مجله بلورشناسی و کانی شناسی ایران

مقاله پژوهشی

سال بیست و نهم، شمارهٔ دوم، تابستان ۱۴۰۰، از صفحهٔ ۴۲۹ تا ۴۴۰

انجمن بلورشناسی و کانی شناسی ایران

کانی‌شناسی و زمین‌شیمیایی ذخیره منگنز حاجی آباد، استان هرمزگان

صغری راستی[*۱]، علی رستمی[۲]، پیام توکلی[۳]

۱- گروه زمین شناسی، دانشکده علوم، دانشگاه شیراز، شیراز، ایران

۲- گروه زمین شناسی، دانشگاه پیام نور، تهران، ایران

۳- گروه زمین شناسی، دانشکده علوم، دانشگاه هرمزگان، بندرعباس، ایران

(دریافت مقاله: ۹۹/۵/۲۲، نسخه نهایی: ۹۹/۷/۲۸)

چکیده: ذخیره منگنز مورد بررسی در ۴۰ کیلومتری شمال شرق حاجی آباد در استان هرمزگان واقع شده است. از نظر ساختاری، این ذخیره در دورترین بخش جنوب شرقی پهنه سنندج- سیرجان قرار دارد. کانه‌زایی منگنز در در این منطقه به صورت لایه‌ای، رگه‌ای و توده‌ای درون مرمرهای کلسیتی-دولومیتی و میکاشیست‌های دونین صورت گرفته است. در مقاطع میکروسکوپی این نهشته‌های معدنی، قطعه‌های سنگ‌های میکاشیست و دولومیت‌های سیلیسی شده میزبان با کانی‌های کدر منگنز توسط فرایند پرکننده فضای خالی سیمانی پر شده‌اند. کانی‌های اصلی این کانسار شامل تودوروکیت، اسپسارتین، آلماندین و کلسیت بوده و کانی‌های پیرولوزیت، گوتیت و کوارتز در این کانسار کانی‌های فرعی هستند. بر اساس داده‌های زمین شیمیایی، مقدار منگنز کانسنگ به بیش از ۴۱ درصد وزنی می‌رسد. مقدار فسفر و تیتانیوم پایین است که هرگونه خاستگاه ماگمایی را برای نهشته‌های مورد بررسی رد می‌کند. از یک سو، نبود ویژگی‌های وابسته به اسکارن‌ها و از سویی دیگر، داده‌های صحرایی، کانی‌شناسی و زمین‌شیمیایی نشان می‌دهند که این نهشته‌های منگنز با ورود سیال های منگنزدار با یک خاستگاه آتشفشانی در یک حوضه رسوبی تشکیل شده و سپس توسط دگرگونی ناحیه‌ای در واحدهای میکاشیست و آهک‌های دگرگون شده مجموعه خبر تمرکز دوباره یافته و تغلیظ شده‌اند.

واژه‌های کلیدی: *منگنز؛ کانه‌زایی؛ کانی‌شناسی؛ زمین‌شیمیایی؛ خبر؛ حاجی آباد؛ هرمزگان.*

مقدمه

از آنجا که منگنز از نیازهای اولیه صنعت فولاد کشور است، دستیابی به کانسارهای منگنز لایه‌ای‌شکل که اغلب دارای عیار و ذخیره بالایی هستند از اهمیت ویژه‌ای برخوردار است. کانسارهای عظیم منگنز شناخته شده در دنیا در سنگ‌های رسوبی وجود دارند، اما کانسارهای بزرگ و کوچک منگنز در سنگ‌های رسوبی-آتشفشانی و در سطح هوازده‌ی سنگ‌های دگرگونی نیز تشکیل می‌شوند. بر اساس تقسیم‌بندی مرجع [۱]، کانسارهای منگنز از سه نوع گرمایی، رسوبی و برونزادی هستند که خود به زیرگروه‌های مختلفی تقسیم می‌شوند. قسمت عمده منگنز دنیا از کانسارهای منگنز رسوبی به دست می‌آید. حدود ۷۵ درصد از منابع منگنز کشف شده (در خشکی) در شوروی سابق واقع بوده و که از نوع رسوبی هستند. ذخایر منگنز رسوبی که از هوازدگی سنگ‌های قاره‌ای و یا از آب دریا و دور از محل خروج سیال‌های گرمایی به وجود می‌آیند، به ذخایر رسوبی غیرآتشفشانی معروف هستند. این ذخایر لایه‌ی رسوبی مشخصی را دنبال می‌کنند و حالت لایه‌ای در آن‌ها کامل نمایان است. افق‌های غنی از کانی‌های اکسیدی با بالاترین ظرفیت اکسایش چون پیرولوزیت و تودوروکیت در این کانسارها دیده می‌شوند. خاستگاه منگنز موجود در کانسارهای منگنز، پوسته‌ی قاره‌ای تخریب شده و آب دریاست. کانی‌سازی منگنز در اغلب کانسارها را به رسوب مستقیم منگنز از آب دریا، سیال‌های داغ خارج شده از شکاف‌های کف اقیانوس یا به دگرگونی نسبت می‌دهند [۲]. با توجه به بررسی سیر دگرگونی و تشکیل

*نویسنده مسئول، تلفن: ۰۹۱۷۶۵۳۰۲۰۴، نمابر: ۰۷۶۳۳۳۴۹۲۷۱، پست الکترونیکی: arostami_231@yahoo.com

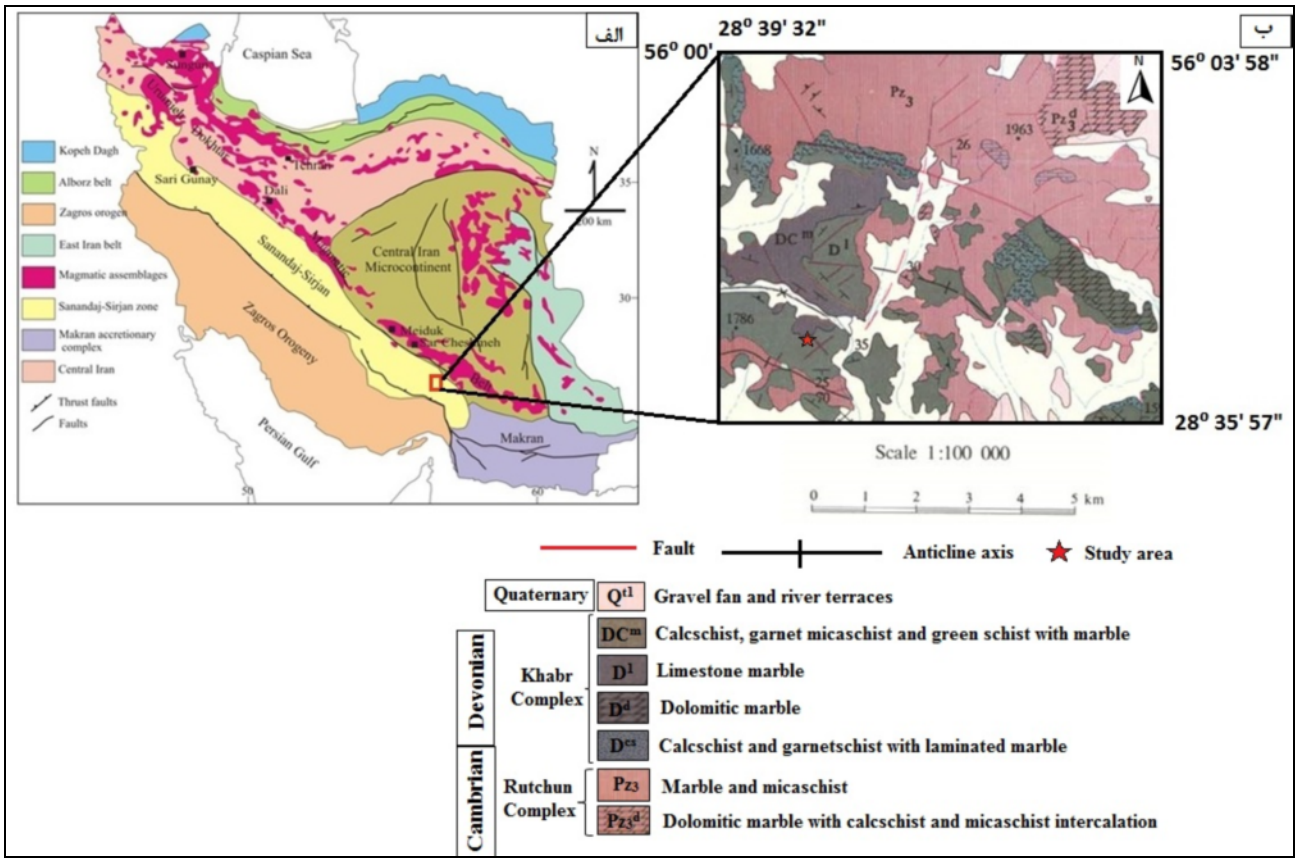
زمین‌شناسی ایران، زایش و غنای منگنز در سازندهای تشکیل‌دهنده‌ی پوسته‌ی زمین اغلب به گونه‌ای در ارتباط مستقیم و غیرمستقیم با رخدادها و فعالیت‌های ماگمایی از نوع آتشفشانی زیردریایی و در کمربندهایی است که بیشتر از نوع پوسته‌ی اقیانوسی یا حد واسط هستند. شرکت ملی فولاد با بررسی‌هایی بر تعدادی از کانسارهای منگنز ایران، سه نوع زایشی برای ذخایر گوناگون منگنز کشور شامل کانسارهای منگنز با خاستگاه گرمابی، رسوبی- آتشفشانی و کانسارهای آهن- منگنزدار با خاستگاه چند زایشی معرفی کردند. منگنز در طبیعت به صورت خالص تشکیل نمی‌شود و بیشتر به صورت اکسیدها، هیدروکسیدها، کربنات‌ها و سیلیکات‌ها وجود دارد. به این ترتیب، ذخایر اکسیدی یا هیدروکسیدی به عنوان کانسارهای اصلی و سنگ‌های کربناتی و سیلیکاتی منگنزدار به عنوان سنگ مادر کانسارهای دیگر در نظر گرفته می‌شوند [۳]. کانی‌های منگنزدار شامل زیرگروه‌های اکسیدها، هیدروکسیدها، سیلیکات‌ها و کربنات‌ها هستند [۴]. از میان کانی‌های منگنزدار، پیرولوزیت عمده‌ترین فاز کانیایی منگنزدار بوده و به طور گسترده در ذخایر منگنز جهان گزارش شده است [۵]. با وجود تنوع بسیار گونه‌های کانیایی، نهشته‌های اقتصادی منگنز محدود به چند گونه کانیایی هستند [۶]. با توجه به پیشرفت فناوری و نیاز به این عنصر راهبردی در صنعت ایران، بررسی و شناخت کانسارهای منگنز متعدد موجود در کشور مهم است. در این پژوهش، ویژگی‌های صحرایی، کانی‌شناسی، زمین شیمیایی و نوع کانه‌زایی کانسار منگنز شمال شرق حاجی آباد براساس پیمایش‌های برای نخستین بار بررسی شد. صحرایی، یافته‌های مقاطع نازک و صیقلی و داده‌های زمین‌شیمیایی نمونه‌های کانسنگ.

