



کانی‌زایی و دگرسانی کانسار آهن رشتخار و سنگ‌های میزبان وابسته به آن

حبیب بیابانگرد^{*}، محمد بومری، خسرو تیموری، فاطمه محمدپور

گروه زمین‌شناسی، دانشکده علوم پایه، دانشگاه سیستان و بلوچستان، زاهدان

(دریافت مقاله: ۹۳/۱۰/۲۸، نسخه نهایی: ۹۴/۳/۲۴)

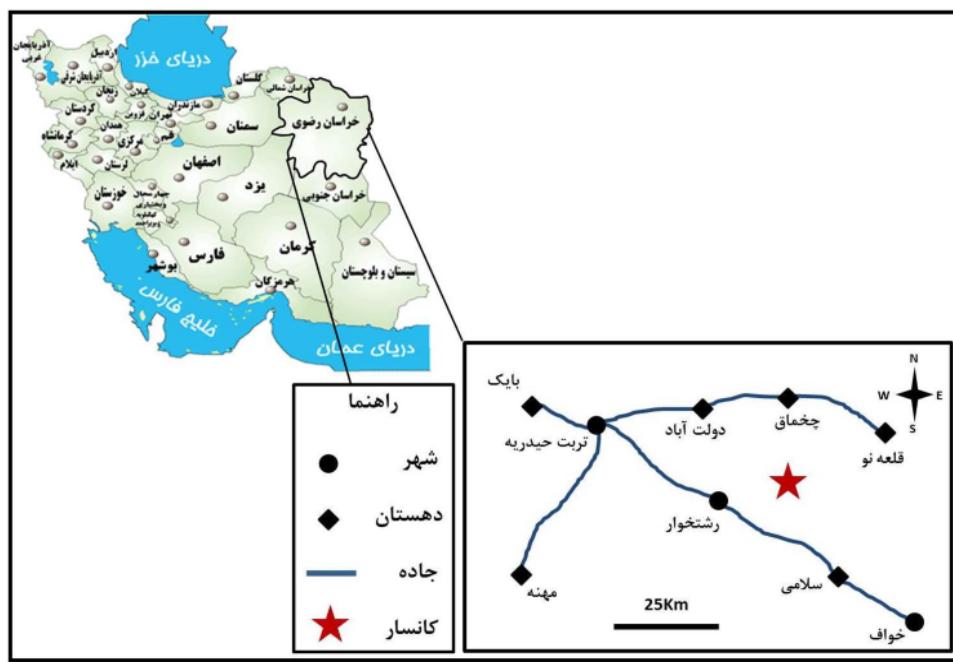
چکیده: کانسار آهن رشتخار در جنوب خاوری استان خراسان رضوی و ۴۸ کیلومتری خاوری رشتخار قرار دارد. از نظر زمین‌شناسی این کانسار در شمال خاوری بلوك لوت واقع شد و به نوار ولکانو پلوتونیک خوف-بردسکن وابسته است. سنگ‌های آذرین حدواسط به صورت استوک، دایک، گدازه و نهشته‌های آذرآواری سنگ میزبان کانسار هستند. این سنگ‌ها شامل دیوریت پورفیری، مونزوسینیت پورفیری، آندزیت، بازالت و لیتیک توف هستند که دارای بافت‌های دانه‌ای، پورفیری، میکرولیتیک پورفیری و هیالومیکرولیتیک هستند و از کانی‌های پلازیوکلار، فلدسپات‌های پتاسیم، آمفیبول و پیروکسن تشکیل شده‌اند. واحدهای رسوبی بیشتر از کنگلومرا، شیل و ماسه سنگ تشکیل شده‌اند. کانی‌زایی آهن در این کانسار غالباً به صورت رگه‌هایی با ضخامت چند سانتی‌متر تا ۲ متر و تا طول ۲۰ متر، با راستای غالب خاوری-باختری در داخل سنگ‌های نفوذی دیده می‌شوند. کانی‌زایی آهن بیشتر به صورت هماتیت (اسپیکولاریت) و مگنتیت بوده و کانی‌زایی مس نخست به صورت کالکوپیریت تشکیل شده و طی فرآیندهای سطحی به کربنات‌های مس (مالاکیت و آزوریت) و هیدروکسیدهای آهن (گوئتیت و لیمونیت) تبدیل شده‌اند. اصلی‌ترین کانی‌های باطله عبارتند از کلسیت و کوارتز. دگرسانی‌های پروپیلیتیک، سریستیک-پروپیلیتیک، سیلیسی و آرژیلیک پیشرفت‌های مهم‌ترین دگرسانی‌هایی هستند که طی آن برخی از کانی‌ها همچون پلازیوکلارها، فلدسپات‌های پتاسیم و آمفیبول‌ها به سریسیت، کلریت و کانی‌های رسی دگرسان شده‌اند.

واژه‌های کلیدی: ایران، بلوك لوت، رشتخار، کانی‌زایی آهن، اسپیکولاریت.

را در تشکیل دگرسانی‌های منطقه مهم شناخته‌اند [۲]. ذخایر IOCG یک نوع رده‌بندی جدید بوده و به عنوان یک نوع جدید از کانسارهای گرمابی که در محیط‌های قاره‌ای تشکیل می‌شوند، معرفی شده‌اند [۳]. این ذخایر دسته‌ای از کانسارها هستند که دارای طیف گسترده‌ای از عناصر از جمله اورانیم، مس، نادر خاکی، نقره، طلا، بیسموت، کبالت و فسفر هستند. کانسار آهن رشتخار در ۴۸ کیلومتری خاوری رشتخار و ۱۲ کیلومتری شمال روستای شهرک قرار دارد (شکل ۱). در این مقاله برای نخستین بار می‌پردازیم به بررسی کانی‌زایی و دگرسانی‌های قابل توجه کانسار آهن رشتخار و سنگ‌های میزبان آن.

مقدمه
کمریند ولکانوپلوتونیکی خوف-بردسکن یکی از ایالت‌های مهم متالوژنی ایران است که حاوی معادن و کانسارهای متعددی است که از جمله کانسارهای اکسید آهن موجود در این ناحیه می‌توان به طلا-اسپیکولاریت کوه زر، تنورجه و معدن سنگ آهن سنگان خوف اشاره کرد [۱]. این کمریند حاوی منابع آهن زیادی بوده و علاوه بر این، ذخایر قابل توجهی از مس و طلا در آن شناسایی یا مورد بهره‌برداری قرار گرفته‌اند. کانسار آهن و مس رشتخار هم‌اکنون برای استخراج آهن معدن کاری می‌شود. به‌طور کلی کانی‌زایی در مرزهای گسلی رخ داده است که با توجه به کانی‌زایی آهن و مس در منطقه، نوع آن را Iron oxide copper-gold (IOCG) دانسته و نقش گرمابها

*نویسنده مسئول، تلفن: ۰۹۱۵۳۴۰۸۵۲۶، پست الکترونیکی: h.biabangard@science.usb.ac.ir



شکل ۱ نقشه‌ی راههای دسترسی به منطقه‌ی مورد بررسی.

می‌شود [۴]. در جنوب منطقه‌ی مورد بررسی ردیفی قابل ملاحظه از ماسه سنگ‌های متوسط تا سبزلايه و به رنگ خاکستری مایل به سبز با میان لایه‌هایی از مارن‌های سفید، خاکستری و قهوه‌ای در راستای شمال باختی-جنوب خاوری و همسو با گسل درونه بروند دارند، نهشته‌های این واحد هم‌شیب و به تدریج روی رسوب‌های کنگلومراژی آلیگوسن جای گرفته و به صورت ناپیوسته‌ای با رسوب‌های جوان‌تر پوشیده شده است. در بخش‌هایی از منطقه نهشته‌های این واحد بر اثر عملکرد گسل درونه به صورت برگشته در آمداند.

