

مطالعه کانه‌زایی و ژئوشیمی کانسار منگنز مرتبط با افیولیت‌های کامیاران - شمال غرب ایران

بهمن رحیم‌زاده^۱ و مهدی موحدنیا^۲

^۱استادیار، گروه زمین‌شناسی معدنی و آب، دانشکده علوم زمین، دانشگاه شهید بهشتی، تهران، ایران

^۲آذکرا، گروه زمین‌شناسی اقتصادی، دانشکده علوم پایه، دانشگاه تربیت مدرس، تهران، ایران

تاریخ پذیرش: ۱۳۹۷/۰۴/۲۶

تاریخ دریافت: ۱۳۹۶/۰۸/۱۷

چکیده

کانه‌زایی منگنز در منطقه آفریان- پشاباد در توالی آتشفشانی- رسوبی بخش فوقانی مجموعه افیولیتی شمال غرب کامیاران، حد فاصل پهنه‌های ساختاری زاگرس و سندج- سیرجان در ۵ ناحیه مجزا رخ داده است. سنگ میزبان کانه‌زایی منگنز در این منطقه متشکل از شیل، شیل توفی و چرت‌های رادیولاریتی است که در روی بازالت‌های بالشی قرار گرفته‌اند. ژئومتری ماده معدنی به صورت عدسی‌های همروند با لایه‌بندی بوده و بافت ماده معدنی شامل توده‌ای، نواری، گل کلمی، جان‌شینی و برشی است. کانسنگ منگنز متشکل از براونیت، پیرولوژیت، بیکسبایت و هماتیت است که با کانی‌های باطله کلسیت و کوارتز همراهی می‌شوند. شواهد ژئوشیمیایی همانند نسبت‌های Mn/Fe، Co/Ni و Cu/Zn و همچنین بررسی نمودارهای ژئوشیمیایی، حاکی از نقش سیالات گرمایی در تشکیل این کانسارهاست. ویژگی‌های اصلی کانه‌زایی‌های منگنز منطقه آفریان- پشاباد، از جمله تشکیل آنها در پشته‌های میان اقیانوسی، میزبانی کانسنگ منگنز توسط توالی آتشفشانی- رسوبی بخش فوقانی سکانس افیولیتی، محتوای آهن بالا و کانی‌شناسی کانسنگ منگنز، حاکی از شباهت کانسارهای منطقه مورد مطالعه با کانسارهای منگنز تیپ قبرسی است. کانه‌زایی منگنز در منطقه مورد مطالعه از نظر خصوصیات کانی‌شناسی، سنگ میزبان، ژئومتری ماده معدنی و ساخت بافت، قابل مقایسه با کانسارهای منگنز مرتبط با افیولیت در مناطق هرسین، خوی، بیرجند و رودان است.

کلیدواژه‌ها: کانسار منگنز، آتشفشانی- رسوبی، افیولیت، تیپ قبرسی، آفریان، پشاباد، کامیاران.

*نویسنده مسئول: بهمن رحیم‌زاده

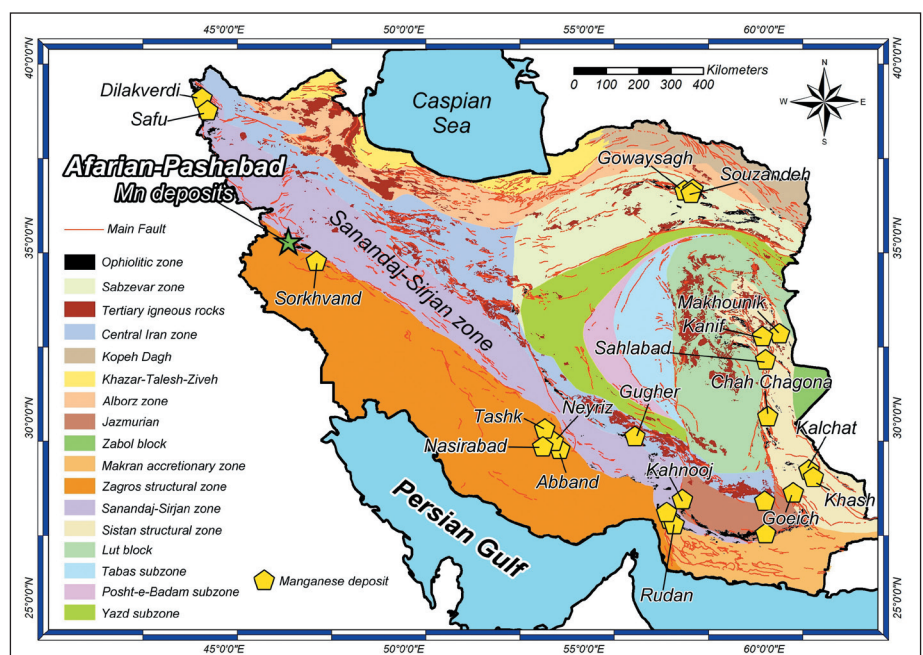
E-mail: b.rahimzade59@gmail.com

۱- پیش‌نوشتار

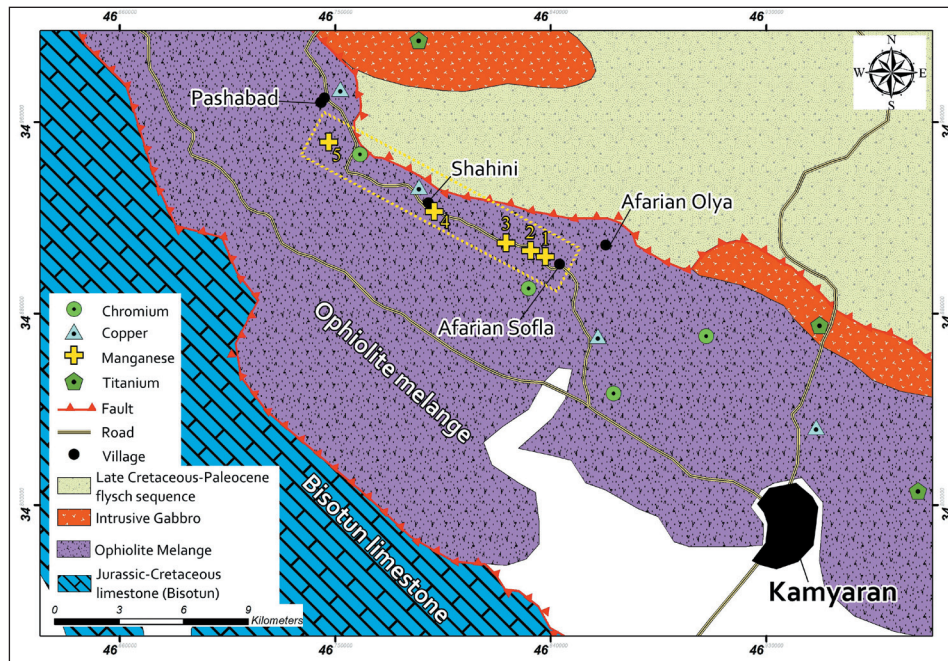
واقع شده است (شکل ۱). در منطقه آفریان- پشاباد، کانه‌زایی چینه‌سان منگنز با سنگ میزبان شیلی، توف شیلی و رادیولاریتی در ۵ ناحیه مختلف رخ داده که شامل اندیس‌های غرب آفریان (اندیس شماره ۱)، گردنه شاهینی (اندیس شماره ۲)، شرق شاهینی (اندیس شماره ۳)، شاهینی (اندیس شماره ۴) و پشاباد (اندیس شماره ۵) است (شکل ۲). در افیولیت‌های شمال غرب کامیاران، علاوه بر کانه‌زایی منگنز، کانه‌زایی کرومیت تیپ پادیفرم، تیتانیم همراه با سنگ‌های گابرویی و مس اکسیدی نیز رخ داده است (شکل ۲). در این نوشتار، بر اساس مشاهدات صحرایی، مطالعات میکروسکوپی و ژئوشیمیایی، چگونگی تشکیل و تیپ کانه‌زایی منگنز در منطقه آفریان- پشاباد مورد مطالعه قرار گرفته است.

کانه‌زایی منگنز در بالاترین ردیف‌های سنگی افیولیتی در اکثر مجموعه‌های افیولیتی ایران (شکل ۱)، از جمله افیولیت‌های خوی (امامعلی‌پور، ۱۳۸۹)، نیزیز (رجب‌زاده و زمان‌ثانی، ۱۳۹۲)، بیرجند (زرین‌کوب و همکاران، ۱۳۸۸)، رودان و کهنوج (ابراهیمی، ۱۳۸۲) و کرمانشاه (سپهوند، ۱۳۹۳) وجود دارد. کانه‌زایی منگنز در این مناطق عمدتاً همراه با چرت‌های رادیولاریتی، شیل و آهک‌های پلاژیک با ژئومتری عدسی رخ داده است.

منطقه مورد مطالعه در ۲۰ کیلومتری شمال غرب کامیاران در شمال غرب ایران و در طول جغرافیایی ۴۳° ۴۶' تا ۴۶° ۵۳' و عرض جغرافیایی ۳۴° ۵۸' تا ۳۳° ۵۸' شمالی، در حد فاصل پهنه‌های ساختاری زاگرس و سندج- سیرجان



شکل ۱- پهنه‌های ساختاری ایران (آقاباتی، ۱۳۸۳؛ Alavi, 1991) و پراکنده‌گی کانسارهای منگنز مرتبط با سنگ‌های افیولیتی در ایران و موقعیت کانسارهای منگنز منطقه کامیاران در حدفاصل پهنه‌های سندج- سیرجان و زاگرس.



شکل ۲- نقشه زمین‌شناسی ساده شده ناحیه‌ای منطقه شمال غرب کامیاران و گسترش کانه‌زایی‌های فلزی در مجموعه افیولیتی و موقعیت کانسارهای منگنز منطقه آفریان- پشاباد.

۲- روش پژوهش

پوسته اقیانوسی نئوتتیس به زیر پهنه سندج- سیرجان از ژوراسیک میانی آغاز شده، به طوری که سنگ‌های پلوتونیک در بخش شمال غربی پهنه سندج- سیرجان، از جنوب شرق سندج تا شمال غرب اصفهان، با سن ژوراسیک میانی- بالایی (۱۷۲ تا ۱۴۹ میلیون سال) و دارای قرابت ژئوشیمیایی با سنگ‌های کمان ماگمایی مرتبط با فرورانش گسترش یافته‌اند (Ahmadi Khalaji et al., 2007; Mahmoudi et al., 2011; Esna-Ashari et al., 2012). علاوه بر سنگ‌های پلوتونیک ژوراسیک، در طول لبه شمال خاوری سوچر زون زاگرس، سنگ‌های ولکانیکی حد واسط ژوراسیک بالایی به صورت میان‌لایه همراه با آهک‌های کم‌عمق دریایی گسترش دارند (Mohajjel and Fergusson, 2014).

ادامه فرورانش اقیانوس نئوتتیس به زیر پهنه سندج- سیرجان در کرتاسه نیز ادامه داشته که شواهد آن، توالی دریایی حاوی سنگ‌های بازالتی و بازالت آندزیتی با ویژگی‌های ژئوشیمیایی کالک آلکالن و منطبق بر با کمان ماگمایی قاره‌ای است (Azizi and Jahangiri, 2008; Azizi and Moinevaziri, 2009). در زمان کرتاسه پایانی، همزمان با بسته شدن اقیانوس نئوتتیس، سنگ‌های افیولیتی در امتداد راندگی اصلی زاگرس، بر روی پوسته قاره‌ای رانده شده‌اند (Mohajjel and Fergusson, 2014).

