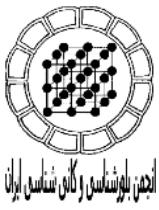
مجله بلورشناسی و کانی‌شناسی ایران

سال بیست و ششم، شمارهٔ چهارم، زمستان ۹۷، از صفحهٔ ۹۴۵ تا ۹۶۰



کانی‌شناسی، زمین‌شیمی و خاستگاه کانسار منگنز هلالان، جنوب دامغان

مهدیه مصدق، فرج الله فردوست*، افسانه سلطانی

دانشکده علوم زمین، دانشگاه صنعتی شاهرود

(دریافت مقاله: ۹۶/۱۰/۲۶، نسخه نهایی: ۹۷/۲/۱)

چکیده: کانسار منگنز هلالان، بر نوار آتشفشانی- رسوبی ترود – چاه شیرین و بخش شمالی پهنه ساختاری-رسوبی ایران مرکزی واقع شده است. سنگ‌های رخنمون یافته در منطقه شامل مجموعه دگرگونی با ترکیب سنگ‌شناسی اسلیت، فیلیت، شیست، مرمر، آهک، دولومیت و ماسه‌سنگ‌های کمی دگرگون‌شده با سن ژوراسیک پیشین هستند. کانه‌زایی منگنز به شکل چینه‌سان (لایه‌ای و عدسی شکل) و هم‌روند با لایه‌بندی رخ داده است.کانی‌های اصلی تشکیل دهنده ماده معدنی بیشتر پیرولوزیت، پسیلوملان، هولاندیت، براونیت و هماتیت هستند. ساخت‌های توده‌ای، لایه‌ای عدسی و نواری، و بافت‌های دانه پراکنده، پرکننده فضای خالی و جانشینی مهمترین ساخت و بافت ماده معدنی را تشکیل می‌دهند. دگرسانی‌های موجود در منطقه شامل کلریتی، آرژیلیتی، سیلیسی و کربناتی هستند. براساس بررسی‌های زمین‌شیمیایی، بالا بودن نسبت Mn/Fe و پایین بودن مقادیر فلزات کمیاب و به ویژه عناصر Co, Ni و Cu و بالا بودن مقادیر Mn, SiO_2 و Fe به عنوان شواهدی از غنی‌شدگی و تخلیه Mn از سیال‌های گرمابی زیردریایی (برونده‌می) در این نهشته هستند. این شواهد گویای این است که کانسار منگنز هلالان با دو سازوکار؛ غنی‌شدگی در آب دریا توسط سیال‌های گرمابی– برونده‌می و ته‌نشینی در شرایط رسوبی دستخوش تغییرات پتانسیل اکسایش - کاهش (Eh) و pH در محیط دریایی تشکیل شده و یک کانسار آتشفشانی- رسوبی است. با توجه به بررسی‌های انجام شده، کانسار منگنز هلالان بیشترین شباهت را با کانسارهای منگنز نوع کوبا نشان می‌دهد، با این تفاوت که کانسار منگنز هلالان دستخوش یک فاز دگرگونی در حد رخساره شیست سبز نیز شده است.

واژه‌های کلیدی: *منگنز؛ کانی‌شناسی؛ رسوبی- برونده‌می؛ نوع کوبا؛ هلالان.*

مقدمه

انباشت‌های اولیه منگنز در پوسته زمین مربوط به پس از پایان آرکئن میانی و در ارتباط با آبهای سطحی کم عمق بوده است [۱]. تراکم بالای Mn^{+2} در آب دریا در زمان آرکئن در ارتباط با عدم اکسایش این عنصر است [۲]. بزرگترین منابع منگنز به پروتروزئیک پسین مربوط می‌شود. جدایش پانگوئا توسط اقیانوس آرام از اوراسیا و گندوانا آغاز دوره‌های کانه‌زایی منگنز در مزو-سنوزئیک است. در این مرحله از تکامل پوسته زمین، چندین حوضه رسوبی در مزوزوئیک ظاهر شدند که با انباشت بسیار منگنز همراه بودند [۳]. در مقیاس جهانی، بیشترین مقدار منگنز جهان در استرالیا، برزیل، چین، هند، آفریقای جنوبی و اوکراین کشف شده است و بیش از ۸۰ درصد منگنز جهان در آفریقای جنوبی و اوکراین یافت می‌شود. با توجه به بررسی‌های زمین‌شیمیایی، تشکیل منگنز علاوه بر توانایی اکسایش بالای آن که ناشی از پتانسیل احیای قوی آن است، به در دسترس بودن اکسیژن و زمین‌شیمی محیط نیز

*نویسنده مسئول، تلفن: ۰۹۱۲۵۷۳۱۴۳۱، نمابر: ۰۲۳-۳۲۳۹۶۰۰۷، پست الکترونیکی: faraj_fardoost@yahoo.com

[Downloaded from ijcm.ir on 2024-05-14]

[DOI: 10.29252/ijcm.26.4.945]

وابسته است [۴]. اکسیدهای منگنز در محیط‌های مختلف از جمله محیط‌های خشکی و دریایی توسط فرایندهای آبزادی، روزادی (هوازدگی)، و گرمابی تشکیل می‌شوند [۵]. هین [۶]، نهشته‌های اکسیدی منگنز در محیط های اقیانوسی را بر اساس خاستگاه به سه دسته تقسیم کرده است که عبارتند از: ۱) گرهک‌های پوسته‌ای فرومنگنز آبزاد که از آب دریا رسوب می‌کنند، ۲) گرهک‌های منگنز درونزادی که از سیال‌های موجود در منافذ رسوب می‌کنند و ۳) کانسارهای منگنز گرمابی که از صعود سیال‌های گرمابی در دمای پایین رسوب می‌کنند. بر اساس شواهد زمین‌شناسی، کانی‌شناسی و زمین‌شیمی، کانساز منگنز هلالان در گروه گرمابی قرار می‌گیرد. در این پژوهش، براساس پی جویی‌های صحرایی و آزمایشگاهی محیط زمین‌شناسی ته‌نشست، سنگ میزبان ماده معدنی، شکل هندسی، کانی‌شناسی، ساخت و بافت، زمین‌شیمی، خاستگاه و چگونگی تشکیل آن بررسی شده است.

روش بررسی

در این پژوهش، پس از تهیه نقشه زمین‌شناسی ۱:۶۰۰۰۰ منطقه با استفاده از تصاویر ماهواره‌ای و پیمایش صحرایی و با استفاده از نقشه ۱:۱۰۰۰۰۰ کلاته رشم، تعداد ۷۰ نمونه از کانسنگ منگنز و سنگ‌های دربرگیرنده آن در پیمایش‌های عمود بر امتداد ماده معدنی (بر پایه تغییرات کانی‌شناسی، سنگ‌شناسی و دگرسانی) برداشت شد. در بررسی‌های آزمایشگاهی، تعداد ۵۰ نمونه با روش‌های میکروسکوپی نور شکستی و بازتابی جهت تعیین روابط بافتی، همبرزایی و کانی‌شناختی و سنگ‌شناسی، ۷ نمونه به روش پراش پرتوی ایکس (XRD) جهت کانی‌شناسی، ۲ نمونه به روش کمی-نقطه‌ای با ریزپردازنده الکترونی، تعداد ۹ نمونه توسط طیف-سنجی فلئورسانس پرتوی ایکس (XRF) جهت تعیین مقادیر عناصر اصلی و فرعی و تعداد ۱۲ نمونه از سنگ‌های منطقه به عنوان نماینده برای تجزیه عناصر اصلی و کمیاب به روش طیف‌سنجی نشر نوری پلاسمای جفت شده القایی (ICP-OES) پس از انحلال ۰٫۲ گرم از پودر سنگ و ۱٫۵ گرم $LiBO_2$ در ۱۰۰ میلی‌لیتر ٪۵ HNO_3 بررسی شدند و افت گرمایی (LOI) با خشک کردن نمونه‌ها در ۱۰۰۰ درجه سانتی‌گراد مشخص شد. تجزیه عناصر خاکی نادر به روش ICP-OES در آزمایشگاه شرکت فرآوری موادمعدنی ایران انجام شد. حد تشخیص حدود ۰٫۱-۰٫۰۱ برای اکسیدهای اصلی و ۱۰-۰٫۱ ppm برای عناصر کمیاب و ۰٫۵- ۰٫۰۱ ppm برای عناصر خاکی نادر بود.

