

## شواهد کانی‌سازی مس نوع مانتو در منطقه آسمانو (شمال شرق شاهرود)، بر اساس ویژگی‌های کانی‌شناسی، دگرسانی و میانبارهای سیال

سوسن ابراهیمی<sup>۱\*</sup>، علیرضا عرب امیری<sup>۲</sup>، هادی بیاری<sup>۳</sup>

۱-استادیار دانشکده معدن، نفت و ژئوفیزیک، دانشگاه صنعتی شاهرود

۲-دانشیار دانشکده معدن، نفت و ژئوفیزیک، دانشگاه صنعتی شاهرود

۳-دانشجوی دکتری، گروه زمین‌شناسی، دانشگاه آزاد واحد تهران شمال، تهران

پذیرش مقاله: ۱۳۹۶/۱۱/۲۶

تأیید نهایی مقاله: ۱۳۹۷/۶/۱۳

### چکیده

محدوده معدنی آسمانو در ۸۵ کیلومتری شمال شرق شهرستان شاهرود واقع شده و از نظر زمین‌شناسی در زون سبزوار و ناحیه معدنی ترود-عباس‌آباد قرار می‌گیرد. سنگ‌های میزبان کانی‌سازی شامل پیروکسن آندزیت، بازالت، تراکی-آندزیت بازالت و تراکی‌بازالت ائوسن هستند که ماهیت آلکان داشته و از دیدگاه زمین‌ساختی در موقعیت کمان حاشیه فعال قاره‌ای قرار می‌گیرند. واحدهای آتشفشانی موجود در منطقه، سه نوع دگرسانی در مقیاس ناحیه‌ای و محلی را متحمل شده‌اند. دگرسانی زئولیتی-کربناتی، به صورت ناحیه‌ای بخش وسیعی از سنگ‌های منطقه را تحت‌تاثیر قرار داده است و دگرسانی‌های کلریتی و هماتیته محلی بوده و با مناطق کانه‌زایی مرتبط می‌باشند. کانه‌زایی به صورت رگه-ای و چینه‌کران تشکیل شده و دارای بافت پراکنده، داربستی، رگه-رگچه‌ای و پرکننده فضای خالی است. کالکوسیت کانی اصلی مس می‌باشد؛ که با مقادیری مگنتیت، بورنیت، هماتیت، کالکوپیریت و پیریت و کانی‌های ثانویه مانند مالاکیت، کولیت، کوپریت، گوتیت و دیژنیت همراه می‌باشند. زئولیت، کلسیت، کوارتز و کلریت کانی‌های غیرفلزی هستند. مطالعات میانبارهای سیال بر روی کانی‌های کلسیت و کوارتز مربوط به مرحله اصلی کانی‌سازی، دمای همگن-شدگی را برای کلسیت ۷۹ تا ۳۵۰ و برای کوارتز ۱۶۰ تا ۲۵۰ درجه سانتیگراد نشان می‌دهد. دامنه تغییرات شوری برای کانی کلسیت ۲/۳ تا ۲۲ و برای کوارتز ۶/۱ تا ۱۱/۳ درصد وزنی نمک طعام می‌باشد. نتایج حاصل از مطالعات میانبارهای سیال نشان می‌دهد، فرایند جوشش و اختلاط دو عامل مهم در تشکیل کانه‌زایی می‌باشند. مطالعات ژئوفیزیک با استفاده از دو متد مقاومت ویژه (Rs) و پلاریزاسیون القایی (IP) مقادیر بالایی از (IP-Rs) را در عمق ۵ تا ۴۰ متری نشان داده است. با توجه به ویژگی‌های زمین‌شناسی، کانی‌شناسی، بافت و ساخت کانسنگ و داده‌های حاصل از میانبارهای سیال، کانی‌سازی آسمانو قابل مقایسه با ذخایر مس نوع مانتو می‌باشد.

**واژه‌های کلیدی:** آسمانو، ژئوفیزیک (IP-Rs)، سیالات درگیر، شاهرود، مس نوع مانتو.

## مقدمه

محدوده معدنی آسمانو در ۲۵ کیلومتری شرق شهرستان میامی از توابع شهرستان شاهرود و در استان سمنان واقع شده است. این منطقه در چهارگوش ۱:۲۵۰۰۰۰ جاجرود و در ورقه ۱:۱۰۰۰۰۰ میامی قرار گرفته و منطقه‌ای به وسعت تقریبی ۲۸ کیلومتر مربع در بازه طول شرقی "۱۰' ۵۶" ۵۵° تا "۰۰' ۰۰" ۵۶° و عرض شمالی "۲۶' ۲۰" ۳۶° تا "۵۱' ۲۲" ۳۶° را شامل می‌شود. سنگ میزبان کانی‌سازی سنگ‌های آتشفشانی ائوسن می‌باشند و از نظر زمین‌شناسی در قسمت غربی زون سبزوار و در ناحیه معدنی ترود-عباس‌آباد قرار گرفته‌است؛ این محدوده در تقسیم‌بندی ساختاری ایران (شکل ۱) در زون ماگمایی شمال شرق ایران و در حاشیه شمالی کویر ایران مرکزی قرار دارد (علوی، ۱۹۹۱). وجود کانی‌سازی نوع مانتو اولین بار توسط سامانی (۱۳۸۱) در محدوده ترود-عباس‌آباد و قم-ساوه گزارش شده است. تعداد زیادی ذخایر و آثار معدنی فلزات پایه و گرانبها در محدوده ترود گزارش شده است؛ که می‌توان به کانسار رگه‌ای طلای باغو (رشید نژاد عمران، ۱۳۷۱)، ذخیره اپی ترمال طلا و فلزات پایه گندی و ابوالحسنی (شمعانیان و همکاران، ۲۰۰۴) کانسار پلی‌متال مس-سرب-روی چاه موسی و قله کفتران (امام جمعه و همکاران، ۱۳۸۶) و کانسار ماسیو سولفاید مس-نقره گرمابه پائین (طاشی و همکاران، ۱۳۹۶) در شمال شرق اشاره کرد؛ هم‌چنین می‌توان به کانسارهای مس افشان (نوع مانتو) در محدوده معدنی عباس‌آباد (معدن بزرگ، لب‌کال، آسیادیو، دامن‌جلا) (صالحی و همکاران، ۱۳۹۴)، کانسار مس ورزگ-قائن (علیزاده و همکاران، ۱۳۹۲)، کانسار مس چشمه‌گز (مهوشی و ملک زاده، ۱۳۹۵)، کانسار مس گرماب (عادل پور و

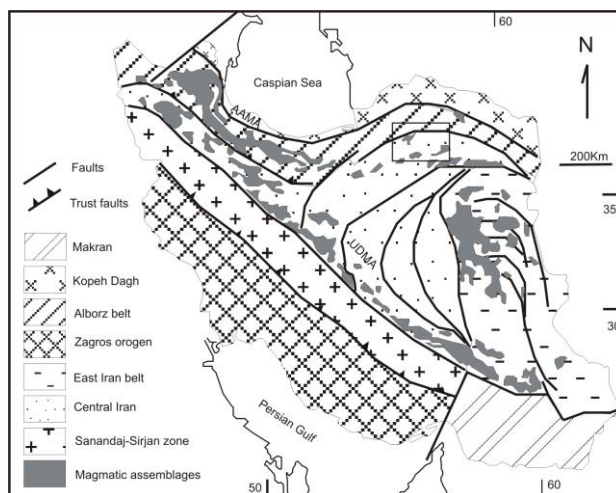
همکاران، ۱۳۹۵) و کانی‌سازی مس چغندر سر (توسلی و لطفی، ۱۳۸۶) در شرق و شمال شرق ایران اشاره نمود. ذخایر این نوع کانی‌سازی که در بالاترین ردیف آتشفشانی ائوسن واقع شده است (سامانی، ۱۳۸۱) با عناوین گوناگونی مانند ماسیوسولفاید (لطفی و نوروزی، ۱۳۸۰)، رگه‌ای و گرمایی (علی‌نیا و دهقان نژاد، ۱۳۸۳) معرفی شده‌اند. اغلب این ذخایر به دلیل عدم شناخت صحیح از مدل کانی‌سازی به صورت متروکه رها شده‌اند؛ لذا شناخت این نوع ماده معدنی در مناطق مرکزی، شرق و شمال شرق ایران می‌تواند چشم‌انداز نوینی را در اکتشاف و بهره‌برداری مس داشته باشد (سامانی، ۱۳۸۱). مطالعات تفصیلی در محدوده مورد بحث شامل تهیه نقشه زمین-شناسی در مقیاس ۱:۲۰۰۰۰، مطالعات ژئوفیزیک به روش ژئوالکتریک (IP, Rs)، حفر ۲۵۰۰ متر مکعب ترانشه و حفر ۶ گمانه اکتشافی با عمق-های ۱۲ تا ۲۲ متر (مجموع ۱۰۲ متر) جهت عیارسنجی و تخمین ذخیره اولیه می‌باشد. هدف از انجام این تحقیق، تعیین نوع کانی‌سازی و گسترش آن بر مبنای مطالعات زمین‌شناسی، کانی‌شناسی، دگرسانی، سیالات درگیر، ژئوفیزیک و حفاری می‌باشد.

## محدوده مورد مطالعه

کمربند فلززایی سبزوار، گستره‌ای از شرق نیشابور تا سر کویر سمنان را شامل می‌شود و نواحی سبزوار، عباس‌آباد، میامی، معلمان و جنوب دامغان را در بر می‌گیرد. گسل عطاری مرز شمالی زون سبزوار می‌باشد که امتداد آن به گسل میامی می‌رسد؛ حد جنوبی این زون را گسل تکنار مشخص می‌کند. ناحیه معدنی ترود-عباس‌آباد در قسمت غربی این کمربند فلززایی قرار داشته و میزبان ذخایر کانی‌سازی مس تیپ مانتو می‌باشد

آندزیتی-بازالتی، سنگ‌های آذرآواری و واحدهای رسوبی مانند شیل، سیلیت، ماسه سنگ، آهک و کنگلومرا تشکیل شده است.

