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 Marangi[1], Mohammad Reza Hosseinzadeh [1*], Kamal Siahcheshm [1], Sajjad Maghfouri[2]

[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.

[Downloaded from ijcm.ir on 2025-07-10]

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

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 زمین شناسی 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، پارازنز کانیایی با داده‌های میانبارهای سیال، چنین استنباط می‌گردد که مرحله اول کانه‌زایی، همزاد با سنگ میزبان از نوع VMS تشکیل شده و سپس کانی سازی اسکارنی توسط سیالات برخاسته از توده نفوذی صورت گرفته است.

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

[Downloaded from ijcm.ir on 2025-07-10]

مقدمه

کانسار مس، سرب و روی قوزلو، در استان زنجان، در فاصله ۳۳ کیلومتری شمال‌غرب شهر دندی، در بین طول‌های جغرافیایی ´۱۴ °۴۷ تا ´۳۰ °۴۷ شرقی و عرض‌های جغرافیایی ´۳۹ °۳۶ تا ´۴۸ °۳۶ 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 حدودا 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 سنندج- 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 زمین شناسی و سنگ شناسی، بیشترین انطباق را با خرد قاره ایران مرکزی دارد.

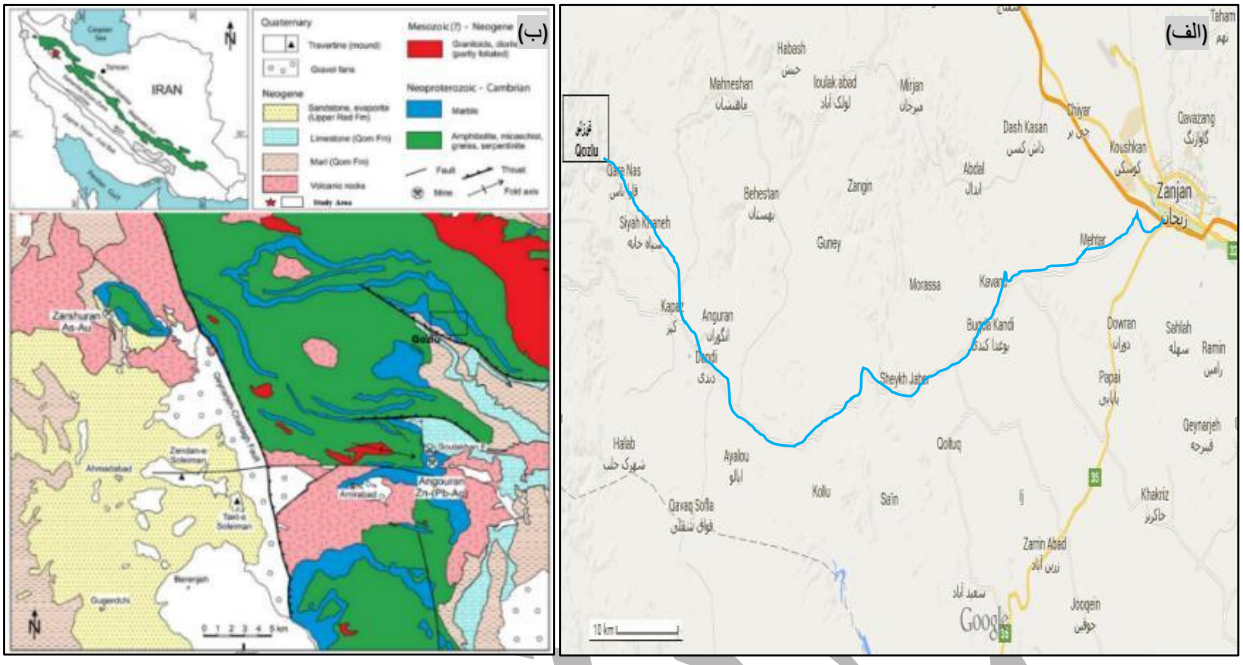
منطقه قوزلو بخشی از زیر پهنه تکاب- تخت‌سلیمان- انگوران است. این زیر پهنه به عنوان بخشی از پهنه سنندج- سیرجان، به طور عمده از سنگ‌های دگرگونی ناحیه‌ای (عمدتاً شامل انواع شیست‌ها، آمفیبولیت، گنیس و مرمر) به سن پرکامبرین و پالئوزوئیک؟ تشکیل شده است که در برخی مناطق، توده های گرانیتوئیدی مزوزوئیک (تریاس 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 عدسی‌شکل 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 سنگ شناسی، کانی شناسی و زمین شیمیایی برداشت شد و تعداد ۲۵ مقطع نازک،۵۰ مقطع نازک-صیقلی، ۱۰ مقطع صیقلی از نمونه‌ها تهیه شد. 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 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 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.

[Downloaded from ijcm.ir on 2025-07-10]

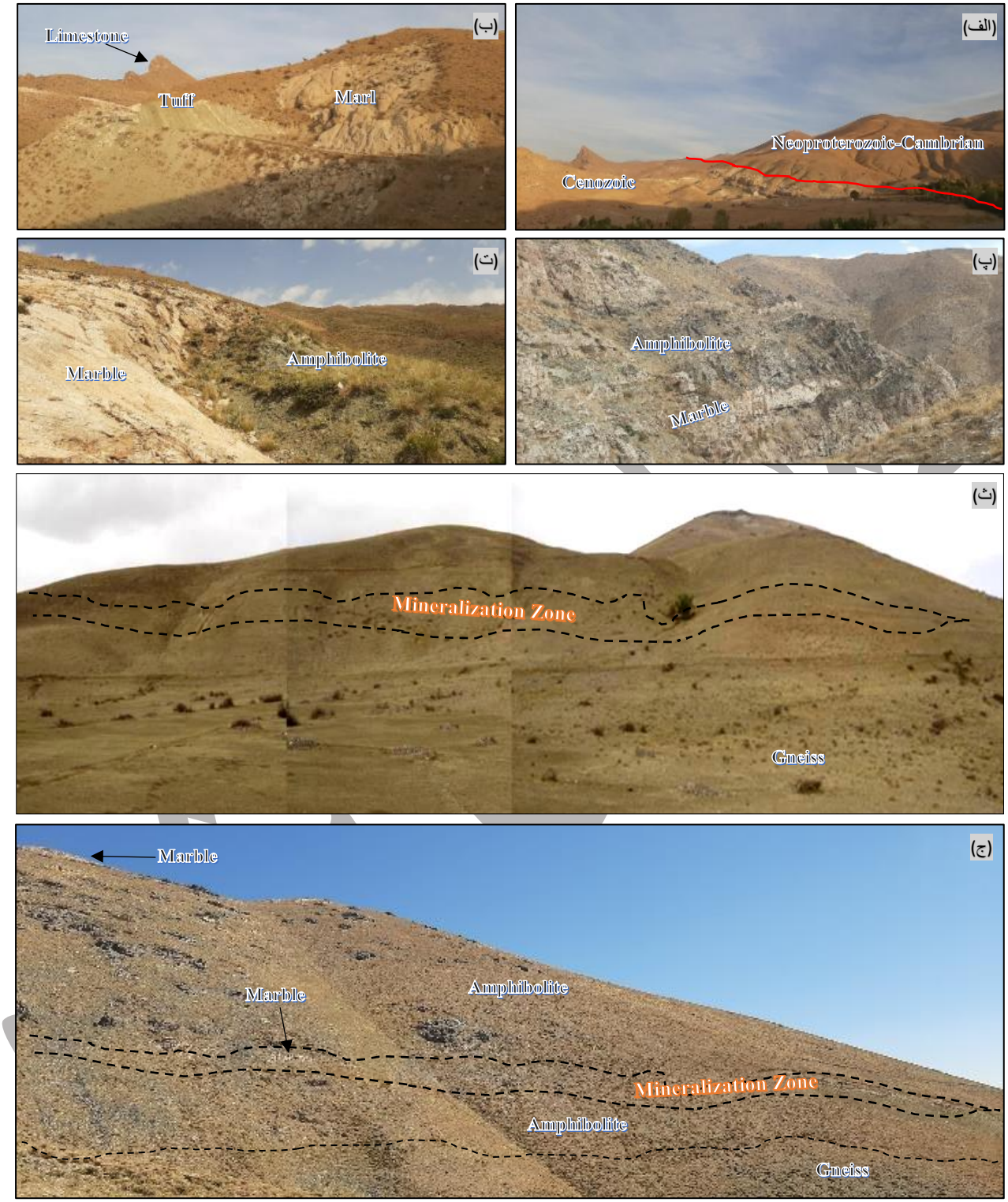


شکل ۱) الف- راه‌های دسترسی به محدوده مورد مطالعه (محدوده مورد مطالعه با کادر مشخص گردیده است)، ب- موقعیت کانسار قوزلو بر روی نقشه زمین‌شناسی ساده شده بر اساس نقشه‌های چهارگوش ۱:۲۵۰۰۰۰ تکاب [۱۷] و ورقه ۱:۱۰۰۰۰۰ تخت سلیمان [۲]، نسبت به کانسارهای زرشوران و انگوران در زون تکاب، بر گرفته از [۱۸].

