جهت تهیه فایل WORD این مقاله به سایت DaneshResan.com مراجعه نمایید و عنوان مقاله را جستجو کنید
بیش از ۲ میلیون مقاله فارسی در این سایت موجود میباشد

محاسبه کسر مؤثر نوترون‌های تأخیری در راکتورهای هسته‌ای به روش مونت کارلو

شایسته،محسن – عسگری، منصور – آذرخلیلی،رضا* – میرزاده،عبدالعظیم –عشقی،مهدی

دانشگاه امام حسین(ع) ، دانشکده علوم و پایه، گروه فیزیک

چکیده:

در این تحقیق برای محاسبه کسر مؤثر نوترون‌های تأخیری از یک روش تقریبی استفاده می‌شود که این تقریب، معادله‌ای است از نسبت ویژه مقدارهای ضریب تکثیر مؤثر سیستم. یکی از ویژه مقدارها با استفاده از نوترون‌های آنی (Prompt) و دیگری با استفاده از کل نوترون‌ها محاسبه می‌شوند. از آنجایی که این روش بر مبنای محاسبه ضریب تکثیر مؤثر سیستم می‌باشد، ابتدا با محاسبه ضریب تکثیر مؤثر چند راکتور و مقایسه آنها با نتایج کد MCNP ، روش خود را در محاسبه ضریب تکثیر مؤثر محک زده و به نتایج خوبی رسیدیم، سپس مقدار کسر مؤثر نوترون‌های تأخیری را برای دو راکتور آزمایشگاهی محاسبه نموده و تطابق خوبی بین نتایج حاصل از محاسبات و نتایج تجربی و نتایج سایر محاسبات انجام شده مشاهده شد.

کلمات کلیدی:

Monte Carlo Method, Effective Delayed Neutron Fraction, K-eigenvalues ,Prompt Method, Delayed Neutron

مقدمه :

کسر مؤثر نوترون‌های تاخیری(β_{eff}) یکی از مهمترین پارامترهای سینتیکی راکتور است.تخمین مقدار دقیق این کمیت برای تعیین راکتیویته و همچنین ضریب تکثیر مؤثر سیستم(k_{eff}) لازم است.این کمیت مهم را می توان بصورت نسبت میزان تولید نوترون‌های تأخیری به میزان تولید کل نوترون‌ها بدست آورد (keepin,1965) [1]. در روش دیگر می‌توان این کمیت مهم را از جواب‌های ویژه مقدار ضریب تکثیر مؤثر سیستم بدست آورد. کد محاسباتیMCNP4C نیز با همین روش ویژه مقداری(روش آنی) این کمیت را محاسبه می‌نماید[2] که این امر مستلزم تغییراتی در چشمه این کد می‌باشد. ما این کمیت مهم را به روش آنی و با استفاده از روش مونت کارلو و نوشتن برنامه کامپوتری محاسبه می‌نماییم.

جهت تهیه فایل WORD این مقاله به سایت DaneshResan.com مراجعه نمایید و عنوان مقاله را جستجو کنید
بیش از ۲ میلیون مقاله فارسی در این سایت موجود میباشد

روش کار :

میزان تولید کل نوترون‌ها (p_{eff}) و نوترون‌های تأخیری($p_{d,eff}$) از روابط زیر محاسبه می‌شود[1] :

$$p_{eff} = \int \psi(\vec{r},E',\Omega')\,\chi(E')\nu(E)\Sigma_F(\vec{r},E)\varphi(\vec{r},E,\Omega)\,dE\,d\Omega\,dE'\,d\Omega'\,d\vec{r} \qquad (۱)$$

$$p_{d,eff} = \int \psi(\vec{r},E',\Omega')\,\chi_d(E')\nu_d(E)\Sigma_F(\vec{r},E)\varphi(\vec{r},E,\Omega)\,dE\,d\Omega\,dE'\,d\Omega'\,d\vec{r} \qquad (۲)$$

