

# مطالعات کانی‌شناسی، دگرسانی، میان‌بارهای سیال و ایزوتوپ‌های پایدار ذخیره مس شریف آباد بردسکن، شمال خاور ایران

سوسن ابراهیمی<sup>۱</sup>، علیرضا عرب امیری<sup>۲</sup> و هادی قنبری<sup>۳</sup>

<sup>۱</sup>استادیار، دانشکده معدن، نفت و ژئوفیزیک، دانشگاه صنعتی شاهرود، شاهرود، ایران

<sup>۲</sup>دانشیار، دانشکده معدن، نفت و ژئوفیزیک، دانشگاه صنعتی شاهرود، شاهرود، ایران

<sup>۳</sup>دانشجوی کارشناسی ارشد، دانشکده معدن، نفت و ژئوفیزیک، دانشگاه صنعتی شاهرود، شاهرود، ایران

تاریخ دریافت: ۱۳۹۸/۰۵/۱۶ تاریخ پذیرش: ۱۳۹۸/۱۱/۰۵

## چکیده

کانی‌سازی مس شریف آباد در شمال‌باختر بردسکن و در بخش جنوبی زون سبزوار واقع شده است. کانی‌سازی به صورت رگه‌ای در واحد پروکسن آندزیت، توف، ماسه‌سنگ و کنگلومرای انوسن فوقانی تشکیل شده است؛ که متحمل دو نوع دگرسانی در ابعاد محلی (سریستی-کربناتی و سیلیسی) و ناحیه‌ای (پروپیلیتیک) گردیده است. بافت ماده معدنی به صورت رگه و رگچه، پراکنده، پرکننده فضای خالی و جان‌شینی می‌باشد و کانی‌سازی شامل کانه‌های اولیه کالکوسیت، پیریت، کالکوپیریت و ثانویه مالاکیت، آزوریت و کولیت است که با کلسیت و کوارتز همراهی می‌شود. مطالعات میان‌بارهای سیال بر روی کانی کلسیت مربوط به مرحله کانی‌سازی، دمای همگن‌شدگی را ۲۰۰ تا ۴۳۷ (میانگین ۳۱۸) درجه سانتی‌گراد و شوری سیال را در دامنه ۰/۱ تا ۹/۲ (میانگین ۵/۹) درصد وزنی معادل نمک طعام نشان می‌دهد. نمودار دمای همگن‌شدگی در برابر شوری، حاکی از اختلاط سیال کانه‌ساز دارای دمای بالا و شوری پایین با سیالی با دمای پایین و شوری بالا می‌باشد. مقادیر ایزوتوپ کربن حاصل از کلسیت در دامنه ۴/۳- تا ۲۴/۵- در هزار قرار گرفته است که منشأ کربن ماگمایی و ارگانیکی را نشان می‌دهد؛ همچنین مقادیر ایزوتوپی اکسیژن حاصل از آنالیز کلسیت در دامنه ۹/۵+ تا ۱۳/۶+ در هزار واقع شده است که ترکیبی از آب‌های سطحی و حوضه‌ای را نشان می‌دهد. نتایج آنالیز ایزوتوپی گوگرد  $\delta^{34}\text{S}$  در دامنه ۲۳- تا ۲۴/۳- در هزار واقع شده است؛ که حاکی از منشأ رسوبات دریایی برای گوگرد است. با توجه به مطالعات انجام گرفته بر مبنای سنگ‌شناسی، دگرسانی، ساخت و بافت، کانی‌شناسی، میان‌بارهای سیال و ایزوتوپ‌های پایدار، می‌توان کانی‌سازی شریف آباد بردسکن را مشابه با ذخایر مس نوع مانتو شیلی در نظر گرفت.

**کلیدواژه‌ها:** کانی‌سازی مس، میان‌بار سیال، ایزوتوپ پایدار، شریف آباد، بردسکن، زون سبزوار.

\*نویسنده مسئول: سوسن ابراهیمی

E-mail: ebrahimisusan@gmail.com

## ۱- پیش‌نوشتار

در سطح و عمق بوده است (قنبری و همکاران، ۱۳۹۶). آنومالی‌های سطحی تر تا عمق ۱۰ متری کشیده شده‌اند که شواهد آن به صورت رگه و رگچه بر روی زمین قابل مشاهده است و آنومالی‌های عمیق تر در اعماق ۲۰ تا ۵۰ متر قرار گرفته‌اند (قنبری و همکاران، ۱۳۹۶). حفر ۸ گمانه اکتشافی با عمق‌های ۱۷ تا ۴۸ متر (مجموع ۳۰۰ متر) و آنالیز شیمیایی بیش از ۶۰ نمونه ICP-OES جهت عیارسنجی و تخمین ذخیره اولیه انجام یافته است. حداکثر مقدار مس ۳/۳۵ درصد، کمترین مقدار آن ۰/۰۲ درصد و میانگین ۰/۶ درصد می‌باشد. هدف از این تحقیق مطالعات زمین‌شناسی، کانی‌شناسی، دگرسانی و خصوصیات سیال کانه‌ساز براساس مطالعات میان‌بارهای سیال و ایزوتوپ گوگرد و کربن خواهد داد؛ که می‌تواند الگوی مناسبی جهت اکتشاف این نوع ذخایر در زون سبزوار ارائه نماید.

## ۲- زمین‌شناسی و سنگ‌شناسی منطقه

محدوده کانی‌سازی شریف آباد در زون سبزوار واقع شده و بخشی از زیر منطقه ایران مرکزی محسوب می‌شود. الگوی ساختاری زون سبزوار توسط سه گسل بزرگ عطاری و میامی در شمال و تکنار در جنوب کنترل می‌شود (شکل ۲). قدیمی‌ترین واحدهای این زون شامل سنگ‌های دگرگونی پرکامبرین می‌باشد که توسط سنگ‌های رسوبی پالئوزوئیک پوشیده شده است. اقیانوس سبزوار در اثر ایجاد ریف‌ت از اواخر تریاس تا کرتاسه در میکروقراره ایران مرکزی ایجاد شده است. این اقیانوس در اثر فرورانش پوسته شمال ایران مرکزی و البرز خاوری از اواخر کرتاسه تا اوایل پالئوسن شروع به بسته شدن کرده است (Stöcklin, 1968; Sengor, 1990). قطعاتی از پوسته اقیانوس سبزوار به صورت سکناس‌های افیولیتی در شمال زون سبزوار باقی مانده است که شامل پریدوتیت، گابرو، بازالت و کرومیت است. واحدهای سنوزوئیک نیز به صورت سنگ‌های ۱۳۵

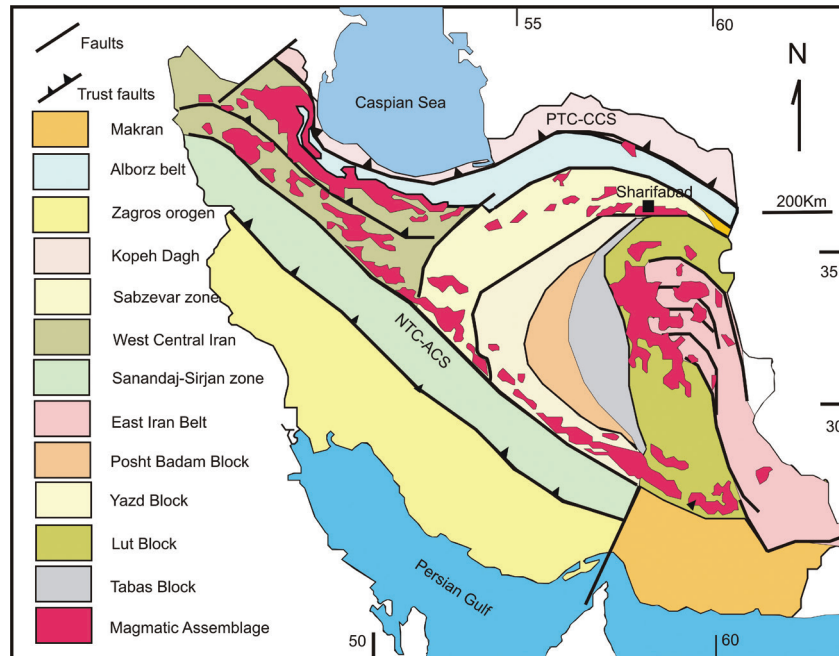
منطقه معدنی شریف آباد در جنوب زون سبزوار و شمال میکروقراره ایران مرکزی واقع شده است (Alavi, 1991; Stöcklin, 1968) (شکل ۱). کانی‌سازی به صورت رگه و رگچه و افشان در سنگ میزبان رسوبی-آتشفشانی و آذرآواری انوسن واقع شده است. شواهد بسیاری از کانی‌سازی مس افشان (نوع مانتو) در شمال‌خاور ایران وجود دارد؛ که می‌توان به کانی‌سازی مس آسمانو (ابراهیمی و همکاران، ۱۳۹۷)، کانسارهای محدوده معدنی عباس آباد (معدن بزرگ، لب‌کال، آسیادیو، دامن جلا) (صالحی و همکاران، ۱۳۹۴)، کانسار مس چشمه‌گز (نسیم) (مهوشی و ملک‌زاده، ۱۳۹۵) و کانی‌سازی مس چغندرسر (توسلی و لطفی، ۱۳۸۷) اشاره کرد (شکل ۲). این ذخایر غالباً در بالاترین ردیف رسوبی-آتشفشانی انوسن واقع شده‌اند و از دیدگاه زمین‌ساختی در موقعیت کمان حاشیه فعال قاره‌ای قرار می‌گیرند (ابراهیمی و همکاران، ۱۳۹۷؛ صالحی و همکاران، ۱۳۹۴؛ امام جمعه و همکاران، ۱۳۸۷). شناخت و تعیین مدل این ذخایر در مناطق خاور و شمال‌خاور ایران، می‌تواند چشم‌انداز نوینی را در اکتشاف و بهره‌برداری مس داشته باشد (سامانی، ۱۳۸۱).

ذخیره مس شریف آباد بردسکن در ۷ کیلومتری شمال روستای دهان قلعه، ۳۰ کیلومتری شمال‌باختر بردسکن و در استان خراسان رضوی واقع شده است. این منطقه در چهارگوش ۱:۲۵:۰۰۰ کاشمر (افتخارنژاد و همکاران، ۱۳۵۵) و در ورقه ۱:۱۰:۰۰۰ بردسکن (شهرابی و همکاران، ۱۳۸۵) قرار گرفته و منطقه‌ای به وسعت تقریبی ۷/۲۶ کیلومتر مربع را شامل می‌شود؛ که در طول شرقی ۱۳' ۳۶" ۵۷° تا ۲۳' ۴۰" ۵۷° و عرض شمالی ۱۵' ۱۹" ۳۵° تا ۲۴' ۳۵" ۳۵° قرار دارد.

