

زمین‌شناسی، کانه‌نگاری و ژنز کانه‌زایی مس چینه‌سان در منطقه تازه‌کند، شمال خاور تبریز

سیمینه عنایتی کولایی^۱، محمد یزدی^۲ و میرعلی اصغر مختاری^{۳*}

^۱ کارشناسی ارشد، گروه زمین‌شناسی، دانشکده علوم زمین، دانشگاه شهید بهشتی، تهران، ایران

^۲ دانشیار، گروه زمین‌شناسی، دانشکده علوم زمین، دانشگاه شهید بهشتی، تهران، ایران

^۳ استادیار، گروه زمین‌شناسی، دانشکده علوم، دانشگاه زنجان، زنجان، ایران

تاریخ دریافت: ۱۳۹۳/۱۱/۱۸ تاریخ پذیرش: ۱۳۹۴/۰۸/۲۶

چکیده

منطقه کانه‌زایی مس تازه‌کند در فاصله حدود ۲۰ کیلومتری شمال خاور تبریز، در استان آذربایجان شرقی جای دارد. منطقه مورد مطالعه در تقسیم‌بندی پهنه‌های زمین‌ساختی ایران، بخشی از پهنه ساختاری ایران مرکزی، در حاشیه خاوری نقشه ۱:۱۰۰۰۰۰ تبریز است. واحدهای سنگی این منطقه شامل ماسه‌سنگ‌های سبز-خاکستری (پهنه احیایی)، ماسه‌سنگ‌ها و مارن‌های سرخ‌رنگ (پهنه اکسیدان)، گنبد‌های نمکی و کنگلومرا با سن میوسن، به همراه گنبد‌های داسیتی به سن پلیوسن هستند. بر پایه مطالعات سنگ‌شناختی، ماسه‌سنگ‌های میزبان کانه‌زایی از نوع لیتیک آراکوز با بلوغ بافتی (مجوریتی) ضعیف تا متوسط بوده و در یک محیط دریایی کم‌ژرفا و کشتندی ته‌نشست شده‌اند. کانه‌زایی مس به صورت چینه‌سان درون ماسه‌سنگ‌های احیایی رخ داده است. ستبرای افق‌های کانه‌زایی از ۳۰ سانتی‌متر تا یک متر متغیر است و طول رخنمون آنها گاه تا ۵۰۰ متر نیز می‌رسد. کانه‌زایی مس در این افق‌ها در بخش‌هایی که دارای مواد آلی یا بقایای گیاهی هستند، تمرکز بیشتری نشان می‌دهد. افق‌های کانه‌زایی شامل ۳ پهنه احیایی کانه‌زایی شده، شسته شده و سرخ اکسیدان است. از دید کانه‌نگاری، این کانه‌زایی متشکل از کانی‌های سولفیدی اولیه از جمله پیریت، کالکوسیت و دیزنیت به همراه کانی‌های ثانویه شامل کولیت، مالاکیت و هیدروکسیدهای آهن است. این کانی‌ها با بافت‌های عدسی شکل، دانه‌پراکنده، جان‌شینی، سیمان‌میان‌دانه‌ای و درزه‌های انحلائی دیده می‌شوند. با توجه به ویژگی‌های سنگ‌شناسی و کانه‌نگاری (ماسه‌سنگ احیایی دارای پیریت و کالکوسیت اولیه)، ساخت و بافت، چینه‌شناسی و عامل‌های کنترل‌کننده کانه‌زایی (وجود بقایای گیاهی به عنوان عامل اصلی احیاکننده، نفوذپذیری مناسب در سنگ میزبان و دی‌پایریسم نمکی)، کانه‌زایی مس در منطقه تازه‌کند همانند کانسارهای مس رسوبی نوع لایه‌های سرخ است که طی دیاژنز اولیه تا پایانی تشکیل شده است.

کلیدواژه‌ها: سازند سرخ بالایی، کانه‌زایی مس رسوبی نوع لایه‌های سرخ، چینه‌سان، تازه‌کند، تبریز.

E-mail: amokhtari@znu.ac.ir

*نویسنده مسئول: میرعلی اصغر مختاری

۱- پیش‌نوشتار

مس رسوبی نیز تشکیل شده است. در این استان، کانه‌زایی مس رسوبی در پیرامون تبریز، تسوج و مرند درون سازند سرخ بالایی دیده شده است (نقی‌زاده و همکاران، ۱۳۸۶؛ پناه‌زاده، ۱۳۸۹؛ عنایتی کولایی و همکاران، ۱۳۹۰ الف و ب؛ عنایتی کولایی، ۱۳۹۱؛ Sadati et al., 2013 & 2016). این سازند به سوی جنوب خاور تا بخش‌های جنوبی استان‌های زنجان و قزوین گسترش داشته و رخنمون کانه‌زایی‌های مس رسوبی در این مناطق نیز گزارش شده است (سپهری‌راد و فتحی‌جو، ۱۳۹۰؛ ابراهیمی و موسوی‌مطلق، ۱۳۹۱؛ بیکدلی و همکاران، ۱۳۹۲ و ۱۳۹۴).

منطقه مورد مطالعه در فاصله هوایی ۲۰ کیلومتری شمال خاور تبریز و ۱۱ کیلومتری شمال باختر بخش خواجه و در مجاورت سد نهند جای گرفته است (شکل ۱). حضور کانه‌زایی مس به شکل چینه‌سان درون لایه‌های ماسه‌سنگی سبز-خاکستری میوسن از جالب‌ترین و چشمگیرترین سیماهای زمین‌شناسی اقتصادی این منطقه به شمار می‌رود. به رغم وجود این کانه‌زایی‌ها، تاکنون مطالعات جامعی در زمینه ویژگی‌های کانی‌شناسی و ژئوشیمیایی، ژنز، سازوکارها و عامل‌های مؤثر در تشکیل این کانه‌زایی‌ها صورت نگرفته و تنها اطلاعات موجود از این منطقه مربوط به مطالعات زمین‌شناسی ناحیه‌ای (اسدیان، ۱۳۷۲) و اکتشافات اولیه توسط سازمان زمین‌شناسی و اکتشافات معدنی کشور (نقی‌زاده، ۱۳۸۸) است. معرفی ویژگی‌های کانه‌زایی مس با سنگ میزبان رسوبی منطقه تازه‌کند که در نهشته‌های تخریبی سازند سرخ بالایی جای گرفته است، می‌تواند به اکتشاف این ماده معدنی در مناطق مشابه کمک کند. در این پژوهش سعی شده است تا افزون بر شناسایی و پیگیری گسترش افق‌های کانه‌زایی در منطقه مورد مطالعه، ویژگی‌های کانی‌شناسی، ساخت و بافت، فرایندهای درگیر در شکل‌گیری و تمرکز ماده معدنی و همچنین نوع کانه‌زایی تعیین شود.

کانسارهای مس با میزبان رسوبی در محیط‌های دریایی یا دلتایی غیر آتشفشانی یافت می‌شوند. این نهشته‌ها از دید زمانی و مکانی، توزیع گسترده‌ای از پروتوزویک تا سنوزویک دارند و ذخیره آنها می‌تواند از اندازه‌های نیمه اقتصادی تا چند صد میلیون تن تغییر کند (Hitzman et al., 2005). به‌طور کلی، این کانسارها از دید شکل کانی‌سازی، عدسی مانند تا چینه‌سان هستند و طول آنها دست کم ده‌ها برابر ستبرای آنهاست. در بیشتر موارد در کانسارهای مس رسوبی، چند لایه از ماده معدنی وجود دارد که ستبراهای آنها با همدیگر متفاوت است. به باور Singer (1995) این کانسارها تقریباً ۲۳ درصد ذخایر مس تولیدی دنیا را تشکیل می‌دهند و همین‌طور منابع مهمی برای فلزاتی از جمله نقره و کبالت به شمار می‌روند (Hitzman et al., 2005). ذخایر مس رسوبی توسط پژوهشگران بسیاری (مانند Kirkham, 1989؛ Hitzman et al., 2005) به دو گروه گسترده تقسیم شده‌اند: (۱) نوع کوپرشیفرفر که ذخایر مس گسترده اما محدود شده به افق‌های پلیتی-کربناتی هستند که در محیط‌های دریایی کم‌ژرفا یا دریاچه‌ای رسوب‌گذاری شده‌اند؛ (۲) نوع لایه سرخ که در مرز میان افق‌های آواری سرخ و خاکستری، در توالی‌هایی که لایه‌های سرخ چیره هستند، تمرکز دارند.

کانی‌زایی مس رسوبی در ایران در ادوار مختلف زمین‌شناسی از جمله در پرکامبرین-کامبرین همراه با گنبد‌های نمکی در پهنه زاگرس، سازند ناینبد در زمان تریاس بالایی، سازند گردو در زمان ژوراسیک بالایی-کرتاسه زیرین و سازند سرخ بالایی مربوط به زمان میوسن روی داده است (مهدوی و همکاران، ۱۳۸۶؛ نقی‌زاده و همکاران، ۱۳۸۶؛ سامانی، ۱۳۸۹؛ آفازاده و بدرزاده، ۱۳۸۹؛ پناه‌زاده، ۱۳۸۹؛ بیکدلی و همکاران، ۱۳۹۲). استان آذربایجان شرقی یکی از مناطقی است که سازند سرخ بالایی به خوبی در آن گسترش داشته و همراه با این سازند، کانه‌زایی

۲- روش مطالعه

این مطالعه دربرگیرنده دو بخش مطالعات صحرایی و آزمایشگاهی است. در طی بررسی‌های صحرایی، به منظور آشنایی بیشتر با زمین‌شناسی منطقه و واحدهای سنگی موجود و نیز ارتباط کانه‌زایی با سنگ‌های درونگیر، بازدیدهایی از منطقه صورت گرفت. پس از این بازدیدها و انجام پیمایش‌های زمین‌شناسی، ۴۴ نمونه برای مطالعات آزمایشگاهی برداشت شد. در بخش آزمایشگاهی، برای شناسایی نوع سنگ میزبان، ساخت و بافت و کانه‌های موجود در پهنه‌های کانه‌زایی، ۱۲ مقطع نازک و ۱۰ مقطع صیقلی از کانه‌زایی‌های یاد شده و سنگ‌های درونگیر آنها تهیه شد و مورد مطالعات سنگ‌شناختی و کانه‌نگاری قرار گرفت. افزون بر این، به منظور بررسی‌های ژئوشیمیایی عناصر، ۲۲ نمونه برداشت شده از پهنه‌های کانه‌زایی، به روش ICP-OES در آزمایشگاه‌های سازمان زمین‌شناسی و اکتشافات معدنی کشور تجزیه شد (جدول ۱).

۳- زمین‌شناسی

منطقه مورد مطالعه در تقسیم‌بندی پهنه‌های زمین‌ساختی ایران (آقناباتی، ۱۳۸۳)، بخشی از پهنه ساختاری ایران مرکزی است. این منطقه بخش کوچکی را در حاشیه خاوری بر گره ۱:۱۰۰۰۰۰ زمین‌شناسی تبریز (اسدیان، ۱۳۷۲) به خود اختصاص داده است. در محدوده مورد مطالعه، همه واحدهای زمین‌شناسی مربوط به دوره زمانی میوسن و جوان تر هستند (شکل ۲). در شمال و بیرون از منطقه مورد مطالعه، رسوبات میوسن با پی‌سنگ کنگلومرای سرخ رنگ، به‌طور پیش‌رونده و با دگرشیبی روی واحدهای فلیش گونه کرتاسه بالایی جای گرفته است. قدیمی‌ترین رسوبات میوسن در این منطقه شامل تناوبی از کنگلومرا، ماسه‌سنگ و مارن به رنگ عمومی سرخ (واحد M_1^c) است. افزون بر این، گدازه‌های آتشفشانی و توفی با ترکیب آندزیت و تراکی آندزیت (M_1^v) درون واحد M_1^c دیده می‌شوند. به سوی بالا، تناوبی از رسوبات سیلت‌سنگ و مارن به رنگ خاکستری و سرخ یا زرد با میان‌لایه‌های ماسه‌سنگی نازک لایه (M_2^{mg}) رخنمون دارند. این واحد دارای مقادیر درخور توجهی رسوبات تبخیری به‌صورت گچ و نمک است. گنبد‌های نمکی وابسته به میوسن در حوضه تبریز همگی به این واحد وابسته هستند. این واحد به دلیل داشتن رسوبات تبخیری گچ و نمک، چین‌خوردگی‌های کوچکی را هم درون خود نشان می‌دهد. ویژگی آشکار این واحد، میزبانی کانه‌زایی مس منطقه مورد مطالعه است. توالی این واحد از قاعده به سوی بالا به ترتیب شامل مارن‌های سرخ رنگ، ماسه‌سنگ قاعده‌ای دارای کانه‌زایی مس و آثار گیاهی به رنگ سبز-خاکستری و در پایان، ماسه‌سنگ‌های بالایی سرخ رنگ بدون کانه‌زایی است. توالی یاد شده به تناوب تکرار می‌شود و ستبرای آن در مجموع به حدود ۱۲۰۰ متر می‌رسد. کانه‌زایی مس در سطح رخنمون‌های سنگی، بیشتر به شکل کانی‌های کربناتی مس شامل مالاکیت گسترش یافته است. بخش‌های ماسه‌سنگی دارای آثار قالب ریزشی (load cast)، اثرات فسیلی موجودات حفار، رپیل مارک و ترک‌های گلی است (شکل ۳).

