



## مطالعات نوترونی و ایمنی حجم کانال خشک در قلب راکتور تهران

محمد امین امیرخانی دهکردی<sup>۱\*</sup>، عارف رحیمیان<sup>۱</sup>، میر محمد رضا سید حبشی<sup>۲</sup>، روح الله عادل<sup>۱</sup>

<sup>۱</sup>پژوهشگاه علوم و فنون هسته‌ای، پژوهشکده راکتور و ایمنی هسته‌ای

<sup>۲</sup>پژوهشگاه علوم و فنون هسته‌ای، پژوهشکده پلاسما و گداخت

### چکیده:

از کانال خشک در راکتورهای تحقیقاتی برای تابش‌دهی با شار نوترون سریع استفاده می‌شود. در این تحقیق به محاسبات نوترونی و ایمنی برای حجم‌های مختلف کانال خشک در راکتور تحقیقاتی تهران در دو موقعیت A3 و D6 با استفاده از کد MCMPX پرداخته شده است. محاسبات نشان می‌دهند که شار نوترون سریع در کانال خشک برای کانال D6 با حجم  $1071/14 \text{ cm}^3$  و برای کانال A3 با حجم  $1428/19 \text{ cm}^3$  مناسبتر می‌باشد.

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. راکتور تحقیقاتی تهران با قدرت حداکثری ۵ مگاواتی از نوع استخری بوده و سوخت جدید آن به صورت ترکیب شیمیایی  $U_3O_8-Al$  و با درجه غنای پایین ۲۰٪ می‌باشد. صفحه نگهدارنده قلب مشتمل بر یک شبکه  $6 \times 9$  از جنس آلومینیم به ابعاد  $67 \times 75 \text{ cm}$  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].

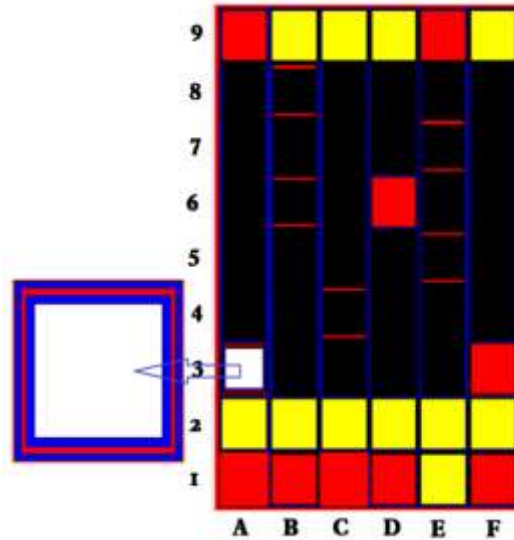
یکی از نقص‌های این راکتور عدم وجود کانال خشک برای پرتودهی با شار نوترون سریع بیشتر است. محاسبات قبل بر روی مکان یابی کانال خشک برای راکتور تهران نشان داد که بهترین مکان برای ایجاد کانال خشک محفظه‌های D6 و A3 راکتور می‌باشد. در این مقاله به بررسی تاثیرات حجم‌های مختلف کانال خشک در راکتور تحقیقاتی تهران پرداخته



شده است. در این طرح از محفظه‌های پرتودهی موجود در راکتور استفاده شده است و با قرار دادن محفظه‌ای از جنس آلومینیم در حجم‌های مختلف و حذف آب موجود در محفظه سعی در ایجاد کانال خشک و مطالعه حجم‌های مختلف 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 حجم‌های مختلف کانال خشک در این مقاله بررسی شده است.

### روش کار:

شکل ۱ قلب راکتور تهران به همراه کانال خشک ایجاد شده در محفظه A3 را نمایش می‌دهد. این قلب شامل ۲۸ مجتمع سوخت SFE می‌باشد 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 می‌باشد که در موقعیت‌های F3, A3, D6, E9, A9 قرار گرفته است ابعاد کانال خشک در نظر گرفته شده  $6/8 \times 6/6$  سانتیمتر و ضخامت آن برابر با ۴ میلیمتر بوده است در بخش اول ارتفاع آن برابر با ارتفاع یک سوخت (۶۹/۲ cm) بوده است و در بخش بعد برای کاهش حجم آن از ارتفاع کاسته شده است. حجم‌های در نظر گرفته شده (۶ حجم) عبارتند از ۲۱۴۲/۲۸۸، ۱۷۸۵/۲۴، ۱۴۲۸/۱۹، ۱۰۷۱/۱۴، ۷۱۴/۰۸ و ۳۵۷/۰۵ سانتیمتر مکعب. در تمامی محاسبات خطای آماری کد کمتر از ۱ درصد بوده است و در این شبیه‌سازی از سطح مقاطع 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 حجم‌های مختلف کانال خشک بررسی شده است. نحوه محاسبه هر یک از پارامترها در مراجع بیان شده است [۳].



