

۱۶ و ۱۷ شهریور ماه ۱۳۹۴ دانشگاه یزد

محاسبه راکتیویته قلب و شار نوترون فوق حرارتی BNCT با استفاده از روش مونت کارلو در بخش شرقی راکتور تحقیقاتی تهران

گلشنیان، محدثه^۱؛ رجبی، علی اکبر^۱؛ کاسه ساز، یاسر^{۲*}

۱ دانشگاه صنعتی شاهرود، دانشکده فیزیک، گروه فیزیک

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

چکیده

در این تحقیق به محاسبه راکتیویته قلب راکتور تحقیقاتی تهران و شار نوترون فوق حرارتی با کاربرد در نوترون درمانی با بور پرداخته ایم. به این منظور با استفاده از کد محاسباتی MCNPX، راکتیویته قلب راکتور در دو حالت وجود و عدم وجود کانال بیم نوترون، محاسبه شده است. همچنین شدت باریکه نوترون فوق حرارتی را در اتاق درمان محاسبه نمودیم. نتایج حاصل از این تحقیقات نشان می‌دهد، قرارگیری کانال نوترونی ایمنی قلب را مختل نخواهد کرد. همچنین شدت شار نوترون فوق حرارتی در اتاق درمان به گونه‌ای است که با استفاده از مجموع‌ای از مواد کند کننده، فیلتر نوترون حرارتی و فیلتر گاما قابلیت به کارگیری در نوترون درمانی با بور را دارد.

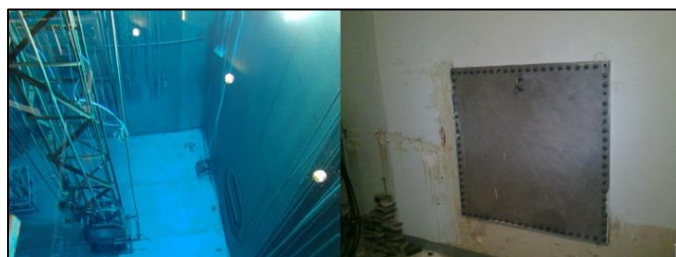
کلید واژه: راکتیویته قلب، شار نوترون فوق حرارتی BNCT، راکتور تحقیقاتی تهران، کد MCNPX

مقدمه

راکتور تحقیقاتی تهران از نوع استخری و با توان اسمی ۵ مگاوات می‌باشد. کند کننده و خنک کننده این راکتور آب سبک است و نخستین بار در آبان سال ۱۳۶۶ با سوخت اورانیوم با غنای ۲۰٪ به نقطه بحرانی رسیده است [۱]. این راکتور تحقیقاتی در زمینه‌های تحقیقاتی، فیزیک نوترون، مهندسی هسته‌ای و تولید رادیو داروها مورد بهره‌برداری قرار می‌گیرد [۲-۴]. از جمله تحقیقات انجام گرفته در دهه اخیر، استفاده از این راکتور تحقیقاتی در ایجاد باریکه نوترونی با شدت و انرژی مناسب به منظور به کارگیری در نوترون درمانی با بور بوده است. به این منظور در بخش غربی (ستون حرارتی) تحقیقات وسیعی صورت گرفته است. بر اساس مطالعات صورت گرفته با خارج نمودن بخشی از بلوک‌های گرافیتی در بخش ستون حرارتی قابلیت ایجاد شار نوترونی در حدود $5/6 \times 10^8$ وجود دارد [۵، ۶]. اما این کار با مشکلاتی نظیر بالا بودن دوز گاما در بخش هال راکتور که منجر به خاموشی راکتور می‌گردد، همراه است. همچنین در هر آزمایش زمان زیادی را باید به استخراج بلوک‌ها اختصاص داد، که این کار منجر به دوزگیری گروه بهره‌برداری راکتور در هر بار خارج نمودن بلوک‌های گرافیتی می‌شود. پس از بررسی ساختمان راکتور در بخش شرقی استخر وجود یک حفره در بدنه دیوار استخر که متهی به اتاق درمان است گامی دیگر از توسعه تحقیقات را برای ایجاد کانال

۱۶ و ۱۷ شهریور ماه ۱۳۹۴ دانشگاه یزد

نوترونی جدید بر اساس اتاق درمان راکتور ایجاد نمود. لازم به ذکر است این حفره با بلوک های بتنی پر شده است و با دو صفحه آلومینیوم آب بندی شده است شکل (۲). در مطالعه بررسی ایمنی راکتور ها اندازه گیری راکتیویته قلب ، نقش بسیار مهمی را ایفا می کند. بنابر این به منظور بررسی اتاق درمان راکتور، یکی از مهمترین پارامتر ها بررسی ایمنی قلب در هنگام قرار گیری قلب در بخش استخر سرباز می باشد. در این تحقیقات به منظور ایجاد یک کانال نوترونی جدید در بخش شرقی راکتور تحقیقاتی تهران به محاسبه راکتیویته قلب راکتور در حضور یک شکل دهنده بیم و عدم حضور آن و بررسی تاثیر آن بر ایمنی قلب می پردازیم. همچنین شدت باریکه نوترون فوق حرارتی براساس اتاق درمان راکتور مورد مطالعه قرار خواهد گرفت.



