



کانی‌شناسی، زمین‌شیمی و خاستگاه کانسار منگنز هلالان، جنوب دامغان

مهديه 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 آتشفشاری - رسوی تروود - چاه شیرین و بخش شمالی پهنه ساختاری - رسوی 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 دگرگون شده با سن ژوراسیک پیشین هستند. کانه‌زایی منگنز به شکل چینه‌سان (لایه‌ای و عدسی شکل) و همرونده با لایه‌بندی رخ داده است. کانی‌های اصلی تشکیل دهنده ماده معدنی بیشتر پیرولوزیت، پسیلوملان، هولاندیت، براؤنیت 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، آرزیلیتی، سیلیسی و کربناتی هستند. براساس بررسی‌های زمین‌شیمیایی، بالا بودن نسبت Mn/Fe و پایین بودن مقادیر فلزات کمیاب و به ویژه عنصر Co و Ni و بالا بودن مقادیر Mn, SiO₂ و Fe به عنوان شواهدی از غنی‌شدگی و تخلیه Mn از سیال‌های گرمابی زیردریایی (بروندمی) در این نهشته هستند. این شواهد گویای این است که کانسار منگنز هلالان با دو سازوکار؛ غنی‌شدگی در آب دریا توسط سیال‌های گرمابی - بروندمی و تهشینی در شرایط رسوی دستخوش تغییرات پتانسیل اکسایش - کاهش (Eh) و pH در محیط دریایی تشکیل شده و یک کانسار آتشفشاری - رسوی است. با توجه به بررسی‌های انجام شده، کانسار منگنز هلالان بیشترین شباهت را با کانسارت‌های 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؛ رسوی - بروندمی؛ نوع کوبا؛ هلالان.

پوسته زمین، چندین حوضه رسوی در مزوژوئیک ظاهر شدند که با انباست بسیار منگنز همراه بودند [۳]. در مقیاس جهانی، بیشترین مقدار منگنز جهان در استرالیا، بزریل، 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

مقدمه
انباستهای 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 Mn²⁺ در آب دریا در زمان آرکئن در ارتباط با عدم اکسایش این عنصر است [۲]. بزرگترین منابع منگنز به پروتروژوئیک 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

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

سانتری گراد مشخص شد. تجزیه عناصر خاکی نادر به روش ICP-OES در آزمایشگاه شرکت فرآوری موادمعدنی ایران انجام شد. حد تشخیص حدود ۰/۱-۰/۱ برای اکسیدهای اصلی و ۰/۵-۰/۱ ppm برای عناصر کمیاب و ۰/۰۱-۰/۰۱ ppm برای عناصر خاکی نادر بود.

زمین‌شناسی منطقه مورد بررسی

کانسارهای منگنز و فرومونگنز با شرایط زمین‌شناسی و سنی مختلف در ایران شناسایی شده‌اند. از جمله آنها می‌توان به کانسارهای منگنز استان یزد (ایران مرکزی) با خاستگاه آتشفسانی-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 آتشفسانی و گرمابی [۸]، و کانسار منگنز ونارچ در استان قم با خاستگاه آتشفسانی-رسوبی [۹] اشاره کرد. کانسار منگنز هلالان از نظر زمین‌شناسی ساختاری در پهنه ایران مرکزی و در نوار آتشفسانی-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 جای جای 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 "۵۴° ۵۲' ۲۱" تا "۳۵° ۰۰' ۲۵" طول شرقی و "۰۵' ۱۳" تا "۴۱' ۱۷" عرض شمالی قرار گرفته است.

