

رخدادهای کاندهزایی منگنز نخلک (سلمرود) در توالی آتشفشانی - رسوبی کرتاسه پسین، جنوب شرق شاهرود، زیر پهنه سبزوار

فردین موسیوند

گروه زمین شناسی، دانشکده علوم زمین، دانشگاه صنعتی شاهرود

مجید طاشی

گروه زمین شناسی، دانشکده علوم زمین، دانشگاه صنعتی شاهرود

حبیب الله قاسمی

گروه زمین شناسی، دانشکده علوم زمین، دانشگاه صنعتی شاهرود

تاریخ دریافت: ۹۵/۱۰/۲۹ تاریخ پذیرش: ۹۶/۱۰/۱۵

mousivand@shahroodut.ac.ir

چکیده

کانسار منگنز نخلک (سلمرود) در منطقه خارتوران شاهرود در توالی آتشفشانی - رسوبی کرتاسه پسین در زیر پهنه سبزوار قرار گرفته است. سنگ‌های میزبان کاندهزایی شامل داسیت و آهک پلاژیک گلوبوترونکاندار می باشد. رخساره‌های کانسنگ از کمربلای کانسار شامل رخساره‌های برشی، توده‌ای و لایه‌ای می باشد. مطالعات زمین شیمی ماده معدنی در کانسار و شواهد زمین شناسی نشان می دهد که کاندهزایی توسط سیالات گرمایی که از طریق گسل‌های همزمان با آتشفشان و رسوبگذاری وارد دریا می شده صورت گرفته است. در ادامه، برخورد این سیالات کاندهزا با آب‌های سرد اکسیژن دار فرورو موجب ته نشینی منگنز در یک محیط عمیق دریایی شده است. همچنین مقایسه صورت گرفته بین این نوع کاندهزایی با دیگر موارد مشابه در جهان بر اساس ویژگی‌هایی همچون محیط زمین ساختی تشکیل، محیط زمین شناسی ته نشست، سنگ‌های میزبان، شکل هندسی پیکره معدنی، ساخت و بافت، کانی شناسی و علائم زمین شیمیایی نشان می دهد که این کاندهزایی بیشترین شباهت را با کاندهزایی منگنز آتشفشانی - برونمی تیپ کوبا دارا می باشد. با توجه به گسترش کاندهزایی منگنز در منطقه بر اکتشاف این نوع کاندهزایی در این توالی سنگی در زیر پهنه سبزوار تأکید می شود.

کلمات کلیدی: نخلک (سلمرود)، منگنز آتشفشانی - رسوبی، کرتاسه پسین، شاهرود، زیر پهنه سبزوار

مقدمه

کانسار منگنز نخلک (سلمرود) با مختصات جغرافیایی ۳۵ درجه، ۱۷ دقیقه و ۵۸ ثانیه عرض شمالی و ۵۶ درجه، ۴۹ دقیقه و ۳۹ ثانیه طول شرقی، در ۳۰۰ کیلومتری جنوب شرق شاهرود، در منطقه حفاظت شده خارتوران و در ۱۰ کیلومتری جنوب غرب روستای سلمرود قرار دارد (شکل ۱). منطقه مورد مطالعه بر اساس تقسیم بندی پهنه‌های ساختاری - رسوبی ایران در توالی ضخیم آتشفشانی - رسوبی زیر پهنه سبزوار واقع شده است. پژوهش‌های انجام شده توسط سازمان زمین شناسی و اکتشافات معدنی کشور و محققان دانشگاهی منجر به شناسایی رخدادهای مختلف کاندهزایی مس و منگنز در واحدهای آتشفشانی - رسوبی کرتاسه پسین در این منطقه شده است (بدخشان ممتاز، بنی آدم، ۱۳۷۷ و جباری و همکاران، ۱۳۹۶) (شکل ۲). از جمله این کاندهزایی‌های مس و منگنز می توان به کانسارهای مس - نقره گرماب پایین (طاشی و همکاران، ۱۳۹۴) و کانسارهای منگنز نخلک و عزتی (شمال شرق اسبکشان) اشاره نمود (شکل ۲). اگرچه کاندهزایی منگنز در توالی آتشفشانی - رسوبی کرتاسه پسین در منطقه جنوب غرب سبزوار توسط مغفوری و همکاران (۱۳۹۳) مورد بررسی قرار گرفته است، ولی این تحقیق اولین مطالعه علمی و معرفی

کاندهزایی منگنز در این توالی در منطقه خارتوران می باشد که در حدود ۶۰ کیلومتری منطقه قبلی قرار دارد. در این توالی در جنوب غرب سبزوار علاوه بر کاندهزایی‌های منگنز متعدد، کاندهزایی سولفید توده ای تیپ بشی نوده رخ داده است (Maghfouri et al., 2016). قابل ذکر است که در منطقه خارتوران نیز علاوه بر کاندهزایی منگنز، کاندهزایی سولفید توده ای آتشفشانزاد نوع بشی گرماب پایین رخ داده است (طاشی و همکاران، ۱۳۹۴). هدف از این پژوهش، بررسی و بحث در مورد ویژگی‌های رخساره‌های کاندهدار، کانی شناسی، ساخت و بافت، دگرسانی، زمین شیمیایی و الگوی تشکیل و تیپ این کاندهزایی و مقایسه آن با دیگر کانسارهای مشابه در دنیا است.

روش مطالعه

به منظور انجام مطالعات زمین شناسی و بررسی کاندهزایی منگنز رخ داده در منطقه نخلک، ۶ بازدید صحرایی از این منطقه به عمل آمد. در این بازدیدها تعداد ۵۰ نمونه از رخساره‌های مختلف کانسار و واحدهای آتشفشانی - رسوبی میزبان کاندهزایی برداشت شد. از این تعداد نمونه برداشت شده، ۱۶ نمونه جهت مطالعات پتروگرافی به صورت مقطع نازک -

در جنوب قرار گرفته است (Alavi, 1991). بر اساس مطالعات صورت گرفته توسط روزتی (Rossetti et al., 2010) توالی آتشفشانی - رسوبی زیر پهنه سبزوار، در یک محیط کافتی (ریفِت) پشت کمانی (back - arc) ایجاد شده است. این کشتش در اثر فرو رانش پوسته اقیانوسی نئوتتیس به زیر ایران مرکزی اتفاق افتاده است. زیر پهنه سبزوار را از نظر واحدهای سنگی می توان به دو مجموعه تقسیم کرد. مجموعه اول شامل سنگ های فوق بازیگ تا بازیگ است که تشکیل دهنده واحدهای افیولیتی ملانژ در شمال زیر پهنه سبزوار می باشد. مجموعه بعدی که شامل سنگ های آتشفشانی همچون آندزیت و داسیت و آتشفشانی - رسوبی است که ارتباط ژنتیکی با افیولیت ها ندارند و بیشتر در قسمت های جنوبی زیر پهنه سبزوار واقع است (وطن پور و همکاران، ۱۳۸۸).

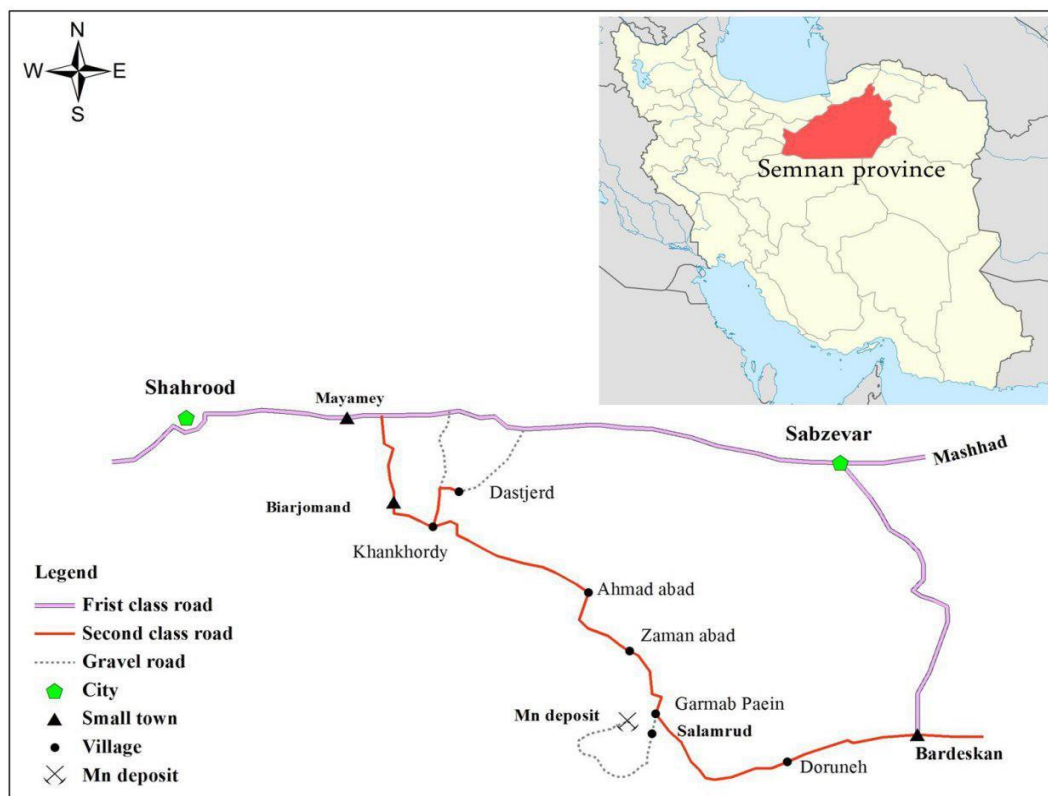
بر اساس مطالعات زمین شناسی انجام شده، کانسار منگنز نخلک در مجموعه سنگ های آتشفشانی - رسوبی کرتاسه پسین واقع شده است و این توالی میزبان هیچ گونه ارتباطی با افیولیت ها ندارد.

صیقلی در آزمایشگاه کانده نگاری دانشکده علوم زمین دانشگاه صنعتی شاهرود تهیه گردید. به منظور مطالعات زمین شیمی نیز تعداد ۱۶ نمونه از کانسنگ و سنگ های آتشفشانی - رسوبی توالی میزبان به روش های طیف سنج نشری پلاسمای جفت شده القایی (ICP - OES) و فلورسانس پرتو ایکس (XRF) در آزمایشگاه های مرکز تحقیقات و فرآوری مواد معدنی ایران وابسته به سازمان توسعه و نوسازی معادن و صنایع معدنی ایران (ایمیدرو) و روش ICP - MS در شرکت زراژما تهران مورد آزمایش قرار گرفت.

