

زمین‌شناسی و زایش رخداد معدنی آهن حلب ۲ در پهنه کانه‌دار تکاب- تخت‌سلیمان- انگوران

فرخنده توفیقی

دانشجوی کارشناسی ارشد پترولوژی، گروه زمین‌شناسی، دانشگاه زنجان

میر علی اصغر مختاری

استادیار گروه زمین‌شناسی، دانشگاه زنجان

جواد ایزدیار

استادیار گروه زمین‌شناسی، دانشگاه زنجان

حسین کوهستانی

استادیار گروه زمین‌شناسی، دانشگاه زنجان

تاریخ دریافت: ۱۳۹۶/۰۵/۱۲ تاریخ پذیرش: ۱۳۹۷/۰۴/۳۱

amokhtari@znu.ac.ir

چکیده

رخداد معدنی آهن حلب ۲ در پهنه فلززایی تکاب-تخت‌سلیمان-انگوران واقع شده است. کانه‌زایی آهن به صورت عدسی‌شکل و هم‌روند با برگوارگی درون شیست‌های بازیگ و اسیدی به سن پرکامبرین تشکیل شده است. براساس مطالعات کانه‌نگاری، کانی‌های معدنی شامل مگنتیت به همراه مقدار کمی پیریت و کالکوپیریت بوده، کوارتز و اکتینولیت کانی‌های باطله هستند. بافت کانه‌ها از نوع لامینه‌ای و لایه‌ای، توده‌ای، دانه‌پراکنده و رگه-رگچه‌ای است. سه مرحله کانه‌زایی در این رخداد معدنی قابل تفکیک است. کانه‌زایی مرحله اول به صورت مگنتیت‌های دانه‌پراکنده، لامینه‌ای و عدسی‌شکل هم‌روند با برگوارگی واحدهای میزبان می‌باشد. مرحله دوم کانه‌زایی با چین‌خوردگی نوارهای کانه‌دار و ریزساختارهای سیگما و بودین‌شدگی در بلورهای مگنتیت، رشد سایه‌فشاری کوارتز و دورزدن برگوارگی در اطراف بلورهای مگنتیت و تبلور مجدد بلورهای کوارتز و مگنتیت مشخص می‌شود. مرحله سوم با تشکیل مگنتیت به صورت رگه-رگچه‌ای و سیمان گرمایی برش‌ها مشخص می‌شود. بررسی الگوی تغییرات عناصر کمیاب خاکی در شیست‌های اسیدی میزبان فاقد کانه‌زایی و بخش‌های کانه‌دار نشانگر الگوی مشابه غنی از LREE با نسبت بالای LREE/HREE بوده و بیانگر ارتباط کانه‌زایی آهن با ماگماتیسم اسیدی است. ویژگی‌های رخداد معدنی آهن حلب ۲ با کانسارهای آهن آتشفشانی-رسوبی دگرگون و دگرشکل‌شده قابل مقایسه است. شناخت این ویژگی‌ها کاربرد فراوانی در اکتشاف این تیپ از کانه‌زایی‌های آهن در زیرپهنه تکاب-تخت‌سلیمان-انگوران دارد.

کلمات کلیدی: کانه‌زایی آهن، تیپ آتشفشانی-رسوبی، پهنه تکاب-تخت‌سلیمان-انگوران، حلب، زنجان

مقدمه

محمدی نیایی، ۱۳۹۴؛ Mohammadi Niaei et al., 2015)، روی-سرب-نقره حلب (کریمی و همکاران، ۱۳۹۴)، طلا-آرسنیک عربشاه (نجف‌زاده، ۱۳۹۴، نجف‌زاده و همکاران، ۱۳۹۵، حیدری و همکاران، ۱۳۹۶)، طلا-سرب قوزلو (Daliran, 2008)، طلای حلب (نفیسی و همکاران، ۱۳۹۵)، روی (طلا-آهن) چیچکلو (Daliran, 2008)، آنتیموان آق‌دره بالا، بلدرقانی و پخیر بولاچی (Daliran, 2008)، جیوه شیرمرد، یار عزیز و کوه شاخ‌شاخ (Daliran, 2008)، منگنز حلب (نادری، ۱۳۹۵، نادری و همکاران، ۱۳۹۵)، آهن گورگور (محمدی، ۱۳۹۲، محمدی و همکاران، ۱۳۹۱، ۱۳۹۲ و ۱۳۹۳)، میانج (پورمحمد، ۱۳۹۶، پورمحمد و همکاران، زیر چاپ)، حلب ۱ (فریدونی و همکاران، ۱۳۹۴ و ۱۳۹۵؛ فریدونی، ۱۳۹۶)، آهن شهرک و کوه‌بابا (Daliran, 2008) و معدن متروکه مس بایچه باغ (Daliran, 2008)؛ لطفی و کریمی، ۱۳۸۳) اشاره کرد.

رخداد معدنی آهن حلب ۲ در فاصله ۱۲۵ کیلومتری جنوب‌باختر زنجان و در ۲۷ کیلومتری جنوب‌باختر دندی با مختصات ۲۲' ۴۷" تا ۲۶' ۴۷" طول خاوری و ۲۶' ۳۶" تا ۲۹' ۳۶" عرض شمالی واقع شده است. این رخداد معدنی در بخش شمالی پهنه سندنج-سیرجان (Stöcklin, 1968) قرار گرفته و بخش کوچکی از پهنه کانه‌دار تکاب-تخت‌سلیمان-انگوران می‌باشد. از دیدگاه فلززایی این پهنه یکی از ایالت‌های فلززایی مهم در ایران محسوب می‌شود (Daliran et al., 2002; Daliran, 2008). کانسارهای طلای زرشوران (Daliran et al., 1999, 2002; Mehrabi et al., 1999)؛ (Asadi et al., 1999, 2000) و آق‌دره (Daliran, 2008) همراه با کانسار سرب و روی انگوران (Daliran et al., 1999, 2013; Gilg et al., 2006)؛ (Boni et al., 2007) در این منطقه قرار دارند. از دیگر کانسارهای موجود در منطقه می‌توان به سرب-روی-نقره آی‌قلعه‌سی (شیرخانی، ۱۳۸۷،

اندازه‌گیری عناصر اصلی، کمیاب و کمیاب خاکی (REE) به روش‌های XRF و ICP-MS، تعداد ۲ نمونه از شیب‌های اسیدی و بازیگ میزبان و ۴ نمونه از بخش‌های کانه‌دار انتخاب گردید. نمونه‌های مزبور در آزمایشگاه شرکت زرآرما در تهران آنالیز گردید.

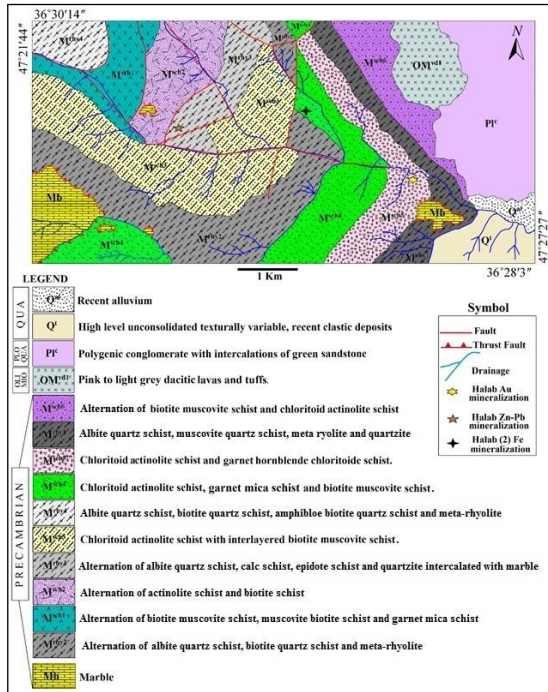
زمین‌شناسی منطقه مورد مطالعه

با توجه به نقشه زمین‌شناسی ۱:۱۰۰۰۰۰ تکاب (فنودی و حریری، ۱۳۷۸) و براساس مطالعات صحرایی انجام‌شده در قالب تهیه نقشه زمین‌شناسی ۱:۲۰۰۰۰ (شکل ۱)، واحدهای سنگی موجود در منطقه شامل شیب‌های اسیدی، شیب‌های بازیگ، شیب‌های پلیتی، کالک شیب‌ها و مرمر به سن پراکامبرین (معادل دگرگون‌شده سازند کهر؟) می‌باشد. نتیجه پیمایش‌های صحرایی در راستای تهیه ستون سنگ‌شناسی و نقشه زمین‌شناسی ۱:۲۰۰۰۰ منطقه مورد مطالعه بیانگر اینست که روند برگوارگی در واحدهای سنگی منطقه عمدتاً شمال‌باختر-جنوب‌خاور با شیب به سمت شمال‌خاور می‌باشد. این مطالعات نشان می‌دهد که این مجموعه سنگی از سمت باختر به سمت خاور، جوان‌تر می‌شود. براساس پیمایش‌های صحرایی و ستون سنگ‌شناسی تهیه‌شده از منطقه کانه‌زایی آهن حلب ۲ (شکل ۲)، واحدهای موجود در منطقه از قدیم به جدید شامل تناوب کلریتوئید-اکتینولیت شیبست و بیوتیت-مسکویت شیبست، تناوب آلپیت-کوارتز-شیبست و بیوتیت-کوارتز شیبست با میان‌لایه متاریولیت (دارای مگنتیت دانه-پراکنده هم‌روند با برگوارگی در بخش‌های بالایی و مگنتیت رگه-رگچه‌ای و سیمان پرشی متقاطع با برگوارگی)، تناوب کلریتوئید-اکتینولیت شیبست و گارنت-هورنبلند-کلریتوئید شیبست (حاوی کانه‌زایی آهن به صورت لامینه‌ای و عدسی‌شکل در بخش تحتانی و در داخل کلریتوئید-اکتینولیت شیبست)، تناوب بیوتیت-مسکویت شیبست، گارنت-میکا شیبست و اکتینولیت-میکا شیبست، واحد متاریولیت، تناوب کلریتوئید-اکتینولیت شیبست، تالک شیبست، گارنت-هورنبلند-کلریتوئید شیبست و اکتینولیت شیبست (درب‌گیرنده کانه-زایی طلای حلب) و در نهایت واحد مرمر می‌باشد. در مجموع می‌توان گفت منطقه کانه‌زایی آهن حلب متشکل از توالی شیب‌های اسیدی، بازیگ و پلیتی با میان‌لایه‌هایی از مرمر است.

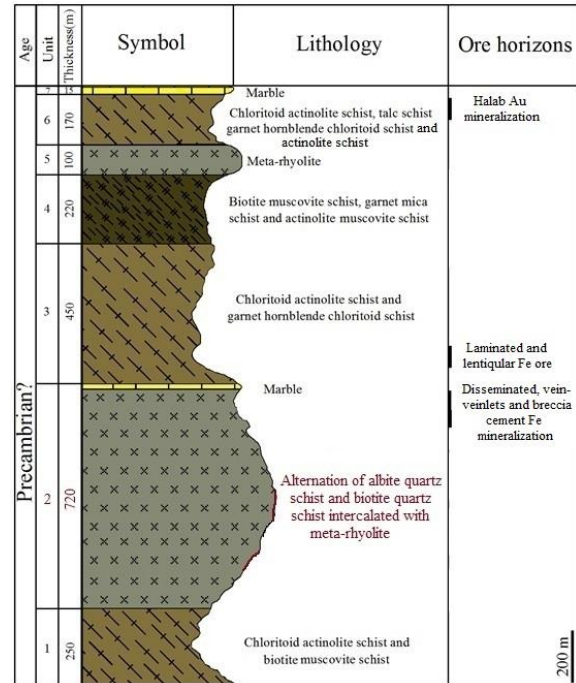
رخداد معدنی آهن حلب ۲ یکی از کانی‌سازی‌های موجود در پهنه تکاب-تخت‌سلیمان-انگوران می‌باشد که به جز فعالیت‌های اکتشافی (کرباسی، ۱۳۹۴)، مطالعات پژوهشی دقیقی بر روی این رخداد معدنی انجام نشده است. در مطالعات انجام‌شده بر روی کانه‌زایی‌های آهن گورگور، میانج و حلب ۱ (محمدی و همکاران، ۱۳۹۳؛ پورمحمد، ۱۳۹۶؛ پورمحمد و همکاران، زیر چاپ؛ فریدونی، ۱۳۹۶) در مجاورت با رخداد معدنی آهن حلب ۲، دو نظریه متفاوت در خصوص تیپ کانه‌زایی بیان شده است. محمدی و همکاران (۱۳۹۳)، پورمحمد (۱۳۹۶) و پورمحمد و همکاران (زیر چاپ) کانه‌زایی‌های آهن گورگور و میانج را از نوع آتشفشانی-رسوبی دگرگون و دگرشکل‌شده معرفی کرده‌اند در حالی‌که فریدونی (۱۳۹۶) کانه‌زایی آهن حلب ۱ را از نوع آلوگما در نظر گرفته است. در مطالعه انجام‌شده بر روی کانه‌زایی‌های آهن منطقه حلب و میانج توسط (Orberger et al., 2017)، این کانه‌زایی‌ها از نوع کانسارهای آهن نواری (BIF) معرفی شده‌اند. با توجه به وجود نظرات مختلف در خصوص تیپ کانه‌زایی‌های آهن منطقه حلب، در نوشتار حاضر ویژگی‌های زمین‌شناسی، کانه‌زایی و زمین‌شیمیایی رخداد معدنی آهن حلب ۲ مورد بررسی قرار گرفته و تیپ کانه‌زایی و مدل تشکیل آن تعیین شده است. نتایج این مطالعات می‌تواند عوامل کلیدی توزیع زمانی و مکانی برای اکتشاف کانه‌زایی‌های مشابه را معرفی نموده و به‌عنوان الگوی اکتشافی مورد استفاده قرار گیرد.

