



مقایسه سینتیک چند نقطه‌ای با معادله پخش نوترون و سینتیک نقطه‌ای متداول برای

بررسی رفتار گذرا سریع در راکتورهای هسته‌ای

امید صفرزاده*^۱، سیمین مهرابی^۲

^۱دانشگاه شاهد، دانشکده مهندسی، تهران-ایران

تاریخ دریافت: ۱۳۹۶/۲/۳۱

تاریخ پذیرش: ۱۳۹۶/۱۲/۱۷

هکیده

یکی از جنبه‌های مهم در طراحی و عملکرد یک راکتور هسته‌ای، بررسی رفتار راکتور در طی حالات گذرا و شرایط غیر پایا است. برای این منظور، روش‌های مختلفی برای تحلیل حالت گذرا ارائه شده است. حل مستقیم معادله پخش نوترون در حالت گذرا به همراه معادله غلظت مولدهای نوترون تأخیری یکی از روش‌های دقیق ولی پرهزینه از نظر محاسباتی به حساب می‌آید. استفاده از این روش‌ها در طراحی سیستم کنترل توان راکتورهای هسته‌ای نیز موجب پیچیدگی کنترل کننده می‌شود که پیاده‌سازی آن را در عمل با مشکل مواجه می‌کند. از این‌رو، در طراحی سیستم کنترل راکتور هسته‌ای معمولاً از سینتیک نقطه‌ای استفاده می‌شود که تغییرات مکانی شار در نظر گرفته نمی‌شود. اخیراً سینتیک چند نقطه‌ای برای کاستن این نقصان ارائه شده است. این روش در طراحی سیستم کنترل استفاده شده است اما دقت آن بررسی نشده است. این مقاله به مقایسه سینتیک چند نقطه‌ای در تغییرات آنی میله کنترل و مقایسه با سینتیک نقطه‌ای متداول و حل مستقیم معادله پخش وابسته به زمان می‌پردازد. استخراج معادلات سینتیک چند نقطه‌ای با استفاده از معادلات پخش دو گروهی انجام و از روش رانجی کوتاه مرتبه ۴ برای حل معادلات، استفاده شده است. نتایج نشانگر این است که، سینتیک چند نقطه‌ای رفتار گذرا را با انحراف کمتری از سینتیک یک نقطه‌ای محاسبه می‌کند. انحراف ناشی از تغییرات زیاد راکتیویته بیشتر از حالتی است که تغییرات راکتیویته آرام باشد. بنابراین سینتیک چند نقطه بیشتر برای بررسی تغییرات آرام و کند راکتیویته پیشنهاد می‌شود.

واژه‌های کلیدی: حالت گذرا، دینامیک راکتور، سینتیک چند نقطه‌ای

۱- مقدمه

روش‌های گوناگونی برای بررسی جمعیت نوترونی وجود دارد که از آن میان می‌توان به معادلات ترابرد و پخش نوترون اشاره کرد. در مواردی که تغییرات زاویه‌ای شار با توجه به جهت گیری‌های فضایی زیاد نیست، به جای حل معادله ترابرد می‌توان از معادله پخش استفاده نمود. اما استفاده از معادله پخش وابسته به زمان،

کنترل راکتورهای هسته‌ای یکی از زمینه‌های مهم در مهندسی هسته‌ای است. در یک راکتور حرارتی، هدف از کنترل راکتور در حقیقت پایدارسازی توان و رساندن آن به حد مطلوب است. قلب راکتور هسته‌ای یک سیستم غیرخطی و پیچیده است به نحوی که تغییر سطح قدرت سبب تغییر پاسخ آن می‌شود.

کنترل مقاوم خطی‌سازی-فیدبک برای کنترل توان استفاده کردند (Zaidabadi nejad and Ansarifard, 2018). آنها شیب تغییرات توان را اندک در نظر گرفته و نوسانات توان در دراز مدت با لحاظ زینان بررسی نمودند. آنان همچنین از روش کنترل تطبیقی برای کنترل نوسانات زینان استفاده کردند (Zaidabadi nejad and Ansarifard, 2018).

این مقاله به بررسی و ارزیابی سینتیک چند نقطه‌ای در تغییرات آنی راکتیویته در بازه های زمانی اندک می‌پردازد. معادلات سینتیک چند نقطه‌ای با استفاده از معادلات پخش دو گروهی استخراج و با استفاده از روش رانجی کوتا مرتبه ۴ حل شده است. نتایج حاصله با استفاده از آزمون‌های متعدد و کدهای محاسبات گذرا که معادله پخش نوترون را به صورت مستقیم حل می‌کنند، مقایسه شده است.