زمین‌شناسی

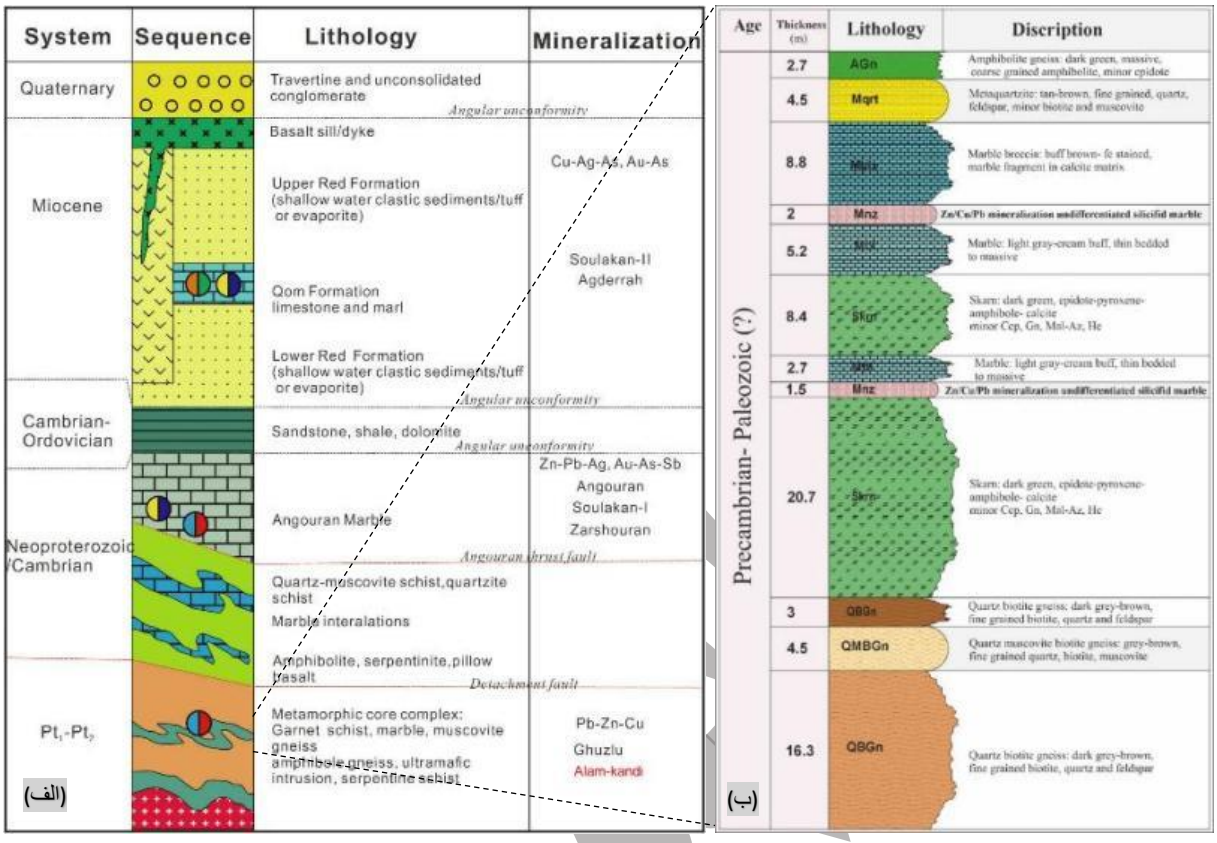
در تقسیم‌بندی پهنه‌های رسوبی- ساختاری ایران [۱۹]، منطقه قوزلو در زیرپهنه کاملاً دگرشکل شده از پهنه سنندج- سیرجان [۲۰] واقع شده است (شکل ۱). بطور کلی منطقه قوزلو در قسمت مرکزی و شمال چهارگوش ۱:۲۵۰۰۰۰ تکاب قرار دارد. سنگ‌های دو برهه زمانی پرکامبرین و الیگومیوسن بطور واضح در این ناحیه برونزدگی گسترده دارند. 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. مرمرهای با ضخامت ۱۰-۱۵ متر، مربوط به دوران پرکامبرین، به‌صورت 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 کنتاکت با سنگ‌های رسوبی و آذرآواری سنوزوئیک قرار گرفته‌اند (شکل ۲- الف). واحدهای سنوزوئیک متشکل از توف‌های اسیدی به همراه توالی مارن‌های رنگی، میان لایه‌های 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.

[Downloaded from ijcm.ir on 2025-07-10]



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 شرق)، ج- نمایی از رخنمون کانه‌زایی در بخش شمالی معدن قوزلو (دید به سمت شرق).

[Downloaded from ijcm.ir on 2025-07-10]



شکل ۳) الف- ستون چینه‌شناسی منطقه تکاب که سنگ‌های میزبان ذخایر معدنی اقتصادی را نشان می‌دهد (با تغییرات از [۳، ۱۹])، ب- ستون چینه شناسی معدن مس- سرب و روی قوزلو (بر اساس مطالعه مغزه‌های حفاری توسط نگارنده).

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.

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

[Downloaded from ijcm.ir on 2025-07-10]

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 گنیسوسیته 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).

موسکویت گنیس

در واحد موسکوویت گنیس، موسکوویت جزء 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 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 گنیسوسیته 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 میان‌لایه‌های مرمری، میزبان 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 به‌صورت واحدی مجزا تفکیک کرد. میان‌لایه‌های 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- ذ، 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 میکروسکوپی دارای فابریک گرانوبلاستیک می‌باشد (شکل ۴- د).

