

بررسی نحوه پیدایش کانسار منگنز صوفیوند (هرسین) با توجه به زمین‌شناسی، زمین‌شیمی و مطالعه میکروسکوپ الکترونی روبشی کانی‌ها

مرضیه یاری^۱، محمد معانی جو^{۲*} و الکس رومانکو^۳

۱- دانشجوی کارشناسی ارشد، گروه زمین‌شناسی، دانشکده علوم پایه، دانشگاه بوعلی‌سینا، همدان، ایران

۲- استاد گروه زمین‌شناسی، دانشکده علوم پایه، دانشگاه بوعلی‌سینا، همدان، ایران

۳- دکترا زمین‌شناسی، انستیتوی زمین‌شناسی، آکادمی علوم روسیه، مسکو

* mohammad@basu.ac.ir

نوع مقاله: پژوهشی

پذیرش: ۱۴۰۳/۳/۷

دریافت: ۱۴۰۲/۱۲/۱۲

چکیده

کانسار منگنز صوفیوند در ۱۵ کیلومتری جنوب‌باختر هرسین و در فاصله ۳ کیلومتری روستای صوفیوند و در زون زاگرس رورانه و افیولیت کرمانشاه قرار دارد. این کانسار به‌صورت لایه‌ای - رگه‌ای (همزاد- غیرهمزاد) همراه با چرت‌های رادیولاریتی در زیرپهنه رادیولاریتی تریاس - ژوراسیک کرمانشاه نهشته شده است. سنگ میزبان اصلی کانسنگ، آهک و رادیولاریت است. براساس مطالعات میکروسکوپی صورت گرفته و نتایج پراش پرتو ایکس (XRD) و آنالیز میکروسکوپ الکترونی (SEM) مهم‌ترین کانی‌های منگنزدار در کانسار منگنز صوفیوند شامل پیرولوسیت، برلونیت، هولاندیت، رومانیکت و منگنوسیت می‌باشند. کوارتز مهم‌ترین کانی باطله این کانسار است. براساس شیمی عناصر اصلی مقادیر Al_2O_3 ، در نمونه‌های کانه‌دار رگه - رگه‌ای از ۰/۲۲ تا ۲/۲۱ درصد وزنی (میانگین ۱/۲۱) و در نمونه‌های لایه‌ای از ۱/۱۴ تا ۲/۴۵ درصد وزنی (میانگین، ۱/۷۹)، و برای MnO در نمونه‌های رگه‌ای از ۳۸/۷۵ تا ۷۱/۷۳ درصد وزنی (میانگین، ۵۵/۲۴) و برای نمونه‌های لایه‌ای از ۴/۸۵ تا ۱۰/۵۴ درصد وزنی (میانگین، ۷/۶۹) متغیر است. نمودارهای عناصر فرعی، همگی بر محتوای پایین کانسنگ از عناصری همچون Ni ، Cu ، Co دلالت دارند که نمایانگر قرارگیری کانسار در محدوده کانسارهای با منشأ گرمایی است. نسبت‌های Co/Ni ، Co/Zn ، La/Ce ، $LREE/HREE$ غنی‌شدگی عناصر $LREE$ نسبت به عناصر $HREE$ و آنومالی منفی Ce نیز بیانگر نقش سیال گرمایی کانه‌دار در این کانسار است. مقدار مثبت Eu در کانسنگ، به‌عنوان شواهدی از تنه‌شست منگنز از سیالات گرمایی - زیردریایی (بروندیمی) در یک محیط دریایی هستند. نسبت‌های Mn/Fe نمونه‌های رگه - رگه‌ای از ۵۷/۸۰ تا ۱۲۹/۸۷ (میانگین، ۹۴) و برای نمونه‌های لایه‌ای از ۳/۳۳ تا ۶/۹۱ (میانگین، ۵) تغییر می‌کند. این موضوع بیانگر تفریق و جدایش نسبتاً شدید آهن و منگنز در فعالیت‌های گرمایی طی حمل و نقل، بوده است. الگوی پراکندگی عناصر برای این کانسار، همخوانی زیادی با الگوی توزیع این عناصر در کانسارهای گرمایی دارد.

واژه‌های کلیدی: منگنز، کانی‌شناسی، زمین‌شیمی، رادیولاریت، کانسار صوفیوند، هرسین

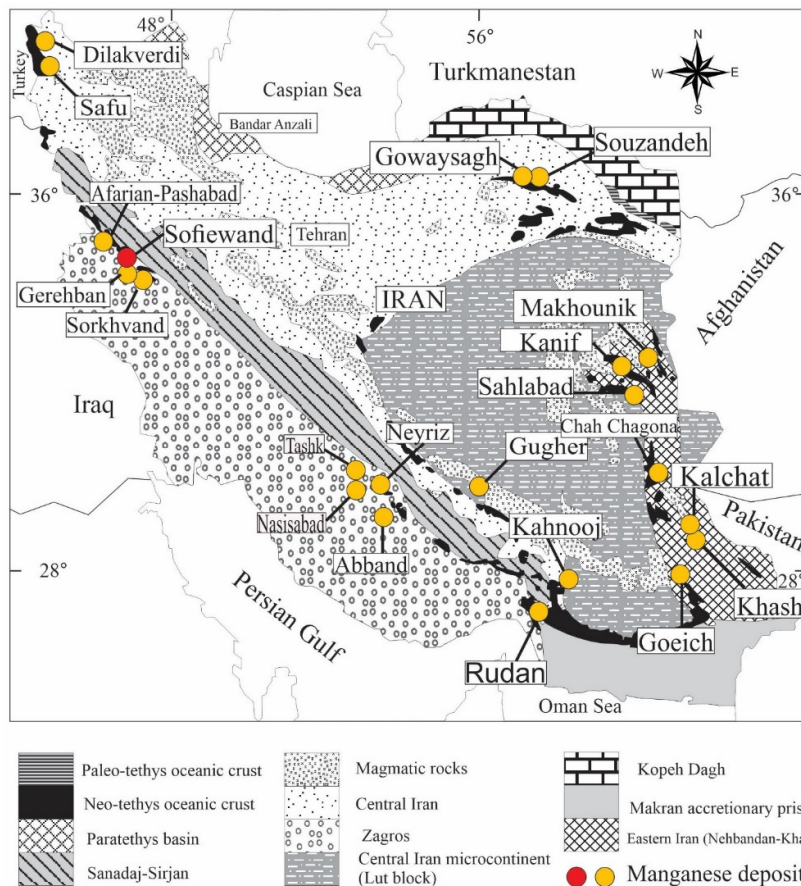
۱- پیشگفتار

شمالی گندوانا تشکیل می‌داده است. سن‌سنجی صورت پذیرفته توسط ایشان برای این زیرپهنه، براساس سن فسیل رادیولرها، نشان‌دهنده سن‌های جوان‌تر است. کانسارهای منگنز ایران به غیر از کانسار منگنز وناچ غالباً کوچک بوده و کیفیت پایینی دارند، همچنین در این کانسارها زایش منگنز مستقل و باهمراه با آهن صورت گرفته است. کانی‌شناسی، ژئوشیمی و تعیین ژنز کانسار منگنز شهرستانک توسط نصیری (۱۳۹۲) انجام شده است و نتیجه گرفته است که این کانسار با کانسارهای نوع سدکس و تنشین شده در محیط‌های دریایی کم‌عمق شباهت زیادی دارد. کانسارهای شناخته شده منگنز در ایران روی هم رفته به ادوار پرکامبرین‌پسین (معانی جو، ۲۰۰۲) و کرتاسه-پالئوژن محدود می‌شوند، گرچه وجود منگنز در سازندهای پالئوژنیک به‌ویژه در رخساره‌های ولکانوژیک را نباید نادیده گرفت.

کانسار منگنز صوفیوند در ۳۰ کیلومتری شهر کرمانشاه و ۱۵ کیلومتری جنوب‌باختر هرسین و ۳ کیلومتری روستای صوفیوند و در طول جغرافیایی $36^{\circ} 06' 15''$ و عرض جغرافیایی $47^{\circ} 16' 08''$ واقع شده است. از لحاظ ساختاری در تقسیم‌بندی پهنه‌بندی‌های ساختاری- رسوبی ایران (آقائباتی، ۱۳۸۳) منطقه مورد مطالعه در بخش زاگرس رورانه و در نزدیکی افیولیت کرمانشاه قرار دارد (شکل ۱). مطالعات زمین‌شیمیایی صورت گرفته توسط آگارد و همکاران (۲۰۱۱) نیز اشاره نموده که بخشی از افیولیت کرمانشاه در نزدیک هرسین آثار یک کمان جزیره‌ای اقیانوسی را نشان می‌دهد. براساس نظر قریب و همکاران (۲۰۱۰) زیرپهنه رادیولاریتی کرمانشاه متعلق به یک کمپلکس بوده که حوضه فروافتاده باریک و ممتد را در بخش

زمین‌شناسی و کانی‌شناسی کانسار منگنز صوفیوند و تعدادی دیگر از کانسارهای در حال استخراج تاکنون مورد مطالعه واقع نشده است و اطلاعات ما از آن‌ها کم است. از این‌رو هدف از این پژوهش آن است که زمین‌شناسی، کانی‌شناسی، ژئوشیمی و ژئکانسار

منگنز صوفیوند در پهنه زاگرس روراند مورد بررسی قرار گیرد تا بتوان درک بیشتری از نحوه کانی‌سازی آن بدست آورد و در اکتشاف سایر کانسارهای منطقه و ایران استفاده نمود.



شکل ۱. نقشه پهنه‌های ساختاری ایران (آقانیاتی، ۱۳۸۳؛ امامی، ۱۹۹۳) و پراکندگی تعدادی از کانسارهای منگنز مرتبط با سنگ‌های افیولیتی در ایران و موقعیت کانسار منگنز صوفیوند (دایره قرمز).

Fig. 1. Structural map of Iran (Aghanabati, 2005; Emami et al., 1993) and distribution of some manganese deposits in ophiolite in Iran and location of the Sofiewand Mn deposit (Red circle).

و لایه‌ای با مدل دستگاه TESCN و با ولتاژ ۱۵ Kv و شدت جریان ۱۷ mA در انستیتوی زمین‌شناسی، آکادمی علوم روسیه انجام شد. علاوه بر این به‌منظور تعیین بعضی از کانی‌ها در کانسنگ، ۳ نمونه از کانسار رگه‌ای و لایه‌ای (که نموداری که در مقاله استفاده شده مربوط به نمونه رگه-رگه‌ای است) با دستگاه XRD (پراش پرتو ایکس) مدل APD2000 با طول موج ۱/۵۴ انگستروم، لامپ مسی در دانشگاه بوعلی‌سینا مورد بررسی قرار گرفت. به‌منظور تعیین میزان عناصر اصلی در سنگ‌های موجود، تجزیه ژئوشیمیایی ۱۴ نمونه به روش

۲- روش پژوهش

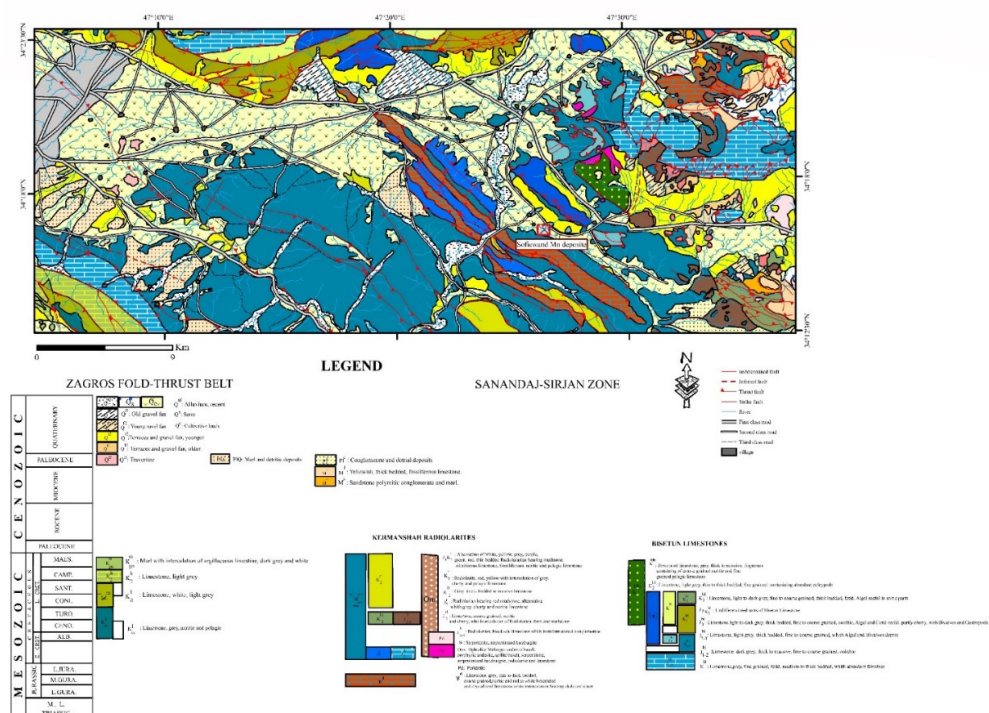
در پژوهش حاضر پس از جمع‌آوری اطلاعات پایه شامل تعیین موقعیت کانسار مورد نظر و تهیه نقشه کارهای انجام شده عبارتند از: الف) مشاهدات و برداشت‌های صحرایی از قبیل بررسی و نمونه‌برداری از تمامی افق‌های کانسار مورد مطالعه و ب) مطالعات آزمایشگاهی که شامل تهیه مقاطع نازک، نازک صیقلی و صیقلی از نمونه‌های کانسنگ و سنگ میزبان می‌باشد که مطالعه این مقاطع با استفاده از میکروسکوپ پلاریزان و انعکاسی (دانشگاه بوعلی‌سینا) انجام شد. به‌منظور شناسایی کانی‌ها و فازهای مختلف به روش SEM مطالعه ۲ نمونه از کانسار رگه‌ای