روش مطالعه

در راستای دستیابی به اهداف مورد نظر، برداشت اطلاعات صحرایی شامل شناسایی رخنمون‌های کانه‌زایی آهن و چگونگی ارتباط آن‌ها با سنگ‌های میزبان و نمونه‌گیری از واحدهای سنگی میزبان و پهنه‌های کانه‌دار برای مطالعات آزمایشگاهی انجام گردید. در این راستا، علاوه بر انجام مطالعات صحرایی و تهیه نقشه زمین‌شناسی با مقیاس ۱:۲۰۰۰۰، بیش از ۶۰ نمونه از واحدهای سنگی میزبان و رخنمون‌های کانی‌سازی برداشت گردید. از بین نمونه‌های برداشته‌شده، تعداد ۱۲ عدد مقطع نازک و ۱۸ عدد مقطع نازک-صیقلی برای مطالعات سنگ‌شناسی، کانه‌نگاری و ساخت و بافت، تهیه و با استفاده از میکروسکوپ‌های پلاریزان دو منظوره مدل GX در دانشگاه زنجان مطالعه گردید. در مرحله بعد، به‌منظور انجام مطالعات زمین‌شیمیایی و



شکل ۲. ستون سنگ‌شناسی واحدهای سنگی موجود در منطقه کانه‌زایی آهن حلب ۲.



شکل ۱. نقشه زمین‌شناسی منطقه کانه‌زایی آهن حلب ۲ و موقعیت کانه‌زایی آهن بر روی آن.

در منطقه می‌توان گفت که در حوضه تشکیل این سنگ‌ها، فعالیت ماگمایی دوگانه (اسیدی و بازیک) حاکم بوده و این فعالیت ماگمایی در یک حوضه رسوبی به‌صورت هم‌زمان و متناوب انجام شده است.

سنگ‌شناسی

براساس نتایج مطالعه مقاطع نازک و نازک-صیقلی، می‌توان سنگ‌های منطقه کانه‌زایی آهن حلب ۲ را در چهار گروه سنگی شامل شیست‌های پلیتی، شیست‌های بازیک، شیست‌های اسیدی و شیست‌های آهکی تقسیم‌بندی کرد.

شیست‌های پلیتی

این گروه از شیست‌ها شامل گارنت-مسکویت-بیوتیت شیست، بیوتیت-مسکویت شیست، اکتینولیت-مسکویت شیست و گارنت-آمفیبول شیست می‌باشند. بر پایه مطالعات میکروسکوپی، گارنت-مسکویت-بیوتیت شیست‌ها از کانی‌های گارنت، بیوتیت، مسکویت، کلریت، کوارتز و آلکالی فلدسپار تشکیل شده‌اند. فابریک‌های موجود در این سنگ‌ها شامل پورفایروبلاستیک، لپیدوبلاستیک و پوئی‌کیلوبلاستیک می‌باشد. پوئی-کیلوبلاست‌ها و پورفایروبلاست‌های گارنت اغلب خودشکل و نیمه‌خودشکل با اندازه‌های ۱-۳ میلی‌متر بوده و دارای میان‌بارهایی از کوارتز و آلکالی فلدسپار می‌باشند که جهت‌یابی متقاطع با برگراری غالب سنگ نشان می‌دهند (شکل ۴ الف). بلورهای باریک و کشیده مسکویت در راستای برگراری غالب سنگ تشکیل شده و در بخش‌هایی در اثر تنش وارده، دچار چین‌خوردگی شده‌اند. بلورهای ورقه‌ای بیوتیت نیز در همراهی با مسکویت، سازنده برگراری غالب سنگ بوده و در بخش‌هایی در اثر دگرگونی برگشتی به کلریت دگرسان شده‌اند. این بلورها در برخی نقاط متحمل چین‌خوردگی شده‌اند (شکل ۴ ب). برخی دیگر از بلورهای بیوتیت به‌صورت متقاطع با

شیست‌های اسیدی در تناوب با شیست‌های پلیتی و شیست‌های بازیک در منطقه دیده می‌شوند (شکل ۳). این مجموعه سنگی متشکل از آلبیت-کوارتز شیست و بیوتیت-آلبیت-کوارتز شیست با میان‌لایه‌هایی از متاریولیت می‌باشد. بخشی از کانه‌زایی منطقه توسط این مجموعه میزبانی می‌شود (شکل ۲). شواهد میکروسکوپی حاکی از اینست که این مجموعه سنگی محصول دگرگونی توف‌ها و گدازه‌های با ماهیت اسیدی می‌باشد. شیست‌های بازیک یکی از مهم‌ترین واحدهای سنگی موجود در منطقه مورد مطالعه بوده و میزبان بخش عمده کانه‌زایی آهن حلب ۲ می‌باشد. این مجموعه سنگی با رنگ سبز تیره در توالی با شیست‌های پلیتی و اسیدی مشخص است. براساس مطالعات صحرایی و میکروسکوپی، این سنگ‌ها متشکل از توالی اکتینولیت شیست، کلریتوئید-اکتینولیت شیست، گارنت-کلریتوئید-اکتینولیت شیست و هورنبلند کلریتوئید شیست می‌باشد. در برخی نقاط، تالک شیست و میان‌لایه‌های مرمری نیز در داخل این سنگ‌ها مشاهده می‌شود. اکتینولیت شیست‌ها واحد سنگی غالب این مجموعه سنگی هستند که میزبان اصلی کانه‌زایی‌های آهن حلب ۱ و ۲ می‌باشند (شکل ۲).

شیست‌های پلیتی یکی دیگر از واحدهای اصلی موجود در منطقه حلب می‌باشد که به‌صورت دو توالی مجزا و متناوب با شیست‌های بازیک و اسیدی قرار گرفته‌اند. براساس مطالعات سنگ‌شناسی، این واحدها شامل مسکویت شیست، بیوتیت-مسکویت شیست، مسکویت-بیوتیت شیست و گارنت-میکا شیست می‌باشد. در محل کانه‌زایی‌های آهن گورگور، میانج و بخشی از کانه‌زایی آهن حلب ۱، شیست‌های پلیتی به‌عنوان میزبان کانه‌زایی حضور دارند. کانه‌زایی در این محل‌ها به‌صورت دانه‌پراکنده، عدسی‌شکل و لامینه‌ای در داخل شیست‌های پلیتی تشکیل شده است (پورمحمد، ۱۳۹۶؛ محمدی، ۱۳۹۲؛ محمدی و همکاران، ۱۳۹۳). با توجه به رخنمون‌های سنگی موجود

خود نشان می‌دهند. بلورهای کوارتز با خاموشی موجی در همراهی با آلکالی فلدسپارها در متن سنگ حضور دارند.

شیست‌های بازیک

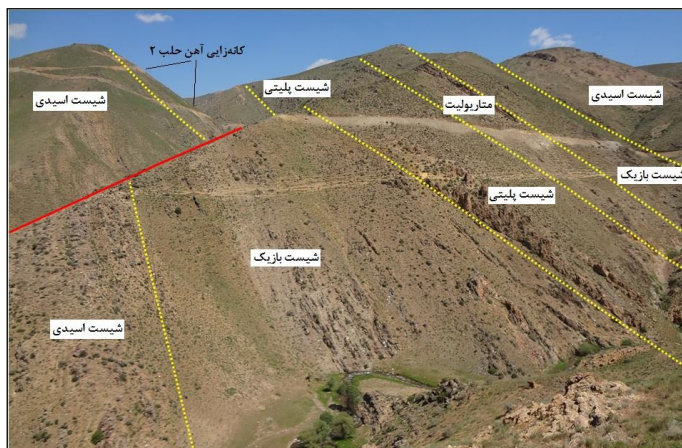
این گروه سنگی از مهم‌ترین واحدهای شیستی منطقه مورد مطالعه و میزبان کانه‌زائی آهن منطقه می‌باشد. انواع سنگ‌های شناسایی شده در این گروه شامل کلریتوئید- اکتینولیت شیست و گارنت- هورنبلند- کلریتوئید شیست می‌باشد. کلریتوئید- اکتینولیت شیست‌ها در مقاطع میکروسکوپی جهت‌یافتگی ضعیفی را نشان می‌دهند. فابریک غالب سنگ نماتوبلاستیک، لپیدوبلاستیک و پوئی‌کیلوبلاستیک بوده و متشکل از کلریتوئید، اکتینولیت، پیروکسن، آلکالی فلدسپار، کوارتز، بیوتیت، اپیدوت، کلریت، کلسیت و اسفن هستند. کلریتوئیدهای موجود در این سنگ به دو صورت مشاهده می‌شود: گروه اول کلریتوئیدهایی هستند که در جهت برگوارگی سنگ قرار گرفته‌اند. گروه دوم شامل کلریتوئیدهایی است که برگوارگی سنگ را قطع می‌کنند (شکل ۵ الف). اکتینولیت‌ها به سه صورت قابل مشاهده هستند. گروه اول اکتینولیت‌های به‌وجود آمده در راستای برگوارگی سنگ و گروه دوم اکتینولیت‌هایی است که بر روی برگوارگی سنگ به‌صورت متقاطع تشکیل شده‌اند. گروه سوم مربوط به اکتینولیت‌هایی می‌شود که حاصل تبدیل‌شدگی بلورهای پیروکسن هستند (شکل ۵ ب). بلورهای خودشکل پیروکسن نیز به‌صورت مجزا (شکل ۵ پ) و گاه به‌صورت ادخال در داخل کلریتوئیدها دیده می‌شود (شکل ۵ الف). فلدسپارهای درشت‌بلور موجود در این سنگ‌ها که غالباً ترکیب آلپینی دارند، منطقه‌بندی شیمیایی از خود نشان می‌دهند به‌طوری‌که در مرکز رنگ تداخلی خاکستری و در حاشیه روشن‌تر شده و رنگ سفید از خود نشان می‌دهند. این بلورها دارای ادخال‌های فراوان از کانی‌های بی-شکل اسفن می‌باشند (شکل ۵ ت) و برگوارگی سنگ آن‌ها را دور زده است. بلورهای بیوتیت در این سنگ‌ها به دو صورت دیده می‌شوند: گروه اول بیوتیت‌هایی هستند که در جهت برگوارگی سنگ و گروه دوم بلورهایی هستند که روی برگوارگی سنگ تشکیل شده‌اند. بلورهای اپیدوت به‌صورت درشت‌بلور بوده و برگوارگی سنگ آن‌ها را دور زده است (شکل ۵ ث) که حاکی از تشکیل آن‌ها قبل از برگوارگی سنگ می‌باشد. کلسیت به‌صورت رگه- رگچه‌ای در جهت برگوارگی سنگ و در بخش‌هایی به‌صورت متقاطع با برگوارگی سنگ قابل مشاهده هستند. کلریت به‌صورت رگچه‌هایی در راستای برگوارگی سنگ و متقاطع با برگوارگی سنگ قابل مشاهده است. بلورهای بی-شکل اسفن با فراوانی کم‌تر از ۵ درصد به‌صورت پراکنده به رنگ قهوه‌ای با برجستگی بالا دیده می‌شوند (شکل ۵ ج). گارنت- هورنبلند- کلریتوئید شیست‌ها دارای فابریک نماتوبلاستیک و لپیدوبلاستیک هستند. این سنگ‌ها از برگوارگی ضعیفی برخوردار بوده و کانی‌شناسی آن‌ها شامل کلریتوئید، هورنبلند، فلدسپار، اپیدوت، بیوتیت، بلورهای اسفن و بلورهای خودشکل گارنت می‌باشد. کلریتوئیدهای موجود در این سنگ‌ها در بخش‌هایی به‌صورت خودشکل و درشت‌بلور روی برگوارگی سنگ تشکیل شده‌اند. بنابراین زمان تشکیل آن‌ها قبل از تشکیل برگوارگی سنگ می‌باشد. بخش عمده کلریتوئیدها به‌صورت بلورهای باریک و کشیده و در راستای برگوارگی سنگ قابل مشاهده هستند (شکل ۵ چ). بلورهای هورنبلند در همراهی با کلریتوئیدها به رنگ سبز دیده می‌شوند (شکل ۵ ح). مشابه با کلریتوئیدها،

برگوارگی سنگ تشکیل شده‌اند که حاکی از شکل‌گیری این بلورها بعد از دگرریختی می‌باشد. کلریت یا به‌صورت رگچه‌های ظریف در داخل شکستگی- های گارنت دیده می‌شود و یا محصول تبدیل‌شدگی بلورهای بیوتیت است. بلورهای کوارتز در همراهی با آلکالی فلدسپارها به‌صورت روبان‌ها و عدسی- های کوارتز- فلدسپاتی در جهت برگوارگی متمرکز شده و در بخش‌هایی نیز چین خورده‌اند. علاوه بر این، بلورهای کوارتز به‌صورت ادخال درون گارنت و در سایه‌های فشاری این کانی تشکیل شده‌اند (شکل الف). بیوتیت- مسکویت شیست‌ها در مقاطع میکروسکوپی دارای عدسی‌ها و لامینه‌های کوارتز- فلدسپاتی (شکل پ) می‌باشند. فابریک‌های لپیدوبلاستیک، پورفیروبللاستیک و گرانوبلاستیک در سنگ قابل تشخیص بوده و کانی‌شناسی آن‌ها شامل بیوتیت، مسکویت، کلریت، کوارتز و آلکالی فلدسپار می‌باشد. بلورهای مسکویت به‌صورت ورقه‌های باریک و کشیده در جهت برگوارگی سنگ تشکیل شده‌اند (شکل ۴ پ). بلورهای بیوتیت در همراهی با مسکویت در جهت برگوارگی سنگ متمرکز شده و گاه از حواشی به کلریت تبدیل شده‌اند. بلورهای کوارتز و آلکالی فلدسپار به‌صورت نواری و عدسی‌مانند در راستای برگوارگی سنگ تشکیل شده‌اند (شکل ۴ پ).

