



کانی‌شناسی، ژئوشیمی و بررسی شاره‌های درگیر کانسار باریت - سرب $\pm$ مس کوه سربی، شمال شرقی ایران

عطیه قائم‌مقامی‌نژاد، آزاده ملک‌زاده شفارودی*، محمدحسن کریم‌پور

گروه پژوهشی اکتشافات ذخایر معدنی شرق ایران، دانشگاه فردوسی مشهد

(دریافت مقاله: ۹۳/۱/۲۴، نسخه نهایی: ۹۳/۳/۲۸)

چکیده: کانسار باریت-سرب $\pm$ مس کوه سربی که در جنوب شرقی مشهد در استان خراسان رضوی واقع شده است، به شکل رگه‌ای، پرکننده فضای خالی، جان‌شینی در سنگ میزبان و سیمان برش‌های گسلی در واحد سنگ کربناتی دگرگون شده تریاس فوقانی سازند نایبند تشکیل شده است. این کانسار شامل باریت (۸۰ تا ۸۵ درصد) و گالن (۱۰ تا ۱۵ درصد) و مقدار اندکی کالکوپیریت و کوارتز است. باریت دارای مقدار کمی Sr (۲/۵ تا ۳ درصد) است و در سری انحلال جامد باریت-سلسیت وابسته به عضو نهایی باریت است. دگرسانی‌هایی مانند سیلیسی شدن و دولومیتی شدن، شرایط فیزیکی‌وشیمیایی را برای عبور محلول کانه‌دار و ته نشینی باریت و فلزات فراهم کرده است. ژئوشیمی رگه‌ها شامل حدود ۱ درصد سرب، ۰/۱۵ درصد مس و حداکثر ۲۸۸ گرم در تن آنتیموان است، درحالی که نقره (کمتر از ۴۰ گرم در تن) و بیسموت (کمتر از ۱۰ گرم در تن) پایین است. همچنین تمرکز نقره، بیسموت و آنتیموان در نمونه‌های گالن جدا شده به ترتیب ۱۲ تا ۱۷۵ گرم در تن، ۴۳ تا ۱۰۱ گرم در تن و ۱۳۷ تا ۲۷۰ گرم در تن است. نسبت Sb/Bi در گالن‌های کانسار کوه سربی بین ۲/۲۵ تا ۵/۶۳ است که نشان‌دهنده تشکیل گالن در دما و فشار متوسط است. نمونه‌های گالن از نوع سرشار از آنتیموان هستند. اندازه‌گیری‌های ریزدماسنجی در شاره‌های درگیر دوفازی (مایع و بخار) نشان می‌دهد که باریت و کانه‌ها از یک شاره با دمای متوسط (۲۵۰ تا ۳۸۶ درجه سانتیگراد) و شوری پایین (۴/۹ تا ۱/۸ درصد وزنی $NaCl$) که احتمالاً آب دگرگونی است، ریشه گرفته‌اند. کاهش دما مهمترین نقش در کانی‌سازی باریت-سرب $\pm$ مس را داشته است. براساس زمین‌شناسی، کانی‌شناسی، بافت و ویژگی شاره‌ها، کانسار کوه سربی از نوع مزوترمال است.

واژه‌های کلیدی: کانی‌شناسی؛ ژئوشیمی؛ شاره‌های درگیر؛ کانسار باریت-سرب $\pm$ مس؛ مزوترمال.

مقدمه

که ذخائر آن‌ها به حدود ۱۰ میلیون تن می‌رسد [۵]. سن کانی‌سازی‌ها که بیشتر براساس سن سنگ میزبان آن‌ها برآورد شده است، از اواخر پرکامبرین تا میوسن متغیر است [۵]. بزرگ‌ترین ذخایر باریت ایران در زون‌های البرز مرکزی و ایران مرکزی دیده شده‌اند و سنگ میزبان آن‌ها بیشتر دولومیت یا سنگ‌های آتشفشانی-رسوبی است. ایران حدود ۲۰۰۰۰۰ تن متریک تولیدات باریت دارد که تقریباً ۳/۳ درصد تولیدات جهانی در سال ۲۰۰۹ بوده است [۶].

کانسارهای باریت در سنگ‌های مختلف رسوبی، آذرین و دگرگون از آرکئن تا عهد حاضر یافت می‌شوند [۱]. باریت بیشتر با ذخایر سرب و روی نوع دره‌ی می‌سی‌سی‌پی یافت می‌شود، به طوری که در دهه‌ی ۱۹۶۰ تا ۱۹۷۰، کانسار والتون در شرق کانادا [۲] و دیگر ذخایر شناخته شده نوع می‌سی‌سی‌پی [۳، ۴] از ذخایر بزرگ باریت دنیا محسوب می‌شدند. حدود ۱۰۰ کانسار و منطقه‌ی پی‌جویی کوچک باریت در ایران وجود دارند

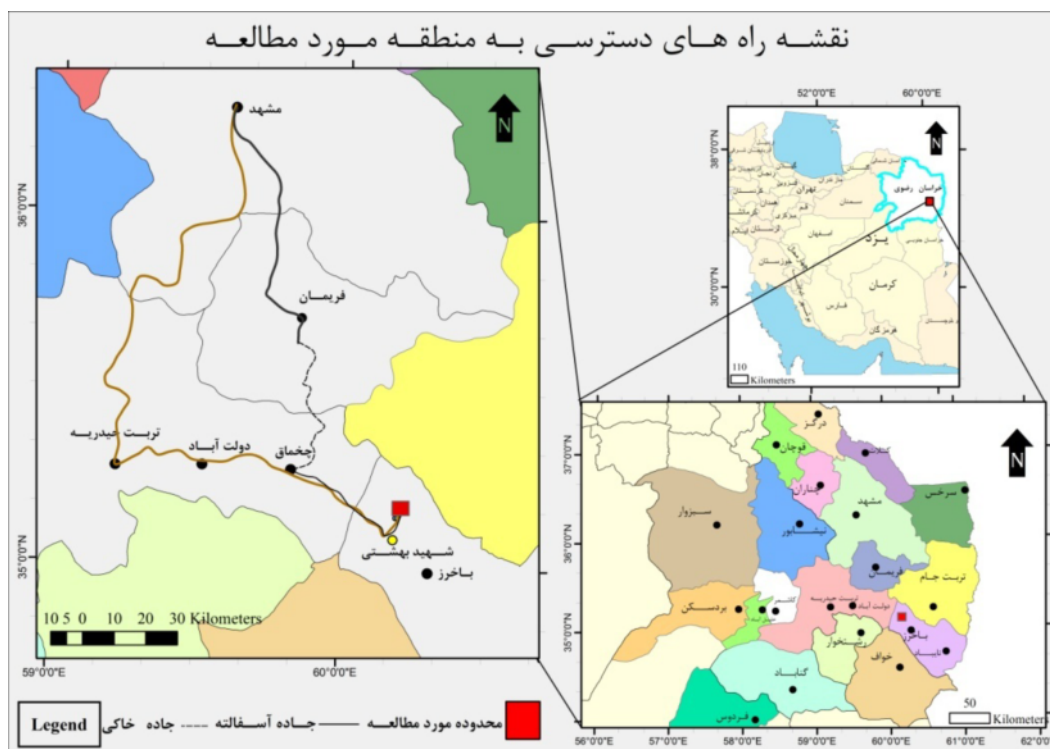
* نویسنده مسئول، تلفن - نمابر: ۰۵۱۳۸۷۹۷۲۷۵، پست الکترونیکی: Shafaroudi@um.ac.ir

تجزیه‌کنندگان کانسارهای بلورین آمیتیس شرق تجزیه شدند. همچنین ۲۵ نمونه خرده‌سنگی از محل رگه و رگچه‌های کانی-سازی و ۲۲ نمونه از سنگ میزبان کربناتی به روش جذب اتمی در دانشگاه فردوسی مشهد تجزیه شدند. تعداد ۱۰ نمونه از کانی گالن تقریباً خالص نیز نخست، با مته الماسه و سپس زیر میکروسکوپ بینوکالر جدا شدند و برای بررسی ژئوشیمی آن‌ها به روش جذب اتمی در دانشگاه فردوسی مشهد تجزیه شدند. همچنین برای بررسی شاره‌های درگیر، تعداد ۸ مقطع دوبرصیقل (ویفر) از کانی باریت که پاراژنز اصلی کانه‌های سولفیدی نیز هست تهیه شدند و با دماسنجی، نوع املاح و مقدار شوری بر روی آن‌ها تعیین شد. آزمایش‌های مربوطه با استفاده با یک سردکننده و گرم‌کننده‌ی ساخت شرکت لینکام مدل THM 600 در دانشگاه فردوسی مشهد صورت گرفت. دقت کار دستگاه در مرحله‌ی سرد و گرم کردن $\pm 1^\circ \text{C}$ و گستره گرمایی دستگاه بین (-190) تا $(+600)$ درجه‌ی سانتیگراد بوده است. مقدار شوری بنا بر [۷] در سیستم $\text{H}_2\text{O}-\text{NaCl}$ و مقدار چگالی شاره‌های درگیر با استفاده از نرم افزار FLINCOR و براساس اطلاعات دماسنجی بنا بر [۸] محاسبه شده‌اند. نمودارهای مناسب در نرم‌افزار SPSS ترسیم شده‌اند.

کانسار باریت-سرب $\pm$ مس کوه سربی در استان خراسان رضوی و در ۱۳۷ کیلومتری جنوب شرقی مشهد بین طول‌های جغرافیایی $60^\circ 11'$ و $60^\circ 13'$ و عرض‌های جغرافیایی $35^\circ 3'$ و $35^\circ 3'$ قرار گرفته است (شکل ۱). اگرچه این کانسار در حال حاضر در حال بهره‌برداری بوده و نیز تونل‌ها و کنده-کاری‌های قدیمی در منطقه وجود دارند، اما از لحاظ علمی هیچ‌گونه بررسی تفصیلی در آن انجام نشده است و تاریخچه‌ی بررسی‌هایی از آن وجود ندارد. این مقاله اولین بررسی درباره کانی‌سازی، ژئوشیمی و بررسی شاره‌های درگیر روی کانسار است که با هدف شناسایی ویژگی‌های شاره‌ی کانه‌دار مسئول کانی‌سازی و تعیین نوع آن صورت گرفته است.

