

کانی‌شناسی، ساخت و بافت و نحوه تشکیل رخداد مس رسوبی - دیاژنتیک مارکشه، تیپ Redbed، در سازند سرخ گره‌دو به سن ژوراسیک، جنوب ایران مرکزی

امیرمهدوی^۱، ابراهیم راستاد^۲، محبوبه حسینی برزی^۲

^۱گروه زمین‌شناسی، دانشکده علوم پایه، دانشگاه تربیت مدرس، تهران، ایران
^۲گروه زمین‌شناسی، دانشکده علوم زمین، دانشگاه شهید بهشتی، تهران، ایران

تاریخ دریافت: ۱۳۸۷/۰۹/۱۶ تاریخ پذیرش: ۱۳۸۸/۱۰/۲۸

چکیده

رخداد مس مارکشه در شمال‌باختری راور و در حاشیه جنوب باختری بلوک طبس واقع شده است. واحدهای سنگی دربرگیرنده این رخداد شامل لایه‌های سرخ (Redbed) سازند گره‌دو به سن ژوراسیک-کرتاسه است که در محدوده‌ای به طول بیش از ۴۰۰ کیلومتر گسترش یافته است. این لایه‌ها شامل تناوبی از ماسه‌سنگ، کنگلومرا و سیلتستون سرخ اکسیدان (هماتیت‌دار) است که در بخش‌هایی احیایی شده‌اند. کانه‌زایی در افق‌های احیایی و در ارتباط با کانال‌های دیرینه (Paleochannel) رخ داده است. در محدوده رخداد مس مارکشه، دو افق اصلی احیایی و ۴ زیرافق قابل تشخیص است که هر یک، از سه پهنه قرمز اکسیدان (Red Zone)، پهنه شسته شده (Bleached Zone) و پهنه احیایی کانه‌زایی شده (Mineralized Zone) تشکیل شده‌اند. با توجه به ویژگی‌های رخداد مس مارکشه مانند سنگ‌شناسی، ژئومتری عدسی و وابسته به لایه، گسترش ناحیه‌ای، ساخت و بافت جان‌شینی و دانه‌پراکنده، کانی‌شناسی ساده، وجود آثار و بقایای گیاهی و تمرکز کانه‌زایی مس در ارتباط با آن، این رخداد مارکشه را می‌توان یک رخداد مس با میزبان رسوبی و از نوع Redbed type sediment-hosted copper deposit در نظر گرفت که کمی پس از دیاژنز اولیه (Early diagenesis) و تشکیل سنگ میزبان و پیش از تدفین ژرفی تشکیل شده است.

کلیدواژه‌ها: مس رسوبی - دیاژنتیک، کانال‌های دیرینه، پهنه‌های اکسیدان، احیایی و کانه‌زایی شده، مارکشه، راور

*نویسنده مسئول: امیر مهدوی

E-mail: am.mahdavi@yahoo.com

۱- مقدمه

و ۳) و توسط واحد تبخیری مارن گچ‌دار و گچ (K_1^{Shl}) و سنگ‌آهک خاکستری سبترلایه کرتاسه (K_2) پوشیده می‌شود (شکل ۴). واحد در برگیرنده کانه‌زایی مس در رخداد مس مارکشه، بخش خاکستری و احیایی لایه‌های سرخ گره‌دو، شامل کنگلومرای دانه‌ریز تا متوسط، ماسه‌سنگ و سیلتستون است (شکل ۳). سنگ‌های تبخیری سری مگو (Jm) واقع در زیر سازند سرخ گره‌دو (شکل ۲ و ۳)، در بخش‌هایی به‌صورت دیاپیر، واحدهای سرخ‌لایه (Redbed) را قطع کرده و باعث به‌هم‌ریختگی این توالی شده‌اند (Stoclin et al., 1972). توالی لایه‌های سرخ گره‌دو با سنگ‌های تخریبی و کربناتی روی آن، چین‌خوردگی شدیدی را تحمل کرده و موجب رخنمون تاقدیس و ناودیس‌های به‌هم‌پیوسته‌ای شده است. روند چین‌خوردگی‌ها بیشتر شمال‌باختر- جنوب خاور و روند گسل‌خوردگی‌ها شمالی-جنوبی و شمال‌باختر- جنوب خاور است.

۳- محیط رسوبگذاری

در لایه‌های سرخ گره‌دو ترکیب لیترانایتی بیشتر ماسه‌سنگ‌ها، وجود چرخه‌های درشت‌شونده به سمت بالا همراه با حضور آثار حفاری کرم‌ها از نوع اسکولیتوس (Skolitus)، ساختمان‌های رسوبی همچون ریل‌مارک موجی و طبقه‌بندی مورب و نیز وجود کانال‌های دیرینه، نشان‌دهنده محیط دلتایی است که محدوده ژرف میان‌کشدی را برای طبقات ماسه‌سنگ توالی سرخ گره‌دو نشان می‌دهد. روند کلی درشت‌شونده، به سمت بالا در کل نهشته‌های یادشده، حاکی از محیط دلتایی پسرونده و کاهش ژرفای آب است (Catuneanu, 2006).

وجود افق خاک‌های دیرین از نوع کالیچ در شمال باختر منطقه مارکشه، در بالاترین افق از این نهشته‌ها، نشان‌دهنده نهشت در حاشیه‌ای‌ترین موقعیت این حوضه رسوبی دلتایی- کشدی است. این پدیده در واقع معرف زمان بیرون‌زدگی رسوبات حاشیه حوضه از آب است.

کانسارهای مس رسوبی، دومین تولید کننده مس جهان، پس از کانسارهای مس پورفیری، و مهم‌ترین منبع تأمین‌کننده کبالت هستند و در حال تبدیل به یکی از مهم‌ترین منابع تأمین نقره جهان هستند (Hitzman et al., 2005). بلوک طبس در خرد قاره ایران مرکزی از جمله مناطقی در ایران است که تاکنون بررسی‌های اندکی در مورد توان معدنی آن صورت گرفته است. وجود آثار کانی‌سازی مس رسوبی در ماسه‌سنگ‌های تخریبی سرخ رنگ ژوراسیک سازند سرخ گره‌دو در گستره‌ای به طول بیش از ۴۰۰ کیلومتر و وجود دو رخداد مس مارکشه و آغل‌مسی در شمال باختر راور و رخداد چشمه‌سفید در شمال طبس (شکل ۱) پتانسیل بالای کانه‌زایی مس رسوبی در این بلوک را نشان می‌دهد (مهدوی، ۱۳۸۷) که می‌توان آن را به‌عنوان پهنه مس رسوبی راور- طبس- عشق‌آباد معرفی کرد. رخداد مس مارکشه با مختصات جغرافیایی ۳۵° ۴۲' ۵۶" طول خاوری و ۵° ۲۴' ۳۱" عرض شمالی، در فاصله ۱۵ کیلومتری شمال باختر راور و در حاشیه جنوب باختری پهنه ساختاری بلوک طبس واقع شده است. در این پژوهش تلاش شده است تا افزون بر شناسایی و پی‌گیری گسترش کانه‌زایی مس در شمال باختر راور و جنوب خاور بهاباد (استان یزد)، ویژگی‌های کانی‌شناسی، ساختی و بافتی و همچنین چگونگی تشکیل رخداد، بررسی و همراه با آن نوع (تیپ) رخداد مس مارکشه نیز در مقایسه با انواع جهانی ذخایر مس در سنگ‌های میزبان رسوبی، مشخص و معرفی شود.

۲- زمین‌شناسی

نهشته‌های موجود در منطقه راور بیشتر شامل رسوبات مزوزویک بویژه نهشته‌های ژوراسیک پسین- کرتاسه هستند (Stoclin et al., 1972). این مجموعه که گسترده‌ای زیادی از جنوب راور تا پیرامون طبس دارد شامل ماسه‌سنگ و سیلتستون با میان‌لایه‌های میکروکنگلومرا تا کنگلومرا (لایه‌های سرخ گره‌دو) (JK) است که واحدهای نمک ژوراسیک بالا (Jm) را پوشانده است (آقانباتی، ۱۳۸۳) (شکل ۲).

