

اندازه گیری ثابت واپاشی نوترون آنی در قلب رآکتور زیربحرانی آبسبک اصفهان با استفاده از تحليل فاينمن – آلفا

محمد ارکانی*'، صمد خاکشورنیا'، حسین خلفی'، ناصر وثوقی' ۱. پژوهشکدهی رآ کتور، پژوهشگاه علوم و فنون هستهای، سازمان انرژی اتمی ایران، صندوق پستی: ۱۳۳۹–۱٤۱۵۵، تهران ـ ایران ۲. دانشکدهی مهندسی انرژی، دانشگاه شریف، صندوق پستی: ۱۱۱٤–۱٤٥٦۵، تهران ـ ایران

چکنده: روش های شناسایی که بریانهی تئوری نوفهی رآکتور قدرت صفر هستند، در اندازه گیری پارامترهای جنستی قلب رآکتورهای هستهای بسیار رایج، پُر کاربرد و البته از جمله روش های استاندارد در شناسایی قلب رآکتورهای هستهای می باشند. از جملهی آن ها می توان به روش کار آمد فاينمن – آلفا اشاره نمود. در رآكتور زيربحراني آبسبك اصفهان، سامانهي قلب رآكتور عميقاً زيربحراني است. از اين رو يارامتر ثابت واياشي نوترون آنی در این سامانه، کمیت منفی بزرگی است. در این پژوهش، با استفاده از سامانهی جمع آوری اطلاعات ویژهای، این پارامتر به وسیلهی تحليل فاينمن– آلفا در پنجرههاي زماني با قدرت تفكيك μs تخمين زده شد. مقدار تجربي پارامتر ثابت واپاشي نوترون آني در ايـن سـامانه برابـر با [^{[-}s] ٨٨±٣٩٩٩ بر آورد شده است. از تحليل رُسى- آلفا، اين مقدار در مراجع برابر با [^{[-}s] ١٧٧±١٧٩ براي اين سامانه گزارش شده است. مقایسهی نتایج به دست آمده با مقدار تخمین زده شده از روش رُسی- آلفا، ساز گاری نسبتاً خوبی را در گسترهی عدم قطعیت آماری به دست آمده نشان می دهد.

کلیدواژه ها: تحلیل فاینمن - آلفا، رآ کتور زیربحرانی، ثابت واپاشی نوترون آنی، نوفه ی رآ کتور قدرت صفر

Measurement of Prompt Neutron Decay Constant in Esfahan Light Water Subcritical Reactor Utilizing Feynman-α Analysis

M. Arkani^{*1}, S. Khakshournia¹, H. Khalafi¹, N. Vosoughi² 1. Reactor Research School, Nuclear Science and Technology Research Institute, AEOI, P.O.Box: 14155-1339, Tehran – Iran 2. Department of Energy Engineering, Sharif University, P.O.Box: 14565-1114, Tehran - Iran

Abstract: Diagnostic methods based on zero power reactor noise theory are very common and widely applicable in kinetic parameters and are also one of the standard diagnosis methods of nuclear reactor cores. Feynman- α method is one of these efficient methods of diagnosis. In this work, this method is employed to measure the prompt neutron decay constant of the Esfahan Light Water Subcritical Reactor (ELWSCR). The ELWSCR is a deep subcritical reactor. Therefore, the prompt neutron decay constant of the core is a large negative quantity. Using an especial data acquisition system, the prompt neutron decay constant of the core, based on the Feynman- α analysis, is estimated to be 3966±88 sec⁻¹. The time window of 100 μ s is employed in this investigation. By applying the Rossi- α method, this parameter has alrealy been reported to be $3990\pm177 \text{ sec}^{-1}$ in references. The comparison shows that our results are in a rather good agreement with that estimated by the Rossi- α method within the range of statistical uncertainties.

