



مطالعات نوترونی و ایمنی کانال خشک در قلب راکتور تهران

محمد امین امیرخانی دهکردی*، میرمحمد رضا سیدحبشی، عارف رحیمیان، روح الله عادل

^۱ پژوهشگاه علوم و فنون هسته‌ای، پژوهشکده راکتور و ایمنی هسته‌ای

^۲ پژوهشگاه علوم و فنون هسته‌ای، پژوهشکده پلازما و گداخت

چکیده:

از کانال خشک در راکتورها برای تابش دهی با شار نوترون سریع استفاده می‌شود. در این تحقیق به محاسبات نوترونی و ایمنی برای ایجاد کانال خشک در راکتور تحقیقاتی تهران با استفاده از کد *MCMPX* پرداخته شده است. در طرح پیشنهادی از محفظه‌های پرتودهی موجود در قلب راکتور تهران برای ایجاد کانال خشک استفاده شده است. محاسبات تغییر پارامترهای ایمنی و نوترونی در راکتور نشان از قابل اجرا بودن این طرح دارد. محاسبات نشان می‌دهد که کانال *D6* و *A3* از شرایط بهتری برای ایجاد کانال خشک برخوردار می‌باشند.

کلیدواژه: راکتور تحقیقاتی تهران، کانال خشک، کد *MCNPX*، شار نوترون

مقدمه:

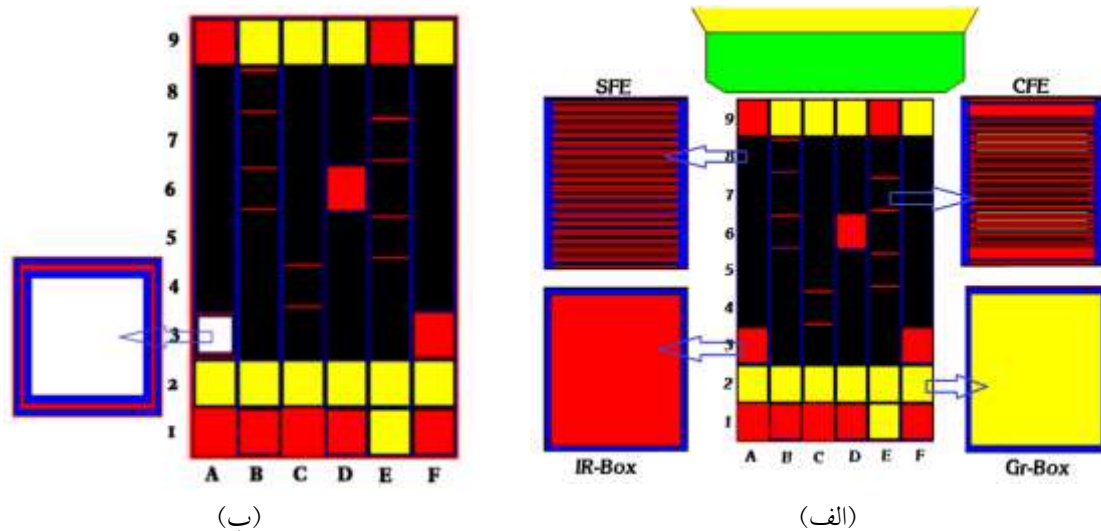
کانال خشک در راکتورها به منظور استفاده از شار نوترونی سریع برای پرتودهی نمونه‌ها مورد استفاده قرار می‌گیرد [۱]. راکتور تحقیقاتی تهران، در سال ۱۳۴۰ ه.ش توسط شرکت آمریکایی *AMF* شروع به ساخت شده است. این راکتور با قدرت حداکثری ۵ مگاواتی از نوع استخری بوده و سوخت جدید آن به صورت ترکیب شیمیایی *U₃O₈-Al* و با درجه غنای پایین ۲۰٪ می‌باشد. صفحه نگهدارنده قلب مشتمل بر یک شبکه ۹ × ۶ از جنس آلومینیم به ابعاد ۷۵ × ۴۶ cm است که دارای ۵۴ محل بالقوه برای قرارگیری میله‌های سوخت می‌باشد. در قلب علاوه بر میله‌های سوخت، بازتابنده‌های گرافیتی وجود دارد. همچنین محل‌هایی خالی جهت پرتودهی نمونه در قلب ایجاد شده است. در *TRR* امکانات متنوعی جهت پرتودهی نوترونی پیش‌بینی شده است با این وجود نقص‌های در این طراحی وجود دارد [۲].

