بهبود اثر میله‌های کنترل بروی کالیبراسیون توان راکتور تهران

لشکری، احمد[۱] – برومند، زهرا[۲]– مسعودی، سید فرهاد[۲]

[۱] سازمان انرژی اتمی ایران، پژوهشگاه علوم و فنون هسته‌ای، پژوهشکده راکتور

[۲] دانشگاه صنعتی خواجه نصیرالدین طوسی، دانشکده فیزیک

چکیده:

در این مقاله به بررسی اثر میله های کنترل بروی کالیبراسیون توان راکتور تحقیقاتی تهران پرداخته شده است. این مسئله نیازمند دانستن شار نوترونی رسیده به دتکتورهای نوترونی است. در این تحقیق با استفاده از نرم افزار MTR_PC قلب راکتور تهران شبیه سازی شد و میزان شار نوترون در مکان قرار گیری دتکتورهای نوترونی به ازای در صدهای متفاوت از حضور میله های کنترل در قلب راکتور محاسبه گردید. نتایج به دست آمده از شبیه سازی نشان می دهد، که اگر موقعیت میله های کنترل در قلب راکتور در وضعیت ۴۵٪ باشد نسبت به حالتی که کاملا بیرون بوده اند حدود ۳۰٪ تغییرات شار را میتوان مشاهده کرد که این خود باعث تغییرات ۳۰٪ در توان راکتور می شود. نتایج جستجو ومدلسازی مکانهایی که در آن تغییرات شار حرارتی کمینه باشد، در نهایت منجر به یافتن راه حلی شد که تقریبا تا درصد نسبتا خوبی از حضور میله های کنترل، توان ثابت باقی می ماند. این راه حل، پیشنهاد استفاده از دو دتکتور نوترونی در دو موقعیت متقارن بالا و پایین راکتور بود.

کلید واژه‌ها:راکتورهای تحقیقاتی، میله کنترل، دتکتور نوترونی، کالیبراسیون توان راکتور

۱– مقدمه

کالیبره کردن توان راکتور های هسته‌ای در ترموهیدرولیک به مانند نقش کالیبره کردن ارزش میله‌های کنترل در نوترونیک، بسیار مهم است. هرگونه مطالعه ترموهیدرولیکی در قلب راکتور هسته ای نیازمند دانستن دقیق توان حرارتی راکتور است. توان راکتور تحقیقاتی تهران در حالت کلی از دو روش، استفاده از دتکتورهای نوترونی و روش حرارتی اندازه گیری می شود. معیار اندازه‌گیری با استفاده از دتکتورهای نوترونی، اندازه‌گیری جریان الکتریکی متناسب با قدرت راکتور می‌باشد. نکته‌ای که بایستی به آن توجه داشت، این است که این جریان نماینده قدرت راکتور به تنهایی نیست و عوامل دیکری نیز در آن دخیل هستند. یکی از مهمترین عواملی که در این روش تاثیر گذار است اثر میله های کنترل بروی توان اندازه گیری شده می باشد. اساس اندازه گیری توان در دتکتورهای نوترونی ایجاد شکافت توسط نوترون حرارتی در

