

تیپ و نحوه تشکیل رخداد معدنی سرب و روی با سنگ میزبان رسوبی تریان، شمال باختر زنجان

نگار کبودمهری^۱، حسین کوهستانی^۲، میرعلی اصغر مختاری^۲ و افشین زهدی^۳

^۱دانش آموخته کارشناسی ارشد، گروه زمین‌شناسی، دانشکده علوم، دانشگاه زنجان، زنجان، ایران
^۲دانشیار، گروه زمین‌شناسی، دانشکده علوم، دانشگاه زنجان، زنجان، ایران
^۳استادیار، گروه زمین‌شناسی، دانشکده علوم، دانشگاه زنجان، زنجان، ایران

چکیده

رخداد معدنی تریان در پهنه ایران مرکزی و در فاصله ۱۲۰ کیلومتری شمال باختر زنجان قرار دارد. کانه‌زایی سرب و روی در این رخداد معدنی به صورت لامینه‌ای و عدسی شکل هم‌روند با لایه‌بندی واحدهای ماسه‌سنگی خاکستری رنگ سازند قرمز بالایی رخ داده است. کانه‌زایی بیشتر در اطراف و درون قطعات فسیل‌های گیاهی رخ داده و دارای بافت‌های دانه‌پراکنده، جان‌شینی، شبه‌لامینه‌ای، سیمان بین دانه‌ای، فرامبیدال و رگه-رگه‌ای است. افق ماسه‌سنگی کانه‌دار در تریان حدود ۳۵۰ متر درازا و ۱ متر پهنا داشته و دارای سه پهنه قرمز اکسیدان، پهنه شسته‌شده و پهنه احیایی کانه‌دار است. گالن، اسفالریت، پیریت و آرسنوپیریت کانی‌شناسی اصلی ماده معدنی را در رخداد معدنی تریان تشکیل می‌دهند. سروزیت و گوتیت در اثر فرایندهای برون‌زاد و هوازدگی تشکیل شده‌اند. مقایسه الگوی عناصر کمیاب و کمیاب خاکی در نمونه‌های کانه‌دار و ماسه‌سنگ‌های قرمز و خاکستری بدون کانه‌زایی بیانگر تهی‌شدگی در میزان این عناصر در نمونه‌های کانه‌دار است. این امر می‌تواند با خروج این عناصر طی فرایندهای شسته‌شدن و کانه‌زایی تفسیر شود. با توجه به ویژگی‌هایی مانند محیط زمین‌ساختی، محیط تشکیل، سنگ میزبان، وجود بقایای فسیل‌های گیاهی، ژئومتری، بافت و کانی‌شناسی ماده معدنی و دگرسانی، رخداد معدنی تریان در دسته کانسارهای مس با میزبان رسوبی تیپ Redbed قرار گرفته و قابل مقایسه با دیگر کانسارهای مس و سرب-روی تیپ Redbed در محور آوج-زنجان-تبریز-خوی است.

اطلاعات مقاله

تاریخچه مقاله:

تاریخ دریافت: ۱۳۹۹/۱۰/۱۱

تاریخ پذیرش: ۱۴۰۰/۰۳/۲۲

تاریخ انتشار: ۱۴۰۱/۰۱/۰۱

کلیدواژه‌ها:

کانه‌زایی سرب و روی

تیپ Redbed

سازند قرمز بالایی

تریان

زنجان

۱- پیش‌نوشتار

در بخش شمال‌باختری پهنه ایران مرکزی و در محور آوج-زنجان-تبریز-خوی، کانسارها و نشانه‌های متعددی از کانه‌زایی‌های مس و سرب-روی با سنگ میزبان رسوبی قابل مشاهده است (رجب‌زاده و همکاران، ۱۳۹۹؛ Maghfouri et al., 2020). از مهم‌ترین این کانه‌زایی‌ها که درون واحدهای ماسه‌سنگی سازند قرمز بالایی رخ داده‌اند، می‌توان به کانسارها و نشانه‌های معدنی زاغ‌لو و آوج (سپهری‌راد و فتحی‌جو، ۱۳۹۰)، اورتاسو (حقیقی و همکاران، ۱۳۹۸)، چهرآباد (رجب‌زاده و همکاران، ۱۳۹۹)، چرلانقوش (Azizi et al., 2018)، قزلجه (Azizi et al., 2018؛ میرحسینی، ۱۳۹۸)، حمزه‌لو (قاسم‌لو و همکاران، ۱۳۹۸)، ساری‌کند (شکوری‌نکو، ۱۳۹۷)، حلب (ملکی‌کهنگی، ۱۳۹۶)، تازه‌کند (عنایتی‌کولایی و همکاران، ۱۳۹۵)، نهند - ایوند (Sadati et al., 2016) و تسوج (Rajabpour et al., 2017) اشاره کرد. وجود کانه‌زایی‌های متعدد مس و سرب-روی با میزبان ماسه‌سنگی در سازند قرمز بالایی بیانگر پتانسیل بالای این سازند برای این نوع کانه‌زایی‌ها است. کانسارها و اندیس‌های مس و سرب-روی با میزبان ماسه‌سنگی در استان زنجان و در محور قیدار-ماه‌نشان-میانه، ارتباط فضایی

نزدیکی با گنبد‌های نمکی موجود در سازند قرمز بالایی (مانند چهرآباد، حمزه‌لو و ساری‌کند) دارند که این امر می‌تواند به‌عنوان راهنمای اکتشافی حائز اهمیت باشد. رخداد معدنی سرب و روی تریان در فاصله حدود ۱۲۰ کیلومتری شمال باختر زنجان قرار دارد. بررسی‌های قبلی انجام‌شده در این منطقه شامل تهیه نقشه‌های زمین‌شناسی ۱:۱۰۰۰۰۰ میانه (خداوند و همکاران، ۱۳۷۷) و هشرود (امینی‌آذر و قدیرزاده، ۱۳۸۲) و همچنین فعالیت‌های اکتشافی محدود موضوعی در ارتباط با اکتشاف سرب و روی بوده است. در مطالعات یادشده، به نوع کانه‌زایی و سازوکار تشکیل آن توجه چندانی نشده است. در پژوهش حاضر، ویژگی‌های زمین‌شناسی، کانه‌زایی و ساخت و بافت رخداد معدنی تریان مورد بررسی قرار گرفته و تیپ کانه‌زایی و نحوه تشکیل آن بررسی شده است. با توجه به گسترش زیاد سازند قرمز بالایی در نواحی ایران مرکزی و شمال‌باختر ایران، نتایج حاصل از این تحقیق می‌تواند اطلاعات سودمندی را جهت درک منشأ و شناخت عوامل کنترل‌کننده این نوع از کانه‌زایی‌های سرب و روی ارائه داده و برای اکتشاف ذخایر جدید سودمند باشد.

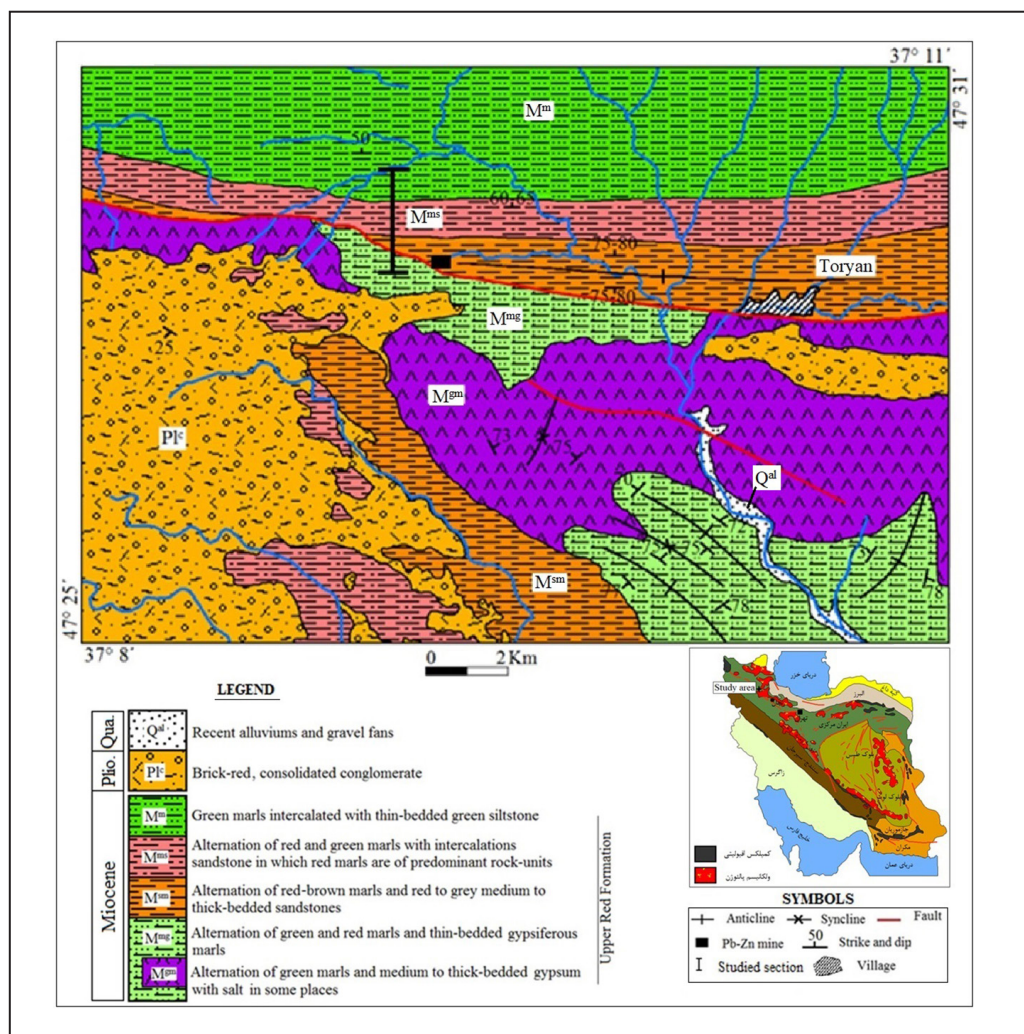
۲- روش مطالعه

این پژوهش شامل دو بخش مطالعات صحرایی و آزمایشگاهی است. در مطالعات صحرایی، نقشه زمین‌شناسی با مقیاس ۱:۵۰۰۰ منطقه تهیه شد. طی برداشت‌های صحرایی، امتداد، شیب و ستبرای لایه‌های ماسه‌سنگی و مارنی اندازه‌گیری و وجود آن، ستون سنگ‌چینه‌ای منطقه ترسیم و جایگاه ماده معدنی بر روی آن مشخص شد. در این راستا، ۵۰ نمونه از واحدهای سنگی و رخنمون‌های کانه‌زایی برای مطالعات سنگ‌شناسی و کانه‌نگاری برداشت شد. سپس، تعداد ۱۶ مقطع نازک و ۱۵ مقطع نازک-صیقلی برای مطالعات سنگ‌شناسی، کانه‌نگاری و ساخت و بافت، تهیه و مورد مطالعه قرار گرفت. برای انجام بررسی‌های زمین‌شیمیایی، تعداد ۵ نمونه از ماسه‌سنگ‌های کانه‌دار و ۹ نمونه از ماسه‌سنگ‌های بدون کانه‌زایی شامل یک نمونه از ماسه‌سنگ‌های قرمز و ۸ نمونه از ماسه‌سنگ‌های خاکستری با کمترین میزان هوازگی و سیمان کلسیتی انتخاب شد. پس از آماده‌سازی، میزان ۲۰ گرم از پودر نمونه‌ها برای تعیین میزان عناصر کمیاب و کمیاب خاکی به روش ICP-MS به آزمایشگاه شرکت زرآما در تهران ارسال و مورد تجزیه قرار گرفت.

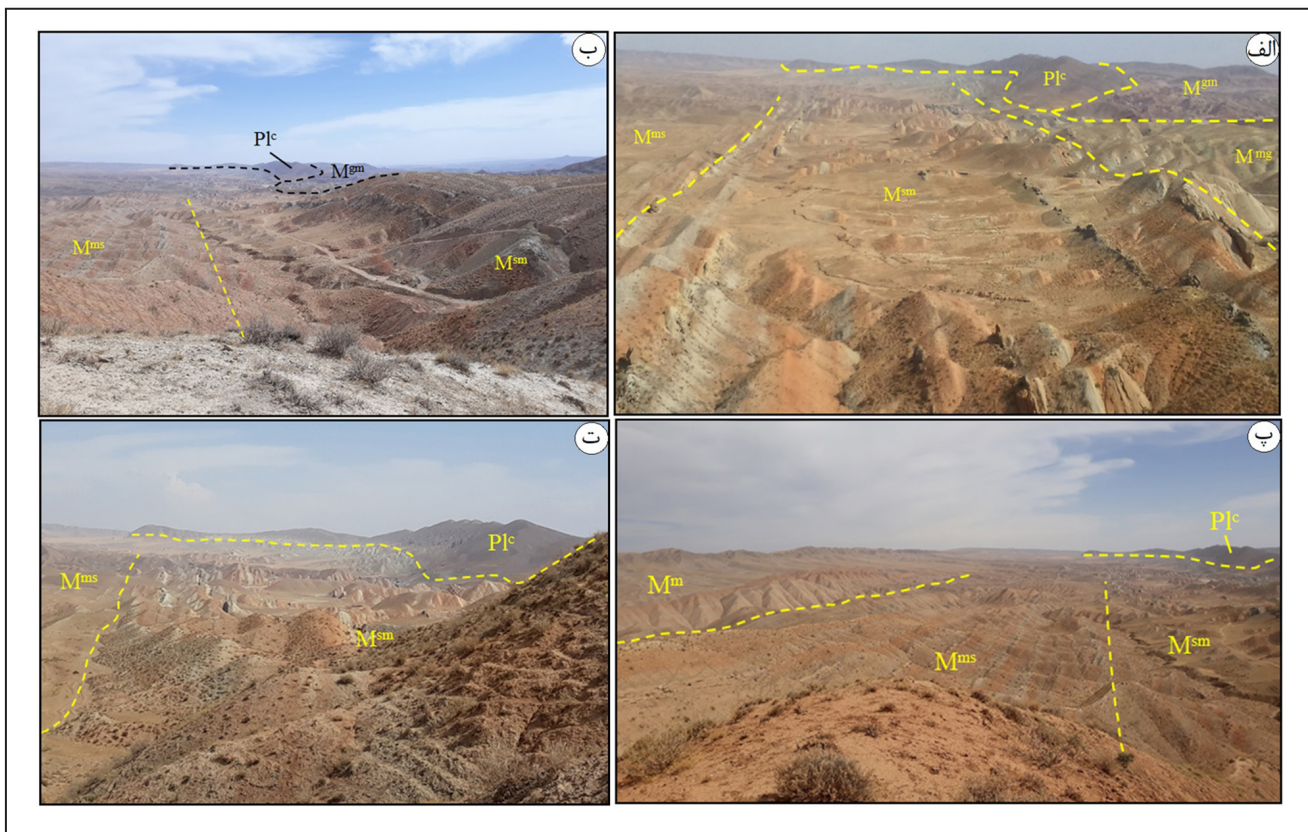
برای تعیین میزان عناصر کمیاب خاکی، حدود ۰/۲ گرم از هر نمونه در لیتیم متابورات/تترابورات ذوب و سپس در اسید نیتریک حل گردید. برای تعیین میزان فلزات پایه، به صورت جداگانه حدود ۰/۵ گرم از هر نمونه در تیزاب سلطانی داغ (۹۵ درجه سانتی‌گراد) حل شد. حد پایین دقت اندازه‌گیری برای عناصر مختلف در جدول ۱ ذکر شده است.

