

سنگ‌زایی و کانه‌زایی در کانسار اکسید آهن آپاتیت‌دار گزستان، خاور بافق، ایران مرکزی

سجاد افضلی^۱، نیما نظافتی^۲، مجید قادری^۳، جلیل قلمقاش^۴، محمدرضا قاسمی^۵ و علیرضا کریمی باوندپور^۶

^۱ دانشجوی دکترا، گروه زمین‌شناسی، دانشگاه آزاد اسلامی، واحد علوم و تحقیقات، تهران؛ استادیار، گروه زمین‌شناسی، دانشگاه آزاد اسلامی، واحد کرمانشاه، کرمانشاه، ایران

^۲ استادیار، گروه زمین‌شناسی، دانشگاه آزاد اسلامی، واحد علوم و تحقیقات، تهران، ایران

^۳ دانشیار، بخش زمین‌شناسی، دانشکده علوم پایه، دانشگاه تربیت مدرس، تهران، ایران

^۴ استادیار، پژوهشکده علوم‌زمین، سازمان زمین‌شناسی و اکتشافات معدنی کشور، تهران، ایران

^۵ دانشیار، پژوهشکده علوم‌زمین، سازمان زمین‌شناسی و اکتشافات معدنی کشور، تهران، ایران

^۶ کارشناسی ارشد، سازمان زمین‌شناسی و اکتشافات معدنی کشور، تهران، ایران

تاریخ دریافت: ۱۳۹۰/۰۱/۱۶ تاریخ پذیرش: ۱۳۹۰/۰۵/۱۵

چکیده

کانسار مگنتیت-آپاتیت گزستان در ۷۸ کیلومتری خاور بافق قرار دارد. از دید ساختاری، این کانسار متعلق به پهنه ایران مرکزی و زیرپهنه بافق-پشت‌بادام است. واحدهای سنگی منطقه به سری ریزو تعلق دارند و از سنگ‌های کربناتی، شیل، توف، ماسه‌سنگ و سنگ‌های آتشفشانی تشکیل شده‌اند. افزون بر سنگ‌های رسوبی و آتشفشانی، سنگ‌های نفوذی به شکل استوک و دایک و با ترکیب گرانودیوریت و گرانیت در بخش‌های مختلف رخمون دارند. سنگ‌های سبز با ترکیب اسیدی تا حدواسط (تراکیت و داسیت در اثر دگرسانی کلریتی، به رنگ سبز دیده می‌شوند)، میزان کانی‌سازی آهن و فسفات هستند که در برخی بخش‌ها، رخساره‌های نیمه‌ژرف نشان می‌دهند. دگرسانی در سنگ‌های آتشفشانی آشکارتر و انواع شدیدتر آن شامل دگرسانی‌های کلریتی، آرژیلی و سیلیسی است. سنگ‌های میزان کانی‌سازی، به شدت دگرسانی نشان می‌دهند. کانی‌سازی در کانسار گزستان شامل ترکیبی از اکسیدهای آهن و آپاتیت به نسبت‌های مختلف است که با کمی کوارتز و کلسیت همراهی می‌شود و به شکل‌های متفاوت درون سنگ‌های تراکیتی-داسیتی و کمی در ریولیت‌ها دیده می‌شود. پنج شکل کانی‌سازی در این منطقه قابل تفکیک است که شامل کانسنگ آهن توده‌ای با کمی آپاتیت، کانسنگ آپاتیت-مگنتیت، رگه-رگچه‌های نامنظم (استوک‌ورک) در سنگ سبز برشی شده، نوع پراکنده و رگه‌های توده‌ای خالص آپاتیتی هستند. سنگ میزان در محدوده کالکوالکالین قرار دارد. محیط زمین‌ساختی، سنگ میزان، کانی‌شناسی، دگرسانی و ساخت و بافت در کانسار گزستان، بیشترین شباهت را با کانسارهای اکسید آهن آپاتیت‌دار نشان می‌دهد.

کلیدواژه‌ها: سنگ‌زایی، کانه‌زایی، کانسار اکسید آهن آپاتیت‌دار، گزستان، بافق.

*نویسنده مسئول: سجاد افضلی

E-mail: sajadafzali@yahoo.com

۱- مقدمه

در پرکامبرین پایانی-کامبرین آغازی ایران، کانسارهای پرشماری از اکسید آهن آپاتیت‌دار نوع کایرونا کشف و شناسایی شده است. این کانسارها در پهنه ایران مرکزی (پهنه فلززایی (متالورژی) ناحیه بافق) با سنگ میزان آتشفشانی-رسوبی کامبرین زیرین (بخش‌هایی از سری‌های ریزو و دزو) قرار دارند. از این کانسارها می‌توان میشدوان (Daliran, 2002)، اسفوردی (Jami et al., 2007; Jami, 2006)، آنومالی شمالی (سیهری‌راد، ۱۳۷۹؛ بهزادی، ۱۳۸۵)، چگارت (کارگران بافقی، ۱۳۸۰؛ Daliran et al., 2007 & 2010)، گزستان و لکه‌سیاه (Daliran et al., 2007 & 2010) را نام برد. Forster & Jafarzadeh (1994) کانسارهای آهن-آپاتیت منطقه بافق را از نوع ماگمایی (کایرونا) و آنها را با سنگ‌های اسیدی در ارتباط دانسته‌اند. بر پایه نظر Daliran et al. (2007)، در منطقه معدنی بافق، کانی‌سازی آهن، آپاتیت و عناصر نادر خاکی، مشابه سایر کانسارهای Fe-P-REE-Th-U دنیا با منشأ گرمایی است. دگرسانی متاسوماتیک و کانی‌سازی انجام شده در امتداد پهنه‌های ساختاری، نشان‌دهنده کنترل زمین‌ساختی-ماگمایی در زمان کوتاه کانی‌سازی در منطقه می‌باشد.

برای درک بهتر چگونگی تشکیل این نوع ذخایر در ایران مرکزی، در این مقاله، سنگ‌زایی و کانه‌زایی در کانسار اکسید آهن آپاتیت‌دار گزستان مورد بحث قرار می‌گیرد. کانسار گزستان در استان یزد، در ۷۸ کیلومتری بافق و ۱۰ کیلومتری جنوب‌خاوری روستای گزستان واقع شده است. راه دسترسی به این کانسار از جاده آسفالت بافق-کوشک-شیطور می‌باشد. این کانسار در محدوده طول جغرافیایی ۳۱° ۴۱' ۲۵" تا ۳۱° ۳۹' ۲۵" و عرض جغرافیایی ۵۵° ۵۹' تا ۵۵° ۵۵' ۲۰" شمالی واقع شده است. شکل ۱ موقعیت و راه‌های دسترسی به کانسار یاد شده را نشان می‌دهد.

۲- زمین‌شناسی ناحیه‌ای

از لحاظ ساختاری، کانسار گزستان متعلق به پهنه ایران مرکزی و زیرپهنه بافق-پشت‌بادام است. براساس نقشه زمین‌شناسی برگه ۱:۱۰۰۰۰۰ اسفوردی (Soheili and Mahdavi, 1991)، کهن‌ترین سنگ‌های این ناحیه مربوط به پرکامبرین است که شامل مجموعه‌هایی از سنگ‌های دگرگونی (شیست، گنایس، مرمر و آمفیبولیت) می‌باشد. کهن‌ترین واحدهای رسوبی موجود در منطقه، ترادفی از شیل، ماسه‌سنگ اسلیتی و فیلیتی (سازند تاشک) است که به‌طور ناهمساز، توسط نهشته‌های کربناته-آواری-آتشفشانی مربوط به پرکامبرین-کامبرین زیرین (سری ریزو) پوشیده شده است. سازندهای باروت، زاگون، لالون و میلا در بخش‌های خاوری این برگه گسترش یافته‌اند. رخساره آنها شامل دولومیت، ماسه‌سنگ، شیل، سنگ‌آهک تریلوبیت‌دار و دولومیت است. نهشته‌های اردوویسین با رخساره آهکی دارای گسترش محدود است که بر روی آن، گدازه‌های آندزیتی، توف آندزیتی، ماسه‌سنگ و سنگ‌آهک‌های به سن سیلورین قرار می‌گیرد. رسوبات دونین در شمال‌خاوری برگه یاد شده دارای گسترش بوده و سنگ‌شناسی آن شامل سنگ‌آهک‌های براکیوپود-گاستروپوددار، ماسه‌سنگ و دولومیت است. رسوبات پرمین با رخساره آهکی رخمون دارد. واحدهای تریاس به شکل دگرشیب بر روی رسوبات پرمین قرار دارند که شامل شیل، سنگ‌آهک‌های نازک‌لایه، دولومیت، ماسه‌سنگ و گچ است. واحدهای ژوراسیک بیشتر شامل شیل‌های میکادار و ماسه‌سنگ‌های کوارتزی با شیل‌های زغال‌دار به‌همراه آثار گیاهی است. سنگ‌های کرتاسه به‌طور دگرشیب بر روی واحدهای قدیمی قرار می‌گیرد و شامل کنگلومرا، مارن، ماسه‌سنگ و سنگ‌آهک نازک تا سترلایه است. رسوبات تشریری و کواترنری بیشتر شامل مجموعه‌هایی از کنگلومرا، ماسه‌سنگ و آبرفت‌های جوان است.

