



## اندازه گیری ناخالصی و محاسبه ی دز بازتابنده ی راکتور تحقیقاتی تهران برای تست خمش

امیرخانی دهکردی، محمدامین\*<sup>(۱)</sup> - ضحاک‌فیر، فاضل<sup>(۲)</sup> - یوسفی نسب، صادق<sup>(۲)</sup>

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

<sup>۲</sup> پژوهشگاه علوم و فنون هسته‌ای، پژوهشکده مواد و سوخت هسته‌ای

### چکیده:

در این مقاله، نرخ دز نمونه استاندارد برای آزمایش خمش گرافیت در راکتور تحقیقاتی تهران بدست آمده است. با استفاده از استانداردهای مختلف مقادیر دز در فواصل مختلف و دو بازه زمانی ۲۵ و ۴۰ روز تابش‌دهی و با استفاده از دو کد *ORIGEN* و *MCNPX* محاسبه شده است. مقادیر ناخالصی ماده با استفاده از *XRF* و *ICP-AES* اندازه‌گیری شده است. محاسبات دز با استفاده از تابع استاندارد تبدیل شار به دز *Claiborne & Trubey* انجام گرفته است. مقدار دز نشان می‌دهد نمونه‌ها پس از گذشت ۲۰ روز از تابش‌دهی با رعایت فواصلی در حدود ۵۰ سانتیمتر دارای دز مناسب برای انجام آزمایش‌ها می‌باشند و با محفظه‌ای به ضخامت ۲ سانتیمتر از سرب، می‌توان نمونه‌ها را بصورت ایمن انتقال داد.

کلمات کلیدی: کد *MCNPX*، کد *ORIGEN*، گرافیت، *ICP-AES*، راکتور تهران

## Impurity measurement and dose calculation of Tehran research reactor reflector for flexural test

Amirkhani, Mohammad Amin<sup>1</sup>; Zahakifar, Fazel<sup>2</sup>

<sup>1</sup> Reactors and Nuclear Safety Research School, Nuclear Science and Technology Research Institute, AEOI

<sup>2</sup> Material and Nuclear Fuel Research School, Nuclear Science and Technology Research Institute, AEOI

### Abstract:

*In this paper, standard sample dose rate has been calculated for graphite flexural test in Tehran research reactor. Using different standards, the dose has been computed at different distances and two periods of 25 and 40 days of radiation using the ORIGEN and MCNPX codes. The impurity values of the material have been measured by XRF and ICP-AES. Claiborne & Trubey standard, flux to dose conversion standard, has been used to calculate the dose. Specimens have an authorized dose with observing distance of 50cm and 20 days after irradiation which can be transported in safety conditions using a container with 2cm thick lead.*

**Keywords:** *MCNPX code, ORIGEN code, Graphite, ICP-AES, Tehran Reactor*



## مقدمه:

از گرافیت به عنوان بازتابنده، کندکننده و منحرف‌کننده در راکتورهای هسته‌ای استفاده می‌شود [۱-۳]. مشخصات مکانیکی گرافیت در اثر تابش نوترون به دلیل تغییرات ساختار میکروسکوپی تغییر می‌کند [۱]. مهم‌ترین روش برای دستیابی به تغییرات مشخصات مواد تحت تابش نوترون، قرار دادن نمونه‌ی آزمایش مطابق با استانداردهای موجود در راکتور و تابش‌دهی نمونه‌ها در بازه‌های زمانی طولانی مدت و سپس انجام تست‌های مورد نظر می‌باشد. یکی از تست‌های مهم برای گرافیت، آزمایش مقاومت خمشی است [۴]. در این محاسبات ابعاد نمونه مورد آزمایش برابر با  $10 \times 2 \times 1$  سانتیمتر مکعب در نظر گرفته شده است. با توجه به تابش نوترون و رادیواکتیو شدن نمونه آزمایش به منظور انجام آزمایش‌ها، ضروری است که موارد ایمنی و بهداشتی برای افراد در محیط آزمایشگاه رعایت شود. مهم‌ترین مولفه در این بررسی نرخ دز دریافتی در فواصل مختلف از نمونه مورد آزمایش و دستیابی به فاصله‌ی ایمنی مناسب تا نمونه می‌باشد. برای این منظور از دو کد MCNPX و ORIGEN استفاده می‌شود [۵، ۶]. یکی از موارد مهم در محاسبات نرخ دز، بدست آوردن ناخالصی‌های نمونه مورد نظر است که بدین منظور از روش‌های تجربی XRF<sup>۱</sup> و ICP-AES<sup>۲</sup> استفاده می‌شود. در این مقاله، ابتدا به تعیین ناخالصی گرافیت مورد آزمایش پرداخته شده است. سپس شاری که نمونه آزمایش در آن قرار دارد با دقت مناسب اندازه‌گیری شده و بعد از آن با کمک کد ORIGEN، اکتیویته نمونه در فواصل زمانی مناسب محاسبه شده و در انتها با استفاده از کد MCNPX مقادیر دز در فواصل مختلف بدست آمد.