شکل ۱ کانال خشک در محفظه A3

### نتایج:

پارامترهای نوترونی مهم قلب راکتور تهران در حجم‌های مختلف کانال خشک در موقعیت D6 در جدول انشان داده شده است. مشاهده می‌شود که در کانال خشک در موقعیت D6، مقدار ضریب تکثیر راکتور ابتدا شروع به افزایش کرده و سپس روند کاهشی به خود می‌گیرد. دلیل مشاهده این رفتار در ضریب تکثیر ناشی از اثرات *over moderated* و *under moderated* می‌باشد که با مشاهدات تجربی راکتور تطابق دارد. راکتیویته اضافی با کاهش حجم ابتدا تقریباً ثابت بوده است و سپس شروع به کاهش کرده است. ارزش میله‌های کنترل با کاهش حجم کاهش یافته است. حاشیه خاموشی راکتور ابتدا تقریباً ثابت و سپس با کاهش حجم شروع به افزایش یافته است. مقدار ضریب بالاترین توانی با کاهش حجم کانال خشک ابتدا افزایش و سپس ثابت مانده است این ضریب در تمامی موارد در محدوده ایمنی راکتور بوده است [۴].

پارامترهای نوترونی در حجم‌های مختلف کانال خشک در موقعیت A3 در جدول ۲ نشان داده شده است. مقدار ضریب تکثیر راکتور برخلاف حالت قبل (جدول ۱) تنها افزایش یافته است. راکتیویته اضافی نیز برخلاف حالت قبل با کاهش حجم افزایش یافته است. ارزش میله‌های کنترل با کاهش حجم تقریباً ثابت بوده است. حاشیه خاموشی راکتور ابتدا تقریباً ثابت و سپس با کاهش حجم شروع به کاهش یافته است. مقدار ضریب بالاترین توانی با کاهش حجم کانال خشک ابتدا افزایش و سپس ثابت مانده است. مشاهده می‌شود که در تمامی موارد پارامتر ضریب بیشترین توان در محدوده ایمنی راکتور قرار دارد [۴].



جدول ۱ پارامترهای نوترونی راکتور در حضور کانال خشک در حجم‌های مختلف در موقعیت D6

حجم (cm <sup>3</sup> )						مولفه
۳۵۷/۰۵	۷۱۴/۰۹	۱۰۷۱/۱۴	۱۴۲۸/۱۹	۱۷۵۸/۲۴	۲۱۴۲/۲۸۸	
۱/۰۱۹۲۱	۱/۰۲۱۲۵	۱/۰۲۳۰۷	۱/۰۲۴۱۶	۱/۰۲۴۲۶	۱/۰۲۳۹۴	<b>K<sub>eff</sub></b>
۱۸۸۴/۷۹	۲۰۸۰/۷۸	۲۲۵۴/۹۸	۲۳۵۹/۰۱	۲۳۶۸/۵۴	۲۳۳۸/۰۳	<b>ρ(pcm)</b>
-۱۳۵۴۶/۸۸	-۱۳۶۲۹/۳۳	-۱۳۷۶۵/۱	-۱۳۸۵۵/۵۸	-۱۳۸۹۶/۳۳	-۱۳۹۵۳/۹۴	<b>ρ<sub>w</sub>(pcm)</b>
-۵۸۸۴/۱۲	-۵۹۶۵/۵۵	-۶۱۳۰/۶۱	-۶۳۳۶/۳۵	-۶۴۰۸/۲۳	-۶۴۰۲/۱	<b>ρ<sub>ex</sub>(pcm)</b>
۷۶۶۲/۷۶	۷۶۶۳/۷۹	۷۶۳۴/۴۹	-۷۵۱۹/۲۳	۷۴۸۸/۱	۷۵۵۱/۸۴	<b>ρ<sub>s</sub>(pcm)</b>
۱/۱۹۷	۱/۱۸	۱/۱۷۶	۱/۱۷۹	۱/۱۷۸	۱/۱۸۲	<b>PPF (radial)</b>
۱/۸۸	۱/۸۸	۱/۹۱	۱/۸۲	۱/۹۱	۱/۵	<b>PPF (Axial)</b>
۲/۲۵	۲/۲۱	۲/۲۵	۲/۵	۲/۲۵	۲/۱	<b>PPF</b>