Keywords: Feynman-a Analysis, Subcritical Reactor, Prompt Neutron Decay Constant, Zero Power **Reactor Nois**

*email: markani@aeoi.org.ir

تاريخ دريافت مقاله: ۹۴/۳/۱۹ تاريخ يذيرش مقاله: ۹۵/۱/۲۴

۱. مقدمه

در اُفت و خیزهای آماری داده های به دست آمده از آشکارسازهای هستهای، اطلاعات مهمی پنهان است که استخراج آنها نیازمند به کارگیری روشهای منحصر به فرد است. این افت و خیزها که در این پژوهش به صورت شمارش های سامانهی آشکارسازی نوترون در پنجره های زمانی مشخصی هستند، به شکل زنجیرهای از یالس های تصادفی می توانند در خروجی آشکارساز هستهای مشاهده شوند. جنبههای مختلفی از این وقایع ارزیابی می شوند، که از آن جمله می توان به انرژی یا ارتفاع پالس ایجاد شده، همزمانی آن با دیگر وقایع، طیف توزیع فاصله زمانی بین پالس ها، متوسط یا نرخ پالس های ثبت شده و مواردی از این دست اشاره نمود. یکی از ابزارهای مفید در تحلیل سامانه های زیربحرانی، روش هایی است که بر پایهی تئوری نوف ر آکتور قدرت صفر میباشند. از مزیت های مهم در تحلیل نوفهی ر آکتور قدرت صفر، انجام آزمایش در شرایط کار عادی ر آکتور بدون نیاز به چشمهی پالسی نوترون است. از آن جاکه رآکتور زیربحرانی آبسبک اصفهان، به چشمه ی پالسی نوترون مجهز نیست، تحلیل نوف روشی سودمند برای این گونه از سامانه های زیربحرانی است. رآکتور زیربحرانی آبسبک اصفهان، سامانهای عمیقاً زیربحرانی است که ضریب تکثیر مؤثر به دست آمده از محاسبات مونت کارلو با کد MCNP [۱]، حدوداً برابر با ۰٬۰۰۴±۰٬۰۰۴ است و راکتیویته ای معادل با منفی ۲۱ دلار را شامل می شود (با فرض آن که کسر مؤثر نوترون های تأخیری، Beff، برای سامانهی فوق برابر با ۰٬۰۰۶ باشد). در بخش ۴ در مورد جزئیات این سامانهی زیربحرانی، اطلاعات بیش تری ارائه شده است. در این شرایط، از آنجاکه زنجیره های شكافت نوتروني تحت تأثير ثابت واپاشي منفي بزرگ نوترون آنی به سرعت میرا می شوند، اندازه گیری و کاربرد روش های تحلیل نوفه، نیازمند ابزارهای مفیدی برای جمع آوری و تحلیل دادههای تجربی و آماری رآکتور هستند. کاربرد تحلیل فاينمن – آلفا در اين رآكتور براي اولين بـار در يـژوهش حاضـر مطالعه مي شو د.

۲. روش کار

در این پژوهش، با استفاده از سختافزار مناسبی [۲] حجم نسـبتاً بزرگی از داده های تجربی مربوط به اُفت و خیزهای شمارش نوترون های آشکار شده در این رآکتور ثبت و در کامپیوتر ذخیره شد. در مرحله ی بعد، تحلیل فاینمن – آلفا در محیط نرمافزار مهندسی متلب^(۱) [۳]، به صورت غیرهمزمان بر این دادهها به کار برده شد. در حقیقت، دادههای تجربی جمع آوری شده، برداری از اعداد است که هر عضو آن نمایندهی زمان ورود یکی از پالس های تصادفی از سامانهی آشکارسازی نوترون است. در مورد روش و الگوریتم تحلیل دادهها، در بخشهای مربوط به شرح تحليل هاي رُسي- آلفا و فاينمن- آلفا اطلاعات بيش ترى ارائه شده است. نوفهي رآكتور قدرت صفر، مقدار ثابت واپاشي نوترون آنی را به دست می دهد. احتمال از بین رفتن نوترون آنی در اثر جذب و یا نشت از سامانهی قلب رآکتور را در واحد زمان در اصطلاح «ثابت واپاشی نوترون آنی» مینامند. این پـارامتر در رابطهی (۱) تعریف شده است [۴–۶]. یادآوری می شود در یک رآکتور فرضي که در آن نوترونهاي تأخيري نقشي ندارند، ثابت واياشي نوترون آنبي، ثابت زماني كاهش يا افزايش جمعيت نوترونها نسبت به زمان است (یعنی عکس دورهی تناوب آنی قل رآكتور) [٧]:

$$\alpha = \frac{1 - k_{p}}{l} = \frac{(\beta_{eff} - \rho)}{\Lambda}$$
(1)

