



## کانی‌شناسی، ژئوشیمی و ژنز کانه‌زایی منگنز همراه با رادیولاریت‌های نورآباد دلفان (شمال غرب لرستان)

شهریار محمودی<sup>۱\*</sup>، پوریا گراوندی<sup>۱</sup>، مجید قاسمی سیانی<sup>۱</sup> و کاظم قلی‌زاده<sup>۲</sup>

(۱) گروه ژئوشیمی، دانشکده علوم زمین، دانشگاه خوارزمی، تهران، ایران

(۲) گروه زمین‌شناسی معدنی و آب، دانشکده علوم زمین، دانشگاه شهید بهشتی، تهران، ایران

دریافت مقاله: ۱۳۹۶/۰۶/۰۴، پذیرش: ۱۳۹۷/۰۸/۲۷

### چکیده

محدوده مورد بررسی در شمال غرب استان لرستان و بخشی از نوار افیولیتی بروجرد-کرمانشاه در زون زاگرس رورانده به سن ژوراسیک بالایی-کرتاسه زیرین واقع شده است. نهشته‌های منگنز در منطقه نورآباد دلفان به صورت عدسی‌های نامنظم و کوچک و میان‌لایه‌ای با چرت‌های رادیولاریتی تشکیل شده که با توالی‌های آهکی متوسط تا ضخیم‌لایه، دسته‌های رادیولاریتی، مادستون و لایه‌هایی از شیل و آهک‌های پلاژیک پوشیده شده است. کانه‌زایی منگنز اغلب به صورت سین‌ژنتیک (همزاد) همراه با رگه‌های ژاسپروئیدی و سیلیسی شده مشاهده شده است و در مرحله بعدی به صورت اپی‌ژنتیک (استوک‌ورک و رگه و رگچه) همراه با واحدهای کربناته و کانسنگ سین‌ژنتیک، در واحدهای چرت رادیولاریتی رخ داده است. بررسی‌های ژئوشیمی نشان داد که نسبت عناصر Mn/Fe در کانسار از ۴/۶۵ تا ۳۸/۵۹ گرم در تن (با میانگین ۸/۲۹ گرم در تن) و نسبت Al/Ti از ۰/۳۵ تا ۲/۵ گرم در تن (با میانگین ۷/۲۴ گرم در تن) متغیر است. نسبت Co/Zn، مقادیر پایین Cu (با مقدار میانگین ۱۲۲ گرم در تن) و Ni (با مقدار متوسط میانگین ۱۱۲ گرم در تن) و همچنین غنی‌شدگی عناصر تقریباً متحرک مثل Sr, As, Zn, Ba, Fe, Mn, Si بیانگر شباهت کانی‌سازی با کانسارهای هیدروترمال-هیدروژنی زیردریایی در بستر حوضه اقیانوسی است. بررسی‌های کانی‌شناسی (میکروسکوپی، پراش‌سنجی پرتو ایکس و الکترون مایکروپروب) نشان می‌دهد که پیرولوژیت مهم‌ترین کانی منگنز منطقه را تشکیل داده که این کانی با محتوای بالای تیتان، مشابه با ذخایر منگنز موجود در توالی افیولیتی است. با توجه به شواهد موجود نهشته‌شدن کانسار منگنز در منطقه نورآباد دلفان را می‌توان در اثر جانمایی‌های اولیه منگنز در سنگ میزبان تحت تأثیر فرایندهای هیدروترمال-هیدروژنی اولیه و کانی‌سازی ثانویه ناشی از حرکات زمین‌ساختی گسل‌های عمده در منطقه دانست.

**واژه‌های کلیدی:** کانسار نورآباد دلفان، منگنز، کانی‌شناسی، ژئوشیمی، استوک‌ورک، هیدروترمال-هیدروژنی، سین‌ژنتیک، اپی‌ژنتیک

### مقدمه

دو محیط، عامل بیشترین شکل‌گیری سنگ معدن منگنز هستند (Nicholson, 1992a) که بررسی‌ها و طبقه‌بندی آنها موضوع بیشتر بررسی‌های تشکیل منگنز است (Roy, 1992; Nicholson, 1992a; Roy, 1997; Shah and Moon,

تجمعات منگنز در انواع نهشته‌های قدیمی و جدید در توالی‌های زمین‌شناسی در محیط دریایی و قاره‌ای رخ می‌دهد (Roy, 1992). فرایندهای سوپرژن و هیدروترمال فعال در هر

کانسارهای ونارچ، شهرستانک، رباط کریم، قلعه محمدخان و گراب) در قسمت شمالی ایران و زیرگروه کانسارهای اواخر کرتاسه (مثل کانسارهای چشمه‌فرزی، نوده، همایی، گف‌ت و چشمه‌سفید) در جنوب‌غرب حوضه سبزواری تقسیم می‌شوند (Amiri, 1995; Doulatkhah et al., 2005; Masoudi, 2008; Nasrollahi et al., 2012; Taghizadeh et al., 2012; Maghfouri, 2012; Maghfouri et al., 2015; Maghfouri et al., 2016; Maghfouri et al., 2017). گروه چهارم کانسارهای در ارتباط با افیولیت‌های کرتاسه که می‌توان به کانسارهای یافت‌شده در افیولیت‌های خوی، کرمانشاه (کانسار سرخ‌وند)، نیریز (کانسار نصیرآباد)، نایین (کانسار بنوید)، سیستان (کانسار کم‌تالار) و سبزواری (کانسار سردار) اشاره کرد (Emamalipour, 2010; Zarasvandi et al., 2013; Hosseini and Mousivand, 2016). دلفان با عیار متوسط ۴۹ درصد اکسید منگنز، بخشی از زون افیولیتی بروجرد تا کرمانشاه بوده که از بروجرد تا مناطق مرزی ادامه و در خاک ترکیه خاتمه می‌یابد. این پژوهش به بررسی کانی‌سازی منگنز منطقه نورآباد دلفان از لحاظ ویژگی‌های کانی‌شناسی، ژئوشیمی کانه و همچنین تعیین نحوه کانی‌سازی منگنز در منطقه و شناسایی الگوهای تشکیل در فازهای مختلف پرداخته است. نتایج این پژوهش برای اکتشافات آینده در منطقه مورد بررسی و مناطق مشابه آن در ایران سودمند است.

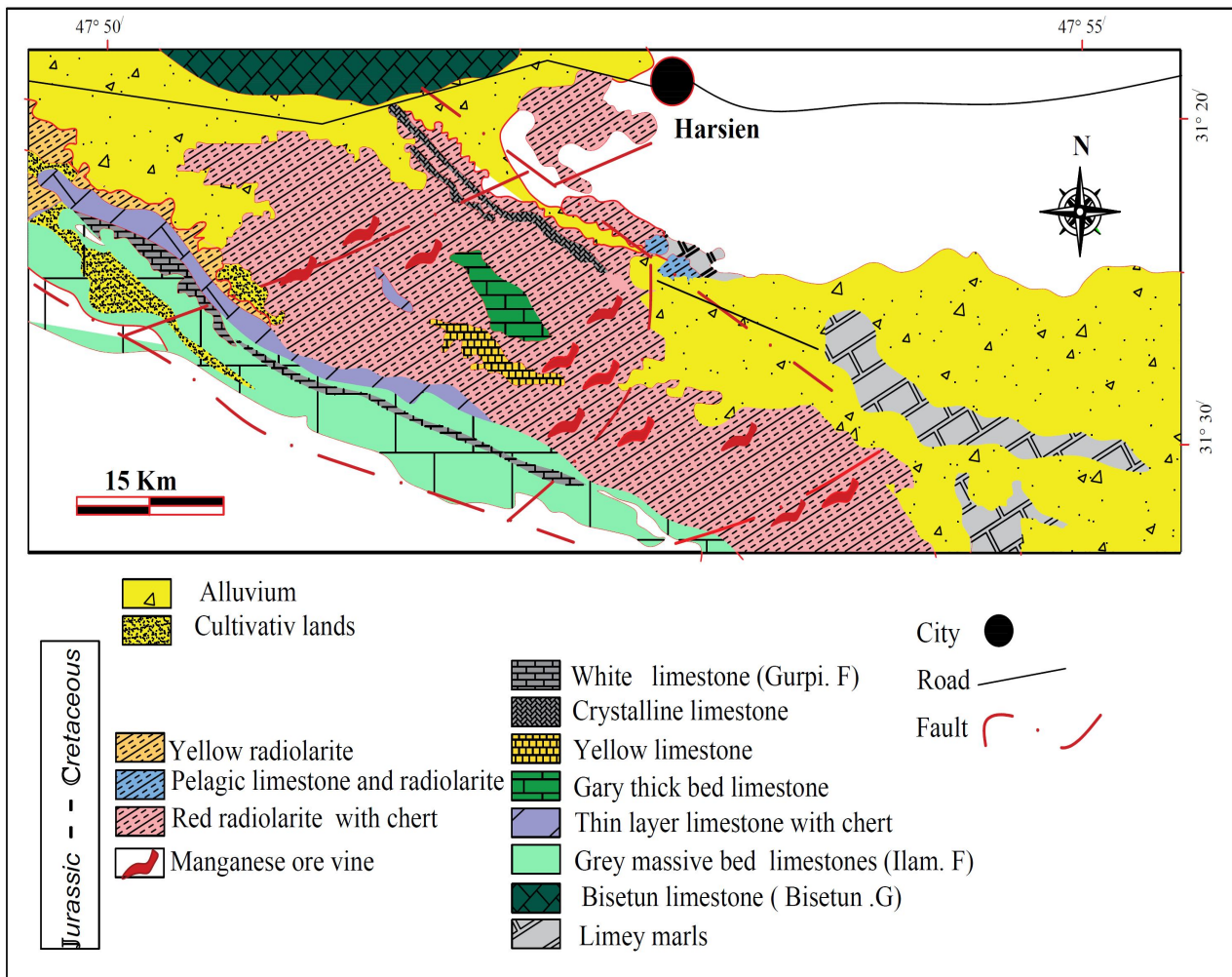
### زمین‌شناسی

افیولیت‌های بروجرد-کرمانشاه بخشی از مجموعه افیولیتی متعلق به چرخه کوه‌زایی زاگرس در غرب کشور بوده که خود به‌عنوان بخشی از کمربند آلپ-همالیا در اثر بسته‌شدن نئوتیس تشکیل شده است (Alavi, 1994). زون رادیولاریتی تشکیل شده در منطقه عمیق حوضه اقیانوسی به همراه مجموعه افیولیتی طی زمان در پهنه زاگرس با روند شمال‌غربی-جنوب‌شرقی و در اثر فرورانش صفحه عربی به زیر پلیت ایران جایگزین شده است (Mohajjel et al., 2003). زون رادیولاریتی غرب کشور با گستره‌ای با پهنای ۴۵ کیلومتر در

نحوه تشکیل و منشأ کانی‌سازی منگنز دارای تنوع زیادی است و می‌تواند به انواع فرایندهای رسوبی، هیدروترمال، هیدروژنی و سوپرژن تشکیل شوند. کانسارهای هیدروترمالی منگنز از محلول‌های هیدروترمال دما پایین به‌صورت چینه‌کران، رگه‌ای تا منظم ته‌نشست می‌کند و در محیط‌های زمین‌ساختی مختلفی از محیط‌های دریایی، دریاچه‌های درون قاره‌ای تا کمان‌های آتشفشانی محیط فرورانش یافت می‌شوند (Roy, 1992; Nicholson, 1992a; Roy, 1997; Kuleshov, 2011). کانی‌سازی منگنز با منشأ دریایی نیز شامل فرایندهای کانی‌سازی هیدروژنی (فرایند کانی‌سازی ندول‌های منگنز)، دیاژنتیکی، هیدروترمال و نهشته‌های زیست‌زادی هستند (Bolton et al., 1988; Hein et al., 1997a; Oksuz, 2011; Polgari et al., 2012; Zhang et al., 2013a; Rahmatian et al., 2019; Moghaddasi et al., 2019). بسیاری از شباهت‌ها در میان اغلب نهشته‌های منگنز با منشأ دریایی وجود دارد؛ ولی بسیاری از آنها به‌وسیله شرایط زمین‌ساختی، مورفولوژی، ژئوشیمی و کانی‌شناسی قابل طبقه‌بندی بوده و دارای تفاوت‌هایی هستند. کانسارهای شناخته‌شده منگنز در ایران در واحدهای زمین‌شناسی مختلفی تشکیل می‌شوند و به دوره‌های پرکامبرین-پسین-کامبرین آغازین تا میوسن-پلیوسن محدود می‌شوند (Maanijou et al., 2017; Maghfouri et al., 2015). به‌طور کلی نهشته‌های منگنز ایران بر اساس سن شکل‌گیری، ویژگی‌های ژنتیکی، ویژگی‌های ساختاری کانسار و محیط پیدایش به چهار گروه اصلی تقسیم شده‌اند (Maghfouri et al., 2017). گروه اول کانسارهای نوع آتشفشانی-متصاعدی هستند که به‌عنوان مثال کانسار نارینگان در ایران مرکزی (بلوک پشت‌بادام) تشکیل شده است (Bonyadi and Moore, 2005; Rajabi et al., 2015). گروه دوم کانسارهای نوع رسوبی کرتاسه پایین هستند که در نواحی مختلف ایران گزارش شده‌اند که از مهم‌ترین آنها می‌توان به کانسارهای باغ‌قره، چاه‌باشه و شمس‌آباد اشاره کرد (Ahmadi, 2006). گروه سوم کانسارهای نوع آتشفشانی-رسوبی هستند که به دو زیرگروه کانسارهای سنوزوئیک (مثل

(2013). دیگر واحدهای مشاهده شده در منطقه، شامل شیل‌های بالایی میوسن، ماسه‌سنگ و سنگ آهک، کنگلومرای بختیاری، چرت‌های کرتاسه بالایی و سنگ آهک‌های محیط کم‌عمق دریا با سن ژوراسیک بالایی-کرتاسه پایینی است ( Allahyari et al., 2010). افیولیت‌های این منطقه به شدت تکتونیزه شده و از نوع مجموعه آمیزه رنگین افیولیتی هستند (شکل ۱). در بررسی‌های ساختاری و هندسی، افیولیت ملانژ نورآباد دارای ساختار چین خورده بوده که تحت تأثیر دو عامل تغییر ضخامت و درجه سختی لایه‌ها ایجاد شده است (Kiani, 2011).

خاک ایران از جنوب‌غربی بروجرد شروع شده و به سمت غرب تا مرز ترکیه ادامه دارد (Alavi, 1994). مجموعه افیولیتی در منطقه بروجرد-کرمانشاه شامل پریدوتیت‌های سرپانتینی شده، متاگابروهای لایه‌ای، گابروهای ایزوتروپ، مجموعه دایک‌های صفحه‌ای، گستره‌ای از سنگ‌های متابازیک (گابرو تا دیاباز)، پلاژیوگرانیت، گدازه‌های بالشی و سنگ‌های رسوبی (شامل رادیولاریت و آهک‌های پلاژیک) است که در بالاترین بخش آن لایه‌های چرت رادیولاریتی، ژاسپروئید و آهک پلاژیک نیز دیده می‌شود (Mohajjel et al., 2003; Saccani et al., )



شکل ۱. نقشه زمین‌شناسی افیولیت‌های نورآباد دلفان تا کرمانشاه با اقتباس از نقشه زمین‌شناسی ۱:۱۰۰۰۰۰ هرسین و کرمانشاه (Nazari and Shahidi, 1997)

**Fig. 1.** Geological map of Noorabad Delfan - Kermanshah ophiolite (Based on 1/100000 geological map of Harsien and Kermanshah (Nazari and Shahidi, 1997).