جدول ۲ پارامترهای نوترونی راکتور در حضور کانال خشک در حجم‌های مختلف در موقعیت A3

حجم (cm <sup>3</sup> )						مولفه
۳۵۷/۰۵	۷۱۴/۰۹	۱۰۷۱/۱۴	۱۴۲۸/۱۹	۱۷۵۸/۲۴	۲۱۴۲/۲۸۸	
۱/۰۱۷۰۷	۱/۰۱۶۸۸	۱/۰۱۶۴۶	۱/۰۱۶۴	۱/۰۱۵۸۶	۱/۰۱۵۶۷	<b>K<sub>eff</sub></b>
۱۶۷۸/۳۵	۱۶۵۹/۹۸	۱۵۹۹/۹۸	۱۶۱۳/۵۴	۱۵۶۱/۲۴	۱۵۴۲/۸۲	<b>ρ(pcm)</b>
-۱۳۴۷۸/۲۱	-۱۳۴۷۹/۰۲	-۱۳۴۶۰/۵۶	-۱۳۴۶۹/۸۵	-۱۳۵۱۵/۷۷	-۱۳۴۵۱/۶۱	<b>ρ<sub>w</sub>(pcm)</b>
-۵۶۷۸/۱۷	-۵۶۳۳/۶۷	-۵۶۰۰/۷۱	-۵۵۷۸/۴۲۷	-۵۵۶۹/۵۱	-۵۵۳۳/۸۳	<b>ρ<sub>ex</sub>(pcm)</b>
۷۸۰۰/۰۳	۷۸۴۵/۳۵	۷۸۵۹/۸۵	۷۸۹۱/۴۳	۷۹۴۶/۲۶	۷۹۱۷/۷۸	<b>ρ<sub>s</sub>(pcm)</b>
۱/۲۱۵	۱/۲۱۸	۱/۲۲۱	۱/۲۱۷	۱/۲۱۷	۱/۲۱۹	<b>PPF (radial)</b>
۱/۸۷	۱/۸۸	۱/۸۸	۱/۸۸	۱/۸۸	۱/۷۳	<b>PPF (Axial)</b>
۲/۲۷	۲/۲۹	۲/۳	۲/۲۸	۲/۲۸	۲/۱۱	<b>PPF</b>

شار کل موجود در هر یک از محفظه‌های پرتودهی در حجم‌های مختلف در توان ۵ MW راکتور تهران در موقعیت‌های D6 و A3 در جدول ۳ نشان داده شده است. دیده می‌شود که با کاهش حجم ابتدا شار افزایش می‌یابد که با توجه به افزایش مقدار آب در اطراف محفظه قابل توجیه است و در آخر شروع به کاهش می‌کند که می‌تواند به دلیل کاهش حجم اندازه‌گیری باشد.