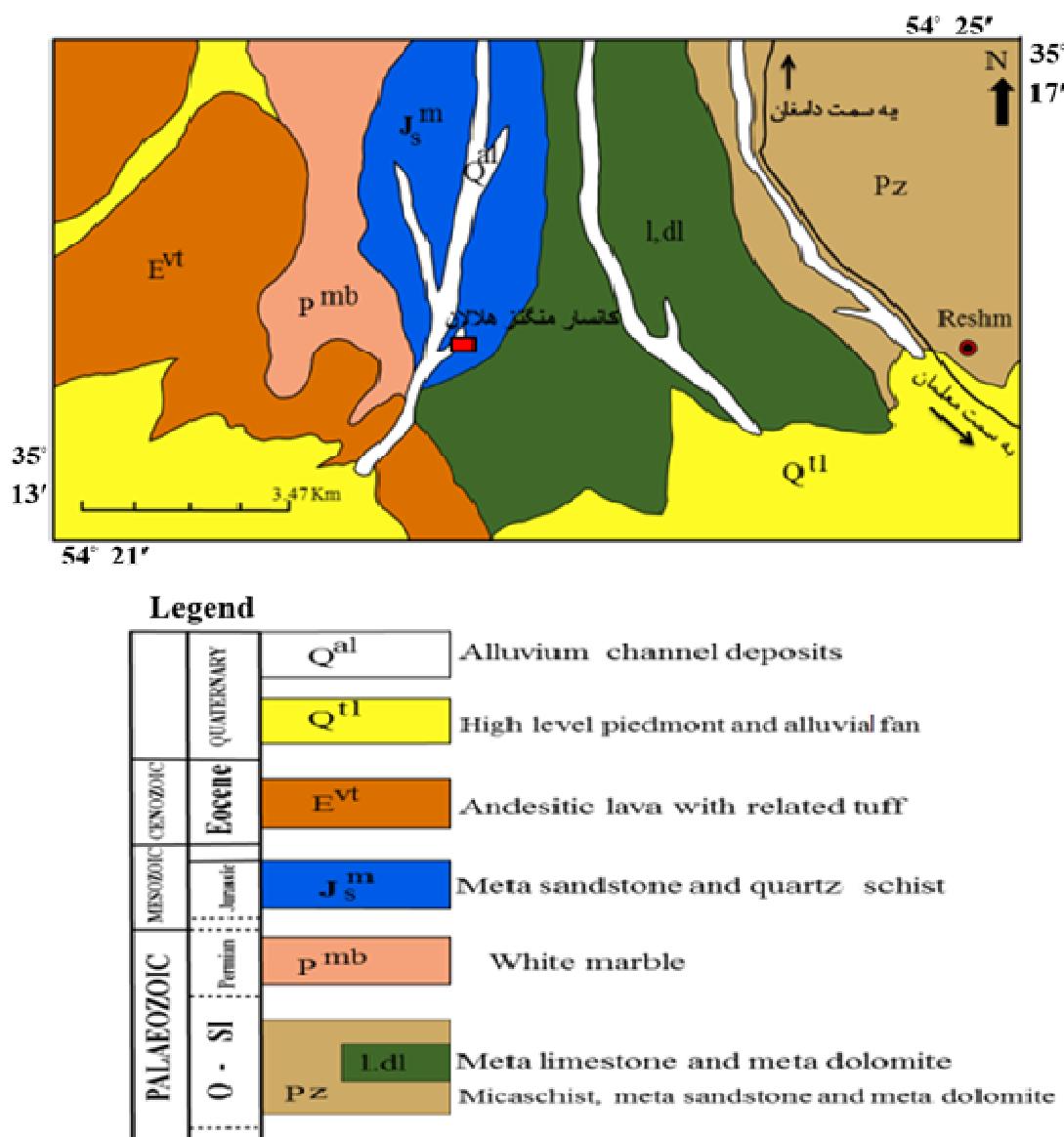
سنگ شناسی منطقه مورد بررسی

نقشه زمین‌شناسی گستره معدنی براساس بررسی‌های صحرایی، تصاویر ماهواره‌ای و نقشه ۱:۱۰۰۰۰۰ کلاته رشم [۱۰]، تهیه شد (شکل ۱). عمدت‌ترین واحدهای سنگی موجود در منطقه شد (شکل ۱). این مجموعه شامل انواع شیست (کلریت-پیشین هستند. این مجموعه شامل انواع شیست (کلریت-شیست، مسکویت‌شیست و شیست‌های اپیدوتی)، سنگ‌های کربناته (آهک و دولومیت) و توف لایلی نادگرگونه هستند. در ادامه هر یک از این واحداً توصیف می‌شوند.

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]، نهشت‌های اکسیدی منگنز در محیط‌های اقیانوسی را بر اساس خاستگاه به سه دسته تقسیم کرده است که عبارتند از: ۱) گرهک‌های پوسته‌ای فرومونگنز 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 معنی، 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 ۱:۱۰۰۰۰ 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، همیزابی و کانی‌شناختی و سنگ‌شناسی، ۷ نمونه به روش پراش پرتوی ایکس (XRD) جهت کانی‌شناسی، ۲ نمونه به روش کمی- نقطه‌ای با ریزپردازندۀ الکترونی، تعداد ۹ نمونه توسط طیف-سنجدی 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 طیف‌سنجدی نشر نوری پلاسمای جفت شده القایی (ICP-OES) پس از انحلال ۰/۲ گرم از پودر سنگ و ۱/۵ گرم LiBO₂ در ۱۰۰ میلی‌لیتر ۵٪ HNO₃ بررسی شدند و افت گرمابی (LOI) با خشک کردن نمونه‌ها در ۱۰۰۰ درجه



شکل ۱ نقشه زمین‌شناسی ۱:۶۰۰۰۰ منطقه هلالان بر اساس تصاویر ماهواره‌ای و نقشه ۱:۱۰۰۰۰ کلاته رشم [۱۰].

