

نشریه تابش و فناوری هسته‌ای، دوره ۴، شماره ۳، پاییز ۱۳۹۶

بازیابی طیف نوترون با استفاده از کد MCNPX و الگوریتم تکرار کد SAND-II

ابوالفضل حیدرزاده^۱، یاسر کاسه ساز^{۲*}، سعید محمدی^۳

^۱ دانشجوی دکتری، گروه فیزیک، دانشگاه پیام نور، تهران، تهران، ایران

^۲ استادیار، پژوهشگاه علوم و فنون هسته‌ای ایران، سازمان انرژی اتمی، تهران، تهران، ایران

^۳ استاد، گروه فیزیک، دانشگاه پیام نور، تهران، تهران، ایران

(تاریخ دریافت مقاله: ۱۳۹۶/۰۳/۲۶ - تاریخ پذیرش مقاله: ۱۳۹۶/۰۵/۱۱)

چکیده

در استفاده از چشمه نوترونی برای کاربردهای مختلف دانستن طیف این چشمه بسیار مهم است. یکی از روش‌های رایج برای اندازه‌گیری طیف انرژی نوترون روش فعال سازی پولک‌های آستانه‌ای و استفاده از کدهای بازیابی طیف نظیر SAND-II است. از محدودیت‌های این کد این است که هندسه چشمه و محیط آزمایش پرتوگیری پولک‌ها در آن قابل تعریف نیست. در این مطالعه، برای حذف این محدودیت‌ها، با استفاده از ترکیب الگوریتم تکرار موجود در کد SAND-II و کد MCNPX یک کد جدید معرفی شده است. هندسه کامل محیط آزمایش پرتوگیری شامل هندسه پولک و چشمه می‌تواند به وسیله کد MCNPX شبیه‌سازی شود. در کد پیشنهادی از الگوریتم تکرار اصلاح شده موجود در کد SAND-II بهره‌گرفته شده است. نتایج تحقیق نشان می‌دهد که نحوه چینش پولک‌ها مقابل چشمه نوترونی در مقدار فعالیت اشباع ایجاد شده در آن‌ها مؤثر است. همچنین با استفاده از اطلاعات به دست آمده توسط کد پیشنهادی ما، طیف بازیابی شده توسط این کد توافق خوبی با دیگر روش‌های بازیابی طیف نوترون دارد.

واژه‌های کلیدی: طیف سنجی نوترون، فعال سازی پولک‌های آستانه‌ای، کد SAND-II، کد MCNPX، فعالیت اشباع

* تهران، تهران، سازمان انرژی اتمی ایران، پژوهشگاه علوم و فنون هسته‌ای، کدپستی: ۱۴۳۹۹-۵۱۱۱۳

پست الکترونیکی: ykasesaz@aeoi.org.ir

۱. مقدمه

معمول شکستن بازه انرژی E به N گروه گسسته و تبدیل معادله ۱ به شکل جمع، یا ماتریس، به صورت زیر است:

$$C_i \approx \sum_{k=1}^N R_{ik} \varphi_k \quad ; \quad i=1,2,\dots,M \quad (2)$$

که در آن R_{ik} و φ_k به ترتیب مقادیر میانگین $R_i(E)$ و $\varphi(E)$ در بازه انرژی k ام است [۵]. در حالت کلی، چون تعداد گروه‌های انرژی N ، بیشتر از تعداد پاسخ‌های اندازه‌گیری شده آشکارسازها، M است، پاسخ معادلات منحصر به فرد نیست. همچنین به دست آوردن طیف بدون تعیین حدس اولیه در مقدار آن ممکن نیست [۶]. فرایند یافتن $\varphi(E)$ از معادله ۲ بازایی طیف نامیده می‌شود [۷].

برای بازایی طیف نوترون، روش‌های مختلفی توسعه پیدا کرده است از جمله روش ماتریس معکوس، کمترین مربعات، تکرار، مونت کارلو، ماکزیمم آنتروپی و الگوریتم ژنتیک [۸].

