



تعیین میزان اندرکنش شکافت در اورانیوم طبیعی با استفاده از آشکارسازهای CR-۳۹

مهرداد، ابراهیمی*؛ بهروز، صالح‌پور؛ فرهاد، یزدان‌ستاد

دانشگاه تبریز، دانشکده فیزیک، گروه فیزیک هسته‌ای

چکیده

در این پژوهش، با قرار دادن آشکارسازهای CR-۳۹ در تماس با پولک اورانیوم طبیعی و تابش‌دهی نوترون‌های سریع و حرارتی به آن، ردپاهای محصولات شکافت در آشکارساز مشخص شد. برای وضوح رؤیت این ردپاها زیر میکروسکوپ نوری، پلیمرهای تابش‌دیده با مواد شیمیایی بازی نظیر سدیم هیدروکسید سونش داده شد. با داشتن تعداد ردپاهای محصولات شکافت و زمان تابش‌دهی نوترون، میزان اندرکنش شکافت در نمونه اورانیوم به صورت تجربی به دست آمد. برای بررسی دقت آشکارسازهای استفاده شده، میزان اندرکنش شکافت در اورانیوم طبیعی بصورت تئوری نیز محاسبه شد. نتایج حاصل نشان داد که مقادیر تجربی با تئوری با تقریب خوبی مطابقت دارد.

کلید واژه: آشکارسازهای رد هسته‌ای حالت جامد، CR-۳۹، سونش شیمیایی، میزان اندرکنش شکافت

۱. مقدمه

پلی آلی دی‌گلیکول (PADC) موسوم به CR-۳۹ با ساختار شیمیایی $C_{12}H_{18}O_7$ یکی از مهم‌ترین پلیمرهای ترموست، و متداول‌ترین پلیمر پلاستیکی برای آشکارسازی مسیر ذرات باردار است [۱ و ۲]. در اثر برخورد ذرات باردار با آشکارسازهای رد هسته‌ای حالت جامد، بریدگی یا سوراخ‌های ریزی در اتصالات ساختاری این آشکارسازها به وجود می‌آید، برای بزرگ‌تر کردن رد این ذرات و مشاهده آنها زیر میکروسکوپ نوری، باید این آشکارسازها را تحت سونش قرار دهیم [۳]. سونش نیز انواع مختلفی مانند سونش شیمیایی، الکتروشیمیایی، فراصوتی، پلاسمایی، القای ریزموج شیمیایی و ... دارد؛ که از بین آنها متداول‌ترین و راحت‌ترین سونش، سونش شیمیایی است. در این سونش ماده شیمیایی که معمولاً محلول بازی مانند سدیم هیدروکسید (NaOH) یا پتانسیم هیدروکسید (KOH) است با سطح آشکارساز و با سطح درونی رد ذره وارد واکنش می‌شود و یک سوراخ مخروطی شکل ایجاد می‌کند، که در این حالت اگر با میکروسکوپ به رد ذره نگاه کنیم، آن را به صورت دایره‌ای یا بیضی مانند می‌توانیم مشاهده نماییم.

با توجه به اینکه سونش باید ردپاها را به طور یکسان رشد دهد و لبه‌های صاف و واضحی از ردپاها ایجاد کند تا آنالیز تصاویر آنها به خوبی انجام شود، بنابراین شرایط و نوع سونش، غلظت، دما، و زمان آن باید به صورت دقیق و کنترل شده انجام شود [۵ و ۴].

چگالی برخورد یا میزان اندرکنش شکافت اورانیوم طبیعی با استفاده از رابطه زیر بدست می‌آید:

$$F = \Sigma_f \varphi \quad (1)$$

که در این رابطه φ شار نوترونی و Σ_f سطح مقطع ماکروسکوپی شکافت است که بصورت زیر تعریف می‌شود و یکای آن cm^{-1} است:

$$\Sigma_f = N \sigma_f \quad (2)$$

در رابطه (۲)، σ_f سطح مقطع شکافت و N چگالی اتمی اورانیوم (^{235}U یا ^{238}U) است و برابر است با:

$$N_i = \frac{y_i \rho N_A}{M} \quad (3)$$

که در این رابطه N_A عدد آووگادرو، ρ چگالی فیزیکی و y_i درصد فراوانی i آمین ایزوتوپ است [۶]. با دانستن انرژی پاره‌های شکافت، می‌توان برد هر یک از پاره‌ها را در اورانیوم با استفاده از برنامه SRIM بدست آورد و در نهایت با ضرب برد یعنی عمق نفوذ پاره‌های شکافت (R) در اورانیوم، در سطح موثر مورد نظر در نمونه اورانیوم (S_{eff}) که متناسب با سطح عکس‌برداری در نظر گرفته شد، می‌توان حجم موثری از نمونه را بدست آورد که در آن حجم پاره‌های شکافت می‌توانند خود را به سطح نمونه برسانند؛ یعنی:

