

## کانی سازی منگنز استاج، نمونه ای از کانه زایی نوع آتشفشانی - رسوبی در جنوب غرب سبزوار

شیرین شجاعی زاده اقدم، خسرو ابراهیمی نصر آبادی\*، محمدرضا حیدریان شهری

گروه زمین شناسی، 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 بررسی های میکروسکوپی، واحدهای سنگ شناسی منطقه عبارتند از: پیروکسن هورنبلند تراکی آندزیت، توف های سبز بلوری با ترکیب آندزیتی، پیروکسن هورنبلند آندزیت، پیروکسن آندزیت - بازالت، چرت و سنگ آهک. این واحدهای زمین شناسی متعلق به دوره کرتاسه پسین بوده و شاید گواهی بر خاستگاه آتشفشانی - رسوبی کانی سازی منطقه باشد. تجزیه شیمیایی و کانی - شناختی به روش های XRD، ICP-OES، XRF و بررسی های میکروسکوپی بر روی کانسنگ های منگنز استاج انجام شد. نتایج به دست آمده از تحلیل XRD فقط کانی پیرولوسیت را تأیید نمود، اما کانی پسیلوملان و براونیت فقط در بررسی های میکروسکوپی تشخیص داده شدند. نتایج تجزیه شیمیایی کانسنگ های منگنز مقادیر بالای  $(17.01 - 75.54 \%)$  Si،  $(300 - 1965)$  ppm Sr،  $(200 - 844)$  ppm MnO/Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub>،  $(1.62 - 58.61)$  و مقادیر پایین  $(20 - 71)$  ppm U،  $(34 - 79)$  ppm Zn،  $(2 - 16)$  ppm Co،  $(2 - 10)$  ppm Ni و  $(2 - 5)$  ppm Th را نشان می دهد. نتایج تحلیل های ژئوشیمیایی نشانگر ته نشست محلول های منگنزدار به همراه سیلیس به علت تغییرات فیزیکوشیمیایی آب دریا بوده و همچنین نشان دهنده خاستگاه گرمایی زیر دریایی برای این کانی سازی هستند. ماده معدنی به صورت عدسی و لایه ای شکل در داخل سنگ های آذر آواری (توف های سبز بلوری با ترکیب آندزیتی و توف قرمز) به صورت هم روند با سنگ های میزبان دیده می شود. ماده معدنی دارای بافت توده ای، دندریتی، نواری، بادامکی و شعاعی بوده و از نظر کانی شناسی بیشتر از پیرولوسیت، براونیت و پسیلوملان تشکیل شده است. دگرسانی سنگ دیواره در کمر پایین کانسار بیشتر شامل دگرسانی پروپلیتیک و سیلیسی و آرتیلیکی است. کانی سازی استاج از لحاظ ویژگی های مختلف از جمله ماهیت آتشفشانی - رسوبی توالی سنگ های میزبان، شکل هندسی، ساخت و بافت و کانی شناسی بیشترین شباهت را با کانسارهای منگنز آتشفشانی - رسوبی (بروندی) نشان می دهد.

**واژه های کلیدی:** منگنز؛ آتشفشانی - رسوبی؛ سبزوار؛ کانی سازی استاج.

### مقدمه

سبزوار میزبان کانه زایی های متعدد منگنز است. از جمله کانی زایی های منگنز جنوب و جنوب غرب سبزوار می توان به کانسارهای منگنز بنسبرد، نوده، همایی، گف، چاه ستاره، چشمه سفید و ذاکری اشاره نمود [۲]. توالی آتشفشانی - رسوبی کرتاسه پسین با روند تقریبی شمال شرق - جنوب غرب دربردارنده این ذخایر و کانسارهای سولفید مس توده ای

کانی سازی منگنز استاج در شمال غرب نقشه ۱:۱۰۰۰۰۰ ششم [۱] در ۴۰ کیلومتری جنوب غربی سبزوار و در بخش بالایی توالی آتشفشانی - رسوبی کرتاسه پسین در پهنه ایران مرکزی و زیر پهنه منطقه سبزوار اتفاق افتاده است. توالی آتشفشانی - رسوبی کرتاسه پسین در جنوب - جنوب غرب

\*نویسنده مسئول، تلفن: ۰۵۱۳۸۸۰۵۴۹۰، نمابر: ۰۵۱۳۸۸۰۷۱۵۰، پست الکترونیک: Khebrahimi@um.ac.ir

### زمین‌شناسی ناحیه‌ای

در کرتاسه پسین به خصوص آشکوب ماستریشیتین، تنش‌های فاز کوه‌زایی لارامید موجب ناآرامی محیط شده و باعث فوران و خروج مواد آتشفشانی به سطح دریا شده است [۱]. این پدیده موجب شده است که سنگ‌های رسوبی-آتشفشانی گسترده‌ای در منطقه سبزوار تشکیل گردد، که بخش رسوبی آن شامل رسوبات دریایی نسبتاً عمیق آهکی حاوی اندامگان پلاژیک فراوان است. قسمت‌های آتشفشانی آن بیشتر شامل توف است که بخش‌هایی از سنگ‌های آتشفشانی را نیز به همراه دارد. ساختمان زمین‌ساختی این واحد به هم ریخته است، اما در حالت کلی روند شرقی-غربی دارد. منطقه سبزوار بین دو گسل بزرگ درونه (درجنوب) و ارتفاعات بینالود (در شمال) واقع شده است [۱]. کوه‌زایی منطقه سبزوار بین کرتاسه پیشین و نئوژن اتفاق افتاده است و رسوبات قدیمی‌تر از کرتاسه پیشین در این ناحیه شناخته نشده است [۱]. از نظر ساختمانی چین‌خوردگی 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 سبز بلوری با ترکیب آندزیتی، لیتیک توف سبز با ترکیب تراکی آندزیتی، چرت و سنگ آهک است. بررسی مقاطع میکروسکوپی نمونه‌ها نشان می‌دهد که واحدهای آذرین در طیف سنگ‌های حدواسط قرار گرفته است. واحدهای سنگی متعلق به کرتاسه در یک گستره گسله و زمین‌ساخت، توسط نهشته‌های ائوسن پوشیده شده است و در حرکت‌های بعدی به‌راحتی شکسته و یک مجموعه درهم متشکل از سنگ‌های آذرآواری، آتشفشانی 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).