کانی‌های کدر در این سنگ‌ها با منشأ آواری و در اثر نفوذ محلول‌های گرمایی به‌وجود آمده‌اند. بیشتر دگرسانی این سنگ‌ها، کلریت، سریست، کانی‌های کربناتی و کانی‌های رسی و تا حدی اکسید آهن است که در این بین، بیشترین دگرسانی شامل تبدیل فلدسپارها به کلریت، سریست و کانی‌های رسی است (شکل‌های ۳-۳ و ۳-۴).

۳-۴. توف تراکیتی- توف آندزیتی

کانی‌های موجود در سنگ، آلکالی فلدسپار، کوارتز و پلاژیوکلاز هستند (شکل ۳-۳). رگه- رگچه‌های سیلیسی، کلسیتی و مگنتیتی در درون این سنگ دیده می‌شوند. آپاتیت از کانی‌های فرعی آن به‌شمار می‌رود. این زیرواحد به‌شدت سیلیسی شده و رگه- رگچه‌های اکسید آهن، آن را قطع کرده است (شکل ۳-۴).

۴- سنگ‌زایی

برای درک بهتر ویژگی‌های ژئوشیمیایی و سنگ‌شناختی واحدهای سنگی منطقه گزستان، ۱۹ نمونه از توده‌های نفوذی و ۱۱ نمونه از سنگ‌های آتشفشانی منطقه در سازمان زمین‌شناسی کشور مورد تجزیه XRF قرار گرفته‌اند که براساس نتایج حاصل از آن و با استفاده از تعدادی از نمودارهای مهم سنگ‌شناختی، می‌توان روندهای خاص موجود در این واحدها را به تفکیک مورد بحث قرار داد (افضلی، ۱۳۹۰). بر روی این نمودارها، نمونه سنگ‌های درونی به شکل دایره توپر و نمونه سنگ‌های خروجی با نماد ستاره نشان داده شده‌اند:

۴-۱. ژئوشیمی توده نفوذی نیمه‌ژرف: برای رده‌بندی و نامگذاری سنگ‌های آذرین درونی منطقه مورد مطالعه، میزان سیلیس و عناصر آلکالن نمونه‌ها ($(\text{Na}_2\text{O} + \text{K}_2\text{O})\text{-SiO}_2$) بر روی نمودار TAS که توسط Cox et al. (1979) ارائه شده، رسم شد. چنان‌که در شکل ۴ دیده می‌شود، نمونه‌های برداشت شده از توده نفوذی نیمه‌ژرف، ترکیب‌های گرانیتی و گابرویی دارند.

۴-۲. تقسیم‌بندی ژنتیکی توده نفوذی: برای تقسیم‌بندی ژنتیکی توده نفوذی، از نمودار ACF به‌منظور تفکیک گرانیت‌های نوع I از S استفاده شد (Chappell and White, 1974) که براساس آن، نمونه‌های برداشت شده از توده نفوذی نیمه‌ژرف، در محدوده گرانیت‌های تیپ I و S قرار می‌گیرند (شکل ۵).

۴-۳. تعیین سری ماکمایی: بر پایه نمودار دوتایی SiO_2 در برابر مجموع آلکالی‌ها $\text{Na}_2\text{O} + \text{K}_2\text{O}$ (Irvine and Baragar, 1971)، که سنگ‌ها در آن به دو دسته آلکالن و ساب‌آلکالن تقسیم می‌شوند، نمونه‌های گرانیتی در قلمرو گرانیتوئیدهای ساب‌آلکالن و نمونه‌های گابرویی در محدوده آلکالن و سنگ‌های آتشفشانی منطقه نیز بیشتر در قلمرو آلکالن واقع می‌شوند (شکل ۶).

۴-۴. مقدار آلومین: براساس نمودار Maniar and Piccolli (1989)، نمونه‌های توده نفوذی در محدوده‌های پرآلومین و متاآلومین قرار می‌گیرند، در حالی که بیشتر نمونه‌های سنگ‌های آتشفشانی منطقه، در محدوده متاآلومین قرار می‌گیرند (شکل ۷).

۴-۵. ژئوشیمی سنگ‌های آتشفشانی: بر پایه نمودار Cox et al. (1979)، نمونه‌های آتشفشانی در محدوده‌های داسیت، آندزیت، تراکی آندزیت، هاوایت، تفریت، بازالت و بازالت (شکل ۸-۸) و در نمودار TAS (Le Bas et al., 1986)، در زمره داسیت، آندزیت، تراکی آندزیت بازالتی، تفریت، بازالت و بازالت واقع می‌شوند (شکل ۸-۸).

۵- دگرسانی

براساس مطالعات انجام گرفته و بررسی‌های صحرائی، بیشتر دگرسانی‌های موجود در منطقه، منطبق بر شکستگی‌ها و گسل‌های کوچک محلی بوده و دگرسانی مشاهده شده در این منطقه، بیشتر از نوع سیلیسی کلریتی و آرژیلیک است که در ارتباط

توده‌های نفوذی موجود در منطقه شامل گرانیت‌های زیرگان، ناریگان، بهاباد و سینیت اسفوردی و مجموعه‌ای از دایک‌های دیوریتی و گابرویی می‌باشند.

براساس گزارش اکتشافات نیمه‌تفصیلی منطقه گزستان (ذری و جمالی، ۱۳۸۲؛ ذری و همکاران، ۱۳۸۷) و بر پایه نقشه زمین‌شناسی ۱:۵۰۰۰ محدوده کانسار گزستان (ذری و جمالی، ۱۳۸۲) (شکل ۲)، به‌طور کلی، واحدهای مرتبط با کانی‌سازی را می‌توان به دو بخش عمده تقسیم کرد: الف) واحدهای رسوبی- آذرآواری و آتشفشانی سری ریزو (کامبرین زیرین): شیل، ماسه‌سنگ، کربنات و لایه‌های اینگمبیرت از سازنده‌های سری ریزو هستند که به‌طور معمول، سنگ‌های کربناتی در زیر، شیل و ماسه‌سنگ در میان و سنگ‌های آتشفشانی ریولیتی بنفش‌رنگ، تراکیت، تراکی آندزیت، و توف در بالا قرار دارند. بیشتر کانسارهای آهن، آپاتیت، سرب و روی و اورانیم در مجموعه ریزو قرار دارند. ب) توده‌های نفوذی: عمده‌ترین توده‌های نفوذی عبارتند از میکروگرانیت و گرانودیوریت.

۳- سنگ‌نگاری

در زیرپهنه بافق- پشت‌بادام از پهنه ایران مرکزی، سنگ‌های آتشفشانی و نفوذی به شکل گسترده رخمون دارند. سنگ‌های آتشفشانی و آذرآواری این منطقه، طیف ترکیبی گسترده‌ای از آندزیت، تراکی آندزیت، ریولیت، داسیت، توف تراکیتی و توف آندزیتی را شامل می‌شوند. توده‌های نفوذی، از نظر ترکیب سنگ‌شناسی متغیر بوده، دامنه‌ای از گرانودیوریت و میکروگرانیت را در بر می‌گیرند.

۳-۱. گرانودیوریت: در زیر میکروسکوپ، این سنگ دارای کانی‌های اصلی از جمله پلاژیوکلاز با ترکیب آندزین- الیگوکلاز، آلکالی فلدسپار و کوارتز است (شکل ۳-۸). به نظر می‌رسد آلکالی فلدسپار از اطراف جایگزین پلاژیوکلاز می‌شود و در بعضی موارد، شدت این دگرسانی آنقدر زیاد بوده که تنها مقدار اندکی از پلاژیوکلاز در مرکز باقی مانده است. بلورهای فلدسپار، سریستی و آرژیلی شده‌اند.

۳-۲. میکروگرانیت

- آلیت: آلیت به عنوان میکروفونو کریست نیمه‌شکل‌دار به درازای ۰/۷ میلی‌متر و در زمینه سنگ در اندازه ۰/۲ میلی‌متر شکل گرفته است.