زمین‌شناسی منطقه مورد بررسی

کانسار منگنز مورد بررسی در ۴۰ کیلومتری شمال شرق حاجی آباد، استان هرمزگان در مجموعه‌های دگرگونی در پهنه ساختاری سنندج- سیرجان واقع است. مرکز این کانسار در طول جغرافیایی ″۲۷ ′۳۶ °۲۸ شمالی و عرض جغرافیایی ″۰۰ ′۰۱ °۵۶ شرقی قرار دارد. برای دسترسی به منطقه مورد بررسی از جاده آسفالت بندرعباس-سیرجان-حاجی آباد-باغات، پس از پیمودن حدود ۴۰ کیلومتر از مسیر حاجی آباد به سمت باغات از جاده اصلی، در سمت راست پس از مسافت تقریبی ۱۹ کیلومتر جاده خاکی آن می‌رسیم.

منطقه مورد بررسی در دورترین بخش جنوب شرقی پهنه دگرگونی سنندج-سیرجان است (شکل ۱ الف). براساس بررسی‌های انجام شده بر بخش جنوبی پهنه سنندج- سیرجان، از جمله پژوهش سبزه‌ئی و همکاران [۷]، سنگ‌های دگرگونی این منطقه اجزای یک محیط رسوبی هستند که در دوره پالئوزوییک پیشین تا اوایل مزوزوییک تشکیل شده‌اند. این محیط‌ها، همزمان دارای فعالیت‌هایی ماگمایی نیز بوده‌اند، سپس در معرض یک دگرگونی ایستایی قرار گرفته‌اند و در پی آن طی فاز سیمرین پیشین، دگرگونی اصلی رخ داده است. با توجه به بررسی شکل‌گیری ساختاری و زمین‌ساختی سنگ‌های پالئوزوییک کمربند سنندج-سیرجان در منطقه خبر [۸]، دگرگونی نهشته‌های پالئوزوییک مربوط به سیمرین آغازی است که اثر نظام زمین‌ساختی کششی در سیمرین میانی و عملکرد کوهزایی لارامید به عنوان شروع نظام فشارشی در این منطقه دیده می‌شوند. همچنین فاحی و احمدی پور [۹] محیط زمین-شناسی سنگ مادر مجموعه‌های روتشون و خبر را یک محیط کم‌عمق و آشفته درون‌قاره‌ای در زمان پالئوزوئیک پیشین می‌دانند.

عمده‌ترین رخنمون سنگی در منطقه مورد بررسی مربوط به مجموعه دگرگونی روتشون و خبر است که این رخسارهای سنگی در اثر فازهای دگرگونی سیمیرین پیشین، دستخوش دگرگونی درجه متوسط تا پایین شده‌اند. سن مجموعه دگرگونی روتشون به پالئوزوئیک پیشین نسبت داده می‌شود، اما دگرگونی فاز تاخیری آن را به کربونیفر و ژوراسیک میانی نسبت می‌دهند [۷]. قدیمی‌ترین واحدهای مجموعه دگرگونی روتشون شامل متادولومیت، شیست سبز، میکاشیست و کمی آمفیبولیت هستند که هم ارز سازند میلا در البرز مرکزی است. بر واحدهای مجموعه روتشون مجموعه مرمرهای دولومیتی-کلسیتی، میکاشیست، اسلیت و فیلیت با سن دونین میانی تا کربونیفر پیشین قرار دارند که مجموعه خبر نامگذاری شده است. همچنین واحدهای مزوزوئیک شامل شیل، آهک، ماسه سنگ و گنگلومراست. واحدهای سنگی مجموعه روتشون و خبر دچار دگرگونی‌های رخساره شیست سبز تا آمفیبولیت میانی قرار گرفته‌اند، به طوری که درجه دگرگونی از مجموعه روتشون به سمت مجموعه خبر کاهش می‌یابد. واحدهای سنگی در منطقه مورد بررسی بر اساس نقشه زمین‌شناسی ۱:۱۰۰۰۰۰ (شکل ۱ ب) خبر از قدیم به جدید شامل پالئوزوئیک (مجموعه روتشون: مرمر، شیست سبز، شیست‌های سیاه و میکاشیست)، دونین (مجموعه خبر: سنگ آهک مرمری شده و کالک شیست و میکاشیست) و آهک‌های کرتاسه هستند.



شکل ۱ (الف) موقعیت منطقه مورد بررسی در پهنه ساختاری سنندج-سیرجان [۱۰] و (ب) موقعیت منطقه مورد مطالعه و تشکیلات زمین‌شناسی منطقه بر نقشه زمین‌شناسی ۱:۱۰۰۰۰۰ خبر [۷].

روش بررسی

در این پژوهش، پس از بازدیدهای صحرایی از ۶۰ نمونه برداشته شده از سطح، ترانشه‌ها و چاهک‌ها، تعداد ۲۲ نمونه شاخص برای تجزیه زمین شیمیایی و ۶ نمونه برای بررسی کانی‌شناسی انتخاب گردید. سپس، تعداد ۶ مقطع نازک از سنگ‌های میزبان دربردارنده ماده معدنی و ۴ مقطع صیقلی از نمونه‌های کانسنگ، برای بررسی سنگ‌نگاری و شناسایی فازهای کانیایی فلزی تهیه و با میکروسکوپ دو منظوره مطالعه شدند. همچنین، ۶ نمونه برای شناسایی فازهای کانیایی نامشخص، در آزمایشگاه زر آزما به روش پراش پرتو X (XRD) با دستگاه Asenware مدل Awxdm300 با طول موج ۱٫۵۴ آنگستروم، ولتاژ ۴۵ کیلو ولت جریان، ۴۰ میلی آمپر و گستره زاویه‌ای 2θ بین ۳ تا ۶۰ درجه بررسی شدند. برای بررسی‌های زمین‌شیمیایی و تعیین مقادیر عناصر اصلی و جزئی، ۲۲ نمونه از سنگ‌ها به روش طیف‌سنجی فلوئورسانس پرتوی X (XRF) و فلئورسانس اتمی (AF) با دستگاه Rayliegh مدل AF-640 ساخت شرکت القایی کشور چین در آزمایشگاه زرآزمای تهران تجزیه شدند. برای آماده‌سازی، نمونه‌ها پس از خشک شدن، با استفاده از سنگ‌شکن‌های فکی تا ابعاد کمتر از ۴ میلی‌متر خردایش شده و در آسیاب دیسکی تا اندازه ۷۵ میکرون (۲۰۰ مش) نرمایش شدند. جهت راستی آزمایی یافته‌های نمونه‌ها از نمونه‌های استاندارد مرجع گواهی شده بین‌المللی (CRM) استفاده شد.

