



کانسار اکسید آهن آپاتیت دار سرخه دیزج به عنوان نوع کایرونا: کانی شناسی، ساخت و بافت، دگرسانی و بررسی های مقایسه ای

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

۱- بخش زمین شناسی، 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 سرخه دیزج در جنوب خاوری زنجان، زیرپهنه ی طارم از پهنه ی ساختاری البرز باختری- آذربایجان قرار دارد. کهن ترین واحدهای سنگی این گستره شامل تراکیت- تراکی آندزیت، الیوین بازالت و سنگ های آذرآواری توف برشی و لاپیلی توف وابسته به ائوسن است که توده ی نفوذی نیمه عمیق کوارتز مونزونیتی، مونزونیتی و گرانیتی با سن ائوسن پایانی- الیگوسن آغازین در سنگ های یاد شده نفوذ کرده است. این توده نفوذی، ویژگی های گرانیت نوع I را داشته و ماگماتیسیم منطقه، ویژگی های نوع کوهزایی و وابسته به قوس های ماگمایی را نشان می دهد. کانه زایی در این منطقه به شکل رگه ای و بیشتر در درون سنگ میزبان توده ی نفوذی نیمه عمیق تشکیل شده است. علاوه بر آن، کانی زایی به مقدار بسیار کمتر درون سنگ های آتشفشانی منطقه نیز به شکل رگه ای مشاهده می شود. ماده ی معدنی به شکل رگه ای و بافت کانسنگ ها از نوع داربستی، توده ای، نواری، برشی و رگه- رگچه ای است. مگنتیت (با Ti پایین) و آپاتیت مهمترین کانی های موجود در این کانسار را تشکیل می دهند که به مقدار کم، کانی های سولفیدی از جمله کالکوپیریت، بورنیت و پیریت، آن ها را همراهی می کنند. در اثر فرآیندهای هوازدگی و برونزا، کانی هایی چون کالکوسیت، مالاکیت، آزوریت، کولیت، هماتیت و گوتیت نیز در این کانسار تشکیل شده اند. مهمترین دگرسانی های رخ داده در این کانسار شامل دگرسانی های فلدسپات پتاسیم، اکتینولیتی، آرژبلیک، سریسیتی، سیلیسی، تورمالینی و کلریتی- اپیدوتی هستند که دگرسانی های سیلیسی و آرژبلیک نسبت به دگرسانی های دیگر، از گسترش بیشتری در منطقه برخوردارند. بررسی ویژگی های کانسار اکسید آهن آپاتیت دار سرخه دیزج همچون محیط زمین ساختی، سنگ میزبان، کانی شناسی، دگرسانی و ساخت و بافت، بیانگر تشکیل این کانسار از شاره های ماگمایی غنی از Fe، P و REE است. همچنین مقایسه کانسار سرخه دیزج با انواع مختلف کانه زایی آهن در دنیا نشان داده است که این کانسار، بیشترین شباهت را با کانسارهای اکسید آهن آپاتیت دار نوع کایرونا (Iron Oxide- Apatite (IOA)) دارد.

واژه های کلیدی: کانسار اکسید آهن آپاتیت دار؛ نوع کایرونا؛ کانی شناسی؛ دگرسانی؛ سرخه دیزج؛ زنجان.

مقدمه

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

کانسار آهن سرخه دیزج در ۳۲ کیلومتری جنوب خاوری زنجان و در شمال خاوری 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.

* نویسنده مسئول، تلفن-نمبر: ۸۲۸۸۴۴۰۶ (۰۲۱)، پست الکترونیکی: mghaderi@modares.ac.ir

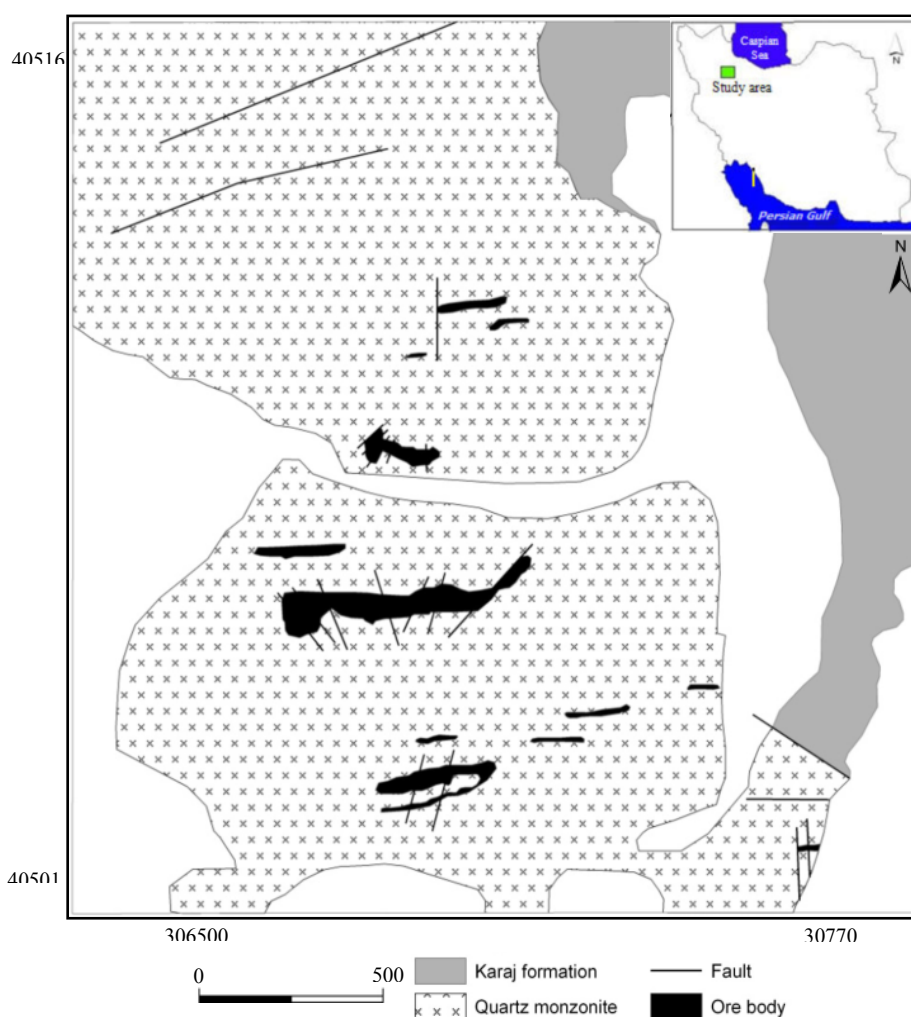
با ترکیب کوارتز مونزونیت و با سن الیگوسن و یا جوان‌تر، قطع شده است. در منطقه‌ی طارم، سری ائوسن به دو عضو کردکند و آمند تقسیم شده است که عضو کردکند، هم‌ارز بخش‌های زیرین سازند کرج بوده و شامل واحدهای رسوبی-آتشفشانی ائوسن با ترکیب سنگ‌شناسی مادستون، آذرآواری و گدازه فراوان است. بیشتر سنگ‌های آتشفشانی عضو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

