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

محاسبه‌ی پارامترهای دینامیکی در راکتورهای هسته‌ای با استفاده از روش مونت کارلو

محسن شایسته – رضاآذرخلیلی* – محسن حسین نژاد– محمد رضا عباس نژاد– مصطفی احمدی

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

چکیده:

در این تحقیق به منظور محاسبه‌ی پارامترهای دینامیکی یک سیستم تکثیر کننده نوترونی (راکتور) ،یک برنامه کامپیوتری با نام NTMC طراحی شده است. برنامه کامپیوتری NTMC با استفاده از روش مونت کارلو، دو پارامتر دینامیکی کسر مؤثر نوترون‌های تأخیری (β_{eff}) و متوسط زمان تولید نوترون (Λ) را برای راکتورهای هسته‌ای محاسبه می‌نماید. به منظور محک زدن برنامه کامپیوتری NTMC، دو پارامتر دینامیکی β_{eff} و Λ را برای چندین راکتور تحقیقاتی محاسبه و نتایج آنرا با نتایج کد محاسباتی MCNP ٤C و مقادیر تجربی مقایسه نمودیم و تطابق خوبی بین نتایج حاصل از برنامه NTMC ، مقادیر تجربی و نتایج کد محاسباتی MCNP ٤C مشاهده شد.

کلمات کلیدی:

Monte Carlo Method, Effective Delayed Neutron Fraction, Mean neutron generation time

مقدمه:

کسر مؤثر نوترون‌های تأخیری (β_{eff}) یکی از مهمترین پارامترهای دینامیکی راکتور می‌باشد. آگاهی از مقدار کسر مؤثر نوترون‌های تأخیری برای بررسی رفتار راکتور در حالت گذار، بسیار حائز اهمیت است و نقش بسیار مهمی را در کنترل راکتور ایفا می‌کند. این کمیت مهم را می توان بصورت نسبت میزان تولید نوترون‌های تأخیری به میزان تولید کل نوترون‌ها بدست آورد [۱]. در روش دیگر می‌توان این کمیت مهم را از جواب‌های ویژه مقادیر ضریب تکثیر مؤثر سیستم محاسبه نمود (روش‌های آنی و Spriggs)[۲,۳]. اگر بخواهیم این پارامتر دینامیکی را با استفاده از کد محاسباتی MCNP٤C و بدون ایجاد تغییرات در چشمه (سورس) این کد محاسبه نماییم، باید از روش آنی[۱] برای انجام محاسباتمان استفاده نماییم و این تنها روشی است که در آن کد محاسباتی MCNP٤C نیازی به تغییرات در چشمه‌اش ندارد [۲]. دومین پارامتر دینامیکی راکتور که نقش مهمی در توصیف رفتار زمانی جمعیت نوترونی دارد، متوسط زمان تولید نوترون (Λ) می‌باشد. این کمیت بصورت نسبت طول عمر نوترون‌های آنی به ضریب تکثیر مؤثر سیستم تعریف می‌شوند[٤]. برای محاسبه این پارامتر به روش مونت کارلو، روش‌های مختلفی در مقالات ارائه شده است[٥]. این کمیت را می‌توان با استفاده از کد محاسباتی MCNP٤C و با ایجاد تغییراتی در چشمه (سورس) این کد محاسبه نمود[٥]. همانطور که اشاره شد هر دو پارامتر دینامیکی β_{eff} و Λ که توسط کد محاسباتی NTMC[۲] به روش مونت کارلو محاسبه می‌شوند، با ایجاد تغییراتی در چشمه (سورس) کد محاسباتی MCNP٤C نیز قابل محاسبه می‌باشند. اما مزیت و برتری کد محاسباتی NTMC نسبت به کد محاسباتی MCNP٤C در این است که چشمه کد محاسباتی NTMC در اختیار مؤلفان است (بر خلاف کد MCNP٤C)، بنابراین می‌توان تغییرات احتمالی را در کد NTMC اعمال نمود (بر خلاف کد MCNP٤C). به عنوان مثال با ایجاد تغییراتی در چشمه کد NTMC

---

[۱] Prompt Method
[۲] Neutron Transport Monte Carlo

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

می‌توان یک سیستم وابسته به زمان (حالت دینامیک) را بررسی نمود در حالی که چنین امری در کد محاسباتی MCNP٤C امکان پذیر نخواهد بود.