۴- کانه‌زایی

کانه‌زایی مس در گستره وسیعی از حاشیه باختری بلوک طبس، از جنوب راور تا شمال عشق‌آباد، درون لایه‌های سرخ گره‌دو دیده می‌شود (شکل ۱). در تجزیه ژئوشیمیایی نمونه‌ها، وجود مقادیری بی‌هنگاری اورانیم نیز همراه با کانه‌زایی مس دیده شد (مهدوی، ۱۳۸۷). در رخداد مس مارکشه کانه‌زایی در افق‌های احيایی و در ارتباط با کانال‌های دیرینه رخ داده است (Mahdavi et al., 2008). کانال‌های دیرینه درون افق‌های احيایی از کنگلومرای ریزدانه در بخش زیرین تشکیل شده است که به سمت بالا از اندازه دانه‌ها کاسته و به تدریج به ماسه‌سنگ و ماسه‌سنگ بسیار دانه‌ریز تبدیل می‌شود (شکل ۵). به‌طور کلی دو افق اصلی در رخداد مارکشه قابل تشخیص است (شکل ۳) که ویژگی‌های آنها، از قدیم به جدید به شرح زیر است:

۴-۱. افق OH-A

سنگ‌شناسی این افق، لیترانیت درشت‌دانه تا میکروکنگلومرای خاکستری روشن متمایل به سبز و ماسه‌سنگ ریزدانه است. این افق با امتداد خاوری- باختری، افق اصلی در این رخداد و شامل دو زیرافق احيایی OH-A₁ (با ستبرای ۹-۴ متر در پایین) و OH-A₂ (با ستبرای ۱۰-۵ متر در بالا) است (شکل ۶). فاصله این دو زیرافق از یکدیگر حدود ۲۵-۱۵ متر است. در بعضی نواحی، این دو زیرافق با یکدیگر تلفیق شده و یک افق احيایی ستبر (حدوداً ۲۰ متر) را تشکیل می‌دهند و گاهی نیز به یک سمت باریک و در نهایت به پهنه ماسه‌سنگ سرخ تبدیل می‌شوند، اما پس از طی مسافتی دوباره ظاهر می‌شوند. فراوانی قطعات فسیل گیاهی و مواد آلی در این افق بیشتر از افق دیگر است. به‌طور کلی این افق پتانسیل کانه‌زایی بیشتری نسبت به افق OH-B دارد (مهدوی و همکاران، ۱۳۸۶). ترانشه‌های حفر شده در محل رخداد مس مارکشه و همچنین تونل متروکه باختر محدوده، بر روی این افق قرار دارند.

۴-۲. افق OH-B

سنگ‌شناسی این افق شامل میکروکنگلومرا تا ماسه‌سنگ درشت‌دانه خاکستری و ماسه‌سنگ ریزدانه خاکستری است. این افق که در فاصله ۱۵۰ متری بالای افق OH-A قرار گرفته (شکل ۳)، ۵۰ متر ستبر دارد و شامل دو زیرافق احيایی OH-B₁ و OH-B₂، به فاصله ۳۰-۲۵ متر از یکدیگر است. ستبرای هر یک از این زیرافق‌های احيایی به ترتیب ۸ تا ۱۲ و ۲ تا ۴ متر است (شکل ۶). با توجه به بررسی‌های انجام شده، افق‌های اصلی و زیرافق‌های احيایی موجود در رخداد مارکشه در بخش‌های دیگری از بخش جنوبی پهنه مس راور- طبس- عشق‌آباد، مانند اندیس‌های کمرسی و کوه گل‌وشور (شکل ۱) در شمال باختر راور نیز قابل تشخیص است.

کانه‌زایی در این دو افق، درون قاعده رسوبات کانال‌های دیرینه محیط دلتایی تشکیل شده است. در این کانال‌های دیرینه، رسوبات برخلاف چرخه‌های درشت‌شونده لایه‌های سرخ گره‌دو، به سمت بالا دانه‌ریز می‌شوند (شکل ۵). کانه‌زایی مس در بخش‌هایی از این زیرافق‌ها که فسیل گیاهی وجود دارد دیده می‌شود. این بخش‌های کانه‌دار به‌صورت عدسی‌هایی با طول ۲۰۰-۱۰۰ متر و ستبرای ۶-۰/۲ متر در امتداد زیرافق‌های احيایی دیده می‌شود (شکل ۷ و ۸).

قطعات چوبی و فسیل‌های گیاهی به‌عنوان عامل اصلی احيای محیط در کنگلومرا و ماسه‌سنگ‌های موجود در کانال‌های دیرینه بیشترین تمرکز را دارند (Jowett, 1991) (شکل ۷). کانه‌زایی مس در رخداد مس مارکشه رابطه نزدیکی با این تجمعات فسیل گیاهی دارد (مهدوی، ۱۳۸۷). سولفیدهای مس، بیشتر در پیرامون فسیل‌هایی که درون واحدهای سنگی درشت‌دانه و نفوذپذیر تجمع یافته‌اند، تشکیل شده‌اند. این در حالی است که، در بخش‌های با نفوذپذیری کم (ریزدانه) برخلاف وجود قطعات فسیلی، کانه‌زایی به‌ندرت گسترش یافته است. به عبارت دیگر، افزون بر حضور قطعات فسیل گیاهی، نفوذپذیری واحدهای سنگی درشت‌دانه، از عوامل عمده و اصلی تمرکز کانه‌زایی مس است (Kirkham, 1996).

۵- دگرسانی در مرحله دیاژنز و نقش آن در تشکیل پهنه‌های مختلف در افق‌های کانه‌دار

هر یک از افق‌های احيایی کانه‌دار از سه پهنه تشکیل می‌شود که در طی مراحل مختلف دیاژنز اولیه (Early diagenesis) و پیش از تدفین ژرفی (جدول ۱) بر اثر پدیده‌های دگرسانی ایجاد شده‌اند، این پهنه‌ها عبارتند از:

۵-۱. پهنه سرخ اکسیدان (Red Oxidized Zone)

پهنه اکسیدان بیشترین بخش لایه‌های سرخ گره‌دو را تشکیل می‌دهد که افق‌های احيایی را از بالا و پایین در بر می‌گیرد (شکل ۹). رنگ این بخش از قهوه‌ای تیره تا سرخ- نارنجی روشن تغییر می‌کند. ترکیب سنگی این بخش بیشتر از لیترانیت فلدسپاردار تا آروکزیلیتیک بسیار دانه‌ریز تا دانه متوسط تشکیل شده است. گاه کنگلومرای دانه‌ریز و سیلتستون سرخ نیز در آن دیده می‌شود. رنگ سرخ این بخش به دلیل حضور مقادیر زیادی هیدروکسید آهن است. هیدروکسیدهای آهن به‌صورت قشر باریکی پیرامون قطعات آواری، بویژه دانه‌های کوارتز وجود دارد. اجزای تشکیل‌دهنده این بخش عبارتند از: کوارتز، فلدسپار پتاسیم (بیشتر ارتوکلاز و کمی میکروکلین) و مقادیر کمتری پلاژیوکلاز (آلیت) و کانی‌های رسی. سیمان در سنگ‌های پهنه سرخ اکسیدان شامل مواد کربناتی و به مقدار کمتر سیلیس، اکسید آهن و کانی‌های رسی است. بیشتر کانی‌های رسی در مقاطع میکروسکوپی قابل تشخیص نیستند اما تجزیه XRD، وجود آلپیت و کائولینیت را در این مجموعه ثابت کرده است. تنها کانی مس‌دار موجود در این پهنه، نئوتوسیت است که به‌طور ثانویه در بخش‌های نزدیک به پهنه کانه‌زایی شده تشکیل می‌شوند.

۵-۲. پهنه شسته شده (Bleached Zone)

این پهنه در واقع بخشی از توالی لایه‌های سرخ گره‌دو است که در مرحله دیاژنز میانی (Middle diagenesis) (جدول ۱) دچار دگرسانی شده است. به‌طوری‌که تحت تأثیر سیال احیا، رنگ سرخ- نارنجی ماسه‌سنگ به سفید، قهوه‌ای مایل به زرد، خاکستری و یا سبز تبدیل شده است. در این پهنه، اکسیدهای آهن از پیرامون دانه‌ها، شسته شده‌اند و در نتیجه، این پهنه از نظر مقدار آهن از خود تهی شدگی نشان می‌دهد. آهن جدا شده یا به‌صورت پیریت ریزدانه و پراکنده ته‌نشست می‌یابد و یا به‌صورت اکسیدهای آهن سخت‌شده (Consolidated Iron Oxide) در مرز اکسیداسیون - احیا (Redox-boundry) تجمع پیدا می‌کند (Chan et al., 2000; MacIntyer, 2005). در پهنه شسته شده، کانی ثانویه نئوتوسیت فراوانی بیشتری نسبت به پهنه سرخ اکسیدان دارد.

۵-۳. پهنه احيایی کانه‌زایی شده (Mineralized Reduced Zone)

در رخداد مس مارکشه، بخش‌های کانه‌دار به شکل عدسی، درون بخش شسته شده (Bleached zone) افق‌های احيایی تشکیل شده‌اند (شکل ۷). مهم‌ترین عامل مؤثر در تشکیل این پهنه، فراوانی قطعات فسیل گیاهی و مواد آلی به‌عنوان عامل احیا و نیز نفوذپذیری سنگ‌ها در بخش شسته شده است. فسیل‌های گیاهی موجود در رخداد مس مارکشه در بخش زیرین کانال‌های دیرینه موجود در افق‌های احيایی تجمع یافته‌اند. فسیل‌های گیاهی با ایجاد یک محیط احیا در پیرامون خود ابتدا موجب دگرسانی شستشو (Bleaching) و تشکیل پهنه شسته شده و سپس باعث ته‌نشست مس و دیگر عناصر فلزی موجود در سیال اکسیدان عبور کننده از درون کانال‌های دیرینه می‌شوند.

۶- کانی‌شناسی و ساخت و بافت

مهم‌ترین کانی‌های سولفیدی موجود در رخداد مس مارکشه عبارتند از کالکوسیت، کوولیت، دیژنیت، آرژنتیت، پیریت و کالکوپیریت که به‌صورت بافت‌های دانه‌پراکنده، جانشینی، سیمان میان دانه‌ای و درزه‌های انحلالی دیده می‌شوند.

