

بررسی اثر حذف درزهای محل حفاظ‌های نصب‌شده سامانه‌های آنالیز نوترون راکتورهای

تحقیقاتی بر کاهش نشت دز نوترون و گاما

INC29-1219

زهره غلامزاده

سازمان انرژی اتمی، پژوهشگاه علوم و فنون هسته‌ای، پژوهشکده راکتور و ایمنی هسته‌ای.

چکیده:

در ساختار راکتورهای تحقیقاتی تعداد زیادی کانال‌های شعاعی طراحی می‌شود که می‌تواند نوترون‌های تولیدشده در قلب راکتور به‌واسطه فرایند شکافت را به محل‌های راکتور هدایت کند. این نوترون‌ها می‌توانند برای آنالیز مواد به‌عنوان مثال در پراش‌سنجی نوترون تکفام شده توسط کریستال تکفام‌کننده قرار گرفته در مسیر باریکه، مورد استفاده قرار گیرند. در محل دهانه خروجی کانال شعاعی برای نصب این سامانه‌ها لازم است حفاظ‌سازی نوترون و گاما به‌خوبی انجام گردد به‌گونه‌ای که نوترون و گاما تنها از مسیر کلیماتور دوم سامانه خارج شده و نشتی آن‌ها از سایر نقاط اطراف حفاظ حداقل باشد. محاسبات انجام‌شده در این کار توسط کد MCNPX نشان داد وجود یک دیواره در دهانه خروجی کانال که بتواند حفاظ سامانه را در خود دربر گیرد می‌تواند تأثیر بسزایی در کاهش دز اطراف حفاظ سامانه داشته باشد. در صورت وجود فاصله بین حفاظ و دیواره ساختمان استخر، دز نوترون و گاما به می‌تواند از حدود ۳۰٪ تا حتی ۳ برابر بسته به مقدار فاصله تغییر کند.

کلیدواژه‌ها: حفاظ نوترون و گاما، کاهش نشتی دز، کد MCNPX

Investigating the effect of removing the seams of the installed shields of neutron analysis systems of research reactors on reducing the leakage of neutron and gamma doses

Zohreh Gholamzadeh

Safety and Nuclear Research Reactor School, Nuclear Science and Technology Research Institute, Tehran, Iran,

Abstract:

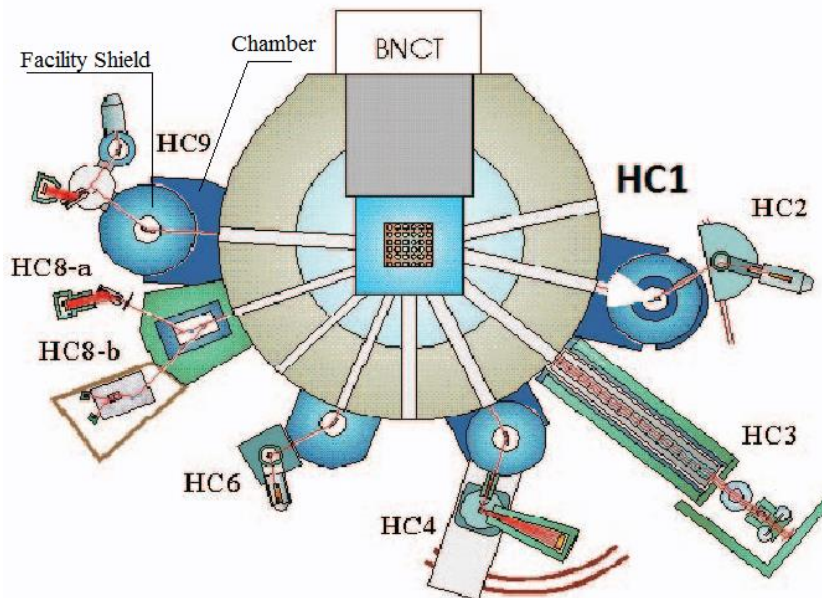
In the structure of research reactors, a large number of radial channels are designed that can direct the neutrons produced in the core of the reactor due to the fission process to the location of the reactor hall. These neutrons can be used to analyze materials, for example, in diffractometry of neutrons that diffracted by diffractive crystals placed in the path of the beam. In order to install these systems, neutron and gamma shielding must be done well at the outlet of the radial channel, so that neutrons and gamma only exit from the path of the second collimator of the system, and their leakage from other points around the shield is minimal. The calculations performed in this work by the MCNPX code showed that the presence of a wall in the outlet opening of the channel that contains the system shield could have a great effect in reducing the dose around the system shield. If there is a distance between the guard and the wall of the pool building, the neutron and gamma dose can change by about 30% to even 3 times the amount of the distance.