بررسی‌های صحرایی

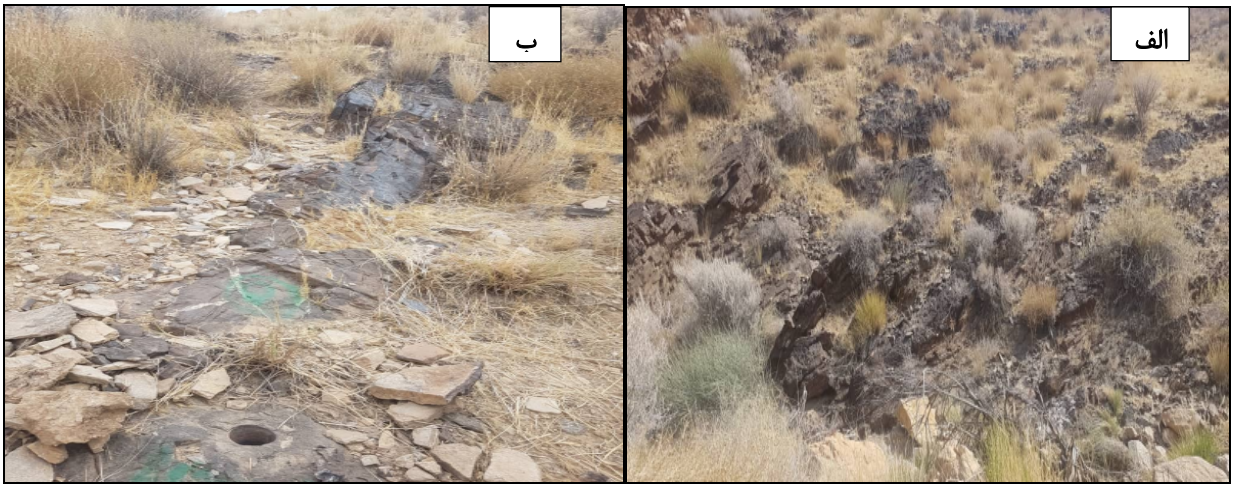
منطقه مورد بررسی دارای ساختاری کلی فلسی بوده که راستای کلی راندگی‌ها از شمال شرق و شمال به سوی جنوب غرب و جنوب است. تکرار رخدادهای زمین‌ساختی در این منطقه، به ویژه تکرار رانش شمالی- جنوبی در کوهزایی‌های سیمیرین آغازین و پسین و آلبین جوان، ساختار پیچیده‌ای به وجود آورده که تدوین روابط چینه‌شناسی را بسیار دشوار نموده است. بسیاری از چین‌خوردگی‌های بزرگ‌مقیاس از الگوی

رانش‌های اصلی شمالی-جنوبی پیروی می‌کنند. چین‌خوردگی در شیست‌های آهکی و در مرمرهای دولومیتی با میان‌لایه‌هایی از شیست‌ها نیز در منطقه مورد بررسی به خوبی دیده می‌شوند (شکل ۲). از نظر زمین‌ساختی، منطقه مورد بررسی از دو مجموعه دگرگونی با سن‌های پالئوزوئیک و دونین و دو گسل متقاطع با روندهای شمال غرب- جنوب شرق و شمال شرق-جنوب غرب تشکیل شده است. گسل‌های فرعی در ورقه خبر از الگوی رانش‌های شمالی- جنوبی پیروی می‌کنند، اما در منطقه مورد بررسی دو گسل فرعی با روند شمال غرب-جنوب شرق و دیگری شمال شرق-جنوب غرب هم را قطع می‌کنند (شکل ۱).

در منطقه مورد بررسی، گسل خوردگی در شیست‌های آهکی نیز به صورت گسل‌های اصلی و فرعی قابل مشاهده است (شکل ۳). کانسار منگنز در این منطقه به صورت رگه‌ای، توده‌ای و لایه‌ای دیده می‌شود. رگه‌های منگنز با طول بیش از ۲۵ متر و عرض ۳ تا ۵ متر درون سنگ‌های آهکی و دولومیتی مرمری شده قرار دارند (شکل ۴ الف). منگز توده‌ای بی فاصله از سنگ‌های آهکی و دولومیتی منطقه نمایان است (شکل ۴ ب) و سپس منگنز لایه‌ای به‌صورت لایه‌های به ضخامت ۱۰ تا ۲۰ سانتی متر در بین لایه‌های شیست آهکی و آهک‌های مرمری شده دیده می‌شود (شکل ۵).

شکل ۲ چین خوردگی در سنگ‌های میزبان (مرمرهای دولومیتی با میان‌لایه‌هایی از شیست‌ها).

شکل ۳ گسل خوردگی شیست‌های آهکی.



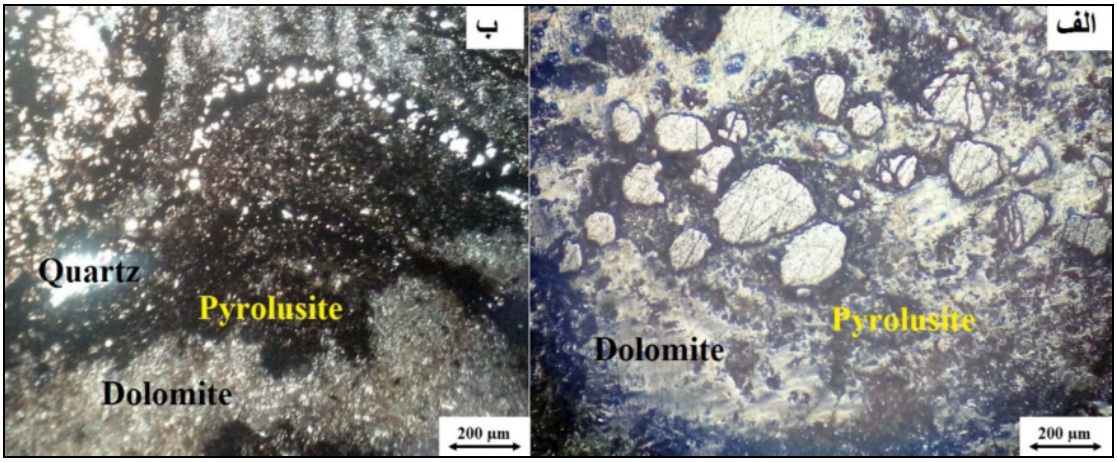
شکل ۴ (الف) رگه‌های منگنز در سنگ‌های آهکی و دولومیتی مرمری شده و (ب) توده‌های منگنز بی فاصله از سنگ‌های آهکی و دولومیتی.

شکل ۵ منگنز لایه‌ای در سنگ‌های آهکی و دولومیتی.