۶-۱. بافت دانه پراکنده

بار لیتوستاتیک و در سطوحی موازی با لایه بندی سنگ میزبان تشکیل می شوند. در اثر فشار بار لیتوستاتیکی، ذرات قابل حل به صورت شیمیایی انحلال پیدا می کنند و در صورت وجود اجزای غیر قابل انحلال، این ذرات در میان دانه های انحلال یافته (فضای درون درزه های انحلالی) باقی می مانند. این اجزای غیر قابل حل می توانند کانی سولفیدی و یا مواد آلی باشند (Durieux & Brown, 2007). در رخداد مس مارکشی نیز، فشار وارد بر ذرات کوارتز، موجب انحلال مرزهای آنها شده است. در مواردی که کانی سولفیدی (کالکوسیت) در چنین مکان هایی حضور داشته است، این سولفیدها در میان درزه های انحلالی باقی مانده اند که در مرحله برون زاد به مالاکیت تغییر یافته اند.

۷- خاستگاه و نحوه تشکیل

در کانسارهای مس رسوبی و در طی فرایند دیاژنز اولیه (Early diagenesis)، هیدرولیز کانی های سیلیکاتی مانند پلاژیوکلاز، هورنبلند و بیوتیت موجب آزاد شدن آهن موجود در شبکه آنها، به صورت هیدروکسید آهن فریک (پیش ماده اولیه هماتیت) می گردد که با تجمع در پیرامون دانه های آواری، باعث سرخ شدن رسوبات در مراحل اولیه دیاژنز می شود (Walker, 1989).

همچنین در طی دیاژنز اولیه و در اثر تخریب مواد آلی، اسید هومیک ایجاد می شود و در محیط اسیدی ناشی از آن، تخریب برخی از کانی های سیلیکاتی ادامه می یابد. در اثر تخریب کانی های سیلیکاتی، جانشینی پلاژیوکلاز توسط پتاسیم فلدسپار در جازا (اوتوژنیک) و نیز شسته شدن بیوتیت، عناصر فلزی موجود در شبکه آنها آزاد و این عناصر توسط هیدروکسیدهای آهن و اسمکتیت موجود در زمینه رسی ماسه سنگ، جذب می شوند (Brown, 2003).

در مراحل بعدی دیاژنز، طی تبلور و بلوغ اکسیدهای آهن بی شکل و تبدیل آنها به هماتیت (Chan et al. 2000) و همچنین تبدیل اسمکتیت به ایلیت، محتوای فلزی درون این کانی ها، از جمله مس و نقره، آزاد و وارد سیال اکسیدان می شوند و می توانند توسط آن حمل شوند (شکل ۱۵). در رخداد مس مارکشی سیال اکسیدان کانه دار در اثر فشار بار لیتوستاتیکی لایه های سرخ گره دو، و در اثر آب زدایی و انحلال کانی های تبخیری در توالی تبخیری های سری مگو (شکل ۱۵)، که (در پهنه مس رسوبی راور- طبس- عشق آباد) در زیر رسوبات لایه های سرخ گره دو قرار گرفته اند، ایجاد می گردد. این سیال غنی از کلرید و با شوری متوسط تا بالا است که تحت تأثیر شیب حرارتی ناشی از فرایند دیابیریسم منطقه، در رسوبات سازند سرخ گره دو به گردش در می آید، مس و دیگر فلزات آزاد شده از کانی های سیلیکاتی ناپایدار را به صورت کمپلکس کلریدی حمل می کند. افزون بر این، تخریب مواد آلی و ایجاد اسید هومیک همچنان در این مرحله ادامه دارد.

از طرف دیگر وجود تمرکزهای بالایی از مواد آلی، در چندانق از توالی لایه های سرخ گره دو، باعث می شود که آب میان سازندی موجود در اطراف بخش های غنی از فسیل گیاهی تحت تأثیر مواد آلی، احیا و موجب تشکیل سیال احیایی شود (شکل ۱۵). در واقع باکتری های بی هوازی با گرفتن انرژی مورد نیاز خود از مواد آلی، سولفات موجود در آب میان سازندی را به H_2S احیا نموده، و در نتیجه افزون بر ایجاد گوگرد، باعث دگرسانی شستشو (Bleaching) در افق غنی از فسیل گیاهی می شوند (Brown, 2005). در این حالت، اکسیدهای آهن موجود در بخش های احیا شده، در مجاورت گوگرد، یا به صورت پیریت دیاژنیتیک ته نشست پیدا نموده و یا از سنگ شسته شده و در مرز محیط احیا و اکسید شده تمرکز می یابند.

سیال اکسیدان کانه دار در مسیر چرخش خود درون لایه های سرخ گره دو، با رسیدن به افق های احیایی غنی از مواد آلی و فسیل گیاهی، و در اثر برخورد با سیال

بافت دانه پراکنده بیشتر در پیرامون پهنه احیایی کانه زایی شده (غنی از فسیل گیاهی) و گاه در بخش های نفوذ پذیر دارای مواد آلی دیده می شود. سولفیدهای مس و پیریت دارای این بافت هستند. کانه زایی سولفیدهای مس (بیشتر کالکوسیت) به صورت دانه پراکنده (شکل ۱۰)، در بخش های نزدیک به پهنه احیایی کانه زایی شده دیده می شوند. در رخداد مس مارکشی کالکوسیت اولیه دانه پراکنده، در اثر جانشین شدن به جای دانه های پراکنده پیریت و یا سیمان کربناتی تشکیل شده است. همچنین قرارگیری کالکوسیت اولیه در فضای خالی میان دانه ها به صورت سیمان میان دانه ای می تواند بافت دانه پراکنده ایجاد کند (Asael et al., 2007) که در رخداد مس مارکشی دیده می شود.

پیریت دانه پراکنده دو نسل دارد. نسل اول پیریتی است که در مراحل اولیه دیاژنز و پس از ته نشست ژل سولفیدی به صورت فرامبوئیدال از ژل سولفیدی متبلور شده است؛ پیریت نسل دوم طی دگرسانی شستشو (Bleaching) و احیا شدن محیط تشکیل شده است. هر دو نسل پیریت به صورت دانه پراکنده در متن سنگ دیده می شوند (شکل ۱۱).

۶-۲. بافت جانشینی

بافت اصلی در رخداد مارکشی بافت جانشینی است. به نحوی که در تمام کانی های سولفیدی مانند پیریت، کالکوپیریت، کالکوسیت، کوولیت، دیژنیت و آرژنیت و نیز کانی های غیر سولفیدی مانند مالاکیت و کریزوکلا به چشم می خورد.

مواد آلی و فسیل های گیاهی به دلیل ایجاد شرایط احیایی، محیط مناسبی برای تشکیل و جانشینی کانی های سولفیدی در آنها، ایجاد می کنند (Subias et al., 2003). چنین شرایطی می تواند باعث جانشینی کالکوپیریت و بورنیت، به جای سلول های گیاهی و آوندهای آن شده و بافت جانشینی را ایجاد کند (شکل ۱۲).

کانی اصلی سولفیدی موجود در رخداد مارکشی، کالکوسیت است که بافت چیره آن جانشینی است. کالکوسیت دو نسل دارد. نسل اول که در طی فرایند کانه زایی تشکیل شده است، به صورت جانشینی در پیریت فرامبوئیدال نسل اول، پیریت دانه پراکنده، سیمان کلسیتی، دانه های آواری فلدسپار و همچنین به صورت سیمان میان دانه ای دیده می شود. این نوع کالکوسیت به صورت دانه پراکنده و در بخش های مجاور عدسی غنی از فسیل گیاهی تشکیل شده است. نسل دوم کالکوسیت از تبدیل بورنیت و کالکوپیریت جانشین شده در فسیل های گیاهی و در طی مراحل برون زاد (سوپوزن) ایجاد شده است (شکل ۱۲).

۶-۳. بافت سیمان میان دانه ای

این بافت حالت خاصی از بافت دانه پراکنده است که در آن تمرکز سولفیدها پیرامون دانه های آواری زیاد دیده می شود و به آن سیمان میان دانه ای نیز گفته می شود. در این بافت به نظر می رسد فضای میان دانه های سنگ میزبان توسط سولفیدهای مس اشباع شده (Impregnant copper sulphide) پر شده است (MacIntyre, 2005). بافت سیمان میان دانه ای در رخداد مس مارکشی در بخش های با تمرکز بالای سولفید و در مجاورت عدسی های غنی از فسیل گیاهی دیده می شود. سولفیدهای مس اشباع شده معمولاً جانشین سیمان کربناتی و حاشیه های خورده شده دانه های کوارتز و فلدسپار می شوند (MacIntyre, 2005) (شکل ۱۳).

۶-۴. بافت درزه انحلالی (Solution seams) (به شکل لامینه دروغین)

غالباً در بخش بالایی پهنه احیایی کانه زایی شده و درون ماسه سنگ دانه ریز تا دانه متوسط، نوارهایی از مالاکیت به چشم می خورد که تقریباً به موازات لایه بندی سنگ میزبان تشکیل شده اند. در واقع این نوارها، درزه های انحلالی هستند که در حال حاضر مالاکیت در درون آنها دیده می شود (شکل ۱۴). این گونه درزه های انحلالی پس از مرحله دیاژنز اولیه و پیش از دیاژنز تأخیری، در جهت عمود بر فشار

کالکوسیت، بورنیت، کوولیت، دیژنیت، پیریت، مس و نقره طبیعی، گالن و اسفالریت است. کانی‌های باطله بیشتر کلسیت، دولومیت و باریت هستند. بر اساس بررسی‌های میکروسکوپی و نتایج XRD کانی‌شناسی رخداد مارکشه بیشتر شامل کالکوسیت، بورنیت، کوولیت، آرژنتیت، پیریت و کانی‌های باطله آن بیشتر کلسیت و دولومیت است.

