



تحلیل عملکرد ترکیبات مختلف جهت استفاده به عنوان حفاظ پرتویی

راکتور کوچک و ماژولار ABV، با استفاده از کد MCNPX

کریمی، جواد^{(۱)*} - شایسته، محسن^(۲) - زنگیان، مهدی^(۳)

۱- دانشگاه جامع امام حسین (ع)، دانشکده علوم پایه، مرکز فیزیک^(۲)

۲- دانشگاه شهید بهشتی، دانشکده مهندسی هسته‌ای، گروه راکتور^(۳)

چکیده:

امروزه راکتورهای کوچک ماژولار به طور قابل توجهی مورد توجه کشورهای مختلف قرار گرفته و فعالیت‌های تحقیقاتی گسترده‌ای در زمینه طراحی و ساخت آنها در حال انجام است. در این نوع راکتورها به دلیل کوچک بودن ابعاد قلب، احتمال نشت تابش‌های هسته‌ای (بویژه نوترون و گاما) بالاست. بنابراین با هدف کاهش آسیب ناشی از تابش بر اپراتورهای راکتور، یکی از مسائل مهم در بررسی این نوع از راکتورها، طراحی حفاظ پرتویی با بهترین کارایی و کمترین حجم است. در این پژوهش راکتور کوچک ماژولار و مدرن ABV به عنوان راکتور مرجع انتخاب شده است و با استفاده از کد MCNPX، عملکرد ترکیبات تنگستن، تنگستن کاربید، بتن Iron-Portland و تنگستن-کاربید-سرب با دو ساختار همگن و غیر همگن، جهت استفاده به عنوان حفاظ پرتویی راکتور بررسی شده است.

کلمات کلیدی: راکتور کوچک، حفاظ، دز نوترون، دز گاما

مقدمه:

در سال‌های اخیر راکتورهای کوچک ماژولار^۱ به طور قابل توجهی مورد توجه کشورهای مختلف قرار گرفته است. در دسته‌بندی راکتورها براساس توان، به راکتورهایی با توان الکتریکی کمتر از ۳۰۰ مگاوات، راکتور کوچک گفته می‌شود. در کشورهایی مانند چین، روسیه، آمریکا، کره جنوبی، ژاپن و آرژانتین فعالیت‌های تحقیقاتی گسترده‌ای برای توسعه این نوع راکتورها انجام شده است. این راکتورها براساس نوع خنک‌کننده قلب، انواع مختلفی دارند [۱ و ۲]. در جدول (۱) مشخصات تعدادی از این راکتورها بیان شده است. پیش‌بینی شده است که از این راکتورها می‌توان برای تامین انرژی الکتریکی در نقاط دور دست، استفاده به عنوان آب شیرین کن در مناطق ساحلی و پیشران شناورها استفاده کرد [۳]. در این نوع راکتورها به دلیل کوچک بودن ابعاد قلب، احتمال نشت تابش‌های هسته‌ای بویژه گاما و نوترون بسیار بالاست. بنابراین طراحی

^۱Small Modular Reactor



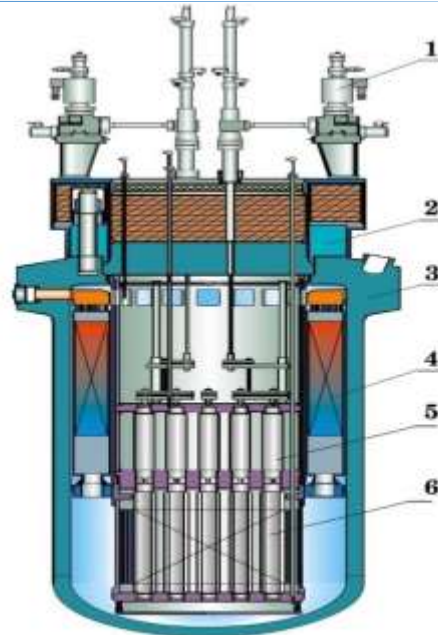
حفاظ‌های پرتویی مناسب، با هدف کاهش آسیب ناشی از تابش‌های هسته‌ای بر اپراتورها و محیط اطراف راکتور، بسیار حائز اهمیت است. با به کارگیری ترکیبات جدید و هندسه‌های مناسب برای حفاظ، می‌توان تا حد زیادی میزان نشت این پرتوها به محیط اطراف راکتور را کاهش داد. در این پژوهش راکتور کوچک ماژولار و مدرن ABV به عنوان راکتور مرجع در نظر گرفته شده است و کارایی ترکیبات تنگستن، تنگستن‌کاربید، بتن Iron-Portland و تنگستن‌کاربیدسرب با دو ساختار همگن و غیرهمگن به عنوان حفاظ پرتویی راکتور بررسی شده است. هدف از انتخاب این مواد مقایسه تفاوت در حجم و همچنین میزان کارایی ترکیبات مورد استفاده در حفاظ راکتور است. برای انجام شبیه‌سازی‌ها و محاسبات دز تابش‌های گاما و نوترون، از کد MCNPX استفاده شده است [۴].