Keywords: Neutron and gamma shielding, Dose leakage reduction, MCNPX code

۱. مقدمه

راکتورهای تحقیقاتی برای اهداف زیادی از جمله آموزش نیروی انسانی، تولید رادیوایزوتوپ‌ها، تست سوخت، تست مواد، آنالیز نوترونی مواد، پرتو دهی سنگ‌های زینتی، ناخالص‌سازی سیلیکون و غیره بکار می‌روند. بسیاری از راکتورها در زمان طراحی و ساخت خود از کانال‌های شعاعی زیادی استفاده کرده‌اند تا با استفاده از آن‌ها نوترون‌ها را به محل‌های راکتور هدایت کنند و از این نوترون‌ها برای راه‌اندازی آزمایشگاه‌های آنالیز مواد نظیر رادیوگرافی نوترون، پراش‌سنجی نوترون، آنالیز مواد با استفاده از نوترون قطبی شده، اندازه‌گیری سطح مقطع نوترون با مواد و غیره بهره ببرند. لذا اطراف کانال‌های شعاعی راکتورهای تحقیقاتی، آزمایشگاه‌های مختلف آنالیز مواد استقرار یافته است. لازم به ذکر است به دلیل استفاده دائم از این آزمایشگاه‌ها لازم است حفاظ‌های قوی نوترون و گاما به‌منظور کاهش پرتوگیری کارکنان و اپراتور راکتور که از این محل‌ها تردد می‌کنند در اطراف محوطه این آزمایشگاه‌ها ساخته شود. یکی از مهم‌ترین محل‌های نشستی زیاد نوترون و گاما در محل درزها خواهد بود لذا تا جایی که امکان دارد باید این حفاظ‌ها یکپارچه و بدون درز باشند.

در برخی از راکتورها در محل دهانه خروجی کانال شعاعی روی بدنه خارجی استخر یک حفاظ متصل به بدنه ساختمان راکتور و یا به عبارتی یک اتاقک طراحی می‌کنند تا از وجود یک درز مستقیم و نشت زیاد نوترون و گاما در آن محل جلوگیری شود. همچنان که در شکل ۱ دیده می‌شود در طراحی ساختمان راکتور LVR-15 جمهوری چک که یک راکتور ۱۰ MW است در مورد برخی از سامانه‌های آنالیز نوترون مانند HC9، HC4، HC1 و HC2 از اتاقک (chamber) برای نصب حفاظ سامانه (shield) استفاده شده است. از آنجایی که اتاقک به بدنه خارجی استخر به‌صورت کامل متصل است، درز منحنی-مانند بین حفاظ سامانه و اتاقک می‌تواند نشستی نوترون و گاما را به حداقل برساند.



