

رخساره‌های کانه‌دار، ژئوشیمی و الگوی تشکیل کانسار آهن-استرانسیم-(منگنز) کوه ریگ، جنوب شاهرود

منا مهدوری^۱، فردین موسیوند^۲، محمود صادقیان^۳، مهدی موحدنیا^۴

^۱ کارشناسی ارشد، دانشکده علوم زمین، دانشگاه صنعتی شاهرود، شاهرود، ایران

^۲ استادیار، دانشکده علوم زمین، دانشگاه صنعتی شاهرود، شاهرود، ایران

^۳ دانشیار، دانشکده علوم زمین، دانشگاه صنعتی شاهرود، شاهرود، ایران

^۴ دانشجوی دکتری، گروه زمین‌شناسی، دانشکده علوم پایه، دانشگاه تربیت مدرس، تهران، ایران

تاریخ پذیرش: ۱۳۹۹/۰۲/۲۹

تاریخ دریافت: ۱۳۹۸/۰۳/۲۵

چکیده

کانسار آهن-استرانسیم-(منگنز) کوه ریگ، در جنوب شاهرود و در بخش شمالی پهنه ساختاری ایران مرکزی واقع شده است. کانه‌زایی در توالی آتشفشانی-رسوبی ائوسن زیرین رخ داده که شامل تناوبی از آندزیت بازالت، بازالت و کریستال لیتیک توف می‌باشد. ماده معدنی در بخش فوقانی به صورت عدسی و همروند با لایه‌بندی سنگ میزبان لیتیک توفی و در بخش زیرین به صورت رگه-رگچه‌ای که لایه‌بندی سنگ میزبان را قطع نموده‌اند، رخ داده است. بر اساس موقعیت چینه‌شناسی، بافت و ساخت و کانی‌شناسی، از پایین به بالا می‌توان سه رخساره کانه دار رگه-رگچه‌ای (استرینگر)، برشی و نواری را از هم تمیز داد. کانی‌شناسی ماده معدنی بطور عمده شامل گوتیت، همانیت، مگنتیت، سلسیت، پیرولوویت، پسیلوملان و باریت می‌باشد که با کانی‌های باطله کلسیت، کلریت، سریسیت، کوارتز و کانی‌های رسی همراهی می‌شوند. در کمربند کانسار در پهنه استرینگر، دگرسانی‌های سریسیتی و کلریتی به ترتیب در مرکز و حواشی گسترش دارند. در نمودارهای ژئوشیمیایی، کانسنگ‌های کانسار کوه ریگ در محدوده کانسارهای گرمابی و گرمابی زیردریایی قرار می‌گیرند. کانسار آهن-استرانسیم-(منگنز) کوه ریگ از جهت داشتن توالی میزبان آتشفشانی-رسوبی، شکل هندسی همروند با لایه‌بندی، بافت و ساخت، رخساره‌های کانه دار، کانی‌شناسی، پهنه بندی دگرسانی و ویژگی‌های ژئوشیمیایی، شباهت زیادی با کانسارهای آهن آتشفشانی-بروندمی دارد. قابل ذکر است که بالا بودن میزان سلسیت از ویژگی‌های خاص این کانه‌زایی بوده و تاکنون مورد مشابه آن در ایران و جهان گزارش نشده است.

کلیدواژه‌ها: آهن، سلسیت، آتشفشانی-بروندمی، کوه ریگ، شاهرود.

*نویسنده مسئول: فردین موسیوند

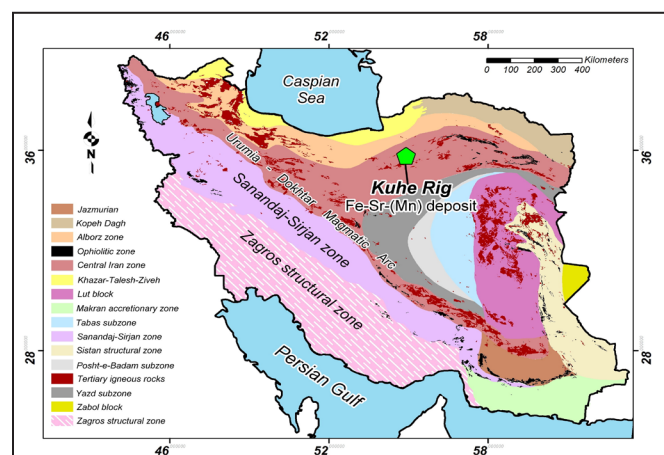
E-mail: mousivand@shahroodut.ac.ir

۱- پیش‌نوشتار

کانسار آهن-استرانسیم کوه ریگ در بخش شمالی پهنه ساختاری ایران مرکزی (شکل ۱) و در ۱۳۰ کیلومتری جنوب شاهرود واقع شده است. سنگ‌های پرکامبرین تا عهدحاضر در این کمربند دارای پروند می‌باشند که در این میان، سنگ‌های آتشفشانی-رسوبی ائوسن و سنگ‌های نفوذی بعد از ائوسن، دارای بیشتر فراوانی هستند. منطقه تروند از لحاظ توان معدنی و رخداد تیپ‌های مختلف کانساری بسیار قابل توجه است؛ بگونه‌ای که انواع کانسارهای: طلای مرتبط با توده نفوذی (کانسار باغو؛ Niroumand et al. 2018)، طلای-نقره اپی‌ترمال (کانسار گندی؛ فرد، ۱۳۸۰)، سرب و روی اپی‌ترمال (کانسار چشمه‌حافظ؛ مهربایی و قاسمی‌سیانی، ۱۳۸۹)، سرب و روی تیپ دره می‌سی‌سی‌پی (کانسارهای خانجارج-رشم؛ مهری، ۱۳۷۷)، مس تیپ میشیگان چاه‌مورا (سعیدی، ۱۳۹۱) و

کانسار آهن-استرانسیم کوه ریگ در بخش شمالی پهنه ساختاری ایران مرکزی (شکل ۱) و در ۱۳۰ کیلومتری جنوب شاهرود واقع شده است. سنگ‌های پرکامبرین تا عهدحاضر در این کمربند دارای پروند می‌باشند که در این میان، سنگ‌های آتشفشانی-رسوبی ائوسن و سنگ‌های نفوذی بعد از ائوسن، دارای بیشتر فراوانی هستند. منطقه تروند از لحاظ توان معدنی و رخداد تیپ‌های مختلف کانساری بسیار قابل توجه است؛ بگونه‌ای که انواع کانسارهای: طلای مرتبط با توده نفوذی (کانسار باغو؛ Niroumand et al. 2018)، طلای-نقره اپی‌ترمال (کانسار گندی؛ فرد، ۱۳۸۰)، سرب و روی اپی‌ترمال (کانسار چشمه‌حافظ؛ مهربایی و قاسمی‌سیانی، ۱۳۸۹)، سرب و روی تیپ دره می‌سی‌سی‌پی (کانسارهای خانجارج-رشم؛ مهری، ۱۳۷۷)، مس تیپ میشیگان چاه‌مورا (سعیدی، ۱۳۹۱) و

شکل ۱- پهنه‌های ساختاری ایران (آقاباتی، ۱۳۸۳؛ Alavi, 1991) و موقعیت کانسار آهن-استرانسیم-(منگنز) کوه ریگ در بخش شمالی پهنه ایران مرکزی.



۲- روش پژوهش

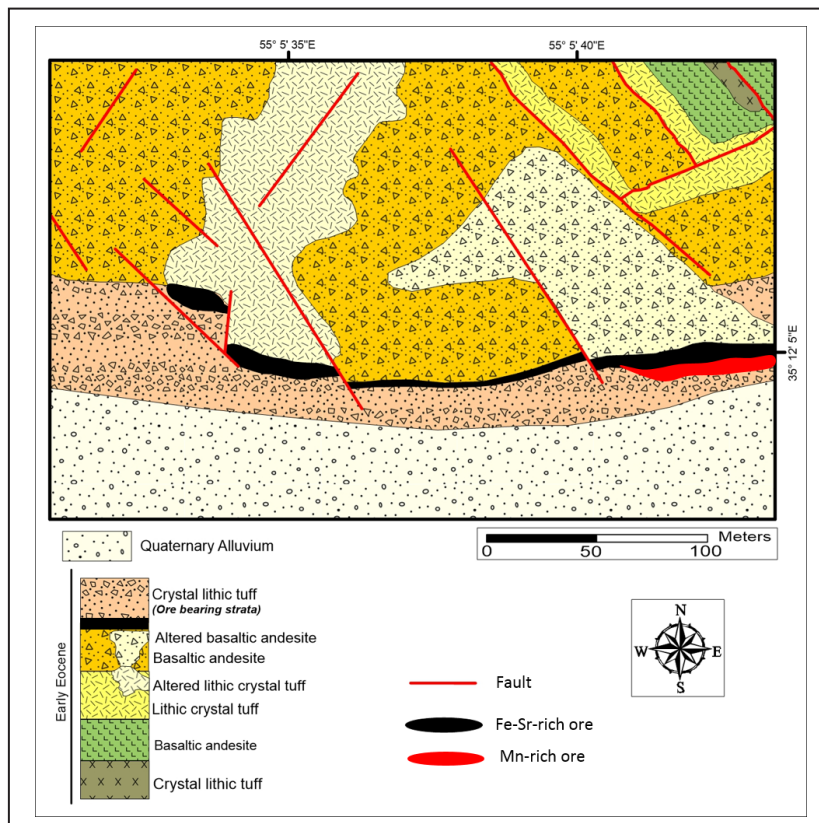
برای مطالعه ویژگی‌های رخساره‌های کانه‌دار کانسار کوه‌ریگ، برش‌های متعدد زمین‌شناسی تهیه و نمونه برداری سیستماتیک از واحدهای دربرگیرنده ماده معدنی و همچنین افق کانه‌دار به تعداد ۱۵۰ عدد صورت پذیرفت. مطالعات پتروگرافی برای تعیین بافت، کانی‌شناسی و توالی پاراژنتیکی کانسار بر روی ۲۸ مقطع نازک-صیقلی و ۵ مقطع نازک در آزمایشگاه کانی‌شناسی دانشکده علوم زمین دانشگاه صنعتی شاهرود انجام گرفت. برای تشخیص برخی کانی‌ها از روش الکترون میکروپروب (EPMA) نیز استفاده گردید. جهت انجام مطالعات ژئوشیمیایی، تعداد ۶ نمونه از انواع کانسنگ به روش ICP-MS در آزمایشگاه‌های مرکز تحقیقات فرآوری مواد معدنی ایران مورد آزمایش قرار گرفت.