## روش مطالعه

بعد از بازدید صحرایی از رخنمون‌های ماده معدنی و سنگ‌های دربرگیرنده، تعداد ۵۳ نمونه از زون‌های کانی‌سازی و سنگ‌های دربرگیرنده جمع‌آوری شد. برای بررسی کانی‌شناسی و توالی همیافتی تعداد ۳۰ مقطع صیقلی و نازک-صیقلی از نمونه‌ها تهیه شد و در آزمایشگاه سنگ‌شناسی دانشگاه خوارزمی و مرکز تحقیقات فراوری مواد معدنی با میکروسکوپ دو منظوره عبوری-انعکاسی زایس، مدل Axioplan-2 مورد بررسی قرار گرفت. بررسی‌های تکمیلی بر روی نقاط مشخص شده در بررسی میکروسکوپی، توسط میکروسکوپ الکترونی (SEM) در مرکز تحقیقات فراوری مواد معدنی ایران با دستگاه مدل (Zeiss 1450 Vp SEM) انجام شد. نقاط مشخص شده در بررسی مطالعات SEM برای تجزیه شیمیایی نقطه‌ای دقیق کانی‌ها توسط الکترون مایکروپروب در مرکز تحقیقات فراوری مواد معدنی ایران به وسیله دستگاه میکروپروب مدل (CAMECA-X100) با شرایط ۲۰ کیلو ولت و ۲۰ نانو آمپر و با قطر اشعه یک تا پنج میکرون بررسی شده که نتایج بررسی‌ها در ادامه شرح داده شده است. طی بررسی‌های میکروسکوپی ۱۵ نمونه برای تجزیه شیمیایی سنگ کل انتخاب شد. پس از انتخاب، نمونه‌ها با روش‌های معمول آماده‌سازی با ایجاد کمترین آلودگی در نمونه‌های معدنی انجام شد. عملیات خرید و فروش و نمایش در آزمایشگاه دانشگاه خوارزمی انجام شد و نمونه‌ها برای انجام تجزیه شیمیایی به روش XRF و ICP-MS به آزمایشگاه شرکت زرآزما و مرکز تحقیقات فراوری مواد معدنی ایران برای اندازه‌گیری عناصر اصلی و کمیاب ارسال شد و نتایج تجزیه شیمیایی در جدول‌های ۱ و ۲ ارائه شده است.

## کانه‌زایی

مجموعه افیولیتی کرمانشاه از نظر لیتولوژی، شامل سنگ‌های اولترابازیک، بازیک و توده‌های نفوذی اسیدی و گدازه‌های بازالتی بالشی است که با توف‌ها و سنگ‌های آذرین تخریبی و

رسوبات آهکی و رادیولاریتی جوان‌تر پوشیده شده است. بیشتر نهشت‌های منگنز نوع افیولیتی با رادیولاریت‌ها همراه هستند. قطعات رادیولاریتی همراه با سنگ‌های افیولیتی در لایه‌های آواری سازند امیران در حوضه پیش‌بوم کوه‌زاد زاگرس نیز وجود دارند (Alavi, 1994; Maanijou et al., 2015). چرت‌های رادیولاریتی به‌عنوان میزبان کانی‌سازی منگنز در منطقه مورد بررسی هستند که به رنگ قرمز با سختی زیاد و دارای شکستگی مشاهده می‌شوند. در بررسی‌های کانی‌شناسی، منگنز به‌صورت نودول‌های سیاه‌رنگ (به‌طور متوسط ۲ تا ۳ سانتی‌متری)، لایه‌ای، رگه‌ای، عدسی استوک‌ورک، کلوفرم و شکل‌افشان در سنگ‌های سیلیسی و رادیولاریتی میزبان تشکیل شده است (شکل ۲). در اثر عملکرد فازهای زمین‌ساختی در محل جای‌گیری کانسنک، منگنز متحرک شده و باعث نهشته شدن کانه‌های منگنزدار به‌صورت رگه‌ای در راستای گسل و شکستگی‌ها شده است. در جاهای دیگر که میزان حجم کانسنک بیشتر است، کانه‌زایی به‌صورت توده‌ای و با بافت متراکم قابل تشخیص است. بر روی واحدهای رسوبی منطقه، تناوب لایه‌های منگنزدار و واحد کربناته آهک‌های پلاژیک دیده می‌شود که نشانه‌ای از رسوب‌گذاری هم‌زمان کانسنک با سنگ میزبان در مرحله اول کانه‌زایی است. کانی‌زایی سین‌ژنتیک در منطقه مورد بررسی اغلب به‌صورت لایه‌هایی به همراه چرت‌های رادیولاریتی تشکیل شده است (شکل ۲-A). نودول‌های منگنز و بافت افشان منگنز از دیگر سیماهای کانی‌سازی فاز سین‌ژنتیک هستند. در زون گسله، حرکت محلول‌های هیدروترمال مؤثر در واحدهای میزبان موجب ته‌نشست فازهای کانیایی و ایجاد ساخت‌های لایه‌ای، رگه‌ای و استوک‌ورک در کانسار شده است (شکل ۲-B). کانی‌سازی رگه‌ای مهم‌ترین شکل کانی‌سازی در فاز اپی‌ژنتیک است (شکل ۲-C) که در مواردی رگه‌های اپی‌ژنتیک در کانسنک سین‌ژنتیک قابل مشاهده هستند (شکل ۲-D).





شکل ۲. تصاویر صحرایی انواع فازهای کانی‌سازی شده در کانسار منگنز نورآباد دلفان را نشان می‌دهد. A: واحدهای چرت رادیولاریتی به‌عنوان سنگ میزبان رگه‌های کانی‌زایی منگنز در بخش سین‌ژنتیک هستند، B: کانه‌زایی منگنز با ساختارهای استوک‌ورک و داربستی در بخش اپی‌ژنتیک، C: رگه‌های کانه‌دار (ضخامت از ۲۰ سانتی‌متر تا ۱ متر) در فاز اپی‌ژنتیک و D: رگه-رگچه‌های اپی‌ژنتیک در میزبان کانسنگ سین‌ژنتیک

**Fig. 2.** Field photographs of the different ore styles in the Noorabad Delfan Mn mineralization. A: Radiolarian chert units are as host rocks of manganese mineralization veins in the syngenetic phase, B: Framework and stockwork structures Mn mineralization in the epigenetic phase, C: Mineralization veins (20 centimeter to 1 meter thickness), in the epigenetic phase, and D: Mn mineralization vein-veinlets which are hosted by syngenetic ore

## کانی‌شناسی

### مطالعات پتروگرافی

رادیولاریتی دیده می‌شوند. این واحدها گاهی به‌وسیله فرایندهای ثانویه دگرسانی با اکسیدهای آهن و منگنز آغشته‌گی پیدا کرده‌اند. در مقاطع میکروسکوپی، اکسیدهای منگنز بیشتر اوقات به‌صورت اپی‌ژنتیک جایگزین فسیل‌های رادیولاریتی شده یا در شکستگی‌ها جایگزین شده است (شکل ۳-C). در مجموعه پیروکلاستیکی کانه‌های فلزی منگنزدار و آغشته‌گی اکسید آهن در حفره‌ها و فضای بین بلوری در زمینه سنگ جایگزین شده است (شکل ۳-D). چرت و رادیولاریت در

واحدهای سنگ‌آهک رادیولاریتی منطقه مورد بررسی همراه با میان‌لایه‌هایی از مارن سبز، واحدهای پیروکلاستی (ویتریک توف تا گدازه بازالتی تا آندزیت‌بازالتی) (شکل ۳-A) و واحدهای درشت‌دانه از سنگ‌های آهکی و ماسه‌ای اوئیددار (شکل ۳-B) و کنگلومراها با نودول‌های چرت دیده می‌شود. در مقاطع مورد بررسی و کستون و پکستون به همراه فسیل‌های

ساختارهای وکستون در نور پلاریزه و همچنین پکستون با ساختارهای اوئیدی و آهک پلاژیک و بیوکلاست دیده می‌شود. کانی‌سازی منگنز در این واحدها، به صورت پرکننده فضاهای خالی در حفره‌ها و غالب اوئیدی رخ داده است (شکل ۳-E). واحدهای گل‌سنگ که به رنگ‌های سبز تیره-قهوه‌ای و متمایل به مشکی همراه با رادیولاریتی‌ها دیده می‌شوند، اغلب بدون کانی‌سازی بوده و در کنار واحدهای رادیولاریتی سفیدرنگ با ضخامت‌های حدود ۳۰ سانتی‌متر حاوی کانی‌سازی لامینه‌ای منگنز با شکل‌های بلوری و بیضوی شکل دیده می‌شود (شکل ۳-F).

جدول ۱. نتایج تجزیه شیمیایی عناصر اصلی (Wt.%) و فرعی بر حسب (PPM) به روش XRF از نمونه‌های کانسار منگنز نورآباد دلفان

Table 1. Major element compositions (wt.%) of samples from the Noorabad Delfan manganese deposits

Sample	101	102	103	104	105	106	107	108
SiO <sub>2</sub>	45.23	26.48	57.7	30.7	62.9	53.64	41.82	38.46
TiO <sub>2</sub>	0.01	0.03	0.01	0.04	0.23	0.03	0.02	0.06
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	1.95	0.28	0.02	0.04	0.64	0.37	0.73	0.32
FeO <sub>t</sub>	2.31	0.72	2.73	2.23	0.60	1.74	3.32	2.25
MnO	48.26	64.89	36.30	63.24	33.20	43.18	50.12	57.03
Mgo	0.04	0.02	0.03	0.02	0.02	0.03	0.69	0.054
CaO	0.37	4.36	0.72	2.61	0.46	0.05	0.23	0.65
Na <sub>2</sub> O	0.82	0.21	0.08	0.17	0.18	0.42	0.06	0.02
K <sub>2</sub> O	0.05	0.04	0.01	0.19	0.12	0.21	0.98	0.09
P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	0.05	0.06	0.09	0.61	0.02	0.07	0.03	0.23
Total	99.06	97.07	97.60	99.83	98.30	99.74	98.01	99.16
Mn/Fe	4.44	4.39	8.59	37.58	3.69	11.54	20.41	32.20
Na/Mg	27.87	14.63	3.71	11.84	0.24	19.51	0.12	0.01
Al/Ti	9.71	0.23	0.02	0.88	49.60	3.74	120.4	47.94
Sample	109	110	111	112	113	114	115	
SiO <sub>2</sub>	68.06	45.15	64.3	50.78	78.3	57.12	46.89	
TiO <sub>2</sub>	0.23	0.08	0.02	0.04	0.22	0.32	0.02	
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	0.39	0.52	0.36	0.41	0.57	0.73	0.43	
FeO <sub>t</sub>	1.53	7.12	2.23	3.60	1.04	1.22	2.23	
MnO	26.63	43.12	30.80	35.05	18.30	37.32	48.78	
Mgo	0.07	0.44	0.96	0.04	0.23	0.70	0.14	
CaO	0.72	0.42	0.66	7.41	0.56	0.19	0.62	
Na <sub>2</sub> O	0.05	0.75	0.02	0.42	0.03	0.12	0.42	
K <sub>2</sub> O	0.03	0.06	0.12	0.12	0.32	0.06	0.01	
P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	0.08	0.23	0.21	0.07	0.01	0.04	0.05	
Total	97.79	97.81	99.70	97.92	99.60	97.82	99.59	
Mn/Fe	25.03	8.71	19.90	14.00	25.30	42.73	28.54	
Na/Mg	0.99	2.43	0.02	13.93	0.18	0.23	4.18	
Al/Ti	9.05	5.73	15.90	9.04	2.51	2.01	18.97	

**کانی‌شناسی و توالی پاراژنزی**

بررسی‌های کانی‌شناسی زون‌های کانی‌سازی شده نشان داد که کانی‌سازی ابتدا به صورت سین‌ژنتیک بوده و در مرحله دوم کانی‌سازی اپی‌ژنتیک تشکیل شده و در ارتباط با ساختارهای زمین‌ساختی منطقه است. در نهایت در زون‌های سطحی کانی‌سازی سوپرژن ثانویه تشکیل شده است. پس از بررسی‌های میکروسکوپی برای تشخیص دقیق کانی‌های موجود و کانی‌های غیر قابل تشخیص در بررسی میکروسکوپی، نمونه‌های کانسنگ سین‌ژنتیک و اپی‌ژنتیک مورد بررسی پراش‌سنجی پرتو ایکس قرار گرفت که نتایج آن نشان‌دهنده کانی‌سازی پیرولوزیت، براونیت، رامسلدیت، نزوتیت و رودوکروزیت است. همچنین فاز سیلیسی بیشترین حجم سنگ زمینه را تشکیل داده که منطبق بر وجود ژاسپروئید و چرت رادیولاریتی همراه کانی‌سازی است. پیرولوزیت، براونیت و نزوتیت فاز غالب کانه‌زایی در بررسی‌های کانی‌شناسی هستند.

در فاز سین‌ژنتیک، ترکیبات منگنز به صورت بافت‌های انتشاری، نودول‌های منگنز، کلوفرم و لایه‌های سیاه‌رنگ در سنگ‌های سیلیسی رادیولاریتی تشکیل شده‌اند. تناوب لایه‌های منگنزدار با چرت رادیولاریتی مشاهده شده است. بررسی‌های میکروسکوپی (نوری انعکاسی و الکترون مایکروپروب) و پراش‌سنجی پرتو ایکس کانسنگ سین‌ژنتیک، نشان داد که پیرولوزیت مهم‌ترین فاز تشکیل‌دهنده این بخش است. پیرولوزیت به صورت توده‌ای، انتشاری، کلوفرم و لایه‌ای مشاهده شده که فاز تدریجی تبدیل پیرولوزیت به براونیت و منگانیت رخ داده است (شکل ۴-A و B و C). در زون‌های سوپرژن ثانویه، کانی‌های گوتیت و کانی‌های منگنز بی‌وجه (احتمالاً پسیلوملان) نیز کانسنگ سین‌ژنتیکی را همراهی کرده است (شکل ۴-C).