شکل (۲): دریچه های موجود بر روی دیوار استخر و اتاق درمان

شکل (۱): نمایی از راکتور تحقیقاتی تهران

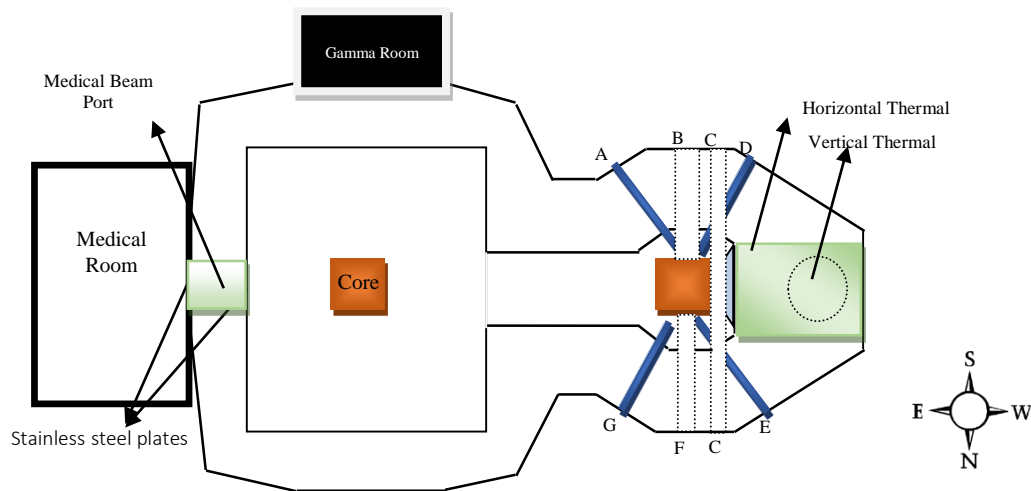
روش کار

۱- معرفی راکتور تحقیقاتی تهران

راکتور تحقیقاتی تهران یک راکتور استخری با توان اسمی ۵ مگاوات است. استخر راکتور شامل دو بخش شرقی و غربی قابل تفکیک است. بخش غربی به جهت بهره برداری از قلب برای اهداف تحقیقاتی مختلف و از بخش شرقی به منظور انتقال قلب برای تعمیر و موارد اضطراری استفاده می شود. شکل (۳) نمایی از استخر، موقعیت قلب در دو قسمت استخر و تجهیزات پرتودهی را نشان می دهد. در قسمت غربی تعداد هفت عدد کانال پرتودهی با شکل ها و اندازه های مختلف وجود دارد. همچنین ستون حرارتی راکتور که با بلوک های گرافیتی پر شده است، در این قسمت قرار دارد. پشت دیوار شرقی استخر، اتاق درمان وجود دارد. روی این دیوار یک حفره بزرگ تعبیه شده است که توسط بلوک های بتنی پر شده و توسط دو صفحه فولادی آب بندی شده است. این دریچه ها تاکنون باز نشده اند. یکی از این دریچه ها داخل استخر

۱۶ و ۱۷ اسفندماه ۱۳۹۴ دانشگاه یزد

و دیگری داخل اتاق قرار دارد (شکل (۲)). جهت استفاده از اتاق درمان لازم است که قلب راکتور در قسمت شرقی مورد بهره برداری قرار گیرد و یک بیم تیوب بین قلب و دیوار شرقی استخر قرار داده شود. همچنین لازم است تا دریچه‌های روی دیوار باز شده و درون حفره تخلیه گردد.



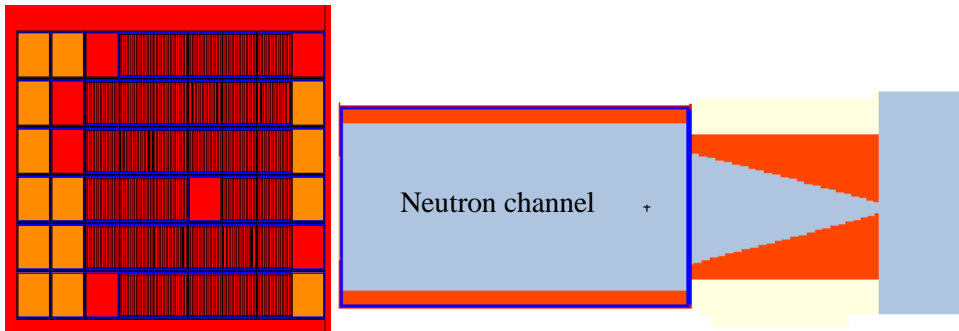
شکل (۳): تصویری از راکتور تحقیقاتی تهران و تجهیزات پرتودهی آن

