

SID



سرویس های ویژه



سرویس ترجمه تخصصی



کارگاه های آموزشی



بلاگ مرکز اطلاعات علمی



عضویت در خبرنامه



فیلم های آموزشی

کارگاه های آموزشی مرکز اطلاعات علمی جهاد دانشگاهی



آموزش آنلاین ابزار پژوهش کمی (کاربره نرم افزار SPSS)

کارگاه آنلاین کاربرد نرم افزار SPSS در پژوهش



مباحث پیشرفته یادگیری عمیق شبکه های توجه گرافی (GAN)

مباحث پیشرفته یادگیری عمیق؛ شبکه های توجه گرافی (Graph Attention Networks)



مقاله نویسی ISI (روزه علمی مهندسی)

کارگاه آنلاین مقاله نویسی IEEE و ISI ویژه فنی و مهندسی

افتادن میله‌های کنترل گروه‌های کاری (۹ و ۱۰) در قلب راکتور هسته ای بوشهر

در شرایط کمینه‌ی قدرت و تأثیر آن بر راکتیویته

قیصری، روح اله^۱؛ فروزانی، قاسم^۲؛ دهقانان، محمد^۳

^۱ گروه فیزیک، دانشگاه خلیج فارس، بوشهر

^۲ گروه فیزیک، دانشگاه بوعلی سینا، همدان

^۳ نیروگاه اتمی بوشهر، بوشهر

چکیده

در این مقاله، با استفاده از کد MCNP (نسخه‌ی 4C)، قلب راکتور شماره‌ی یک نیروگاه هسته ای بوشهر در کمینه‌ی سطح قدرت، شبیه‌سازی شده است. با تعریف لایه‌های شعاعی قلب، تأثیر افتادن میله‌های کنترل گروه‌های ۹ و ۱۰ بر شار نوترونی و همچنین راکتیویته راکتور مذکور بدست آمده است. با توجه به اینکه توزیع دمای قلب در کمینه‌ی سطح قدرت، به نسبت همگن است؛ دمای قلب حدود ۲۸۰ درجه سانتی‌گراد فرض شد. حداکثر تغییر راکتیویته با دقت بسیار خوبی در محدوده‌ی مرجع FSAR بدست آمده است.

Full Insertion of the Control Rods Groups (9 and 10) into the Bushehr Nuclear Reactor Core in Minimum Power Conditions and Its Effect on Reactivity

Gheisari, Rouhollah¹; Forozani, Ghasem²; Dehghanian, Mohammad³

¹ Physics Department, Persian Gulf University, Bushehr

² Physics Department, Buali Sina University, Hamadan

³ Bushehr Nuclear Power Plant, Bushehr

Abstract

Using MCNP code, the Bushehr VVER-1000 reactor core at its minimum power level has been simulated. We have obtained the effects of the control rod groups (9&10) on the neutron flux and the reactivity. Taking full insertion of these control rods at temperature of $T=280^{\circ}C$, the maximum value of reactivity variation has been calculated. The results are in good agreements with FSAR.

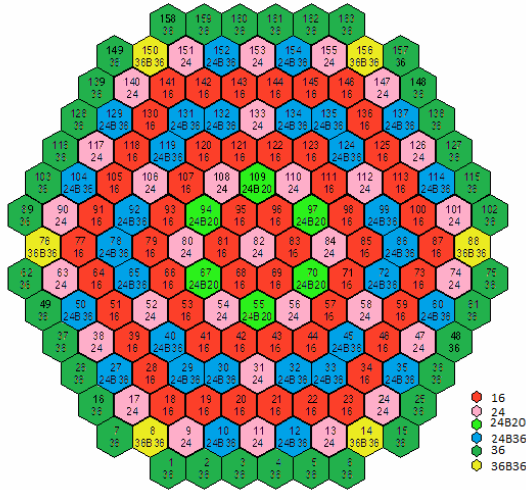
PACS No. 28

شود. راه‌های مختلفی برای کنترل واکنش‌های زنجیره‌ای وجود دارد. برای حفاظت و کنترل، حرکت میله‌های کنترل به درون قلب باعث تزریق سریع راکتیویته به قلب می‌شود. بنابراین، استفاده از آن‌ها نسبت به سایر روش‌های مهندسی مناسب تر است. در این کار، به مطالعه‌ی قلب راکتور هسته‌ای بوشهر در کمینه‌ی سطح

