تعیین ضرایب دمایی سوخت و کندکننده در راکتور بوشهر با استفاده از روش آنالیز نویز

بساطی پناه،مهدی[(۱)] – ذوالفقاری،احمدرضا[(۱)] – عباسی،محمدرضا* [(۱)] – خوش احوال،فرخ[(۲)]

[۱]دانشگاه شهیدبهشتی،دانشکده مهندسی هسته ای،گروه راکتور

[۲]سازمان انرژی اتمی ایران،پژوهشگاه علوم و فنون هسته ای،پژوهشکده راکتور

چکیده:

روش آنالیز نویز امکان بدست آوردن پارامترهایی از سیستم را بدست می دهد که با روش های دیگر بسیار سخت و گاه ناممکن است. گاهی اوقات تنها متغیرهای خاصی هستند که نامعلوم می باشند. در این حالت آنالیز نویز را با هدف تعیین آن متغیرها به کار می بندند. در این صورت اندازه گیری همزمان اختلال صورت گرفته و نویز نوترونی بوجود آمده ضروری می باشد. در این مقاله ضرایب دمایی کندکننده و سوخت را با روش آنالیز نویز و به کمک مدل ترمونوترونیکی شبیه سازی شده راکتور بوشهر در محیط سیمولینک، تعیین می گردد. ابتدا یک نویز سفید برای دما تولید شده و سپس با استفاده از خروجی مدل ترمونوترونیکی تغییرات وابسته به زمان کمیت های مربوطه در راکتور مشخص می شود. نتایج نشان دهنده دقت بسیار بالای روش در تعیین ضرایب دمایی سوخت و کندکننده می باشد.

کلمات کلیدی: *آنالیز نویز، ضریب دمایی سوخت، ضریب دمایی کندکننده،مدل ترمونوترونیکی گذرا*

مقدمه:

مفهوم نویز راکتور را می توان با مراجعه به هر راکتور هسته ای در حالت پایا کشف کرد. چنانچه نمودار توان یک راکتور را در حالت پایا به صورت تابعی از زمان رسم شود، نشان از نوساناتی حول توان پایای راکتور دارد. این نوسانات حول مقدار متوسط تحت عنوان نویز راکتور می شناسند. از آن جایی که این نوسانات وابسته به زمان هستند، اطلاعات به دست آمده نیز با پاسخ های سینتیکی راکتور سر و کار دارند. بدین ترتیب می توان متغیرهای دینامیکی راکتور را از اندازه گیری های حالت پایا بدست آورد. چنانچه به این مهم دست یابیم، موفقیت شگرفی را از منظر فنی و اقتصادی راکتور کسب کرده ایم. ایده استفاده از نویز آنالیز برای پایش ضریب راکتیویته دمایی کندکننده[۱] اولین بار توسط تای[۲] در سال ۱۹۷۷ [۱] برای راکتورهای آبی تحت فشار ارائه شد.

[1] Moderator temperature coefficient of reactivity (MTC)
[2] Thie

افراد بسیاری اقدام به محاسبه ضریب راکتیویته دمایی کندکننده به روش نویز آنالیز کرده اند که از آن جمله می توان به کارهای پازیسیت[3] و دیمزیر[4] اشاره کرد[۲و۳و٤].

مقدمه ای بر تئوری روش نیز آنالیز:

زمانی که صحبت از نویز به میان می آید اغلب اوقات متصور یک پدیده مخرب هستیم که در نتایج اندازه‌گیری و یا در کارایی سیستم تاثیر منفی دارد. اما باید به این نکته توجه داشت که نویز، اگرچه پدیده ای اجتناب ناپذیر محسوب می شود ولی با تجزیه و تحلیل آن می توان نتایج مفیدی از رفتار سیستم بدست آورد این نتایج می تواند کمک قابل توجهی در بهره برداری ایمن و بهینه سیستم داشته باشد.

نویز راکتور را به دو دسته نویز راکتورهای صفر قدرت و نویز راکتورهای قدرت [۵] تقسیم بندی می کنند. پدیده نویز نوترونی در هردو سیستم اطلاعات مهمی درباره سیستم به دست می دهد. منشا این پدیده در هردو حالت باهم متفاوت است. توصیف ریاضی و کاربردهای نویز نوترونی برای هر دوحالت باهم فرق می کند. درحالت مشترک از نویز نوترونی برای اهداف تشخیصی یا برای تعیین متغیرهای دینامیکی قلب استفاده می گردد. تغییرات راکتیویته به ازای تغییرات کوچک در دمای کندکننده به صورت زیر ارایه می شود[٤و٥و٦]:

$$\delta\rho(t) = \mathrm{MTC} \times \delta T_m^{ave}(t) \qquad (۱)$$

که در آن MTC ضریب دمایی کندکننده می باشد.

