

کانه زایی، کانی‌شناسی، ساخت و بافت کانسار مس رسوبی چهر آباد، شمال باختر زنجان

زیبا بیکدلی^۱، محمد ابراهیمی^{۲*}، قاسم نبائیان^۲ و میرعلی اصغر مختاری^۲

^۱ دانشجوی کارشناسی ارشد، گروه زمین‌شناسی، دانشکده علوم، دانشگاه زنجان، زنجان، ایران
^۲ استادیار، گروه زمین‌شناسی، دانشکده علوم، دانشگاه زنجان، زنجان، ایران

تاریخ دریافت: ۱۳۹۳/۰۲/۳۱ تاریخ پذیرش: ۱۳۹۳/۱۲/۱۰

چکیده

کانسار مس چهرآباد در استان زنجان و در گوشه شمال باختری پهنه ایران مرکزی واقع شده است. واحدهای سنگی موجود در این منطقه متعلق به سنوزویک (بیشتر میوسن) بوده که شامل سازند سرخ زیرین، سازند قم، سازند سرخ بالایی و نهشته‌های کواترنری هستند. در منطقه مورد مطالعه، سازند سرخ بالایی که میزبان کانه‌زایی به‌شمار می‌رود، شامل تناوبی از مارن، سیلت‌سنگ، ماسه‌سنگ اکسیدان سرخ و ماسه‌سنگ خاکستری روشن است. کانه‌زایی مس در بخش‌های دارای مواد آلی درون ماسه‌سنگ‌های خاکستری پهنه شسته شده رخ داده است. در کانسار مس چهرآباد ۵ افق کانه‌زایی شناسایی شد و هر یک از این افق‌ها شامل سه پهنه کانه‌زایی شده، شسته شده و سرخ اکسیدان است. بافت چیره در رخدادهای کانه‌زایی، بافت جانشینی است و بافت‌های دیگری مانند دانه پراکنده، شبه‌لامینه‌ای، عدسی شکل و سیمان میان‌دانه‌ای نیز دیده می‌شوند. این کانسار از دید سنگ‌شناسی (سنگ میزبان ماسه‌سنگی)، کانی‌شناسی سولفیدی (از جمله پیریت، کالکوسیت اولیه، بورنیت، کالکوپیریت و آرژنتیت)، ساخت و بافت، چینه‌شناسی و عوامل کنترل کننده کانه‌زایی (وجود آثار و بقایای گیاهی به عنوان عامل اصلی احیا کننده محیط و همچنین وجود نفوذپذیری مناسب در سنگ میزبان) همانند کانسارهای مس رسوبی نوع Red Bed است که طی دیاژنز اولیه تا نهایی تشکیل شده است.

کلیدواژه‌ها: سازند سرخ بالایی، ساخت و بافت، مس رسوبی نوع Red Bed، چهرآباد، زنجان.

*نویسنده مسئول: محمد ابراهیمی

E-mail: ebrahimi@znu.ac.ir

۱- پیش‌نوشتار

کانسارهای مس با میزبان رسوبی در محیط‌های دریایی یا دلتایی غیر آتشفشانی یافت می‌شوند. این نهشته‌ها از دید زمانی و مکانی، توزیع گسترده‌ای از پروتروزویک تا سنوزویک دارند و ذخیره آنها می‌تواند از اندازه‌های نیمه‌اقتصادی تا چند صد میلیون تن تغییر کند (Hitzman et al., 2005). به‌طور کلی، این کانسارها از دید شکل کانی‌سازی، عدسی‌مانند تا چینه‌سان بوده و طول آنها دست کم ده‌ها برابر ستبرای آنهاست. در بیشتر موارد در کانسارهای مس رسوبی، چند لایه از ماده معدنی وجود دارد که ستبرای آنها با همدیگر متفاوت است. بر پایه Singer (1995) این کانسارها تقریباً ۲۳٪ ذخایر مس تولیدی دنیا را تشکیل می‌دهند و همین‌طور منابع مهمی برای فلزاتی از جمله نقره و کبالت به‌شمار می‌روند (Hitzman et al., 2005).

کانی‌زایی مس رسوبی در ایران در ادوار مختلف زمین‌شناسی از جمله در پرکامبرین- کامبرین همراه با گنبد‌های نمکی در پهنه زاگرس، سازند نایبند 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 و ۱۳۹۰؛ سامانی، ۱۳۸۹؛ بیکدلی و همکاران، ۱۳۹۲). استان زنجان یکی از مناطقی است که سازند سرخ بالایی به‌خوبی در آن گسترش داشته و همراه با این سازند، کانه‌زایی مس رسوبی نیز در آن تشکیل شده است. کانسارهای مس رسوبی در چند منطقه از استان زنجان شناسایی شده است که از جمله آنها می‌توان به کانه‌زایی مس رسوبی حلب (ابراهیمی و موسوی مطلق، ۱۳۹۱) و کانه‌زایی مس رسوبی چهرآباد (بیکدلی و همکاران، ۱۳۹۲) اشاره کرد.

معرفی ویژگی‌های کانسار مس رسوبی چهرآباد که در نهشته‌های تخریبی سازند سرخ بالایی واقع شده است، می‌تواند به اکتشاف این ماده معدنی در مناطق مشابه کمک کند. در این پژوهش سعی شده است تا ضمن شناسایی و پیگیری گسترش افق‌های کانه‌زایی در منطقه چهرآباد، ویژگی‌های کانی‌شناسی، ساختی- بافتی، فرایندهای درگیر در شکل‌گیری و تمرکز ماده معدنی و همچنین نوع کانه‌زایی تعیین شود.

۲- زمین‌شناسی منطقه مورد مطالعه

کانسار مس چهرآباد در استان زنجان و در پهنه ساختاری ایران مرکزی واقع شده است. سنگ‌های میزبان کانی‌سازی مس در این منطقه، سنگ‌های رسوبی آواری هستند. سنگ‌های این منطقه متعلق به سنوزویک (میوسن) و شامل سازند سرخ زیرین، سازند قم، سازند سرخ بالایی و نهشته‌های کواترنری هستند (شکل ۱). واحدهای سنگی میوسن در ناحیه زنجان تغییرات رخساره‌ای گوناگونی را نشان می‌دهند؛ برای نمونه در جنوب روستای اندآباد و شمال و باختر روستای قالیچه‌بلاغ، طبقاتی متوسط تا نازک‌لایه سفید رنگ از آهک‌های بیومیکریتی تا بیومیکرواسپاریتی ریفی فسیل‌دار با میان‌لایه‌های مارن سبز تا کرم رنگ را شامل می‌شود که نشانگر یک محیط دریایی پیش‌رونده در این زمان است. همچنین، به سوی شمال باختر منطقه ماهنشان، یک تغییر ناگهانی رخساره‌ای رخ داده و مارن‌های رنگارنگ قهوه‌ای تا سبز روی سازند سرخ زیرین قرار گرفته‌اند (لطفی، ۱۳۸۰).

در اواخر میوسن میانی، یک رخدادهای زمین‌ساختی شدید در این منطقه رخ داده و در اثر آن سازند سرخ بالایی شکل گرفته است. سازند سرخ بالایی در این منطقه به دو بخش تقسیم می‌شود. بخش زیرین به‌طور چیره از مارن‌های رنگارنگ گچ‌دار تشکیل شده و به وسیله یک لایه نشانه گچ از سازند دریایی قم جدا می‌شود. در افق‌های بالایی این بخش از سازند، چینه‌بندی مورب و ریپل‌مارک وجود دارد. در این بخش، افزون بر وجود لایه‌های گچ، نهشته‌های نمک (گنبد‌های نمکی از جمله گنبد نمکی ایلجاق و گنبد نمکی چهرآباد) و نشانه‌هایی از هیدروبروات نوع آلکسیت نیز یافت می‌شود (لطفی، ۱۳۸۰). به‌طور کلی، بخش بالایی این سازند در برگیرنده مارن و شیل‌های سرخ تیره همراه با لایه‌های متناوب از ماسه‌سنگ سبز است. سازند سرخ بالایی میزبان کانه‌زایی مس در این منطقه بوده و شامل تناوبی از رسوبات مارنی سرخ و خاکستری با میان‌لایه‌هایی از ماسه‌سنگ سبز و سرخ رنگ است. وجود آثار و بقایای گیاهی، ریپل‌مارک، ترک‌های گلی و فراوانی رسوبات تخریبی سرخ رنگ، تداعی کننده محیط تشکیل قاره‌ای (تخریبی)- کولابی تا دریایی برای این سنگ‌هاست (آقازاده و بدرزاده، ۱۳۸۹؛ شکل ۲).

۳- کانه‌زایی

در منطقه چهرآباد، کانه‌زایی مس در پنج افق ماسه‌سنگی خاکستری (HB, HA, HD, HC) با ستبرای‌های مختلف روی داده است (شکل‌های ۳ و ۴). در منطقه مورد مطالعه، همراه با ماسه‌سنگ‌های خاکستری، سنگ‌های مارنی با میان‌لایه‌هایی از ماسه‌سنگ‌های سرخ رنگ نیز وجود دارند. ماسه‌سنگ میزبان در این کانسار در مقاطع میکروسکوپی شامل کانی‌های چرت، کوارتز، فلدسپار، بیوتیت و مسکوویت با سیمان کلسیتی بوده (شکل‌های ۵- الف و ب) و ماده معدنی در آن به صورت دانه‌پراکنده، عدسی‌شکل و شبه لامینه‌ای تشکیل شده است.

همان‌گونه که در شکل ۵ نیز دیده می‌شود، ماسه‌سنگ میزبان کانه‌زایی در این منطقه دارای قطعات آواری دگرگونی، رسوبی و به مقدار کم آذرین است که میزبان قطعات دگرگونی آن بیشتر از قطعات آواری رسوبی است. با توجه به آن، می‌توان اظهار داشت که ماسه‌سنگ‌های میزبان کانه‌زایی از نوع ماسه‌سنگ‌های لیت آرنایتی هستند. در ماسه‌سنگ‌های یادشده، فلدسپارها در حال تبدیل شدن به سریسیت و کانی‌های رسی و بیوتیت‌ها نیز در حال کلریتی شدن هستند. افزون بر موارد یادشده در بالا، قطعات فسیلی نیز در ماسه‌سنگ‌های میزبان کانه‌زایی دیده می‌شوند که وجود آنها نشان‌دهنده محیط دریایی کم‌ژرفا به‌ویژه پهنه کشندی است. همان‌گونه که در شکل ۵- ج نیز دیده می‌شود، اکسیدهای آهن (به رنگ سرخ و قهوه‌ای) کانی‌ها را دربر گرفته‌اند. در رخداد مس چهرآباد، در بخش ماسه‌سنگی قطعات آواری بیگانه از جنس سیلت‌سنگ نیز دیده می‌شوند که توسط سیلاب‌ها به حوضه رسوبی آورده شده و به علت داشتن وزن بالا در کف حوضه قرار گرفته‌اند. در ماسه‌سنگ‌های میزبان کانه‌زایی می‌توان این قطعات آواری و قالب آنها را به روشنی دید (شکل ۶). همان‌گونه که گفته شد این قطعات بخش‌های زیرین و یا پایین کانال‌های رسوبی را پر کرده‌اند و به سوی بالا اندازه دانه‌های ماسه‌سنگ ریزتر شده است.