سنگ‌های رسوبی کمر بند چین‌خورده- تراستی زاگرس محدود شده است (موسوی و همکاران، ۲۰۱۳). سنگ‌های آذرین این کمپلکس شامل پریدوتیت‌های هارزبوریتی و لرزولیتی، گابروهای کوموله‌ای، پگماتوئیدی، میلونیتی، دیوریت و سکانس‌های ولکانیکی شامل طیفی از سنگ‌های ساب‌آلکالی بازالها تا آلکالی بازالها و تراکیت می‌باشند. این سنگ‌ها متعلق به رسوبات کم‌عمق تا عمیق متعلق به تریاس پایانی تا کرتاسه زیرین می‌باشند. سنگ‌های افیولیت کرمانشاه در هر دو محیط جزایر درون اقیانوسی و محیط جزایر کمانی تشکیل شده‌اند (قاسمی و تالبوت، ۲۰۰۶). این افیولیت‌ها بر روی سنگ‌های آهکی بیستون به سن تریاس پیشین-کرتاسه‌پسین در زمان ماستریشین رانده شده‌اند. کانسار منگنز صوفیوند در بخش رورانده و در داخل واحد رادیولاریت کرمانشاه (شکل ۲) با سنگ میزبان آهک و رادیولاریت رخ داده است. رادیولاریت‌های کرمانشاه در باختر ایران با راستای شمال‌باختر- جنوب‌خاور در گستره‌ای با پهنای ۳۵ کیلومتر در حد فاصل بین سازند آهکی بیستون در شمال و نهشته‌های زاگرس برجا در جنوب آن در استان کرمانشاه قرار دارند.

فلوئورسانس اشعه ایکس (XRF) با دستگاه S4 PIONEER-XRF و به منظور تعیین میزان عناصر کمیاب و عناصر نادر خاکی (REE) تجزیه ژئوشیمیایی ۸ نمونه با دستگاه ICP-MS مدل DRCE9000 با روش چهار اسید و آنالیز ۵۶ عنصری در شرکت زراآما تهران اندازه‌گیری شد. در نمونه‌های انتخابی برای آنالیزهای انجام شده مربوط به بخش لایه‌ای و رگه-رگچه‌ای کانسار است.

۳- زمین‌شناسی عمومی منطقه

کمر بند کوهزایی زاگرس از سه پهنه تکنونیک موازی جدا تشکیل شده است که از خاور به باختر شامل مجموعه ماگمایی ارومیه- دختر، پهنه سندانج- سیرجان و زاگرس چین‌خورده- رانده می‌باشد (علوی، ۲۰۰۷ و قاسمی و تالبوت، ۲۰۰۶). روند افیولیت‌های کوهزاد زاگرس شمال‌باختر- جنوب‌باختر است که در ناحیه پراکنده شده‌اند. افیولیت کرمانشاه از سمت شمال‌خاور به پهنه سندانج- سیرجان و از سمت جنوب‌باختر به آهک بیستون (یک سکانس کربناته با ضخامت تقریباً ۳ کیلومتر) و رادیولاریت‌های کرمانشاه با سن تریاس-کرتاسه و



شکل ۲. نقشه زمین‌شناسی ۱:۱۰۰۰۰۰ منطقه کانی‌سازی منگنز بر اساس ورقه‌های زمین‌شناسی هر سین (شهیدی و نظری، ۱۹۹۶) و کرمانشاه (کریمی باوندپور، ۱۹۹۹) و موقعیت کانسار منگنز صوفیوند بر روی نقشه.

Fig. 2. Geological map (1:100000) of the manganese mineralization area on the basis of the Harsin (Shahidi and Nazari, 1996) and Kermanshah (Karimi Bavandpur, 1999) sheets and location of the Sofiewand manganese deposit.

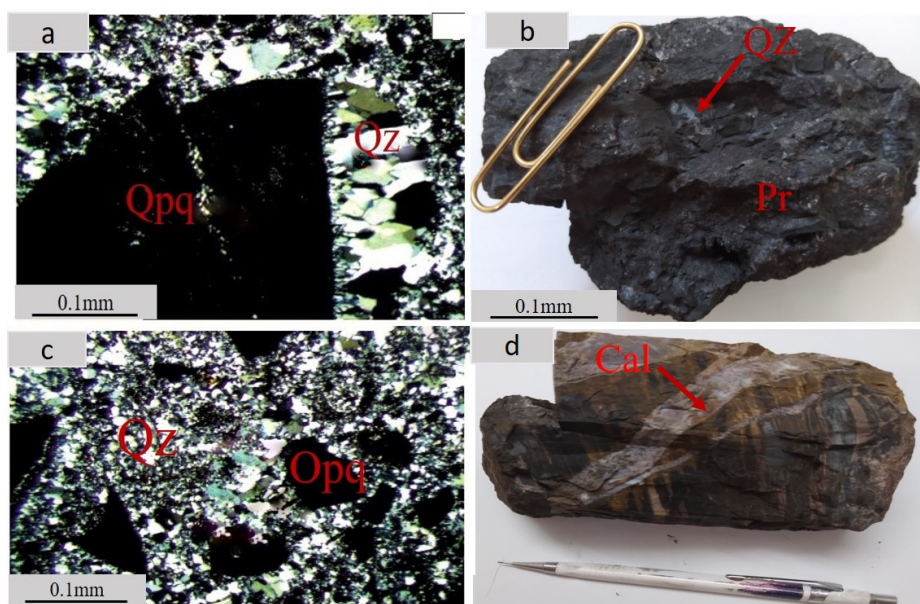
۴- زمین‌شناسی محدوده کانسار

در این منطقه چند کانسار منگنز وجود دارد مانند صوفیوند، سرخوند و گرهبان، که دارای سنگ میزبان رادیولاریتی هستند (شکل ۱). کانسار منگنز صوفیوند در بخش رورانده و در داخل واحد رادیولاریت کرمانشاه با سنگ میزبان آهک و رادیولاریت رخ داده است (شکل ۲). سن این لایه‌ها در تریاس بالایی تا کرتاسه بالایی ارزیابی شده است. لایه‌های منگنزدار منقطع هستند و بر اثر نیروهای تکتونیکی از هم بریده شده و چین خورده‌اند. درجه خلوص منگنز از یک نقطه به نقطه دیگر فرق می‌کند. گاهی نسبتاً خالص ولی غالباً همراه با گانگ (سیلیس، رادیولاریت، چرت) می‌باشند. به نظر می‌رسد که در منطقه هرسین منگنز همزمان با رسوب‌گذاری رادیولاریت و توف‌های اسیدی در یک دریا که در آن شرایط رسوب منگنز فراهم بوده، تشکیل شده باشد.

۵- کانه‌زایی و دگرسانی

در منطقه هرسین منگنز دارای دو منشأ همزاد و غیرهمزاد است. منشأ همزاد یا اولیه همان رسوب منگنز همزمان با

رسوب‌گذاری در دریا بوده که طبقات موازی با چین‌بندی رسوبات دریایی می‌سازد. منگنز غیرهمزاد رگه‌های منگیزی است که شکستگی‌های سنگ‌ها و برش‌های اتوکلاستیک ناشی از تکتونیک و کوهزایی را پر کرده است. دگرسانی که در منطقه معدنی صوفیوند مشاهده شده است شامل دگرسانی‌های سیلیسی و کربناتی است که بصورت رگه-رگچه‌ای و پراکنده وجود دارد (شکل ۳). کانه‌زایی در منطقه مورد مطالعه به صورت رگه-رگچه‌ای، لایه‌ای و نواری همراه با چرت‌های رادیولاریتی زیرپهنه رادیولاریت کرمانشاه رخ داده است (شکل ۴). ساخت لایه‌ای که در آن نوارهای منگنزدار به صورت متقارب با نوارهای سنگ میزبان رادیولاریت و آهک دیده می‌شود (شکل ۴-ب). ضخامت این نوارها در حد میلی‌متر تا حداکثر یک سانتی‌متر می‌باشد. این ساخت مختص کانسارهای رسوبی بوده و نشان‌دهنده کانه‌زایی در یک محیط رسوبی هم‌زمان با رسوب‌گذاری می‌باشد. رگه-رگچه‌ها هم، ضخامت‌هایی در حد میلی‌متر تا چندین سانتی‌متر دارند.



شکل ۳. تصاویری از دگرسانی‌های سیلیسی و کربناتی موجود در کانسار منگنز صوفیوند. (a) تصویر میکروسکوپی (XPL) از کانی باطله کوارتز، به همراه کانه منگنز. (b و c) نمونه دستی از کانسنگ به همراه سیلیسی شدن. (d) نمونه دستی رگه-رگچه کلسیت در کانسنگ منگنز نشان‌دهنده دگرسانی کربناتی است.

Fig. 3. Photographs of silicification and carbonatization in the Sofiewand manganese deposit. a) Photomicrographs of quartz gangue and manganese mineral. b and c) Hand specimen with silicification. d) Hand specimen of Mn ore with calcite vein-veinlet showing carbonatization.



شکل ۴. تصاویری از کانه‌زایی و کانسنگ‌ها در کانسار منگنز صوفیوند. (a, b) کانسنگ منگنز به صورت نوار منگنز به رنگ سیاه با نوار چرت به رنگ روشن مشاهده می‌شود. (c) چرت و کانی‌های منگنز به صورت نواربندی مشاهده می‌شود. (d) منگنز اپی‌ژنتیک شکستگی‌های رادیولاریت را پر کرده است و رگچه‌هایی را بوجود آورده است. (e) نمایی از رادیولاریت و کانسنگ منگنز. (f) نمایی دیگر از کانسنگ منگنز و همچنین سیلیسی شدن که در زمینه عکس مشخص است (دید به سمت شمال خاوری).

Fig. 4. Photographs of mineralization and ores in the Sofievand manganese deposit. a, b) Manganese ore is observed as black bands of manganese minerals with lighter colored chert. c) Chert and manganese minerals are observed as bands. d) Epigenetic manganese minerals have filled the fractures of radiolarite and made veinlets. e) A view of radiolarite and manganese ore. f) Another view of radiolarite and also silicified parts that are visible in the context (to NE).