۳- زمین‌شناسی منطقه تریان

از نظر زمین‌شناسی، واحدهای سنگی موجود در محدوده رخداد معدنی تریان به سازند قرمز بالایی تعلق دارند. این واحدها که به طور هم‌شیب بر روی یکدیگر قرار گرفته‌اند، از قدیم به جدید شامل واحدهای M^{ms} ، M^{sm} ، M^{mg} و M^{gm} بوده و توسط رسوبات پلیوسن (Pl^c) و کواترنری (Q^{al}) پوشیده شده‌اند (شکل ۱). بخش‌های جنوب تا جنوب‌خاور و بخش‌های مرکزی منطقه رخنمون داشته و شامل تناوب مارن‌های سبز و قرمز با لایه‌های نازک مارن گچ‌دار است که بیشتر شیب ۷۰ تا ۷۸ درجه به سمت شمال‌باختر و جنوب‌باختر دارند (شکل ۲-الف).



شکل ۱- نقشه زمین‌شناسی مقیاس ۱:۵۰۰۰ تهیه‌شده از منطقه تریان.



شکل ۲- تصاویر صحرایی از واحدهای سنگی موجود در محدوده رخداد معدنی تریان. الف و ب) واحدهای سنگی M^{ms} ، M^{sm} ، M^{gm} و PI^c (دید تصاویر به سمت خاور- جنوب خاور؛ پ) واحدهای سنگی M^s ، M^{ms} ، M^{sm} و PI^c (دید به سمت خاور- جنوب خاور)؛ ت) واحد سنگی PI^c که به صورت ناهمساز واحد M^{sm} را پوشانده است (دید به سمت خاور- جنوب خاور).

۴- چینه نگاری منطقه تریان

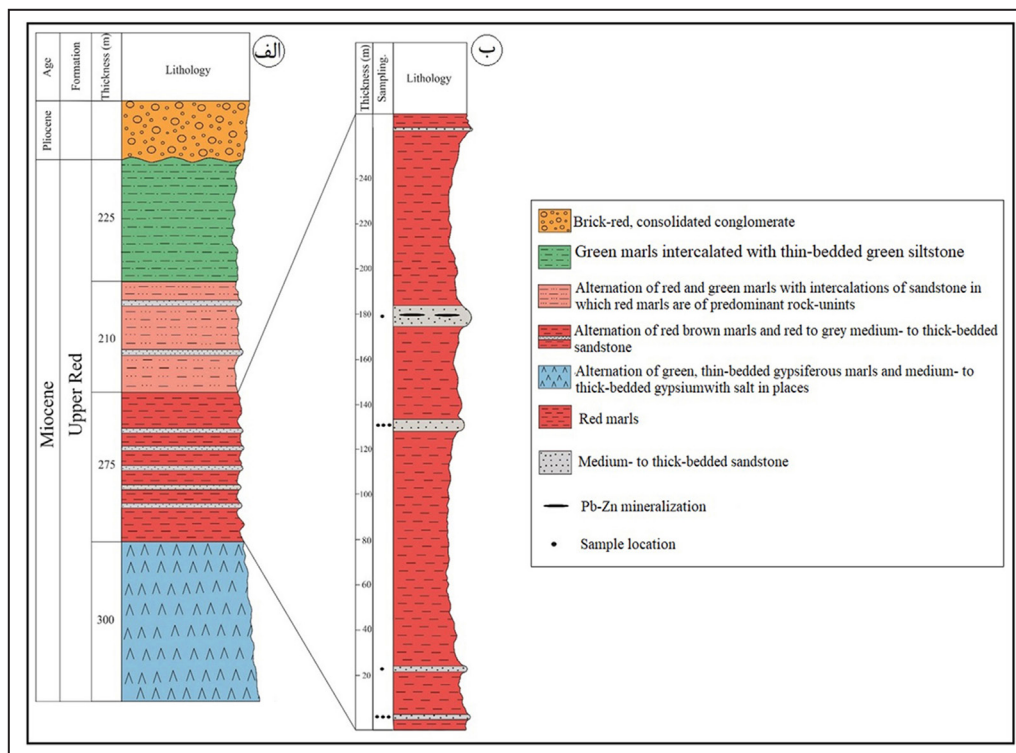
با توجه به ستون سنگ چینه‌ای تهیه شده (شکل ۳- الف)، سازند قرمز بالایی در منطقه تریان حدود ۱۰۱۰ متر ضخامت داشته و به ۴ بخش قابل تفکیک است. این بخش‌ها از پایین به بالا به ترتیب شامل تناوب مارن‌های سبز ژئیس‌دار و لایه‌های ژئیس و گاهی نمک با ستبرای ۳۰۰ متر، تناوب مارن‌های قرمز و ماسه سنگ‌های خاکستری و قرمز رنگ با ضخامت ۲۷۵ متر، تناوب مارن‌های قرمز و سبز با میان لایه‌های ماسه سنگی به ضخامت ۲۱۰ متر و تناوب مارن‌های سبز با میان لایه‌های سیلت سنگ سبز با ضخامت ۲۲۵ متر می‌باشد. در محل رخداد معدنی سرب- روی تریان، بخش دوم دارای ۵ لایه ماسه سنگی خاکستری و قرمز رنگ است که به صورت متناوب با لایه‌های مارنی قرمز رنگ قرار گرفته‌اند (شکل ۳- ب). لایه‌های ماسه سنگی این بخش بین ۱/۵ الی ۱۰ متر ضخامت دارند. توالی سنگ شناسی این بخش از قاعده به سمت بالا شامل ۷ متر مارن قرمز رنگ، ۲ متر ماسه سنگ قرمز ریز تا متوسط دانه با لایه بندی متوسط، ۲۰ متر مارن قرمز ستبر لایه تا توده‌ای، ۳/۵ متر ماسه سنگ قرمز ریز تا متوسط دانه با لایه بندی متوسط، ۱۰۰ متر مارن قرمز توده‌ای، ۶ متر ماسه سنگ قرمز ریز تا متوسط دانه با لایه بندی متوسط، ۴۲ متر مارن قرمز ضخیم لایه تا توده‌ای، ۱۰ متر ماسه سنگ قرمز ریز تا متوسط دانه با لایه بندی متوسط تا ضخیم حاوی کانه‌زایی سرب و روی، ۷۷ متر مارن قرمز توده‌ای، ۱/۵ متر ماسه سنگ قرمز ریز تا متوسط دانه با لایه بندی نازک تا متوسط و ۵ متر مارن قرمز توده‌ای است.

بر اساس مطالعات میکروسکوپی، ماسه سنگ‌های سازند قرمز بالایی در منطقه تریان، عمدتاً دانه ریز تا دانه متوسط بوده و حاوی کوارتز (۱۶ درصد)، فلدسپات (۷ درصد) ارتوز و ۳ درصد پلاژیو کلاز، خُرد سنگ (۲۷ درصد رسوبی، ۷ درصد دگرگونی و ۳ درصد آتشفشانی)، کانی‌های کدر (۷ درصد)، کانی‌های فرعی و اکسیدهای آهن (۹ درصد) می‌باشند (کیودمهری، ۱۳۹۹). زمینه این ماسه سنگ‌ها (حدود ۲۰

چین خوردگی‌های موجود در این واحد منجر به تشکیل تاقدیس و ناودیس‌های متوالی با روند محوری غالب شمال باختر- جنوب خاور شده است. در برخی از بخش‌ها مانند بخش‌های مرکزی و خاوری منطقه، ستبرای لایه‌های گچ‌دار این واحد ضخیم‌تر شده و گاه با لایه‌های نمک همراهی می‌شود به طوری که می‌توان آن را به صورت یک واحد مجزا (واحد M^{gm}) تفکیک کرد (شکل ۱). واحد M^{sm} شامل تناوب مارن‌های قرمز- قهوه‌ای و لایه‌های ماسه سنگی خاکستری و قرمز رنگ است. ماسه سنگ‌ها عمدتاً متوسط تا ستبر لایه هستند (شکل ۲- الف و ب). این واحد در بخش‌های شمال باختر تا خاور و جنوب تا بخش‌های مرکزی منطقه گسترش دارد. در بخش‌های شمالی و در اطراف روستای تریان، این واحد سنگی به صورت یک تاقدیس با روند محوری خاوری- باختری رخنمون داشته و شیب لایه‌های سنگی آن بین ۷۵ تا ۸۰ درجه به سمت شمال و یا جنوب می‌باشد. واحد M^{sm} میزبان کانه‌زایی سرب- روی منطقه است. واحد M^{ms} شامل تناوب مارن‌های قرمز و سبز همراه با میان لایه‌های ماسه سنگی قرمز- خاکستری است که در آن مارن‌های قرمز، واحد سنگی غالب می‌باشند (شکل ۲- الف تا پ). رخنمون چیره این واحد در بخش‌های شمال باختر تا شمال خاور بوده و شیب لایه‌های سنگی آن، ۶۰ تا ۶۵ درجه به سمت شمال می‌باشد. واحد M^m از مارن‌های سبز با میان لایه‌های نازک سیلت سنگی سبزرنگ تشکیل شده است (شکل ۲- پ). این واحد در بخش‌های شمالی منطقه گسترش داشته و شیب لایه‌های سنگی آن ۵۰ درجه به سمت شمال می‌باشد. رسوبات پلیوسن (PI^c) شامل کنگلومرای سخت شده به رنگ قرمز آجری است که به طور ناهمساز رسوبات میوسن را می‌پوشانند (شکل ۲- الف تا ت). این رسوبات بیشتر در بخش‌های جنوب باختری و به صورت محدود در بخش خاوری رخداد معدنی تریان قابل مشاهده هستند. واحدهای کواترنری (Q^{al}) شامل رسوبات آبرفتی گراولی حاشیه آبراهه‌ها است.

هستند. جایگاه زمین‌ساختی سنگ منشأ این ماسه‌سنگ‌ها با توجه به اجزای تشکیل‌دهنده آنها، حوضه‌های فورلندی بوده و دارای منشأ حدواسط تا فلسیک هستند که تحت تأثیر آب و هوای نیمه‌خشک تا خشک قرار گرفته‌اند (کیودمهری، ۱۳۹۹).

درصد) از سیمان‌های کلسیتی و تبخیری، فضای خالی و ماتریکس تشکیل شده است. با توجه به اجزای تشکیل‌دهنده ماسه‌سنگ‌ها و براساس نام‌گذاری آنها به روش فولک (Folk, 1980)، ماسه‌سنگ‌های سازند قرمز بالایی در منطقه تریان بیشتر از نوع لیت‌آرنایت و به میزان کمتر از نوع فلدسپاتیک لیت‌آرنایت



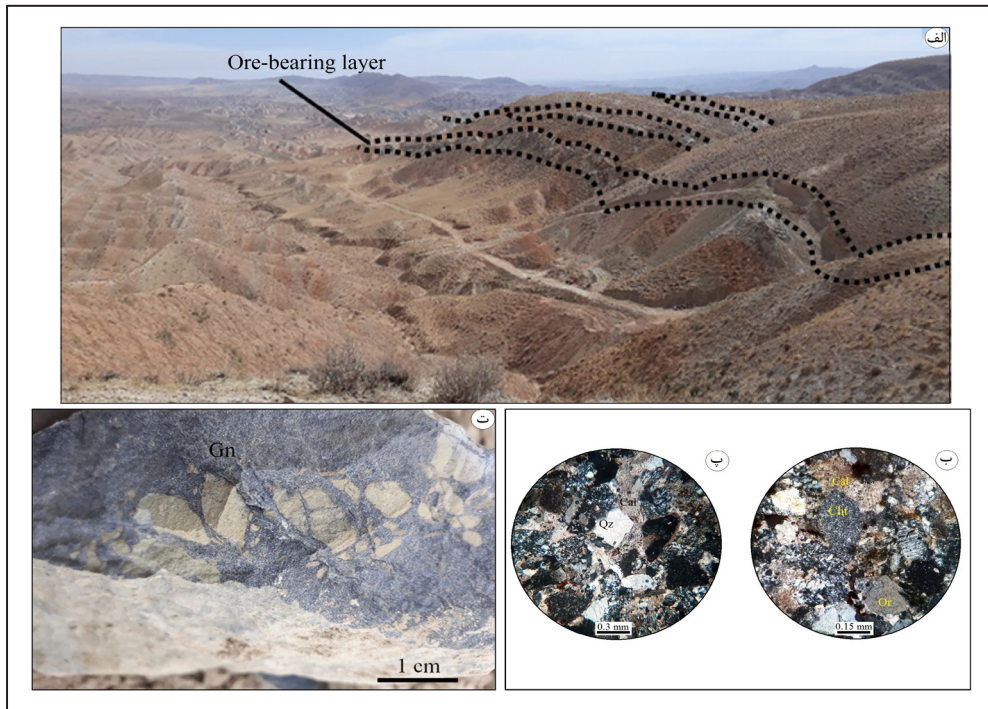
شکل ۳- الف) ستون سنگ‌چینه‌ای سازند قرمز بالایی در منطقه تریان؛ ب) ستون سنگ‌چینه‌ای بخش دوم سازند قرمز بالایی در محدوده رخداد معدنی تریان و موقعیت افق‌های ماسه‌سنگی کانه‌دار و نمونه‌های مطالعه‌شده بر روی آن.

