

کانی‌سازی منگنز استاج، نمونه‌ای از کانه‌زایی نوع آتشفشنایی – رسوبی در جنوب غرب سبزوار

شیرین شجاعی‌زاده اقدم، خسرو ابراهیمی نصر آبادی*، محمدرضا حیدریان شهری

گروه زمین‌شناسی، دانشکده علوم، دانشگاه فردوسی مشهد

(دریافت مقاله: ۹۵/۵/۱۳، نسخه نهایی: ۹۵/۸/۱۳)

چکیده: ذخیره منگنز استاج در ۴۰ کیلومتری جنوب غربی شهرستان سبزوار، در ایران مرکزی واقع شده است. با توجه به شواهد صحرایی و بررسی‌های میکروسکوپیکی، واحدهای سنگ‌شناسی منطقه عبارتند از: پیروکسن هورنبلند تراکی آندزیت، توفهای سیز بلوری با ترکیب آندزیتی، پیروکسن هورنبلند آندزیت، پیروکسن آندزیت- بازالت، چرت و سنگ آهک. این واحدهای زمین‌شناسی متعلق به دوره کرتاسه پسین بوده و شاید گواهی بر خاستگاه آتشفشنایی – رسوبی کانی‌سازی منطقه باشد. تجزیه شیمیایی و کانی- شناختی به روشهای XRD، ICP-OES و بررسی‌های میکروسکوپیکی بر روی کانسنگ‌های منگنز استاج انجام شد. نتایج به دست آمده از تحلیل XRD فقط کانی پیرولوسیت را تأیید نمود، اما کانی پسیلوملان و براونیت فقط در بررسی‌های میکروسکوپیکی تشخیص داده شدند. نتایج تجزیه شیمیایی کانسنگ‌های منگنز مقادیر بالای Si (۱۷۰–۲۰۱)، Ba (۷۵.۵۴–۳۰۰ ppm)، Sr (۱۹۶۵–۲۰۰ ppm)، Co (۷۱–۲۰ ppm)، U (۷۹–۳۴ ppm) Zn (۵۸.۶۱–۱۶۲ ppm) و مقادیر پایین MnO/Fe₂O₃ (۸۴.۴–۲۰۰ ppm)، Th (۱۰–۲ ppm) و Ni (۱۶–۲ ppm) را نشان می‌دهد. نتایج تحلیل‌های ژئوشیمیایی نشانگر تنهنشست محلول‌های منگنزدار به همراه سیلیس به علت تغییرات فیزیکوشیمیایی آب دریا بوده و همچنین نشان دهنده خاستگاه گرمایی زبردیایی برای این کانی‌سازی هستند. ماده معدنی به صورت عدسی و لایه‌ای شکل در داخل سنگ‌های آذرآواری (توفهای سبز بلوری با ترکیب آندزیتی و توف قرمز) به صورت همرونده با سنگ‌های میزبان دیده می‌شود. ماده معدنی دارای بافت توده‌ای، دندریتی، نواری، بادامکی و شعاعی بوده و از نظر کانی‌شناسی بیشتر از پیرولوسیت، براونیت و پسیلوملان تشکیل شده است. دگرسانی سنگ دیواره در کمر پایین کانسار شامل دگرسانی پروپلیتیک و سیلیسی و آرژیلیکی است. کانی‌سازی استاج از لحاظ ویژگی‌های مختلف از جمله ماهیت آتشفشنایی – رسوبی توالی سنگ‌های میزبان، شکل هندسی، ساخت و بافت و کانی‌شناسی بیشترین شباهت را با کانسارهای منگنز آتشفشنایی – رسوبی (بروندمی) نشان می‌دهد.

واژه‌های کلیدی: منگنز؛ آتشفشنایی-رسوبی؛ سبزوار؛ کانی‌سازی استاج.

مقدمه

سبزوار میزبان کانه‌زایی‌های متعدد منگنز است. از جمله کانه‌زایی‌های منگنز جنوب و جنوب غرب سبزوار می‌توان به کانسارهای منگنز بنسبرد، نوده، همایی، گفت، چاه ستاره، چشمہ سفید و ذاکری اشاره نمود [۲]. توالی آتشفشنایی – رسوبی کرتاسه پسین با روند تقریبی شمال شرق – جنوب غرب دربردارنده این ذخایر و کانسارهای سولفید مس توده‌ای آتشفشنایی – رسوبی کرتاسه پسین در جنوب – جنوب غرب

*تowisedه مسئول، تلفن: ۰۵۱۳۸۸۰۵۴۹۰، نامبر: ۰۵۱۳۸۸۰۷۱۵۰، پست الکترونیکی: Khebrahimi@um.ac.ir

زمین‌شناسی ناحیه‌ای

در کرتاسه پسین به خصوص آشکوب ماستریشتین، تنש‌های فاز کوه‌زایی لارامید موجب ناآرامی محیط شده و باعث فوران و خروج مواد آتشفسانی به سطح دریا شده است [۱]. این پدیده موجب شده است که سنگ‌های رسوی-آتشفسانی گسترهای در منطقه سیزووار تشکیل گردد، که بخش رسوی آن شامل رسوبات دریابی نسبتاً عمیق آهکی حاوی اندامگان پلاژیک فراوان است. قسمت‌های آتشفسانی آن بیشتر شامل توف است که بخش‌هایی از سنگ‌های آتشفسانی را نیز به همراه دارد. ساختمان زمین‌ساختی این واحد به هم ریخته است، اما در حالت کلی روند شرقی-غربی دارد. منطقه سیزووار بین دو گسل بزرگ درونه (درجنوب) و ارتفاعات بینالود (در شمال) واقع شده است [۱]. کوه‌زایی منطقه سیزووار بین کرتاسه پیشین و نئوژن اتفاق افتاده است و رسوبات قدیمی تر از کرتاسه پیشین در این ناحیه شناخته نشده است [۱]. از نظر ساختمانی چین خوردگی و گسل در منطقه مورد بررسی دیده شده است.

زمین‌شناسی محلی

واحدهای سنگی منطقه مورد بررسی سن کرتاسه پسین دارند [۱] و شامل پیروکسن هورنبلند آندزیت، پیروکسن آندزیت-بازالت، پیروکسن هورنبلند تراکی آندزیت، توف سیز بلوری با ترکیب آندزیتی، لیتیک توف سیز با ترکیب تراکی آندزیتی، چرت و سنگ آهک است. بررسی مقاطع میکروسکوپیکی نمونه‌ها نشان می‌دهد که واحدهای آذرین در طیف سنگ‌های حدواتسط قرار گرفته است. واحدهای سنگی متعلق به کرتاسه در یک گستره گسله و زمین‌ساخت، توسط نهشته‌های اتوسن پوشیده شده است و در حرکت‌های آذرآواری، آتشفسانی و یک مجموعه درهم متخلک از سنگ‌های آذرآواری، آتشفسانی و آهک صورتی رنگ را به وجود آورده است [۱]. واحدهای سنگی تفکیک شده در منطقه مورد بررسی از قدیم به جدید، به شرح زیر است: (شکل ۱).

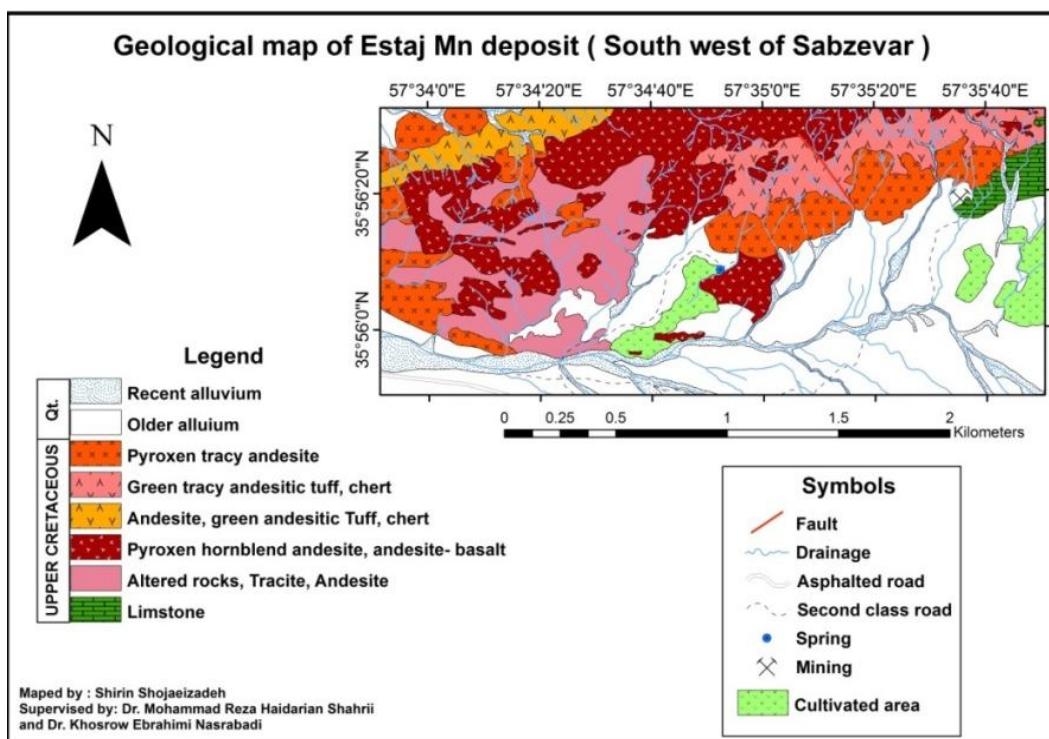
الف- واحد سنگ آهک که دارای راستای شمال شرقی-جنوب غربی است در قسمت شمال شرقی نقشه قرار دارد و به صورت افshan و لایه‌ای دارای کانی فلزی مگنتیت و هماتیت است (شکل ۲ الف). این واحد حاوی سنگواره‌های گلوبوترونakanana (Globotruncana) و پلانکتون گانسرینا گانسری (Gansserina gansseri) است (شکل ۲ ب). رگه‌های کربنات در این مقاطع دیده می‌شود. سنگواره‌های نام برده شده در زمان کرتاسه پسین توسعه داشته‌اند.