بحث و بررسی

زمین شناسی منطقه

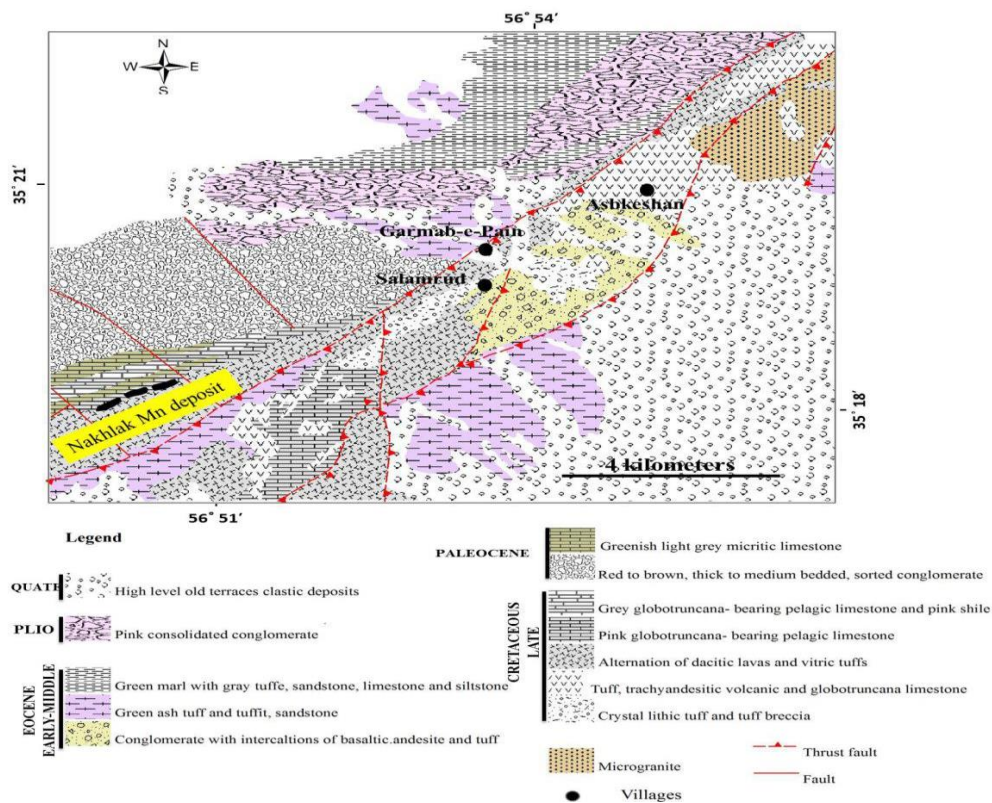
همان طور که گفته شد کانده زایی منگنز نخلک از نظر تقسیمات پهنه - های ساختاری - رسوبی ایران در زیر پهنه سبزوار که یکی از پهنه های چندگانه خرده قاره ایران مرکزی است، واقع شده است. این زیر پهنه به صورت بلوک دوزنقه ای شکل در بین گسل بینالود در شمال و گسل تکنار



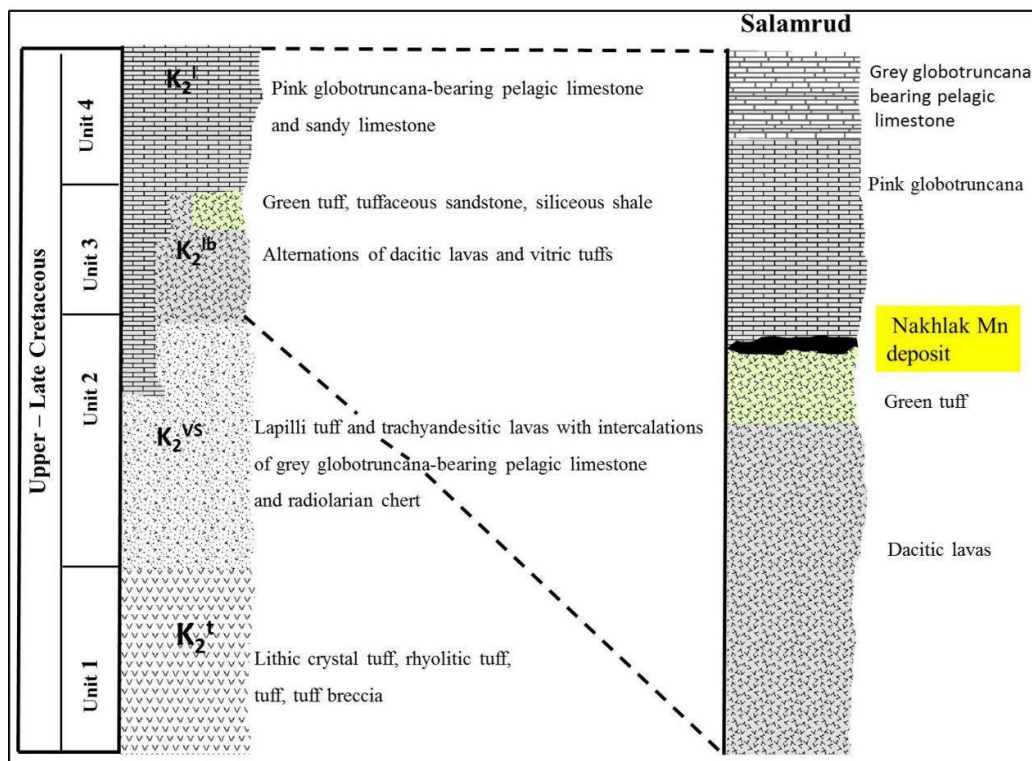
شکل ۱. موقعیت جغرافیایی و راه دسترسی به کانسار منگنز نخلک.

حدود ۱۰۰۰ - ۵۰۰ متر را دارا می باشد و از تناوب گدازه های داسیتی و توف شیشه ای بلورین اسیدی به رنگ خاکستری تیره مایل به سبز تشکیل شده است. در مرز بالایی این واحد آتشفشانی، آهک های گلوبتروئکانادار (K_2^1) قرار گرفته است. بیشترین ضخامت این واحد آتشفشانی مربوط به یال شمالی تاقدیس گرماب - اسبکشان می باشد. کانه - زایی منگنز نخلک نیز در یال شمالی این تاقدیس و در مرز آهک های گلوبتروئکانادار با سنگ های آتشفشانی داسیتی (K_2^{lb}) به صورت هم شیب و هم روند با این دو واحد رخ داده است (شکل ۴).

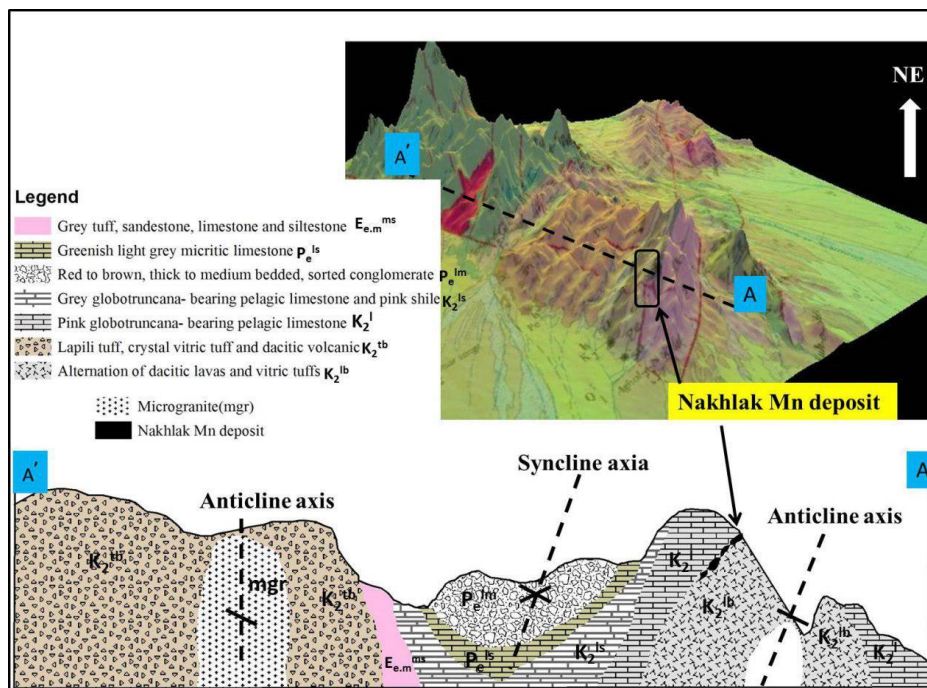
توالی آتشفشانی - رسوبی کرتاسه پسین در حوضه غرب سبزوار را می توان بر حسب گسترش واحدهای آتشفشانی، آذر آوری و رسوبی به چهار واحد اصلی (Unit) تقسیم کرد که همگی مربوط به بخش های بالایی کرتاسه پسین می باشد (شکل ۳). بر اساس نقشه زمین شناسی ۱/۱۰۰۰۰۰ مری - اسبکشان (کهنسال، ۱۳۸۶) و مطالعات صحرایی، عمده سنگ های منطقه شامل، توف جریانی و توف ریولیتی، گدازه تراکی آندزیتی، گدازه داسیتی و توف شیشه ای، آهک گلوبتروئکانادار و آهک پلاژیک می باشد. توالی سنگ های آتشفشانی داسیتی در منطقه مورد مطالعه ضخامتی در



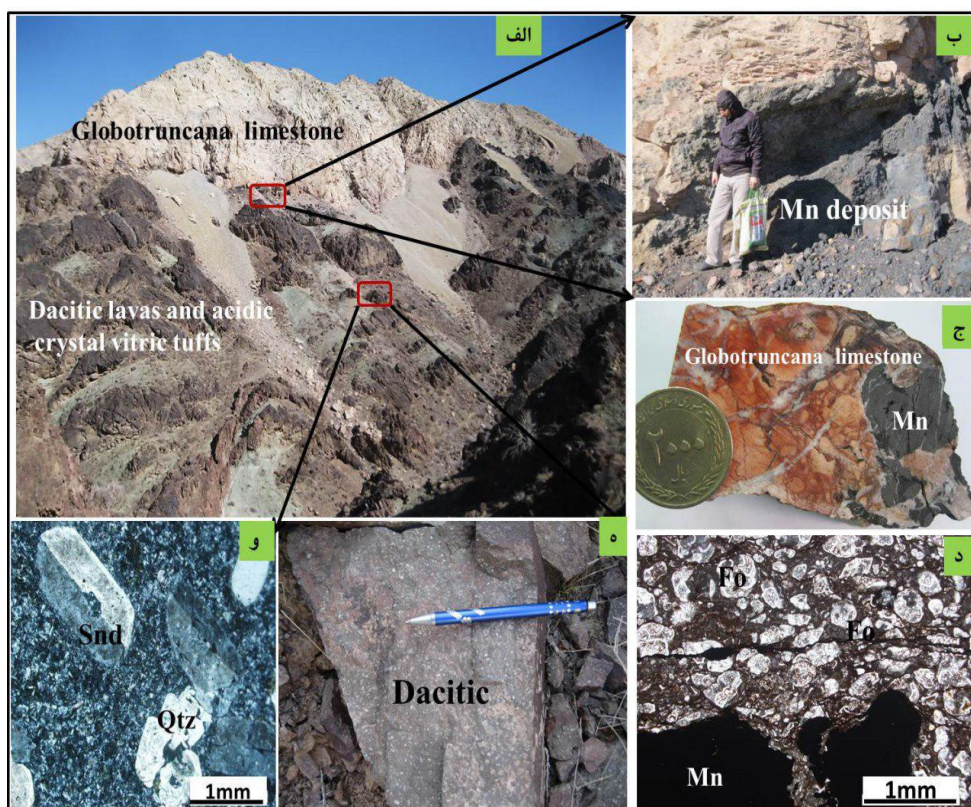
شکل ۲. نقشه ساده شده زمین‌شناسی منطقه نخلک (سلم‌رود) و گرماب پایین، برگرفته از نقشه زمین‌شناسی ۱:۱۰۰۰۰۰ اسبکشان (کهنسال ۱۳۸۶)، به همراه موقعیت کانسار منگنز نخلک و کانسارهای منگنز عزتی (شمال شرق اسبکشان).



شکل ۳. ستون چینه‌شناسی کرتاسه پسین در منطقه جنوب سبزوار و توالی میزبان کانسار منگنز نخلک.