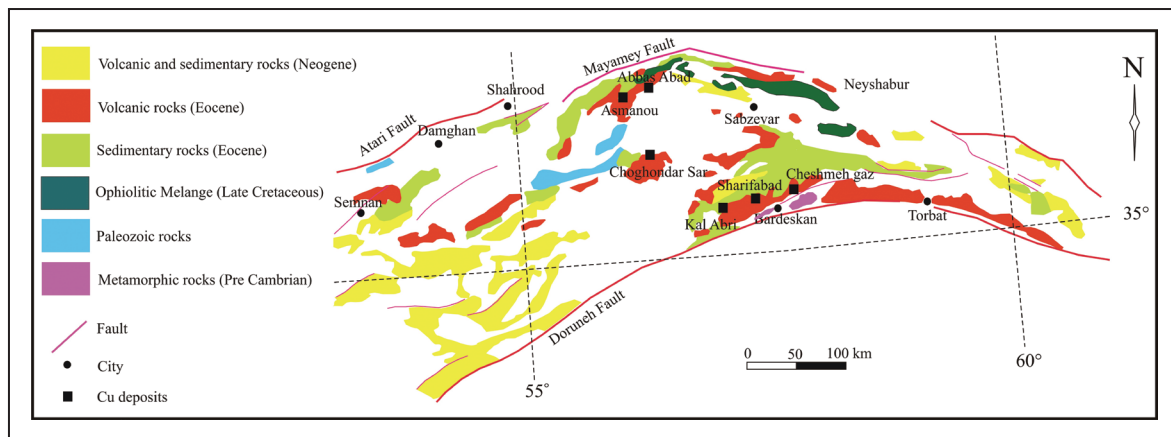
مطالعات نیمه تفصیلی و تفصیلی در منطقه شامل تهیه نقشه زمین‌شناسی در مقیاس ۱:۵۰۰۰، حفر ترانسه‌های اکتشافی و مطالعات ژئوفیزیک به روش ژئوالکتریک (IP, RS) می‌باشد؛ که حاصل این مطالعات نشان‌دهنده آنومالی مس

ویژگی‌های مشابه از نظر سنگ‌شناسی، دگرسانی و کانی‌سازی است. آثار کانی‌سازی مس، کوره‌های ذوب و سرباره‌های موجود در این نواحی حاکی از کانی‌سازی‌های متعدد مس در واحدهای آتشفشانی ائوسن است.

رسوبی، آتشفشانی و آذرآوری در این زون گسترش دارند. سری سنگ‌های آتشفشانی- رسوبی سنوزوئیک (ائوسن) با روند شمال‌خاور- جنوب‌باختر و شمال‌باختر- جنوب‌خاور در بخش شمالی این زون میزبان کانی‌سازی مس با



شکل ۱- نقشه ساده شده تکتونیک ایران با زون‌های زمین‌ساختی گوناگون و توزیع مجموعه‌های ماگمایی سنوزوئیک (after Alavi, 1991; Stöcklin, 1968). علامت مربع موقعیت محدوده شریف‌آباد در شمال‌خاور ایران را نشان می‌دهد.

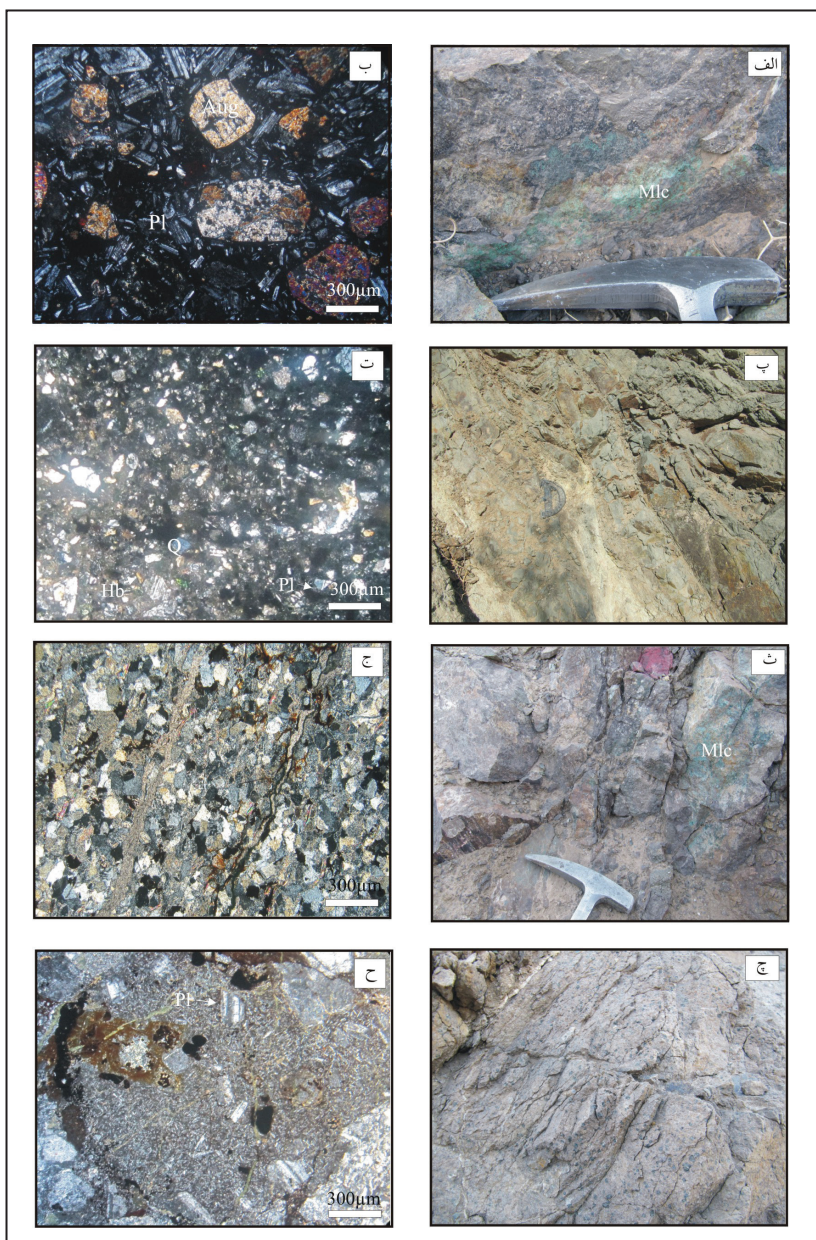
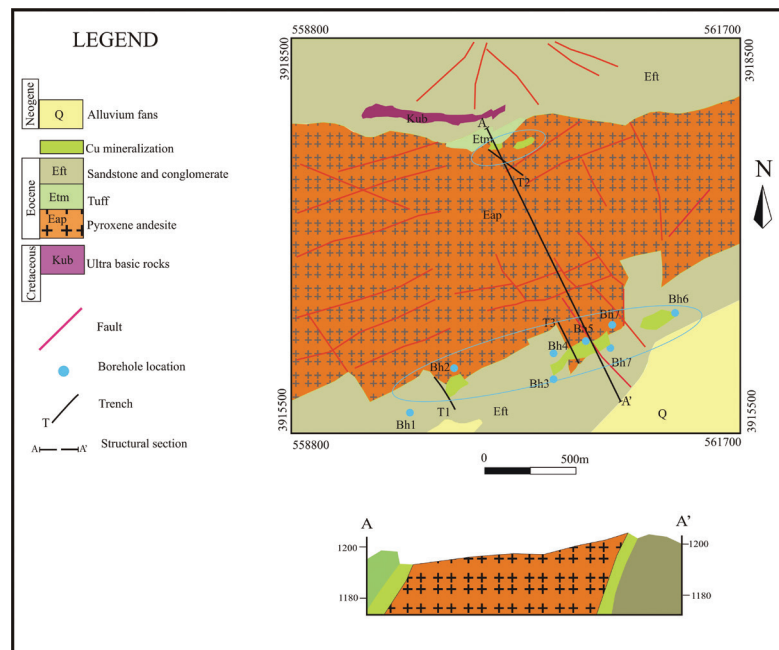


شکل ۲- نقشه ساده شده زون سبزوار (after Aghanabati, 1986) و موقعیت کانسارهای نوع افشان (مانتو) موجود در آن.

است و حاوی کریستال‌های ریز کوارتز، هورنبلند، کانی‌های تیره و فلدسپار می‌باشد و در مواردی به سرسیت تجزیه شده است (شکل ۴-ت). واحد ماسه سنگ و کنگلومرا ائوسن (Eft) با رنگ قهوه‌ای و مورفولوژی ملایم نواحی شمالی منطقه را تشکیل می‌دهد و اثراتی از کانی‌سازی مس نیز در این واحد مشاهده شده است (شکل ۴-ث و ج). واحد ماسه سنگی عمدتاً از کوارتز، فلدسپار و کانی‌های تیره تشکیل شده است و در مواردی فلدسپارها به کربنات و سرسیت تجزیه شده است (شکل ۴-چ). اسکلت و ساختار واحد کنگلومرا از ماسه سنگ (عمدتاً حاوی کوارتز)، آندزیت (حاوی پلاژیوکلاز، هورنبلند و کانی‌های تیره) دانه‌های شیلی و حفرات پر شده با کربنات تشکیل شده است که در زمینه‌ای از میکروولیت‌های کوارتز و فلدسپار قرار دارد (شکل ۴-ح). رسوبات کواترنری (Q) جوان‌ترین واحد این منطقه می‌باشد که نواحی جنوب نقشه را شامل می‌شود.