کانه زایی

کانه زایی اکسید آهن آپاتیت دار در گستره‌ی معدنی سرخه دیزج، بیشتر به شکل رگه‌ای در توده‌ی نفوذی نیمه عمیق و به مقدار کمتر در سنگ‌های آتشفشانی ائوسن (بخش آمند سازند کرج) روی داده است. کانه زایی در این منطقه، در بخش‌های فوقانی توده‌ی نفوذی نیمه عمیق رخ داده که محدود به پهنه‌های گسلی است. راستای کانه زایی در گستره‌ی معدنی، خاوری-باختری است که شیب رگه‌های معدنی در حدود ۴۵ الی ۵۰ درجه به سمت شمال است.

در گستره‌ی سرخه دیزج، کانسنگ اکسید آهن آپاتیت دار در سه بخش روی داده است که از جنوب تا شمال به ترتیب آنها را با A، B و C نشان می‌دهند که در نقشه‌ی زمین‌شناسی-معدنی منطقه با مقیاس ۱:۵۰۰۰ دیده می‌شوند. رگه‌های اکسید آهن آپاتیت دار با وسعت کمتر، با همان راستای کانه زایی (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 به شکل بلورهای ریز و متوسط (در حد میلی‌متر تا چند سانتی‌متر) و هم به شکل بلورهای خود شکل درشت (تا ۱۵ سانتی‌متر) دیده می‌شوند. کانی‌شناسی این کانسار در همه بخش‌ها مشابه است.

بخش A کانه زایی در کانسار سرخه دیزج، بزرگ‌ترین توده‌ی معدنی را دربر دارد و استخراج ماده‌ی معدنی بیشتر در آن متمرکز شده است. ماده‌ی معدنی به شکل 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 نیمه عمیق قرار داشته و کانه زایی 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 به شکل بلورهای ریز سولفیدی دیده می‌شود (شکل ۳ الف). کانی‌های اکسیدی و هوازده‌ی آن‌ها از جمله مالاکیت، همتایت و گوتیت تشکیل شده‌اند. مالاکیت به شکل لکه‌هایی سبز رنگ، در سطح مگنتیت دیده می‌شود. آپاتیت در مگنتیت به شکل بلورهای شش‌وجهی و خود شکل وجود دارد (شکل ۳ ب).

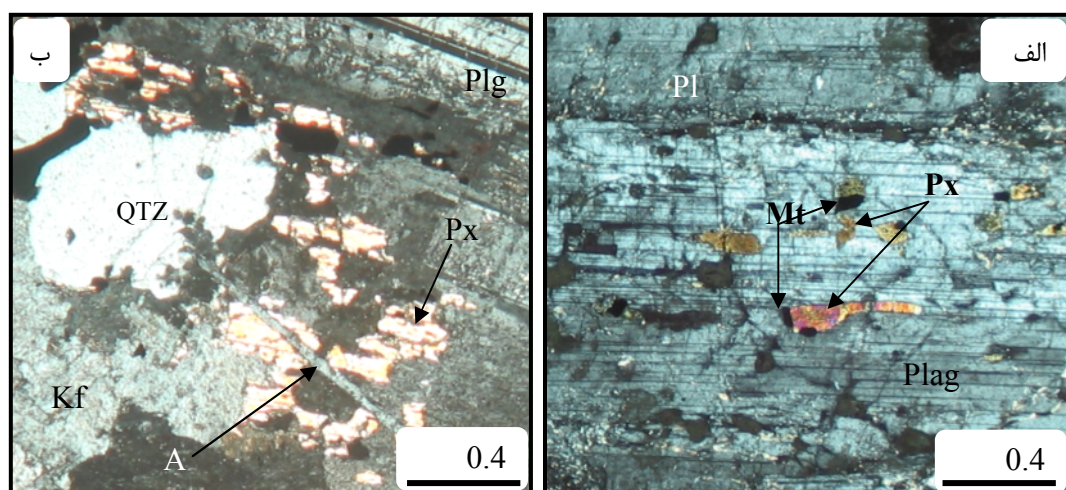
تراکیت- تراکی آندزیت، الیوین بازالت و سنگ‌های آذرآوری توف برشی و لاپیلی توف است که توده‌ی نفوذی نیمه عمیق با ترکیب کوارتز مونزونیت، مونزونیت و گرانیت (ائوسن پایانی-الیگوسن) در این مجموعه نفوذ کرده است.

توده نفوذی نیمه عمیق 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 به شکل نفوذی درون کانی‌های پیروکسن، پلاژیوکلاز و فلدسپار قلیایی نیز دیده می‌شوند. کانی پیروکسن نیز همراه با مگنتیت به شکل 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].

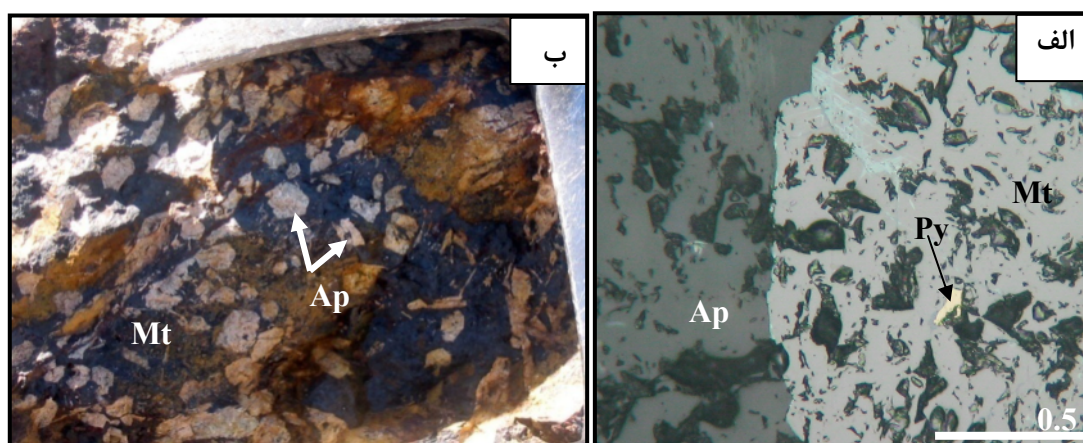
توده‌ی نفوذی نیمه عمیق منطقه، ویژگی‌های گرانیت نوع I را دارد. همچنین، ماگماتیسم منطقه ویژگی‌های نوع کوهرایی و وابسته به قوس‌های آتشفشانی را نشان می‌دهد [۲، ۶-۸]. نهشته‌های کواترنری نیز در نتیجه فرسایش کوه‌ها و به وسیله‌ی رودخانه‌ها و سیلاب‌ها به شکل پادگانه‌های آبرفتی و مخروط افکنه در کنار رودخانه‌ها و دامنه‌ی ارتفاعات تشکیل شده‌اند.