نوع بشی هستند [۲]. این توالی را می‌توان از جهت موقعیت چینهای، سن و جنس سنگ‌ها به دو بخش بالایی و پایینی تقسیم نمود [۲]. بخش زیرین یا واحد K_2^{IV} بیشتر از رسوبات عمیق دریابی با میان‌لایه‌هایی از سنگ‌های آتشفسانی تشکیل یافته است. بخش بالایی یا واحد LMV از سنگ‌های آهکی-مارنی-آتشفسانی تشکیل شده است و به صورت هم‌شیب بر روی بخش زیرین قرار می‌گیرد [۲]. سنگ میزبان کانی‌سازی بخش زیرین توف قرمز، و سنگ میزبان کانی‌سازی بخش بالایی توف مارنی-کربناتی (توفا) است [۲].

با وجود پژوهش‌های بسیار در منطقه جنوب و جنوب غرب سیزووار، تا کنون مطالعه‌ای در ارتباط با منطقه استاج انجام نشده است. توالی آتشفسانی-رسوبی منطقه شامل پیروکسن هورنبلند آندزیت، پیروکسن آندزیت-بازالت، پیروکسن هورنبلند تراکی آندزیت، توف سیز بلوری با ترکیب آندزیتی، لیتیک توف سیز با ترکیب تراکی آندزیتی، سنگ آهک و چرت است. هدف از این پژوهش، بررسی ویژگی‌های زمین‌شناسی، ساخت و بافت، کانی‌شناسی، دگرسانی، سنگنگاری و شکل- گیری کانسار منگنز استاج است.

روش بررسی

در این پژوهش برای بررسی ویژگی‌های سنگ میزبان کانه‌زایی، پس از انجام بررسی‌های صحرایی و نمونه‌برداری با مقیاس ۱:۲۰۰۰ از منطقه به وسعت سه و نیم کیلومتر مربع، بیش از ۵۰ نمونه به منظور بررسی‌های سنگنگاری و دگرسانی گردآوری شد. در دانشگاه فردوسی مشهد مقاطع نازکی از نمونه‌ها تهیه گردید و سپس بررسی‌های سنگنگاری کامل بر این مقاطع انجام گرفت. در نهایت نقشه زمین‌شناسی، دگرسانی و کانی‌سازی منطقه مورد بررسی با مقیاس ۱:۱۶۰۰۰ تهیه شد. به منظور انجام بررسی‌های ژئوشیمیایی، ۱۵ نمونه از کانسنگ گردآوری شد که ۱۰ نمونه به روش XRF در آزمایشگاه آمتیس شرق مشهد و ۷ نمونه از کانسنگ‌های منگنز منطقه به روش ICP-OES در آزمایشگاه ACME کانادا مورد تجزیه شیمیایی قرار گرفتند. همچنین ۱۵ قطعه صیقلی نیز در دانشگاه فردوسی مشهد تهیه و کانه‌نگاری شدند. ۵ نمونه نیز به منظور نورسنجی، عیارسنجی شدند. طبق این بررسی‌ها عیار کانی حدود ۵۵ درصد است. البته نمونه‌های کم عیار با میزان ۷ تا ۲۴ درصد MnO نیز وجود دارد که به این ترتیب عیار میانگین حدود ۳۲ درصد است. میزان ذخیره قطعی منگنز در محدوده ۱۰ هکتار، حدود ۱۱۶۷۹ تن است.



شکل ۱ نقشه زمین‌شناسی ذخیره معدنی منگنز استاج (جنوب غرب سبزوار).



شکل ۲ الف- تصویر میکروسکوپیکی کانی سازی هماتیت و مگنتیت در داخل سنگ آهک، ب- تصویر میکروسکوپیکی سنگواره‌های گلوبوترونکانی (a) و گانسرینا گانسری (b) در داخل سنگ آهک، پ- تصویر میکروسکوپیکی آندزیت- بازالت با بافت بادامکی که حفرات توسط سیلیس پر شده- اند، ت- تصویر میکروسکوپیکی بافت گلومروپورفیری در پیروکسن هورنبلند آندزیت که پیروکسن به کلریت تبدیل شده است و هورنبلندها به اکسیدهای آهن تجزیه شده‌اند.

آنذین)، ۲۵ درصد هورنبلند و ۴۵ درصد پتاسیم فلدوپات (سانیدین) است (شکل ۳ الف). این واحد دارای بافت‌های پورفیری، گلومروپورفیری، پورفیری-ریزسنگی، تراکیتی و بادامکی (آمیکدالوئیدال) است. حفره‌ها با سیلیس پر شده‌اند و بافت اسفلولیتی را ایجاد کرده‌اند. اپیدوت، اکسیدهای آهن، کلریت، کربنات و کانی‌های رسی از جمله کانی‌های ثانویه این مقاطع هستند. اکثر هورنبلندها به کانی‌های کدر و اکسیدهای آهن تبدیل شده‌اند. در این واحد دگرسانی‌های پروپلیتیک، سیلیسی و آرژیلیکی دیده می‌شود. دگرسانی سیلیسی به صورت رگه-رگچه‌ای و بادامکی دیده شد. پلازیوکلازها گاهی به سریسیت تجزیه شده‌اند. در این موارد متن سنگ از ریزسنگ‌های پلازیوکلاز سدیک مانند الیگوکلاز تشکیل شده است.

ح- واحد توف سبز بلوری با ترکیب آندزیتی در برداشت از ترانشه‌ها شناسایی گردید و رخمنون ندارد. مقدار فنوکریست حدود ۵۰ تا ۶۰ درصد بوده و شامل ۴۰ تا ۵۰ درصد بلورهای پلازیوکلاز (آنذین و لابرادوریت)، حدود ۱۰ درصد هورنبلند و پیروکسن (اوژیت) است (شکل ۳ ب). این واحد دارای دگرسانی کلریتی متوسط بوده و دگرسانی سیلیسی و کربناتی به صورت رگچه‌ای حضور داردند.

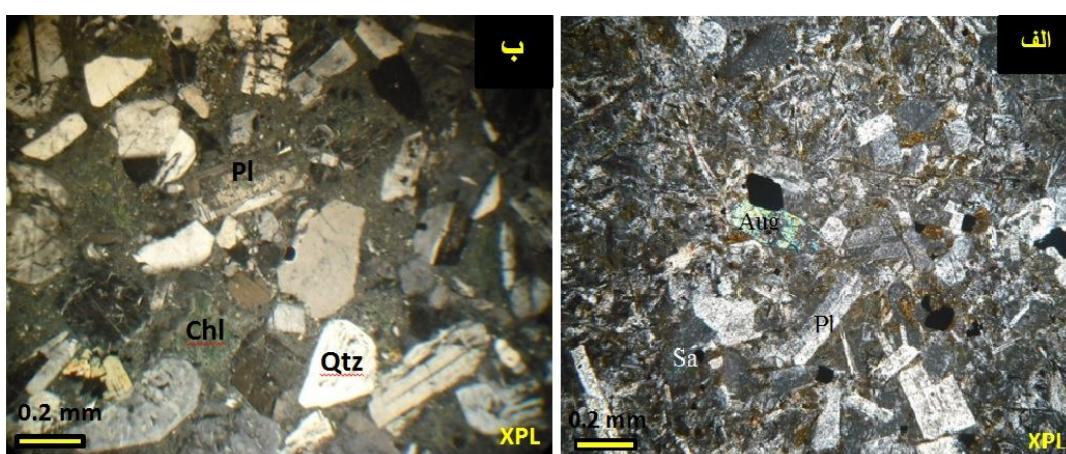
دگرسانی

شدت دگرسانی در واحدهای منطقه متوسط تا زیاد است و دگرسانی غالب به ترتیب، دگرسانی پروپلیتیک، آرژیلیکی، سیلیسی و کلریتی است (شکل ۴).

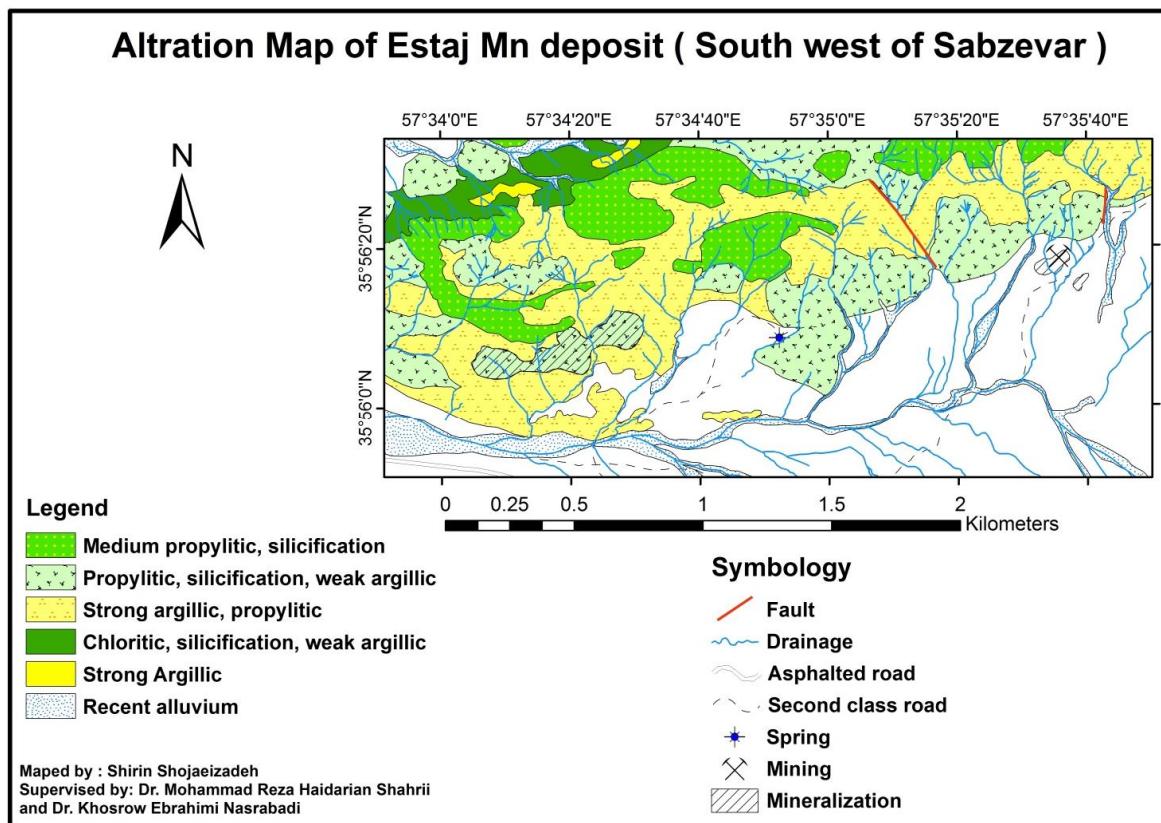
ب- واحد توف سبز که شامل دو نوع است: نوع اول دارای قطعات سنگی با ترکیب تراکی آندزیت بوده و نوع دوم دارای زمینه شیشه‌ای بوده و تعداد محدودی بلورهای پلازیوکلاز (آنذین تا لابرادوریت) در مقطع نازک دیده می‌شود و در قسمت شمال شرقی نقشه گسترش دارد و دارای دگرسانی آرژیلیکی شدید، پروپلیتیک متوسط و سیلیسی است. این واحد به تناب دارای چرت است.