دتکتور چمبره شکافت[1] می باشد. بنابراین توان راکتور متناسب با شار نوترون حرارتی رسیده به محل قرار گیری دتکتور می باشد و هر عاملی که باعث تغییر شار نوترون حرارتی در محل دتکتور شود می تواند کالیبراسیون توان راکتور را مختل کند. اثر حضور میله کنترل بروی توزیع شار نوترونی مطالعه گردید و نتایج حاصل از آن در کنفرانسهای فیزیک ۹۴ و ۹۵ ارایه گردید[1,2]. نتایج شبیه سازیها به وضوع، تاثیر چشمگیر اثر میله های کنترل بروی توزیع شار نوترون های رسیده به محل قرار گیری دتکتورها را نشان می دهد. ماکزیمم اثر میله های کنترل بروی توان اندازه گیری شده توسط دتکتورهای نوترونی در حدود ۳۰٪ می باشد. در هر سیکل کاری راکتور بعد از روشن شدن راکتور، سموم زینان و ساماریوم شروع به تولید می کنند و باعث تولید راکتیویته منفی می شوند. در حالت اشباع این مقدار راکتیویته منفی برابر با ۳۷۰۰pcm می باشد. رسیدن به انتهای سیکل کاری راکتور و مصرف اورانیوم ۲۳۵ نیز باعث کاهش راکتیویته می شود. این دو موضوع باعث تغییر قابل ملاحظه ای در وضعیت میله های کنترل می شوند و با توجه به محاسبات صورت گرفته، باعث عدم تطابق توان های اندازه گیری شده می شود. با توجه به اثر قابل ملاحظه حضور میله های کنترل بروی توان اندازه گیری شده بایستی تدبیری اندیشیده شود تا در هر موقعیت کاری راکتور، توان اندازه گیری شده قابل قبول باشد. در این مقاله به این پرسش پاسخ خواهیم داد. در وضعیت فعلی با توجه به اینکه توانی که دتکتورهای نوترونی اندازه گیری می کند متاثر از حضور میله های کنترل می باشد، توان راکتور بایستی از روش‌هایی اندازه‌گیری شود که خطای پایینی داشته باشند. یکی از روشهای نسبتا دقیق اندازه‌گیری توان راکتور به روش حرارتی است. دتکتورهای نوترونی اندازه گیری قدرت راکتور با توجه به توان حرارتی اندازه گیری شده کالیبره می شوند. انجام آزمایش کالیبره کردن گرمایی جزو آزمایشات دوره‌ای راکتور تهران می‌باشد که هرچند وقت برای اطمینان از کالیبره بودن کانال‌های اندازه‌گیری توان صورت می‌گیرد. با توجه به اینکه انجام آزمایش کالیبراسیون حرارتی زمان بر بوده و تنها برای ابتدای سیکل راکتور انجام میگیرد هیچ تضمینی برای کالیبره بودن دتکتورها در طول سیکل راکتور وجود ندارد. در این مقاله به بررسی و مطالعه چند روش جهت اصلاح این موضوع می پردازیم.

۲. روش کار

برای مطالعه اثر میله کنترل برروی کایبراسیون نوترونی راکتور تهران، قلب ۶۱ راکتور تهران که اطلاعات تجربی اندازه گیری توان راجع به آن اندازه گبری شده بود به عنوان مرجع انتخاب شد. قلب راکتور تهران شامل بسته‌های سوخت از

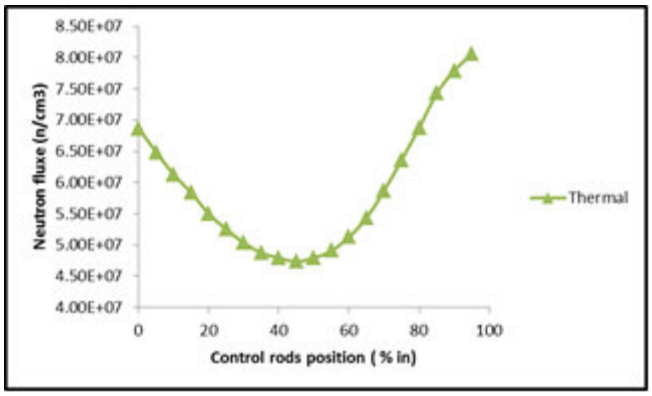
[1] Fission chamber

نوع MTR است که در یک شبکه ۶×۹ چیده می‌شوند. شکل و مشخصات دقیق بسته های سوخت، آرایش قلب ۶۱ و پارامترهای مربوط به قلب راکتور تهران در مراجع[3]و[4] آمده است.

