



جایگاه چینه‌ای، خاستگاه و ویژگی‌های افق‌های کانگ‌زایی منگنز در توالی آتشفشانی - رسوبی کرتاسه پسین، جنوب - جنوب غرب سبزوار

سجاد مغفوری^۱، ابراهیم راستاد^{۱*} و فردین موسیوند^۲

(۱) گروه زمین‌شناسی، دانشکده علوم پایه، دانشگاه تربیت مدرس، تهران، ایران

(۲) دانشکده علوم زمین، دانشگاه شاهرود، شاهرود، ایران

دریافت: ۱۳۹۲/۲/۵، پذیرش: ۱۳۹۲/۱۱/۷

چکیده

توالی آتشفشانی - رسوبی کرتاسه پسین در جنوب - جنوب غرب سبزوار میزبان کانگ‌زاییهای متعدد منگنز است. این توالی را می‌توان از جهت موقعیت چینه‌ای، سن و جنس سنگها به دو بخش پایینی و بالایی تقسیم کرد. بخش زیرین یا واحد K_2^{IV} به‌طور عمده از رسوبات عمیق دریایی با میان‌لایه‌هایی از سنگهای آتشفشانی تشکیل یافته است. سنگهای رسوبی این بخش شامل توفهای سیلیسی، چرت، شیل و ماسه‌سنگ بوده و سنگهای آتشفشانی آن شامل پیروکلاستیک‌هایی با ترکیبات مختلف و گدازه‌های ریولیتی، داسیتی تا آندزیتی می‌باشد. بخش بالایی یا واحد LMV از سنگهای آهکی - مارنی - آتشفشانی تشکیل یافته و به صورت هم‌شیب بر روی بخش زیرین (K_2^{IV}) قرار می‌گیرد.

کانگ‌زاییهای منگنز در توالی آتشفشانی - رسوبی میزبان بر اساس جایگاه چینه‌ای، سن نسبی و نوع سنگ میزبان ماده معدنی در دو افق قرار می‌گیرند: افق اول (Mn Ia, Ib) که کانسارهای بنسبرد، چشمه فریزی، گغت، منگنز گستر خاور زمین، همایی و نوده را در برمی‌گیرد، در بخش زیرین توالی (واحد K_2^{IV}) قرار داشته و سنگ میزبان ماده معدنی در آن واحدهای توفی قرمز رنگ است. افق دوم (Mn II) که در بردارنده کانسارهای منگنز ذاکری، چشمه سفید، محمدآباد عریان و چاه ستاره است، در بخش بالایی توالی (واحد LMV) قرار می‌گیرد. سنگ میزبان ماده معدنی در این افق توف مارنی - کربناتی می‌باشد.

ژئومتری و شکل پیکره‌های معدنی در کانسارهای مختلف به‌صورت چینه‌سان و لایه‌ای شکل و همخوان و هم‌روند با لایه‌بندی سنگهای میزبان بوده و بافت ماده معدنی شامل توده‌ای، عدسی‌شکل، نواری، لامینه و دانه‌پراکنده می‌باشد. کانی‌شناسی ماده معدنی در دو افق کانگ‌دار ساده و تقریباً مشابه هم بوده و به‌طور عمده شامل پیرولولوزیت، پسیلوملان و براونیت است. کانیهای باطله عمدتاً شامل کانیهای تشکیل‌دهنده سنگ میزبان یعنی کوارتز، فلدسپار و کلریت می‌باشند. داده‌های ژئوشیمی، ساخت و بافت، موقعیت چینه‌ای و ویژگیهای سنگ‌شناسی سنگهای میزبان کانسارها نشان‌دهنده تشکیل ذخایر منگنز منطقه جنوب - جنوب غرب سبزوار به‌صورت رسوبی - برون‌دمی است.

واژه‌های کلیدی: توالی آتشفشانی - رسوبی، کرتاسه پسین، کانگ‌زایی منگنز، چینه‌سان، سبزوار.

مقدمه

(۱). از جمله این کانگ‌زاییها می‌توان به کانسارهای منگنز چشمه فریزی، بنسبرد (Masoudi, 2008)، نوده (Nasrolahi et al., 2012)، منگنز گستر خاور زمین، همایی (Nasiri et al., 2010)، گغت، چاه ستاره، محمدآباد عریان، چشمه سفید و ذاکری (Taghizadeh et al., 2012) اشاره نمود (شکل ۲) (Badakhshan and Baniadam, 1997).

پژوهشهایی که در چند سال اخیر توسط سازمان زمین‌شناسی و اکتشافات معدنی کشور، و همچنین محققان دانشگاهی در پهنه سبزوار صورت گرفته، به شناسایی رخدادهای متنوعی از کانگ‌زایی منگنز در واحدهای آتشفشانی - رسوبی کرتاسه پسین در ناحیه جنوب - جنوب غرب سبزوار انجامیده است (شکل

میکروسکوپی کانه‌ها برداشت گردیده است. سپس بر مبنای مقاطع زمین‌شناسی پیمایش شده، جایگاه افق‌های کانه‌زایی منگنز در توالی آتشفشانی-رسوبی کرتاسه پسین مشخص شده است. با استفاده از داده‌های ژئوشیمی ماده معدنی و آنالیز ۱۵ نمونه به روش فلورسسانسی پرتو ایکس (XRF) تجزیه شده در آزمایشگاه سازمان زمین‌شناسی و اکتشافات معدنی (کشور)، خاستگاه کانه‌زایی منگنز نیز تعیین گردیده است.

زمین‌شناسی

بر اساس نقشه‌های ۱:۱۰۰۰۰۰ سبزووار و داریین (Eshagabadi, 1997; Vatanpour et al., 2009) مجموعه واحدهای سنگی کرتاسه‌پسین په‌نه سبزووار را می‌توان به دو بخش تقسیم کرد: بخش سری افیولیت-ملانژ که طیفی از سنگهای الترامافیک تا مافیک را در بر می‌گیرد و بخشی شامل سنگهای آتشفشانی-رسوبی کرتاسه پسین که غیر افیولیتی بوده و ارتباط ژنتیکی با سنگهای افیولیتی ندارند (شکل ۱) (Vatanpour et al., 2008).

توالی سنگهای آتشفشانی-رسوبی کرتاسه پسین را که در بردارنده ذخایر منگنز منطقه هستند، می‌توان به دو بخش کلی تقسیم کرد (شکل ۱):

الف) بخش زیرین شامل توف، سنگهای ولکانیک و سیلیسی کلاستیک (K_2^{IV}): این بخش به‌طور عمده شامل رسوبات عمیق دریایی با میان‌لایه‌هایی از سنگهای آتشفشانی است که در داخل تاقدیسی با روند شمال شرق-جنوب غرب رخمون دارند (شکل ۲). میان لایه‌های سنگهای آتشفشانی این بخش از پیروکلاستیک‌های ریزدانه، درشت‌دانه و از گدازه‌های ریولیتی، داسیتی تا آندزیتی و بازالتی تشکیل یافته‌اند که هم‌روند با روند کلی ساختار منطقه شمال شرق-جنوب غرب می‌باشند. بخش رسوبی این توالی شامل توفهای سیلیسی، چرت، شیل و ماسه‌سنگ است که دارای میان‌لایه‌هایی از آهکهای گلوبوترونکانادار و مارن می‌باشند که در محیط رسوبی کششی تشکیل شده‌اند (Vahdati daneshmand and Saeidi, 1997). تخمین ضخامت این واحد آتشفشانی-رسوبی (K_2^{IV}) به دلیل دیده نشدن قاعده آن و به‌هم ریختگیهای زیاد زمین‌ساختی عملی نیست. ولی ضخامت بخش رخمون یافته آن به کمک پیمایشهایی که در نقاط چین‌خورده و کمتر گسل‌خورده صورت گرفت حدود ۲۳۰۰ تا

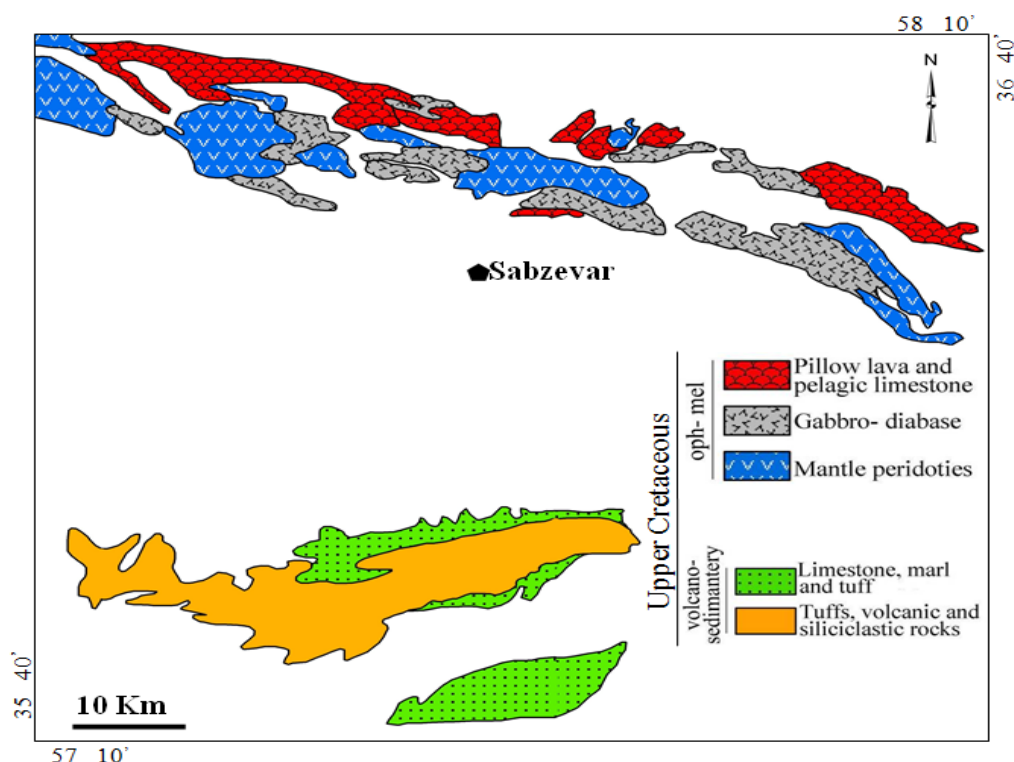
توالی آتشفشانی-رسوبی کرتاسه پسین با روند تقریبی شمال خاوری-جنوب باختری دربردارنده این ذخایر و کانسارهای مس سولفید توده‌ای تیپ بشی می‌باشند (Maghfouri, 2012; Maghfouri et al., in press). نظر به این‌که تاکنون جایگاه افق‌های کانه‌دار منگنز و تعداد این افق‌ها در ستون چین‌های توالی آتشفشانی-رسوبی کرتاسه پسین بررسی و معرفی نگردیده است، لذا مطالعه موقعیت زمین‌شناسی این کانسارها و ارتباط کانه‌زایی منگنز با سنگهای میزبان خاص و همچنین مشخص کردن جایگاه چین‌های مجموعه رخدادهای کانه‌زاییهای منگنز در حوضه جنوب غرب سبزووار می‌تواند به‌عنوان الگو و راهنمای کلیدی در اکتشاف ذخایر جدید و مشابه در این منطقه مورد استفاده قرار گیرد. یادآوری می‌نماید در کرتاسه پسین ایران تاکنون در مجموعه افیولیتی و همراه با چرت‌ها و رادیولاریت‌ها و آهکهای پلاژیک کانه‌زایی منگنز مانند کانسار منگنز آب‌بند نیریز (Monazami, 1994) و Bagherzadeh, 1994)، اندیس‌های معدنی گوایشاق و سوزنده در شمال سبزووار (Rozbeh Kargar and Ghomian, 1997; Eshagabadi, 1997) و کانسار منگنز صفو چالدران (Choi and Hariya, 1992) معرفی گردیده است ولی در توالی آتشفشانی-رسوبی غیرافیولیتی کرتاسه تاکنون این نوع کانه‌زایی معرفی نشده است که در این مقاله جایگاه چین‌های افق‌های کانه‌دار، خاستگاه، ویژگیهای ساخت و بافت و کانی‌شناسی این نوع کانه‌زایی در منطقه مورد مطالعه معرفی گردیده است.