قدیمی‌ترین واحد سنگ‌شناختی در منطقه شریف‌آباد، واحد اولترا بازیک کرتاسه (Kub) می‌باشد؛ که با گسترش بسیار کم و با رنگ سیاه در شمال منطقه برونزد دارد و به علت سرپانتینی شدن حالت صابونی پیدا کرده است (شکل ۳). واحد آتشفشانی پیروکسن آندزیت ائوسن (Eap) با رنگ خاکستری تیره قسمتهای میانی نقشه را در بر می‌گیرد و میزبان اصلی کانی‌سازی است (شکل ۴-الف). این واحد با بافت پورفیریک و خمیره شیشه‌ای-میکروولیتی تشکیل شده است (شکل ۴-ب). میکروولیت‌ها عمدتاً حاوی پلاژیوکلاز، پیروکسن (از نوع اوژیت)، هورنبلند و کانی‌های تیره می‌باشند و پلاژیوکلاز، اوژیت و هورنبلند کریستال‌های درشت را تشکیل می‌دهند. این واحد توسط توف خاکستری تا سبز رنگ ائوسن (Etm) پوشیده شده است که با گسترش کم در شمال نقشه برونزد دارد و اثرات کانی‌سازی به صورت محدود در این واحد مشاهده شده است (شکل ۴-پ). واحد توف از خمیره شیشه‌ای تشکیل شده

شکل ۳- نقشه ساده شده زمین‌شناسی- معدنی محدوده کانی‌سازی شریف‌آباد که محدوده زون‌های معدنی در شمال و جنوب نقشه با بیضی آبی رنگ مشخص گردیده‌است (اقتباس از مهری و زنبوری، ۱۳۹۵).



شکل ۴- تصاویر ماکروسکوپی و میکروسکوپی از واحدهای میزان کانی‌سازی در منطقه شریف‌آباد، واحد پروکسن آندزیت همراه با کانی‌سازی مالاکیت، (ب) سنگ میزان پروکسن آندزیت حاوی کریستال‌های درشت پلاژیوکلاز و اوژیت در زمینه‌ای از میکروولیت و شیشه (تصویر در نور XPL، پ) واحد توف انوسن، (ت) توف با خمیره شیشه‌ای که حاوی بلورهای کوارتز، هورنبلند و فلدسپار است (تصویر در نور XPL، ث) واحد ماسه‌سنگ انوسن که در سطوح شکستگی آن مالاکیت تشکیل شده است، (ج) سنگ میزان ماسه‌سنگ که حاوی بلورهای کوارتز و فلدسپار می‌باشد که شکستگی موجود در آن توسط کرنات پر شده است (تصویر در نور XPL، چ) واحد میکروکنگلومرا انوسن، (ح) میکروکنگلومرا که حاوی بلورهای اوباسیتی شده هورنبلند می‌باشد و در خمیره از میکروولیت‌های کوارتز، فلدسپار و رس تشکیل شده است (تصویر در نور XPL، حروف اختصاری نشانگر کانیها، از (Whitney and Evans, 2010). (اوژیت: Aug، پلاژیوکلاز: Pl، کوارتز: Q، هورنبلند: Hb، مالاکیت: Mlc).



### ۳- روش کار

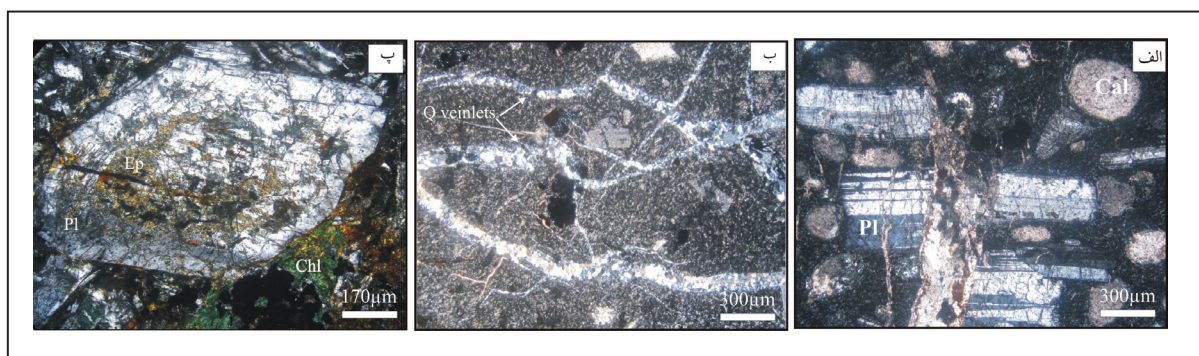
مانند کاتولینیت، ایلیت و مونت‌موریلونیت کانی‌های تشکیل دهنده این دگرسانی هستند که واحدهای سنگ میزبان را تحت تاثیر قرار داده‌اند. اغلب شکستگی‌ها و حفرات موجود در سنگ و کانی‌هایی نظیر پلاژیوکلاز و پیروکسن توسط کلسیت پر شده است (شکل ۵- الف). دگرسانی سیلیسی نیز با فراوانی کمتر به صورت رگچه‌ای، شکستگی‌های موجود در سنگ را پر کرده است (شکل ۵- ب). دگرسانی پروپیلیتیک از گسترش بیشتری در منطقه برخوردار بوده و با دگرسانی سریستی- کربناتی و سیلیسی هم‌پوشانی دارد. مهمترین کانی‌های موجود در این دگرسانی اپیدوت و کلریت می‌باشند که با مقادیری کلسیت، سریست و اکسیدهای آهن همراه هستند. محلول‌های داغ کلسیک، بلورهای پلاژیوکلازها را به کلریت و گاه به اپیدوت تبدیل کرده است (شکل ۵- پ) و کانی‌های تیره مانند هورنبلند و پیروکسن به کلریت و اپیدوت و مقادیر کمتری کربنات تجزیه شده‌اند.

کانی‌سازی در محدوده معدنی شریف‌آباد به صورت رگه و رگچه‌های ظریف و پراکنده داخل درز و شکاف‌ها و حفرات واحد رسوبی-آتشفشانی و آذرآواری انوسن تشکیل شده است. زون‌های کانه‌زایی در محدوده شریف‌آباد به دو زون شمالی و جنوبی تقسیم شده است (شکل ۳). زون کانی‌سازی شمالی عمدتاً در سنگ میزبان ماسه‌سنگ و توف و کمتر پیروکسن آندزیت واقع شده است. این زون به طول ۵۵۰ متر (به طور منقطع و با رخنمون بسیار کم) در امتداد گسل نرمال با امتداد شمال شرق- جنوب غرب با زاویه ۶۵ تا ۷۰ درجه با جهت شیب جنوب شرق تشکیل شده است. عیار ماده معدنی در این زون پایین بوده (کمتر از ۰/۲ درصد) و به همین دلیل در اولویت اکتشافی قرار نگرفته است. زون کانی‌سازی جنوبی در سنگ میزبان پیروکسن آندزیت و میکروکنگلومرا واقع شده است که در یک امتداد شمال شرقی- جنوب غربی به طول بیش از یک کیلومتر با شیب ۶۵ تا ۷۰ درجه واقع شده‌اند. طول رخنمون‌های کانی‌سازی از ۵ تا ۱۰۰ متر و ضخامت آنها از ۰/۵ تا ۱۵ متر متغیر می‌باشد که تا عمق ۲۶ متری ادامه دارد. عیار ماده معدنی در این زون بیشتر بوده (بیشتر از ۰/۵ درصد)؛ لذا ناحیه جنوبی منطقه تحت مطالعات اکتشافی نیمه تفصیلی قرار گرفته است.

این پژوهش بر مبنای مشاهدات میدانی و نمونه‌برداری از رخنمون‌های سطحی برای مطالعات آزمایشگاهی استوار است. به منظور شناخت کانی‌شناسی کانسنگ و دگرسانی سنگ میزبان، ۵۰ مقطع نازک، نازک- صیقلی و صیقلی، توسط میکروسکوپ نور انعکاسی و انعکاسی در دانشگاه صنعتی شاهرود مورد مطالعه قرار گرفت و سپس ۶ نمونه جهت مطالعات ریزدماسنجی میان‌بارهای سیال انتخاب گردید. مطالعه میان‌بارهای سیال، با استفاده از صفحه گرم‌کننده و سردکننده مدل MDS600 ساخت شرکت Linkham در آزمایشگاه ریزدماسنجی سازمان زمین‌شناسی و اکتشافات معدنی کشور صورت گرفته است. صحت اندازه‌گیری‌ها برای دماهای گرمایش  $\pm 2$  درجه سانتی‌گراد و برای سرمایش  $\pm 0.2$  درجه سانتی‌گراد می‌باشد. جهت تعیین منشأ کربن و گوگرد در سیال کانه‌ساز شریف‌آباد، ۶ نمونه از کانی‌های کلسیت و کالکوسیت مرحله کانی‌سازی در آزمایشگاه GG-Hatch دانشگاه اتاوا، در کشور کانادا مورد آزمایش ایزوتوپی قرار گرفت. داده‌ها بر اساس در هزار (%) و دقت آنالیزها در حد  $\pm 0.1$  در هزار می‌باشد. جهت مطالعات دقیق‌تر کانی‌شناسی سنگ میزبان دگرسان شده و عیار کانی‌سازی، تعداد ۱۰ نمونه به روش پراش اشعه X (XRD) و ۶۰ نمونه به روش ICP-OES توسط شرکت نوین شیمیاگر مورد آنالیز قرار گرفت.

### ۴- دگرسانی و کانه‌زایی در منطقه

دگرسانی گرمایی در منطقه شریف‌آباد از گسترش وسیعی برخوردار است و به رخنمون‌های معدنی محدود نمی‌گردد. براساس شواهد صحرایی، مطالعات میکروسکوپی و نتایج آنالیز XRD دو نوع دگرسانی در ابعاد محلی (سریستی- کربناتی و سیلیسی) و ناحیه‌ای (پروپیلیتیک) در محدوده شریف‌آباد قابل تشخیص است؛ که واحدهای منطقه را تحت تاثیر قرار داده است. کانی‌های حاصل از دگرسانی به صورت جانشینی کانی‌های اولیه و در مواردی شکستگی‌ها و حفرات موجود در سنگ را پر کرده است. دگرسانی سریستی- کربناتی اغلب در مجاورت توده‌های معدنی (تا ۵ متری) دیده می‌شود و ارتباط نزدیکی با کانی‌سازی مس دارد. سریست، کلسیت، کوارتز، هماتیت و کانی‌های رسی



شکل ۵- تصاویر میکروسکوپی دگرسانی‌های موجود در منطقه شریف‌آباد، الف) دگرسانی سریستی- کربناتی در سنگ میزبان آندزیتی که بلورهای پلاژیوکلاز به کربنات در حال تجزیه می‌باشد و حاوی رگچه کربناتی و حفرات پر شده با کربنات است (تصویر در نور (XPL، ب) دگرسانی سیلیسی در سنگ میزبان آندزیتی که حاوی رگچه‌های کوارتزی است (تصویر در نور (XPL، پ) دگرسانی پروپیلیتیک در سنگ میزبان آندزیتی که پلاژیوکلاز از مرکز در حال تجزیه به کلریت و اپیدوت است (تصویر در نور (XPL. حروف اختصاری نشانگر کانی‌ها، از (Whitney and Evans, 2010). (اپیدوت: Ep، کلریت: Chl، کوارتز: Q، کلسیت: Cal، پلاژیوکلاز: Pl).