ج- واحد پیروکسن هورنبلند آندزیت و پیروکسن آندزیت- بازالت که بیشتر در قسمت شمالی و اندکی در غرب نقشه گسترش دارد (شکل ۱) و مقدار فنوکریست تقریباً ۱۰ تا ۱۵ درصد است. این مقاطع دارای بیشتر از ۵ درصد کانی‌های پیروکسن (اوژیت)، ۲۵ درصد هورنبلند و حدود ۷۰ درصد پلازیوکلاز (آنذین و لابرادوریت) است. این واحدها دارای بافت‌های غالب پورفیری، بادامکی و گلومروپورفیری با زمینه ریزسنگی هستند. حفره‌ها با سیلیس و کلریت پر شده‌اند (شکل ۲ ب) و اکسید آهن فراوانی در این مقاطع مشاهده می‌شود. همچنین کانی‌سازی در این واحد به صورت بادامکی دیده می‌شود. این واحد دارای دگرسانی‌های پروپلیتیک متوسط و سیلیسی است. کانی مگنتیت به صورت افسان، شکل دار تا نیمه شکل دار به مقدار ۲ درصد حضور دارد.

د- واحد پیروکسن هورنبلند تراکی آندزیت که روند شمال شرق-جنوب غرب دارد و مقدار فنوکریست در این مقاطع بین ۱۵ تا ۲۰ درصد متغیر است. این مقاطع دارای حدود ۵ درصد کانی‌های پیروکسن (اوژیت)، ۲۵ درصد پلازیوکلاز (الیگوکلاز و



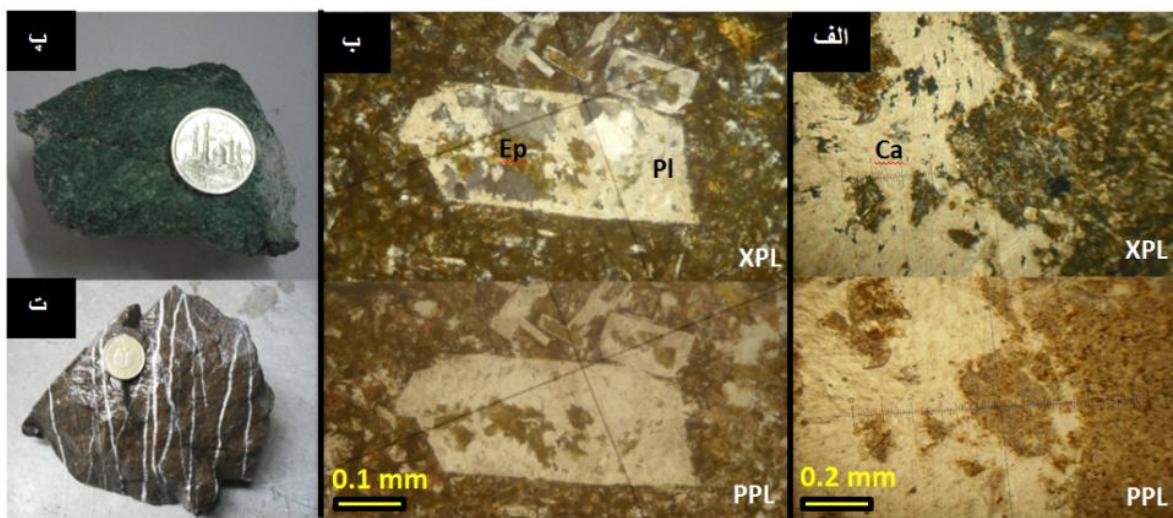
شکل ۳ الف- تصویر میکروسکوپیکی پیروکسن تراکی آندزیت با فنوکریست پیروکسن از نوع اوژیت، ب- تصویر میکروسکوپیکی توف سبز بلوری با ترکیب آندزیتی. نام اختصاری کانی‌ها [۳].



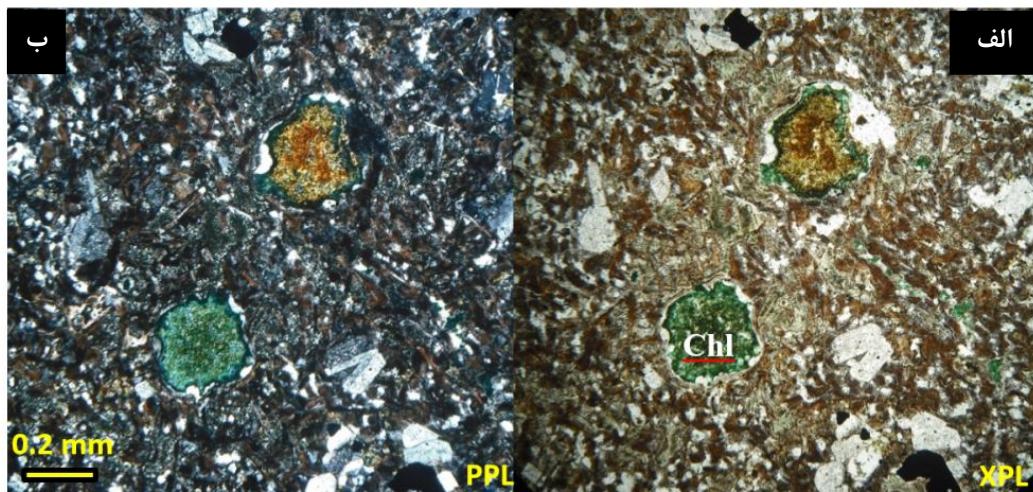
شکل ۴ نقشه دگرسانی و کانی‌سازی ذخیره معدنی منگنز استاج.

تشکیل کانی‌های رسی شده است که در واحدهای پیروکسن هورنبلنند آندزیت و پیروکسن هورنبلنند تراکی آندزیت به مقدار کم دیده شد، اما حجم گستردگی از سنگ‌های آتشفسانی منطقه به کانی‌های رسی تبدیل شده‌اند به طوری که سنگ اولیه قابل تشخیص نیست. کانی‌های رسی بر اثر تجزیه پلازیوکلازها و فلدسپات‌های قلیایی مانند سانیدین تشکیل شده‌اند. دگرسانی سیلیسی به صورت رگه-رگچه‌ای، پرکنندۀ خفره‌ها و همچنین در متن سنگ، در واحدهای پیروکسن هورنبلنند آندزیت، توف سبز بلوری آندزیتی، پیروکسن آندزیت- بازالت و پیروکسن هورنبلنند تراکی آندزیت دیده شد (شکل ۵). محلول‌های ماقمایی یا گرمایی غنی از Fe، Mg و Al در سنگ‌های آذرین در دمای مناسب ($T < 500^{\circ}\text{C}$) موجود تشکیل کلریت می‌شوند [۵]. دگرسانی کلریتی بیشترین گسترش را در واحد توف سبز بلوری دارد (شکل ۵ پ). کانی کلریت همچنین به صورت بادامکی در واحدهای پیروکسن هورنبلنند تراکی آندزیت، آندزیت- بازالت و پیروکسن هورنبلنند آندزیت دیده شود (شکل‌های ۶ الف و ب). دگرسانی آرژیلیکی باعث

دگرسانی پروپلیتیک موجود در منطقه منجر به تشکیل کانی‌های کلریت، اپیدوت و کربنات شده است که در واحدهای پیروکسن هورنبلنند آندزیت، پیروکسن آندزیت- بازالت، پیروکسن هورنبلنند تراکی آندزیت و توف سبز بلوری آندزیتی دیده می‌شود. کربنات‌ها و اپیدوت از تجزیه پلازیوکلازهای حدواسط (آندزین و کمی لابرادوریت) طی فرایند کربناتی شدن و اپیدوتی شدن ایجاد شده‌اند (شکل‌های ۵ الف و ب). کانی کلریت از تجزیه کانی‌های مافیک (هورنبلنند و بیوتیت) و گاهی از دگرسانی پلازیوکلازها ایجاد می‌شود [۴]. محلول‌های ماگمایی یا گرمایی غنی از Fe، Mg و Al در سنگ‌های آذرین در دمای مناسب ($T < 500^{\circ}\text{C}$) دگرسانی کلریتی بیشترین گسترش را در واحد توف سبز بلوری دارد (شکل ۵ پ). کانی کلریت همچنین به صورت بادامکی در واحدهای پیروکسن هورنبلنند تراکی آندزیت، آندزیت- بازالت و پیروکسن هورنبلنند آندزیت دیده شود (شکل‌های ۶ الف و ب). دگرسانی آرژیلیکی باعث



شکل ۵ الف و ب- تصویر میکروسکوپیکی دگرسانی پروپلیتیک در واحدهای آندزیت و تراکی آندزیت (Ca: کلسیت، Pl: پلاژیوکلاز، Ep: اپیدوت)، پ- نمونه دستی دگرسانی کلریتی سنگ میزبان (توف سبز با ترکیب آندزیتی)، ت- دگرسانی سیلیسی به صورت رگه در پیروکسن آندزیت.