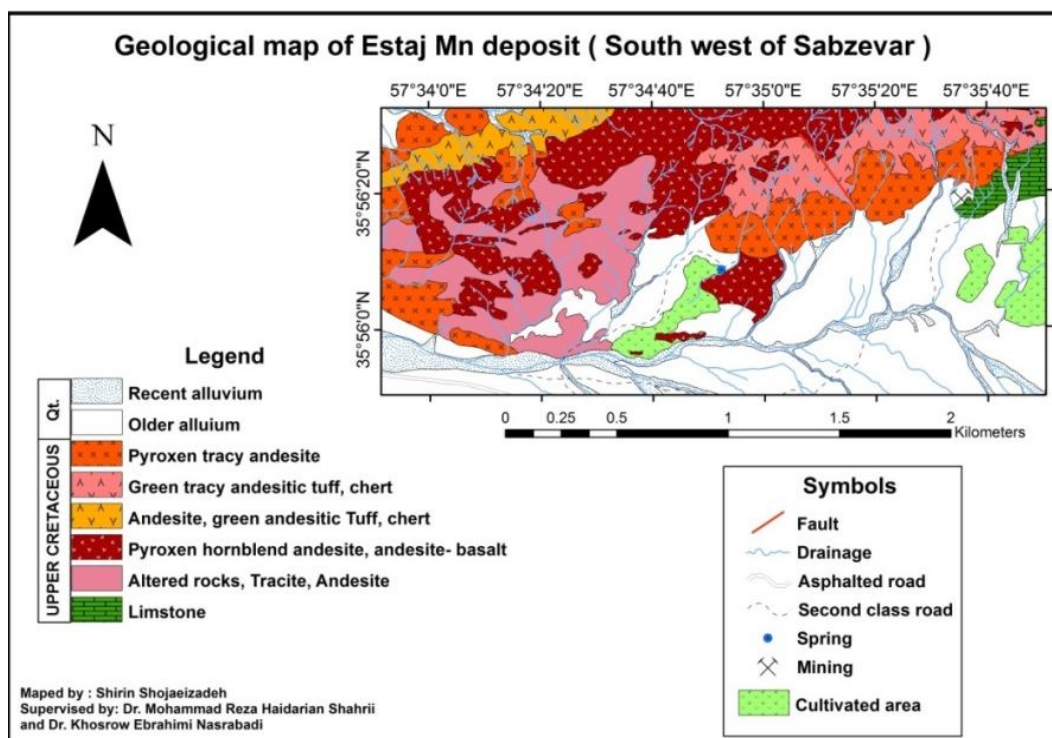
الف- واحد سنگ آهک که دارای راستای شمال شرقی-جنوب غربی است در قسمت شمال شرقی نقشه قرار دارد و به صورت افشان و لایه‌ای دارای کانی فلزی مگنتیت و هماتیت است (شکل ۲ الف). این واحد حاوی سنگواره‌های گلوبروتروناکانا (*Globotruncana*) و پلانکتون گانسسرینا گانسری (*Gansserina gansseri*) است (شکل ۲ ب). رگه‌های 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 دریایی با میان‌لایه‌هایی از سنگ‌های آتشفشانی تشکیل یافته است. بخش بالایی یا واحد LMV از سنگ‌های آهکی-مارنی-آتشفشانی 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 سبزوار، تا کنون مطالعه‌ای در ارتباط با منطقه استاج انجام نشده است. توالی آتشفشانی-رسوبی منطقه شامل پیروکسن هورنبلند آندزیت، پیروکسن آندزیت-بازالت، پیروکسن هورنبلند تراکی آندزیت، توف سبز بلوری با ترکیب آندزیتی، لیتیک توف سبز با ترکیب تراکی آندزیتی، سنگ آهک و چرت است. هدف از این پژوهش، بررسی ویژگی‌های زمین‌شناسی، ساخت و بافت، کانی‌شناسی، دگرسانی، سنگ‌نگاری و شکل‌گیری 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 میکروسکوپی کانی‌سازی هماتیت و مگنتیت در داخل سنگ آهک، ب- تصویر میکروسکوپی سنگواره‌های گلوبوترونکانا (a) و گانسرینا گانسری (b) در داخل سنگ آهک، پ - تصویر میکروسکوپی آندزیت- بازالت با بافت بادامکی که حفرات توسط سیلیس پر شده- اند، ت- تصویر میکروسکوپی بافت گلوپورپوری در پیروکسن هورنبلند آندزیت که پیروکسن به کلریت تبدیل شده است و هورنبلندها به اکسیدهای آهن تجزیه شده‌اند.

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 پلاژیوکلاز (آندزین 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 تناوب 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 پلاژیوکلاز (آندزین 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 پ) 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 افشان، شکل‌دار تا نیمه شکل‌دار به مقدار ۲ درصد حضور دارد.

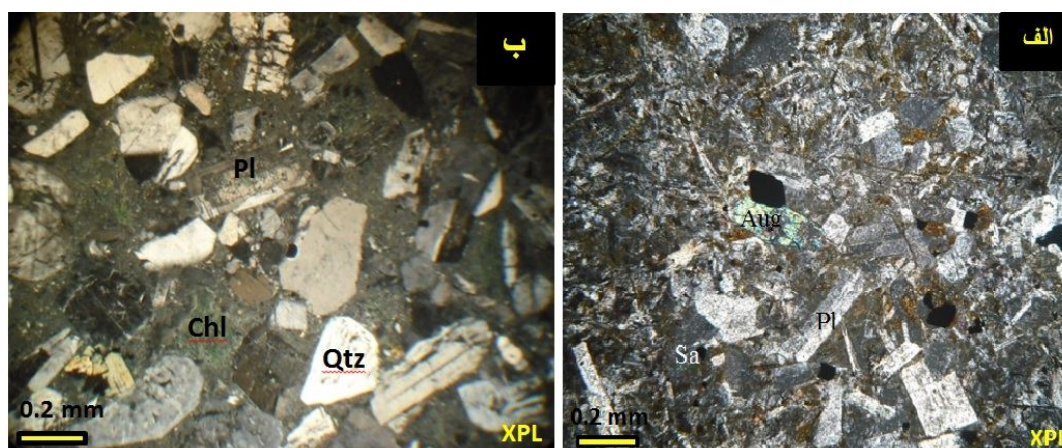
د- واحد پیروکسن هورنبلند تراکی آندزیت که روند شمال شرق- جنوب غرب دارد و مقدار فنوکریست در این مقاطع بین ۱۵ تا ۲۰ درصد متغیر است. این مقاطع دارای حدود ۵ درصد کانی‌های پیروکسن (اوژیت)، ۲۵ درصد پلاژیوکلاز (الیگوکلاز و

آندزین)، ۲۵ درصد هورنبلند و ۴۵ درصد پتاسیم فلدسپات (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 اسفرولیتی 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. پلاژیوکلازها گاهی به سیرسیت تجزیه شده‌اند. در این موارد متن سنگ از ریزسنگ‌های پلاژیوکلاز سدیک مانند الیگوکلاز تشکیل شده است.