روش کار:

برنامه کامپیوتری NTMC 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. برخوردهایی که یک نوترون در طول مدت عمرخود از زمان تولید تا زمان مرگ انجام می‌دهد یا از نوع پراکندگی(کشسان، ناکشسان) 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.

ضریب تکثیر مؤثر سیستم را می‌توان با روش‌های طول مسیر[۳]، برخورد[٤] و جذب[٥] و به ترتیب با استفاده از روابط (۱) ، (۲) و(۳) محاسبه نمود [٦،٧].

$$k_{eff}^{TL} = \frac{W}{H} \times \sum_{h=1}^{H} \left[\sum_{i=1}^{C} \left(L_{h,i} \sum_{k} Df_k \nu_k(E) \sigma_{fk}(E) \right) + R_h \sum_{k} Df_k \nu_k(E) \sigma_{fk}(E) \right] \quad (۱)$$

$$k_{eff}^{C} = \frac{W}{H} \times \sum_{h=1}^{H} \left[\sum_{i=1}^{C} \left(\frac{\sum_{k} f_{m,k} \nu_k(E) \sigma_{fk}(E)}{\sum_{k} f_{m,k} \sigma_{tk}(E)} \right) \right] \quad (۲)$$

$$k_{eff}^{A} = \frac{W}{H} \times \sum_{i=1}^{H} \left(\frac{\nu_k(E) \sigma_{fk}(E)}{\sigma_{ck}(E) + \sigma_{fk}(E)} \right) \quad (۳)$$

در این روابط H نشان دهنده تعداد تاریخچه‌های نوترونی، C نشان دهنده تعداد برخوردهای نوترونی، $L_{h,i}$ نشان دهنده فاصله بین برخوردهای $i-1$ و i برای تاریخچه‌ی h ام، R_h نشان دهنده فاصله بین مرز سیستم تا محل آخرین پراکندگی برای تاریخچه‌ی h ام در صورت نشت نوترون از سیستم، D نشان دهنده چگالی اتمی، f_k نشان دهنده کسر اتمی ایزوتوپ k ام، $\nu_k(E)$ نشان دهنده تعداد نوترون‌های آزاد شده در اثر برخورد منجر به شکافت نوترونی با انرژی E با ایزوپ k ام، $\sigma_{fk}(E)$ نشان دهنده سطح مقطع میکروسکوپی شکافت وابسته به انرژی ایزوتوپ k ام، $\sigma_{tk}(E)$نشان دهنده سطح مقطع میکروسکوپی کل وابسته به ایزوتوپ k ام، $\sigma_{ck}(E)$ نشان دهنده سطح مقطع میکروسکوپی گیراندازی نوترون مربوط به ایزوتوپ k ام و m مربوط به نوع محیط برخورد (محیطی

[۳] Track Length Method
[٤] Absorption Method
[٥] Collision Method

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

که برخورد نوترون در آنجا انجام می‌شود) می‌باشد. برنامه NTMC، ضریب تکثیر مؤثر سیستم را بصورت میانگین سه روش اشاره شده، گزارش می‌نماید.

