



مطالعه زمین‌شیمی عناصر اصلی، کمیاب و نادر خاکی در کانسار منگنز شهرستانک؛ رهیافتی در تعیین شرایط تشکیل کانسار

محمد معانی جو^{1*}، عباس نصیری¹، فرهاد آلیانی¹، محمد مستقیمی¹، میثم قلی‌پور¹ و عباس مقصودی²

(1) گروه زمین‌شناسی، دانشگاه بوعلی سینا، همدان، ایران

(2) سازمان زمین‌شناسی و اکتشافات معدنی کشور، ایران

دریافت: 1392/4/13، پذیرش: 1392/12/27

چکیده

کانسار منگنز شهرستانک در جنوب استان قم و 12 کیلومتری جنوب‌غربی شهرستان کهک واقع شده است. این کانسار به لحاظ سنگ‌شناسی و چینه‌شناسی دارای تنوع زیادی است؛ به طوری که واحدهای مختلف سنگی شامل 1) سنگهای آتشفشانی - رسوبی ائوسن میانی - بالایی، 2) واحدهای کنگلومرایی و ماسه‌سنگی قرمز زیرین به سن الیگوسن، 3) تهنشستهای آهک و مارن (سازند قم) به سن الیگومیوسن، 4) دایک‌های حدواسط تا بازیک به سن ائوسن و میوسن پایانی در منطقه قابل مشاهده است. بالا بودن میانگین مقادیر Mn/Fe (11/33) و Si/Al (4/86)، پایین بودن مقادیر میانگین فلزات کمیاب به ویژه فلزات Co (11/40) پی‌پی‌ام، Ni (24 پی‌پی‌ام) و Cu (81/85 پی‌پی‌ام)، پایین بودن مقدار میانگین آنومالی Ce^* (0/99 پی‌پی‌ام) و بالا بودن مقادیر Sr، As، Zn، Ba، Fe، Mn، SiO₂ در کانسار منگنز شهرستانک به‌عنوان شواهدی از غنی‌شدگی و تخلیه Mn از گرمابیهای برون‌دمی هستند و نقش فرآیندهای آبرزاد در پیدایش این کانسار را ناچیز می‌نماید. شواهد زمین‌شناسی و زمین‌شیمیایی گویای نهشت کانه‌ها از گرمابیهای زیردریایی (برون‌دمی) در بستر حوضه اقیانوسی نئوتتیس در زمان ائوسن میانی تا پایانی در واحدهای سنگی توف آهکی با میان لایه‌هایی از آهک میکرایتی و واحد سنگ آهک ماسه‌ای می‌باشد. لذا در مورد شرایط تشکیل این کانسار می‌توان عنوان کرد که، فعالیت‌های گرمابی شدید باعث شسته شدن گدازه‌های بازالتی و آندزیتی شده و عناصر Sr، Ba، Si، Fe، Mn، As توسط فعالیت‌های برون‌دمی - آتشفشانی؛ از طریق گسل‌های همزمان با رسوب‌گذاری وارد حوضه رسوبی گردیده و با پس‌روی دریا و ایجاد شرایط اکسیدی کانیهای اکسی‌هیدروکسیدی اولیه منگنز تهنشست شده‌اند.

واژه‌های کلیدی: زمین‌شیمی، گرمابی، شرایط تشکیل، کانسار منگنز شهرستانک، قم.

مقدمه

150 تا 200 کیلومتری از آن واقع شده؛ که حاوی مجموعه‌ای از توده‌های نفوذی و خروجی است (Alavi, 1994; Berberian and King, 1981). کانسارهای منگنز ایران به غیر از کانسار منگنز و نارچ غالباً کوچک بوده و کیفیت پایینی دارند، همچنین در این کانسارها زایش منگنز مستقل و یا همراه با آهن صورت گرفته است. کانسارهای شناخته شده منگنز در ایران روی هم رفته به ادوار پرکامبرین پسین و کرتاسه-پالئوژن محدود می‌شوند، گرچه وجود منگنز در سازندهای پالئوژنیک به‌ویژه در رخسارهای ولکانوژنیک را

کانسار منگنز شهرستانک در فاصله 49 کیلومتری جنوب قم و 12 کیلومتری جنوب‌غربی شهرستان کهک و در جوار روستای شهرستانک واقع شده است. طول و عرض جغرافیایی این کانسار به ترتیب 50°46' شرقی و 34°19' شمالی است. منطقه مورد مطالعه بر اساس تقسیم‌بندی پهنه‌های ساختاری - رسوبی ایران، بر روی نوار ولکانیکی ایران مرکزی یعنی کمربند ارومیه - دختر واقع شده است. مجموعه ماگمایی ارومیه - دختر یک پهنه مشخص به موازات زاگرس و با فاصله

پی برده و به مقایسه عناصر نادر خاکی این کانسار با کانسارهای دیگر پرداخته شود.

روش مطالعه

در ابتدا پس از جمع‌آوری اطلاعات مربوط به منطقه، بررسی‌های صحرایی انجام شد. در طی بررسی‌های صحرایی تعداد 40 نمونه کانسنگ منگنزدار برای بررسی‌های زمین‌شیمیایی برداشته شد. پس از این که نمونه‌های مورد نظر جهت آنالیزهای زمین‌شیمیایی انتخاب گردیدند، ابتدا باید اقدام به آماده‌سازی نمونه‌ها کرد. با استفاده از سنگ‌شکن فکی¹ هر قطعه به تکه‌های کوچکتری خرد شدند. سپس این نمونه‌ها با استفاده از دستگاه آسیاب الکتریکی² به صورت پودر درآمدند. نهایتاً به منظور بررسی‌های زمین‌شیمیایی تعداد 14 نمونه کانسنگ منگنز از میان نمونه‌های فوق انتخاب و جهت مطالعه عناصر اصلی، عناصر جزئی و نادر خاکی به روش ICP-AES و ICP-MS به شرکت SGS شعبه تورنتو کانادا ارسال شد. حد تشخیص روش آنالیز شده برای اکسیدهای اصلی 0/01 درصد و برای عناصر کمیاب 0/05 پی‌پی‌ام می‌باشد. نتایج آنالیز شیمیایی حاصل از نمونه‌های کانسنگ منگنز شهرستانک در جدول 1 و 2 آورده شده است. همان‌طور که از جدول 1 برمی‌آید مقادیر L.O.I مربوط به نمونه‌های کانسنگی، کانسار مورد مطالعه بالا می‌باشد، این موضوع را می‌توان به عوامل زیر نسبت داد: 1) کانسار منگنز شهرستانک در بسیاری از قسمت‌ها ساخت لایه‌ای دارد و لایه‌های بسیار ریز آهک میکرایتی در بین نمونه‌های کانسنگی قرار گرفته‌اند (این لایه‌ها بسیار ریز بوده و صرفاً در مقاطع میکروسکوپی قابل مشاهده‌اند). در نتیجه حضور آهک‌های میکرایتی در نمونه‌های کانسنگی کانسار مورد مطالعه می‌تواند زمینه‌ساز تغییرات L.O.I گردد. 2) بافت نمونه‌های کانسنگی. در نمونه‌های کانسنگی وجود بافتی از قبیل بافت دانه‌پراکنده و کلوفرم در قسمت‌های مختلفی از آن می‌تواند مؤید حضور مواد فرار و آب در بین دانه‌ها باشد، بافت دانه‌پراکنده نشان می‌دهد که ماده معدنی در حین رسوب‌گذاری و همراه با دیگر ذرات و تشکیل‌دهنده‌های سنگ درون‌گیر نهشته شده است و بافت کلوفرم در اثر ته‌نشست کانه‌ها از سیالات کولوئیدی حاصل شده است. 3) حضور کانه‌ها و فازهای فرار در کانسنگ. در کانسار منگنز شهرستانک؛ کانه‌هایی که در ساختار خود آب

نباید نادیده گرفت. کانسار منگنز و نارچ قم مهمترین کانسار منگنز شناخته شده در ایران است، این کانسار نیز در ایران مرکزی (کمر بند ولکانو-پلوتونیک ارومیه-دختر) و در سنگ‌های آتشفشانی-رسوبی ائوسن بالایی (شامل توف، توفیت، آهک، ماسه سنگ توفی و ماسه سنگ) قرار دارد. کانسار منگنز و نارچ عمدتاً لایه‌ای شکل بوده و در بعضی از قسمت‌ها ماده معدنی به صورت عدسی شکل و لامینه‌ای دیده می‌شود. این کانسار در محیط دریایی کم‌عمق تشکیل شده و مهمترین کانه‌های آن براونیت، بیکسیت و پیرولولزیت است (Fardoost, 1992; Waters and Etminan, 1973). لذا کانسار منگنز شهرستانک با توجه به وضعیت زمین‌شناسی، ساخت و بافت کانه‌ها، نوع سنگ درون‌گیر، ارتباط کانه‌زایی با گسل‌ها و محیط تشکیل، فاصله مکانی و زمانی تا حدود بسیار زیادی به کانسار منگنز و نارچ شباهت دارد و می‌توان شرایط تشکیل و مکانیسم به وجود آورنده این دو کانسار را با یکدیگر مرتبط دانست.

معدن منگنز شهرستانک در سال 1376 توسط شرکت معدنی طلوع قم مورد اکتشاف و بهره‌برداری قرار گرفت. بعد از حدود ده سال بهره‌برداری؛ این معدن به شرکت صبا منگنز سپاهان واگذار گردید، که این شرکت در راستای کارهای مطالعاتی و اکتشافی به تعیین مقدار ذخیره و عیار کانسنگ اقدام کرد. در حال حاضر از چهار کارگاه معدنی موجود در محدوده معدن منگنز شهرستانک فقط از کارگاه شماره 1 ماده معدنی استخراج می‌شود. از مطالعات قبلی انجام شده بر روی این کانسار می‌توان به مطالعه بررسی توده‌های پلوتونیک و ولکانیک منطقه (SojoudiKisomi, 1994)، پلوتونیسیم ترشیری در منطقه جنوب قم (Ghalamghash, 1996)، ولکانیسیم ترشیری در منطقه جنوب قم (Fonoodi, 1995) و تحلیل هندسی و جنبشی سامانه گسل بیدهند (Naderi, 2005) نام برد، اما تا کنون هیچ‌گونه مطالعه سیستماتیک و جامعی که ویژگی‌های زمین‌شناسی، کانی‌شناسی و سنگ‌شناسی، زمین‌شیمیایی، بافت و ساخت و کانه‌زایی را بر روی این کانسار نشان دهد صورت نگرفته است، لذا در این مقاله سعی شده با مطالعه زمین‌شناسی، سنگ‌شناسی و با استفاده از داده‌های زمین‌شیمیایی عناصر اصلی، کمیاب و نادر خاکی نمونه‌های کانسنگی؛ به منشأ و شرایط تشکیل کانسار

به چند میلی‌متر تا حدود 40 سانتی‌متر می‌رسد (شکل 3-C و D)، همچنین این واحد تا حدود زیادی دگرسان شده و حالتی خرد و شکننده دارد.

در واحد سنگی آهک ماسه‌ای نیز کانه‌زایی بیشتر به صورت پراکنده بوده و ضخامت این واحد سنگی بین 8 تا 12 متر متغیر است و دارای رنگ خاکستری متمایل به سبز و لایه‌بندی مشخص می‌باشد (شکل 3-E و F). کانه‌زایی اولیه و ضعیفی به صورت دانه پراکنده و لامیناسیون در آهک میکرایتی حفره‌دار نیز قابل مشاهده است (شکل 3-G و H).

در واحدهای کنگلومرا و ماسه سنگی مربوط به الیگوسن (سازند قرمز زیرین) کانه‌زایی ضعیفی به شکل لایه‌ای رخ داده است (شکل 3-I و J). اندازه قطعات این واحد سنگی در حد سانتی‌متر تا چند ده سانتی‌متر بوده و دارای گردشگی خوب و جورشدگی ضعیفی می‌باشند، که از سنگهای آتشفشانی-رسوبی مربوط به واحدهای ائوسن منشأ گرفته‌اند. همچنین در واحد سنگ آهک و مارنی مربوط به الیگوسن هیچ‌گونه کانه‌زایی مشاهده نشده است. این واحد شامل سنگ آهک زیستی - تخریبی می‌باشد که بر روی بخش مارنی قرار گرفته است. با توجه به مطالعات صحرایی و همان‌طور که از نقشه زمین‌شناسی منطقه مورد مطالعه بر می‌آید، گسلهای منطقه دارای روند شمال غربی-جنوب شرقی هستند. مهمترین عناصر ساختمانی در ناحیه شامل شکستگیهای اصلی و چین‌خوردگیهاست.

