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 Siahcheshm ¹, 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: <u>Mr.hosseinzadeh1352@gmail.com</u>

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% NaCleq. For fluid inclusions within quartz, the homogenization temperature ranges from 125 to 570 °C and salinity varies from 2.5 to 44.5 wt% NaCleq. 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-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'، محمد رضا حسینزاده'*، کمال سیاهچشم'، 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

چکیدہ:

کانسار می (سرب روی) قوزلو در زیر بهنه تکاب ماهنشان، در جنوب غرب استان زنجان و شمال غرب ایران قرار دارد. در این مطالعه، زمین شناسی، کانی سازی، 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 لایه های مرمری به همراه بقایای سنگ های الترامافیک سریانتینی است و سنگ های دگرگونی منطقه در رخسارهی آمفیبولیت دگرگون شده و تا مرحلهی ذوب بخشی و تشکیل میگماتیت پیش رفتهاند. کانی سازی مس (سرب و روی) قوزلو در سنگ میزبان آمفیبولیت و مرمر و غالباً در داخل واحد مرمری و کنتاکت بین آنها بیگیل شده و به صورت تودهای، لایهای، لامینهای، رگچهای، پراکنده، برشی، نواری و جانشینی تشکیل شده است. کالکوپیریت، گال، اسفالریت و پیریت به همراه هماتیت ورقهای (اسپکیولاریت)، مهم ترین کانی های معدنی درونژاد هستند و شاخص ترین کانه های برونزاد شامل کالکوسیت، کوولیت، مالاکیت، آزوریت، اسمیتزونیت، سروزیت، هماتیت و گوتیت هستند. بخش غالب سنگ میزبان در زون های کانه این اسفالریت و مجاورتی را با حضور شاخص کانی های پیروکسن، گارنت، آمفیبول و ایدوت به همراه کوارتز و گانی های کریناتی نشان می دهند. شاخص ترین دگرسانی سنگ میزبان شامل سیلیسی شدن و اییدوتی شدن است و زونهای کانه دار، دگرسانی اکسید آهنی و کریناتی را ناض می در درجه سانتی گراد و شوری بین ۲ تا ۷ درصد وزنی معادل اعت و مراست. در میانبارهای سیال کوارتز، دمای همگن شدن از ۱۹۵ تا ۱۹۵۰ درجه میانبارهای سیال درون کانی های پیروکسن، گارنت، آمفیبول و ایدوت به همراه کوارتز و گانی های کریناتی نشان می دهند. شاخص ترین درجه سانتی گراد و شوری بین ۲ تا ۷ درصد وزنی معادل اعت مند در میانبارهای سیال اسفالریت، دمای همگن شدن از ۱۹۵ تا ۲۰ درجه کانیایی با دادهای میانبارهای سیال، چنین استاسا می گردد که مرحله این است و با تلفیق مشاهدات صحرایی، شواهد میکروسکویی، پارازانز کانیایی با دادهای میانبارهای سیال، چنین استاسا می گردد که مرحله اول کانهزایی، همزاد با سنگ میزبان از نوع ۲۸۷ تشکیل شده و سپس

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

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 شـمالی و تقریباً در فاصـله هوایی ۱۰ كيلومترى شمال معدن روى- سرب انگوران واقع شده است. راههای د ستر سی به منطقه مورد مطالعه، از طریق کوتاهترین مسیر (زنجان، دندی، روستای قوزلو) مسیری حدودا ۱۲۵ کیلومتری است که این راه تا روستای قوزلو آ سفالته می با شد و جادہ اختصا صی معدن به م سافت حدود ۳ کیلومتر خاکی است (شکل ۱ – الف). این کانسار در قسمت مرکزی چهارگوش زمینشــناســی ۱:۲۵۰۰۰۰ تکاب و ورقه زمینشــناسـی ۱:۱۰۰۰۰۰ تختسلیمان قرار دارد و از نظر ساختاری در پهنه سنندج- سیرجان [۱] قـرار گرفته است (شکل ۱- ب)؛ شایان ذکر است، در خصوص پهنه ساختاری این منطقه، تاکنون اجماع نظرى ايجاد نشده و برا ساس شواهد زمين شناسي و سنگ شنا سی، بیشترین انطباق را با خرد قاره ایران مرکزی دارد.

