



## بررسی تست Unloading راکتور بوشهر با استفاده از کدهای Wims5b و Parcsv2.7

حسینلو، مجید<sup>۱</sup> - عباسی، محمدرضا<sup>\*</sup>

۱- دانشگاه شهید بهشتی، تهران، دانشکده مهندسی هسته‌ای، گروه راکتور

### چکیده:

بررسی تست های دینامیکی اساس و پایه آنالیز پارامترهای مختلفی همچون ایمنی و کنترل راکتورهای هسته‌ای است، لذا در این مقاله با اعمال راکتیویته منفی و اعمال فیدبک دمایی سوخت، دمای کندکننده، چگالی کندکننده، غلظت اسیدبوریک و همچنین با حرکت میله کنترل که از عواملی هستند که میتوانند باعث ناپایداری راکتور شوند، تغییرات در پارامترهای مختلفی همچون توان محوری، ضریب پیک توان، دمای سوخت، دمای کندکننده، چگالی کندنده و تغییرات غلظت سموم از جمله زینان بررسی گردیده است. در این مقاله از کد Wims5b برای انجام محاسبات سلولی و بدست آوردن ثوابت گروهی استفاده گردیده است، همچنین برای شبیه سازی سه بعدی قلب راکتور بوشهر از کد Parcsv2.7 استفاده شده است. در تست Unloading در شرایط توان نامی راکتور (توان ۱۰۰٪) با وارد کردن ۱۰٪ میله کنترل به قلب راکتور راکتیویته منفی به قلب اعمال شده و نوسانات زینان باعث کاهش توان راکتور می شود، با کاهش توان پارامترهای ذکر شده اندازه گیری می شوند، نتایج و نمودارهای بدست آمده با خطای کمی بدست آمده اند و همخوانی مناسبی در مقایسه با نتایج FFSAR و آلوم نوترونیکی قلب راکتور بوشهر دارد.

**کلیدواژه:** تست Unloading، راکتور بوشهر، نوسانات زینان، بالانس راکتیویته

### مقدمه:

نیروگاه های هسته‌ای ای رامی توان بعنوان یک از پیچیده ترین و با اهمیت ترین تکنولوژی های موجود نام برده، از این رو مستلزم دقت بالا در محاسبات، ایمنی و کنترل راکتور در هر لحظه از زمان میباشند. از این رو تعیین ارزش راکتیویته میله کنترل، غلظت اسیدبوریک بحرانی و غلظت زینان از با اهمیت ترین پارامترهای کنترلی راکتور هستند که در طراحی راکتورهای آب سبک (LWR) اهمیت دارند. در زمینه محاسبه ارزش میله های کنترل و غلظت اسیدبوریک و همچنین بررسی تغییرات غلظت زینان در راکتور که از مهمترین پارامترهای کنترلی راکتور هستند، تحقیقات زیادی انجام شده است که از جمله آنها میتوان تحقیقات در مورد: محاسبه ارزش راکتیویته میله های کنترل و غلظت اسیدبوریک بحرانی راکتور نیروگاه بوشهر با استفاده از تلفیق کدهای DRAGON/PARCS توسط رضافرهنگی [1] در سال ۱۳۹۰ محاسبه راکتیویته منفی سموم زینان و ساماریوم حاصل از شکافت در قلب راکتور بوشهر با استفاده از کد MCNPX توسط شهرام بخار خرسندی لنگرودی [2] در سال ۱۳۹۵. بررسی نوسانات زینان بر اثر ورود میله کنترل در قلب راکتور بوشهر توسط محمدرضا غریبی در سال ۱۳۹۵ [3] رانام برد. در این مقاله تغییرات دمای کندکننده، دمای سوخت، چگالی کندکننده و تغییرات غلظت زینان بر حسب تغییر توان که بر اثر ورود میله کنترل است به کمک دو کد WIMS5B [4] و



PARCSV2.7 [5] محاسبه گردیده و نمودار هریک رسم شده است و در پایان جهت راستی آزمایشی بانتهای موجود مقایسه شده است.