در بخش میانی منطقه گسل امتداد لغز بدهند با طول گسلش بیش از 35 کیلومتر ناحیه را به دو بخش تقسیم می‌کند، این منطقه گسله متشکل از چند قطعه با آرایش نردبانی بوده و به نظر می‌رسد روند حرکتی بر روی آنها از نوع برشی راست‌گرد باشد، که بسیاری از ساختمانهای موجود در منطقه وابسته به آن هستند. برون‌زد تعداد زیادی دایک به موازات گسله بدهند و گسله‌های دیگر به خوبی نشان‌گر وابستگی آنها به سیستمهای شکستگی اصلی است (Naderi, 1385). با توجه به مطالعات چینه‌شناسی بر روی واحدهای سنگی منطقه مورد مطالعه در اواخر ائوسن و اوایل الیگوسن تغییری در رژیم رسوب‌گذاری واحدهای سنگی رخ داده است که آن را می‌توان به فازهای کوه‌زایی در منطقه نسبت داد. همچنین به واسطه این حرکات واحدهای قدیمی‌تر دچار گسلش و چین‌خوردگی شده‌اند، به طوری که نهشته‌های

یا مواد فرار دارند به وضوح قابل مشاهده‌اند. لذا همان‌طور که از مطالعه مقاطع نازک و آنالیز پراش پرتو ایکس¹ بر روی نمونه‌های کانسنگی بر می‌آید؛ درصد حضور مانگانیت² در نمونه‌های کانسنگی بالا می‌باشد. مانگانیت نیز یکی از کانه‌های مهم و فراوان در کانسارهای رسوبی دما پایین و کانسارهای سوپرژن است. همچنین در کانسنگ حفره‌های بسیار ریزی وجود دارد که این حفره‌ها توسط کربنات کلسیم ثانویه پر شده است، لذا با توجه به حضور CO₃ در ساختار کربنات کلسیم احتمال بالا رفتن مقدار L.O.I انتظار می‌رود.

زمین‌شناسی منطقه‌ای و محدوده معدنی

واحدهای سنگی منطقه مورد مطالعه شامل ردیفی از سنگهای ترشیری همراه با رسوبات کواترنری و حجم قابل توجهی از سنگهای آذرین بیرونی (گدازه و آذرآواری) و درونی وابسته به زمان ترشیری است (شکل 1). از لحاظ چینه‌شناسی واحدهای مختلف سنگی در منطقه شهرستانک قابل مشاهده‌اند که به ترتیب سن عبارتند از: 1) سنگهای آتشفشانی-رسوبی ائوسن میانی-بالایی، 2) واحدهای کنگلومرایی و ماسه‌سنگی قرمز زیرین به سن الیگوسن، 3) ته‌نشستهای آهک و مارن (سازند قم) به سن الیگومیوسن، 4) دایک‌های حدواسط تا بازیک به سن ائوسن و میوسن پایانی و 5) آبرفتهای جوان به سن کواترنری.

سنگهای آتشفشانی-رسوبی ائوسن میانی-بالایی در منطقه گسترش وسیعی داشته و کانه‌زایی منگنز به صورت لایه‌ای شکل در داخل آنها دیده می‌شود. شکل 2 ستون چینه‌شناسی منطقه مورد مطالعه و واحدهای سنگی شناسایی شده در منطقه معدنی را نشان می‌دهد.

در میان واحدهای سنگی ائوسن، حضور واحدهای آندزیتی و آندزیت بازالتی به لحاظ فراوانی حایز اهمیت است؛ که عمدتاً در محدوده شمال معدن گسترش دارند و در بعضی از نقاط (به صورت محدود و پراکنده) میزبان کانه‌زایی رگه‌ای سرب می‌باشند و در قسمتهایی از این واحدهای سنگی می‌توان ساخت بالشی را مشاهده کرد (شکل 3-A و B).

از مهمترین واحدهای سنگی میزبان کانه‌زایی منگنز می‌توان به واحدهای سنگی توف آهکی با میان‌لایه‌هایی از آهک میکرایتی و واحد سنگ آهک ماسه‌ای اشاره کرد. کانه‌زایی در واحد توف آهکی عمدتاً به صورت لایه‌ای بوده و ضخامت لایه‌ها

برابر با یک می‌باشد (Nicholson, 1992a; Rona, 1987). نسبت‌های کمتر از یک نیز به‌عنوان شاخصی برای نهشت کانه‌های منگنز در محیط‌های دریاچه‌ای در نظر گرفته شده است (Hein et al., 2000). در کانسار منگنز شهرستانک نسبت Mn/Fe عمدتاً بین 5/7 تا 40/35 با میانگین 11/33 است. نسبت‌های بسیار بالای Mn/Fe و مقادیر بسیار پایین این نسبت نشان‌گر تفکیک و جدایش این دو عنصر در طی حمل و نقل در فعالیتهای گرمایی و کانه‌زایی در محیط‌های رسوبی است (Glasby, 2000). بنابراین نسبت‌های بالای Mn/Fe به‌عنوان شاخص برای شناسایی نهشته‌های گرمایی زیردریایی مطرح می‌باشند (Glasby, 2000; Eckhardt et al., 1997). همچنین کان و همکارانش (Cann et al., 1977) معتقدند نسبت Mn/Fe در نهشته‌های آتشفشانی-رسوبی منگنز و نهشته‌های گرمایی بسیار متغیر بوده و این امر یکی از مهمترین شاخصهای این ذخایر است. هاین و همکارانش (Hein et al., 2000) نیز معتقدند که تغییر در نسبت Mn/Fe در پوسته‌های مختلف، هم توسط نسبت اولیه در سیال و هم توسط فاصله محل نهشت کانسار از کانون فوران کنترل شود.

نسبت Si/Al

کانسارهای گرمایی عموماً در ارتباط نزدیک با ژل‌های سیلیسی آهن‌دار به وجود می‌آیند که توسط فرآیندهای فورانی زیردریایی و تخلیه فلز در داخل رسوبات دریایی تشکیل شده‌اند (Roy, 1992). به همین جهت درصد وزنی Si در مقابل Al در این کانسارها معرف درصد بالای SiO₂ در طی فعالیتهای برون‌دمی است. اما در کانسارهای با منشأ تخریبی، Al نسبت به Si از درصد بالاتری برخوردار است. این امر ناشی از تخریب و تجزیه فلدسپات‌ها در طی فرآیند حمل و نقل از خشکی به حوضه رسوبی می‌باشد. هولستام و مانسفلد (Holtstam and Mansfeld., 2001) معتقدند اگر نهشته‌های گرمایی با ذرات تخریبی مخلوط گردند ممکن است نسبت Si/Al کاهش یابد، همچنین همبستگی مثبت و بالای بین Al و Ti که حدود 0/72 می‌باشد می‌تواند نشان‌دهنده ورود مواد تخریبی و مخلوط شدن آنها با محلول‌های گرمایی در کانسار مورد مطالعه باشد. همبستگی مثبت بین اکسیدهای CaO، Al₂O₃ و Fe₂O₃ با TiO₂ نیز می‌تواند این موضوع را تأیید نماید (شکل 4- A، B و C)

تخریبی سازند قرمز پایینی با یک دگرشیبی مشخص (با زاویه 20 تا 25 درجه) بر روی واحدهای ائوسن قرار گرفته‌اند. به‌دنبال یک دوره رسوب‌گذاری قاره‌ای، در زمان الیگوسن-میوسن پیش‌روی دریا موجب ته‌نشست لایه‌های آهکی-مارنی سازند قم گردیده است. جنبشهای مؤثر در این زمان بیشتر به‌صورت حرکات قائم و خشکی‌زا بوده که سبب ناپایداری کف حوضه و تغییرات عمق (دریای کم‌عمق تا محیط کولابی-قاره‌ای) دریا شده است (شکل 2). جنبشهای یاد شده در زمان میوسن آغازی سبب فعالیت آتشفشانی (به‌صورت محدود و کم‌حجم) و در زمان میوسن میانی-پایانی ماگماتیسیم مهمی را به‌همراه داشته است. سرانجام در اواخر میوسن آغازی، بار دیگر حوضه کم‌عمق و کولابی شده نهشته‌های سازند قرمز بالایی تشکیل گردیده است.

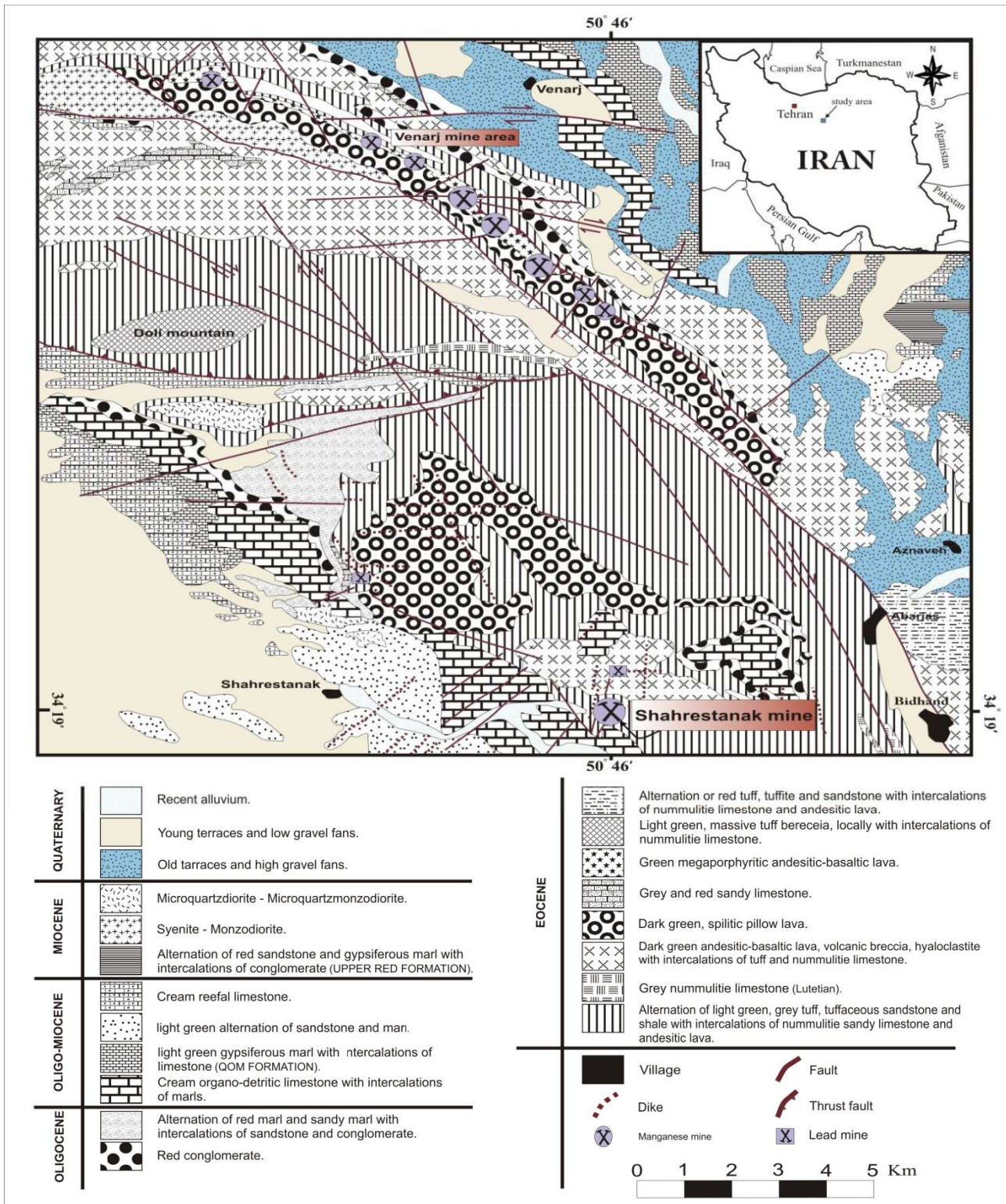
زمین‌شیمی کانسنگ منگنز شهرستانک

استفاده از معیارهای زمین‌شیمیایی یکی از معیارهای مهم و اساسی برای تمایز کانسارهای منگنز گرمایی، آب‌زاد، دیاژنز و زیست‌زاد-میکروبی به‌شمار می‌رود (Polgari et al., 2012). لذا مجموعه‌های عنصری تشخیصی شامل عناصر اصلی و جزئی می‌توانند جهت شناسایی کانسارهای منگنز تشکیل شده تحت شرایط مختلف محیط‌های زمین‌شناسی به کار روند (Crerare, 1982). در همین راستا به‌منظور تعیین نوع کانه‌زایی در کانسار منگنز شهرستانک به بررسی تعدادی از مهمترین نسبتها و مؤلفه‌های ارائه شده در این زمینه می‌پردازیم.

نسبت‌های مربوط به عناصر اصلی و فرعی کانسنگ منگنز شهرستانک

نسبت Mn/Fe و Fe/Mn

یکی از شاخصهایی که توسط آن می‌توان کانسارهای منگنز با منشأ گرمایی را از نهشته‌های با منشأ آب‌زاد متمایز کرد، شاخص نسبت Mn/Fe آنهاست. آهن و منگنز در زمان نهشت از سیالهای هیدروترمال به شیوه خاصی از هم جدا می‌شوند که این جدایش متأثر از درجه حلالیت آنهاست و نسبت‌های متفاوتی از Mn/Fe در رسوبات برون‌دمی (سدکس) ایجاد می‌کنند، به‌طوری‌که $0/1 > \text{Fe/Mn} > 10$ (Nicholson, 1992a) و $0/1 < \text{Mn/Fe} < 10$ (Nicholson, 1992b). در حالی که برای نهشته‌های آب‌زاد نسبت Mn/Fe و Fe/Mn



شکل 1. نقشه زمین‌شناسی منطقه کهک و موقعیت کانسار منگنز شهرستانک؛ (فتباس از نقشه 1/100000 کهک (Ghalamghash et al., 1997)).