شکل ۴. طرحی نمادین از مقطع عرضی کانسار منگنز نخلک که کانه‌زایی منگنز در یال شمالی تاقدیس و در مرز بین سنگ‌های آتشفشانی داسیتی و آهک‌های گلوبوترونکانادار واقع شده است، برگرفته از نقشه ساده شده زمین‌شناسی ۱:۱۰۰۰۰۰ مری - اسپکشان (کهنسال، ۱۳۸۶).



شکل ۵. الف و ب) نمایی از کانسار منگنز نخلک به همراه واحد آتشفشانی داسیت در قسمت کمربلای کانسار و واحد آهکی در قسمت کمر بالای کانسار، ج) نمونه دستی از آهک-های پلاژیک گلوبوترونکانادار که همراه با کانه‌زایی منگنز می‌باشد، د) مقطع میکروسکوپی از آهک گلوبوترونکانادار مربوط به کرتاسه پسین (نور عبوری، PPL)، ه) نمایی نزدیک از داسیت‌های کمربلای کانسار، و) مقطع میکروسکوپی از همین داسیت‌ها که دارای بافت میکروولیتی پورفیری است (نور عبوری، XPL). علائم اختصاری، منگنز (Mn)، فسفیل گلوبوترونکانادار (fo)، سانیدین (Snd) و کوارتز (Qtz).

کانه زایی

مطالعات و بازدیدهای صحرایی انجام شده از کانسار منگنز نخلک حاکی از این است که کانه‌زایی منگنز در مرز بین سنگ‌های آتشفشانی داسیتی (واحد K^{lb}) و سنگ آهک پلاژیک (واحد K^1_2) به صورت هم شیب و هم‌روند (چینه سان) و به شکل چینه کران رخ داده است. کانی‌سازی در این کانسار بر اساس شکل، کانی‌شناسی، بافت ماده معدنی و عیار آن از پایین به بالا به سه رخساره برشی، توده‌ای و لایه‌ای قابل تقسیم است.

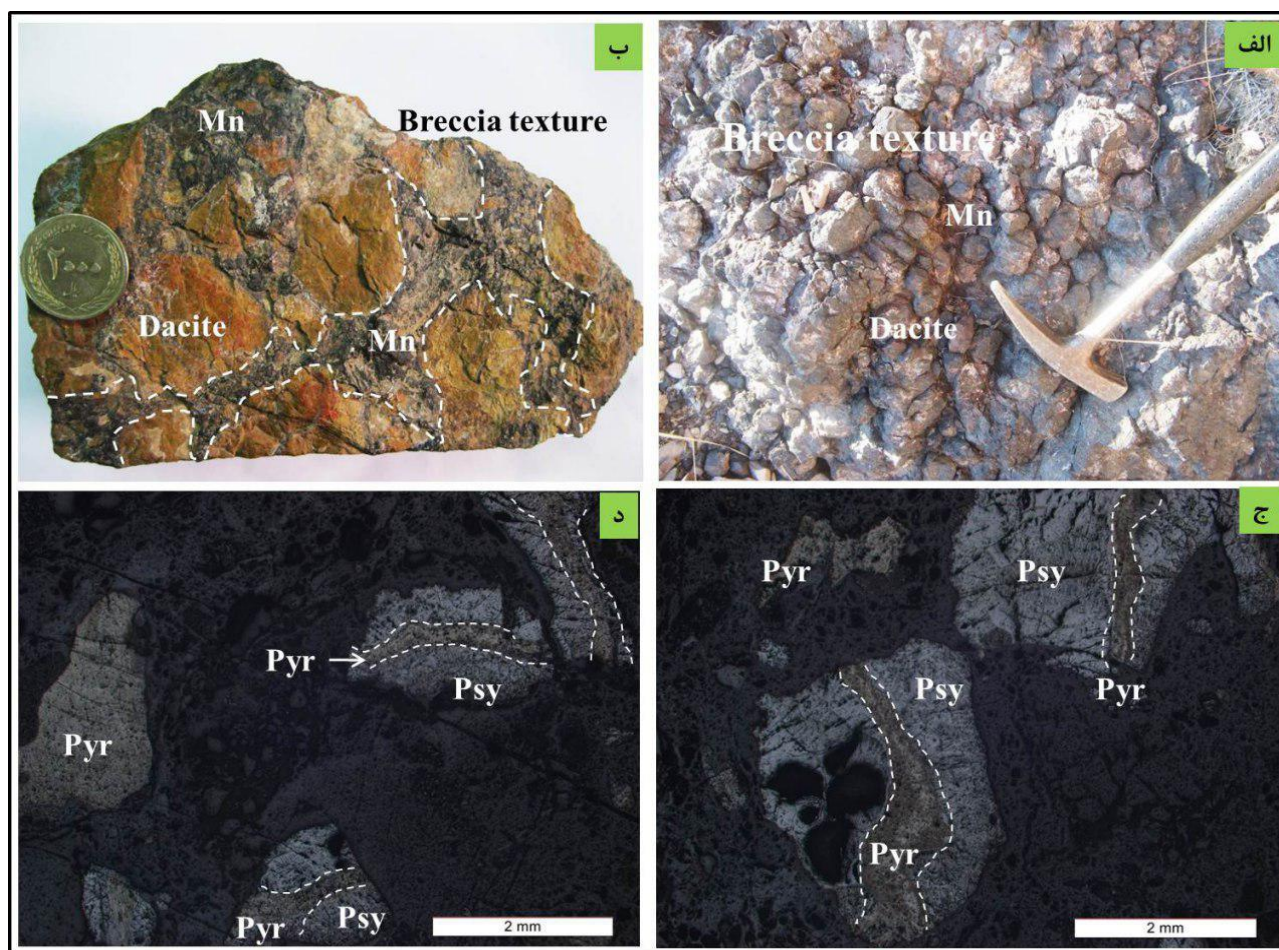
رخساره برشی

رخساره برشی در کانسار منگنز نخلک دارای گسترش محدود بوده و در آن زمینه قطعات برشی داسیتی توسط منگنز پر شده است (شکل‌های ۶ الف، ب). این رخساره در این کانسار به صورت چینه کران در قسمت کم‌پایین کانسار و درست در زیر رخساره توده‌ای قرار گرفته است. از نظر کانی‌شناسی نیز این رخساره بیشتر حاوی کانه‌های اکسیدی منگنز همچون پسیلوملان و پیرولولزیت می‌باشد (شکل ۶ ج و د). دگرسانی غالب در این رخساره مربوط به دگرسانی کلریتی است.

مطالعات میکروسکوپی مقاطع نازک سنگ‌های آتشفشانی منطقه معدنی نخلک نشان می‌دهد که بلورهای کوارتز و آلکالی‌فلدسپار در یک زمینه میکروکریستالین تشکیل شده است.

بلورهای کوارتز به صورت خودشکل هم در زمینه و هم به صورت فنوکریست دیده می‌شود. آلکالی‌فلدسپارها در این سنگ‌ها از نوع سان‌دین و اورتوکلاز می‌باشند و به صورت بلورهای پورفیری و میکروولیتی در زمینه دیده می‌شوند. همچنین مطالعات انجام شده بر روی واحد کربناته کانسار نشان می‌دهد ضخامت این واحد حدود ۷۰ تا ۳۲۰ متر است و دارای رنگ رخساره‌ای نخودی تا قرمز کم رنگ متمایل به خاکستری است (شکل ۵). تدریجی بودن مرز این دو واحد (واحد داسیتی و کربناته) در منطقه نشان از تغییر رژیم رسوب‌گذاری در این حوضه کششی از حالت آتشفشانی به حالت رسوبی و افول فعالیت آتشفشانی را حکایت می‌کند (شکل ۵). مطالعه فسیل‌های شاخص (همچون فسیل گلوبوترونکانادار) موجود در آهک‌های پلاژیک منطقه نشان می‌دهد

این فسیل‌ها مختص محیط‌های عمیق دریا بوده و از نظر زمانی نیز مربوط به دوره زمانی کرتاسه پسین است (شکل ۵ د).

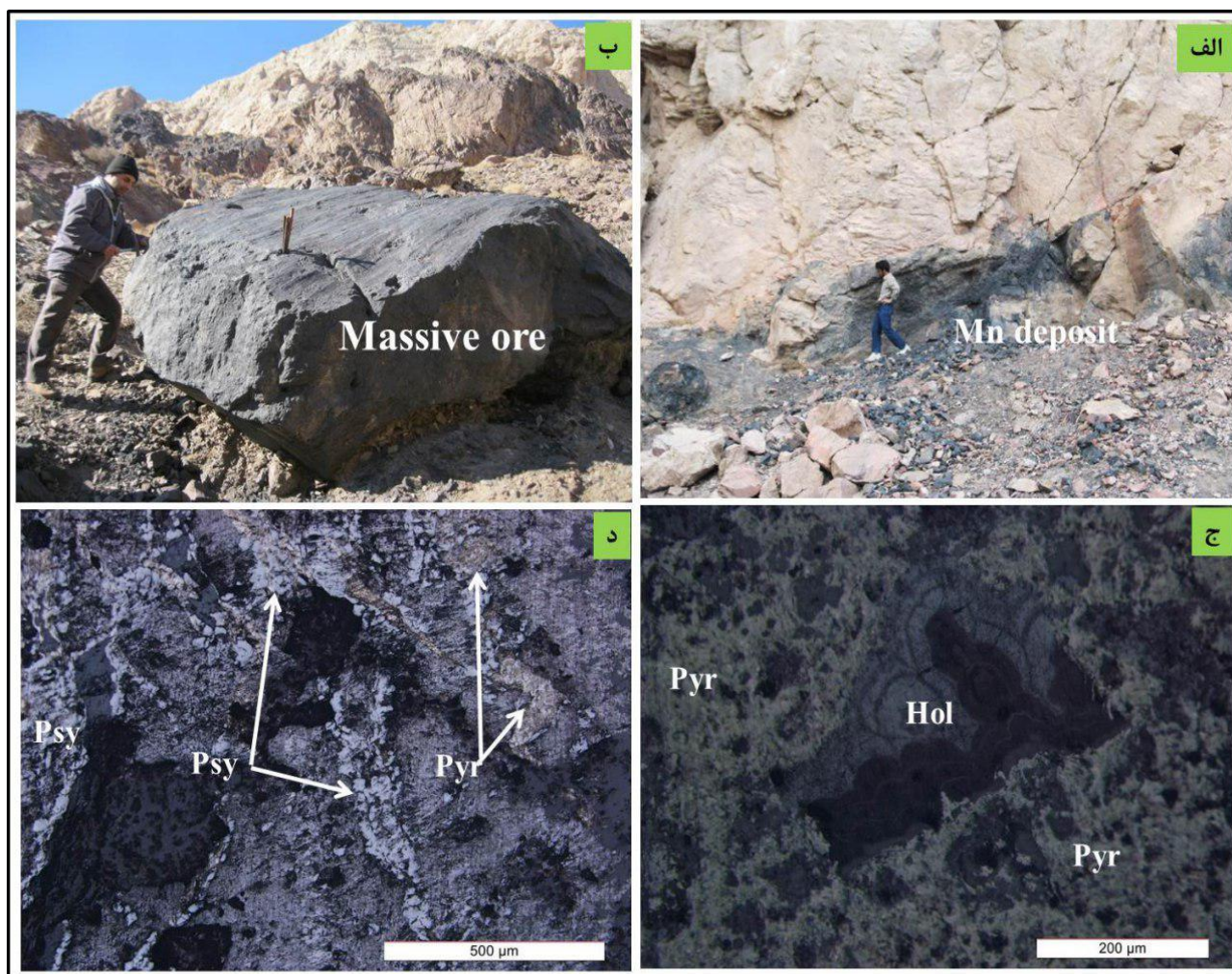


شکل ۶. رخساره برشی در کانسار منگنز نخلک، الف، ب) نمایی از رخساره منگنز برشی در سنگ میزبان داسیت، ج، د) تصاویر میکروسکوپی از کانی‌های پیرولولزیت (Pyr) و پسیلوملان (Psy) در رخساره برشی.