$\psi(\vec{r},E',\Omega')$ نشان دهنده تابع الحاقی (تابع اهمیت) نوترون‌ها، $\chi(E')$ نشان دهنده طیف انرژی کل نوترونها، $\chi_d(E')$ نشان دهنده طیف انرژی نوترون‌های تأخیری، $\nu(E)$نشان دهنده میانگین نوترون‌های آزاد شده به ازای شکافت، برای نوترون فرودی با انرژی E، $\Sigma_F(\vec{r},E)$نشان دهنده سطح مقطع ماکروسکوپیک شکافت نوترون با انرژی E و مکان $\vec{r}$ و φ نشان دهنده شار نوترونی می‌باشد. اکنون اگر رابطه ۲ را بر رابطه ۱ تقسیم کنیم، حاصل همان کسر مؤثر نوترون‌های تأخیری می‌باشد که در کتاب keepin به آن اشاره شده است[1]:

$$\beta_{eff} = \frac{p_{d,eff}}{p_{eff}} \qquad (۳)$$

با استفاده از این نکته که $\nu_p = \nu - \nu_d$ می توان رابطه (۳) را بصورت زیر نوشت[3]:

$$\beta_{eff} = \frac{<\chi_d\nu_d>}{<\chi\nu>} = 1-\frac{<\chi\nu-\chi_d\nu_d>}{<\chi\nu>} = 1-\frac{<\chi(\nu_p+\nu_d)-\chi_d\nu_d>}{<\chi\nu>} = 1-\frac{<\nu_p\chi+\chi\nu_d-\chi_d\nu_d>}{<\chi\nu>} = 1-\frac{<\chi\nu_p-(\chi_d-\chi)\nu_d>}{<\chi\nu>}$$

با توجه به این که عبارت $(\chi_d-\chi)\nu_d$ به لحظ بزرگی خیلی کوچکتر است نسبت به $\nu_p\chi$ (چرا که مقدار ν_d از مقدار ν_p خیلی کوچکتر است.) و با توجه به این که شکل χ تقریبا با شکل χ_p و شکل φ_p با تقریبا با شکل φ برابر می‌باشد، داریم[3]:

$$\beta_{eff} \simeq 1-\frac{<\chi\nu_p>}{<\chi\nu>} \simeq 1-\frac{<\chi_p\nu_p>}{<\chi\nu>} \Longrightarrow \beta_{eff} \simeq 1-\frac{k_p}{k_t} \qquad (۴)$$

همان طور که مشاهده می‌شود این روش شامل محاسبه دو ویژه مقدار k_p و k_t می‌باشد. ضریب تکثیر مؤثر سیستم را می‌توان از رابطه‌های زیر بدست آورد[4]:

$$k_{eff}^{TL} = \frac{W}{H}\times\sum_{h=1}^{H}\left[\sum_{i=1}^{C}\left(L_{h,i}\,\sum_k Df_k\,\nu_k(E)\sigma_{fk}(E)\right) + R_h\sum_k Df_k\,\nu_k(E)\sigma_{fk}(E)\right] \qquad (۵)$$

$$k_{eff}^{C} = \frac{W}{H}\times\sum_{h=1}^{H}\left[\sum_{i=1}^{C}\left(\frac{\sum_k f_{m,k}\nu_k(E)\,\sigma_{fk}(E)}{\sum_k f_{m,k}\,\sigma_{tk}(E)}\right)\right] \qquad (۶)$$

جهت تهیه فایل WORD این مقاله به سایت DaneshResan.com مراجعه نمایید و عنوان مقاله را جستجو کنید
بیش از ۲ میلیون مقاله فارسی در این سایت موجود میباشد

$$k_{eff}^{A} = \frac{W}{H} \times \sum_{i=1}^{H} \left(\frac{\nu_k(E)\sigma_{fk}(E)}{\sigma_{ck}(E)+\sigma_{fk}(E)} \right) \qquad (۷)$$