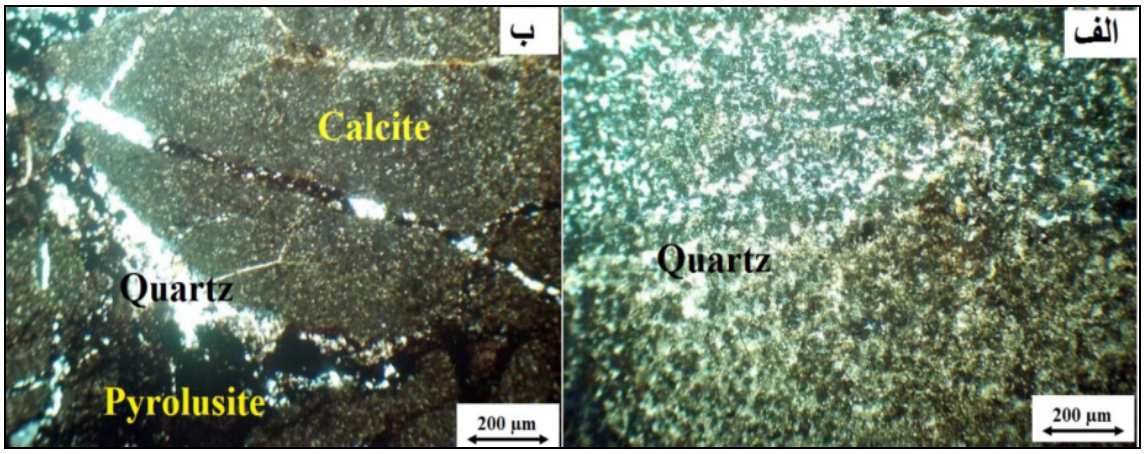
کانی‌شناسی

بر پایه بررسی مقاطع صیقلی، کانی کدر در نمونه‌ها پیرولوزیت است که قطعه‌های زاویه‌دار سنگ‌های دولومیتی-سیلیسی میزبان بافت توده‌ای تا انتشاری را به‌صورت سیمانی در برگرفته است. این بافت جزایر باقیمانده از آهک‌ها در زمینه‌ای از پیرولوزیت را نشان می‌دهد که مواد معدنی با فرایند پر کردن فضای خالی در اثر عملکرد یک سیال گرمابی غنی از منگنز ایجاد شده‌اند (شکل ۶ الف). سنگ رسوبی آهکی ریزبلور سیلیسی شده شامل قطعه‌های کوارتز دارای شکستگی‌های بسیاری بوده که درون شکستگی‌ها توسط کانی‌های فلزی پر شده است. نهشته‌های معدنی در منطقه مورد بررسی بیشتر از پیرولوزیت تشکیل شده‌اند که در حفره‌ها و شکستگی‌های سنگ به‌صورت لایه‌ای و دندریتی جایگزین شده‌اند (شکل ۶ ب). در بررسی میکروسکوپی در سنگ آهک، قطعه‌های ریز دولومیت‌ها با بلورهای کوارتز و کانی‌های کدر در بر گرفته شده‌اند (شکل ۷ الف). در شکستگی‌های درون بلورهای کلسیت سنگ میزبان، کانی‌های منگنز به صورت بافت پرکننده فضای خالی رگه‌هایی از منگنز تشکیل داده‌اند و کانی‌زایی در شکستگی همراه با کوارتز صورت گرفته است (شکل ۷ ب). بر پایه بررسی‌های میکروسکوپی، دو نسل از پیرولوزیت وجود دارد. پیرولوزیت نسل اول به صورت دانه‌ریز در زمینه سنگ میزبان دیده می‌شود که فضاهای خالی را پر کرده است و پیرولوزیت نسل دوم دارای

بافت رگه‌ای بوده که نشانگر باز تبلور و رشد بلورهای درشت به خرج بلورهای اولیه دانه‌ریز در درزه و شکاف‌های سنگ میزبان در اثر دگرگونی است. یافته‌های میکروسکوپی و داده‌های XRD نشان می‌دهند که کانسار منگنز مورد بررسی کانی‌شناسی ساده‌ای دارد و کانی‌های اصلی شامل کانی‌های سیلیکاتی (اسپسارتین و آلماندین) و اکسیدی (تودوروکیت و کلسیت) و کانی‌های فرعی پیرولوزیت، گوتیت و کوارتز هستند (جدول ۱).



شکل ۶ مقاطع صیقلی از کانسنگ منگنز در نور قطبیده صفحه‌ای PPL. (الف) بقایای سنگ‌های کربناتی در زمینه‌ای از کانی‌های منگنز و (ب) ته‌نشینی پیرولوزیت در حفره‌ها و شکستگی‌های سنگ‌های میزبان.



شکل ۷ مقاطع نازک از سنگ‌های میزبان در نور قطبیده متقاطع XPL: (الف) دانه‌های ریز کوارتز و منگنز در سنگ آهک و (ب) رگه‌های کوارتز و منگنز در بلورهای کلسیت.

جدول ۱ نتایج کانی‌شناسی (XRD) نمونه‌های کانسنگ منگنز.

نمونه	فازهای اصلی	فازهای فرعی	فازهای کمیاب
۷	اسپسارتین، تودوروکیت، کلسیت	آلماندین، کوارتز، پیرولوزیت، گوتیت	
۸	اسپسارتین، تودوروکیت، کلسیت، کوارتز	پیرولوزیت، گوتیت	
۹	اسپسارتین، آلماندین، آنکریت، آلبیت	کوارتز، بیوتیت	کلسیت
۱۰	اسپسارتین، تودوروکیت، پیرولوزیت، کوارتز	آلماندین، گوتیت	کلسیت
۱۱	اسپسارتین، آلماندین، کلسیت، کوارتز	پیرولوزیت	

زمین شیمیایی

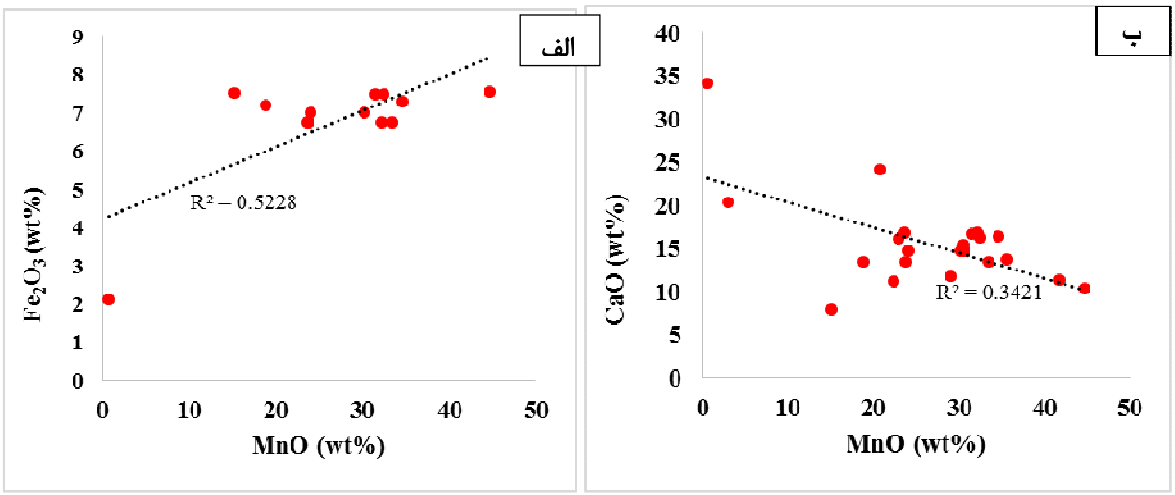
نتایج شیمیایی برآمده از تجزیه ۲۲ نمونه از کانسنگ منگنز شامل نمونه‌های سطحی، ترانشه و چاهک با عمق‌های به ترتیب ۱، ۲ و ۳ متری از سطح زمین در جدول‌های ۲ و ۳ آورده شده‌اند. این داده‌ها نشانگر تغییرات گسترده مقدار منگنز در نمونه‌های کانسنگ از ۱۵٫۱۹ تا ۴۴٫۷۸ درصد وزنی است. مقدار متوسط آهن در کانسنگ منگنز حدود ۷٫۸ درصد وزنی است. بیشترین مقدار آهن (۱۳٫۱۴ درصد وزنی) در نمونه‌های کانسنگ با حضور کانی گوتیت همخوانی دارد. این در حالی است که در نمونه‌های با مقادیر بسیار پایین آهن با توجه به کانی‌های مستقل آهن در این نمونه‌ها براساس بررسی‌های میکروسکوپی و XRD، نشانگر جانشینی آهن به جای منگنز در شبکه کانی‌هایی چون اسپسارتین است. این امر با همبستگی مثبت بین Fe_2O_3 وMnO در نمونه‌های با مقادیر پایین آهن در منطقه مورد بررسی همخوانی دارد (شکل ۸ الف). مقدار آلومنیوم از ۳٫۷۷ تا ۱۲٫۸۷ درصد وزنی متغیر است که بر پایه نتایج کانی‌شناسی، نمونه‌های با مقادیر بالای این عنصر دارای کانی‌های آلومنیوم دار (آلماندین و اسپسارتین) هستند. از میان سایر اکسیدهای اصلی، بیشترین مقدار مربوط به SiO_2 با بیش از ۴۱ درصد وزنی است و مقدار بالای CaO نیز در نتایج شیمیایی ۳۴ درصد وزنی ثبت شده است. مقدار بالای این دو عنصر به دلیل وجود بقایایی از سنگ‌های میزبان (دولومیت‌های سیلیسی‌شده و مرمرهای کلسیتی-دولومیتی) در نمونه‌های کانسنگ است. همبستگی منفی بین منگنز و کلسیم نشان می‌دهد که منگنز در شبکه سنگ‌های میزبان آهکی جانشین کلسیم شده است (شکل ۸ ب). مقدار بالای استرانسیم در نمونه‌های مورد بررسی نشان‌دهنده جانشینی این عنصر به جای کلسیم و منیزیم در شبکه دولومیت است. مقدار فسفر در کانسنگ بسیار پایین (۰٫۰۱ تا ۰٫۷۹ درصد وزنی) است. همچنین، مقادیر عناصر ماگمادوست تیتانیوم (۰٫۱۲ تا ۰٫۵۹ درصد وزنی)، کروم (کمتر از ۰٫۰۱ تا ۰٫۰۲ درصد وزنی) و گوگرد (کمتر از ۰٫۰۵ تا ۰٫۴۶ درصد وزنی) در کانسنگ بسیار پایین بوده و همبستگی مثبت فسفر با این عناصر نشانگر خاستگاه یکسان آنهاست.

جدول ۲ نتایج شیمیایی نمونه‌های کانسنگ منگنز از سه چاهک در عمق‌های ۱، ۲ و ۳ متری از سطح زمین (بر حسب درصد وزنی).