روش‌های بررسی و آنالیز

بررسی‌های انجام گرفته شامل مطالعات صحرایی، سنگ‌نگاری، کاننگاری، آنالیز دستگاهی با ریزپردازش الکترونی و تهیه‌ی نقشه‌های ۱:۵۰۰۰ زمین‌شناسی-معدنی و دگرسانی است. به منظور شناسایی ترکیب شیمیایی کانی‌ها به وسیله‌ی 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 به‌شکل ناگهانی است.

کانه‌زایی در بخش B نیز به‌شکل رگه‌ای بوده، در بخش فوقانی توده‌ی نفوذی نیمه‌عمیق با ترکیب کوارتز مونزونیت دیده می‌شود. این رخمون 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 رخمون 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،

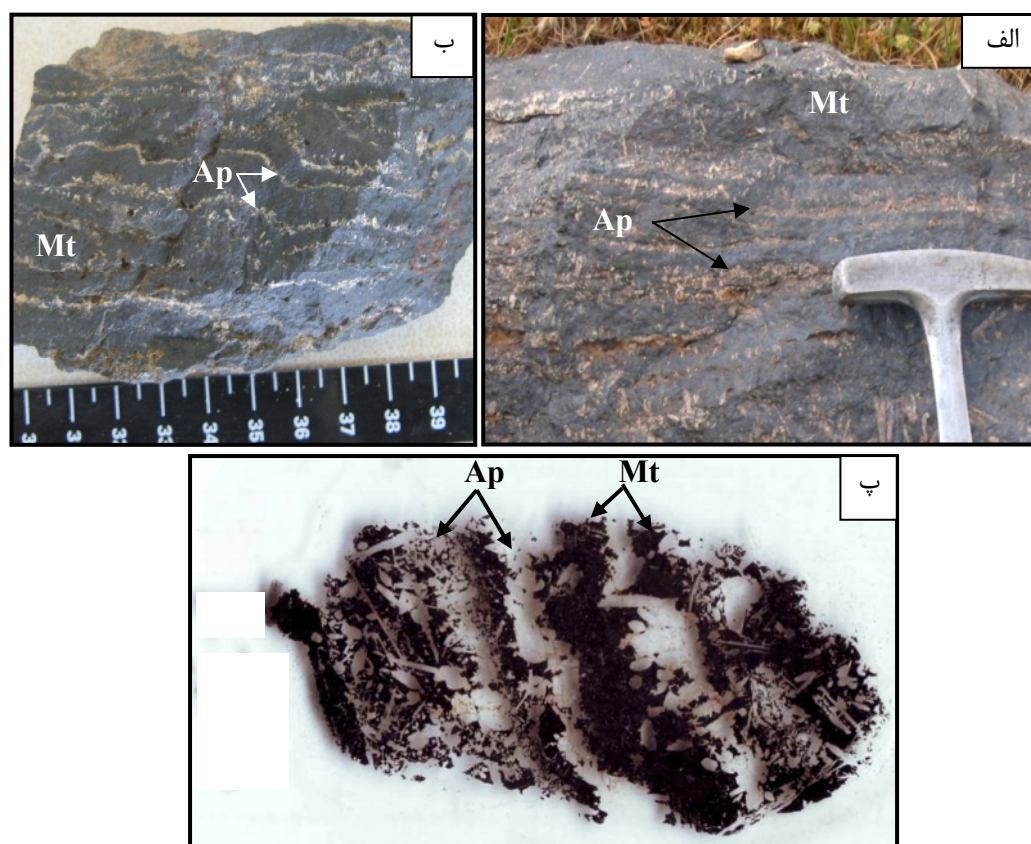
ساخت و بافت

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، خود شکل 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 میزبان 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. به طور 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.

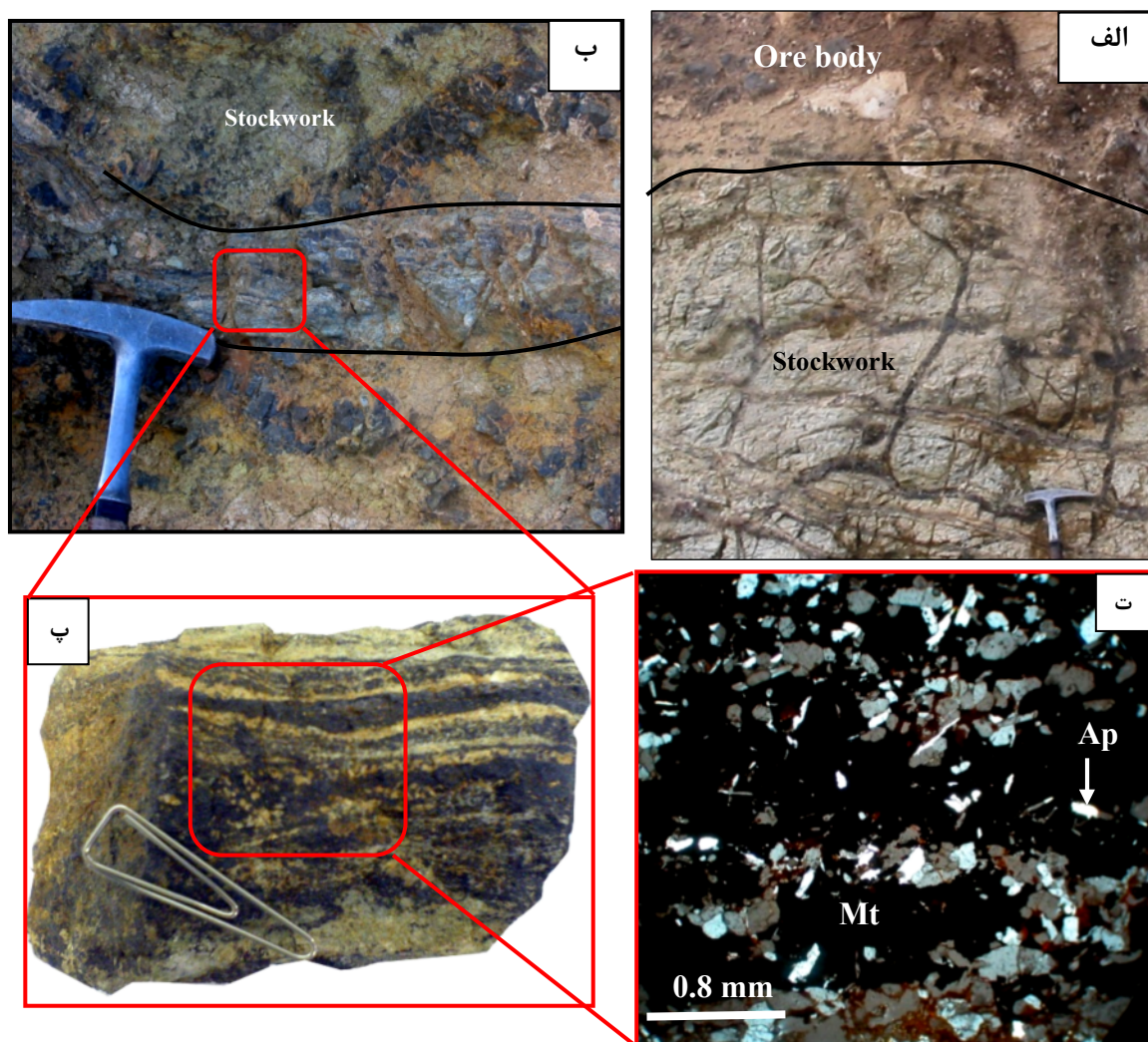
ب) ساخت و بافت توده‌ای (massive)