کانی‌زایی در منطقه چهرآباد در پهنه شسته شده که شرح کانی‌شناسی آن در بالا گفته شد، رخ داده است. افق‌های کانی‌زایی شده امتداد شمال باختری- جنوب خاوری دارند و شیب آنها حدود ۴۰ درجه به سوی جنوب باختر است. همچنین، در بخش‌های زیرین و بالایی افق‌های کانه‌زایی، آثار ریپل‌مارک به‌خوبی دیده می‌شود. کانی‌زایی در این افق‌ها در بخش‌هایی که دارای مواد آلی یا بقایای گیاهی هستند، دیده می‌شود (شکل ۷- الف). بقایای گیاهی در اندازه‌های کوچک و بزرگ دیده و در بخش‌هایی به زغال تبدیل شده‌اند (شکل ۷- ب).

وجود آثار و بقایای گیاهی در افق‌های کانی‌زایی یکی از عوامل مهم احیا کننده محیط و کنترل کننده کانی‌زایی بوده که بنا به Hitzman et al. (2005) و Brown (2006) در دیگر کانسارهای مس با میزبان ماسه‌سنگی سرخ نیز گزارش شده است. از دید گسترش و ستبرای کانه‌زایی، بهترین افق کانی‌زایی در منطقه مورد مطالعه، افق HA است که اولین افق کانی‌زایی به‌شمار می‌رود (شکل ۴- الف). این افق بیش از ۵۰۰ متر طول دارد و ستبرای آن حدود ۲ متر است. دیگر افق‌ها از دید کانی‌شناسی و ساخت و بافت مشابه این افق هستند و تنها از دید مقدار گسترش ماده معدنی با یکدیگر تفاوت دارند.

۴- دگرسانی و نقش آن در پهنه‌های مختلف افق‌های کانه‌زایی

به‌طور کلی افق‌های کانه‌زایی در کانسار چهرآباد شامل دو پهنه هستند. این پهنه‌ها در مراحل مختلف دیاژنز و فرایندهای دگرسانی به شرح زیر تشکیل شده‌اند (شکل ۸):

– **پهنه سرخ اکسیدان (Red oxidized zone):** این پهنه شامل لایه‌های ماسه‌سنگی لیت آرنایتی سرخ رنگ است که در بخش بالا و پایین پهنه شسته شده جای دارند. رنگ سرخ این پهنه به دلیل فراوانی هیدروکسیدهای آهن آزاد شده در طی دیاژنز است که کانی‌ها را دربر گرفته‌اند (شکل ۵- ب). ماسه‌سنگ‌های پهنه سرخ اکسیدان دارای قطعات آواری دگرگونی (از جمله شیست)، رسوبی (از جمله چرت) و به

مقدار کم قطعات آواری سنگ آذرین هستند. کانی‌های تشکیل دهنده ماسه‌سنگ‌ها شامل کوارتز، فلدسپار (پلاژیوکلاز و ارتوز)، بیوتیت و به مقدار کم مسکوویت است. کلسیت به مقدار زیاد و به عنوان سیمان میان‌بلوری در ترکیب این ماسه‌سنگ‌ها دیده می‌شود. گفتنی است که در این سنگ‌ها، فلدسپارها در حال تبدیل شدن به سریسیت و کانی‌های رسی هستند و بیوتیت‌ها نیز کلریتی شده‌اند.

– **پهنه شسته شده (Bleached zone):** این پهنه در واقع بخشی از ماسه‌سنگ‌های سازند سرخ بالایی است. همان‌گونه که در بالا نیز اشاره شد این پهنه میان دو پهنه سرخ اکسیدان قرار گرفته است (شکل ۸). این پهنه تحت تأثیر سیال‌های احیا کننده و شسته شدن اکسیدهای آهن، به رنگ خاکستری متمایل به سبز در آمده 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 به‌صورت دانه‌پراکنده در آن دیده می‌شود (شکل ۱۱- پ).

– **پهنه کانی‌زایی شده (Mineralized zone):** در پهنه شسته شده هر جا که مواد آلی وجود داشته، کانه‌زایی رخ داده است. شدت کانه‌زایی در قاعده ماسه‌سنگ‌ها به دلیل فراوانی مواد آلی و بقایای گیاهی، بیشتر است (شکل ۸). البته نفوذپذیری سنگ میزبان نیز عامل بسیار مهم و تأثیرگذاری بوده است؛ به‌گونه‌ای که در حضور مواد آلی با افزایش نفوذپذیری، کانه‌زایی تشدید و با کاهش آن از شدت کانه‌زایی کاسته می‌شود. در کانسار مس چهرآباد بخش‌های کانه‌زایی شده به‌صورت عدسی‌شکل در پهنه شسته شده قرار دارند. همان‌گونه که گفته شد، مهم‌ترین علت تشکیل بخش‌های کانه‌دار در این کانسار، وجود آثار و بقایای گیاهی و همچنین نفوذپذیری سنگ میزبان است که بقایای گیاهی به‌عنوان یکی از عوامل احیایی و کنترل کننده کانی‌زایی بوده است.

۵- کانی‌شناسی و ساخت و بافت

از دید کانی‌شناسی، کانسار مس چهرآباد دارای کانی‌های اولیه سولفیدی از جمله پیریت، کالکوسیت و به مقدار کم بورنیت و کالکوپیریت است. این کانی‌ها با کانی‌هایی ثانویه کولیت، مالاکیت، آزوریت، توریت (اکسید مس) و گوتیت که در مرحله هوازدهی و برون‌زاد از کانی‌های سولفیدی اولیه ایجاد شده‌اند، همراه هستند (شکل ۹). کانی‌های سولفیدی موجود در این کانسار، به‌صورت عدسی‌شکل، دانه‌پراکنده، شبه لامینه‌ای (Solution seam)، سیمان میان‌بلوری و جانشینی تشکیل شده‌اند که در ادامه توضیح داده شده‌اند.

– **بافت عدسی‌شکل:** در کانسار مس چهرآباد این بافت به‌صورت بخش‌های غنی از کالکوسیت به شکل عدسی‌های تیره‌رنگ در زمینه سنگ میزبان ماسه‌سنگی دیده می‌شود (شکل ۱۰- الف).

– **بافت دانه‌پراکنده:** این بافت در کانسار مس چهرآباد بیشتر در پهنه شسته شده یا ماسه‌سنگ خاکستری رنگ تشکیل شده است. به‌دلیل اینکه این بخش مواد آلی نیز دارد، پهنه‌ای مناسب برای تشکیل کانی‌های سولفیدی به‌شمار می‌رود. در کانسار مس رسوبی چهرآباد، کانی‌های سولفیدی از جمله کالکوسیت، کالکوپیریت، بورنیت و پیریت دارای بافت دانه‌پراکنده هستند (شکل‌های ۱۰- ب و ۱۱- پ). بافت دانه‌پراکنده کالکوسیت حاصل جانشینی این کانی به جای بلورهای پیریت از پیش تشکیل شده (در هنگام دیاژنز اولیه) و همچنین سیمان کرنباتی است. بنا به (Asael et al. 2007)، تشکیل کالکوسیت در فضای میان‌دانه‌ای سنگ میزبان، می‌تواند نشان‌دهنده بافت دانه‌پراکنده کالکوسیت در این نوع از کانسارها باشد. پیریت دانه‌پراکنده در کانسار مس رسوبی چهرآباد دارای دو نسل است؛ پیریت‌های نسل اول یا پیریت‌های فرامبویدال (Framboidal) که در مرحله دیاژنز اولیه و پیش از کانی‌سازی تشکیل شده (شکل ۱۱- الف) و به احیای محیط و ایجاد سیال احیایی

نوع Red Bed، مربوط به حوضه‌های گسل خورده در نواحی مختلف مانند کافت‌ها، حوضه‌های کششی و حوضه‌های پیش‌بوم است. گنبدی شدن نمکی در فرایند کانه‌سازی برخی از کانسارها نقش مهمی داشته است (Cox et al., 2007). با توجه به توالی سنگ‌های رسوبی موجود و زمین‌ساخت دیرینه می‌توان نتیجه گرفت که کانسار مس رسوبی چهرآباد در حوضه کششی تشکیل شده است. البته شواهدی از دیاپیرسم نمکی نیز در منطقه موجود است.

۸- ژئومتری، ساخت و بافت

در کانسارهای نوع Red Bed چگونگی قرارگیری ماده معدنی، به‌صورت عدسی و هم‌روند با لایه‌بندی گزارش شده است. در کانسار مس چهرآباد نیز ماده معدنی به همین صورت دیده می‌شود.

۹- مجموعه کانیایی

بر پایه مطالعات میکروسکوپی، کانی‌های دیده شده در این کانسار شامل کالکوسیت، کالکوپیریت، بورنیت، آرژانتیت، پیریت، کوولیت، مالاکیت، آزوریت و تئوریت است. کلسیت و کوارتز نیز جزو کانی‌های باطله هستند.

۱۰- سنگ میزبان

در کانسارهای مس رسوبی نوع Red Bed، سنگ میزبان به‌صورت ماسه سنگ و کنگلومراست که در کانسار مس چهرآباد توالی تخریبی Red Bed شامل ماسه سنگ به عنوان سنگ میزبان است.

۱۱- عیار و تناژ

متوسط عیار مس در کانسارهای مس رسوبی ۱/۶٪ است و میزان ذخیره آنها به ۲۶۰۰ میلیون تن می‌رسد (Cox et al., 2007). بر پایه مطالعات انجام شده در منطقه مورد مطالعه، میزان ذخیره احتمالی مس در منطقه چهرآباد حدود ۱۳۶۰۰۰ تن برآورد شده (احمدزاده هروی، ۱۳۹۲) و نتایج حاصل از تجزیه‌های انجام شده نیز نشان‌دهنده عیار مس ۱٪ تا ۵٪ در نمونه‌هاست. همچنین، مقدار روی از ۱۲ ppm تا ۱۶ ppm و مقدار سرب نیز از ۶/۸۹ ppm تا ۷/۷۳ ppm متغیر است. همان‌گونه که دیده می‌شود مقدار عنصر مس از مقادیر عناصر روی و سرب بالاتر است. با توجه به داده‌های حاصل از تجزیه و رسم نمودار آنها (شکل ۱۴)، همه نمونه‌ها در رأس Cu و یا نزدیک به آن قرار می‌گیرند که این نشان‌دهنده غنی‌شدگی کانسار مورد مطالعه از مس نسبت به دیگر عناصر از جمله سرب و روی است.

