

کانسار اکسید آهن آپاتیت‌دار سرخه‌دیزج به‌عنوان نوع کایرونا: کانی‌شناسی، ساخت و بافت، دگرسانی و بررسی‌های مقایسه‌ای

قاسم نباتیان^۱، مجید قادری^{۱*}، نعمت‌اله رشیدنژاد عمران^۱، فرحناز دلیران^۲

۱- بخش زمین‌شناسی، دانشگاه تربیت مدرس، تهران، ایران

۲- مؤسسه علوم زمین کاربردی، دانشگاه کارلسروهه، کارلسروهه، آلمان

(دریافت مقاله: ۸۹/۶/۲۸، نسخه نهایی: ۸۹/۱۰/۲۰)

چکیده: کانسار آهن سرخه‌دیزج در جنوب‌خاوری زنجان، زیرپهنه‌ی طارم از پهنه‌ی ساختاری البرز باختری- آذربایجان قرار دارد. کهن‌ترین واحدهای سنگی این گستره شامل تراکیت- تراکی‌آندزیت، الیوین بازالت و سنگ‌های آذرآواری توف برشی و لاپیلی توف وابسته به ائوسن است که توده‌ی نفوذی نیمه‌عمیق کوارتزومونزونیته، مونزونیتی و گرانیتی با سن ائوسن پایانی- الیگوسن آغازین در سنگ‌های یاد شده نفوذ کرده است. این توده‌ی نفوذی نیمه‌عمیق کوارتزومونزونیته، مونزونیتی و گرانیتی نوع I را داشته و ماگماتیسم منطقه، ویژگی‌های نوع کوهزایی و وابسته به قوس‌های ماگمایی را نشان می‌دهد. کانه‌زایی در این منطقه به‌شکل رگه‌ای و بیشتر در درون سنگ میزبان توده‌ی نفوذی نیمه‌عمیق تشکیل شده است. علاوه بر آن، کانی‌زایی به‌مقدار بسیار کمتر درون سنگ‌های آتشفشانی منطقه نیز به‌شکل رگه‌ای مشاهده می‌شود. ماده‌ی معدنی به‌شکل رگه‌ای و بافت کانسنگ‌ها از نوع داربستی، توده‌ای، نواری، برشی و رگه- رگچه‌ای است. مگنتیت (با Ti پایین) و آپاتیت مهم‌ترین کانی‌های موجود در این کانسار را تشکیل می‌دهند که به‌مقدار کم، کانی‌های سولفیدی از جمله کالکوپیریت، بورنیت و پیریت، آن‌ها را همراهی می‌کنند. در اثر فرآیندهای هوازدگی و برونز، کانی‌هایی چون کالکوسیت، مالاکیت، آزوریت، کولیت، هماتیت و گوتیت نیز در این کانسار تشکیل شده‌اند. مهم‌ترین دگرسانی‌های رخ داده در این کانسار شامل دگرسانی‌های فلدسپات پتاسیم، اکتینولیتی، آرژبلیک، سربسیتی، سیلیسی، تورمالینی و کلریتی- اپیدوتی هستند که دگرسانی‌های سیلیسی و آرژبلیک نسبت به دگرسانی‌های دیگر، از گسترش بیشتری در منطقه برخوردارند. بررسی ویژگی‌های کانسار اکسید آهن آپاتیت‌دار سرخه‌دیزج همچون محیط زمین ساختی، سنگ میزبان، کانی‌شناسی، دگرسانی و ساخت و بافت، بیانگر تشکیل این کانسار از شاره‌های ماگمایی غنی از Fe، P و REE است. همچنین مقایسه کانسار سرخه‌دیزج با انواع مختلف کانه‌زایی آهن در دنیا نشان داده است که این کانسار، بیشترین شباهت را با کانسارهای اکسید آهن آپاتیت‌دار نوع کایرونا (Iron Oxide- Apatite (IOA)) دارد.

واژه‌های کلیدی: کانسار اکسید آهن آپاتیت‌دار؛ نوع کایرونا؛ کانی‌شناسی؛ دگرسانی؛ سرخه‌دیزج؛ زنجان.

در چهارچوب عملیات پی‌جوئی در زون طارم (از سوی سازمان زمین‌شناسی و اکتشافات معدنی کشور)، برای اولین بار در این زون، نواحی امیدبخشی از اکسید آهن- آپاتیت معرفی گردید [۱،۲]. معرفی این نوع کانی‌زایی در این بخش از ایران بدان جهت اهمیت دارد که تاکنون وجود این نوع ذخایر صرفاً

مقدمه

کانسار آهن سرخه‌دیزج در ۳۲ کیلومتری جنوب‌خاوری زنجان و در شمال‌خاوری آزادراه تهران- زنجان قرار گرفته است. مختصات جغرافیایی معدن ۴۸ درجه و ۵۰ دقیقه طول خاوری و ۳۶ درجه و ۳۵ دقیقه عرض شمالی است.

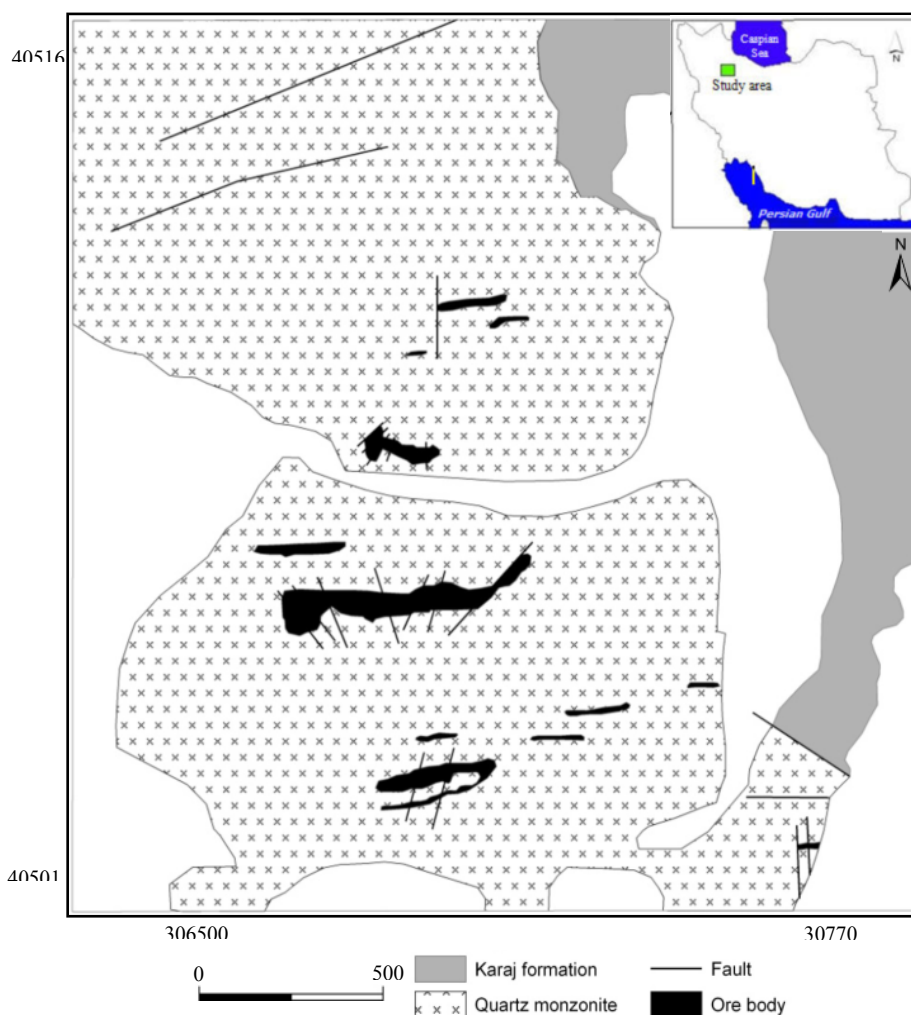
با ترکیب کوارتز مونزونیت و با سن الیگوسن و یا جوان‌تر، قطع شده است. در منطقه‌ی طارم، سری ائوسن به دو عضو کردکند و آمند تقسیم شده است که عضو کردکند، هم‌ارز بخش‌های زیرین سازند کرج بوده و شامل واحدهای رسوبی-آتشفشانی ائوسن با ترکیب سنگ‌شناسی مادستون، آذرآواری و گدازه فراوان است. بیشتر سنگ‌های آتشفشانی عضو کردکند را سنگ‌های آندزیتی و ریولیتی تشکیل می‌دهند [۲].

روی عضو کردکند، عضو آمند قرار می‌گیرد که برخلاف آن، بیشتر از سنگ‌های آتشفشانی با ترکیب آندزیت، تراکیت، تراکی آندزیت، سنگ‌های آذرآواری و مقداری مادستون و ماسه سنگ تشکیل شده است. در منطقه معدنی سرخه‌دیزج، سنگ‌های آتشفشانی ائوسن، واحد Eka5 از سری سنگ‌های آتشفشانی عضو آمند است (شکل ۱). دامنه‌ی ترکیب این واحد،

در ایران مرکزی و همراه با سازند ساغند، سری ریزو و هم‌ارزهای آن گزارش شده بود [۳-۵]. شناخت چنین پتانسیل‌هایی در البرز به‌ویژه در بخش آتشفشانی-نفوذی آن می‌تواند زمینه‌ی مناسبی را برای پی‌جویی چنین ذخایری در نواحی دیگر واحد زمین‌ساختی البرز فراهم آورد که از نظر آهن و آپاتیت و نیز از نظر عناصر خاکی نادر ارزشمند است. در این مقاله، ویژگی‌ها و نوع کانسار اکسید آهن آپاتیت‌دار سرخه‌دیزج مورد بررسی قرار گرفته است.

زمین‌شناسی

چنانکه در نقشه‌ی ۱:۱۰۰۰۰۰ طارم [۶] نیز دیده می‌شود، بخش مهم رخنمون‌های سنگی این ناحیه از نهشته‌های آذرآواری، جریان‌های گدازه و لایه‌های رسوبی ائوسن تشکیل شده است. سری ائوسن به‌وسیله‌ی توده‌های نفوذی نیمه‌عمیق



شکل ۱ نقشه‌ی زمین‌شناسی-معدنی گستره‌ی سرخه‌دیزج [۶]. بخش‌های A، B و C کانسار در نقشه مشخص شده‌اند (مقیاس ۱:۵۰۰۰).

کانه‌زایی

کانه‌زایی اکسید آهن آپاتیت‌دار در گستره‌ی معدنی سرخه‌دیزج، بیشتر به‌شکل رگه‌ای در توده‌ی نفوذی نیمه‌عمیق و به‌مقدار کمتر در سنگ‌های آتشفشانی ائوسن (بخش آمند سازند کرج) روی داده است. کانه‌زایی در این منطقه، در بخش‌های فوقانی توده‌ی نفوذی نیمه‌عمیق رخ داده که محدود به پهنه‌های گسلی است. راستای کانه‌زایی در گستره‌ی معدنی، خاوری-باختری است که شیب رگه‌های معدنی در حدود ۴۵ الی ۵۰ درجه به‌سمت شمال است.

در گستره‌ی سرخه‌دیزج، کانسنگ اکسید آهن آپاتیت‌دار در سه بخش روی داده است که از جنوب تا شمال به‌ترتیب آنها را با A، B و C نشان می‌دهند که در نقشه‌ی زمین‌شناسی-معدنی منطقه با مقیاس ۱:۵۰۰۰ دیده می‌شوند. رگه‌های اکسید آهن آپاتیت‌دار با وسعت کمتر، با همان راستای کانه‌زایی (خاوری-باختری)، بیشتر درون سنگ‌های آتشفشانی و آذرآوری ائوسن دیده می‌شوند. نکته‌ی قابل توجه در این گستره، همراهی آپاتیت با مگنتیت در تمامی کانسار است. کانی آپاتیت هم به‌شکل بلورهای ریز و متوسط (در حد میلی‌متر تا چند سانتی‌متر) و هم به‌شکل بلورهای خودشکل درشت (تا ۱۵ سانتی‌متر) دیده می‌شوند. کانی‌شناسی این کانسار در همه بخش‌ها مشابه است.

بخش A کانه‌زایی در کانسار سرخه‌دیزج، بزرگ‌ترین توده‌ی معدنی را دربر دارد و استخراج ماده‌ی معدنی بیشتر در آن متمرکز شده است. ماده‌ی معدنی به‌شکل رگه‌ای بوده و طول آن برابر با ۱۵۰ الی ۲۰۰ متر است و در بعضی جاها به ضخامت واقعی ۱۰ الی ۱۵ متر نیز دیده می‌شود. این بخش در قسمت بالایی توده‌ی نفوذی نیمه‌عمیق قرار داشته و کانه‌زایی در یک پهنه‌ی گسلی و شکسته روی داده است. کانی‌های موجود در این بخش شامل مگنتیت، آپاتیت، کالکوپیریت و پیریت است. پیریت موجود در مگنتیت، بیشتر به‌شکل بلورهای ریز سولفیدی دیده می‌شود (شکل ۳ الف). کانی‌های اکسیدی و هوازده‌ی آن‌ها از جمله مالاکیت، همتایت و گوتیت تشکیل شده‌اند. مالاکیت به‌شکل لکه‌هایی سبز رنگ، در سطح مگنتیت دیده می‌شود. آپاتیت در مگنتیت به‌شکل بلورهای شش‌وجهی و خودشکل وجود دارد (شکل ۳ ب).