کد SAND-II براساس الگوریتم تکرار عمل می‌کند. در این روش، با داشتن فعالیت اشباع هر پولک، حدس اولیه طیف انرژی نوترون و استفاده از ضرایب تصحیح و وزنی مناسب، سعی می‌شود طیف نوترون حدس زده شده به طیف واقعی نزدیک شود [۹]. در این کد، هندسه چشمه نوترونی، پولک و محیط آزمایش پرتوگیری پولک‌ها نمی‌تواند تعریف شود. این در حالی است که این عوامل در نتایج اندازه‌گیری فعالیت پولک‌ها تأثیرگذار هستند. هدف این مقاله تولید یک کد بازایی جدید است که بتواند این عوامل را در محاسبات لحاظ کند. برای این منظور با

طیف سنجی نوترون در توسعه کاربردهای نوترون در حوزه‌های مختلف بسیار مهم است [۱]. یکی از رایج‌ترین روش‌ها برای تعیین طیف انرژی نوترون روش فعال سازی پولک‌های آستانه‌ای است [۲]. طیف‌سنجی نوترون با استفاده از پولک‌های آستانه‌ای شامل اندازه‌گیری فعالیت پولک‌های نازک قرار گرفته در معرض نوترون است [۳]. با داشتن فعالیت اشباع هر پولک، طیف انرژی نوترون می‌تواند محاسبه شود.

تعیین طیف انرژی نوترون به وسیله اندازه‌گیری فعالیت پولک‌ها حل یک مسأله وارون است. چنین فرآیندی بازایی طیف انرژی نوترون^۱ نامیده می‌شود [۴]. در حقیقت، بازایی طیف نوترون عبارت است از تعیین طیف نوترون با استفاده از آثار ایجاد شده در مواد هدف، نظیر فعال شدن پولک‌های هدف است.

معادله اساسی در این روش معادله انتگرالی فردهلم^۲ است که به صورت زیر است:

$$C_i \approx \int_0^{\infty} R_i(E) \varphi(E) dE \quad ; \quad i=1,2,\dots,M \quad (1)$$

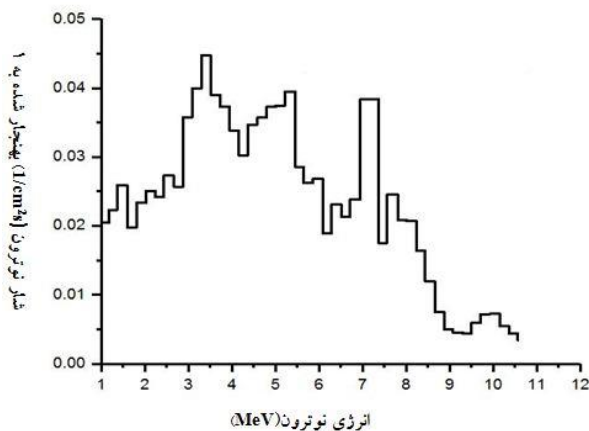
که C_i ، $R_i(E)$ ، $\varphi(E)$ و M به ترتیب کمیت اندازه‌گیری شده واکنش i ام، سطح مقطع واکنش i ام، شار نوترون و تعداد واکنش-هاست. بازایی طیف نوترون در اینجا، تعیین مقدار $\varphi(E)$ به گونه‌ای است که معادله انتگرالی بالا را برآورده کند. نگرش

² Fredholm

¹ neutron energy spectrum unfolding

عنوان ورودی برنامه نوشته شده با الگوریتم SAND-II برای محاسبه طیف انرژی نوترون در نظر گرفته می‌شود. فرایند تکرار تا زمانی ادامه می‌یابد که طیفی که بتواند این فعالیت‌های تجربی پولک‌ها را تولید کند ایجاد گردد.

به عنوان یک مثال مهم، کاربرد این روش در اندازه‌گیری طیف انرژی نوترون چشمه امرسیم- بلریم در نظر گرفته شده است. این چشمه همچنین توسط دیگر روش‌های بازیابی طیف مورد بررسی قرار گرفته است [۱۱]. طیف تجربی این چشمه در شکل ۱ نشان داده شده است. سطح زیر منحنی طیف به عدد ۱ بهنجار شده است.