شکل ۶ الف و ب- تصویر میکروسکوپیکی از تراکی آندزیت با دگرسانی کلریتی و سیلیسی (حاشیه حفره‌ها ابتدا با سیلیس و سپس با کلریت بر شده‌اند).

نواری (شکل ۷ ث)، شاخه‌ای (شکل ۷ ج) و شعاعی است. بافت نواری شامل تناب نوارهای تیره (نوارهای غنی از منگنز) و نوارهای صورتی (توف قرمز دگرسان شده، سنگ میزبان کانه‌زایی) است (شکل ۷ ث). ضخامت لایه‌های کانه‌دار از ۱ میلی متر تا ۲۰ سانتی متر تغییر می‌کند (شکل ۷). این بافت‌ها، سیمایی رسوی به اکسیدهای منگنز این منطقه داده است. لایه منگنز نشان داده شده در شکل ۷ ب روند تقریباً NE – SW و شیب ۳۵ تا ۴۵ درجه شمال غربی دارد. چرت‌های قهوه‌ای به صورت لایه‌ای در زیر ترکیبات منگنز سیاه رنگ قرار دارند.

ساخت و بافت

پس از انجام حفاری‌های سطحی و عمقی لایه منگنز در قسمت‌های شرقی منطقه کشف گردید که این لایه در اثر حرکت‌های زمین‌ساختی شدید در برخی نقاط محدوده به هم ریخته بوده ولی در هدف‌های ۳ و ۴ از یکنواختی بیشتری برخوردار است. پیکره‌های کانی به صورت چینه‌سان و لایه‌ای و هم‌رونده با لایه‌بندی سنگ‌های میزبان بوده و به طور ناپیوسته در ابعاد مختلف رخ داده است. (شکل‌های ۷ الف و ب) بافت کانی به شکل بادامکی (شکل ۷ پ)، توده‌ای (شکل ۷ ت)،

کانی شناسی

کانی‌شناسی ماده معدنی نشان داد که کانی ساده و شامل سیلیکات و اکسیدهای منگنز است. در نمونه دستی، کانسنگ منگنز دارای شکل‌های لایه‌ای، عدسی و توده‌ای است. نتایج تحلیل XRD و بررسی‌های کانه‌نگاری وجود کانی‌های منگنیزدار نظیر پیروولوسمیت، براونیت و پسیلوملان را تأیید می‌کند. پیروولوسمیت (MnO_2) فاز اساسی در تمام نمونه‌ها و براونیت ($3Mn_2O_3 \cdot MnSiO_3$) و پسیلوملان [$(Ba, H_2O)_2Mn_5O_{10}$] فازهای فرعی هستند. عمدت‌ترین کانی باطله کوارتز است که به طور اولیه و ثانویه به صورت بلورهای بی‌شکل و یا به صورت پرکننده درز و شکاف‌ها حضور دارد. کلریت، فلدسپار و کلسیت و ژیپس از دیگر کانی‌های باطله هستند. هیچ فاز آهن‌داری در نتایج XRD همراه کانسنگ منگنز مشاهده نشد اما مقدار کمی هماتیت در ترانشه‌ها و مقاطع صیقلی دیده می‌شود. لازم به ذکر است که کانی مگنتیت به صورت افشاران در واحدهای آتشفشانی منطقه وجود دارد.

پیروولوسمیت: این کانی با رنگ زرد تا قهوه‌ای و ناهمسانی شدید، رخ نامنظم تا منظم به‌آسانی با استفاده از میکروسکوپ قطبشی بازتابی در نور PPL قابل تشخیص است. پیروولوسمیت به صورت رگه و رگچه‌های با خاصیت‌های متفاوت و به صورت پرکننده درزه و شکستگی‌ها و همچنین به صورت بافت‌های لایه‌ای و عدسی (شکل‌های ۷ ب و پ)، شاخه‌ای (شکل ۷ ج)، شعاعی (شکل‌های ۸ الف و ب) و توده‌ای (شکل ۸ ت) دیده می‌شود. این کانی در اصل از دی اکسید منگنز (MnO_2) تشکیل شده و در حالت خالص دارای ۶۰٪ تا ۶۲٪ درصد منگنز و ۳۶٪ درصد اکسیژن بوده و عموماً حاوی مقداری آب است. پیروولوسمیت مهمترین کانی منگنز و از نظر ترمودینامیکی پایدارترین فاز در بین کانی‌های اکسید منگنز است. پیروولوسمیت عموماً از دگرسانی منگانیت ایجاد می‌شود. این کانی در سیستم چارگوشی متببور شده و رنگ خاکستری تیره؛ جلای فلزی تا نیمه فلزی است [۶].

پسیلوملان: این کانی دارای رنگ خاکستری تا سفید، ناهمسانی قوی و قابلیت بازتابی متوسط در نور بازتابی است. این کانی بیشتر بی‌شکل است. پسیلوملان (اکسید هیدراته منگنز با مقادیر متفاوتی اکسید باریم و پتاسیم) دومین کانه

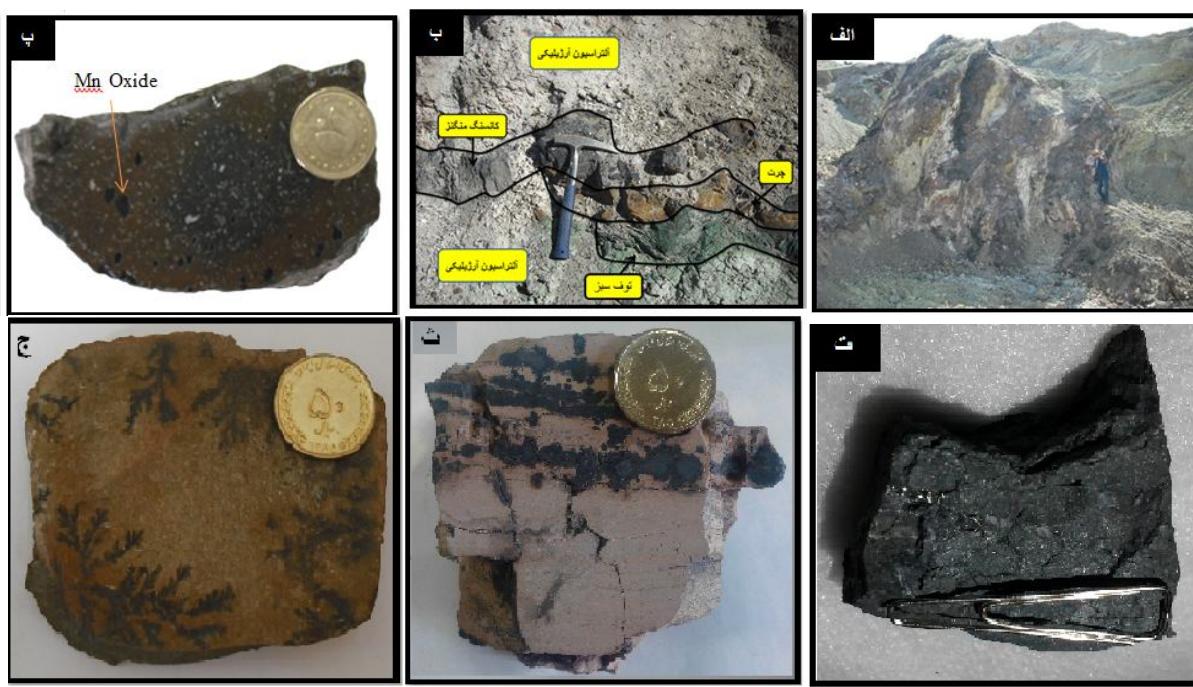
مهم منگنز است که با فرمول $(Ba, H_2O)_2Mn_5O_{10}$ (در سیستم راستگوشی متببور می‌شود. رنگ خاکه قهوه‌ای مایل دستی، سیاه آهنه تا خاکستری تیره، رنگ خاکه قهوه‌ای مایل به سیاه و براق؛ جلای نیمه فلزی است [۶]. این کانی به صورت توده‌ای تشکیل می‌شود. میزان منگنز موجود در این کانی متغیر بوده و در برخی موارد دارای ۶۳٪ درصد منگنز است. پسیلوملان به اکسیدهای منگنز بی‌شکل نیز اطلاق می‌شود.

براونیت: براونیت از معمول‌ترین کانی‌های منگنز با خاستگاه گرمابی است که ممکن است از یک ژل پسیلوملان و یا از کانی‌های دیگر منگنز تشکیل شود. در شکل ۸ پ دیده می‌شود که کانی براونیت ابتدا با بافت گل کلمی تهنشست شده و سپس بر اثر عوامل ساختمانی شکسته شده و بافت کاتاکلاستی ایجاد شده است. در نهایت رگچه‌های کوارتز که متعلق به فاز تأخیری است، کانی‌های دیگر را قطع کرده‌اند. کانی براونیت یک سیلیکات منگنز با فرمول شیمیایی $3Mn_2O_3 \cdot MnSiO_3$ است. براونیت عموماً به صورت بلورهای ریز و توده‌ای رشد می‌کند. این کانی نیمه کدر بوده و رنگ خاکه سیاه دارد و در صورتی که به خوبی پودر شود، رنگ متمایل به قهوه‌ای تیره و جلای فلزی چرب دارد. میزان منگنز در این کانی متغیر است که بسته به میزان سیلیس و آهن در ترکیب آن، مقدار منگنز ممکن است از ۵۰٪ تا ۶۰٪ درصد تغییر کند [۶].