روش مطالعه

در انجام این پژوهش، برای بررسی ویژگیهای سنگ میزبان کانه‌زایی و تعیین جایگاه افق‌های منگنز تعداد ۹ مقطع زمین‌شناسی در جهت عمود بر روند لایه‌بندی در توالی آتشفشان-رسوبی کرتاسه پسین پیمایش و نمونه‌های برداشت شده از آنها مورد مطالعه میکروسکوپی (۴۸ مقطع نازک و نازک-صیقلی) قرار گرفته و به کمک آنها ستون چین‌شناسی عمومی از منطقه ترسیم گردیده است (شکل ۳). همچنین برای ترسیم ستون چین‌شناسی هر یک از کانسارها و انطباق آن با ستون چین‌شناسی دیگر کانسارهای منگنز منطقه، ۶ مقطع زمین‌شناسی در مقیاس خود کانسار پیمایش و نمونه‌های سیستماتیک برای مطالعات سنگ‌شناسی و

به صورت هم‌شیب بر روی بخش زیرین K_2^{IV} قرار می‌گیرد (شکل‌های ۲ و ۳-A). توالی آتشفشانی- رسوبی کرتاسه پسین در حوضه جنوب غرب سبزوار را می‌توان بر حسب گسترش واحدهای آتشفشانی، پیروکلاستیکی و رسوبی به چهار واحدهای اصلی (Unit1, Unit2, Unit3, Unit4) تقسیم کرد که واحدهای ۱، ۲ و ۳ مربوط به بخش زیرین کرتاسه پسین (K_2^{IV}) و واحد ۴ مربوط به بخش بالایی کرتاسه پسین (LMV) می‌باشد (شکل ۳-B) که به ویژگیهای آنها در زیر به اختصار اشاره می‌گردد:

۲۷۰۰ متر برآورد شد. این بخش از توالی آتشفشانی- رسوبی به صورت ناپیوسته بر روی آهکهای کالپیونل دار، سنگ آهک و مارن سیلت‌دار، سنگ آهکهای اربیتولین‌دار و واحد کنگلومرای کرتاسه پیشین قرار می‌گیرد (شکل ۲). بخش بالایی شامل آهک، مارن و سنگهای ولکانیکی- پیروکلاستیکی (LMV): این بخش شامل سری سنگهای ماسه‌ای با میان‌لایه‌هایی از میکروکنگلومرا، سنگ آهکهای پلاژیک گلوبوترونکانادار، توف، ماسه‌سنگ و سنگهای آتشفشانی، سنگ آهک و مارن‌های تفکیک نشده است که

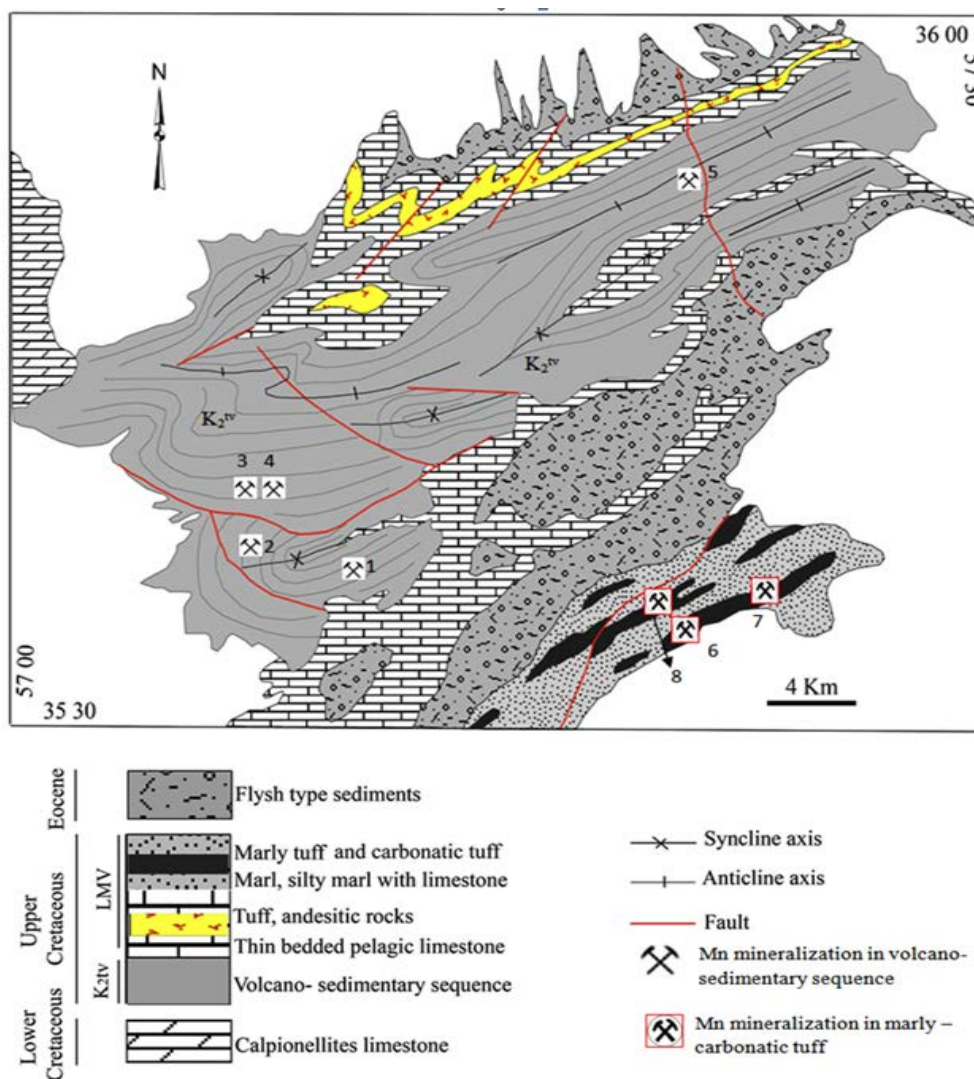


شکل ۱. نقشه ساده شده زمین‌شناسی منطقه سبزوار برگرفته از نقشه‌های ۱:۲۵۰،۰۰۰ سبزوار و ۱:۱۰۰،۰۰۰ دارین (Vahdati Daneshmand and Saeidi, 1997; Tatavosian et al., 1993) and بخش شمالی سبزوار دربرگیرنده کمپلکس افیولیت ملانژ و بخش جنوبی آن دربردارنده واحدهای آتشفشانی- رسوبی بخش بالایی کرتاسه پسین (حاوی ذخایر منگنز منطقه) می‌باشد.

Fig. 1. Simplified geological map of Sabzevar area on the 1:250,000 Sabzevar map and 1:100,000 Darin map (Tatavosian et al., 1993; Vahdati Daneshmand and Saeidi, 1997). Northern part of Sabzevar comprises an ophiolite mélangé complex and southern part comprises the upper Late Cretaceous volcano-sedimentary sequence (including manganese deposits in the study area).

۳-B). توالی سنگ‌شناختی شبیه واحد ۱ در توالی آتشفشانی- رسوبی حوضه Lancones در پرو نیز که در بردارنده ذخایر منگنز می‌باشد، گزارش شده است. این ترکیب سنگ‌شناختی در پرو را مربوط به مرحله همزمان با ریفت‌شدن آغازین (Early synrift phase) دانسته‌اند (Winter et al., 2010).

- واحد ۱ (Unit1): این واحد شامل توف- لیتیک کریستال توف نازک‌لایه، ریولیت، توف آندزیتی، گدازه آندزیتی، توف قرمز (میزبان کانسارهای منگنز افق I)، واحد تراکی آندزیتی آمیگدالوئیدال‌دار، گدازه اسپیلیتی کراتوفیری همراه با بازالت‌های بالشی و منشورهای داسیت پورفیر می‌باشد (شکل



شکل ۲. بخشی از نقشه زمین‌شناسی ساده شده ۱:۱۰۰۰۰۰ دارین (Vahdati Daneshmand and Saeidi, 1997) و گسترش توالی آتشفشانی- رسوبی کرتاسه پسین و موقعیت ذخایر منگنز در آن. بخش زیرین توالی آتشفشانی- رسوبی کرتاسه پسین (K_2^{iv}) که در هسته تاقدیس و بخش بالایی آن کربناتی و توف‌های مارنی (LMV) که در یالهای تاقدیس قرار دارند، دربرگیرنده کانسارهای منگنز منطقه جنوب‌غرب سبزوار می‌باشند. (۱) منگنز نوده (۲) منگنز گستر خاور زمین (۳) منگنز چشمه فریزی (۴) منگنز بنسبرد (۵) منگنز گت (۶) منگنز چشمه سفید (۷) منگنز ذاکری (۸) منگنز ذاکری ۲.