## روش کار:

### اندازه‌گیری مقدار ناخالصی نمونه

ابتدا عناصر موجود در نمونه‌های گرافیت، با استفاده از دو روش XRF و ICP تعیین گردید. در این روش مقادیر ناخالصی هر نمونه به شکل جدا با توجه به وزن آن نمونه با استفاده از رابطه (۱) اندازه‌گیری می‌شود.

$$\text{Fraction purity} = \frac{\text{Amount impurities (mg)}}{\text{Amount dissolved (mg)}} \quad (1)$$

در جدول ۱ مقدار میانگین هر یک از ناخالصی‌ها نمایش داده شده است.

<sup>1</sup> X-ray fluorescence spectroscopy

<sup>2</sup> Inductively coupled plasma – Atomic emission spectrometry



جدول ۱- مقادیر ناخالصی نمونه گرافیت با استفاده از روش ICP-AES

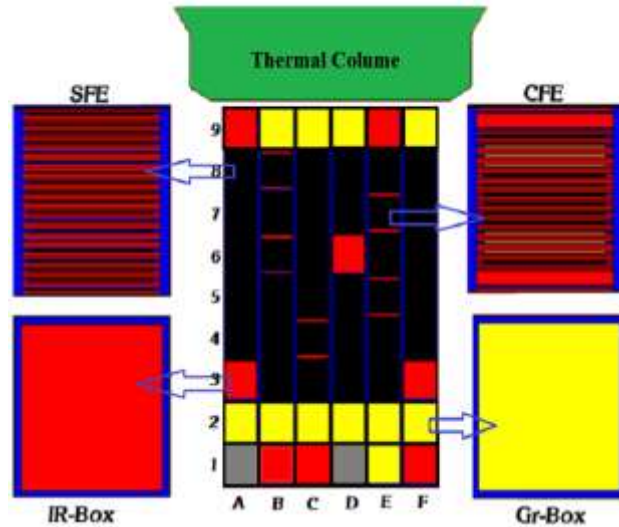
عنصر	کسر خلوص (mg/mg)
Fe	۴/۳e-۰۵
Al	۰/۰۰۳۱۱
Ca	۰/۰۰۳۳۰۸
Si	۰/۰۰۳۰۶۱
S	۰/۰۰۰۲۶۴
Na	۰/۰۰۰۸۳۶
B	۴/۹e-۰۵

#### شبیه‌سازی قلب راکتور تهران

راکتور تهران یک راکتور استخری ۵MW با کند کننده آب سبک و با سوخت غنی شده ۲۰٪ از نوع  $U_3O_8Al$  است که به منظور تحقیقات، آموزش، آزمایش‌های تابش دهی و تولید رادیوایزوتوپ مورد بهره برداری قرار می‌گیرد. راکتور شامل دو نوع مجتمع سوخت شامل سوخت استاندارد (SFE) و سوخت کنترل (CFE) می‌باشد. گرافیت با درجه هسته‌ای به عنوان بازتابنده در این راکتور مورد استفاده قرار گرفته است. تابش دهی مواد در باکس‌های تابش دهی (IR-Box) انجام می‌شود. یک ستون حرارتی انباشته شده از گرافیت برای آزمایشات تابش با نوترون گرمایی مورد استفاده قرار می‌گیرد [۷]. شکل ۱ یک مقطع عمودی از پیکربندی قلب راکتور تهران که با کد MCNPX شبیه‌سازی شده است را نشان می‌دهد.

