

کانی‌شناسی، ساخت و بافت و الگوی تشکیل کانسار مس تپ مانتو کهک در توالی آتشفشانی - رسوبی ائوسن، جنوب قم

زهرا کبودی^۱، مجید قادری^۲ و ابراهیم راستاد^۲

^۱ کارشناسی ارشد، گروه زمین‌شناسی اقتصادی، دانشگاه تربیت مدرس، تهران، ایران

^۲ استاد، گروه زمین‌شناسی اقتصادی، دانشگاه تربیت مدرس، تهران، ایران

تاریخ دریافت: ۱۳۹۶/۰۷/۰۶ تاریخ پذیرش: ۱۳۹۷/۰۴/۱۶

چکیده

کانسار مس کهک در توالی آتشفشانی- رسوبی ائوسن ناحیه قم و در کمان ماگمایی ارومیه- دختر واقع شده است. در این توالی، قدیمی‌ترین واحد سنگی کریستال توف است که بر روی آن واحدهای سنگی توف، آندزیت، ماسه‌سنگ، کنگلومرا و سنگ آهک قرار می‌گیرند. سنگ‌های میزبان ماده معدنی در این کانسار، آندزیت و توف هستند که در آن شکل هندسی ماده معدنی به شکل چینه کران است. بر اساس مطالعات کانه‌نگاری، کانی‌ها شامل پیریت، کالکوپیریت، کالکوسیت، مس طبیعی، بورنیت، گالن، کوولیت، دیزنیت و مالاکیت هستند که با مگنتیت و هماتیت همراهی می‌شوند. با توجه به مطالعات کانی‌شناسی، دو نوع دگرسانی فراگیر و مرتبط با کانه‌زایی در سنگ‌های آتشفشانی منطقه دیده می‌شود. دگرسانی پروپلیتیک شاخص دگرسانی فراگیر است. دگرسانی‌های کربناتی، سیلیسی، کلریتی، اپیدوتی و زئولیتی از دگرسانی‌های مهم همراه با کانه‌زایی در این کانسار محسوب می‌شوند. ساخت و بافت ماده معدنی به شکل دانه‌پراکنده، پرکننده فضای خالی، رگه- رگچه‌ای، لامینه‌مانند و جانشینی است. در کانسار مس کهک، دو مرحله مهم برای رخداد کانه‌زایی قابل تفکیک است. مرحله اول وقوع آتشفشانی و تشکیل پیریت در متن سنگ‌های میزبان (آندزیت و توف) و ایجاد شرایط احیایی است. مرحله دوم مربوط به دیاژنز و ورود سیالات اکسیدان غنی از مس است که سبب جانشینی مس به جای آهن در پیریت و تشکیل سولفیدهای مس و هماتیت و رخداد کانه‌زایی شده است. کانسار مس کهک، شباهت‌های زیادی از نظر ویژگی‌های ژئومتری، سنگ میزبان، کانی‌شناسی، ساخت و بافت و الگوی تشکیل با کانسارهای مس تپ مانتو در دنیا نشان می‌دهد.

کلیدواژه‌ها: مس چینه کران، توالی آتشفشانی- رسوبی، ائوسن، تپ مانتو، کمان ماگمایی ارومیه- دختر.

*نویسنده مسئول: مجید قادری

E-mail: mghaderi@modares.ac.ir

۱- پیش‌نوشتار

کانسارهای تپ مانتو از جمله ذخایر چینه کران مس هستند که در کشور شیلی یک کمربند مس را تشکیل داده‌اند. به همین دلیل، این کانسارها بعد از کانسارهای تپ پورفیری و IOCG بسیار مورد توجه قرار گرفته‌اند و به عنوان سومین منبع مس استخراج می‌شوند. کانسارهای مزبور در کشور شیلی عمدتاً محدود به مزوزوییک و سنوزوییک هستند (Oyarzun et al., 1998). عمده کانسارهای مانتو در این کشور در یک حوضه کشتی کمانی و یا پشت کمانی تشکیل شده‌اند (Tristá-Aguilera et al., 2006). در ایران، کانسارهای مس تپ مانتو در زون ارومیه- دختر از جمله کانسار وشنوه (مهرابی و فاضلی، ۱۳۸۰) و کشکوئیه (ابولی پور و همکاران، ۱۳۹۴)، آتشفشانی‌های خاور ایران از جمله کانسار ورزگ (علی‌زاده و همکاران، ۱۳۹۱)، مجموعه آتشفشانی- نفوذی البرز- آذربایجان از جمله کانسار ماری (Maghfouri et al., 2017)، ناحیه سوزوار از جمله مجموعه کانسارهای عباس‌آباد (مغفوری و همکاران، ۱۳۹۳) و زون سندر- سیرجان از جمله کانسار کشت‌مهکی (بویری کناری، ۱۳۸۹) گزارش شده‌اند که نشانگر وجود پتانسیل قابل توجه از این تپ کانساری است. کانسار مس نوع مانتو در منطقه کهک در زون ارومیه- دختر برای نخستین بار در این پژوهش گزارش می‌شود. بررسی شکل چینه کران کانه‌زایی، کانی‌شناسی، دگرسانی، ساخت و بافت، منشأ فلزات و ارائه الگوی تشکیل کانه‌زایی در این کانسار از رهاوردهای اصلی این پژوهش است.

۲- روش پژوهش

طی عملیات صحرایی، بررسی‌های زمین‌شناسی منطقه‌ای در وسعت ۱۸ کیلومتر مربع صورت گرفت. بررسی‌های انجام شده شامل تهیه و تصحیح نقشه زمین‌شناسی- معدنی ۱:۱۰۰۰ است. مقاطع مختلفی نیز برای تعیین توالی سنگی برداشت شده و نمونه‌های حاصل از آن مورد بررسی قرار گرفته‌اند. بررسی‌های کانی‌شناسی و ساخت و بافت در کانسار مس کهک با تهیه و مطالعه ۷۵ مقطع نازک و نازک-

صیقلی از نمونه‌های سطحی و مغزه‌های حفاری انجام شد. همچنین ۱۵ عدد نمونه سنگی کمتر دگرسان از واحدهای سنگی ستون چینه‌شناسی منطقه با انجام تجزیه ICP-MS در مرکز فرآوری مواد معدنی ایران مورد آنالیز قرار گرفته‌اند. در این تحقیق، نتایج حاصل از مطالعات صحرایی، سنگ‌شناسی، کانه‌نگاری به‌همراه تفسیر آنالیزهای شیمی برای تعیین منشأ فلزات و ارائه مدل نهایی تشکیل کانسار و همچنین مقایسه این کانسار با انواع شاخص کانسارهای مانتو در ایران و جهان ارائه شده است.

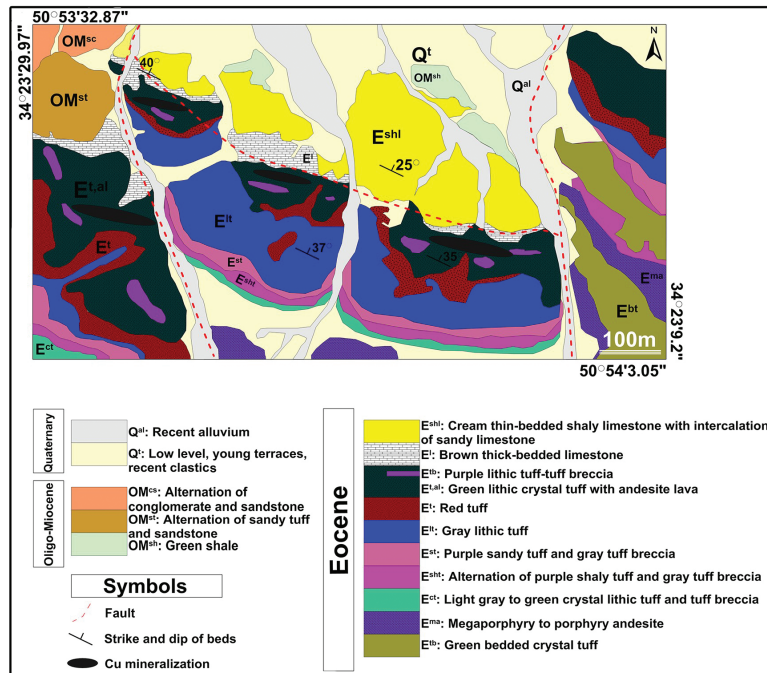
۳- زمین‌شناسی

بر پایه مطالعات صحرایی، سنگ‌نگاری و چینه‌شناسی منطقه کهک قم، نقشه ۱:۱۰۰۰ کانسار مس کهک رسم شد (شکل ۱). با توجه به این نقشه، در این منطقه گستره وسیعی از توالی واحدهای آتشفشانی- رسوبی به سن ائوسن رخمون دارد. در این توالی، ابتدا واحد توفی و آندزیت مگاپورفیری و سپس بر روی آن مجموعه‌ای از سنگ‌های آذرآواری متشکل از کریستالیتیک توف سبز رنگ، توف شیلی و ماسه‌ای قرمز رنگ، لیتیک توف خاکستری و توف قرمز رنگ قرار گرفته‌اند (شکل ۲). روی این مجموعه، واحدهای آتشفشانی و آذرآواری- گدازه‌ای قرار می‌گیرند که بیشترین حجم سنگ‌های رخمون یافته در منطقه را به خود اختصاص می‌دهند و شامل سه واحد آندزیت پورفیریک حفره‌دار، آندزیت میکرولیتیک پورفیریک و لیتیک کریستال توف هستند که از نظر کانی‌شناسی دارای بلورهای ریز و درشت آلکالی‌فلدسپار، پلاژیوکلاز، هورنبلند و پیروکسن تجزیه شده به اکسید آهن می‌باشند. این واحدها به‌طور مداوم به هم تبدیل می‌شوند و در یک افق قرار دارند. به‌طوری که تفکیک آنها بر روی نقشه امکان‌پذیر نیست. واحد گدازه‌ای- آذرآواری، دربرگیرنده افق کانه‌زایی مس بوده و از این نظر بسیار حائز اهمیت است. توالی یاد شده در نهایت توسط واحد آهکی ضخیم‌لایه و واحد نازک‌لایه آهک شیلی پوشیده شده است (شکل ۲).