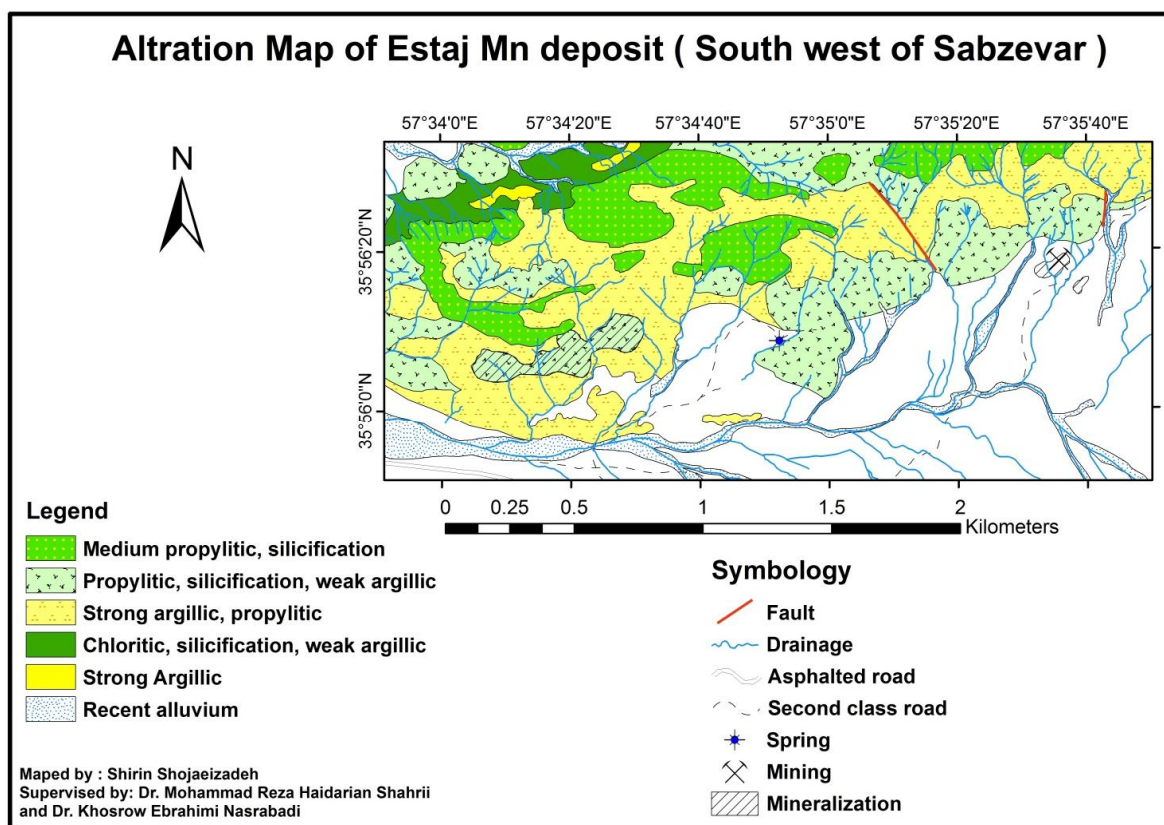
ح- واحد توف سبز بلوری با ترکیب آندزیتی در برداشت از ترانشه‌ها شناسایی گردید و رخنمون ندارد. مقدار فنوکریست حدود ۵۰ تا ۶۰ درصد بوده و شامل ۴۰ تا ۵۰ درصد بلورهای پلاژیوکلاز (آندزین و لابرادوریت)، حدود ۱۰ درصد هورنبلند و پیروکسن (اوژیت) است (شکل ۳ ب). این واحد دارای دگرسانی کلریتی متوسط بوده و دگرسانی سیلیسی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

### دگرسانی

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



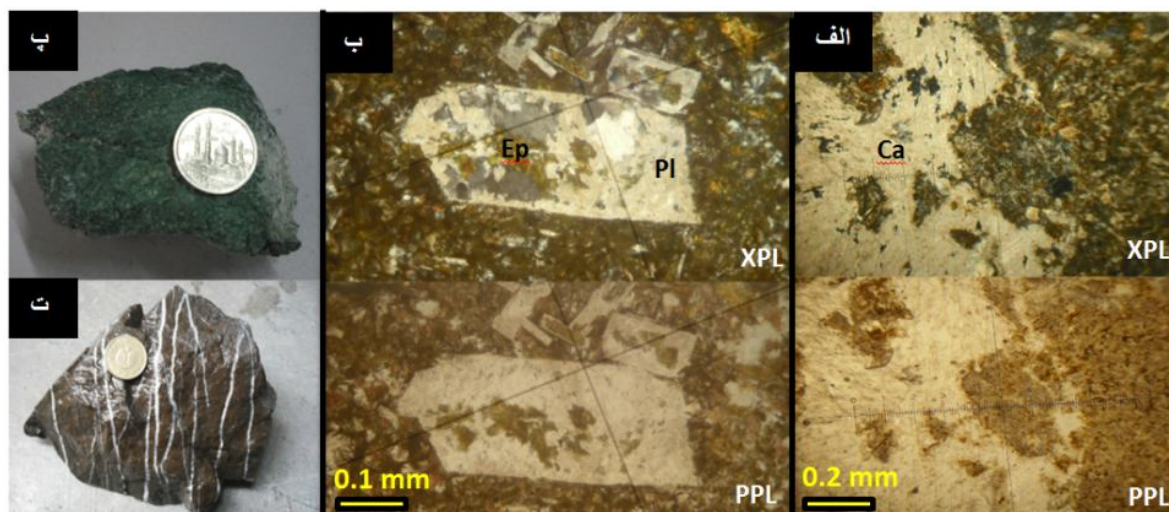
شکل ۳ الف- تصویر میکروسکوپی پیروکسن تراکی آندزیت با فنوکریست پیروکسن از نوع اوژیت، ب- تصویر میکروسکوپیکی توف سبز بلوری با ترکیب آندزیتی. نام اختصاری کانی‌ها [۳].



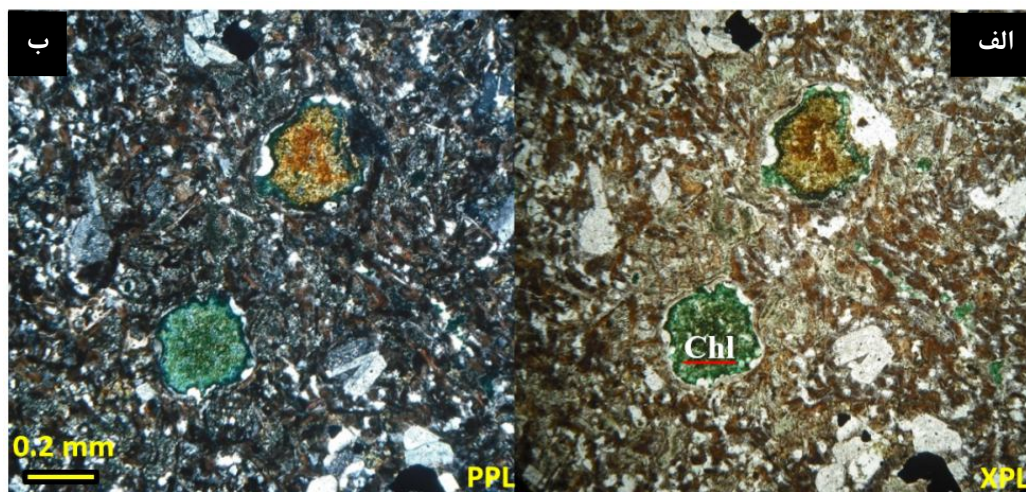
شکل ۴ نقشه دگرسانی و کانی‌سازی ذخیره معدنی منگنز استاج.