(سامانی، ۱۳۸۱). گسترش تقریبی محدوده معدنی عباس‌آباد ۱۳۰ کیلومتر مربع بوده و با راستای شمال‌شرقی- جنوب‌غربی از واحدهای ائوسن و الیگوسن تشکیل شده و به طور چیره از گدازه‌های



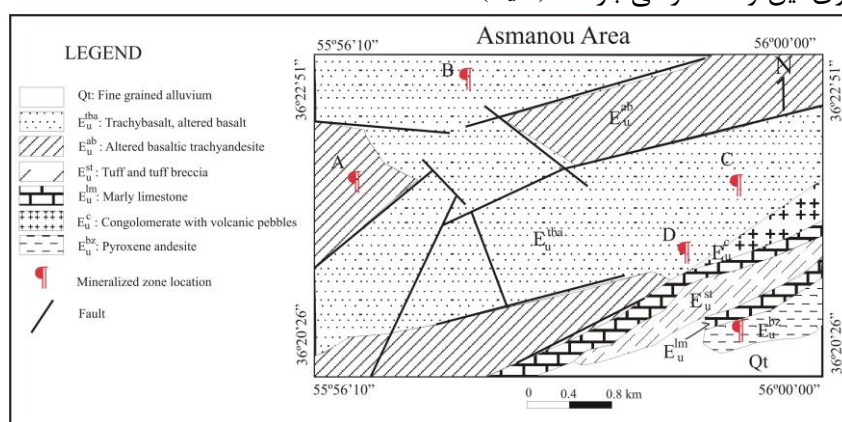
شکل ۱: نقشه ساده شده تکتونیک ایران با زون‌های زمین - ساختی گوناگون و توزیع مجموعه‌های ماگمایی سنوزوئیک (علوی، ۱۹۹۱) موقعیت محدوده تروود-عباس‌آباد و منطقه کانه‌زایی آسمانو در شمال‌شرق ایران دیده می‌شود.

واحدهای سنگی منطقه میامی در برگیرنده ردیفی از سنگ‌های ژوراسیک و کرتاسه می‌باشند و شامل حجم قابل توجهی از نهشته‌های رسوبی و آتشفشانی ائوسن و سرانجام نهشته‌های نئوژن و کواترنر هستند. سه توده آذرین با ترکیب بیوتیت گرانیت (ژوراسیک)، گرانیت و میکرومونزودیوریت (بعد از ائوسن) در میان سنگ‌های منطقه نفوذ کرده و باعث دگرگونی گرمایی آنها شده است. واحدهای آتشفشانی ائوسن غالباً از توف، گدازه-های آندزیتی سبز رنگ، پیروکسن‌آندزیت، آندزیت‌بازالت‌های قهوه‌ای و سبز و تراکی‌بازالت‌های تجزیه شده تشکیل شده‌اند (امینی، ۱۳۸۰). قدیمی‌ترین واحد سنگ‌شناختی در منطقه آسمانو، پیروکسن‌آندزیت ( $E_{II}^{bz}$ ) ائوسن می‌باشد که با ضخامت تقریبی ۴۰۰ متر در قسمت جنوب شرقی نقشه برنزد دارد و میزبان یکی از زون‌های

کانی‌سازی در منطقه می‌باشد (شکل ۲). واحد کنگلومرای ( $E_{II}^c$ ) ائوسن با جورشدگی ضعیف و گردشدگی متوسط تا خوب بر روی این واحد قرار گرفته است و قطعات آن عمدتاً از سنگ‌های آتشفشانی می‌باشد که توسط سیمان سیلیسی-کربناتی بهم متصل شده‌اند. ضخامت این واحد ۳۰۰ متر بوده و قسمتی از شرق نقشه را شامل می‌شود، قسمت‌هایی از کانی‌زایی مس اکسیدی در این واحد تشکیل شده است (شکل ۲). بر روی این واحد آهک مارنی ( $E_{II}^{lm}$ ) تشکیل شده است که گسترش آن در جنوب شرقی نقشه می‌باشد و فاقد کانی‌سازی است (شکل ۲). این واحد توسط ماسه‌سنگ توفی، توف و توف مارنی سبز رنگ ( $E_{II}^{st}$ ) ائوسن پوشیده می‌شود که گسترش آن در قسمت جنوب‌شرقی نقشه می‌باشد و آثاری از کانی‌سازی در آن مشاهده نشده است (شکل ۲).

اوسن با بافت پورفیری به رنگ قهوه‌ای تیره تا سیاه تشکیل شده است که بخش‌های میانی و شمالی منطقه را پوشانده و مانند واحد تراکی-آندزیتی متحمل دگرسانی زئولیتی- کربناتی گردیده است. ضخامت این واحد تا ۲۰۰۰ متر نیز می‌رسد و روند شمال‌شرق- جنوب‌غرب را نشان می‌دهد. این واحد میزبان مهم کانی‌سازی مس در منطقه محسوب می‌شود (شکل ۲).

واحد تراکی‌آندزیت‌بازالت قهوه‌ای و سبز رنگ ( $E_u^{ab}$ ) اوسن بر روی واحد توف قرار گرفته است. این واحد در بخش‌های زیادی متحمل دگرسانی زئولیتی- کربناتی شده و در بعضی موارد به یک برش با ترکیب آندزیتی تبدیل شده است. ضخامت این واحد ۱۳۰۰ متر می‌باشد و روند شمال‌شرق- جنوب‌غرب را نشان می‌دهد، این واحد یکی از میزبان‌های مهم کانی‌سازی در منطقه می‌باشد. (شکل ۲). بر روی این واحد، تراکی‌بازالت ( $E_u^{tba}$ )



شکل ۲: نقشه ساده شده زمین‌شناسی محدوده معدنی آسمانو.

برای ذوب‌بخ  $\pm 0.2^\circ C$  می‌باشد. هم‌چنین جهت مطالعات سنگ‌شناسی و محیط تکتونوماگمایی کانسار تعداد ۱۰ نمونه (نمونه‌های سنگی سالم و با کمترین میزان دگرسانی) جهت مطالعات XRF و ICP-MS توسط شرکت زرآما مورد آنالیز شیمیایی قرار گرفت. جهت مطالعات دقیق‌تر کانی‌شناسی سنگ میزبان دگرسان شده، تعداد ۴ نمونه به‌روش پراش اشعه X (XRD) توسط شرکت زرآما مورد آنالیز قرار گرفت.

### نتایج

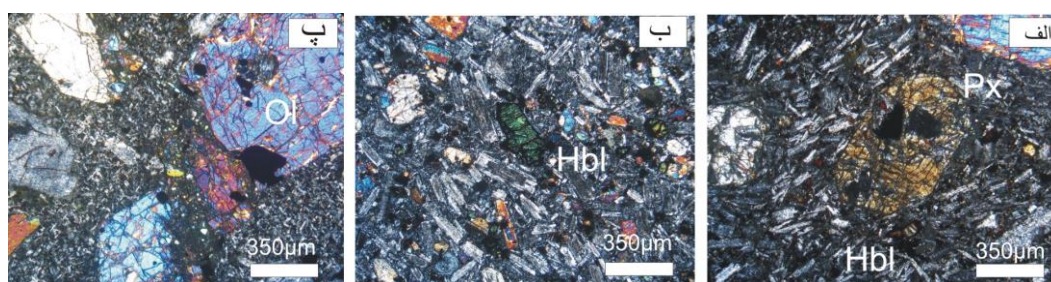
سنگ میزبان اصلی کانی‌سازی شامل پیروکسن آندزیت، تراکی‌آندزیت بازالت و تراکی‌بازالت اوسن می‌باشند. واحد پیروکسن آندزیت با بافت پورفیریک و خمیره شیشه‌ای- میکروولیتی تشکیل

### مواد و روش‌ها

این پژوهش بر مبنای مشاهدات میدانی و نمونه برداری از رخنمون‌های سطحی برای مطالعات آزمایشگاهی استوار است. به‌منظور شناخت کانی-شناسی کانسنگ و دگرسانی سنگ میزبان، ۴۰ مقطع نازک، نازک- صیقلی و صیقلی، توسط میکروسکوپ نور انعکاسی و انعکاسی در دانشگاه صنعتی شاهرود انجام گرفت و سپس ۷ نمونه جهت مطالعات ریز دماسنجی میانبارهای سیال انتخاب شد. مطالعه میانبارهای سیال، با استفاده از استیج گرم کننده و سرد کننده مدل MDS600 ساخت شرکت Linkham در آزمایشگاه میکروترومبارومتری سازمان زمین‌شناسی و اکتشافات معدنی کشور صورت گرفته است. صحت اندازه‌گیری‌ها برای دماهای همگن‌شدن  $\pm 2^\circ C$  و

موارد به کلریت و اکسیدهای آهن تجزیه شده‌اند. بلورهای الیوین به صورت وجه‌دار با فراوانی کمتر از ۱۰ درصد با ابعاد تا ۰/۵ میلیمتر تشکیل شده - است که در بعضی موارد به کلریت تجزیه شده‌اند. پیروکسن (اوژیت) با فراوانی کمتر از ۱۰ درصد با ابعاد تا ۰/۳ میلیمتر حضور دارند که در مواردی به کلریت و کلسیت تجزیه شده‌است. واحد تراکی-بازالت با بافت پورفیریک و گلوموپورفیریتیک در یک خمیره میکرولیتی - شیشه‌ای تشکیل شده - است (شکل ۳ پ). میکرولیت‌ها از پلاژیوکلاز، پیروکسن، الیوین و کانی‌های تیره تشکیل شده‌اند. فنوکریست‌ها شامل الیوین، پیروکسن و پلاژیوکلاز هستند. بلورهای الیوین به صورت وجه‌دار تا نیمه - وجه‌دار در حدود ۲۰ درصد سنگ را تشکیل داده است و ابعاد آن گاه تا ۲ میلیمتر هم می‌رسد و در مواردی به کلریت تجزیه شده است. بلورهای پیروکسن (اوژیت) وجه‌دار تا نیمه‌وجه‌دار با فراوانی ۱۰-۱۵ درصد تشکیل شده است که ابعاد آن تا ۳ میلیمتر هم می‌رسد و گاه به کلریت و کلسیت تجزیه شده است. پلاژیوکلاز از نوع بیتونیت و لابرادوریت با فراوانی ۱۰-۲۰ درصد تشکیل شده و در مواردی به رس، سریسیت، کلریت و اپیدوت تجزیه شده‌اند.