۱۲- توالی پاراژنزی و چگونگی تشکیل کانسار

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 کانی‌سازی شده است (Cailteux et al., 2005). همان‌گونه که در بخش زمین‌شناسی توضیح داده شد، قطعات آواری از جمله دگرگونی، آذرین و رسوبی در ماسه‌سنگ‌های این منطقه وجود دارند که قطعات آذرین و دگرگونی می‌توانسته‌اند به عنوان منشأ تأمین‌کننده فلزات کانه‌زایی در این منطقه به شمار روند. در مرحله همزمان با ته‌نشست رسوبات، همراه قطعات و دانه‌های آواری، کانی‌های سیلیکاتی 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

کمک کرده‌اند. این پیریت از یک ژل سولفیدی در طی مرحله دیاژنز اولیه متبلور شده است (Love & Brockley, 1973). پیریت‌های نسل دوم که بر خلاف پیریت نسل اول عموماً خودشکل نیستند؛ در مرحله دیاژنز پایانی شکل گرفته‌اند و مربوط به مرحله تشکیل کانه هستند (شکل ۱۱-ب).

– **بافت شبه لامینه‌ای:** این بافت در ماسه سنگ میزبان کانه‌زایی عمدتاً به‌صورت نوارهایی موازی لایه‌بندی و در بخش‌های دارای مواد آلی دیده شده و دارای کانی‌های کالکوسیت و یا مالاکیت همراه با مقادیر کمی آزوریت است (شکل ۱۲). همان‌گونه که در شکل ۱۲ دیده می‌شود، ایت بافت لامینه‌ای نیست و کانی‌های سولفیدی مس از جمله کالکوسیت درزه‌های انحلالی موجود در میان لایه‌بندی سنگ میزبان را پر کرده‌اند. بنا به Durieux & Brown (2007) این‌گونه درزه‌های انحلالی در سوی عمود بر فشار لیتواستاتیک و در سطوح موازی با لایه‌بندی سنگ میزبان، پس از دیاژنز اولیه و پیش از دیاژنز پایانی تشکیل می‌شوند. به‌گونه‌ای که در اثر فشار لیتواستاتیک، ذرات قابل حل به‌صورت شیمیایی حل می‌شوند و از محیط بیرون می‌روند؛ ولی ذرات غیرقابل حل از جمله مواد آلی و یا کانی‌های سولفیدی (در صورت وجود) در میان ذرات باقی می‌مانند و بافت شبه لامینه‌ای را به‌وجود می‌آورند.

– **بافت سیمان میان‌دانه‌ای:** در بافت سیمان میان‌دانه‌ای که حالت خاصی از بافت دانه‌پراکنده است، فضای میان دانه‌های سنگ میزبان توسط سولفیدهای مس پر می‌شود (MacIntyre, 2005). این سولفیدها پیرامون دانه‌های آواری گرد آمده‌اند (شکل‌های ۹-ح و ۱۰-خ). همان‌گونه که در شکل‌های ۹-ح و ۱۰-خ نیز دیده می‌شود کانی‌های سولفیدی به‌صورت سیمان میان‌دانه‌ای کانی‌های تشکیل دهنده سنگ میزبان را دربر گرفته‌اند. در واقع می‌توان اظهار داشت که این کانی‌ها جانشین سیمان کربناتی در حاشیه‌های بلورهای کوارتز و فلدسپار شده‌اند (MacIntyre, 2005).

– **بافت جانشینی:** این بافت یکی از بافت‌های فراوان در کانسار مس چهرآباد است، به‌گونه‌ای که کانی‌های سولفیدی مس در هنگام کانی‌سازی جایگزین مواد آلی و بقایای گیاهی شده‌اند (شکل ۱۳). وجود مواد آلی در این نوع از کانسارها سبب می‌شود که یک شرایط 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 کانسار مس چهرآباد به نظر می‌رسد که بلورهای پراکنده و فرامبوئیدال پیریت در مراحل اولیه دیاژنز شکل گرفته و سپس در مرحله بعدی سیال‌های غنی از مس، کانی‌های سولفیدی کالکوپیریت، بورنیت و کالکوسیت را به‌صورت بافت جانشینی جایگزین پیریت کرده‌اند (شکل ۱۳). گفتنی است که این مرحله از کانی‌زایی در طی دیاژنز روی داده است. همچنین، بافت جانشینی در جریان فرایند هوازدگی و برونزاد نیز تشکیل شده و در اثر آن، کانی‌های ثانویه از جمله کالکوسیت ثانویه، کوپریت، کوولیت و اکسیدهای آهن جانشین کانی‌های اولیه‌ای مانند کالکوپیریت، بورنیت، کالکوسیت و پیریت شده‌اند (شکل ۱۳). به‌طور کلی، در کانسار مس چهرآباد دو نسل کالکوسیت وجود دارد که نسل اول در طی دیاژنز و همزمان با کانی‌زایی به وجود آمده و نسل دوم در جریان فرایند هوازدگی و برونزاد تشکیل شده است.

۶- نوع کانه‌زایی کانسار مس چهرآباد

طبق جدول ۲ و بر پایه نوع سنگ درونگیر و دگرسانی، ژئومتری، کانی‌شناسی و عوامل کنترل‌کننده کانی‌زایی، کانسار مس چهرآباد همانند کانسارهای مس رسوبی نوع Red Bed است.

۷- محیط زمین‌ساختی

به باور Cox et al. (2007) محیط زمین‌ساختی برای تشکیل کانسارهای مس رسوبی

توضیح داده شد، در این منطقه گنبد‌های نمکی از جمله گنبد نمکی چهرآباد و گنبد نمکی ایلجاق وجود دارند. در اثر بالا آمدگی و دی‌پایرسم گنبد‌های نمکی، سیال‌های موجود در پیرامون آنها به چرخش در می‌آیند. همچنین در اثر فشار لیئوستاتیک، 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، فلزات آزاد شده از کانی‌های سیلیکاتی ناپایدار سازند سرخ بالایی از جمله مس و نقره به صورت کمپلکس کلریدی حمل می‌شوند. مهم‌ترین شکل انتقال مس در محلول‌های کانه‌دار، به صورت کمپلکس‌های کلریدی مانند CuCl_2 و CuCl_3^{2-} است (Rose, 1976). 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 و به صورت پیریت دیاژنزی ته‌نشست می‌شوند. 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 کالکوسیت، بورنیت و کالکوپیریت ته‌نشست می‌یابند. گفتنی است که آرژانتیت نیز همراه با کانی‌های سولفیدی در افق‌های دارای مواد آلی ته‌نشست می‌شود. در جریان این فرایند، بافت‌های مختلفی از جمله بافت جانشین، بافت سیمان میان‌دانه‌ای، بافت شبه لامینه‌ای و بافت دانه‌پراکنده تشکیل می‌شوند. در مورد عوامل اصلی کنترل‌کننده کانه‌زایی می‌توان به مواردی از جمله وجود افق‌های سرخ رنگ دارای کانی‌های سیلیکاتی (از جمله هورنبلند، بیوتیت، پلاژیو کلاز و فلدسپار قلیایی) که به عنوان منشأ فلزات در نظر گرفته می‌شوند، وجود مواد آلی (به عنوان عامل اصلی احیا کننده محیط)، گسل‌ها (سوی 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.

توالی پاراژنزی و مراحل مختلف تشکیل کانی‌ها در کانسار چهرآباد در شکل ۱۵ نشان داده شده است. همان‌گونه که در بخش‌های پیشین نیز گفته شد، ته‌نشست کانی‌های سولفیدی در افق‌های شسته شده و در مجاورت مواد آلی رخ داده است. مراحل فرایند کانی‌سازی در منطقه چهرآباد در شکل ۱۶ نشان داده شده است. همان‌گونه که در این شکل دیده می‌شود، عامل اصلی چرخش سیال‌ها، فرایند دی‌پایرسم و گسل‌های موجود در منطقه است. در اثر این فرایند، سیال‌های اکسیدان دارای فلزات مس و نقره، با سیال‌های احیایی آمیختگی پیدا کرده و سبب کانه‌زایی در منطقه چهرآباد شده‌اند. توضیحات مربوط به توالی پاراژنزی و روابط کانی‌های کانسار چهرآباد، در بخش ژنز کانسار آورده شده است.

۱۳- نتیجه‌گیری

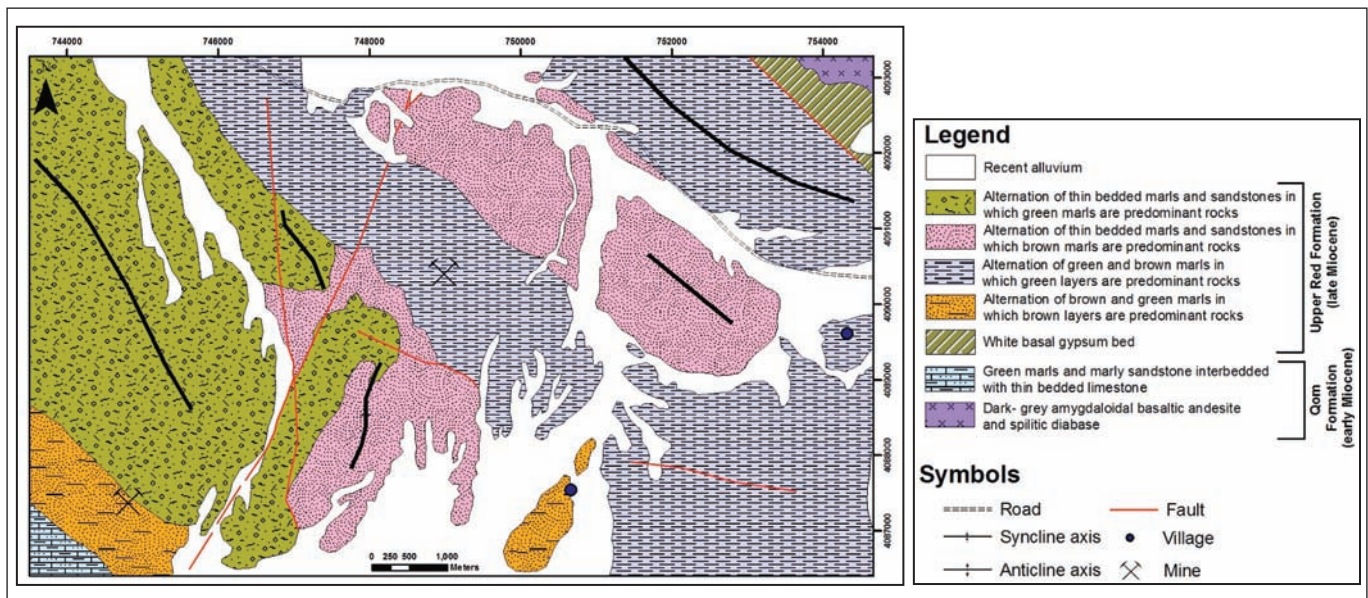
کانی‌سازی مس در منطقه چهرآباد دارای ۵ افق در سنگ میزبان ماسه‌سنگی متعلق به سازند سرخ بالایی با سن میوسن است. از عوامل مهم تأثیرگذار بر کانی‌سازی مس در این‌گونه کانسارها می‌توان به نفوذپذیری سنگ میزبان، وجود بقایای گیاهی و گنبد‌های نمکی اشاره کرد. البته وجود گسل‌ها و شکستگی‌ها نیز می‌تواند یکی دیگر از عوامل مؤثر بر گسترش دگرسانی و کانه‌زایی باشد. بهترین