تشکیل کانی‌های رسی شده است که در واحدهای پیروکسن هورنبلند آندزیت و پیروکسن هورنبلند تراکی آندزیت به مقدار کم دیده شد، اما حجم گسترده‌ای از سنگ‌های آتشفشانی منطقه به کانی‌های رسی تبدیل شده‌اند به طوری که سنگ اولیه قابل تشخیص نیست. کانی‌های رسی بر اثر تجزیه پلاژیوکلازها و فلدسپات‌های قلیایی مانند سانیدین تشکیل شده‌اند. دگرسانی سیلیسی به صورت رگه- رگچه‌ای، پرکننده حفره‌ها و همچنین در متن سنگ، در واحدهای پیروکسن هورنبلند آندزیت، توف سبز بلوری آندزیتی، پیروکسن آندزیت- بازالت و پیروکسن هورنبلند تراکی آندزیت دیده شد (شکل ۵ ت). محلول‌های ماگمایی، گرمابی و یا دگرگونی غنی از سیلیس، در شرایط مناسب سیلیس خود را بر جای می‌گذارند؛ عوامل مهم و مؤثر در ته‌نشینی سیلیس کاهش فشار، دما و pH محلول است [۵]. در بیشتر کانسارهای گرمابی منطقه سیلیسی یافت می‌شود [۵]. در نمونه‌های آندزیتی دگرسانی پروپلیتیک و سیلیسی گسترده‌تر است.

دگرسانی پروپلیتیک موجود در منطقه منجر به تشکیل کانی‌های کلریت، اپیدوت و کربنات شده است که در واحدهای پیروکسن هورنبلند آندزیت، پیروکسن آندزیت- بازالت، پیروکسن هورنبلند تراکی آندزیت و توف سبز بلوری آندزیتی دیده می‌شود. کربنات‌ها و اپیدوت از تجزیه پلاژیوکلازهای 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 (هورنبلند و بیوتیت) و گاهی از دگرسانی پلاژیوکلازها ایجاد می‌شود [۴]. محلول‌های ماگمایی یا گرمابی غنی از Fe, Mg و Al در سنگ‌های آذرین در دمای مناسب ( $200^{\circ}\text{C} < T < 500^{\circ}\text{C}$ ) موجب 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 هورنبلند تراکی آندزیت، آندزیت- بازالت و پیروکسن هورنبلند آندزیت دیده می‌شود (شکل‌های ۶ الف و ب). دگرسانی آرژلیکی 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 پر شده‌اند).

### 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 هم‌روند 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)،

نواری (شکل ۷ ث)، شاخه‌ای (شکل ۷ ج) و شعاعی است. بافت نواری شامل تناوب 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 میلی‌متر تا ۲۰ سانتی‌متر تغییر می‌کند (شکل ۷). این بافت‌ها، سیمایی رسوبی 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.

## کانی‌شناسی

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 منگنزدار نظیر پیرولوسیت، براونیت و پسیلوملان را تأیید می‌کند. پیرولوسیت ( $\text{MnO}_2$ ) فاز اساسی در تمام نمونه‌ها و براونیت ( $3\text{Mn}_2\text{O}_3 \cdot \text{MnSiO}_3$ ) و پسیلوملان  $[(\text{Ba}, \text{H}_2\text{O})_2\text{Mn}_5\text{O}_{10}]$  فازهای فرعی هستند. عمده‌ترین 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 ترانسه‌ها و مقاطع صیقلی دیده می‌شود. لازم به ذکر است که کانی مگنتیت به صورت افشان در واحدهای آتشفشانی منطقه وجود دارد.

**پیرولوسیت:** این کانی با رنگ زرد تا قهوه‌ای و ناهمسانی شدید، رخ نامنظم تا منظم به آسانی با استفاده از میکروسکوپ قطبشی بازتابی در نور PPL قابل تشخیص است. پیرولوسیت به صورت رگه و رگچه‌های با ضخامت‌های 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 ( $\text{MnO}_2$ ) تشکیل شده و در حالت خالص دارای ۶۰ تا ۶۳/۲ درصد منگنز و ۳۶/۸ درصد اکسیژن بوده و معمولاً حاوی مقداری آب است. پیرولوسیت مهمترین کانی منگنز و از نظر ترمودینامیکی پایدارترین فاز در بین کانی‌های اکسید منگنز است. پیرولوسیت معمولاً از دگرسانی منگانیت ایجاد می‌شود. این کانی در سیستم چارگوشی متبلور 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

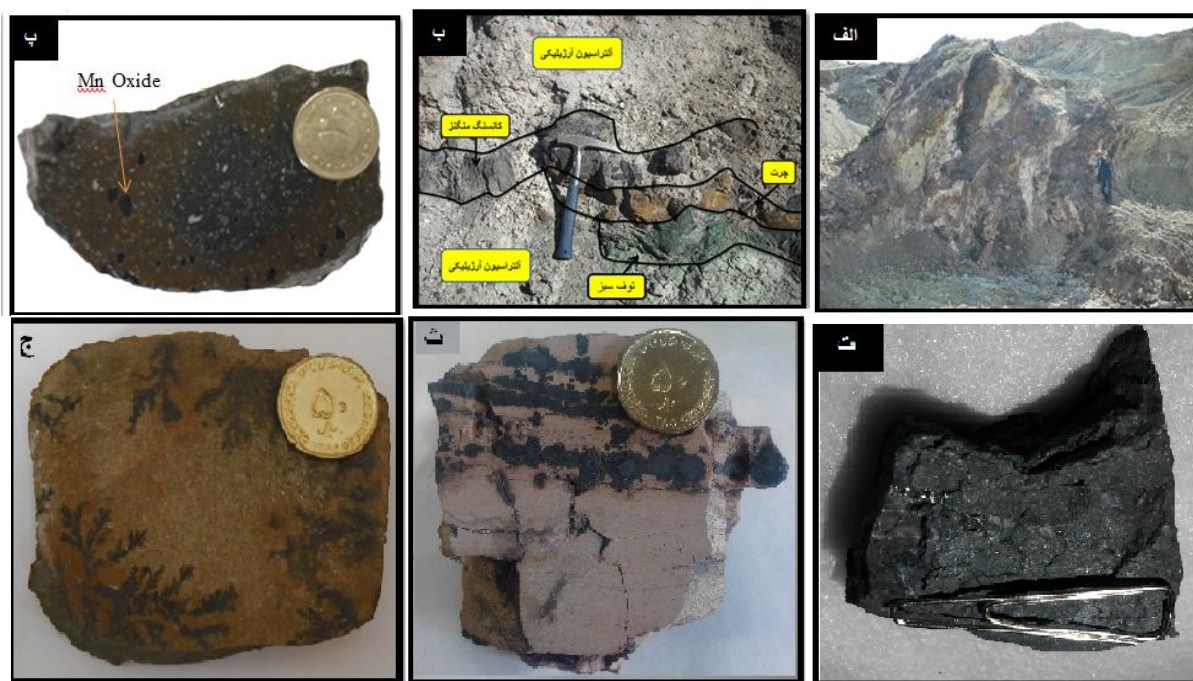
مهم منگنز است که با فرمول  $(\text{Ba}, \text{H}_2\text{O})_2\text{Mn}_5\text{O}_{10}$  در سیستم راستگوشی متبلور می‌شود. رنگ این کانی در نمونه دستی، سیاه آهنی تا خاکستری تیره، رنگ خاکه قهوه‌ای مایل به سیاه و براق؛ جلای نیمه فلزی است [۶]. این کانی به صورت توده‌ای تشکیل می‌شود. میزان منگنز موجود در این کانی متغیر بوده و در برخی موارد دارای ۶۳/۲ درصد منگنز است. پسیلوملان به اکسیدهای منگنز بی‌شکل نیز اطلاق می‌شود.