۳- زمین‌شناسی منطقه معدنی

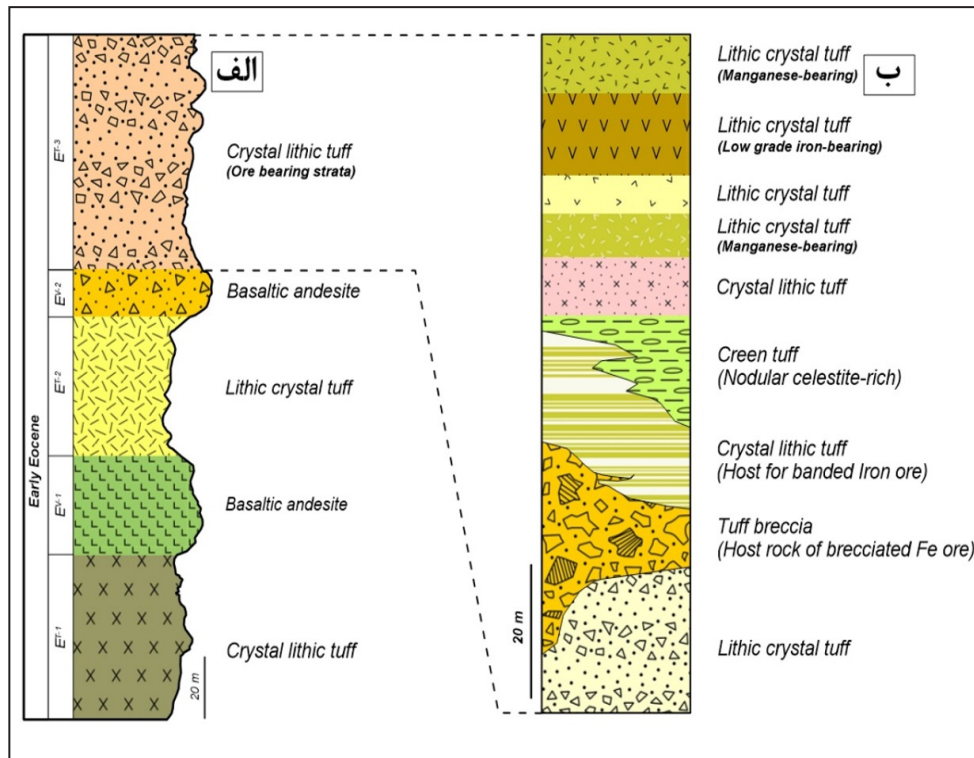
گستره ایران زمین، بخشی از کمربند کوهزایی آلپ-همالیاست (Dercourt et al., 1986, 1993; Stampfli and Borel, 2002;) (Agard et al., 2005; Ghasemi and Talbot, 2006; Omrani, 2008). بر اساس Berberian and King (1981)، سه واحد اصلی ساختاری در ایران قابل تمیز از یکدیگر می‌باشد که شامل پهنه چین‌خورده و تراستی زاگرس، بلوک‌های سیمین و کوه‌های کپه‌داغ است. بلوک‌های سیمین در ایران شامل قطعات پوسته‌ای و خردقاره‌های البرز، سندج-سیرجان و ایران مرکزی می‌باشد (Stöcklin, 1968;) (Rahmati-Ikhtchi et al., 2010). خردقاره ایران مرکزی توسط شاخه‌های کوچک اقیانوس نئوتتیس که در طی کرتاسه فوقانی بسته شده‌اند، احاطه شده بود. شواهد بسته شدن این شاخه‌ها در منطقه مورد مطالعه، بین خردقاره ایران مرکزی و پهنه البرز، با افیولیت‌های سبزوار مشخص شده است (Shojaat et al., 2002). همچنین ماگماتیسم کالک-آلکالین ترشیری در جنوب شاهرود و دامغان (کمربند ترو-چاه‌شیرین)، در رابطه با بسته شدن این اقیانوس می‌باشد (Rossetti et al., 2010). منطقه مورد مطالعه

نیز بخشی از این کمان ماگمایی بوده که در آن مجموعه سنگ‌های آتشفشانی-رسوبی ائوسن، گسترش یافته‌اند.

واحدهای سنگی ائوسن با ساختاری تاقدیسی (تاقدیس کوه‌ریگ) با راستای خاوری-باختری با طول بیش از ۱۵ کیلومتر و عرض ۵ کیلومتر در منطقه مورد مطالعه برونزد دارند. مجموعه سنگ‌های آتشفشانی-رسوبی ائوسن در تاقدیس کوه‌ریگ از قدیم به جدید شامل ۵ واحد تناوب گدازه و توف می‌باشد. بر مبنای مطالعات ژئوشیمیایی مهدوری (۱۳۹۵) گدازه‌های توالی میزبان کانسار کوه‌ریگ دارای ماهیت انتقالی بوده و در محدوده کمان آتشفشانی قرار می‌گیرند. قدیمی‌ترین واحد سنگی که در شمال خاوری کانسار کوه‌ریگ برونزد دارد، شامل کریستال لیتیک توف (واحد E^{T-1}) با ضخامت بیش از ۵۰ متر است که با گدازه‌های آندزیت بازالتی (واحد E^{V-1}) پوشانیده می‌شود. واحد E^{V-1} در شمال باختری کانسار کوه‌ریگ ضخامت داشته و با توپوگرافی نسبتاً خشن، بخوبی قابل تفکیک از واحدهای توفی است. ضخامت این واحد گدازه‌ای در حدود ۳۵ متر می‌باشد. واحد E^{V-1} با ضخامت ۵۵ متری از لیتیک کریستال توف (واحد E^{T-2}) پوشانده می‌شود. واحد E^{T-2} در بخش مرکزی منطقه مورد مطالعه، تحت تأثیر سیالات گرمایی دگرسان شده است. گدازه‌های آندزیت بازالتی واحد E^{V-2} با ضخامت ۱۵ متری، بر روی لیتیک کریستال توف قرار می‌گیرند. مجموعه کریستال لیتیک توف میزبان ماده معدنی (واحد E^{T-3}) جوان‌ترین واحد ائوسن در منطقه مورد مطالعه می‌باشد (شکل ۲) که با ضخامت تقریبی ۹۰ متر، در جنوب محدوده مورد مطالعه و در یال جنوبی تاقدیس کوه‌ریگ دارای برونزد است. از آنجایی که این واحد چینه‌ای میزبان کانه‌زایی آهن-استرانسیم-منگنز) در کانسار کوه‌ریگ می‌باشد، از لحاظ چینه‌شناسی به صورت دقیق‌تر مورد مطالعه قرار گرفته و از پایین به بالا شامل لیتیک کریستال توف، توف برش، کریستال لیتیک توف، توف سبز، کریستال لیتیک توف و لیتیک کریستال توف است (شکل‌های ۲ و ۳).



شکل ۲- نقشه زمین‌شناسی محدوده معدنی کوه‌ریگ و موقعیت افق کانه‌دار در سنگ‌های آتشفشانی-رسوبی ائوسن.

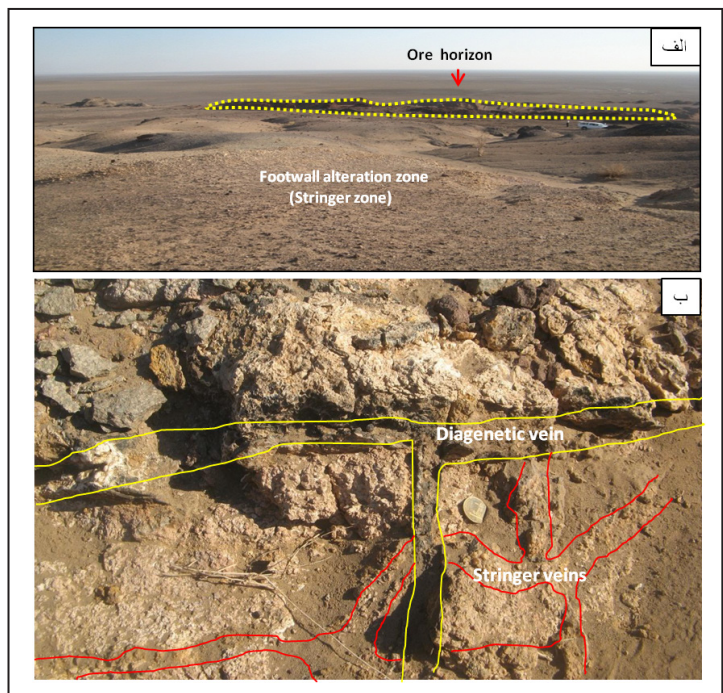


شکل ۳- الف) ستون چینه‌شناسی عمومی ائوسن زیرین در منطقه کوه‌ریگ؛ ب) ستون چینه‌شناسی واحد میزان ماده معدنی در کانسار کوه‌ریگ.

۴- کانه‌زایی و رخساره‌های کانه‌دار

الف) رخساره کانسنگ رگه- رگچه‌ای: رخساره رگه - رگچه‌ای در کانسار کوه‌ریگ در سنگ‌های کمر پایین آندزیت بازالت و آذرآواری گسترش فراوانی دارد. در این بخش از کانسار، دگرسانی به صورت گسترده رخ داده است (شکل ۴- ب). قابل ذکر است که در این رخساره کانه‌زایی آهن دیده نمی‌شود و به جای آن کانه‌زایی باریت گسترش دارد. بر اساس کانی‌شناسی رگه‌ها، ۶ نوع سیستم رگه- رگچه‌ای در کانسار کوه‌ریگ تشخیص داده شد:

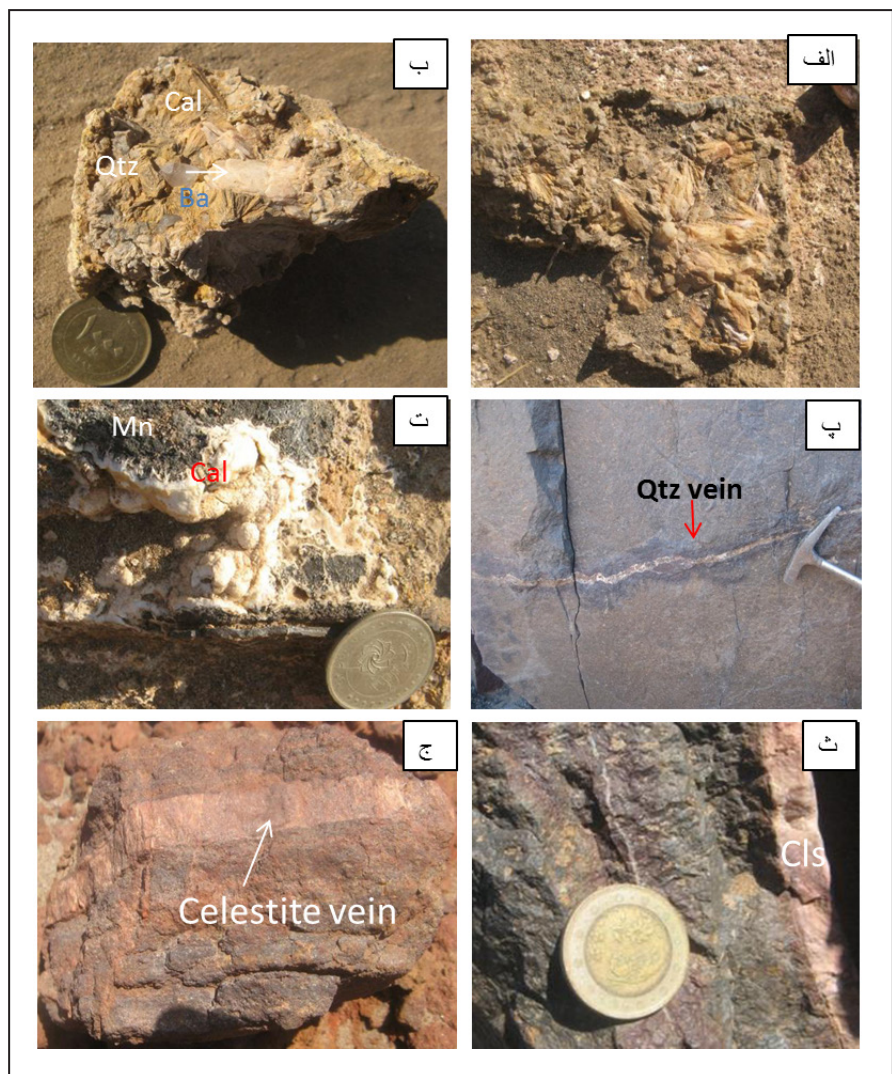
کانه‌زایی آهن- استرانسیم- منگنز) در کانسار کوه‌ریگ به صورت رگه - رگچه‌ای با پهنه دگرسانی گسترده در بخش زیرین و به صورت عدسی و همروند بالا به بندی سنگ میزان در بخش فوقانی تشکیل شده است (شکل ۴- الف). طول افق کانه‌دار حدود ۴۰۰ متر و ضخامت آن به ۵۰ متر می‌رسد (شکل ۲). بر اساس ویژگی‌های کانی‌شناسی، شکل هندسی ماده معدنی، ساخت و بافت، سه نوع رخساره کانه‌دار تشخیص داده شده است که از پایین به بالا عبارتند از:



شکل ۴- الف) دورنمایی از افق کانه‌دار در کانسار کوه‌ریگ و واحدهای دگرسان شده سرسیتی کمرپایین ماده معدنی؛ ب) نمایی از رخساره رگه- رگچه‌ای قطع‌کننده لایه بندی سنگ میزان دگرسان، که رگه‌های کلسیتی منگنز دار دیاژنتیک، رگه‌های باریتی- کلسیتی- کوارتزی استرینگر را قطع کرده‌اند.

و منظم نیستند و به نظر می‌رسد محصول دیاژنز تأخیری باشند (شکل ۵-ت).
۴. رگه-رگچه‌های سلسیت-باریت (دیاژنتیک): که این رگه-رگچه‌ها در سنگ‌های توفی و آندزیت بازالتی کمربین و ماده معدنی گسترش دارند و در مقایسه با دو گروه اول، فاقد دگرسانی در اطرافشان هستند.
۵. رگه‌های سلسیت سوپرژن: که گاهی حاوی ژپس یا گوتیت بوده و هم در اندازه‌های کمربین و هم در افق چینه‌سان آهن دار بصورت قطع کننده مواد معدنی دیده می‌شوند (شکل ۵-ث، ج).
۶. رگه‌های کلسیتی و سیلیسی: که با دگرسانی همراه نبوده و دارای روند تکتونیکی و منظم می‌باشند. این رگه‌ها دارای روند خاصی (NE-SW و NW-SE) بوده و بصورت عمود بر روند تاقدیس منطقه گسترش دارند. بنابراین، این رگه-رگچه‌ها با روندهای تکتونیکی هماهنگ هستند و به نظر می‌رسد که در اثر فرآیند تکتونیکی و دگرشکلی تشکیل شده باشند.

۱. رگه-رگچه‌های کلسیت-باریت (سلسیت)-کوارتز: این سیستم رگه-رگچه‌ای در کمربین افق کانه دار و در سنگ‌های آندزیت بازالتی گسترش دارد. در اطراف این رگه-رگچه‌ها دگرسانی سربستی گسترش دارد (شکل ۵-الف، ب). قابل ذکر است که برخی از این رگه‌ها در کانه زایی‌های مشابه در نقاط دورتر از کانسار کوه ریگ حاوی باریت زیاد و گاهی مس بوده و فاقد آهن می‌باشند و بعنوان معدن باریت و مس استخراج شده‌اند.
۲. رگه-رگچه‌های کوارتز-کلریتی: رگه-رگچه‌های کوارتز-کلریتی در بخش‌های حاشیه‌ای کانسار و در واحدهای کمربین افق اصلی کانه زایی، (سنگ‌های آندزیت بازالت و سنگ‌های آذرآواری) تشکیل شده‌اند. در اطراف این رگه-رگچه‌ها، دگرسانی کلریتی به وضوح قابل مشاهده است (شکل ۵-پ).
۳. رگه‌های کلسیتی و منگنزدار: که با دگرسانی همراه نبوده و دارای روند تکتونیکی



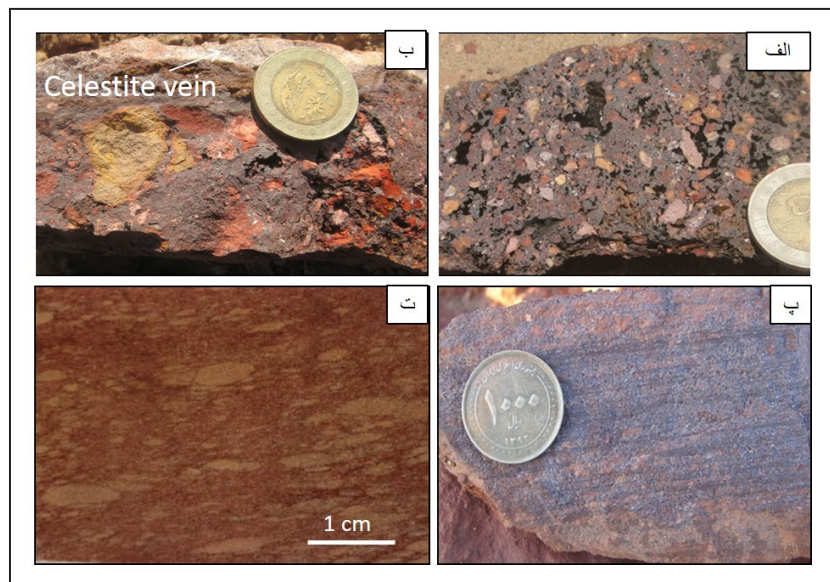
شکل ۵-الف، ب) نمای نزدیک از رگه باریتی-کلسیتی-کوارتزی استرینگر همراه با دگرسانی سربستی؛ پ) رگه کوارتزی استرینگر با حواشی دگرسانی کلریتی؛ ت) رگه دیاژنتیک کلسیتی منگنزدار؛ ث) رگه ثانویه سلسیت داخل اندازه آندزیتی کمربین؛ ج) رگه ثانویه سلسیت به موزات لایه‌بندی سنگ توفی میزبان. Cal = کلسیت، Qtz = کوارتز، Ba = باریت، Mn = اکسید منگنز، Cls = سلسیت

متغیر می‌باشد. با اینحال قطعات دارای جنس و ترکیب یکسان بوده و مربوط به یک سنگ میزبان واحد هستند. رخساره کانسنگ برشی در کمربین قسمت میانی افق کانه دار گسترش دارد. کانسنگ برشی به نظر می‌رسد مگنتیت زیادی داشته است اما بخاطر وجود سطوح ضعف و بخاطر دگرسان بودن قطعات امکان نفوذ آب‌های جوی بیشتر بوده و لذا مگنتیت همراه هماتیت هوازده و به هیدرواکسیدهای آهن تبدیل شده است.
پ) رخساره کانسنگ نواری: رخساره کانسنگ نواری، متشکل از لایه‌های

پ) رخساره کانسنگ برشی: این رخساره در بالای پهنه رگه-رگچه‌ای و در زیر کانسنگ لایه‌ای قرار دارد. بخش قابل توجهی از افق کانه دار کانسار کوه ریگ، شامل کانه‌زایی آهن با بافت برشی است که عمدتاً در سنگ‌های توف برش بخش زیرین واحد ET^{-3} رخ داده‌اند. در رخساره برشی قطعات زاویه‌دار از جنس توف بوده که به شدت دگرسان شده است و اطراف قطعات زاویه‌دار توسط هیدروکسید و اکسیدهای آهن (گوتیت و هماتیت) احاطه شده است (شکل ۶-الف، ب). این قطعات اندازه‌های متفاوت دارند و اندازه آنها در حد چند میلی‌متر تا ۵ سانتی‌متر

(شکل ۶- ت) که در اثر فرایند دیاژنز آغازین تشکیل شده‌اند. دلیل اینکه محصول دیاژنز است این است که تنشست سلسیت نیازمند شوری بالا می‌باشد (Barnes, 1997) که در طی فرایند دیاژنز فراهم می‌شود. مهمترین دگرسانی‌ها در کانسار کوه ریگ شامل دگرسانی سریستی و کلریتی هستند (شکل‌های ۴ و ۵) که در کمربند کانسار گسترش دارند. پهنه‌بندی دگرسانی واضحی نیز در کانسار دیده می‌شود بطوری که دگرسانی سریستی در مرکز و دگرسانی کلریتی در حواشی گسترش دارد.