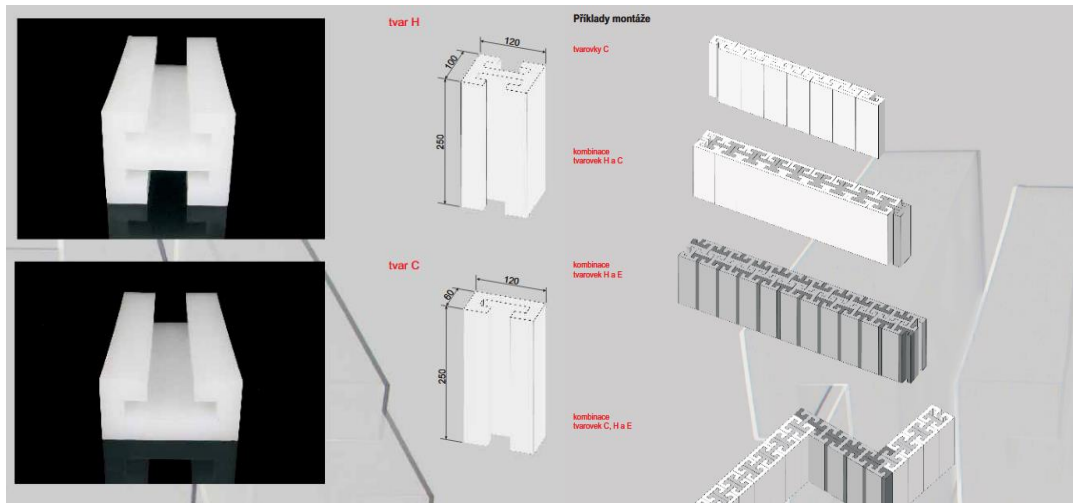
شکل ۱. نمای شماتیک حفاظ‌ها و اتاقک‌های اطراف ساختمان استخر راکتور LVR-15 [۱].

راکتور LVR-15 یک راکتور تحقیقاتی از نوع تانکی خنک‌کننده آب سبک است که در مخزن فولاد ضدزنگ زیر یک استخر آب به‌عنوان یک حفاظ پرتویی قرار گرفته است (شکل ۲). سطح عملیاتی راکتور ۱۰ مگاوات است. معمولاً شیفت کاری راکتور ۳ هفته و به دنبال آن یک خاموشی به مدت ۱۰-۱۴ روز برای تعمیر و نگهداری و بارگیری مجدد سوخت تنظیم می‌شود [۲].



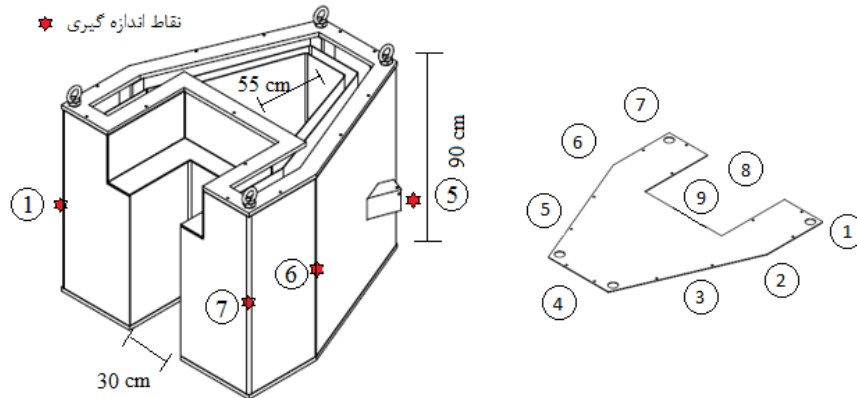
شکل ۲. نمایی از حفاظ‌سازی اطراف سیستم‌های پراش‌سنجی نوترون راکتور LVR-15 جمهوری چک [۲].

در این راکتور، از کریستال فیلتر نوترون سیلیکون در کانال HC1 و از کریستال فیلتر نوترون sapphire در کانال HC6 استفاده شده است که کریستال کانال HC6 عملکرد بسیار بهتری دارد. همچنین در مورد دیواره‌های اطراف سامانه‌های نوترونی جهت کاهش نشتی مجدداً از یک طراحی خاص در این راکتور استفاده می‌شود. از دیواره‌هایی با ضخامت ۱۰cm الی ۲۰cm در اطراف سامانه‌های نوترونی راکتور استفاده شده است که عمدتاً پلی‌اتیلن باردار یا پلی‌اتیلن حاوی لیتیوم است. در شکل ۳ نمایی از قطعات این دیواره‌ها و دیواره‌های پازلی روی هم سوار شده نشان داده شده است.