۴- کان‌زایی

ماده معدنی واحد آهکی اتوسن است (شکل ۲) که در مشاهدات صحرایی در متن سنگ دارای آثار مالاکیت است. کان‌زایی چینه کران در امتداد زون گسلی نیز مشاهده شده است که در این نواحی شواهد تغلیظ ماده معدنی وجود دارد (شکل ۱). با توجه به مشاهدات صحرایی و مطالعات میکروسکوپی، ستون چینه‌شناسی منطقه کهک و جایگاه ماده معدنی در این ستون چینه‌ای رسم شد (شکل ۲).

بررسی ویژگی‌های کان‌زایی مس در کانسار کهک، مهم‌ترین و اصلی‌ترین هدف این مطالعه است. در این کانسار، ماده معدنی به شکل چینه کران در یک واحد خاص رخمون دارد. ماده معدنی به طول حدود ۶۰۰ متر و سبتری ۱ تا ۴ متر در واحد توفی- گدازه‌ای اتوسن (E^{tal}) رخ داده است. کمربلین ماده معدنی توف قرمز رنگ است (شکل ۲) که هیچ‌گونه اثری از کان‌های مس در آن دیده نمی‌شود. کمربالایی



شکل ۱- نقشه زمین‌شناسی ۱:۱۰۰۰ کانسار کهک و موقعیت ماده معدنی در واحد E^{tal}.

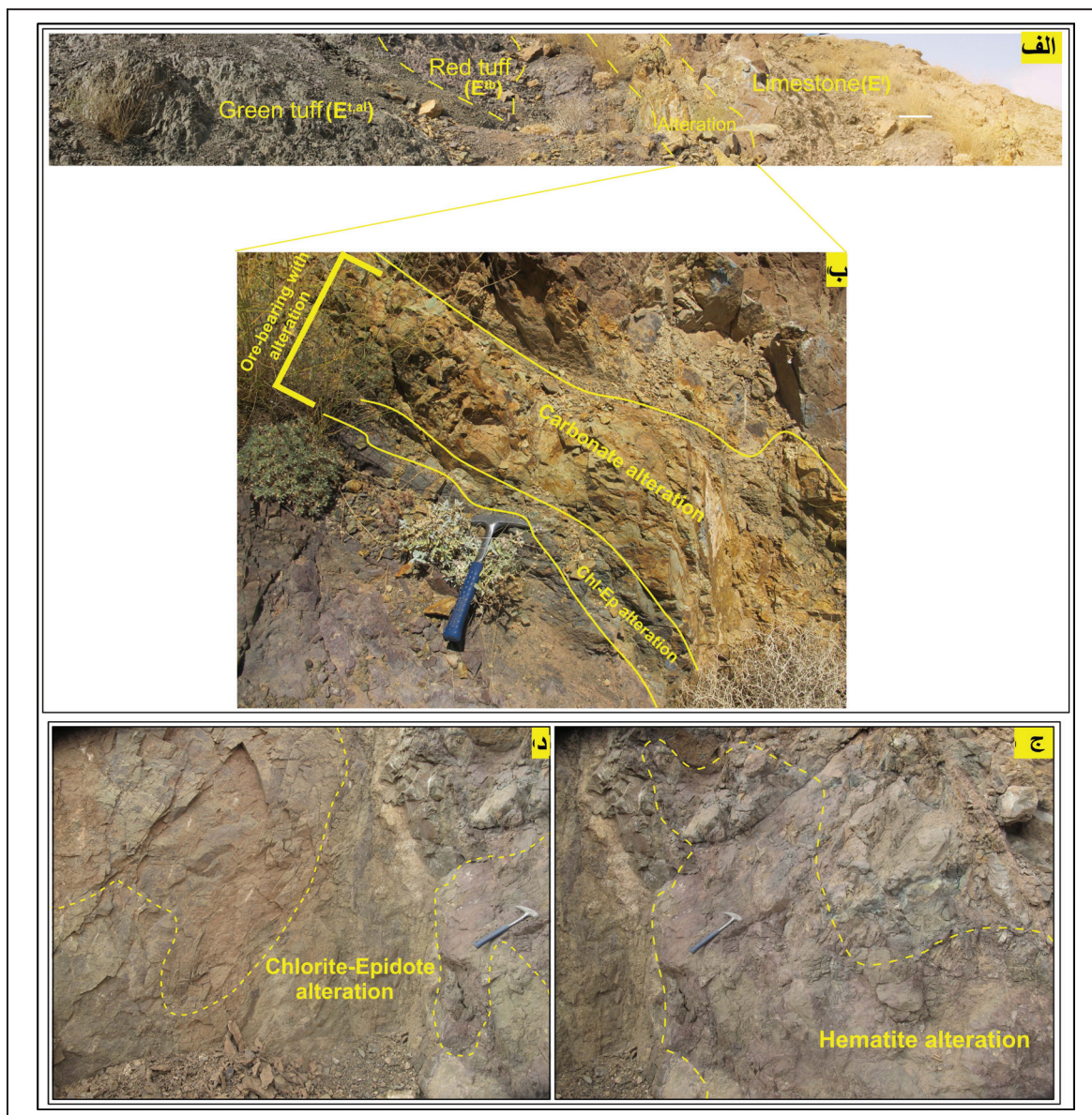
Age	Thickness	Lithology	Description	Ore-bearing horizon
Eocene	5-7m		E ^l : Brown thick-bedded limestone	
	20m		E ^{lh} : Purple lithic mega-crystal tuff-tuff breccia E ^{tal} : Lithic crystal tuff and tuff breccia with andesite lava	
	10m		E ^t : Red tuff	
	40-50m		E ^l : Gray lithic tuff	
	20m		E st : Purple sandy tuff and gray tuff breccia E ^{sh} : Alternation of purple shaly tuff and gray tuff breccia	
	5-10m		E ^{ct} : Light gray to green crystal lithic tuff and tuff breccia E ^{ma} : Megaporphyry to porphyry andesite	

شکل ۲- ستون چینه‌شناسی منطقه کهک و جایگاه ماده معدنی در آن.