که در آن، k_p ضریب تکثیر نوترون های آنی، l متوسط عمر نوترون های آنی، β_{eff} کسر مؤثر نوترون های تأخیری، Λ زمان تولید نسل نوترون ها، و ρ راکتیویته سامانهی قلب رآکتور است. چنان که مشاهده می شود، هر چقدر راکتیویته سامانهی قلب رآکتور، مقدار منفی بزرگ تری باشد، پارامتر α نیز بزرگ تر خواهد بود و با محاسبهای تقریبی برای رآکتور زیربحرانی آب سبک اصفهان (با فرض $1 - = \rho$ ، ۵۹۰، - β_{eff} ، $\beta_{eff} = -$ ، ۰۰۶۵ په دست می آید. از آن جا که رآکتور زیربحرانی آب سبک اصفهان دارای راکتیویته منفی بزرگی است، روش تحلیل نوفهی رآکتور قدرت صفر برای اندازه گیری پارامتر ثابت واپاشی نوترون آنی در این سامانه روشی منحصربه فرد و ایده آل است. هم چنین با توجه به زمینه ی بسیار

ضعیف نوترون و گاما در این رآکتور، این روش، عملیاتی است. در این پژوهش از تحلیل فاینمن – آلفا، ثابت واپاشی نوترون آنی در قلب رآکتور زیربحرانی آبسبک اصفهان به دست آمده است. نتایج تجربی اندازه گیری شده با نتایج به دست آمده از روش رئسی – آلفا مقایسه، و تطابق نسبتاً خوبی مشاهده شد. در ادامه قبل از پرداختن به نحوهی انجام آزمایش و نتایج به دست آمده از آن، روشهای رئسی – آلفا و فاینمن – آلفا معرفی می شوند.

۳. تحلیل رُسی- آلفا

یکی از بهترین روش های تحلیل افت و خیزهای آماری نوترون های آشکار شده در قلب رآکتور، روش رسی - آلفا است. این روش در ابتدا برای رآکتورهای سریع ارائه شد، ولی با ابزارهای جدید امروزی در رآکتورهای حرارتی نیز قابل کاربرد است. رابطهی (۲)، با نام توزیع احتمال رسی شناخته شده است که عبارت است از [۴-۷]:

$$P_{\text{Rossi}}(\tau) = N_{\text{UC}} + N_{\text{C}} e^{-\alpha \tau}$$
 (Y)

سمت راست این رابطه، به ترتیب شامل عبارتهای مربوط به واکـنش.هـای زنجیـرهای همبسـته (۲) و غیرهمبسـته (۳) اسـت. در اصطلاح به پارامتر t پنجرهی زمانی^(۴) اطلاق می شود. در آزمایش تجربی رُسی– آلفا، تابع توزیع احتمال، (P_{Rossi}(t، اندازه گیری و سپس بر نتایج به دست آمده از رابطهی (۲) برازش می شود. یکی از پارامترهای منحنبی برازش شده، پارامتر α است که شامل اطلاعاتي راجع به ميزان راكتيويته، كسر مؤثر نوترون هاي تاخیری، و طول عمر نوترون های آنی است. شکل ۱ نشاندهندهی نحومی تحلیل دادهها در روش رُسی- آلفای نوع اول است. در این روش، اولین پالس هر زنجیرهی تصادفی که در پنجرههای زمانی^(۵) TCW قرار دارند، پالس مبدأ زمانی در نظر گرفته میشود. تحلیل دادهها منجر به محاسبهی میزان وابستگی پالس های ثانویه به پالس آغاز کنندهی زنجیره می شود. این الگوريتم بر روي تعداد زيادي از پنجرههاي زماني تكرار، و سرانجام میزان متوسط وابستگی، محاسبه خواهد شـد. هـر چقـدر تعداد پنجره های زمانی بیش تر باشد، به دنبال آن، زمان جمع آوری اطلاعات بیش تر شده و خطای آماری نتایج نیز كاهش مي يابد.



