



نشریه تابش و فناوری هسته‌ای، سال اول، شماره ۳، زمستان ۱۳۹۳

## بررسی اثر کندسازی آب، پلی‌اتیلن و گرافیت بر روی نوترون حاصل از چشمه امرسیوم - بریلیوم با اندازه‌گیری فعالیت نمونه‌های تابش داده شده

بهراد مرادپور<sup>۱\*</sup>، محمد حمدی پور<sup>۲</sup>

<sup>۱</sup> کارشناس ارشد فیزیک، گروه فیزیک، دانشگاه محقق اردبیلی، اردبیل، اردبیل، ایران

<sup>۲</sup> استادیار، گروه فیزیک، دانشگاه محقق اردبیلی، اردبیل، اردبیل، ایران

(تاریخ دریافت مقاله: ۱۳۹۳/۷/۵ - تاریخ پذیرش مقاله: ۱۳۹۳/۱۱/۲۶)

### چکیده

در این مقاله، نمونه‌های مختلفی از پودر مس و آهن با خلوص ۹۹ درصد، با ضخامت‌های مختلف کندسازهای آب، پلی‌اتیلن و گرافیت در مقابل چشمه نوترونی امرسیوم - بریلیوم تحت تابش قرار گرفته است. با اندازه‌گیری فاصله‌ای که در آن نمونه‌ها بیشترین فعالیت را کسب می‌کنند، مکانیزم کندسازی نوترون در آب، پلی‌اتیلن و گرافیت بررسی شده است. با استفاده از نتایج تجربی حاصل، سطوح بیشینه زیر منحنی مربوط به هر یک از کندسازهای آب، پلی‌اتیلن و گرافیت رسم شده است. مقایسه شکل‌های مربوط به نمونه‌های مس و آهن نشان می‌دهد که سطح زیر قله برای آهن بسیار کمتر از مس است. این مسئله نشان می‌دهد که واکنش هسته‌ای صورت گرفته در نمونه آهن مربوط به نوترون‌های تند است که دارای سطح مقطع پایینی است.

**واژه‌های کلیدی:** پرتودهی با نوترون، سطح مقطع، کندسازی نوترون.

\* اردبیل، اردبیل، دانشگاه محقق اردبیلی، گروه فیزیک، کدپستی ۵۶۱۹۹-۱۱۳۶۷

پست الکترونیکی: [behrad56@gmail.com](mailto:behrad56@gmail.com)

## ۱. مقدمه

در رآکتورهای اتمی، حدود ۹۹ درصد انرژی از شکافت هسته‌های  $^{235}\text{U}$  و مابقی از شکافت هسته‌های  $^{238}\text{U}$  حاصل می‌شود. بنابراین بررسی مکانیزم شکافت  $^{235}\text{U}$  بر حسب انرژی نوترون‌ها دارای اهمیت فراوانی است. با توجه به این که شکافت  $^{235}\text{U}$  با استفاده از نوترون‌های حرارتی صورت می‌گیرد، ساز و کار کندسازی نوترون در کندسازها باید به دقت مورد بررسی قرار گیرد. وقتی نوترون وارد کندساز می‌شود، بر اثر برخورد‌های پی در پی انرژی خود را از دست می‌دهد که این کاهش انرژی با افزایش عمق نفوذ نوترون در ماده کندساز شدت می‌گیرد [۱، ۲].

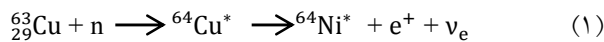
در این مقاله شار و چگالی نوترون در اطراف چشمه، با استفاده از نمونه‌های مس و آهن که در مقابل چشمه نوترونی قرار گرفته‌اند، اندازه‌گیری شده است. از نمونه مس برای اندازه‌گیری شار نوترون‌های کند (به دلیل سطح مقطع جذب بالای عنصر مس برای نوترون‌های حرارتی) و از نمونه آهن برای اندازه‌گیری شار نوترون‌های تند (به دلیل سطح مقطع جذب بالای عنصر آهن برای نوترون‌های تند) استفاده شده است [۳].