۲- روش کار

راکتیویته بر حسب مقدار ورودی که می‌تواند تابع پله و یا شیب باشد بررسی می‌گردد. برای تعیین تغییرات لحظه‌ای راکتور از معادلات سینتیک چند نقطه‌ای با مولدهای نوترون تأخیری استفاده شده است. شرایط اولیه برای حل معادله سینتیک چند نقطه‌ای شامل توان اولیه راکتور، غلظت نیا هسته‌های نوترون-های تأخیری و راکتیویته می‌باشد. در انتها متغیرها بهنجارش شده و تغییرات آن‌ها نسبت به مقادیر اولیه بررسی شده است. همچنین حل معادلات به روش رانجی کوتا مرتبه چهارم و در محیط برنامه نویسی متلب^۴ انجام گرفته است. معادلات توان لحظه‌ای را با در نظر گرفتن تاثیر فیدبک میله کنترل حل کرده و نتایج حاصله ترسیم شده‌اند و سپس تجزیه و تحلیلی از تغییرات توان و راکتیویته به عمل آمده است.

رفتار گذرای راکتور است. در این پژوهش، از یک مدل نودال جهت استخراج معادلات سینتیک چند نقطه‌ای استفاده شده است و فرض بر این است که راکتور به

طولانی، وقت‌گیر و سبب پیچیدگی در طراحی کنترل کننده می‌شود. لذا برای کاهش هزینه محاسباتی از معادلات سینتیک نقطه‌ای استفاده می‌شود. در معادلات سینتیک نقطه‌ای، تغییرات شکل فضایی شار با زمان صرف نظر می‌شود و از این‌رو، مدل ساده می‌شود. اما به‌طور واقعی، شکل مکانی شار در راکتور دستخوش تغییرات است، لذا پاسخ سینتیک نقطه‌ای از جواب واقعی انحراف زیادی خواهد داشت. بنابراین، سینتیک چند نقطه‌ای پیشنهاد و شده است. استخراج مدل سینتیک تک نقطه ای اولین بار توسط هنری (Henry, 1975) و در سال ۱۹۵۸ بر پایه روش جداسازی روی چگالی نوترون ها وارد عرصه دینامیک شد. پس از آن، این معادلات توسعه پیدا کردند و به فرم جدیدی به نام سینتیک چند نقطه ای^۱ درآمد. فرضیه سینتیک چند نقطه ای نخستین بار توسط بوسیو و همکاران (Bosio et. al, 2001) در سال ۲۰۰۱، رووتو^۲ و همکاران در سال ۲۰۰۴ (Ravetto et. al, 2004) بررسی شد. سر انجام شیمجیت^۳ و همکارانش (Shimjith et. al, 2012) در سال ۲۰۱۲ با روش‌های ساده نودال معادلات سینتیک چند نقطه ای را استخراج کردند و از آن برای طراحی کنترلر یک راکتور هسته‌ای استفاده کردند. آقای زارعی در سال ۲۰۱۸ از مدل سینتیک چند نقطه‌ای برای طراحی یک کنترل کننده انحراف محوری توان استفاده کرد. در آن تحقیق، قلب راکتور به دو ناحیه تقسیم شد و انحراف محوری توان ناشی از نوسانات زینان در مدت زمان طولانی مقایسه شد. نتایج نشانگر همخوانی مناسب روش چندنقطه‌ای با روش تحلیلی است (Zarei, 2018). آقای زارعی، رفتار توان در اثر ورود راکتیویته زیاد را بررسی نمودند. آقایان زیدآبادی و انصاری‌فرد در سال ۲۰۱۸ از مدل سینتیک چندنقطه‌ای و روش استخراج معادلات سینتیک چند نقطه‌ای

در میان روش‌های مختلف، روش نودال به دلیل سادگی و دقت، یکی از مناسب‌ترین روش‌ها در بررسی

طبق قانون فیک^۵ داریم:

$$D_1 \frac{d^2 \varphi_1}{dr^2} = \frac{A_{hk}}{V_h} D_1 \frac{d \varphi_1}{dr} = \frac{D_1 A_{hk}}{V_h \Delta_{hk}} [-\varphi_{1h} + \varphi_{1k}] \quad (۴)$$

$$D_2 \frac{d^2 \varphi_2}{dr^2} = \frac{A_{hk}}{V_h} D_2 \frac{d \varphi_2}{dr} = \frac{D_2 A_{hk}}{V_h \Delta_{hk}} [-\varphi_{2h} + \varphi_{2k}] \quad (۵)$$