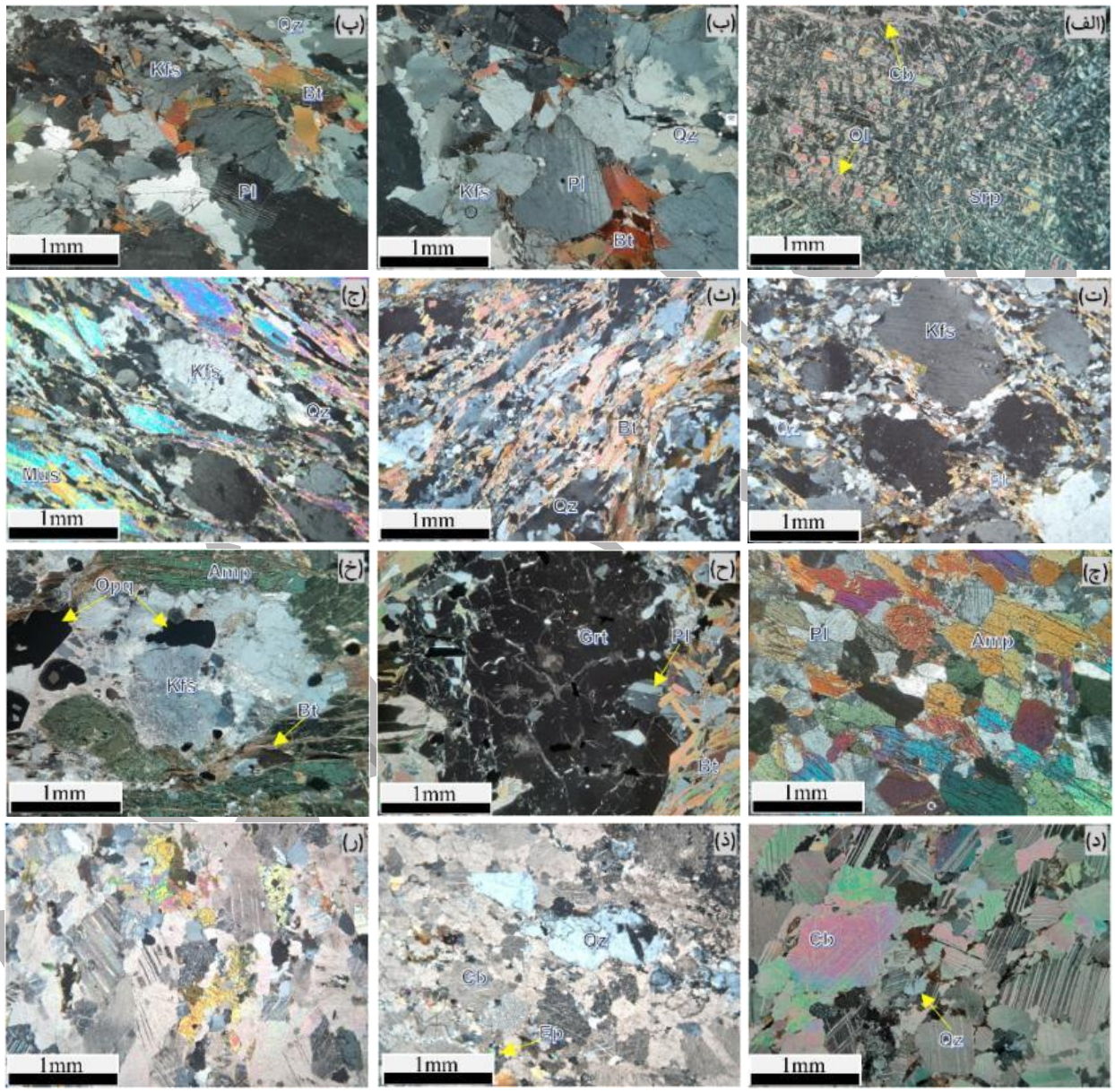
لیتولوژی سنگ میزبان کانه‌زایی

به‌طور کلی دو لیتولوژی اصلی الف) آهک‌های مرمری و ب) آمفیبولیت‌های اپیدوتی شده با میان لایه‌ی مرمری را می‌توان به‌عنوان 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

[Downloaded from ijcm.ir on 2025-07-10]

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.

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.



شکل ۴) تصاویر میکروسکوپی از لیتولوژی و میزبان کانه‌زایی مس- سرب و روی قوزلو. الف) بقایای الیوین 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 گنیسوسیته، 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) مرمر با فابریک گرانوبلاستیک، ذ) کوارتز مرمر، ر) اپیدوت کوارتز مرمر، علائم اختصاری کانی‌ها از [۲۲]. (Pl: پلاژیوکلاز، Amp: آمفیبول، Cb: کربنات، Qz: کوارتز، Px: پیروکسن، Grt: گارنت، Ep: اپیدوت، Bt: بیوتیت، Opq: کانی کدر).

[Downloaded from ijcm.ir on 2025-07-10]

پتروگرافی سنگ‌های دگرگونی مجاورتی و میزبان کانه‌زایی

بر ا ساس م شاهدات صحرایی و مطالعات میکرو سکوپی، شـواهد دگرگونی مجاورتی در سـنگ‌های میزبان کانی‌سـازی شده قابل م شاهده ا ست. رخنمون توده نفوذی در کنتاکت با کانه‌زایی د یده نمی‌شـود. آمفیبولیت در کنتاکت با میان لایه‌های مرمری، شـدیداً متاسـوماتیزه شـده و به اپیدوت دگرسـان شـده و میان لایه‌های مرمری شـدیداً سـیلیسـی شده‌اند. کانی‌های شاخص متا سوماتیک در این معدن شامل پیروکسـن، اپیدوت، آمفیبول، گار نت، کوارتز و کربنات ها هسـتند. بخش‌های متاسـوماتیزه را براسـاس پاراژنز کانیایی، می‌توان به اپیدوت اسـکارن، پیروکسـن اپیدوت اسـکارن، پیروکسـن آمفیبول اسـکارن، پیروکسـن گارنت اسـکارن، پیروکسن اپیدوت کوارتز کربنات اسکارن تفکیک کرد.

اپیدوت- پیروکسن-آمفیبول ا سکارن: کانی‌های اصلی شامل پیروکسـن، آمفیبول و اپیـدوت بوده و دارای فـابریـک گرانوبلاستیک است. فراوانی اپیدوت بیشتر از پیروکسن است. کوارتز و کربنات‌ها در فضای بین بلورهای اپیدوت و پیروکسن و همچنین در شـکسـتگی‌های بلورهای آمفیبول تشـکیل شده‌اند. در شکستگی‌های پیروکسن و آمفیبول، کربنات‌ها و کلریت تشکیل شده‌اند. شکستگی‌ها با کانی‌های کربناتی پر شـده‌اند. کانی‌های کدر ریز و بی‌شـکل به صـورت پراکنده در سنگ دیده می‌شوند (شکل ۵- الف، ب).

پیروکسن گارنت ا سکارن: کانی‌های ا صلی پیروکسن گارنت اسـکارن شـامل اپیدوت، پیروکسـن، کوارتز، گارنت و کربنات هسـتند و این زیرگروه اسـکارن دارای بافت گرانوبلاسـتیک اسـت. فراوانی پیروکسـن در این سـنگ بیشـتر از اپیدوت و گارنت است. کوارتز و کربنات‌ها در فضای بین بلورهای اپیدوت و پیروکسن تشکیل شده‌اند (شکل ۵- پ).

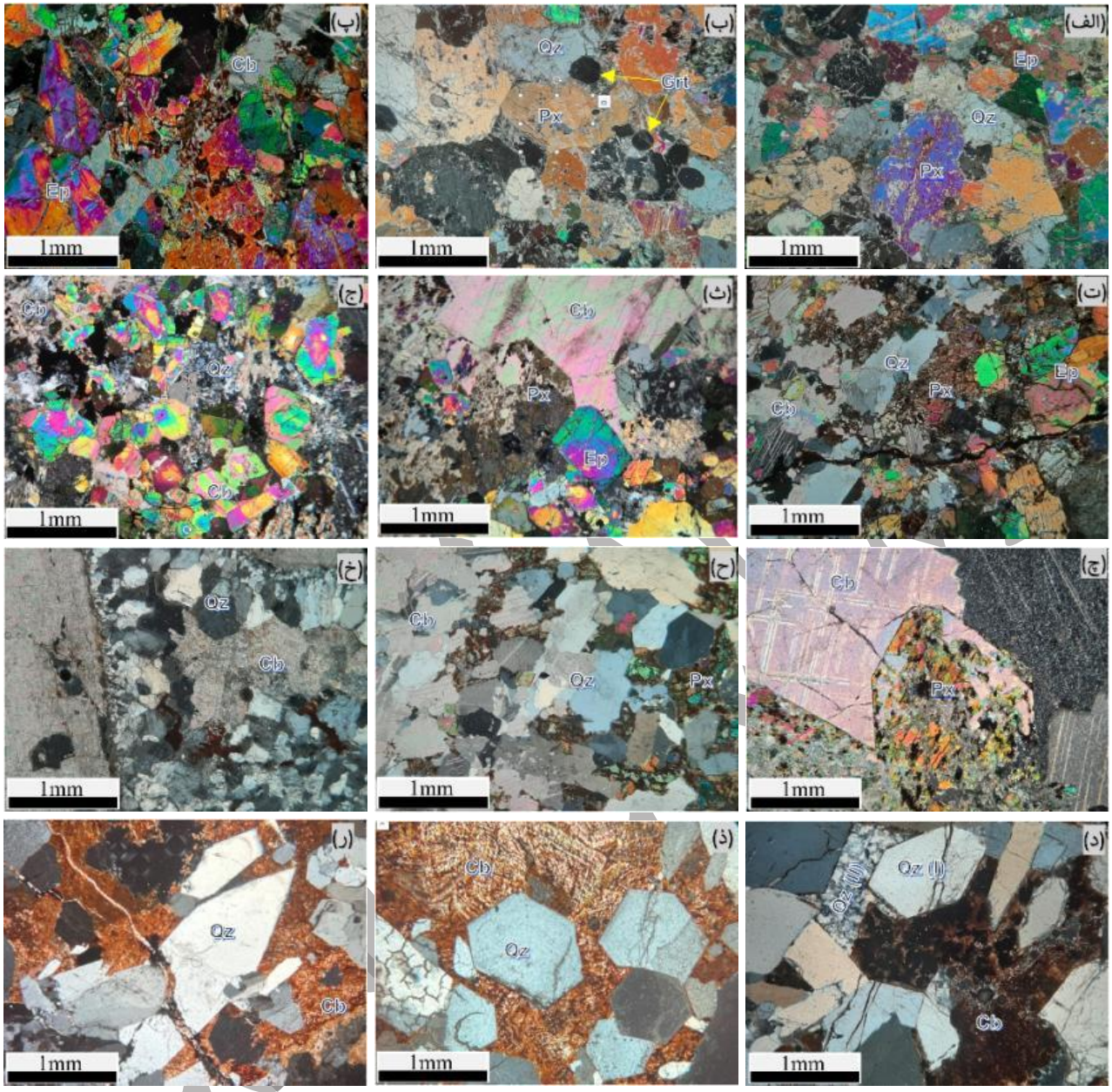
اپیدوت اسکارن: کانی‌های اصلی شامل اپیدوت، پیروکسن، کوارتز، ترمولیت/ اکتینولیت و کربنات هسـتند و این زیرگروه ا سکارن دارای بافت گرانوبلا ستیک ا ست. فراوانی اپیدوت در این سـنگ بیشـتر از پیروکسـن اسـت. کوارتز و کربنات‌ها در فضـای بین بلورهای اپیدوت و پیروکسـن و همچنین در شکستگی‌های بلورهای اپیدوت تشکیل شده‌اند (شکل ۵- ت، ث).