### ۵- کانی‌شناسی، ساخت و بافت ماده معدنی

کانی‌سازی به صورت رگه و رگچه‌ای، پراکنده، پرکننده فضای خالی و جانشینی در سنگ میزبان تشکیل شده است و اغلب سطوح شکستگی سنگ را پر کرده است (شکل ۶- الف). ضخامت رگه و رگچه‌های ماده معدنی بسیار کم بوده و غالباً تا چند سانتیمتر می‌رسد. کانی‌سازی شامل کانه‌های اولیه کالکوسیت

همراه با مقادیر جزئی پیریت و کالکوپیریت و ثانویه مالاکیت، آزوریت و کولیت می‌باشند (شکل ۶- ب و پ). رگچه‌های کلسیتی و به مقدار کمتر سیلیسی نیز همراه با ماده معدنی شکستگی‌ها و حفرات سنگ میزبان را پر کرده و ارتباط نزدیکی با کانی‌سازی در منطقه نشان می‌دهند (شکل ۶- ت).





شکل ۶- تصاویر صحرایی از کانی‌سازی مس شریف‌آباد، الف) رگچه‌های مالاکتی در سطوح شکستگی سنگ میزبان پروکسن آندزیت، ب) تشکیل مالاکتیت و آزوریت در سطح شکستگی واحد ماسه‌سنگی، پ) رگچه کالکوسیت-کلسیت در سنگ میزبان پروکسن-آندزیت، ت) حفره پر شده با مالاکتیت و کلسیت در سنگ میزبان پروکسن آندزیت، حروف اختصاری نشانگر کانیها، از (Whitney and Evans, 2010). (کلسیت: Cal، آزوریت: Az، مالاکتیت: Mlc، کالکوسیت: Cet).

کانی‌سازی را به دو مرحله هیپوژن و سوپرژن تقسیم‌بندی نمود (شکل ۸). با توجه به دما و شرایط تشکیل کانی‌های موجود در منطقه، در مرحله کانی‌سازی هیپوژن پیریت، کالکوپیریت و کالکوسیت همراه با مقادیری کوارتز و کلسیت تشکیل شده است. هماتیت حاصل تجزیه مگنتیت موجود در سنگ می‌باشد که در مرحله انتهایی کانی‌سازی هیپوژن تشکیل شده است. پس از قرار گرفتن ماده معدنی در سطح زمین و در شرایط سوپرژن کانی‌های ثانویه نظیر مالاکتیت، آزوریت و کولیت از اکسیداسیون کانی‌های سولفیدی مس و گوتیت از کانی‌های آهن‌دار نظیر هماتیت و مگنتیت تشکیل شده‌اند.

#### ۶- میان‌بارهای سیال

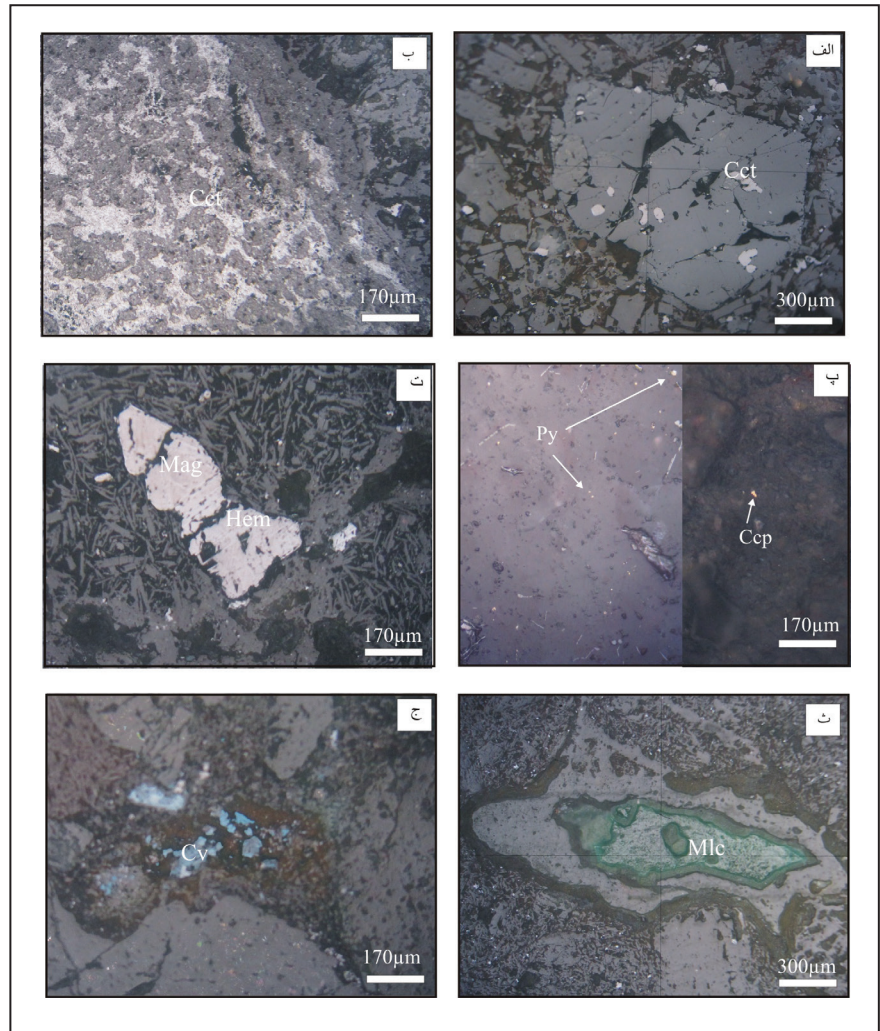
جهت آگاهی از ویژگی‌های فیزیکی-شیمیایی، منبع و تحول سیال کانه‌دار، ۶ مقطع دوبر-صیقلی با ضخامت تقریبی ۱۰۰ میکرون از رگچه‌های کلسیتی و کوارتزی مرتبط با ماده معدنی تهیه گردید. پس از سنگ‌نگاری میان‌بارهای سیال، ۴ نمونه کلسیت مربوط به مرحله کانی‌سازی، حاوی میان‌بارهای مناسب جهت اندازه‌گیری‌های ریزدماسنجی انتخاب گردید، ولی ۲ نمونه کوارتز فاقد میان‌بارهای مناسب بوده‌اند. نمونه‌های مورد مطالعه، مربوط به گمانه‌های حفاری در عمق‌های مختلف می‌باشد؛ که مشخصات و ویژگی‌های نمونه‌ها در جدول ۱ خلاصه شده است.

میان‌بارهای مطالعه شده با توجه معیارهای رودر (Roedder, 1984)، عمده از نوع اولیه و کمتر از نوع ثانویه کاذب می‌باشند. میان‌بارها غالباً به شکل‌های بیضوی، نامنظم، کروی و کشیده می‌باشند و اندازه آنها از ۵ تا ۳۰ میکرون متغیر می‌باشد. در مطالعات انجام شده چهار نوع میان‌بار دو فاز غنی از مایع، دو فاز غنی از

ماده معدنی به‌طور عمده در حفرات و شکستگی‌های موجود در سنگ و همچنین در حفرات و شکستگی‌های ریز کانی‌هایی نظیر پروکسن، پلاژیوکلاز و هورنبلند تشکیل شده‌است. کانه‌های اولیه و درونزاد در کانسار شریف‌آباد شامل کالکوسیت، پیریت، کالکوپیریت و هماتیت است. کالکوسیت مهم‌ترین فراوانترین کانی سولفیدی مس می‌باشد؛ که به صورت پراکنده و رگچه‌ای در شکستگی‌ها و فضاهای خالی سنگ و کانی‌ها تشکیل شده‌است که در مواردی به کولیت تجزیه شده‌است (شکل ۷- الف و ب). رگچه‌های کلسیتی و به مقدار کمتر کوارتزی در این مرحله گسترش بیشتری داشته و ماده معدنی مانند کالکوسیت درون این رگچه‌ها تشکیل شده‌است. پیریت و کالکوپیریت به مقدار بسیار جزئی (فقط در یک نمونه) و با ابعاد بسیار ریز (کمتر از ۵۰ میکرون) در حفرات متن سنگ به‌صورت افشان دیده می‌شود (شکل ۷- پ). هماتیت به صورت جانشینی از بلورهای مگنتیت در داخل حفرات سنگ تشکیل شده است، بلورهای مگنتیت موجود در سنگ مربوط به واحد آندزیتی بوده و ارتباطی با کانی‌سازی مس ندارد (شکل ۷- ت). با قرار گرفتن کانسنگ در سطح زمین و قرار گرفتن آنها در معرض پدیده‌های برونزاد، کانی‌های سولفیدی مس اکسیدگردیده و در نهایت منجر به تشکیل کانی‌های ثانویه نظیر مالاکتیت، آزوریت و کولیت گردیده‌اند. کانی‌های مالاکتیت (فراوانترین کانی مرحله برونزاد) و آزوریت به صورت جانشینی از کانی‌های مس‌دار نظیر کالکوسیت تشکیل شده‌اند و اغلب شکستگی‌ها و حفرات سنگ را پر کرده‌اند (شکل ۶- ث). کولیت با فراوانی بسیار کم از تجزیه کالکوسیت تشکیل شده است (شکل ۶- ج). گوتیت نیز از دگرسانی کانی‌های اکسید آهن مانند هماتیت و مگنتیت تشکیل شده‌است. بر اساس مطالعات میکروسکوپی، روابط ساخت، بافت و کانی‌شناسی می‌توان

ناپدید شدن بخار همگن می‌شوند، انجام شده‌است. با توجه به محتوای میان‌بارها و معیارهای تشخیص میکروسکوپی، هیچ شاهدی از حضور CO<sub>2</sub> مایع یا گاز و کانی‌های نوزاد در میان‌بارها دیده نشد. پدیده نازک‌شدگی در هیچ یک از نمونه‌ها مشاهده نشد.