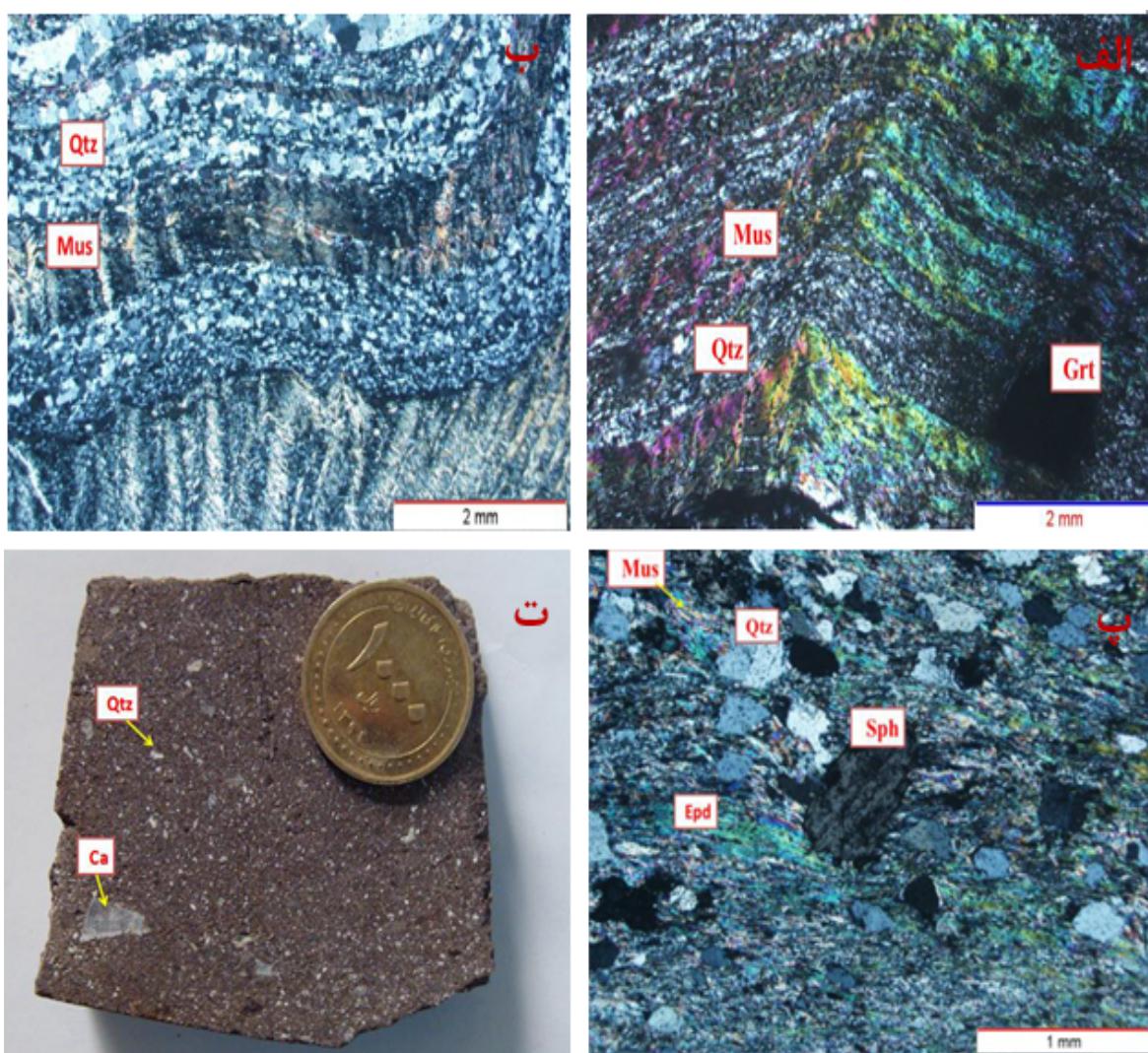
اولیه سنگ را بر اساس نوع کانی‌های موجود، حد واسط تا بازی در نظر می‌گیرند که در درجه رخساره شیست سبز دگرگون شده است و سنگ اولیه آنها بر اساس بررسی‌های بافت و کانی‌شناسی، احتمالاً گدازه‌های آندزیتی بازالتی بوده است.

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 متغیر همراه با میان‌لایه‌هایی از عدسی‌های کوارتزی سفید و بلوری به موازات برگوارگی تشکیل شده‌اند. کانی‌های اصلی این واحد شامل بیوتیت‌های درشت، مسکویت، سریسیت، ارتوز، کوارتز و کلسیت

کلریت شیست: در بررسی‌های صحرایی، واحد کلریت شیست با روند S-W <60° 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، پلازیوکلاز، 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 جهت‌یافتنگی و برگوارگی فاحشی داده است (شکل ۲ الف). ترکیب

شیستهای سبز اپیدوتی شده: بر اساس شواهد صحرایی، این واحد به صورت همووند با واحدهای رخنمون یافته در منطقه همراه با ریزچین‌ها، در لبهٔ جنوبی پهنهٔ دگرسان و کانه‌دار قرار دارد. شیستهای سبز با رنگ سبز چمنی دستخوش اپیدوتی شده‌اند. کانی‌های تشکیل دهندهٔ این واحد شامل اپیدوت، مسکویت، کوارتز و پلازیوکلاز و شکفته‌بلورهای اسفن هستند (شکل ۲ پ). اپیدوت و مسکویت به صورت خطواره‌هایی در امتداد شیسته‌وارگی جهت یافته و دارای چین خوردگی دیده می‌شوند.

است. وجود کانی‌های میکابی چون مسکویت و سریسیت، سبب شیسته 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 چین خوردگی 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.



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، پلازیوکلاز و اسفن و (ت) تصویر نمونه دستی از توف لایلی نادگرگونه، با حضور کلسیت و کوارتز با بافت بادامکی. Mus: مسکویت؛ Chl: کلریت؛ Qtz: کوارتز؛ Grt: گارنت؛ Epd: اپیدوت؛ Plg: پلازیوکلاز؛ Sph: اسفالریت، Ca: کلسیت.

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

رخساره کانسنگ لایه‌ای در بین شیسته‌های منطقه به صورت همرون (چینه‌سان) با آن‌ها تشکیل شده است و شامل تناوبی از لایه‌های متعدد اکسیدی مشتمل از پسیلوملان و پیرولوژیت 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. پیرولوژیت، پسیلوملان و هولاندیت به عنوان کانی‌های اکسیدی و بروانیت به عنوان کانی سیلیکاتی منگنز، کانی‌های اصلی تشکیل دهنده ماده معدنی هستند. منگنز بیشتر از کانی‌های اکسیدی خود، از جمله پیرولوژیت، 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 تمدنشینی اکسیدهای منگنز تشکیل می‌شوند [۱۲]. با وجود اینکه اکسیدهای منگنز به عنوان فاز اولیه در رسوبات تشکیل می-

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 شیسته‌ها)، دگرگشکلی نیز، به صورت شکستگی و خردشگی در این واحد قابل مشاهده است. درزهای 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.