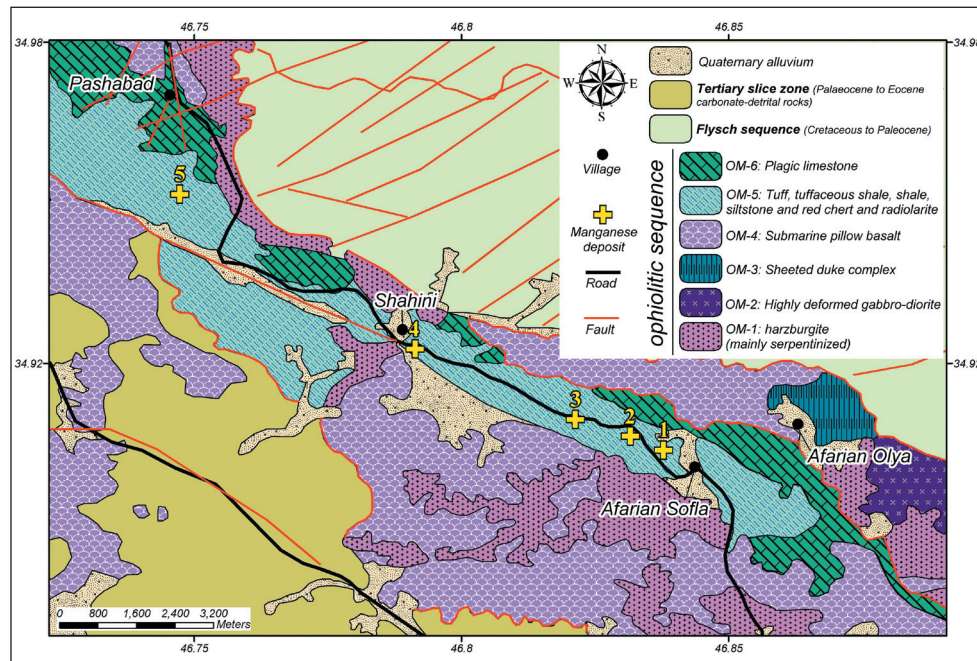
مجموعه افیولیتی شمال باختر کامیاران، از جنوب باختر به سنگ‌های کربناتی ژوراسیک- کرتاسه (آهک‌های بیستون) و از شمال خاور به واحدهای فیلیسی کرتاسه فوقانی- پالئوسن محدود می‌شوند (شکل ۲). توالی افیولیتی در منطقه شمال غرب کامیاران به صورت ملانژ بوده و شامل هارزبورگیت، سرپانتینیت، گابرو کومولیتی و گرانولار، بازالت‌های بالشی، مجموعه توف، توف شیلی، شیل، رادیولاریت و آهک‌های پلاژیک است (شکل ۳). راندگی اصلی زاگرس در جنوب باختری منطقه آفریان- پشاباد واقع شده و این منطقه، به شدت تحت تأثیر ساختارهای تراستی مرتبط با راندگی اصلی زاگرس قرار گرفته است و گسل‌های نرمال و امتدادلغز در راستای شمال باختر- جنوب خاور تشکیل شده‌اند.

در انجام این پژوهش، برای مطالعه ویژگی‌های عدسی‌های منگنز منطقه آفریان- پشاباد، برش‌های متعدد زمین‌شناسی تهیه و مغزه‌های حفاری ۷ گمانه بررسی شد. به منظور تهیه مقاطع میکروسکوپی، آزمایش‌های مربوط به تجزیه سنگ میزبان بدون کانه‌زایی و کانسنگ منگنز، نمونه‌برداری سیستماتیک صورت گرفت. ۱۴ مقطع نازک و ۲۰ مقطع نازک- صیقلی، جهت مطالعات میکروسکوپی سنگ‌شناسی، کانی‌شناسی و ساخت و بافت ماده معدنی، تهیه و مطالعه شد. با توجه به اهمیت ژئوشیمی عناصر اصلی و فرعی و کمیاب در تعیین تیپ کانه‌زایی منگنز، جهت بررسی ژئوشیمی کانسنگ منگنز، ۱۶ نمونه از مغزه‌های حفاری و کانسنگ غیر هوازده برای انجام تجزیه شیمیایی انتخاب و پس از نمایش، با استفاده از دستگاه طیف‌سنج فلورسانس پرتو ایکس XRF در آزمایشگاه سازمان زمین‌شناسی و اکتشافات معدنی کشور تجزیه شد. همچنین جهت تعیین فازهای کانیایی کانسنگ منگنز، ۵ نمونه با دستگاه طیف‌سنج پراش پرتو ایکس XRD در آزمایشگاه سازمان زمین‌شناسی و اکتشافات معدنی کشور و آزمایشگاه کانی‌شناسی مرکز تحقیقات فرآوری مواد معدنی ایران مورد تجزیه قرار گرفت.

۳- جایگاه زمین‌ساختی و زمین‌شناسی ناحیه‌ای

منطقه آفریان- پشاباد در مجموعه سنگ‌های افیولیتی کامیاران (افیولیت‌های زاگرس) و در حد فاصل پهنه‌های ساختاری زاگرس در جنوب شرق و سندج- سیرجان در شمال شرق واقع شده است (شکل ۱).

افیولیت‌های زاگرس که از شمال غرب به افیولیت‌های مدیترانه شرقی و از جنوب شرق به افیولیت‌های اسماعیل در عمان وصل می‌شوند، در طی کرتاسه پایانی- پالئوسن جایگزین شده‌اند (Berberian and King, 1981). در طی رخداد ریفت‌زایی در زمان پریم تا تریاس، بخشی از خردقاره ایران مرکزی و پهنه سندج- سیرجان از حاشیه عربی ابرقاره گندوانا (زاگرس) جدا شده و پوسته اقیانوسی نئوتتیس، در حد فاصل این دو قاره، گسترش یافته است (Ghasemi and Talbot, 2006). فرورانش



شکل ۳- نقشه زمین شناسی منطقه معدنی آفریان- پشاباد و موقعیت کانسارهای منگنز در سنگ های آتشفشانی- رسوبی واحد OM-5.

۴- زمین شناسی محدوده معدنی

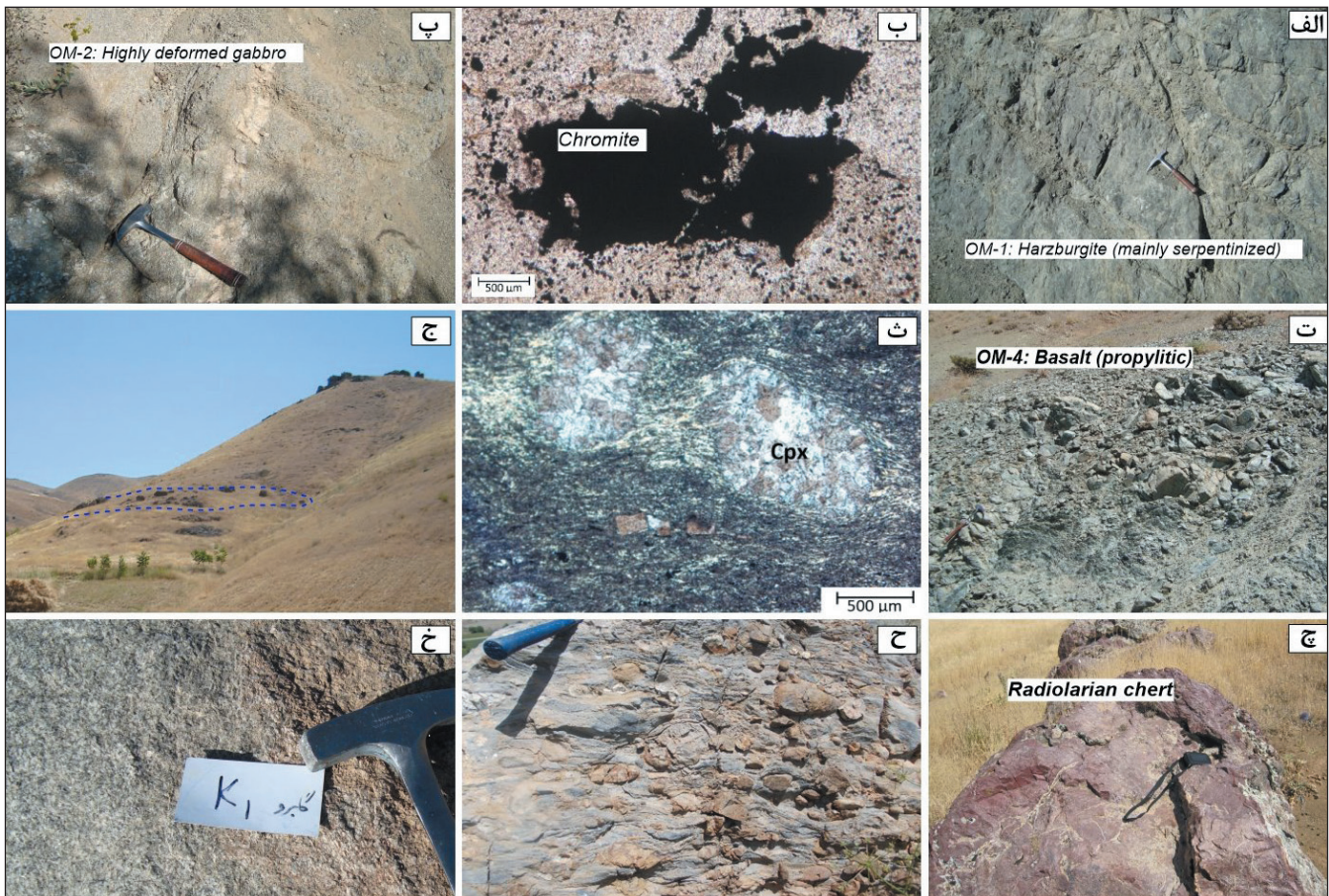
کانه‌زایی منگنز در سنگ‌های توفی، شیلی و رادیولاریتی بخش فوقانی توالی افیولیتی در منطقه مورد مطالعه شکل گرفته است. با وجود به هم ریختگی توالی افیولیتی در این منطقه، بر اساس روابط صحرائی، توالی عمومی از قدیم به جدید شامل واحدهای زیر است (شکل ۳):

قدیمی‌ترین واحد سنگی توالی افیولیتی در منطقه آفریان- پشاباد، هارزبورگیت بوده (شکل ۴- الف) که به شدت خرد و دگرشکل و عمدتاً تبدیل به سرپانتینیت شده است. این واحد سنگی به صورت بلوک‌های نابرجا و دارای مرز گسلی با سایر سنگ‌های مجموعه افیولیتی حضور دارد. این واحد سنگی در برگرنده آثار و نشانه‌های کانه‌زایی کرومیت است (شکل ۴- ب). در سری سنگ‌های افیولیتی منطقه مورد مطالعه، واحد گابرویدوریت دگرگون و دگرشکل شده به روی واحد هارزبورگیتی قرار می‌گیرد. این سنگ‌ها به دلیل دگرشکلی و خرد شدن شدید، بافت نواری از خود نشان می‌دهند. این واحد سنگی در جنوب خاوری روستای آفریان علیا به خوبی قابل مشاهده بوده و به دلیل ظاهر دگرشکل شده (شکل ۴- پ)، به خوبی از سایر واحدهای گابرویی جوان‌تر (نفوذی) قابل تمییز است. در بخش‌هایی از منطقه مورد مطالعه (شمال خاوری روستای آفریان بالا)، مجموعه دایک‌های دیابازی مشاهده می‌شود که به صورت هم‌امتداد و موازی با یکدیگر قرار گرفته و در واقع مجموعه دایکی ورقه‌ای را شکل داده‌اند. بر اساس صادقیان و دلاور (۱۳۸۵) این دایک‌ها در بخش فوقانی مجموعه گابرویدوریتی دگرگون شده قرار گرفته‌اند. گسترده‌ترین واحد سنگی مجموعه افیولیتی در منطقه مورد مطالعه، سنگ‌های بازالتی است که غالباً به دلیل دگرسانی پروپلیتیک، با رنگ سبز در رخنمون قابل مشاهده هستند (شکل ۴- ت). ساخت بالشی، یکی از ساخت‌های بسیار آشکار در این بازالت‌ها بوده و مین فوران‌های زیرآبی بازالت‌هاست. بازالت‌های مذکور دارای بافت افیتیک، پورفیری، زمینه بین دانه‌ای، پورفیریک با زمینه دانه‌ریز اینترسترال هستند و بافت زمینه مجموعه بسیار دانه‌ریزی از کلینوپیروکسن و پلاژیوکلاز است (شکل ۴- ث).