که Δ_{hk} فاصله مرکز تا مرکز نقاط (نواحی) می-باشد. همچنین با تعریف w_{ihh} و w_{ihk} طبق رابطه (۶) که ضرایب نشت نواحی^۶ نامیده می‌شوند و تابعی از هندسه نود وسط مقاطع نوترونیک می‌باشند، تقریبی که برای نشت می‌توان داشت به صورت روابط (۷) و (۸) خواهد شد:

$$w_{ihh} = \frac{D_i A_{hh}}{V_h \Delta_{hh}}, \quad w_{ihk} = \sum_{k=1}^z w_{ihk}, \quad i = 1, 2 \quad (۷)$$

$$D_1 \nabla^2 \varphi_{1h} = -w_{1hh} \varphi_{1h} + \sum_{k=1}^z w_{1hk} \varphi_{1k} \quad (۷)$$

$$D_2 \nabla^2 \varphi_{2h} = -w_{2hh} \varphi_{2h} + \sum_{k=1}^z w_{2hk} \varphi_{2k} \quad (۸)$$

با جایگذاری روابط (۷) و (۸) در روابط (۱) و (۲) به معادلات (۹) و (۱۰) می‌رسیم:

$$\frac{1}{v_{1h}} \frac{d \varphi_{1h}}{dt} - w_{1hh} \varphi_{1h} + \sum_{k=1}^z w_{1hk} \varphi_{1k} + (1 - \beta)(v \sum_{f1h} \varphi_{1h} + v \sum_{f2h} \varphi_{2h}) - \sum_{a1h} \varphi_{1h} - \sum_{12h} \varphi_{1h} + \sum_{21h} \varphi_{2h} + \sum_{i=1}^{m_d} \lambda_i C_{ih} \quad (۹)$$

$$\frac{1}{v_{2h}} \frac{d \varphi_{2h}}{dt} = -w_{2hh} \varphi_{2h} + \sum_{k=1}^z w_{2hk} \varphi_{2k} - \sum_{a2h} \varphi_{2h} + \sum_{12h} \varphi_{1h} - \sum_{21h} \varphi_{2h} \quad (۱۰)$$

همچنین طبق روابط محاسبه متوسط سطوح مقاطع که به صورت زیر می‌باشند:

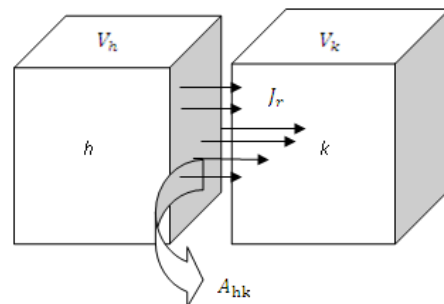
تعداد مناسبی نقطه (نود) تقسیم شده است که هر کدام ویژگی‌های همگن شده خاص خود را داراست. معادلات سینتیک چند نقطه‌ای می‌تواند با استفاده از معادلات پخش دو گروهی بدست آید. طبق معادلات پخش دو گروهی و با کمک معادلات مربوط به غلظت مولدهای (نیا هسته‌های) نوترون تأخیری و با در نظر گرفتن تقریبی برای نشت نوترون می‌توان به معادلات سینتیک چند نقطه‌ای دست یافت (Shimjith et. al, 2012):

$$\frac{1}{v_1} \frac{\partial \varphi_1}{\partial t} = \nabla D_1 \nabla \varphi_1 - \sum_{a1} \varphi_1 - \sum_{12} \varphi_1 + \sum_{21} \varphi_2 + (1 - \beta)(v \sum_{f1} \varphi_1 + v \sum_{f2} \varphi_2) + \sum_{i=1}^{m_d} \lambda_i C_{ih} \quad (۱)$$

$$\frac{1}{v_2} \frac{\partial \varphi_2}{\partial t} = \nabla D_2 \nabla \varphi_2 - \sum_{a2} \varphi_2 + \sum_{12} \varphi_1 - \sum_{21} \varphi_2 \quad (۲)$$

$$\frac{\partial C_i}{\partial t} = \beta_i (v \sum_{f1} \varphi_1 + v \sum_{f2} \varphi_2) - \lambda_i C_{ih} \quad (i = 1, 2, \dots, m_d) \quad (۳)$$

در روابط بالا φ_1 و φ_2 شار نوترون های سریع و حرارتی و m_d تعداد نوترون تأخیری می باشد. C_{ih} غلظت مولدهای نوترون تأخیری با توجه به i امین گروه نوترون های تأخیری می‌باشد. در ابتدا تقریب نوترون می‌باشد را در نظر می‌گیریم (مطابق شکل (۱)).



