



بیت و پنجمین کنفرانس هسته‌ای ایران

۲۰۱ اسفندماه ۱۳۹۷- دانشگاه آزاد اسلامی (واحد بوشهر)



طراحی ظرف کندکننده نوترون‌های تاخیری در سیستم اندازه گیری عیار سنگ معدن اورانیوم با استفاده از راکتور MNSR

چامه سرا، فهیمه^{(۱)*} - شیرانی، احمد^(۱) - خورسندی، جمشید^(۲) - مختاری، جواد^(۲)

^۱دانشگاه صنعتی اصفهان، دانشکده فیزیک، گروه فیزیک هسته‌ای

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

چکیده:

قصد داریم با استفاده از پرتودهی نمونه سنگ معدن اورانیوم با عیار مجهول در راکتور مینیاتوری اصفهان و شمارش نوترون‌های تاخیری آن و مقایسه نتایج با نتایج شمارش نمونه استاندارد، عیار یا غلظت سنگ معدن را اندازه‌گیری کنیم. برای شمارش نوترون‌های تاخیری از آشکارسازهای ^3He یا BF_3 استفاده می‌شود. این آشکارسازها توانایی شمارش نوترون‌های حرارتی را دارند. نوترون‌های تاخیری دارای انرژی متوسط حدود 0.4 مگا الکترون ولت هستند. این نوترون‌ها برای اینکه شمارش شوند، بایستی کند شوند. هدف از انجام این پروژه طراحی و بهینه‌سازی کندکننده برای سیستم شمارش با استفاده از کد MCNPX است. نتایج حاکی از این است که کندکننده‌های پارافین و پلی اتیلن در ظرفی استوانه‌ای به قطر حداقل 30 سانتی‌متر و ارتفاع 50 سانتی‌متر قابل استفاده‌اند.

کلمات کلیدی: نوترون تاخیری، سنگ معدن اورانیوم، عیار، آشکارساز نوترون، کد MCNP X

Design of delayed neutron moderating container in uranium ore concentration measuring system using MNSR

Chamehsara, Fahimeh¹; Shirani, Ahmad¹; Khorsandi, Jamshid²; Mokhtari, Javad²

¹Isfahan University of Technology, Faculty of Physics, Nuclear Physics Group

²Atomic Energy Organization of Iran, Institute of Nuclear Sciences and Technologies, Research Institute for Reactor

Abstract:



We intend to measure the concentration of unknown uranium ore by using irradiation of a sample in the Isfahan miniature neutron source reactor (MNSR) and counting its delayed neutrons and comparing its results with the results of irradiation of standard sample. ^3He or BF_3 detectors will be used to count delay neutrons. These detectors have the ability to count thermal neutrons. The delayed neutrons have average energy of about 0.4 Mega-electron volts. These neutrons should be slowed down by appropriate moderator. The aim of this project is the optimization of a neutron moderator for measuring the delay neutrons of activated uranium ore using MCNPX code. The results indicate that paraffin and polyethylene moderators can be used in a cylindrical container with a diameter at least 30 cm and height in 50 cm.

Keywords: Delayed Neutron, Uranium Ore, Concentration, Neutron Detector, MCNPX Code

مقدمه:

نوترون‌های تاخیری نوترون‌هایی هستند که تا بعد از مدتی (تا حدود یک دقیقه) پس از عمل شکافت از پاره‌های شکافت گسیل می‌شوند. می‌توان نمونه سنگ معدن اورانیوم را در راکتور پرتو داد و با توجه به تعداد نوترون‌های تاخیری به غلظت سنگ معدن پی برد. نوترون‌های تاخیری را با توجه به نیمه عمر شان می‌توان در ۶ گروه دسته‌بندی کرد. نیمه عمر ۳ گروه از نوترون‌های تاخیری کمتر از ۲/۳ ثانیه است. با توجه به زمان انتقال نمونه از راکتور به سیستم آشکارسازی، عملاً نمی‌توان آن‌ها را شمارش کرد. بنابراین سه گروه دیگر مولد نوترون‌های تاخیری که نیمه عمر بیشتری دارند مورد توجه هستند. در ادامه به چند مورد از کارهای تحقیقاتی که در آنها برای تعیین غلظت اورانیوم^۱ از نوترون‌های تاخیری استفاده شده است، اشاره می‌شود. در یک پروژه تحقیقاتی اندازه‌گیری مقدار اورانیوم در سنگ‌ها، سنگ معدن‌ها، رسوبات، فلزات، و گرافیت با استفاده از روش شمارش نوترون‌های تاخیری توسط هامیلتون^۲ و همکاران در راکتور A.W.R.E HERALD با قدرت ۵ مگاوات با شار نوترون $4 \times 10^{12} \text{ n/cm}^2 \cdot \text{s}$ واقع در آلدرمستون انگلیس انجام شده است [۱]. در پروژه‌های دیگر توسط