رخساره توده‌ای

این رخساره در کانسار نخلک دارای گسترش زیادی است و بخش‌های ضخیم و عیار بالای کانسار را تشکیل می‌دهد. از نظر شکلی، ماده معدنی به شکل عدسی‌های با ضخامت ۱ تا ۳ متر و طول بیش از ۳۰۰ متر در مرزسنگ‌های آهکی و داسیتی دیده می‌شود (شکل ۵ و ۷ الف). که این یکی از ویژگی‌های عمده کانسارهای منگنز با سنگ درون‌گیر آتشفشانی - رسوبی است. کانی‌های منگنز در این رخساره شامل پسیلوملان، پیرولویت و هولاندیت می‌باشد (شکل ۷ ج و د). جانشینی

پسیلوملان و هولاندیت توسط پیرولویت در این رخساره به وفور دیده می‌شود و به عنوان بافت جانشینی ثانویه محسوب می‌شود (شکل ۷ د). جانشینی ثانویه در کانی‌های منگنز این رخساره ناشی از فرآیندهای دیاژنتیکی است که موجب از دست دادن آب و تبدیل پسیلوملان و هولاندیت به پیرولویت شده است. از دیگر ویژگی‌های اساسی این رخساره، می‌توان به پایین بودن نسبت کانی‌های آتشفشانی - رسوبی به کانی‌های اکسیدی و سیلیسی منگنز اشاره کرد که در طی فرایند گرمایی تشکیل شده‌اند.

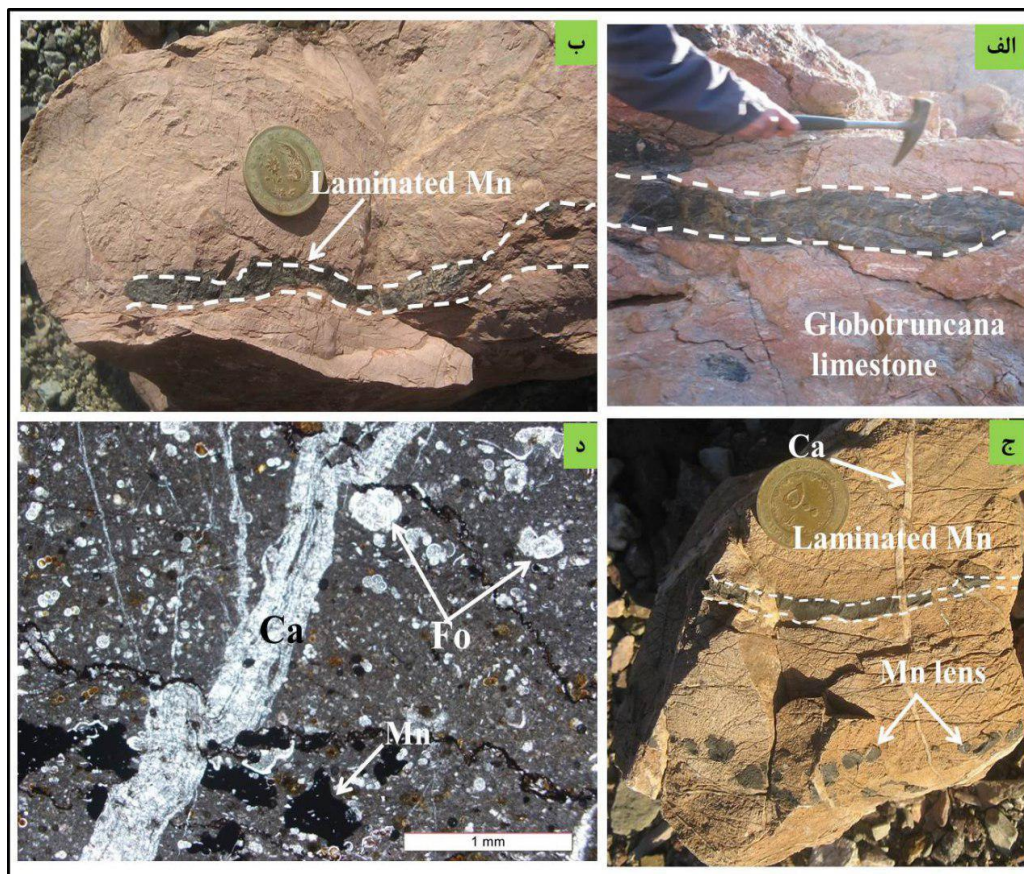


شکل ۷. الف) نمایی از رخساره توده‌ای در کانسار منگنز نخلک، ب) قطعه بزرگ کانسنگ منگنز جدا شده از رخساره توده‌ای کانسار، ج) تصویر میکروسکوپی از کانه‌های هولاندیت (Hol) و پیرولویت، کانه هولاندیت با بافت بوتروئیدال (کلوفر می) دیده می‌شود (نور انعکاسی PPL)، د) تصویر میکروسکوپی از کانه‌های پیرولویت و پسیلوملان (نور انعکاسی PPL).

رخساره لایه‌ای

این بخش از کانسار دارای ضخامت کمتری نسبت به دیگر رخساره‌ها بوده و به صورت نوارها و لایه‌های متعدد اکسیدی متشکل از کانی پیرولویت و پسیلوملان در داخل سنگ میزبان آهک گلوبوترونکاندار دیده می‌شود (شکل ۸). ضخامت لایه‌ها متغییر بوده و بین چند میلی‌متر تا چند سانتی‌متر تغییر می‌کند. از دیگر ویژگی‌های این رخساره همزمانی کانه‌زایی

منگنز با ته‌نشینی آهک‌ها است که نشان دهنده شرایط رسوبی اولیه است. ناگفته نماند علاوه بر بافت نواری در این رخساره، لایه‌های غیرممتد و عدسی شکل از اکسیدهای منگنز نیز دید می‌شود که دلیل ایجاد این عدسی‌های منگنز احتمالاً ناشی از فشار رسوبات بالایی و دیاژنز بعدی در این سنگ‌ها است (شکل ۸ ج).



شکل ۸. الف) نمایی از رخساره لایه‌ای در کانسار منگنز نخلک، ب) نمونه دستی از نوارهای غنی از منگنز که هم‌روند با آهک گلوبوترونکانادار قرار گرفته است، ج) نمونه دستی از لایه‌های منگنز به همراه عدسی‌های منگنز که در اثر دیاژنز ایجاد شده و رگه‌های کلسیتی (Ca) جوان که مواد معدنی را قطع کرده است، د) تصویر میکروسکوپی از کانه‌های منگنز به صورت لایه در سنگ آهک حاوی فسیل (Fo) گلوبوترونکانادار (نور عبوری PPL).

که در ادامه با بالا آمدن سیالات گرمایی زیردریایی، موجب انتقال مواد معدنی به کف حوضه و تشکیل عدسی‌ها و لایه‌های منگنز شده است. ته‌نشست مواد معدنی در این مرحله بیشتر به صورت بافت و ساخت برشی، توده‌ای، لایه‌ای و دانه پراکنده است. عمده کانه‌های منگنز تشکیل شده در این مرحله شامل کانی‌های پسیلوملان و هولاندیت می‌باشد.

مرحله دوم: دیاژنز و دگرشکلی

نهشته شدن واحدهای کربناته بر روی افق منگنزدار موجب تدفین و رخداد فرایند دیاژنز مواد معدنی گردیده که نتیجه آن آبرزایی هیدروکسیدهای منگنز و تشکیل کانی بدون آب پیرولوژیت می‌باشد. ایجاد بافت‌های ندولی در رخساره چینه سان ناشی از عملکرد دیاژنز آغازین می‌باشد. البته مقداری رگه - رگچه‌های منگنزدار و کربناتی نیز در کانسار دیده می‌شود که بنظر می‌رسد در طی دیاژنز تأخیری و دگرشکلی ناشی از بالا آمدگی واحدهای سنگی تشکیل شده باشند.

مرحله سوم: هوازدگی و سوپرژن

بالا آمدگی در مراحل پایانی کرتاسه پسین موجب ایجاد رگه - رگچه‌های کلسیتی قطع کننده سنگ میزبان و رخداد فرایند هوازدگی و در نتیجه ایجاد کانی‌های ثانویه از جمله پیرولوژیت با بافت دندردینی و اکسیدهای آهن ثانویه و کانی‌های رسی شده است.

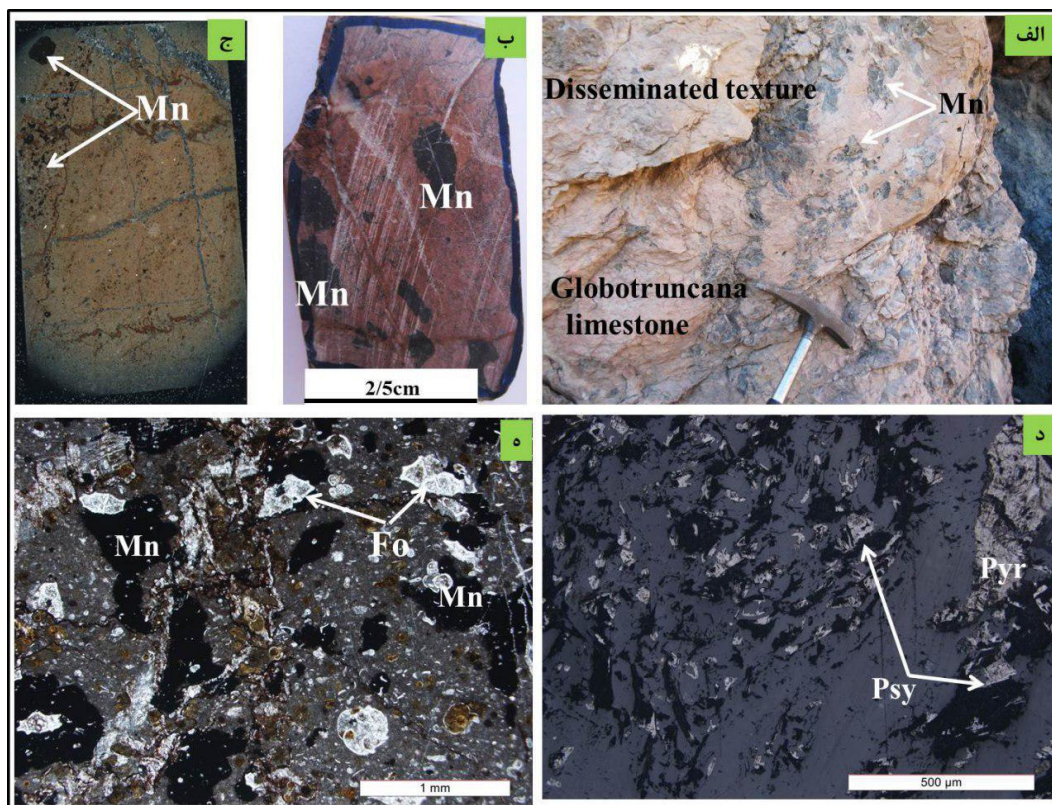
در قسمت‌های بالایی و حاشیه‌ای رخساره لایه‌های، ماده معدنی بصورت دانه پراکنده می‌باشد (شکل ۹ الف). از دیگر ویژگی‌های آهک گلوبوترونکانادار در این قسمت‌ها، رنگ قرمز آن است که این ناشی از میزان بالای آهن در زمان تشکیل آهک‌های میزبان کانه‌دار است (شکل ۵ ج و ۹ ب). کانه‌های تشکیل دهنده این رخساره نیز همانند دیگر رخساره‌های کانسار شامل کانی‌های اکسیدی پسیلوملان و پیرولوژیت است که به صورت دانه پراکنده در سنگ میزبان آهک گلوبوترونکانادار دیده می‌شود (شکل ۹ ب، ج، د، ه). لازم به ذکر است که طبق مطالعات صحرایی و آزمایشگاهی صورت گرفته، هیچ گونه ارتباطی بین بافت پراکنده و درزه‌ها و شکستگی‌ها دیده نمی‌شود.