بخار، تک‌فازی مایع و تک‌فازی بخار تشخیص داده شد (شکل ۹). میان‌بارهای سیال غنی از مایع، حاوی ۶۵-۹۰ درصد مایع و ۱۰-۳۵ درصد بخار و میان‌بارهای سیال غنی از بخار، حاوی ۷۵-۹۰ درصد بخار و ۱۰-۲۵ درصد مایع می‌باشند. اندازه‌گیری ریزدماسنجی به‌طور عمده بر روی میان‌بارهای غنی از مایع که توسط

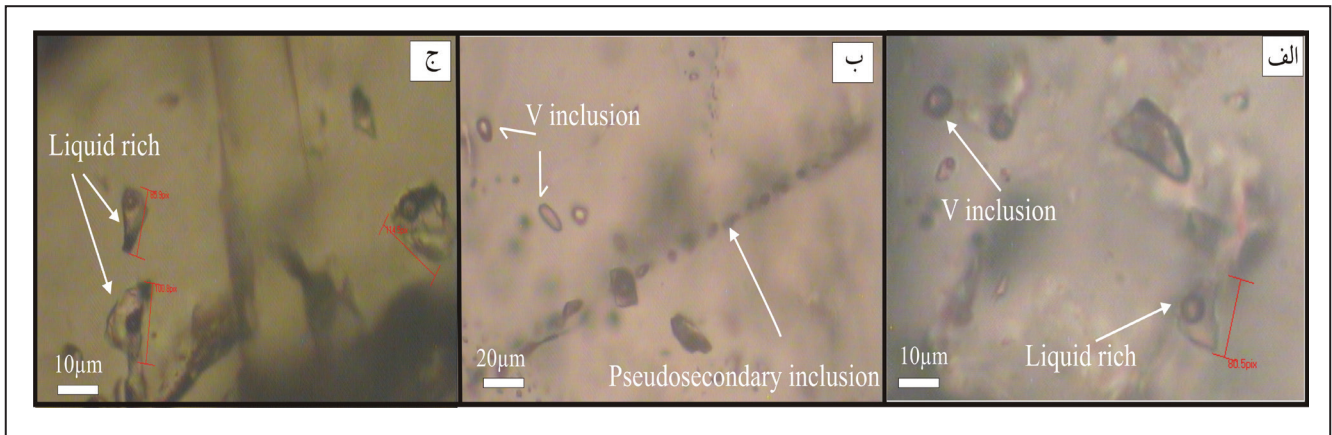


شکل ۷- تصاویر میکروسکوپی از کانی‌سازی مس شریف‌آباد، الف) بلورهای کالکوسیت در حفرات سنگ میزبان پیروکسن آندزیت و کانی پیروکسن (مربوط به مرحله هیوژن)؛ ب) بلورهای درشت کالکوسیت در رگچه موجود در سنگ میزبان پیروکسن آندزیت (مربوط به مرحله هیوژن)؛ پ) بلورهای بسیار ریز پیریت و کالکوپیریت که به‌صورت پراکنده در متن سنگ مشاهده می‌شود (مربوط به مرحله هیوژن)؛ ت) بلور مگنتیت که در حال تجزیه به هماتیت می‌باشد (مربوط به مرحله هیوژن)؛ ث) حفره پر شده با مالاکیت همراه با بلورهای ریز کالکوسیت در متن سنگ (مربوط به مرحله سوپرژن)؛ ج) تبدیل کالکوسیت به کولیت (مربوط به مرحله سوپرژن). حروف اختصاری نشانگر کانی‌ها، از پیریت: Py، کالکوپیریت: Ccp، هماتیت: Hem، مگنتیت: Mag، کولیت: Cv، مالاکیت: Mlc.

Mineral	Hypogene Stage	Supergene and Oxidation stage
Quartz	_____	
Calcite	-----	
Pyrite	_____	
Chalcopyrite	_____	
Chalcocite	-----	
Covellite		_____
Hematite	_____	
Malachite		_____
Geothite		_____
Azurite		_____

شکل ۸- توالی پاراژنتیکی مراحل کانی‌سازی در منطقه شریف‌آباد.





شکل ۹- تصاویری از میان‌بارهای سیال اولیه در کانسار شریف‌آباد، الف) همراهی میان‌بارهای غنی از بخار (V) و غنی از سیال (L) در کانی کلسیت که ممکن است حاکی از فرایند جوشش باشد؛ ب) پراکندگی میان‌بارهای اولیه غنی از بخار در ابعاد متفاوت در کلسیت و میان‌بارهای ثانویه کاذب؛ ج) اشکال مختلف میان‌بارهای سیال غنی از مایع.

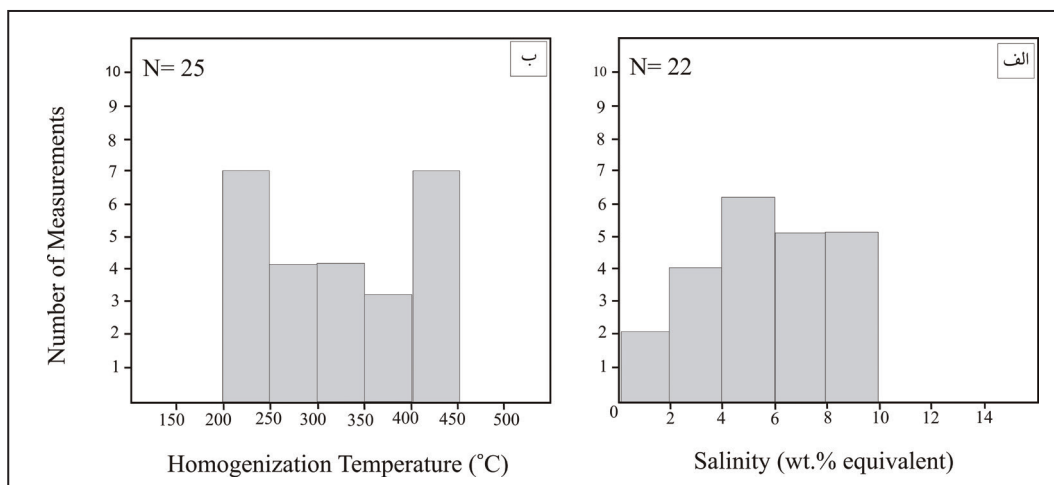
درصد وزنی معادل نمک طعام است (جدول ۱). میانگین شوری سیال ۵/۹ درصد وزنی معادل نمک می‌باشد. مقادیر اندازه‌گیری شده چگالی سیال را بین ۰/۴ تا ۰/۹۴ نشان می‌دهد. نمودار فراوانی دمای همگن‌شدگی و شوری سیال در شکل ۱۰ آورده شده است، همچنین نمودار تغییرات دمای همگن‌شدگی و شوری سیالات درگیر در نمونه‌های کلسیت منطقه شریف‌آباد در شکل ۱۱ آورده شده است.

آزمایش همگن‌سازی بر روی ۲۵ میان‌بار که عمدتاً اولیه و با مقدار کمتر ثانویه کاذب بوده‌اند، انجام گردید. دمای همگن‌شدن برای میان‌بارهای سیال در کانی کلسیت ۲۰۰ - ۴۳۷ درجه سانتی‌گراد (میانگین ۳۱۸ درجه سانتی‌گراد) می‌باشد (جدول ۱). تعیین دمای ذوب یخ بر روی ۲۲ میان‌بار بین ۶- تا ۰/۱- درجه سانتی‌گراد به دست آمده است (جدول ۱). میزان شوری‌های به دست آمده ۰/۱ تا ۹/۲

جدول ۱- داده‌های میان‌بار سیال برای کانی کلسیت در منطقه شریف‌آباد.

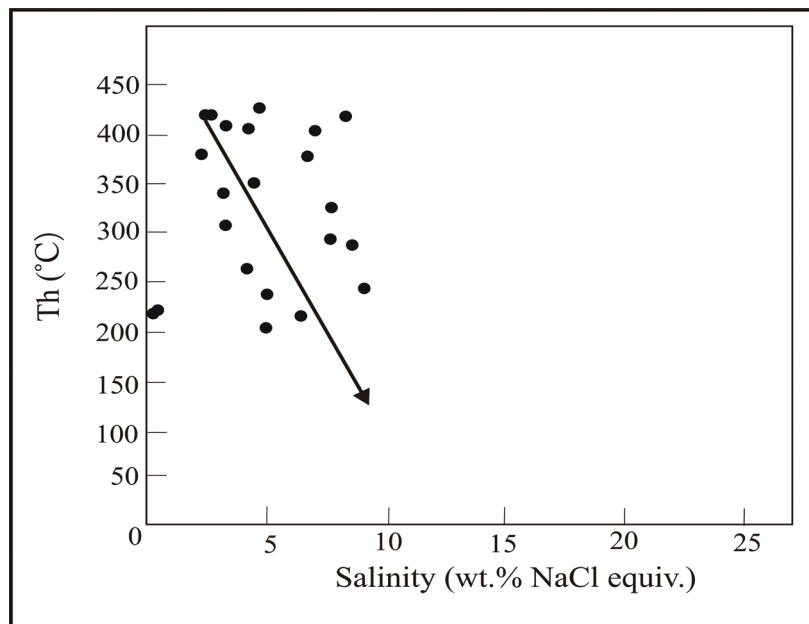
Sample .No	Mineral	FI Type	N	Th Range	.Th Avg	Tm Range	Salinity Range	Salinity .Avg	Phases
Bh8-13	Calcite	P, PS	9	310-426	369	-2, -6	3.2-9.2	5.86	L>V
Bh8-16	Calcite	P, PS	4	235-262	248	-3, -5.9	4.8-9	7	L>V
Bh7-5	Calcite	P, PS	6	200-370	290	-0.5, -5.9	0.8-9	4.5	L>V
Bh1-13	Calcite	P, PS	6	220-437	320	-0.1, -4	0.1-6.3	3.7	L>V

Notes: Th: Homogenization temperature, Tm: Ice- melting temperature, P: Primary fluid inclusion, PS: Pseudosecondary fluid Inclusion, L: Liquid, V: Vapor, L>V= Liquid- rich inclusion, N: Number of measurements.



شکل ۱۰- الف) نمودار ستونی فراوانی درصد شوری میان‌بارهای سیال؛ ب) نمودار ستونی فراوانی دمای همگن‌شدگی میان‌بارهای سیال برای نمونه‌های شریف‌آباد.





شکل ۱۱- توزیع دمای همگن شدگی (Th) در برابر شوری برای میان‌بارهای سیال موجود در کلسیت در نمونه‌های شریف‌آباد.

## ۷- ایزوتوپ‌های پایدار

اکسیژن موجود در کانسنگ، ۳ نمونه کانی کالکوسیت و ۳ نمونه کلسیت مربوط به مرحله کانی‌سازی انتخاب و آنالیز گردید. مشخصات این نمونه‌ها و ترکیب ایزوتوپی آنها در جدول ۲ ارائه شده است.