شکل ۱. الگوریتم تحلیل رُسی- آلفا نوع اول.

٤. تحليل فاينمن - آلفا

در تحلیل فاینمن – آلفا، نسبت واریانس به متوسط شـمارش.هـا در پنجرههای زمانی مختلفی اندازه گیری می شوند. نسبت واریانس به متوسط شمارش.ها عبارتست از:

$$\frac{\overline{S}^{\,\mathrm{v}}}{\overline{C}} = \frac{\overline{C^{\,\mathrm{v}}} - \overline{C^{\,\mathrm{v}}}}{\overline{C}} \tag{(7)}$$

میدانیم در توزیع پواسون، این نسبت برابر با یک است، اما در قلب رآکتور هستهای، علاوه بر وجود نوترون هایی که دارای توزیع پواسون هستند، نوترون های وابستهای نیز وجود دارند که از نسل های واکنش های زنجیرهای مشترکی به وجود آمدهاند. از این رو، فرایند تصادفی حاصل، خود همبسته^(۹) است. در این صورت نسبت واریانس به متوسط شمارش ها نسبت به توزیع پواسون دارای انحراف است، از این رو داریم:

$$\frac{\overline{S'}}{\overline{C}} = \frac{\overline{C'} - \overline{C'}}{\overline{C}} = 1 + y$$
(F)

میزان انحراف از توزیع پواسون، ۷، در مراجع به صورت زیر بیان شده است [۴–۶]:

$$y = \frac{\varepsilon D_{\nu}}{\rho_{p}^{\prime}} \left(1 - \frac{1 - \exp(-\alpha\tau)}{\alpha\tau} \right)$$
 (a)

در این رابطه داریم:

$$ho_{p} = rac{k_{p} - 1}{k_{p}} + rac{1}{k_{p}} + rac{\rho_{p}}{\rho_{p}} = rac{\rho_{p}}{\rho_{p}}$$
، ho_{p} ; راکتیویته آنی و برابر است با \mathcal{F}_{p} : بازدهی سامانهی آشکارسازی نوترون (نسبت تعداد \mathcal{F}_{p} : شمارش ها به تعداد کل شکافت های انجام شده)، D_{v} : ضریب دیون^(v) که برابر است با $rac{\overline{v(v-1)}}{\overline{v}}$ ،

دیگر پارامترها تعاریف مشابهی مانند پارامترهایی دارند که در قسمتهای قبلی ارائه شده است. پارامتر ۷، معیاری از اُفت و خیزهای اضافی نسبت به توزیع پواسون است که بعضاً پارامتر وابستگی زنجیره^(۸) نیز نامیده میشود. تحلیل فاینمن – آلفا به دنبال یافتن پارامتر ۷ است و از این راه، مقدار ثابت واپاشی نوترون آنی در قلب رآکتور به دست میآید. در شکل ۲، الگوریتم ترکیب شمارش های جمع آوری شده طی ۱۲ پنجرهی زمانی نشان داده شده است. در این شکل، *T*، عرض پنجرهی زمانی مبنا است. به شده است. در این شکل، *T*، عرض پنجرهی زمانی مبنا است. به با عرض زمانی *T*، دادههای متناظر با پنجرهی زمانی با عرض *T* به دست میآید. به این ترتیب، چنان که در شکل نیز نشان داده بر رگذیر و مضرب صحیحی از T در پنجرههای زمانی به دست بزرگذیر و مضرب صحیحی از T در پنجرههای زمانی به دست نوفه رآکتور قدرت صفر به مراجع [۸–۱۸] مراجعه کنید.