توالی پاراژنتیکی کانی‌ها

توالی پاراژنتیک یک کانسار، ترتیب تشکیل کانی‌هاست، به گونه‌ای که تقدم و تأخر زمانی پیشامدهایی را بر روی کانسار اتفاق افتاده و موجب تشکیل نسل‌های مختلف کانی‌ها و انواع ساخت و بافت‌ها در ماده معدنی شده است را ارائه می‌دهد. در کانسار منگنز نخلک این توالی سه مرحله زیر را شامل می‌شود (شکل ۱۰).

مرحله اول: آتشفشانی - برونمی

در این مرحله، فعالیت‌های آتشفشانی - رسوبی زیردریایی در کرتاسه پسین موجب ایجاد توالی ضخیم داسیتی و کربناتی در منطقه شده است



شکل ۹. الف) نمایی از رخنمون بخش دانه پراکنده در رخساره لایه ای در کانسار منگنز نخلک، ب، ج) نمونه دستی از بافت منگنزهای دانه پراکنده در سنگ میزبان آهک پلاژیک گلوبوترونکانادار که توسط رگچه‌های کلسیتی قطع شده است، د) تصویر میکروسکوپی از کانه‌های پیرولولزیت و پسیلوملان در بافت دانه پراکنده (نور انعکاسی XPL)، ه) تصویر میکروسکوپی از کانه‌های منگنز به همراه فسیل‌های گلوبوترونکانادار در سنگ میزبان آهک پلاژیک (نور عبوری PPL).

Minerals/ textures	Volcanic-Exhalative	Diagenesis and deformation	Weathering and supergene
Psilomelane	—		
Pyrolusite		—	—
Hollandite	—		
Chlorite	—		
Quartz	—		
Calcite		—	
Clay minerals			—
Brecciated	—		
Massive	—		
Laminated	—		
Disseminated	—	—	—

شکل ۱۰. مراحل تشکیل و توالی پاراژنتیک کانی‌ها به همراه ساخت و بافت آن‌ها در کانسار منگنز نخلک.

ژئوشیمی

ژئوشیمی سنگ‌های آتشفشانی میزبان

در ابتدا به منظور طبقه‌بندی و تعیین سری ماگمایی سنگ‌های آتشفشانی منطقه، تعداد شش نمونه از سنگ‌های داسیتی قسمت‌های کمرباطین کانسار انتخاب گردید و سپس به روشهای ICP - OES، روش ICP - MS و XRF آنالیز گردید (جدول ۱ و ۲). در طبقه‌بندی

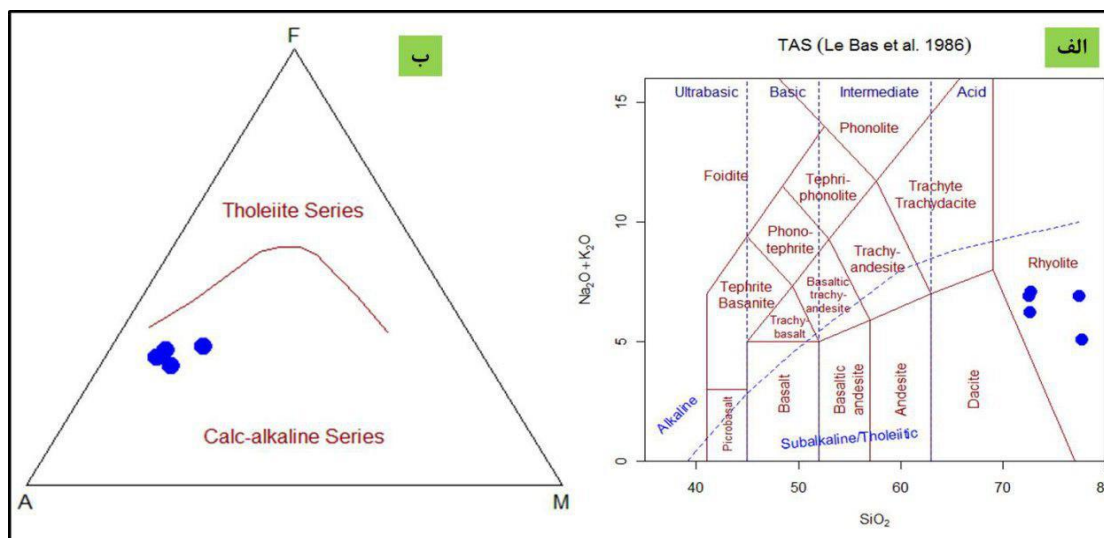
سنگ‌های آتشفشانی منطقه بر اساس نمودار TAS (Le Bas et al., 1986) تمامی نمونه‌ها در محدوده سنگ‌های ریولیتی قرار گرفت (شکل ۱۱ الف). بر اساس نمودار AFM (Irvine and Baragar, 1971) تمامی نمونه‌های سنگ‌های آتشفشانی توالی میزبان کانسار نخلک در محدوده سری کالک آکالن واقع شده است (شکل ۱۱ ب) که بیشتر نشان دهنده محیط کمان آتشفشانی می باشد.

جدول ۱. نتایج تجزیه سنگهای آتشفشانی همراه کانسار منگنز نخلک به روش XRF که در آزمایشگاه ایمیدرو انجام شده است (همه مقادیر بر حسب درصد می باشد).

Sample	MgO	Al ₂ O ₃	SiO ₂	P ₂ O ₅	K ₂ O	CaO	TiO ₂	MnO	Fe ₂ O ₃	Na ₂ O	SrO	SO ₃	CuO
G26	۲/۰۸	۱۲/۴۳	۷۱/۹۴	۰/۱۳	۱/۴۵	۱/۵	۰/۴۹	۰	۴/۲۷	۴/۷۱	۰	۰/۱۴	۰
G27	۰/۷۸	۱۲/۵۵	۷۰/۶۷	۰/۱۸	۱/۲۷	۲/۱	۰/۴۱	۴/۸۸	۶/۵۳	۰	۰	۰	۰
G29	۱/۵۷	۱۲/۷۳	۷۱/۹	۰/۱۲	۱/۴۷	۱/۴۵	۰/۴۷	۰	۳/۵۷	۵/۴۹	۰	۰	۰
G30	۰/۹۲	۱۱/۰۸	۷۶/۶۸	۰/۱۳	۱/۶۹	۱/۵۵	۰/۳۶	۰	۲/۹۵	۳/۲۹	۰	۰	۰
G31	۱/۱۱	۱۳/۳۷	۷۱/۷۲	۰/۲۸	۱/۲۱	۱/۳۷	۰/۴۹	۰	۳/۶۲	۵/۶۱	۰	۰/۱۳	۰
G32	۰	۱۱/۶۴	۷۶/۹۸	۰/۱۸	۰/۴۹	۰/۸۸	۰/۵۷	۰	۲/۲	۶/۳۶	۰	۰	۰

جدول ۲. نتایج تجزیه سنگهای آتشفشانی همراه کانسار منگنز نخلک به روش ICP - OES که در آزمایشگاه ایمیدرو انجام شده است (همه مقادیر بر حسب پی پی ام می باشد).

Sample	Ag	As	Be	Bi	Cd	Ce	Co	Cr	Cu	La	Li	Mn	Mo	Ni	Pb	Sb	Sc	Sr	V	Y	Zn
G26	<۱	<۱۰	<۱	<۱۰	<۱	۱۳	۱۰	۴۲	۴۳	<۱۰	<۱۰	۹۵۴	<۱	۱۱	<۱۰	<۱۰	۱۱	۳۰۳	۵۲	۱۱	۵۷
G27	<۱	۲۰	<۱	<۱۰	<۱	۱۴	۱۰	۱۶	<۱۰	<۱۰	<۱۰	۳۹۲	<۱	<۱۰	<۱۰	<۱۰	۱۱	۶۶	۴۱	۱۵	۳۵
G29	<۱	<۱۰	<۱	<۱۰	<۱	۱۱	۱۰	۱۴	۳۴	<۱۰	<۱۰	۶۲۵	<۱	<۱۰	<۱۰	<۱۰	۱۰	۴۰	۳۴	۱۱	۵۵
G30	<۱	<۱۰	<۱	<۱۰	<۱	۱۴	<۱۰	۱۱	<۱۰	<۱۰	۲۵	۵۴۶	<۱	<۱۰	<۱۰	<۱۰	۱۲	۱۷۷	۳۱	۱۸	۴۸
G31	<۱	۲۳	<۱	<۱۰	<۱	۱۳	<۱۰	<۱۰	<۱۰	<۱۰	<۱۰	۲۴۰	<۱	<۱۰	<۱۰	<۱۰	۱۴	۱۰۰	۳۴	۱۳	۵۰
G32	<۱	<۱۰	<۱	<۱۰	<۱	۱۲	<۱۰	<۱۰	<۱۰	<۱۰	<۱۰	۳۵۵	<۱	<۱۰	<۱۰	<۱۰	۱۲	۲۴	۳۲	۱۳	۶۴



شکل ۱۱. الف) موقعیت سنگ‌های آتشفشانی میزبان کانسار منگنز نخلک در نمودار TAS (Le Bas et al., 1986) که تمامی نمونه‌ها در محدوده سنگ‌های ریولیتی قرار گرفته است، ب) قرارگیری تمامی نمونه سنگ‌های آتشفشانی کمرباطین کانسار در محدوده ماگمایی سری آکالن در نمودار AFM (Irvine and Baragar, 1971).

ژئوشیمی کانسنگ

به منظور تعیین نوع کانسار و تمایز آن از کانسارهای منگنز گرمایی، آیزاد، دیاژنز و زیستزاد میکروبی، مطالعه شیمی کانسنگ به عنوان معیاری برای این روش است. لذا از عناصر اصلی و جزئی (جدول ۳) در کانسنگ

منگنز می توان جهت شناسایی کانسارهای منگنز تشکیل شده تحت شرایط مختلف محیط های زمین شناسی استفاده شود (Crerar et al., 1982). بدین جهت برای مشخص کردن نوع کانه زایی در کانسار منگنز نخلک به بررسی تعدادی از این نسبت ها و مؤلفه ها می پردازیم.

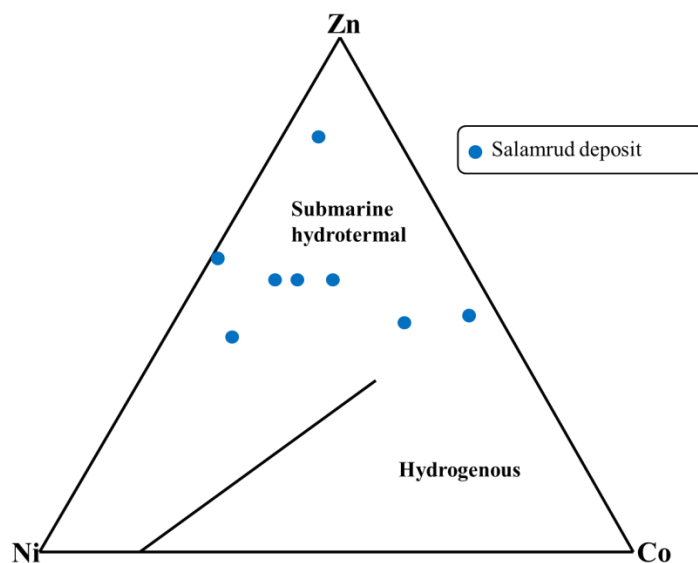
جدول ۳. نتایج تجزیه کانسنگ منگنز نخلک به روش ICP-OES و روش ICP-MS که در آزمایشگاه ایمیدرو و شرکت زراآرما تهران انجام شده است (همه مقادیر بر حسب پی پی ام می باشد).

