

زمین شناسی، کانی شناسی و ارزیابی اقتصادی عناصر خاکی کمیاب در پلاسروست،

یزد

مسعود علی پوراصل*

^۱سازمان زمین شناسی و اکتشافات معدنی کشور، تهران، ایران

چکیده

مونازیت از کانی‌های گروه فسفات‌ها است و به فسفات عناصر خاکی کمیاب معروف است. مونازیت کانی کمیابی است و بعنوان یک سازنده فرعی در گرانیت‌ها، گنیس‌ها، آپلیت‌ها، پگماتیت‌ها و به شکل دانه‌های مدور در ماسه‌های مشتق از تجزیه چنین سنگ‌هایی ظاهر می‌شود. این کانی به دلیل مقادیر قابل ملاحظه‌ای از عناصر خاکی و گاهی توریم در ترکیب خود، همواره به عنوان یک کانی ارزشمند و اقتصادی در کانسارهای پلاسری مطرح است. پلاسروست، در چهار چوب اکتشافات ژئوشیمیایی و کانی سنگین ناحیه‌ای در محور یزد- سبزواری شناسایی و معرفی گردید. کاوش‌های بعدی در این منطقه نشان داد که رسوب‌های دشت جوان (Q_2^1) و رودخانه‌ای جوان (Q^{all}) در بردارنده کانی مونازیت هستند. مقدار مونازیت در این پلاسروست از ۵۰ تا ۵۲۵ گرم در تن تغییر می‌کند و ذخیره این کانسار پلاسری ۸۸۶۶۴۲۵ تن با متوسط عیار ۱۵۰ گرم در تن مونازیت برآورد می‌شود. تجزیه کنسانتره مونازیت به روش‌های اسپکترومتری جرمی و میکروپروبی نشان می‌دهد که مونازیت مروسو غنی از عناصر خاکی کمیاب سبک (Eu, Sm, Pr, Nd, La, Ce) است و متوسط مقدار REE_2O_3 آن حدود ۳۰ درصد اندازه گیری شده است.

در این کانسار پلاسری، پیریت هماتیته شده، اپیدوت، سلسیت، سروسیت، روتیل، مگنتیت، گارنت، ایلمنیت، پیروکسن، آمفیبول و گاهی زیرکن و آپاتیت همراه با مونازیت حضور دارند. در منطقه مروسو، شیل‌های سیاه سنگ مادر مونازیت است که به صورت متناوب با ماسه سنگ‌های آهکی، سنگ آهک و گاهی کنگلومرا معادل سازند شمشک قرار گرفته‌اند. نودول‌های مونازیت به صورت پراکنده در شیل‌ها تظاهر دارند. هوازدگی و فرسایش چنین سنگ‌هایی سبب آزادی دانه‌های مونازیت و تمرکز آن در رسوب‌های دشت جوان و رودخانه‌ای شده است.