یکی از نقص‌های این راکتور عدم وجود کانال خشک برای پرتودهی با شار بیشتر نوترون سریع است بدین منظور در این مقاله به بررسی طرحی برای ایجاد کانال خشک در راکتور تحقیقاتی تهران پرداخته شده است. در این طرح از محفظه‌های پرتودهی موجود در راکتور استفاده شده است و با قرار دادن محفظه‌ای از جنس آلومینیم و حذف آب موجود در محفظه سعی در ایجاد کانال خشک برای راکتور تهران شده است. با توجه به تغییرات ایجاد شده در قلب توجه به

محاسبات نوترونی و ایمنی حائز اهمیت است به این دلیل محاسبات نوترونی و ایمنی اولیه در حالت‌های نبود کانال خشک و در حضور کانال خشک در این مقاله انجام گرفته است.

روش کار:

در ابتدا قلب راکتور تحقیقاتی تهران در حالت طبیعی و بدون استفاده از کانال خشک شبیه‌سازی شده است (شکل ۱_الف) و پارامترهای نوترونی هر یک از محفظه‌های پرتودهی بدست آمده است. این قلب شامل ۲۸ مجتمع سوخت SFE می باشد که هر یک شامل ۱۹ صفحه سوخت با غنای ۲۰٪ و ۵ مجتمع سوخت CFE که هر یک شامل ۱۴ صفحه سوخت با غنای ۲۰٪ بوده و میله‌های کنترل در این مجتمع‌ها وارد می‌شوند. همچنین این قلب دارای ۵ مکان برای پرتودهی مواد می باشد که در موقعیت‌های F3, A3, D6, E9, A9 قرار گرفته است. در بخش بعد با قرار دادن کانال خشک در هر یک از محفظه‌های پرتودهی (شکل ۱_ب) بار دیگر پارامترهای نوترونی بدست آمده است. شکل ۱_ب کانال خشک ایجاد شده در قلب راکتور تهران در جایگاه A3 را نشان می‌دهد. ابعاد کانال خشک در نظر گرفته شده $6/8 \times 6/6$ سانتیمتر و ضخامت آن برابر با ۴ میلیمتر بوده است ارتفاع آن برابر با ارتفاع یک سوخت (۶۹/۲ cm) بوده است. در تمامی محاسبات خطای آماری کد کمتر از ۱ درصد بوده است و در این شبیه‌سازی از سطح مقطع کتابخانه ENDF/B-VI استفاده شده است. در این پژوهش مولفه‌های ضریب تکثیر، راکتیویته، ارزش میله‌های کنترل، راکتیویته اضافی، حاشیه خاموشی یا راکتیویته ایمنی، ضریب بالاترین توان شعاعی و محوری و کل، شار در نبود کانال خشک و حضور آن بررسی شده است. نحوه محاسبه هر یک از پارامترها در مراجع بیان شده است [۳].



شکل ۱ (الف) قلب شبیه‌سازی شده با MCNPX (ب) کانال خشک در محفظه A3



نتایج:

پارامترهای نوترونی مهم قلب راکتور تهران در حالت طبیعی و حضور کانال خشک در جدول ۱ نشان داده شده است. مشاهده می‌شود که مقدار ضریب تکثیر راکتور بعد از قرار گرفتن کانال خشک در تمامی موارد بجز در مورد کانال D6 که تقریباً در مرکز راکتور می‌باشد کاهش یافته است که با توجه به کاهش مقدار آب طبیعی است. دلیل افزایش ضریب تکثیر در هنگام قرار گیری کانال خشک در محفظه D6 که با مشاهدات تجربی در راکتور نیز تطابق دارد ناشی از اثرات over moderated می‌باشد [۲]. راکتیویته اضافی در تمامی موارد بغیر از کانال D6 کاهش یافته است. حاشیه خاموشی و ارزش میله‌های کنترل در تمامی حالت‌ها افزایش یافته است که نشان از افزایش ایمنی راکتور دارد. در مقدار ضریب بالاترین توانی در تمامی حالت‌ها تغییرات خاصی مشاهده نشده است و این ضریب در تمامی موارد در محدوده ایمنی راکتور تهران بوده است [۲]. ضریب بالاترین توان در تمامی حالت‌ها بغیر از زمانی که کانال خشک در موقعیت D6 قرار گرفته است در مجتمع سوخت D5 بوده است و برای زمانی که کانال خشک در موقعیت D6 واقع شده این مولفه در مجتمع سوخت B7 رخ داده است این تغییر به این دلیل است که با قرارگیری کانال خشک در موقعیت D6 تعداد نوترون کمتری در این کانال کند می‌شود و در نتیجه تولید گرما در مجتمع سوخت D5 نیز کاهش می‌یابد و در این صورت مکان قرارگیری ضریب بالاترین توان به موقعیت B7 جابجا خواهد شد.