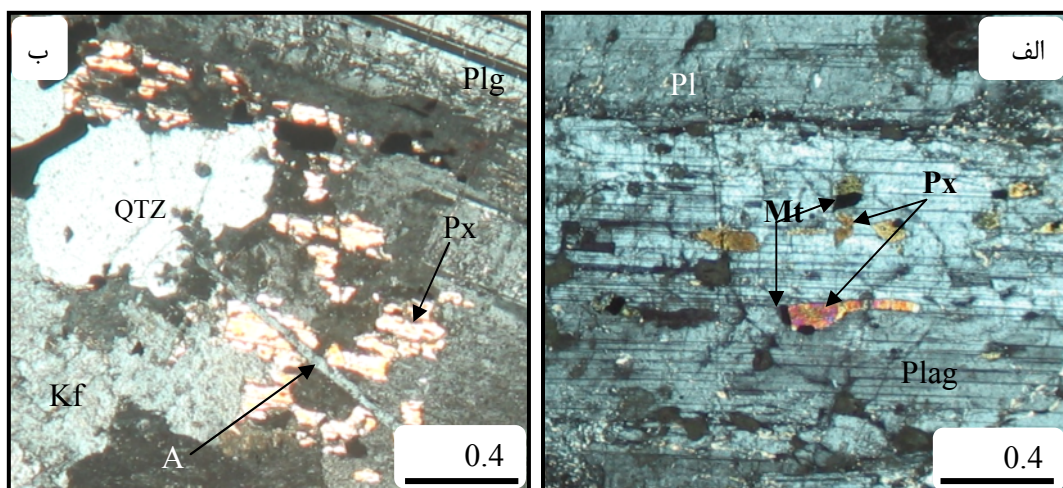
تراکیت- تراکی‌اندزیت، الیوین‌بازالت و سنگ‌های آذرآوری توف‌برشی و لاپیلی توف است که توده‌ی نفوذی نیمه‌عمیق با ترکیب کوارتز، مونزونیت، مونزونیت و گرانیت (ائوسن پایانی-لیگوسن) در این مجموعه نفوذ کرده است.

توده‌ی نفوذی نیمه‌عمیق دارای بافت پورفیری با خمیره‌ی ریزدانه‌ای است (در بخش‌های بالایی، بافت توده بیشتر از نوع پورفیری بوده که پلاژیوکلاز و پیروکسن، بلورهای درشت را تشکیل می‌دهند و کانی‌هایی از جمله کوارتز و فلدسپار قلیایی، بلورهای ریز با بافت ریزدانه‌ای متن سنگ را تشکیل می‌دهند). مهم‌ترین و فراوان‌ترین کانی‌های فرعی این سنگ، مگنتیت و آپاتیت‌اند که همراه با کانی‌های اصلی دیده می‌شوند. علاوه بر حضور در متن سنگ، مگنتیت و آپاتیت به‌شکل نفوذی درون کانی‌های پیروکسن، پلاژیوکلاز و فلدسپار قلیایی نیز دیده می‌شوند. کانی پیروکسن نیز همراه با مگنتیت به‌شکل نفوذی در پلاژیوکلاز مشاهده می‌شود (شکل ۲ الف). برخی از آپاتیت‌ها نیز کانی‌های سنگ‌ساز از جمله پیروکسن و پلاژیوکلاز را قطع کرده‌اند (شکل ۲ ب). نفوذی‌های از کانی‌های یاد شده در پلاژیوکلاز و پیروکسن، گواهی بر غنی‌بودن ماگمای اولیه از عناصر آهن و فسفر است [۲].

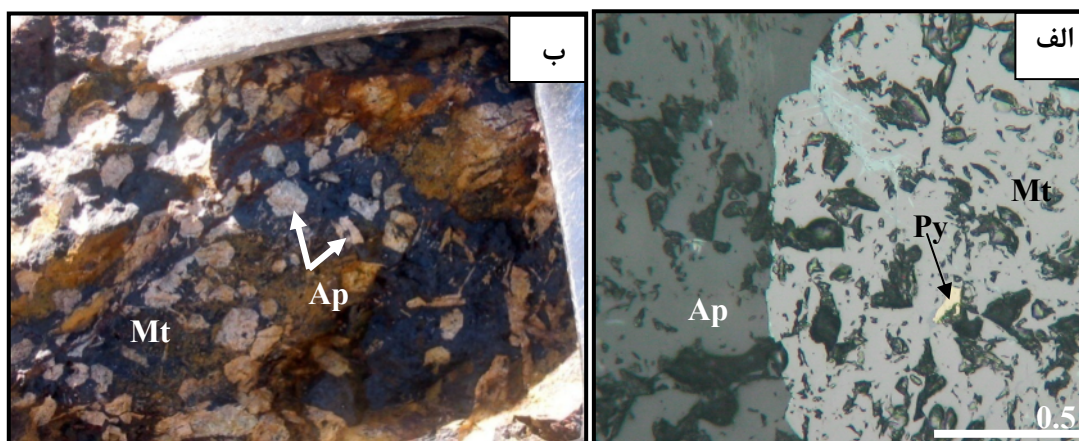
توده‌ی نفوذی نیمه‌عمیق منطقه، ویژگی‌های گرانیت نوع I را دارد. همچنین، ماگماتیسم منطقه ویژگی‌های نوع کوهزایی و وابسته به قوس‌های آتشفشانی را نشان می‌دهد [۲، ۶-۸]. نهشته‌های کواترنری نیز در نتیجه فرسایش کوه‌ها و به‌وسیله‌ی رودخانه‌ها و سیلاب‌ها به‌شکل پادگانه‌های آبرفتی و مخروط‌افکنه در کنار رودخانه‌ها و دامنه‌ی ارتفاعات تشکیل شده‌اند.

روش‌های بررسی و آنالیز

بررسی‌های انجام‌گرفته شامل مطالعات صحرایی، سنگ‌نگاری، کانننگاری، آنالیز دستگامی با ریزپردازش الکترونی و تهیه‌ی نقشه‌های ۱:۵۰۰۰ زمین‌شناسی-معدنی و دگرسانی است. به‌منظور شناسایی ترکیب شیمیایی کانی‌ها به‌وسیله‌ی ریزپردازش الکترونی (EPMA)، چند نمونه انتخاب شدند. آنالیزها با بهره‌گیری از دستگاه ریزپردازنده‌ی الکترونی مدل LEO 1530VZ در مؤسسه علوم زمین کاربردی دانشگاه کارلسروهه آلمان انجام شد. پردازش در شرایط 20 mA با ولتاژ 15.00 kV انجام گرفته است.



شکل ۲ نفوذ کانی‌های مگنتیت، آپاتیت و پیروکسن در کانی‌های سنگ‌ساز توده‌ی نفوذی نیمه‌ژرف (XPL). الف) نفوذ مگنتیت (Mt) همراه با پیروکسن (Px) در پلاژیوکلاز (Plag)؛ ب) بلور آپاتیتی (Ap) که کانی‌های پیروکسن (Px) و فلدسپار آلکان (Kf) را قطع کرده است.



شکل ۳ الف) تصویر میکروسکوپی (PPL) پیریت (Py) موجود در مگنتیت (Mt)، ب) نمونه‌ی دستی بلورهای آپاتیت (Ap) خودشکل و شش‌وجهی در مگنتیت (Mt).

خودشکل و اندازه‌ی آن‌ها ریز تا درشت (از حد میلی‌متر تا ۱۰ سانتی‌متر) است. در گستره‌ی معدنی سرخه‌دیزج، یک سری از رگه‌های معدنی غیراقتصادی در سنگ‌های آتشفشانی و آذرآواری ائوسن تشکیل شده‌اند. پهنا و درازای این رگه‌ها متفاوت بوده و از رگه-رگچه‌هایی به پهنای چند میلی‌متر تا حداکثر یک متر دیده می‌شوند. کانی‌شناسی رگه‌ها شبیه بخش‌های قبلی و دارای کانی‌هایی از جمله مگنتیت، آپاتیت، کالکوپیریت، پیریت و بورنیت است. مرز ماده‌ی معدنی با سنگ میزبان (توده‌ی نفوذی نیمه‌عمیق و سنگ‌های آتشفشانی) در گستره‌ی معدنی سرخه‌دیزج در بیشتر موارد به شکل ناگهانی است.

کانه‌زایی در بخش B نیز به شکل رگه‌ای بوده، در بخش فوقانی توده‌ی نفوذی نیمه‌عمیق با ترکیب کوارتز مونوزونیت دیده می‌شود. این رخنمون در حدود ۵ الی ۱۰ متر پهنا، و ۵۰ الی ۷۰ متر درازا دارد. در بخش B کانسار، رگه-رگچه‌های سولفیدی دیده نمی‌شوند، ولی رگه-رگچه‌های سیلیسی و کربناتی در آن حضور دارند. بخش B کانسار در جنوب بخش A قرار دارد.

بخش C کانسار، تقریباً در شمال بخش A قرار داشته و نسبت به دو بخش دیگر رخنمون کمتری دارد. این بخش از نظر اندازه و گستردگی، نسبت به بخش‌های قبلی، کوچکتر بوده و بیشتر با واریزه‌ها و خاک‌های حاصل از فرسایش توده‌ی نفوذی نیمه‌عمیق پوشیده شده است. بلورهای آپاتیت،

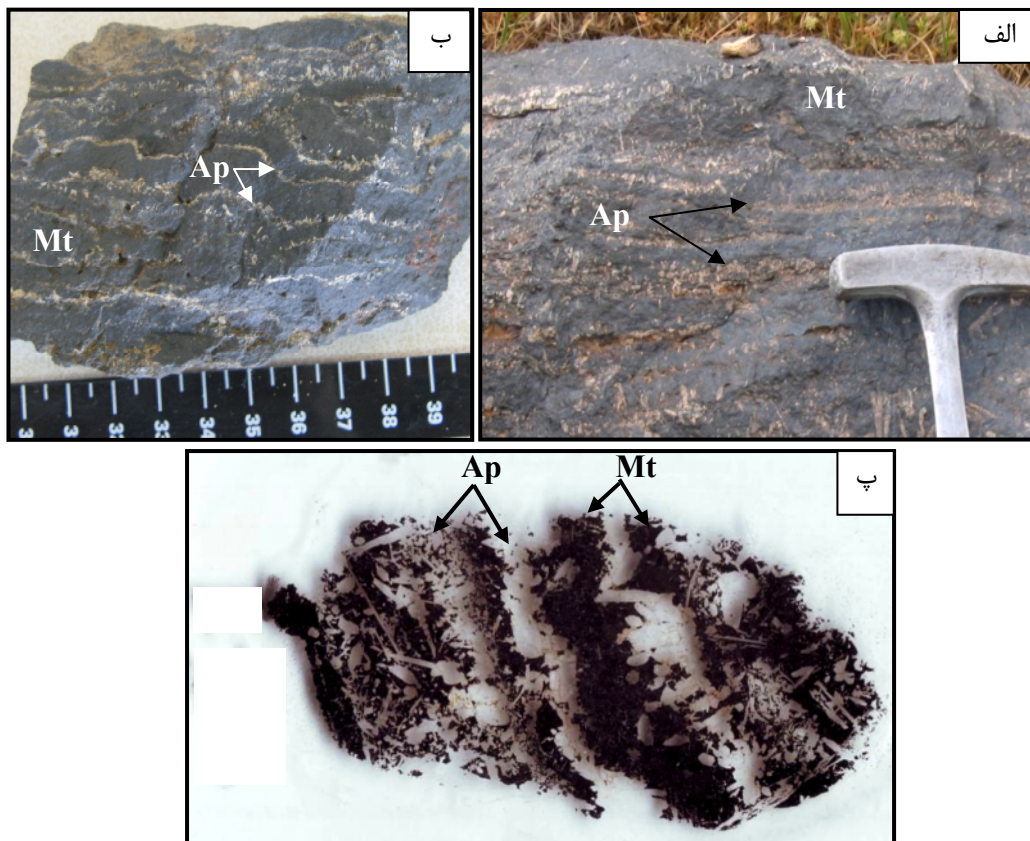
ساخت و بافت

الف) ساخت و بافت نواری (banded)

یکی از ساخت و بافت‌های معمول در کانسار سرخه‌دیزج، نوارهای متناوب مگنتیت و آپاتیت است که در آن، بلورهای آپاتیت، خودشکل بوده و اندازه‌ی آن‌ها از ریزبلور تا درشت‌بلور (از میلی‌متر تا چند سانتی‌متر) تغییر می‌کند. بلورهای آپاتیت در این بافت، به رنگ سفید تا کرم مشاهده می‌شوند. بافت مذکور، فقط در برخی از قسمت‌های کانسار مشاهده می‌گردد. در این منطقه، بافت نواری به ضخامت‌های مختلف از حد میلی‌متر تا چند سانتی‌متر قابل مشاهده است که هم‌رند با کانی‌زایی اکسید آهن آپاتیت‌دار در این منطقه (خاوری-باختری) است (شکل ۴). بافت یاد شده در منطقه‌ی سرخه‌دیزج، در طول رگه‌ی کانی‌زایی شده ممتد نبوده و به شکل منقطع دیده می‌شود و به نظر می‌رسد از شاره‌ی کانه‌ساز بر اثر هسته‌بندی انتخابی و نیز براساس غنی‌بودن شاره از فسفر تشکیل شده است. همچنین به دلیل اینکه این بافت در رگه‌ی اصلی مگنتیت و به شکل ناممتد تشکیل شده است، به نظر می‌-

رسد تشکیل این بافت، با زمین‌ساخت ارتباطی ندارد؛ ولی کانی‌زایی رگه‌ای اکسید آهن آپاتیت‌دار در این منطقه، به زمین‌ساخت وابسته بوده است و در زون‌های شکستگی و گسلی تشکیل شده است.

در مورد چگونگی تشکیل بافت نواری مگنتیت-آپاتیت نظرهای مختلفی وجود دارد. ولی با توجه به اینکه میزان اصلی کانه‌زایی در منطقه‌ی سرخه‌دیزج، توده‌ی نفوذی نیمه‌عمیق است، به همین خاطر نمی‌توان گفت که این بافت در این کانسار به وسیله‌ی فرآیندهای رسوب‌گذاری و جریان یافتن توده‌ی اکسیدی (دارای حالت پلاستیک) به وجود آمده است. به‌طور کلی ماهیت و خاستگاه بافت نواری مگنتیت-آپاتیت، هنوز در دنیا به صورت کامل شناخته نشده است (گفتگوی شفاهی، Hitzman). ولی چنانکه از مطالب بالا نیز بر می‌آید، به نظر می‌رسد بافت نواری مگنتیت-آپاتیت در این کانسار به شاره‌ی کانه‌ساز وابسته بوده و در اثر هسته‌بندی انتخابی آپاتیت نسبت به مگنتیت تشکیل شده است.



شکل ۴ الف) بافت نواری مگنتیت (Mt)-آپاتیت (Ap) در رخنمون سطحی، ب) در نمونه‌ی دستی، پ) تصویر اسکن‌شده‌ی مقطع میکروسکوپی که بافت نواری مگنتیت (Mt)-آپاتیت (Ap) را به خوبی نشان می‌دهد.