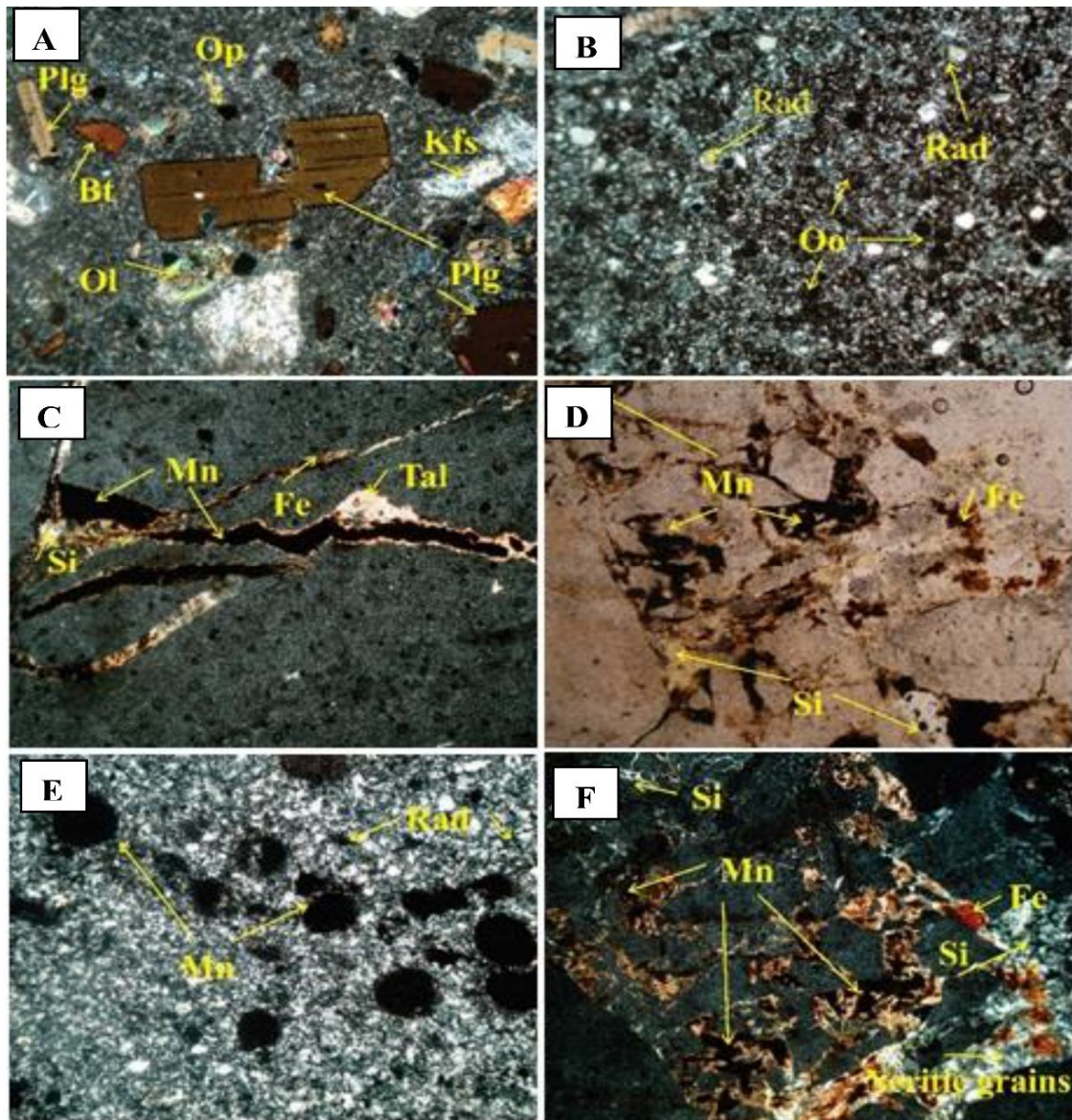
گوتیت در فضای بین بلورهای منگنز به صورت آغشتگی سطحی و پرکننده حفره‌ها تشکیل شده است (شکل ۴-D). پیرولوزیت به صورت بلورهای خودشکل تا بی‌شکل و از ابعاد درشت بلور تا ریزبلور قابل مشاهده است (شکل ۴-E). در مواردی که حجم کانی‌سازی بالا است، بافت کانسنگ به صورت توده‌ای نیز مشاهده شده است. بافت‌های تبدیل تدریجی بافت‌ها به یکدیگر

و انواع شکل‌های کلوفرمی در کانسنگ سین‌ژنتیک فراوان است. سنگ‌های سیلیسی منگنزدار به تدریج به سنگ‌های سیلیسی بدون کانه‌زایی تبدیل می‌شوند. کوارتز مهم‌ترین کانی باطله همراه با کانسنگ سین‌ژنتیک است. بعد از پیرولوزیت، منگانیت و براونیت بیشترین کانی‌های تشکیل‌دهنده کانسنگ سین‌ژنتیکی هستند (شکل ۴-F).

فاز اپی‌ژنتیک به صورت فازهای رگه‌ای، لایه‌ای و استوک‌ورک مشاهده شده است (شکل ۵) که در اثر فرایندهای زمین‌ساختی، شکستگی و درزه‌های مختلف در چرت رادیولاریت میزبان و هم در کانسنگ سین‌ژنتیک تشکیل شده است. سیالات هیدروترمالی باعث تحرک منگنز از سنگ میزبان و کانسنگ سین‌ژنتیکی شده و به صورت لایه‌ای و رگه‌ای (استوک‌ورکی) نهشته شده است. عیار منگنز در کانسنگ اپی‌ژنتیک نسبت به سین‌ژنتیک بیشتر است. تنوع کانه‌ها در فاز اپی‌ژنتیک بیشتر بوده و نزوتیت مهم‌ترین کانی منگنزدار در کانسنگ اپی‌ژنتیکی است. کانی‌های دیگر به ترتیب فراوانی شامل براونیت، پیرولوزیت، رامسلدیت، هماتیت، رودوکروزیت، رودونیت و به مقدار کمتر کریپتوملان هستند. رگه و رگچه‌های نزوتیت، براونیت و پیرولوزیت مهم‌ترین شاخصه کانسنگ اپی‌ژنتیک هستند. پیرولوزیت، نزوتیت، براونیت، رودوکروزیت و هماتیت توسط بررسی‌های میکروسکوپی، رامسلدیت توسط پراش‌سنجی پرتو ایکس و رودونیت توسط بررسی‌های الکترون مایکروپروب شناسایی شده است. کانی‌سازی نزوتیت اغلب همراه با هماتیت و در مناطقی که مقدار باریت و کانی‌های اکسیدی دیگر وجود دارد، تشکیل می‌شود. این پدیده به خصوص در آهک‌های رادیولاریتی رایج است.

در مقطع صیقلی، نزوتیت به صورت خاکستری‌رنگ بوده و در حاشیه رگه‌ها به دلیل تغییر در مقدار منگنز و حضور مقادیری آهن به رنگ روشن‌تر دیده می‌شود (شکل ۵-A). این پدیده احتمالاً به دلیل افزایش در مقدار آهن سیال هیدروترمالی کانی‌سازی شده و هماتیت نیز در این مرحله همراه با نزوتیت تشکیل شده است.





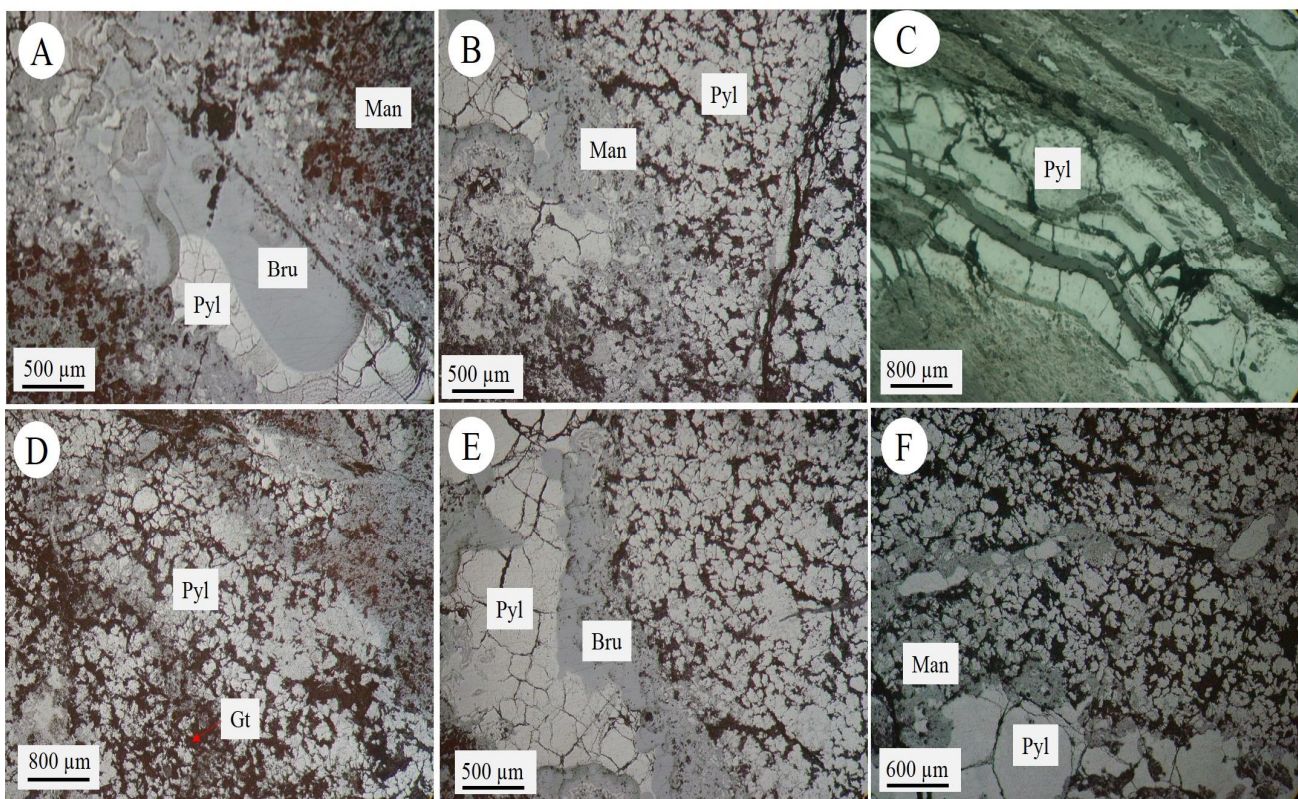
شکل ۳. تصاویر میکروسکوپی سنگ میزبان کانی‌سازی شده در کانسار منگنز نورآباد دلفان را نشان می‌دهد. A: فلدسپار (پلاژیوکلاز)، فلدسپار آلکالین و بیوتیت خودشکل در سنگ توف آندزیت‌بازالتی که بلورهای منگنز به صورت کانی‌های اوپک دیده می‌شود، B: چرت رادیولاریتی حاوی سنگ‌آهک با بافت‌های اوئیدی، C: واحدهای سنگ‌آهک که تحت تأثیر فعالیت‌های زمین‌ساختی منطقه نورآباد دلفان قرار گرفته و شکستگی‌های ایجادشده به وسیله فاز کانه‌زایی منگنز دارای اکسید آهن پر شده است، D: کانی‌سازی منگنز به صورت پرکننده فضای خالی در واحدهای رادیولاریتی، E: چرت رادیولاریتی حاوی بلورهای منگنز اریکولار و F: کانی‌سازی هم‌زمان با فاز سیلیس‌زایی ژاسپروئیدی. علائم اختصاری از ویتنی و اوانز (Whitney and Evans, 2010) اقتباس شده است (Plg: پلاژیوکلاز، Kfs: فلدسپار آلکالین، Bt: بیوتیت، Op: کانی‌های اوپک، Ol: الیوین، Tal: تالک، Rad: رادیولاریت، Oo: اوئید، Mn: منگنز، Fe: اکسید آهن، Si: سیلیس).

**Fig. 3.** Microscopic photographs of the host rock in the Noorabad Delfan Mn mineralization. A: Euhedral feldspar (plagioclase), alkali feldspar and biotite in basaltic andesite tuff, which opaque minerals are manganese crystals, B: Oolite limestone-bearing radiolarian chert, C: Limestone settings that are affected by the tectonic activity of the Noorabad Delphan and fractions filled by manganese and iron oxides, D: Open space filling manganese mineralization in radiolarite units, E: Radiolarian chert associated with orbicular manganese crystals, and F: Manganese mineralization simultaneous with jasperoid silicification phase. Abbreviation after Whitney and Evans (2010) (Plg: Plagioclase, Kfs: Alkali feldspar, Bt: Biotite, Op: Opaque minerals, Ol: Olivine, Tal: Talc, Rad: Radiolarite, Oo: Oolite, Mn: Manganese, Fe: Iron oxides, Si: Silica).



با میزبان کانسنگ سین‌ژنتیک نیز تشکیل شده است (شکل ۵-۳).  
 D). دگرسانی‌های سرپانتینی شدن، سیلیسی شدن،  
 کائولینیتی شدن، رودینگیتی شدن و پروپیلیتیک از جمله  
 دگرسانی‌های مشاهده شده در منطقه است که اغلب در  
 سنگ‌های دربرگیرنده مشاهده شده و دگرسانی سیلیسی شدن در  
 ارتباط با کانه‌زایی است. توالی پاراژنتیکی کانه‌ها در شکل ۶  
 نشان داده شده است.

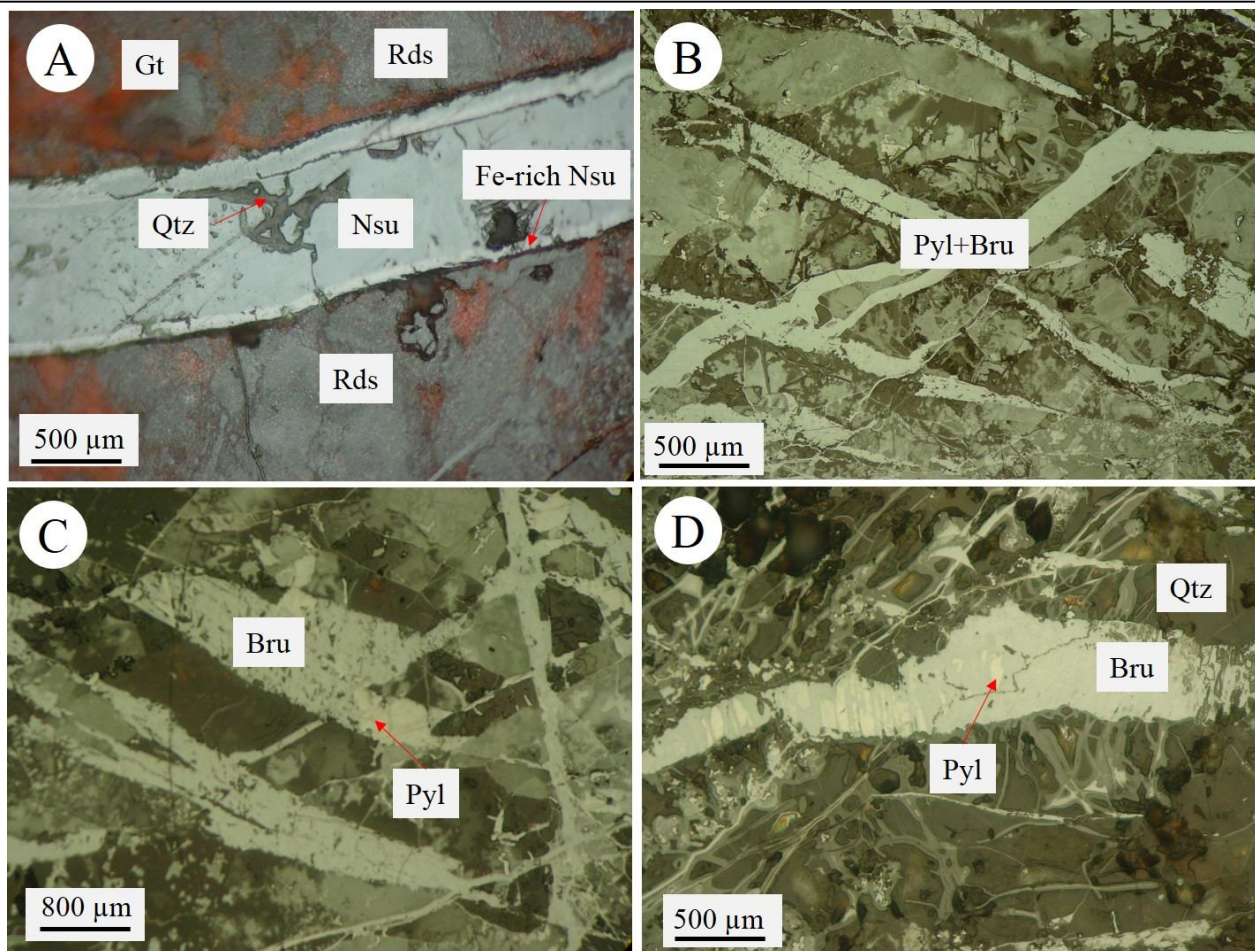
رودوکروزیت در سنگ زمینه کربناته با دانه‌های متوسط و  
 درشت به صورت بی‌شکل تا نیمه‌شکل دار تشکیل شده (شکل ۵-۳).  
 A) که بیانگر محیط‌های دما پایین در سیال‌های هیدروترمالی  
 است (Zhang et al., 2013b). پیرولولزیت و براونیت اغلب  
 به‌عنوان پرکننده فضای خالی در سنگ میزبان چرت  
 رادیولاریتی تشکیل شده و نحوه تشکیل به صورت رگچه‌ای با  
 ساخت نامنظم دارای ضخامتی متفاوت و عیار مختلف است  
 (شکل ۵-۳). پیرولولزیت همراه با براونیت با بافت رگه و رگچه