Standard fuel element<sup>r</sup>

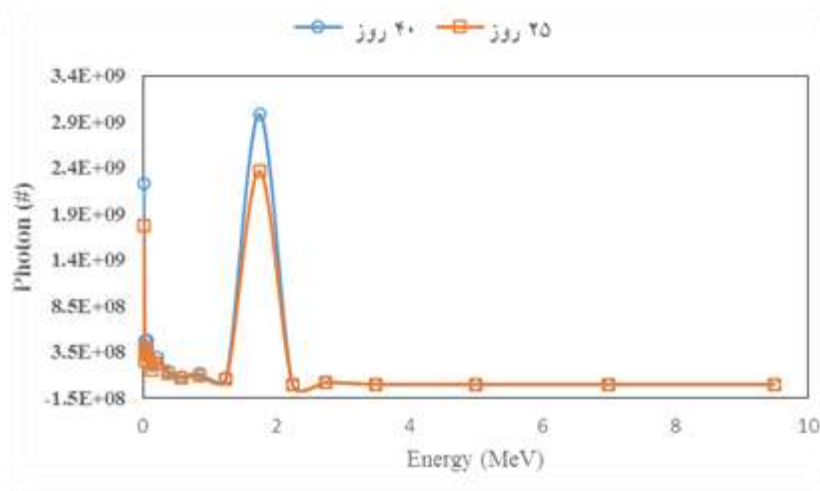
Control fuel element<sup>e</sup>



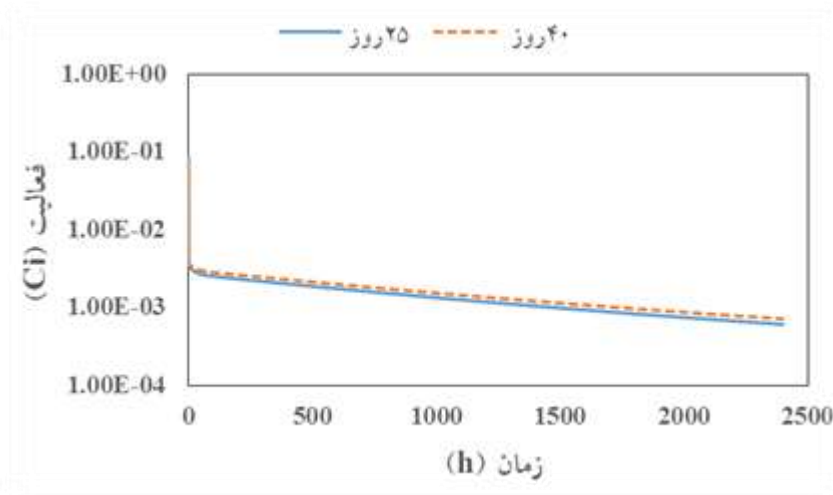
شکل ۱- مقطع محوری قلب راکتور تهران شبیه سازی شده توسط کد MCNPX