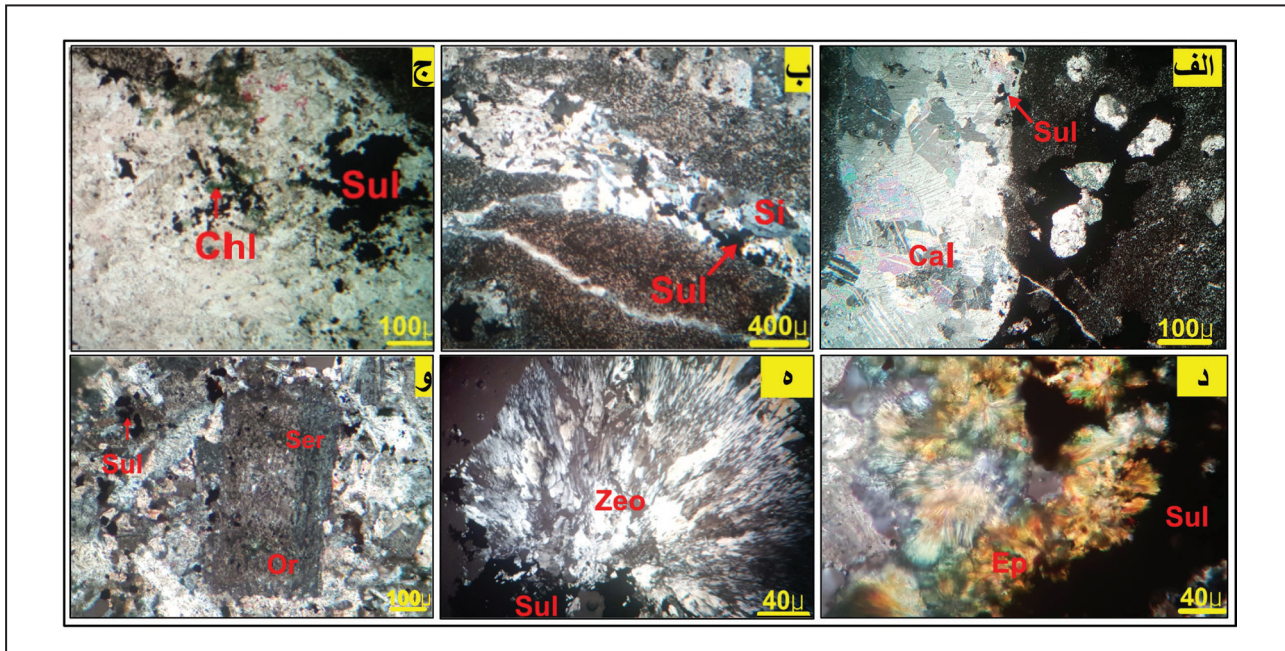
۵- دگرسانی

دگرسانی سیلیسی به شکل رگه- رگچه‌ای عمدتاً همراه با دگرسانی کربناته و ماده معدنی دیده می‌شود (شکل ۴-ب). به ندرت می‌توان دگرسانی سیلیسی را بدون حضور دگرسانی کربناته مشاهده کرد. دگرسانی‌های سیلیسی بیشتر به صورت تأخیری نسبت به دگرسانی کربناته مشاهده می‌شوند، بدین صورت که عمدتاً حاشیه رگه‌های کربناته را پر کرده‌اند. سولفیدها بعد از دگرسانی کربناته، بیشتر با دگرسانی اپیدوتی و کلریتی مشاهده شده‌اند (شکل‌های ۴-ج و د). دگرسانی زئولیتی با ظهور کانی زئولیت در شرایط تدفین و تحت فشار ایجاد می‌شود، بنابراین می‌توان نتیجه گرفت که سنگ میزبان تحت تأثیر تدفین قرار گرفته و شرایط لازم برای تشکیل کانی زئولیت فراهم شده است (شکل ۴-ه). دگرسانی سریسیتی تنها در پلاژیوکلازها و ارتوزهای موجود در اطراف سولفیدها مشاهده می‌شود (شکل ۴-و). در اطراف این نوع دگرسانی، گاهی دگرسانی کربناته نیز دیده می‌شود. وفور هماتیت در سنگ میزبان می‌تواند ناشی از گسترش دگرسانی هماتیتی باشد (شکل ۳-ج). این نوع دگرسانی به دو صورت مرتبط با کانه‌زایی (در سنگ میزبان و همراه با سولفیدها و پیریت‌ها) و غیر مرتبط با کانه‌زایی (در متن سنگ‌های توف قرمز کمرباطین ماده معدنی) حضور دارد.

در منطقه معدنی کهک، دگرسانی‌های مرتبط با کانه‌زایی از جمله دگرسانی‌های کربناته، سیلیسی، کلریتی، اپیدوتی، هماتیتی، سریسیتی و زئولیتی هستند که در اثر واکنش و فعالیت سیالات کانه‌دار شکل گرفته‌اند؛ از این رو همراه با سولفیدهای مس مشاهده می‌شوند. در مقیاس صحرایی، عمدتاً دگرسانی‌های کربناته و اپیدوتی- کلریتی در مرز واحد گدازه‌ای- توفی و آهک انوسن همراه با آثار کانه‌زایی دیده می‌شود (شکل‌های ۳-الف و ب). بنابراین دگرسانی‌های منطقه کهک به دو نوع فراگیر و مرتبط با کانه‌زایی دسته‌بندی می‌شوند. دگرسانی پروپیلیتیک به عنوان دگرسانی فراگیر در تمامی واحدهای آتشفشانی منطقه مشاهده می‌شود و مربوط به خروج گدازه‌ها در محیطی دریایی و واکنش و عملکرد سیال دریایی بر اجزای مختلف سنگ است. این نوع دگرسانی در منطقه کهک عمدتاً به شکل دگرسانی‌های کلریتی- اپیدوتی، هماتیتی و کربناته در واحدهای سنگی مشاهده می‌شود (شکل‌های ۳-ج و د). با توجه به مطالعات میکروسکوپی، دگرسانی کربناته در منطقه عمدتاً به صورت رگه- رگچه‌ای مشاهده می‌شود (شکل ۴-الف). گسترش این دگرسانی در سنگ میزبان کانه‌زایی و در رگه‌ها از سایر دگرسانی‌ها بیشتر است.



شکل ۳- دگرسانی‌های منطقه در مقیاس صحرایی. الف و ب) دگرسانی‌های کربناته- کلریتی- اپیدوتی در مرز واحد آهکی و واحد میزبان کانه‌زایی و همراه با ماده معدنی؛ ج و د) دگرسانی هماتیتی و کلریتی- اپیدوتی فراگیر در واحدهای سنگی منطقه.



شکل ۴- دگرسانی‌های همراه با کانه‌زایی (الف) دگرسانی کربناتی (Cal) به شکل رگه- رگچه‌ای؛ (ب) دگرسانی سیلیسی (Si) درون رگچه کربناتی؛ (ج) دگرسانی کلریتی (Chl)؛ (د) دگرسانی اپیدوتی (Ep)؛ (ه) دگرسانی زئولیتی (Zeo)؛ (و) دگرسانی سریستی (Ser) در ارتوز (Or).

۶- کانی‌شناسی و ساخت و بافت

شکل دانه‌پراکنده است (شکل ۶-ب). کالکوسیت، پس از کالکوپیریت مهم‌ترین کانی سولفیدی در کانسار مس کهک است. این کانی عمدتاً به شکل رگه- رگچه‌ای و جانشینی مشاهده شده است (شکل‌های ۶-ه و ۶-ز). در مطالعات میکروسکوپی، کالکوسیت‌ها به دو نسل تفکیک می‌شوند. نسل اول بیشتر بافت رگه- رگچه‌ای دارد و به شکل جانشینی در پیریت‌های نسل دوم دیده می‌شود (شکل ۶-ه). نسل دوم نیز به شکل کالکوسیت ثانویه در اطراف کالکوپیریت‌ها و به میزان کمتر در بورتیت‌ها جانشین شده است (شکل ۶-ز). بورتیت به شکل هم‌رشدی و جانشینی همراه با کالکوپیریت مشاهده می‌شود. بورتیت‌های هم‌رشد با کالکوپیریت، بورتیت‌های نسل اول (شکل ۶-د) و بورتیت‌های جانشین شده در کالکوپیریت، بورتیت‌های نسل دوم (شکل ۶-و، ۶-ز) هستند که در مرحله سوپرژن تشکیل شده‌اند.

مس طبیعی به شکل دانه‌پراکنده، در زمینه سنگ میزبان همراه با اکسیدهای آهن مشاهده می‌شود (شکل ۶-ح). با توجه به نرم بودن این کانی در مقاطع تهیه شده، آثار این کانی بسیار کم مشاهده می‌شود. به نظر می‌رسد به دلیل فوگاسیته کم گوگرد و زیاد بودن مس، گوگردی برای پیوستن به مس در محیط وجود ندارد و به همین دلیل به شکل مس طبیعی در مرحله هیپوژن ظاهر شده است.

گالن به شکل جانشینی در کالکوپیریت مشاهده می‌شود (شکل ۶-ط). با توجه به این مورد می‌توان اظهار داشت که تشکیل گالن کمی بعد از کانه‌های سولفیدی مس و در مرحله اصلی کانه‌زایی صورت گرفته است.

مگنتیت به شکل یک کانی اکسیدی اولیه در متن سنگ میزبان کانه‌زایی به‌وفور مشاهده می‌شود. این کانی عمدتاً به شکل دانه‌پراکنده و به رنگ قهوه‌ای وجود دارد که در برخی نمونه‌ها، کالکوپیریت‌های دانه‌پراکنده نیز همراه با آن حضور دارند (شکل ۶-ب). بر اثر فرایندهای ثانویه، برخی از مگنتیت‌ها در حاشیه تبدیل به هماتیت و مارتیتی شده‌اند (شکل ۶-ب). مگنتیت‌های دانه‌پراکنده در متن سنگ، حاکی از تشکیل همراه با سنگ میزبان در مرحله قبل از کانه‌زایی و آتشفشانی هستند. کانی هماتیت در کانسار مس کهک به دو صورت تشکیل شده است. فرایند ابتدایی، فرایند هیپوژن کانه‌زایی است که در آن بر اثر جانشینی سولفیدهای مس در پیریت، آهن آزاد می‌شود و تشکیل هماتیت می‌دهد. هماتیت‌های دانه‌پراکنده در

کانسار مس کهک، از کانی‌شناسی و ساخت و بافت ماده معدنی ساده‌ای برخوردار است. مهم‌ترین کانی‌های موجود در این کانسار، پیریت، کالکوسیت، کالکوپیریت، بورتیت، مس طبیعی، گالن، کولیت، دیژنیت و مالاکیت هستند که همراه با این کانه‌ها، مقدار زیادی مگنتیت و هماتیت مشاهده شده است. کانه‌های تشکیل شده در مرحله هیپوژن شامل پیریت، کالکوسیت، کالکوپیریت، بورتیت و مس طبیعی هستند. ساخت و بافت هیپوژن در این کانسار به شکل لامینه کاذب (شکل ۵-الف)، رگه- رگچه (شکل ۵-ب)، فضاپرکن (شکل ۵-ج)، برش حاصل از فعالیت تکنونیک منطقه و گسل خوردگی بعدی (شکل ۵-د) جانشینی (شکل ۶-الف) و دانه‌پراکنده (شکل ۶-ب) است.