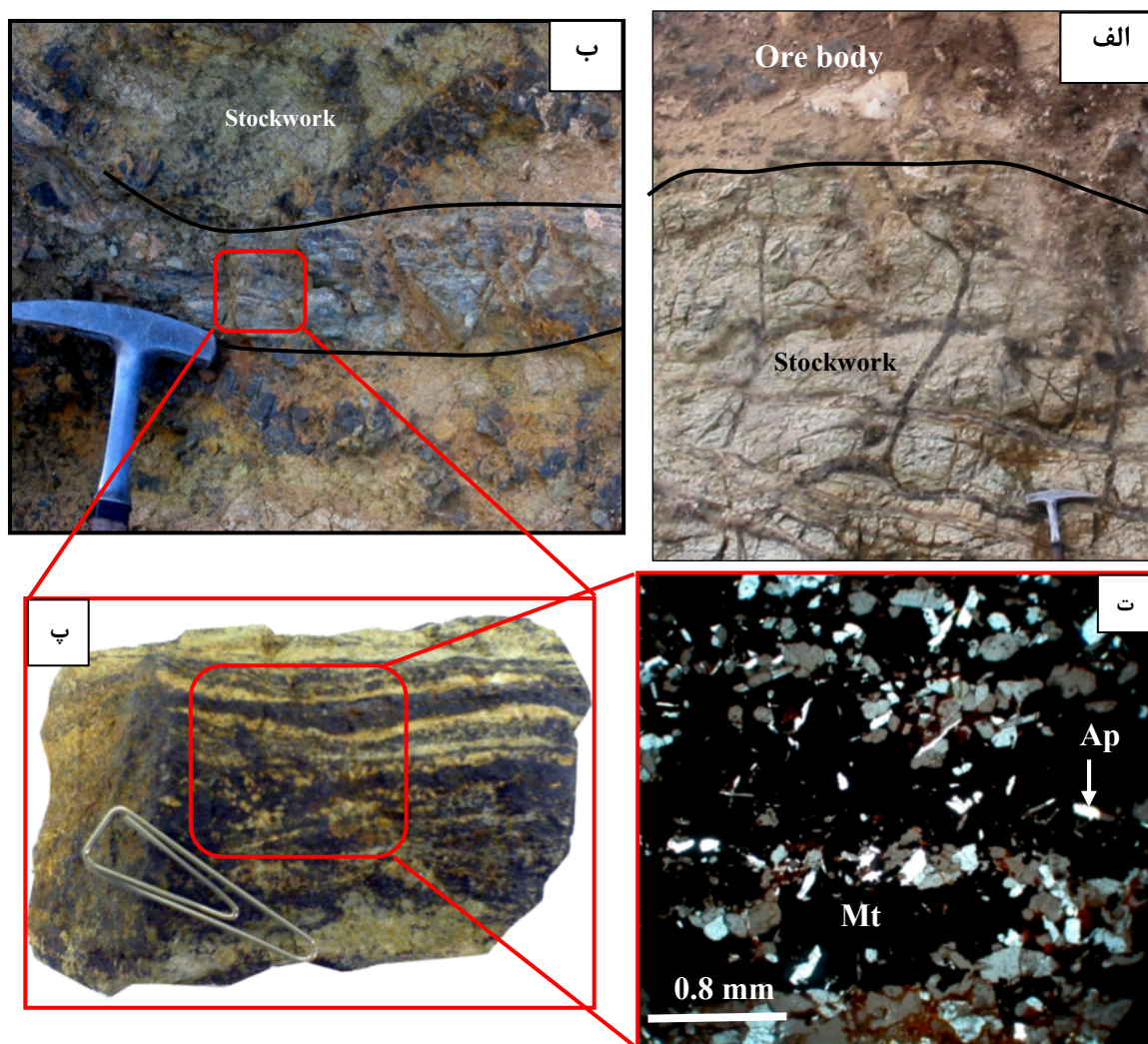
ب) ساخت و بافت توده‌ای (massive)

بخش بزرگ کانی‌سازی در کانسار سرخه‌دیزج را ساخت و بافت توده‌ای تشکیل داده است. کانه اصلی، مگنتیت است که همراه آن آپاتیت و مقداری اندکی پیریت (به شکل لکه‌هایی در مگنتیت و آپاتیت) همراه با کالکوپیریت مشاهده می‌شود. بافت نواری مگنتیت-آپاتیت در اغلب بخش‌های کانسار از جمله بخش‌های دارای بافت توده‌ای و داربستی، به خوبی قابل مشاهده است. بافت نواری در بخش‌های یاد شده (توده‌ای و داربستی) کاملاً شبیه هم بوده و هیچ تفاوتی با همدیگر ندارند. در بافت توده‌ای نیز مانند بافت نواری، بلورهای آپاتیت در اندازه‌های ریز تا درشت و به رنگ سفید تا کرم در مگنتیت، پراکنده‌اند (شکل

۳ ب). آپاتیت‌های درشت‌بلور به شکل منشوری دو هرمی و سوزنی (اندازه بعضی از بلورها تا ۲۰ cm) دیده می‌شوند.

ج) ساخت و بافت داربستی (stockwork)

ساخت و بافت داربستی در بخش زیرین ماده‌ی معدنی و در توده‌ی نفوذی نیمه‌عمیق، که به شدت دگرسان شده است، قابل مشاهده است (شکل ۵ الف). بخش داربستی حاوی رگه و رگچه‌هایی از مگنتیت حاوی آپاتیت است که به رگه‌ی اصلی کانه‌زایی وصل می‌شوند. بافت نواری آپاتیت-مگنتیت یکی از بافت‌هایی است که در رگه‌های تشکیل‌دهنده‌ی ساخت و بافت داربستی، به خوبی قابل مشاهده است (شکل ۵ ب، پ، ت).



شکل ۵ الف) ساخت و بافت داربستی در بخش زیرین ماده‌ی معدنی و در درون توده‌ی نفوذی به شدت دگرسان‌شده، ب) تصویر نزدیک‌تر از رگه‌های داربستی، که دارای بافت نواری بین مگنتیت و آپاتیت است، پ) نمونه‌ی دستی از رگه داربستی دارای بافت نواری در تصویر (ب، ت) تصویر میکروسکوپی از نمونه‌ی دستی بخشی از تصویر (پ)، که حامل نوارهای غنی از آپاتیت (Ap) در مگنتیت (Mt) است (XPL).

بافت برشی گرمابی (Hydrothermal brecciated)

این بافت بیشتر در حاشیه کانی‌سازی دیده می‌شود. قطعات زاویه‌دار تا نیمه‌گرد شده از سنگ درونگیر توده‌ی نفوذی نیمه‌عمیق، در متنی از مگنتیت مشاهده می‌شوند. این قطعات به‌شدت دگرسان و با کانی‌های رسی، اپیدوت-کلریت و گاه اکتینولیت جانشین شده‌اند. در نمونه‌های دستی، این قطعات به رنگ سبز و سفید دیده می‌شوند و اندازه‌ی آن‌ها از میلی‌متر تا چندین سانتی‌متر است. به نظر می‌رسد شاره‌ی حمل‌کننده آهن، به علت داشتن فشار زیاد نسبت به فشار لیتوستاتیکی محیط، موجب برشی‌شدن سنگ‌های میزبان در اطراف کانسار شده است.

دگرسانی

دگرسانی‌های موجود در اطراف این کانه‌زائی عبارتند از فلدسپار پتاسیم، اکتینولیتی، آرژیلی، سیلیسی، سریسیتی، کلریتی-اپیدوتی و تورمالینی که پیرامون زون‌های کانه‌دار به‌شکل گسترده و تقریباً حاشیه‌ای متقارن و باریک مشاهده می‌شوند. در این میان، دگرسانی‌های آرژیلی، سیلیسی و به نسبت کمتری از آن‌ها، دگرسانی سریسیتی گسترش فراوانی در منطقه دارند. دگرسانی‌های تورمالینی و سیلیسی تشکیل شده در این منطقه، بیشتر در سنگ‌های میزبان آتشفشانی روی داده است، اگرچه دگرسانی تورمالینی به‌صورت جزئی در بخشی از توده‌ی نفوذی نیمه‌عمیق در بخش C کانسار مشاهده می‌شود. دگرسانی آرژیلی بلافاصله زیر ماده‌ی معدنی و در سنگ درونگیر توده‌ی نفوذی نیمه‌عمیق دیده می‌شود. همچنین دگرسانی‌های کلریتی، اپیدوتی، فلدسپار پتاسیم و سریسیتی نیز در اطراف رگه‌ی معدنی (در بعضی جاها) قابل مشاهده‌اند، ولی گسترش این دگرسانی‌ها نسبت به دگرسانی‌های دیگر تشکیل شده در منطقه کم است. البته لازم به یادآوری است که دگرسانی فلدسپار پتاسیم فقط در سنگ درونگیر ماده‌ی معدنی بخش A و C کانسار سرخه‌دیزج و با گسترش کم دیده شده است (شکل ۶). در بعضی جاها شدت این دگرسانی به‌حدی بوده که موسکویت (میکا-سریسیت) جانشین فلدسپار آلکالن شده است. دگرسانی اکتینولیتی از مهمترین دگرسانی‌هایی است که در کانسارهای مگنتیت آپاتیت‌دار تشکیل می‌شود. در کانسار اکسید آهن آپاتیت‌دار سرخه‌دیزج، دگرسانی اکتینولیتی با گسترش محدود و بلافاصله پس از ماده‌ی معدنی با توده‌ی نفوذی نیمه‌عمیق و همراه با مگنتیت و آپاتیت دیده می‌شود (شکل ۷). این دگرسانی، در اثر تأثیر گرمابی‌ها روی بلورهای پیروکسن و تبدیل آن به اکتینولیت به‌وجود آمده است. به‌طور

کلی می‌توان گفت که دگرسانی‌های کلریتی-اپیدوتی، سریسیتی، فلدسپار پتاسیم و اکتینولیتی، در درون دگرسانی فراگیر آرژیلی قرار دارند. با توجه به اینکه کانی‌زایی اصلی در این منطقه، اکسیدی (مگنتیت آپاتیت‌دار) است، بنابراین دگرسانی آرژیلیک تشکیل شده در بخش‌هایی از این کانسار نمی‌توانسته به آن وابسته باشد، چون هم شاره‌ی تشکیل دهنده‌ی کانسار، اکسیدی بوده و هم دمای بالایی داشته است. بنابراین می‌توان گفت که این دگرسانی به فرآیندهای اکسایشی و ثانویه وابسته می‌باشد. اگرچه کانی‌زایی سولفیدی نیز در این منطقه تشکیل شده است، ولی این نوع کانی‌زایی نمی‌تواند دگرسانی آرژیلیک با این گستردگی را در منطقه تشکیل دهد چون کانه‌زایی سولفیدی بسیار جزئی و کم می‌باشد.

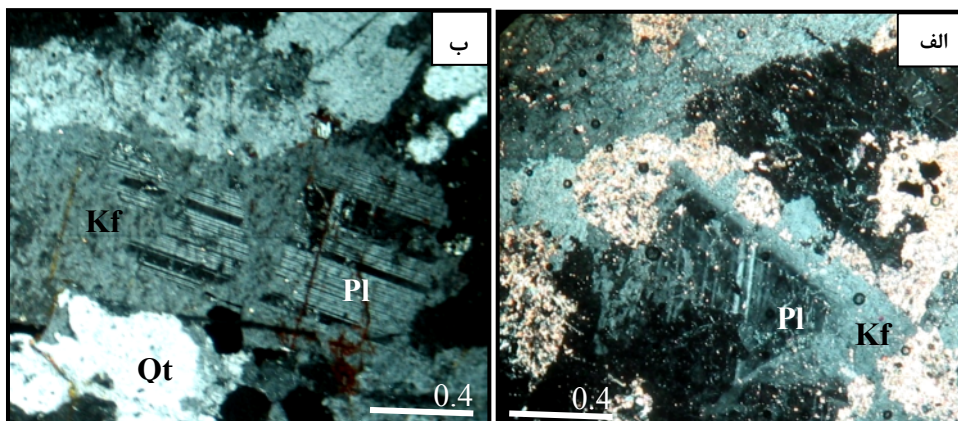
دگرسانی در کانسارهای IOCG با سنگ درونگیر آذرین، منطقه‌بندی خوبی را از اعماق زیاد تا سطح نشان می‌دهد [۱۰،۹]. در نقاط عمیق این کانسارها، دگرسانی سدیک که شامل آلبیت + مگنتیت \pm اکتینولیت یا کلریت است، تشکیل می‌شود. در این دگرسانی، نخست فلدسپارهای قلیایی و به دنبال آن بلورهای مافیک دگرسان می‌شوند.

در ترازهای بالاتر نسبت به دگرسانی سدیک، انواع دیگر دگرسانی‌ها از جمله دگرسانی پتاسیک (فلدسپار پتاسیم) و سریسیتی تشکیل می‌شود [۱۰، ۵-۱۲]. در بعضی از کانسارهای IOCG، دگرانه‌ی پتاسیک به‌وسیله دگرسانی هیدرولیکی (شامل دگرسانی‌های سریسیتی، آرژیلیک و سیلیسی) پوشیده می‌شود [۹، ۱۰].

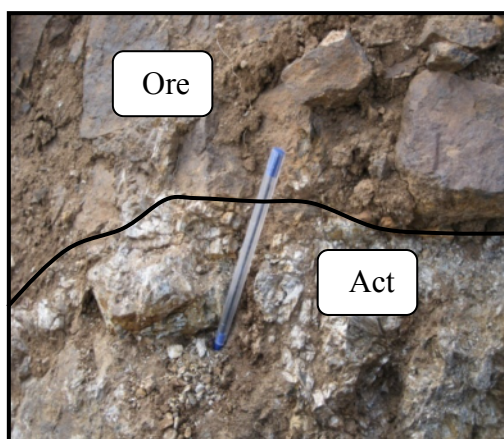
با توجه به اینکه دگرسانی سدیک در اعماق زیاد و پیش از کانی‌زایی در کانسارهای IOCG رخ می‌دهد [۱۰]، بنابراین انتظار می‌رود که این دگرسانی را در نقاط عمیق کانسار اکسید آهن آپاتیت‌دار سرخه‌دیزج نیز مشاهده نمائیم، ولی با توجه به اینکه هیچ نوع حفاری عمیقی در این منطقه برای پی‌جویی صورت نگرفته است، آثاری از دگرسانی سدیک مشاهده نمی‌شود.