به سوی بالا، تناوبی از ماسه‌سنگ، شیل و مارن، گاه با میان‌لایه‌های میکروکنگلومرای دیده می‌شود (واحد M_4^{sm}). آثار دانه‌بندی تدریجی و چینه‌بندی متقاطع در ابعاد بزرگ در ماسه‌سنگ‌های این واحد وجود دارد. در باختر روستای نهند (شمال باختر منطقه مورد مطالعه)، میان‌لایه‌هایی از سنگ‌آهک ماسه‌ای در میان مارن‌های این واحد وجود دارد که دارای ماکروفسیل‌های دوکفه‌ای و استخوان‌های احتمالاً خرچنگ است که سن این واحد را به Tortonian نسبت داده‌اند (اسدیان، ۱۳۷۲). به سوی باختر، واحد M_4^{sm} به‌صورت جانبی به تناوبی از شیل‌های سبز-خاکستری، مارن و ماسه‌سنگ سرخ (واحد M_3^{ms}) تبدیل می‌شود. مارن‌های این واحد، گچ‌دار و نمک‌دار هستند. بخش بالایی میوسن در منطقه تبریز متشکل از تناوب مارن، ماسه‌سنگ و کنگلومرا به رنگ سرخ است (واحد M_3^{sc}). لایه‌های

کنگلومرای و ماسه‌سنگی، متوسط تا سبتر لایه هستند و رخنمون شاخص آنها در ارتفاعات شمال تبریز و پیرامون روستای باباباغی دیده می‌شود. گنبد‌های نمکی بسیاری درون منطقه مورد مطالعه و در مجاورت با کانه‌زایی‌های مس وجود دارد که برخی از آنها در حال بهره‌برداری هستند (شکل ۴-الف).

درون حوضه میوسن شمال و شمال خاور تبریز، رخنمون‌های پلیوسن شامل آثار فعالیت‌های آتشفشانی است که متشکل از توف، توف ماسه‌ای، پامیس و گاه گدازه‌های با ترکیب آندزیت، تراکی آندزیت، تراکی داسیت و داسیت است. افزون بر این، گنبد‌های نیمه‌نفوذی با ترکیب تراکی آندزیت، تراکی داسیت و داسیت درون واحدهای رسوبی میوسن تزیق شده که به پلیوکواترنری نسبت داده شده‌اند (اسدیان، ۱۳۷۲). رخنمون‌های بسیاری از گنبد‌های یاد شده درون منطقه مورد مطالعه (شکل ۴-ب) و مناطق مجاور دیده می‌شود که شاخص‌ترین آنها کوه بهلول‌داغی در شمال تبریز است. نفوذ گنبد‌های یاد شده به درون واحدهای رسوبی میوسن، با هاله‌های دگرگونی مجاورتی ضعیفی همراه است که به‌صورت نوار باریک (به ستبرای تا ۱۰ متر) با رنگ زرد مشخص هستند (شکل ۴-ب).

۴- سنگ‌شناسی

تعیین شرایط کانه‌زایی کانسارهای مس چینه‌سان با سنگ میزبان رسوبی نیازمند مطالعات گسترده در سنگ میزبان لایه‌های احیایی و همچنین لایه‌های سرخ است (Boyle et al., 1989; Kirkham, 1995; Brown, 1997a & b & 2003). در منطقه تازه‌کند، واحدهای سنگی پیرامون کانه‌زایی شامل توالی مارن‌های سرخ رنگ فرودپواره، ماسه‌سنگ‌های سبز-خاکستری میزبان کانه‌زایی و ماسه‌سنگ‌های سرخ رنگ بالای کانه‌زایی هستند.

مطالعات سنگ‌شناختی ماسه‌سنگ‌های میزبان کانه‌زایی نشان می‌دهد که این سنگ‌ها به‌طور چیره دارای کانی‌های کوارتز، فلدسپار پتاسیم، پلاژیوکلاز، میکا، خرده‌سنگ و چرت هستند (شکل ۵). اجزای یاد شده در یک سیمان کربناته (کلسیت) با تبلور اسپاری (تا ۲۰ درصد) و رس (کمتر از ۵ درصد) قرار گرفته‌اند (شکل ۵-الف). در برخی نمونه‌ها، تجمع مالاکیت در فضای میان دیگر کانی‌ها نیز دیده می‌شود (شکل‌های ۵-ب و ج). کوارتزها متشکل از دانه‌های آواری زاویه‌دار تا نیمه‌گرد شده با میانگین قطری میان ۰/۱ تا ۰/۲ میلی‌متر، کانی اصلی (۳۰ تا ۳۵ درصد) ماسه‌سنگ‌ها هستند. انواع کوارتز شامل مجموعه‌ای از کوارتزهای تک‌بلوری، چندبلوری و نیز کوارتزهای دارای ادخال را می‌توان در این سنگ‌ها شناسایی کرد. مقدار فلدسپار (ارتوز، پلاژیوکلاز و گاه میکروکلین) در این سنگ‌ها بالاست (حدود ۳۵ درصد). خرده‌های سنگی بیشتر از نوع آتشفشانی است. خرده‌سنگ‌های رسوبی از نوع چرت نیز دیده می‌شود. فراوانی خرده‌های سنگی کمتر از ۱۰ درصد است. کانی‌های میکایی (کلریت، مسکوویت و بیوتیت) و کانی‌های کدر به عنوان کانی‌های فرعی در این سنگ‌ها حضور دارند (شکل ۵-د). افزون بر این، قطعات فسیلی نیز در ماسه‌سنگ‌های میزبان کانه‌زایی دیده می‌شوند که وجود آنها نشان‌دهنده محیط دریایی کم‌ژرفا از جمله کشتندی است. مطالعه بافتی از دید بلوغ بافتی (مچوریتی) بیانگر بلوغ بافتی متوسط تا ضعیف در این سنگ‌هاست. به این مفهوم که دارای رس (۵ درصد) به عنوان زمینه و کانی‌های سازنده سنگ از نوع زاویه‌دار تا کمی زاویه‌دار هستند و جورشده‌گی متوسط دارند. این موضوع بیانگر اینست که کانی‌های سازنده سنگ، مسافت زیادی را از سنگ منشأ طی نکرده‌اند و مجموع انرژی مکانیکی مصرف شده برای جابه‌جایی آنها کم بوده است (موسوی حرمی، ۱۳۷۷). بر پایه رده‌بندی Folk (1980)، ماسه‌سنگ‌های یاد شده از نوع لیتیک آروکوز (ماسه‌سنگ آهکی) هستند.

۵- کانه‌زایی

در منطقه تازه کند، کانه‌زایی مس در افق‌های ماسه‌سنگی سبز- خاکستری (احیایی) با سبترای‌های مختلف رخ داده است (شکل‌های ۶- الف و ب). ماسه‌سنگ‌های سبز- خاکستری به سوی بالا به ماسه‌سنگ‌های سرخ رنگ بدون کانه‌زایی تبدیل می‌شوند (شکل‌های ۶- الف، ب و ج). مجموعه ماسه‌سنگی یاد شده، به صورت میان‌لایه‌های با سبترای‌های مختلف (تا ۲ متر) درون واحدهای مارنی سرخ رنگ حضور دارد که به صورت متناوب تکرار می‌شوند (شکل ۶- د). در بخش‌های زیرین و بالایی افق‌های کانه‌زایی (ماسه‌سنگ‌های احیایی و سرخ رنگ)، آثار ریپل مارک به خوبی دیده می‌شود.

مطالعات صحرایی نشان از این دارد که کانه‌زایی مس به صورت دانه‌پراکنده، عدسی‌شکل و شبه‌لامینه‌ای درون ماسه‌سنگ‌های احیایی تشکیل شده است. افق‌های ماسه‌سنگی دارای کانه‌زایی، امتداد عمومی خاوری- باختری دارند و شیب آنها در دو یال طاقدیس به دو سوی شمال و جنوب است. به عبارت دیگر، کانه‌زایی مس در این منطقه عبارت است از لایه‌های ماسه‌سنگی درون توالی مارنی که دچار چین‌خوردگی شده و گنبد‌های نمکی و داسیتی در محور این طاقدیس‌ها نفوذ کرده‌اند (شکل ۴). سبترای افق‌های کانه‌زایی از ۳۰ سانتی‌متر تا یک متر متغیر است و طول رخنمون آنها گاه تا ۵۰۰ متر نیز می‌رسد. کانه‌زایی در این افق‌ها در بخش‌هایی که دارای مواد آلی یا بقایای گیاهی هستند (شکل ۷)، تمرکز بالاتری دارد. وجود آثار و بقایای گیاهی در افق‌های کانه‌زایی یکی از عوامل مهم احیاکننده محیط و کنترل‌کننده کانه‌زایی است که در دیگر کانسارهای مس با میزان ماسه‌سنگی سرخ نیز گزارش شده است (Hitzman et al., 2005; Brown, 2006). افق‌های ماسه‌سنگی دارای کانه‌زایی مس، کانی‌شناسی و ساخت و بافت مشابهی دارند و تنها از دید گسترش و ابعاد کانه‌زایی با هم متفاوت هستند.

افق‌های ماسه‌سنگی دارای کانه‌زایی شامل ۳ پهنه هستند و در مراحل مختلف دیاژنز و فرایندهای دگرسانی به شرح زیر تشکیل شده‌اند:

- ۱) پهنه سرخ اکسیدان (Red oxidized zone): این پهنه شامل لایه‌های ماسه‌سنگی سرخ رنگ است که در بالای پهنه احیایی قرار دارند. این بخش دارای ماسه‌سنگ نوع لیثیک آرکوز است. رنگ سرخ این پهنه به دلیل فراوانی هیدروکسیدهای آهن آزادشده در طی دیاژنز است که پیرامون کانی‌ها را در بر گرفته است.
- ۲) پهنه شسته شده (Bleached zone): این پهنه بخشی از ماسه‌سنگ‌های سرخ رنگ است. در این پهنه، ماسه‌سنگ‌های سرخ رنگ تحت تأثیر سیال‌های احیاکننده و شسته شدن اکسیدهای آهن، به رنگ سبز- خاکستری تبدیل شده است. در این بخش، کانی‌های اکسیدی آهن دیده نمی‌شوند و آهن موجود در این بخش در اثر فرایند دیاژنز به پیریت تبدیل شده است که به صورت دانه‌پراکنده در آن دیده می‌شود.

۳) پهنه احیایی کانه‌زایی شده (Mineralized reduced zone): در پهنه شسته شده، هر جا که مواد آلی وجود داشته، کانه‌زایی رخ داده است. البته نفوذپذیری سنگ میزان نیز عامل بسیار مهم و تأثیرگذار است؛ به گونه‌ای که در حضور مواد آلی و با افزایش نفوذپذیری، کانه‌زایی تشدید و با کاهش نفوذپذیری از اهمیت کانه‌زایی کاسته می‌شود.

۶- کانه‌نگاری و ساخت و بافت

از دید کانی‌شناسی، کانه‌زایی مس با سنگ میزبان رسوبی در منطقه تازه کند دارای کانی‌های سولفیدی اولیه از جمله پیریت، کالکوسیت و دیژنیت است. کانی‌های ثانویه شامل کوولیت، مالاکیت و هیدروکسیدهای آهن از دگرسانی کانی‌های یادشده، در مرحله برونزاد (سوپرژن) حاصل شده‌اند. این کانی‌ها به صورت عدسی‌شکل، دانه‌پراکنده، جانشینی، سیمان میان‌دانه‌ای و درزه‌های انحلالی دیده می‌شوند. در

کانه‌زایی مس منطقه مورد مطالعه، بافت عدسی‌شکل به صورت بخش‌های غنی از کالکوسیت به شکل عدسی‌های تیره‌رنگ در زمینه سنگ میزبان ماسه‌سنگی دیده می‌شود (شکل ۸- الف). بافت دانه‌پراکنده بیشتر در پهنه احیایی تشکیل شده است. به دلیل اینکه این بخش مواد آلی نیز دارد، پهنه‌ای مناسب برای تشکیل کانی‌های سولفیدی به شمار می‌رود. در منطقه مورد مطالعه، کانی‌های سولفیدی از جمله کالکوسیت و پیریت دارای بافت دانه‌پراکنده هستند (شکل ۸- ب). بافت دانه‌پراکنده کالکوسیت حاصل جانشینی این کانی به جای بلورهای پیریت از پیش تشکیل شده (در حین دیاژنز اولیه) و همچنین سیمان کربناتی است. به باور Asael et al. (2009) تشکیل کالکوسیت در فضای میان‌دانه‌ای سنگ میزبان، می‌تواند نشان‌دهنده بافت دانه‌پراکنده کالکوسیت در این نوع از کانسارها باشد. پیریت دانه‌پراکنده مربوط به دو نسل است: پیریت نسل اول یا پیریت‌های فراموبیدال که در مرحله دیاژنز اولیه و پیش از کانه‌زایی تشکیل شده (شکل‌های ۹- الف و ب) و به احیای محیط و ایجاد سیال احیایی کمک کرده‌اند. این پیریت از یک ژل سولفیدی در طی مرحله دیاژنز اولیه متبلور شده است (Love & Brockley, 1973). پیریت‌های نسل دوم، بر خلاف پیریت نسل اول، بیشتر بی‌شکل بوده و در مرحله دیاژنز پایانی همزمان با کانه‌زایی مس تشکیل شده‌اند (شکل ۹- ب).