روش بررسی

در راستای دستیابی به اهداف مورد نظر، برداشت اطلاعات صحرایی و نمونه‌برداری از واحدهای سنگی و رگه‌ی کانی‌سازی (از سطح و داخل ترانشه‌ها و تونل‌ها) انجام شد. در مجموع تعداد ۱۰۰ نمونه جمع‌آوری شد که از آن میان ۵۰ مقطع نازک و ۳۵ مقطع نازک صیقلی و بلوک صیقلی تهیه و بررسی شدند. به منظور بررسی ژئوشیمی باریت تعداد ۱۰ نمونه از باریت خالص جدا شده و به روش XRF در آزمایشگاه



شکل ۱: موقعیت کانسار کوه سربی در شمال شرقی ایران، استان خراسان رضوی و راه دسترسی به آن.

زمین‌شناسی

کانسار باریت - سرب $\pm$ مس کوه‌سربی براساس تقسیمات ساختاری ایران [۹] در حاشیه‌ی شمال شرقی زون ایران مرکزی قرار دارد. بنا بر نقشه‌ی زمین‌شناسی کاریزنو [۱۰] قدیمی‌ترین واحد رخنمون داشته در منطقه‌ی کوه سربی سنگ‌های رسوبی دگرگون شده تریاس فوقانی هستند که میزبان رگه‌های باریت-گالن هستند. سنگ‌های تریاس فوقانی شامل سنگ آهک ریفی و سنگ آهک دوباره تبلور یافته، همراه با میان لایه‌های با اندکی اسلیت و کوارتزیت سازند نایبند است (شکل ۲). نهشته‌های سیلیسی آواری-کربناتی تریاس فوقانی (نورین-راتین) سازند نایبند یکی از گسترده‌ترین واحدهای زمین‌شناسی رخنمون یافته در مرکز و شمال شرقی ایران است [۱۱]. مقطع تیپ سازند نایبند در دامنه‌ی جنوبی کوه نایبند، حدود ۲۲۰ کیلومتری جنوب طبس در شرق ایران قرار دارد. ضخامت سازند در مقطع این تیپ حدود ۳۰۰۰ متر است. در این زمینه یک کار کلی توسط [۱۱] و نیز توصیف رخساره‌ی و محیط ته‌نشینی آن توسط [۱۲] انجام شده است. براساس آخرین پیشنهاد [۱۳] سازند نایبند از پایین به بالا به پنج بخش تقسیم می‌شود: (۱) عضو گلکان، (۲) عضو بیدستان، (۳) عضو حوض شیخ، (۴) عضو حوض خان و (۵) عضو حوض قدیر. عضو حوض خان در ناحیه‌ی مورد بررسی میزبان کانسار کوه سربی است. این عضو در مقطع تیپ سازند نایبند شامل ۴۶۵ متر سنگ آهک ریفی بیشتر مرجانی و صخره ساز است که به‌طور کلی همراه با شیل ورقه‌ای و ماسه سنگ است [۱۳]. واحد آهکی در ناحیه‌ی کوه سربی برپایه‌ی نامگذاری و رده‌بندی [۱۴] به پکستون، آهک بلورین و مادستون تقسیم می‌شود و فسیل‌های گاستروپود، خرده دوکفه‌ای و بریوزوا نشانگر سن راتین در آن مشهود است. در منطقه‌ی مورد بررسی، این بخش از سازند تحت تاثیر دگرگونی ناحیه‌ای ضعیفی قرار گرفته است. حقی‌پور [۱۵] دگرگونی سازند نایبند را به فاز کوهزایی کیمیرین میانی در ژوراسیک میانی وابسته می‌داند. آثار این دگرگونی ناحیه‌ای ضعیف و شامل بافت‌های جهت یافته، پخ شدگی کانی‌ها، دگرشکلی فسیل‌ها، تبلور دوباره و بریدگی به ویژه در لایه‌های شیلی است. این شواهد نشان دهنده یک

دگرگونی ناحیه‌ای، درجه‌ی پایین و در اوایل رخساره شیبست سبز است.

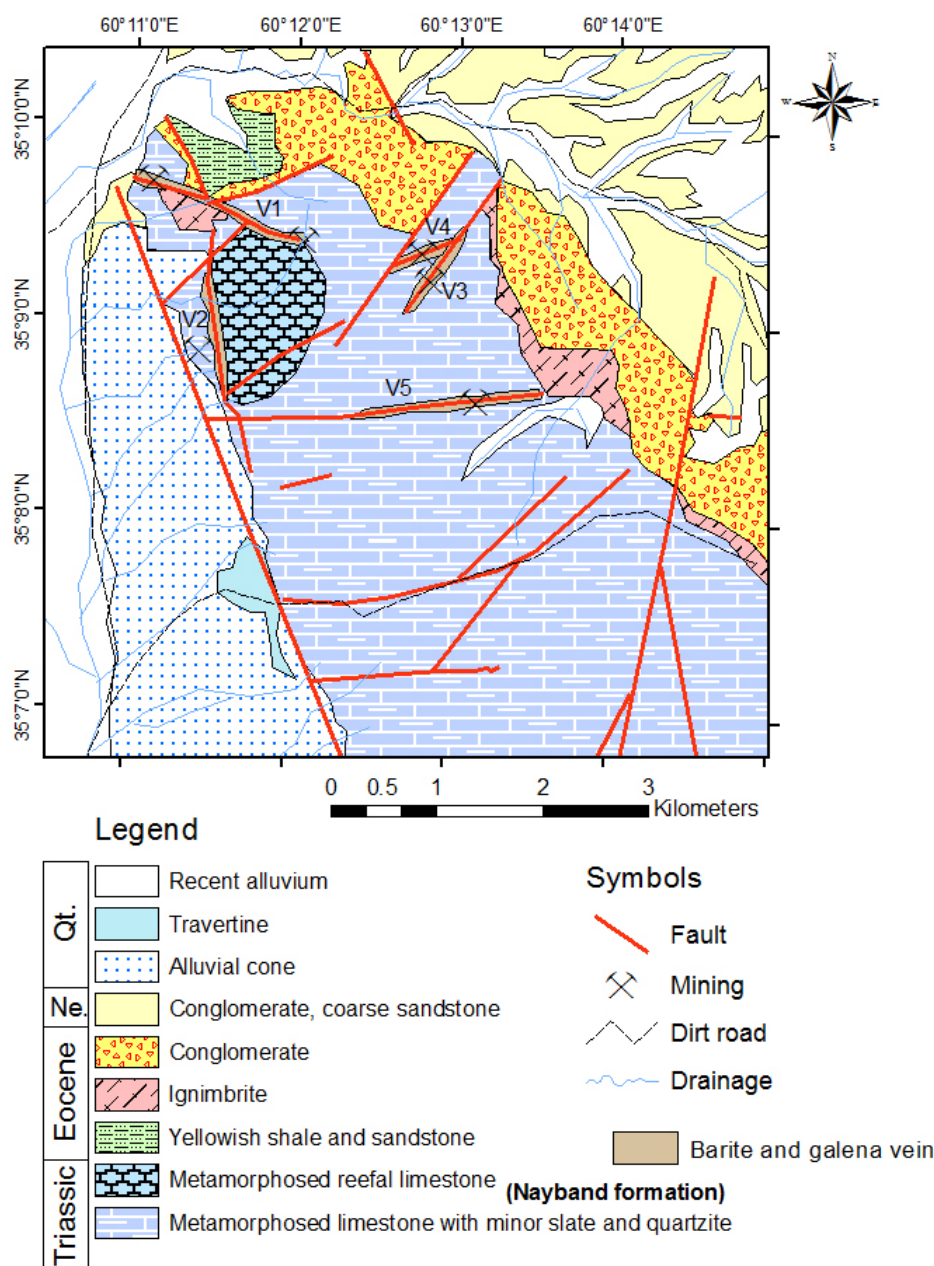
پس از سنگ‌های تریاس فوقانی، واحدهای ائوسن در منطقه‌ی مورد بررسی رخنمون دارند. در شمال غربی منطقه، نهشته‌هایی از شیل و ماسه سنگ سبز قرار دارد که مرز گسله داشته و بسیار اندک در آن‌ها فسیل‌های شاخص محیط‌های دریایی پیدا شده است (شکل ۲). این نهشته‌ها معادل با سری شبه فیلیش ائوسن زیرین که در شرق منطقه (خارج از منطقه-ی مورد بررسی) قرار دارند، در نظر گرفته شده است [۱۰]. رخنمون اندکی از ایگنمبریتی ائوسن با روند شمال غربی-جنوب شرقی در شرق و شمال غربی منطقه دیده می‌شود (شکل ۲). این واحد ایگنمبریتی به وسیله‌ی کنگلومرای ائوسن پوشیده شده است. در شمال منطقه نیز کنگلومرا به‌صورت دگرشیب روی شیل و ماسه سنگ‌های سبز ائوسن زیرین قرار گرفته است (شکل ۲). کنگلومرا و ماسه سنگ درشت نئوژن نیز در شمال شرقی گستره رخنمون دارد (شکل ۲). در جنوب غربی گستره نیز لایه‌های تراورتن سفید توده‌ای کواترنری قرار دارد که احتمالاً در اثر فعالیت چشمه‌های آب گرم، در طول گسل اصلی منطقه (غرب نقشه) به وجود آمده است (شکل ۲).

