



# بیست و یکمین کنفرانس هشتای ایران

۷ و ۶ اسفند ماه ۱۳۹۳ دانشگاه اصفهان

## عنوان مقاله: محاسبه ضریب دنکوف سیاه در مجتمع سوخت PWR, با استفاده از روش Neutron current method

علی محمدی<sup>۱</sup>، حسین کیانی<sup>۲</sup>

<sup>۱</sup> سازمان انرژی اتمی، شرکت راهکار صنایع نوین

<sup>۲</sup> دانشگاه شهید بهشتی تهران - دانشکده مهندسی هسته ای گروه راکتور

### چکیده:

در اغلب کد های هسته ای از رابطه هم ارزی بین یک ناحیه همگن و غیر همگن به منظور محاسبه خود حفاظی رزونانس استفاده می شود. در محاسبه خود حفاظی رزونانس به عنوان یک تقریب معمولاً یک میله - صفحه یا گلوله سوخت را در نظر گرفته و تاثیر سایر سوخت های اطراف را با وارد کردن یک ضریب تصحیح کننده که ضریب دنکوف نامیده می شود، تصحیح می کنند. در این مقاله برآنیم که با استفاده از کدهای *MCNP, DRAGON* مقادیر ضریب دنکوف سیاه را برای یک مجتمع سوخت PWR محاسبه نماییم و به مقایسه ی آن با مرجع ذکر شده بپردازیم.

کلید واژه: ضریب دنکوف سیاه، سطح مقطع پس زمینه، *PWR, NJOY, MCNP, DRAGON*

### مقدمه:

هنگامی که شارنوترون تابع پیچیده ای از مکان یا زاویه باشد تقریب های درجه پایین معادله ترانسپورت مانند معادله دیفیوژن،  $S_n, P_n$  نمی توانند جواب های مناسبی ارائه دهند. در چنین حالتی بجای استفاده از تقریب های با درجه بالاتر می توان از روش احتمال برخورد استفاده کرد. تعیین محل آتی برخورد نوترون حاصل از شکافت جهت تعیین ضریب تکثیر و محاسبه شار کاهش یافته بر اثر جذب رزونانس در انتگرال رزونانس بسیار اساسی بوده و جز پاسخ های اصلی روش احتمال برخورد محسوب می شود. در محاسبات خود حفاظی رزونانس به عنوان یک تقریب مناسب، معمولاً یک میله سوخت را در کند کننده نامتناهی (اگر محیط از دو بخش تشکیل شده باشد) در نظر می گیرند و اثر سوخت های اطراف را با وارد کردن یک ضریب تصحیح کننده که ضریب دنکوف نامیده می شود، اعمال می کنند. احتمال رسیدن نوترون که با توزیع مشخصی بر روی سوخت تولید شده است، به سوخت های اطراف به شرط آنکه هیچ برخوردی با کند کننده و غلاف نداشته باشد را ضریب تصحیح دنکوف می نامند. همچنین براساس اینکه سوخت های اطراف قابلیت عبور نوترون را داشته و یا نوترون به محض ورود به آنها جذب سوخت شود ضرائب دنکوف مختلفی خواهیم داشت. در حالی که سوخت توانایی عبور نوترون را داشته باشد ضریب دنکوف را خاکستری<sup>۱</sup> و در حالی که نوترون به محض ورود به سوخت جذب آن شود این ضریب، سیاه<sup>۲</sup> نامیده می شود. با توجه به اینکه سوخت راکتور در ابتدای سیکل کاری، حاوی مقادیر بیشتری از سوخت شکافا

<sup>۱</sup> Gray

<sup>۲</sup> Black



## بیست و یکمین کنفرانس هسته‌ای ایران

۶ و ۷ اسفند ماه ۱۳۹۳، دانشگاه اصفهان

است و با احتمال بالاتری نوترون را جذب می کند، ضریب دنکوف سیاه خواهیم داشت. بتدریج با مصرف سوخت شکافا و تولید محصولات شکافت با سطح مقطع جذب پایین تر، احتمال عبور نوترون بیشتر شده و در نتیجه ضریب دنکوف خاکستری خواهیم داشت. در اغلب کد های محاسبات هسته ای، ضریب تصحیح دنکوف بصورت خودکار توسط کد محاسبه می شود و کاربر هیچگونه اطلاعی از میزان تقریب بکار رفته ندارد.