جدول (۱): مشخصات برخی از راکتورهای کوچک ماژولار [۵، ۶، ۷ و ۸].

ردیف	نام راکتور	خنک‌کننده	توان الکتریکی (مگاوات)	کشور سازنده
۱	CAREM-25	آب سبک	۲۵	آرژانتین
۳	KLT-40S	آب سبک	۳۵	روسیه
۴	HTR-PM	گاز هلیوم	۲۱۰	چین
۵	MASLWR	آب سبک	۳۵	آمریکا
۶	ABV	آب سبک	۱۱	روسیه

روش کار :

در این پژوهش راکتور کوچک و ماژولار ABV به عنوان راکتور مرجع انتخاب شده است. راکتور ABV یک راکتور کوچک ماژولار از نوع PWR بوده که دارای یک ساختار یکپارچه، با سیستم گردش طبیعی خنک‌کننده است. این راکتور توسط شرکت روسی OKBM طراحی شده است. این شرکت راکتور را با توجه به سوابق مختلف در زمینه طراحی، ساخت و راه‌اندازی پیشران‌های هسته‌ای این کشور و با در نظر گرفتن تکنولوژی‌های جدید، طراحی کرده است. در شکل (۱) طرحی از اجزای مختلف این راکتور شامل قلب، مولدهای بخار، محفظه نگهدارنده و ... نشان داده شده است. همچنین در جدول (۲) برخی از مشخصات کلی راکتور بیان شده است [۹ و ۸].



1.CPS drive 2.Reactor cover 3.Reactor vessel
4.Steam generator 5.Block of protective tubes 6.Core

شکل (۱): طرح کلی از راکتور ABV [۸ و ۹].

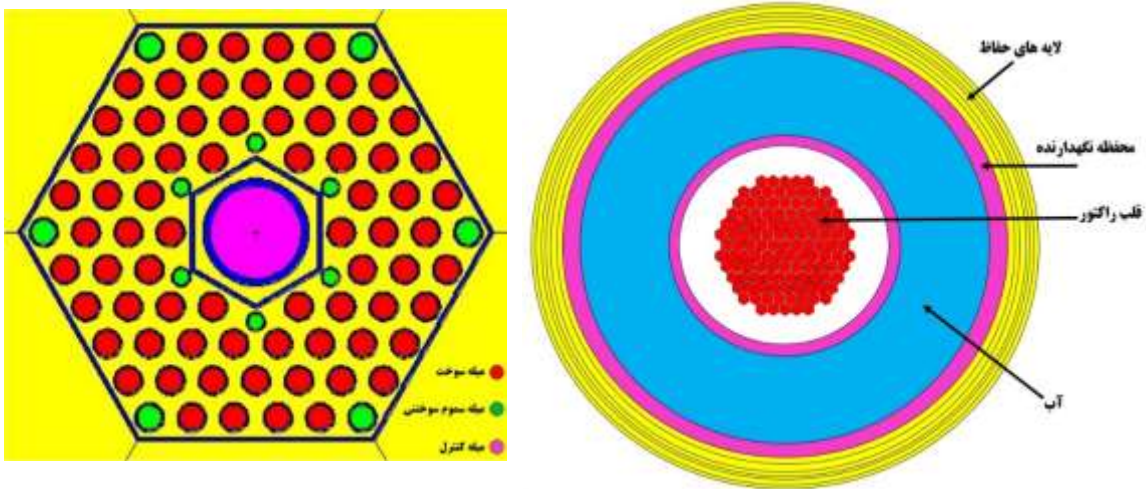


جدول (۲): برخی از مشخصات راکتور ABV [۸ و ۹].