کانسارهای مس رسوبی، وجود مقادیری مس در شبکه این کانی‌ها را تأیید می‌کند. فراوانی مس در برخی از کانی‌های ناپایدار سیلیکاتی در جدول ۱ آورده شده است. البته گفتنی است که در برخی از افق‌های ماسه‌سنگ‌ها، مواد آلی از جمله گیاهان نیز ته‌نشست می‌شوند. مس موجود در کانی‌های یادشده در بالا، در اثر دیاژنزی اولیه و آبکافت، از شبکه آنها آزاد و در سیال کانه‌ساز به صورت محلول وارد و حمل می‌شود. بر پایه (Walker, 1989)، Kirkham (1996)، Hitzman et al. (2005) و Brown (2005) مس موجود در شبکه این کانی‌ها می‌تواند منشأ تأمین‌کننده مس سیال کانه‌ساز در کانسارهای مس رسوبی با میزبان ماسه‌سنگی باشد. همچنین به باور (Brown, 2014) در جریان فرایند سرخ‌شدگی رسوبات و تخریب کانی‌های سیلیکاتی، مقدار قابل توجهی مس و دیگر فلزات آزاد می‌شوند که می‌تواند منشأ مس برای تشکیل این نوع کانسارها باشد. 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, 2014) مس آزاد شده ناشی از دگرسانی کانی‌های سیلیکاتی ممکن است مستقیماً وارد محلول و یا اینکه توسط کانی‌های رسی مانند اسمکتیت جذب شود. با گذشت زمان و افزایش دما، اسمکتیت به ایلیت تبدیل می‌شود و از آنجا که ایلیت نمی‌تواند مس بالایی نگهداری کند، مس آزاد و وارد محلول گرمابی می‌شود. با توجه به وجود کانی‌های آمفیبول، بیوتیت، پلاژیو کلاز و فلدسپار قلیایی در رسوبات سازند سرخ بالایی و نیز قابلیت انحلال این سیلیکات‌ها، این کانی‌ها می‌توانند منشأ مهمی برای تأمین فلزات از جمله مس در کانسار مس چهرآباد باشند.

در این نوع از کانسارها در مرحله Syndiagenesis یعنی کمی پس از ته‌نشست رسوبات، پیریت فرامبوئیدال از ژل سولفیدی ته‌نشست شده به همراه رسوبات، متبلور می‌شود (Love & Brockley, 1973). سپس در مراحل ابتدایی تدفین، به همراه مواد آلی و کانی‌های سیلیکاتی همچون هورنبلند، بیوتیت و پلاژیو کلاز آبکافت می‌شوند 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 سرخ شدن رسوبات در مراحل اولیه دیاژنزی می‌شود (Walker, 1989). در کانسار مس چهرآباد، بقایای گیاهی فراوان به صورت هم‌روند با لایه‌بندی وجود دارند 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 دیاژنزی 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 می‌شود (Brown, 2003). بر پایه (Hitzman et al., 2005)، Kirkham (1996) و Cox et al. (2007) منشأ فلزات در کانسارهای مس رسوبی، سنگ‌های رسوبی Red Bed دارای اکسیدهای آهن بی‌شکل و غیربلورین است که همراه خود مقداری فلز پایه دارند (Walker, 1989). همچنین منشأ فلزات در بیشتر کانسارهای مس رسوبی می‌تواند لایه‌های سرخ موجود در مجاورت این کانسارها باشد (Brown, 2003; Rose, 1976). آبشویی فلزات از رسوبات بخش زیرین طبقات سرخ، توسط (Rose, 1976 & 1989)، Brown (2005, 2009 & 2014) و Hitzman et al. (2005 & 2010) برای این نوع از کانسارها پیشنهاد شده است. بر پایه بررسی‌ها و مطالعات انجام شده در منطقه چهرآباد، رسوبات سازند سرخ بالایی از جمله ماسه‌سنگ‌ها منشأ تأمین فلزات از جمله مس و بقیه فلزات پایه هستند. با پیشرفت فرایند دیاژنزی و تخریب کانی‌ها (از جمله هورنبلند، بیوتیت، پلاژیو کلاز و فلدسپار قلیایی)، اسمکتیت به ایلیت تبدیل و اکسیدهای آهن از جمله هماتیت تشکیل می‌شوند که در اثر این فرایند، فلزاتی از جمله مس، سرب، روی و نقره از درون این کانی‌های آزاد و وارد سیال اکسیدان می‌شوند. همان‌گونه که در بخش زمین‌شناسی منطقه نیز

سیال‌ها) مشابه کانسارهای مس رسوبی نوع Red Bed است (جدول ۲). همچنین با توجه به وجود بافت‌های جانشینی، شبه لامینه‌ای، 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)، پهنه‌های اکسیدان، نقش بقایای گیاهی و نفوذپذیری سنگ میزبان همگی بیانگر تشکیل ماده معدنی در هنگام فرایند دیاژنز است. البته گفتنی است که همه این رخدادها پیش از فرایند تدفین ژرفی روی داده است. در جدول ۳ نیز کانسار مس چهارآباد با کانسار مس رسوبی راورد در منطقه طبس، کانسار مس رسوبی چهارگان در شمال باختر تسوج و همچنین با کانسار مس رسوبی Nacimiento در آمریکا مقایسه شده است. بر پایه شاخص‌های یادشده در جدول‌های ۲ و ۳، کانسار مس چهارآباد همانندی فراوانی با کانسارهای مس رسوبی نوع Red Bed دارد.

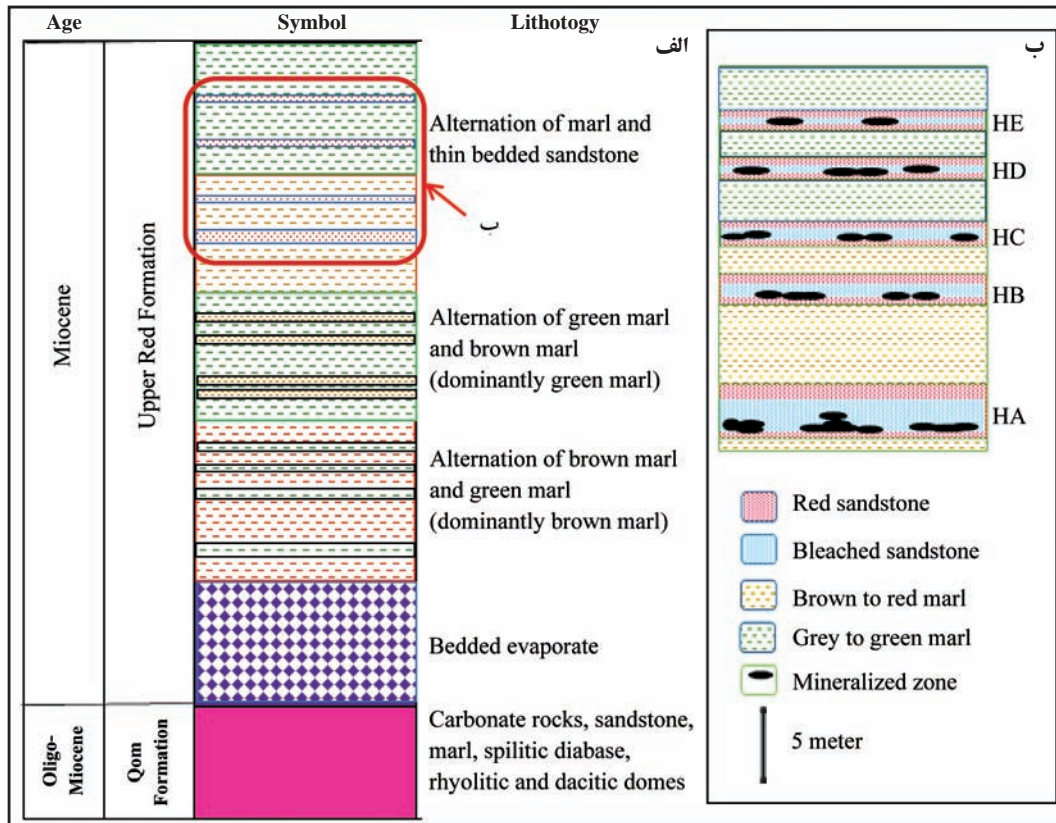
نمونه برای این مورد حوضه Paradox در ایالت‌های Utah و Colorado آمریکاست که سامانه حرکت سیال‌ها توسط گسل‌ها کنترل می‌شود (Thorson, 2004); در کانسار مس چهارآباد، افزون بر نفوذپذیری سنگ میزبان، مواد آلی موجود در پهنه شسته شده، دی‌اپیریم گنبد‌های نمکی و گسل‌های موجود در منطقه نیز به عنوان مسیر مناسب برای عبور سیال‌ها، نقش اصلی در کانه‌زایی داشته‌اند. این کانسار از دید سنگ‌شناسی (سنگ میزبان ماسه‌سنگی)، کانی‌شناسی ماده معدنی (کالکوسیت، بورنیت، کالکوپریت و آرژانتیت)، ساخت و بافت (شبه لامینه‌ای، عدسی شکل، دانه‌پراکنده، جانشینی و سیمان میان‌دانه‌ای)، چینه‌شناسی و عوامل کنترل‌کننده کانه‌زایی (وجود آثار و بقایای گیاهی) به عنوان عامل اصلی احیا کننده محیط، نفوذپذیری مناسب سنگ میزبان و همچنین به دلیل وجود گنبد‌های نمکی به عنوان عامل اصلی در چرخش