در بافت سیمان میان‌دانه‌ای که حالت خاصی از بافت دانه‌پراکنده است، فضای میان‌دانه‌های سنگ میزبان توسط سولفیدهای مس پر می‌شود (MacIntyre, 2005). این سولفیدها پیرامون دانه‌های آواری تجمع یافته‌اند (شکل ۹- ج). در واقع می‌توان گفت که این کانی‌ها جانشین سیمان کربناتی در حاشیه کانی‌های کوارتز و فلدسپار شده‌اند (MacIntyre, 2005).

بافت جانشینی یکی از بافت‌های فراوان در منطقه مورد مطالعه است؛ به طوری که کانی‌های سولفیدی مس در هنگام کانه‌زایی جایگزین مواد آلی و بقایای گیاهی شده‌اند (شکل ۷). وجود مواد آلی در این نوع از کانسارها سبب می‌شود که یک محیط احیایی به وجود آید و در اثر آن، کانی‌های سولفیدی از جمله کالکوسیت، کالکوپیریت، بورنیت و پیریت جایگزین مواد آلی شوند (Subias et al., 2003). در منطقه مورد مطالعه به نظر می‌رسد که بلورهای پراکنده و فراموبیدال پیریت در مراحل اولیه دیاژنز شکل گرفته و سپس در مرحله بعدی، سیال‌های غنی از مس، کانی‌های سولفیدی کالکوسیت و دیژنیت را به صورت بافت جانشینی جایگزین پیریت کرده‌اند. این مرحله از کانه‌زایی در طی دیاژنز روی داده است. افزون بر این، بافت جانشینی در جریان فرایند هوازدگی و برونزاد نیز تشکیل شده و در نتیجه آن، کانی‌های ثانویه از جمله کوولیت، مالاکیت و هیدروکسیدهای آهن جانشین کانی‌های اولیه‌ای مانند کالکوسیت و پیریت شده‌اند (شکل ۹- د).

۷- ژئوشیمی

عیار میانگین مس در کانسارهای مس رسوبی ۱/۶ درصد است و میزان ذخیره آن به ۲۶۰۰ میلیون تن می‌رسد (Cox et al., 2007). نتایج تجزیه نمونه‌های برداشت شده از بخش‌های دارای کانه‌زایی مس بیانگر این است که عیار مس میان ۰/۰۸ تا ۲/۱۳ درصد متغیر و عیار میانگین آن حدود ۰/۶۸ درصد است. دو نمونه Kh-17 و Kh-20 از ماسه‌سنگ‌های سرخ حاشیه ماسه‌سنگ‌های سبز دارای کانه‌زایی برداشت شده‌اند که نشانگر محتوای پایین مس (۱۵۳ و ۲۷۳ گرم در تن) در این سنگ‌هاست. همچنین، مقدار روی میان ۱۱۳-۳۴/۱ ppm متغیر است و مقدار سرب نیز بیشینه به ۴۸/۴۶ ppm می‌رسد.

بررسی همبستگی میان مس با دیگر عناصر، بیانگر همبستگی مثبت قوی با عناصر Ag (۰/۶۷)، Zn (۰/۸۶) و همبستگی متوسط با عناصر S (۰/۲۸)، Mo (۰/۲۸)، As (۰/۲۳)، Ni (۰/۲۲) و Pb (۰/۲) است (جدول ۲). بر پایه این مطالعات، نقره نیز

دارای همبستگی قوی با عناصر S (۰/۷۹)، Zn (۰/۶۸)، Co (۰/۶۲) و Pb (۰/۵) است (جدول ۲).

۸- نوع کانه‌زایی

کانه‌زایی مس در منطقه مورد مطالعه توسط ماسه‌سنگ‌ها میزبانی می‌شود. پژوهشگران مختلفی مانند (Woodward et al., 1974)، (Kirkham, 1989)، (Flint, 1989)، (Avila-Salinas, 1990)، (Cox et al., 1991) و (Torson, 2004) کانسارهای مس با سنگ میزبان رسوبی را به ۳ گروه اصلی شامل رخساره‌های احیایی (RF)، لایه‌های سرخ رنگ (RB) و ماسه‌سنگی احیایی (RV) تقسیم کرده‌اند. مطالعات انجام شده در منطقه مورد مطالعه بر پایه نوع سنگ درونگیر، دگرسانی، ژئومتری، کانی‌شناسی و عوامل کنترل‌کننده کانه‌زایی، نشانگر این است که کانه‌زایی مس با سنگ میزبان رسوبی در منطقه تازه‌کند همانند کانسارهای مس رسوبی نوع Red Bed است (جدول ۳). همچنین، مقایسه ویژگی‌های کانه‌زایی منطقه مورد مطالعه با دیگر کانسارهای نوع Red Bed در ایران (کانسار مس رسوبی راور در منطقه طیس و کانسار مس رسوبی چهرگان در شمال باختر تسوج) و دیگر نقاط جهان (کانسار مس رسوبی Nacimiento در آمریکا)، همانندی این کانی‌سازی را به کانه‌زایی‌های مس با سنگ میزبان رسوبی نوع Red Bed نشان می‌دهد (جدول ۴).

۹- مراحل تشکیل و تکوین کانه‌زایی

بر پایه مطالعات کانه‌نگاری و ساخت و بافت کانی‌سازی، تشکیل و تمرکز کانه‌زایی در منطقه مورد مطالعه در ۴ مرحله شامل مرحله رسوب‌گذاری، دیاژنز، تغییر شکل زمین‌ساختی و برونزاد صورت گرفته است.

۹-۱. مرحله پیش از کانه‌زایی (Pre-ore Stage)

بخش‌های کانه‌زایی نشده و احیایی ماسه‌سنگ‌های سبز-خاکستری دارای دو نسل مختلف پیریت هستند: ۱) پیریت‌های فراموبیدال (Framboidal) که مربوط به مرحله همزمان با رسوب‌گذاری و پیش از دیاژنز هستند و به احیای محیط و ایجاد سیال احیایی کمک کرده‌اند. ۲) پیریت‌های ریز با اشکال مختلف و به‌صورت دانه پراکنده که بیشتر در پیرامون مواد آلی به علت احیا شدن محیط حضور دارند و مربوط به مرحله تشکیل کانه هستند.

۹-۲. مرحله کانه‌زایی (Ore-stage)

مرحله اصلی کانه‌زایی در منطقه تازه‌کند، با کانی‌های سولفیدی به‌صورت کالکوسیت، دیژنیت (به مقدار محدود) و پیریت تشکیل شده است. شواهد بافتی نشان از این دارد که کانه‌زایی مس به‌صورت جانشینی در ساختار سلول‌های گیاهی و پیریت‌ها، پرکننده فضاهای خالی ناشی از انحلال فشاری توسط دیاژنز با بافت درزه انحلالی، سیمان میان‌دانه‌ای، دانه پراکنده و عدسی‌شکل در قالب کانی‌های کالکوسیت و دیژنیت (به مقدار محدود) تشکیل شده است. قرارگیری سولفیدهای مس اولیه در فضای خالی میان دانه‌ها به‌صورت سیمان میان‌دانه‌ای می‌تواند بافت دانه پراکنده ایجاد کند (Asael et al., 2009) که در کانه‌زایی منطقه مورد مطالعه دیده می‌شود. بافت جانشینی مهم‌ترین و چیره‌ترین بافت موجود در این کانه‌زایی است. سولفیدهای مس (کالکوسیت و کمی دیژنیت) در مراحل میانی تا پایانی دیاژنز به‌صورت بافت جانشینی تشکیل شده‌اند. کویل‌ت کانی ثانویه بوده و از دگرسانی سولفیدهای اولیه مس به وجود آمده است.

در کانی‌های سولفیدی مانند پیریت، کالکوسیت، کویل‌ت و نیز کانی‌های غیرسولفیدی مانند مالاکیت و هیدروکسیدهای آهن، بافت جانشینی دیده می‌شود. شرایط احیایی حاصل از مواد آلی، محیط مناسبی برای تشکیل و جانشینی کانی‌های سولفیدی در آنها ایجاد می‌کند (Subias et al., 2003). چنین شرایطی سبب جانشینی کالکوسیت، به جای سلول‌های گیاهی و همچنین جانشینی درون پیریت شده است.

در بافت سیمان میان‌دانه‌ای که حالت خاصی از بافت دانه پراکنده است، فضای میان دانه‌های سنگ میزبان توسط سولفیدهای مس پر شده است. این سولفیدها پیرامون دانه‌های آواری (کوارتز و فلدسپار) تجمع یافته‌اند. بافت سیمان میان‌دانه‌ای در کانه‌زایی مس منطقه مورد مطالعه در بخش‌های با تمرکز بالای سولفید و غنی از فسیل گیاهی دیده می‌شود.

۹-۳. مرحله برونزاد (Supergene stage)

تشکیل کانی‌های مرحله کانه‌زایی (ore-stage) در ماسه‌سنگ‌های احیایی با فرایند تراکم تدفینی در مرحله دیاژنز تأخیری که سبب از بین رفتن خلل و فرج و نفوذپذیری می‌شود، به پایان رسیده است. تغییر شکل زمین‌ساختی فاز کوهزایی پاسادین مربوط به مرحله پس از تشکیل کانه (post-ore) در کانه‌زایی منطقه مورد مطالعه بسیار اهمیت دارد. اکسایش سطحی سبب تشکیل مقدار زیادی مالاکیت در رخنمون‌های کانه‌زایی می‌شود و همچنین به‌صورت هیدروکسیدهای آهن در جایی که ماسه‌سنگ‌ها دارای پیریت هستند، به روشنی دیده می‌شود. به‌طور کلی، کانه‌زایی برونزاد شامل مالاکیت و هیدروکسیدهای آهن است. مالاکیت در حاشیه کانه‌های کالکوسیت و کویل‌ت تشکیل شده و شکاف‌های درون ماسه‌سنگ‌ها را اشغال کرده است. نوارهایی از مالاکیت تقریباً به موازات لایه‌بندی سنگ میزبان در بخش‌هایی از واحدهای احیایی کانه‌زایی شده تشکیل یافته است. به نظر می‌رسد که این نوارها، بافت‌های درزه انحلالی (Solution seams) حاصل از انحلال دانه‌های آواری هستند که سولفیدهای مس در میان آنها باقی مانده و در مرحله برونزاد به مالاکیت تبدیل شده‌اند. این گونه درزه‌های انحلالی پس از مرحله دیاژنز اولیه و پیش از دیاژنز تأخیری، در جهت عمود بر فشار بار لیتوستاتیک و در سطوح موازی با لایه‌بندی سنگ میزبان تشکیل می‌شوند (Dureix & Brown, 2007). در اثر فشار بار لیتوستاتیک، ذرات قابل حل به‌صورت شیمیایی انحلال پیدا می‌کنند و در صورت وجود اجزای غیر قابل انحلال، این ذرات در میان دانه‌های انحلال یافته (فضای درون درزه‌های انحلالی) باقی می‌مانند. این اجزای غیر قابل حل می‌توانند کانی سولفیدی و یا مواد آلی باشند (Dureix & Brown, 2007). با توجه به مشاهدات کانه‌نگاری، توالی پاراژنتی منطقه مورد مطالعه را می‌توان به‌صورت شکل ۱۰ رسم کرد: ۱) مرحله همزمان با رسوب‌گذاری؛ ۲) مرحله دیاژنز اولیه؛ ۳) مرحله دیاژنز میانی؛ ۴) مرحله دیاژنز تأخیری؛ ۵) مرحله برونزاد.

۱۰- نحوه تشکیل کانه‌زایی

به باور (Walker, 1989)، (Hitzman et al., 2005) و (Brown, 2005) کانسارهای مس رسوبی در جریان فرایند دیاژنز در ماسه‌سنگ‌ها ایجاد می‌شوند. مهم‌ترین منشأ سیال‌های کانه‌ساز در کانسارهای چینه‌سان نوع Red Bed، آب‌زدایی و آبکافت لایه‌های سرخ افق اکسیدان موجود در پایین افق‌های کانه‌زایی شده است (Cailteux et al., 2005). همان‌گونه که در بخش زمین‌شناسی توضیح داده شد، قطعات آواری از جمله آذرین و رسوبی در ماسه‌سنگ‌های این منطقه وجود دارند که قطعات آذرین می‌توانند به عنوان منشأ تأمین‌کننده فلزات کانه‌زایی در این منطقه به شمار روند. در مرحله همزمان با ته‌نشست رسوبات، همراه قطعات و دانه‌های آواری، کانی‌های آواری سیلیکاته ناپایداری مانند هورنبلند، پلاژیوکلاز، بیوتیت و فلدسپار قلیایی نیز ته‌نشین شده‌اند که همگی دارای مقادیری مس و دیگر فلزات پایه و کمیاب در شبکه خود هستند.