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 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 کانی سازی دیده می شود. قطعات زاویه دار تا نیمه گرد شده از سنگ درونگیر توده ی نفوذی نیمه عمیق، در متنی از مگنتیت مشاهده می شوند. این قطعات به شدت دگرسان و با کانی های رسی، اپیدوت- کلریت و گاه اکتینولیت جانشین شده اند. در نمونه های دستی، این قطعات به رنگ سبز و سفید دیده می شوند و اندازه ی آن ها از میلی متر تا چندین سانتی متر است. به نظر می رسد شارهای حمل کننده آهن، به علت داشتن فشار زیاد نسبت به فشار لیتوستاتیکی محیط، موجب برشی شدن سنگ های میزبان در اطراف کانسار شده است.

دگرسانی

دگرسانی های موجود در اطراف این کانه زائی عبارتند از فلدسپار پتاسیم، اکتینولیتی، آرژیلی، سیلیسی، سریسیتی، کلریتی- اپیدوتی و تورمالینی که پیرامون زون های کانه دار به شکل گسترده و تقریباً حاشیه ای متقارن و باریک مشاهده می شوند. در این میان، دگرسانی های آرژیلی، سیلیسی و به نسبت کمتری از آن ها، دگرسانی سریسیتی گسترش فراوانی در منطقه دارند. دگرسانی های تورمالینی و سیلیسی تشکیل شده در این منطقه، بیشتر در سنگ های میزبان آتشفشانی روی داده است، اگرچه دگرسانی تورمالینی به صورت جزئی در بخشی از توده ی نفوذی نیمه عمیق در بخش C کانسار مشاهده می شود. دگرسانی آرژیلی بلافاصله زیر ماده ی معدنی و در سنگ درونگیر توده ی نفوذی نیمه عمیق دیده می شود. همچنین دگرسانی های کلریتی، اپیدوتی، فلدسپار پتاسیم و سریسیتی نیز در اطراف رگه ی معدنی (در بعضی جاها) قابل مشاهده اند، ولی گسترش این دگرسانی ها نسبت به دگرسانی های دیگر تشکیل شده در منطقه کم است. البته لازم به یادآوری است که دگرسانی فلدسپار پتاسیم فقط در سنگ درونگیر ماده ی معدنی بخش A و C کانسار سرخه دیزج و با گسترش کم دیده شده است (شکل ۶). در بعضی جاها شدت این دگرسانی به حدی بوده که موسکویت (میکا- سریسیت) جانشین فلدسپار آلکالن شده است. دگرسانی اکتینولیتی از مهمترین دگرسانی های است که در کانسارهای مگنتیت آپاتیت دار تشکیل می شود. در کانسار اکسید آهن آپاتیت دار سرخه دیزج، دگرسانی اکتینولیتی با گسترش محدود و بلافاصله پس از ماده ی معدنی با توده ی نفوذی نیمه عمیق و همراه با مگنتیت و آپاتیت دیده می شود (شکل ۷). این دگرسانی، در اثر تأثیر گرمابی ها روی بلورهای پیروکسن و تبدیل آن به اکتینولیت به وجود آمده است. به طور

کلی می توان گفت که دگرسانی های کلریتی- اپیدوتی، سریسیتی، فلدسپار پتاسیم و اکتینولیتی، در درون دگرسانی فراگیر آرژیلی قرار دارند. با توجه به اینکه کانی زایی اصلی در این منطقه، اکسیدی (مگنتیت آپاتیت دار) است، بنابراین دگرسانی آرژیلیک تشکیل شده در بخش هایی از این کانسار نمی توانسته به آن وابسته باشد، چون هم شارهای تشکیل دهنده ی کانسار، اکسیدی بوده و هم دمای بالایی داشته است. بنابراین می توان گفت که این دگرسانی به فرآیندهای اکسایشی و ثانویه وابسته می باشد. اگرچه کانی زایی سولفیدی نیز در این منطقه تشکیل شده است، ولی این نوع کانی زایی نمی تواند دگرسانی آرژیلیک با این گستردگی را در منطقه تشکیل دهد چون کانه زایی سولفیدی بسیار جزئی و کم می باشد.