شکل ۴. تصاویر میکروسکوپی انعکاسی در فاز سین‌ژنتیک کانسار منگنز نورآباد دلفان را نشان می‌دهد. A: کانی‌سازی پیرولولزیت با بافت کلوفرمان همراه با براونیت، B: پیرولولزیت همراه با براونیت و منگانیت، C: شکل لایه‌ای کانی‌های منگنز در فاز سین‌ژنتیک، D: حضور گوتیت سوپرژن به صورت پرکننده فضاهای خالی و حفره‌ها، E: بلورهای درشت و ریز پیرولولزیت با بافت توده‌ای فاز سین‌ژنتیک و F: براونیت بعد از پیرولولزیت مهم‌ترین کانی منگنزدار فاز سین‌ژنتیک است. علایم اختصاری از ویتسی و اوانز (Whitney and Evans, 2010) اقتباس شده است (Pyl: پیرولولزیت، Bru: براونیت، Man: منگانیت، Gt: گوتیت. سیلیس).

**Fig. 4.** Reflective microscopic images in the syngenetic phase of Noorabad Delfan Mn mineralization. A: Pyrolusite mineralization with chloroform texture associated with braunite, B: Pyrolusite association with braunite and manganite, C: Layered form of manganese mineralization in the syngenetic phase, D: Presence of supergene goethite as open space filling, E: Coarse and fine-grained pyrolusite with massive texture in the syngenetic phase, and F: After pyrolusite, braunite is main manganese-bearing mineral of syngenetic phase. Abbreviation is based on Whitney and Evans (2010) (Pyl: Pyrolusite, Bru: Braunite, Man: Manganite, Gt: Goethite).





شکل ۵. تصاویر میکروسکوپی انعکاسی در فاز اپی‌ژنتیک کانسار منگنز نورآباد دلفان را نشان می‌دهد. A: کانی‌سازی رودکروزیت همراه با رگه نزوتیت که در حاشیه مقدار آهن افزایش نشان داده است، B: رشد بلورهای پیرولوژیت به صورت رگه‌ای (فاز اپی‌ژنتیک) در میزبان چرت رادیولاریتی، C و D: رگه و رگچه‌های پیرولوژیت و براونیت به صورت رگه‌ای (فاز اپی‌ژنتیک) در کانسنگ سین‌ژنتیک. علایم اختصاری از ویتنی و اوانز (Whitney and Evans, 2010) اقتباس شده است (Pyl: پیرولوژیت، Bru: براونیت، Qtz: کوارتز، Gt: گوئیت، Rds: رودکروزیت، Fe-rich Nsu: نزوتیت غنی از آهن، Nsu: نزوتیت).

**Fig. 5.** Reflective microscopic images in the epigenetic phase in the Noorabad Delfan Mn mineralization. A: Rhodochrosite (Rds) mineralization associated with nsutite (Nsu) veins, which show iron have increase in rim of veins, B: Pyrolusite-braunite has grown as veins (epigenetic phase) in radiolarian chert, C and D: Epigenetic pyrolusite and braunite vein and veinlets in the syngenetic ore. Abbreviation is based on Whitney and Evans (2010) (Pyl: Pyrolusite, Bru: Braunite, Qtz: Quartz, Gt: Goethite, Rds: Rhodochrosite, Fe-rich Nsu: Fe-rich Nsutite, Nsu: Nsutite).

به صورت بلورهای فلزی خودشکل در شکستگی‌ها دیده می‌شود (شکل ۷-C). همچنین طی بررسی‌های الکترون مایکروپروب، کانی با ترکیب سیلیکات آهن شناسایی شده است. شکل ۷-D، کانسنگ سین‌ژنتیک حاوی پیرولوژیت را نشان داده است که فاز اپی‌ژنتیک در آن به صورت رگه‌ای تحت تأثیر فشار متأثر از محلول‌های هیدروترمال در بافت‌های کاتاکلاستی حاصل از

بررسی‌های میکروسکوپی الکترونی و تجزیه EPMA در جدول ۲ و شکل ۷ ارائه شده است. نمودارهای پیرولوژیت و بلورهای پراکنده پیرولوژیت در شکل ۷-A نشان داده شده است. کانه‌های پیرولوژیت و هماتیت گاهی دارای بافت شعاعی و رشته‌ای و انتشاری در زمینه سیمانی کربناته هستند (شکل ۷-B). در برخی از نمونه‌ها عنصر فلزی خالص نظیر نقره و آهن

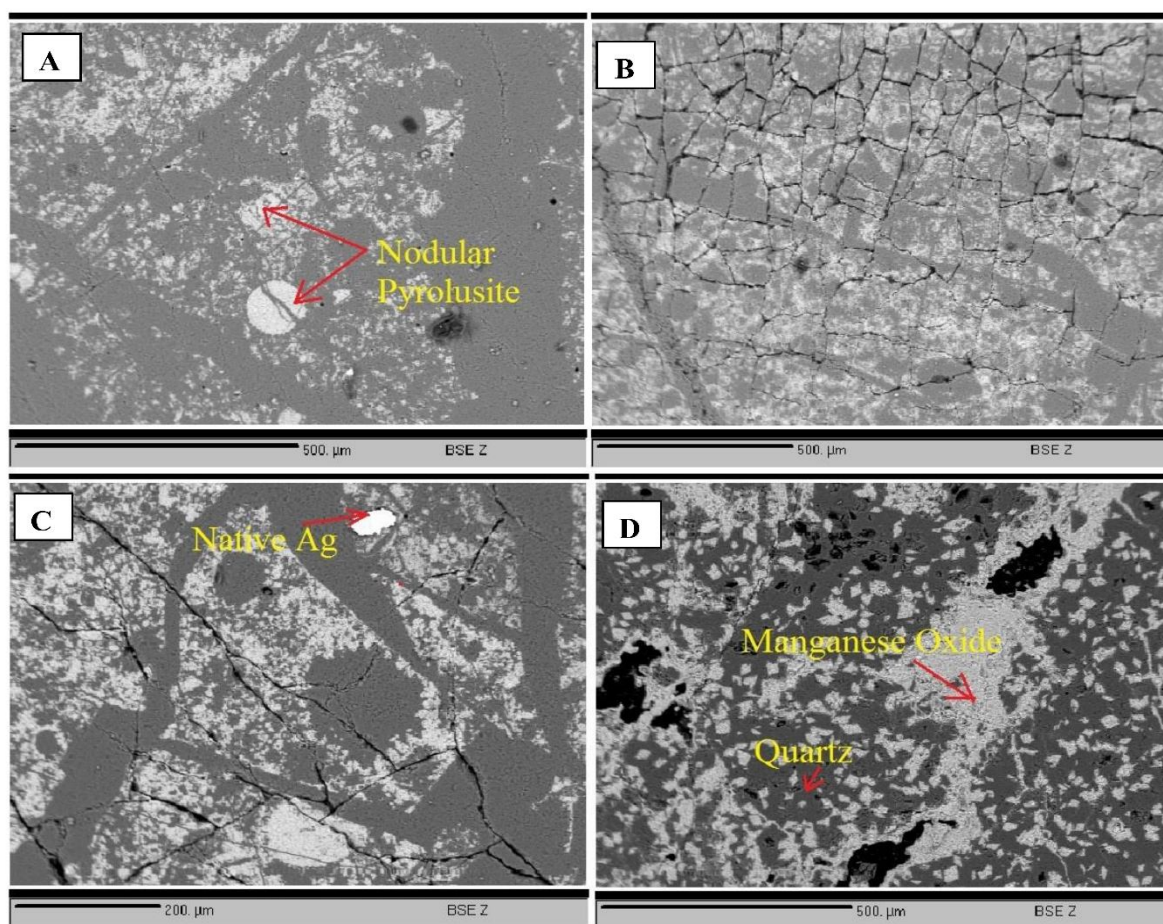




2010). با توجه به مقدار  $\text{SiO}_2$  اشاره شده در نمونه کانسنگ منطقه مورد بررسی، می‌توان گفت که کانسار منگنز نورآباد دلفان از نوع کانسارهای با منشأ هیدروترمالی است (شکل ۸- A). باید این نکته را نیز در نظر داشته باشیم که منشأهای دیگری مثل بیوزیستی، دیاژنتیکی و ورود رسوبات آواری نیز موجب افزایش مقدار سیلیس به محیط می‌شوند (Toth, 1980). هرچند، چنان‌که قبلاً نیز اشاره شد، با توجه به مقادیر پایین اکسیدهای تیتانیوم و آلومینیم، وجود رسوبات آواری و خاک‌زاد در منطقه مورد بررسی رد شد.

۴/۳۲ تا ۴۲/۷۳ قرار گرفته است که نشان از منشأ هیدروترمالی و یا ترکیبی هیدروترمالی-هیدروژنی است. داده‌های مقادیر اکسید تیتان و آلومینیم در کانسنگ‌های منگنز بسیار پایین است که هرگونه منشأ خاک‌زاد و آب‌زاد حاشیه قاره‌ای را رد می‌کند (Maynard, 2010; Polgari et al., 2012).

نمودار دوتایی ارائه شده بین Si و Al توسط تاس (Toth, 1980) نیز برای تعیین و تفکیک منشأ هیدروترمال از رسوبی در کانسارهای منگنز مورد استفاده قرار گرفته است. در کانسارهای با منشأ هیدروترمال، مقدار  $\text{SiO}_2$  بالاست (Karakus et al.,



شکل ۷. تصاویر میکروسکوپ الکترونی (SEM) از نقاط تجزیه شده با دستگاه EPMA از کانی‌سازی منگنز منطقه نورآباد دلفان. A: نودول‌های پیرولوزیت و بلورهای پیرولوزیت انتشاری در زمینه سنگ آهکی رادیولاریتی، B: رگه‌ها و رگچه‌های کوارتز به‌عنوان باطله اصلی است، C: وجود بلورهای خالص نقره در نمونه‌های کانسار نورآباد دلفان و D: نژوتیت و پیرولوزیت کانی‌های اصلی کانی‌سازی منگنز نورآباد دلفان هستند.

**Fig. 7.** Electron microscope images (SEM) of EPMA- analyzed points from Noorabad Delphan Mn ore mineralization. A: Nodular pyrolusite in the radiolarian limestone matrix, B: Quartz veins are the main gangue in the syngenetic ore, C: Native crystals of silver in the Noorabad Delphan deposit, and D: Nsutite and pyrolusite are main ore mineral at the Noorabad Delphan ore mineralization.



جدول ۲. نتایج تجزیه شیمیایی نقطه‌ای دقیق (EPMA) عناصر اصلی و فرعی بر حسب (Wt.%) از نمونه‌های کانسار منگنز در منطقه نورآباد دلفان (Bd> = کمتر از حد تشخیص)

**Table 2.** Major and minor electron microprobe analysis (EPMA) (wt.%) of the Noorabad Delphan deposit. (Bd>= Below detection limit)

Sample	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
Si	0.14	0.09	0.10	0.40	0.29	0.59	5.61	0.24	0.21	0.39	0.18
Ti	Bd>	Bd>	Bd>	0.02	Bd>	Bd>	0.04	0.02	Bd>	0.01	0.02
Al	0.07	0.03	0.03	0.07	0.06	0.29	0.07	0.10	0.09	0.17	0.04
Fe	0.17	0.11	0.18	0.74	0.18	3.89	0.15	0.58	1.37	1.66	0.43
Mn	54.48	54.29	53.8	53.45	53.70	49.70	49.63	54.48	53.05	52.54	53.88
Mg	1.38	1.39	1.25	0.99	1.56	1.04	1.31	1.27	1.30	1.03	1.42
Ca	2.48	2.43	2.41	2.71	2.46	2.35	2.33	2.38	2.19	2.52	2.19
Na	0.25	0.07	0.12	0.20	0.24	0.20	0.24	0.23	0.10	0.14	0.15
K	1.18	1.27	1.20	0.81	1.00	0.70	0.78	1.24	1.21	1.12	1.15
V	Bd>	Bd>	Bd>	0.01	Bd>	Bd>	Bd>	0.01	Bd>	0.01	0.01
Cr	0.01	Bd>	Bd>	0.01	Bd>	Bd>	0.02	Bd>	Bd>	Bd>	0.03
Ni	0.02	Bd>	0.00	0.03	0.01	Bd>	Bd>	Bd>	Bd>	Bd>	Bd>
Sr	0.45	0.26	0.38	0.43	0.26	0.22	0.21	0.52	0.30	0.47	0.38
S	0.02	0.02	0.02	0.11	0.03	0.05	0.02	0.06	0.05	0.04	0.02
Cu	0.05	Bd>	Bd>	0.03	Bd>	0.01	0.01	Bd>	Bd>	0.04	0.07
Zn	Bd>	0.12	0.07	0.09	0.02	0.07	0.02	0.04	0.10	0.02	0.03
Pb	0.05	0.04	Bd>	0.05	0.03	0.07	Bd>	0.02	Bd>	Bd>	0.03
<b>Total</b>	<b>79.24</b>	<b>78.34</b>	<b>77.58</b>	<b>78.64</b>	<b>78.30</b>	<b>77.69</b>	<b>83.52</b>	<b>79.9</b>	<b>78.27</b>	<b>78.66</b>	<b>78.31</b>

شود. حضور فسیل‌های رادیولار با هیدروکسیدهای بی‌شکل آهن و منگنز در مجاورت مجراهای گرمابی پشته‌های میان اقیانوسی امروزی گزارش شده است. آثار فسیل‌های رادیولار نیز در نوارهای سیلیسی همراه با نوارهای غنی از ترکیبات منگنز منطقه مورد بررسی نشان می‌دهد که دست کم بخشی از سیلیس موجود در کانسنگ سین‌ژنتیک دارای منشأ زیستی بوده که این

نسبت بالای Si/Al در نهشته‌های گرمابی معمول بوده و نشان‌دهنده تأمین محلی سیلیس به‌وسیله سیال گرمابی در مجاورت مجراهای بیرون‌دمی است؛ درحالی‌که در نهشته‌های رسوبی با منشأ آب‌زاد دریایی این میزان اندک بوده و اغلب در حدود ۳ است. غنی‌شدگی محلی آب دریا از سیلیس در اثر فعالیت گرمابی کف دریا موجب تکثیر فراوان رادیولارها می‌-