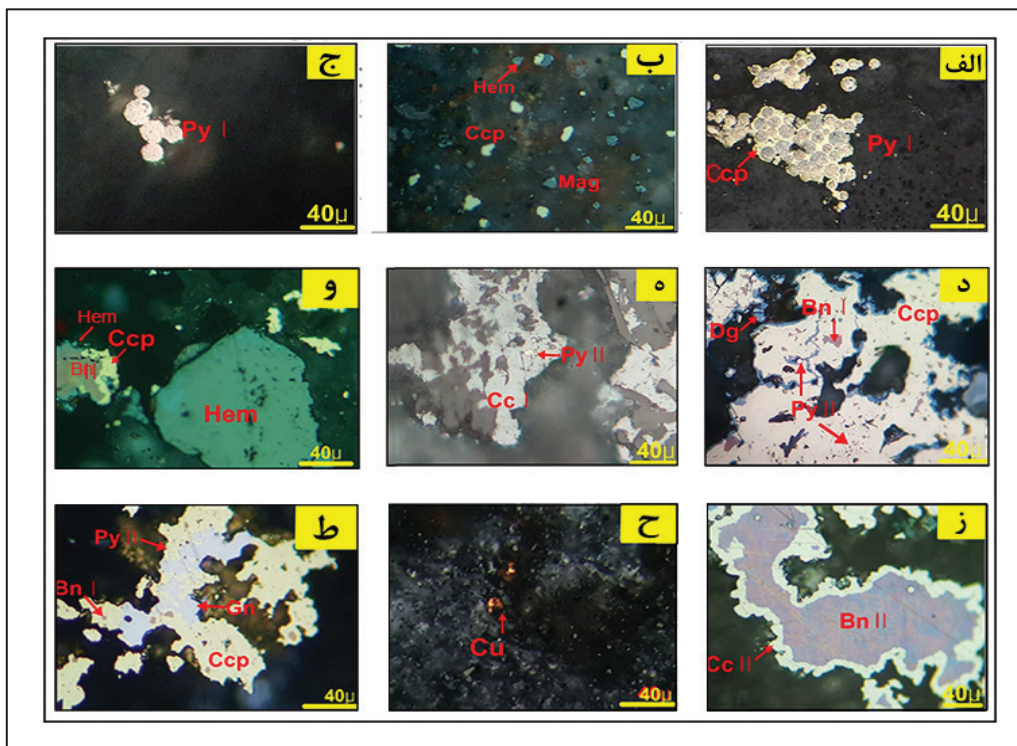
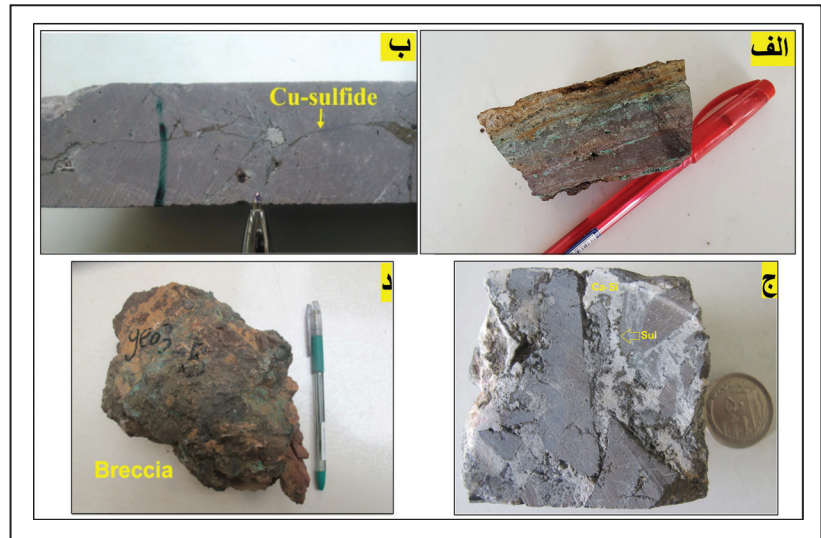
کانی پیریت در کانسار مس کهک اهمیت خاصی دارد. این کانی در سنگ میزبان کانه‌زایی به شکل فراموبیدال تشکیل شده که پیریت نسل اول نامگذاری شده است (شکل ۶-ج). پیریت‌های فراموبیدال عمدتاً نشان‌دهنده شرایط تشکیل احيایی و آرام دمای پایین هستند. پیریت‌های فراموبیدال بیشتر به شکل دانه‌پراکنده در متن سنگ دیده می‌شوند. پیریت‌های نسل دوم عمدتاً به صورت بی‌شکل و اجتماعات رشد یافته پیریت‌های فراموبیدال هستند که در اثر تبلور مجدد پیریت‌های نسل اول تشکیل شده‌اند (شکل‌های ۶-د و ۶-ه). پیریت‌ها بیشتر توسط سولفیدهای مس جانشین شده‌اند (شکل‌های ۶-د و ۶-ه). در اطراف پیریت‌ها، مقدار زیادی هماتیت وجود دارد. در برخی نمونه‌ها نیز در حاشیه‌های پیریت، هماتیت مشاهده می‌شود. این مشاهدات می‌تواند بیانگر این موضوع باشد که هنگام جانشینی سولفیدهای مس، مس جانشین آهن در پیریت شده و آهن آزاد شده به شکل هماتیت ته‌نشین شده و یا وارد شبکه سولفیدهای مس شده است.

کانی کالکوپیریت، بخش عمده کانه‌زایی سولفیدی مس را در کانسار مس کهک تشکیل می‌دهد. اشکال رگه- رگچه‌ای، پرکننده فضای خالی، دانه‌پراکنده، جانشینی و لامینه از این کانی دیده شده است. کانی کالکوپیریت عمدتاً جانشین پیریت‌های نسل اول و به مقدار کمتر پیریت‌های نسل دوم شده است (شکل‌های ۶-الف و ۶-د). این کانی عمدتاً به شکل هم‌رشد با بورتیت نسل اول دیده می‌شود (شکل ۶-د)، گاهی نیز بورتیت (نسل دوم) به شکل جانشینی با این کانی مشاهده می‌شود (شکل‌های ۶-و و ۶-ز). بارزترین و فراوان‌ترین ساخت این کانی به

مس کهک در شکل ۷ رسم شده است. بر این اساس، سه مرحله قبل از کانه‌زایی، کانه‌زایی اصلی و پس از کانه‌زایی در نظر گرفته شد. شاخصه مرحله قبل از کانه‌زایی، وجود مگنتیت‌های ماگمایی ویژه آتشفشانی و پیریت‌های فراموبیدال ویژه مرحله دیاژنز اولیه است. مرحله اصلی کانه‌زایی از دیاژنز حدواسط تا دیاژنز تأخیری بوده که شاخص دیاژنز حدواسط، وجود بافت لامینه کاذب همراه با کانه‌زایی و شاخص دیاژنز تأخیری (تدفینی) ظهور رخساره زئولیتی همراه با سولفیدهای مس است. مرحله پس از کانه‌زایی (سوپرژن) نیز مربوط به تشکیل کانی‌های سوپرژن (مالاکیت و کالکوسیت دوده‌ای) در اثر عملکرد سیالات جوی بر روی کانی‌های اولیه است.

متن سنگ و هماتیت‌های اطراف سولفیدهای مس و پیریت‌ها از این نوع هستند (شکل ۶- و). هماتیت هیپوژن شاخص مهمی برای اثبات وجود سیال کانه‌ساز اکسیدان است (Kojima et al., 2009). نوع دوم مربوط به تأثیر فرایندهای سوپرژن است. هماتیت‌های موجود در حاشیه مگنتیت‌های اولیه در مقاطع میکروسکوپی (شکل ۶- ب) و هماتیت‌های همراه با مالاکیت در نمونه‌های دستی از این نوع هستند. در واقع، در بخش سوپرژن، هوازدگی شدید باعث شستشوی کامل کانی‌های سولفیدی و باقی ماندن مالاکیت به همراه مقدار زیادی هماتیت شده است. بر پایه کانی‌شناسی و ساخت و بافت‌های مطالعه شده، توالی پاراژنری کانسار

شکل ۵- ساخت و بافت‌های مهم ماده معدنی: الف) لامینه کاذب؛ ب) رگچه‌های سولفیدی مس؛ ج) بافت پرکننده فضا در اطراف کربنات؛ د) برش تکتونیک که ماده معدنی را نیز تحت تأثیر قرار داده است.



شکل ۶- کانه‌زایی‌های متفاوت در سنگ میزبان؛ الف) پیریت فراموبیدال نسل اول که توسط کالکوپیریت در حال جانشینی است؛ ب) کالکوپیریت‌های دانه پراکنده به همراه مگنتیت‌های مرحله آتشفشانی که در حاشیه به هماتیت تبدیل شده‌اند؛ ج) پیریت فراموبیدال نسل اول؛ د) بورنیت‌های هم‌رشد با کالکوپیریت‌هایی که در حال جانشینی پیریت‌های نسل دوم هستند؛ ه) کالکوسیت نسل اول در حال جانشینی پیریت‌های بی‌شکل نسل دوم؛ و) هماتیت‌های اطراف سولفیدهای مس (Py I پیریت نسل اول، Py II پیریت نسل دوم، Ccp کالکوپیریت، Cc I کالکوسیت نسل اول، Cc II کالکوسیت نسل دوم، Bn I بورنیت نسل اول، Bn II بورنیت نسل دوم، Gn گالن، Cv کولیت، Dg دیژنیت، Mag مگنتیت، Hem هماتیت)؛ ز) بورنیت و کالکوسیت نسل دوم که به‌طور کامل جانشین کالکوپیریت شده‌اند؛ ح) مس طبیعی دانه‌پراکنده؛ ط) گالن‌های جانشینی در کالکوپیریت.