شماره	Ch1-1	Ch1-2	Ch1-3	Ch2-1	Ch2-2	Ch2-3	Ch3-1	Ch3-2	Ch3-3	DL
SiO_2	۳۱٫۴۶	۲۸٫۹۷	۳۲٫۵	۲۲٫۴۶	۲۱٫۹۷	۲۲٫۵	۲۱٫۲۴	۲۱٫۳۲	۱۸٫۲۷	۰٫۰۱
Al_2O_3	۸٫۶۳	۲۶٫۸	۹٫۴۵	۸٫۶۳	۸٫۲۶	۹٫۴۵	۶٫۲۳	۶٫۱۸	۵٫۷۶	۰٫۰۱
BaO	۰٫۰۱	<۰٫۰۱	۰٫۰۱	۰٫۰۱	<۰٫۰۱	۰٫۰۱	<۰٫۰۱	<۰٫۰۱	<۰٫۰۱	۰٫۰۱
CaO	۱۴٫۷۵	۱۶٫۸	۱۳٫۳۸	۱۴٫۷۵	۱۶٫۸	۱۳٫۳۸	۱۵٫۴۵	۱۶٫۲۳	۱۶٫۳۵	۰٫۰۱
Fe_2O_3	۷	۶٫۷۴	۶٫۷۵	۷	۶٫۷۴	۶٫۷۵	۸٫۲	۷٫۵	۷٫۳	۰٫۰۱
K_2O	۰٫۱۴	۰٫۱۳	۰٫۱	۰٫۱۴	۰٫۱۳	۰٫۱	۰٫۳۷	۰٫۴۶	۰٫۴۰	۰٫۰۱
MgO	۰٫۸۹	۰٫۸۸	۱٫۱۲	۰٫۸۹	۰٫۸۸	۱٫۱۲	۱٫۴۵	۱٫۳۸	۱٫۳۳	۰٫۰۱
MnO	۲۴٫۰۴	۲۳٫۶۳	۲۳٫۸	۳۰٫۲۸	۳۲٫۱۷	۳۳٫۴۶	۳۰٫۴۳	۳۲٫۴۷	۳۴٫۵۶	۰٫۰۱
Na_2O	۰٫۱۷	۰٫۲۳	۰٫۳۶	۰٫۱۷	۰٫۲۳	۰٫۳۶	۰٫۳۱	۰٫۳۴	۰٫۳۸	۰٫۰۱
P_2O_5	۰٫۱۷	۰٫۱۷	۰٫۱۸	۰٫۱۷	۰٫۱۷	۰٫۱۸	۰٫۲۸	۰٫۲۵	۰٫۲۸	۰٫۰۱
SO_3	۰٫۱۶	۰٫۱۸	۰٫۳۸	۰٫۱۶	۰٫۱۸	۰٫۳۸	۰٫۱۷	۰٫۱۶	۰٫۱۷	۰٫۰۵
TiO_2	۰٫۳	۰٫۳۵	۰٫۴۵	۰٫۳	۰٫۳۵	۰٫۴۵	۰٫۱۴	۰٫۱۳	۰٫۱۲	۰٫۰۱
Cr_2O_3	۰٫۰۲	۰٫۰۱	۰٫۰۱	۰٫۰۲	۰٫۰۱	۰٫۰۱	۰٫۰۱	۰٫۰۱	۰٫۰۱	۰٫۰۱
Cu	<۰٫۰۱	<۰٫۰۱	<۰٫۰۱	<۰٫۰۱	<۰٫۰۱	<۰٫۰۱	<۰٫۰۱	<۰٫۰۱	<۰٫۰۱	۰٫۰۱
Pb	<۰٫۰۱	<۰٫۰۱	<۰٫۰۱	<۰٫۰۱	<۰٫۰۱	<۰٫۰۱	<۰٫۰۱	<۰٫۰۱	<۰٫۰۱	۰٫۰۱
Zn	<۰٫۰۱	<۰٫۰۱	<۰٫۰۱	<۰٫۰۱	<۰٫۰۱	<۰٫۰۱	<۰٫۰۱	<۰٫۰۱	<۰٫۰۱	۰٫۰۱
Sr	۰٫۳۱	۰٫۱۸	۰٫۴۴	۰٫۳۱	۰٫۱۸	۰٫۴۴	<۰٫۰۱	<۰٫۰۱	<۰٫۰۱	۰٫۰۱
مواد فرار(LOI)	۱۱٫۹۱	۱۳٫۴۷	۱۱٫۰۱	۱۳٫۷۳	۱۴٫۵	۱۶٫۷۱	۱۵٫۶۷	۱۴٫۲۴	۱۳٫۲۴	۰٫۰۱

جدول ۳ نتایج شیمیایی نمونه‌های کانسنگ منگنز از نه نمونه سطحی و چهار ترانشه.

شماره	1	2	3	4	5	6	7	8	9	T1	T2	T3	T4
SiO_2	۱۵٫۹۲	۱۸٫۲۹	۱۹٫۲۹	۳۰٫۰۳	۳۰٫۶۹	۳۳٫۲۲	۱۳٫۸۳	۲۸	۴۲٫۱۸	۱۹٫۲۴	۲۴٫۱۲	۱۴٫۸۳	۲۱٫۱۶
Al_2O_3	۷٫۱	۳٫۷۷	۷٫۶	۱۲٫۸۷	۱۰٫۷۸	۸٫۷	۴٫۶۳	۹٫۳	۱۲٫۵۲	۴٫۶۹	۹٫۹۷	۵٫۶	۸٫۳
BaO	۰٫۰۶	۰٫۰۲	<۰٫۰۱	۰٫۰۳	۰٫۰۳	۰٫۰۵	<۰٫۰۱	<۰٫۰۱	۰٫۰۳	<۰٫۰۱	<۰٫۰۱	۰٫۰۲	<۰٫۰۱
CaO	۲۴٫۱۱	۳۴٫۱	۱۴٫۶۳	۱۱٫۲	۱۳٫۳۶	۲۰٫۳۶	۱۰٫۳	۱۱٫۶۶	۷٫۸۹	۱۶٫۶۹	۱۶٫۱۴	۱۱٫۳	۱۳٫۶۵
Fe_2O_3	۸٫۸۴	۲٫۱	۹٫۵۶	۹٫۲۶	۷٫۲۱	۱۳٫۱۴	۷٫۵۶	۷٫۹۹	۷٫۵۱	۷٫۵	۱۰٫۶	۷٫۵۶	۸٫۹۲
K_2O	۰٫۳۴	۱٫۰۵	۰٫۲۴	۰٫۶۵	۰٫۵۴	۱٫۵۴	۰٫۵۹	۰٫۲۶	۰٫۷۹	۰٫۳۶	۰٫۰۹	۰٫۶۷	۰٫۳۴
MgO	۱٫۵۵	۵٫۸۳	۱٫۱۵	۱٫۷۴	۲٫۰۳	۲٫۵۹	۱٫۳۷	۱٫۳	۲٫۴۳	۱٫۳۵	۱٫۳۹	۱٫۴۸	۱٫۳
MnO	۲۰٫۷۹	۰٫۷	۳۰٫۶۶	۲۲٫۴۲	۱۸٫۸۲	۳٫۰۳	۴۴٫۷۸	۲۹٫۰۱	۱۵٫۱۹	۳۱٫۴۵	۲۲٫۹۳	۴۱٫۷۶	۳۵٫۵۶
Na_2O	۰٫۱۶	۰٫۰۲	۰٫۰۱	۰٫۷۱	۲٫۲۷	۰٫۱۹	۰٫۵۷	۰٫۲۶	۲٫۲۸	۰٫۲۱	۰٫۰۷	۰٫۵۹	۰٫۴۶
P_2O_5	۰٫۱۳	۰٫۰۱	۰٫۱	۰٫۱۲	۰٫۰۴	۰٫۷۹	۰٫۲۷	۰٫۱۵	۰٫۲۳	۰٫۲۱	۰٫۲۵	۰٫۲۴	۰٫۳۴
SO_3	۰٫۱۳	<۰٫۰۵	۰٫۰۹	۰٫۰۹	۰٫۴۶	<۰٫۰۵	۰٫۱۴	۰٫۱۳	۰٫۰۶	۰٫۱۷	۰٫۱۷	۰٫۱۵	۰٫۱۸
TiO_2	۰٫۴۶	۰٫۱۸	۰٫۴۶	۰٫۵	۰٫۴۵	۰٫۴۱	۰٫۱۸	۰٫۴۴	۰٫۵۹	۰٫۱۶	۰٫۳	۰٫۱۷	۰٫۱۹
Cr_2O_3	<۰٫۰۱	<۰٫۰۱	<۰٫۰۱	<۰٫۰۱	<۰٫۰۱	<۰٫۰۱	۰٫۰۱	۰٫۰۱	۰٫۰۲	۰٫۰۱	۰٫۰۱	۰٫۰۱	۰٫۰۱
Cu	<۰٫۰۱	<۰٫۰۱	<۰٫۰۱	<۰٫۰۱	<۰٫۰۱	<۰٫۰۱	<۰٫۰۱	<۰٫۰۱	<۰٫۰۱	<۰٫۰۱	<۰٫۰۱	<۰٫۰۱	<۰٫۰۱
Pb	<۰٫۰۱	<۰٫۰۱	<۰٫۰۱	<۰٫۰۱	<۰٫۰۱	<۰٫۰۱	<۰٫۰۱	<۰٫۰۱	<۰٫۰۱	<۰٫۰۱	<۰٫۰۱	<۰٫۰۱	<۰٫۰۱
Zn	<۰٫۰۱	<۰٫۰۱	<۰٫۰۱	<۰٫۰۱	<۰٫۰۱	<۰٫۰۱	<۰٫۰۱	<۰٫۰۱	<۰٫۰۱	<۰٫۰۱	<۰٫۰۱	<۰٫۰۱	<۰٫۰۱
Sr	۰٫۱۲	<۰٫۰۱	۰٫۲۴	۰٫۰۹	۰٫۱۵	<۰٫۰۱	<۰٫۰۱	<۰٫۰۱	<۰٫۰۱	<۰٫۰۱	<۰٫۰۱	<۰٫۰۱	<۰٫۰۱
LOI	۲۰٫۲۹	۳۳٫۹۳	۱۵٫۹۷	۱۰٫۲۹	۱۳٫۱۷	۱۵٫۹۸	۱۵٫۷۷	۱۱٫۴۹	۸٫۲۷	۱۷٫۷۷	۱۳٫۹۱	۱۵٫۶	۱۶٫۸