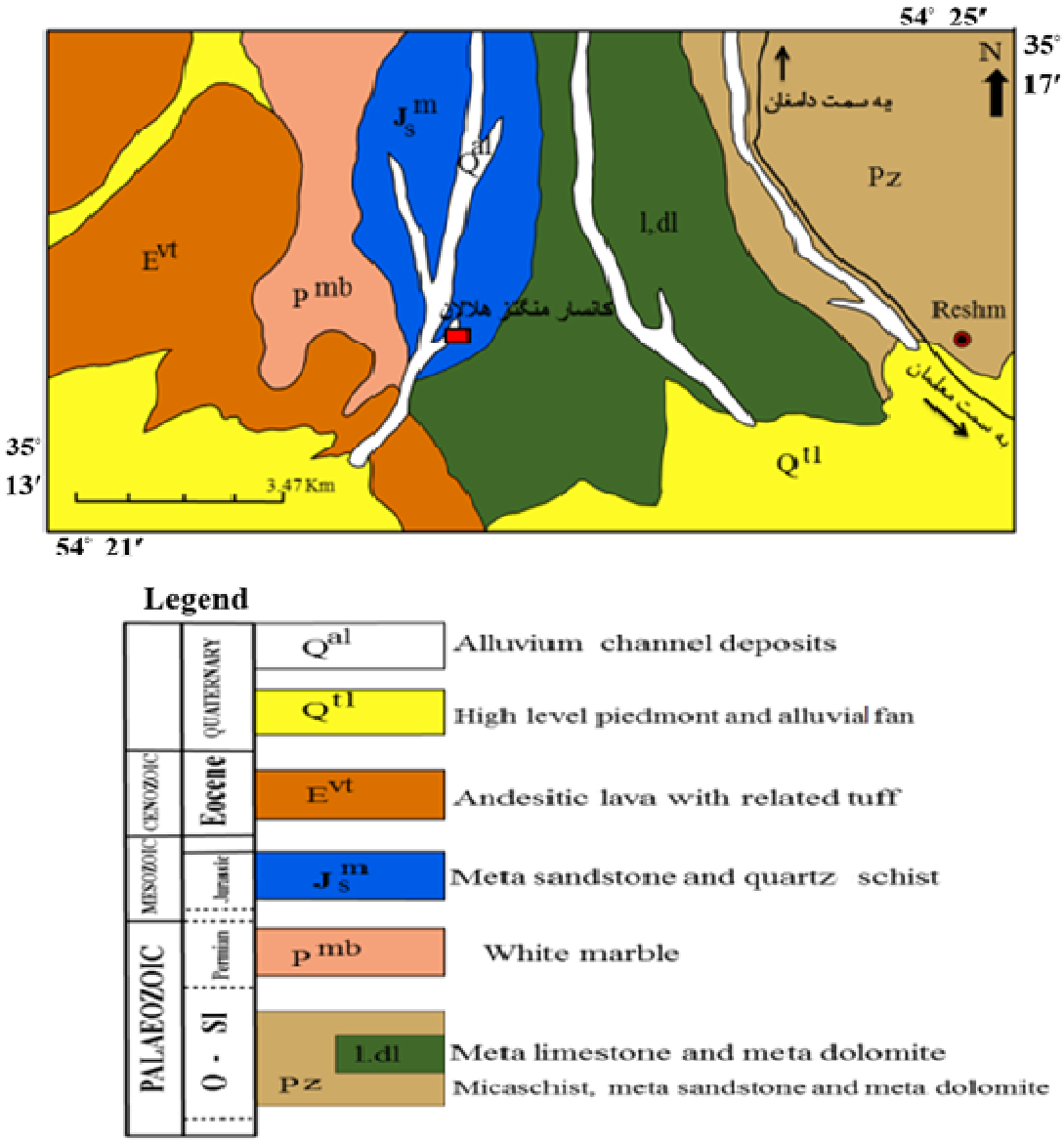
زمین‌شناسی منطقه مورد بررسی

کانسارهای منگنز و فرومنگنز با شرایط زمین‌شناسی و سنی مختلف در ایران شناسایی شده‌اند. از جمله آنها می‌توان به کانسارهای منگنز استان یزد (ایران مرکزی) با خاستگاه آتشفشانی- بروندمی و کانسار منگنز بنوید در جنوب نائین (استان اصفهان) با خاستگاه سدکس و کانسار کمر تالار در پهنه ساختاری سیستان در شرق ایران [۷]، کانسار منگنز سنگان در ایران مرکزی با خاستگاه آتشفشانی و گرمابی [۸]، و کانسار منگنز ونارچ در استان قم با خاستگاه آتشفشانی- رسوبی [۹] اشاره کرد. کانسار منگنز هلالان از نظر زمین‌شناسی ساختاری در پهنه ایران مرکزی و در نوار آتشفشانی- رسوبی ترود- چاه شیرین قرار دارد. این نوار از دیرباز مورد توجه معدنکاران بوده است. وجود گستره‌ای از شواهد و آثار معدنکاری قدیمی و باستانی در جای‌جای ناحیه که بیشتر به منظور استخراج فلزات پایه، طلا و فیروزه صورت گرفته است، دلالت بر پیشینه طولانی معدنکاری در این ناحیه دارد. کانسار منگنز هلالان در ۱۲۲ کیلومتری جنوب دامغان، منطقه هلالان، حدود ۱۶ کیلومتری غرب روستای رشم و در مختصات جغرافیایی ″۵۲ '۲۱ °۵۴ تا ″۰۰ '۲۵ °۵۴ طول شرقی و ″۰۵ '۱۳ °۳۵ تا ″۴۱ '۱۷ °۳۵ عرض شمالی قرار گرفته است.

سنگ شناسی منطقه مورد بررسی

نقشه زمین‌شناسی گستره معدنی براساس بررسی‌های صحرایی، تصاویر ماهواره‌ایی و نقشه ۱:۱۰۰۰۰۰ کلاته رشم [۱۰]، تهیه شد (شکل ۱). عمده‌ترین واحدهای سنگی موجود در منطقه معدنی مورد بررسی، سنگ‌های دگرگونی با سن ژوراسیک پیشین هستند. این مجموعه شامل انواع شیست (کلریت-شیست، مسکویت‌شیست و شیست‌های اپیدوتی)، سنگ‌های کربناته (آهک و دولومیت) و توف لاپیلی نادگرگونه هستند. در ادامه هر یک از این واحدها توصیف می‌شوند.

[Downloaded from ijcm.ir on 2024-05-14]
[DOI: 10.29252/ijcm.26.4.945]



شکل ۱ نقشه زمین‌شناسی ۱:۶۰۰۰۰ منطقه هلالون بر اساس تصاویر ماهواره‌ای و نقشه ۱:۱۰۰۰۰۰ کلاته رشم [۱۰].

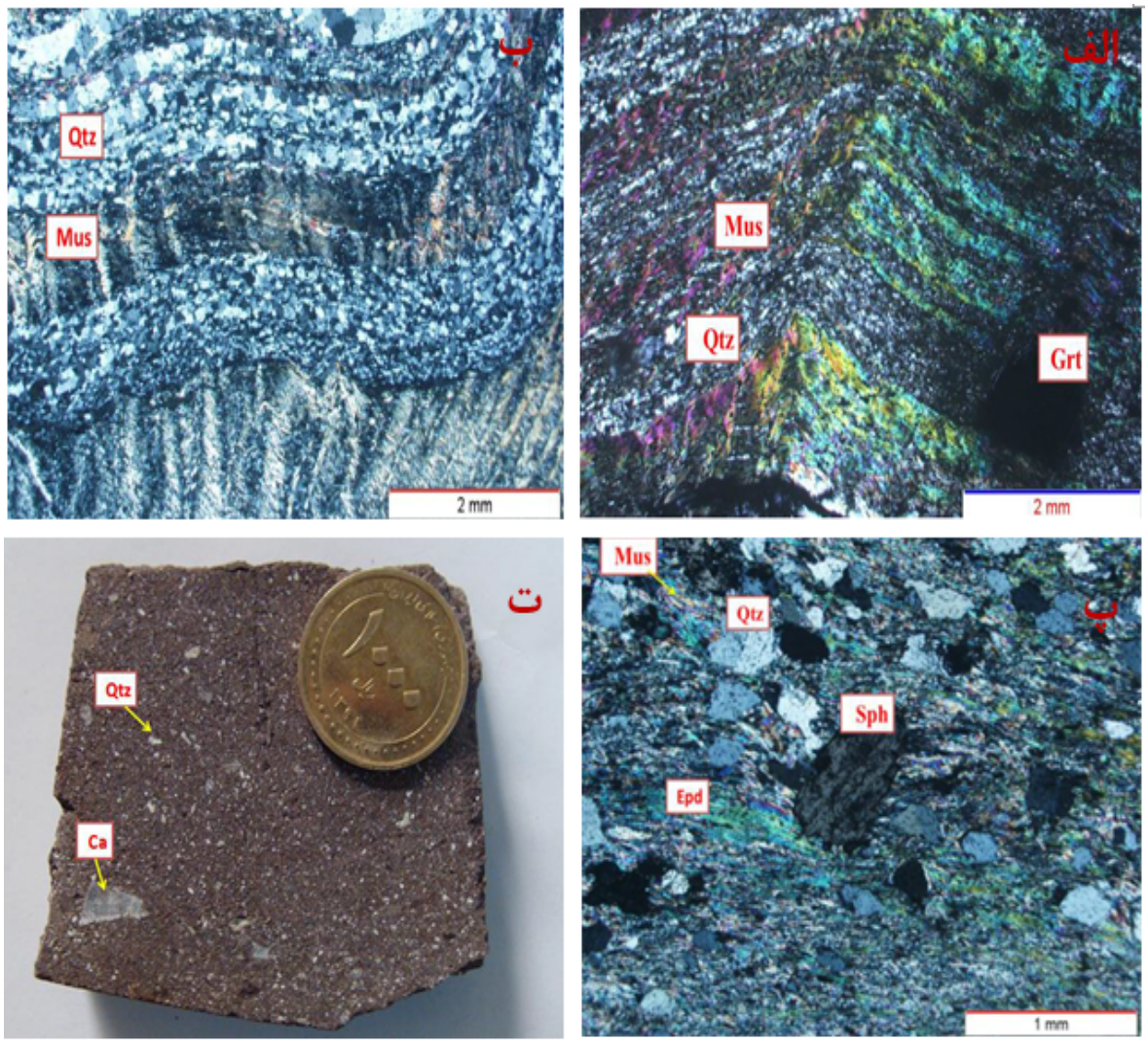
کلریت شیست: در بررسی‌های صحرایی، واحد کلریت شیست با روند E – W<60° S و با ریختار خشن و رنگ سبز همراه با ریزچین‌های ناشی از زمین‌ساخت، کمر پایین و کمربالای پهنه دگرسان و کانه‌دار را در بر می‌گیرد. کانی‌های اصلی تشکیل دهنده این واحد شامل بیوتیت‌های درشت کلریتی شده، پلاژیوکلاز، کوارتز و مسکویت به صورت ذرات ریز در زمینه هستند. کانی‌های اسفن، روتیل و گارنت به صورت قطعات شکفته بلور از جمله کانی‌های فرعی هستند. بافت این سنگ‌ها شکفته بلوری و ورقه شکفتی بوده و حضور کانی‌های کلریت به طور گسترده در جهت برگوارگی در واقع به سنگ حالت جهت-یافتگی و برگوارگی فاحشی داده است (شکل ۲ الف). ترکیب اولیه سنگ را بر اساس نوع کانی‌های موجود، حد واسط تا بازی در نظر می‌گیرند که در درجه رخساره شیست سبز دگرگون شده است و سنگ اولیه آنها بر اساس بررسی‌های بافت و کانی-شناسی، احتمالاً گدازه‌های آندزیتی بازالتی بوده است.

مسکویت شیست: در بررسی‌های صحرایی این واحد با ریختار نرم و سست و با رنگ روشن تا قرمز، به همراه سنگ‌های کربناته دگرگون شده، بخش کمربالای پهنه دگرسان و کانه‌دار را در بر می‌گیرد. این واحد با ضخامت متغییر همراه با میان-لایه‌هایی از عدسی‌های کوارتزی سفید و بلوری به موازات برگوارگی تشکیل شده‌اند. کانی‌های اصلی این واحد شامل بیوتیت‌های درشت، مسکویت، سریسیت، ارتوز، کوارتز و کلسیت

[Downloaded from ijcm.ir on 2024-05-14]
[DOI: 10.29252/ijcm.26.4.945]

است. وجود کانی‌های میکایی چون مسکویت و سریسیت، سبب شیست وارگی کاملاً مشخص در این واحد گردیده و این امر (برگوارگی)، سبب عدم مقاومت آن در برابر هوازدگی شده است. در این واحد نوارهای غنی از میکا (مسکویت و سریسیت) و غنی از سیلیکات (کوارتز و فلدسپات) دچار چین‌خوردگی شده‌اند (شکل ۲ ب). تفکیک نوارهای غنی از کوارتز نسبت به نوارهای غنی از فیلوسیلیکات‌های صفحه‌ای به ویژه مسکویت و سریسیت، یکی از مهمترین ویژگی‌های بافتی واحد مسکویت شیست است.