۹- کانسارهای شاخص مس رسوبی نوع سرخ لایه (Redbed) و جایگاه رخداد مس مارکشه

کانسار مس رسوبی Nacimientو (Woodward et al., 1974) در نیومکزیکو و کانسار مس رسوبی Lisbon Valley (Thorson, 2005) در ایالت کلرادو، به‌عنوان شاخص جهانی کانسارهای نوع سرخ لایه (Redbed) شناخته شده‌اند (Hitzman et al., 2005). این کانسارها همانند رخداد مس مارکشه، در توالی ماسه‌سنگ و کنگلومرای سرخ رنگ در یک محیط کشتی حاشیه کافتی، تشکیل شده‌اند. مهم‌ترین تفاوت میان کانسار Nacimientو و Lisbon Valley، نحوه دگرسانی شستشو در این دو کانسار و پیرو آن کانه‌زایی است. دگرسانی شستشو و کانه‌زایی در کانسار Nacimientو همانند رخداد مس مارکشه، در امتداد افق‌های ماسه‌سنگی و به‌صورت هم‌خواب با لایه‌بندی سنگ میزان است. اما در کانسار Lisbon Valley، دگرسانی شستشو و کانه‌زایی در اطراف گسل‌ها و گاه در امتداد افق‌های ماسه‌سنگی رخ داده و دارای کنترل‌کننده گسلی است. میزان نقره در کانسار Nacimientو، همانند رخداد مس مارکشه، نسبت به کانسار Lisbon Valley بالاتر است (بالاتر از ۶۰ ppm). دیگر ویژگی‌های این کانسارها مشابه یکدیگر است که در جدول ۲ آورده شده است.

۱۰- نتیجه‌گیری

بررسی‌های صورت گرفته در رخداد مس مارکشه با وجود شواهدی مانند رخداد بخش عمده کانه‌زایی به صورت بافت جانشینی، حضور بافت درزه انحلالی، نفوذپذیری سنگ میزان، دگرسانی در مرحله دیاژنز و تشکیل پهنه‌های شسته شده، سرخ اکسیدان و احیا کانه‌زایی شده، کانه‌زایی در کانال‌های دیرینه، نبود بافت‌های سین‌ژنتیک، نقش تبدیل و تحولات دیاژنری کانی‌های رسی، نقش قطعات فسیل‌های گیاهی در احیای سیال کانه‌ساز، همگی دلالت بر رخداد کانه‌زایی مس به صورت دیاژنتیک دارد. حفظ‌شدگی ساختارهای سلولی در بافت جانشینی سولفیدها نشان‌دهنده کانه‌زایی پیش از تدفین ژرفی است. این پدیده‌ها کانه‌زایی در دیاژنز میانی را در رخداد مارکشه به خوبی نشان می‌دهند.

بررسی‌های انجام گرفته در رخداد مس مارکشه، همراهی کانه‌زایی مس را با دو پدیده موجود در منطقه، یعنی فسیل‌های گیاهی و گنبد‌های نمکی، با توجه به بررسی‌های کانسارهای مشابه در دیگر نقاط جهان، که نشان‌دهنده ارتباط میان این پدیده‌ها و تشکیل کانسار مس رسوبی است، نشان می‌دهد. به گونه‌ای که، فسیل‌های گیاهی در تشکیل سیال احیایی، و تبخیری‌های زیر لایه‌های سرخ گره‌دو در ایجاد سیال اکسیدان حامل فلزات کانه‌ساز نقش داشته‌اند. برخورد این دو سیال در پیرامون و محل قطعات فسیل گیاهی در پهنه شسته شده، موجب کانه‌زایی مس طی دیاژنز میانی شده است.

مطالعات پیشین در مورد کانسارهای مس رسوبی نشان‌دهنده تشکیل کانی‌زایی مس با میزان رسوبی در کانسارهای دمه‌معدن و خونگاه، درون سازندهای سنگ آهک باروت و میلا به سن کامبرین ایران بوده است. بررسی‌های انجام شده اخیر (مهدوی و همکاران، ۱۳۸۶؛ مهدوی، ۱۳۸۷) کانه‌زایی مس را در ژوراسیک-کرتاسه نیز (نوع مس رسوبی سرخ لایه (Redbed)) نشان داده است که در توالی تخریبی لایه‌های سرخ گره‌دو بلوک طبس، در ناحیه راور- طبس- عشق‌آباد و در طول بیش از ۴۰۰

احیایی در این بخش، باعث ناپایدار شدن کمپلکس کلریدی حامل مس می‌شود، و در نتیجه سولفیدهای مس، ته‌نشین و جانشین بخش‌های مختلف فسیل‌های گیاهی می‌گردند (شکل ۱۲ و ۱۵). این فرایند به طور معمول کمی پس از شروع شستشو (Bleaching) (محیط احیایی مناسب برای ته‌نشست کانی‌های سولفیدی) رخ می‌دهد. بنابراین کانی‌های سولفیدی مانند کالکوپیریت، بورنیت، کالکوسیت و آرژنتیت با بافت‌های جانشینی، سیمان میان‌دانه‌ای و دانه‌پراکنده، در مرحله دیاژنز میانی (Middle diagenesis) و پیش از دیاژنز تدفینی تشکیل می‌شوند (جدول ۱).

۸- کانه‌زایی مس مارکشه و نوع آن

ژئومتری، کانی‌شناسی، نوع سنگ درونگیر، نوع عامل احیا و گستردگی کم آن، نوع محیط رسوبی و عناصر همراه رخداد مس مارکشه، همگی نشان‌دهنده تشابه کانه‌زایی مس محدوده معدنی مارکشه با کانسارهای مس رسوبی نوع Redbed است. به منظور بررسی بیشتر این شباهت‌ها ابتدا به کانسارهای رسوبی نوع Redbed و ویژگی‌های آنها اشاره و سپس رخداد مس مارکشه با آنها مقایسه خواهد شد.

۸-۱. محیط زمین‌ساختی

محیط زمین‌ساختی تشکیل کانسارهای مس رسوبی نوع سرخ لایه (Redbed) مربوط به حوضه‌های گسل خورده در نواحی مختلف مانند کافت‌ها، حوضه‌های کشتی و حوضه‌های پیش‌بوم (فورلند) است (Cox et al., 2007). به نظر Cox et al. (2007) گنبدی شدن نمکی (Salt diapirism) در فرایند کانه‌سازی برخی از کانسارها، نقش بسزایی داشته است. با توجه به توالی رسوبی موجود در منطقه و نیز زمین‌ساخت دیرینه این بخش از ایران مرکزی در زمان ژوراسیک-کرتاسه (Berberian & King, 1981)، می‌توان گفت رخداد مارکشه در یک محیط کشتی تشکیل شده است. همچنین شواهد دیاپیرسم نمکی در منطقه دیده می‌شود. از شاخص‌ترین کانسارهای مس سرخ لایه (Redbed) که در محیط کافت درون قاره تشکیل شده‌اند می‌توان به کانسار Nacimientو در ایالت نیومکزیکو آمریکا (Woodward et al., 1974) و Juramento در آرژانتین (Durieux & Brown, 2007) اشاره کرد که از نظر محیط زمین‌ساختی شباهت زیادی با رخداد مس مارکشه دارند.

۸-۲. سنگ درونگیر

بنا بر گفته Cox et al. (2007)، سنگ میزان کانسارهای مس رسوبی نوع سرخ لایه (Redbed)، ماسه‌سنگ، کنگلومرا و آرکوز مربوط به محیط‌های با انرژی بالا (High-energy) با منشأ قاره‌ای هستند. همچنین، بر اساس نظر Hitzman et al. (2005) کانسارهای مس رسوبی سرخ لایه (Redbed) در فصل مشترک ماسه‌سنگ و کنگلومرای سرخ اکسیدان (هماتیت‌دار) و خاکستری به نسبت احیایی (و به‌طور معمول پیریت‌دار) تشکیل می‌شوند.

رخداد مس مارکشه، در ماسه‌سنگ و کنگلومرای ریزدانه موجود در افق‌های احیایی سازند سرخ گره‌دو تشکیل شده است. این سازند بر روی واحد تبخیری مگو (Magou) قرار گرفته است. از ویژگی‌های مهم رخداد مس مارکشه، کانه‌زایی مس در قاعده کانال‌های دیرینه موجود در توالی ستر سرخ گره‌دو است.

۸-۳. ژئومتری، ساخت و بافت

ماده معدنی در کانسارهای نوع سرخ لایه (Redbed) (بدون کنترل ساختاری-گسلی) به‌صورت عدسی‌شکل و هم‌خواب با لایه‌بندی و در یک افق چینه‌ای خاص صورت می‌گیرد. بافت ماده معدنی در این کانسارها به‌طور معمول جانشینی و دانه‌پراکنده است. رخداد مس مارکشه نیز به‌صورت هم‌خواب با لایه‌بندی و بافت اصلی در آن، بافت جانشینی و دانه‌پراکنده است.