٥. آشنایی با رآ کتور زیربحرانی آب سبک اصفهان رآکتور زیربحرانی، به ترکیبی از مواد شکافان و دیگر مواد اطلاق میشود که ضریب تکثیر در کل مجموعه، کوچکتر از واحد است و اساساً امکان بحرانی شدن این سامانه وجود ندارد. از اینرو، این نوع از رآکتورها از ایمنی ذاتی بالایی برخوردار هستند و در نتیجه به سامانههای کنترل نیازی ندارند. رآکتورهای زیربحرانی در مطالعات مربوط به فیزیک رآکتور موارد استفاده فراوانی دارند. برخی از این کاربردها عبارتند از، اندازه گیری پارامترهای مورد نیاز در طراحی رآکتور، بررسیهای مربوط به

پنجرہ زمانی

١Τ	C, C,	C۳	C۴	C₀	C,	Cv	C,	C٩	С1.	С,,	ς,1
۲۲	C1+C7 C4+C6		C₀+C _⋟		C _v +C _A		C ₉ +C ₁ .		C11+C11		
۳T	C ₁ +C ₇ +C ₇ C ₇		_f +C _δ +C _γ C _γ +		v+C ^v +C ^v C		С,	1.+C11+C11			
۴T	C1+C7+C7+C6			$C_{\Delta}+C_{P}+C_{V}+C_{A}$			C4+C1.+C11+C11				
۲۵	$C_1+C_7+C_7+C_8+C_3$				$C_{\varphi}+C_{V}+C_{A}+C_{3}+C_{1}.$						
۶T	$C_1+C_7+C_7+C_8+C_4+C_9$			$C_{\gamma}+C_{\Lambda}+C_{\eta}+C_{1,1}+C_{1,1}+C_{1,\gamma}$							
νT	$C_1+C_r+C_r+C_s+C_a+C_r+C_v$										
۸T	$C_1+C_7+C_8+C_6+C_6+C_7+C_8$										
٩T	$C_1+C_7+C_7+C_5+C_5+C_7+C_4+C_4$										
١٠т	$C_1+C_7+C_7+C_8+C_8+C_9+C_7+C_8+C_1.$										
١١Τ	$C_1+C_7+C_7+C_7+C_5+C_5+C_7+C_4+C_1+C_{11}$										
١٢Τ	$C_1+C_7+C_7+C_8+C_8+C_9+C_7+C_4+C_1+C_{1,1}+C_{1,1}$										

شکل ۲. الگوريتم تحليل دادهها در روش فاينمن – آلفا.

شکل شبکههای سوخت، مطالعات مربوط به جذب و انعکاس نوترون. رآکتور زیربحرانی آبسبک که در مرکز هستهای اصفهان در دسترس است، مجموعهای از مواد شکافان با غنای طبيعي است كه آبسبك به شكل كندكننده و حفاظ بيولوژيكي، فضاي خالي بين ميله هاي سوخت را يُر كرده است. کل مجموعه ی سوخت و کندکننده در داخل محفظهای استوانهای شکل با شعاع حدود ۳۸ cm و ارتفاع حدود ۱۹۰ cm قرار گرفته است. در وسط این محفظه، قلب رآکتور که متشکل از شبکهای شش ضلعی به شعاع متوسط و تقریبی ۳۶ ۳۶ است بر روی یک شبکه از جنس پلکسی گلاس (۹) به صورت آویخته قرار گرفته است. سوخت رآکتور، اورانیم طبیعی فلزی است که با لايهاي از نيكل يوشش داده شده است. تعداد ميله هاي سوخت ۲۴۰ عدد است. کندکنندهی رآکتور زیربحرانی، آبسبک است. جدول ۱ مشخصات کلی این رآکتور را نشان میدهـد. از آنجا که در یک رآکتور زیربحرانی، واکنش های زنجیرهای بدون حضور چشمهي خارجي با نرخ بسيار اندکي رخ ميدهد، قلب رآکتور زیربحرانی توسط چشمههای نوترونی مانند Cf^{۲۵۲}Cf و Am-Be برای انجام آزمایش های مربوطه، بهرهبرداری می شود. اطراف قلب رآکتور حدود ۳۰cm آبسبک قرار گرفته است که نقش حفاظ بيولوژيکي را بر عهده دارد. همچنين به دليل آن که این رآ کتور به صورت ذاتی زیربحرانی است، به سامانه های کنترل و ايمني نيازي نيست. در شکل ۳، چيدمان قلب رآکتور زيربحراني آب سبک اصفهان و موقعيت قرار گيري آشکارساز در مرکز قلب رآکتور به تصویر کشیده شده است. چشمهی نوترون Am-Be به عنوان راهانداز واکنش های زنجیرهای در کنار قلب ر آکتو ر قرار گرفته است.

