

بررسی تأثیر جاذب های نوترونی مختلف بر پارامترهای ایمنی یک راکتور تحقیقاتی MTR

راحله کامیاب^۱، هادی دویلو^۲، افشین هدایت^۳، ناصرراسخی نژاد^۱

۱- دانشگاه تفرش، دانشکده فیزیک

۲- دانشگاه صنعتی امیر کبیر (پلی تکنیک تهران)، دانشکده مهندسی هسته ای و فیزیک

۳- سازمان انرژی اتمی، پژوهشگاه علوم و فنون هسته ای، پژوهشکده توسعه راکتورها و شتابدهنده ها

چکیده

در این مقاله پارامترهای ایمنی شامل راکتیویته افزوده، حاشیه خاموش سازی و توزیع توان در قلب راکتور تحقیقاتی مقیاس 10 MW (Benchmark) در حالت بدون جاذب و حالتی که جاذب های سوختی (Ag-In-Cd) ، B_4C و Hf بطور جداگانه وارد شوند، محاسبه شده است. برای این کار ابتدا محاسبات سلولی راکتور Benchmark با استفاده از کد (WIMS) و سپس محاسبات قلب آن توسط کد (CITATION) انجام شده و از روی نتایج حاصل از این کد، پارامترهای لازم بدست آمده و سپس نتایج حاصل از آنها با یکدیگر مقایسه شده و در نهایت نمودار دویعدی و سه بعدی این حالتها ترسیم شده است.

مقدمه

یکی از مشخصات اصلی تکنولوژی راکتور، نگهداشتن راکتور در حالت بحرانی است. اگر راکتیویته تغییر کند، توان راکتور نیز تغییر می کند. هنگام شروع بهره برداری از یک راکتور باید راکتیویته افزوده در راکتور موجود باشد تا کاهش راکتیویته ناشی از مصرف U-235 و نیز تولید سموم نوترونی حاصل از شکافت را جبران کند. تعیین و بررسی پارامترهای راکتیویته افزوده، حاشیه خاموش سازی نیز توزیع توان در قلب راکتور به منظور کارکرد پیوسته و ایمن راکتور (حفظ شروط ایمنی راکتور) لازم می باشد [۱]. در این مقاله محاسبات بر مبنای استفاده از جاذب هایی نوترونی (مواد جاذب میله های کنترل نوع چنگالی) متداول در راکتور های تحقیقاتی با سوخت صفحه ای انجام شد. نتایج حاصل و توزیع توان آنها با یکدیگر مقایسه شده است. برای انجام این کار از کدهای محاسباتی WIMS و CITATION استفاده شده است.

روش کار

جدول (۱) مشخصات هندسی راکتور ۱۰ MW مقیاس [۳]

| | |
|--|--|
| Fuel plate - Thickness - Number per fuel element - Number per control element | 1.27 mm 23 17 |
| Density of aluminum-canning | 2.7 g/cm ³ |
| Support plate - Thickness - Density | 4.75 mm 2.7 g/cm ³ |
| Fuel element (including support plate) (without support plate) | 76 mm.80.5 mm 76 mm · 80.0 mm |
| Meat dimensions | 63 mm · 0.51 mm · 600 mm |
| aluminum plates. Graphite element - Dimension - Density | 77 mm · 81 mm 1.7 g/cm ³ |
| Specifications of the LEU UALx-Al fuel | Enrichment 20 w/o (wt.%) U-235 390 g U-235 per fuel element 72 w/o of uranium in the UALx-Al |
| Total power | 10 MWth |
| Thermal hydraulic data Water temperature Fuel temperature Pressure at core height | 20 °C 20 °C 1.7 bar |