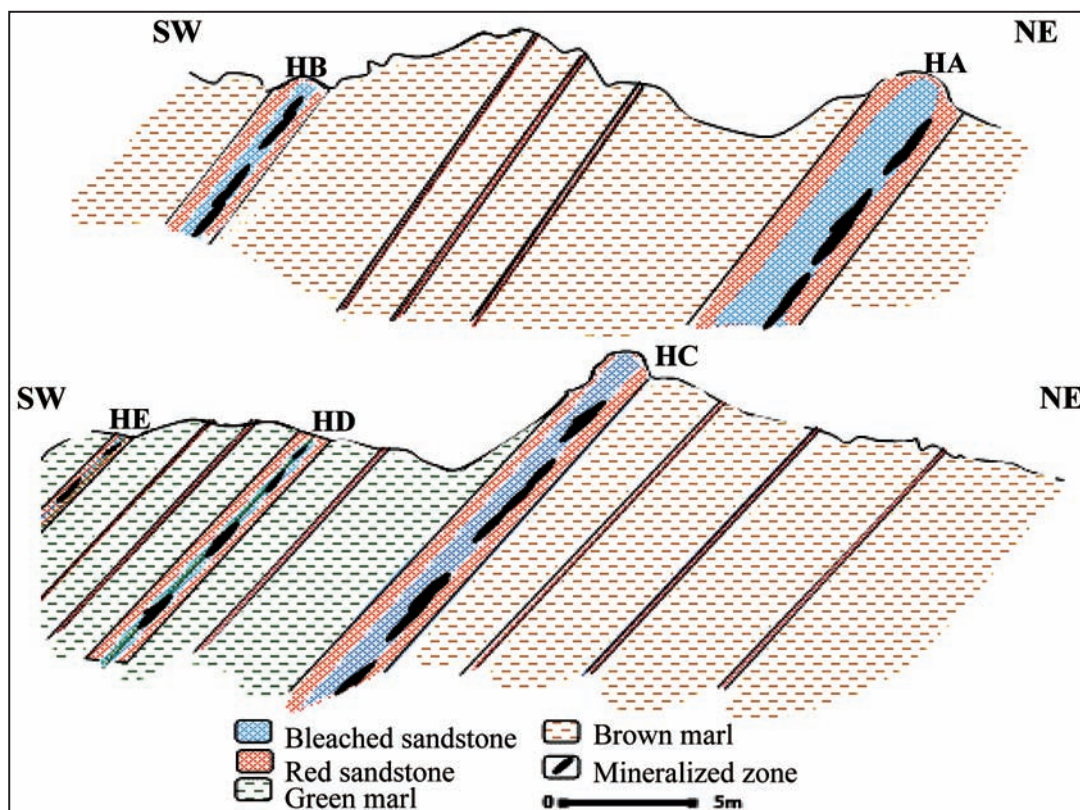
شکل ۱- نقشه زمین‌شناسی منطقه مورد مطالعه (برگرفته از لطفی، ۱۳۸۰).



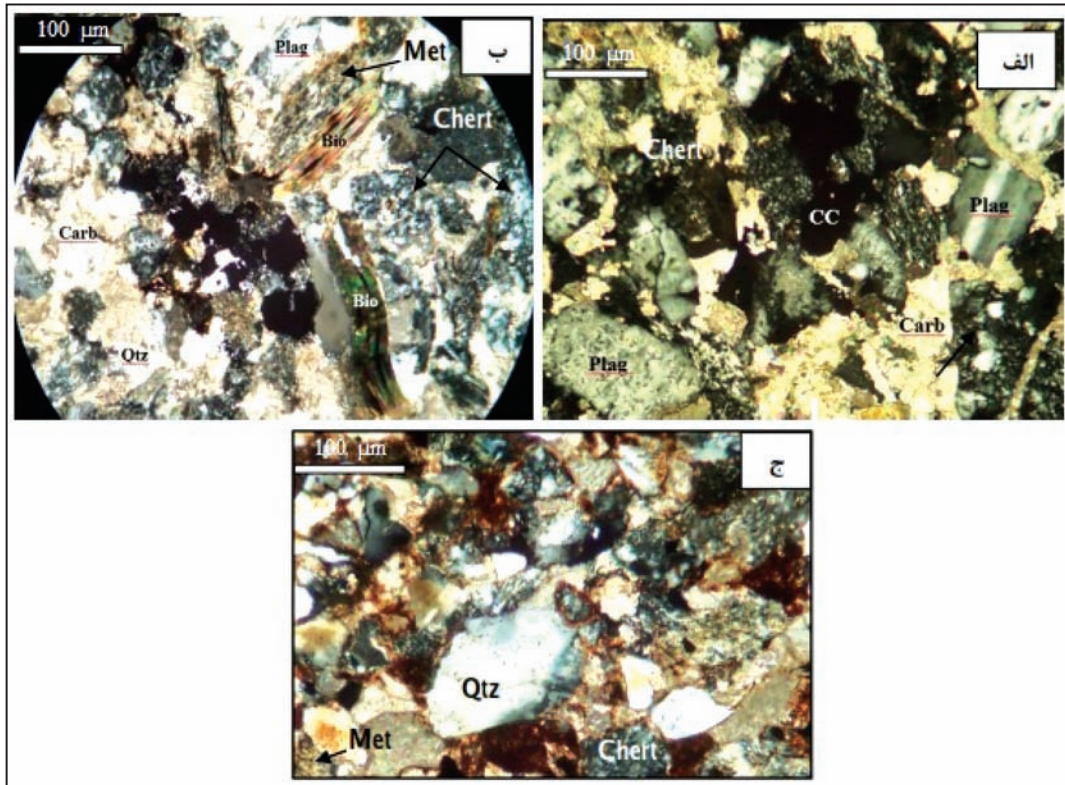
شکل ۲- (الف) ریل مارک جریان‌های (سوی جریان آب به سمت نوک خودکار است)؛ (ب) ترک‌های گلی؛ (پ) آثار و بقایای گیاهی در ماسه‌سنگ‌های سازند سرخ بالایی در منطقه مورد مطالعه.



شکل ۳- ستون چینه‌شناسی تهیه شده از منطقه مورد مطالعه و منطقه معدنی چهرآباد.



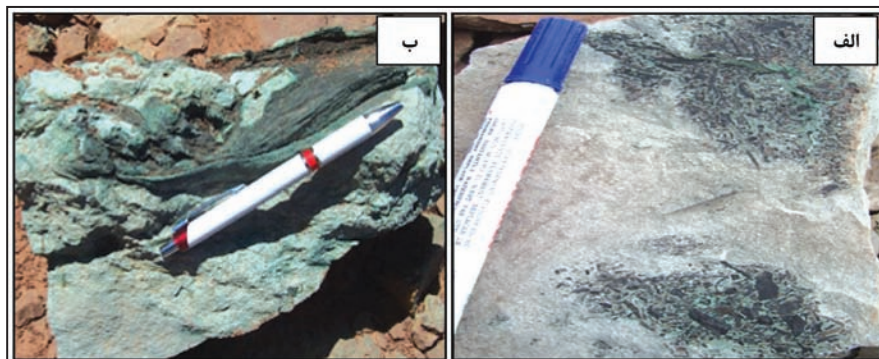
شکل ۴- برش زمین‌شناسی از افق‌های شسته شده و کانه‌زایی در کانسار مس چهرآباد.



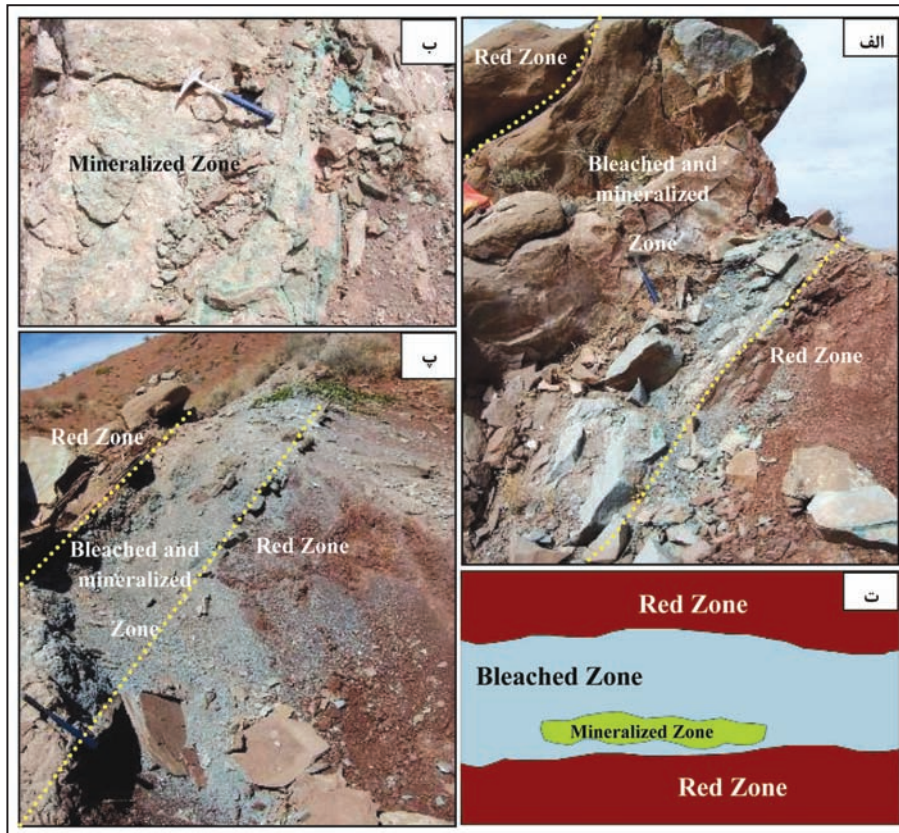
شکل ۵- الف و ب) قطعات آواری و کانی‌های سازنده ماسه‌سنگ میزبان کانه‌زایی در منطقه چهرآباد، همان‌گونه که دیده می‌شود کانی‌ها در زمینه سیمان کلسیتی قرار دارند؛ ج) دربر گرفته شدن دانه‌های ماسه‌سنگ به وسیله اکسیدهای آهن. همه تصاویر در نور دو بار پلاریزه انکساری گرفته شده‌اند (Plg: پلاژیو کلاز؛ CC: کالکوسیت؛ Carb: کربنات؛ Bio: بیوتیت؛ Qtz: کوارتز؛ Chert: چرت؛ Met: قطعات سنگ دگرگونی؛ Mag: قطعات سنگ آذرین).