زمین‌شناسی کانسار

بر پایه‌ی بررسی‌های صحرایی و نقشه‌ی زمین‌شناسی تهیه شده از کانسار، کانسنگ آهن رشتخار شامل دو توده‌ی جنوبی (A) و توده‌ی شمال خاوری (B) است (شکل ۳) که سنگ میزبان آن، واحدهای نفوذی هستند. بخش مهم نفوذی‌ها وابسته به مجموعه‌ی سنگ‌های نفوذی نیمه عمیق با ترکیب حدواتسط است که تغییرات ترکیبی آن‌ها حد فاصل دیوریت تا سینیت و به صورت غالب، مونزنوتی هستند. بر اساس نقشه‌ی زمین‌شناسی تهیه شده از کانسار (شکل ۳)، واحدهای زمین‌شناسی از قدیم به جدید عبارتند از: مجموعه‌های آذرین شامل واحدهای خروجی و نفوذی به شرح زیرند:

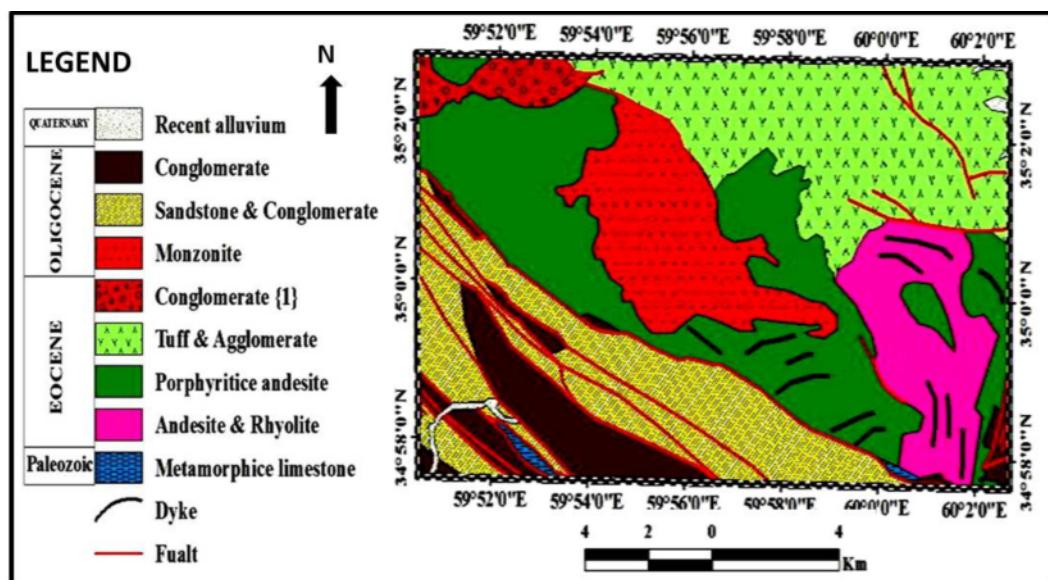
زمین‌شناسی عمومی منطقه

بر اساس نقشه‌های زمین‌شناسی ۱:۱۰۰۰۰۰ رشتخار [۴] و ۱:۲۵۰۰۰۰ گنبد [۵]، بیشتر واحدهای سنگی منطقه از سنگ‌های آذرین نفوذی و خروجی و سنگ‌های رسوبی تشکیل شده است (شکل ۲). قدیمی‌ترین واحدهای سنگی عبارتند از سنگ آهک‌های دگرگون، واحدهای شبه آتشفسانی و شیسته‌ای با سن احتمالی پرکامبرین یا پالئوزوئیک پایینی [۴] که به طور محدود در گوشه‌ی جنوب خاوری منطقه‌ی مورد بررسی (کوه تیغ سیاه و خاور کوه کمر قشقه) بروند دارند. واحدهای سنگی اؤسن بیشتر از سنگ‌های آتشفسانی شامل آندزیت پورفیری، آندزیت تا پیروکسن آندزیت، توف بلورین و لیتیک توف هستند که دارای روند شمال باختی-جنوب خاوری هستند [۴]. سنگ‌های آذرین نفوذی بیشتر ترکیب مونزنوتی دارند و به رنگ خاکستری تا خاکستری روشن دیده می‌شوند. نفوذی‌های مونزنوتی حدود ۲۵ کیلومتر مربع وسعت دارند و نهشته‌های آتشفسانی اؤسن را قطع کرده‌اند و وابسته به آلیگوسن هستند [۴]. واحدهای رسوبی بیشتر کنگلومراژی شیلی و ماسه سنگی هستند. واحد کنگلومراژی به رنگ قهوه‌ای تا قرمز و دانه‌هایی به اندازه ۲ میلیمتر تا ۲۰ سانتیمتر، با گردشگی و سختشدنگی خوب و با ناپیوستگی زاویه‌دار روی واحدهای رسوبی اؤسن و قدیمی‌تر از آن قرار دارد و به تدریج با ماسه سنگ‌ها و شیل‌های آلیگوسن پوشیده

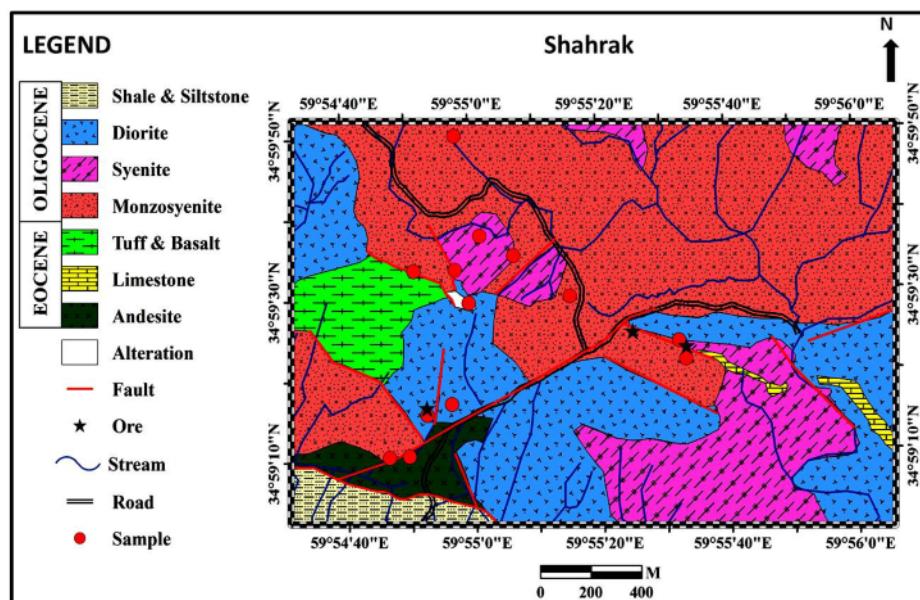
شناسی ۱:۱۰۰۰۰ رشتخار [۴] سن این واحد سنگی را ائوسن مشخص کرده‌اند.

واحد توف: این سنگ‌ها در شمال باختری توده‌ی A معدنی در بروونزد دارند (شکل ۴ ب) و در بخش شمالی خرد شده‌اند. در نمونه دستی به رنگ سبز روشن با بافت برشی و در سطح هوازده دارای رنگ تیره هستند. قطعات لیتیک و رگچه‌های سیلیس را در نمونه دستی این سنگ‌ها می‌توان تشخیص داد. سنی که برای این واحدهای تعیین شده، ائوسن است [۴].

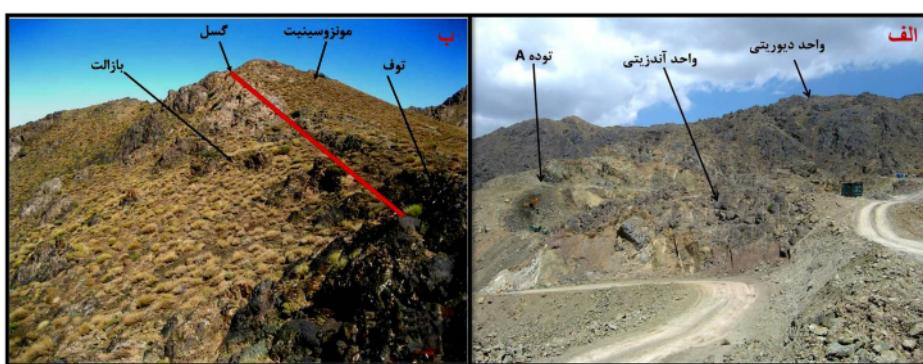
واحد آندزیتی: در جنوب منطقه‌ی مورد بررسی، با واحدهای رسوبی و دیوریتی در جنوب توده‌ی معدنی A با مرز گسلی بروونزد دارند (شکل ۴ الف). سنگ‌های آندزیتی این واحد که به رنگ خاکستری روشن دارد تا تیره و غالباً بافت پوروفیری دیده می‌شوند، درشت بلورهای معمول این سنگ‌ها پلاژیوکلاز است. این سنگ‌ها در اغلب نقاط با گرمابه‌ای به شدت دگرسان شده‌اند و رنگ آن‌ها نیز تغییر کرده است. در نقشه‌ی زمین



شکل ۲ نقشه‌ی زمین‌شناسی ناحیه‌ای از شهرک [۴] (اصلاح شده از نقشه‌های ۱:۱۰۰۰۰ رشتخار، خواف، دولت آباد و کاریزنو، سازمان زمین‌شناسی کشور، با تغییرات ۱۹۸۳).



شکل ۳ نقشه‌ی زمین‌شناسی ساده‌ی منطقه‌ی معدن آهن رشتخار و اطراف آن.