مطالعات Walker (1989) روی کانی‌های ناپایدار موجود در ماسه‌سنگ میزبان کانسارهای مس رسوبی، وجود مقادیری مس در شبکه این کانی‌ها را تأیید می‌کند. مس موجود در کانی‌های یاد شده، در اثر دیاژنز اولیه و آبکافت، از شبکه آنها آزاد و در سیال کانه‌ساز به‌صورت محلول وارد و حمل می‌شود. به باور (Walker, 1989)، (Kirkham, 1995) و (Hitzman et al., 2005) و (Brown, 2005)

آنها به چرخش در می‌آیند. همچنین، در اثر کاهش فشار لیتواستاتیک، کانی‌های تبخیری حل می‌شوند و سبب به وجود آمدن سیال‌های با شوری متوسط تا بالا که دارای کلر هستند، می‌شوند. این سیال‌ها با سیال‌های اکسیدان موجود در پیرامون گنبد‌های نمکی (سیال‌های موجود در ماسه‌سنگ) مخلوط می‌شوند و در نتیجه آن، فلزاتی از جمله مس و نقره آزاد شده از کانی‌های سیلیکاتی ناپایدار سازند سرخ بالایی به صورت کمپلکس کلریدی حمل می‌شوند. از سوی دیگر، وجود مواد آلی در افق‌های ماسه‌سنگی سبب می‌شود که سیال‌های میان‌سازندی در این افق‌ها، احیا شوند و سیال‌های احیایی را به وجود آورند. در این افق‌ها، باکتری‌های بی‌هوازی با گرفتن انرژی از مواد آلی، سولفات موجود در آب میان‌سازندی را احیا (Hitzman et al., 2005) و به کمپلکس بی‌سولفیدی (H_2S , HS) تبدیل می‌کنند. به باور Brown (2003) این فرایند سبب می‌شود که افق‌های غنی از مواد آلی و بقایای گیاهی، شسته شوند و افق‌ها و یا پهنه‌های دگرسان شسته شده (Bleaching) به وجود آیند. در نتیجه این فرایند و در مجاورت سیال‌های احیایی غنی از کمپلکس بی‌سولفیدی، اکسید‌های آهن به پیریت تبدیل می‌شوند و به صورت پیریت دیاژنری ته‌نشست می‌یابند. با توجه به اینکه مس و دیگر فلزات پایه در سیال اکسیدان توسط کمپلکس کلریدی حمل می‌شوند، از راه گسل‌های موجود در منطقه که مسیر مناسبی را برای عبور سیال‌ها ایجاد کرده‌اند، به سوی بالا حرکت می‌کنند و در اثر برخورد با افق‌های غنی از سیال‌های احیایی، به صورت کانی‌های سولفیدی از جمله پیریت، کالکوسیت و دیژنیت ته‌نشست می‌یابند. در طی این فرایند، بافت‌های مختلفی از جمله بافت جانیشینی، بافت سیمان میان‌دانه‌ای، بافت شبه‌لامینه‌ای و بافت دانه‌پراکنده تشکیل می‌شود.

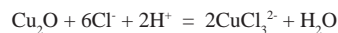
مطالعات ایزوتوپی در دنیا نشان داده است که منشأ گوگرد موجود در ذخایر مس رسوبی، به‌طور چیره از احیای باکتریایی سولفات آب دریاست؛ ولی می‌تواند از دریاچه‌ها، کولاب‌ها، تبخیری‌ها، آب دریا یا احیا شده و سیال‌های دارای سولفید ذخایر نفتی نیز تأمین شود (Hitzman et al., 2005). مطالعات انجام شده توسط ساداتی (۱۳۹۳) روی کانی‌سازی‌های مس رسوبی موجود در منطقه شمال تبریز (منطقه اسپیران) بیانگر این است که محتوای $\delta^{34}S$ در نمونه‌های ماسه‌سنگی دارای پیریت، کالکوپیریت و کالکوسیت میان $-27/9$ تا $-2/4$ متغیر است. به باور وی، مقادیر ایزوتوپی گوگرد در این نمونه‌ها بازتابی از آمیختگی سولفات‌های مشتق شده از شستشوی رسوبات (شامل تبخیری‌های قاره‌ای سازند سرخ بالایی) و سولفات مشتق شده از اکسایش پیریت‌ها و مواد آلی است.

در مورد عوامل اصلی کنترل‌کننده کانه‌زایی می‌توان به مواردی از جمله وجود افق‌های سرخ رنگ دارای کانی‌های سیلیکاتی (از جمله بیوتیت، پلاژیوکلاز و فلدسپار قلیایی) که به عنوان منشأ فلزات در نظر گرفته می‌شوند، وجود مواد آلی (به عنوان عامل اصلی احیاکننده محیط)، گسل‌ها (برای چرخش و ایجاد مسیر مناسب برای عبور سیال‌ها)، گنبد‌های نمکی (به عنوان منشأ شوره‌ها و چرخش سیال‌ها) و نفوذپذیری سنگ میزبان (برای ته‌نشینی ماده معدنی) اشاره کرد.

۱۱- نتیجه‌گیری

کانه‌زایی مس در منطقه تازه‌کند به شکل چینه‌سان در افق‌های با سنگ میزبان ماسه‌سنگی متعلق به سازند سرخ بالایی به سن میوسن تشکیل شده است. از عوامل مهم تأثیرگذار بر کانه‌زایی مس در این گونه کانسارها می‌توان به نفوذپذیری سنگ میزبان، وجود بقایای گیاهی و گنبد‌های نمکی اشاره کرد. البته وجود گسل‌ها و شکستگی‌ها نیز می‌تواند یکی دیگر از عوامل مؤثر بر گسترش دگرسانی و کانه‌زایی باشد که بهترین نمونه از این مورد حوضه Paradox در ایالت‌های Utah و Colorado آمریکاست که سامانه حرکت سیال‌ها توسط گسل‌ها کنترل می‌شود

مس موجود در شبکه این کانی‌ها می‌تواند منشأ تأمین‌کننده مس سیال کانه‌ساز در کانسارهای مس رسوبی با میزبان ماسه‌سنگی باشد. به باور Brown (2014)، در طی فرایند فرم‌زدگی و تخریب کانی‌های سیلیکاتی، مقدار قابل توجهی مس و دیگر فلزات آزاد می‌شود که می‌تواند منشأ مس برای تشکیل این نوع کانسارها باشد. همچنین، منشأ فلزات در بیشتر کانسارهای مس رسوبی، لایه‌های سرخ موجود در مجاورت این کانسارهاست (Rose, 1976; Brown, 2009). آبشویی فلزات از رسوبات بخش زیرین لایه‌های سرخ، توسط (Rose 1976 & 1989) و Brown (2005 & 2009) و Hitzman et al. (2005 & 2010) برای این نوع از کانسارها پیشنهاد شده است. در طی فرایند انحلال، همه عناصر شیمیایی درون کانی، از جمله عناصری مانند مس، سرب و روی آزاد می‌شوند و در صورت مطلوب بودن شرایط شیمیایی، این فلزات توسط سیال‌ها حمل می‌شوند. به باور Brown (2005) آبشویی حدود 55×10^9 تن رسوبات فرودیواره می‌تواند مقدار مس حدود $1/1 \times 10^6$ تن را در طی بیش از یک میلیون سال فرم‌زدگی تولید کند. مهم‌ترین شکل انتقال مس در محلول‌های کانه‌دار، به صورت کمپلکس‌های کلریدی مانند $CuCl_3^{2-}$ و $CuCl_2^-$ است (Rose, 1976). آبشویی مس از سنگ منشأ در مقادیر pH پایین، می‌تواند توسط رابطه زیر شرح داده شود (Hitzman et al., 2010):



به دنبال این رابطه، باید منشأی برای شورآبه وجود داشته باشد تا مس را انتقال دهد. تبخیری‌هایی که معمولاً به صورت میان‌لایه‌ای همراه با لایه‌های سرخ، به‌ویژه در منطقه تازه‌کند که حتی به صورت رخنمون‌های گنبد‌های نمکی هستند، دیده می‌شوند، منشأ چنین شورآبه‌هایی در نظر گرفته می‌شوند. به باور Brown (2014) مس آزادشده ناشی از دگرسانی کانی‌های سیلیکاتی می‌تواند مستقیماً وارد محلول شود و یا توسط کانی‌های رسی مانند اسمکتیت جذب شود. با گذشت زمان و افزایش دما، اسمکتیت به ایلیت تبدیل می‌شود و از آنجا که ایلیت توانایی نگهداری مس بالایی ندارد، این مس وارد محلول گرمابی می‌شود. همچنین، بخشی از این عناصر نیز توسط هیدروکسید‌های آهن فریک و یا کانی‌های رسی جذب می‌شوند.

در کانسارهای مس نوع Red Bed، در مرحله Syndiagenesis یعنی زمان کمی پس از ته‌نشست رسوبات، پیریت فراموبیدال از ژل سولفیدی ته‌نشست شده به همراه رسوبات، متبلور می‌شود (Love & Brockley, 1973). سپس در مراحل ابتدایی تدفین، کانی‌های سیلیکاتی مانند هورنبلند، بیوتیت و پلاژیوکلاز به همراه مواد آلی آبکافت شده و آهن موجود در شبکه آنها آزاد می‌شود و به صورت هیدروکسید‌های آهن فریک در می‌آید. در ادامه، آهن فریک در پیرامون دانه‌های آواری تجمع می‌یابد و سبب فرم‌زدن رسوبات در مراحل اولیه دیاژنری می‌شود (Walker, 1989). در کانی‌سازی مس منطقه تازه‌کند، بقایای گیاهی فراوان به صورت هم‌روند با لایه‌بندی وجود دارد که می‌توان گفت آب میان‌سازندی تحت تأثیر این مواد آلی، احیا و سبب دگرسانی در افق‌های مختلف (افق‌های دارای بقایای گیاهی) شده است. در طی دیاژنری اولیه، اسید هومیک ایجاد شده در اثر تخریب مواد آلی، برخی از کانی‌های سیلیکاتی را تخریب می‌کند. در اثر این فرایند، عناصر فلزی موجود در شبکه کانی‌های سیلیکاتی، آزاد و توسط هیدروکسید‌های آهن و اسمکتیت موجود در زمینه رسی ماسه‌سنگ جذب می‌شوند (Brown, 2003). با پیشرفت فرایند دیاژنری و تخریب کانی‌ها (از جمله بیوتیت، فلدسپار قلیایی و پلاژیوکلاز)، اسمکتیت به ایلیت تبدیل می‌شود و اکسید‌های آهن از جمله هماتیت تشکیل می‌شوند که در اثر این فرایند، فلزاتی از جمله مس، سرب، روی و نقره از درون این کانی‌ها آزاد و وارد سیال اکسیدان می‌شوند.

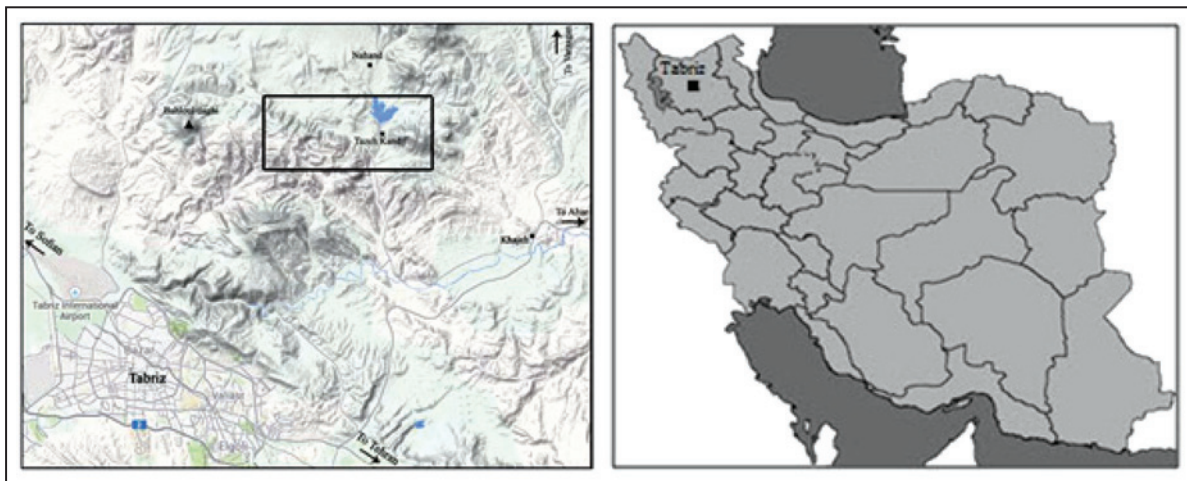
همان‌گونه که در بخش زمین‌شناسی منطقه نیز توضیح داده شد، در این منطقه گنبد‌های نمکی بسیاری (گنبد‌های نمکی خواجه و تازه‌کند) وجود دارند. در اثر بالآمدگی و دیپایرسم گنبد‌های نمکی یاد شده، سیال‌های موجود در پیرامون

همچنین، وجود بافت‌های جانیشینی، شبه‌لامینه‌ای، عدسی شکل و سیمان میان دانه‌ای و نبود بافت‌های هم‌زمان با رسوب‌گذاری، نقش تبدیل و تحولات کانی‌های رسی، دگرسانی و تشکیل پهنه‌های شسته شده (Bleaching)، اکسیدان و احیایی، نقش بقایای گیاهی و نفوذپذیری سنگ میزبان همگی بیانگر تشکیل ماده معدنی در هنگام فرایند دیاژنز است.

