

کانی‌سازی عناصر خاکی کمیاب در بلوک پشت بادام با نگرشی بر کانسارهای اکسید آهن - آپاتیت

میر علی اصغر مختاری*^۱ و محمد هاشم امامی^۲

^۱ سازمان زمین‌شناسی و اکتشافات معدنی کشور، تهران، ایران
^۲ پژوهشکده علوم زمین، سازمان زمین‌شناسی و اکتشافات معدنی کشور، تهران، ایران

چکیده

یکی از کانسنگ‌های مهم برای کانی‌زایی عناصر خاکی کمیاب، عبارت از کانسارهای اکسید آهن- آپاتیت می‌باشد. بر این اساس و در چارچوب پروژه اکتشاف عناصر خاکی کمیاب، کانسارهای اکسید آهن- آپاتیت ایران مرکزی مورد مطالعه قرار گرفت. نتیجه این مطالعات نشانگر حضور کانی‌سازی عناصر خاکی کمیاب در کانسارهای بلوک پشت بادام نظیر کانسارهای گزستان، اسفوردی، زیرگان و لکه سیاه می‌باشد. محتوای مجموع عناصر خاکی کمیاب در کانسار اسفوردی ۱/۸۸-۱/۲ درصد، کانسار گزستان بین ۱/۵۷-۰/۱۷ درصد، کانسار زیرگان بین ۱/۲-۰/۵ درصد و کانسار لکه سیاه بین ۱/۳۶-۰/۴۵ درصد متغیر است. تمرکز عناصر خاکی کمیاب در بلورهای آپاتیت توده‌های اکسید آهن- آپاتیت اطراف معدن اسفوردی بین ۲/۵۴-۱/۹ درصد و بلورهای آپاتیت کانسار لکه سیاه ۲/۱۶-۱/۹ درصد بدست آمده است. عیار مجموع عناصر خاکی کمیاب در کنسار تیره فسفات معدن اسفوردی حدود ۱/۳ درصد می‌باشد. کانسارهای گزستان، اسفوردی و لکه سیاه و کانسار فسفات زیرگان، مهم‌ترین مناطق تمرکز عناصر خاکی کمیاب در بلوک پشت بادام می‌باشند. نظر به وسعت و گسترش توده‌های اکسید آهن- آپاتیت در بلوک پشت بادام و با توجه به فراوانی عناصر خاکی کمیاب در این کانسارها، می‌توان نتیجه گرفت که منابع درخور توجهی از عناصر مزبور، در این بخش از کشور نهفته است.

کلید واژه‌ها: ایران مرکزی، پشت بادام، عناصر خاکی کمیاب، کانسارهای اکسید آهن- آپاتیت

Email: mokhtari1031@gmail.com

*نویسنده مسئول: میر علی اصغر مختاری

۱- مقدمه

مهم‌ترین کانسارهای عناصر خاکی کمیاب شامل سنگ‌های آلکالن و فوق آلکالن، کربناتیت‌ها، پلاسرها، کانسارهای اکسید آهن- آپاتیت، کانسارهای پگماتی، کانسارهای رگه‌ای و کانسارهای فلوئورین- باستانزئیت همراه سازندهای آهن می‌باشد.

بلوک پشت بادام عبارت از یک ایالت کانی‌سازی/ تکتونیکی به سن اینفراکامبرین است که میزبان ذخایر بسیار مهم آهن ایران در حد فاصل شهر بافق در جنوب و روستای پشت بادام در شمال می‌باشد (شکل ۲). بسیاری از ذخایر آهن منطقه (نظیر چغارت، چادرملو، اسفوردی، لکه سیاه، سه چاهون، چاه گز و گزستان) متشکل از مگنتیت همراه با آپاتیت هستند.

منابع عمده‌ای از کانسارهای آهن- آپاتیت در منطقه ایران مرکزی (بلوک پشت بادام) شناسایی شده است که هر یک مورد بررسی و پژوهش محققان مختلف قرار گرفته و در مواردی به تمرکز عناصر خاکی کمیاب در آنها اشاره شده است (درویش‌زاده، ۱۳۶۲، عابدیان، ۱۳۶۲؛ فورستر و جعفرزاده، ۱۹۹۴؛ دلیران، ۱۹۹۰؛ سامانی و همکاران، ۱۳۶۹؛ سامانی، ۱۳۷۷ و ۱۳۷۸؛ مختاری و همکاران، ۱۳۸۱، مختاری و همکاران، ۱۳۸۲؛ مختاری و همکاران، ۲۰۰۸). در این نوشتار، نتایج مطالعات اکتشافی عناصر خاکی کمیاب در پهنه ساختاری ایران مرکزی و به ویژه بلوک پشت بادام توسط نگارنده مقاله، در راستای طرح‌های اکتشافی سازمان زمین‌شناسی و اکتشافات معدنی کشور ارائه شده است.

۲- روش تحقیق

بررسی‌های انجام شده در این پژوهش، دربرگیرنده دو بخش شامل مطالعات صحرایی و آزمایشگاهی می‌باشد. در طی مطالعات صحرایی، نمونه‌گیری از ذخایر اکسید آهن- آپاتیت بلوک پشت بادام برای آنالیز به عناصر کمیاب و خاکی کمیاب صورت گرفت. در مرحله مطالعات آزمایشگاهی، تعداد ۶۰ نمونه به روش ICP-MS در آزمایشگاه ALS Chemex کشور کانادا برای عناصر کمیاب و خاکی کمیاب آنالیز گردید.