**براونیت:** براونیت از معمول‌ترین کانی‌های منگنز با خاستگاه گرمایی 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  $3\text{Mn}_2\text{O}_3 \cdot \text{MnSiO}_3$  است. براونیت معمولاً به صورت بلورهای ریز و توده‌ای رشد می‌کند. این کانی نیمه کدر بوده و رنگ خاکه سیاه دارد و در صورتی که به‌خوبی 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 ۵۰-۶۰ درصد تغییر کند [۶].

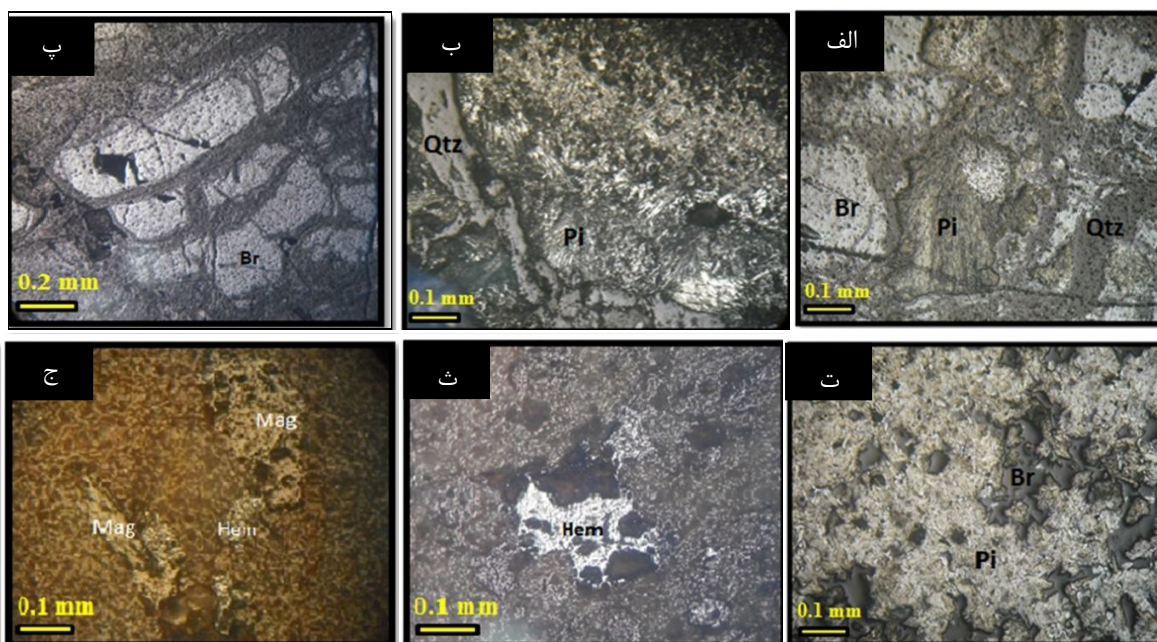
**کوارتز:** کانی کوارتز ( $\text{SiO}_2$ ) به عنوان باطله همراه اکسیدهای منگنز است. این کانی به صورت پرکننده فضای خالی، بادامکی، رگه و رگچه‌ای دیده شد.

**هماتیت:** هماتیت از اکسیدهای آهن با فرمول شیمیایی  $\text{Fe}_2\text{O}_3$  است. این کانی با رنگ خاکستری کم رنگ، ناهمسانی سرمه‌ای تا قهوه‌ای و IR گوشه‌ای قرمز-قهوه‌ای در نور بازتابی قابل تشخیص است. این کانی از اکسایش مگنتیت ایجاد شده است و در مقاطع صیقلی با بافت افشان دیده می‌شود (شکل ۸ ث).

**مگنتیت:** این کانی از اکسیدهای آهن با فرمول شیمیایی  $\text{Fe}_3\text{O}_4$  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 افشان 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 عدسی‌های اکسیدهای منگنز در توف، ج- بافت شاخه‌ای اکسیدهای منگنز در نمونه دستی.



شکل ۸ نمونه‌های کانی‌های منگنز در نور PPL میکروسکوپ قطبشی بازتابی، الف و ب- بافت شعاعی پیرولوژیت (Pi)، پ- کانی براونیت با بافت گل کلمی و کاناکلاستی، ت- بافت توده‌ای پیرولوژیت (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- کانی‌های هماتیت و مگنتیت با بافت پراکنده در آندزیت- بازالت. نام اختصاری کانی‌ها [۳].

جدول ۱ توالی کنارزایی کانی سازی های منگنز استاج.

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

## ژئوشیمی

به دلیل دگرسانی بالای منطقه، نمی‌توان نمونه‌های سنگی را مورد بررسی ژئوشیمیایی قرار داد و تنها نمونه‌های کانی‌سازی تجزیه شدند که نتایج آنها در جدول‌های ۲ و ۳ آمده است. با استفاده از نتایج تجزیه شیمیایی کانسنگ‌ها 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 جدادگی تابع درجه حلالیت آن‌ها است. در نهشته‌های بروندمی، نسبت  $MnO/Fe_2O_3$  متفاوت است به طوری که  $0.1 < MnO/Fe_2O_3 < 10$  است [۷]. در حالی که این نسبت برای نهشته‌های آبزاد برابر با یک [۷] و در نهشته‌های رسوبی دریایی کوچکتر از یک است [۸]. در کانی‌سازی منگنز استاج نسبت  $MnO/Fe_2O_3$  بیشتر بین ۱۰/۹ تا ۱۷/۵ درصد با میانگین ۱۳/۶۹ درصد است. نسبت‌های بسیار بالای  $MnO/Fe_2O_3$  و مقادیر بسیار پایین این نسبت نشانگر تفکیک و جدادگی این دو عنصر در طی حمل و نقل در فعالیت‌های گرمایی و کانه‌زایی در محیط‌های رسوبی است [۹]. بنابراین نسبت‌های بالای  $MnO/Fe_2O_3$  به عنوان شاخص برای شناسایی نهشته‌های گرمایی زیر دریایی مطرح هستند [۹].

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

**نمودار دوتایی  $SiO_2/Al_2O_3$ :** از نسبت  $SiO_2/Al_2O_3$  می‌توان برای تشخیص نهشته‌های گرمایی، آبزاد و آواری و شناسایی منبع تأمین کننده مواد این نهشته‌ها استفاده کرد [۷-۱۰-۱۱]. کانسارهای گرمایی به‌طور معمول در ارتباط نزدیک با ژل-های سیلیسی آهن‌دار (ferrirogenous) شکل می‌گیرند که توسط فرایندهای فورانی زیردریایی و تخلیه فلز درون رسوبات دریایی تشکیل می‌شوند [۱۲]. از این رو، درصد وزنی Si نسبت به Al معرف درصد بالای  $SiO_2$  در طی فعالیت‌های بروند است. درحالی 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 رسوبی است [۱۳]. در منطقه مورد بررسی میانگین نسبت  $SiO_2/Al_2O_3$  حدود ۱۰/۳۱ است که در گستره‌ی کانسارهای با خاستگاه گرمایی و آبزاد قرار می‌گیرد (شکل ۹ الف). هولستام و مانسفلد معتقدند اگر نهشته‌های 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

و  $\text{TiO}_2$  همبستگی مثبت وجود دارد و این همبستگی مثبت بین اکسیدهای نام برده، نشان می‌دهد که سیالات گرمایی 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.