نسبت‌های ایزوتوپی هسته‌های پایدار، اطلاعات ارزشمندی جهت ردیابی منبع سیال‌ها و اجزای تشکیل‌دهنده کانسنگ در اختیار می‌گذارد (Ohmoto and Goldhaber, 1997). به منظور آگاهی از منبع گوگرد، کربن و

جدول ۲- نسبت‌های ایزوتوپی کربن، اکسیژن و گوگرد مربوط به نمونه‌های کلسیت و کالکوسیت در نمونه‌های شریف‌آباد. محاسبه مقادیر  $\delta^{34}\text{S}$  از (Ohmoto and Rye, 1979)، اکسیژن از (O'Neil et al., 1969) و محاسبه مقادیر  $\delta^{13}\text{C}$  از (Ohmoto and Rye, 1979) می‌باشد.

Borehole number and depth	Mineral	$\delta^{13}\text{C}_{\text{PDB}} \%$	$\delta^{13}\text{C}_{\text{HCO}_3} \%$	$\delta^{18}\text{O}_{\text{PDB}} \%$	$\delta^{18}\text{O}_{\text{SMOW}} \%$	$\delta^{34}\text{S}_{\text{CDT}} \%$	$\delta^{34}\text{S}_{\text{H}_2\text{S}}$ Th=318 °C
Bh8-16	Calcite	-5.5	-4.3	-13.4	+9.5		
Bh7-5	Calcite	-25.7	-24.5	-13.1	+11.3		
Bh1-13	Calcite	-16.1	-14.9	-11.5	+13.6		
Bh8-13	Chalcosite					-25.1	-23.0
Bh6-23	Chalcosite					-25.6	-23.5
Bh1-5	Chalcosite					-26.4	-24.3

از بازه گسترده‌تری برخوردار است که دامنه ۴۰- تا ۴۰+ در هزار را داراست (Hoefz, 2004). با توجه به مقادیر گوگرد حاصل از آنالیز نمونه‌های منطقه شریف‌آباد، دامنه مقادیر ایزوتوپی گوگرد منشأ رسوبی و بیژنتیکی را نشان می‌دهد. مقادیر ۳ نمونه  $\delta^{13}\text{C}$  از نمونه‌های شریف‌آباد در بازه ۵/۵- تا ۲۵/۷- در هزار واقع شده است. این مقادیر با استفاده از نمونه‌های میان‌بارهای سیال که از یک قسمت برداشته شده‌اند تصحیح دمایی گردید. جهت تصحیح دمایی نمونه شماره Bh8-16 از دمای میانگین ۲۴۸ درجه سانتیگراد، برای نمونه Bh7-5 از دمای

مقادیر  $\delta^{34}\text{S}$  سه نمونه کالکوسیت در دامنه ۲۵/۱- تا ۲۶/۴- در هزار قرار دارد. این مقادیر با دمای میانگین ۳۱۸ درجه سانتی‌گراد به دست آمده از میان‌بارهای سیال تصحیح دمایی گردید. محاسبه مقادیر  $\delta^{34}\text{S}$  از (Ohmoto and Rye, 1979) می‌باشد که در دامنه ۲۳- تا ۲۴/۳- در هزار قرار گرفته است. مقادیر ایزوتوپی گوگرد موجود در سنگ‌های آذرین نزدیک به صفر می‌باشد، از طرفی برای سنگ‌های دگرگونی این مقادیر در دامنه بزرگ‌تری واقع شده است (۲۰% تا -۲۰%)، همچنین گوگرد موجود در سنگ‌های رسوبی

مقادیر ایزوتوپی  $\delta^{13}\text{C}$  حاصل از سه نمونه منطقه شریف آباد در دامنه وسیعی (۴/۳- تا ۲۴/۵- در هزار) قرار گرفته است. مقدار ایزوتوپی حاصل از یک نمونه (۴/۳- در هزار) به منشاء ماگمایی کربن و یا لایه‌های کربناتی موجود در سنگهای آتشفشانی (لایه توف و مارن ائوسن میانی در فاصله دو کیلومتری شمال منطقه، مطابق با نقشه زمین شناسی ۱:۲۵۰۰۰۰ کاشمر) اشاره می‌نماید که در دامنه ۳- تا ۸- در هزار واقع شده اند (Ohmoto and Ray, 1979; Burrows and Spooner, 1987; Kyser and Kerrich, 1990; Hoefs, 2004) و مقادیر منفی تر (۱۴/۹- و ۲۴/۵- در هزار) نشان‌دهنده کربن موجود در رسوبات دریایی است (Richards and Spooner, 1989; Kojima et al., 2003; Ramirez et al., 2006). با توجه به مقادیر نمونه های حاصل از آنالیز نمونه‌های شریف آباد که قابل مقایسه با ذخایر (Mantos Blancos and Mantos de la Luna (Kojima et al., 2009) در شیلی هستند، داده‌ها ایزوتوپی منشأ کربنات‌های دریایی همراه با کربنات‌های موجود در واحدهای آذرین را نشان می‌دهند (e.g., Kojima et al., 2009). مقادیر ایزوتوپی  $\delta^{18}\text{O}_{\text{PDB}}$  حاصل از آنالیز کلسیت در دامنه ۱۱/۵- تا ۱۳/۴- در هزار واقع شده است؛ که مقادیر ایزوتوپی محاسبه شده  $\delta^{18}\text{O}_{\text{SMOW}}$  تا ۱۳/۶+ در هزار قرار می‌گیرد. این مقادیر بیشتر از دامنه دمایی در دامنه ۹/۵+ تا ۱۳/۶+ در هزار قرار می‌گیرد. این مقادیر بیشتر از دامنه آبهای ماگمایی (۷/۷±۲ در هزار) است؛ لذا مقادیر ایزوتوپی شریف آباد، ناشی از ترکیب  $\delta^{18}\text{O}$  سنگین سنگ‌های رسوبی با  $\delta^{18}\text{O}$  سبک آب‌های جوی می‌باشد (Kojima et al., 2003). مقادیر ایزوتوپی  $\delta^{34}\text{S}$  برای سه نمونه کالکوسیت مربوط به مرحله اصلی کانی‌سازی پس از تصحیح دمایی، در دامنه باریکی (۲۳- تا ۲۴/۳- در هزار) قرار گرفته است که در محدوده رسوبات تبخیری و یا سنگهای رسوبی واقع شده‌اند که حاوی سولفیدهای با منشأ اورگانیکی هستند (e.g. Oyarzun et al., 1998). مقادیر ایزوتوپی کربن و اکسیژن نمونه‌های شریف آباد نشان می‌دهد، سیال گرمایی مسئول کانی‌سازی دارای منشأ جوی بوده که از میان سنگ‌های رسوبی عبور کرده و مقادیر اکسیژن سنگین آن افزایش یافته است (قابل مقایسه با Kojima et al., 2009). این سیالات با حرکت به سمت پایش گرم تر می‌شوند، اگرچه حضور احتمالی توده‌های نفوذی در حال سرد شدن در عمق نیز می‌تواند در گرم تر شدن سیال نقش داشته باشند. این سیال با حرکت به سمت پائین و عبور از واحدهای رسوبی-آتشفشانی مس موجود در سنگ‌ها را شسته و با خود حمل نموده است. مقادیر ایزوتوپی نمونه‌های گوگرد شریف آباد نشان می‌دهد که سولفید مورد نیاز کانی‌سازی از تجزیه سولفات موجود در رسوبات دریایی و تبخیری تامین شده است؛ لذا رسوبات حاوی سولفات و کربنات نقش مهمی در کانی‌سازی داشته‌اند (محیط کربناتی شرایط احیایی را جهت تبدیل سولفات به سولفید تامین می‌کند). در مرحله بعد سیال گرمایی با حرکت به سمت بالا کانی‌های مس دار را (که عمدتاً کالکوسیت و به مقدار بسیار جزئی کالکوپیریت) در حفرات و شکستگی‌های موجود در سنگ میزبان به صورت اولیه و یا هیپوزن نهشته کرده است. با قرار گرفتن کانی‌سازی در سطح کانی‌های سولفیدی به کانی‌های اکسیدی (نظیر مالاکیت، آزوریت و کولیت) تجزیه شده و کانی‌سازی سوپرژن را تشکیل داده است.

با توجه به شکل کانسار، نوع سنگ میزبان و ترکیب کانی‌شناسی شریف آباد و سایر ذخایر مس گزارش شده در زون سیزوار (سامانی، ۱۳۸۱؛ توسلی و لطفی، ۱۳۸۶؛ امام جمعه و همکاران، ۱۳۸۷؛ صالحی و همکاران، ۱۳۹۴؛ ابراهیمی و همکاران، ۱۳۹۷) این ذخایر شباهت بسیار زیادی با ذخایر نوع مانو در شیلی را نشان می‌دهند (Kojima et al., 2003; Wilson and Zentilli, 2003)، که ذخایری با همین ویژگی در آمریکا و کانادا تحت عنوان طبقات سرخ آتشفشانی و میشیگان معرفی شده‌اند (Lefebure and Church, 1996). این ذخایر با دگرسانی‌های کربناتی، کلریتی، آلپیتی، سریستی و زئولیتی همراه هستند و کانی‌سازی اغلب به صورت رگچه‌ای، پرکننده حفرات و افشان تشکیل

میانگین ۲۹۰ درجه سانتیگراد و برای نمونه Bh1-13 از دمای میانگین ۳۲۰ درجه سانتیگراد و از رابطه (Ohmoto and Rye, 1979) استفاده گردید. مقادیر به دست آمده در دامنه ۴/۳- تا ۲۴/۵- واقع شده است. مقادیر به دست آمده پس از تصحیح دمایی در محدوده کربنات‌های ماگمایی و رسوبی موجود در رسوبات دریایی قرار گرفته است (Hoefz, 2004). مقادیر  $\delta^{18}\text{O}_{\text{SMOW}}$  به دست آمده از آنالیز کلسیت با استفاده از معادله ( $\delta^{18}\text{O}_{\text{SMOW}} = \delta^{18}\text{O}_{\text{VPDB}} * 1.03086 + 30.86$ ) و تصحیح دمایی مطابق با کلسیت (O'Neil et al., 1969) در دامنه ۹/۵+ تا ۱۳/۶+ در هزار قرار گرفته است، نتایج نشان‌دهنده منشأ آب‌های سطحی با اکسیژن سبک تر همراه با آبهای حوضه‌های عمیق با اکسیژن سنگین تر است (Kojima et al., 2003). محاسبه مقادیر  $\delta^{34}\text{S}$  از  $\text{H}_2\text{S}$  (Ohmoto and Rye, 1979)، اکسیژن از (O'Neil et al., 1969) و محاسبه مقادیر  $\delta^{13}\text{C}$   $\text{HCO}_3$  (Ohmoto and Rye, 1979) می‌باشد.

