

استفاده تجربی از برهم‌کنش $^{16}\text{O}(p,\alpha)^{13}\text{C}$ جهت مشخصه‌یابی کانی فلوریت

بهزاد، یداله‌زاده*؛ محمد، صداقتی بورخانی^۲؛ امیدرضا، کاکویی^۱؛ محمد، فرمهبینی فراهانی^۱؛

محمد، لامعی رشتی^۱

۱. سازمان انرژی اتمی ایران، پژوهشگاه علوم و فنون هسته‌ای، پژوهشکده علوم هسته‌ای

۲. دانشگاه آزاد اسلامی، واحد تهران مرکزی، دانشکده علوم پایه، گروه فیزیک

چکیده:

روش‌های مختلف آنالیز با باریکه یونی جهت بررسی نمونه‌های معدنی استفاده می‌شوند. در این کار پژوهشی نمونه حاوی کانی فلوریت با فرمول (CaF_2) ، با دو روش PIXE و RBS مورد بررسی قرار گرفت که به دلیل محدودیت آشکارسازی، فلوتور موجود در نمونه شناسایی نشد. با توجه به سد کولنی کم عنصر فلوتور، از برهم‌کنش هسته‌ای پرتابه پروتون با هسته‌های فلوتور، $^{16}\text{O}(p,\alpha)^{13}\text{C}$ برای شناسایی فلوتور موجود در نمونه استفاده شد. در این برهم‌کنش پس از برخورد پروتون با هسته ^{16}O هسته مرکب ^{13}C تشکیل می‌شود. هسته ^{13}C با گسیل ذره آلفا به هسته ^{16}O تبدیل می‌شود که اندازه‌گیری محصول برهم‌کنش جهت شناسایی فلوتور موجود در کانی مذکور استفاده شده است.

کلید واژه: آنالیز با باریکه یونی، برهم‌کنش هسته‌ای، کانی فلوریت

مقدمه:

در روش‌های متداول اندازه‌گیری عنصری یا ایزوتوپی با باریکه یونی، از برخورد یون‌های سبک پارانرژی (همانند پروتون، هلیوم یا دوتریوم) با انرژی ۱ MeV تا ۵ MeV به سطح نمونه استفاده می‌شود [۱ و ۲]. روش آنالیز PIXE برای اندازه‌گیری نوع و غلظت عناصر موجود در یک نمونه می‌باشد. به دلیل محدودیت آشکارساز پرتو ایکس Si(Li)، عناصر سبک از هیدروژن تا فلوتور را نمی‌توان به وسیله روش‌های آنالیز PIXE و EDXRF آشکارسازی نمود.

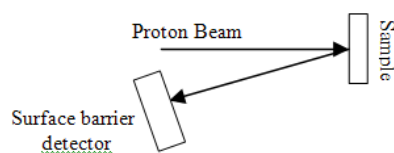
برای عناصر سنگین، سدکولنی بین پرتابه و هسته هدف، مانع هر واکنش هسته‌ای می‌شود. در مورد هسته‌های سبک، پرتابه می‌تواند با هسته هدف اندرکنش هسته‌ای داشته باشد. در اینصورت برهم‌کنش هسته‌ای رخ داده و ذره‌ای متفاوت از پرتابه در برهم‌کنش تولید می‌شود. اندازه‌گیری انرژی این ذره متفاوت، معرف عنصر سبک موجود در نمونه و شدت آن بیانگر غلظت این عنصر است. همچنین وابستگی سطح مقطع پراکندگی عناصر سنگین به عدد اتمی، باعث ایجاد محدودیت در اندازه‌گیری به روش RBS می‌شود. در نتیجه در نمونه مورد بررسی، مشاهده عناصر سبک در بستر عناصر سنگین امکان پذیر نبود. به همین دلیل برای آشکارسازی عنصر سبک فلوتور از روش آنالیز برهم‌کنش هسته‌ای با ذرات شتاب‌دار استفاده شده است [۳].

آنالیز به روش NRA اغلب برای آنالیز H, Li, P, Al, Na, F, O, N, C, Be با حد آشکارسازی 10^{-3} تا 10^{-7} کسر اتمی به کار می‌رود. با استفاده از نمونه‌های استاندارد به آسانی مقادیر کمی غلظت قابل محاسبه است [۴ و ۵]. برهم‌کنش‌های مورد استفاده در روش NRA عبارتند از:

الف) برهم‌کنش یون-گاما،
ب) برهم‌کنش یون-یون،
ج) برهم‌کنش یون-نوترون،
د) آنالیز فعال‌سازی حاصل از القاء یون.