شیست‌های سبز اپیدوتی شده: بر اساس شواهد صحرایی، این واحد به صورت همروند با واحدهای رخنمون یافته در منطقه همراه با ریزچین‌ها، در لبه‌ی جنوبی پهنه دگرسان و کانه‌دار قرار دارد شیست‌های سبز با رنگ سبز چمنی دستخوش اپیدوتی شده‌اند. کانی‌های تشکیل دهنده‌ی این واحد شامل اپیدوت، مسکویت، کوارتز و پلاژیوکلاز و شکفته‌بلورهای اسفن هستند (شکل ۲ پ). اپیدوت و مسکویت به صورت خطواره‌هایی در امتداد شیست‌وارگی جهت یافته و دارای چین‌خوردگی دیده می‌شوند.



شکل ۲ الف) تصویر میکروسکوپی از واحد کلریت شیست با حضور کانی‌های مسکویت، کلریت، کوارتز و گارنت به صورت قطعات شکفته‌بلور. ب) تصویر میکروسکوپی از تفکیک نوارهای غنی از میکا (مسکویت و سریسیت) نسبت به نوارهای غنی از کوارتز چین خورده در واحد مسکویت شیست. پ) تصویر میکروسکوپی واحد شیست اپیدوتی با حضور کانی‌های اپیدوت، مسکویت، کوارتز، پلاژیوکلاز و اسفن و ت) تصویر نمونه دستی از توف لاپیلی نادگرگونه، با حضور کلسیت و کوارتز با بافت بادامکی. Mus: مسکویت؛ Chl: کلریت؛ Qtz : کوارتز؛ Grt : گارنت؛ Epd : اپیدوت؛ Plg : پلاژیوکلاز؛ Sph : اسفالریت، Ca : کلسیت.

[Downloaded from ijcm.ir on 2024-05-14]
[DOI: 10.29252/ijcm.26.4.945]

سنگ‌های کربناته دگرگون شده: سنگ‌های کربناته دگرگون شده شامل آهک‌های دگرگون و متبلور و دولومیت‌های دگرگون شده هستند. آهک‌ها نیز همانند واحدهای دیگر منطقه، در اثر دگرگونی به آهک‌های دگرگون شده با بافت لایه‌ای و بلورین تبدیل شده‌اند. آهک‌های دگرگون منطقه به دلیل سختی متفاوت با سایر سنگ‌شناسی‌ها (مانند شیست‌ها)، دگرشکلی نیز، به صورت شکستگی و خردشدگی در این واحد قابل مشاهده است. درزه‌ها و شکستگی‌های فراوان برآمده از فشارهای زمین‌ساختی توسط سیلیس و کلسیت پر شده‌اند. در بررسی‌های میکروسکوپی، دولومیت و کلسیت بلوری با رخ لوزی رخ می‌شوند.

توف لاپیلی نادگرگونه: این واحد در قسمت شمالی گستره معدنی به صورت همروند با دیگر واحدهای رخنمون یافته در منطقه رخنمون دارد. این واحد به صورت بین‌لایه‌ای بین کلریت شیست‌ها با ضخامت حدود 15 متر در کمر پایین افق کانه‌دار قرار گرفته است. حفره‌های موجود در این سنگ‌ها توسط کوارتز و کلسیت پر شده و بافت بادامکی را ایجاد کرده‌اند (شکل ۲ ت).

دگرگونی: واحدهای سنگی منطقه مورد بررسی، در اثر فرآیندهای پیچیده دگرگونی شکل گرفته‌اند. در کانسار منگنز هلالان، دگرگونی طی دو مرحله رخ داده است: دگرگونی اول معادل سیمرین جوان (ژوراسیک پایانی) باعث بهم ریختگی لایه بندی اولیه شده است و دگرگونی دوم (معادل لارامید) باعث چین خوردگی لایه‌ها شده است. در کانسار منگنز هلالون، با توجه به حضور کانی‌های کوارتز، کلریت، مسکویت، سریسیت و اپیدوت است. کلسیت و اسفن نیز گاهی در مقادیر متفاوت، بسته به سنگ‌شناسی اولیه، تشکیل شده‌اند در این کانسار تنها دگرگونی درجه پایین (رخساره شیست سبز) برونزد دارد.

کانه‌زایی و دگرسانی منطقه مورد بررسی

کانه‌زایی منگنز در منطقه هلالان در یک افق اصلی و به شکل چینه‌سان به صورت لایه‌ای شکل و هم‌شیب با سنگ‌های دربرگیرنده رخ داده است. ولی در محل سینه کار اصلی با افزایش ضخامت (حدود ۲۰ متر)، کانسار شکل عدسی به خود گرفته است. کانه‌زایی بر اساس کانی‌شناسی، ساخت و بافت و نوع ارتباط با سنگ میزبان، به سه رخساره متفاوت شامل رخساره رگه- رگچه‌ای، رخساره کانسنگ توده‌ای و رخساره کانسنگ لایه‌ای تفکیک می‌شود.

در بخش کمرپایین کانسار، کانه‌زایی به شکل شبکه‌ای از رگه- رگچه‌ها در شیست‌ها و کربنات‌ها دیده می‌شود. این رگه- رگچه‌ها دربردارنده کانی‌های سیلیس و منگنز هستند. رخساره کانسنگ توده‌ای، به ضخامت متوسط ۲۰ متر و با هندسه عدسی شکل ضخیم‌ترین و پرعیارترین بخش کانسار را تشکیل می‌دهد. کمرپایین این برون‌زد شامل کلریت شیست، مسکویت شیست و سنگ‌های کربناته دگرگون شده و متبلور و کمربالای آن شامل کلریت شیست است. کانی‌های تشکیل دهنده این رخساره پیرولوزیت و پسیلوملان هستند.

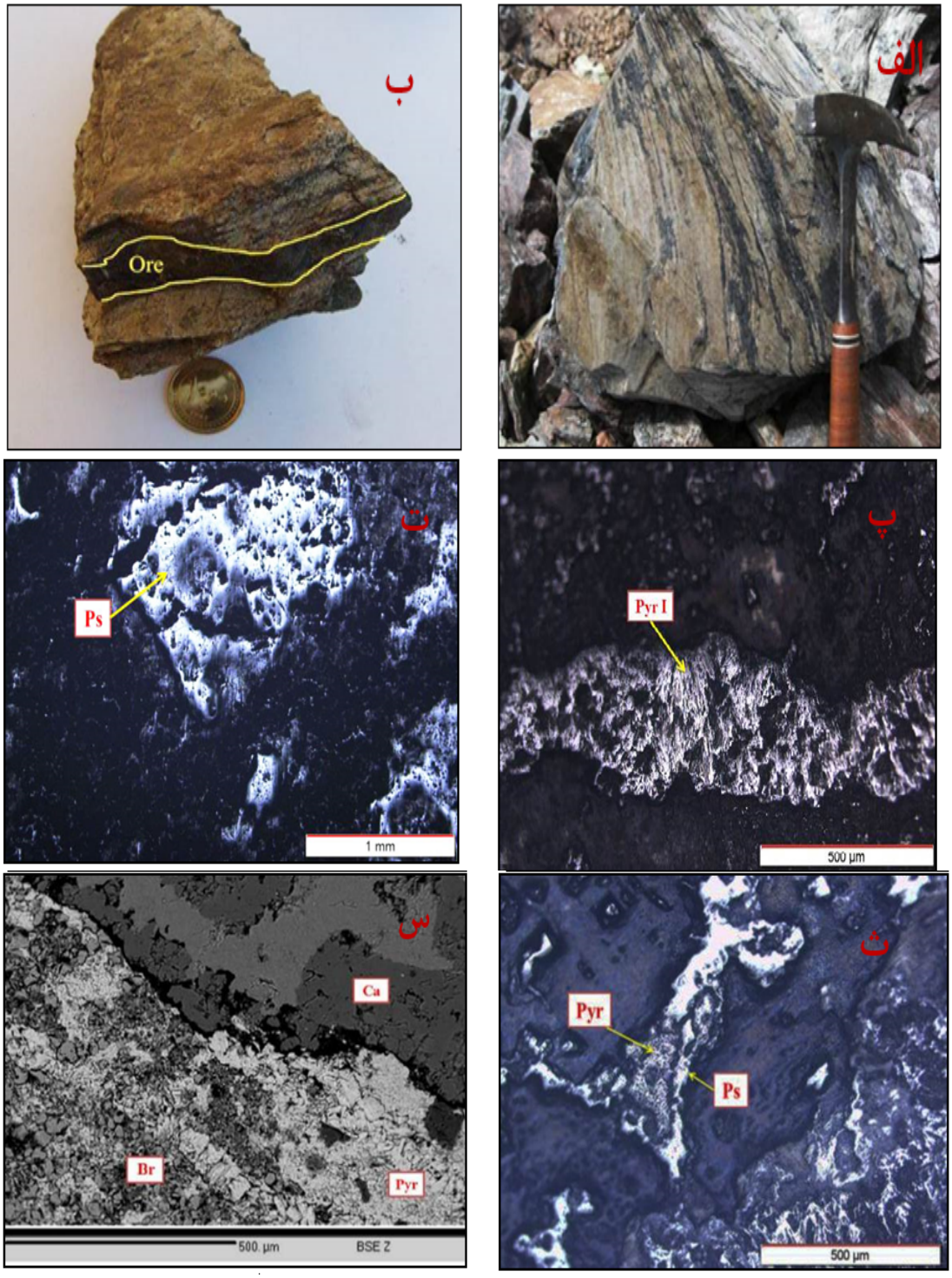
رخساره کانسنگ لایه‌ای در بین شیست‌های منطقه به صورت هم‌روند (چینه‌سان) با آن‌ها تشکیل شده است و شامل تناوبی از لایه‌های متعدد اکسیدی متشکل از پسیلوملان و پیرولوزیت است که توسط لایه‌های ترکیبات سنگ دربرگیرنده از هم جدا می‌شوند. در بیشتر موارد این لایه‌ها دارای به هم- ریختگی و بی‌نظمی‌هایی هستند که نشان دهنده تأثیر فرایند دگرگونی است. سنگ‌های کمر بالا و کمر پایین کانسار به طور گسترده دستخوش دگرسانی کلریتی و آرژیلیتی شده‌اند. دگرسانی کربناتی (به صورت کلسیت و دولومیت) اغلب همراه با دگرسانی سیلیسی (در قالب کوارتز) در همه واحدهای سنگی به صورت رگه- رگچه‌ای دیده می‌شوند.