جدول ا. مشخصات کلی رآکتور زیربحرانی				
زيربحراني	نوع ر آکتور			
آبسبك	کندکننده			
ششضلعى	نوع شبكه			
$\sim F_V \mathrm{cm}$	گام شبکه			
24.	تعداد میلههای سوخت			
~ ٣۶ cm	شعاع قلب رآكتور			
$\sim \cdots cm$	ارتفاع قلب ر آکتور			
\sim % cm	شعاع تانک رآکتور			
~~ ~ cm	قطر سوخت			
اورانيم طبيعي فلزى	نوع سوخت			



شکل ۳. چیدمان قلب در رآکتور زیربحرانی آبسبک اصفهان و موقعیت استقرار آشکارساز و چشمهی نوترون در آن.

۲. نحوهی استقرار سامانهی اندازه گیری

شکل ۴ نشاندهنده ینمایش کلی سامانه ی اندازه گیری است که در این پژوهش برای آزمایش فاینمن – آلفا به کار گرفته شده است. آشکارساز نوترون و مدارهای بسته ی الکترونیک هسته ای، بخش های کلاسیک در آشکارسازی نوترون هستند. در اندازه گیری های مورد نظر در این پژوهش، از آشکارساز ۳F نسبتاً بزرگی با قطر خارجی ۲٫۹ cm و طول cm ۵۰ استفاده شد. پالس های آشکارساز بعد از تقویت از مدار تمیزدهنده ی سطح ولتاژ عبور کرده و اغتشاشات ناشی از پرتوهای گاما و نوفه ی واحد، پالس های منطقی با سطح ولتاژ V ۵ با استاندارد ^(۱۰) TTL میبشد. اطلاعات بیش تر در مورد نحوه ی عمل کرد سامانه ی میباشد. اطلاعات مورد استفاده در این پژوهش در مرجع [۲] جمع آوری اطلاعات مورد استفاده در این پژوهش در مرجع [۲]

۷. بحث و بررسی نتایج به دست آمده

نظر به آن که شرط لازم برای انجام تحلیل های نوفهی رآکتور قدرت صفر، کوچک بودن پس زمینهی نو ترون در سامانهی قلب رآکتور است، فاصلهی چشمه تا قلب رآکتور باید به گونهای تنظیم شود که شمارش نو ترون ها توسط آشکارساز، بیش تر متأثر از نو ترون های حاصل از شکافت باشد تا بر آمده از چشمهی نو ترون خارجی. همان طور که در مقدمه نیز اشاره شد، با توجه به این که سامانهی قلب رآکتور، عمیقاً زیربحرانی است، انتظار



شکل ٤. نحوه استقرار سامانهی اندازه گیری در قلب رآکتور زیربحرانی آبسبک اصفهان.