منطقه قوزلو بخشی از زیر پهنه تکاب - تختسایمان -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 -مالایی) به داخل آنها نفوذ کردهاند [۳،۲]. نفوذ توده ها اغلب سبب ایجاد هالههای دگرگونی مجاورتی در بخشهای مرمری توالی دگرگونی ناحیهای شده است که بع ضاً با کانهزاییهای آهن (مانند کانسارهای علم کندی و قینرجه) و به میزان کمتر سرب – روی (مانند کانسارهای علم کندی و قرهداش) همراه می باشید [۴–۸]. تاکنون مطالعات متعددی در ارتباط با

ســنگهای دگرگونی ناحیهای و به میزان کمتر ســنگهای دگرگونی مجاورتی این منطقه انجام شــده و نتایج مهمی در خصوص شرایط ترمودینامیکی تشکیل آنها بهدست آمده است [۹–۱۶]. کانسـار قوزلو یکی از کانهزاییهای مس (سـرب-روی)، دارای شـواهدی از هالههای دگرگونی مجاورتی در زیر پهنه تکاب- تحتسلیمان- انگوران اسـت که در فاصله ۳۳ کیلومتری شمال غربی شهر دندی و در شمال روستای قوزلو و فاصـله هوایی ۳٫۵ کیلومتری جنوب شـرقی اندیس مس (سرب- روی) قرهداش واقع شده است.

در نگاه کلی، کانسار قوزلو یک کانسار عدسی شکل معرفی شده که در زون های 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 می شود.

روش بررسی

برای انجام این پژوهش، طی عملیات صحرایی تعداد ۱۳۰ نمونه سنگی از واحدهای رخنمون یافته به منظور بررسیهای سنگ شنا سی، کانی شنا سی و زمین شیمیایی بردا شت 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 میانبارهای سیال از نمونههای برداشت شده از رگههای قوزلو، تعداد ۵ مقطع دوبر صیقل مناسب تهیه شد. همه مقاطع در آزمایشگاه شرکت زرجویان فلات قاره واقع در پارک مقاطع در آزمایشگاه شرکت زرجویان فلات قاره واقع در پارک اسی مقاطع در آزمایشگاه شرکت زرجویان فلات ازه واقع در پارک اوسط نگارنده تهیه و سینگنگاری شدند. پس از آن، بررسیهای کامل ریزدماسینجی با میکروسیکوپ THMCG 600 با گسترهی دمایی ۱۹۶۶ تا ۲۰۰ در جهی سیانتیگراد، 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 ۱:۲۵۰۰۰ تکاب [۱۷] و ورقه ۱:۱۰۰۰۰ تخت سلیمان [۲]، نسبت به کانسارهای زرشوران و انگوران در زون تکاب، بر گرفته از [۱۸].

زمينشناسى

در تقسیم بندی پهنههای ر سوبی - ساختاری ایران [۱۹]، منطقه قوزلو در زیرپهنه کاملاً دگر شکل شده از پهنه سنندج -سیرجان [۲۰] واقع شده ا ست (شکل ۱). بطور کلی منطقه قوزلو در قسمت مرکزی و شمال چهارگوش ۲۵۰۰۰۰ تکاب قرار دارد. سنگهای دو برهه زمانی پرکامبرین و الیگومیو سن بطور واضح در این ناحیه برونزدگی گسترده دارند. سنگهای منسوب به پرکامبرین در منطقه فوق شامل گنایس، آمفیبولیت، میکاشیست، م رم ر و میگم اتیت، با رخساره شیستسب ز 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 منشا آنها شامل سنگهای آذرین مافیک و الترامافیک است. مرمرهای با