#### محاسبه اکتیویته نمونه

جهت محاسبه‌ی اکتیویته از کد ORIGEN استفاده شده است. دو مدت زمان ۲۵ و ۴۰ روز جهت تابش دهی نمونه در نظر گرفته شد. شار نوترون بر روی نمونه گرافیت برابر یا مقدار  $5/33 \times 10^{13} \text{ n/cm}^2$  و  $5/66 \times 10^{13} \text{ n/cm}^2$  می‌باشد که به کمک کد MCNPX محاسبه گردیده است. با توجه به خروجی کد ORIGEN توزیع نوترون در این مسئله وجود ندارد که به دلیل عدم وجود مواد شکافت پذیر در نمونه می‌باشد لذا توزیع فوتون‌های تولیدی به عنوان خروجی کد ORIGEN در نظر گرفته شده است و برای محاسبه‌ی نرخ دز نمونه به کد MCNPX انتقال داده شده است. شکل ۲ طیف فوتون خروجی از نمونه در دوبازه زمانی تابش دهی مختلف در لحظه اتمام تابش دهی را نشان می‌دهد. شکل ۳ اکتیویته نمونه گرافیت در بازه زمانی ۱۰۰ روز پس از هر تابش دهی که بازه زمانی منطقی برای مدت انتظار جهت انجام آزمایش است، نمایش داده شده است.



شکل ۲- طیف فوتون خروجی از نمونه



شکل ۳- فعالیت نمونه تابش دیده پس از ۱۰۰ روز از اتمام تابش دهی

#### محاسبه نرخ دز نمونه

برای محاسبه نرخ دز نمونه تابش داده شده، طیف گاما و اکتیویته خروجی از کد ORIGEN به عنوان چشمه گاما در کد MCNPX در نظر گرفته می‌شود. در این بخش با استفاده از استانداردهای ذکر شده که قابل استفاده در کد MCNPX می‌باشند به دزیمتری نمونه در فاصله‌های ۱۰۰، ۵۰، ۱۰، ۱، ۰/۱ سانتیمتری از نمونه پرداخته شده است. فاصله‌های ۰/۱

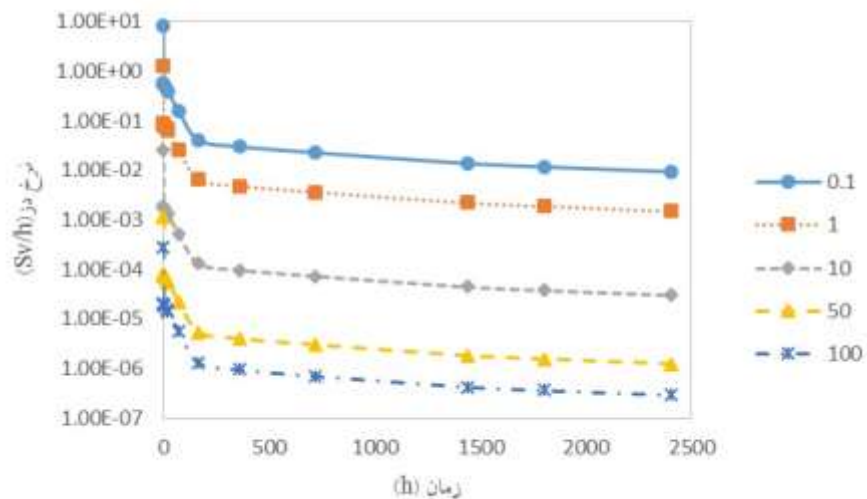


و ۱ سانتیمتری به منظور محاسبه‌ی نرخ دز جهت لمس نمونه و فواصل دیگر به منظور محاسبه‌ی نرخ دز در محیط آزمایشگاه در نظر گرفته شده است. برای محاسبات نرخ دز از تالی F5 و توابع استاندارد موجود در کد MCNPX استفاده شده است. لازم به ذکر است که تعداد ۱۰۰ میلیون تاریخچه برای محاسبه مقدار نرخ دز در ورودی برنامه کد در نظر گرفته شده است. میانگین خطای محاسباتی حاصل از کد تقریباً ۱٪ می باشد. این کد از فایل کتابخانه ENDF/B-IV برای محاسبات پارامترهای مختلف من جمله محاسبات نرخ دز استفاده می کند.