میزان تولید کل نوترون‌ها (p_{eff}) از رابطه (٤) محاسبه می‌شود[١].

$$p_{eff} = \int \Psi(\vec{r},E',\hat{\Omega}')\chi(E')\nu(E)\Sigma_F(\vec{r},E)\Phi(\vec{r},E,\hat{\Omega})dEd\hat{\Omega}dE'd\hat{\Omega}'d\vec{r} \qquad (٤)$$

و همچنین میزان تولید نوترون‌های تأخیری $(p_{d,eff})$ از رابطه (٥) محاسبه می‌گردد[١].

$$p_{d,eff} = \int \Psi(\vec{r},E',\hat{\Omega}')\chi_d(E')\nu_d(E)\Sigma_F(\vec{r},E)\Phi(\vec{r},E,\hat{\Omega})dEd\hat{\Omega}dE'd\hat{\Omega}'d\vec{r} \qquad (٥)$$

در روابط (٤) و (٥)، $\Psi\left(\vec{r},E',\hat{\Omega}'\right)$ نشان دهنده تابع الحاقی (تابع اهمیت) نوترون‌ها [٨]، $\chi(E')$ نشان دهنده طیف انرژی کل نوترون‌ها، $\chi_d(E')$ نشان دهنده طیف انرژی نوترون‌های تأخیری، $\nu(E)$ نشان دهنده میانگین نوترون-های آزاد شده به ازای هر شکافت برای نوترون فرودی با انرژی E، $\nu_d(E)$ نشان دهنده میانگین نوترون‌های تأخیری آزاد شده به ازای هر شکافت برای نوترون فرودی با انرژی E، $\Sigma_F(\vec{r},E)$ نشان دهنده سطح مقطع ماکروسکوپی شکافت برای نوترون با انرژی E و در مکان $\vec{r}$ و Φ نشان دهنده شار نوترونی می‌باشد.

اکنون اگر رابطه (٥) را بر رابطه (٤) تقسیم نماییم، مقدار کسر مؤثر نوترون‌های تأخیری از رابطه (٦) قابل محاسبه خواهد بود [١،٢]:

$$\beta_{eff} = \frac{p_{d,eff}}{p_{eff}} \qquad (٦)$$

با توجه به اینکه $\nu_p = \nu - \nu_d$ است، می‌توان رابطه (٦) را بصورت زیر نوشت[٢]:

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

در رابطه بالا، اندیس p مربوط به نوترون‌های آنی می‌باشد. با توجه به اینکه عبارت $(\chi_p - \chi)\nu_d$ به لحاظ بزرگی نسبت به $\nu_p\chi$ خیلی کوچکتر است (چون مقدار ν_d از مقدار ν_p خیلی کوچکتر است) و با فرض اینکه χ تقریباً با χ_p و Φ_p تقریباً با Φ یکسان هستند، داریم[٢]:

$$\beta_{eff} \approx 1 - \frac{\prec \chi\nu_p \succ}{\prec \chi\nu \succ} \approx 1 - \frac{\prec \chi_p\nu_p \succ}{\prec \chi\nu \succ} \qquad \beta_{eff} \approx 1 - \frac{k_p}{k_t} \quad (٧)$$

در رابطه (٧)، k_p نشان دهنده ضریب تکثیر مؤثر سیستم با نوترون‌های آنی و k_t نشان دهنده ضریب تکثیر مؤثر سیستم با کل نوترون‌ها می‌باشد. محاسبه‌ی کسر مؤثر نوترون‌های تأخیری با استفاده از رابطه (٧) به روش آنی معروف می‌باشد. نکته‌ای که در مورد محاسبه‌ی کسر مؤثر نوترون‌های تأخیری باید به آن توجه داشت این است که کسر مؤثر نوترون‌های تأخیری برای هر ایزوتوپ خاص مشخص می‌باشد و با توجه به این که شکافت با نوترون سریع انجام می‌شود یا با نوترون حرارتی، دارای دو مقدار متفاوت می‌باشد[١،٩]. بنابراین آنچه مهم است، بدست آوردن کسر