جدول ۳ شار کل کانال خشک در حجم های مختلف در موقعیت های A3 و D6

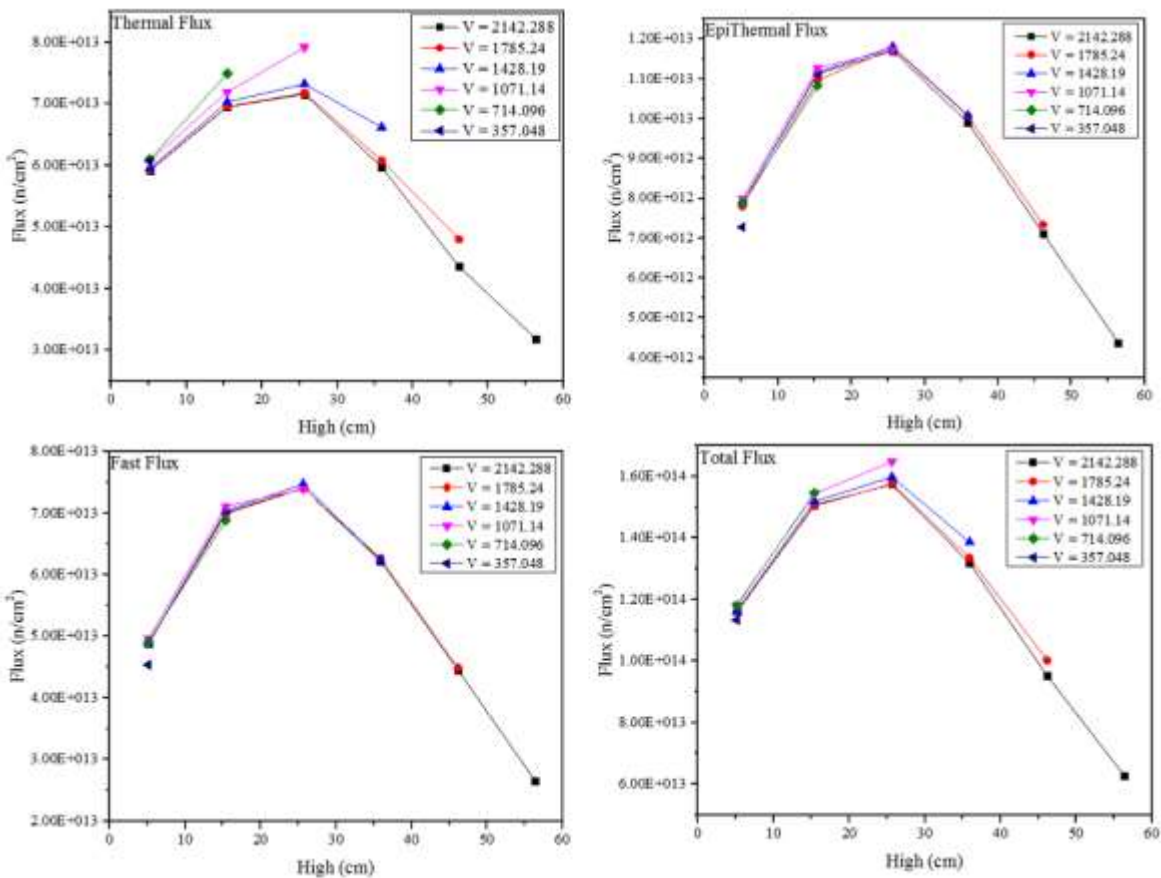
Flux ( $n/Cm^2$ )		Volume (Cm <sup>3</sup> )
A3	D6	
۵/۴۹E+۱۳	۱/۱۹E+۱۴	۲۱۴۲/۲۸۸
+۱۳E۶/۰۲	+۱۴E۱/۳۲	۱۷۸۵/۲۴
+۱۳E۶/۳۶	+۱۴E۱/۴۲	۱۴۲۸/۱۹
+۱۳E۶/۳۹	+۱۴E۱/۴۶	۱۰۷۱/۱۴
+۱۳E۵/۸۸	+۱۴E۱/۳۶	۷۱۴/۰۹
+۱۳E۴/۸۸	+۱۴E۱/۱۳	۳۵۷/۰۵

در جدول ۴ شار موجود در هر یک از موقعیت های کانال خشک راکتور تهران با توجه به انرژی به سه گروه نوترون سریع (۲۰ MeV - ۱۰<sup>۳</sup> × ۱/۱۸۸۲)، فوق حرارتی (۹۱۸۸/۲ eV - ۴) و گرمایی (۰ eV - ۴) تقسیم شده است (تقسیم بندی کد Wims [۵]) و مقدار حاصل در هر گروه انرژی برای توان ۵ MW در هنگام حضور کانال خشک در آن موقعیت بیان شده است. مشاهده می شود که در کانال A3 و D6 ابتدا شار در هر سه گروه انرژی با کاهش حجم ابتدا افزایش و سپس کاهش یافته است. با توجه به اهمیت شار سریع در کانال خشک به نظر می آید برای کانال D6 حجم ۱۰۷۱/۱۴ cm<sup>3</sup> و برای کانال A3 حجم ۱۴۲۸/۱۹ cm<sup>3</sup> مناسبتر باشد.