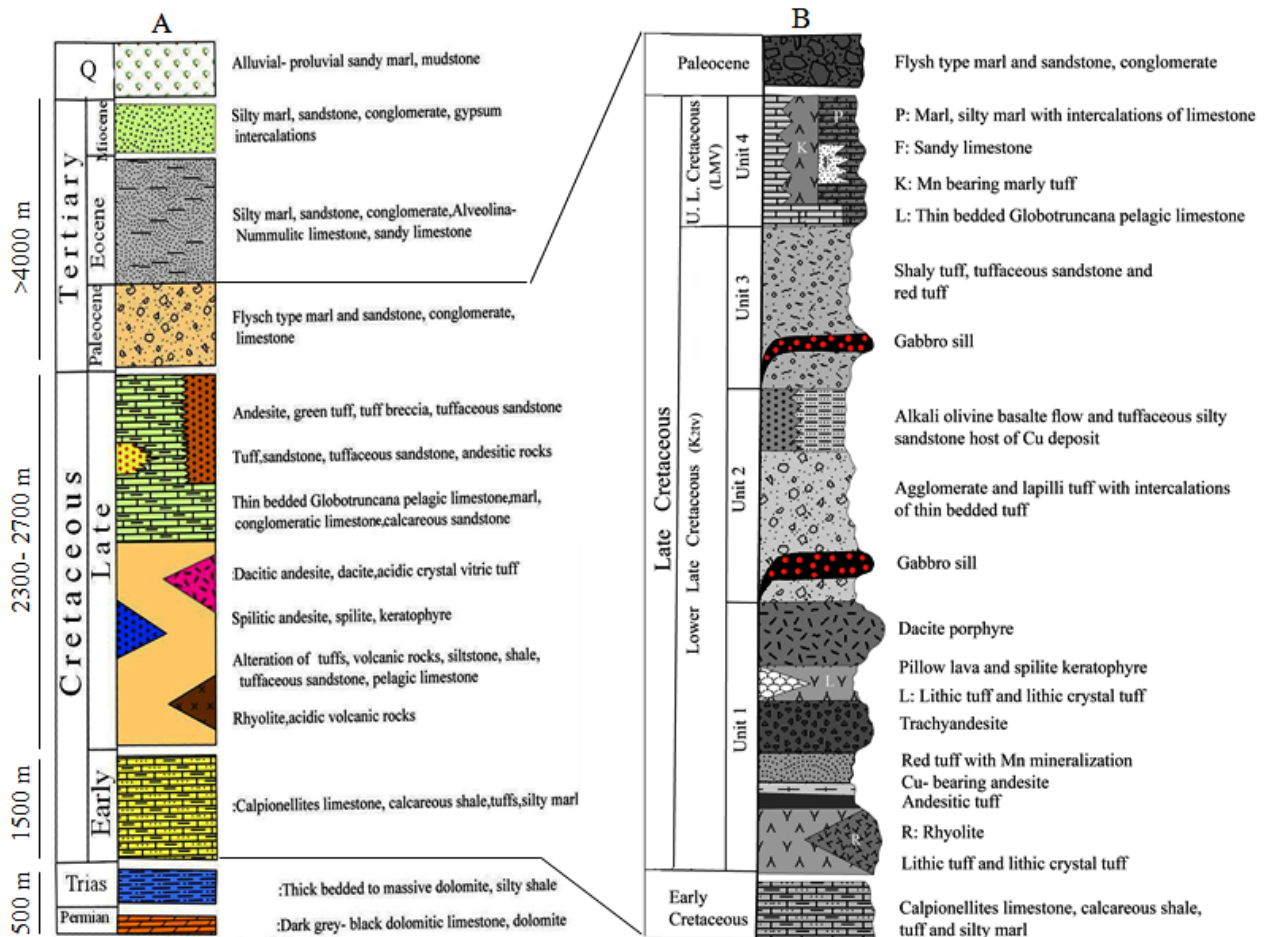
Fig. 2. Simplified geological map of 1:100,000 Darin (Vahdati Daneshmand and Saeidi, 1997) and position of manganese deposits in the Late Cretaceous volcano-sedimentary sequence. The lower Late Cretaceous volcano-sedimentary sequence (K_2^{iv}) is located at the core of anticline and carbonate and marly tuffs (LMV) of upper Late Cretaceous volcano-sedimentary sequence occur at the edges of anticline that contains manganese deposits in the study area.

- واحد ۳ (Unit3): این واحد توف‌شیلی، ماسه‌سنگ توفی با میان‌لایه‌هایی از توف نازک‌لایه سبز را شامل می‌گردد. در دره کال‌مرغ یک سیل گابرویی در داخل این واحد نفوذ کرده است (شکل ۳-ب).

- واحد ۲ (Unit2): این واحد در بردارنده آگلومراتوف و لاپیلی توف با میان‌لایه‌هایی از توف نازک‌لایه، سیل گابرویی، گدازه آلکالی‌یونین بازالت و ماسه‌سنگ سیلتی توفی می‌باشد (شکل ۳-ب).

از آهک و گدازه آندزیتی تشکیل شده است. واحدهای سنگی کرتاسه پسین توسط ماسه‌سنگ، مارن و کنگلومرای آهکی پالئوسن به صورت ناپیوسته پوشیده می‌شود (شکل ۳-۲-B).

واحد ۴ (Unit 4): این واحد از آهک‌های نازک لایه پلاژیک گلوبوترونکانادار- توف، توف مارنی- کربناتی (میزبان کانسارهای منگنز افق II)، ماسه‌سنگ توفی، سیلت مارنی با میان لایه‌هایی



شکل ۳. A: ستون چینه‌شناسی مربوط به نقشه ۱:۱۰۰۰۰۰ دارین، B: ستون چینه‌شناسی عمومی واحدهای سنگی کرتاسه در منطقه جنوب غرب سبزواری و موقعیت واحدهای اصلی (Units 1, 2, 3, 4) در توالی آتشفشانی- رسوبی کرتاسه پسین (بخش زیرین K₂^{lv} و بخش بالایی LMV).
Fig. 3. A: Stratigraphic column of Darin 1:100,000 map, B: General stratigraphic column of Cretaceous units in the southwest of Sabzevar and position of main units (Units 1, 2, 3, 4) in the late Cretaceous volcano-sedimentary sequence (Lower part K₂^{lv} and upper part LMV).

خاور زمین، همایی و نوده را شامل می‌شود (شکل‌های ۴ و ۵). میزبان این کانسارها، سنگهای توفی می‌باشد. (ب) ذخایر منگنز که در بخش بالایی توالی آتشفشانی- رسوبی کرتاسه پسین قرار می‌گیرند (افق II Mn) کانسارهای منگنز ذاکری، چشمه سفید، محمدآباد عریان و چاه ستاره را شامل می‌شود. سنگ میزبان این کانسارها توف مارنی و توف کربناتی است (شکل‌های ۶ و ۷). کانه‌زایی به صورت چینه‌کران (Stratabound) و چینه‌سان (Stratiform) و به ترتیب در

کانه‌زایی منگنز

کانسارها و اندیسهای معدنی منگنز در ناحیه جنوب- جنوب غرب سبزواری می‌توان بر اساس موقعیت چینه‌شناسی، سن نسبی سنگ دربرگیرنده ماده معدنی و نوع سنگ میزبان به دو گروه تقسیم نمود:

الف) ذخایر منگنز که در بخش زیرین توالی سنگهای آتشفشانی- رسوبی کرتاسه پسین قرار می‌گیرند (افق Mn Ia, Ib) کانسارهای بنسبرد، چشمه‌فریزی، گفت، منگنز گستر

واحدهای ۱ و ۴ توالی میزبان رخ داده است (شکل‌های ۴ و ۶). ویژگی‌های افق‌های معدنی کانه‌دار به ترتیب از پایین به بالا عبارتند از:

افق I کانه‌زایی منگنز

این افق در اولین واحد از بخش زیرین توالی آتشفشانی-رسوبی کرتاسه-پسین (K_2^{IV}) قرار دارد. توفهای قرمز سنگ میزبان کانه‌زایی در افق I ماده معدنی است. کانه‌زایی منگنز به صورت هم‌روند با لایه‌های توف قرمز در دو زیر افق مجزا (زیر افق‌های Ia و Ib) تشکیل گردیده است (شکل‌های ۴ و ۵). توالی ستون چینه‌ای در برگیرنده افق I منگنز از پایین به بالا شامل: ماسه‌سنگ توفی سبز رنگ زیرین، توف قرمز زیرین (زیر افق منگنز Ia)، ماسه‌سنگ توفی سبز رنگ بالایی، توف قرمز بالایی (زیر افق منگنز Ib) و توف ماسه‌ای با قطعاتی از توف قرمز است که با لایه ضخیمی از توف ماسه‌ای پوشیده می‌شود (شکل ۵). ضخامت کل این توالی از ۶۰ تا ۸۰ متر در کانسارهای مختلف منگنز تغییر می‌کند که بیشترین ضخامت مربوط به واحد توف ماسه‌ای پوشاننده است که حدود ۲۵-۳۰ متر ضخامت دارد (شکل ۴). واحدهای سنگی دربرگیرنده افق I منگنز با روند تقریباً NE-SW و شیب ۳۵-۴۵ درجه شمال غربی در کانسارهای منگنز نوده، بنسپرد، فریزی، منگنز گسترخاور زمین، گف و همایی گسترش دارند (شکل ۴). که بیشترین ضخامت توف قرمز کانه‌دار در این واحدها مربوط به کانسار گف در دره رودخانه کال مرغ است (شکل‌های ۸ و ۹). به طور کلی گسترش واحدهای سنگی دربرگیرنده افق I کانه دار در توالی آتشفشانی-رسوبی واحد K_2^{IV} به صورت رخنمونهای کوچک و گاهی بزرگ بوده که حاوی اندیس و کانسارهای منگنز است. در محدوده مطالعاتی توفهای قرمز کانه‌دار تحت تأثیر فرآیندهای تکتونیکی بعدی دچار چین خوردگی و گسل خوردگی شده‌اند (شکل‌های ۵ و ۹).

واحد پوشاننده افق I منگنز، یک توف ماسه‌ای و یا توف کنگلومرایی است که قطعاتی از لایه‌های زیرین (توف قرمز و توف ماسه‌ای) را دربردارد. اندازه قطعات ریز تا متوسط بوده و به صورت نیمه‌زاویه‌دار تا نیمه‌گردشده با جورشدگی متوسط تا ضعیف دیده می‌شود.

افق II کانه‌زایی منگنز

این افق کانه‌دار در بخش بالایی توالی رسوبی-آتشفشانی کرتاسه پسین (LMV) و در واحد ۴ این توالی آتشفشان رسوبی جای دارد (شکل ۶). سنگ میزبان افق II توفهای مارنی کربناتی است (شکل A-۷). این واحد رسوبی-آتشفشانی که در شمال روستای دولت‌آباد، شمال و جنوب روستاهای محمدآباد و عریان برون‌زد دارد، در بین لایه‌های کربناته کرتاسه پسین جای گرفته و تغییر رخساره جانبی با آهک‌های نازک لایه پلاژیک گلوبوترونکانادار دارد (شکل B-۷). کانه‌زایی‌های منگنز کانسارهای چشمه سفید، ذاکری، محمدآباد عریان و چاه ستاره در این افق قرار دارند که امروزه در حال بهره‌برداری هستند (شکل ۶). کمر پایین افق کانه‌دار را آندزیت و کمر بالای آن را توف سبز و توف کربناتی-مارنی نازک لایه تشکیل می‌دهد که به صورت هم‌روند و هم‌شیب با واحدهای کربناته موجود در منطقه قرار گرفته‌اند.

