

زمین‌شناسی و نحوه تشکیل کانسار منگنز حلب، جنوب باختر زنجان

امیر نادری^۱، قاسم نباتیان^۲، مریم هنرمند^۳ و حسین کوهستانی^۴

^۱ کارشناسی ارشد، گروه زمین‌شناسی، دانشکده علوم، دانشگاه زنجان، زنجان، ایران

^۲ دانشیار، گروه زمین‌شناسی، دانشکده علوم، دانشگاه زنجان، زنجان، ایران

^۳ استادیار، دانشکده علوم زمین، دانشگاه تحصیلات تکمیلی علوم پایه زنجان، زنجان، ایران

تاریخ دریافت: ۱۳۹۶/۰۳/۳۰ تاریخ پذیرش: ۱۳۹۶/۱۱/۱۷

چکیده

کانسار منگنز حلب در پهنه سندج- سیرجان، در فاصله هوایی ۱۰۰ کیلومتری جنوب باختر شهرستان زنجان واقع شده است. واحدهای سنگی موجود در منطقه شامل دگرگونی‌های معادل سازند کهر و مرمر جان‌گوتاران به سن پرکامبرین هستند. کانه‌زایی منگنز در منطقه حلب به شکل رگه‌ای و توده‌ای درون واحد مرمر جان‌گوتاران و به مقدار کم‌تر در واحد شیست رخ داده است. کانی‌های اصلی تشکیل‌دهنده کانه‌زایی منگنز حلب شامل پیرولوویت، پسیلوملان، منگنایت و گوتیت بوده و کلسیت و کوارتز نیز کانی‌های باطله همراه را تشکیل می‌دهند. بافت ماده معدنی از نوع گل‌کلی، رگه- رگچه‌ای، توده‌ای، شانه‌ای، دندان‌سگی، خوشه‌ای، جان‌شینی و بازماندی است. دگرسانی‌های موجود در این منطقه شامل اکتینولیتی، کربناتی و سیلیسی هستند. الگوی به‌هنجار شده عناصر خاکی کمیاب نسبت به گوشته اولیه در نمونه‌های مربوط به ماده معدنی و کربنات‌های گرمایی، بیانگر غنی‌شدگی نسبی عناصر خاکی کمیاب سبک نسبت به عناصر خاکی کمیاب سنگین است. نمونه‌های تجزیه شده بی‌هنجاری منفی مشخصی در Ce و بی‌هنجاری منفی ضعیفی در Eu دارند. الگوی به‌هنجار شده عناصر جزئی مربوط به نمونه‌های ماده معدنی و کربنات‌های گرمایی نسبت به گوشته اولیه، بیانگر غنی‌شدگی در عناصر Ba, U, La, Pb, Sr و تهی‌شدگی در عناصر Rb, Th, Nb, Ce, P, Zr, Ti است. مطالعات صحرایی و میکروسکوپی و همچنین شواهد ژئوشیمیایی حاکی از تشکیل آنها توسط سیالات گرمایی است. چرخش سیالات جوی و یا ماگمایی در واحدهای پرکامبرین، عناصر مورد نیاز را از جمله منگنز، آهن و کلسیم جهت کانه‌زایی فراهم کرده است. سیالات کانه‌دار هنگامی که با سنگ میزبان برخورد کرده‌اند باعث تشکیل کانه‌زایی در منطقه حلب شده‌اند.

کلیدواژه‌ها: کانی‌سازی منگنز، حلب، زنجان، سندج- سیرجان، ایران.

*نویسنده مسئول: قاسم نباتیان

E-mail: gh.nabatian@znu.ac.ir

۱- پیش‌نوشتار

آنها انجام شد. مطالعات سنگ‌نگاری و کانه‌نگاری با استفاده از میکروسکوپ‌های پلاریزان دو منظوره مدل Nikon GX و انجام شده است. جهت مطالعات زمین‌شیمیایی، ۲ نمونه از کربنات گرمایی و ۵ نمونه از کانسنگ منگنز و منگنز-گوتیت‌دار انتخاب و با دستگاه خردایش خُرد شده و سپس تا حد ۲۰۰ مش پودر شدند. در نهایت با استفاده از روش ذوب قلیایی و چهار اسید نمونه‌های انتخاب شده، به ترتیب به روش‌های اسپکترومتری نشری پلاسما جفت شونده القایی (ICP-OES) و طیف‌سنجی جرمی توسط پلاسما جفت شده القایی (ICP-MS) به ترتیب در شرکت زرآزما، تهران و Lab West Minerals Analysis در کشور استرالیا آنالیز شده‌اند.

رخداد معدنی منگنز منطقه حلب در بخش شمالی پهنه سندج- سیرجان (Stöckiln, 1968) واقع شده است و بخشی از پهنه کانه‌دار تکاب-انگوران-تخت سلیمان است. از دیدگاه فلززایی، این پهنه یکی از مهم‌ترین ایالت‌های فلززایی در ایران محسوب می‌شود (Daliran et al., 2002; Daliran, 2008). کانسارهای طلای زرشوران (Daliran et al., 1999 and 2002; Mehrabi et al., 1999) و آق‌دره (Daliran, 2008)، توزلار (حیدری، ۱۳۹۲) و روی-سرب انگوران (Asadi et al., 1999)، قیصریه (Daliran et al., 1999; Gilg et al., 2006; Boni et al., 2007) در این منطقه قرار دارند.

۳- زمین‌شناسی و سنگ‌شناسی منطقه مورد مطالعه

با توجه به نقشه زمین‌شناسی مقیاس ۱:۵۰۰۰ تهیه شده از منطقه و بر اساس مطالعات صحرایی انجام شده، واحدهای سنگی رخنمون‌یافته در محدوده کانسار حلب شامل سنگ‌های دگرگون‌شده معادل سازند کهر (باباخانی و قلمقاش، ۱۳۸۴) هستند که شامل تناوبی از مرمر، مسکوویت شیست و میان‌لایه‌های کوارتزیتی است. واحدهای مذکور با مرز گسله توسط مرمر جان‌گوتاران به سن پرکامبرین پوشیده شده‌اند (شکل‌های ۱ و ۲). سنگ‌های دگرگونی منطقه عموماً در امتداد گسل قینرجه- چهارطاق (باباخانی و قلمقاش، ۱۳۸۴) قرار گرفته‌اند.

واحدهای مسکوویت شیست قدیمی‌ترین واحدهای رخنمون‌یافته در محدوده مورد مطالعه هستند. این واحدها رنگ قهوه‌ای متمایل به قرمز تا خاکستری روشن داشته و با میان‌لایه‌هایی از کوارتزیت، مسکوویت شیست و مرمر همراه هستند (شکل ۲). مسکوویت شیست‌ها در نمونه دستی به رنگ خاکستری روشن تا تیره دیده می‌شوند. این واحدها برگ‌وارگی بارزی داشته و با تورق مشخص و جلای براق در سطوح برگ‌وارگی نمایان هستند (شکل ۳). فابریک‌های گرانوبلاستیک و لپیدوبلاستیک،

کانسار منگنز حلب در ۱۰۰ کیلومتری جنوب‌باختر زنجان در محدوده‌ای با مختصات ۲۳° ۴۷' تا ۲۶° ۴۷' طول‌خاوری و ۲۹° ۳۶' تا ۳۱° ۳۶' عرض شمالی قرار دارد. این منطقه یکی از مهم‌ترین مناطق پتانسیل‌دار منگنز در پهنه تکاب-انگوران-تخت سلیمان در استان زنجان به شمار می‌رود. تا قبل از این پژوهش، مطالعه علمی دقیقی در مورد ویژگی‌های زمین‌شناسی و کانه‌زایی منگنز حلب انجام نشده بود و تنها اطلاعات موجود شامل نقشه‌های زمین‌شناسی ۱:۲۵۰۰۰۰ تکاب (علوی و امید، ۱۳۵۵)، ۱:۱۰۰۰۰۰ تخت سلیمان (باباخانی و قلمقاش، ۱۳۸۴) و گزارش اکتشافی کانسار آهن و منگنز منطقه میانج-حلب (اکبری، ۱۳۸۹) بوده است. در این مقاله، ویژگی‌های زمین‌شناختی، سنگ‌شناختی، کانه‌زایی، کانی‌شناختی و ساخت و بافت ماده معدنی مورد بررسی قرار گرفته و نوع کانه‌زایی و چگونگی تشکیل آن مورد بحث قرار می‌گیرد.

۲- روش پژوهش

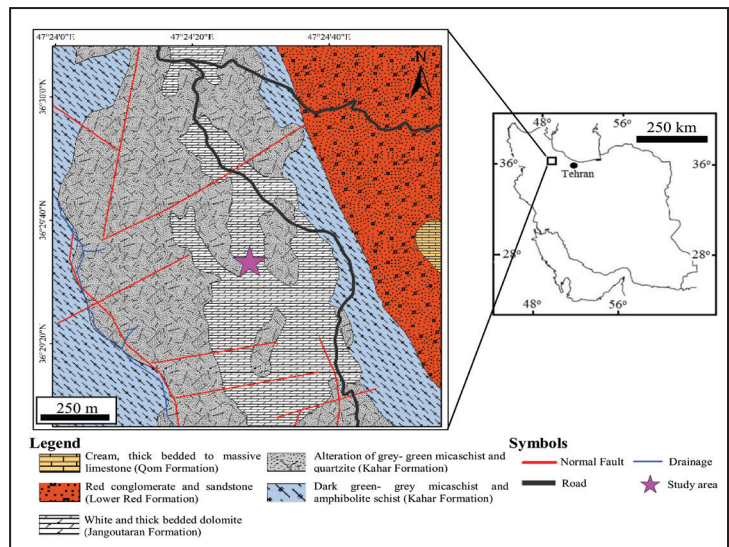
در پژوهش حاضر پس از انجام مطالعات صحرایی، نمونه‌برداری و تهیه نقشه زمین‌شناسی با مقیاس ۱:۵۰۰۰، از تعداد ۷۰ نمونه برداشت شده، ۴ مقطع نازک، ۱۷ مقطع نازک-صیقلی و ۲ مقطع صیقلی تهیه شد و مطالعات میکروسکوپی بر روی

واحد بیش تر به صورت میان لایه در بین واحدهای شیستی منطقه رخنمون دارد. نتایج مطالعات سنگ نگاری بیانگر آن است که این سنگ‌ها به‌طور عمده از کوارتز با خاموشی موجی و حاشیه‌های مضرسی تشکیل شده‌اند (شکل‌های ۳- پ و ت). واحد کوارتزیت، ظاهری خاکستری متمایل به قهوه‌ای و در بعضی قسمت‌ها سفید رنگ داشته و جهت یافتگی و برگ‌وارگی ضعیفی را نیز نشان می‌دهد. این واحد نیز اغلب به وسیله رگه‌هایی از ماده معدنی و رگه‌های تأخیری سیلیسی قطع شده است. پدیده تبلور دوباره از دیگر ویژگی‌های موجود در کوارتزهای واحد کوارتزیتی منطقه حلب است (شکل ۳- ت).