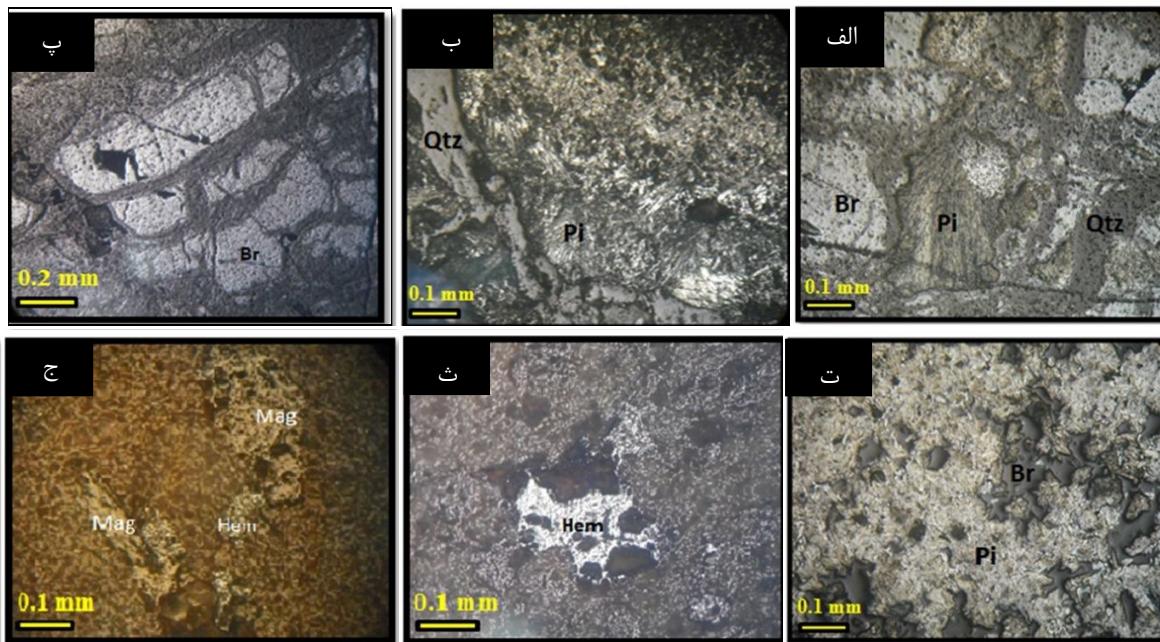
کوارتز: کانی کوارتز (SiO_2) به عنوان باطله همراه اکسیدهای منگنز است. این کانی به صورت پرکننده فضای خالی، بادامکی، رگه و رگچه‌ای دیده شد.

هماتیت: هماتیت از اکسیدهای آهن با فرمول شیمیایی Fe_2O_3 است. این کانی با رنگ خاکستری کم رنگ، ناهمسانی سرمه‌ای تا قهوه‌ای و IR گوشاهی قرمز-قهوهه‌ای در نور بازتابی قابل تشخیص است. این کانی از اکسایش مگنتیت ایجاد شده است و در مقاطع صیقلی با بافت افشاران دیده می‌شود (شکل ۸ ث).

مگنتیت: این کانی از اکسیدهای آهن با فرمول شیمیایی Fe_3O_4 است که با رنگ خاکستری تیره، همسانگرد و بدون IR در نور بازتابی تشخیص داده می‌شود. مگنتیت در مقاطع صیقلی واحدهای آتشفشانی منطقه با بافت افشاران دیده شد (شکل ۸ ج). توالی کنارزایی برای کانی‌سازی‌های منگنز استاج در جدول ۱ نشان داده شده است.



شکل ۷ الف و ب- لایه منگنز که به صورت هم روند با سنگ میزبان قرار دارد (دید در هر دو تصویر به سمت شمال شرق)، پ- اکسیدهای منگنز با بافت بادامکی در داخل آندزیت بازالت، ت- بافت توده ای اکسیدهای منگنز، ث- بافت نواری و عدسی های اکسیدهای منگنز در توف، ج- بافت شاخه ای اکسیدهای منگنز در نمونه دستی.



شکل ۸ نمونه های کانی های منگنز در نور PPL میکروسکوپ قطبشی بازتابی، الف و ب- بافت شعاعی پیرولوزیت (Pi)، پ- کانی براونیت با بافت گل کلمی و کاتاکلاستی، ت- بافت توده ای پیرولوزیت (Pi) و بافت پرکننده فضای خالی براونیت (Br) در نور بازتابی، ث- کانی هماتیت با بافت پراکنده که از هوازدگی مگنتیت ایجاد شده است و ج- کانی های هماتیت و مگنتیت با بافت پراکنده در آندزیت- بازالت. نام اختصاری کانی ها [۳].

جدول ۱ توالی کنارزایی کانی سازی های منگنز استاج.

	Stage Mineralogy	Hypogene	Oxide Zone
Ore	Pyrolusite Braunite Pesilomelane Hematite Magnetite	-	-
Gangue	Quartz 1 Quartz 2 Chlorite Calcite	-	-

همچنین کان و همکارانش معتقدند نسبت MnO/Fe_2O_3 در نهشتلهای آتشفسانی- رسویی منگنز و نهشتلهای گرمایی بسیار متغیر بوده و این امر یکی از مهم‌ترین شاخص‌های این ذخایر است [۸].

نمودار دو تایی SiO_2/Al_2O_3 : از نسبت SiO_2/Al_2O_3 برای تشخیص نهشتلهای گرمایی، آبزاد و آواری و شناسایی منبع تأمین کننده مواد این نهشتلهای استفاده کرد [۷-۱۱]. کانسارهای گرمایی به طور معمول در ارتباط نزدیک با ژلهای سیلیسی آهن‌دار (ferrigenous) شکل می‌گیرند که توسط فرایندهای فورانی زیردریایی و تخلیه فلز درون رسویات دریایی تشکیل می‌شوند [۱۲]. از این رو، درصد وزنی Si به Al معرف درصد بالای SiO_2 در طی فعالیت‌های بروند است. در حالی که در کانسارهای با خاستگاه تخریبی، Al_2O_3 نسبت به SiO_2 درصد بالاتری دارد که این امر ناشی از تجزیه و تخریب فلدسپارها در طی حمل و نقل از خشکی به حوضه رسوی است [۱۳]. در منطقه مورد بررسی میانگین نسبت SiO_2/Al_2O_3 حدود $10_{\text{--}}^{31}$ است که در گستره کانسارهای با خاستگاه گرمایی و آبزاد قرار می‌گیرد (شکل ۹ الف). هولستام و مانسفلد معتقدند اگر نهشتلهای گرمایی با ذرات تخریبی مخلوط شوند ممکن است نسبت SiO_2/Al_2O_3 کاهش یابد، همچنین همبستگی مثبت و بالا بین اکسیدهای Al_2O_3 و

ژئوشیمی به دلیل دگرسانی بالای منطقه، نمی‌توان نمونه‌های سنگی را مورد بررسی ژئوشیمیایی قرار داد و تنها نمونه‌های کانی سازی تجزیه شدند که نتایج آنها در جدول‌های ۲ و ۳ آمده است. با استفاده از نتایج تجزیه شیمیایی کانسینگ‌ها و استفاده از نمودارهای ژئوشیمیایی، سعی شده است تا خاستگاه احتمالی فلزها و محیط تشکیل کانسار مورد بررسی قرار گیرد. نمودار دو تایی MnO/Fe_2O_3 : آهن و منگنز در زمان نهشت از شاره‌های گرمایی به گونه خاصی از هم جدا می‌شوند که این جداشگی تابع درجه حلایت آن‌ها است. در نهشتلهای بروندی، نسبت MnO/Fe_2O_3 متفاوت است به طوری که $10 < MnO/Fe_2O_3 < 0.1$ است [۷]. در حالی که این نسبت برای نهشتلهای آبزاد برابر با یک [۷] و در نهشتلهای رسوی دریایی کوچکتر از یک است [۸]. در کانی سازی منگنز استاج نسبت MnO/Fe_2O_3 بیشتر بین $10_{\text{--}}^{9}$ تا $17_{\text{--}}^5$ درصد با میانگین $13_{\text{--}}^6$ درصد است. نسبت‌های بسیار بالای MnO/Fe_2O_3 و مقادیر بسیار پایین این نسبت نشانگر تفکیک و جداشگی این دو عنصر در طی حمل و نقل در فعالیت‌های گرمایی و کانه‌زایی در محیط‌های رسوی است [۹]. بنابراین نسبت‌های بالای MnO/Fe_2O_3 به عنوان شاخص برای شناسایی نهشتلهای گرمایی زیر دریایی مطرح هستند [۹].

و TiO_2 همبستگی مثبت وجود دارد و این همبستگی مثبت بین اکسیدهای نام برده، نشان می‌دهد که سیالات گرمابی با رسوبات آواری مخلوط شده‌اند و به همین علت، مقدار نسبت $\text{SiO}_2/\text{Al}_2\text{O}_3$ پایین آمده و برخی از نمونه‌ها در محدوده آب زاد قرار گرفته‌اند.