متناوب غنی از اکسیدهای آهن (مگنتیت و هماتیت) و لامینه‌های کریستال لیتیک توف است (شکل ۶- پ). این بافت نواری و همروند با لایه‌بندی، سیمای رسوبی به این بخش از کانسار می‌دهد. در بخش‌هایی از این رخساره کانه‌دار، کانه‌های اکسید آهن با دانه‌پراکنده نیز مشاهده می‌شود که نشان‌دهنده تشکیل کانه‌ها، حین رسوبگذاری است. ساخت نواری در کانسار مورد مطالعه وسعت زیادی دارد و کانه اصلی آن مگنتیت می‌باشد. ضخامت لامینه‌ها متغیر بوده و از میلی‌متر تا سانتی‌متر تغییر می‌نماید. ندول‌ها و لامینه‌های سلسیت نیز در افق توفی میزبان دیده می‌شوند

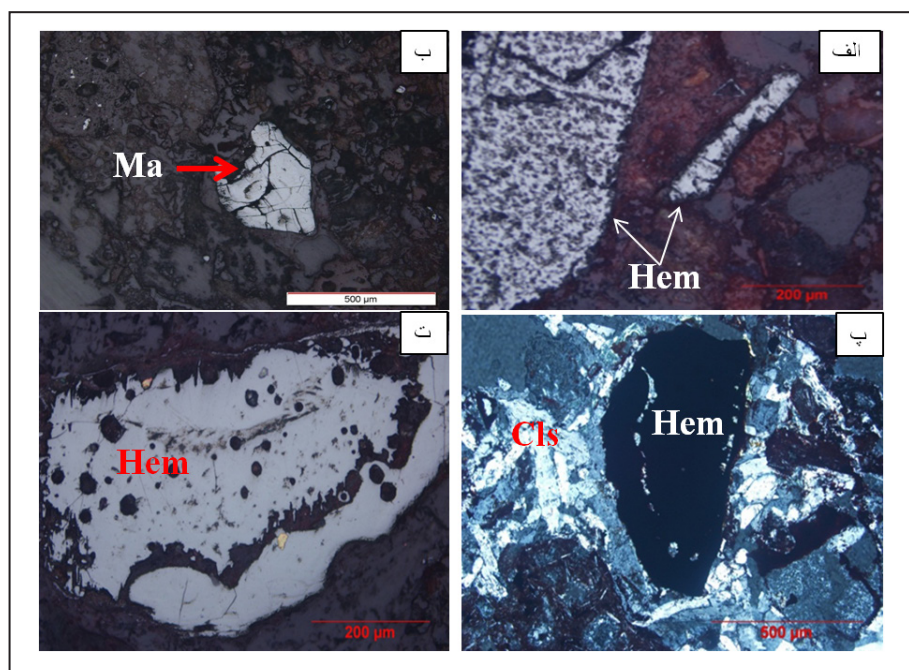


شکل ۶- الف، ب) نمونه دستی رخساره کانسنگ برشی؛ (پ) نمایی از نمونه دستی رخساره کانسنگ نواری که در آن تناوب لامینه‌های مگنتیت-هماتیت (سیاه رنگ) و سنگ میزبان بخوبی قابل مشاهده است؛ ت) تصویر نمونه دستی از کانسنگ سلسیت با بافت ندولی رسوبی- دیاژنتیک

۵- کانی‌شناسی ماده معدنی و توالی پاراژنزی

(شکل ۷- الف، ب، پ). هرچند که شکل معمول هماتیت به صورت سوزنی و تیغی‌ای است اما گاهی نیز به صورت بی شکل و کلوپورمی است (شکل ۷- ت). مگنتیت در رخساره نواری کانسار با بافت لامینه و دانه‌پراکنده تشکیل شده است. لامینه‌های سیاه‌رنگ غنی از مگنتیت و به میزان کم تر هماتیت، در تناوب با لامینه‌های کریستال لیتیک توف می‌باشند.

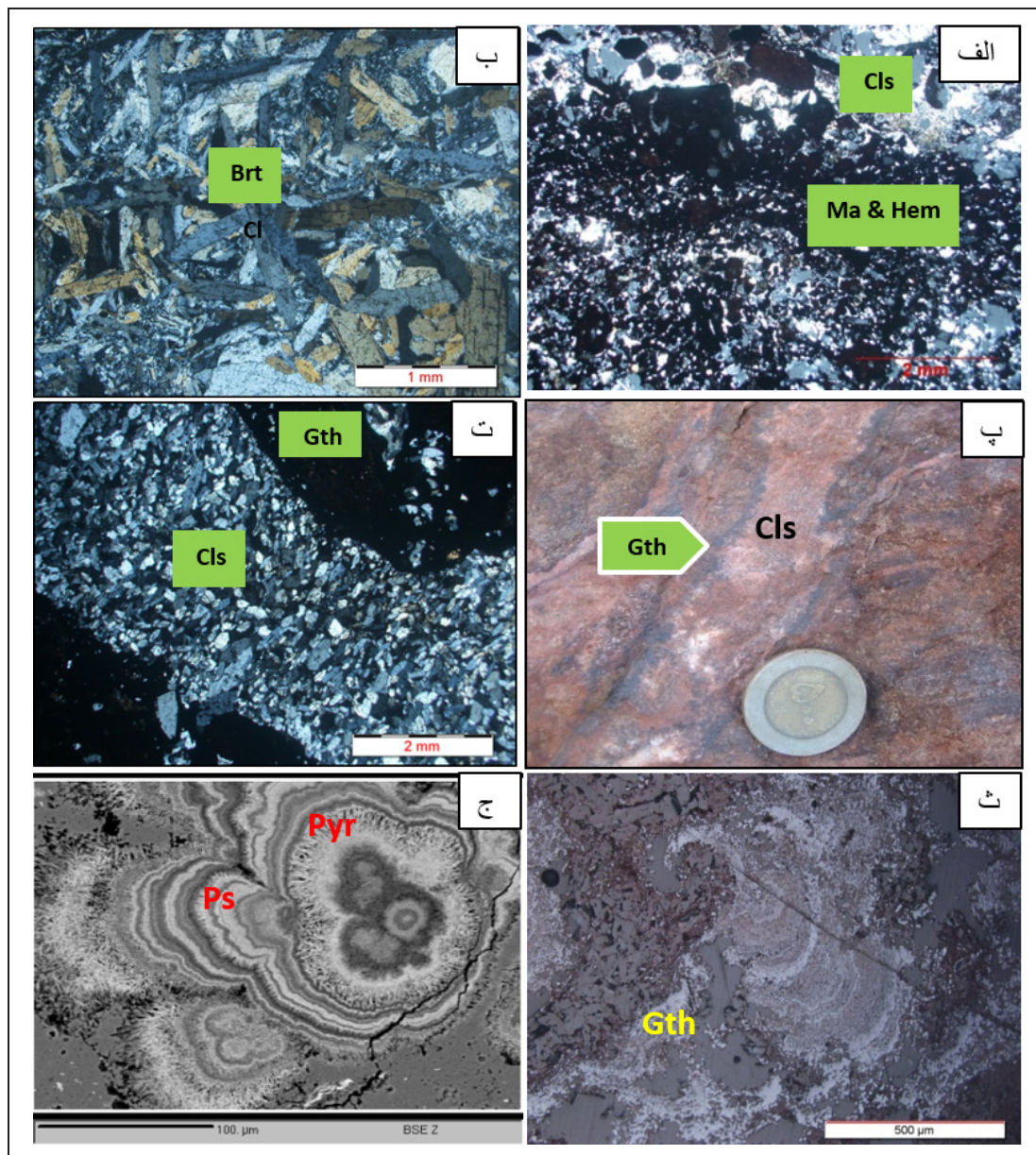
بر اساس بررسی‌های صحرایی و آزمایشگاهی، کانی‌شناسی ماده معدنی شامل گوتیت، هماتیت، مگنتیت، سلسیت، پیرولوزیت، پسیلوملان، باریت و هیدروکسیدهای آهن می‌باشد که با کانی‌های باطله کلسیت، کوارتز، سریست و کلریت همراهی می‌شوند. هماتیت و مگنتیت از فراوان‌ترین کانی‌ها در کانسار بوده و در رخساره برشی و رخساره نواری به‌مراه سلسیت مشاهده می‌شوند



شکل ۷- الف) تصویر میکروسکوپی هماتیت با بافت سوزنی و دانه‌پراکنده در رخساره کانسنگ نواری؛ ب) تصویر میکروسکوپی مگنتیت با بافت دانه‌پراکنده در رخساره کانسنگ نواری؛ پ) هماتیت و بلورهای سلسیت در رخساره برشی؛ ت) کانی هماتیت در کانسنگ برشی. Hem = هماتیت، Mag = مگنتیت، Cls = سلسیت.

(شکل ۸- پ، ت) محصول هوازدگی و سوپرژن است. کانی باریت نیز در رخساره رگه-رگچه‌ای همراه با کلسیت و کوآرتز با دگرسانی گسترده سریستیک در اطراف بوده و به نظر می‌رسد در طی فرایند گرمایی تشکیل شده است. گوتیت مهم‌ترین کانه سطحی آهن در کانسار کوه ریگ بوده و بافت اصلی آن، کلوفرم می‌باشد (شکل ۸- ث)، بیش‌ترین حجم گوتیت در رخساره برشی مشاهده می‌شود. این کانی در مرحله هوازدگی و برونزاد تشکیل شده است. پسیلوملان از کانی‌های اکسیدی منگنز می‌باشد که در کانسار کوه ریگ به صورت دانه پراکنده در سنگ‌های لیتیک کریستال توف در بخش فوقانی توالی آتشفشانی-رسوبی واحد E^{T-3} تشکیل شده است. لازم به ذکر است که پیرولولزیت سوزنی و همراه با پسیلوملان کلوفرمی (شکل ۸- ج) و کلسیت، به صورت رگه-رگچه‌ای نیز رخ داده‌اند. تشخیص کانی پسیلوملان با استفاده از آنالیز میکروپروب امکان‌پذیر گردید.

در کانسار کوه ریگ، سلسیت با بافت‌های دانه پراکنده، نودولار، لامینه و رگه-رگچه‌ای تشکیل شده است. در محدود مورد مطالعه، به نظر می‌رسد سلسیت به صورت عدسی‌های ندولی همروند با لایه‌بندی سنگ توفی میزبان و یا به صورت دانه پراکنده همراه کانی‌های اولیه اکسید آهن (شکل ۸- الف) به صورت اولیه و همزمان با رسوبگذاری تشکیل شده باشد که بعداً دچار فرایند دیاژنز آغازین گردیده است. همچنین این کانی به صورت رگه-رگچه‌های قطع‌کننده سنگ‌های کمرباین و میزبان رخ داده است. نوع رگه‌های موجود در سنگ‌های توفی و گدازه‌ای کمرباین که گاهی با باریت دانه ریز همراهی می‌شود (شکل ۸- ب) به نظر می‌رسد محصول دیاژنز پایانی است چراکه فاقد دگرسانی در اطراف است. نوعی دیگر که به صورت رگه‌های موازی لایه بندی سنگ توفی میزبان یا به صورت رگه-رگچه‌ای در سنگ‌های توفی میزبان بوده و در حواشی حاوی گوتیت است



شکل ۸- الف) سلسیت دانه ریز در نوارهای غنی از منگنیت و هماتیت در توف میزبان؛ ب) تصویر میکروسکوپی باریت و سلسیت در رخساره رگه-رگچه‌ای ناشی از دیاژنز؛ پ) رگه سلسیت-گوتیت؛ ت) تصویر میکروسکوپی از رگه دارای سلسیت و گوتیت؛ ث) تصویر میکروسکوپی گوتیت با بافت کلوفرمی در رخساره کانسنگ برشی؛ ج) تصویر BSE از بافت کلوفرم کانی‌های پسیلوملان و پیرولولزیت در کانسنگ غنی از منگنز. Hem=هماتیت، Mag=منگنیت، Cls=سلسیت، Gth=گوتیت، Brt=باریت، Ps=پسیلوملان، Pyr=پیرولولزیت

استرینگر را قطع نموده‌اند. این طور به نظر می‌رسد که این نوع رگه‌ها در طی دیاژنز پایانی تشکیل شده باشند.