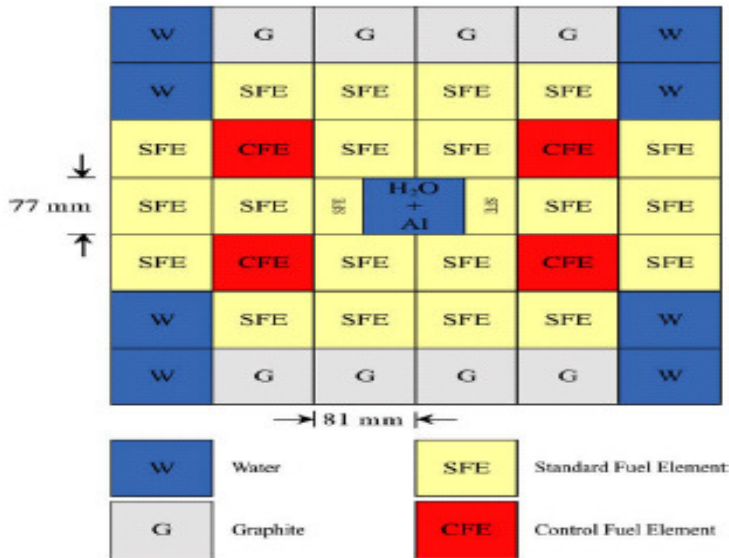
برای انجام محاسبات راکتور مقیاس ابتدا به مشخصات هندسی آن اشاره می کنیم که طبق جدول (۱) می باشد:

قلب این راکتور از مجموعه های سوخت، از نوع MTR که بر روی صفحه مشبک قرار گرفته اند، تشکیل شده است. شکل (۱) حداکثر توان مجاز آن ۱۰ MW می باشد. در مجموعه های سوخت استاندارد با غنای پایین (LEU-SFE) آن اورانیوم ۲۳۵ به غنای در حدود ۲۰ در صد وزنی رسیده است. آلیاژ ماده شکافای به کار رفته در مغز سوخت به صورت UAL_x می باشد. مجموعه های سوخت استاندارد ۲۳ صفحه سوخت دارد که در یک کانال مکعبی شکل به صورت موازی باهم واقع شده اند و از هر دو سمت صفحات سوخت، کانال آب به عنوان خنک کننده و کند کننده جریان دارد مجموعه های سوخت کنترل با غنای

کم (LEU-CFE)، شامل اجزاء زیر می باشد: - صفحات جانی

- هادی های عبوری برای ورود و خروج صفحات کنترل (ماده جاذب)

- تعدادی صفحات سوخت صفحه های

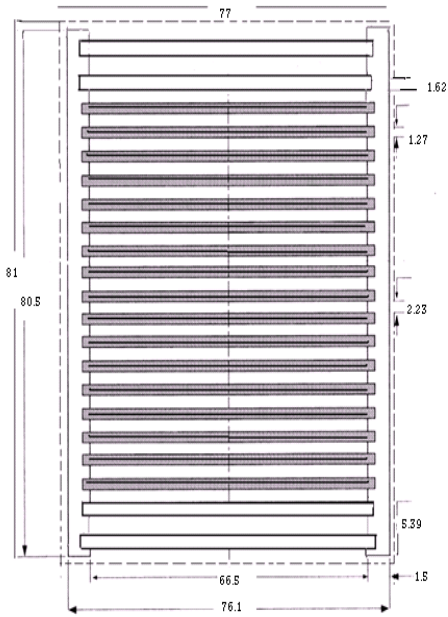


شکل (۱) آرایش قلب راکتور مقیاس [۵]