مقدار	کمیت
PWR	نوع راکتور
۴۵	توان حرارتی (مگاوات)
۱۱	توان الکتریکی (مگاوات)
گردش طبیعی	سیستم گردش خنک کننده
دی اکسید اورانیوم + آلایژ Silumin	نوع سوخت
۱۶/۵ درصد	غنا سوخت
۱۲۱	تعداد مجموعه‌های سوخت
۱۳۰۰	ارتفاع قلب (میلی متر)
۱۲۱۹	قطر قلب (میلی متر)
۷	ارتفاع کل راکتور (متر)
۲/۶	قطر راکتور (متر)
زیرکونیوم	جنس غلاف میله سوخت
۱۵/۷	فشار در مدار اول (مگا پاسکال)

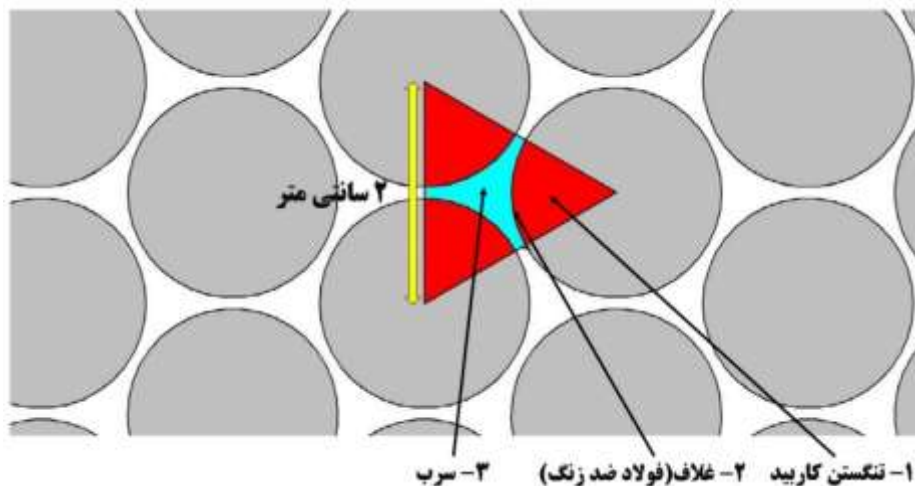
در این پژوهش برای طراحی حفاظ پرتویی از کد MCNPX استفاده شده است. این کد یکی از ابزارهای محاسباتی قدرتمند در شبیه‌سازی‌های هسته‌ای بوده و در آن با استفاده از روش مونت کارلو انواع مختلف ذرات مانند: نوترون، پروتون، الکترون و ... ترابرد می‌شود. این کد در طراحی نوترونی راکتورهای هسته‌ای و بررسی ایمنی آن‌ها، محاسبات مصرف سوخت، طراحی حفاظ‌های پرتویی، طراحی آشکار سازها، طراحی هدف در شتاب دهنده‌ها، پرتو پزشکی و ... کاربردهای بسیاری دارد [۱۰]. با استفاده از کد MCNPX و اطلاعات موجود از راکتور ABV، قلب این راکتور به صورت سه بعدی شبیه‌سازی شده است (مطابق شکل (۲)). در این پژوهش دو نوع حفاظ با ساختارهای همگن و غیر همگن مورد بررسی قرار گرفته است. در ساختار همگن از ترکیبات تنگستن، تنگستن کاربید، بتن Iron-Portland به صورت مجزا و با ضخامت‌های مختلف استفاده شده است در حالیکه در ساختار غیر همگن از یک هندسه جدید شامل تنگستن کاربید با ساختار استوانه‌ای به عنوان حفاظ استفاده شده که توسط یک لایه فولاد ضد زنگ به عنوان غلاف احاطه شده است.

مجموعه‌ای از این میله‌ها در مجاورت یکدیگر قرار می‌گیرند و فاصله بین مراکز میله‌های مجاور ۲ سانتی‌متر است. فضای خالی بین میله‌ها نیز با سرب پر شده است. در شکل (۳) نحوه قرارگیری این میله‌ها در کنار یکدیگر، در داخل حفاظ، نشان داده شده است. با استفاده از تالی F4 و کارت DF موجود در کد MCNPX، دز تابش‌های گاما و نوترون برای ضخامت‌های مختلف از این ترکیبات محاسبه شده است.



الف) ساختار کلی قلب (ب) ساختار یک مجموعه سوخت از قلب

شکل (۲): شبیه‌سازی قلب راکتور ABV با استفاده از کد MCNPX.