مجموعه سنگ‌های آتشفشانی- رسوبی متشکل از توف با میان‌لایه‌های بازالتی، آهک‌های سیلیسی قرمز، چرت‌های نواری و آهک‌های میکرایتی پلاژیک، بر روی بازالت‌های بالشی قرار گرفته‌اند که میزبان اصلی کانه‌زایی منگنز در منطقه آفریان- پشاباد هستند (شکل ۴- ج). این واحد سنگی از حوالی روستای بزوش آغاز شده و با امتداد شمال‌باختر- جنوب خاور، تا جنوب روستای آفریان علیا ادامه دارد. واحد OM-5 در بخش زیرین عمدتاً متشکل از توف سبز، توف سبز شیلی و سیلتی، توف ماسه‌ای، لیتیک توف و میان‌لایه‌های بازالتی بوده و در بخش بالا، به طور عمده از شیل، نهشته‌های کربناتی و آهک‌های سیلیسی قرمز (شکل ۴- چ) و شیل تشکیل شده است. بخش زیرین این واحد، مرز عادی و تدریجی با واحد OM-4 دارد. جوان‌ترین بخش مجموعه افیولیتی، سنگ‌های آهکی پلاژیک هستند که متشکل از رسوبات آهکی و آهکی- سیلیسی قرمز رنگ هستند و با توجه به فسیل‌های موجود در آنها، سن سنومانین تا دانین دارند (صادقیان و دلاور، ۱۳۸۵). در شمال خاوری منطقه مورد مطالعه، سنگ‌های فیلیشی دارای رخنمون قابل توجهی هستند که این مجموعه متشکل از سنگ‌های آهکی، ماسه-سنگی، شیلی، کنگلومرای، آتشفشانی- رسوبی و گاه‌آگدازه‌های بازالتی است (شکل ۴- ح). برونزدهای گابرویی جوان‌تری نیز در بخش‌های شمال باختری منطقه مورد مطالعه گسترش دارند که با واحد گابرو دیوریتی OM-2 متفاوت و جوان‌تر هستند (شکل ۴- خ). این توده‌های گابرویی ماهیت نفوذی دارند و طیف سنگ‌شناختی گسترده‌ای از الیون گابرو، گابرو، دیوریت، لوکودوریت و تونالیت‌های رگه‌ای را دربر می‌گیرند (صادقیان و دلاور، ۱۳۸۵).

۵- کانه‌زایی

کانه‌زایی منگنز در منطقه آفریان- پشاباد، در ۵ ناحیه مجزا و در واحدهای شیلی، رادیولاریت و توفی بخش فوقانی مجموعه افیولیتی رخ داده است.



شکل ۴- الف) نمای از واحد هارزبورگیتی در جنوب روستای آفریان سفلی (دید به سمت باختر)؛ ب) تصویر میکروسکوپی دانه‌های کرومیت در زمینه الیون؛ پ) نمایی از واحد گابرو- دیوریت دگرشکل شده؛ ت) نمایی از واحد OM-4 در باختر روستای آفریان علیا در آن بازالت‌ها با رنگ سبز به دلیل دگرسانی پروپیلیتیک مشخص هستند؛ ث) تصویر میکروسکوپی از بازالت‌های بالشی با بافت پورفیریک که در آن فنوکریست کلینوپیروکسن در زمینه‌ای از پیروکسن‌ها و پلاژیوکلازهای ریزبلور دگرسان شده و جهت یافته حضور دارند؛ ج) دورنمایی از مجموعه آتشفشانی- رسوبی واحد OM-5 که در آن عدسی منگنزدار با رنگ زرد مشخص شده است؛ چ) نمایی از رادیولاریت‌های قرمز رنگ واحد OM-5؛ ح) نمایی از واحدهای تخریبی- آهکی فیلیشی کرتاسه فوقانی- پالئوسن در شمال روستای شاهینی؛ خ) نمای نزدیک از واحد گابرو نفوذی غیر دگرشکل شده در شمال خاوری روستای پشاپاد.

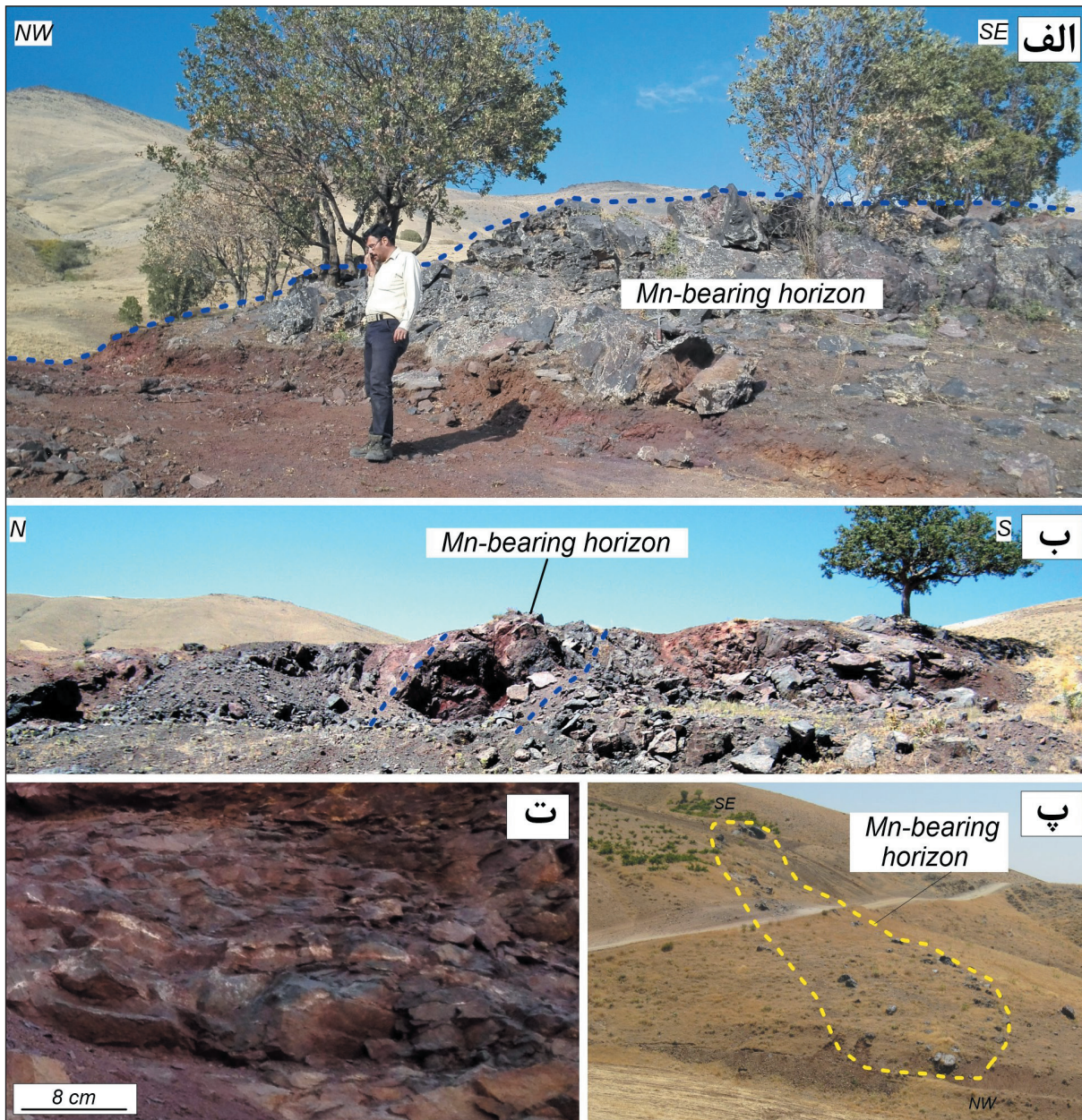
در مقایسه با سایر عدسی‌های منگنزدار، عیار اکسید منگنز در این عدسی پایین بوده و مقدار سیلیس آن بالاست (حدود ۷۰ درصد). تناوب لایه‌های چرتی و اکسیدهای منگنز و آهن با یکدیگر در این عدسی بسیار مشهود است. عدسی شماره ۳ منگنزدار، بین روستاهای آفریان علیا و شاهینی واقع شده و امتداد عدسی شمال باختر- جنوب خاور است. طول آن بیش از ۳۵۰ متر و ضخامت آن در بخش‌های اصلی، حدود ۱۰ متر است. محتوای اکسید منگنز این عدسی، به طور متوسط ۳۰ درصد بوده و ماده معدنی منگنز با بافت توده‌ای و نواری در داخل مجموعه شیلی و شیل توفی به صورت همروند با لایه‌بندی سنگ میزبان رخ داده است. عدسی شماره ۴ منگنزدار، در خاور روستای شاهینی واقع شده و کارهای پراکنده معدنی بر روی آن صورت گرفته (شکل ۵- پ) و ماده معدنی به صورت همروند با لایه‌بندی و طول بیش از ۳۰۰ متر در مجموعه شیلی و رادیولاریتی رخ داده است. تناوب لایه‌های منگنزدار و چرت رادیولاریتی در این ناحیه نیز دیده می‌شود. عدسی شماره ۵ منطقه مورد مطالعه، در جنوب روستای پشاپاد واقع شده و بزرگترین عدسی منطقه مورد مطالعه به طول بیش از ۵۰۰ متر و ذخیره چهار هزار تن است. کمر بالای این عدسی مجموعه شیلی و رادیولاریتی بوده، اما مرز زیرین آن گسلی است و بازالت‌های بالشی در زیر آن قرار گرفته‌اند. بافت نواری و توده‌ای منگنز در این عدسی بسیار مشهود است (شکل ۵- ت). عدسی‌های کوچک و کم‌عیار منگنزدار در حد فاصل عدسی‌های

از لحاظ ترتیب چینه‌شناسی، واحد سنگی میزبان کانه‌زایی در این منطقه بر روی واحد بازالت‌های بالشی قرار می‌گیرد، اما با توجه به عملکرد گسل‌های بزرگ در منطقه و ملائز بودن آن، غالباً مرز این واحد با واحدهای قدیمی، به صورت گسلی بوده و مرز واحدها به هم ریخته است. عدسی‌های کانه‌دار از جنوب خاور به سمت شمال باختر شامل عدسی شماره ۱ تا عدسی شماره ۵ هستند که عدسی شماره ۵ در حال حاضر استخراج می‌شود. عدسی شماره ۱ با رخنمون ۱۵ متر در ۲۵ متر، در غرب روستای آفریان علیا واقع است و توسط مجموعه شیلی و توف شیلی میزبانی می‌شود (شکل ۵- الف). ماده معدنی با ژئومتری عدسی و همروند با لایه‌بندی سنگ میزبان، با بافت توده‌ای و در مواردی با بافت نواری رخ داده است. عملکرد گسل‌های معکوس و امتدادلفز در جابه‌جایی عدسی منگنز مشهود هستند و در اطراف گسل‌ها و شکستگی‌ها، کانی‌های منگنز به صورت ثانویه و با ژئومتری قطع‌کننده لایه‌بندی سنگ میزبان تشکیل شده‌اند. عیار اکسید منگنز در این عدسی از ۱۵ تا ۵۰ درصد متغیر است.