۵- کانه‌زایی و پهنه‌بندی دگرسانی در رخداد معدنی تریان

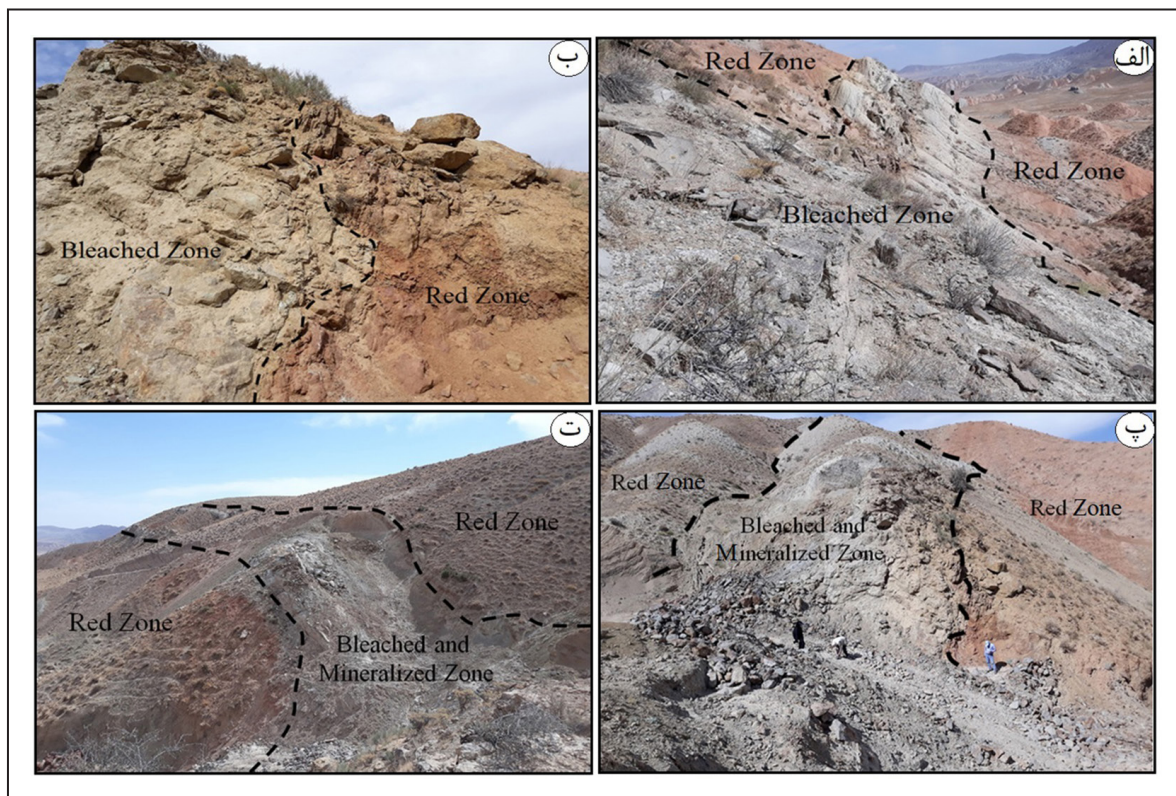
از نوع لیت‌آرنایت بوده و ذرات تشکیل‌دهنده آنها دارای جورشدگی متوسط تا ضعیف، گردشدگی زاویه‌دار تا نیمه‌زاویه‌دار و جهت‌یافتگی ضعیف می‌باشند. این ماسه‌سنگ‌ها دارای خُرده‌سنگ‌های آواری دگرگونی (شیست)، رسوبی (چرت) و به مقدار کمتر، خُرده‌سنگ‌های آتشفشانی هستند. کوارتز، فلدسپات (ارتوز و پلاژیوکلاز) و به مقدار کمتر بیوتیت، مسکوویت و کلریت، کانی‌های تشکیل‌دهنده این ماسه‌سنگ‌ها می‌باشند. پهنه قرمز اکسیدان دارای مقدار بالایی اکسید آهن است که به صورت سیمان و یا پوشاننده ذرات آواری تشکیل‌دهنده رسوبات سیلیسی- آواری دیده می‌شود. پهنه قرمز اکسیدان فاقد هرگونه کانه‌زایی سولفیدی می‌باشد. پهنه شسته‌شده در بخش مرکزی پهنه‌بندی دگرسانی در افق کانه‌دار قرار گرفته و از دو طرف توسط پهنه قرمز اکسیدان محصور شده است (شکل ۵- الف، ب و پ). ماسه‌سنگ‌های این پهنه بیشتر از نوع لیت‌آرنایت و به مقدار کمتر فلدسپاتیک لیت‌آرنایت می‌باشند. در رخداد معدنی تریان، پهنه شسته‌شده ستبرایی حدود ۴ الی ۸ متر دارد. برخلاف پهنه قرمز اکسیدان، در پهنه شسته‌شده، اکسید آهن حضور نداشته و تحت تأثیر سیالات، رنگ قرمز ماسه‌سنگ‌ها به خاکستری یا سبز تبدیل شده است. پهنه احیایی کانه‌دار بخشی از پهنه شسته‌شده می‌باشد که کانه‌زایی در آن رخ داده است. این پهنه به شکل عدسی و گاهی نوارهای باریک درون پهنه شسته‌شده قرار دارد (شکل ۵- پ و ت). ماسه‌سنگ‌های این پهنه لیت‌آرنایت‌های درشت تا متوسط‌دانه بوده و دارای قطعات فسیل‌های گیاهی هستند. کانه‌زایی سرب و روی در رخداد معدنی تریان رابطه نزدیکی با تجمعات قطعات فسیل‌های گیاهی دارد.

کانه‌زایی سرب و روی در رخداد معدنی تریان به شکل سولفیدهای جانیشینی، شبه‌لامینه‌ای و عدسی‌شکل درون واحد ماسه‌سنگی با امتداد خاوری- باختری و شیب حدود ۷۵-۸۰ درجه به سمت شمال رخ داده است (شکل ۴- الف). افق کانه‌دار طولی حدود ۳۵۰ متر و پهنایی تا ۱ متر دارد که در سینه‌کار اکتشافی، به علت عملکرد گسل‌ها، ستبرای آن تا ۱۰ متر نیز می‌رسد. سنگ میزبان کانه‌زایی، ماسه‌سنگ‌های خاکستری رنگ است که در تناوب با مارن‌های قرمز قرار دارند. براساس مطالعات سنگ‌شناسی، این رخساره ماسه‌سنگی ترکیب لیت‌آرنایت داشته و دارای کانی‌های کوارتز، فلدسپات آلکان، پلاژیوکلاز و خُرده‌سنگ‌های آتشفشانی، دگرگونی و رسوبی و قطعات فسیلی و آثار گیاهی با سیمان‌های کلسیتی و به میزان کمتر، تبخیری می‌باشند (شکل ۴- ب و پ). کانه‌زایی در این افق شامل گالن، اسفالریت و پیریت با بافت‌های سیمان بین‌دانه‌ای، دانه‌پراکنده و رگچه‌ای (برشی) است (شکل ۴- ت).

براساس مطالعات انجام‌شده، در افق ماسه‌سنگی میزبان کانسار تریان سه پهنه مجزا شامل پهنه قرمز اکسیدان، پهنه شسته‌شده و پهنه احیایی کانه‌دار قابل تشخیص است (شکل ۵). این پهنه‌ها از نظر نوع دگرسانی، شرایط احیایی و اکسیدی، رنگ و نحوه پراکندگی عناصر با یکدیگر متفاوت می‌باشند. پهنه قرمز اکسیدان در بخش‌های بالا و پایین پهنه شسته‌شده قرار دارد (شکل ۵- الف تا ت). این پهنه شامل مارن‌های قرمز و ماسه‌سنگ‌های قرمز رنگ دانه‌ریز است که در اطراف ماسه‌سنگ‌های خاکستری رنگ پهنه شسته‌شده قرار گرفته‌اند. در رخداد معدنی تریان، ستبرای این پهنه بین ۱۰ تا ۷۰ متر متغیر می‌باشد. از نظر ترکیب سنگ‌شناسی، ماسه‌سنگ‌های این پهنه



شکل ۴- الف) نمای از واحدهای ماسه‌سنگی و افق کانه‌دار واقع در بخش دوم از سازند قرمز بالایی در رخداد معدنی تریان (دید به سمت جنوب‌باختر)؛ ب و پ) تصاویر میکروسکوپی (نور عبوری پلاریزه متقاطع، XPL) از رخساره ماسه‌سنگی میزبان افق کانه‌زایی در رخداد معدنی تریان با ترکیب لیت‌آرنایتی؛ ت) نمایی نزدیک از ماسه‌سنگ خاکستری رنگ دارای گالن در افق کانه‌زایی رخداد معدنی تریان. علائم اختصاری کانی‌ها از (Whitney and Evans (2010) اقتباس شده است. Cal: کلسیت، Cht: چرت، Or: ارتوز، Qz: کوارتز)



شکل ۵- الف تا ت) نماهایی از پهنه قرمز اکسیدان، پهنه شسته‌شده و پهنه احیایی کانه‌دار در افق کانه‌زایی رخداد معدنی تریان (دید تصاویر الف تا پ به سمت شمال و تصویر ت به سمت جنوب‌باختر).

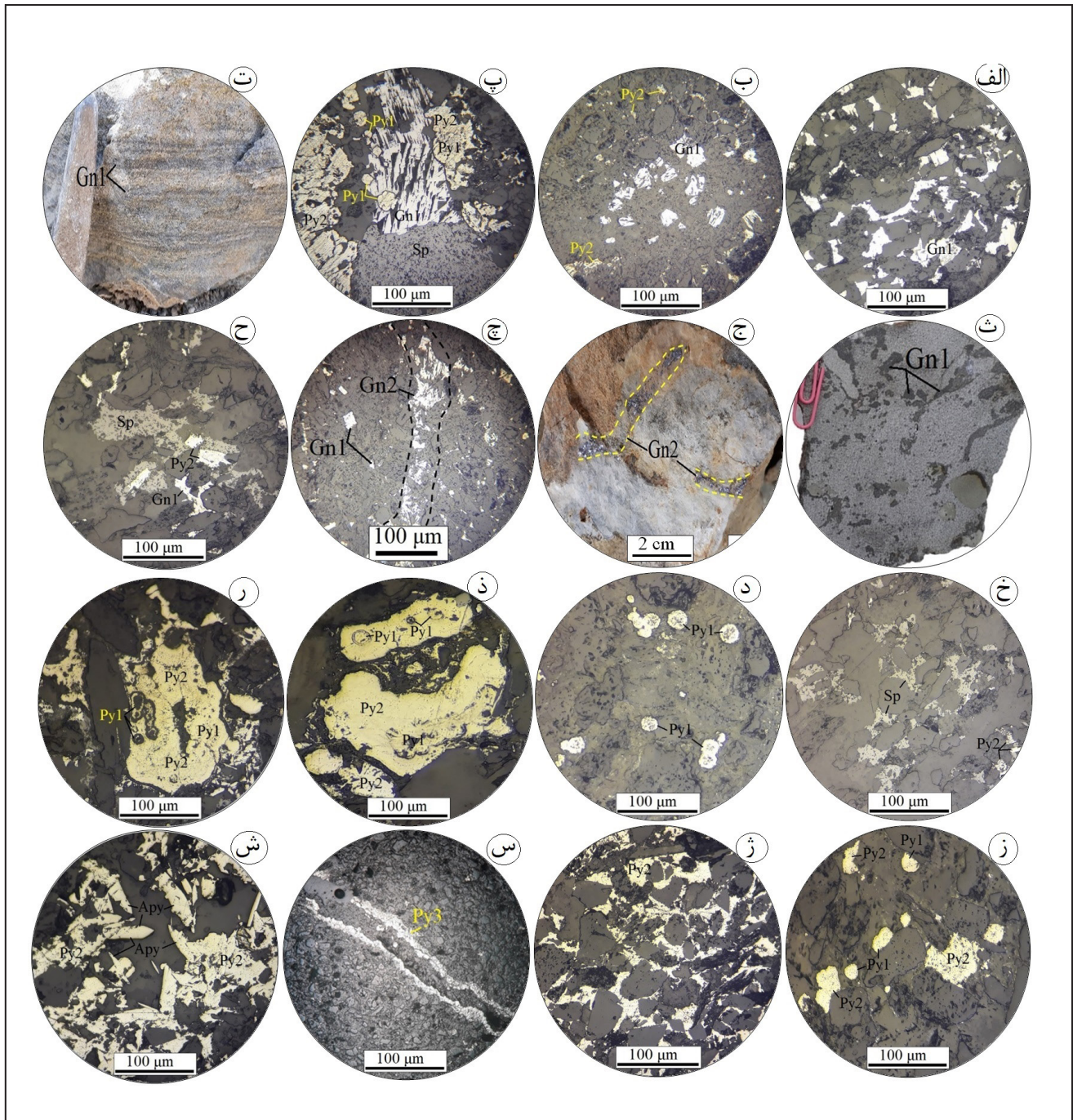
۶- بحث و بررسی

۶-۱. کانی‌شناسی و ساخت و بافت مواد معدنی

گالن، اسفالریت، پیریت و آرسنوپیریت کانی‌شناسی اصلی ماده معدنی را در رخداد معدنی تریان تشکیل می‌دهند. سروریت و گوتیت طی فرایندهای برون‌زاد تشکیل شده‌اند. بافت مواد معدنی از نوع دانه‌پراکنده، فراموبیدال، سیمان بین دانه‌ای، عدسی‌شکل، شبه‌لامینه‌ای، جانیشینی و رگه- رگچه‌ای می‌باشد. گالن معمولاً به‌صورت بلورهای بدون شکل تا نیمه‌شکل‌دار بوده و به دو نسل قابل تفکیک است. گالن نسل اول به‌صورت بلورهای با بافت دانه‌پراکنده، سیمان بین دانه‌ای، عدسی‌شکل و شبه‌لامینه‌ای دیده می‌شود. در بافت سیمان بین دانه‌ای، گالن به‌صورت سیمان، فضای بین ذرات آواری سنگ میزبان را پر کرده است (شکل ۶-الف). تشکیل این بافت را به جانیشینی سیمان کربناتی موجود در اطراف کانی‌های کوارتز و فلدسپات توسط گالن (MacIntyre, 2005) و یا تنشست گالن در خلل و فرج موجود در بافت سنگ در اثر ورود سیال کانه‌دار نسبت می‌دهند (Kirkham, 1996). بافت دانه‌پراکنده در مرحله دیاژنز تأخیری و پس از احیایی شدن محیط ناشی از دگرسانی شسته‌شدن، در اثر برخورد سیال اکسیدان با بخش‌های احیایی و دارای نفوذپذیری بالا تشکیل می‌شود (Woodward et al., 1974; Torres-Ruiz et al., 2020). در این بافت، گالن به‌صورت پراکنده در فضاهای خالی بین دانه‌های آواری سنگ میزبان تشکیل شده است (شکل ۶-ب). بافت دانه‌پراکنده نشان‌دهنده حضور ماده معدنی در محیط رسوبی و تبلور آن در دیاژنز آغازین است. گالن‌های نسل اول عموماً به‌صورت هم‌رشد با اسفالریت و پیریت‌های نسل دوم دیده می‌شوند (شکل ۶-پ). در برخی از نمونه‌ها، این نسل از گالن شواهدی از جانیشینی به‌جای پیریت‌های فراموبیدال نسل اول را نیز نشان داده و دارای ادخال‌هایی از پیریت‌های فراموبیدال هستند (شکل ۶-پ).