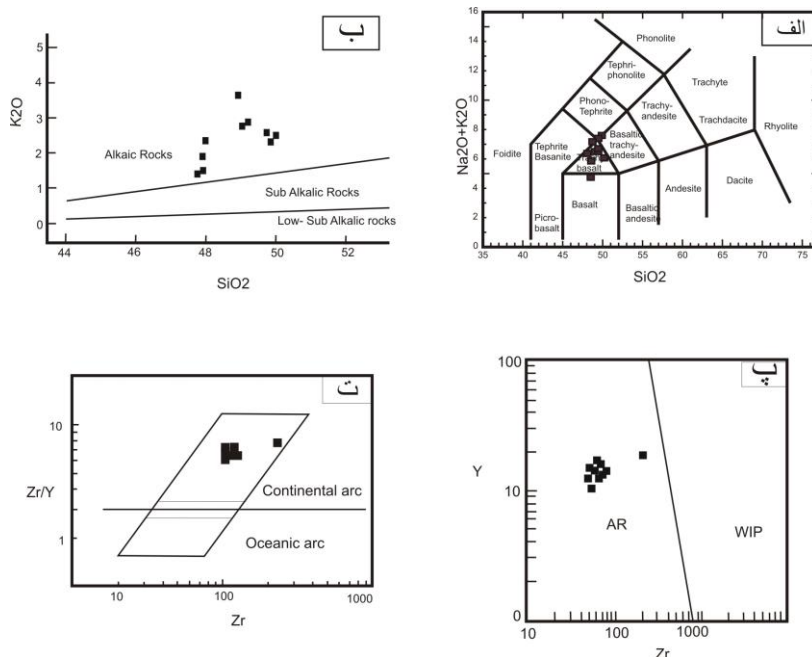
شده است (شکل ۳ الف). میکرولیت‌ها عمدتاً حاوی پلاژیوکلاز، هورنبلند و کانی‌های تیره می‌باشند. پلاژیوکلاز، پیروکسن و هورنبلند فنوکریست‌ها را تشکیل داده‌اند. پلاژیوکلاز با ابعاد تا ۱ میلیمتر و با فراوانی ۲۰ درصد در متن سنگ مشاهده گردید. پیروکسن تا ۲ میلیمتر با فراوانی ۳۰ درصد و هورنبلند با ابعاد کمتر از ۰/۵ میلیمتر و فراوانی ۵ درصد مشاهده شد؛ هورنبلند در مواردی اوپاسیتی شدن را نشان می‌دهد. واحد تراکی‌اندزیت بازالت با بافت پورفیریک و خمیره شیشه‌ای - میکرولیتی تشکیل شده است (شکل ۳ ب). خمیره سنگ به طور عمده از میکرولیت‌های پلاژیوکلاز، هورنبلند، کانی‌های تیره و شیشه تشکیل شده است. فنوکریست‌های آن از پلاژیوکلاز و هورنبلند و به مقدار کمتری پیروکسن و الیوین تشکیل شده است. پلاژیوکلاز با ابعاد تا ۰/۷ میلیمتر با ماکل آلیتی تشکیل شده است و حدود ۲۰-۳۰ درصد حجم سنگ را تشکیل می‌دهد. این کانی اغلب وجه‌دار بوده و در بسیاری موارد به سریسیت و کربنات تجزیه شده - است. هورنبلند به رنگ سبز ۱۵ درصد ترکیب مودال سنگ را تشکیل می‌دهد که اغلب اوپاسیتی شدن را نشان می‌دهد و در بسیاری از



شکل ۳: تصاویری از واحدهای آتشفشانی میزبان کانی‌سازی. الف) واحد پیروکسن‌اندزیت با بلورهای درشت پیروکسن و هورنبلند اوپاسیتی شده؛ ب) واحد تراکی‌اندزیت - بازالت با بلورهای الیوین، پلاژیوکلاز و هورنبلند که اوپاسیتی شدن شدیدی را نشان می‌دهد، پ) اجتماع بلورهای الیوین در زمینه میکرولیتی - شیشه‌ای در واحد تراکی‌بازالت (بافت گلوموپورفیریتی). (الیوین: Ol، پیروکسن: Px، هورنبلند: Hbl). حروف اختصاری نشانگر کانی‌ها، از (ویتنی و ایوانس، ۲۰۱۰).

## پترولوژی سنگ میزبان

داده‌های ژئوشیمیایی و تفسیر مناسب آنها می‌تواند در آگاهی از خاستگاه و تحول سنگ‌های مورد بحث بسیار مفید باشد. به این منظور، تعداد ۱۰ نمونه معرف از سنگ‌های منطقه مورد مطالعه که کمترین دگرسانی را نشان می‌دهند، برای اکسیدهای اصلی و طیف وسیعی از عناصر فرعی و کمیاب آنالیز شدند. به منظور نام-گذاری شیمیایی سنگ‌های منطقه مورد مطالعه از نمودار  $\text{Na}_2\text{O} + \text{K}_2\text{O} / \text{SiO}_2$  لی باس و همکاران (۱۹۸۶) استفاده شده است (شکل ۴ الف). بر اساس این نمودار سنگ‌های محدوده آسمانو در محدوده بازالت، تراکی بازالت و تراکی‌اندزیت بازالت قرار می‌گیرد. از عناصر اصلی می‌توان جهت طبقه‌بندی سری‌های ماگمایی و تعیین منشاء ماگمایی نیز استفاده نمود؛ لذا از نمودار  $\text{K}_2\text{O}$  در برابر  $\text{SiO}_2$  میدلموست (۱۹۷۵) استفاده گردید که بر اساس این نمودار سنگ‌های منطقه در رده سنگ‌های آلکالن قرار گرفته‌اند (شکل ۴ ب). جهت تعیین محیط نکتونوماگمایی منطقه کانی‌سازی آسمانو از نمودار مولر و گروز (۱۹۹۷) استفاده گردید (شکل ۴ پ). این نمودار بر اساس عناصر غیر قابل تحرک برای تعیین سنگ‌های آذرین با پتاسیم بالا ارائه شده است که می‌تواند سنگ‌های پتاسیک و شوشونیتی محیط‌های درون صفحه‌ای را از کمان‌های ماگمایی جدا کند. بر اساس این نمودار که بر مبنای Y در مقابل Zr می‌باشد تمامی نمونه‌ها در محدوده کمان ماگمایی قرار می‌گیرند. نمونه‌ها در نمودار Zr/Y در مقابل Zr پیرس (۱۹۸۳) نیز در محدوده کمان‌های حاشیه فعال قاره‌ای قرار گرفته‌اند (شکل ۴ ت).



شکل ۴: نمودارهای ژئوشیمی سنگ میزبان کانی‌سازی آسمانو، الف) نمودار  $\text{Na}_2\text{O} + \text{K}_2\text{O} / \text{SiO}_2$  لی باس و همکاران (۱۹۸۶) نمونه‌ها در محدوده بازالت، تراکی‌اندزیت بازالت و تراکی‌بازالت قرار گرفته است، ب) نمودار  $\text{K}_2\text{O}$  در برابر  $\text{SiO}_2$  میدلموست (۱۹۷۵)، نمونه‌ها در محدوده سری آلکالن قرار می‌گیرند، پ) نمودار  $\text{Y}$  در برابر  $\text{Zr}$  مولر و گروز (۱۹۹۷)، نمونه‌ها در محدوده مرتبط با کمان قرار می‌گیرند (AR = مرتبط با کمان، WIP = موقعیت درون صفحه‌ای)، ت) نمودار Zr/Y در مقابل Zr پیرس (۱۹۸۳)، نمونه‌های منطقه مورد مطالعه در محدوده کمان قاره‌ای قرار می‌گیرند.

جدول ۱: نتایج تجزیه شیمیایی سنگ‌های منطقه آسمانو (اکسیدهای اصلی بر حسب %wt و عناصر نادر خاکی و کمیاب بر حسب ppm می‌باشند).

Elements/Sample No.	T1-1	T1-2	T2-4	T3-2	T5-1	T6-1	T6-2	T8-1	T10-1	T12-1
SiO <sub>2</sub> (%)	49.72	50.19	49.58	48.67	48.83	49.69	50.24	50.09	48.84	48.27
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	14.35	17.28	14.47	13	12.68	12.96	15.21	15.86	16.44	13.35
BaO	0.04	0.06	0.04	0.04	0.03	0.04	0.04	0.05	0.06	0.05
CaO	9.3	6.78	9.26	9.62	9.4	9.9	8.68	7.23	7.72	10.15
Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	9.95	8.9	9.96	9.62	9.4	9.77	9.83	9.14	9.47	9.9
K <sub>2</sub> O	2.73	2.2	2.73	1.9	1.7	3.63	2.47	2.29	2.18	1.43
MgO	6.34	4.2	6.51	7.45	8.44	7.41	5.36	5.1	4.55	7.13
MnO	0.2	0.19	0.18	0.17	0.17	0.17	0.2	0.16	0.16	0.19
Na <sub>2</sub> O	3.68	5.54	3.57	3.99	3.01	2.64	4.2	5.15	5.31	4.47
P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	0.56	0.78	0.55	0.56	0.49	0.52	0.53	0.74	0.74	0.67
SO <sub>3</sub>	0.02	0.02	0.04	0.03	0.04	0.04	0.04	0.04	0.04	0.04
TiO <sub>2</sub>	0.75	0.74	0.77	0.71	0.83	0.67	1.13	0.74	0.82	0.74
LOI	2.35	3.1	2.24	3.05	2.41	2.53	2.04	3.35	3.63	3.33
Ag (ppm)	0.17	0.24	0.2	0.21	0.16	0.19	0.2	0.16	0.18	0.17
As	2.2	4.4	2.1	2.3	2	2.1	2	2	2.1	1.8
Ba	297	469	322	328	244	285	318	389	421	322
Be	1.4	1.8	1.3	1.3	1	1.2	1.1	1.7	1.7	1.6
Bi	0.4	0.42	0.46	0.45	0.42	0.43	0.44	0.44	0.43	0.42
Cd	0.25	0.22	0.24	0.21	0.25	0.26	0.23	0.22	0.22	0.26
Ce	27	34	27	26	25	23	37	34	39	34
Co	28	21	28	30	30	30	27	25	23	29
Cr	110	4	110	177	208	168	40	87	18	134
Cu	74	1221	135	96	98	86	100	69	100	93
La	14	18	13	13	13	12	20	18	20	17
Li	12	9	15	24	9	12	16	17	24	11
Mo	1.08	1	1.11	1	0.94	1.1	1.09	1.09	1.05	0.97
Ni	32	6	31	42	48	36	18	25	12	32
Pb	11	10	12	7	8	11	7	13	15	10
S	156	164	182	232	144	188	222	191	155	188
Sb	1.05	1.06	1.2	1.17	1.03	1.04	1.06	1.1	1.08	1.13
Sc	27.3	12.6	27.3	29.1	32.4	29.6	23.2	17.1	14.5	26.8
Sn	3.5	3	2.8	2.9	3.3	3.4	3.3	3.4	3.1	2.8
Sr	622	860	680	581	517	728	561	729	784	663
Th	7.4	7.3	7.4	7.8	7.2	6.4	7.2	7.8	7.5	7.9
Ti	3998	4026	4077	3806	4258	3575	5721	4019	4266	3948
U	2.6	4.6	22.8	2.4	2.3	1.7	4	4.4	4.7	3.2
V	264	259	252	205	224	230	224	261	279	236
W	3.91	4.15	9.12	5.63	7.15	4.03	9.23	3.08	6.48	1.07
Y	16	15	15	14	15	13	18	14	18	15
Yb	2.3	2.2	2.3	2	2.2	2	2.4	2.1	2.4	2.1
Zn	81	88	73	76	69	77	79	73	83	77
Zr	81	90	84	77	78	71	127	96	91	90