کانی‌شناسی، ساخت و بافت

براساس مشاهدات صحرایی، نمونه دستی و میکروسکوپی، مهم‌ترین ساخت‌های عبارتند از لایه‌ای، عدسی، توده‌ای، رگه‌ای و مهم‌ترین بافت‌ها شامل توده‌ای، نواری (شکل‌های ۳ الف و ب)، رگه- رگچه‌ای، دانه پراکنده، پرکننده فضای خالی، جانشینی و کلوفرمی هستند. کانی‌سازی در کانسار منگنز هلالان به دو شکل اکسیدی و سیلیکاتی دیده می‌شود. پیرولوزیت، پسیلوملان و هولاندیت به عنوان کانی‌های اکسیدی و براونیت به عنوان کانی سیلیکاتی منگنز، کانی‌های اصلی تشکیل‌دهنده ماده معدنی هستند. منگنز بیشتر از کانی‌های اکسیدی خود، از جمله پیرولوزیت، پسیلوملان و مانگانیت استخراج می‌شود [۱۱]. رسوب اکسیدهای منگنز گرمابی به سرعت و در اثر اکسایش Mn^{+2} صورت می‌گیرد. کانسارهای دما پایین منگنز در نتیجه برهم‌کنش سیال‌های گرمابی دما پایین با اکسیژن در سنگ میزبان و اغلب از ته‌نشینی اکسیدهای منگنز تشکیل می‌شوند [۱۲]. با وجود اینکه اکسیدهای منگنز به عنوان فاز اولیه در رسوبات تشکیل می-

[Downloaded from ijcm.ir on 2024-05-14]
[DOI: 10.29252/ijcm.26.4.945]

شوند، اما به طور مداوم توسط فرآیندهای ثانویه (درونزادی) به فازهای دیگر تبدیل می‌شوند [۱۳]. کانی‌های رسی از جمله مونتموریونیت و کلینوکلر و کوارتز، اسپسارتین، ولاستونیت، کلسیت و سنگ‌گچ از رایج‌ترین باطله‌ها در کانسار منگنز هستند که درجه خلوص ماده معدنی را پایین می‌آورند [۱۴].



شکل ۳ الف) تصویر صحرایی از بافت لایه‌ای و نواری، ب) ساخت لایه‌ای در نمونه دستی، پ) تصویر میکروسکوپی از پیرولوزیت‌های اولیه (نسل اول با بافت رشته‌ای و سوزنی. ت) تصویر میکروسکوپی بافت توده‌ای از کانی پسیلوملان، ث) تصویر میکروسکوپی از بافت جانشینی، (جانشین شدن پسیلوملان توسط پیرولوزیت) و ج) تصویر میکروسکوپی الکترون‌های پس پراکنده از کانی براونیتPyr: پیرولوزیت، Ps: پسیلوملان و Br: براونیت.

[Downloaded from ijcm.ir on 2024-05-14]
[DOI: 10.29252/ijcm.26.4.945]

پیرولوزیت و پسیلوملان به پیرولوزیت کانی غالب منگنز است که به صورت اولیه (نسل اول) با بافت رشته‌ای و سوزنی (شکل ۳ پ) و به صورت ثانویه (نسل دوم) با بافت توده‌ای دیده می‌شود. پسیلوملان بیشتر بافت‌های توده‌ای (شکل ۳ ت)، نواری و کلوفرمی نشان می‌دهد. شکل کلوفرمی کانی‌ها در کانسار منگنز اغلب از دگرسانی پسیلوملان، پیرولوزیت و کانی-های باطله تشکیل می‌شوند [۱۵]. بافت کلوفرمی هم‌چنین نشانگر کانی‌سازی در محیط آرام، کم‌عمق و دمای پایین است. بافت جانشینی پسیلوملان و پیرولوزیت (شکل ۳ ث) می‌تواند خاستگاه گرمابی این کانسارها را تأیید کند [۱۶]. بافت رگه-رگچه‌ای به عنوان یکی از عمده‌ترین سیماهای ماده معدنی در بخش کانه‌دار، کانی‌شناسی ساده دارد و متشکل از کانی‌های کوارتز و کلسیت به همراه کانه‌زایی اکسیدهای منگنز از جمله پیرولوزیت و پسیلوملان است. شکل اولیه کانی پیرولوزیت در کانسار منگنز گرمابی معمولاً به شکل رگه- رگچه‌ای دیده می-شود [۱۵].

کانی براونیت (سیلیکات منگنز) (شکل ۳ س) از معمول‌ترین کانی‌های منگنز با خاستگاه گرمابی است. این کانی در نمونه دستی به رنگ خاکستری یا رنگ خاکه سیاه قابل شناسایی است. براونیت در اندازه‌های بسیار ریز تا درشت دیده می‌شود و به اصطلاح به آن کانی قیمتی گفته می‌شود [۱۷]. براونیت به همراه کوارتز از رایج‌ترین کانی‌ها در کانسارهای درونزاد منگنز هستند. می‌توان گفت که براونیت به عنوان یک فراورده درونزادی اولیه رخ می‌دهد [۱۴]. بر اساس پژوهش رجب زاده و همکاران [۱۴] براونیت طی درونزادی: از واکنش میان اکسیدهای منگنز و محلول گرمابی و همچنین واکنش میان اکسیدهای منگنز با سیلیس موجود در رسوبات تشکیل شده است که این واکنش در دمای پایین و فشار بالا صورت می‌گیرد [۱۸]

$$SiO_2 + 7MnO_2 \longrightarrow 3Mn_2O_3.MnSiO_3 + 2O_2$$

در بررسی‌های انجام شده، کانی هولاندیت به عنوان یک کانی اکسیدی منگنز توسط نتایج پراش پرتوی ایکس شناسایی شد. هولاندیت از جمله کانی‌هایی است که در کانسارهای منگنز گرمابی دما پایین تشکیل می‌شود [۱۲]. پیریت به عنوان کانی سولفیدی و هماتیت به عنوان کانی اکسیدی، تنها کانی-های آهن موجود در این کانسار هستند. هماتیت به صورت دانه پراکنده، سوزنی شکل و تیغه‌ای ظریف قابل مشاهده است. این کانی به صورت دانه پراکنده در سنگ‌های کمرپایین دیده می-شود. بافت پرکننده فضاهای خالی از دیگر بافت‌های دیده شده در کانسار است که بیشتر دربردارنده انواع اکسیدهای منگنز و اغلب پیرولوزیت است. تناوب لایه‌های منگنزدار (نوارهای سیاه) و شیست‌ها نیز بافت نواری را در کانسار هلالان تشکیل داده است. این بافت نشانگر هم‌زمانی نهشتگی منگنز با رسوب‌گذاری است و شرایط رسوبی اولیه را نشان می‌دهد. کانسارهای منگنز دما بالا با کانسارهای منگنزنواری از نظر ظاهری یکسان هستند [۱۲]. این لایه‌ها به طور عمده از پیرولوزیت و پسیلوملان که از جمله کانی‌های دما بالا تا متوسط هستند، تشکیل شده‌اند. در بررسی‌های میکروسکوپی، علاوه بر کانی‌های اکسیدی منگنز کانی‌های کوارتز و کلسیت نیز دیده می‌شوند. دانه‌های پراکنده اکسیدهای منگنز در متن کلریت شیست‌ها و سنگ‌های کربناته دیده می‌شود. ویژگی‌هایی از قبیل لایه‌بندی، ساختار کلوفورمی و سیلیکات‌های باقی‌مانده نشاندهنده ماهیت ثانویه هستند که از دگرسانی سیلیکات‌های منگنزدار در توالی همبرزادی اولیه تشکیل شده‌اند [۱۵]. لایه‌ای بودن کانسنگ و بافت کلوفورمی شواهدی بر خاستگاه آتشفشانی- رسوبی و رسوبگذاری در یک محیط دریایی هستند [۲۰]. براساس بررسی‌های کانی‌شناسی و ساخت و بافت مشاهده شده در کانسار منگنز هلالان، توالی همبرزایی کانی‌ها در چهار مرحله بروندمی- رسوبی، درونزایی، دگرگونی و برونزایی (هوازدگی) در جدول (۱) نشان داده شده است.

زمین‌شیمی

به منظور بررسی روابط زمین‌شیمیایی در سنگ میزبان و کانسنگ منگنز، با استفاده از نتایج تجزیه شیمیایی ۱۲ نمونه (جدول‌های ۲ و ۳)، برخی از عناصر اصلی، جزئی و کمیاب در زیر بیان می‌شود. استفاده از معیارهای زمین‌شیمیایی برای تشخیص کانسارهای فرومنگنز با خاستگاه متفاوت به خوبی اثبات شده است [۸]. در میان اکسیدهای اصلی مقدار منگنز، آهن و تیتانیوم برای تمایز خاستگاه کانسارهای منگنز مهم هستند [۲۰]. براساس بررسی‌های انجام شده، تراکم پایین Al و Ti و همچنین تراکم بالای عناصر Mn، Co، Mo، Cd و Ba نشاندهنده سهم این عناصر در تشکیل کانسارهای گرمابی منگنز هلالون است [۲۱، ۲۲]. باتوجه به جدول ۳، Na و Ca در نمونه‌های مورد بررسی، فراوانی کمی را نشان می‌دهند. این عناصر ممکن است در اثر تبادل یونی با آهن تمرکز پیدا کرده

[Downloaded from ijcm.ir on 2024-05-14]
[DOI: 10.29252/ijcm.26.4.945]

باشند. [۲۳]. در کانسارهای گرمابی، منگنز، مقادیر پایین Cu (5-1000ppm)، Ni (5-364 ppm)، Zn (7-283) و Co (5-179) به رسوب سریع این کانسار نسبت داده شده است [۲۴].

زمین‌شیمی عناصر کمیاب سنگ میزبان

نمودارهای مختلفی برای تشخیص خاستگاه انواع کانسارهای منگنز با استفاده از عناصر کمیاب و عناصر اصلی پیشنهاد شده است. این نمودارها برای تمایز کانسارهای گرمابی (قاره‌ای یا دریایی) و آبزادی استفاده می‌شوند. Ce و Eu دو عنصر مهم از عناصر کمیاب هستند که برای تعیین منبع سیال و پتانسیل احیای محیط استفاده می‌شوند [۸]. چنانکه نمودار عنکبوتی (شکل ۴ الف)، [۲۵] بی‌هنجاری منفی از Ce را نشان می‌دهند. در مورد بی‌هنجاری منفی Ce در کانسارهای منگنز نظریه‌های متعددی ارائه شده است که در تفسیر محیط تشکیل این کانسارها بسیار اهمیت دارد. بی‌هنجاری منفی Ce برای بسیاری از کانسارهای گرمابی گزارش شده‌اند [۲۳] که می‌تواند نشان دهنده رسوبگذاری سریع کانی‌های منگنزدار باشد [۲۶]. کانسارهای آبزادی معمولاً بی‌هنجاری مثبت از Ce را نشان می‌دهند که در مقابل کانسارهای گرمابی با بی‌هنجاری منفی Ce قرار می‌گیرند. [۲۳]. بی‌هنجاری منفی Ce همچنین می‌تواند ناشی از گریزندگی بالای اکسیژن در سیال‌های گرمابی باشد که نتیجه اکسایش Ce^{+3} و عدم تحرک Ce^{+4} است [۲۷]. براساس بررسی‌های نادن و همکاران [۲۷]، بی‌هنجاری منفی Ce نشاندهنده خاستگاه آب دریا برای عناصر خاکی نادر (REE) است. از آنجاکه تراکم Sr با افزایش دما و شوری آب دریا افزایش می‌یابد [۲۸]، تراکم بالای Sr در کانسار منگنز هلالان (ppm ۵۳۹۸-۸۰۰)، می‌تواند نشاندهنده تشکیل کانسار منگنز در محیط رسوبی دریایی با شوری بالا باشد [۱۳].