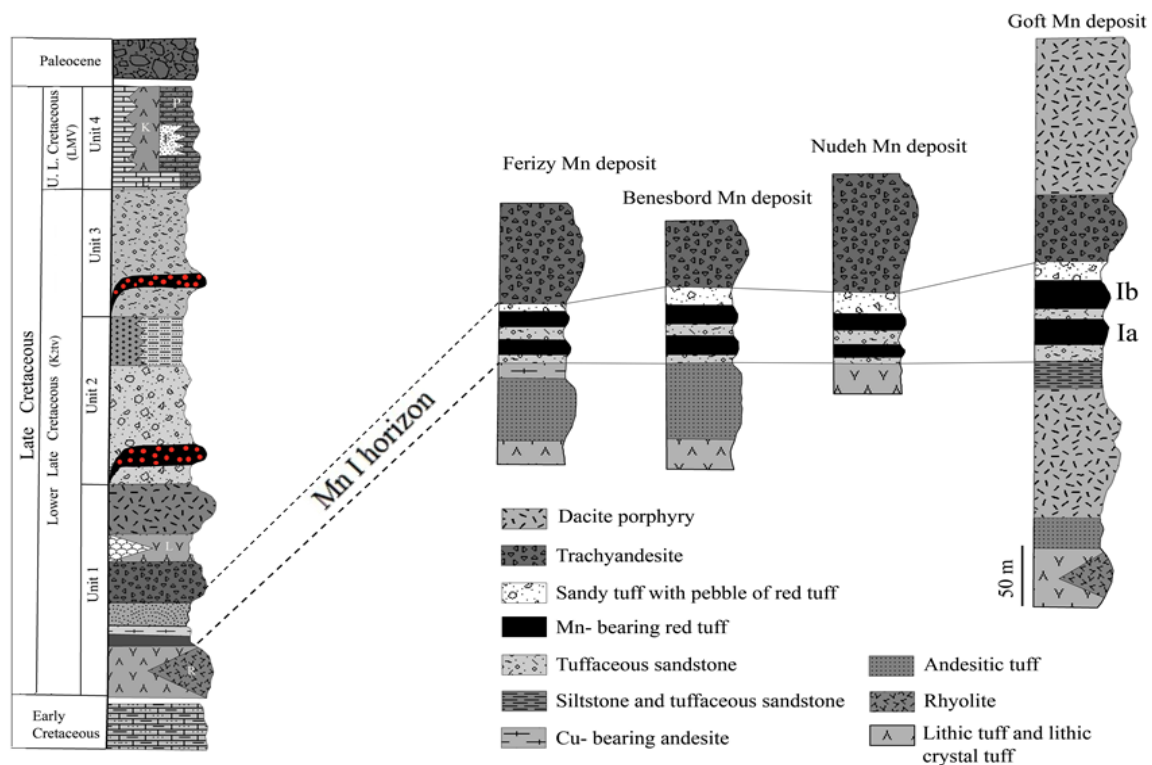
شکل (ژئومتری) و ساخت و بافت ماده معدنی

پیکره‌های ماده معدنی در کانسارهای مختلف منگنز جنوب-جنوب غرب سبزواری به صورت چینه‌سان و صفحه‌ای و لایه‌ای شکل و همخوان و هم‌روند با لایه‌بندی سنگهای میزبان بوده و به طور ناپیوسته در ابعاد مختلف رخ داده‌اند. در بعضی از کانسارها مثل کانسار منگنز نوده در زیر لایه توف منگنزدار پهنه کانه‌دار رگه و رگه‌چه‌ای نیز دیده می‌شود. که ستبرای آنها از چند سانتی‌متر تا ۷ متر (کانسار منگنز ذاکری) تغییر می‌نماید. این پهنه‌ها دچار چین خوردگی و گسل خوردگی بعدی شده‌اند (شکل‌های ۵ و ۹).

بافت پیکره‌های ماده معدنی توده‌ای، نیمه‌توده‌ای، نواری، لامینه، دانه پراکنده و رگه-رگه‌چه‌ای است (شکل ۱۰). بافت توده‌ای و نیمه‌توده‌ای بخش پرعیار و غنی از منگنز در کانسارهای مورد مطالعه است. بافت نواری شامل تناوب نوارهای تیره (نوارهای غنی از منگنز) و نوارهای قرمز (توف قرمز میزبان کانه‌زایی) است (شکل A-۱۰). این بافت، بافت غالب در کانسارهای منگنز موجود در افق I توالی آتشفشانی-رسوبی است. ضخامت لامینه‌های کانه‌دار از ۱ میلی‌متر تا ۱ سانتی‌متر تغییر می‌نماید (شکل A-۱۰). این بافتها سیمایی رسوبی به اکسیدهای منگنز این کانسارها داده است (شکل ۱۰).

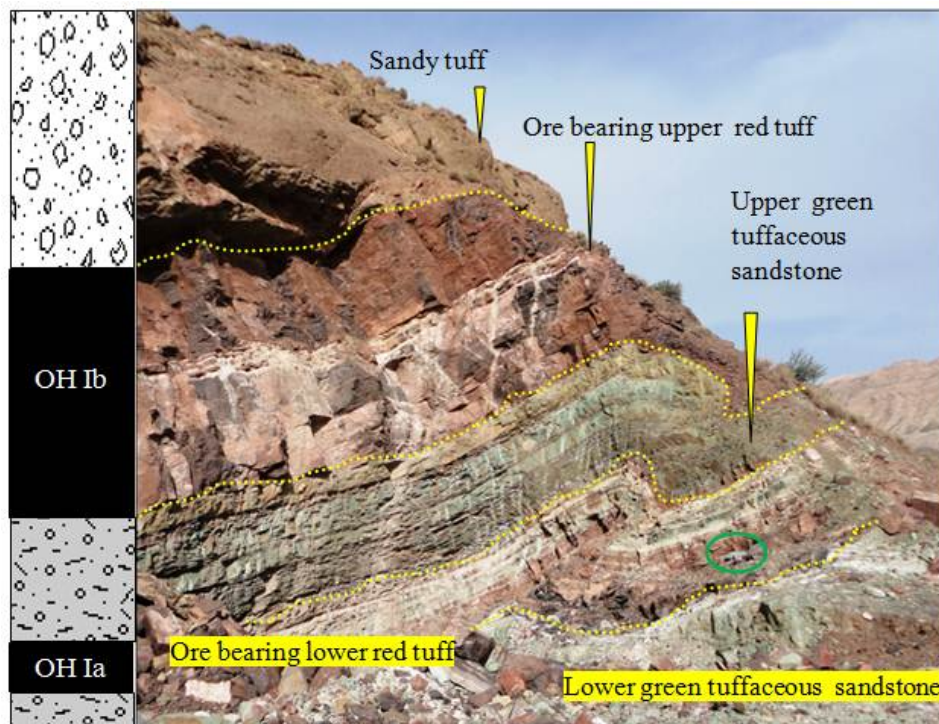
به صورت فاز فرعی از همراهان پسیلوملان می‌باشند که در بعضی از نمونه‌ها جانشین هسته‌های فسیلی نامشخص شده‌اند (شکل B-۱۱). این کانی به همراه پیرولوژیت بافت های لامینه نیز تشکیل داده اند (شکل C-۱۱). پسیلوملان دارای بافت متراکم و انتشاری است در بافت متراکم، اندازه بزرگترین کانه اندازه‌گیری شده ۲ میلی‌متر است (شکل D-۱۱) حفره‌های زیادی در درون کانه وجود دارد و نفوذیهای کانیهای غیرفلزی (شامل کلسیت و کوارتز) در آن مشاهده می‌شوند. پیرولوژیت کانی با انیزوتروپی شدید، رخ نامنظم تا منظم و رنگ زرد تا مایل به قرمز در نمونه‌ها به مقدار کم مشاهده می‌شود که اغلب فضاهای خالی بین ذرات تخریبی را پر کرده است (شکل F-۱۱). کانیهای باطله عمدتاً شامل ذرات تشکیل‌دهنده سنگ میزبان یعنی کوارتز، ذرات لیتیک، فلدسپار و کلریت می‌باشند.

B-۱۰ و C-۱۰) نوارها و لامینه‌های روشن باطله عموماً ذرات ماسه‌ای، توفی و سیلتی می‌باشند (شکل E-۱۰، A-۱۱ و B). بافت دانه‌بندی تدریجی نیز در پیکره‌های معدنی دیده می‌شود (شکل D-۱۰) که از جمله بافتهای اولیه مربوط به رسوب‌گذاری ناشی از جابه‌جایی مکانیکی کانی‌های منگنز در حوضه رسوبی است (شکل E-۱۰). قابل ذکر است که بافت رگه-رگه ای نیز از جمله بافتهای موجود در کانه زایی می‌باشد (شکل F-۱۰). کانی‌شناسی ماده معدنی در کانسارهای موجود در افق های I, II ساده و تقریباً مشابه هم است. پیرولوژیت، براونیت و پسیلوملان کانیهای اصلی تشکیل‌دهنده ماده معدنی است (شکل ۱۱). پسیلوملان $[(Ba, H_2O)_2 Mn_5 O_{10}]$ به صورت عمده‌ترین فاز کانیایی در کلیه نمونه‌ها مشاهده شد (شکل D-۱۱ و E) همچنین پیرولوژیت (MnO_2) و براونیت $[3(Mn, Fe)_2 O_3 \cdot MnSiO_3]$



شکل ۴. جایگاه افق I منگنز (زیر افقهای Ia و Ib) در واحد ۱ از بخش زیرین توالی آتشفشانی-رسوبی کرتاسه پسین (K_2^{IV}) و انطباق زیر افقهای منگنز در کانسارهای فریزی، بنسبرد، نوده و گفت در جنوب غرب سبزوار. بیشترین ضخامت افق کانه‌دار در کانسار گفت دیده می‌شود، سنگ میزبان کانه‌زایی منگنز در افق I، توف‌های قرمز می‌باشد (برای راهنمای ستون چین‌شناسی ناحیه‌ای به شکل ۳ مراجعه شود).

Fig. 4. The position of manganese horizon I (subhorizons Ia and Ib) in the Unit 1 of lower Late Cretaceous volcano-sedimentary sequence (K_2^{IV}) and correlation of manganese subhorizons in the Frizy, Benesbord, Nudeh and Goft deposits. The highest thickness of the ore-bearing horizon is observed at the Goft deposit, red tuffs are host rock to manganese mineralization in the horizon I (for legend on regional stratigraphic columns, refer to Fig. 3).



شکل ۵. نمایی از توالی چینهای در بردارنده افق I (OH Ia, OH Ib) منگنز و جایگاه توف قرمز میزبان کانه در کانسار منگنز نوده، سنگهای توف قرمز رنگ کانه‌دار هم‌شیب و هم‌روند با واحدهای سنگی دیگر چین خورده‌اند (دید به سمت شمال شرق).

Fig. 5. View of stratigraphic sequence containing manganese horizon I (OH Ia, OH Ib) and position of Mn-bearing red tuff in the Nudeh deposit, ore-bearing red tuff and other units folded together (view to the northeast).

