



بیست و یکمین کنفرانس هشتای ایران

۶ و ۷ اسفند ماه ۱۳۹۳ دانشگاه اصفهان

محاسبه و بررسی چگونگی تغییرات ضریب راکتیویته دمایی سوخت راکتور بوشهر به هنگام تغییر قدرت از HZP به HFP

ناصر جعفری^{۱*}، سعید جعفری کیا^۲، سید امیرحسین فقهی^۲، مرتضی قریب^۱

۱. دانشکده مهندسی انرژی و فیزیک، دانشگاه صنعتی امیرکبیر

۲. دانشکده مهندسی هسته‌ای، دانشگاه شهید بهشتی، گروه کاربرد پرتوها، تهران - ایران

چکیده:

تغییرات نوترونی و ترموهیدرولیکی قلب راکتور در روزهای ابتدایی شروع به کار راکتور به علت اعمال راکتیویته‌های شدید توسط میله های کنترل و کاهش غلظت اسیدبور یکا همیت زیادی دارند. با افزایش در تراکتور میزان دانسیته نوترون یافزایش پیدا کرده و به تبع آن دمای سوخت و کندکننده نیز افزایش پیدا می‌کنند. افزایش دمای اجزای راکتور نیز باعث به جود آمدن تغییراتی در طیف نوترون های درون قلب می‌شود که برای کنترل عملکرد و افزایش ایمنی راکتور اطلاع از چگونگی این تغییرات کمک زیادی به اپراتور خواهد کرد. در این پژوهش هدف محاسبه و بررسی تغییرات ضریب راکتیویته دمایی سوخت از حالت گرم و قدرت صفر تا رسیدن به قدرت کامل راکتور می‌باشد.

واژگان کلیدی: ضریب راکتیویته دمایی سوخت، راکتیویته، کد MCNP، راکتور بوشهر

۲. مقدمه :

ضرایب راکتیویته یکی از پارامترهای نوترونی راکتور می‌باشند که در کنترل راکتور نقش مهمی ایفا می‌کنند. فیدبک-های حاصل از وجود ضرایب راکتیویته در کنترل ضریب تکثیر راکتور و نگهداشتن آن در شرایط بحرانی بسیار مهم و تأثیرگذار هستند بطوریکه بهره‌برداری از یک راکتور بدون دانستن ضرایب راکتیویته آن بس دشوار و حتی غیرایمن می‌نماید. بسیاری از پارامترهایی که راکتیویته راکتور را مشخص می‌کنند تابعی از دمای سوخت، کند کننده و خنک کننده می‌باشند. تغییر در دمای اجزاء راکتور باعث تغییر راکتیویته می‌شود. بنابراین برای کنترل و ایمنی بهتر راکتور تأثیرات دما بر روی راکتیویته باید مورد مطالعه قرار بگیرد.

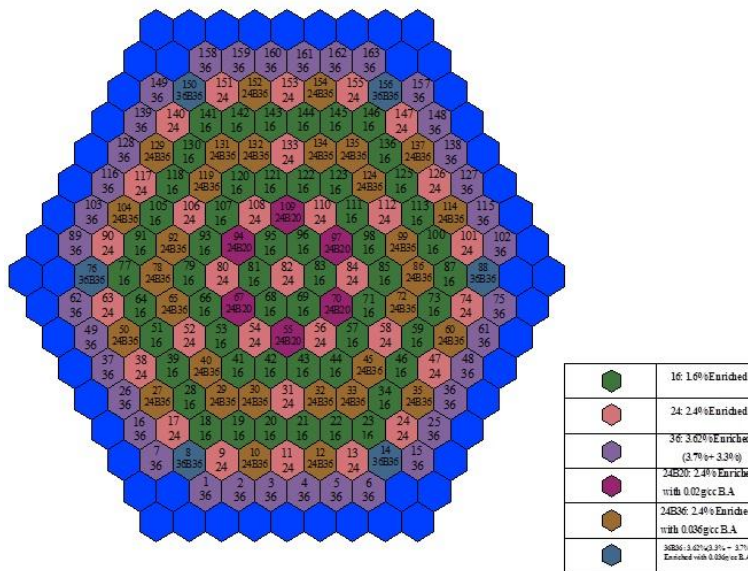
راکتور بوشهر یک راکتور آب سبک تحت فشار روسی از نوع VVER است که قدرت نامی آن ۳۰۰۰ مگاوات می‌باشد. نوع سوخت این راکتور اکسید اورانیوم UO_2 با چهار غنای مختلف ۱.۶٪، ۲.۴٪، ۳.۳٪ و ۳.۷٪ می‌باشد. این راکتور دارای ۱۶۳ مجتمع سوخت شش گوش (Hexagonal) است که این از خصوصیات راکتور VVER-1000 می‌باشد. بصورت کلی در داخل هر مجتمع سوخت ۳۳۱ عدد میله قرار می‌گیرد که بنابر نوع مجتمع سوخت نوع میله‌های داخل آن تغییر می‌کند. متفاوت بودن میله‌های داخل مجتمع‌های سوخت به خاطر ایجاد توزیع توان یکنواخت در کل قلب می‌باشد [۱]، [۲]. پروسه راه اندازی راکتور و افزایش توان آن تا رسیدن به قدرت نامی تقریباً