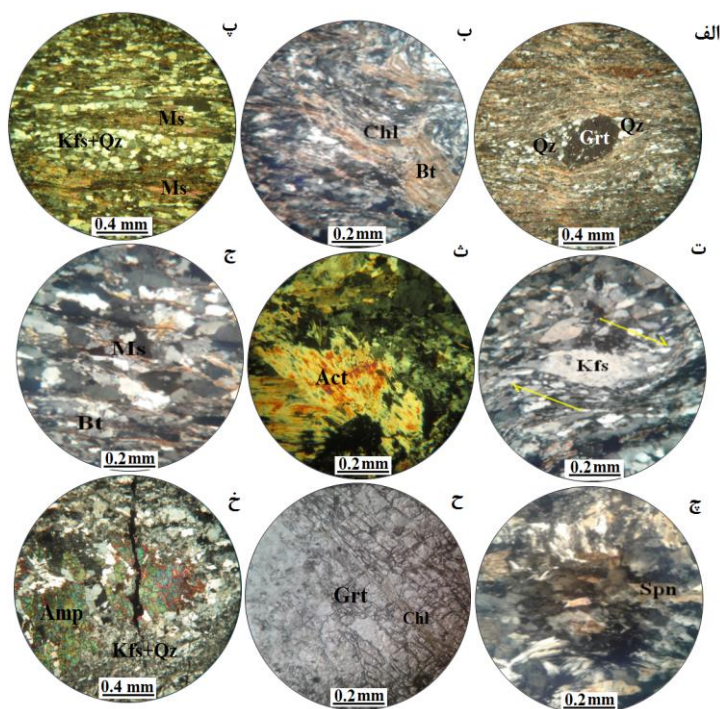
اکتینولیت- مسکویت شیست‌ها دارای فابریک لپیدوبلاستیک و پورفیروبللاستیک بوده و کانی‌شناسی آن‌ها شامل اکتینولیت، مسکویت، کلریت، کوارتز، آلکالی فلدسپار و اسفن می‌باشد. بلورهای آلکالی فلدسپار در اندازه‌های متوسط تا درشت حضور داشته و برخی از بلورهای درشت آلکالی فلدسپار تحت تأثیر تنش بُرشی چپ‌گرد، ساخت سیگما از خود نشان می‌دهند (شکل ۴ ت). در برخی نقاط شدت تنش بُرشی به‌قدری بوده که بلور دچار شکستگی شده است. درشت بلورهای بی‌شکل اکتینولیت در این سنگ- ها دارای منطقه‌بندی شیمیایی در مرکز و حاشیه بوده به‌طوری‌که از بخش‌های مرکزی تا بخش‌های حاشیه‌ای به رنگ‌های تداخلی نارنجی، زرد، بنفش و آبی دیده می‌شوند (شکل ۴ ث). بلورهای صفحه‌ای مسکویت همراه با مقدار کمی بیوتیت، به‌صورت لامینه‌هایی هم‌روند با برگوارگی سنگ در بین نوارهای کوارتز- فلدسپاتی حضور دارند (شکل ۴ ج). بلورهای بی‌شکل تا نیمه‌خودشکل اسفن نیز با برجستگی زیاد در زمینه کلریتی دیده می‌شوند (شکل ۴ چ). در بخش‌هایی از سنگ، رگچه‌های هیدروکسید آهن ثانویه در جهت برگوارگی به سنگ تزیق شده است. گارنت- آمفیبول شیست‌ها در مقاطع میکروسکوپی دارای فابریک میلونیتی یا کاتاکلاستیک، پورفیروبللاستیک و نماتوبلاستیک بوده و کانی‌شناسی آن‌ها شامل گارنت، آمفیبول، کلریت، آلکالی فلدسپار و کوارتز می‌باشد. درشت‌بلورهای گارنت از حاشیه توسط کلریت ناشی از دگرگونی برگشتی و در شکستگی‌ها توسط کلریت جایگزین شده‌اند (شکل ۴ ح). آمفیبول‌های موجود در این سنگ‌ها به‌صورت درشت‌بلور بوده و منطقه- بندی شیمیایی در مرکز و حاشیه از خود نشان می‌دهند که در بخش‌های مرکزی، کانی به رنگ تداخلی سبز و در حاشیه به رنگ آبی تا بنفش دیده می‌شود (شکل ۴ خ). رگچه‌های کلریت هم در جهت برگوارگی سنگ و هم متقاطع با برگوارگی سنگ دیده می‌شوند. همچنین، کلریت‌ها در نتیجه دگرگونی برگشتی، در حاشیه و شکستگی‌های بلورهای گارنت جایگزین شده- اند (شکل ۴ ح). بلورهای آلکالی فلدسپار به‌صورت متوسط تا درشت‌بلور بوده، در برخی نقاط دچار شکستگی شده و در بخش‌هایی دگرسانی سربستی از

حاشیه‌ای در این سنگ‌ها قابل مشاهده هستند. بلورهای بیوتیت به دو صورت در این سنگ دیده می‌شوند: دسته اول بیوتیت‌هایی می‌باشد که در راستای برگوارگی سنگ تشکیل شده و گاه کلریتی شده‌اند. دسته دوم مربوط به بیوتیت‌هایی می‌شود که روی برگوارگی سنگ به صورت متقاطع با کلریتوئیدها و بیوتیت‌های دسته اول دیده می‌شوند.

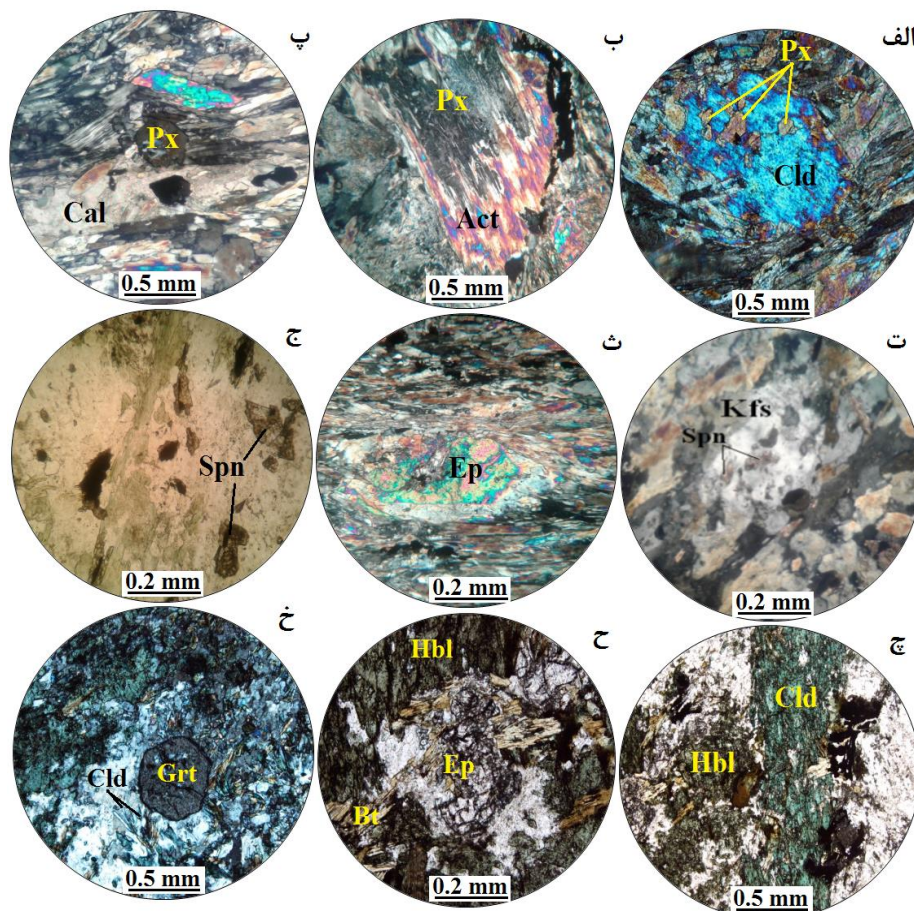
هورنبلندها نیز مربوط به دو نسل دگرشکلی مختلف هستند. درشت‌بلورهای هورنبلند موجود بر روی برگوارگی مربوط به مرحله اول دگرشکلی بوده و بلورهای باریک و کشیده موجود در راستای برگوارگی طی دگرشکلی تشکیل شده‌اند. پورفایروبلست‌های خودشکل گارنت روی برگوارگی تشکیل شده‌اند (شکل ۵ خ). بلورهای اپیدوت با منطقه‌بندی شیمیایی در بخش‌های مرکزی و



شکل ۳. نمایی از توالی واحدهای شلیستی موجود در منطقه مورد مطالعه (دید به سمت شمال‌باختر). موقعیت کانه‌زایی آهن حلب ۲ در تصویر مشخص شده است.



شکل ۴. تصاویر میکروسکوپی (تصویر ح در نور عبوری PPL و بقیه تصاویر در نور عبوری XPL) از شلیست‌های پلیتی منطقه مورد مطالعه. الف- پورفایروبلست گارنت با میان‌بارهای کوارتز- فلدسپاتی و فابریک سایه فشاری. ب- چین‌خوردگی بلورهای بیوتیت و تبدیل شدن آن‌ها به کلریت. پ- باندهای کوارتز- فلدسپاتی و میکایی در بیوتیت- مسکویت شلیست. ت- فلدسپار با ساختار سیگما در اکتینولیت- مسکویت شلیست. ث- بلورهای اکتینولیت با منطقه‌بندی شیمیایی. ج- بلورهای بیوتیت و مسکویت به صورت لامینه‌های ظریف در راستای برگوارگی سنگ. چ- بلورهای نیمه‌خودشکل اسفن در اکتینولیت- مسکویت شلیست. ح- درشت‌بلور گارنت که از حواشی کلریتی شده است. خ- درشت‌بلور آمفیبول با منطقه‌بندی شیمیایی که توسط رگچه کانی کدر قطع شده است. علائم اختصاری کانی‌ها از Whitney and Evans (2010) اقتباس شده است (Amp: آمفیبول، Bt: بیوتیت، Chl: کلریت، Grt: گارنت، Kfs: آلکالی فلدسپار، Ms: مسکویت، Opq: کانی کدر، Qtz: کوارتز، Spn: اسفن).



شکل ۵. تصاویر میکروسکوپی (تصویرهای ج و چ در نور عبوری PPL و بقیه تصاویر در نور عبوری XPL) از شیست‌های بازیگ منطقه مورد مطالعه. الف- بلور کلریتوئید با بافت پوئی کیلوبلاستیک و به صورت متقاطع با برگوارگی سنگ و دارای ادخال‌هایی از پیروکسن. ب- درشت‌بلور پیروکسن که از حواشی به صورت بخشی به اکتینولیت تبدیل شده است. پ- بلور خودشکل پیروکسن در راستای برگوارگی سنگ. ت- درشت‌بلور فلدسپار با ادخال‌هایی از اسفن. ث- بلور اپیدوت که برگوارگی سنگ آن‌را دور زده است. ج- بلورهای بی‌شکل اسفن با برجستگی بالا در راستای برگوارگی سنگ. چ- درشت‌بلورهای کلریتوئید که در راستای برگوارگی سنگ تشکیل شده‌اند. ح- بلورهای هورنبلند در همراهی با بیوتیت و اپیدوت. خ- بلور خودشکل گارنت در بین کلریتوئیدها. علائم اختصاری کانی‌ها از (Whitney and Evans (2010 اقتباس شده است (Act: اکتینولیت، Bt: بیوتیت، Cld: کلریتوئید، Cal: کلسیت، Ep: اپیدوت، Grt: گارنت، Hbl: هورنبلند، Kfs: آلکالی فلدسپار Px: پیروکسن، Spn: اسفن).

شیست‌های اسیدی

سنگ موجود در این گروه دارای ترکیب آلیت- کوارتز شیست بوده و فابریک آن در زیر میکروسکوپ پورفیروکلاستی می‌باشد. این سنگ‌ها متشکل از آلکالی فلدسپار، کوارتز، پلاژیوکلاز، کلریت و کانی‌های کدر می‌باشند. بلورهای درشت و خودشکل پلاژیوکلاز با ماکل‌های دوتایی و نواری مشخص هستند که در بخش‌هایی به صورت متقاطع با برگوارگی سنگ است. برگوارگی، بلورهای پلاژیوکلاز را دور زده و بلورهای کوارتز در سایه فشارشی آن رشد کرده‌اند (شکل ۶ الف). برخی بلورهای پلاژیوکلاز دچار شکستگی شده و ماکل‌های دگرشکلی را ایجاد کرده است (شکل ۶ ب). بلورهای بی‌شکل کوارتز، با حاشیه مضرسی و خاموشی موجی مشخص بوده و همراه با آلکالی فلدسپار، حدود ۷۰ درصد سنگ را به خود اختصاص داده‌اند. در برخی نقاط، درشت‌بلورهای آلکالی فلدسپار نیز به صورت متقاطع با برگوارگی سنگ مشاهده می‌شوند. کلریت و کانی‌های کدر به صورت ثانویه و در امتداد

شکستگی‌های متقاطع با برگوارگی و با موازی برگوارگی سنگ تشکیل شده- اند (شکل ۶ ب).

شیست‌های آهکی

این گروه از سنگ‌ها را می‌توان شامل کالک شیست و مرمر در نظر گرفت. کالک‌شیست‌ها دارای فابریک گرانوبلاستیک و لپیدوبلاستیک بوده و کانی‌شناسی آن شامل ۹۰ درصد بلورهای ناهم بعد (ابعاد متوسط تا درشت) کلسیت می‌باشد (شکل ۶ پ). بلورهای باریک و کشیده مسکویت دیگر کانی عمده این سنگ‌ها است که باعث به وجود آمدن برگوارگی ضعیف در این سنگ‌ها شده است (شکل ۶ پ). رگچه‌های کلریتی این سنگ‌ها را قطع کرده است. مرمرها دارای فابریک گرانوبلاستیک بوده و به طور عمده (بیش از ۹۸ درصد) از بلورهای غیر هم‌بعد و خودشکل و نیمه‌خودشکل کلسیت تشکیل شده است (شکل ۶ ت). مقادیر جزئی از بلورهای کشیده مسکویت و کانی‌های کدر به صورت پراکنده در بین بلورهای کلسیت قابل مشاهده هستند.