۳- زمین‌شناسی

بلوک پشت بادام یک پهنه ریفتی با امتداد شمالی- جنوبی می‌باشد که بخشی از پهنه ساختاری ایران مرکزی بوده (اشتوکلین، ۱۹۶۸b) و در حاشیه خاوری پهنه ساختاری ایران مرکزی و در باختر بلوک لوت واقع شده است (شکل ۱). رخداد ریفتی مذکور، مربوط به بعد از پرکامبرین بوده و دربرگیرنده توالی سنگ‌های آتشفشانی و آتشفشانی- رسوبی غیر دگرگونه، فعالیت آتشفشانی دوگانه (ریولیتی- بازالت اسپیلیتی)، توده‌های بزرگ ساب ولکانیک با ترکیب ریولیتی، سینیت، دیابازهای تأخیری، آهک‌های دولومیتی و مقدار محدودی رسوبات تبخیری است. ذخایر آهن، سنگ‌های ماگمایی حاوی آپاتیت موسوم به آپاتیتیت (دلیران، ۱۹۹۹)، ذخایر Pb-Zn و U-Th با این پدیده ریفتی مرتبط هستند (دلیران، ۱۹۹۰؛ سامانی، ۱۹۹۳).

ویژگی‌های کانی‌سازی آپاتیت در ایران مرکزی، وفور عناصر خاکی کمیاب در آن است. هم کانسنگ آپاتیتی و هم بلورهای آپاتیت از عناصر خاکی کمیاب غنی شده هستند.

کانی‌های فرعی دیگری نظیر موناژیت، گزنوئیم، باستانزیت، اورتیت، توریت و بریتولیت وجود دارند که دربرگیرنده عناصر خاکی کمیاب هستند (تراب، ۱۳۸۹؛ جمی، ۲۰۰۵). این کانی‌ها معمولاً ماهیت ثانویه داشته و به صورت ادخال‌های ریز در داخل آپاتیت یا کربنات یا هماتیت-کربنات (موناژیت) و رگچه‌های کوارتزی (اورتیت) تشکیل شده‌اند (Kryvdik and Mykhaylov, 2001; Jami, 2005).

۵- کانسار آهن-آپاتیت اسفوردی

کانسار آهن-آپاتیت اسفوردی توسط یک مجموعه آتشفشانی-رسوبی به سن کامبرین (جمی، ۲۰۰۵) میزبانی می‌شود. این منطقه از نظر لیتولوژیکی، از ریولیت و توف‌های ریولیتی، دولومیت، ماسه سنگ، سنگ‌های آذرآواری دگرسان شده، دیاباز، کانسنگ آهن و کانسنگ فسفات تشکیل شده است (جمی، ۲۰۰۵؛ شکل ۴ و ۵). در مطالعات انجام شده قبلی بر روی این کانسار، وجود مقادیر قابل توجهی از عناصر خاکی کمیاب نشان داده شده است (درویش‌زاده، ۱۳۶۲؛ عابدیان، ۱۳۶۲؛ سامانی و همکاران، ۱۳۶۹؛ سامانی، ۱۳۷۷ و ۱۳۷۸؛ دلیران، ۱۹۹۰؛ Kryvdik and Mykhaylov, ۲۰۰۱). آنکلوژیون‌های اسفن، موناژیت، باستانزیت، گزنوئیم، بریتولیت، اورتیت و آلانیت نیز در بلورهای آپاتیت به وفور دیده می‌شوند، به طوری که گاه تا ۲٪ بلور را به خود اختصاص داده‌اند (Kryvdik and Mykhaylov, ۲۰۰۱؛ جمی، ۲۰۰۵؛ تراب، ۱۳۸۹). فراوانی عناصر خاکی کمیاب با مقدار ادخال‌ها ارتباط مستقیم داشته و عموماً با افزایش آن‌ها، محتوای عناصر خاکی کمیاب نیز افزایش می‌یابد (Kryvdik and Mykhaylov, ۲۰۰۱؛ جمی، ۲۰۰۵؛ تراب و همکاران، ۲۰۰۷؛ تراب، ۱۳۸۹). نتایج بدست آمده از مطالعات حاضر، عیارهای بالای عناصر خاکی کمیاب را در این کانسار نشان داده که بین ۱/۹-۱/۲ درصد متغیر است (شکل ۶). در حاشیه باختری معدن فسفات اسفوردی، یکسری توده‌های اکسید آهن-آپاتیتی کوچک رخنمون دارند که در نمونه‌های گرفته شده از آن‌ها، عیارهای ۱/۳-۰/۱۱ درصد بدست آمده است (شکل ۷). لازم به ذکر است که عیارهای پایین، مربوط به نمونه‌های مگنتیتی حاوی مقادیر بسیار جزئی آپاتیت می‌باشد.

در شمال معدن فسفات اسفوردی نیز، یک سری توده‌های اکسید آهن-آپاتیتی کوچک رخنمون دارند. نمونه‌های برداشته شده از بلورهای آپاتیت توده‌های یاد شده، حاکی از عیار ۲/۵-۱/۹ درصد برای عناصر خاکی کمیاب می‌باشد (شکل ۸). در نمونه‌های مربوط به توده‌های اکسید آهن-آپاتیتی، عیار عناصر خاکی کمیاب بین ۰/۸-۰/۵ درصد متغیر می‌باشد (شکل ۹). نمونه برداشته از یک رگه سیلیسی حاوی کانی‌سازی سولفیدی (پیریت) و اولژیست (نمونه N.Sph.15)، عیار بالای عناصر خاکی کمیاب (۱/۳۶ درصد) را نشان داده است (شکل ۹).

واحدهای سنگی دربرگیرنده کانی‌سازی‌های اکسید آهن-آپاتیت بلوک پشت بادام، سنگ‌های آتشفشانی-رسوبی است. سنگ‌های آتشفشانی، اساساً ریولیتی-ریوداسیتی بوده و جنس واحدهای رسوبی همزمان نیز بیشتر دولومیتی است. در برخی نقاط، واحدهای آتشفشانی-رسوبی توسط توده‌های نفوذی عمدتاً با ترکیب گرانیتی و گاه ترکیب گابرو-دیوریت به سن کامبرین زیرین قطع شده است (تراب، ۱۳۸۹). در اغلب کانسارهای اکسید آهن-آپاتیت بلوک پشت بادام، دگرسانی شدید سنگ دیواره اتفاق افتاده است. شدت دگرسانی در برخی نقاط به حدی است که ترکیب سنگ‌شناسی اولیه کاملاً محو شده است. به گونه‌ای که این سنگ‌های محلی را متاسوماتیت نام‌گذاری کرده‌اند (سامانی، ۱۹۹۳).