بیست و یکمین کنفرانس هشتای ایران

۶ و ۷ اسفند ماه ۱۳۹۳ دانشگاه اصفهان

۸۰ روز طول می کشد. در طی این مدت گاهی راکتور با یک قدرت ثابت کار می کند و در بعضی روزها نیز با افزایش راکتیویته راکتور در حال افزایش قدرت است، البته ذکر این نکته لازم است که برای افزایش ایمنی راکتور معمولاً افزایش قدرت به آرامی انجام می شود. افزایش راکتیویته راکتور به وسیله کاهش غلظت اسید بوریک و خارج شدن میله های کنترل صورت می پذیرد. با افزایش قدرت راکتور و تغییر در طیف نوترون ها و پارامترهای نوترونیک، ضرایب فیدبک نیز طبیعتاً دستخوش تغییراتی می شوند.



شکل ۱- چگونگی قرار گرفتن مجتمع های سوخت مختلف کنار یکدیگر [۱]

۲. روش کار:

برای بررسی تغییرات ضریب فیدبک دمایی سوخت و یا اجزای راکتور ابتدا لازم است نحوه توزیع دمای سوخت و توان تولیدی راکتور از حالت گرم و قدرت صفر تا حالت قدرت کامل^۲ محاسبه شود. در ابتدای امر راکتور در شرایط پایا توسط کد MCNP مدل شده است. سپس شار حرارتی خروجی راکتور در این شرایط به عنوان ورودی برای کد COBRA استفاده شده است. کد COBRA با استفاده از ورودی شار حرارتی، توزیع دمای سوخت را محاسبه می کند. سپس سطح مقطع ایزوتوپ های سوخت به ازای هر ۱۰۰ درجه افزایش دما توسط کد NJOY ایجاد می شوند و در سیکل بعدی محاسبات، این سطوح مقاطع تولید شده به عنوان یکی از پارامترهای ورودی برای کد MCNP در نظر گرفته می شود تا بتوان به نتایج قابل قبولی دست یافت.

¹Hot Zero Power, HZP

²Hot Full Power, HFP



بیست و یکمین کنفرانس هشتای ایران

۷ و ۶ اسفند ماه ۱۳۹۳ دانشگاه اصفهان

۳. نتایج

ضریب دمایی^۳ با سمبل α_T توسط رابطه زیر تعریف می شود:

$$\alpha_T = \frac{d\rho}{dT} \quad \text{رابطه (۱)}$$

این پارامتر در واقع نشان دهنده میزان تغییر راکتیویته نسبت به تغییریک پارامتر خاص می باشد. اگر ρ راکتیویته سیستم و T دمای جزء خاصی مثل دمای سوخت باشد، آنگاه α_T ضریب دمایی سوخت می باشد. با توجه به رابطه بین ضریب تکثیر (k) و راکتیویته (ρ) رابطه (۲) و تلفیق آن با رابطه (۱) خواهیم داشت:

$$\rho = 1 - (1/k) \quad \text{رابطه (۲)}$$

$$\rightarrow \alpha_T = \frac{1}{k^2} \frac{dk}{dT} \quad \text{رابطه (۳)} \quad \text{(۱) و (۲)}$$