مؤثر نوترون‌های تأخیری برای یک راکتور با توزیع سوخت مشخص، که ترکیبی از ایزوتوپ‌های شکافا و شکافت پذیر است، می‌باشد. هنگام محاسبه k_p فقط نوترون‌های آنی را دنبال می‌نماییم، برای محاسبه این کمیت توسط برنامه NTMC می‌توانیم از هریک از دو روش زیر استفاده نماییم:

۱- بعد از شکافت یک ایزوتوپ خاص، با استفاده از یک عدد تصادفی، آنی یا تأخیری بودن نوترون حاصل از شکافت آن ایزوتوپ خاص را مشخص می‌نماییم. که این کار با استفاده از مقدار کسر مؤثر نوترون‌های تأخیری هر ایزوتوپ خاص انجام می‌شود. در شبیه سازی مونت کارلو با خواندن یک عددی تصادفی (بین صفر و یک) می‌توان آنی یا تأخیری بودن نوترون حاصل از شکافت یک ایزوتوپ خاص را تعیین کرد. 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 شکافا و شکافت‌پذیر در کتاب‌های راکتور داده شده است[۱،۹].

۲- بعد از شکافت یک ایزوتوپ خاص، با توجه به این موضوع که می‌دانیم، β برای هر ایزوتوپ خاص وابسته به نوع شکافت، دارای دو مقدار حرارتی و سریع می‌باشد، مقدار ν_p (تعداد نوترون‌های آنی تولید شده به ازای هر شکافت) را برای هر ایزوتوپ خاص را از رابطه‌ی زیر بدست می‌آوریم:

$$\nu_p = \nu_t \times (1-\beta) \qquad (۸)$$

در واقع در این روش، بعد از شکافت هر ایزوتوپ خاص، نیازی نیست که تعیین نماییم نوترون تولیدی آنی است یا تأخیری، چرا که با انجام این روش، به طور اتوماتیک، فقط نوترون‌های آنی هر ایزوتوپ خاص را دنبال می-نماییم. اگر مسئله را بصورت چند گروه انرژی حل نماییم با داشتن ν_tهر گروه انرژی، می‌توان مقدار ν_p هر گروه انرژی را محاسبه نمود.

برای محاسبه مقدار k_p توسط کد محاسباتی MCNP٤C، بعد از کارت چشمه، بدون هیچ فاصله به عنوان جای خالی، از دستور TOTNU NO استفاده می‌کنیم[٦].

پارامتر Λ را می‌توان به صورت نسبت طول عمر نوترون‌های آنی به ضریب تکثیر مؤثر سیستم تعریف نمود[۱،٤].

$$\Lambda = \frac{l}{k} = \frac{\int \Psi(\vec{r},E',\Omega')\chi(E')\frac{1}{\upsilon(E')}\Phi(\vec{r},E',\Omega')dE'd\Omega'd\vec{r}}{\int \Psi(\vec{r},E',\Omega')\chi(E')\nu(E)\Sigma_f(\vec{r},E)\Phi(\vec{r},E,\Omega)dEd\Omega dE'd\Omega'd\vec{r}} \qquad (۹)$$

در رابطه (۹)، اگر داشته باشیم $k \cong 1$ آنگاه مقدار Λ برابر با l خواهد بود. در این رابطه، l نشان دهنده طول عمر نوترون‌های آنی، k نشان دهنده ضریب تکثیر مؤثر سیستم و υ نشان دهنده سرعت حرکت نوترون می‌باشد.