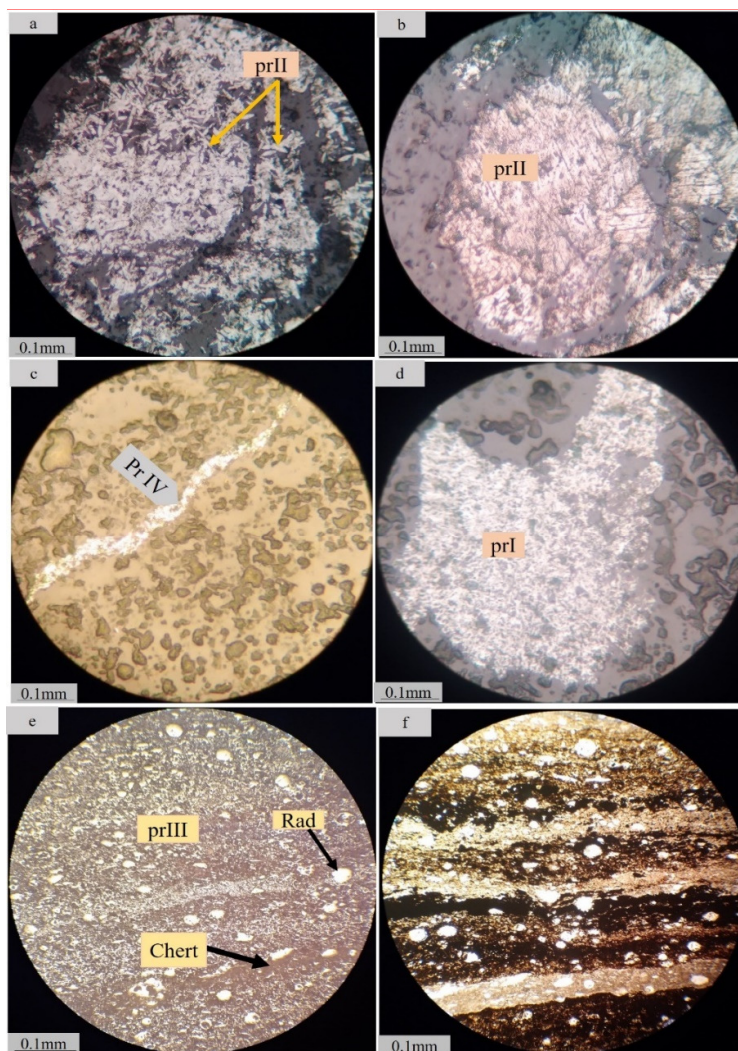
۶- کانی‌شناسی و ساخت و بافت کانسنگ

مطالعه پتروگرافی، SEM و XRD نمونه‌های کانه‌دار در کانسار منگنز صوفیوند نشان می‌دهد که کانه‌زایی در این کانسار عمدتاً شامل پیرولوسیت، براونیت، رومانیکیت، منگانوسیت، باریت و هولاندیت است و کانی‌های باطله اصلی همراه این کانه‌ها شامل کوارتز و به مقدار کمتر کلسیت می‌باشد. پیرولوسیت فراوان‌ترین و مهم‌ترین کانی اکسید منگنز شناسایی شده در کانسار منگنز صوفیوند است و دارای بافت‌های متنوعی مانند سوزنی، توده‌ای، تیغه‌ای، رگچه‌ای، نواربندی و جانشینی نیز می‌باشد (شکل ۵). در مطالعات میکروسکوپی این کانی به رنگ سفید تا کرمی دیده شده‌اند، چندرنگی ضعیف (زرد)، تهرنگ‌های زرد، شدت بازتابش و ناهمسان‌گردی قوی دارند. رومانیکیت دومین کانه مهم منگنز در کانسار صوفیوند می‌باشد. در نمونه‌های دستی این کانی رنگ سیاه آهنی تا خاکستری تیره، با رنگ خاکه قهوه‌ای مایل به سیاه و براق

و جلای نیمه فلزی دارد. در زیر میکروسکپ، شدت بازتابش متوسط، ناهمسان‌گردی و چندرنگی دارد. در کانسار صوفیوند رومانیکیت بافت‌هایی مثل جانشینی و برشی را نشان می‌دهند (شکل ۶-ا). در کانسار صوفیوند براونیت در نمونه دستی به رنگ خاکستری با رنگ خاکه سیاه دیده می‌شود. در مطالعه میکروسکوپی براونیت دارای رنگ خاکستری متمایل به قهوه‌ای و آنیزوتروپی ضعیف قابل و به صورت بی‌شکل مشاهده شد (شکل ۶-ب و c). کانی منگانوسیت در مطالعات میکروسکوپی در نور انعکاسی دارای رنگ خاکستری و انعکاس داخلی سبز بود و علاوه بر مطالعات میکروسکوپی از مطالعات SEM هم کمک گرفته شد و بدین طریق مورد شناسایی قرار گرفت (شکل ۷-ف). کانی هولاندیت به وسیله نتایج حاصل از پراش اشعه ایکس (XRD) (شکل ۸) و مطالعات میکروسکوپی شناسایی گردید (شکل ۶-د، e و f). این کانی دارای بافت برجای مانده و کلوفرمی است. در

نشان‌دهنده آرام شدن محیط تشکیل و همچنین دمای پایین محلول‌های گرمایی است. کانی‌های تشکیل دهنده این بافت بیشتر هولاندیت و رومانکیت هستند که به‌صورت لایه‌های گل‌کلمی متناوب کنار هم قرار گرفته‌اند. اشکال کروی از خصوصیات مهم این بافت است که در نمونه‌های میکروسکوپی بیشتر مشخص می‌شوند.

برخی از نمونه‌های مطالعه شده هولاندیت از حاشیه تبدیل به رومانکیت شده است. که در این کانسار دو نوع هولاندیت شامل هولانیت نسل اول و دوم مشاهده شد. منطقه مورد مطالعه از لحاظ بافت و ترکیب شیمیایی شباهت بسیار بالایی با نمونه‌های مطالعه شده در کانسار ساردینیا در ایتالیا و کانسار منگنز ذاکری، جنوب غرب سبزوار دارد. وجود بافت کلوفرمی در منطقه مورد مطالعه،



شکل ۵. تصاویر میکروسکوپی (تصاویر a تا e در نور بازتابی PPL و تصویر f در نور عبوری پلاریزه متقاطع XPL) از کانی پیرولوسیت در کانسار صوفیوند. (a) با بافت سوزنی. (b) با بافت تیغه‌ای. (c) با بافت رگچه‌ای. (d) بافت توده‌ای. (e) نمایی از لایه‌های متناوب پیرولوسیت (Pr) و چرت به همراه رادیولرهای موجود در آن‌ها (f) نمایی دیگر از لایه‌های متناوب پیرولوسیت (Pr) و چرت.

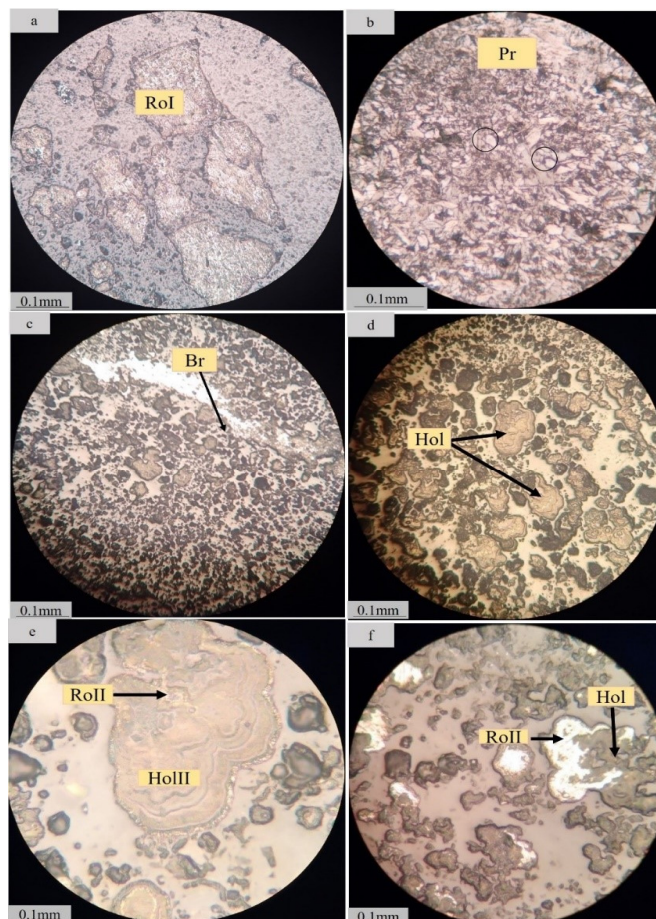
Fig. 5. Photomicrographs of pyrolusite (Pr) a to e in reflected polarized light (PPL) and f in transmitted light (XPL) a) With needle texture. b) With lamellar texture. c) With vein texture. d) Massive texture. e) Alternate layers of pyrolusite (Pr) and chert along with their radiolarians. f) Another view of alternate layers of pyrolusite (Pr) and chert.

کمک گرفته شد که بسیار مؤثر بود. در تصاویر SEM-Backscattered و گراف‌های EDS مربوطه شکل‌های a، b، c، d و e و f بترتیب حضور کانی‌های پیرولوسیت، براونیت، رومانکیت،

در شکل ۷ تصاویر مطالعات SEM-EDS از کانسار ارائه شده است. شناسایی کانی‌های منگنز فقط با استفاده از مطالعات میکروسکپ پلاریزان کار سختی بود و به همین جهت از مطالعات SEM-EDS

همانطور که مشاهده می‌شود به جز باریت، بقیه کانی‌ها ترکیب‌های متفاوت اکسید منگنز هستند.

هولاندیت، باریت و منگنوسیت مشخص گردید. ترکیب شیمیایی کانی‌ها در گراف‌های EDS مربوطه در شکل ۷ قابل مشاهده است.



شکل ۶. تصاویر میکروسکوپی (نور بازتابی) از کانه‌های منگنز در کانسار صوفیوند (PPL). a) کانی رومانکیت (Ro) در کانسار صوفیوند که دارای بافت برشی است. b) کانی براونیت (Br) با بافت سوزنی (دایره مشکی براونیت است) در کنار پیرولوسیت (Pr). c) کانی براونیت به صورت بی‌شکل. d) بافت کلوفرمی که در آن کانی هولاندیت همراه با رومانکیت به شکل کلوفرم‌های زیبا تشکیل شده است. e) بافت کلوفرمی کانی هولاندیت. f) جانشین شدن هولاندیت (Hol) توسط رومانکیت (Ro).

Fig. 6. Reflected photomicrographs of the manganese ore minerals in the ore of the Sofiewand deposit (PPL). a) Romanschite (Ro) in the Sofiewand deposit, which has a shear texture. b) Braunite (Br) with acicular texture (black circle) next to pyrolusite (Pr). c) Amorphous braunite. d) Colloform texture in which hollandite is formed along with romanechite in the form of beautiful colloforms. e) Colloform texture of hollandite. f) Replacement of hollandite (Hol) by romanechite (Ro).

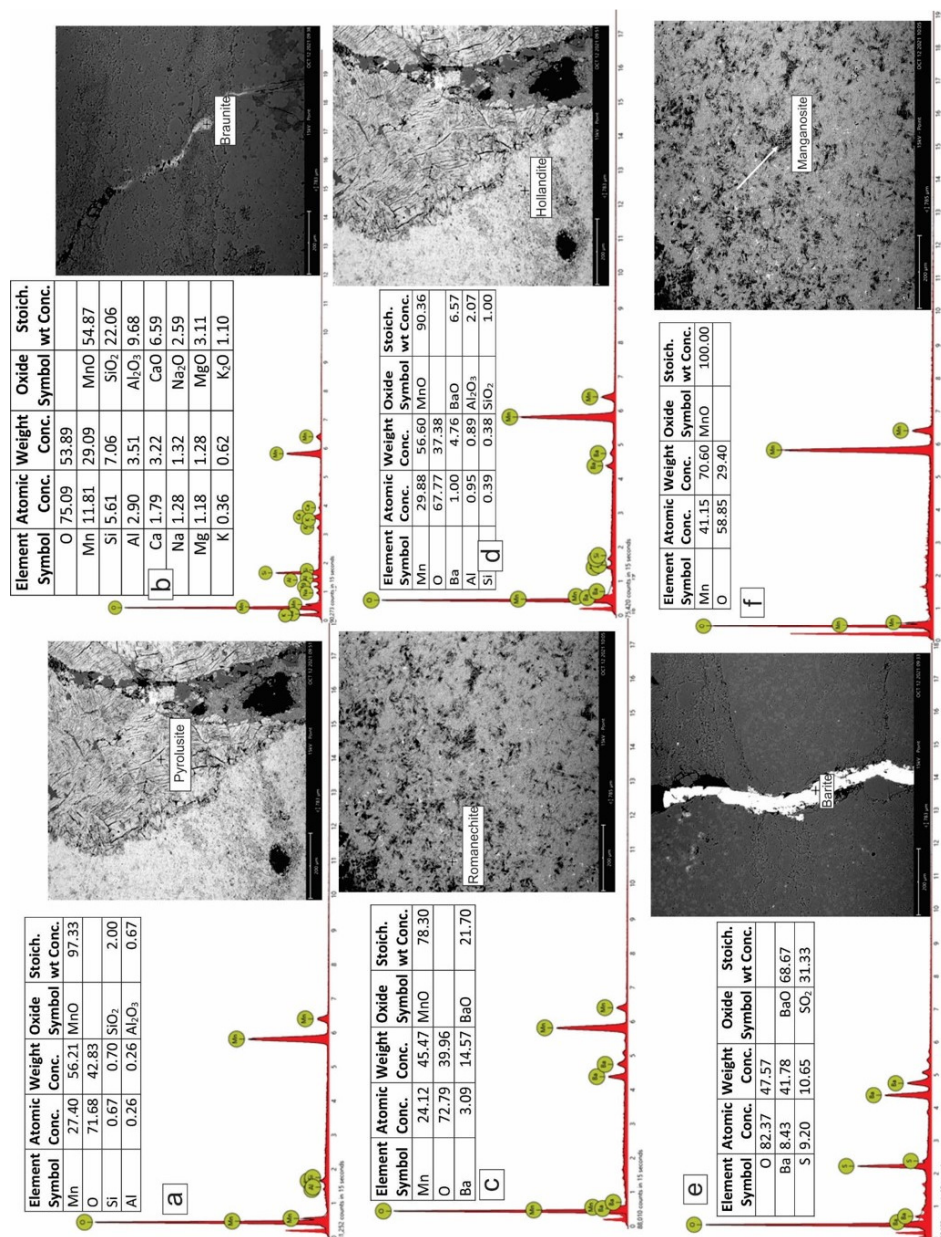
مربوط به فرایندهای دیاژنز و مرحله سوم مربوط به هوازگی (برون‌زاد) می‌شود (جدول ۱). در خصوص مراحل کانی‌سازی می‌بایست گفت (۱) در مرحله ته‌نشست اولیه سیالات گرمایی زیر دریایی، اجزای معدنی را وارد حوضه کرده‌اند. در این مرحله نسل اول کانی‌های اکسیدی منگنز مثل پیرولوسیت، رومانکیت، هولاندیت به ترتیب خاصی ته‌نشین شده‌اند. ته‌نشست مواد معدنی در این مرحله بیشتر به صورت بافت لایه‌ای-نواری، توده‌ای و کلوفرمی بوده است. (۲) سپس با ادامه فعالیت سیالات گرمایی، نسل دوم کانی‌های منگنز مثل پیرولوسیت، رومانکیت، براونیت