بطور کلی، ترکیب کانی‌شناسی توده‌های اکسید آهن-آپاتیتی ایران مرکزی، از مگنتیت (± هماتیت ± مارتیت) تا مگنتیت-آپاتیت و آپاتیت متغیر است. این کانسنگ‌ها به اشکال رگه‌ای، دایک و استوک مانند در داخل سنگ‌های میزبان مختلف از قبیل ریولیت، دولومیت، دیاباز و سنگ‌های سبز واقع شده‌اند. سنگ‌های سبز احتمالاً حاصل دگرسانی سنگ‌هایی نظیر شونکینیت، میکروسینیت، سینیت پورفیری، پیروکسنیت یا سنگ‌های غنی از فلدسپات آلکالین باشند.

در بسیاری از ذخایر اکسید آهن-آپاتیت بلوک پشت بادام (مانند گزستان، اسفوردی، زریگان، لکه‌سیاه و شمال اسفوردی)، آپاتیت معمولاً به صورت بلورهای شکل‌دار و با بافت دانه درشت تا پگماتیوئیدی در زمینه‌ای از مگنتیت و یا سنگ‌های سبز حضور دارد (شکل ۳). همچنین، در برخی از ذخایر (مانند اسفوردی)، تجمع آپاتیت به صورت بلورهای بسیار ریز، یک پهنه فسفات را به وجود آورد است.

دو نسل آپاتیت در سنگ‌های آپاتیتی وجود دارد: نسل اول شامل بلورهای پورفیری درشت بوده و نسل دوم شامل دانه‌های ریز زمینه می‌باشد. معمولاً بلورهای درشت نسل اول حاوی آنکلوژیون‌هایی از موناژیت و آنکلوژیون‌های سوزنی کوچک از نوع کانی شفاف ناشناخته می‌باشند که در جهت طول بلورهای آپاتیت قرار گرفته‌اند. این آنکلوژیون‌های سوزنی، مشابه با موناژیت، حاوی مقادیر بالایی از Ce و La می‌باشند (Kryvdik and Mykhaylov, 2001).

آپاتیت‌ها عمدتاً از نوع فلئور-آپاتیت (F = 1.95-3.5%) بوده و به مقادیر کم از نوع کلر-آپاتیت هستند. کانسنگ‌های مگنتیت معمولاً متحمل دگرسانی (مارتیتی) شده‌اند.

برخی کانی‌های سیلیکاته موجود در این کانسنگ‌ها عبارتند از: دیوپسید اژرین‌دار که دارای رابطه واکنشی با آپاتیت می‌باشد (کانسار زریگان)، آمفیبول (زریگان و لکه‌سیاه)، پیروکسن به صورت بلورهای صفحه‌ای و یا آگرگات‌های بادبزنی (گزستان و اسفوردی)، تالک (چغارت) و فلوگوپیت (لکه‌سیاه).

۴- کانی‌سازی عناصر خاکی کمیاب

کانی‌سازی عناصر خاکی کمیاب در بلوک پشت بادام، در ارتباط با توده‌های اکسید آهن-آپاتیت می‌باشد. بر اساس مطالعات انجام شده قبلی (درویش‌زاده، ۱۳۶۲؛ عابدیان، ۱۳۶۲؛ سامانی و همکاران، ۱۳۶۹؛ سامانی، ۱۳۷۷ و ۱۳۷۸؛ دلیران، ۱۹۹۰؛ Kryvdik and Mykhaylov, ۲۰۰۱؛ جمی، ۲۰۰۵)، یکی از

۵- کانسار آهن - آپاتیت گزستان

که نتیجه آنالیز آن‌ها، عیار ۲/۱۶-۱/۹۶ درصد را برای عناصر خاکی کمیاب نشان داده‌اند (شکل ۱۸). در نمونه‌های برداشته شده از کانسنگ‌های آهن-آپاتیت کانسار لکه سیاه نیز عیارهای ۱/۳۶-۰/۴۵ درصد به دست آمده است (شکل ۱۹).

۸- دیگر توده‌های آهن - آپاتیت بلوک پشت بادام

کانسارهای آهن-آپاتیت شکراب، چاه‌گز، سه‌چاهون، چشمه‌فیروزی، میشدوان و شمال شرق چاه‌گز نیز در راستای پروژه اکتشاف عناصر خاکی کمیاب مورد بررسی قرار گرفت. این کانسارها نیز از نظر زمین‌شناختی و واحدهای لیتولوژیکی، مشابه با کانسارهای قبلی می‌باشد. کانی‌سازی در آن‌ها عمدتاً از نوع آهن است که در برخی مناطق، حاوی رگه‌ها و رگچه‌های آپاتیتی و نیز بلورهای آپاتیت به صورت پراکنده در متن کانسنگ آهن است. نتایج آنالیز نمونه‌های برداشته شده از این کانسارها حاکی از این است که فراوانی مجموع عناصر خاکی کمیاب در کانسار چشمه‌فیروزی بین ۰/۲۸-۰/۱۳ درصد (شکل ۲۰)، در کانسار چاه‌گز بین ۰/۱۵-۰/۰۹ درصد (شکل ۲۰)، در کانسار میشدوان، ۰/۲۴ درصد در کانسار سه‌چاهون، ۰/۱۳ درصد در کانسار شکراب و ۰/۱۴-۰/۰۸ درصد در کانسار شمال شرق چاه‌گز بدست آمده است (جدول ۱).