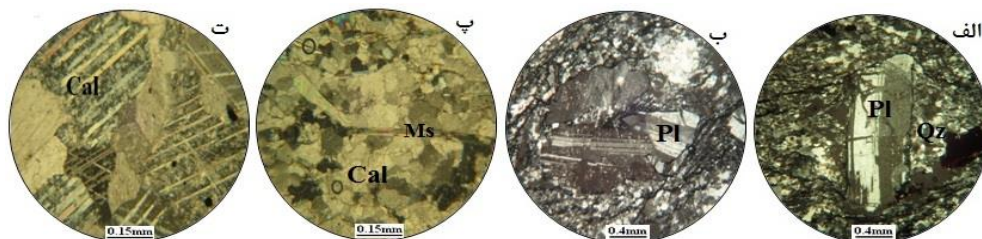
کانه‌زایی

براساس مطالعات صحرایی و میکروسکوپی، کانه‌زایی آهن در رخدادهای معدنی حلب ۲ به دو صورت عدسی‌شکل - لایه‌ای - لامینه‌ای و رگه - رگچه‌ای رخ داده است (شکل ۷). کانه‌زایی عدسی‌شکل - لایه‌ای - لامینه‌ای درون شیست‌های بازیک (کلریتوئید - اکتینولیت شیست) مشاهده می‌شود. شیست‌های اسیدی به‌عنوان کمر پایین ماده معدنی دیده می‌شوند. در برخی نقاط، به دلیل عملکرد فرآیندهای تکتونیکی، لایه‌های سنگی حالت برگشته داشته و شیست‌های اسیدی بر روی عدسی آهن دیده می‌شوند (شکل ۷ الف). عدسی‌های کانه‌دار تا ۲ متر پهنا و حداکثر تا ۵۰ متر درازا داشته و هم‌روند با برگراری میزبان بوده و روند شمال‌باختری - جنوب‌خاوری دارند. به سمت شمال‌باختر، عدسی‌های آهن با ضخامت حداکثر ۲ متر و طول ۱۰ متر با میزبانی شیست‌های بازیک قابل مشاهده هستند (شکل ۷ ب). گسترش طولی عدسی‌های ناپیوسته آهن تا بیش از یک کیلومتر قابل پیگیری می‌باشد. کانه‌زایی نوع رگه - رگچه‌ای با امتداد شمال‌خاور - جنوب‌باختر و شیب به سمت شمال‌باختر، حدود ۲۰۰ متر درازا و کم‌تر از یک متر پهنا داشته و سنگ میزبان خود (شیست‌های اسیدی) را قطع کرده است (شکل ۷ ب). براساس مطالعات صحرایی و میکروسکوپی انجام‌شده، سه مرحله کانه‌زایی در رخدادهای معدنی آهن حلب ۲ قابل تفکیک می‌باشد. کانه‌زایی مرحله اول قبل از رخدادهای دگرگونی و دگرشکلی و هم‌زمان با تشکیل واحدهای آتشفشانی - رسوبی میزبان رخ داده است. این مرحله از کانه‌زایی به‌صورت لامینه‌ای و عدسی‌های چینه‌سان و چینه‌کران متشکل از تناوب نوارهای مگنتیت - کوارتز و یا مگنتیت - اکتینولیت هم‌روند با برگراری شیست‌های بازیک و دانه - پراکنده درون شیست‌های اسیدی دیده می‌شود (شکل ۸ الف تا پ). مگنتیت کانه اصلی این مرحله را تشکیل می‌دهد که با اندکی پیریت و کالکوپیریت همراهی می‌شود. کانه‌زایی مرحله دوم حین فرآیندهای دگرگونی و دگرشکلی منطقه رخ داده است. چین‌خوردگی در نوارهای مگنتیت - کوارتز و مگنتیت - اکتینولیت (شکل ۸ ت)، بودین‌شدگی بلورهای مگنتیت، رشد سایه واتنشی بلورهای کوارتز و دور زدن برگراری اطراف بلورهای مگنتیت همراه با تبلور مجدد بلورهای مگنتیت و کوارتز در این مرحله رخ داده است. مرحله سوم کانه‌زایی به‌صورت مگنتیت‌های رگه - رگچه‌ای و سیمان گرمایی پرش‌ها با میزبان شیست‌های اسیدی رخ داده است (شکل ۸ ث و ج). ضخامت رگه - رگچه‌های کانه‌دار حداکثر تا ۵۰ سانتی‌متر و درازای آن‌ها تا ۱۰۰ متر می‌رسد. این مرحله از کانه‌زایی پس از فرآیندهای دگرگونی و دگرشکلی منطقه رخ داده و برگراری واحدهای میزبان را قطع کرده است. براساس نتایج مطالعات صحرایی و میکروسکوپی، انواع دگرسانی‌های همراه با کانه‌زایی آهن شامل اکتینولیتی، سیلیسی، کربناتی، هماتی، (مارتیتی) و سریستی است.

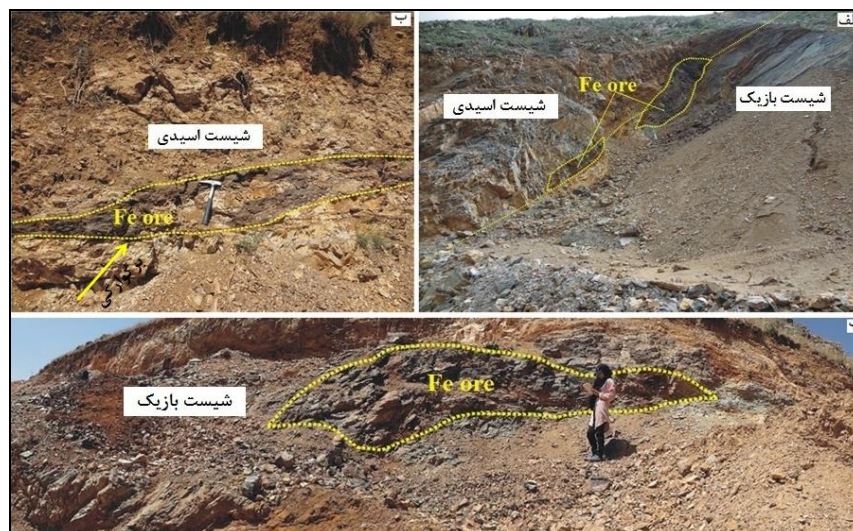
کانی‌شناسی و ساخت و بافت مواد معدنی و باطله

مطالعات کانه‌نگاری نشان‌دهنده کانی‌شناسی ساده ماده معدنی در رخدادهای معدنی آهن حلب ۲ می‌باشد. براساس این مطالعات، مگنتیت کانی اصلی ماده

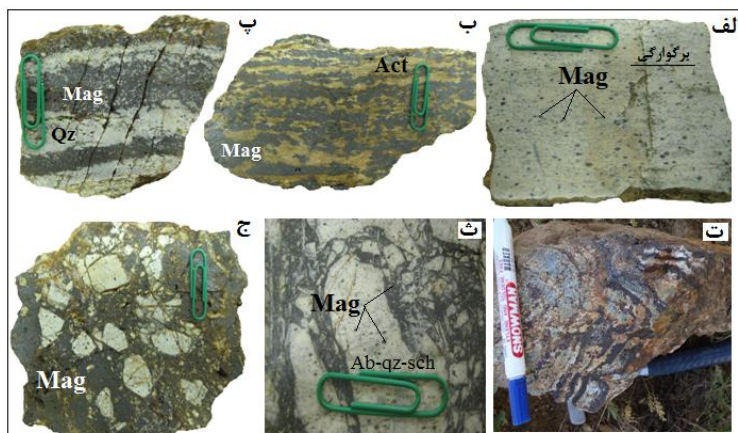
معدنی در هر دو فرم کانه‌زایی است که با اندکی پیریت و کالکوپیریت در کانه‌زایی عدسی‌شکل و لامینه‌ای همراهی می‌شود. هماتیت و گوتیت در اثر پدیده‌های هوازدگی و برون‌زاد تشکیل شده‌اند. اکتینولیت و کوارتز کانی - شناسی اصلی مواد باطله در این رخدادهای معدنی هستند. براساس مطالعات ساخت و بافتی، مگنتیت‌های موجود در بخش‌های کانه‌دار را می‌توان به سه نسل (گروه) تفکیک کرد. مگنتیت‌های نسل اول به‌صورت پورفیر و کلاست‌های درشت خودشکل تا نیمه‌خودشکل در اندازه‌های متغیر (۲-۱/ میلی‌متر) بوده و غالباً به موازات برگراری سنگ میزبان (شیست‌های بازیک و اسیدی) هستند. این نسل از مگنتیت‌ها، فرآیندهای دگرشکلی مانند چین‌خوردگی، ساختار نوع سیگما، بودین‌شدگی و رشد سایه فشاری کانی کوارتز را در اطراف خود نشان می‌دهند (شکل ۱۰ الف تا ث) که بیانگر حضور آن‌ها در پروتولیت، قبل از فرآیندهای دگرگونی و دگرشکلی است (Passchier and Trouw, 1997; Roy and Venkatesh, 2009). بیش‌تر بلورهای مگنتیت این نسل مارتیتی شده‌اند. نسل دوم مگنتیت شامل بلورهای ناخودشکل روگردی بر روی مگنتیت‌های نسل اول هستند. مگنتیت‌های نسل سوم به‌صورت بلورهای ناخودشکل در رگه - رگچه‌ها و سیمان گرمایی پرش‌های مرحله سوم کانه‌زایی دیده می‌شوند (شکل ۹ ث و ج). این نسل از مگنتیت، نسل‌های قبلی مگنتیت را قطع کرده است (شکل ۹ ث). پیریت معمولاً به‌صورت بلورهای درشت نیمه‌خودشکل تا ناخودشکل در نوارهای مگنتیتی - اکتینولیتی همراه با مگنتیت‌های نسل اول دیده می‌شود (شکل ۹ چ). این کانی معمولاً به گوتیت دگرسان شده و گاه بقایایی از آن در داخل گوتیت مشاهده می‌شود. فراوانی پیریت کم‌تر از یک درصد می‌باشد. کالکوپیریت با فراوانی بسیار محدود به‌صورت ادخال‌های ریز در داخل پیریت قابل مشاهده است (شکل ۹ ح). گوتیت حاصل فرآیندهای دگرسانی و برون‌زاد مگنتیت و پیریت از حاشیه‌ها و در امتداد شکستگی‌ها می‌باشد (شکل ۹ ح و خ). مارتیت به‌صورت تیغه‌هایی در متن بلورهای مگنتیت در نتیجه فرآیند مارتیتی شدن تشکیل شده است. کوارتز معمولاً به‌صورت بلورهای نیمه‌خودشکل تا ناخودشکل با اندازه‌های مختلف در نوارهای سیلیسی دیده می‌شود (شکل ۸ پ). بلورهای کوارتز اغلب دارای حاشیه مضرسی هستند که این حالت بیش‌تر در دانه‌هایی که تحت تأثیر تنش قرار گرفته‌اند، دیده می‌شود (Yardly, 1990). همچنین، کوارتز به‌صورت بلورهای نیمه‌خودشکل تا ناخودشکل در همراهی با مگنتیت‌های نسل سوم کانه‌زایی (کانه‌زایی رگه - رگچه‌ای) حضور دارد. اکتینولیت بیش‌تر به‌صورت بلورهای خودشکل تا نیمه‌خودشکل با اندازه‌های مختلف در باندهای اکتینولیتی قابل مشاهده است (شکل ۹ ت).



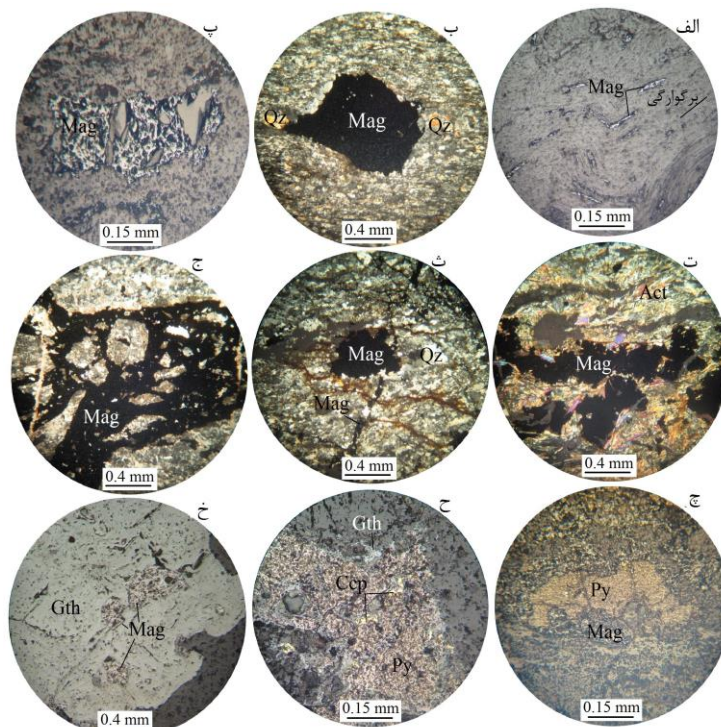
شکل ۶. تصاویر میکروسکوپی (نور عبوری XPL) از شیست‌های اسیدی و آهنی منطقه مورد مطالعه. الف- درشت‌بلور پلاژیوکلاز حاوی ماگل‌های خمیده و متقاطع با برگراری سنگ. کوارتز در سایه فشاری پلاژیوکلاز تشکیل شده است. ب- بلورهای پلاژیوکلاز دارای ماگل دگرشکلی و شکستگی‌های پُر شده توسط کانی‌های کدر. پ- بافت گرانوبلاستیک و لپیدوبلاستیک متشکل از بلورهای کلسیت و مسکویت در کالک شیست‌ها. ت- بلورهای کلسیت با رخ‌های ریموئدری و ماگل‌های نواری مشخص در مرمر. علائم اختصاری کانی‌ها از Whitney and Evans (2010) اقتباس شده است (Cal: کلسیت، Ms: مسکویت، Pl: پلاژیوکلاز، Qz: کوارتز).