Fig. 1. Geological map of Kahak area and location of Shahrestanak manganese deposit (adapted from the Kahak 1:100,000 geological map (Ghalamghash et al., 1997)).

جدول 1. نتایج آنالیز شیمیایی نمونه‌های کانسنگ منگنز شهرستانک به روش ICP-MS و ICP-AES (عناصر اصلی بر حسب درصد و عناصر کمیاب بر حسب ppm گزارش شده است).

Table 1. The results of chemical analysis for Shahrestanak manganese ore samples by ICP-MS and ICP-AES (major elements and trace elements are reported in percent and ppm, respectively).

S. N.	Sh107	Sh111	Sh143	Sh162	Sh165	Sh167	Sh169	Sh100	Sh115	Sh126
Latitude	N: 34°19'09.6"	N: 34°19'09.9"	N: 34°19'09.6"	N: 34°19'23.9"	N: 34°19'10.2"	N: 34°19'09.7"	N: 34°19'11.9"	N: 34°19'22.9"	N: 34°19'19.9"	N: 34°19'11.3"
Longitude	Eo: 50°46'50.2"	Eo: 50°46'51.1"	Eo: 50°46'30.5"	Eo: 50°46'50.9"	Eo: 50°46'49.1"	Eo: 50°46'52.5"	Eo: 50°46'52.1"	Eo: 50°46'49.1"	Eo: 50°46'53.1"	Eo: 50°46'51.8"
SiO ₂	24.5	20.5	13.3	25.7	23.3	23.6	22.3	11.6	24.80	24.10
TiO ₂	0.3	0.29	0.18	0.36	0.28	0.01	0.08	0.1	0.08	0.45
Al ₂ O ₃	5.49	5.18	3.30	5.81	4.60	0.47	1.73	1.05	4.40	4.82
Fe ₂ O ₃ *	8.75	5.05	2.48	3.56	8.20	8.61	9.10	78.2	5.22	6.05
MnO	46.18	41.12	55.31	41.21	40.80	42.50	40.1	0.50	44.47	41.45
MgO	0.85	1.31	0.69	1.63	1.24	0.15	0.48	0.29	0.59	0.87
CaO	1.28	9.19	8.59	1.80	3.90	0.77	1.62	2.60	3.22	7.20
Na ₂ O	1.1	0.40	0.20	0.50	0.56	0.10	0.22	0.06	0.23	0.32
K ₂ O	1.85	1.75	0.02	1.12	1.15	0.01	0.21	0.01	1.02	1.35
P ₂ O ₅	0.10	0.12	0.07	0.09	0.11	0.01	0.08	0.06	0.02	0.06
LOI	12.10	14.30	15.60	19.10	16.20	23.70	23.20	5.40	15.12	13.38
Total	99.5	99.21	99.74	100.88	100.34	99.93	99.12	99.87	99.17	100.05
As	1045	650	1089	2042	1064	910	100	1900	1002	985
Cu	41	136	21	66	79	197	170	5	85	69
Mo	40	30	25	22	8	78	89	70	33	27
Pb	59	75	24	102	89	76	878	135	101	69
Zn	688	793	722	566	399	83	123	78	501	523
V	98	180	83	56	57	356	245	522	102	147
Ni	34	40	30	33	24	8	35	13	24	19
Co	12.1	17.8	6.4	12.9	8	20	12	2	12.60	14.82
U	2.09	1.96	2.16	1.77	1	4.83	1	1	1.56	1.23
Th	2.8	2.4	1.7	2.7	4.7	0.1	4.6	5	1.60	2.68
Si	11.46	9.59	6.22	12.02	11.2	6.36	4.30	7.80	11.5	11.26
Fe	4.03	3.54	1.74	2.49	5.74	3.93	0.77	54.72	3.65	4.23
Al	2.9	2.75	1.75	3.08	2.44	0.25	0.92	0.56	2.70	2.30
Mg	0.52	0.79	0.42	0.99	0.75	0.09	0.29	0.18	0.63	0.74
Mn	35.77	31.8	42.8	31.9	31.6	40.8	31.07	0.40	36.33	31.20
Na	0.82	0.30	0.15	0.38	0.42	0.06	0.17	0.05	0.66	0.40
Ti	0.18	0.18	0.11	0.22	0.17	0.06	0.05	0.06	0.17	0.21
Ba	4650	2530	3730	5690	598	73200	6881	12925	3654	6720
Sr	3160	1140	570	500	150	2480	890	432	780	1896
Be	-	-	-	-	-	-	-	-	1.05	1.00
Cr	-	-	-	-	-	-	-	-	20.00	15.18
Cs	-	-	-	-	-	-	-	-	0.10	0.10
Ga	-	-	-	-	-	-	-	-	38.00	59.20
Rb	-	-	-	-	-	-	-	-	2.00	1.00
U	-	-	-	-	-	-	-	-	2.00	2.00
Ag	-	-	-	-	-	-	-	-	<1.00	<1.00
Sn	-	-	-	-	-	-	-	-	<0.1	<0.1
Hf	-	-	-	-	-	-	-	-	0.20	0.29
Ta	-	-	-	-	-	-	-	-	<0.1	<0.1
Mn/Fe	8.31	8.98	24.59	12.81	5.50	10.38	40.35	0.007	9.95	7.37
Fe/Mn	0.12	0.11	0.40	0.07	0.18	0.09	0.02	136.8	0.10	0.13
Co/Zn	0.01	0.02	0.008	0.02	0.02	0.24	0.09	0.02	0.02	0.02
Co/Ni	0.35	0.44	0.21	0.39	0.33	2.50	0.34	0.15	0.52	0.78
Cu+Co+Ni	87.1	193.8	57.4	111.9	111	225	217	20	121.6	102.82

ادامه جدول 1. نتایج آنالیز شیمیایی نمونه‌های کانسنگ منگنز شهرستانک به روش ICP-MS و ICP-AES (عناصر اصلی بر حسب درصد و عناصر کمیاب بر حسب ppm گزارش شده است).

Continue Table 1. Results of chemical analysis for Shahrestanak manganese ore samples by ICP-MS and ICP-AES (major elements and trace elements are reported in percent and ppm, respectively).

S. N.	Sh148	Sh171	Sh153	Sh202
Latitude	34°19'9.9"	34°19'12.9"	34°19'10.7"	34°19'12.9"
Longitude	50°46'54.1"	50°46'50.1"	50°46'29.1"	50°46'32.4"
SiO ₂	21.80	25.10	24.70	23.10
TiO ₂	0.22	0.29	0.06	0.12
Al ₂ O ₃	5.28	6.05	3.25	5.10
Fe ₂ O ₃ *	5.89	3.83	7.85	8.20
MnO	42.60	41.21	44.21	40.07
MgO	1.26	1.56	0.47	0.21
CaO	4.24	5.81	2.56	3.95
Na ₂ O	0.12	0.04	0.41	0.11
K ₂ O	0.90	0.56	0.36	0.05
P ₂ O ₅	0.02	0.01	0.10	0.07
LOI	17.23	15.16	15.23	19.10
Total	99.56	99.64	99.20	100.08
As	996	1123	1057	1601
Cu	75	47	39	116
Mo	45	29	38	72
Pb	81	73	45	85
Zn	547	608	381	702
V	189	152	284	438
Ni	31	12	18	15
Co	9	6.85	12	13.14
U	1.10	1.11	2.01	1.45
Th	1.81	2.60	1.75	3.71
Si	10.18	11.73	11.54	10.79
Fe	4.11	2.67	5.48	5.73
Al	3.66	2.28	0.66	1.72
Mg	0.53	0.46	0.93	0.64
Mn	30.90	30.06	31.75	34.30
Na	0.19	0.71	0.39	0.41
Ti	0.12	0.17	0.10	0.09
Ba	4563	5698	4758	6981
Sr	2412	3760	987	2150
Be	1.00	1.00	2.00	1.06
Cr	25.31	29.41	30.00	59.20
Cs	0.10	0.10	0.10	0.10
Ga	70.68	102	180	200
Rb	2.00	<0.1	<0.1	<0.1
U	1.00	2.00	1.00	1.00
Ag	<1.00	<1.00	<1.00	<1.00
Sn	<0.1	<0.1	<0.1	<0.1
Hf	2.00	4.30	2.85	0.45
Ta	<0.1	<0.1	<0.1	<0.1
Mn/Fe	7.51	11.2	5.7	5.98
Fe/Mn	0.13	0.08	0.17	0.16
Co/Zn	0.01	0.01	0.03	0.01
Co/Ni	0.29	0.57	0.66	0.87
Cu+Co+Ni	115	65.85	69	144.14

Mg توسط نیکلسون (Nicholson., 1992a) پیشنهاد گردید. کانسارهای تشکیل شده در محیط‌های دریایی عمیق نسبت به دو محیط دیگر در عناصر Sr، Ca، Mg، K، Na غنی‌شدگی نشان می‌دهند.

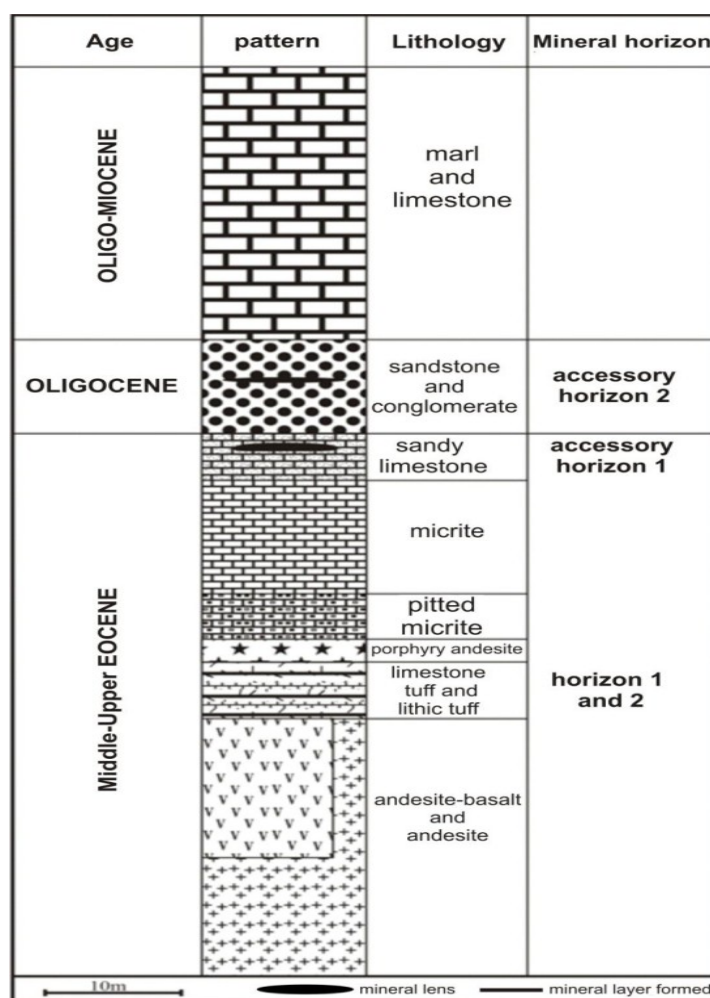
نمونه‌های مربوط به کانسار شهرستانک در محدوده کانسارهای تشکیل شده در محیط آب شیرین و دریایی کم‌عمق قرار می‌گیرند (شکل 6). آچاریا (Acharya., 1997) معتقد است که در طی فرآیند سوپرژن عناصری مانند Ca، Mg و Si از کانه‌های اولیه شسته شده و مقدار آنها در ماده معدنی کاهش می‌یابد.

همچنین نسبت Na به Mg در اکثر کانسارهای فرومگنز که تحت تأثیر دگرگونی هرچند خفیف قرار گرفته‌اند، پایین است (Shah and Moon, 2004).

همچنین موکه و همکارانش (Mucke et al., 1999) نسبت پایین Si به Al را ناشی از اختلاط مقداری مواد تخریبی در حین ته‌نشست کربنات‌ها می‌دانند. نسبت Si به Al در نودول‌های منگنز کف دریا و رسوبات دریایی برابر با 3 می‌باشد. همچنین برای نهشته‌های فلزدار مراکز گسترش میان اقیانوسی (MORB) این نسبت بالاتر از نهشته‌های آب‌زاد است. در کانسار منگنز منطقه شهرستانک میانگین نسبت Si/Al، 4/86 می‌باشد، که در محدوده کانسارهای با منشأ گرمایی (سدکس) قرار می‌گیرد و در شکل 5 قابل مشاهده است.