می رود که ثابت واپاشی نوترون آنی در این سامانه، مقدار منفی بزرگی باشد. به همین دلیل، کل گسترهی زمانی مورد مطالعـه در روش فاينمن – آلفا به حداكثر چند ميلي ثانيه محدود مي شود. يس به منظور کاهش خطا در اندازه گیری، باید زمان نسبتاً قابل توجهی را برای جمع آوری داده ها صرف نمود. با توجه به مشخصههای فیزیکی رآکتور زیربحرانی آبسبک اصفهان، بهترین تنظیم های انجام شده و مشخصه های مناسب برای جمع آوري اطلاعات آزمايش فاينمن – آلف كه به طور تجربي تعيين شدهاند در جدول ۲ ارائه شده است. با تفکيک زماني ۱۰۰، ۱۰۰ نقطهی تجربی از ۱۰۰µs تا ۱۰ ms اندازه گیری شدند. ۴۰۰ میلیون پنجرهی زمانی در مدت زمان ۶ ۴۰۰۰۰ (بیش از ۱۱h) اندازه گیری و تحلیل شدند. نتایج تجربی به دست آمده در شکل ۵ نشان داده شده است. خط ممتد در این شکل، نشاندهنده ميزان انحراف از توزيع پواسون [رابطهی (۵)] می باشد که بر داده های تجربی بر ازش شده است. مقدار ثابت واپاشی نوترون آنی به دست آمده از برازش برابر با [s⁻¹] ۸۸ ± ۳۹۶۶ است. یاد آوری می شود که خطای گزارش شده، انحراف از معيار است. جدول ۳، نشان دهنده ی مقادیر ثابت واياشي نوترون آنبي در قلب رآكتور زيربحراني آبسبك اصفهان است که از دو روش رُسی- آلفا و فاینمن- آلفا به دست آمدهاند. این نتایج در محدودهی عدم قطعیت گزارش شده، دارای سازگاری نسبتاً خوبی است.

جدول ۲. تنظیمهای انجام شده و مشخصههای مهم سامانهی جمع آوری اطلاعات و دادههای به دست آمده از تحلیل فاینمن – آلفا در قلب رآکتور زیربحرانی آبسبک اصفهان

مقدار	مشخصه	رديف
۱۰۰µs	قدرت تفکیک پنجرههای زمانی	١
۴۰۰ میلیونعدد	تعداد کل پنجرههای زمانی جمع آوری شده با عرض ۱۰۰µs	۲
۱۰۰ عدد	تعداد کل نقاط تجربی به دست آمده	٣
۱۰۰µs تا ۱۰۰µs	بازهی زمانی مورد مطالعه در تحلیل فاینمن- آلفا	۴
*•••• s	زمان کل جمع آوری اطلاعات	۵





رآكتور زيربحراني	، آنی در قلب	پاشی نوترون	ەي ثابت وا	۳. مقایس	جدول
	و فاينمن – آلفا	ر رُسی – آلفا	از دو روش	ی اصفهان	آپسىك

روش فاينمن – آلفا	روش رُسی- آلفا [۱۹]	روش اندازه گیری
4999±11	**************	ثابت واپاشی نو ترون آنی [۱-s]

۸. نتیجه گیری

از جمله روش های استاندارد در شناسایی قلب رآکتورهای هستهای، روش فاینمن – آلفا است. در این پژوهش، رآکتور زیربحرانی آبسبک اصفهان از طریق آزمایش فاینمن – آلفا تحلیل و ارزیابی شد. از آنجا که این رآکتور، سامانهای عمیقا زیربحرانی است، ثابت واپاشی نوترون آنی قلب رآکتور مقدار منفی بزرگی است. برای پیادهسازی آزمایش فاینمن – آلفا، از یک سامانهی جمع آوری داده استفاده شد. سامانهی مذکور با جمع آوری دادههای حاوی زمان مشاهده ی پالس های مربوط به آشکارساز نوترون، امکان تحلیل غیرهمزمان دادههای فوق را فراهم می آورد. یکی از مزیتهای روش فوق، تحلیل دادهها به

صورت نرمافزاری در محیط های نرمافزاری قدرتمند مانند متلب میباشد. نتایج به دست آمده از هر دو روش فاینمن – آلفا و رئسی – آلفا دارای ساز گاری نسبتاً خوبی در گسترهی عدم قطعیت گزارش شده هستند.