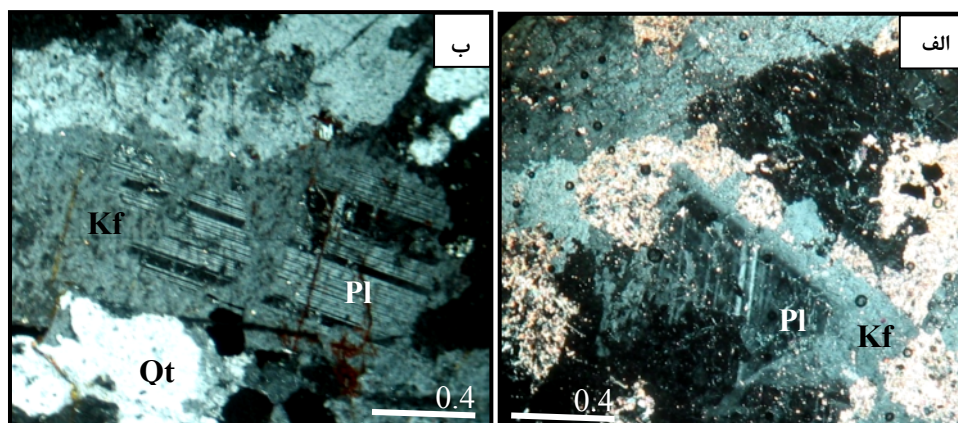
دگرسانی در کانسارهای IOCG با سنگ درونگیر آذرین، منطقه بندی خوبی را از اعماق زیاد تا سطح نشان می دهد [۱۰،۹]. در نقاط عمیق این کانسارها، دگرسانی سدیک که شامل آلبیت + مگنتیت $\pm$ اکتینولیت یا کلریت است، تشکیل می شود. در این دگرسانی، نخست فلدسپارهای قلیایی و به دنبال آن بلورهای مافیک دگرسان می شوند.

در ترازهای بالاتر نسبت به دگرسانی سدیک، انواع دیگر دگرسانی ها از جمله دگرسانی پتاسیک (فلدسپار پتاسیم) و سریسیتی تشکیل می شود [۱۰،۵-۱۲]. در بعضی از کانسارهای IOCG، دگرانهادی پتاسیک به وسیله دگرسانی هیدرولیکی (شامل دگرسانی های سریسیتی، آرژیلیک و سیلیسی) پوشیده می شود [۹، ۱۰].

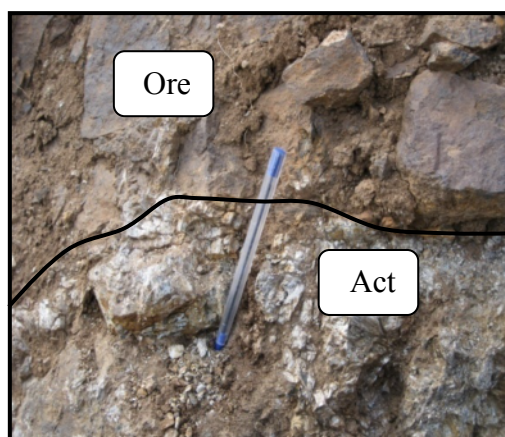
با توجه به اینکه دگرسانی سدیک در اعماق زیاد و پیش از کانی زایی در کانسارهای IOCG رخ می دهد [۱۰]، بنابراین انتظار می رود که این دگرسانی را در نقاط عمیق کانسار اکسید آهن آپاتیت دار سرخه دیزج نیز مشاهده نمائیم، ولی با توجه به اینکه هیچ نوع حفاری عمیقی در این منطقه برای پی جویی صورت نگرفته است، آثاری از دگرسانی سدیک مشاهده نمی شود.

کانی شناسی

براساس بررسی های میکروسکوپی و آنالیز XRD، کانی های زیر در منطقه ی معدنی سرخه دیزج تشخیص داده شدند: مگنتیت، هماتیت، لیمونیت، گوتیت، لپیدوکروسیت، آپاتیت، پیریت، کالکوپیریت، بورنیت، کوولیت، کالکوسیت، دیژنیت، مالاکیت، آزوریت، اورانینیت و کانی های عناصر خاکی نادر از جمله مونازیت، که همراه کانی های گانگ پیروکسن، اکتینولیت، اپیدوت، کلریت، کوارتز و کلسیت دیده می شوند.



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 تیتانیم 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

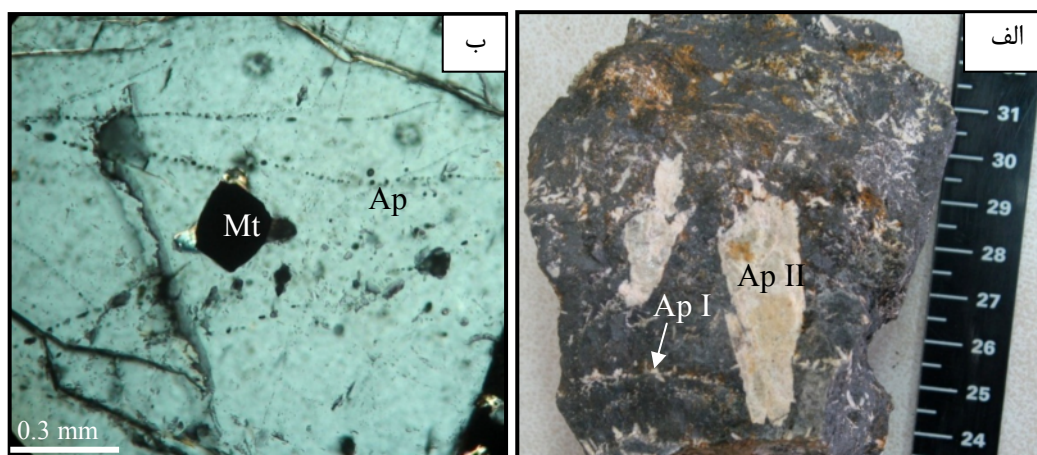
یکی از کانی‌های غالب همراه مگنتیت در کانسار سرخه‌دیزج، کانی آپاتیت است که رنگ شیری تا سفید داشته و براساس بررسی‌های آنالیز دستگاهی ریزپردازنده الکترونی، ترکیب آن از نوع کلرآپاتیت و هیدروکسی‌آپاتیت است. از لحاظ میکروسکوپی، این کانی به‌شکل مگنتیت-آپاتیت توده‌ای و نواری است. براساس بررسی‌های میکروسکوپی، 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