شکل ۸ (الف) همبستگی مثبت بین Fe_2O_3 و MnO در نمونه‌های با مقادیر پایین آهن و (ب) همبستگی منفی بین منگنز و کلسی.

بحث و بررسی

از نظر زمین‌ساختی، حضور دو گسل متقاطع با روندهای شمال غرب- جنوب شرق و شمال شرق-جنوب غرب در مجموعه دگرگونی بر تشکیل ماده معدنی اثر داشته‌اند. هسته تاقدیس تشکیلات دونین شامل مرمرهای دولومیتی و میکاشیست تشکیل است که در واقع سنگ‌های میزبان کانسار مورد بررسی هستند. کانه‌زایی منگنز به صورت رگه‌ای و عدسی درون سنگ‌های رسوبی دگرگون شده با سن دونین در راستای لایه-بندی آهک‌های دگرگون شده و میکاشیست‌ها صورت گرفته است که نشانگر اهمیت فرایند رسوبی-دگرگونی و ساختارهای زمین‌ساختی در فرآیند کانه‌زایی است. ترکیبات معدنی در راستای لایه‌بندی که به عنوان گذرگاه‌ها و مجرایی برای عبور سیال کانه‌زا عمل کرده‌اند نهشته شده‌اند.

بررسی‌های میکروسکوپی و تجزیه نمونه‌های معدنی به روش XRD نشان می‌دهند که کانسار منگنز شمال شرق حاجی آباد دارای کانی‌شناسی ساده‌ای دارد و به طور عمده از کانی‌های سیلیکاتی منگنز شامل اسپسارتین و آلماندین در عمق به همراه کانی اکسیدی منگنز (تودوروکیت و پیرولوزیت) در نزدیکی سطح زمین تشکیل شده است. اسپسارتین از جمله کانی‌های درونزاد بوده که در اثر فرایندهای عمیق‌تر نسبت به سایر کانی‌ها تشکیل شده است [۱۱]. در نتایج XRD، حضور کانی تودوروکیت همراه با کوارتز و فازهای کانیایی آهن‌دار

نشان‌دهنده ورود سیال‌های گرمابی منگنزدار به حوضه رسوبی در کانسار منگنز مورد بررسی است [۱۲]. وجود پیرولوزیت به صورت جانشینی و پرکننده حفره‌های سنگ میزبان، در بر گیرنده باطله و پرکننده شکستگی‌ها نشان‌دهنده اثر فرآیندهای برونزاد ثانویه بر کانه‌زایی اولیه است [۱۳]. همچنین این کانی می‌تواند از تحرک و رسوب‌گذاری دوباره منگنز با بافت شکافه پرکن طی فرآیندهای برونزایی در سنگ‌های میزبان در افق‌های بالایی به‌صورت روزادی تشکیل شده باشد [۱۴]. وجود دو نسل از پیرولوزیت در بررسی‌های میکروسکوپی نشانگر تشکیل منگنز نخست توسط فرایندهای رسوبی و سپس در اثر فرآیند دگرگونی بر نهشته‌های معدنی است. همچنین نهشته شدن واحدهای کربناتی بر لایه‌های منگنزدار باعث تدفین و فرایند درونزایی مواد معدنی شده و در نتیجه از آبزدایی هیدروکسیدهای منگنز، کانی بدون آب پیرولوزیت تشکیل شده است [۱۵]. با توجه به حضور ساخت‌ها و بافت‌های گسترده شکافه پرکن در مقیاس‌های مختلف در این نهشته‌ها در راستای مرز لایه‌بندی سنگ‌های میزبان، نهشته شدن ماده معدنی ناشی از تغلیظ و تمرکز دوباره منگنز نهشته شده در حوضه رسوبی در اثر رخداد دگرگونی پس از تشکیل ماده معدنی است. تمرکز ماده معدنی در سنگ‌های میزبان دولومیت سیلیسی‌شده یا مرمرهای دولومیتی می‌تواند بیانگر این باشد که فرآیندهای دولومیتی شدن و سیلیسی شدن به عنوان فرآیندهای آماده سازی زمینه کانه‌زایی منگنز عمل کرده‌اند. نخست سنگ‌های رسوبی سیلیسی و مرمری شده و سپس منگنز وارد زمینه سنگ شده‌اند. وجود کانی‌های اکسید منگنز و هیدروکسید آهن (گوتیت) در سطوح بالایی کانسار نشانگر عملکرد گسترده آب-های جوی و اکسایش کانی‌های منگنز به‌ویژه در راستای لایه-های کانسنگ است، یا نشان می‌دهد که کانی‌های منگنز از سردشدن سیال دگرگونی کانه‌زا و آمیختگی با آب‌های جوی در قسمت‌های کم عمق تشکیل شده‌اند. کاهش ناگهانی دما و به احتمال بسیار فشار در اثر رسیدن سیال دگرگونی به مرز لایه-های سنگ‌های میزبان و آمیختگی آن با آب‌های جوی اکسایشی که با کاهش حالت اسیدی سیال و قابلیت انحلال کمپلکس‌های منگنز همراه هستند، از عوامل اصلی در نهشته شدن منگنز محسوب می‌شوند. براساس داده‌های کانی‌شناسی، هیچ نوع کانی شاخص محیط‌های اسکارنی، در نمونه های مورد بررسی یافت نشد. تغییرات گسترده عیار منگنز حتی در فاصله-های کوتاه در نهشته‌های معدنی این منطقه تشکیل کانسار را در اثر فرآیند پرکردن فضاهای خالی تأیید می‌کنند. حضور کانی هیدروکسید آهن و آلماندین مقادیر بالای آهن در بعضی از نمونه‌های کانسنگ منگنز را توجیه می‌کند. البته، آشکار نشدن کانی‌های متداول آهن مانند مگنتیت در بررسی‌های میکروسکوپی و XRD، در کنار مقادیر بالای این عنصر در داده‌های شیمیایی برخی از نمونه‌های کانسنگ نشانگر جانشینی Mn توسط Fe^{+2} در شبکه کانی‌های منگنز مانند اسپسارتین است.