## دگرسانی

دگرسانی گرمایی در منطقه آسمانو از گسترش وسیعی برخوردار است و محدود به رخنمون‌های معدنی نیست. بر اساس مطالعات میکروسکوپی و نتایج آنالیز XRD سه نوع دگرسانی در ابعاد محلی و ناحیه‌ای در محدوده آسمانو قابل تشخیص است که واحدهای آتشفشانی منطقه را تحت تاثیر قرار داده است. شدت دگرسانی در سنگ‌های آتشفشانی میزبان کانی‌سازی متفاوت بوده و از مرکز زون‌های کانه‌ساز به سمت حاشیه کاهش می‌یابد. مهم‌ترین دگرسانی‌های شناسایی شده در منطقه شامل دگرسانی هماتی، کلریتی و زئولیتی- کربناتی می‌باشند. دگرسانی هماتی اغلب در مجاورت رگه‌ها به رنگ قهوه‌ای تا قرمز دیده می‌شود (شکل ۵ الف) و ضخامت آن بر حسب اندازه رگه‌ها متغیر است؛ به طوری که ضخامت آن در مجاورت رگه‌های کوچکتر نیم متر و در مجاورت رگه‌های بزرگتر به ۳ متر هم می‌رسد. این دگرسانی ارتباط نزدیکی با کانی‌سازی مس داشته و با دگرسانی کلسیمی و به مقدار کمتر سیلیسی همراه است. هماتیت تیغه‌ای، کلریت، کربنات و مقادیری کوارتز، شکستگی‌ها و حفرات موجود در سنگ و کانی‌های پلاژیوکلاز، الیوین و پیروکسن را پر کرده است (شکل ۵ ت). دگرسانی کلریتی از گسترش زیادی برخوردار نبوده و در رگه‌های بزرگ تا ۴ متر هم می‌رسد (شکل ۵ ب). این دگرسانی همانند دگرسانی هماتی با کانی‌سازی مس ارتباط نزدیکی داشته و در اغلب موارد با دگرسانی هماتی هم‌پوشانی دارد. مهم‌ترین کانی موجود در این دگرسانی کلریت می‌باشد که با مقادیری سریسیت، کلسیت، اپیدوت و اکسیدهای آهن همراه است. محلول‌های داغ کلسیک بلورهای پلاژیوکلازها را به کلریت و سریسیت و گاه به اپیدوت تبدیل کرده است و

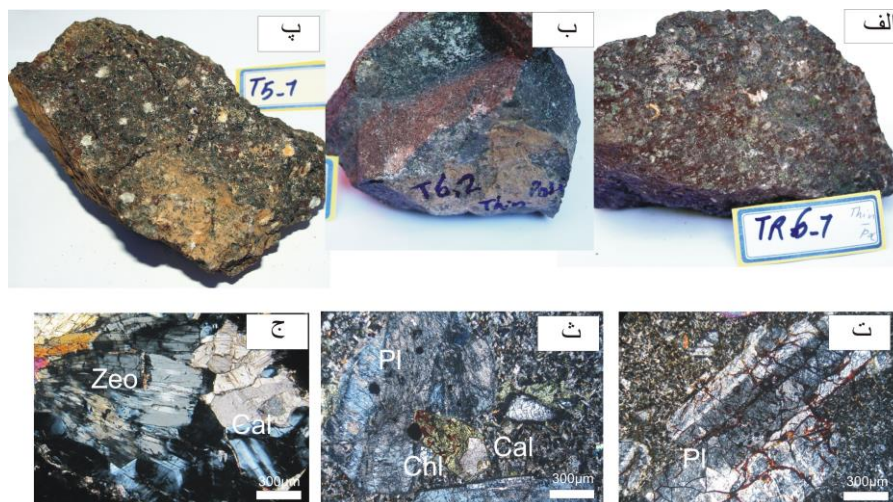
کانی‌های تیره مانند هورنبلند و پیروکسن به کلریت و مقادیر کمتری به اپیدوت و کربنات تجزیه شده‌اند (شکل ۵ ث). کانی‌های حاصل از دگرسانی به صورت جانیشینی کانی‌های اولیه و در موارد شکستگی‌ها و حفرات موجود در سنگ را پر کرده است. دگرسانی زئولیتی- کربناتی گسترش زیادی در منطقه دارد (شکل ۵ پ) و تقریباً تمام واحدهای آتشفشانی را تحت تاثیر قرار داده است. پیروکسن‌آندزیت، بازالت‌های دانه درشت و تراکی- آندزیت بازالت تحت تأثیر محلول‌های گرمایی قرار گرفته و حفرات بادامکی شکل موجود در سنگ توسط کانی‌های شعاعی و اسفرولیتی زئولیت، آنالسیم و کربنات پر شده است (شکل ۵ ج).

## کانه‌زایی و کانی‌شناسی

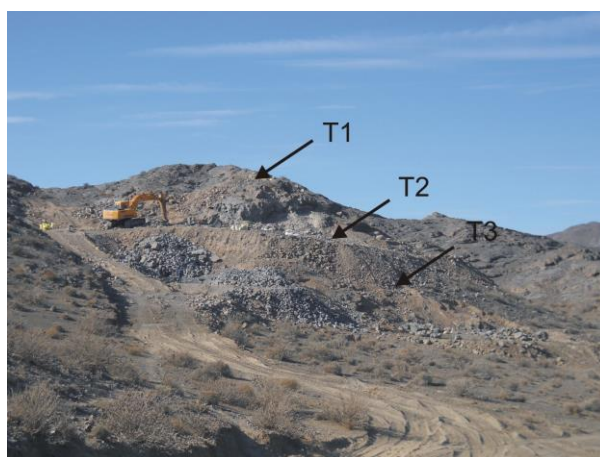
با توجه به مطالعات انجام شده، کانی‌سازی مس آسمانو در ارتباط با فعالیت‌های گرمایی بوده و به صورت رگه و رگچه‌های ظریف در واحدهای پیروکسن‌آندزیت، تراکی‌بازالت، تراکی‌آندزیت بازالت و کنگلومرای ائوسن به وقوع پیوسته است (شکل ۷ الف، ب، پ و ت). پهنای بخش کانی-زایی از ۵/۱ تا حدود ۱۰ متر و طول آنها از ۵ تا ۶۰ متر متغیر است. در محدوده کانی‌سازی آسمانو، ۵ زون کانی‌زایی A، B، C، D، E مشخص شده است. از آنجا که کانی‌سازی مس به صورت سولفیدی و پراکنده در منطقه تشکیل شده، لذا مطالعات ژئوفیزیکی به روش‌های پلاریزاسیون‌القایی (IP) و مقاومت‌ویژه الکتریکی (RS) بر روی ۴ پروفیل در سه منطقه کانی‌زایی A، B، C و E انجام گرفت. با توجه به نتایج حاصل از مطالعات صحرایی و ژئوفیزیکی، زون کانی‌زایی E در اولویت اکتشافی قرار گرفت (شکل ۶). جهت آگاهی از کانی‌شناسی کانسنگ و باطله و روابط پارائزنی آنها و دگرسانی‌های موجود در منطقه، ۴۰ مقطع



نازک- صیقلی، نازک و صیقلی تهیه و مطالعه گردید.



شکل ۵: تصاویر ماکروسکوپی و میکروسکوپی از دگرسانی‌های موجود در منطقه آسمانو، الف) دگرسانی هماتیته که حفرات و شکستگی‌های سنگ میزبان توسط کانی‌های آهن‌دار، کلریت و کربنات پر شده است؛ ب) دگرسانی کلریتی همراه با اکسیدهای آهن، صفحات شکستگی را پر کرده است؛ پ) دگرسانی زئولیتی- کربناتی در تراکی‌بازالت؛ حفرات سنگ توسط زئولیت و کربنات پر شده است؛ ت) تصویر میکروسکوپی از دگرسانی هماتیته که در آن شکستگی‌های موجود در بلور پلاژیوکلاز توسط اکسیدهای آهن پر شده است؛ ث) تصویر میکروسکوپی از دگرسانی کلریتی که تبدیل شدگی پلاژیوکلاز به کلریت و سریسیت و حفره پر شده توسط کربنات را نشان می‌دهد، ج) تصویر میکروسکوپی از پر شدگی حفرات توسط کربنات و زئولیت در دگرسانی زئولیتی- کربناتی (زئولیت: Zeo، کلسیت: Cal، پلاژیوکلاز: Pl، کلریت: Chl). حروف اختصاری نشانگر کانیها، از (ویتنی و ایوانس، ۲۰۱۰).



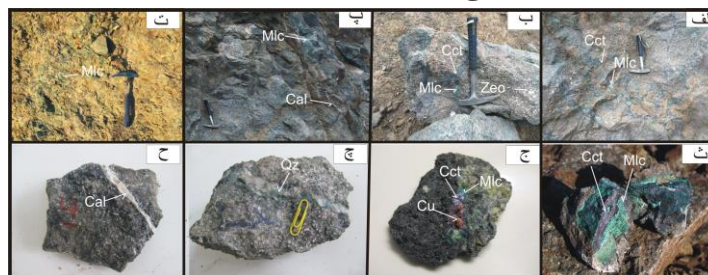
شکل ۶: نمایی از قسمت غربی زون کانی‌سازی E که سه ترانشه با فواصل ۶ و ۸ متر بر روی آن زده شده است.