شکل ۳. نمایی از قطعات دیواره‌های حفاظ به‌کاررفته در راکتور LVR-15 جمهوری چک [۳].

تجربه دزیمتری اطراف سامانه پراش‌سنجی نوترون (شکل ۴) در حال نصب در راکتور تحقیقاتی تهران نشان داد طبق جدول ۱، بیشترین نشتی نوترون و گاما در محل درز بین دیوار استخر راکتور و حفاظ ساخته شده سامانه می‌باشد.



شکل ۴. نمایی از سامانه پراش سنجی راکتور تحقیقاتی تهران [۴].

نقاط اندازه‌گیری مطابق شکل ۴ روی نقشه حفاظ نشان داده شده‌اند. نقطه ۴ در محل وجه نهایی حفاظ در راستای باریکه مستقیم قرار دارد. همه نقاط اطراف حفاظ هم‌سطح باریکه نوترون و گامای خروجی از کانال D در نظر گرفته شده‌اند. نقاط ۸ و ۹ نیز روی سقف حفاظ یکی (۸) کنار دیوار و دیگری مرکز اتاق تکفام کننده (۹) در نظر گرفته شده‌اند. شماره ۵ دقیقاً متعلق به دهانه خروجی کلیماتور دوم می‌باشد. در جدول ۱، نتایج دزیمتری سایر نقاط اطراف حفاظ در توان ۱۵۰ kW ارائه شده است.

جدول ۱. دز نوترون و گامای اندازه‌گیری شده در اطراف حفاظ نصب شده سامانه پراش سنجی نوترون راکتور تحقیقاتی تهران

شماره نقاط دزیمتری	دز نوترون ($\mu\text{Sv/h}$)	دز گاما ($\mu\text{Sv/h}$)
۱	۴۳	۶۱
۲	۴۸	۶۴
۳	۳۵	۱/۶۵
۴	۱۵	-
۵	۴۵	۲۳/۷
۶	۵۹	۲/۲۱
۷	۱۲۵	۲۶
۸	۱۰۱	۷۶
۹	۴۳	۴۱

نقاط ۷ و ۸ بیشترین نشتی نوترون و گاما را دارند و این نقاط دقیقاً در مکان‌هایی قرار دارند که بین حفاظ و دیوار استخر دقیقاً یک درز غیرقابل برطرف شدن به جهت ناصافی دیوار خارجی استخر وجود دارد. لازم به ذکر است این درز حدود ۱ میلی‌متر است ولی تأثیر بسزایی در نشتی نوترون و گاما دارد. [۴].

به جهت اهمیت این نوع طراحی در هنگام ساخت راکتور، در این کار تأثیر وجود اتاقک (مشابه مورد ذکر شده در مورد راکتور LVR-15) در دهانه خروجی کانال شعاعی بر کاهش دز نوترون و گاما در محل نزدیک درزها و دیواره خارجی استخر راکتور با استفاده از روش محاسباتی بررسی گردید. لازم به ذکر است که پس از ساخته شدن راکتور امکان اضافه کردن چنین اتاقک‌هایی مستلزم آنالیزهای ایمنی و تنش برای ساختمان استخر راکتور و کسب مجوز از مرکز نظام ایمنی است و لذا منطقی به نظر می‌رسد که در زمان طراحی و ساخت راکتورهای تحقیقاتی به طراحی و ساخت آن‌ها اندیشیده شود.