جدول ۱ توالی همبرزادی کانی‌ها در کانسار منگنز هلالان.

Stage / Minerals		Volcano-Sedimentary	Diagenesis	Metamorphism and deformation	Weathering (Supergene)
Pyrolusite		▬	▬	▬	▬
Psilomelan		▬	▬		
Braunite		▬	▬		
Hollandite		▬			
Hematite		▬			
Pyrite		▬			
Quartze		▬	▬		
Calcite		▬			
Gypsum					▬
Textures	Masive	▬			
	Banded-Laminated	▬			
	Disseminate	▬			
	Replacement	▬	▬	▬	
	Vain-Veinlet	▬	▬	▬	
	Colloform	▬	▬		

جدول ۲ مقادیر درصدی اکسیدهای اصلی بر حسب درصد وزنی به دست آمده از روش XRF

شماره نمونه	A-1	A-2	A-3	A-4	A-5	A-6	A-7	A-8	A-9
SiO_2	۵۳٫۶	۷۷٫۹	۵۹٫۱۷	۵۸٫۸	۳۲٫۱	۲۴٫۸	۲۹٫۴	۲۲٫۳	۱۶٫۸
TiO_2	۱٫۷	۰٫۴	۱٫۹	۰٫۹	۰٫۳	۰٫۱	۰٫۱۲	۰	۰
Al_2O_3	۱۳٫۴	۱۳٫۴	۲۱٫۲	۲۳٫۹	۵٫۹	۱٫۹	٫۹	۲٫۸	۱٫۹
Fe_2O_3	۱۱٫۸	۲٫۵	۳٫۲	۶٫۹	۴٫۹	۱٫۵	۳٫۷	۴٫۲	۳٫۷
MnO	۰٫۱۲	۰	۰٫۰۵	۰	۵۰٫۴۱	۶۶٫۲۸	۴۵٫۶	۲۴٫۹	۴۳٫۵
MgO	۱۱٫۱	۱٫۹	۱٫۰۴	۳٫۴	۱٫۷	۱٫۲	۱٫۳	۲٫۴	۲٫۹
CaO	۶٫۳	۰٫۰۹	۳٫۷	۰	۲٫۹	۱٫۵	۱۳٫۲	۴۰٫۳	۳۰٫۹
Na_2O	۰٫۱	۰	۳٫۸	۰٫۹	۰٫۱	۰٫۳	۰٫۳	۰	۰
K_2O	۱٫۵	۳٫۸	۵٫۲	۵٫۰۴	۱٫۱	۲٫۳	۱٫۴	۰٫۳	۰٫۳
LOI	۱۱٫۹	۱٫۷	۸٫۹	۳٫۸۴	۱۳٫۹	۱۳	۲۲٫۳	۲۱٫۹۷	۲۰٫۳

[Downloaded from ijcm.ir on 2024-05-14]
[DOI: 10.29252/ijcm.26.4.945]

جدول ۳ مقادیر عناصر فرعی و کمیاب برحسب ppm.

شماره	A-1	A-2	A-3	A-4	A-5	A-6	A-7	A-8	A-9	A-10	A-11	A-12
Ag	۰٫۰۰۱	۰٫۰۰۱	۰٫۰۰۵	۰٫۰۲	۰٫۰۱۵	۰٫۰۱	۰٫۰۱	۰٫۰۱	۰٫۰۱	۰٫۰۰۱	۰٫۰۰۱	۰٫۰۰۱
Pb	۱۱۳	۲۱	۳۷	۳۷۷	۴۵۰	۴۲۸	۱۴۰	۴۶۲	۲۰۷	۵	۶	۲۴۷۳
Cu	۲۰	۱۳٫۳	۱۸۹	۹۳	۶۵۸	۱۴۱	۶۸۰	۱۳۶۷	۱۸۲۸	۱۱	۲۹	۱۳٫۳
Cr	۲۵	۳۵	۲۳	۹	۱۱	۱۴	۲۷	۱۶	۱۲	۲۷۵	۱۰۷	۹
Mo	۲٫۱	۰٫۷۵	۲۹	۴۰٫۷	۵۷	۱۸٫۱	۲۴٫۹	۵٫۶	۹٫۸	۰٫۷۵	۰٫۷۵	۰٫۷۵
Bi	۱۳٫۳	۱۳٫۳	۱۳٫۳	۴۳	۲۴	۱۴	۲۱	۱۱	۱۸	۱۳٫۳	۱۳٫۳	۱۳٫۳
Fe	۱۰۸۰۰	۰	۶۸۰۰۰	۰٫۷	۲۱۹۰۰	۱۷۴۰۰	۲۸۵۰۰	۰	۰	۱۲۵۰۰	۰	۰٫۷۵
Co	۱۳٫۳	۱۳٫۳	۲۰	۱۳٫۳	۲۷	۱۳	۳۰	۱۹۷	۷۸	۳۸	۲۰	۱۳٫۳
Ni	۱۸	۱۶	۳۰۲	۱۵۷	۱۶۴	۶۹	۳۴۸	۳۶۴	۱۷۰	۱۳۷	۷۲	۱۳٫۳
Ti	۶۰۰	۱۳۰۰	۱۰۰۰	۰٫۰۸	۲۰۰	۹۰۰	۲۱۰۰	۰٫۰۸	۰٫۰۸	۹۵۰۰	۲۹۰۰	۰٫۰۸
Sb	۲۱	۱۳٫۳	۱۳٫۳	۱۱	۱۳٫۳	۱۳٫۳	۱۳٫۳	۱۳٫۳	۱۳٫۳	۱۳٫۳	۱۳٫۳	۱۳٫۳
S	۵۰۰	۶۰۰	۷۰۰	۱۱۰۰	۱۷۰۰	۱۱۰۰	۲۲۰۰	۱۱۰۰	۱۰۰۰	۵۰۰	۴۰۰	۶۰۰
Zn	۵۶	۳۸	۲۸۳	۱۸۸	۱۰۹	۸۲	۲۸۲	۱۱۴	۱۱۴	۵۸	۱۰۴	۷
Na	۰٫۰۸	۰٫۰۸	۰٫۳۲	۰٫۰۸	۰٫۹	۰٫۱۷	۰٫۶	۰٫۲۳	۰٫۰۸	۱٫۸	۱٫۱	۰٫۰۸
K	۱۶۱۰۰	۰	۴۹۰۰	۱۶۰۰	۶۹۰۰	۵۳۰۰	۱۳۰۰۰	۰	۰	۵۷۴۰۰	۰	۱۰۰۰
Ca	۶۲۳۰۰	۰	۹۳۰۰۰	۱۰۰۴۰۰	۱۰۳۰۰	۱۶۳۰۰۰	۹۲۴۰۰	۰	۰	۲۰۴۰۰	۰	۳۳۵۰۰
Mg	۱۲۱۰۰	۰	۳۹۱۰۰	۲۴۰۰	۱۵۲۰۰	۶۸۰۰	۲۵۴۰۰	۰	۰	۱۷۷۰۰	۰	۰٫۰۸
Mn	۵۲۸	۰	۵۹۲۹۹	۱۴۵۹۱۸	۱۲۵۲۶۹	۹۷۹۴۲	۱۱۷۶۴۳	۰	۰	۲۷۱۳	۰	۵۳۷
Al	۲۵۴۰۰	۰	۳۱۰۰۰	۶۴۰۰	۹۳۰۰	۱۲۹۰۰	۲۹۹۰۰	۰	۰	۷۲۰۰۰	۰	۳۸۰۰
As	۱۳٫۳	۱۳٫۳	۱۳٫۳	۴۳	۲۴	۱۴	۲۱	۱۱	۱۸	۱۳٫۳	۱۳٫۳	۱۳٫۳
Cd	۱٫۹	۱٫۵	۱٫۹	۲٫۴	۲٫۲	٫۲	۱٫۷	۲٫۱	۱٫۹	۱٫۷	۱٫۳	۱٫۸
Rb												
Be	۰٫۷۵	۰٫۷۵	۰٫۷۵	۰٫۷۵	۰٫۷۵	۰٫۷۵	۰٫۷۵	۰٫۷۵	۰٫۷۵	۰٫۷۵	۰٫۷۵	۰٫۷۵
Sr	۱۷۳	۱۲۹	۱۷۹۸	۲۴۹۵	۵۳۹۸	۲۱۰۹	۴۹۲۶	۱۱۰۱	۶۶۷	۳۷	۳۲	۸۰۰
عناصر با شدت میدان بالا (HSFE)												
Y	۲۶	۱۳٫۳	۱۷	۲۴	۲۳	۳۶	۶۴	۲۷	۳۰	۱۳٫۳	۱۳٫۳	۱۳٫۳
Zr												
P	۴۰۰	۲۰۰	۱۲۰۰	۶۰۰	۳۰۰	۱۷۰۰	۱۰۰	۱۴۰۰	۸۰۰	۲۳۰۰	۶۰۰	۳۰۰
عناصر خاکی نادر (REE)												
La	۴۰	۱۳٫۳	۳۸	۴۶	۵۷	۵۳	۱۰۵	۱۰۸	۱۱۸	۱۴	۱۳٫۳	۳۰
Ce	۴۳	۱۵	۳۸	۲۴	۳۵	۳۸	۸۷	۶۲	۴۳	۲۴	۲۵	۱۲
Sc	۱۹	۱۳٫۳	۱۳٫۳	۱۱	۱۳٫۳	۱۳٫۳	۱۳٫۳	۱۳٫۳	۱۳٫۳	۲۱	۱۲	۱۳٫۳