### روش تحقیق و محاسبات:

در شکل (۱) الگوریتم انجام شبیه سازی توسط دو کد WIMS5B و PARCS2.7 از ابتدای تحقیق تا بدست آوردن نتایج درفلوچارت نشان داده شده است. برای شبیه سازی تست های دینامیکی راکتور بوشهر [2] لازم به بدست آوردن سطوح مقاطع و ثوابت گروهی است، از این رو از کد WIMS5B برای انجام محاسبات سلولی استفاده گردیده است. در این قسمت با استفاده از معادله شیب خط تغییرات دمای سوخت، کندکننده، چگالی کندکننده و غلظت ا سیدبوریکی محاسبه گردیده و بعنوان ورودی به کد PARCS2.7 داده شده است، سپس محاسبات سه بعدی قلب راکتور توسط کد PARCS2.7 برای بررسی تست های دینامیکی انجام گردیده است.



شکل ۱- روند کویپل کدهای wimsb5 و parcsv2.7

در این مقاله سطح مقاطع و ثوابت گروهی دردهماهای مختلف، دماهای پایین تر و بالاتر از شرایط کاری (بحرانی) راکتور برای مجتمع های سوخت مختلف انجام شده است. لازم به ذکر است که تغییر دما باعث تغییرات نوترونیکی و خواص فیزیکی اجزای قلب میشود. تغییرات نوترونیکی بر فیزیک حاکم بر اندرکنش نوترون با هسته هامربوط میشود. تغییرات دما



تاثیر مستقیم بر روی چگالی دارد و تغییر چگالی تغییر در تعداد اندرکنش‌ها را سبب می‌شود که می‌تواند در سطح مقطع جذب، شکافت و پراکندگی تغییر را به همراه داشته باشد و همچنین می‌تواند موجب فرار نیز شود. در اثر اندرکنش نوترون با هسته‌ها انرژی نسبی آنها مهم می‌باشد و از آنجایی که هسته‌های محیط دارای یک توزیع انرژی وابسته به دما هستند، تغییر دما باعث تغییر در این توزیع می‌شود [3]. مهمترین اثر این تغییر بر روی رزونانس‌های سطح مقاطع ایجاد می‌شود.

با توجه به توضیحات داده شده استنباط می‌شود که تغییرات دما باعث تغییر در سطح مقاطع می‌شود. توزیع توان در قلب راکتور وابسته به سطح مقاطع بوده و با تغییر آن توزیع توان تغییر می‌کند. گد WIMS محاسبات سلولی را انجام می‌دهد، به این ترتیب با استفاده از گد WIMS می‌توان انواع مجتمع‌های سوخت رطراحی و مدل کرد و سطح مقاطع را بدست آورد. قلب راکتور بوشهر دارای ۱۶۳ مجتمع سوخت به شکل هندسی شش ضلعی (هگزاگونال) است. سوخت گذاری اولیه راکتور بوشهر دارای ۳ دسته غنای ۱،۶٪، ۲،۴٪، ۳،۶٪ می‌باشد.

پس از اینکه داده‌های ورودی از جمله ۱- هندسه مجتمع سوخت ۲- مواد تشکیل دهنده ۳- میزان مصرف سوخت ۴- مقدار بار کلینگ قلب بعنوان ورودی به کد داده شدند، گد برای ایجاد سطح مقاطع جدید از تغییرات آماده است. لازم به ذکر است که سطح مقاطع بدست آمده در کد WIMS در بلوک XSEC با اعمال تغییرات جایگذاری شده است. در ذیل روند محاسبات تغییرات سطح مقاطع آورده شده است.

### بدست آوردن تغییرات سطح مقاطع با استفاده از معادله شیب خط:

تغییرات دمای کندکننده، دمای سوخت، چگالی کندکننده تغییر غلظت اسیدبوریک با توجه به رابطه ۱ بدست آورده شده اند:

$$(۱) \Sigma(B, T_f, T_m, D_m) = \Sigma_0 + \alpha_1(B - B_0) + \alpha_2(\sqrt{T_f} - \sqrt{T_{f0}}) + \alpha_3(T_m - T_{m0}) + \alpha_4(D_m - D_{m0})$$

کد PARCS می‌تواند سطح مقاطع جدید را از طریق درونیابی بدست آورد. برای استفاده از این قابلیت باید ضرایب  $\alpha_1, \alpha_2, \alpha_3, \alpha_4$  را بعنوان ورودی به کد PARCS داد. نحوه بدست آوردن ضرایب طبق روابط ۲ و ۳ و ۴ می‌باشد:

$$(۲) \alpha_1 = \frac{\Sigma_2 - \Sigma_1}{PPM_2 - PPM_1}$$

$$\alpha_2 = \frac{\Sigma_2 - \Sigma_1}{TM_2 - TM_1}$$

(۳)