شکل ۱- دوناچه همسایه و سطح مشترک آن‌ها

با انتگرال‌گیری روی کل فضای فاز و انرژی توان را به فرم زیر می‌توان بیان کرد:

$$Q_h = E_{eff} \sum_{fh} V_h \varphi_h \quad (18)$$

غلظت مولدهای نوترون‌های تأخیری در نقطه h می‌تواند به صورت زیر بیان شود:

$$C_{ih} = \overline{C_{ih}} E_{eff} \sum_{fh} V_h v_h \quad (19)$$

سرانجام با در نظر گرفتن تقریب برای نشت نوترون و روابط (۱۸) و (۱۹) و جایگذاری آن‌ها در معادله (۱۴) و همچنین معادله (۳) به معادلات سینتیک چندنقطه ای می‌رسیم:

$$\frac{dQ_h}{dt} = -\alpha_{hh} \frac{Q_h}{l_h} + \sum_{k=1}^z \alpha_{kh} \frac{Q_k}{l_h} + (\rho_h - \beta) + \sum_{i=1}^{m_d} \lambda_i C_{ih} \quad (20)$$

$$\frac{dC_i}{dt} = \frac{\beta_i}{l_h} Q_h - \lambda_i C_{ih}, \quad h = 1, 2, \dots, Z \quad (21)$$

در روابط بالا منظور از A_{hk} سطح مشترک نواحی و J_r جریان خالصی است که بین نواحی شارش می‌یابد؛ α_{hh} و α_{kh} ضرایب پیوند^۸ بین نواحی و l_h طول عمر بی‌نهایت نوترون‌های آنی و β_i کسر موثر نوترون‌های تأخیری است. Q_h توان ناحیه مورد بررسی و ρ_h راکتیویته آن ناحیه می‌باشد. میزان راکتیویته ورودی به سیستم در هر لحظه، با توجه به تغییراتی که در سطح مقطع جذب هر ناحیه در اثر ورود و یا خروج میله کنترل صورت می‌گیرد محاسبه می‌شود. برای محاسبه طول عمر نوترون‌های آنی و راکتیویته از روابط زیر استفاده شده است (Shimjith et. al, 2012):

$$l_h = \frac{1}{v_h \sum_{ah}} \quad (22)$$

$$\sum_{fh} = \frac{\sum_{f1h} + \sum_{f2h} R_h}{1 + R_h} \quad (11)$$

$$\sum_{ah} = \frac{\sum_{a1h} + \sum_{a2h} R_h}{1 + R_h} \quad (12)$$

$$v_h = \frac{1 + R_h}{\frac{1}{v_{1h}} + \frac{R_h}{v_{2h}}} \quad (13)$$

با جمع روابط (۹) و (۱۰) و تبدیل آن‌ها به یک معادله خواهیم داشت:

$$\frac{1}{v_h} \frac{d\varphi_h}{dt} = -w_{hh} \varphi_h + \sum_{k=1}^z w_{hk} \varphi_k - \quad (14)$$

$$\sum_{ah} \varphi_h + (1 - \beta)v \sum_{fh} \varphi_h + \sum_{i=1}^{m_d} \lambda_i C_{ih} =$$

برای محاسبات ضرایب مختلف و پارامترها در معادله- تک گروهی (۱۴) دانستن نسبت شار حرارتی به سریع در هر نقطه^۷ ضروری است که از رابطه مقابل بدست می‌آید:

$$R_h = \frac{\varphi_{2h}}{\varphi_{1h}} \quad (15)$$

تغییرات غلظت مولدهای نوترون‌های تأخیری در نقطه- (ناحیه) h از رابطه (۳) می‌تواند به صورت زیر توصیف شود:

$$\frac{dC_{ih}}{dt} = \beta_i v \sum_{fh} \varphi_h - \lambda_i C_{ih} \quad (16)$$

$$i = 1, 2, \dots, m_d$$

با بیان معادله (۱۴) با فرمی متناوب برای مطالعات کنترل راکتور پیش می‌رویم. E_{eff} متوسط انرژی حرارتی آزاد شده در هر شکافت می‌باشد و نهایتاً توان هر نقطه از طریق شار نوترون و بصورت زیر بدست می‌آید

$$P(t) = E_{eff} \int dV \int dE \sum_f (r, E, t) \phi(r, E, t) \quad (17)$$

$$K_h = \frac{v \sum_{fh}}{\sum_{ah}} \quad \text{و} \quad \rho_h = \frac{K_h - 1}{K_h} \quad (23)$$

