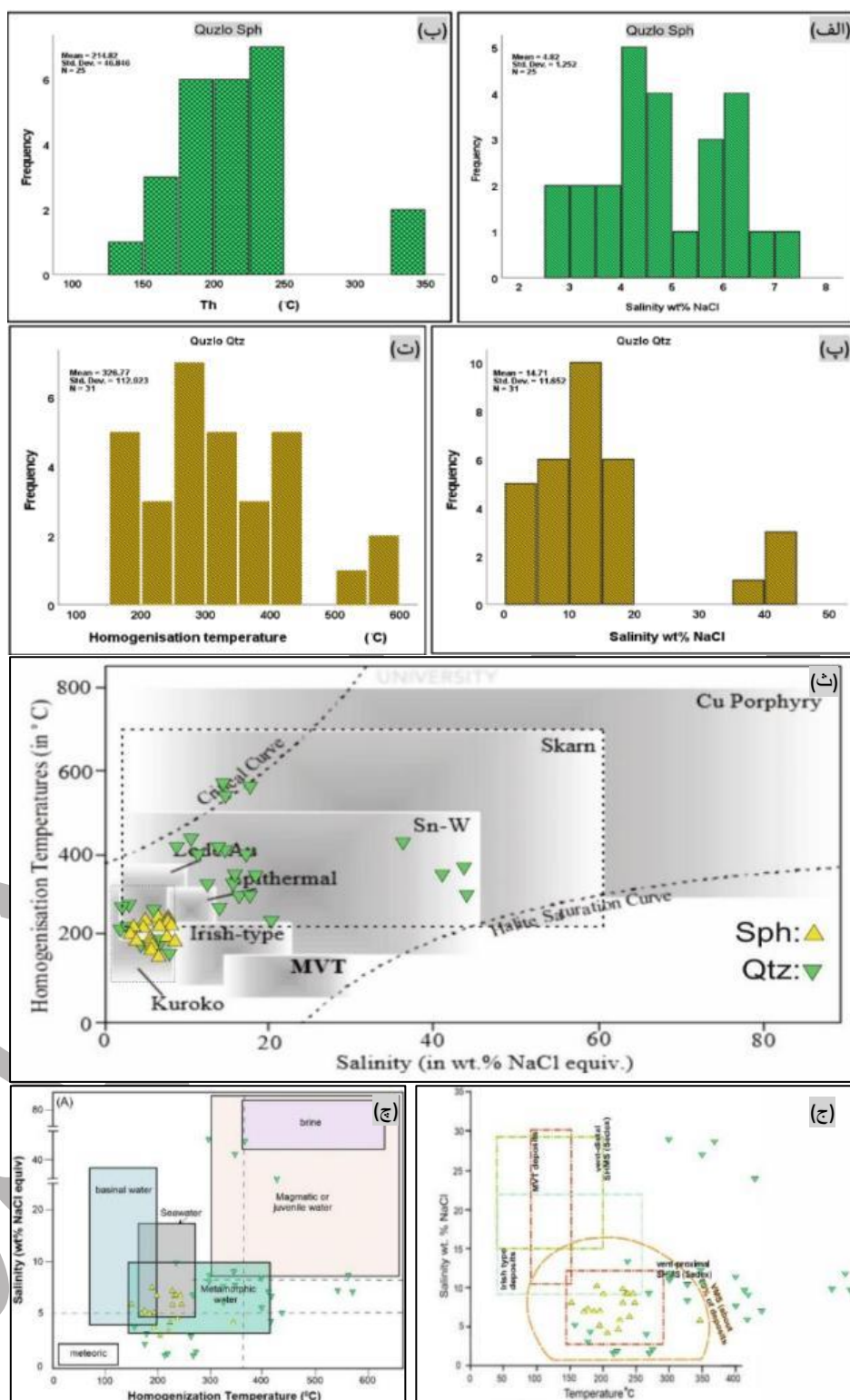
شوری اسفالریت و کوارتز اختلاف قابل توجهی دارد و حداقل دو جامعه آماری را ایجاد کرده است. با تلفیق مطالعات صحرایی و مطالعات میکرو سکویی با داده‌های میانبار سیال، اسفالریت و کوارتز با دما و شوری پایین با کانه‌زایی تیپ VMS و اسفالریت و کوارتز با دما و شوری بالا با تیپ اسکارنی مرتبط هستند (شکل ۱۳-ث).