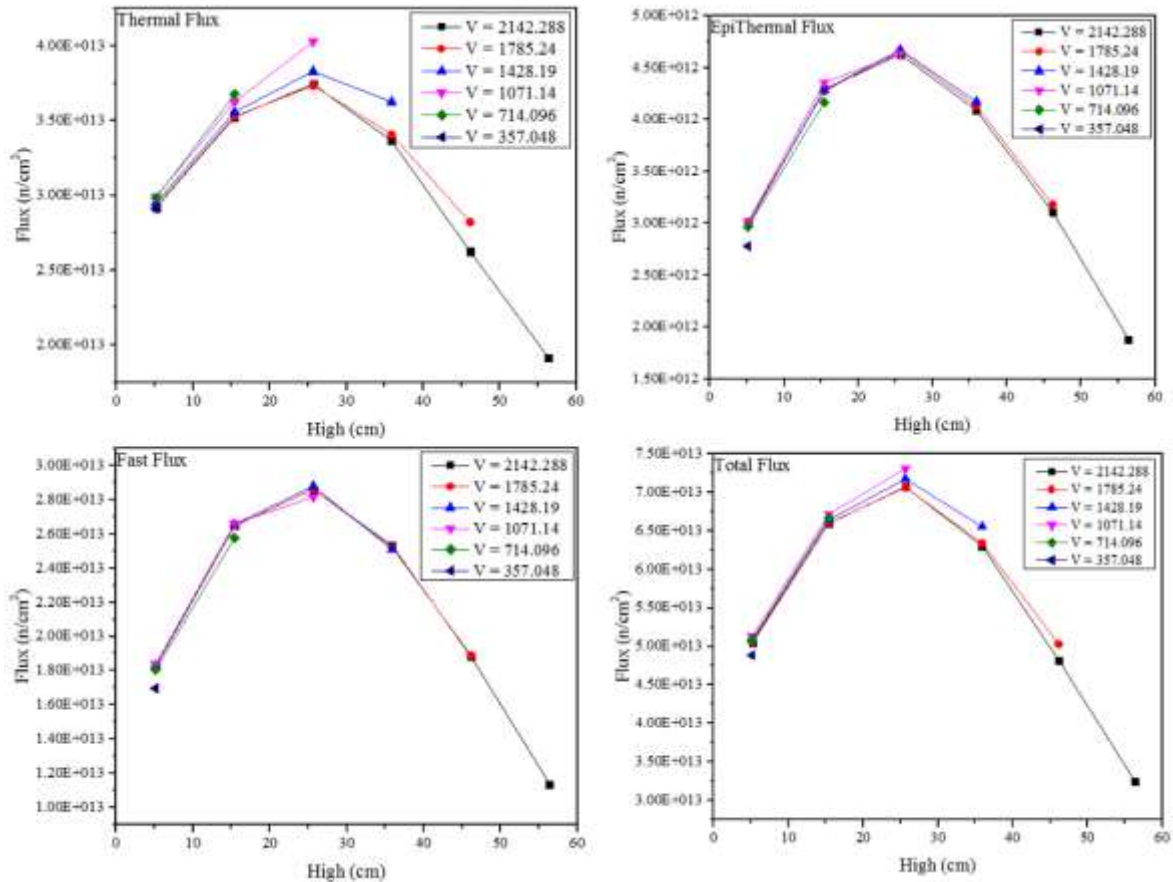
جدول ۴ شار کانال خشک در انرژی های مختلف در حجم های مختلف

Fast ( $n/Cm^2$ )		Epithermal ( $n/Cm^2$ )		Thermal ( $n/Cm^2$ )		Volume (Cm <sup>3</sup> )
A3	D6	A3	D6	A3	D6	
+۱۳E۲/۲۴	+۱۳E۵/۱۷	+۱۲E۹/۴۹	+۱۳E۲/۳۵	+۱۳E۲/۵۲	+۱۳E۴/۳۸	۲۱۴۲/۲۸۸
+۱۳E۲/۲۳	+۱۳E۵/۷۱	+۱۳E۱/۰۴	+۱۳E۲/۶	+۱۳E۲/۷۵	+۱۳E۴/۸۵	۱۷۸۵/۲۴
+۱۳E۲/۳۴	+۱۳E۶/۰۹	+۱۳E۱/۱	+۱۳E۲/۷۷	+۱۳E۲/۹۲	+۱۳E۵/۳	۱۴۲۸/۱۹
+۱۳E۲/۳۱	+۱۳E۶/۱۷	+۱۳E۱/۰۹	+۱۳E۲/۸	+۱۳E۲/۹۸	+۱۳E۵/۶۱	۱۰۷۱/۱۴
+۱۳E۲/۰۸	+۱۳E۵/۶۱	+۱۲E۹/۷	+۱۳E۲/۵۵	+۱۳E۲/۸۳	+۱۳E۵/۴۸	۷۱۴/۰۹
+۱۳E۱/۶۱	+۱۳E۴/۳۱	+۱۲E۷/۶۷	+۱۳E۱/۹۹	+۱۳E۲/۵۱	+۱۳E۵/۰۴	۳۵۷/۰۵