میان لایه، داخل آمفیبولیت های منطقه قرار دارند. لیتولوژی غالب منطقه آمفيبوليت هاى چينخورده، همراه با كالك شیست، آمفیبول شیست و انواع گنیس می با شد (شکل ۲). سـنگهای منسـوب به الیگوسـن- میوسـن شـامل توالیهای كربناتي، دولوميتي، بمليتي و گمري كي ميباشند. براساس شواهد صحرایی، در منطقهی قوزلو، سنگهای دگرگونی منتسب به نئوپروتروزوئیک- کامبرین، با مرز گسلی (گسل قره ناس) در کنتا کت با سنگ های رسوبی و آذرآواری سنوزوئیک قرار گرفتهاند (شکل ۲- الف). واحدهای سنوزوئیک متشـکل از توفهای اسـیدی به همراه توالی مارنهای رنگی، میان لایه های تبخیری (گچ)، ماسه سنگ، کنگلومرا و آهکهای فسیلدار میباشیند (شیکل ۲- ب). کانهزایی در محدوده معدنی قوزلو، در سنگ میزبان نئوپروتروزوئیک-كامبرين و حداقل در دو افق تشكيل شده است (شكل ۲- ث، ج). در ادامه واحدهای سنگی و کانهزایی، به صورت مفصل توصيف شده است.



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 [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 ۱:۲۵۰۰۰ تکاب [۲۱]، با عنوان کمپلکس آمفیبولیت علم کندی معرفی شده است. از نظر شدت دگرگونی، واحدهای سنگی منطقه تا مرحله ی ذوب بخشی رسیدهاند و در برخی از واحدهای سنگی، شواهدی از میگماتیت دیده می شود. 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

ـنگ های الترامافیک در محدوده معدنی قوزلو دارای _ يانتين تبديل شـدهاند. یند و به شدت به س رخنمون ها ان میدهد، سینگهای شــواهد بافتی و کانیشــناســی نش الترامافيك شـامل ييروكس نیتها و س ــنگهای پریدوتیتی از جمله دونیت و هارزبورژیت بودهاند. بخش عمدهی کانی های 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 الترامافيكي توسط ساختارهاي گسلي كنترل مي شوند و احتمالاً گسل های معکوس در منطقه باعث بالا آمدگی آنها شدهاند .

بيوتيت گنيس

بيوتيت گنيسها را در محدوده اين معدن ميتوان به دو

دسته گنیس بیوتیتدار و کوارتز بیوتیت گنیس تفکیک کرد. کانیهای اصلی شامل کوارتز، بیوتیت، فلدسپات پتاسیم و پلاژیوکلاز به همراه کانیهای فرعی موسکوویت و کانیهای کدر 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 سینگ است. در رخنمون صحرایی، نمونه دستی و میکروسکوپی، دارای فابریک چشمی بوده (شکل ۴ – ت) و گنیسوسیته را به و ضوح میتوان در آن تشخیص داد. کانیهای رو شن از جمله کوارتز از کانی های ورقهای تیره از جمله بیوتیت به خوبی تفکیک شده است (شکل ۴ – ث).

موسكويت گنيس

در واحد موسکوویت گنیس، موسکوویت جزء کانیهای غالب سنگ است. کانیهای اصلی شامل کوارتز، مو سکویت، فلدســپات پتاسـیم 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 درشــت بلورها از جنس کانیهای فلدســپاتی هســتند. کانیهای کوارتز و فلدسـپات از کانیهای ورقهای به خوبی در این سنگ تفکیک شده و گنیسوسیته را ایجاد کردهاند.

آمفيبوليت

آمفیبولیتها در این منطقه دارای تنوع زیادی هستند. از مهمترین آنها میتوان به آمفیبولیت نر مال (شـکل ۴- چ)، آمفیبولیت شیست، گارنت بیوتیت آمفیبولیت (شکل ۴- ح) و اپیدوت آمفیبولیت اشاره کرد. براساس مطالعات پتروگرافی، آمفیبولیتها در این محدوده متشـکل از کانیهای آمفیبول، پلاژیوکلاز، فلد سپات پتا سیم، کوارتز، کربنات، بیوتیت، گارنت و کانیهای کدر و دارای فابریک نماتوبلاستیک، گرانوبلاستیک و پورفیروبلا ستیک ه ستند. آمفیبولیتهای اپیدوتی شده در این معدن در کنتا کت با میانلا یه های مرمری، میز بان