یکی از شاخصهایی که به کمک آن می‌توان کانسارهای منگنز با خاستگاه برون‌دمی را از نهشته‌های با خاستگاه آب‌زاد تمییز داد، شاخص نسبت Mn/Fe است که توسط بسیاری از زمین‌شناسان اقتصادی در مورد کانسارهای گوناگون و نیز نهشته‌های منگنز عهد حاضر در بستر دریاها و اقیانوسها با موفقیت به کار رفته است (جدول ۲). نسبتهای میانگین Mn/Fe برابر ۱ برای نهشته‌های منگنز با خاستگاه آب‌زاد، کمتر از ۱ به عنوان شاخصی برای نهشته‌های منگنز در محیط‌های دریاچه‌ای و میانگین $10 < \text{Mn/Fe} < 2/5$ برای رسوبات برون‌دمی در نظر گرفته شده است (جدول ۲). همچنین هین و همکاران (Hein et al., 2000) نسبتهای Mn/Fe در گستره ۰.۸ تا ۱/۵ را نشانه نهشتگی در فرآیند آب‌زاد دانسته‌اند (Franklin et al., 2005). نسبت Mn/Fe در نمونه‌های بررسی شده از کانسارهای منگنز جنوب- جنوب غرب سبزوار بین ۰.۱۲ تا ۵۵۸ در تغییر بوده و میانگین آن ۴۷/۵ است. مقادیر بالای نسبتهای Mn/Fe در کانسارهای منگنز جنوب-

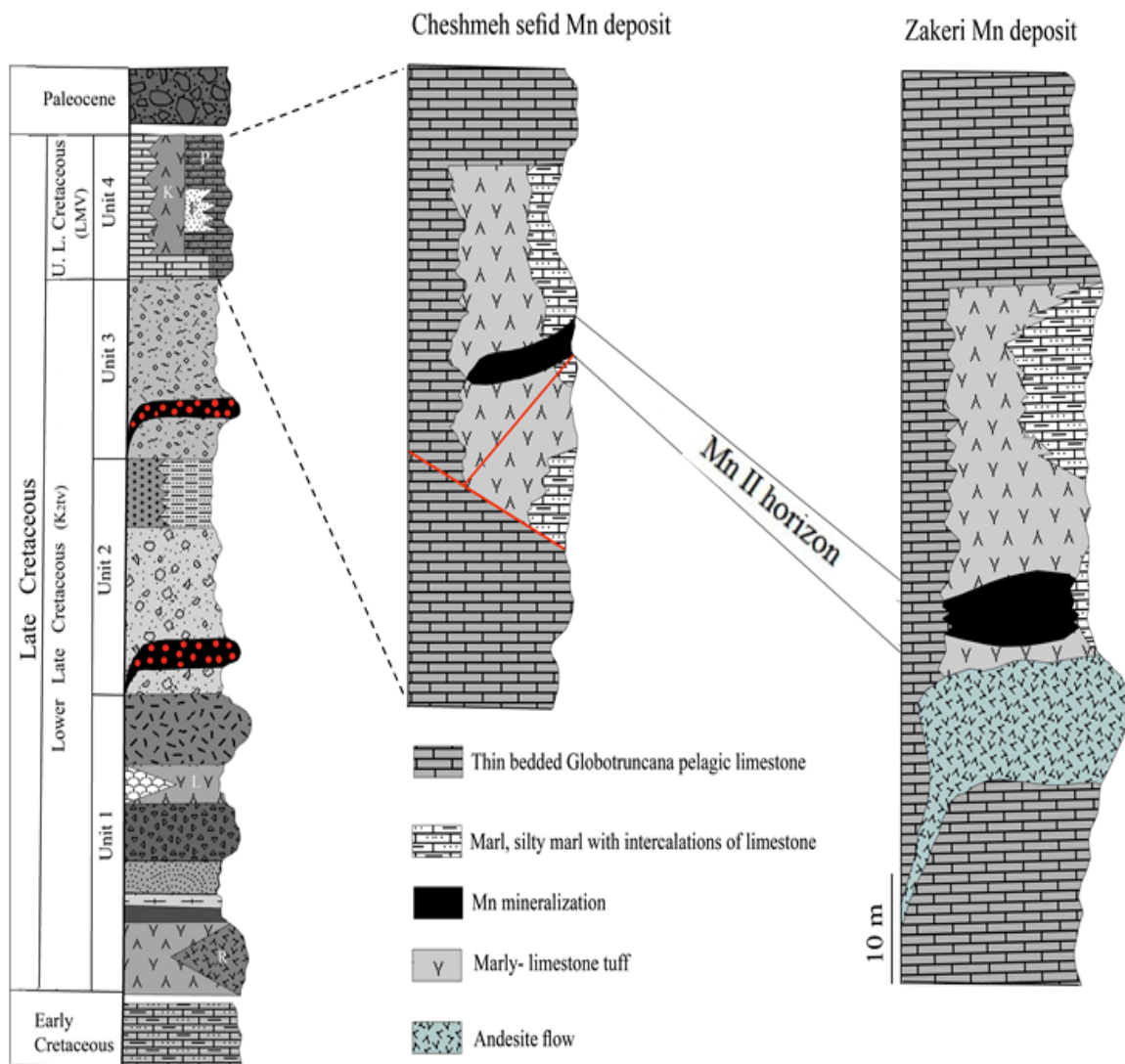
ژئوشیمی

به منظور مطالعات ژئوشیمیایی، از نتایج آنالیز ۱۵ نمونه از کانسارهای مختلف منگنز که در آزمایشگاه ژئوشیمی سازمان زمین‌شناسی و اکتشافات معدنی کشور صورت گرفته است، استفاده گردید که نتایج آنها در جدول ۱ ارائه شده است. در این کانسارها به ترتیب با مقادیر ۶۲/۶۹ و ۷۹/۶۴ بیشترین فراوانی را دارد. مقدار میانگین MnO در بخشهای گوناگون کانسارها در نمونه‌های مورد بررسی حدود ۳۰ درصد است. در میان اکسیدهای عناصر اصلی، سیلیس بیشترین فراوانی را دارد و میانگین آن ۴۵ درصد است. سیلیس بیشتر به شکل کانی کوارتز (باطله) و مقداری نیز در ترکیب کانی براونیت در کانسنگ حضور دارد. اکسیدهای آهن از نظر فراوانی مقام سوم را دارند، به گونه‌ای که مقدار Fe_2O_3 (کل) بین ۱۰٪ تا ۱۱/۳۵ درصد در تغییر بوده و میانگین آن ۴/۳۳ درصد است. دیگر اکسیدها هر یک سهم ناچیزی را در تجزیه‌های کل سنگ به خود اختصاص داده و مقادیر کمی دارند (جدول ۱).

شاخص منشأ برون‌دمی آن می‌باشد (Zarasvandi et al., 2013).

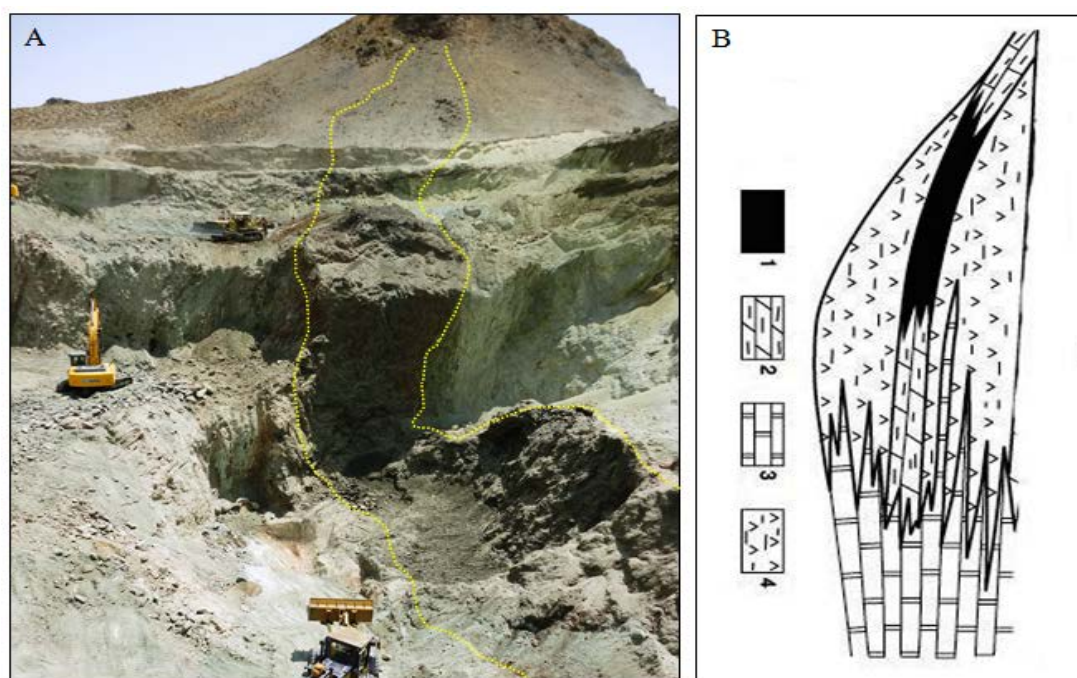
نمونه‌های آنالیز شده در نمودار Si نسبت به Al، در گستره نهشته‌های منگنز با خاستگاه گرمایی قرار می‌گیرند (تنها سه نمونه در گستره برون‌دمی قرار نمی‌گیرد) (شکل ۱۲).

جنوب غرب سبزوار نشان‌دهنده غنی‌شدگی منگنز طی فرآیند برون‌دمی است. در کانسار Noblehouse در اسکاتلند نیز که یک کانسار برون‌دمی - رسوبی است، در رسوبات منگنزدار، نسبت Mn/Fe بین ۳ تا ۶۶۲ در تغییر بوده و میانگین آن در حدود ۸۵ است (Nicholson, 1992) در کانسار منگنز نصیرآباد فارس نسبت Mn/Fe بین ۴/۵ تا ۸۷/۵۴ بوده که



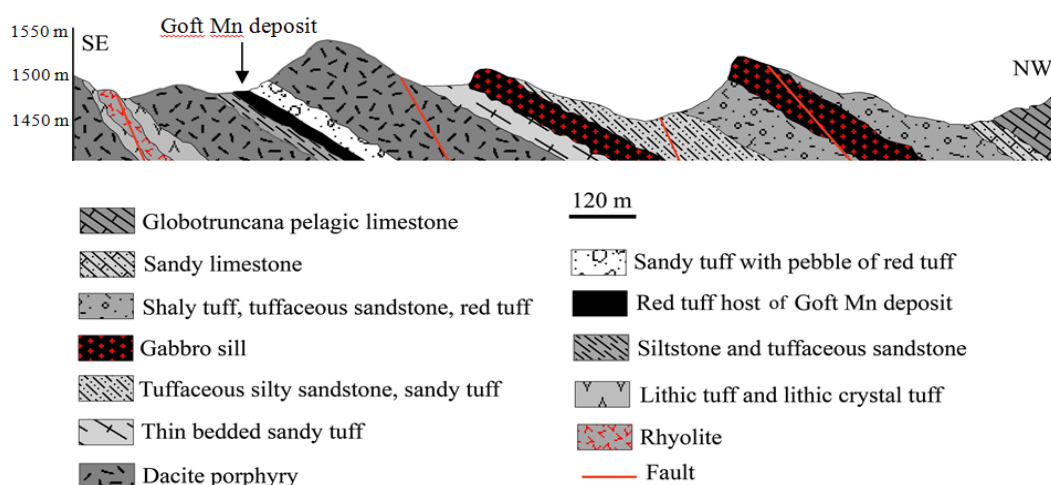
شکل ۶. جایگاه افق II منگنز در واحد ۴ (Unit 4) از بخش بالایی توالی رسوبی - آتشفشانی کرتاسه پسین و تغییرات جانبی رخساره‌ای آن در منطقه جنوب غرب سبزوار، سنگ میزبان کانه‌زایی منگنز در این افق توفهای ماری - کربناتی است (برای راهنمای ستون چینه‌شناسی ناحیه‌ای به شکل ۳ مراجعه شود).