- ارتوز: ارتوز، بلورهای بی‌شکل همزمان با آلیت را در این سنگ تشکیل می‌دهد. ارتوز و آلیت، روی هم نزدیک به ۷۰ درصد از ترکیب سنگ را در بر می‌گیرند. فنوکریست ارتوز درازایی برابر ۰/۷ میلی‌متر دارد.

- کوارتز: کوارتز بی‌شکل در زمینه سنگ قرار داشته و نزدیک به ۳۰ درصد از سنگ را تشکیل می‌دهد.

کلریت و گاه سریست از تغییر فلدسپار به‌وجود آمده‌اند. کلریت، درزه‌ها و شکاف‌های درون سنگ را پر کرده و از گسترش چشمگیری برخوردار است. کانی کدر (اپاک) همزمان با کلریت در این سنگ شکل گرفته و اغلب همراه آن، درزه‌ها و شکاف‌های سنگ را پر کرده و ۲ تا ۳ درصد از ترکیب سنگ را در بر می‌گیرد. کلسیت نیز همراه کوارتز درون رگه‌های کوارتزار سنگ دیده می‌شود، به‌طوری که می‌توان اظهار داشت بافت چیره این سنگ، گرانوفیری است. برخی از کانی‌های بیوتیت و آمفیبول در اثر فرایندهای ثانویه به کلریت تبدیل شده‌اند (شکل ۳-۸).

۳-۳. تراکیت- تراکی آندزیت

بافت این سنگ‌ها، کلاستیک، ویترو کلاستیک، پورفیریک کلاستیک و پورفیریک است. فنوکریست‌ها بیشتر شامل فلدسپار و تا حدی کانی‌های کدر هستند.

فلدسپارها بیشتر دارای ترکیب الیگوکلاز- آلیت در اندازه‌های نهان‌بلورین (کریپتوکریستالین) تا ۱ میلی‌متر هستند. ارتوز در برخی از نمونه‌ها به عنوان فنوکریست خودشکل تا اندازه ۳ میلی‌متر دیده می‌شود. کوارتز در این سنگ‌ها در مواردی به شکل فنوکریست مشاهده می‌شود. فنوکریست‌ها همزمان با فلدسپارها به شکل نهان‌بلورین وجود دارند.

باکانه‌زایی هستند و بیشترین گسترش را در منطقه دارند، اما دگرسانی‌های سریستی، پتاسیک، تورمالینی و اپیدوتی نیز در واحدهای سنگی تشکیل شده‌اند.

۱-۵. دگرسانی آرژیلیک

دگرسانی آرژیلیک با شدت زیاد در نزدیکی و اطراف ماده معدنی دیده می‌شود. در محدوده‌هایی با شدت دگرسانی زیاد، سنگ اولیه به پودر سفید رنگ، که بیشتر کائولینیت می‌باشد، تبدیل شده است. براساس نتایج تجزیه XRD (۸ نمونه که توسط سازمان زمین‌شناسی کشور انجام شده)، نمونه‌های برداشت شده از منطقه، مجموعه پاراژنتیکی دگرسانی آرژیلیک شامل ایلیت، کائولینیت، مونتموریلونیت (و کلریت) است (شکل ۹-ا).

۲-۵. دگرسانی سیلیسی

سیلیس به شکل بافت نهران بلورین و گاه موزاییکی شکل است. در نزدیکی پهنه‌های کانی‌سازی، سیلیس به همراه کلریت، کربنات، کانی‌های کدر و آپاتیت درون رگچه‌ها تشکیل شده است.

۳-۵. تورمالینی شدن

این دگرسانی بیشتر به شکل رگه- رگچه‌ای در سنگ‌های دیواره روی می‌دهد (Evans, 1997). تشکیل تورمالین بیشتر به شکل نیمه‌شکل‌دار، ستونی (متوسط تا ریزبلور)، مستطیلی شکل و شعاعی در سنگ‌های اسیدی در گمانه‌های ۹، ۱۰، ۱۴ و ۱۵ دیده می‌شود. تورمالینی شدن با سیلیسی شدن ارتباط و نزدیکی خاصی داشته و معمولاً به شکل پراکنده در فضاها یا سنگ و همراه با رگچه‌های سیلیسی دیده می‌شود (شکل ۹-ب). تورمالین در مقطع نازک به رنگ‌های سبز، آبی و قهوه‌ای دیده می‌شود. براساس تجزیه XRD، تورمالین از نوع اسکورولیت است.

۴-۵. سریستی شدن

براساس مطالعه مقاطع نازک، مقدار جزئی از کانی‌ها به سریست تبدیل شده و به شکل دانه‌های ریز پراکنده در متن کانی‌های پلاژیو کلاز و آلکالی فلدسپار و همچنین در داخل شکستگی‌های پلاژیو کلاز متمرکز شده است. لازم به ذکر می‌باشد گسترش دگرسانی سریستی در این منطقه نسبت به دگرسانی آرژیلی کمتر است (شکل ۹-ج).

۵-۵. کلریتی شدن

گسترش دگرسانی کلریتی در این منطقه، بیشتر در سنگ‌های آتشفشانی بوده و باعث رنگ سبز این سنگ‌ها شده است، اما به دلیل گسترش درزه و شکستگی‌ها، تمام سنگ‌های منطقه (آتشفشانی و توده نفوذی) را تحت تأثیر قرار داده است. این دگرسانی در منطقه با رنگ سبز تیره مشخص می‌شود. کلریت در نمونه‌های مطالعه شده به شکل‌های فلسی تا تیغ‌ای، فیبری یا الیافی، بی‌شکل تا شکل‌دار و پرکننده شکستگی یا رگه‌ها مشاهده شده است (شکل ۹-د).

۶-۵. اپیدوتی شدن

گسترش دگرسانی یاد شده در محدوده معدنی، بیشتر به حاشیه درزه‌ها و شکستگی‌های توده نفوذی نیمه‌ژرف محدود می‌شود. این در حالی است که گسترش آن در سنگ‌های آتشفشانی منطقه بسیار اندک است (شکل ۹-ه). در واقع، مطالعه مقاطع میکروسکوپی مربوط به سنگ درونگیر بخش‌های کانسار، مشخص نمود که کانی‌های پلاژیو کلاز مربوط به این بخش، به اپیدوت تبدیل شده‌اند. بلورهای اپیدوت، بیشتر منشوری، کروی تا بی‌شکل هستند.

۷-۵. دگرسانی پتاسیک

این دگرسانی با گسترش کم و با توجه به مطالعات میکروسکوپی، بیشتر در اطراف بخش کانه‌زایی زون مرکزی و با جانشین شدن فلدسپار پتاسیم به جای پلاژیو کلاز تشکیل شده است (شکل ۹-ف).

۶- کانه‌زایی

در کانسار گزستان، ماده معدنی شامل مگنتیت- آپاتیت است که معمولاً با کوارتز و

کلسیت همراهی می‌شود (لازم به ذکر است کوارتز و کلسیت در مراحل تأخیری پس از کانه‌زایی تشکیل شده‌اند) و به شکل‌های مختلف در داخل سنگ‌های آتشفشانی واحد CVr و توده‌های نفوذی میکروگرانیتی و گرانودیوریتی گزستان رخ داده است. پهنه کانه‌دار در محدوده اکتشافی گزستان گسترده بوده و طول آن به ۲/۲ کیلومتر و عرض آن به بیش از ۰/۷ کیلومتر می‌رسد. این گستره به دو پهنه خاوری- شمال‌خاوری و مرکزی قابل تقسیم می‌باشد. کانی‌سازی و ساخت و بافت در کانسار گزستان به شکل‌های زیر قابل تفکیک است.

۱-۶. توده‌ای: در کانسار گزستان، ساخت و بافت توده‌ای، بیشترین بخش کانی‌سازی را تشکیل داده است. مگنتیت کانه اصلی است و همراه آن آپاتیت و مقداری جزئی پیریت (به شکل لکه‌هایی در داخل مگنتیت و آپاتیت) و کالکوپیریت دیده می‌شود. این توده‌های آهن در سنگ‌های آتشفشانی اسیدی واحد CVr دیده می‌شوند. بیشتر به شکل عدسی، دایک، رگه و رگچه‌مانند دیده می‌شوند. بافت نواری مگنتیت و آپاتیت نیز در این قسمت از کانسار دیده می‌شود. آپاتیت‌های درشت‌بلور به شکل منشوری بی‌پیرامیدال و سوزنی، که اندازه بعضی از بلورهای آن تا ۲۰ سانتی‌متر هم می‌رسد، دیده می‌شوند (شکل ۱۰-ا). کلسیت و کوارتز معمولاً آنها را همراهی می‌کنند و از نظر تبلور، نسبت به مگنتیت و آپاتیت تأخیری هستند.