روش کار:

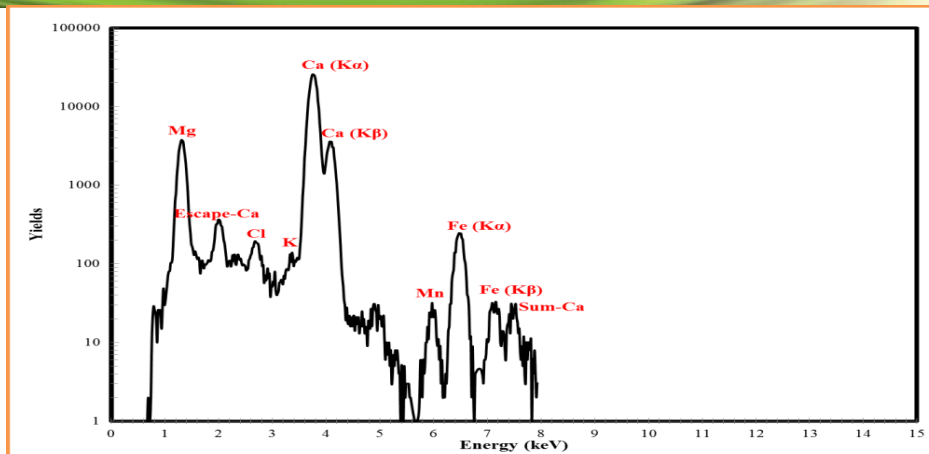
در این کار تجربی، از برهم‌کنش یون-یون استفاده شده است. برای انجام این کار پژوهشی از تجهیزات شتابدهنده و اندوگراف پژوهشگاه علوم و فنون هسته‌ای استفاده شده است. باریکه پروتون با انرژی ۲ MeV به عنوان پرتابه مورد استفاده قرار گرفته و محصولات برهم‌کنش که شامل ذرات باردار است با آشکارساز سدسطحی که در داخل محفظه برهم‌کنش و محیط خلاء قرار دارد، آشکارسازی و با دستگاه تحلیل داده S100 جمع‌آوری شده‌اند. در شکل (۱) هندسه آنالیز نشان داده شده است. هدف مورد استفاده در این آزمایش نمونه سنگ معدن حاوی کانی فلوریت بوده که بعد از آماده‌سازی، در محفظه آزمایش قرار داده شد.



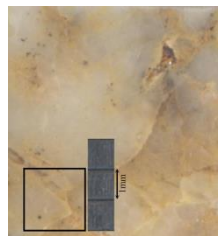
شکل ۱ - هندسه آنالیز با روش برهم‌کنش هسته‌ای

نتایج:

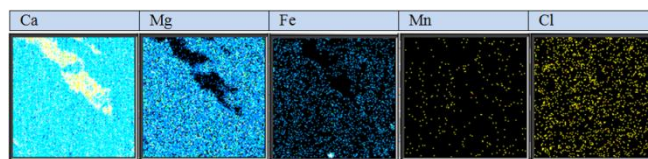
در این کار پژوهشی به بررسی وجود کانی فلوریت در یک نمونه سنگ معدن پرداخته شد. به همین منظور ابتدا نمونه با استفاده از روش میکروپیکسی بررسی و سپس اطلاعات حاصله با استفاده از نرم‌افزارهای OMDAQ و Gupixwin تجزیه و تحلیل شد. پس از آنالیز داده‌ها، مشخص شد که نمونه سنگ معدن حاوی عناصر Ca, Mg, Fe, Cl و Mn می‌باشد. در شکل (۲) طیف میکروپیکسی نمونه نشان داده شده است. در شکل‌های (۲) و (۳) به ترتیب ناحیه مورد آزمایش و نقشه توزیع عنصری نمونه نشان داده شده است.



شکل (۲) طیف میکروپیکسی نمونه



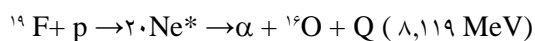
شکل (۳) مربع سیاه؛ ناحیه تحت آزمایش.



شکل (۴) نقشه توزیع عنصری نمونه در ناحیه‌ای با سطح $2 \times 2 \text{ mm}^2$ ، (نام عنصر بالای نقشه عنصری آن آمده است).

با توجه به طیف میکروپیکسی (شکل (۲)) عنصر فلئور با استفاده از روش میکروپیکسی آشکارسازی نشده است. به همین دلیل در این کار تجربی، با توجه به سد کولنی کوچک عنصر فلئور، برهم‌کنش هسته‌ای پرتابه سبک کم انرژی پروتون با هسته‌های فلئور $^{16}\text{O}(p,\alpha)^{13}\text{C}$ که دارای سطح مقطع برهم‌کنش بزرگی است، برای شناسایی فلئور استفاده گردید.