۹- کنسانتره فسفات، کنسانتره آهن و مخلوط باطله و آهن معدن

اسفوردی

همچنان که در مطالب قبلی گفته شد، نمونه‌های برداشته شده از کانسنگ فسفات و کانسنگ آهن-آپاتیت در کانسار اسفوردی، حاوی عیارهای بالای عناصر کمیاب خاکی می‌باشند (بند ۱). بر این اساس، تصمیم گرفته شد تا محتوای عناصر کمیاب خاکی در کنسانتره فسفات اسفوردی، کنسانتره آهن و باطله معدن نیز مورد بررسی قرار گیرد که به نتایج بسیار جالب توجهی منجر گردید. از کنسانتره فسفات معدن اسفوردی، تعداد ۳ نمونه انتخاب گردید که نتایج آنالیز شیمیایی آن‌ها حاکی از تمرکز ۱/۳ درصدی عناصر خاکی کمیاب در هر سه نمونه می‌باشد (شکل ۲۱). از مخلوط باطله و آهن نیز دو نمونه برداشته شد که نتایج آزمایشگاهی، نشانگر عیار ۰/۳۳ درصدی عناصر کمیاب خاکی در هر دو نمونه می‌باشد (شکل ۲۱). تعداد دو نمونه دیگر از کنسانتره آهن انتخاب شد که نتایج آنالیز این دو نمونه، تمرکز ۰/۱۹-۰/۱۸ درصدی عناصر کمیاب خاکی را نشان داده است (شکل ۲۲).

با جمع کردن عیار عناصر خاکی کمیاب بدست آمده در کنسانتره فسفات، مخلوط باطله و آهن و کنسانتره آهن، عیار حدود ۱/۸ درصد به دست می‌آید که معادل محتوای عناصر خاکی کمیاب در کانسنگ فسفات اسفوردی است که در نمونه‌های برداشته شده نیز تأیید شده است (بند ۱).

۱۰- نتیجه‌گیری

ذخایر اکسید آهن-آپاتیت بلوک پشت بادام، حاوی کانی‌زایی عناصر خاکی کمیاب هستند. در این میان، کانسارهای اسفوردی، زیرگان، گزستان و لکه سیاه، مهم‌ترین مناطق تمرکز این عناصر بوده و برای عملیات اکتشافی آینده پیشنهاد می‌گردد.

این منطقه متشکل از سنگ‌های سبز بازیک پروتروزوئیک بالایی- کامبرین می‌باشد که توسط دولومیت، شیل و ماسه‌سنگ همراه با میان‌لایه‌هایی از گدازه‌ها و توف‌های اسیدی و لایه‌های چرت با همان سن در بر گرفته شده‌اند (شکل ۱۰). ماده معدنی در این کانسار، عمدتاً آپاتیت بوده و کانسنگ آهن حجم قابل توجهی ندارد (در مقایسه با بقیه کانسارهای اکسید آهن-آپاتیت ایران مرکزی) و به شکل عدسی‌های کوچک و رگه‌هایی در تمام بخش آپاتیت‌دار قابل تعقیب است. آپاتیت به اشکال مختلف در این کانسار دیده می‌شود: ۱- تمرکز بلورهای درشت آپاتیت در زمینه مگنتیت (شکل ۱۱). ۲- رگه‌های ضخیم آپاتیت همراه با آغشتگی مگنتیت. ۳- رگچه‌ها و بلورهای ریز آپاتیت در داخل سنگ سبز. کانی‌سازی در این کانسار چندین مرحله‌ای بوده که اولین مرحله آن کانی‌زایی مگنتیت-آپاتیت و آخرین مرحله آن تشکیل کانسار اصلی آپاتیت می‌باشد (Kryvdik and Mykhaylov, 2001). مطالعات قبلی انجام شده بر روی این کانسار، حضور عناصر خاکی کمیاب با عیار ۱/۵ درصد را نشان داده است (Kryvdik and Mykhaylov, 2001). نتایج آنالیز نمونه‌های برداشته شده در طی مطالعات حاضر، حاکی از تمرکز عناصر خاکی کمیاب با عیار ۰/۱۷-۱/۵۷ درصد می‌باشد (شکل ۱۲). در این کانسار نیز، عیار عناصر خاکی کمیاب با افزایش محتوای فسفات، افزایش پیدا می‌کند.

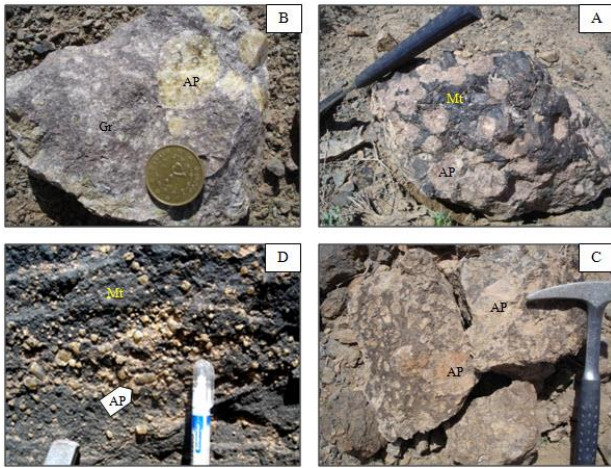
۶- کانسار فسفات زیرگان

واحدهای لیتولوژیکی این منطقه شامل ریولیت، کوارتزپورفیر، سینیت، پلاژیوفیر، آلپتوفیر و سنگ‌های دگرسان شده می‌باشد که توسط دایک‌های دیابازی قطع شده‌اند (شکل ۱۳). سنگ‌های دگرسانی شامل مجموعه‌ای از دیوپسید، آپاتیت، ترمولیت-اکتینولیت و به مقادیر کمتر کلسیت و کوارتز می‌باشد. این کانسار دربرگیرنده تعدادی رگه آپاتیتی (به ضخامت حداکثر ۵۰ سانتی متر) با امتداد شمال‌خاور-جنوب باختر می‌باشد که دارای بافت دانه درشت تا پگماتوئیدی بوده و بلورهای درشت آپاتیت به رنگ‌های متنوع صورتی، خاکستری، سفید متمایل به سبز و گاهی شفاف دیده می‌شوند (شکل ۱۴).