از دیگر واحدهای موجود در این منطقه می‌توان به واحد مرمر جان‌گوتاران اشاره کرد که به دلیل میزبانی کانه‌زایی منگنز، مهم‌ترین واحد سنگی منطقه نیز به شمار می‌رود. این واحد با مرزی گسلی بر روی واحدهای شیستی و کوارتزیتی منطقه قرار داشته (شکل ۲) و به رنگ سفید تا قهوه‌ای روشن دیده می‌شود. براساس مطالعات میکروسکوپی، فابریک این سنگ‌ها گرانوبلاستیک است (شکل ۳- ج). کوارتز به مقدار جزئی از دیگر کانی موجود در مرمرها است که همراه با بلورهای کلسیت دیده می‌شود. در زیر میکروسکوپ، این سنگ‌ها عمدتاً متشکل از بلورهای متوسط تا درشت و اغلب شکل دار تا بی‌شکل کلسیت تشکیل شده‌اند. در نمونه‌های مجاور با کانه‌زایی منگنز، رگه-رگچه‌های متعدد تأخیری سیلیسی که این سنگ‌ها را قطع کرده‌اند، مشاهده می‌شود (شکل ۳- ج).

فابریک‌های غالب این سنگ‌ها را تشکیل می‌دهند (شکل‌های ۳- الف و ب). از نظر کانی‌شناسی، کانی‌های اصلی تشکیل دهنده این سنگ‌ها شامل کوارتز، مسکوویت، سربست، فلدسپات پتاسیم و به مقدار بسیار کم، بیوتیت هستند. مسکوویت‌ها معمولاً بی‌شکل و در اندازه‌های مختلف (۳ میلی‌متر تا بسیار کوچک‌تر) بوده و از حاشیه و در امتداد رخ‌ها در حال جایگزین شدن توسط اکسیدهای آهن هستند. فلدسپات‌ها به صورت بی‌شکل و گاه خودشکل در اندازه‌های مختلف هستند که اغلب دگرسان شده و در موارد جزئی نیز تحت تأثیر تنش‌های برشی قرار گرفته‌اند. با توجه به نتایج مطالعات سنگ نگاری، سنگ‌های منطقه مورد مطالعه شامل مسکوویت شیست، کوارتزیت و مرمر جان‌گوتاران هستند (شکل ۲).

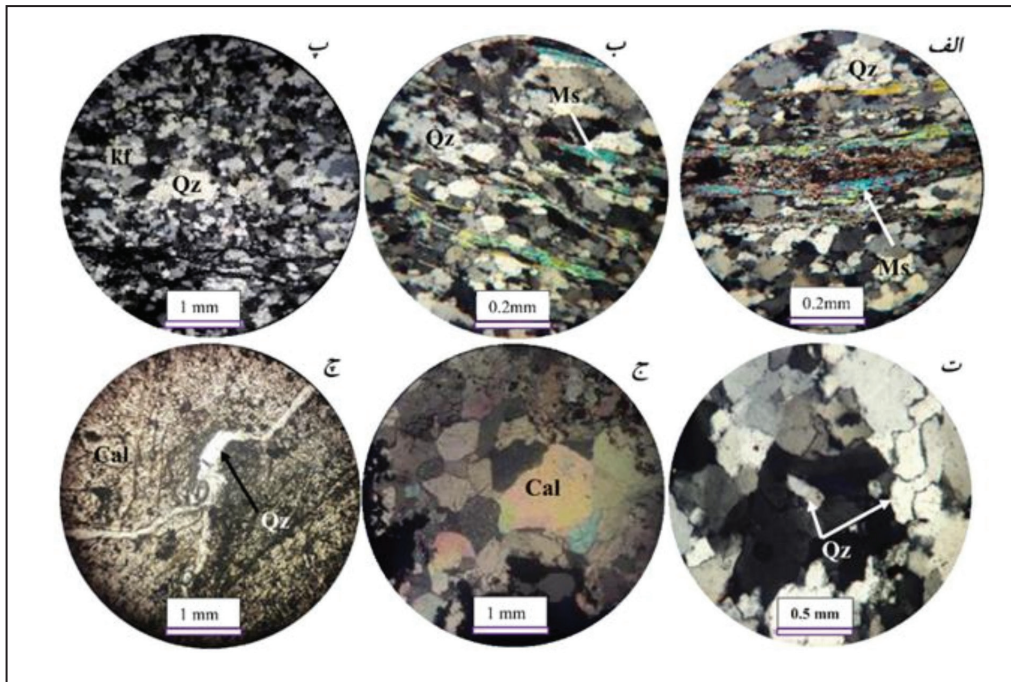
در بین واحدهای شیستی، یک سری واحدهای دولومیتی مرمری شده وجود دارد که به صورت بین لایه‌ای و هم‌روند با واحد شیستی در این منطقه گسترش دارند (شکل ۲). قابل ذکر است که این واحد گسترش کمی در منطقه مورد مطالعه دارد. واحد کوارتزیت نیز به صورت میان لایه در بین واحدهای مسکوویت شیست قرار دارد که در برخی از بخش‌ها، آثار دگرشکلی به صورت برگ‌وارگی‌های ضعیف در این سنگ‌ها قابل مشاهده است (شکل ۲- ت). براساس مطالعات سنگ نگاری، پروتولیت یا سنگ مادر اولیه کوارتزیت، ماسه سنگ غنی از کوارتز است. واحد کوارتزیت نیز دارای فابریک گرانوبلاستیک زایده‌دار است که کوارتز به صورت بلورهای بی‌شکل در ابعاد مختلف، کانی غالب و اصلی تشکیل دهنده آن است. این



شکل ۱- نقشه زمین‌شناسی منطقه مورد مطالعه، محدوده مورد مطالعه با علامت ستاره بر روی آن مشخص شده است.

شکل ۲- تصاویر صحرایی از واحدهای زمین‌شناسی در منطقه حلب. الف و ب) نمایی از واحدهای مرمر و شیستی که با مرز گسله در کنار یکدیگر قرار گرفته‌اند، پ) نمایی از رخنمون واحد مرمر جان‌گوتاران و واحد کوارتزیتی موجود در منطقه مورد مطالعه که کانه‌زایی در این بخش در محل مرز این واحدها روی داده است، پ) نمایی نزدیک از واحد کوارتزیتی (در شکل الف دید به سوی جنوب خاور و در شکل پ دید به سوی شمال است).



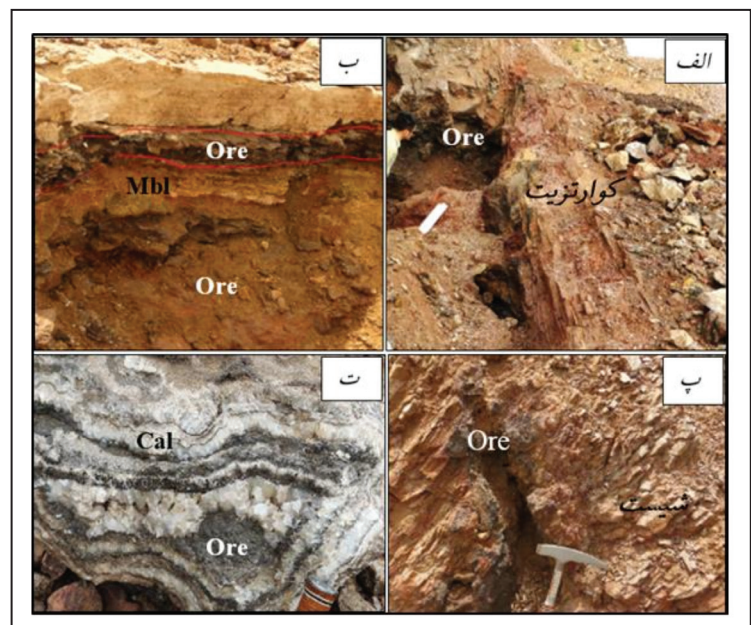


شکل ۳- تصاویر میکروسکوپی از واحدهای موجود در منطقه مورد مطالعه. الف و ب) مسکویت‌های جهت یافته با برگ‌وارگی در زمینه بلورهای کوارتز و فلدسپات پتاسیم، پ- کانی‌های کوارتز با فابریک گرانوبلاستیک زائده‌دار در واحد کوارتزیت، ت) موزایک‌های کوارتز دارای تبلور مجدد با فابریک گرانوبلاستیک در واحد کوارتزیت، ج) کلسیت با فابریک گرانوبلاستیک (موزایکی) در مرمر جان-گوتاران، چ) رگه-رگچه‌های کوارتزی که واحد مرمر جان‌گوتاران را قطع کرده‌اند. همه تصاویر به غیر از تصویر چ در نور XPL گرفته شده است. تصویر چ در نور PPL گرفته شده است (علامت اختصاری کانی‌ها: Qz: کوارتز، Ms: مسکویت، Kfs: پتاسیم فلدسپات، Cal: کلسیت).

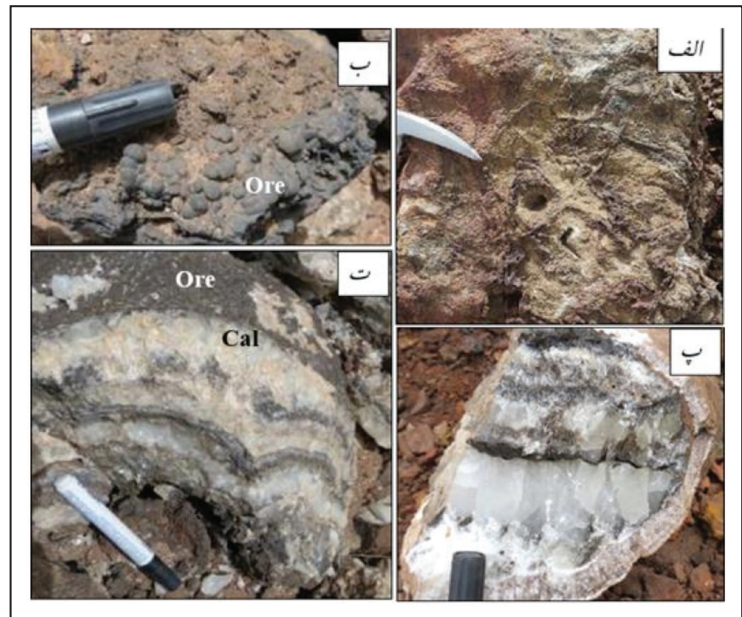
۴- کانه‌زایی و دگرسانی

سنگی، ماده معدنی و بخش‌های کانه‌دار تا حدودی پوشیده شده‌اند. بخش اصلی کانه‌زایی منگنز درون واحد مرمری جان‌گوتاران و بخشی از آن در مرز بین مرمر جان‌گوتاران و واحد شیستی تشکیل شده است (شکل ۴- الف، ب و پ). با توجه به اینکه کانه‌زایی منگنز در این منطقه لایه‌بندی و برگ‌وارگی کوارتزیت‌ها را قطع کرده است، می‌توان اظهار داشت که کانه‌زایی بعد از تشکیل سنگ میزبان و فرآیند دگرگونی روی داده است.