$$V_{eff} = S_{eff} R_{total} \quad (4)$$

با داشتن میزان اندرکنش شکافت اورانیوم (F) و حجم موثر (V_{eff}) می‌توان میزان اندرکنش شکافت اورانیوم در این حجم را به صورت زیر بدست آورد:

$$F_{eff} = F V_{eff} \quad (5)$$

هدف ما در پژوهش حاضر، آشکارسازی و شمارش تعداد ردپاهای محصولات شکافت اورانیوم طبیعی و سنجش میزان اندرکنش شکافت در نمونه اورانیوم با استفاده از آشکارسازهای رد هسته‌ای حالت جامد ($CR-39$) است. (۳۹)

۲. روش کار

یک قرص اورانیوم طبیعی با شعاع ۱۱ mm و جرم ۸/۲ gr، بین دو پولک آشکارساز $CR-39$ با ضخامت ۰/۷۵mm و ابعاد ۷×۷ mm، ساندویچ شد و در مدت زمان و فاصله‌ای معلوم در معرض نوترون‌های گسیلی



از چشمه نوترونی $^{241}\text{Am-Be}$ دانشگاه محقق اردبیلی قرار داده شد. در حالتی که نمونه (قرص اورانیوم طبیعی) چسبیده به چشمه بود، نوترون‌های شکافت‌دهنده همگی نوترون سریع با انرژی متوسط $4/5 \text{ MeV}$ در محاسبات سطح مقطع شکافت (^{238}U و ^{235}U) فرض شد. شار نوترون‌ها در این حالت با در نظر گرفتن قدرت چشمه مورد استفاده و بر اساس اندازه‌گیری‌های قبلی $\frac{n}{\text{sec.cm}^2} = 10^7$ بود. همچنین در فواصل دور از چشمه، سطح مقطع شکافت در ناحیه حرارتی منظور شد (^{235}U) و با توجه به اینکه چشمه درون آب بود، شار نوترون‌ها از رابطه شار چشمه نقطه‌ای با قدرت $\frac{n}{\text{sec.cm}^2} = 10^6 \times 2/5$ و با وارد کردن طول پخش گرمایی L و ضریب دیفیوژن D مربوط به محیط آب در فاصله‌های مورد نظر محاسبه گردید. پاره‌های شکافت حاصل از اندرکنش برخورد نوترون‌ها به اورانیوم، بر روی آشکارسازهای $CR-39$ واقع در طرفین اورانیوم، سوراخ‌های ریزی ایجاد کرد که قابل مشاهده نبودند. به منظور رؤیت این اثرها زیر میکروسکوپ نوری، پولک‌های $CR-39$ تحت سونش شیمیایی قرار گرفتند تا اندازه سوراخ‌های ایجاد شده افزایش یابد. عمل سونش با مناسب‌ترین ماده و تحت شرایط متداول برای چنین پلیمرهایی، یعنی با استفاده از محلول سدیم هیدروکسید 6 مولار، به مدت 3 ساعت و در دمای 70 درجه سانتی‌گراد درون کوره nabertherm (مدل $p320$ controller) انجام گرفت. برای تمیزکاری بعد از عمل سونش، پولک‌ها درون بشر حاوی آب مقطر توسط دستگاه اولتراسونیک به مدت 15 دقیقه شستشو داده شده و سپس کاملاً خشک شدند. ضمناً برای جلوگیری از بروز تورم‌های ناشی از رطوبت بجا مانده بروی پولک‌ها که ممکن بود در مشاهده ردپاها خطا ایجاد کنند، نمونه‌ها به مدت 2 روز در محیطی خشک و بدون رطوبت قرار داده شدند [۸ و ۷]. در مرحله آخر، با استفاده از دوربین دیجیتال نصب شده به میکروسکوپ نوری (مدل Olympus BH2-UMA) متصل به کامپیوتر، چند عکس از نمونه‌ها تهیه شد و با کمک برنامه MATLAB تعداد ردپاهای محصولات شکافت آشکارسازی شده، شمارش گردید.

از آنجایی که میزان اندرکنش موثر تجربی برابر است با:

$$(6) \quad \text{میزان اندرکنش موثر تجربی } (F_{\text{eff}}) = \frac{\text{تعداد ردپاهای مشاهده شده (T)}}{\text{مدت زمان تابش دهی t (ثانیه)}}$$

بنابراین با دانستن زمان تابش دهی و تعداد ردپاهای مشاهده شده، می‌توان میزان اندرکنش موثر نوترون‌ها در اورانیوم طبیعی را بدست آورد.