شکل ۴ الف) بروند واحد آندزیتی در همبری با واحدهای دیوریتی در جنوب توده معدنی A و ب) نمایی از بروند واحدهای توفی و بازالتی شمال باختری توده معدنی A.

دارای درشت بلورهای پلاژیوکلاز بوده و در نمونه‌ی دستی به رنگ سبزه تیره و بافت پورفیری دیده می‌شوند. دایک‌های دیوریتی: این واحد بیشتر در بخش شمالی منطقه بروند دارند که در نقشه‌ی تهیه شده به علت بروند نه چندان زیاد و ضخامت کم آن‌ها ترسیم نشده‌اند. این سنگ‌ها به رنگ سبز تیره متمایل به سیاه و دارای بافت ریزدانه هستند. در بسیاری سنگ‌ها در موارد بسیاری به صورت عدسی درآمده‌اند و در جهات مختلف در سنگ‌های منطقه نفوذ کرده‌اند. ضخامت این دایک‌ها از ۱۵ سانتی‌متر تا یک متر متغیر است. این دایک‌ها در منطقه دارای دو رشته شمال خاوری-جنوب باختری و شمال باختری-جنوب خاوری هستند و تقریباً مشابه با راستای شکستگی‌های موجود در منطقه‌اند (شکل ۶ ب).

واحد بازالتی: این واحد در بخش شمالی توده معدنی A بروند دارد (شکل ۴ ب)، در نمونه‌ی دستی به رنگ خاکستری تیره و بافت پورفیری دیده می‌شوند. پلاژیوکلازهای شکل دار کشیده و پیروکسن‌ها از جمله کانی‌های سازنده‌ی این سنگ‌ها هستند.

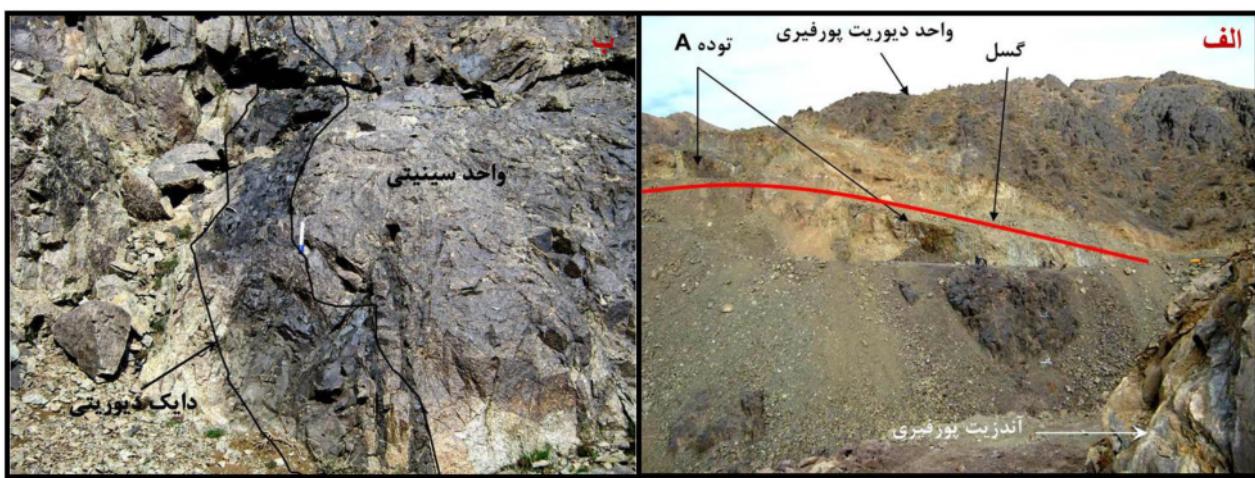
واحد مونزوسینیت: این واحد بیشتر در شمال و به میزان کمتری در جنوب باختری منطقه به صورت استوک بروند دارد. در نمونه‌ی صحراوی این سنگ‌ها می‌توان درشت بلورهای فلدسپار قلیایی و پلاژیوکلاز را دید (شکل ۵ الف).

واحد سینیت: در سطح تازه به رنگ روشن تا صورتی بوده و دارای بافت دانه‌ای و دانه‌ای متوسط هستند. کانی قابل تشخیص و اصلی این سنگ‌ها فلدسپار قلیایی بی‌شکل به رنگ صورتی دیده می‌شوند (شکل ۵ ب). بروند این واحدها در سطح منطقه کم و بیشتر در مناطق شمالی است. سنگ‌های سینیت پورفیری به صورت پراکنده و استوک در منطقه دیده می‌شوند که دارای رنگ خاکستری و بافت پورفیری‌اند. درشت بلورهای این سنگ‌ها پلاژیوکلاز و فلدسپات پتاسیم است.

دیوریت پورفیری: بروند‌های دیوریتی در منطقه به صورت دایک و استوک هستند. دیوریت‌های پورفیری بیشتر در بخش جنوبی منطقه بروند دارند (شکل ۳). این سنگ‌ها در جنوب باختری منطقه میزان کانی‌زایی آهن (توده A) قرار دارند (شکل ۶ الف). همچنین در شمال خاوری منطقه در نزدیکی کانی‌زایی آهن (توده B) نیز دیده می‌شوند. این سنگ‌ها



شکل ۵ الف) نمایی از واحدهای مونزوسینیتی که میزان توده‌ی B منطقه‌ی مورد بررسی است و ب) نمایی از بروند سطحی واحدهای سینیتی و سینیت پورفیری منطقه.



شکل ۶ الف) نمایی از توده‌ی معدنی A و واحد دیوریت پورفیری، ب) دایک‌های دیوریت پورفیری در واحدهای سینیتی با راستای N15W.

و مورد بررسی قرار گرفتند. نمونه‌های سنگی به روش XRF در دانشگاه تربیت معلم تهران مورد بررسی قرار گرفتند. همچنین برای بررسی دگرسانی‌های منطقه، علاوه بر بررسی مقاطع، ۵ نمونه نیز در شرکت کانساران بینالود بررسی شد.

سنگ‌شناسی

مجموعه سنگ‌های در برگیرنده‌ی کانسار آهن رشت خوار را می‌توان به دو گروه؛ سنگ‌های آذرین و سنگ‌های رسوبی رده‌بندی کرد که با استفاده از روش نام‌گذاری بر اساس کانی‌شناسی (مودی) [۷,۶]، سنگ‌های آذرین درونی در گستره‌ی دیوریت و سینیت (شکل ۸ الف) و سنگ‌های آذرین بیرونی در گستره‌ی آندزیت و بازالت قرار گرفتند (شکل ۸ ب). در دیوریت‌های پورفیری کانی اصلی پلاژیوکلاز بوده و پتاسیم فلدوسپات به مقدار بسیار کمتر از پلاژیوکلاز در مقاطع میکروسکوپی دیده می‌شوند. کانی‌های فرعی مشاهده شده نیز عبارتند از کلریت، سریسیت، کلسیت، کانی‌های رسی، کوارتز و کانی‌های کدر. مونزو-سینیت‌ها در نمونه‌ی صحرایی دارای بافت درشت دانه و به رنگ صورتی تا سفید دیده می‌شوند. فراوان ترین کانی‌ها نخست ۰ فلدوسپات پتاسیم و سپس پلاژیوکلازها بوده و کانی‌های دگرسانی همچون کلریت‌ها و سریسیت نیز در مقاطع میکروسکوپی قابل شناسایی هستند (شکل ۹ الف). در سینیت‌ها کانی‌های پلاژیوکلاز به صورت قابل ملاحظه‌ای کمتر از فلدوسپات‌های پتاسیم بوده و تحت تأثیر دگرسانی قرار گرفته‌اند (شکل ۹ ب). از کانی‌های قابل تشخیص در بازالت‌ها عبارتند از بلورهای پلاژیوکلاز و پیروکسن که دستخوش دگرسانی شده‌اند. کانی‌های دیگر عبارتند از الیوسین، کلریت،

مجموعه‌های رسوبی: سنگ‌های رسوبی با مرز کاملاً گسلی و مشخص در کنار واحدهای آذرین قرار گرفته‌اند (شکل ۷ الف). واحدهای رسوبی شامل سنگ‌های مارن، شیل، ماسه سنگ و کنگلومرا هستند که به شدت تحت تأثیر فعالیت‌های زمین ساختی واقع شده‌اند و چین‌خوردگی‌های تاقدیسی و ناویدیسی و دگرسیبی در آن‌ها دیده می‌شوند. در بخش جنوبی و جنوب باختری منطقه رسوبهای شیلی و ماسه‌سنگی به ضخامت بسیار زیاد (دها متر)، مشابه رسوب‌های فلیشی وجود دارند. این واحدها در نمونه‌ی دستی دارای رنگ خاکستری تیره و بافت - ریز دانه‌اند که در آن‌ها آثار رسوبی از جمله رپیل مارک را می‌توان دید. سنی که برای این واحدها در نظر گرفته‌اند، الیگومن است [۴]. یک رشته میان لایه آهکی در واحدهای نفوذی دیده می‌شود، این واحدها در خاور توده معدنی B بروزند دارد که در اثر همبزی با واحدهای نفوذی، مرمری شده‌اند و حالت بلورین به خود گرفته‌اند (شکل ۷ ب). در این واحدهای رسوبی آثار فسیلی دیده نمی‌شوند.