اگر راکتیویته وابسته به فرآیندهای ایستا و ارگودیک باشد $s_i(t).\, i = 1. \ldots . N$ با بسط و گسترش تغییرات راکتیویته حول مقدار ایستا و با در نظرگرفتن فرض تئوری خطی داریم[۳,۴]:

$$\delta\rho(t) \approx MTC \times \delta T_m^{ave}(t) + \sum_{i=1.s_i \neq T_m^{ave}}^{N} \frac{\partial\rho}{\partial s_i}\delta s_i(t) \qquad (۲)$$

معادله (۲) معادله جی نویز راکتیویته نام دارد که اثر MTC از سایر اثرات جدا شده است.

برای محاسبه ضریب راکتیویته دمایی کندکننده در این مدل داریم:

$$\mathrm{CCF}_{\delta\rho.\delta T_m^{ave}}(\tau) = \mathrm{MTC} \times \mathrm{ACF}_{\delta T_m^{ave}}(\tau) + \frac{\partial\rho}{\partial T_f^{ave}} \times \mathrm{CCF}_{\delta T_f^{ave}.\delta T_m^{ave}}(\tau) \qquad (۳)$$

[3] Pazsit
[4] Demaziere

در حالی که CCF[5] تابع همبستگی متقابل دو فرآیند و ACF[6] تابع خود همبستگی فرآیند نام دارند.اگر در رابطه (۳) شرط زیر به ازای یک مقدار مشخص τ برقرار باشد

$$\mathrm{CCF}_{\delta T_f^{ave}.\delta T_m^{ave}}(\tau) = 0 \qquad (٤)$$

برای محاسبه MTC از رابطه (۵) استفاده می شود[٤و٥].

$$\mathrm{MTC} = \frac{\mathrm{CCF}_{\delta\rho.\delta T_m^{ave}}(\tau)}{\mathrm{ACF}_{\delta T_m^{ave}}(\tau)} \qquad (٥)$$

با توجه به تعریفی که برای MTC ارایه شد، می توان FTC را نیز به همان روش محاسبه کرد.

برای محاسبه ضریب راکتیویته دمایی سوخت در این مدل داریم:

$$\mathrm{CCF}_{\delta\rho.\delta T_f^{ave}}(\tau) = \mathrm{FTC} \times \mathrm{ACF}_{\delta T_f^{ave}}(\tau) + \frac{\partial\rho}{\partial T_m^{ave}} \times \mathrm{CCF}_{\delta T_m^{ave}.\delta T_f^{ave}}(\tau) \qquad (٦)$$

اگر

$$\mathrm{CCF}_{\delta T_m^{ave}.\delta T_f^{ave}}(\tau) = 0 \qquad (٧)$$

برای محاسبه FTC از رابطه شماره (۷) استفاده می شود:

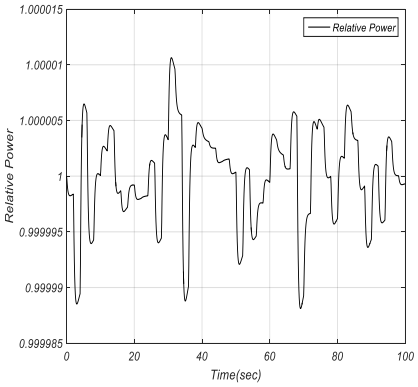
$$\mathrm{FTC} = \frac{\mathrm{CCF}_{\delta\rho.\delta T_f^{ave}}(\tau)}{\mathrm{ACF}_{\delta T_f^{ave}}(\tau)} \qquad (٨)$$

پیاده سازی روش و نتایج عددی:

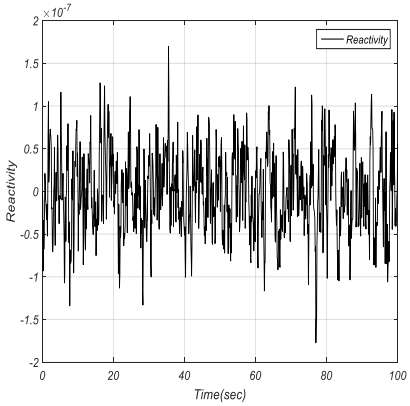
برای پیاده سازی این روش نیاز به یک شبیه ساز ترمونوترونیکی قلب راکتور می باشد که در هر لحظه بصورت دینامیکی مقدار توان و دمای سوخت و کندکننده را نمایش دهد[۶]. در این پژوهش از روش سینتیک چندنقطه ای و یک مدل ترموهیدرولیکی مبتنی بر بقای انرژی برای شبیه سازی ترمونوترونیکی راکتور بوشهر در محیط سیمولینک متلب استفاده شده است. هدف این پژوهش پایش ضرایب MTC و FTC به روش نویز آنالیز است. با توجه به مدل شبیه سازی شده ای که در اختیار داریم امکان اینکه بتوانیم نویز را از سیستم در حالت پایا استخراج کنیم وجود ندارد، بنابراین با علم به دامنه نوسانات(نویز) دمای ورودی به راکتور، نویز سفید با فرکانس ۰,۵ هرتز و قدرتی که حداکثر دامنه ی نوسانات (نویز)دمای ورودی $\pm$ ۰,۰۰۱ °C باشد، را به مدل خود در