براساس مطالعات صحرایی انجام شده، کانه‌زایی منگنز در کناسار حلب دارای حداکثر درازای ۲۰۰ متر و ضخامت بین ۱/۵ تا ۵ متر (به‌طور میانگین ۳ متر) با روند شمال‌خاوری- جنوب‌باختری با ژنومتری عدسی، رگه‌ای و توده‌ای شکل حادث شده است (شکل‌های ۴ و ۵). همان‌طور که در شکل ۴ نیز مشخص شده است کانه‌زایی منگنز لایه‌بندی و برگ‌وارگی سنگ میزبان را قطع کرده است. در این منطقه به‌علت فرآیندهای تشکیل خاک در بعضی بخش‌ها، رخنمون‌های



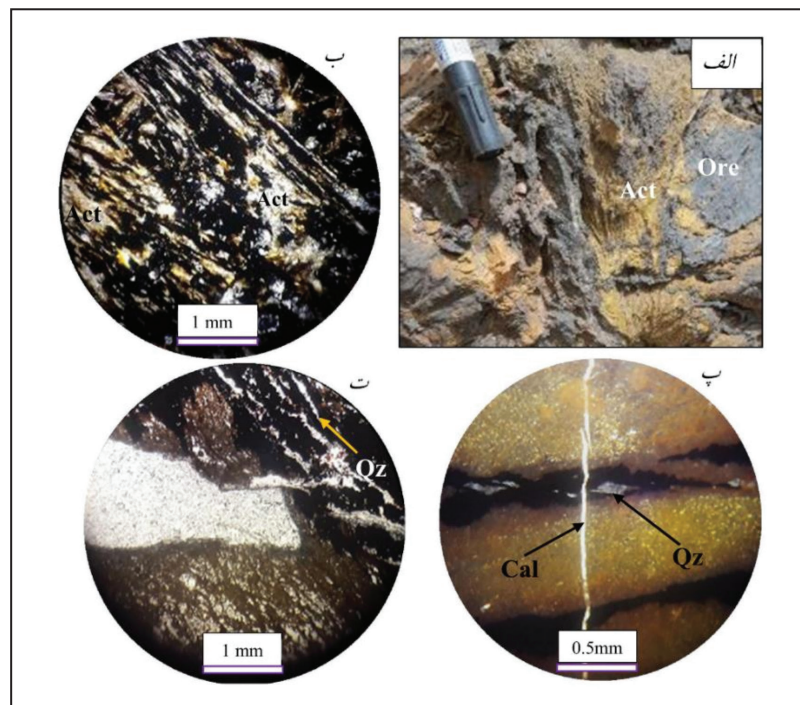
شکل ۴- الف) نمایی از کانه‌زایی منگنز حلب به‌صورت رگه‌ای در داخل واحدهای شیستی و کوارتزی، ب) نمایی از کانه‌زایی منگنز حلب به‌صورت رگه‌ای در داخل واحد مرمر جان‌گوتاران، پ) نمایی از رگه منگنز در واحد مسکویت شیست، ت) نمایی نزدیک از کانه‌زایی منگنز به‌همراه کلسیت گرمابی که دارای بافت دندان‌سگی هستند. (Cal: کلسیت، Mbl: مرمر، Ore: ماده معدنی).



شکل ۵- انواع بافت و ساخت کانسنگ در کانسار منگنز حلب. الف) بافت رگه- رگچه‌ای منگنز و گوتیت در واحد مرمر جان‌گوتاران، ب) بافت خوشه‌ای کانی پیرولوژیت، پ) نمایی از کانه‌زایی منگنز همراه با کلسیت‌های گرمابی با بافت شانه‌ای، ت) کانه‌زایی به صورت بافت گل‌کلمی (کلوفرمی) همراه با کربنات‌های گرمابی. (Cal: کلسیت، Ore: ماده معدنی).

رگه- رگچه‌های کربناتی (نسل دوم) که با اندازه‌های مختلف قابل مشاهده هستند، سنگ میزبان و ماده معدنی را قطع کرده‌اند (شکل ۶- پ). این رگه- رگچه‌ها، رگه و رگچه‌های کوارتزی (سیلیسی) را نیز قطع کرده (شکل ۶- پ) و می‌توان اظهار داشت که آخرین مرحله کانه‌زایی در این کانسار هستند. دگرسانی سیلیسی به مقدار کم و به صورت رگه- رگچه‌ای در این منطقه تشکیل شده است (شکل ۶- ت). ضخامت رگه- رگچه‌های سیلیسی مختلف بوده و از حد میلی‌متر تا چندین سانتی‌متر مشاهده می‌شوند. قابل ذکر است که رگچه‌های سیلیسی کانی‌سازی را قطع کرده و خود توسط رگچه‌های کربناتی نسل دوم قطع شده‌اند.

براساس مطالعات انجام شده، دگرسانی‌های موجود در کانسار منگنز حلب در بخش‌های کانه‌دار شامل دگرسانی‌های اکتینولیتی، کربناتی و سیلیسی است. اکتینولیتی شدن، در کانسار منگنز حلب از گسترش کمی برخوردار است و اغلب در اطراف بخش‌های کانه‌دار قرار دارد. در نمونه‌های دستی و مقاطع میکروسکوپی، این کانی به صورت بلورهای رشته‌ای و سوزنی قهوه‌ای تیره به همراه اکسید آهن دیده می‌شود (شکل ۶- الف و ب). دگرسانی کربناتی در کانسار حلب طی دو مرحله رخ داده است. در مرحله اول کانی کلسیت (نسل اول) به صورت بلورهای درشت همراه با کانه‌زایی منگنز بوده (شکل‌های ۴- ت و ۵- پ و ت) و در مرحله بعدی



شکل ۶- انواع دگرسانی در کانسار منگنز حلب، الف) تصویر نمونه دستی از دگرسانی اکتینولیتی که همراه با ماده معدنی مشاهده می‌شود، ب) نمایی میکروسکوپی از دگرسانی اکتینولیتی که به صورت بلورهای رشته‌ای و سوزنی شکل در تصویر قابل مشاهده است، پ) نمایی میکروسکوپی از رگچه‌های کلسیتی که بعد از رگچه‌های سیلیسی تشکیل شده و آنها را قطع کرده است، ت) تصویر میکروسکوپی از رگچه‌های کوارتزی که ماده معدنی را قطع کرده است. همه تصاویر میکروسکوپی در نور عبوری پلاریزه متقاطع (XPL)، تهیه شده‌اند (علامت اختصاری کانی‌ها: Act: اکتینولیت، Cal: کلسیت، Ore: ماده معدنی، Qz: کوارتز).

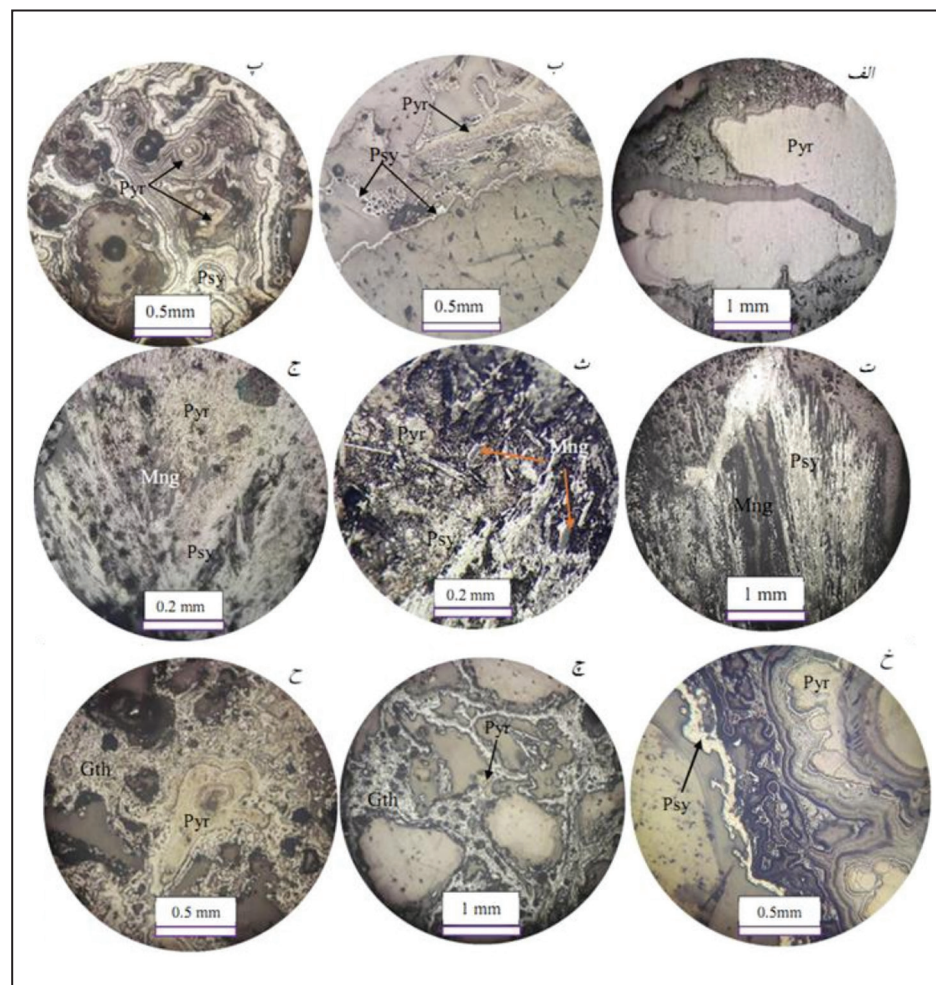
۵- کانی‌شناسی، ساخت و بافت و توالی پاراژنتیکی

رگه- رگچه‌ای است (شکل‌های ۷- ب تا ث). این کانی هم به صورت اولیه و هم به صورت ثانویه در این کانسار تشکیل شده است. در برخی از موارد، آثاری از جایگزینی کانی پسیلوملان توسط کانی پیرولولزیت نیز مشاهده می‌شود و در برخی از موارد کانی پسیلوملان جایگزین منگنیت شده است (شکل ۷- ث). منگنیت نیز از دیگر کانی‌های کانسنگ منگنز حلب به شمار می‌رود که به صورت هم‌رشد با پیرولولزیت و پسیلوملان دیده می‌شود (شکل‌های ۷- ت تا ج). قابل ذکر است که بخش‌هایی از منگنیت طی فرآیندهای هوازدگی و برون‌زاد از حواشی و در راستای شکستگی‌ها به کانی‌های ثانویه از جمله پیرولولزیت و پسیلوملان تبدیل شده و فقط آثار کمی از آن به صورت بافت بازماندی باقی مانده است (شکل‌های ۷- ت تا ج). گویت از دیگر کانی‌های موجود در کانسار منگنز حلب می‌باشد که به مقدار کمتر همراه با کانی‌های منگنزدار مشاهده می‌شود. این کانی به همراه کانی‌های منگنز از جمله پیرولولزیت به صورت رگه- رگچه‌ای و گل کلمی در این کانسار روی داده است (شکل‌های ۴، ۵- الف و ۷- ج و ح).