جدول ۱- اطلاعات سطوح مقاطع نواحی ۱ و ۲ آزمون شماره ۱

پارامتر	گروه اول	گروه دوم
$D (cm)$	1.41635	0.503217
$v \Sigma_f (cm^{-1})$	0.00500667	0.085267
$\Sigma_a (cm^{-1})$	0.0087725	0.06224
$v^{-1} (s.cm^{-1})$	2.4469×10^{-7}	2.0184×10^{-6}
$\Sigma_{s,1 \rightarrow 2} (cm^{-1})$	0.0170075	

جدول ۲- اطلاعات تأخیری آزمون شماره ۱

گروه تأخیری	β_i	λ_i
1	0.00022951	0.013336
2	0.0014	0.032739
3	0.0015	0.12078
4	0.0038	0.30278
5	0.0021	0.84949
6	0.0085959	2.853

پس از مدل‌سازی، نتیجه حاصله از مدل سینتیک دو نقطه‌ای با مقدار مرجع حاصله از معادله پخش وابسته به زمان مبتنی بر کد TRIVAC (Downar et. al. 2009)، مقایسه شده است. برای محاسبه توان متوسط روی کل مکان مورد بررسی، رابطه زیر را به کار می‌بریم

$$\bar{p}_i = \int_i p dV / \int_i dV \quad (24)$$

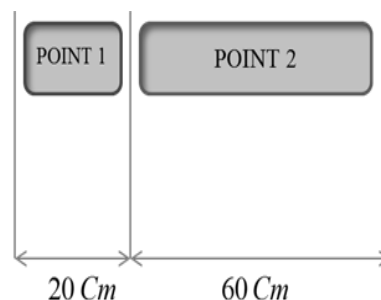
شکل (۳) تغییرات توان را برحسب زمان برای مدل‌های مختلف نشان می‌دهد. حداکثر قدر مطلق اختلاف نسبی بین مقادیر توان حل مستقیم معادله پخش وابسته به زمان توسط کد TRIVAC و حل به روش سینتیک دو نقطه‌ای ۶/۶۹٪ می‌باشد، در حالیکه با سینتیک نقطه‌ای متداول حدود ۱۱٪ است.

۳- نتایج و محاسبات

در این بخش آزمون‌های مختلفی جهت بررسی عملکرد مدل سینتیک چند نقطه‌ای بررسی شده‌اند. توان مرجع از منابع متنوعی از قبیل گزارشات و حل معادله پخش وابسته به زمان توسط دو کد در دسترس شامل TRIVAC و PARCS تولید شده است. کد TRIVAC توسط دانشگاه صنعتی مونت‌رال تولید و توسعه یافته است. این کد از روش‌های اختلاف محدود و المان محدود در یک، دو و سه بعد برای گسسته‌سازی مکانی معادله پخش استفاده می‌کند. گسسته‌سازی زمانی براساس روش غیرصریح^۹ انجام شده است (Hébert and Sekki, 2010) کد PARCS از روش نودال برای حل معادله پخش در سه بعد استفاده می‌کند.

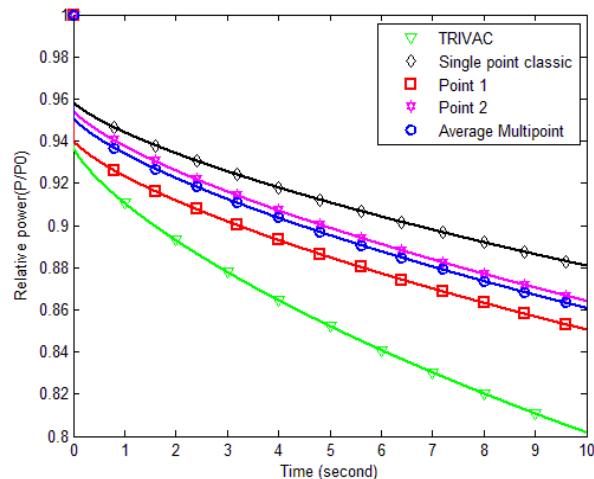
۳-۱- آزمون اول

یک تیغه (یک بعدی) متشکل از دو ناحیه با ماده یکسان و عرض متفاوت است. شکل (۲) ابعاد هندسی را نمایش می‌دهد. جداول (۱) و (۲) ویژگی‌های نوترونی را در دو گروه انرژی نشان می‌دهد.