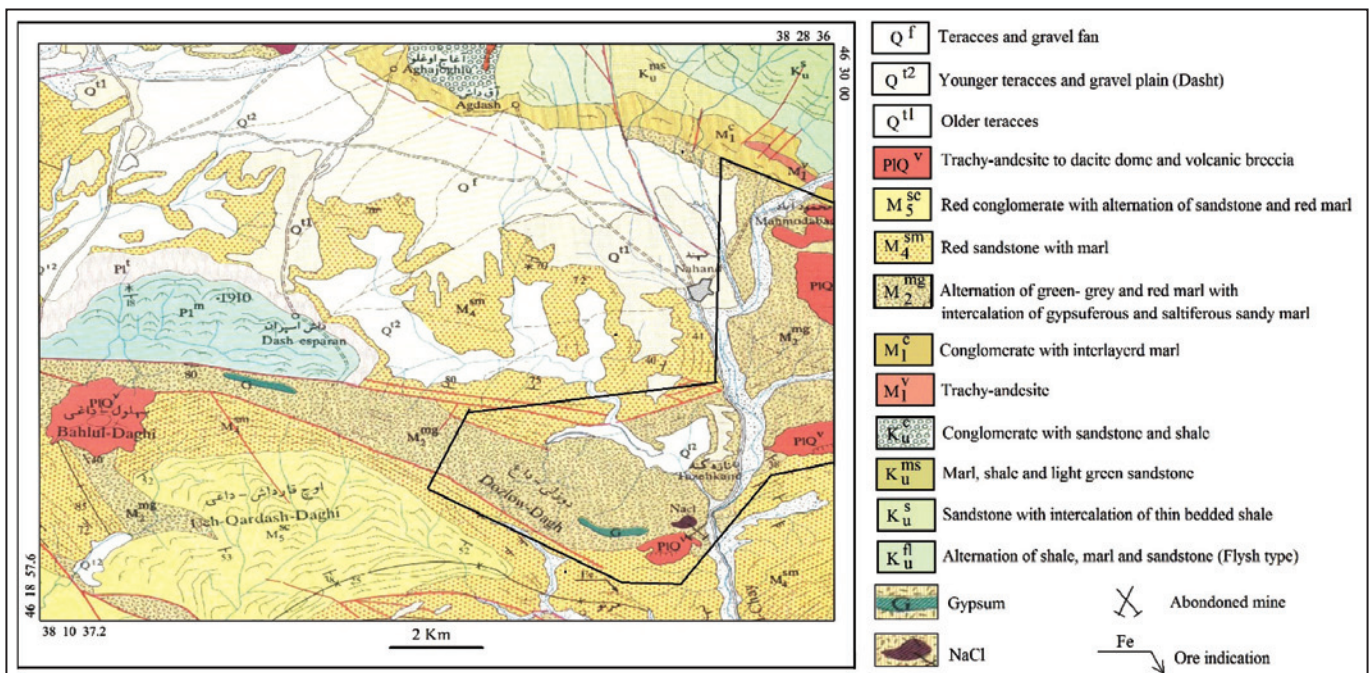
سپاسگزاری

نگارندگان از حمایت‌های دانشگاه شهید بهشتی، به‌ویژه گروه زمین‌شناسی در انجام این پژوهش و از داوران محترم مقاله برای راهنمایی‌های علمی ارزنده‌شان که سبب غنای بیشتر مقاله شدند، سپاسگزاری می‌کنند.

مس با سنگ میزبان رسوبی تازه‌کند، افزون بر نفوذپذیری سنگ میزبان، مواد آلی موجود در پهنه شسته شده، دی‌پیرسم گنبدی‌های نمکی و گسل‌های موجود در منطقه نیز به عنوان مسیر مناسب برای عبور سیال‌ها، نقش اصلی در کانه‌زایی داشته‌اند. این کانه‌زایی از دید سنگ‌شناسی (سنگ میزبان ماسه‌سنگی)، کانی‌شناسی ماده معدنی (کالکوسیت، کوولیت و دیزینیت)، ساخت و بافت (شبه‌لامینه‌ای، عدسی شکل، دانه‌پراکنده، جانیشینی و سیمان میان دانه‌ای)، چینه‌شناسی و عامل‌های کنترل‌کننده کانه‌زایی (وجود آثار و بقایای گیاهی به عنوان عامل اصلی احیاکننده محیط، نفوذپذیری مناسب سنگ میزبان و همچنین به خاطر وجود گنبدی‌های نمکی به عنوان عامل اصلی در چرخش سیال‌ها)، همانند کانسارهای مس رسوبی نوع Red Bed است.



شکل ۱- موقعیت جغرافیایی محدوده مورد مطالعه در شمال خاور تبریز و راه‌های دسترسی به آن.

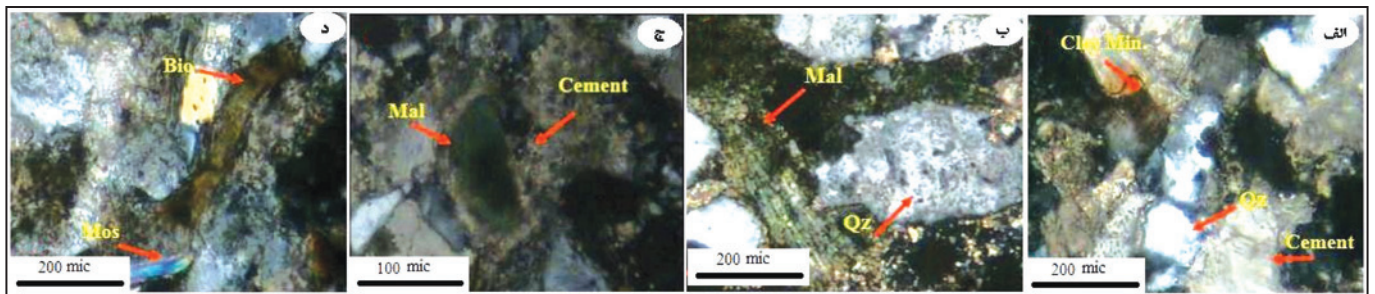
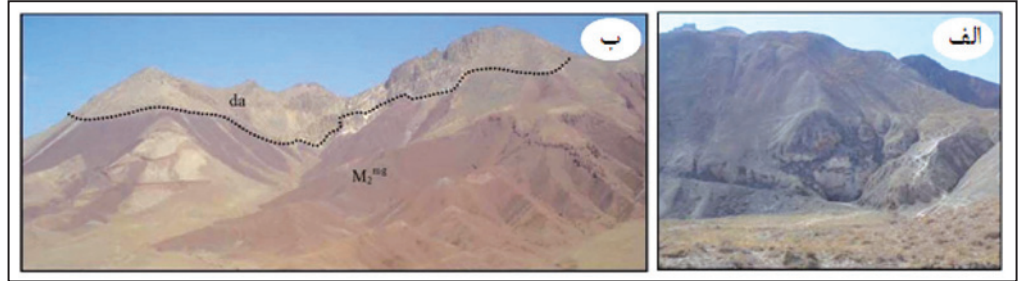


شکل ۲- نقشه زمین‌شناسی منطقه کانه‌زایی مس منطقه تازه‌کند. برگرفته شده از نقشه ۱:۱۰۰۰۰۰ تبریز (اسدیان، ۱۳۷۲). منطقه مورد مطالعه و دارای کانه‌زایی مس با کادر مشکی مشخص شده است.

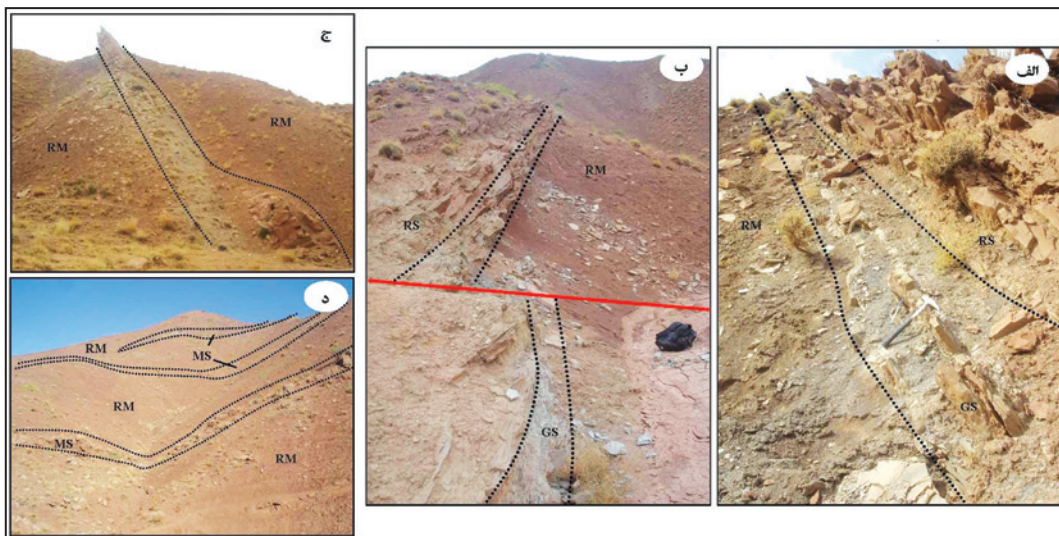
شکل ۳- الف) نمایی نزدیک از اثرات فطرات باران بر واحدهای رسی؛ ب) نمایی نزدیک از قالب‌های وزنی در بخش زیرین ماسه‌سنگ‌ها.



شکل ۴- الف) نمایی از گنبد نمکی موجود در منطقه مورد مطالعه و آثار فعالیت‌های استخراجی در دامنه آن (دید به باختر)؛ ب) نمایی از گنبد داسیتی (da) تزریق شده به درون واحد M_2^{mg} و هاله دگرگونی مجاورتی باریک به رنگ زرد در محل همبری (دید به شمال).



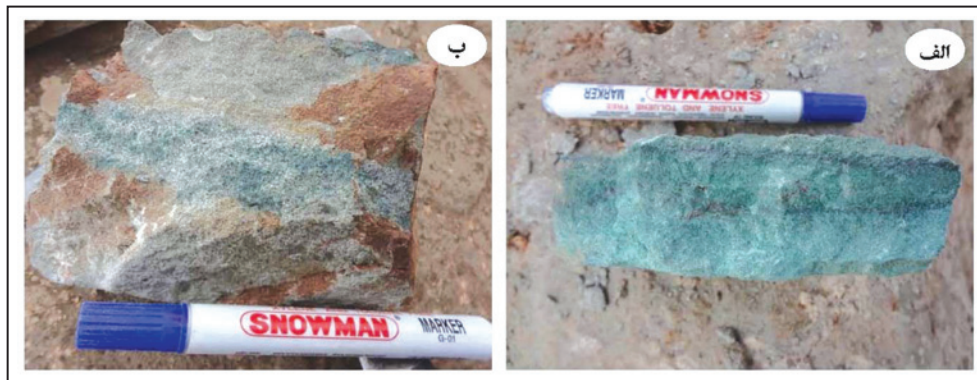
شکل ۵- الف) بلورهای کوارتز و فلدسپار پتاسیم موجود در سیمان کلسیتی و رس؛ ب) بلورهای درشت کوارتز دارای ادخال همراه با بلور ورقه‌ای کلریت و مالاکیت موجود در مرز میان‌بلوری؛ ج) مالاکیت تشکیل شده در مرز میان‌بلوری و در مجاورت با سیمان کلسیتی؛ د) بلورهای ورقه‌ای بیوتیت و مسکوویت به همراه بلورهای کوارتز و فلدسپار. همه تصاویر در نور دوبار پلاریزه عبوری تهیه شده‌اند. (Qz: کوارتز، Mal: مالاکیت، Bio: بیوتیت، Mos: مسکوویت، Clay Min: کانی‌های رسی).



شکل ۶- الف) ماسه‌سنگ‌های احیایی دارای کانه‌زایی مس بر روی مارن‌های سرخ رنگ که به سوی بالا به ماسه‌سنگ‌های سرخ رنگ بدون کانه‌زایی تبدیل می‌شود (دید به باختر)؛ ب) جابه‌جایی توالی ماسه‌سنگ‌های احیایی دارای کانه‌زایی و ماسه‌سنگ‌های سرخ رنگ بدون کانه‌زایی توسط گسل (دید به خاور)؛ ج) لایه ماسه‌سنگی دارای کانه‌زایی مس درون واحدهای مارنی سرخ رنگ (دید به باختر)؛ د) تناوب لایه‌های ماسه‌سنگی دارای کانه‌زایی مس درون مارن‌های سرخ رنگ (دید به شمال). (RS: ماسه‌سنگ سرخ، GS: ماسه‌سنگ سبز- خاکستری (احیایی)، RM: مارن‌های سرخ رنگ، MS: ماسه‌سنگ دارای کانه‌زایی).