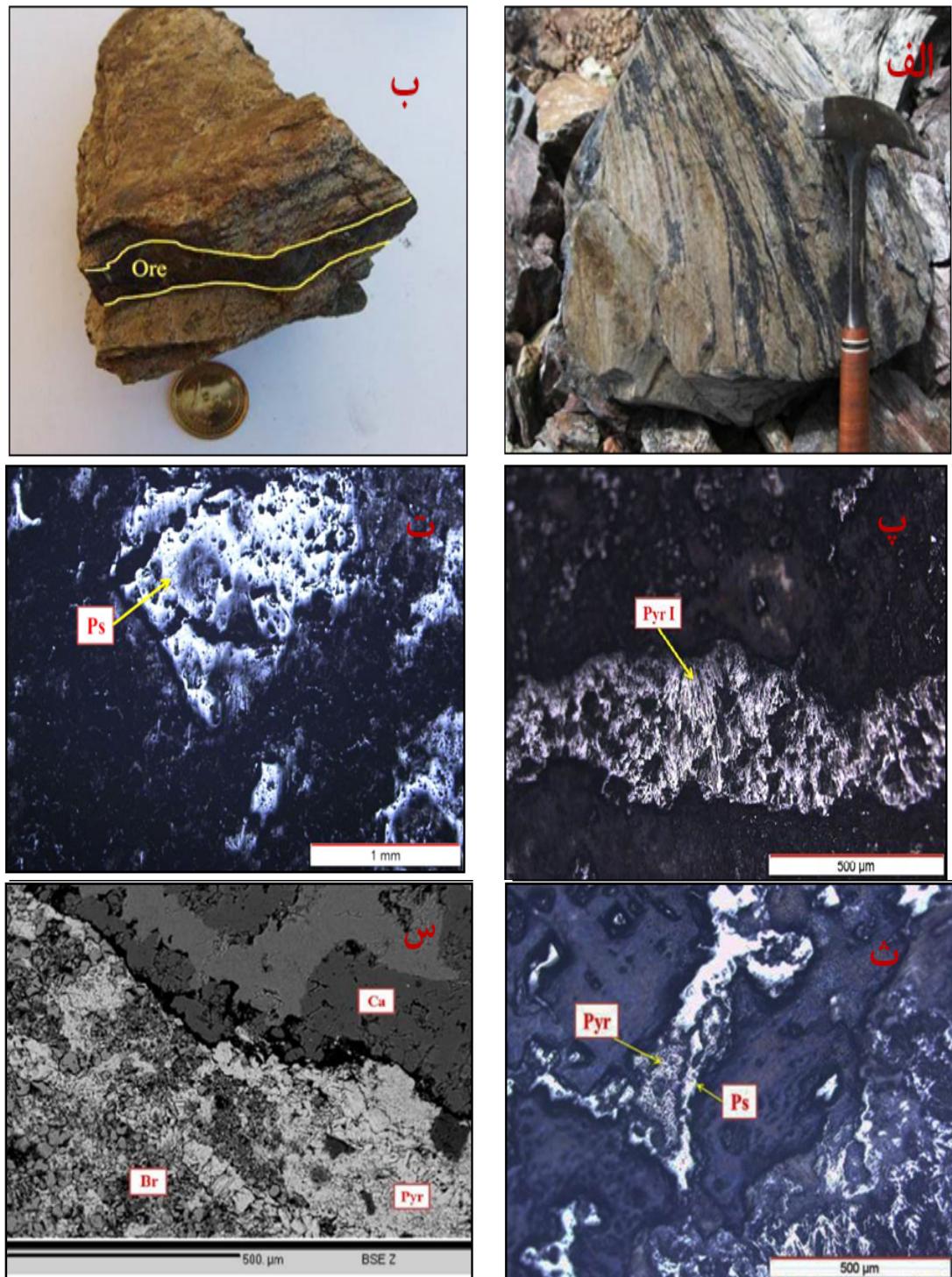
توف لایلی نادگرگونه: این واحد در قسمت شمالی گستره معدنی به صورت همرون با دیگر واحدهای رخنمون یافته در منطقه رخنمون دارد. این واحد به صورت بین‌لایه‌ای بین کلریت شیسته‌ها با ضخامت حدود ۱۵ متر در کمر پایین افق کانه‌دار قرار گرفته است. حفره‌های موجود در این سنگ‌ها توسط کوارتز و کلسیت پر شده و بافت بادامکی 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 هلالان، 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) بروونزد 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.

کلسیت و سنگ‌گچ از رایج‌ترین باطله‌ها در کانسار منگنز هستند که درجه خلوص ماده معدنی را پایین می‌آورند [۱۴].

شوند، اما به طور مداوم توسط فرآیندهای ثانویه (درونزادی) به فازهای دیگر تبدیل می‌شوند [۱۳]. کانی‌های رسی از جمله مونتموریونیت و کلینوکلر و کوارتز، اسپیسارتین، ولاستونیت،



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، (جانشینی شدن پسیلوملان توسط پیرولوزیت) و (ج) تصویر میکروسکوپی الکترون‌های پس پراکنده از کانی براونیت Pyr: پیرولوزیت، Ps: پسیلوملان و Br: براونیت.