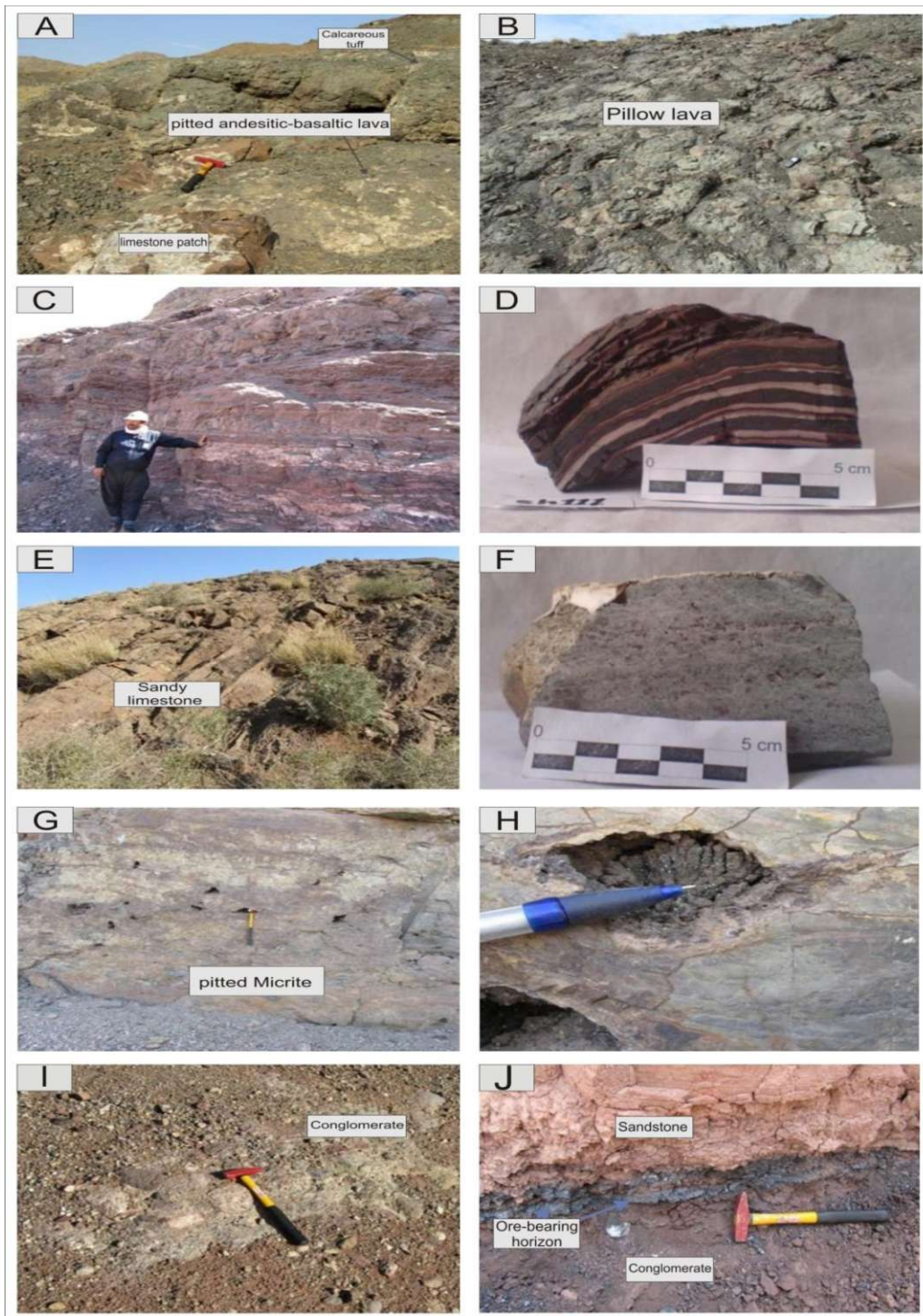
نسبت Na/Mg

به‌منظور تشخیص کانسارهای نهشته شده در محیط‌های آب شیرین، دریایی کم‌عمق و عمیق نمودار دوتایی Na در برابر



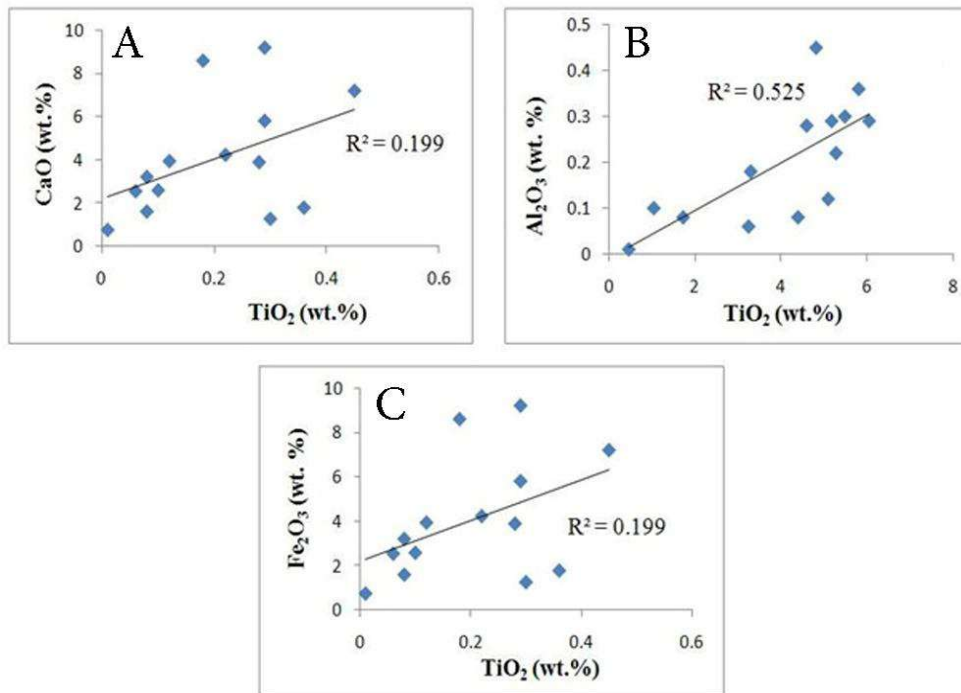
شکل 2. ستون چینه‌شناسی عمومی منطقه معدنی شهرستانک و موقعیت افق‌های کانه‌دار.

Fig. 2. Stratigraphic column of mining district of Shahrestanak and the mineral-bearing horizons.



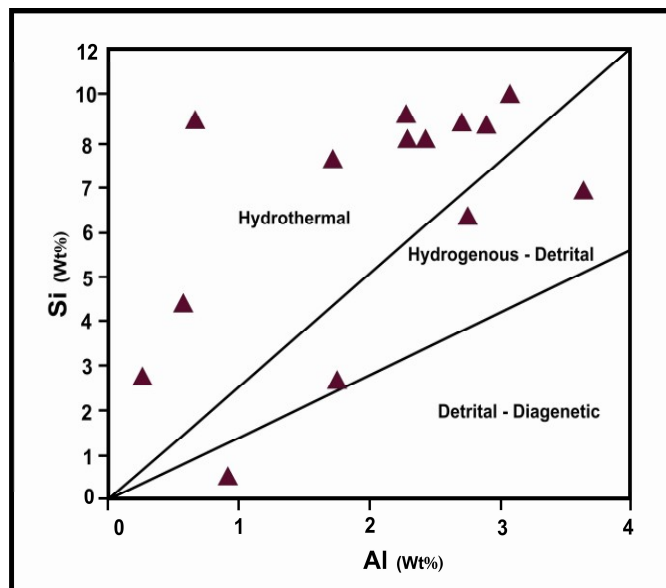
شکل 3. A: ساخت بالشی در آندزیت و آندزیت-بازالت. B: واحد آندزیتی و آندزیت بازالتی کانسار منگنز شهرستانک. C و D: کانه‌زایی در واحد توف آهکی به صورت لایه‌ای در مقیاس نمونه دستی رخنمون. E و F: واحد سنگ آهک ماسه‌ای در مقیاس نمونه دستی رخنمون. G و H: واحد میکرایتی حفره‌دار به همراه کانه‌زایی اولیه و ضعیف در حفرات. I و J: واحد کنگلومرا و ماسه سنگی مربوط به الیگوسن با کانه‌زایی ضعیفی به شکل لایه‌ای.

Fig. 3. A: Pillow structure in andesitic and basaltic- andesite. B: andesitic and basaltic- andesite unit of Shahrestanak manganese deposit. C and D: mineralization in calcareous tuff unit in outcrop scale and hand specimen. E and F) sandy limestone outcrops and hand specimen. G and H: micrite unit with cavities and primary and weak mineralization. I and J: the Oligocene conglomerate and sandstone unit with weak mineralization in the form of a layer.



شکل 4. نمودارهای همبستگی بین اکسیدهای اصلی در نمونه‌های کانسنگ منگنز شهرستانک. A: CaO نسبت به TiO_2 ، B: Al_2O_3 نسبت به TiO_2 ، C: Fe_2O_3 نسبت به TiO_2 .

Fig. 4. Diagrams of correlation between oxides of Shahrestanak manganese ore samples. A: CaO vs. TiO_2 , B: Al_2O_3 vs. TiO_2 , C: Fe_2O_3 vs. TiO_2 .

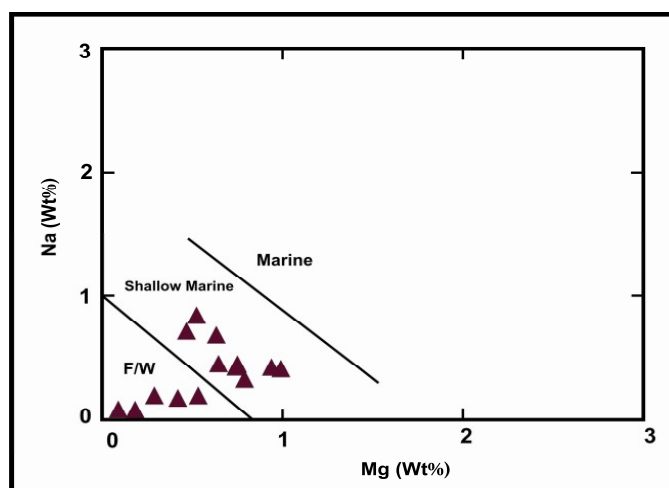


شکل 5. نمودار دوتایی Si به Al (Choi and Hariya, 1992) و رسم نمونه‌های مربوط به کانسار منگنز شهرستانک و خاستگاه آنها.

Fig. 5. binary diagram of Si vs. Al (Choi and Hariya, 1992) and plot of samples of the Shahrestanak Mn deposit and their origins.

محدوده محیط آب شیرین را ناشی از عملکرد فرآیندهای سوپرژن دانست.

در منطقه مورد مطالعه فرآیندهای سوپرژن کانسار را تحت تأثیر قرار داده و در بخشهایی باعث بالا رفتن عیار ماده معدنی شده است. شاید بتوان دلیل قرارگیری بعضی از نمونه‌ها در



شکل 6. نمودار نسبت Na به Mg (Nicholson, 1992a) و رسم نمونه‌های کانسارهای منگنز شهرستانک و خاستگاه آنها (F/W= Fresh Water).

Fig. 6. Diagram of Na vs. Mg (Nicholson, 1992a) and plot of Shahrestanak Mn deposit and their origin (F / W = Fresh Water).

ژنتیکی مختلف طراحی شده است، لذا کاربرد آنها می‌تواند در شناسایی تیپ کانسار منگنز شهرستانک سودمند واقع شود.

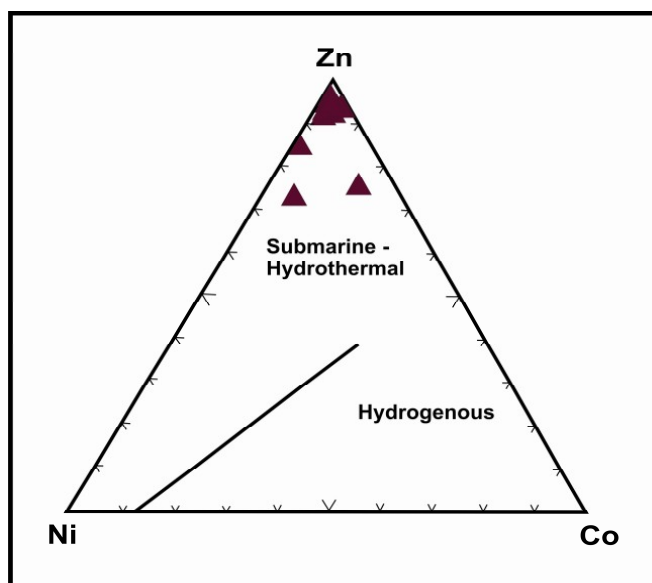
نمودار Co-Ni-Zn

چویی و هاریا (Choi and Hariya., 1992) کانسارهای آب‌زاد منگنز (نودول‌های دریاهای عمیق) را از کانسارهای گرمابی زیر دریایی، به‌وسیله بررسی کردن روابط بین عناصر Ni، Zn و Co در یک نمودار سه تایی مشخص و متمایز کرده‌اند. طبق بررسیهای انجام شده، غلظتهای پایین عناصر کبالت (2-75 پی‌پی‌ام)، مس (8-450 پی‌پی‌ام)، نیکل (22-900 پی‌پی‌ام) و روی (18-1070 پی‌پی‌ام) مشخصه کانسارهای منگنز گرمابی زیردریایی است. در کانسار منگنز شهرستانک غلظتهای عناصر کبالت (2-20 پی‌پی‌ام)، مس (5-197 پی‌پی‌ام)، نیکل (8-40 پی‌پی‌ام)، روی (78-793 پی‌پی‌ام) می‌باشد (شکل 7). با توجه به این نمودار مشاهده می‌شود که نمونه‌های کانسنگ منگنز شهرستانک خاستگاه گرمابی زیردریایی را از خود نشان می‌دهند.