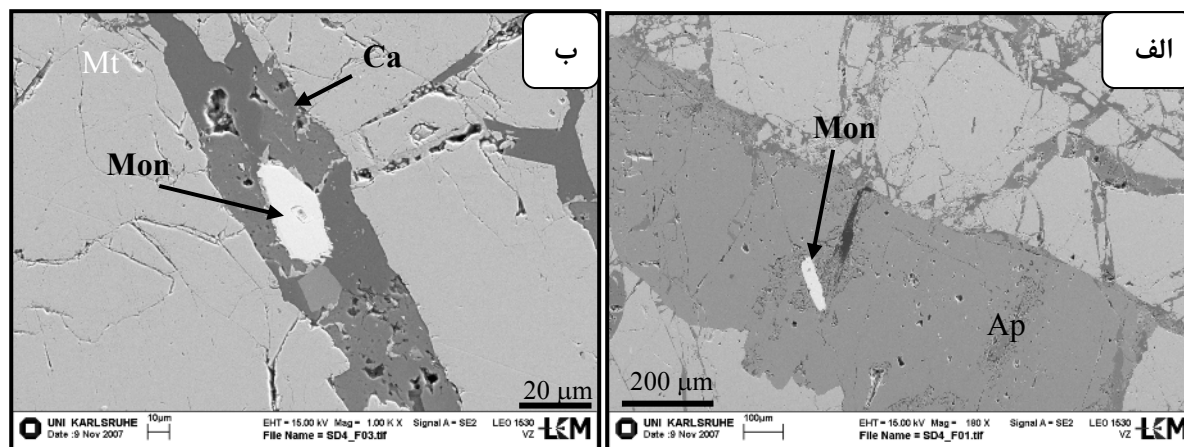
مونازیت

این کانی یک فسفات خاکی نادر است که در سیستم منوکلینیک متبلور می شود و شامل ۷۰٪ اکسید عناصر خاکی نادر سبک و ۳۰٪ اکسید ایتیریم است. این کانی به رنگ زرد تا قهوه ای متمایل به قرمز است. مونازیت یک کانی با سختی بالا، چگالی 5 gr/cm^3 و در مقابل هوازدگی مقاوم است. یکی از کانسنگ های مهم برای کانی زایی عناصر خاکی نادر، در کانسارهای آهن- آپاتیت یافت می شود [۱۵]. براساس بررسی های میکروسکوپی و آنالیز دستگاه ریزپردازنده 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- رگچه های کربناتی تأخیری دیده می شود (شکل ۹ الف، ب).

ریزبلور تا درشت بلور، خود شکل و کاملاً شش گوش است. این نسل از آپاتیت همراه با مگنتیت بوده و در مگنتیت به شکل پراکنده دیده می شود. در بعضی موارد نیز آپاتیت با مگنتیت، بافت نواری را تشکیل داده است (شکل های ۴ و ۵ د) که این امر، تشکیل همزمان آن با مگنتیت را نشان می دهد. رنگ این نسل از آپاتیت، سفید و اندازه ی آن ها چند دهم میلی متر تا چند سانتی متر است. نسل دوم آپاتیت نسبت به نسل اول درشت بلورتر بوده و بلورهای آپاتیت نسل اول را قطع کرده است. این نسل از آپاتیت، رنگ سفید تا کرم داشته و اندازه ی آن ها از حد میلی متر تا چندین سانتی متر تغییر می کند، به طوری که در بعضی مواقع اندازه آنها به ۱۰ الی ۱۵ سانتی متر می رسد (شکل ۸ الف). در بلورهای هر دو نسل از آپاتیت، بلورهایی از مگنتیت دیده می شوند که نشانگر هم خاستگاه بودن و هم زمانی تشکیل آن هاست (شکل ۸ ب).



شکل ۸ الف) نمونه ی دستی از آپاتیت درشت بلور 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 رگه ی 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 بی شکل و نیمه شکل‌دار 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 به عنوان فاز سولفیدی از فاز اکسیدی جدا شده است. این نسل از پیریت، بی شکل، ریزبلور و سالم است.

پیریت نسل دوم، طی فاز کانه‌زایی سولفیدی تشکیل شده و این گروه شامل بلورهای نیمه شکل‌دار تا خود شکل 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

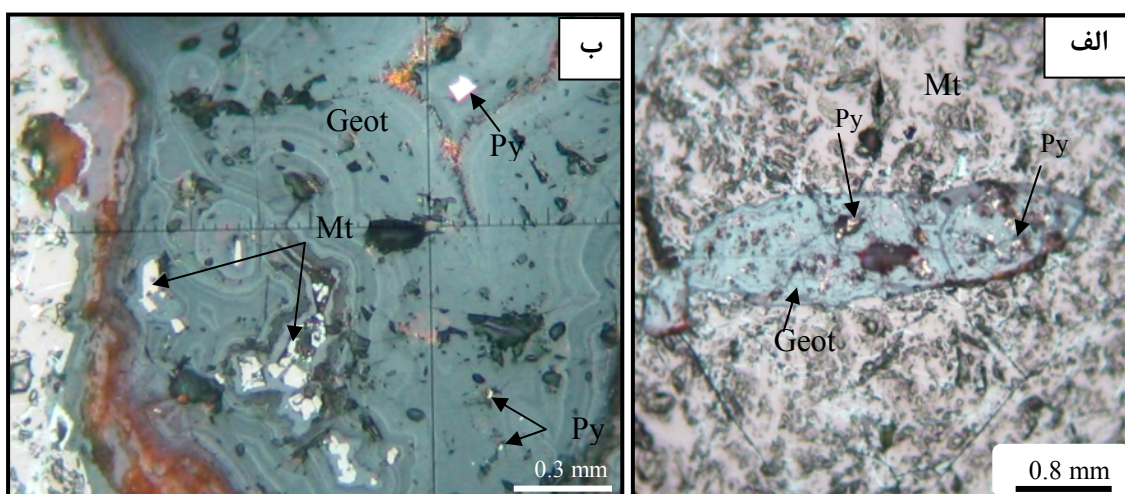
سیلیسی را قطع کرده‌اند (شکل ۱۱ پ). در رگه- رگچه‌های سیلیسی، قطعات برشی شده‌ی مگنتیت ($\pm$ کربنات) و همراه رگه- رگچه‌های کربناتی و قطعات برشی شده‌ی مگنتیت ($\pm$ کوارتز) مشاهده می‌شوند.