کانی به صورت دانه پراکنده در سنگ‌های کمرپایین دیده می‌شود. بافت پرکننده فضاهای خالی از دیگر بافت‌های دیده شده در کانسار است که بیشتر در بردارنده انواع اکسیدهای منگنز و اغلب پیرولوزیت است. تناوب لایه‌های منگنیزدار (نووارهای سیاه) و شیستهای نیز بافت نواری را در کانسار هلالان تشکیل داده است. این بافت نشانگر همزمانی نهشتگی منگنیز با رسوب گذاری است و شرایط رسوبی اولیه را نشان می‌دهد. کانسارهای منگنیز 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 منگنیز کانی‌های کوارتز و کلسیت نیز دیده می‌شوند. دانه‌های پراکنده اکسیدهای منگنیز در متن کلریت شیستهای و سنگ‌های کربناته دیده می‌شود. ویژگی‌هایی از قبیل لایه‌بندی، ساختار کلوفورمی و سیلیکات‌های باقی‌مانده نشانده‌نده ماهیت ثانویه هستند که از دگرسانی سیلیکات‌های منگنیزدار در توالی همبازادی اولیه تشکیل شده‌اند [۱۵]. لایه‌ای بودن کانسنگ و بافت کلوفورمی شواهدی بر خاستگاه آتشفشاری- رسوبی و رسوب‌گذاری در یک محیط دریایی هستند [۲۰]. براساس بررسی‌های کانی‌شناسی و ساخت و بافت مشاهده شده در کانسار منگنیز هلالان، توالی همبازایی 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 میزان و کانسنگ منگنیز، 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 فرومگنیز با خاستگاه متفاوت به خوبی اثبات شده است [۸]. در میان اکسیدهای اصلی مقدار منگنیز، آهن و تیتانیوم برای تمایز خاستگاه کانسارهای منگنیز مهم هستند [۲۰]. براساس بررسی‌های انجام شده، تراکم پایین Al و Ti و همچنین تراکم بالای عناصر Ba, Cd, Mo, Co, Mn و Na در نمونه‌های سهم این عناصر در تشکیل کانسارهای گرمابی منگنیز هلالان است [۲۱، ۲۲]. با توجه به جدول ۳، Ca و در نمونه‌های مورد بررسی، فراوانی کمی را نشان می‌دهند. این عناصر ممکن است در اثر تبادل یونی با آهن تمرکز پیدا کرده

پیرولوزیت و پسیلوملان به پیرولوزیت کانی غالباً منگنیز 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 منگنیز اغلب از دگرسانی پسیلوملان، پیرولوزیت و کانی‌های 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 عمدت‌ترین سیماهای ماده معدنی در بخش کانه‌دار، کانی‌شناسی ساده دارد و متشکل از کانی‌های کوارتز و کلسیت به همراه کانه‌زایی اکسیدهای منگنیز از جمله پیرولوزیت و پسیلوملان است. شکل اولیه کانی پیرولوزیت در کانسار منگنیز گرمابی معمولاً به شکل رگه-رگچه‌ای دیده می‌شود [۱۵].

کانی براونیت (سیلیکات منگنیز) (شکل ۳ س) از عمول ترین کانی‌های منگنیز 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 منگنیز هستند. می‌توان گفت که براونیت به عنوان یک فراورده درونزادی اولیه رخ می‌دهد [۱۴]. بر اساس پژوهش رجب‌زاده و همکاران [۱۴] براونیت طی درونزادی: از واکنش میان اکسیدهای منگنیز و محلول گرمابی و همچنین واکنش میان اکسیدهای منگنیز با سیلیس موجود در رسوبات تشکیل شده است که این واکنش در دمای پایین و فشار بالا صورت می‌گیرد [۱۸]



در بررسی‌های انجام شده، کانی هولاندیت به عنوان یک کانی اکسیدی منگنیز توسط نتایج پراش پرتوی ایکس شناسایی شد. هولاندیت از جمله کانی‌هایی است که در کانسارهای منگنیز گرمابی دما پایین تشکیل می‌شود [۱۲]. پیریت به عنوان کانی سولفیدی و هماتیت به عنوان کانی اکسیدی، تنها کانی‌های آهن موجود در این کانسار هستند. هماتیت به صورت دانه پراکنده، سوزنی شکل و تیغه‌ای طریف قابل مشاهده است. این

کانسارها بسیار اهمیت دارد. بی‌هنجری منفی Ce بسیاری از کانسارهای گرمابی گزارش شده‌اند [۲۳] که می‌تواند نشان دهنده رسوب‌گذاری سریع کانی‌های منگنزدار باشد [۲۶]. کانسارهای آبزادی معمولاً بی‌هنجری مثبت از Ce را نشان می‌دهند که در مقابل کانسارهای گرمابی با بی‌هنجری منفی قرار می‌گیرند. [۲۳]. بی‌هنجری 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]، بی‌هنجری منفی Ce نشان‌دهنده خاستگاه آب دریا برای عناصر خاکی نادر است. از آنجاکه تراکم Sr با افزایش دما و شوری آب دریا افزایش می‌یابد [۲۸]، تراکم بالای Sr در کانسار منگنز هلالان (REE) است. می‌تواند نشان‌دهنده تشکیل کانسار منگنز در محیط رسوبی دریایی با شوری بالا باشد [۱۳].

باشند. [۲۳]. در کانسارهای گرمابی، منگنز، مقادیر پایین Zn (7-283) ppm، Cu (5-1000ppm) و Ni (5-179) ppm 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. Eu و Ce 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] بی‌هنجری منفی از Ce را نشان می‌دهند. در مورد بی‌هنجری منفی Ce در کانسارهای منگنز نظریه‌های متعددی ارائه شده است که در تفسیر محیط تشکیل این

جدول ۱ توالی همیزدادی کانی‌ها در کانسار منگنز هلالان.