پ- مرحله بالاآمدگی و سوپرژن: بعد از تشکیل کانه‌زایی اولیه در داخل دریا، فرآیندهای تکنونیکي موجب دگرشکی و بالاآمدگی کانسار کوه‌ریگ شده‌اند. فرآیندهای تکنونیکي و سیالات جوی موجب تشکیل رگه‌های اکسید منگنز و کلسیت در امتداد شکستگی‌ها و به موازات همدیگر تشکیل شده‌اند. در مرحله سوپرژن، در اثر شستشوی کانی‌های آهن‌دار اولیه (مگنتیت و هماتیت) گوتیت با بافت کل‌گلمی در حفرات و شکستگی‌ها تشکیل شده‌اند. بر اساس Barnes (1997) سلسیت در دمای پائین و شوری بالا، دارای قابلیت انحلال بالایی است؛ به نظر می‌رسد که رگه-رگچه‌های سلسیت-گوتیت که به صورت قطع‌کننده یا حتی موازی لایه‌بندی توف میزبان هستند، در طی مرحله بالاآمدگی، ناشی از شستشوی سوپرژن از عدسی‌های اولیه بوده که در محل شکستگی‌ها متمرکز شده‌اند.

بر اساس مطالعات بافتی و کانی‌شناسی، تشکیل و تکوین کانسار کوه‌ریگ، در طی سه مرحله صورت پذیرفته است (شکل ۹):

الف- مرحله آتشفشانی- پروندمی (اگزالاتیو): در ابتدای این مرحله، لایه‌ها و لامینه‌های اکسید و هیدروکسیدهای آهن و منگنز و سلسیت، در کف دریا و در کمربند نیز کانه‌زایی مگنتیت و هماتیت با بافت برشی و کانه‌زایی باریت-کوارتز-کلسیت رگه-رگچه‌ای (پهنه استرینگر) به صورت همزمان با رسوبگذاری و ولکانیسم تشکیل شده‌اند که با دگرسانی سریستی در قسمت مرکز و دگرسانی کلریتی در سمت حواشی همراه بوده است.

ب- دیاژنز: در این مرحله در اثر تدفین، بافت‌های ندولی و نوعی از بافت رگه‌ای تشکیل شده‌اند. رخداد بافت ندولی سلسیت می‌تواند ناشی از مراحل آغازین دیاژنز باشد. رگه‌های کلسیتی منگنزدار با بافت کلوفرمی شکل گرفته‌اند که به صورت نامنظم بوده و با دگرسانی همراه نیستند و رگه‌های باریت-کلسیت-کوارتزی

Mineral	Mineralization		Post-mineralization Uplift and weathering
	Stage 1 (Volcanic-Exhalative)	Stage 2 (Diagenesis)	
Goethite			—————
Magnetite	—————	—————	
Hematite	-----	-----	-----
Pyrolusite		-----	—————
Psilomelane	—————		-----
Celestite	—————	—————
Barite	—————	—————	
Quartz	—————	—————	
Calcite	—————	—————	—————
Chlorite	—————	—————	
Sericite	—————	—————	
Gypsum		—————	—————
Clay minerals			-----
Disseminated	—————	—————	
Banded	—————	—————	
Vein-veinlet	—————	—————	—————
Colloform	—————	—————	
Brecciated	—————	—————	
Botryoidal	—————	—————	—————
Nodular	—————	—————	

شکل ۹- توالی پاراژنتیکي کانی‌ها و بافت آنها در کانسار آهن-استرانسیم-منگنز) کوه ریگ.

۶- ژئوشیمی ماده معدنی

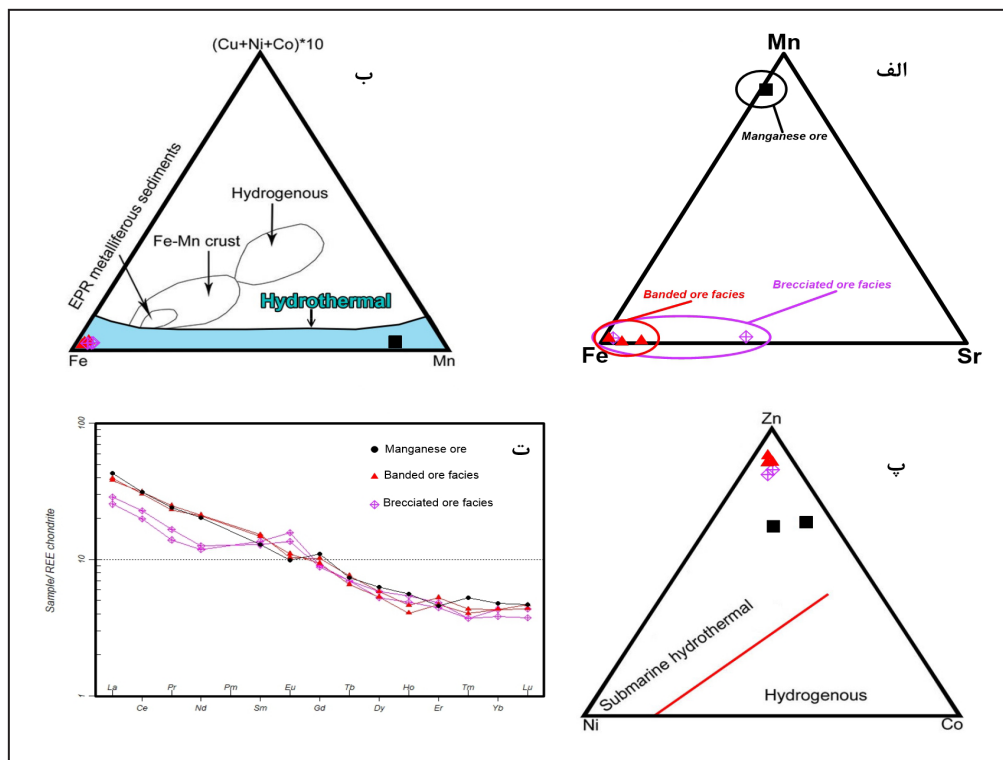
منگنز می‌باشند؛ در این نمودارها (شکل ۱۰- ب، پ)، نمونه کانسنگ منگنز کوه‌ریگ در محدوده کانسارهای منگنز گرمابی قرار می‌گیرد. در حالت کلی، میزان عناصر کیمیا (آرسنیک، باریم، مس، لیتیم، مولیبدن، سرب، آنتیمون، استرانسیم، وانادیم و روی) در کانسارهای منگنز گرمابی بالا می‌باشد (Nicholson, 1992). در کانسنگ منگنز مورد مطالعه، میزان عناصر آرسنیک، باریم، مس، استرانسیم و روی بالا بوده که قابل مقایسه با کانسارهای گرمابی است (Adachi et al., 1986; Bonatti et al., 1972; Choi and Hariya, 1992; Crerar et al., 1982; Nicholson, 1992; Peters, 1988; Shah and Moon, 2007; Toth, 1980; Sasmaz et al., 2014; Brusnitsyn and Zhukov, 2012).

الگوی عناصر نادر خاکی نمونه‌های کانسنگ منطقه مورد مطالعه که به کندریت بهنجار شده‌اند (Boynton, 1984)، در شکل نشان داده شده است. در تمامی نمونه‌های کانسنگ، مقادیر عناصر نادر خاکی سبک LREE از عناصر نادر خاکی سنگین HREE بیشتر بوده و نمونه‌ها دارای روند نسبتاً مشابهی هستند؛ با این تفاوت که نمونه‌های کانسنگ برشی دارای مقادیر Eu/Eu^* بیشتر از ۱ (به طور متوسط ۱/۳۵) و نمونه‌های کانسنگ نواری دارای مقدار میانگین Eu/Eu^* برابر ۰/۸۶ می‌باشد. همانطوری که در شکل ۱۰- ت نشان داده شده است، در نمودار الگوی پراکندگی عناصر نادر خاکی بهنجار شده به کندریت، نمونه‌های کانسنگ برشی آنومالی مثبت Eu را نشان می‌دهد. در کانسنگ برشی به دلیل بالا بودن میزان Sr، مقدار Eu اندکی مثبت است، زیرا Eu^{+2} می‌تواند جانشین Sr^{+2} ، Ca^{+2} در سنگ شود. کانسنگ رخساره نواری و کانسنگ منگنز آنومالی منفی Eu نشان می‌دهند (شکل ۱۰- ت) که می‌تواند ناشی از شرایط غنی از اکسیژن محیط تشکیل آن‌ها باشد. در محیط‌های اکسیدان، Eu^{+3} فراوان بوده و نمی‌تواند جانشین عنصر در کانسنگ گردد. بنابراین، کانسنگ فقیر از Eu می‌شود (Henderson, 1984).

به منظور بررسی ویژگی‌های ژئوشیمیایی ماده معدنی در کانسار آهن-استرانسیم-منگنز (کوه‌ریگ، نمونه‌های مختلف از رخساره استرینگر، کانسنگ برشی، رخساره کانسنگ نواری و یک نمونه کانسنگ منگنز مورد تجزیه شیمیایی قرار گرفت. در نمودار سه تایی Fe-Mn-Sr، نمونه‌های کانسنگ برشی و نواری در قطب آهن قرار می‌گیرند (شکل ۱۰- الف)، البته یکی از نمونه‌ها که دارای سلستیت می‌باشد، در نزدیکی قطب استرانسیم واقع شده است. در این نمودار، نمونه کانسنگ منگنز در نزدیکی قطب منگنز قرار گرفته است.

امروزه معیارهای ژئوشیمیایی برای تعیین نهشته‌های منگنز به طور گسترده‌ای مورد استفاده قرار می‌گیرد؛ برای مثال، نسبت عناصر اصلی، غلظت عناصر کیمیا و غنی‌شدگی برخی از عناصر، برای ارزیابی منشأ ذخائر منگنز، توسط پژوهشگران مختلف به کار رفته است (Shah and Khan, 1999; Nakagawa et al., 2009, 2011; Polgári et al., 2012; Sasmaz et al., 2014). از میان اکسیدهای اصلی، محتوای اکسیدهای منگنز، آهن، سیلیسیم، تیتانیوم و آلومینیم برای تشخیص منشأ کانسنگ منگنز بسیار مفید هستند (Karakus et al., 2010; Sasmaz et al., 2014).