نمودارها و نسبت‌های مربوط به عناصر کمیاب کانسنگ منگنز شهرستانک

نویسندگان متعددی کوشیده‌اند تا با استفاده از عناصر اصلی و کمیاب، کانسارهای رسوبی دریایی منگنز را از کانسارهای گرمابی متمایز کنند. بوناتی و همکارانش (Bonatti et al., 1972) نسخه اولیه نمودار سه تایی Fe-Mn-(Co+Cu+Ni) را به‌منظور تمایز کانسارهای رسوبی دریایی و گرمابی آهن - منگنز ترسیم کردند.

این نمودار نشان می‌دهد که اکسیدهای هیدروترمال در عناصر نیکل، مس، کبالت و روی نسبت به کانسارهای رسوبی - دریایی تهی شده‌اند. نیکلسون (Nicholson, 1992a) نیز معتقد است که کانسارهای گرمابی منگنز به‌وسیله غنی‌شدگی در عناصر Zn، V، Mo، Cd، Li، Sr، Pb، Sb، Cu، Ba، As و کانسارهای رسوبی با غنی‌شدگی در عناصر Ni، Cu، Co، Sr، Mg، Ca، Na و K از یکدیگر متمایز می‌شوند. از آنجا که این نمودارها به‌منظور تمایز کانسارهای منگنز با تیپ‌های



شکل 7. نمودار سه تایی Co-Ni-Zn (Choi and Hariya, 1992). نمونه‌های کانسار منگنز شهرستانک در موقعیت کانسارهای هیدروترمال زیردریایی قرار گرفته است.

Fig. 7. Co-Ni-Zn ternary diagram (Choi and Hariya, 1992). Shahrestanak manganese ore samples are plotted in the range for submarine hydrothermal ore deposits.

مینرالیزه قبلی) از دیگر کانسارهای اکسیدی منگنز (سوپرژن یا هیدروترمال) استفاده کرد (شکل 9). همان‌طور که از این نمودار استنباط می‌شود، در دابیه‌ها نسبت Zn و Pb بالا است و به‌طور کلی در این تیپ کانسارها بیش از یک درصد Zn و Pb وجود دارد؛ (این مقدار تا حدود 1000 پی‌پی‌ام سرب در مقابل 1 درصد روی قابل قبول است). در مقایسه با دابیه‌ها دیگر تیپ‌های کانساری منگنز نظیر کانسارهای تشکیل شده در محیط دریایی، چشمه‌های آب گرم، سدکس و کانسارهای حاصل از فرآیندهای هوازدگی دارای نسبت پایین‌تری از سرب و روی می‌باشند (Nicholson, 1992b). بر اساس شکل 9 مشاهده می‌شود که نمونه‌های مربوط به کانسار شهرستانک هم‌پوشانی نسبتاً خوبی با کانسارهای تیپ سدکس و کانسارهای تشکیل شده در محیط‌های دریایی کم‌عمق نشان می‌دهند. از طرفی هم‌پوشانی آنها با نمونه‌های مربوط به کانسارهای تیپ سدکس توسط دیگر نمودارها و مشخصات تأیید می‌گردد.

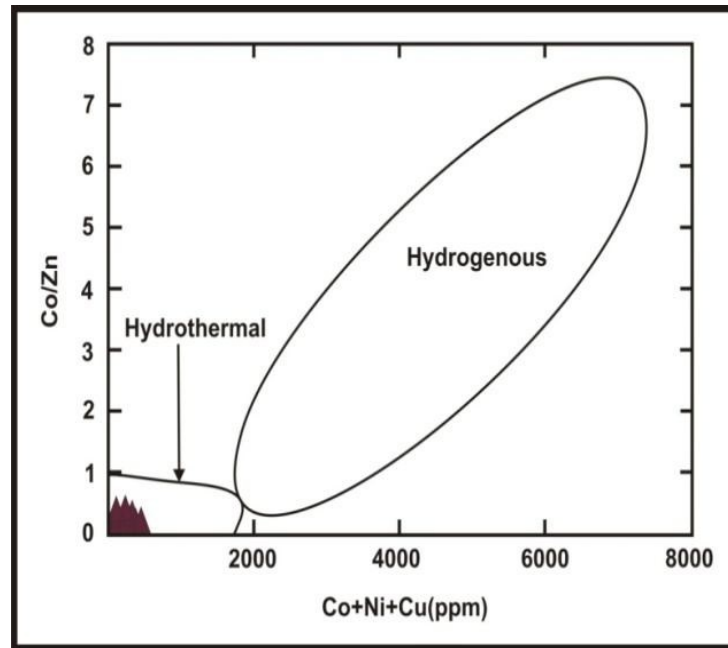
نمودار (Co/Zn)-(Co+Cu+Ni)

این نمودار توسط توس (Toth., 1980) برای تفکیک کانسارهای فرومنگنز گرمابی از آبزاد مورد استفاده قرار گرفت. همان‌طور که از نمودار استنتاج می‌شود (شکل 8) کانسارهای فرومنگنز تیپ آبزاد نسبت به کانسارهای گرمابی (گزالاتیو) از غنی‌شدگی بالاتری در عناصری مانند Ni، Cu و Co برخوردار است (Glasby, 2000).

مقادیر پایین عناصر Ni، Cu و Co بیانگر ورود اندک این عناصر از طریق فعالیت‌های گرمابی و در عوض اشتقاق بالای Zn را از منبع گرمابی نشان می‌دهد (Toth, 1980). چنان‌که در شکل 8 مشاهده می‌شود نمونه‌های منطقه مورد مطالعه قرابت بسیار بالایی با کانسارهای نوع گرمابی از خود نشان می‌دهند که این خود می‌تواند منشأ و ژنز مشترکی برای آنها پیشنهاد نماید.

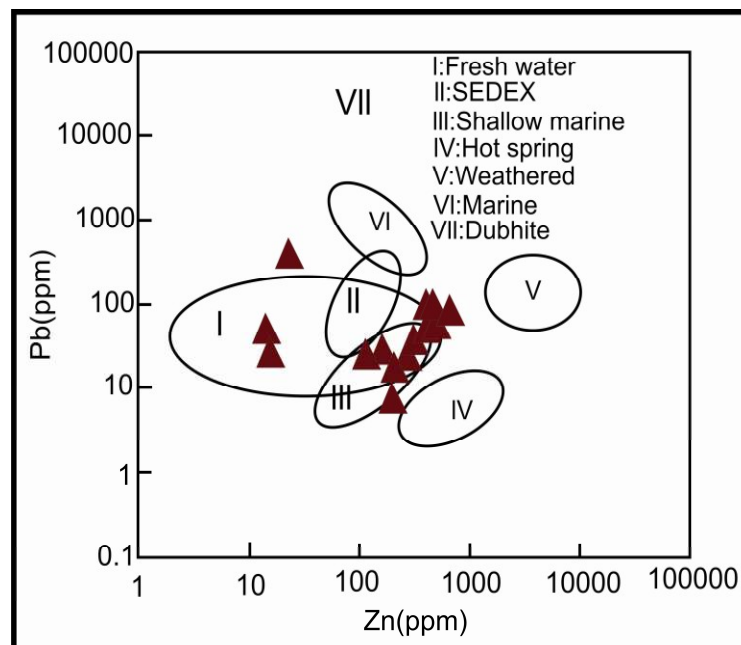
نمودار Pb-Zn

از نمودار دوتایی Pb در مقابل Zn می‌توان برای تمایز کانسارهای تیپ دابیه‌ت (کانسارهای مشتق شده از توالیهای



شکل 8. نمودار دوتایی (Co/Zn)-(Co+Cu+Ni) (Toth, 1980). نمونه‌های کانسار منگنز شهرستانک در محدوده کانسارهای هیدروترمال قرار گرفته است.

Fig. 8. Binary diagram of (Co/Zn)-(Co+Cu+Ni) (Toth, 1980). Shahrestanak manganese ore samples are plotted in the range for hydrothermal deposits.



شکل 9. نمودار نسبت Pb به Zn (Nicholson, 1992b). نمونه‌های کانسار منگنز شهرستانک همبستگی بالایی با نمونه‌های تیپ سِدکس و دریایی کم‌عمق نشان می‌دهند.

Fig. 9. Diagram of Pb vs. Zn (Nicholson, 1992b). Shahrestanak manganese ore samples show high correlation with the Sedex and Shallow marine samples.

نمودار 10*Fe-Mn-(Ni+Co+Cu)

یکی از معیارهای تشخیصی در این نمودار (شکل 10) غلظت مس، کبالت و نیکل است. گرچه‌های مناطق پلاژیک در مقایسه با آبهای کم‌ژرفا دارای مقادیر بیشتری از عناصر Co، Ni و Cu هستند. مقدار این عناصر در نهشته‌های تیپ آب‌زاد نیز نسبت به نهشته‌های گرمابی بیشتر است. در کانسارهای منگنز آب‌زاد، به دلیل جذب سطحی کاتیون‌هایی مانند Zn، Pb، Co، Ni و Cu توسط کلونیدهای اکسیدی منگنز که بار سطحی منفی دارند؛ غنی‌شدگی قابل توجهی از این عناصر مشاهده می‌شود (Choi and Hariya, 1992)، که علت این امر رشد کند و در نتیجه، حضور طولانی‌تر آنها در آب دریا و تأثیر فرآیندهای مختلفی است که در جذب ویژه دخالت دارند (Toth, 1980; Usui and Someya, 1997) و در کانسارهای گرمابی مجموع عناصر Co، Ni و Cu کمتر از یک درصد می‌باشد. لذا این مقادیر برای کانسار منگنز شهرستانک (جدول 1) کمتر از یک درصد بوده که نتایج حاصل می‌تواند دلیلی بر گرمابی بودن این کانسار باشد.

نودول‌های منگنز خصوصاً نودول‌های مناطق پلاژیک، در مقایسه با آبهای کم‌عمق از عناصری مانند Cu، Ni و Co غنی‌ترند. بنابر نظر عده‌ای از محققان، این امر شاید به دلیل میزان پایین رسوب‌گذاری و خاصیت جذب کاتیون توسط اکسیدهای آب‌دار آهن و منگنز باشد. پس از رسم نمونه‌های کانسنگ منگنز شهرستانک در این نمودار مشاهده می‌شود که این نمونه‌ها در محدوده کانسارهای هیدروترمال قرار می‌گیرند (شکل 10). همان‌طور که در این نمودار مشاهده می‌شود عناصر Cu، Ni و Co هیچ‌گونه غنی‌شدگی نشان نمی‌دهند که این موضوع می‌تواند به‌خاطر نهشت سریعتر آنها توسط سیالات گرمابی در محیط کم‌عمق باشد. اکسیدهای منگنز و آهن در مرحله دیازنز در اثر از دست دادن آب، فضای میان‌دانه‌ای اجزای سازنده سنگ درون‌گیر را پر می‌کنند، لذا به‌علت خروج آب و تغییر ماهیت سیال کانه‌دار، تغییر pH محیط و کاهش سطح تماس اکسیدهای منگنز و آهن، ظرفیت جذب یون‌هایی از قبیل Cu، Ni و Co در حین فرآیندهای دیازنری کاهش می‌یابد.

نمودار دوتایی (Co+Ni)-(As+Cu+Mo+Pb+V+Zn)

پژوهشگران زیادی از جمله هوت و فلیسچر (Hewett and Fleischer., 1960) معتقدند که کانسارهای گرمابی منگنز

نسبت به عناصر Zn، V، Sr، Sb، Pb، Mo، Li، Cu، Ba، As غنی‌شدگی نشان می‌دهند. نیکلسون (Nicholson, 1992a) غنی‌شدگی در مجموعه عناصر Zn، V، Sr، Sb، Pb، Mo، Li، Cu، Ba، As را نشانه کانسارهای گرمابی دانسته، در عوض معتقد است که این کانسارها از عناصری مانند Ni و Co تهی شده‌اند. نمونه‌های مربوط به کانسارهای منطقه شهرستانک با توجه به نمودار (شکل 11) در عناصر As، Ba، Sr، Zn، Pb غنی‌شدگی نشان می‌دهند و مشابه با دیگر نمودارها در عناصر Ni و Co تهی شده‌اند و در محدوده کانسارهای گرمابی قرار می‌گیرند.