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 می رسد که می توان به صورت واحدی مجزا تفکیک کرد. میان لایههای مرمری کنترل کننده ا صلی کانهزایی در معدن قوزلو ه ستند. براساس شواهد کانی شناسی، میان لایههای مرمری متنوع بوده و به انواع مرمر، اپیدوت مرمر و کوارتز اپیدوت مرمر قابل تفکیک می باشند. فابریک آنها اغلب گرانوبلاستیک است. میان لا یهی مرمری متشکل از کانی های کربناتی با فابر یک گرانوبلاستیک و میزبان کانهزایی در این کانسار است. در مرمر کانهدار و علی الخصوص بخشهای کانهدار سیلیسی، کوارتز به صورت بلورهای کاملاً شکل دار تشکیل شده است و کانی های سولفیدی بخشهای کربناتی، شدیداً اکسیده شده است. می سولفیدی زنها بافت بر شی را نشان می دهند (شکل ه ستند و برخی از آنها بافت بر شی را نشان می دهند (شکل

آهک مرمری

در محدوده معدنی قوزلو، بر روی آمفیبولیت ها، وا حد کربناتی ضخیم لایه قرار گرفته و در بخش جنوبی کانسار و بخش غربی محدوده رخنمون گسترده دارد. این وا حد در بخش جنوبی معدن، میزبان کانهزایی مس (سرب روی) است. در مقیاس میکرو سکوپی دارای فابریک گرانوبلا ستیک می باشد (شکل ۴ – د).

ليتولوژى سنگ ميزبان كانەزايى

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 اصلی ترین

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 می-باشد. این زون حدواسط در تمامی مناطق عمومیت ندارد و عمدتاً در بخشهای جنوبشرقی معدن مشاهده می گردد.

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



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، ج) 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]. (PI: پلاژیوکلاز، Amp: آمفیبول، Cb: کربنات، gz: کوارتز، mz: پیروکسن، Grt؛ گارنت، Bt: بیوتیت، Bt: بیوتیت

پتروگرافی سنگهای دگرگونی مجاورتی و میزبان کانهزایی

بر ا ساس م شاهدات صحرایی و مطالعات میکرو سکوپی، شواهد دگرگونی مجاورتی در سنگهای میزبان کانیسازی شده قابل م شاهده ا ست. رخنمون توده نفوذی در کنتاکت با کانهزایی دیده نمی شود. آمفیبولیت در کنتاکت با میان لایه های مرمری، شدیداً متاسوماتیزه شده و به اپیدوت دگرسان شده و میان لایه های مرمری شدیداً سیلیسی شدهاند. کانی های شاخص متا سوماتیک در این معدن شامل شدهاند. کانی های شاخص متا سوماتیک در این معدن شامل میروکسن، اپیدوت، آمفیبول، گارنت، کوارتز و کربنات ها هستند. بخشهای متاسوماتیزه را براساس پاراژنز کانیایی، میتوان به اپیدوت اسکارن، پیروکسن اپیدوت اسکارن، پیروکسن آمفیبول اسکارن، پیروکسن گارنت اسکارن،

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 بیروهای 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 ۱ سکارن دارای بافت گرانوبلا ستیک ۱ ست. 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- ت، ث).

پیروکسن اپیدوت اسکارن: کانیهای اصلی شامل پیروکسن و اپیدوت هستند و بافت گرانوبلاستیک نشان میدهند. فراوانی پیروک سن بی شتر از اپیدوت ا ست. 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. کانه های کالکوپیریت، گالن، اسفالریت و اسپیکیولاریت با بلورهای ریز و بی شکل به صورت پراکنده در سنگ دیده می شوند (شکل ۵- ج).

کوارتز و گارنت ناهمسانگرد با مقدار کمی پیروکسن و کربنات کوارتز و گارنت ناهمسانگرد با مقدار کمی پیروکسن و کربنات با فابریک گرانوبلاستیک است. در شکستگیهای گارنت، کربنات ها و کلریت تشکیل شدها ند. در این زیرزون شکستگیهایی وجود دارد که با کانیهای کربناتی پر شدهاند. کانیهای کدر ریز و نیمهخودشکل به صورت پراکنده در سنگ دیده می شوند. کانیسازی اصلی در این زون شامل گالن و همی مورفیت 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 شـکلدار 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 آغشیته شـدهاند. در بخشهایی از کانسنگ، کوارتز شکلدار با بافت شانهای تشکیل شده است (شکل ۵- خ تا ر).