¹ Fission
² Uranium
³ Hamilton



کاپسیمالیس^۴ و همکاران تعیین همزمان U^{235} و PU^{239} با استفاده از آنالیز فعال سازی نوترون‌های تاخیری در راکتور HFIR آمریکا صورت گرفته است [۲]. تعاملات عنصری در آنالیز اورانیوم با شمارش نوترون‌های تاخیری توسط کونزندورف^۵ و همکاران در راکتور تحقیقاتی DR 3 دانمارک با شار نوترون $2 \times 10^{13} \text{ n/cm}^2 \cdot \text{s}$ انجام شده است [۳]. در پژوهشی دیگر توسط مون^۶ و همکاران تعیین اورانیوم در نمونه‌های محیطی با آنالیز فعال سازی نوترون‌های تاخیری با استفاده از راکتور تحقیقاتی HANARO کره با شار نوترون $3 \times 10^{13} \text{ n/cm}^2 \cdot \text{s}$ انجام شده است [۴].

تعیین سریع غلظت اورانیوم و پلوتونیوم در ترکیب‌ها از طریق اندازه‌گیری منحنی شدت-زمان نوترون‌های تاخیری در راکتور تحقیقاتی مونیخ آلمان با روش اسکن چند کاناله با آشکارساز^۷ ^3He که روی یک سیستم انتقال سریع نصب شده است با شار نوترون $6 \times 10^{12} \text{ n/cm}^2 \cdot \text{s}$ توسط هنکلمن^۸ و همکاران به انجام رسیده است [۵]. نهایتاً تعیین غلظت اورانیوم به روش فعال سازی نوترون‌های تاخیری در راکتور تحقیقاتی NIST آمریکا با شار نوترون $3/4 \times 10^{13} \text{ n/cm}^2 \cdot \text{s}$ در مقاله ای توسط اریکسون^۹ و همکاران ارائه شده است [۶].

با استفاده از شمارش نوترون‌های تاخیری حاصل از پرتودهی نمونه سنگ معدن با عیار مجهول و مقایسه با نتایج پرتودهی و شمارش نمونه استاندارد، می‌توان عیار یا غلظت سنگ معدن را اندازه‌گیری کرد. در این پژوهش بهینه‌سازی ابعاد کندکننده برای شمارش نوترون‌های تاخیری انجام خواهد شد. راکتور MNSR به عنوان چشمه نوترون در نظر گرفته شده است که شار نوترون حاصل از راکتور