باریکه‌های نوترون حاصل از چشمه نوترونی، با توجه به ضخامت ماده کندسازی که از آن عبور کرده‌اند، انرژی خود را از دست داده و توزیع انرژی آنها از حالت تک انرژی به حالت آماری تبدیل می‌شود. در یک ضخامت خاص از این مواد، توزیع انرژی نوترون‌ها، یک توزیع کاملاً آماری و حرارتی شده و نمونه‌ها بیشترین فعالیت را کسب می‌کنند [۴].

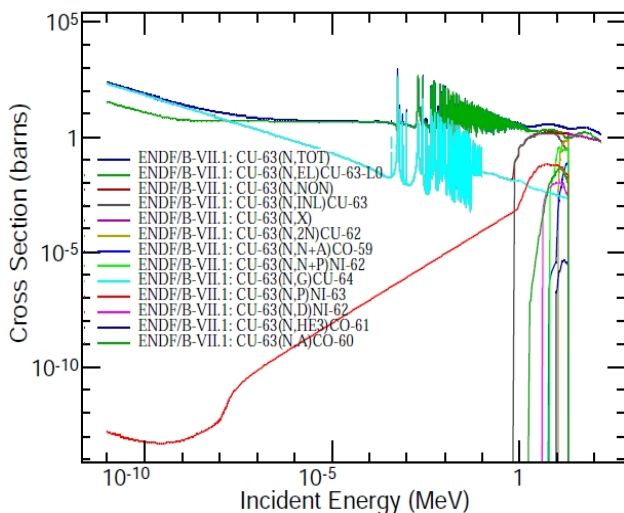
با اندازه‌گیری فعالیت نمونه‌ها به بررسی مکانیزم کندسازی در این مواد پرداخته شده است.

## ۲. روش تحقیق

چشمه نوترونی مورد استفاده، چشمه ایزوتوپی آمرسیوم - بریلیوم و آشکارساز مورد استفاده، آشکارساز سوسوزن یدور سدیم (NaI(Tl)) سه اینچی است [۵]. عنصر مس، ترکیبی از دو ایزوتوپ پایدار  $^{63}\text{Cu}$  (۶۹٪) و  $^{65}\text{Cu}$  (۳۱٪) است. این ایزوتوپ‌ها، تحت تابش نوترون، به ترتیب به ایزوتوپ‌های پرتوزای  $^{64}\text{Cu}$  (با نیمه عمر ۱۲/۷ ساعت) و  $^{66}\text{Cu}$  (با نیمه عمر ۵/۱۲ دقیقه) تبدیل می‌شوند. عنصر مس، سطح مقطع جذب مناسبی برای نوترون‌های حرارتی (۴/۵۲ بارن برای ایزوتوپ  $^{63}\text{Cu}$  و ۲/۱۷ بارن برای ایزوتوپ  $^{65}\text{Cu}$ ) دارد. واکنش‌های متعددی در برخورد نوترون به هسته‌های  $^{63}\text{Cu}$  و  $^{65}\text{Cu}$  صورت می‌گیرد که واکنش غالب برای  $^{63}\text{Cu}$  به صورت زیر است:

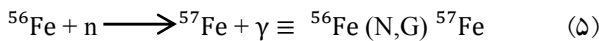


بقیه واکنش‌ها نیز که در اندازه‌گیری فعالیت نمونه  $^{63}\text{Cu}$  توسط نوترون‌های حاصل از نابودی الکترون صورت می‌گیرند، بر حسب سطح مقطع در شکل (۱) آمده است.