توالی پاراژنتیکی کانسار منگنز حلب در شکل ۸ نشان داده شده است. همان‌طور که در این شکل مشاهده می‌شود کانه‌های پیرولولزیت (نسل اول)، پسیلوملان (نسل اول)، منگنیت، گویت، اکتینولیت و کربنات‌های گرمابی (نسل اول) در مرحله اول و از سیالات گرمابی تشکیل شده‌اند. در مرحله بعد (کانه‌زایی تأخیری)، رگه- رگچه‌های کوارتزی و کربناتی در این کانسار تشکیل شده و در مرحله آخر (برون‌زاد و هوازدگی) کانی‌های ثانویه تشکیل شده‌اند.

شواهد مطالعات میکروسکوپی بیانگر آن است که کانه‌زایی منگنز در کانسار حلب دارای کانی‌شناسی ساده بوده و به‌طور عمده از پیرولولزیت، پسیلوملان، منگنیت به همراه هیدروکسید آهن تشکیل شده است. قابل ذکر است که در اکثر بخش‌ها، کربنات‌های درشت‌بلور نیز همراه با ماده معدنی دیده می‌شوند (شکل‌های ۴- ت و ۵- ت). کلسیت و کوارتز کانی‌های باطله در این کانسار به شمار می‌روند. مطالعات صحرایی و میکروسکوپی انجام‌شده نشان می‌دهد که بافت ماده معدنی شامل گل کلمی (کلوفرمی)، رگه- رگچه‌ای، توده‌ای، شانهای، دندان‌سگی، خوشه‌ای، جانشینی و بازماندی است. براساس مطالعات میکروسکوپی، پیرولولزیت فراوان‌ترین (حدود ۴۵ درصد) کانی کانسنگ منگنز حلب به شمار می‌رود. بافت‌های پیرولولزیت در کانسار منگنز حلب نسبتاً متنوع بوده و شامل بافت‌های گل کلمی (شکل ۷- الف)، رگه- رگچه‌ای و جانشینی (شکل ۷- ب) است. پیرولولزیت در کانسار منگنز حلب به صورت اولیه و ثانویه تشکیل شده است. پیرولولزیت‌های اولیه به صورت گل کلمی، رگه- رگچه‌ای و نوارهای متناوب با پسیلوملان (شکل‌های ۷- الف تا پ) مشاهده می‌شود. پیرولولزیت ثانویه به صورت بلورهای ریز در شکستگی‌ها و نهان بلورین با بافت جانشینی، جانشین کانی پسیلوملان و منگنیت شده است (شکل‌های ۷- ت و ث). این نسل از پیرولولزیت در نتیجه فرآیندهای هوازدگی و برون‌زاد تشکیل شده است.

پسیلوملان دومین کانی فراوان (۳۰ درصد) کانسنگ منگنز حلب به شمار می‌رود. بافت‌های پسیلوملان در کانسار منگنز حلب شامل بافت گل کلمی، جانشینی و



شکل ۷- تصاویر میکروسکوپی (نور بازتابی) از کانه‌ها و بافت آن‌ها در کانسار منگنز حلب. الف) بافت گل کلمی (کلوفرمی) پیرولولزیت، ب) بافت رگه- رگچه‌ای و جانشینی کانی پیرولولزیت به جای پسیلوملان، پ) پیرولولزیت‌های اولیه همراه با نوارهای متناوب پسیلوملان، با بافت گل کلمی، ت) بلورهای سوزنی‌شکل پسیلوملان که جایگزین منگنیت شده است، ث) بلور ریز و سوزنی‌شکل پسیلوملان به همراه منگنیت در حال تجزیه شدن به پیرولولزیت، ج) کانی منگنیت به صورت اولیه در حال تجزیه شدن به پیرولولزیت و پسیلوملان، چ) بافت رگه- رگچه‌ای گویت همراه با پیرولولزیت، ح) بافت رگه- رگچه‌ای گویت همراه با پیرولولزیت، خ) کانی هاسمانیت به صورت ثانویه در اطراف پیرولولزیت و پسیلوملان (علامت اختصاری کانی‌ها Pyr: پیرولولزیت، Psy: پسیلوملان، Mng: منگنیت، Gth: گویت).

Minerals	Stage	Early stage	Late stage	Supergene/weathering
	Pyrolusite I			
Psilomelane I				
Manganite				
Goethite				
Calcite I				
Quartz				
Calcite II				
Pyrolusite II				
Psilomelane II				
Actinolite				
Textures	Colloform			
	Vein-veinlet			
	Massive			
	Comb			
	Dog tooth			
	Botryoidal			
	Relict			
	Replacement			

شکل ۸- توالی پاراژنتیک، بافت و ساخت کانی‌ها برای مواد معدنی و باطله در کانسار منگنز حلب.

۶- زمین‌شیمی

گوتیت دار بین ۰/۲۲ تا ۳/۶۴ درصد متغیر است. میزان SiO_2 در نمونه‌های مربوط به کانسنگ منگنز گوتیت دار و کربنات گرمابی بین ۰/۱ تا ۵۴/۶ درصد در تغییر هستند که بیشترین مقدار آن در نمونه‌های حاوی دگرسانی سیلیسی و اکتینولیتی است. همان‌طور که در این جدول مشاهده می‌شود، محتوای MnO در نمونه‌های کانسار منگنز حلب بین ۰/۱۵ تا ۷۳/۶۱ درصد متغیر است که کمترین مقدار آن مربوط به نمونه‌های کربنات‌های گرمابی هستند. همچنین با توجه به جدول ۱، عیار Fe_2O_3 در نمونه‌های ماده معدنی در بازه ۰/۶۳ تا ۹۰/۵۴ درصد و با میانگین ۳۰ درصد تغییر می‌کند که بیشترین مقدار مربوط به نمونه گوتیتی است. قابل ذکر است که محتوای P_2O_5 نیز به ندرت در برخی از نمونه‌ها تا ۰/۳۳ درصد می‌رسد (جدول ۱).

در این بخش نتایج تجزیه‌های شیمیایی بخش‌های کانه‌دار در کانسار منگنز حلب مورد بررسی قرار گرفته است (جدول‌های ۱ و ۲). هدف از این مطالعات، تعیین الگوی عناصر جزئی و کمیاب خاکی و تعیین غنی‌شدگی و تهی‌شدگی‌های عنصری مرتبط با دگرسانی‌های گرمابی در سنگ‌های میزبان و پهنه‌های کانه‌دار است. اکسیدهای اصلی می‌توانند جهت شناسایی کانسارهای منگنز تحت شرایط مختلف در محیط‌های زمین‌شناسی به کار روند (Crerar et al. 1982). در همین راستا، به منظور تعیین نوع کانه‌زایی در کانسار منگنز حلب، تعدادی از مهم‌ترین نسبت‌های ارائه شده در این زمینه استفاده شده است. همان‌طور که در جدول ۱ مشخص است محتوای CaO در نمونه‌های مربوط به کربنات گرمابی بین ۵۲/۵۰ تا ۵۵/۰۱ درصد متغیر است. همچنین محتوای CaO در نمونه‌های ماده معدنی منگنز-

جدول ۱- نتایج تجزیه‌های شیمیایی اکسیدهای اصلی در کربنات‌های گرمابی (نمونه‌های HA-10 و HA-11) و ماده معدنی منگنز-گوتیت دار (نمونه‌های HA-22, HA-20, HA-15, HA-6, HA-3) در کانسار منگنز حلب. نمونه‌های HA-6 و HA-15 دارای دگرسانی سیلیسی و اکتینولیتی هستند. تمامی داده‌ها بر حسب درصد هستند.

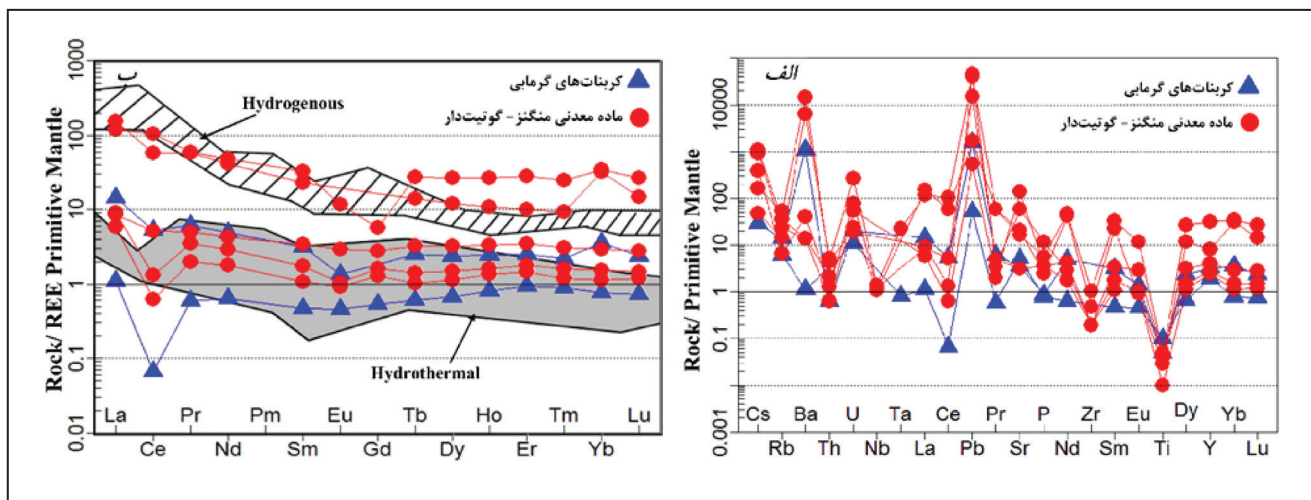
Sample no.	HA-3	HA-6	HA-10	HA-11	HA-15	HA-20	HA-22
Sample type	Mn Ore	Silicified Mn ore	Carbonate	Carbonate	Silicified Mn ore	Goethite	Mn Ore
SiO_2	0.98	54.64	0.06	0.10	46.16	1.94	2.06
Al_2O_3	0.47	0.19	0.02	0.07	0.17	0.44	0.80
BaO	4.74	0.01	0.01	0.90	0.01	0.03	10.65
CaO	3.64	1.24	55.01	52.50	0.85	0.64	0.22
Fe_2O_3	50.39	7.12	0.10	0.80	11.13	90.54	0.63
K_2O	0.38	0.82	0.01	0.18	0.82	0.02	1.85
MgO	0.08	2.80	0.73	0.14	0.64	0.03	0.02
MnO	20.28	21.35	0.20	5.16	30.48	0.15	73.61
Na_2O	0.01	0.08	0.01	0.01	0.26	0.01	0.01
P_2O_5	0.170	0.330	0.010	0.020	0.110	0.070	0.090
SO_3	0.870	<0.05	0.290	<0.05	<0.05	<0.05	<0.05
TiO_2	0.01	0.02	0.02	0.01	0.01	0.01	0.01
LOI	16.43	10.11	43.66	40.10	9.19	5.71	9.93
Total	98.45	98.76	100.13	100.04	99.88	99.64	99.93

الگوی عناصر کمیاب خاکی (REE) بهنجار شده نسبت به گوشته اولیه (LREE) نسبت به عناصر نادر خاکی سنگین (HREE)، همگی حاکی از تشکیل آنها توسط سیالات گرمایی است.