برنامه کامپیوتری که بر اساس روش مونت کارلو نوشته شده است، با ترابرد هر نوترون که از شکافت یا چشمه خارجی (در صورت وجود چشمه خارجی) آزاد می‌شود، کلیه اندرکنش‌های محتمل را شبیه سازی می‌کند.دنبال کردن نوترون تا زمانی ادامه پیدا می‌کند که نوترون نشت کند و امکان بازگشت به سیستم را نداشته باشد، یا این که نوترون جذب یکی از ایزوتوپ‌های موجود در سیستم شود. برخورد هایی که یک نوترون در طول مدت عمرخود از زمان تولید تا زمان مرگ انجام می‌دهد یا از نوع پراکندگی(کشسان، نا-کشسان) است، یا از نوع جذبی(گیر اندازی، شکافت، ....). با توجه به این موضوع می‌توان ترابرد نوترون را انجام داد. در ترابرد هر نوترون پس از هر برخورد، نمونه برداری از نوع اندرکنش انجام شده و در صورتی که برخورد از نوع جذبی باشد تاریخچه به پایان می‌رسد، در غیر این صورت ترابرد نوترون ادامه می‌یابد. هنگام محاسبه k_p فقط نوترون‌های آنی را دنبال می‌نماییم، برای این کار به صورت زیر عمل می‌نماییم:

ابتدا مشخص می‌کنیم شکافت با کدام ایزوتوپ صورت گرفته است، سپس تعیین می‌کنیم نوترون حاصل از شکافت آن ایزوتوپ خاص، آنی است، یا تأخیری که این کار با استفاده از مقدار کسر موثر نوترون‌های تأخیری هر ایزوتوپ خاص (که دارای دو مقدار متفاوت برای شکافت‌های سریع و حرارتی می‌باشند[1].) انجام می‌شود. با توجه به این موضوع که کسر مؤثر نوترون‌های تأخیری برای هر ایزوتوپ خاص فقط وابسته به نوع شکافت است(شکافت با نوترون‌های سریع یا حرارتی)، در شبیه سازی مونت کارلو با خواندن یک عددی تصادفی (عدد بین صفر تا یک) می‌توان آنی یا تأخیری بودن نوترون حاصل از شکافت یک ایزوتوپ خاص را تشخیص داد. اگر مقدار عدد تصادفی از β (کسر مؤثر نوترون‌های تأخیری هر ایزوتوپ خاص)کوچکتر باشد نوترون تأخیری است و در غیر این صورت نوترون آنی خواهد بود. مقدار β برای اکثر ایزوتوپ‌های شکافت‌پذیر در کتاب‌های هسته‌ای لیست شده است[1]. می‌توان با استفاده رابطه $\upsilon_p = \upsilon_t \times (1-\beta)$ مقدار نوترون های آنی را برای هر ایزوتوپ خاص بدست آورد. با توجه به این که مقدار β مشخص است، اگر بخواهیم مسئله را بصورت چند گروه انرژی حل نماییم(انرژی گسسته) با داشتن υ_t هر گروه، می‌توان مقدار υ_p هر گروه انرژی را محاسبه نمود.

شبیه سازی مونت کارلوی که برای محاسبه کسر مؤثر نوترون‌های تأخیری انجام شده است، خطای آماری هریک از دو ویژه مقدار ضریب تکثیر مؤثر سیستم را محاسبه می‌نماید[4] و با استفاده از این خطاهای آماری، خطای آماری کسر مؤثر نوترون‌های تأخیری را از رابطه (۸) بدست می‌آورد.

$$\beta_{eff} = 1 - \frac{k_p}{k_t} \Rightarrow \ln\beta_{eff} = \ln(k_t - k_p) - \ln(k_t) \Rightarrow \Delta\beta_{eff} = \beta_{eff} \times \left((\Delta k_t - \Delta k_p)/(k_t - k_p) + \Delta k_t / k_t \right) \qquad (۸)$$

نتایج :

در ابتدا برای اینکه روش خود را برای محاسبه ضریب تکثیر مؤثر سیستم محک بزنیم، چند راکتور با هندسه و سوخت معین در نظر می‌گیریم و مقدار ضریب تکثیر آنها (k_t) را بدست می‌آوریم. در این محاسبات از