ب). رگچه‌های حاوی ماده معدنی از دو میلیمتر تا ۳ سانتیمتر متغیر است (شکل ۷ پ) و اغلب شکستگی‌های موجود در سنگ‌ها (شکل ۷ ت) و

کانی‌سازی به صورت رگه و رگچه‌ای، پراکنده، داربستی، پرکننده فضای خالی و جان‌شینی در سنگ میزبان تشکیل شده است (شکل ۷ الف،

رگچه‌های کلسیتی و به مقدار کمتر سیلیسی نیز همراه با ماده معدنی شکستگی‌ها را پر کرده و ارتباط نزدیکی با کانی‌سازی نشان می‌دهند (شکل ۷ چ و ح).

کانی‌ها را پر کرده است. بررسی‌های کانی‌شناسی در منطقه، همراهی مس با کانی‌های سولفیدی و اکسیدی مانند مس طبیعی، کالکوسیت، مگنتیت، کوپریت، مالاکیت (شکل ۷ ث و ج) و به مقدار بسیار کمی پیریت و کالکوپیریت را نشان می‌دهد.



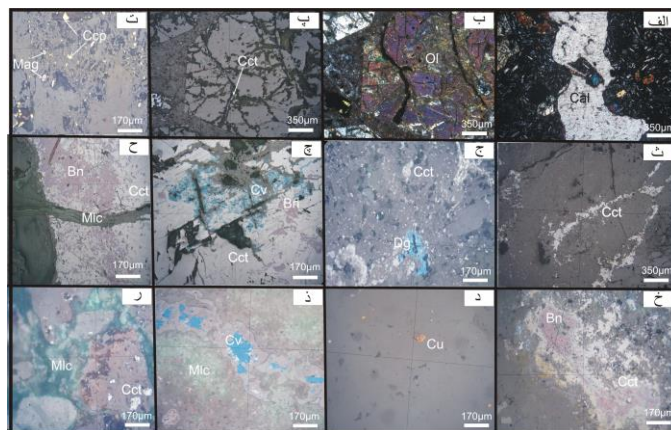
شکل ۷: تصاویر میکروسکوپی از بافت و ماده معدنی در کانی‌سازی آسمانو؛ الف) رگچه‌های داربستی کالکوسیت و مالاکیت در سنگ میزبان پیروکسن‌اندزیت، ب) رگچه‌های داربستی کالکوسیت و مالاکیت در سنگ میزبان پیروکسن‌اندزیت که حفرات آن توسط زئولیت پر شده است، پ) رگه کانی‌سازی متشکل از کالکوسیت و مالاکیت که با رگچه کلسیتی در سنگ میزبان پیروکسن‌اندزیت همراه است، ت) کانی‌سازی مالاکیت در سنگ میزبان کنگلومرا با قطعات آتشفشانی، ث) نمونه‌ای از کانسنگ متشکل از کالکوسیت، مالاکیت و کوپریت به صورت پرکننده شکستگی، ج) نمونه‌ای از سنگ میزبان کانی‌سازی شده همراه با کالکوسیت، مالاکیت و مس خالص به صورت پرکننده حفرات، چ) رگچه کوارتزی همراه با ماده معدنی مالاکیت و کالکوسیت، ح) رگچه کلسیتی همراه با ماده معدنی مالاکیت و کالکوسیت؛ نمونه‌ها متعلق به زون E می‌باشند. (زئولیت: Zeo، کلسیت: Cal، کالکوسیت: Cct، کوارتز: Qz، مس خالص: Cu، مالاکیت: Mlc). حروف اختصاری نشانگر کانی‌ها، از (ویتنی و ایوانس، ۲۰۱۰).

همراه با اپیدوت، کلریت، زئولیت و سریسیت و مقادیری کوارتز و کلسیت تشکیل شده است. مگنتیت به صورت دانه‌های پراکنده در داخل حفرات سنگ و کانی‌ها تشکیل شده است (شکل ۸ ت). فراوانی مگنتیت در مقاطع زیاد بوده و در بیشتر نمونه‌های مورد مطالعه حضور دارند و اغلب به صورت وجه‌دار تا نیمه وجه‌دار با ابعاد ۵۰ تا ۲۰۰ میکرون تشکیل شده است. کالکوپیریت با فراوانی بسیار کم و به صورت دانه‌های نیمه‌وجه‌دار تا بی‌وجه با ابعاد کمتر از ۱۰۰ میکرون به صورت پراکنده در حفرات و فضاهای خالی سنگ حضور دارند (شکل ۸ ت). پیریت به مقدار بسیار کم و با ابعاد کمتر از ۵۰ میکرون در حفرات متن سنگ به صورت پراکنده دیده می‌شود. پیریت و

بافت کانی‌سازی به صورت رگچه‌ای، پرکننده فضای خالی، پراکنده و برشی می‌باشد (شکل ۸ الف، ب، پ و ت) قطعات زاویه‌دار برشی از ۰/۲ تا ۲ میلی‌متر در رگچه‌های کربناتی و حفرات سنگ مشاهده گردید (شکل ۸ الف). ماده معدنی به طور عمده در شکستگی‌ها و حفرات سنگ و کانی‌هایی نظیر الیوین، پیروکسن و پلاژیوکلاز تشکیل شده است (شکل ۸ ب، پ و ت). بر اساس مطالعات میکروسکوپی، می‌توان کانی‌سازی را به دو مرحله هیپوژن و سوپرژن تقسیم‌بندی نمود (شکل ۹). مرحله هیپوژن به دو زیر مرحله آغازین و اصلی و مرحله سوپرژن به دو زیر مرحله سولفیدی و اکسیدی تقسیم‌بندی می‌شوند. در مرحله آغازین کانی‌سازی هیپوژن مگنتیت، پیریت و کالکوپیریت

خ). مس خالص به مقدار بسیار کمتر به صورت بی‌وجه و با ابعاد کمتر از ۱۰۰ میکرون در فضاهای خالی مشاهده گردید (شکل ۸ د). رگچه‌های کلسیتی و به مقدار کمتر کوارتزی در این مرحله گسترش بیشتری داشته و ماده معدنی مانند کالکوسیت درون این رگچه‌ها تشکیل شده است. در مرحله سوپرژن کالکوسیت ثانویه، کولیت، دیژنیت، مالاکیت، آزوریت، کوپریت و گوتیت تشکیل شده است. کولیت از تجزیه کالکوسیت و بورنیت حاصل شده است و کالکوسیت ثانویه حاصل تجزیه بورنیت می‌باشد (شکل ۸ ذ و چ). کانی‌های مالاکیت و آزوریت که اغلب شکستگی‌ها و حفرات سنگ را پر کرده است از اکسایش کانی-های سولفیدی تشکیل شده است (شکل ۸ ر). گوتیت نیز از دگرسانی کانی‌های اکسید آهن مانند هماتیت و مگنتیت تشکیل شده است.

کالکوپریت در نمونه سطوح پایین ترانشه (T3) مشاهده شده‌اند. شروع تشکیل کالکوسیت و بورنیت و هم‌چنین رگچه‌های کوارتز و کلسیت در این مرحله بوده اگرچه فراوانی آنها در مرحله اصلی کانی‌سازی هیپوژن بیشتر می‌باشند. در مرحله اصلی کانی‌سازی هیپوژن کالکوسیت، بورنیت، مس خالص و هماتیت تشکیل شده است. کالکوسیت مهم‌ترین و فراوان‌ترین کانی سولفیدی مس می‌باشد که به صورت رگچه‌ای و پراکنده در شکستگی‌ها و فضاهای خالی سنگ و کانی‌هایی نظیر الیوین، پیروکسن و پلاژیوکلاز تشکیل شده است که در مواردی به کولیت و دیژنیت تجزیه شده است (شکل ۸ ث، ج و چ). بورنیت با بافت میرمکیتی همراه با کالکوسیت در نمونه‌ها مشاهده می‌شود (شکل ۸ چ و ح) و در مواردی به کالکوسیت و کولیت تجزیه شده است (شکل ۸



شکل ۸: تصاویر میکروسکوپی از کانی‌سازی مس آسمانو؛ الف) برش هیدروترمال در رگچه کلسیتی در سنگ پیروکسن‌آندزیت، ب) کانی الیوین همراه با شکستگی‌های پر شده توسط کالکوسیت در نور عبوری، پ) کانی الیوین همراه با شکستگی‌های پر شده توسط کالکوسیت در نور انعکاسی، ت) پراکندگی مگنتیت و کالکوپریت در حفرات کانی‌ها و سنگ، ث) تشکیل کالکوسیت به صورت رگچه‌ای، ج) تشکیل کالکوسیت به صورت رگچه‌ای و پراکنده که در بعضی قسمت‌ها به دیژنیت تبدیل شده است، چ) هم‌رشدی بورنیت و کالکوسیت که در بعضی قسمت‌ها به کولیت تبدیل شده است، ح) بافت میرمکیتی در بورنیت و کالکوسیت که توسط رگچه مالاکیتی قطع شده است، خ) تبدیل بورنیت به کالکوسیت ثانویه و کولیت، د) دانه بسیار کوچک مس خالص در حفره سنگ، ذ) رگچه کالکوسیتی که به-طور عمده به کولیت تبدیل شده است، ر) شکستگی‌های پر شده توسط مالاکیت. (مگنتیت: Mag، کالکوپریت: Ccp، کلسیت: Cal، الیوین: Ol، مس خالص: Cu، بورنیت: Bn، دیژنیت: Dg، کولیت: Cv، مالاکیت: Mic). حروف اختصاری نشانگر کانی‌ها، از (ویتنی و ایوانس، ۲۰۱۰).

Mineral	Hypogene Stage		Supergene Stage	
	Early Stage	Main Stage	Sulfidation Stage	Oxidation Stage
Chlorite	---	————		
Sericite	————	————		
Epidote	---	————		
Quartz	————	————		
Calcite		---	---	
Zeolite	————	————		
Magnetite	————			
Pyrite	————			
Chalcopyrite	————			
Bornite	————			
Chalcocite		————	————	
Native copper		————		
Covellite			————	
Degenite			————	
Hematite		————		
Cuprite				————
Malachite				————
Geothite				————

شکل ۹: توالی پاراژنتیکی مراحل کانی‌سازی در منطقه آسمانو.