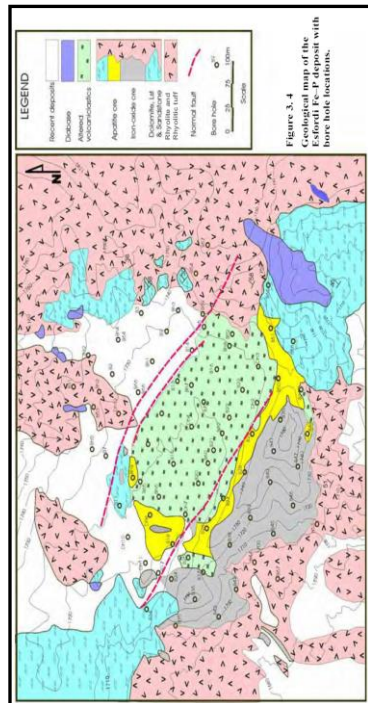
مطالعات انجام شده قبلی (عابدیان و همکاران، ۱۳۶۲؛ Kryvdik and Mykhaylov, ۲۰۰۱)، وجود عیارهای بالای عناصر خاکی کمیاب را در این کانسار تأیید کرده است. نمونه‌های برداشته شده از این کانسار در طی مطالعات حاضر، تمرکزهای بالای این عناصر (۱/۲-۰/۵ درصد) را نشان داده‌اند (شکل ۱۵).

۷- کانسار آهن - آپاتیت لکه سیاه

واحدهای لیتولوژیکی در این کانسار شامل کوارتزپورفیر، ریولیت و توف‌های ریولیتی می‌باشد که توسط دایک‌های بازیک متعددی قطع شده‌اند (شکل ۱۶). توده‌های کانسنگ آهن از نوع هماتیت و مگنتیت بوده و توسط رگه‌ها و بلورهای پراکنده آپاتیت در سراسر کانسنگ همراهی می‌شوند (شکل ۱۷). بر اثر دگرسانی واحدهای یاد شده، سنگ‌های سبز (ترمولیت-اکتینولیت-آپاتیت) نیز در بخش‌هایی تشکیل شده‌اند. از بلورهای آپاتیت موجود در بخش‌های مختلف کانسار آهن-آپاتیت لکه سیاه، تعداد ۳ نمونه انتخاب شد



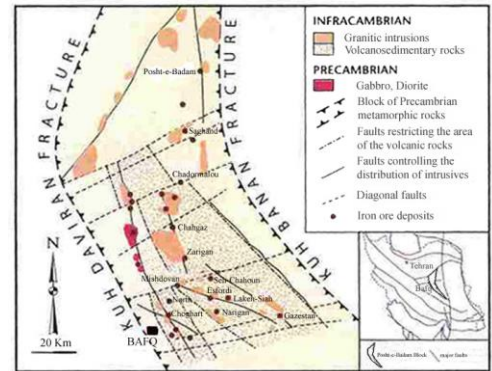
شکل ۳- A- بلورهای شکل‌دار آپاتیت در زمینه مگنتیت در کانسار گزستان. B- بلورهای شکل‌دار آپاتیت در متن سنگ سبز در کانسار اسفوردی. C- بلورهای درشت و شکل‌دار آپاتیت در کانسار زیرگان. D- بلورهای شکل‌دار آپاتیت در متن مگنتیت در کانسار لکه سیاه. (AP: بلورهای آپاتیت، Mt: مگنتیت، Gr: سنگ سبز).



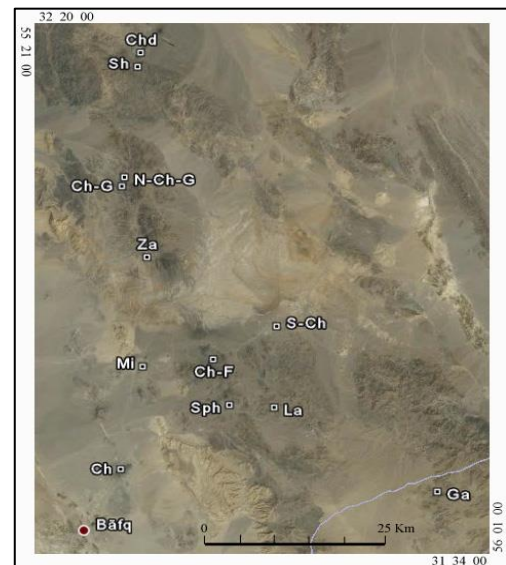
شکل ۴- نقشه زمین‌شناسی کانسار آهن-آپاتیت اسفوردی (بر گرفته شده از جمی، ۲۰۰۵).

با توجه به تمرکز بالای عناصر خاکی کمیاب در کنسانتره معدن فسفات اسفوردی و با در نظر گرفتن قیمت بالای عناصر یاد شده، به نظر می‌رسد که حداقل می‌بایستی برای فرآوری این عناصر در این کنسانتره، همت جدی به کار بسته شود.

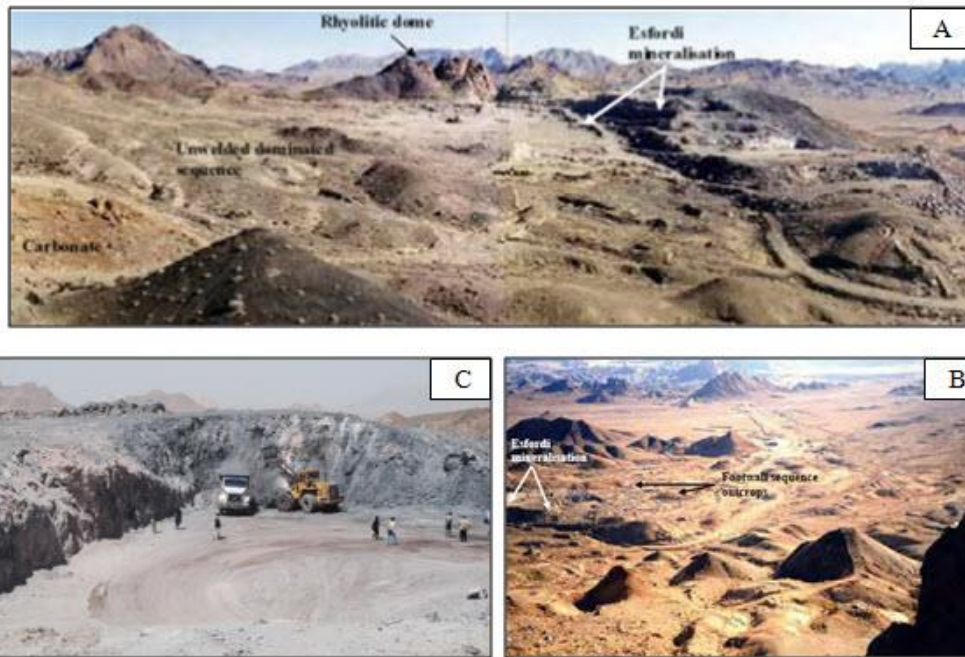
به طور کلی، منطقه فلززایی بلوک پشت بادام، از لحاظ عناصر خاکی کمیاب قابلیت ارزشمندی دارد که به عنوان سرمایه معدنی باید مورد توجه قرار گیرد. این عناصر در فن‌آوری‌های نوین از ارزش فنی و اقتصادی بالایی برخوردارند که عدم توجه به آنها، نادیده گرفتن ثروت ملی خواهد بود.



