

۱- مقدمه

عناصر نادر خاکی گروهی از عناصر طبیعی با عدد اتمی ۵۷-۷۱ هستند که به دو گروه تقسیم می شوند: عناصر نادر خاکی سبک (LREEs) شامل لانتانیم (La) تا ساماریوم (Sm) و عناصر نادر خاکی سنگین (HREEs) شامل یورپیم (Eu) تا لوتسیم (Lu). اسکاندیوم (Sc) و ایتریوم (Y) به دلیل داشتن خواص شیمیایی مشابه، اغلب در همان ذخایر معدنی که عناصر نادر خاکی وجود دارند، به ویژه HREE ها، یافت می شوند.

اگرچه REEs به اندازه فلزات گران بها کمیاب نیستند، اما فناوری استخراج و فرآوری آنها بسیار پرهزینه است. به دلیل افزایش تقاضای جهانی و عرضه محدود، میزان استخراج و اکتشاف این عناصر به طور قابل توجهی افزایش یافته است (جدول ۱).

REE	کاربردها
Lanthanum (La)	لنز دوربین و الکتروود باتری
Cerium (Ce)	پودر پولیش و کاتالیزور سیالات در پالایشگاه های نفتی
Praseodymium (Pr)	ساخت مگنت و لیزرها
Neodymium (Nd)	خازن های سرامیکی
Samarium (Sm)	جذب نوترون
Europium (Eu)	لیزر و لامپ بخار جیوه
Gadolinium (Gd)	لیزر، تیوب های اشعه ایکس و حافظه های کامپیوتری
Terbium (Tb)	لیزر و لامپ های فلورسنت
Dysprosium (Dy)	ساخت مگنت و لیزرها

جدول ۱. عناصر نادر خاکی و کاربردهای آن ها.

۲- کاربردها

اگرچه عناصر نادر خاکی به طور نسبی در پوسته زمین فراوان هستند (جدول ۲)، اما به ندرت به شکل کانسارهای قابل استخراج متمرکز می شوند. این عناصر معمولاً با سنگ های آکالن، کربناتیت ها، پگماتیت ها و ذخایر پلاسر (ذخایر باقیمانده از هوازدگی عمیق) در ارتباط هستند و اغلب از طریق اکتشافات ژئوشیمیایی شناسایی می شوند. همچنین، برخی از آنها می توانند جذب کانی های رسی شوند.

REE	مقدار متوسط آن در پوسته زمین (ppm)
Lanthanum (La)	۳۹
Cerium (Ce)	۶۶
Praseodymium (Pr)	۹
Neodymium (Nd)	۴۱
Samarium (Sm)	۷
Europium (Eu)	۲
Gadolinium (Gd)	۶
Terbium (Tb)	۱
Dysprosium (Dy)	۵
Yttrium (Y)	۳۳

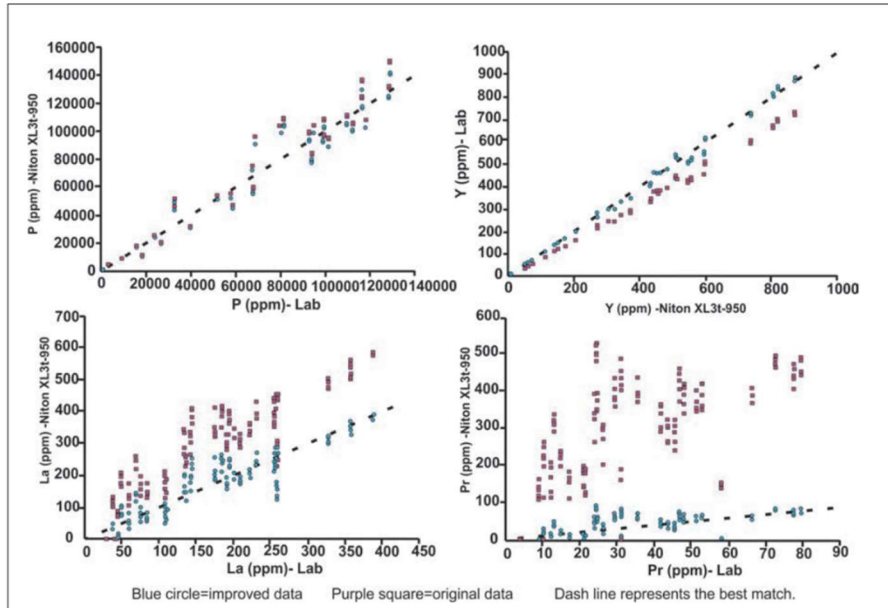
جدول ۲. مقدار متوسط عناصر نادر خاکی موجود در پوسته زمین.