کلید واژه‌ها: مونازیت، پلاسروست، کانی سنگین، عناصر خاکی کمیاب، مروسو

*نویسنده مسئول: مسعود علی پوراصل

Email: alipour_m@yahoo.com

۱- مقدمه

پلاسروست در جنوب- جنوب خاور استان یزد و در مرکز ایران واقع است. این کانسار پلاسری در راستای اکتشافات ژئوشیمیایی - کانی سنگین ناحیه‌ای در محور یزد- سبزواری شناسایی گردید. خواص کانی شناسی و پیدایش این نوع مونازیت به طور کامل متفاوت از مونازیت‌های نوع آذرین می‌باشد. جایگاه عناصر خاکی کمیاب در صنعت، عیار قابل ملاحظه مونازیت در رسوب‌های دشت آبرفتی و گسترش این رسوب‌ها، پی جویی و اکتشاف مونازیت را در این منطقه توجیه می‌نمود. طرح پی جویی مونازیت با برداشت ۲۰۰ نمونه کانی سنگین از رسوب‌های دشت جوان و آبرفتی و در محدوده‌ای به وسعت تقریبی ۱۵۰ کیلومتر مربع، حفر دو حلقه چاهک ۵ متری در مرکز آنومالی‌های مرحله ناحیه‌ای به اجرا درآمد. این کاوش‌ها به هدف کسب اطلاع از تغییرات جانبی و عمقی عیار مونازیت در دشت آبرفتی و انتخاب مکان‌های مستعد جهت اکتشافات تفصیلی صورت گرفته است. بر پایه نتایج مثبت حاصل از مرحله پی جویی، دو محدوده جمعاً به وسعت تقریبی ۵ کیلومتر مربع، جهت اکتشافات تفصیلی پیشنهاد گردید، این دو محدوده اکتشافی تحت آنومالی‌های باختری و خاوری مونازیت نام‌گذاری شده‌اند که آنومالی باختری موضوع این بررسی است. محدوده آنومالی باختری، منطقه‌ای به وسعت تقریبی ۲ کیلومتر مربع را در بر می‌گیرد (تصویر ۱) در این منطقه، ابتدا نقشه توپوگرافی ۱:۲۰۰۰ تهیه گردید، سپس شبکه حفاری چاهک‌های اکتشافی در ابعاد ۲۰×۲۰ متر پیاده شد. در محدوده این آنومالی ۴۴ حلقه چاهک به قطر ۱ متر و به روش

۲- زمین شناسی عمومی

از نظر جایگاه زمین شناسی، منطقه مورد مطالعه در بخش جنوب خاوری پهنه سندنج- سیرجان و در مرز با پهنه ایران مرکزی واقع است. این منطقه شامل سنگ‌های رسوبی با روند عمومی شمال باختری- جنوب خاوری است. کهن-ترین نهشته‌های منطقه متعلق به پالئوزویک است که سنگ‌های پی راتشکیل داده و اغلب دگرگون شده‌اند. این سنگ‌ها که در قسمت‌های شمالی و شمال خاوری محدوده اکتشافی بروزند دارند، و توسط گسله مروسو- هرات با راستای NNW-SSE از فرورفتگی کویر صاحب آباد- مروسو جدا شده‌اند. پرمین دگرگون شده و غیر دگرگونی نیز جوان‌ترین واحدهای پالئوزویک را در این ناحیه تشکیل داده است. نهشته‌های مزوزویک شامل سنگ‌های رسوبی دگرگون شده تریاس میانی و سنگ‌های کمتر دگرگون شده تریاس فوقانی- ژوراسیک است. سری رسوبی تریاس فوقانی- ژوراسیک که معادل سازند شمشک در پهنه البرز است به دو قسمت پایینی و بالایی قابل تقسیم است. بخش

پایینی عمدتاً از شیل تشکیل شده که دارای میان‌لایه‌هایی از ماسه سنگ، سیلستون، شیل سیاه، سنگ آهک و گاهی کنگلومرا است، که شیل‌های سیاه این بخش دربردارنده نودول‌های پراکنده‌ای از موناژیت است، در حالی که بخش بالایی عمدتاً از ماسه سنگ و سیلستون تشکیل شده که دارای میان‌لایه‌هایی از شیل است (تصویر ۳). رسوب‌های دشت جوان ورودخانه‌ای جوان که جنس سازنده‌های آن‌ها متأثر از سنگ‌های اطراف و بالادست است، بخش‌های شمال و شمال خاوری محدوده را پوشش داده و دربردارنده کانی با ارزش موناژیت می‌باشند.

۳- روش مطالعه

در پلاسیر مروست، چاهک‌های اکتشافی در شبکه ۲۰۰×۲۰۰ متر برای محدوده باختری پیاده شده است. از آنجا که چاهک‌های مذکور به طریقه دستی حفر شده‌اند. در امتداد چاهک‌ها نمونه‌های کانی سنگین به طور معرف هر متر مکعب چاهک‌ها انتخاب گردیده‌اند، که هر کدام دارای وزنی در حدود ۱۵ کیلوگرم هستند. در استاندارد ISO ۱۹۸۸، فرمول زیر برای تعیین حداقل وزن لازم برای جزء نمونه‌های معدنی ارائه شده است:

$$\Delta m = 0.06d(t)$$

که در آن:

$$\Delta m = \text{وزن جزء نمونه (بر حسب کیلوگرم)}$$

$$d(t) = \text{قطر فوقانی ذرات (بر حسب میلی متر)}$$

در پلاسیر مروست ذرات عموماً دارای قطر کمتر از ۱۰ سانتی متر می‌باشند، قطر فوقانی ذرات خیلی به ندرت به ۲۵ سانتی متر (۲۵۰ میلی متر) می‌رسد. بنابر این در پروژه مروست حداقل وزن لازم برای نمونه‌ها طبق فرمول پیشنهادی ISO، و حدود ۱۵ کیلوگرم بر آورده می‌شود. از آنجا که در این پروژه، رسوب‌های هر متر مکعب چاهک، از طریق مخروط سازی و ربع کردن-های متوالی کاهش وزن داده شده‌اند، لذا وزن نمونه‌های برداشت شده از چاهک‌ها (A بر حسب کیلوگرم) از ۱۵ تا ۲۰ کیلوگرم متغیر بوده است. برای هر نمونه شماره‌ای درج می‌شود که بیانگر منطقه پروژه، شماره چاهک و عمق برداشت می‌باشد. علاوه بر این مشخصاتی همچون وزن اولیه نمونه بر حسب کیلوگرم، رنگ، دانه بندی و جنس ذرات رسوب نیز در دفترچه‌های ویژه‌ای برای هر نمونه ثبت می‌شود.

۳-۱- تعیین عیار موناژیت و کانی‌های سنگین همراه

در بخش تعیین عیار موناژیت و کانی‌های همراه، نخستین مرحله تغلیظ نمونه-های کانی سنگین است، نمونه‌ها نخست توسط الک ۲ میلی متری ویژه‌ای در داخل آب سرد شده، و جزء زیر ۲ میلی متر گل شویی می‌شود. هدف از گل شویی جدا سازی رس، سیلت و ذرات معلق است. سپس نمونه به ظروف ویژه-ای منتقل شده و بر پایه خاصیت اختلاف وزن مخصوص کانی‌ها و غوطه‌ور شدن ذرات در آب و انجام حرکت دورانی و اصل قانون نیروی گریز از مرکز ذرات سبک جداسازی می‌شود، و این عمل آنقدر ادامه می‌یابد تا به حجم دلخواه و معینی از نمونه تغلیظ شده دست پیدا کنیم، جهت اجتناب از بروز هر گونه خطا، این فرایند بسته به هدف مطالعه، می‌بایست توسط شخص ماهر و با دقت تمام صورت گیرد تا دانه‌های موناژیت در بخش تغلیظ شده باقی بمانند. در این مرحله، قسمت تغلیظ یافت نمونه خشک شده و بوسیله ترازوی دقیق

توزین می‌شود (B بر حسب گرم)، نمونه B با استفاده از دستگاه تقسیم کن به دو جزء نمونه تقسیم می‌گردد. یکی از این جزء نمونه‌ها وزن شده (C بر حسب گرم) و برای تجزیه و اندازه گیری‌های لازم به کار می‌رود، جزء نمونه دیگر بعنوان جزء نمونه کنترل برای مراجعات احتمالی بعدی در انبار نگهداری می‌شود. در این مرحله، بخش C نمونه‌ها با مایع سنگین (بروموفرم) مورد جدایش قرار گرفته، و سپس جدایش با آهنرباهای دستی با بارهای مغناطیسی معین انجام می‌شود، در پایان این مرحله نمونه‌ها به سه بخش کانی‌های دارای خاصیت مغناطیسی شدید (AA)، دارای خاصیت مغناطیسی متوسط (AV) و فاقد خاصیت مغناطیسی (NM) تقسیم بندی می‌شود، سپس با استفاده از میکروسکوپ بینوکولار و روش‌های میکروشیمیایی کانی‌های موجود در هر بخش شناسایی می‌شود. در مرحله بعد، کانی‌های موجود در هر بخش، زیر بینوکولار بطور کامل از یکدیگر جدا می‌شود، برای مثال موناژیت به همراه کانی‌های پیریت هماتیته شده، هماتیت، اپیدوت، سریسیت، ایلمنیت، آمفیبول، قطعات شیل، شیل اسلیتی و ماسه سنگ و گاهی گارنت و پیروکسن در بخش AV تمرکز می‌یابد، جهت عیار سنجی، این کانی‌ها در زیر بینوکولار از یکدیگر جدا شده و سپس توسط ترازوی حساس و دقیق توزین می‌شوند، بدین ترتیب مقدار گرم در کانی (X) در بخش مطالعه (C بر حسب گرم) به دست می‌آید، سپس با استفاده از فرمول زیر مقدار گرم هر تن موناژیت و کانی‌های همراه در پلاسیر مروست محاسبه می‌شود:

$$X = (A.C) / (X.B.1000) = \text{گرم در تن هر کانی سنگین}$$

که در آن:

$$A = \text{وزن اولیه نمونه (بر حسب کیلوگرم)}$$

$$B = \text{وزن نمونه پس از لاک شویی (بر حسب گرم)}$$

$$C = \text{وزن مطالعه (بر حسب گرم)}$$

$$X = \text{مقدار کانی سنگین در وزن مطالعه (بر حسب گرم)}$$

نتایج بدست آمده از مطالعه نمونه‌های کانی سنگین نشان می‌دهد که کانی‌های پیریت هماتیته، قطعات شیل، شیل اسلیتی، ماسه سنگ، آهک و دولومیت، سریسیت، هماتیت، اپیدوت، کوارتز، کلسیت، سلسیت، روتیل، آمفیبول، ایلمنیت، منیتیت و گاهی زیرکن، آپاتیت، پیروکسن، شلیت، گارنت، فلوگوپیت و کلریت به همراه موناژیت در پلاسیر مروست حضور دارند ولی در این بین کانی‌های موناژیت، پیریت هماتیته شده، سلسیت و قطعات شیل، شیل اسلیتی و ماسه سنگ از درصد قابل ملاحظه‌ای برخوردار بوده و موناژیت تنها کانی ارزشمند و اقتصادی این پلاسیر می‌باشد (تصویر ۲). در پلاسیر باختری مقدار موناژیت از ۳۰ تا ۵۲۵ گرم در تن تغییر می‌کند و متوسط عیار آن حدود ۱۵۶ گرم در تن می‌باشد.

۳-۲- طبقه بندی رسوبات در پلاسیر مروست

در پلاسیر مروست جهت کسب اطلاع از اندازه رسوب‌هایی که کانی موناژیت در آن قرار می‌گیرد، به طبقه بندی رسوبات اقدام شده است. در محدوده پلاسیر مروست مطالعه طبقه بندی رسوبات به ترتیب در چاهک شماره ۴ انجام یافته است. در هر کدام از این چاهک‌ها رسوب‌های مربوط به عمق‌های مختلف با استفاده از سرندهای ۸۰، ۴۰ و ۱۸ مش به چهار بخش تقسیم شده است. برای مثال نمونه مربوط به متر اول چاهک شماره ۴(۱) با استفاده از این سرندها به

۳-۵- سنگ مادر موناژیت

در منطقه مروست، سنگ منشأ موناژیت شیل‌های سیاه است که به صورت متناوب با ماسه سنگ‌های آهکی، آهک و گاهی کنگلومرا قرار گرفته‌اند، و نودول‌های موناژیت به صورت پراکنده در شیل‌ها تظاهر دارند (تصویر ۳). این توالی رسوبی به نظر می‌آید که در محیط کم عمق قاره‌ای و توربیدیته‌ی پهنه‌سندج- سیرجان تشکیل شده و دارای سن تریاس فوقانی است. این احتمال وجود دارد که پدیده‌ی دیاژنز رسوبات در شکل‌گیری نودول‌های موناژیت در شیل‌ها دخیل بوده است. شواهد بافتی نیز حاکی است که تشکیل کانی موناژیت قبل از دگرگونی و دگر شکلی رسوبات رخ داده است.