شکل ۱. طیف انرژی نوترون چشمه $^{241}\text{Am-Be}$ [۱۲]

۲.۲. بررسی اثرات چیش پولک‌ها در مقدار فعالیت اشباع آن‌ها

برای بررسی تأثیر چیش پولک‌ها در مقدار فعالیت اشباع آن‌ها، پرتوگیری پولک‌ها با سه چیش متفاوت در مقابل چشمه نقطه‌ای نوترونی همسانگرد امرسیم- بلریم به عنوان چشمه

استفاده از الگوریتم تکرار به کار رفته در کد SAND-II و با استفاده از کد MCNPX یک کد بازیابی طیف به زبان برنامه نویسی Fortran 90 نوشته شد. هندسه کامل محیط آزمایش پرتوگیری پولک‌ها با کد MCNPX قابل شبیه‌سازی است.

۲. مواد و روش‌ها

۱.۲. ترکیب MCNPX و الگوریتم SAND-II

در هر حلقه تکرار در کد SAND-II، سهم هر گروه انرژی در طیف به وسیله رابطه زیر محاسبه می‌شود:

$$\varphi_j^{[k+1]} = \varphi_j^{[k]} \exp(C_j^{[k]}) \quad (3)$$

که در آن k و j به ترتیب تعداد حلقه‌های تکرار و تعداد گروه‌های انرژی هستند. پارامتر C بستگی به مقدار فعالیت پولک هدف در بازه انرژی گروه مورد بررسی دارد. فرایند تکرار در کد تا زمانی ادامه می‌یابد که مقادیر فعالیت‌های محاسبه شده برای پولک‌ها توسط کد با مقادیر تجربی اولیه آن‌ها، که به عنوان داده‌های ورودی به کد معرفی شده بود، نزدیک گردد [۱۰]. مقدار فعالیت پولک‌ها بستگی به هندسه چشمه و موقعیت پرتوگیری پولک‌ها نسبت به چشمه دارد و این پارامترها در این کد نظر گرفته نمی‌شود.

در برنامه نوشته شده در این مقاله، هندسه چشمه و محیط آزمایش به طور کامل به وسیله کد MCNPX شبیه‌سازی می‌شود و طیف اولیه انرژی چشمه به طور حدسی به برنامه معرفی می‌شود. در فرایند تکرار برنامه، فعالیت‌های هر پولک توسط کارت های F4 و FM4 محاسبه می‌شود. فعالیت‌های محاسبه شده به

جدول ۱. پولک‌های به کار رفته در آزمایش بررسی تأثیر چینش پولک‌ها در مقدار فعالیت اشباع آن‌ها، همراه چگالی و نوع واکنش آن‌ها

پولک	چگالی (gr/cm ³)	واکنش
⁶³ Cu	۸/۹۶	(n,p)
²⁷ Al	۲/۷۰۲	(n,p)
⁵⁶ Fe	۷/۸۶	(n,p)
⁵⁸ Ni	۸/۹۰۲	(n,p)
⁵⁹ Co	۸/۹	(n, α)
³² S	۲/۰۷	(n, α)
¹⁰⁹ Ag	۱۰/۵	(n, α)

فعالیت هر پولک بعد از پرتوگیری از رابطه زیر به دست می‌آید:

$$A(t) = A_{sat}(1 - e^{-\lambda t}) \quad (۴)$$

که A_{sat} ، λ و t به ترتیب بیانگر فعالیت اشباع^۲، ثابت واپاشی محصول فعال‌سازی و زمان پرتوگیری پولک است. فعالیت اشباع از رابطه زیر به دست می‌آید:

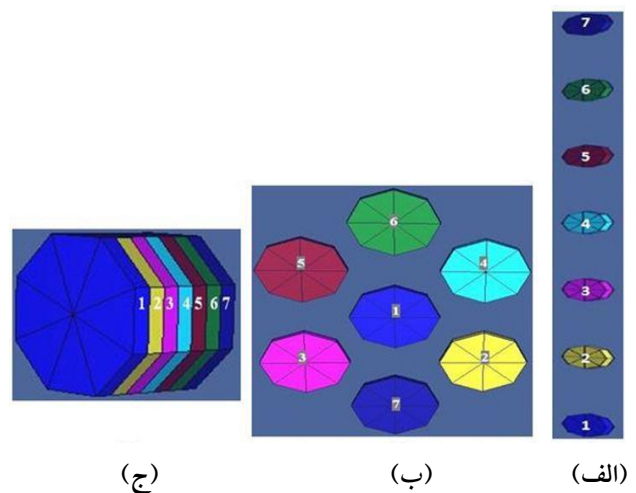
$$A_{sat} = N_0 \int \sigma(E) \phi(E) dE \quad (۵)$$

که N_0 تعداد هسته‌های هدف است.