Fig. 6. The position of Mn horizon II in the Unit 4 of upper Late Cretaceous volcano-sedimentary sequence and lateral facies changes sequence in southwest Sabzevar. The host rock to Mn mineralization in this horizon is marly-limy tuff (to legend regional stratigraphic columns refer to Fig. 3).



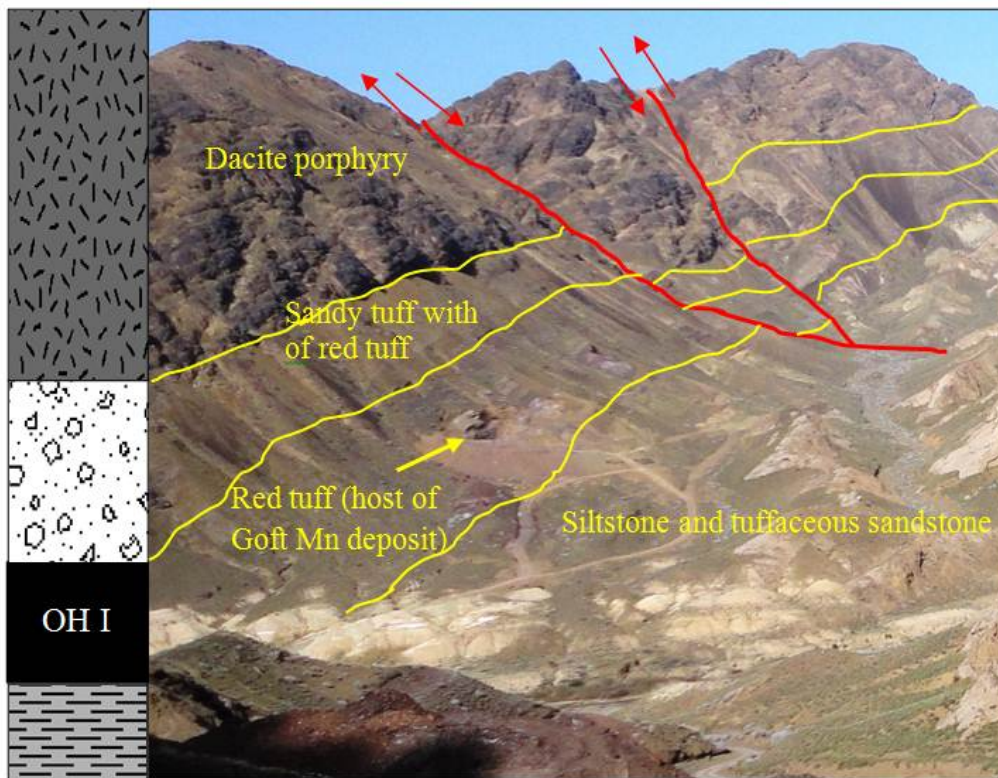
شکل ۷. A: نمایی از رخنمون معدن فعال ذاکری در افق II منگنز، کانه‌زایی منگنز به صورت هم‌روند با واحدهای توفی-کربناتی می‌باشد (دید به سمت شمال شرق). B: شکل شماتیکی از معدن منگنز ذاکری که در آن تغییر رخساره جانبی توف‌های مارنی کربناتی منگن‌دار به آهک‌های مارنی نشان داده شده است و این واحد کانه‌دار با تغییر رخساره جانبی به آهک‌های پلاژیک نازک‌لایه تبدیل می‌شود (۱. افق کانه‌دار منگنز، ۲. آهک‌های مارنی، ۳. آهک‌های نازک‌لایه پلاژیک، ۴. توف‌های مارنی - کربناتی).

Fig. 7. A: A view of the Mn horizon II in the Zakeri mine. Mn mineralization is concurrent with carbonate-tuff units (view to the northeast), B: Schematic figure of the Zakeri Mn mine where lateral facies change from Mn-bearing marly-carbonate tuffs to marly limestone is shown. This ore-bearing unit transforms to thin-bedded pelagic limestones through lateral facies changes (1. Mn horizon, 2. Marly limestone, 3. Pelagic limestone, 4. Marly carbonate tuff).



شکل ۸. مقطع عرضی از توالی چینهای دربردارنده افق I منگنز و جایگاه توف قرمز کانه‌دار در کانسار گفت در دره کال مرغ در شمال غرب روستای محمدآباد عربان.

Fig. 8. Cross-section of the stratigraphic sequence containing manganese horizon I and position of ore-bearing red tuff at the Goft deposit in the Kalmorgh valley, northwest of Oryun Mohammad Abad village.



شکل ۹. نمایی از رخمون توالی واحدهای سنگی در کانسار منگنز گفیت در دره کالمرغ و انطباق آن با ستون چینه‌شناسی منطقه (دید به سمت شمال شرق).

Fig. 9. A view of the sequence at the Gofit Mn deposit in the Kalmorgh valley and its correlation with stratigraphic column of the area (view to the northeast).

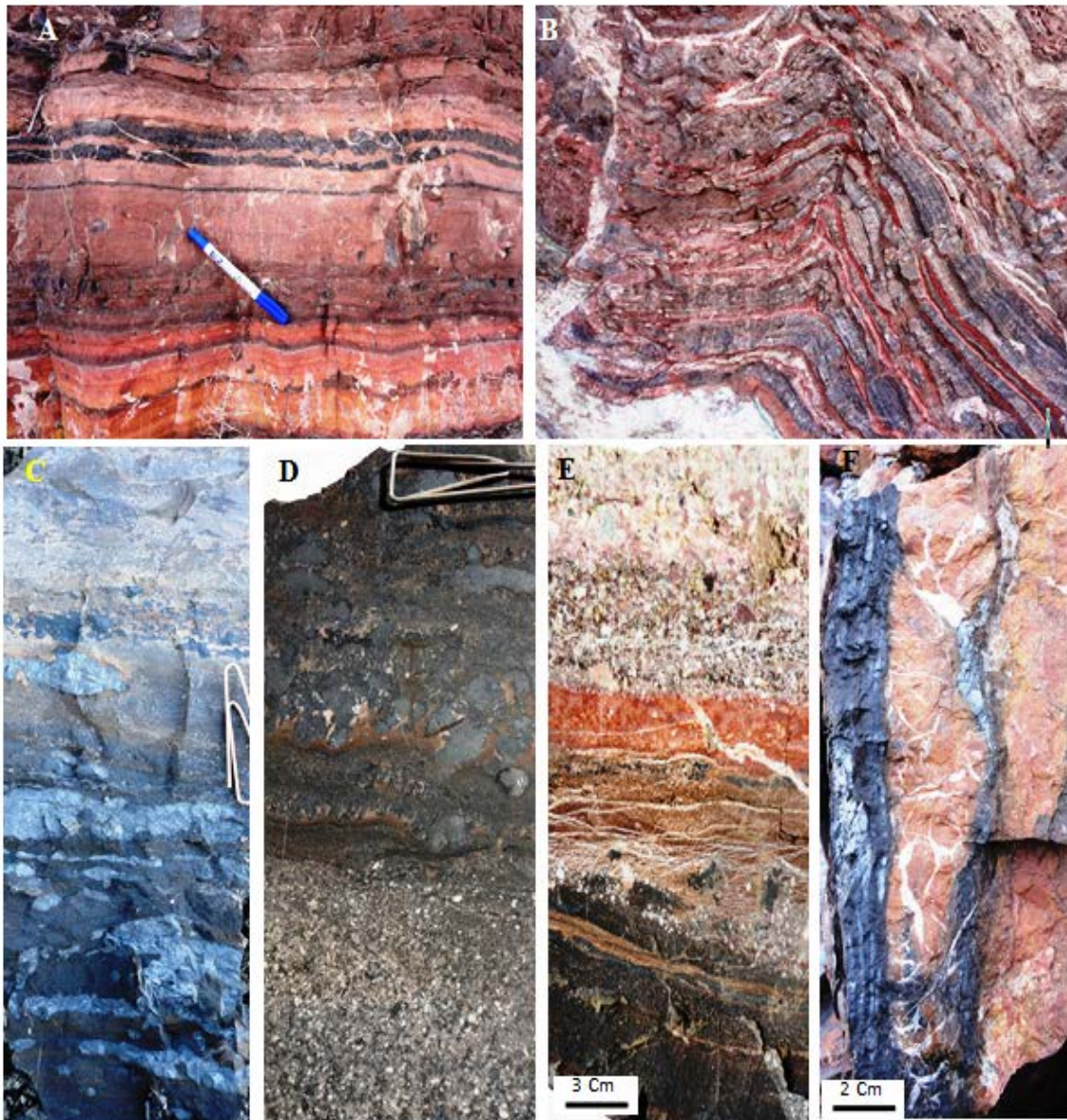
نتیجه‌گیری

کانه‌زایی منگنز در منطقه جنوب - جنوب غرب سبزوار در کانسارهای متعدد به صورت چینه‌سان و هم‌روند با سنگ دربرگیرنده ماده معدنی به صورت هم‌زمان با ته‌نشست کانیهایی تشکیل‌دهنده سنگ درون‌گیر، در دو افق مجزا (I, II) تشکیل گردیده است. افق I ماده معدنی منگنز که دارای سنگ میزبان توفقرمز است، از دو زیر افق مجزا (Ia, Ib) تشکیل یافته که به فاصله ۰/۵ تا ۲ متر نسبت به هم قرار گرفته و توسط واحد ماسه‌سنگ توفی سبز رنگ بالایی از یکدیگر جدا می‌گردند. این افق کانه‌زایی که بیشترین گسترش را در توالی آتشفشانی - رسوبی دارد محدود به بخش زیرین کرتاسه پسین است. تأثیر فرآیندهای تکتونیکی بعدی موجب چین خوردگی و گسل خوردگی این افق و تکرار آن در بعضی از کانسارها گردیده و در نتیجه موجب اشتباه در تشخیص بیش از یک افق کانه‌زایی در توالی آتشفشانی - رسوبی بخش زیرین کرتاسه پسین شده است. افق II کانه‌زایی منگنز در بخش بالایی توالی

رسوبی - آتشفشانی کرتاسه پسین قرار داشته و سنگ درون‌گیر آن توفهای مارنی کربناتی است (شکل ۸). افق II ماده معدنی از جهت ذخیره و تناژ بزرگتر از افق I کانه‌زایی منگنز بوده ولی گسترش آن نسبت به افق I، کمتر است. مطالعات ژئوشیمیایی نشان داده است که اکسیدهای SiO_2 و MnO فراوانترین اکسیدهای اصلی در افقهای I, II منگنز بوده و عیار متوسط منگنز در کانسارهای مختلف حدود ۳۰ درصد است. به‌طور کلی بالا بودن نسبت Mn/Fe (میانگین ۴۷/۵) و همچنین قرار گرفتن نمونه‌ها در نمودار Si نسبت به Al ، در محدوده کانسارهای برون‌دمی و همچنین شواهد زمین‌شناسی و قرار داشتن در توالی آتشفشانی - رسوبی و سنگ درون‌گیر پیروکلاستیکی و توفی و همچنین ساخت و بافت کانه، همگی نشان‌دهنده تشکیل کانسارهای منگنز جنوب - جنوب غرب سبزوار در طی فرآیندهای برون‌دمی و هم‌زمان با سنگهای دربرگیرنده می‌باشد.