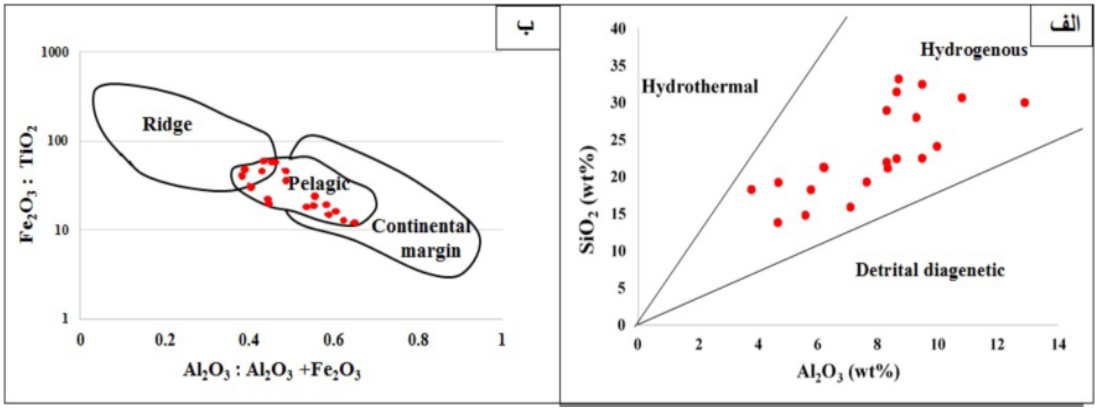
از اکسیدهای اصلی برای تعیین محیط رسوبی کانه‌زایی نیز استفاده می‌شود. مقدار اکسیدهای عناصر اصلی Fe_2O_3، Al_2O_3، TiO_2 و SiO_2 برای تعیین خاستگاه ذخایر منگنز به کار می‌روند [۱۷،۱۶]. نسبت Mn/Fe را به عنوان شاخصی برای تعیین خاستگاه نهشته‌های منگنز در نظر می‌گیرند. آهن و منگنز طی نهشت از سیال‌های گرمابی به طور ویژه‌ای از هم جدا می‌شوند که این جدایش وابسته به درجه حلالیت آنهاست و نسبت‌های Mn/Fe متفاوتی را ایجاد می‌کند. در نهشته‌های منگنز با خاستگاه بروندمی، این نسبت بین ۲/۵ تا ۱۰ است و نهشته‌های نوع دریاچه‌ای نسبت کمتر از ۱ را نشان می‌دهد [۱۸]. برخی پژوهشگران نسبت ۰/۸ تا ۱/۵ را نشانه نهشته شدن منگنز در فرایندهای آب‌زاد می‌دانند [۱۹]. مقدار این نسبت برای نهشته‌های منگنز مورد بررسی بین ۰/۲۵ تا ۶/۵۶ بوده که به خاستگاه آب‌زاد و فعالیت‌های آبزاد نزدیک‌تر است. این نسبت بالا نشانگر تفکیک و جدایش این دو عنصر طی حمل و نقل در فعالیت‌های گرمابی و کانه‌زایی در محیط‌های رسوبی است [۲۰]. نمونه‌های منگنز شمال شرق حاجی آباد در نمودار Si/Al در گستره آبزاد قرار دارند (شکل ۹ الف) [۲۲،۲۱]. این نسبت در گرهک‌های منگنز کف دریا و رسوب های دریایی برابر با ۳ است. همچنین برای نهشته‌های فلزدار مراکز گسترش میان اقیانوسی، این نسبت بیش از مقدار آن برای نهشته‌های آب‌زاد اقیانوسی است. در کانسار منگنز مورد بررسی میانگین این نسبت ۳/۱ است، که در گستره کانسارهای با خاستگاه گرمابی قرار دارد [۲۳]. مقادیر بالای تیتانیوم و آلومنیوم در کنار مقادیر پایین Mn/Fe و Si/Al خاستگاه بروندمی این کانسار را رد می‌کند [۱۴]. مقادیر بسیار بالای Al_2O_3 در نمونه‌های کانسنگ را می‌توان به فرایند دگرنهادی نسبت داد که آلومنیوم از میکاشیست‌ها به دلیل تجزیه و تخریب فلدسپارها آزاد شده و در کانسنگ منگنز تغلیظ یافته است.

Fe_2O_3 در رسوب‌های فلزدار نزدیک به خاستگاه پشته‌های میان اقیانوسی غنی‌شدگی بالایی دارد [۲۴] و شاخصی از فعالیت‌های گرمابی در محل پشته‌های میان اقیانوسی است.

براساس نمودار Fe_2O_3:TiO_2 نسبت به Al_2O_3: Al_2O_3+ Fe_2O_3، محیط رسوبی پشته‌های میان اقیانوسی دارای نسبت‌های بالایی از Fe_2O_3:TiO_2 و محیط‌های کرانه قاره‌ای دارای نسبت‌های بالای Al_2O_3: Al_2O_3+ Fe_2O_3 هستند [۲۵]. این بر اساس، کانسار منگنز شمال شرق حاجی آباد در محیط رسوبی کانه‌زایی لجه ای و کرانه قاره‌ای قرار دارند (شکل ۹ ب). مقادیر بالای سیلیس می‌تواند به دلیل حضور کانی‌های سیلیکاتی باشد که ناشی از دگرنهادی میکاشیت‌ها یا دولومیت‌های مرمری و دارای سیلیس فراوان در مرحله تغلیظ کانسنگ منگنز طی فرایند دگرگونی بوده یا در اثر ورود اجزای درونزادی و مواد آواری همراه با منگنز به حوضه رسوبی اولیه است [۲۷،۲۶].

همچنین نسبت Na/Mg در کانسارهای منگنز که دستخوش دگرگونی هرچند خفیف شده‌اند، پایین است که در این منطقه بسیار پایین و میانگین آن ۰/۸ می‌باشد که اثر فعالیت دگرگونی بر نهشته‌های منگنز شمال شرق حاجی آباد را تایید می‌کند [۲۹،۲۸]. در این نهشته‌ها، نخست منگنز با خاستگاه آبزاد و نهشت کانه‌ها از آب دریا به آرامی و طی فرایندهای شیمیایی است. مقدار پایین مس و مقدار بالای باریوم و استرانسیوم را می‌توان به عنوان شاهدی از گرمابی و آبزاد بودن خاستگاه این ذخیره منگنز در نظر گرفت [۳۰]. مقدار باریوم در محلول‌های گرمابی به دلیل فعالیت‌های آتشفشانی و رسوبگذاری از آب دریا بیشتر است [۳۱،۳۰،۱۶]. مقدار بسیار پایین عناصر فسفر، تیتانیوم، کروم و گوگرد در کانسنگ منگنز مورد بررسی هرگونه خاستگاه ماگمایی این کانسار را رد می‌کند. همچنین مقدار سرب در این کانسنگ بسیار پایین و کمتر از ۰/۰۱ درصد وزنی است. از آنجا که خاستگاه احتمالی سرب در ذخایر منگنز می‌تواند ناشی از خاستگاه جبه‌ای و بر اثر ورود سیال‌های گرمابی بستر اقیانوس در محل پشته‌های اقیانوسی و یا بر اثر فرسایش مواد جزایر قوسی اقیانوسی باشد [۱۰، ۳۲-۳۴]، خاستگاه رسوبی-بروندمی برای این کانسار رد می‌شود.

به طور کلی، کانسار منگنز شمال شرق حاجی آباد یک کانسار چند مرحله‌ای است؛ در این کانسار، نخست نهشته‌های منگنز با ورود سیال‌های منگنزدار با یک خاستگاه آتشفشانی در یک حوضه رسوبی همزمان با رسوب‌گذاری شکل گرفته‌اند و سپس بر اثر عملکرد فرایندهای دگرگونی ناحیه‌ای، کانی‌های منگنز دستخوش حمل و ته نشست دوباره شده‌اند. کانه‌زایی منگنز در این منطقه در دو نوع قابل تشخیص است؛ نوع نخست کانه‌زایی کم‌عیار منگنز به صورت دانه‌های پراکنده در سنگ‌های رسوبی آهکی سیلیسی‌شده با سن پالئوزوئیک همراه با سیلیس و دولومیت است. شواهد بافتی و زمین‌شیمیایی نشان می‌دهد که این کانه‌زایی با عیار بسیار کم همزمان با رسوبگذاری رخ داده است. نوع دوم، کانه‌زایی پرعیار منگنز به صورت پرکننده‌ی فضاهای خالی است که بر پایه شکل تمرکز، دو نوع کانسنگ منگنز توده‌ای و رگه‌ای همروند با لایه‌بندی در منطقه مورد بررسی تشکیل شده‌اند. خاستگاه احتمالی منبع اولیه‌ی منگنز آب دریا، می تواند تخریب و فرسایش سازندهای قدیمی‌تر و یا فعالیت‌های آتشفشانی همراه با رسوب‌گذاری طی فعالیت کوهزایی سیمیرین پیشین باشد، زیرا شیل‌ها، کربنات‌ها و ماسه سنگ‌های تیره دارای بیشترین مقدار منگنز هستند و همچنین بیشترین منگنز در رسوب های عمیق دریایی گزارش شده است [۶].



شکل ۹ موقعیت نمونه‌های کانسنگ منگنز در نمودارهای (الف) Al_2O_3 نسبت به SiO_2 [۲۷، ۳۵] و (ب) Fe_2O_3:TiO_2 نسبت به Al_2O_3: Al_2O_3+ Fe_2O_3 [۲۵].

برداشت

با توجه به شواهد صحرایی، سنگ‌نگاری، کانی‌شناسی و داده‌های زمین‌شیمیایی، منگنز نخست طی رسوب‌گذاری از فعالیت‌های آتشفشانی در رسوب‌های آهکی تثبیت شده و سپس در اثر دگرگونی دستخوش پویایی، مهاجرت و رسوب دوباره شده و نهشته‌های اقتصادی منگنز را در این منطقه پدید آورده است. مدل زایشی برای تشکیل کانسار منگنز شمال شرق حاجی آباد را می‌توان به این صورت بیان کرد که فعالیت‌های آتشفشانی در پالئوزوئیک باعث ورود منگنز همزمان با رسوبگذاری به حوضه رسوبی شده و در آنجا در شرایط آرام و به طور همزمان با رسوب‌ها ته‌نشست کرده است. این با حضور یک حوضه آتشفشانی-رسوبی در منطقه مورد بررسی در زمان پالئوزوئیک تا اوایل مزوزوئیک، که توسط سبزه‌ئی و همکاران [۷] به ثبت رسیده است، همخوانی دارد. در این حوضه، منگنز با عیار پایین بین توالی‌های رسوبی تمرکز یافته است. سپس، دگرگونی ناحیه‌ای و فرایند دگرنهادی باعث تحرک دوباره منگنز در لایه‌های منگنز، تغلیظ، انباشت و تمرکز آن شده و لایه‌ها و توده‌های با عیار بالا ایجاد شده است. این رخداد دگرگونی ناحیه‌ای باعث دگرگونی سنگ‌های میزبان کانه‌زایی منگنز تا حد رخساره آمفیبولیت نیز شده است.