پیروکسن اپیدوت اسکارن: کانی‌های اصلی شامل پیروکسن و اپیدوت هسـتند و بافت گرانوبلاسـتیک نشـان می‌دهند. فراوانی پیروکسن بیشتر از اپیدوت ا ست. کوارتز و کربنات‌ها در فضـای بین بلورهای اپیدوت و پیروکسـن و همچنین در شـکسـتگی‌های بلورهای پیروکسـن تشـکیل شـده‌اند. در شکستگی‌های اپیدوت، کربنات‌ها و کلریت تشکیل شده‌اند. در این سنگ شکستگی‌هایی وجود دارد که با کانی‌های کربناتی پر شـده‌اند. کانه‌های کالکوپیریت، گالن، اسـفالریت و اسپیکیولاریت با بلورهای ریز و بی‌شکل به صورت پراکنده در سنگ دیده می‌شوند (شکل ۵- ج).

کوارتز-کربنات-پیروکسـن اسـکارن: کانی‌های اصـلی شـامل کوارتز و گارنت ناهمسانگرد با مقدار کمی پیروکسن و کربنات با فابریک گرانوبلاسـتیک اسـت. در شـکسـتگی‌های گارنت، کربنات ها و کلریت تشـکیل شـده‌اند. در این زیرزون شکستگی‌هایی وجود دارد که با کانی‌های کربناتی پر شده‌اند. کانی‌های کدر ریز و نیمه‌خودشـکل به صـورت پراکنده در سـنگ دیده می‌شـوند. کانی‌سـازی اصـلی در این زون شـامل گالن و همی‌مورفیت هستند (شکل ۵- چ، ح).

مرمر سـیلیسـی: کانی‌های اصـلی مرمر سـیلیسـی شـامل کلسیت، دولومیت و کوارتز است. میزبان اصلی کانه‌زایی است. کوارتز به صـورت بلورهای شـکل‌دار و به همراه کانه‌های سـولفیدی در زمینه کربناتی تشـکیل شـده اسـت. همچنین ادخال‌های کانه‌های سـولفیدی در داخل بلورهای شـکل‌دار کوارتز تشـکیل شـده اسـت. کانی‌های کربناتی در برخی از بخش‌ها سیمان بین بلورهای کوارتز را تشکیل داده و اغلب به هیدروکسـیدهای آهن آغشـته شـده‌اند. در بخش‌هایی از کانسنگ، کوارتز شکل‌دار با بافت شانه‌ای تشکیل شده ا ست (شکل ۵- خ تا ر).

[Downloaded from ijcm.ir on 2025-07-10]

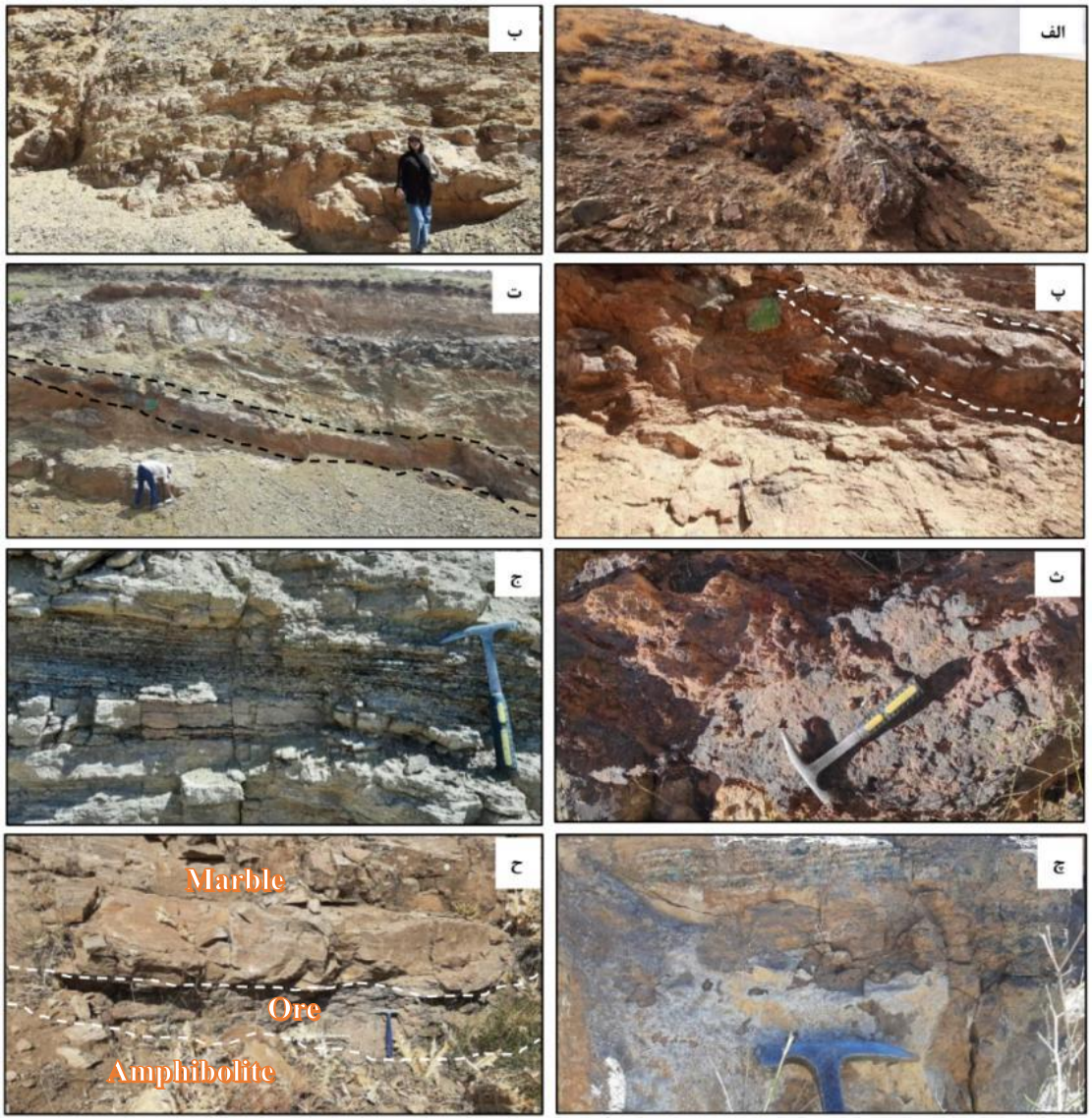


شکل ۵) تصاویر میکروسکوپی از نمونه‌های اسکارن معدن مس (سرب-روی) قوزلو. الف) بلورهای پیروکسن (Px) همراه با اپیدوت (Ep) با فابریک گرانوبلاستیک؛ ب) بلورهای خودشکل گارنت (Grt) در زمینه متشکل از پیروکسن و کوارتز (Qz) با فابریک گرانوبلاستیک؛ پ) تشکیل اپیدوت با فابریک گرانوبلاستیک که توسط رگچه کربناتی (Cb) قطع 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 (Qz II) در فضای بین بلورهای شکل‌دار کوارتز (Qz I)؛ ذ، ر) بلورهای شکل‌دار کوارتز در زمینه متشکل از کربنات‌های اکسید آهنی، نور عبوری XPL.

[Downloaded from ijcm.ir on 2025-07-10]

کانه‌زایی

براســـاس شـــواهد صـــحرایی 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 میان لایه‌ی مرمر تشـــکیل شـــده است. زون‌های کانه‌دار به شدت سیلیسی و اپیدوتی شده است به طوری که در رخنمون صـــحرایی، کوارتز بلورین به صـــورت پرکننده فضـــاهای خالی با بافت شـــانه‌ای و همچنین اپیدوت بلورین قابل مشاهده هستند. در رخنمون صحرایی، کانه‌زایی به صورت همروند با سنگ میزبان دگرگونی دیده می شود. در رخنمون سطحی، کانسنگ همروند با آمفیبولیت و میان لایه 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) 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 شبه لامینه‌ای و شبه لایه‌ای؛ ح- کانه‌زایی در افق زیرین میان لایه‌ی مرمری با بافت و ساخت شبه لایه‌ای.