در روش مونت کارلو، مقدار پارامتر Λ را می‌توان از روش‌های برخورد، جذب و طول مسیر و به ترتیب با استفاده از روابط (۱۰) ، (۱۱) و (۱۲) محاسبه نمود [٥،۱۰]:

$$\Lambda^{C}=\frac{W}{H}\times\frac{\sum_{h=1}^{H}\left(\sum_{i=1}^{C}\left(\left(\frac{\sum_{k}f_{m,k}\nu_{k}(E)\sigma_{fk}(E)}{\sum_{k}f_{m,k}\sigma_{tk}(E)}\right)_{i}\sum_{j=1}^{i}\Delta t_{j}\right)\right)}{k_{eff}^{C}} \qquad (۱۰)$$

$$\Lambda^{A}=\frac{W}{H}\times\frac{\sum_{h=1}^{H}\left(\left(\frac{\nu_{k}(E)\sigma_{fk}(E)}{\sigma_{ck}(E)+\sigma_{fk}(E)}\right)_{C}\sum_{i=1}^{C}\Delta t_{i}\right)}{k_{eff}^{A}} \qquad (۱۱)$$

$$\Lambda^{TL}=\frac{W}{H}\times\frac{\sum_{h=1}^{H}\left(\sum_{i=1}^{C}\left(\left(\sum_{k}Df_{k}\nu_{k}(E)\sigma_{fk}(E)\right)_{i}\times\left(\frac{1}{2}\Delta t_{i}+\sum_{j=1}^{i-1}\Delta t_{j}\right)\right)\right)}{k_{eff}^{TL}} \qquad (۱۲)$$

در روابط فوق، Δt_i نشان دهنده فاصله زمانی ترابرد نوترون بین برخورد $i-1$ و i ام از تاریخچه‌ی h ام می‌باشد. برنامه کامپیوتری NTMC، میانگین متوسط زمان تولید نوترون را بصورت میانگین سه روش اشاره شده، گزارش می‌نماید. نکته مهم در مورد پارامترهای دینامیکی محاسبه شده به روش مونت کارلو، خطای آماری یا عدم قطعیت مربوط به مقادیر این پارامترها می‌باشد. کد محاسباتی NTMC خطای آماری هریک از پارامترهای دینامیکی را محاسبه و گزارش می‌نماید[۷].

نتایج :

برنامه NTMC بنحوی طراحی شده است که در آن ابعاد راکتور، چگالی و درصد (جرمی یا اتمی) مواد درون قلب و بازتابنده قابل تغییر است و همچنین با تغییر در کتابخانه مربوط به سطح مقطع‌های این برنامه (تغییر در نوع مواد قلب و بازتابنده) که به راحتی امکان پذیر است، می‌توان پارامترهای دینامیکی β_{eff} و Λ را برای انواع مختلف از راکتورهای تیغه‌ای، کروی و استوانه‌ای محاسبه کرد. برای ارزیابی نتایج برنامه NTMC، محاسبات این کد برای راکتورهای تحقیقاتی Jezebel، Skidoo، Popsy و Flattop ۲۳ [۱۱،۱۲] با نتایج کد محاسباتی MCNP٤ و مقادیر تجربی مقایسه شده است. در این تحقیق به منظور انجام محاسبات کد NTMC ، از سطح مقطع‌های ٦ گروهی Hansen [۱۳] استفاده شده است درحالیکه کد محاسباتی MCNP٤C به طور معمول از سطح مقطع‌های موجود در بانک اطلاعات هسته‌ای ENDF (نسخه‌های ENDF-VI.۱ ، ENDF-VI.۲، ENDF/B.VI و ...) برای انجام محاسباتش استفاده می‌نمایید. پس به طور کلی دو کد محاسباتی NTMC و MCNP٤C شامل دو کتابخانه متفاوت از سطح مقطع‌های هسته‌ای می‌باشند. مقادیر محاسبه شده‌ی کسر مؤثر نوترون‌های تأخیری توسط کد NTMC، در جدول (۱) مندرج است. در این جدول نتایج برحسب pcm (pcm = ۰,۰۰۰۰۱) بیان گردیده‌اند. در جدول (۲) مقادیر کسر مؤثر نوترون‌های تأخیری محاسبه شده توسط کدهای NTMC و MCNP٤C بصورت نسبت مقدار محاسبه شده به مقدار تجربی[۲] (C/E) گزارش شده است.