مقدمه

در طراحی راکتورهای هسته‌ای، فاکتور ایمنی نسبت به سایر فاکتورها از اهمیت بیشتری برخوردار است. کنترل واکنش‌های زنجیره‌ای در قلب یک راکتور، به طور مستقیم به ایمنی راکتور مرتبط است و در طراحی راکتور هسته‌ای می‌بایست در نظر گرفته

می‌باشد، فرض نموده‌ایم که توزیع دمایی راکتور همگن و دمای قلب حدود ۲۸۰ درجه سانتی‌گراد باشد.



شکل ۱: طرح واره‌ای چیدمان قلب راکتور VVER1000 [۳].

به منظور ارزیابی و ایجاد شرایط بحران، از چشمه بحرانیت در MCNP-4C استفاده می‌شود. مقادیر K_{eff} (مقدار ضریب تکثیر مؤثر نوترون) و غلظت اسید بوریک مربوطه محاسبه گردیده و نتایج حاصله در جدول ۱ آمده‌اند.

جدول ۱: ضریب تکثیر مؤثر و غلظت بحرانی اسید بوریک در کمینه‌ی سطح قدرت و مقایسه مقدار غلظت محاسبه شده با مرجع [۳].

خطای نسبی غلظت (%)	غلظت اسید بوریک (gr/dm^3) در مرجع [۳]	غلظت اسید بوریک (gr/dm^3)	خطای ضریب تکثیر مؤثر	ضریب تکثیر
۳	۷/۳۳	۷/۵۵	۰/۰۰۰۸	۱/۰۰۰۵۶

در راکتور VVER-1000، کنترل قدرت راکتور و واکنش‌های زنجیره‌ای شکافت به دو روش انجام می‌شود.

- به کمک حرکت میله‌های کنترل در درون قلب
 - به کمک تغییر غلظت اسید بوریک محلول در آب مدار اول
- میله‌های کنترل، باعث تزریق سریع راکتیویته می‌شوند. بنابراین به کمک میله‌های کنترل می‌توان سطح قدرت را سریع کاهش و یا

قدرت می‌پردازیم و اثر میله‌های کنترل را بر فرآیند واکنش‌های زنجیره‌ای شکافت در قلب، بررسی می‌نماییم.