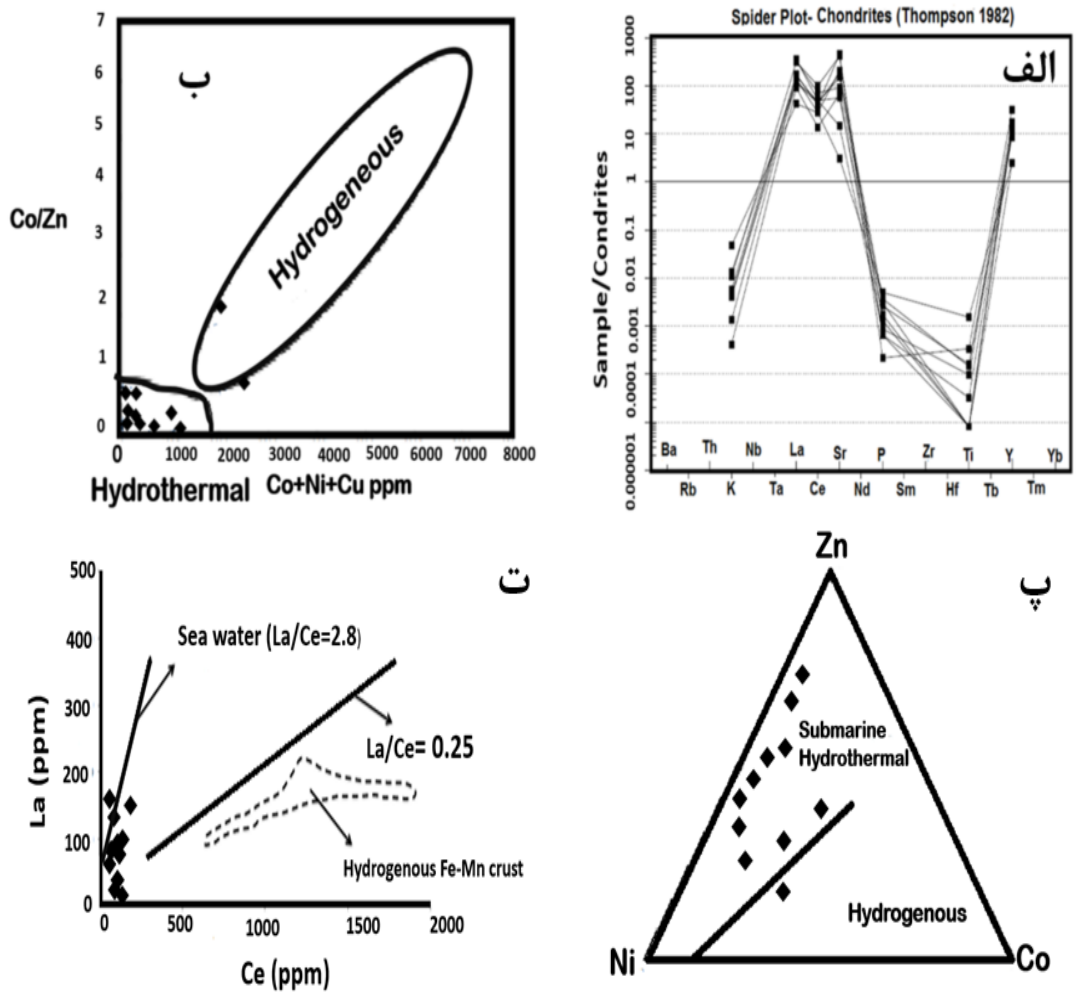
زمین‌شیمی عناصر آهن- منگنز- عناصر کمیاب کانسنگ

نسبت Mn/Fe : آهن در کانسارهای منگنز گرمابی نامحلوتر از منگنز است. به طور کلی برای مقادیر pH در گستره ۸-۶، فعالیت‌های باکتری‌های اکسیدکننده سبب جدایش سریع آهن محلول می‌شوند [۲۹]. بر اساس بررسی‌های نیکلسون و همکاران [۳۰] اگر نسبت Mn/Fe کمتر از ۱ باشد محیط تشکیل کانسار، دریاچه‌ای است و اگر مساوی ۱ باشد کانسار آبزاد و اگر ۰٫۱<Mn/Fe<۱۰ کانسار رسوبی با خاستگاه بروندمی است. بر اساس نسبت Mn/Fe به دست آمده برای کانسار مورد بررسی که برابر با ۳٫۴ درصد است، این کانسار در گستره آتشفشانی- رسوبی واقع است.

نمودار Co/Zn نسبت به Co+Ni+Cu: این نمودار، برای تفکیک کانسارهای فرومنگنز گرمابی از آبزاد مورد استفاده قرار گرفته است [۳۱]. با توجه به این نمودار، کانسارهای فرومنگنز نوع آبزاد نسبت به کانسارهای گرمابی از غنی‌شدگی بالاتری در عناصری مانند Ni, Cu و Co برخوردارند [۳۲]. نمونه‌های منطقه مورد بررسی در این نمودار نیز در گستره کانسارهای گرمابی قرار می‌گیرند (شکل ۴ ب). عناصر کمیاب (Co, Ni, Zn) و عناصر خاکی نادر هنگام تشکیل منگنز توسط اکسیدهای منگنز جذب می‌شوند [۳۱]. غلظت آنها به نسبت کمتر از آب دریاست. عناصر کمیاب توسط اکسیدهای اولیه منگنز که از اجزای اصلی محلول‌های گرمابی هستند تأمین می‌شوند [۳۳]. از آنجا که تراکم عناصر خاکی نادر در محلول-های گرمابی کم است از فعالیت‌های آتشفشانی مشتق می‌شوند [۳۴].

[Downloaded from ijcm.ir on 2024-05-14]

[DOI: 10.29252/ijcm.26.4.945]



شکل ۴ الف) نمودارعنکبوتی [۲۵]، ب) نمودار دو تایی (Co+Ni+Cu) - Co/Zn [۳۱] و نمونه‌های کانسار منگنز مورد بررسی، پ) نمودار سه تایی Co – Ni – Zn [۳۱] و جایگاه نمونه‌های کانسار منگنز مورد بررسی و ت). نمودار تراکم La نسبت به Ce [۳۱] و جایگاه نمونه‌های کانسار مورد بررسی در آن.

نمودار Co – Ni – Zn: کانسارهای آبزاد منگنز از کانسارهای گرمابی زیردریایی، از طریق روابط بین عناصر Ni, Zn و Co در یک نمودار سه تایی مشخص و متمایز می‌شوند [۳۵]. تراکم-های پایین عناصر (۲-۷۵ ppm) Co، (۸-۴۵۰) Cu، (۹۰۰-۲۲) Ni و (۱۸-۱۰۷۰) Zn مشخصه کانسارهای منگنز گرمابی زیردریایی است. بر این اساس، کانسارهای منطقه مورد بررسی، خاستگاه گرمابی زیردریایی را نشان می‌دهند (شکل ۴ پ).

نسبت La/Ce: نسبت La به Ce در کانسارهای گرمابی مشابه آب دریا و حدود ۲٫۸ است، اما سایر کانسارها نسبت به آب دریا در Ce غنی‌شدگی نشان می‌دهند و نسبت La به Ce در این کانسارها برابر ۰٫۲۵ است [۳۱]. در نمونه‌های تجزیه شده، نسبت La/Ce بین ۰٫۲ تا ۲٫۷ تغییر می‌کند (شکل ۴ ت)، که مشابه کانسارهای گرمابی است.

بحث

مدل زایشی و چگونگی تشکیل کانسار منگنز هلالان

با توجه به اینکه کانسارهای منگنز در محیط‌های زمین‌ساختی مختلف شکیل می‌شوند، بررسی شرایط تشکیل آنها مهم و همواره موضوع بحث بوده است [۳۶]. براساس بررسی‌های صحرایی و آزمایشگاهی انجام شده، کانسار منگنز هلالان با دو سازوکار بروندمی و رسوبی تشکیل شده است و ساختارهای گسلی در مرحله بروندمی نقش مجرای انتقالی را داشته‌اند.

[Downloaded from ijcm.ir on 2024-05-14]
[DOI: 10.29252/ijcm.26.4.945]

بطور کلی می‌توان برای فرایند کانی‌سازی سه مرحله زیر را در نظر گرفت:

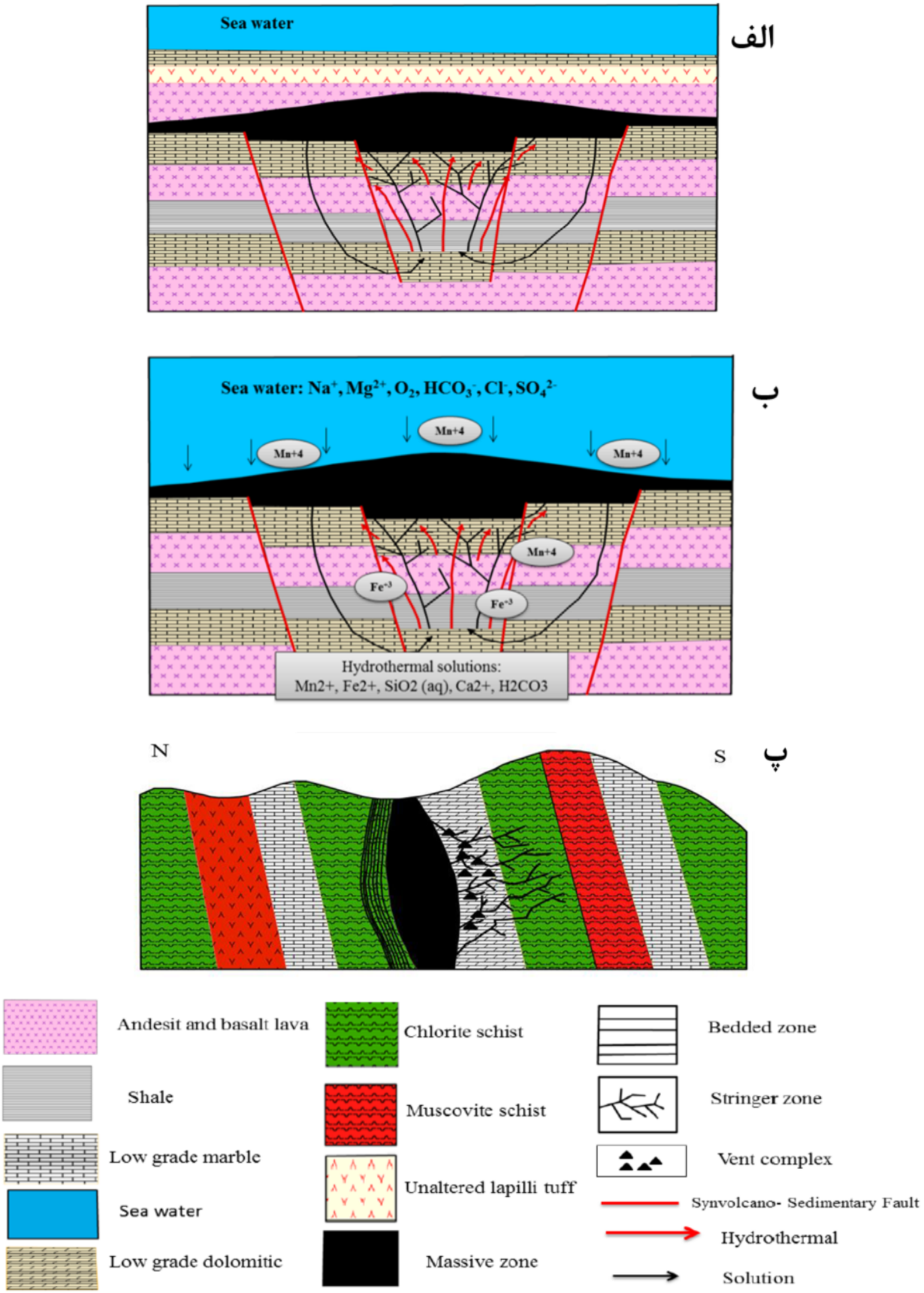
مرحله بروندمی - رسوبی: در این مرحله در اثر فعالیت‌های آتشفشانی- بروندمی، سیال‌های گرمابی- بروندمی داغ، اسیدی و احیایی، عناصر کانه‌ساز از جمله کاتیون‌های دوظرفیتی آهن، منگنز و سیلیس از سنگ‌های کمرپایین (سنگ‌های آتشفسانی رسوبی) شسته شده و از طریق شکستگی‌ها و فضاهای باز، وارد حوضه رسوبی شده‌اند. در واقع گردش آب دریا در میان سنگ-های آتشفشانی تولید سیال‌های گرمابی می‌کند که اکسید و هیدروکسیدهای منگنز را تشکیل می‌دهند [۳۷]. از آنجا که آهن و منگنز به همراه هم دیده می‌شوند، می‌توان گفت که جدایش آنها در زمان‌های خاص صورت می‌گیرد. ترکیبات آهن نامحلول‌تر از ترکیبات منگنزدار هستند. آهن در ۶ = PH و منگنز در ۸ = PH رسوب می‌کند. فعالیت باکتری‌های اکسید کننده نیز از جمله عوامل جدایش سریع آهن محلول است [۱۳]. سولفید آهن (پیریت) معمولاً در اعماق و درون سنگ-های آتشفشانی صورت می‌گیرد ولی اکسایش سریع آن در سطح سبب تشکیل اکسید و هیدروکسیدهای آهن (هماتیت) در رسوبات بالایی پوشاننده می‌شود که به دنبال آن اکسید و هیدروکسیدهای منگنز رسوب می‌کنند. در نتیجه سیال باقی-مانده غنی از منگنز در بخش‌های کم‌عمق و اکسیدان حوضه رسوبی که شرایط برای تشکیل اکسیدهای منگنز مهیا بوده است، نسل اول کانی‌های اکسیدی منگنز مانند پیرولوزیت، پسیلوملان، هولاندیت و نیز براونیت تشکیل شده‌اند. پیشنهاد شده است که رسوب منگنز در اثر آمیختگی سیال‌های گرمابی با آب دریا رخ می‌دهد [۳۸]. در واقع آمیختگی محلول‌های گرم، اسیدی و اکسیدی با آب سرد، قلیایی و اکسیدان کف دریا سبب ته نشینی سریع فلزات می‌شوند و در ادامه با توجه به دور شدن سیال از محل خروج و آرام بودن محیط رسوب‌گذاری، اکسیدهای منگنز هم‌چون پیرولوزیت و پسیلوملان به صورت لایه‌ای تشکیل شده‌اند. به طور کلی، ماده معدنی در این مرحله به صورت بافت‌های رگه- رگچه‌ای، برشی و پرکننده فضای خالی (در رخساره رگه- رگچه‌ای زیر حوضه)، لایه‌ای، توده‌ای، دانه پراکنده، لایه و کلوفرمی (داخل حوضه رسوبی)، ته‌نشست کرده است (شکل ۵ الف).