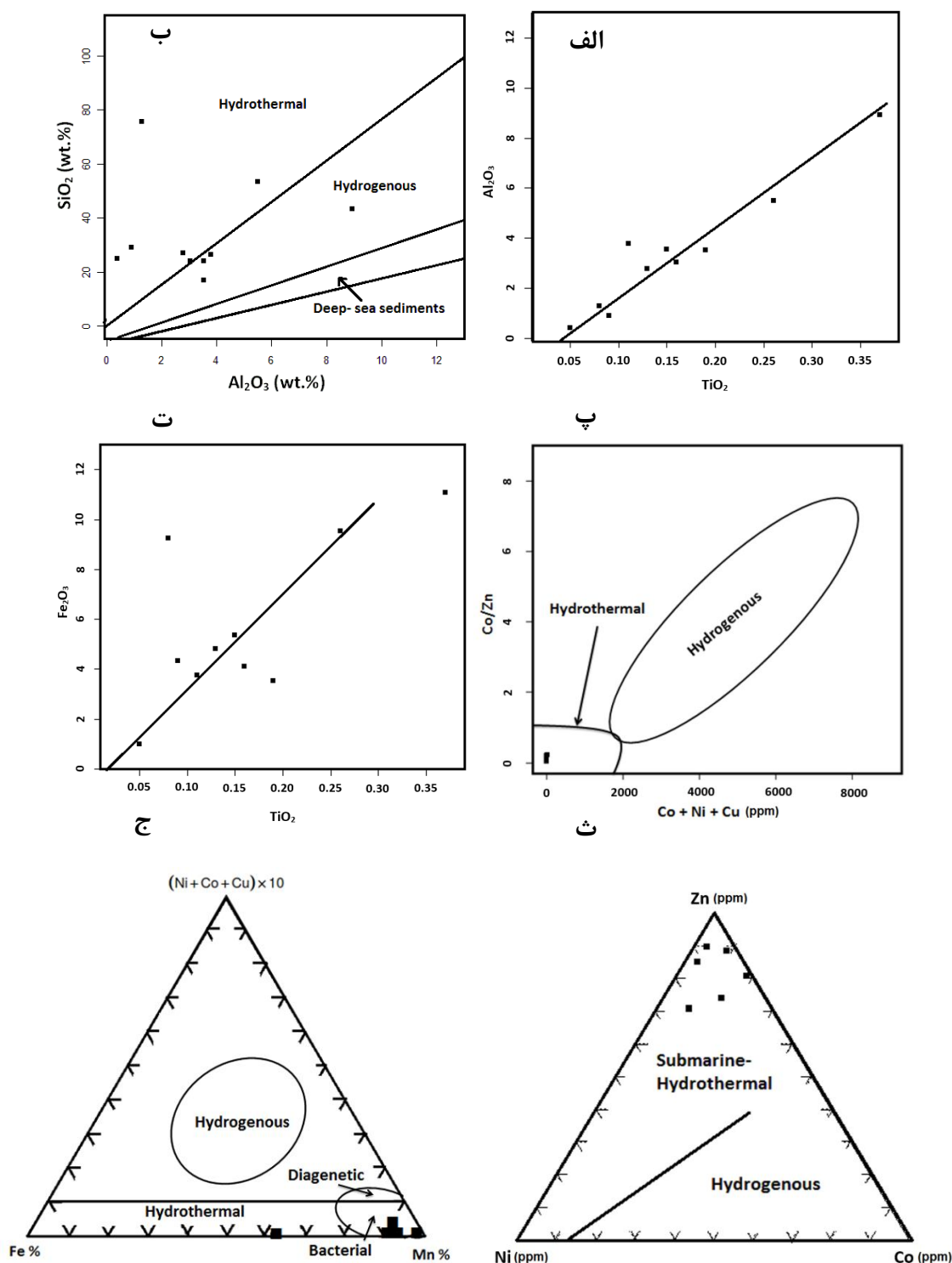
$\text{TiO}_2$  می‌تواند نشان دهنده ورود مواد تخریبی و مخلوط شدن آنها با محلول‌های گرمایی در کانی‌سازی مورد بررسی باشد [۱۴]. همبستگی مثبت بین اکسیدهای  $\text{Fe}_2\text{O}_3$  و  $\text{TiO}_2$  نیز می‌تواند این موضوع (اختلاط سیال گرمایی با رسوبات تخریبی) را تأیید کند [۱۵]. با توجه به شکل‌های ۹ ب و پ دیده می‌شود که بین اکسیدهای  $\text{Fe}_2\text{O}_3$  و  $\text{TiO}_2$ ؛ و اکسیدهای  $\text{Al}_2\text{O}_3$