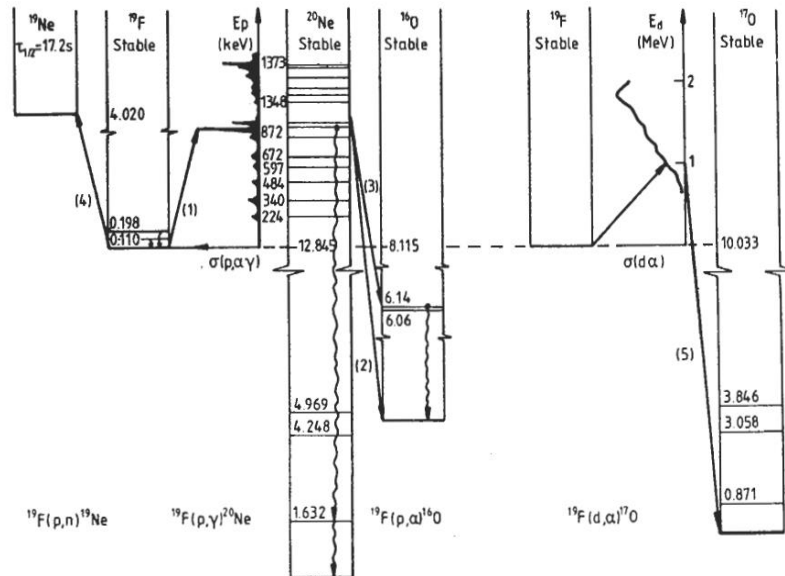
برهم‌کنش $^{16}\text{O}(p,\alpha)^{13}\text{C}$ یکی از برهم‌کنش‌های محتمل F با پرتابه‌ی p بوده و به صورت زیر نوشته می‌شود:



با توجه به دیاگرام انرژی شکل (۵)، اگر پروتونی با هسته ^{19}F بپیوندد، هسته مرکب ^{20}Ne شکل گرفته و MeV $12,485$ انرژی آزاد می‌شود. این حالت با جابجایی دیاگرام تراز هسته‌ای ^{19}F نسبت به ^{20}Ne متناسب با انرژی آزاد شده Q نشان داده می‌شود. اگر هسته مرکب ^{20}Ne با گسیل ذره آلفا واپاشی کند، هسته ^{16}O شکل می‌گیرد. انرژی ذره آلفا گسیلی به اختلاف انرژی حالت‌ها در ^{16}O و ^{20}Ne وابسته است.

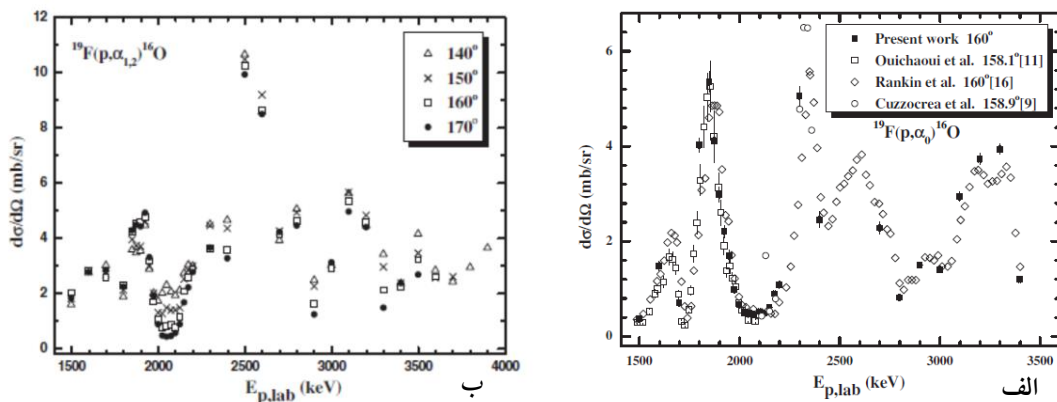


به طور مثال دو گروه متمایز آلفای گسیلی هر کدام می‌توانند برای تعیین ^{19}F در لایه نازکی در سطح نمونه مورد استفاده قرار گیرند. گروه برهم‌کنش (p,α) با انرژی بیشتر و گروه (p,α_1) با انرژی کمتر اندازه‌گیری می‌شود.