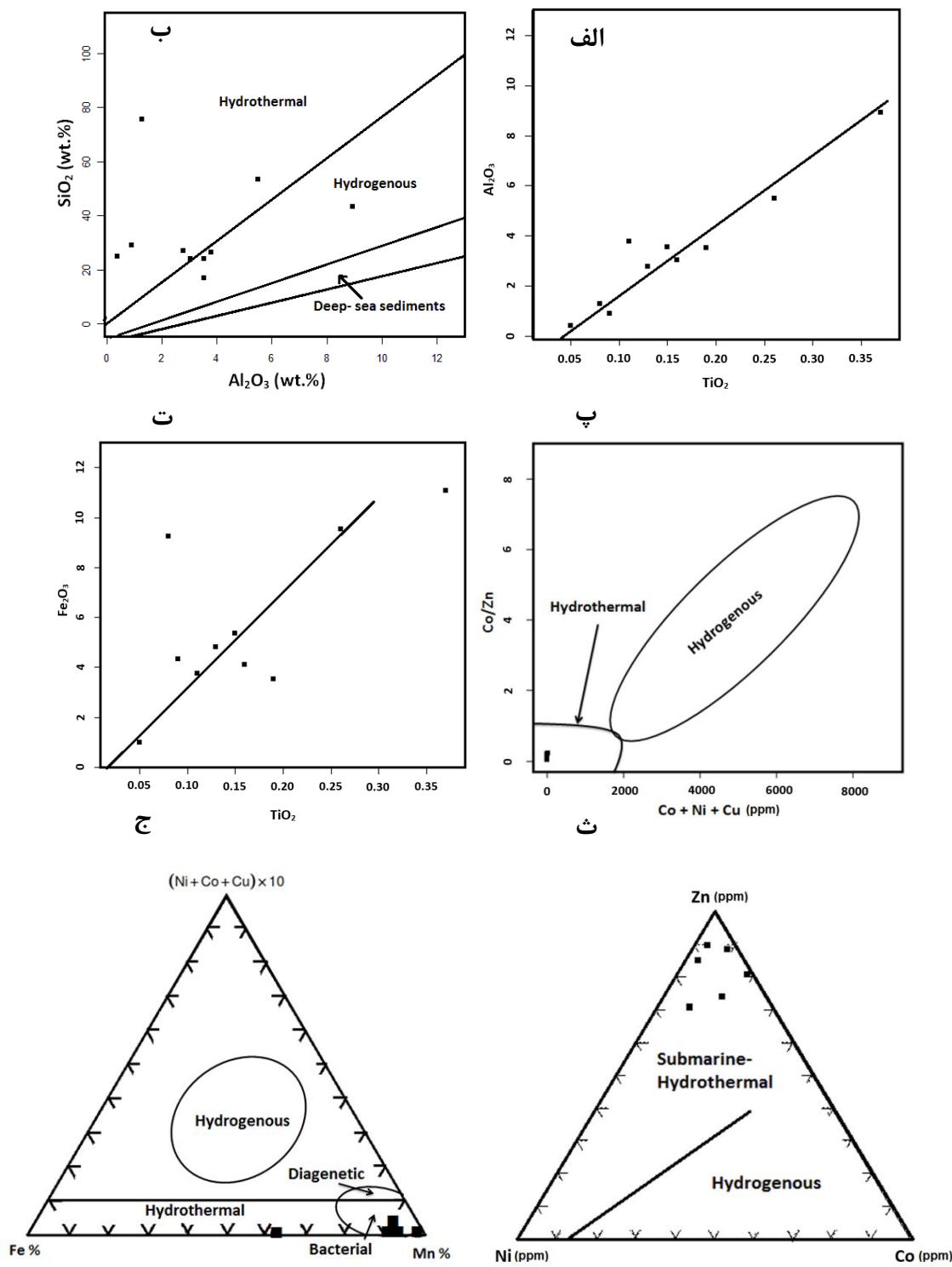
TiO_2 می‌تواند نشان دهنده ورود مواد تخریبی و مخلوط شدن آنها با محلول‌های گرمابی در کانی‌سازی مورد بررسی باشد [۱۴]. همبستگی مثبت بین اکسیدهای Fe_2O_3 و TiO_2 نیز می‌تواند این موضوع (اختلاط سیال گرمابی با رسوبات تخریبی) را تأیید کند [۱۵]. با توجه به شکل‌های ۹ ب و پ دیده می‌شود که بین اکسیدهای Fe_2O_3 و TiO_2 ؛ و اکسیدهای Al_2O_3 شود که بین اکسیدهای Fe_2O_3 و TiO_2 ؛ و اکسیدهای Al_2O_3

جدول ۲ نتایج تجزیه شیمیایی اکسیدهای اصلی کانسنگ‌های منگنز استاج به روش XRF

Sample	ST1	ST2	ST3	ST4	ST5	ST6	ST7	ST8	ST9	ST10	Average
SiO_2 %	۲۶,۷۵	۲۹,۱۸	۲۴,۸۶	۲۷,۰۵	۵۳,۴۴	۲۴,۰۸	۷۵,۵۴	۴۳,۳۵	۲۳,۶۵	۱۷,۰۱	۳۴,۴۴
Al_2O_3 %	۳,۷۹	۰,۹۱	۰,۴۰	۲,۷۹	۵,۵۱	۳,۵۴	۱,۲۸	۸,۹۳	۳,۰۴	۳,۵۲	۳,۳۴
Na_2O %	۱,۴۰	۰,۴۷	۰,۲۹	۰,۴۳	۰,۸۵	۰,۴۸	۰,۴۴	۰,۹۹	۰,۶۱	۰,۵۶	۰,۶۵
MgO %	۰,۷۲	۰,۰۵	۰,۰۰	۰,۶۸	۱,۳۴	۰,۸۱	۰,۳۱	۱,۷۸	۰,۷۰	۰,۷۷	۰,۷۲
K_2O %	۰,۶۵	۰,۰۵	۰,۰۱	۰,۶۱	۱,۲۱	۰,۷۱	۰,۲۲	۱,۷۵	۰,۴۴	۰,۷۲	۰,۶۴
TiO_2 %	۰,۱۱	۰,۹	۰,۰۵	۰,۱۳	۰,۲۶	۰,۱۵	۰,۰۸	۰,۳۷	۰,۱۶	۰,۱۹	۰,۱۶
MnO %	۴۰,۴۲	۴۹,۲۶	۵۸,۶۱	۵۲,۴۱	۱۵,۵۰	۵۴,۱۸	۷,۲۴	۲۰,۵۱	۵۵,۹۵	۶۱,۷۹	۴۲,۳۷
CaO %	۹,۴۹	۲,۰۸	۳,۱۰	۱,۷۱	۲,۳۸	۱,۰۸	۱,۳۴	۲,۶۲	۱,۰۰	۰,۶۸	۲,۶۵
P_2O_5 %	۰,۱۲	۰,۰۹	۰,۲۶	۰,۰۴	۰,۰۸	۰,۰۳	۰,۰۴	۰,۰۶	۰,۰۵	۰,۰۳	۰,۰۸
Fe_2O_3 %	۳,۷۷	۴,۲۲	۱,۰۰	۴,۸۲	۹,۵۲	۵,۳۷	۹,۲۳	۱۱,۰۷	۴,۱۲	۳,۵۲	۵,۶۶
SO_3 %	۰,۰۰	۳,۱۶	۰,۰۴	۰,۶۵	۱,۲۹	۰,۲۵	۰,۰۰	۰,۳۱	۰,۳۲	۰,۲۰	۰,۶۲
LOI %	۱۲,۹۶	۹,۹۷	۱۰,۶۱	۸,۶۷	۶,۸۸	۹,۳۲	۴,۱۷	۷,۷۷	۹,۹۶	۱۱,۰۱	۹,۰۸
Total %	۹۹,۶۸	۹۹,۶۴	۹۹,۲۳	۹۹,۹۹	۹۹,۲۶	۱۰۰	۹۹,۸۹	۹۹,۰۱	۱۰۰	۱۰۰	-
Mn / Fe	۱۰,۷۲	۱۱,۴۰	۵۸,۶۱	۱۰,۷۲	۱,۶۲	۱۰,۰۹	۰,۷۸	۱,۸۵	۱۸,۵۸	۱۷,۵۵	۱۳,۶۹

جدول ۳ نتایج تجزیه شیمیایی عناصر فرعی کانسنگ‌های منگنز استاج به روش ICP-OES .ppm

	ST1	ST2	ST3	ST4	ST5	ST6
Ag	۰,۸	۵,۷	۰,۶	۱,۲	۱,۶	۲,۸
As	۹	۱۵	۵۱	۷	۷	۲۰
Ba	۲۹,۹	۱۹,۶۵	۸,۱۷	۳۳,۷	۳۴,۶	۵۰,۸
Be	<۱	۱	<۱	<۱	<۱	<۱
Bi	<۵	۱۹	<۵	۵	۷	۱۴
Cd	<۰,۴	<۰,۴	<۰,۴	<۰,۴	<۰,۴	<۰,۴
Co	۷	۱۶	۲	۳	۳	۴
Cr	۴۷	۴۵	۶۲	۳۰	۲۸	۳۶
Cu	۷	۲۳	۸	۹	۴	۲
La	۸	۵۸	۲	۱۳	۱۲	۱۶
Mo	۸	۵۵	۹	۳۴	۸,۷	۳۱
Nb	<۲	۱۱	<۲	۵	۶	۶
Ni	۵	<۲	۵	۶	۱۰	<۲
Pb	۱۲	۱۶	۶	۷	۵	۱۴
S	<۰,۱	۰,۲	<۰,۱	<۰,۱	<۰,۱	<۰,۱
Sb	<۵	<۵	۷	<۵	<۵	<۵
Sc	۱	۳	<۱	۱۳	۱۲	۳
Sn	<۲	<۲	<۲	<۲	<۲	<۲
Sr	۲۳,۰	۸,۴۴	۲,۰۰	۴,۱۷	۳,۶۶	۵,۹۱
U	<۲۰	۱,۰۹	<۲۰	<۲۰	<۲۰	۷,۱
V	۱۶	۲۸	۶	۳۹	۴۱	۲۲
W	۵	۳۷	<۴	<۴	۵	۱۳
Y	۸	۴۶	۷	۳۶	۲۹	۱۴
Zn	۳۴	۷۱	۱۷	۷۹	۷۵	۳۸
Zr	۹	۱۶	۳	۵۶	۵۰	۱۳
Th	<۲	<۲	<۲	۳	۵	<۲



شکل ۹ الف- نمودار دوتایی Al_2O_3 - SiO_2 [۱۵] و موقعیت نمونه‌های کانسنگ منگنز استاج و خاستگاه آن‌ها، ب- نمودار همبستگی TiO_2 با Al_2O_3 [۱۴]، پ- نمودار همبستگی TiO_2 با Fe_2O_3 [۱۴]، ت- نمودار دوتایی (Co/Zn) - $(\text{Co}+\text{Cu}+\text{Ni})$ [۱۵]. نمونه‌های منگنز استاج در گستره گرمابی قرار گرفته‌اند، ث- نمودار سه تایی Co-Ni-Zn [۱۵]. نمونه‌های کانی‌سازی منگنز استاج در موقعیت کانسارهای گرمابی زیردریایی قرار گفته‌اند، ج- نمودار $(\text{Ni}+\text{Co}+\text{Cu}) \times 10$ - $\text{Fe}-\text{Mn}$ - $(\text{Co}+\text{Cu}+\text{Ni}) \times 10$ [۹].