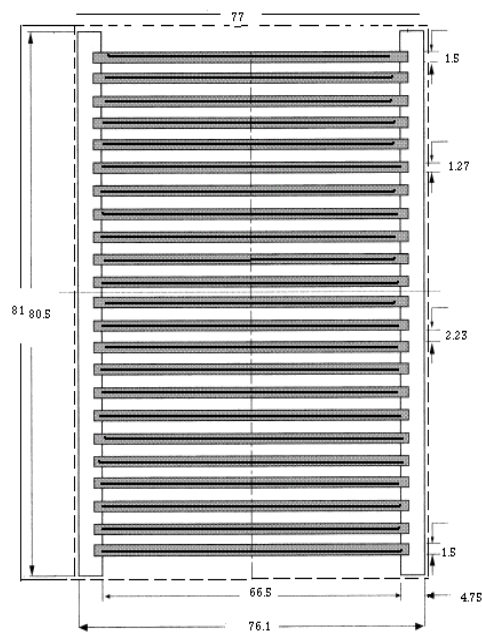
جانبی در مجموعه سوخت کنترل بلندتر از صفحه های جانبی در مجموعه های سوخت استاندارد بوده و این نوع مجموعه ها (LEU-CFE) ۱۷ صفحه سوخت دارد که با ۴ میله های کنترل های سوخت کنترل را تشکیل می دهند. نمایی از سطح مقطع جانبی مجموعه سوخت های استاندارد و کنترل در شکل (۲) و (۳) به نمایش در آمده است. [۲] محاسبات ابتدا با استفاده از کد WIMS انجام گرفته است که در آن

با در نظر گرفتن شکل ساده ای از سلول واقعی که در آن نواحی مختلف با عناوین سوخت، غلاف خنک کننده و کندکننده وجود دارد، طیف های نوترونی برای این نواحی اصلی در ۶۹ گروه انرژی بدست می آید و سپس برای تعداد گروه های ادغام شده ثوابت گروهی بدست می آیند. [۳] محاسبات سطح مقاطع ماکروسکوپیکی و ماتریس های پراکندگی بر مبنای سوخت تازه (بدون مصرف سوخت) انجام شده است. پس از مشخص شدن ثوابت گروهی با حل معادله ترابرد با استفاده از روش احتمالات برخورد مقادیر طیف انرژی در نواحی مختلف بدست می آید. در مرحله بعد کد CITATION جهت محاسبات نوترونی قلب راکتور توسط حل عددی معادله پنخس شامل ضرایب تکثیر مؤثر و توزیع توان بکار می رود. [۴] محاسبات مذکور برای حالت های با جاذب های سوختی (Ag-In-Cd)، B_4C و Hf که این جاذب ها در میان میله های کنترل قرار می گیرد و ضخامت میله های جاذب بکار رفته 3.1mm در نظر گرفته شده است [۶] و حالت بدون جاذب های سوختی انجام گرفته و در هر حالت پارامترهای راکتیویته و توزیع توان محاسبه شده است.

محاسبات قلب راکتور تحقیقاتی مقیاس 10 MW در دو بعد X-Y برای هر یک از حالت های بدون جاذب و در نظر گرفتن جاذب های سوختی مختلف (Ag-In-Cd)، B_4C و Hf انجام شد. نتایج محاسبه ضریب تکثیر مؤثر قلب و راکتیویته و توزیع توان در جداول (۲) و (۳) نشان داده شده است. نمودار سه بعدی توزیع توان برای حالت بدون جاذب سوختی و حالتی از جاذب سوختی که ماکزیمم مقدار توان در آن مشاهده شده است و نمودار دو بعدی توزیع توان برای هر دو حالت بصورت مقایسه ای مطابق شکل های (۴) و (۵) و (۶) و (۷) ترسیم شده است.