روش بررسی

پس از بازدیدهای صحرایی از منطقه، نمونه‌برداری از سنگ‌های پا دیواره‌ای، از سنگ‌های میزبان، کانسنگ آهن و سنگ‌های فرا دیواره و هر نوع سنگ دگرسان شده و رگه‌های کانی‌سازی انجام شد. ضمن نمونه برداری موقعیت نمونه‌ها با GPS خوانده و ثبت و مشخصات واحدهای نمونه‌برداری مثل ضخامت و گسترش، شب و راستای آن‌ها یادداشت شدند. برای بررسی - های سنگ‌شناسی و کانه‌زایی، ۳۰ مقطع نازک از ۱۶ نمونه برداشت شدند و از رگه‌های کانی‌زایی شده مقاطع صیقلی تهیه

دگرسانی

دگرسانی‌ها در منطقه‌ی پروپیلیتیک، سریسیت-پروپیلیتیک، سیلیسی و آرژیلیک به شرح زیرند (شکل ۱۰).

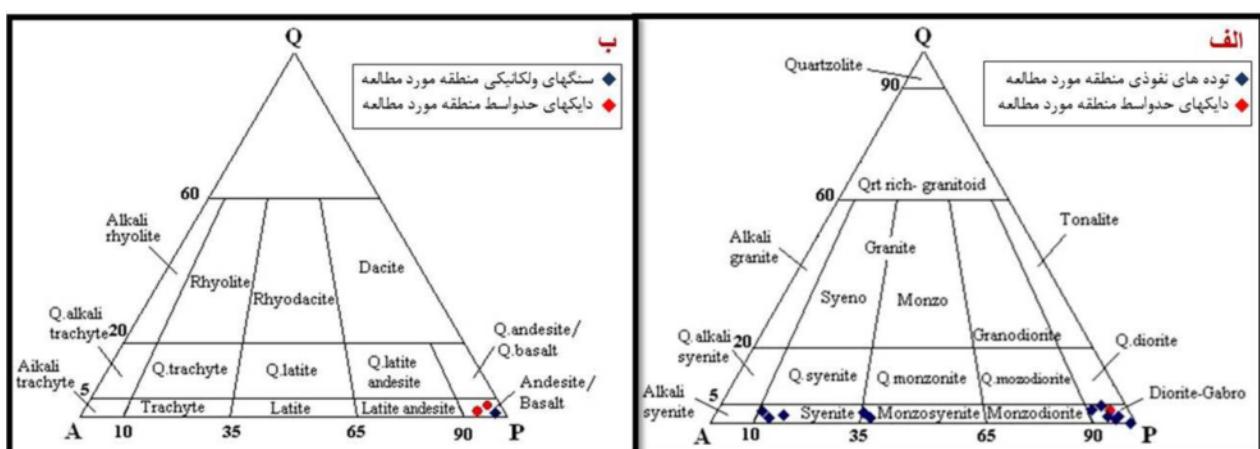
دگرسانی پروپیلیتیک: بیشترین گسترش را در منطقه دارد (شکل‌های ۱۱ الف و ۱۳ الف). کانی‌های شاخص آن عبارتند از کلریت، سریسیت و کلسیت. این دگرسانی از کانی‌های مافیک شروع، سپس پلاژیوکلاز و فلدسپات‌های پتاسیم‌دار را تحت تأثیر قرار داده‌اند (شکل ۱۱ ب).

دگرسانی سریسیتیک-پروپیلیتیک: در سنگ‌های دیوریت پورفیری و بازالت‌ها بیشترین گسترش را دارد (شکل ۱۲ الف). کانی‌های شاخص این منطقه سریسیت (فرآوان‌ترین کانی) و کلریت است. سریسیت غالباً به حالت جانشینی در فلدسپات‌ها و کمتر به صورت پراکنده در متن سنگ مشاهده می‌شود (شکل ۱۲ ب).

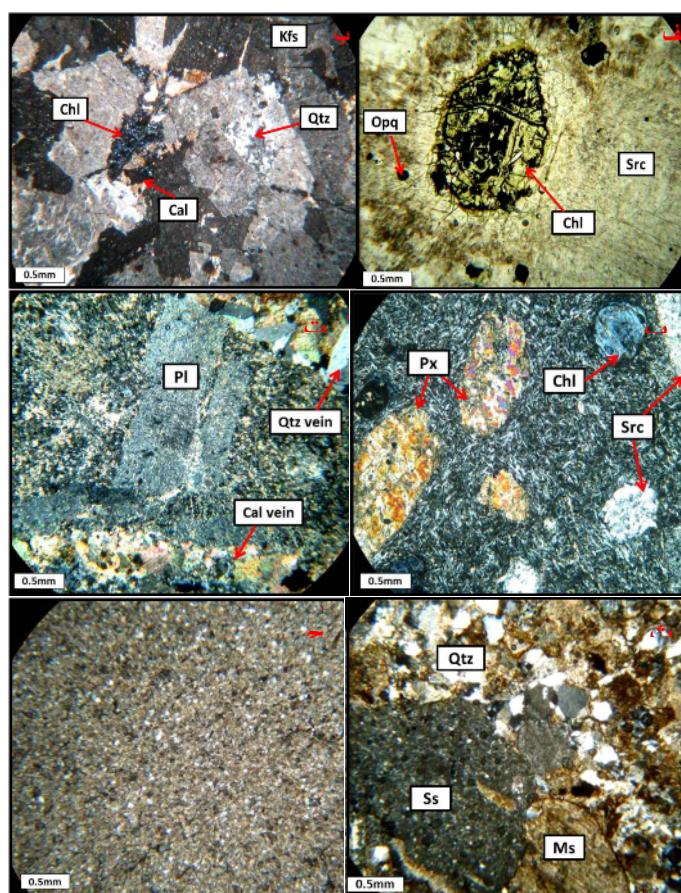
کلسیت، سریسیت و کانی‌های کدر (شکل ۹ ج). آندزیت‌ها بافت ریزسنگی پورفیری دارند. کانی اصلی در این سنگ‌ها عبارتند از پلاژیوکلاز و کانی‌های فرعی فلدسپات پتاسیم، کلریت، سریسیت، کلسیت، کوارتز، کانی‌های کدر و اکسیدهای آهن (شکل ۹ د). سنگ‌های رسوبی منطقه شامل سیلتستون، پاراکنگلومرای پترومیک‌تیک و سنگ‌های آهکی هستند. جنس قطعات تشکیل دهنده پاراکنگلومرای پترومیک‌تیک عبارتند از کوارتز، چرت، گل سنگ و سیلتستون که در بعضی از بخش‌ها به وسیله‌ی سیمان دولومیتی احاطه شده‌اند. فراوانی قطعات ناپایدار تشکیل دهنده سنگ بیشتر از ۱۰ درصد است که از جورشدن خوبی برخوردار نیستند (شکل ۹ ه). کانی‌های قابل تشخیص در سیلتستون‌ها در زیر میکروسکوپ عبارتند از کوارتز، کلسیت و کانی‌های کدر (شکل ۹ و).



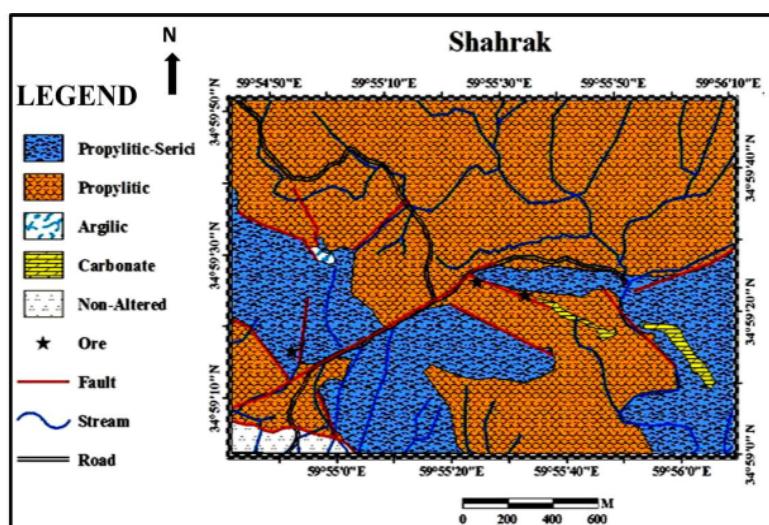
شکل ۷ (الف) مرز بین واحدهای رسوبی و آذرین منطقه و (ب) نمایی از واحد آهکی دگرگون شده در همبُری با واحدهای نفوذی.