کالکوپیریت

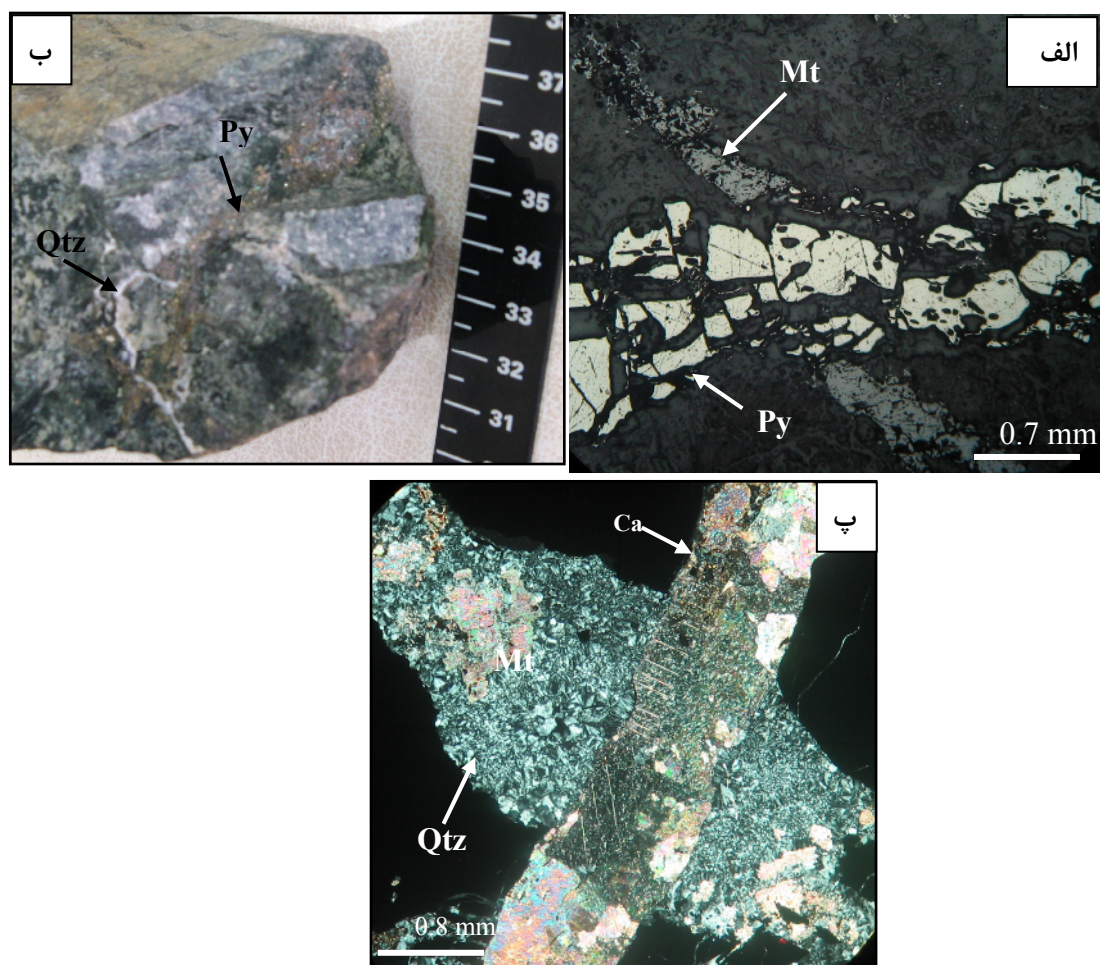
از جمله کانه‌های سولفیدی در منطقه‌ی کانه‌زایی، کالکوپیریت است که به صورت بلورهای درشت بی شکل تا شکل‌دار دیده می‌شود. این کانه اغلب در همراهی با بورنیت، بافت جدایشی تیغه‌ای را به وجود آورده است (شکل ۱۲ الف). به نظر می‌رسد که این مرحله از کانه‌زایی، یک مرحله پس از کانه‌زایی اکسیدی در این کانسار است. کالکوپیریت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

کالکوسیت- کوولیت

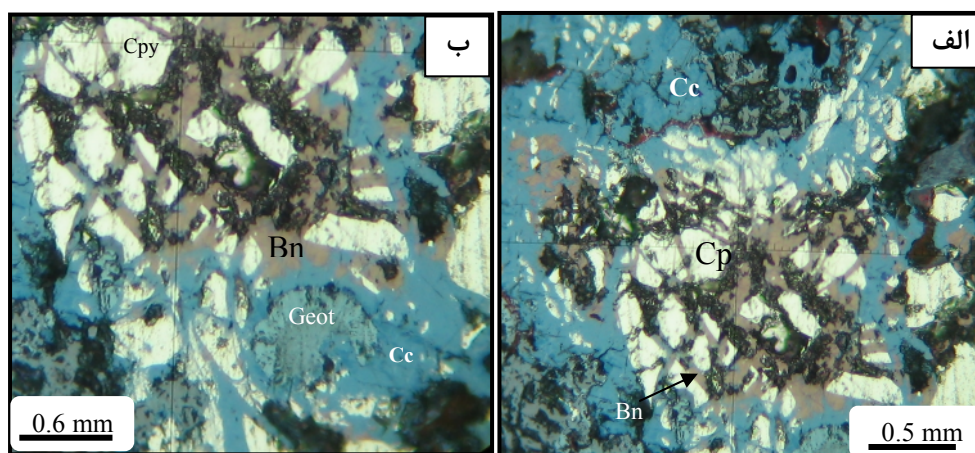
این دو کانه به عنوان کانه‌های سولفیدی ثانویه و برون‌زای، حاصل از تجزیه‌ی کانه‌های سولفیدی اولیه مس‌اند که ممکن است آثاری از کانه‌های اولیه در مجاورت آن‌ها مشاهده شود (شکل ۱۲). در نمونه‌های بررسی شده، کانه‌های کالکوپیریت به طور جزئی به مجموعه‌ای از کالکوسیت و کوولیت تجزیه شده‌اند. در کانه‌های سولفیدی، جانشینی کالکوسیت و کوولیت 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. هماتیتهای شدن 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 $(\text{Ca}_3\text{UO}_2)_4\text{Si}_{10}\text{O}_{35}$ و ایریزونیت $(\text{U}(\text{MoO}_4)_2 \cdot 2\text{H}_2\text{O})$ 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 پرمماند 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 ارتوپیرکسن (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 پگماتیته 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

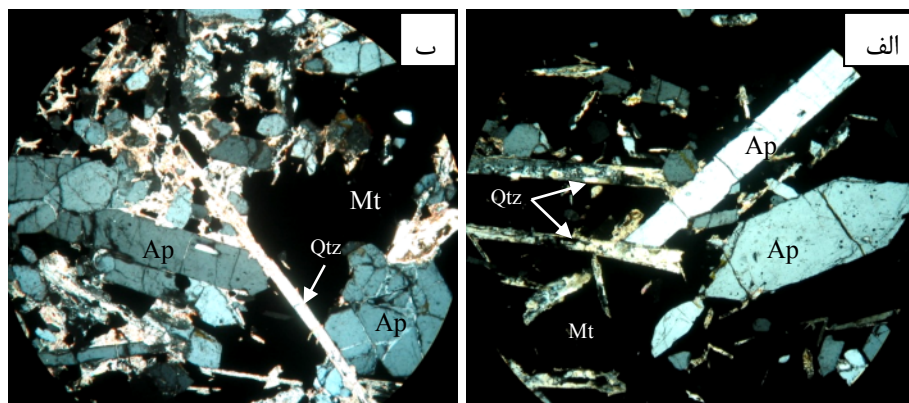
کوارتز باطله اصلی کانسار سرخه‌دیزج است که به‌شکل بلورهای ریز سوزنی‌شکل و غالباً با آپاتیت همراه است، ولی آن را قطع کرده و در برخی نقاط چنین تداعی می‌شود که جانشین آن شده است (شکل ۱۳). کوارتزهایی که آپاتیت را قطع و یا جانشین آن شده‌اند، به یک فاز شاره‌ی سیلیسی وابسته است که توده‌ی نیمه‌عمیق و ماده‌ی معدنی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