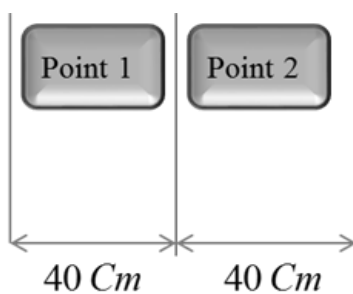
شکل ۲- هندسه راکتور یک بعدی دو ناحیه‌ای مدل شده با کد TRIVAC

فرض شده است که سطح مقطع جذب گروه اول در ناحیه اول در اثر ورود میله کنترل تغییری به میزان ۳٪ داشته و به صورت پله‌ای طی یک گام زمانی وارد شود



شکل ۳- مقایسه توان متوسط در آزمون اول

مربوط به دو روش با یکدیگر مطابق می‌باشند اما با گذشت زمان و به دلیل انباشتگی خطا، نمودارها از یکدیگر فاصله می‌گیرند. قدر مطلق حداکثر اختلاف نسبی بین مقادیر توان حاصل از دو روش ۳/۱۹٪ است.



شکل ۴- هندسه راکتور یک بعدی آزمون دوم

۲-۳- آزمون دوم

یک راکتور تیغه‌ای دو ناحیه‌ای است که در شکل (۴) به نمایش در آمده است. نتایج مرجع با استفاده از کد PARCS در حالت یک بعدی با قرار دادن شرط مرزی بازتابنده در دو بعد دیگر بدست آمده است. راکتور متشکل از دو ناحیه با ماده یکسان و حجم یکسان است. به ترتیب، جداول (۳) و (۴) ویژگی‌های نوترونی را در دو گروه انرژی و پارامترهای سینتیکی را نشان می‌دهد.

اختلال سطح مقطع جذب ناحیه دوم به میزان ۰/۱۱۵٪ به گروه اول و ۰/۲۵٪ به گروه دوم است. با خروج میله از قلب طبیعتاً سطح مقطع جذب کاهش و توان ناحیه افزایش می‌یابد پس در ابتدای خروج میله از قلب شاهد جهش آنی^{۱۰} خواهیم بود. در شکل (۵) نمودار حاصل از توان مدل سینتیک چند نقطه‌ای با حل مستقیم معادله پخش وابسته با زمان توسط کد PARCS مقایسه شده است. در ابتدا نمودار توان

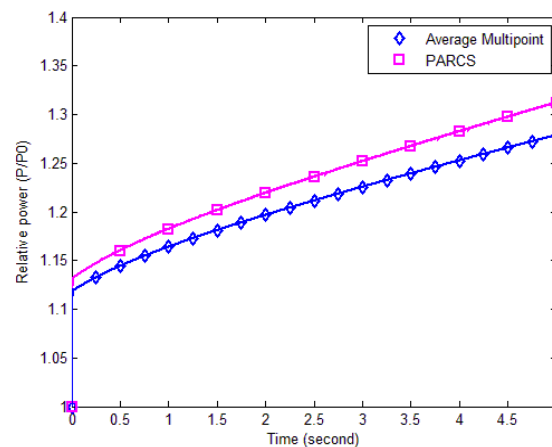
جدول ۳- اطلاعات تأخیری آزمون شماره ۲

گروه تأخیری	β_i	λ_i
-------------	-----------	-------------

1	0.0002854	0.0128
2	0.00152	0.0318
3	.0013908	0.119
4	.0030704	0.3181
5	0.001102	1.4027
6	0.002584	3.9286

جدول ۴-اطلاعات سطوح مقاطع نواحی او ۲ آزمون شماره ۲

پارامتر	گروه اول	گروه دوم
D (cm)	1.5007	0.415
$v \Sigma_f$ (cm ⁻¹)	6.899×10^{-3}	0.8099887×10^{-1}
Σ_a (cm ⁻¹)	8.71774×10^{-3}	0.65255×10^{-1}
$v^{-1}(\text{s.cm}^{-1})$	3.57143×10^{-8}	0.22727×10^{-5}
$\Sigma_{s,1 \rightarrow 2}$ (cm ⁻¹)	0.182498 × 10 ⁻¹	

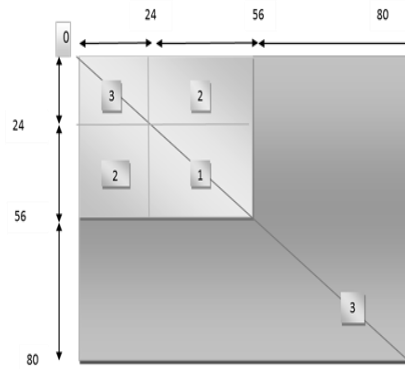


شکل ۵-مقایسه توان متوسط حاصل از مدل سینتیک چندنقطه‌ای و کد PARCS

همچنین پارامترهای تأخیری در جداول (۵) تا (۸) ارائه شده‌اند. هندسه مورد بررسی نیز در شکل (۶) رسم شده است.