عدسی شماره ۲ منگنزدار، با ضخامت ۱ تا ۳ متر و طول ۱۵۰ متر، در شمال باختر عدسی شماره ۱ در حد فاصل روستاهای آفریان علیا و شاهینی در سنگ‌های رادیولاریتی و شیلی با ژئومتری لایه‌ای و همروند با لایه‌بندی سنگ میزبان با امتداد خاوری- باختری و با شیب ۶۰ درجه به سمت شمال (شکل ۵- ب) رخ داده است.

کانسنگ منگنز در توف های شیلی به صورت رگه- رگچه های غیر اقتصادی رخ داده است.

۴ و ۵ نیز تشکیل شده اند. لازم به ذکر است که علاوه بر کانه زایی منگنز در منطقه آفریان-پشباد، آثار کانه زایی اکسیدی مس (مالاکیت و آزوریت) در کمرباطین



شکل ۵- تصاویر عدسی ها و رخنمون های منگنز در منطقه آفریان- پشباد: الف) نمایی از عدسی منگنز شماره ۱؛ ب) نمایی از ترانشه حفر شده بر روی عدسی منگنز شماره ۲ که در آن، افق غنی از منگنز با رنگ آبی مشخص شده است، پ) دورنمایی از عدسی منگنز شماره ۴؛ ت) نمایی از تناوب لامینه های غنی از منگنز (تیره) و چرت های رادیولاریتی (قرمز) در عدسی منگنز شماره ۵.

۶- کانی شناسی ماده معدنی

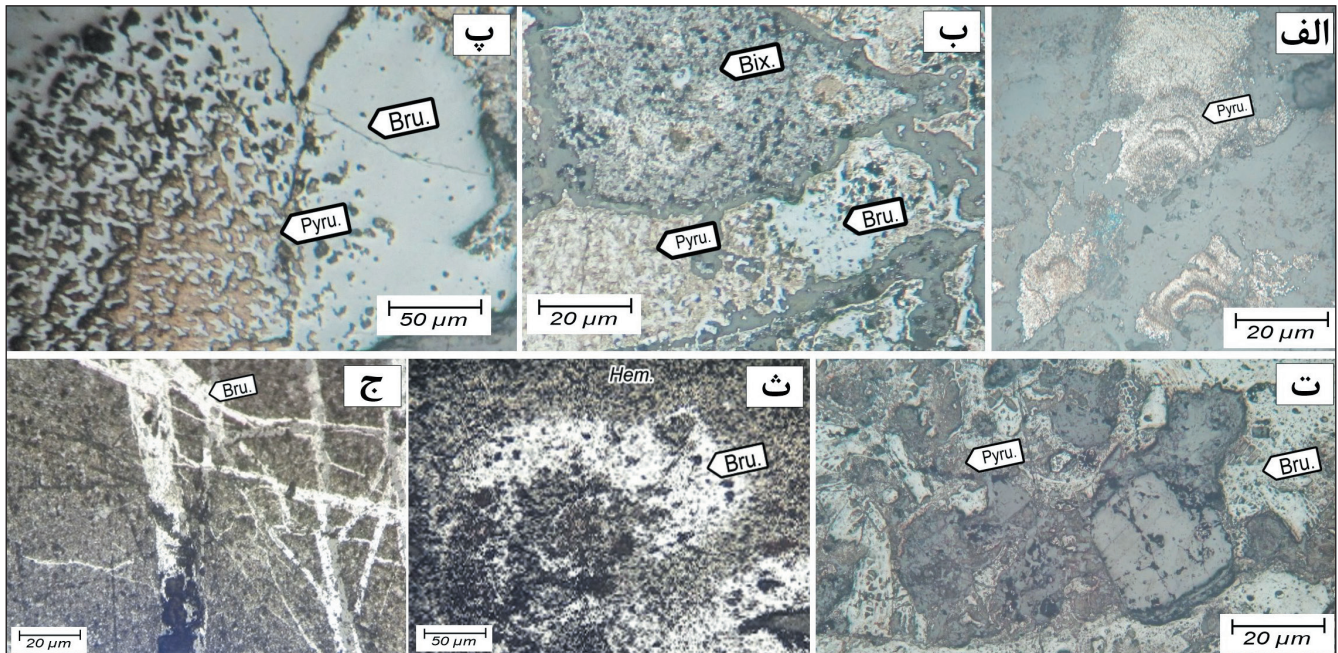
اولیه موجود در سنگ شده و بافت های جانشینی و پرکننده فضای خالی را تشکیل داده اند. به طور کلی در نمونه های پرعیار، سنگ در برگزیده توسط محلول های منگنز دار کاملاً جانشین شده است. براونیت فراوان ترین کانی منگنز را در نمونه ها تشکیل می دهد که در برخی از نمونه ها به پیرولوزیت و بیکسبایت تغییر می یابد (شکل ۶- ب). تشکیل پیرولوزیت با بافت گل کلمی رایج است (شکل ۶- الف) و همچنین هم رشدی پیرولوزیت و براونیت (شکل ۶- پ) مشاهده می شود که

بر اساس مطالعات کانی شناسی پراش پرتو ایکس (XRD) و میکروسکوپ انعکاسی، کانی شناسی کانسنگ منگنز در منطقه آفریان- پشباد، شامل براونیت $(\text{Mn}^{2+}\text{Mn}^{3+}6(\text{SiO}_4)\text{O}_8)$ ، پیرولوزیت (MnO_2) ، بیکسبایت $(\text{Mn}_2\text{Fe}_2\text{O}_3)$ ، اوخوتسبایت $(\text{Ca}_2(\text{Mn}^{2+},\text{Mg})(\text{Mn}^{3+},\text{Al},\text{Fe}^{3+})\text{Si}_3\text{O}_{10}(\text{OH})_4)$ ، همتایت و اسپیکیولاریت است (شکل ۶) و کانی های کلسیت و کوآرتز به عنوان کانی های باطله در این منطقه شکل گرفته اند. کانی های منگنز در اندازه های متفاوت، جانشین عناصر

ثانویه کاتاکلاستی که تحت تأثیر فعالیت‌های تکنونیک بعد از تشکیل کانسنگ هستند نیز در کانی براونیت مشاهده می‌شوند.

نتایج حاصل از بررسی کانی‌شناسی به روش پراش پرتو ایکس (XRD) نیز گویای آن است که فازهای اصلی کانیایی موجود در کانسنگ منگنز شامل براونیت، پیرولوژیت و هماتیت هستند و کانی‌های بیکسبایت، اوخوتسایت، اسپیکولاریت به عنوان کانی‌های فرعی حضور دارند. کلسیت و کوارتز نیز کانی‌های باطله اصلی را تشکیل می‌دهند.

توسط پیرولوژیت‌های رگه‌ای ثانویه قطع شده‌اند. اکسیدهای آهن شامل هماتیت (شکل ۶-ث)، گوتیت و لیمونیت نیز در برخی از نمونه‌های کانسنگ منگنز رخ داده‌اند که حدود ۵ تا ۱۵ درصد مقاطع را تشکیل می‌دهند. تشکیل هماتیت اولیه بوده که در محل شکستگی‌ها به هماتیت و گوتیت تبدیل شده است. در مقیاس میکروسکوپی، بافت ماده معدنی عمدتاً توده‌ای است و بافت‌های جانشینی و برشی (شکل ۶-ت) به میزان کمتر در نمونه‌های مورد مطالعه مشاهده می‌شوند. در محل درز و شکاف‌ها، بافت رگه-رگچه‌ای نیز شکل گرفته است (شکل ۶-ج). بافت‌های



شکل ۶- الف) پیرولوژیت با بافت گل کلمی؛ ب) بافت توده‌ای- جانشینی براونیت، پیرولوژیت و بیکسبایت؛ پ) بافت هم‌رشدی براونیت و پیرولوژیت؛ ت) بافت برشی که قطعات برش توسط کانی‌های منگنز جانشین شده‌اند، ث: بافت توده‌ای براونیت و هماتیت؛ ج) براونیت رگه-رگچه‌ای ثانویه (پیرولوژیت: Pyru، بیکسبایت: Bix، براونیت: Bru، هماتیت: Hem).

۷- ژئوشیمی

امروزه معیارهای ژئوشیمیایی برای تعیین منشأ کانسارها و نهشته‌های منگنز به طور گسترده‌ای مورد استفاده قرار می‌گیرد؛ برای مثال، نسبت عناصر اصلی، غلظت عناصر کمیاب و غنی‌شدگی برخی از عناصر، برای ارزیابی منشأ ذخائر منگنز، توسط محققین مختلف به کار رفته است (Shah and Khan, 1999; Polgári et al., 2012; Nakagawa et al., 2009 and 2011; Sasmaz et al., 2014). از میان اکسیدهای اصلی، محتوای اکسیدهای منگنز، آهن، سیلیسیم، تیتانیم و آلومینیم برای تشخیص منشأ کانسنگ منگنز بسیار مفید هستند (Karakus et al., 2010; Sasmaz et al., 2014). نتایج تجزیه شیمیایی نمونه‌های کانسنگ منگنز منطقه آفریان- پشاباد در جدول ۱ ارائه شده است؛ بر اساس نتایج تجزیه شیمیایی ۱۹ نمونه، محتوای منگنز نمونه‌های منطقه آفریان- پشاباد از ۲/۴۲ تا ۴۲/۶۳ درصد متغیر بوده و به صورت میانگین ۱۹/۱۲ درصد است. میزان آهن نمونه‌ها نیز از ۲/۸ تا ۴۸/۳۷ درصد (با میانگین ۱۲/۴۹ درصد) تغییر می‌کند. در کانسارهای منگنز رسوبی- برونومی، منگنز و آهن از یکدیگر تفکیک می‌یابند و به این دلیل، نسبت بالا یا پایین Mn/Fe در آنها بوجود می‌آید. به طور کلی در کانسارهای برونومی- رسوبی، میزان این نسبت بین ۰/۱ تا ۱۰ متغیر بوده و در کانسارهای آبراد (hydrogenous)، این نسبت نزدیک به یک است (Toth, 1980; Polgári et al., 2012; Zarasvandi et al., 2013).