۲-۶. داربستی: یکی دیگر از شکل‌های کانه‌زایی، رگه- رگچه‌های نامنظم (stockwork) در سنگ‌های ریولیتی و تراکیتی است که بر اثر دگرسانی کلریتی به رنگ سبز دیده می‌شوند. کانی‌های مگنتیت و آپاتیت، درشت‌بلور بوده و بیشتر در دیواره رگه‌ها دیده می‌شوند، در حالی که کوارتز و کلسیت، بخش میانی رگه‌ها را اشغال کرده‌اند. از نظر توالی تبلور در این رگه‌ها، کلسیت بعد از کوارتز در بخش میانی رگه‌ها تشکیل شده است. ستبرای این رگه- رگچه‌ها تا بیشینه ۱۵ سانتی‌متر در تغییر است.

۳-۶. رگه‌های آپاتیت- مگنتیت: شامل بلورهای بسیار درشت آپاتیت صورتی است که در سنگ‌های ریولیتی و تراکیتی، به ویژه در بخش باختری زیرزون جنوبی دیده می‌شوند. این رگه‌ها در دیواره‌های خود، پوسته نازک چند سانتی‌متری از مگنتیت درشت تا متوسط دانه دارند که مجموعه آپاتیت و کوارتز را در بر می‌گیرد. این رگه‌ها بیشتر شکل نامنظم داشته و در مجموع، بافت آنها پگماتیتی و درشت‌بلور است و در بعضی نقاط، توسط خمیره‌ای از کوارتز سفیدرنگ دربر گرفته شده‌اند.

۴-۶. افشان "دانه‌پراکنده" (disseminated): این نوع کانه‌زایی شامل دانه‌های پراکنده مگنتیت و آپاتیت در داخل سنگ‌های ریولیتی و تراکیتی است (شکل ۱۰-ب). کانه‌زایی یاد شده از گسترش بیشتر، ولی عیار کمتری برخوردار است. براساس مطالعات میکروسکوپی و تجزیه XRD، کانه‌های تشکیل‌دهنده کانسار مگنتیت- آپاتیت گزستان شامل مگنتیت، همانیت، لیمونیت، گوتیت، لپیدو کروسیت، آپاتیت، پیریت، کالکوپیریت، و کانی‌های عناصر خاکی کمیاب از جمله مونازیت است که همراه کانی‌های باطله (گانگ) پیروکسن، اکتینولیت، ترمولیت، اپیدوت، کلریت، کوارتز و کلسیت دیده می‌شوند.

مگنتیت: در کانسار گزستان، فراوان‌ترین کانه موجود، مگنتیت است که به شکل بافت توده‌ای و دانه‌ای به اشکال مختلف خودشکل، نیمه‌خودشکل و بی‌شکل قابل مشاهده است (شکل ۱۰-ج). در بعضی بخش‌ها، بافت کاتا کلاستیک شامل بلورهای مگنتیت به حالت خرد شده، دیده می‌شود.

آپاتیت: در کانسار گزستان، از کانی‌های چیره که همراه مگنتیت به چشم می‌خورد، کانی آپاتیت است. این کانی، رنگ صورتی داشته و از نوع فلور آپاتیت و هیدروکسی آپاتیت است. آپاتیت به شکل هگزگونال و بیشتر به شکل منوپیرامیدال دیده می‌شود.

دو نسل آپاتیت در سنگ‌های آپاتیتی وجود دارد. معمولاً آپاتیت نسل اول دارای انکلوژیون‌های کوچک سوزنی شکل (needle-like) از کانی‌های شفاف ناشناخته است که به موازات کشیدگی (lengthening) دانه‌های آپاتیت، جهت‌دار (oriented)

سبز، دگرسانی کلریتی است)، دگرسانی‌های متفاوتی را تحمل نموده که شدیدترین آنها کلریتی، آرژیلی و سیلیسی هستند. به‌نظر می‌رسد رگه‌ها و عدسی‌های مگنتیت و آپاتیت که به شکل یک فاز ناآمیخته از توده‌های نفوذی میکروگرانیت و گرانودیوریت جدا شده‌اند، درون سنگ میزبان جایگیر شده باشند. سیالات ماگمایی، پس از جدا شدن از مذاب، به علت داشتن چگالی کمتر از آن، به بخش بالایی توده نفوذی نیمه‌ژرف صعود کرده؛ در این مرحله، فاز اولیه اکسید آهن به شکل مگنتیت به‌همراه آپاتیت از توده نفوذی به شکل مذاب جدا شده، داخل شکستگی‌ها را پر کرده و تشکیل رگچه‌های داربستی را داده است.

در ادامه، در سیالات گرمایی-ماگمایی با درجه حرارت پایین، با افزایش مقدار گوگرد طی فاز سولفیدی، کانی‌سازی سولفیدی به شکل پراکنده صورت گرفته و باعث تشکیل کانی‌هایی از جمله پیریت و کالکوپیریت در زمینه کانسنگ اکسیدی اولیه شده است. کانی‌سازی سولفیدی به شکل رگه-رگچه‌ای در داخل شکستگی‌های کانسنگ اولیه و توده نفوذی نیمه‌ژرف محدوده کانسار تشکیل شده است. قابل ذکر است که در این مرحله، به‌همراه کانی‌سازی رگه-رگچه‌ای سولفیدی، رگه-رگچه‌های سیلیسی و کربناتی نیز تشکیل شده‌اند.

سنگ‌های آتشفشانی میزبان در محدوده کالکوالکالین قرار می‌گیرند. ماهیت کالکوالکالین سنگ‌های میزبان، افزون بر دگرسانی و متاسوماتیسم، شاید تأثیر گرفته از ماهیت اولیه ژئوشیمی مواد پوسته‌ای کهن ایران زمین در زمان پرکامبرین و آتانکسی این مواد باشد. بررسی میزان آلومینیم نشان می‌دهد سنگ‌های منطقه، متاآلومینوس و پراآلومینوس هستند. گرایش پراآلومین بودن برخی از سنگ‌های اسیدی، ناشی از دگرسانی آرژیلی سنگ‌ها بوده که سبب تثبیت آلومینیم شده است. براساس مطالعات ژئوشیمیایی و کانه‌نگاری، کانسار گزستان به عنوان کانسار اکسید آهن آپاتیت‌دار معرفی می‌گردد.

سیاسگزاری

از مسئولان و کارشناسان محترم سازمان زمین‌شناسی و اکتشافات معدنی کشور به‌ویژه آقایان مهندس عابدیان (معاون پیشین اکتشاف)، برنا (معاون اکتشاف)، جمالی و ذری به‌دلیل در اختیار گذاشتن داده‌های مربوط به اکتشافات تفصیلی و نیمه‌تفصیلی پروژه گزستان صمیمانه قدردانی می‌شود.



شکل ۱- موقعیت و راه دسترسی به کانسار آهن-آپاتیت گزستان.

شده‌اند. براساس مطالعات میکروپروب، این انکلوژیون‌ها مقادیر بالایی از Ce و La مانند مونازیت نشان می‌دهند (Kryvdik & Mykhaylov, 2001). در آپاتیت‌های نسل اول غالباً منطقه‌بندی (zonality) دیده می‌شود. نسل دوم با حضور برخی انکلوژیون‌ها و رگه‌های کوچک کربنات در آپاتیت مشخص می‌شود. نسل دوم آپاتیت نسبت به بلورهای نسل اول، ریزتر بوده و بلورهای آپاتیت نسل اول را قطع کرده است.

مونازیت: براساس تجزیه الکترون میکروپروب (Kryvdik & Mykhaylov, 2001)، مشخص شده که در کانسار گزستان، دو نسل مونازیت دیده می‌شود. نسل اول مونازیت به شکل درگیر در داخل آپاتیت نسل اول مشاهده می‌گردد، اما نسل دوم مونازیت همراه با آپاتیت‌های نسل دوم تشکیل شده است.

هماتیت: فراوانی هماتیت نسبت به مگنتیت به‌مراتب کمتر بوده، در کانسار آهن آپاتیت‌دار گزستان، هماتیتی شدن در امتداد شکستگی‌ها و سطوح رخ مگنتیت شروع شده و از نوع ثانویه بوده، گاهی آثاری از مگنتیت به شکل لکه‌هایی باقی مانده، گاهی نیز کانی مگنتیت به‌طور کامل به هماتیت تبدیل شده است (شکل ۱۱-ا).