مرحله درونزایی: در مرحله بعد، بار دیگر فوران آتشفشانی صورت گرفته و لایه‌هایی از گدازه‌های آندزیتی- بازالتی، توف لاپیلی و سنگ آهک بر ماده معدنی تشکیل شده‌اند (شکل ۵ ب) درونزایی شامل فشردگی، سیمانی شدن، انحلال، جانشینی و دگرسانی تا مرحله پیش از دگرگونی است. در این مرحله، کانی‌های ثانویه منگنز تشکیل می‌شوند، به این صورت که کانی‌های آب‌دار منگنز مانند پسیلوملان و هولاندیت در اثر درونزایی به کانی‌های بی‌آب مانند پیرولوزیت تبدیل می‌شوند. هم‌چنین با افزایش دما و فشار ضمن درونزایی شرایط برای تشکیل کانی براونیت فراهم می‌شود. براونیت و کوارتز از رایج-ترین کانی‌ها در کانسارهای درونزادی هستند. می‌توان گفت که براونیت به عنوان یک فراورده درونزاد اولیه رخ می‌دهد [۱۳]. کانسارهای منگز به وسیله باز تبلور، تحرک و ضخیم شدن مناطق با تغییر شکل شدید و بالاآمدگی منجر به شکل‌گیری شکل‌های نواری و عدسی ماده معدنی می‌شوند.

مرحله دگرگونی: ماده معدنی همراه با سنگ دربرگیرنده دچار یک فاز دگرگونی در حد رخساره شیست سبز شده است (شکل ۵ پ). فرآیند دگرگونی باعث چین‌خوردگی نوارهای منگنزدار شده است. این فرآیند موجب تشکیل کانی‌های منگنز مانند پیرولوزیت به صورت ثانویه نیز شده است. به این صورت که در اثر دگرگونی کانی‌های بی‌آب منگنز مانند پیرولوزیت جانشین کانی‌های آب‌دار مانند پسیلوملان شده‌اند. فرایند دگرگونی هم‌چنین باعث ایجاد مجموعه‌ای از رگه‌های ثانویه کوارتز و کلسیت شده است که پیکره توده معدنی را قطع کرده‌اند.

بررسی‌های کانی‌شناسی، بافت و ساخت صورت گرفته در کانسار هلالان نیز بیانگر تشکیل کانسار هلالان پیش از دگرگونی بوده و به عبارت دیگر تشکیل و تمرکز اولیه کانه‌زایی منگنز هلالان در مرحله آتشفشانی- رسوبی و فعالیت اگزالاتیو زیردریایی صورت گرفته است و فرایند دگرگونی بعدی تنها باعث ایجاد بسیاری از ویژگی‌های فعلی ماده معدنی و سنگ‌های دربرگیرنده آن شده است. براساس بررسی‌های کانی-شناسی، ساخت و بافت و الگوی تشکیل کانسار منگنز هلالان، توالی همبرزایی کانی‌ها در چهار مرحله بروندمی- رسوبی، درونزایی، دگرگونی و برونزایی (هوازدگی) در جدول ۱ نشان داده شده است.

[Downloaded from ijcm.ir on 2024-05-14]
[DOI: 10.29252/ijcm.26.4.945]



شکل ۵ مدل ژنتیکی فرآیند کانه‌زایی کانسار منگنز هلالون: الف) مرحله بروندمی - رسوبی؛ ب) مرحله درونزایی؛ پ) مرحله دگرگونی.

[Downloaded from ijcm.ir on 2024-05-14]
[DOI: 10.29252/ijcm.26.4.945]

مقایسه کانسارمنگنز هلالون با نوع ماکو

بر اساس تقسیم‌بندی موزیر و پیج [۳۹]، کانسارهای منگنز آتشفشانی-رسوبی به چهار نوع، قبرس، کوبا، المپیک پنینسولا و فرانکسین تقسیم می‌شوند. مقایسه صورت گرفته نشان داد که ویژگی‌های کانسار منگنز هلالان از جمله محیط زمین‌ساختی تشکیل، محیط زمین‌شناسی نهشت، سنگ‌های میزبان همراه، شکل هندسی، بافت، کانی‌شناسی و شواهد زمین‌شیمیایی، بیشترین شباهت را با کانسارهای نوع کوبا نشان می‌دهد، با این تفاوت که کانسار منگنز هلالان دستخوش یک فاز دگرگونی در حد رخساره شیست سبز شده است (جدول ۴).

جدول ۴ مقایسه کانسار منگنز نخلک با انواع مختلف کانسارهای منگنز آتشفشانی-رسوبی بر اساس رده بندی موزیر و پیج [۳۹].

ویژگی‌های شاخص	کانسار منگنز هلالون	نوع فرانکسین	نوع کوبا	نوع المپیک پنینسولا	نوع قبرس
محیط زمین-ساختی	کمان آتشفشانی	پشته‌های میان‌اقیانوسی، پشت‌کمانی	کمانی و پشته‌های میان‌اقیانوسی	کوه‌های میان‌اقیانوسی	پشته‌های میان‌اقیانوسی و پشت‌کمانی
سنگ میزبان	کلریت شیست، مسکویت شیست، سنگهای کربناته و توف لاپیلی.	چرت، شیل، ماسه-سنگ، ماسه سنگ تیره و توف	توف ریولیتی تا آندزیت و ژاسپر و چرت	بازالت‌های بالشی، آهک‌های قرمز و آگلومرا	چرت رادیولاریتی، بازالت بالشی، ژاسپر قرمز
شکل هندسی ماده معدنی	لایه ای تا عدسی شکل	نازک و کم پهنا تا عدسی و عریض	عدسی شکل	عدسی کم پهنا و نازک	عدسی شکل
عناصر فلزی	Fe, Mn	Mn, Fe, Cu, Ba, Hg	Mn, Fe, Cu, Ba	Mn, Fe, Cu, Ba, Hg	Mn, Fe, Ni, Co, Zn, Cu
کانه‌های معدنی	پیرولوزیت، پسیلوملان، براونیت و	پسیلوملان، پیرولوزیت و	پسیلوملان، پیرولوزیت و براونیت	بمنتیت، هوسمانیت و نئوتوسیت	هیدرواکسید منگنز بی‌شکل و غیر قابل تشخیص
کانه‌های باطله	کوارتز، کلسیت سنگ‌گچ	کوارتز، کلسدونی، هماتیت و باریت	کوارتز، کلسیت و ژاسپر	کوارتز، هماتیت، کلسیت و باریت	پیریت، کوارتز، کلسیت و باریت
دگرسانی	کلریتی،آرژیلیتی، سیلیسی و کربناتی	کربناتی و سیلیکاتی	کلریتی، آرژیلیتی و هماتیتی شدن	سیلیسی	-
سن کانه‌زایی	ژوراسیک میانی	پالئوزوئیک تا ژوراسیک	کامبرین تا پلیوسن	ائوسن یا قدیم‌تر	کرتاسه پسین
کانسارهای وابسته به کانسار	-----	کانسارهای جیوه گرمابی و کانسارهای کرومیت	کانسارهای سولفید توده‌ای نوع کوروکو	-----	کانسارهای سولفید توده‌ای نوع قبرس
مراجع	[۴۰]	[۳۹]	[۳۹]	[۳۹]	[۳۹]

[Downloaded from ijcm.ir on 2024-05-14]

[DOI: 10.29252/ijcm.26.4.945]

برداشت

کانسار منگنز هلالان، به شکل چینه‌سان (لایه‌ای و عدسی شکل) و هم‌روند با لایه‌بندی با کانی‌شناسی پیرولوزیت، پسیلوملان، هولاندیت، براونیت و هماتیت بر مجموعه آتشفشانی- رسوبی ترود- چاه شیرین قرار گرفته است. سنگ‌های رخنمون یافته در منطقه شامل مجموعه دگرگونی با ترکیب سنگ‌شناسی اسلیت، فیلیت، شیست، مرمر، آهک، دولومیت و ماسه‌سنگ‌های کمی دگرگون‌شده با سن ژوراسیک پیشین هستند. بررسی‌های انجام شده، نشان‌دهنده عملکرد فرایندهای دگرشکلی، بازتبلور، تحرک مجدد و تغییرات ریختاری در این کانه‌زایی است. براساس بررسی‌های زمین-شیمیایی، بالا بودن نسبت Mn/Fe و پایین بودن مقادیر فلزات کمیاب و به ویژه عناصر Co, Ni و Cu و بالا بودن مقادیر Mn, SiO_2 و Fe به عنوان شواهدی از غنی‌شدگی و تخلیه Mn از سیال‌های گرمابی زیر دریایی (بروندمی) در این نهشته هستند. بنابراین شواهد گویای این است که کانسار منگنز هلالان با دو سازوکار غنی‌شدگی در آب دریا توسط سیال‌های گرمابی– بروندمی و ته نشینی در شرایط رسوبی در محیط دریایی تشکیل شده و یک کانسار آتشفشانی- رسوبی است. با توجه به بررسی‌های انجام شده، کانسار منگنز هلالان بیشترین شباهت را با کانسارهای منگنز نوع کوبا نشان می‌دهد، با این تفاوت که کانسار منگنز هلالان دچار یک فاز دگرگونی در حد رخساره شیست سبز نیز شده است.