در هر کدام از چینش‌های سه گانه پولک‌ها مقادیر فعالیت اشباع آن‌ها در کد MCNPX توسط کارت F4/FM4 محاسبه می‌شود. این کارت به کاربر اجازه می‌دهد تا معادلاتی از نوع معادله ۵ را حل کند. در شکل ۳ مقادیر فعالیت اشباع پولک‌ها، برای سه چینش متفاوت معرفی شده در شکل ۲، به صورت

استاندارد (ISO^۱)، نشان داده شده در شکل ۱، توسط کد MCNPX شبیه سازی شده است. در شکل ۲ سه چینش متفاوت پولک‌ها مقابل چشمه نوترونی استاندارد نشان داده شده است. پولک‌ها به صورت قرص‌هایی به شعاع ۰/۵cm و ضخامت ۱ mm در نظر گرفته شده‌اند. شماره هر پولک روی آن درج شده است. در چینش الف و ب پولک‌ها در صفحه‌ای چیده شده‌اند که فاصله این صفحه از چشمه نوترونی ۱۰cm است. در چینش ج پولک‌ها به شکل قرص‌های به هم چسبیده چیده شده‌اند و فاصله پولک ۱ تا چشمه نوترونی ۱۰cm است.

در جدول ۱ پولک‌های به کار رفته و نوع واکنش هریک از آن‌ها آمده است. برای محاسبه فعالیت اشباع هر پولک در کد MCNPX از داده‌های کتابخانه ای ENDF-B-VI موجود در این کد استفاده شده است.



شکل ۲. سه چینش متفاوت پولک‌ها مقابل چشمه نوترونی

² Saturation activity

¹ International Organization for Standardization

اندازه گیری شده) در نظر گرفته شده است. جهت جلوگیری از تأثیر پولک‌های مجاور در فعالیت اشباع پولک مورد بررسی، تک پولک‌ها به صورت انفرادی در یک مکان مشخص به فاصله ۱۰ سانتی متری از چشمه قرار داده شده اند.

در گام بعدی فعالیت‌های محاسبه شده توسط کد MCNPX، به عنوان فعالیت‌های تجربی، و یک طیف حدسی به کد پیشنهادی به عنوان ورودی داده شده است. طیف حدسی به صورت یک طیف تک انرژی در نظر گرفته شده است. طیف سعی می‌کند با استفاده از روش تکرار طیف حدسی را به طیف واقعی نوترون، که سبب ایجاد فعالیت‌های تجربی پولک‌ها شده است، نزدیک کند. اساس کار کد پیشنهادی به صورت نمودار گردشی در شکل ۴ نشان داده شده است.

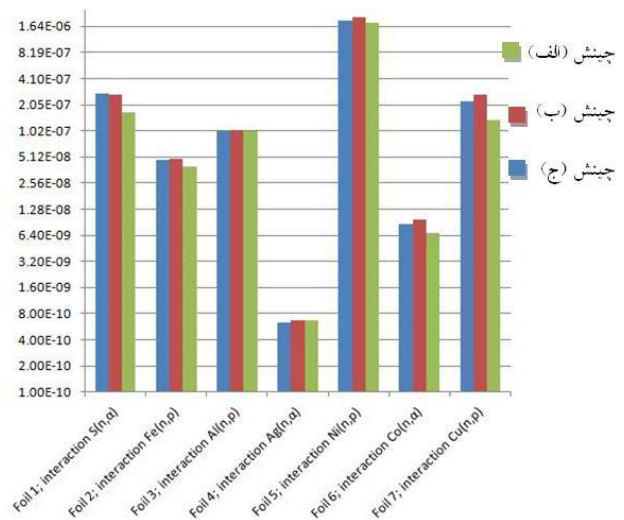
الگوریتم تکرار در برنامه زمانی متوقف می‌شود که عبارت زیر به مقدار مشخصی که توسط کاربر تعیین می‌شود برسد:

$$Q = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n \left(\frac{A_i - A_i^{[k]}}{A_i} \right)^2 \quad (6)$$

که A_i و $A_i^{[k]}$ به ترتیب مقادیر فعالیت‌های اشباع پولک‌ها در آزمایش مجازی و تکرار k ام برنامه است [۱۳].