سطح مقطع‌های ۶ گروهی Hansen [5] استفاده می‌نماییم و نتایج محاسبات را با نتایج کد محاسباتی MCNP مقایسه می‌کنیم. نتایج در جدول شماره (۱) مندرج است. تطابق نتایج محاسبات و نتایج کدMCNP کاملا واضح است. خصوصیت راکتورهایی که مور برسی قرار گرفته‌اند، به لحاظ سوخت و هندسه به صورت زیر است:

۱ – راکتور سریع به شکل مکعب با طول، عرض و ارتفاع ۱۴/۸۰ سانتیمتر و چگالی جرمی ۱۸/۷۵ گرم بر سانتیمتر مکعب. سوخت شامل اورانیوم ۲۳۵ با غنای جرمی ۹۴/۱ درصد و بقیه آن از اورانیوم ۲۳۸ می‌باشد.

۲– راکتور سریع به شکل استوانه با شعاع و ارتفاع ۱۱/۰۸ و ۱۰/۰۰ سانتیمتر و چگالی جرمی ۱۸/۷۵ گرم بر سانتیمتر مکعب. سوخت شامل اورانیوم ۲۳۵ با غنای جرمی ۹۴/۱ درصد و بقیه آن از اورانیوم ۲۳۸ می‌باشد.

۳ – راکتور سریع با قلب استوانه‌ای شکل به شعاع و ارتفاع ۹/۵۶ و ۱۰/۰۰ سانتیمتر و چگالی جرمی ۱۸/۷۵ گرم بر سانتیمتر مکعب و یک بازتابنده استوانه‌ای شکل با ضخامت و ارتفاع ۴/۴۴ و ۱۰/۰۰ سانتیمتر و چگالی جرمی ۱۸/۸۰گرم بر سانتیمتر مکعب. قلب راکتور شامل اورانیوم ۲۳۵ با غنای جرمی ۹۴/۱ درصد و بقیه آن از اورانیوم ۲۳۸ می‌باشد. بازتابنده شامل اورانیوم طبیعی است.

۴ – راکتور سریع به شکل مکعب مستطیل با طول، عرض وارتفاع ۰۰/ ۲۸ و ۲۸/۰۰ و۱۰/۰۰ سانتیمتر، قلب راکتور به صورت استوانه‌ای به شعاع و ارتفاع ۹/۳۸ و ۱۰/۰۰ سانتیمتر و چگالی ۱۸/۷۵ گرم بر سانتیمتر مکعب در مرکز این مکعب واقع است و بقیه فضای مکعب که دارای چگالی جرمی ۱۸/۸۰ گرم بر سانتیمتر مکعب می‌باشد به عنوان بازتابنده عمل می کند. قلب راکتور شامل اورانیوم ۲۳۵ با غنای جرمی ۹۴/۱ درصد و بقیه آن از اورانیوم ۲۳۸ می‌باشد. بازتابنده شامل اورانیوم طبیعی است.

جدول ۱– مقایسه نتایج بدست آمده از برنامه کامپیوتری و نتایج کد محاسباتی MCNP برای ضریب تکثیر مؤثر راکتور.

شماره راکتور	k_{eff} محاسبه شده	k_{eff} با MCNP
۱	۱/۰۰۰۴±۰/۰۰۰۲	۰/۹۹۸۴±۰/۰۰۰۲
۲	۱/۰۰۰۴±۰/۰۰۰۲	۰/۹۹۷۵±۰/۰۰۰۲
۳	۱/۰۰۰۹±۰/۰۰۰۲	۱/۰۰۰۷±۰/۰۰۰۲
۴	۱/۰۰۰۱±۰/۰۰۰۲	۰/۹۹۹۱±۰/۰۰۰۳

برای ارزیابی نتایج حاصل از محاسبه کسر مؤثر نوترون‌های تأخیری، این کمیت را برای دو راکتور آزمایشگاهی محاسبه می‌کنیم [6,7] و نتایج حاصل از آنها را با نتایج تجربی مقایسه می‌نماییم. در این محاسبات از سطح مقطع‌های ۶ گروهی Hansen [5] استفاده شده است و نتایج محاسبات و نتایج تجربی[3] و خطای هر یک از آنها برحسب pcm (pcm= ۰/۰۰۰۰۱) در جدول ۲ مندرج است.