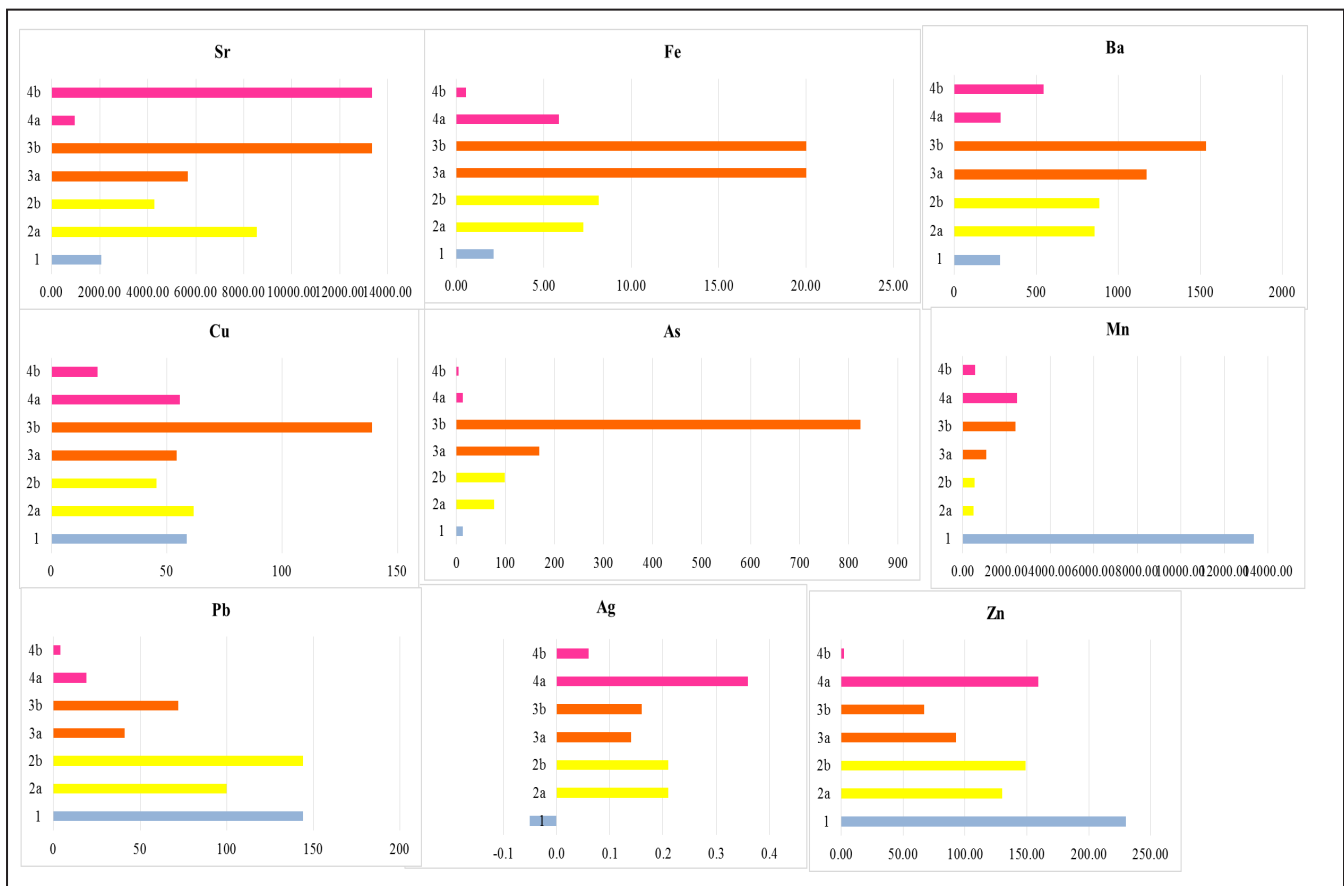
کانسنگ منگنز در کانسارهای منگنز آزاد (hydrogenous) و کانسارهای منگنز گرمابی، دارای نسبت‌های Co/Ni و Co/Zn متفاوتی هستند (Toth, 1980; Sasmaz et al., 2014). مقدار نسبت‌های Co/Ni و Co/Zn در نمونه کانسنگ منگنز مورد مطالعه به ترتیب برابر ۴ و ۰/۴ می‌باشد که قابل مقایسه با کانسارهای منگنز گرمابی است (Delian, 1994; Fernandez and Moro, 1998; Öksüz, 2011). نسبت Co/Zn برای کانسارهای منگنز تیپ گرمابی، ۰/۱۵ می‌باشد؛ در حالیکه برای کانسارهای منگنز آزاد (hydrogenous)، این نسبت بزرگتر از ۲/۵ است (Toth, 1980). نمودارهای سه تایی منگنز، آهن و (کبالت+نیکل+مس) (Bonatti et al., 1972; Crerar et al., 1982) و (Choi and Hariya, 1992)، دارای کاربرد گسترده‌ای در تعیین منشأ کانسارهای



شکل ۱۰- نمودارهای ژئوشیمیایی کانسنگ کانسار کوه‌ریگ: الف) نمودار سه تایی Mn-Fe-Sr؛ ب) نمودار سه تایی Mn-Fe-(Ni + Co + Cu)*10؛ ت) الگوی عناصر نادر خاکی بهنجار شده به کندریت نمونه‌های رخساره‌های کانه دار مختلف کانسار کوه‌ریگ. (Bonatti et al., 1972; Crerar et al., 1982) که نمونه کانسنگ مورد مطالعه در محدوده کانسارهای گرمابی قرار می‌گیرد؛ پ) نمودار سه تایی Ni-Co-Zn (Choi and Hariya, 1992) و موقعیت نمونه‌های منطقه مورد مطالعه در محدوده کانسارهای گرمابی زیردریایی؛ ت) الگوی عناصر نادر خاکی

بر اساس مطالعات میکروسکوپی، بخش عمده آهن در مرحله گرمایی بصورت برشی ته‌نشست گردیده که بعداً متحمل غنی‌سازی سوپرژن نیز گردیده است. علاوه بر این، عناصر باریم و مس نیز بیشترین تمرکز را در کانسنگ برشی نشان می‌دهند (شکل ۱۱). البته عنصر آرسنیک نیز در کانسنگ برشی بیشترین مقدار را دارد و میزان آن تا ۸۲۴ ppm می‌رسد (شکل ۱۱). اگرچه عنصر نقره در بخش رگه-رگچه‌ای بیشترین مقدار را دارد ولی عناصر سرب و روی در توف منگنز دار بالای کانسار بیشترین میزان را نشان می‌دهند (شکل ۱۱) که نشانه ورود عناصر همراه منگنز به کف دریا می‌باشد. میزان منگنز در توف منگنزدار به بیش از ۱۳ درصد وزنی می‌رسد.

به منظور روشن شدن چگونگی توزیع ژئوشیمیایی عناصر مختلف در رخساره‌های کانسنگ کانسار آهن - سلسیت کوه‌ریگ، اقدام به تهیه مقطع لیتوژئوشیمیایی از کانسار مذکور شد (شکل ۱۱). بر اساس این مطالعات، میزان استرسیم در یک نمونه رگه-رگچه‌ای و یک نمونه برشی بیشترین عیار را داشته و میزان آن تا بیش از ۱۳ درصد می‌رسد. قابل ذکر است که سلسیت در نمونه رگه-رگچه‌ای مربوط به مرحله دیاژنتیک و در نمونه برشی مربوط به مرحله سوپرژن است که به نظر می‌رسد غنی‌سازی در مراحل بعد از گرمایی-بروندی نقش مهمی در تمرکز و ته‌نشست سلسیت داشته است. کانسنگ برشی بالاترین عیار آهن را نیز داراست بطوری که مقدار آن تا ۲۰ درصد وزنی می‌رسد.



شکل ۱۱- نمودار تغییرات فراوانی عناصر در انواع کانسنگ و رخساره معدنی در کانسار کوه ریگ شامل کانسنگ منگنزدار (شماره ۱)، کانسنگ نواری (شماره‌های ۲a و ۲b)، کانسنگ برشی (شماره‌های ۳a و ۳b) و رگه-رگچه‌ای (شماره‌های ۴a و ۴b) (مقادیر آهن بر حسب درصد وزنی و برای بقیه عناصر بر حسب ppm می‌باشد).

۷- الگوی تشکیل و تیپ کانه‌زایی

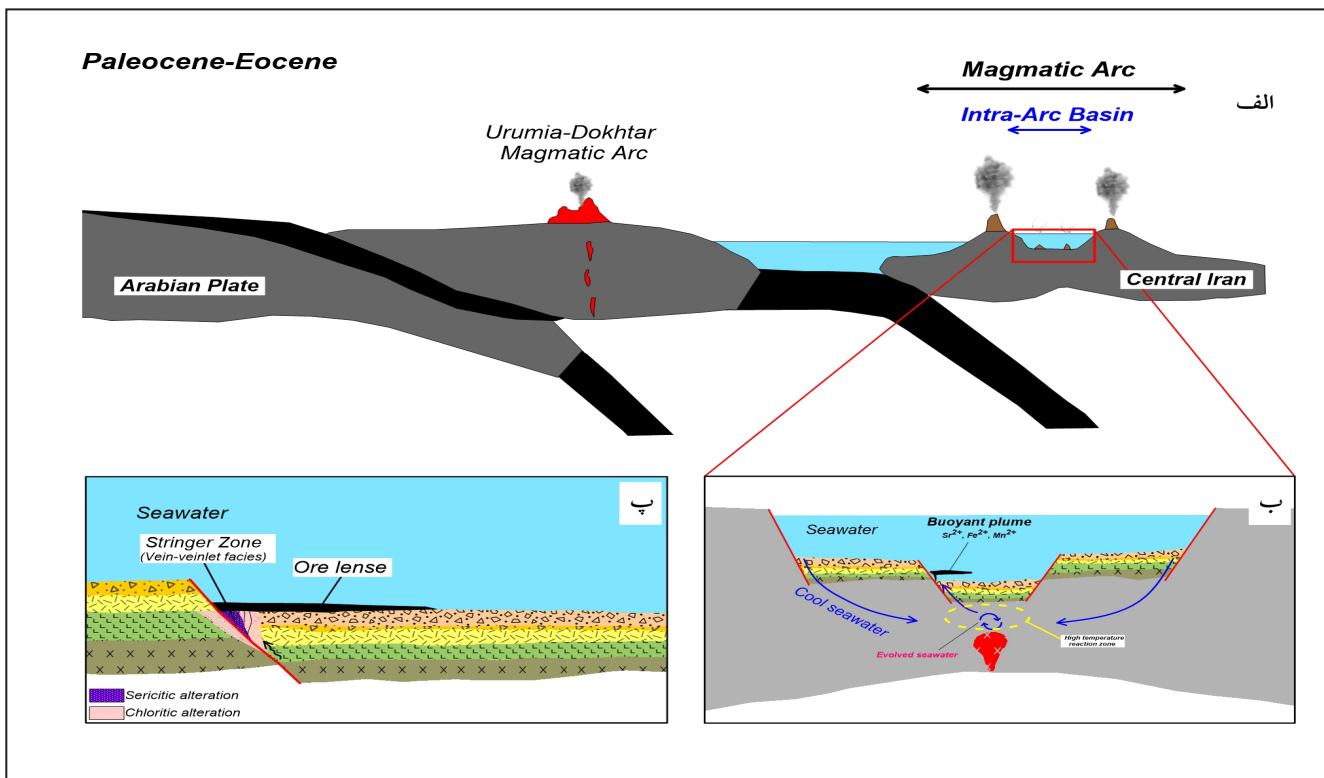
خروج گسترده ماگماهای کالک‌آلکالین در قالب گدازه و قطعات آذرآواری و سیالات گرمایی به داخل حوضه کم‌عمق در حال تشکیل صورت گرفته است. فعالیت آتشفشانی به‌صورت دوره‌ای شامل تناوب گدازه و توف بوده (شکل ۱۲- پ) که در مراحل آخر، با بالا رفتن شار حرارتی ناشی از ورود گدازه‌ها (و توده‌های نفودی احتمالی معادل گدازه‌ها)، سامانه‌های گرمایی فعال می‌شوند. به‌طوری که آب دریا از طریق گسل‌های همزمان با فعالیت‌های آتشفشانی به زیر کف دریا رفته و گرم می‌شود و جریان‌های همرفتی شکل می‌گیرند (شکل ۱۲- ب). سپس این سیالات داغ در داخل واحدهای آتشفشانی کمربالین (مخصوصاً واحدهای آذرآواری نفوذپذیر) چرخیده و عناصر Fe, Mn, Sr, Ba و سایر عناصر را از سنگ‌های کمر