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 |
|---------------------------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|---------|
| $\text{SiO}_2$ %          | ۲۶٫۲۵ | ۲۹٫۱۸ | ۲۴٫۸۶ | ۲۷٫۰۵ | ۵۳٫۴۴ | ۲۴٫۰۸ | ۷۵٫۵۴ | ۴۳٫۳۵ | ۲۳٫۶۵ | ۱۷٫۰۱ | ۳۴٫۴۴   |
| $\text{Al}_2\text{O}_3$ % | ۳٫۷۹  | ۰٫۹۱  | ۰٫۴۰  | ۲٫۷۹  | ۵٫۵۱  | ۳٫۵۴  | ۱٫۲۸  | ۸٫۹۳  | ۳٫۰۴  | ۳٫۵۲  | ۳٫۳۴    |
| $\text{Na}_2\text{O}$ %   | ۱٫۴۰  | ۰٫۴۷  | ۰٫۲۹  | ۰٫۴۳  | ۰٫۸۵  | ۰٫۴۸  | ۰٫۴۴  | ۰٫۹۹  | ۰٫۶۱  | ۰٫۵۶  | ۰٫۶۵    |
| $\text{MgO}$ %            | ۰٫۷۲  | ۰٫۰۵  | ۰٫۰۰  | ۰٫۶۸  | ۱٫۳۴  | ۰٫۸۱  | ۰٫۳۱  | ۱٫۷۸  | ۰٫۷۰  | ۰٫۷۷  | ۰٫۷۲    |
| $\text{K}_2\text{O}$ %    | ۰٫۶۵  | ۰٫۰۵  | ۰٫۰۱  | ۰٫۶۱  | ۱٫۲۱  | ۰٫۷۱  | ۰٫۲۲  | ۱٫۷۵  | ۰٫۴۴  | ۰٫۷۲  | ۰٫۶۴    |
| $\text{TiO}_2$ %          | ۰٫۱۱  | ۰٫۰۹  | ۰٫۰۵  | ۰٫۱۳  | ۰٫۲۶  | ۰٫۱۵  | ۰٫۰۸  | ۰٫۳۷  | ۰٫۱۶  | ۰٫۱۹  | ۰٫۱۶    |
| $\text{MnO}$ %            | ۴۰٫۴۲ | ۴۹٫۲۶ | ۵۸٫۶۱ | ۵۲٫۴۱ | ۱۵٫۵۰ | ۵۴٫۱۸ | ۷٫۲۴  | ۲۰٫۵۱ | ۵۵٫۹۵ | ۶۱٫۷۹ | ۴۳٫۳۷   |
| $\text{CaO}$ %            | ۹٫۴۹  | ۲٫۰۸  | ۳٫۱۰  | ۱٫۷۱  | ۳٫۳۸  | ۱٫۰۸  | ۱٫۳۴  | ۲٫۶۲  | ۱٫۰۰  | ۰٫۶۸  | ۲٫۶۵    |
| $\text{P}_2\text{O}_5$ %  | ۰٫۱۲  | ۰٫۰۹  | ۰٫۲۶  | ۰٫۰۴  | ۰٫۰۸  | ۰٫۰۳  | ۰٫۰۴  | ۰٫۰۶  | ۰٫۰۵  | ۰٫۰۳  | ۰٫۰۸    |
| $\text{Fe}_2\text{O}_3$ % | ۳٫۷۷  | ۴٫۳۲  | ۱٫۰۰  | ۴٫۸۲  | ۹٫۵۲  | ۵٫۳۷  | ۹٫۲۳  | ۱۱٫۰۷ | ۴٫۱۲  | ۳٫۵۲  | ۵٫۶۶    |
| $\text{SO}_3$ %           | 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  | ۷٫۲۷  | 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 بر حسب 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 | ۲۹۹  | ۱۹۶۵ | ۸۱۷  | ۳۳۷  | ۳۴۶  | ۵۰۸  |
| 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   | ۸۷   | 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 | ۲۳۰  | ۸۴۴  | ۲۰۰  | ۴۱۷  | ۳۶۶  | ۵۶۱  |
| U  | <۲۰  | ۱۰٫۹ | <۲۰  | <۲۰  | <۲۰  | ۷۱   |
| V  | ۱۶   | ۲۸   | ۶    | 39   | 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  $SiO_2$  به  $Al_2O_3$  [۱۵] و موقعیت نمونه‌های کانسنگ منگنز استاج و خاستگاه آن‌ها، ب- نمودار همبستگی  $TiO_2$  با  $Al_2O_3$ ، پ- نمودار همبستگی  $TiO_2$  با  $Fe_2O_3$ ، ت- نمودار دوتایی  $(Co+Cu+Ni)$ -  $(Co/Zn)$  [۱۴]، نمونه‌های منگنز استاج در گستره گرمایی قرار گرفته‌اند، ث- نمودار سه تایی  $Co-Ni-Zn$  [۱۵]، نمونه‌های کانی‌سازی منگنز استاج در موقعیت کانسارهای گرمایی زیردریایی قرار گرفته‌اند، ج- نمودار  $Fe - Mn - (Co + Cu + Ni) \times 10$  و موقعیت کانسنگ‌های منگنز استاج [۹].

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

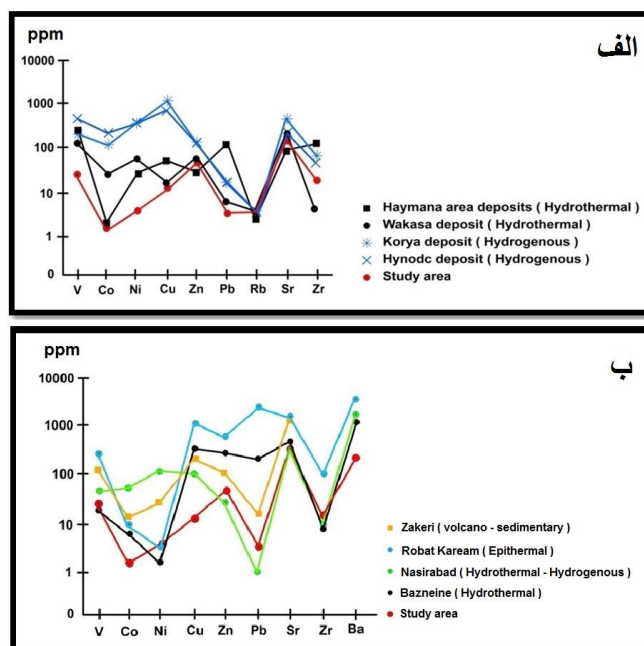
#### مقایسه عناصر فرعی کانسنگ‌های منگنز استاج با انواع کانسارهای منگنز ایران و جهان

عناصر فرعی مانند  $\text{Co}$ ،  $\text{Ni}$  و  $\text{Cu}$  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  $\text{Co}$ ،  $\text{Zn}$ ،  $\text{Ni}$  و  $\text{Cu}$  دارد.

**نمودار  $(\text{Co/Zn}) - (\text{Co} + \text{Cu} + \text{Ni})$ :** این نمودار توسط توث برای تفکیک کانسارهای فرومگنز گرمابی از آب‌زاد استفاده شد [۱۵]. باتوجه به شکل ۹ ت کانسارهای نوع آب‌زاد نسبت به کانسارهای گرمابی از غنی‌شدگی بیشتری از عناصر  $\text{Ni}$ ،  $\text{Co}$  و  $\text{Cu}$  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  $\text{Ni-Co-Zn}$ :** چوی و هاریا کانسارهای آب‌زاد منگنز (گرگ‌های دریاهای عمیق) را از کانسارهای گرمابی زیردریایی بررسی روابط بین عناصر  $\text{Ni}$ ،  $\text{Co}$  و  $\text{Zn}$  در نمودار سه تایی متمایز کردند [۱۶]. طبق بررسی‌های انجام شده، مقادیر پایین تمرکز کبالت ( $2-75 \text{ ppm}$ )، نیکل ( $22-900 \text{ ppm}$ ) و روی ( $18-1070 \text{ ppm}$ ) مشخصه کانسارهای منگنز گرمابی زیر دریایی است [۸]. در کانی‌سازی منگنز استاج تمرکزهای عناصر کبالت ( $2-16 \text{ ppm}$ )، نیکل ( $2-10 \text{ ppm}$ ) و روی ( $17 \text{ ppm}$ ) است (شکل ۹ ث). با توجه به این نمودار مشاهده می‌شود که نمونه‌های کانسنگ منگنز استاج خاستگاه گرمابی زیر دریایی را از خود نشان می‌دهند.

**نمودار  $10 \times \text{Fe-Mn-(Co+Cu+Ni)}$ :** مجموع تمرکز عناصر  $\text{Co}$ ،  $\text{Ni}$  و  $\text{Cu}$  در مقایسه با  $\text{Fe}$  و  $\text{Mn}$  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 کانستگ منگنز در جهان.