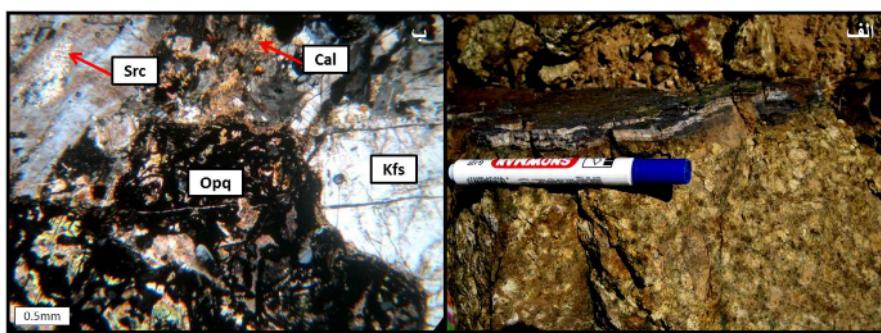
شکل ۸ ردبهندی کانی شناسی کمی (مودی) سنگ‌ها منطقه‌ی آذرین دررسی. (الف) سنگ‌های منطقه مورد بررسی. (ب) سنگ‌های آذرین بیرونی (نمودارهای پایه از [۷,۶]).



شکل ۹ الف) دگرسانی کامل پلاژیوکلاز به سریسیت (Src) و عملکرد دگرسانی گرمابی و رشد کانی‌های کدر (Opq) در رخ‌ها و شکستگی‌های الیوین و دگرسانی آن به کلریت (Chl) در مونزوسینیت، ب) وجود بافت دانه ای و درشت بلورهای فلدوپار پتاسیم (Kfs) در واحدهای سینیتی منطقه و نیز پرشدگی فضای خالی به وسیله کانی‌های کوارتز (Qtz) و کلسیت (Cal)، ج) پرشدگی فضاهای خالی سنگ‌های بازالتی به ویژه با کانی کلسیت و تشکیل بافت بادامکی و تأثیر دگرسانی و رشد کانی‌های کدر اطراف کلریت‌ها در واحدهای بازالت پورفیری، د) درشت بلورهای پلاژیوکلاز (Pl) در حال تجزیه به کانی‌های سریسیت همراه با رگچه‌های کلسیتی و سیلیسی در سنگ‌های آندزیت پورفیری، ه) حضور کوارتز، سیلیستون و گل سنگ (Ms) در کنکلومرا و و) واحدهای سیلیستون منطقه‌ی مورد بررسی که دارای بافت ریزدانه است (همه تصاویر در نور قطبیده متقطع با بزرگنمایی 40X) تهیه شده‌اند.



شکل ۱۰ پراکندگی واحدهای دگرسانی در منطقه‌ی مورد بررسی.



شکل ۱۱ (الف) دگرسانی پروپیلیتیک در واحدهای سینیتی همراه با رگه‌های معدنی و (ب) دگرسانی پروپیلیتیک در واحدهای سینیتی همراه با حضور کانی‌های کلسیت (Cal)، سریسیت (Src) و کدر (Opq) (نور قطبیده متقطع با بزرگنمایی $40\times$).

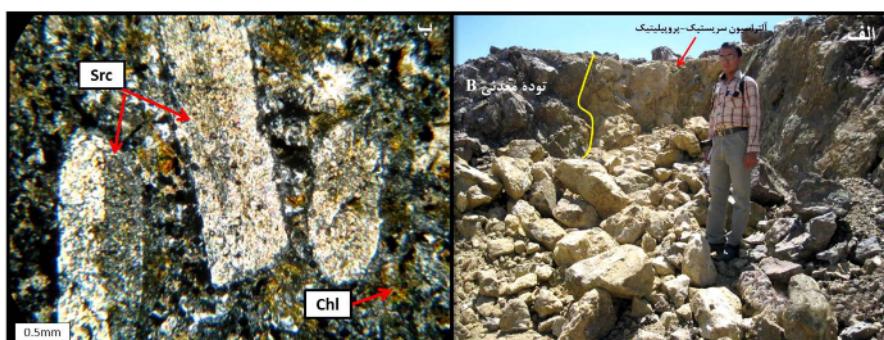
گسل‌ها و شکستگی‌ها رخ داده است (شکل ۱۵ الف تا ج)، ضخامت این رگه‌ها از چندین سانتی‌متر تا دو متر متغیر است، راستا غالب رگه‌ها، خاوری-باختری، در نمودار گل سرخی، (شکل ۱۴ ب) نشان داده شده است. گسترش کانی‌زایی در دو منطقه A و B از گسترش بیشتری برخوردار بوده که در حال بهره‌برداری هستند، کانی‌زایی در منطقه A در داخل دیوریت‌های پورفیری و در منطقه B در داخل مونزو‌سینیت‌ها در مرز گسلی با واحدهای دیوریتی رخ داده است. کانی‌سازی بیشتر اسپیکولاریت و به مقدار کمتر مگنتیت است. بافت کانی‌سازی بیشتر توده‌ای و به شکل‌های مختلف پرکننده‌ی فضاهای خالی، شانه‌ای، لایه‌ای و برش گرمابی است (شکل ۱۵ الف و ب). بافت استوک ورکی نیز در مقاطعه قابل مشاهده است (شکل ۱۵ پ). در توده معدنی B بر عکس توده معدنی میزان اسپیکولاریت بیشتر از مگنتیت است. کانی‌های باطله‌ی این رگه‌ها کوارتز و کلسیت هستند که در توده معدنی B بیشتر از توده معدنی A است. علاوه بر کانی‌زایی آهن، کانی‌زایی مس به صورت فازهای کربناتی چون آزوریت و ملاکیت دیده می‌شود (شکل ۱۵ ت). این کانه‌ها نیز بافت‌های پرکننده فضای خالی و کلوفرمی دارند.

دگرسانی سیلیسی: کوارتز شاخص این منطقه و اصلی‌ترین کانی در این دگرسانی است. کوارتز در سنگ‌های منطقه به صورت پرکننده فضاهای خالی و گاهی به صورت رگچه‌ای است. همچنین این دگرسانی به صورت برش‌های سیلیسی شده در شمال باختری توده‌ی معدنی A بروزد دارد (شکل ۱۳ الف). این برش حاوی کانی‌های آهن‌دار از جمله مگنتیت و گوتیت و نیز کانی‌های مس‌دار مثل ملاکیت، آزوریت و کالکوپیریت است (شکل ۱۳ ب).

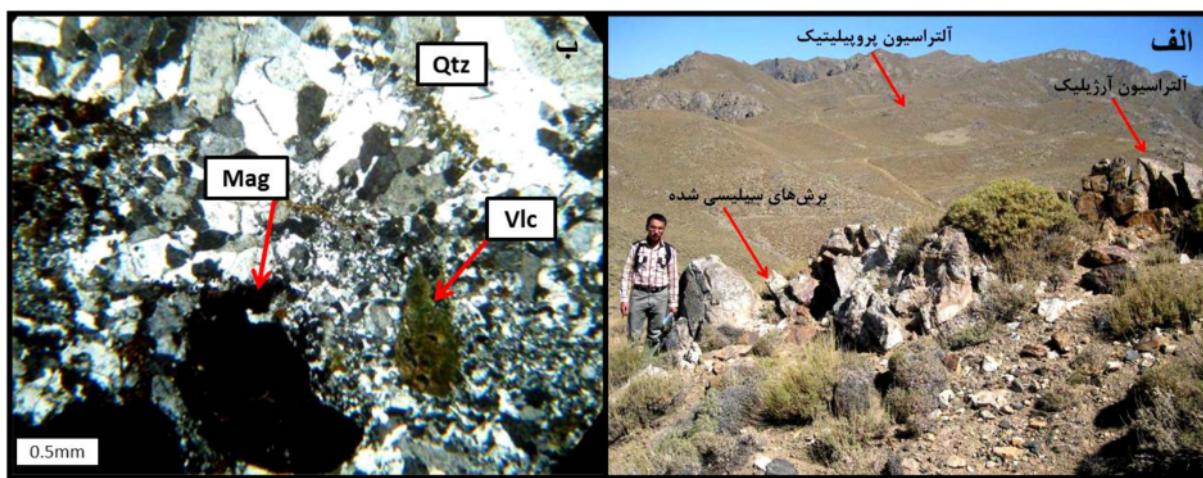
دگرسانی آرژیلیک: کانی‌های رس‌دار، شاخص این دگرسانی هستند که در شرایط کاملاً اسیدی و یا کاهش دمای گرمابها و کاهش فعالیت پتابسیم نسبت به هیدروژن، تمامی کاتیون‌های قلیایی از سنگ خارج شده و این دگرسانی شکل می‌گیرد که در چنین شرایطی کانی‌های رسی تشکیل می‌شوند [۸] (شکل ۱۴ الف). دگرسانی آرژیلیک به صورت محدود در شمال باختری توده‌ی معدنی A دیده می‌شود. (شکل ۱۳ الف). داده‌های حاصل از آنالیز XRD نشان می‌دهند که این دگرسانی در منطقه از نوع آرژیلیک پیشرفت‌ه است.