جدول ۱- مقادیر محاسبه شده‌ی کسر مؤثر نوترون‌های تأخیری توسط کد NTMC

Reactor Name	k_p (NTMC)	k_t (NTMC)	β_{eff} (NTMC)
Jezebel	۰,۹۹۷۳٤۲۲ ± ۰,۰۰۱٤۲٦٥	۰,۹۹۹۲٤٦۰ ± ۰,۰۰۱٤۳۷۹	۱۹۰ ± ۲
Skidoo	۰,۹۹٦٦۷۰۰ ± ۰,۰۰۱۳۷۷۳	۰,۹۹۹٥٦٤۱ ± ۰,۰۰۱۳۸٥۱	۲۸۹ ± ۱
Popsy	۰,۹۹۱۰۰۱۷ ± ۰,۰۰۱۷۱۹۹	۰,۹۹۳۸٦۳۲ ± ۰,۰۰۱۷۲۳۷	۲۸۷ ± ۱
Flattop ۲۳	۰,۹۹٤۲۰۳۱ ± ۰,۰۰۲۳۹۹۱	۰,۹۹۷۹۱۰۰ ± ۰,۰۰۲٤۰۷۰	۳۷۱ ± ۲

جدول ۲- مقایسه نتایج کسر مؤثر نوترون‌های تأخیری محاسبه شده توسط برنامه NTMC و کد محاسباتی MCNP٤C با مقدیر تجربی

Reactor Name	β_{eff} (Experiment)	C/E (NTMC)	C/E (MCNP-٤C)
Jezebel	۱۹٤ ± ۱۰	۰,۹۸ ± ۰,۰٦	۰,۹٥ ± ۰,۰٥
Skidoo	۲۹۰ ± ۱۰	۰,۹۹ ± ۰,۰٤	۱,۰۲ ± ۰,۰٥
Popsy	۲۷٦ ± ۷	۱,۰٤ ± ۰,۰۳	۱,۰۱ ± ۰,۰٤
Flattop ۲۳	۳٦۰ ± ۹	۱,۰۳ ± ۰,۰۳	۱,۰٤ ± ۰,۰٤

در جدول (۳)، مقادیر تجربی[۱] و محاسبه شده‌ی متوسط زمان تولید نوترون توسط برنامه NTMC، ارائه و مقایسه‌ای بین آن‌ها انجام شده است.

جدول ۳- مقایسه‌ی مقادیر محاسبه شده‌ی متوسط زمان تولید نوترون توسط برنامه NTMC با مقادیر تجربی

Reactor Name	Λ NTMC(sec)	Λ Experiment(sec)	$\frac{\Lambda_N}{\Lambda_E}$
Jezebel	(۲,۹۹ ± ۰,۰۳)× ۱۰$^{-۹}$	۳,۰۰× ۱۰$^{-۹}$	۱,۰۰
Skidoo	(۲,۸٥ ± ۰,۰۳) × ۱۰$^{-۹}$	۲,۸۲× ۱۰$^{-۹}$	۱,۰۱
Popsy	(۱.۲٦ ± ۰,۰۲) × ۱۰$^{-۸}$	۱,۲۱× ۱۰$^{-۸}$	۱,۰٤
Flattop ۲۳	(۱,۲۸ ± ۰,۰۱)× ۱۰$^{-۸}$	۱,۳۱× ۱۰$^{-۸}$	۰.۹۷

بحث و نتیجه‌گیری:

یکی از مهمترین مواردی که می‌تواند بر روی مقادیر پارامترهای دینامیکی اثر گذار باشد، کتابخانه سطح مقطع‌های استفاده شده در محاسبات است. علت تفاوت در مقادیر ارائه شده توسط کدهای NTMC و MCNP٤C به دلیل متفاوت بودن کتابخانه‌های سطح مقطع‌های هسته‌ای مورد استفاده توسط دو کد می‌باشد. در این تحقیق با توجه به نتایج جدول (۲)، بین مقادیر تجربی و محاسبه شده‌ی کسر مؤثر نوتروهای تأخیری توسط دو کد NTMC و MCNP٤C، تطابق خوبی وجود دارد. همچنین نتایج جدول (۳) نشان دهنده همگرایی خوب بین نتایج تجربی و محاسبه شده متوسط زمان تولید نوترون توسط برنامه NTMC می‌باشد.