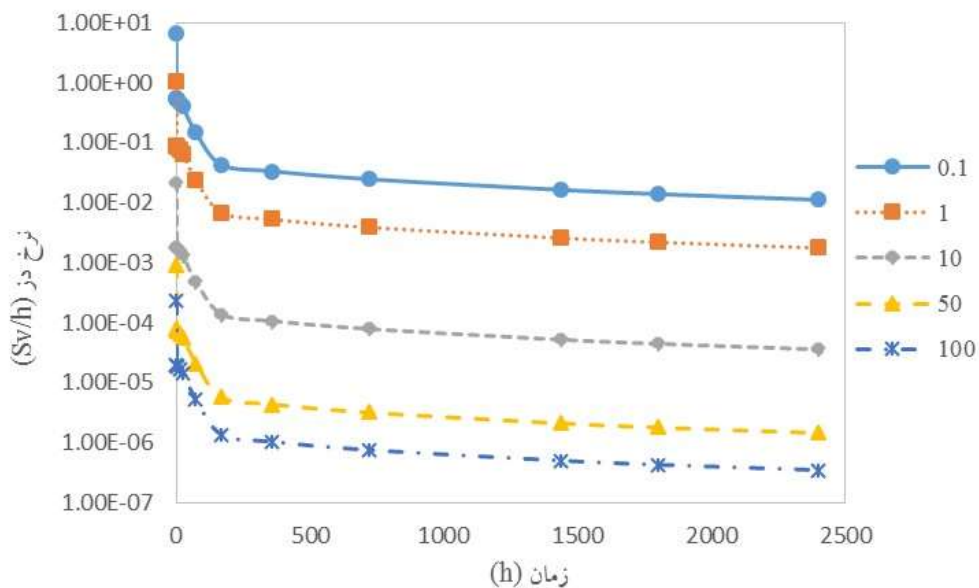
### نتایج:

#### محاسبه اندازه نرخ دز نمونه

نرخ دز نمونه پس از پانزده روز تابش دهی برای بازه زمانی ۱۰۰ روزه با استفاده از تابع استاندارد تبدیل شار به دز Claiborne & Trubey محاسبه شده است و در شکل ۴ نرخ دز نمونه در فواصل مختلف نمایش داده شده است. با توجه به نتایج لازم می باشد که نمونه به کمک ابزاری جابجا شود. مشاهده می شود که در حدود ۵۰ سانتیمتری از نمونه فاصله مناسبی برای انجام آزمایش ها است. همچنین نرخ دز نمونه پس از چهل روز تابش دهی برای بازه زمانی ۱۰۰ روزه بدست آمد. مانند بازه زمانی ۲۵ روز مشاهده شد که استاندارد Claiborne & Trubey استفاده شده است و در شکل ۵ نرخ دز نمونه در فواصل مختلف با استفاده از این استاندارد نمایش داده شده است. مشاهده می شود که پس از گذشت ۲۰ روز از تابش دهی تغییرات نرخ دز نمونه به شکل بسیار کم می باشد.



شکل ۴- نرخ دز نمونه تابش دیده به مدت ۲۵ روز در بازه ۱۰۰ روز پس از تابش دهی با استفاده از استاندارد Claiborne & Trubey در فواصل متفاوت



شکل ۵- نرخ دز نمونه تابش دیده به مدت ۴۰ روز در بازه ۱۰۰ روز پس از تابش دهی با استفاده از استاندارد Claiborne & Trubey در فواصل متفاوت

#### محاسبات محفظه انتقال

با توجه به بالاتر بودن نرخ دز نمونه‌ها در ۴۰ روز تابش دهی محاسبات برای محفظه نگه‌دارنده و انتقال نمونه‌های تابش دیده انجام می‌گیرد و محفظه‌ای مکعبی از جنس سرب با ضخامت‌های ۰/۵ سانتیمتر تا ۲/۵ سانتیمتر در نظر گرفته شده است. نرخ دز در فواصل ۰/۱، ۱، ۱۰، ۵۰ و ۱۰۰ سانتیمتری از سطح محفظه بدست آمده و محاسبات برای دزیمتری محفظه نگه‌دارنده برای ۲۰ روز پس از اتمام تابش دهی و با استفاده از استاندارد Claiborne & Trubey انجام شده است. در جدول ۲ مقادیر نرخ دز محفظه در فواصل مختلف و با ضخامت‌های متفاوت از محفظه سربی نشان داده شده است. مشاهده می‌شود که در فاصله ۵۰ و ۱۰۰ سانتیمتری از محفظه، مقادیر نرخ دز بسیار مناسب می‌باشد. همچنین با توجه به محاسبات انجام شده ضخامتی در حدود ۲ سانتیمتر از سرب می‌توان برای انتقال ایمن نمونه‌ها مورد استفاده قرار گیرد.