شاخص‌های تفکیک انواع نهشته‌های منگنز به کار رود [۱۵]. همچنین نمودار اولیه عناصر $10 * \text{Fe-Mn-(Co+Cu+Ni)}$ توسط بوناتی و همکاران برای تمایز کانسارهای گرمابی آهن-منگنز از کانسارهای رسوبی دریایی رسم شد [۱۰]. گرهک‌های منگنز، خصوصاً گرهک‌های مناطق گورابه، در مقایسه با آبهای Cu عمق دارای مقادیر بیشتری از عناصر Co و Ni در Cu هستند. در این نمودار نمونه‌های کانی‌سازی منگنز استاج در موقعیت کانسارهای گرمابی و نزدیک قطب Mn قرار می‌گیرند (شکل ۹ ج).

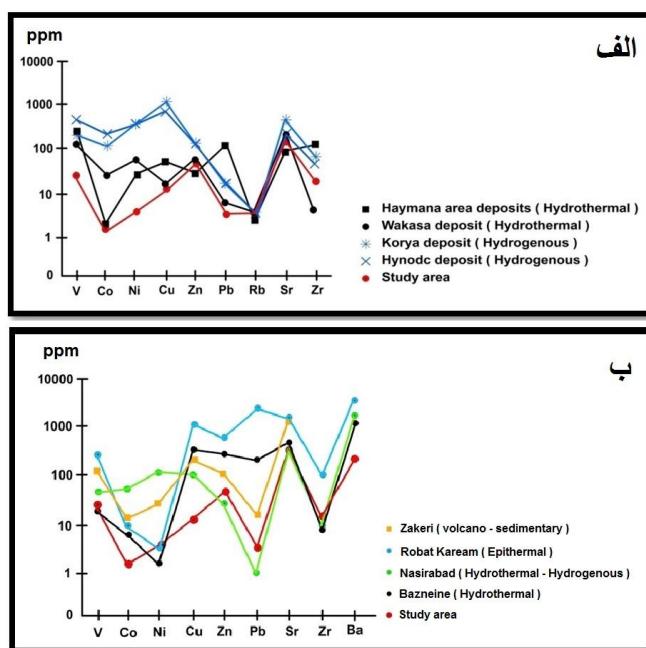
مقایسه عناصر فرعی کانسنگ‌های منگنز استاج با انواع کانسارهای منگنز ایران و جهان

عناصر فرعی مانند Co , Ni و Cu اغلب برای تعیین خاستگاه کانسنگ‌های منگنز استفاده می‌شوند. نمونه‌ها تفاوت زیادی در میزان تمرکز مس و کبالت دارند [۱۷]. در شکل ۱۰ الف و جدول ۴ برخی از عناصر تمرکز فرعی در کانسنگ منگنز استاج و انواع مختلف کانی‌سازی منگنز جهان مقایسه شده است. به نظر می‌رسد منگنز استاج روندی همانند نهشته‌های منگنز گرمابی، به‌ویژه در تمرکز عناصر فرعی Zn , Co , Ni و Cu دارد.

نمودار $(\text{Co/Zn}) - (\text{Co} + \text{Cu} + \text{Ni})$: این نمودار توسط توش برای تفکیک کانسارهای فرومگنز گرمابی از آب‌زاد استفاده شد [۱۵]. با توجه به شکل ۹ ت کانسارهای نوع آب‌زاد نسبت به کانسارهای گرمابی از غنی‌شدگی بیشتری از عناصر Co و Ni برخوردار است [۹]. در این نمودار به دلیل مقادیر پایین عناصر نام برده، کانسنگ‌های منگنز استاج در گستره کانسارهای گرمابی قرار می‌گیرد (شکل ۹ ت).

نمودار Ni-Co-Zn : چوی و هاریا کانسارهای آب‌زاد منگنز (گرهک‌های دریاهای عمیق) را از کانسارهای گرمابی زیردریایی بررسی روابط بین عناصر Co , Ni و Zn در نمودار سه تایی متمایز کردند [۱۶]. طبق بررسی‌های انجام شده، مقادیر پایین تمرکز کبالت ($75 - 22 \text{ ppm}$), نیکل ($900 - 220 \text{ ppm}$) و روی ($1070 - 18 \text{ ppm}$) مشخصه کانسارهای منگنز استاج تمرکزهای عناصر دریایی است [۸]. در کانی‌سازی منگنز استاج تمرکزهای عناصر کبالت ($16 - 2 \text{ ppm}$), نیکل ($10 - 2 \text{ ppm}$) و روی ($10 - 2 \text{ ppm}$) است (شکل ۹ ث). با توجه به این نمودار مشاهده می‌شود که نمونه‌های کانسنگ منگنز استاج خاستگاه گرمابی زیردریایی را از خود نشان می‌دهند.

نمودار $\text{Co-Mn-(Co+Cu+Ni)} \times 10$: مجموع تمرکز عناصر Co , Mn و Ni در مقایسه با Fe و Cu می‌تواند به عنوان یکی از



شکل ۱۰ الف نمودار عنکبوتی مقایسه کانی‌سازی استاج با انواع کانسارهای منگنز جهان و ب- نمودار عنکبوتی مقایسه کانی‌سازی استاج با انواع کانسارهای ایران.

جدول ۴ تمرکز برخی عناصر اصلی و فرعی برای مقایسه کانی‌سازی منگنز استاج و انواع مختلف کانسنسگ منگنز در جهان.

Country Origins Ore deposit	Japan Hydrogenous Hynode ^a	Japan Hydrogenous Koryu ^a	Turkey Hydrothermal Haymana ^b	Japan Hydrothermal Wakasa ^a	Iran Study Area
MnO (wt.%)	۶۷,۲۱	۴۲,۰۶	۲۹,۲۲	۳۲,۶۵	۴۱,۵۸
Fe ₂ O ₃ (wt.%)	۰,۵۷	۰,۵۵	۰,۶۸	۰,۹۲	۰,۶۷
Al ₂ O ₃ (wt.%)	۱,۲۷	۰,۶۳	۰,۶۵	۰,۵۵	۲,۳۷
TiO ₂ (wt.%)	۰,۰۴	۰,۰۵	۰,۳۰	۰,۰۴	۰,۱۵
V (ppm)	۴۶۸	۲۱۱	۱۴۳۷	۲۵۸	۲۵,۳۳
Co (ppm)	۲۲۲	۱۱۸	۲۳۲۱	۲	۰,۸۳
Ni (ppm)	۳۴۱	۳۵۲	۶۹,۴	۲۸	۴,۶۶
Cu (ppm)	۶۹۱	۱۱۷۴	۱۵,۹	۵۰	۸,۸۳
Zn (ppm)	۱۴۷	۱۲۹	۶۶,۷	۲۶	۰,۲۳۳
Pb (ppm)	۱۸	۱۴	۶,۵	۱۱۲	۱۰
Rb (ppm)	۴	۳	۲,۹	۲	-
Sr (ppm)	۲۶۰	۴۸۳	۲۴۳,۴	۸۵	۰,۳۶,۳۳
Zr (ppm)	۴۸	۶۲	۴	۱۳۲	-
Mn/Fe	۱۳۳,۴۳	۸۵,۶۸	۴۸,۱۲	۳۹	۱۳,۶۹
Co/Ni	۰,۶۵	۰,۳۳	۰,۳۳	۰,۰۷	۱۱,۲۵

a: [۱۶] b: [۱۸]

جدول ۵ تمرکز برخی از عناصر اصلی و فرعی برای مقایسه کانی‌سازی منگنز استاج با انواع کانسنسگ منگنز ایران.

Ore deposit Origins	ذاکری ^a رسویی-آتشفسانی	رباط کریم فراغرمایی ^b	نصیر آباد همگن-گرمایی ^c	بنین گرمایی ^d	منطقه مورد بررسی
MnO (wt.%)	۲۱,۶۴	۳۳,۷۳	۸,۸۲	۴۸,۷۷	۴۱,۵۸
Fe ₂ O ₃ (wt.%)	۳,۶۹	۳,۷۱	۰,۷۶	۱,۵۱	۰,۶۷
Al ₂ O ₃ (wt.%)	۰,۷۷	۶,۹۲	۱,۲۹	۲,۷۹	۲,۳۷
TiO ₂ (wt.%)	۰,۰۳	۰,۲۷	۰,۰۵	-	۰,۱۵
V (ppm)	۱۳۱,۶۶	۳۰۶,۴۱	۷۷,۹۱	۳۱,۲۶	۲۵,۳۳
Co (ppm)	۲۷,۸۳	۱۰,۳۸	۷۸,۷۵	۸,۷۵	۰,۸۳
Ni (ppm)	۵۲,۸۳	۶,۲۵	۱۶۲,۹۴	۲۲,۳۲	۴,۶۶
Cu (ppm)	۲۹۱,۱۶	۱۰۲۲,۷۵	۱۰۹,۱۷۵	۵۴۹,۰۳	۸,۸۳
Zn (ppm)	۱۰۶,۶۶	۸۵۲,۰۸	۲۲,۳۸	۵۰۲,۲	۲۲,۵۲
Pb (ppm)	۳۱	۳۳۶۲,۱۶	۱,۹	۳۱۹,۹۷	۱۰
Sr (ppm)	۲۶۰۰	۲۳۰,۷۷۱	۵۳۳,۵۸	۶۵۴,۹۶	۰,۳۶,۳۳
Zr (ppm)	-	۱۲۹,۲۵	۱۰,۰۲	۹,۲۴	-
Mn/Fe	۵,۸۶	۹,۰۹	۱۱,۶۰	۳۲,۲۹	۱۳,۶۹
Co/Ni	۰,۵۲	۱,۶۶	۰,۴۸	۳,۷۷	۱,۲۵

a: [۱۹] b: [۲۰] c: [۲۱] d: [۲۲]

استاج، حکایت از وجود یک ذخیره سولفید توده‌ای در فاصله دورتر دارد، که خود یک راهنمای اکتشافی است. همراهی لایه‌های سنگ آهک و چرت در بین آندزیتها، نشان دهنده سرد شدن سریع ماقما در حضور آب و عمق زیاد است [۴]. بافت‌های پورفیری در این نوع سنگ‌ها می‌تواند نشانگر پایین بودن سرعت خروج ماقما و توقف ماقما در آشیانه ماقمایی باشد [۴]، که این مطالب در مورد منطقه استاج صدق می‌کند.