منشأ میانبارهای سیال با میزبان کانی کوارتز

با ترسیم کردن داده‌های دما و شوری میانبارهای سیال موجود در کانی کوارتز معدن قوزلو در نمودار تعیین منشأ، منشأ سیال موثر در تشکیل کانه‌زایی، ترکیبی از سیالات دگرگونی، ماگمایی و جوی بدست آمد (شکل ۱۳-ج).

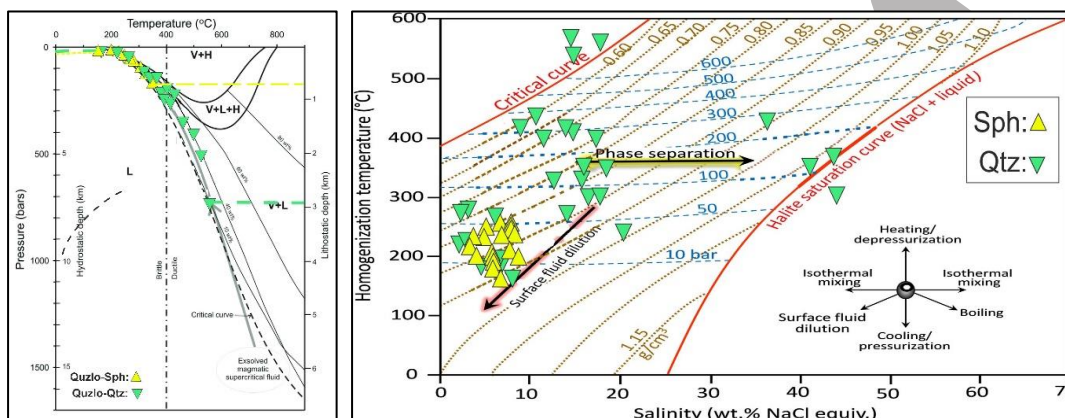
جدول ۱- داده‌های اندازه‌گیری شده از میانبارهای سیال اسفالریت و کوارتز کانسار مس (سرب- روی) قوزلو.

No.	Sample	Mineral	Type	Tm (Last) °C	Th (Total) (°C)	Salinity (wt% NaCl aq.)
1	Qu-4	Sphalerite	L+V	-2	218	3.22
2			L+V	-2.6	344	4.17
3			L+V	-1.9	201	2.91
4			L+V	-2.8	220	4.12
5			L+V	-2.4	188.7	3.69
6	Glu-5		L+V	-3	190	4.80
7			L+V	-3.5	243	5.62
8			L+V	-4	240	6.37
9			L+V	-4.5	185	7.10
10			L+V	-4	195	6.37
11			L+V	-3	165	4.85
12			L+V	-3.5	145	5.62
13			L+V	-3.1	171	5.01
14			L+V	-3	165	4.80
15			L+V	-3.5	225	5.62
16			L+V	-3	180	4.80
17			L+V	-4	233	6.30
18			L+V	-4	230	6.30
19			L+V	-2.7	235	4.30
20			L+V	-4.3	225	6.80
21	Qu-2		L+V	-2	217	3.27
22			L+V	-2.5	335	4.07
23			L+V	-1.8	210	2.95
24			L+V	-2.5	218.5	4.07
25			L+V	-2.2	188.1	3.59
26	Qlu-1		L+V	-2.8	176	4.50
27			L+V	-3.8	264	6.07
28			L+V	-1.7	220	2.70
29	Qlu-2		L+V	-1.4	215	2.30
30			L+V	-1.4	269	2.30
31			L+V	-1.8	273	2.90
32	Qlu-2	L+V	-4.2	180	6.60	
33		L+V	-5.1	155	7.90	
34		L+V	-4.1	180	6.52	
35	Qlu-3	L+V	-4	180	6.30	
36		L-V	-12	347	15.00	
37		L-V	-15	345	16.76	
38		V+L	-14.2	562	16.36	
39		L-V	-12	325	15.00	
40		L+V+H		365	44.10	
41		L-V	-14.2	298	16.36	
42		L-V	-10.7	570	13.99	
43		V+L	-13.7	397	16.09	
44		L-V	-10.8	410	14.07	
45		L-V	-5.8	415	8.84	
46		V+L	-7.9	398	11.30	
47		V+L	-10	415	13.38	
48		L-V	-12.8	298	15.54	
49		L-V	-17.5	235	17.61	
50		L+V+H		425	36.70	
51		L-V	-11	541	14.23	
52		V+L	-7.2	436	10.52	
53		L-V	-10.2	267	13.56	
54		L+V+H		347	41.60	
55		L-V	-8.9	325	12.34	
56		L+V+H		297	44.50	