۳. نتایج

میزان اندرکنش موثر نوترون‌های سریع و کند بصورت نظری با استفاده از سه رابطه زیر بدست آمد:



$$F_{eff} = F_{fast} \times V_{eff} = \frac{1/206 \times 10^{-2}}{\text{ثانیه}} \quad \text{میزان اندرکنش در نمونه در حالت چسبیده به چشمه} \quad (7)$$

$$F_{eff} = F_{slow} (2\text{cm}) \times V_{eff} = \frac{2/833 \times 10^{-3}}{\text{ثانیه}} \quad \text{میزان اندرکنش در نمونه در فاصله ۲ سانتی متری چشمه} \quad (8)$$

$$F_{eff} = F_{slow} (5\text{cm}) \times V_{eff} = \frac{3/99 \times 10^{-4}}{\text{ثانیه}} \quad \text{میزان اندرکنش در نمونه در فاصله ۵ سانتی متری چشمه} \quad (9)$$

فاصله‌ها و زمان‌های تابش‌دهی نوترون‌های کند به قرص اورانیومی سان‌دویچ شده بین دو پولک CR-۳۹، بصورت زیر بود:

الف) در فاصله ۲cm و زمان تابش‌دهی نوترونی ۲ ساعت. ب) در فاصله ۵cm و زمان‌های تابش‌دهی نوترونی، ۲، ۳ و ۵ ساعت. زمان‌های تابش‌دهی نوترون‌های سریع نیز، ۳، ۵، ۷، ۱۰ و ۲۵ دقیقه بود. شکل ۳-۱ نمونه‌ای از تصاویر پاره‌های شکافت و ذرات آلفای آشکار شده را نشان می‌دهد.



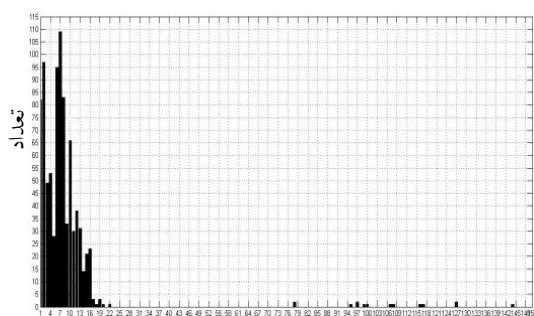
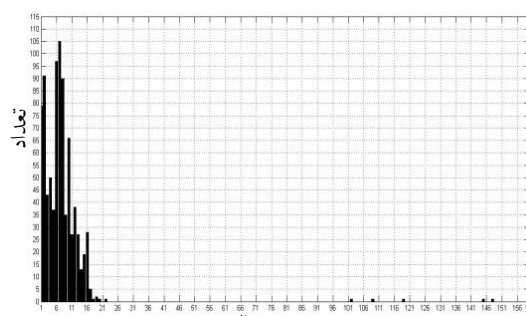
(ب)



(الف)

شکل ۳-۱: اثر پاره‌های شکافت و ذرات آلفا بر آشکارساز CR-۳۹ طی تابش‌دهی نوترون کند به مدت ۲ ساعت.

الف) آشکارساز روبروی چشمه. ب) آشکارساز پشت اورانیوم

(ب) مساحت (μm^۲) × ۲/۲(الف) مساحت (μm^۲) × ۲/۲

شکل ۳-۲: نمودار تعداد پاره‌های شکافت و ذرات آلفا بر حسب مساحت در زمان تابش‌دهی ۲ ساعت

الف) آشکارساز روبروی چشمه. ب) آشکارساز پشت به اورانیوم

اگر بخواهیم از برنامه MATLAB برای شمارش پاره‌های شکافت استفاده کنیم، باید نمودار مساحت دهانه ردپاهای مشاهده شده را بر حسب تعداد آنها رسم کنیم، چنانکه در شکل ۳-۲ نشان داده شده است. از آنجایی



که مساحت رد پاره‌های شکافت خیلی بیشتر از ذرات آلفا است به راحتی می‌توان آنها را روی نمودار مشخص کرد، و تعداد آنها را به دست آورد.

با توجه به رابطه (۶) می‌توان از تعداد ردپاهای بدست آمده و زمان تابش نوترون به آشکارساز، میزان اندرکنش موثر قابل آشکارسازی را برای فاصله‌های مختلف نمونه از چشمه نوترونی بدست آورد.