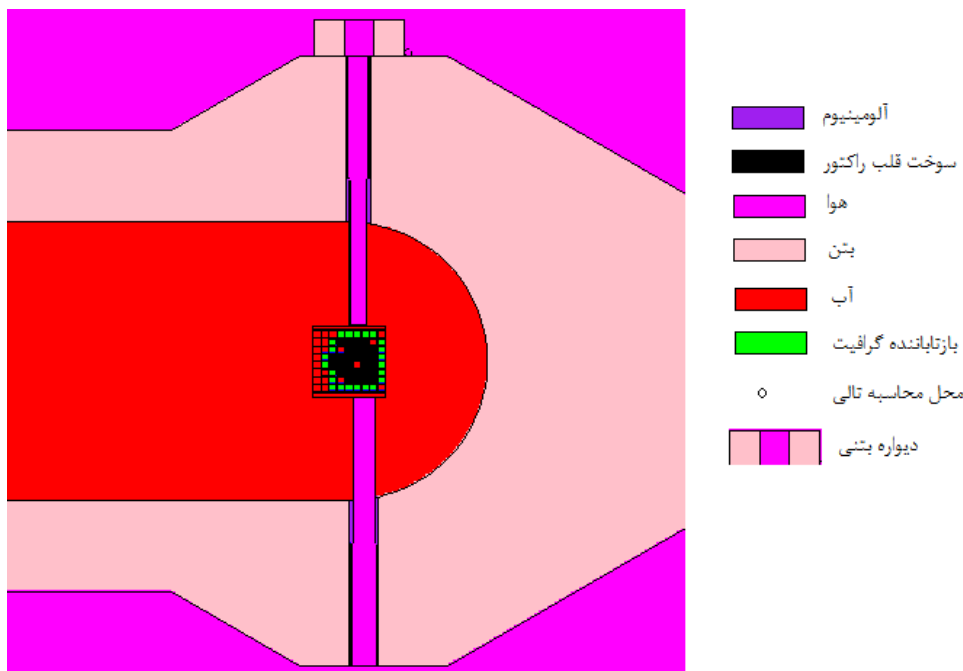
۲. روش کار

کد محاسباتی MCNPX قادر به تراپرد ۳۴ نوع ذره از جمله ذرات نوترون و فوتون است. این کد محاسباتی قادر است انواع مسائل راکتور و شتابدهنده‌ها را مدل‌سازی کرده و با همخوانی خوبی نسبت به اندازه‌گیری‌های تجربی رفتار نوترونی و یا پرتوزایی آن‌ها را مشخص نماید [۵-۷].

لذا در این کار از کد MCNPX برای مدل‌سازی قلب یک راکتور تحقیقاتی استفاده شده است. یک اتاقک بتنی در دهانه خروجی کانال شعاعی آن مدل‌سازی شد (شکل ۵) و محاسبات دز نوترون و گاما در محل درز دیوار و حفاظ سامانه آنالیز نوترون که قرار است نصب گردد انجام گردید. محل محاسبات تالی در شکل ۵ دیده می‌شود.

کارت DE/DF و فاکتورهای تبدیل شار به دز ANSI/ANS-6.1.1-1977 برای محاسبه نرخ دز گاما استفاده شد. ضریب تبدیل شار به دز NCRP-38، ANSI/ANS-6.1.1-1977 برای محاسبه نرخ‌های دز نوترون استفاده شد. از کارت مش تالی برای رسم توزیع دز نوترون استفاده شد و تأثیر ضخامت‌های مختلف اتاقک بتنی (۰، ۵، ۱۰ و ۱۵ سانتی‌متر) بر کاهش دز محل نزدیک دیوار بررسی شد. همچنین تأثیر فاصله بین دیواره بتنی دارای ضخامت بهینه با دیواره راکتور بر افزایش مقدار دز محل محاسبه در مورد فواصل ۰/۲۵، ۰/۵ و ۱ بررسی گردید.