با توجه به ماهیت آتشفشانی- رسوبی توالی میزان کانسار کوه‌ریگ و ماهیت ژئوشیمیایی سنگ‌های آتشفشانی (مهدوری، ۱۳۹۵)، احتمالاً فرورانش مورب پوسته اقیانوسی تیبیس (شاخه پشت کمائی تیبیس که در زمان کرتاسه تشکیل شده است) به زیر پوسته قاره‌ای ایران در شمال ایران مرکزی موجب رخداد فاز کششی در زمان ائوسن و ایجاد کمان آتشفشانی در شمال ایران مرکزی و جنوب البرز شده است (شکل ۱۲- الف). با شروع فعالیت‌های کافت‌زایی ناشی از فرورانش در اوایل ائوسن در اثر نیروی کششی، گسترش سیستم‌های گرابنی و عملکرد گسل‌های نرمال در منطقه، باعث فرونشست منطقه و تشکیل حوضه رسوبی کم‌عمق در داخل کمان آتشفشانی شده است (شکل ۱۲- ب) که با شروع این فعالیت کافت‌زایی، نفوذ و

باشد که در نتیجه آن، باریت نهشته شده و آهن محلول بوده و به بخش‌های بالاتر رفته و در رخساره برشی و لایه‌ای نهشته می‌شود. نتیجه واکنش سیالات گرمایی با سنگ‌های دیواره، ایجاد پهنه‌های دگرسانی در کمربند پهنه استرینگر می‌باشد که دارای پهنه‌بندی بوده به طوری که پهنه سرسیتی در مرکز و پهنه کلریتی در اطراف را شامل می‌شود (شکل ۱۲ - پ).

میزان استرانسیم در سنگ‌های آندزیت بازالت و سنگ‌های آذرآواری بیش تر از فراوانی استرانسیم در پوسته زمین است، بنابراین میزان Sr بالای کانسار می‌تواند نتیجه شستشوی این عنصر از فلدسپات‌های قبلیایی از سنگ‌های آتشفشانی توسط سیالات گرمایی می‌باشد (Ostwald, 1988). میزان بالای Sr در کانسار کوه ریگ موجب رخداد گسترده سلسیت در این کانسار شده است.

پایین شسته و از طریق گسل‌های همزمان با فعالیت آتشفشانی و رسوبگذاری وارد حوضه می‌کنند. البته ممکن است واحدهای آذرآواری نفوذپذیر زیرین (واحدهای E^{T1} و E^{T2}) که توسط واحدهای نفوذ ناپذیر گدازه ای (واحدهای E^{V1} و E^{V2}) پوشیده شده‌اند، بصورت آبخوانی از سیالات گرمایی نیز عمل کرده باشند. به طوری که این سیالات به مرور زمان با واکنش با سنگ‌ها از عناصر غنی شده و سپس گسلش حوضه و ایجاد گسل‌های همزمان با آتشفشان و رسوبگذاری موجب خروج این سیالات به داخل حوضه شده که نتیجه آن ته نشست مواد معدنی به صورت همزمان با رسوبات آذرآواری واحد (E^{T3}) به صورت آتشفشانی - برون‌دهی (volcanic-exhalative) بوده است. در این کانه‌زایی، رخساره رگه - رگچه‌ای یا استرینگر دارای کانه‌زایی گسترده باریت و فاقد کانه‌زایی آهن می‌باشد که دلیل آن براساس Barnes (1997) می‌تواند وجود شرایط احیایی و دمای بالا در کمر پایین



شکل ۱۲- الف) شکل‌گیری کمان آتشفشانی و کشش داخل کمان آتشفشانی سنوزوئیک ناشی از فروانش پوسته اقیانوسی سبزوار (Rossetti et al, 2011) به زیر ایران مرکزی؛ ب) بالا رفتن شار حرارتی ناشی از فعالیت آتشفشانی و احتمالاً توده‌های نفوذی عمیق هم‌ردیف گدازه‌ها موجب فعال شدن سامانه‌های گرمایی زیردریایی شده، بصورتی که آب دریا با رفتن به زیر کف دریا گرم می‌شود و بصورت جریان‌های همرفتی عناصر Sr و Fe، Ba، Mn و سایر عناصر را از سنگ‌های کمر پایین شسته شده و از طریق گسل‌های همزمان با آتشفشان و رسوبگذاری وارد حوضه می‌کند که نتیجه آن ته نشست مواد معدنی بصورت همزمان با ته نشست رسوبات آذرآواری می‌باشد؛ پ: مدل ژئوتیکی کانسار کوه ریگ و موقعیت پهنه‌های کانه‌دار و دگرسانی در آن.

۸- نتیجه‌گیری

کانسار آهن-استرانسیم-منگنز) کوه ریگ در توالی آتشفشانی-رسوبی ائوسن زیرین رخ داده است که شامل تناوبی از آندزیت بازالت، بازالت و کریستال لیتیک توف می‌باشد. سه رخساره کانه‌دار در این کانسار بر اساس موقعیت چینه‌شناسی، بافت و ساخت و کانی‌شناسی قابل تشخیص است که از پایین به بالا عبارتند از: ۱) رگه-رگچه‌ای (استرینگر)، ۲) کانسنگ برشی و ۳) کانسنگ نواری. از لحاظ کانی‌شناسی ماده معدنی به طور عمده کانی‌های گوتیت، هماتیت، مگنتیت، سلسیت، پیرولوویت، پسیلوملان و باریت را شامل می‌شود که با کانی‌های باطله کلسیت، کلریت، سرسیت، کوارتز و کانی‌های رسی همراهی می‌شوند. دگرسانی‌های سرسیتی و کلریتی در کمربند کانسار دارای گسترش هستند. در نمودارهای ژئوشیمیایی، کانسنگ‌های کانسار کوه ریگ در محدوده کانسارهای گرمایی و گرمایی زیردریایی

قرار می‌گیرند. کانسار آهن-استرانسیم-منگنز) کوه ریگ از جهت داشتن توالی میزبان آتشفشانی-رسوبی، شکل هندسی همروند با لایه‌بندی، بافت و ساخت، رخساره‌های کانه‌دار، کانی‌شناسی، پهنه‌بندی دگرسانی و ویژگی‌های ژئوشیمیایی، شباهت زیادی با کانسارهای آهن آتشفشانی-برون‌دهی نشان می‌دهد. بالا بودن میزان سلسیت از ویژگی‌های خاص این کانه‌زایی می‌باشد و تاکنون مورد مشابه آن در ایران و جهان گزارش نشده است.

۹- سپاسگزاری

بدینوسیله از معاونت پژوهشی دانشگاه صنعتی شاهرود و سازمان توسعه و نوسازی معادن و صنایع معدنی ایران (ایمیدرو) بخاطر حمایت از این تحقیق تشکر و قدردانی می‌شود.

کتابنگاری

- آقاباتی، س.ع.، ۱۳۸۳- زمین‌شناسی ایران. سازمان زمین‌شناسی و اکتشافات مواد معدنی کشور، ۵۸۶ ص.
- سعیدی، م.، ۱۳۹۱- ژئوشیمی کانی شناسی و ژنز اندیس مس چاه مورا واقع در شمال تروود. پایان‌نامه کارشناسی ارشد، دانشگاه تهران.
- فرد، م.، ۱۳۸۰- کانی‌شناسی، ژئوشیمی و ژنز کانسار طلا، سرب، روی و مس (باریم) گندی (جنوب شرق دامغان). پایان‌نامه کارشناسی ارشد، دانشگاه تربیت مدرس.
- مهدوری، م.، ۱۳۹۵- کانی شناسی، ژئوشیمی و الگوی تشکیل کانسار آهن - سلسیت کوه ریگ، جنوب شاهرود. پایان‌نامه کارشناسی ارشد، دانشگاه صنعتی شاهرود.
- مهرایی، ب. و قاسمی‌سیانی، م.، ۱۳۸۹- کانی شناسی و زمین‌شناسی اقتصادی کانسار پلی متال چشمه حافظ، استان سمنان، ایران. مجله زمین‌شناسی اقتصادی، شماره اول، جلد دوم، صص. ۱ تا ۲۰.
- مهری، ب.، ۱۳۷۷- زمین‌شناسی، کانی‌شناسی، ژئوشیمی، آنالیز رخساره و ژنز کانسار سرب و نقره خانجار - جنوب دامغان. پایان‌نامه کارشناسی ارشد، دانشگاه تربیت مدرس.