پیریت: در کانسار گزستان، فراوان‌ترین کانی سولفیدی، پیریت است. در این کانسار، پیریت در سه نسل دیده می‌شود. نسل اول پیریت، بلورهای بی‌شکل و نیمه‌شکل‌دار است که به شکل انکلوژیون در آپاتیت مشاهده می‌شود. پیریت نسل دوم، شامل بلورهای نیمه‌شکل‌دار تا خودشکل همراه با کالکوپیریت است. پیریت در این نسل، به کانی‌های اکسیدی از جمله گوتیت و لپیدوکروسیت تبدیل شده است. نسل سوم پیریت به شکل رگه-رگچه در داخل شکستگی‌ها تشکیل شده و کانی‌سازی‌های اولیه را قطع کرده است.

کالکوپیریت: بلورهای درشت بی‌شکل تا شکل‌دار را شامل شده و بیشتر با پیریت‌های نسل دوم همراه است. این مرحله از کانه‌زایی، مرحله پس از کانه‌زایی اکسیدی در این کانسار است. مجموعه پیریت‌های موجود در این مرحله (پیریت نسل دوم) بیشتر به گوتیت و لپیدوکروسیت تبدیل شده‌اند (شکل ۱۱-ب).

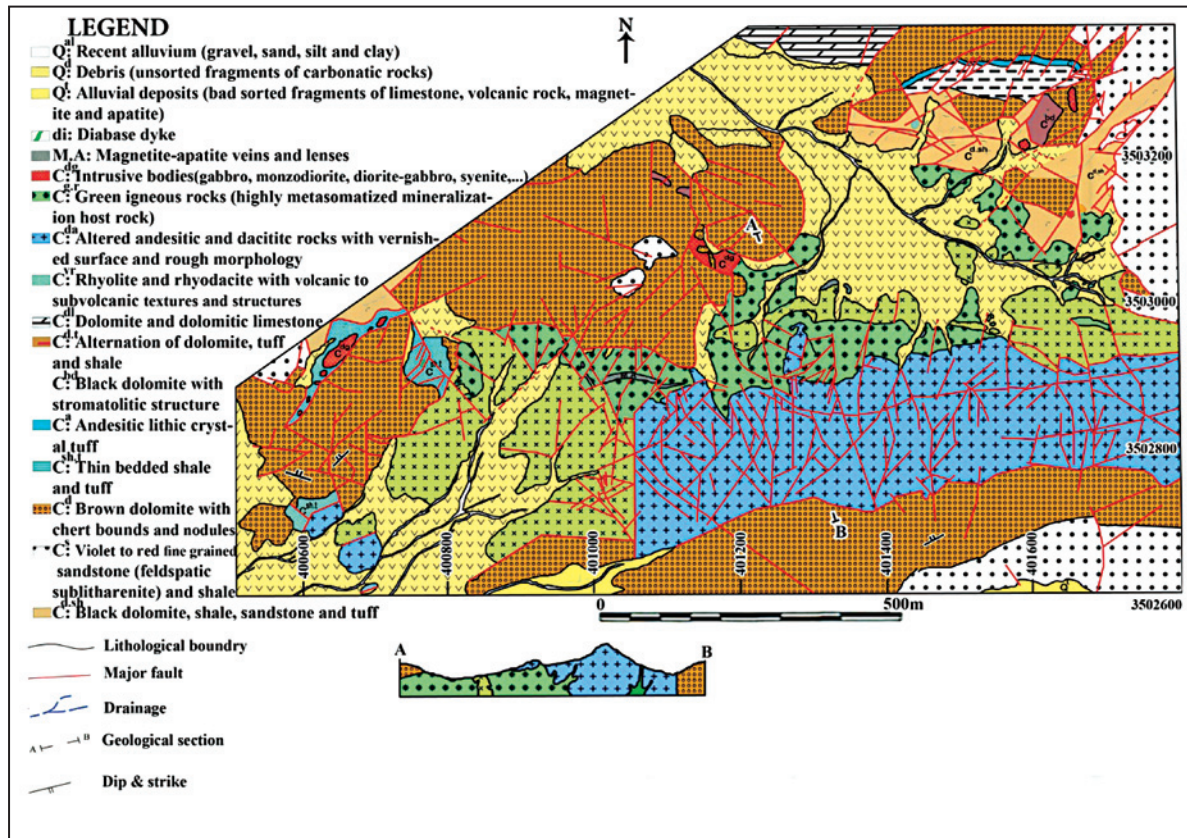
گوتیت، لپیدوکروسیت و لیمونیت: این کانی‌ها بیشتر به شکل پراکنده و رگه-رگچه‌ای در شکستگی‌ها دیده شده و بر اثر فعالیت سیال‌های گرمایی و یا فرایندهای برون‌زاد (سوپرژن) به‌وجود آمده‌اند. پیریت‌های نسل دوم و بخش‌های جزئی از پیریت‌های نسل اول و سوم تبدیل به گوتیت و لپیدوکروسیت شده‌اند. لیمونیت، اکسید آهن آب‌دار به رنگ زرد مایل به قهوه‌ای است که در قسمت‌های اکسیدان و بخش‌های سطحی کانسار بیشتر دیده می‌شود.

اکتینولیت: کانی اکتینولیت از فراوان‌ترین کانی‌های سیلیکاتی آب‌دار به‌همراه مگنتیت در این کانسار است. بافت این کانی به شکل سوزنی، دندردی و تجمع‌های شعاعی و پرمماند است.

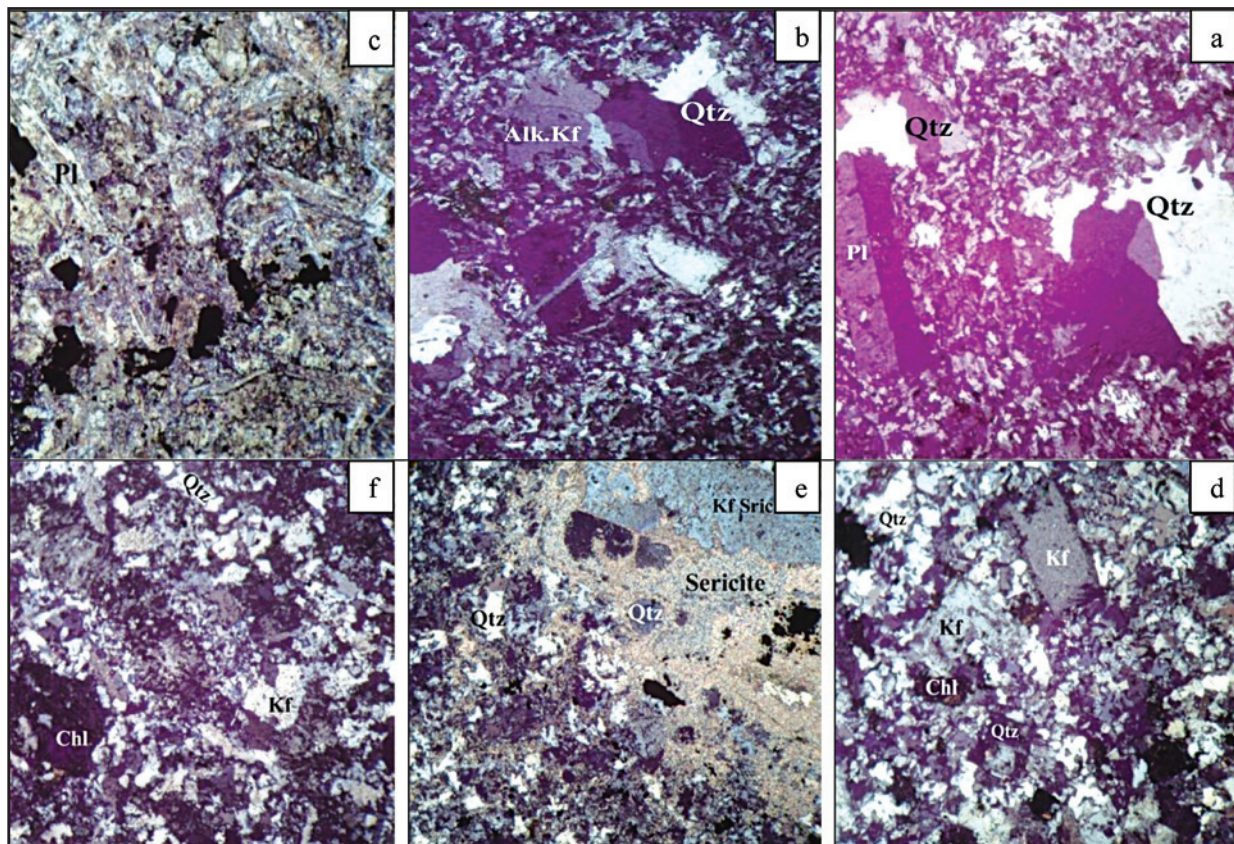
کوارتز: در کانسار گزستان، کوارتز باطله اصلی به شمار می‌رود. این کانی به شکل بلورهای ریز سوزنی‌شکل، با کانی آپاتیت همراه بوده، به گونه‌ای که آن را قطع کرده و در بعضی جاها جانشین آن شده است. خاموشی موجی و مرز دانه‌ای مضرسی در اثر تنش زمین‌ساختی و تنش در کوارتزها ایجاد می‌شود (Yardley, 1990). در محدوده معدنی گزستان، بافت حاشیه مضرسی در کانی‌های کوارتز و فلدسپار دیده می‌شود. با مقایسه مجموعه شواهد ژئوشیمیایی و کانه‌نگاری در کانسار گزستان با موارد مشابه در دنیا (e.g., Gandhi and Bell, 1996)، این کانسار را می‌توان در زمره کانسارهای اکسید آهن آپاتیت‌دار قرار داد.

