



بیت و یکمین کنفرانس هشتای ایران

۶ و ۷ اسفند ماه ۱۳۹۳ دانشگاه اصفهان

بررسی نوسانات مکانی زینان به روش سینتیک چند نقطه ای نوترون

حمید پرهیزکاری ، مهدی آقایی مغانلو، احمدرضا ذوالفقاری

دانشگاه شهید بهشتی، دانشکده مهندسی هسته ای، گروه راکتور

چکیده:

نوسانات توان که بر اثر توزیع فضایی گذرای زینان در راکتورهای بزرگ به نوسانات زینان معروف هستند. در راکتورهای بزرگ اغتشاشات راکتیویته می تواند راکتور را ناپایدار نماید، در نتیجه، بررسی دامنه تغییرات و نوسانات توان، جهت طراحی سیستمهای کنترلی به جهت محدود نمودن این اغتشاشات در این مواقع ضروری است. در این مقاله به بررسی رفتار دینامیکی راکتور بر اثر اغتشاشات راکتیویته ورودی پرداخته می شود و روش سینتیک چندنقطه ای برای بررسی نوسانات زینان در راکتور هسته ای بوشهر معرفی می گردد که مقایسه بررسی نوسانات زینان با گزارش ایمنی راکتور بوشهر انطباق قابل قبولی را نشان می دهد.

کلید واژه:

نوسانات زینان، سینتیک چند نقطه ای، محوری ، شعاعی ، زاویه ای

مقدمه: جهت بررسی پایداری و نوسانات مکانی زینان در راکتورها، مدل های مختلفی ارائه شده است، اساساً رفتار نوترون ها در یک راکتور هسته ای با معادله ترابرد بیان می شود. ولی حل این معادله با روش های عددی و استفاده از آن برای بررسی پایداری و طراحی سیستم کنترلر برای راکتورهای هسته ای دشوار است. بنابراین روش هایی را که از معادلات دیفیوژن استفاده می کنند بکار می گیرند. اساس تمام این روش ها مدل سازی دقیق توزیع شار گروهی وابسته به مکان و زمان در سراسر قلب راکتور است. ولی برای بررسی پایداری و طراحی یک سیستم کنترلر در راکتور مدل کردن کل قدرت راکتور و یا توزیع فضایی قدرت راکتور نیز مورد نیاز است. در میان تمام روش های موجود، روش سینتیک چند نقطه ای که از معادلات ساده مرتبه اول برای مدل سازی راکتور استفاده می کند، یک گزینه مناسب برای این سناریوها به نظر می رسد.



بیست و یکمین کنفرانس هسته‌ای ایران

۷ و ۶ اسفند ماه ۱۳۹۳ دانشگاه اصفهان

روش کار:

مدل سینتیک چند نقطه‌ای اساساً بر پایه پیشنهادات اوری [۱] در سال ۱۹۵۸ شکل گرفت که در ادامه، کوماتا [۲] در سال ۱۹۶۹ معادلاتی را به عنوان سینتیک چند نقطه‌ای معرفی نمود. افرادی بر روی این روش کار کرده‌اند. شیمجی [۳] در سال ۲۰۱۰ مدلی را به عنوان مدل زمان و مکان جفت شده و در سال ۲۰۱۳ [۴] با نام روش سینتیک چند نقطه‌ای معرفی نمود. برای بیان رفتار دینامیکی راکتور در این روش از معادلات زیر استفاده می‌شود که معادلات (۱) و (۲) مدل نوترونیک قلب راکتور، جهت بررسی رفتار دینامیک با رویکرد سینتیک چند نقطه‌ای می‌باشند. این معادلات به همراه بازخوردهای داخلی قلب از جمله، بازخوردهای محصولات شکافت و بازخوردهای حرارتی، مدل کاملی از رفتار دینامیکی قلب را ارائه می‌کنند.