جدول ۱ مولفه‌های نوترونی راکتور در حضور کانال خشک در موقعیت‌های مختلف و بدون کانال خشک

Without Dry Canal	F3	E9	D6	A9	A3	مولفه
۱/۰۱۸	۱/۰۱۶۰۸	۱/۰۱۷۳۶	۱/۰۲۳۹۴	۱/۰۱۶۷۱	۱/۰۱۵۶۷	K_{eff}
۱۷۱۸/۹۴	۱۵۸۲/۵۵	۱۷۰۶/۳۸	۲۳۳۸/۰۳	۱۶۴۳/۵۴	۱۵۴۲/۸۲	$\rho(pcm)$
-۱۱۹۹۰/۲۶	-۱۳۴۵۶/۶۶	-۱۳۳۰۵/۱۵	-۱۳۹۵۳/۹۴	-۱۳۳۲۰/۳۲	-۱۳۴۵۱/۶۱	$\rho_w(pcm)$
-۵۶۹۷/۷۴	-۵۵۳۵/۶۱	-۵۴۷۳/۸۲	-۶۴۰۲/۰۹	-۵۴۹۳/۴۵	-۵۵۳۳/۸۳	$\rho_{ex}(pcm)$
۶۲۹۲/۵۲	۷۹۲۱/۰۴	۷۸۳۱/۳۳	۷۵۵۱/۸۴	۷۸۲۶/۸۷	۷۹۱۷/۷۸	$\rho_s(pcm)$
۱/۲۰۹	۱/۲۱۲	۱/۲۱۶	۱/۱۸۲	۱/۲۲	۱/۲۱۹	PPF (radial)
۱/۷۳	۱/۷۳	۱/۷۳	۱/۷۵	۱/۷۳	۱/۷۳	PPF (Axial)
۲/۱	۲/۱	۲/۱۱	۲/۱	۲/۱۲	۲/۱۱	PPF

در جدول ۲ شار موجود در هر یک از محفظه‌های پرتو دهی راکتور تهران با توجه به انرژی به سه گروه نوترون سریع (۲۰ MeV - $10^{-3} \times 9/1882$)، فوق حرارتی ($9188/2 \text{ eV} - 4$) و گرمایی ($0 - 4 \text{ eV}$) تقسیم شده است (تقسیم بندی



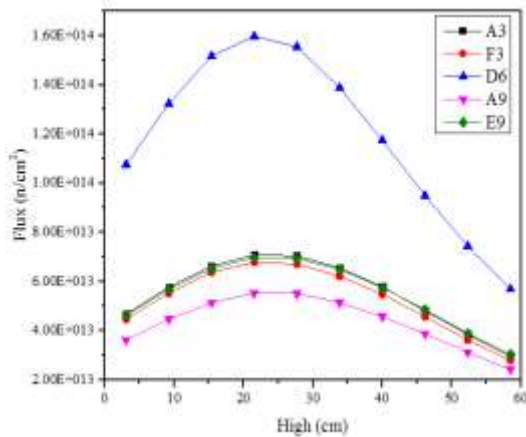
کد Wims [۴]) و مقدار حاصل در هر گروه انرژی برای توان ۵ MW در هنگام حضور کانال خشک و در نبود آن بیان شده است. مشاهده می‌شود که در تمامی حالت‌ها شار گرمایی کاهش و شار فوق گرمایی و سریع افزایش یافته است. با توجه به اینکه هدف از استفاده از کانال خشک بدست آوردن شار سریع نوترون مناسب است کانال D6 دارای بهترین موقعیت و بعد از آن A3 و سپس F3 بهترین انتخاب‌ها می‌باشند. همچنین شار کل موجود در هر یک از محفظه‌های پرتودهی در توان ۵ MW راکتور تهران در نبود کانال خشک و در هنگام وجود کانال خشک در آن محفظه پرتودهی در جدول ۲ نشان داده شده است. مشاهده می‌شود که در هر دو حالت بیشترین شار در محفظه D6 راکتور دیده می‌شود که با توجه به قرارگیری این محفظه تابش دهی در مرکز قلب قابل توجه می‌باشد و پس از آن A3 دارای بیشترین شار می‌باشد. در تمامی کانال‌ها شار کل نوترون پس از قرار دادن کانال خشک کاهش یافته است. این پدیده ناشی از کاهش شکافت هسته‌ای به دلیل کاهش کند کننده است.