[Downloaded from ijcm.ir on 2025-07-10]

ساخت و بافت ماده معدنی در کانسار قوزلو

براساس شواهد صحرایی و نمونه‌های دستی، کانه‌زایی در کانسار مس، سرب و روی قوزلو به‌صورت 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 (اسپکیولاریت) هستند. کانی‌های ثانویه حاصل از فرایند سوپرژن شامل سروزیت، 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 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

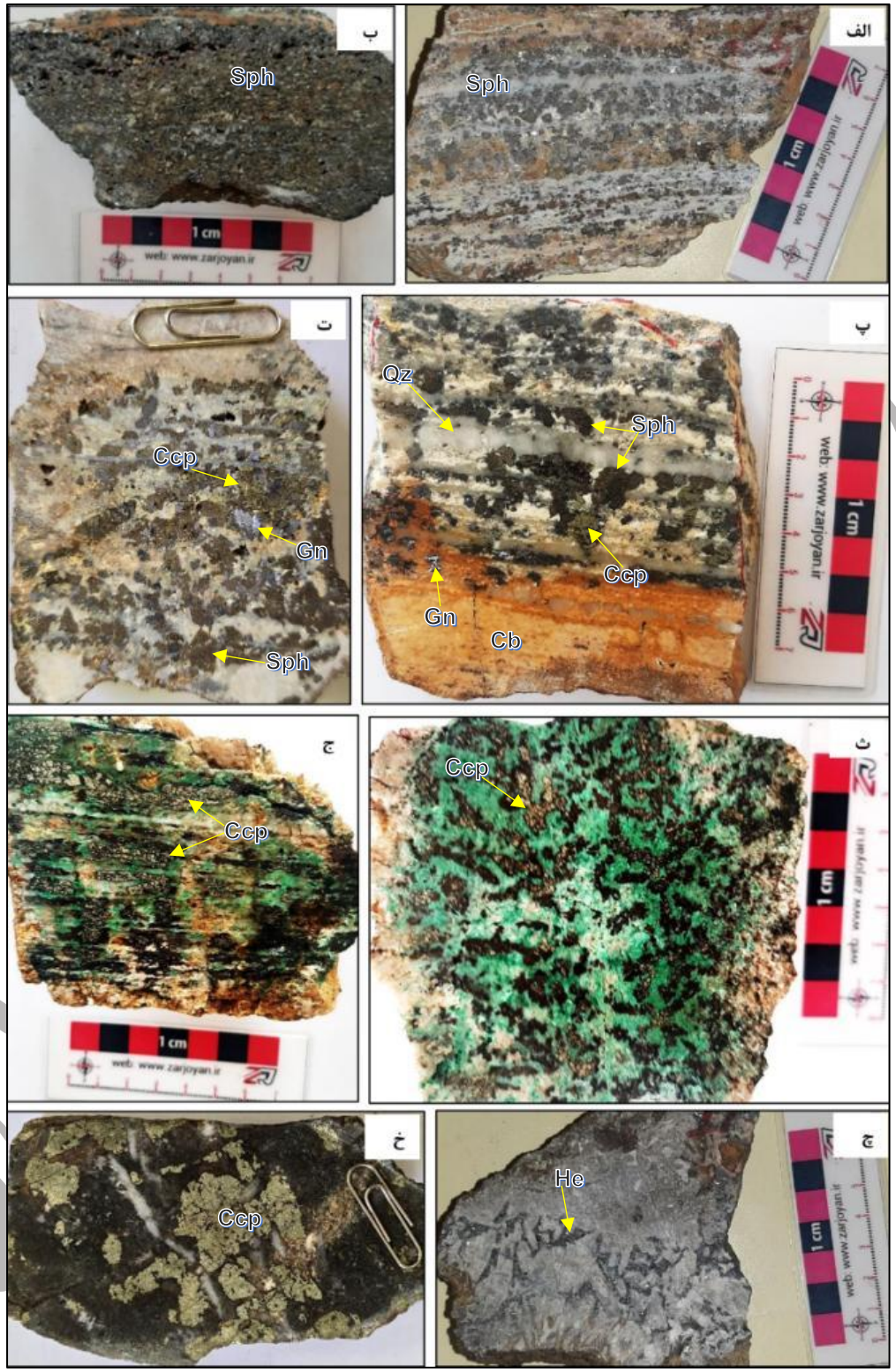
این ساخت و بافت را می‌توان هم در نمونه‌های دستی و نیز در رخنمون کانسار مشاهده نمود. کانه‌های شاخص در بخش-هایی که این بافت و ساخت را دارند، شامل کالکوپیریت، اسفالریت، گالن، کالکوسیت، اسمیت‌زونیت، آزوریت و مالاکیت می‌باشد. شکل (۸- ب) نمونه دستی از کانسنگ با بافت توده‌ای و لامینه‌ای را نشان می‌دهد.

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 مالاکیت 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 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.

[Downloaded from ijcm.ir on 2025-07-10]



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 دانه‌پراکنده در بخش آمفیبولیت متاسوماتیزه، (Gn: گالن، Ccp: کالکوپیریت، Cb: کربنات، Qz: کوارتز، Sp: اسفالریت).

[Downloaded from ijcm.ir on 2025-07-10]

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 کانه-ها 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). ادخال‌های 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 ادخال 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 ادخال هستند، ولی بعضی از آنها ادخال‌های کالکوپیریتی را در خود دارند (شکل ۹- ج). ادخال‌های 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. ادخال‌هایی از گالن در داخل بلورهای کوارتز شکل‌دار دیده می‌شود (شکل ۹- ح) که در ادامه تبلور کانی‌ها، بلور کوارتز حاوی ادخال 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 ادخال در داخل کالکوپیریت و اسفالریت دیده می‌شود. گالن با بافت رگچه‌ای در سنگ میزبان آهک مرمری نیز تشکیل شده است.

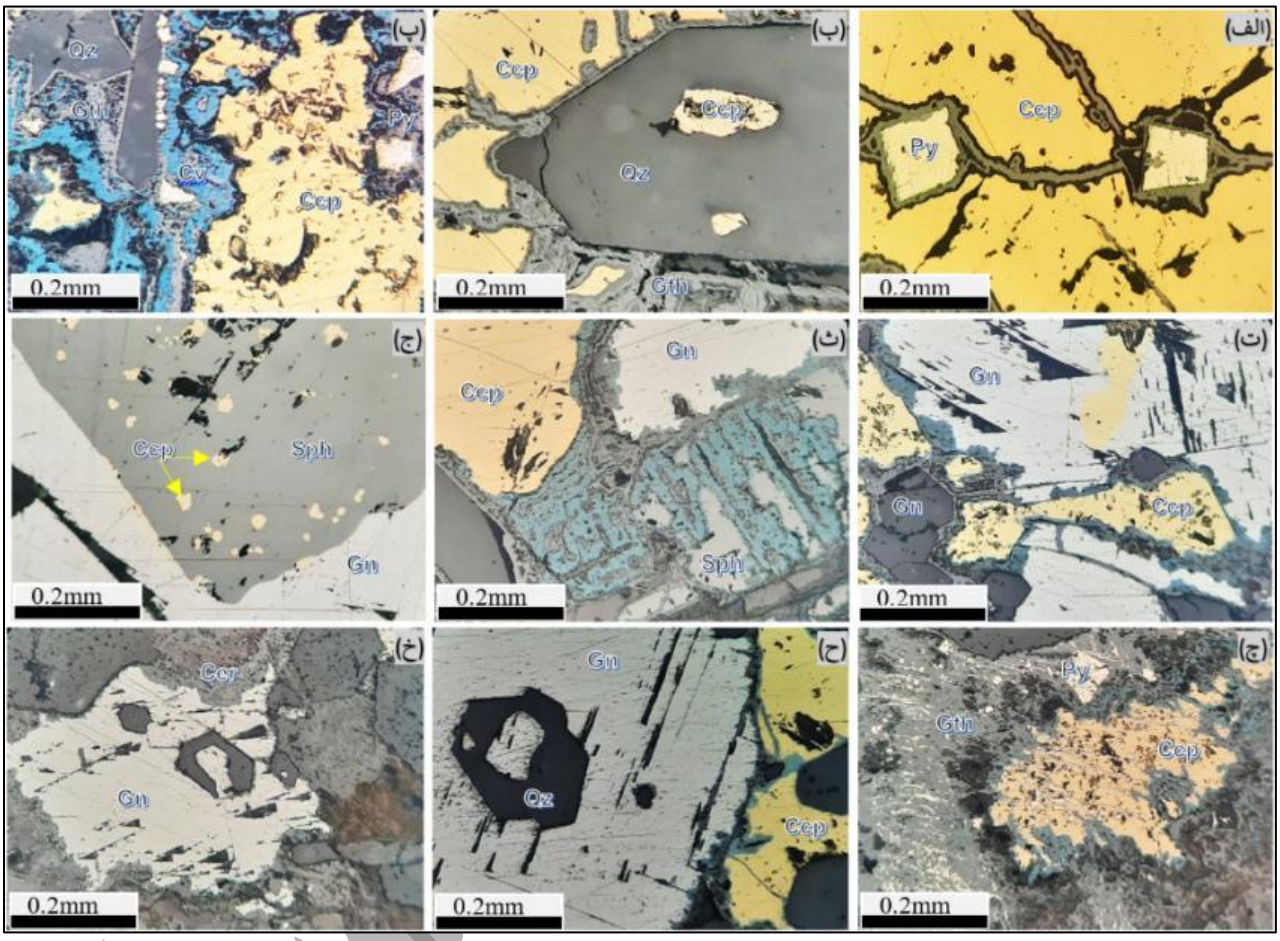
پیریت: پیریت به صورت شکل‌دار تا نیمه شکل‌دار با بافت دانه‌پراکنده تشکیل شده است. برخی از آنها در داخل کالکوپیریت، گالن و اسفالریت هستند و نشان دهنده تشکیل پیریت قبل از کانه‌های میزبان خود است و در برخی از بخش‌ها پیریت در حاشیه‌های این کانی‌ها دیده می‌شود و دارای همرشدی هستند. پیریت‌های فاز تأخیری با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