کانی‌شناسی

براساس بررسی‌های میکروسکوپی و آنالیز XRD، کانی‌های زیر در منطقه‌ی معدنی سرخه‌دیزج تشخیص داده شدند: مگنتیت، هماتیت، لیمونیت، گوتیت، لپیدوکروسیت، آپاتیت، پیریت، کالکوپیریت، بورنیت، کوولیت، کالکوسیت، دیزنیت، مالاکیت، آزوریت، اورانینیت و کانی‌های عناصر خاکی نادر از جمله مونازیت، که همراه کانی‌های گانگ پیروکسن، اکتینولیت، اپیدوت، کلریت، کوارتز و کلسیت دیده می‌شوند.



شکل ۶ الف) جانشین شدن Kf به جای بلور پلاژیوکلاز (Pl)، (XPL)؛ ب) جانشین شدن Kf به جای کانی پلاژیوکلاز از حاشیه‌های کانی، به طوری که بخش کمی از آن باقی مانده است (XPL).



شکل ۷ بلورهای سوزنی شکل اکتینولیت (Act) به رنگ سبز تا صورتی زیر ماده‌ی معدنی.

مگنتیت

مگنتیت، مهمترین کانه‌ی موجود در کانسار اکسید آهن آپاتیت‌دار سرخه‌دیزج است (شکل ۳). بافت توده‌ای و دانه‌ای به‌شکل ریزدانه تا درشت‌دانه و نیز بافت برشی و نواری در نمونه‌ها دیده می‌شود. در بعضی بخش‌ها، بلورهای مگنتیت حالت خرد شده دارند و بافت کاتاکلاستیک را به‌وجود آورده‌اند. این کانی معمولاً به رنگ سیاه مایل به قهوه‌ای دیده می‌شود. بنابر نظر پژوهشگران (از جمله [۱۳]) این رنگ بیانگر وجود عنصر تیتانیوم در شبکه‌ی مگنتیت است که از شبکه‌ی آن خارج نشده است. در بسیاری از موارد، این عنصر به‌شکل کانی ایلمنیت ($FeTiO_3$) از شبکه‌ی مگنتیت خارج شده و بافت جدایشی نشان می‌دهد. داده‌های حاصل از آنالیز دستگاهی ریزپردازنده الکترونی نشان می‌دهد که مگنتیت جدا شده‌هایی از ایلمنیت و مگنتیت تیتان‌دار (اسپینل) است.

آپاتیت

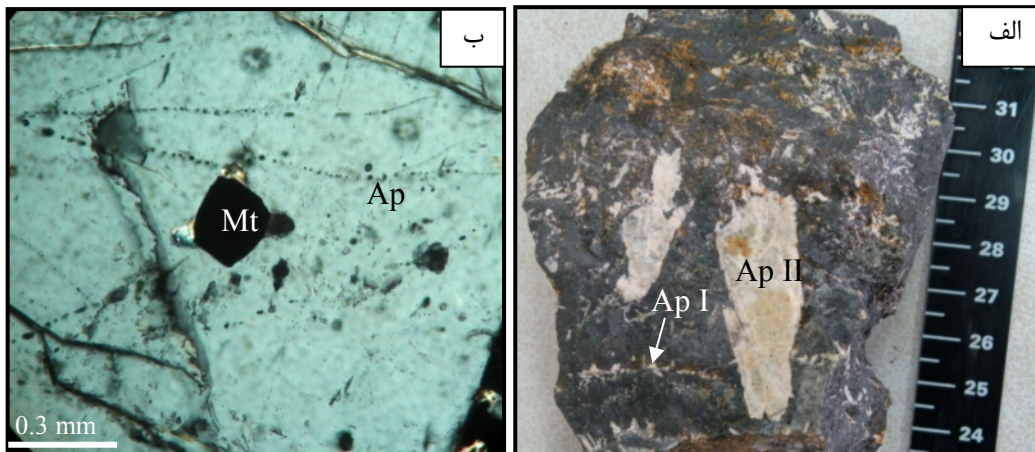
یکی از کانی‌های غالب همراه مگنتیت در کانسار سرخه‌دیزج، کانی آپاتیت است که رنگ شیری تا سفید داشته و براساس بررسی‌های آنالیز دستگاهی ریزپردازنده الکترونی، ترکیب آن از نوع کلرآپاتیت و هیدروکسی‌آپاتیت است. از لحاظ ماکروسکوپی، این کانی به‌شکل مگنتیت-آپاتیت توده‌ای و نواری است. براساس بررسی‌های میکروسکوپی، مشخص شد که کانی آپاتیت خودشکل‌تر از مگنتیت است که علت آن بالاتر بودن شاخص فشردگی (compaction index) یا قدرت هسته‌بندی آپاتیت نسبت به مگنتیت است، و آپاتیت سعی می‌کند تا در اغلب مواقع با شکل ششگوشی منظم متبلور شود [۱۴].

بررسی‌های میکروسکوپی و ماکروسکوپی، نشانگر تشکیل دو نسل آپاتیت در این کانسار است. نسل اول آپاتیت به‌شکل

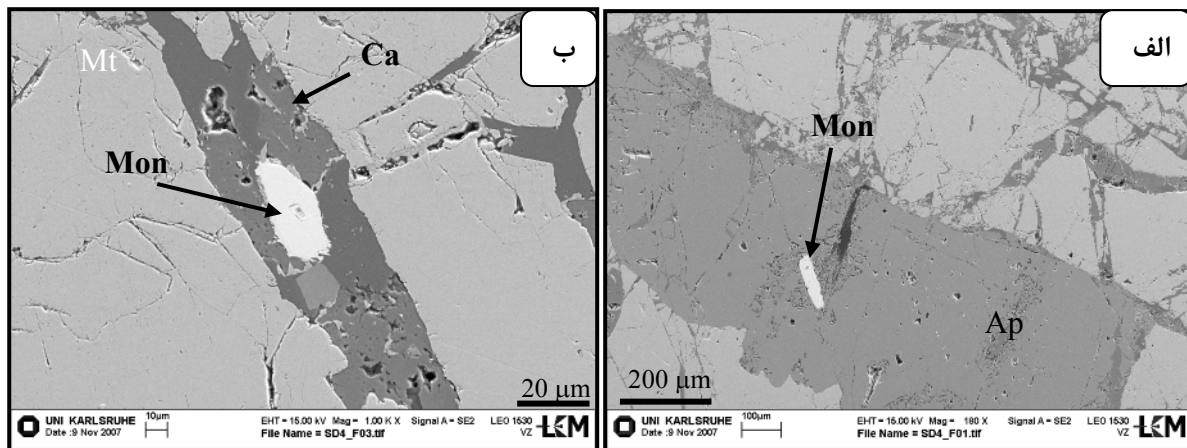
مونازیت

این کانی یک فسفات خاکی نادر است که در سیستم منوکلینیک متبلور می‌شود و شامل ۷۰٪ اکسید عناصر خاکی نادر سبک و ۳۲٪ اکسید ایتیریم است. این کانی به رنگ زرد تا قهوه‌ای متمایل به قرمز است. مونازیت یک کانی با سختی بالا، چگالی 5 gr/cm^3 و در مقابل هوازدگی مقاوم است. یکی از کانسنگ‌های مهم برای کانی‌زایی عناصر خاکی نادر، در کانسارهای آهن- آپاتیت یافت می‌شود [۱۵]. براساس بررسی‌های میکروسکوپی و آنالیز دستگاه ریزپردازنده‌ی الکترونی، مشخص شد که مونازیت در کانسار سرخه دیزج، به دو شکل حضور دارد. نوع اول به شکل درگیر در آپاتیت نسل I و II و نوع دیگر در رگه- رگچه‌های کربناتی تأخیری دیده می‌شود (شکل ۹ الف، ب).

ریزبلور تا درشت‌بلور، خودشکل و کاملاً شش‌گوش است. این نسل از آپاتیت همراه با مگنتیت بوده و در مگنتیت به شکل پراکنده دیده می‌شود. در بعضی موارد نیز آپاتیت با مگنتیت، بافت نواری را تشکیل داده است (شکل‌های ۴ و ۵ د) که این امر، تشکیل همزمان آن با مگنتیت را نشان می‌دهد. رنگ این نسل از آپاتیت، سفید و اندازه‌ی آن‌ها چند دهم میلی‌متر تا چند سانتی‌متر است. نسل دوم آپاتیت نسبت به نسل اول درشت‌بلورتر بوده و بلورهای آپاتیت نسل اول را قطع کرده است. این نسل از آپاتیت، رنگ سفید تا کرم داشته و اندازه‌ی آن‌ها از حد میلی‌متر تا چندین سانتی‌متر تغییر می‌کند، به طوری که در بعضی مواقع اندازه‌ی آنها به ۱۰ الی ۱۵ سانتی‌متر می‌رسد (شکل ۸ الف). در بلورهای هر دو نسل از آپاتیت، بلورهایی از مگنتیت دیده می‌شوند که نشانگر هم‌خاستگاه بودن و همزمانی تشکیل آن‌هاست (شکل ۸ ب).



شکل ۸ الف) نمونه‌ی دستی از آپاتیت درشت‌بلور نسل دوم (Ap II) که آپاتیت نسل اول (Ap I) را قطع کرده است، ب) بلورهایی از مگنتیت (Mt) در آپاتیت (Ap)، (XPL).



شکل ۹ الف) بلور مونازیت (Mon) که به صورت درگیر در آپاتیت (Ap) قرار دارد، ب) مونازیت موجود در رگه‌ی کربناتی (Ca) تأخیری (تصاویر EPMA).

پیریت

فراوان‌ترین کانی سولفیدی در کانسار سرخه‌دیزج، کانی پیریت است. سه نسل متفاوت از پیریت در این کانسار مشاهده شده است. نسل اول پیریت، به شکل بلورهای بی‌شکل و نیمه‌شکل‌دار است که همراه با کانی‌های مگنتیت و آپاتیت در کانسنگ مشاهده می‌شود (شکل ۳ الف). تشکیل این نسل از پیریت، قبل از کانی مگنتیت شروع و حتی همزمان با تشکیل آن نیز ادامه داشته است. در واقع پیریت به‌عنوان فاز سولفیدی از فاز اکسیدی جدا شده است. این نسل از پیریت، بی‌شکل، ریزبلور و سالم است.

پیریت نسل دوم، طی فاز کانه‌زایی سولفیدی تشکیل شده و این گروه شامل بلورهای نیمه‌شکل‌دار تا خودشکل همراه با کانی کالکوپیریت است. کانی پیریت در این نسل، اکسید شده و به کانی‌های اکسیدی از جمله گوتیت و لیپدوکروسیت تبدیل شده و بافت بازماندی (relict texture) را نشان می‌دهد (شکل ۱۰ الف). این پیریت‌ها، بلورهای مگنتیت را در بر گرفته‌اند (شکل ۱۰ ب).

نسل سوم پیریت در شکستگی‌ها تشکیل شده و به شکل رگه-رگچه، مجموعه کانی‌سازی اولیه را قطع کرده است (شکل ۱۱ الف). این پیریت، فاز آخر کانه‌زایی در این مجموعه را نشان می‌دهد. همراه این نسل از پیریت، گاه کالکوپیریت نیز مشاهده می‌شود. در طی همین مرحله (فاز تأخیری)، رگه و رگچه‌های سیلیسی، رگچه‌های سولفیدی را قطع کرده (شکل ۱۱ ب) و رگه-رگچه‌های کربناتی (اکثراً کلسیتی) تمامی مجموعه کانی‌سازی اولیه (کانی‌زایی اکسیدی و سولفیدی) و رگچه‌های

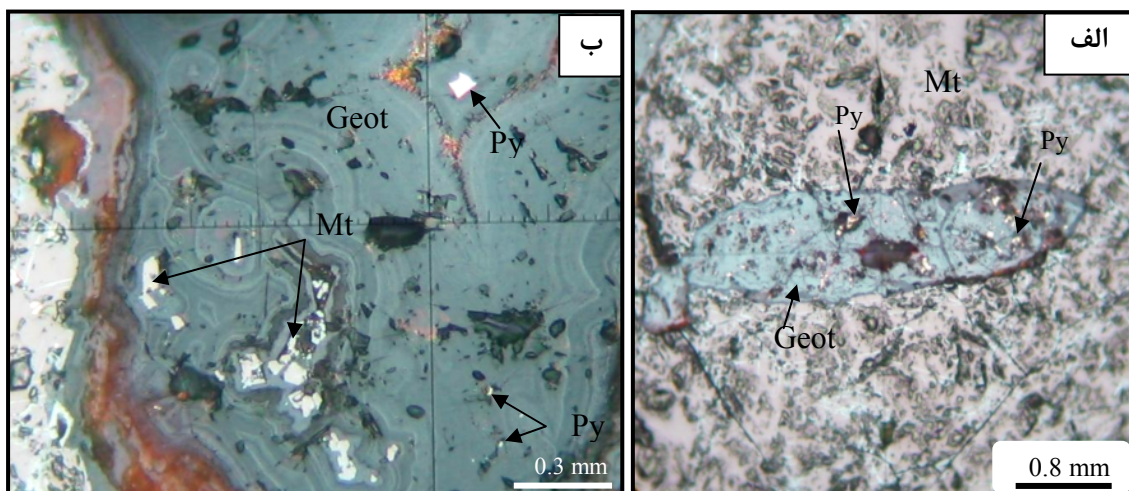
سیلیسی را قطع کرده‌اند (شکل ۱۱ پ). در رگه-رگچه‌های سیلیسی، قطعات برشی شده‌ی مگنتیت (\pm کربنات) و همراه رگه-رگچه‌های کربناتی و قطعات برشی شده‌ی مگنتیت (\pm کوارتز) مشاهده می‌شوند.