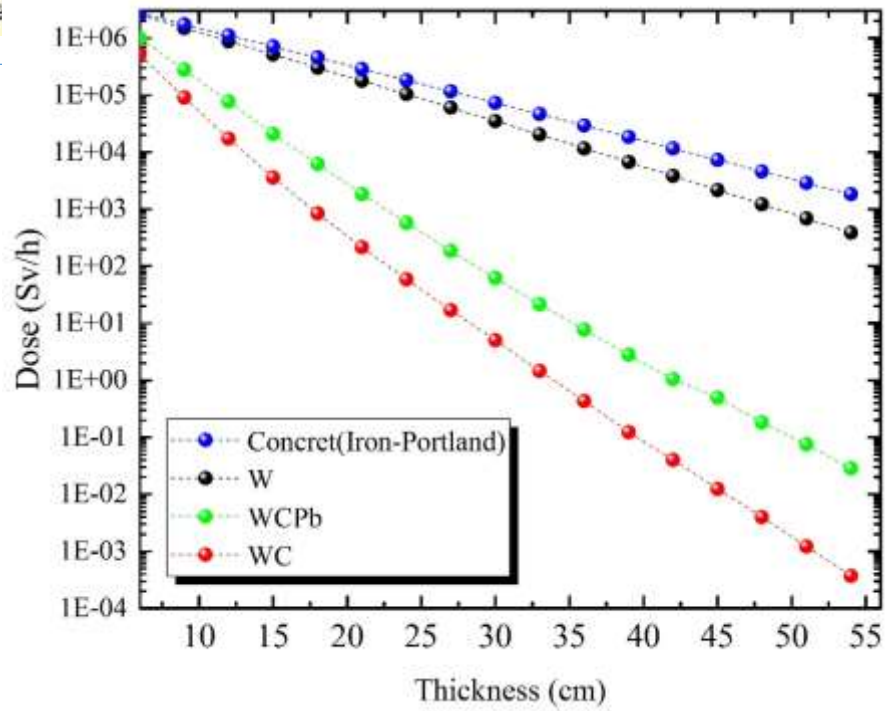


شکل (۳): ساختار حفاظ پرتویی شامل میله‌های تنگستن‌کاربید و سرب (ساختار غیرهمگن).

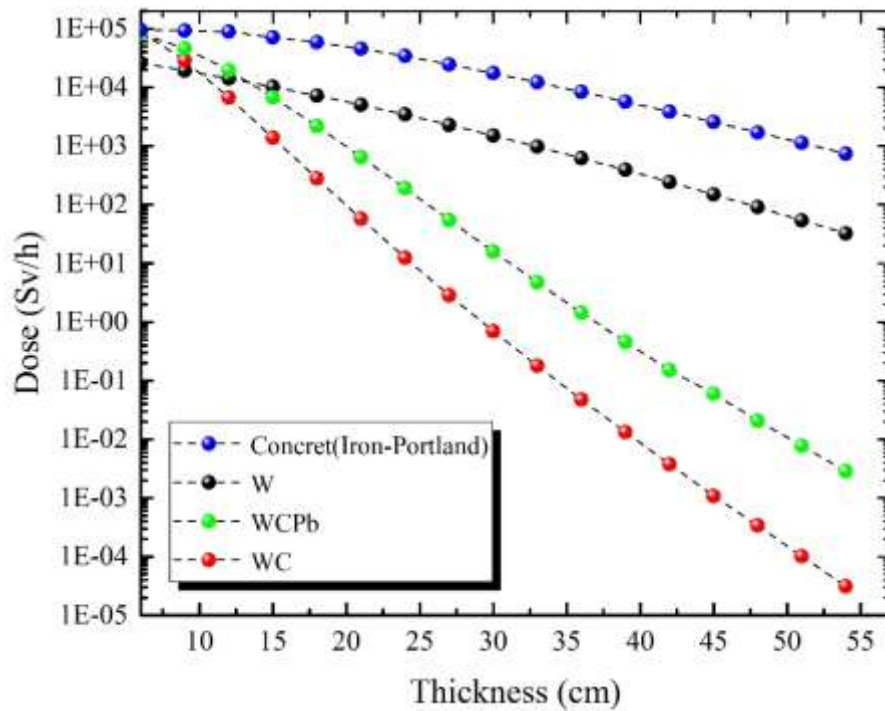
نتایج :