هماتیت: این کانه به صورت درونزاد و به همراه کالکوپیریت

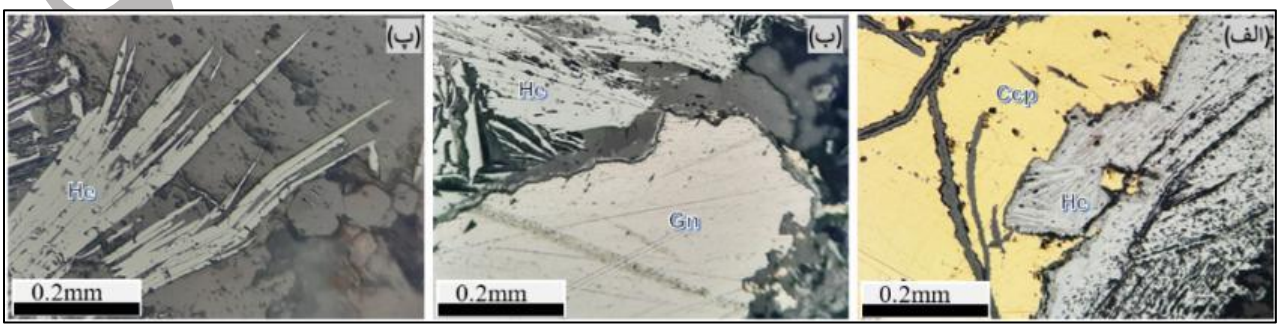
[Downloaded from ijcm.ir on 2025-07-10]

(شکل ۱۰- الف) و گالن (شکل ۱۰- ب) در آمفیبولیت تشکیل شده است.

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 ادخال کالکوپیریت توسط فاز تأخیری کالکوپیریت احاطه شده است؛ پ) کالکوپیریت حاوی ادخال 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) ادخال‌های 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).



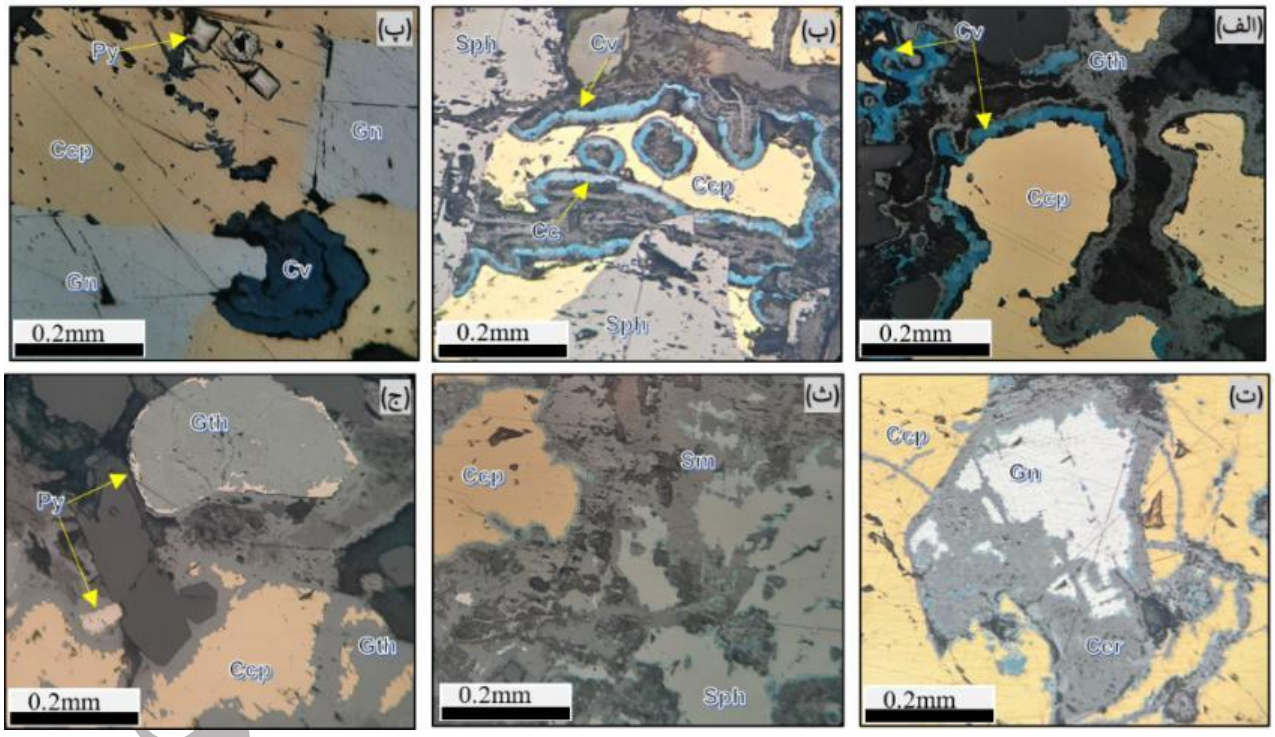
شکل ۱۰) تصاویر مطالعات میکروسکوپی کانه‌های کانسار مس (سرب- روی) قوزلو در نور انعکاسی، الف) تشکیل هماتیت (He) ورقه‌ای در کنار

[Downloaded from ijcm.ir on 2025-07-10]

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

کانه‌های سوپرژن

از مهم‌ترین کانی های سوپرژن در این معدن می‌توان به کالکوسیت، کوولیت، آزوریت، مالاکیت، اسمیت‌زونیت، همی‌مورفیت، سروزیت، آنگلزیت، 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 کانه‌زایی 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 کانه‌های کالکوپیریت، اسفالریت و گالن به خوبی در تصاویر مینرالوگرافی مشهود هستند. تبدیل اسفالریت و گالن به کالکوسیت نشان می‌دهد که این کانه‌ها در ترکیب خود دارای محتوای مس بالایی بوده‌اند و حضور ادخال های کالکوپیریت در داخل اسفالریت شاهدی 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 سروزیت (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].

براساس مطالعات صحرایی و آزمایشگاهی، کانه‌زایی 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 کانه‌های کالکوپیریت، پیریت، گالن و اسفالریت در سنگ میزبان کربناتی شدیداً سیلیسی تشکیل شده‌اند و این بافت می‌تواند مرتبط با کانه‌زایی همزاد (نوع VMS) با سنگ میزبان باشد. در برخی از بخش های سنگ کربناتی که تحت تأثیر فرآیندهای اسکارنی قرار گرفته است، کانه‌زایی مس (سرب و

[Downloaded from ijcm.ir on 2025-07-10]

روی) با بافت دانه‌پراکنده تشـــکیل شـــده اســـت. برخی از بخش‌های کانسنگ با میزبان کربناتی، به شدت سیلیسی شده اســـت و بافت برشـــی را نشـــان می‌دهند و منطبق با کانه‌زایی غیرهمزاد با سنگ میزبان می‌باشد و شاهد دیگر آن، کانه‌زایی کالکوپیریت و همچنین اســـپیکیولاریت 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 ســـیال در کانه‌زایی مس- ســـرب و روی قوزلو، کانی اســـفالریت و همچنین کانی کوارتز مرتبط با کانه‌زایی، مورد مطالعه قرار گرفت. نمونه های اســـفالریت از کانســـنگ لامینه‌ای و توده‌ای و نمونه کوارتز از بخش مرمر ســـیلیســـی کانه‌دار و بخش اســـکارنی متشـــکل از بلورهای کوارتز شکل‌دار و همزمان با کانه‌زایی انتخاب گردید.