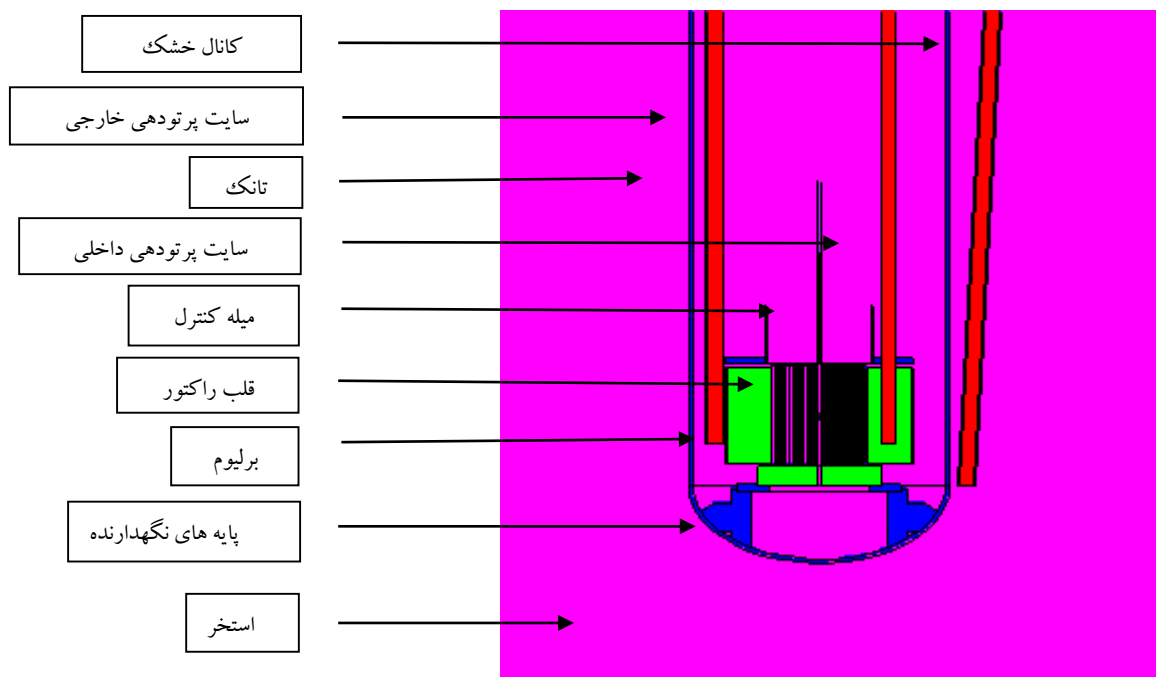
4Kapsimalis
5H.Kunzendorf
6H.Moon
7Detector
8R. Henkelmann
9M. Eriksson



در کانال داخلی $10^{12} \text{ n.cm}^{-2}.\text{s}^{-1}$ است که برای پرتودهی نمونه سنگ معدن اورانیوم با عیار نامشخص استفاده می‌شود.

روش کار:

راکتور MNSR یک راکتور غیر همگن حرارتی، متراکم، ایمن، با قدرت کم و از نوع تانک-استخری است که در آن از اورانیوم با غنای بالا به عنوان سوخت، آب سبک به عنوان کند کننده و سرد کننده با انتقال حرارت طبیعی به صورت همرفت و خصوصیت زیر کنندگی، و از فلز برلیوم به عنوان بازتابنده استفاده شده است. راکتور دارای قدرت حرارتی ۳۰ کیلووات بوده و شار حداکثر حرارتی آن $10^{12} \text{ n.cm}^{-2}.\text{s}^{-1}$ است که در این توان حداکثر ۲/۵ ساعت قابل استفاده می‌باشد (شکل ۱).



شکل ۱: نمای کلی راکتور MNSR و اجزای آن

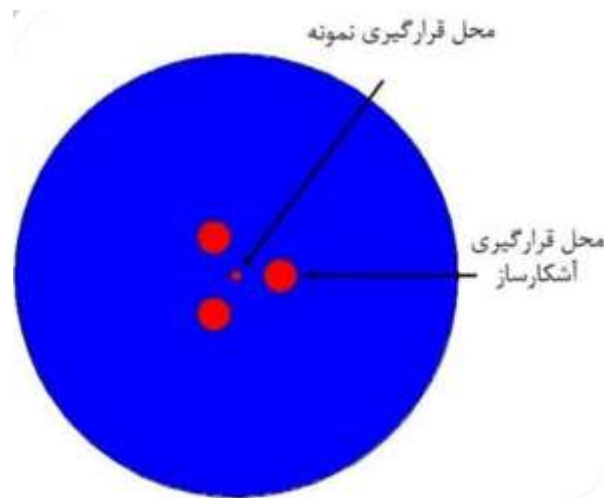


تعداد ده عدد کانال پرتودهی وجود دارد که دسترسی به شش تای آنها بصورت خودکار و دسترسی به چهارتای دیگر به صورت دستی می‌باشد. سامانه پرتودهی یا انتقال نمونه که به سامانه ربیت مشهور است، توسط دو مجموعه A, B، دسترسی خودکار به شش کانال پرتودهی را ممکن می‌سازد. این دو سامانه انتقال بادی، برای انتقال و پرتودهی نمونه های مورد آزمایش یا هدف های مورد استفاده در تولید ایزوتوپ های پرتوزا، مورد استفاده قرار می‌گیرد. هر مجموعه تشکیل شده است از میز کار، پرتاب کننده، لوله پرتودهی، لوله انتقال پلاستیکی، منبع هوا و غیره. سامانه A به دو مکان پرتودهی خارجی (یک بزرگ و یک کوچک) متصل می‌باشد، که برای تجزیه هسته های با نیمه عمر متوسط و بلند استفاده می‌شود. سامانه B به سه مکان پرتودهی داخلی و یک خارجی متصل بوده و برای تجزیه هسته های با نیمه عمر کوتاه و متوسط مناسب است. با سیستم ربیت کپسول‌های حاوی نمونه، با سرعت ناشی از فشار هوا به داخل کانال‌ها شوت شده و بعد از طی شدن مدت زمان مشخص نمونه‌ها با همین سیستم به آزمایشگاه منتقل می‌شود.