دگرسانی

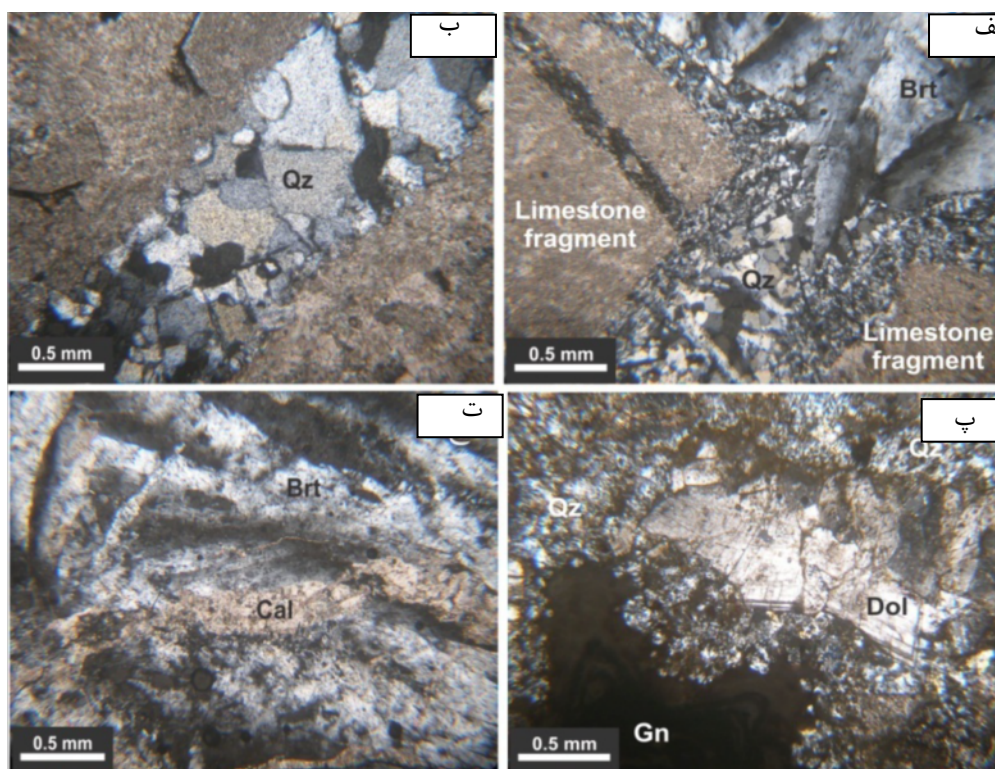
سیلیسی شدن، دولومیتی شدن و کلسیتی شدن مهمترین دگرسانی‌های منطقه هستند که در اطراف رگه و رگچه‌های کانی‌سازی در سنگ میزبان کربناتی مشاهده می‌شوند. سیلیسی شدن در قالب رگچه‌های کوارتز، کوارتز پراکنده در متن سنگ آهک و یا سیمان برش‌ها همراه با باریت دیده می‌شود (شکل ۳ الف تا پ). اندازه‌ی کوارتزها از چند صدم تا ۰/۴ میلیمتر تغییر می‌کند. در این فرایند سیلیس جانشین کلسیت در سنگ آهک شده و درصد شکنندگی آن را افزایش می‌دهد که محل مناسب برای کانی‌سازی را فراهم می‌کند. دولومیت-های گرمابی نیز به شکل دولومیت‌های درشت دانه دولواسپارایت هستند که جانشین کلسی‌میکرایت سنگ میزبان شده‌اند. آن‌ها به شکل بلورهای لوزی شکل‌دار موزاییکی تا نیمه شکل‌دار با اندازه‌ی ۰/۳ تا ۴ میلیمتر دیده می‌شوند (شکل ۳ پ). دولومیتی شدن سنگ کربناتی باعث افزایش تخلخل مفید

کانه دار می شود. کلسیتی شدن آخرین مرحله ی دگرسانی است که به صورت رگه های از کلسیت درشت بلور دیده می شوند. رگه های کلسیت رگه های باریت را قطع می کنند و از آن ها جوانترند (شکل ۳ ت). کلسیتی شدن در اثر انحلال سنگ کربناتی و ته نشست دوباره کلسیت رخ می دهد.

سنگ در حدود ۱۲/۵ درصد می شود که به دلیل چگال تر بودن دولومیت نسبت به کلسیت است [۱۶]. دولومیت گرمایی ممکن است قبل، همزمان یا بعد از کانی سازی در سنگ میزبان کربناتی جانشین شود و هاله ی دگرسانی را اطراف کانسار تشکیل دهد [۱۷]. دولومیتی شدن قبل یا همزمان با کانی سازی باعث آماده شدن سنگ کربناتی برای ته نشست محلول



شکل ۲ نقشه ی زمین شناسی کانسار کوه سربی (با تغییرات از [۱۰])



شکل ۳ الف) قطعات بریده شده که به وسیله سیمانی از کوارتز و باریت سیمانی شده است (نمونه KS-22). ب) دگرسانی سیلیسی در غالب رگچه‌های کوارتز در سنگ میزبان (نمونه KS-37). پ) دولومیتی شدن و سیلیسی شدن همراه با گالن (نمونه KS-15). ت) رگچه کلسیت که رگچه باریت را قطع کرده است (نمونه KS-20). (Brt= باریت، Qz= کوارتز، Dol= دولومیت، Cal= کلسیت، Gn= گالن [۱۸]).

کانی‌سازی

کانی‌سازی در کانسار کوه سربی دارای کنترل گسلی بوده و به صورت رگه‌ای و جانشینی در سنگ آهک‌های دگرگون شده تریاس فوقانی تشکیل شده است. پنج رگه (V1 = امتداد/ شیب N67W/66NE؛ V2 = N5W/68SW؛ V3 = S30W/72NW؛ V4 = S80W/70SE و V5 = E-W/62N) در منطقه وجود دارند که در زون گسلی تشکیل شده و لایه‌بندی سنگ میزبان را قطع می‌کنند (شکل ۲). بر اثر فعالیت‌های معدنکاری ضخامت اصلی رگه‌ها مشخص نیست و گمان می‌رود که بیش از ۵ متر باشد. طول آن‌ها نیز از ۳۰ تا ۴۵ متر متغیر است. دو شفت شدادی نیز در منطقه به چشم می‌خورد که به گفته اهالی محل در گذشته از آن سرب استخراج می‌شده. در اطراف رگه‌ها، رگچه‌هایی از باریت، کوارتز و کلسیت با ضخامت بین ۵ تا ۱۰ سانتیمتر و با تراکم ۱۵ تا ۲۰ عدد در مترمربع دیده می‌شوند که تعداد و ضخامت آن‌ها با دور شدن از محل رگه کاهش می‌یابند. رابطه‌ی بین رگه‌ها و

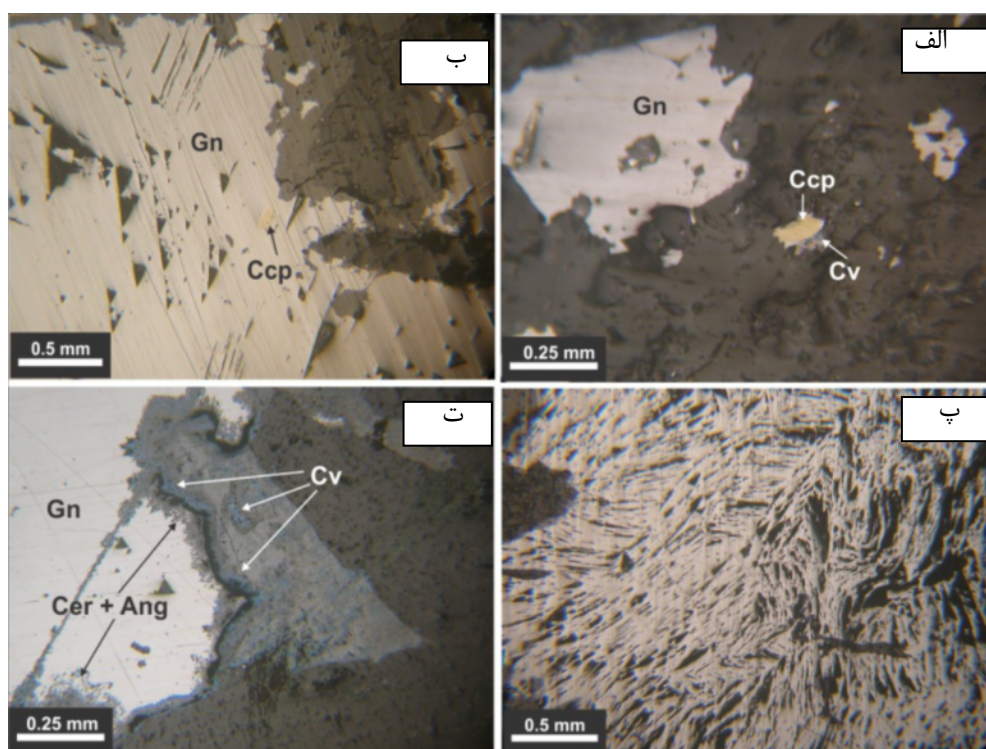
سنگ میزبان نشان می‌دهد که کانی‌سازی کاملاً روزادی است و سن تشکیل آن پس از تریاس فوقانی (سن سنگ میزبان) است. کانی‌شناسی رگه‌ها بسیار شبیه هم بوده و شامل باریت (۸۰ تا ۸۵ درصد)، گالن (۱۰ تا ۱۵ درصد) و مقادیر جزئی کالکوپریت و کوارتز است.

کانی‌شناسی

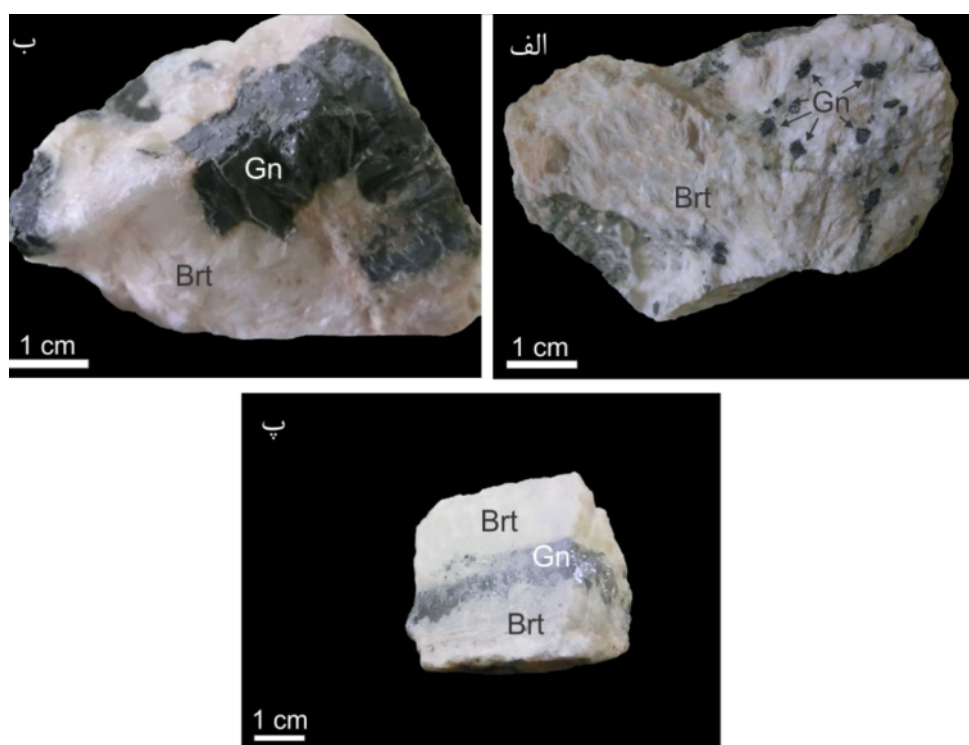
براساس بررسی‌های صحرایی- آزمایشگاهی، بلورهای باریت شکل‌دار تا نیمه‌شکل‌دار، به شکل‌های صفحه‌ای، تیغه‌ای و شعاعی و در اندازه‌های ۰/۱ میلی‌متر تا بزرگتر از ۲ سانتیمتر دیده می‌شوند. در برخی نقاط نیز تحرک دوباره باعث تشکیل رگچه‌های کوچک باریت شده که دانه‌های اولیه‌ی آن را قطع کرده‌اند. همچنین باریت همراه با گالن به صورت سیمان برش-های گسلی در داخل رگه مشاهده می‌شود. کالکوپریت اولین کانی سولفیدی تشکیل شده است که بیشتر به وسیله گالن از اطراف احاطه شده و به ندرت به شکل اداخل‌هایی در گالن نیز دیده می‌شوند. بخش زیادی از این کانی به مالاکیت، آزوریت و