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 کرانوبلاستیک؛ ث) تشکیل کانیهای کربناتی در زمینه و فضای بین بلورهای شکلدار اپیدوت و پیروکسن؛ ج) تشکیل کوارتز و کربنات به همراه کرانوبلاستیک؛ ث) تشکیل کانیهای کربناتی در زمینه و فضای بین بلورهای شکلدار اپیدوت و پیروکسن؛ ج) تشکیل کوارتز و کربنات به همراه کرانوبلاستیک؛ ث) تشکیل کانیهای کربناتی در زمینه و فضای بین بلورهای شکلدار اپیدوت و پیروکسن؛ ج) تشکیل کوارتز و کربنات به همراه کرانوبلاستیک؛ 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 (II QP) در فضای بین بلورهای شکلدار کوارتز (I Z D)؛ د، ر) بلورهای شکلدار کوارتز در زمینه متشکل از کربناتهای اکسید آهنی، نور عبوری XPL.

كانەزايى

براساس شواهد صحرایی و در نگاه کلی، کانهزایی در معدن قوزلو از روند لایهبندی تبعیت می کند. مهم ترین کنترل کننده کانهزایی، میان لایه مرمری است و کانهزایی در کنتاکت آمفیبولیتهای فرودیواره با میان لایهی 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 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 ۴) 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 شیه لامینهای و شبه لایهای؛ ح- کانهزایی در افق زیرین میان لایهی 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، لایه ای، دانه-پراکنده، رگچه ای، برشی و نواری تشکیل شده است (شکل ۷ و شکل ۸). کانه های اصلی شامل کالکوپیریت، گالن، اسفالریت، پیریت و هماتیت (اسپکیولاریت) هستند. کانی های ثانویه حاصل از فرایند سوپرژن شامل سروزیت، اسمیتزونیت، حاصل از فرایند سوپرژن شامل سروزیت، اسمیتزونیت، کوولیت، کالکوسیت، گوتیت، آزوریت و مالاکیت و کانی های 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 مهم ترین 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 مهم ترین 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 می شود. در رخنمون سطحی، کالکوپیریت با بافت دانه پراکنده در آمفیبولیتهای اپیدوتی دیده می شود (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 می توان هم در نمونههای دستی و نیز در رخنمون کانسار مشاهده نمود. کانههای شاخص آن، شامل کالکوپیریت، گالن، کالکوسیت، آزوریت و مالاکیت می باشد (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.



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، Ct؛ کربنات، Qz؛ کوارتز، Sp؛ اسفالریت).

دگرسانی

بطور کلی انواع دگرسانی در کانهزایی مس- سرب- روی قوزلو شامل کربنزدایی، اکتینولیتی- اپیدوتی شدن، کربناتی شدن و سیلیسی شدن است و دگرسانی اکتینولیتی- اپیدوتی، محصول تبدیل کانی های کالکسیلیکاته بی آب (گارنت و کلینوپیروکسن) به کانی های کالکسیلیکاته آب دار طی مراحل اسکارنزایی است.

کانەنگارى

کانههای درونزاد

براساس شواهد نمونه دستی و میکروسکوپی، مهم ترین 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 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

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

اسفالریت: مهم ترین و اصلی ترین کانه ی درونزاد روی در کانهزایی قوزلو بوده و غالباً در سنگ میزبان کربناتی با بافت تودهای، دانه پراکنده و شبه لامینه ای تشکیل شده است. دارای همرشدی با کانه های کالکوپیریت، گالن و پیریت است. برخی از بلورهای اسفالریت، عاری از هر گونه ادخال هستند، ولی بعضی از آنها ادخال های کالکوپیریتی را در خود دارند (شکل ۹- ج). ادخال های کالکوپیریتی در برخی از بلورها به صورت پراکنده در تمامی سطح دیده می شوند و در بعضی از آنها در حاشیه و محل رشد بلورها به صورت زون بندی دیده می شوند. برخی از اسفالریت ها به کانی های ثانویه اسمیت زونیت، همی-مورفیت و کالکوسیت دگرسان شده اند (شکل ۹- ث).