در هر اندازه گیری نمونه سنگ معدن توسط سیستم ربیت به یکی از کانال های پرتودهی منتقل و در توان و زمان مشخصی پرتودهی می‌شود. سپس نمونه در زمانی بسیار کوتاه توسط سیستم ربیت به ظرف کند کننده منتقل می‌گردد. نمونه پرتو دهی شده با ابعاد $2/5 \times 2/5$ میلیمتر که در فویل پلاستیکی قرار داده می‌شود در قسمت مرکزی ظرف و سه آشکارساز نوترون در اطراف آن در فاصله معین قرار می‌گیرند (شکل ۲ ملاحظه شود). برای افزایش قابلیت اطمینان آزمایشها بایستی تعداد سیستمهای اندازه گیری (افزونگی، Redundancy) و گوناگونی آنها (diversity) افزایش یابد. برای افزونگی تعداد آشکارسازها زیاد شد و برای گوناگونی از ۲ نوع آشکارساز مختلف نوترون (He_3 و BF_3) استفاده می‌شود. با قرار گرفتن نمونه در مرکز ظرف نوترون‌های تاخیری ساطع می‌شوند که برای آشکارسازی آنها از آشکارسازهای BF_3 یا 3He استفاده خواهد شد. واکنش مورد استفاده در آشکارساز BF_3 ، $^{10}B(n, ^4He)^7Li$ و در آشکارساز 3He ، $^3He(n, ^1H)^3H$ است. هر دو واکنش توسط نوترون‌های حرارتی صورت می‌گیرد. درحالی‌که نوترون‌های تاخیری حاصل از شکافت پرنرژری و سریع هستند، بنابراین استفاده از کند کننده برای کاهش انرژی نوترون‌های تاخیری ضروری است.



در شبیه سازی سه کندکننده مختلف شامل آب، پارافین و پلی اتیلن که هر سه خواص فیزیکی و شیمیایی قابل قبول دارند، مورد بررسی قرار می گیرند. هدف تعیین ابعاد بهینه ظرف و فاصله بهینه آشکارسازها از مرکز ظرف (محل قرارگیری نمونه پرتو دهی شده) است. بهینه سازی بر اساس حداکثر شار حرارتی در محل آشکارساز انجام می شود. برای بهینه سازی از کد MCNPX استفاده شده است که نتایج آن در ادامه آورده شده است.



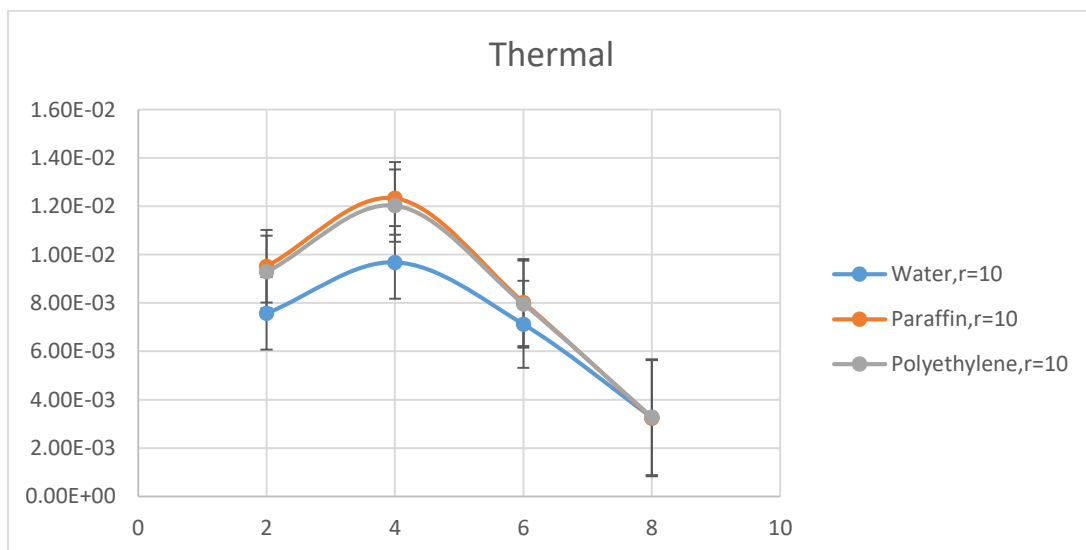
شکل ۲: محل قرارگیری نمونه و آشکارسازهای نوترون در کندکننده