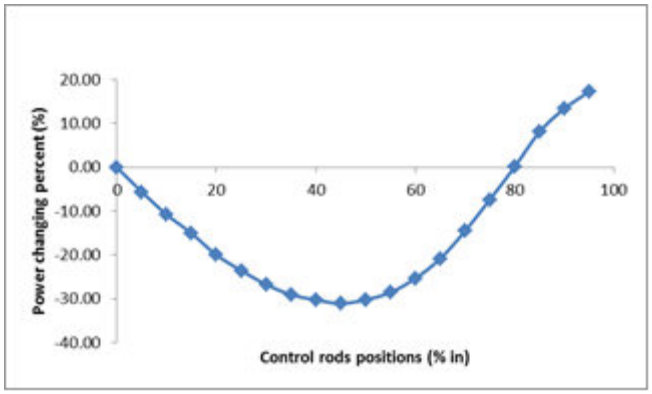
برای انجام محاسبات نوترونیک از بسته نرم افزاری MTR-PC استفاده می شود[5]. در قسمت نوترونیک عمدتا از دو کد WIMS-D/4[6] و CITVAP[7] استفاده شده است که توسط کد مدیریتی HXS با یکدیگر در ارتباطند. کد WIMS-D/4 ۶۹ گروهی سطع مقطع های ماکروسکوپیک متوسط سلول و سایر پارامترها را برای تمام مواد بکار رفته در کل قلب راکتور را محاسبه می کند. کد شبکه ای CITVAP معادله پخش چند گروهی را در سه بعد X-Y-Z و در ۳ گروه انرژی ، متناسب با تقسیم بندی ۵-۴۵-۶۹ از کتابخانه WIMSدر قلب راکتور را حل می کند. مدلسازی نوترونیک قلب راکتور تهران اساسا شامل انجام محاسبات ۳ سلول اصلی ، بسته های سوخت استاندارد، بسته های کنترلی و بازتابنده ها می باشد. اساس و روش های بکار رفته جهت شبیه سازیهای نوترونیک در مرجع[3] آورده شده است. با استفاده از شبیه ساز نوترونی CITVAP میله های کنترل از حالتی که کاملا بیرون بودند به صورت ۵٪ به ۵٪ در داخل قلب قرار گرفتند و در هر مرحله شار نوترون حرارتی، فوق حرارتی و سریع در محل قرارگیری دتکتور ثبت گردید و این موضوع تا زمانی که میله های کنترل کاملا در داخل قلب قرار بگیرند ادامه پیدا کرد.

۳. نتایج و بحث

شکل۱- ب نحوه تغییرات شار حرارتی محاسبه شده در محل قرار گیری دتکتورهای نوترونی را برحسب موقعیت میله های کنترل را نمایش می دهند. از آنجایی که دتکتورهای نوترونی، نوترون های حرارتی را اشکار می کنند، بنابراین فقط به تحلیل منحنی مربوط به نوترون های حرارتی پرداخته شده است. نتایج نشان می دهد حضور تدریجی میله های کنترل در داخل قلب باعث کاهش چشمگیر نوترون های رسیده به محل دتکتور می شوند. درصد تغییرات توان(شار نوترون های حرارتی) در هر وضعیت از میله های کنترل به حالت اولیه در شکل ۱-الف آورده شده است. نتایج نشان میدهد که اگر موقعیت میله های کنترل در قلب راکتور در وضعیت ۴۵٪ باشد نسبت به حالتی که کاملا بیرون بوده اند در حدود ۳۰٪ تغییرات شار و در نتیجه تغییرات توان داریم.



الف



ب

شکل ۱. الف)تغییرات شار نوترون های حرارتی، ب)درصد تغییرات توان بر حسب موقعیت میله های کنترل

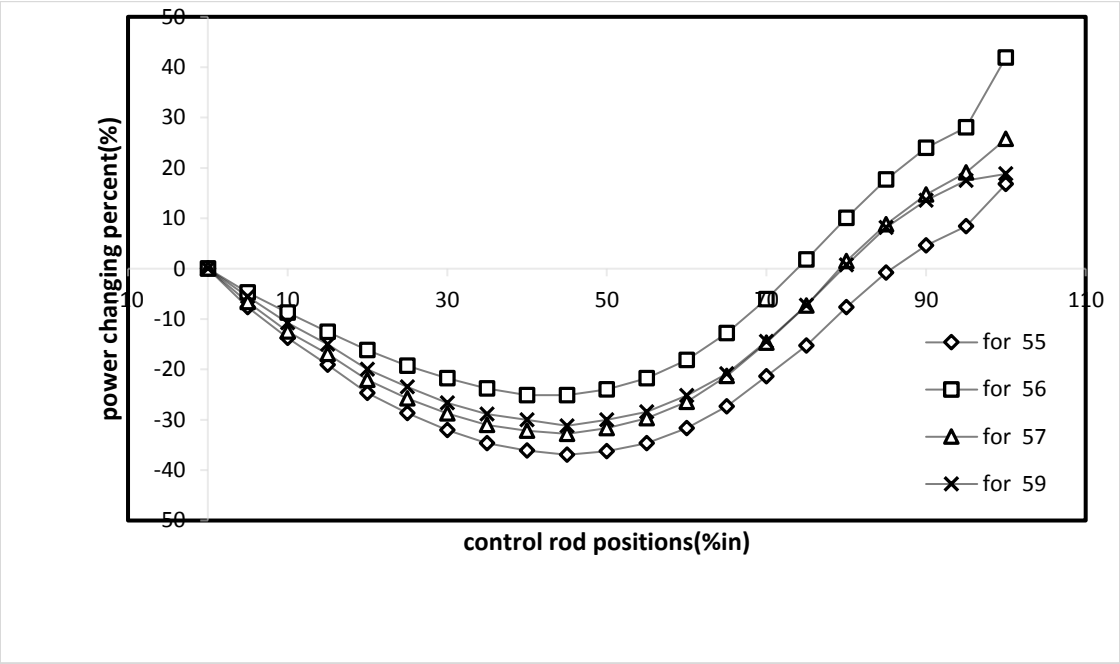
بنابراین به نظر می رسد موقعیت میله های کنترل تاثیر بسیار عمده ای بروی توانی که دتکتورها نمایش می دهند می گذارد. نتایج تجربی اندازه گیری توان راکتور تهران برای قلب مرجع ٦١ بوضوح روشن می‌کند که اختلاف زیادی ما بین نتایج حاصل از دتکتورهای نوترونی با آزمایشهای حرارتی وجود دارد. در این آزمایش صورت گرفته تفاوت توان اندازه گیری شده بین دتکتورها و روش کالیریمتری در حدود ١٦٪ است که اگر تماما این اختلاف را به حضور میله های کنترل نسبت دهیم، محاسبات نشان می دهد که که چیزی در حدود ۱۵ ٪ تغییر در موقعیت میله های کنترل نسبت به حالتی که در آن راکتور کالیبره شده است، علت تغییر توان بوده است.