در بافت شبه‌لامینه‌ای، گالن نسل اول به‌صورت نواری، درزه‌های موجود در بین لایه‌بندی سنگ میزبان را پر کرده است (شکل ۶-ت). این بافت شاخص شرایط رسوبی- دیاژنزی اولیه بوده (مهدوی و همکاران، ۱۳۹۰؛ رجب‌زاده و همکاران، ۱۳۹۹) و به‌صورت نوارهای موازی با لایه‌بندی سنگ میزبان تشکیل می‌شود. این نوارها، درزه‌های انحلالی هستند که پس از دیاژنز اولیه و قبل از دیاژنز تأخیری، در سطوح موازی با لایه‌بندی سنگ و در جهت عمود بر فشار لیتواستاتیک تشکیل می‌شوند (مهدوی و همکاران، ۱۳۹۰). در اثر فشار بار لیتواستاتیک طی دیاژنز تدفینی، ذرات قابل حل به‌صورت شیمیایی انحلال می‌یابند و در صورت وجود اجزای غیر قابل انحلال از جمله کانی‌های سولفیدی و مواد آلی، این ذرات در میان دانه‌های انحلال‌یافته (فضای درون درزه‌های انحلالی) باقی مانده و بافت شبه‌لامینه‌ای را به‌وجود می‌آورند (Durieux and Brown, 2007; Torres-Ruiz et al., 2020). بافت عدسی‌شکل محصول جانیشینی گالن به‌جای قطعات فسیل گیاهی و مواد آلی است. قطعات فسیلی و مواد آلی باعث احیایی شدن محیط و ایجاد شرایط مناسب برای ته‌نشینی مواد فلزی به‌صورت عدسی‌شکل می‌شوند. در این بافت، گالن به‌صورت عدسی‌های تیره رنگ در ماسه‌سنگ‌های میزبان حضور دارد (شکل ۶-ت). گالن نسل دوم به‌صورت رگچه‌هایی به ابعاد میلی‌متر تا ۱۰ سانتی‌متر حضور داشته و معمولاً گالن نسل اول و لامیناسیون ماسه‌سنگ‌ها را قطع کرده است (شکل ۶-ج و چ). این رگچه‌ها تنها به افق کانه‌زایی محدود بوده و حالت چینه‌کران دارند. معمولاً تشکیل

این بافت را هم‌زمان با دیاژنز تأخیری تا سنگ‌شدگی در نظر می‌گیرند زیرا در این مراحل به‌علت افزایش فشار (تدفین)، درزه و شکاف‌های مناسب جهت ورود سیال و ته‌نشست مواد فلزی همراه آن به‌وجود می‌آید (مهدوی و همکاران، ۱۳۹۰؛ رجب‌پور و همکاران، ۱۳۹۴؛ رجب‌زاده و همکاران، ۱۳۹۹). اسفالریت همراه با گالن نسل اول و پیریت نسل دوم دیده می‌شود (شکل ۶-ح و خ). این کانی بدون شکل تا نیمه‌شکل‌دار بوده و اغلب اندازه‌های کمتر از ۱/۵ میلی‌متر دارد. اسفالریت نسبت به گالن فراوانی کمتری داشته و بافت غالب آن، دانه‌پراکنده (شکل ۶-ح) و سیمان بین دانه‌ای (شکل ۶-خ) می‌باشد. پیریت در همراهی با گالن و اسفالریت دیده می‌شود. براساس مطالعات بافتی، پیریت‌های موجود در رخداد معدنی تریان را می‌توان به سه نسل تفکیک کرد. پیریت نسل اول به‌صورت پیریت فراموبیدال قابل مشاهده است. این نسل از پیریت در مراحل اولیه دیاژنز (Durieux and Brown, 2007) و پس از تنشست ژل سولفیدی به‌صورت فراموبیدال از ژل سولفیدی متبلور می‌شود (Love and Brockley, 1973). این بافت بیانگر ته‌نشست هم‌زمان با رسوب‌گذاری تا ابتدایی مرحله دیاژنز با درجه حرارت ۲۰ الی ۶۰ درجه سانتی‌گراد و pH نزدیک به خنثی است (Love and Brockley, 1973). این پیریت‌ها در اثر فرایندهای باکتریایی تولید شده و از لحاظ زمانی قبل از مرحله اصلی کانی‌سازی قرار دارند. این نسل از پیریت در مراحل بعدی کانه‌زایی توسط دیگر سولفیدها جایگزین شده و یا در اثر فرایندهای برون‌زاد، اکسیده می‌شوند. پیریت‌های فراموبیدال در رخداد معدنی تریان به‌صورت بلورهای ریز کروی شکل در اندازه حدود ۴۰ میکرون حضور داشته (شکل ۶-د) و در بیشتر موارد توسط پیریت‌های نسل دوم (شکل ۶-ذ و ر) و گاه گالن‌های نسل اول (شکل ۶-پ) جایگزین شده‌اند. پیریت نسل دوم طی دگرسانی شسته‌شدن و احیایی شدن محیط تشکیل می‌شوند. این نسل از پیریت در مرحله دیاژنز و دگرسانی شسته‌شدن، جانشین مواد آلی، فسیل‌های گیاهی و پیریت‌های فراموبیدال شده و معمولاً در مرحله کانه‌زایی به‌وسيله دیگر سولفیدها مانند گالن و اسفالریت جانشین می‌شوند. پیریت نسل دوم به‌صورت دانه‌ریز، شکل‌دار و نیمه‌شکل‌دار با بافت‌های دانه‌پراکنده و سیمان بین دانه‌ای مشاهده می‌شود (شکل ۶-ز و ژ). این نسل از پیریت معمولاً به اکسیدها و هیدروکسیدهای آهن دگرسان شده است. پیریت‌های نسل سوم به‌صورت رگچه‌هایی به ابعاد تا ۱ میلی‌متر حضور داشته و همانند گالن‌های رگچه‌ای نسل دوم، لامیناسیون ماسه‌سنگ‌ها را قطع کرده است (شکل ۶-س). این رگچه‌ها چینه‌کران بوده و تنها به افق کانه‌زایی محدود می‌شوند. بنابراین باید هم‌زمان با مرحله دیاژنز تأخیری تا سنگ‌شدگی تشکیل شده باشند (مهدوی و همکاران، ۱۳۹۰). آرسنوپیریت به مقدار کم و به‌صورت بلورهای نیمه‌شکل‌دار تا شکل‌دار دانه‌پراکنده در اندازه‌های تا ۵۰ میکرون در مقاطع میکروسکوپی قابل مشاهده است. این کانی معمولاً به‌صورت بلورهای تیغه‌ای بر روی پیریت‌های نیمه‌شکل‌دار نسل دوم رشد کرده‌اند (شکل ۶-ش). این امر می‌تواند بیانگر تشکیل آرسنوپیریت بعد از پیریت‌ها در توالی پاراژنزی باشد. سروریت و گوتیت مهم‌ترین کانی‌های ثانویه موجود در افق کانه‌زایی رخداد معدنی تریان هستند. سروریت محصول اکسیداسیون گالن از حاشیه‌ها است که بیشتر در بخش‌های سطحی افق کانه‌دار دیده می‌شود. گوتیت محصول دگرسانی برون‌زاد پیریت می‌باشد.



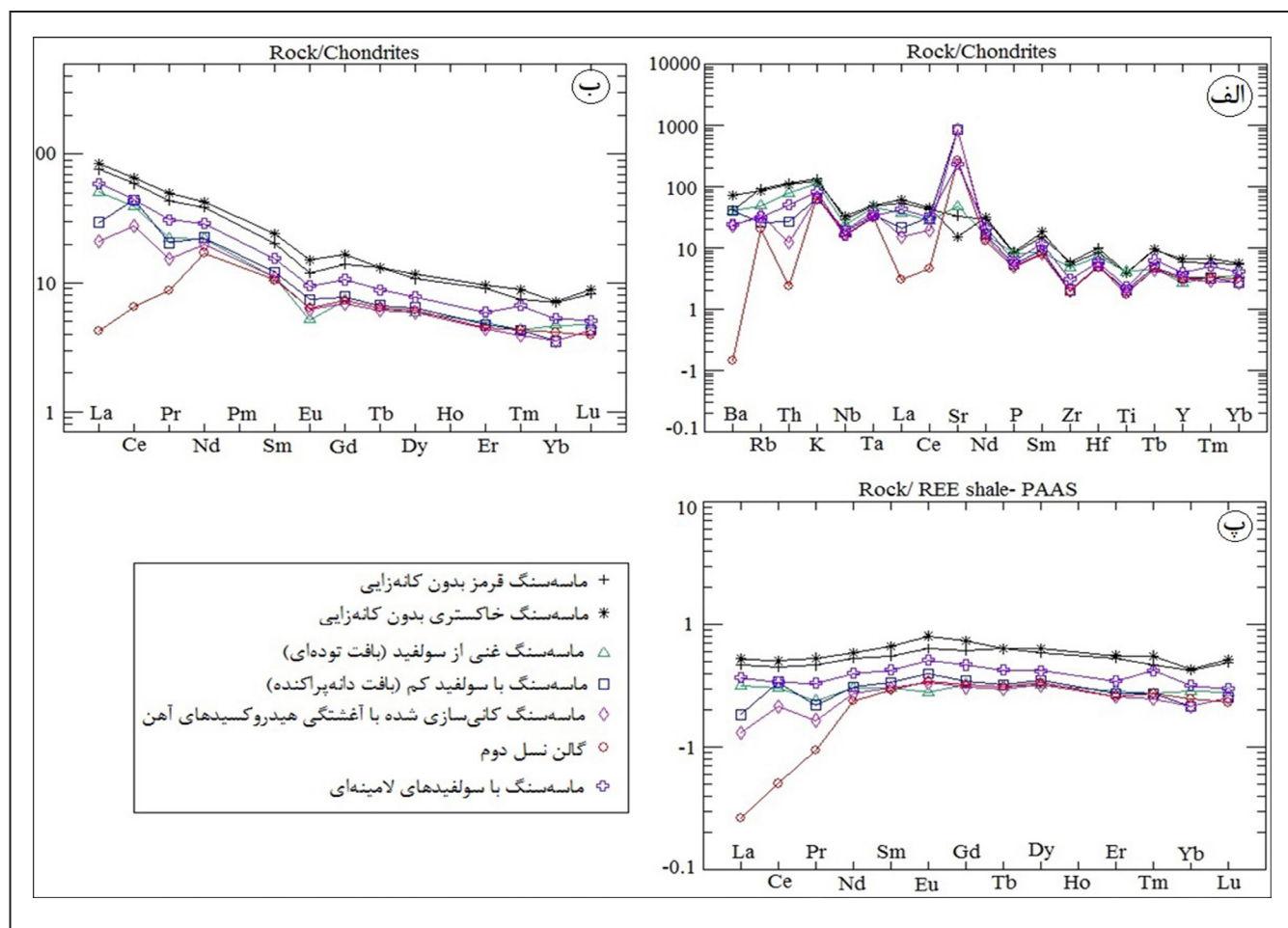
شکل ۶- کانی شناسی و ساخت و بافت کانه‌ها در رخداد معدنی تریان. الف) گالن نسل اول با بافت سیمان بین دانه‌ای؛ ب) گالن نسل اول با بافت دانه‌پراکنده در کنار پیریت‌های نسل دوم دانه‌پراکنده؛ پ) گالن نسل اول هم‌رشد با اسفالریت و پیریت نسل دوم. ادخال‌های پیریت فرامبوییدال نسل اول داخل گالن و جانشینی پیریت نسل دوم به‌جای پیریت‌های فرامبوییدال نسل اول نیز در تصویر دیده می‌شود؛ ت) گالن نسل اول با بافت شبه‌لامینه‌ای؛ ث) گالن نسل اول با بافت عدسی‌شکل؛ ج) گالن نسل دوم با بافت رگچه‌ای؛ چ) تصویر میکروسکوپی از تصویر ج؛ ح) اسفالریت با بافت دانه‌پراکنده. به همراهی اسفالریت با گالن نسل اول و پیریت‌های نسل دوم توجه شود؛ خ) اسفالریت با بافت سیمان بین دانه‌ای؛ د) پیریت‌های فرامبوییدال کروی شکل با بافت دانه‌پراکنده؛ ذ و ر) پیریت‌های فرامبوییدال نسل اول در حال جانشینی توسط پیریت‌های نیمه‌شکل‌دار نسل دوم؛ ز) پیریت نسل دوم با بافت دانه‌پراکنده در کنار پیریت‌های فرامبوییدال نسل اول؛ ژ) پیریت نسل دوم با بافت سیمان بین دانه‌ای؛ س) پیریت نسل سوم با بافت رگچه‌ای؛ ش) بلورهای شکل‌دار آرسنوپیریت که بر روی پیریت‌های نسل دوم رشد کرده‌اند. تصاویر میکروسکوپی در نور بازتابی تهیه شده‌اند. علائم اختصاری کانی‌ها از (Whitney and Evans (2010) اقتباس شده است. Apy: آرسنوپیریت، Gn1: گالن نسل اول، Gn2: گالن نسل دوم، Py1: پیریت فرامبوییدال نسل اول، Py2: پیریت نسل دوم، Py3: پیریت نسل سوم، Sp: اسفالریت.

۲-۶. داده‌های زمین‌شیمیایی

نتایج تجزیه‌های شیمیایی به‌دست آمده از نمونه‌های رخداد معدنی تریان در جدول ۱ آمده است.

الگوی عناصر کمیاب و کمیاب خاکی برای ماسه‌سنگ‌های کانه‌دار و ماسه‌سنگ‌های قرمز (پهنه اکسیدان) و خاکستری (پهنه شسته‌شده) بدون کانه‌زایی در کانسار تریان که نسبت به کندریت (Thompson, 1982; Sun and McDonough, 1989) و شیل استرالیا (Taylor and McLennan, 1985) به‌نچار شده‌اند، در شکل ۷ نشان داده شده است. همانطور که در این شکل دیده می‌شود، الگوی این عناصر برای نمونه‌های کانه‌دار و ماسه‌سنگ‌های بدون کانه‌زایی مشابه است با این تفاوت که نمونه‌های کانه‌دار نسبت به ماسه‌سنگ‌های بدون کانه‌زایی، تمرکزهای به نسبت پایین‌تری از عناصر کمیاب و کمیاب خاکی دارند. غلظت عناصر کمیاب از ماسه‌سنگ‌های میزبان به سمت نمونه‌های کانه‌دار کمتر شده است (شکل ۷- الف)

که این امر می‌تواند با خروج این عناصر طی فرایندهای شسته‌شدن و کانه‌زایی تفسیر شود. در مقایسه با نمونه‌های ماسه‌سنگی، نمونه‌های کانه‌دار آنومالی مثبت استرانسیم نشان می‌دهند که می‌تواند به حضور ژپس در نمونه‌های کانه‌دار و تمرکز استرانسیم در این کانی مرتبط باشد. نمونه مربوط به گالن نسل دوم در مقایسه با سایر نمونه‌های کانه‌دار در برخی از عناصر (مانند باریم، توریم، لانتانیم و سریم) تهی‌شدگی نشان می‌دهد که می‌تواند نشانگر شرایط متفاوت تشکیل رگه- رگچه‌های گالن نسل دوم در مقایسه با مرحله اصلی کانه‌زایی باشد. الگوی عناصر کمیاب خاکی برای نمونه‌های ماسه‌سنگی قرمز و خاکستری بدون کانه‌زایی و نمونه‌های کانه‌دار مشابه با غنی‌شدگی از عناصر LREE (نسبت بالای LREE/HREE) و آنومالی منفی یورومیم می‌باشد (شکل ۷- ب).