نتایج:

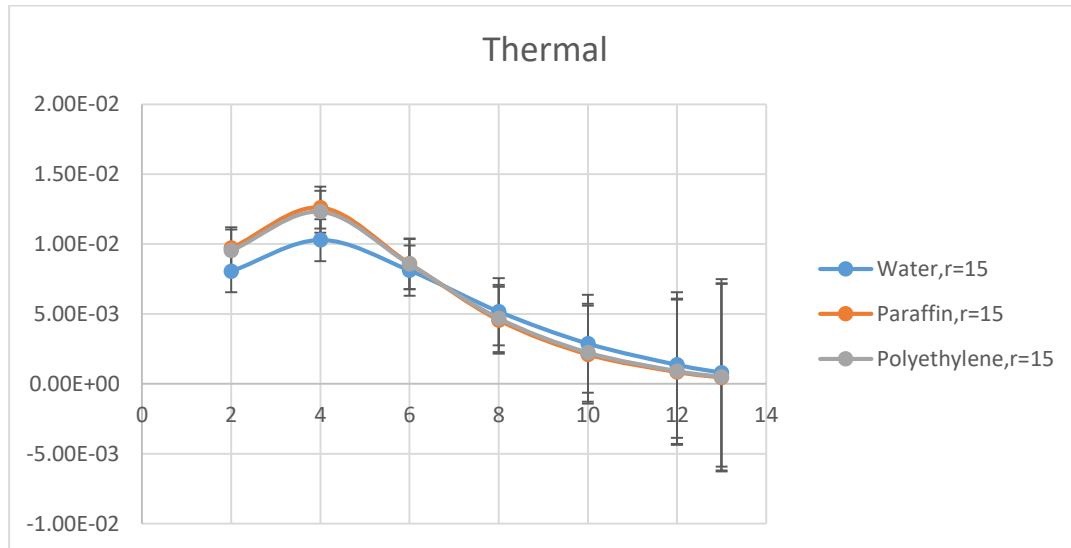
در شکل های ۳ تا ۵ محل قرارگیری آشکارساز نوترون برای سه کندکننده آب، پارافین و پلی اتیلن بهینه شده است. علاوه بر محل قرارگیری آشکارساز، شعاع ظرف های استوانه ای نیز تغییر داده شده است تا اثر آن بر شار نوترون ها مشخص گردد. نمودارهای ۳ تا ۵ به ترتیب برای شعاع های ۱۰، ۱۵ و ۲۰ سانتی متر شبیه سازی شده است. مکان آشکارسازها هم از ۲ سانتی متر تا شعاع مشخص تغییر داده و شار نوترون حرارتی را بدست آوردیم. در نهایت با توجه به نمودارها فاصله ای را که در آن بیشترین شار حرارتی را داریم در سه کندکننده آب، پارافین