- **جستجوی مکانی برای دتکتورها که کمترین تغییرات را**

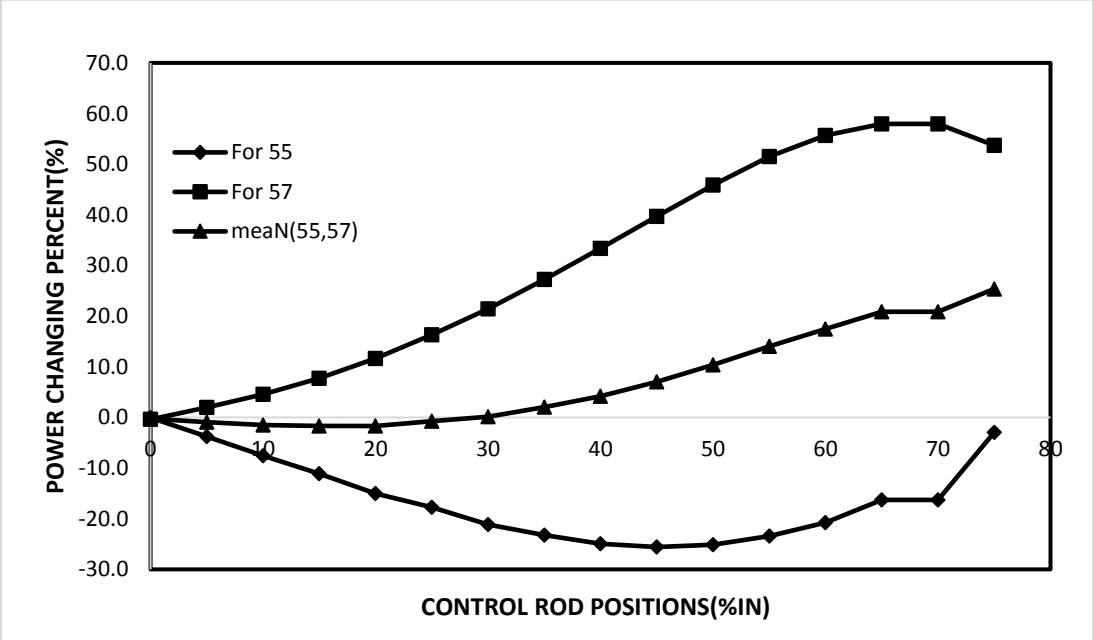
در وضعیت فعلی راکتور تهران، دتکتورهای نوترونی در نزدیکی ستون حرارتی و در فاصله تقریبی نیم متری از بالا و کناره قلب راکتور تهران قرار دارد. ملاک انتخاب محل قرار گیری دتکتورها، جلوگیری از اشباع شدن آنهاست. در گام اول تحقیق میخواهیم به این پرسش جواب بدهیم که ایا منطقه ای در بالای قلب راکتور وجود دارد که تغییرات شار در آن نقطه کمینه باشد. به همین منظور در شبیه سازی سه بعدی قلب راکتور، چهار دتکتور را در چهار موقعیت متقارن در بالای قلب و با رعایت فاصله نیم متری از بالا و کناره ها قرار گرفت. شکل ... نمودار درصد تغییرات توان راکتور(متنایب با شار نوترون های حرارتی) در این چهار موقعیت را بر حسب درصد حضور میله های کنترل نشان میدهد. نتایج نشان می دهد که اثر حضور میله کنترل در جهات مختلف با یکدیگر متفاوت است. اختلاف بین بهترین و بدترین موقعیت ۱۰ درصد است. بنابراین با این نتایج می توان محل قرارگیری دتکتور با حداقل تغییرات توان را پیدا کرد ولی با اینحال حداکثر تغییرات در ٤٥٪ حضور ۲۵٪ می باشد که بازهم عدد بالایی است. در مطالعه دیگری سعی براین شد که دتکتور همزمان با حرکت میله های کنترل حرکت کند. نتایج این مطالعه نشان داد که عملا وضع بدتر می شود و تغییرات توان در دتکتور متحرک بسیار بیشتر ار دتکتورهای ثابت می شود. به عنوان مثال در ۷۰٪ حضور میله ها توان اندازه گیری شده دو برابر میشود.