$$\frac{dP_i}{dt} = -\alpha_{ii} \frac{P_i}{\ell} + \sum_{j=1}^N \alpha_{ij} \frac{P_j}{\ell} + (\rho_i - \beta) \frac{P_j}{\ell} + \sum_{k=1}^{m_d} \lambda_k C_{ik} \quad (1)$$

$$\frac{dC_i}{dt} = \frac{\beta}{\ell} P_i - \sum_{k=1}^{m_d} \lambda_k C_{ik} \quad (2)$$

$$\frac{dI_i}{dt} = \gamma_I \sum_{fi} \varphi_i - \lambda_I I_i \quad (3)$$

$$\frac{dX_i}{dt} = \gamma_x \sum_{fi} \varphi_i + \lambda_I I_i - \lambda_x X_i - \sigma_{xi} \varphi_i X_i \quad (4)$$

$$m_{fi} C_{fi} \frac{dT_{fi}}{dt} = P_i - \frac{1}{R_i} (T_{fi} - T_{ci}) \quad (5)$$

$$m_{ci} C_{cpi} \frac{dT_{ci}}{dt} = \frac{1}{R_i} (T_{fi} - T_{ci}) - 2WC_{cpi} (T_{ci} - T_{cini}) \quad (6)$$

$$\rho_{xei} \cong -\frac{\sum_{ai} x e}{\sum_{ai} ai}, \rho_{smi} \cong -\frac{\sum_{ai} s m}{\sum_{ai} ai}, \rho_{thi} = \rho_{ci} + \rho_{fi} \quad (7)$$

$$\rho_i = \rho_{thi} + \rho_{smi} + \rho_{xi} \quad (8)$$

در معادلات بالا m_d شماره گروه مولد نوترون‌های تاخیری را مشخص می‌کند و C_{ik} غلظت مولد نوترون‌های تاخیری است. α_{ij} و α_{ii} اشاره به ضریب پیوستگی بین نواحی دارند. همچنین β , P_i



بیست و یکمین کنفرانس هشتای ایران

۶ و ۷ اسفند ماه ۱۳۹۳، دانشگاه اصفهان

$W_c, T_{cin}, T_{cex}, R, T_f, m_f, m_c, C_f, C_{cp}, \lambda_k, \Sigma_a, \Sigma_f, \ell_i, V, D, A, d,$ بیانگر عمر نوترون انی، سطح مقطع شکافت ماکروسکوپی، سطح مقطع جذب ماکروسکوپی، ثابت واپاشی، ثابت تونرون تاخیری، فاصله بین نواحی، سطح مشترک بین نواحی، حجم هر ناحیه، توان هر ناحیه، ضریب دمای ویژه خنک کننده، ضریب دمایی ویژه سوخت، جرم خنک کننده، جرم سوخت، دمای سوخت، مقاومت بین سوخت و خنک کننده، دمایی خروجی خنک کننده، دمای ورودی خنک کننده و دبی جرمی خنک کننده می باشند. برای نمایش اثرات مکانی زینان، نوسانات زینان را در سه حالت محوری، شعاعی و زاویه‌ای بررسی می کنند. در حالت محوری قلب راکتور در راستای محور عمودی به دو ناحیه بالایی و پایینی تقسیم می شود و اختلاف توان بالایی و پایینی قلب نسبت به کل توان قلب را به عنوان آفست محوری تعریف کرده (رابطه ۹)). برای حالت شعاعی نیز قلب در راستای شعاعی به دو ناحیه درونی و بیرونی تقسیم می شود و اختلاف توان ناحیه درونی و بیرونی نسبت به کل توان قلب راکتور، با عنوان آفست شعاعی (رابطه ۹)) تعریف می شود. در حالت زاویه‌ای نیز قلب راکتور به دو ناحیه تقسیم می شود و اختلاف توان نیمه سمت چپ و راست نسبت به کل توان قلب با عنوان آفست زاویه‌ای (رابطه ۹)) تعریف می شود. تغییرات آفست ها را با زمان رسم کرده که در تمام این حالت‌ها هرچه نوسانات زودتر میرا شود و دامنه این نوسانات در اثر راکتیویته اغتشاش اعمالی کوچکتر باشد بهتر است و توزیع توان در قلب راکتور یکنواخت تر است.