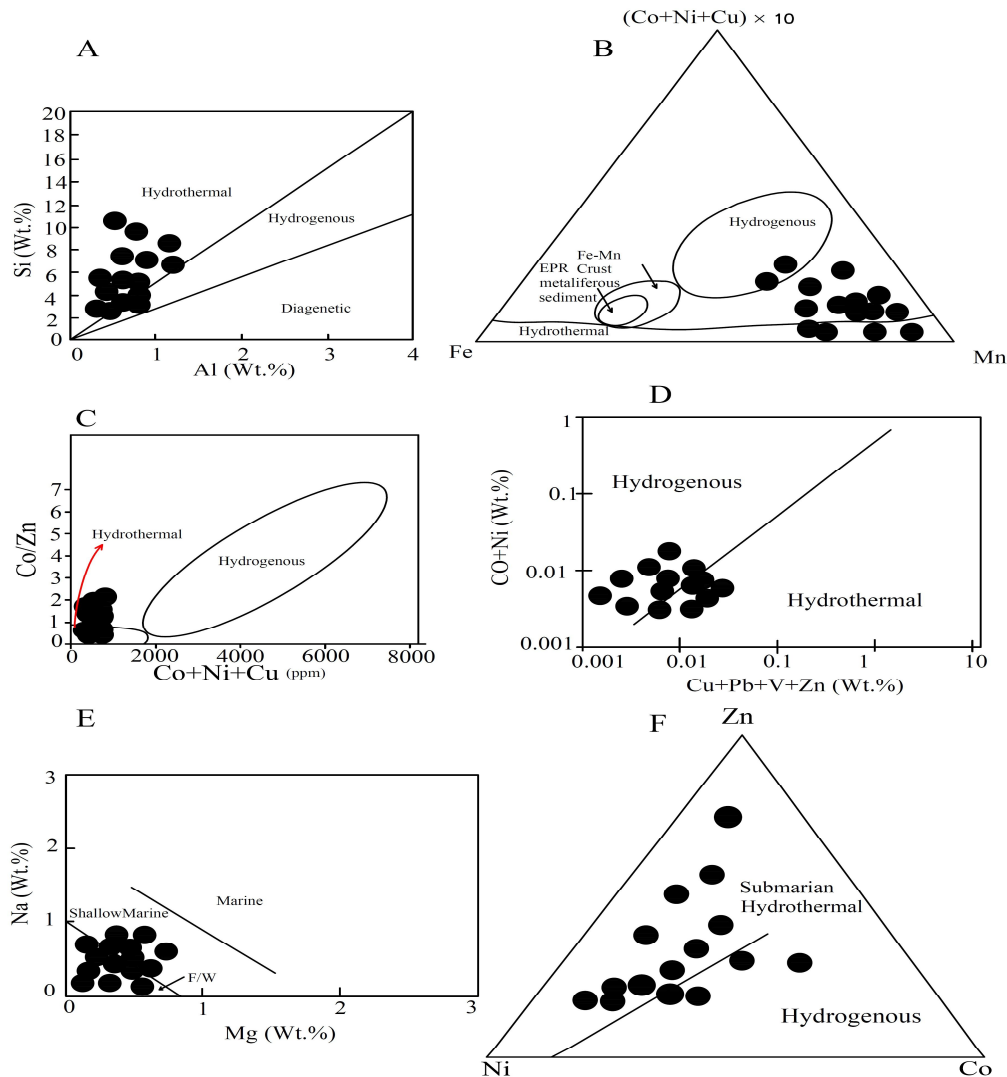
تن) غنی شده است که نشان‌دهنده منشأ هیدروترمالی زیردریایی هستند (Polgari et al., 2012). نسبت سدیم در منیزیم نیز نشان می‌دهد این کانسار از یک منشأ هیدروترمالی دریایی با منشأ کم‌عمق ایجاد شده است (شکل ۸-E). در نمودار سه‌تایی روی-نیکل-کبالت ارائه‌شده توسط شاه و مون (Shah and Moon, 2007)، نیز نمونه‌های مورد بررسی از نوع منشأ هیدروترمالی-هیدروژنی است (شکل ۸-F).

مقادیر REE یکی از نشانه‌های ژئوشیمیایی مهم و کاربردی در تفسیر ذخایر منگنز هستند. ذخایر با منشأ هیدروژنی دارای مقادیر بالاتری از REE نسبت به ذخایر با منشأ هیدروترمالی هستند. مجموع مقادیر REE در کانسنگ مورد بررسی بالا نبوده و مقدار حدواسط نشان از نقش منشأ هیدروترمالی-هیدروژنی دارد. نسبت LREE / HREE در کانسار مورد بررسی از ۱ تا ۱۵ متغیر بوده و به‌طور میانگین ۷/۱۱ است که مشخصه بارز کانسارهای با منشأ هیدروترمال است (Hongo and Nozaki, 2001; Mazhari et al., 2015). نسبت بالای LREE / HREE به دلیل پایداری بالاتر HREE در کمپلکس‌های آب دریاست و نشان‌دهنده منشأ هیدروترمالی منطقه است (Ruhlin and Owen, 1986). مقادیر نابهنجاری منفی Ce و مثبت قوی Eu و نیز مجموع اندک REE و همچنین غنی‌شدگی LREE در مقایسه با HREE بیانگر نهشته‌های گرمابی در مجاورت پشته‌های میان اقیانوسی است. با دور شدن از مراکز پشته‌های میان اقیانوسی (رخساره‌های distal) از شدت نابهنجاری‌های منفی Ce و مثبت Eu کاسته می‌شود. همچنین مقدار اندک REE از ویژگی‌های نهشته‌های گرمابی منگنز بوده که بیانگر نهشته‌شدن سریع آنهاست؛ در صورتی که در نهشته‌های هیدروژنی، غلظت REE کلی بالا و نابهنجاری مثبت Ce مشاهده می‌شود که نشان‌دهنده نهشته‌شدن اکسیدها و هیدرواکسیدهای منگنز با آهنگی آهسته همراه با جذب Ce است (Danielson et al., 1992). با توجه به آنومالی منفی تا مثبت ضعیف Ce در نمونه‌های مورد بررسی، می‌توان منشأ ترکیبی هیدروترمالی-هیدروژنی را برای کانسنگ منگنز نورآباد دلفان پیشنهاد داد.

مطلب در نمودار سه‌تایی [Fe-Mn-Co+Ni+Cu], [Co/Zn-Co+Ni+Cu]\*10] قابل مشاهده است (Bonatti et al., 1972; Crerar et al., 1982). داده‌های منطقه مورد بررسی نشان می‌دهد که در موقعیت نهشته‌های هیدروترمال تا هیدروژنی قرار می‌گیرند. مقادیر بالای منگنز و بسیار کم آهن و عناصر Co، Ni و Cu از ویژگی‌های نهشته‌های گرمابی منگنز است؛ در صورتی که نهشته‌های منگنز آب‌زاد تفکیک‌اندکی از آهن و منگنز و مقادیر بالایی از عناصر Co، Ni و Cu را دارا هستند که نشان‌دهنده زمان طولانی تماس این نهشته‌ها در آب دریا و نهشت آهسته آنها به همراه جذب سطحی عناصر جزئی توسط فازهای کلوئیدی منگنز و آهن از آب دریاست. در ته‌نشینی سریع، نهشته‌های منگنز گرمابی مانع از جذب سطحی عناصر از منشأ آب‌زاد می‌شود. نمونه‌های کانسنگ مورد بررسی در نمودار Co/Zn به Co+Ni+Cu نیز نشان‌دهنده منشأ هیدروترمالی تا هیدروژنی برای کانسار منگنز نورآباد دلفان است (شکل ۸-C). شکل‌های اکسیدان منگنز تمایل شدیدی به جذب گونه‌های کاتیونی دارند (Stumm and Mogan, 1970). کانسارهای منگنز هیدروژنی تمایل شدیدی به تمرکز کبالت، نیکل و مس در مقایسه با کانسارهای منشأ هیدروترمالی دارند (Polgari et al., 2012). مقدار کبالت از کانسارهای منشأ هیدروژنی به سمت دیاژنز و در نهایت هیدروترمال کاهش نشان می‌دهد (Sabatino et al., 2011). از نسبت Co/Zn برای تفکیک کانسارهای با منشأ هیدروژنی و هیدروترمالی استفاده می‌شود (Toth, 1980). نسبت Co/Zn در ذخایر با منشأ هیدروترمالی برابر ۰/۱۵ و در منشأ هیدروژنی برابر ۰/۲۵ است. مقدار نسبت Co/Zn در نمونه‌های مورد بررسی در محدوده ۰/۱۵ تا ۲/۰۷ قرار گرفته است که نشان‌دهنده منشأ ترکیبی از کانسارهای هیدروترمالی و هیدروژنی است. از طرفی نمودار Co+Ni در برابر Cu+Pb+V+Zn نیز نمونه‌های مورد بررسی منشأ هیدروترمالی تا هیدروژنی را نشان می‌دهند (شکل ۸-D). نمونه‌های مورد بررسی از مقادیر سرب تهی‌شده (میانگین ۱۲/۴۴ گرم در تن) و از مقادیر باریم (میانگین ۲۵۱۸ گرم در

فرومنگنز را کنترل کند و باعث ایجاد آنومالی سریم مثبت شود که نشان‌دهنده کانسارهای هیدروژنی است.

سرعت جذب سریم توسط فعالیت‌های میکروبی که ورود Ce به درون اکسیدهای منگنز دریا را کنترل می‌کند، سرعت رشد اکسیدهای فرومنگنز می‌تواند جذب سریم بر سطح اکسیدهای



شکل ۸. نمودارهای ژئوشیمیایی در کانسار منگنز منطقه نورآباد دلفان. A: نمودار دوتایی سیلیس در برابر آلومینیم (Toth, 1980)، B: نمودار سه‌تایی  $(Cu + Ni + Co) \times 10 - Fe - Mn$  (Bonatti et al., 1972; Crerar et al., 1982) که نشان می‌دهد نمونه‌های نورآباد دلفان دارای منشأ هیدروترمال-هیدروژنی هستند، C: نمودار دوتایی  $Co/Zn$  در برابر  $Co+Ni+Cu$  برگرفته از پولگاری و همکاران (Polgari et al., 2012)، D: نمودار دوتایی  $Co+Ni$  در برابر  $Cu+Pb+V+Zn$  برگرفته از نیکلسون (Nicholson, 1992a)، E: نمونه‌های کانسار منگنز نورآباد دلفان در نمودار نسبت  $Na$  در برابر  $Mg$  (Nicholson, 1992a) در موقعیت کانسارهای هیدروترمالی قرار می‌گیرد، و F: نمودار سه‌تایی  $N-Co-Zn$  (Shah and Moon, 2007)

**Fig. 8.** Geochemical diagrams of the Noorabad Delphan Mn ore deposit. A: Si and Al binary diagram (Toth, 1980), B:  $(Cu + Ni + Co) \times 10 - Fe - Mn$  ternary diagram (Bonatti et al., 1972; Crerar et al., 1982) of Noorabad Delphan ore samples show that hydrothermal-hydrogenous origin, C:  $Co/Zn$  and  $Co+Ni+Cu$  binary diagram after Polgari et al., 2012, D:  $Co+Ni$  and  $Cu+Pb+V+Zn$  binary diagram after Nicholson (1992a), E: Noorabad Delphan ore samples in  $Na/Mg$  diagram (Nicholson, 1992a) are located in the hydrothermal deposits area, and F: Ternary diagram of  $N-Co-Zn$  (Shah and Moon, 2007).

جدول ۳. نتایج تجزیه شیمیایی سنگ کل به روش (ICP-MS) از عناصر فرعی بر حسب (ppm) از نمونه‌های کانسار منگنز در منطقه نورآباد دلفان

**Table 3.** The results of whole rock chemical analysis, by ICP-MS method minor elements per (ppm) from manganese deposit samples in Noorabad Delfan area

Sample	101	102	103	104	105	106	107	108
Ba	3339	1742	1392	1818	1572	5947	1989	1209
Be	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00
Co	82.20	82.80	31.70	67.90	42.30	80.00	41.30	27.20
Cs	0.50	0.10	0.10	0.20	0.10	0.40	0.10	0.10
Ga	51.20	48.00	35.90	39.20	33.20	28.50	33.20	30.90
Rb	1.20	0.80	0.40	2.00	2.00	1.60	10.70	6.70
Sr	523	642	732	625	223	631	126	523
Ta	0.10	0.10	0.10	0.10	0.20	0.10	0.60	0.10
Th	0.40	0.30	0.41	0.32	0.40	0.51	0.80	0.96
U	2.26	3.01	4.05	2.06	2.04	3.07	3.29	4.06
Zr	16.70	20.23	121.00	17.50	19.70	17.50	17.40	12.10
Cu	92.70	96.50	247.00	146.00	28.10	50.40	45.50	49.70
Pb	5.70	22.00	19.00	15.20	10.30	10.40	15.10	11.90
Zn	47.00	66.00	52.00	53.00	151.00	44.00	48.00	179.00
V	38.25	11.28	132.11	132.00	45.44	40.00	62.18	100.12
Ni	153.00	157.70	174.00	224.00	205.50	66.20	55.30	154.00
Sc	1.00	1.00	2.00	1.00	2.00	1.00	2.00	1.00
Co/Zn	1.75	1.25	0.61	1.28	0.28	1.81	0.86	0.15
Co/Ni	0.54	0.52	0.18	0.30	0.20	1.20	0.75	0.18
La	5.10	7.70	5.00	3.20	3.60	5.60	20.70	19.70
Ce	5.60	7.80	5.10	4.20	3.70	5.70	20.80	19.80
pr	10.00	10.80	8.20	5.80	6.90	8.60	18.30	45.50
Nd	3.30	4.30	3.20	3.10	4.30	3.30	20.30	17.50
Sm	0.66	0.76	0.49	0.48	1.03	0.55	4.69	3.61
Eu	0.12	0.13	0.12	0.14	0.23	0.10	1.06	0.81
Gd	0.69	0.90	0.64	0.55	1.06	0.66	4.60	3.20
ΣLREE	25.50	32.30	22.80	17.50	20.80	24.50	90.50	110.00
Tb	0.15	0.17	0.13	0.11	0.18	0.12	0.73	0.48
Dy	0.93	0.99	0.92	0.86	1.04	0.80	4.34	2.91
Ho	0.24	0.28	0.21	0.17	0.2	0.16	0.91	0.55
Er	0.80	0.81	0.67	0.65	0.71	0.63	2.54	1.50
Tm	0.13	0.16	0.14	0.12	0.10	0.10	0.32	0.23
Yb	1.05	1.20	1.10	0.97	0.67	0.65	1.89	1.40
Lu	0.18	0.21	0.18	0.17	0.10	0.11	0.28	0.22
ΣHREE	3.48	3.82	3.35	3.05	3.00	2.57	11.00	7.29
LREE/HREE	7.32	8.47	6.79	5.73	6.94	9.53	8.22	15.10
ΣREE	29.00	36.20	26.10	20.50	23.80	27.00	102.00	117.00
La/Ce	0.91	0.98	0.98	0.76	0.97	0.98	1.00	0.99
Y/Ho	4.38	4.28	5.24	5.71	3.35	4.06	2.08	2.55
Eu/Eu*	0.54	0.83	0.65	0.67	0.50	0.69	0.77	0.72



