



طراحی نوترونیک یک سیستم خاموشی ثانویه برای راکتور تحقیقاتی تهران

احسان، بوستانی؛ صمد، خاکشورنیا*؛ حسین، خلفی

سازمان انرژی اتمی ایران، پژوهشگاه علوم و فنون هسته ای، پژوهشکده تحقیقات و توسعه راکتورها و شناختها

چکیده

یک سیستم خاموشی ثانویه که توانایی زیربحرانی کردن راکتور را داشته باشد، پیشنهاد شده است. این سیستم بصورت یک تیغه توخالی بین ردیف های ۵ و ۶ قلب طراحی شده که در مواقع اضطراری با جذب نوترون پر می شود. این سیستم باید الزامات مربوط به ایمنی از جمله ارزش راکتیویته مورد نیاز و توانایی خاموش کردن راکتور در مدت زمان مشخص را برآورده نماید و همچنین اثر منفی کمی روی مشخصات نوترونیک قلب از جمله ضریب تکثیر موثر، توزیع شار نوترون، شار نوترون در محل های پرتو دهی، فضای در دسترس برای نمونه گذاری و راکتیویته داشته باشد. در این مقاله ویژگی های نوترونیک طرح پیشنهادی، با شبیه سازی توسط کد MCNPX بررسی شده است.

کلمات کلیدی

ایمنی راکتورهای تحقیقاتی، سیستم خاموشی ثانویه، راکتیویته اضافی، ضریب تکثیر موثر، شار نوترون

مقدمه

مطالعه حاضر درباره طرح نوترونیک سیستم خاموشی ثانویه^۱ برای راکتور تهران است تا در صورت نقص در سیستم اولیه، قادر به خاموشی راکتور بصورت ایمن باشد. این سیستم در کنار برخی مشخصه ها، مثل ارزش راکتیویته و زمان عملکرد، که از الزامات طراحی و ایمنی آن است، باید تاثیر منفی کمی روی ویژگی های بهره برداری راکتور مثل شار نوترون در محل های پرتو دهی، توزیع شار در سراسر قلب و مدت زمان کارکرد راکتور پس از هر بار سوخت گذاری داشته باشد. بسته به نوع راکتور طرح های مختلفی برای سیستم خاموشی ثانویه اجرا شده است. طرح حاضر که مبتنی بر تزریق ماده جذب در قلب راکتور است مشابه با طراحی سیستم خاموشی ثانویه در راکتور استخری مصری ETRR^۲ با توان ۲۲ مگاوات است که توسط یک شرکت آرژانتینی انجام شده است [۱، ۲ و ۳].

روش کار

مرحله اول کار شبیه سازی نوترونیک قلب راکتور تهران است. پس از این مرحله ضریب تکثیر موثر قلب اولیه جهت اطمینان از درستی شبیه سازی محاسبه و در جدول ۱ آورده شده است.

^۱ Second Shutdown System (SSS)



جدول ۱ ضریب تکثیر موثر قلب اولیه راکتور تهران

اختلاف	مرجع [۴]	کد ۲,۶ MCNPX	
۲/۶٪	۶۹۱۶	۷۰۲۵ ± ۷۱	ضریب تکثیر موثر

پس از این مرحله قلب شماره ۴۲ راکتور تهران با مقداری تقریب روی میزان مصرف سوخت شبیه سازی شده است. تقریب بکار رفته در نظر گرفتن مصرف سوخت بصورت مضربی از ۵ است، برای مثال مصرف سوخت ۱۲ با ۱۰ و ۱۳ با ۱۵ تقریب زده شده است. در مرحله بعد ضریب تکثیر موثر این قلب محاسبه شده است و سیستم خاموشی ثانویه درون این قلب جانمایی شده است. این سیستم بصورت جعبه ای از جنس آلومینیوم است که بین ردیف های ۵ و ۶ قلب قرار گرفته و قلب را به دو قسمت تقسیم کرده است. پهنای کل فضای ایجاد شده ۱۱ میلی متر است که ۲ میلی متر آن برای آب، ۶ میلی متر برای دیواره ها و ۲ میلی متر آن برای سیستم خاموشی دوم است و ارتفاع آن ۸۹۷ میلی متر است. این سیستم در حالت معمول خالی است و در زمان نیاز از نیترا گادولینوم که جاذب نوترون است پر می شود.