| Country<br>Origins<br>Ore deposit     | Japan<br>Hydrogenous<br>Hynode <sup>a</sup> | Japan<br>Hydrogenous<br>Koryu <sup>a</sup> | Turkey<br>Hydrothermal<br>Haymana <sup>b</sup> | Japan<br>Hydrothermal<br>Wakasa <sup>a</sup> | Iran<br>Study Area |
|---------------------------------------|---------------------------------------------|--------------------------------------------|------------------------------------------------|----------------------------------------------|--------------------|
| MnO (wt.%)                            | ۶۷٫۲۱                                       | ۴۲٫۰۶                                      | ۲۹٫۲۲                                          | ۳۲٫۶۵                                        | ۴۱٫۵۸              |
| Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub> (wt.%) | ۰٫۵۷                                        | ۰٫۵۵                                       | ۰٫۶۸                                           | ۰٫۹۲                                         | ۵٫۶۷               |
| Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> (wt.%) | ۱٫۲۷                                        | ۰٫۶۳                                       | ۰٫۶۵                                           | ۰٫۵۵                                         | ۳٫۳۷               |
| TiO <sub>2</sub> (wt.%)               | ۰٫۰۴                                        | ۰٫۰۵                                       | ۰٫۳۰                                           | ۰٫۰۴                                         | ۰٫۱۵               |
| V (ppm)                               | ۴۶۸                                         | ۲۱۱                                        | ۱۴۳٫۷                                          | ۲۵۸                                          | ۲۵٫۳۳              |
| Co (ppm)                              | ۲۲۲                                         | ۱۱۸                                        | ۲۳٫۲۱                                          | ۲                                            | ۵٫۸۳               |
| 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                                           | ۵۲٫۳۳              |
| Pb (ppm)                              | ۱۸                                          | ۱۴                                         | ۶٫۵                                            | ۱۱۲                                          | ۱۰                 |
| Rb (ppm)                              | ۴                                           | ۳                                          | ۲٫۹                                            | ۲                                            | -                  |
| Sr (ppm)                              | ۲۶۰                                         | ۴۸۳                                        | ۲۴۳٫۴                                          | ۸۵                                           | ۴۳۶٫۳۳             |
| 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 کانستگ منگنز ایران.

| Ore deposit<br>Origins                | ذاکری<br>رسوبی-آتشفشانی <sup>a</sup> | رابط کریم<br>فراکرمایی <sup>b</sup> | نصیر آباد<br>همگن-گرمایی <sup>c</sup> | یزنین<br>گرمایی <sup>d</sup> | منطقه مورد بررسی |
|---------------------------------------|--------------------------------------|-------------------------------------|---------------------------------------|------------------------------|------------------|
| MnO (wt.%)                            | ۲۱٫۶۴                                | ۳۳٫۷۳                               | ۸٫۸۲                                  | ۴۸٫۷۷                        | ۴۱٫۵۸            |
| Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub> (wt.%) | ۳٫۶۹                                 | ۳٫۷۱                                | ۰٫۷۶                                  | ۱٫۵۱                         | ۵٫۶۷             |
| Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> (wt.%) | ۰٫۷۷                                 | ۶٫۹۲                                | ۱٫۲۹                                  | ۲٫۷۹                         | ۳٫۳۷             |
| TiO <sub>2</sub> (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                         | ۵٫۸۳             |
| 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                               | ۸۵۳٫۰۸                              | ۳۳٫۳۸                                 | ۵۰٫۲۲                        | ۳۳٫۵۲            |
| Pb (ppm)                              | ۳۱                                   | ۳۳۶۲٫۱۶                             | ۱٫۹                                   | ۳۱۹٫۹۷                       | ۱۰               |
| Sr (ppm)                              | ۲۶۰۰                                 | ۲۳۰۷٫۷۱                             | ۵۳۳٫۵۸                                | ۶۵۴٫۹۶                       | ۴۳۶٫۳۳           |
| Zr (ppm)                              | -                                    | ۱۲۹٫۲۵                              | ۱۰٫۵۲                                 | 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]

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 Ni و Co 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 آتشفشانی - رسوبی 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 ماگما، و همچنین نسبت فراوانی این دو عنصر، مانع از جداسدگی و تمرکز منگنز می‌شود. غنی‌شدگی منگنز در ماگما در شرایط اکسایشی شدید ایجاد می‌شود که این حالت فقط می‌تواند زمانی که ماگما در اثر فعالیت آتشفشانی 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]. بر خلاف 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 آتشفشان‌های زیردریایی به محیط آب دریا وارد می‌شوند، ابتدا آهن به فاصله نزدیک از خاستگاه فعالیت آتشفشانی 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 آتشفشانی زیر دریایی در منطقه

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 ماگما در حضور آب و عمق زیاد است [۴]. بافت‌های پورفیری در این نوع سنگ‌ها می‌تواند نشانگر پایین بودن سرعت خروج ماگما و توقف ماگما در آشیانه ماگمایی 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 ( $Mn/Fe = 13.69$ ) نشان-دهنده جداسدگی کامل آهن از منگنز در خلال فاصله‌گیری سیال گرمایی از محل دودکش خاستگاه آن است. همچنین با توجه به شواهد زمین‌شناسی و نتایج بررسی‌های ژئوشیمیایی، خاستگاه گرمایی زیر دریایی برای کانی‌سازی منگنز استاج پیشنهاد می‌شود.

#### قدردانی

در اینجا لازم است که از مهندس سمانه نادری، مهندس سعیده غلامی و مهندس حسین حاجی میرزا جان 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] جعفریان م.ب.، جلالی ع.، "نقشه ۱:۱۰۰۰۰۰ ششتمد"، سازمان زمین‌شناسی و اکتشافات معدنی کشور (۱۳۷۷).
- [۲] مغفوری س.، راستاد الف.، موسیوند ف.، "جایگاه چینه‌ای، خاستگاه و ویژگی‌های افق‌های کانه‌زایی منگنز در توالی آتشفشانی - رسوبی کرتاسه پسین، جنوب- جنوب غرب

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.، محجل م.، "کانه‌زایی آهن منگن‌دار در دولومیت‌های معادل سازند شتری در شمال خاور دهیید، سهندج- سیرجان جنوبی، استان فارس، علوم زمین، شماره ۹۴ (۱۳۹۳) صفحه ۳۶۹ تا ۳۸۲.

[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 Major Trace Element Geochemistry of the Haymana Manganese Mineralizations", *Ankara, Turkey* 1 (2010).

[۱۹] قمشی س.، "بررسی کانی‌شناسی، ژئوشیمی، دگرسانی و پردازش داده‌های ماهواره‌ای کانسار منگنز ذاکری (جنوب غربی سبزوار) با نگرشی بر فرآوری و کاربردهای صنعتی"، پایان نامه کارشناسی ارشد، (۱۳۹۴) صفحات ۶۴ تا ۷۵.

[۲۰] مقدسی س.، نگهبان ی.، "بررسی کانی‌شناسی و ژئوشیمی کانسنگ و سنگ میزبان کانسار منگنز رباط کریم، جنوب باختر 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.، زرین کوب م.، محمدی س.، "زمین‌شناسی، سنگ نگاری و دگرسانی واحدهای ولکانیکی شمال آراین شهر (شمال بیرجند)، دانشگاه شهید چمران اهواز، سومین همایش انجمن زمین‌شناسی اقتصادی ایران (۱۳۹۰).

[۵] کریم پور م.، سعادت س.، "زمین‌شناسی اقتصادی کاربرد"، 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 paleocean-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 زمین شیمی عناصر اصلی، کمیاب و نادر خاکی در کانسار منگنز شهرستانک؛ رهیافتی در تعیین شرایط تشکیل کانسار"، *مجله زمین شناسی 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، مدل های زمین شناسی، ژئوشیمی، ماهواره ای 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 زایش معدن منگنز بزنین"، اردستان (استان اصفهان) مجله علوم زمین، شماره ۸۸، (۱۳۹۲) صفحه ۷۵ تا ۸۶.