۳-۳-آزمون سوم

در این آزمون، نتایج مربوط به مدل سینتیک چند نقطه‌ای را با آزمون دو بعدی راکتور TWIGL مقایسه شده است (Christensen, 1985). سطح مقاطع و



شکل ۶- هندسه راکتور دو بعدی TWIGL (Christensen, 1985)

جدول ۵- پارامترهای تأخیری آزمون شماره ۳

گروه تأخیری	β_i	λ_i
1	0.0075	0.08

جدول ۶- سطح مقاطع ناحیه اول آزمون شماره ۳

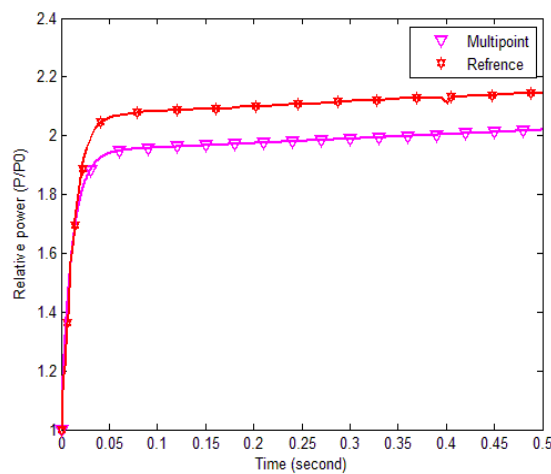
پارامتر	گروه اول	گروه دوم
$D (cm)$	1.4	0.4
$v \Sigma_f (cm^{-1})$	0.007	0.2
$\Sigma_a (cm^{-1})$	0.01	0.15
$v (cm .s^{-1})$	10^5	2.0×10^3
$\Sigma_{s,1 \rightarrow 2} (cm^{-1})$	0.01	

جدول ۷- سطح مقاطع ناحیه دوم آزمون شماره ۳

پارامتر	گروه اول	گروه دوم
$D (cm)$	1.4	0.4
$v \Sigma_f (cm^{-1})$	0.007	0.2
$\Sigma_a (cm^{-1})$	0.01	0.15
$v (cm .s^{-1})$	10^5	2.0×10^3
$\Sigma_{s,1 \rightarrow 2} (cm^{-1})$	0.01	

جدول ۸- سطح مقاطع ناحیه سوم آزمون شماره ۳

پارامتر	گروه اول	گروه دوم
$D (cm)$	1.3	0.5
$\nu \Sigma_f (cm^{-1})$	0.003	0.06
$\Sigma_a (cm^{-1})$	0.008	0.05
$\nu (cm \cdot s^{-1})$	10^5	2.0×10^3
$\Sigma_{s,1 \rightarrow 2} (cm^{-1})$	0.01	



شکل ۷-مقایسه توان متوسط حاصل از مدل سینتیک چند نقطه‌ای در آزمون TWIGL

۴- جمع بندی و نتیجه گیری

در این پژوهش، رفتار گذرای راکتور در طول ایجاد یک اختلال با استفاده از مدل سینتیک چند نقطه ای بررسی و نتایج حاصله با سینتیک نقطه ای متداول و حل مستقیم معادله پخش وابسته به زمان مقایسه شده است. براساس مشاهدات، مدل سینتیک چند نقطه‌ای قادر به بررسی دقیق تر حالات گذرای به معادلات سینتیک نقطه‌ای مرسوم بوده و دارای عملکرد بهتر و امکان بررسی توان را با وجود اختلال در نواحی دلخواه از فضای فاز و تاثیر آن در نواحی همسایه اش به ما می دهد و دقت رضایت بخشی دارد؛ این نتایج حاکی از توافق خوب در رفتار بین مقادیر بدست آمده برای توان

کل زمان شبیه سازی ۰/۵ ثانیه بوده و اختلال در اثر خروج میله کنترل از ناحیه اول وارد شده که بر سطح مقطع جذب گروه دوم تاثیر گذاشته است و موجب کاهش 0.0035 cm^{-1} در سطح مقطع جذب شده است. مطابق با شکل (۷) در ابتدا بدلیل کاهش ناگهانی سطح مقطع جذب شاهد جهش آنی خواهیم بود. همان طور که مشاهده می شود قدر مطلق حداکثر تفاوت نسبی بین مقادیر توان مرجع با مدل سینتیک چند نقطه‌ای برابر با ۰/۵٪ می باشد. شایان ذکر است که روش مرجع، حل معادله پخش وابسته با زمان با استفاده از بسط چند جمله‌ای نودال می باشد.