۷- نتیجه‌گیری

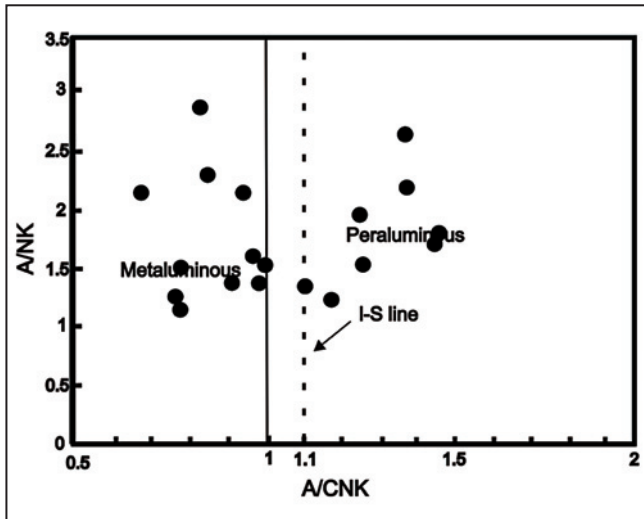
کانسار مگنتیت-آپاتیت گزستان به شکل رگه-رگچه و عدسی‌های کوچک آپاتیت همراه با مگنتیت در مجموعه آواری-کربناتی-آتشفشانی سازند ریزو با سن اینفراکامبرین و نیز توده‌های نفوذی نیمه‌ژرف (میکروگرانیت و گرانودیوریت) جایگیر شده است. این مجموعه سنگی میزبان که غالباً سبز رنگ است (علت رنگ



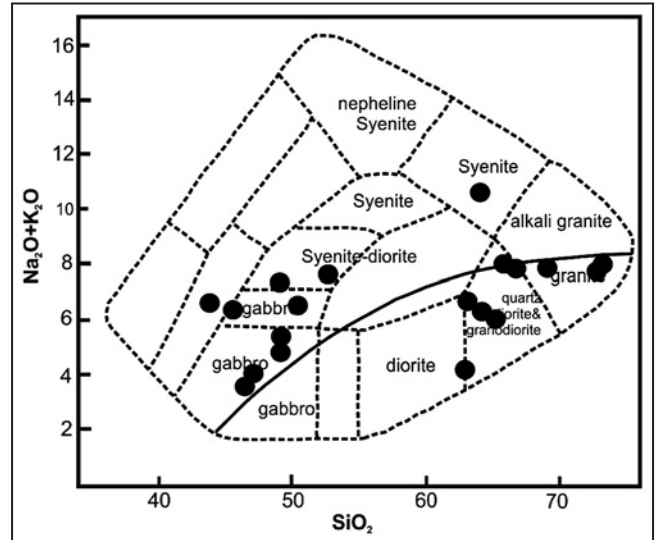
شکل ۲- نقشه زمین‌شناسی منطقه معدنی کانسار گزستان (برگرفته از دُری و جمالی، ۱۳۸۲ با تغییرات).



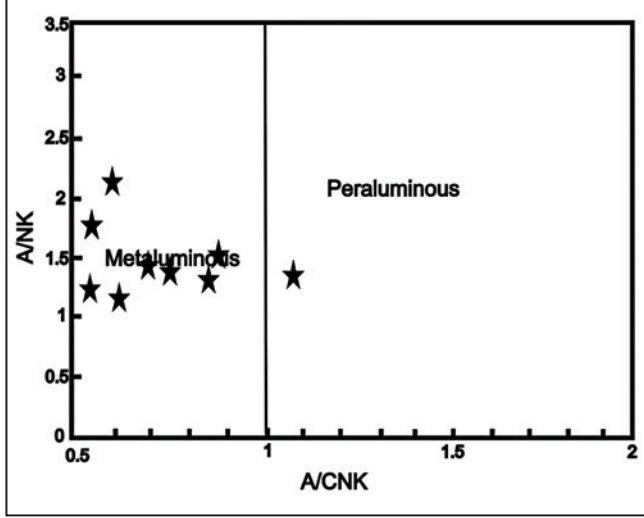
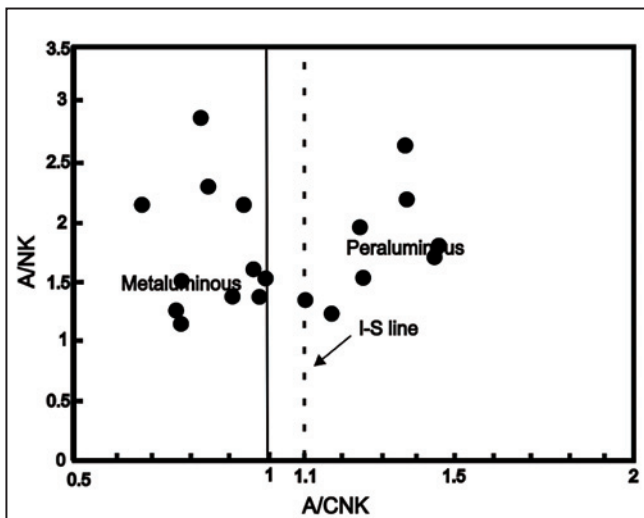
شکل ۳- واحدهای سنگی منطقه گزستان: (a) کوآرتز مونوزونیت، (b) میکروگرانیت، (c) تراکیت، (d) تراکی آندزیت، (e) توف تراکیتی، (f) توف آندزیتی.



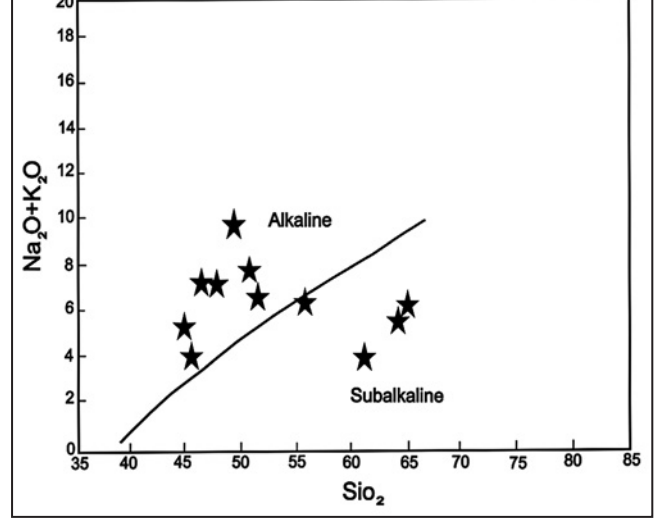
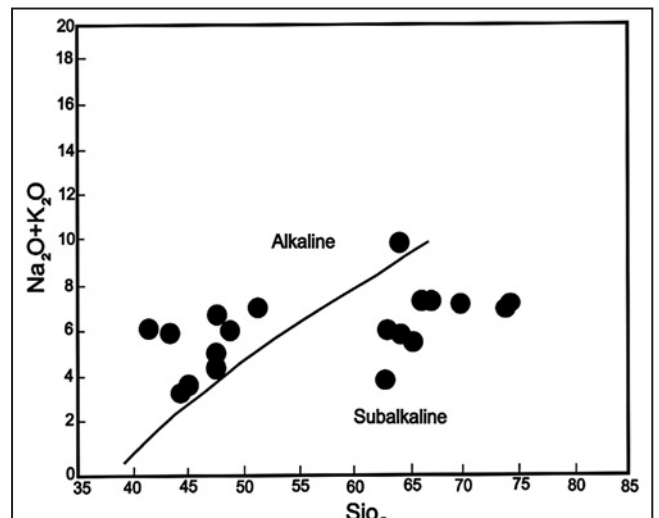
شکل ۵- نمودار ACF به منظور تفکیک گرانیت‌های نوع I از S در مورد سنگ‌های آذرین درونی منطقه گزستان (Chappell and White, 1974) (C=CaO, F=FeO+MgO, A=Al₂O₃-Na₂O-K₂O).