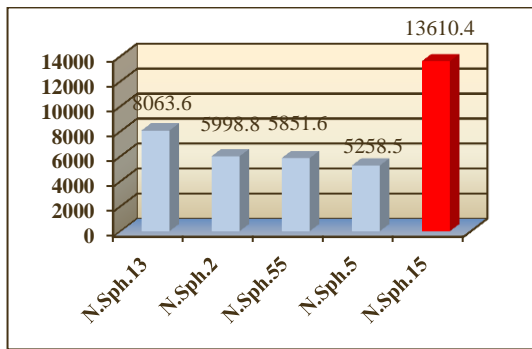
شکل ۱- بلوک کانی‌سازی پشت بادام که توسط گسل‌های کوهبنان (خاور) و دیران (باختر) محدود شده است. موقعیت ذخایر آهن، اکسید آهن-آپاتیت و آپاتیت مهم بر روی آن مشخص شده است (اقتباس از NISCO، ۱۹۸۰).



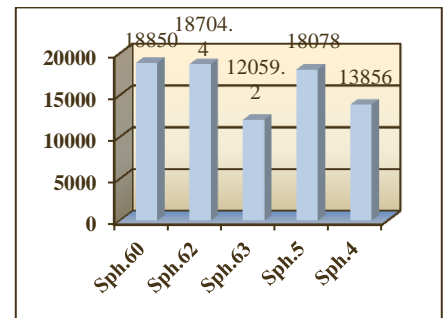
شکل ۲- موقعیت ذخایر آهن، اکسید آهن-آپاتیت و آپاتیت بررسی شده در پژوهش حاضر بر روی تصویر ماهواره‌ای (Ch: چغارت، Sph: اسفوردی، La: لکه سیاه، Gzستان، Mi: میشدوان، Ch-F: چشمه فیروزی، S-Ch: سه چاهون، Za: زیرگان، Ch- G: چاه گز، N-Ch-G: شمال چاه گز، Sh: شکراب و Chd: چادرملو).



شکل ۵- A- دورنمایی از کانسار آهن- آپاتیت اسفوردی (دید به جنوب خاور). B- دورنمایی از کانسار آهن- آپاتیت اسفوردی (دید به سمت جنوب). C- نمایی از سینه کار استخراجی فسفات در کانسار آهن- آپاتیت اسفوردی (دید به سمت جنوب). تصاویر A و B از جمعی (۲۰۰۵) اقتباس شده است.



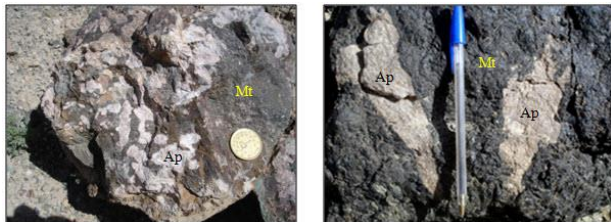
شکل ۹- نمودار فراوانی عناصر خاکی کمیاب در بلورهای آپاتیت توده‌های اکسید آهن- آپاتیت شمال معدن اسفوردی (عیار به ppm).



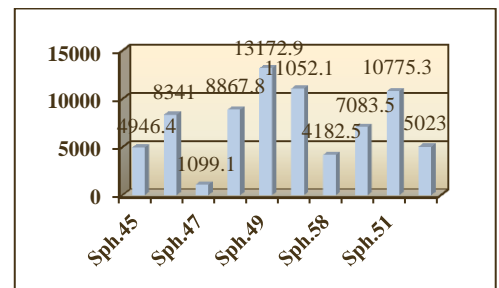
شکل ۶- نمودار فراوانی عناصر خاکی کمیاب در نمونه‌های معدن اسفوردی (عیار به ppm).



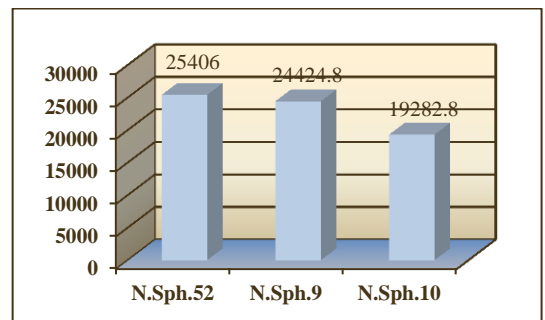
شکل ۱۰- دورنمایی از کانسار آهن- آپاتیت گزستان (دید به جنوب باختر).



شکل ۱۱- دو نمای نزدیک از بلورهای درشت و شکل‌دار آپاتیت در زمینه مگنتیت (Ap: آپاتیت، Mt: مگنتیت).

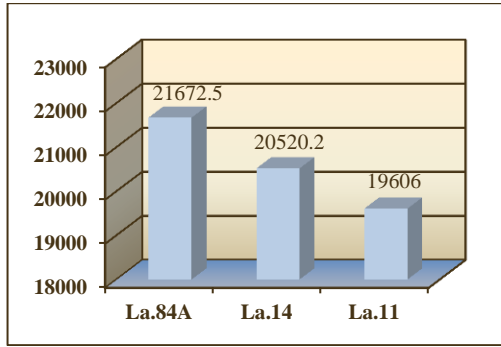


شکل ۷- نمودار فراوانی عناصر خاکی کمیاب در توده‌های اکسید آهن- آپاتیت باختر معدن اسفوردی (عیار به ppm).