شکل ۱۳) الف) هیستوگرام میزان شوری در کانی اسفالریت، ب) هیستوگرام دمای همگن شدن در کانی اسفالریت، پ) هیستوگرام میزان شوری در کانی کوآرتز، ت) دمای همگن شدن در کانی کوآرتز؛ ث) نمودار پراکندگی شوری و دمای همگن شدن میانبارهای سیال در کانی اسفالریت و کوآرتز، همراه با محدوده‌های تیپ MVT، Epithermal و Irish، ج) نمودار شوری در مقابل دمای همگن شدن در میانبارهای سیال و انطباق سیالات کوآرتز با کانسارهای اسکارنی، برگرفته از [۲۶]؛ چ) نمودار شوری در مقابل دمای همگن شدن در میانبارهای سیال و تفکیک منشأ میانبارهای سیال.

است (شکل ۱۴-الف). با توجه به دمای همگنی میانبرهای سیال در نمودار دما در برابر عمق [۲۷]، بیشینه عمق تشکیل میانبرهای سیال در کانه‌های اسفالریت، تقریباً برابر ۸۰۰ متر و بیشینه عمق تشکیل کوارتز، تقریباً برابر بر ۲۹۰۰ متر است. بخش عمده‌ی داده‌های کوارتز و اسفالریت، عمق کمتر از ۱ کیلومتر را به ثبت رسانده‌اند (شکل ۱۴-ب).



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

نتیجه‌گیری

داده‌های حاصل از مطالعات میکروسکوپی و میانبرهای سیال در کانه‌زایی مس، سرب و روی قوزلو نشان داد که:

۱- کانه‌های اصلی درون‌زاد شامل کالکوپریت، 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.

۲- شواهد کانی‌شناسی و بافتی نشان می‌دهد، کانه‌زایی دارای زون‌بندی کانیاپی بوده و کالکوپریت به عنوان کانه‌ی مبنا و اصلی، در تمامی مراحل کانه‌زایی حضور داشته است.

۳- میانبرهای سیال اولیه، ثانویه و ثانویه کاذب در داخل بلورهای اسفالریت مشاهده شدند که از نظر فراوانی، مقدار سیالات ثانویه کاذب کمتر از بقیه است.

۴- میانبرهای سیال، عمدتاً دوفازی (L+V) بوده که غنی از فاز مایع هستند و در کانی کوارتز، سیالات سه فازی با شوری بالا نیز مشاهده گردید.

۵- میانبرهای سیال اسفالریت دارای میزان شوری پایین (۲/۵ تا ۷/۵ درصد وزنی معادل NaCl) و سیالات با میزان کوارتز دارای گستره‌ی وسیعی از شوری (۲/۵ تا ۴۴/۵ درصد وزنی معادل NaCl) هستند.