روش کار و محاسبات

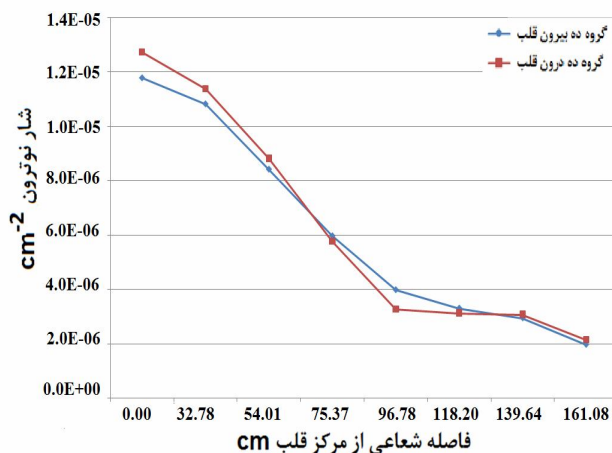
برای مطالعه‌ی قلب راکتور هسته‌ای بوشهر (نوع روسی VVER-1000)، از کد شبیه‌سازی MCNP-4C [۱] استفاده شده است. سعی شده است هندسه‌ی قلب و مشخصات مواد به کار رفته در سوخت و تجهیزات ساختاری راکتور [۲ و ۳] به دقت انتخاب شوند. قلب راکتور مورد نظر، مشتمل بر ۱۶۳ مجتمع سوخت است. شکل هندسی هر مجتمع سوخت شش ضلعی می‌باشد. هر مجتمع سوخت از ۳۱۱ میله سوخت و تعدادی کانال تشکیل شده که توسط ۱۵ صفحه‌ی مشبک به هم متصل شده‌اند. این کانال‌ها، مخصوص حرکت میله‌های کنترل، میله‌های جاذب ثابت، حسگرهای اندازه‌گیری پارامترهای قلب و کانال مرکزی می‌باشند. گام بین خوشه‌ها در حدود ۲۳/۶ سانتی‌متر و گام بین میله‌ها ۱/۲۷۵ سانتی‌متر می‌باشد. ۸۵ عدد از مجتمع‌های سوخت دارای میله‌های کنترل متحرک، ۴۲ عدد دارای میله‌های جاذب ثابت و بقیه‌ی آنها بدون میله‌های کنترل و جاذب ثابت می‌باشند. مجتمع‌های سوخت دارای غناهای متفاوت اورانیوم ۲۳۵ هستند. انواع مجتمع‌ها با کدهای ۱۶، ۲۴، ۳۶، ۲۴B۲۰، ۲۴B۳۶ و ۳۶B۳۶ شماره گذاری می‌شوند [۲ و ۳]. مجتمع‌های سوخت ۱۶ و ۲۴، دارای غنای ۱/۶ درصد و مجتمع‌های ۲۴B۲۰ و ۲۴B۳۶، دارای غنای ۲/۴ درصد هستند. در مجتمع‌های نوع ۳۶ و ۳۶B۳۶، میله‌های سوخت دارای دو غنای مختلف هستند. طرح‌واره‌ای از چیدمان سوخت قلب مورد مطالعه، در شکل ۱ آمده است [۳]. راکتور در سطح کمینه‌ی قدرت قرار دارد؛ بطوری‌که قدرت راکتور به میزان ۰/۰۰۰۱ تا ۰/۰۰۱ درصد قدرت نامی است. میله‌های کنترل گروه‌های ۱، ۲، ۳، ... و ۹ در بالای قلب قرار دارند و تنها گروه ۱۰، ۴۰٪ درون قلب قرار دارد. کل میله‌های کنترل در ده گروه تقسیم‌بندی می‌شوند. شبیه‌سازی به کمک استخراج سطح-مقطع‌های نوترون در دمای ۲۸۰ درجه سانتی‌گراد انجام شده است. محاسبات مربوط به سطح مقطع نوترون توسط کد NJOY صورت گرفته است [۴]. با توجه به اینکه توان راکتور بسیار پایین

K_1 ضریب مذکور در دیگر برنامه‌ی کامپیوتری هستند. نتایج حاصل از این محاسبات در جدول ۲ آمده‌اند.

جدول ۲: تغییرات راکتیویته هنگام افتادن میله‌های کنترل گروه‌های ۹ و ۱۰ و مقایسه آن‌ها با مرجع [۳].

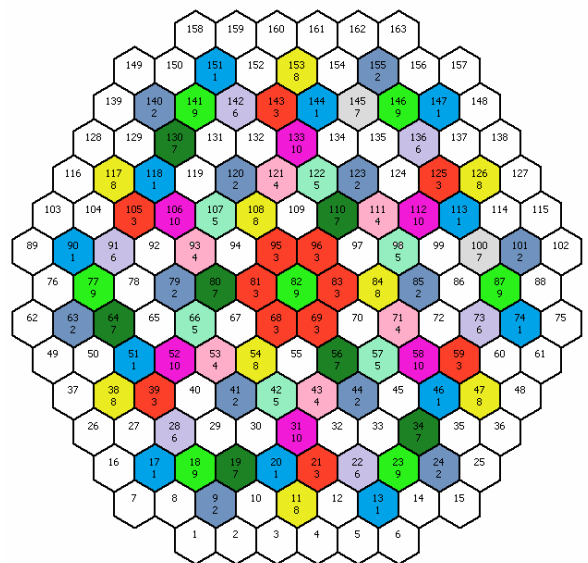
شماره‌ی گروه	K_1	K_2	δ_ρ (%)	تغییر راکتیویته (%) [۳]
۱۰	۱/۰۰۱۲۸	۰/۹۹۲۷۶	۰/۸۵۷	۰/۸۷ تا ۰/۷۷
۹	۱/۰۰۱۲۸	۰/۹۹۲۹۵	۰/۸۳۷	۰/۸۵ تا ۰/۷۰