چیدمان قلب شماره ۴۲ که دارای ۲۲ جعبه سوخت استاندارد^۲، ۵ جعبه سوخت کنترلی^۳، ۵ مکان پرتو دهی^۴ و ۱۷ گرافیت^۵ است، همراه با میزان مصرف شده هر سوخت که داخل پراتنز روی هر قسمت نوشته شده است، پس از جانمایی سیستم خاموشی ثانویه در شکل ۱ نشان داده شده است.

Thermal Column

۹	IR	GR	GR	GR	IR	GR
۸	SFE(۰)	RR(۰)	SFE(۳۰)	CFE(۴۰)	SFE(۱۰)	SFE(۰)
۷	SFE(۲۰)	SFE(۳۰)	SFE(۴۰)	SFE(۵۰)	SFE(۴۰)	SFE(۱۰)
۶	SFE(۲۰)	CFE(۵۰)	SFE(۴۰)	IR	CFE(۵۰)	SFE(۱۰)

^۲ SFE, Standard Fuel Element

^۳ CFE, Control Fuel Element

^۴ IR, Irradiation Box

^۵ GR, Graphite

۵	SFE(۳۰)	SFE(۴۰)	SFE(۵۰)	SFE(۵۰)	SFE(۴۰)	SFE(۰)
۴	SFE(۲۰)	SFE(۲۰)	CFE(۵۰)	SFE(۴۰)	SFE(۲۰)	IR
۳	GR	SFE(۱۰)	SFE(۳۰)	IR	SFE(۰)	GR
۲	GR	GR	IR	GR	GR	GR
۱	GR	GR	GR	GR	GR	GR
	A	B	C	D	E	F

شکل ۱ چیدمان قلب شماره ۴۲ راکتور تهران با جانمایی SSS

مطابق با الزامات ایمنی در طراحی سیستم خاموشی ثانویه، ارزش راکتیویته این سیستم میبایست به اندازه‌ای باشد که حاشیه خاموشی راکتور بیشتر از ۱۰۰۰ pcm باشد [۵]. از آنجاکه بیشینه راکتیویته اضافی راکتور تهران کمتر از ۴۰۰۰ pcm است، سیستم خاموشی دوم باید دارای ارزش راکتیویته ۵۰۰۰ pcm یا بیشتر باشد. در جدول ۲ برقراری این شرط با محاسبه ضریب تکثیر موثر قلب شماره ۴۲ هنگامی که خالی از جاذب است و محاسبه همین کمیت پس از پرکردن آن با جاذب بررسی شده است.