مراجع

[1] Kuleshov V. N., *"Manganese deposits: Communication 1. Genetic models of manganese ore formation",* Lithology and Mineral Resources, 46(5) (2011) 473-493.

[2] Johnson J. E., Webb S. M., Ma Chi, Fischer W. W., *"Manganese mineralogy and diagenesis in the sedimentary rock record",* Geochimica et Cosmochimica Acta 173 (2016) 210-231.

[3] Siddiquie F. N., Alam J., Shaif M., *"Occurrence of Manganese Ore Deposits and Their Mineralogy in Vizianagaram-Visakhapatnam Manganese Ores Belt (Andhra Pradesh) India",* International Journal of Geosciences 6(6) (2015) 549.

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

[5] Conly A. G., Scott S. D., Bellon H., *"Metalliferous Manganese Oxide Mineralization Associated with the Boléo Cu-Co-Zn District",* Mexico. Economic Geology 106(7) (2011) 1173-1196.

[6] Hein J. R., *"Cobalt-rich ferromanganese crusts: global distribution, composition, origin and research activities",* International Seabed Authority, Technical Study 2 (2002) 36-89.

[7] Arvin M., Robinson P.T., "*The petrogenesis and tectonic setting of lavas from the Baft ophiolitic mélange, southwest of Kerman, Iran*", Canadian Journal of Earth Sciences 31(5) (1994). 824-834.

[8] Kahrazehi M., Lotfi M., Ghaderi M., Mohajjel M., Jafari M., *"First Report of Geochemical Characteristics of the Sangan Manganese Occurrence, Northeast Khash (Iran)*", Indian Journal of Science and Technology 8(S3) (2015)85-93.

[9] Fardoost F., *"Geology and Genesis of Manganese Varnarch Qom Deposit"*, Master thesis, Faculty of Science, Tarbiat Moallem University (1991).

[10] Jafarian M., *"Geological map of 1: 100000 Kalateh Rasham",* Geological Survey of Iran (2001).

[11] Webb T.C., *"Manganese*", New Brunswick Department of Natural Resources; Minerals, Policy and Planning Division (2008).

[12] Papavassiliou K., Voudouris P., Kanellopoulos C., Glasby G., Alfieris D., Mitsis I.., *"New geochemical and mineralogical constraints on the genesis of the Vani hydrothermal manganese deposit at NW Milos island, Greece: Comparison with the Aspro Gialoudi deposit and implications for the formation of the Milos manganese mineralization*", Ore Geology Reviews 80 (2017) 594-611.

[13] Rajabzadeh M. A., Haddad F., Polgári M., Fintor K., Walter H., Molnár Z., Gyollai I., *"Investigation on the role of microorganisms in manganese mineralization from Abadeh-Tashk*

[Downloaded from ijcm.ir on 2024-05-14]

[DOI: 10.29252/ijcm.26.4.945]

area, Fars Province, southwestern Iran by using petrographic and geochemical data", Ore Geology Reviews 80 (2017) 229-249.

[14] Siddiquie F. N., Raza M., *"Major and Trace Elements Variability in Manganese Ores f Srikakulam District (AP)",* Indian Geologist's Association, Chandigarh, 23 (1990) 99-109.

[15] Siddiquie F. N., Alam J., Shaif M., *"Occurrence of Manganese Ore Deposits and Their Mineralogy in Vizianagaram-Visakhapatnam Manganese Ores Belt (Andhra Pradesh) India*", International Journal of Geosciences 6(06) (2015) 549.

[16] Salem I. A., Ibrahim M. E., El Monsef M. A., *"Mineralogy, geochemistry, and origin of hydrothermal manganese veins at Wadi Maliek, Southern Eastern Desert, Egypt",* Arabian journal of geosciences 5(3) (2012) 385-406.

[17] Fermor L.L., *"Manganese Ore Deposits of India*", Memoir of Geological Survey of India 37 (1909) 272.

[18] Maslennikov V. V., Ayupova N. R., Herrington R. J., Danyushevskiy L. V., Large R. R, *"Ferruginous and manganiferous haloes around massive sulphide deposits of the Urals*", Ore geology reviews, 47 (2012) 5-41.

[19] Agang N. A., Karami M., Nouri KhanKahdani K., *"Determination of the Origin of Manganese Mountain Coal Using Mineralogical and Histological Studies",* Fourth Conference of the Iranian Economic Geological Society (2012).

[20] Zarasvandi A., Lentz D., Rezaei M., Pourkaseb H., *"Genesis of the Nasirabad manganese occurrence, Fars province, Iran: Geochemical evidences*", Chemie der Erde-Geochemistry 73(4) (2013) 495-508.

[21] Sugisaki R., *"Relation between chemical composition and sedimentation rate of Pacific ocean-floor sediments deposited since the middle Cretaceous: basic evidence for chemical constraints on depositional environments of ancient sediments*", The Journal of Geology (1984) 235-259.

[22] Hein J. R., Schulz M. S., Dunham R. E., Stern R. J., Bloomer S. H., *"Diffuse flow hydrothermal manganese mineralization along the active Mariana and southern Izu-Bonin arc system, western Pacific*", Journal of Geophysical Research: Solid Earth, 113(B8) (2008).

[23] Yamaoka K., Ma L., Hishikawa K., Usui A., *"Geochemistry and U-series dating of Holocene and fossil marine hydrothermal manganese deposits from the Izu-Ogasawara arc*", Ore Geology Reviews (2016).

[24] Fitzgerald C. E., Gillis K. M.., *"Hydrothermal manganese oxide deposits from Baby Bare seamount in the Northeast Pacific Ocean*", Marine Geology 225(1) (2006) 145-156.

[25] Thompson R. N., *"Magmatism of the British Tertiary volcanic province*", Scottish Journal of Geology 18(1) (1982) 49-107.

[26] Bau M., Schmidt K., Koschinsky A., Hein J., Kuhn T., Usui A., *"Discriminating between different genetic types of marine ferro-manganese crusts and nodules based on rare earth elements and yttrium",* Chemical Geology 381 (2014) 1-9

[27] Naden J., Kilias S. P., Darbyshire D. F., *"Active geothermal systems with entrained seawater as modern analogs for transitional volcanic-hosted massive sulfide and continental magmato-hydrothermal mineralization*", The example of Milos Island, Greece. Geology 33(7) (2005) 541-544.

[28] Dueñas-Bohórquez A., da Rocha R. E., Kuroyanagi A., Bijma J., Reichart G. J., *"Effect of salinity and seawater calcite saturation state on Mg and Sr incorporation in cultured planktonic foraminifera*", Marine Micropaleontology, 73(3) (2009) 178-189.

[29] Konhauser K., *"Fundamentals of Geomicrobiology*", Wiley-Blackwell Science Ltd (2012) 50–210.

[30] Nicholson. K., Hein J. R., Bühn B., Dasgupta S., (editors). *"Manganese Mineralization",* Geochemistry and mineralogy of terrestrial and marine Deposits (1997) 532.

[31] Toth J. R., *"Deposition of submarine crusts rich in manganese and iron",* Geological Society of America Bulletin 91(1) (1980) 44-54.

[32] Bonatti E., Zerbi M., Kay R., Rydell H., *"Metalliferous Deposits from the Apennine Ophiolites: Mesozoic Equiva-lents of Modern Deposits from Oceanic Spreading Centers, Bull",* Geol. Soc. Am. vol 87 (1976): 83–94.

[Downloaded from ijcm.ir on 2024-05-14]

[DOI: 10.29252/ijcm.26.4.945]

[33] Oksuz N., *"Geochemical characteristics of the Eymir (Sorgun-Yozgat) manganese deposit, Turkey*", Journal of Rare Earths 29(3) (2011) 287-296.

[34] Porter S., Vanko D. A., Ghazi A. M., *"Major and trace element compositions of secondary clays in basalts altered at low temperature, eastern flank of the Juan de Fuca Ridge*", In Proceedings of the Ocean Drilling Program. Scientific Results 168 (2000). 149-157).

[35] Choi J. H., Hariya Y., *"Geochemistry and depositional environment of Mn oxide deposits in the Tokoro Belt, northeastern Hokkaido, Japan",* Economic Geology 87(5) (1992) 1265-1274.

[36] Del Rio-Salas R., Ochoa-Landín L., Eastoe C. J., Ruiz J., Meza-Figueroa D., Valencia-Moreno M., Mendívil-Quijada H., *"Genesis of manganese oxide mineralization in the Boleo region and Concepción Peninsula, Baja California Sur: constraints from Pb-Sr isotopes and REE geochemistry*", Revista Mexicana de Ciencias Geológicas 30(3) (2013) 482-499

[37] Liakopoulos A., Glasby G. P., Papavassiliou C. T., Boulegue J., *"Nature and origin of the Vani manganese deposit, Milos, Greece: an overview",* Ore Geology Reviews 18(3) (2001) 181-209.

[38] Roy S., *"Environments and processes of manganese deposition*", Economic Geology, 87(5) (1992)1218-1236.

[39] Mosier Dan L., Norman J., *"Descriptive and Grade-tonnage Models of Volcanogenic Manganese Deposits in Oceanic Environments: A Modification. US Government Printing Office",* (1988).

[40] Mosadegh M., *"Mineralogy, geochemistry and formation pattern of Manganese Hellanan ore deposit, Teachers area, south of Damghan",* Master thesis, Faculty of Geosciences, Shahroud University (1394).

[Downloaded from ijcm.ir on 2024-05-14]

[DOI: 10.29252/ijcm.26.4.945]