Sample	AS-1	AS-2	N-4	N-5	N-7	N-8	N-10	N-11	N-12	N-13
Ag	۳۳/۹	۱۸/۹	۳/۳	۲۳/۸	۱۶/۹	۲۷/۷	۱۱/۵	۲۱/۶	۱۸/۷	۲۳/۹
Al	۱	۰/۶	۰/۷	۰/۶	۱/۴	۱/۱	۲	۰/۸	۰/۴	۰/۴
As	۴۰	۴۴	۰/۷۵	۷۰	۷۰	۹۱	۸۲	۵۲	۲۴۱	۲۷۰
Be	۰/۷۵	۰/۷۵	۰/۷۵	۰/۷۵	۰/۷۵	۰/۷۵	۰/۷۵	۰/۷۵	۰/۷۵	۰/۷۵
Bi	۴۱/۳	۱۵	۱۵	۱۵	۱۵	۱۵	۱۵	۱۵	۱۵	۱۵
Ca	۰/۸	۰/۷	۲۷	۶/۴	۶/۹	۹	۱۸/۹	۴/۲	۱۱/۸	۷/۴
Cd	۰/۷۵	۰/۷۵	۰/۷۵	۰/۷۵	۰/۷۵	۰/۷۵	۰/۷۵	۰/۷۵	۰/۷۵	۰/۷۵
Ce	۴۳	۲۷	۷/۵	۱۶	۳۷	۳۳	۷/۵	۷/۵	۷/۵	۱۸
Co	۱۰	۹	۳	۳	۵۳	۱۴۳	۳۶	۱۶	۳	۲۶
Cr	۷/۵	۴۷	۷/۵	۷/۵	۷/۵	۷/۵	۱۱	۱۶	۷/۵	۷/۵
Cu	۶۵	۷۲	۷/۵	۷/۵	۹۰	۹۶۳	۴۵	۲۷	۷/۵	۲۵۵
Fe	۰/۳۹	۳/۲۸	۰/۳۸	۰/۱۳	۱/۲	۰/۶۸	۱/۱۹	۱/۱۲	۰/۱۹	۰/۱۶
K	۰/۱۱	۰/۱۹	۰/۲۳	۰/۱	۰/۴۹	۰/۲۸	۰/۳۷	۰/۳۹	۰/۱۹	۰/۱۴
La	۱۸	۷/۵	۷/۵	۱۱	۱۹	۲۷	۲۳	۷/۵	۱۳	۱۳
Li	۷/۵	۷/۵	۱۱۶	۱۱۳	۵۳/۲	۵۲/۷	۶۱/۴	۹۶/۵	۱۳۱	۸۴/۹
Mg	۰/۰۷۵	۰/۰۷۵	۰/۰۷۵	۰/۴۶	۰/۳۳	۰/۱۲	۰/۶۴	۰/۱۸	۰/۰۷۵	۰/۰۷۵
Mn	۱۳۳۳۳	۱۳۳۳۳	۳۳۹۰	۱۳۳۳۳	۱۳۳۳۳	۱۳۳۳۳	۱۳۳۳۳	۱۳۳۳۳	۱۳۳۳۳	۱۳۳۳۳
Mo	۲۱	۷	۰/۷۵	۳۸	۱۹۷	۱۲۰	۲۹	۲۸۵	۶۶	۶۳
Na	۰/۳۶	۰/۲۲	۰/۰۷۵	۰/۰۷۵	۰/۱۸	۰/۲۷	۰/۳۵	۰/۰۷۵	۰/۴	۰/۴۱
Ni	۷/۵	۷/۵	۷/۵	۷/۵	۲۴	۱۴	۶۵	۱۹	۷۳	۱۱۶
P	۰/۰۱	۰/۰۰۸	۰/۰۲	۰/۰۱	۰/۲۶	۰/۰۲	۰/۰۶	۰/۰۲	۰/۰۲	۰/۰۲
Pb	۴۹	۶۶	۷/۵	۴۰	۹۱	۱۰۰	۲۰۳۴	۹۴۷	۱۷۵	۲۲۹
S	۰/۲۴	۰/۱۷	۰/۱۲	۰/۱۶	۰/۱۵	۰/۲۸	۰/۱۸	۰/۲۱	۰/۱۸	۰/۲۲
Sb	۷/۵	۷/۵	۷/۵	۷/۵	۷/۵	۷/۵	۷/۵	۷/۵	۷/۵	۷/۵
Sc	۳/۷۵	۳/۷۵	۳/۷۵	۳/۷۵	۳/۷۵	۳/۷۵	۵	۳/۷۵	۳/۷۵	۳/۷۵
Sr	۹۳۵	۴۳۵	۳۷۶	۲۰۵۲	۵۶۸۰	۱۵۷۷	۱۷۱۸	۴۱۷۰	۱۲۴۳۲	۱۲۲۴۸
Ti	۰/۰۴	۰/۰۲	۰/۰۳	۰/۰۱	۰/۰۷	۰/۰۵	۰/۰۹	۰/۰۲	۰/۰۲	۰/۰۱
V	۷۰	۳۷	۷/۵	۱۴	۵۸	۳۵	۸۴	۲۲	۵۳	۵۷
Y	۲۴	۷/۵	۷/۵	۷/۵	۲۸	۱۳	۲۰	۷/۵	۱۱	۷/۵
Zn	۱۱۵	۳۹	۱۲	۴۱	۶۱	۱۳۳	۱۱۲	۴۰	۱۰۱	۱۰۲

نمودار Zn - Ni - Co

کانسارهای آبزاد منگنز (ندول‌های دریایی عمیق) از کانسارهای گرمابی زیردریایی به وسیله بررسی کردن روابط بین عناصر Ni - Co - Zn در یک نمودار سه تایی از یکدیگر متمایز می‌شوند (Choi and Hariya, 1992). طبق بررسی‌های انجام شد، غلظت‌های پایین عناصر

کیالت (۲ - ۷۵ پی پی ام)، نیکل (۲۲ - ۹۰۰ پی پی ام) مشخصه کانسارهای منگنز گرمابی زیردریایی است. در کانسار منگنز نخلک، غلظت عناصر کیالت (۳ - ۱۴۳ پی پی ام)، مس (۵ - ۹۶۳ پی پی ام)، نیکل (۵ - ۱۱۶ پی پی ام) و روی (۱۲ - ۱۳۳ پی پی ام) می‌باشد. بر این اساس کانسار منگنز نخلک در محدوده کانسارهای منگنز با خاستگاه گرمابی زیردریایی قرار می‌گیرد (شکل ۱۲).

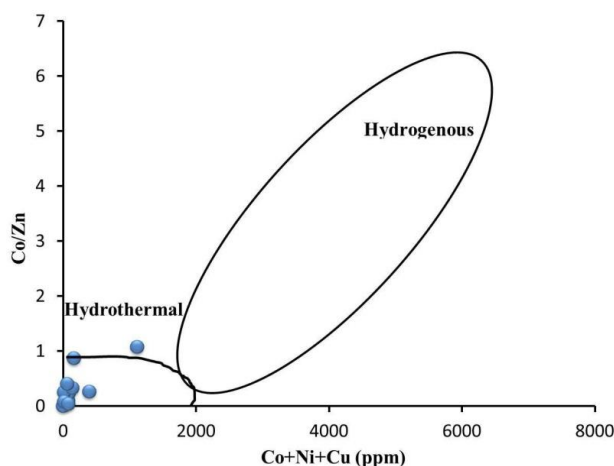


شکل ۱۲. موقعیت نمونه‌های منگنز کانسار نخلک در نمودار سه تایی Ni - Zn - Co از (Choi and Hariya., 1992).

نمودار (Co/Zn) - (Co+Cu+Ni)

از این نمودار جهت تفکیک کانسارهای فرو منگنز گرمابی از آبزاد مورد استفاده قرار می‌گیرد (Toth, 1980). بر اساس این نمودار کانسارهای منگنز نوع آبزاد نسبت به کانسارهای گرمابی (بروندی) از غنی‌شدگی

بالتری در عناصر همچون Cu - Ni - Co برخوردار است (Glasby, 2000). طبق این نمودار نمونه‌های منگنز کانسار نخلک در محدوده کانسارهای گرمابی قرار گرفته است (شکل ۱۳).

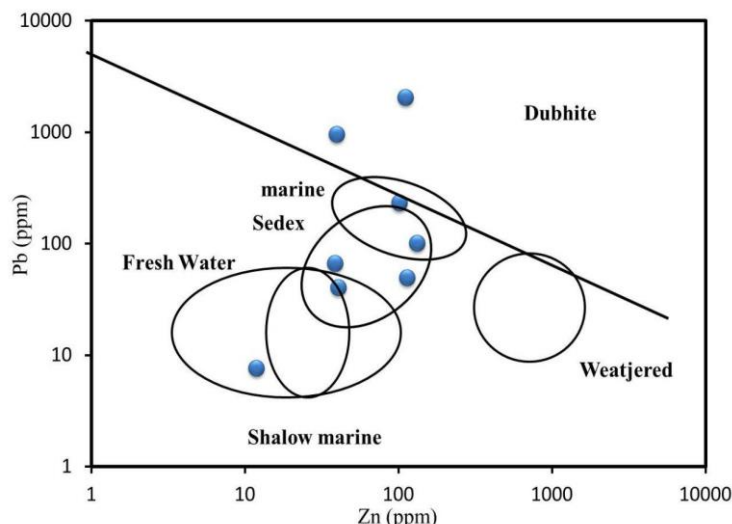


شکل ۱۳. قرارگیری نمونه‌های منگنز نخلک در محدوده کانسارهای گرمابی بر اساس نمودار (Toth, 1980)

نمودار Pb/Zn

صورتی که در کانسارهای منگنز نوع گرمایی زیردریایی، چشمه‌های آب گرم، سدکس و کانسارهای حاصل از هوازدگی دارای نسبت پایین از سرب و روی است (Nicholson, 1992). بر این اساس، نمونه‌های کانسار منگنز نخلک با توجه به نمودار Pb/Zn در محدوده غیر دابیهیتی قرار می‌گیرند و هم‌پوشانی خوبی با کانسارهای سدکس و کانسارهای تشکیل‌شده در محیط‌های دریایی کم‌عمق نشان می‌دهند (شکل ۱۴).