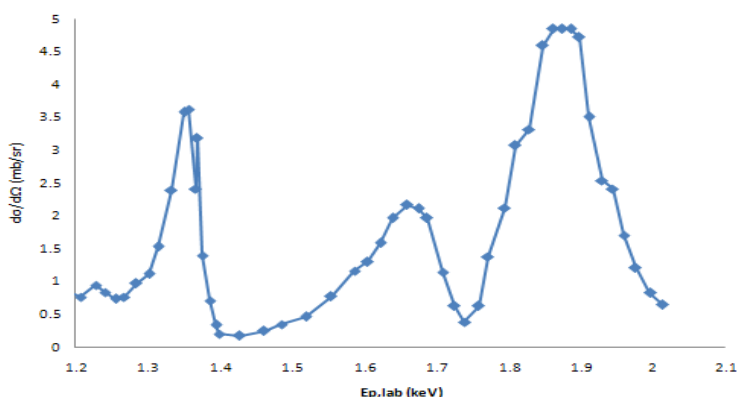
شکل (۵) تراز انرژی برهم‌کنش‌های هسته‌ای محتمل ^{19}F با پروتون [۲].

در شکل (۶) طیف‌های سطح مقطع برهم‌کنش $^{19}\text{F}(p,\alpha)^{16}\text{O}$ در انرژی‌های مختلف پروتون در زاویه 160° درجه نشان داده شده است. با توجه به این طیف‌ها، سطح مقطع برهم‌کنش‌های $^{19}\text{F}(p,\alpha_1)^{16}\text{O}$ و $^{19}\text{F}(p,\alpha_2)^{16}\text{O}$ در محدوده انرژی $1,9\text{ MeV}$ پروتون فرودی، مقدار قابل توجهی می‌باشد که به ترتیب در شکل (۶-الف) و (۶-ب) نشان داده شده است.



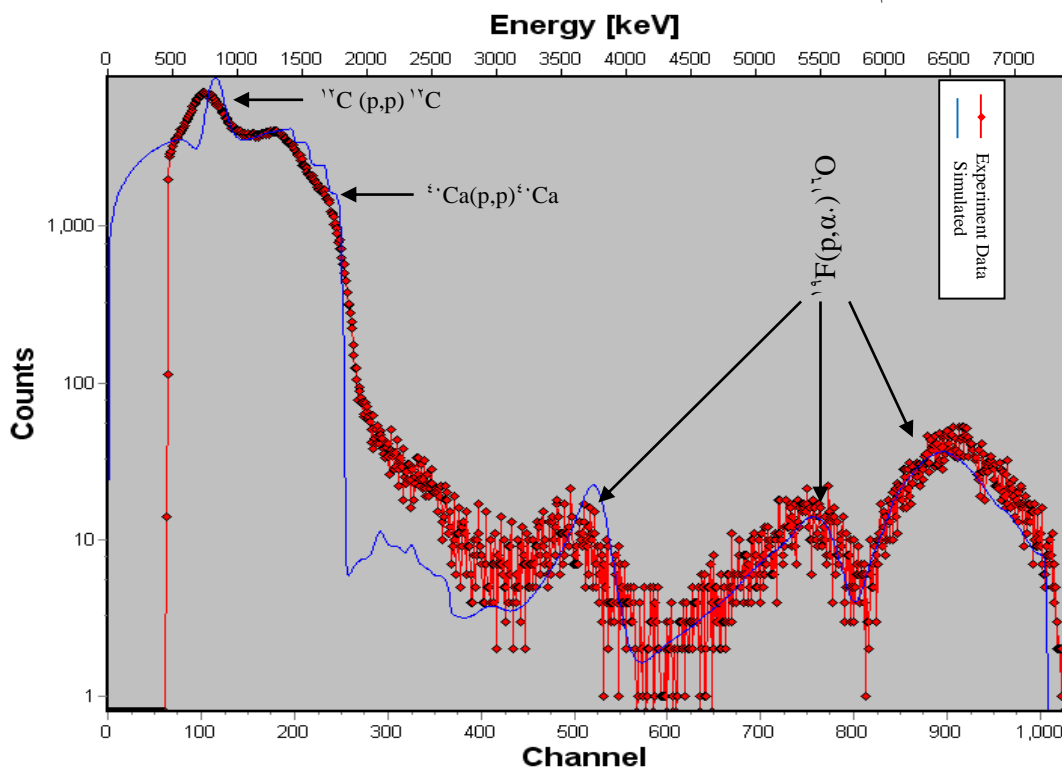
شکل (۶) الف: سطح مقطع برهم‌کنش $^{19}\text{F}(p,\alpha_0)^{16}\text{O}$ ؛ ب: سطح مقطع برهم‌کنش $^{19}\text{F}(p,\alpha_{1,2})^{16}\text{O}$ [۶]

با استفاده از داده‌های تجربی IBANDL، نمودار تجربی سطح مقطع برهم‌کنش برای $^{19}\text{F}(p,\alpha)^{16}\text{O}$ در محدوده انرژی $1-2\text{ MeV}$ پروتون فرودی ترسیم و در شکل (۷) نشان داده شده است [۷].