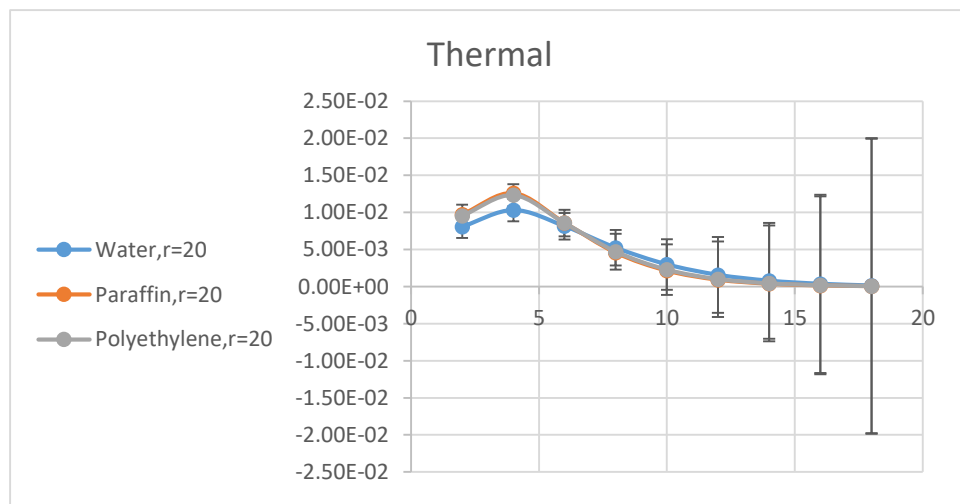
و پلی اتیلن بدست آوردیم. همانطور که ملاحظه می‌گردد شار نوترون‌های حرارتی در پارافین و پلی اتیلن بیشتر از شار حرارتی در آب است. همچنین می‌بینیم که شار نوترون‌های حرارتی در پارافین و پلی اتیلن مشابه است. بنابراین از نتایج بدست آمده به این نتیجه رسیدیم که از پارافین یا پلی اتیلن به عنوان کند کننده استفاده کنیم. شار نوترون‌های حرارتی در فاصله ۴ سانتی‌متری از نمونه بیشینه شده است. بنابراین محل قرارگیری آشکارسازها را در این شعاع قرار می‌دهیم. همچنین از نتایج پیداست که شار حرارتی در ظرفی با شعاع ۱۵ سانتی‌متر و ۲۰ سانتی‌متر تغییری نکرده، بنابراین شعاع ظرف بایستی حداقل ۱۵ سانتی‌متر باشد. تعیین حداقل شعاع به ملاحظات حفاظ سازی وابسته است. تعداد ذرات مورد استفاده در هر شبیه سازی ۵۰۰۰۰۰۰۰ ذره است. برای کاهش خطای آزمایش در یک مورد تعداد ذرات به ۵۰۰۰۰۰۰۰۰۰ افزایش داده شد. با این کار خطای محاسبات حدود یک بیستم مقدار قبل می‌شود.



شکل ۳- نمودار شار نوترون‌های حرارتی بر حسب فاصله آشکارساز از مرکز کند کننده در ظرف به شعاع ۱۰ سانتی‌متر

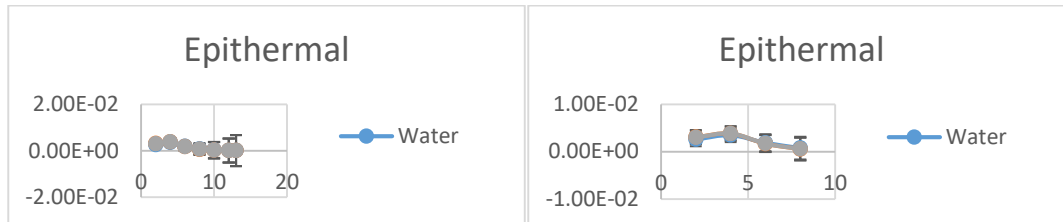


شکل ۴- نمودار شار نوترون‌های حرارتی بر حسب فاصله آشکارساز از مرکز کند کننده در ظرف به شعاع ۱۵ سانتی‌متر



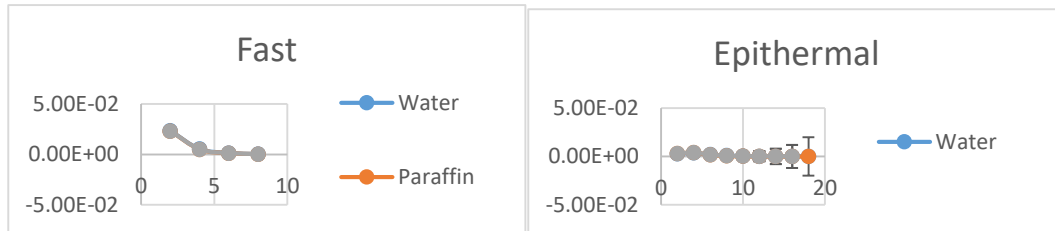
شکل ۵- نمودار شار نوترون‌های حرارتی بر حسب فاصله آشکارساز از مرکز کند کننده در ظرف به شعاع ۲۰ سانتی‌متر

نمودارهای شار نوترون‌های فوق حرارتی و سریع نیز در ادامه آورده شده است.