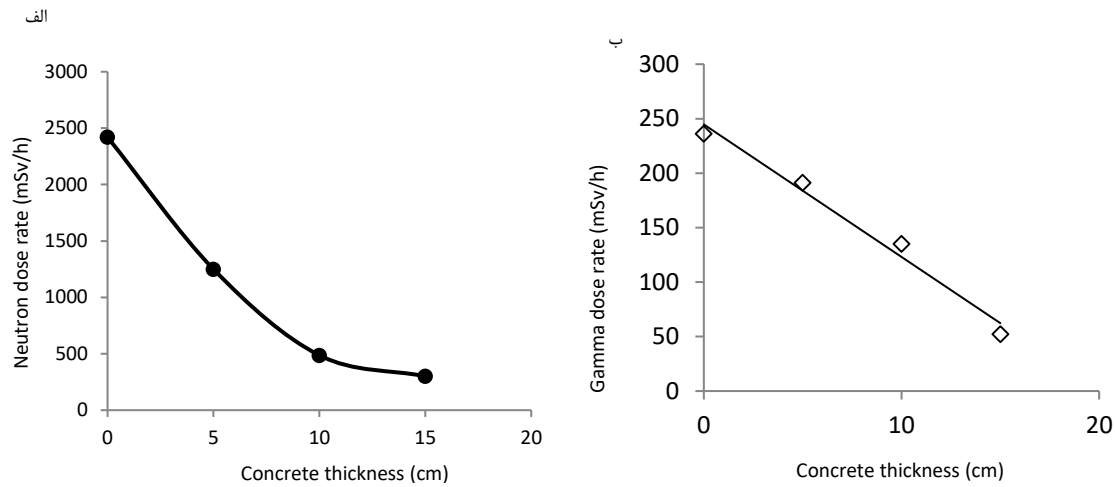
از آنجائی که بتن یک حفاظ خوب نوترون و حتی حفاظ تقریباً مناسب گاما نیز محسوب می‌گردد، در ابتدا یک دیواره بتنی در اطراف دهانه خروجی فرض گردید و ضخامت آن از ۵ cm تا ۱۵ cm افزایش داده شد و در محل ثابتی در پشت دیواره با استفاده از تالی f5 و روش کاهش واریانس dxt دز نوترون و گاما محاسبه گردید [۸].



شکل ۵. نمایی از دیواره بتنی اضافه‌شده به ساختمان استخر راکتور در محل قرارگیری حفاظ سامانه‌های آنالیز مواد.

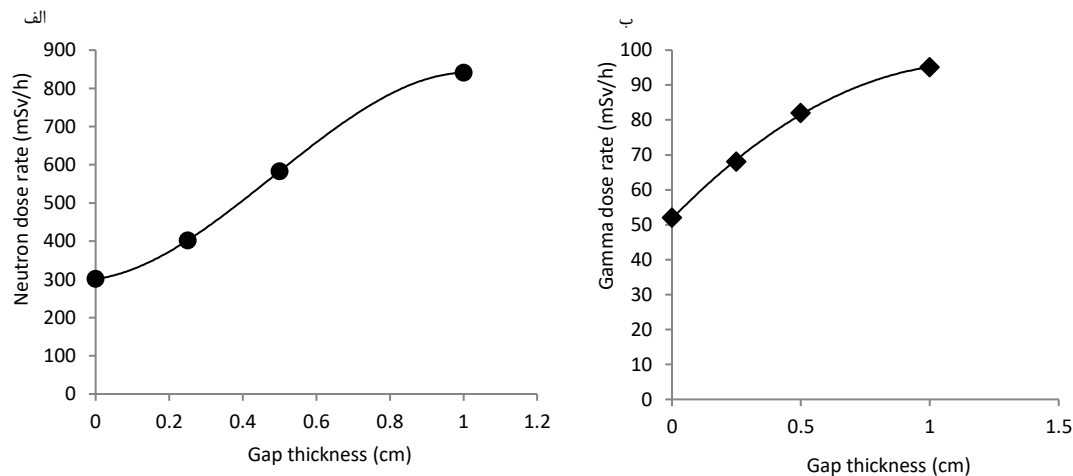
۴. بحث و نتایج

نتایج محاسبات با استفاده از تالی f5 نشان داد در اثر افزایش ضخامت دیواره بتنی، دز نوترون به‌صورت نمایی از mSv/h ۲۴۲۰ به mSv/h ۳۰۱ کاهش می‌یابد (شکل الف-۶). دز گاما نیز در یک رفتار تقریباً خطی از mSv/h ۲۳۶ با افزایش ضخامت دیواره بتنی در محل محاسبه به حدود mSv/h ۵۲ در ضخامت ۱۵ cm می‌رسد (شکل ب-۶).