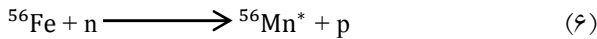


شکل ۱. نمودار تغییرات سطح مقطع جذب نوترون بر حسب انرژی

نوترون فرودی برای ایزوتوپ  $^{63}\text{Cu}$

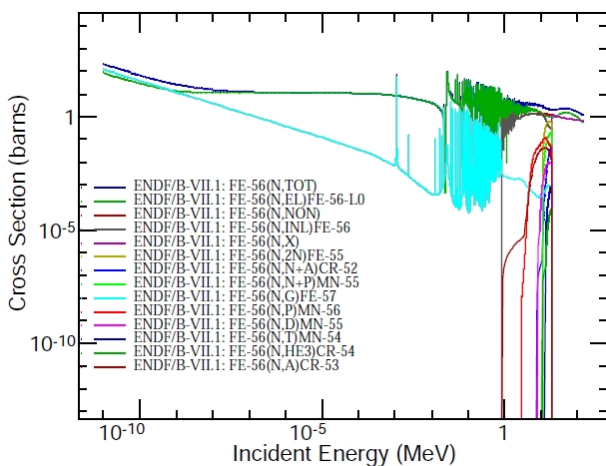


اما سطح مقطع واکنش (۶) در انرژی حرارتی دارای بیشترین مقدار است.



لذا در صورت وجود همزمان نوترون‌های حرارتی و پر انرژی در باریکه نوترون دریافتی نمونه، امکان وقوع هر دو واکنش وجود خواهد داشت. از آن جایی که آب اثر کندسازی بیشتری نسبت به گرافیت و پلی اتیلن دارد، به هنگام استفاده از آب به عنوان کندساز، فعالیت نمونه آهن بیشتر خواهد بود.

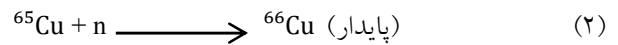
همچنین با توجه به اینکه  ${}^{57}\text{Fe}^*$  امکان گسیل گاما با انرژی ۸۴۱ keV را دارا است و این انرژی با انرژی ۸۴۱ keV حاصل از واپاشی  ${}^{56}\text{Mn}$  در آشکارساز بر یک بیشینه شمارش می‌شوند، بنابراین انتظار می‌رود که هنگام استفاده از کندساز آب، فعالیت آهن بیشتر از حالت‌هایی باشد که از کندسازهای گرافیت و پلی اتیلن استفاده شده است.



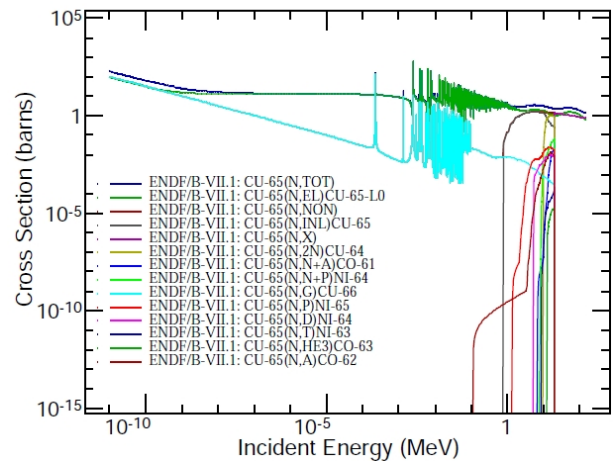
شکل ۳. نمودار تغییرات سطح مقطع جذب نوترون بر حسب انرژی

نوترون فرودی برای ایزوتوپ  ${}^{56}\text{Fe}$

برای  ${}^{65}\text{Cu}$  واکنش غالب به صورت زیر است:



بقیه واکنشها که دارای سطح مقطع پایینی هستند، در شکل (۲) آمده است.