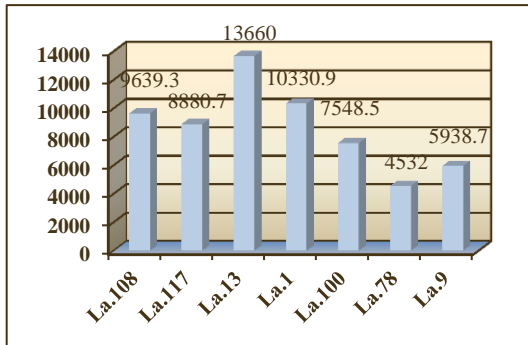


شکل ۸- نمودار فراوانی عناصر خاکی کمیاب در بلورهای آپاتیت توده‌های اکسید آهن- آپاتیت شمال معدن اسفوردی (عیار به ppm).

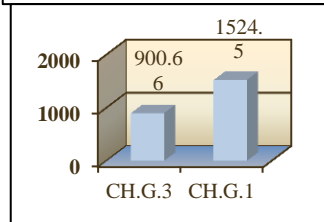
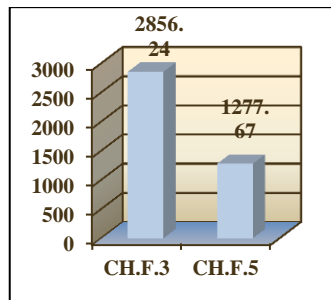
شکل ۱۷- نمایی نزدیک از بلورهای درشت و شکل‌دار آپاتیت در زمینه مگنتیت و سنگ سبز (Ap: آپاتیت، Mt: مگنتیت، Gr: سنگ سبز).



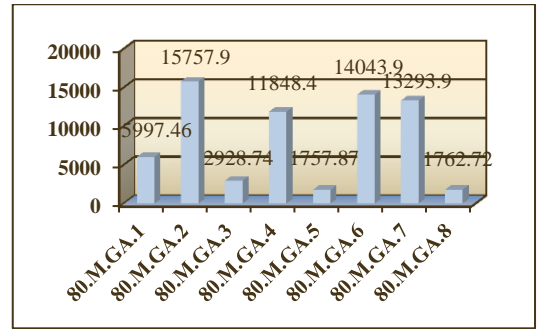
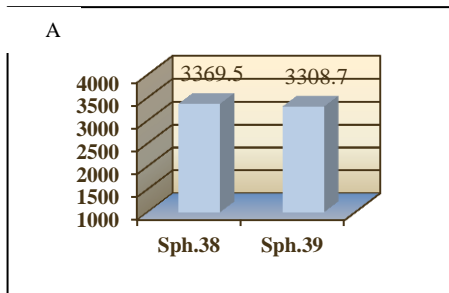
شکل ۱۸- نمودار فراوانی عناصر خاکی کمیاب در بلورهای آپاتیت کانسار آهن- آپاتیت لکه سیاه (عیار به ppm).



شکل ۱۹- نمودار فراوانی عناصر خاکی کمیاب در کانسنگ آهن- آپاتیت کانسار لکه سیاه (عیار به ppm).



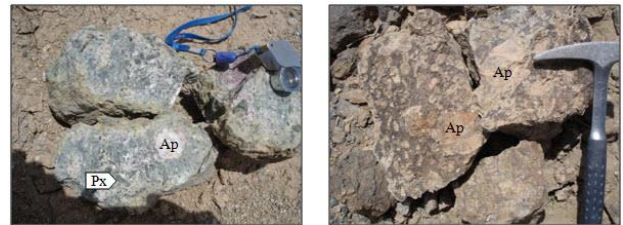
شکل ۲۰- نمودار فراوانی عناصر خاکی کمیاب در کانسار اکسید آهن- آپاتیت چاه گز و چشمه فیروزی (عیار به ppm).



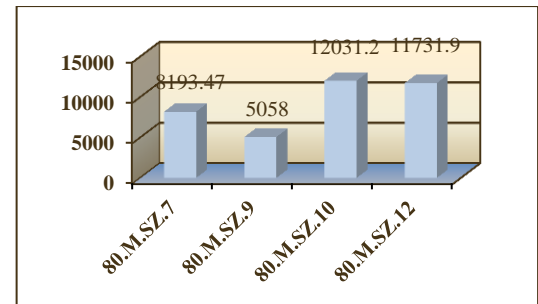
شکل ۱۲- نمودار فراوانی عناصر خاکی کمیاب در نمونه‌های کانسار اکسید آهن- آپاتیت گزستان (عیار به ppm).



شکل ۱۳- دورنمایی از کانسار فسفات زیرگان در دامنه گنبد ریولیتی (دید به شمال).



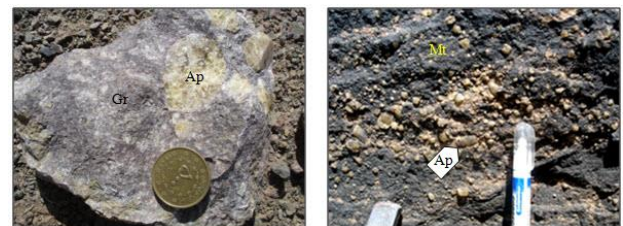
شکل ۱۴- دو نمای نزدیک از بلورهای درشت و شکل‌دار آپاتیت به رنگ‌های مختلف در زمینه سنگ سبز (Ap: آپاتیت، Px: پیروکسن).