جدول ۲ شار کانال خشک در انرژی‌های مختلف در موقعیت‌های مختلف در توان ۵ MW

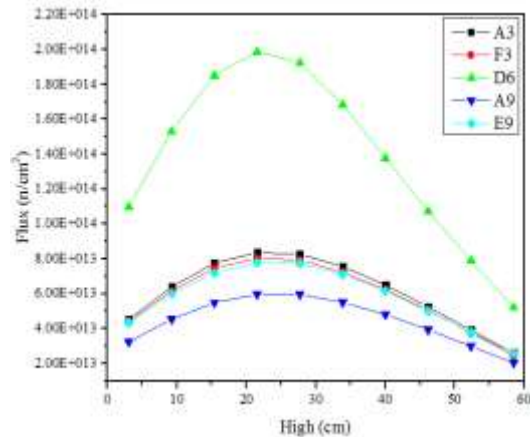
موقعیت					شار	
E9	A9	D6	F3	A3		
+۱۳E۳/۷۹	+۱۳E۳/۰۴	+۱۳E۸/۳۳	+۱۳E۳/۷۴	+۱۳E۳/۹	بدون کانال خشک	گرمایی
+۱۳E۲/۵۵	+۱۳E۲/۳۳	+۱۳E۴/۳۸	+۱۳E۲/۳۸	+۱۳E۲/۵۲	با کانال خشک	(n/Cm^2)
+۱۲E۷/۳۲	+۱۲E۵/۱۸	+۱۳E۱/۹۳	+۱۲E۷/۵۵	+۱۲E۷/۸	بدون کانال خشک	فوق
+۱۲E۹/۹۷	+۱۲E۶/۸۲	+۱۳E۲/۳۵	+۱۲E۹/۱۶	+۱۲E۹/۴۹	با کانال خشک	حرارتی
+۱۳E۱/۲۴	+۱۲E۸/۸۷	+۱۳E۳/۵۹	+۱۳E۱/۳۸	+۱۳E۱/۴۳	بدون کانال خشک	(n/Cm^2)
+۱۳E۱/۹۳	+۱۳E۱/۳۲	+۱۳E۵/۱۷	+۱۳E۱/۹۵	+۱۳E۲/۰۴	با کانال خشک	سریع
۵/۷۶E+۱۳	۴/۴۴E+۱۳	۱/۳۸E+۱۴	۵/۸۷E+۱۳	۶/۱۱E+۱۳	بدون کانال خشک	کل
۵/۴۷E+۱۳	۴/۳۳E+۱۳	۱/۱۹E+۱۴	۵/۲۵E+۱۳	۵/۵۱E+۱۳	با کانال خشک	(n/Cm^2)

شکل ۲ شار نوترونی کل در قدرت ۵ MW در ارتفاعات مختلف هر یک از محفظه‌های پرتودهی در نبود کانال خشک (شکل ۲-الف) و در حضور کانال خشک (شکل ۲-ب) نشان داده شده است. مشاهده می‌شود که با توجه به مقدار ارتفاع میله کنترل وارد شده به قلب (تقریباً نیمی از ارتفاع میله‌های کنترل در داخل قلب وارد شده است) و شرایط کلی

قلب، در ۲۰ سانتی متری از ابتدای کانال‌ها دارای بیشترین شار می‌باشد و قرار دادن کانال خشک سبب جابجایی مکان بیشترین شار نمی‌شود و تنها سبب کاهش شار شده است.