جدول ۲ ضریب تکثیر قبل و بعد از جانمایی سیستم خاموشی دوم

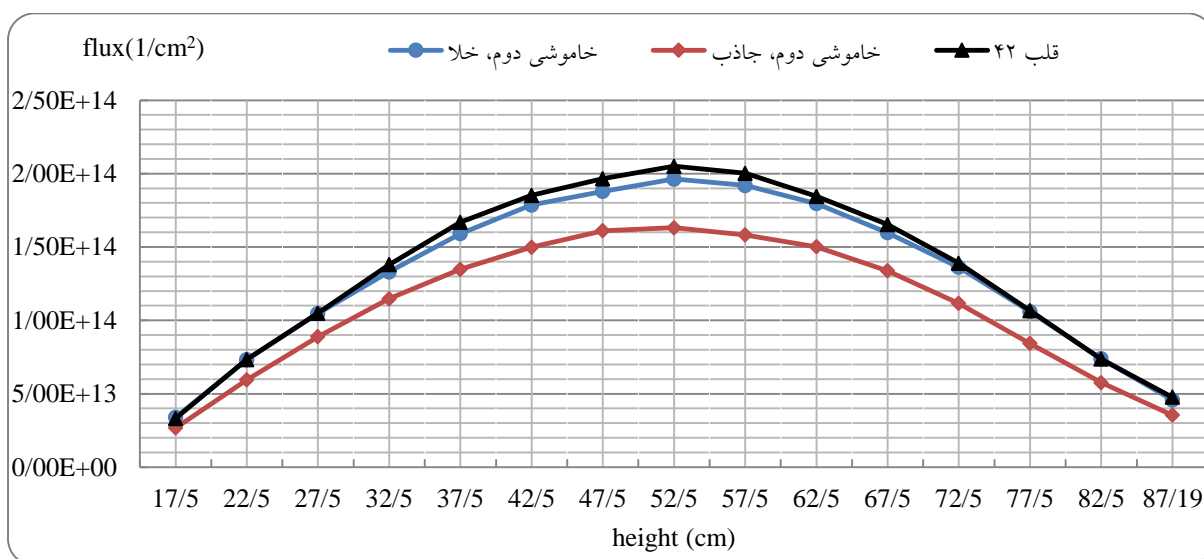
پس از جانمایی	قبل از جانمایی	
1548 ± 69	2227 ± 53	ضریب تکثیر موثر (pcm) بدون جاذب گادولینیوم
-5555 ± 54	-	ضریب تکثیر موثر (pcm) با جاذب گادولینیوم

بطوریکه میزان راکتیویته تزریق شده به سیستم بر اثر عملکرد سیستم خاموشی دوم تقریباً ۷۰۰۰ pcm است. یکی دیگر از ویژگیهایی که سیستم خاموشی دوم باید دارا باشد تاثیر منفی اندک روی وضعیت بهره برداری راکتور است. برای این منظور تغییر شار نوترون در محل D۶ که برای پرتودهی استفاده می شود، مورد مطالعه قرار گرفته است. اندازه شار نوترون در نقاط مختلف در راستای محور طولی در محل پرتودهی، قبل و پس از جانمایی سیستم خاموشی دوم محاسبه و در جدول ۳ و شکل ۲ آمده است. همچنین نسبت شار در دو حالت قبل و بعد در جدول ۳ داده شده است.



جدول ۳ شار متوسط نوترون در محل پرتودهی قبل و بعد از کارگذاری سیستم خاموشی دوم

height(cm)	before inserting SSS	after inserting SSS	ratio(after/before)
۱۷,۵	۳,۳۱۴۵E+۱۳	۳,۳۹۳۹E+۱۳	۱,۰۲
۲۲,۵	۷,۳۲۳۸E+۱۳	۷,۳۱۹۱E+۱۳	۱,۰۰
۲۷,۵	۱,۰۴۸۸E+۱۴	۱,۰۴۷۳E+۱۴	۱,۰۰
۳۲,۵	۱,۳۷۹۵E+۱۴	۱,۳۳۰۳E+۱۴	۰,۹۶
۳۷,۵	۱,۶۶۸۵E+۱۴	۱,۵۹۱۶E+۱۴	۰,۹۵
۴۲,۵	۱,۸۵۲۳E+۱۴	۱,۷۸۶۸E+۱۴	۰,۹۶
۴۷,۵	۱,۹۶۵۶E+۱۴	۱,۸۷۹۱E+۱۴	۰,۹۶
۵۲,۵	۲,۰۵۰۵E+۱۴	۱,۹۶۲۶E+۱۴	۰,۹۶
۵۷,۵	۲,۰۰۲۷E+۱۴	۱,۹۱۸۹E+۱۴	۰,۹۶
۶۲,۵	۱,۸۴۴۹E+۱۴	۱,۷۹۶۵E+۱۴	۰,۹۷
۶۷,۵	۱,۶۵۳۰E+۱۴	۱,۵۹۷۶E+۱۴	۰,۹۷
۷۲,۵	۱,۳۸۹۳E+۱۴	۱,۳۶۲۶E+۱۴	۰,۹۸
۷۷,۵	۱,۰۶۶۱E+۱۴	۱,۰۵۹۸E+۱۴	۰,۹۹
۸۲,۵	۷,۳۶۶۰E+۱۳	۷,۳۷۹۶E+۱۳	۱,۰۰
۸۷,۱۹	۴,۷۶۱۴E+۱۳	۴,۵۷۷۸E+۱۳	۰,۹۶