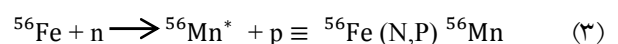


شکل ۲. نمودار تغییرات سطح مقطع جذب نوترون بر حسب انرژی

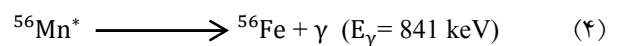
نوترون فرودی برای ایزوتوپ  ${}^{65}\text{Cu}$

برای آهن، واکنش غالب که بر اثر برخورد نوترون به هسته

آهن رخ می‌دهد به صورت زیر است:



این واکنش فقط با نوترون‌های تند امکان‌پذیر است.  ${}^{56}\text{Mn}$  حاصل ناپایدار بوده و به صورت زیر واپاشی می‌کند:

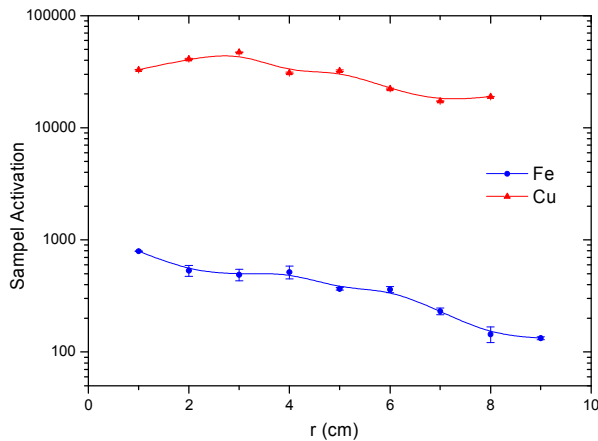


که آشکارسازی فعالیت نمونه  ${}^{56}\text{Fe}$  توسط این فوتون با انرژی ۸۴۱ keV صورت می‌گیرد. سطح مقطع بقیه واکنشها در شکل (۳) آمده است. سطح مقطع واکنش (۵) در انرژی‌های حرارتی صفر بوده و در این انرژی امکان وقوع چنین واکنشی وجود ندارد:

## ۳. نتایج

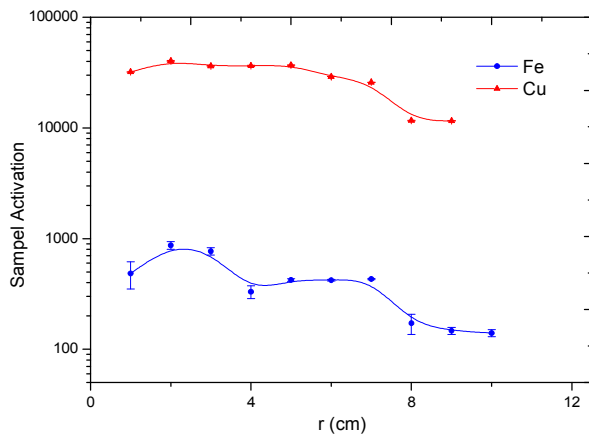
نمونه‌های پودر مس و آهن با ضخامت‌های مختلف کندسازهای آب، گرافیت و پلی‌اتیلن به مدت ۲۴ ساعت تحت تابش‌دهی با نوترون قرار گرفته و با استفاده از آشکارساز یدور سدیم و نرم افزار Cassy Lab، سطح زیر منحنی طیف بیشینه گاما برای هر نمونه به دست آمده است.

در شکل‌های ۴، ۵ و ۶ به ترتیب، نتایج تجربی مربوط به مس و آهن با هر یک از کندسازهای آب، پلی‌اتیلن و گرافیت آمده است. مقدار سطح مقطع مس (برای نوترون‌های حرارتی) برابر با  $4/74$  بارن و برای آهن برابر با  $0/117$  بارن است [۶]. به دلیل اینکه سطح مقطع حرارتی مس حدود ۳۸ برابر بیشتر از آهن است، بنابراین فعالیت نمونه مس باید از همان مرتبه بزرگی نسبت به فعالیت آهن برخوردار باشد که این مسأله در شکل-های ۴، ۵ و ۶ قابل مشاهده است.