۱-۱- پتروگرافی میانبارهای سیال

رایج‌ترین شـــکل میانبارهای ســـیال در نمونه‌ها، انفرادی و دنباله‌ای است (شکل۱۲). میانبارهای سیال اولیه با شواهدی چون قرارگیری در پهنه‌های رشد بلور، توزیع تصادفی در سه بعد، مجزا بودن از میانبارهای ســـیال کناری و اندازه قابل توجهی نســـبت به کانی میزبان تشـــخیص داده می‌شـــوند (شکل۱۲-ت).

میانبارهای ســـیال ثانویه که بیشـــتر در ترک ها و شکستگی‌های کوچک درون بلورها گسترش یافته‌اند، به‌صورت تک ردیفی و چند ردیفی در کنار هم مشخص هستند (شکل ۱۲- ب). شـــکل میانبارهای ســـیال گاهی با ویژگی‌های بلورشـــناســـی کانی میزبان کنترل می‌شـــود [۲۳]. برای بررسی‌های ریزدماسنجی از میانبارهای سیال اولیه استفاده شد، زیرا میانبارهای سیال ثانویه هیچ دانشی از ماهیت سیال در زمان تشـــکیل ســـیال ارائه نمی‌کنند [۲۴]. برای رده‌بندی میانبارهای سیال بر اساس نسبت‌های مختلف فازهای جامد، مایع و گاز از روش رایج نَش [۲۵] اســـتفاده شـــد. بر اســـاس سنگ‌نگاری انجام شده برای ۵ نمونه، سه نوع سیال درگیر تشخیص داده شد که در ادامه بیان می‌شوند.

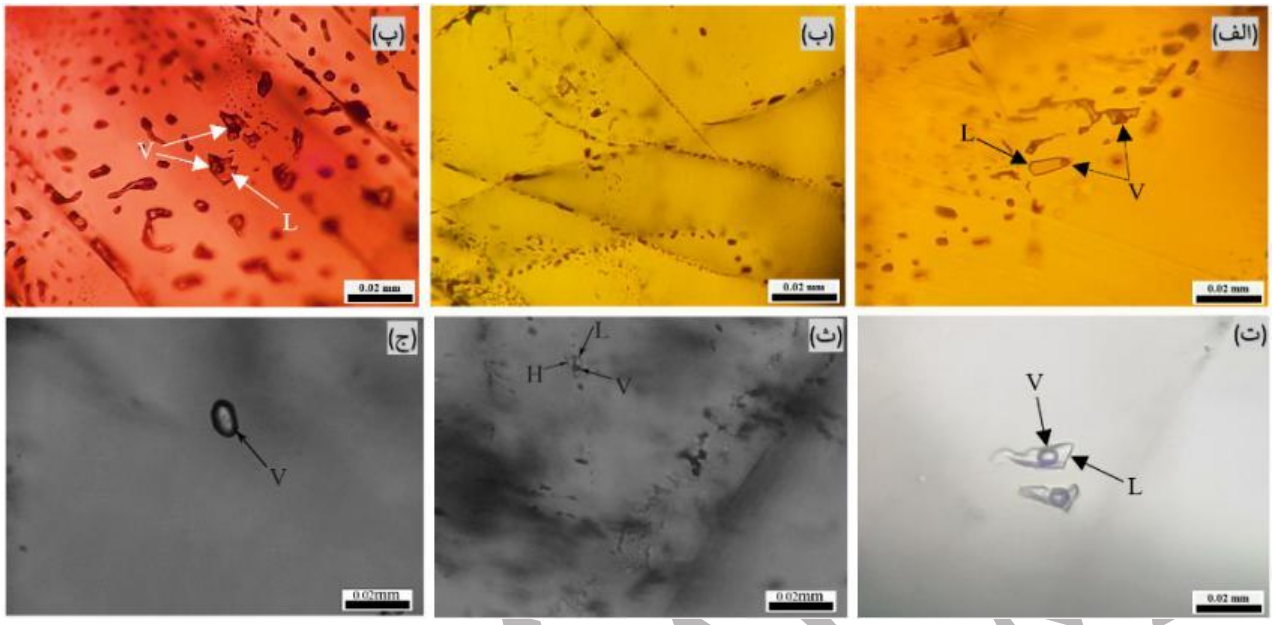
میانبارهای سیال اسفالریت

براساس مطالعات میکروسکوپی، میانبارهای سیال از نظر شـــکل به صـــورت شـــکل‌دار تا بی‌شـــکل در اســـفالریت‌ها وجود دارند و ابعاد آنها از کوچکتر از ۲ میکرومتر تا بزرگتر از ۳۵ میکرومتر متغیر hsj. براساس ژنز، میانبارهای سیال موجود در اسفالریت‌های قوزلو، از نوع اولیه (شکل ۱۲- الف، پ)، ثانویه (شکل ۱۲- ب) و ثانویه کاذب هستند و براساس فاز تشکیل دهنده، میانبارهای سیال تک فاز گازی (V)، میانبارهای سیال تک فاز مایع (L)، دوفازی مایع- گاز غنی از گاز (V-L) و دو فازی مایع- گاز غنی از مایع (L-V) دسته بندی می‌شوند .

میانبارهای سیال کوارتز

براساس 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. براساس ژنز، میانبارهای ســـیال موجود در کوارتزهای قوزلو، از نوع اولیه، ثانویه و ثانویه کاذب هستند و براساس فاز تشکیل دهنده، میانبارهای سیال تک فاز گازی (V)، میانبارهای ســـیال تک فاز مایع (L)، دو فازی مایع- گاز غنی از گاز (V-L) و دو فازی مایع- گاز غنی از مایع (L-V) و سه فازی مایع- گاز- جامد (L-V-H) دسته بندی می‌شوند (شکل ۱۲- ت، ث، ج). براساس شکل بلوری، کانی نوزاد موجود در میانبار سیال کوارتز، هالیت است.

[Downloaded from ijcm.ir on 2025-07-10]



شکل ۱۲) تصاویری از میانبارهای 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 گازی در کوارتز، (L: مایع، V: حباب گاز، H: نمک).

میکروترمومتری میانبارهای سیال کانسار قوزلو

بررسی میکروترمومتری میانبارهای 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 میانبارهای سیال کانسار قوزلو در جدول ۱ آمده است.

میکروترمومتری میانبارهای 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 محدوده‌ی دمایی ۱/۸- تا ۴/۵- درجه سانتی‌گراد مشاهده گردید و بر این اساس شوری میانبارهای سیال از حدود ۲/۵ تا ۷/۵ درصد وزنی معادل NaCl متغیر است. دمای همگن شدن به فاز مایع در محدوده‌ی دمایی ۱۴۵ الی ۳۴۴ درجه سانتیگراد و با بیشترین فراوانی در محدوده ۱۷۵ الی ۲۵۰ درجه سانتی‌گراد ثبت گردید. نتایج حاصل از مطالعات میکروترمومتری در شکل ۱۳(الف و ب) نشان داده شده است.

میکروترمومتری میانبارهای 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 محدوده‌ی دمایی ۱/۵- تا ۱۷/۵- درجه سانتی-گراد مشاهده گردید و بر این اساس شوری میانبارهای 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 سانتی‌گراد ثبت گردید. نتایج حاصل از مطالعات میکروترمومتری در شکل ۱۳ (پ، ت) نشان داده شده است.