ادامه جدول ۳. نتایج تجزیه شیمیایی سنگ کل به روش (ICP-MS) از عناصر فرعی بر حسب (ppm) از نمونه‌های کانسار منگنز در منطقه نورآباد دلفان

**Table 3 (Continued).** The results of whole rock chemical analysis, by ICP-MS method minor elements per (ppm) from manganese deposit samples in Noorabad Delfan area

Sample	109	110	111	112	113	114	115
Ba	3194	3179	1819	2086	2227	3614	2645
Be	2.00	2.00	1.00	1.01	1.00	1.00	1.00
Co	128.00	27.20	39.30	48.50	33.10	17.50	60.23
Cs	0.40	0.70	0.50	0.30	0.50	0.20	0.03
Ga	31.10	30.60	28.50	92.00	92.00	92.00	45.02
Rb	0.77	0.65	4.30	0.40	0.12	5.90	2.26
Sr	864	523	96	568	555	557	664
Ta	0.10	0.10	0.10	0.10	0.40	0.10	0.20
Th	0.62	0.40	0.36	0.30	0.29	0.74	0.024
U	4.02	4.96	5.23	3.00	3.78	4.29	3.96
Zr	14.20	16.60	7.06	14.30	18.22	10.10	16.78
Cu	333.00	45.10	40.80	28.10	80.50	247.10	312.01
Pb	3.30	7.50	22.00	9.33	19.00	7.90	8.11
Zn	62.00	41.00	35.00	179.00	62.45	62.00	61.02
V	124.00	88.00	46.20	30.25	40.00	111.00	114.21
Ni	50.20	38.00	50.10	50.70	44.90	39.30	231.00
Sc	1.00	1.50	1.00	3.00	1.00	1.00	1.00
Co/Zn	2.07	0.66	1.12	0.27	0.53	0.28	0.98
Co/Ni	2.56	0.72	0.78	0.96	0.73	0.44	0.26
La	2.00	1.50	5.40	4.30	7.05	5.83	0.75
Ce	2.10	1.60	5.50	4.40	7.06	0.94	0.25
pr	1.40	2.30	10.40	5.83	11.51	5.83	0.28
Nd	0.80	1.40	2.80	2.60	5.83	0.22	0.94
Sm	0.21	0.31	0.56	0.52	1.29	0.25	0.22
Eu	0.05	0.06	0.17	0.17	0.32	0.04	0.25
Gd	0.28	0.34	0.71	0.62	1.28	0.75	0.22
ΣLREE	6.84	7.51	25.50	18.40	34.30	13.80	2.91
Tb	0.05	0.06	0.13	0.11	0.19	0.28	0.54
Dy	0.41	0.33	0.92	0.77	1.27	0.04	0.79
Ho	0.09	0.06	0.22	0.18	0.25	0.22	5.94
Er	0.30	0.18	0.70	0.63	0.75	5.34	0.48
Tm	0.04	0.03	0.11	0.12	0.10	0.22	0.79
Yb	0.28	0.14	1.01	0.94	0.72	0.04	0.65
Lu	0.02	0.19	0.17	0.12	0.22	8.82	0.54
ΣHREE	1.19	0.99	3.26	2.87	3.50	14.9	9.73
LREE/HREE	5.75	7.59	7.83	6.43	9.81	0.92	0.29
ΣREE	8.03	8.50	28.80	21.30	37.80	28.80	12.64
La/Ce	0.95	0.94	0.98	0.98	0.99	0.06	0.35
Y/Ho	3.11	2.33	4.59	5.22	2.88	0.18	0.10
Eu/Eu*	0.63	0.56	0.82	0.91	0.84	0.77	0.11

چنان‌که قبلاً نیز اشاره شد، به نقش فعالیت‌های میکروبی و زیستی دیاژنز در دلفان اشاره شده است. مقدار  $La_n/Ce_n$  در پوسته‌های هیدروترمال، شبیه به آب دریا بوده (تقریباً برابر  $2/8$ )؛ در حالی که این نسبت در پوسته منگنز هیدروژنی تقریباً برابر  $0/25$  است. مقادیر  $Dy_n/Yb_n$  در منشأ هیدروترمال برابر  $0/6$  تا  $2/1$  و در هیدروژنی برابر  $0/4$  تا  $1/2$  گزارش شده است (Oksuz, 2011). نمونه‌های مورد بررسی دارای مقادیر  $Dy_n/Yb_n$  برابر  $0/8$  تا  $2/2$  بوده که نشان می‌دهد کانی‌سازی منگنز منطقه نورآباد دلفان دارای ترکیب منشأ هیدروترمال-هیدروژنی است. مقدار نسبت  $Y/Ho$  نیز در منطقه برابر  $0/10$  تا  $5/71$  گرم در تن بوده که نشان می‌دهد مواد خاک‌زاد نقشی در کانه‌زایی ندارند.

## بحث

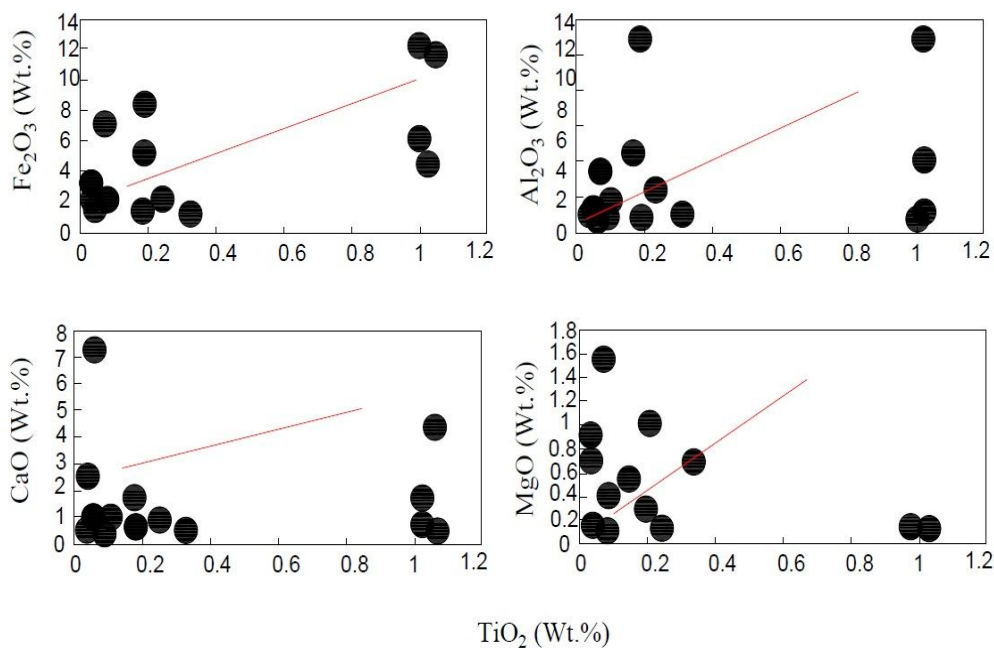
کانسارهای منگنز دارای منشأهای مختلف هستند. نهشته‌های هیدروترمال منگنز یکی از معمول‌ترین نوع ذخایر منگنز هستند که در ارتباط نزدیک با ژل‌های سیلیسی آهن‌دار است. این نهشته‌ها در ارتباط با فوران آتشفشانی و هیدروترمالی زیردریایی و غنی از عناصر فلزی به صورت بین لایه‌ای با رسوبات دریایی تشکیل می‌شوند (Roy, 1992). محتوای سیلیس در تشخیص نهشته‌های گرمابی، از نهشته‌های با منشأ آب‌زاد و خاک‌زاد مناسب است. با توجه به اینکه سیلیس موجود در ذخایر آهن و منگنز هیدروترمال، اغلب توسط فرایندهای آتشفشانی زیردریایی تولید می‌شود، در نهشته‌های گرمابی زیردریایی میزان سیلیس نسبتاً بالاست؛ در حالی که منشأ  $Ti$  و  $Al$  موجود در نتیجه تجزیه شیمیایی توسط دانه‌های آواری، کانی‌های رسی موجود در رسوبات قاره‌ای فراهم می‌شود. این امر باعث می‌شود که نسبت  $Si/Al$  در نهشته‌های گرمابی به گونه‌ای مشخص بالاتر از نهشته‌های آب‌زاد باشد. از نسبت  $Si/Al$  برای تعیین منشأ ذخایر هیدروترمال، آب‌زاد و خاک‌زاد منگنز استفاده شود. میانگین بالای این نسبت در نهشته‌های هیدروترمال معمول بوده و نشان‌دهنده تأمین محلی سیلیس به وسیله سیال هیدروترمال مجاور مجراهای برون‌دمی بوده؛ در حالی که در نهشته‌های رسوبی با

منشأ آب‌زاد دریایی این میزان پایین‌تر است که حضور سیلیسیم در منطقه به‌طور گسترده با انحلال‌پذیری کوارتز در سامانه زیردریایی کنترل می‌شود. این فعالیت‌های حرارتی سدیم، منیزیم و کلسیم محیط را نیز شسته و به سنگ‌های ناحیه افزوده و باعث دگرسانی و تشکیل هم‌نشینی کانیایی در محیط شده است.  $TiO_2$  در محلول‌های گرمابی، نامتحرک است و می‌تواند به‌عنوان شاخصی برای اندازه‌گیری میزان مواد آواری مخلوط شده با نهشته به کار رود. مقادیر نسبتاً بالای  $TiO_2$  و  $Al_2O_3$  در کانسارهای منگنز می‌تواند بیانگر آمیختگی مواد آواری در حین رسوب‌گذاری باشد (Sugisaki, 1984). همبستگی مثبتی بین اکسیدهای آلومینیم و تیتانیوم مشاهده شده (شکل ۹) که احتمالاً در ارتباط با ترکیبات مافییک (توف بازالتی و توف آندزیت‌بازالتی) مثل همبستگی مثبت اکسید تیتان با ترکیبات  $MgO$  و  $Fe_2O_3$  است. از طرفی داده‌های ژئوشیمیایی بیانگر میزان پایین اکسید آلومینیم و تیتانیوم در کانسار بوده که نشان‌دهنده این است که مواد تخریبی در این نوع کانه‌سازی مشارکت نداشته‌اند. میزان اکسید آلومینیم نیز در نمونه‌ها طیفی از  $0/02$  تا  $11/24$  درصد وزنی در این حدود را نشان داده‌اند و با میانگین  $2/93$  درصد وزنی است.

تفریق و جدایش قوی بین آهن و منگنز در کانسار نورآباد دلفان رخ داده است. بر اساس نتایج تجزیه شیمیایی، کانه منگنز دارای طیف‌های متفاوتی از  $18/32$  تا  $58/26$  درصد وزنی است که با میانگین حدود  $37/11$  درصد وزنی دارای عیار قابل توجهی است. میزان فراوانی اکسیدهای آهن نیز دارای میانگین  $4/88$  درصد وزنی است. حال با توجه به مقدار آهن کم و همچنین مقدار کم کانی‌های آهن‌دار (هماتیت در بخش اپی‌ژنتیک) و نبود کانی‌های آهن‌دار در فاز سین‌ژنتیک و همچنین همبستگی مثبت بین آهن با آلومینیم و تیتانیوم می‌توان نتیجه گرفت که سیستم هیدروترمالی باعث کانی‌سازی منگنز نورآباد دلفان، از منشأ هیدروترمالی فاصله دارد. از طرفی مقدار کم سنگ‌های ولکانو-کلاستیکی نیز بیانگر دوربودن منشأ هیدروترمالی کانسار نورآباد دلفان از منشأ اگزالاتیو هیدروترمال است (Shah and

شناخته می‌شود. همبستگی مثبت بین دو عنصر باریم و منگنز نیز بیانگر منشأ گرمابی و رفتار ژئوشیمیایی یکسان برای دو عنصر است. همبستگی مثبت بین دو عنصر مس و باریم منعکس‌کننده منشأ و رفتار ژئوشیمیایی مشابه این دو عنصر است. این دو عنصر در محلول‌های گرمابی متحرک بوده و در نهشته‌های منگنز گرمابی حضور می‌یابند. نمونه‌های مربوط به ذخیره منگنز نورآباد دلفان از عناصر باریم و استرانسیوم غنی‌شدگی نشان می‌دهند که قابل مقایسه با نهشته‌های هیدروترمال امروزی هستند. میزان این عناصر در منطقه ممکن است به‌خاطر نهشتگی‌های باریم در محیط و حضور و انحلال سیلیسیم در سامانه‌های کانی‌زایی کنترل‌شود که این عمل در فشار و حرارت‌های متفاوتی صورت می‌گیرد.

(Moon, 2007). در داده‌های شیمیایی به‌دست آمده از کانسنگ منگنز بین عناصر Mn-Al، Mn-Ti و Ba-Co همبستگی منفی و بین عناصر Al-Ti، Ba-Cu و Mn-Ba همبستگی مثبت وجود دارد. وجود همبستگی منفی بین اکسیدهای آلومینیم-منگنز و آلومینیم-تیتانیوم منعکس‌کننده تفاوت در منشأ و رفتار ژئوشیمیایی تیتانیوم و آلومینیم با منگنز است. منگنز عنصری فعال و با منشأ گرمابی است؛ در صورتی که تیتانیوم و آلومینیم عناصر غیر فعال و با منشأ خاک‌زاد (کانی‌های رسی) هستند. ضریب همبستگی منفی بین عناصر کبالت و باریم نیز منعکس‌کننده منشأ و رفتار ژئوشیمیایی متفاوت این دو عنصر در نهشته‌های منگنز گرمابی است. باریم در این نهشته‌ها دارای منشأ گرمابی است؛ در صورتی که کبالت به‌عنوان عنصری آب‌زاد



شکل ۹. نمودار نسبت آهن، آلومینیم، کلسیم و منیزیم به تیتان بر اساس نتایج تجزیه شیمیایی XRF در منطقه نورآباد دلفان. به‌طور کلی روند کلی همبستگی مثبت عناصر با تیتان موجود در کانسار قابل مشاهده است.

**Fig. 9.** Binary diagrams of Al, Fe, Ca and Mg vs  $TiO_2$ , based on XRF chemical analysis collected from the Noorabad Delfan Mn deposit

می‌شود (Bonatti et al., 1972). به‌طور کلی این نمودارها از جمله نمودارهای ترسیم‌شده در بخش ژئوشیمی این مقاله نشان

با استفاده از نسبت عناصر کمیاب، کانسارهای رسوبی دریایی و همچنین انواع خاک‌زاد منگنز از کانسارهای هیدروترمال متمایز

شرایط‌های احیایی روی می‌دهد (Frakes and Bolton, 1992). اختلاط محلول‌های هیدروترمال اولیه با آب دریا باعث ته‌نشست سریع کانسار به صورت توده‌ای و با افزایش فشار سیال به ساختار استوک‌ورک، در امتداد کانال‌ها و معابر خروجی سیال با رادیولاریت‌ها و ژاسپروندها می‌شود (Pedersen and Price, 1982). بررسی‌های کانی‌شناسی و صحرایی نشان داد که در کانی‌سازی منگنز نورآباد دلفان نیز کانی‌سازی در ابتدا به صورت سین‌ژنتیک رخ داده و اغلب دارای بافت‌های توده‌ای، لایه‌ای و کلوفرم است. کانی‌سازی استوک‌ورک و رگه و رگچه (مرحله اپی‌ژنتیک) بعد از سین‌ژنتیک رخ داده است که افزایش فشار را در مرحله دوم کانی‌سازی نشان می‌دهد.