شکل ۶. تغییرات دز در اثر افزایش ضخامت دیواره بتنی (الف) نوترون (ب) گاما

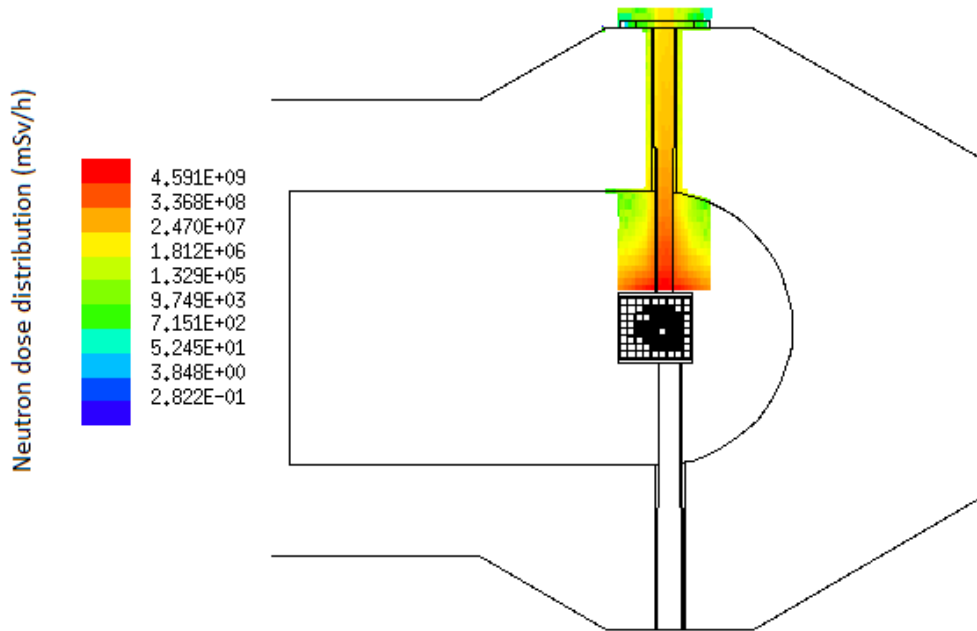
در صورتی که بین دیواره بتنی ۱۵ cm و دیواره ساختمان استخر راکتور فاصله باشد طبق محاسبات انجام شده دز نوترون به صورت رفتار تقریباً نمایی از حدود ۳۰۱ mSv/h در حالت دیواره بتنی متصل به ساختمان استخر به حدود ۸۴۱ mSv/h در حالت فاصله ۱ cm تغییر می‌کند. لازم به ذکر است حتی وجود فاصله تقریباً ۲ mm نیز باعث افزایش نشتی نوترون در محل محاسبه تا حدود ۳۳٪ می‌گردد (شکل الف-۷). در مورد دز گاما نیز در یک رفتار تقریباً نمایی مقدار دز در حالت دیواره چسبیده به بدنه ساختمان استخر راکتور از حدود ۵۲ mSv/h به حدود ۹۵ mSv/h در حالت وجود فاصله ۱ cm می‌رسد. در این مورد نیز با وجود حدود ۲ mm فاصله، نشتی دز گاما در محل محاسبه حدود ۳۰٪ خواهد بود (شکل ب-۷).



