

اندازه گیری و محاسبه طیف نوترون در سیستم های پرتو دهی خارجی راکتور تهران به منظور بررسی قابلیت استفاده از راکتور در نوترون تراپی با بور

یاسر کاسه ساز^{۱*}، حسین خلفی^۱، فریدون عباسی دوانی^۲، فائزه رحمانی^۲

^۱ سازمان انرژی اتمی ایران، پژوهشگاه علوم و فنون هسته ای

^۲ دانشگاه شهید بهشتی، دانشکده مهندسی هسته ای، گروه کاربرد پرتوها

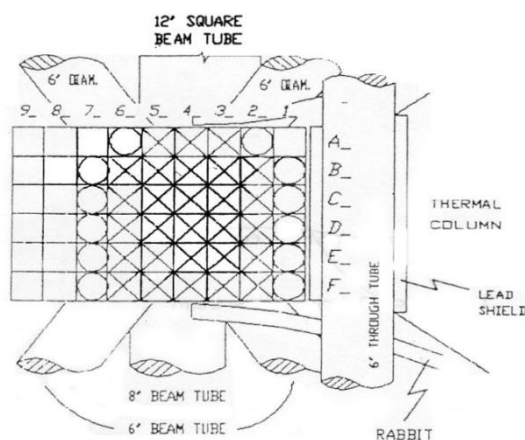
چکیده

به منظور بررسی قابلیت استفاده از راکتور تحقیقاتی تهران در BNCT طیف انرژی نوترون در کلیه تجهیزات پرتو دهی خارجی راکتور مورد ارزیابی قرار گرفت. طیف انرژی در بیم تیوب شمال غربی و ستون حرارتی به روش فعال سازی پولک اندازه گیری و در بیم تیوب های دیگر توسط کد MCNP ۴C بعد از انجام راستی آزمایی، محاسبه گردید. مقدار شار نوترونی در انتهای بیم تیوب ها به $2.43 \times 10^6 \text{ (n/cm}^2\text{.S)}$ رسید که نشان می دهد که بیم تیوب ها به علت طول بلند و افت شار، قابلیت استفاده در BNCT را ندارند. همچنین شار برآورد شده از شبیه سازی و نیز آزمایشات در حدود $4.5 \times 10^6 \text{ (n/cm}^2\text{.S)}$ نشان داد ستون حرارتی مکان مناسبی جهت انجام تحقیقات زیستی و آزمون های درمانی حیوانی است.

کلید واژه ها: BNCT، نوترون تراپی با بور، راکتور تحقیقاتی تهران، کد MCNP، اندازه گیری طیف

مقدمه

روش BNCT یک روش مؤثر و امید بخش در درمان تومورهای مغزی و پوستی است. چشمه های نوترونی مختلفی به منظور BNCT مورد استفاده و بررسی قرار گرفته اند که از بین آنها راکتورهای هسته ای بیشترین کاربرد را دارند [۱-۳]. در این مقاله امکان استفاده از راکتور تحقیقاتی تهران در BNCT مورد ارزیابی قرار گرفته است. این راکتور هفت بیم تیوب دارد و بعلاوه در قسمت شمالی آن ستون حرارتی قرار دارد. در شکل (۱) نمایی از موقعیت بیم تیوب ها و ستون حرارتی نشان داده شده است. به منظور ارزیابی استفاده از راکتور تهران در BNCT تمام تجهیزات پرتو دهی راکتور شامل بیم تیوب ها و ستون حرارتی مورد بررسی قرار گرفت. طیف انرژی نوترون در بیم تیوب شمال غربی و ستون حرارتی توسط اندازه گیری به روش فعال سازی پولک و سیم بدست آمد. در سایر قسمت ها طیف انرژی نوترون با استفاده از شبیه سازی MCNP و پس از انجام آزمون های راستی آزمایی، محاسبه گردید.