شکل ۷. تصاویر صحرایی از رخنمون‌های ماده معدنی در رخداد معدنی آهن حلب ۲. الف- نمایی از عدسی‌های مگنتیتی در مرز بین واحدهای کلریتوئید- اکتینولیت شیستی و شیست‌های اسیدی (دید به سمت باختر). عدسی‌های مگنتیتی هم‌روند با برگراری واحدهای میزبان هستند. ب- نمایی از رگه- رگچه‌های مگنتیتی به صورت متقاطع با شیست‌های اسیدی. پ- نمایی از عدسی مگنتیت با میزبانی کلریتوئید- اکتینولیت شیست (دید به سمت باختر و جنوب‌باختر).



شکل ۸. مراحل کانه‌زایی در رخداد معدنی حلب ۲. الف- مرحله اول کانه‌زایی به صورت مگنتیت‌های دانه‌پراکنده (ذرات سیاه) هم‌روند با برگراری در واحد کوارتز شیستی. ب و پ- مرحله اول کانه‌زایی به صورت تناوب نوارهای مگنتیت- اکتینولیت (ب) و مگنتیت- کوارتز (پ). ت- چین‌خوردگی باندهای مگنتیت- اکتینولیت در مرحله دوم کانه‌زایی. ث- مگنتیت‌های دانه‌پراکنده مرحله اول کانه‌زایی در کنار رگه- رگچه‌های مگنتیتی مرحله سوم کانه‌زایی در واحد کوارتز- آلبیت شیست. ج- بافت پرشی متشکل از قطعات کوارتز شیستی با سیمانی از مگنتیت مرحله سوم کانه‌زایی. علائم اختصاری کانی‌ها از Whitney and Evans (2010) اقتباس شده است (Act: اکتینولیت، Ab: آلبیت، Mag: مگنتیت، Qz: کوارتز، Sch: شیست).



شکل ۹. تصاویر میکروسکوپی (تصاویر الف، پ و ح تا ج در نور انعکاسی و بقیه تصاویر در نور عبوری پلاریزه XPL) از کانه‌های موجود در رخداد معدنی حلب ۲. الف- مگنتیت نسل اول به صورت بلورهای کشیده در راستای برگراری واحدهای میزبان. ب- درشت بلور مگنتیت نسل اول با ساختار سیگما. پ- بودین‌شدگی در درشت بلور مگنتیت نسل اول. ت- بلورهای درشت مگنتیت نسل اول در نوارهای مگنتیتی- اکتینولیتی. ث- رگچه مگنتیت نسل سوم که بلور درشت مگنتیت نسل اول را قطع کرده است. ج- مگنتیت نسل سوم به صورت سیمان پرش‌های گرمایی. ح- بلور درشت و کشیده پیریت بی‌شکل در راستای برگراری واحدهای میزبان. خ- بلورهای ریز کالکوپیریت به صورت ادخال داخل بلورهای درشت پیریت. چ- دگرسانی مگنتیت به گوتیت. علائم اختصاری از (Whitney and Evans, 2010) اقتباس شده است (Act): اکتینولیت، Ccp: کالکوپیریت، Gth: گوتیت، Mag: مگنتیت، Py: پیریت، Qz: کوارتز.

زمین‌شیمی سنگ‌های میزبان و پهنه‌های کانه‌دار

در این بخش، ویژگی‌های زمین‌شیمیایی سنگ‌های میزبان و پهنه‌های کانه‌دار در رخداد معدنی حلب ۲ مورد بررسی قرار گرفته است. نتایج آنالیزهای شیمیایی نمونه‌های منطقه حلب ۲ در (جدول ۱) آورده شده است. الگوی عناصر کمیاب خاکی برای بخش‌های کانه‌دار در رخداد معدنی آهن حلب ۲ که نسبت به کندریت (Boynnton, 1984) بهنجار شده‌اند، در (شکل ۱۱) نشان داده شده است. همان‌طور که در این شکل دیده می‌شود، دو نمونه شیست اسیدی فاقد کانه‌زایی و شیست اسیدی حاوی مگنتیت دانه‌پراکنده یک الگوی غنی از LREE با نسبت بالای LREE/HREE و کاملاً مشابه هم را به نمایش می‌گذارند. تفاوت بارز آن‌ها آنومالی منفی ضعیف تر Eu در نمونه شیست اسیدی حاوی مگنتیت دانه‌پراکنده می‌باشد. نمونه مربوط به شیست اسیدی حاوی رگچه‌های مگنتیت (فاز سوم کانه‌زایی) نیز یک الگوی مسطح عناصر REE را همراه با آنومالی منفی عنصر Gd نشان می‌دهد (شکل ۱۱).

عدم شباهت الگوی این نمونه با الگوی شیست اسیدی فاقد کانه‌زایی و شیست اسیدی حاوی کانه‌زایی مگنتیت دانه‌پراکنده می‌تواند بیانگر تشکیل دو فاز کانه‌زایی یادشده در نتیجه فرآیندهای مختلف باشد. تهی‌شدگی در عناصر LREE نمونه شیست اسیدی حاوی رگچه‌های مگنتیت در مقایسه با

با توجه به مطالعات صحرایی و بررسی نمونه‌های دستی، مطالعات میکروسکوپی و بر مبنای روابط بافتی موجود بین کانه‌ها و کانی‌ها، توالی پارائزی کانی‌ها در رخداد معدنی آهن حلب ۲ به سه مرحله قابل تفکیک است (شکل ۱۰). مرحله اول با حضور عدسی‌ها، نوارها و لامینه‌های مگنتیتی- اکتینولیتی و مگنتیتی- کوارتزی مشخص می‌شود. این مرحله هم‌زمان با تشکیل واحدهای آتشفشانی- رسوبی منطقه و قبل از فرآیندهای دگرگونی و دگرشکلی می‌باشد.

مگنتیت به صورت بلورهای نیمه‌خودشکل، ناخودشکل تا خودشکل و به صورت دانه‌پراکنده، نواری و لامینه‌ای تا توده‌ای درون واحدهای میزبان و نوارهای مگنتیتی دیده می‌شود. پیریت و کالکوپیریت به صورت محدود در این مرحله تشکیل شده‌اند. مرحله دوم هم‌زمان با فرآیندهای دگرگونی و دگرشکلی منطقه رخ داده و طی آن ساختارهایی مانند چین‌خوردگی در نوارهای کانه‌دار و ساختار سیگما، رشد در سایه واتنشی و بودین‌شدگی در بلورهای مگنتیت نسل اول ایجاد شده است. مگنتیت‌های نسل دوم به صورت روشردی بر روی مگنتیت‌های نسل اول در این مرحله تشکیل شده است. مرحله سوم با تشکیل مگنتیت‌های نسل سوم به صورت رگه- رگچهای و سیمان گرمایی پرش‌ها مشخص می‌شود. در مرحله برون‌زاد، کانی‌هایی مانند ماریت و گوتیت با بافت جان‌شینی تشکیل شده‌اند.

الگوهای یادشده می‌توان گفت که ارتباط ژنتیکی بین شیست اسیدی فاقد کانه‌زایی با نمونه‌های شیست اسیدی حاوی مگنتیت دانه‌پراکنده، مگنتیت توده‌ای و لامینه مگنتیتی وجود دارد. به این مفهوم که کانه‌زایی آهن منطقه مورد مطالعه احتمالاً در ارتباط با ماگماتیسم اسیدی تشکیل شده است. نمونه کلریتوئید- اکتینولیت شیست بدون کانه‌زایی (شیست بازیک) دارای یک الگوی تقریباً مسطح همراه با آنومالی منفی مشخص در Gd می‌باشد (شکل ۱۱). همچنان‌که در این شکل مشخص است، شباهتی بین الگوی REE در شیست بازیک با نمونه‌های مگنتیت توده‌ای، لامینه مگنتیتی و شیست اسیدی حاوی مگنتیت دانه‌پراکنده وجود ندارد.

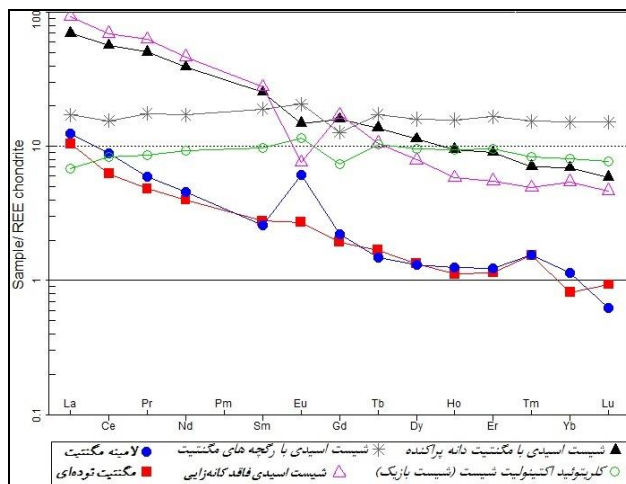
شیست اسیدی فاقد کانه‌زایی و شیست اسیدی حاوی کانه‌زایی مگنتیت دانه‌پراکنده می‌تواند در ارتباط شستشوی عناصر مزبور در نتیجه عملکرد سیالات گرمایی باشد. نمونه مربوط به مگنتیت توده‌ای و لامینه مگنتیتی (فاز اول کانه‌زایی) نیز یک الگوی مشابه هم را با غنی‌شدگی در LREE و نسبت بالای HREE نشان می‌دهند. الگوی این دو نمونه تا حدودی شبیه به الگوی نمونه شیست اسیدی فاقد کانه‌زایی و شیست اسیدی حاوی مگنتیت دانه‌پراکنده است با این تفاوت که آنومالی منفی Eu موجود در نمونه شیست اسیدی حاوی مگنتیت دانه‌پراکنده، در نمونه‌های مگنتیت توده‌ای و لامینه مگنتیت وجود نداشته و حتی آنومالی مثبت این عنصر دیده می‌شود. - همچنین، این دو نمونه در مقایسه با شیست اسیدی دارای مگنتیت دانه‌پراکنده، از محتوای پایین REE برخوردار هستند. آنومالی مثبت عنصر Eu در نمونه‌های مگنتیت توده‌ای و لامینه مگنتیتی با تمرکز مگنتیت و محیط اکسیدان تشکیل این نمونه‌ها مطابقت دارد. با توجه به شباهت

Stages Mineralogy		Stage1	Stage2	Stage3	Supergene
Ore	Magnetite	—	—	—	
	Pyrite	—			
	Chalcopyrite	—			
	Martite				—
	Goethite				—
Gangue	Quartz	—	—	—	
	Actinolite	—			
Textures	Disseminated	—			
	Laminated	—			
	Lenticular	—			
	Banded	—			
	Vein-veinlets			—	
	Breccia			—	
	Replacement				—
	Relict				—
Fabric	Folding		—		
	δ-type		—		
	Boudinage		—		
	Strain shadows		—		

شکل ۱۰. توالی پاراژنتیک، فراوانی نسبی، ساخت و بافت و فابریک کانی‌های معدنی و باطله در رخداد معدنی آهن حلب ۲.

جدول ۱. نتایج تجزیه شیمیایی عناصر اصلی، کمیاب و کمیاب خاکی برای سنگ‌های میزبان (نمونه‌های T-21 و T-2) و نمونه‌های کانه‌دار (نمونه‌های T-7، T-8، T-16 و T-34) در رخداد معدنی آهن حلب ۲. مقادیر اکسیدهای اصلی بر حسب درصد وزنی (wt.%) و سایر عناصر بر حسب گرم در تن (ppm) می‌باشند.