۶- دمای همگن شدن برای میانبرهای سیال با میزان اسفالریت (۱۴۵ الی ۳۴۴ درجه سانتی‌گراد) و در میزان کوارتز (۱۵۵ الی ۵۷۰ درجه سانتی‌گراد) می‌باشد.

۷- با توجه به دیاگرام دمای همگن شدن در مقابل شوری کانسارهای مختلف، سیالات کانه‌ساز از نوع حوضه‌ای، دگرگونی و ماگمایی و نمونه‌های مطالعه شده در این کانسار در محدوده کانسارهای تیپ VMS و اسکارن قرار دارند. اختلاف دما و شوری سیالات کوارتز و اسفالریت، شاهدهی بر این ادعاست.

شواهد صحرایی، ساخت، بافت و کانی‌شناسی، از جمله

[7] Nouri, F., Mokhtari, M.A.A., Izadyar, J., Kouhestani, H., 2017. Geological and mineralogical characteristics of Alamkandi Fe deposit, west of Zanjan. 35th National Congress on Geosciences, Geological Survey of Iran, Tehran, Iran (In Persian with English abstract).

[8] Nouri, F., Mokhtari, M.A.A., Izadyar, J., Kouhestani, H., 2021. Geochemistry and petrogenesis of the Alamkandi granitoid body and Fe skarn (west of Mahnesan, Zanjan province). *Journal of Economic Geology* 13(3), 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., Oberhansli, R., Bousquet, R., Jahangiri, A., Ziemann, M., 2007a. Serpentine polymorphs and P-T evolution of meta-peridotites and serpentinites in the Takab area, NW Iran. *Mineralogical Magazine* 71(2), 155–174. <https://doi.org/10.1180/minmag.2007.071.2.203>

[10] Hajialioghli, R., Moazzen, M., Jahangiri, A., Droop, G.T.R., Bousquet, R., Oberhansli, R., 2007b. Petrogenesis of meta-peridotites in the Takab area, NW Iran. *Goldschmidt Conference Abstracts*, Cologne, Germany, A370.

[11] Hajialioghli, R., Moazzen, M., Jahangiri, A., Oberhansli, R., Mocek, B., Altenberger, U., 2010. Petrogenesis and tectonic evolution of metaluminous sub-alkaline granitoids from the Takab Complex, NW Iran. *Geological Magazine* 148(2), 250–268. <https://doi.org/10.1017/S0016756810000683>

[12] Saki, A., 2010. Proto-Tethyan remnants in northwest Iran: Geochemistry of the gneisses and metapelitic rocks. *Gondwana Research* 17(4), 704–714. <https://doi.org/10.1016/j.gr.2009.08.008>

[13] Saki, A., Moazzen, M., Oberhansli, R., 2011. P-T evolution of the Precambrian Metamorphic Complex, NW Iran: a study of metapelitic rocks. *Geological Journal* 46(1), 10–25. <https://doi.org/10.1002/gj.1236>

[14] Bakhshizad, F., Ghorbani, Gh., 2016. Geochemistry, Geochronology and Tectonic Setting of Metamorphic Rocks from the Zanjan-Takab Region. *Scientific Quarterly Journal of Geosciences* 25(97), 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., Oberhansli, R., Altenberger, U. and Jahangiri, A., 2013. Oligocene partial melting in the Takab metamorphic complex, NW Iran:

ساخت و بافت لامینه‌ای تا شبه‌لامینه‌ای و همروندی آن با سنگ میزبان، همچنین موقعیت میانبارهای سیال از نظر دما و شوری، نشان دهنده‌ی تشکیل کانه‌زایی همروند با سنگ میزبان و از نوع کنسارهای تیپ VMS می‌باشند. از طرفی حضور کانی‌های شاخص اسکارنی از جمله گارنت و پیروکسن در زون‌های کانه‌دار و دمای بالای سیالات کانه‌ساز تا ۵۷۰ درجه سانتی‌گراد در کانی کوارتز، تشکیل کانه‌زایی اسکارنی را در این منطقه تأیید می‌کنند. بنابراین به نظر می‌رسد، کانه‌زایی تیپ VMS در این منطقه تشکیل شده و تحت تأثیر توده‌های نفوذی پنجهان و سیالات حاصل از آن، کانه‌زایی اسکارنی (اسکارنوئیدی) تشکیل شده است.