کالکوپیریت

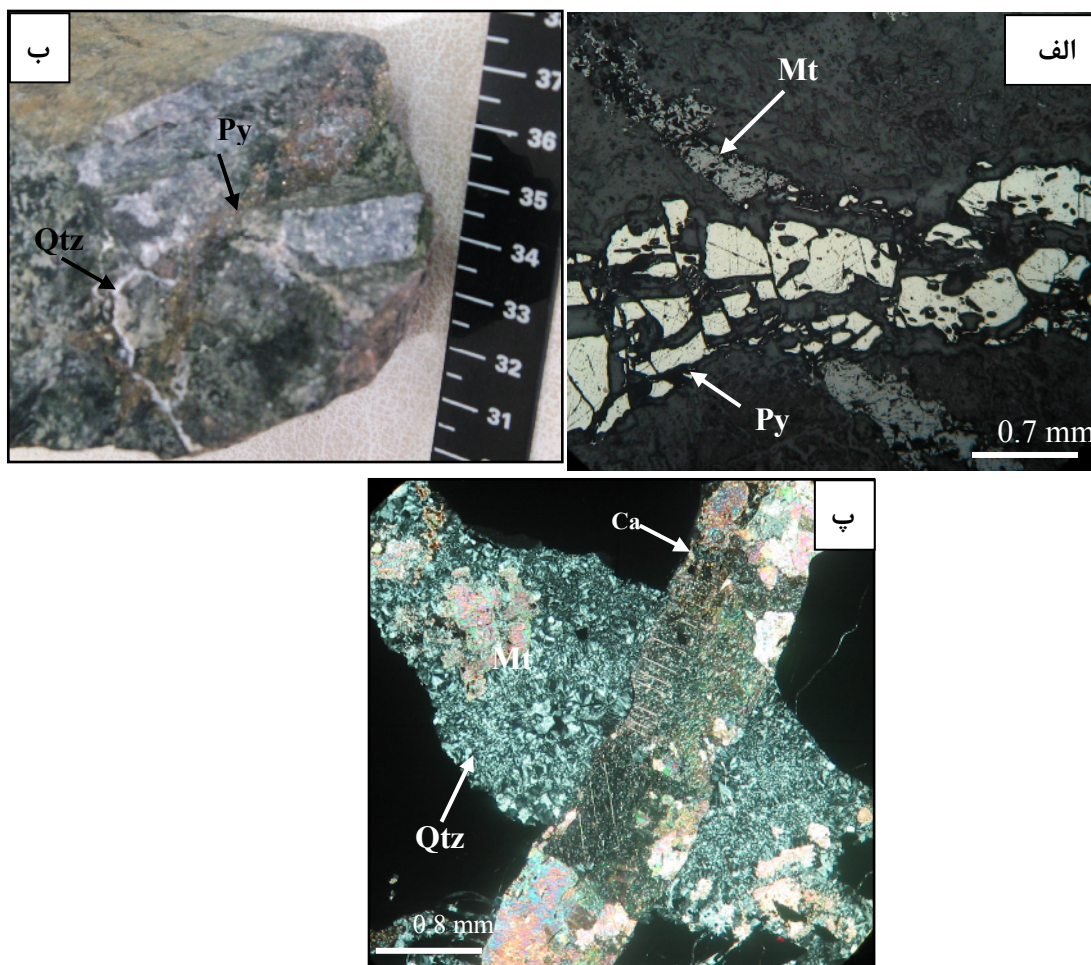
از جمله کانه‌های سولفیدی در منطقه‌ی کانه‌زایی، کالکوپیریت است که به صورت بلورهای درشت بی‌شکل تا شکل‌دار دیده می‌شود. این کانه اغلب در همراهی با بورنیت، بافت جدایشی تیغه‌ای را به وجود آورده است (شکل ۱۲ الف). به نظر می‌رسد که این مرحله از کانه‌زایی، یک مرحله پس از کانه‌زایی اکسیدی در این کانسار است. کالکوپیریت اغلب با پیریت‌های نسل دوم همراه است (شکل ۱۲ ب).

کالکوسیت - کولیت

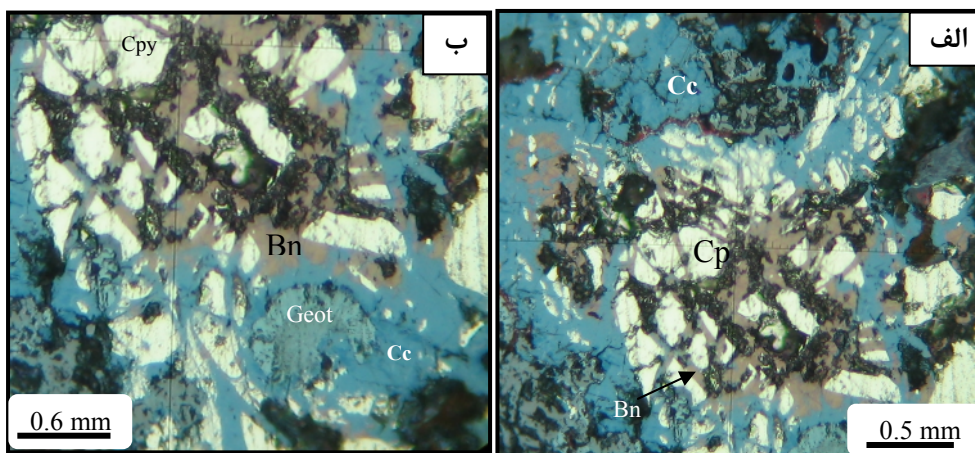
این دو کانه به‌عنوان کانه‌های سولفیدی ثانویه و برون‌زای، حاصل از تجزیه‌ی کانه‌های سولفیدی اولیه مس‌اند که ممکن است آثاری از کانه‌های اولیه در مجاورت آن‌ها مشاهده شود (شکل ۱۲). در نمونه‌های بررسی شده، کانه‌های کالکوپیریت به‌طور جزئی به مجموعه‌ای از کالکوسیت و کولیت تجزیه شده‌اند. در کانه‌های سولفیدی، جانیشینی کالکوسیت و کولیت از حواشی و مرز کانه‌ها و نیز در راستای شکستگی‌های کالکوپیریت صورت گرفته است. همچنین کربنات‌های مس از جمله مالاکیت و آزوریت به مقدار جزئی، به شکل لکه‌های پراکنده در نواحی اکسایشی دیده می‌شوند.



شکل ۱۰ الف) پیریت‌های نسل دوم (Py) که به گوتیت (Geot) و لیپدوکروسیت تبدیل شده و بقایایی از آن‌ها باقی مانده است (PPL)؛ ب) بلورهای مگنتیت (Mt) که در پیریت نسل دوم (Py) هوازده دیده می‌شوند (گوتیت، Geot) (PPL).



شکل ۱۱ الف) تصویر میکروسکوپی از رگچه سولفیدی نسل سوم (Py) که رگه مگنتیتی را قطع کرده است، (PPL)؛ ب) تصویر نمونه‌ی دستی از رگه‌ی سیلیسی تأخیری (Qtz) که رگه‌ی سولفیدی (Py) را قطع کرده است، پ) تصویر میکروسکوپی از رگچه کربناتی (Ca) تأخیری که رگچه سیلیسی تأخیری (Qtz) را قطع کرده است (XPL).



شکل ۱۲ الف) کانی‌سازی سولفیدی در کانسار، که شامل کالکوپیریت (Cpy) و بورنیت (Bn) است. این دو کانی بافت جدایشی تیغه‌ای را به‌وجود آورده‌اند و از اطراف به کالکوسیت (Cc) تبدیل شده‌اند (PPL)، ب) پیریت نسل دوم (Py) که همراه کانی‌های کالکوپیریت و بورنیت است. این پیریت‌ها بیشتر به گوتیت (Geot) تبدیل شده‌اند (PPL).

هماتیت

فراوانی هماتیت نسبت به مگنتیت به مراتب کمتر است و از نظر اقتصادی در منطقه‌ی کانسار سرخه‌دیزج اهمیت چندانی ندارد. این کانی در گستره‌های نزدیک به سطح زمین و یا در نقاطی که مگنتیت هوازده شده است، و نیز در سطوح شکستگی دانه‌های مگنتیت، یافت می‌شود. هماتیتی‌شدن از حاشیه دانه‌های مگنتیت و راستای شکستگی‌ها و سطوح رخ شروع شده است. در مواردی، آثاری از مگنتیت به شکل لکه‌هایی باقی‌مانده، گاهی نیز کانی مگنتیت به‌طور کامل به هماتیت تبدیل شده است.

گالن و اسفالریت

در کانسار سرخه‌دیزج، کانی‌های سولفیدی سرب و روی بیشتر در حاشیه‌ی سولفیدهای دیگر (بیشتر پیریت رگچه‌ای) تشکیل شده‌اند. آنالیزهای ریزپردازنده الکترونی چند نمونه نیز نشان می‌دهد که گالن و اسفالریت در این کانسار وجود دارد. مقدار آن‌ها بسیار کم است و به احتمال، طی کانی‌زایی سولفیدی نسل سوم تشکیل شده‌اند.

اورانیم

در بررسی مقاطع میکروسکوپی، کانی‌های اورانیم‌دار مشاهده نشدند، ولی آنالیزهای XRD نشان می‌دهد کانی‌های اورانیم از جمله اورانینیت (UO_2)، هائوایت $(Ca_3UO_2)4Si_{10}O_{35}$ و ایریزونیت $(U(MoO_4)22H_2O)$ به‌صورت جزئی تشکیل شده‌اند.

اکتینولیت و پیروکسن

اکتینولیت یکی از فراوان‌ترین کانی‌های سیلیکاتی آبدار همراه با مگنتیت در این کانسار است. بافت این کانی به‌شکل سوزنی، دندریتی و انباشته‌ای شعاعی و پرماند است که با مگنتیت هم‌رشد است (شکل ۷).

[۱۶] با بررسی کانسارهای آهن ماگمایی، وجود آمفیبول‌های دندریتی را دلیلی بر خاستگاه ماگمایی بودن آنها دانستند. ایشان همچنین وجود کانی پیروکسن را در توده‌های مگنتیتی گزارش کرده‌اند. این پیروکسن‌ها شکل دندریتی و شبیه بادبزنی داشته که با آپاتیت‌های مخروطی و مگنتیت‌های ستونی، به‌شکل لایه‌ای و متناوب دیده می‌شوند و از نظر ترکیب می‌توانند از نوع کلینوپیروکسن (دیوپسید) و یا ارتوپیروکسن (انستاتیت) باشند. این پژوهشگران معتقدند که آمفیبول

دندریتی (اکتینولیت) شبه‌ریختی از پیروکسن است و با آنالیز ریزپردازش، وجود تکه‌هایی بازمانده از کانی پیروکسن را ثابت کرده‌اند.

در کانسار سرخه‌دیزج، کانی پیروکسن با ترکیب دیوپسید و اوژیت (براساس اندازه‌گیری زاویه‌ی خاموشی 2V و XRD)، پیوسته به توده‌ی معدنی و سنگ درونگیر (توده‌ی نفوذی نیمه‌عمیق) دیده می‌شود که همراه با فلدسپار قلیایی سریسیتی‌شده، دارای بافت پگماتیتی است. بنابراین، براساس بررسی‌های انجام‌شده، مقداری از کانی پیروکسن تبدیل به اکتینولیت شده و در مکان‌هایی، فقط بقایایی از پیروکسن (بافت بازماندی) باقی مانده است. جانشینی پیروکسن با اکتینولیت، از حاشیه‌ی کانی، سطوح رخ و درز و شکستگی‌ها صورت گرفته است.

کوارتز

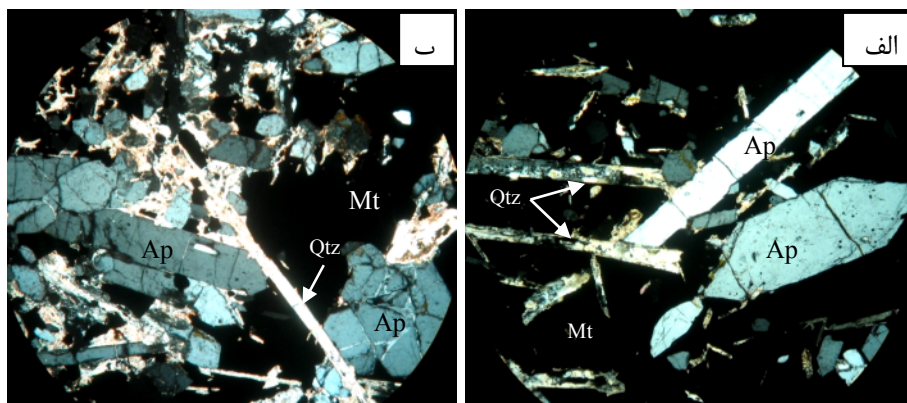
کوارتز باطله اصلی کانسار سرخه‌دیزج است که به‌شکل بلورهای ریز سوزنی‌شکل و غالباً با آپاتیت همراه است، ولی آن را قطع کرده و در برخی نقاط چنین تداعی می‌شود که جانشین آن شده است (شکل ۱۳). کوارتزهایی که آپاتیت را قطع و یا جانشین آن شده‌اند، به یک فاز شاره‌ی سیلیسی وابسته است که توده‌ی نیمه‌عمیق و ماده‌ی معدنی و سنگ میزبان را به‌شکل دگرسانی‌های سیلیسی، سریسیتی و آرژیلیک متأثر کرده است.

پاراژنز

به مجموعه‌ای از کانه‌ها و باطله‌های همراه، که با یکدیگر و در حال تعادل نسبت به همدیگر تشکیل می‌شوند، پاراژنز می‌گویند و ترتیب زمانی در تشکیل کانه‌ها را ردیف پاراژنزی می‌نامند. با توجه به بررسی‌های سنگ‌شناسی، کانه‌نگاری و کانی‌شناسی به روش XRD و در مواردی آنالیز ریزپردازشی که در این گستره انجام شده، چگونگی شکل‌گیری کانی‌سازی یا به عبارت دیگر، پیوستاری از پاراژنزی این کانسار طی مراحل زیر ظاهر شده است.

مرحله‌ی اولیه‌ی کانی‌سازی

طی این مرحله، جدایش و تبلور ماگما سبب تشکیل توده‌ی نفوذی نیمه‌عمیق با ترکیب حدواسط تا اسیدی شده است که میزبان اصلی کانسار سرخه‌دیزج محسوب می‌شود. در این فرآیند، کانی‌هایی مانند پلاژیوکلاز، پیروکسن، فلدسپار قلیایی، کوارتز و ذرات پراکنده مگنتیت و آپاتیت تشکیل شده‌اند.



شکل ۱۳ الف، ب) قطع‌شدگی بلورهای آپاتیت (Ap) به‌وسیله بلورهای ریز و سوزنی کوارتز (Qtz)؛ (XPL).