است. روابط پاراژنزی کانی کوه سربی در شکل (۶) ارائه شده است. از آنجا که کالکوپیریت بیشتر به وسیله گالن احاطه شده است، تشکیل آن را می‌توان به قبل از گالن نسبت داد. اما وجود ادخال‌های کالکوپیریت در داخل گالن حکایت از همزمانی تشکیل بخشی از آن‌ها نیز دارد. همراهی خوبی بین باریت و گالن دیده می‌شود که نشان دهنده‌ی هم‌ریشه و هم‌خاستگاه بودن این دو کانی است. سیلیسی شدن و دولومیتی شدن سنگ میزبان نیز قبل و همزمان با تشکیل باریت و کانه‌ها، محیط مناسب برای فرایند جانشینی را فراهم آورده است. کلسیت که از سنگ میزبان خارج شده و جای خود را به عناصر دیگر داده است در نهایت در قالب رگچه‌های کلسیت درشت دانه ته‌نشست کرده است. همچنین رگچه‌های کلسیت تاخیری نیز وجود دارند که کل رگه و رگچه‌های منطقه را قطع کرده و به فرایندهای ثانویه وابسته‌اند. کانی‌های ثانویه نیز در اثر فرایند اکسایش و هوازدگی سطحی کانی‌های سولفیدی به وجود آمده‌اند (شکل ۶).

کلولیت تبدیل شده و باقیمانده‌های آن اندازه‌هایی در حد ۰/۰۵ تا ۰/۲۵ میلیمتر دارند (شکل ۴ الف و ب). گالن فراوانترین کانی سولفیدی منطقه است که در نمونه‌ی دستی نیز دیده می‌شود. این کانی را در قالب سه بافت پراکنده، توده‌ای و لایه‌ای با رشد تک راستای بلورهای گالن همراه با باریت و با اندازه‌های ۰/۱ میلیمتر تا بزرگتر از ۵ سانتیمتر می‌توان مشاهده کرد (شکل‌های ۵). ادخال خاصی به جز کالکوپیریت که به ندرت دیده می‌شود، در گالن وجود ندارد. انحنای جابه‌جایی چاله‌های مثلی گالن نشان دهنده رخداد دگرشکلی پس از ته‌نشینی آن است (شکل ۴ پ). سروزیت و آنگلزیت به شکل بافت تیغه‌ای در حاشیه، راستای درز و شکستگی و رخ‌های گالن جانشین شده‌اند و گاهی فقط باقیمانده‌ای از گالن برجای مانده است. کلولیت نیز در مرز بین گالن و باریت دیده می‌شود (شکل ۴ ت). کانی‌های ثانویه منطقه نیز سروزیت و آنگلزیت هستند که محصول تجزیه گالن و کلولیت، مالاکیت، آزوریت همراه با مقادیر جزئی گوتیت و همتایت محصول تجزیه‌ی کالکوپیریت



شکل ۴ تصاویر میکروسکوپی از کانه‌های کانسار کوه سربی در نور بازتابی. الف) کالکوپیریت دگرسان شده به کلولیت همراه با گالن (نمونه KSM5). ب) ادخال کالکوپیریت به داخل گالن (نمونه KSM16). پ) انحنای جابه‌جایی در چاله‌های مثلی شکل گالن (نمونه KSM11). ت) جانشینی سروزیت و آنگلزیت در حاشیه‌ی گالن و تشکیل کلولیت در بین گالن و باریت (نمونه KSM20). (Gn = گالن، Ccp = کالکوپیریت، Cv = کلولیت، Cer = سروزیت، Ang = آنگلزیت [۱۸]).



شکل ۵ تصاویر بافت‌های مختلف بین گالن و باریت. الف) بافت پراکنده. ب) بافت توده‌ای، پ) بافت لایه‌ای با رشد تک جهتی شانه‌ای گالن.

Minerals	Hypogene		Oxidized zone
	Early	Late	
Chalcopyrite	—		
Galena	—	—	
Barite	—	—	
Quartz	—	—	
Calcite		—	—
Dolomite	—		
Cerrusite			—
Anglesite			—
Covellite			—
Malachite			—
Azurite			—
Hematite			—
Goethite			—

شکل ۶ دنباله‌ی روابط پاراژنزی کانسار کوه سربی.

بررسی شیمی رگه‌ها، سنگ میزبان و کانی‌ها

نتایج تجزیه‌ی ۱۰ نمونه از باریت جدا شده به روش XRF و ۲۵ نمونه از رگه و رگچه‌های کانی‌سازی و ۲۲ نمونه از سنگ میزبان به روش جذب اتمی در جدول (۱) و نتایج تجزیه‌ی ۱۰ نمونه گالن جدا شده به روش جذب اتمی در جدول (۲) ارائه شده‌اند.

شیمی باریت: مقدار Sr باریت از ۲/۵۴ تا ۲/۸۶ درصد متغیر است که این میزان برابر ۵/۳۳ تا ۶ درصد SrSO_4 است. این مقدار SrSO_4 نشان می‌دهد که نمونه‌های باریت کوه سربی در سری انحلال جامد باریت-سلسیت، وابسته به عضو نهایی باریت هستند. مقدار Ba نیز بین ۵۱/۱۶ تا ۵۵/۲۱ درصد متغیر است (جدول ۱).

جدول ۱ نتایج تجزیه‌ی نمونه‌های ژئوشیمیایی مورد بررسی به روش XRF (B= نمونه‌های باریت، R= نمونه‌های سنگ دیواره V= نمونه‌های رگه باریت- گالن).

شماره نمونه	B1	B2	B3	B4	B5	B6	B7	B8	B9	B10
Ba (%)	۵۳٫۴۳	۵۴٫۲۰	۵۳٫۵۲	۵۲٫۱۶	۵۱٫۷۵	۵۱٫۷۰	۵۴٫۲۳	۵۱٫۱۶	۵۵٫۲۱	۵۱٫۱۸
Sr (%)	۲٫۸۶	۲٫۷۳	۲٫۶۲	۲٫۶۵	۲٫۸۰	۲٫۵۴	۲٫۸۳	۲٫۸۲	۲٫۵۹	۲٫۷۴
SO ₄ (%)	۴۳٫۵۴	۴۱٫۹۶	۴۲٫۷۹	۴۴٫۳۲	۴۴٫۶۶	۴۴٫۷۵	۴۲	۴۴٫۹۸	۴۱٫۴۳	۴۵٫۲۱
Total	۹۹٫۸۳	۹۸٫۸۹	۹۸٫۹۳	۹۹٫۱۳	۹۹٫۲۱	۹۸٫۹۶	۹۹٫۰۵	۹۸٫۹۶	۹۹٫۲۳	۹۹٫۱۳

شماره نمونه	R2	R7	R11	R12	R13	R14	R15	R16	R17	R18
Ag (ppm)	۵	۵	۱۲	۳	۴	۶	۳	۶	۳	۲
Cu (ppm)	۵۴۷	۲۹۰	۲۴۴	۳۸۷	۱۶	۶۸	۲۷	۱۱	۴۲	۱۹
Pb (%)	۰٫۱۳	۰٫۱۷	۰٫۰۹	۰٫۰۳	۰٫۰۲	۰٫۱۵	۰٫۰۳	۰٫۰۲	۰٫۰۲	۰٫۰۶
Sb (ppm)	۹۵	۱۳۷	۱۱۶	۱۵۱	۱۱۸	۱۱۵	۱۱۴	۱۱۱	۱۰۳	۸۱
Zn (ppm)	۳۱۸	۲۲۸	۶۵	۳۷	۳۵	۴۰	۱۱۳	۲۲۷	۵۴	۶۵

شماره نمونه	R19	R20	R22	R27	R28	R30	R32	R33	R34	R35
Ag (ppm)	۲	۳	۸	۶	۴	۶	۵	۲۰	۳	۶
Cu (ppm)	۴۳	۲۲	۴۸۶	۲۴	۵۶	۱۹۶	۳۸۲	۱۵۵	۲۰۷	۲۴۵
Pb (%)	۰٫۰۲	۰٫۰۱	۰٫۰۵	۰٫۰۳	۰٫۰۲	۰٫۱۲	۰٫۱۸	۰٫۰۹	۰٫۰۲	۰٫۱
Sb (ppm)	۱۱۶	۱۰۲	۸۲	۱۱۵	۸۹	۹۱	۸۵	۹۰	۷۸	۹۲
Zn (ppm)	۳۷	۲۲	۴۸	۲۵	۱۰	۴۳	۱۳۹	۴۷	۳۰	۱۱۱