شکل ۷- الف) نمودارهای چند عنصری به‌نچار شده به کندریت (Thompson, 1982) برای نمونه‌های کانه‌دار و ماسه‌سنگ‌های قرمز و خاکستری در رخداد معدنی تریان؛ ب و پ) الگوی عناصر کمیاب خاکی به‌ترتیب به‌نچار شده به کندریت (Sun and McDonough, 1989) و شیل استرالیا (Taylor and McLennan, 1985) برای نمونه‌های کانه‌دار و ماسه‌سنگ‌های قرمز و خاکستری در رخداد معدنی تریان.

جدول ۱- نتایج آنالیزهای شیمیایی نمونه‌های ماسه‌سنگی و کانه‌دار در رخداد معدنی سرب- روی تریان. داده‌ها بر حسب گرم در تن (ppm) می‌باشند.

	Ag	Al	As	Ba	Be	Bi	Ca	Cd	Co	Cr	Cs	Cu	Fe	Hf
T-18	<0.1	48917	8.7	285	1.1	<0.1	50111	0.1	6.1	24	1.6	9	20223	2
T-20	0.64	47029	3.16	491.13	1.03	<0.1	67783	2.69	5.95	24.13	1.59	91.00	17298	1.72
T-25	35.8	41040	2.2	275	1	<0.1	9939	94.4	12.6	30	2.4	32	18896	1.46
T-37	9.2	27415	<0.1	277	0.7	<0.1	37859	0.6	2.6	14	1.8	8	9255	1
T-48	7.2	26836	4.7	155	0.7	<0.1	43143	135.6	5.4	14	1.4	10	13549	1.05
T-54	1	25624	2.4	<1	0.7	<0.1	62601	172.6	6.8	14	1.3	10	22023	0.98
T-61	11.8	33423	1	166	0.8	<0.1	78149	49.6	18.1	20	1.5	13	17368	1.17
	In	K	Li	Mg	Mn	Mo	Na	Nb	Ni	P	Pb	Rb	S	Sb
T-18	<0.5	15782	16	6032	1176	0.1	13955	10.2	15	381	70	32	191	0.6
T-20	<0.5	14597	14.13	7959	1014.25	0.20	13236	11.51	15.25	384.88	1011.50	29.50	545.13	0.56
T-25	<0.5	13716	22	7002	164	0.3	12433	8.3	26	379	>30000	17	>30000	0.7
T-37	<0.5	7656	11	4282	1259	<0.1	7154	6.6	8	246	1800	9	>30000	<0.5
T-48	<0.5	7891	9	4323	1293	1.5	7766	6.7	8	233	8012	12	>30000	<0.5
T-54	<0.5	8277	10	4496	2285	3.2	6596	5.6	11	223	>30000	7	>30000	0.5
T-61	<0.5	9823	14	5865	2786	0.4	9416	5.7	19	277	>30000	11	>30000	0.6
	Sc	Se	Sn	Sr	Ta	Te	Th	Ti	Tl	U	V	W	Y	Zn
T-18	8	<0.5	1.3	393.7	0.97	<0.1	4.68	2435	2.77	1.3	58	<1	11.5	153
T-20	8.41	0.51	1.21	179.96	0.98	0.12	4.52	2450.38	0.59	1.21	58.88	<1	13.13	490.13
T-25	7.7	1.56	0.8	556.4	0.9	0.16	3.27	2485	57.24	2.8	60	<1	5.4	18260
T-37	3.9	0.81	0.6	>10000	0.68	2.01	1.14	1279	1.18	1.7	37	<1	6.7	174
T-48	4	1.71	0.6	>10000	0.78	1.24	0.52	1195	19.04	2.03	37	<1	6.2	>30000
T-54	4.2	2.85	0.5	3119.4	0.62	0.11	<0.1	1084	26.53	2.5	40	<1	6.1	>30000
T-61	5.4	6.55	0.7	2709.7	0.67	0.2	2.12	1411	40.51	3.2	45	<1	7.8	12328
	Zr	La	Ce	cPr	Nd	Sm	Eu	Gd	Tb	Dy	Er	Tm	Yb	Lu
T-18	40	18	36	4.1	18	3.08	0.69	2.86	0.49	2.73	1.51	0.19	1.2	0.21
T-20	36.88	20.0	40.0	4.71	19.95	3.69	0.87	3.40	0.49	2.97	1.59	0.23	1.21	0.23
T-25	32	12	24	2.1	10.2	1.69	0.3	1.5	0.24	1.5	0.82	0.11	0.8	0.12
T-37	14	7	27	1.94	10.5	1.85	0.43	1.61	0.25	1.63	0.78	0.11	0.6	0.11
T-48	14	5	17	1.46	9.2	1.68	0.36	1.43	0.23	1.5	0.73	0.1	0.6	0.11
T-54	13	<1	4	0.83	8	1.61	0.37	1.5	0.24	1.56	0.74	0.11	0.7	0.1
T-61	21	14	27	2.94	13.5	2.36	0.55	2.18	0.33	1.97	0.98	0.17	0.9	0.13

T-18: ماسه‌سنگ قرمز بدون کانه‌زایی؛ T-20: میانگین ۸ نمونه ماسه‌سنگ خاکستری بدون کانه‌زایی؛ T-25: ماسه‌سنگ غنی از سولفید (بافت توده‌ای)، T-37: ماسه‌سنگ دارای سولفید کم با بافت دانه‌پراکنده، T-48: ماسه‌سنگ کانی‌سازی شده با آغشتگی هیدروکسیدهای آهن، T-54: گالن نسل دوم، T-61: ماسه‌سنگ با سولفیدهای لاینه‌ای.

عناصر کمیاب خاکی نقش داشته است. نمونه مربوط به رگه- رگچه‌های گالن نسل دوم، در عناصر لانتانیم، سرب و پراسودیمیم تپی‌شدگی مشخصی نشان می‌دهند که بیانگر شرایط تشکیل متفاوت آنها در مقایسه با دیگر نمونه‌های کانه‌دار می‌باشد. نسبت به شیل استرالیا، نمونه‌های کانه‌دار در مقایسه با نمونه‌های ماسه‌سنگی بدون کانه‌زایی، تپی‌شدگی مشخصی در غلظت عناصر کمیاب خاکی را نشان می‌دهند (شکل ۷-ب). در مقایسه با سایر نمونه‌های کانه‌دار، نمونه گالن نسل دوم تپی‌شدگی بیشتری در عناصر کمیاب خاکی سبک دارد.

۳-۶. توالی پارازنتیک و مراحل تشکیل و تحول کانه‌ها

با توجه به تأثیر فرایندهای برون‌زاد، بسیاری از کانی‌های اولیه و بافت آنها در رخداد معدنی تریان از بین رفته است. از این رو، ارائه یک سکانس پارازنتی دقیق برای این

در مقایسه با نمونه‌های ماسه‌سنگی، تپی‌شدگی مشخصی در غلظت عناصر کمیاب خاکی در نمونه‌های کانه‌دار دیده می‌شود. آنومالی منفی یوروپیم در نمونه‌های کانه‌دار می‌تواند در ارتباط با شرایط احیایی تهنشست ماسه‌سنگ‌ها، سیال کانه‌ساز و محیط نهشت کانه‌ها باشد (Dokuz et al., 2005; Wang et al., 2006). به اعتقاد Alderton et al. (1980)، تپی و یا غنی‌شدن عناصر کمیاب خاکی طی دگرسانی توسط چند عامل کنترل می‌شود: ۱- تمرکز عناصر کمیاب خاکی در کانی‌های واکنش‌دهنده، ۲- پایداری نسبی کانی‌ها در برابر سیال، ۳- جذب عناصر کمیاب خاکی توسط کانی‌های ثانویه، ۴- غلظت عناصر کمیاب خاکی در سیالات و ۵- توانایی سیال در تحرک عناصر کمیاب خاکی. بر این اساس، به نظر می‌رسد در منطقه تریان، کانی‌شناسی کانی‌های ثانویه تشکیل‌شده طی دگرسانی و ماهیت احیایی سیالات کانه‌ساز و محیط (وجود بی‌هنجاری منفی یوروپیم) در تمرکز و تحرک

در ساختار شبکه‌ای آنها آزاد شده و اطراف ذرات آواری را احاطه می‌کند. این عمل باعث قرمز شدن رسوبات می‌گردد (Walker, 1989; Azizi et al., 2018; Xie et al., 2021). فرایند قرمزشدگی تا اواخر مرحله دیاژنز اولیه ادامه دارد. این فرایند نسبتاً طولانی با گذر زمان باعث تیره‌تر شدن رسوبات قرمز رنگ می‌شود (Walker, 1989). کربنات کلسیم موجود در آب‌های درون حفره‌ای با ادامه روند فرایند دیاژنز، در مرحله دیاژنز اولیه باعث تشکیل سیمان کلسیتی و سیمانی شدن رسوبات خواهد شد (Flint, 1989; Durieux and Brown, 2007). در اواخر مرحله دیاژنز اولیه، pH محیط کاهش پیدا کرده و باعث انحلال اسیدی سیمان بین آنها و ایجاد تخلخل و نفوذپذیری می‌شود (Walker, 1989; Aehnelt et al., in press). اسیدی‌شدن محیط در اثر تخریب قطعات آواری گیاهی موجود در توالی رسوبی و اکسیداسیون این مواد آلی می‌باشد (Flint, 1989).

رخداد معدنی تا حدودی مشکل است. عدم دسترسی به نمونه‌های عمقی نیز به این مسئله دامن زده است. با این وجود، با در نظر گرفتن اثرات این فرایندها و بررسی بخش‌هایی که کمتر دچار دگرسانی شده‌اند، توالی پاراژنتیک کانی‌ها در رخداد معدنی تریان را می‌توان به ۳ مرحله قبل از کانه‌زایی، کانه‌زایی و پس از کانه‌زایی تفکیک کرد (شکل ۸).

مرحله پیش از کانه‌زایی شامل مراحل هم‌زمان با دیاژنز و دیاژنز اولیه در فرایند تشکیل ماسه‌سنگ‌های میزبان کانه‌زایی می‌باشد. کمی پس از تنش‌ست رسوبات، در مراحل اولیه دیاژنز، ژل‌های سولفیدی همراه با ذرات آواری تنش‌ست می‌یابند (Durieux and Brown, 2007). این ژل‌های سولفیدی اندکی بعد متبلور شده و پیریت‌های فرامیویدال نسل اول را به‌وجود می‌آورند. در مراحل ابتدایی تدفین رسوبات، کانی‌های آهن‌داری مانند بیوتیت هیدرولیز می‌شوند و آهن موجود

	Pre-mineralization		Mineralization		Post-mineralization
	Diagenesis				Supergene
	Syn-diagenesis	Early diagenesis	Middle diagenesis	Late diagenesis	
Redding Calcite/evaporite cements Organic destruction and acidic solution Porosity generation Bleaching Compaction Fracturing	
Pyrite- I Pyrite- II Pyrite- III Galena-I Galena- II Sphalerite Arsenopyrite Cerussite Goethite Hematite
Replacement Solution seams Vein-veinlet Grain cement Impregnation Disseminated		

شکل ۸- توالی پاراژنتیک و ساخت و بافت مواد معدنی و باطله در رخداد معدنی تریان.

(Rushton et al., 2020). این سیال ضمن عبور از بخش‌های غنی از مواد آلی (فسیل گیاهی)، تحت تأثیر احیای باکتریایی سولفات موجود در آن و تولید H_2S ، باعث گسترش شرایط احیایی و در نتیجه سبب دگرسانی شسته‌شدن (رنگ سبز و خاکستری) سنگ میزبان می‌گردد (MacIntyre, 2005; Azizi et al., 2018). این فعالیت باکتریایی باعث تولید اسید و کاهش pH محیط گشته، در نتیجه سیمان کلسیتی و حتی کانی‌ها تجزیه می‌شوند و تخلخل در رسوبات افزایش می‌یابد. این سیال احیایی که دارای کمپلکس‌های بی‌سولفیدی H_2S و HS^- است، اکسیدهای آهن موجود در اطراف ذرات را شسته و در مجاورت H_2S ، پیریت دیاژنتیکی (پیریت نسل دوم) دانه‌پراکنده را به‌وجود می‌آورد. در مرحله کانه‌زایی، شرایط

مرحله کانه‌زایی مربوط به مرحله پیش از تدفین عمیق در دیاژنز میانی و تأخیری می‌باشد که با توجه به نفوذپذیری ایجاد شده، خلل و فرج مناسب برای حرکت سیالات بین‌سازندی به‌وجود آمده است. در این مرحله از فرایند دیاژنز، سیالات بین‌سازندی اکسیدان و گرم با شوری بالا و کلر که از واحدهای تبخیری (وجود لایه‌های گچ و نمک موجود در توالی سنگی سازند قرمز بالایی) منشأ گرفته‌اند، هنگام عبور از بین رسوبات قرمز، مس (سرب و روی) و دیگر فلزات آزاد شده از دانه‌های سیلیکاته ناپایدار را شسته و همراه خود به درون افق‌های احیایی حمل می‌نمایند (Hitzman et al., 2005; Cox et al., 2007). مهم‌ترین شکل انتقال عناصر فلزی در محلول‌های کانه‌دار، به‌صورت کمپلکس‌های کلریدی می‌باشد (Rose, 1976).