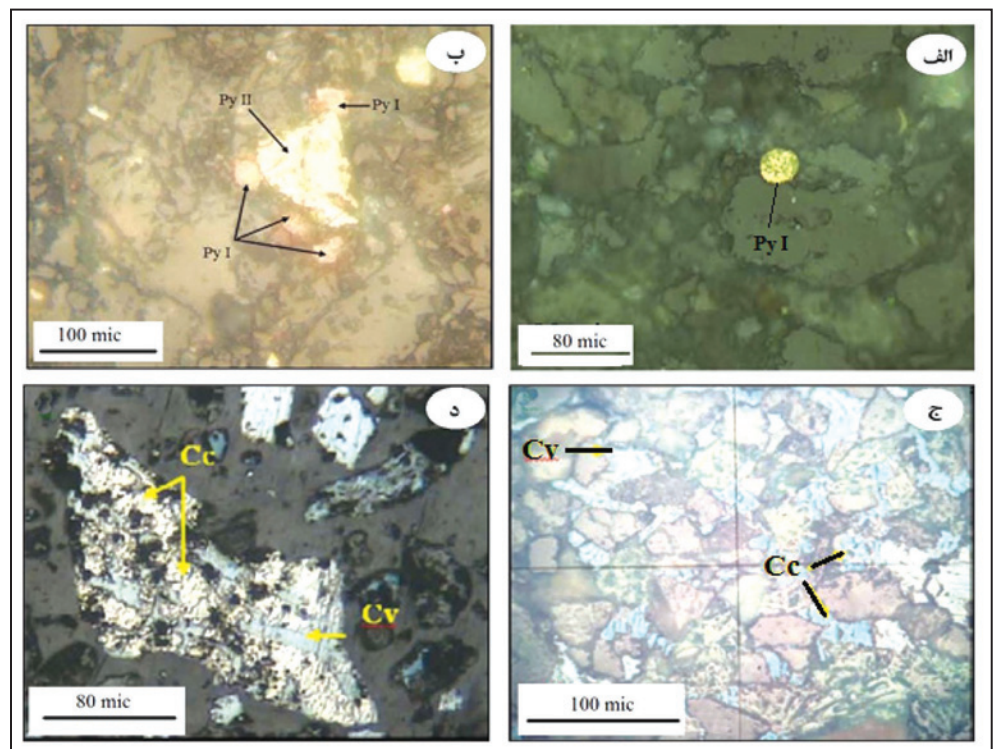


شکل ۷- دو نمای مختلف از بقایای گیاهی و تمرکز مواد آلی در ماسه‌سنگ‌های احیایی که با تمرکز بالای کانه‌زایی مس همراه هستند.



شکل ۸- الف) بافت عدسی شکل در کانه‌زایی مس با سنگ میزبان رسوبی در منطقه تازه‌کند. کانی‌های تیره موجود در عدسی‌ها، کالکوسیت است؛ ب) بافت دانه‌پراکنده کانی‌های سولفیدی از جمله کالکوسیت در سنگ میزبان ماسه‌سنگی در پهنه شسته شده. زمینه سبز رنگ نشانگر تشکیل ملاکیت در زمینه سنگ میزبان است.

شکل ۹- الف) پیریت فرامبوییدال نسل اول (I) موجود در متن ماسه‌سنگ‌ها؛ ب) پیریت نسل دوم (II) در همراهی با پیریت‌های فرامبوییدال نسل اول (I)؛ ج) کالکوسیت و کولیت حاصل از دگرسانی آن که به صورت سیمان بین‌بلوری حضور دارند؛ د) جانشینی کالکوسیت توسط کولیت. همه تصاویر در نور یک‌بار پلاریزه بازتابی تهیه شده‌اند. Py: پیریت، Cv: کولیت، Cc: کالکوسیت.



Minerals and Process	Diagenesis				Supergene and Weathering	
	Syn sedimentary	Early Diagenesis	Middle Diagenesis	Late Diagenesis		
Redding	[Bar spanning Syn sedimentary to Early Diagenesis]					
Calcite Cement		[Bar spanning Early Diagenesis to Middle Diagenesis]				
Organic Destruction		[Bar spanning Early Diagenesis to Middle Diagenesis]				
Porosity Generation		[Bar spanning Early Diagenesis to Middle Diagenesis]				
Bleaching			[Bar spanning Middle Diagenesis to Late Diagenesis]			
Compaction	[Dashed bar spanning Syn sedimentary to Late Diagenesis]					
Iron Oxide	[Bar spanning Syn sedimentary to Early Diagenesis]					
Pyrite-I	[Bar spanning Syn sedimentary to Early Diagenesis]					
Pyrite-II			[Bar spanning Middle Diagenesis to Late Diagenesis]			
Chalcocite			[Bar spanning Middle Diagenesis to Late Diagenesis]			
Digenite			[Bar spanning Middle Diagenesis to Late Diagenesis]			
Covellite			[Bar spanning Middle Diagenesis to Late Diagenesis]		[Bar spanning Supergene and Weathering]	
Malachite			[Bar spanning Middle Diagenesis to Late Diagenesis]		[Bar spanning Supergene and Weathering]	
Goethite			[Bar spanning Middle Diagenesis to Late Diagenesis]		[Bar spanning Supergene and Weathering]	
Lepidocrocite			[Bar spanning Middle Diagenesis to Late Diagenesis]		[Bar spanning Supergene and Weathering]	
Ore Texture	Framboidal			[Bar spanning Middle Diagenesis to Late Diagenesis]		
	Disseminated			[Bar spanning Middle Diagenesis to Late Diagenesis]		
	Solution Seams			[Bar spanning Middle Diagenesis to Late Diagenesis]		
	Replacement			[Bar spanning Middle Diagenesis to Late Diagenesis]		
	Grain Cement			[Bar spanning Middle Diagenesis to Late Diagenesis]		[Bar spanning Supergene and Weathering]
	Relict			[Bar spanning Middle Diagenesis to Late Diagenesis]		[Bar spanning Supergene and Weathering]

شکل ۱۰- توالی پاراژنری و ساخت و بافت کانه‌زایی در منطقه تازه‌کند.

جدول ۱- نتایج تجزیه شیمیایی ۲۲ نمونه برداشت شده از کانه‌زایی مس منطقه تازه‌کند به روش ICP (نتایج بر حسب ppm است).

	KH -1	KH -2	KH -3	KH - 4	KH -5	KH -6	KH -7	KH -8	KH - 9	KH -10	KH -11
Ag	39.30	0.52	6.16	0.46	0.36	4.19	< 0.1	9.04	28.46	0.26	2.64
As	< 0.5	1.34	1.32	0.90	9.32	2.72	4.87	< 0.5	< 0.5	11.12	< 0.5
Cu	17783	2549	7728	799	1746	2763	875	8529	21323	1550	4885
B	19.47	13.00	17.65	15.52	20.58	16.92	16.74	23.14	28.06	22.54	15.98
Ba	618	603	654	609	360	523	796	712	565	786	621
Be	0.96	0.86	1.02	0.78	0.89	1.02	0.91	0.90	0.92	0.91	1.00
Cd	< 0.1	1.00	< 0.1	1.31	2.20	1.15	0.79	< 0.1	< 0.1	0.46	0.92
Ce	35.62	50.32	38.41	39.59	52.11	42.26	44.94	47.54	41.30	47.55	52.15
Co	29.61	25.29	28.31	20.08	30.01	30.78	25.17	26.77	29.78	39.69	19.74
Cr	230	196	166	210	149	220	213	258	245	158	162
Cs	2.88	3.38	2.71	2.67	3.73	3.45	3.24	2.90	3.60	4.23	2.82
Dy	2.64	2.69	2.06	2.22	2.92	2.34	2.61	2.63	2.21	2.51	2.60
Er	1.44	1.85	1.26	1.44	1.55	1.59	1.57	1.59	1.50	1.39	1.74
Eu	1.05	1.37	1.10	1.03	1.14	1.32	1.28	1.33	1.35	1.17	1.33
Ga	6.71	3.96	10.76	13.30	9.95	11.18	6.61	15.10	8.68	16.21	14.28
Gd	2.47	2.86	2.15	2.32	3.40	2.81	2.96	2.64	2.82	3.10	2.87
Ge	0.55	0.94	0.62	0.61	0.70	0.76	0.34	0.43	0.62	0.83	0.76
Hf	3.19	6.30	2.88	6.32	5.31	2.36	9.90	8.33	4.11	5.75	10.59
Ho	0.60	0.60	0.57	0.64	0.79	0.67	0.71	0.73	0.68	0.71	0.80
In	0.32	0.83	0.36	0.44	0.60	0.42	0.63	0.55	0.16	0.44	0.75
La	22.22	25.91	21.71	22.81	26.63	24.95	24.98	25.13	24.11	27.08	29.72
Li	21.62	18.11	22.35	16.40	22.07	25.29	21.68	18.74	21.62	22.60	15.91
Lu	0.12	0.14	0.16	0.13	0.16	0.18	0.14	0.13	0.17	0.20	0.15
Mn	642	805	600	815	786	770	860	770	815	1012	889
Mo	0.77	1.05	0.90	< 0.5	< 0.5	< 0.5	0.60	1.09	1.27	0.70	0.89
Nb	18.30	24.07	16.36	18.32	20.31	20.60	20.44	20.81	19.75	18.58	23.47
Nd	11.81	19.00	10.72	13.65	18.67	16.02	15.66	15.69	11.85	17.27	17.64
Ni	198	118	190	116	176	196	154	152	177	208	102

ادامه جدول ۱

	KH -1	KH -2	KH -3	KH -4	KH -5	KH -6	KH -7	KH -8	KH -9	KH -10	KH -11
P	1017	748	755	521	830	663	579	808	1128	726	724
Pb	15.99	< 0.5	8.06	6.71	< 0.5	4.51	8.05	11.37	11.06	6.35	2.86
Pr	3.45	3.13	3.22	2.93	3.74	3.81	3.40	2.88	3.59	4.01	3.27
Rb	93.50	60.52	104	97.77	95.43	89.90	111	108	93.78	56.59	105
Sc	9.08	8.10	9.56	7.94	9.84	10.20	9.63	9.35	9.95	10.28	9.34
Se	0.26	0.15	0.27	0.20	0.18	0.20	0.17	0.29	0.16	0.16	0.26
Sm	3.76	4.96	3.31	4.37	5.47	4.51	4.54	4.27	4.65	4.64	4.99
Sn	0.86	0.91	0.90	0.80	1.05	1.10	0.95	0.92	1.09	1.17	0.88
Sr	4189	292	335	372	323	310	353	323	360	352	325
Ta	0.72	1.94	0.97	0.66	1.35	2.05	2.06	1.87	1.71	0.87	0.87
Tb	0.15	0.16	0.23	0.12	0.22	0.24	< 0.1	0.15	0.23	0.33	0.23
Te	0.23	0.26	0.25	0.23	0.29	0.32	0.28	0.26	0.32	0.34	0.26
Th	5.05	8.14	3.62	5.74	6.09	3.54	10.41	5.16	7.97	6.48	5.68
Ti	3143	4088	2833	3120	3507	3491	3442	3529	3349	3182	4127
Tm	0.94	1.01	0.98	0.90	0.77	1.14	1.14	1.10	1.30	0.94	1.12
U	4.21	3.24	3.23	2.58	3.86	3.34	3.26	3.38	3.23	3.81	3.56
V	83.32	76.38	93.90	66.88	81.95	88.24	78.01	91.10	104	86.45	88.22
W	10.28	2.66	5.02	2.15	2.33	2.21	1.33	5.62	11.89	2.17	3.25
Y	16.69	20.73	15.90	17.46	20.55	18.38	19.42	19.34	18.66	18.98	21.02
Yb	1.56	1.91	1.59	1.67	1.91	1.79	1.87	1.97	1.74	1.80	1.86
Zn	84.70	34.73	77.33	33.64	44.87	55.31	56.74	64.52	113	46.33	45.63
Zr	95.51	116	99.22	90.04	107	111	113	108	108	99.79	111