برای مقایسه میزان تطابق طیف بازیابی شده با طیف استاندارد از آزمون "کای مربع" که بیانگر فراوانی مشاهده شده یک پدیده پدیده یا متغیر در آزمایش با فراوانی مورد انتظار آن است، استفاده می‌شود. رابطه آن به صورت زیر است:

نمودار ستونی نشان داده شده است. برای مقایسه بهتر، داده‌ها در مقیاس لگاریتمی رسم شده است. جنس هر پولک و نوع واکنش آن در پایین هر ستون مشخص شده است. از مقایسه داده‌ها در نمودار ستونی می‌توان دریافت که نحوه چینش پولک‌ها مقابل چشمه نوترونی در مقدار فعالیت اشباع آن‌ها مؤثر است. این موضوع در کد SAND-II لحاظ نمی‌شود.



شکل ۳. مقایسه فعالیت اشباع پولک‌ها برای سه چینش متفاوت نشان داده شده در شکل ۲

۳.۲. آزمون کد پیشنهادی

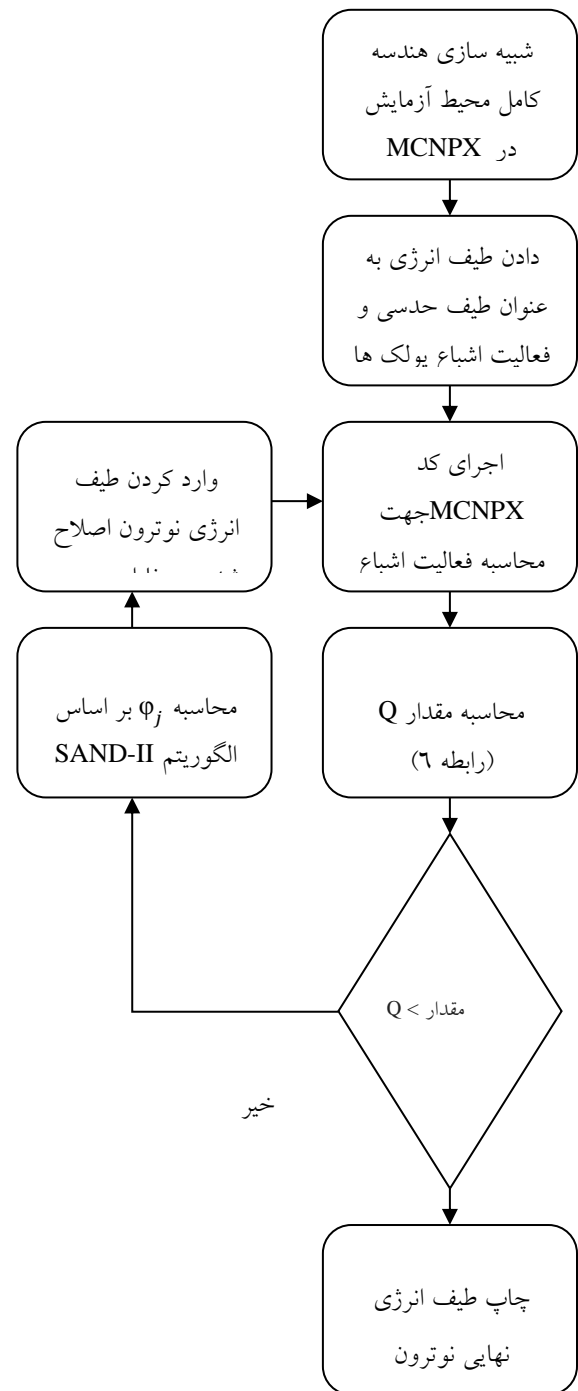
برای آزمون کد پیشنهادی یک آزمایش مجازی برای اندازه‌گیری طیف انرژی چشمه نوترونی $^{241}\text{Am-Be}$ توسط کد MCNPX طراحی شده است. برای این منظور از تمام واکنش‌های معرفی شده در جدول ۱ استفاده شده است. فعالیت‌های اشباع محاسبه شده پولک‌ها توسط کد MCNPX به عنوان فعالیت‌های تجربی