گالن: مهم ترین 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 دانه پراکنده 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 تشکیل شده است.

(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 شکل دار 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 (Cr).



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.

از مهمترین کانی های سوپرژن در این معدن میتوان به کالکوسیت، کوولیت، آزوریت، مالاکیت، اسیمیتزونیت، همیمورفیت، سروزیت، آنگلزیت، هماتیت و گوتیت اشاره نمود که حاصل دگرسانی کالکوپیریت، اسفالریت، گالن و پیریت هسیتند. 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

کانەھاي سويرژن

گسترش هستند. از جمله آنها میتوان به کالکوسیت، کوولیت، آزوریت، مالاکیت ا شاره کرد. جانشینی کالکو سیت 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 بودها ند و حضور اد خال 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].

برا ساس 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. برا ساس 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 با شد. در برخی از بخش های سنت کربناتی که تحت تأثیر فرآیندهای اسکارنی قرار گرفته است، کانهزایی مس (سرب و

روی) با بافت دانه پراکنده 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 سـیال در کانهزایی مس-سـرب و روی قوزلو، کانی اسـفالریت و همچنین کانی کوارتز مرتبط با کا نهزایی، مورد مطالعه قرار گر فت. نمو نه های اسـفالریت از کانسـنگ لامینهای و تودهای و نمونه کوارتز از بخش مرمر سـیلیسـی کانهدار و بخش اسـکارنی متشـکل 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 نسیبت به کانی میزبان تشیخیص داده میشوند (شکل ۱۲–ت).

میاذبار های سـیال ثانویه که بیشـتر در ترک ها و شکستگیهای کوچک درون بلورها گسترش یافتهاند، به صورت تک ردیفی و چند ردیفی در کنار هم مشخص هستند (شکل ۱۲- ب). شـکل میاذبار های سـیال گاهی با ویژگی های بلورشـناسـی کانی میزبان کنترل میشـود [۲۳]. برای برر سیهای ریزدما سنجی از میانبارهای سیال اولیه ا ستفاده

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

میانبارهای سیال اسفالریت

برا ساس مطالعات میکرو سکوپی، میانبارهای سیال از نظر شکل به صورت شکلدار تا بی شکل در اسفالریتها وجود دارند و ابعاد آنها از کوچکتر از ۲ میکرومتر تا بزرگتر از ۳۵ میکرومتر متغیر hsj. براساس ژنز، میانبارهای سیال موجود در ا سفالریتهای قوزلو، از نوع اولیه (شکل ۱۲ – الف، پ)، ثانویه (شکل ۱۲ – ب) و ثانویه کاذب هستند و برا ساس فاز تشکیل دهنده، میانبارهای سیال تک فاز گازی (V)، میانبارهای سیال تک فاز مایع (L)، دوفازی مایع – گاز غنی از گاز (L-V) و دو فازی مایع – گاز غنی از مایع (L-V) دسته بندی می شوند .

میانبارهای سیال کوارتز

برا ساس مطالعات میکرو سکوپی، میانبارهای سیال از نظر شکل به صورت شکلدار تا بی شکل در کوارتزهای همزمان با کانهزایی وجود دارند و ابعاد آنها از کوچکتر از ۲ میکرومتر تا بزرگتر از ۳۰ میکرومتر متغیر ا ست. برا ساس ژنز، میانبارهای سیال موجود در کوارتزهای قوزلو، از نوع اولیه، ثانویه و ثانویه کاذب هستند و براساس فاز تشکیل دهنده، میانبارهای سیال تک فاز گازی (۷)، میانبارهای سیال تک فاز مایع (L)، دو فازی مایع – گاز غنی از گاز (L-V) و دو فازی مایع – گاز غنی از مایع (L-V) و سه فازی مایع – گاز – جامد (L-V-H) دسته بندی می شوند (شکل ۲۲ – ت، ث، ج). براساس شکل بلوری، کانی نوزاد موجود در میانبار سیال کوارتز، هالیت است.