(Nicholson et al., 1997; Jach and Dudek, 2005). نسبت Mn/Fe در نمونه‌های کانسنگ منگنز منطقه آفریان- پشاباد به طور میانگین ۲/۵۸ بوده و قابل مقایسه با کانسارهای رسوبی- برونومی است (Nicholson et al., 1997). محتوای اکسید سیلیسیم نمونه‌های کانسنگ منگنز در منطقه مورد مطالعه از ۱۴/۰۳ تا ۷۶/۴۲ درصد (میانگین: ۵۰/۳۵ درصد) و میزان اکسید آلومینیم در این نمونه‌ها از ۰/۰۱ تا ۵/۶۲ درصد با میانگین ۱/۶۵ درصد متغیر است. در نمودار سیلیسیم در مقابل آلومینیم (شکل ۷-الف) که برای تمییز کانسارهای منگنز گرمابی و رسوبی از یکدیگر مورد استفاده قرار می‌گیرد (Nicholson, 1992; Mücke et al., 1999; Toth, 1980; Karakus et al., 2010; Öksüz, 2011; Sasmaz et al., 2014; Wu et al., 2016)، اکثر نمونه‌های کانسارهای منطقه آفریان- پشاباد در محدوده کانسارهای گرمابی قرار می‌گیرند. لازم به ذکر است که مقدار بالای سیلیس در کانسارهای منگنز منطقه مورد مطالعه می‌تواند منشأ سیال گرمابی دور از محل بروندمش را نشان دهد (Jack and Dudek, 2005). مقدار بالای سیلیس در کانسارهای این منطقه را می‌توان با مقادیر بالای حضور سیلیس بیوزنیک (به صورت رادیولاریت) توجیه کرد (Toth, 1980; Polgári et al., 2012; Zarasvandi et al., 2013).

جدول ۱- نتایج تجزیه شیمیایی XRF و مقادیر اکسیدهای اصلی (%) و عناصر کمیاب (ppm) در نمونه‌های کانسنگ منگنز منطقه آفریان- پشباد.

	AF-25	Sh-46	AF-51	AF-30	AF-27	AF-32	AF-24	AF-26	Sh-44	Sh-29	AF-53	Sh-35	AF-31	AF-52	AF-21	Sh-39	AF-28	AF-37
SiO ₂	63.52	30.65	76.42	67.52	70.25	73.6	75.02	65.56	64.26	34.13	56.01	20.03	52.32	51.03	28.03	33.56	30.52	14.03
Al ₂ O ₃	5.62	4.28	1.21	2.69	1.35	0.61	1.22	0.32	0.26	3.28	0.51	0.23	0.93	4.15	0.01	1.3	0.04	1.82
Fe ₂ O ₃	9.06	48.37	11.35	7.89	9.89	8.1	6.36	8.12	11.22	25.52	10.11	18.06	6.63	6.42	2.8	14.06	4.34	16.52
CaO	8.21	4.58	0.95	5.86	3.96	3.09	2.56	4.31	2.81	11.86	4.8	8.87	7.06	3.6	17.78	5.58	8.54	6.85
Na ₂ O	0.02	0.03	0.03	0.02	0.02	0.03	0.02	0.03	0.02	0.01	0.02	0.02	0.02	1.63	0.02	0.02	0.02	0.02
K ₂ O	0.89	0.31	0.28	0.02	0.03	0.03	0.03	0.02	0.02	0.03	0.02	0.02	0.03	0.24	0.02	0.19	0.03	0.04
MgO	1.71	1.56	0.61	0.42	0.22	0.08	0.05	0.09	0.36	0.65	0.06	0.04	0.23	0.83	0.26	0.32	0.06	0.93
TiO ₂	0.275	0.185	0.022	0.064	0.03	0.004	0.005	0.01	0.003	0.115	0.008	0.015	0.013	0.215	0.011	0.046	0.015	0.115
MnO	2.42	2.42	5.87	8.6	9.42	10.65	10.32	16.58	13.65	13.24	20.31	38.16	24.05	23.06	31.26	28.89	42.8	42.63
P ₂ O ₅	0.215	1.421	0.006	0.035	0.062	0.042	0.021	0.082	0.042	2.424	0.045	0.142	0.102	0.1	0.086	0.068	0.06	0.12
SO ₃	0.024	0.021	0.01	0.021	0.024	0.081	0.18	0.21	0.011	0.041	0.81	0.11	0.023	0.363	0.185	0.46	0.041	0.16
BaO	0.13	0.04	0.124	0.422	0.221	0.15	0.51	0.2	0.1	0.32	0.21	0.07	0.6	0.32	0.31	0.72	0.12	0.4
L.O.I	7.26	5.53	2.86	5.45	4.51	2.85	2.79	4.22	7.24	7.39	6.14	13.12	7.21	7.46	17.4	12.86	12.03	14.96
Total	99.35	99.39	99.74	99.01	99.98	99.31	99.08	99.75	99.99	99.01	99.05	98.88	99.21	99.41	98.172	98.074	98.61	98.59
Sr	2005	80	20	2	188	116	114	100	80	15	142	6	21	161	0	10	560	301
Cu	80	15	31	6	45	88	65	62	22	336	0.5	28	60	8	54	4	40	101
Zn	25	215	34	64	60	46	41	81	30	125	55	20	25	51	51	48	40	43
Pb	12	41	1	16	10	11	13	6	13	88	4	4	33	11	2	8	3	5
Ni	43	186	42	60	58	66	51	60	53	15	54	0.5	44	44	50	5	40	120
Cr	6	0	21	23	0	0	10	3	5	65	34	5	2	2	2	2	2	2
V	30	15	42	40	6	85	44	56	26	202	86	24	8	14	251	52	26	63
Rb	23	21	14	16	13	14	13	13	15	15	15	14	13	13	14	16	15	1
Co	15	21	31	14	1	13	10	8	14	12	10	14	2	8	2	15	3	16
As	6	106	6	182	201	163	5	1	2	521	2	452	211	101	220	6	0.6	306
Mo	2	8	1	2	1	2	2	2	2	2	1	2	2	2	22	14	1	4

که اشاره شد، در برخی از کانسارهای منطقه مورد مطالعه، آثار کانه‌زایی مس اکسیدی در کمر پایین کانسنگ منگنز مشاهده می‌شود؛ مقادیر بالای عناصر مس، روی و سرب در کانسارهای منگنز می‌تواند تحت تأثیر کانی‌های سولفیدی باشد (Hein et al., 2008). سولفیدها می‌توانند در عمق یا در لایه‌های کمر پایین کانسنگ منگنز حضور داشته باشند که تحت تأثیر سیال منگنزدار شسته شوند و در بخش‌های بالایی ته‌نشست بایند (Hein et al., 2008). محتوای اکسید باریم در نمونه‌های منطقه آفریان- پشباد همانند کانسارهای منگنز گرمابی بالا بوده و به‌طور میانگین ۰/۲۷ درصد است. میزان باریم در سیالات هیدروترمال به دلیل تأثیر فعالیت‌های آتشفشانی بالاست (Monnin et al., 2001; Öksüz, 2011; Sasmaz et al., 2014).

۸- مقایسه کانسارهای آفریان- پشباد با کانسارهای منگنز مرتبط با افیولیت‌های ایران

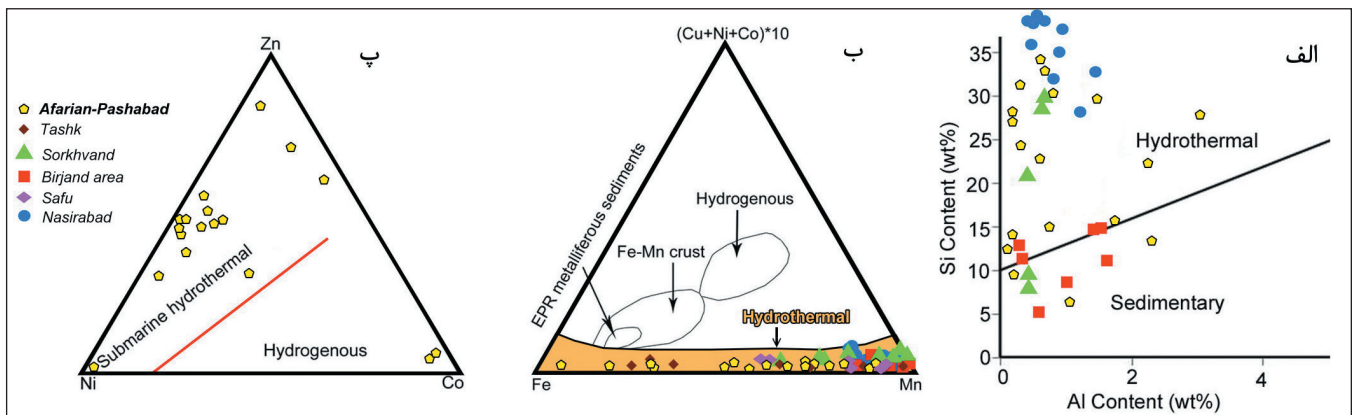
همان‌گونه که اشاره شد کانسارهای منگنز ایران قابل تقسیم به هشت گروه اصلی هستند که در این میان، بیشترین فراوانی به کانسارهای منگنز همراه با سنگ‌های آتشفشانی- رسوبی ائوسن و سپس به کانسارهای منگنز مرتبط با سنگ‌های افیولیتی اختصاص دارد. کانسارهای منگنز رخ داده در توالی آتشفشانی- رسوبی ائوسن غالباً به‌صورت چینه‌سان (همانند کانسارهای سردار در پهنه سوزوار (حسینی، ۱۳۹۵)، و نارچ در کمان ماگمایی ارومیه- دختر (فردوست، ۱۳۷۱) و مانامین در پهنه البرز (دولتاری، ۱۳۹۰)) و قابل مقایسه با کانسارهای تیپ کوبا هستند. اما کانسارهای مرتبط با سنگ‌های افیولیتی

کانسنگ منگنز در کانسارهای منگنز آزاد (hydrogenous) و کانسارهای منگنز گرمابی، دارای نسبت‌های Co/Ni و Co/Zn متفاوتی هستند (Toth, 1980; Sasmaz et al., 2014). مقدار میانگین نسبت‌های Co/Ni و Co/Zn در کانسارهای منطقه مورد مطالعه به ترتیب برابر ۱/۹۲ و ۰/۲۷ و قابل مقایسه با کانسارهای منگنز گرمابی است (Delian, 1994; Fernandez and Moro, 1998; Öksüz, 2011). نسبت Co/Zn برای کانسارهای منگنز تیپ گرمابی، ۰/۱۵ بوده؛ در حالی که برای کانسارهای منگنز آزاد (hydrogenous)، این نسبت بزرگ‌تر از ۲/۵ است (Toth, 1980). نمودارهای سه‌تایی منگنز، آهن، (کبالت+نیکل+مس) (Bonatti et al., 1972; Crerar et al., 1982) و روی-نیکل-کبالت (Choi and Hariya, 1992)، کاربرد گسترده‌ای در تعیین منشأ کانسارهای منگنز دارند؛ در این نمودارها (شکل‌های ۷-ب و پ)، غالب نمونه‌های کانسنگ منگنز منطقه مورد مطالعه در محدوده کانسارهای منگنز گرمابی قرار می‌گیرند.

در حالت کلی، میزان عناصر کمیاب (آرسنیک، باریم، مس، لیتیم، مولیبدن، سرب، آنتیموان، استرانسیم، وانادیم و روی) در کانسارهای منگنز گرمابی بالاست (Nicholson, 1992). در کانسنگ‌های منگنز مورد مطالعه، میزان عناصر آرسنیک، باریم، مس، استرانسیم و روی بالا بوده که قابل مقایسه با کانسارهای گرمابی است (Adachi et al., 1986; Bonatti et al., 1972; Choi and Hariya, 1992; Crerar et al., 1982; Nicholson, 1992; Peters, 1988; Shah and Moon, 2007; Toth, 1980; Sasmaz et al., 2014; Brusnitsyn and Zhukov, 2012). همان‌طور

سنگ‌های افیولیتی قابل مقایسه با کانسارهای منطقه آفریان- پشآباد، کانسارهای صفو، سرخوند، نصیرآباد، رودان و ماخونیک بیرجند هستند.