### روش کار

یک روش ساده و موثر برای محاسبه ضریب دنکوف سیاه ( $\Sigma_{ff} \rightarrow \infty$ ) در هندسه پیچیده که شامل سه ناحیه با مواد مختلف (به عنوان مثال سوخت، غلاف و کند کننده) است را ارائه می دهیم. در این روش مقدار ضریب دنکوف با توجه به دو محاسبه ترابرد نوترون برای مسائل یک گروهی با چشمه ی ثابت انجام می شود. یک محاسبه ترابرد در یک سیستم شبکه و دیگری برای یک سیستم ایزوله انجام می شود. سیستم ایزوله به مفهوم یک پین سوخت در مقدار بینهایت از کند کننده است. [1], [2], [3]

با توجه به تعریف ضریب دنکوف  $D$  از روی ضریب تصحیح دنکوف  $C$  که در رابطه زیر آورده شده است:

(۱)

$$D = 1 - C$$

یک پین سوخت با مقدار بینهایت کند کننده را در نظر می گیریم و آن را سیستم ایزوله تعریف می کنیم. و سوخت سیاه را به مفهوم اینکه نوترون های وارد شده به ناحیه سوخت اغلب جذب می شوند تعریف می - نمایم. تعداد نوترون هایی که از طریق سطح میله سوخت وارد میله سوخت می شوند را  $I_0$  در نظر می - گیریم، همچنین سیستم شبکه را به صورت میله های مشابهی که در اطراف میله سوخت مورد بررسی است در نظر می گیریم، در سیستم شبکه اغلب نوترون ها توسط میله های سوخت که در اطراف میله مورد بررسی است، جذب می شوند، به عبارتی میله های دیگر حفاظی برای میله مورد نظر ما هستند. تعداد نوترون هایی که در سیستم شبکه وارد میله سوخت مورد نظر ما می شوند را  $I$  می نامیم. ضریب تصحیح دنکوف مطابق رابطه زیر بیان می گردد:

$$C = \frac{I_0 - I}{I_0} \quad (۲)$$

ما با استفاده از رابطه ی اخیر و رابطه ی (۱) به محاسبه ی جریان ورودی در دو سیستم ایزوله و شبکه با کد محاسباتی MCNP می پردازیم، به دلیل وجود سوخت سیاه ( $\Sigma_{ff} \rightarrow \infty$ )، نوترون در یک سوخت نمی تواند فرار کند، بنابراین  $I_0$  و  $I$  مستقل از شدت چشمه در میله های سوخت هستند. بنابراین تعداد نوترون هایی که وارد میله سوخت می شوند متناسب با فلاکس در یک پین سوخت است. پس می توان نوشت:

$$C = \frac{I_0 - I}{I_0} = \frac{\phi_0 - \phi}{\phi_0} \quad (۳)$$



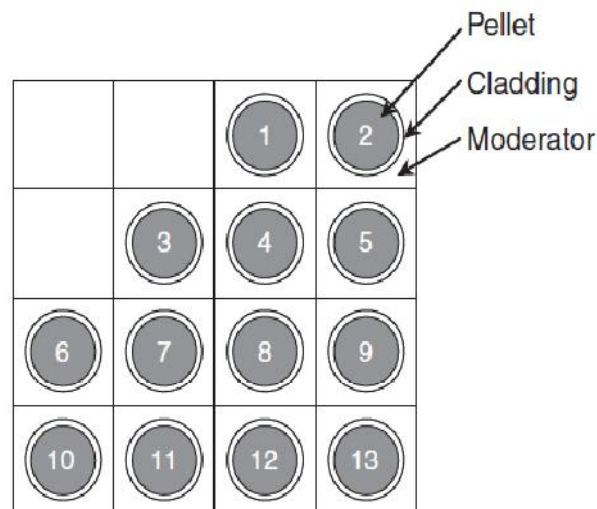
## بیست و یکمین کنفرانس هشتای ایران

۶ و ۷ اسفند ماه ۱۳۹۳، دانشگاه اصفهان

همچنین با استفاده از رابطه ی اخیر که برحسب شار محاسبه شده ، ما به محاسبه شار در دو سیستم ایزوله و شبکه با کد محاسباتی DRAGON می پردازیم،  $\phi_0$  مقدار فلاکس در پین سوخت مورد بررسی در یک سیستم ایزوله و نیز  $\phi$  مقدار فلاکس در پین سوخت مورد بررسی در یک سیستم شبکه است.

نتایج

از آنجا که هدف از این قسمت بدست آوردن ضریب دنکوف سیاه، با استفاده از کد های *MCNP, DRAGON* و محاسبات یک گروهی است ، نتایج محاسبات را با نتایج مرجع [1] مقایسه می نماییم، برای این منظور مجتمع سوخت زیر رادر نظر می گیریم ، اطلاعات مربوط به این مجتمع سوخت در جدول (۱) بیان شده است.



شکل (۱) هندسه چیدمان میله های سوخت [1]

جدول (۱) : مشخصات مجتمع سوخت [1]

Pitch(cm)	1.2600
Lattice geometry	square
moderator	H2O
fuel material	UO2 (4.1 wt% enrichment)
radius of fuel rods(cm)	0.4025
clad material	Zr
clad isotopic concentration( $10^{24}$ atoms /cm <sup>3</sup> )	0.043241
outer radius of clad(cm)	0.4750
thickness of clad (cm)	0.0725



# بیست و یکمین کنفرانس هسته‌ای ایران

۶ و ۷ اسفند ماه ۱۳۹۳ دانشگاه اصفهان

macroscopic total cross section for fuel (cm <sup>-1</sup> )	1E+04
macroscopic potential cross section for clad (cm <sup>-1</sup> )	0.2943
macroscopic potential cross section for moderator (cm <sup>-1</sup> )	1.0350

جدول (۲) نتایج محاسبات

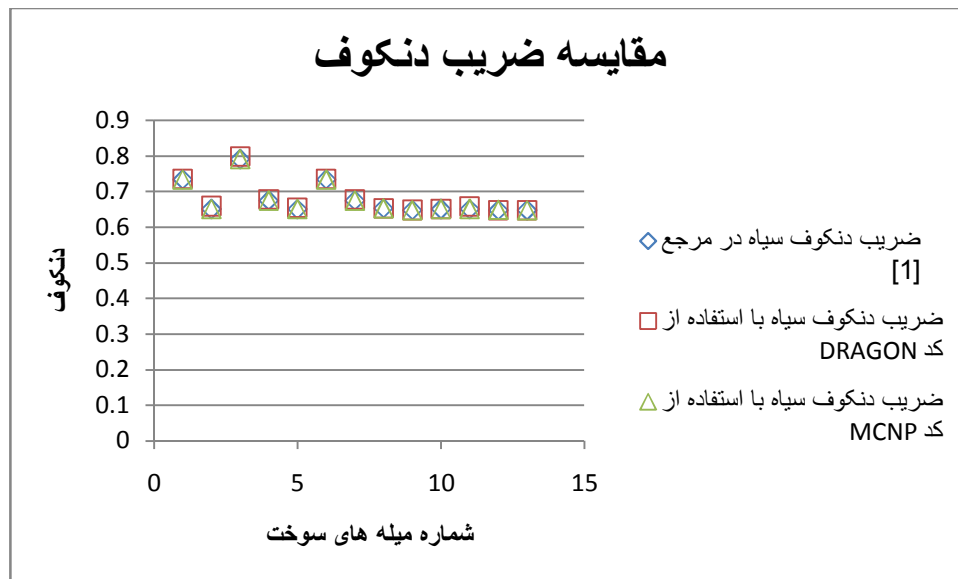
شماره میله سوخت	ضریب دنکوف سیاه در مرجع [۱]	ضریب دنکوف سیاه با استفاده از کد DRAGON [4]	ضریب دنکوف سیاه با استفاده از کد MCNP [5]	درصد اختلاف نسبی محاسبات با استفاده از کد DRAGON با مرجع [۱]	درصد اختلاف نسبی محاسبات با استفاده از کد MCNP با مرجع [۱]
1	0.7345	0.7358	0.7343	0.1769912	0.0272294
2	0.6512	0.6595	0.6514	1.274570	0.0307125
3	0.7916	0.7984	0.7917	0.8590197	0.0126326
4	0.6751	0.6791	0.6752	0.5925048	0.0148126
5	0.6511	0.6558	0.6512	0.7218553	0.0153586
6	0.7345	0.7358	0.7342	0.1769912	0.0408441
7	0.6751	0.6791	0.6753	0.5925048	0.0296252
8	0.6539	0.6538	0.6533	0.0152929	0.0917571
9	0.6480	0.6489	0.6481	0.1388889	0.0154321
10	0.6512	0.6514	0.6517	0.0307125	0.0767813
11	0.6511	0.6586	0.6518	1.1518968	0.1073949
12	0.6480	0.6486	0.6487	0.0925926	0.1079081
13	0.6479	0.6482	0.6477	0.0463034	0.0308785