شکل ۷. تغییرات دز در اثر افزایش فاصله دیواره بتنی با بدنه ساختمان استخر راکتور (الف) نوترون (ب) گاما

لازم به ذکر است میانگین خطای محاسبات فوق حدود ۱۵٪ است. نشتی نوترون عموماً بسیار مسئله‌ساز است و به‌غیر از پرتوگیری کارکنان می‌تواند در انجام آنالیز مواد با استفاده از نوترون‌های هدایت‌شده نیز اختلال ایجاد کند. همچنین به دلیل آسیب پرتویی بیشتر ناشی از نوترون، کاهش دز نوترون در اطراف این سامانه‌ها به‌ویژه در محل درزها بسیار مهم است. همچنین محاسبات قبلی نشان داد وجود فاصله بین

دیواره بتنی و دیواره ساختمان استخر راکتور می‌تواند نشئی بیشتری برای ذرات نوترون نسبت به گاما ایجاد کند. در شکل ۸ توزیع دز نوترون از کنار قلب راکتور تا محل دهانه خروجی کانال در حالت ۱۵ cm دیواره بتنی چسبیده به دیواره استخر نشان داده شده است. همچنان که این محاسبات نشان می‌دهد در محل دهانه خروجی کانال بیش از ۱۰۰۰ Sv/h دز نوترون وجود دارد که باید به خوبی حفاظ گردد.



شکل ۸. توزیع دز نوترون از کنار قلب راکتور تا دهانه خروجی کانال شعاعی.

۵. نتیجه‌گیری

کانال‌های شعاعی راکتورهای تحقیقاتی به آزمایشگاه‌های آنالیز مواد با استفاده از نوترون‌های خروجی از قلب راکتور اختصاص یافته است. برای نصب و راه‌اندازی چنین آزمایشگاه‌هایی حفاظ‌سازی نوترون و گاما در اطراف دهانه خروجی کانال شعاعی از اهمیت بسزایی برخوردار است. این حفاظ‌سازی باید به‌گونه‌ای باشد که به‌عنوان مثال در سیستم‌های پراش‌سنجی نوترون فقط اجازه خروج باریکه از محل کلیماتور دوم سامانه داده شود و از سایر محل‌های حفاظ نشئی نوترون و گاما به حداقل ممکن برسد به‌گونه‌ای که دز مجاز محل تردد کارکنان ($8 \mu\text{Sv/h}$) را افزایش ندهد. از مهم‌ترین مکانه‌ای نشئی نوترون و گاما می‌توان محل‌هایی را نام برد که به خوبی با دیواره ساختمان استخر به دلیل ناصافی دیواره و یا خود حفاظ کیپ نشده‌اند. مطالعات انجام‌شده در این کار نشان می‌دهد وجود فاصله بین دیواره بتنی و بدنه ساختمان استخر راکتور از حدود ۲ mm تا ۱ cm دز نوترون را از حدود ۳۳٪ تا حدود ۲/۸ برابر افزایش می‌دهد. دز گاما نیز با وجود چنین فواصلی از حدود ۳۰٪ تا حدود ۱/۸ برابر افزایش می‌یابد.

۶. مراجع

- 1- J. Šoltés, L. Viererbl, Z. Lahodová, M. Kolečka, M. Vinš, Thermal neutron filter design for the neutron radiography facility at the LVR-15 reactor, 2015 4th International Conference on Advancements in Nuclear Instrumentation Measurement Methods and their Applications (ANIMMA)
- 2- <http://cvrez.cz/en/infrastructure/research-reactor-lvr-15/>
- 3- https://www.kopos.cz/sites/default/files/catalog/2017/09/neu_cz_stinici_tvarovky_neutrostop.pdf

- 4- Gholamzadeh Z., Bavarnegin E., Shakeri B. و Neutron and Gamma dosimetry of the designed and installed shielding of TRR D channel, 28th national conference on nuclear science and technology, ICNST22
- 5- D.B. Pelowitz, Users' manual versión of MCNPX2.6.0, (LANL, LA-CP-07-1473, 2008).
- 6- J. K. Shultis, R. E. Faw, An MCNP primer Dept. of Mechanical and Nuclear Engineering, (Kansas State University, copyright 2004-2010)
- 7- J F Briesmeister, MCNP- A General Monte Carlo N-Particle Transport code Version4C, (Los Alamos National Laboratory Report, USA, LA-13709-M 2000)
- 8- MCNP® USER'S MANUAL, Code Version 6.2, October 27, 2017