شکل (۳) مجموعه سوخت استاندارد CFE



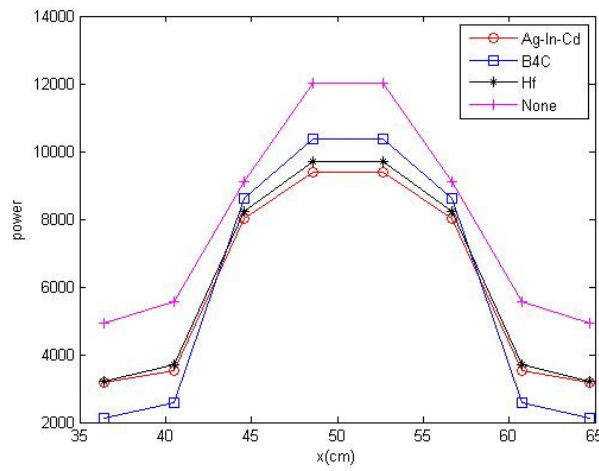
شکل (۲) مجموعه سوخت استاندارد SFE

جدول (۲) ضرایب راکتیویته و ضریب تکثیر مؤثر قلب حاصل از محاسبات پخش

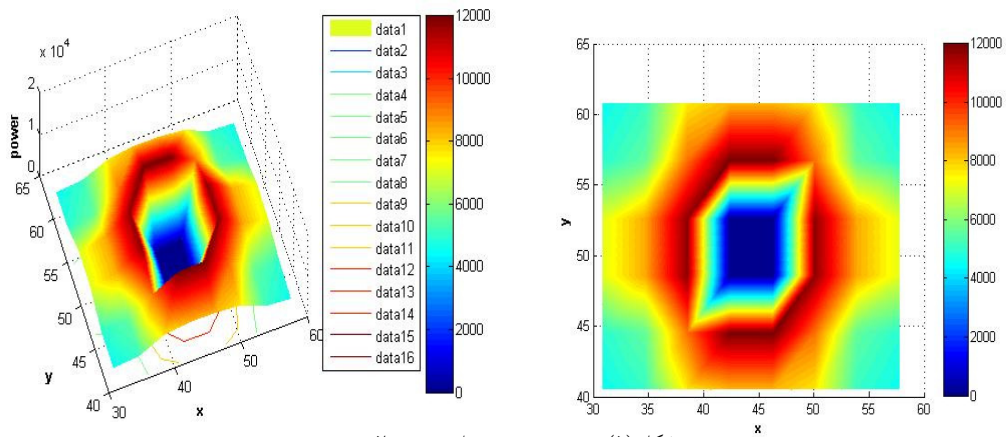
| calculated | | | | ANL [6] | | |
|------------------|-----------|----------------|--------------------|-----------|----------------|--------------------|
| Absorber | K_{eff} | $\Delta\rho\%$ | $\Delta\rho$ (pcm) | K_{eff} | $\Delta\rho\%$ | $\Delta\rho$ (pcm) |
| None | 1.1822 | 15.41 | 15411.944 | 1.1695 | 14.49 | 14496.298 |
| Ag-In-Cd | 1.0264 | -12.83 | -12836.007 | 1.0305 | -11.55 | -11555.623 |
| B ₄ C | 0.9937 | -16.04 | -16041.438 | 0.9911 | -15.39 | -15394.282 |
| Hf | 1.0481 | -10.82 | -10821.915 | 1.0340 | -11.20 | -11208.089 |

جدول (۳) فاکتور قله توان شعاعی با جاذبه های مختلف وبدون آن

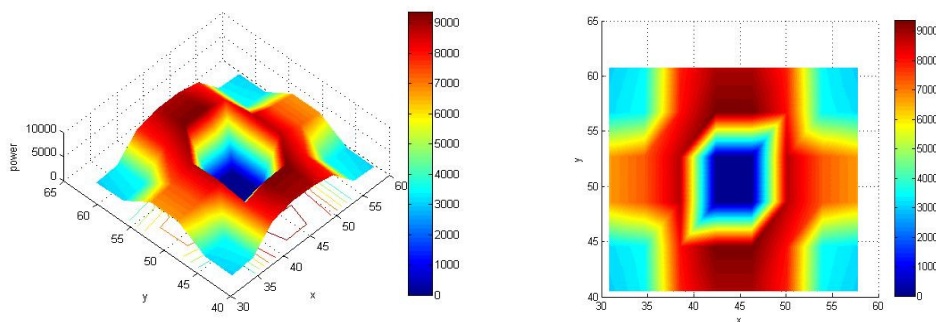
| None | Ag-In-Cd | B ₄ C | Hf |
|------|----------|------------------|-------|
| 1.46 | 1.074 | 1.081 | 1.086 |