جدول ۲- نرخ دز محفظه سربی در فواصل و ضخامت های مختلف

نرخ دز (Sv/h)					
ضخامت (cm)	فاصله (cm)				
	0.1	1	10	50	100
0	9.37E-03	4.00E-03	2.00E-04	1.04E-05	2.53E-06
0.5	7.47E-04	4.06E-04	3.18E-05	1.79E-06	4.68E-07
1	2.93E-04	1.72E-04	1.63E-05	9.74E-07	2.57E-07
1.5	1.32E-04	7.82E-05	8.68E-06	5.50E-07	1.46E-07
2	6.12E-05	3.73E-05	4.74E-06	3.17E-07	8.51E-08
2.5	2.68E-05	1.83E-05	2.63E-06	1.85E-07	5.02E-08

### نتیجه گیری

در این مقاله، برای اولین بار به محاسبات نرخ دز نمونه تابش دیده به منظور آزمایش مقاومت خمشی گرافیت راکتور تهران پرداخته شده است. محاسبات با استفاده از دو کد ORIGEN و MCNPX صورت پذیرفت. محاسبات دز با استفاده از استاندارد Claiborne & Trubey صورت گرفته است. مقادیر ناخالصی نمونه آزمایش با استفاده از روش‌های تجربی XRF و ICP-AES به دست آمده است. در نهایت محاسبات مربوط به محفظه نگه‌دارنده و انتقال مناسب برای نمونه‌ها انجام گرفته است. با توجه به نتایج بدست آمده محفظه‌ای به ضخامت ۲ سانتیمتر از سرب می‌توان نمونه‌ها را با رعایت موارد ایمنی مناسب انتقال داد. همچنین نمونه‌ها پس از گذشت ۲۰ روز از تابش دهی با رعایت فواصلی در حدود ۵۰ سانتیمتر دارای دز مناسب ( $> 20 \text{ mSv/y}$ ) برای انجام آزمایش‌ها می‌باشند.

### مراجع:

- [1] Kelly, B.T., Graphite—the most fascinating nuclear material. Carbon, 1982. 20(1): p. 3-11.
- [2] Atsumi, H., T. Tanabe, and T. Shikama, Bulk hydrogen retention in neutron-irradiated graphite at elevated temperatures. Journal of Nuclear Materials, 2009. 39 :p. 581-584.
- [3] Hubert, C., et al., Swift heavy ion-induced radiation damage in isotropic graphite studied by micro-indentation and in-situ electrical resistivity. Nuclear Instruments and Methods in Physics Research Section B: Beam Interactions with Materials and Atoms, 2015. 365: p. 509-514.





بیست و پنجمین کنفرانس هسته‌ای ایران

۲۰۱ اسفندماه ۱۳۹۲ - دانشگاه آزاد اسلامی (واحد بوشهر)



- [4] ASTM, Standard Test Method for Flexural Strength of Manufactured Carbon and Graphite Articles Using Three-Point Loading at Room Temperature. 2015.
- [5] Pelowitz, DB: MCNPX 2.6.0 manual, LANL, LA-CP-07-1473. Los Alamos National Laboratory, 2008.
- [6] Bell, M., ORIGEN: the ORNL isotope generation and depletion code. 1973, Oak Ridge National Lab., Tenn.(USA).
- [7] Institute, N.S.T.R., TRR-FSAR-New Edition.