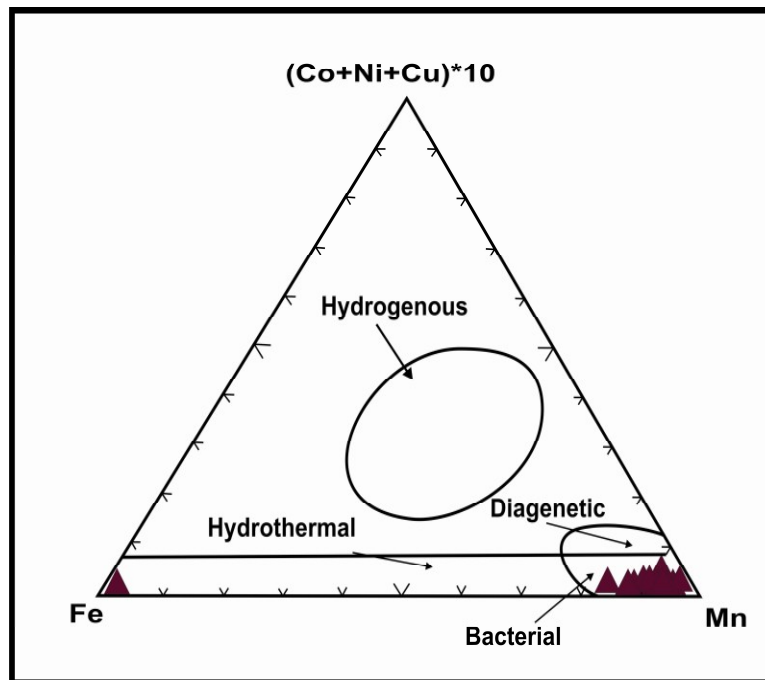
نمودار دوتایی (Co+Ni)-(As+Cu+Mo+Pb+V+Zn)

پژوهشگران زیادی از جمله هوت و فلیسچر (Hewett and Fleischer., 1960) معتقدند که کانسارهای گرمابی منگنز نسبت به عناصر Zn، V، Sr، Sb، Pb، Mo، Li، Cu، Ba، As غنی‌شدگی نشان می‌دهند. نیکلسون (Nicholson, 1992a) غنی‌شدگی در مجموعه عناصر Zn، V، Sr، Sb، Pb، Mo، Li، Cu، Ba، As را نشانه کانسارهای گرمابی دانسته، در عوض معتقد است که این کانسارها از عناصری مانند Ni و Co تهی شده‌اند. نمونه‌های مربوط به کانسارهای منطقه شهرستانک با توجه به نمودار (شکل 11) در عناصر As، Ba، Sr، Zn، Pb غنی‌شدگی نشان می‌دهند و مشابه با دیگر نمودارها در عناصر Ni و Co تهی شده‌اند و در محدوده کانسارهای گرمابی قرار می‌گیرند.

عناصر نادر خاکی

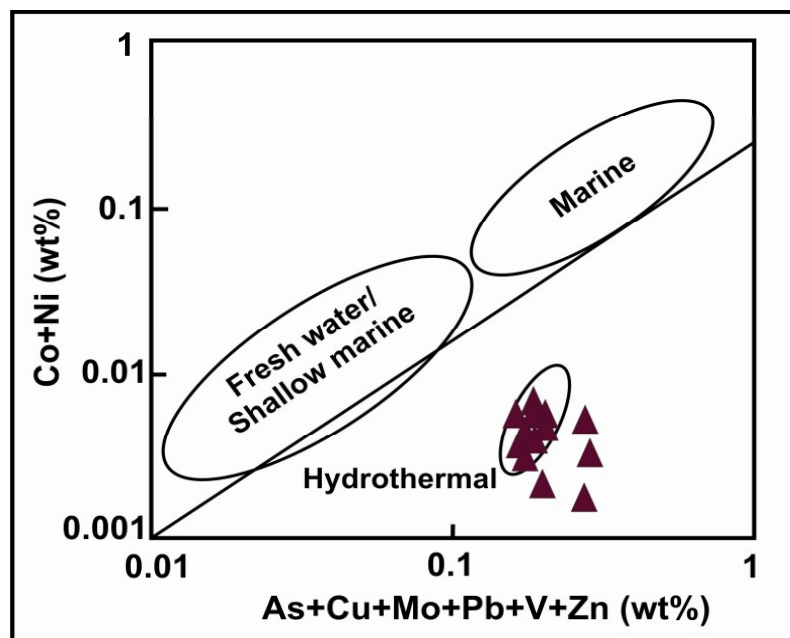
نتایج آنالیز شیمیایی مربوط به عناصر نادر خاکی نمونه‌های کانسنگ منگنز شهرستانک در جدول 2 آورده شده است. اطلاعات عناصر نادر خاکی در کانسارهای فرومنگنز تیپ‌های گرمابی و آب‌زاد به‌طور قابل ملاحظه‌ای با هم متفاوت هستند. بنابراین می‌توانند اطلاعات اساسی و مفیدی را در مورد فرآیندهای زایشی مؤثر بر تشکیل کانسارهای منگنز و فرومنگنز زیردریایی فراهم کنند (Hein et al., 1997). یکی از تفاوت‌های رایج بین کانسارهای آب‌زاد و گرمابی، در میزان غنی‌شدگی این دو گروه کانسار از REEs است. غنی‌شدگی REEs در کانسارهای فرومنگنز تیپ آب‌زاد چندین برابر کانسارهای گرمابی است. به طوری که $\sum REEs$ در

کانسارهای گرمایی در حدود 100 پی‌پی‌ام، ولی این مقدار در کانسارهای آب‌زاد نزدیک به 1000 پی‌پی‌ام است.



شکل 10. نمودار سه‌تایی Fe-Mn-(Ni-Co-Zn) (Shah and Moon, 2004).

Fig. 10. Ternary diagram of Fe-Mn-(Ni-Co-Zn) (Shah and Moon, 2004).



شکل 11. نمودار دوتایی (Co+Ni)-(As+Cu+Mo+Pb+V+Zn) (Nicholson, 1992b). نمونه‌های کانسار منگنز منطقه شهرستانک در محدوده هیدروترمال قرار گرفته‌اند.

Fig. 11. Binary diagram of (Co+ Ni)-(As+Cu+Mo+Pb+V+Zn) (Nicholson, 1992b), Shahrestanak manganese ore samples plotted in the hydrothermal area.

جدول 2. نتایج مربوط به آنالیز عناصر نادر خاکی نمونه‌های کانسنگی کانسار منگنز شهرستانک (تمامی مقادیر بر حسب ppm).

Table 2. Results of the rare earth element analysis for Shahrestanak manganese ore (all values are in ppm).

Sample No.	Sh 107	Sh 111	Sh 143	Sh 162	Sh 165	Sh 167	Sh 169	Sh 100	Sh 115	Sh 126	Sh 148	Sh 153	Sh 171	Sh 202
La	11.30	10.70	12.00	9.00	10.00	30.30	11.00	13.00	11.22	10.89	12.01	11.63	10.47	11.51
Ce	1.98	1.75	1.99	2.14	1.96	4.98	3.20	2.00	2.45	3.89	2.20	2.38	1.98	2.44
Pr	2.11	2.67	1.87	2.17	1.00	4.89	6.00	2.00	1.89	1.53	2.24	2.66	1.19	3.43
Nd	8.10	10.80	7.40	8.40	7.00	17.80	17.00	11.00	12.45	8.60	7.90	9.30	10.70	8.20
Sm	1.70	2.40	1.40	1.90	2.00	3.80	3.00	22.00	1.20	3.20	1.60	1.70	1.40	2.00
Eu	0.15	0.30	0.09	0.09	0.20	0.05	0.04	2.00	0.03	0.04	0.07	0.06	0.03	0.05
Gd	1.79	2.68	1.51	1.83	1.40	4.30	1.00	0.99	1.45	1.78	2.22	1.83	1.89	2.44
Tb	0.29	0.41	0.25	0.30	0.23	0.73	0.56	0.66	0.66	0.45	0.73	0.36	0.76	0.56
Dy	1.80	2.72	1.53	1.87	1.50	4.58	1.00	30.00	1.70	1.56	1.46	1.27	1.71	2.20
Ho	0.39	0.55	0.31	0.39	0.29	1.03	0.98	1.01	0.33	0.28	0.42	0.93	0.39	0.27
Er	1.11	1.62	0.96	1.17	0.95	3.27	1.60	1.90	1.82	1.60	1.19	0.96	2.27	1.84
Tm	0.17	0.25	0.13	0.18	0.15	0.48	0.41	0.45	0.19	0.25	0.39	0.17	0.12	0.33
Yb	1.00	1.50	0.80	1.10	2.00	3.10	2.00	9.00	2.00	3.30	2.10	2.50	0.90	1.13
Lu	0.20	0.22	0.09	0.13	0.10	0.43	0.35	0.39	0.13	0.25	0.42	0.36	0.06	0.39
Ce*	1.02	0.95	0.81	1.07	1.15	0.80	1.01	0.75	1.05	1.70	0.87	0.93	0.97	0.90
Eu*	0.25	0.35	0.18	0.14	0.31	0.03	0.04	0.09	0.06	0.04	0.11	0.10	0.05	0.05
ΣREE	31.95	37.84	29.45	30.67	27.80	76.82	48.89	43.31	35.20	37.84	34.88	35.83	35.22	37.08
LREE	25.34	28.62	24.75	23.70	22.16	61.82	40.24	31.49	25.89	28.15	26.02	27.73	25.77	27.63
HREE	6.75	9.95	5.58	6.97	6.62	17.92	8.65	11.82	9.31	9.69	8.86	9.46	9.45	10.15

سازوکار همراهی این عناصر با اکسیدهای منگنز به خوبی مشخص نیست، گروهی از محققان جانشینینی این عناصر در شبکه کانیهای منگنز را دلایل این همراهی می‌دانند (Roy, 1981).

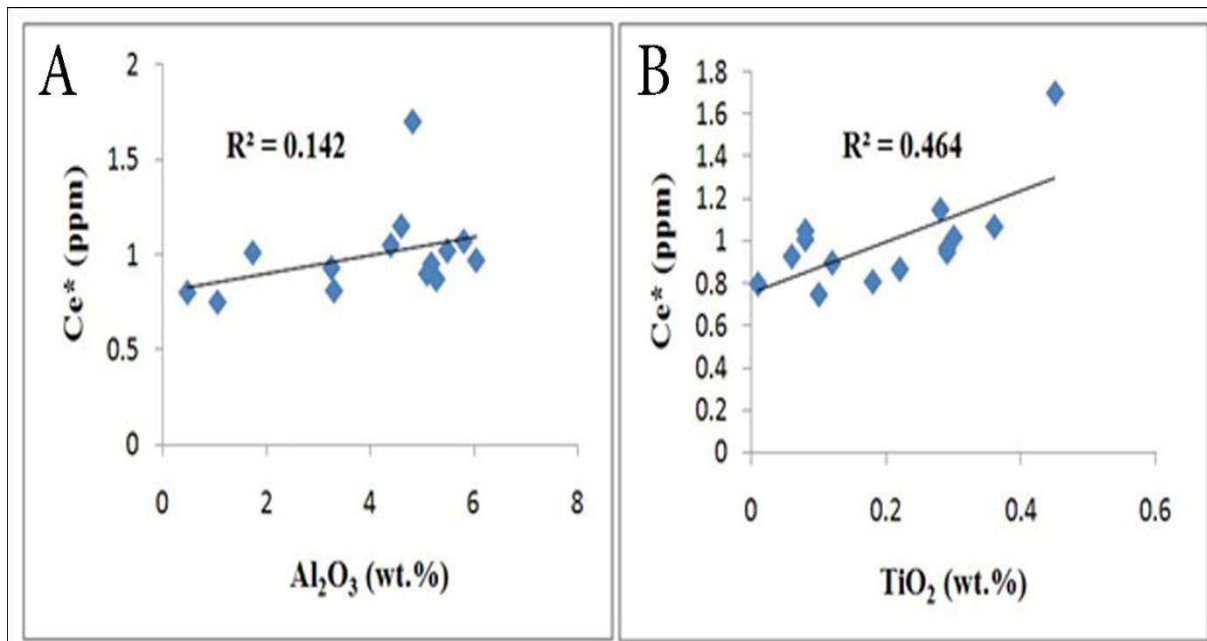
به نظر می‌رسد به‌علت بالابودن مقادیر Al_2O_3 و TiO_2 در محیط تشکیل کانه‌ها و همچنین بالابودن زمان اقامت Ce در محیط، میزان جذب این عنصر توسط اکسیدهای ذکر شده افزایش یافته است و به‌طوری‌که از شکل A-12 و B بر می‌آید همبستگی مثبتی بین Ce با Al_2O_3 و TiO_2 وجود دارد. جهت محاسبه آنومالی Ce در نمونه‌های کانسنگ منگنز شهرستانک از فرمول $Ce^* = Ce_n / [2/3La_n + 1/3Pr_n]$ استفاده شد (Oksuz, 2011) که مبنای نرمالیزه کردن داده‌ها در این فرمول مقادیر ارائه شده توسط بوینتون (Boynton, 1984) قرار گرفته شد. همان‌طور که در جدول 2 مشاهده می‌شود تعدادی از نمونه‌های کانسنگی منطقه مورد مطالعه دارای آنومالی منفی نسبتاً ضعیفی از Ce است. آنومالی منفی Ce یکی از ویژگی‌های معمول کانسارهای گرمابی زیردریایی است، در حالی که آنومالی مثبت Ce معرف و نشان‌دهنده کانسارهای با منشأ آب‌زاد می‌باشد. کانسارهای آب‌زاد منگنز غنی‌شدگی نسبتاً بالایی از Ce نشان می‌دهند، اما کانسارهای

مقدار میانگین $\Sigma REEs$ در نمونه‌های کانسنگی مورد مطالعه حدود 60 پی‌پی‌ام می‌باشد که می‌تواند نشان‌دهنده منشأ گرمابی برای آنها باشد. از دیگر تفاوت‌های بارز بین کانسارهای آب‌زاد و گرمابی، تفاوت الگوی آنومالی Ce در این دو نوع کانسار است. آنومالی Ce به عواملی همچون دمای سیال، نزدیکی به منبع گرمابی، شرایط احیاء و مقدار آلودگی یا آلاینده‌های هیدروژنیک بستگی دارد. الگوی آنومالی Ce در کانسارهای آب‌زاد (کانسارهای نهشته شده به‌وسیله ترکیبی از فرآیندهای هیدروژنیک-دیازنیک) و هیدروژنیک (کانسارهای نهشته شده از آب‌های سرد محدود) مثبت است، دلیل این امر مدت زمان اقامت بیشتر یون Mn و Fe در آب و جذب Ce^{+4} توسط آنهاست اما اکسیدهای فرومنگنز هیدروترمال در محیط‌های دریایی عموماً دارای آنومالی منفی قوی می‌باشند. هر چند که هین و همکارانش (Hein et al., 1997) معتقداند آنومالی Ce در کانسارهای گرمابی بسته به میزان ته‌نشست و مقدار اختلاط با آب دریا دارای گستره‌ای از حالت منفی قوی تا حالت بدون آنومالی می‌باشد.