مراجع

[1] Guilbert J.M., and Park Jr C.F., "*The geology of ore deposits*", (2007) Waveland Press.

[2] Moinevaziri H., "*Manganese mine of Tawakalan in Kurdistan - Iran: A rare Mn mineralization process*", Iranian Journal of Crystallography and Mineralogy (2019) 27 (2): 411-422.

[3] Brusnitsyn A.I., "*Mineralogy of metamorphosed manganese deposits of the South Urals*", Geology of Ore Deposits (2010) 52 551-565.

[4] Gadd G.M., "*Metals, minerals and microbes: geomicrobiology and bioremediation*", Microbiology (2010) 156 609-643.

[5] Das A.P., Sukla L.B., Pradhan N., Nayak S., "*Manganese biomining: A review*", Bioresource Technology (2011) 102 7381-7387.

[6] Maynard, J.B., "*The chemistry of manganese ores through time: a signal of increasing diversity of earth-surface environments*", Economic Geology (Spec. Issue) (2010) 105 (3):535-552.

[7] Sabzehei M., Navazi M. Azizan H., Roshan Ravan J., Nazemzadeh M., "*Geological Map of Khabr. 1: 100,000*", Geological Survey of Iran, Teheran, Iran (1997).

[8] Shafie Bafti SH., "*Tectonic evolution of the Paleozoic-Mesozoic of Sanandaj-Sirjan metamorphic zone, Khabr area*", Master thesis of Shahid Beheshti university of Tehran, Iran (1997) 153 pp.

[9] Fatehi H., Ahmadipour H., "*Geochemistry and petrogenesis of metabasites from the Gol-e-Gohar Complex in southern Sanandaj-Sirjan metamorphic zone, South of Iran; Evidences for crustal extension and magmatism at early Palaeozoic*", Geologica Acta (2018) 16 (3):293-319.

[10] Aghanabati A., "*Major sedimentary and structural units of Iran (map)*", Geosciences (1998) 7: 29-30.

[11] Sabet Varnamkhasti H., Mirnejad H., Ahmadi A., Sajadi Alhashem S.F., "*Evaluating the genesis of Boznein Mn deposit, Ardestan (Isfahan), based on microscopic studies and electron microbrobe data*", Iranian Journal of Crystallography and Mineralogy (2013) 21 (3):537-548

[12] Jach R., Dudek T., *"Origin of a Toarcian manganese carbonate/silicate deposit from the Krizna unit, Tatra Mountains, Poland"*, Chemical Geology (2006) 224:136–152.

[13] Zarasvandi A., Rezaei M., Pourkaseb H., Saki A., "*Investigation of primary and secondary processes in Nasirabad manganese deposit, south of Neyriz, by using mineralogy and geochemistry of Pb isotopes*", Journal of Economic Geology (2013) 1 (5): 37-47.

[14] Rajabzadeh M.A., and Zamansani N., "*Study of manganese mineralization with Neyriz ophiolite color mélange complex in Abadeh Tashk area, Fars province by using mineralogical and geochemical data*", Journal of Economic Geology (2013) 2 (5): 201-214.

[15] Mousivand F., Taleshi M., Ghasemi H., "*Occurrence of Nakhlak manganese mineralization (Salmroud) in the Late Cretaceous sedimentary volcanic sequence, southeast of Shahroud, Sabzevar subzone*", journal of Advanced Applied Geology (2017) 26: 51-65.

[16] Maghfouri S., Rastad E., Mousivand F., Choulet F., Ye, L., "*Geological and geochemical constraints on the Cheshmeh-Frezi volcanogenic stratiform manganese deposit, southwest Sabzevar basin, Iran*", Ore Geology Reviews (2017) 89: 96-113.

[17] Karakus A., Yavuz B., Koc S., "*Mineralogy and major trace element geochemistry of the*

"*Microbial processes and the origin of the Úrkút manganese deposit, Hungary*", Ore Geology Review (2012) 47: 87-109.
[27] Toth J.R., "*Deposition of submarine crusts rich in manganese and iron*", (1980) Geology Society American Bulletin 91: 44-54.
[28] Shah M.T. and Moon C.J., "*Mineralogy, geochemistry and genesis of ferromanganese ores from Hazaraarea, NW Himalayas, northern Pakistan*", Journal of Asian Earth Sciences (2004) 23 (1): 1-15.
[29] Emamalipour A., "*Mineralogy and geochemistry of Mn-Fe deposits associated with ophiolitic sediments in north of Chalderan, NW Iran*" Iranian Journal of Crystallography and Mineralogy (2010) 18 (1): 3-14.
[30] Sasmaz A., Turkyilmaz B., Ozturk N., Yavuz F., Kumral M., "*Geology and geochemistry of Middle Eocene Maden complex ferromanganese deposits from the Elazıg˘-Malatya region, eastern Turkey*", Ore Geology Review (2014) 56: 352-372.
[31] Monnin C., Wheat C.G., Dupre B., Elderfield H., Mottl M.J., "*Barium geochemistry in sediment pore waters and formation waters of the oceanic crust on the eastern flank of the Juan de Fuca Ridge (ODP Leg 168)*", Geochemistry, Geophysics, Geosystem (2001) 2 (1): 1008 (15 pp).
[32] Meynadier L., Allègre C., O'Nions R.K., *"Plate tectonics, radiogenic isotopic tracers and paleoceanography The case of the manganese crusts in the Pacific"*, Earth and Planetary Science Letters (2008) 272: 513-522.
[33] Tomczak M., Godfrey J.S., *"Regional Oceanography"*, An Introduction. 2ème ed Daya, New-Dehli (India) (2003).
[34] Frank M., *"Radiogenic isotopes: tracers of past ocean circulation and erosional input"*, Review of Geophysics (2002) 40: 1001-1019.
[35] Sedki T, Mohamed H.A., Ali Sh., Zaki R., Afeed S., "*Geology and ore genesis data of Elba manganese deposits, southern Eastern Desert, Egypt*", Data in brief (2019) 27: 104831.
haymana manganese mineralizations, Ankara, Turkey", (2010), Geochemistry International 48 (10):1014-1027.
[18] Nicholson K., Nayak V.K., Nanda J.K., "*Manganese ores of the Ghoriajhor Monmunda area, Sundergarh District, Orissa, India: geochemical evidence for a mixed Mn source. In: K. Nicholson, J.R. Hein, B. Buhn and S. Dasgupta (Editors), Manganese mineralization: Geochemistry and Mineralogy of Terrestrial and Marine Deposits*," Geological Society, Special Publication, London (1997) pp. 117-121.
[19] Hein J.R., Koschinsky A., Bau M., Manheim F.T., Kang J.K., Robert L., "*Cobaltrich ferromanganese crusts in the Pacific. In: D.S. Cronan (Editor), Handbook of Marine Mineral Deposits*", CRC Press, Boca Raton, Florida (2000) pp. 239-279
[20] Glasby G.P., "*Manganese: predominant role of nodules and crust. In: H.D. Schulz and M.Ž. Zabel (Editors), Marine Geochemistry*", Springer-Verlag, Berlin (2000) pp. 335-372.
[21] Shah M.T., Khan A., *"Geochemistry and origin of Mn-deposits in the Wazirestan"*, Pakistan, Mineralium deposita 34 (1999) 679-704.
[22] Oksuz, N., "*Geochemical characteristics of the Eymir (Sorgun-Yozgat) manganese deposit, Turkey*", Journal of Rare Earths (2011) 29 (3): 287-295.
[23] Maanijou M., Nasiri A., Aliani F., Mostaghimi M., Gholipoor M., Maghsoodi A., "*The study of major, trace and rare earth elements geochemistry in Shahrestanak Mn deposit, south of Qom: Implications for genesis*", Journal of Economic Geology (2015) 7 (1): 1-21.
[24] Shah M.T., Moon C.J., "*Manganese and ferromanganese ores from different tectonic settings in the NW Himalayas, Pakistan*", Journal Asian Earth Science (2007) 29: 455–465.
[25] Murray R.W., "*Chemical criteria to identify the depositional environment of chert: general principles and applications*", Sedimentary Geology (1994) 90 (3-4): 213-232.
[26] Polgári M., Hein J.R., Vigh T., Szabó-Drubina M., Fórizs I., Bíró L., Müller A., Tóth A.L.,