در نمونه کنسانتره موناژیت محدوده باختری در شکل ۲ آورده شده است. به طوریکه از نمودار ستونی پیداست موناژیت مروست غنی از عناصر خاکی سبک (سریوم، لانتانیم، نئودیمیوم، پرازیدیومیوم، ساماریوم، گادولینیوم و یورپیوم) می‌باشد. تجزیه نمونه‌های سنگ نشان می‌دهد که عیار موناژیت و عناصر نادر خاکی در سنگ منشأ کمتر از عیار اقتصادی بوده و ادامه عملیات اکتشافی در محیط سنگی توصیه نمی‌شود. دیاگرام خطی شکل ۳ مقادیر عناصر خاکی کمیاب را در واحدهای سنگی نشان می‌دهد که عیار موناژیت و عناصر نادر خاکی در سنگ منشأ کمتر از عیار اقتصادی بوده و ادامه عملیات اکتشافی در محیط سنگی توصیه نمی‌شود. دیاگرام خطی شکل ۳ مقادیر عناصر خاکی کمیاب را در واحدهای سنگی مختلف منطقه نشان می‌دهد.

در نمودار شکل ۴ ترکیب شیمیایی موناژیت با ترکیب متوسط موناژیت‌های آذرین (موناژیت زرد) و موناژیت‌های خاکستری (نودول‌های موناژیت) مقایسه شده است. به صورتی که از نمودار پیداست موناژیت مروست بیشترین شباهت شیمیایی را با موناژیت‌های خاکستری دارا می‌باشد. مقادیر غلظت Eu و Th موناژیت مروست متفاوت از موناژیت‌های با منشأ آذرین می‌باشد.

۴- نتیجه‌گیری

موناژیت مروست، نخستین کانسار پلاسری موناژیت و عناصر خاکی کمیاب ایران است. اکتشافات کانی سنگین سبب شناسایی آن در رسوب‌های دشت جوان و رودخانه‌ای مروست شده است. در پلاسروست تعیین عیار موناژیت و کانی‌های همراه بروش برداشت و مطالعه نمونه‌های کانی سنگین بوده است. متوسط عیار موناژیت در محدوده باختری ۱۵۶ گرم در تن تعیین شده است. تجزیه کنسانتره‌های موناژیت برای عناصر نادر خاکی و بروش ICP-MS نشان می‌دهد که موناژیت مروست غنی از عناصر خاکی سبک می‌باشد. مطالعات طبقه‌بندی رسوبات نشان می‌دهد که غالب دانه‌های موناژیت در دامنه ۴۰ تا ۱۸ مش و مقدار کمتری نیز در دامنه ۸۰ تا ۴۰ مش رسوب‌ها قرار دارند. میزان ذخیره پلاسروست بروش چهار ضلعی ۸۸۶۶۴۲۵ تن با متوسط عیار ۱۵۰ گرم در تن موناژیت برآورده شده است.

سنگ مادر موناژیت در منطقه مروست شیل‌های سیاه است و به نظر می‌آید که پدیده دیاژنز در شکل‌گیری نودول‌های موناژیت در شیل‌های سیاه موثر بوده است. شیل‌های سیاه مروست به دلیل عیار پائین موناژیت و عناصر خاکی کمیاب فاقد ارزش اقتصادی هستند. هر چند عیار موناژیت در پلاسروست در قیاس با کانسارهای مشابه در دنیا پایین است ولی از جهت اینکه موناژیت مروست به عنوان نخستین کانسار پلاسری موناژیت و عناصر خاکی کمیاب

اندازه‌های A، B، C و D بخش شده است، و همین فرآیند برای رسوبات مترهای بعدی چاهک‌ها نیز تکرار شده است. در مرحله بعد هر یک از این بخش‌ها به طور جداگانه در آزمایشگاه امدل استرالیا برای عناصر خاکی تجزیه شده است.