۷- توالی پاراژنتیک کانی‌ها

توالی پاراژنتی یک کانسار، ترتیب تشکیل کانی‌ها است به گونه‌ای که تقدم و تأخر زمانی پیشامدهایی را که اتفاق افتاده و کانسار یا منطقه را تحت تأثیر قرار داده است، ارائه می‌دهد. توالی پاراژنتی در هر کانسار بر اساس مشاهدات صحرایی، مطالعات بافتی و کانی‌شناسی به صورت یک نمودار خطی ارائه می‌شود. در کانسار منگنز صوفیوند توالی پاراژنتی بر اساس ساخت و بافت کانی‌ها صورت گرفت. این توالی سه مرحله عمده را شامل می‌شود که مرحله اول مربوط به ته‌نشست اولیه و مرحله دوم

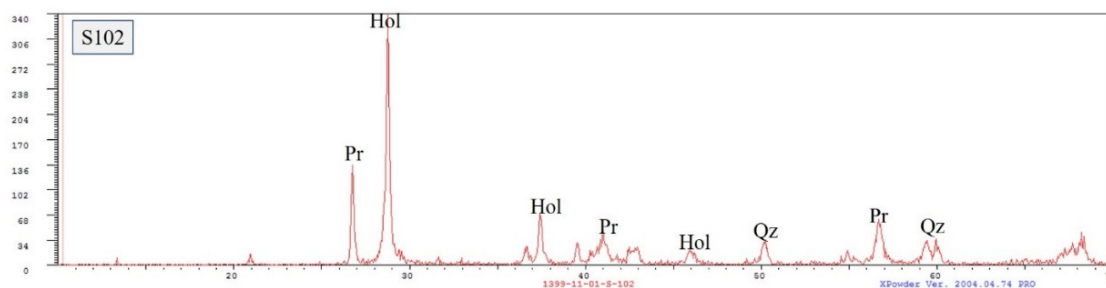
هوازگی و برون‌زاد قرار گرفته‌اند. در این مرحله کانی‌های ثانویه‌ای مثل پیرولوسیت، هولاندیت، منگنوسیت و رومانکیت را بوجود آورده‌اند. هولاندیت بصورت نسل ۲ با بافت جانشینی بوجود آمده است. بافت موجود در این مرحله بیشتر جانشینی و رگچه‌ای است. دگرسانی‌های موجود در کانسار صوفیوند بیشتر شامل سیلیسی‌شدن و کربناتی‌شدن است.

و کانی باریت ته‌نشست شده و یا از کانی‌های منگنز نسل اول در اثر فرایند دیازنز به وجود آمده‌اند. فرایند دیازنز باعث از دست دادن آب در کانی‌های آب‌دار منگنز مثل رومانکیت و هولاندیت شده و کانی‌های بی‌آب مثل پیرولوسیت را تشکیل داده است. بافت‌های این مرحله بیشتر، رگه-رگچه‌ای، برشی و توده‌ای می‌باشد. (۳) نهایتاً بعد از بالاآمدگی منطقه در مرحله پایانی، مجموعه کانی‌های معدنی و سنگ میزبان تحت تأثیر فرایندهای



شکل ۷. تصاویر SEM-Backscattered از کانه‌های منگنز به همراه گراف‌های EDS مربوطه در کانسار صوفیوند (a) کانی پیرولوسیت، (b) کانی براونیت، (c) کانی رومانکیت، (d) کانی هولاندیت، (e) باریت، و (f) منگنوسیت.

Fig.7. SEM-Backscattered images of the minerals along with related EDS graphs in the ore of the Sofiewand deposit. a) Pyrolusite mineral. b) Braunitz. c) Romanechite. d) Hollandite. e) Barite. and f) Manganosite.



شکل ۸. نمودار XRD بر روی نمونه‌های کانسنگ کانسار صوفیوند. نمونه S102: کانی کوآرتز (Qz)، پیرولوسیت (Pr)، هولاندیت (Hol).

Fig. 9. XRD chart on ore samples of the Sofiewand deposit. Sample: S102 quartz mineral (Qz), pyrolusite (Pr), hollandite (Hol)

جدول ۱. مراحل تشکیل و توالی پاراژنتیک کانه‌ها، کانی‌ها و ساخت و بافت مربوط به آن در کانسار منگنز صوفیوند.

Table1. Formation stages and paragenetic sequence of ores, minerals and related structure and texture in Sofiewand manganese deposit.

Mineral		Early stage	Second stage	Supergene stage
Minerals	Quartz			
	Calcite			
	Pyrolusite I			
	Pyrolusite II			
	Pyrolusite III			
	Pyrolusite IV			
	Romanchite I			
	Romanchite II			
	Hollandite I			
	Hollandite II			
	Manganosite			
	Braunite			
	Barite			
Alterations	Silicification			
	Carbonate			
	Layer-band			
Textures	Brecciated			
	Replacement			
	Blade			
	Massive			
	Colloform			
	Vein- veinlets			

ذخایر منگنز به کار برده می‌شوند (کاراکوس و همکاران، ۲۰۱۰).

نسبت Mn/Fe : بسیاری از پژوهشگران از نسبت Mn/Fe که به نوعی نشان‌دهنده میزان تفریق و جدایش آهن از منگنز است، به عنوان عامل کلیدی در تعیین منشأ ذخایر منگنز استفاده می‌کنند. این نسبت در نمونه‌های کانسار صوفیوند به طور میانگین ۴۵ است. نسبت‌های Mn/Fe نمونه‌های رگه-رگچه‌ای از ۵۷/۸۰ تا ۱۲۹/۸۷ درصد وزنی (میانگین، ۹۴) و برای نمونه‌های لایه‌ای از ۳/۳۳ تا ۱/۹۱ ۶ درصد وزنی (میانگین، ۶) تغییر می‌کند. به عنوان مثال این نسبت برای ذخایر منگنز شکل گرفته در محیط‌های

۸- زمین‌شیمی

۸-۱- زمین‌شیمی عناصر اصلی

معیارهای زمین‌شیمی برای تشخیص کانسارهای منگنز با منشأهای گوناگون به خوبی پذیرفته شده‌اند؛ به طوری که نسبت‌های اکسیدهای اصلی به طور گسترده‌ای برای ارزیابی منشأ کانسارهای منگنز استفاده شده‌اند (شاه و خان، ۱۹۹۹؛ پلگاری و همکاران، ۲۰۱۲). مقادیر عناصر اصلی نمونه‌های رگه-رگچه‌ای و نواری کانسار صوفیوند که با روش XRF اندازه‌گیری شده است در جدول ۲ آورده شده است. از این میان اکسیدهای اصلی، MnO ، SiO_2 ، TiO_2 ، Al_2O_3 ، Fe_2O_3 به طور گسترده برای تعیین منشأ

گرمابی، آزاد-تخریبی و تخریبی- دیاژنتیکی تقسیم می‌شود (شکل ۹). نسبت پایین Si/Al معرف کانسارهایی با منشأ تخریبی- دیاژنتیکی می‌باشد و نسبت بالای آن معرف کانسارهای با منشأ گرمابی است و قسمت مابین این دو نسبت معرف کانسارهای با منشأ آزاد- تخریبی می‌باشند. در کانسارهای با منشأ تخریبی، Al نسبت به Si از درصد بالاتری برخوردار می‌باشد. این امر به دلیل تخریب و تجزیه فلدسپات‌ها طی فرایند حمل و نقل از خشکی به حوضه رسوبی می‌باشد (معانی‌جو و همکاران، ۲۰۱۵). نسبت Si/Al در ندول‌های فرومگنز کف دریا و رسوبات دریایی برابر سه می‌باشد و برای نهشته‌های فلزدار مراکز گسترش میان اقیانوسی این نسبت بیشتر از نهشته‌های آزاد می‌باشد. در کانسار مگنز صوفیوند میانگین Si/Al در کانسنگ نواری و رگه-رگچه‌ای بترتیب ۴۴ و ۸۲ می‌باشد، که هر دو در محدوده کانسارهای با منشأ گرمابی قرار می‌گیرند (شکل ۹).

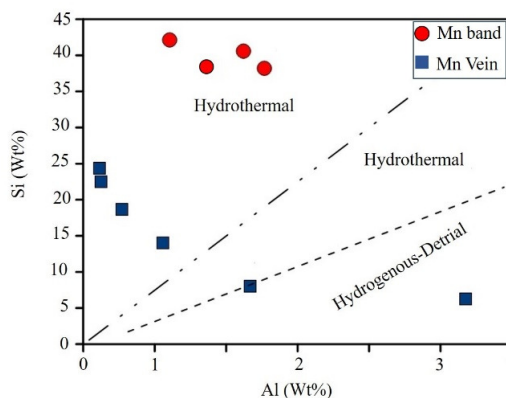
دریاچه‌ای کمتر از ۱ است. ذخایر آزاد دارای نسبتی برابر ۱ هستند و در ذخایر نوع سدکس، تغییرات نسبت مگنز به آهن از بیشتر از ۰/۱ تا کمتر از ۱۰ متغیر است (نیکلسون و همکاران، ۱۹۹۷). ذخایر گرمابی همراه با فرایندهای آزاد معمولاً نشان‌دهنده نسبت‌های بالای مگنز به آهن و یا آهن به مگنز هستند (جک و دودک، ۲۰۰۵). در واقع نسبت بالای Mn/Fe نشان‌دهنده خروج سیال در دمای کم و میزان فوران اندک است. نسبت‌های بسیار بالای Mn/Fe و مقادیر بسیار پایین این نسبت نشانگر تفکیک و جدایش این دو عنصر طی حمل و نقل در فعالیت‌های گرمابی و کانه‌زایی در محیط‌های رسوبی می‌باشد (گلاسبی، ۱۹۸۸). مقدار این نسبت در کانسار صوفیوند بیانگر منشأ گرمابی است.

نسبت Si/Al: طبق نظر (چوی و هاریا، ۱۹۹۲) از نمودار جهت تشخیص منشأ کانسارها استفاده می‌شود. با توجه به نسبت‌های مختلف Si/Al، این نمودار به سه بخش

جدول ۲. نتایج آنالیز شیمیایی عناصر اصلی نمونه‌های کانسار مگنز صوفیوند به روش XRF (مقادیر بر حسب درصد).

Table 2. The results of the chemical analysis of the main elements of Sofiewand manganese deposit samples by XRF method (values in percentage).

Sample	S110	S119	S140	S105	S144	S118	S127	S103	S134	S114	S136	S137	S150	S120
Type	Lime stone	Radio larite	Mn vein	Mn vein	Mn band	Mn vein	Mn vein	Mn band	Mn band	Mn vein	Mn vein	Mn band	Lime stone	Radio larite
SiO ₂	1.42	84.96	13.38	39.82	81.13	29.96	52.12	81.82	90.15	48.01	17.10	86.83	8.07	81.50
TiO ₂	0.03	0.22	0.22	0.05	0.08	0.14	0.02	0.12	0.06	0.05	0.26	0.11	0.02	0.29
Al ₂ O ₃	0.36	5.06	2.06	0.51	1.73	1.05	0.22	2.45	1.14	0.24	2.21	2.12	0.26	4.82
Fe ₂ O ₃	0.12	1.35	0.55	0.81	1.53	0.85	0.67	1.61	1.06	0.66	1.13	1.46	0.16	2.54
MnO	<0.01	0.04	71.73	49.98	10.54	56.71	38.75	8.25	5.03	42.29	65.63	4.85	0.19	0.12
MgO	0.92	1.48	0.55	0.21	0.73	0.31	0.08	1.22	0.27	0.10	0.99	0.55	0.70	1.82
CaO	54.78	1.59	0.62	0.47	0.44	0.45	0.37	0.41	0.18	0.59	0.50	0.55	50.39	2.61
Na ₂ O	0.04	0.08	<0.01	<0.01	0.03	<0.01	<0.01	0.05	<0.01	<0.01	<0.01	0.07	<0.01	0.05
K ₂ O	<0.01	1.00	0.44	<0.01	0.26	0.20	<0.01	0.45	0.16	<0.01	0.63	0.44	<0.01	0.48
P ₂ O ₅	<0.01	0.10	0.24	0.10	0.14	0.14	0.08	0.03	<0.01	0.11	0.20	0.04	<0.01	0.15
LOI	42.32	4.12	10.21	8.03	3.49	10.2	7.67	3.58	1.93	7.93	11.33	2.99	40.1	5.27
Total	99.99	100.00	100.00	99.98	100.00	100.00	99.97	100.00	99.98	99.98	99.98	100.00	100	100
Mn: Fe	0.83	0.03	129.87	61.75	6.91	66.91	57.80	5.11	4.74	63.97	58.33	3.33	0.07	0.04



شکل ۹. نمودار Si در مقابل Al (چوی و هاریا، ۱۹۹۲) و موقعیت نمونه‌های مربوط به کانسارهای مگنز صوفیوند.