	T-7	T-8	T-16	T-34	T-21	T-2
	شیست اسیدی با مگنتیت دانه‌براکنده	رگچه‌های مگنتیت داخل شلیست اسیدی	مگنتیت توده‌ای	لامینه مگنتیتی	شیست اسیدی بدون کانه‌زایی	کلریتوئید-اکتینولیت شلیست (شلیست بازیک) بدون کانه‌زایی
SiO ₂	۶۱/۹۴	۵/۸۵	۵/۳۲	۱۶/۵۴	۷۶/۵۳	۴۵/۲۹
Al ₂ O ₃	۱۵/۹	۰/۸	۱/۲	۰/۷۱	۱۳/۳۹	۱۵/۸۳
CaO	۰/۴۱	۰/۱۴	۰/۴۲	۱/۵۵	۰/۱۴	۹/۹۵
Fe ₂ O ₃	۷/۲۵	۹۰/۹۷	۹۲/۲۴	۷۹/۵۵	۱/۰۳	۹/۷۲
K ₂ O	۹/۶	۰/۰۴	۰/۱	۰/۰۸	۱/۸۷	۱/۰۳
MgO	۰/۹۵	۰/۱	۰/۲۵	۱/۸۹	۰/۲۳	۱۱/۱۴
MnO	۰/۰۳	۰/۰۳	۰/۰۴	۰/۰۸	۰/۰۱	۰/۱۹
Na ₂ O	۱/۱۵	۰/۰۷	۰/۳	۰/۰۷	۵/۵۵	۲/۰۸
P ₂ O ₅	۰/۱۶	۰/۰۱	۰/۰۵	۰/۰۱	۰/۰۱	۰/۰۵
TiO ₂	۰/۷۲	۰/۰۷	۰/۰۷	۰/۰۷	۰/۱	۰/۹
LOI	۱/۷۶	۱/۹	۰/۰۱	<۰/۰۱	۱/۱	۳/۶۲
Total	۹۹/۹	۹۹/۷۲	۱۰۰/۰۱	۱۰۰/۵۷	۹۹/۹۹	۹۹/۸۲
Ag	۰/۱۹	۰/۰۵	۰/۰۵	۰/۱۱	۰/۱۶	۰/۰۳
As	۷۶/۶	۲۰۸	۱۶	۳۱/۶	۲۸	۲/۳
Ba	۱۰۰۰	۵۶/۸	۹۲/۸	۳۹/۱	۲۴۹	۱۷۲
Be	۲/۳	۴/۳	۰/۷	۰/۷	۱/۴	۰/۴
Cd	<۰/۰۰۵	۰/۰۵	۰/۰۹	۰/۱۶	۰/۳۹	۰/۳
Ce	۴۵/۶	۱۲/۶	۵۰/۷	۷/۳۲	۵۶/۲	۶/۷۶
Co	۴/۶	۷/۶	۹/۹	۲/۸	۱/۷	۴۹/۶
Cr	۳۳	<۲	<۲	<۲	<۲	۴۶۴
Cs	۵/۴	۹/۳	۲/۸	۰/۴	۰/۷	۱۴/۱
Cu	۹۲/۷	۱۰	۷/۴	۱۰/۱	۳۸/۲	۱۳۳/۳
Dy	۳/۶۵	۵/۱۴	۰/۴۳	۰/۴۲	۲/۵۵	۳/۰۸
Er	۱/۸۹	۳/۵	۰/۳۴	۰/۳۶	۱/۱۶	۲/۰۱
Eu	۱/۰۹	۱/۵۲	۰/۲	۰/۴۵	۰/۵۶	۰/۸۵
Ga	۲۱/۱	۲۶/۵	۲۵/۹	۱۵/۸	۱۸/۱	۱۳/۸
Gd	۴/۱۲	۲۹/۳	۰/۵	۰/۵۷	۴/۴۶	۱/۹
Ge	۱/۴۹	۱/۹۹	۴/۷۸	۲/۴۳	۱/۱۸	۱/۲
Hf	۰/۱۷	۰/۱۴	۰/۰۴	۰/۲۳	۰/۶۳	۰/۲۳
Ho	۰/۶۸	۱/۱۳	۰/۰۸	۰/۰۹	۰/۴۲	۰/۶۸
La	۱۳/۹	۵/۳۳	۳/۲۴	۳/۸۷	۲۸/۸	۲/۱۱
Lu	۰/۲۳	۰/۴۹	۰/۰۳	<۰/۰۰۲	۰/۱۵	۰/۲۵
Mo	۱/۱	۶/۷	۱/۶	۱/۵	۱/۱	۰/۴
Nb	۱۰/۶	<۰/۰۵	<۰/۰۵	۱/۵	۶/۸	<۰/۰۵
Nd	۲۳/۴	۱۰/۳	۲/۳۹	۲/۷۳	۲۸	۵/۵۸
Ni	۱۶	۱۵	۷	۴	۵	۲۲۵
Pb	۵/۸	۳/۳	۱/۸	<۰/۰۲	۲/۲	۴۲
Pr	۶/۹	۲/۱۵	۰/۵۹	۰/۷۳	۷/۷۱	۱/۰۵
Rb	۱۷۴	۳/۶	۲/۷	۰/۹	۶۶/۳	۲۵/۳
S	۶۱	<۵۰	۱۹۱	۱۹۸	۱۰۲	۹۳۷
Sb	۱/۲	۳/۲	۵/۵	۷/۸	۰/۸	۱/۸
Sc	۳۰	۵	<۱	<۱	۵	۲۴
Sm	۴/۹۵	۳/۷	۰/۵۴	۰/۵	۵/۴۳	۱/۹
Sn	۳/۴	۳/۷	۲۸/۸	۴۷/۶	۲/۷	۰/۵
Sr	۶۲/۸	۷	۲۲/۹	۱۳/۴	۳۵/۹	۳۰۳
Ta	۰/۶۲	<۰/۰۰۱	<۰/۰۰۱	۰/۰۸	۰/۴۸	<۰/۰۰۱
Tb	۰/۶۵	۰/۸۲	۰/۰۸	۰/۰۷	۰/۵	۰/۴۹
Th	۱۰/۲	۰/۴۷	۰/۹۳	۰/۴۱	۱/۸۶	۰/۲۶
Tm	۰/۲۳	۰/۵	<۰/۰۰۵	<۰/۰۰۵	۰/۱۶	۰/۲۷
U	۰/۹۳	۰/۶۴	۱/۱۸	۱/۱۱	۱/۱۱	۰/۰۷
V	۷۶	۲۱۴	۴۴	۳۰	۴	۱۷۲
W	۱/۴	۰/۳	۵۱۲	۲۰۹	۰/۸	۰/۱
Y	۱۶/۲	۲۴/۷	۳/۸۶	۲	۱۰	۱۶/۵
Yb	۱/۴۵	۳/۱۸	۰/۱۷	۰/۳۴	۱/۱۴	۱/۶۸
Zn	۳۱	۲۹/۷	۲۱/۲	۴۲	۳۲/۸	۱۶۰
Zr	۶	۳	۲	۹	۱۶	۳

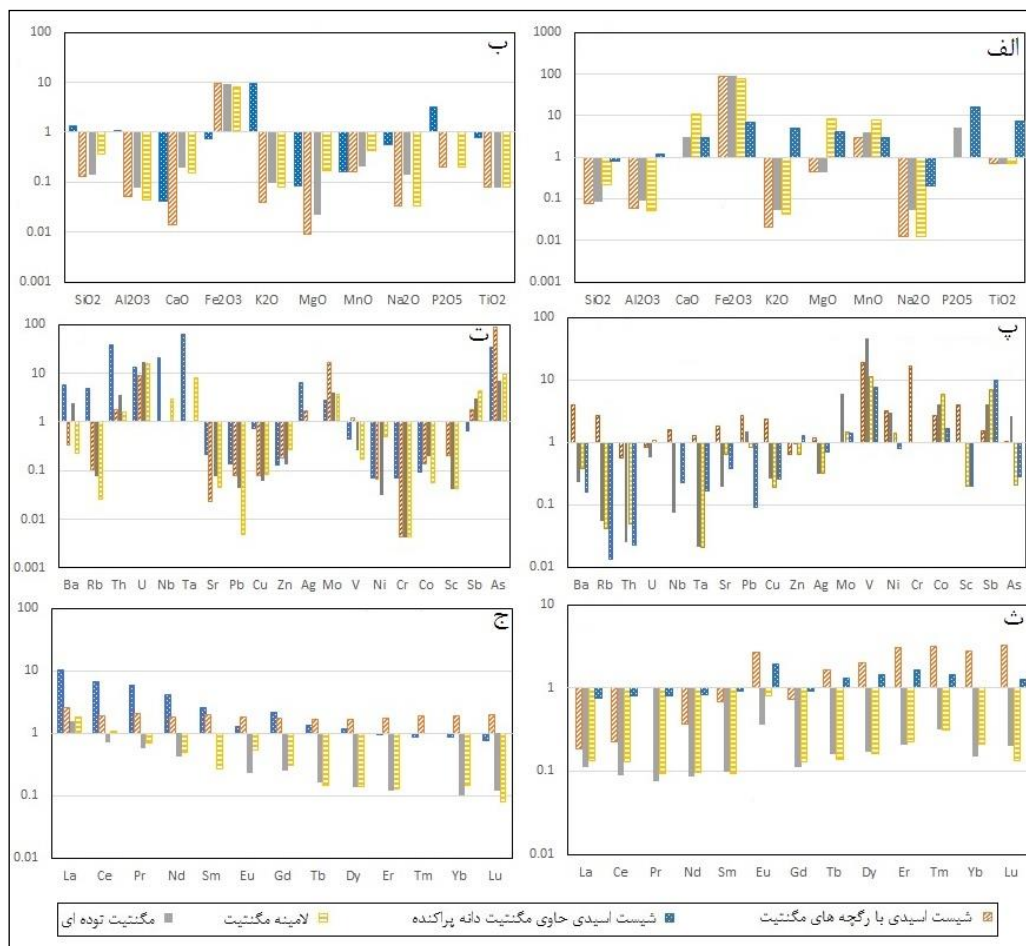


شکل ۱۱. الگوی عناصر کمیاب خاکی بهنجار شده به کندریت (Boynton, 1984) برای بخش‌های کانه‌دار و سنگ‌های میزبان (شسیت اسیدی فاقد کانه‌زایی و شسیت بازیک فاقد کانه‌زایی) در رخدادهای معدنی آهن حلب ۲.

Nb و Ta است در حالیکه در عناصر Co, Cr, Ni, V, Cu, Zn, Pb, Sr, Rb, Sc تهنی‌شدگی نشان می‌دهند.

در نمودارهای مربوط به عناصر کمیاب خاکی (شکل ۱۲ ث و ج)، همه نمونه‌های کانه‌دار در مقایسه با شسیت اسیدی فاقد کانه‌زایی در بخش عمده عناصر کمیاب خاکی دارای تهنی‌شدگی بوده و تنها دو نمونه شسیت اسیدی حاوی مگنتیت دانه‌پراکنده و شسیت اسیدی حاوی رگچه‌های مگنتیتی (فاز سوم کانه‌زایی) در عناصر Eu, Tb, Dy, Er, Tm, Yb و Lu دارای غنی‌شدگی هستند (شکل ۱۲ ث). نمونه شسیت اسیدی حاوی رگچه‌های مگنتیت (فاز سوم کانه‌زایی) در مقایسه با شسیت اسیدی فاقد کانه‌زایی از LREE تهنی و از HREE غنی شده است (شکل ۱۲ ث). این مطلب را می‌توان به سسته‌شدن و تحرک عناصر کمیاب خاکی سبک و تنه‌شست عناصر کمیاب خاکی سنگین طی دگرسانی مرتبط با فاز کانه‌زایی مرحله سوم در نظر گرفت (Kikawada et al., 2001). نمونه‌های مگنتیت توده‌ای و لامینه مگنتیتی در مقایسه با شسیت اسیدی فاقد کانه‌زایی از کلیه عناصر کمیاب خاکی تهنی شده هستند (شکل ۱۲ ث). در مقایسه با شسیت بازیک فاقد کانه‌زایی، نمونه شسیت اسیدی حاوی رگچه‌های مگنتیت (فاز سوم کانه‌زایی) دارای غنی‌شدگی یکنواخت از همه عناصر کمیاب خاکی است (شکل ۱۲ ج). نمونه مربوط به شسیت اسیدی حاوی مگنتیت دانه‌پراکنده در مقایسه با شسیت بازیک فاقد کانه‌زایی، دارای تهنی‌شدگی در عناصر Er, Tm, Yb و Lu بوده و در مابقی عناصر کمیاب خاکی غنی‌شدگی نشان می‌دهد (شکل ۱۲ ج). نمونه‌های مگنتیت توده‌ای و لامینه مگنتیتی در مقایسه با شسیت بازیک فاقد کانه‌زایی در همه عناصر به غیر از La دارای تهنی‌شدگی هستند (شکل ۱۲ ج). در مجموع می‌توان گفت که نمونه‌های کانه‌دار مربوط به فاز اول کانه‌زایی (شسیت اسیدی حاوی مگنتیت دانه‌پراکنده، مگنتیت توده‌ای و لامینه مگنتیتی) در مقایسه با شسیت بازیک فاقد کانه‌زایی از عناصر LREE-غنی شده بوده و در عناصر HREE تهنی‌شدگی نشان می‌دهند.

به‌منظور بررسی تهنی‌شدگی و غنی‌شدگی عناصر طی کانه‌زایی در رخدادهای معدنی آهن حلب ۲، داده‌های مربوط به نمونه‌های کانه‌دار نسبت به سنگ‌های میزبان فاقد کانه‌زایی (شسیت اسیدی فاقد کانه‌زایی و شسیت بازیک فاقد کانه‌زایی) سنجیده شد تا عناصر اضافه و یا کم‌شده به سنگ طی کانه‌زایی مشخص گردد. لازم به ذکر است که این روش کیفی بوده و برای تعیین میزان کمی تهنی‌شدگی و غنی‌شدگی عناصر نیاز به محاسبات موازنه است که در این تحقیق انجام نشده است. همان‌گونه که در (شکل ۱۲ الف) دیده می‌شود، بخش عمده نمونه‌ها در مقایسه با شسیت اسیدی فاقد کانه‌زایی، در اکسیدهای SiO_2 , Al_2O_3 و K_2O و Na_2O تهنی‌شدگی داشته و در اکسیدهای Fe_2O_3 , CaO و MgO غنی‌شدگی نشان می‌دهند. در نمونه شسیت اسیدی حاوی کانه‌زایی مگنتیت دانه‌پراکنده، اکسیدهای P_2O_5 و TiO_2 نیز غنی‌شدگی نشان می‌دهد. در (شکل ۱۲ ب)، نمونه‌های کانه‌دار نسبت به شسیت بازیک فاقد کانه‌زایی مقایسه شده‌اند. همچنان‌که در این شکل دیده می‌شود، همه اکسیدهای عناصر اصلی در نمونه‌های کانه‌دار نسبت به شسیت بازیک فاقد کانه‌زایی تهنی‌شدگی پیدا کرده‌اند و تنها در Fe_2O_3 غنی‌شدگی نشان می‌دهد. نمونه شسیت اسیدی حاوی کانه‌زایی مگنتیت دانه‌پراکنده، در اکسیدهای K_2O و P_2O_5 غنی‌شدگی نشان می‌دهد. در نمودارهای مربوط به عناصر کمیاب (شکل ۱۲ پ و ت)، نمونه‌های شسیت اسیدی حاوی مگنتیت دانه‌پراکنده، مگنتیت توده‌ای و لامینه مگنتیتی نسبت به شسیت اسیدی فاقد کانه‌زایی، حاوی غنی‌شدگی در عناصر V, Ni, Co, Sb و تهنی‌شدگی در عناصر Ba, Rb, Th, U, Ta, Sr, Pb, Zn, Ag, As و Sc هستند. نمونه مربوط به شسیت اسیدی حاوی رگچه‌های مگنتیتی (فاز سوم کانه‌زایی) در مقایسه با شسیت اسیدی فاقد کانه‌زایی دارای غنی‌شدگی در بخش عمده عناصر بوده و تنها در عناصر Th, U و Zn دارای تهنی‌شدگی نسبی است (شکل ۱۲ پ). در مقایسه با شسیت بازیک فاقد کانه‌زایی (شکل ۱۲ ت)، بخش عمده نمونه‌های کانه‌دار شامل شسیت اسیدی حاوی مگنتیت دانه پراکنده، مگنتیت توده‌ای، لامینه مگنتیتی و شسیت اسیدی حاوی رگچه مگنتیتی (فاز سوم کانه‌زایی)، دارای غنی‌شدگی عناصر U, Sb, As, Ag, Mo,



شکل ۱۲. الگوهای غنی‌شدگی و تهی‌شدگی اکسیدهای عناصر اصلی (الف و ب)، عناصر کمیاب (پ و ت) و عناصر کمیاب خاکی (ث و ج) برای بخش‌های کانه‌دار در رخدادهای معدنی آهن حلب ۲ که نسبت به شیست اسیدی فاقد کانه‌زایی (الف، پ و ت) و شیست بازیک فاقد کانه‌زایی (ب، ت و ج) فاقد کانه‌زایی بهنجار شده‌اند.