	Stages	Pre-mineralization		Mineralization		Post-mineralization	
		Volcanism & early diagenesis	Middle to late diagenesis	Supergene		Sulfide	Oxide
Minerals	Framboidal pyrite (I)						
	Pyrite II						
	Chalcopyrite						
	Chalcocite I						
	Chalcocite II						
	Bornite I						
	Bornite II						
	Native Copper						
	Galena						
	Magnetite						
	Hematite						
	Covellite						
	Digenite						
	Malachite						
	Goethite						
	Calcite						
	Quartz						
	Epidote						
	Chlorite						
Zeolite							
Sericite							
Orthoclase							
Albite							
Texture & Structure	Disseminated						
	Replacement						
	Vein-veinlet						
	Open space filling						
	Pseudo laminated						

شکل ۷- توالی پاراژنری کانسار مس کهک.

۷- منشأ مس

برای تعیین منشأ مس، نمونه‌های سنگی کمتر دگرسان از ستون چینه‌شناسی منطقه مورد آنالیز ICP-MS قرار گرفتند. بر اساس نتایج آنالیز، نمودار تهی‌شدگی و غنی‌شدگی در طول ستون چینه‌شناسی مس رسم شد (شکل ۸). در طول این مقطع، آنومالی مس در یک موقعیت چینه‌ای و در یک واحد سنگی خاص مشاهده می‌شود که این واحد منطبق بر واحد توفی - گدازه‌ای (E^{tal}) است. متوسط میزان مس در این افق چینه‌ای برابر ۵۰۰ پی‌پی‌ام بوده در حالی که این مقدار در نمونه‌های کمربالا و کمرپایین حداکثر ۱۲۱ و ۸۶ پی‌پی‌ام است؛ بنابراین می‌توان اظهار داشت که واحدهای دربرگیرنده افق کانه‌دار از نظر مس، در مقایسه با واحدهای بالا و پایین خود به مراتب غنی‌تر هستند. در میان واحدهای سنگی، واحدی که از نظر تهی‌شدگی مس اهمیت دارد، واحد توفی قرمز رنگ است که با توجه به دیاژنز تدفینی و اعمال فشار، سیالات بین‌منفذی آزاد شده و مس موجود را از این واحد شسته و به واحدهای بالایی منتقل کرده است. یکی از نشانه‌های تثبیت‌کننده این موضوع، قرمزشدگی لایه مذکور بوده که در حین تبدیل هیدروکسیدهای آهن مس‌دار به اکسیدهای آهن، مس، عامل OH و آهن آزاد شده و موجب تشکیل مقدار بسیار زیاد هماتیت در متن این واحد سنگی و قرمزشدگی آن شده است.

۸- بحث

برای بررسی شباهت‌های کانسار مس کهک با کانسارهای مس تیپ ماتو، در ادامه ویژگی‌های شاخص (سنگ درونگیر کانه‌زایی، محیط زمین‌ساختی، دگرسانی و ساخت و بافت) این کانسار با ذخایر مس نوع ماتو مورد مقایسه قرار می‌گیرد.

۸-۱. محیط زمین‌ساختی

بررسی‌های انجام گرفته بر روی انواع کانه‌زایی ماتو در سراسر دنیا نشان‌دهنده رخداد این نوع کانه‌زایی در محیط‌های تکتونیکی کششی و کماتی است. این محیط‌های تکتونیکی شامل حوضه‌های کششی پشت‌کمانی حواشی همگرا

(Cabral and Beaudoin, 2006; Cabral, 2007) و حوضه‌های درون‌کمانی (Maksaev et al., 2003; Oliveros et al., 2008) است. با توجه به اینکه ناحیه قم و همچنین سازند قم در بخش پشت کمان ماگمایی ارومیه - دختر قرار دارد (Behforouzi and Safari, 2011)، می‌توان اظهار داشت که تشکیل کانسار مس کهک در بخش پشت کمان ماگمایی ارومیه - دختر بوده که از این نظر با کانسارهای ماتو در شیلی شباهت دارد.

۸-۲. سنگ میزبان

سنگ میزبان کانسارهای مس تیپ ماتو، عمدتاً آندزیت، آواری و آندزیت آمیگدالوئیدال، توالی آتشفشانی آندزیتی - بازالتی تا آندزیتی - داسیتی است (Oyarzun et al., 1998; Guzman et al., 2000; Boric et al., 2002; Trista et al., 2006; Tosdal and Munizaga, 2003; Wilson et al., 2003a and b). همچنین این کانسارها در سنگ‌های آندزیتی با میان‌لایه‌های رسوبات سیلیسی کلاستیک و توف‌ها نیز مشاهده شده‌اند (Wilton and Sinclair, 1988; Cabral and Beaudoin, 2006). در شیلی نیز عمده کانسارها دارای سنگ میزبان آندزیت بادامکی و پورفیریک هستند، البته در برخی موارد سنگ میزبان آذرآواری - توفی نیز گزارش شده است. سنگ میزبان کانه‌زایی در کانسار مس کهک، آندزیت پورفیریک اشکال بادامکی و همچنین توف دارد. این واحد به علت تخلخل و وضعیت احیایی خود (حضور پیریت) محیط مناسبی برای رخداد کانه‌زایی مس در منطقه کهک بوده است. در واقع، نفوذپذیری مناسب، یکی از عوامل مهم برای تشکیل این تیپ کانسارهاست (Sato, 1984).

۸-۳. سن کانه‌زایی

کانسارهای مس تیپ ماتو، دارای سن پروتروزویک - تریاس و مزوزویک هستند، اما فراوانی بالایی در ژوراسیک پسین - کرتاسه پیشین دارند (Oyarzun et al., 1998; Haggan et al., 2003; Kojima et al., 2003 and 2009). کانسارهای نوع ماتو

عنوان شاخص دیاژنز اولیه، جانیشنی پیریت‌های اولیه توسط سولفید مس، وفور و همراهی هماتیت با سولفیدهای مس در عمده کانسارهای شیلی گزارش شده است (Wilson, 2000; Wilson et al., 2003a and b; Wilson and Zentilli, 2006; Boric et al., 2002; Haggan et al., 2003). در کانسار مس کهک نیز پیریت‌های فرامبویدال حاکی از وجود دیاژنز اولیه است. همچنین در این کانسار مشابه با کانسارهای شیلی، جانیشنی سولفیدهای مس در پیریت‌ها و همچنین وفور هماتیت مشاهده شده است.

۸-۶. دگرسانی

در کانسارهای مس مانتو، دگرسانی گسترش کم و محدودی دارد. دگرسانی‌های اصلی این تپ کانساری شامل کربناتی، سیلیسی، کلریتی، اپیدوتی، سریسیتی، آلپیتی و بعضاً زئولیتی است (Espinonza et al., 1996; Wilson et al., 2003a and b; Tristá-Aguilera et al., 2006; Kojima et al., 2009). زئولیت بیانگر دیاژنز تدفینی بوده و همزمان با شروع فاز اصلی کانه‌زایی است. دگرسانی هماتیتی نیز در این کانسارها مشاهده شد. دگرسانی‌های موجود در کانسار مس کهک شامل کربناتی، سیلیسی، کلریتی، اپیدوتی، سریسیتی و زئولیتی است. دگرسانی هماتیتی نیز در سنگ میزبان کانه‌زایی و واحدهای کم‌پایین آن مشاهده شده است.

۹- الگو و نحوه تشکیل کانسار

برای تشکیل کانسارهای تپ مانتو سه نظریه وجود داد: (۱) به شکل همزمان با آتشفشانی و سین‌ژنتیک (Ruiz et al., 1971; Sato, 1984); (۲) در اثر عملکرد توده نفوذی و سیالات مشتق شده از آن (Palacios, 1986 and 1990; Oliveros et al., 2008); (۳) در اثر شستشوی مس از واحدهای آتشفشانی دارای مس در اثر دیاژنز تدفینی (Sato, 1984; Kirkham, 1996; Wilson et al., 2003a and b; Wilson and Zentilli, 2006; Tosdal and Munizaga, 2003).

با توجه به سه مدل تشکیل کانسارهای مانتو، می‌توان اظهار داشت مدل شستشوی مس از واحدهای سنگی آتشفشانی بر اثر دگرگونی تدفینی می‌تواند مدل ژنتیکی برای تشکیل کانسار کهک باشد. ویژگی‌های کانساری کهک که باعث شده از این مدل ژنتیکی تبعیت کند عبارتند از: وجود لایه‌های قرمز توفی تهی شده از مس، حضور پیریت در سنگ میزبان تشکیل شده در مرحله دیاژنز اولیه و تأمین ایجاد شرایط احیایی، نفوذپذیری سنگ‌های توفی میزبان و وجود آثار جانیشنی بعدی سولفیدهای مس در پیریت‌ها.

مراحل و نحوه تشکیل کانسار کهک را می‌توان در دو مرحله هیپوژن (آتشفشانی- دیاژنز اولیه و دیاژنز تدفینی) و مرحله سوپرژن (بالاآمدگی و تأثیر سیالات جوی) ارائه کرد (شکل ۹).