بررسی الگوی رفتاری عناصر جزئی و کمیاب خاکی در مواد معدنی کاربرد فراوانی در تفسیر تاریخچه تشکیل و نحوه تشکیل کانسارها دارد (Lottermoser, 1992). الگوی عناصر کمیاب خاکی برای کانسنگ منگنز-گوتیت دار و کربنات‌های گرمایی منطقه حلب که نسبت به گوشته اولیه (McDonough and Sun, 1995) بهنجار شده‌اند در شکل ۹-ب نشان داده شده است. همان‌گونه که در شکل ۹-ب مشاهده می‌شود، نمونه‌های تجزیه شده، بی‌هنجاری منفی در عناصر Ce و Eu دیده می‌شود. با توجه به این شکل، الگوی نمودار عناصر کمیاب خاکی تقریباً مسطح است. عنصر Ce علاوه بر ظرفیت ۳ می‌تواند متناسب با شرایط احیایی و اکسیداسیون محیط، به ترتیب دارای ظرفیت ۲ و ۴ نیز باشد. عنصر Ce در شرایط اکسیدان رفتار متفاوتی نسبت به دیگر عناصر کمیاب خاکی دارد و میزان آن در محیط‌های اکسیدی و اسیدی کاهش آشکاری نشان می‌دهد. با توجه به بی‌هنجاری‌های منفی Ce در کانسنگ منگنز حلب به نظر می‌رسد که سیال کانه‌زایی دارای حالت اکسیدان و اسیدی بوده است. بی‌هنجاری Ce به عواملی همچون دمای سیال، نزدیکی به منبع گرمایی، شرایط احیاء و مقدار آلودگی یا آلیاژ هیدروژنیک بستگی دارد (Hein et al., 1997).

الگوی عناصر کمیاب خاکی (REE) بهنجار شده نسبت به گوشته اولیه (McDonough and Sun, 1995) برای کانسنگ منگنز، گوتیت دار و کربنات‌های گرمایی در شکل ۹-الف نشان داده شده است. همچنان که در این شکل مشاهده می‌شود، الگوی مربوط به نمونه کانسنگ منگنز و گوتیت دار شباهت زیادی با الگوی نمونه کربنات‌های گرمایی نشان می‌دهد. همان‌طور که در این شکل نشان داده شده است، نمونه‌های مربوط به کربنات گرمایی از روندی مشابه با کانسنگ منگنز و گوتیت دار پیروی می‌کنند به طوری که نمونه‌های مربوط به کربنات گرمایی دارای بی‌هنجاری منفی مشخصی در عناصر Ba, Ce, Ti هستند که نشان‌دهنده کانسارهای با منشأ گرمایی است (Nicholson, 1992). بر این اساس، می‌توان اظهار داشت که ارتباط ژنتیکی بین کانه‌زایی منگنز منطقه و کربنات‌های گرمایی وجود دارد. قابل ذکر است که شواهد صحرائی و ساخت و بافتی نیز مؤید این موضوع است.

همچنان که در شکل ۹-الف مشاهده می‌شود غنی‌شدگی مشخصی از عناصر Ba, U, La, Pb, Sr در نمونه‌های مربوط به کانسنگ منگنز و گوتیت دار و کربنات‌های گرمایی وجود دارد. به باور Nicholson (1992) کانسارهای گرمایی منگنز در عناصر Ba, La, Pb, Sr غنی‌شدگی نشان می‌دهند. همان‌طور که در شکل ۹-الف مشاهده می‌شود نمونه‌های مورد مطالعه بی‌هنجاری منفی مشخصی در عناصر Rb, Th, Nb, Ce, P, Zr, Ti نشان می‌دهند. مطالعه زمین‌شیمی کانسنگ‌ها و به ویژه زیگراگی بودن نمودارهای عنکبوتی عناصر جزئی، بی‌هنجاری منفی عناصر



شکل ۹- الگوی بهنجار شده عناصر جزئی و خاکی کمیاب در نمونه‌های منگنز-گوتیت دار و کربنات‌های گرمایی، الف) نمودار عناصر جزئی بهنجار شده نسبت به گوشته اولیه (McDonough and Sun, 1995) در کانسار حلب، ب) نمودار عناصر خاکی کمیاب بهنجار شده نسبت به گوشته اولیه (McDonough and Sun, 1995) در کانسار حلب و مقایسه الگوی توزیع عناصر خاکی کمیاب کانسنگ منگنز حلب با کانسارهای گرمایی (Toth, 1980) و آب‌زاد.

همان‌طور که در نمودار بهنجار شده عناصر کمیاب خاکی نسبت به گوشته اولیه برای کانسنگ حلب مشاهده می‌شود (شکل ۹-ب) عنصر Eu دارای بی‌هنجاری جزئی منفی است. بی‌هنجاری Eu همیشه نشان‌دهنده منشأ واحدی برای کانسارها نمی‌باشد. به این دلیل، در بسیاری از کانسارهای منگنز گرمایی بی‌هنجاری Eu منفی است. وجود بی‌هنجاری Eu به‌طور گسترده‌ای به ترکیب سنگ‌هایی که سیالات گرمایی آنها را تحت‌تأثیر قرار داده، وابسته است (Glasby, 1997). (Klinkhammer et al., 1994). (Sabatino et al., 2011). معتقد هستند که فاصله‌گیری سیال گرمایی از منشأ خود می‌تواند باعث کاهش بی‌هنجاری Eu از مقادیر مثبت به سمت مقادیر منفی شود که این موضوع به علت جدایش تدریجی منگنز از سیال و جذب Eu در محیط توسط اکسیدهای منگنز است. همان‌طور که در شکل ۹-ب مشاهده می‌شود، بی‌هنجاری منفی ضعیف در عنصر Eu وجود دارد که این بیانگر

با توجه به شکل ۹-ب، تعدادی از نمونه‌های کانسنگ منطقه مورد مطالعه، بی‌هنجاری منفی نسبتاً بزرگی از Ce نشان می‌دهند. بی‌هنجاری منفی Ce یکی از ویژگی‌های بارز کانسارهای گرمایی است، در حالی که بی‌هنجاری مثبت Ce معرف و نشان‌دهنده کانسارهای با منشأ آبرزاد (کانسارهای نهشته شده به وسیله ترکیبی از فرآیندهای هیدروژنیک-دیاژنیک) است (Hein et al., 1997). اعداد به دست آمده از Ce/Ce^* در نمونه‌های تجزیه شده ماده معدنی و کربنات‌های گرمایی (جدول ۲، به غیر از نمونه HA-3) نیز بیانگر آن هستند که کانسار منگنز حلب تحت تأثیر سیالات گرمایی تشکیل شده است. بررسی نمودار عناصر کمیاب خاکی (شکل ۹-ب) نشان می‌دهد که الگوی تفریق این عناصر نسبتاً کم تا متوسط است، به این صورت که، LREEها تغییرات بیش‌تری داشته و مقادیر HREEها تقریباً از روند ثابتی برخوردار هستند.

به کربنات گرمابی دارای بی‌هنجاری منفی در عناصر Ce و Eu هستند که نشان‌دهنده کانسارهای با منشأ گرمابی است. بر این اساس می‌توان اظهار داشت که ارتباط ژنتیکی بین کانه‌زایی منگنز منطقه و کربنات‌های گرمابی وجود دارد که نشان‌دهنده تشکیل همزمان و هم منشأ بودن ماده معدنی و کربنات‌های گرمابی است. البته قابل ذکر است که دو نمونه از نمونه‌های تجزیه شده مربوط به ماده معدنی که دارای دگرسانی سیلیسی و اکتینولیتی بوده در محدوده کانسارهای منگنز آب‌زاد قرار می‌گیرند.

فاصله گرفتن سیال گرمابی از منشأ باشد. داده‌های مربوط به Eu/Eu^* نمونه‌های تجزیه شده تأییدی بر این موضوع است. همان‌طور که در این جدول نیز مشاهده می‌شود، مقادیر به دست آمده برای Eu/Eu^* کم‌تر از یک (تقریباً نزدیک به یک) است. این مطلب بیانگر منشأ گرمابی کانسار منگنز حلب است.

همان‌طور که در شکل ۹-ب مشاهده می‌شود نمونه‌های مربوط به کربنات گرمابی نیز دارای روندی مشابه با کانسنگ منگنز - گوتیت دار هستند. به طوری که نمونه‌های مربوط

جدول ۲- نتایج تجزیه‌های شیمیایی عناصر جزئی و کمیاب خاکی در کربنات‌های گرمابی (نمونه‌های HA-10 و HA-11) و ماده معدنی منگنز - گوتیت دار (نمونه‌های HA-3، HA-6، HA-15، HA-20، HA-22) در کانسار منگنز حلب. نمونه‌های HA-15 و HA-6 دارای دگرسانی سیلیسی و اکتینولیتی هستند. تمامی داده‌ها بر حسب گرم در تن (ppm) هستند.