فورلندی و حوضه‌های مولاسی پیش و پس از کوهزایی (Cox et al., 2007; Hayes et al., 2015) تشکیل می‌شوند. براساس مطالعات انجام‌شده در منطقه تریان و با توجه به آنالیزهای مودال و زمین‌شیمی عناصر اصلی و کمیاب (کیودمهری، ۱۳۹۹) و حضور مقدار بالای خُرده‌سنگ (به‌ویژه خُرده‌سنگ‌های رسوبی) و کوارتزهای چندبلوری می‌توان اظهار داشت که ماسه‌سنگ‌های میزبان کانه‌زایی در رخداد معدنی تریان، در یک حوضه فورلندی حاشیه فعال قاره‌ای تهنشست پیدا کرده‌اند. این نتایج با مطالعات بالاتو و همکاران (Ballato et al., 2016) که محیط زمین‌ساختی فورلندی حاشیه فعال قاره‌ای را برای ماسه‌سنگ‌های سازند قرمز بالایی در شمال‌باختر ایران پیشنهاد کرده‌اند، مطابقت دارد. معمولاً کانسارهای مس رسوبی در محیط‌های رودخانه‌ای، دلتایی، ساحلی، دریاچه‌ای و یا دریایی کم‌عمق و حوضه‌های تبخیری مرتبط با آنها در شرایط آب و هوایی گرم و خشک تا نیمه‌خشک تشکیل می‌شوند (Cox et al., 2007; Hayes et al., 2015). ویژگی‌هایی مانند حضور قابل ملاحظه مارن‌های قرمز رنگ، ماسه‌سنگ‌های نابالغ، بلوغ شیمیایی پایین، حضور بقایای گیاهی و حضور واحدهای تبخیری در منطقه تریان، محیط تشکیل سنگ میزبان این رخداد معدنی را می‌توان محیط‌های رودخانه‌ای در شرایط اقلیمی نیمه‌خشک تا خشک در نظر گرفت (کیودمهری، ۱۳۹۹). کانه‌زایی در این رخداد معدنی، در قسمت زیرین کانال‌های قدیمی رودخانه‌ای، در قسمت‌هایی که مواد آلی وجود دارد، رخ داده است.

مناسب جهت کانه‌زایی و تهنشست سولفیدها ایجاد شده و سولفیدهایی نظیر گالن (نسل اول)، اسفالریت، پیریت (نسل دوم) و آرسنوپیریت با بافت‌های دانه‌پراکنده، شبه‌لامینه‌ای، عدسی‌شکل، جانشینی و سیمان بین دانه‌ای تهنشست می‌یابند. این کانی‌ها جانشین ساختارهای سلولی و آوندهای قطعات فسیل گیاهی و پیریت‌های فرامبویدال جانشین شده در این ساختارها می‌شوند و این جانشینی باعث استحکام ساختار درونی این فسیل‌ها می‌گردد. رگچه‌های گالن (نسل دوم) و پیریت (نسل سوم) در مراحل پایانی مرحله کانه‌زایی، در طی دیاژنز تأخیری تشکیل می‌شوند. مرحله پس از کانه‌زایی شامل مرحله بالاآمدگی و هوازدگی است. در این مرحله، درزه و شکستگی‌های ثانویه‌ای که هم‌روند با سیستم‌های گسلی منطقه طی فرایندهای زمین‌ساختی (بالاآمدگی) ایجاد می‌شوند سبب تسریع حرکت آب‌های جوی و افزایش اثر فرایندهای برون‌زاد می‌شوند. طی این مرحله، کانی‌های تشکیل شده در مراحل قبلی به کانی‌های ثانویه اکسیدی و کربناتی تبدیل می‌شوند.

۶-۴. تیپ کانه‌زایی

رخداد معدنی تریان از نظر موقعیت زمین‌ساختی، محیط تهنشست، سنگ میزبان، ژئومتری، ساخت و بافت، کانی‌شناسی، دگرسانی و عوامل کنترل‌کننده کانه‌زایی، تشابه زیادی با کانسارهای مس رسوبی تیپ Redbed دارد (جدول ۲). از نظر محیط زمین‌ساختی، کانسارهای مس رسوبی تیپ Redbed معمولاً در بالای توالی رسوبات تخریبی قاره‌ای موجود در ریفت‌ها، حوضه‌های کششی، حوضه‌های

جدول ۲- مقایسه ویژگی‌های رخداد معدنی تریان با تیپ‌های مختلف کانسارهای مس با سنگ میزبان رسوبی.

Toryan occurrence	Sediment-hosted stratiform copper deposit			سن
	Redbed	Sandstone deposits (Revet)	Reduced-facies	
Miocene	Neoproterozoic-late Mesozoic-early Cenozoic		Late-middle Neoproterozoic	موقعیت تکنونیکی
حوضه‌های فورلندی	محیط‌های کششی، حوضه‌های مولاسی قبل و بعد از کوهزایی	محیط‌های کششی	الاکوژن یا ریفت قاره‌ای	محیط تهنشست
محیط رودخانه‌ای مانندری نزدیک به ساحل و جزر و مدی	محیط‌های ساحلی و کم‌عمق، محیط‌های رودخانه‌ای و دلتایی	محیط‌های ساحلی، حوضه‌های دلتایی و پلایا	جزر و مدی	سنگ میزبان
ماسه‌سنگ خاکستری	سکانس تخریبی شامل ماسه‌سنگ، مارن و کنگلومرا	توالی ضخیم ماسه‌سنگی و تا حدودی سیلت‌سنگ و شیل	شیل تیره تا خاکستری و سبز رنگ، سیلت‌سنگ، گل‌سنگ، دولومیت	ژئومتری
افق‌های عدسی و هم‌روند با لایه‌بندی	افق‌های عدسی و هم‌روند با لایه‌بندی	مسطح تا عدسی‌شکل و هم‌روند با لایه‌بندی	ورقه‌ای، لایه‌ای و عدسی	ساخت و بافت
جانشینی، دانه‌پراکنده، سیمان بین دانه‌ای، رگچه‌ای	دانه‌پراکنده، جانشینی، سیمان بین دانه‌ای، شبه‌لامینه‌ای و بازماندی	دانه‌پراکنده، جانشینی	دانه‌پراکنده، جانشینی، گل‌کلی، شبه‌لامینه‌ای، سیمان بین دانه‌ای و بازماندی	کانی‌شناسی
گالن، اسفالریت، پیریت، آرسنوپیریت	کالکوسیت، بورتیت، پیریت، مس و نقره طبیعی، گالن، اسفالریت	کالکوسیت، کالکوپیریت، بورتیت، نقره طبیعی، گالن، اسفالریت	کالکوسیت، بورتیت، کالکوپیریت، پیریت، مس طبیعی، اسفالریت، گالن	دگرسانی غالب
Bleaching	Bleaching	Bleaching	Bleaching و دولومیتی شدن	عامل احیاء
واریزه‌های فسیل گیاهی و پیریت	واریزه‌های فسیل گیاهی و پیریت	واریزه‌های فسیل گیاهی و مواد هیدروکربوری	مقادیر فراوان پیریت و مواد آلگی	منبع تأمین‌کننده عناصر فلزی
توالی Redbed	توالی Redbed	توالی Redbed	رسوبات Redbed	عامل کنترل‌کننده
وجود عامل احیاء کننده، نفوذپذیری سنگ میزبان، لایه‌های تبخیری، گسل	نفوذپذیری لایه‌های ماسه‌سنگی و وجود واریزه‌های فسیل گیاهی	نفوذپذیری لایه‌ها، وجود عامل احیاء و گسل خوردگی	محیط احیاء شامل شیل سیاه پیریتی، مواد آلگی و سولفید بیوزنیک، نفوذپذیری رسوبات کم‌رپاین	مثال
-	Nacimient, Corocoro	Dzhezhasgan, Spar Lake	Kupferschiefer, Zambia, Kamoto	منبع
نتایج حاصل از این پژوهش	Woodward et al., 1974; Avila-Salinas, 1990; Thorson, 2004; Hitzman et al., 2005; Torres-Ruiz et al., 2020	Adkins, 1993; Cox et al., 2007	Annels, 1989; Oszczepalskim 1999; Hitzman et al., 2005; Cox et al., 2007; Hayes et al., 2015	

بالایی در این ناحیه شده است. فعالیت‌های اکتشافی و استخراجی جدید انجام شده در کانسارهای چرلانقوش و قرلجه نشان داده است که گسترش افق‌های مس‌دار در این کانسارها در بخش‌های عمقی بیشتر است. بنابراین انجام فعالیت‌های اکتشافی عمیق در رخداد معدنی تریان و دیگر کانسارهای سرب و روی موجود در محور آوج-زنجان-تبریز-خوی می‌تواند حضور و یا عدم حضور افق‌های مس‌دار در این کانه‌زایی‌ها را مشخص سازد.

۶-۵. الگوی تشکیل رخداد معدنی تریان

طی میوسن با ادامه روند بسته‌شدن اقیانوس نئوتتیس در ایران، حوضه‌های برخوردی و کمان‌های ماگمایی تشکیل شده است. در این زمان، همزمان با ادامه روند کوهزایی و شکل‌گیری کمان ماگمایی ارومیه-دختر، ارتفاعات بلند و حوضه‌های کشتی پشت کمان ماگمایی به وجود آمده است (Ballato et al., 2016). در اثر فرایندهای هوازگی و فرسایش، رسوبات آواری فراوانی از این ارتفاعات جدا شده و در حوضه‌های فورلندی به صورت واحدهای تخریبی و تبخیری سازند قرمز بالایی ته‌نشست یافته‌اند. این رسوبات در محیط‌های رودخانه‌ای به صورت توالی‌های ریزشونده همراه با قطعات آواری چوبی و گیاهی تشکیل شده است. با آغاز دیاژنز اولیه، آهن موجود در شبکه کانی‌های ناپایدار سیلیکاته (مانند بیوتیت) موجود در این رسوبات در اثر فرایند هیدرولیز به صورت هیدروکسید آهن فریک آزاد می‌شود. هیدروکسیدهای آهن در پیرامون ذرات آواری تجمع پیدا کرده و موجب قرمز شدن رسوبات در مراحل اولیه دیاژنز می‌شود. همچنین، بافت قطعات آواری گیاهی حاوی مقدار قابل توجهی H_2O ، C و S است (Azaraïen et al., 2017). در اثر تجزیه این قطعات، اسید هومیک تولید شده و این اسید باعث انحلال و تبدیل ذرات آواری فلدسپات و دیگر سیلیکات‌ها به کانی‌های رسی می‌شود. از آنجایی که این کانی‌های سیلیکاته در ساختار خود دارای مقادیری مس و سرب و روی هستند (Walker, 1989)، این فرایند موجب خروج عناصر مزبور از شبکه کانی‌ها شده و توسط هیدروکسیدهای آهن و اسمکتیت موجود در رسوبات جذب می‌شود (مهدوی و همکاران، ۱۳۹۰). وجود بافت جانیشینی بیانگر این است که کانه‌زایی در مرحله دیاژنز اولیه رخ نداده است.

با افزایش دیاژنز و تدفین رسوبات، قطعات آواری گیاهی موجود در رسوبات باعث احیایی شدن محیط (Azaraïen et al., 2017) و افزایش تخلخل و نفوذپذیری ماسه‌سنگ‌ها می‌شود (Thorson, 2004). در مراحل بعدی دیاژنز، اکسیدهای آهن آمورف به هماتیت تبدیل شده و اسمکتیت نیز با گذشت زمان و افزایش درجه حرارت به ایلیت تبدیل می‌شود. این عمل سبب آزادسازی مجدد فلزات می‌شود (Brown, 2003). این عناصر فلزی توسط سیال اکسیدان کانه‌ساز حمل می‌گردند. این سیال در اثر آب‌زدایی و انحلال کانی‌های تبخیری و فشار لایه‌های فوقانی حاصل شده است. سیال اکسیدان کانه‌ساز، غنی از کمپلکس‌های کلریدی و شوری متوسط تا بالا بوده و در اثر گرادیان حرارتی ایجاد شده توسط دی‌پیریسیم گنبد‌های نمکی منطقه، از طریق گسل‌های هم‌زمان با رسوب‌گذاری و تخلخل و نفوذپذیری سنگ‌های میزبان در رسوبات سازند قرمز به چرخش در می‌آیند (Azizi et al., 2018). وجود کمپلکس‌های کلریدی کمک شایانی به حمل و جابه‌جایی عناصر فلزی توسط این سیال می‌کند. در اثر فشار لایه‌های بالایی، آب درون سازندی خارج شده و تمرکز بالای مواد آلی باعث احیایی شدن این سیال می‌شود. با کتری‌های بی‌هوازی، سولفات موجود در آب درون سازندی را به H_2S احیا کرده و باعث دگرسانی شسته‌شدن در افق‌های غنی از فسیل گیاهی شده و گوگرد تولید می‌شود. همچنین، نهشته‌های دانه‌ریز با ایجاد لایه پوششی مانع تبادل اکسیژن شده و شرایط را برای احیایی کردن محیط فراهم می‌کنند. این دگرسانی سبب می‌شود که اکسیدهای آهن از سنگ شسته شده و یا به صورت پیریت دیاژنتیکی ته‌نشست پیدا کنند.

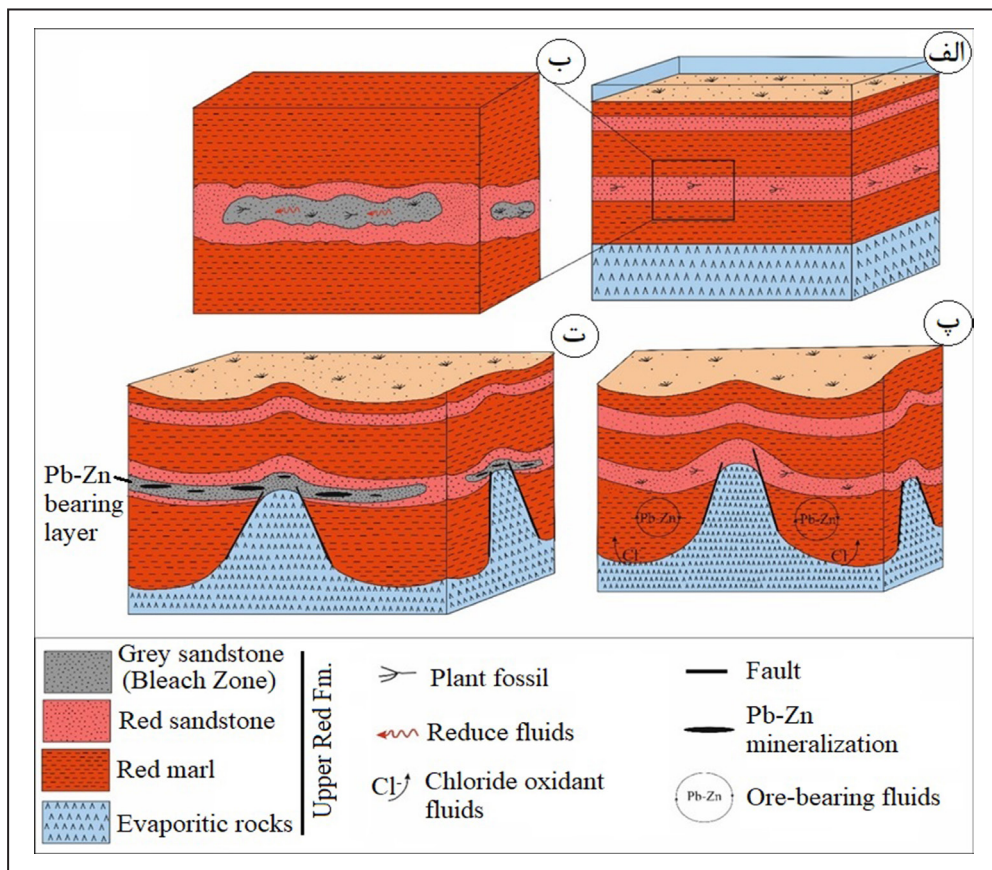
در مرحله دیاژنز میانی و کمی پس از شروع فرایند شسته‌شدن، سیال اکسیدان