ظرفیت بالای اکسیدهای منگنز برای جذب کاتیون‌ها، سبب غنی‌شدگی اقتصادی این اکسیدها از بعضی عناصر می‌شود. اما

نمونه‌های کانسنگی شهرستانک از فرمول $Eu^* = Eu_n / [2/3Sm_n + 1/3Gd_n]$ استفاده شد (Oksuz, 2011). همان‌طور که مشاهده می‌شود نمونه‌های منطقه مورد مطالعه دارای آنومالی قوی و منفی Eu می‌باشند.

گرماپی به‌ویژه انواع نهشته شده در محیط‌های دریایی دارای بی‌هنجاری منفی Ce در مقایسه با گرهکهای منگنز و نهشته‌های آب‌زاد هستند (Hein et al., 2000; Rogers et al., 2001). همچنین به‌منظور محاسبه آنومالی Eu در



شکل 12. A: همبستگی مثبت Ce* با Al_2O_3 ؛ B: همبستگی مثبت Ce* با TiO_2 .

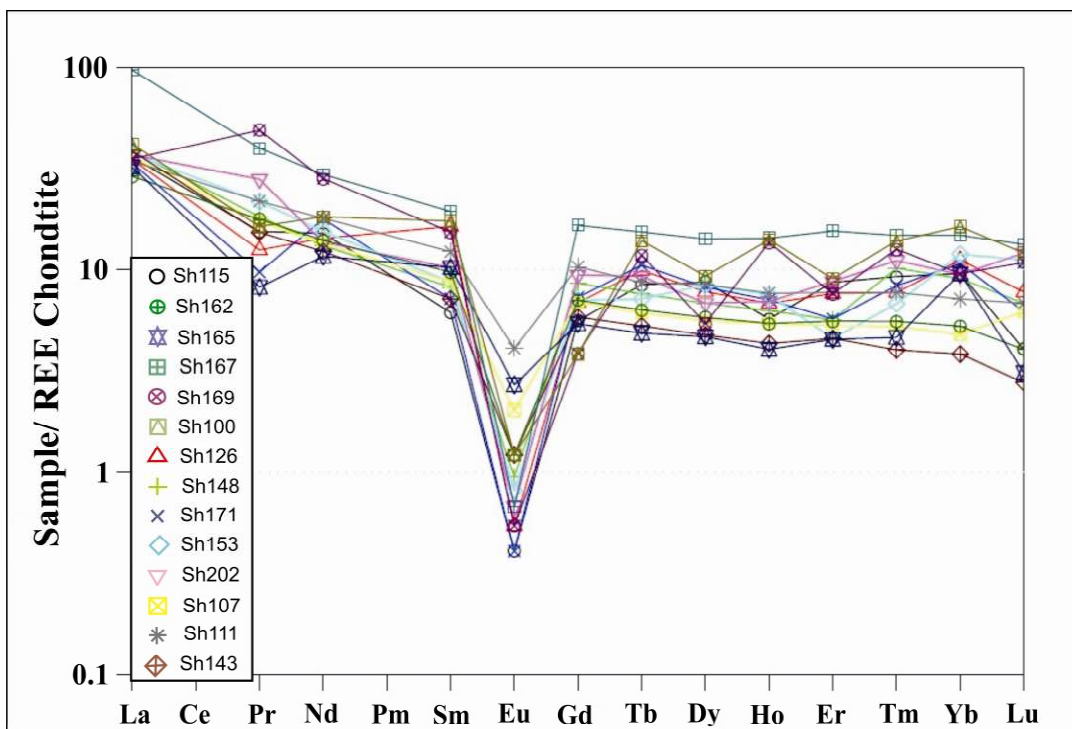
Fig. 12. A: Positive correlation of Ce* vs. Al_2O_3 , B: positive correlation of Ce* vs. TiO_2 .

چنان‌که در شکل 13 مشخص است LREE نسبت به HREE غنی‌شدگی بیشتری را از خود نشان می‌دهند که این موضوع خود یکی از مشخصه‌های بارز کانسارهای گرمایی است (Mills and Eldefield, 1995).

در کانسار مورد مطالعه میانگین نسبت LREE/HREE برابر با 3/19 پی‌پی‌ام است که نشان‌دهنده غنی‌شدگی LREE نسبت به HREE می‌باشد. در شکل 14 الگوی عناصر نادر خاکی نمونه‌های کانسنگ منگنز شهرستانک با الگوی توزیع عناصر نادر خاکی کانسارهای گرمایی و آب‌زاد مقایسه شده است. همان‌طور که در این شکل مشخص است عناصر نادر خاکی نمونه‌های کانسنگی شهرستانک عمدتاً در محدوده کانسارهای گرمایی قرار می‌گیرد که این خود می‌تواند منشأ و ژنز مشترکی را برای کانسار شهرستانک و کانسارهای گرمایی ارائه دهد.

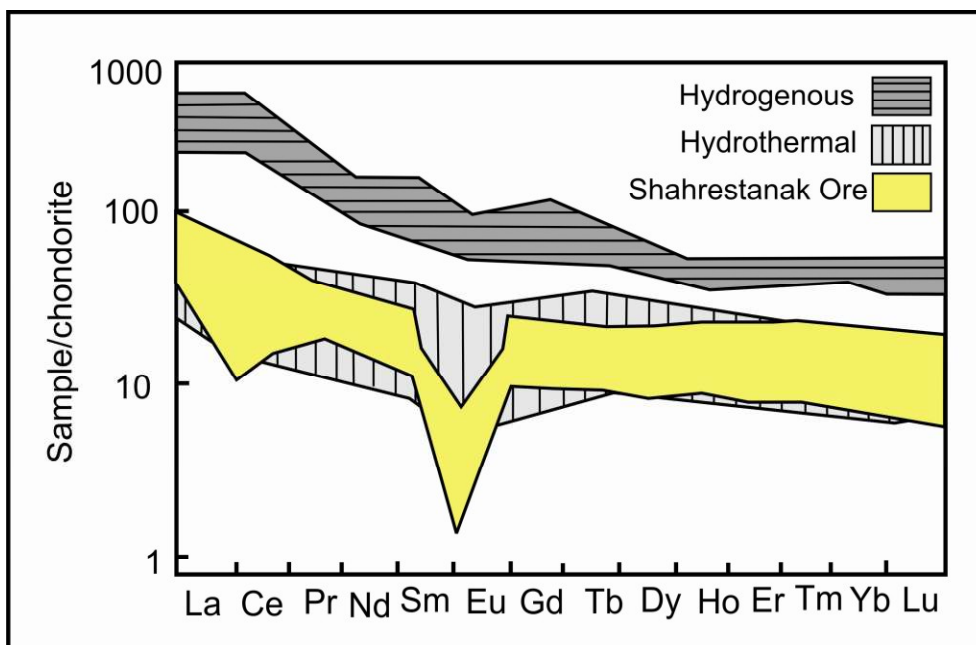
بنابراین آنومالی Eu همیشه نشان‌دهنده منشأ واحدی برای کانسارها نیست. به همین جهت در بسیاری از کانسارهای فرومنگنز هیدروترمال آنومالی Eu منفی می‌باشد. وجود آنومالی Eu به‌طور گسترده‌ای به ترکیب سنگهایی که سیالات گرمایی آنها را متأثر کرده وابسته است (Glasby, 1997; Klinkhammer et al., 1994; Michard and Albarede, 1986). ساباتینو و همکارانش (Sabatino et al., 2011) نیز معتقدند که فاصله‌گیری سیال گرمایی از منشأ می‌تواند باعث کاهش آنومالی Eu از مقادیر مثبت به مقادیر منفی شود که این موضوع به علت جدایش تدریجی منگنز از سیال و جذب Eu توسط اکسیدهای منگنز در خلال رسوب منگنز می‌باشد.

در شکل 13 الگوی توزیع عناصر نادر خاکی نمونه‌های کانسنگ منگنز شهرستانک که نسبت به کندریت بوینتون (Boynnton., 1984) نرمالیزه شده‌اند ارائه شده است.



شکل 13. الگوی توزیع عناصر نادر خاکی در نمونه‌های کانسنگ منگنز شهرستانک، نرمالیزه شده با کندریت (Boynton, 1984).

Fig. 13. The distribution of rare earth elements in Shahrestanak manganese ore samples, normalized to chondrite (Boynton, 1984).



شکل 14. مقایسه الگوی توزیع عناصر نادر خاکی نمونه‌های کانسنگ منگنز شهرستانک با کانسارهای گرمابی (Toth, 1980) و آب‌زاد (Stackelberg, 1997).

Fig. 14. Comparison of distribution of rare earth elements the Shahrestanak manganese ore samples as well as hydrogenous (Stackelberg, 1997) and hydrothermal deposits (Toth, 1980).

نتیجه‌گیری

کانسار منگنز شهرستانک درون تشکیلات رسوبی - آتشفشانی ائوسن فوقانی واقع شده است. بر اساس مطالعات زمین‌شناسی انجام شده سنگهای موجود در منطقه عمدتاً شامل بازالت، آندزیت، دیاباز، توف آهکی، لیتیک توف، میکرایت، کنگلومرا، ماسه‌سنگ و سنگ آهک است. مطالعات زمین‌شیمیایی که جهت تشخیص منشأ ماده معدنی بر روی ترکیب کانسنگ منگنز شهرستانک انجام گرفت شامل مطالعه عناصر اصلی، عناصر کمیاب و عناصر نادر خاکی می‌باشد. در مطالعه ژئوشیمی عناصر اصلی نسبت‌های Mn/Fe ، Si/Al و Na/Mg نشان‌دهنده تشکیل کانسار به‌وسیله فرآیندهای گرمابی در یک محیط کم‌عمق است. نمودارهای عناصر کمیاب همگی بر محتوای پایین کانسنگ از عناصری همچون Ni ، Co و Cu دلالت دارند، که نمایانگر قرارگیری کانسار مورد مطالعه در نمودار عناصر کمیاب، در محدوده کانسارهای با منشأ گرمابی می‌باشد. همچنین مقایسه الگوی توزیع عناصر نادر خاکی منگنزهای کانسار شهرستانک با انواع کانسارهای منگنز آزاد

و گرمابی نشان می‌دهد که الگوی پراکندگی عناصر نادر خاکی در کانسار شهرستانک شباهت بیشتری به کانسارهای گرمابی دارد و این خود می‌تواند منشأ و تیپ کانساری مشترکی را برای آنها پیشنهاد نماید. سرانجام بر اساس مطالعات زمین‌شناسی و ژئوشیمی می‌توان مدلی زایشی زیر را برای تشکیل کانسار منگنز شهرستانک ارائه کرد: در طی ائوسن بالایی تأثیر نیروهای تکتونیکی و عملکرد گسلها در منطقه مورد مطالعه، موجب فرونشست در حوضه رسوبی و تغییرات عمق آن شده‌اند. گسترش سیستم‌های کششی ضمن گسترش ولکانیسم زیردریایی، باعث گسترش و تکامل سیستم‌های هیدروترمال (در اثر افزایش نفوذپذیری) در طول گسلها شده است. فعالیتهای برون‌دمی شدید باعث شسته شدن گدازه‌های بازالتی و آندزیتی شده و عناصر Si ، Fe ، Mn ، Ba ، Sr و As توسط فعالیتهای برون‌دمی - آتشفشانی و از طریق گسلهای همزمان با رسوب‌گذاری وارد حوضه رسوبی گردیده است.