$$Axial / Aximutal / Diametrical -offset (\%) = 100 \left(\frac{P_{top / left / inner} - P_{bottom / right / outer}}{P_{top / left / inner} + P_{bottom / right / outer}} \right) \quad (9)$$

برای بررسی رفتار راکتور در بررسی نوسانات زینان، از دامنه نوسانات زینان و فاکتور پایداری این نوسانات استفاده می شود. از آنجایی که نوسانات زینان دارای رفتار نوسانی به صورت تابع نمایی است برای بدست آوردن فاکتور پایداری نوسانات، از رابط زیر استفاده می شود در این رابطه T دوره تناوب نوسانات است. [۵]

$$\alpha = \frac{1}{T} \ln \left(\frac{A^{n+1}}{A^n} \right) \quad (10)$$

نتایج:

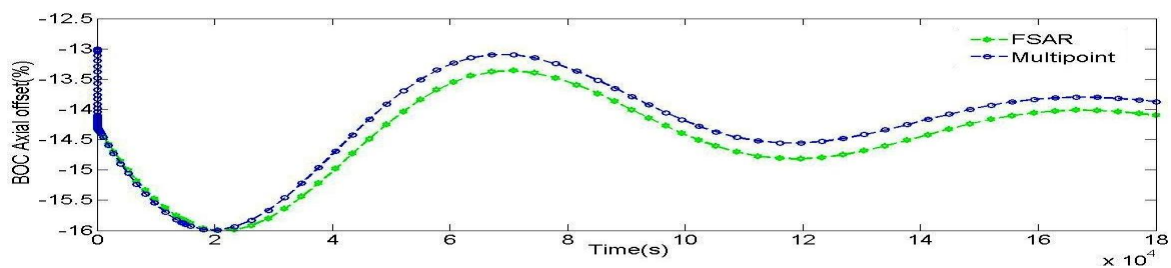
در این مقاله برای مدلسازی و بررسی نوسانات زینان به روش سینتیک چندنقطه‌ای، از پارامترهای راکتور بوشهر به عنوان راکتور نمونه استفاده می شود. قلب راکتور بوشهر شامل ۵۴ مجتمع سوخت با