برای بررسی تأثیرات گروه‌های ۹ و ۱۰ بر روی شار شعاعی نوترون، برنامه‌های جداگانه‌ای با توجه به موقعیت‌های مختلف میله‌های کنترل، نوشته شد و برای هر حالت با استفاده از تالی F4 شار متوسط در لایه‌های شعاعی محاسبه شدند. تأثیر گروه‌های ۹ و ۱۰ روی شار شعاعی نوترون، به ترتیب در شکل‌های ۳ و ۴، نشان داده شده‌اند.



شکل ۳: اثر میله‌های کنترل گروه ۱۰ بر شار نوترون در شعاع مختلف.

افزایش داد (به صورت دستی و یا توسط حفاظت‌های پیش‌گیرانه) و یا راکتور را سریع خاموش کرد (حفاظت اضطراری راکتور) و یا این‌که می‌توان قدرت راکتور را روی یک سطح ثابت نگه داشت (تنظیم اتومات قدرت). میله‌های کنترل درون مجتمع سوخت، به صورت یک دسته‌ی ۱۸ تایی متصل به هم می‌باشند. این دسته‌های ۱۸ تایی همراه با هم درون خوشه‌های سوخت در کانال‌های مخصوص حرکت می‌کنند. شکل ۲ موقعیت ده گروه مختلف از میله‌های کنترل را نشان می‌دهد.



شکل ۲: گروه‌بندی میله‌های کنترل در قلب راکتور VVER-1000 [۳]. رنگ‌های متفاوت نشان دهنده‌ی گروه‌های مختلف می‌باشند.

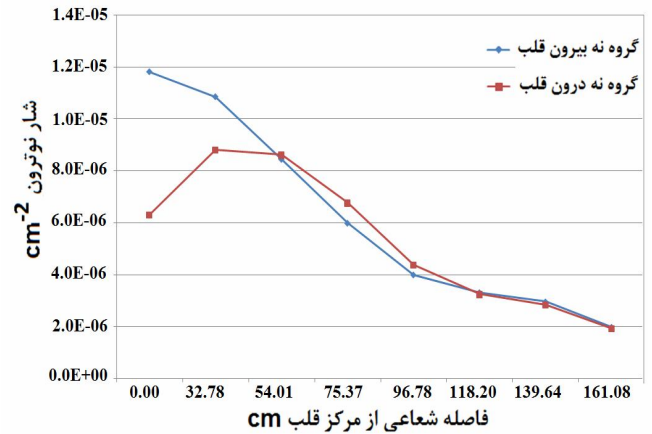
در اینجا برای بررسی اثر میله‌های کنترل (گروه‌های ۹ و ۱۰) بر راکتیویته، دو برنامه‌ی جداگانه نوشته شده است؛ بدین صورت که در یک شبیه‌سازی کامپیوتری یک گروه در بالای قلب قرار دارد و در دیگر برنامه‌ی شبیه‌سازی، گروه مورد نظر کاملاً درون قلب می‌باشد. با استفاده از رابطه‌ی (۱)، مقدار تغییر راکتیویته محاسبه می‌گردد [۳ و ۱].