مرحله اصلی کانه زایی (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 آپاتیت دار 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 پروکسن 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 پروکسن‌ها 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 فرایندهای 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 فرایندهای تشکیل کانسار اکسید آهن آپاتیت دار سرخه دیزج 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 سرخه دیزج، سعی شد ویژگی‌های این کانسار با ویژگی‌های ذخایر نوع اکسید آهن آپاتیت دار مقایسه شود. [۱۷] با بررسی روی خاستگاه، چگونگی جابجایی و خروج ماگماهای کانسنکی (ore magmas)، کانسارهای آهن آپاتیت دار را در دو گروه مهم زیر جای داده‌اند:

بنا به نظر [۱۸،۱۹]، ذخایر نوع کاپرونا در گستره‌ی کانسارهای IOCG واقع می‌شوند. این کانسارها شامل دو زیردسته‌ی کانسارهای مرتبط با ماگماتیسم کالک‌آلکان و آلکان می‌باشند که کانسارهای آهن نوع کاپرونا 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 کاپرونا (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	----- i	=====	=====	-----	
Chalcopyrite			=====		
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				=====	
Chalcocite					=====
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 [۲۳، ۲۲]. 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 $\pm$ 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 شارهای ماگمایی و ناماگمایی [۳۲] نام برد.

بنا به نظر [۳۳] فرآیند تشکیل این کانسارها، براساس فعالیت‌های گرمایی و جدایشی ماگمایی است که شارهای 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 ماگماتیسیم 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 کششی 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 داریستی 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 داریستی 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 کمربند 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، ههماتیت، پیریت، کالکوپیریت، بورنیت، اکتینولیت، مونازیت، کوارتز، کلسیت، پیروکسن (بیشتر از نوع دیوپسید)
دگرسانی	سدیک، سدیک-کلسیک، مگنتیت - آپاتیت - اکتینولیت، سریسیتی، سیلیسی، پتاسیک و تورمالینی شدن	پتاسیک، سریسیتی، سیلیسی، آرژیلیک، 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- جدایی‌گذاری 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 [۳۷، ۲۳] ذخایر نوع کایرونا در موقعیت‌های زمین ساختی ریف‌ درون‌قاره‌ای 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

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- زنجان به زیر کمر بند البرز- آذربایجان در شمال باختری ایران به وجود آمده‌اند.

پاراژنز

ذخایر نوع کایرونا از مگنتیت، آپاتیت و به‌طور چشمگیری از اکتینولیت تشکیل شده‌اند. اگرچه آپاتیت و اکتینولیت می‌توانند در آن‌ها به‌طور محلی تمرکز یابند [۲۶، ۲۷]، در بیشتر ذخایر، مگنتیت به‌صورت بخشی و در راستای مرز بلورها و شکستگی- ها، و یا به‌طور 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 ۵/۰٪ و به‌ندرت بیش از ۲٪) هستند که باعث تمایز آن‌ها از اکسیدهای آهن همراه با آنورتوزیت‌ها، گابروها و توده‌های مافیک لایه‌ای می‌شود. آپاتیت به‌شکل بلورهای خودشکل ششگوشی و اکتینولیت به‌شکل انبوه‌های سوزنی دیده می‌شوند. آپاتیت در این نوع کانسارها غنی از فلوئور است و مقدار کمی هیدروکسیل کلر به همراه دارد [۴، ۱۰]. سولفیدهای مس، در بخش‌هایی که وجود دارند، به‌شکل انبوه یا پراکنده در بین کانی‌های اکسیدی مشاهده می‌شوند. پیریت نیز به‌شکل بلورهای خودشکل تا بی‌شکل در درون توده‌ی معدنی قابل مشاهده است. در این نوع کانسارها، کانی‌زایی عناصر خاکی نادر (REE) اغلب به‌شکل کانی مونازیت روی داده که در درون آپاتیت درگیر است. مقدار کانی‌های دیگر، از جمله کوارتز و

کلسیت، در این کانسارها اندک است. به نظر [۱۱، ۱۲]، کلسیت و کوارتز کانی‌های تأخیری هستند که به‌مقدار 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 به‌شکل 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 سرخه‌دیزچ 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 توربانیت، ایلمنیت، مگنتیت اسپینل‌دار، گالن و اسفالریت به‌وسیله‌ی 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 به‌شکل 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 به‌شکل‌های رگه‌ای و پراکنده و همرشد همراه با فراورده‌های دیگر دیده می‌شود [۱۰]. در سنگ‌هایی با ترکیب

فلسیک، مجموعه کانی‌های فلدسپار پتاسیم- سیرسیت- بیوتیت- کوارتز و در سنگ‌هایی با ترکیب حدواسط تا مافیک، کانی‌هایی از جمله فلدسپار پتاسیم (بیشتر در رگه‌ها) و سیرسیت- کلریت- اکتینولیت $\pm$ اپیدوت در سنگ دیواره دگرسان‌شده تشکیل می‌شوند. آلبیتی‌شدن پلاژیوکلازها در این بخش نیز صورت می‌گیرد. در بعضی کانسارها، دگرنهادی پتاسیک به‌وسیله‌ی دگرسانی سیرسیتی و یا هیدرولیکی پوشیده می‌شود. در برخی مناطق، از جمله منطقه‌ی کایرونا و Pea Ridge (شمال میسوری، آمریکا)، رگه‌های تأخیری کوارتز- سیرسیت ($\pm$ 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، فلوئوریت، کائولن یا سیرسیت 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، سیرسیتی، اکتینولیتی، کلریتی- اپیدوتی و فلدسپار پتاسیم هستند که از میان آنها، دگرسانی‌های آرژیلی و سیلیسی و به نسبتی دگرسانی سیرسیتی، 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 بالادادن 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 مقیاس‌های مختلف،

سنگ درونگیر، پارائز 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 کوارتزمونزونیت 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 کوارتزمونزونیت 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*

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)*, Heidelberger 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 هیرایاما 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., Lefebvre 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 Luoassavaara, northern Sweden*, Mineralium Deposita, 17 (1982) 239-243.
- [29] Lundbohm H., Backstrom H., *Geology of the Kirunavaara district*, Geologiska Föreningens 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 میکروپروب 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*,