مرحله اصلی کانه‌زایی (اکسیدی)

در ادامه‌ی مرحله قبل، شاره‌های ماگمایی غنی از مواد فرار و دارای آهن و فسفر که از توده‌ی نفوذی ریشه گرفته، در زون‌های شکستگی و گسلی و درون توده‌ی نفوذی باعث تشکیل کانه‌زایی اصلی آهن آپاتیت‌دار شده است. کانه‌زایی آهن در این مرحله با تشکیل مگنتیت و آپاتیت در شکستگی‌های داریستی موجود در توده‌ی نفوذی آغاز می‌شود. پر شدن فضاهای خالی با شاره‌ی غنی از آهن، باعث تشکیل کانه‌زایی آهن با بافت داریستی شده است. در این مرحله، مگنتیت بافت توده‌ای و افشان را تشکیل داده و هم‌رشدی آپاتیت با مگنتیت با شکل‌های توده‌ای و نواری صورت گرفته است. بلورهای پیریت نسل اول، در این مرحله، در مگنتیت و همراه با آن تشکیل شده‌اند. لازم به یادآوری است که بخشی از کانی پیروکسن که در مرحله‌ی قبلی تشکیل شده، در این مرحله در اثر تأثیر شاره‌های ماگمایی غنی از آهن و فسفر دگرسان و به اکتینولیت تبدیل شده است. آپاتیت نسل II در پایان این مرحله از کانه‌زایی ظاهر شده است. بافت برشی گرمابی، دارای قطعاتی از سنگ درونگیر در متنی از مگنتیت نیز در این مرحله تشکیل شده است.

مرحله‌ی کانه‌زایی سولفیدی

این مرحله پس از کانه‌زایی اکسیدی (کانه‌زایی اصلی) و در اثر حضور شاره‌های با دمای پایین‌تر و دارای مس، رخ داده است. بلورهای پیریت نیز در واقع پیریت نسل دوم کانه‌زایی هستند. تبدیل شدن پیروکسن‌ها به اکتینولیت در این مرحله نیز ادامه داشته است.

مرحله‌ی تأخیری کانی‌زایی

در آخرین مرحله‌ی کانی‌زایی، رشته‌ای از رگه-رگچه‌های تأخیری سولفیدی، سیلیسی و کربناتی، مجموعه کانی‌زایی اولیه را قطع کرده است. این رگه-رگچه‌ها حاوی پیریت و مقدار جزئی کالکوپیریت (نسل II) هستند. پس از آن رگه-رگچه‌های سیلیسی تأخیری و سپس رگه-رگچه‌های کربناتی تأخیری‌تر، همه‌ی آن‌ها را قطع کرده‌اند.

مرحله‌ی برونزایی و هوازدگی

در اثر عملکرد فرآیندهای برونزایی و هوازدگی، کانی‌های مرحله‌ی اصلی و سولفیدی دگرسان شده‌اند، به‌طوری که طی فرآیند اکسایشی در بخش‌های کم‌عمق و سطحی کانسار، کانی‌هایی از جمله کوولیت، کالکوسیت، هماتیت، گوتیت، لپیدوکروسیت، مالاکیت، مارتیت، کلسیت و کائولینیت تشکیل شده است.

خلاصه‌ی فرآیندهای تشکیل کانسار اکسید آهن آپاتیت‌دار

سرخه‌دیزج در جدول ۱ نشان داده شده است.

مقایسه با انواع کانه‌زایی جهانی

تعیین نوع کانه‌زایی در هر کانسار، در امر پی‌جویی اهمیت بسیاری دارد. با توجه به بررسی‌های انجام‌شده در کانسار سرخه‌دیزج، سعی شد ویژگی‌های این کانسار با ویژگی‌های ذخایر نوع اکسید آهن آپاتیت‌دار مقایسه شود. [۱۷] با بررسی روی خاستگاه، چگونگی جایگیری و خروج ماگما‌های کانسنکی (ore magmas)، کانسارهای آهن آپاتیت‌دار را در دو گروه مهم زیر جای داده‌اند:

بنا به نظر [۱۸،۱۹]، ذخایر نوع کایرونا در گستره‌ی کانسارهای IOCG واقع می‌شوند. این کانسارها شامل دو زیردسته‌ی کانسارهای مرتبط با ماگماتیسم کالک‌آلکان و آلکان می‌باشند که کانسارهای آهن نوع کایرونا در زیردسته کانسارهای مرتبط با ماگماتیسم آهکی قلیایی قرار می‌گیرند [۲۰] (جدول ۲).

۱- نلسونیت‌ها (کانسارهای مگنتیت- آپاتیت- ایلمنیت با Ti و P بالا) که همراهی فراوانی با آنورتوزیت‌ها دارند.

۲- کانسارهای نوع کایرونا (کانسارهای مگنتیت- آپاتیت با Ti و P پایین) که بیشتر با سنگ‌های آتشفشانی آهکی قلیایی تا قلیایی همراهند.

جدول ۱. پارائنز و مراحل کانه‌زایی ماگمایی- گرمابی در کانسار سرخه‌دیزج .

Minerals	Pre mineralization	Main oxide stage	Sulfide stage	Late stage	Supergene and Weathering
Magnetite					
Chalcopyrite	i				
Bornite					
Pyrite I		i			
Pyrite II					
Pyrite III					
Apatite I	i				
Apatite II					
Monazite	i			mi	
Galena				mi	
Sphalerite					
Feldspar					
Pyroxene					
Actinolite					
Tourmaline					
Quartz					
Carbonate					
Chalcosite					
Covellite					
Malachite					
Goethite					
Hematite					
Chlorite					
Epidote					
Texture and Structure	Banded				
	Massive				
	Vein-Veinlet				
	Breccia				
	Relict				
	Stockwork				

i = Inclusions (such as: pyroxene, magnetite and apatite within the plagioclase; magnetite within the pyroxene, and apatite; apatite within the pyroxene and K-feldspar; monazite within the apatite; pyrite within the magnetite and apatite.

mi = Detected in microprobe analysis.

جدول ۲ رده‌بندی کانسارهای ماگمایی- گرمایی آهن و ذخایر Cu-Au وابسته به آن‌ها [۱۸، ۱۹].

Source → Proximal → Distal			
Calc-alkaline magma			
Iron Skarn-type	Kiruna-type	Olympic Dam-type	Cloncurry-type
Massive magnetite-garnet-pyroxene	Massive magnetite-apatite-actinolite	Breccia (one or more stages), magnetite-hematite matrix	Hydrothermal veins & disseminations in older 'ironstones' or FeOx mineralization
Stratabound lensoid & irregular bodies at intrusive contact	Tabular, pipe-like & irregular bodies, dykes & veins	Pipe-like & irregular bodies, vent or fault controlled	Stratabound, breccia or fault controlled
Monometallic Fe and related FeOx-Cu-Au deposits	Monometallic Fe & related Cu-FeOx porphyry deposits	Polymetallic: Fe, Cu, Au, Ag, REE	Polymetallic: Cu, Au, Ag, Bi, Co, W
Alteration: Sodic	Alteration: Sodic	Alteration: Potassic	Alteration: Potassic
Magnitogorsk deposit, Russia	Kiirunavaara deposit, Sweden	Olympic Dam deposit, Australia	Osborne & Starra deposits, Australia

Source → Proximal → Distal	
Alkaline-carbonatite magma	
Phalaborwa-type	Bayan Obo-type
Within or marginal to intrusion	Hosted by country rock
Veins, layers, disseminations and aggregates; late intrusive phase	Veins, layers, disseminations and aggregates, stratabound lenses
Low Ti magnetite, apatite, olivine, phlogopite, carbonate, fluorite, Cu sulphides, pyrite, PGE, Au, Ag, uranothorianite, baddeleyite	Magnetite (replacive and/or pre-existing), hematite, bastnaesite, phlogopite, Fe-Ti-Cr-Nb oxides, fluorite, monazite, carbonate
Zoning in ore; Na & K alteration	Zoning in ore; Na & K alteration
Phalaborwa deposit, South Africa	Bayan Obo deposit, China

قوس‌های ماگمایی قرار گرفته‌اند [۲۲، ۲۳]. این نوع از کانسارها بیشتر با برش‌هایی با زمینه‌ی مگنتیت-اکتینولیت احاطه می‌شوند و دارای دگرسانی گسترده‌ی Na-Ca هستند که بر حسب کانه غالب، آن‌ها به دو گروه، مگنتیت غالب (مانند: بافق، Kiirunavaara) و گروه هماتیت + مگنتیت (مانند: Per Pilot knob Giejer, Gruvberget, Pea Ridge) تقسیم می‌شوند.

۲- کانسارهای اکسید آهن فقیر از آپاتیت: این نوع نیز به دو گروه تقسیم می‌شود: الف- کانسارهایی که به‌صورت آشکار در اثر فرآیندهای ماگماتیک- گرمایی تشکیل شده‌اند، مثل کانسارهای Lightning Creek, Southern GBMZ، ب- کانسارهایی که همراهی آشکاری با انبوهه‌های ماگماتیک

[۲۱] کانسارهای IOCG را بر مبنای مشخصاتی که به پی‌جویی آن‌ها کمک می‌کند در سه گروه، الف) کانسارهای اکسید آهن آپاتیت‌دار فاقد مس که می‌توانند همراه با کانسارهای IOCG تشکیل شوند، ب) کانسارهای IOCG و کانسارهای وابسته به آن شامل کانسارهای متنوع چندفلزی و اورانیم و ج) کانسارهای آذرین اکسید آهن ± مس ماگمایی رده‌بندی کرده است. این پژوهشگر علامت اختصاری Iron Oxide Apatite (IOA) را به کانسارهای اکسید آهن آپاتیت‌دار فاقد مس نسبت داده و این کانسارها را به دو گروه بزرگ زیر تقسیم کرده است:

۱- کانسارهای اکسید آهن غنی از آپاتیت (IOA): این کانسارها بیشتر همراه با ماگماتیسیم آهکی- قلیایی بوده و در

ندارند. مثالی از این گونه کانسارها را می‌توان در کانسار Tennant Creek و Cloncurry در استرالیا نام برد. در مورد خاستگاه کانسارهای اکسید آهن آپاتیت‌دار نوع کایرونا تاکنون بررسی‌های زیادی انجام گرفته و نظرهای مختلفی درباره‌ی آن‌ها ارائه شده‌اند. مدل‌های اولیه بیشتر بر روابط صحرایی استوار بودند. نخستین خاستگاهی که برای این کانسارها در نظر گرفته شد، خاستگاه رسوبی [۲۴] بود که بعدها توسط پژوهشگرانی از جمله [۲۵، ۲۶، ۲۷] به صورت خاستگاه اگزالاتیو-رسوبی که به شکل رسوب‌های شیمیایی در یک محیط آتشفشانی-دریایی ته‌نشین می‌شوند، تغییر یافت. از خاستگاه‌های دیگر، می‌توان از خاستگاه ماگمایی [۲۸]، گرمایی آتشفشان‌زاد (volcanogenic) [۲۹]، دگرنهادی [۱۰]، گرمایی [۵، ۳۰، ۳۱]، تبخیری (evaporitic-source model) [۲۲] و مدل شاره‌های ماگمایی و ناماگمایی [۳۲] نام برد.

بنا به نظر [۳۳] فرآیند تشکیل این کانسارها، براساس فعالیت‌های گرمایی و جدایشی ماگمایی است که شاره‌های جوی نیز در مراحل پایانی تشکیل کانسار، وارد سامانه‌ی کانه‌زایی می‌شوند. کانه‌زایی در این نوع کانسارها درون سنگ-های آتشفشانی و نفوذی روی می‌دهد و بیشتر فلزات موجود در این کانسارها، خاستگاه ماگمایی دارند [۳۳].

کانسار آهن سرخه‌دیزج به دلیل شواهد یاد شده‌ی قبلی؛ شامل سنگ درونگیر، کانی‌شناسی و دگرسانی، بیشترین شباهت را با کانسارهای آهن نوع کایرونا نشان می‌دهد. بنابراین در ادامه، کانسار سرخه‌دیزج با کانسارهای آهن نوع کایرونا، از نظر ویژگی‌های اصلی مقایسه شده است.

بحث و بررسی (مقایسه‌ی کانه‌زایی اکسید آهن آپاتیت‌دار سرخه‌دیزج با نوع کایرونا)

سنگ درونگیر

کانسارهای مگنتیت-آپاتیت نوع کایرونا بیشتر با سنگ‌های آتشفشانی و نیمه‌عمیق همراهند. رگه‌ها و برش‌ها به شکل متقاطع یا هم‌شیب با انواع گسترده‌ای از سنگ‌های رسوبی قاره‌ای، آتشفشانی و استوک‌های نفوذی شامل برش‌های آتشفشانی فلسیک، توفها، سنگ‌های رسوبی تخریبی و گرانیته‌ها همراهند. ذخایر نوع کایرونا به ماگماتیسم آهکی-قلیایی تا قلیایی وابسته‌اند و بسته به محیط تشکیل در

گدازه‌های آندزیتی تا تراکیتی و توده‌های نفوذی نیمه‌عمیق با ترکیب سینیت پورفیری، کوارتز پورفیری، مونزونیت و دیوریت تشکیل می‌شوند [۳۳، ۳۴]. سنگ‌های تراکیتی قلیایی میزبان کانسار کایرونا، به مناطق کشتی نسبت داده می‌شوند [۳۵]. در مورد سنگ درونگیر کانسار سرخه‌دیزج، در بخش زمین‌شناسی منطقه مورد بررسی قرار گرفت، و همچنین این موارد را در جدول ۳ نیز جمع‌آوری کرده‌ایم.

هندسه و ساخت و بافت

کانسارهای نوع کایرونا دارای هندسه‌ی متفاوتی هستند. توده‌های معدنی با شیب کم تا زیاد، به شکل زون‌های نیامی شکل هم‌شیب تا ناهم‌شیب، رگه‌های دایکی شکل، عدسی، زون‌های داربستی و توده‌های صفحه‌ای دیده می‌شوند [۳۶]. در بعضی از کانسارها، رگه‌ها به وسیله‌ی گدازه‌ها و توف‌های حاوی اکسید آهن پوشیده می‌شوند. زون‌های صفحه‌ای و رگه‌ها (با پهنای چندمتر تا صدها متر) کیلومترها گسترش دارند. در کانسارهای نوع کایرونا، بافت‌های توده‌ای، نواری بین مگنتیت و آپاتیت، جانیشینی، حفره‌ای، برشی و رگه‌ای قابل مشاهده‌اند [۱۷، ۳۷-۳۹]. هندسه‌ی مشاهده شده در کانسار سرخه‌دیزج، رگه‌ای و داربستی است. اصلی‌ترین و مهم‌ترین هندسه، رگه‌ای است و بیشتر در توده‌ی نفوذی نیمه‌عمیق دیده می‌شود (جدول ۳). در مورد انواع ساخت و بافت‌های تشکیل شده در این کانسار، در بخش ساخت و بافت توضیح داده شده است.