کانسارهای مرتبط با عناصر نادر خاکی از نظر کانی شناسی و ترکیب ژئوشیمیایی پیچیده بوده و معمولاً دارای خاصیت پرتوزایی هستند. استخراج این عناصر چالش برانگیز است، زیرا اغلب در بیش از یک کانی متمرکز می‌شوند و هر کانی نیاز به فناوری استخراج و فرآوری متفاوت و پرهزینه‌ای دارد. از این رو، ذخایری که در آن‌ها عناصر نادر خاکی عمدتاً در یک کانی متمرکز شده‌اند، از مزیت اکتشافی بالاتری برخوردارند. از همین رو فرایند اکتشاف عناصر نادر خاکی، اغلب مرتبط با ذخایر تک فازی می‌باشد.

آنالیزورهای XRF قابل حمل شرکت Thermo Scientific پیکربندی بهینه‌ای را برای نیازهای تحلیلی فراهم می‌کنند. در حال حاضر، مجموعه محصولات این شرکت شامل سه نوع آنالیزور XRF برای تشخیص و تعیین غلظت عناصر نادر خاکی است:

- Thermo Scientific Niton XL3t GOLDD+ (tube-based)
- Niton XL3t Ultra (tube-based)
- XLP 522K (isotope-based)

آنالیزور XLP 522K میتواند به سرعت طیف گسترده‌ای از عناصر را از تیتانیوم تا اورانیوم تشخیص دهد و از لحاظ دامنه و تنوع شناسایی عناصر از آنالیزورهای tube-based قوی‌تر عمل میکند. آنالیزورهای tube-based با داشتن لوله اشعه ایکس با ولتاژ ۵۰ کیلو ولت میتوانند در شناسایی و اکتشاف عناصر LREEs مرتبط با REEs بسیار مفید واقع شوند همچنین با شناسایی عناصری مانند توریم و اسکاندیوم، میتوانند در شناسایی HREEs به طور غیرمستقیم کاربردی باشند. ذکر این نکته حائز اهمیت است که شناسایی عناصر رادیواکتیو استفاده از دستگاه RadEye gamma، محصول شرکت Thermo scientific، بسیار بهینه‌تر و دقیق‌تر نسبت به دستگاه‌های XRF صورت می‌گیرد.



شکل ۱. دیاگرام های همبستگی برای عناصر نادر خاکی که تحت آنالیز دستگاه Niton XL³t GOLDD+ و روش های آزمایشگاهی قرار گرفتند.

۳- روش مطالعاتی به کار گرفته شده و نتایج

جهت بررسی کارکرد و دقت دستگاه آنالیزور XRF مدل Niton XL³t GOLDD+، تعدادی نمونه فسفات از یک محدوده معدنی در بریتیش کلمبیای کانادا جمع آوری و با نتایج آزمایشگاهی (ICP-MS) مورد مقایسه قرار گرفتند. نمونه ها آسیاب شده و با فیلم های پلی پروپیلن بسته بندی شدند و به مدت سه دقیقه مورد آنالیز دستگاه قرار گرفتند. در شکل ۱، دیاگرام های X-Y به نمایش در آمدند که در همبستگی بین نتایج آنالیز XRF و آزمایشگاهی را نشان میدهند. این نمودارهای همبستگی برای عناصر فسفر (P)، لانتانیم (La)، ایتریم (Y) و پرازدیم (Pr) که همگی به گروه REEs تعلق دارند ترسیم شده است. همبستگی بسیار بالا بین دو روش برای عنصر ایریدیم (Y) حاکی از غنی بودن نمونه ها از عناصر نادر خاکی سنگین (HREEs) می باشد.

۴- جمع بندی

اکتشاف و استخراج عناصر نادر خاکی (REEs) به دلیل پیچیدگی های کانی شناسی و شیمیایی آن ها و همچنین خاصیت رادیواکتیویته، چالش های قابل توجهی را به همراه دارد. در حال حاضر، REEs عمدتاً از دو کانی استخراج می شوند: باستانزیت (شکل ۲) و مونازیت. شرکت ترمو ساینترفیک مجموعه ای از آنالیزورهای پرتابل XRF را برای پروژه های مختلف اکتشاف REE ارائه می دهد که شامل مدل های Niton XLp ۵۲۲K، Niton XL³t Ultra، and the Niton XL³t GOLDD+ می باشد.



شکل ۲: تصویری از کانی باستانائزیت.

این دستگاه‌ها امکان آنالیز عناصر نادر خاکی و سایر عناصر را به صورت لحظه‌ای و در محل بر روی نمونه‌های زمین‌شناسی مختلف فراهم می‌کنند. برای بهبود دقت آنالیزها، کاربران می‌توانند از فاکتورهای کالیبراسیون (Cal-Factors) بر اساس نوع نمونه‌مورد بررسی استفاده کنند. یکی از پیشرفت‌های اخیر در این زمینه، "استاندارد سازی بر اساس نوع" (Type Standardization) است که به کاربران اجازه می‌دهد این تنظیمات را مستقیماً در دستگاه بر اساس نوع نمونه مورد بررسی انجام دهند.