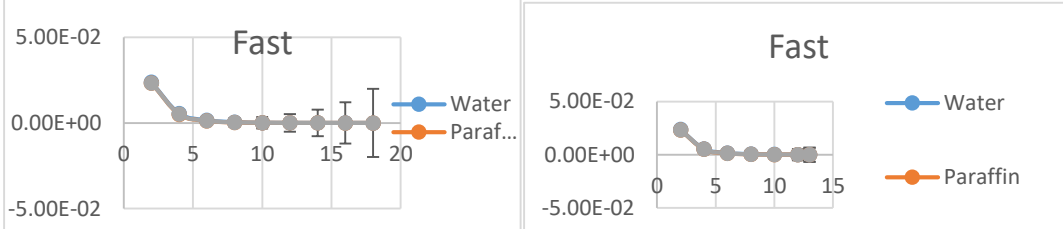
شکل ۶- نمودار شار نوترون‌های فوق حرارتی بر حسب فاصله آشکارساز از مرکز کند کننده در ظرف با شعاع ۱۰ سانتی‌متر

شکل ۷- نمودار شار نوترون‌های فوق حرارتی بر حسب فاصله آشکارساز از مرکز کند کننده در ظرف با شعاع ۱۵ سانتی‌متر



شکل ۸- نمودار شار نوترون‌های فوق حرارتی بر حسب فاصله آشکارساز از مرکز کند کننده در ظرف با شعاع ۲۰ سانتی‌متر

شکل ۹- نمودار شار نوترون‌های سریع بر حسب فاصله آشکارساز از مرکز کند کننده در ظرف با شعاع ۱۰ سانتی‌متر



شکل ۱۰- نمودار شار نوترون‌های سریع بر حسب فاصله آشکارساز از مرکز کند کننده در ظرف با شعاع ۱۵ سانتی‌متر

شکل ۱۱- نمودار شار نوترون‌های سریع بر حسب فاصله آشکارساز از مرکز کند کننده در ظرف با شعاع ۲۰ سانتی‌متر

بحث و نتیجه گیری:

در این پروژه با استفاده از کد MCNPX ابعاد بهینه سه کند کننده آب، پارافین و پلی اتیلن و فاصله بهینه آشکارسازها از مرکز ظرف کند کننده را بدست آوردیم. نتایج نشان دادند که آشکارسازها بایستی در فاصله ۴ سانتی‌متری از نمونه قرار داده شوند. همچنین پارافین و پلی اتیلن شار حرارتی بیشتری نسبت به



آب سبک دارند. با توجه به مواد موجود در بازار، یکی از این ۲ ماده به عنوان کندکننده انتخاب خواهد شد.

مراجع:

- [1] Hamilton E.I "The determination of uranium in rocks and minerals by the delayed neutron method", Earth and Planetary Science Letters, Volume 1, Issue 2, March 1966, Pages 77-81
- [2] Kapsimalis R" The simultaneous determination of ^{235}U and ^{239}Pu using delayed neutron activation analysis "Journal of Radio analytical and Nuclear Chemistry December 2013, Volume 298, Issue 3, pp 1721–1726
- [3] Kunzendorf H" Elemental interferences in the analysis of uranium by delayed-neutron counting "Volume 15, Issues 1–3, 1981, Pages 583-595
- [4] Moon J.H"U determination in environmental samples by delayed neutron Activation analysis in Korea "Journal of Radio analytical and Nuclear Chemistry October 2009
- [5] Henkelmann R "Rapid determination of uranium and plutonium content in mixtures through measurement of the intensity–time curve of delayed neutrons "Volume 215, Issues 1–2, January 2004, Pages 246-251
- [6] Eriksson M "Delayed-neutron activation analysis at NIST "December 2013, Volume 298, Issue 3, pp 1819–1822



بیت و پنجمین کنفرانس هسته‌ای ایران

۲۰۱ اسفندماه ۱۳۹۷- دانشگاه آزاد اسلامی (واحد بوشهر)