[5] Cross-Correlation Function
[6] Auto-Correlation Function

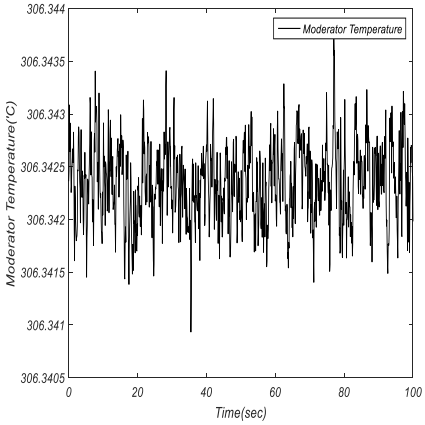
حالت پایا اعمال می کنیم. نویز سفید در حقیقت مقادیر اختلال یک کمیت بصورت تصادفی حول یک مقدار میانگین مشخص و در یک بازه معین می باشد. اشکال شماره (۱) و (۲) و (۳) و (٤) نوسانات توان،راکتیویته ،دمای متوسط سوخت و کندکننده را در صورت وجود نویز سفید[7] با فرکانس ۰/۵ هرتز در دمای خنک کننده ورودی به راکتور را نشان می دهند.



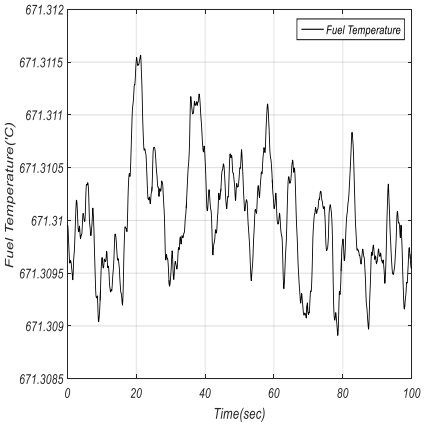
شکل شماره(۱):نوسانات توان نسبی



شکل شماره(۲): نوسانات راکتیویته درون قلب



شکل شماره(۳): نوسانات دمای خنک کننده

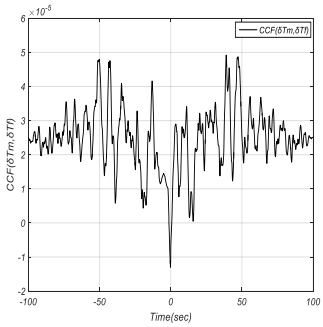


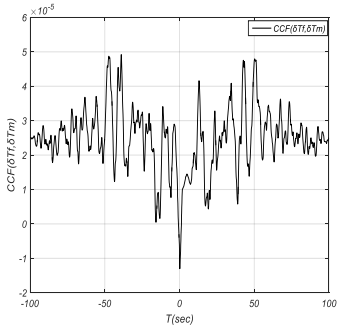
شکل شماره(٤): نوسانات دمای متوسط سوخت

اکنون می توانیم اینگونه ادعا کنیم که مدل شبیه سازی شده دارای نویز رفتاری شبیه سیستم راکتور واقعی دارد که می توانیم اطلاعات مورد نیاز برای تخمین MTC و FTC را از آن گرفته و مقادیرشان را محاسبه کنیم.

[7] White noise

شکل های (۵) و (٦) نشان دهنده مقادیر تابع همبستگی متقابل سوخت و کندکننده CCF می باشد