جدول ۳-۱ نتایج حاصل از این آزمایش‌ها و خطایی که با مقدار واقعی در محاسبات (روابط ۷ تا ۹) دارند، را نشان می‌دهد.

جدول ۳-۱: میزان اندرکنش موثر نوترون‌های سریع و کند محاسبه شده با استفاده از آشکارساز CR-۳۹.

فاصله نمونه از چشمه (cm)	زمان تابش‌دهی نوترون (t)	تعداد پاره‌های شکافت آشکارساز رویه	تعداد پاره‌های شکافت آشکارساز پشتی	تعداد کل ردپاهای شکافت (T)	میزان اندرکنش موثر (F_{eff})	خطای نسبی بین محاسبات تجربی و نظری %
۰	۵ دقیقه	۲	۱	۳	1.000×10^{-2}	۱۷/۱
۰	۸ دقیقه	۳	۲	۵	1.041×10^{-2}	۱۳/۷
۰	۱۰ دقیقه	۵	۲	۷	1.166×10^{-2}	۳/۳
۰	۲۵ دقیقه	۱۳	۵	۱۸	1.200×10^{-2}	۰/۵
۲	۲ ساعت	۱۴	۶	۲۰	2.77×10^{-3}	۲/۲
۵	۲ ساعت	۲	۰	۲	2.77×10^{-4}	۳۰/۶
۵	۳ ساعت	۳	۱	۴	3.70×10^{-4}	۷/۳
۵	۵ ساعت	۵	۲	۷	3.88×10^{-4}	۲/۸

۴. بحث و نتیجه‌گیری

با توجه به جدول ۳-۱ دیده می‌شود که در زمان‌های کوتاه تابش‌دهی، چه در تابش نوترون‌های سریع (نمونه چسبیده به چشمه) و چه در تابش نوترون‌های کند که تعداد پاره‌های شکافت کم است، خطای تقریباً زیادی بین محاسبات تجربی و نظری در محاسبه میزان اندرکنش موثر وجود دارد ولی هرچه زمان تابش‌دهی بالاتر رود خطا کمتر می‌شود. پس می‌توان به این نتیجه رسید که در زمان‌های تابش‌دهی که تعداد پاره‌های شکافت زیاد هستند، میزان اندرکنش موثر شکافت که به صورت تجربی بدست آمد مطابقت خوبی با محاسبات نظری دارد. در واقع می‌توان گفت آشکارساز CR-۳۹ با آشکارسازی پاره‌های شکافت می‌تواند برای سنجش میزان اندرکنش شکافت، کاربرد داشته باشد؛ و از آنجا می‌توان به درستی به کمیت‌هایی مثل سطح مقطع و شار نوترونی پی برد.

مراجع



- [۱] Durrani, S. A. "Nuclear tracks today: Strengths, weaknesses, challenges". Proceedings of the ۲۳rd International Conference on Nuclear Tracks in Solids. Vol. ۴۳. pp. S۲۶-S۳۳. ۲۰۰۸.
- [۲] Mishra, R. and et al. "Impact of electron irradiation on particle track etching response in Polyallyl Diglycol Carbonate (PADC)". Pramana journal of physics. Vol. ۵۴, No. ۵. pp. ۷۷۷-۷۸۴. ۲۰۰۰.
- [۳] Kalsi, P. C. Ramaswami, A. and Manchanda, V. K. "Solid State Nuclear Track Detectors and their Applications". Radiochemistry Division. pp. ۱۵-۱۸. . ۲۰۰۵
- [۴] Tripathy, S. P. and et al. "Microwave-induced chemical etching (MCE): A fast etching technique for the solid polymeric track detectors (SPTD)". Nuclear Instruments and Methods in Physics Research A ۶۱۲. pp. ۴۲۱-۴۲۶. ۲۰۱۰.
- [۵] Tsoufanidi, N. "Measurement and Detection of Radiation". Taylor & Francis. Second Edition, pp. ۶۱۴. ۱۹۹۵.
- [۶] Lamarsh, J.R. and Baratta, A.J. "Introduction to Nuclear Engineering". Prentice-Hall Inc. Third Edition. pp. ۷۸۳. ۲۰۰۱.
- [۷] Fairchild, R. and et al. "Automating radon solid state track detector measurements". Radiation Measurements ۴۶. Pp. ۱۷۷۳-۱۷۷۷. ۲۰۱۱.
- [۸] Kodaira, S. and et al. "New method of the precise measurement for the thickness and bulk etch rate of the solid-state track detector". Nuclear Instruments and Methods in Physics Research A ۵۷۴. pp. ۱۶۳-۱۷۰. ۲۰۰۷.