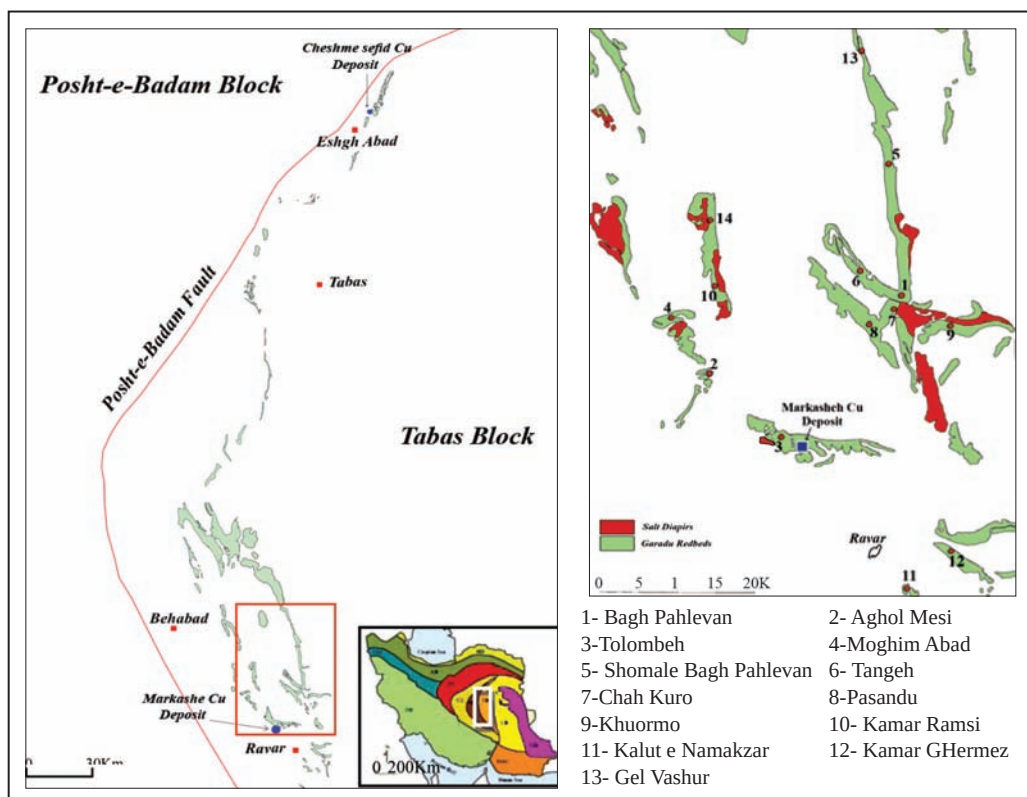
۸-۴. همبودی (پاراژنز)

مواد معدنی در کانسارهای مس رسوبی نوع سرخ لایه (Redbed) شامل

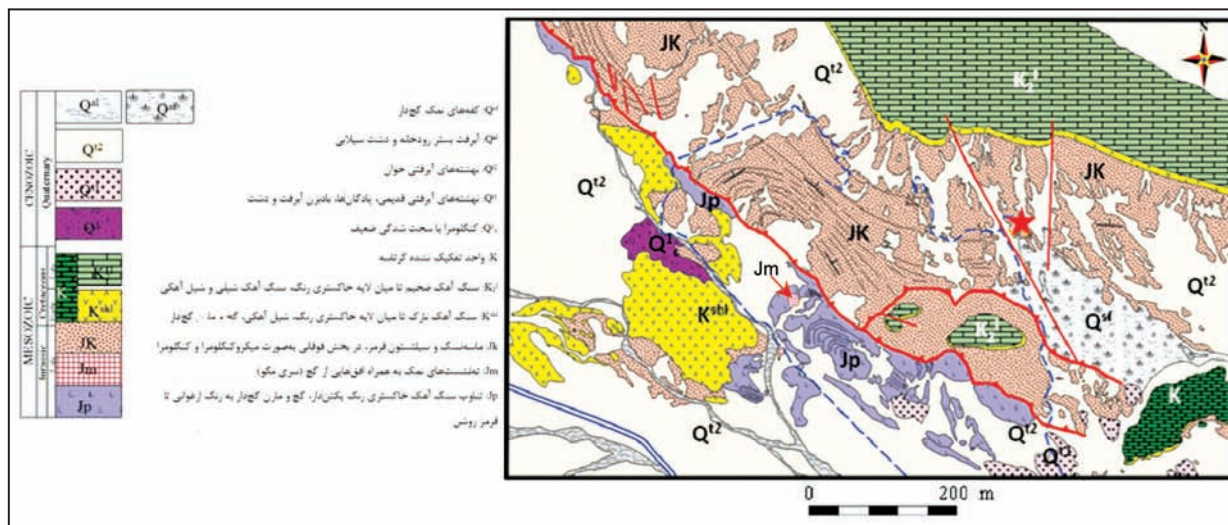
سپاسگزاری

نگارندگان بر خود لازم می‌دانند تا از حوزه معاونت محترم پژوهشی دانشگاه تربیت مدرس که در انجام این پژوهش یاری رساندند، سپاسگزاری نمایند.

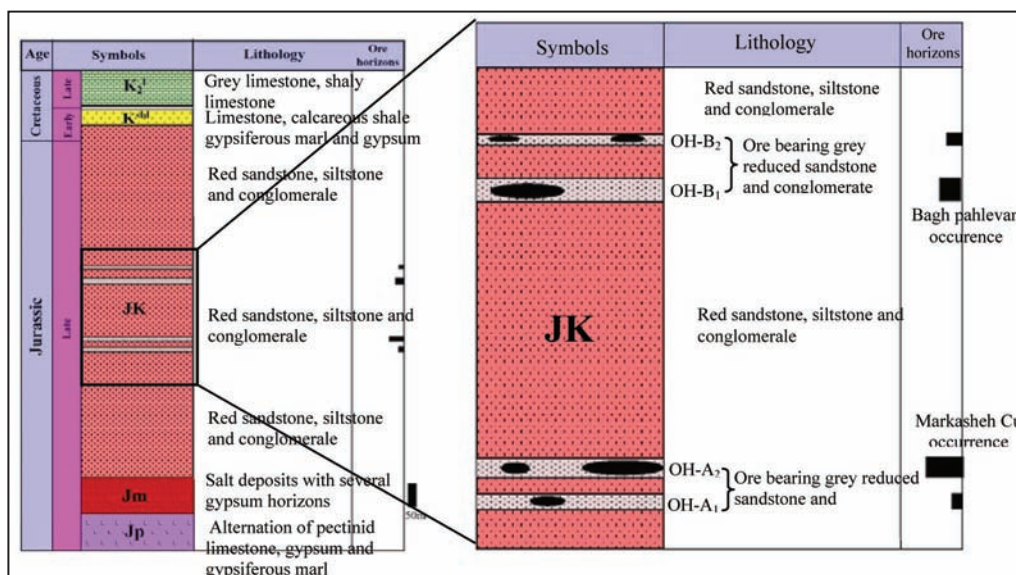
کیلومتر گسترش یافته است. با توجه به گسترش این نوع کانه‌زایی در ایران مرکزی و همچنین کانی‌سازی گسترده مس رسوبی در ناحیه تسوج- مرند آذربایجان شرقی (نقی زاده و همکاران، ۱۳۸۶) و تربت حیدریه به سن ائوسن- الیگوسن، ضرورت پی‌جویی و اکتشاف این نوع کانی‌سازی‌ها به‌خوبی روشن می‌شود. بررسی رخداد مس مارکشه می‌تواند الگویی برای بررسی و اکتشاف این نوع کانسارها و بررسی عوامل کنترل‌کننده تشکیل و تمرکز آنها باشد.



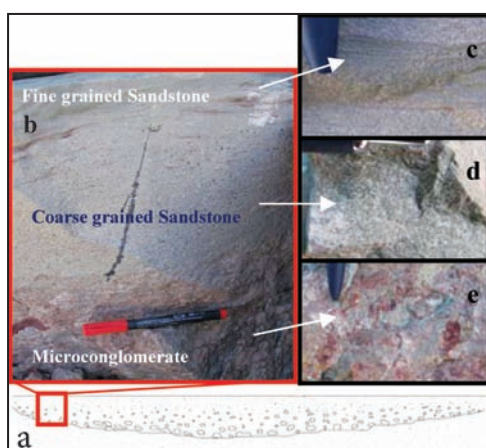
شکل ۱- گسترش سازند سرخ گره‌دو و کانی‌سازی مس در پهنه مس رسوبی راور- طبس- عشق‌آباد و پراکنندگی رخدادهای اندیس‌های مس در آن در بلوک طبس. به نحوه گسترش و همراهی گنبد‌های نمک به سن ژوراسیک بالا با سازند سرخ گره‌دو توجه شود.



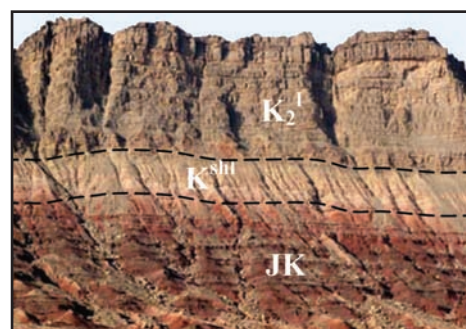
شکل ۲- نقشه زمین‌شناسی ۱:۲۰۰۰۰ منطقه راور و موقعیت رخداد مس رسوبی مارکشه در لایه‌های سرخ گره‌دو (واحد JK).