محاسبه دز تابش‌های گاما و نوترون

در این پژوهش دز تابش‌های گاما و نوترون در اطراف قلب راکتور ABV با استفاده از کد MCNPX محاسبه شده است. در این کار، برای ترکیبات مختلف به تدریج ضخامت لایه حفاظ موجود در اطراف محفظه نگهدارنده قلب راکتور را تا مقدار ۵۰ سانتی متر افزایش داده و با در نظر گرفتن روش‌های کاهش واریانس، دز تابشی با استفاده از تالی F4 و کارت DF محاسبه شده است. همچنین در این کد، نوترون و گاما به طور همزمان با تعریف تالی‌های مختلف F4 در یک برنامه ترابرد شده است. در محاسبات به تدریج ضخامت حفاظ را افزایش داده و در لایه‌هایی با ضخامت حدود ۳ سانتی‌متر مقدار دز محاسبه شده است. نتایج این بررسی و روند تغییرات دز برای حفاظ با ساختار همگن شامل ترکیبات تنگستن، تنگستن‌کاربید و بتن Iron-Portland و همچنین ساختار غیر همگن شامل تنگستن‌کاربید سرب، در شکل (۴) نشان شده است. طبق نتایج به دست آمده ترکیبات تنگستن‌کاربید (ساختار همگن) و تنگستن‌کاربید سرب (ساختار غیرهمگن) نسبت به بتن و تنگستن به دلیل داشتن ترکیبات سبک (کربن) و سنگین (تنگستن و سرب) برای حفاظ نوترون و گاما با هم، کارایی بهتری داشته و می‌توان از این ترکیبات با ضخامت‌های کمتر نسبت به سایر مواد، در طراحی حفاظ راکتور استفاده کرد.



الف) نوترون



ب) گاما



شکل (۴): تغییرات لگاریتمی دز تابشی بر حسب ضخامت، برای حفاظ با ساختار غیر همگن شامل میله‌های تنگستن - کاربید موجود در سرب (WCPb) و ساختار همگن از تنگستن (W)، تنگستن کاربید (WC) و بتن (Iron-Portland).

بحث و نتیجه گیری :

در این پژوهش قلب راکتور کوچک ماژولار ABV با استفاده از کد MCNPX شبیه سازی شده است و عملکرد ترکیبات تنگستن، تنگستن کاربید، بتن Iron-Portland و تنگستن کاربید سرب با دو ساختار همگن و غیر همگن بررسی شده است. یکی از مسائل مهم در طراحی راکتورهای کوچک ماژولار، کاهش فضای اشغال شده توسط راکتور و بویژه حفاظ پرتویی آن است. نتایج به دست آمده نشان می دهد که استفاده از ترکیبات تنگستن کاربید نسبت به بتن و تنگستن، به دلیل داشتن کارایی بهتر و همچنین حجم کمتر می تواند گزینه های مناسبی جهت استفاده در طراحی حفاظ پرتویی راکتور ABV باشند.

مراجع :

- [1] IAEA. "Advances in small modular reactor technology developments." (2014).
- [2] Carelli, Mario D., and Daniel T. Ingersoll, eds. Handbook of small modular nuclear reactors. Elsevier, 2014.
- [3] Ingersoll, D. T. "Small modular reactors (SMRs) for producing nuclear energy: international developments." In Handbook of Small Modular Nuclear Reactors, pp. 27-60. Woodhead Publishing, 2015.
- [4] U. S. M. MCNPXTM and B. P. Denise, "Version 2.6. 0," ed: April, 2008.
- [5] Erfaninia, Ali, Afshin Hedayat, and S. M. Mirvakili. "Neutronic study of a new generation of the small modular pressurized water reactor using Monte-Carlo simulation." Progress in Nuclear Energy 93 (2016): 218-230.
- [6] Baybakov, D. F., A. V. Godovykh, I. S. Martynov, and V. N. Nesterov. "The dependence of the nuclide composition of the fuel core loading on multiplying and breeding properties of the KLT-40S nuclear facility." Nuclear Energy and Technology 2, no. 3 (2016): 183-190.
- [7] Zhang, Zuoyi, Zongxin Wu, Dazhong Wang, Yuanhui Xu, Yuliang Sun, Fu Li, and Yujie Dong. "Current status and technical description of Chinese 2x 250 MWth HTR-PM demonstration plant." Nuclear Engineering and Design 239, no. 7 (2009): 1212-1219.
- [8] Adamovich, L., S. Banerjee, M. Bolshunikhin, E. Budylov, M. Chaki IV Dulera, P. Fomichnko, K. Furukawa, B. Gabaraev, and E. Greenspan. "Status of Small Reactor Designs without On-Site Refueling." IAEA, Vienna (2007).
- [9] Khan, Salah Ud-Din, Syed Noman Danish, Sajjad Haider, and Shahab Ud-Din Khan. "Theoretical calculation simulation studies of ABV nuclear reactor coupled with desalination system." International Journal of Energy Research 39, no. 11 (2015): 1554-1563.



بیت و ششمین کنفرانس هسته‌ای ایران

۸۷۷ اسفندماه ۱۳۹۸ - دانشگاه صنعتی خواجه نصیرالدین طوسی - تهران



[10] Waters, Laurie S. "MCNPX user's manual." Los Alamos National Laboratory (2002).