سایز D < 18mesh; 18mesh < سایز C < 40mesh; 40mesh < سایز B < 80mesh; 80mesh < سایز A

نتایج اندازه‌گیری‌ها نشان می‌دهد که اندازه‌های B و C به ترتیب بیشترین مقدار عناصر خاکی را دارا هستند. به عبارتی غالب دانه‌های موناژیت در دامنه ۴۰ تا ۱۸ مش و بخشی نیز در دامنه ۸۰ تا ۴۰ مش رسوبات تمرکز دارند (شکل ۱). مطالعات نمونه‌های کانی سنگین و کانه‌آرایی نیز نشان می‌دهد که دانه‌های موناژیت در پلاسروست در دامنه ۶۰+ مش و ۱۴- مش قرار دارند.

۳-۳- اندازه‌گیری عناصر خاکی کمیاب

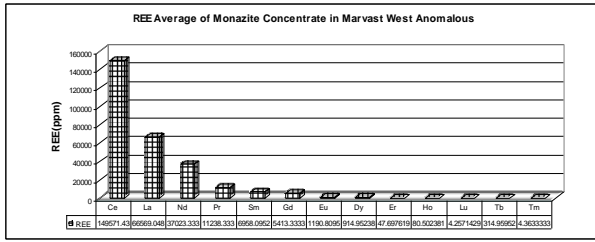
برای اندازه‌گیری مقدار عناصر خاکی در پلاسروست، ابتدا دانه‌های موناژیت هر کدام از نمونه‌های کانی سنگین به روشی که در بند قبل به آن‌ها اشاره گردید، جدا شده سپس کنسانتره هر نمونه در آزمایشگاه امدل استرالیا بروش اسپکترومتری جرمی (ICP-MS) برای عناصر گروه لانتانیدها آنالیز شده است. نتایج اندازه‌گیری‌ها نشان می‌دهد که موناژیت مروست غنی از عناصر زیر گروه سریوم می‌باشد. مقدار متوسط هر یک از عناصر خاکی کمیاب در نمونه کنسانتره موناژیت محدود باختری در شکل ۲ آورده شده است. به طوریکه از نمودار ستونی پیداست موناژیت مروست غنی از عناصر خاکی سبک (سریوم، لانتانیم، نئودیمیوم، پرازیدیومیوم، ساماریوم، گادولینیوم و یورپیوم) می‌باشد.

۳-۴- تخمین و ارزیابی ذخیره

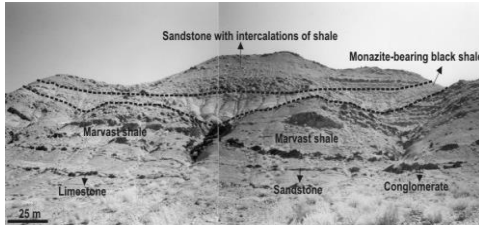
برای محاسبه میزان ذخیره در کانسار پلاسری موناژیت مروست، از روش چند ضلعی استفاده شده است. در این روش، برون یابی تا $1/4$ فاصله بین چاهک‌ها و درون یابی تا $1/2$ فاصله بین چاهک‌ها صورت می‌گیرد. بنابراین ابعاد شبکه برداشت‌ها و ناهمسانگردی آن تعیین کننده است نه ساختار کانسار و داده‌ها. برای رسم چند ضلعی، ابتدا چاهک‌ها به هم متصل می‌شوند و سپس عمود منصف‌های این خطوط رسم می‌شوند با رسم این عمود منصف‌ها حول هر چاهک یک چند ضلعی تشکیل می‌شود. این چند ضلعی در محدوده باختری به دلیل شبکه منظم 200×200 متر مربعی خواهند بود. می‌توان هر یک از این چند ضلعی‌ها را منشوری از ماده معدنی در نظر گرفت. در این صورت میزان ذخیره از رابطه زیر محاسبه می‌شود:

$$W = S_1 t_1 + S_2 t_2 + \dots + S_n t_n$$

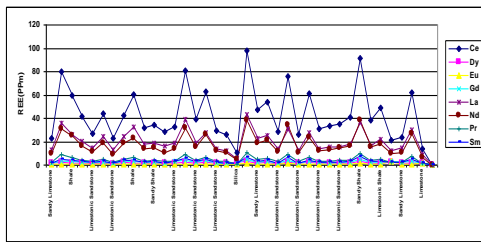
که در آن S_1, S_2, \dots, S_n مساحت مقاطع چند ضلعی‌های حاصل به روش فوق و t_1, t_2, \dots, t_n ضخامت آبرفت در هر یک از چاهک‌ها و بالاخره W ذخیره محدود وزن مخصوص رسوب در هر یک از چاهک‌ها است. میزان ذخیره محدود باختری با در نظر گرفتن پارامترهای فوق ۸۸۶۶۴۲۵ تن با متوسط عیار ۱۵۰ گرم در تن موناژیت محاسبه شده است.



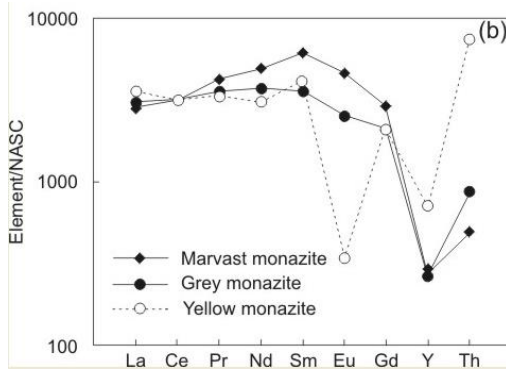
شکل ۲- نمودار مستطیلی مقدار متوسط عناصر خاکی کمیاب در کنسانتره مونازیت مروست.



تصویر ۳- توالی شیلی و ماسه سنگی مونازیت‌دار مروست، نگاه به سمت جنوب



شکل ۳- نمودار خطی مقادیر عناصر خاکی کمیاب در سنگ‌های مختلف رسوبی مروست.



شکل ۴- مقایسه ترکیب شیمیایی مونازیت مروست با ترکیب مونازیت‌های خاکستری و زرد

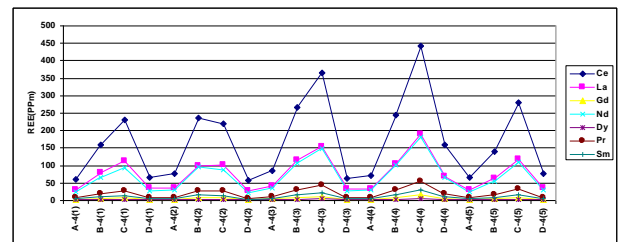
مطرح است. لذا جهت بررسی‌های اکتشافی و مطالعات فنی- اقتصادی در مقیاس تفصیلی نیز پیشنهاد می‌گردد.



تصویر ۱- محدوده آبرفت مونازیت‌دار منطقه مروست (پلاسز باختری).



تصویر ۲- نودول های مونازیت از پلاسز مروست- یزد.



شکل ۱- نمودار خطی مقادیر عناصر خاکی کمیاب در مش های مختلف رسوب‌های چاهک ۴.

کتابنگاری

۱. سازمان زمین‌شناسی کشور (۱۳۷۶): اکتشافات ژئوشیمیایی- کانی سنگین در ورقه ۱:۱۰۰۰۰۰ مروست.
۲. علی پور اصل، م. (۱۳۸۲): پی‌جویی مونازیت در آبرفت‌های جنوب مروست، سازمان زمین‌شناسی کشور.
۳. علی پور اصل، م. (۱۳۸۳): اکتشافات تفصیلی مونازیت و عناصر خاکی کمیاب در آبرفت‌های جنوب مروست، سازمان زمین‌شناسی کشور.

References

4. Kryvdik St. and Mykhayiov V. (2001): The potential of rare earth mineralization of Islamic Republic of Iran, Final Report, Geological Survey of Iran, 48 PP.