تیپ و مدل تشکیل رخدادهای معدنی حلب ۲

ویژگی‌های زمین‌شناسی، زمین‌شیمیایی، کانی‌شناسی، ساخت و بافت ماده معدنی در رخدادهای معدنی آهن حلب ۲ نشان می‌دهد که این رخدادهای معدنی را می‌توان در دسته کانسارهای آهن آتشفشانی- رسوبی دگرگون و دگرشکل‌شده (توکلی، ۱۳۸۳؛ محمدی و همکاران، ۱۳۹۳؛ پورمحمد و همکاران، زیر چاپ؛ Smirnov et al., 1983; Ashley et al., 1998; Roy and Venkatesh, 2009) طبقه‌بندی کرد (جدول ۲). شواهدی از قبیل ژئومتری عدسی‌شکل و بافت‌های دانه‌پراکنده، لامینه‌ای و نواری ماده معدنی تأییدکننده این مطلب است. براساس نتایج به‌دست آمده از مشاهدات صحرایی، مطالعات سنگ‌شناسی و کانه‌نگاری، روابط پارائنتیک کانی‌ها و کانه‌ها، مراحل تکوین و تکامل رخدادهای معدنی آهن حلب ۲ را می‌توان به‌صورت یک توالی چهار مرحله‌ای خلاصه کرد. مرحله نخست با تشکیل توالی‌های آتشفشانی- رسوبی منطقه همراه می‌باشد. کانه‌زایی آهن به‌عنوان یک پتانسیل اولیه هم‌زمان با واحدهای میزبان تشکیل شده است (شکل ۱۳ الف). ژئومتری عدسی‌شکل و وجود بافت‌های دانه‌پراکنده، لامینه‌ای و نواری ماده معدنی و هم‌راستا بودن آن با برگوارگی واحدهای میزبان، نشان‌دهنده ته‌نشست ماده معدنی هم‌زمان با تشکیل واحدهای میزبان طی فعالیت‌های

آتشفشانی- برودمی است. در مرحله دوم، واحدهای سنگی منطقه تا رخساره شیست سبز دگرگون و دگرشکل شده و کانه‌زایی اولیه مورد رونق‌دهی قرار گرفته است (شکل ۱۳ ب). وجود ساختارهای چین‌خورده در باندهای مگنتیت- کوارتز همانند واحدهای میزبان به‌همراه ساختارهای سیگما و بودین‌شدگی، رشد در سایه فشار و دور دن برگوارگی اطراف بلورهای دانه- پراکنده مگنتیت موجود در سنگ‌های میزبان بیانگر عملکرد دگرشکلی و دگرگونی بعد از تشکیل کانه‌زایی است. در مرحله سوم، توده‌های گرانیتوئیدی به‌داخل توالی‌های سنگی منطقه نفوذ کرده‌اند (شکل ۱۳ پ). نفوذ این توده‌ها در بخش باختری منطقه در محل کانسار سرب و روی حلب (کرمی و همکاران، ۱۳۹۴) سبب تشکیل هاله‌های اسکارنی شده است. نفوذ توده‌های مزبور سبب ایجاد شکستگی‌های متقاطع با واحدهای دگرگون و دگرشکل‌شده منطقه شده است. این توده‌ها به‌عنوان موتور حرارتی عمل کرده و سبب چرخش آب‌های ماگمایی- جوی و تشکیل رگه- رگچه‌ها و سیمان مگنتیتی مرحله سوم کانه‌زایی شده‌اند (شکل ۱۳ ت). مرحله چهارم با بالآمدگی ناحیه- ای و توسعه فرآیندهای هوازدهی و فرسایش همراه بوده و شکل امروزی کانه- زایی را به‌وجود آورده است (شکل ۱۳ ت).

جدول ۲. مقایسه ویژگی‌های اصلی رخداد معدنی آهن حلب ۲ با برخی از کانسارهای آهن آتشفشانی- رسوبی در جهان و ایران.

حلب ۲	میانج	گورگور	خسروآباد	شمال یاختر همدان	La Hueca (مکزیک)	Otlukilise (ترکیه)	
سنگ میزبان	شیل، سنگ، مارن	سنگ، شیل، گریوک، آهک	سنگ‌های آتشفشانی- رسوبی دگرگون شده	سنگ‌های آتشفشانی- رسوبی دگرگون شده	سنگ‌های آتشفشانی- رسوبی دگرگون شده	سنگ‌های آتشفشانی- رسوبی دگرگون شده	سنگ میزبان
سن کانه‌زایی	کرتاسه	کرتاسه	پالئوزوئیک تا مزوزوئیک	پالئوزوئیک تا مزوزوئیک	کرتاسه	کرتاسه	سن کانه‌زایی
ژئومتری	لایه‌ای	لایه‌ای و عدسی شکل	عدسی شکل	عدسی شکل	لایه‌ای و عدسی شکل	لایه‌ای	ژئومتری
ساخت و بافت	لایه‌ای و دانه‌پراکنده	نواری	نواری، توده‌ای و دانه‌پراکنده	نواری، توده‌ای و دانه‌پراکنده	نواری	لایه‌ای و دانه‌پراکنده	ساخت و بافت
کانه‌ها	هماتیت، سیدریت، پیریت و مگنتیت	هماتیت، سیدریت و مگنتیت	هماتیت	هماتیت و کالکوپیریت	هماتیت، سیدریت و مگنتیت	هماتیت، سیدریت، پیریت و مگنتیت	کانه‌ها
دگرسانی	هماتیتی، کلریتی، سیلیسی و آرژیلیکی	هماتیتی و کلریتی	هماتیتی و کلریتی	هماتیتی و کلریتی	هماتیتی و کلریتی	هماتیتی، کلریتی، سیلیسی و آرژیلیکی	دگرسانی
تیپ	اولیه به صورت آتشفشانی- رسوبی	اولیه به صورت آتشفشانی- رسوبی	اولیه به صورت آتشفشانی- رسوبی، تحرک و تبلور و متاسوماتیزم در اثر دگرگونی، اسکارن کلسیمی	اولیه به صورت آتشفشانی- رسوبی، تحرک و تبلور و متاسوماتیزم در اثر دگرگونی، اسکارن کلسیمی	اولیه به صورت آتشفشانی- رسوبی	اولیه به صورت آتشفشانی- رسوبی	تیپ
منابع	Ciftci et al., 1996	Corona-Esquivel et al., 2000	توکلی، ۱۳۸۲	توکلی، ۱۳۸۲	توکلی، ۱۳۸۲	توکلی، ۱۳۸۲	منابع

کاربردهای اکتشافی

سلیمان- انگوران، منجر به شناسایی کانه‌زایی‌ها و اندیس‌های متعددی از کانسارهای آهن با منشاء آتشفشانی- رسوبی (مانند کانه‌زایی‌های آهن گورگور، میانج و حلب ۱) در این منطقه شده است. این کانه‌زایی‌ها درون واحدهای آتشفشانی- رسوبی دگرگون و دگرشکل شده (معادل سازند کهر) قرار دارند. لذا به نظر می‌رسد که این مجموعه سنگی از نظر اکتشاف آهن حائز اهمیت بالایی باشد. بررسی این واحدهای سنگی در منطقه تکاب- تخت سلیمان- انگوران و تعمیم شواهد به دست آمده از آن به مناطق مشابه در پهنه سنندج- سیرجان می‌تواند به شناسایی این تیپ از کانه‌زایی‌های آهن منجر گردد.

- شناخت ویژگی‌های یادشده می‌تواند کاربرد فراوانی در اکتشاف این تیپ از کانه‌زایی‌های آهن در زیرپهنه تکاب- تخت سلیمان- انگوران و دیگر مناطق پهنه سنندج- سیرجان داشته باشد.

سیاس‌گذاری

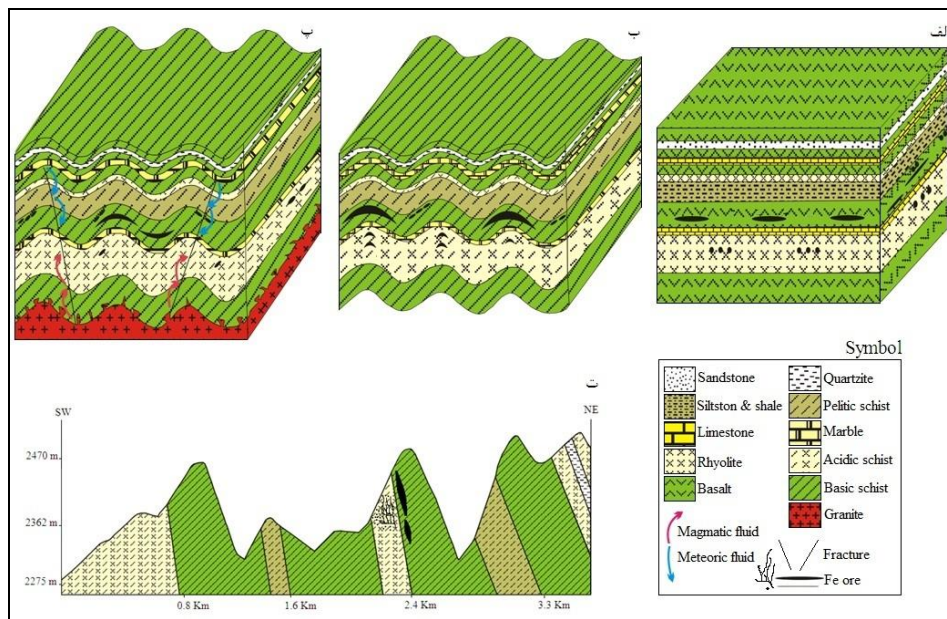
این نوشتار حاصل بخشی از پایان‌نامه کارشناسی ارشد نگارنده اول مقاله در دانشگاه زنجان است. نویسندگان از حمایت‌های مالی دانشگاه زنجان برای انجام این پژوهش تشکر می‌نمایند. همچنین نویسندگان بر خود لازم می‌دانند از سردبیر و داوران محترم مجله زمین‌شناسی کاربردی پیشرفته به خاطر راهنمایی‌های علمی ارزنده که منجر به غنای بیشتر مقاله حاضر گردیده است، کمال تشکر را داشته باشند.

نتایج بدست‌آمده از پژوهش حاضر نشان می‌دهد که رخداد معدنی آهن حلب ۲ از نوع آتشفشانی- رسوبی دگرگون و دگرشکل شده بوده و از این نظر قابل مقایسه با دیگر کانه‌زایی‌های آهن موجود در پهنه کانه‌دار تکاب- تخت سلیمان- انگوران مانند گورگور (محمدی و همکاران، ۱۳۹۳) و میانج (پورمحمد، ۱۳۹۶؛ پورمحمد و همکاران، زیر چاپ) می‌باشد. این کانه‌زایی به صورت هم‌روند با برگراری واحدهای شیستی در پهنه کانه‌دار تکاب- تخت سلیمان- انگوران تشکیل شده و عمدتاً همراهی نزدیکی با شیست‌های اسیدی و بازیک دارد. مطالعات انجام‌شده طی سال‌های اخیر در منطقه تکاب- تخت

نتیجه‌گیری

نتایج حاصل از مشاهدات صحرایی، ژئومتری، ساخت و بافت، سنگ میزبان و توالی پاراژنری در رخداد معدنی آهن حلب ۲ بیانگر نتایج زیر می‌باشد:

- ژئومتری عدسی شکل ماده معدنی و وجود بافت‌های دانه‌پراکنده، لامینه‌ای و نواری در ماده معدنی نشان‌دهنده تنش‌های آن‌ها هم‌زمان با تشکیل واحدهای میزبان است.
- هم‌روند بودن ماده معدنی با برگراری واحدهای میزبان و وجود چین- خوردگی‌های مشابه در ماده معدنی و سنگ میزبان نیز نشان‌دهنده تنش‌های آن‌ها هم‌زمان با تشکیل واحدهای میزبان است.
- با توجه به ویژگی‌های ساخت و بافتی یادشده، رخداد معدنی آهن حلب را می‌توان در ردیف کانسارهای آهن تیپ آتشفشانی- رسوبی دگرگون و دگرشکل شده تقسیم‌بندی کرد.



شکل ۱۳. نمایی شماتیک از مراحل تکوین و تکامل کانه‌زایی در رخدادهای آهن حلب ۲. الف- تشکیل توالی آتشفشانی- رسوبی منطقه همراه با تشکیل کانه‌زایی اولیه آهن به صورت دانه‌پراکنده و عدسی‌شکل- لایه‌ای- لامینه‌ای. ب- دگرگونی و دگرشکلی همراه با چین‌خوردگی کانه‌زایی و تشکیل فابریک‌های دگرگونی و دگرشکلی در آن. پ- نفوذ توده گرانیتوئیدی به داخل سنگ‌های میزبان، ایجاد شکستگی و چرخش سیالات گرمایی که منجر به تشکیل کانه‌زایی رگه- رگچه‌ای شده است. ت- توسعه فرایندهای هوازدگی و فرسایش و به‌وجود آمدن شکل امروزی منطقه.