پینوشتھا

- 1. Matlab
- 2. Chain Correlated
- 3. Uncorrelated
- 4. Time Window
- 5. TCW: Total Channel Width in Rossi-α Analysis
- 6. Auto-Correlated
- 7. Diven Factor
- 8. Chain Correlative Parameter
- 9. Plexiglas
- 10. Transistor- Transistor- Logic



- N. Nasiri Mofakham, Z. Nasr Azadani, J. Sadegh zadeh, Determination of physical parameters of light water subcritical reactor based on experimental and theoretical results, *J. Nucl. Sci. Tech.* 60 (1) (2012) 55-60.
- [2] M. Arkani, H. Khalafi, N. Vosoughi, Development of an embedded FPGA-based data acquisition system dedicated to zero power reactor noise experiments, *Metrol. Meas. Sys.* 21 (3) (2014) 433–446.
- [3] Mathworks, MATLAB Reference Guide. The Math Works Inc. (2013), www.mathworks.com.
- [4] J.A. Thie, Reactor Noise, Rowman and Littlefield Inc., New York, (1963).
- [5] R.E. Uhrig, Random Noise Techniques in Nuclear Reactor Systems, the Ronald Press Company, New York, (1970).
- [6] M.M.R. Williams, Random Process in Nuclear Reactors, Pergamom Press, (1974).
- [7] J.R. Lamarsh, Introduction to Nuclear Reactor Theory, Addison Wesley Publishing Company, (1972).
- [8] M. Arkani, H. Khalafi, N. Vosoughi, S. Khakshournia, A FPGA based Time Analyser for Stochastic Methods in Experimental Physics, *Instrum. Exp. Tech.* 3 (2015) 350-358.
- [9] S.A. Hosseini, N. Vosoughi, M. Hosseini, Monte Carlo simulation of Feynman-a and Rossi-a techniques for calculation of kinetic parameters of Tehran Research Reactor, Ann. Nucl. Energ. 2 (2011) 140-145.
- [10] G. Por, G. Szappanos, Feynman-α Measurement in a 100 kW Research Reactor, *Prog. Nucl. Energy.* 33(4) (1998) 439-455.
- [11] Y. Yamane, T. Misawa, S. Shiroya, Formulation of Data Synthesis Technique for Feynman-α Method, Ann. Nucl. Energ. 25 (1-3) (1998) 141-148.

- [12] F. Akino, H. Yasuda, Y. Kaneko, Determination of large negative reactivity by integral versions of various experimental methods, *J. Nucl. Sci. Tech.* **17(8)** (1980) 593-615.
- [13] Y. Kitamura, M. Matoba, T. Misavita, H. Unesaki, S. Shiroya, Reactor Noise Experiments by using Acquisition System for Time Series Data of Pulse Train, *J. Nucl. Sci. Tech.* 36 (8) (1999) 653-660.
- [14] Y. Kitamura, I. Pázsit, J. Wright, A. Yamamoto, Y. Yamane, Calculation of the pulsed Feynman-α and Rossi-α formulae with delayed neutrons, *Ann. Nucl. Energ.* **32**(7) (2005) 671-692.
- [15] Y. Kitamura, K. Taguchi, T. Misawa, I. Pázsit, A. Yamamoto, Y. Yamane, C. Ichihara, H. Nakamura, H. Oigawa, Calculation of the stochastic pulsed Rossi-α formula and its experimental verification, *Prog. Nucl. Energ.* 48(1) (2006) 37-50.
- [16] G.E. Ragan, J.T. Mihalczo, R.C. Robinson, Prompt neutron decay constants at delayed criticality for the Oak Ridge Research Reactor with 20 and 93 wt% 235U enriched fuel, *Prog. Nucl. Energ.* 24(1) (1997) 21-31.
- [17] M. Szieberth, G. Klujber, J.L. Kloosterman, D. de Haas, Measurement of multiple α-mode at the Delphi subcritical assembly by neutron noise techniques, *Ann. Nucl. Energ.* **75** (2015) 146-157.
- [18] F.C. Difilippo, Higher moments of the distribution of detector counts in a subcritical reactor, Ann. Nucl. Energ. 80 (2015) 166-171.
- [19] M. Arkani, H. Khalafi, N. Vosoughi, S. Khakshournia, Design and construction of a two-channel data acquisition system for random processes based on FPGA, *J. Nucl. Sci. Tech.* **72** (2015) 29–38.