۲- شبیه سازی قلب، استخر، اتاق درمان و محاسبه راکتیویته قلب راکتور با استفاده از کد MCNPX شکل (۴) هندسه شبیه سازی شده قلب و کانال نوترونی منتهی به اتاق درمان راکتور تحقیقاتی تهران را با استفاده از کد MCNPX نشان می دهد. راکتیویته از جمله مشخصات فیزیکی قلب است که در کنترل ایمنی راکتور نقش بسزایی دارد [۲]. برای محاسبه ضریب راکتیویته از رابطه (۱) استفاده می شود [۷]. در این تحقیق محاسبه ضریب راکتیویته در چهار مرحله صورت گرفته است. در مرحله نخست درحالتی که بخشی از میله های کنترل در داخل قلب و در مرحله دوم تمامی میله های کنترل در خارج از قلب است، انجام شده است [۸].

(۱)

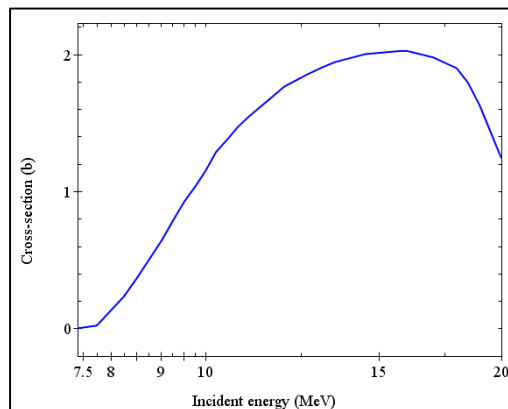
۱۶ و ۱۷ شهریور ۱۳۹۴ دانشگاه یزد

$$\rho = \frac{k_{eff} - 1}{k_{eff}}$$



شکل (۴): شبیه سازی آرایش قلب و کانال نوترونی با استفاده از کد MCNPX

در مرحله سوم و چهارم، محاسبه راکتیویته با فرض حضور کانال نوترونی و قرارگیری میله های در خارج و داخل قلب انجام شده است. برای شبیه سازی کانال نوترونی، ابتدا یک بیم تیوب توخالی از جنس آلومینوم با ضخامت ۲ سانتی متر و شعاع ۷۲ سانتی متر مابین اتاق درمان و قلب قرار گرفت. سپس یک تیوب با شعاع ۷۰ سانتی متر که با پوششی از سرب با ضخامت ۱۰ سانتی متر پوشیده شده بود در داخل بیم تیوب اول قرار گرفت. از طرفی با فرض خارج نمودن بلوک های بتونی داخل حفره بر روی دیوار استخر به طراحی موازی سازی با طول ۱۳۵ سانتی متر با شعاع ابتدایی ۴۰ سانتی متر و شعاع انتهایی ۵ سانتی متر پرداخته شد. همچنین به منظور جمعیت نوترون های پراکنده اطراف موازی سازی با سرب به ضخامت تقریبی ۲۰ سانتی متر پوشش داده شد. علت انتخاب سرب در اطراف کانال نوترونی و اطراف موازی سازی سطح مقطع برهم کنش نسبتا بالای (n,2n) است، که منجر به افزایش جریان نوترون می شود (شکل (۵)).



شکل (۵): سطح مقطع برهم کنش $Pb(n,2n)$ [۹]

۱۶ و ۱۷ اسفندماه ۱۳۹۴ دانشگاه یزد

به منظور بررسی شدت شار نوترون فوق حرارتی از تالی شماره ۴ و کارت E4 استفاده شده است. رابطه (۲) نحوه محاسبه این شار را نشان می دهد.

$$\int_{E1}^{E2} \varphi(E) dE$$

در رابطه فوق $\varphi(E)$ شار نوترون، $E1$ و $E2$ کمترین و بیشترین میزان گستره انرژی می باشد [۱۰].

نتایج

نتایج حاصل از محاسبه ضریب تکثیر موثر و راکتیویته حاصل از قلب راکتور تحقیقاتی تهران در جدول شماره (۱) ارائه شده است.

جدول (۱): ضریب راکتیویته و ضریب تکثیر موثر

	With new neutron channel	Without neutron channel
Keff (rod in core)	1.00868±0.0005	1.00280±0.0002
Keff (rod out of core)	1.02314±0.0005	1.01757±0.0002
$\rho_s\%$	1.40	1.45

همچنین جدول شماره (۲) شدت شار نوترون فوق حرارتی و مقایسه آن پارامترهای ارائه شده از سوی آژانس بین المللی انرژی اتمی را نشان می دهد [۱۱].