سنگ میزبان کانسارهای مس رسوبی تیپ Redbed معمولاً کنگلومرا و ماسه‌سنگ‌ها (به‌ویژه آرکوز خُرده‌سنگ‌دار و آرکوز) مرتبط با محیط‌های با انرژی بالا با منشأ قاره‌ای هستند (Cox et al., 2007; Hayes et al., 2015). این دسته از کانسارها در فصل مشترک ماسه‌سنگ و کنگلومرای قرمز اکسیدان و خاکستری احیایی تشکیل می‌گردند (Hitzman et al., 2005). کانه‌زایی سرب و روی در رخداد معدنی تریان درون ماسه‌سنگ‌های خاکستری احیایی سازند قرمز بالایی رخ داده است. این ماسه‌سنگ‌ها از نوع لیت‌آرنایت و به میزان کمتر، فلدسپاتیک لیت‌آرنایت هستند (کبودمهری، ۱۳۹۹). در اغلب کانسارهای مس رسوبی، ماده معدنی به صورت سیمان بین دانه‌ای، شبه‌لامینه‌ای و عدسی‌های چینه‌کران هم‌روند با لایه‌بندی سنگ‌های میزبان در اطراف بقایای گیاهی متمرکز شده و معمولاً جانشین قطعات ته‌گیا یا سلول‌های گیاهی می‌شوند (Brown, 2003; Cox et al., 2003; 2007; Hayes et al., 2015; Torres-Ruiz et al., 2020). کانه‌زایی در رخداد معدنی تریان نیز به صورت لامینه‌ای و عدسی‌شکل هم‌روند با لایه‌بندی ماسه‌سنگ‌های میزبان رخ داده و دارای بافت‌های دانه‌پراکنده، سیمان بین‌دانه‌ای، شبه‌لامینه‌ای، جانیشینی، رگه و رگچه‌ای و فراموبیدال است. در کانسارهای مس با میزبان رسوبی، حرکت سیالات کانه‌ساز عامل اصلی دگرسانی در این کانسارها می‌باشد (Hayes et al., 2015). دگرسانی اصلی مشاهده شده در بیشتر این کانسارها، دگرسانی شسته‌شدن سنگ میزبان می‌باشد که به صورت سبز، سفید و یا خاکستری رنگ مشاهده می‌شود (Hitzman et al., 2005; Cox et al., 2007). در رخداد معدنی تریان نیز پهنه دگرسانی شسته‌شده در ماسه‌سنگ‌های میزبان کانه‌زایی رخ داده است. این پهنه با ستبرای ۴ تا ۸ متر، به وسیله لایه‌های قرمز رنگ پهنه اکسیدان احاطه شده است. بر این اساس می‌توان گفت که رخداد معدنی سرب و روی تریان در دسته کانسارهای مس رسوبی تیپ Redbed قرار گرفته و از این نظر شباهت زیادی با دیگر کانسارهای مس رسوبی تیپ Redbed ایران مانند چهرگان، تازه‌کند، نهند-ایوند، تسوج، چهرآباد، حمزه‌لو، چرلانقوش، قرلجه، اورتاسو، زاغ‌لو، آوج و مارکشه (سپهری راد و فتحی‌جو، ۱۳۹۰؛ عنایتی کولایی و همکاران، ۱۳۹۵؛ حقیقی و همکاران، ۱۳۹۸؛ قاسملو و همکاران، ۱۳۹۸؛ میرحسینی، ۱۳۹۸؛ رجب‌زاده و همکاران، ۱۳۹۹؛ Rajabpour et al., 2017; Sadati et al., 2016; Azizi et al., 2018; Maghfouri et al., 2020) دارد.

از ویژگی‌های مهم کانسارهای مس رسوبی تیپ Redbed منطقه‌بندی فلزی شامل منطقه بدون سولفید (اغلب هماتیت)، لایه‌های مس‌دار، لایه‌های غنی از سرب و روی و لایه‌های پیریت‌دار است (Brown, 1984; Jowett et al., 1987). کانسار کوپرشیفر در اروپا (Oszczepalski, 1999)، کمربند مس زامبیا در آفریقای مرکزی (Garlick, 1989) و کانسار ژورانتو در آرژانتین (Durieux and Brown, 2007)، از جمله کانسارهایی هستند که در آنها منطقه‌بندی فلزی دیده شده است. در کانسار کوپرشیفر، لایه‌های غنی از سرب و روی در بالای لایه‌های مس‌دار قرار دارند (Hayes et al., 2015). در رخداد معدنی تریان، کانه‌زایی شامل افق سرب و روی بوده و لایه مس‌دار در رخنمون‌های سطحی دیده نمی‌شود. کانسارها و نشانه‌های متعددی از کانه‌زایی‌های مس و سرب-روی با میزبان رسوبی درون ماسه‌سنگ‌های خاکستری سازند قرمز بالایی در منطقه ماه‌نشان وجود دارد. در برخی از این کانسارها مانند چرلانقوش (Azizi et al., 2018)، قرلجه (میرحسینی، ۱۳۹۸؛ Azizi et al., 2018) و چهرآباد (رجب‌زاده و همکاران، ۱۳۹۹)، پهنه‌بندی‌های شیمیایی از مس تا سرب و روی قابل مشاهده است. اما در برخی دیگر از آنها مانند حلب (ملکی کهنگی، ۱۳۹۶) و حمزه‌لو (قاسملو و همکاران، ۱۳۹۸)، فقط کانه‌زایی مس مشاهده می‌شود. در کانسارهایی مانند اورتاسو (حقیقی و همکاران، ۱۳۹۸) و ساری‌کند (شکوری نکو، ۱۳۹۷) نیز فقط افق‌های سرب و روی دیده می‌شود. نبود همه افق‌های کانه‌زایی در برخی از این کانسارها را می‌توان به فرایندهای تک‌تونیک مرتبط دانست که سبب ایجاد چین‌خوردگی‌ها و گسلش‌های فراوان در سازند قرمز

سولفیدهای فلزی بیانگر این است که کانه‌زایی قبل از تدفین عمقی و بالاآمدگی رسوبات ایجاد شده است زیرا تدفین عمقی باعث از بین رفتن شبکه سلولی در فسیل گیاهی بدون کانه‌زایی می‌شود (Woodward et al., 1974). در مرحله بعد از کانه‌زایی، تدفین عمقی صورت گرفته و در اثر بالاآمدگی، واحدهای سنگی در سطح زمین برون‌زد می‌یابند. این برون‌زدها در معرض فرسایش و هوازدگی قرار می‌گیرند و باعث تشکیل کانی‌های برون‌زاد و اکسیدی می‌گردند. مدل تشکیل رخداد معدنی تریان در شکل ۹ نشان داده شده است.

کانه‌ساز وارد افق‌های احیایی غنی از مواد آلی و فسیل گیاهی شده و در اثر برخورد با سیال احیایی این بخش، کمپلکس‌های کلریدی حامل فلزات آن ناپایدار و سولفیدهای فلزی ته‌نشست می‌یابند. ته‌نشست کانی‌های سولفیدی در اثر برخورد شورابه‌های حاوی فلز با محیط احیایی با Eh پایین می‌باشد (Rose, 1976; Brown, 2003). به علت شرایط احیایی ایجادشده توسط بقایایی گیاهی در مرحله شسته‌شدن، سولفیدهای فلزی جایگزین بافت‌ها و سلول‌های گیاهی می‌شوند. حفظ‌شدگی ساختمان بافت‌ها و سلول‌های گیاهی جانشین شده توسط



شکل ۹- مدل شماتیکی از مراحل تشکیل کانه‌زایی در رخداد معدنی تریان. الف) ته‌نشست رسوبات تبخیری و آواری سازند قرمز بالایی همراه با قطعات گیاهی؛ ب) افزایش فشار لیتواستاتیکی لایه‌های بالایی و ادامه دیاژنز و تدفین عمقی باعث خارج شدن آب بین سازندی شده و این سیال در مجاورت آثار و قطعات فسیل گیاهی احیایی شده و باعث دگرسانی Bleaching در لایه‌ها می‌گردد؛ پ) در اثر فشار بار لیتواستاتیکی و دیپایریسم واحدهای تبخیری، سیال اکسیدان با کمپلکس‌های کلریدی تشکیل شده و این سیال با چرخش در میان رسوبات قرمز باعث شسته‌شدن مس، سرب و روی و حمل آنها می‌شود؛ ت) در اثر برخورد سیال اکسیدان با سیال احیایی در مجاورت فسیل‌های گیاهی، کمپلکس‌های کلریدی ناپایدار شده و سولفیدهای فلزی در لایه‌های شسته‌شده ته‌نشست پیدا می‌کند.

۷- نتیجه‌گیری

رخداد معدنی تریان از نظر محیط زمین‌ساختی، محیط تشکیل، سنگ میزبان، ژئومتری، ساخت و بافت و کانی‌شناسی، شباهت فراوانی با کانسارهای مس رسوبی تیپ Redbed دارد. کانه‌زایی در این کانسار به شکل سولفیدهای جانشینی، شبه‌لامینه‌ای و عدسی‌شکل درون واحدهای ماسه‌سنگی خاکستری‌رنگ سازند قرمز بالایی رخ داده و توسط نفوذپذیری سنگ میزبان و وجود بقایای فسیل گیاهی کنترل شده است. کانسارها و اندیس‌های متعددی از کانه‌زایی‌های مس و سرب- روی با میزبان رسوبی درون ماسه‌سنگ‌های خاکستری‌رنگ سازند قرمز بالایی در محور آوج- زنجان- تبریز- خوی وجود دارد. در برخی از این کانسارها پهنه‌بندی‌های شیمیایی از مس تا سرب و روی قابل مشاهده است. اما در برخی دیگر فقط کانه‌زایی مس و یا سرب و

روی مشاهده می‌شود. تمامی این کانسارها، ارتباط فضایی نزدیکی با واحدهای تبخیری و گنبد‌های نمکی موجود در سازند قرمز بالایی دارند. این امر در اکتشاف این نوع از کانه‌زایی‌ها حائز اهمیت بوده و می‌بایست در مطالعات اکتشافی مورد توجه قرار گیرد.

سپاسگزاری

نویسندگان از حمایت‌های مالی دانشگاه زنجان برای انجام این پژوهش تشکر می‌نمایند. همچنین نویسندگان از سردبیر و داوران محترم فصلنامه علوم زمین به‌خاطر راهنمایی‌های علمی ارزنده که منجر به غنای بیشتر مقاله حاضر گردیده است، کمال تشکر را دارند.

کتابنگاری

- امینی آذر، ر. و قدیرزاده، ا.، ۱۳۸۲- نقشه زمین‌شناسی مقیاس ۱:۱۰۰۰۰۰ هشت‌رود. سازمان زمین‌شناسی و اکتشافات معدنی کشور.
- حقیقی، آ.، نباتیان، ق.، کوهستانی، ح.، عظیم‌زاده، ا. م. و زهدی، ا.، ۱۳۹۸- کانه‌زایی، کانی‌شناسی، ساخت و بافت و ژنز کانسار سرب و روی اورتاسو، شمال‌غرب زنجان. مجله زمین‌شناسی اقتصادی، جلد ۱۱، شماره ۳، ص ۳۵۹ تا ۳۸۶. <https://doi.org/10.22067/ECONG.V11I3.68921>
- خداپنده، ع. ا.، امینی آذر، ر. و امامی، م.، ۱۳۷۷- نقشه زمین‌شناسی مقیاس ۱:۱۰۰۰۰۰ میانه. سازمان زمین‌شناسی و اکتشافات معدنی کشور.
- رجب‌پور، ش.، عابدینی، ع.، علیپور، ص. و ذاکری، ل.، ۱۳۹۴- بررسی کانی‌سازی و منشاء مس چینه‌سان در منطقه چشمه‌کنان تسوج، استان آذربایجان شرقی. مجله زمین‌شناسی اقتصادی، جلد ۵، شماره ۱، صص ۴۹ تا ۶۳. <https://doi.org/10.22067/ECONG.V5I1.22907>
- رجب‌زاده، ع.، کوهستانی، ح.، مختاری، م. ع. و زهدی، ا.، ۱۳۹۹- کانه‌زایی، ساخت، بافت و خاستگاه کانسار سرب- روی و مس با میزبان رسوبی چهرآباد، شمال‌باختر زنجان. مجله زمین‌شناسی اقتصادی، جلد ۱۲، شماره ۲، صص ۱۷۷ تا ۲۰۲. <https://doi.org/10.22067/ECONG.V12I2.74819>
- سپهری‌راد، ر. و فتحی‌جو، د.، ۱۳۹۰- گزارش پی‌جویی مس رسوبی در جنوب زنجان. سازمان زمین‌شناسی و اکتشافات معدنی کشور.
- شکور نو، ن.، ۱۳۹۷- زمین‌شناسی، ژئوشیمی و خاستگاه کانسار سرب و روی ساری‌کند، شمال‌غرب زنجان. پایان‌نامه کارشناسی ارشد، دانشگاه زنجان.
- عنایتی کولایی، س.، یزدی، م. و مختاری، م. ع. ا.، ۱۳۹۵- کانه‌نگاری و ژنز کانه‌زایی مس چینه‌سان در منطقه تازه‌کند، شمال‌خاور تبریز. فصلنامه علوم زمین، شماره ۹۹، صص ۱۹۵ تا ۲۰۸. <https://doi.org/10.22071/GSJ.2016.40911>
- قاسملو، آ.، کوهستانی، ح.، مختاری، م. ع. ا. و زهدی، ا.، ۱۳۹۸- کانسار مس حمزهلو: کانه‌زایی مس با میزبان رسوبی تیپ Redbed در سازند قرمز بالایی، شمال‌باختر زنجان. مجله زمین‌شناسی کاربردی پیشرفته، جلد ۹، شماره ۴، صص ۴۸۲ تا ۴۹۷. <https://doi.org/10.22055/AAG.2020.29873.1999>
- کیوادمهری، ن.، ۱۳۹۹- زمین‌شناسی، زمین‌شیمی و خاستگاه کانه‌زایی سرب- روی با سنگ میزبان رسوبی تریان، شمال‌باختر زنجان. پایان‌نامه کارشناسی ارشد، دانشگاه زنجان.
- ملکی کهنگی، م.، ۱۳۹۶- کانی‌شناسی، ژئوشیمی و کانی‌سازی مس رسوبی در منطقه حلب، زنجان. پایان‌نامه کارشناسی ارشد، دانشگاه شهید بهشتی.
- مهدوی، ا.، راستاد، ا. و حسینی برزی، م.، ۱۳۹۰- کانی‌شناسی، ساخت و بافت و نحوه تشکیل رخداد مس رسوبی- دیاژنتیک مارکته، تیپ Redbed، در سازند سرخ گردو به سن ژوراسیک، جنوب ایران مرکزی. فصلنامه علوم زمین، شماره ۸۱، صص ۸۱ تا ۹۲. <https://doi.org/10.22071/GSJ.2011.54370>
- میرحسینی، س. ع.، ۱۳۹۸- زمین‌شناسی، ژئوشیمی و خاستگاه کانسار مس و سرب- روی قرلجا، شمال‌غرب زنجان. پایان‌نامه کارشناسی ارشد، دانشگاه زنجان.