شکل ۲ تغییرات شار نوترون با ارتفاع در محل پرتودهی D۶



نتایج

همانطور که از جدول ۱ دیده می شود میزان خطای محاسبه راکتیویته مثبت بین کار حاضر و مرجع [۴] کمتر از ۳٪ است که نشان دهنده قابل اعتماد بودن شبیه سازی نوترونیک حاضر است. همانطور که در جدول ۲ آمده است راکتیویته منفی سیستم خاموشی ثانویه حدود ۷۱۰۰ pcm است و از آنجا که این مقدار بیشتر از الزام ایمنی است این سیستم از نظر ارزش راکتیویته قابل قبول است. از آنجا که استقرار این سیستم سبب کاهش راکتیویته اضافی قلب و در نتیجه کاهش طول سیکل قلب می شود. این موضوع بعنوان نقطه ضعفی برای این سیستم است که می بایست با بهینه کردن ابعاد سیستم، این اثر منفی را کاهش داد. همان طور که از نتایج داده شده در جدول ۳ دیده می شود افت شار متوسط نوترون کمتر از ۵٪ است و این نتیجه با خطای کمتر از ۲٪ به دست آمده است. بنظر می رسد که تاثیر منفی این سیستم روی شار نوترون بسیار کم است.

بحث و نتیجه گیری

استفاده از سیستم خاموشی ثانویه پیشنهادی برای راکتور تهران علی رغم تاثیرات منفی بروی شار نوترونی، راکتیویته اضافی و بتبع کاهش طول سیکل کاری راکتور، موجب افزایش ایمنی راکتور با وجود دو سیستم خاموشی مستقل از یکدیگر می شود. از طرف دیگر، طراحی و تحقیق درباره سیستم خاموشی ثانویه باعث کسب دانش فنی طراحی، ساخت یا تعبیه این سیستمها در راکتورهای تحقیقاتی با قدرت بالاتر که در آینده در کشور تولید می شوند و وجود سیستم خاموشی ثانویه برای آنها الزامی است، می شود.

سیاسگزاری: از کلیه کارکنان راکتور تهران به خاطر همکاری صمیمانه تشکر و قدردانی می شود.



مراجع

- [۱] M. Bissani, D. S. O'Kelly, Joint assessment of ETTR^۲ research reactor operations program, capabilities, and facilities, Lawrence Livermore national laboratory, UCRL- TR- ۲۲۱۲۸۴, May ۱۰, ۲۰۰۶.
- [۲] A. M. Hassanain, Nader M. A. Mohammad, M. Naguib Aly, Alya A. Badawi and M. A. Ghaeen, "Neutron flux characterization for radioisotope production at ETTR^۲", World Academy of science, engineering and technology ۷۳ ۲۰۱۱.
- [۳] H. M. Hussein, E. H. Amin and A. M. Sakr, "Effect of core configurations on burn up calculations for MTR type reactors", Proceeding of ۸th Conference on nuclear particles, Hurghada, Egypt, ۲۰- ۲۴ Nov. ۲۰۱۱.
- [۴] Atomic Energy Organization of Iran, Safety analysis report for Tehran Research Reactor, Vol.۱, January ۲۰۰۹.
- [۵] M. A. Gaheen, "Safety aspects of research reactor core modification for fission molybdenum - ۹۹ production", RERTR ۲۰۱۰- ۳۲th international meeting on reduced enrichment for research reactors, Lisbon, Portugal, October ۱۰-۱۴, ۲۰۱۰.