منابع

- پورمحمد، ف.، ۱۳۹۶، زمین‌شناسی، ژئوشیمی و خاستگاه کانه‌زایی آهن میانج، منطقه حلب، جنوب‌باختر زنجان. پایان‌نامه کارشناسی ارشد زمین‌شناسی اقتصادی، دانشگاه زنجان، ۹۴ ص.
- پورمحمد، ف.، کوهستانی، ح.، عظیم‌زاده، ا.م.، نباتیان، ق. و مختاری، م.ع.ا.، ۱۳۹۷، رخداد معدنی آهن میانج، جنوب‌باختر زنجان: کانه‌زایی آتشفشانی- رسوبی دگرگون و دگرشکل‌شده در پهنه سندانج- سیرجان. فصلنامه علوم زمین، زیر چاپ.
- توکلی، ح.، ۱۳۸۳، کانی‌شناسی، ژئوشیمی و خاستگاه کانسارهای آهن شمال‌غرب همدان، پایان‌نامه کارشناسی ارشد زمین‌شناسی اقتصادی، دانشگاه تربیت مدرس، ۱۵۶ ص.
- حلاجی، ا.، ۱۳۷۰، مطالعه کانی‌شناسی، عناصر کمیاب و منشأ کانسار گل‌گهر (سیرجان- کرمان)، پایان‌نامه کارشناسی ارشد زمین‌شناسی اقتصادی، دانشگاه خوارزمی.
- حیدری، م.، قادری، م. و کوهستانی، ح.، ۱۳۹۶، کانه‌زایی طلای اَبی‌ترمال با میزبان رسوبی عرشاه، جنوب‌خاور تکاب، شمال‌باختر ایران. فصلنامه علوم زمین، شماره ۱۰۵، ص. ۲۶۵-۲۸۲.
- شیرخانی، م.، ۱۳۸۷، کانی‌شناسی، ژئوشیمی و وزن کانسار سرب- روی آی‌قلعه‌سی، جنوب‌خاور تکاب. پایان‌نامه کارشناسی ارشد زمین‌شناسی اقتصادی، دانشگاه تربیت مدرس، ۱۴۳ ص.
- فریدونی، ز.، عظیم‌زاده، ا.م.، کوهستانی، ح.، موید، م. و مرنگی، ح.، ۱۳۹۴، مطالعه کانی‌شناسی و کانه‌نگاری کانه‌زایی آهن در رخداد معدنی حلب (جنوب‌باختری زنجان) با استفاده از میکروسکوپ الکترونی روبشی (SEM). سی و چهارمین گردهمایی و دومین کنگره بین‌المللی تخصصی علوم زمین، سازمان زمین‌شناسی و اکتشافات معدنی کشور.
- فریدونی، ز.، عظیم‌زاده، ا.م.، کوهستانی، ح.، مؤید، م. و مرنگی، ح.، ۱۳۹۵، مطالعه کانی‌سازی مگنتیت/هماتیت در کانسار آهن حلب با استفاده از پتروگرافی و ژئوشیمی میان‌بارهای سیلیسی. هشتمین همایش انجمن زمین‌شناسی اقتصادی ایران، دانشگاه زنجان.
- فنودی، م. و حریری، ع.، ۱۳۷۸، نقشه زمین‌شناسی ۱:۱۰۰۰۰۰. تکاب. سازمان زمین‌شناسی و اکتشاف معدنی کشور.
- کریمی، ف.، کوهستانی، ح.، مختاری، م.ع.ا. و عظیم‌زاده، ا.م.، ۱۳۹۴، ویژگی‌های زمین‌شناسی و کانه‌زایی کانسار روی- سرب (نقره) حلب، جنوب‌باختر زنجان. مجموعه مقالات سی و چهارمین گردهمایی و دومین کنگره بین‌المللی تخصصی علوم زمین، سازمان زمین‌شناسی و اکتشافات معدنی کشور.
- کرباسی، ع.، ۱۳۹۴، گزارش پایانی اکتشاف روی- سرب حلب. سازمان صنعت، معدن و تجارت استان زنجان.
- لطفی، م. و کریمی، م.، ۱۳۸۲، کانی‌سازی و نحوه تشکیل کانسار نوع رگه‌ای (نیکل- کبالت- آرسنیک- بیسموت- عناصر پایه) بایچه‌باغ (شمال‌باختری زنجان- ایران). فصلنامه علوم زمین، شماره ۵۳، ص. ۴۰-۵۵.
- متولی، ک.، ۱۳۸۴، کانی‌شناسی، ژئوشیمی و منشأ کانسارهای آهن خسروآباد و تکیه بالا در شمال‌خاوری سقز. پایان‌نامه کارشناسی ارشد زمین‌شناسی اقتصادی، دانشگاه تربیت مدرس، ۱۵۰ ص.
- محمدی نیایی، ر.، ۱۳۹۴، وزن و زمین‌شناسی اقتصادی کانسار سرب و روی آی‌قلعه‌سی با نگرش ویژه‌ای بر کانه‌زایی فلزات قیمتی. رساله دکتری زمین‌شناسی اقتصادی، دانشگاه آزاد اسلامی واحد علوم و تحقیقات، ۲۱۰ ص.
- محمدی، ز.، ابراهیمی، م. و کوهستانی، ح.، ۱۳۹۱، ویژگی‌های زمین‌شناسی و کانه‌زایی رخداد معدنی آهن گورگور، شمال‌باختری تکاب. سی و یکمین گردهمایی علوم زمین، سازمان زمین‌شناسی و اکتشافات معدنی کشور تهران.

- محمدی، ز.، ابراهیمی، م. و کوهستانی، ح.، ۱۳۹۳، رخداد معدنی آهن گورگور، شمال خاور تکاب: کانه‌زایی تیپ آتشفشانی- رسوبی دگرگون شده در زون سندج- سیرجان. مجله زمین-شناسی کاربردی پیشرفته، شماره ۱۳، ص ۲۰-۳۲.
- محمدی، ز.، کوهستانی، ح. و ابراهیمی، م.، ۱۳۹۲، کانی‌شناسی، ساخت و بافت و تیپ کانه‌زایی آهن در رخداد معدنی گورگور، شمال خاوری تکاب. اولین کنفرانس بین‌المللی مهندسی معدن، فرآوری مواد معدنی، متالورژی و محیط زیست، دانشگاه زنجان. زنجان.
- محمدی، ز.، ۱۳۹۲، پتروگرافی سنگ‌های دگرگونی منطقه حلب (شمال شرق تکاب) با نگرشی بر کانه‌زایی آهن. پایان‌نامه کارشناسی ارشد پترولوژی، دانشگاه زنجان. ۱۰۱ ص.
- نادری، ا.، ۱۳۹۵، زمین‌شناسی، کانی‌شناسی، ژئوشیمی و ژنز کانسار منگنز حلب، جنوب غرب زنجان، پایان‌نامه کارشناسی ارشد زمین‌شناسی اقتصادی، دانشگاه زنجان.
- نادری، ا.، نباتیان، ق.، هنرمند، م. و کوهستانی، ح.، ۱۳۹۵- زمین‌شناسی، کانی‌شناسی، ساخت و بافت ماده معدنی در کانسار منگنز حلب، جنوب باختر زنجان. هشتمین همایش انجمن زمین‌شناسی اقتصادی ایران، دانشگاه زنجان.
- نجف‌زاده، م.، ۱۳۹۴، پتروگرافی سنگ‌های دگرگونی منطقه عربشاه (جنوب شرق تکاب) با نگرشی بر کانه‌زایی آرسنیک- طلا. پایان‌نامه کارشناسی ارشد پترولوژی، دانشگاه زنجان، ۹۲ ص.
- نجف‌زاده، م.، ابراهیمی، م.، مختاری، م.ع.ا. و کوهستانی، ح.، ۱۳۹۵، رخداد معدنی عربشاه: کانه‌زایی اپی‌ترمال طلا- آرسنیک- آنتیموان تیپ کارلین در پهنه فلزایی تکاب- انگوران- تخت‌سلیمان، آذربایجان غربی. مجله زمین‌شناسی کاربردی پیشرفته، جلد ۶، شماره ۲۲، ص ۶۱-۷۶.
- نجف‌زاده، ر.، کوهستانی، ح.، مختاری، م.ع.ا. و صادقی، م.، ۱۳۹۵، ویژگی‌های زمین‌شناسی و کانه‌زایی رخداد معدنی حلب، جنوب باختر زنجان، سی و پنجمین گردهمایی ملی علوم زمین، سازمان زمین‌شناسی و اکتشافات معدنی کشور.
- Asadi, H.H., Voncken, J.H.L., Kühnel, R.A., Hale, M., 1999, Invisible gold at Zarshuran, Iran. *Economic Geology*, Vol: 94, No: 48, p: 1367-1374.
- Asadi, H.H., Voncken, J.H.L., Kühnel, R.A., Hale, M., 2000, Petrography, mineralogy and geochemistry of the Zarshuran Carlin-like gold deposit, northwest Iran. *Mineralium Deposita*, Vol: 35, No: 7, p. 656-671.
- Ashley, P.M., Lottermoser, B.G., Westaway, J.M., 1998, Iron-formation and epigenetic ironstones in the Palaeoproterozoic Willyama Supergroup, Olary Domain, South Australia. *Mineralogy and Petrology*, Vol: 6, No: 1-4, p: 187-218.
- Boni, M., Gilg, H.A., Balassone, G., Schneider, J., Allen, C.R., Moore, F., 2007, Hypogene Zn carbonate ores in the Angouran deposit, NW Iran. *Mineralium Deposita*, Vol: 42, No: 8, p: 799-820.
- Boynton, W.V., 1984, Cosmochemistry of the earth element: meteorite studies. In: Henderson, P., (Ed.): *Rare Earth Element geochemistry*. Elsevier, Amsterdam, pp: 63-114.
- Ciftci, D., Unlu, T., Sayili, S.A., 1996, Discussion on the origin of Otlukliseiron deposit Gurun- Sivas. *Mineral Res. Expl. Bull.*, Vol: 118, p: 25-50.
- Corona-Esquível, R., Ortega-Gutiérrez, F., Reyes-Salas, M., Lozano-Santacruz, R., Miranda-Gasca, M.A., 2000, Mineralogical study of the La Hueca Cretaceous ironmanganese deposit, Michoacan, Southwestern Mexico. *Revista Mexicana de Ciencias Geológicas*, Vol: 17, No: 2, p: 143-153.
- Daliran, F., 2008, The carbonate rock-hosted epithermal gold deposit of Agdarreh, Takab geothermal field, NW Iran, hydrothermal alteration and mineralization. *Mineralium Deposita*, Vol: 43, No: 4. p: 383-404.
- Daliran, F., Hofstra, A.H., Walther, J., Stüben, D., 2002, Aghdarreh and Zarshuran SRHDG deposits, Takab region, NW Iran. *GSA Annual Meeting, Abstract with Programs, Session 63-8*.
- Daliran, F., Pride, K., Walther, W., Berner, Z.A., Bakker, R.J., 2013, The Angouran Zn (Pb) deposit, NW Iran: evidence for a two stage, hypogene zinc sulfide-zinc carbonate mineralization. *Ore Geology Reviews*, Vol: 53, p: 373-402.
- Daliran, F., Walther, J., 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., 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*, Vol: 41, No: 1, p: 1-16.
- Kikawada, Y., Ossaka, T., Oi, T., Honda, T., 2001, Experimental studies on the mobility of lanthanides accompanying alteration of andesite by acidic hot spring water. *Chemical Geology*, Vol: 176, No: 1-4, p: 137-149.
- Mehrabi, B., Yardley, B.W.D., Cam, J.R., 1999, Sediment-hosted disseminated gold mineralization at Zarshuran, NW Iran. *Mineralium Deposita*, Vol: 34, No: 7, p: 673-696.
- Mohammadi Niaei, R., Daliran, F., Nezafati, N., Ghorbani, M., Sheikh Zakariaei, J., Kouhestani, H., 2015, The Ay Qalasi deposit: An epithermal Pb-Zn (Ag) mineralization in the Urumieh-Dokhtar Volcanic Belt of northwestern Iran. *N. Jb. Miner. Abh. (J. Min. Geochem.)*, Vol: 192, No: 3, p: 263-274.
- Orberger, B., Misks, S., Tudrin, A., Wagner, Ch., Failin, M., Boudouma, O., Derre, C., Nabatian, Gh., Honarmand, M., Monsef, I., Ghods, A., 2017, Iron-oxide mineralogy of banded iron formations in the Takab region, North Western Iran. *Mineral Resources to Discover - 14th SGA Biennial Meeting, S05 – Iron-ore – Deposit to global scale processes*, Vol. 2.
- Passchier, C.W., Trouw, R.A.J., 1997, *Micro-tectonics*. Springer-Verlag New York, Berlin Heidelberg Editions, 289 p.
- Roy, S., Venkatesh, A.S., 2009, Mineralogy and geochemistry of banded iron formation and iron ores from eastern India with implications on their genesis. *Journal of Earth System Science*, Vol: 118, p: 619-641.
- Smirnov, V.M., Ginzburg, A.I., Grigoriev, V.M., Yakovlev, G.F., 1983, *Studies of mineral deposits*. Mir Publishers, Moscow, 288 p.
- Stöcklin, J., 1968- Structural history and tectonics of Iran: A review. *Am. Assoc. Petrol. G., Geol. Bull.*, Vol: 52, No: 7, p: 1229-1258.
- Whitney, D.L., Evans, B.W., 2010, Abbreviations for names of rock-forming minerals. *American Mineralogist*, Vol: 95, p: 185-187.
- Yardley, B.W.D., Mackenzie, W.S., Guilford, C., 1990, *Atlas of metamorphic rocks and their textures*. Longman Scientific and technical, 120 p.