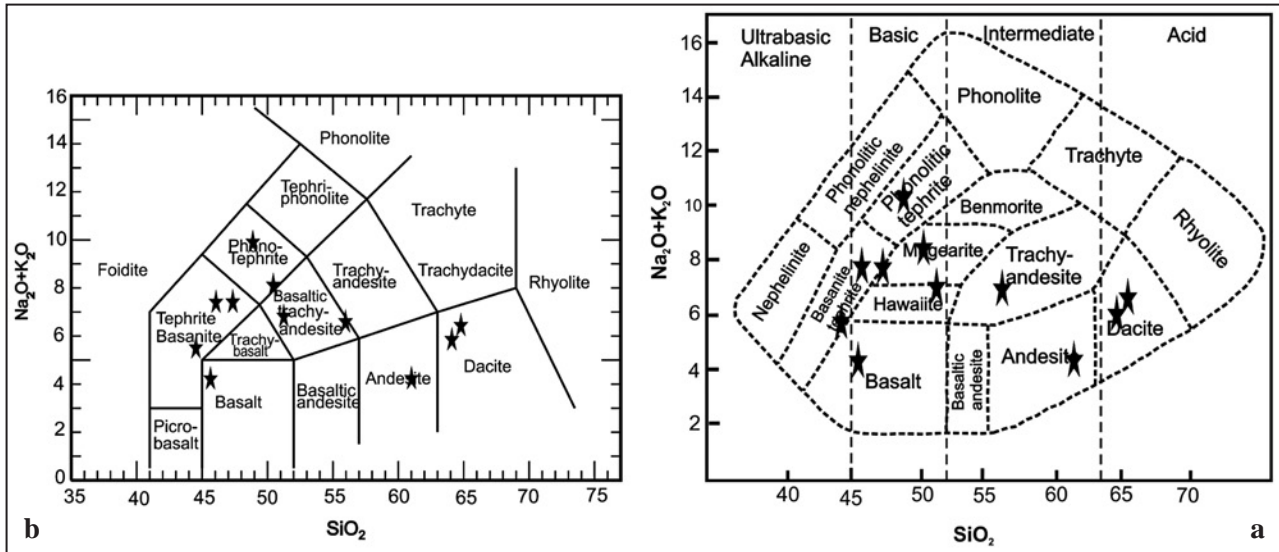
شکل ۴- موقعیت نمونه‌های مورد مطالعه در نمودار سنگ‌های آذرین درونی (Cox et al., 1979).



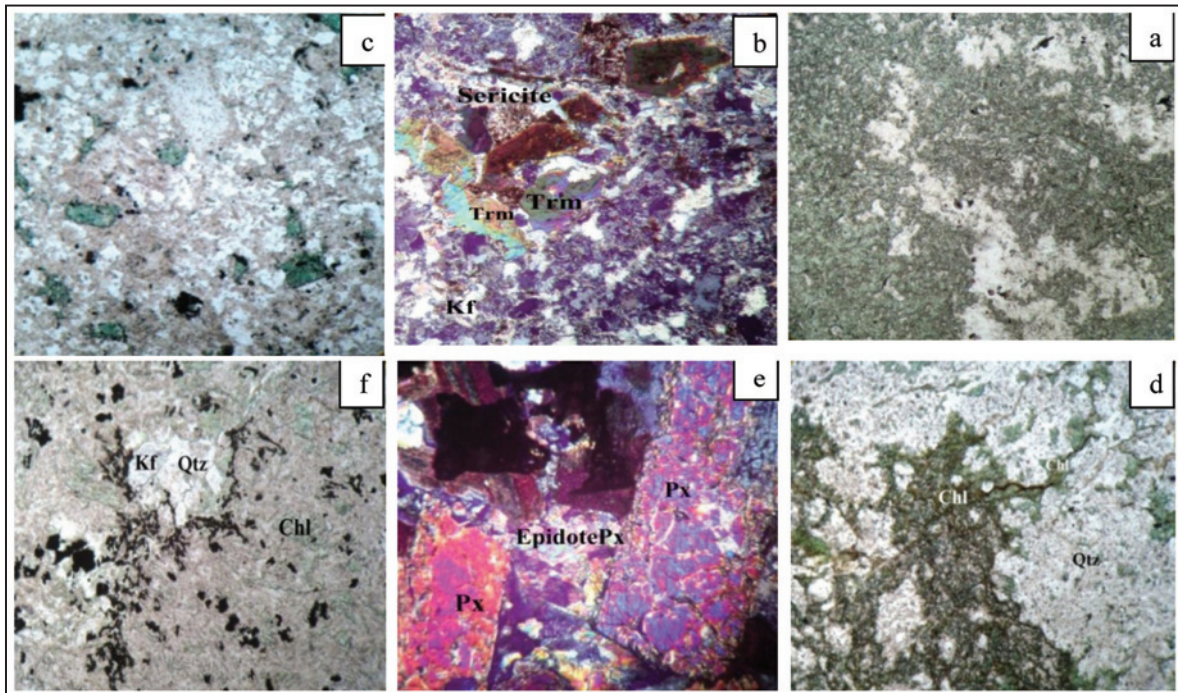
شکل ۷- نمودار تفکیک گروه‌های پرآلومین و متاآلومین در سنگ‌های نفوذی و آتشفشانی منطقه گزستان (Maniar and Piccolli, 1989).



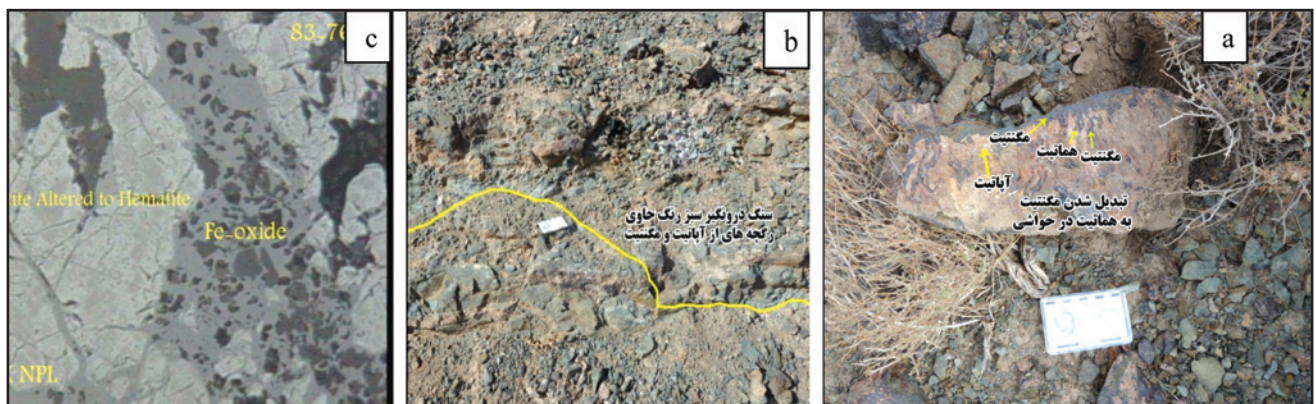
شکل ۶- نمودار تعیین سری ماگمایی برای سنگ‌های آذرین درونی و بیرونی منطقه گزستان (Irvine and Baragar, 1971).



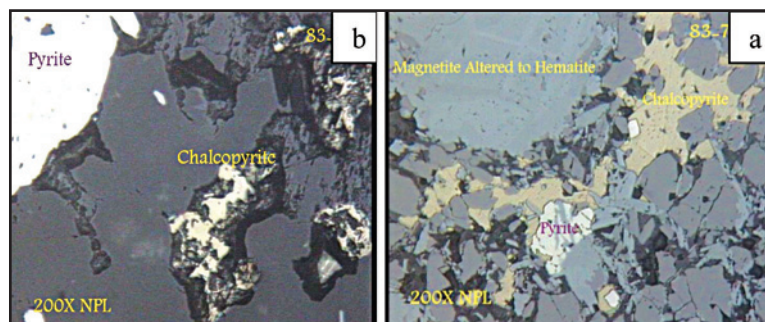
شکل ۸- نام گذاری سنگ‌های آتشفشانی منطقه براساس: (a) Cox et al. (1979) (b) Le Bas et al. (1986).