از آنجایی که در یک راکتور در حال کار مقدار ضریب تکثیر تقریباً برابر ۱ می باشد بنابراین $k^2 = k$ خواهد بود. پس می توان رابطه زیر را برای ضریب دمایی نوشت:

$$\alpha_T = \frac{1}{k} \frac{dk}{dT} \quad \text{رابطه (۴)}$$

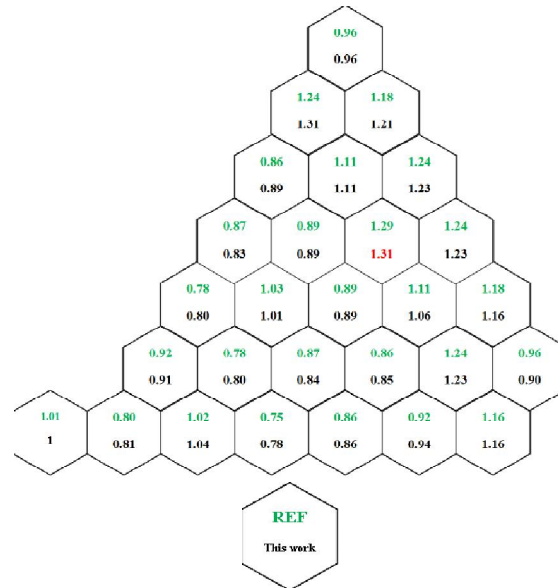
برای محاسبه توزیع توان متناظر هر سطح قدرت ابتدا باید شرایط مدل مورد استفاده را به شرایط واقعی همان سطح قدرت برسانیم برای مثال برای محاسبات توزیع توان مربوط به توان ۳۰۰۰ مگاوات باید موقعیت میله های کنترل و میزان اسیدبوریک محلول در آب مدل مورد استفاده برابر با اطلاعات راکتور در توان ۳۰۰۰ مگاوات باشد. با توجه به متقارن بودن قلب راکتور بوشهر محاسبات توزیع توان برای یک ششم قلب صورت گرفته است در زیر نتایج مربوط به توزیع توان نسبی برای قدرت نامی آورده شده است.

³Temperature coefficient



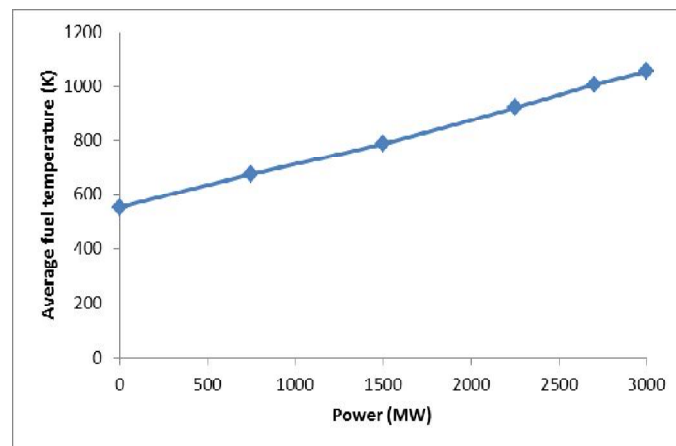
بیست و یکمین کنفرانس هفت‌ای ایران

۶ و ۷ اسفند ماه ۱۳۹۳ دانشگاه اصفهان



شکل ۲- توزیع توان نسبی قلب برای قدرت ۳۰۰۰ مگاوات [۳]

از آنجایی که توزیع توان ارائه شده در مدارک راکتور برای موقعیت ۹۰ درصد میله‌های کنترل گروه ۱۰ (خارج از قلب) محاسبه شده بود فقط در حالت قدرت کامل نتایج قابلیت مقایسه و اعتبار سنجی را دارا بودند و چون نتیجه به دست آمده اختلاف کمی با مرجع دارد برای بقیه سطوح نیز به همان منوال کار ادامه داده شد. در مرحله بعد با استفاده از توزیع توان نسبی قلب توزیع دمای قلب در هر سطح قدرت با کد COBRA محاسبه می‌شود. نتایج مربوط به توزیع دمای متوسط سوخت در سطوح مختلف قدرت هم در زیر آمده است.