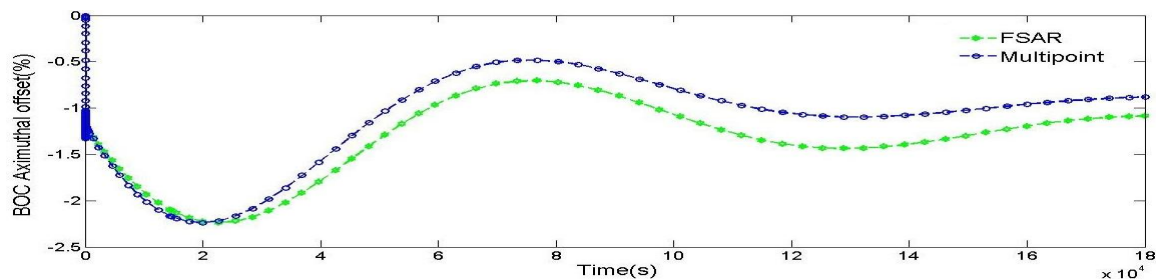
بیست و یکمین کنفرانس هشتای ایران

۶ و ۷ اسفند ماه ۱۳۹۳ دانشگاه اصفهان

غناي ۱.۶ درصد، ۶۷ مجتمع سوخت با غناي ۲.۴ درصد و ۴۲ مجتمع سوخت با غناي ۳.۶ درصد می‌باشد. در هر مجتمع سوخت ۳۱۱ میله سوخت جای می‌گیرد که در مجموع راکتور شامل ۵۰۶۹۳ میله سوخت است. توان کاری قلب در شرایط کاری ۳۰۰۰ مگاوات حرارتی است و آب درون مدار اول راکتور دارای فشار ۱۵.۷ مگاپاسکال است تا از دوفازی شدن آب درون قلب جلوگیری شود. در این مقاله نوسانات زینان برای ابتدا و انتهای سیکل کاری راکتور بوشهر بررسی می‌شود. در شکل-های شماره ۱ و ۲ و ۳ به ترتیب نوسانات حالت محوری، زاویه ای و شعاعی برای ابتدای سیکل اول کاری راکتور بوشهرنمایش داده می‌شود. همچنین در شکل‌های شماره ۴ و ۵ نوسانات حالت های محوری و شعاعی و زاویه ای برای انتهای سیکل اول کاری راکتور بوشهر نمایش داده می‌شود. در نهایت باتوجه به نمودارهای ارائه شده در نتایج، می‌توان دامنه نوسانات و همچنین ضریب میرایی نوسانات را بدست آورد. در جداول شماره (۱-۳) مقادیر بدست آمده بوسیله روش سینتیک چندنقطه-ای با مقادیر ارائه شده در FSAR مقایسه می‌شود. در کلیه مدل‌سازی‌ها، ۲۰ درصد ارزش میله‌هایی کنترلی گروه ۱۰ به عنوان اغتشاش ورودی به سیستم اعمال می‌شود.