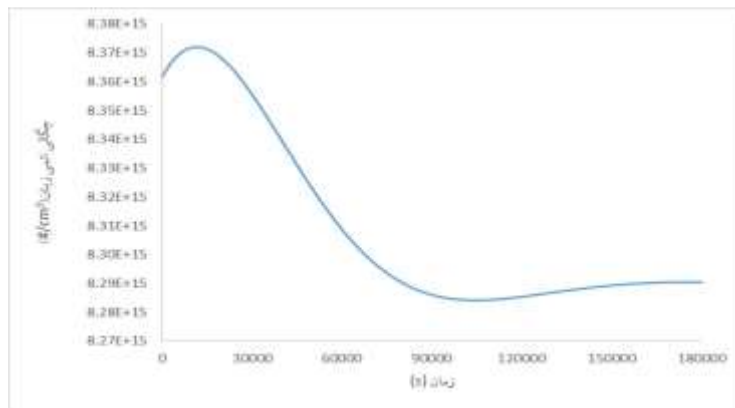
$$(۴) \alpha_3 = \frac{\Sigma_2 - \Sigma_1}{DM_2 - DM_1}$$

$$(۵) \alpha_4 = \frac{\Sigma_2 - \Sigma_1}{\sqrt{TF_2} - \sqrt{TF_1}}$$

که ضرایب  $\alpha_1, \alpha_2, \alpha_3, \alpha_4$  به ترتیب تغییرات سطح مقاطع نسبت به تغییرات غلظت اسیدبوریک و تغییرات دمای کندکننده و چگالی کندکننده و دمای سوخت است.

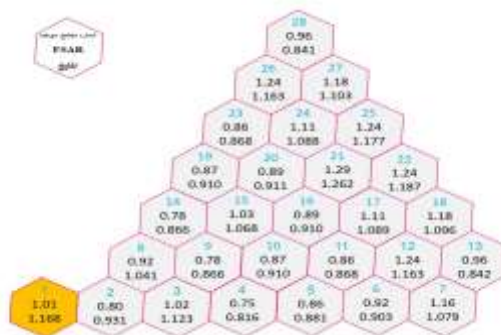
## نتایج:

نتایج بدست آمده در حالت کاری روز ۱۰۰ام راکتور می باشد و همچنین راکتور در توان نامی خود ( $3000 MW_{th}$ ) کار می کند. در این حالت با رسیدن توان به مقدار نامی خود، سم زینان نیز افزایش یافته و به تعادل می رسد. با ورود میله کنترل به قلب راکتور و اعمال راکتیویته منفی، توان راکتور افت می کند. با کاهش توان راکتور سم زینان که در حالت تعادل قرار دارد شروع به افزایش می کند، تا جایی که به مقدار بیشینه خود می رسد، سپس شروع به کاهش می کند. در حالت کاهش توان، سم زینان راکتیویته منفی به سیستم تزریق می کند، منحنی نوسانات زینان در شکل (۲) نشان داده شده است.



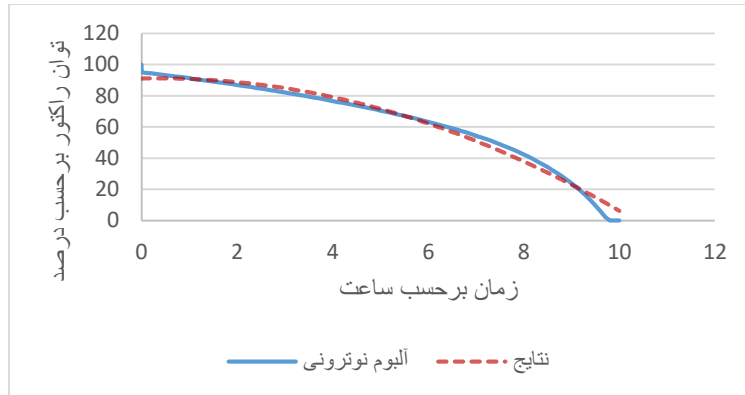
شکل ۲- نوسانات سم زینان در حالت توان نامی و با ورود میله کنترل گروه کاری

همینطور، ضریب پیک توان در سیکل اول با حضور سم زینان و اشباع آن در شکل (۳) نشان داده شده است.