شکل (۷) مقادیر سطح مقطع برای برهم کنش $^{16}\text{O}(p,\alpha)^{13}\text{F}$ در زاویه 160° در محدوده انرژی پروتون ۱-۲ MeV

در طیف شکل (۸)، محصولات برهم کنش $F + p$ حاصل از باریکه پروتون با انرژی 2000 keV بر روی هدف سنگ معدن حاوی کانی فلوریت نشان داده شده است. محصولات این برهم کنش با استفاده از آشکارساز سدسطحی سیلیسیوم به ضخامت $300 \mu\text{m}$ اندازه‌گیری شده است.



شکل ۸- محصولات برهم کنش $^{19}\text{F}+p$ حاصل از باریکه پروتون ۲ MeV بر روی هدف سنگ معدن حاوی کانی فلوریت، به همراه طیف شبیه‌سازی شده با نرم‌افزار SIMNRA.

طیف حاصل نشان می‌دهد که اندازه‌گیری محصولات برهم کنش $^{16}\text{O}(p,\alpha)^{13}\text{F}$ با استفاده از تجهیزات متداول در آزمایشگاه واندوگراف ممکن است. با توجه به ضخامت نمونه امکان آشکارسازی گروه $\alpha_{1,2}$ امکان پذیر



نمی‌باشد، و به جای مشاهده یک قله تیز، چند قله برای α مشاهده شده است. علت این امر می‌تواند تغییر سطح مقطع برهم‌کنش $^{16}\text{O}(p,\alpha)^{13}\text{F}$ به علت افت انرژی پروتون فرودی در نمونه ضخیم مورد استفاده باشد. با استفاده از نمونه استاندارد امکان محاسبه غلظت فلئور موجود در نمونه نیز امکان‌پذیر است.

بحث و نتیجه‌گیری:

با توجه به محدودیت روش‌های متداول آنالیز با باریکه یونی مانند PIXE و RBS، از روش برهم‌کنش هسته‌ای (NRA) به عنوان روش مکمل در کنار دو روش مذکور برای آنالیز نمونه‌های معدنی می‌توان استفاده نمود. در این کار با آشکارسازی ذرات آلفای ناشی از برهم‌کنش هسته‌ای $^{16}\text{O}(p,\alpha)^{13}\text{F}$ حضور کانی فلوریت در نمونه سنگ معدن، تأیید شد. همچنین با استفاده از نمونه استاندارد می‌توان غلظت فلئور را در نمونه سنگ معدن تعیین نمود.

مراجع:

- ۱- J. Raisanen, Analysis of lithium by ion beam methods, Nucl. Instr. and Meth. B ۶۶, ۱۰۷-۱۱۷, ۱۹۹۲.
- ۲- J. R. Bird, J.S. Williams, Ion Beams for Materials Analysis, Academic Press Australia, ۱۹۸۹.
- ۳- H. R. Verma, Atomic and Nuclear Analytical Methods, Springer-Verlag, Heidelberg ۲۰۰۷.
- ۴- O. R. Kakuee, et al, Development of a novel reaction chamber for ion beam analysis of large samples, Nucl. Instr. and Meth. B ۲۶۶/۷, ۱۱۳۲-۱۱۳۶, ۲۰۰۸.
- ۵- A. Wriekat, Surface analysis of light elements at metal surfaces using (p, γ) reactions, Mater. Sci. Eng., ۸۵, ۱۸۱, ۱۹۸۷.
- ۶- V. Paneta, et al, Differential cross-section measurements for the $^7\text{Li}(p,p)^7\text{Li}$, $^7\text{Li}(p,p)^7\text{Li}$, $^7\text{Li}(p,\alpha)^4\text{He}$, $^{13}\text{F}(p,p)^{13}\text{F}$, $^{16}\text{O}(p,\alpha)^{13}\text{F}$ and $^{16}\text{O}(p,\alpha,\gamma)^{13}\text{F}$ reactions, Nuclear Instruments and Methods in Physics Research B ۲۸۸ (۲۰۱۲) ۵۳-۵۹
- ۷- www-nds.iaea.org/exfor/ibandl.htm