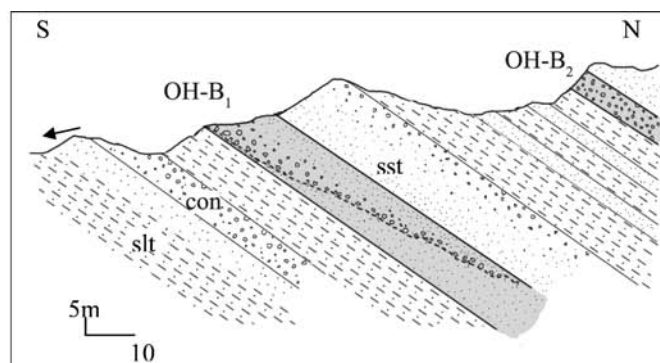
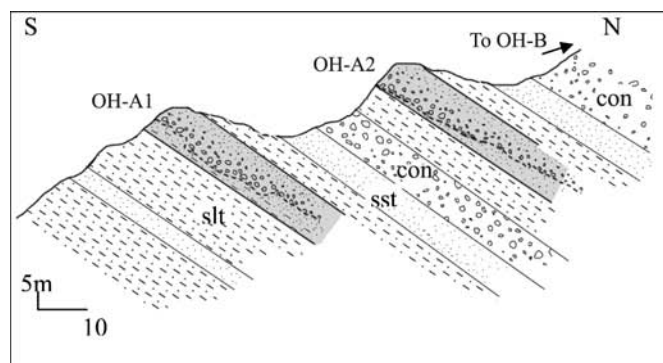
شکل ۳- ستون چینه‌شناسی عمومی از منطقه معدنی مارکشه و موقعیت افق‌های احیایی کاندار در آن.



شکل ۵- (a) شکلی نمادین از کانال دیرینه موجود در یک افق احیایی در رخداد مارکشه که توسط رسوبات تخریبی ریزشونده به سمت بالا پر شده است. وضعیت قرارگیری این رسوبات نسبت به هم در شکل (b) مشخص شده است. قاعده این کانال دیرینه از کنگلومرای ریزدانه (c) تشکیل شده است. کنگلومرا به طرف بالا به تدریج به ماسه‌سنگ (d) و ماسه‌سنگ بسیار دانه‌ریز (e) تبدیل می‌شود.

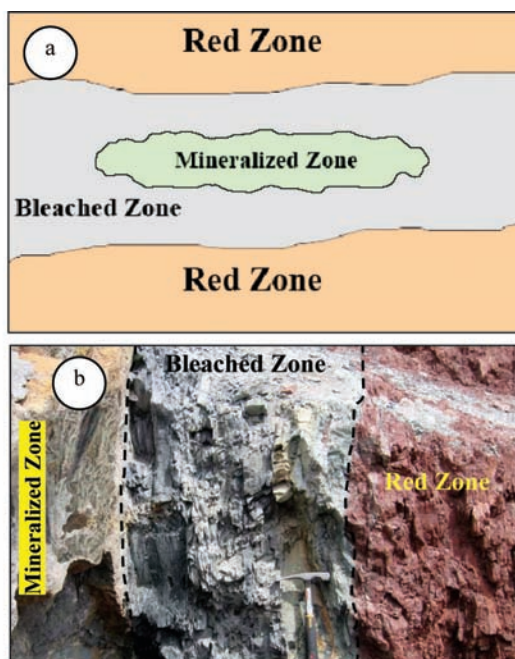
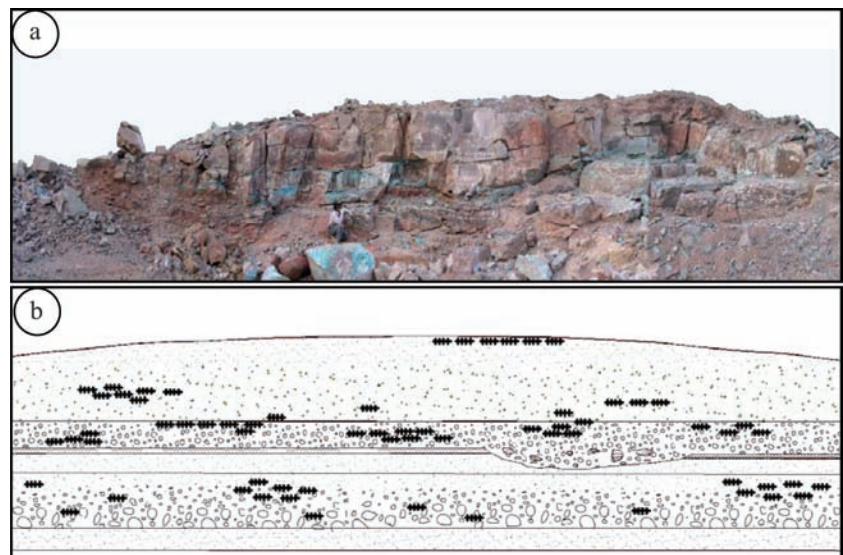


شکل ۴- نمای عمومی از لایه‌های سرخ گره‌دو (JK) که توسط واحدهای سنگی مارن گچ‌دار (K^{shl}) و آهک‌های سبتر لایه کرتاسه (K₂¹) پوشیده می‌شود.

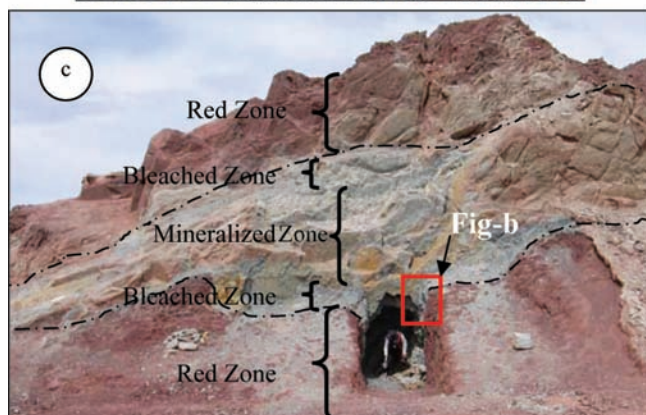


شکل ۶- مقطع عرضی از افق‌های اصلی کاندار OH-A و OH-B و موقعیت زیر افق‌های آن نسبت به یکدیگر. slt - سیلتستون. sst - ماسه‌سنگ. con - کنگلومرا.

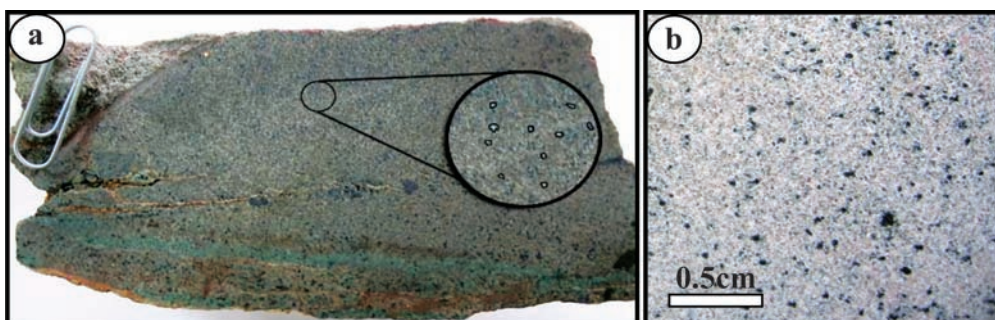
شکل ۷- (a) نمایی از کانال‌های دیرینه حاوی فسیل گیاهی و عدسی‌های کانه‌دار در ترانشه باختری رخداد مارکشه (b) شکلی نمادین از این ترانشه و موقعیت واحدهای سنگی و پراکندگی فسیل‌های گیاهی در آن. بخش‌های کانه‌دار بیشتر در اطراف فسیل‌های گیاهی قرار دارند. به نظر می‌رسد در این ترانشه دو چرخه ریز شونده به سمت بالا تشکیل شده است که هر کدام از آنها با میکروکنگلومرا و کنگلومرای دانه‌ریز شروع و به سمت بالا ریز می‌شوند.