در ایران، در محل سوچرزون‌ها و در بخش‌هایی قابل مشاهده هستند که بقایای پوسته اقیانوسی نئوتیس و زیرشاخه‌های آن وجود دارد. مهم‌ترین کانسارهای منگنز مرتبط با



شکل ۷- نمودارهای ژئوشیمیایی کانسنگ منگنز منطقه آفریان- پشآباد و مقایسه آنها با سایر کانسارهای مرتبط با افیولیت در ایران؛ الف) نمودار آلومینیم- سیلیسیم (Toth, 1980) که نمونه‌های کانسنگ منگنز منطقه آفریان- پشآباد عمدتاً در محدوده کانسارهای هیدروترمال قرار می‌گیرند؛ ب) نمودار سه‌تایی $Mn-Fe-(Ni+Co+Cu)*10$ (Bonatti et al., 1972; Crerar et al., 1982) که نمونه‌های مورد مطالعه در محدوده کانسارهای هیدروترمال قرار می‌گیرند؛ ج) نمودار سه‌تایی $Ni-Co-Zn$ (Choi and Hariya, 1992) و موقعیت نمونه‌های منطقه مورد مطالعه در آن (کانسارهای طشک: رجب‌زاده و زمان‌ثانی، ۱۳۹۲؛ سرخوند: سپهوند، ۱۳۹۳؛ بیرجند: برقی، ۱۳۹۶؛ صفو: امامعلی‌پور، ۱۳۸۹؛ نصیرآباد: Zarasvandi et al., 2013).

شده است. کانی‌شناسی ماده معدنی شامل پیرولوژیت، تودورویت و پسیلوملان بوده و کانی باطله اصلی، کوارتز است. بر اساس شواهد ژئوشیمیایی، منشأ کانه‌زایی منگنز در این منطقه هیدروترمال است (زارسوندی و همکاران، ۱۳۹۲؛ Zarasvandi et al., 2013). در منطقه رودان، کانه‌زایی منگنز همراه با مجموعه افیولیت ملانژی رخمون یافته است (ابراهیمی، ۱۳۸۲). کانه‌زایی منگنز در این منطقه شامل براونیت و پسیلوملان، بیکسبایت پیرولوژیت و هماتیت بوده که به صورت نواری همراه با چرت‌های رادیولاریتی تشکیل شده است. در رخدادهای منگنز این منطقه نیز همانند منطقه آفریان- پشآباد (جدول ۲)، محتوای عناصر روی، نیکل و باریت بالاست و بر اساس رجب‌زاده و زمان‌ثانی (۱۳۹۳) این کانه‌زایی‌ها در محیط‌های مجاور پشته‌های میان اقیانوسی و تحت تأثیر سیالات گرمابی برون‌دهی در بستر دریا شکل گرفته‌اند.

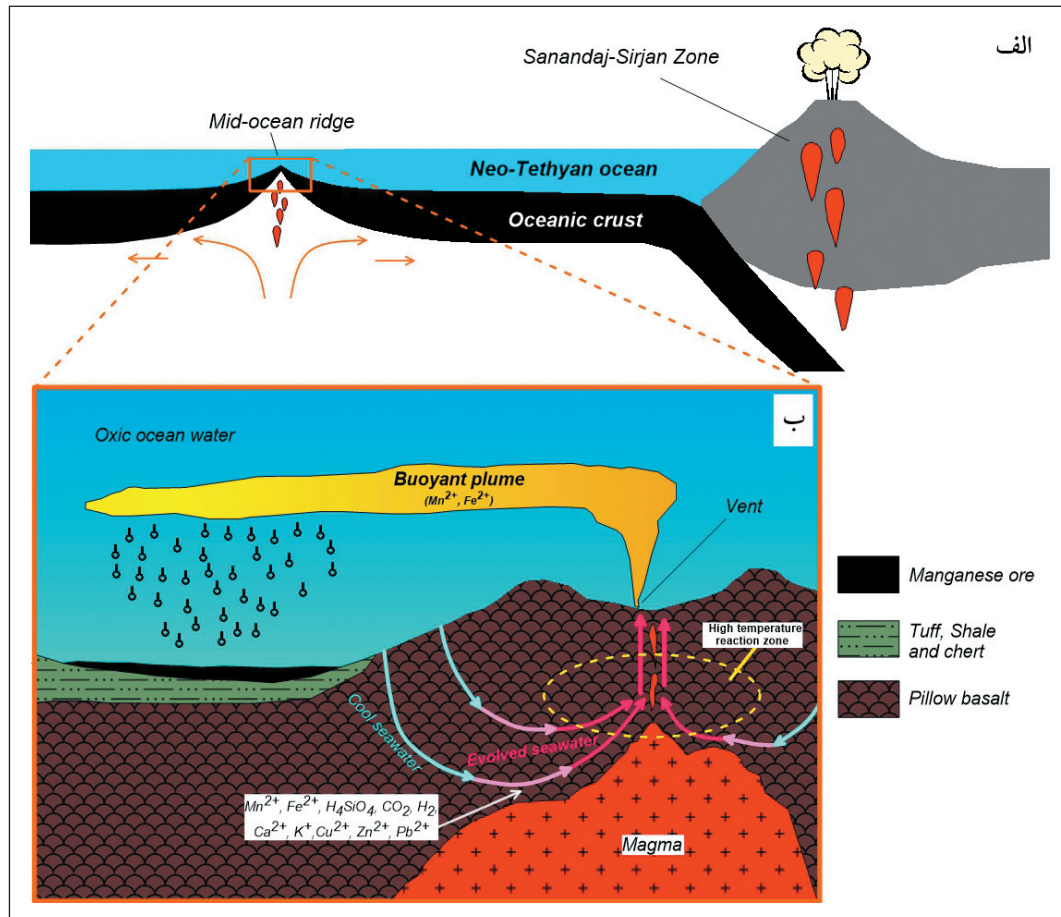
کانسار منگنز صفو در شمال باختری ایران و در مجموعه افیولیتی خوبی واقع شده، کانسنگ منگنز با ژئومتری همروند با لایه‌بندی در داخل شیل‌های آهکی پلاژیک، چرت و آهک پلاژیک بخش فوقانی سکانس افیولیتی رخ داده و کانی‌شناسی منگنز شامل پیرولوژیت، بیکسبایت، براونیت و هماتیت است. کانسنگ منگنز در این کانسار نیز همانند منطقه مورد مطالعه، غنی از SiO_2 ، Ba و Sr است (امامعلی‌پور، ۱۳۸۹). کانه‌زایی منگنز در منطقه سرخوند هر سین به صورت عدسی‌های نامنظم حاوی لایه‌های متناوب غنی از منگنز و چرت‌های رادیولاریتی است که در ماستون‌های قرمز رنگ بخش فوقانی سکانس افیولیتی رخ داده‌اند. پاراژنر کانیایی شامل پیرولوژیت و براونیت است (سپهوند، ۱۳۹۳؛ زارسوندی و همکاران، ۱۳۹۳). رخداد معدنی منگنز نصیرآباد در چرت‌های رادیولاریتی مرتبط با افیولیت‌های منطقه نیریز و در بخش جنوب شرقی سوچرزون زاگرس تشکیل

جدول ۲- خصوصیات زمین‌شناسی اصلی کانسارهای منگنز منطقه آفریان- پشآباد و مقایسه آن با کانسارهای منگنز تیپ فرانسیسکن و قبرسی.

تیپ فرانسیسکن (Fransiscan-type)	تیپ قبرسی (Crprus-type)	منطقه آفریان- پشآباد	
پشته‌های میان‌اقیانوسی، حوضه‌های پشت قوسی	پشته‌های میان‌اقیانوسی، حوضه‌های پشت قوسی	پشته‌های میان‌اقیانوسی	موقعیت ژئودینامیکی
در حواشی مراکز آتشفشانی مافییک	در مجاورت مراکز آتشفشانی	در نزدیکی مراکز آتشفشانی	فاصله از مراکز آتشفشانی
پالئوزویک تا ترشیری	پالئوزویک تا ترشیری	مزوزویک	سن کانه‌زایی
توالی رسوبی غالب شامل: چرت و رادیولاریت، شیل و ژاسپر	توالی آتشفشانی- رسوبی شامل: بازالت، توف، شیل، مارن، چرت	توالی آتشفشانی- رسوبی	توالی سنگی میزبان کانه‌زایی
همروند با لایه‌بندی	عدسی شکل	عدسی شکل	ژئومتری ماده معدنی
کلورفرم، گل کلمی، توده‌ای	توده‌ای، دانه‌پراکنده، نواری، کلورفرم	توده‌ای، نواری، گل کلمی، جان‌شینی	بافت ماده معدنی
پسیلوملان، پیرولوژیت، رودوکروسیت، هوسمانیت، براونیت	هیدروکسیدهای منگنز بی‌شکل، پیرولوژیت، براونیت، بیکسبایت، اکسیدهای آهن	براونیت، پیرولوژیت، بیکسبایت، هماتیت	کانی‌شناسی کانسنگ
کوارتز، کلسدون، هماتیت، کلسیت، سیدریت، باریت	بیریت، کلسیت، کلریت، کوارتز	کوارتز، کلسیت	کانی‌شناسی باطله
آتشفشانزاد- برون‌دهی	آتشفشانزاد- برون‌دهی	آتشفشانزاد- برون‌دهی	فرایند تشکیل
Moser and Page, 1988	Moser and Page, 1988; Peters, 1988;	تحقیق حاضر	منبع
	Jowitz, 2008; Keith et al., 2016		

و شیل‌های سکناس افیولیتی رخ داده‌اند. محتوای عناصر باریم، مس، روی، نیکل و استرانسیم این کانسارها نیز بالاست. شواهد زمین‌شناسی و ژئوشیمیایی، نشان از رخداد منگنز برون‌دمی-گرمايي در کف اقیانوس در این منطقه دارد (شکل ۸).

در افیولیت‌های بیرجند نیز کانه‌زایی منگنز در مناطقی همچون ماخونیک و سهل‌آباد گزارش شده است (Barghi et al., 2017). بر اساس برقی (۱۳۹۶) در این منطقه کانه‌زایی منگنز شامل عدسی‌های کوچک متشکل از پیرولوژیت، براونیت، بیکسبایت و اکسیدهای آهن بوده که در داخل چرت‌های رادیولاریتی



شکل ۸- ارتباط بین محیط ژئودینامیکی و کانه‌زایی منگنز در منطقه آفریان-پشآباد: الف) موقعیت ژئودینامیکی تشکیل کانه‌زایی‌های منگنز در مجاورت پشته‌های میان اقیانوسی نئوتتیس (موقعیت ژئودینامیکی (برگرفته از: Azizi and Jahangiri, 2008; Azizi and Moinevaziri, 2009; ب) مدل شماتیک تشکیل کانه‌زایی منگنز در محیط دریایی همراه با ولکانیسم و برون‌دمش سیالات هیدروترمال در منطقه آفریان-پشآباد (توضیح اشکال در متن آمده است).

۹- نتیجه‌گیری

به ترتیب ۱۹/۱۲ و ۱۲/۴۹ درصد است؛ این کانسارها از لحاظ محتوای بالای آهن، قابل مقایسه با کانسارهای تیپ قبرس هستند. به‌طور کلی سکناس چینه‌شناسی غالب در کانسارهای فرانسیسکن رسوبی بوده و میزان سنگ‌های ولکانیکی در آنها اندک است؛ این در حالی است که کانسارهای تیپ قبرسی به دلیل نزدیکی به محل پشته‌های اقیانوسی، در توالی خود میزان بیشتری سنگ‌های آتشفشانی دارند. توالی چینه‌شناسی کانسارهای منطقه مورد مطالعه، متشکل از سنگ‌های آتشفشانی-رسوبی بوده و قابل مقایسه با کانسارهای قبرسی است.