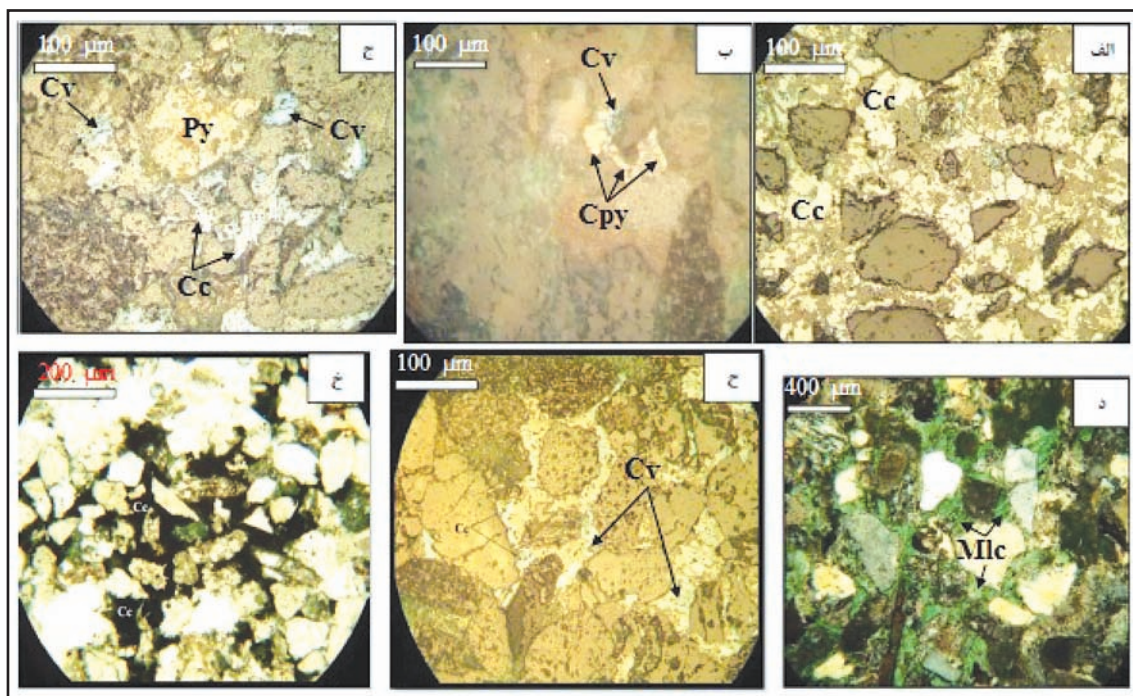
شکل ۶- الف) قطعات آواری از جنس سیلیت‌سنگ در سنگ میزبان ماسه‌سنگی کانسار چهرآباد؛ ب) قالب قطعات آواری در بخش زیرین لایه ماسه‌سنگی.



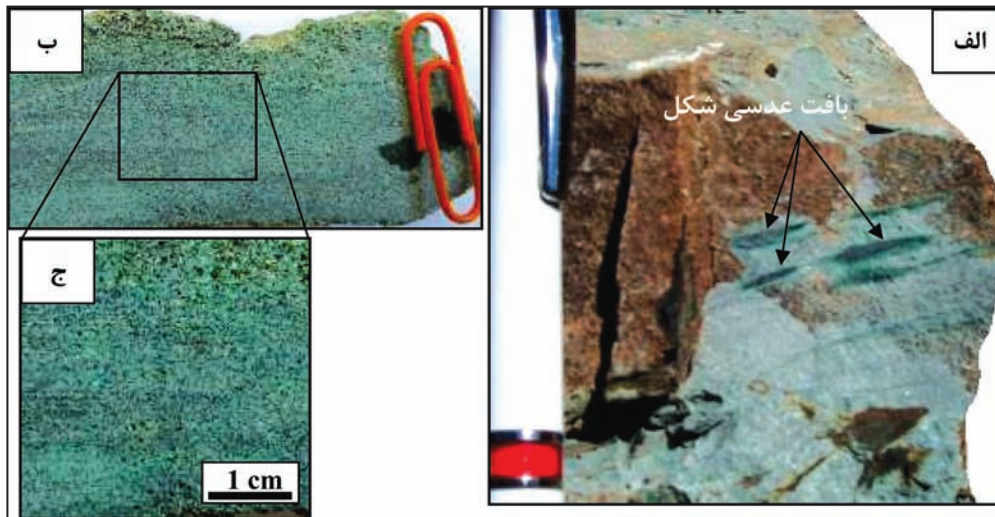
شکل ۷- الف) بخش‌های دارای مواد آلی یا گیاهی که با کانه‌زایی مس همراه است؛ ب) بقایای گیاهی تبدیل شده به زغال (بخش‌های تیره رنگ).



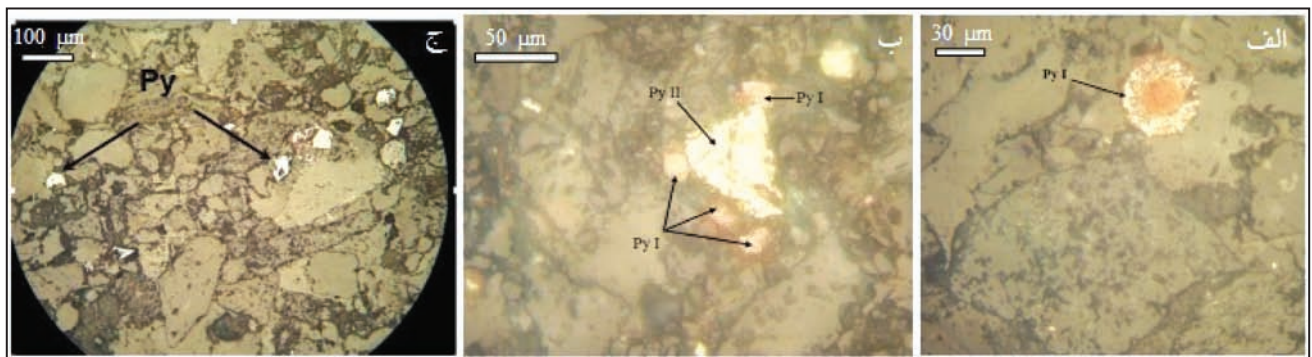
شکل ۸- پهنه‌های موجود در افق‌های کانه‌زایی و چگونگی قرارگیری آنها نسبت به یکدیگر. الف) نمایی از افق کانه‌زایی HA و پهنه‌های اکسیدان، شسته شده و کانه‌زایی در آن؛ ب) نمای نزدیک‌تر از افق HA که کانه‌زایی مس در آن روی داده است؛ پ) نمایی از پهنه‌های مختلف افق HB؛ ت) شکل نمادین از چگونگی قرارگیری پهنه‌های مختلف در افق‌های کانه‌زایی شده در کانسار مس چهرآباد. همان‌گونه که در این شکل‌ها نیز دیده می‌شود، پهنه‌های کانه‌زایی و شسته شده در میان پهنه‌های اکسیدان قرار گرفته‌اند.



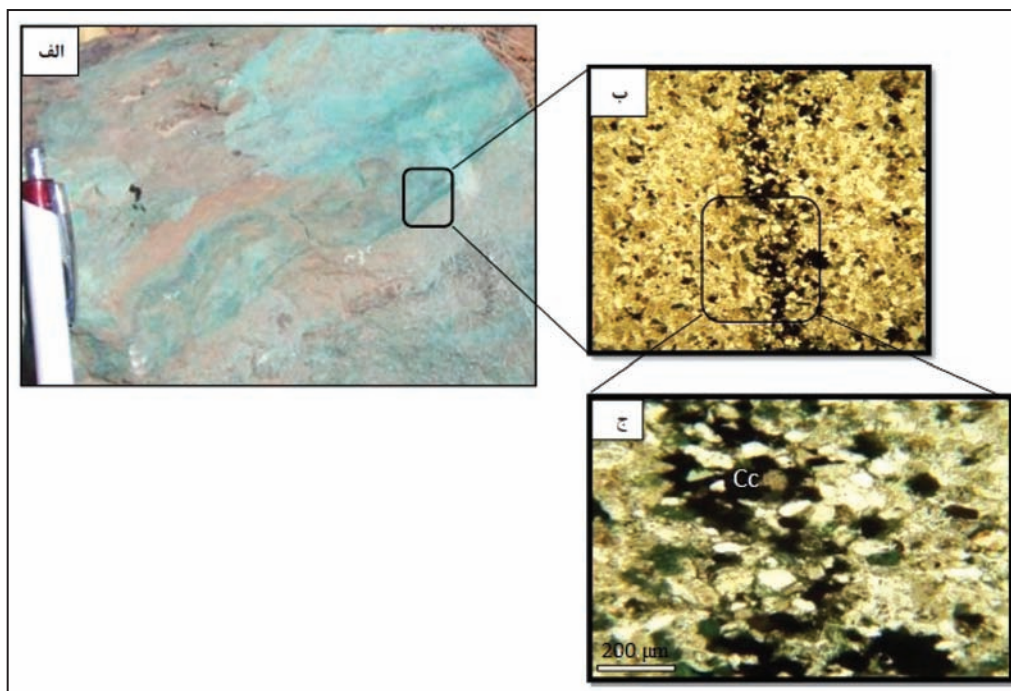
شکل ۹- کانی‌های اولیه و ثانویه تشکیل شده در کانسار مس چهرآباد. الف) کانی کالکوسیت (Cc)؛ ب) کانی کالکوپیریت (Cpy) که در حال تبدیل شدن به کوولیت (Cv) است؛ ج) کانی‌های اولیه پیریت (Py) و کالکوسیت؛ کالکوسیت در حال تبدیل شدن به کوولیت است؛ د) کانی مالاکیت (Mlc) تشکیل شده در پیرامون دانه‌های ماسه سنگ و در زمینه سیمان کلسیتی آن؛ ح و خ) کالکوسیت (Cc) به صورت سیمان میان‌دانه‌ای (در حال تبدیل شدن به کوولیت) در کانسار مس چهرآباد. تصاویر الف، ب، ج و ح در نور یک بار پلاریزه انعکاسی و تصاویر د و خ در نور دو بار پلاریزه انعکاسی گرفته شده‌اند.



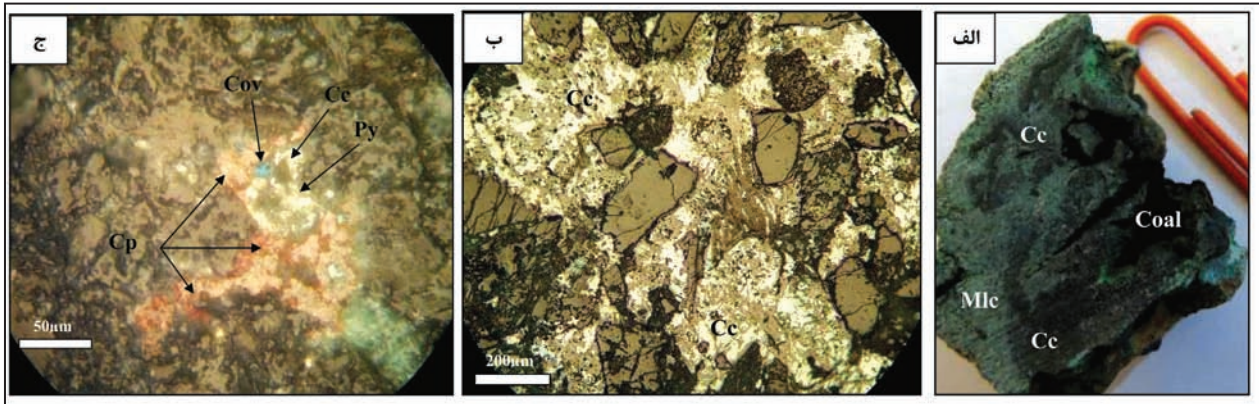
شکل ۱۰- الف) بافت عدسی شکل در کانسار مس چهارآباد. کانی تیره موجود در عدسی‌ها کالکوسیت است؛ ب) بافت دانه‌پراکنده کانی‌های سولفیدی از جمله کالکوسیت در سنگ میزبان ماسه‌سنگی در پهنه شسته شده؛ ج) نمای نزدیکی از شکل ب. بخش‌های تیره رنگ که به صورت دانه‌پراکنده و لایینه‌مانند دیده می‌شوند، بخش‌های دارای کالکوسیت هستند. زمینه سبزرنگ نشانگر تشکیل مالاکیت در زمینه سنگ میزبان است.