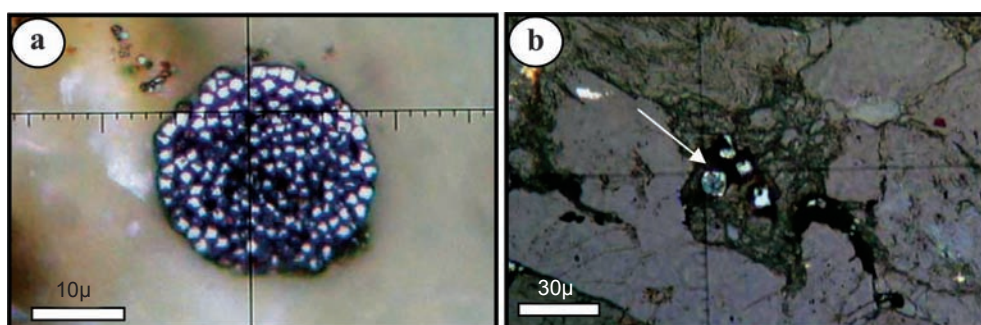
شکل ۸- نمایی از ماسه‌سنگ‌های لیتارنایت حاوی فسیل گیاهی و دارای کانه‌زایی مس در رخداد مس مارکشه (a) مقیاس رخنمون و (b) نمونه دستی)



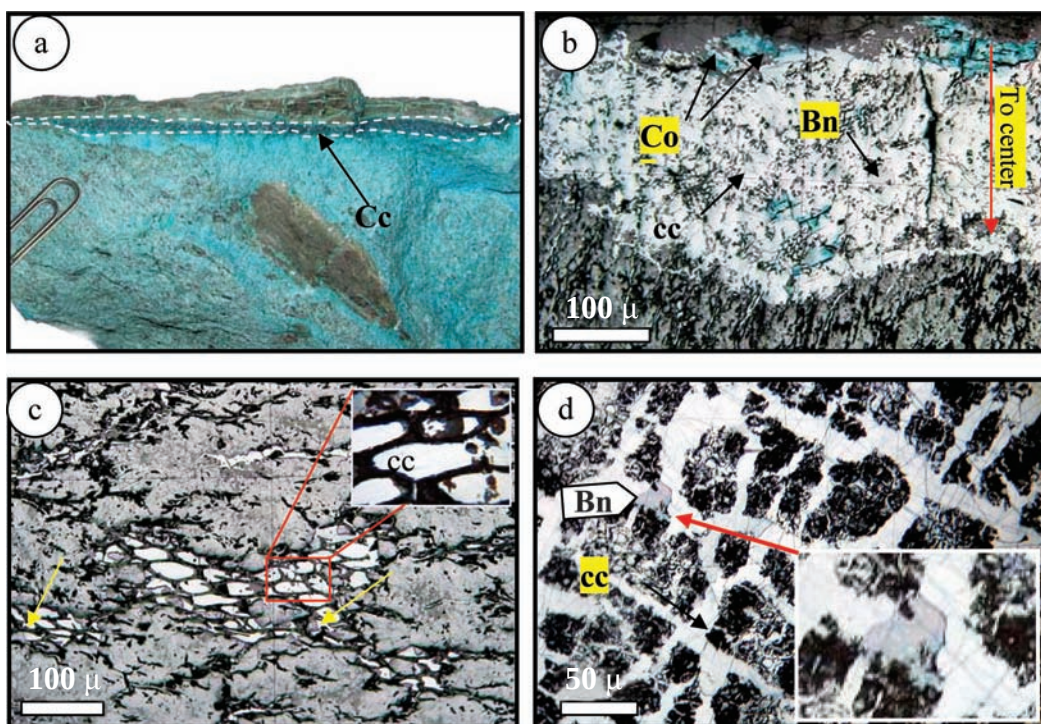
شکل ۹- (a) شکل نمادین عمومی از چگونگی قرارگیری و ارتباط پهنه‌های سه کانه در افق احیایی میزبان کانه‌زایی. (b) و (c) نمایی از افق احیایی میزبان کانه‌زایی و پهنه‌های آن. همان گونه که در تصویر c دیده می‌شود، در پایین و بالای تصویر، پهنه سرخ اکسیدان و در مرکز پهنه شسته شده، بخش کانه‌دار با رنگ خاکستری قرار دارد.



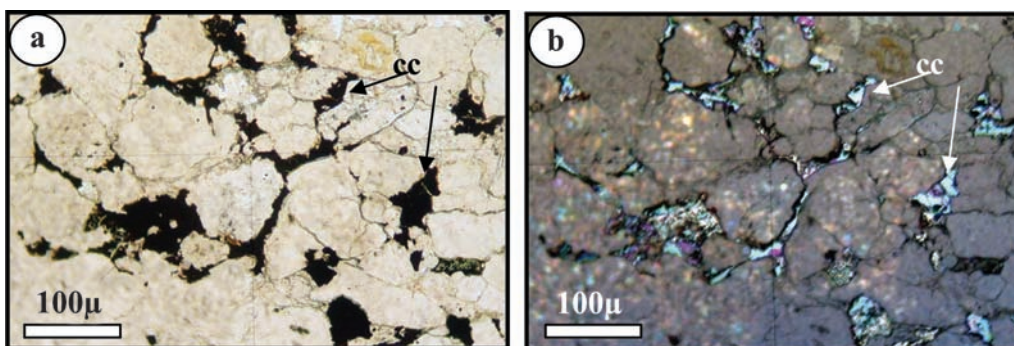
شکل ۱۰- (a) بافت دانه پراکنده سولفیدهای مس در ماسه سنگ‌های خاکستری پهنه کانه‌دار. در این نمونه تراکم دانه‌های سولفیدی بالاست. (b) نمای نزدیکی از تصویر a. دانه‌های تیره، کانی‌های سولفید مس هستند.



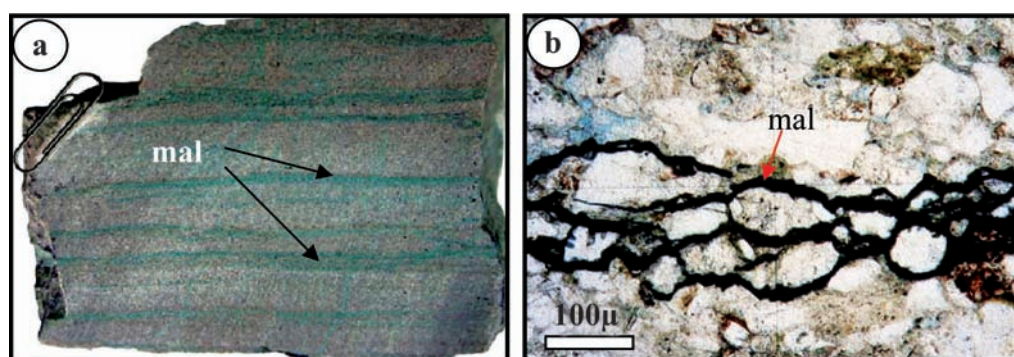
شکل ۱۱- (a) نمایی از پیریت فراموئیدال که در مرحله دیاژنز اولیه و پس از ته‌نشست ژل سولفیدی از آن متبلور شده است (نور بازتابی در محیط Oil). (b) پیریت دیاژنتیک خودشکل. هر دو نوع پیریت به صورت پراکنده در متن سنگ دیده می‌شوند.



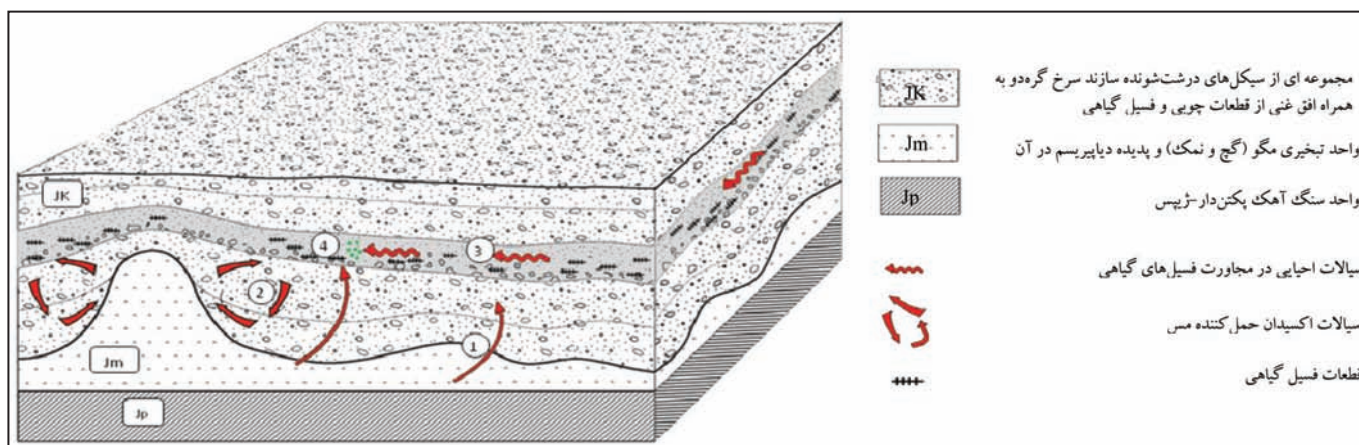
شکل ۱۲- (a) جانیشینی فسیل گیاهی توسط کالکوسیت (a) کانی کالکوسیت که به صورت یک نوار باریک از حاشیه جانیشین فسیل گیاهی شده است. (b) جانیشینی سولفیدهای مس (کالکوسیت، کولیت و بقایایی از بورنیت) از حاشیه به سمت مرکز فسیل گیاهی (نور ان بازتابی در محیط Oil). (c) جانیشینی سلولار در فسیل‌های گیاهی توسط کالکوسیت. (d) جانیشینی آوندهای فسیل گیاهی توسط سولفیدهای مس. cc= کالکوسیت، Bn= بورنیت، Co= کولیت.