Stage Minerals	Volcano- Sedimentary	Diagenesis	Metamorphism and deformation	Weathering (Supergene)
Pyrolusite	—	—	—	—
Psilomelan	—	—	—	—
Braunite	—	—	—	—
Hollandite	—	—	—	—
Hematite	—	—	—	—
Pyrite	—	—	—	—
Quartz	—	—	—	—
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 ₂ O ₃	۱۳.۴	۱۳.۴	۲۱.۲	۲۳.۹	۵.۹	۱.۹	۰.۹	۲.۸	۱.۹
Fe ₂ O ₃	۱۱.۸	۲.۵	۳.۲	۶.۹	۴.۹	۱.۵	۲.۷	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 ₂ O	۰.۱	۰	۳.۸	۰.۹	۰.۱	۰.۳	۰.۳	۰	۰
K ₂ O	۱.۵	۳.۸	۰.۲	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

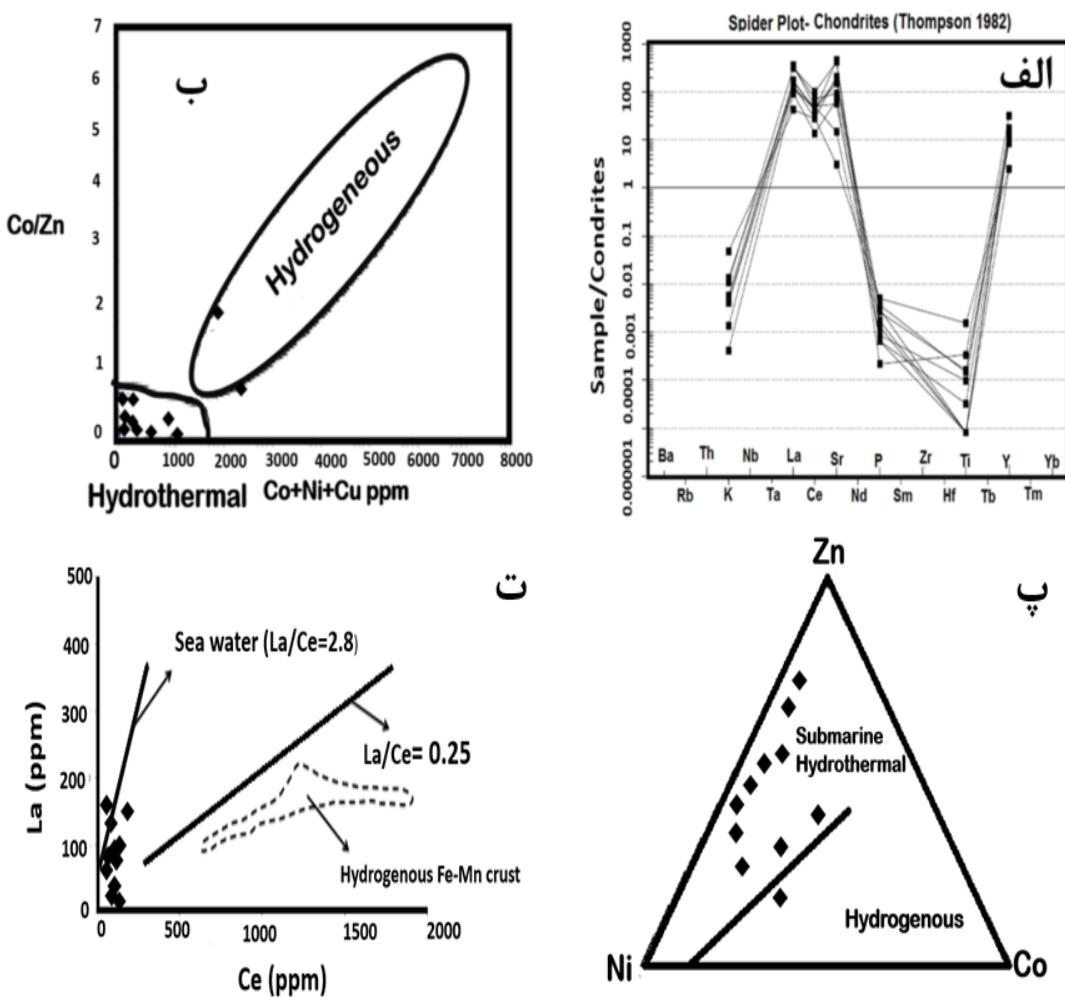
جدول ۳ مقادیر عناصر فرعی و کمیاب بر حسب ppm

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	۱۲/۳	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	۵۶	۹/۸	۰/۷۵	۰/۷۵	۰/۷۵
Bi	۱۳/۳	۱۲/۳	۱۲/۳	۴۳	۲۴	۱۴	۲۱	۱۱	۱۸	۱۳/۳	۱۳/۳	۱۳/۳
Fe	۱۰۸۰	۰	۶۸۰۰	۰/۷	۲۱۹۰۰	۱۷۴۰۰	۲۸۵۰۰	۰	۰	۱۲۵۰۰	۰	۰/۷۵
Co	۱۲/۳	۱۲/۳	۲۰	۱۲/۳	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	۱۲/۳	۱۲/۳	۱۱	۱۳/۳	۱۲/۳	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	۲۸۲	۱۸۸	۱۰۹	۸۲	۲۸۲	۱۱۴	۱۱۴	۵۸	۱۰۴	۷
Na	۰/۰۸	۰/۰۸	۰/۰۲	۰/۰۸	۰/۰۹	۰/۰۷	۰/۶	۰/۲۳	۰/۰۸	۱/۸	۱/۱	۰/۰۸
K	۱۶۱۰۰	۰	۴۹۰۰	۱۶۰۰	۶۹۰۰	۵۳۰۰	۱۳۰۰۰	۰	۰	۵۷۴۰۰	۰	۱۰۰
Ca	۶۲۲۰۰	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	۱۲/۳	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	۲۲	۸۰۰
عناصر با شدت میدان بالا (HSFE)												
Y	۲۶	۱۲/۳	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	۱۲/۳	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	۱۲/۳	۱۲/۳	۱۱	۱۳/۳	۱۲/۳	۱۳/۳	۱۳/۳	۱۳/۳	۲۱	۱۲	۱۳/۳