- **استفاده از دو دتکتور ثابت در بالا و پایین راکتور**

در این مطالعه دو دتکتور در موقعیت متقارن و در موقعیت های بالا و پایین قلب راکتور شبیه سازی شد. شکل... نتایج درصد تغییرات توان در این دو ناحیه را نمایش می دهد. نتایج نشان می دهد که درصد تغییرات شار حراراتی رسیده به این دو موقعیت تقریبا با یکدیگر برابر بوده ولی نکته مهم این است که تغییرات در جهت عکس یکدیگر هستند. با میانگین گیری از توان های نشان داده شده از این دو دتکتور منحنی بدست می اید که تغییرات قدرت در آن عملا تا ۳۰٪ قابل اغماض و در بدترین وضعیت(۷۰٪) به ۲۵ درصد می رسد. درعمل میله های کنترل بیش از ۵۰٪ در قلب قرار نمیگیرند که درصد تغییرات در این موقعیت ۱۰٪ است.



شکل ۲- تغییرات توان اندازه گیری شده در چهار موقعیت متقارن بالای قلب بر حسب موقعیت میله های کنترل



شکل ۳- تغییرات توان اندازه گیری شده در دو موقعیت متقارن بالا و پایین قلب بر حسب موقعیت میله های کنترل

٤. نتیجه گیری

در این مقاله نتایج مربوط به بررسی اثر میله های کنترل بروی کالیبراسیون توان راکتور تهران اورده شده است. نتایج شبیه سازیها به وضوع، تاثیر چشمگیر اثر میله های کنترل بروی توزیع شار نوترون های رسیده به محل قرار گیری دتکتورها را نشان می دهد. ماکزیمم اثر میله های کنترل بروی توان اندازه گیری شده توسط دتکتورهای نوترونی در یک نقطه در حدود ۳۰٪ می باشد. جستجوی مکانهای جدید در بالای قلب منجر به پیدا شدن مکانی شد که نسبت به موقعیت قبلی درصد تغییرات را بهبود بخشید. استفاده از دتکتورها در دو موقعیت متقارن بالا و پایین قلب و استفاده از میانگین توان های نشان داده شد راه حل عملی و پیشنهادی برای جلوگیری از به هم خوردن کالیبرسیون قدرت راکتور می باشد.

٥. مراجع

۱. احمد لشکری "آنالیز تجربی و عددی اثر میله¬های کنترل بروی پارامتر قله توان راکتور تهران" ، کنفرانس فیزیک ۹٤ دانشگاه فردوسی مشهد

۲. احمد لشکری و همکاران "آنالیز اثر میله¬های کنترل بروی پارامتر ایمنی راکتور تهران"، کنفرانس فیزیک ۹۵، دانشگاه شیراز

3. aeoi, Safety Analysis Report for the Tehran Research Reactor (LEU), Tehran-Iran. 2001.
4. Lashkari, A., et al., Neutronic analysis for Tehran Research Reactor mixed-core. Progress in Nuclear Energy, 2012. 60: p. 31-37.

5. Villarino, E.A., MTR_PC v2. 6 System. INVAP, Argentina.

6. C.J. Taubman, J.H.L., WIMS-D4 Code , A Genera description of the Lattice Code WIMS, United Kingdom Atomic Energy Authority.
7. Villarino, E., CITVAP v3. 1 Improved version of CITATION II. MTR_PC v2, 2001. 6.