شکل ۱۱- الف و ب) نسل‌های مختلف پیریت در کانسار مس چهارآباد. الف) پیریت فراموبیدال که پیریت نسل اول (Py I) است؛ ب) همراهی پیریت نسل اول با پیریت نسل دوم (Py II). همان‌گونه که دیده می‌شود پیریت نسل دوم، پیریت نسل اول را قطع کرده است؛ ج) کانی پیریت (Py) که به صورت دانه‌پراکنده در زمینه سنگ میزبان تشکیل شده است. هر سه تصویر در نور یک بار پلاریزه انعکاسی گرفته شده‌اند.

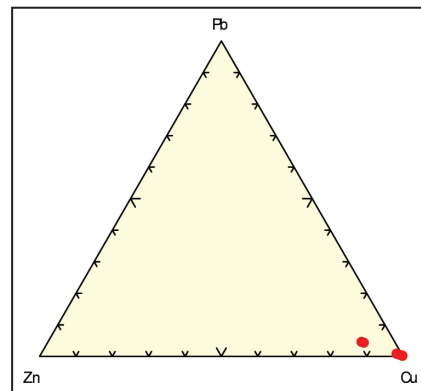


شکل ۱۲- بافت شبه‌لامینه‌ای دارای کانی‌های کالکوسیت (Cc) و مالاکیت. الف) در نمونه دستی؛ ب) در مقطع میکروسکوپی (نور یک بار پلاریزه انعکاسی با بزرگنمایی 10x)؛ ج) بخشی از تصویر شکل ب با بزرگنمایی 40x.



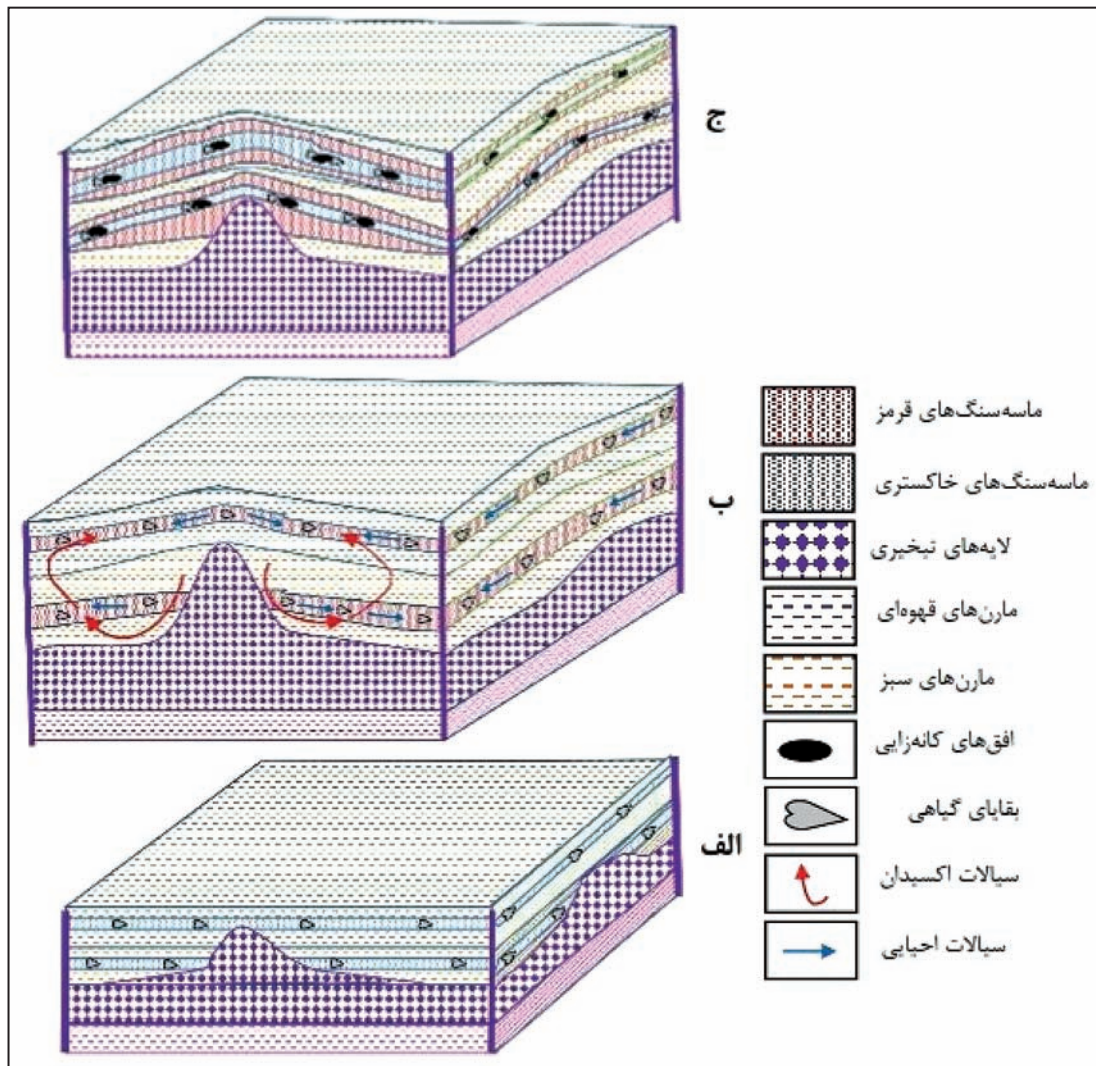
شکل ۱۳- بافت جانیشینی در کانسار مس چهرآباد. الف) نمونه دستی از بافت جانیشینی که در آن کانی کالکوسیت (Cc) جانشین مواد آلی شده است. همچنین کانی مالاکیت (Mlc) در اثر فرایند هوازدگی و برون‌زاد جانشین کالکوسیت شده است؛ ب) تصویر میکروسکوپی از نمونه موجود در شکل الف که در آن کالکوسیت جانشین مواد آلی شده است؛ ج) جانیشینی کوولیت (Cov) و کوپریت (Cp) به جای کالکوسیت. هر دو تصویر در نور یک بار پلاریزه انعکاسی گرفته شده‌اند.

شکل ۱۴- نمودار سه‌تایی فلزات پایه. بیشتر نمونه‌ها در رأس مس و یا نزدیک به آن قرار دارند.



Minerals and Process	Diagenesis				Supergene and Weathering
	Syn sedimentary	Early Diagenesis	Middle Diagenesis	Late Diagenesis	
Redding	—————				
Calcite Cement		—————			
Organic Destruction		—————			
Porosity Generation		—————			
Bleaching			—————		
Compaction	—————				
Iron Oxide	—————				
Pyrite-I	—————				
Pyrite-II			—————		
Chalcocite-I			—————		
Chalcocopyrite			—————		
Bornite			—————		
Argentite			—————		
Chalcocite-II			—————		
Covellite			—————		
Malachite					—————
Cuprite					—————
Azurite					—————
Neotocite					—————
Hematite					—————
Goethite					—————
Lepidocrocite					—————
Ore Texture	Framboidal	—————			
	Disseminated		—————		
	Solution Seams		—————		
	Replacement		—————		
	Grain Cement		—————		
Relict			—————		

شکل ۱۵- توالی پاراژنزی، ساخت و بافت برای مواد معدنی و باطله در کانسار مس رسوبی چهرآباد.



شکل ۱۶- مدل نمادین و مراحل مختلف کانه‌زایی مس در منطقه چهرآباد. الف) ته‌نشینی رسوبات تبخیری و تخریبی به همراه ماسه سنگ‌های دارای مواد آلی در یک محیط کم‌ژرفا (پهنه کشندی)؛ ب) بالا آمدگی و دی‌پایریسم گنبدی‌های نمکی و تشکیل سیال اکسیدان از رسوبات تبخیری و چرخش آنها در لایه‌های سرخ که سبب شسته شدن فلزات از جمله مس، آهن و نقره شده است. در این مرحله فلزات شسته شده به وسیله کمپلکس کلریدی در سیال‌های اکسیدان حمل می‌شوند. از سوی دیگر، در افق‌هایی که مواد آلی و بقایای گیاهی وجود داشته، مواد آلی به وسیله باکتری‌ها تخریب شده و سیال‌های احیایی را در این افق‌ها به وجود آورده و سبب شسته شدن (Bleaching) این افق‌ها شده است. در نهایت سیال‌های اکسیدان دارای فلزات با سیال‌های احیایی برخورد کرده و سبب ناپایداری کمپلکس کلریدی، ته‌نشست فلزات و کانه‌زایی شده است؛ ج) چین خوردن رسوبات و بیرون آمدن آنها از آب.

جدول ۱- محتوای مس موجود در کانی‌های ناپایدار ماسه سنگ‌های چرخه اول (Walker, 1989).

کانی‌ها	تعداد نمونه‌های تجزیه شده	میانگین محتوای مس (ppm)
پیروکسن	۹۰	۱۲۰
بیوتیت	۶۶۰	۸۶
آمفیبول	۴۰	۷۸
مگنتیت	۲۵۰	۷۶
پلاژیوکلاز	۱۰۸	۶۲
فلدسپات قلیایی	۷۰	۱-۲۰

جدول ۲- مقایسه ویژگی‌های کانسار مس چهرآباد با کانسارهای مس رسوبی نوع Red Bed

کانسار	چهرآباد	Red Bed Cu
سن	میوسن	Neoproterozoic – Late Mesozoic – Early Cenozoic
موقعیت زمین‌ساختی	محیط کشتی و نواحی دارای گنبد‌های نمکی	محیط کشتی و یا کافت، نواحی دارای گنبد‌های نمکی
محیط ته‌نشست	محیط‌های ساحلی و کم‌ژرفا (کشتندی)	محیط‌های ساحلی و کم‌ژرفا
ژئومتری	چینه کران، عدسی و هم‌روند با لایه‌بندی	عدسی و هم‌روند با لایه‌بندی
سنگ میزبان	توالی تخریبی Red Bed شامل ماسه‌سنگ	توالی تخریبی Red Bed شامل ماسه‌سنگ و کنگلومرا
کانی‌شناسی	کالکوسیت، کالکوپیریت، بورنیت، آرژانتیت، پیریت، کولیت، مالاکیت، آزوریت، تنوریت	کالکوسیت، کالکوپیریت، بورنیت، پیریت، مس و نقره طبیعی (اسفالریت و گالن)
منبع تأمین‌کننده مس	توالی تخریبی سرخ	توالی Red Bed
دگرسانی	Bleaching	Bleaching
عامل احیا کننده	بقایای گیاهی و پیریت	عامل احیا گسترده‌تری کمتر دارد. بقایای گیاهی و پیریت
عوامل کنترل‌کننده کانی‌زایی	وجود عامل احیا کننده (بقایای گیاهی)، وجود گنبد‌های نمکی و نفوذپذیری سنگ میزبان	وجود عامل احیا و نفوذپذیری سنگ میزبان
عناصر همراه	Ag	Ag, Pb, Zn, U, Co
منبع	بیکدلی و همکاران (۱۳۹۲)	Woodward et al. (1974); Cox et al. (1991); Thorson (2005); Avila-Salinas (1990); Flint (1989)

جدول ۳- مقایسه ویژگی‌های کانسار مس چهرآباد با کانسارهای مس رسوبی نوع Red Bed در ایران و جهان.