شماره نمونه	R38	R47	V1	V3	V4	V5	V6	V8	V9	V10
Ag (ppm)	۵	۵	۲۴	۹	۱۲	۱۶	۱۴	۲۱	۳۱	۳۰
Cu (ppm)	۲۹۵	۱۲	۹۷۰۰	۱۷۸	۹۱۰	۴۱۰۰	۱۵۰۰	۳۳۰	۶۷۰۰	۱۵۰۰
Pb (%)	۰٫۰۶	۰٫۰۱	۰٫۱۸	۰٫۹۶	۰٫۹۷	۰٫۴۶	۰٫۳۹	۰٫۲۱	۴٫۰۵	۰٫۳۴
Sb (ppm)	۱۰۶	۱۱۳	۲۸۸	۶۹	۲۳۵	۱۷۳	۱۱۴	۱۲۵	۸۱	۱۲۰
Zn (ppm)	۸۴	۲۷	۳۴۰	۱۸۶	۹۴	۱۴۶	۳۸۹	۳۲	۸۳	۱۰۷

شماره نمونه	V21	V23	V24	V25	V26	V29	V31	V36	V37	V39
Ag (ppm)	۶	۲۲	۱۳	۱۳	۲۷	۲۱	۱۰	۱۵	۱۳	۸
Cu (ppm)	۹۷	۱۴۰۰	۱۱۰۰	۱۶۰۰	۴۹۳	۱۷۰۰	۴۶۰	۴۴۶	۶۴	۸۵۳
Pb (%)	۰٫۲۳	۰٫۲۹	۰٫۲	۰٫۲۵	۰٫۳۲	۰٫۲۶	۰٫۳۸	۰٫۳۶	۰٫۲۵	۰٫۰۳
Sb (ppm)	۱۲۰	۱۹۳	۱۵۳	۱۸۱	۱۶۳	۱۸۶	۱۰۲	۷۵	۹۹	۱۰۲
Zn (ppm)	۳۳	۱۲۰	۱۴۱	۱۹۶	۱۲۱	۹۹	۱۰۹	۴۳	۳۲	۱۵۵

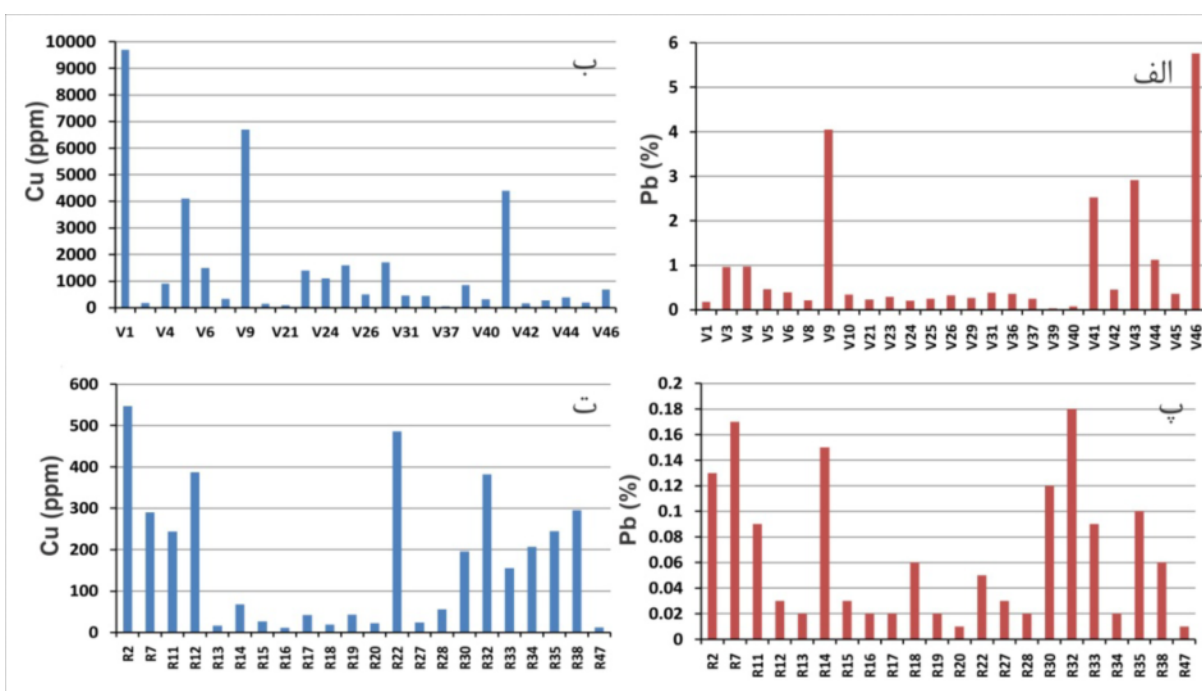
شماره نمونه	V40	V41	V42	V43	V44	V45	V46
Ag (ppm)	۵	۱۰۸	۸	۳۰	۴۰	۲۸	۳۸
Cu (ppm)	۳۱۸	۴۴۰۰	۱۵۹	۲۷۲	۳۸۴	۱۸۶	۶۸۹
Pb (%)	۰٫۰۷	۲٫۵۳	۰٫۴۵	۲٫۹۱	۱٫۱۲	۰٫۳۶	۵٫۷۶
Sb (ppm)	۵۰	۲۴۳	۲۱	۶۰	۷۴	۱۲۳	۱۰۳
Zn (ppm)	۴۳	۳۶۳	۱۰	۱۷	۲۰	۱۷۱	۲۳

جدول ۲ نتایج تجزیه نمونه‌های گالن جدا شده به روش جذب اتمی.

شماره نمونه	Ag (ppm)	Bi (ppm)	Cu (ppm)	Fe (%)	Sb (ppm)	Sb/Bi
Gn1	۱۶	۵۹	۶۴۲	۰/۰۸	۱۶۴	۲/۷۸
Gn2	۲۰	۱۰۱	۸۰۴	۰/۲	۲۲۹	۲/۲۷
Gn3	۱۷۵	۵۸	۱۶۰۰	۰/۴۳	۲۶۸	۴/۶۲
Gn4	۱۲	۴۳	۹۷۴	۰/۰۲	۱۹۹	۴/۶۳
Gn5	۲۲	۴۷	۱۴۴	۰/۰۷	۱۷۶	۳/۷۴
Gn6	۸۱	۵۷	۴۷۰۰	۰/۱۹	۱۳۷	۲/۴۰
Gn7	۱۲۱	۶۹	۲۴۰۰	۰/۵۴	۲۰۳	۲/۹۴
Gn8	۲۴	۶۳	۱۴۰۰	۰/۷۵	۱۶۴	۲/۶۰
Gn9	۴۳	۴۸	۲۲۰۰	۰/۲۷	۲۷۰	۵/۶۳
Gn10	۳۲	۷۲	۲۵۴	۰/۰۶	۱۶۲	۲/۲۵

بازتابی، نیاز به بررسی‌های ریزپردازنده‌ی الکترونی و میکروسکوپ الکترونی SEM است. علاوه بر آن تبادل یونی و جانشینی بین سرب و آنتیموان نیز امکان‌پذیر است. شیمی گالن: مقادیر بالای آهن (۰/۰۲ تا ۰/۷۵ درصد) و مس (۱۴۴ تا ۴۷۰۰ گرم در تن) در گالن مربوط به اذخال‌های کالکوپریت یا همراهی بعضی کانی‌های ثانویه مانند کوولیت است که در موقع جداکردن گالن، جداسازی آن‌ها مقدور نبود. عناصر فرعی مهم و قابل بحث در این بخش شامل نقره، آنتیموان و بیسموت است. در بررسی‌های کانی‌شناسی با میکروسکوپ بازتابی، هیچ‌گونه اذخالی از کانی‌های نقره، آنتیموان و یا بیسموت‌دار در داخل گالن دیده نشد و این نشان می‌دهد که این عناصر احتمالاً به صورت انحلال جامد در آن حضور دارند. اما اثبات این موضوع نیز نیاز به بررسی‌های میکروسکوپ الکترونی دارد، زیرا ممکن است که برخی اذخال‌ها با میکروسکوپ معمولی قابل تشخیص نباشند. مقدار نقره بین ۱۲ تا ۱۷۵ گرم در تن و بیسموت ۴۳ تا ۱۰۱ گرم در تن متغیر است. آنتیموان نیز بین ۱۳۷ تا ۲۷۰ گرم در تن است (جدول ۲). مقدار جانشینی نقره به جای سرب در ساختار گالن وابسته به حضور عناصر دیگری همچون آنتیموان و بیسموت است. این جانشینی بنابر رابطه‌ی $Ag^+ + (Sb, Bi)^{3+} = 2Pb^{2+}$ امکان‌پذیر است [۱۹]. نشستن Ag^+ و Sb^{3+} به جای $2Pb^{2+}$ در اثر عواملی مانند دما، مقدار غلظت آنتیموان و نقره، تمرکز دیگر یونهای فلزی که قادرند تشکیل سولفوسالت بدهند و یا ترکیبی از این عوامل کنترل می‌شود [۲۰]. در مجموع تمرکز نقره و بیسموت در گالن‌های مورد بررسی کم بوده و مقدار آنتیموان بیشتر است.