References

- Acharya, B.C., 1997. Mineralogy, chemistry and genesis of Nishikhal manganese ores of south Orissa, India. *Mineralium Deposita*, 32(1): 79-93.
- Alavi, M., 1994. Tectonic of the Zagros orogenic belt of Iran, new data and interpretations. *Tectonophysics*, 229(3-4): 211-238.
- Berberian, M. and King, G.C., 1981. Towards a paleogeography and tectonic evolution of Iran. *Canadian Journal of Earth Sciences*, 18(2): 210-265.
- Bonatti, E., Kraemer, T. and Rdel, H., 1972. 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, pp. 149-166.
- Boynton, W.V., 1984. Geochemistry of the rare earth elements: meteorite studies. In: P. Henderson (Editor), *Rare earth element geochemistry*. Elsevier, California, pp. 63-114.
- Cann, J.R., Winter, C.K. and Pritchard R.G., 1977. A hydrothermal deposit from the floor of the Gulf of Aden. *Mineralogical Magazine*, 41(318): 193-199.
- Choi, J. H. and Hariya, Y., 1992. Geochemistry and depositional environment of Mn oxide deposits in the Tokorobelt, northeastern Hokkaido, Japan. *Economic Geology*, 87(5): 1265-1274.
- Crerare, D.A., 1982. Manganiferous cherts of the Franciscan assemblage: In *General geology, ancient and modern analogues, and implication for hydrothermal convection at ocean spreading centers*. *Economic Geology*, 77(3): 519-540.
- Eckhardt, J.D., Glasby, G.P., Puchelt, H. and Berner, Z., 1997. Hydrothermal manganese crusts from Enareta and Palinuro seamounts in the Tyrrhenian Sea. *Marine Georesources and Geotechnology*, 15(2): 175-208.
- Fardoost, F., 1992. Study of geology and genesis of Venarch Mn deposit, Qom. M.Sc. Thesis, Tabiat-e-Moalem University, Tehran, Iran, 140 pp. (in Persian with English abstract)
- Fonoodi, M., 1995. Study of volcanism in south of Qom area. M.Sc. Thesis, Shahid Beheshti University, Tehran, Iran, 140 pp. (in Persian with English abstract)
- Ghalamghash, J., 1996. Study of Tertiary plutonism in south of Qom area. M.Sc Thesis,

- Shahid Beheshti University, Tehran, Iran, 140 pp. (in Persian with English abstract).
- Ghahamghash, J., Babakhani, R., Bahroodi, A. and Fonoodi, M., 1997. Geological map of Kahak quadrangle, scale 1:100,000. Geological Survey of Iran.
- Glasby, G.P., 1997. Fractionation of manganese from iron in Arcean and Proterozoic sedimentary ores. In: K. Nicholson, J.R. Hein, B. Buhn, and S. Dasgupta (Editors), *Manganese Mineralization: Geochemistry and mineralogy of terrestrial and marine Deposits*. Geological Society of London, Special Publication, 119, pp. 29-42.
- Glasby, G.P., 2000. Manganese: predominant role of nodules and crust. In: H.D. Schulz and M.Ž. Zabel (Editors), *Marine Geochemistry*. Springer-Verlag, Berlin, pp. 335-372.
- Hein, J.R., Koschinsky, A., Bau, M., Manheim, F.T., Kang, J.K. and Roberts, L., 2000. Cobalt-rich ferromanganese crusts in the Pacific. In: D.S. Cronan (Editor), *Handbook of Marine Mineral Deposits*. CRC Press, Boca Raton, Florida, pp. 239-279.
- Hein, J.R., Koschinsky, A., Halbach, P., Manheim, F.T., Bau, M., Kang, J.K. and Lubick, N., 1997. Iron and manganese oxide mineralization in the Pacific. *Journal of Manganese mineralization: Geochemistry and Mineralogy of terrestrial and marine deposits*, 119: 123-138.
- Hewett, D.E. and Fleischer, M., 1960. Deposits of manganese oxides. *Economic Geology*, 55(1):1-55.
- Holtstam, D. and Mansfeld, J., 2001. Origin of a carbonate-hosted Fe-Mn-(Ba-As-Pb-Sb-W) deposit of Langban-type in central Sweden. *Mineralium Deposita*, 36(7): 641-657.
- Klinkhammer, G.P., Elderfield, H., Elderfield, H., Edmond, J.M. and Mitra, A., 1994. Geochemical implications of rare earth element patterns in hydrothermal fluids from mid-ocean ridges. *Geochimica et Cosmochimica Acta*, 58 (23): 5105-5113.
- Michard, A. and Albarede, F., 1986. The REE content of some hydrothermal fluids. *Chemical Geology*, 55(1-2): 51-60.
- Mills, R.A. and Eldefield, H., 1995. Rare earth element geochemistry of hydrothermal deposits from the active TAG mound, 26 N Mid Atlantic Ridge. *Geochimica et Cosmochimica Acta*, 59(17): 3511-3524.
- Mucke, A., Dzigbodi Adjimah, K. and Annor, A., 1999. mineralogy, petrology, geochemistry and genesis of the paleoproterozoic Birimian manganese formation of Nsuta/Ghana. *Mineralium Deposita*, 34(3): 297-311.
- Naderi, R.A., Geometric and kinetic analysis of Bidhend fault system (south of Qom). M.Sc. Thesis, Tarbiat-e-Modares University, Tehran, Iran, 140 pp. (in Persian with English abstract).
- Nicholson, K., 1992a. Genetic types of manganese oxide deposits in Scotland: Indicators of paleo-Ocean-spreading rate and a Devonian geochemical mobility boundary. *Economic Geology* 87(5): 1301-1309.
- Nicholson, K., 1992b. Contrasting mineralogical-geochemical signatures of manganese oxides. *Guides to metallogenesis. Economic Geology*, 87(5): 1253-1264.
- Oksuz, N., 2011. Geochemical characteristics of the Eymir (Sorgun-Yozgat) manganese deposit, Turkey. *Journal of Rare Earths*, 29(3): 287-295.
- Polgari, M., Hein, J.R., Vigh, T., Szabó-Drubina, M., Fórizs, I., Bíró, L., Müller, A. and Tóth, A.L., 2012. Microbial processes and the origin of the Úrkút manganese deposit, Hungary. *Ore Geology Reviews*, 47: 87-109.
- Rogers, T.D.S., Hodkinson, R.A. and Cronan, D.S., 2001. Hydrothermal Manganese Deposits from Tonga-Kermadec Ridge and Lau Basin Region, Southwest Pacific. *Marine Georesources and Geotechnology*, 19 (4): 245-268.
- Rona, P.A., 1987. Criteria for recognition of hydrothermal mineral deposits in oceanic crust. *Economic Geology*, 73(2): 135-160.
- Roy, S., 1981. *Manganese Deposits*. Academic Press, London, 485 pp.
- Roy, S., 1992. Environments and processes of manganese deposition. *Economic Geology*, 87 (5): 1218-1236.
- Sabatino, N., Neri, R., Bellanca, A., Jenkyns, H.C., Masetti, D. and Scopelliti, G., 2011. Petrography and high-resolution geochemical records of lower Jurassic manganese-rich deposits from Monte Mangart, Julian Alps. *Petrography Palaeoclimatology Palaeoecology Journals*, 299: 97-109.
- Shah, M.T. and Moon, C.J., 2004. Mineralogy, geochemistry and genesis of ferromanganese ores from Hazara area, NW Himalayas, northern Pakistan. *Journal of Asian Earth Sciences*, 23(1): 1-15.

- SojoudiKisomi, H., 1994. Study of geology and petrology of igneous rocks of south Qom (Naragh, Bidhend, PanzdaheKhordad Dam-UrumiehDokhtar Zone). M.Sc.Thesis, Tabiat-e-Moalem University, Tehran, Iran, 140 pp. (in Persian with English abstract)
- Stackelberg, V., 1997. Growth history of manganese nodules and crusts of the Peru Basin. Geological Society Publications, London, pp. 119-153.
- Toth, J.R., 1980. Deposition of submarine crusts rich in manganese and iron. Geology Society American Bull, 91(1): 44-54.
- Usui, A. and Someya, M., 1997. Destribution and composition of marine hydrogenetic and hydrothermal manganese deposits in the northwest Pacific. Geological Society Special Publication, 119: 177-198.
- Waters, W.A. and Etminan, H., 1973. Manganese in Iran. Geological Survey Iran, Tehran, Report 21, pp. 37-52.



The study of major, trace and rare earth elements geochemistry in Shahrestanak Mn deposit, south of Qom: Implications for genesis

Mohammad Maanijou^{1*}, Abbas Nasiri¹, Farhad Aliani¹, Mohammad Mostaghimi¹, Meisam Gholipoor¹ and Abbas Maghsoodi²

1) Department of Geology, Bu-Ali Sina University, Hamedan, Iran

2) Geological Survey and Mineral Exploration of Iran, Tehran, Iran

Submitted: July 4, 2013

Accepted: March 18, 2014

Keywords: *Geochemistry, Hydrothermal, Genesis, Shahrestanak Mn deposit, Qom*

Introduction

The Shahrestanak Mn deposit is located in southern Qom province, 12 km southwest of the city of Kahak. Based on geological-structural divisions of Iran, the deposit belongs to central volcanic belt or Urumieh-Dokhtar zone. The Venarch deposit is one the most important known manganese deposits in Iran. The Sharestanak and Venarch deposits are spatially and temporally related to each other, and have similar geology, mineral texture and structure, host rocks, relationships with faults, and depositional environment. So, their magmatism and deposition conditions can be related to each other. Since no systematic study on the Shahrestanak deposit had been performed before discussing its geological and geochemical characteristics, here it is being attempted to study the geology, petrography, geochemistry of major, minor and trace elements, and Rare Earth Elements (REE) of ore, to distinguish the depositional environments and genesis of this deposit and to compare REE of ore in this deposit with other deposits.

Sampling and method of study

Fourteen samples of manganese ore were selected for geochemical study and analyzing of major, minor, trace elements and REE by ICP-AES and ICP-MS and were sent to SGS Co., Toronto. Detection limits for major elements and trace elements are 0.01% and 0.05ppm, respectively.

Result and discussion

The deposit is characterized by various lithology and stratigraphy units, consist of: 1) Middle to - Upper Eocene volcano-sedimentary rocks, 2)

Oligocene lower red conglomerate and sandstone, 3) Oligo-Miocene limestone and marl (Qom Formation), and 4) Eocene and Lower Miocene basic to intermediate dykes. The most abundant minerals of the deposit are braunite, hausmannite, pyrolusite, and manganite. Evidences such as high Mn/Fe (11.33) and Si/Al (4.86) ratios, low contents of trace elements specially Co (11.40 ppm), Ni (24 ppm), Cu (81.85 ppm), and Ce, with high amounts of SiO₂, Mn, Fe, Ba, Zn, As and Sr, all represent hydrothermal processes. It seems that hydrogenous processes have not had significant role on the genesis of the Shahrestanak Mn deposit.

During deposition of Fe and Mn from hydrothermal solution, they separated from each other and produced different Fe/Mn ratios in sedimentary exhalative deposit (SEDEX). The Fe/Mn ratios are 5.7 to 40.35 (ave., 11.33). Very high and very low ratios of Fe/Mn can be interpreted as fractionation and separation of these two elements from transportation during hydrothermal activities and mineralization. So, high Fe/Mn ratios here can be considered as in submarine hydrothermal deposits. Cann et al. (Cann et al., 1977) suggested that Fe/Mn ratios in volcano-sedimentary and hydrothermal deposits are so variable and characteristic. Hydrothermal deposits are in close relationships with ferruginous silica gel which itself formed from submarine hydrothermal outpouring and discharging of metals in marine sediments. So, Si wt. % versus Al wt. % is high in exhalative activities. The average Si/Al ratio is 4.86 in the Shahrestanak deposit which is in the range of hydrothermal deposits (SEDEX). Nicholson

*Corresponding authors Email: mohammad@basu.ac.ir

(Nicholson, 1992) suggested Na versus Mg content diagram for distinction between fresh water, shallow and deep marine environments. Bonatti et al. (Bonatti et al., 1992) introduced Fe-Mn-(Co+Cu+Ni)*10 ternary diagram for distinction between marine sedimentary and hydrothermal Fe-Mn deposit. According to this diagram, hydrothermal oxides depleted in Ni, Cu, Co and zinc relative to sedimentary-marine deposits. Nicholson (Nicholson, 1992) suggested that hydrothermal Mn deposit distinguished with Zn, V, Mo, Cd, Li, Sr, Sb, Pb, Cu, Ba, and As and sedimentary deposit with enrichment in Ni, Cu, Co, Sr, Mg, Ca, Na and K. Hydrogenetic ferromanganese deposit has higher enrichment of Ni, Cu and Co relative to hydrothermal (exhalative) deposit. Low contents of Cu, Co and Ni indicate low input of these elements from hydrothermal activities and derivation of Zn from hydrothermal source. As (Co/Zn)-(Co+Cu+Ni) diagram, the samples from Shahrestanak deposit show close similarities with hydrothermal deposits which in turn show common genesis. Using Pb versus Zn diagram, dubhite (deposits derived from previous mineralized sequence) can be distinguished from other Mn oxide (hydrothermal or supergene) deposits. The dubhite deposits have high Pb/Zn ratios and more than 1 percent Pb and Zn contents. Meanwhile, other types of deposits like shallow marine deposit, hot springs, SEDEX, weathered deposits have lower contents of Pb and Zn. The Shahrestanak deposit has more similarities with SEDEX and shallow marine deposits.

Conclusion

Geological and geochemical evidences show that deposition of ore occurred by submarine

hydrothermal activities in Neotethys oceanic basin during Middle to Upper Eocene in calcareous tuff with intercalation of micrite and calcareous limestone. For the genesis of the deposit, it can be stated that the pillow basalt and andesite lavas were leached by hydrothermal activities and Mn, Fe, Si, Ba, Sr and As entered in sedimentary basin by exhalative – volcanic activities through faults, then by regression of the sea and forming oxidizing condition, primary oxide-hydroxide Mn-minerals are deposited.

Acknowledgement

We gratefully thank the Research and Technology Department of Bu-Ali Sina University for supporting the research.

References

- Bonatti, E., Kraemer, T. and Rdell, H., 1972. 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, pp. 149-166.
- Cann, J.R., Winter, C.K. and Pritchard R.G., 1977. A hydrothermal deposit from the floor of the Gulf of Aden. *Mineralogical Magazine*, 41(318): 193-199.
- Nicholson, K., 1992. Genetic types of manganese oxide deposits in Scotland: Indicators of paleo-ocean-spreading rate and a Devonian geochemical mobility boundary. *Economic Geology* 87(5): 1301-1309.