## ۸- بحث و نتیجه‌گیری

مطالعات زمین‌شناسی در محدوده شریف آباد نشان می‌دهد؛ تشکیل کانی‌سازی و دگرسانی‌های موجود در منطقه توسط چرخش سیالات گرمایی صورت گرفته است. آبهای داغ در عمق و سطح باعث تشکیل دگرسانی‌های کربناتی-سریستی، سیلیسی و پروپیلیتیک شده‌اند. مطالعات نشان می‌دهد؛ کانه‌زایی در عمق‌های کم صورت گرفته است که توسط شکستگی‌ها و گسل‌های محلی کنترل شده‌اند. کانی‌سازی به صورت کانی‌های کالکوسیت، پیریت، کالکوپیریت، مالاکیت، کولیت، آزوریت و هیدروکسیدهای آهن بوده که همراه با رگچه‌های کلسیتی و کوارتزی شکستگی‌ها را پر کرده‌اند.

مطالعات میان‌بارهای سیال حاصل از نمونه‌های مربوط به شریف آباد نشان می‌دهد، کانی‌سازی در دامنه وسیعی از دما ۲۰۰-۴۳۷ (میانگین ۳۱۸) درجه سانتی‌گراد و شوری‌های نسبتاً پایین تا متوسط در دامنه ۰/۱ تا ۹/۲ (میانگین ۵/۹) درصد وزنی معادل نمک طعام تشکیل شده است. نمودار دما در برابر شوری حاصل از میان‌بارهای سیال (شکل ۱۱) نشان می‌دهد، تغییرات شوری و دما در دامنه نسبتاً وسیعی صورت گرفته است که می‌تواند ناشی از دو مکانسیم مهم اختلاط و جوشش سیال باشد (Oyarzun et al., 1998)؛ که دو فرایند مهم در طول کانی‌سازی سیستم‌های گرمایی محسوب می‌شوند (Seward, 1973). شواهد مهم جوشش شامل حضور برش‌های گرمایی، همزمانی میان‌بارهای غنی از بخار و غنی از مایع، حضور کلسیت تیغه‌ای و فراوانی میان‌بارهای با شوری بالا می‌باشند (Oyarzun et al., 1998; Simmons and Brown, 2000). از آنجا که شواهد جوشش سیال در منطقه کم بوده و به حضور همزمان میان‌بارهای غنی از بخار و غنی از مایع محدود می‌شود؛ لذا می‌توان گفت این فرایند نقش موثری در ته‌نشست مواد معدنی در منطقه شریف آباد نداشته است؛ لذا فرایند اختلاط دو سیال با شوری پایین و دمای بالا و شوری بالا و دمای پایین می‌تواند منجر به تشکیل کانی‌سازی در منطقه شده باشد (e.g., Wilson et al., 2003). شوری‌های نسبتاً بالا می‌تواند با شورابه‌های حوضه‌ای، آب‌های جوی در تعادل با واحدهای تبخیری و یا منبع ماگمایی مرتبط باشند (Simmons and Brown, 2000; Albinson et al., 2001). آب‌های جوی با شوری‌های پایین نمونه بارز سیستم‌های زمین‌گرمایی می‌باشند (e.g. Henley, 1985)؛ در حالی که سیال تشکیل‌دهنده کانی‌سازی در منطقه دارای شوری‌های پایین تا متوسط می‌باشد؛ لذا می‌توان گفت چرخش آبهای گرم در بین واحدهای رسوبی تبخیری و حوضه‌ای کم‌عمق که در واحدهای ائوسن منطقه حضور داشته‌اند (نظیر واحد مارن و تبخیری‌های ائوسن میانی براساس نقشه ۱:۲۵۰۰۰۰ زمین‌شناسی)، باعث بالاتر رفتن شوری سیال گردیده و سیالی با شوری متوسط را تشکیل داده‌اند (e.g. Oyarzun et al., 1998). فرایند اختلاط و حضور بیش از یک سیال در منطقه توسط تعبیرات گسترده شوری و داده‌های ایزوتوپ‌های پایدار تایید می‌شود.

محیط احیایی به تدریج احیایی شده و شرایط ته‌نشست کانی‌های مس‌دار را فراهم می‌آورد. فعالیت باکتری‌های آب دریا، سولفات آب دریا را به سولفید تبدیل کرده و سولفید موجود به همراه آهن کانی پیریت را تشکیل می‌دهد که در حفرات و فضاهای خالی سنگ میزبان ته‌نشست یافته و محیط احیایی لازم را فراهم می‌آورند (Wilson and Zentilli, 2006). سولفید حاصل از احیاء سولفات آب دریا و سولفیدهای موجود در واحدهای آتشفشانی در زمان تشکیل، تأمین‌کننده گوگرد مورد نیاز کانی‌سازی بوده‌اند. این سیالات به دلیل شیب زمین گرمایی و یا توده‌های نفوذی در حال سرد شدن واقع در عمق گرم شده‌اند و سپس در حرکت به سمت بالا، مس را در داخل گسل‌های محلی و شکستگی‌های موجود در سنگ و کانی به صورت رگه و رگچه باقی گذاشته‌اند.

### سپاسگزاری

از جناب آقای مهندس شاهیلانی، مدیریت محترم شرکت ارمغان پدیده کاشان که در امکان استفاده از داده‌های منطقه نهایت لطف و همکاری را داشته‌اند؛ تشکر و قدردانی می‌شود. از همکاری صمیمانه سرکار خانم دکتر پادیار و خانم مهندس ابراهیمی مسئولین محترم آزمایشگاه میکروترمومتری سازمان زمین‌شناسی و اکتشافات معدنی کشور تشکر و قدردانی می‌گردد.

می‌شوند که با کانی‌های پیریت، کالکوپیریت، کالکوسیت، بورنیت، مس طبیعی، کوولیت، هماتیت و مقادیری نقره همراه هستند. بر اساس مطالعات انجام شده بر روی ذخایر مس نوع مانتو در شیلی، تشکیل این ذخایر در دو مرحله صورت گرفته است (Kojima et al., 2009, Wilson et al., 2003). مرحله اول که با شروع فعالیت‌های آتشفشانی همراه بوده است، سنگ میزبان‌های رسوبی و آتشفشانی را تشکیل داده است. مطالعات انجام شده بر روی این ذخایر نشان می‌دهد که سنگ میزبان کانی‌سازی به‌طور اولیه حاوی مقادیر بالایی از مس بوده‌اند (e.g., Wilson et al., 2003). در مرحله دوم سیال مسئول کانی‌سازی که از دیاژنز سکانس‌های آتشفشانی - رسوبی در عمق حاصل شده‌اند و دارای منشأ جوی و یا دریایی هستند، شواربه‌های حوضه‌ای را تشکیل می‌دهند (Kojima et al., 2009). حرکت این سیالات به سمت پایین و عبور از لایه‌های کربنات‌های دریایی و یا میان‌لایه‌های کربناتی واقع در سنگ‌های آتشفشانی باعث تشکیل کربن با منشأ دریایی و ماگمایی شده است. محلول‌های غنی از کلرید در میان لایه‌های گدازه‌های آتشفشانی حرکت کرده و باعث آزاد شدن مس موجود در کانی‌های فرومنیزین (نظیر پیروکسن و آمفیبول) گردیده و به‌صورت کمپلکس کلریدی حمل می‌شوند. در طی واکنش شدید آزدایی، سیال تحت شرایط اکسیدی شدید قرار می‌گیرد؛ این سیال شدیداً اکسیدی در واکنش با



**کتابنگاری**

- ابراهیمی، س.، عرب امیری، ع.ر. و بیاری، ه.، ۱۳۹۷- شواهد کانی‌سازی مس نوع مانتو در منطقه آسمانو (شمال شرق شاهرود)، بر اساس ویژگی‌های کانی‌شناسی، دگرسانی میان‌بارهای سیال، مجله پژوهش‌های دانش زمین، شماره ۳۶، ص ۶۷-۸۵ <http://esrj.sbu.ac.ir/article/view/15220>.
- افتخارنژاد، ج.، آقاناتی، ع. و حمزه پور، ب.، ۱۳۵۵- نقشه زمین‌شناسی ۱:۲۵۰۰۰۰ کاشمر، سازمان زمین‌شناسی و اکتشافات معدنی ایران.
- مام جمعه، ا.، راستاد، ا.، بوذری، ف. و رشید نژاد عمران، ن.، ۱۳۸۷- معرفی سامانه واحد کانه‌زایی افشان- رگچه‌ای و رگه‌ای مس (سرب-روی) در محدوده معدنی چاه موسی-قله کفتران، شرق کمان ماگمایی تروود- چاه شیرین، فصلنامه علوم زمین، سازمان زمین‌شناسی کشور، شماره ۷۰، ص ۱۱۲-۱۲۵. (DOI: 1022071/gsj.2009.5738).
- توسلی، ع. و لطفی، م.، ۱۳۸۷- مطالعات دورسنجی در پی جوی و اکتشافات معدنی در محدوده عباس آباد سمنان، شمال شرق خاوری ایران، شماره ۱، ص ۶۳-۷۹ <https://www.sid.ir/fa/journal/ViewPaper.aspx?id=131313>.
- رشید نژاد عمران، ن.، ۱۳۷۱- بررسی تحولات سنگ‌شناسی و ماگمایی و ارتباط آن با کانی‌سازی طلا در منطقه باغو- جنوب شرق دامغان، پایان نامه کارشناسی ارشد، دانشگاه تربیت مدرس، تهران، ایران.
- سامانی، ب.، ۱۳۸۱- متالوژنی کانسارهای مس نوع مانتو در ایران، انجمن زمین‌شناسی ایران، ص ۱۳۸-۱۴۵. [https://www.civilica.com/Paper-SGSI06-SGSI06\\_023.html](https://www.civilica.com/Paper-SGSI06-SGSI06_023.html).
- شهرابی، م.، حسینی، م. و شعبانی، ک.، ۱۳۸۵، نقشه زمین‌شناسی ۱:۱۰۰۰۰۰ بردسکن، سازمان زمین‌شناسی و اکتشافات معدنی ایران.
- صالحی، ل.، رساء، ا.، علیرضایی، س.، کاظمی مهرنیا، ا.، ۱۳۹۴- کانسار معدن بزرگ با میزبان آتشفشانی، نمونه‌ای از کانسارهای مس نوع مانتو، خاور شاهرود، فصلنامه علوم زمین، شماره ۹۸، ص ۹۳-۱۰۴. (DOI: 10.22071/gsj.2016.41166).
- قتیری، ه.، عرب امیری، ع.ر.، ابراهیمی، س.، و مهری، م.، ۱۳۹۶- مدل‌سازی و تعیین نقاط حفاری به روش پلاریزاسیون القایی و مقاومت ویژه در کانی‌سازی مس شریف-آباد، شمال غرب بردسکن، مجله نشریه پژوهش‌های ژئوفیزیک کاربردی، انتشار آنلاین ۵ بهمن ۱۳۹۶. (DOI: 10.22044/jrag.2018.5782.1123).
- مهری، م. و زنبوری، م.، ۱۳۹۵- تهیه نقشه ۱:۵۰۰۰ زمین‌شناسی- معدنی منطقه شریف‌آباد بردسکن، شرکت ارمغان پدیده کاشان.
- مهوشی، م. و ملک‌زاده شفارودی، آ.، - ذخیره مس چشمه گز (نسیم) شمال غرب بردسکن: کانی‌شناسی، دگرسانی، ژئوشیمی و تعیین مدل، مجله بلور شناسی و کانی‌شناسی، شماره ۲۴، ص. ۴۱۹-۴۳۴. <http://ijcm.ir/article-1-76-fa.html>.