در شکل ۲ و شکل ۳ شار نوترونی کل در قدرت ۵ MW در ارتفاعات مختلف هر یک از محفظه های پرتو دهی در حجم های مختلف نمایش داده شده است. مشاهده می شود که در ۲۰ سانتی متری از ابتدای کانال ها دارای بیشترین شار می باشد و قرار دادن کانال خشک سبب جابجایی مکان بیشترین شار نمی شود.

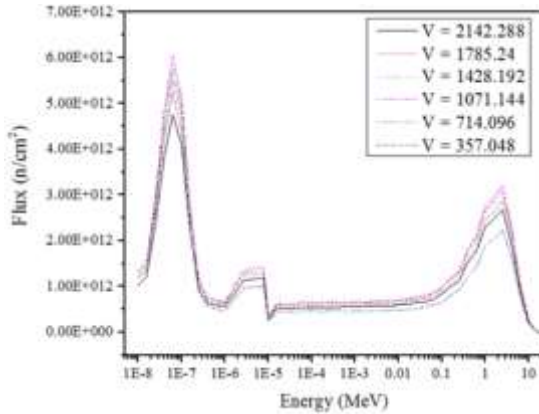


شکل ۲ شار کانال خشک در ارتفاعات مختلف در حجم های مختلف در موقعیت D6

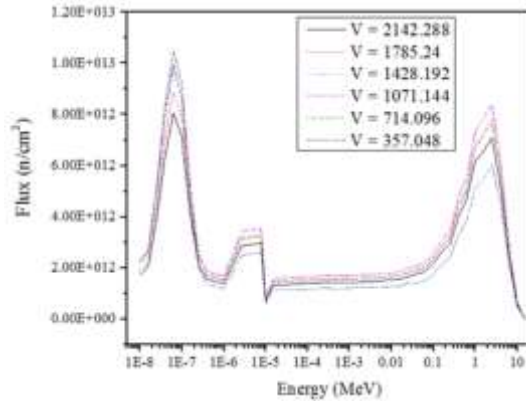


شکل ۳ شار کانال خشک در ارتفاعات مختلف در حجم های مختلف در موقعیت A3

در شکل ۴ طیف انرژی شار موجود در هر یک از محفظه های پرتودهی در توان ۵ MW راکتور در حجم های مختلف نشان می دهد. محدوده مقدار انرژی بیشینه در محدوده ۱ MeV است با کاهش حجم ابتدا مقدار انرژی به دلیل افزایش مقدار آب در قسمت فوقانی محفظه افزایش و سپس کاهش به دلیل کاهش حجم مورد اندازه گیری کاهش یافته است.



(ب)



(الف)

شکل ۴ طیف انرژی شار در هر یک از حجم‌های مختلف در موقعیت (الف) D6 و (ب) A3

### نتیجه‌گیری:

در این مقاله به بررسی حجم‌های مختلف کانال خشک در راکتور تحقیقاتی تهران در دو موقعیت مختلف پرداخته شده است و محاسبات نوترونی و ایمنی اولیه برای آن انجام گرفته است. در این طرح از کانال‌های پرتو دهی A3 و D6 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 انجام شده است. محاسبات نشان می‌دهد با توجه به اهمیت شار سریع در کانال خشک برای کانال D6 حجم  $1071/14 \text{ cm}^3$  و برای کانال A3 حجم  $1428/19 \text{ cm}^3$  مناسبتر باشد.

### مراجع

- [۱] Shirani, A., 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, 2011. 55: p. 49-53.
- [۲] Institute, N.S.T.R., Final Safety Analyses Report for Tehran Research Reactor. Atomic Energy Organization of Iran, Tehran, 2009.
- [۳] Kasesaz, Y. and M. Hasanzadeh, MCNPX code training. Vol. 1. 2015.
- [۴] Institute, N.S.T.R., Final Safety Analyses Report for Tehran Research Reactor. Atomic Energy Organization of Iran. 2009. Tehran.
- [۵] Dorchester, W., RSICC COMPUTER CODE COLLECTION WIMS-D4. Atomic Energy Establishment, 1190.