شیلی دارای سن ژوراسیک- کرتاسه زیرین هستند (Kojima et al., 2009). سن رخداد فرورانش و تشکیل حوضه کشش در شیلی مربوط به مزوزویک است (Richards, 2003). برخی کانسارهای مانتو در کانادا سن ترشیری دارند. رخداد فرورانش و تشکیل حوضه کششی در کمان ماگمایی ارومیه- دختر مربوط به سنوزویک است و کانسار مس کهک نیز سن ائوسن دارد. رخداد کانه‌زایی مس تپ مانتو را مرتبط با رخداد آتشفشانی غنی از مس می‌دانند که این موضوع با رخداد آتشفشانی در ائوسن در منطقه کهک مطابقت دارد.

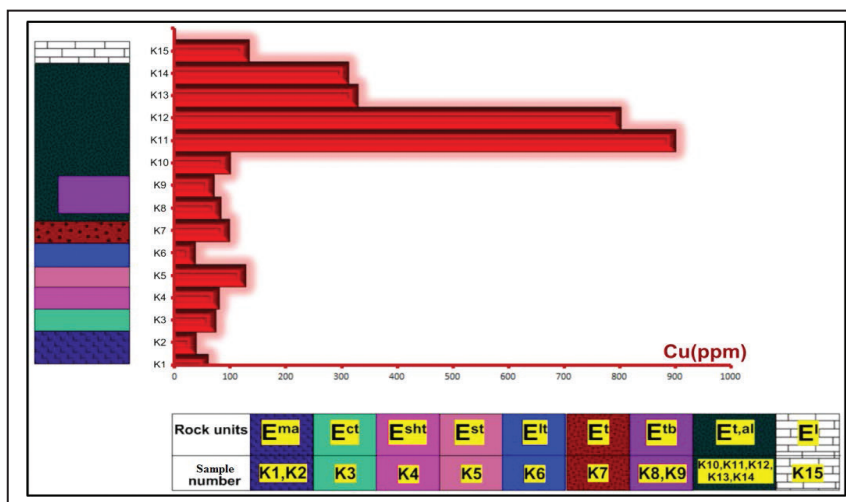
۸-۴. ژئومتری و ساخت و بافت

شاخص اصلی کانسارهای تپ مانتو در دنیا، چینه‌کران بودن آنهاست. در این کانسارها، ماده معدنی به یک واحد چینه‌ای خاص محدود می‌شود. در برخی از کانسارهای نوع مانتو، میزبان کانه‌زایی، دو یا سه واحد سنگی متفاوت در یک افق است (Tristá et al., 2006; Kojima et al., 2009). در کانسار کهک نیز کانه‌زایی مس تنها محدود به واحد گدازه‌ای- توفی ائوسن و محدود به یک افق است که نشانگر وضعیت چینه‌کران کانه‌زایی در این منطقه است.

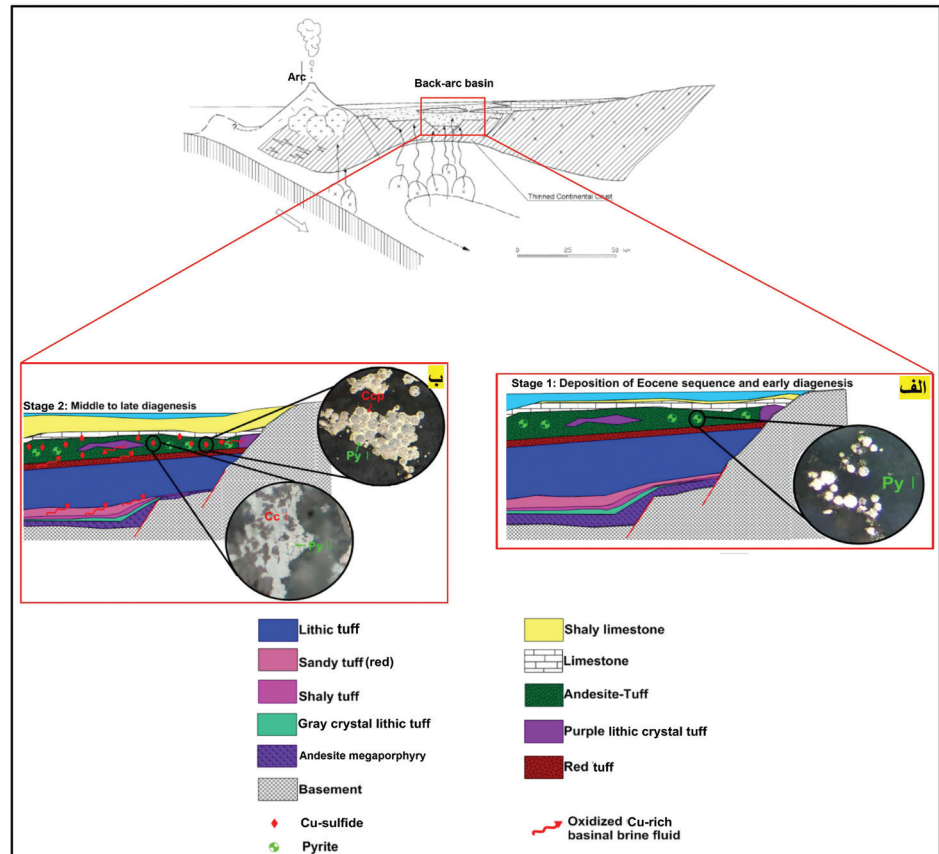
به‌طور کلی بافت‌های غالب در کانسارهای مس تپ مانتو به شکل پرکننده فضای خالی، رگه- رگچه‌ای، جانیشنی و پراکنده است (Kirkham, 1996; Ramirez et al., 2002; MaksaeV et al., 2003; Cisterna et al., 2010). از مهم‌ترین بافت‌های موجود در کانسار کهک نیز می‌توان به بافت‌های پرکننده فضای خالی، رگه- رگچه‌ای، پراکنده، جانیشنی و لامینه کاذب اشاره کرد. جانشین شدن پیریت به وسیله سولفیدهای مس یکی از مهم‌ترین بافت‌های نشان‌دهنده دو مرحله و فاز مجزا برای تشکیل کانه‌زایی است.

۸-۵. کانی‌شناسی

در کانسارهای تپ مانتو، کانی‌های اصلی شامل کالکوسیت، بورنیت، پیریت و به مقدار کمتر کالکوپیریت، کوولیت، دیژنیت و مس طبیعی است. در صورت همراهی نقره، کانی‌های تنانیت و تتراهدريت به مقدار کم در این کانسارها مشاهده می‌شود. همچنین کانی‌های اسفالریت و گالن به شکل کمیاب در این کانسارها دیده شده‌اند (Lortie and Clark, 1987; Kirkham, 1996; Oyarzun et al., 1998; Ramirez et al., 2002; Kojima et al., 2003; Carrillo-Rosua et al., 2006; Tristá-Aguilera et al., 2006; Oliverous et al., 2008; Cisterna et al., 2010). کانی‌شناسی کانسار کهک نیز شامل کالکوپیریت، کالکوسیت، بورنیت، پیریت، کوولیت، دیژنیت، مس طبیعی و به مقدار بسیار کم گالن است. مالاکیت نیز در اطراف سولفیدهای مس و در سطح شکستگی‌ها تجمع دارد. حضور بسیار کم گالن در پاراژنز کانیایی کانسار کهک مشابه کانسار مانتولانکو در شیلی است. حضور پیریت‌های دانه‌پراکنده به اشکال فرامبویدال و کلوفرم در متن سنگ به



شکل ۸- میزان مقدار مس و تهی‌شدگی و غنی‌شدگی عنصر مس در توالی ستون چینه‌ای کانسار مس کهک.



شکل ۹- الگوی نحوه تشکیل کانسار مس کهک.

۹-۱. دیاژنز اولیه

روی کانی‌های رسی و هیدروکسید آهن به شکل سطحی جذب می‌شود. در طی عملکرد فرایندهای دیاژنز تدفینی بر اثر آب‌زدایی، هیدروکسید آهن به اکسید آهن (هماتیت) تبدیل و موجب آزادسازی مس می‌شود. به همین علت، منشأ مس عمدتاً لایه‌های قرمز رنگ است. دفن‌شدگی واحدهای سنگی آتشفشانی منطقه و افزایش فشار سبب تحرک سیالات اکسیدان شورابه‌ای در میان توالی آتشفشانی می‌شود. این سیالات به دلیل دمای بالای محیط و تحت تأثیر گردش در میان توالی‌های آتشفشانی (به‌ویژه لایه‌های قرمز رنگ) غنی از مس می‌شود، بدین صورت که مس آزاد شده از این واحدها را می‌شوید و با خود حمل می‌کند. این سیال گرمابی غنی از مس بالا می‌آید و با رسیدن به واحد آندزیتی-توفی دارای تخلخل و شرایط احیایی مناسب (حضور پیریت) مس را ته‌نشست می‌کند. در واقع سیال اکسیدان دارای مس در برخورد با پیریت ناپایدار و توسط گوگرد موجود در پیریت احیا می‌شود و در نتیجه مس را به شکل سولفید مس، جانشین پیریت می‌کند. گوگرد پیریت در این سولفیدهای مس مصرف و بخشی از آهن آن در شبکه سولفیدهای مس و بخشی به شکل هماتیت آزاد می‌شود (Zentilli et al., 2009; Corriilo-Rosua et al., 2014). میزان بالای هماتیت در اطراف سولفیدهای مس سنگ میزبان بیانگر این موضوع است. همچنین مقداری از مس نیز بر اثر کاهش حرارت سیال گرمابی ته‌نشست پیدا می‌کند، بدین صورت که در اثر برخورد سیال گرمابی حرارت بالا با سیالات به دام افتاده آب دریا در سنگ میزبان، دمای سیال گرمابی مس‌دار کاهش می‌یابد و کمپلکس کلریدی به عنوان حمل‌کننده مس، ناپایدار و تخریب می‌شود و سولفیدهای مس ته‌نشست پیدا می‌کنند (شکل ۹-ب). در این مرحله، سولفیدهای مس به شکل دانه‌پراکنده، پراکنده فضای خالی و رگه-رگچه‌های کم‌ضخامت در واحد سنگ میزبان تشکیل می‌شوند. ستبرای کم رگه‌ها در این مرحله به علت فشار بالای ناشی از تدفین حاکم بر واحد سنگ میزبان کانه‌زایی است.