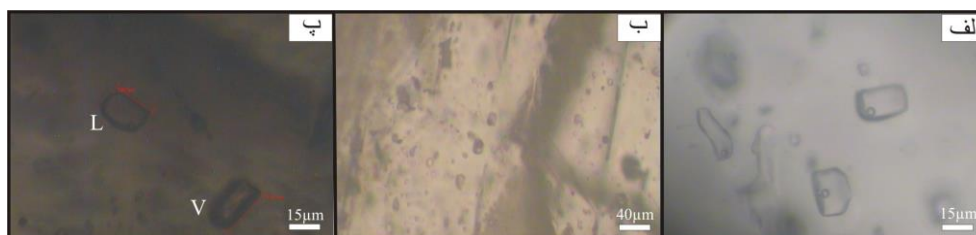
#### مطالعات سیالات درگیر

به منظور آگاهی از ویژگی‌های فیزیکی-شیمیایی، منبع و تحول سیال کانه‌دار، ۱۰ مقطع دوبر-صیقلی با ضخامت ۱۰۰ میکرومتر تهیه و مطالعه شد. پس از پتروگرافی میانبارهای سیال، ۶ نمونه کلسیت و یک نمونه کوارتز مربوط به مرحله اصلی کانی‌سازی، برای اندازه‌گیری‌های ریز دماسنجی انتخاب گردید. نمونه‌های مورد مطالعه، مربوط به زون E و ترانشه‌های T1، T2، T3 می‌باشند (جدول ۲). مطابق با معیارهای رودر (۱۹۸۴)، میانبارهای مطالعه شده به طور عمده از نوع اولیه می‌باشند. میانبارها غالباً به شکل‌های نامنظم، کروی، بیضوی و کشیده می‌باشند و اندازه آنها از ۷ تا ۴۵ میکرون متغیر می‌باشد. در مطالعات انجام شده چهار نوع میانبار دو فاز غنی از مایع، دو فاز غنی از بخار، تک فاز مایع و تک فاز بخار تشخیص داده شد. میانبارهای سیال غنی از مایع، حاوی ۶۰-۹۰ درصد مایع و ۱۰-۴۰ درصد بخار و میانبارهای سیال غنی از بخار، حاوی ۹۰-

۷۵ درصد بخار و ۱۰-۲۵ درصد مایع می‌باشند. آزمایش‌های ریز دماسنجی به طور عمده بر روی میانبارهای غنی از مایع که توسط ناپدید شدن بخار همگن می‌شوند، انجام شده است. علت انتخاب میانبارهای غنی از مایع این است که به هنگام گرم‌شدن میانبارهای غنی از بخار (بیش از ۶۰ درصد بخار)، حباب بخار تیره رنگ به سرعت با حاشیه تیره میانبار (دیواره کانی میزبان) تداخل می‌نماید و در این حالت خطای اندازه‌گیری بالا می‌رود؛ از این رو برای پرهیز از خطا، در بیشتر موارد از میانبارهای غنی از مایع استفاده شده است. با توجه به محتوای میانبارها و معیارهای تشخیص میکروسکوپی، هیچ شاهدهی از حضور CO<sub>2</sub> مایع یا گاز و کانی‌های نوزاد در میانبارها دیده نشد. رگچه‌های کلسیتی فاز غالب در رگه‌ها بوده و مربوط به مرحله اصلی کانی‌سازی است و بیشتر اندازه‌گیری‌ها روی این نوع کلسیت انجام شده است. اندازه میانبارهای مورد مطالعه بین ۷-۴۵ میکرون می‌باشد. این میانبارها اولیه

نشد. یک نمونه از رگچه کوارتزی مربوط به مرحله اصلی کانی‌سازی دارای میانبارهای مناسب جهت اندازه‌گیری وجود داشت. این میانبارها از نوع اولیه و پراکنده می‌باشند و اندازه آنها بین ۱۰ تا ۲۵ میکرون است.

بوده، به صورت پراکنده و گاه در امتداد مناطق رشد کانی کلسیت و به دور از شکستگی‌های ریز و میکروسکوپی قرار دارند (شکل ۱۰ الف و ب). همراهی میانبارهای غنی از بخار و غنی از سیال نیز در کلسیت مشاهده گردید (شکل ۱۰ پ). پدیده نازک‌شدگی در هیچ یک از نمونه‌ها مشاهده



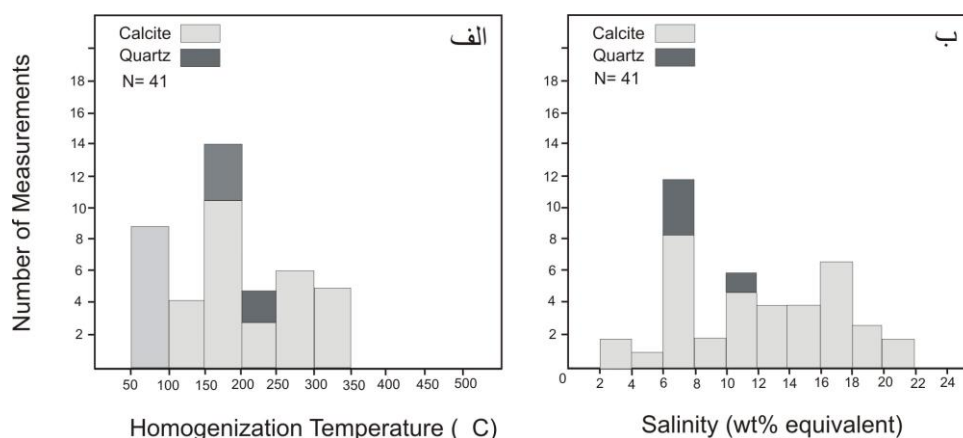
شکل ۱۰: تصاویری از میانبارهای سیال در کانسار آسمانو، الف) اشکال مختلف میانبارهای سیال که از نوع اولیه هستند، ب) پراکندگی میانبارهای اولیه در ابعاد متفاوت در کلسیت که گاه در امتداد شکستگی تشکیل شده‌اند، پ) همراهی میانبارهای غنی از بخار (V) و غنی از سیال (L) در کانی کلسیت.

کلرید سدیم) برای میانبارهای سیال در کانی کلسیت، ۰/۸ تا ۲۱/۶ درصد و برای میانبارهای سیال در کوارتز، ۶/۱ تا ۱۱/۳ درصد وزنی معادل نمک طعام است (جدول ۲). نمودارهای تغییرات دمای همگن‌شدگی و شوری سیالات درگیر در نمونه‌های کلسیت و کوارتز در شکل (۱۱ الف و ب) آورده شده است. میانگین شوری سیال ۱۰/۷ و میانگین دما ۱۹۶ درجه سانتیگراد می‌باشد. مقادیر اندازه‌گیری شده چگالی سیال را بین ۰/۷۳ تا ۱/۱۲ نشان می‌دهد.

آزمایش همگن‌سازی بر روی ۴۱ میانبار که عمدتاً اولیه بوده‌اند، انجام گردید. دمای همگن‌شدن برای میانبارهای سیال در کانی کلسیت ۷۹ - ۳۵۰ درجه سانتیگراد و برای میانبارهای سیال در کوارتز ۱۶۰ - ۲۵۰ درجه سانتیگراد می‌باشد (جدول ۲). تعیین دمای ذوب یخ بر روی ۴۱ میانبار انجام گرفت که برای میانبارهای سیال در کلسیت بین ۱۹/۵ - تا ۰/۵- و برای میانبارهای سیال در کوارتز بین ۳/۸- تا ۷/۷- درجه سانتیگراد به دست آمده است (جدول ۲). میزان شوری‌های به دست آمده (معادل درصد وزنی

جدول ۲: داده‌های میانبار سیال برای کانی‌های کلسیت و کوارتز در منطقه آسمانو.

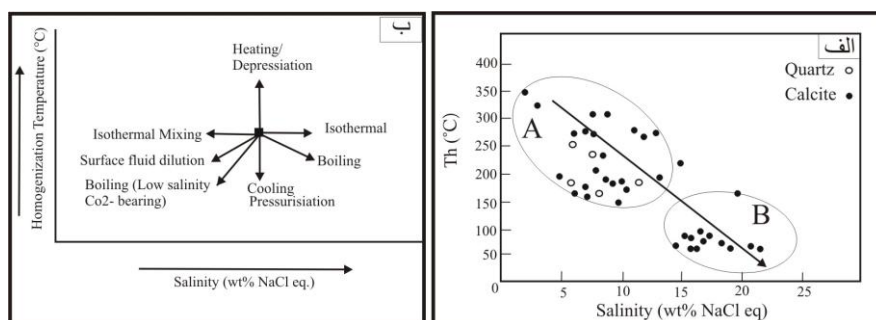
Sample No.	Mineral	FI Type	N	Th Range	Th Avg.	Tm Range	Salinity Range	Salinity Avg.	Phases
ZE-T1-1	Calcite	P	5	79-333	159	-3, -18	4.8-20.9	14.7	L>V
ZE-T1-2	Calcite	P	7	92-350	213	-1.8, -19	2.9-21.6	14.3	L>V
ZE-T2-1	Calcite	P	8	80-334	154	-1.4, -19.5	2.3-22	12.5	L>V
ZE-T2-2	Calcite	P	7	181-350	247	-2, -11.1	3.2-15	9.2	L>V
ZE-T3-1	Calcite	P	6	96-257	202	-1.5, -9.2	3.2-11.4	8.8	L>V
ZE-T3-2	Quartz	P	5	160-250	199	-3.8, -7.7	6.1-11.3	7.4	L>V
ZE-T3-3	Calcite	P	3	157-260	200	-1.3, -9.4	2.1-13.3	8.1	L>V



شکل ۱۱: توزیع دمای همگن شدگی (الف) و شوری (ب) برای کانی‌های کلسیت و کوارتز در نمونه‌های آسمانو.

غنی از سیال و غنی از بخار و همچنین حضور برش‌های موجود در سنگ تأییدی بر فرایند جوشش می‌باشند. شکل (۱۲ الف) دو محدوده دما و شوری A و B را نشان می‌دهد که می‌تواند تأییدی بر حضور دو سیال در فرایند کانی‌سازی باشد؛ سیالی با دمای بالا و شوری کم تا متوسط و سیالی با دما پایین و شوری بالا.