جدول (۲): شار نوترون فوق حرارتی و مقایسه با پارامترهای ارائه شده از سوی آژانس بین المللی

انرژی اتمی

IAEA limit([11])	φ_{epi} ($> 1 \times 10^9 \text{ n/cm}^2 \text{ s}$)	D_{fast} / φ_{epi} ($< 2 \times 10^{-13} \text{ Gy cm}^2$)	$D\gamma / \varphi_{epi}$ ($< 2 \times 10^{-13} \text{ Gy cm}^2$)	$\varphi_{th} / \varphi_{epi}$ < 0.05
TRR ¹	3.37×10^{10}	2.09×10^{-12}	1.30×10^{-11}	1.33

بحث و نتیجه گیری

در این تحقیق به بررسی اثر قرار گیری کانال نوترونی در بخش شرقی راکتور تحقیقاتی تهران بر روی ایمنی راکتور پرداخته شده است. به این منظور با شبیه سازی قلب و استخر و کانال نوترونی در قسمت شرقی راکتور ضریب راکتیویته قلب مورد محاسبه قرار گرفته است. همانگونه که از جدول شماره (۱) ملاحظه می شود قرار گیری کانال نوترونی منجر به کاهش راکتیویته قلب شده و در نتیجه ایمنی قلب را مختل نمی کند. همچنین به منظور استفاده از این کانال نوترونی در نوترون درمانی با بور به محاسبه شدت شار نوترون فوق حرارتی پرداخته شد. نتایج ارائه شده در جدول شماره (۲) و مقایسه آن با پارامترهای استاندارد ارایه شده توسط آژانس بین المللی انرژی اتمی نشان می دهد شدت شار فوق حرارتی حاصل شده با به کار گیری مجموعه ای از مواد کند کننده و کاهنده دوز گاما و نوترن حرارتی قابلیت استفاده در نوترون درمانی با بور را دارا می باشد. این تحقیقات همچنان ادامه دارد.

مراجع

- [1] M. Zaker, "Effective delayed neutron fraction and prompt neutron lifetime of Tehran research reactor," *Annals of Nuclear Energy*, vol. 30, pp. 1591-1596, 2003.
- [2] H. Khalafi, S. Mosavi, and S. Mirvakili, "Design & construction of a digital real time reactivity meter for Tehran research reactor," *Progress in Nuclear Energy*, vol. 53, pp. 100-105, 2011.
- [3] A. Bahrami-Samani, M. Ghannadi-Maragheh, A. R. Jalilian, S. Shirvani-Arani, M. Meftahi, and S. Moradkhani, "Production, quality control and biological evaluation of $^{153}\text{Sm-EDTMP}$ in wild-type rodents," *Iranian Journal of Nuclear Medicine*, vol. 17, pp. 12-19, 2009.
- [4] Y. Kasesaz, H. Khalafi, F. Rahmani, A. Ezzati, M. Keyvani, A. Hosnirokh, *et al.*, "Design and construction of a thermal neutron beam for BNCT at Tehran Research Reactor," *Applied Radiation and Isotopes*, vol. 94, pp. 149-151, 2014.

۵ و ۶ اسفندماه ۱۳۹۴ دانشگاه یزد

- [5] Y. Kasesaz, H. Khalafi, and F. Rahmani, "Design of an epithermal neutron beam for BNCT in thermal column of Tehran research reactor," *Annals of Nuclear Energy*, vol. 68, pp. 234-238, 2014.
- [6] Y. Kasesaz, H. Khalafi, F. Rahmani, A. Ezati, M. Keyvani, A. Hossnirokh, *et al.*, "A feasibility study of the Tehran research reactor as a neutron source for BNCT," *Applied Radiation and Isotopes*, vol. 90, pp. 132-137, 2014.
- [7] J. R. Lamarsh, "Introduction to nuclear engineering," 1983.
- [8] O. Gritzay, O. Kalchenko, N. Klimova, V. Razbudey, A. Sanzhur, and S. Binney, "Monte Carlo Calculation of Core Reactivity and Fluxes for the Development of the BNCT Neutron Source at the Kyiv Research Reactor," in *AIP Conference Proceedings*, 2005, p. 1627.
- [9] D. Lopez Aldama and A. Trkov, "FENDL-2.1: Update of an evaluated nuclear data library for fusion applications," International Atomic Energy Agency, International Nuclear Data Committee, Vienna (Austria)2004.
- [10] J. F. Briesmeister, "MCNPTM-A general Monte Carlo N-particle transport code," *Version 4C, LA-13709-M, Los Alamos National Laboratory*, 2000.
- [11] I. A. E. Agency, "Current status of neutron capture therapy," *IAEA-TECDOC-1223*, 2001.