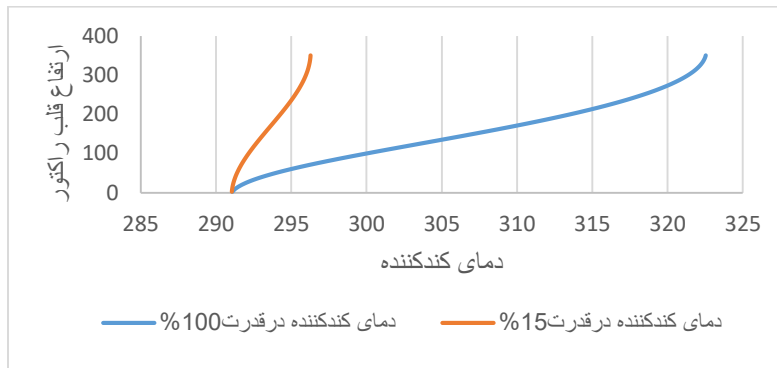


شکل ۳- مقایسه ضریب پیک توان نتایج خروجی از کد PARCS و FSAR در حالت غلظت اشباع زینان

در شکل (۴) ملاحظه می شود که تست خاموشی برای راکتور بو شهر انجام شده است و نتایج بدست آمده از شبیه سازی با FSAR [6] مقایسه شده است. در توان نامی راکتور ۱۰٪ از میله کنترل گروه کاری (گروه ۱۰) داخل قلب راکتور می باشد. در این تست با ورود ۱۰٪ دیگر میله کنترل با ارزش  $DY_2O_3TiO_2, B_4C$  راکتور بعد از ۱۰ ساعت به توان صفر می رسد.



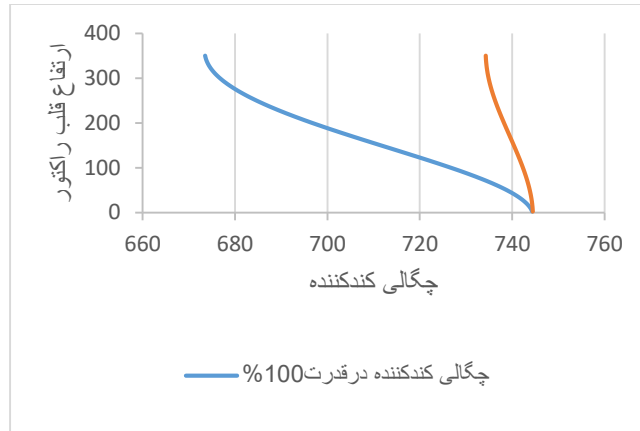
شکل ۴- تغییرات توان با ورود میله کنترل و اعمال راکتیویته منفی به قلب راکتور



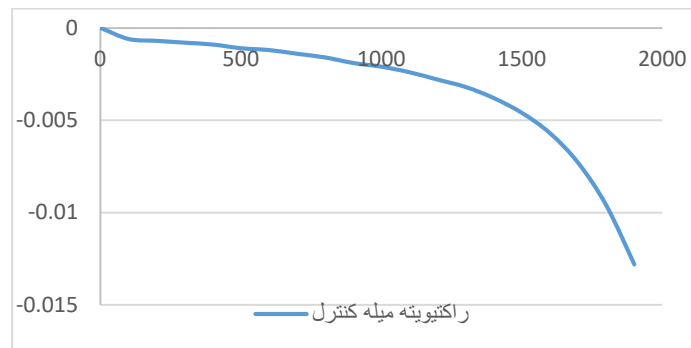
شکل ۵- توزیع دمای کندکننده در راستای محوری در توان نامی و با اعمال راکتیویته منفی به قلب راکتور

در شکل (۵) توزیع دمای کندکننده در راستای محوری در حالت قدرت نامی (۱۰۰٪) و قدرت ۱۵٪ رسم شده است. ملاحظه می‌شود که دمای کندکننده در توان کامل (۱۰۰٪) با افزایش توان بیشتر شده، در این حالت کندکننده بدمای  $291^{\circ}\text{C}$  وارد قلب راکتور شده و بدمای  $321^{\circ}\text{C}$  خارج می‌شود. در حالتی که میله کنترل وارد قلب شده و بار راکتیویته منفی باعث کاهش توان شده است، دمای خروجی کندکننده در مقایسه با حالت قبل کاهش یافته است. این کاهش در دمای کندکننده سبب افزایش چگالی کندکننده در حالتی که توان کاهش یافته نسبت به حالتی که راکتور در توان نامی می‌گردد. چگالی کندکننده در توان ۱۰۰٪ و حالتی که توان کاهش یافته در توان ۱۵٪ در شکل (۶) نشان داده شده است.