References

- Adkins, A. R., 1993- Geology of the Montanore stratabound Cu-Ag deposit, Lincoln and Sanders Counties, Montana. Belt Symposium III, Program and Abstracts, Whitefish, Montana, USA.
- Aehnelt, M., Hilse, U., Pudlo, D., Heide, K. and Gaupp, R., in press. On the origin of bleaching phenomena in red bed sediments of Triassic Buntsandstein deposits in Central Germany. *Geochemistry*. <https://doi.org/10.1016/j.chemer.2020.125736>
- Alderton, D. H. M., Pearce, J. A. and Potts, P. J., 1980- Rare earth element mobility during granite alteration: evidence from south-east England. *Earth and Planetary Science Letters*, 49(1): 149-165. [https://doi.org/10.1016/0012-821X\(80\)90157-0](https://doi.org/10.1016/0012-821X(80)90157-0)
- Annels, A. E., 1989- Ore genesis in the Zambian Copper belt, with particular reference to the northern sector of the Chambishi basin. In: R.W. Boyle, A.C. Brown, C.W. Jefferson, E.C. Jowett and R.V. Kirkham (Editors), *Sediment-hosted Stratiform Copper Deposits*. Geological Association of Canada, Special Paper 36, Canada, pp. 427-452.
- Avila-Santos, W., 1990- Origin of the copper at Corocoro, Bolivia. In: L. Fontbote, G.C. Amstutz, M. Cardozo, E. Cedillo and J. Frutos (Editors), *Stratabound Ore Deposits of the Andes*. Springer-Verlag, Berlin, pp. 659-670.
- Azaraien, H., Shahabpour, J. and Aminzadeh, B., 2017- Metallogenesis of the sediment-hosted stratiform Cu deposits of the Ravar Copper Belt (RCB), Central Iran. *Ore Geology Reviews*, 81(1): 369-395. <https://doi.org/10.1016/j.oregeorev.2016.09.035>
- Azizi, H., Hosseinzadeh, M. R., Moayyed, M. and Siahcheshm, K., 2018- Geology and geochemistry of the sediment-hosted stratabound red bed-type Cu-Pb (Zn-Ag) mineralization in the Dozkand-Moshampa area, NW Zanjan, Iran. *Neues Jahrbuch für Mineralogie-Abhandlungen (Journal of Mineralogy and Geochemistry)*, 195(2): 123-143. DOI: 10.1127/njma/2018/0101.
- Ballato, P., Cifelli, F., Heidarzadeh, G., Ghassemi, M. R., Wickert, A., Hassanzadeh, J., Dupont-Nivet, G., Baling, P., Sudo, M., Zeilinger, G., Schmitt, A., Mattei, M. and Strecker, M., 2016- Tectono-sedimentary evolution of the northern Iranian Plateau: insights from middle-late Miocene foreland basin deposits. *Basin Research*, 29(12):417-446. <https://dx.doi.org/10.1111/bre.12180>
- Brown, A. C., 1984- Alternative sources of metals for stratiform copper deposits. *Precambrian Research*, 25(1-3): 61-74. [https://doi.org/10.1016/0301-9268\(84\)90024-X](https://doi.org/10.1016/0301-9268(84)90024-X)
- Brown, A. C., 2003- Redbeds: Source of metals for sediment-hosted stratiform copper, sandstone copper, sandstone lead, sandstone uranium vanadium deposits. In: D.R. Lentz (Editor), *Geochemistry of sediments and sedimentary rocks: evolutionary considerations to mineral deposit forming environments*. Geological Association of Canada, GeoText, Canada, pp. 121-133.
- Cox, D. P., Lindsey, D. A., Singer, D. A. and Diggles, M. F., 2007- Sediment-hosted copper deposits of the world-deposit models and database. U.S. Geological Survey, Canada, Open-file report 03-107, 50 pp. <http://pubs.usgs.gov/of/2003/of03-107>.
- Cox, D. P., Lindsey, D. A., Singer, D. A., Moring, B. C. and Diggles, M. F., 2003- Sediment-hosted copper deposits of the world-deposit models and database. U.S. Geological Survey, Canada, open-file report 03-107, 53 pp. <http://pubs.usgs.gov/of/2003/of03-107>.
- Dokuz, A., Tanyolu, E. and Genc, S., 2005- A mantle and a lower crust derived bimodal suite in the Yusufeli Artvin area, NE Turkey: Trace element and REE evidence for subduction-related rift origin of Early Jurassic Demirkent intrusive complex. *International Journal of Earth Sciences*, 95(3): 370-394. <https://doi.org/10.1007/s00531-005-0046-6>.

- Durieux, C. G. and 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(8): 879–899. DOI:10.1007/s00126-007-0138-2.
- Flint, S. S., 1989- Sediment-hosted stratabound copper deposits of the Central Andes. In: R.W. Boyle, A.C. Brown, C.W. Jefferson, E.C. Jowett and R.V. Kirkham (Editors), *Sediment-hosted stratiform copper deposits*. Geological Association of Canada, Special Paper 36, Canada, pp. 371–400.
- Folk, R. L., 1980- *Petrology of sedimentary Rocks*. Austin, Texas, Hemphill, 159 pp.
- Garlick, W. S., 1989- Mineralization controls and source of metal in the Lufillian fold belt, Shaba (Zaire), Zambia and Angola: A discussion. *Economic Geology*, 84(4): 966–968. <https://doi.org/10.2113/gsecongeo.84.4.966>.
- Hayes, T. S., Cox, D. P., Piatak, N. M. and Seal, R. R., 2015- Sediment-hosted stratabound copper deposit model. U.S. Geological Survey, Virginia, 147 pp. <https://pubs.usgs.gov/sir/2010/5070/m/>.
- Hitzman, M., Kirkham, R., Broughton, D., Thorson, J. and Selley, D., 2005- The sediment-hosted stratiform copper ore system. In: J.W. Hedenquist, J.F.M. Thompson, R.J. Goldfarb and J.P. Richards (Editors), *One Hundred Anniversary volume*. *Economic Geology*, Littleton, pp. 609–612. <http://dx.doi.org/10.2113/gsecongeo.100.4.613>.
- Jowett, E. C., Ryzewski, A. and Jowett, R. J., 1987- The Kupferschiefer Cu-Ag ore deposits in Poland: A reappraisal of the evidence of their origin and presentation of a new genetic model. *Canadian Journal of Earth Sciences*, 24(10): 2016–2037. <https://doi.org/10.1139/e87-192>.
- Kirkham, R. V., 1996- Sediment-hosted copper. In: O.R. Eckstrand, W.D. Sinclair and R.I. Thorpe (Editors), *Geology of Canadian Mineral Deposit Types*. Geological Association of Canada, Canada, pp. 223–240.
- Love, L. G. and Brockley, H., 1973- Peripheral radial texture in framboids of poly-framboidal pyrite. *Fortschritte der Mineralogie*, 50(3): 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, Colorado School of Mines, Colorado, United State, 360 pp.
- Maghfouri, S., Rastad, E., Borg, G., Hosseinzadeh, M. R., Movahednia, M., Mahdavi, A. and Mousivand, F., 2020- Metallogeny and temporal-spatial distribution of sediment-hosted stratabound copper (SSC-type) deposits in Iran; implications for future exploration. *Ore Geology Reviews*, 127, 103834. <https://doi.org/10.1016/j.oregeorev.2020.103834>.
- Oszczipalski, S., 1999- Origin of the Kupferschiefer polymetallic mineralization in Poland. *Mineralium Deposita*, 34(5-6): 599–613. DOI: 10.1007/s001260050222.
- Rajabpour, S., Abedini, A., Alipour, S., Lehmann, B. and Jiang, S. Y., 2017- Geology and geochemistry of the sediment-hosted Cheshmeh-Konan Redbed-type copper deposit, NW Iran. *Ore Geology Reviews*, 86: 154–171. <https://doi.org/10.1016/j.oregeorev.2017.02.013>.
- Rose, A. W., 1976- The effect of cuprous chloride complexes in the origin of red-bed copper and related deposits. *Economic Geology*, 71(6): 1036–1048. <https://doi.org/10.2113/gsecongeo.71.6.1036>.
- Rushton, J. C., Wagner, D., Pearce, J. M., Rochelle, C. A. and Purser, G., 2020- Red-bed bleaching in a CO2 storage analogue: Insights from Entrada Sandstone fracture-hosted mineralization. *Journal of Sedimentary Research*, 90(1): 48–66. <https://doi.org/10.2110/jsr.2020.4>.
- Sadati, S. N., Yazdi, M., Mao, J., Behzadi, M., Adabi, M. H., Lingang, X., Zhenyu, C. and Muktari, M. A. A., 2016- Sulfide mineral chemistry investigation of sediment-hosted stratiform copper deposits, Nahand-Ivand area, NW Iran. *Ore Geology Reviews*, 72(1): 760–776. <https://doi.org/10.1016/j.oregeorev.2015.09.018>.
- Sun, S. S. and McDonough, W. F., 1989- Chemical and isotopic systematics of oceanic basalts: Implications for mantle composition and processes. In: A.D. Saunders and M.J. Norry (Editors), *Magmatism in the Ocean Basins*. Geological Society of London, Special Publication 42, London, pp. 313–345.
- Taylor, S. and McLennan, S., 1985- *The continental crust: Its composition and evolution*. Blackwell, Oxford, 312 pp.
- Thompson, R. N., 1982- Magmatism of the British Tertiary province. *Scottish Journal of Geology*, 18(1): 49–107. <https://doi.org/10.1144/sjg18010049>.
- Thorson, J. P., 2004- Paradox Basin sandstone-hosted copper deposits generated by two episodes of basinal fluid expulsion. 36th Denver Annual Meeting, Geological Society of America, Denver, USA.
- Torres-Ruiza, J., Pesquera, A., Gil-Crespo, P. P. and Delgado, A., 2020- Exotic Cu-mineralization in Triassic red beds from Navas de San Juan (Jaén, Spain). *Ore Geology Reviews*, 119, 103399. <https://doi.org/10.1016/j.oregeorev.2020.103399>.
- Walker, T. R., 1989- Application of diagenetic alterations in red beds to the origin of copper in stratiform copper deposits. In: R.W. Boyle, A.C. Brown, W. Jefferson, E.C. Jowett and R.V. Kirkham (Editors), *Sediment-hosted stratiform copper deposits*. Geological Association of Canada, Special Paper 36, Canada, pp. 85–96.
- Wang, Q., Wyman, D. A., Xu, J. F., Zhao, Z. H., Jian, P., Xiong, X. L., Bao, Z. W., Li, C. F. and Bai, Z. H., 2006- Petrogenesis of Cretaceous adakitic and shoshonitic igneous rocks in the Luzong area, Anhui province (Eastern China): Implications for geodynamics and Cu-Au mineralization. *Lithos*, 89(3–4): 424–446. <https://doi.org/10.1016/j.lithos.2005.12.010>.
- Whitney, D. L. and Evans, B. W., 2010- Abbreviations for names of rock-forming minerals. *American Mineralogist*, 95(1): 185–187. <https://doi.org/10.2138/am.2010.3371>.
- Woodward, K. H., Kaufman, W. H., Schumacher, O. L. and Talbott, L. W., 1974- Stratabound copper deposits in Triassic sandstone of Sierra Nacimiento, New Mexico. *Economic Geology*, 69(1): 108–120. <https://doi.org/10.2113/gsecongeo.69.1.108>.
- Xie, D., Yao, S., Cao, J., Hu, W., Wang, X. and Zhu, N., 2021- Diagenetic alteration and geochemical evolution during sandstones bleaching of deep red-bed induced by methane migration in petroliferous basins. *Marine and Petroleum Geology*, 127: 104940. <https://doi.org/10.1016/j.marpetgeo.2021.104940>.

Original Research Paper

Type and genetic model of the Toryan sediment - hosted Pb–Zn occurrence, NW Zanjan

Negar Kaboudmehri¹, Hossein Kouhestani^{2*}, Mir Ali Asghar Mokhtari² and Afshin Zohdi³¹Graduate M.Sc. student, Department of Geology, University of Zanjan, Zanjan, Iran²Associate Professor, Department of Geology, University of Zanjan, Zanjan, Iran³Assistant Professor, Department of Geology, University of Zanjan, Zanjan, Iran**ARTICLE INFO***Article history:*

Received: 2020 December 31

Accepted: 2021 June 12

Available online: 2022 March 21

Keywords:

Pb – Zn mineralization

Redbed type

Upper Red Formation

Toryan

Zanjan

ABSTRACT

The Toryan occurrence is located in the Central Iran zone, 120 km northwest of Zanjan. Pb–Zn mineralization at Toryan occurred as laminated and lens-shaped parallel to lamination of grey sandstone units of the Upper Red Formation. Mineralization often formed around and within the fragments of the plant fossils, and shows disseminated, replacement, solution seams, intergranular cement, framboidal, and vein-veinlet textures. At Toryan, ore horizon has 1 m thickness and approximately 350 m length and contains three zones include the red oxidized zone, the bleached zone and the mineralized reduced zone. Galena, sphalerite, pyrite and arsenopyrite are the main ore minerals at Toryan occurrence. Cerussite and goethite are formed during supergene and weathering processes. Comparison of trace elements and REE patterns of barren red and grey host sandstones and mineralized samples indicate that mineralized samples show lower concentrations of trace elements and REE. This signature indicates mobility of these elements during bleaching and mineralization processes. Based on tectonic setting, sedimentary environment, host rock, presence of plant fossils, geometry, ore texture and mineralogy and alteration, Toryan occurrence can be classified as sediment-hosted Cu deposits of Redbed type, and is comparable with another Redbed type of Cu and Pb–Zn deposits in the Avaj-Zanjan-Tabriz-Khoy belt.

* Corresponding author: Hossein Kouhestani; E-mail: kouhestani@znu.ac.ir

E-ISSN: 2645-4963; Copyright©2021G.S. Journal & the authors. All rights reserved.

 doi: 10.22071/GSJ.2021.263678.1874 dor: 20.1001.1.10237429.1401.32.1.6.6