محیط زمین‌ساختی

برای تشکیل این کانسارها، محیط‌های مختلفی پیشنهاد شده‌اند. پژوهشگران متعددی [۱۰، ۲۲، ۲۳] در مورد موقعیت و جایگاه زمین‌ساختی این نوع ذخایر، نظرهای مشابهی ابراز کرده‌اند. به عقیده‌ی [۹] کانسارهای Iron oxide Cu-Au (IOCG) در سه نوع محیط زمین‌ساختی تشکیل می‌شوند:

۱- زون فرورانش حاشیه قاره‌ای،

۲- ریف‌های درون قاره‌ای،

۳- نقاط داغ.

موقعیت زمین‌ساختی، ترکیب شیمیایی محلول ماگمایی را کنترل می‌کند. همه‌ی این محیط‌ها دارای حجم زیادی از فعالیت‌های آذرین، جریان گرمایی بالا و سنگ خاستگاه مناسب نسبتاً اکسیده هستند [۹].

جدول ۳ مقایسه‌ی ویژگی‌های کانسار سرخه‌دیزج با کانسارهای آهن نوع کایرونا.

ویژگی‌ها	کانسارهای آهن نوع کایرونا	کانسار آهن آپاتیت‌دار سرخه‌دیزج
محیط زمین ساختی	حاشیه قاره‌ها، محیط‌های فرورانش وابسته به کمر بند آتشفشانی، رژیم‌های زمین ساختی کششی	حاشیه فعال قاره‌ای (قوس ماگمایی) در یک محیط کششی
گستره‌ی سن	پالئوپروتروزوئیک تا پلیوسن و پلئیسوسن	ائوسن پایانی - الیگوسن آغازی
سنگ میزبان	سنگ‌های آتشفشانی آهکی - قلیایی تا قلیایی (آندزیت تا ریولیت) و توده‌های پلوتونیک	توده نفوذی با ترکیب کوارتز مونزونیت، مونزونیت، گرانیت، سنگ‌های آتشفشانی با ترکیب تراکی آندزیت، تراکیت و توف‌های آندزیتی (ماگماتیسیم قلیایی)
ماهیت ماگماتیسیم	شبه‌قلیایی تا قلیایی، I type	قلیایی، پرآلومین، پتاسیم بالا، I type
هندسه	رگه‌ای، توده‌ای و داربستی	رگه‌ای، توده‌ای و داربستی
کانی‌شناسی	مگنتیت با مقدار Ti و V پایین، هماتیت، آپاتیت، پیریت، مقدار جزئی کالکوپیریت، اکتینولیت، دیوپسید، کلسیت و کوارتز	مگنتیت، آپاتیت، همتایت، پیریت، کالکوپیریت، بورنیت، اکتینولیت، مونازیت، کوارتز، کلسیت، پیروکسن (بیشتر از نوع دیوپسید)
دگرسانی	سدیک، سدیک-کلسیک، مگنتیت- آپاتیت - اکتینولیت، سربستی، سیلیسی، پتاسیک و تورمالینی شدن	پتاسیک، سربستی، سیلیسی، آرژلیک، کلریتی، اپیدوتی، اکتینولیتی و تورمالینی شدن
ساخت و بافت	نواری، توده‌ای، جانشینی	بافت نواری بین آپاتیت و مگنتیت، توده‌ای، برشی و داربستی
عوامل کنترل‌کننده	مناطق برشی، شکستگی‌ها	شکستگی‌ها و زون‌های گسلی
ژنز	۱- جدایی‌گذارهی سیلیکاتی و اکسیدی (نظریه قدیمی) ۲- گرمایی‌ها ریشه گرفته از ماگما (نظریه جدید)	نفوذ توده‌ی کوارتز مونزونیتی، مونزونیتی و گرانیتی نیمه‌ژرف در واحدهای آتشفشانی ائوسن و فعالیت گرمایی‌ها
منابع	[۳۷، ۳۸، ۳۱، ۱۱، ۱۰، ۹، ۵]	[۴۶، ۴۵، ۸، ۷]

به نظر [۲۳، ۳۷] ذخایر نوع کایرونا در موقعیت‌های زمین ساختی ریفت درون قاره‌ای و زون‌های فرورانش حاشیه‌ی قاره‌ای تشکیل می‌شوند. با این وجود، به دلیل فقدان دگرشکلی گسترده در برخی از سیستم‌ها و همراهی ضمنی آن‌ها با سنگ‌های آذرین قلیایی، خاستگاه، وابسته به سیستم‌های ریفتی و محیط‌های ناکوهزایی برای این نوع کانسارها دارای قدرت بیشتری است.

کانه‌زایی مگنتیت آپاتیت‌دار سرخه‌دیزج در زون البرز باختری - آذربایجان قرار گرفته است. پژوهشگران مختلف درباره‌ی ماگماتیسیم دوران سوم این زون، موقعیت‌های مختلف ژئودینامیکی را مورد نظر قرار داده‌اند. این محیط‌ها شامل قوس حاشیه‌ی فعال قاره‌ای [۱، ۲، ۷، ۴۰، ۴۱] و مدل جزایر قوسی هستند. [۱، ۷، ۴۰، ۴۲] ایده‌آل‌ترین مدل پیشنهادی برای این نوار را با توجه به بررسی ویژگی‌های ژئوشیمیایی سنگ‌های

کلسیت، در این کانسارها اندک است. به نظر [۱۱، ۱۲]، کلسیت و کوارتز کانی‌های تأخیری هستند که به مقدار کم در مرحله‌ی آخر کانی‌سازی تشکیل می‌شوند.

مقدار اورانیم در این نوع کانسارها، بسته به نوع سنگ درونگیر، تغییر می‌کند [۴۴]. اورانیم در این نوع ذخایر به شکل کانی‌های اورانینیت (UO_2)، برانریت (UTi_2O_6) و کافینیت ($USiO_4$) تشکیل می‌شود که این کانی‌ها با سولفیدهای آهن و مس همراه بوده و بیشتر در زون غنی‌شده‌ی مس قابل مشاهده‌اند [۴۴].

کانی‌شناسی در کانسار سرخه‌دیزج چندان پیچیده نیست. مهمترین کانی‌های موجود در این کانسار، از مگنتیت، آپاتیت، اکتینولیت، پیروکسن، مونازیت، کوارتز، کربنات و کانی‌های سولفیدی (کالکوپیریت، پیریت و بونریت) تشکیل شده‌اند. علاوه بر این، کانی‌هایی مانند توریانیت، ایلمنیت، مگنتیت اسپینل‌دار، گالن و اسفالریت به وسیله‌ی ریزپردازنده‌ی الکترونی شناسایی شده است. کانی‌های اورانیم‌دار از جمله اورانینیت نیز در این کانسار با آنالیز XRD شناسایی شده‌اند، ولی این کانی‌ها در بررسی‌های میکروسکوپی مشاهده نشده‌اند. مگنتیت در سطوح رخ، شکستگی‌ها و از حاشیه‌ی بلورها به مارتیت و یا هماتیت تبدیل شده است. کانی‌های سولفیدی نیز به کانی‌هایی از جمله گوتیت، لیپدوکروزیت، مالاکیت، کولیت و کالکوسیت اکسیده شده‌اند. مونازیت در دو مرحله، یکی به شکل درونگیر در آپاتیت و دیگری کمی دیرتر در درون رگه-رگچه‌های کربناتی تشکیل شده است.

دگرسانی

دگرسانی در این دسته از کانسارها با سنگ درونگیر آذرین، زون‌بندی خوبی را از اعماق زیاد تا سطح نشان می‌دهد. در نقاط عمیق این کانسارها، دگرسانی سدیک، شامل آلبیت+ مگنتیت \pm اکتینولیت یا کلریت تشکیل شده و کوارتز دیده نمی‌شود. در این دگرسانی، نخست فلدسپارهای قلیایی و به دنبال آن بلورهای مافیک دگرسان می‌شوند.

در ترازهای بالاتر، انواع دیگر دگرسانی‌ها از جمله پتاسیک (فلدسپار پتاسیم) و سریسیتی تشکیل می‌شوند [۵، ۱۰-۱۲]. کوارتز به شکل‌های رگه‌ای و پراکنده و هم‌رشد همراه با فراورده‌های دیگر دیده می‌شود [۱۰]. در سنگ‌هایی با ترکیب

آتشفشانی و نفوذی ائوسن-الیگوسن البرز باختری-آذربایجان، جایگاه ژئودینامیکی "قوس ماگمایی پس از برخورد" بیان می‌کند.

نوار ماگمایی البرز-آذربایجان پس از کرتاسه، محصول فاز کششی پیرنه است که پس از فاز فشارشی لارامید روی داده است. به دنبال فعالیت آتشفشانی زیردریایی ائوسن (سازند کرج)، که با حرکت‌های کششی آغازین فاز پیرنه همخوانی دارد، حرکت‌های پایانی پیرنه از نوع فشارشی بوده و در اثر این فاز، توده‌های نفوذی به درون سنگ‌های آتشفشانی ائوسن نفوذ کرده و مجموعه اخیر را مورد تهاجم قرار داده‌اند [۴۰].

به نظر [۴۳] تشکیل کمر بند آتشفشانی البرز-آذربایجان به فرورانش پوسته‌ی اقیانوسی نئوتیتس به زیر ایران مرکزی ارتباطی نداشت، بلکه آتشفشانی‌های موجود در این کمر بند به دلیل فرورانش پوسته‌ی اقیانوسی خوی-زنگان به زیر کمر بند البرز-آذربایجان در شمال باختری ایران به وجود آمده‌اند.

پاراژنز

ذخایر نوع کایرونا از مگنتیت، آپاتیت و به طور چشمگیری از اکتینولیت تشکیل شده‌اند. اگرچه آپاتیت و اکتینولیت می‌توانند در آن‌ها به طور محلی تمرکز یابند [۲۶، ۲۷]، در بیشتر ذخایر، مگنتیت به صورت بخشی و در راستای مرز بلورها و شکستگی‌ها، و یا به طور کامل به هماتیت (مارتیت) تبدیل شده است [۳۳]. مقدار Ti و گوگرد در آن‌ها کم و تقریباً برابر ۰/۱٪ است. این کانسارها دارای آهن با تیتان پایین (عموماً با TiO_2 کمتر از ۰/۵٪ و به ندرت بیش از ۰/۲٪) هستند که باعث تمایز آن‌ها از اکسیدهای آهن همراه با آنورتوزیت‌ها، گابروها و توده‌های مافیک لایه‌ای می‌شود. آپاتیت به شکل بلورهای خودشکل ششگوشی و اکتینولیت به شکل انبوهه‌های سوزنی دیده می‌شوند. آپاتیت در این نوع کانسارها غنی از فلئوئور است و مقدار کمی هیدروکسیل کلر به همراه دارد [۴، ۱۰]. سولفیدهای مس، در بخش‌هایی که وجود دارند، به شکل انبوهه یا پراکنده در بین کانی‌های اکسیدی مشاهده می‌شوند. پیریت نیز به شکل بلورهای خودشکل تا بی‌شکل در درون توده‌ی معدنی قابل مشاهده است. در این نوع کانسارها، کانی‌زایی عناصر خاکی نادر (REE) اغلب به شکل کانی مونازیت روی داده که در درون آپاتیت درگیر است. مقدار کانی‌های دیگر، از جمله کوارتز و

سنگ درونگیر، پاراژنز و دگرسانی‌های رخ‌داده، می‌تواند در ردیف کانسارهای اکسید آهن آپاتیت‌دار نوع کایرونا (IOA) قرار گیرد.

براساس شواهد سنگ‌نگاری و کانه‌نگاری در این کانسار، کانی‌سازی در اثر نفوذ توده‌ی نیمه‌عمیق به داخل سنگ‌های ائوسن و تبلور آن شکل گرفته است، یعنی توده‌ی نیمه‌عمیق کوارتزومونزونیت از توده‌ی عظیم و بزرگ زیر این منطقه ریشه گرفته و درون سنگ‌های ائوسن نفوذ کرده و در بخش‌های گسلی و شکستگی‌ها کانه‌زایی ذخایر غنی از آهن را موجب شده است. همزمان با تبلور توده‌ی نفوذی نیمه‌عمیق، شاره‌های غنی از آهن و فسفر به سطوح بالاتر این کانسار انتقال یافته و شاره‌های جوی نیز در مراحل پایانی تشکیل کانسار، وارد سامانه کانه‌زایی شده و نقشی هرچند اندک را در شکل‌گیری کانسار به عهده داشته‌اند.

کانسار اکسید آهن آپاتیت‌دار سرخه‌دیزج از نظر سنگ درونگیر، کانی‌شناسی، دگرسانی و ساخت و بافت بسیار شبیه به کانه‌زایی اکسید آهن آپاتیت‌دار روی داده در منطقه‌ی Great Bear کانادا است که در آن، کانه‌زایی به‌شکل رگه‌ای و برشی (پرکننده‌ی فضاهای خالی) در حاشیه توده‌ی نیمه‌عمیق کوارتزومونزونیت و در زون‌های گسلی روی داده است [۳۳].

مراجع

- [۱] رحمانی ش.، عابدیان ن.، مختاری س.ع.ا.، "زمین‌شناسی و ژنز کانسارهای اکسیدهای آهن-آپاتیت زون طارم (زنجان)"، بیست و سومین گردهمایی علوم زمین، سازمان زمین‌شناسی کشور (۱۳۸۳).
- [۲] نباتیان ق.، قادری م.، رشیدنژاد عمران ن.، دلیران ف.، "ژئوشیمی و ژنز کانسار اکسید آهن آپاتیت‌دار سرخه‌دیزج، جنوب‌خاوری زنجان"، مجله زمین‌شناسی اقتصادی، شماره ۱ (۱۳۸۸) ص ۴۶-۱۹.
- [۳] سامانی ب.، چن‌زوئی تائو گ.، گوان ت.، "زمین‌شناسی پرکامبرین در ایران مرکزی از دیدگاه چینه‌نگاری، ماگماتیسیم و دگرگونی"، فصلنامه علوم زمین، شماره ۱۰ (۱۳۷۲) ص ۶۳-۴۰.