گرفته است [۳۱]. با توجه به این نمودار، کانسارهای فرومگنز 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 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 آتشفسانی مشتق می‌شوند [۳۴].

زمین‌شیمی عناصر آهن-منگنز-عناصر کمیاب کانسینگ نسبت Mn/Fe: آهن در کانسارهای منگنز گرمابی نامحلولتر از منگنز است. به طور کلی برای مقادیر pH در گستره ۶-۸ 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 $Mn/Fe < 10/۱$ کانسار رسوبی با خاستگاه بروندمی است. بر اساس نسبت Mn/Fe به دست آمده برای کانسار مورد بررسی که برابر با $3/۴$ درصد است، این کانسار در گستره آتشفسانی-رسوبی واقع است.

نمودار Co/Zn نسبت به Co+Ni+Cu: این نمودار، برای تفکیک کانسارهای فرومگنز گرمابی از آبزاد مورد استفاده قرار



شکل ۴ (الف) نمودار عنکبوتی [۲۵] و نمونه‌های کانسار منگنز مورد بررسی (ب) نمودار سه تابی [۳۱] و جایگاه نمونه‌های کانسار منگنز مورد بررسی (ت). نمودار تراکم La نسبت به Ce [۳۱] و جایگاه نمونه‌های کانسار مورد بررسی در آن.

نسبت La/Ce بین ۰/۷ تا ۰/۲۷ 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 بروندی و رسوبی تشکیل شده است و ساختارهای گسلی در مرحله بروندی نقش مجرای انتقالی را داشته‌اند.

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

نسبت La/Ce: نسبت Ce به La در کانسارهای گرمابی مشابه آب دریا و حدود ۰/۸ است، اما سایر کانسارها نسبت به آب دریا در Ce غنی‌شدگی نشان می‌دهند و نسبت Ce به La در این کانسارها برابر ۰/۲۵ است [۳۱]. در نمونه‌های تجزیه شده،

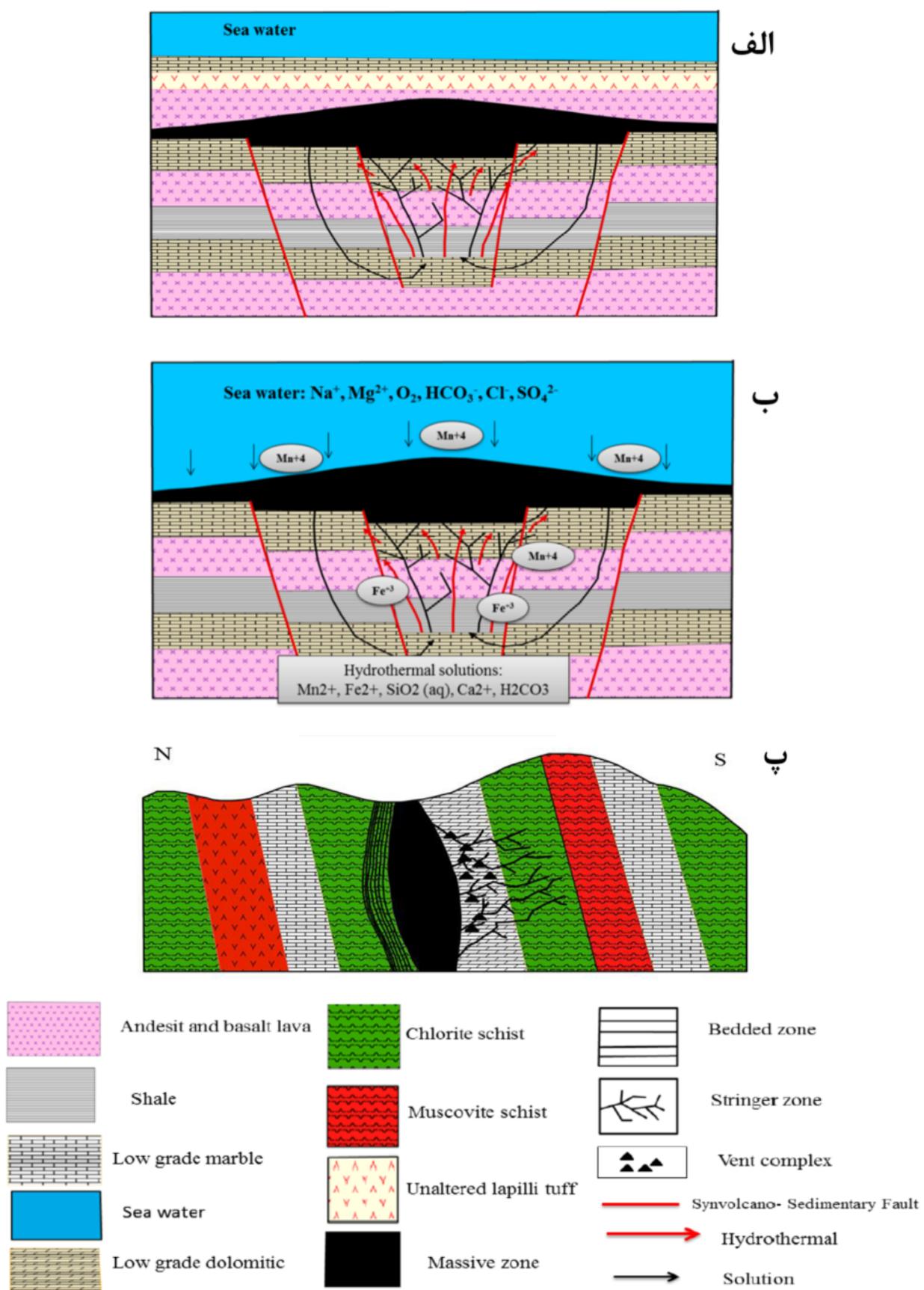
مرحله درونزایی: در مرحله بعد، بار دیگر فوران آتشفسانی صورت گرفته و لایه‌هایی از گدازه‌های آندزیتی- بازالتی، توف لایپلی و سنگ آهک بر ماده معدنی تشکیل شده‌اند (شکل ۵ ب) درونزایی شامل فشردگی، سیمانی شدن، انحلال، جانشینی و دگرسانی تا مرحله پیش از دگرگونی است. در این مرحله، کانی‌های ثانویه منگنز تشکیل می‌شوند، به این صورت که کانی‌های آبدار منگنز مانند پسیلوملان و هولاندیت در اثر درونزایی به کانی‌های بی‌آب مانند پیرولوژیت تبدیل می‌شوند. هم‌چنین با افزایش دما و فشار ضمن درونزایی شرایط برای تشکیل کانی براونیت فراهم می‌شود. براونیت و کوارتز از رایج‌ترین 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 بالاًمدگی 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 پیرولوژیت به صورت ثانویه نیز شده است. به این صورت که در اثر دگرگونی کانی‌های بی‌آب منگنز مانند پسیلوملان شده‌اند. فرآیند 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 آتشفسانی- رسوبی و فعالیت اگزالتیو زیردریایی صورت گرفته است و فرآیند دگرگونی بعدی تنها باعث ایجاد بسیاری از ویژگی‌های فعلی ماده معدنی و سنگ‌های دربرگیرنده آن شده است. براساس بررسی‌های کانی‌شناسی، 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.