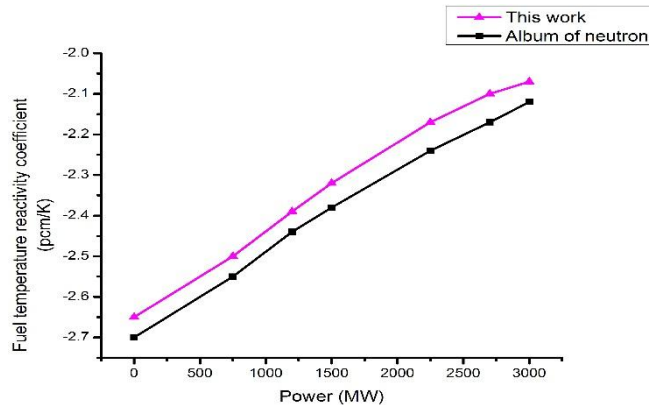
نمودار ۱- تغییرات دمای متوسط سوخت با افزایش قدرت

پس از اعتبار سنجی نتایج اولیه و حصول اطمینان از درست بودن مدل مورد استفاده، برای هر ۱۰۰ درجه افزایش دمای سوخت سطوح مقاطع متناظر توسط کد NJOY ساخته شده و سپس ضریب راکتیویته دمای سوخت با توجه به توضیحات داده شده در قسمت قبل در هر سطح قدرت محاسبه می‌شود.



بیست و یکمین کنفرانس هشتای ایران

۶ و ۷ اسفند ماه ۱۳۹۳ دانشگاه اصفهان



نمودار ۲- تغییرات ضریب راکتیویته دمای سوخت

نتایج محاسبه شده و داده‌هایی که در مدارک راکتور آمده است [۴] حداکثر ۳/۲۵ درصد اختلاف نسبی دارند. با دقت در شکل فوق درمی‌یابیم که با گذشت زمان ضریب راکتیویته دمای سوخت به صفر نزدیکتر می‌شود یا به عبارت دیگر قدر مطلق آن کوچکتر می‌شود. در تحلیل نمودار فوق می‌توان اینگونه گفت که با افزایش قدرت طبیعتاً دمای سوخت نیز افزایش خواهد یافت و از آنجا که در دماهای بالاتر نمودار جذب رزونانسی نرم‌تر می‌شود میزان جذب رزونانسی به نسبت دماهای پایین‌تر کمتر می‌شود، لذا میزان تغییرات راکتیویته هم با افزایش دما کمتر می‌شود و یا به عبارت دیگر میزان حساسیت راکتیویته به دمای سوخت در دماهای پایین کمتر است.

۴. بحث و نتیجه‌گیری:

در این پژوهش هدف محاسبه و بررسی چگونگی تغییرات ضریب راکتیویته دمایی سوخت راکتور بوشهر از HZP تا HFP بوده است. در این پژوهش با همبسته کردن کدهای MCNP، NJOY و COBRA داده‌های قابل قبولی محاسبه گردید. با افزایش راکتیویته القایی به قلب از طریق کاهش غلظت اسیدبوریک و خروج میله‌های کنترل توان راکتور با گذشت زمان بیشتر شده و به تبع آن دمای سوخت بیشتر می‌شود که افزایش دمای سوخت باعث نرم‌تر شدن جذب رزونانسی و کمتر شدن اندازه قدرمطلق ضریب راکتیویته دمایی سوخت می‌شود.

مراجع:

۱- VVER- فدایی، امیرحسین؛ پایان نامه کارشناسی ارشد " آنالیز اثرات و ضرایب راکتیویته راکتور

در شرایط اسمی آن"، دانشگاه شیراز، ۱۳۸۴. ۱۰۰۰

۲- عابدین، مهدی؛ پایان نامه کارشناسی ارشد " تجزیه و تحلیل همبسته‌ی نوترونی و

طی گذرهای سریع"، دانشگاه صنعتی PWR ترموهیدرولیکی مجتمع‌های سوخت راکتور

امیرکبیر، ۱۳۹۰.



بیست و یکمین کنفرانس هسته ای ایران

۷ و ۸ اسفند ماه ۱۳۹۳ دانشگاه اصفهان

- 3- Final Safety Analysis Report of Bushehr's VVER-1000 Reactor. Ministry of Russian Federation of Atomic Energy, Moscow (Chapter 4).
- 4- Atomic Energy Organization of Iran, 2003. Album of Neutron and Physical Characteristics of the 1st Loading of BushehrNucl.Plant, Technical Report, Tehran, Iran.