ژئومتری ماده معدنی در کانسارهای فرانسیسکن شامل عدسی‌های بیضوی نازک همروند با لایه‌بندی بوده و ماده معدنی منگنز شامل پسیلوملان، پیرولوژیت، رودوکروزیت، هوسمانیت، براونیت، نتوتوسیت و سایر کانی‌های اکسیدی و سیلیکاته منگنز، با بافت دانه‌پراکنده و توده‌ای رخ داده است. در این تیپ کانساری، بافت‌های کلوفرم و گل کلمی نیز هستند. کانی‌های باطله رایج نیز عبارتند از کوارتز،

نتایج مطالعات و بررسی‌های زمین‌شناسی، چینه‌شناسی، ژئومتری ماده معدنی و ترکیب ژئوشیمیایی کانه‌زایی‌های منگنز در منطقه آفریان-پشآباد نشان می‌دهد که کانه‌زایی منگنز در این منطقه عمدتاً در اثر برون‌دمش‌های آتشفشانی-هیدروترمال (volcanogenic hydrothermal exhalites) تشکیل شده است.

کانسارهای منگنز تیپ فرانسیسکن در ارتباط با سنگ‌های رسوبی شامل چرتی، شیلی و گری‌وکی در حاشیه‌های مراکز ولکانیسم مافیک تشکیل می‌شوند و عیار منگنز در آنها به‌طور متوسط ۳۶ درصد و محتوای آهن آنها کمتر از ۵/۱ درصد است. در مقابل، کانسارهای تیپ قبرسی که در موقعیت ژئودینامیکی مشابه کانسارهای فرانسیسکن شکل می‌گیرند، با سنگ‌های آتشفشانی-رسوبی شامل بازالت، مارن، شیل، سیلت و چرت در مجاورت محور پشته میان اقیانوسی ارتباط دارند. عیار آهن در این کانسارها بالا و در حدود ۳۳ درصد بوده، اما عیار منگنز آنها به‌طور متوسط ۸ درصد است. عیار متوسط منگنز و آهن نمونه‌های کانسنگ منگنز منطقه آفریان-پشآباد

بخش فوقانی سکانس افیولیتی، محتوای آهن بالا و کانی‌شناسی کانسنگ منگنز، نشان از شباهت کانسارهای منطقه مورد مطالعه با کانسارهای منگنز تیپ قبرسی دارد و سیالات گرمایی زیردریایی موجب تشکیل آنها شده‌اند. حرکت رو به پایین آب دریا در امتداد شکستگی‌ها و گسل‌ها، موجب افزایش حرارت، کاهش اکسیژن و افزایش اسدیته آن (تحت تأثیر منبع گرمایی آتشفشانی) و تبدیل آب دریا به یک سیال گرمایی می‌شود که قابلیت شستشوی منگنز و سایر عناصر را از سنگ‌های ولکانیکی مافیک اطراف دارد. محلول گرمایی حاوی منگنز به سمت کف دریا صعود پیدا می‌کند و ته‌نشست فلزات به دلیل کاهش فشار و دما و یا افزایش Eh یا pH رخ می‌دهد. سرد شدن سیال گرمایی منگنزدار می‌تواند در اثر برخورد با سنگ‌های سرد بخش فوقانی یا در اثر مخلوط شدن با آب دریا در زیر کف دریا رخ دهد.

کلسیت، آراگونیت و باریت. کانسارهای منگنز تیپ قبرسی، عمدتاً شامل عدسی‌های آمبر (سنگ رسوبی منگنز دار غنی از آهن) هستند که بر روی مجموعه بازالت‌های بالشی قرار می‌گیرند و توسط سنگ‌های رسوبی پوشانیده می‌شوند؛ اما در کانسارهای تیپ قبرسی، کانی‌های منگنزی همانند براونیت و رودونیت نیز گزارش شده‌اند. ماده معدنی منگنز در منطقه آفریان- پشباد شامل عدسی‌های غنی از براونیت، پیرولوژیت و اکسیدهای آهن است که به صورت همروند با لایه‌بندی و با بافت توده‌ای و جانیشینی در بخش فوقانی سنگ‌های بازالتی، در داخل شیل‌ها، توف‌های شیلی و رادیولاریت‌های رخ داده و مشابه کانسارهای تیپ قبرسی است. ویژگی‌های اصلی کانه‌زایی‌های منگنز منطقه آفریان- پشباد، از جمله تشکیل آنها در پشته‌های میان اقیانوسی، میزبانی کانسنگ توسط توالی آتشفشانی- رسوبی

کتابنگاری

- ابراهیمی، ب.، ۱۳۸۲- بررسی زمین‌شیمیایی اندیس‌های منگنز کمر بند رودان- بشاگرد، پایان‌نامه کارشناسی ارشد، دانشگاه شیراز.
- آقاباتی، س.ع.، ۱۳۸۳- زمین‌شناسی ایران، سازمان زمین‌شناسی و اکتشافات مواد معدنی کشور، ۵۸۶ ص.
- امامعلی‌پور، ع.، ۱۳۸۹- بررسی کانی‌شناسی و ژئوشیمی نهشته‌های منگنز- آهن در ته‌نشست‌های افیولیتی شمال چالدران، شمال باختر ایران. فصلنامه بلورشناسی و کانی‌شناسی ایران، سال هجدهم، شماره یکم، صص. ۳ تا ۱۴.
- برقی، ب.، ۱۳۹۶- بررسی زمین‌شناسی، ژئوشیمی، نحوه تشکیل و عوامل کنترل‌کننده کانه‌زایی در ذخایر منگنز در اطراف بیرجند، خراسان جنوبی، شرق ایران، رساله دکترا، دانشگاه تبریز.
- حسینی، س.، ر.، ۱۳۹۵- کانی‌شناسی، ژئوشیمی والگوی پیدایش کانسار منگنز فرومد، شرق شاهرود، پایان‌نامه کارشناسی ارشد، دانشگاه صنعتی شاهرود.
- دولتباری، غ.، ۱۳۹۰- پترولوژی سنگ‌های آتشفشانی منطقه منامین (جنوب شرق هشتجین) با نگرشی بر کانه‌زایی منگنز، پایان‌نامه کارشناسی ارشد، دانشگاه زنجان.
- رجب‌زاده، م.ع. و زمان‌ثانی، ن.، ۱۳۹۲- مطالعه کانه‌زایی منگنز همراه با مجموعه آمیزه رنگین افیولیت نیزیز در منطقه آباده طشک استان فارس با استفاده از داده‌های کانی‌شناسی و ژئوشیمیایی. مجله زمین‌شناسی اقتصادی، شماره دوم، جلد پنجم، صص. ۲۰۱ تا ۲۱۴.
- رجب‌زاده، م.ع. و زمان‌ثانی، ن.، ۱۳۹۳- مطالعه کانه‌زایی منگنز در مجموعه‌های آمیزه رنگین افیولیتی در مناطق بشاگرد و رودان استان هرمزگان با استفاده از داده‌های کانی‌شناسی و ژئوشیمیایی. فصلنامه ژئوشیمی، سال سوم، شماره یکم، صص. ۴۱۱ تا ۴۱۸.
- زراسوندی، ع.ر.، سپهوند، م.، پورکاسب، ه. و رضایی، م.، ۱۳۹۳- مطالعه کانی‌شناسی و بافتی کانسار منگنز سرخوند، هرسین؛ شواهدی بر فرآیندهای کانه‌ساز. هجدهمین همایش انجمن زمین‌شناسی ایران، تهران.
- زراسوندی، ع.ر.، رضایی، م.، پورکاسب، م. و ساکی، ع.، ۱۳۹۲- بررسی فرآیندهای اولیه و ثانویه در کانسار منگنز نصیرآباد، جنوب نیزیز، با استفاده از کانی‌شناسی و زمین‌شیمی ایزوتوپ‌های سرب. مجله زمین‌شناسی اقتصادی، شماره اول، جلد پنجم، صص. ۳۷ تا ۴۷.
- زرین‌کوب، م.ح.، کلاگری، ا.ا. و برقی، ب.، ۱۳۸۸- کانی‌شناسی و چگونگی پیدایش منگنز کمرتار در خاور بیرجند (استان خراسان جنوبی)، فصلنامه بلورشناسی و کانی‌شناسی ایران، سال هفدهم، شماره دوم، صص. ۳۰۹ تا ۳۱۸.
- سپهوند، م.، ۱۳۹۳- زمین‌شناسی، زمین‌شیمیایی و تعیین ژنز کانسار منگنز سرخوند، جنوب غرب هرسین، استان کرمانشاه، پایان‌نامه کارشناسی ارشد، دانشگاه شهید چمران اهواز.
- صادقیان، م. و دلاور، س.ت.، ۱۳۸۵- نقشه زمین‌شناسی ۱:۱۰۰۰۰۰ کامیاران، سازمان زمین‌شناسی و اکتشافات معدنی کشور.
- فردوست، ف.، ۱۳۷۱- مطالعه کانی‌شناسی و تعیین ژنز کانسار منگنز و نارچ قم، پایان‌نامه کارشناسی ارشد، دانشگاه تربیت معلم تهران.

References

- Adachi, M., Yamamoto, K. and Sugisaki, R., 1986- Hydrothermal chert and associated siliceous rocks from the northern Pacific: their geological significance as indication of ocean ridge activity. *Sedimentary Geology*, 47: 125- 148. [https://doi.org/10.1016/0037-0738\(86\)90075-8](https://doi.org/10.1016/0037-0738(86)90075-8).
- Ahmadi Khalaji, A., Esmaeily, D., Valizadeh, M. V. and Rahimpour, H., 2007- Petrology and geochemistry of the granitoid complex of Boroujerd, Sanandaj-Sirjan zone, western Iran. *Journal of Asian Earth Sciences*, 29: 859- 877. DOI: 10.1016/j.jseae.2006.06.005.
- Alavi, M., 1991- Sedimentary and structural characteristics of the Paleo-Tethys remnants in northeastern Iran. *Geological Society of America Bulletin* 103: 983- 992. [https://doi.org/10.1130/0016-7606\(1991\)103<0983:SASCOT>2.3.CO;2](https://doi.org/10.1130/0016-7606(1991)103<0983:SASCOT>2.3.CO;2).
- Azizi, H. and Jahangiri, A., 2008- Cretaceous subduction-related volcanism in the northern Sanandaj-Sirjan Zone, Iran. *Journal of Geodynamics*, 45: 178- 190. DOI: 10.1016/j.jog.2007.11.001.
- Azizi, H. and Moinevaziri, H., 2009- Review of the tectonic setting of Cretaceous to Quaternary volcanism in northwestern Iran. *Journal of Geodynamics*, 47: 167- 179. DOI: 10.1016/j.jog.2008.12.002.
- Barghi, B., Calagari, A. A., Zarrinkoub, M. H. and Simmonds, V., 2017- Geological and Geochemical Investigation of Three Ophiolite-Hosted Manganese Prospects, Southeast of Birjand, South Khorasan, East of Iran. *Resource Geology*, 67(4): 414- 425. <https://doi.org/10.1111/rge.12139>.