$$\delta_\rho = \frac{K_2 - K_1}{K_2 K_1} \times 100 \quad (1)$$

که در آن، δ_ρ تغییر راکتیویته به ازای تغییر موقعیت گروه میله‌های کنترل، K_2 مقدار ضریب تکثیر موثر نوترون در شبیه‌سازی اول و

مرجع ها

- [۱] J. F. Briesmeister; "MCNP-A General Monte Carlo N-Particle Transport Code, Version 4C"; Los Alamos National Laboratory, Los Alamos, USA (2000).
 [۲] WWER-1000 reactor simulator, International Atomic Energy Agency, Vienna, Austria (2003).
 [۳] BNPP FSAR (Final Safety Analysis Report), Atomic Energy Organization of Iran (2007).
 [۴] R.E. MacFarlane and D.W. Muir; "The NJOY nuclear data processing systems version 91"; LA-12740-M, Los Alamos National Laboratory, Los Alamos, USA (1994).



شکل ۴: اثر میله‌های کنترل گروه ۹ بر شار نوترون در شعاع مختلف.

نتیجه گیری

در شرایط فیزیکی کمینه‌ی سطح قدرت، افتادن میله‌های کنترل گروه‌های کاری (۹ و ۱۰) در قلب راکتور هسته ای بوشهر و تأثیر آن بر راکتیویته، مطالعه و غلظت بحرانی اسید بوریک در سطح قدرت مذکور، محاسبه گردید. نتایج کار به کمک شبیه‌سازی MCNP-4C، در جداول ۱ و ۲، شکل‌های ۳ و ۴ نشان داده شده‌اند. نتایج حاصل از غلظت بحرانی اسیدبوریک و تغییر راکتیویته در محدوده‌ی مرجع FSAR می‌باشند. همان‌گونه که در شکل ۳ نشان داده شد، با ورود گروه ۱۰ به لایه‌ی چهارم شعاعی، شار نوترون در لایه مورد نظر افت نموده و در لایه‌های مرکزی قلب، افزایش پیدا کرده است. با ورود گروه ۹ به قلب، شار در لایه‌های صفرم و پنجم کاهش پیدا کرده و بر عکس در لایه‌های کناری، افزایش یافته است. کاهش شار در لایه‌ی صفرم، به علت بالا بودن مقدار شار نوترون در این ناحیه می‌باشد. بالا بودن ارزش دیفرانسیلی میله‌ها در این ناحیه، کاملاً مشهود است. توجه شود که در شکل ۱، میله‌های گروه ۹ در لایه‌های صفرم و پنجم شعاعی قرار دارند. در کمینه‌ی سطح قدرت به ازای غلظت مشخص اسید بوریک (حدود $7/55 \text{ gr/dm}^3$)، با افتادن هر گروه، به میزان $0/83$ تا $0/85$ درصد راکتیویته منفی به قلب تزریق می‌شود.

SID



سرویس های ویژه



سرویس ترجمه تخصصی



کارگاه های آموزشی



بلاگ مرکز اطلاعات علمی



عضویت در خبرنامه



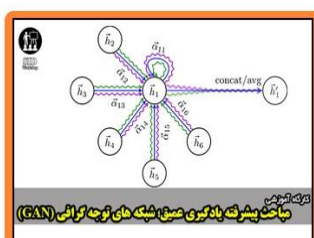
فیلم های آموزشی

کارگاه های آموزشی مرکز اطلاعات علمی جهاد دانشگاهی



آموزش آنلاین ابزار پژوهش کمی (کاربره نرم افزار SPSS)

کارگاه آنلاین کاربرد نرم افزار SPSS در پژوهش



مباحث پیشرفته یادگیری عمیق شبکه های توجه گرافی (GAN)

مباحث پیشرفته یادگیری عمیق؛ شبکه های توجه گرافی (Graph Attention Networks)



مقاله نویسی ISI (روزه علمی مهندسی)

کارگاه آنلاین مقاله نویسی IEEE و ISI ویژه فنی و مهندسی