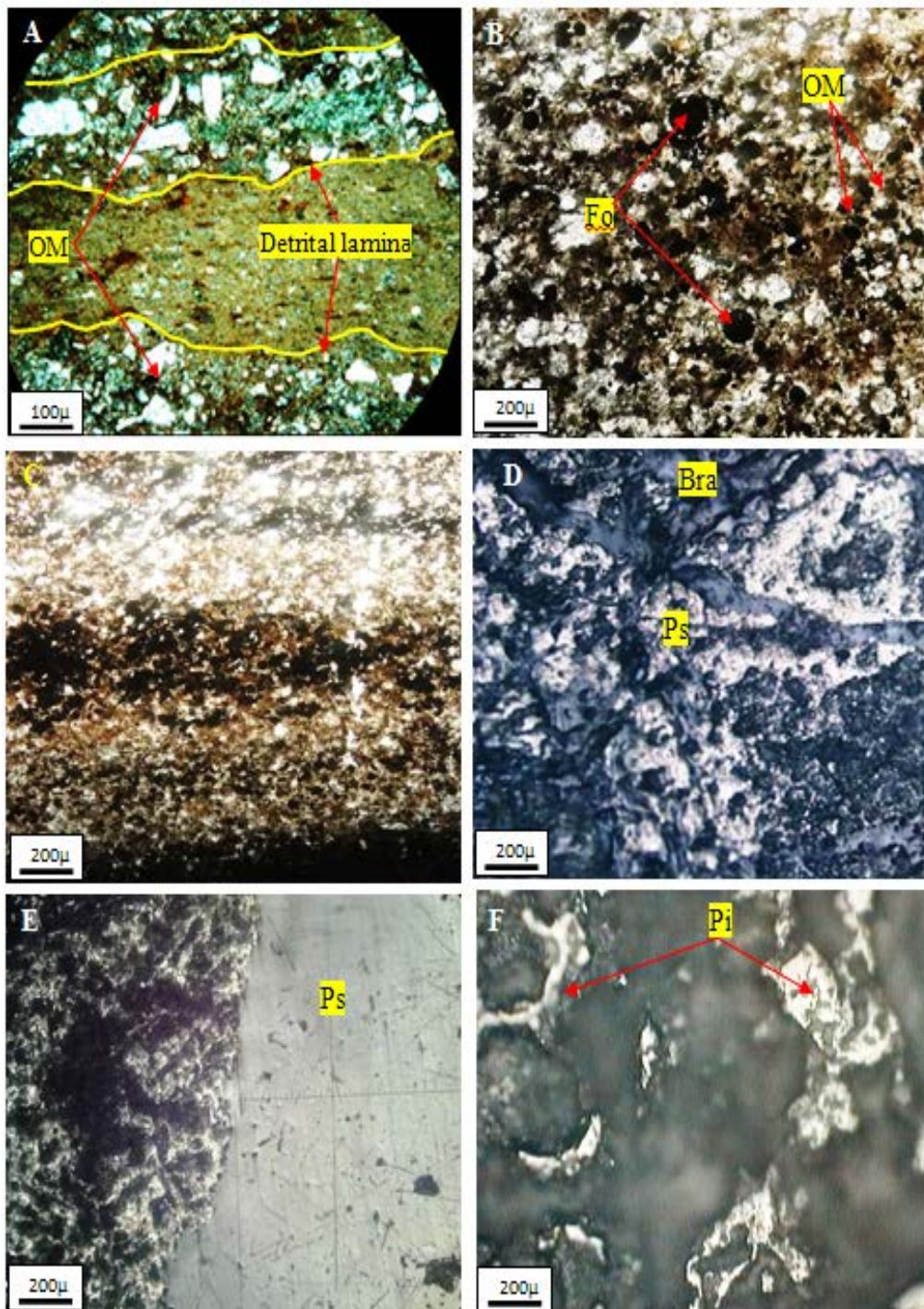
معین، می‌توان از آن به عنوان الگویی به منظور اکتشاف ذخایر جدید اقتصادی منگنز در منطقه بهره‌برداری کرد.

با توجه به گسترش توالی آتشفشانی- رسوبی کرتاسه پسین در منطقه جنوب غرب سبزواری و رخداد کانه‌زاییهای متعدد منگنز در آن در جایگاه خاص چینه‌ای و قرارگیری آنها در دو افق



شکل ۱۰. ساخت و بافت کانه در افق‌های I, II منگنزدار کانسارهای مختلف منطقه جنوب غرب سبزواری؛ A: تناوب لامینه‌های غنی از منگنز (تیره) با توف‌های قرمز (روشن) میزبان کانه‌زایی در کانسار گفت در افق I منگنز، B: چین‌خوردگی لامینه‌های منگنز با سنگ دربرگیرنده ماده معدنی در غرب رودخانه کالمرغ در کانسار گفت، C: نمونه دستی از عدسیه‌های منگنزدار در کانسار منگنز نوده، افق I منگنز D: بافت دانه‌بندی تدریجی از منگنز در کانسار منگنز نوده، E: ته‌نشست همزمان منگنز با ذرات تشکیل‌دهنده توف‌های قرمز میزبان کانه‌زایی، F: رگه-رگه‌چه‌های سیلیسی- منگنزدار در کانسار منگنز نوده.

Fig. 10. Ore structures and textures in Mn-bearing horizons I, II in various deposits of the study area, A: Alternation of Mn-rich lamina (black) with red tuffs (bright) on the horizon I Goft deposit, B: Mn-rich lamina folded with host rock west of Kalmorgh river in the Goft deposit, C: Specimen lenses of manganese in the Nudeh Mn deposit, ore horizon I, D: Gradual aggregation texture of manganese in the Nudeh deposit, E: Simultaneous deposition of manganese with Mn-bearing host rock, F: Silicic-manganese vein-veinlet in the Nudeh Mn deposit.



شکل ۱۱. تصویر میکروسکوپی از ساخت و بافت ماده معدنی در افقهای I، II منگنزدار: A: لامینه‌های ریز خاکستر و دانه‌درشت تخریبی که همراه کانه‌های منگنز (OM) ته‌نشست پیدا کرده‌اند (XPL). B: بافت دانه‌پراکنده منگنز (OM) و فسیل‌های (Fo) همراه که دارای هسته منگنزدار می‌باشند (XPL). C: تناوب لامینه‌های غنی از منگنز (تیره) و ذرات تشکیل‌دهنده سنگ میزبان (روشن) (XPL). D: کانی پسیلوملان (Ps) و براونیت (Bra). E: کانیهای پسیلوملان (Ps) و پیرولوزیت (Pi) در کنار هم. F: کانی پیرولوزیت (Pi).

Fig. 11. Microscopic image of the structure and textures in the Mn-bearing horizons I, II; A: Deposition together with fine-grained ash lamina and coarse-grained detrital with manganese ore (OM), B: Disseminated texture of Mn (OM) and associated fossil (Fo) with Mn-bearing core; C: Alternation of Mn-rich lamina (black) with rock-forming mineral (bright), D: Psilomelane (Ps) and braunite (Bra); E: Psilomelane (Ps) and pyrolusite (Pi); F: Pyrolusite (Pi).

جدول ۱. نتایج آنالیز نمونه‌های کانهدار از کانسارهای مختلف منگنز منطقه جنوب- جنوب‌غرب سبزوار

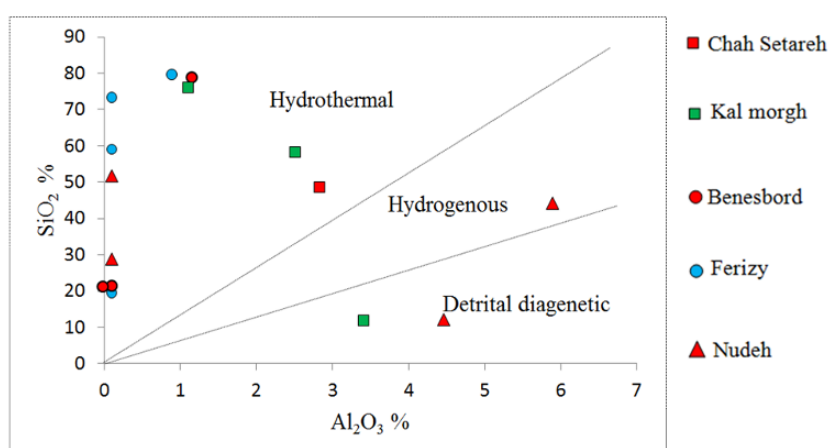
Table 1. The analytical results for the ores from various manganese deposits in south-southwest Sabzevar.

Deposit	Sample	SiO ₂ %	Al ₂ O ₃ %	Fe ₂ O ₃ %	P ₂ O ₅ %	MnO%	SO ₃ %	Na ₂ O%	K ₂ O%	Mn/Fe
Frizy	1	73.36	< 0.10	11.35	< 0.10	2.62	0.30	< 0.10	< 0.10	0.23
	2	79.64	0.89	6.77	< 0.10	0.87	0.27	< 0.10	< 0.10	0.12
	3	19.63	< 0.10	3.07	< 0.10	58.90	0.42	< 0.10	< 0.10	19.18
	4	59.09	< 0.10	4.84	< 0.10	25.13	0.53	< 0.10	< 0.10	5.19
Benesbord	5	21.21	< 0.10	4.11	< 0.10	44.07	0.59	< 0.10	< 0.10	10.72
	6	21.10	-	6.56	0.05	44.99	0.32	-	-	6.85
	7	78.49	1.16	6.69	0.05	7.64	0.19	-	-	1.14
Goft	8	11.89	3.41	1.88	-	62.69	0.38	0.34	< 0.10	33.34
	9	76.12	1.10	4.47	0.16	3.89	0.34	0.78	0.32	0.87
	10	58.24	2.51	4.62	-	2.54	0.37	0/16	0.27	0.53
Nudeh	11	51.72	< 0.10	2.72	< 0.10	33.52	0.23	0/11	< 0.10	12.32
	12	28.84	< 0.10	1.09	0.19	48.78	0.44	0.60	0.17	44.75
	13	44.23	5.89	2.02	0.22	24.29	0.32	1.82	1.86	12.02
	14	12.18	4.46	< 0.10	< 0.10	55.86	1.13	< 0.10	< 0.10	558.6
Chahsetareh	14	48.61	2.83	4.71	0.12	31.26	0.10	0.10	0.13	6.63

جدول ۲. مقایسه دامنه تغییرات نسبت Mn/Fe در نهشته‌های مختلف منگنز و در کانسارهای منگنز منطقه جنوب- جنوب‌غرب سبزوار

Table 2. The range of changes Mn/Fe ratio in various manganese deposits and in the Mn deposits of south-southwest Sabzevar.