کانسار	چهرآباد	مارکشه	Nacimiento	چهرگان
موقعیت	شمال باختر زنجان- ایران	شمال باختر راور- ایران	نیومکزیکو- آمریکا	شمال باختر توج- ایران
سن	میوسن	ژوراسیک- کرتاسه	تریاس	میوسن میانی
عناصر معدنی	Cu	Cu-Ag	Cu-Ag	Cu
موقعیت زمین‌ساختی	محیط کشتی	محیط کشتی	کافت و محیط کشتی	محیط کشتی؟
محیط ته‌نشست	کشتندی	کشتندی	کم‌ژرفا	کم‌ژرفا
ژئومتری	چینه کران، عدسی 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 میکرو کنگلومرا	ماسه سنگ و کنگلومرا	ماسه سنگ
کانی‌شناسی کانسنگ	کالکوسیت، کالکوپیریت، بورنیت، آرژانتیت، کولیت، مالاکیت، آزوریت، تنوریت	کالکوسیت، کولیت، بورنیت، کالکوپیریت، مالاکیت، آزوریت، تنوریت، آرژانتیت، کریزو کلا	کالکوسیت، بورنیت، کالکوپیریت، مالاکیت، آزوریت، تنوریت، آرژانتیت	کالکوسیت، کولیت، مالاکیت، آزوریت
ساخت و یافت	دانه پراکنده، عدسی شکل، جانشینی، سیمان میان‌دانه‌ای، Solution seam	جانشینی، دانه پراکنده، Solution seam	جانشینی، دانه پراکنده	جانشینی، دانه پراکنده
دگرسانی	Bleaching	Bleaching	Bleaching	Bleaching
عامل احیا کننده	مواد آلی، بقایای گیاهی و پیریت دیاژنزی	بقایای گیاهی و پیریت دیاژنزی	بقایای گیاهی و پیریت دیاژنزی	بقایای گیاهی و پیریت دیاژنزی
عوامل کنترل‌کننده کانی‌زایی	وجود عامل احیا کننده و نفوذپذیری سنگ میزبان	وجود عامل احیا کننده و نفوذپذیری سنگ میزبان	وجود عامل احیا کننده و نفوذپذیری سنگ میزبان	وجود عامل احیا کننده و نفوذپذیری سنگ میزبان
نوع کانه‌زایی	Red Bed SHC	Red Bed SHC	Red Bed SHC	Red Bed SHC
منبع	بیکدلی و همکاران (۱۳۹۲)	مهدوی و همکاران (۱۳۸۶)	Woodward et al. (1974)	پناه‌زاده (۱۳۸۹)

کتابنگاری

- آقازاده، م. و بدرزاده، ز.، ۱۳۸۹- معرفی افق‌های کانه‌زایی مس رسوبی در ایران، بیست و نهمین گردهمایی علوم زمین، سازمان زمین‌شناسی و اکتشافات معدنی کشور.
- 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.
- احمدزاده هروی، م.، ۱۳۹۲- گزارش پایان عملیات اکتشاف مس و سرب رسوبی قزلجه ۱ (چهرآباد). سازمان صنعت، معدن و تجارت استان زنجان، ۱۰۲ صفحه.
- 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 شرقی، پایان‌نامه کارشناسی ارشد، دانشگاه تبریز، ۲۲۵ صفحه.
- سامانی، ب.، ۱۳۸۹- گزارش نهایی کانه‌زایی مس رسوبی چشمه سفید عشق‌آباد، شرکت آتی کان آرمان.
- لطفی، م.، ۱۳۸۰- نقشه زمین‌شناسی ماه‌نشان با مقیاس ۱:۱۰۰۰۰۰، سازمان زمین‌شناسی و اکتشافات معدنی کشور.
- مهدوی، ا.، راستاد، ا. و حسینی‌برزی، م.، ۱۳۸۶- کانی‌شناسی، ساخت و بافت افق‌های کانه‌دار کانسار مس رسوبی مارکشه (Red bed Type) در شمال باختر راور. بیست و ششمین گردهمایی علوم زمین، سازمان زمین‌شناسی و اکتشافات معدنی کشور.
- مهدوی، ا.، راستاد، ا. و حسینی‌برزی، م.، ۱۳۹۰- کانی‌شناسی، ساخت و نحوه تشکیل رخداد مس رسوبی - دیاژنتیک مارکشه، تیپ Redbed، در سازند سرخ گره‌دو به سن ژوراسیک، جنوب ایران مرکزی. فصلنامه علوم زمین، سال بیست و یکم، شماره ۸۱، صفحات ۹۲-۸۱.

References

- Asael, D., Matthews, A., Bar-Matthews, M. & Halicz, L., 2007- Copper isotope fractionation in sedimentary copper mineralization, Timna Valley, Israel. *Chemical Geology* 243: 238-254.
- Avila-Salinas, W., 1990- Origin of the copper ore at Corocoro, Bolivia in Fontbote, Amstutz, G. C., Cardozo, M., Cedillos, E. & Frutas, J., eds., *Stratabound ore deposits of the Andes*. Berlin- Heidelberg, Springer Verlag 659-670.
- Brown, A. C., 2003- Red beds: Source of metals for sediment-hosted stratiform copper, sandstone copper, sandstone lead, sandstone uranium vanadium deposits. In: Lentz D.R. (Eds.), *Geochemistry of sediments and sedimentary rocks: evolutionary considerations to mineral deposit forming environments*. 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- Refinements for footwall red-bed diagenesis in the sediment-hosted stratiform Cu deposits model. *Economic Geology* 100: 766-771.
- 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. Geological Survey and Servicio Geológico de Bolivia, *Geology and Mineral resources of the Altiplano and Cordillera Occidental, Bolivia with a section on application of economic evaluations to deposit models* by D. I. Bleiwas & R. G. Christiansen. U.S. Geological Survey Bulletin 1975: 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 03.
- Durieux, C. G. & Brown, A. C., 2007- Geological context, mineralization, and timing of the Joramento sediment-hosted stratiform copper-silver deposit, Salt district, northwestern Argentina. *Mineralium Deposita* 42: 879-899.
- Flint, S. S., 1989- Sediment-hosted stratabound copper deposits of the Central Andes in Boyle, R. W., Brown, A. C., Jefferson, C. W., Jowett, E. C. & Kirkham, R. V., *Sediment-hosted stratiform copper deposits*. Geological Association of Canada Special Paper 36: 371-400.
- Hahn, G. A. & Thorson, J. P., 2006- Geology of the Lisbon valley sandstone-hosted disseminated copper deposits, San Juan County, Utah. *Utah Geological Association Publication* 32: 511-533.
- Hitzman, M. W., Selly, 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. & Selley, D., 2005- The sediment-hosted stratiform copper ore system. 100th anniversary volume of *Economic Geology* 609-612.

- Kirkham, R. V., 1996- Exploration for stratabound copper deposits in the Salta area, northwestern Argentina. Unpublished private report for Paramount Ventures and Finance, 16.
- Love, L. G. & Brockley, H., 1973- Peripheral radial texture in framboids of polyframboidal 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. MSc 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. In: Boyle, R.W., Brown, A. C., Jefferson, C. W., Jowett, E. C. & Kirkham, R. V., eds., *Sediment-hosted stratiform copper deposits*. Geological Association of Canada 36: 97-110.
- 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 systematics. *Ore Geology Reviews* 23(1): 55-70 systematics." *Ore Geology Reviews* 23.1: 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.
- Thorson, J. P., 2005- Lisbon valley sediment-hosted copper deposits and Paradox basin fluids trip. *Society of Economic Geologists*, v. 37. DOI: 10.5382/GB.37.
- Walker, T. R., 1989- Application of diagenetic alterations in red beds to the origin of copper in stratiform copper deposits. In: Boyle R. W., Brown A. C. Jefferson W., Jowett E. C., Kirkham R. V. (Eds.), *Sediment-hosted stratiform copper deposits*. Geological Association of Canada 36:85-96.
- Woodward, L. A., Kaufman, W. H., Schumacher, O. L. & Talbott, L. W., 1974- Strata-bound copper deposits in Triassic sandstone of Sierra Nacimiento, New Mexico. *Economic Geology* 69(1): 108-120.

Mineralization, Mineralogy, Structure and Texture of Chehrabad Sedimentary Cu Deposit, Northwest of Zanjan

Z. Bikdeli ¹, M. Ebrahimi ^{2*}, Gh. Nabatian ² & M. A.A. Mokhtari ²

¹ M. Sc. Student, Department of Geology, Faculty of Sciences, University of Zanjan, Zanjan, Iran

² Assistant Professor, Department of Geology, Faculty of Sciences, University of Zanjan, Zanjan, Iran

Received: 2014 May 21

Accepted: 2015 March 01

Abstract

Chehrabad Cu deposit is located in the Zanjan province and in the northwest corner of Central Iran. Rock units exposed in this area belong to the Cenozoic era (especially Miocene period) and include the Lower Red Formation, Qom Formation, Upper Red Formation and Quaternary deposits. In the study area, the Upper Red Formation which hosts the mineralization consists of alternating beds of marl, siltstone, oxidized red sandstone and light gray sandstone. Mineralization has occurred within the gray sandstones of bleached zone containing organic materials. In Chehrabad, copper deposit mineralization has been recognized in five horizons. Each horizon is composed of three zones including reduced zone with mineralization, bleached zone and oxidized red zone. The dominant texture in the Chehrabad Cu deposit is replacement texture which is accompanied with other textures such as disseminated, solution seams, lens like and interparticle cement texture. Lithology (sandstone host rock), sulfide mineralogy (e.g. pyrite, chalcocite, bornite and chalcopyrite), structure and texture, stratigraphy as well as factors controlling the mineralization (presence of plant remains performing as environment reductant and also the permeability in the host rock) suggest that this deposit is similar to the red-bed type sedimentary Cu deposits which is formed during the early to late diagenesis.

Keywords: Upper Red Formation, Structure and Texture, Red Bed type sedimentary Cu deposits, Chehrabad, Zanjan.

For Persian Version see pages 249 to 262

*Corresponding author: M. Ebrahimi; E-mail: ebrahimi@znu.ac.ir