	KH -12	KH -13	KH -14	KH -15	KH -16	KH -17	KH -18	KH -19	KH -20	KH -21	KH -22
Ag	40.85	34.03	19.86	2.69	5.01	< 0.1	3.82	18.86	< 0.1	22.66	23.13
As	35.97	19.18	2.60	4.58	45.32	13.21	2.36	7.05	2.64	5.95	8.96
B	20.49	21.20	18.20	21.71	24.11	27.62	13.26	23.60	15.65	30.62	19.99
Ba	595	530	473	558	402	216	413	457	747	534	757
Be	1.14	1.14	0.70	0.70	0.82	0.97	0.73	0.99	0.82	1.32	0.98
Cd	3.52	1.09	2.34	1.41	1.28	1.12	< 0.1	1.68	2.29	0.39	1.41
Ce	55.09	52.56	43.34	49.90	51.40	67.50	49.83	45.62	30.29	47.34	34.43
Co	43.56	46.45	24.85	25.28	27.20	23.02	19.65	30.75	28.03	43.79	37.90
Cr	164	221	176	117	147	77.53	245	179	170	148	244
Cs	4.97	4.29	2.64	3.63	4.01	5.09	2.81	3.64	2.87	4.10	3.44
Cu	6229	7749	11270	2320	11108	153	4922	11820	273	4701	4809
Dy	2.94	3.31	2.50	2.98	2.72	3.68	2.62	2.38	1.61	2.51	2.08
Er	1.66	1.80	1.20	1.28	1.29	1.13	1.38	1.47	1.12	1.56	1.24
Eu	1.40	1.37	1.45	1.54	1.52	1.40	1.49	1.30	1.02	1.43	1.20
Ga	13.67	8.46	9.78	9.32	14.63	12.01	10.67	12.97	12.76	18.18	7.97
Gd	3.85	3.51	2.34	2.62	3.41	3.87	2.81	2.62	2.12	3.27	2.49
Ge	1.03	0.79	0.69	0.87	0.91	0.92	0.47	0.66	0.58	1.07	0.76
Hf	5.78	2.95	6.76	3.89	3.80	3.58	6.33	4.69	9.53	8.03	3.23
Ho	0.77	0.84	0.75	0.93	0.86	1.10	0.79	0.77	0.57	0.74	0.65
In	0.54	0.63	0.45	0.50	0.52	1.58	0.53	0.31	0.19	0.35	0.42
La	31.27	31.93	26.03	28.98	28.37	42.02	27.48	27.77	18.82	27.97	23.53
Li	19.26	26.87	16.18	17.29	14.43	12.70	9.40	19.82	16.53	27.52	20.15
Lu	0.36	0.25	0.10	0.13	0.17	0.18	0.09	0.17	0.11	0.23	0.16
Mn	976	949	937	980	1055	2149	888	664	597	584	663
Mo	2.31	1.05	0.63	0.91	3.44	1.01	0.76	< 0.5	< 0.5	0.85	1.41
Nb	22.81	24.73	16.31	17.64	17.72	15.77	19.03	20.43	16.17	22.19	17.83
Nd	19.74	14.85	16.72	20.76	20.70	23.48	16.56	14.93	11.20	16.01	13.59
Ni	141	224	179	141	116	102	101	198	190	210	222
P	750	893	794	734	849	624	582	1028	459	832	655
Pb	48.46	33.28	5.03	10.00	39.52	33.27	< 0.5	11.35	< 0.5	12.33	10.88
Pr	5.07	4.58	2.34	2.76	3.43	3.72	2.30	2.69	2.57	3.30	2.82
Rb	111	118	89.41	102.35	123	89.64	101	121	125	110	139
S	4877	3893	309	1420	874	718	218	1625	844	2807	1851
Sc	10.75	12.01	8.28	8.94	8.89	9.69	7.66	9.83	8.19	13.92	9.84
Se	0.21	0.28	0.18	0.29	0.12	0.16	0.30	0.25	0.20	0.15	0.23
Sm	4.56	4.74	4.27	4.67	4.31	5.74	4.84	3.16	3.54	3.77	3.41
Sn	1.66	1.36	0.69	0.90	1.08	1.07	0.66	0.96	0.71	1.27	0.93
Sr	407	319	297	331	321	445	242	373	370	4608	371
Ta	2.60	1.05	0.18	2.45	0.54	1.52	0.33	0.70	0.19	2.51	1.15
Tb	0.55	0.41	< 0.1	0.08	0.22	0.24	0.15	0.34	< 0.1	0.34	0.25

ادامه جدول ۱

	KH -12	KH -13	KH -14	KH -15	KH -16	KH -17	KH -18	KH -19	KH -20	KH -21	KH -22
Te	0.49	0.42	0.21	0.26	0.34	0.34	0.21	0.29	0.24	0.39	0.30
Th	10.94	8.73	3.90	4.37	6.64	7.17	6.14	4.37	4.10	9.15	6.70
Ti	3907	4304	2836	3103	3075	2785	3309	3511	2870	3907	3088
Tm	1.37	1.31	0.82	1.05	1.06	1.29	0.99	1.20	0.85	1.34	1.26
U	4.78	4.03	2.86	2.87	4.19	4.28	3.03	3.37	2.37	6.10	3.42
V	96.29	107	64.99	68.34	72.75	76.70	62.51	99.49	71.28	127	110
W	3.69	4.30	6.35	2.27	6.59	1.72	3.25	6.87	1.17	3.09	3.12
Y	22.11	22.98	19.00	20.44	21.72	30.64	19.81	18.95	14.39	19.77	16.45
Yb	2.06	2.08	1.61	1.73	1.81	2.27	1.53	1.74	1.38	1.95	1.62
Zn	55.80	78.11	62.76	50.63	63.34	39.13	34.92	74.25	34.10	67.79	60.78
Zr	124	136	82.89	87.93	97.89	79.52	86.60	107	77.01	125	93.22

جدول ۲- همبستگی میان برخی عناصر به ویژه عناصر پارائزنی در کانه‌زایی مس تازه کند.

	Ag	As	Cu	S	Pb	Zn	Be	Co	Mn	Mo	Ni	Rb	Sc	Sr
Ag	1													
As	0.23	1												
Cu	0.67	0.03	1											
S	0.79	0.53	0.28	1										
Pb	0.50	0.84	0.20	0.77	1									
Zn	0.68	0.01	0.86	0.35	0.24	1								
Be	0.50	0.20	0.08	0.58	0.39	0.36	1							
Co	0.62	0.41	0.09	0.69	0.44	0.36	0.72	1						
Mn	-0.21	0.32	-0.24	0.04	0.47	-0.27	-0.10	-0.19	1					
Mo	0.26	0.84	0.28	0.43	0.74	0.19	0.10	0.21	0.21	1				
Ni	0.34	-0.16	0.22	0.15	-0.16	0.47	0.38	0.60	0.57	-0.28	1			
Rb	0.33	0.25	0.22	0.36	0.23	0.28	0.15	0.19	-0.32	0.25	0.22	1		
Sc	0.45	0.23	0.05	0.54	0.36	0.40	0.88	0.81	-0.05	0.08	0.43	0.12	1	
Sr	0.44	-0.14	0.29	0.34	0.03	0.29	0.45	0.28	-0.26	-0.08	0.32	0.015	0.44	1

جدول ۳- مقایسه ویژگی‌های کانه‌زایی مس تازه کند با کانسارهای مس رسوبی نوع Red Bed

منطقه مورد مطالعه	Red Bed Cu deposit	سن
میوسن	Neoproterozoic-Late Mesozoic- Early Cenozoic	
محیط کشتی و نواحی دارای گنبد نمکی	محیط کشتی و یا کافت، نواحی دارای گنبد نمکی	موقعیت زمین ساختی
محیط‌های ساحلی و کم‌ژرفا (کشنده)	محیط‌های ساحلی و کم‌ژرفا	محیط ته‌نشست
چینه کران، عدسی و هم‌روند با لایه‌بندی	عدسی و هم‌روند با لایه‌بندی	ژئومتری
توالی تخریبی سرخ رنگ شامل مارن و ماسه‌سنگ	توالی تخریبی سرخ رنگ شامل ماسه‌سنگ و کنگلومرا	سنگ میزبان
کالکوسیت، دیژنیت، پیریت، کوولیت، مالاکیت	کالکوسیت، کوولیت، پیریت، مس و نقره طبیعی (اسفالریت و گالن)	کانی شناسی
توالی تخریبی سرخ رنگ	توالی تخریبی سرخ رنگ	منبع تأمین کننده مس
Bleaching	Bleaching	دگرسانی
بقایای گیاهی و پیریت	بقایای گیاهی و پیریت (با گسترش کم)	عامل احیا کننده
وجود عامل احیا کننده (بقایای گیاهی) وجود گنبد‌های نمکی و نفوذپذیری سنگ میزبان	وجود عامل احیا و نفوذپذیری سنگ میزبان	عوامل کنترل کننده کانه‌زایی
Ag	Ag, Pb, Zn, U, Co	عناصر همراه
پژوهش حاضر	Cox et al. (1991); Woodward et al. (1974); Avila-Salinas (1990); Thorson (2004); Flint (1989)	منبع

جدول ۴- مقایسه ویژگی‌های کانی‌سازی مس منطقه تازه‌کند با کانسارهای مس رسوبی نوع Red Bed در ایران و جهان.

موقعیت	تازه‌کند	مارکشه	Nacimiento	چهرگان
شمال تبریز- ایران	شمال باختر راور- ایران	شمال باختر راور- ایران	نیومکزیکو- آمریکا	شمال باختر تسوج- ایران
سن	میوسن	ژوراسیک- کرتاسه	تریاس	میوسن
عناصر معدنی	Cu-Ag	Cu-Ag	Cu-Ag	Cu
موقعیت زمین‌ساختی	محیط کشتی	محیط کشتی	کافت و محیط کشتی	محیط کشتی
محیط ته‌نشست	کشتندی	کشتندی	کم ژرفا	کم ژرفا
ژئومتری	چینه کران و هم‌روند با لایه‌بندی	عدسی و هم‌روند با لایه‌بندی	عدسی و هم‌روند با لایه‌بندی	عدسی و هم‌روند با لایه‌بندی
سنگ میزبان	ماسه سنگ	ماسه سنگ و کنگلومرا	ماسه سنگ و کنگلومرا	ماسه سنگ
کانی‌شناسی کانسنگ	کالکوسیت، دیژنیت، کوولیت، پیریت و مالاکیت	کالکوسیت، کوولیت، بورنیت، کالکوپیریت، مالاکیت، آزوریت، تنوریت، آرژانتیت و کریزوکولا	کالکوسیت، بورنیت، کالکوپیریت، مالاکیت، آزوریت، تنوریت و آرژانتیت	کالکوسیت، کوولیت، مالاکیت و آزوریت
ساخت و بافت	دانه پراکنده، عدسی شکل، جانشینی، سیمان بین دانه‌ای	دانه پراکنده، جانشینی، Solution seam	دانه پراکنده، جانشینی	دانه پراکنده، جانشینی
دگرسانی	Bleaching	Bleaching	Bleaching	Bleaching
عامل احیاء‌کننده	بقایای گیاهی و پیریت دیاژنزی	بقایای گیاهی و پیریت دیاژنزی	بقایای گیاهی و پیریت دیاژنزی	بقایای گیاهی و پیریت دیاژنزی
عوامل کنترل‌کننده کانه‌زایی	وجود عامل احیاء‌کننده و نفوذپذیری سنگ میزبان	وجود عامل احیاء‌کننده و نفوذپذیری سنگ میزبان	وجود عامل احیاء‌کننده و نفوذپذیری سنگ میزبان	وجود عامل احیاء‌کننده و نفوذپذیری سنگ میزبان
نوع کانه‌زایی	Red Bed SHC	Red Bed SHC	Red Bed SHC	Red Bed SHC
منبع	پژوهش حاضر	مهدوی و همکاران (۱۳۸۶)	Woodward et al. (1974)	پناه‌زاده (۱۳۸۹)