Area	Mn/Fe	average	references
Hydrogenous deposit	0.8- 2.5	1	(Marching and Erzinger, 1986; Nicholson et al., 1997)
Exhalative deposit	-	<1	(Dekov et al., 2004)
Noblehouse deposit	1-162	85	(Nicholson, 1992)
Safo (Chalderan)	31.7- 1.35	8	(Amamalipour, 2005)
Nasirabad (Fars province)	87.54- 4.5	17.29	(Zarasvandi et al., 2013)
South-southwest Sabzevar deposit	558- 0.12	47.4	-



شکل ۱۲. نمودار دوتایی SiO₂ به Al₂O₃ (Choi and Hariya, 1992) و موقعیت نمونه‌های کانسارهای منگنز منطقه جنوب‌غرب سبزوار.

Fig. 12. Al₂O₃ and SiO₂ binary diagram (Choi and Hariya, 1992) and sample location of the manganese deposits in the study area.

References

- Badakhshan, G. and Baniadam, F., 1997. Exploration studies report of Darin, scale 1:100,000. Geological Survey of Iran, Tehran, 365 pp. (in Persian)
- 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.
- Dekov, M. and Vesselin Savelli, C., 2004. Hydrothermal activity in the SE Tyrrhenian Sea: an overview of 30 years of research. *Marine Geology*, 204(1-2): 161–185.
- Eshagabadi, S., 1997. Exploration project in geological map of Soltanabad, scale 1:100,000 using the satellite data and geophysics. Geological Survey of Iran, Tehran, 250 pp. (in Persian)
- Franklin, J.M., Gibson, H.L., Galley, A.G., and Jonasson, I.R., 2005. Volcanogenic massive sulfide deposits. In: J.W. Hedenquist, J.F.H. Thompson, R.J. Goldfarb, and J.P. Richards (Editors), *Economic Geology 100th Anniversary Volume*. Society of Economic Geologists, Littleton, Colorado, pp. 523–560.
- Hein, J.R., Koschinsky, A., Bau, M., Manheim, F.T., Kang, J.K., Robert, L. (2000). Cobalt-rich ferromanganese crusts in the Pacific. In: D.S. Cronan (Editor), *Handbook of Marine Mineral Deposits*. CRC Press, Boca Raton, Florida, pp. 239–279.
- Imamalipour, A., 2005. Geochemistry, mineralogy and application of Safo manganese resource (north of Chalderan city). Final report of Urmia University, 45 pp. (in Persian)
- 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 Nudeh deposit. M.Sc. Thesis, Tarbiat Modares University, Tehran, Iran, 312 pp. (in Persian with English abstract)
- Maghfouri, S., Rastad, A. and Mousivand, F., in press. Nudeh volcanogenic massive sulfide (VMS) deposit, A Besshi-type VMS deposit, southwest Sabzevar. *Geosciences Scientific Quarterly Journal*. (in Persian with English abstract)
- Marchig V. and Erzinger J., 1986. Chemical composition of Pacific sediments near 20°S: Changes with increasing distance from the East Pacific Rise. In: D.K. Rea and M. Leinen (Editors), *Initial Reports of the Deep Sea Drilling Project Leg 92*. U.S. Gov. Print. Off. pp. 371–381.
- Masoudi, M., 2008. Geology, mineralogy, geochemistry and genesis of Benesbound Mn deposit in the southwest Sabzevar. M.Sc. Thesis, Tehran Islamic Azad University, Iran, 100 pp. (in Persian with English abstract)
- Monazami Bagherzadeh, R., 1994. Genesis of Mn Mineralization in the Darab area (Fars province, Iran). M.Sc. Thesis, University of Shiraz, Shiraz, Iran, 180 pp. (in Persian with English abstract)
- Nasiri, F., Lotfi, M. and Jafari, M., 2010. Mineralogical studies on the Homaei manganese deposit in southwest of Sabzevar. 30th Symposium on Geosciences, Geological Survey of Iran, Tehran, Iran. (in Persian)
- Nasrollahi, S., Mousivand, F. and Ghasemi, H., 2012. Nudeh Mn deposit in the upper Cretaceous volcano- sedimentary sequence, Sabzevar subzone. 31th Symposium on Geosciences, Geological Survey of Iran, Tehran, Iran. (in Persian)
- Nicholson, K., 1992. Genetic types of manganese oxide deposits in Scotland: Indicators of paleo-Ocean-spreading rate and a Devonian geochemical mobility boundary. *Economic Geology*, 87(5): 1301–1309.
- Nicholson, K., Hein, J.R., Buhn, B., Dsgupta, S., 1997. Manganese mineralization: Geochemistry and mineralogy of terrestrial and marine deposits. Geological Society of London, Special Publication 119, 532 pp.
- Rozbeh Kargar, S. and Ghomian, E., 1997. Exploration project in geological map of Bashtin, scale 1:100,000 using the satellite data and geophysics. Geological Survey of Iran, Tehran, 300 pp. (in Persian)
- Taghizadeh, S., Mousivand, F. and Ghasemi, H., 2012. Zakeri Mn deposit, example of exhalative mineralization in the southwest Sabzevar. 31th Symposium on Geosciences, Geological Survey of Iran, Tehran, Iran. (in Persian)
- Tatavosian, Sh., Zohrebakhash, A., Sahandi, M. and Hossaini, A., 1993. Geological map of Sabzevar, scale 1:250,000. Geological Survey of Iran. (in Persian)
- Vahdati Daneshmand, F. and Saeidi, A., 1997. Geological map of Darin, scale 1:100,000. Geological Survey of Iran.

- Vatanpour, H., Khakzad, A. and Ghaderi, M., 2009. The Application of PGE in exploration and economic evaluation in the chromite deposits of Sabzevar ophiolite belt. *Geosciences Scientific Quarterly Journal*, 18(71): 9–12. (in Persian with English abstract)
- Winter, L., Tosdal, R., Mortensen, J. and Franklin, J., 2010. Volcanic stratigraphy and geochronology of the Cretaceous Lancones basin, northwestern Peru: Position and timing of giant VMS deposits. *Economic Geology*, 105(4): 713–742.
- 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.



Stratigraphic position, origin and characteristics of manganese mineralization horizons in the Late Cretaceous volcano-sedimentary sequence, south-southwest of Sabzevar

Sajjad Maghfouri¹, Ebrahim Rastad^{1*} and Fardin Mousivand²

1) Department of Geology, Tarbiat Modares University, Tehran, Iran

2) School of Geosciences, Shahrood University, Shahrood, Iran

Submitted: Apr. 25, 2013

Accepted: Jan. 27, 2014

Keywords: *Volcano-sedimentary sequence, Late Cretaceous, manganese mineralization, stratiform, Sabzevar.*

Introduction

The Mn mineralization occurs in the northeastern segment of the Sabzevar zone (SZ), north of the Central Iranian Microcontinent (CIM). This Zone (SZ) is located between the CIM fragmentation in the south and the Kopeh dagh sedimentary sequence in the north. The ore deposits of the northeastern segment of the Sabzevar zone can be divided into three groups, each with different metal association and spatial distribution and each related to a major geodynamic event. The first mineralization with associated Ordovician host rock is characterized by Taknar polymetallic (Fe-rich) massive sulfide deposit. The Cretaceous mineralization consists of Cr deposits associated with serpentized peridotites, Cyprus type VMS, Mn deposit in pillow lava, volcano-sedimentary hosted Besshi type VMS and Mn deposit. Paleogene mineralization in eastern segment of the Sabzevar zone began with porphyry deposits, Cu Red Bed mineralization occurs in the Paleogene sandy red marl.

Materials and methods

A field study and sampling was performed during the autumn of 2012. To assess the geochemical characteristics of 48 systematic samples (least fractured and altered) of ore-bearing layers and host rocks were collected from the deposit for polished thin section examination. In order to correctly characterize their chemical compositions, 15 least-altered and fractured samples were chosen for major elements analysis.

Results

The Late Cretaceous volcano-sedimentary sequence in south-southwest of Sabzevar hosts numerous manganese mineralization. The sequence based on the stratigraphic position, age and composition of the rocks, can be divided into two lower and upper parts. The lower part or K2^{IV} unit mainly formed from marine sediments interbedded with volcanic rocks. The sedimentary rocks of this part include silicified tuff, chert, shale and sandstone, and the volcanic rocks involve pyroclastic rocks of various composition, rhyolite, dacite and andesitic lava. The upper part or LMV unit comprised of limestone, marl and volcanic rocks, overlies concordantly on the lower part (K2^{IV}). The manganese mineralization within the host volcano-sedimentary sequence, based on stratigraphic position, relative age and type of host rocks involved the two horizons: the first horizon (Mn Ia, Ib) consisting of Benesbourd (Masoudi, 2008), Nudeh (Nasrolahi et al., 2012), Homaie (Nasiri et al., 2010), Goft and Manganese Gostar Khavar Zamin deposits, occurred in the lower part of the sequence (K2^{IV} unit) and is hosted by red tuffs. The second horizon (Mn II) comprising of Zakeri (Taghizadeh et al., 2012), Cheshmeh Safeid, Mohammad Abad Oryan and Chah Setareh deposits, is hosted by marly-carbonate tuffs and locates within the upper part of the sequence (LMV unit) (Maghfouri, 2012). Geometry and shape of the ore bodies in various deposits are as stratiform, layered, parallel and concordant with layering of the host rocks.

*Corresponding author's email: rastad@modares.ac.ir

Textures of the ores include massive, lenticular, banded, laminated and disseminated. Mineralogy of the ores in the two ore horizons is simple and similar and is dominated by pyrolusite, psilomelane and braunite. Gangue minerals are predominantly the host rock-forming minerals including quartz, chlorite and feldspar.

Discussion

Geochemical data, structures and textures, stratigraphic position and lithologic characteristics of the host rocks represent that manganese reserves in south-southwest Sabzevar were formed as sedimentary-exhalative.

Acknowledgements

The authors are grateful to the Tarbiat Modares University Grant Commission for research funding.

References

- 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 Nudeh Deposit. M.Sc. Thesis, Tarbiat Modares University, Tehran, Iran, 312 pp. (in Persian)
- Masoudi, M., 2008. Geology, mineralogy, geochemistry and genesis of Benesbound Mn deposit in the Southwest Sabzevar. M.Sc. Thesis, Tehran Islamic Azad University, Iran, 100 pp. (in Persian)
- Nasiri, F., Lotfi, M. and Jafari, M., 2010. Mineralogical studies on the Homaei manganese deposit in southwest of Sabzevar. 30th Symposium on Geosciences, Geological Survey of Iran, Tehran, Iran. (in Persian)
- Nasrollahi, S., Mousivand, F. and Ghasemi, H., 2012. Nudeh Mn deposit in the upper Cretaceous volcano- sedimentary sequence, Sabzevar subzone. 31th Symposium on Geosciences, Geological Survey of Iran, Tehran, Iran. (in Persian)
- Taghizadeh, S., Mousivand, F. and Ghasemi, H., 2012. Zakeri Mn deposit, example of exhalative mineralization in the southwest Sabzevar. 31th Symposium on Geosciences, Geological Survey of Iran, Tehran, Iran. (in Persian)