**References**

- Aghanabati, A., 1986- Geological map of the Middle East. Geological Survey of Iran, Tehran.
- Alavi, M., 1991- Tectonic map of the Middle East, Geological Survey of Iran, Tehran.
- Albinson, T., Norman, D.I., Cole, D., and Chomiak, B., 2001- Control on formation of low- sulfidation epithermal deposits in Mexico. Constrain from fluid inclusion and stable isotope data. Society of Economic Geologist Special Publication, 8, 1-33. doi: 10.1130/0091-7613(1995)023.
- Burrows, D.R., and Spooner, E.T.C. , 1987- Generation of a magmatic H<sub>2</sub>O-CO<sub>2</sub> fluid enrichment in Mo, Au, and W within an Archean sodic granodiorite stock, Mink Lake, northwestern Ontario, Economic Geology, 82, 1931-1957. doi:10.2113/gsecongeo.82.7.1931.
- Henley, R.W., 1985- The geothermal framework of epithermal deposits, Review in Economic Geology, 2, 1-24.
- Hoefs, J., 2004- Stable isotope geochemistry, Springer-Verlog, Berlin, 244 p.
- Kojima, S., Astudillo, J., Rojo, J., Trista', D. & Hayashi, K., 2003- Ore mineralogy, fluid inclusion, and stable isotopic characteristics of stratiform copper deposits in the coasta Cordillera of northern Chile: Mineralium Deposita, v. 38, p. 208-216. DOI 10.1007/s00126-002-0304-5.
- Kojima, S., Trista Aguilera, D. and Hayashi, K.I., 2009- Genetic aspects of the Manto-type copper deposits based on geochemical studies of north Chilean deposits. Resource Geology, 59, 87-98. doi: 10.1111/j.1751-3928.2008.00081.
- Kyser, T.K., and Kerrich, R., 1990- Geochemistry of fluids in tectonically active crustal regions. In: Nesbitt BE (ed), Short course on fluids in tectonically active regimes of the continental crust. Mineralogical Association of Canada, Vancouver, 133-230.
- Lefebure, D. V. & Church, B. N., 1996- Volcanic Redbed Cu, in Selected British Columbia Mineral Deposit Profiles, Volume 1 – Metallic Deposits, Lefebure, D. V. & Hōy, T, Editors, British Columbia Ministry of Employment and Investment, Open File, v. 13, p. 5-7.
- Ohmoto, H., and Rye, R.O., 1979- Isotopes of sulfur and carbon, in Barnes, H. L., (ed.), Geochemistry of hydrothermal ore deposits, Wiley Inter science, New York, 509-567.
- Ohmoto, H., Goldhaber, M.B., 1997- Sulfur and carbon isotopes: In H. L. Barnes (ed), Geochemistry of hydrothermal ore deposits, 3rd ed., New York, John Wiley and Sons, pp. 517-611.
- O'Neil, J.R., Clayton, R.N., and Maeda, T.K., 1969- Oxygen isotope fraction in divalent metal carbonate. Journal of Chemical Physics, 51, 5547-5558. doi.org/10.1063/1.1671982.
- Oyarzun, R., Ortega, L., Sierra, J., Lunar, R. & Oyarzun, J., 1998- Cu, Mn, and mineralization in the Quebrada Marquesa Quadrangle, Chile: the Talcuna and Arqueros districts: Mineralium Deposita, v. 33, p. 547-559. <https://eprints.ucm.es/44778/1/07%201998-Oyarzun%20el%20al.%20-%20MD%20-%20Talcuna1.pdf>.

- Ramírez, L. E., Palacios, C., Townley, B., Parada, M. A., Sial, A. N., Fernandez- Turiel, J. L., Gimeno, D., Garcia-Valles, M. & Lehmann, B., 2006- The Mantos Blancos copper deposit: An upper Jurassic breccia-style hydrothermal system in the coastal range of northern Chile: *Mineral Deposita* v. 41, p. 246 – 258. <https://core.ac.uk/download/pdf/36042058.pdf>.
- Richards, J.P., and Spooner, E.T.C., 1989- Evidence for Cu-(Ag) mineralization by magmatic meteoric fluid mixing in Keweenawan fissure veins, Mamainse Point, Ontario, *Economic Geology*, 84, 360-385. doi:10.2113/gsecongeo.84.2.360.
- Roedder, E., 1984- Fluid inclusions: Reviews mineralogy, Mineralogy Society of America, v. 12, 644 p.
- Sengör, A.M.C., 1990- A new model for the Late Paleozoic-Mesozoic tectonic evolution of Iran and implications for Oman. In: Robertson, A.H.F., Searle, M.P., Ries, A.C. (Eds.), *The Geology and Tectonics of the Oman Region*. Geological Society of London Special Publication, 49, 797–831. doi.org/10.1144/GSL.SP.1992.049.
- Seward, T.M., 1973- Thio complexes of gold and the transport of gold in hydrothermal ore solutions. *Geochem. Cosmo. Acta.*, 37, 370-399. DOI. 10.1016/0016-7037(73)90207-X.
- Simmons, S. F., and Browne, P. R., 2000- Hydrothermal minerals and precious metals in the Broadlands- Ohaaki geothermal system: Implication for understanding low- sulfidation epithermal environments, *Economic Geology*, 95, 971-999. doi:10.2113/gsecongeo.95.5.971.
- Stöcklin, J., 1968- Structural history and tectonics of Iran, a review, *American Association of Petroleum Geologists Bulletin*, 52, 1229–1258. DOI: 10.4236/ojg.2015.52006.
- Whitney, D. L., Evans, B.W., 2010- Abbreviations for names of rock-forming minerals, *American Mineralogist*, v. 95, No. 2, p. 185-187. DOI: 10.2138/am.2010.3371 185.
- Wilson, N. S. F. and Zentilli, M., 2006- Association of pyrobitumen with copper mineralization from the Uchumi and Talcuna districts, Central Chile, *International Journal of Coal geology*, v.65, p. 158-169. DOI:10.1016/j.coal.2005.04.012.
- Wilson, N. S. F., Zentilli, M. and Spiro, B., 2003- A sulfur, carbon, oxygen, and strontium isotope study of the volcanic-hosted El Soldado manto-type copper district, Chile: the essential role of bacteria and petroleum, *Economic Geology*, 98, 163-174. doi:10.2113/gsecongeo.98.1.163.

# Mineralogy, alteration, fluid inclusion and stable isotopes studies of the Sharifabad -Bardaskan copper deposit, NE Iran

S. Ebrahimi<sup>1\*</sup>, A. Arab-Amiri<sup>2</sup> and H. Ghanbari<sup>3</sup>

<sup>1</sup> Assistant Professor, Faculty of Mining Engineering, Petroleum and Geophysics, Shahrood University of Technology, Shahrood, Iran,

<sup>2</sup> Associate Professor, Faculty of Mining Engineering, Petroleum and Geophysics, Shahrood University of Technology, Shahrood, Iran

<sup>3</sup> M.S. Student, Faculty of Mining Engineering, Petroleum and Geophysics, Shahrood University of Technology, Shahrood, Iran

Received: 2019 August 07

Accepted: 2020 January 25

## Abstract

The Sharifabad-Bardaskan copper mineralization with volcano-sedimentary and pyroclastic Eocene host rock located in northeast of Bardaskan and south section of Sabzevar Zone. Mineralization occurs as vein in the pyroxene andesite, tuff, sandstone and conglomerate of Eocene age, which bearing sericite – carbonate and silicic alterations in local and regional propylitic alteration. Mineralization consists of mainly chalcocite associated amounts of pyrite, chalcopyrite, malachite, Azurite, covellite with calcite and quartz as gangue minerals, which occur as open space filling, disseminated, vein and veinlets forms. Fluid inclusion studies in calcite from hypogene mineralization show the evidence of mixing and a linear dilution trend during the ore formation occurred at a wide range of temperature 200 to 437 °C and varying salinity between 0.1 to 9.2 wt.% NaCl equivalent. The stable isotope composition of  $\delta^{34}\text{S}$  fall in a range of -23 to -24.3‰ could be considered as biogenetic sulfur from bacterial sulfate reduction. The  $\delta^{13}\text{C}$  values of calcite vary between -4.3 to -24.5‰ suggest a major contribution of marine carbonates associated igneous carbonates, and the  $\delta^{18}\text{O}_{\text{SMOW}}$  values of calcite are between +9.5 to +13.6‰ suggesting a contribution of  $\delta^{18}\text{O}$  rich-sedimentary rocks and  $\delta^{18}\text{O}$ - poor meteoric water. Copper and sulfide rich hydrothermal fluid has flowed upward through the local faults and permeable interbeds within the Eocene volcanic sequence and formed the mineralized veins. On the basis of petrology, alteration, texture, mineralization, fluid inclusion and stable isotopes, Sharifabad mineralization is similar to those manto type deposits in Chile..

**Keywords:** Copper mineralization, Fluid inclusion, Stable isotope, Sharifabad, Bardaskan, Sabzevar zone.

For Persian Version see pages 135 to 146

\*Corresponding author: S. Ebrahimi; E-mail: ebrahimisusan@gmail.com