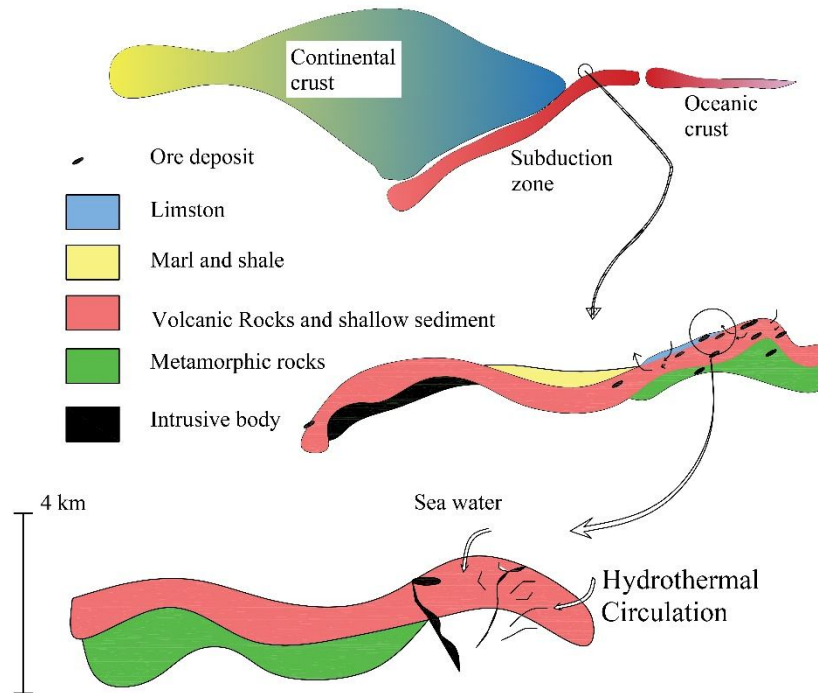
با توجه به محیط‌های دریایی شور فاز ته‌نشست‌های فلزی توسط کمپلکس‌های کلریدی قابل حمل و نهشته‌شدن هستند؛ ولی به‌طور کلی نهشته‌های منگنز محیط دریایی نوع خاصی از نهشته‌های فلزی اکسیدی هستند. انواع نهشته‌ها از لحاظ مورفولوژیکی به شکل پوشش‌های نودول‌ها (گرهک‌ها) و رگچه‌هایی در آهک‌های پلاژیک و مارن‌های آهکی در این محیط دریایی دیده می‌شود. شکل‌گیری این نوع منگنزها در محدوده برون‌دمی ته‌نشینی است. معمولاً حلالیت کمتر آهن نسبت به منگنز موجب رسوب‌گذاری آهن در ابتدای ورود سیال هیدروترمال می‌شود؛ در حالی که به‌علت تحرک کمتر منگنز در فاصله‌ای کمی دورتر از مجرای برون‌دمی صورت می‌گیرند. حاصل این جدایش تشکیل نهشته‌هایی با میزان نسبت پایینی از آهن در فاصله دورتر به مجرای برون‌دمی و نهشته‌های منگنز غنی از آهن در فاصله نزدیک به مجرای برون‌دمی است (Matsuoka et al., 1998). بررسی‌های ژئوشیمیایی و نسبت‌های برخی از عناصر در بخش ژئوشیمی نشان داد که کانی‌سازی منگنز نورآباد دلفان نسبت به مجرای برون‌دمی فاصله داشته و مقدار آهن در این ذخیره کم است. از طرفی فرایندهای ترکیبی و مابین هیدروترمالی و هیدروژنی در تشکیل کانی‌سازی نقش مهم ایفا می‌کنند. شکل ۱۰ مدل ساده‌شده جانشینی کانسار در منطقه مورد بررسی را نشان می‌دهد.

می‌دهد که نهشته‌هایی با منشأ هیدروترمال از عناصر نیکل، مس، کبالت و روی نسبت به کانسارهای رسوبی تهی شده‌اند. کانسارهای هیدروترمال منگنز با غنی‌شدگی از عناصر As, Ba, Co, Cu, Ni, Cu, Pb, Sb, Sr, Li, Cd, Mo, V, Zn و کانسارهای رسوبی با غنی‌شدگی از عناصر Ca, K, Na, Mg, Sr, متمایز می‌شوند (Nicholson, 1992a). نمودارهای ژئوشیمیایی در بخش ژئوشیمی نشان داد که منشأ هیدروترمالی نقش مهمی در تشکیل کانسار منگنز نورآباد دلفان داشته است. بعضی از نمودارهای ژئوشیمیایی ارائه‌شده (شکل ۸) نقش فرایندهای هیدروژنی را نیز در کانسار مورد بررسی نشان داده است. از طرفی گونه‌های کاتیونی Sr, Ba, As, Ce, Co در منگنز دلفان بیانگر ویژگی‌های هیدروترمال-هیدروژنی است (Shah and Moon, 2007). نسبت Co/Zn نیز نشان از چند منشأ برای کانی‌سازی منگنز نورآباد دلفان دارد (شکل ۸-C). شواهد ژئوشیمیایی نشان می‌دهد که کانسار نورآباد دلفان ویژگی‌های بین هیدروژنی-هیدروترمالی دارد و این موضوع بیانگر تأثیر دو عامل ژنتیکی در ایجاد این کانسار است که شرایط فیزیکوشیمیایی در نهشت منگنز دلفان متفاوت بوده است و همچنین فرایندهای میکروبی و زیستی نیز نقش را ایفا می‌کنند. همه اینها نشان می‌دهد که کانی‌سازی منگنز با فاصله از مرکز سیستم گرمایی هیدروترمال تشکیل شده است.

### مدل جانشینی کانسار

محیط‌های زایش، کانسارهای منگنز را بر اساس ویژگی‌های ژئوشیمیایی آنها به گروه‌های ولکانیکی، هیدروترمال و رسوبی، رده‌بندی می‌کنند. بر اساس بررسی‌های محیط سنگی کانسار، با توجه به سنگ میزبان افیولیتی کانسار، ویژگی‌های بافتی و ساختی (لایه‌ای، استوک‌ورک، نودول‌های منگنز، رگه‌ای و توده‌ای)، کانسنگ سین‌ژنتیک و اپی‌ژنتیک، داده‌های ژئوشیمیایی، وجود چرت‌های رادیولاریتی و آهک‌های پلاژیک، محیط‌های دریایی را برای این نوع فرایند با توجه به بازپدیده‌های صحرایی می‌توان در نظر گرفت. کانی‌سازی در محیط دریایی در شرایط افزایش Ph و کاهش حرارت و فشار و





شکل ۱۰. مدل ساده‌شده جان‌شناسی کانسار تحت تأثیر فرایندهای آتشفشانی حاشیه گودال فرورانش در منطقه نورآباد دلفان

**Fig. 10.** Simplified model of implement of Noorabad Delfan ore deposit influenced of volcanic processes on the margin subduction zone

همزاد با کوارتز دیده می‌شوند. لایه‌های کانه‌دار به شدت دارای شکستگی و چین‌خورده هستند و در مقیاس دستی به صورت رنگ‌سیاه و به صورت رگه و رگچه‌هایی با ضخامت متفاوت و به صورت فاز پراکنده در درزه‌ها و شکستگی‌ها حضور دارند، گاهی نیز به صورت جان‌شناسی در پوسته رادیولاریت‌ها دیده می‌شوند. سنگ میزبان این مجموعه را واحد کربناته، آهک‌های پلاژیک و رادیولاریت‌ها دربر می‌گیرد. همراهی چرت‌های رادیولاریتی در این مجموعه نشان‌دهنده شرایط کانه‌زایی در محیط بستر اقیانوس است. سامانه‌های سیال هیدروترمال ناشی از فعالیت آتشفشانی زیردریایی در اثر چرخش و داغ شدن، فازهای غنی از فلز را با خود حمل می‌کنند و در طی سرد شدن، تغییرات Eh- Ph و کاهش فشار سیال باعث جدایش فاز فلزات به صورت خالص و اکسیدی می‌شود (Zhang et al., 2013a). بررسی‌های کانی‌شناسی و ژئوشیمیایی اکسیدهای عناصر اصلی عناصر کمیاب نشان می‌دهد که اغلب فعالیت هیدروترمال و به

### نتیجه‌گیری

اندیس‌های کانه‌زایی منگنز در شهرستان نورآباد به طول ۵ کیلومتر با چرت‌های رادیولاریتی ژوراسیک بالایی-کرتاسه زیرین در شمال غرب نورآباد رخنمون دارند. بر اساس بررسی‌های صحرایی، کانی‌شناسی و بررسی ژئوشیمی عناصر اصلی و کمیاب این نهشت‌ها با خاستگاه هیدروترمالی-هیدروژنی طبقه‌بندی شده‌اند. کانی‌سازی در نورآباد دلفان در دو مرحله اصلی سین‌ژنتیک هم‌زمان با سیالات برون‌دمی هیدروترمال با بافت‌های توده‌ای، لایه‌ای، کلوform و نودول‌های پیرولوژیت و مرحله اپی‌ژنتیک به صورت رگه‌ای و استوک‌ورک در بخش قبلی و سنگ‌های دربرگیرنده رخ داده است. پیرولوژیت، براونیت و منگانیت مهم‌ترین کانی‌های منگنزدار فاز سین‌ژنتیک و نزوتیت، براونیت و پیرولوژیت مهم‌ترین کانی بخش اپی‌ژنتیک است. در نمونه دستی، بلورهای پیرولوژیت به صورت دانه‌ریز با تیغه‌های کوچک و به صورت

رخمون‌های سیستم گسلی و با توجه به زمین‌شناسی ساختاری منطقه می‌توان به مناطق پرعیار کانه که میزان مورد اکتشاف در حد اقتصادی باشد، دست یافت. شواهد ژئوشیمیایی نشان‌داد که کانی‌سازی نورآباد دلفان نسبت به مجرای برون‌دمی هیدروترمال در فاصله دورتری تشکیل شده است و بر این اساس جدایش آهن و منگنز به خوبی در این ذخیره انجام شده است.

مقدار کمتر هیدروژنی (مایین هیدروترمال و هیدروژنی)، در کانه‌زایی منگنز در نورآباد مؤثر بوده که ناشی از فرایندهای آتشفشانی زیردریایی است. میزان تغییرات عیار در کانسنگ منطقه به شدت با تغییرات سیلیس متغیر بوده؛ به طوری که در جاهایی که این میزان افزایش یابد، می‌توان فرضیات قابل قبولی را از منشأ احتمالی کانه‌سازی حدس زد و سپس با توجه به سیستم گسلی و توزیع نمونه‌های حاوی عیار بالای منگنز در

## References

- Ahmadi, A.A., 2006. Mineralogy, geochemistry, facies analysis and genesis of the Fe- Mn ore deposits in south east of Torbat Heydarieh. M.Sc. Thesis, Tarbiat Modares University, Tehran, Iran, 187 pp. (in Persian with English abstract)
- Alavi, M., 1994. Tectonic of the Zagros orogenic belt of Iran, new data and interpretations. *Tectonophysics*, 229(3-4): 211-238.
- Allahyari, K., Saccan, E., Pourmoafi, M., Beccaluva, L. and Masoudi, F., 2010. Petrology of mantle peridotites and intrusive mafic rocks from the Kermanshah Ophiolitic Complex (Zagros Belt, Iran): implications for the geodynamic evolution of the Neo-Tethyan oceanic branch between Arabia and Iran. *Ofioliti*, 35(2): 71-90.
- Amiri, A., 1995. Geology, mineralogy and controlling factors of formation and concentration of ore matter in Robat Karim manganese deposit, SW Tehran-Iran. M.Sc. Thesis, Tarbiat Modares University, Tehran, Iran, 200 pp. (in Persian with English abstract)
- Bolton, B.R., Frakes, L.A. and Cook, J.N., 1988. Petrography and origin of inversely graded manganese pisolite from Groot Eylandat, Australia. *Ore Geology Reviews*, 4(1): 47-69.
- Bonatti, E.E., Kraemer, T. and Ryde, H., 1972. Classification and genesis of submarine ironman ganese deposits. In: D.R, Horn (Editor), *Ferromanganese Deposits of the Ocean Floor*. National science. found, Washington, D.C, pp. 149-165.
- Bonyadi, Z. and Moore, F., 2006. Geochemistry and genesis of Narigan ferromanganese deposit, Bafgh, Yazd province. *Scientific Quarterly Journal, Geoscinces*, 15(57): 54-63. (in Persian with English abstract)
- 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.
- Danielson, A., Möller, P. and Dulski, P., 1992. The Europium anomalies in banded iron formations and the thermal history of the oceanic crust. *Chemical Geology*, 97(1-2): 89-100.
- Doulatkhah, R., Rastad, E. and Emami, M.H., 2005. Garab stratiform manganese deposit in the Oligo Miocene volcano-sedimentary sequence, northeast of Taleghan (Central Alborz). *Scientific Quarterly Journal, Geoscinces*, 14(56): 40-51. (in Persian with English abstract)
- Emamalipour, A., 2010. Mineralogy and genesis of Mn-Fe mineralization in the ophiolite, Chaldoran, NW Iran. *Iranian Journal of Crystallography and Mineralogy*, 18(1): 3-14. (in Persian with English abstract)
- Frakes, L. and Bolton, B., 1992. Effects of ocean chemistry, sea level, and climate on the formation of primary sedimentary manganese ore deposits. *Economic Geology*, 87(5): 1207-1217.