Fig. 9. The Si versus Al diagram (Choi and Hariya, 1992) and location of samples of the Sofiewand Mn deposit.

مون، ۲۰۰۷). لذا از این عنصر می‌توان به عنوان شاخصی از فعالیت‌های گرمایی در محل پشته‌های میان اقیانوسی استفاده کرد. شکل ۱۱ نشان‌دهنده نمودار $\text{Fe}_2\text{O}_3/\text{TiO}_2$ در مقابل $\text{Al}_2\text{O}_3/(\text{Al}_2\text{O}_3 + \text{Fe}_2\text{O}_3)$ است (موری، ۱۹۹۴). در این شکل، محیط رسوبی پشته‌های میان‌اقیانوسی با نسبت‌های بالای $\text{Fe}_2\text{O}_3/\text{TiO}_2$ مشخص می‌شود. در مقابل محیط‌های حاشیه قاره‌ای با نسبت‌های بالای $\text{Al}_2\text{O}_3/(\text{Al}_2\text{O}_3 + \text{Fe}_2\text{O}_3)$ مشخص شده‌اند. در شکل ۱۱ تعدادی از نمونه‌های کانه‌دار نواری در محدوده محیط پلاژیک قرار می‌گیرند که دارای خصوصیات زمین‌شیمیایی مشابه با محیط‌های قاره‌ای می‌باشند و یکی از نمونه‌ها در محدوده پشته‌های میان اقیانوسی افتاده برای نمونه رگه-رگچه‌ای است و قرارگیری نمونه در این محدوده منعکس‌کننده سرشت گرمایی نمونه می‌باشد و تعدادی دیگر نیز در محدوده محیط حاشیه قاره‌ای قرار می‌گیرند. تأثیر ورود مواد آواری باعث ظهور خصوصیات زمین‌شیمیایی شبیه به محیط قاره‌ای (تأثیر از ورود مواد آواری) شده و همین عامل باعث قرارگرفتن نمونه‌ها از محدوده گرمایی به محدوده‌ی پلاژیک و حاشیه قاره‌ای شده است.

۸-۲- زمین‌شیمی عناصر فرعی

علاوه بر عناصر اصلی، تمرکز عناصر فرعی نیز به طور گسترده برای تفکیک فرایندهای تشکیل دهنده ذخایر منگنز مورد استفاده قرار می‌گیرند (کرار و همکاران، ۱۹۸۲؛ شاه و خان، ۱۹۹۹). تمرکز عناصر فرعی و کمیاب برای نمونه‌های کانسنگ کانسار صوفیوند در جدول ۳ نمایش داده شده است.

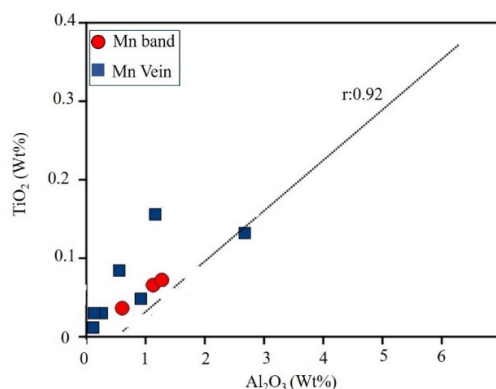
نمودار $(\text{Co}+\text{Ni})-(\text{As}+\text{Cu}+\text{Mo}+\text{Pb}+\text{V}+\text{Zn})$: استفاده از ژئوشیمی ابتدا توسط (هیوت و همکاران، ۱۹۶۳) برای تفکیک کانه‌زایی گرمایی ذخایر منگنز مورد توجه قرار گرفته است. این محققین خاطر نشان نموده‌اند که کانسارهای گرمایی منگنز از عناصر W, Ti, Sr, Sb, Ba, Ge, B, As و Pb غنی‌شدگی نشان می‌دهند. همچنین غنی‌شدگی حداقل بعضی از این عناصر به همراه Li, Zn, V, Mo و Cd در کانسارهای اکسیدی منگنز ناشی از سیالات گرمایی یادآوری نموده‌اند (باستروم و همکاران، ۱۹۶۹). از طرف دیگر مشخص شده است که کانسارهای گرمایی منگنز نسبت به کانسارهای هیدروژن مقدار کمتری

TiO_2 و Al_2O_3 : علاوه بر استفاده از نسبت منگنز به آهن برای مشخص نمودن محیط اولیه تشکیل منگنز، از سایر اکسیدهای عناصر مانند Al_2O_3 , TiO_2 و SiO_2 که در آب دریا نامحلول هستند (ماینارد، ۲۰۱۰). برای تعیین نقش ورود مواد آواری در تشکیل ذخایر منگنز استفاده می‌شود (زرآسوندی و همکاران، ۲۰۱۲؛ ماینارد، ۲۰۱۰؛ شاه و خان، ۱۹۹۹). حضور Al_2O_3 به ورود مواد آواری به درون حوضه رسوبی نسبت داده می‌شود (ماینارد، ۲۰۱۰). علاوه بر این TiO_2 در محلول‌های گرمایی بی‌تحرك است و بنابراین به عنوان شاخصی برای اندازه‌گیری مواد آواری مخلوط‌شده با نهشته به کار می‌رود (سوگیساک، ۱۹۸۴) مقادیر Al_2O_3 در نمونه‌های کانه‌دار رگه-رگچه‌ای از ۰/۲۲ تا ۲/۲۱ (میانگین، ۱/۲۱) و در نمونه‌های لایه‌ای از ۱/۱۴ تا ۲/۴۵ (میانگین، ۱/۷۹) درصد وزنی برای کانسار صوفیوند متغیر است. این مقدار برای TiO_2 رگه-رگچه‌ای نیز از ۰/۰۲ تا ۰/۲۶ (میانگین، ۰/۱۴) و در نمونه‌های لایه‌ای از ۰/۰۶ تا ۰/۱۲ (میانگین، ۰/۴۲) درصد وزنی متغیر است. همان‌طور که مشاهده می‌شود نمونه‌های بررسی شده درصد پایینی از هر دو اکسید را نشان می‌دهند. به نظر می‌رسد غلظت‌های Al_2O_3 در نمونه‌های کانه‌دار کانسار منگنز صوفیوند مربوط به ورود مواد آواری (تخریبی) به درون حوضه رسوبی، تجزیه و تخریب فلدسپارهای طی حمل و نقل از خشکی به حوضه رسوبی و یا ممکن است از سنگ‌های میزبانی ناشی شده باشد که کانسنگ را همراهی می‌کنند. مقادیر پایین TiO_2 بیانگر ورود بسیار کم و محدود مواد آواری در طول کانه‌زایی است. علاوه بر این همبستگی قوی میان غلظت‌های Al_2O_3 و TiO_2 وجود دارد (شکل ۱۰) که نشان‌دهنده ورود این مواد از منشأ یکسان به محیط رسوبی کانسار منگنز مورد بررسی می‌باشد (شاه و خان، ۱۹۹۹).

نمودار $\text{Fe}_2\text{O}_3:\text{TiO}_2 / \text{Al}_2\text{O}_3:(\text{Al}_2\text{O}_3+\text{Fe}_2\text{O}_3)$: یکی از موارد استفاده از اکسیدهای اصلی تعیین محیط رسوبی کانه‌زایی می‌باشد. در این روش از نمودارهای زمین‌شیمیایی استفاده می‌گردد. با توجه به موارد مطرح شده در زمین‌شیمیایی اکسیدهای Ti_2O_3 , SiO_2 , MnO ، Fe_2O_3 و Al_2O_3 می‌توان به وجود محیطی متأثر از ورود مواد آواری از جنس مافیک در منطقه مورد مطالعه پی برد. از میان اکسیدهای اصلی Fe_2O_3 در رسوبات فلزدار نزدیک به منشأ پشته‌های میان اقیانوسی غنی‌شدگی دارد (شاه و

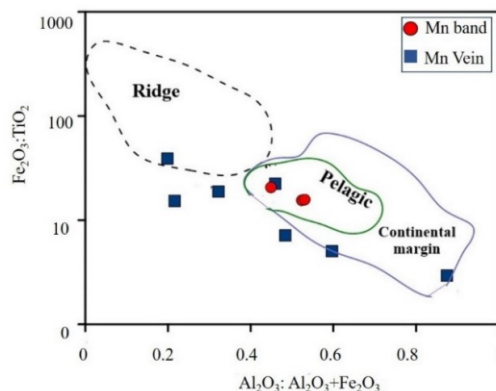
و Sr غنی‌شدگی نشان می‌دهند و از عناصر Co و Ni تهی شده‌اند و در محدوده کانسارهای گرمایی قرار می‌گیرند.

Cu, Ni, Co و Zn دارند (نیکلسون، ۱۹۹۲). نمونه‌های نواری و رگه-رگچه‌ای مربوط به کانسار منگنز صوفیوند با توجه به نمودار (شکل ۱۲) در عناصر As, Ba, Cu, Pb, Zn



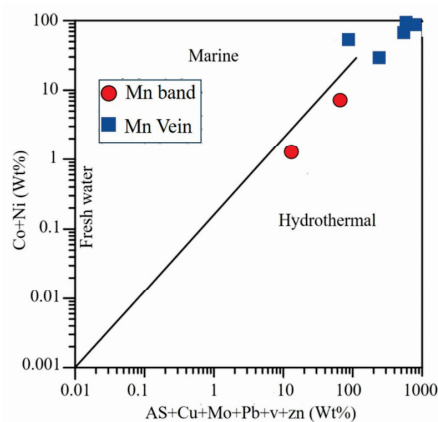
شکل ۱۰. همبستگی قوی میان Al_2O_3 و TiO_2 در نمونه‌های کانه‌دار کانسار صوفیوند.

Fig. 10. Strong correlation between Al_2O_3 and TiO_2 in ore samples of the Sofiewand deposit.



شکل ۱۱. نمودار $\text{Fe}_2\text{O}_3:\text{TiO}_2$ در مقابل $\text{Al}_2\text{O}_3:(\text{Al}_2\text{O}_3 + \text{Fe}_2\text{O}_3)$ (موری، ۱۹۹۴) و موقعیت نمونه‌های کانه‌دار مربوط به کانسار منگنز صوفیوند و محیط رسوبی کانه‌زایی آن‌ها.

Fig. 11. Diagram of $\text{Fe}_2\text{O}_3:\text{TiO}_2$ vs $\text{Al}_2\text{O}_3:(\text{Al}_2\text{O}_3 + \text{Fe}_2\text{O}_3)$ (Murray, 1994) and the location of ore samples in the Sofiewand Mn deposit and their mineralization sedimentary environment.



شکل ۱۲. نمودار دوتایی $(\text{Co}+\text{Ni})-(\text{As}+\text{Cu}+\text{Mo}+\text{Pb}+\text{V}+\text{Zn})$ و تفکیک نهشته‌های گرمایی منگنز (نیکلسون، ۱۹۹۲). نمونه‌های کانسار صوفیوند در محدوده گرمایی قرار گرفته است.

Fig. 12. Binary diagram $(\text{As}+\text{Cu}+\text{Mo}+\text{Pb}+\text{V}+\text{Zn})-(\text{Co}+\text{Ni})$ and segregation of manganese hydrothermal deposits (Nicholson, 1992). The samples of the Sofiewand deposit are located in the hydrothermal area.

جدول ۳. میزان عناصر فرعی و کمیاب حاصل از نتایج تجزیه شیمیایی نمونه‌های کانسنگ کانسار صوفیوند به روش ICP-MS (داده‌ها بر حسب ppm).

Table3. The amount of minor and rare elements obtained from the results of chemical analysis of ore samples (of the data in ppm) Sofiewand deposit by ICP-MS.