کانی‌زایی

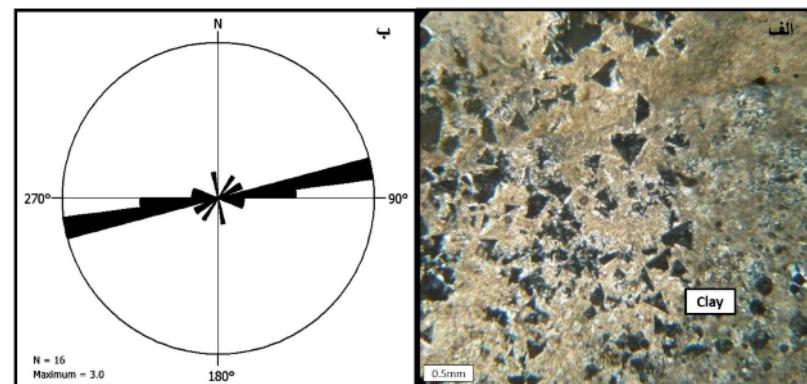
کانی‌زایی آهن در کانسار آهن شهرک به حالت‌های مختلف رگه‌ای، رگچه‌ای، لایه‌ای، شانه‌ای و برش گرمابی در راستای



شکل ۱۲ (الف) دگرسانی سریسیتیک-پروپیلیتیک در واحد دیوریتی میزبان توده معدنی B و (ب) سریسیتی شدن پلاژیوکلازها و گسترش کلربیت در متن سنگ‌های دیوریتی (Chl) (نور قطبیده متقطع با بزرگنمایی $40\times$).



شکل ۱۳ (الف) گسترش دگرسانی پروپیلیتیک و آرژیلیک در کنار برش‌های سیلیسی شده در واحدهای شمال باختری توده‌ی معدنی A و (ب) دگرسانی سیلیسی به صورت برش‌های سیلیسی شده حاوی خرده‌های آتش‌فشنایی (نور قطبیده متقاطع با بزرگنمایی 40X).



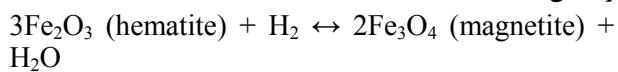
شکل ۱۴ (الف) مقطع میکروسکوپی از دگرسانی آرژیلیک در سنگ میزان توده معدنی A (نور قطبیده متقاطع با بزرگنمایی 40X) و (ب) نمودار گل سرخی مربوط به برداشت‌های صورت گرفته از رگه‌های کانی‌زایی شده موجود در منطقه.



شکل ۱۵ حالتهای مختلف کانی‌سازی. (الف) برش گرمابی، (ب) لایه‌ای-شانه‌ای، (پ) داربستی و (ت) کانی‌زایی کربنات‌های مس (آزوریت و مالاکیت) همراه با کانی‌زایی آهن در منطقه.

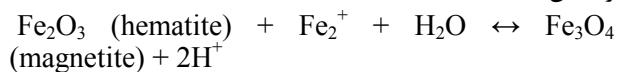
گرفته ماشکیتوویت (Mushketovite) و به جانشینی آن ماشکیتوویزاسیون (Mushketovitzation) می‌گویند. احیاء ناقص منجر به شکل کاذب مگنتیت به صورت تکه‌هایی در داخل بلورهای کشیده هماتیت می‌شود (شکل ۱۷ پ و ت).

واکنش (۱)



همچنین بافت‌های زنجیرهای و متراکم و توده‌ای و تیغه‌ای در واکنش غیر ردوکسی (۲)، تغییر هماتیت به مگنتیت با اضافه شدن یون Fe^{2+} رخ می‌دهد در این واکنش مقدار آهن ثابت نیست. این واکنش ممکن است سازوکار اصلی برای تغییر شکل هماتیت به مگنتیت در طبیعت، به خصوص در سیستم‌های گرمابی باشد [۱۰].

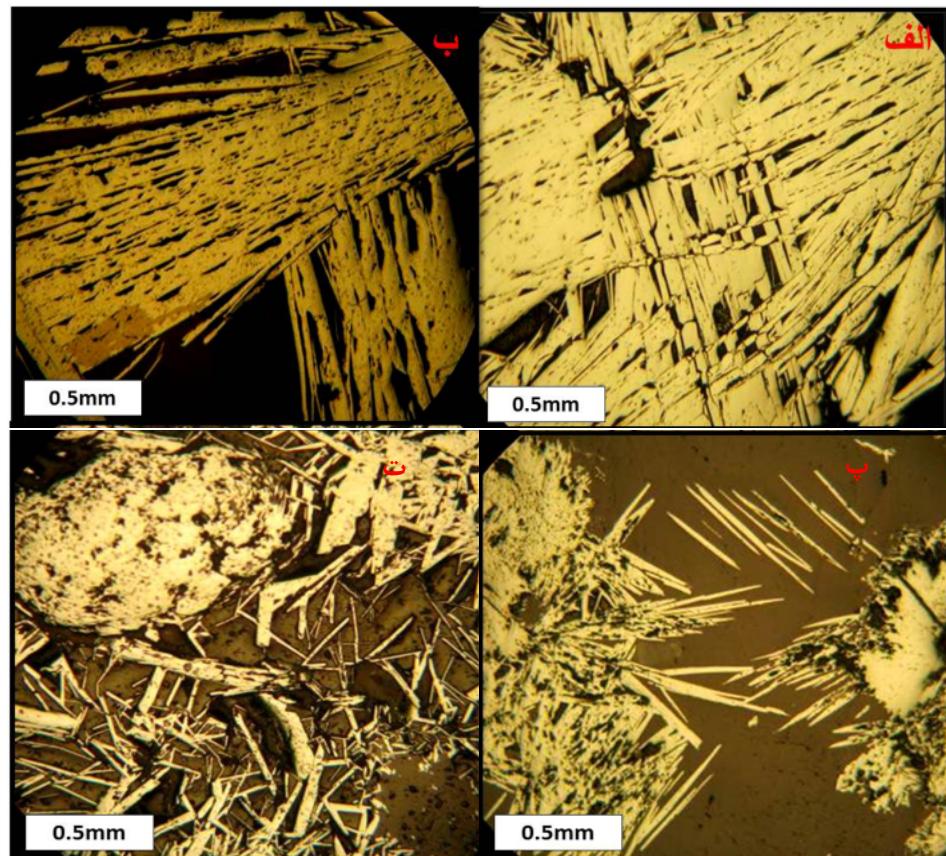
واکنش (۲)