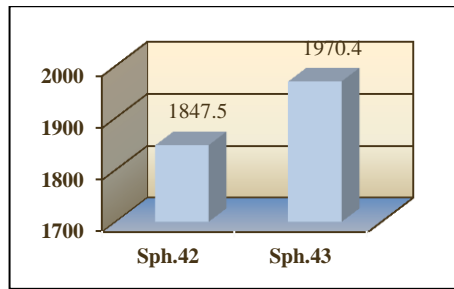


شکل ۱۵- نمودار فراوانی عناصر خاکی کمیاب در نمونه‌های کانسار فسفات زیرگان (عیار به ppm).

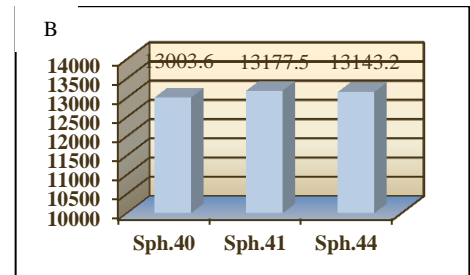


شکل ۱۶- نمایی از بخشی از کانسار آهن لکه سیاه (دید به جنوب باختر).





شکل ۲۲- نمودار فراوانی عناصر خاکی کمیاب در کنسانتره آهن معدن اسفوردی (عیار به ppm).



شکل ۲۱- نمودار فراوانی عناصر خاکی کمیاب در A- کنسانتره فسفات و B- مخلوط باطله و آهن در معدن اسفوردی (عیار به ppm).

کتابنگاری

- ۱- تراب، ف.م.، ۱۳۸۹- بررسی‌های ژئوشیمی و رادیوایزوتوپی برای تعیین خاستگاه آپاتیت در ذخایر آهن- آپاتیت منطقه معدنی بافق؛ مجله بلورشناسی و کانی‌شناسی ایران، سال ۱۸، شماره ۳، صفحات ۴۱۸-۴۰۹.
- ۲- درویش‌زاده، ع.، ۱۳۶۲- بررسی فسفات بافق (اسفوردی)؛ مجله علوم دانشکده علوم دانشگاه تهران، شماره ۱۳، جلد ۱، صفحات ۲۴-۲.
- ۳- سامانی، ب. و باباخانی، ع.، ۱۳۶۹- تکوین زمین‌شناسی ناحیه بافق- ساغند و مدل متالوژنی کانسارهای آهن - آپاتیت و مواد پرتوزا؛ خلاصه مقالات نهمین گردهمایی علوم زمین، صفحات ۲۴-۲۵.
- ۴- سامانی، ب.، ۱۳۷۷- متالوژنی پرکامبرین در ایران (بخش اول)؛ نشریه علمی سازمان انرژی اتمی ایران، شماری ۱۷، صفحات ۱۶-۱.
- ۵- سامانی، ب.، ۱۳۷۸- فلزهای نادر خاکی در پرکامبرین ایران مرکزی (بخش دوم)؛ نشریه علمی سازمان انرژی اتمی ایران، شماره ۲۰، صفحات ۲۱-۱۵.
- ۶- عابدیان، ن.، ۱۳۶۲- اکتشاف مقدماتی رخنمون‌های آپاتیت در منطقه بافق- پشت بادام؛ سازمان زمین‌شناسی و اکتشافات معدنی کشور، ۴۲ صفحه.
- ۷- عابدیان، ن.، ۱۳۶۲- اکتشاف تفصیلی کانسار آپاتیت اسفوردی؛ سازمان زمین‌شناسی و اکتشافات معدنی کشور، ۶۸ صفحه.
- ۸- مختاری، م.ع.ا. و رحمانی، ش.، ۱۳۸۱- گزارش اکتشاف عناصر کمیاب فلزی و کانی‌های قیمتی؛ سازمان زمین‌شناسی و اکتشافات معدنی کشور، ۳۶۵ صفحه.
- ۹- مختاری، م.ع.ا.، امامی، م.ه. و رحمانی، ش.، ۱۳۸۲- کانی‌زایی عناصر نادر خاکی در منطقه بافق- پشت بادام؛ بیست و دومین گردهمایی علوم زمین، سازمان زمین‌شناسی و اکتشافات معدنی کشور.

References:

- 10- Daliran, F., 1990- The magnetite – apatite deposit of Mishdovan, east central Iran. An alkali rhyolite hosted "Kiruna-type" occurrence in the infracambrian Bafq metallotect; Ph.D. thesis, Univ. of Heidelberg. Geowiss. Abhandl. 37, 248 p.
- 11- Daliran, F., 1999- REE geochemistry of Bafq apatites: Implication for the genesis of Kiruna-type iron ores; Mineral deposits; processes to processing, Stanley et al. (Eds.) Balkema, Rotterdam, P. 631-634.
- 12- Darvishzadeh, A., 1982- Investigation of the phosphate in Bafq (Esfordi). Journal of Science, University of Tehran. V. 28, No. 1, P. 2-24.
- 13- Forster, H. and Jafarzadeh, A., 1994- The Bafq mining district in central Iran- a high mineralized infracambrian volcanic field; Eco. Geol., PP. 1697-1721.
- 14- Jami, M., 2005- Geology, geochemistry and evolution of the Esphordi phosphate- iron deposit, Bafq area, Central Iran. Unpublished Ph.D. thesis, 403P.
- 15- Kryvdik, St. and Mykhaylov, V., 2001- The potential of the rare earth mineralization of Islamic republic Iran; National academy of science of Ukraine, 48P.
- 16- Mokhtari, M.A.A. and Emami, M.H., 2008- REE pattern and REE mineralization in apatite- magnetite deposits of Bafq- Saghand district (central Iran). Geosciences, Scientific Quarterly Journal, Special Issue, V. 17, N. 1, P. 162-169.
- 17- Samani, B., 1993- Saghand formation, a riftogenic unit of upper Precambrian in central Iran. Geosciences, Geological survey of Iran, No. 6, 32-45.
- 18- Stöcklin, J., 1968b- Structural history and tectonics of Iran: A review. American association of petrol. and geol. Bulletin و V. 52, P. 1229-1258.
- 19- Torab F.M., Lehmann B., 2008- Magnetite-apatite deposits of the Bafq district, Central Iran: apatite geochemistry and monazite geochronology. Mineralogical Magazine, V. 71, P. 347-363.