شکل ۹- تصاویر میکروسکوپی از انواع دگرسانی‌ها در محدوده معدنی گزستان: (a) آرژیلیک، (b) تورمالینی، (c) سریستی، (d) کلریتی، (e) اپیدوتی، (f) پتاسیک.



شکل ۱۰- کانه‌زایی مگنتیت-آپاتیت در کانسار گزستان: (a) با ساخت و بافت توده‌ای، (b) دانه‌های پراکنده مگنتیت و آپاتیت در داخل سنگ‌های سبز، (c) تصویر میکروسکوپی مگنتیت.



شکل ۱۱- تصاویر میکروسکوپی از برخی کانی‌های منطقه گزستان: (a) مگنتیت، هماتیت، پیریت و کالکوپیریت، (b) پیریت و کالکوپیریت.

کتابنگاری

- افضلی، س.، ۱۳۹۰- زمین‌شناسی، کانی‌شناسی، دگرسانی و مدل زایشی کانسار آهن- آپاتیت و عناصر نادر خاکی گزستان در منطقه بافق یزد، رساله دکتری، دانشگاه آزاد اسلامی، واحد علوم و تحقیقات.
- بهزادی، م.، ۱۳۸۵- کانی‌شناسی، ژئوشیمی و ژئز کانسار آهن آنومالی شمالی واقع در منطقه بافق یزد، رساله دکتری، دانشگاه شهید بهشتی.
- دُری، م. ب. و جمالی، ح.، ۱۳۸۲- گزارش اکتشافات مرحله عمومی (نیمه‌تفصیلی) در کانسار فسفات- خاک‌های نادر گزستان، سازمان زمین‌شناسی و اکتشافات معدنی کشور.
- دُری، م. ب.، سپهری‌راد، ر. و جمالی، ح.، ۱۳۸۷- گزارش اکتشافات تفصیلی در کانسار فسفات خاک‌های نادر گزستان، سازمان زمین‌شناسی و اکتشافات معدنی کشور.
- سپهری‌راد، ر.، ۱۳۷۹- زمین‌شناسی اقتصادی کانسار آهن آنومالی شمالی، چغارت، پایان‌نامه کارشناسی ارشد، دانشگاه تربیت معلم.
- کارگران‌بافقی، ف.، ۱۳۸۰- مطالعه زون‌های فسفات‌دار در کانسار آهن چغارت و ارتباط احتمالی آنها با زون‌های فسفات‌دار کانسار اسفوردی، پایان‌نامه کارشناسی ارشد، دانشگاه تربیت معلم.

References

- Chappell, B. W. & White, A. J. R., 1974- Two contrasting granite types. *Pac. Ged.*, v. 8, p. 173-174.
- Cox, K. G., Bell, J. D. & Pankhurst, R. J., 1979- The interpretation of igneous rocks, George Allen & Unwin.
- Daliran, F., 2002- 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 perspective*, v. 2, PGC Publishing, Adelaide, p. 303-320.
- Daliran, F., Stosch, H. G. & Williams, P., 2007- Multistage metasomatism and mineralization at hydrothermal Fe oxide-REE-apatite deposits and "apatites" of the Bafq District, Central-East Iran, in: Andrew, C.J. et al., eds, *Digging Deeper, Proceedings of the 9th Biennial SGA Meeting*, Dublin, Irish Assoc. Econ. Geol., p. 1501-1504.
- Daliran, F., Stosch, H. G. & Williams, P., 2010- Early Cambrian iron oxide-apatite-REE (U) deposits of the Bafq district, east-central Iran, in: Corriveau, L., Mumin, H., eds., *Exploring for iron oxide copper-gold deposits: Canada and global analogues*: Geol. Assoc. Canada, Short Course Notes 20, p.143-155.
- Evans, A. M., 1997- *An Introduction to Economic Geology and Its Environmental Impact*, Blackwell Sci Pub, 364P.
- Forster, H. & Jafarzadeh, A., 1994- The Bafq mining district in Central Iran- a highly mineralized Infracambrian volcanic field, *Economic Geology*, v. 89, p. 1697-1721.
- Gandhi, S. S. & Bell, R. T., 1996- Kiruna/Olympic Dam-type iron, copper, uranium, gold, silver; in: *Geology of Canadian mineral deposit types*, ed., O.R. Eckstrand, W.D. Sinclair, R.I. Thorpe; Geological Survey of Canada, *Geology of Canada*, no. 8, p. 513-522, also United States Geological Survey, *The Geology of North America*.
- Irvine, T. N. & Baragar, W. R. A., 1971- A guide to the chemical classification of the common volcanic rocks. *Canadian Journal of Earth Sciences*, v. 8, p. 523-548.
- Jami, M., 2006- *Geology, geochemistry and evolution of the Esfordi phosphate iron deposit, Bafq area, Central Iran*, Unpublished PhD thesis, University of New South Wales, 355 p.
- Jami, M., Dunlop, A. C. & Cohen, D. R., 2007- Fluid inclusion and stable isotope study of the Esfordi apatite-magnetite deposit, Central Iran, *Economic Geology*, v.102, p. 1111-1128.
- Kryvdik, S. & Mykhaylov, V., 2001- The potential of the rare earth mineralization of Islamic Republic of Iran, National Academy of Sciences of Ukraine.
- Le Bas, M. J., LeMaitre, R. W., Streckeisen, A. & Zanettin, B., 1986- A chemical classification of volcanic rocks based on the total alkali-silica diagram, *Journal of Petrology*, v. 27, p. 745-750.
- Maniar, P. O. & Piccolli, P. M., 1989- Tectonic discrimination of granitoids, *Geological Society of American Bulletin*, v. 101, p. 635-643.
- Soheili, M. & Mahdavi, M. A., 1991- Esfordi 1:100,000 geological sheet, Geological Survey of Iran.
- Yardley, B. W., 1990- *Atlas of metamorphic rocks and their textures*. Longman Scientific.

Petrogenesis and Mineralization at Gazestan Iron Oxide – Apatite Deposit, East of Bafq, Central Iran

S. Afzali^{1*}, N. Nezafati², M. Ghaderi³, J. Ghalamghash⁴, M. R. Ghassemi⁵ & A. Karimi Bavandpur⁶

¹ Ph.D. Student, Department of Geology, Islamic Azad University, Science and Research Branch, Tehran; Assistant Professor, Department of Geology, Islamic Azad University, Kermanshah Branch, Kermanshah, Iran

² Assistant Professor, Department of Geology, Islamic Azad University, Science and Research Branch, Tehran, Iran

³ Associate Professor, Department of Geology, Faculty of Basic Sciences, Tarbiat Modares University, Tehran, Iran

⁴ Assistant Professor, Research Institute for Earth Sciences, Geological Survey of Iran, Tehran, Iran

⁵ Associate Professor, Research Institute for Earth Sciences, Geological Survey of Iran, Tehran, Iran

⁶ M.Sc., Geological Survey of Iran, Tehran, Iran

Received: 2011 April 05

Accepted: 2011 August 06

Abstract

The Gazestan magnetite–apatite deposit is situated 78 km east of Bafq. The Gazestan deposit is located in Bafq-Poshtebadam subzone of Central Iran structural zone. The rock units in the area belong to the Rizu series and consist of carbonate rocks, shale, tuff, sandstone and volcanics. In addition to sedimentary and volcanic rocks, intrusive rocks in the form of stock and dyke outcrop as diorite gabbro, gabbro, diabase, quartz-monzonite and granite in various places. The green rocks with acidic to intermediate composition (trachyte and dacite demonstrate green color due to alteration) host iron and phosphate mineralization which in some localities, show subvolcanic facies. The alteration is more obvious in the volcanic rocks and includes chloritization, argillic, silicification, and also formation of mafic minerals such as epidote, tremolite and actinolite. The host rocks are strongly altered. Mineralization at the Gazestan deposit comprises a combination of iron oxides and apatite with various ratios accompanied by quartz and calcite, observed in different forms mainly within the trachytic-dacitic rocks and a small proportion in the rhyolites. Five forms of mineralization are distinguished in the area including massive iron ore with minor apatite, apatite-magnetite ore, irregular vein-veinlets (stockwork) in the brecciated green rocks, disseminated, and pure massive apatite veins. The host rocks in the Gazestan area plot on calc-alkaline field. Comparison of the most important characteristics of the Gazestan deposit (including tectonic setting, host rock, mineralogy, alteration, structure and texture) with those of various types of mineralization in the world suggest that the deposit is quite similar to the iron oxide - apatite deposits.

Keywords: Petrogenesis, Mineralization, Iron oxide - apatite deposit, Gazestan, Bafq.

For Persian Version see pages 77 to 84

*Corresponding author: S. Afzali; E-mail: Sajadafzali@yahoo.com