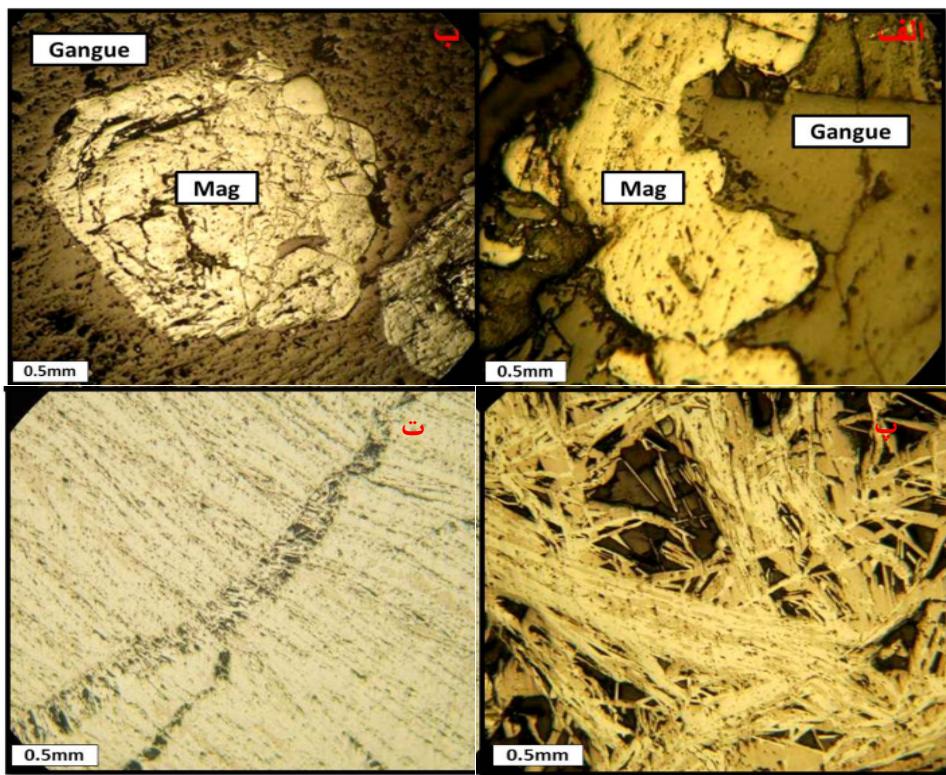
تغییر شکل غیر ردوکسی بین هماتیت و مگنتیت در سیستم‌های گرمابی به طور گسترده رخ می‌دهد [۱۱].

اسپیکولاریت: بیشترین کانه‌ی موجود در کانسار آهن رشتخار، اسپیکولاریت (تیغه‌های بلند هماتیت) است که در اندازه‌های کوتاه تا بلند در مقاطع مشاهده می‌شود. اسپیکولاریت در این مقاطع دارای بافت‌های متنوع و جالبی چون بافت‌های دسته جارویی به صورت رشته‌های درهم تنیده، زنجیرهای و متراکم، تیغه‌ای و توده‌ای (گلوله برفی) است (شکل ۱۶ الف تا د).

مگنتیت: مگنتیت در این کانسار به دو صورت اولیه و ثانویه حضور دارد. در حالت اولیه مگنتیت در سنگ‌های میزبان کانی‌زایی و برش سیلیسی شده گسترش دارد و به صورت بلورهای نیمه شکل دار و بی‌شکل به همراه کانه‌های کالکوپیریت و پیریت دیده می‌شود (شکل ۱۷ الف و ب). در حالت ثانویه تقریباً در همه‌ی سنگ‌های دارای اکسیدهای آهن، جانشینی دو طرفه مگنتیت و هماتیت به چشم می‌خورد که ممکن است طی واکنش‌های اکسایشی-احیایی باشد [۹]. طی واکنش ردوکسی (۱) جانشینی کاذب هماتیت اولیه به وسیله مگنتیت در شرایط احیایی (کمربند سولفیدی) انجام می‌شود که طی آن مقدار اتم‌های آهن ثابت باقی می‌ماند و فقط افزایش و کاهش اکسیژن وجود دارد. به مگنتیت‌های جدید شکل



شکل ۱۶ بافت‌های مختلف اسپیکولاریت. (الف) دسته جارویی، (ب) زنجیرهای و متراکم، (پ و ت) توده‌ای و تیغه‌ای (نور بازتابی با بزرگنمایی ۱۰۰X). [DOR: 20.1001.1.17263689.1395.24.1.10.2] [Downloaded from ijcm.ir on 2025-07-11]



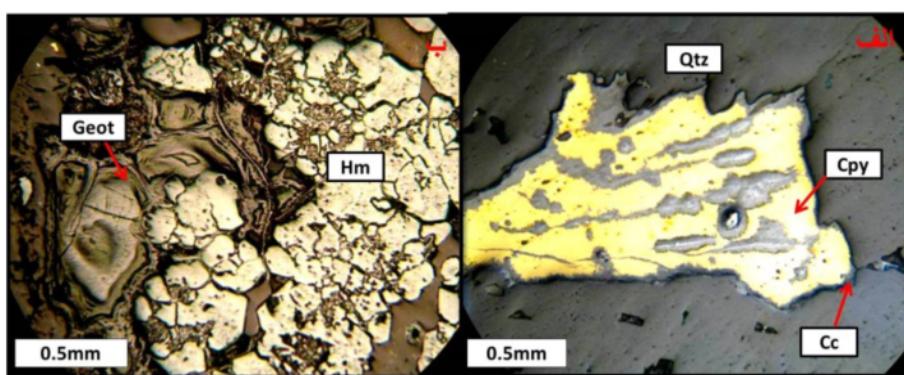
شکل ۱۷ (الف) حضور مگنتیت (Mag) به صورت بی‌شکل در واحدهای میزبان کانی‌زایی (نور بازتابی با بزرگنمایی $100\times$)، (ب) وجود مگنتیت شکل دار در برش سیلیسی شده (نور بازتابی با بزرگنمایی $50\times$)، (پ و ت) تأثیر فرآیندهای Mushketovitization بر هماتیت و تبدیل آن به مگنتیت (نور بازتابی با بزرگنمایی $100\times$).

گوتیت: گوتیت حاصل دگرسانی کانه‌های هماتیت و پیریت است، این کانه اکسیدی جزء پایدارترین کانی آهن دار در طبیعت است و بهطور کلی به دو روش از کانی‌های آهن دار به وجود می‌آید: ۱- از طریق اکسایش هماتیت؛ ۲- از طریق اکسایش سولفید آهن. گوتیت در مقاطع مورد بررسی دارای افت منطقه‌ای هم‌مرکز است که نشانگر اکسایش انحلال کانی اوئیه است (شکل ۱۸ ب). فراوانی این کانی در منطقه بسیار محدود است و فقط در رگه‌های سیلیسی و برش سیلیسی شده، قابل مشاهده است.

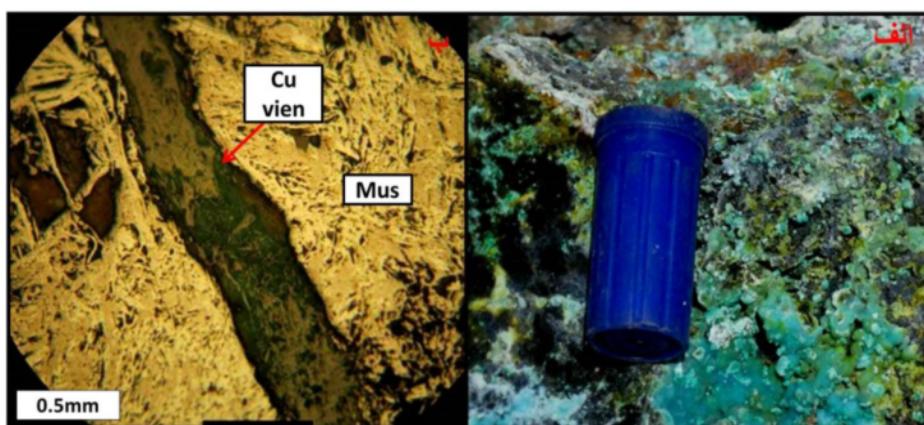
کربنات‌های مس: مهم‌ترین کربنات‌های مس قابل مشاهده در منطقه، آزوریت و بیشتر مالاکیت هستند که به صورت پرکننده فضای خالی دارای بافت‌های متنوعی از جمله کلوفرمی هستند (شکل ۱۹ الف). این کربنات‌ها همراه با ماده‌یمعدنی در رگه‌ها و شکستگی‌ها و نیز روی سنگ‌های آذرین منطقه به صورت لکه‌های قابل توجهی مشاهده می‌شوند. در مقاطع میکروسکوپی بیشتر به صورت رگچه‌هایی در سنگ میزبان دیده می‌شوند (شکل ۱۹ ب).

پیریت: فراوان‌ترین کانی سولفیدی در پوسته‌ی زمین است [۱۲]. بهطور کلی فاز سولفیدی در منطقه‌ی مورد بررسی در مناطق سطحی بسیار محدود است. در مقاطع صیقلی بررسی شده پیریت به صورت پراکنده و اندک وجود دارد، اغلب ریزدانه، نیمه شکل دار تا بی‌شکل‌اند. پیریت را می‌توان به ندرت به صورت پراکنده در سنگ‌های آذرین منطقه و درون رگه‌های سیلیسی دید، ولی در رگه‌های معدنی به علت اکسیده شدن قابل تشخیص نیستند. پیریت‌های موجود در رگه‌های سیلیسی به طور کامل اکسیده شده و تنها قالب اوئیه‌ی آن‌ها به جا مانده است.