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 این فرایند توسط عملیات سرد کردن (Heating) و گرم کردن (دول ۱) 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 ۲/۵- درجه سانتی گراد مشاهده گردید و بر این اساس شوری میانبارهای سیال از حدود ۲/۵ تا ۲/۵ 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 از ۲/۵ درجه سانتی گراد 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 ۴/۸۵ درصد وزنی معادل NaCl میشتر فراوانی در محدوده ۲/۵ تا ۲۰ درصد وزنی معادل NaCl متغیر است. دمای همگن شدن به فاز مایع در محدوده-و با بیشتر ین ۱۵۵ الی ۲۵۰ درجه سانتیگراد و با بیشترین فراوانی ی دمایی ۱۵۵ الی ۲۵۰ درجه سانتیگراد و با بیشترین فراوانی در محدوده ۲۵۰ الی ۴۵۰ درجه سانتیگراد (ب. ت) نشان داره 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

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).

No.	Sample	Mineral	Туре	Tm (Last) °C	Th (Total) (°C)	Salinity (wt% NaCl aq.)
1	-		L+V	-2	218	3.22
2			L+V	-2.6	344	4.17
3	Qu-4		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			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	Glu-5	Sphalerite	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			L+V	-2	217	3.27
22			L+V	-2.5	335	4.07
23	Qu-2		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			L+V	-2.8	176	4.50
27			<u>L</u> +V	-3.8	264	6.07
28	Qlu-1		L+V	-1.7	220	2.70
29			L+V	-1.4	215	2.30
30			L+V	-1.4	269	2.30
31			L+V	-1.8	273	2.90
32			L+V	-4.2	180	6.60
33	Qlu-2		L+V	-5.1	155	7.90
34			L+V	-4.1	180	6.52
35			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		Quartz	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	Qlu-3		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
			* ** **		207	11.50

جدول ۱– دادههای اندازه گیری شده از میانبارهای سیال اسفالریت و کوارتز کانسار مس (سرب– روی) قوزلو.



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 کوارتر؛ 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 سیالات کوارتز با کانسارهای اسکارنی، برگرفته از [۲۶]؛ چ) نمودار شوری در مقابل دمای همگن شدن در میانبارهای سیال و

براساس نمودار تغییرات چگالی و فشار در برابر دما و شوری، چگالی میانبارهای سیال کانسار قوزلو در محدوده ۱/۶ تا ۱/۱ گرم بر سانتیمتر مکعب متغیر اسات و عمدهی میانبارهای سیال، در دمای همگن شدن، در محدوده فشار حدود ۱۰ تا ۴۰۰ بار متغیر هستند. بیشینهی فشار میانبار کوارتز در دمای همگن شدن حدود ۷۳۰ بار به ثبت رسیده

است (شـکل 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 اسـفالریت، 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، ۲۰]؛ ب) دمای همگنی میانبارهای سیال در نمودار دما در برابر عمق میانبارهای سیال کانسار قوزلو، [۲۷].

نتيجهگيرى

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

۲۰ 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. مهم ترین کانیهای باطله کانسنگ
شامل کربناتها، کوارتز، پیروکسن، گارنت، اکتینولیت، اپیدوت
و کلریت هستند.

۲- شواهد کانی شناسی و بافتی نشان میدهد، کانهزایی
دارای زون بندی 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
عنی 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 سانتی گراد) می باشد.

۲- 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

[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. <u>https://doi.org/10.1016/j.gr.2009.08.008</u>

[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. <u>https://doi.org/10.1002/gj.1236</u>

[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: 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 کانسارهای تیپ VMS میباشند. از طرفی حضور کانیهای شاخص اسکارنی از جمله گارنت و پیروکسن در زونهای کانهدار و دمای بالای سیالات کانهساز تا ۵۷۰ در مین منطقه تأدید می کذید. بنابراین به نظر میرسد، کانهزایی تیپ VMS در این منطقه تشکیل شده و تحت تأثیر تودههای نفوذی پنهان و سیالات حاصل از آن، کانهزایی اسکارنی (اسکارنوئیدی) تشکیل شده است.

قدردانى

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 rockhosted epithermal gold deposit of Agdarreh, Takab geothermal field, NW Iran, hydrothermal alteration and mineralization. Mineralium Deposita 43(4): 383–404. <u>https://10.1007/s00126-007-0167-x</u>

[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 temperaturepressure-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