کتابنگاری

- ابراهیمی، م. و موسوی مطلق، س. ه.، ۱۳۹۱- مطالعه نهشته مس رسوبی در منطقه حلب، جنوب باختر زنجان، چهارمین همایش انجمن زمین‌شناسی اقتصادی ایران، دانشگاه بیرجند. اسدیان، ع.، ۱۳۷۲- نقشه زمین‌شناسی ۱:۱۰۰۰۰۰ تبریز، سازمان زمین‌شناسی و اکتشافات معدنی کشور.
- آفازاده، م. و بدرزاده، ز.، ۱۳۸۹- معرفی افق‌های کانه‌زایی مس رسوبی در ایران، بیست و نهمین گردهمایی علوم زمین بهمن، سازمان زمین‌شناسی و اکتشاف مواد معدنی کشور.
- آفانباتی، ع.، ۱۳۸۳- زمین‌شناسی ایران، سازمان زمین‌شناسی و اکتشافات معدنی کشور، ۶۰۶ ص.
- بیکدلی، ز.، ابراهیمی، م.، نباتیان، ق. و مختاری، م. ع. ا.، ۱۳۹۴- کانه‌زایی، کانی‌شناسی، ساخت و بافت کانسار مس رسوبی چهرآباد، شمال باختر زنجان، فصلنامه علوم زمین، سال ۲۴، شماره ۹۶، صص. ۲۴۹ تا ۲۶۲.
- بیکدلی، ز.، ابراهیمی، م.، نباتیان، ق. و مختاری، م.، ۱۳۹۲- کانی‌شناسی، ساخت و بافت ماده معدنی در کانسار مس رسوبی چهرآباد، شمال باختر زنجان، بیست و یکمین همایش بلورشناسی و کانی‌شناسی ایران، دانشگاه سیستان و بلوچستان.
- پناه‌زاده، م.، ۱۳۸۹- بررسی زمین‌شناسی اقتصادی لایه‌های رسوبی مس دار در روستای چهرگان، تسوج، استان آذربایجان خاوری، پایان‌نامه کارشناسی ارشد دانشگاه تبریز، ۲۲۵ صفحه.
- ساداتی، س. ن.، ۱۳۹۳- کانی‌شناسی، ژئوشیمی و ژنز کانی‌زایی مس در سنگ‌های رسوبی شمال تبریز (استان آذربایجان شرقی) شمال باختر ایران، رساله دکترای زمین‌شناسی اقتصادی، دانشگاه شهید بهشتی، ۱۶۶ ص.
- سامانی، ب.، ۱۳۸۹- گزارش نهایی کانه‌زایی مس رسوبی چشمه سفید عشق‌آباد، شرکت آتی کان آرمان.
- سپهری‌راد، ر. و فتحی‌جو، د.، ۱۳۹۰- گزارش پی‌جویی مس رسوبی در جنوب زنجان، سازمان زمین‌شناسی و اکتشافات معدنی کشور.
- عنایتی کولایی، س.، ۱۳۹۱- ژنز و کانی‌شناسی مس رسوبی در منطقه تازه‌کند، تبریز، پایان‌نامه کارشناسی ارشد، دانشکده علوم زمین، دانشگاه شهید بهشتی.
- عنایتی کولایی، س.، یزدی، م. و مختاری، م. ع. ا.، ۱۳۹۰الف- کانی‌سازی مس در سنگ‌های رسوبی میوسن در منطقه تازه‌کند، شمال تبریز، سی‌امین گردهمایی علوم زمین، سازمان زمین‌شناسی و اکتشافات معدنی کشور.
- عنایتی کولایی، س.، یزدی، م. و مختاری، م. ع. ا.، ۱۳۹۰ب- کانی‌شناسی و ژئوشیمی مس رسوبی در منطقه تازه‌کند، شمال تبریز، چهارمین همایش ملی زمین‌شناسی اقتصادی، دانشگاه آزاد اسلامی واحد خوراسگان.
- موسوی حرمی، ر.، ۱۳۷۷- رسوب‌شناسی، انتشارات آستان قدس رضوی، ۴۷۴ ص.

مهدوی، ا.، راستاد، ا. و حسینی برزی، م.، ۱۳۸۶- کانی‌شناسی، ساخت و بافت افق‌های کانه‌دار کانسار مس رسوبی مارکشه (Redbed Type) در شمال باختر راور، بیست و ششمین گردهمایی علوم زمین، سازمان زمین‌شناسی و اکتشافات معدنی کشور.

نقی‌زاده، ر.، شیوا، ع.، دری م. ب. و ریاضی، ن.، ۱۳۸۶- بررسی صحرایی کانی‌سازی مس در منطقه تسوج استان آذربایجان خاوری، بیست و ششمین گردهمایی علوم زمین، سازمان زمین‌شناسی و اکتشافات معدنی کشور.

نقی‌زاده، ر.، ۱۳۸۸- گزارش اکتشاف مقدماتی مس رسوبی در آذربایجان، سازمان زمین‌شناسی و اکتشافات معدنی کشور، مرکز تبریز.

References

- Asael, D., Matthews, A., Oszczepalski, S., Bar-Matthews, M. & Halicz, L., 2009- Fluid speciation controls of low temperature copper isotope fractionation applied to the Kupfer-Schiefer and Timna ore deposit. *Chemical Geology*, 262: 147- 158.
- Avila-Salinas, W., 1990- Origin of the copper ore at Corocoro, Bolivia in Fontbote, Amstutz. In: Cardozo, G.C., Cedillos, M. and Frutas, J., (Eds.), *Strata-bound Ore Deposits of the Andes*, Berlin- Heidelberg, Springer Verlag, 659-670.
- Boyle, R. W., Brown, A. C., Jefferson, C. W., Jowett, E. C. & Kirkham, R. V., 1989- Sediment-hosted stratiform copper deposits. *Geological Association of Canada, Special Paper*, 36: 710 pp.
- Brown, A. C., 1997a- World-class sediment-hosted stratiform copper deposits: characteristics, genetic concepts and metallotects. *Australian Journal Earth Science*, 44: 317-328.
- Brown, A. C., 1997 b- Global-scale constraints on the formation of sediment-hosted stratiform copper deposits. *Proceedings, International Cornet symposium, Mons*, 93-102.
- Brown, A. C., 2003- Red beds: source of metals for sediment-hosted stratiform copper, sandstone copper, sandstone lead, and sandstone uranium-vanadium deposits. *Geological Association of Canada, Geotext*, 4:121-133.
- Brown, A. C., 2005- Refinements for footwall red-bed diagenesis in the sediment-hosted stratiform copper deposits model. *Economic Geology*, 100: 765-771.
- Brown, A. C., 2006- Genesis of native copper lodes in the Keweenaw district, northern Michigan: A hybrid evolved meteoric and metamorphogenic model. *Economic Geology*, 101: 1437-1444.
- Brown, A. C., 2009- A process-based approach to estimating the copper derived from red beds in the sediment-hosted stratiform copper deposit model. *Economic Geology*, 104: 857-868.
- Brown, A. C., 2014- Low-temperature sediment-hosted copper deposits. Reference Module in Earth Systems and Environmental Sciences, from *Treatise on Geochemistry (Second Edition)*, 13: 251-271.
- Cailteux, J. L. H., Kampunzu, A. B., Lerouge, C., Kaputo, A. K. & Milesi, J. P., 2005- Genesis of sediment-hosted stratiform copper-cobalt deposits, Central African Copper belt. *Journal of African Earth Sciences*, 42: 134-158.
- Cox, D. P., Carrasco, R., André-Ramos O., Hinojosa-Velasco, A. & Long, K. R., 1991- Copper deposits in sedimentary rocks in U.S. In: Bleiwas, D.I. and Christiansen, R.G., (Eds.), *Geology and Mineral resources of the Altiplano and Cordillera Occidental, Bolivia with a section on Application of economic evaluations to deposit models*; Geological Survey and Servicio Geológico de Bolivia, *Geological Survey Bulletin*, 95-108.
- Cox, D. P., Lindsey, D. A., Singer, D. A. & Diggles, M. F., 2007- Sediment-hosted copper deposits of the world: deposit models and database. U.S. Geological Survey, Open-file report, N. 03.
- Durieux, C. G. & Brown, A. C., 2007- Geological context, mineralization, and timing of the Juramento sediment-hosted stratiform copper-silver deposit, Salta district, northwestern Argentina. *Mineralium Deposita*, 42: 879-899.
- Flint, S. S., 1989- Sediment-hosted strata-bound copper deposits of the Central Andes. In: Boyle, R.W., Brown, A.C., Jefferson, C.W., Jowett, E.C., and Kirkham, R.V., (Eds.), *Sediment-hosted stratiform copper deposits*, Geological Association of Canada Special Paper, 36: 371-400.
- Folk, R. L., 1980- *Petrology of Sedimentary Rocks*. Hemphill's Book Store. Austin, Texas, 185pp.
- Hahn, G. A. & Thorson, J. P., 2005- *Geology of the Lisbon Valley sandstone-hosted disseminated copper deposits, San Juan County, Utah*. Utah Geological Association Publication, 32.
- Hitzman, M. W., Shelley, D. & Bull, S., 2010- Formation of sedimentary rock-hosted stratiform copper deposits through earth history. *Economic Geology*, 105: 627-639.
- Hitzman, M., Kirkham, R., Broughton, D., Thorson, J. & Shelley, D., 2005- The sediment-hosted stratiform copper ore system. In: Thompson, J.F.H., Goldfarb, R.J. and Richards, J.P. (Eds.), 100th Anniversary volume. Society of Economic Geologists, 609-642.
- Kirkham, R. V., 1989- Distribution, setting and genesis of sediment-hosted stratiform copper deposits. In: Boyle, R.W., Brown, A. C., Jefferson, C. W., Jowett, E. C. and Kirkham, R. V., (Eds.), *Sediment hosted stratiform copper deposits*. Geological Association of Canada, Special Paper, 36: 3-38.
- Kirkham, R. V., 1995- Sediment-hosted stratiform copper. *Geological Survey of Canada, Geology of Canada*, 8: 223-240.

- Love, L. G. & Brockley, H., 1973- Peripheral radial texture in framboids of poly-framboidal pyrite. *Fortschr. Miner*, 50: 264-269.
- MacIntyre, T. J., 2005- Fault-controlled hydrocarbon-related bleaching and sediment-hosted copper mineralization of the Jurassic Wingate sandstone at the Cashin Mine, Montrose County, Colorado. Unpublished M.Sc. thesis, Department of Geology and Geological Engineering.
- Rose, A. W., 1976- The effect of cuprous chloride complexes in the origin of red-bed copper and related deposits. *Economic Geology*, 71: 1036-1048.
- Rose, A. W., 1989- Mobility of copper and other heavy metals in sedimentary environments. *Geological Association of Canada, Special Paper*, 36: 97-110.
- Sadati, N., Yazdi, M., Behzadi, M., Adabi, M. H. & Mokhtari, M. A. A., 2013- Identification of structural factors for exploring of stratiform copper deposits using ETM+ data in the north of Tabriz, NW Iran. *Int. Geoinf. Res. Dev. J.*, 4 (1): 53-64.
- Sadati, S. N., Yazdi, M., Mao, J., Behzadi, B., Adabi, M. H., Lingang, X., Zhenyu, C. & Mokhtari, M. A. A., 2016- Sulfide mineral chemistry investigation of sediment-hosted stratiform copper deposits, Nahand-Ivand area, NW Iran. *Ore Geology Reviews*, 72:760-776.
- Singer, D. A., 1995- World-class base and precious metal deposits: a quantitative analysis. *Economic Geology*, 90: 88-104.
- Subias, I., Fanlo, I. & Mateo, J., 2003- A model for the diagenetic formation of sandstone-hosted copper deposits in Tertiary sedimentary rocks, Aragón (NE Spain): S/C ratios and sulphur isotope systematic. *Ore Geology Reviews*, 23: 55-70.
- Thorson, J. P., 2004- Paradox Basin sandstone-hosted copper deposits generated by two episodes of basinal fluid expulsion. *Geological Society of America, Abstracts with Programs*, 36: 517.
- Walker, T. R., 1989- Application of diagenetic alterations in red beds to the origin of copper in stratiform copper deposits. *Geological Association of Canada, Special Paper*, 36: 85-96.
- Woodward, L. A., Kaufman, W. H., Schumacher, O. L. & Talbot, L. W., 1974- Strata-bound copper deposits in Triassic sandstone of Sierra Nacimiento, New Mexico. *Economic Geology*, 69(1): 108-120.

Geology, mineralogy and genesis of stratiform Cu mineralization in the Tazeh-Kand area, Northeast of Tabriz

S. Enayati Kolaie ¹, M. Yazdi ² & M. A. A. Mokhtari ^{3*}

¹ M.Sc., Department of Geology, Faculty of Earth Sciences, Shahid Beheshti University, Tehran, Iran

² Associate Professor, Department of Geology, Faculty of Earth Sciences, Shahid Beheshti University, Tehran, Iran

³ Assistant Professor, Department of Geology, Faculty of Sciences, University of Zanjan, Zanjan, Iran

Received: 2015 February 07

Accepted: 2015 November 17

Abstract

Tazeh-Kand Cu mineralization area is located in ~20 km northeast of Tabriz, eastern Azarbaijan province. The area is a part of Central Iranian geo-structural zone in the eastern margin of the Tabriz 1:100000 geological map. Lithological units in this area composed of green-grey sandstones (redox zone), red sandstones and marl (oxidized zone), salt domes and conglomerate (Miocene) along with dacitic domes (Pliocene). Based on petrographical investigations, the host sandstones are sub- mature to immature lithic arkos and were deposited in a tidal environment. Cu mineralization in this area occurred as stratiform type within the redoxed sandstones. The thickness of mineralized horizons vary between 30cm to 1m which are crops out up to 500m in some horizons. Concentration of Cu mineralization has direct relation with organic matter concentration. Mineralized horizons composed of three zones include: mineralized redox zone, bleached zone and red oxidized zone. Mineralogical investigations show that this mineralization composed of primary sulfide minerals include pyrite, chalcocite and digenite along with supergene minerals include covellite, malachite and Fe- hydroxides. Texturally, these minerals present as lenticular, disseminated, replacement, inter- grain cement and solution seems textures. According to petrographical and mineralogical results such as pyrite and primary chalcocite bearing redox sandstone, structural and textural evidences, stratigraphy, mineralization controlling factors, presence of organic matter as a redox material, permeability of host rock and salt diapirism, mineralization in the Tazeh-Kand area is mostly similar to RedBed type mineralization which is formed during the early to late diagenesis.

Keywords: Upper Red Formation, Red Bed copper mineralization, Stratiform, Tazeh- Kand, Tabriz.

For Persian Version see pages 195 to 208

*Corresponding author: M. A. A. Mokhtari; E-mail: amokhtari@znu.ac.ir