کالکوپیریت: کالکوپیریت به صورت فاز سولفیدی در رگه‌های سیلیسی و اوئیه در سنگ‌های دربرگیرنده‌ی ماده‌ی معدنی دیده می‌شود. گسترش این کانه همراه ماده‌ی معدنی بسیار محدود است، این کانه در رگه‌های سیلیسی در فرایندهای سطحی و درونی به کالکوسیت تجزیه و دگرسان شده است و دارای بافت پراکنده و اغلب ریزدانه و بی‌شکل است (شکل ۱۸ الف).



شکل ۱۸ (الف) مقطع میکروسکوپی از کالکوپیریت (Cpy) در رگه‌های سیلیسی در حال تجزیه به کالکوسیت (Cc) و (ب) تشکیل گوتیت (Geot) با بافت هم‌مرکز و منطقه‌ای از طریق اکسایش هماتیت در برش سیلیسی شده (نور بازتابی با بزرگنمایی 100X).



شکل ۱۹ (الف) حضور کربنات‌های مس در سطح ماده‌ی معدنی به صورت قلوه‌ای و (ب) مقطع میکروسکوپی از رگچه‌های دارای ترکیبات مس در ماده‌ی معدنی (نور بازتابی با بزرگنمایی 100X).

رشتخوار گسترش دارند که گسترش دگرسانی پروپیلیتیک در منطقه بیشتر از بقیه است و همچنین دگرسانی آژیلیک پیشرفته در سنگ‌های دیوریتی میزان کانه‌زایی گسترش دارد. در حالی که دگرسانی سیلیسی علاوه بر گسترش به صورت رگه‌های سیلیسی برشی، همراه با کانه‌زایی دیده می‌شود.

-۳- کانی‌سازی بیشتر اسپیکولاریت و به مقدار کمتر مگنتیت است. بافت کانی‌سازی بیشتر توده‌ای و به شکل‌های مختلف پرکننده‌ی فضاهای خالی شانه‌ای و لایه‌ای است.

-۴- کانی‌زایی در منطقه شامل دو بخش درونزاد (اوئیه) و برونزاد (ثانویه) بوده و کلسیت و کوارتز مهم‌ترین باطله‌های آن هستند. کانی‌سازی درونزاد شامل کانی‌سازی اکسیدی (اسپیکولاریت + مگنتیت به مقدار ناچیز) و سولفیدی تأخیری (کالکوپیریت + پیریت) و کانی‌سازی برونزاد هیدروکسیدهای آهن (گوتیت و لیمونیت) و کربنات‌های مس (مالاکیت و به مقدار کمتر آزوریت) است.

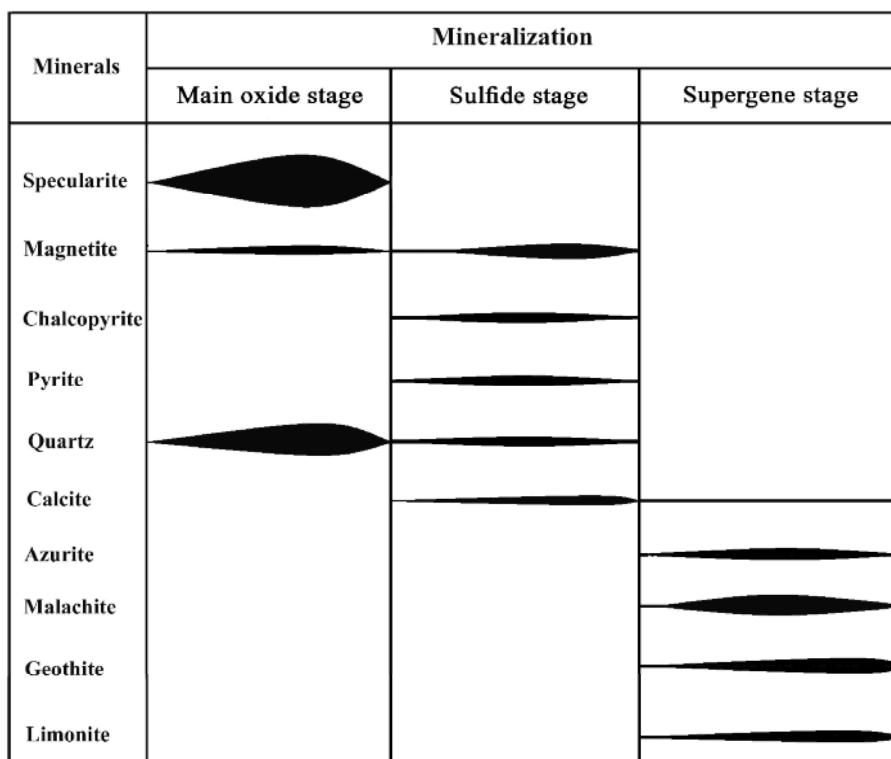
تشکیل دوگانه سنگ‌ها

کانی‌سازی در کانسار آهن رشتخوار شامل دو بخش درونزاد (اوئیه) و برونزاد (ثانویه) است. مرحله‌ی درونزاد در دو مرحله شامل کانی‌سازی اکسیدی (اسپیکولاریت + مگنتیت به مقدار ناچیز) و سولفیدی تأخیری (کالکوپیریت + پیریت) است و مرحله برونزاد شامل تشکیل هیدروکسیدهای آهن (گوتیت و لیمونیت) و کربنات‌های مس (مالاکیت و به مقدار کمتر آزوریت) است. مهم‌ترین باطله‌های کانسار را کلسیت و کوارتز تشکیل می‌دهند (شکل ۲۰).

برداشت

۱- سنگ‌های در برگیرنده‌ی کانسار آهن رشتخوار عبارتند از سنگ‌های آذرین (دیوریت، سینیت، مونزوسینیت، آندزیت و بازالت) و سنگ‌های رسوبی.

۲- دگرسانی‌های پروپیلیتیک، سرسستیک-پروپیلیتیک، آژیلیک پیشرفته و سیلیسی در سنگ‌های آذرین کانسار آهن



شکل ۲۰ دنباله‌ی تشکیل دوگانه‌ی کانسار آهن رشتخوار.

mines and metals geological survey of Iran, (1983).

[6] Streckeisen A., *Classification and nomenclature of plutonic rocks*, Geology Rdsch. 63 (1974) 773-786.

[7] Streckeisen A., *Classification and nomenclature of volcanic rocks, Lamprophyres carbonites and melilitic rocks*, Recommendations and suggestions of the IUGS Subcommission on the systematics of igneous rocks: Geology 7 (1979) 331-335.

[8] Guilbert J. M., and Park C. F., *The Geology of ore deposits*, W.H. Freeman in New York (1986) 985P.

[9] Mucke A. and Cabral A. R., *Redox and non-redox reactions of magnetite and hematite in rocks*, Chemie der Erde Geochemistry 65 (2005) 271-278.

[10] Ohmoto H., *Non-redox transformations of magnetite-hematite in hydrothermal system*, Economic Geology 98 (2003) 157-161.

مراجع

- [1] کریمپور م. ح., ملک‌زاده شفارودی آ., "ژئوشیمی و کانی‌شناسی زون‌های اسکارنی و سنگ‌شناسی سنگ منشأ کانسار آهن سنگان خراسان رضوی", علوم زمین سال ۱۷، شماره ۶۵ (۱۳۸۶) ص ۱۰۸-۱۲۴.
- [2] یوسفی سورانی ل., "پتانسیل یابی ورقه ۱/۱۰۰۰۰۰ دولت آباد با استفاده از داده‌های ژئوشیمی رسوبات رودخانه‌ای، ژئوفیزیکی و پردازش و تفسیر تصاویر ماهواره‌ای", پایان نامه کارشناسی ارشد، دانشگاه فردوسی مشهد (۱۳۸۵).
- [3] Hitzman M. M., Orekes N., and Einaudi M. T., *Geological characteristics and tectonic setting of proterozoic iron oxide (Cu-U-LREE) deposits*. Precambrian research 58, (1992) 241-287.
- [4] Ancelin J., Danesfaleh M., Sajedi T., *Geological map of Iran 1:100000 series sheet 7959-Roshtekhar*, Geological and mineral survey of Iran (1983).
- [5] Danesfaleh M., and Sajedi T., *Geological map of Iran 1:250000 series Gonabad*, Ministry of

- [12] Craig J.R. and Vokes F.M., *The metamorphism of pyrite and pyritic ores*, an overview, Mineralogical Magazine, V.57 (1993) 3-183.
- [11] Otake T., Wesolowski D. J., Anovitz L. M., Allard L. F.,and Ohmoto H., *Mechanisms of Iron oxide transformations in hydrothermal systems*, Geochimica et Cosmochimica Acta 74 (2010) 6141-6156.