Sample Type	S103 Mn band	S105 Mn band	S118 Mn vein	S127 Mn vein	S134 Mn band	S136 Mn vein	S140 Mn vein
La	4	2	4	3	2	4	3
Li	17	<1	<1	<1	7	<1	<1
Lu	<0.1	0.28	0.27	0.34	<0.1	0.28	0.43
Mo	5	43	30	66	6	37	42
Nd	0.7	<0.5	1.9	<0.5	<0.5	0.5	<0.5
Nb	1	<1	<1	<1	<1	<1	<1
Ni	6	59	53	62	6	72	78
Pb	<1	<1	<1	<1	4	2	2
Pr	0.23	<0.05	48	<0.05	<0.05	<0.05	<0.05
Rb	8	<1	<1	<1	<1	<1	<1
S	<50	1871	1655	1111	1252	944	1799
Sb	<0.5	7.2	12.5	12.5	1.5	4.5	22.2
Se	<0.5	<0.5	<0.5	<0.5	<0.5	<0.5	<0.5
Sc	1.9	0.8	1.4	0.7	1.2	1.1	1.2
Sm	203	483	311	3.45	3.36	3.91	3.17
Sn	0.3	<0.1	0.1	0.1	0.1	0.2	0.2
Sr	127	217	187	188	99.4	56.5	106
Cd	<0.1	1.3	1.3	1.3	0.1	1.6	1.7
Ce	4	<0.1	<0.1	<0.1	<0.1	<0.1	1
Co	57.8	22.7	24.8	25.8	7	43.3	48.9
Cr	16	32	39	35	12	41	39
Cs	1	<0.5	<0.5	<0.5	0.6	<0.5	<0.5
Cu	88	469	566	965	28	1405	579
Dy	0.18	0.56	0.83	0.69	<0.02	0.71	0.86
Er	0.15	0.83	0.84	0.97	<0.05	0.89	1.28
Eu	1.7	3.62	2.42	2.87	3.01	3.16	6.41
Gd	0.53	0.45	0.78	0.48	0.25	0.66	0.6
Hf	0.82	0.59	0.56	0.57	0.61	0.6	0.56
In	<0.5	<0.5	<0.5	<0.5	<0.5	<0.5	<0.5
Ta	0.24	0.24	0.21	0.24	0.21	0.24	0.22
Tb	<0.1	<0.1	<0.1	<0.1	<0.1	1	<0.1
Te	<0.1	<0.1	<0.1	<0.1	<0.1	0.62	<0.1
Th	0.62	<0.1	<0.1	<0.1	0.1	<0.1	<0.1
Ti	335	<10	43	<10	78	<10	<10
Tl	0.14	<0.1	0.14	<0.1	<0.1	<0.1	<0.1
Tm	<0.1	0.23	0.21	0.29	<0.1	0.22	0.32
U	0.7	2.4	2.5	3	0.5	2.2	2.5
V	16	70	102	152	28	49	35
W	3.6	47	59.9	112	7.5	29.1	93.6
Yb	<0.05	1.3	1.3	1.6	<0.05	1.3	1.9
Y	2.2	6	5.8	5.9	2.5	6.9	8.3
Zn	6	23	31	27	5	38	51
Zr	12	<5	<5	<5	6	<5	<5

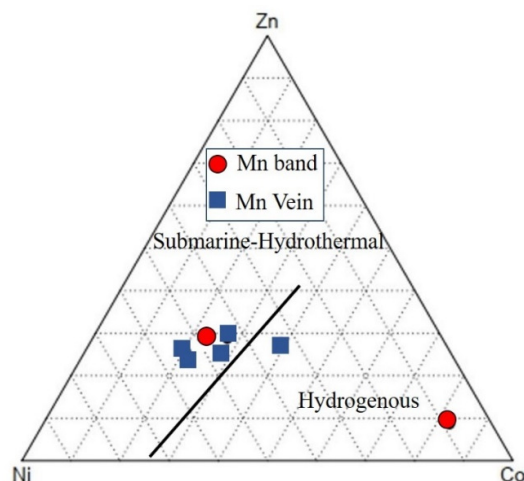
نمودار Co-Ni-Zn: (چوئی و هاریا، ۱۹۹۲) کانسارهای آیزاد منگنز را از کانسارهای گرمابی زیر دریایی، با بررسی کردن روابط بین عناصر Co و Zn، Ni در یک نمودار سه‌تایی مشخص و متمایز کردند. این نمودار نشان می‌دهد که اکسیدهای گرمابی در عناصر Co، Ni، نسبت به کانسارهای رسوبی دریایی تهی شده‌اند. غلظت‌های پایین Co(2-7.5 ppm)، Ni(22-900 ppm)، Zn(18-1070 ppm)، Cu(8-450 ppm) مشخصه کانسارهای گرمابی زیردریایی می‌باشند. در کانسار منگنز صوفیوند غلظت‌های عناصر در بخش نواری Zn (6-59 ppm)، Ni (23-58) Co،

نمودار Co-Ni-Zn: (چوئی و هاریا، ۱۹۹۲) کانسارهای آیزاد منگنز را از کانسارهای گرمابی زیر دریایی، با بررسی کردن روابط بین عناصر Co و Zn، Ni در یک نمودار سه‌تایی مشخص و متمایز کردند. این نمودار نشان می‌دهد که اکسیدهای گرمابی در عناصر Co، Ni، نسبت به کانسارهای رسوبی دریایی تهی شده‌اند. غلظت‌های پایین Co(2-7.5 ppm)، Ni(22-900 ppm)، Zn(18-1070 ppm)، Cu(8-450 ppm) مشخصه کانسارهای گرمابی زیردریایی می‌باشند. در کانسار منگنز صوفیوند غلظت‌های عناصر در بخش نواری Zn (6-59 ppm)، Ni (23-58) Co،

نمودار $10 * Fe-Mn-(Ni+Co+Cu)$: یکی از معیارهای تشخیصی در این نمودار غلظت مس، کبالت و نیکل می‌باشد. مقدار این عناصر در نهشته‌های تیپ آیزاد نسبت به نهشته‌های گرمابی بیشتر است. این به دلیل رشد کند و در نتیجه، حضور طولانی‌تر در آب دریا و تأثیر فرایندهای

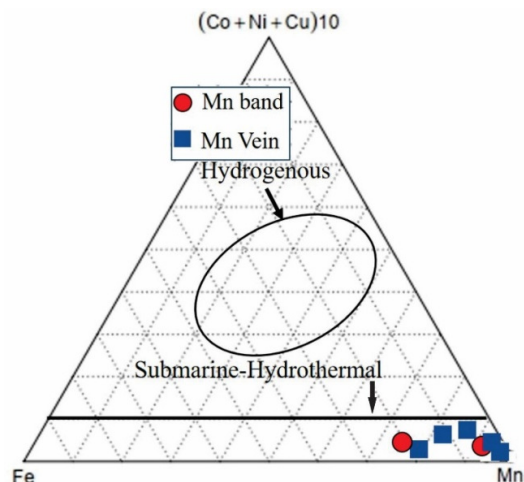
نمونه‌های بخش‌های رگه‌ای و نواری کانسار صوفیوند در محدوده کانسارهای گرمابی قرار می‌گیرد که در عناصر فوق‌الذکر غنی‌شدگی نشان می‌دهند (شکل ۱۴)، این می‌تواند به دلیل نهشت سریع‌تر آن‌ها توسط سیالات گرمابی در محیط کم عمق باشد (معانی‌جو و همکاران، ۲۰۱۵).

مختلفی است که در جذب ویژه دخالت دارند، می‌باشد. ندول‌های منگنز خصوصاً ندول‌های مناطق پلاژیک در مقایسه با آب‌های کم عمق از عناصری مانند Cu, Ni و Co غنی‌تر می‌باشند. بنابر نظر تعدادی از محققین، این امر شاید به دلیل نرخ رسوب‌گذاری پایین و خاصیت جذب کاتیون توسط اکسیدهای آبدار آهن و منگنز باشد.



شکل ۱۳. نمودار سه‌تایی Co-Ni-Zn (چوئی و هاریا، ۱۹۹۲) و موقعیت نمونه‌های کانسار منگنز صوفیوند.

Fig. 13. Ternary diagram of Co-Ni-Zn (Choi and Hariya, 1992) and the location of the Sofiewand manganese deposit samples.



شکل ۱۴. نمودار سه‌تایی Fe-Mn-(Ni+Co+Cu)*10 (تو، ۱۹۸۰ و بوناتتی و همکاران، ۱۹۷۵). نمونه‌های کانسار صوفیوند در محدوده زیر دریایی-گرمابی قرار می‌گیرد.

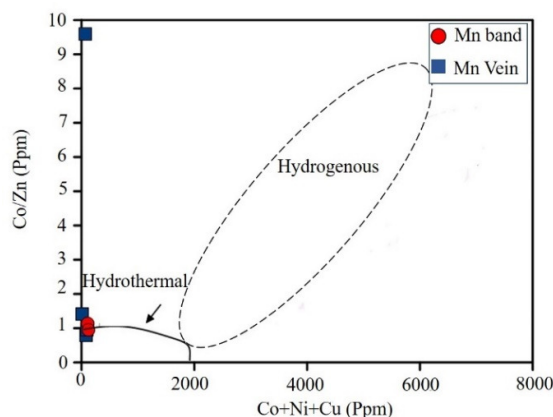
Fig. 14. Ternary diagram of Fe-Mn-(Ni+Co+Cu)*10 (Toth, 1980; Bonatti, 1975). The ore samples of the Sofiewand deposit plotted in the submarine-hydrothermal area.

می‌شود کانسارهای فرومنگنز تیپ هیدروژنز نسبت به کانسارهای گرمابی از غنی‌شدگی بالاتری در عناصر Cu, Ni و Co برخوردار می‌باشد (بوناتی و همکاران، ۱۹۷۲). مقادیر پایین عناصر Ni, Cu و Co حاکی از ورود اندک این

نمودار $\text{Co/Zn} - (\text{Co} + \text{Cu} + \text{Ni})$: این نمودار دوتایی $\text{Co/Zn} - (\text{Co} + \text{Cu} + \text{Ni}) * 10$ توسط (تو، ۱۹۸۰). برای تفکیک کانسارهای منگنز گرمابی از آبراز مورد استفاده قرار گرفت. همان‌طور که در نمودار (شکل ۱۵) هم مشاهده

نمونه‌های منطقه مورد مطالعه در این نمودار در محدوده کانسارهای گرمابی قرار می‌گیرند.

عناصر از طریق فعالیت‌های گرمابی و در عوض اشتقاق بالای Zn را از منبع گرمابی نشان می‌دهد (توت، ۱۹۸۰).



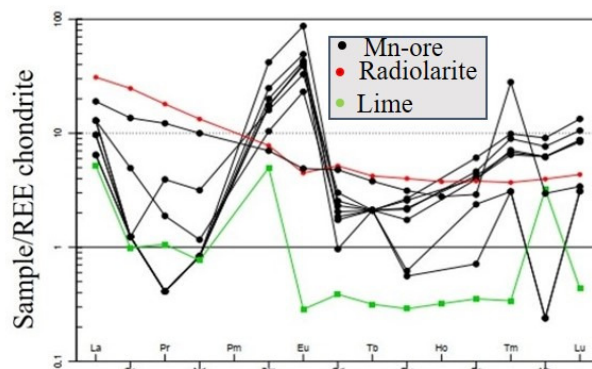
شکل ۱۵. نمودار دوتایی (Co/Zn - (Co+Cu+Ni) (توت، ۱۹۸۰). و موقعیت نمونه‌های کانسار منگنز صوفیوند در آن.

Fig. 15. Binary diagram (Co+Cu+Ni)- Co/Zn (Toth, 1980) and the situation of samples of the Sofiewand manganese deposit.

کانی‌سازی (هر دو بخش رگه‌ای و نواری) آنومالی منفی دارند که نسبت نشان داده شده آن‌ها در نمودار کمتر از یک باشد (شکل ۱۶) از ویژگی‌های نهشته‌های منگنز با خاستگاه - برون‌دیمی است و نشانه ته‌نشست مواد معدنی در محیط دریایی است و در ذخایر گرمابی منگنز به علت منشأگیری این سیالات از سنگ‌های مافیک بستر اقیانوس و با توجه به تهی‌شدگی شدید Ce در سنگ‌ها این انتظار وجود دارد که ذخایر گرمابی از لحاظ Ce تهی شده باشند. نمونه‌های کانی‌سازی مربوط به کانسار صوفیوند الگوی آنومالی منفی Ce و الگوی آنومالی مثبت Eu را نشان می‌دهند. عنصر Eu در حالت Eu^{+2} به صورت محلول و در حالت Eu^{+3} به صورت نامحلول می‌باشد، به علت وجود فازهای پلاژیوکلازدار در سنگ‌های مافیک بستر اقیانوس، این انتظار وجود دارد سیالات گرمابی منشأ گرفته از شستشوی این سنگ‌ها دارای آنومالی مثبت Eu باشند. همچنین غنی‌شدگی LREE نسبت به HREE مشخصه کانسارهای گرمابی است و میانگین نسبت LREE/HREE برابر 5.87 است که نشان دهنده غنی‌شدگی LREE نسبت به HREE می‌باشد. با توجه به موارد گفته شده در بخش زمین‌شیمی عناصر کمیاب و اکسیدهای اصلی می‌توان به شواهدی مبنی بر وجود سیالات گرمابی منگنزدار در کانسار مورد مطالعه پی برد. با فرض وجود سیالات گرمابی دخیل در کانه‌زایی نمونه‌های مورد مطالعه در این کانسنگ دارای آنومالی مثبت Eu می‌باشند.