شکل (۱): موقعیت قلب، بیم تیوب ها و ستون حرارتی

مواد و روش ها

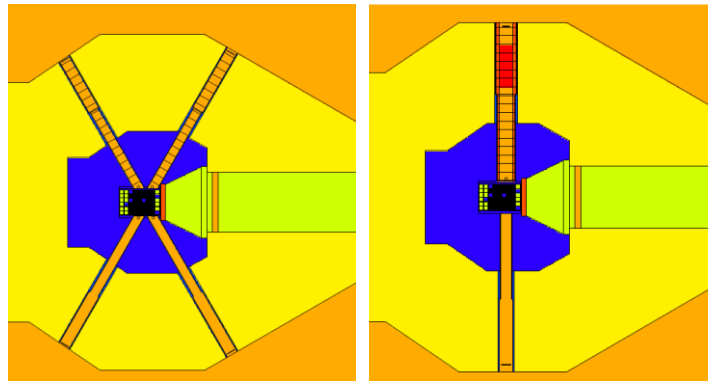
۱- شبیه سازی MCNP

برای محاسبه طیف انرژی نوترون در قسمت های مختلف، شبیه سازی توسط کد [۴] MCNP۴C انجام شد. کلیه ابعاد، مواد و اطلاعات دیگر جهت شبیه سازی بر پایه FSAR راکتور در نظر گرفته شد. شکل (۲) هندسه شبیه سازی شده را نشان می دهد.

۲- اندازه گیری به روش فعال سازی پولک و سیم مسی

اندازه گیری توزیع انرژی نوترون به روش فعال سازی پولک و بازیابی طیف با استفاده از کد [۵] SAND II صورت گرفت. جهت اندازه گیری توزیع محوری نوترون از روش فعال سازی سیم مسی استفاده شد. آزمایش اول، ستون حرارتی: برای اندازه گیری در ستون حرارتی ابتدا بلوک های گرافیتی از داخل ستون حرارتی خارج گردید. پولک ها در مکان های مشخص روی میله ای از جنس پلی اتیلن به طول تقریباً دو متر قرار داده شد و سپس میله تا نزدیک ترین فاصله ممکن به قلب، درون ستون حرارتی فرستاده شد. در سه نقطه روی میله یک پولک طلا با پوشش کادمیوم و یکی بدون پوشش کادمیوم قرار داده شد. نمونه به مدت ۶۰ دقیقه در قدرت ۲MW پرتو دهی شد.

آزمایش دوم، بیم تیوب شمال غربی: به منظور قرار دادن پولک ها در نزدیک ترین فاصله از قلب، پولک ها روی یک دیسک پلی اتیلنی به شعاع ۶ سانتی متر قرار داده و سپس این دیسک به یک میله پلی اتیلنی بلند متصل شد. یک سیم مسی به طول ۶۰ سانتی متر روی میله و در امتداد طول آن قرار داده شد. در ابتدای سیم مسی یک پولک طلا با پوشش کادمیوم و یکی بدون پوشش قرار داده شد. دیسک به همراه میله درون بیم تیوب قرار داده شد و به مدت ۶۰ دقیقه در قدرت ۲۰۰kW پرتو دهی گردید.



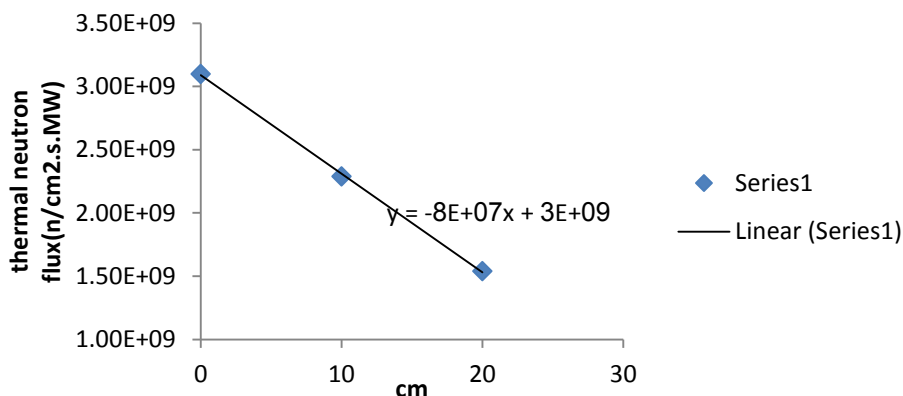
شکل (۲): هندسه شبیه سازی شده در کد MCNP در ارتفاع های متفاوت نسبت به کف استخر

نتایج

جدول (۱) نتایج اندازه گیری فعالیت پولک های طلا در ستون حرارتی را نشان می دهد. شکل (۲) توزیع نوترون های حرارتی را برحسب فاصله از ابتدای میله پلی اتیلنی درون ستون حرارتی نشان می دهد. در جدول (۲) نتایج اندازه گیری به روش فعال سازی پولک آمده است. شکل (۳) طیف انرژی نوترون بازیابی شده توسط کد SAND II را نشان می دهد. در این شکل نتایج حاصل از شبیه سازی نیز با نتایج تجربی مقایسه شده است. کلیه خطاهای محاسباتی زیر ۰.۵٪ است. توزیع نوترون در راستای بیم تیوب که بوسیله اندازه گیری فعالیت سیمی مسی و پولک های طلا بدست آمده است، در شکل (۴) نشان داده شده است.