Sample no.	HA-3	HA-6	HA-10	HA-11	HA-15	HA-20	HA-22
Sample type	Mn Ore	Silicified Mn ore	Carbonate	Carbonate	Silicified Mn ore	Geothite	Mn Ore
Ag	3.9	3	< 0.01	0.64	0.65	0.18	9.5
Al	2300	1010	53	70	870	2310	4280
As	0.002	109	5.8	539	570	0.001	1340
Ba	0.004	< 0.2	7.3	7080	< 0.2	271	0.009
Be	35.5	< 0.2	6.3	3.7	1.9	28	7.6
Bi	0.1	6.2	< 0.1	< 0.1	3.2	10.7	< 0.1
Ca	0.002	8860	0.024	0.023	5740	4610	1560
Cd	12.8	64	7.17	7.6	2.53	2.4	2.69
Co	116	18.6	10.8	50	79.1	4.8	282
Cr	30	44	< 2	9	101	3	110
Cs	1	22.8	< 0.1	0.6	19.2	8.3	3.5
Cu	1187	16.9	10.6	177.8	6.7	61.7	970.3
Fe	0.031	0.004	< 100	4660	0.006	0.06	3230
Ga	8.12	10.4	1.45	7.2	12.9	8.81	23.4
Ge	47	9.45	< 0.05	3.37	8.41	133	28.1
Hf	0.27	0.04	< 0.02	< 0.02	< 0.02	0.04	0.1
Hg	0.14	< 0.05	< 0.05	< 0.05	< 0.05	< 0.05	0.1
In	0.17	< 0.01	< 0.01	< 0.01	0.04	0.13	0.09
K	3150	6630	14	1520	6560	386	0.0015
Li	1.2	31.9	< 0.5	< 0.5	22.3	1.3	1.7
Mg	633	0.0016	4520	820	3840	306	227
Mn	0.014	0.014	1470	0.0038	0.197	942	0.037
Mo	94.6	0.3	< 0.1	29.3	3.1	120	216
Na	135	674	266	74	2140	152	215
Nb	0.9	< 0.5	< 0.5	< 0.5	< 0.5	0.8	0.7
Ni	124	8	38	44	27	82	187
P	509	1060	70	80	317	324	222
Pb	6180	6830	7.7	240	79.7	2260	262
Rb	8.5	21.5	3.7	8.2	14.4	3.9	31.8
Re	< 0.01	< 0.01	< 0.01	< 0.01	< 0.01	< 0.01	< 0.01
S	3930	484	1750	101	394	117	589
Sb	15.6	80.3	0.2	1.6	86.5	602	10.2
Se	1.07	2.99	0.42	0.57	0.27	0.54	0.42
Sn	< 0.2	< 0.2	< 0.2	< 0.2	< 0.2	< 0.2	< 0.2
Sr	320	1150	104	70.8	2780	61.8	421
Ta	0.83	< 0.01	0.03	< 0.01	< 0.01	< 0.01	< 0.01
Te	< 0.2	0.3	< 0.2	< 0.2	0.5	< 0.2	< 0.2
Th	0.42	0.17	< 0.02	0.05	0.05	0.1	0.35
Ti	< 10	52	< 10	< 10	12	< 10	34
Tl	54.5	1.5	< 0.1	40.2	14.9	0.5	288
U	5.32	0.39	0.22	0.4	1.07	1.56	0.48

Sample no.	HA-3	HA-6	HA-10	HA-11	HA-15	HA-20	HA-22
Sample type	Mn Ore	Silicified Mn ore	Carbonate	Carbonate	Silicified Mn ore	Geothite	Mn Ore
V	117	5	< 2	13	5	53	240
W	0.9	1	< 0.1	0.8	0.6	27.5	0.8
Zn	1150	6000	263	349	1270	1120	888
Zr	11	2	< 1	< 1	2	2	5
Lu	1.83	0.1	0.05	0.16	0.08	0.19	1
Yb	15.3	0.67	0.34	1.58	0.5	1.28	14.1
Tm	1.7	0.11	0.06	0.15	0.08	0.21	0.63
Er	12.2	0.79	0.41	1.09	0.64	1.52	4.42
Ho	4.01	0.24	0.12	0.36	0.2	0.49	1.61
Dy	17.8	1	0.45	1.6	0.75	2.16	8.07
Tb	2.73	0.14	0.06	0.25	0.1	0.32	1.4
Gd	3.1	0.89	0.29	< 0.05	0.7	1.51	< 0.05
Eu	1.82	0.16	0.07	0.21	0.14	0.45	< 0.02
Sm	13.4	0.71	0.19	1.29	0.43	1.38	9.36
Nd	59.8	3.68	0.8	6.18	2.25	5.43	51.9
Pr	15	0.88	0.15	1.55	0.51	1.27	14.6
Ce	173	2.21	0.11	8.85	1.05	8.58	96.7
La	77.2	5.87	0.72	9.28	3.83	5.62	98.8
Y	135	11.9	8.16	13.8	10.6	17.2	35.4
Sc	21	< 1	< 1	1	< 1	< 1	4
Sum REE	553.62	30.35	12.97	47.40	22.86	48.61	342.02
Eu/Eu*	0.862	0.615	0.911	2.525	0.779	0.952	0.089
Ce/Ce*	1.384102	0.258482	0.078788	0.635267	0.194437	0.844307	0.734084

۷- استفاده از نمودارها و نسبت‌های زمین‌شیمیایی

(Rogers et al., 2001). هر چند که منگنز و آهن از لحاظ زمین‌شیمیایی رفتار بسیار مشابهی دارند، اما به دلیل تحرک زمین‌شیمیایی بیشتر منگنز نسبت به آهن به ویژه در محیط‌های رسوبی، جدایش این دو از یکدیگر امکان‌پذیر می‌شود. نسبت Mn/Fe در نهشته‌های گرمابی از مقادیر بیشتر از ۱۰ تا مقادیر کمتر از ۰/۱ در تغییر بوده و در نهشته‌های هیدروژن‌زبر برابر با ۱ است (Rona, 1988). در کانسار منگنز حلب میانگین نسبت Mn/Fe برابر ۲۴/۳۶ بوده که بین ۰/۰۰۱ تا ۱۲۱/۸۵ در تغییر است و با توجه به میانگین این نسبت می‌توان تفریق بالای این دو عنصر را در این کانسار مد نظر قرار داد. با توجه به این موارد می‌توان اظهار کرد که نمونه‌های کانسنگ کانسار منگنز حلب در محدوده نهشته‌های گرمابی قرار می‌گیرند.

۷-۲. نمودار نسبت Si/Al

در این روش، مقادیر Si در برابر Al در یک نمودار دوتایی ارائه می‌شود. از این نمودار جهت تشخیص کانسارهای با منشأهای مختلف استفاده می‌شود (شکل ۱۰- الف). کانسارهای گرمابی منگنز عموماً مرتبط با زل‌های سیلیسی آهن‌دار (Ferrigenous) به وجود می‌آیند که به وسیله فرآیندهای فورانی زیردریایی و تخلیه فلز در داخل رسوبات دریایی تشکیل شده‌اند (Roy, 1992). به همین جهت درصد وزنی Si در مقابل Al در این کانسارها معرف درصد بالای SiO₂ در طی فعالیت‌های برون‌دمی است. اما در کانسارهای با منشأ تخریبی، Al نسبت به Si از درصد بالاتری برخوردار است. این مسئله ناشی از تخریب و تجزیه فلدسپات‌ها در طی فرآیندهای حمل و نقل از خشکی به حوضه رسوبی است.

پژوهشگران متعددی از جمله (Crerar et al. (1982)، (Bonatti (1975) و (Nicholson (1992) تلاش کردند تا با استفاده از زمین‌شیمی عناصر اصلی و جزئی، کانسارهای رسوبی دریایی منگنز را از کانسارهای گرمابی، تفکیک کنند. (Bonatti (1975) نسخه اولیه نمودار سه‌تایی Fe/Mn-10(Co+Cu+Ni) را جهت تفکیک کانسارهای رسوبی دریایی و گرمابی آهن- منگنز ترسیم کردند. این نمودار نشان‌دهنده اکسیدهای گرمابی در عناصر Zn, Co, Cu, Ni است که نسبت به کانسارهای رسوبی دریایی تهی‌شدگی نشان می‌دهند. (Crerar et al. (1982)، کانسارهای گرمابی را با استفاده از نمودار Si-Al شناسایی کردند. (Nicholson (1992) از نمودار دوتایی Na - Mg(%) برای متمایز کردن کانسارهای رسوبی دریایی از آب شیرین منگنز استفاده کرده است. علاوه بر این، (Nicholson (1992) استفاده از نمودار دوتایی درصد وزنی Ni, Co در مقابل درصد وزنی As+Cu+Mo+Pb+V+Zn را برای شناسایی اکسیدهای رسوبی دریایی از اکسیدهای گرمابی منگنز توصیه کرده است. از آنجایی که، اغلب این نمودارهای دوتایی و سه‌تایی، جهت تفکیک کانسارهای منگنز با تیپ‌های ژنتیکی مختلف طراحی شده است، در نتیجه کاربرد آنها در راستای شناسایی تیپ کانسار منگنز منطقه حلب سودمند است. در ادامه به برخی از آن‌ها اشاره شده است:

۷-۱. نسبت Mn/Fe

یکی از شاخص‌هایی که به وسیله آن می‌توان کانسارهای منگنز با خاستگاه گرمابی را از نهشته‌های با خاستگاه هیدروژن‌زبر تفکیک کرد نسبت Mn/Fe در آنها است

گرماپی قرار می‌گیرند. این امر می‌تواند به دلیل غنی‌شدگی این کانسار نسبت به عناصر ذکر شده و همچنین به علت نهشت سریع آنها توسط سیالات گرمابی در محیط‌های کم عمق باشد.

۷-۵. نمودار دوتایی (Co+Ni) - (As+Cu+Mo+Pb+V+Zn)

این نمودار اولین بار توسط Nicholson (1992) جهت تفکیک کانسارهای گرمابی، رسوبی-دریایی و کانسارهای حاصل از آب‌های شیرین به کار برده شد (شکل ۱۰-د). محققین زیادی معتقد هستند که کانسارهای گرمابی منگنز نسبت به عناصر W, Ti, Sr, Sb, Pb, Ge, Ba, B, As غنی‌شدگی نشان می‌دهند. Nicholson (1992) معتقد است کانسارهای گرمابی منگنز در عناصری از جمله Co تپی‌شدگی از خود نشان می‌دهند. بر مبنای این ویژگی‌ها و با توجه به نمودار شکل ۱۰-د می‌توان اظهار داشت که کانسار منگنز حلب در گروه کانسارهای با منشأ گرمابی قرار می‌گیرد.

۷-۶. نمودار سه‌تایی (Ni+Cr) - (Cu+Zn) - (Mo)

این نمودار اولین بار توسط Hein et al. (1994) جهت تعیین منشأ عناصر جزئی در کانسارهای منگنز گرمابی به کار گرفته شده است (شکل ۱۰-ز). در این نمودار، قطب مربوط به عناصر Ni+Cr مربوط به شسته‌شدن عناصر از سنگ‌های اولترامافیک موجود در زیر کانسار است. محدوده‌ی مربوط به عناصر Cu+Zn، مربوط به شسته شدن عناصر از کانی‌های سولفیدی در بخش‌های زیرین کانسار در دماهای بالا است که در طی چرخش سیالات در بخش‌های زیرین، عناصر از جمله منگنز از واحدهای زیرین که دارای کانی‌های سولفیدی هستند شسته شده و به بخش‌های بالایی انتقال یافته‌اند. محدوده‌ی مربوط به عنصر Mo نیز نشان‌دهنده آن است که عناصر از سنگ‌های اسیدی تا حدواسط مربوط به محیط‌های کم‌انرژی منشأ گرفته‌اند (Hein, 2008).