T. Downar, Y. Xu, V. Seker, (2009). PARCS v3.0 US NRC Core Neutronics Simulator User/Theory Manual. Department of Nuclear Engineering and Radiological Sciences University of Michigan. Ann Arbor, MI.

A.F. Henry, (1975). Nuclear reactor analysis. MIT press, Cambridge, Massachusetts.

A. Hébert, D. Sekki, (2010). A user guide for Trivac Version4. Institut de Génie Nucléaire, Tech. Rep. IGE-293.

P. Ravetto, M.M. Rostagno, G. Bianchini, M. Carta, A. D'Angelo, (2004). Application of the multipoint method to the kinetics of accelerator-driven systems. Nucl. Sci. Eng. 148 79-88.

S. Shimjith, A. Tiwari, B. Bandyopadhyay, (2013). Multipoint kinetics modeling of large nuclear reactors. In Modeling and Control of a Large Nuclear Reactor. Springer, Berlin, Heidelberg.

M. Zaidabadi nejad, G.R. Ansarifar, (2018). Robust feedback-linearization control for axial power distribution in pressurized water reactors during load-following operation. Nucl. Eng. Tech. 50 97-106.

M. Zaidabadi-nejad, G.R. Ansarifar, (2018). Adaptive observer based adaptive control for P.W.R nuclear reactors during load following operation with bounded xenon oscillations using Lyapunov approach. Ann. Nucl. Energy 121 382-405.

M. Zarei. A, (2018). multi-point kinetics based MIMO-PI control of power in PWR reactors. Nucl. Eng. Des. 328 283-291.

وابسته به زمان و مکان حاصل از مدل سینتیک چند نقطه‌ای با حل مستقیم معادله پخش به روش بسط چند جمله‌ای نودال می‌باشد. از طرف دیگر، مقادیر توان بدست آمده از سینتیک چند نقطه‌ای دارای انحراف از حل دقیق معادله پخش هستند و این انحراف کمتر از سینتیک یک نقطه‌ای مرسوم است. به عبارتی، خطای نسبی توان در اعمال راکتیویته زیاد در بازه زمانی کم بیشتر (در حدود ۰.۵٪) از حالتی است که یک راکتیویته کم و به صورت آرام (در حدود ۰.۱٪) اعمال می‌شود (Zarei,2018).

پی نوشت ها

- ¹ Multi Point Kinetic
- ² Ravveto
- ³ Shimjith
- ⁴ MATLAB
- ⁵ Fick's Law
- ⁶ Leakage coefficients
- ⁷ Point
- ⁸ Coupling Coefficient
- ⁹ Implicit
- ¹⁰ Prompt Jump

مراجع

P. Bosio, P. Ravetto, M.M. Rostagno, A. Barzilov, (2001). Multipoint methods in nuclear reactor kinetics. Dans ANS International Meeting on Mathematical Methods for Nuclear Applications, Salt Lake City.

B. Christensen, (1985). Three-dimensional static and dynamic reactor calculations by the nodal expansion method. No. RISO-R-496. Risoe National Lab.



Comparison of multi-point kinetics method with neutron diffusion equation and common point kinetics to investigate fast transient behavior in nuclear reactors

Omid Safarzadeh *¹, Simin Mehrabi ¹

¹ Faculty of Engineering, Shahed University, Tehran, Iran

Received: 20 - 5 - 2020

Accepted: 7 - 3 - 2021

Abstract

One of the most important aspects in the design and operation of a nuclear reactor is the Investigating reactor behavior during transient states and unstable conditions. For this purpose, various methods for transient state analysis have been proposed. Direct solution of neutron diffusion equation in transient state with delayed neutron concentration equation is one of the most accurate but costly methods. Use of these methods in the design of the power control system of nuclear reactors also complicates the controller which makes it difficult to implement in practice. Therefore, point kinetics method is usually used in the design of a nuclear reactor control system, which does not take into account the spatial changes of the flux. Recently, multi-point kinetics has been proposed to reduce this defect. This article compares multi-point kinetics in instantaneous control bar changes And comparing with common point kinetics and direct solution of the time-dependent diffusion equation. The results indicate that multi-point kinetic calculates the transient behavior with less deviation from the point kinetics. Deviations from high reactivity changes are greater than when the reactivity changes are slow. Therefore, multi-point kinetics method is suggested to investigate the slow and gentle changes in reactivity

Keywords: Transient state, Reactor dynamics, multi-point kinetics method