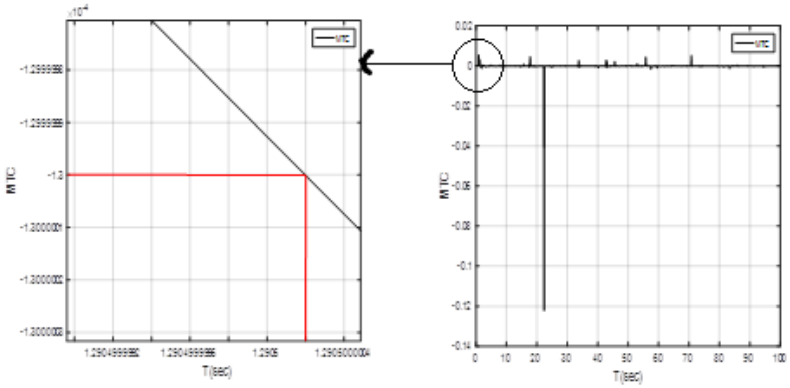




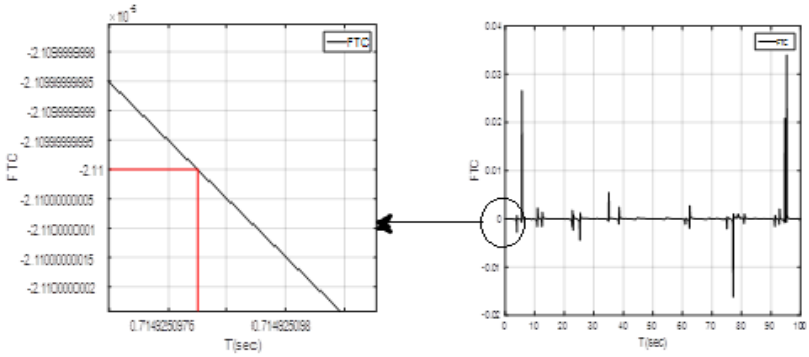
شکل شماره(۵):همبستگی متقابل دمای سوخت و کندکننده

شکل شماره(٦):همبستگی متقابل دمای کندکننده و سوخت

با تعیین مقادیر CCF و ACF می توان مقدار MTC را به ازای مقادیر مختلف τ محاسبه نمود اما مقداری قابل قبول است که شرط های (٤) و (۷) را برآورده سازد. باتوجه به شکل شماره (۱۱)، مقدار MTC همچنین، باتوجه به شکل شماره (۱۲)، مقدار FTC به ازای مقادیر مختلف τ محاسبه شده است.



شکل شماره(۱۱):مقادیر MTC به ازای بازه های مختلف زمانی



شکل شماره(۱۲):مقادیر FTC به ازای بازه های مختلف زمانی

در جدول (۱) مقادیر بدست آمده برای MTC وFTC از روش آنالیز نویز و همچنین زمان تزریق راکتیویته دمایی پس از تغییرات نمایش داده شده است.

جدول ۱) مقایسه مقادیر بدست آمده برای MTC وFTC از روش آنالیز نویز با FASR

	ضریب دمایی کندکننده (pcm/℃)	زمان تزریق راکتیویته ناشی از تغییر دمای کندکننده(sec)	ضریب دمایی سوخت (pcm/℃)	زمان تزریق راکتیویته ناشی از تغییر دمای سوخت(sec)
روش آنالیز نویز	-۱۳	۱/۲۹	-۲/۱۱	۰/۷۱۵
FASR	**-٤ تا -١٦**	-	**-۲ تا -۲/۷**	-

بحث و نتیجه گیری:

با توجه به جدول (۱) مقادیر بدست آمده با دقت بسیار خوبی با گزراش نهایی ایمنی راکتور بوشهر FSAR **مطابقت دارد. این امر نشان دهنده قدرت بالای روش آنالیز نویز بکار گرفته شده وهمچنین مدل ترمونوترونیکی ارائه شده برای راکتور بوشهر می باشد. در این روش مدت زمان پاسخ راکتور به تغییر دمای سوخت و کندکننده نیز مشخص می شود و** بدین معناست که راکتیویته ناشی از سوخت آنی بوده و بسیار سریعتر از راکتیویته کندکننده به سیستم تزریق می گردد. ولی در عوض مقدار راکتیویته ناشی از سوخت بیشتر بوده و منجر به اختلال بزرگتری در راکتور می شود.

منابع:

[۱]Joseph A.Thie, 1981. Power Reactor Noise, American Nuclear Society.

[۲]C.Demaziere, I.Pazsit, et.al., 2003. Analysis Of MTC Noise Measurement Performed In Ringhals-2 Using Gamma-Thermometers And In-Core Neutron Detectors, Nuclear Emergy, Vol. 43, No. 1-4, pp.57-66.

[۳] C.Demaziere, I.Pazsit, 2002. Theoretical investigation of the MTC noise estimation in 1-D homogeneous systems, Annals of Nuclear Energy 29, 75-100.

[۴] C.Demaziere, I.Pazsit, 2003. Study of the MTC estimation by noise analysis in 2-D heterogeneous systems, Nuclear Energy, Vol. 43, No.1-4, pp.313-319.

[۵]M.M.R.Williams, 1974. Random Processes in Nuclear Reactors, Pergamon Press Ltd, Headington Hill Hall, Oxford. [۷]Russia Federal Agency on Nuclear Energy(RFANE), 2007. FSAR for BNPP. Book 1. Moscow.

[۶]Farrokh khoshahval, Abdol Aziz. Ahdavi, Determination of the maximum speed of WWER-1000 nuclear reactor control rods, Annals of Nuclear Energy 87, 58-68. 2016.