ژئوشیمی رگه‌ها و سنگ میزبان: مقدار سرب و مس در نمونه‌های خرده‌سنگی برداشت شده از محل رگه و رگچه‌ها به ترتیب ۰/۰۳ تا ۵/۷۶ درصد (با میانگین ۰/۹۳ درصد) و ۶۴ تا ۹۷۰۰ گرم در تن (با میانگین ۱۵۲۷ گرم در تن) است (شکل ۷ الف و ب)؛ این در حالیست که مقدار سرب در سنگ میزبان کربناتی بین ۰/۰۱ تا ۰/۹۷ درصد (با میانگین ۰/۰۷ درصد) و مس بین ۱۱ تا ۵۴۷ گرم در تن (با میانگین ۱۷۲ گرم در تن) است (شکل ۷ پ و ت). مقدار سرب و مس با فاصله گرفتن از محل رگه‌ها در سنگ کربناتی کاهش می‌یابد. بالاترین مقادیر سرب در رگه‌ها به درصد بالاتر گالن، سروزیت و آنکلیزیت و بالاترین مقادیر مس وابسته به نمونه‌های محتوی کالکوپریت، مالاکیت، آزوریت و کوولیت بیشتر وابسته است. مقدار نقره در رگه‌ها اغلب کمتر از ۴۰ گرم در تن است و فقط نمونه‌ی V41 تا ۱۰۸ گرم در تن نقره دارد (جدول ۱). جانشینی نقره به جای سرب با توجه به شعاع یونی ($Ag^+ = 1.26\text{\AA}$, $Pb^{2+} = 1.20\text{\AA}$) امکان‌پذیر است، ولی در این نمونه‌ها همبستگی کمی ($r = 0.23$) بین این دو دیده می‌شود. مقدار روی نیز در نمونه‌های برداشت شده از محل رگه‌ها بین ۱۰ تا ۳۸۹ گرم در تن (با میانگین ۱۲۳ گرم در تن) و نمونه‌های سنگ میزبان بین ۱۰ تا ۳۱۸ گرم در تن (با میانگین ۸۲ گرم در تن) متغیر است (جدول ۱). مقدار آنتیموان نیز در رگه‌ها تا ۲۸۸ و در سنگ میزبان تا ۱۳۷ گرم در تن می‌رسد (جدول ۱)، درحالی که مقدار بیسموت در همه‌ی نمونه‌ها کمتر از ۱۰ گرم در تن است. همبستگی $Sb-Ag$ و $Sb-Cu$ در تعدادی از نمونه‌ها مانند V41 و V1 (جدول ۱) می‌تواند نشان‌دهنده‌ی حضور کانی‌هایی مثل تتراندريت و فری‌برگیت بیشتر به صورت اذخال در گالن باشد، که باتوجه به دیده نشدن این اذخال‌ها در میکروسکوپ



شکل ۷. نمودارهای مقدار سرب و مس در نمونه‌های رگه و سنگ میزبان (الف) مقدار سرب در نمونه‌های رگه. (ب) مقدار مس در نمونه‌های رگه. (پ) مقدار سرب در سنگ میزبان کربناتی. (ت) مقدار مس در سنگ میزبان کربناتی.

بررسی شاره‌های درگیر

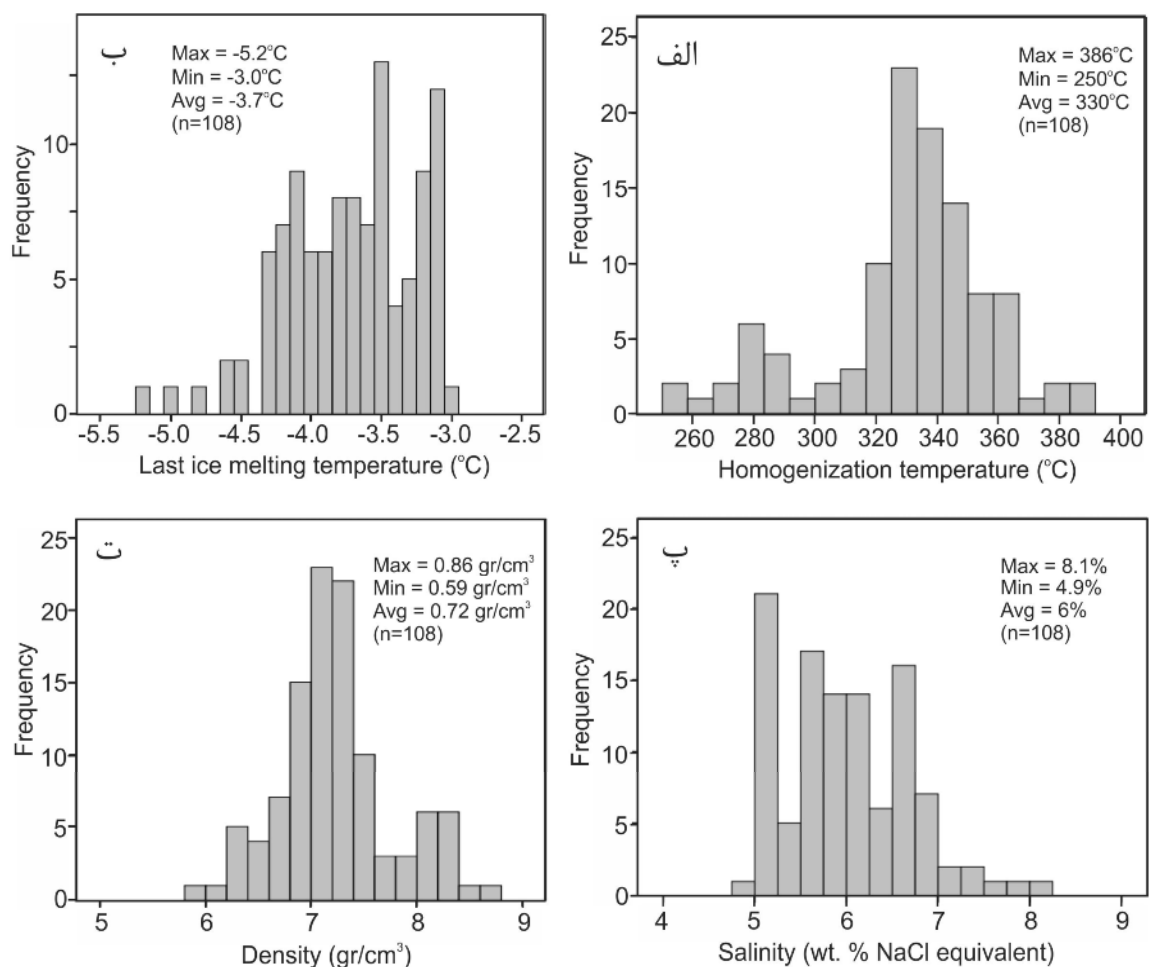
بررسی شاره‌های درگیر بر کانی باریت که پاراژنز کانی‌های سولفیدی نیز هست انجام شد که خلاصه‌ی نتایج در جدول (۳) ارائه شده است. بررسی‌های سنگ‌نگاری شاره‌های درگیر در باریت نشان داد که اغلب شاره‌ها از نوع اولیه و به ندرت ثانویه هستند. شکل شاره‌های درگیر اولیه به صورت استوانه‌ای، بیضی و بی‌شکل بوده و در اندازه‌های ۴ تا ۱۰ میکرون (میانگین ۷ میکرون) حضور دارند. براساس رده‌بندی‌های متداول [۲۲، ۲۱]، نوع آن‌ها دوفازی غنی از مایع (نوع LV با مقدار مایع ۸۰ تا ۹۵ درصد و بخار ۵ تا ۲۰ درصد) و تک فاز مایع (L) است و فاز دختری در آن‌ها دیده نشد. شواهدی از جوشش در این بررسی‌ها مشاهده نشد. با دماسنجی نوع محلول و مقدار شوری شاره‌های درگیر اولیه نوع LV تعیین شد (جدول ۳).

دمای همگن شدن (T_h) شاره‌های درگیر اولیه بین ۲۵۰ تا ۳۸۶ درجه‌ی سانتیگراد با میانگین دمای ۳۳۰ درجه‌ی سانتیگراد است (جدول ۳ و شکل ۸ الف). این دما معرف حداقل دمای تشکیل کانی است زیرا متاثر از فشار است. تصحیح فشار در منطقه‌ی مورد بررسی مقدور نبود، ولی به عقیده‌ی [۲۳] در

کانسارهایی که به جوشش رسیدند، اگر یک فشار هیدروستاتیک فرض شود، دمای کانی‌سازی نمی‌تواند بیشتر از ۳۳۰ درجه‌ی سانتیگراد باشد. بنابراین دمای همگن شدن خیلی نزدیک به دمای واقعی تشکیل است و فقط تصحیح بسیار کوچکی نیاز دارد. نخستین دمای ذوب شدگی (T_{fm}) در شاره‌ها نیز بین ۵۷- تا ۵۳- درجه‌ی سانتیگراد (میانگین ۵۵/۴- درجه) متغیر بود. نخستین دمای ذوب شدگی رابطه‌ی مستقیمی با ترکیب نمک موجود در گرماب‌ها دارد [۲۲]. براساس T_{fm} به دست آمده نمک‌های $CaCl_2$ و $NaCl$ در شاره‌های درگیر اولیه وجود دارند. این نوع نمک می‌تواند در اثر چرخش شاره‌ی کانه‌دار در سنگ‌های رسوبی منطقه حاصل شده باشد. دمای نهایی ذوب (T_m) نیز مقدار شوری را مشخص می‌کند. مقدار T_m بین ۳- تا ۵/۲- درجه‌ی سانتیگراد با میانگین ۳/۷- درجه‌ی سانتیگراد متغیر است (شکل ۸ ب). براساس سیستم $H_2O-NaCl$ [۷] مقدار شوری بین ۴/۹ تا ۱/۸ درصد $NaCl$ با میانگین ۶ درصد است (شکل ۸ پ). مقدار چگالی شاره‌های درگیر اولیه نیز بر مبنای معادله‌ی [۸] بین ۰/۵۹ تا ۰/۸۶ گرم بر سانتیمتر مکعب است (شکل ۸ ت).

جدول ۳ نتایج ریزدماسنجی شاره‌های درگیر اولیه در باریت کانسار کوه سربی.

شماره نمونه	تعداد	T_h (°C)	T_m (°C)	شوری (NaCl wt. % equiv.)	چگالی (gr/cm ³)
KS-1	۱۲	۳۵۷ تا ۲۵۰	-۴٫۱ تا -۳٫۱	۵ تا ۶٫۵	۰٫۸۶ تا ۰٫۶۷
KS-4	۱۰	۳۶۰ تا ۲۷۵	-۴٫۳ تا -۳٫۱	۵ تا ۶٫۸	۰٫۸۲ تا ۰٫۶۴
KS-7	۱۰	۳۱۰ تا ۲۷۴	-۴٫۲ تا -۳٫۱	۵ تا ۶٫۷	۰٫۸۳ تا ۰٫۷۶
KS-9	۲۵	۳۵۰ تا ۳۰۵	-۴٫۳ تا -۳	۴٫۹ تا ۶٫۸	۰٫۷۷ تا ۰٫۶۷
KS-10	۲۴	۳۴۶ تا ۳۲۵	-۵٫۲ تا -۳٫۱	۵ تا ۸٫۱	۰٫۷۵ تا ۰٫۷۰
KS-13	۱۳	۳۶۶ تا ۳۴۵	-۴٫۳ تا -۳٫۲	۵٫۲ تا ۶٫۸	۰٫۶۳ تا ۰٫۶۸
KS-17	۸	۳۸۶ تا ۳۶۴	-۴٫۵ تا -۳٫۱	۵ تا ۷٫۱	۰٫۵۹ تا ۰٫۶۸
KS-22	۶	۳۴۲ تا ۳۲۵	-۴٫۲ تا -۳٫۴	۵٫۵ تا ۶٫۷	۰٫۶۹ تا ۰٫۷۴

 T_h = دمای همگن شدن، T_m = دمای ذوب آخرین یخ

شکل ۸ نمودارهای حاصل از بررسی‌های شاره‌های درگیر اولیه در کانسار کوه سربی (الف) نمودار دمای همگن شدن. (ب) نمودار دمای آخرین ذوب یخ. (پ) نمودار شوری. (ت) نمودار مقدار چگالی شاره‌های درگیر.