جدول (۱): نتایج اندازه گیری فعالیت پولک های طلا در ستون حرارتی

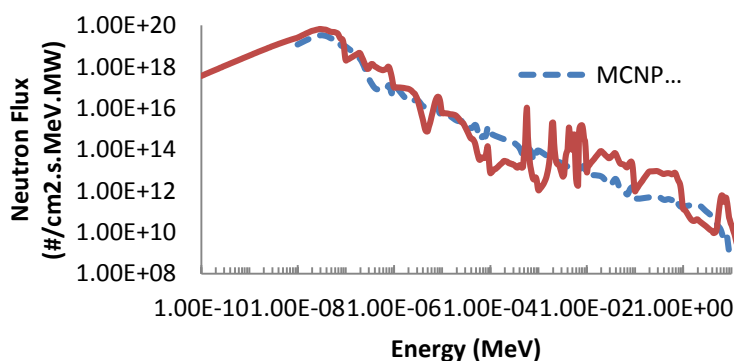
فاصله از قلب (cm)	جرم پولک (gr)	فعالیت (Bq)	درصد خطا	شار حرارتی (n/cm ² .S.MW)
۰	۰,۰۱۵۱	۲,۹۹۲۱E+۰۵ (Bare)	۰,۲۹	۳,۱۰E+۰۹
	۰,۰۳۱۴	۵,۸۵۱۵E+۰۲ (Cd)	۳,۰۸	
۱۰	۰,۰۱۵۱	۲,۲۱۰۵E+۰۵ (Bare)	۰,۲۱	۲,۲۹E+۰۹
	۰,۰۳۰۸	۵,۶۸۲۸E+۰۲ (Cd)	۲,۲۵	
۲۰	۰,۰۱۲۹	۱,۲۶۶۶E+۰۵ (Bare)	۰,۲۸	۱,۵۴E+۰۹
	۰,۰۶۵۸	۴,۰۵۶۰E+۰۲ (Cd)	۲,۱۹	



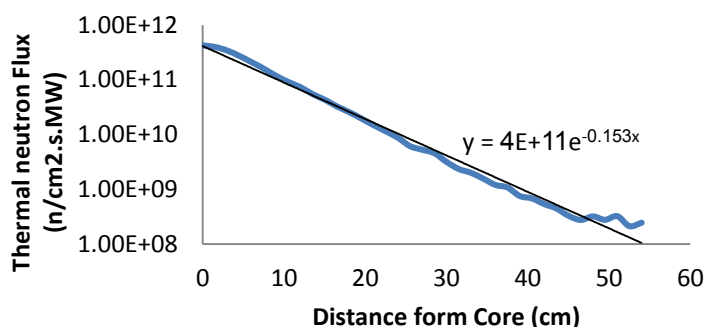
شکل (۲): توزیع نوترون های حرارتی بر حسب فاصله از ابتدای میله پلی اتیلنی