قدردانی

نگارندگان مقاله از حمایت و پشتیبانی دانشگاه تبریز و همچنین مساعدت‌های شرکت زرجویان فلات قاره به جهت تأمین مالی انجام تحقیقات و در اختیار قرار دادن امکانات آزمایشگاهی میکروسکوپی، نهایت تشکر و قدردانی را دارند.

مراجع

[1] Stöcklin, J., 1968. Structural history and tectonics of Iran: a review. *American Association of Petroleum Geologists Bulletin*, 52, 1229–1258.

[2] Babakhani, A.R., Ghalamghash, J., 1996. Geological map of Takht-e-Soleyman, scale 1:100000. Geological Survey of Iran.

[3] Fonoudi, M., Hariri, A., 1999. Geological map of Takab, scale 1:100000. Geological Survey of Iran.

[4] Qazvinizadeh, A.M., 2005. Genesis of Alamkandi Pb–Zn deposit, Zanjan Province. M.Sc. thesis, University of Kharazmi, Tehran (In Persian with English abstract).

[5] Daliran, F., 2008. The carbonate rock-hosted epithermal gold deposit of Agdarreh, Takab geothermal field, NW Iran, hydrothermal alteration and mineralization. *Mineralium Deposita* 43(4): 383–404. <https://doi.org/10.1007/s00126-007-0167-x>

[6] Fallah Karimi, Z., 2011. Mineralogy and geochemistry of Qinarjeh Fe index (northeast of Takab, West Azerbaijan province). M.Sc. Thesis, Urmia University, Urmia.

minerals. *American Mineralogist* 95, 185–187.
<https://doi.org/10.2138/am.2010.3371>

[23] Nash J. T., 1976. 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., 1997. The Geology of Ore Deposits. WH Freeman and Company, 985p.

[26] Wilkinson, J.J., 2001. Fluid inclusions in hydrothermal ore deposits. *Lithos*, 55, 229–272.

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

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

[29] Haas JL (1971) The effect of salinity on the maximum thermal gradient of a hydrothermal system at hydrostatic pressure. *Economic Geology* 66, 940–46.

[30] Driesner T and Heinrich CA (2007) 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, 4880–901.

Evidence from in situ U-Pb geochronology. *Journal of Sciences, Islamic Republic of Iran* 24(3), 217–228.

[16] Sarkhoshi, A., Moazzen, M., Izadyar, J., 2014. Mineral chemistry and P-T estimation of formation of garnet schists, Mount Argon, Angouran Mine. *Quarterly Iranian Journal of Geology* 10(38), 47–57 (In Persian with English abstract).

[17] Alavi-Naini, M., and Hajian, J., 1982. Geology of Takab–Saein-Qaleh: Geological Survey of Iran Report No. 50, 99 p.

[18] Gilg, H. A., Boni, M., Balassone, G., Allen, C. R., Banks, D. and Moore, F., 2006- 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.

[19] Alavi, M., 1994. Tectonics of the Zagros orogenic belt of Iran: new data and interpretations. *Tectonophysics* 229, 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., 1997. Structure and Tectonic Evolution of Paleozoic-Mesozoic rocks, Sanandaj–Sirjan zone, Western Iran. Ph.D. thesis, University of Wollongong, Wollongong, Australia.

[21] Alavi, M., Amidi, M., 1976. Geological map of Takab, scale 1:250000. Geological Survey of Iran.

[22] Whitney, D.L., Evans, B.W., 2010. Abbreviations for names of rock-forming