شکل ۱۳- نمایی از بافت سیمان میان دانه‌ای یا Impregnation در بین دانه‌های آواری سنگ میزبان در پهنه احیایی کانه‌زایی شده که در آن کالکوسیت (cc) به صورت سیمان بین دانه‌های آواری را پر کرده است. (a) در نور عبوری و (b) در نور بازتابی



شکل ۱۴- (a) قرارگیری کانی مالاکیت به صورت درزه انحلالی و ایجاد بافت لامینه دروغین در ماسه سنگ پهنه احیایی کانه‌زایی شده. (b) تصویر میکروسکوپی (نور عبوری) از کانی مالاکیت درون لامینه دروغین که در آن کانی مالاکیت اطراف دانه‌های آواری را احاطه کرده است.



شکل ۱۵- مراحل تشکیل رخداد مس رسوبی مارکشفه در لایه‌های سرخ گره‌دو. ۱- تشکیل سیال اکسیدان از توالی تبخیری‌های ژوراسیک بالا؛ این سیال درون لایه‌های سرخ گره‌دو به چرخش در می‌آید. ۲- شسته شدن مس و دیگر عناصر فلزی توسط سیال اکسیدان از درون لایه‌های سرخ گره‌دو؛ مس به صورت کمپلکس کلریدی حمل و به سمت بخش‌های احیایی دارای مواد آلی و فسیل گیاهی حرکت می‌کند. ۳- تشکیل سیال احیایی در محل تجزیه ترکیبات آلی، به دلیل تمرکز قطعات فسیل گیاهی در کانال‌های دیرینه و در افق‌های احیایی. سیال احیایی باعث دگرسانی شستشو می‌شود. ۴- برخورد سیال‌های اکسیدان و احیا در مجاورت فسیل‌های گیاهی، ناپایدار شدن کمپلکس‌های کلریدی و ته‌نشست سولفیدهای مس و دیگر عناصر فلزی به صورت جانشینی و دانه پراکنده در بخش‌های مختلف فسیل‌های گیاهی (تصویر بدون مقیاس است).

جدول ۱- مراحل تشکیل و نوالی پاراژنتیک کانه‌ها، کانی‌ها و ساخت و بافت آنها در مرحله early diagenesis و پیش از دیاژنز تدفینی Late diagenesis در رخداد مس رسوبی مارکشه.

		Pre-Mineralization		Mineralization	Post-Mineralization			
		Diagenesis				Tectonic Processes (uplift)	Supergen	
		Syn diagenesis	Early diagenesis	Middle diagenesis	Late diagenesis		Sulfide	Oxide
Redding								
Calcite cement								
Qtz overgrowth								
Organic destruction & acidic solution								
Porosity generation								
Bleaching								
Compaction								
Fracture								
Iron Oxide								
Framboidal pyrite								
Diagenetic pyrite								
Bornite								
Chalcopyrite								
Chalcocite I								
Argentite								
Chalcocite II								
Covellite								
Digenite								
Native copper								
Malachite								
Chrysocolla								
Atacamite								
Neotocite								
Hematite								
Goethite								
Textures	Replacement							
	Solution seams							
	Vein-veinlet							
	Grain cement							
	Impregnation							
	disseminated							

جدول ۲- مقایسه رخداد مس مارکشه و کانسارهای Nacimiento و Valley Lisbon (به عنوان کانسارهای جهانی نوع Redbed)

کانسار	مارکشه	Nacimiento	Lisbon Valley
موقعیت	شمال باختر راور-ایران	نیومکزیکو-آمریکا	یوتا-آمریکا
سن	ژوراسیک-کرتاسه	تریاس	کرتاسه تحتانی
عناصر معدنی	Cu-Ag	Cu-Ag	Cu
موقعیت زمین ساختی	محیط کشتی	کافت و محیط کشتی	کافت و محیط کشتی
محیط ته نشست	جزر و مدی	کم ژرفا	جزر و مدی
ژئومتری	عدسی و همروند با لایه بندی	عدسی و همروند با لایه بندی	چینه کران تا چینه سان
سنگ میزبان	ماسه سنگ و میکرو کنگلومرا	ماسه سنگ و کنگلومرا	ماسه سنگ
کانی شناسی کانسنگ	کالکوسیت، بورنیت، کولیت، کالکوپیریت، مالاکیت، کریزوکلا، آزوریت، تنوریت، آرژنتیت	کالکوسیت، بورنیت، کولیت، کالکوپیریت، مالاکیت، آزوریت، کریزوکلا، آرژنتیت	کالکوسیت، بورنیت، کالکوپیریت، مالاکیت، آزوریت، تنوریت، کوپریت، گالن، اسفالریت
ساخت و بافت	جانشینی، دانه پراکنده، Solution Seam	جانشینی، دانه پراکنده	دانه پراکنده، جانشینی، رگه و رگچه
دگرسانی	Bleaching	Bleaching	Bleaching
عامل احیا	فسیل گیاهی و پیریت دیاژنتیکی	فسیل گیاهی و پیریت دیاژنتیکی	فسیل گیاهی، پیریت دیاژنتیکی، مواد هیدروکربنی
عوامل کنترل کننده کانی زایی	وجود عامل احیاء و نفوذ پذیری سنگ میزبان	وجود عامل احیاء و نفوذ پذیری سنگ میزبان	وجود عامل احیا، نفوذ پذیری سنگ میزبان
تیپ کانه زایی	Red bed SHC*	Red Bed SHC	Red Bed SHC
منبع	مهدوی و همکاران، ۱۳۸۷	Woodward et al., 1974	Thorson, 2005
*Redbed Sediment-hosted Copper deposits			

کتابنگاری

آقاباتی، ع.، ۱۳۸۳- زمین شناسی ایران، سازمان زمین شناسی و اکتشافات معدنی کشور.

مهدوی، ا.، ۱۳۸۷- زمین شناسی، کانی شناسی، ژئوشیمی و ژنز کانسار مس مارکشه، شمال غرب راور، استان کرمان. پایان نامه کارشناسی ارشد، دانشگاه تربیت مدرس.

مهدوی، ا.، راستاد، ا. و حسینی برزی، م.، ۱۳۸۶- کانی شناسی و ساخت و بافت افق های کانه دار کانسار مس رسوبی مارکشه (Redbed Type) در شمال باختر راور. بیست و ششمین گردهمایی علوم زمین.

نقی زاده، ر.، عباداله، ش.، دری، م. ب. و ریاضی، ن.، ۱۳۸۶- بررسی صحرایی کانی سازی مس در منطقه تسوج استان آذربایجان شرقی. بیست و ششمین گردهمایی علوم زمین.

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.
- Berberian, M. & King, G. C., 1981- Towards a paleogeography and tectonic evaluation of Iran. Canadian Journal of Earth Sciences. Vol.18, No.2. pp. 210-265.

- Brown, A. C., 2003- Redbeds: source of metals for sediment-hosted stratiform copper, sandstone copper, sandstone lead, and sandstone uranium–vanadium deposits. In: Lentz DR (ed) *Geochemistry of sediments and sedimentary rocks: evolutionary considerations to mineral deposit-forming environments*. Geol Assoc Can Geotext 4:121–133.
- Brown, A. C., 2005- Refinements for footwall red-bed diagenesis in the sediment-hosted stratiform copper deposits model. *Econ Geol* 100:765–771
- Catuneanu, O., 2006- principles of Sequence stratigraphy. 1st edition. Elsevier. 375p.
- Chan, M. A., Parry, W. I. & Bowman, J. R., 2000- Diagenetic hematite and manganese oxides and fault-related fluid flow in Jurassic sandstones, southeastern Utah. *American Association of Petroleum Geologists Bulletin* 84, 1281-1310.
- Cox, D. P., Lindsey, D. A., Singer, D. A. & Diggles, M. F., 2007- Sediment-hosted copper deposits of the world: deposit models and database. US Geological Survey, Open-file report 03-107, 50 p
- 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. *Miner Deposita* 42:879–899
- Hitzman, M., Kirkham, R., Broughton, D., Thorson, J. & Selly, D., 2005- The sediment-hosted stratiform copper ore system. In: Thompson JFH, Goldfarb RJ, Richards JP (eds) 100th Anniversary volume. Society of Economic Geologists, pp 609–642
- Jowett, E. C., 1991- The evolution of ideas about the genesis of stratiform copper–silver deposits. *Monogr Econ Geol Pub* 8:117–132.
- Kirkham, R. V., 1996- Sediment-hosted stratiform copper. In: Eckstrand OR, Sinclair WD, Thorpe RI (eds) *Geology of Canadian mineral deposit types*. Geol Surv Can Geol Canada 8:223–240.
- 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. M.S thesis, Department of Geology and Geological Engineering.
- Mahdavi, A., Rastad, E. & Hosseini M., 2008- Markasheh sediment-hosted stratiform Cu mineralization in the Ravar region, Central Iran, 33IGC, Oslo.
- Stocklin, J., Eftekhari Nezhad, J., Hushmandzadeh, A., 1972- General Lut reconnaissance. East Iran. Geol. Surv. Iran. Rept. 22, 62p.
- 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., 2005- Lisbon Valley sediment-hosted copper deposits and Paradox Basin fluids field trip, Economic geology, guidebook series, volume 37.
- Walker, T. R., 1989- Application of diagenetic alterations in redbeds to the origin of copper in stratiform copper deposits. In: Boyle RW, Brown AC, Jefferson CW, Jowett EC, Kirkham RV (eds) *Sediment-hosted stratiform copper deposits*. Geol Assoc Can Special Paper 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, v. 69, p. 108-120.