جدول ۲– مقادیر تجربی کسر مؤثر نوترون‌های تأخیری و نتایج بدست آمده از روش آنی برحسب pcm .

راکتور	ضریب تکثیر با نوترون‌های آنی	ضریب تکثیر با کل نوترون‌ها	مقدار محاسبه شده	مقدار تجربی
[6]	۰/۹۹۰۸۹۵۷±۰/۰۰۰۳۸۷۴	۰/۹۹۷۴۷۶۶±۰/۰۰۰۳۸۸۹	۶۵۹±۰/۴	۶۵۹±۱۰
[7]	۰/۹۹۰۷۳۲۰±۰/۰۰۱۶۵۴۸	۰/۹۹۷۶۴۴۱±۰/۰۰۱۶۶۳۹	۶۹۲±۲	۶۶۵±۱۳

اکنون برای اینکه نتیجه محاسبات خود را با نتایج دیگر محاسباتی که با همین روش اما با کتابخانه‌های متفاوت به محاسبه کسر موثر نوترون‌های تأخیری پرداخته اند، مقایسه کنیم، جدول ۳ را فراهم می نماییم. در این جدول نتایج برای هر کتابخانه به صورت C/E (نسبت مقدار محاسبه شده به مقدار تجربی) گزارش می‌شود و نتایج کتابخانه Hansen توسط خودمان و نتایج کتابخانه‌های دیگر از مقاله ای استخراج شده است[3] .

جدول ۳– مقایسه نتایج کسر مؤثر نوترونهای بدست آمده از کتابخانه *Hansen* و نتایج بدست آمده از چند کتابخانه متفاوت با استفاده از روش آنی.

REACTOR	C/E (HANSEN)	C/E (JEEF-3.0)	C/E ENDF/B-VI.8	C/E JENDL-3.3
[6]	۱/۰۰±۰/۰۱	۰/۹۹±۰/۰۲	۰/۹۷±۰/۰۲	۱/۰۰±۰/۰۲
[7]	۱/۰۴±۰/۰۲	۱/۰۴±۰/۰۲	۱/۰۵±۰/۰۳	۱/۰۴±۰/۰۲

بحث و نتیجه گیری :

باوجود این که که روش آنی یک روش تقریبی است و نیاز به محاسبه دو ویژه مقدار دارد(نیاز به زمان بیشتر برای محاسبات) اما با مقایسه نتایج محاسباتی و نتایج تجربی درمی‌یابیم که این روش نتایج بسیار خوبی را هم برای راکتورهای بدون بازتابنده و هم راکتورهای دارای بازتابنده می‌دهد. جدول ۲ نشان می‌دهد که مقادیر محاسبه شده توسط کتابخانه Hansen [5] با مقادیر محاسبه شده توسط سایر کتابخانه‌هایی که در جدول ۲ آمده است، تطابق بسیار خوبی دارد.

مراجع :

[1] G.R. Keepin , "Physic of Nuclear Kinetics" ,Aadision-Wesley Publishing Company,inc.,reading,(1965) PP. 73-129,161-168

[2] "MCNP Monte Carlo N-Particel Transport Code System,version 4C2,"Los Alamos National Laboratory (2001)

[3] R. Klein Meulekamp,S.C vander Marck, "Calculating the effective delayed neutron fraction with Monte Carlo , Nuclear Science and Engineering 152 (2006),PP. 142-148

[4] Shayesteh .M, Shahriari .M and Raisali .G, Simulation of time dependent neutron transport in fission reactors using Monte-Carlo method, Journal of Nuclear Science and technology 39(2007), PP.1-8

[5] Hansen,G.E, Roach, W.H, six and sixteen group cross sections for fast and intermediate critical assemblies . LAMS- 2543 , Los Alamos Scientific Laboratory

[6] R.E. Peterson, G.A. Newby, "An Unreflected U-235 Critical Assembly" , Nuclear Science and Engineering : 1,112, 1956

[7] R.H. White, "Topsy, An Remotely Controlled Critical Assembly Machine" , Nuclear Science and Engineering : 1,53 , 1956