¹ Chi- square

که O_i و E_i به ترتیب تعداد گروه‌های انرژی، فراوانی مشاهده شده و مورد انتظار در هر گروه انرژی است [۱۴]. هر چقدر مقدار χ^2 برای دو طیف مورد بررسی کمتر باشد، میزان تطابق آن‌ها به یکدیگر بیشتر است.

۳. نتایج

در جدول ۲، مقادیر فعالیت‌های اشباع به دست آمده برای پولک‌های به کار رفته در فرایند بازیابی طیف، به ازای سه مقدار مختلف از Q ، با مقادیر آن‌ها در آزمایش مجازی مقایسه شده است. همچنین خطای نسبی محاسبه فعالیت اشباع پولک‌ها، نسبت به مقادیر اصلی آن‌ها در آزمایش مجازی، در داخل پرانتز آمده است. در شکل ۵ طیف بازیابی شده، با سه مقدار متفاوت Q ، با طیف استاندارد چشمه Am-Be مقایسه شده است. همچنین در جدول ۳، مقادیر محاسبه شده χ^2 طیف‌های بازیابی شده نسبت به طیف استاندارد داده شده است. با توجه به داده‌های موجود در این جدول مشاهده می‌شود که با کاهش مقدار Q در فرایند تکرار برنامه، مقدار χ^2 کاهش می‌یابد. بنابراین با توجه به شکل ۵ و داده‌های موجود در جدول‌های ۲ و ۳ می‌توان دریافت که با کاهش مقدار Q در فرایند تکرار برنامه، طیف بازیابی شده توفیق بهتری با طیف استاندارد پیدا می‌کند. در شکل ۶ طیف بازیابی شده نهایی، به ازای $Q = 1/07 \times 10^{-7}$ با طیف استاندارد و دیگر طیف‌های بازیابی شده موجود در منبع [۱۱] مقایسه شده است. سطح زیر منحنی تمام طیف‌ها به عدد ۱ بهنجار شده است.

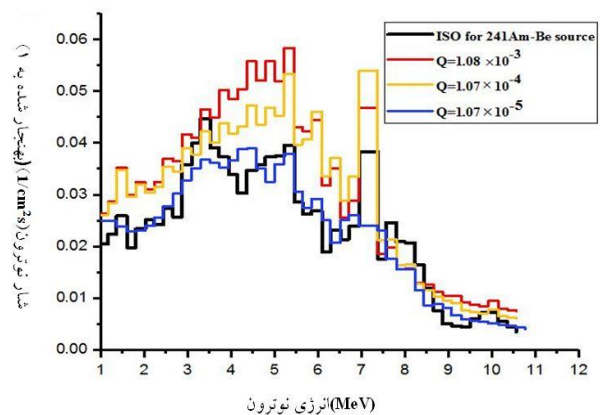
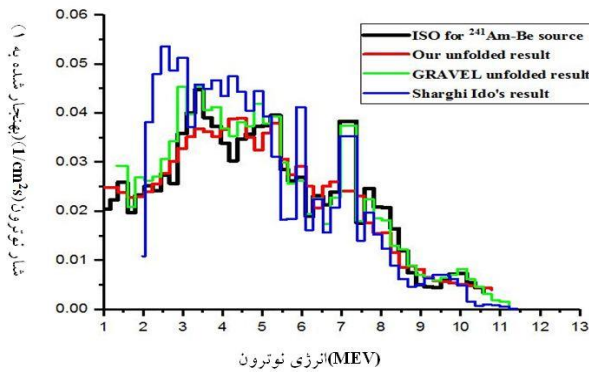


شکل ۴. نمودار گردش‌ی روش حل مسأله

$$\chi^2 = \sum_{i=1}^m \frac{(O_i - E_i)^2}{E_i} \quad (7)$$

جدول ۱۱. مقایسه فعالیت اشباع پولک‌ها در فرایند بازیابی طیف نسبت به مقادیر آن‌ها در آزمایش مجازی (خطای نسبی محاسبه فعالیت‌های اشباع در داخل پراتنز آمده است)