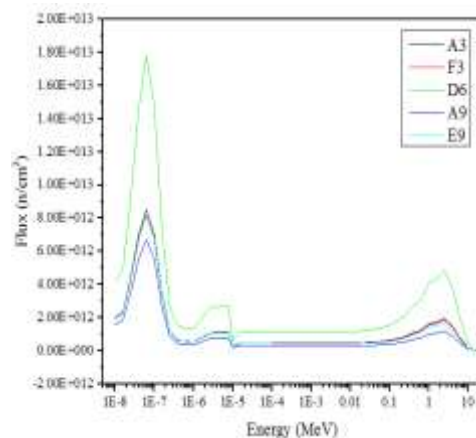
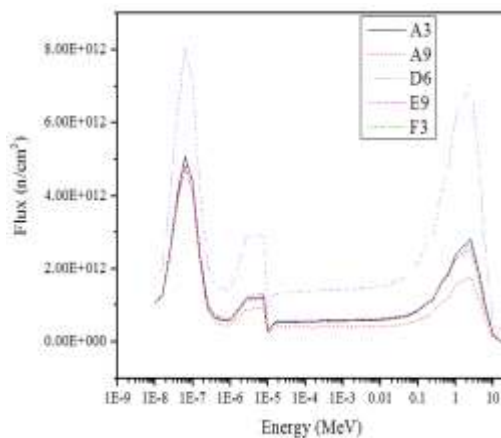
(ب)



(الف)

شکل ۲ (الف) شار محفظه‌های پرتودهی در ارتفاعات مختلف در (ب) شار کانال خشک در ارتفاعات مختلف در موقعیت‌های متفاوت در هر یک از کانال‌های خشک

شکل ۳ طیف انرژی شار موجود در هر یک از محفظه‌های پرتودهی در توان ۵ MW راکتور در نبود کانال خشک (شکل ۳-الف) و در حضور آن (شکل ۳-ب) نمایش داده شده است. مشاهده می‌شود که نوترون‌های موجود در محفظه‌ها بیشتر دارای انرژی در حدود ۱ MeV می‌باشند. شار نوترون‌های فوق گرمایی در حضور کانال خشک افزایش و شار نوترون گرمایی کاهش یافته است.





(ب)

(الف)

شکل ۳ (الف) طیف انرژی شار در هر یک از محفظه‌های پرتودهی (ب) طیف انرژی شار در هر یک از کانال‌های خشک

نتیجه‌گیری:

در این مقاله به بررسی طرحی برای ایجاد کانال خشک در راکتور تحقیقاتی تهران پرداخته شده است و محاسبات نوترونی و ایمنی اولیه برای آن انجام گرفته است. در این طرح از کانال‌های پرتودهی موجود در قلب راکتور تهران برای ایجاد کانال خشک استفاده شده است. محاسبات نوترونی و ایمنی اولیه شامل محاسبه ضریب تکثیر، ارزش میله‌های کنترل، حاشیه خاموشی، راکتیویته اضافی و ضریب بالاترین توان انجام گرفته است. همچنین محاسبات شار در محفظه‌های پرتودهی در حضور کانال خشک و نبود آن در محفظه‌ها انجام شده است. محاسبات نشان می‌دهد با توجه به شار نوترون سریع ایجاد شده در محفظه‌ها، کانال خشک ایجاد شده در محفظه‌های D6 و A3 از بهترین شرایط برای این طرح برخوردار هستند. با این وجود با توجه به کارکرد زیاد محفظه D6 برای تولید رادیو دارو به نظر می‌رسد کانال A3 بهترین شرایط عملیاتی برای ایجاد کانال خشک را دارا می‌باشد.

مراجع

- [۱] A. Shirani, A. Sohrabi, and I. Shahabi, "Determination of Neutron Flux Distribution along the Dry-Channel of the MNSR Reactor and Determination of Neutron Energy Spectrum in this Reactor," Nuclear Sci. and Tech, vol. 55, pp. 49-53, 2011
- [۲] R. Institute, "Final Safety Analyses Report for Tehran Research Reactor," Atomic .N. S. T Energy Organization of Iran, Tehran, 2009
- [۳] .Y. Kasesaz and M. Hasanzadeh, MCNPX code training vol. 1, 2015
- [۴] W. Dorchester, "RSICC COMPUTER CODE COLLECTION WIMS-D4," Atomic Energy Establishment, 1190