در زمان ائوسن در پشت کمان ماگمایی ارومیه-دختر یک محیط کنششی و ریفتی ایجاد می‌شود. بر اثر فعالیت آتشفشانی، سنگ‌های آتشفشانی و آذرآواری بر روی پی‌سنگ اولیه این محیط ریفتی تشکیل می‌شوند. این سنگ‌ها به شکل ماگمایی دارای مقادیری مس هستند، بدین صورت که در شبکه کانی‌های سیلیکاتی خود مس به شکل سطحی جذب شده است. در این مرحله، همراه با تشکیل سنگ میزبان و دیاژنز اولیه، پیریت‌های فرامبوئیدال به شکل پراکنده در زمینه سنگ آندزیتی-توفی شکل می‌گیرند. در بسیاری از کانسارهای مس ماتو، گوگرد لازم برای تشکیل پیریت از احیای باکتریایی سولفات آب دریا تأمین می‌شود و با آهن آزاد موجود در حوضه واکنش می‌دهد و در نهایت باعث ایجاد پیریت در زمینه سنگ می‌شود (Wilson and Zentilli, 1999; Wilson et al., 2003a and b; Zentilli et al., 2009; Corriilo-Rosua et al., 2014). از آنجا که کانسار کهک در یک محیط دریایی کم‌عمق تشکیل شده است، این احتمال در مورد این کانسار نیز وجود دارد. در این مرحله، تشکیل پیریت عامل مهمی برای ایجاد وضعیت احیایی در سنگ میزبان کانه‌زایی به شمار می‌رود. بعد از فعالیت آتشفشانی، رسوبات آهکی و شیلی در محیط زیردریایی بلافاصله شروع به رسوب می‌کنند (شکل ۹-الف).

۹-۲. مرحله دیاژنز حدواسط و تأخیری

در محیط‌های کنششی ریفتی، به دلیل فعالیت آتشفشانی وسیع، توالی ضخیمی از واحدهای آتشفشانی-رسوبی تشکیل می‌شود که این توالی میزان بالایی از حرارت را در خود حفظ می‌کند (Kirkham, 1996). در این مرحله، فشار ناشی از دیاژنز و آب‌زدایی واحدهای آذرآواری زیرین، سبب ایجاد سیالات گرمابی می‌شود. وجود ژئولیت در واحد سنگی میزبان، نشانگر پیشرفت تدفین واحدهای سنگی تا مرحله دیاژنز تدفینی است. متلاشی شدن واحدهای آذرآواری در محیط ساحلی و اکسیدان، باعث انحلال سیلیکات‌ها و تبدیل آنها به کانی‌های رسی می‌شود. در حین این واکنش، مقداری مس و هیدروکسید آهن آزاد می‌شود، بنابراین مس بر

۹-۳. مرحله سوپرژن

زمین‌ساختی، سنگ دربرگیرنده، ژئومتری ماده معدنی، ساخت و بافت، کانی‌شناسی و توالی پاراژنزی، کانسار مس کهک را می‌توان در رده کانسارهای تیپ مانتو در نظر گرفت که از مرحله فعالیت آتشفشانی زیردریایی تا مرحله تدفین ژرفایی تشکیل و تمرکز یافته‌اند. عمده این کانسارها، حاصل رخداد آتشفشانی غنی از مس و شستشوی بعدی عنصر مس توسط سیالات شورابه‌ای و اکسیدان از واحدهای سنگی آتشفشانی حاوی مس هستند.

سپاسگزاری

نویسندگان مقاله نهایت قدردانی خود را از حوزه پژوهشی دانشگاه تربیت مدرس ابراز می‌کنند. همچنین از مدیران شرکت معدنی زرمش برای مساعدت‌های فراوان آنان و نیز از آقای دکتر سجاد مغفوری به دلیل نظرات ارزنده ایشان سپاسگزاری می‌شود.

این مرحله شامل بالاآمدگی واحد سنگی میزبان، فرایندهای زمین‌ساختی و هوازدگی است. با آغاز مرحله بالاآمدگی، واحد آندزیتی میزبان کانه‌زایی دچار گسل خوردگی شده و فضاهای فراوانی در آن ایجاد می‌شود. در این مرحله بر اثر عملکرد سیالات جوی، مس از واحد میزبان آندزیتی - توفی شسته شده و در درز و گسل‌های ناشی از گسل خوردگی تمرکز می‌یابد. رگه‌های ایجاد شده در این مرحله به علت فشار کم حاکم، ستریای بیشتری دارند. این رگه‌ها منحصر به واحد میزبان کانه‌زایی است. در این مرحله، کانی‌های سولفیدی اولیه به کانی‌های سولفیدی ثانویه مانند دیژنیت، کوولیت، مالاکیت و کانی‌های اکسیدی تبدیل می‌شوند.

۱۰- نتیجه‌گیری

با توجه به مطالعات انجام گرفته و با استناد به شواهد مختلف از جمله محیط

کتابنگاری

- ابولی‌پور، م.، راستاد، ا. و رشیدنژاد عمران، ن.، ۱۳۹۴- کانه‌زایی مس چینه‌کران نوع مانتو (Manto-type) در آندزیت پورفیر پیرویتوم‌دار کشکوئیه رفسنجان، زیرپهنه دهج- ساردوییه، فصلنامه علوم زمین، شماره ۹۵، ص. ۱۲۳ تا ۱۴۴.
- بوری کناری، م.، ۱۳۸۹- زمین‌شناسی، کانی‌شناسی، ساخت و بافت، ژئوشیمی، ژنز و تیپ کانسار مس کشت‌مهکی، شمال‌غرب صفاشهر (استان فارس)، پایان‌نامه کارشناسی ارشد، دانشگاه تربیت مدرس.
- علی‌زاده، و.، مؤمن‌زاده، م. و امامی، م. ه.، ۱۳۹۱- سنگ‌نگاری، ژئوشیمی، مطالعه میانبارهای سیال و تعیین نوع کانه‌زایی کانسار مس ورزگ- قائن، فصلنامه علوم زمین، سال بیست و دوم، شماره ۸۶، ص. ۴۷ تا ۵۸.
- مغفوری، س.، موجدنیا، م. و کیت‌لای، ج.، ۱۳۹۳- زمین‌شناسی و کانه‌زایی کانسارهای مس عباس‌آباد شاهرود و مقایسه آن با کانسارهای مس تیپ مانتو، هجدهمین همایش انجمن زمین‌شناسی ایران، دانشگاه تربیت مدرس.
- مهرابی، ب. و فاضلی، آ.، ۱۳۸۰- بررسی تیپ کانی‌سازی مس در کانسار وشنوه (جنوب استان قم)، بیستمین گردهمایی علوم زمین، سازمان زمین‌شناسی و اکتشافات معدنی کشور.

References

- Behforouzi, H. and Safari, A., 2011- Biostratigraphy and paleoecology of the Qom Formation in Chenar area (northwestern Kashan), Iran. *Revista Mexicana de Ciencias Geologicas*, 28: 555- 565.
- Boric, R., Halmgren, C., Wilson, N. S. F. and Zentilli, M., 2002- The geology of El Soldado Manto type Cu (Ag) deposit, central Chile. In: Porter, T. M. (ed.) *Hydrothermal iron-oxide copper gold and related deposits: a global perspective*, v. 2, PGC Publications, Adelaide, p. 1- 22.
- Cabral, A. R. and Beaudoin, G., 2006- Red Bed copper deposits of the Quebec Appalachians.
- Cabral, A. R., 2007- Volcanic Red Bed copper mineralization related to submarine basalt alteration, Mont Alexandre, Quebec Appalachians, Canada. *Mineralium Deposita* 42: 901- 912.
- Carrillo-Rosua, F. J., Morales-Ruano, S., Morata Cespedes, D., Boyce, A. J., Belmar, M., Fallick, A. E., Fenoll Hach-Ali, P. and Munizaga, F., 2006- Sulfur isotope studies in Chilean "Manto"-type Cu-(Ag) deposits in coastal range of central Chile (area de la serena y Melipilla), vol. 2, *Actas XI Congreso Geologico Chileno*, Antofagasta, 199- 202.
- Cisterna, F. J., Ruano, S. M., Rusoa, J. C., Rudriguez, V. R. and Cardenas, M. R., 2010- Boris angelo Cu-(Ag) deposits, Coastal Cordillera, Central Chile. Preliminary data. *Revista de la Sociedad de Minerologia*.
- Corrillo-Rosua, F. J., Boyce, A. J., Morales-Ruano, S., Morata, D., Robert, S., Munizaga, S. and Moreno-Rodriguez, V., 2014- Extremely negative and inhomogeneous sulfur isotope signatures in Cretaceous Chilean Manto-type Cu-(Ag) deposits, coastal range of central Chile. *Ore Geology Reviews* 56: 13- 24.
- Espinoza, R. S., Veliz, G. H., Esquivel, L. J., Arias, F. J. and Moraga, B. A., 1996- The cupriferous province of the coastal ranges, northern Chile. In: *Andean copper deposits: new discoveries, mineralization, styles and metallogeny*. Society of Economic Geologists, Special Publication, No. 5, Camus, F., Sillitoe, R. H. and Petersen, R., p. 19- 32.
- Guzman, J., Collao, S. and Oyarzun, R., 2000- Andacollo copper-gold district, La Serena, Chile: preliminary data from the porphyry copper and possible relationships between Cu and Au mineralization.