همان‌طور که در شکل ۱۰-ز مشاهده می‌شود، نمونه‌های منطقه مورد مطالعه در قطب Cu+Zn قرار می‌گیرند. این مطلب بیانگر آن است که عنصر منگنز از سیالات دما بالایی ته‌نشست پیدا کرده است که این سیالات از کانی‌های سولفیدی تدفین شده در اعماق آن بخش‌ها منشأ گرفته‌اند. قابل ذکر است که کانه‌زایی‌های سولفیدی مس-روی-سرب در بخش‌های زیرین مجموعه واحدهای دگرگونی پرکامبرین این منطقه گزارش شده است (کرمی و همکاران، ۱۳۹۴؛ توفیقی و همکاران، ۱۳۹۵).

نسبت Si به Al در نودول‌های فرومنگنز کف دریا و رسوبات دریایی برابر ۳ است. Holtstam and Mansfeld (2001) معتقد است اگر نهشته‌های گرمابی با ذرات تخریبی (کانی‌های رسی) مخلوط گردند، ممکن است نسبت Si/Al کم‌تر شود و با توجه به هم‌بستگی مثبت و بالای بین Al و Ti که حدود ۰/۹۲ است، ورود مواد تخریبی و مخلوط شدن آنها با مواد گرمابی قطعی است. همچنین (Mucke et al., 1999) نسبت پایین Si/Al را ناشی از اختلاط مقداری مواد تخریبی در حین ته‌نشست کربنات‌ها می‌داند. در کانسار منگنز منطقه حلب نسبت Si/Al به طور کلی بین حدود ۲ تا ۲۵۲ تغییر می‌کند، این میزان مشابهت زیادی با کانسارهای منگنز با منشأ گرمابی دارد. چنانچه از نمودار شکل ۱۰-الف نیز پیداست، نمونه‌های کانسار حلب در محدوده کانسارهای با منشأ گرمابی قرار می‌گیرند.

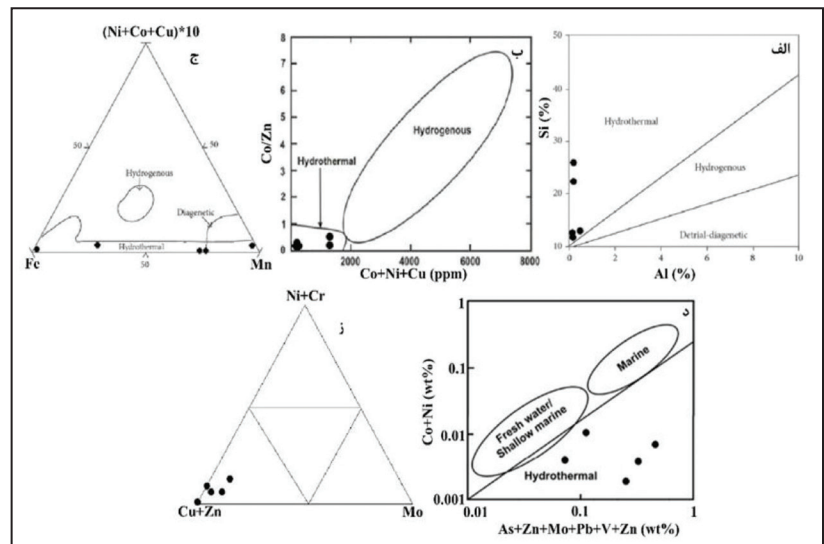
۷-۳. نمودار (Co/Zn) - (Co+Cu+Ni)

این نمودار توسط Toth (1980) برای تفکیک کانسارهای فرومنگنز گرمابی از هیدروژنوس مورد استفاده قرار گرفت (شکل ۱۰-ب). کانسارهای فرومنگنز نوع آزاد نسبت به کانسارهای گرمابی از غنی‌شدگی بالاتری در عناصری مانند Co, Cu, Ni برخوردار هستند (Bonatti et al., 1972). مقادیر پایین عناصر Co, Cu, Ni حاکی از ورود اندک این عناصر از طریق فعالیت‌های گرمابی و در عوض اشتقاق بالای Zn را از منبع گرمابی نشان می‌دهد (Toth, 1980). همان‌طور که در شکل ۱۰-ب نشان داده شده است نمونه‌های منطقه مورد مطالعه در محدوده کانسارهای نوع گرمابی قرار می‌گیرند.

۷-۴. نمودار 10. Fe- Mn- (Ni+Co+Cu)

Bonatti et al. (1972) برای اولین بار این نمودار سه‌تایی را جهت تمایز کانسارهای گرمابی از کانسارهای رسوبی-دریایی، ارائه نمود. یکی از معیارهای تشخیصی در این نمودار (شکل ۱۰-ج) غلظت مس، کبالت و نیکل است. مقدار این عناصر در نهشته‌های تپ هیدروژنوس نسبت به نهشته‌های گرمابی بیشتر است. علت این امر، رشد کند و در نتیجه، حضور طولانی‌تر آنها در آب دریا و تأثیر فرآیندهای مختلفی است که در جذب ویژه عناصر دخالت دارند (Toth, 1980; Usui and Someya, 1997). گرچه کانسارهای منگنز به‌ویژه نودول‌های مناطق پلاژیک، در مقایسه با آب‌های کم‌عمق از عناصری مانند Co, Ni, Cu غنی‌تر هستند. بنا بر نظر تعدادی از محققین، علت این امر شاید به دلیل نرخ رسوبگذاری پایین و خاصیت جذب کاتیون توسط اکسیدهای آب‌دار آهن و منگنز است. همان‌طور که در نمودار شکل ۱۰-ج مشاهده می‌شود، نمونه‌های منطقه مورد مطالعه در محدوده کانسارهای

شکل ۱۰- نمودارهای دوتایی و سه‌تایی جهت تعیین منشأ کانسار منگنز حلب. الف) نمودار دوتایی Si به Al در انواع کانسارهای منگنز (Choi and Hariya, 1992). همان‌طور که مشاهده می‌شود نمونه‌های مربوط به کانسار منگنز حلب در محدوده کانسارهای گرمابی قرار دارند، ب) نمودار دوتایی (Co/Zn) - (Co+Cu+Ni) (Toth, 1980) که موقعیت نمونه‌های کانسار منگنز حلب در محدوده کانسارهای گرمابی قرار گرفته است، ج) نمودار سه‌تایی Fe- Mn- (Ni+Co+Cu) 10. (Toth, 1980; Bonatti, 1975) و موقعیت نمونه‌های کانسار منگنز حلب بر روی آن، د) نمودار دوتایی (Co+Ni) - (As+Cu+Mo+Pb+V+Zn) (Nicholson, 1992)، و موقعیت نمونه‌های کانسار منگنز حلب بر روی آن، ز) نمودار سه‌تایی (Ni+Cr) - (Cu+Zn) - (Mo) (Hein et al., 1994) و موقعیت نمونه‌های کانسار منگنز حلب بر روی آن.



۸- نتیجه گیری

توسط سیالات گرمابی است. به دلیل نبود داده‌های ایزوتوپی پایدار از جمله اکسیژن، کربن و هیدروژن و همچنین نبود مطالعات میان‌بارهای سیال در این کانسار، اظهارنظر در مورد منشأ سیالات کانه‌ساز مشکل است. ولی براساس شواهد موجود می‌توان اظهار داشت که منشأ سیالات کانه‌ساز آب‌های جوی و یا ماگمایی است. قابل ذکر است که یک‌سری توده‌های نفوذی در منطقه مجاور (بخش باختری منطقه) این کانسار وجود دارد که باعث اسکانی شدن واحدهای مرمر و شیستی در منطقه شده است. نفوذ این ماگما به داخل واحدهای یاد شده و همچنین چرخش سیالات جوی و یا ماگمایی در سنگ‌های دگرگون شده (معادل سازند کهر) منطقه، باعث شده که منگنز، آهن و همچنین کلسیم از این سنگ‌ها شسته شود. این سیالات حین چرخش و بالا آمدن از شکستگی‌ها و گسل‌ها، در سنگ‌های میزبان مناسب از جمله مرمر جان‌گوتاران مواد معدنی خود را ته‌نشست داده و باعث کانه‌زایی در این منطقه شده است. قابل ذکر است که در حین کانه‌زایی، کربنات‌های درشت بلور و همچنین دگرسانی اکتینولیتی همراه با آن تشکیل شده است. مطالعات انجام‌شده طی سال‌های اخیر در این ناحیه، منجر به شناسایی کانه‌زایی‌ها و بی‌هنجاری‌های متعددی از کانسارهای آهن و منگنز در این منطقه از ایران شده است. کانه‌زایی‌های مذکور در واحدهای آتشفشانی- رسوبی دگرگون شده معادل سازند کهر روی داده‌اند. لذا بررسی این واحدهای سنگی و کانه‌زایی منگنز حلب در این بخش از پهنه سندج- سیرجان می‌تواند به اکتشاف کانسارهای مشابه در سایر بخش‌های آن منجر شود.

مطالعات انجام‌شده حاکی از آن است که پیرولوویت، پسیلوملان، منگنیت و گوتیت کانی‌های اصلی کانسار منگنز حلب بوده و کلسیت و کوآرتز کانی‌های باطله آن را تشکیل می‌دهند. کانه‌زایی منگنز در منطقه حلب با ژئومتری عدسی شکل، رگه‌ای و توده‌ای، در واحدهای شیستی و مرمر جان‌گوتاران روی داده و لایه‌بندی و برگ‌وارگی سنگ میزبان را قطع کرده است. بافت‌های مشاهده شده در این کانسار شامل بافت‌های گل‌کلمی، رگه- رگچه‌ای، شانه‌ای، خوشه‌ای، دندان سگی، توده‌ای، جانیشینی و بازماندی است. مقایسه الگوی بهنجار شده عناصر کمیاب خاکی در نمونه‌های مربوط به کربنات‌های همراه با کانه‌زایی و نمونه‌های منگنز و گوتیت‌دار، بیانگر غنی‌شدگی جزئی عناصر کمیاب خاکی سبک (LREE) نسبت به عناصر کمیاب خاکی سنگین (HREE) است. همچنین نمونه‌های آنالیز شده بی‌هنجاری منفی مشخص در Ce به همراه بی‌هنجاری منفی ضعیفی در Eu دارند، که نشان‌دهنده ویژگی‌های بارز کانسارهای با منشأ گرمابی است. مقایسه الگوی بهنجار شده عناصر جزئی مربوط به نمونه‌های ماده معدنی منگنز و گوتیت‌دار و همچنین کربنات‌های همراه با ماده معدنی نسبت به گوشته اولیه، بیانگر غنی‌شدگی مشخص در عناصر Ba, U, La, Pb, Sr در نمونه‌های تجزیه شده است. نمونه‌های مورد مطالعه همچنین بی‌هنجاری منفی مشخصی در عناصر Rb, Th, Nb, Ce, Ti, Zr, Nb, Ni, Th و همچنین غنی‌شدگی نسبی عناصر کمیاب خاکی سبک (LREE) نسبت به عناصر کمیاب خاکی سنگین (HREE)، همگی حاکی از تشکیل آنها