منشأ میانبارهای سیال با میزبان کانی اسفالریت

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

[Downloaded from ijcm.ir on 2025-07-10]

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

منشأ میانبارهای سیال با میزبان کانی کوارتز

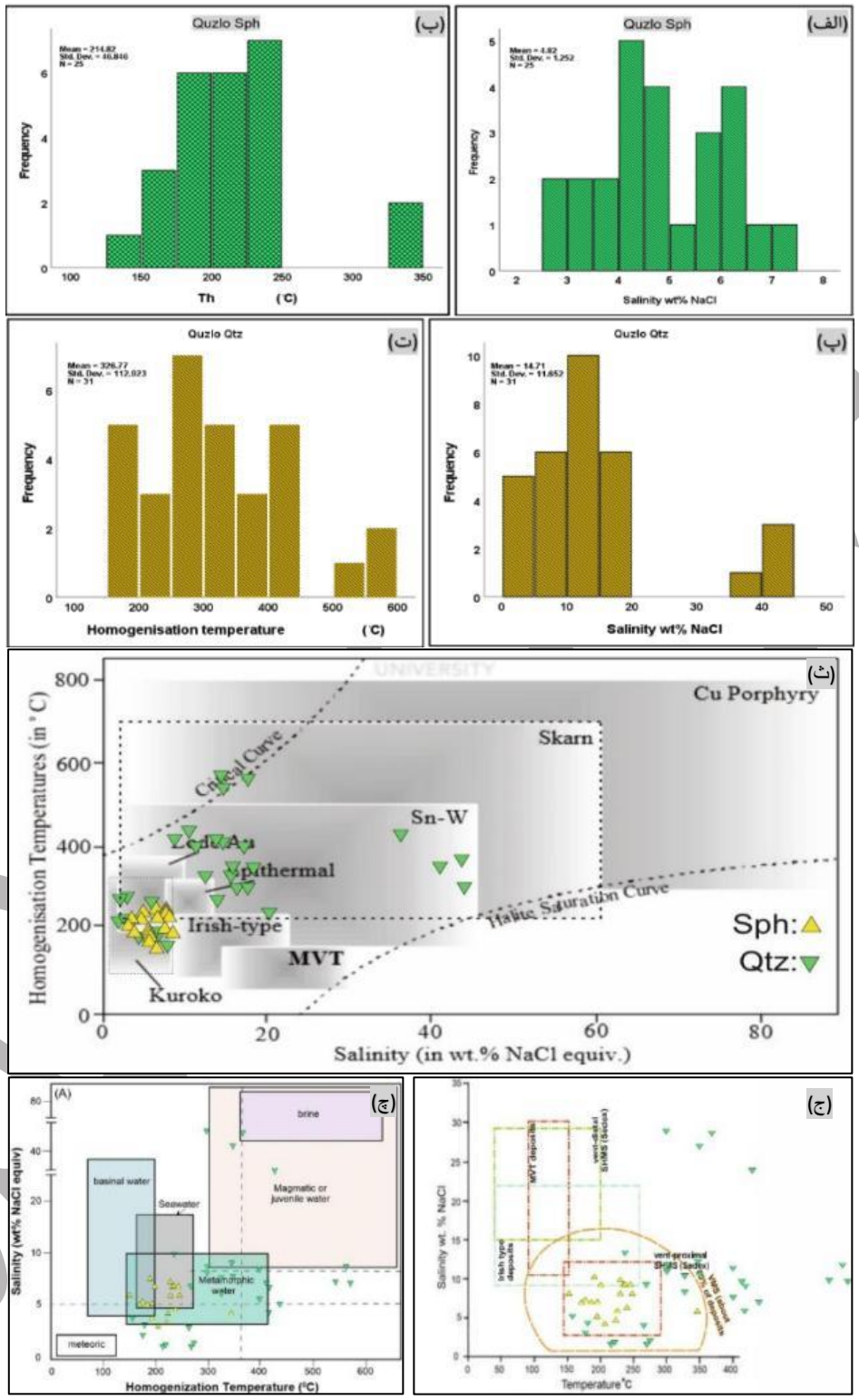
با تر سیم کردن داده‌های دما و شوری میانبارهای سیال موجود در کانی کوارتز معدن قوزلو در نمودار تعیین منشأ، منشأ سیال موثر در تشکیل کانه‌زایی، ترکیبی از سیالات دگرگونی، ماگمایی و جوی بدست آمد (شکل ۱۳- چ).

براساس داده‌های میکروترمومتری، دمای همگن شدن و شوری ا سفالریت و کوارتز اختلاف قابل توجهی دارد و حداقل دو جامعه آماری را ایجاد کرده است. با تلفیق مطالعات صحرایی و مطالعات میکرو سکوپی 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).

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	Quartz	L+V	-2.8	176	4.50
27			L+V	-3.8	264	6.07
28			L+V	-1.7	220	2.70
29			L+V	-1.4	215	2.30
30			L+V	-1.4	269	2.30
31	Qlu-2		L+V	-1.8	273	2.90
32			L+V	-4.2	180	6.60
33			L+V	-5.1	155	7.90
34			L+V	-4.1	180	6.52
35			L+V	-4	180	6.30
36	Qlu-3		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

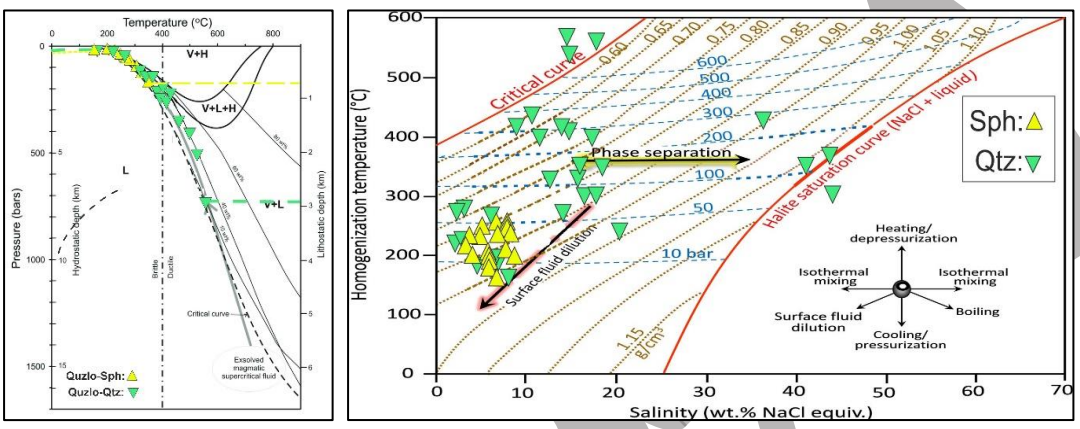
[Downloaded from ijcm.ir on 2025-07-10]



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

[Downloaded from ijcm.ir on 2025-07-10]

براســـاس نمودار تغییرات چگالی و فشـــار در برابر دما و شوری، چگالی میانبارهای سیال کانسار قوزلو در محدوده ۰/۶ تا ۱/۱ گرم بر ســـانتی‌متر مکعب متغیر اســـت و عمده‌ی میانبارهای ســـیال، در دمای همگن شـــدن، در محدوده فشـــار حدود ۱۰ تا ۴۰۰ بار متغیر هســـتند. بیشـــینه‌ی فشـــار میانبار کوارتز در دمای همگن شـــدن حدود ۷۳۰ بار به ثبت رســـیده اســـت (شـــکل ۱۴- الف). با توجه به دمای همگنی میانبارهای سیال در نمودار دما در برابر عمق [۲۷]، بیشینه عمق تشکیل میانبارهای سیال در کانه‌های اسفالریت، تقریباً برابر ۸۰۰ متر و بیشینه عمق تشکیل کوارتز، تقریباً برابر بر ۲۹۰۰ متر است. بخش عمده‌ی داده‌های کوارتز و اســـفالریت، 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 میانبارهای سیال کانسار مس (سرب- روی) قوزلو، [۲۶، ۲۸، ۲۹، ۳۰]؛ ب) دمای همگنی میانبارهای سیال در نمودار دما در برابر عمق میانبارهای سیال کانسار قوزلو، [۲۷].

نتیجه‌گیری

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

۱- 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.

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

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

۶- دمای همگن شدن برای میانبارهای سیال با میزبان اسفالریت (۱۴۵ الی ۳۴۴ درجه سانتی گراد) و در میزبان 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، شاهدی بر این ادعاست.

شواهد صحرایی، ساخت، بافت و کانی شنا سی، از جمله

[Downloaded from ijcm.ir on 2025-07-10]

ســـاخت و بافت لامینه‌ای تا شـــبه‌لامینه‌ای 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 کانســـارهای تیپ VMS می‌باشـــند. از طرفی حضور کانی‌های شاخص اسکارنی از جمله گارنت و پیروکسن در زون‌های کانه‌دار و دمای بالای ســـیالات کانه‌ســـاز تا ۵۷۰ درجه سانتی‌گراد در کانی کوارتز، تشکیل کانه‌زایی اسکارنی را در این منطقه تأیید می‌کنند. بنابراین به نظر می‌رســـد، کانه‌زایی تیپ VMS در این منطقه تشکیل شده و تحت تأثیر توده‌های نفوذی پنهان و ســـیالات حاصـــل 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://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.

[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 Mahneshan, 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://10.1180/minmag.2007.071.2.203

[10] Hajialioghli, R., Moazzen, M., Jahangiri, A., Droop, G.T.R., Bousquet, R. Oberhänsli, 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., Oberhänsli, 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., Oberhänsli, 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., Oberhänsli, R., Altenberger, U. and Jahangiri, A., 2013. Oligocene partial melting in the Takab metamorphic complex, NW Iran:

[Downloaded from ijcm.ir on 2025-07-10]

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

[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

[Downloaded from ijcm.ir on 2025-07-10]