شکل (۱): نمایش نوسانات زینان محوری در ابتدای سیکل

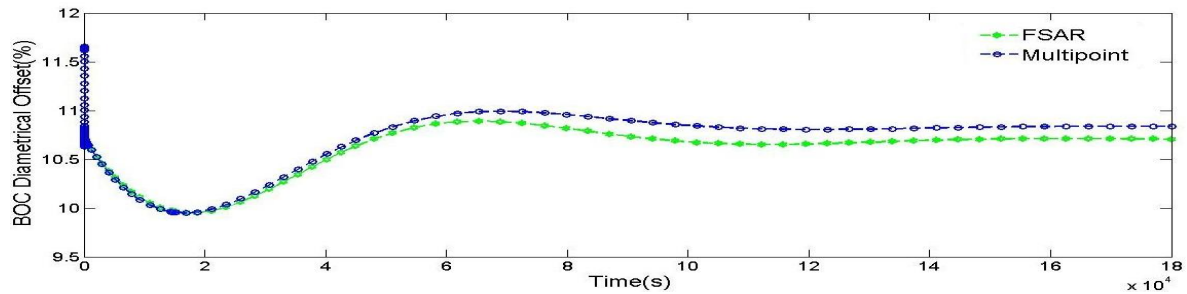


شکل (۲): نمایش نوسانات زینان زاویه ای در ابتدای سیکل

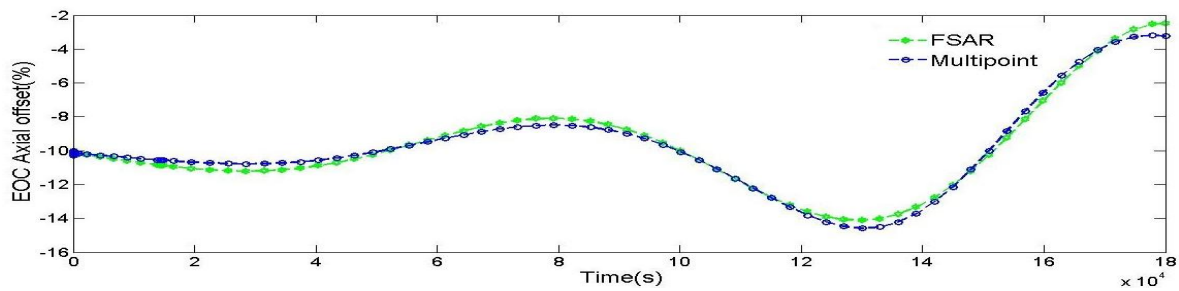


بیست و یکمین کنفرانس هسته‌ای ایران

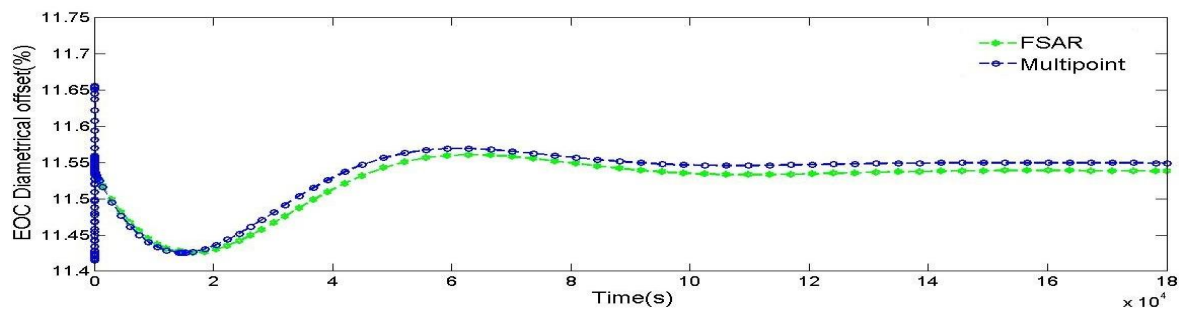
۶ و ۷ اسفند ماه ۱۳۹۳ دانشگاه اصفهان



شکل (۳): نمایش نوسانات زینان شعاعی در ابتدای سیکل



شکل (۴): نمایش نوسانات زینان محوری در انتهای سیکل



شکل (۵): نمایش نوسانات زینان شعاعی در انتهای سیکل

جدول ۱: مقادیر دامنه نوسانات و ضریب پایداری نوسانات

Type of oscillations	BOC period (h)	BOC Stability index(1/h)	EOC period (h)	EOC Stability index(1/h)
Axial	27	-.044	28	.050
Diametrical	26.5	-.103	26	-.122
Aximuthal	29.5	-.050	-	-



بیست و یکمین کنفرانس هسته‌ای ایران

۷ و ۶ اسفند ماه ۱۳۹۳ دانشگاه اصفهان

بحث و نتیجه‌گیری:

تاکنون برای بررسی نوسانات زینان و رفتار راکتورهای آب تحت فشار، از معادلات ترابرد و دیفیوژن استفاده شده است. اما در این مقاله، روش سینتیک چندنقطه‌ای برای بررسی نوسانات زینان توسعه داده شده است که مقایسه جواب‌های بدست آمده از این روش، انطباق خوبی با گزارش ایمنی راکتور بوشهر دارد. همین طور روش سینتیک چند نقطه‌ای نوترون می‌تواند بعنوان ابزار مناسب و قدرتمندی جهت استفاده در طراحی کنترلر نوسانات توان مورد استفاده قرار گیرد.

مراجع:

- [۱] Avery, R., 1958. Theory of coupled reactors. In: Proceedings of 2nd International Conference on Peaceful Uses of Atomic Energy, vol. 12, p. 182.
- [۲] Komata, M., 1969. On the derivation of Avery's coupled reactor kinetics equations. Nucl. Sci. Eng. 38, 107-118.
- [۳] Shimjith, S.R., Tiwari, A.P., Bandyopadhyay, B., 2010. Space time kinetics modeling of advanced heavy water reactor for control studies. Ann. Nucl. Energy 37, 310-324.
- [۴] Shimjith, S.R., Tiwari, A.P., Bandyopadhyay, B., Patil, R.K., 2011. Spatial of stabilizatio. Advanced Heavy Water Reactor. Ann. Nucl. Energy 38, 1545-1558.
- [5] Russia Federal Agency on Nuclear Energy (RFANE), 2007. Chapter 4 (FSAR) for BNPP. Book 1, Moscow.