در شکل زیر مقایسه ای بین ضرایب دنکوف با استفاده از مقادیر بدست آمده در کد های مورد بررسی و مقادیر محاسبه شده در مرجع [1] بعمل آمده است.



# بیست و یکمین کنفرانس هشتای ایران

۶ و ۷ اسفند ماه ۱۳۹۳ دانشگاه اصفهان



شکل شماره (۲)

## بحث و نتیجه گیری:

روش جریان نوترون در محاسبه ی ضرائب دنکوف دو مزیت نسبت به روش احتمال برخورد دارد:

۱- قابلیت انطباق برای حالت هایی با هندسه پیچیده در مقیاس بزرگ دارد.

۲- زمان محاسبات در این روش بسیار کوتاهتر از روش احتمال برخورد است.

بنابراین این روش یک روش مناسب برای محاسبه ضریب دنکوف به حساب می آید که با استفاده از آن می-توان سطح مقطع پس زمینه را محاسبه نمود. و همچنین با استفاده از این سطح مقطع پس زمینه می توان به محاسبه ی سطوح مقاطع رزونانسی هسته های رزونانسی (مانند  $U^{238}$ ) با استفاده از تئوری برابری [3] پرداخت، و یا حتی می توان از آن در بدست آوردن انتگرال های رزونانس با قرار دادن این سطح مقطع پس زمینه در ورودی کد NJOY برای هسته ی رزونانسی مورد بررسی در دمای دلخواه (برحسب کلوین)، استفاده نمود.

## مراجع:

Evaluation of Background Cross Section for Heterogeneous and , [1] Akio YAMAMOTO Complicated Geometry by the Enhanced Neutron Current Method , Journal of nuclear science and technology, 45, 12, 1287-1292 , 2008

[2] Naoki SUGIMURA and Akio YAMAMOTO, Evaluation of Dancoff Factors in complicated geometry using the method of characteristics, Journal of nuclear science and technology, 43, 10, 1182-1187, 2006

[3] Dan Gabriel Cacuci, Nuclear Engineering Fundamentals, springer , 3642 , 2010

[4] G. Marleau, A. Hébert and R. Roy, a user guide for dragon version4, Institut de genie nucleaire Departement de genie mecanique Ecole Polytechnique de Montreal, 313 , 2014



# بیست و یکمین کنفرانس هسته ای ایران

۷ و ۶ اسفند ماه ۱۳۹۳ دانشگاه اصفهان

[5] Denise B. Pelowitz, mcnpx user's manual, los alamos national security , 551 , 2008