کتابناری

- اکبری، م.، ۱۳۸۹- گزارش نهایی اکتشاف کانسار منگنز- آهن منطقه میانج- حلب زنجان، شرکت آب‌راه زنجان، سازمان صنعت، معدن و تجارت استان زنجان.
- باباخانی، ع. و قلمقاش، ح.، ۱۳۸۴- نقشه زمین‌شناسی ۱:۱۰۰۰۰۰ تخت سلیمان، سازمان زمین‌شناسی و اکتشاف معدنی کشور.
- توفیقی، ف.، مختاری، م.ع.ا.، ایزدیار، ج. و کوهستانی، ح.، ۱۳۹۵- ویژگی‌های زمین‌شناسی و کانه‌زایی رخداد معدنی حلب، جنوب‌باختر دندی. هشتمین همایش انجمن زمین‌شناسی اقتصادی ایران، دانشگاه زنجان.
- حیدری، م.، ۱۳۹۲- زمین‌شناسی و سن‌سنجی و خاستگاه رخدادهای طلای توزلار، عربشاه و گوزلبلاغ در ناحیه قروه- تکاب. رساله دکتری زمین‌شناسی اقتصادی، دانشگاه تربیت مدرس.
- علوی، م. و امید، م.، ۱۳۵۵- نقشه زمین‌شناسی ۱:۲۵۰۰۰۰ تکاب. سازمان زمین‌شناسی و اکتشاف معدنی کشور.
- کرمی، ف.، کوهستانی، ح.، مختاری، م.ع.ا. و عظیم‌زاده، ا.، ۱۳۹۴- ویژگی‌های زمین‌شناسی و کانه‌زایی کانسار روی- سرب (نقره) حلب، جنوب باختر زنجان. مجموعه مقالات سی و چهارمین گردهمایی و دومین کنگره بین‌المللی تخصصی علوم زمین، سازمان زمین‌شناسی و اکتشافات معدنی کشور.

References

- Asadi, H. H., Voncken, J. H. L., Kühnel, R. A. and Hale, M., 1999- Invisible gold at Zarshuran, Iran. *Economic Geology* 94: 1367-1374.
- Bonatti, E., 1975- Metallogensis of spreading centers. *Annual Rev. Earth Plant Sci.*, 3: 401-431.
- Bonatti, E., Kraemer, T. and Rdell, H., 1972- Classification and genesis of submarine iron- manganese deposits of the ocean floor. In: D.R. Horn (Ed.), *Ferromanganese deposits of the ocean floor*. Aren House Harriman, pp. 149-166.
- Boni, M., Gilg, H. A., Balassone, G., Schneider, J., Allen, C. R. and Moore, F., 2007- Hypogene Zn carbonate ores in the Angouran deposit, NW Iran. *Mineralium Deposita* 42: 799-820.
- Choi, J. H. and Hariya, Y., 1992- Geochemistry and depositional environment of Mn oxide deposits in the Tokorobelt, northeastern Hokkaido, Japan. *Economic Geology*, 87(5): 1265-1274.
- 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.

- Daliran, F., 2008- The carbonate rock-hosted epithermal gold deposit of Agdarreh, Takab geothermal field, NW Iran, hydrothermal alteration and mineralization. *Mineralium Deposita*, 43: 383-404.
- Daliran, F., Hofstra, A. H., Walther, J. and Stüben, D., 2002- Aghdarreh and Zarshuran SRHDG deposits, Takab region, NW Iran. GSA Annual Meeting, Abstract with Programs, Session 63-8.
- Daliran, F., Walther, J. and Stüben, D., 1999- Sediment-hosted disseminated gold mineralization in the North Takab geothermal field, NW-Iran. In: Stanley, C.J. et al. (Eds.): *Mineral Deposits: Processes to Processing*. Proceed. 5th bienn. SGA Meeting and 10th Quadr. IAGOD Meeting, pp. 837-840.
- Gilg, H. A., Boni, M., Balassone, G., Allen, C. R., Banks, D. and Moore, F., 2006- Marble-hosted sulphide ores in the Angouran Zn-(Pb-Ag) deposit, NW Iran: interaction of sedimentary brines with a metamorphic core complex. *Mineralium Deposita* 41: 1-16.
- Glasby, G. P., 1997- Fractionation of manganese from iron in Arcean and Proterozoic sedimentary ores. In: K. Nicholson, J.R. Hein, B. Buhn, and S. Dasgupta (Eds.), *Manganese mineralization: geochemistry and mineralogy of terrestrial and marine deposits*. Geological Society of London, Special Publication, 119, pp. 29-42.
- Hein, J. R., 2008- Cobalt rich ferromanganese crusts: Global distribution, composition, origin and research activities, in *Workshop on Minerals Other than Polymetallic Nodules of the International Seabed Area*, vol. 1, pp. 188–256, Int. Seabed Auth., Kingston, Jamaica.
- Hein, J. R., Yeh, H. W., Gunn, S. H., Gibbs, A. E. and Wang, C. H., 1994- Composition and origin of hydrothermal ironstones from central Pacific seamounts. *Geochimica et Cosmochimica Acta* 58, 179–189.
- Hein, J., Koschinsky, A., Halbach, P., Manheim, F. T., Bau, M., Kang, J. and Lubick, N., 1997- Iron and manganese oxide mineralization in the Pacific. Geological Society of London, Special Publication 119, 123–138.
- Holtstam, D. and Mansfeld, J., 2001- Origin of a carbonate- hosted Fe-Mn-(Ba-As-Pb-Sb-W) deposit of Langban- type in central Sweden. *Mineralium Deposita*, 36(7): 641-657.
- Klinkhammer, G. P., Elderfield, H., Elderfield, H., Edmond, J. M. and Mitra, A., 1994- Geochemical implications of rare earth element patterns in hydrothermal fluids from mid- ocean ridges. *Geochimica et Cosmochimica Acta*, 58 (23): 5105-5113.
- Lottermoser, B. G., 1992- Rare earth elements and hydrothermal ore formation processes. *Ore Geol. Rev.*, 7: 25-41.
- McDonough, W. F. and Sun, S. S., 1995- Composition of the Earth. *Chemical Geology*, 120: 223-253.
- Mehrabi, B., Yardley, B. W. D. and Cam, J. R., 1999- Sediment-hosted disseminated gold mineralization at Zarshuran, NW Iran. *Mineralium Deposita*, 34: 673-696.
- Mucke, A., Dzigbodi Adjimah, K. and Annor, A., 1999- Mineralogy, petrology, geochemistry and genesis of the paleoproterozoic Birimian manganese formation of Nsuta/Ghana. *Mineralium Deposita*, 34(3): 297-311.
- Nicholson, K., 1992- Contrasting mineralogical– geochemical signatures of manganese oxides: guides to metallogenesis. *Economic Geology*, 87(5): 1253–1264.
- Rogers, T. D. S., Hodkinson, R. A. and Cronan, D. S., 2001- Hydrothermal manganese deposits from Tonga-Kermadec Ridge and Lau Basin Region, Southwest Pacific. *Marine Georesources and Geotechnology*, 19 (4): 245-268.
- Rona, P. A., 1988- Criteria for recognition of hydrothermal mineral deposits in oceanic crust. *Economic Geology*, 73(2): 135-160.
- Roy, S., 1992- Environments and processes of manganese deposition. *Economic Geology*, 87 (5): 1218-1236.
- Sabatino, N., Neri, R., Bellanca, A., Jenkyns, H. C., Masetti, D. and Scopelliti, G., 2011- Petrography and high-resolution geochemical records of lower Jurassic manganese-rich deposits from Monte Mangart, Julian Alps. *Petrography Palaeoclimatology Palaeoecology Journals*, 299: 97-109.
- Stöckhlin, J., 1968- Structural history and tectonics of Iran: a review. *American Association of Petrological Geology B. v. 52*, no.7, pp: 1229-1258.
- Toth, J. R., 1980- Deposition of submarine crusts rich in manganese and iron. *Geological Society of America Bulletin*, 91(1): 44–54.
- Usui, A. and Someya, M., 1997- Distribution and composition of marine hydrogenetic and hydrothermal manganese deposits in the northwest Pacific. Geological Society Special Publication, 119: 177-198.

Geology and genesis of Halab Mn deposit, SW Zanjan

A. Naderi¹, Gh. Nabatian^{2*}, M. Honarmand³ and H. Kouhestani²

¹M.Sc. Student, Department of Geology, Faculty of Science, University of Zanjan, Zanjan, Iran

²Associated Professor, Department of Geology, Faculty of Science, University of Zanjan, Zanjan, Iran

³Assistant Professor, Faculty of Earth Sciences, Institute for Advanced Studies in Basic Sciences (IASBS), Zanjan, Iran

Received: 2017 June 20

Accepted: 2018 February 06

Abstract

Halab manganese deposit is located in the Sanandaj- sirjan zone, 100 km southwest of Zanjan. The rock units in the study area include Precambrian Kahar and Jangoutaran marble Formations. Manganese mineralization in the Halab area, occurred as veins and massive in the Jangoutaran marble and minor amount in the schist unit. The main important minerals in the Halab manganese mineralization consist of pyrolusite, psilomelane, manganite and goethite, which calcite and quartz occurred as associated gangue minerals. The ore textures include cloform, vein-veinlets, massive, comb, dogtooth, botryoidal, replacement and relict. Actinolite, carbonate and silicic are the main important alterations in this area. Primitive mantle normalized of the rare earth elements (REE) patterns in the orebody and hydrothermal carbonate samples show that the samples relatively enriched in light REE. The analyzed samples show significant negative anomaly in Ce and weak negative anomalies in Eu. Furthermore, the primitive mantle normalized pattern of trace elements in the orebody and hydrothermal carbonate show significant enrichment in Ba, U, La, Pb, Sr and negative anomaly in Rb, Th, Nb, Ce, P, Zr and Ti. The field and microscopic studies as well geochemical evidences suggest that the mineralization formed by hydrothermal fluids. The circulation of meteoric and/or magmatic fluids within the Precambrian units provide the important elements such as Mn, Fe and Ca for mineralization. When the mineralizing fluid contact with reactable rocks, caused the formation of Mn mineralization in the Halab area.

Keywords: Manganese mineralization, Halab, Zanjan, Sanandaj- Sirjan, Iran.

For Persian Version see 207 to 218

*Corresponding author: Gh. Nabatian; E-mail: gh.nabatian@znu.ac.ir