[4] Daliran F., *The magnetite-apatite deposit of Mishdovan, east Central Iran: an alkali rhyolite*

فلسیک، مجموعه کانی‌های فلدسپار پتاسیم-سریسیت-بیوتیت-کوارتز و در سنگ‌هایی با ترکیب حدواسط تا مافیک، کانی‌هایی از جمله فلدسپار پتاسیم (بیشتر در رگه‌ها) و سریسیت-کلریت-اکتینولیت \pm اپیدوت در سنگ دیواره دگرسان‌شده تشکیل می‌شوند. آلبیتی شدن پلاژیوکلازها در این بخش نیز صورت می‌گیرد. در بعضی کانسارها، دگرنهادی پتاسیک به‌وسیله‌ی دگرسانی سریسیتی و یا هیدرولیکی پوشیده می‌شود. در برخی مناطق، از جمله منطقه‌ی کایرونا و Pea Ridge (شمال میسوری، آمریکا)، رگه‌های تأخیری کوارتز-سریسیت (\pm هماتیت) زون‌های دگرسانی سدیک و پتاسیک را قطع کرده‌اند. همچنین در تعدادی از کانسارها، شواهدی از تشکیل دگرسانی سیلیسی تأخیری مشاهده می‌شود. در کانسارهای نوع کایرونا به‌طور محلی، تورمالین، اسفن، کلریت، باریت، فلونوریت، کائولن یا سریسیت نیز تشکیل می‌شوند.

دگرسانی‌های موجود در کانسار اکسید آهن آپاتیت‌دار سرخه‌دیزج، ظاهراً از نظم خاصی تبعیت نمی‌کنند. این دگرسانی‌ها به‌شکل گسترده و حاشیه‌ای متقارن و باریک در اطراف ماده معدنی قابل مشاهده‌اند. دگرسانی‌های تشکیل‌شده در این منطقه شامل آرژیلی، تورمالینی، سیلیسی، سریسیتی، اکتینولیتی، کلریتی-اپیدوتی و فلدسپار پتاسیم هستند که از میان آنها، دگرسانی‌های آرژیلی و سیلیسی و به نسبتی دگرسانی سریسیتی، گسترش بیشتری دارند [۴۵، ۴۶].

تفاوت میزان فراوانی عناصر F, U, P, REE, Au, Cu در کانسارهای IOCG به عوامل مختلفی وابسته‌اند که مهمترین آنها عبارتند از: موقعیت زمین‌ساختی، عمق تشکیل ماگما، خاستگاه ماگما، میزان ذوب جزئی، شرایط فیزیکوشیمیایی ذوب، آهنگ بالآمدن ماگما، میزان آمیختگی با پوسته‌ی قاره‌ای، میزان جدایش ماگما و عمق جایگزینی [۴۷].

مقایسه‌ی ویژگی‌های کانسار اکسید آهن آپاتیت‌دار سرخه‌دیزج با کانسارهای نوع کایرونا در جدول ۳ به‌اختصار آورده شده است.

برداشت

کانسار اکسید آهن آپاتیت‌دار سرخه‌دیزج به دلیل پی‌جویی‌های صحرایی، هندسی، ساخت و بافت در مقیاس‌ها مختلف،

- Iran, in Andrew, C.J. et al. (eds.)*, Digging Deeper, Proceedings of the 9th Biennial SGA Meeting, Dublin (2007) 1501-1504.
- [13] Ramdohr P., *The ore minerals and their intergrowth*, Second edition, English translation of the 4th Edition, Two volumes. Pergamon Press, (1980) 1205.
- [۱۴] کارگران بافقی ف.، "مطالعه زون‌های فسفات‌دار در کانسار آهن چغارت و ارتباط احتمالی آنها با زون‌های فسفات‌دار کانسار اسفوردی"، پایان‌نامه کارشناسی ارشد، دانشگاه تربیت معلم (۱۳۸۰).
- [15] Morteani G., *The rare earths: their minerals, production and technical use*, Eur. J. Mineral; 3 (1991) 641-650.
- [16] Nyström J.O., Henriquez F., *Magmatic features of iron ore of the Kiruna type in Chile and Sweden: ore textures and magnetite geochemistry*, Economic Geology, 89 (1994) 820-839.
- [17] Naslund H.R., Aguirre R., Dobbs F.M., Henriquez F., Nystrom J.O., *The origin, emplacement and eruption of ore magmas*, Internet (2000).
- [18] Gandhi S.S., *An overview of the Fe oxide-Cu-Au deposits and related deposit types*, CIM Montreal 2003 Mining Industry Conference and Exhibition, Canadian Institute of Mining, Technical Paper, CD-ROM (2003).
- [19] Gandhi S.S., *Magmatic-hydrothermal Fe oxide±Cu±Au deposits: classification for a digital database and an overview of selected districts*, IAVCEI General Assembly 2004, Pucon, Chile, CD-ROM, Abstracts 01a_pt_169 (2004).
- [20] Corriveau L., *Iron oxide copper gold deposits: a Canadian perspective, in Goodfellow, W. (ed.), Mineral deposits of Canada: a synthesis of major deposit-types, district metallogeny, the evolution of geological provinces, and exploration methods*, Geological Association of Canada Mineral deposits Division, Special 5 (2007) 307-328.
- hosted, "Kiruna type" occurrence in the *Infracambrian Bafq Metallotect (Mineralogic, petrographic and geochemical study of the ores and the host rocks)*, Heidelberg Geowissenschaftliche Abhandlungen, band 37. Ruprecht Karls-Universitiit, Heidelberg, (1990) 248.
- [5] Jami M., Dunlop A.C., Cohen D.R., *Fluid inclusion and stable isotope study of the Esfordi apatite-magnetite deposit, Central Iran*, Economic Geology, 102 (2007) 1111-1128.
- [۶] امینی ب.، "نقشه زمین‌شناسی طارم با مقیاس ۱:۱۰۰۰۰۰"، بازنگری و استاندارد از نقشه هیبرایما و همکاران، سازمان زمین‌شناسی کشور (۱۳۷۹).
- [۷] نباتیان ق.، "کانی‌شناسی، ژئوشیمی و ژنز کانسار آهن آپاتیت‌دار سرخه‌دیزج، جنوب‌شرق زنجان"، پایان‌نامه کارشناسی ارشد، دانشگاه تربیت مدرس (۱۳۸۷).
- [8] Nabatian G., Ghaderi M., Rashidnejad-Omran N., Daliran F., *Apatite-iron oxide ore at Sorkhe Dizaj deposit, northwest Iran*, 33rd International Geological Congress, Oslo, Norway (2008).
- [9] Hitzman M.W., *Iron oxide-Cu-Au deposits: what, where, when and why; in Porter, T.M. (ed.), Hydrothermal iron oxide copper-gold and related deposits: a global perspective*, Australian Mineral Foundation, Adelaide, (2000) 9-25.
- [10] Hitzman M.W., Oreskes N., Einaudi M.T., *Geological characteristics and tectonic setting of Proterozoic iron oxide (Cu-U-Au-LREE) deposits*, Precambrian Research, 58 (1992) 241-287.
- [11] Daliran F., Stosch H.-G., Williams P., *Lower Cambrian iron oxide-apatite-REE (U) deposits of the Bafq district, east-Central Iran, in Corriveau, L. and Mumin, A.H. (eds.), Exploring for iron oxide copper-gold deposits: Canada and global analogues*, Geological Association of Canada, Mineral Deposits Division Short Course, x (2008) 143-155.
- [12] Daliran F., Stosch H.-G., Williams P., *Multistage metasomatism and mineralization at hydrothermal Fe oxide-REE-apatite deposits and "apatitites" of the Bafq District, Central-East*

- perspective*, PGC Publishing, Adelaide, 2 (2002) 303-320.
- [32] Barton M.D., Johnson D.A., *Footprints of Fe-oxide (-Cu-Au) systems*, SEG 2004: Predictive Mineral Discovery under Cover. Centre for Global Metallogeny, Spec. Pub. 33, University of Western Australia, (2004) 112-116.
- [33] Gandhi S.S., Bell R.T., *Kiruna/Olympic Dam-type iron, copper, uranium, gold, silver; in Geology of Canadian mineral deposit types (ed.) O.R. Eckstrand, W.D. Sinclair, and R.I. Thorpe*, Geological Survey of Canada, Geology of Canada, 8 (1996) 513-522 (also Geological Survey of America, The Geology of North America).
- [34] Hildebrand R.S., *Kiruna-type deposits: their origin and relationship to intermediate subvolcanic plutons in the Great Bear magmatic zone, northwest Canada*, Economic Geology, 81 (1986) 640-659.
- [35] Frietsch R., Perdahl J.-A., *Rare earth elements in apatite and magnetite in Kiruna-type iron ores and some other iron ore types*, Ore Geology Reviews, 9 (1995) 489-510.
- [36] Ray G.E., Lefebure D.V., *A synopsis of iron oxide \pm Cu \pm Au \pm P \pm REE deposits of the Candelaria-Kiruna-Olympic Dam family*, Geological fieldwork, (2001) 267-272.
- [37] Edfelt A., *The Tjarrojakka apatite-iron and Cu (-Au) deposits, northern Sweden*, PhD thesis (2007).
- [38] Geiger P., *Internal features of the apatite-bearing magnetite ores*, Sveriges Geol. Unders., ser. C, 32 (1967) 624.
- [39] Naslund H.R., Henriquez F., Nystrom J.O., Vivallo W., Dobbs F.M., *Magmatic iron ores and associated mineralisation: Examples from the Chilean high Andes and coastal cordillera; in Porter, T.M. (Ed), Hydrothermal iron oxide copper gold and related deposits, "A global perspective*, PGC Publishing, Adelaide, 2 (2002) 303-320.
- [21] Williams P., *Classifying IOCG deposits*, in Exploring for iron oxide copper-gold deposits: Canada and global analogues, (2008) 11-19.
- [22] Barton M.D., Johnson D.A., *An evaporitic-source model for igneous-related Fe oxide (-REE-Cu-Au-U) mineralization*, Geology, 24 (1996) 259-262.
- [23] Williams P.J., Barton M.D., Johnson D.A., Fontboté L., De Haller A., Mark G., Oliver N.H.S., Marschik R., *Iron oxide copper-gold deposits: geology, space-time distribution and possible modes of origin*, (2005).
- [24] Fredholm K.A., *Bergarter och malmer I Lousavaara och Kirunavaara [Rock] and ores at Lousavaara and Kirunavaara*, Geologiska Föreningens I Stockholm Förhandlingar, 13 (1981) 266-270.
- [25] Parak T., *Phosphorus in different types of ore, sulfides in the iron deposits, and the type and origin of ores at Kiruna*, Economic Geology, 80 (1985) 646-665.
- [26] Parak T., *The origin of the Kiruna iron ores*, Sver. Geol. Unders., C 709, (1975a) 209.
- [27] Parak T., *Kiruna iron ores are not "intrusive-magmatic ores of the Kiruna type"*, Economic Geology, 70 (1975b) 1242-1258.
- [28] Frietsch R., *On the chemical composition of the ore breccia at Luossavaara, northern Sweden*, Mineralium Deposita, 17 (1982) 239-243.
- [29] Lundbohm H., Backstrom H., *Geology of the Kirunavaara district*, Geologisks Foreningens I Stockholm Förhandlingar, 20 (1989) 63-74.
- [30] Bookstrom A.A., *Magmatic features of iron ores of the Kiruna-type in Chile and Sweden: ore texture and magnetite geochemistry-A Discussion*, Economic Geology, 90 (1995) 469-472.
- [31] Daliran F., *Kiruna type iron oxide-apatite ores and apatites of the Bafq district, Iran, with an emphasis on the REE geochemistry of their apatites; in Porter, T.M. (ed.), Hydrothermal iron oxide copper gold and related deposits: a global*

Economic Geology, 100 (2005) 1657-1661.

[۴۵] نباتیان ق، قادری م، رشیدنژاد عمران ن، دلیران ف، "کانه‌زایی آهن آپاتیت‌دار در کانسارهای سرخه‌دیزج، علی‌آباد و مرواریه، جنوب‌شرق زنجان"، پانزدهمین همایش انجمن بلورشناسی و کانی‌شناسی ایران، دانشگاه فردوسی مشهد (۱۳۸۶ الف).

[۴۶] نباتیان ق، قادری م، رشیدنژاد عمران ن، دلیران ف، "کاربرد مطالعات الکترون مایکروپروب در بررسی کانسار آهن آپاتیت‌دار سرخه‌دیزج، جنوب‌خاوری زنجان"، بیست و ششمین گردهمایی علوم زمین، سازمان زمین‌شناسی و اکتشافات معدنی کشور (۱۳۸۶ ب).

[47] Karimpour M.H., Zaw K., Huston D.L., *S-C-O isotopes, fluid inclusion microthermometry & the genesis of ore bearing fluids at Qaleh Zari Fe-Oxide Cu-Au-Ag mine, Iran*, Journal of Sciences of the Islamic Republic of Iran, 16 (2005) 153-169.

[۴۰] مؤید م، "بررسی پترولوژیکی نوار ولکانو پلوتونیک ترشیری البرز غربی- آذربایجان با نگرشی ویژه بر منطقه هشتجین"، رساله دکتری، دانشگاه شهید بهشتی (۱۳۸۰).

[41] Alavi M., *Tectonostratigraphic synthesis and structural style of the Alborz mountain in northern Iran*, J. Geodynamics, 21(1996) 1-33.

[42] Azizi H., Mehrabi B., Akbarpour A., *Genesis of Tertiary magnetite-apatite deposits, southeast of Zanjan, Iran*, Resource Geology, 59 (2009) 330-341.

[43] Azizi H., Jahangiri A., *Cretaceous subduction-related volcanism in the northern Sanandaj-Sirjan Zone, Iran*, J. Geodynamics, 45 (2008) 178-190.

[44] Hitzman M.W., Valenta R.K., *Uranium in iron oxide-copper-gold (IOCG) systems*,