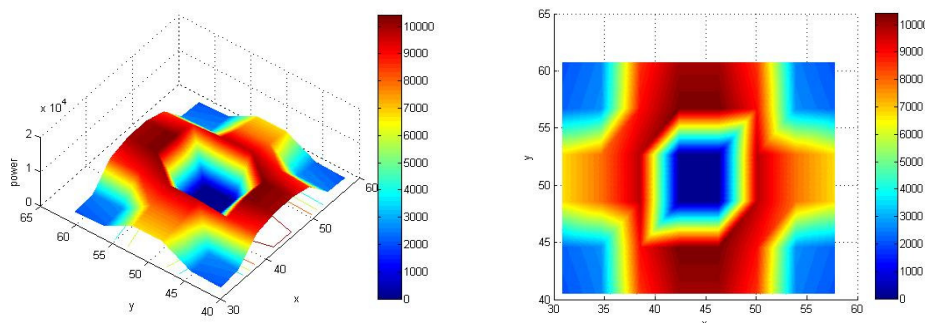
شکل (۴) مقایسه توزیع دوعبدهی توان برای جاذب های مختلف



شکل (۵) توزیع سه بعدی توان بدون جاذب سوختی



شکل (۶) توزیع سه بعدی توان با جاذب سوختی Ag-In-Cd



شکل (۷) توزیع سه بعدی توان با جاذب سوختی B_4C

بعضی از جنبه های ایمنی مربوط به راکتورهای تحقیقاتی با پارامترهای محاسبه شده در این مقاله مرتبط است. جنبه های ویژه آن به نوع سوخت و راکتور، شرایط بهره برداری و نرم افزارهای موجود برای محاسبات راکتور بستگی دارد که قبل از بکاربردن آن در تحلیل عملی قلب در موقعیت های خاص باید بررسی شود. مقادیر ضریب تکثیر مؤثر و ضرایب راکتیویته بدست آمده توسط کد CITATION با مقادیر گزارش شده مقایسه شده و نشان دهنده صحت محاسبات می باشد. نتایج نشان داد که کمترین قله توان شعاعی (هموار ترین توزیع توان) با استفاده از ماده جاذب $Ag-In-Cd$ و بیشترین حاشیه خاموش سازی با استفاده از ماده جاذب B_4C حاصل می شود.

فهرست مراجع

[۱] تالیف (آرتور، فوستر، رابرت، رایت) ترجمه دکتر علی افشار بکشلو و دکتر منیژه رهبر، مهندسی هسته ای پایه -

مرکز نشر دانشگاهی ۱۳۶۴

[۲] IAEA Technical Document (IAEA TECDOC-233), 1980, "Research reactor core conversion from the use the of highly enriched uranium to the use of low enriched uranium fuels", IAEA TECDOC-233, International Atomic Energy Agency, Vienna.

[۳] WIMSD4 code Manual, 1991. Winfrith Improved Multigroup Scheme Code system. Radiation safety Information Computational Center, Oak Ridge National Laboratory, Oak Ridge.

[۴] CITATION code Manual, 1999, Nuclear Reactor core Analysis Code System, Radiation safety Information computational center, Oak Ridge, National Laboratory, Oak Ridge.

[۵] Haianoun A., Ghazi N., Mansour Abdulz Moaiz B., 2010. safety analysis of the IAEA reference research reactor during loss of flow accident using the code MERSAT. Nuclear Engineering and Design 240, 1132-1138.

[۶] IAEA Technical Document (IAEA TECDOC-643), 1992, "Research reactor core conversion guidebook", IAEA TECDOC-643, International Atomic Energy Agency, Vienna.