شکل ۵. نمودار مقایسه فعالیت اندازه‌گیری شده برای نمونه‌های پودر

مس و آهن با ضخامت‌های مختلف کندساز پلی‌اتیلن

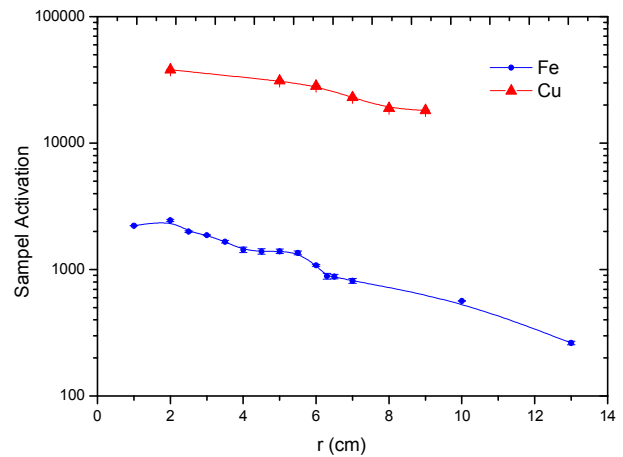


شکل ۶. نمودار مقایسه فعالیت اندازه‌گیری شده برای نمونه‌های پودر

مس و آهن با ضخامت‌های مختلف کندساز گرافیت

## ۴. بحث و نتیجه‌گیری

در شکل‌های ۷ و ۸، به ترتیب نتایج تجربی مربوط به نمونه-های مس و آهن با ضخامت‌های مختلف کندسازهای آب، پلی-اتیلن و گرافیت آمده است.



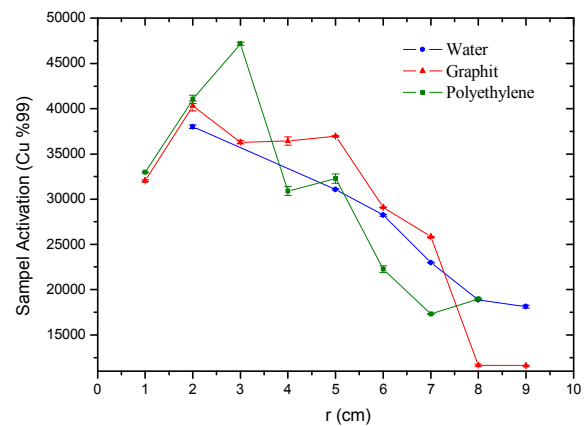
شکل ۴. نمودار مقایسه فعالیت اندازه‌گیری شده برای نمونه‌های پودر

مس و آهن با ضخامت‌های مختلف کندساز آب

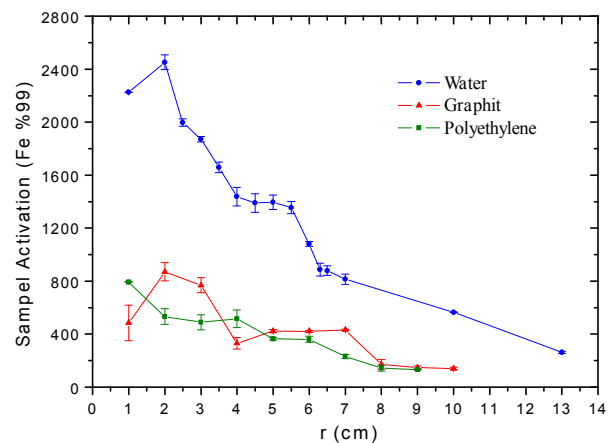
نشان می‌دهد. دلیل این مسأله این است که سطح مقطع واکنش نوترون‌ها با آهن بسیار کمتر از سطح مقطع واکنش نوترون‌ها با مس است. یعنی در مورد نمونه آهن، واکنش با نوترون‌های تند صورت گرفته است. پایین بودن شمارش‌ها برای آهن نشان می‌دهد که واکنش‌های مربوط به نوترون‌های تند، کمتر در نمونه‌ها ایجاد شده‌اند. دلیل این مسأله، کم بودن سطح مقطع وابسته به نوترون‌های تند است که بلافاصله پس از خروج از چشمه نوترونی باید از پوسته فلزی چشمه، دیواره فلزی منبع آب و دیواره ظرف عبور کنند تا به نمونه برسند. همچنین در داخل نمونه‌ها نیز برای رسیدن به قسمت مرکزی نمونه، در سطح نمونه عمل کندسازی صورت می‌گیرد. مجموعه این موارد، امکان اینکه نوترون‌های تند خارج شده از چشمه به نمونه برسند را کاهش می‌دهد که این مسأله نیز در نتایج تجربی وارد می‌شود.