پولک	واکنش	فعالیت اشباع در آزمایش مجازی (10^{-6} s^{-1})	فعالیت اشباع به ازای $Q=1/0.8 \times 10^{-3}$ (10^{-6} s^{-1})	فعالیت اشباع به ازای $Q=1/0.7 \times 10^{-4}$ (10^{-6} s^{-1})	فعالیت اشباع به ازای $Q=1/0.8 \times 10^{-5}$ (10^{-6} s^{-1})
^{27}Al	(n,p)	۰/۱۰۵۱	۰/۱۰۳۹(-۱/۱۴)	۰/۱۰۶۳(-۰/۸۹)	۰/۱۰۵۱(۰)
	(n, α)	۰/۰۳۴	۰/۰۳۵۷(+۵)	۰/۰۳۴۱(+۰/۲۹)	۰/۰۳۹۱(+۱۵)
	(n, γ)	۰/۰۰۰۴	۰/۰۰۰۴(۰)	۰/۰۰۰۴(۰)	۰/۰۰۰۴(۰)
^{28}Si	(n,p)	۰/۲۰۷۳	۰/۱۹۲۸(-۶/۹۹)	۰/۲۰۲۴(-۲/۳۶)	۰/۲۰۶۱(-۰/۵۸)
^{56}Fe	(n,p)	۰/۰۵۴۵	۰/۰۵۴۱(-۰/۷۳)	۰/۰۵۴۸(+۰/۵۵)	۰/۰۵۴۷(+۰/۳۷)
^{115}In	(n,n')	۳/۵۷۲۷	۳/۵۸۰۳(+۰/۲۱)	۳/۵۶۴۳(-۰/۲۴)	۳/۵۶۸۵(-۰/۱۸)
	(n, γ)	۰/۱۱۸۵	۰/۱۱۷۳(-۱/۰۱)	۰/۱۱۸۴(-۰/۰۸۵)	۰/۱۱۸۴(-۰/۰۸۵)



شکل ۶. مقایسه طیف انرژی نوترون بازیابی شده به سه شیوه متفاوت (روش پیشنهادی ما، روش گراول و شرقی) نسبت به طیف استاندارد (ISO)

شکل ۵. طیف نوترون بازیابی شده به ازای سه مقدار متفاوت Q. طیف‌ها با طیف استاندارد (ISO) مقایسه شده است.

جدول ۳. مقایسه مقادیر محاسبه شده χ^2 طیف‌های بازیابی شده نسبت به طیف استاندارد (ISO) به ازای سه مقدار متفاوت Q

Q	χ^2
$1/0.8 \times 10^{-3}$	۰/۱۸
$1/0.7 \times 10^{-4}$	۰/۱۲
$1/0.8 \times 10^{-5}$	۰/۰۳۲

- [6] S. Barros, V. Mares, R. Bedogni, M. Reginatto, A. Esposito, I.F. Goncalves, P. Vaz, W. R ü hm, Comparison of unfolding codes for neutron spectrometry with bonner spheres, *Radiat. Prot. Dosim.*, 1-7, 2014.
- [7] Z.X. Mei, L.G. Min, L. Da, W.X. He, M.L. Jie, Using activation method to measure neutron spectrum in an irradiation chamber of a research reactor”, *Nucl. Sci. Tech.* 25, 010603, 2014.
- [8] V. Summan, P.K. Sarkar, Unfolding an under-determined neutron spectrum using genetic algorithm based Monte Carlo, *n.a. J. of Pure & Appl. Phys.*, 50, 501-504, 2012.
- [9] M. Moghari, Fast neutron spectrum measurement with threshold detectors, Ph.D thesis, *Iowa n.a. univ., United states*, 1979.
- [10] W.N. Mcelroy, S. Berg, T. Crocket, R.G. Hawkins, A computer automated iterative method for neutron flux spectra determination by foil activation. *Technical report, New Mexico*, NO. AFWL-TR-67-41, 1, 1967.
- [11] Ch.Y. Hao, Ch.X. Men, L.J. Rong, A. Li, Z.X. Dong, SH.J. Xiong, Z. Pu, W.X. Hua, Unfolding the fast neutron spectra of a BC501A liquid scintillation detector using GRAVEL method. *Sci. China Phys. Mech. Astron.*, 57, 1885, 2014.
- [12] International Organization for Standardization, Reference neutron radiations-Part I: Characteristics and methods of production, ISO 8529-1, Switzerland, 2001.
- [13] M.L. Nimis, V. Sangiust, M. Terrani, Unfolding methods in neutron spectra measurements by foil activation technique. *Nucl. Instrum. n.a.*, 105, 1-4, 1972.
- [14] H.J. Seltman, Experimental design ananalysis, 385-386, 2015.