جهت تشخیص کانسارهای نوع دابیهیت (کانسارهای نشأت‌گرفته از توالی‌های کان‌زائی شده قبلی) از دیگر کانسارهای منگنز (سوپرژن یا گرمایی)، از نمودار Pb/Zn استفاده می‌شود. همان‌طور که در نمودار Pb/Zn مشاهده می‌کنید، نسبت‌های Pb و Zn در کانسارهای دابیهیت بالا می‌باشد و گاهی به حدود یک درصد هم می‌رسد (شکل ۱۴). در

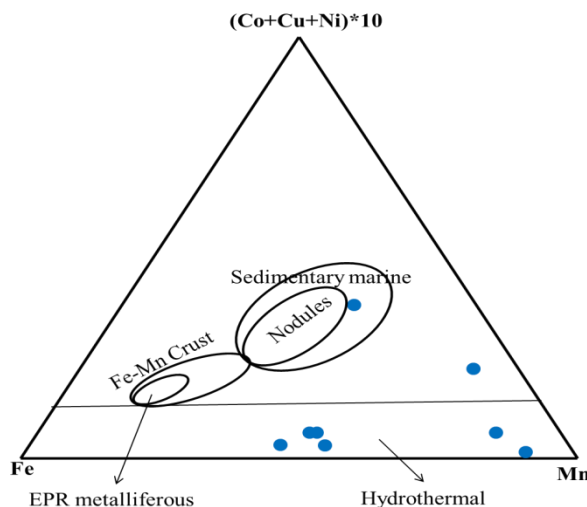


شکل ۱۴. قرارگیری اغلب نمونه‌های منگنز کانسار نخلک در محدوده کانسارهای رسوبی - برون‌دیمی (سدکس) و دریایی، با استفاده از نمودار (Nicholson, 1992)

نمودار $(\text{Ni}+\text{Co}+\text{Cu})^*10 - \text{Mn} - \text{Fe}$

در آب دریا و تأثیر فرایندهای مختلفی است که در جذب ویژه دخالت دارند می‌باشد (Toth, 1980, Usui and Someya, 1997). بر اساس این نمودار موقعیت تمامی نمونه‌های کانسار منگنز نخلک در محدوده کانسارهای گرمایی قرار می‌گیرد و این نشان دهنده پایین بودن میزان عناصر $\text{Cu} - \text{Co} - \text{Ni}$ است. این امر می‌تواند به خاطر نهشت سریع سیالات حاوی منگنز در کف دریا باشد (شکل ۱۵).

یکی از راه‌های تشخیص کانسارهای منگنز گرمایی از کانسارهای منگنز آبراد استفاده از نمودار $(\text{Ni}+\text{Co}+\text{Cu})^*10 - \text{Mn} - \text{Fe}$ است (Bonatti, 1975). از معیارهای تشخیصی در این نمودار (شکل ۱۵) غلظت $\text{Ni}+\text{Co}+\text{Cu}$ می‌باشد. به این صورت که مقدار این عناصر در نهشته‌های منگنز نوع آبراد نسبت به نهشته‌های منگنز نوع گرمایی بیشتر است، علت این امر هم در نتیجه رشد کم و حضور طولانی مدت این عناصر



شکل ۱۵. نمودار $(\text{Ni}+\text{Co}+\text{Cu})^*10 - \text{Mn} - \text{Fe}$ از (Bonatti, 1975) و موقعیت نمونه‌های منگنز نخلک در محدوده کانسارهای گرمایی

الگوی تشکیل و تیپ کانه‌زایی

تا به امروز تقسیم‌بندی‌های مختلفی (Roy, 1981; Guilbert and Park, 1986) برای کانسارهای منگنز صورت گرفته است. معروف‌ترین این تقسیم‌بندی‌ها مربوط به گیلبرت و پارک (Guilbert and Park, 1986) است. در این رده بندی کانسارهای منگنز به سه دسته تقسیم می‌شود که شامل:

الف - کانسارهای آتشفشانی

- کانسارهای همراه با سنگ‌های آتشفشانی که خاستگاه آن‌ها در خشکی یا دریا بوده و همراه چشمه‌های آب داغ می‌باشد.
- کانسارهای مرتبط با تشکیلات آهن نواری دور از منشأ (distal) بوده و منشأ برون‌دیمی دارند.

ب - کانسارهای منگنز غیر آتشفشانی

- کانسارهای مردابی، دریاچه‌ای و رودخانه‌ای
- کانسارهای ناشی از هوازدگی پوسته قاره‌ای که در موقعیت زمین ناودیس یا فلات قاره تشکیل شده‌اند.

ج - کانسارهای دورگه

- گره‌های منگنز
- رسوبات کف دریا که دور از چشمه‌های آب داغ زیردریایی ته‌نشین شده‌اند.

بر اساس مطالعات زمین‌شناسی، شکل هندسی ماده معدنی، ساخت و بافت، سنگ میزبان و مطالعات زمین شیمی، الگوی تشکیل کانسار منگنز نخلک به صورت زیر است.

فرورانش لیتوسفر اقیانوسی نئوتتیس به زیر ایران مرکزی، در زمان ژوراسیک - کرتاسه باعث ایجاد کشش و گسیختگی (تشکیل یک کافت پشت‌کمانی arc - back) در منطقه سبزوار شده است (Rossetti et al., 2010). نظر به اینکه سنگ‌های آتشفشانی توالی کرتاسه پسین در جنوب غرب سبزوار ماهیت تولیتی تا کالک آکالن دارند (Maghfouri et al, 2016) و سنگ‌های این توالی در منطقه خارتوران ماهیت کالک آکالن نشان می‌دهند، بنابراین محیط تکتونیکی تشکیل توالی میزبان کانسار منگنز نخلک می‌تواند یک محیط ریفتی درون کمانی یا محیط پشت کمانی نزدیک به کمان باشد. در منطقه ساردینیا (ایتالیا) نیز کانسارهای منگنز با سنگ‌های کالک آکالن همراه بوده و در یک محیط کمان آتشفشانی تشکیل شده‌اند (Sinisi et al., 2012).

با تداوم کشش‌ها و فرونشست بیشتر حوضه، حجم زیادی ماگمای اسیدی و مافیک در قالب سیل، گدازه و آذرآواری به صورت همزمان با رسوب‌گذاری وارد حوضه شده و توالی ضخیم آتشفشانی - رسوبی منطقه را ایجاد کرده است. در ادامه بر اثر عملکرد گسل‌های همزمان با فعالیت‌های آتشفشانی و رسوبگذاری و چرخش آب دریا در طول این گسل‌ها به زیر کف دریا و گرم شدن آن، سیالات داغ اسیدی و احیایی ایجاد شده که با شستشوی عناصر از سنگ‌های آتشفشانی زیر کف دریا، تبدیل به سیالات کانه زای داغ حاوی Mn, Fe, Sr, Cu, Ba شده که با بالا آمدن این سیالات کانه‌زا و ورود آنها به کف دریا و برخورد آنها با آبهای سرد اکسیژن دار فرورو، کانسنگ منگنز بصورت رخساره‌های برشی، توده‌ای و لایه‌ای نهشته شده است. از جمله عوامل مؤثر بر ته‌نشینی عنصر منگنز در کف دریا می‌توان به بالا بودن میزان فوگاسیته اکسیژن محیط، تغییرات دمایی و Eh - pH اشاره

نمود. همچنین لازم به ذکر است دلیل وجود این نوع کانسار اکسیدی در محیط‌های احیایی را می‌توان، به علت برخورد جریان‌های سرد زیردریایی اکسیدی با سیالات برون‌دیمی احیایی غنی از منگنز اشاره نمود که از طریق گسل‌های همزمان با رسوب‌گذاری وارد حوضه رسوبی شده‌اند. با توجه به شواهد یادشده و بر اساس تقسیم‌بندی‌های کانسار منگنز نخلک را می‌توان یک کانسار آتشفشانی - برون‌دیمی دانست.

بر اساس تقسیم‌بندی موزیر و پیچ (Mosier and Page, 1988) کانسارهای منگنز آتشفشانی - رسوبی به چهار تیپ، شامل: تیپ-های قبرس، کوبا، المپیک پنینسولا و فرانسیسکن تقسیم می‌شود.

مقایسه صورت گرفته بین کانسار منگنز نخلک با این چهار تیپ کانسار منگنز، نشان می‌دهد که کانه‌زایی در این کانسار بیشترین شباهت را با تیپ کانسارهای منگنز کوبا دارا می‌باشد. از جمله مهم‌ترین این ویژگی‌ها می‌توان به محیط زمین ساختی تشکیل، محیط زمین‌شناسی ته‌نشست، سنگ‌های میزبان، شکل هندسی ماده معدنی، ساخت و بافت، کانی‌شناسی و علائم زمین‌شیمیایی اشاره نمود (جدول ۴).

از این دسته کانسارهای منگنز آتشفشانی - برون‌دیمی در ایران می‌توان به کانسارهای منگنز ذاکری (تقی زاده و همکاران ۱۳۹۱) و گراب (دولتخواه و همکاران، ۱۳۸۴) اشاره نمود. مهمترین تولیدکننده منگنز در ایران کانسار ونارچ قم با سن ائوسن میانی - بالایی (فردوست، ۱۳۷۰) می‌باشد.

با توجه به نیاز روزافزون صنعت فولاد کشور به منگنز، کانه زایی‌های منگنز با سن کرتاسه پسین در منطقه خارتوران و زیرپهنه سبزوار نیز می‌تواند تأمین‌کننده این عنصر ارزشمند باشد، بنابراین می‌بایست در برنامه‌های اکتشافی منگنز، این منطقه مورد توجه خاص قرار گیرد.

نتیجه‌گیری

بر اساس مطالعات صورت گرفته کانسار منگنز نخلک (سلم رود) به شکل چینه‌کران و چینه‌سان در دو واحد سنگ‌شناختی مختلف (شامل واحد آتشفشانی داسیت و واحد آهک گلوبوترونکاندار) به سن کرتاسه پسین رخ داده است. مطالعات زمین‌شناسی، شکل هندسی ماده معدنی، ساخت و بافت، سنگ میزبان و مطالعات زمین شیمی نشان می‌دهد که این کانسار در یک محیط ریفت درون کمانی یا پشت کمانی ناشی از فرورانش لیتوسفر اقیانوسی نئوتتیس به زیر پهنه ایران مرکزی تشکیل شده است. در این محیط آتشفشانی - رسوبی زیردریایی عمیق، عملکرد گسل‌های همزمان با فعالیت‌های آتشفشانی و رسوبگذاری و وجود شار حرارتی ناشی از توده‌های نفوذی همزمان با ریفتینگ، موجب فعال شدن جریان‌های همرفتی آب دریا و رخداد سامانه‌های گرمایی شده است، بطوری که آب دریا از طریق گسل‌های همزمان با رسوبگذاری و آتشفشان به زیر کف دریا نفوذ و چرخش نموده و سپس گرم شده و به دلیل تغییر شرایط فیزیکوشیمیایی آن و شستشوی عناصر از سنگ‌های آتشفشانی کم‌پایین تبدیل به سیالات کانه ساز حاوی منگنز شده که با بالا آمدن این سیالات اسیدی و احیایی کانه‌دار و برخورد آن با جریان‌های سرد زیردریایی اکسیدی، موجب ته‌نشینی منگنز بصورت رخساره‌های برشی، توده‌ای و لایه‌ای شده است. با توجه به شواهد ذکر شده کانسار منگنز نخلک را

می‌توان جزء کانسارهای منگنز آتشفشانی - برون‌دمی دانست. همچنین مقایسه صورت گرفته بین کانسار منگنز نخلک با چهار تیپ معروف منگنز آتشفشانی - رسوبی (تیپ‌های قبرس، کوبا، المپیک پنینسولا و فرانسیسکن) حاکی از این است که این کانه‌زایی بیشترین شباهت را با کانسارهای منگنز تیپ کوبا نشان می‌دهد. با توجه به گسترش کانه‌زایی منگنز در افق‌های چین‌شناسی خاص در توالی آتشفشانی - رسوبی کراتاسه

پسین در منطقه خارتوران و نیاز روزافزون صنعت فولاد کشور، بر اکتشاف این نوع کانه‌زایی در این منطقه و زیرپهنه سبزوار تأکید می‌گردد.