جدول (۲): نتایج اندازه گیری فعالیت پولک ها در بیم تیوب شش اینچی

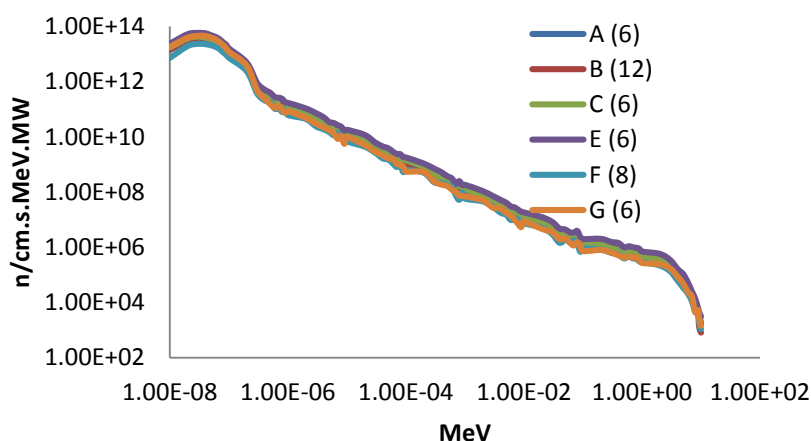
جرم پولک (mg)	فعالیت (Bq)	درصد خطا	واکنش
۰,۲۴۲۹	۱,۹۲۵۶E+۰۴	۰,۶۸	^{۲۷} Al(n,a) ^{۲۴} Na
۰,۱۳۶۱	۲,۱۷E+۰۴	۰,۵	^{۵۶} Fe(n,p) ^{۵۶} Mn
۰,۱۴۳۱	۱,۵۸۷۰E+۰۳	۰,۵۴	^{۴۷} Ti(n,p) ^{۴۷} Sc
۰,۰۱۱۸	۳,۳۲E+۰۶	۰,۱۷	^{۱۹۷} Au(n,g) ^{۱۹۸} Au
۰,۰۱۱۸	۲,۶۶E+۰۵	۰,۲۱	^{۱۹۷} Au(n,g) ^{۱۹۸} Au + Cd
۰,۱۲۵۶	۱,۳۵۹۷E+۰۸	۱,۰۸	^{۶۳} Cu(n,g) ^{۶۴} Cu
۰,۱۲۶۹	۳,۴۶۴۲E+۰۶	۰,۷۵	^{۶۳} Cu(n,g) ^{۶۴} Cu + Cd
۹,۷	۲,۸۵۰۵E+۰۶	۰,۱۸	^{۱۹۷} Au(n,g) ^{۱۹۸} Au (for Wire)
۹,۷	۲,۴۳۲۵E+۰۵	۰,۴۲	^{۱۹۷} Au(n,g) ^{۱۹۸} Au + Cd (for Wire)



شکل (۳): طیف بازایی شده توسط کد SANDII در بیم تیوب شش اینچی



شکل (۴): توزیع نوترون های حرارتی در راستای بیم تیوب شش اینچی



شکل (۵): طیف انرژی نوترون محاسبه شده توسط شبیه سازی در ابتدای بیم تیوب های مختلف (اعداد داخل پراونتز قطر بیم تیوب بر حسب اینچ می باشد)

بحث و نتیجه گیری

برای امکان سنجی استفاده از بیم تیوب های راکتور تهران، شار نوترون فوق حرارتی در قسمت های مختلف بیم تیوب محاسبه شد. برای راستی آزمایی طیف نوترونی محاسبه شده با شبیه سازی، از روش فعالسازی پولک های مختلف و بازیابی طیف استفاده شد. نتایج نشان می دهد که شار نوترون فوق حرارتی در ابتدا، میانه و انتهای بیم تیوب به ترتیب برابر $۸,۲۱۳e۱۲$ ، $۱,۳۴۵e۴$ و $۲,۴۳۷e۲$ (n/cm².S) است و لذا استفاده از بیم تیوب های راکتور برای BNCT مناسب نیست. مشکل اساسی طول بلند بیم تیوب هاست که باعث افت شدید شار در محل پرتودهی می گردد. همچنین در ستون حرارتی شار مناسبی از نوترون های حرارتی در حدود $۴,۵۷E+۱۰$ (n/cm².S) قابل دستیابی است که می تواند در بخش های تحقیقاتی BNCT از جمله مطالعات بیولوژیکی و نمونه های حیوانی مورد استفاده قرار گیرد.

تشکر و قدردانی

نویسندگان بر خود لازم می‌دانند تا از جناب آقای عزتی مدیر آزمایشگاه بهره بردای از راکتور تهران، جناب آقای قدس مدیر آزمایشگاه فیزیک نوترون و کلیه پرسنل گروه کارگردانی راکتور تهران و فیزیک بهداشت قدردانی نمایند. همچنین از جناب آقای بنویدی و جناب آقای عزیزی که در مراحل مختلف آزمایش‌ها ما را همراهی کردند تشکر ویژه می‌نماییم.

مراجع

1. Menéndez, P.R., et al., BNCT for skin melanoma in extremities: Updated Argentine clinical results. Applied Radiation and Isotopes, ۲۰۰۹. ۶۷(۷-۸, Supplement ۱): p. S۵۰-S۵۳.
2. Yoshinobu Nakagawa, Clinical results of BNCT for malignant brain tumors in children. ۲۰۰۹.
3. Zonta, A., Clinical lessons from the first applications of BNCT on unresectable liver metastases. Journal of Physics: Conference Series, ۲۰۰۶. ۴۱.
4. J.F. Briesmeister (Ed.), MCNP "A general Monte Carlo N-particle transport code. Version ۴C, LANL, ۱۹۹۷.
5. Managed by Lockheed Martin Energy Research Corporation, "RSICC Computer Code Collection – SAND - II", Oak Ridge National Laboratory, ۱۹۹۴.