۴. بحث و نتیجه گیری

در استفاده از چشمه نوترون برای اهداف مختلف نیازمند داشتن اطلاعات در مورد طیف انرژی آن هستیم. استفاده از کد MCNPX و ترکیب آن با الگوریتم کد SAND II روش مناسبی برای بازیابی طیف انرژی نوترون است. نتایج تحقیق نشان می‌دهد که کد پیشنهادی، با در نظر گرفتن هندسه کامل محیط آزمایش، می‌تواند طیف انرژی نوترون را به خوبی به دست آورد. به گونه ای که طیف به دست آمده توسط این روش توافق خوبی با دیگر روش‌های بازیابی طیف دارد. عیب عمده این روش زمان بر بودن آن به دلیل مونت کارلو بودن کد MCNPX است.

مراجع

- [1] F.D. Brooks, H. Klein, Neutron spectrometry historical review and present status, *Nucl. instrum. and n.a. in Phys. Res. A*, 476, 1-11, 2002.
- [2] S.P. Tripathy, C. Sunil, M. Nandy, P.K. Sarkar, D.N. Sharma, B. Mukherjee, Activation foils unfolding for neutron spectrometry: Comparison of different deconvolution methods. *Nucl. instrum. and n.a. in Phys. Res. A*, 538, 421-425, 2007.
- [3] A. Seghour, F. Z. Seghour, Unfolding neutron energy spectra from foil activation detector measurements with the Gold algorithm. *Nucl. Instrum. and Meth. in Phys. Res. A*, 457, 617-626, 2001.
- [4] C.C. Negoita, Measurement of neutron flux spectra in a Tungsten benchmark by neutron foil activation method. Ph.D thesis, *Technische Univ. Dresden*, Germany, 2004.
- [5] Sh. Maeda, H. Tomita, J. Kawarabayash, T. Iguchi, Fundamental study on neutron spectrum unfolding using maximum entropy and maximum likelihood method, *Prog. Nucl. Sci. Technol*, 1, 233-236, 2011.

Neutron spectrum unfolding by MCNPX code and iterative algorithm in SAND-II code

A. Heydarzade¹, Y. Kasesaz^{2*}, S. Mohammadi³

1. Ph.D student, Department of Physics, Payame Noor University(PNU), Tehran, Iran

2. Assistant professor, Nuclear Science and Technology Research Institute of Iran, Tehran, Iran

3. Professor, Department of Physics, Payame Noor University(PNU), Tehran, Iran

* Corresponding author's E-mail: *ykasesaz@aeoi.org.ir

(Received: 16/06/2007 - Accepted: 02/08/2017)

ABSTRACT

Neutron spectroscopy is very important in development of neutron applications. The most commonly used method to measure the neutron energy spectrum is the threshold foil activation method and using an unfolding code such as SAND-II code. The main limitation of this code is that the geometry of the source and measurement setup could not define in the code. In this study, to eliminate this limitation, a new unfolding code has been developed by iterative algorithm in SAND-II and MCNPX code. The full geometry of the measurement setup including the source and foil can be simulated by MCNPX code. In the proposed code, the modified iteration algorithm used in SAND-II is used. The results of the research show that the arrangement of foils in front of the neutron source is effective in the amount of saturation activities of them. Also, using the information obtained by our proposed code, the spectrum unfolded by this code has a good agreement with other neutron spectrum unfolding methods.

Keywords: *Neutron spectroscopy, SAND-II code, MCNPX code, Saturation activities.*