۸-۳- ژئوشیمی عناصر نادر خاکی (REE)

مقادیر عناصر نادر خاکی نمونه‌های کانسار صوفیوند در جدول ۴ آورده شده است. بررسی ژئوشیمی عناصر نادر خاکی (REE) در سنگ‌های میزبان برای تکمیل نتایج تکنیکی و مطالعه ژنز کانسار و پتروژنز نهشته‌ها کاربرد زیاد دارد. یکی از تفاوت‌های آشکار در کانسارهای گرمابی و آبراد (هیدروژنز) در میزان غنی‌شدگی آن‌ها از REE می‌باشد که در کانسارهای گرمابی ۱۰۰ بوده و در آبراد نزدیک ۱۰۰۰ می‌باشد. از دیگر تفاوت‌های بارز بین کانسارهای گرمابی و آبراد، تفاوت الگوی آنومالی Ce در این دو کانسار می‌باشد. آنومالی Ce به عواملی همچون دمای سیال، نزدیکی به منبع گرمابی، شرایط احیا و مقدار آلودگی با آلایش هیدروژنیک بستگی دارد. الگوی آنومالی Ce در کانسارهای آبراد مثبت و در کانسارهای گرمابی منفی است. دلیل آنومالی مثبت مدت زمان طولانی‌تر یون Mn و Fe در آب و جذب Ce^{+4} توسط آن‌هاست. آنومالی منفی Ce می‌تواند مربوط به کاهش فوگاسیته اکسیژن و با احتمالاً افزایش عمق کانه‌زایی باشد. اما اکسیدهای فرومنگنز گرمابی در محیط‌های دریایی عموماً دارای آنومالی Ce منفی قوی می‌باشند. هرچند که آنومالی Ce در کانسارهای گرمابی بسته به نرخ ته‌نشست و مقدار اختلاط با آب دریا دارای طیف گسترده‌ای از حالت منفی قوی تا حالت بدون آنومالی می‌باشد. تعدادی از نمونه‌های



شکل ۱۶. نمودار عناصر فرعی و کمیاب در نمونه‌هایی از کانسنگ و سنگ‌های میزبان رادیولاریت و آهک کانسار منگنز صوفیوند که نسبت به مقادیر کندریت (بوینتون، ۱۹۸۴) بهنجار شده‌اند.

Fig. 16. Chart of minor and trace elements in samples of ore and host rocks (radiolarite and limestone) of the Sofiewand manganese deposit, normalized to chondrite values (Boynton, 1984).

جدول ۴. ترکیب REE در نمونه‌های کانسار منگنز صوفیوند (داده‌ها بر حسب ppm).

Table 4. REE composition in the Sofiewand manganese deposit samples (data in ppm).

Sample	S110	S119	S140	S105	S118	S127	S103	S134	S136
Type	Limest one	Radio larite	Mn vein	Mn vein	Mn vein	Mn vein	Mn band	Mn band	Mn band
La	1.61	9.6	3	2	4	3	42	2	4
Ce	0.80	20.0	1	<1	<0.1	<1	4	<1	<0.1
Pr	0.13	2.2	<0.05	<0.05	0.48	<0.05	0.23	<0.05	<0.05
Nd	0.46	8.0	0.5	<0.5	1.9	<0.5	0.7	<0.5	<0.5
Sm	0.097	1.52	8.17	4.35	3.11	3.45	2.03	3.36	3.91
Eu	0.021	0.33	6.41	3.62	2.42	2.87	1.7	3.01	3.16
Gd	0.10	1.34	0.6	40.45	0.78	0.48	0.53	0.25	0.66
Tb	0.15	0.20	<0.1	<0.1	<0.1	<0.1	<0.1	<0.1	0.1
Dy	0.093	1.29	0.86	0.56	0.83	0.69	0.18	<0.02	0.71
Ho	0.023	0.27	-	-	-	-	-	-	-
Er	0.074	0.80	1.28	0.83	0.84	0.97	0.15	<0.05	0.89
Tm	0.011	0.12	0.32	0.23	0.21	0.29	<0.1	<0.1	0.22
Yb	0.067	0.83	1.9	1.3	1.3	1.6	<0.05	<0.05	1.3
Lu	0.014	0.14	0.43	0.28	0.27	0.34	<0.1	<0.1	0.28

۹- نتیجه‌گیری

نمونه‌های رگه- رگچه‌ای نیز از ۰/۰۲ تا ۰/۲۶ درصد وزنی (میانگین، ۰/۱۴) و در نمونه‌های لایه‌ای از ۰/۰۶ تا ۰/۱۲ درصد وزنی (میانگین، ۰/۴۲) درصد وزنی و این مقادیر برای MnO در نمونه‌های رگه‌ای از ۳۸/۷۵ تا ۷۳-۷۱ درصد وزنی (میانگین، ۵۵/۲۴) درصد وزنی و برای نمونه‌های لایه‌ای از ۴/۸۵ تا ۱۰/۵۴ درصد وزنی (میانگین، ۷/۶۹) برای کانسار منگنز صوفیوند متغییر است. همبستگی قوی موجود میان غلظت‌های TiO_2 و Al_2O_3 می‌تواند نشان‌دهنده ورود این مواد از منشأ یکسان به محیط رسوبی کانسار منگنز مورد بررسی می‌باشد. نمودارهای عناصر فرعی، همگی بر محتوای پایین کانسنگ از عناصری همچون Ni, Cu, Co دلالت دارند که نمایانگر قرارگیری کانسار در محدوده کانسارهای با منشأ گرمایی است. نسبت‌های Co/Ni, LREE/HREE, Co/Zn, La/Ce غنی‌شدگی عناصر LREE نسبت به عناصر HREE و آنومالی منفی Ce نیز بیانگر نقش سیال

کانسار صوفیوند به طور عمده از کانسنگ منگنز شامل، پیرولوپسیت، براونیت و رومانکیت، منگلوپسیت و هولاندیت و سنگ میزبان رادیولاریت و آهک تشکیل شده است و محیط تشکیل آن‌ها کف دریا است. با توجه به رابطه Si و Al و غلظت SiO_2 نشان‌دهنده ارتباط کانه‌زایی در منطقه مورد مطالعه با فعالیت گرمایی می‌باشد. مقادیر پایین TiO_2 بیانگر ورود بسیار کم و محدود مواد آواری در طول کانه‌زایی است. علاوه بر این همبستگی قوی میان غلظت‌های TiO_2 و Al_2O_3 وجود دارد که نشان‌دهنده ورود این مواد از منشأ یکسان به محیط رسوبی کانسار منگنز مورد بررسی می‌باشد. براساس شیمی عناصر اصلی مقادیر Al_2O_3 در نمونه‌های کانه‌دار رگه- رگچه‌ای از ۰/۲۲ تا ۲/۲۱ درصد وزنی (میانگین ۱/۲۱) و در نمونه‌های لایه‌ای از ۱/۱۴ تا ۲/۴۵ درصد وزنی (میانگین، ۱/۷۹) این مقدار برای TiO_2

- National Science Found Washington DC. 149–166.
- Boynnton, W. V (1984) Geochemistry of the rare earth elements: meteorite studies. In: Henderson, P. (ed.), rare earth element geochemistry. Elsevier, 63-114 p.
- Bahman, R., and Movahednia, M (2019) Mineralization and geochemistry of manganese ore related to Kamyaran ophiolites-NW of Iran. Scientific Quarterly Journal of Geosciences, 29 (113): 199-210.
- Crerar, D. A., Namson, J., Chyi, M. S., Williams, L., and Feigenson, M. D (1982) Manganiferous cherts of the Franciscan assemblage; I, General geology, ancient and modern analogues, and implications for hydrothermal convection at oceanic spreading centers. Economic Geology, 77 (3): 519-540. doi: 10.2113/gsecongeo.77.3.519.
- Choi, J. H., and Hariya, Y (1992) Geochemistry and depositional environment of Mn oxide deposits in the Tokoro Belt, northeastern Hokkaido, Japan. Economic Geology, 87 (5): 1265-1274. doi.org/10.2113/gsecongeo.87.5.1265.
- Emami, M. H., Sadeghi, M. M., and Omrani, S. J (1993) Magmatic Map of Iran: Geological Survey of Iran, scale 1:1,000,000.
- Ghasemi, A., and Talbot, C. J (2006) A new tectonic scenario for the Sanandaj–Sirjan Zone (Iran). Journal of Asian Earth Sciences, 26(6): 683-693. doi.org/10.1016/j.jseaes.2005.01.003.
- Glasby, G. P (1988) Manganese deposition through geological time: dominance of the post-Eocene deep-sea environment. Ore Geology Reviews, 4 (1-2): 135-143. doi.org/10.1016/0169-1368(88)90009-1.
- Hewett, D. F., Fleischer, M., and Conklin, N (1963) Deposits of the manganese oxides; supplement. Economic Geology, 58 (1): 1-51. doi.org/10.2113/GSECONGEO.58.1.1.
- Jach, R., and Dudek, T (2005) Origin of a Toarcian manganese carbonate/silicate deposit from the Křižna unit, Tatra Mountains, Poland. Chemical Geology, 224 (1-3): 136-152. doi.org/10.1016/j.chemgeo.2005.07.018.
- Karakuş, A., Yavuz, B. E. R. N. A., and Koc, S (2010) Mineralogy and major-trace element geochemistry of the Haymana manganese mineralizations, Ankara, Turkey. Geochemistry International, 48 (10): 1014-1027. doi.org/10.1134/S001670291010006X.
- Karimi Bavandpur, A. R (1999) Geological map of Kermanshah, Scale 1:100000, Series Sheet 5458, Geological Survey of Iran.
- Maanijou, M (2002) Proterozoic Metallogeny of Iran, International Symposium of Metallogeny of Precambrian Shields, Kyiv, Ukraine.
- Maanijou, M., Nasiri, A., Aliani, F., Mostaghimi, M., Gholipoor, M., and Maghsoudi, A (2015) The study of major, trace and rare earth elements گرمایی کنه‌دار در این کانسار است. مقادیر مثبت Eu در کانسنگ، به عنوان شواهدی از تهنشست منگنز از سیالات گرمایی- زیردریایی (بروندمی) در یک محیط دریایی هستند. نسبت‌های Mn/Fe نمونه‌های رگه-رگچه‌ای از ۵۷/۸۰ تا ۱۲۹/۸۷ (میانگین، ۹۴) و برای نمونه‌های لایه‌ای از ۳/۳۳ تا ۶/۹۱ (میانگین ۵) تغییر می‌کند. این موضوع بیانگر تفریق و جدایش نسبتاً شدید آهن و منگنز در طی حمل و نقل، در فعالیت‌های گرمایی این کانسار بوده و بدین ترتیب می‌توان نتیجه گرفت که کانسار صوفیوند دارای زایش گرمایی زیر دریایی است. تأثیر ورود مواد آواری باعث ظهور خصوصیات زمین‌شیمیایی شبیه به محیط قاره‌ای شده و همین عامل باعث گسترش نمونه‌ها از محدوده‌ی گرمایی به محدوده‌ی پلاژیک و حاشیه قاره‌ای شده است. بالا بودن نسبت‌های Mn/Fe و Si/Al، پایین بودن نسبت Co/Zn و مقادیر فلزات کمیاب به‌ویژه فلزات Ni، Cu، و Co پایین بودن مقادیر عناصر نادر خاکی (REE) (به‌ویژه Ce) و مقادیر مثبت Eu در کانسنگ رگه-رگچه‌ای و نواری، به‌عنوان شواهدی از تهنشست منگنز از سیالات گرمایی- زیردریایی (بروندمی) در یک محیط دریایی هستند. به‌عبارت دیگر نقش فرآیندهای آب‌زاد در پیدایش این کانسار ناچیز بوده است. بررسی الگوی REE در نمونه‌های کانسار صوفیوند، نشانگر خاستگاه گرمایی- زیردریایی و اکسیدان بودن محیط دریایی تهنشست این کانسار است.