همان‌طور که پیش‌تر گفته شد، شواهدی همچون عدم وجود فازهای آهن‌دار در بررسی‌های کانه‌نگاری و نتایج XRD و نسبت‌های بالای منگنز به آهن ($Mn/Fe = 13.69$) نشان‌دهنده جدادگی کامل آهن از منگنز در خلال فاصله‌گیری سیال گرمابی از محل دودکش خاستگاه آن است. همچنین با توجه به شواهد زمین‌شناسی و نتایج بررسی‌های ژئوشیمیایی، خاستگاه گرمابی زیر دریابی برای کانی‌سازی منگنز استاج پیشنهاد می‌شود.

قدرتدانی

در اینجا لازم است که از مهندس سمانه نادری، مهندس سعیده غلامی و مهندس حسین حاجی میرزاچان که در این پژوهش ما را یاری نموده‌اند تشکر نماییم. از آقای عباس آریانی، مسئول معدن منگنز استاج نیز که امکان بازدید و نمونه‌برداری را از معدن فراهم نمودند، صمیمانه قدردانی می‌نماییم.

مراجع

- [۱] عجفریان م.ب، جلالی ع، " نقشه ۱:۰۰۰۰۰ ششتمدۀ سازمان زمین‌شناسی و اکتشافات معدنی کشور (۱۳۷۷).
- [۲] مغفوری س، راستاد الف، موسیوند ف، " جایگاه چینه‌ای، خاستگاه و ویژگی‌های افق‌های کانه‌زایی منگنز در توالی آتشفسانی - رسویی کرتاسه پسین، جنوب-جنوب غرب

در شکل ۱۰ ب و جدول ۵ کانی‌سازی منگنز استاج با برخی از کانسارهای منگنز ایران مقایسه شده است. همچنان که دیده می‌شود، کانی‌سازی استاج همانند کانسارهای رباط کریم، ذاکری و بزنین، عناصر Co و Ni ناهنجاری منفی نشان می‌دهند. همچنین کانی‌سازی استاج مانند کانسارهای نصیر آباد، ذاکری و بزنین در مورد عنصر Pb ناهنجاری منفی نشان می‌دهد و مانند همه کانسارهای نام برده، ناهنجاری مثبت در عناصر Sr، Ba و ناهنجاری منفی Zr دارد. لیکن روند عمومی کانی‌سازی استاج مشابه کانسار ذاکری بوده که خاستگاه آتشفسانی - رسویی آن توسط [۱۹] تأیید شده است.

بحث و نتیجه‌گیری

شواهد صحرایی نشان می‌دهد که ذخایر منگنز منطقه استاج فاقد ریشه عمیق و گسترش جانبی بوده و احتمال دارد که ته-نشست ترکیبات اولیه منگنز در اثر تغییرات فیزیکوشیمیایی آب دریا صورت گرفته باشد. به دلیل رفتار ژئوشیمیایی مشابه آهن و منگنز در ماقما، و همچنین نسبت فراوانی این دو عنصر، مانع از جدادگی و تمرکز منگنز می‌شود. غنی‌شدگی منگنز در ماقما در شرایط اکسایشی شدید ایجاد می‌شود که این حالت فقط می‌تواند زمانی که ماقما در اثر فعالیت آتشفسانی به سطح برسد شکل گیرد [۱۷]. گستره پایداری منگنز در آبهای سطحی و دریاها به نسبت زیاد است و در شرایط بسیار اکسیدان از پایداری آن کاسته می‌شود [۲۳]. برخلاف آهن که در محیط احیایی بیشتر به صورت سولفید دیده می‌شود، منگنز به صورت اکسید و کربنات یافت می‌شود [۲۳]. از آهن و منگنزی که ضمن فعالیت آتشفسانهای زیردریایی به محیط آب دریا وارد می‌شوند، ابتدا آهن به فاصله نزدیک از خاستگاه فعالیت آتشفسانی بر جای گذاشته می‌شود و سپس منگنز در فاصله دورتر رسوب می‌کند؛ لذا در کانسارهای سولفید توده‌ای، آهن در بالای کانسار و منگنز در کناره و دورتر قرار دارد [۲۳]. بنابراین وجود منگنز و فعالیت آتشفسانی زیر دریایی در منطقه

- centers", Economic Geology, 77(3) (1982) 519-540.*
- [12] Roy S., "Environments and processes of manganese deposition", *Economic Geology*. Vol, 87, (1992) pp 1218-1236.
- [۱۳] کاظمی راد م., راستاد الف، مجله م., "کانه‌زایی آهن منگنیزدار در دولومیت‌های معادل سازند شتری در شمال خاوری هدبید، سنتندج- سیرجان جنوبی، استان فارس، علوم زمین، شماره ۹۴ (۱۳۹۳) صفحه ۳۸۲ تا ۳۶۹.
- [14] Holtstam D., Mansfeld J., "Origin of a carbonate-hosted Fe-Mn-(Ba-As-Pb-Sb-W) deposit of Langban-type in central Sweden", *Mineralium Deposita*, 36(7) (2001) 641-657.
- [15] Toth J.R., "Deposition of submarine crusts rich in manganese and iron", *Geology Society American Bull*, 91(1) (1980) 44-54.
- [16] Choi J. H., Hariya Y., "Geochemistry and depositional environment of Mn oxide deposits in the Tokorobelt, northeastern Hokkaido", Japan. *Economic Geology*, 87(5) (1992) 1265-1274.
- [17] Maynard J., "The Chemistry Of Manganese Ores through Time: A Signal Of Increasing, Diversity of Earth-Surface Environments", *Economic Geology* 105 (2010).
- [18] Karakus A., Yavuz B., Koc S., "Mineralogy and MajorTrace Element Geochemistry of the Haymana Manganese Mineralizations", Ankara, Turkey 1 (2010).
- [۱۹] قمشی س., "بررسی کانی‌شناسی، ژئوشیمی، دگرسانی و پردازش داده‌های ماهواره‌ای کانسار منگنیز ذاکری (جنوب غربی سبزوار) با نگرشی بر فرآوری و کاربردهای صنعتی"، پایان نامه کارشناسی ارشد، (۱۳۹۴) صفحات ۶۴ تا ۷۵.
- [۲۰] مقدسی س., نگهبانی، "بررسی کانی‌شناسی و ژئوشیمی کانسنگ و سنگ میزبان کانسار منگنیز رباط کریم، جنوب باخته تهران"، مجله علوم زمین، شماره ۸۳، (۱۳۹۱) صفحه ۶۷ تا ۷۶.
- سبزوار، مجله زمین‌شناسی اقتصادی، جلد ۶، شماره ۲، (۱۳۹۳) صفحات ۲۰۱ تا ۲۱۶.
- [3] Siivola J., Schmid R., List of Mineral abbreviations (2007).
- [۴] فلاحی ح., زرین‌کوب م., محمدی س., "زمین‌شناسی، سنگ‌نگاری و دگرسانی واحدهای ولکانیکی شمال آرین شهر (شمال بیرون)، دانشگاه شهید چمران اهواز، سومین همایش انجمن زمین‌شناسی اقتصادی ایران (۱۳۹۰).
- [۵] کریم پور م., سعادت س., "زمین‌شناسی اقتصادی کاربردی"، انتشارات دانشگاه فردوسی مشهد، چاپ چهارم، (۱۳۸۹) صفحات ۷۶-۸۵.
- [6] Picot P., johan Z., "Atlas of ore minerals", 104, 255, 306, 307, 313, 321.
- [7] Nicholson K., "Genetic types of manganese oxide deposits in Scotland: Indicators of paleoocean-spreading rate and a Devonian geochemical mobility boundary", *Economic Geology* 87(5) (1992) 1301-1309.
- [۸] معانی جو م., نصیری ع., آلیانی ف., مستقیمی م., قلی پور م., مقصودی ع., "بررسی زمین‌شیمی عناصر اصلی، کمیاب و نادر خاکی در کانسار منگنیز شهرستانک؛ رهیافتی در تعیین شرایط تشکیل کانسار، مجله زمین‌شناسی اقتصادی، جلد ۷، شماره ۱، (۱۳۹۴) صفحات ۱ تا ۲۱.
- [9] Glasby G.P., "Manganese: predominant role of nodules and crust. In: H.D. Schulz and M. Zabel (Editors)", *Marine Geochemistry*. Springer-Verlag, Berlin, pp. 335-372.
- [10] Bonatti E., Kraemer T., Rdell H., "Classification and genesis of submarine iron-manganese deposits of the ocean floor. In: D.R. Horn (Editor), *Ferromanganese Deposits of the Ocean Floor*", Aren House Harriman, (1972) pp. 149-16.
- [11] Crerare D.A., "Manganiferous cherts of the Franciscan assemblage: In General geology, ancient and modern analogues, and implication for hydrothermal convection at ocean spreading

[۲۳] کریم پور م، ملک زاده الف، حیدریان م، "اکتشاف ذخایر معدنی، مدل‌های زمین‌شناسی، ژئوشیمی، ماهواره‌ای و ژئوفیزیکی، انتشارات دانشگاه فردوسی مشهد، چاپ چهارم، صفحات ۱۴۵-۱۴۶.

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

[۲۲] لطفی م، سجادی آل هاشم س، امامی م، "زمین شناسی، کانه نگاری، ژئوشیمی و زیش معدن منگنز بزنین"، اردستان (استان اصفهان) مجله علوم زمین، شماره ۸۸، (۱۳۹۲) صفحه ۷۵ تا ۸۶.