References

- Adachi, M., Yamamoto, K., Sugisaki, R., 1986- Hydrothermal chert and associated siliceous rocks from the northern Pacific: their geological significance as indication of ocean ridge activity. *Sedimentary Geology*, 47: 125–148. DOI: 10.1016/0037-0738(86)90075-8.
- Agard, P., Omrani, J., Jolivet, L., Mouthereau, F., 2005- Convergence history across Zagros (Iran): constraints from collisional and earlier deformation. *International Journal of Earth Sciences*. 94: 401–419. DOI: 10.1007/s00531-005-0481-4.
- Alavi, M., 1991- Sedimentary and structural characteristics of the Paleo-Tethys remnants in northeastern Iran. *Geological Society of America Bulletin* 103: 983–992. [https://doi.org/10.1130/0016-7606\(1991\)103<0983:SASCOT>2.3.CO;2](https://doi.org/10.1130/0016-7606(1991)103<0983:SASCOT>2.3.CO;2).
- Alavi, M., Haghypour, A., 1976. Geological map of Toroud, scale 1:250000. Geological survey of Iran.
- Barnes, H.L., 1997- *Geochemistry of Hydrothermal Ore Deposits*. Holt, Rinehart and Winston, New York, N.Y., 670 pp.
- Berberian, M., King, G.C.P., 1981. Towards a paleogeography and tectonic evolution of Iran. *Canadian Journal of Earth Science* 18 (2), 210–265.
- Bonatti, E., Kraemer, T., Rydel, H., 1972- Classification and genesis of submarine iron– manganese deposits. In: Horn, D.R. (Ed.), *Ferromanganese Deposits on the Ocean Floor*. Natl. Sci. Found., Washington, D. C., pp. 149–166.
- Boynton, W.V., 1984- Cosmochemistry of the rare earth elements: meteorite studies, in: Henderson, P. (Ed.), *Rare Earth Element Geochemistry*. Elsevier, Amsterdam, pp. 63–114.
- Brusnitsyn, A.I., Zhukov, G.I., 2012- The South Faizuly Manganese Deposit in the Southern Urals: Geology, Petrography, and Formation Conditions. *Lithology and Mineral Resources*, 40 (1): 30–47. <https://doi.org/10.1007/s10987-005-0004-1>.
- Choi, J.H., Hariya, Y., 1992- Geochemistry and depositional environment of Mn oxide deposits in the Tokora Belt, northeastern Hokkaido, Japan. *Economic Geology*, 87: 1265–1274. DOI: 10.2113/gsecongeo.87.5.1265.
- Crerar, D.A., Namson, J., Chyi, M.S., Williams, L., Feigenson, M.D., 1982- Manganiferous cherts of the Franciscan assemblage: I. General geology, ancient and modern analogues, and implications for the hydrothermal convection at oceanic spreading centers. *Economic Geology*, 77: 519–540. <https://doi.org/10.2113/gsecongeo.77.3.519>.
- Delian, F., 1994- *Geological and Geochemical Research of the Manganese Ore Bed (in Chinese)*, M1. Weather Publishing Press, Beijing.
- Dercourt, J., Ricou, L.E., Vrielynck, B., 1993- Atlas Tethys Palaeoenvironmental maps, Atlas of Tethys Project (14 maps), Report Series 1 (Paris). Inst. français du pétrole.
- Dercourt, J., Zonenshain, L.P., Ricou, L.E., Kazmin, V.G., Le, Pichon, X., Knipper, A.L., Grandjacquet, C., Sbertshikov, I.M., Geysant, J., Lepvrier, C., Pechersky, D.H., Boulin, J., Sibuet J.C., Savostin, L.A., Sorokhtin, O., Westphal, M., Bazhenov, M.L., Lauer, J.P., Biju-Duval, B., 1986- Geological evolution of the Tethys belt from the Atlantic to the Pamirs since the Lias. *Tectonophysics*. 123: 241–315. DOI: 10.1016/0040-1951(86)90199-X.
- Fernandez, A., Moro, M.C., 1998- Origin and depositional environment of Ordovician stratiform iron mineralization from Zamora (NW Iberian Peninsula). *Mineralium Deposita*, 33: 606–619. DOI: 10.1007/s001260050176.
- Ghasemi, A., Talbot, C.J., 2006- A new tectonic scenario for the Sanandaj– Sirjan Zone (Iran). *Journal of Asian Earth Science*. 26: 683–693. <https://doi.org/10.1016/j.jseae.2005.01.003>.
- Henderson, P., 1984- *Developments in Geochemistry. 2. Rare Earth Element Geochemistry*. Elsevier. 510 pp.
- Karakus, A., Yavuz, B., Koc, S., 2010- Mineralogy and major trace element geochemistry of the haymana manganese mineralizations, Ankara, Turkey. *Geochemistry International*, 48: 1014–1027. <https://doi.org/10.1134/S001670291010006X>.
- Nakagawa, M., Santosh, M., Maruyama, S., 2009- Distribution and mineral assemblages of bedded manganese deposits in Shikoku, Southwest Japan: implications for accretion tectonics. *Gondwana Research*, 16: 609–621. DOI: 10.1016/j.gr.2009.05.003.
- Nakagawa, M., Santosh, M., Maruyama, S., 2011- Manganese formations in the accretionary belts of Japan: Implications for subduction–accretion process in an active convergent margin. *Journal of Asian Earth Sciences*, 42: 208–222. DOI: 10.1016/j.jseae.2011.04.005.

- Nicholson, K., 1992- Contrasting mineralogical-geochemical signatures of manganese oxides' guides to metallogenesis. *Economic Geology*, 87: 1253-1264. DOI: 10.2113/gsecongeo.87.5.1253.
- Niroomand, Sh., Hassanzadeh, J., Tajeddin, H.A., Asadi, S., 2018- Hydrothermal evolution and isotope studies of the Baghu intrusion-related gold deposit, Semnan province, north-central Iran. *Ore Geology Reviews*. 95: 1028-1048. <https://doi.org/10.1016/j.oregeorev.2018.01.015>.
- Öksüz, N., 2011- Geochemical characteristics of the Eymir (Sorgun-Yozgat) manganese deposits, Turkey. *Journal of Rare Earths*, 29 (3): 287-296. [https://doi.org/10.1016/S1002-0721\(10\)60446-2](https://doi.org/10.1016/S1002-0721(10)60446-2).
- Omrani, J., 2008- The geodynamic evolution of Zagros: tectonic and petrological constraints from internal zones. (Ph.D. thesis) University of Paris, Paris. 343 pp.
- Ostwald, j., 1988. Mineralogy of the Groote Eylandt manganese Oxied, a reviw. *Ore Geology Reviews*, 4: 3-45. DOI: 10.1016/0169-1368(88)90003-0.
- Peters, T., 1988- Geochemistry of manganese-bearing cherts associated with Alpine ophiolites and the Hawasina formations in Oman. *Marine Geology*. 84: 229-238. DOI: 10.1016/0025-3227(88)90103-x.
- Polgári, M., Hein, J.R., Vigh, T., Szabó-Drubina, M., Fórizs, I., Bíró, L., Müller, A., Tóth, A.L., 2012- Microbial processes and the origin of the Úrkút manganese deposit, Hungary. *Ore Geology Reviews*, 47: 87-109. DOI: 10.1016/j.oregeorev.2011.10.001.
- Rahmati-Ilkhchi, M., Jerabek, P., Faryad, S.W., Koyi, H.A., 2010- Mid-Cimmerian, Early Alpine and Late Cenozoic orogenic events in the Shotor Kuh metamorphic complex, Great Kavir block, NE Iran. *Tectonophysics*. 494: 101-117.
- Rossetti, F., Nasrabad, M., Vignaroli, G., Theye, T., Gerdes, A., Razavi, M. Moin Vaziri, H., 2010- Early Cretaceous migmatitic mafic granulites from the Sabzevar range (NE Iran): implications for the closure of the Mesozoic peri-Tethyan oceans in central Iran. *Terra Nova*. 22: 26-34. doi: 10.1111/j.1365-3121.2009.00912.x.
- Sasmaz, A., Turkyilmaz, B., Ozturk, N., Yavuz, F., Kumral, M., 2014- Geology and geochemistry of Middle Eocene Maden complex ferromanganese deposits from the Elazığ-Malatya region, eastern Turkey. *Ore Geology Reviews*, 56: 352-372. DOI: 10.1016/j.oregeorev.2013.06.012.
- Shah, M.T., Khan, A., 1999- Geochemistry and origin of Mn-deposits in the Waziristan ophiolite complex, north Waziristan, Pakistan. *Mineralium Deposita*, 34: 697-704. DOI: <https://doi.org/10.1007/s001260050228>.
- Shah, M.T., Moon, C.J., 2007- Manganese and ferromanganese ores from different tectonic settings in the NW Himalayas, Pakistan. *Journal of Asian Earth Sciences*, 29: 455-465. DOI: 10.1016/j.jseaes.2005.11.002.
- Shojaat, B., Hassanipak, A.A., Mubasher, K., Ghazi, A.M., 2002- Petrology, geochemistry and tectonics of the Sabzevar ophiolite, North Central Iran. *Journal of Asian Earth Sciences*. 21: 1053-1067. DOI: 10.1016/S1367-9120(02)00143-8.
- Stampfli, G.M., and Borel, G.D., 2002- A plate tectonic model for the Paleozoic and Mesozoic constrained by dynamic plate boundaries and restored synthetic oceanic isochrones. *Earth and Planetary Science Letters*. 196: 17-33. PII: S0012-821X(01)00588-X
- Stöcklin, J., 1968- Structural history and tectonics of Iran, a review. *American association of petroleum geologists bulletin*. 52: 1229-1258. <https://doi.org/10.1306/5D25C4A5-16C1-11D7-8645000102C1865D>.
- Toth, J.R., 1980- Deposition of submarine crusts rich in manganese and iron. *Geological Society of America Bulletin*, 91: 44-54. [https://doi.org/10.1130/0016-7606\(1980\)91<44:DOSCRI>2.0.CO;2](https://doi.org/10.1130/0016-7606(1980)91<44:DOSCRI>2.0.CO;2).

Ore facies, geochemistry and genesis of Kuhe Rig Fe-Sr-(Mn) deposit, South of Shahrood

M. Mahdevari¹, F. Mousivand^{2*}, M. Sadeghian³, M. Movahednia⁴

¹MSc, Faculty of Earth Sciences, Shahrood University of Technology, Shahrood, Iran

²Assistant Professor, Faculty of Earth Sciences, Shahrood University of Technology, Shahrood, Iran

³Associate Professor, Faculty of Earth Sciences, Shahrood University of Technology, Shahrood, Iran

⁴Ph.D. Student, Department of Geology, Faculty of Basic Sciences, Tarbiat Modares University, Tehran, Iran

Received: 15 June 2019

Accepted: 2020 May 18

Abstract

Kuhe Rig iron- strontium-(manganese) deposit is located in south of Shahrood, in the northern part of the central Iran zone. Mineralization occurred in the Eocene volcano-sedimentary sequence dominated by andesite basalt, basalt and crystal lithic tuffs. Geometry of main ore body is lense-shaped which is concordant with layering of the lithic tuff host rock. Vein-Veinlet mineralization occurs beneath the main ore lenses. Based on stratigraphic position, mineralogy, and texture of mineralization, three different ore facies can be distinguished: vein-veinlet (stringer zone), brecciated ore and banded ore facies. Ore minerals dominantly include: goethite, hematite, magnetite, celestite, pyrolusite, psilomelane and barite, which are accompanied by calcite, chlorite, sericite, quartz and clay gangue minerals. At footwall of the deposit in the stringer zone, sericitization and chloritization extend at center and margins, respectively. In the geochemical diagrams, the ores of the Kuhe Rig deposit plot in the hydrothermal and submarine hydrothermal fields. The Kuhe Rig Fe-Sr (-Mn) deposit characterized by volcano-sedimentary host sequence, geometry of ore body, ore textures and facies, mineralogy, alteration zones and geochemical features, shows many similarities with the volcanic-exhalative iron deposits. It's worth mentioning that high amounts of celestite is of special characters of the mineralization in the Kuhe Rig deposit and any similar deposits has not been reported in Iran and the world.

Keywords: Iron, Celestite, Volcanic-exhalative, Kuhe Rig, Shahrood.

For Persian Version see pages 79 to 90

*Corresponding author: F. Mousivand; E-mail: mousivand@shahroodut.ac.ir