پراکندگی داده‌های میانبار سیال در نمودار تغییرات شوری نسبت به دما برای کانی‌های کلسیت و کوارتز و مقایسه آن با نمودار ویلکینسون (۲۰۰۱) نشان می‌دهد؛ داده‌ها در محدوده جوشش و آمیختگی قرار می‌گیرند (شکل ۱۲ الف و ب). جوشش و آمیختگی دو فرایند موثر در تغییرات شوری می‌باشند. حضور میانبارهای



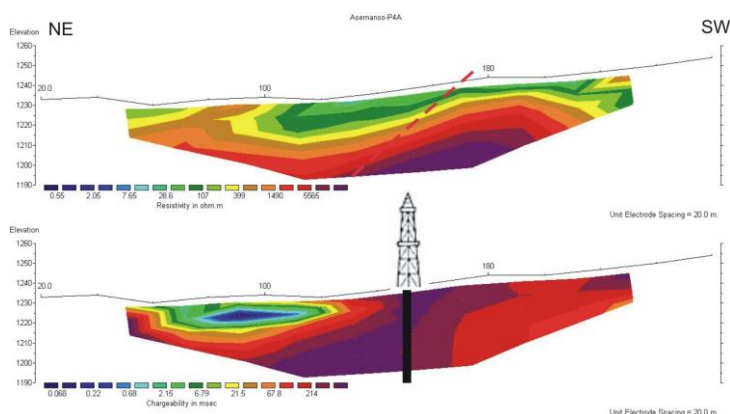
شکل ۱۲: الف) تغییرات دمای همگن‌شدگی در برابر شوری (برحسب درصد وزنی معادل NaCl) برای دمای همگن‌شدن و شوری سیال برای کلسیت و کوارتز در دو محدوده A و B قرار گرفته است که می‌تواند معرف رقیق شدن یک سیال با دمای بالا و شوری پایین تا متوسط با سیالی با دما پایین و شوری بالا باشد. روند میانبارهای سیال در کانی‌های کلسیت و کوارتز در آسمانو حاکی از جوشش و آمیختگی سیال می‌باشد (مقایسه با شکل ب؛ ب) نمودار دمای همگن‌شدگی در برابر شوری (ویلکینسون، ۲۰۰۱)

دلیل وجود احتمالی ساختارهای پیوسته کانی‌سازی مس در منطقه، از روش مقاومت ویژه نیز به عنوان مکمل روش پلاریزاسیون القایی (IP) و به - طور همزمان استفاده شده است؛ که این یک

مطالعات ژئوفیزیک و حفاری در منطقه آسمانو: مناسب‌ترین روش برای تشخیص و مکان‌یابی ذخایر سولفوری و پراکنده، اندازه‌گیری پلاریزاسیون القایی (IP) است. در تحقیق حاضر به

نتایج حاصل از مطالعات ژئوفیزیکی، حضور ماده معدنی را در هر سه زون تأیید می‌کند. نتایج مدل-سازی پروفیل P4.A در زون E بیانگر آن است که یک توده قابل توجه در این ناحیه وجود داشته و تمامی مقطع را تحت‌الشعاع خود قرار داده است (شکل ۱۳). این توده در فاصله ۱۵۰ متری تا ۲۰۰ متری مبدا و از نزدیکی سطح تا عمق ۴۰ متری مقطع کشیده شده است. این احتمال وجود دارد که در این بخش از مقطع وجود کانی‌سازی فلزی دور از انتظار نباشد.

مزیت در برداشت داده‌های صحرایی است. با در نظر گرفتن عوامل زمین‌شناسی، هندسه طبیعی کانسار، شیب، امتداد و عمق کانسار، عمق تجسس و عوامل اقتصادی پروفیل‌های برداشت ژئوفیزیکی عمود بر روند عمومی ساختارهای زمین‌شناسی منطقه و برونزد آثار کانی‌سازی انتخاب گردید. به این ترتیب ۴ پروفیل در سه منطقه کانی‌زایی A، B و E برداشت شده است. طراحی و برداشت داده‌های مقاومت ویژه و پلاریزاسیون القایی در آنها به طور همزمان با آرایه دوقطبی-دوقطبی و با استفاده از دستگاه ABEM SAS4000 انجام شد.



شکل ۱۳: مقاطع معکوس‌سازی پروفیل P4.A مربوط به مقاومت ویژه و شارژابیلیته همراه با نشان دادن گسل‌های اصلی.

بازالت اتوسن تشکیل شده است که بر اثر نفوذ سیالات گرمایی متحمل دگرسانی‌های هماتیته، کلریتی و کربناتی-ژئولیتی گردیده‌اند. سیالات غنی از کلسیم، سنگ‌های آتشفشانی را تحت تأثیر قرار داده و باعث دگرسانی‌های کلریتی و کربناتی-ژئولیتی شده‌اند. دگرسانی هماتیته که با سیالات اکسیدکننده همراه هستند، باعث ایجاد کانی‌های با نسبت بالای آهن سه ظرفیتی نظیر هماتیت شده است که با مقادیری کلریت، سریسیت و کربنات همراه هستند. این دگرسانی که با دگرسانی‌های کلسیمی و سیلیسی همراه است

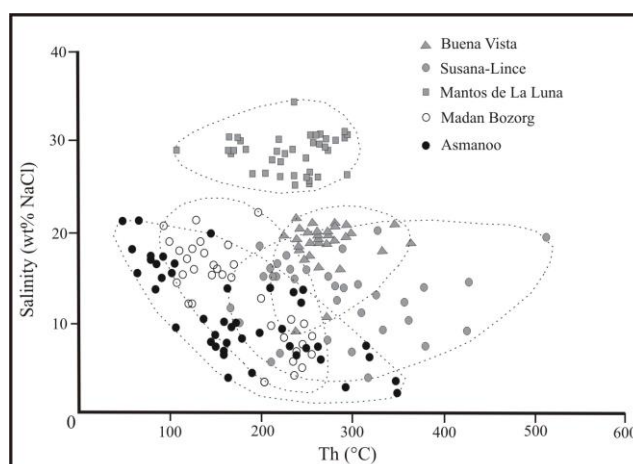
با در نظر گرفتن اطلاعات حاصل از مطالعات زمین‌شناسی، توپوگرافی، توزیع و گسترش رگه‌ها و ژئوفیزیک، ۶ گمانه حفاری پودری تا عمق ۲۲ متری با مجموع ۱۰۲ متر بر روی زون E انجام شد. بیش از ۵۰ نمونه جهت تعیین عیار مس با فواصل ۳ متر مورد آنالیز شیمیایی قرار گرفت و عیار میانگین مس ۱/۲۸ درصد برآورد گردید.

### بحث و نتیجه‌گیری

رگه‌های مس‌دار آسمانو در سنگ میزبان پیروکسن‌آندزیت، تراکی‌آندزیت بازالت و تراکی-

که در تهنشست مواد معدنی نقش مهمی را ایفا می‌کنند (آپارزان و همکاران، ۱۹۹۸). فرایند جوشش در سیالات هیدروترمال، اهمیت به‌سزایی در تشکیل کانی‌سازی، بافت و خواص سیال کانه-ساز دارد (آپارزان و همکاران، ۱۹۹۸). از شواهد مهم جوشش، می‌توان به حضور برش‌های هیدروترمال (شکل ۸ الف)، هم‌زمانی میانبارهای غنی از بخار و غنی از مایع (شکل ۱۰ پ) و فراوانی میانبارهای با شوری بالا اشاره نمود (آپارزان و همکاران، ۱۹۹۸). جوشش سیالات با pH نزدیک به خنثی، می‌تواند باعث افزایش قابل ملاحظه مقادیر کربن شده و در نتیجه منجر به تهنشست کلسیت گردد (ماتسوهیسا، ۱۹۸۶).

ارتباط نزدیکی با کانه‌زایی مس و رگچه‌های کلسیتی و کوارتزی نشان می‌دهد. دمای همگن-شدگی میانبارهای مطالعه شده در منطقه آسمانو، در دامنه ۷۹ تا ۳۵۰ درجه سانتیگراد (با میانگین دمای ۱۹۷ °C) واقع شده است. دامنه تغییرات شوری به‌دست آمده در بازه ۲/۱ تا ۲۲ درصد وزنی نمک طعام با میانگین ۱۰/۷ درصد وزنی نمک طعام می‌باشد. این مقادیر با داده‌های ذخایر مس استراتیفرم کوستال کوردیلرا شمال شیلی و ذخایر تالکونا و معدن بزرگ عباس آباد هم‌خوانی دارد (صالحی و همکاران، ۱۳۹۴؛ آپارزان و همکاران، ۱۹۹۸؛ کوچیما و همکاران، ۲۰۰۳) (شکل ۱۴). دامنه وسیع شوری سیالات می‌تواند به دو فرایند موثر جوشش و اختلاط مرتبط باشد



شکل ۱۴: نمودار دما در برابر شوری میانبارهای سیال در کانسار آسمانو و مقایسه دامنه پراکندگی آن با ذخایر معدن بزرگ (عباس آباد) در شمال شرق شاهرود (صالحی و همکاران، ۱۳۹۴) و معادن Buena Vista, Susana-Lince, و Manros de la Luna در شیلی (کوچیما و همکاران، ۲۰۰۳).

است که می‌تواند ناشی از سرد شدن تدریجی یک سیال واحد باشد. در محدوده B سیال در محدوده شوری بالا (۱۴ تا ۲۲ درصد وزنی نمک طعام) و دمای پایین ۷۹-۱۵۰ درجه سانتیگراد قرار گرفته است که می‌تواند ناشی از سرد شدن سیال، جوشش و یا ورود یک سیال با دمای پایین و

داده‌های میانبار سیال در کلسیت و کوارتز در منطقه آسمانو پراکندگی دوگانه نشان می‌دهد که در محدوده‌های A و B قرار می‌گیرند (شکل ۱۲ الف). در محدوده A سیال در محدوده شوری پایین تا متوسط (۵ تا ۱۵ درصد وزنی نمک طعام) و دمای ۱۵۰ تا ۳۵۰ درجه سانتیگراد قرار گرفته



حفرات و فضاهای خالی سنگ میزبان ته نشست یافته و محیط احیایی لازم را فراهم می‌آورند (ویلسون و زنتیلی، ۱۹۹۹). به عقیده این محققان سولفید حاصل از احیاء سولفات آب دریا و سولفیدهای موجود در واحدهای آتشفشانی در زمان تشکیل، می‌توانند تامین کننده گوگرد مورد نیاز کانی‌سازی نیز باشند. از واکنش سیال کلریدی مس با محیط احیایی، ابتدا کالکوپیریت تشکیل شده و با ادامه روند شرایط احیایی و کاهش فوگاسیته اکسیژن شرایط مناسب جهت ته نشست کالکوسیت، بورنیت و هماتیت فراهم می‌گردد (ویلسون و زنتیلی، ۱۹۹۹).