- Haggan, T., Parnell, J. and Cisternas, M. E., 2003- Fluid history of andesite-hosted Cus-Bitumen mineralization, Copiap district, north central Chile. *Journal of Geochemical Exploration* 78-79: 631- 635.
- Kirkham, R. V., 1996- Volcanic Red Bed copper. In: *Geology of Canadian Mineral Deposit Types*, (ed.) Eckstrand, O. R., Sinclair, W. D. and Thorpe, R. I., Geological Survey of Canada, No. 8: 241- 252.
- Kojima, S., Astudillo, J., Trista, D. and Hayashi, K., 2003- Ore mineralogy, fluid inclusion and stable isotopic characteristics of stratiform copper deposits in the Coastal Cordillera of northern Chile. *Mineralium Deposita* 38: 208- 216.
- Kojima, S., Tristá-Aguilera, D. and Hayashi, K. I., 2009- Genetic aspects of Manto type copper deposits based on geochemical studies of north Chilean deposits. *Resource Geology* 59: 87- 98.
- Lortie, R. B. and Clark, A. H., 1987- Stratabound cupriferous sulphide mineralization associated with continental rhyolitic volcanic rocks, northern Chile: the Jardin copper- silver deposit. *Economic Geology* 82: 546- 570.
- Maghfouri, S., Hosseinzadeh, M., Moayyed, M., Movahednia, M. and Flavien, C., 2017- Geology, mineralization and sulfur isotopes geochemistry of the Mari Cu (Ag) Manto-type deposit, northern Zanjan, Iran. *Ore Geology Reviews* 81: 10- 22.
- Maksaev, V., Townley, B., Palacios, C. and Camus, F., 2003- Metallic ore deposits, In: *Genesis of copper mineralization and associated alterations in Jurassic volcanic rocks of Buena Esperanza, The Geology of Chile*.
- Oliveros, V., Feraud, G., Aguirre, L., Ramirez, L., Fornary, M. and Palacios, C., 2008- Detailed $^{40}\text{Ar}/^{39}\text{Ar}$ dating of geologic events associated with the Mantos Blancos copper deposit, northern Chile. *Mineralium Deposita* 43: 281- 293.
- Oyarzum, R., Ortega, L., Sierra, J., Lunar, R. and Oyarzn, J., 1998- Cu, Mn and Ag mineralisation in the Quebrada Marquesa quadrangle, Chile: the Talcuna and Arqueros districts. *Mineralium Deposita* 33: 547- 559.
- Palacios, C., 1986- Subvolcanic copper deposits in the coastal ranges of northern Chile. *Zeitbl. Geol. Palaontol.*, H.9/10, 1605- 1615
- Palacios, C., 1990- Geology of the Buena Esperanza copper-silver deposit, northern Chile, In Fontbote, L., Amstutz, G. C., Cardoz, M., Cedillo, E. and Frutos, J. (eds.) *Stratabound Ore Deposits in the Andes*. Springer-Verlag, Berlin 303- 318.
- Ramirez, L. E., Parada, M. A., Palacios, C., Wittenbrink, J., Lehmann, B. and Sial, A. N., 2002- Magma sources of Mantos Blancos copper deposit, coastal range of northern Chile.
- Richards, J. P., 2003- Tectono-magmatic precursors for porphyry Cu-(Mo-Au) deposit formation. *Economic Geology* 98: 1515- 1533.
- Ruiz, C., Aguilar, A., Egert, E., Espinonza, W., Puebles, F., Quezada, R. and Serrano, M., 1971- Stratabound copper sulphide deposits of Chile. *Society of Mining Geologists of Japan Special Issue 3*, p. 252- 260.
- Sato, T., 1984- Manto type copper deposits in Chile: a review. *Bulletin of the Geological Survey of Japan* 35: 565- 582.
- Tosdal, R. M. and Munizaga, F., 2003- Lead sources in Mesozoic and Cenozoic Andean ore deposits, north-central Chile (30–34 S). *Mineralium Deposita* 38: 234- 250.
- Tristá-Aguilera, D., Barra, F., Ruiz, J., Morata, D., Talavera-Mendoza, O., Kojima, S. and Ferraris, F., 2006- Re–Os isotope systematics for the Lince–Estefanía deposit: constraints on the timing and source of copper mineralization in a stratabound copper deposit, coastal Cordillera of northern Chile. *Mineralium Deposita* 41: 99- 105.
- Wilson, N. F. S. and Zentilli, M., 1999- The role of organic matter in the genesis of the Elsoldado volcanic-hosted Manto-type Cu deposit, Chile. *Economic Geology* 94: 1115- 1136.
- Wilson, N. F. S. and Zentilli, M., 2006- Association of pyrobitumen with copper mineralization from the uchumi and Talcuna district, central Chile, *International Journal of Coal Geology* 65: 158- 169.
- Wilson, N. F. S., 2000- Organic petrology, chemical composition and reflectance of pyrobitumen from the Elsoldado Cu deposit, Chile. *International Journal of Coal Geology* 43: 53- 82.
- Wilson, N. F. S., Zentilli, M. and Reynolds, P. H., 2003a- Age of mineralization by basinal fluids at the El Soldado Manto-type copper deposit, Chile: $^{40}\text{Ar}/^{39}\text{Ar}$ geochronology of K-feldspar. *Chemical Geology* 197: 161-176.
- Wilson, N. F. S., Zentilli, M. and Spiro, B., 2003b- A sulfur, carbon, oxygen and strontium isotope study of the volcanic-hosted Elsoldado Manto-type Cu deposit, Chile: the essential role of bacteria and petroleum. *Economic Geology* 98: 163-174.
- Wilton, D. H. C. and Sinclair, A. J., 1988- Ore petrology and genesis of a stratabound disseminated copper deposit at Sustut, British Columbia. *Economic Geology* 83: 30- 45.
- Zentilli, M., Collins, P. G., Boric, P. R. and Wilson, N. F. S., 2009- Diagenetic pyrite in the El Soldado stratabound copper deposit: a link with the petroleum system of the Cretaceous basin of central Chile. *XII Congreso Geológico Chileno Santiago*.

Mineralogy, texture and structure and genetic model of Kahak Manto-type copper deposit in the Eocene volcano-sedimentary sequence, south Qom

Z. Kaboodi¹, M. Ghaderi^{2*} and E. Rastad²

¹M.Sc., Department of Economic Geology, Tarbiat Modares University, Tehran, Iran

²Professor, Department of Economic Geology, Tarbiat Modares University, Tehran, Iran

Received: 2017 September 28

Accepted: 2018 July 07

Abstract

The Kahak copper deposit occurs in the Eocene volcano-sedimentary sequence of Qom region, Urumieh-Dokhtar magmatic arc. The oldest rock unit in this sequence is a crystal tuff, overlain by tuff, andesite, sandstone, conglomerate, and limestone. Host rocks to the Kahak deposit include andesite and tuff, and the geometry of mineralization is stratabound. Mineralogical studies show that the ore minerals are pyrite, chalcocite, native copper, bornite, galena, covellite, digenite, and malachite accompanied by magnetite, and hematite. Based on mineralogical studies, two types of alteration are recognized in the volcanic rocks of the area, general alteration, and ore mineral alteration. The propylitic alteration is an indication of general alteration. The main alteration types in the mineralized zone of the deposit include carbonatization, silicification, chloritization, epidotization, and zeolitic. Dissemination, open space filling, vein-veinlet, pseudo-lamination, and replacement are the major textures and structures of the ore minerals at Kahak. Two major stages are distinguished for mineralization at the Kahak deposit. The first stage is volcanism and pyrite formation in the host rocks (andesite and tuff), producing reduction state. The second stage involves diagenesis and entering Cu-rich oxidant fluids replacing Cu for Fe in the pyrite and forming Cu-sulfides and hematite and mineralization. The Kahak copper deposit shows high similarities in geometry, host rock, mineralogy, texture and structure and genetic model with the Manto-type copper deposits worldwide.

Keywords: Stratabound copper, Volcano-sedimentary sequence, Eocene, Manto-type, Urumieh-Dokhtar magmatic arc.

For Persian Version see pages 145 to 154

*Corresponding author: M. Ghaderi; E-mail: mghaderi@modares.ac.ir