برداشت

سنگ میزبان کانی سازی کوه سربی، سنگ آهک دگرگون شده تریاس فوقانی سازند نایبند است. رابطه ی کانی سازی و سنگ میزبان نشان می دهد که کانی سازی از نوع روزادی بوده، لایه-بندی سنگ آهک را قطع کرده و از منطقه های گسلی و درز و شکستگی ها پیروی می کند. بنابراین سن رگه های کانی سازی جوانتر از تریاس فوقانی است.

اگرچه در شمال شرقی ایران فعالیت های ماگماتیسمی گسترده ای وجود دارد ولی منطقه ی کوه سربی با فاصله از آن ها قرار دارد. نزدیک ترین سنگ های آذرین جوانتر از تریاس فوقانی به گستره، بنا بر نقشه کاریزنو [۱۰]، آندزیت و بازالت های پالئوسن در حدود ۲۰ کیلومتری جنوب غربی و شمال شرقی منطقه است. بنابراین این کانی سازی هیچ ارتباطی به فعالیت های ماگمایی- گرمایی ندارد.

در کانسار کوه سربی، کانی های سولفاتی و سولفیدی به شکل رگه، پرکننده ی فضای خالی، جانشینی در سنگ میزبان سیمان برش های گسلی تشکیل شده اند. دگرسانی سنگ میزبان شامل سیلیسی شدن، دولومیتی شدن و کلسیتی شدن است. کلسیت های ریز تا میان دانه ی سنگ میزبان با کوارتز، دولومیت، کلسیت درشت دانه و باریت جانشین شده اند. این جانشینی، فضای خالی و شکنندگی لازم را در سنگ میزبان به وجود آورده است تا محلول کانه دار کانی های خود را برجای گذارد.

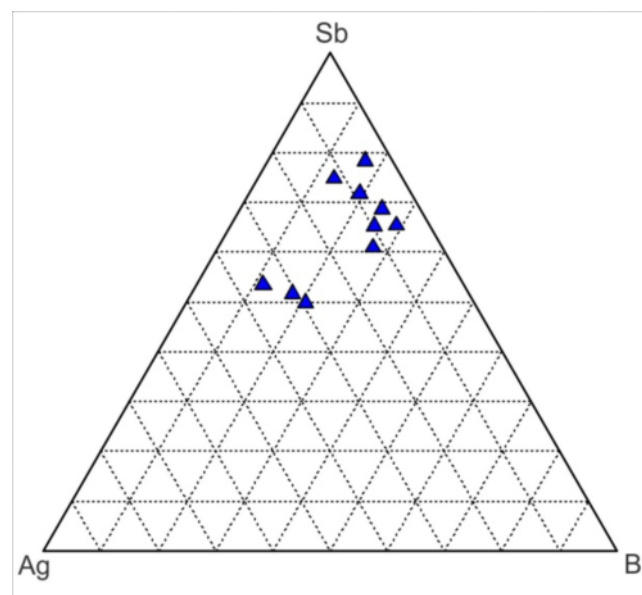
مقدار SrSO_4 کمتر از ۶ درصد باریت کوه سربی است و نشان می دهد که این کانی در رشته ی انحلال جامد باریت-سلستیت در عضو نهایی باریت قرار می گیرد. مقدار سرب و مس میانگین رگه ها نیز به ترتیب به حدود ۱ و ۰/۱۵ درصد می رسد. در حالی که میانگین مقدار همین عناصر در سنگ میزبان به ترتیب حدود ۰/۰۷ درصد و ۱۷۲ گرم در تن است که با دور شدن از رگه ها در حال کاهش است. مقدار عناصر فرعی داخل گالن نیز اطلاعاتی درباره ی خاستگاه و شرایط تشکیل آن فراهم می کند. مقدار بیسموت و آنتیموان گالن می تواند شاخص شرایط تشکیل کانسار باشد [۲۴]. به عقیده ی مالاخوف [۲۴] نسبت Sb/Bi در گالن اطلاعاتی درباره ی دما و فشار در زمان

تشکیل کانی در اختیار می گذارد، به طوری که نسبت های کم (کمتر از ۰/۶) مشخص کننده ی گالن با دمای بالاست که در فشاری بیش از ۲۵۰ کیلوگرم بر سانتیمترمکعب تشکیل شده و نسبت های بالا (بیش از ۶ تا ۱۳) نشان دهنده ی گالن تشکیل شده در دما و فشار پایین است نسبت Sb/Bi در گالن های منطقه کوه سربی بین ۲/۲۵ تا ۵/۶۳ است که معرف دما و فشار متوسط است (جدول ۲). این برداشت با بررسی شاره های درگیر در باریت که پاراژنز گالن است و دمای همگن شدن آن بین ۲۵۰ تا ۳۸۶ درجه ی سانتیگراد بود، تایید می شود. در نمودار سه تایی Ag-Sb-Bi نمونه های گالن از نوع سرشار از آنتیموان هستند (شکل ۹).

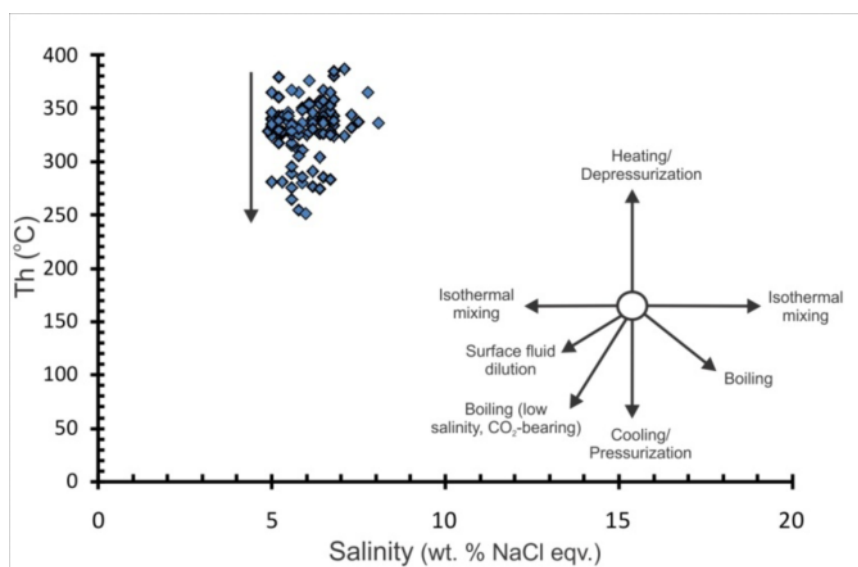
نتایج بررسی های ریزدماسنجی شاره های درگیر اولیه باریت کوه سربی نشان داد که محلول کانه دار با دمای متوسط، شوری کم و چگالی متوسط تا کمی داشته است. اندازه گیری دمای یوتکتیک نشان دهنده ی حضور کاتیون های Na^+ و Ca^{2+} در فاز مایع شاره ی درگیر اولیه است. این کاتیون ها احتمالاً از واحدهای رسوبی شسته شده و به وسیله ی همبافت کلریدی منتقل شده اند [۲۵]. ته نشست کانه ها از محلول می تواند به وسیله ی عوامل مختلفی مانند کاهش دما، کاهش فشار، تغییرات pH و فشار بخشی گاز اکسیژن در سنگ میزبان واکنش داده با شاره و یا مخلوطی از همه این ها کنترل شود. نمودار دمای همگن شدن نسبت به شوری شاره های درگیر اولیه باریت کوه سربی نشان دهنده ی یک روند کاهش دمایی است، درحالی که مقدار شوری تغییر زیادی ندارد (شکل ۱۰). این نشان می دهد که احتمالاً کاهش دما نقش مهمی در تشکیل کانسار داشته است. رابطه ی بین شوری و دمای همگن شدن در شکل (۱۱) نشان می دهد که آب دگرگون در تشکیل کانی سازی نقش داشته است. این نوع شاره از واحدهای رسوبی منطقه از دگرگونی ناحیه ای ریشه می گیرد. هرگاه آب محصور بین ذرات رسوبی تحت تاثیر فشار و دمای حاصل از دگرگونی ناحیه ای قرار گیرد، عناصری را از سنگ میزبان شسته، با خود حمل کرده و فضا را ترک می کند. این نوع شاره می تواند در طول مرز لایه ها، گسل ها، دگرشیبی ها و زون های کم فشار، کانی سازی خود را ضمن واکنش با سنگ میزبان برجای گذارد.

شاره‌های درگیر کانسارهای مختلف را به نمایش گذاشته است. در این نمودار اغلب شاره‌های درگیر باریت کوه سربی در گستره‌ی کانسارهای مزوترمال قرار می‌گیرند. بنابراین کانسار باریت-سرب $\pm$ مس کوه سربی از نوع کانسارهای رگه‌ای مزوترمال معرفی می‌شود.