در شکل (۷) راکتیویته منفی که توسط میله کنترل گروه کاری ۱۰ به قلب راکتور اعمال شده، در نمودار مشخص شده است. برای کاهش توان راکتور، میله کنترل وارد قلب راکتور می‌شود و راکتور در حالت زیر بحرانی قرار می‌گیرد. در ابتدا راکتیویته میله کنترل بر حسب دلار (\$) در مقدار بیشینه خود قرار دارد، با گذشت زمان، راکتور به سمت خاموشی می‌رود، بنابراین راکتیویته میله کنترل نیز کاهش می‌یابد که در شکل زیر مشاهده می‌شود.



شکل ۶- چگالی کندکننده در راستای محوری در توان نامی و با اعمال راکتیویته منفی به قلب راکتور



شکل ۷- ارزش راکتیویته میله کنترل بر حسب دلار (\$) )

در بالا اشاره شد که ورود میله کنترل و اعمال راکتیویته منفی کاهش توان را به همراه دارد. این کاهش توان باعث کاهش در دمای سوخت می‌شود.

### نتیجه گیری:

هدف از انجام این مقاله بررسی رفتار گذرای قلب راکتور بوده که نتایج بدست آمده در این خصوص با مقادیر گزارشات FSAR و آلوم نوترونی مقایسه شده است. همانطور که ملاحظه می‌گردد نتایج حاصل از مدل‌سازی با مقادیر FSAR تقریباً انطباق دارد و تفاوتها را می‌توان مربوط به خطاهای مدل‌سازی و شبیه‌سازی دانست.

باتوجه به نمودارها میتوان نتیجه گرفت، رسیدن توان به مقدار کاری و کامل خود سبب افزایش غلظت سم زینان تاجایی که زینان به حالت تعادل خود میرسد، میشود. افزایش توان باعث افزایش دمای سوخت و مرکز سوخت می‌شود، در نتیجه دمای خروجی کندکننده برای برداشت حرارت از قلب راکتور بالا می‌رود. این افزایش دما در کندکننده سبب کاهش چگالی خروجی کندکننده می‌شود. مشاهده شد که با ورود میله کنترل توان کاهش پیدا می‌کند. دمای سوخت و کندکننده نیز در این حالت نسبت به حالتی که توان در مقدار بیشینه خود قرار دارد، کمتر است، با توجه به توضیحات داده شده کاهش دمای کندکننده، افزایش



چگالی کندکننده رابه همراه دارد. نکته مهمی که قابل اشاره است، افزایش غلظت زینان پس از اعمال راکتیویته منفی و کاهش توان است. این افزایش غلظت سم زینان به علت واپاشی یُدوسطح مقطع جذب بالای نوترون، سم زینان میباشد. تغییر غلظت زینان در قلب پدیده ای است که به آرامی صورت می پذیرد. درمانورهای توانی، روشن سازی و خاموش سازی راکتور میزان تغییر غلظت سم زینان با دقت توسط مهندسیین راکتور کنترل میشود. نتایج با مقادیر موجود در آلبوم نوترونیک راکتور VVER-1000 بوشهر دارای همخوانی مناسبی می باشد.

### مراجع:

- [1] فرهنگ، رضا، پایانی، امیر، راجی، محمدحسین، محاسبه ارزش راکتیویته میله های کنترل و غلظت اسیدبوریک بحرانی راکتور نیروگاه بوشهر با استفاده از تلفیق کدهای DRAGON/PARCS، هجدهمین کنفرانس هسته ای ایران، یزد، ۱۳۹۰
- [2] نجار، شهرام، جلیلی، محمدحسن، مستی، داریوش، محاسبه راکتیویته منفی سموم زینان و ساماریوم حاصل از شکافت در قلب راکتور بوشهر با استفاده از کد MCNP، اولین همایش ملی مهندسی قدرت و نیروگاه های هسته ای، بوشهر، ۱۳۹۵
- [3] غریبی، محمدرضا، مینوچهر، عبدالحمید، عباسی محمدرضا، آقای، مهدی، بررسی نوسانات زینان بر اثر ورود میله کنترل در قلب راکتور بوشهر، اولین همایش ملی مهندسی قدرت و نیروگاه های هسته ای، بوشهر، ۱۳۹۵
- [4] Nuclear reactor cell calculation code; Wims b5
- [5] Parcs Ver 2.7, a Computer Code for Reactor Core Calculation, U.S. NRC, (۲۰۰۶).
- [6] Final Safety Analysis Report of BNPP-1, Reactor, FSAR., Revision 1 (Chapter 4).