برداشت: کانی‌سازی مس آسمانو در افق خاصی از سنگ‌های آتشفشانی تشکیل شده است و به همین دلیل در گروه کانی‌سازی‌های مس چینه-کران (مس نوع مانتو) محسوب می‌شود. سامانی (۱۳۸۱) فاز پسین ولکانیسم ائوسن در منطقه ترود-عباس آباد و قم-ساوه را عامل اصلی این نوع کانی‌سازی می‌داند. از نظر شکل کانسار، نوع سنگ میزبان، ترکیب کانی‌شناسی سنگ میزبان این ذخیره بسیار شبیه کانسارهای نوع مانتو در شیلی می‌باشد (کوجیما و همکاران، ۲۰۰۳؛ ویلسون و زنتیلی، ۲۰۰۳). که ذخایری با همین ویژگی‌ها در آمریکا و کانادا تحت عنوان طبقات سرخ آتشفشانی و میشیگان معرفی شده‌اند (لفیور و چرچ، ۱۹۹۶). این ذخایر با دگرسانی‌های کلریتی، کربناتی، سریسیتی، آلبیتی و زئولیتی همراه هستند و کانی‌سازی اغلب به صورت پراکنده، رگچه‌ای و پرکننده حفرات سنگ میزبان تشکیل می‌شوند که با کانی‌های پیریت، کالکوپیریت، بورنیت، کالکوسیت، کولیت، مس طبیعی، هماتیت و مقادیری نقره همراه هستند.

شوری بالا باشد. با توجه به شکل ۱۲ نمودار شوری در برابر دمای منطقه آسمانو و ویلکینسون، منطقه کانی‌سازی آسمانو نمی‌تواند از مدل سیالات ماگمایی-جوی تبعیت کند؛ که حاصل اختلاط آب‌های ماگمایی گرم و شور با آب‌های جوی سرد صورت گرفته است (آیازان و همکاران، ۱۹۹۸). به دلیل دمای بالا و شوری پائین سیال اولیه در منطقه آسمانو و هم‌چنین نبود رسوبات تبخیری در منطقه، حضور شورابه‌های تبخیری در منتفی می‌گردد. نتایج این نمودار نشان می‌دهد، سیالی با دمای بالا و شوری پائین طی فرایند جوشش به سیالی با دمای پائین و شوری بالا تبدیل شده است و در نهایت منجر به ته‌نشست کانی‌سازی در منطقه شده است. براساس مطالعات ویلسون و زنتیلی (۱۹۹۹) در تشکیل ذخایر مس نوع مانتو، مس از گدازه‌های قرمز و اکسید شده، شسته شده و به صورت کمپلکس‌های کلریدی حمل می‌شود و در حفرات و فضاهای خالی و شکستگی‌های موجود در سنگ و کانی ته‌نشست می‌یابد. سیالی با pH نزدیک به خنثی و فوگاسیته بالای گاز اکسیژن، می‌تواند حلالیت یون مس را افزایش داده و شستشوی مس را شدت بخشد (ویلسون و زنتیلی، ۱۹۹۹). محلول‌های غنی از کلرید در میان لایه‌های گدازه‌های آتشفشانی حرکت کرده و باعث آزاد شدن مس و حمل آن به صورت کمپلکس کلریدی می‌شوند. در طی واکنش شدید آزدایی، سیال تحت شرایط اکسیدی شدید قرار می‌گیرد؛ این سیال شدیداً اکسیدی در واکنش با محیط احیایی به تدریج احیایی شده و شرایط ته نشست 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

## سپاسگزاری

این تحقیق با استفاده از اعتبارات پژوهشی دانشگاه صنعتی شاهرود (طرح پژوهشی شماره ۱۱۰۳۶) و ه. بیاری به انجام رسیده است. همچنین نویسندگان بر خود لازم می‌دانند از

## منابع

- آقای حسین بیاری به خاطر همکاری‌های صمیمانه در برداشت‌های زمین‌شناسی تشکر نمایند.
- خاور شاهرود، فصلنامه علوم زمین، شماره ۹۸، ص ۹۳-۱۰۴.
- طاشی، م.، موسیوند، ف. و قاسمی، ح.، ۱۳۹۶. کانی‌سازی Cu-Ag مسیو سولفاید تیپ بشی در سکانس رسوبی-آتشفشانی کرتاسه زیرین: ذخیره مس گرماب، جنوب شرق شاهرود، مجله زمین-شناسی اقتصادی مشهد، شماره ۹، ص ۲۱۳-۲۳۳.
- عادل پور، م.، رساء، ا.، مسعودی، ف. و حسینی، م.، ۱۳۹۵. تعیین زون‌های کانی‌سازی و تفسیر داده‌های Rs,Ip در ذخیره مس گرماب (جنوب استان خراسان)، مجله زمین‌شناسی اقتصادی مشهد، شماره ۸، ص ۱۲۹-۱۴۶.
- علی‌نیا، ف. و دهقان نژاد، م.، ۱۳۸۳. مطالعات زمین‌شناسی اقتصادی ژئوشیمیایی معادن عباس آباد شاهرود و برآورد پتانسیل معدنی آنها، کنفرانس مهندسی معدن ایران.
- علیزاده، و.، مومن زاده، م. و امامی، م.ح.، ۱۳۹۲. مطالعات پترولوژی، مینرالوژی، فلوتید انکلوژیون و کانی‌سازی ذخیره مس ورزگ-قائن، فصلنامه علوم زمین، سازمان زمین‌شناسی کشور، شماره ۸۶، ص ۴۷-۵۸.
- لطفی، م. و نوروزی، ر.، ۱۳۸۰. مروری بر زایش کانسارهای مس و ویژگی‌های ژئودینامیکی آنها در منطقه عباس آباد استان سمنان، بستمین گردهمایی علوم زمین.
- امام جمعه، ا.، راستاد، ا.، بوذری، ف. و رشید نژاد عمران، ن.، ۱۳۸۶. مقدمه‌ای بر سیستم رگه و رگچه-پراکنده 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.
- امینی، م.ر.، قلمقاش، ج. و مهر پرتو، م.، ۱۳۸۰. شرح نقشه زمین‌شناسی ۱:۱۰۰۰۰۰ میامی، سازمان زمین‌شناسی و اکتشافات معدنی ایران، تهران.
- توسلی، ع. و لطفی، م.، ۱۳۸۷. مطالعات دورسنجی در پی‌جویی و اکتشافات معدنی در محدوده عباس آباد سمنان، شمال شمال خاوری ایران، شماره ۱، ص ۶۳-۷۹.
- رشید نژاد عمران، ن.، ۱۳۷۱. پترولوژی، محیط تکتونوماگمایی و ارتباط کانی‌سازی طلا محدوده باغو، پایان‌نامه کارشناسی‌ارشد، دانشگاه تربیت مدرس، تهران، ایران.
- سامانی، ب.، ۱۳۸۱. متالوژنی کانسارهای مس نوع مانتو در ایران، انجمن زمین‌شناسی ایران، ص ۱۳۸-۱۴۵.
- صالحی، ل.، رساء، ا.، علیرضایی، س. و کاظمی مهرنیا، ا.، ۱۳۹۴. کانسار معدن بزرگ با میزبان آتشفشانی، نمونه‌ای از کانسارهای مس نوع مانتو،

- تعیین مدل، مجله بلورشناسی و کانی‌شناسی، شماره ۲۴، ص ۴۱۹-۴۳۴.
- Alavi, M., 1991. Tectonic map of the Middle East, Geological Survey of Iran, Tehran.
- Kojima, S., Astudillo, J., Rojo, J., Trista, D. and 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.
- LeBas, M.J., LeMaitre, R.W., Streckeisen, A. and Zanettin, B., 1986. A chemical classification of volcanic rocks based on the total alkali- silica diagram: *Journal of Petrology*, v. 27, p. 745-750.
- Lefebure, D.V. and Church, B.N., 1996. Volcanic Redbed Cu, in *Selected British Columbia Mineral Deposit Profiles, Volume 1 – Metallic Deposits*, Lefebure, D. V. & Höy, T, Editors, British Columbia Ministry of Employment and Investment, Open File, v. 13, p. 5-7.
- Matsuhisa, Y., 1986. Effect of mixing and boiling of fluids on isotopic composition of quartz and calcite from epithermal deposition: *Mining Geology*, v.36, p.487-493.
- Middelmost, E.A.K., 1975. The basalt clan, *Earth Science Reviews*, v.11, p. 337-365.
- Muller, D. and Groves, D., 1997. Potassic igneous rocks and associated gold-copper mineralization, Springer, 238 p.
- Oyarzun, R., Ortega, L., Sierra, J., Lunar, R. and 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.
- Pearce, J.A., 1983. Role of the sub-continental lithosphere in magma genesis at active continental margins: In *continental basalts mantel zenoliths* (C. J. Hawkesworth and M. J., Norry, eds): Shiva Press, Nantwich, UK, p. 230-249.
- Shamanian, G.H., Hedenquist, J., Hattori, K. and Hassanzadeh, J., 2004. The Gandi and Abolhassani epithermal prospects in the Alborz magmatic arc, Semnan province, Northern Iran, *Economic Geology*, v. 99(4), p. 691-712.
- Ramírez, L.E., Palacios, C., Townley, B., Parada, M.A., Sial, A.N., Fernandez- Turiel, J.L., Gimeno, D., Garcia-Valles, M. and 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.
- Roedder, E., 1984. Fluid inclusions: *Reviews mineralogy, Mineralogy Society of America*, v. 12, 644 p.
- Whitney, D.L. and Evans, B.W., 2010. Abbreviations for names of rock-forming minerals: *American Mineralogist*, v. 95(2), p. 185-187.
- Wilkinson, J.J., 2001. Fluid inclusion in hydrothermal ore deposits: *Lithos*, v.55, p. 229-272.
- 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.