## مراجع

- [۱] م. ابوکاظمی، م. رهبر، آشنایی با فیزیک هسته‌ای (ک. کرین)، چاپ ششم، مرکز نشر دانشگاهی، تهران، ۱۳۸۹.
- [2] J. R. Lamarsh, A. J. Baratta, Introduction to Nuclear Engineering, 3<sup>rd</sup> edition, Prentice Hall, New Jersey, 2001.
- [3] I. S. Anderson, R. McGreevy, H. Z. Bilheux, Neutron Imaging and Applications, Springer, Singapore, 2009.
- [4] H. R. Verma, Atomic and Nuclear Analytical Methods, Springer, Berlin, 2007.
- [5] N. Tsoulfanidis, Measurement and Detection of Radiation, Taylor & Francis, Washington, 1995.
- [6] R. B. Firestone, V. S. Shirley, Table of Isotopes, Wiley-Interscience, New Jersey, 1996.

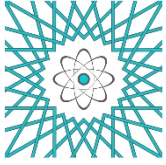


شکل ۷. نمودار مقایسه فعالیت اندازه‌گیری شده برای نمونه مس با ضخامت‌های مختلف کندسازهای آب، گرافیت و پلی‌اتیلن



شکل ۸. مقایسه فعالیت اندازه‌گیری شده برای آهن با ضخامت‌های مختلف کندسازهای آب، گرافیت و پلی‌اتیلن. به دلیل امکان وقوع همزمان واکنش‌های (۵) و (۶) هنگام استفاده از کندساز، شمارش مربوط به آب بیشتر از شمارش مربوط به گرافیت و پلی‌اتیلن است.

در شکل ۷، کندساز پلی‌اتیلن دارای یک بیشینه می‌باشد. دلیل این مسأله این است که در پلی‌اتیلن، طول پخش حرارتی نوترون‌ها به مراتب طولانی‌تر از گرافیت و آب است. طول پخش در آب نیز بیشتر از گرافیت است، یعنی در آب نباید قله‌ای مشاهده شود، چون آب می‌تواند در فاصله کمتری انرژی نوترون‌ها را گرفته و آنها را تبدیل به نوترون‌های حرارتی کند. همچنین شکل ۸ در مقایسه با شکل ۷، مقادیر بسیار کمتری را



## **Investigation of the moderation effect of water, polyethylene and graphite on Am- Be neutrons by measuring activity of the irradiated samples**

**B. Moradpour<sup>1\*</sup>, M. Hamdipour<sup>2</sup>**

*1. M.Sc., Department of Physics, University of Mohaghegh Ardabili, ardabil, ardabil, Iran*

*2. Assistant Professor, Department of Physics, University of Mohaghegh Ardabili, ardabil, ardabil, Iran*

*\* Corresponding author's E-mail: [behrad56@gmail.com](mailto:behrad56@gmail.com)*

*(Received: 27/9/2014 - Accepted: 15/2/2015)*

### **ABSTRACT**

In this paper, several samples of copper and iron with a purity of 99% ,with various thicknesses of water, polyethylene and graphite moderators are irradiated in front of neutron source. Measuring the distance at which samples achieve the most activity, the mechanism of neutron moderation in water, polyethylene and graphite is investigated. Using obtained experimental results, maximum areas under the curve are plotted for each water, polyethylene and graphite moderators. Comparison the pictures related to iron and copper samples show that the area under the peak for iron is much less than copper. This means that occurred nuclear reaction in iron sample is related to fast neutrons that has low cross section.

**Keywords:** *Irradiation with neutron, Cross Section, Neutron moderation*