- Berberian, M. and King, G. C. P. 1981- Toward a paleogeography and tectonic evolution of Iran. *Canadian Journal of Earth Sciences*, 8: 210-265. <https://doi.org/10.1139/e81-019>.
- Bonatti, E., Kraemer, T. and Rydel, H., 1972- Classification and genesis of submarine iron– manganese deposits. In: Horn, D.R. (Ed.), *Ferromanganese Deposits on the Ocean Floor*. Natl. Sci. Found., Washington, D. C., pp. 149- 166. Contract Number N00014-57-A-0201-0013.
- Brunsnitsyn, A. I. and Zhukov, G. I., 2012- The South Faizuly Manganese Deposit in the Southern Urals: Geology, Petrography, and Formation Conditions. *Lithology and Mineral Resources*, 40 (1): 30–47. DOI: 10.1007/s10987-005-0004-1.
- Choi, J. H. and Hariya, Y., 1992- Geochemistry and depositional environment of Mn oxide deposits in the Tokora Belt, northeastern Hokkaido, Japan. *Economic Geology*, 87: 1265- 1274. <https://doi.org/10.2113/gsecongeo.87.5.1265>.
- 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 the hydrothermal convection at oceanic spreading centers. *Economic Geology*, 77: 519- 540. <https://doi.org/10.2113/gsecongeo.77.3.519>.
- Delian, F., 1994- *Geological and Geochemical Research of the Manganese Ore Bed (in Chinese)*, M1. Weather Publishing Press, Beijing.
- Esna-Ashari, A., Tiepolo, M., Valizadeh, M. V., Hassanzadeh, J. and Sepahi, A. A., 2012- Geochemistry and zircon U–Pb geochronology of Aligoodarz granitoid complex, Sanandaj- Sirjan Zone, Iran. *Journal of Asian Earth Sciences*, 43: 11–22. DOI: 10.1016/j.jseaes.2011.09.001.
- Fernandez, A. and Moro, M. C., 1998- Origin and depositional environment of Ordovician stratiform iron mineralization from Zamora (NW Iberian Peninsula). *Mineralium Deposita*, 33: 606- 619. <https://doi.org/10.1007/s001260050176>.
- Ghasemi, A. and Talbot, C. J., 2006- A new tectonic scenario for the Sanandaj Sirjan Zone (Iran). *Journal of Asian Earth Sciences*, Volume 26, Issue 6, p. 683- 693. 10.1016/j.jseaes.2005.01.003.
- Hein, J. R., Schulz, M. S., Dunham, R. E., Stern, R. J. and Bloomer, S. H., 2008- Diffuse flow hydrothermal manganese mineralization along the active Mariana and southern Izu-Bonin arc system, western Pacific. *Journal of Geophysical Research*, 113: 1- 29. <https://doi.org/10.1029/2007JB005432>.
- Jach, R. and Dudek, T., 2005- Origin of a Toarcian manganese carbonate/silicate deposit from the Krizna unit, Tatra Mountains, Poland. *Chemical Geology*, 224: 136- 152. DOI: 10.1016/j.chemgeo.2005.07.018.
- Jowitt, M. S., 2008- Field, petrological and geochemical constraints on the release of base metals into hydrothermal fluids in Cyprus-type Volcanogenic Massive Sulphide (VMS) systems: an investigation of the Spilia- Kannavia epidosite zone, Troodos ophiolite, Cyprus. PhD thesis, University of Leicester. <http://dx.doi.org/10.1016/j.oregeorev.2017.06.015> 0169.
- Karakus, A., Yavuz, B. and Koc, S., 2010- Mineralogy and major trace element geochemistry of the haymana manganese mineralizations, Ankara, Turkey. *Geochemistry International*, 48: 1014- 1027. Doi: 10.1134/S001670291010006X.
- Keith, M., Haase, M. K., Klemd, R., Krumm, S. and Strauss, H., 2016- Systematic variations of trace element and sulfur isotope compositions in pyrite with stratigraphic depth in the Skouriotissa volcanic-hosted massive sulfide deposit, Troodos ophiolite, Cyprus. *Chemical Geology*, 423: 7- 18. <https://doi.org/10.1016/j.chemgeo.2015.12.012>.
- Mahmoudi, S., Corfu, F., Masoudi, F., Mehrabi, B. and Mohajjel, M., 2011- U–Pb dating and emplacement history of granitoid plutons in the northern Sanandaj–Sirjan Zone, Iran. *Journal of Asian Earth Sciences*, 41: 238- 249. DOI: 10.1016/j.jseaes.2011.03.006.
- Mohajjel, M. and Fergusson, C. L., 2014- Jurassic to Cenozoic tectonic of the Zagros orogeny in northwestern Iran. *J. international geology review*, 56: 263- 287. <https://doi.org/10.1080/00206814.2013.853919>.
- Monnin, C., Wheat, C. G., Dupre, B., Elderfield, H. and Mottl, M. J., 2001- Barium geochemistry in sediment pore waters and formation waters of the oceanic crust on the eastern flank of the Juan de Fuca Ridge (ODP Leg 168). *Geochemistry, Geophysics, Geosystems*, 2 (1): 1008-1027. <https://doi.org/10.1029/2000GC000073>.
- Moser, L. D. and Page, N. J., 1988- Descriptive and grade- tonnage models of volcanogenic manganese deposits in oceanic environments- a modification, U.S Geological Survey. <https://doi.org/10.3133/b1811>.
- Mücke, A., Adjimah, K. and Annor, A., 1999- Mineralogy, petrography, geochemistry and genesis of the Paleoproterozoic Birimian manganese-formation of Nsuta/Ghana. *Mineralium Deposita*, 34: 297- 311. Doi: 10.1007/s001260050205.
- Nakagawa, M., Santosh, M. and Maruyama, S., 2009- Distribution and mineral assemblages of bedded manganese deposits in Shikoku, Southwest Japan: implications for accretion tectonics. *Gondwana Research*, 16: 609- 621. <https://doi.org/10.1016/j.gr.2009.05.003>.
- Nakagawa, M., Santosh, M. and Maruyama, S., 2011- Manganese formations in the accretionary belts of Japan: Implications for subduction–accretion process in an active convergent margin. *Journal of Asian Earth Sciences*, 42: 208- 222. Doi: 10.1016/j.jseaes.2011.04.005.
- Nicholson, K., 1992- Contrasting mineralogical–geochemical signatures of manganese oxides’ guides to metallogenesis. *Economic Geology*, 87: 1253- 1264. <https://doi.org/10.2113/gsecongeo.87.5.1253>.
- Nicholson, K., Nayak, V. K. and Nanda, J. K., 1997- Manganese ores of the Ghoriajhor Monmunda area, Sundergarh District, Orissa, India: geochemical evidence for a mixed Mn source. *Geological Society of London Special Publications*, 119: 117- 121. Doi: 10.1144/GSL.SP.1997.119.01.08.

- Öksüz, N., 2011- Geochemical characteristics of the Eymir (Sorgun-Yozgat) manganese deposits, Turkey. *Journal of Rare Earths*, 29 (3): 287-296. [https://doi.org/10.1016/S1002-0721\(10\)60446-2](https://doi.org/10.1016/S1002-0721(10)60446-2).
- Peters, T. J., 1988- Geochemistry of manganese-bearing cherts associated with Alpine ophiolites and the Hawasina formations in Oman. *Marine Geol.*, 84: 229- 238. [https://doi.org/10.1016/0025-3227\(88\)90103-X](https://doi.org/10.1016/0025-3227(88)90103-X).
- Polgári, M., Hein, J. R., Vigh, T., Szabó-Drubina, M., Fórizs, I., Bíró, L., Müller, A. and Tóth, A. L., 2012- Microbial processes and the origin of the Úrkút manganese deposit, Hungary. *Ore Geology Reviews*, 47: 87- 109. DOI: 10.1130/G33304.1.
- Sasmaz, A., Turkyilmaz, B., Ozturk, N., Yavuz, F. and Kumral, M., 2014- Geology and geochemistry of Middle Eocene Maden complex ferromanganese deposits from the Elazığ-Malatya region, eastern Turkey. *Ore Geology Reviews*, 56: 352- 372. <http://dx.doi.org/10.1016/j.oregeorev.2013.06.012>.
- Shah, M. T. and Khan, A., 1999- Geochemistry and origin of Mn-deposits in the Waziristan ophiolite complex, north Waziristan, Pakistan. *Mineralium Deposita*, 34: 697- 704. Doi: 10.1007/s001260050228.
- Shah, M. T. and Moon, C. J., 2007- Manganese and ferromanganese ores from different tectonic settings in the NW Himalayas, Pakistan. *Journal of Asian Earth Sciences*, 29: 455- 465. DOI: 10.1016/j.jseae.2005.11.002.
- Toth, J. R., 1980- Deposition of submarine crusts rich in manganese and iron. *Geological Society of America Bulletin*, 91: 44–54. [https://doi.org/10.1130/0016-7606\(1980\)91<44:DOSCRI>2.0.CO;2](https://doi.org/10.1130/0016-7606(1980)91<44:DOSCRI>2.0.CO;2).
- Wu, C., Zhang, Z., Xiao, J., Fu, Y., Shao, S., Zheng, C., Yao, J. and Xiao, Ch., 2016- Nanhuan manganese deposits within restricted basins of the southeastern Yangtze Platform, China: Constraints from geological and geochemical evidence. *Ore Geology Reviews*, 75: 76–99. DOI: 10.1016/j.oregeorev.2015.12.003.
- Zarasvandi, A., Lentz, D., Rezaei, M. and Pourkaseb, H., 2013- Genesis of the Nasirabad manganese occurrence, Fars province, Iran: Geochemical evidences. *Chemie der Erde*, 73 (4): 495- 508. DOI: 10.1016/j.chemer.2013.02.003.

Mineralization and geochemistry of manganese ore related to Kamyaran ophiolites-NW of Iran

B. Rahimzadeh^{1*} and M. Movahednia²

¹Assistant Professor, Department of Mineral Resource and Groundwater, Faculty of Earth Sciences, Shahid Beheshti University, Tehran, Iran

²Ph.D., Department of Economic Geology, Faculty of Basic Sciences, Tarbiat Modares University, Tehran, Iran

Received: 2017 November 08

Accepted: 2018 July 17

Abstract

Manganese mineralization in Afarian-Pashabad were formed in five district which are hosted by volcano-sedimentary sequence of the upper part of ophiolite sequence in northwest of Kamyaran. Structurally, this area is located in boundary of two Zagros and Sanandaj-Sirjan structural zones. The host rocks includes shale, tuffaceous shale and radiolarian chert which are overling pillow basalt unit. Mineralogy of lenticular ore body which is concordant with host rock bedding, includes braunite, pyrolusite, Bixbyite, hematite. Calcite and quartz is main gangue minerals. Massive, banded, botryoidal, replacement and brecciated textures are common. Geochemical evidences such as Mn/Fe, Co/Ni and Cu/Zn ratios and some geochemical diagrams indicate that hydrothermal origin of ore forming fluids. Afarian-Pashabad Mn deposits, in comparison with different types of volcanogenic manganese deposits shows broad similarities with the Cyprus-type Mn deposits such as geodynamic setting, host and associated rock types, geometry, textures, structures, mineralogy and geochemistry. Studied deposits comparable with some Iranian ophiolite-related manganese deposits such as deposits in Harsin, Khoy, Birjand and Rudan ophiolites.

Keywords: Manganese deposit, Volcano-sedimentary, Ophiolite, Cyprus-type, Afarian, Pashabad, Kamyaran.

For Persian Version see pages 199 to 210

*Corresponding author: B. Rahimzadeh; E-mail: b.rahimzade59@gmail.com