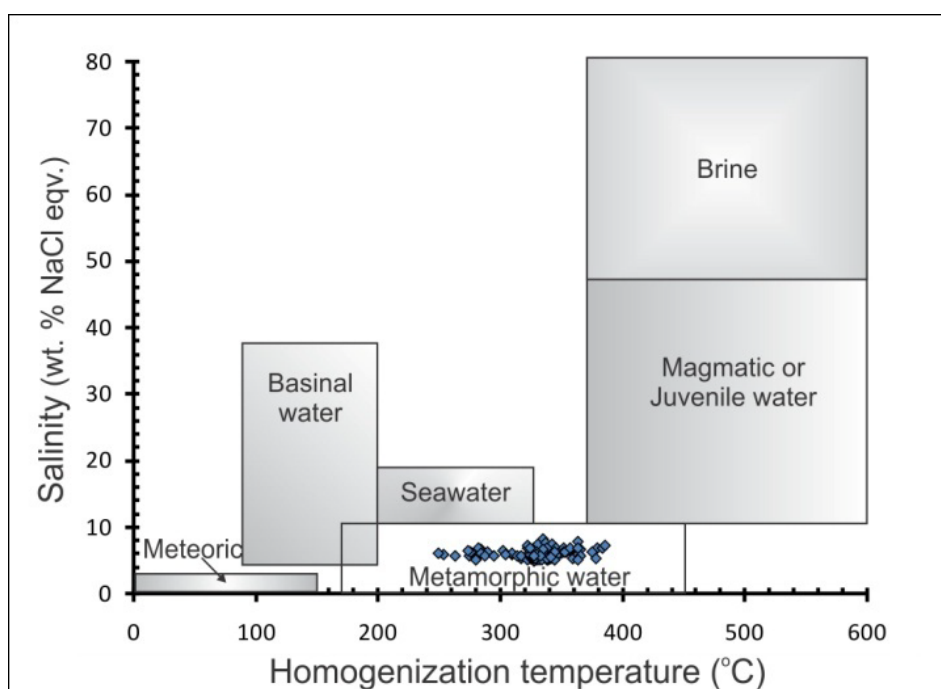
بنابراین می‌توان گفت که فاز کوهزایی کیمیرین میانی در ژوراسیک میانی باعث تشکیل کانی‌سازی منطقه‌ی کوه سربی بوده است. اگرچه که بررسی‌های بیشتری مانند بررسی ایزوتوپ‌های پایدار، تعیین سن دقیق کانی‌سازی و ژئوشیمی عناصر REE در باریت، برای شناخت چگونگی تشکیل کانسار و سن دقیق آن لازم است. شکل (۱۲) گستره‌ی دما و شوری



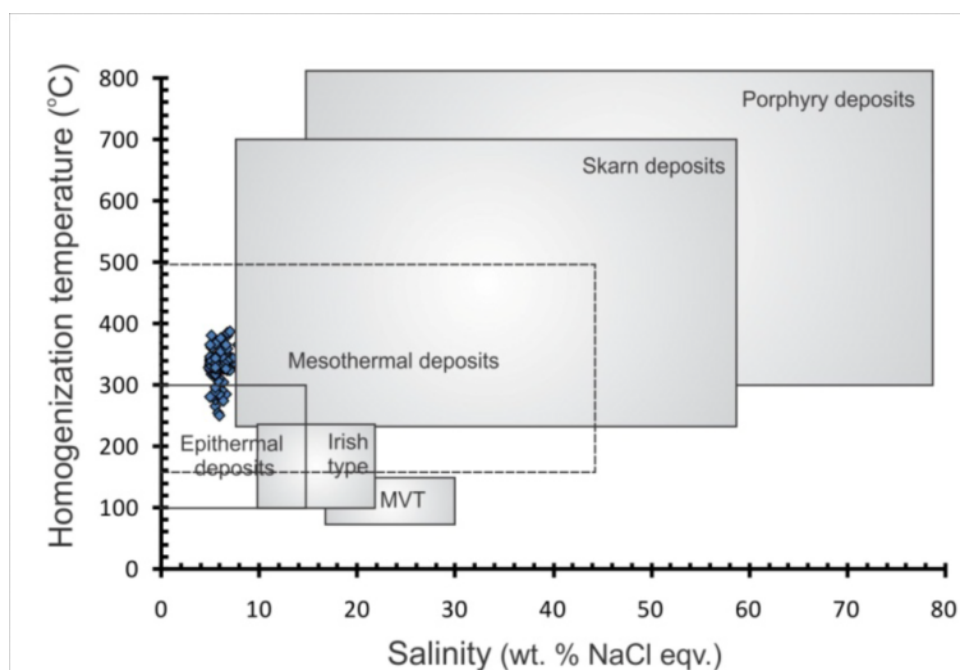
شکل ۹ نمودار سه‌تایی Ag-Sb-Bi برای نمونه‌های گالن کانسار کوه سربی.



شکل ۱۰ نمودار دمای همگن شدن نسبت به شوری شاره‌های درگیر کانسار کوه سربی. مسیرهای روند تغییرات احتمالی از [۲۶].



شکل ۱۱ نمودار شوری نسبت به دمای همگن شدن شاره‌های درگیر اولیه کانسار کوه سربی. گستره‌ی شاره‌های مختلف از [۲۷].



شکل ۱۲ نمودار دمای همگن شدن نسبت به شوری شاره‌های درگیر اولیه‌ی کانسار کوه سربی. گستره‌ی کانسارهای مختلف از [۲۸، ۲۶].

مراجع

قدردانی

[1] Hanor J. S., "Barite-celestite geochemistry and environments of formation", In: Alpers CN, Jambor JL, Nordstrom DK (ed) Sulfate minerals: crystallography, geochemistry, and environmental

این پروژه با حمایت مالی دانشگاه فردوسی مشهد در ارتباط با طرح پژوهشی شماره‌ی ۲۲۴۴۳/۳ مورخ ۱۳۹۱/۴/۱۳ انجام شده است.

- [13] Kluyver H. M., Tirrul R., Chance P. N., Johns G. W., Meixner H. M., "Explanatory text of the *Naybandan Quadrangle map*", Geological Survey of Iran (1978).
- [14] Dunham R. J., "Classification of carbonate rocks according to deposition texture", In *Classification of Carbonate Rocks* (Ed. By Ham W. E.), (1962) p. 108-121. American Association Petrology and Geology 1.
- [15] Haghipour A., "Etude geologique de la region de Biabanak-Bafq (Iran-Central); petrologie et tectonique du socle Precambrien et de sa couverture", PhD Thesis, Universite Scientifique et Medicale de Grenoble, France, (1974) 403 p.
- [۱۶] رحیم‌پور بناب ح، "سنگ‌شناسی کربناته: ارتباط دیاژنز و تکامل تخلخل"، انتشارات دانشگاه تهران (۱۳۸۴) ۴۸۷ ص.
- [17] Leach D. L., Sangster D. F., Kelley K. D., Large R. R., Graven G., Allen C. R., Gutzmer J., Walters S., "Sediment-hosted lead-zinc deposits: a global perspective", *Economic Geology* 100th Anniversary (2005) 561–607.
- [18] Whitney D. L., Evans B. W., "Abbreviations for names of rock-forming minerals", *American Mineralogist* 95 (2010) 185–187.
- [19] Marshal R. R., Joensuu O., "Crystal habit and trace element content of some galena", *Economic Geology* 56 (1961) 758–771.
- [20] Amcoff O., "Distribution of silver in massive sulfide ores", *Mineralium Deposita* 19 (1984) 63–69.
- [21] Roedder E., "Fluid Inclusions", In: Ribbe PE (ed) *Reviews in Mineralogy*, 12, Mineral Soci Am, Washington DC, (1984) p. 1–644.
- [22] Shepherd T. J., Rankin A. H., Alderton D. H. M., "A practical guide to fluid inclusion studies", Blackie, London (1985).
- [23] Hass J. L., "Effect of salinity on the maximum thermal gradient of a hydrothermal system at hydrostatic pressure", *Economic Geology* 66 (1971) 940–946.
- [24] Malakhov A. A., "Bismuth and antimony in galenas as indicators of some conditions of ore significance. Reviews in Mineralogy and Geochemistry 40 (2000) 193–263.
- [2] Sangster D. F., Burt M. D., Kontak D. J., "Geology of the B baseline zone, Walton Cu-Pb-Zn-Ag, Ba deposit, Nova Scotia", *Economic Geology* 93 (1998) 869–882.
- [3] Ravenhurst C. E., Reynolds P. H., Zentilli M., Krueger L. W., Blenkinsop J., "Formation of Carboniferous Pb-Zn and barite mineralization from basin-derived fluids, Nova Scotia, Canada", *Economic Geology* 84 (1989) 1471–1488.
- [4] Sangster D. F., Savard M. M., Kontak D. J., "A genetic model for mineralization of Lower Windsor (Viséan) carbonate rocks of Nova Scotia, Canada", *Economic Geology* 93 (1998) 932–952.
- [5] Ghorbani M., "The economic geology of Iran: mineral deposits and natural resources", Springer, New York (2013).
- [6] USGS., "Barite (Advance Release)", *US Geol Surv Miner Yearb-2009* (2011).
- [7] Bodnar R. J., "Revised equation and table for determining the freezing point depression of H_2O -NaCl solutions", *Geochimica et Cosmochimica Acta* 57 (1993) 683–684.
- [8] Brown P. E., Lamb W. M., "P-V-T properties of fluids in the system $H_2O \pm CO_2 \pm NaCl$: new graphic presentations and implications for fluid inclusion studies", *Geochimica et Cosmochimica Acta* 53 (1989) 1209–1221.
- [9] Ghasemi A., Talbot C. J., "A new tectonic scenario for the Sanandaj-Sirjan zone (Iran)" *Journal of Asian Earth Sciences* 26 (2006) 683–693.
- [10] Eftekharneshad J., Alavi Naini M., Behruzi A., "Geological Map of Kariznow 1:100,000", Geological Survey of Iran (1984).
- [11] Seyed-Emami K., "Triassic in Iran", *Facies* 48 (2003) 91–106.
- [12] Hautmann M., Fürsich F. T., Senowbari-Daryan B., Seyed-Emami K., "The Upper Triassic Nayband and Darkuh formations of east-central Iran: Strigraphy, facies pattern and biota of extensional basins on an accreted terrane" *Beringeria* 35 (2005) 53–133.

- [27] Kesler E. S., “*Fluids in Planetary Systems: ore-Forming Fluids*”, Elements 1 (2005) 13–18.
- [28] Volkov A. V., Prokofiev V. Y., Alekseev V. Yu., Baksheev I. A., Sidorov A. A., “*Ore-forming Fluids and Conditions of Formation of Gold-Sulfide-Quartz Mineralization in the Shear Zone: Pogromnoe deposit (Eastern Transbaikalian region)*”, Doklady Acad Nauk 441 (2011) 352–357.
- formation”, Geochemistry International 7 (1968) 1055–1068.
- [25] Sverjensky D. A., “*The diverse origin of Mississippi valley type Pb-Zn-Ba-F deposits*”, Chorn Rech Min 495 (1989) 5–13.
- [26] Wilkinson J. J., “*Fluid inclusions in hydrothermal ore deposits*”, Lithos 55 (2001) 229–272.