تقدیر و تشکر

نویسندگان مقاله از دانشگاه صنعتی شاهرود برای حمایت مالی از انجام این تحقیق در قالب طرح پژوهشی با کد ۲۱۰۲۶ قدردانی می‌نمایند.

جدول ۴. مقایسه کانسار منگنز نخلک با تیپ‌های مختلف کانسارهای منگنز آتشفشانی - رسوبی بر اساس رده بندی موزیر و پیچ (Mosier and Page, 1988)

مهم‌ترین خصوصیات کانه‌زایی	کانسار منگنز نخلک (سلم رود)	تیپ فرانسیسکن	تیپ کوبا	تیپ المپیک پنینسولا	تیپ قبرس
محیط تکنونیک	پشت کماتی (arc - Back)	پشته‌های میان‌اقیانوسی، پشت کماتی	کماتی و پشته‌های میان‌اقیانوسی	کوه‌های میان‌اقیانوسی	پشته‌های میان‌اقیانوسی و پشت کماتی
سنگ میزبان	داسیت و آهک گلوبوترونکانادار	چرت، شیل، ماسه‌سنگ، گری‌وک 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 پهن تا عدسی و عریض	عدسی شکل	عدسی کم پهن و نازک	عدسی شکل
کانه‌های معدنی	پسیلوملان، پیرولوویت و هولاندیت	پسیلوملان، پیرولوویت و رودوکروویت	پسیلوملان، پیرولوویت و براونیت	بمنیت، هوسمانیت و نئوتوسیت	هیدرواکسید منگنز بی‌شکل و غیر قابل تشخیص
کانه‌های باطله	کوارتز و کلسیت	کوارتز، کلسدون، همتایت و باریت	کوارتز، کلسیت و ژاسپر	کوارتز، همتایت، کلسیت و باریت	پیریت، کوارتز، کلسیت و باریت
عمده عناصر فلزی	Fe, Mn	Mn, Fe, Cu, Ba, Hg	Mn, Fe, Cu, Ba	Mn, Fe, Cu, Ba, Hg	Mn, Fe, Ni, Co, Zn, Cu
دگرسانی	کلریتی	کربناتی و سیلیکاتی	کلریتی، آرزلیتی و همتایتی شدن	سیلیسی	-
سن کانه‌زایی	کراتاسه پسین	پالئوزوئیک تا ژوراسیک	کامبرین تا پلیوسن	ائوسن یا قدیم‌تر	کراتاسه پسین
کانسارهای مرتبط با کانسار	کانسارهای سولفید توده‌ای تیپ بشی	کانسارهای جیوه هیدروترمال و کانسارهای کرومیت	کانسارهای سولفید توده‌ای تیپ کوروکو	-	کانسارهای سولفید توده‌ای تیپ قبرس
مراجع	این تحقیق	(Mosier and Page, 1988; Koski, 1986)	(Mosier and Page, 1988; Koski, 1986)	(Koski, 1986; Cady, 1975; Mosier and Page, 1988)	(Constantinou and Govett, 1972; Mosier and Page, 1988)
مثال از تیپ‌های مشابه در ایران			کانسارهای منگنز جنوب غرب سبزوار (مغفوری و همکاران ۱۳۹۳) و منگنز گراب (دولتخواه و همکاران، ۱۳۸۴)		کانسارهای منگنز آباد طشک (رجب زاده و زمان ثانی، ۱۳۹۲) و منگنز کوه خم (آنج و همکاران، ۱۳۹۱)، منگنز نصیرآباد (Zaravandi et al., 2013)

منابع:

- آنج، ن.، کریمی، م.، خانکهدانی، ک.، ۱۳۹۱، تعیین منشأ کانه زایی منگنز کوه خم با استفاده از مطالعات بافتی و کانی شناسی. چهارمین همایش زمین‌شناسی اقتصادی، دانشگاه بیرجند.
- بدخشان ممتاز، ق.، بنی آدم، ف.، ۱۳۷۷، گزارش مطالعات اکتشافی چکشی در ورقه ۱:۱۰۰۰۰۰ دارین، سازمان زمین‌شناسی و اکتشافات معدنی کشور.
- تقی زاده، س.، موسیوند، ف.، قاسمی، ح.، ۱۳۹۱، کانسار منگنز ذاکری، نمونه‌ای از کانه زایی منگنز نوع برون‌دمی در جنوب غرب سبزوار، سی و یکمین گردهمایی علوم زمین، تهران. سازمان زمین شناسی و اکتشافات معدنی کشور.
- جباری، ا.، ملک زاده شفاوردی، آ.، کریم پور، م. ح.، ۱۳۹۵، کانسار مس چینه کران (نوع مانتو) کال ابری در مجموعه آتشفشانی - رسوبی ائوسن شمال غربی بردسکن، شمال شرقی ایران، مجله زمین‌شناسی کاربردی پیشرفته اهواز، دوره ۷، شماره ۲۳، صفحه ۱ - ۱۹.
- دولتخواه، ر.، راستاد، ا.، هاشم امامی، م.، ۱۳۸۴، کانه زایی منگنز لایه‌ای شکل گراب (تیپ کوبا) در واحدهای آتشفشانی - رسوبی الیکو - میوسن در شمال خاور طالقان (البرز مرکزی)، فصلنامه علوم زمین شماره ۵۶، ۴۰ - ۵۱.

رجب زاده. م.، زمان ثانی. ن.، ۱۳۹۲، مطالعه کانه‌زایی منگنز همراه با مجموعه آمیزه رنگین افیولیت نیریز در منطقه آبادیه طشک استان فارس با استفاده از داده های کانی شناسی و ژئوشیمیایی، مجله زمین شناسی اقتصادی، جلد ۵، شماره ۲، ۲۰۱ - ۲۱۴.

طاشی. م.، موسیوند. ف.، قاسمی. ح.، ۱۳۹۲، رخداد کانه زایی سولفید توده‌ای آتشفشان‌زاد مس گرماب پایین - جنوب شرق شاهرود، سی دومین همایش علوم زمین، سازمان زمین‌شناسی و اکتشافات معدنی کشور، تهران.

فردوست. ف.، ۱۳۷۰، مطالعه زمین‌شناسی و ژئو کانسار منگنز و نارچ قم. پایان نامه کارشناسی ارشد زمین‌شناسی اقتصادی، دانشکده علوم، دانشگاه تربیت معلم.

کهنسال. ر.، ۱۳۸۶، نقشه زمین‌شناسی ۱:۱۰۰۰۰ مری - اسبکشان، سازمان زمین‌شناسی و اکتشافات معدنی کشور.

مغفوری. س.، راستاد. ا.، موسیوند. ف.، ۱۳۹۳، جایگاه چینه ای، خاستگاه و ویژگیهای افقهای کانه زایی منگنز در توالی آتشفشانی - رسوبی کرتاسه پسین، جنوب - جنوبغرب سبزوار. مجله زمین شناسی اقتصادی. جلد ۶، شماره ۲، ۲۰۱ - ۲۱۶.

وطن پور. ح.، خاکزاد. ا.، قادری. م.، ۱۳۸۸، کاربرد عناصر گروه پلاتین (PGE) در اکتشاف و ارزیابی اقتصادی در کانسار کرومیت کمربند افیولیتی سبزوار، فصلنامه علوم زمین، شماره ۷۱، ۹ - ۱۲.

- Alavi. M., 1991, Sedimentary and structural characteristics of the Paleo - Tethys remnants in - northeastern Iran. Geological Society of America Bulletin 13, 983 - 992.
- Bonatti. E., 1975, Metlogenesis at oceanic spreading centers. Annu Rev Earth Planet Sci, 3, 401 - 431.
- Cady. W.M., 1975, Tectonic setting of the Tertiary volcanic rocks of the Olympic Peninsula, Washington. U.S. Geological Survey Journal of Research 3, no.5, 573 - 582.
- Choi. J. H., Hariya. Y., 1992, Geochemistry and depositional environment of Mn oxide deposits in the Tokoro belt, northeastern Hokkaido, Japan. Economic Geology 87, 1265 - 1274.
- Constantinou. G., Govett. G.J.S., 1972, Genesis of sulphide deposits, ochre and umber of Cyprus. London institution of Mining and Metallurgy Transactions 81, sec. B, no. 783, B34 - B46.
- Crerar. D.A., Namson. J., Chyi. M.S. Williams. L., Feigenson. M.D., 1982, Manganiferous cherts of the Franciscan assemblage: I. General geology, ancient and modern analogues, and implications for the hydrothermal convection at oceanic spreading centers. Economic Geology 77, 519-540.
- Glasby. G.P., 1997, Fractionation of manganese from iron in Arcean and Proterozoic sedimentary ores, In: Nicholson, K., Hein, J. R., Buhn, B., Dasgupta, S. eds, Manganese mineralization: geochemistry and mineralogy of terrestrial and marine deposits. Geol. Soc. Special Publication 119, 29 - 42.
- Guilbert. J.M., Park. C.F., 1986, The geology of ore deposits. W.H. Freeman, New York, 985p.
- Irvine. T. N., Baragar. W.R.A., 1971, A guide to the chemical classification of the common volcanic rocks. Canadian Journal of Earth Sciences 8, 523 - 548.
- Koski. R.A., 1986, Descriptive model of volcanogenic Mn, in Cox, D.P., and Singer, D.A., eds., mineral deposit model: U.S. Geological Survey Bulletin 1693, p. 139.
- Le Bas. M.J., Le Maitre. R.W., Streckeisen. A., 1986, A chemical classification of volcanic rocks based on the total alkali - silica diagram. Journal of petrology, 27, 745 - 750.
- Maghfouri. S., Rastad, E., Mousivand, F., Ye Lin, Khin Zaw, 2016, Geology, ore facies and sulfur isotopes geochemistry of the Nudeh Besshi - type volcanogenic massive sulfide deposit, southwest Sabzevar basin, Iran. Journal of Asian Earth Sciences. <http://dx.doi.org/10.1016/j.jseaes.2016.04.022>
- Mosier. D.L., Page. N.J., 1988, Descriptive and grade - tonnage models of volcanogenic manganese deposits in ocean environments a modification. U.S. Geol. Surv. Bull., no. 1811.
- Nicholson. K., 1992, Contrasting mineralogical-geochemical signatures of manganese oxides :guides to metallogenesis. Economic Geology 87, 1253 - 1264.
- Rossetti, F., Nasrabad, M., Vignaroli G., Theye, T., Gerdes, A., Razavi, M., Moin Vaziri, H., 2010. Early Cretaceous - migmatitic mafic granulites from the Sabzevar range (NE Iran): implications for the closure of the Mesozoic peri Tethyan oceans in central Iran. Terra Nova 22, 26
- ores in a continental arc setting: Geochemical - Sinisi, R., Mameli, P., Mongelli, G., Oggiano, G., 2012, Different Mn and mineralogical evidences from Tertiary deposits of Sardinia (Italy). Ore Geology Reviews 47, 110-125.
- Toth. J.R., 1980, Deposition of submarine crusts rich in manganese and iron, Geol. Soc. Am. Bull., Pt. I, 91, 44 - 54.
- Usui. A., Someya. M., 1997, Distribution and composition of marine hydrogenetic and hydrothermal manganese deposits in the northwest Pacific. Geol. Soc. Spec. Pub. 119, 198 - 177.
- Zaravandi, A., Lentz, D., Rezaei, M., Pourkaseb, H., 2013, Genesis of the Nasirabad manganese occurrence, Fars province, Iran: Geochemical evidences. Chemie der Erde 73, 495- 508.