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

مرحله بروندمی - رسوبی: در این مرحله در اثر فعالیت‌های آتشفسانی- بروندمی، سیال‌های گرمابی- بروندمی داغ، اسیدی و احیایی، عناصر کانه‌ساز از جمله کاتیون‌های دوظرفیتی آهن، منگنز و سیلیس از سنگ‌های کمپایین (سنگ‌های آتشفسانی رسوبی) شسته شده و از طریق شکستگی‌ها و فضاهای باز، وارد حوضه رسوبی شده‌اند. در واقع گردش آب دریا در میان سنگ‌های آتشفسانی 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 نامحلول تر از ترکیبات منگنزدار هستند. آهن در $\text{PH} = 6$ و منگنز در $\text{PH} = 8$ رسوب می‌کند. فعالیت باکتری‌های اکسید کننده نیز از جمله دیده عوامل جدایش سریع آهن محلول است [۱۲]. سولفید آهن (پیریت) معمولاً در اعماق و درون سنگ‌های آتشفسانی 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 می‌کند. 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 پیرولوژیت، 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، قلایایی 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 پیرولوژیت 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)، تنهشت کرده است (شکل ۵ الف).



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

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).

مقایسه کانسار منگنز هلالون با نوع ماکو

بر اساس تقسیم‌بندی موزیر و پیج [۳۹]، کانسارهای منگنز آتشفشاری-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

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

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

برداشت

کانسار منگنز هلالان، به شکل چینه‌سان (لایه‌ای و عدسی شکل) و همروند با لایه‌بندی با کانی‌شناسی پیروولوزیت، پسیلوملان، هولاندیت، براونیت و هماتیت بر مجموعه آتشفسانی- رسوی 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 دگرگون شده با سن ژوراسیک پیشین هستند. بررسی‌های انجام شده، نشان‌دهنده عملکرد فرایندهای دگرشكلي، بازتبلور، تحرک مجدد و تغییرات ریختاری در این کانه‌زایی است. براساس بررسی‌های زمین- شیمیایی، بالا بودن نسبت Mn/Fe و پایین بودن مقادیر فلزات Mn، Co، Ni و Cu با بالا بودن مقادیر Mn و SiO₂ به عنوان شواهدی از غنی‌شدگی و تخلیه 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 رسوی در محیط دریایی تشکیل شده و یک کانسار آتشفسانی- رسوی 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

- [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., Mohajjal M., Jafari M., "First Report of Geochemical Characteristics of the Sangān 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

- 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* 80 (2017) 229-249.
- [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., Derbyshire D. F., "Active geothermal systems with entrained seawater as modern analogs for transitional volcanic-hosted massive sulfide and continental magmatic-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 Equivalents of Modern Deposits from Oceanic Spreading Centers, Bull", *Geol. Soc. Am. vol 87* (1976): 83-94.
- 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 of Srikantham 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] Zaravandi 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,

- 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, Shahrood University (1394).
- [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., Mendivil-Quijada H., "Genesis of manganese oxide mineralization in the Boleo region and Concepción Peninsula, Baja California Sur: constraints from Pb-Sr isotopes and REE