References

- Aghanabati, S. A (2005) Geology of Iran, Geological Survey of Iran, 220 p.
- Alavi, M (2007) Structures of the Zagros fold-thrust belt in Iran. American Journal of science, 307 (9): 1064-1095. doi. 10.2475/09.2007.02.
- Braud, J (1987) Paleogéographie, magmatique et structural de la region Kermanshah, Iran. These de étate, Université de Paris, France (unpublished).
- Alavi, M (1991) Sedimentary and structural characteristics of the Paleo-Tethys remnants in northeastern Iran. Geological Society of America Bulletin, 103 (8): 983-992.
- Boström, K., and Valdes, S (1969) Arsenic in ocean floors. Lithos, 2 (4): 351-360.
- Bonatti, E (1975) Metallogenesis at oceanic spreading centers. Annual Review of Earth and Planetary Sciences, 3 (1): 401-431. doi.org/10.1146/annurev.ea.03.050175.002153.
- Bonatti, E., Kraemer T., and Rydel H (1972) Classification and genesis of submarine iron-manganese deposits, In: Horn DR (ed) Ferromanganese deposits on the ocean floor.

- Shahidi, A. R., and Nazari, H (1996) Geological map of Harsien, Scale 1:100000 Series Sheet 5558, Geological Survey of Iran.
- Sugisaki, R (1984) Relation between chemical composition and sedimentation rate of Pacific ocean-floor sediments deposited since the middle Cretaceous: basic evidence for chemical constraints on depositional environments of ancient sediments. *The Journal of Geology*, 92 (3): 235-259.
- Zarasvandi, A., Carranza, E. J. M., and Ellahi, S. S (2012) Geological, geochemical, and mineralogical characteristics of the Mandan and Deh-now bauxite deposits, Zagros Fold Belt, Iran. *Ore Geology Reviews*, 48: 125-138. doi.org/10.1016/j.oregeorev.2012.02.010.
- geochemistry in Shahrestanak Mn deposit, south of Qom: Implications for genesis. *Journal of Economic Geology*, 7 (1): 1-21. doi.org/10.22067/econg.v7i1.23393.
- Mousavi, S. A., Aliani, F., Maanijou, M., and Sepahi, A. A (2013) Petrography and geochemistry of pillow lavas and related mafic, intermediate and felsic rocks in ophiolitic sequence of Sahneh-Harsin (north east of Kermanshah). *Iranian Journal of Crystallography and Mineralogy*, 21 (2): 253-266.
- Murray, R. W (1994) Chemical criteria to identify the depositional environment of chert: general principles and applications. *Sedimentary Geology*, 90 (3-4): 213-232. doi.org/10.1016/0037-0738 (94)90039-6.
- Maynard, J. B (2010) The chemistry of manganese ores through time: a signal of increasing diversity of earth-surface environments. *Economic Geology*, 105(3): 535-552. doi.org/10.2113/gsecongeo.105.3.535.
- Nasiri, A (2013) Study of mineralogy, geochemistry and determining the genesis of Shahrestanak manganese deposit, MSc Thesis in Economic Geology, Bu-Ali Sina University, Iran (in Persian with English abstract).
- Nicholson, K (1992) Contrasting mineralogical-geochemical signatures of manganese oxides; guides to metallogenesis. *Economic Geology*, 87 (5): 1253-1264. doi.org/10.2113/gsecongeo.87.5.1253.
- Nicholson, K., Nayak, V. K., and Nanda, J. K (1997) Manganese ores of the Ghoriajhor-Monmunda area, Sundergarh District, Orissa, India: geochemical evidence for a mixed Mn source. *Geological Society, London, Special Publications*, 119 (1): 117-121. doi.org/10.1144/gsl.sp.1997.119.01.08.
- Polgári, M., Hein, J. R., Vigh, T., Szabó-Drubina, M., Fórizs, I., Bíró, L., ... and Tóth, A. L (2012) Microbial processes and the origin of the Úrkút manganese deposit, Hungary. *Ore Geology Reviews*, 47: 87-109. doi.org/10.1016/j.oregeorev.2011.10.001.
- Roy, S (1992) Environments and processes of manganese deposition. *Economic Geology*, 87 (5): 1218-1236.
- Shah, M. T., and Khan, A (1999) Geochemistry and origin of Mn-deposits in the Waziristan ophiolite complex, north Waziristan, Pakistan. *Mineralium Deposita*, 34 (7): 697-704. doi.org/10.1007/s001260050228.
- Shah, M. T., and Moon, C. J (2007) Manganese and ferromanganese ores from different tectonic settings in the NW Himalayas, Pakistan. *Journal of Asian Earth Sciences*, 29 (2-3): 455-465. doi.org/10.1016/j.jseaes.2005.11.002.

Investigating genesis of Sofiewand Mn deposit (Harsin), on the basis of geology, geochemistry and SEM of minerals

M. Yari¹, M. Maanijou^{2*} and A. Romanko³

1- M. Sc., student. Dept., of Geology, Faculty of Science, Bu Ali Sina University, Hamadan, Iran

2- Prof., Dept., of Geology, Faculty of Science, Bu Ali Sina University, Hamadan, Iran

3- Ph. D. geological Institute, Russian Academy of Science, Pyzhevsky, Moscow, Russia

* mohammad@basu.ac.ir

Received: 2024.3.2 Accepted: 2024.5.27

Abstract

Sofiewand manganese deposit is 15 km southwest Harsin and 3 km from the Sofiewand village in the Zagros-Trusted and ophiolite zone of Kermanshah. This deposit has been deposited as a layer-vein (syngenetic-epigenetic) along with radiolaritic chert in the Triassic/Jurassic radiolarite sub-zone of Kermanshah. Due to active tectonics in the area, the outcrops of manganese deposits have folded, interrupted and tectonized. The main host rocks are limestone and radiolarian chert. On the basis of mineralogical studies and X-ray diffraction (XRD) analysis and SEM results, most important manganese minerals in the Sofiewand Mn deposit consists of pyrolusite, braunite, hollandite, romanechite, and mangonosite and quartz is the most common gangue mineral. According to chemistry of the major elements, Al_2O_3 content in vein-veinlets ore ranges from 0.22 to 2.21 wt.% (ave., 1.21) and in banded ore from 1.14 to 2.45 wt.% (ave., 1.79), and MnO in vein-veinlets ore ranges from 38.75 to 71.73 wt.% (ave., 55.24) and in banded ore from 4.85 to 10.54 wt.% (ave., 7.69). The trace element diagrams all indicate the low ore content of elements such as Ni, Cu, and Co, which confirm the location of the deposit in the area of hydrothermal deposits on the diagrams. Co / Ni, Co / Zn, LREE / HREE, La / Ce ratios, enrichment of LREE elements to HREE elements and negative Ce anomaly also indicate the role of mineralizing hydrothermal fluid in this deposit. The Mn/Fe ratio in vein-veinlets ore ranges from 57.80 to 129.87 (ave., 94) and in banded ore from 3.33 to 6.91 (ave., 5), that indicate a relatively strong separation of iron and manganese during transport, and thus it may be concluded that this ore has marine hydrothermal genesis. The distribution pattern of REE for this deposit is very consistent with the distribution pattern of REE in hydrothermal deposits.

Keywords: Manganese, Mineralogy, Geochemistry, Radiolarite, Sofiewand deposit, Harsin

Introduction

The Sofiewand manganese deposit is 30 km from Kermanshah city and 15 km southwest of Harsin city and 3 km from the Sofiewand village and at longitude of 47° 26' 06" E and latitude of 34° 16' 08" N. The studied area is located in the Zagros Trust Zone and near the Kermanshah ophiolite. In fact, several Mn deposit occurred in radiolarian part of the Kermanshah ophiolite including Sofiewand, Sorkhvand and Gerehban deposits. The geology and mineralogy of the Sofiewand manganese deposit and a number of other deposits that are being mined have not been studied so far, therefore, the purpose of this research is to investigate the geology, mineralogy, geochemistry and genesis of the Sofiewand manganese deposit in the Zagros Trust zone.

Materials & Methods

After surveying and sampling of all the horizons of the deposit under study, 25 samples were

collected. Among them 8 thin sections, 10 polished sections, and 7 thin-polished sections were made. The study of these sections was done using a Zeiss polarizing and reflective microscope at Bu-Ali Sina University, Hamedan. In order to identify minerals and different phases, two samples were studied with by SEM TESCN with 15 Kv voltage and 17 mA current intensity in the Institute of Geology, Russian Academy of Sciences, Moscow. In order to determine some minerals in the ore, 3 samples were examined by XRD APD2000 with a copper lamp and wavelength of 1.54 angstroms at Bu-Ali Sina University, Hamedan. The samples for geochemical analyses were prepared by 4-acid digestion. Fourteen samples were analyzed for major elements by Bruker AXS GmbH - S4 PIONEER – XRF, and 7 samples for trace elements by ICP-MS DRCE9000 at Zarazma Co., Tehran.

Discussion and Results

The orogenic belt of Zagros consists of three separate parallel tectonic zones, which from east to west include Urmia-Dakhter Magmatic Belt, Sanandaj-Sirjan Zone and Zagros Fold-Thrust Belt. The trend of ophiolites is northwest-southwest, which are scattered in the area. The Kermanshah ophiolite is limited from the northeast to the Sanandaj-Sirjan Zone, and from the southwest to the Bistoon limestone (a carbonate sequence with a thickness of approximately 3 km) and the Kermanshah radiolarites with the Triassic-Cretaceous age and the sedimentary rocks of the Zagros folded and thrust belt. Manganese layers are discontinuous, and or folded by tectonic forces. In the Harsin region, manganese has two sources, syngenetic and epigenetic. The syngenetic source is the simultaneous deposition of manganese in the sea, which forms layers parallel to the stratification of radiolarite. Epigenetic Mn is in the form of several veins that filled rock fractures and autoclastic sections caused by tectonics and orogeny. Mineralization in the studied area is layered along with radiolarite cherts or veined in the fractures of the Kermanshah radiolarite subzone. Manganese ore in the Sofiewand deposit, includes pyrolusite, hollandite, romanechite, braunite, manganosite, quartz and calcite. The host rocks are radiolarite and limestone that belong to upper part of the Kermanshah ophiolite.

The paragenetic sequence in each deposit is presented as a diagram based on field observations, textural and mineralogical studies. In the Sofiewand manganese deposit, this sequence includes three major stages, the first stage is related to primary sedimentation, the second stage is related to diagenesis processes, and the third stage is related to weathering (supergene), which are briefly explained here. 1) In the initial sedimentation stage of submarine hydrothermal fluids, they introduced mineral components into the basin and deposited manganese nodules. At this stage, the first generation of manganese oxide minerals such as pyrolusite, romanechite, and hollandite have been deposited in a specific order. Mineral deposits in this stage were mostly in the form of layered-banded, massive and colloform textures. 2) Then, with the continuation of the hydrothermal activity, the second generation of manganese minerals such as pyrolusite, romanechite, hollandite and manganosite were deposited or they were formed from the first generation manganese minerals due to the diagenesis process. The process of diagenesis has caused the

loss of water in hydrous manganese minerals such as romanechite and hollandite and has formed anhydrous minerals such as pyrolusite. The textures of this stage are mostly vein-veinlets, brecciated, replacement and massive. 3) Finally, after the uplift of the region in the final stage, the set of minerals and the host rock have been affected by weathering and supergene processes. On the basis of geochemistry of the major elements, Al_2O_3 content in vein-veinlets ore ranges from 0.22 to 2.21 wt.% (ave., 1.21) and in banded ore from 1.14 to 2.45 wt.% (ave., 1.79), TiO_2 content in vein-veinlets ore ranges from 0.02 to 0.26 wt.% (ave., 0.14) and in banded ore from 0.06 to 0.12 wt.%, and MnO in vein-veinlets ore ranges from 38.75-71.73 wt.% (ave., 55.24) and in banded ore from 4.85 to 10.54 wt.% (ave., 7.69). According to the diagram of Si versus Al and SiO_2 concentration, it shows the relationship between mineralization and hydrothermal activity. Low values of TiO_2 indicate a very low and limited entry of detrital materials during mineralization. In addition, there is a strong correlation between the concentrations of Al_2O_3 and TiO_2 , which indicates the entry of these materials from the same origin into the sedimentary environment of the investigated manganese deposit. The Mn/Fe ratio in vein-veinlets ore ranges from 57.80 to 129.87 (ave., 94) and in banded ore from 3.33 to 6.91 (ave., 5) for the Sofiewand deposit. This issue indicates the relatively intense separation of iron and manganese during transportation in the hydrothermal activities of this deposit, and thus it can be concluded that the Sofiewand deposit has submarine hydrothermal genesis. The effect of the arrival of detrital materials has caused the emergence of geochemical characteristics similar to the continental environment, and this factor has caused the dispersion of the samples from the hydrothermal area to the pelagic area and the continental margin.

Conclusions

High Mn/Fe and Si/Al ratios, low Co/Zn ratio and amounts of rare metals, especially Ni, Cu, Co metals, low amounts of rare earth elements (REE) (especially Ce) and positive amounts of Eu in the ore, are evidences of deposition of manganese from hydrothermal-submarine fluids in a marine environment. In other words, the role of hydrothermal processes in the formation of this deposit was insignificant. The REE pattern in the ore indicates the hydrothermal-submarine origin and the oxidizing marine environment of this deposit.