تشکر و قدردانی:

درپایان این مقاله از زحمات بی دریغ استاد راهنمای گرامی و ارجمندم، جناب آقای دکتر محسن شایسته تشکر و قدر دانی می‌نماییم و موفقیت‌های روز افزون را برای ایشان از خداوند خواستارم.

مراجع:

[۱] G. R. Keepin, "Physic of Nuclear Kinetics," Aadision-Wesley Publishing Company, inc., P. ۷۳-۱۲۹, ۱٦۱-۱٦۸ (۱۹٦٥).

[۲] R. Klein Meulekamp and S. C. van der Marck, "Calculating the effective delayed neutron fraction with Monte Carlo," Nuclear Science and Engineering Vol. ۱٥۲, P. ۱٤۲-۱٤۸ (۲۰۰٦).

[۳] G. D. Spriggs and R. D. Bush, J. M. Campbell, "Calculation of the delayed neutron effectiveness factor using ratio of k-eigenvalus" , Annals of Nuclear Energy Vol. ۲۸, P. ٤۷۷-٤۸۷ (۲۰۰۱).

[٤] J. J. Duderstadt and L. J. Hamilton, "Nucler Reactor Analysis," John Wiley & Sons, Inc, p. ٦۱-٦٥, ۲۳۷-۲٤۱ (۱۹۷٦).

[٥] Y. Nauchi and T. Kameyama, "Proposal of Direct Calculation of Kinetic Parameters β_{eff} , Λ Based on Continuous Energy Monte Carlo Method," Journal of Nuclear Science and Technology Vol.٤۲, p.٥۰۳-٥۱٤ (۲۰۰٥).

[٦] J. F. Briesmeister, "MCNP – A General Monte Carlo N-Particle Transport Code," Version ٤C, LA-۱۳۷۰۹-M. Los Alamos National Laboratory, USA (۲۰۰۰).

[۷] M. Shayesteh, M. Shahriari, G. Raisali, "Simulation of time dependent neutron transport in fission reactors using Monte-Carlo method", Journal of Nuclear Science and Technology Vol. ۳۹, P. ۱-۸ (۲۰۰۷).

[۸] S. A. H. Feghhi, M. Shahriari, H. Afarideh, "Calculation of neutron importance function in fissionable assemblies using Monte Carlo method," Annals of Nuclear Energy Vol. ۳٤, P. ٥۱٤-٥۲۰ (۲۰۰۸).

[۹] W.M. Stacey, "Nuclear reactor analysis". John Wiley and Sons, Inc. A Wiley-Interscience Publication, New York ۲۰۰۱.

[۱۰] H. Rief and H. Kschwendt, "Reactor analysis by Monte Carlo", Nucl. Sci. Eng. ۳۰, P. ۳۹٥- ٤۱۸ (۱۹٦۷).

[۱۱] J.B. Briggs, "International Handbook of Evaluated Criticality Safety Benchmark Experiments", NEA/NSC/DOC(۹٥)۰۳/I, Nuclear Energy Agency, Paris, ۲۰۰٦.

[۱۲] S. Okajima, et al., "Summary on international benchmark experiments for effective delayed neutron fraction", Prog. Nucl. Energy. ٤۱, P. ۲۸٥ (۲۰۰۲).

[۱۳] G. E. Hansen and W. H. Roach, "six and sixteen group cross sections for fast and intermediate critical assemblies," LAMS- ۲٥٤۳, Los Alamos Scientific Laboratory (۱۹٦۱).