- Hein, J.R., Koschinsky, A., Halbach, P., Manheim, F.T., Bau, M., Kang, J.K. and Lubick, N., 1997a. Iron and manganese oxide mineralization in the Pacific. In: K. Nicholson., J.R. Hein., B. Bühn. and S. Dasgupta (Editors), *Manganese Mineralization: Geochemistry and Mineralogy of Terrestrial and Marine Deposits*. Special Publication No. 119, Geological Society of London, pp. 123–138.
- Hein, J.R., Koschinsky, A., Halbach, P., Manheim, F.T., Bau, M., Kang, J.K. and Lubick, N., 1997b. Iron and manganese oxide mineralization in the Pacific. *Geological Society Special Publication London*, 119(1): 123–138.
- Hongo, Y. and Nozaki, Y., 2001. Rare earth element geochemistry of hydrothermal deposits and Calyptogena shell from the Iheya Ridge vent field, Okinawa Trough. *Geochemical Journal*, 35(5): 347–354.
- Hosseini, S.R. and Mousivand, F., 2016. Major, trace and rare earth elements (REE) geochemical studies and origin of Sardar manganese deposit in the Foroumad area, East of Shahrood. 34<sup>th</sup> Symposium on Iranian Geosciences, University of Tehran, Iran. (in Persian with English abstract)
- Jach, R. and Dudek, T., 2005. Origin of a Toarcian manganese carbonate/silicate deposit from the Križna unit, Tatra Mountains, Poland. *Chemical Geology*, 224(1–3): 136–152.
- Karakus, A., Yavuz, B. and Koc, S., 2010. Mineralogy and major trace element geochemistry of the haymana manganese mineralizations, Ankara, Turkey. *Geochemistry International*, 48(10): 1014–1027.
- Kiani, M., 2011. *Geology and petrology of Aleshtar-Kermanshah ophiolitic complex*, M.Sc. Thesis, Islamic Lorestan university, Khorramabad, Iran, 195 pp.
- Kuleshov, V.N., 2011. Manganese deposits: communication 2. Major epochs and phases of manganese accumulation in the earth's history. *Lithology and Mineral Resources*, 46(6): 546–565.
- Maanijou, M., Nasiri1, A., Aliani1, A., Mostaghimi1, M., Gholipoor, M. and Maghsoodi, A.B., 2015. The study of major, trace and rare earth elements geochemistry in Shahrestanak Mn deposit, south of Qom: Implications for genesis. *Journal of Economic Geology*, 7(1): 1–21. (in Persian with English abstract)
- Maghfouri, S., 2012. *Geology, Mineralogy, Geochemistry and Genesis of Cu Mineralization within Late Cretaceous Volcano-Sedimentary Sequence in Southwest of Sabzevar, with emphasis on the Nodeh Deposit*. M.Sc. Thesis, Tarbiat Modares University, Tehran, Iran, 312 pp. (in Persian with English abstract)
- Maghfouri, S., Rastad, A. and Mousivand, F., 2015. Stratigraphic position, origin and characteristics of manganese mineralization horizons in the Late Cretaceous volcano-sedimentary sequence, south-southwest of Sabzevar. *Journal of Economic Geology*, 6(2): 201–216. (in Persian with English abstract)
- Maghfouri, S., Rastad, E., Mousivand, F., Choulet, F. and Ye, L., 2017. Geological and geochemical constraints on the Cheshmeh-Frezi volcanogenic stratiform manganese deposit, southwest Sabzevar basin, Iran. *Ore Geology Reviews*, 89(5): 96–113.
- Maghfouri, S., Rastad, A., Mousivand, F., Lin, Y. and Zaw, Kh., 2016. Geology, ore facies and sulfur isotopes geochemistry of the Nudeh Besshi-type volcanogenic massive sulfide deposit, southwest Sabzevar basin, Iran. *Journal of Asian Earth Sciences*, 125(8): 1–21.
- Masoudi, M., 2008. *Geology, mineralogy, geochemistry and genesis of Benesbourd Mn deposit in the southwest Sabzevar*. M.Sc. Thesis, Islamic Azad University, Tehran, Iran, 100 pp. (in Persian with English abstract).
- Matsuoka, A., Yamakita, S., Sakakibara, M. and Hisada, K., 1998. Unit division for the Chichibu Composite Belt from a view point of accretionary tectonics and geology of western Shikoku, Japan. *The Journal of Geological Society of Japan*, 104(9): 634–653. (in Japanese with English abstract)
- Maynard, J., 2010. The chemistry of manganese ores through time: a signal of increasing diversity of earth-surface environments. *Economic Geology*, 105(3): 535–552.
- Mazhari, N., Malekzadeh Shafaroudi, A. and Ghaderi, M., 2015. Geology, mineralogy and geochemistry of Fereznef ferromanganese anomaly, east of Sangan mines complex, NE

- Iran. *Journal of Economic Geology*, 7(1): 23–37. (in Persian with English abstract)
- McLennan, S.M., 1989. Rare earth elements in sedimentary rocks: influence of provenance and sedimentary processes. *Reviews in Mineralogy and Geochemistry*, 21(1): 169–200.
- Minoura, K., Nakaya, S. and Takemura, A., 1991. Origin of manganese carbonates in Jurassic red shale, central Japan. *Sedimentology*, 38(1): 137–152.
- Moghaddasi, S.J., Ebrahimi, M. and Mohammadi, F., 2019. Mineralogy, geochemistry and genesis of the Gozaldarreh iron skarn deposit, southeast Zanjan. *Journal of Economic Geology*. 11(1): 33–55. (in Persian with English abstract)
- Mohajjel, M., Fergosson, C.L. and Sahandi, M.R., 2003. Cretaceous–Tertiary convergence and continental collision Sanandaj–Sirjan Zone, western Iran. *Journal of Asian Earth Sciences*, 21(4): 397–412.
- Nasrollahi, S., Mousivand, F. and Ghasemi, H., 2012. Nudeh Mn deposit in the upper Cretaceous volcano-sedimentary sequence, Sabzevar sub-zone. 31<sup>th</sup> Symposiums on Geosciences, Geological Survey of Iran, Tehran, Iran. (in Persian with English abstract)
- Nazari, H. and Shahidi, A.R., 1997. Geological map of Harsien at 1/100000 scale, Geological Survey of Iran, Sheet number: 5558.
- 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 metallo genesis. *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.
- Pedersen, T.F. and Price, N.B., 1982. The geochemistry of manganese carbonate in Panama Basin sediments. *Geochimica et Cosmochimica Acta*, 46(1): 59–68.
- Polgari, M., Hein, J.R., Vigh, T., Szabó-Drubina, M., Fózizs, 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(1): 87–109.
- Rahmatian, M., Lotfi, M. and Ghaderi, M., 2019. Geochemistry of the Joun Abad manganese deposit, north Khash, Sistan and Baluchestan province. *Journal of Economic Geology*. 11(1): 81–103. (in Persian with English abstract)
- Rajabi, A., Canet, C., Rastad, E. and Alfonsa, P., 2015. Basin evolution and stratigraphic correlation of sedimentary-exhalative Zn–Pb deposits of the Early Cambrian Zarinan-Chahmir Basin, Central Iran. *Ore Geology Reviews*, 64: 328–353.
- Roy, S., 1992. Environments and processes of manganese deposition. *Economic Geology*, 87(5): 1218–1236.
- Roy, S., 1997. Genetic diversity of manganese deposition in the terrestrial geological record. In: K. Nicholson., J.R. Hein., B. Bühn. and S. Dasgupta (Editors), *Manganese Mineralization: Geochemistry and Mineralogy of Terrestrial and Marine Deposits*. Special Publication No. 119, Geological Society of London, pp. 5–29.
- Ruhlin, D.E. and Owen, R.M., 1986. The rare earth element geochemistry of hydrothermal sediments from the East Pacific Rise: Examination of a seawater scavenging mechanism. *Geochimica et Cosmochimica Acta*, 50(1): 393–400.
- 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. *Palaeogeography, Palaeoclimatology, Palaeoecology*, 299(1–2): 97–109.
- Saccani, E., Allahyari, K., Beccaluva, L. and Bianchini, G., 2013. Geochemistry and petrology of the Kermanshah ophiolites (Iran): Implication for the interaction between passive rifting, oceanic accretion, and OIB-type components in the Southern Neo-Tethys Ocean. *Gondwana Research*, 24(1): 392–411.
- Shah, M.T. and Khan, A., 1999. Geochemistry and origin of Mn-deposits in the Waziristan

- ophiolite complex, North Waziristan, Pakistan. *Minerlium Deposita*, 34(7): 697–704.
- 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.
- Stumm, W. and Morgan, J.J., 1970. *Aquatic Chemistry*. John Wiley and Sons, New York, 583 pp.
- 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 of depositional environments of ancient sediments. *The Journal of Geology*, 92(3): 235–259.
- Sugisaki, R., Sugitani, K. and Adachi, M., 1991. Manganese carbonate bands as an indicator of hemipelagic sedimentary environments. *The Journal of Geology*, 99(1): 23–40.
- Taghizadeh, S., Mousivand, F. and Ghasemi, H., 2012. Zakeri Mn deposit, example of exhalative mineralization in the southwest Sabzevar. 31<sup>th</sup> Symposium on Geosciences, Geological Survey of Iran, Tehran, Iran. (in Persian with English abstract)
- Toth, J.R., 1980. Deposition of submarine crusts rich in manganese and iron. *Geological Society of American Bulletin*, 91(1): 44–54.
- Whitney, D.L. and Evans, B.V., 2010. Abbreviations for names of rock-forming minerals. *American Mineralogist*, 95(1): 185–187.
- Zarasvandi, A., Lentz, D., Rezaei, M. and Pourkaseb, H., 2013. Genesis of the Nasirabad manganese occurrence, Fars province, Iran: Geochemical evidences. *Chemie der Erde – Geochemistry*, 73(4): 495–508.
- Zhang, F.F., Yan, B., Guo, Y.L., Zhu, X.K., Zhou, Q. and Yang, D.Z., 2013a. Precipitation form of manganese ore deposit in Gucheng, Hubei Province, and its paleo environment implation. *Acta Geologica Sinica*, 87(02): 245–258. (in Chinese with English abstract)
- Zhang, F.F., Zhu, X.K., Gao, Z.F., Cheng, L., Peng, Q.Y. and Yang, D.Z., 2013b. Implication of the precipitation mode of manganese and ultra-high  $\delta^{34}\text{S}$  values of pyrite in Mn carbonate of Xixibao Mn ore deposit in northeastern Guizhou Province. *Geological Review*, 59(2): 274–286. (in Chinese with English abstract)



## Mineralogy, geochemistry, and genesis of Mn mineralization associated with the Noorabad Delfan radiolarites, Northwestern Lorestan

Shahryar Mahmoudi<sup>1\*</sup>, Pourya Geravandi<sup>1</sup>, Majid Ghasemi Siani<sup>1</sup> and Kazem Gholizadeh<sup>2</sup>

1) Department of Geochemistry, Faculty of Earth Sciences, Kharazmi University, Tehran, Iran

2) Mineral Geology and Hydrogeology Department, Faculty of Earth Sciences, Shahid Beheshti University, Tehran, Iran

Submitted: Aug. 26, 2017

Accepted: Nov. 18, 2018

**Keywords:** Noorabad Delfan deposit, Manganese, Mineralogy, Geochemistry, Stockwork, Hydrothermal-hydrogenous, Syngenetic, Epigenetic

### Introduction

The Borujerd-Kermanshah ophiolite is a part of the ophiolite complex belonging to the Zagros Mountains and is a part of the Alpes-Himalayan belt (Alavi, 1994). The Boroujerd-Kermanshah Ophiolite complex consists of serpentized peridotite, layered metagabbro, isotropic gabbro, diabase dyke, plagiogranite, pillow lavas and sedimentary rocks (Miocene radiolarite and limestone). In the upper part, the radiolarite layers are covered by jasperoid rocks and pelagic limestone (Mohajjel et al., 2003; Saccani et al., 2013). The Noorabad Delfan manganese deposit is subjected to mineralogical and geochemical studies in order to elucidate its petrogenesis. The Noorabad Delfan manganese deposit is located along the ophiolite belt of the upper Jurassic-lower Cretaceous period. Manganese mineralization occurs as syngenetic to epigenetic with jasperoid and silicified veins in the carbonate and radiolarian chert units. Geochemical studies show that some elements such as Ce, Cu, Ni are enriched in the mineralized zone. Mobile and trace elements (Sr, As, Zn, Ba, Fe, Mn, Si) and the ratio of Mn/Fe, Al/Ti, show similar characteristics with submarine hydrothermal-hydrogenous manganese deposits. In geochemical studies, SEM, XRD and EPMA results show that pyrolusite is the major mineral in the ore deposit, and nsutite and rhodochrosite are formed as the accessory phase.

### Materials and methods

During the field work, 53 samples were collected from the mineralization zone and host rocks. A total of 30 polished and thin sections were studied by Zeiss polarized microscope (Axioplan-2), in the Kharazmi University and the Iran Mineral Processing Research Center (IMPRC). Suitable sections were selected for more study by Zeiss 1450vp SEM at the Iranian Mineral Processing Research Center (IMPRC). The SEM-EDS analyses and secondary electron (SEM-SE) images at the IMPRC were acquired on beam currents between 0.05 and 5 nA, and electron acceleration potentials of 5 to 20 kV. The Electron microprobe analysis of selected points by SEM was carried out using a Cameca SX100 at IMPRC in the 20 kV and 20 nA current and 1 to 5  $\mu\text{m}$  beam long. The Cameca PAP correction software was used for data reduction. Backscattered electron images were used in order to select more analytical points. A total of 15 samples were selected for whole rock chemical analysis. Samples were prepared with regular methods and finally they were analyzed for major and rare elements by the XRF and ICP-MS methods in Zarazma and Iran Minerals Processing Research Center Laboratory.

### Discussion

Manganese deposits with hydrothermal origin are

\*Corresponding authors Email: s.mahmoudi@khu.ac.ir



usually related to silica gels. These deposits are associated with submarine volcanic eruptions and hydrothermal-hydrogenous activity and they are rich in metal elements. This kind of deposits, is basically emplaced with interlayer marine sediments (Roy, 1992). Titanium in the hydrothermal fluids is an immobile element and can be used as an indicator for measuring the amount of continental crust sediment. The relatively high  $TiO_2$  levels in the manganese deposits indicate the composition of the material during sedimentation (Sugisaki, 1984). Therefore, in the hydrothermal deposits, the  $TiO_2$  ratio is lower than other kinds of manganese ore mineralization types. Nicholson (Nicholson, 1992a) believes that hydrothermal manganese deposits are known by enrichment of As, Ba, Cu, Pb, Sb, Sr, Li, Cd, Mo, V, Zn, Co, Ni and sedimentary deposits are distinguished by K, Na, Ca, Mg, Sr (Nicholson, 1992b). According to this statement, the manganese mineralization of the Noorabad Delfan deposit may be classified as hydrothermal to hydrogenous ore deposits related to oceanic crust ophiolites.

### Result

The Noorabad Delfan deposit with 5 km long is formed in radiolarite sequences in the west of Iran. Based on field observation, mineralogy and geochemistry and the major/trace and rare elements ratio, Noorabad Delfan mineralization is classified as a hydrothermal-hydrogenous deposit. In the study area, the manganese mineralization is formed with interlayer of radiolarite as syngenetic to epigenetic mineralized zones.

The hydrothermal systems are generated by submarine volcanic activity and seawater. Due to the rotation of submarine volcanic activity related fluids, the hot oceanic water carries metalliferous phases. The metalliferous phase has been deposited during cooling, pressure reductions and

Eh-pH changes. The hydrothermal to hydrogenous activity is the main factor in manganese mineralization in the Noorabad Delfan deposit. Mineralogical and geochemical evidences support a primary hydrothermal source for Mn-mineralization.

### References

- Alavi, M., 1994. Tectonic of the Zagros orogenic belt of Iran, new data and interpretations. *Tectonophysics*, 229(3–4): 211–238.
- Mohajjel, M., Fergosson, C.L. and Sahandi, M.R., 2003. Cretaceous–Tertiary convergence and continental collision Sanandaj– Sirjan Zone, western Iran. *Journal of Asian Earth Sciences*, 21(4): 397–412.
- Nicholson, K., 1992a. Genetic types of manganese oxide deposits in Scotland: Indicators of Paleoocean-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 metallo genesis. *Economic Geology*, 87(5): 1253–1264.
- Roy, S., 1992. Environments and processes of manganese deposition. *Economic Geology*, 87(5): 1218–1236.
- Saccani, E., Allahyari, K., Beccaluva, L. and Bianchini, G., 2013. Geochemistry and petrology of the Kermanshah ophiolites (Iran): Implication for the interaction between passive rifting, oceanic accretion, and OIB-type components in the Southern Neo-Tethys Ocean. *Gondwana Research*, 24(1): 392–411.
- Sugisaki, R., Sugitani, K. and Adachi, M., 1991. Manganese carbonate bands as an indicator of hemipelagic sedimentary environments. *The Journal of Geology*, 99(1): 23–40.