بررسي تغييرات ضريب تكثير مؤثر نوترون براي سوخت VVER-1000 در شرايط عادي و در شرايط حادثه

رعنا سلیمی*، پروین کاویانی

پژوهشگاه علوم و فنون هسته ای[1] - پژوهشکدۀتحقیقات و توسعۀ راکتورها و شتابدهنده ها

چکیده

بحرانی شدن جدی ترین خطر بالقوه ای است که افراد شاغل در تأسیسات هسته ای و همچنین ساکنین اطراف آن را تهدید می کند و از این رو تعیین ضریب تکثیر نوترون دارای اهمیت فوق العاده ای می باشد. در مرحلۀ ساخت و طراحی تأسیسات هسته ای اورانیومی ، تعیین احتمال بحرانیت برای تمام قسمتها الزامی است و به عنوان یکی از معیارهای اصلی طراحی بشمار می رود. بنابراین در این قسمت به نحوۀ تعیین ضریب تکثیر مؤثرنوترون در انبار سوخت پرداخته و همچنین اثر تغییرات چگالی بخار آب بر روی ضریب تکثیر نوترون مورد بررسی قرار می گیرد.

برای محاسبۀ K_{eff} روشها و کدهای هسته ای معتبری موجود است. در این مقاله برای محاسبه از کد WIMS استفاده کرده و ضریب تکثیر نوترون را در هر دو شرایط عادی وحادثه تعیین می کنیم. سوخت VVER-1000با ساختارهای شش گوش و مربعی را با کد WIMS شبیه سازی کرده ایم . در نمودار تغییرات K_{eff} با چگالی بخار آب با افزایش میزان رطوبت، K_{eff} افزایش یافته، در چگالی بخار آب متناظر با gr/cm^3 ۰/۲ به مقدار ماکزیمم می رسد وپس از آن دوباره کاهش می یابد. با توجه به تغییرات K_{eff} با چگالی بخار آب احتمال بحرانی و یا فوق بحرانی شدن سیستم وجود دارد و بنابراین لازم است که در طراحی استخرهای سوخت با قرارگیری میله های سوخت در فاصلۀ مناسبی از یکدیگر از این امر جلوگیری کرد.

کلید واژه: ضریب تکثیر مؤثرنوترون ، کد WIMS ، سوخت VVER-1000 ، آرایش خوشه ای، استخر سوخت

مقدمه

در این مقاله ضریب تکثیر مؤثر نوترون برای انبار سوخت با سوختهای متفاوت وبا آرایشهای شش گوش ومربعی در شرایط عادی و حادثه (آب گرفتگی) در دو محیط هوا و آب مورد بررسی قرار

* raanasalimi@yahoo.com
[1] تهران- انتهای کارگر شمالی- سازمان انرژی اتمی ایران

می گیرد. ضریب تکثیر مؤثر[2] تعداد نوترونهای تولید شده در یک نسل به نسل ماقبل آن است. چنانچه K_{eff} بزرگتر از یک باشد دستگاه، فوق بحرانی وچنانچه K_{eff} کوچکتر از یک باشد دستگاه، زیر بحرانی است. و در حالتی که K_{eff} برابر یک باشد دستگاه، بحرانی است. هنگام نگهداری سوختها در یک استخر سوخت باید در شرایط آب گرفتگی و نیز در چگالیهای متفاوت بخار آب همواره K_{eff} کوچکتر از یک باشد .

روش کار

برای محاسبهٔ ضریب تکثیر مؤثر نوترون از کد WIMS استفاده کرده ایم.[1] در این کد از سطح مقطعهای ENDF60 با ۶۹ گروه انرژی استفاده شده است.مجتمع های سوخت شش گوش و مربعی با سوختهای متفاوت را با این کد شبیه سازی کرده‌ایم. گام شبکه شش گوش ۴۰ cm و گام شبکه مربعی ۳۵ cm است. جدول ۱ شامل ترکیبات سوخت تازه با واحد atom/barn.cm می باشد. شکلهای ۱ و ۲ مجتمع های سوخت شش گوش و مربعی را نشان می دهد که با کد WIMS شبیه سازی کرده‌ایم.

این محاسبات بررسی تغییرات ضریب تکثیر مؤثر در حالت حادثه و همچنین شرایط عادی، به ترتیب در محیط آب و هوا است. محاسبات برای انبار سوخت با ابعاد بی نهایت و دمای K ۳۰۰ انجام می شود. ضریب تکثیر مؤثر نوترون برای چگالیهای مختلف از چگالی اتمی صفر معادل هوا تا چگالی gr/cm^3 ۱ معادل آب را با با کد WIMS محاسبه کرده‌ایم. با آنالیز نتایج حاصل از کد که در جدول ۲ مشاهده می‌شود، چنانچه نمودار K_{eff} بر حسب چگالی بخار آب رسم شود، نمودار شکل ۳ حاصل می شود.

[2] K_{eff}

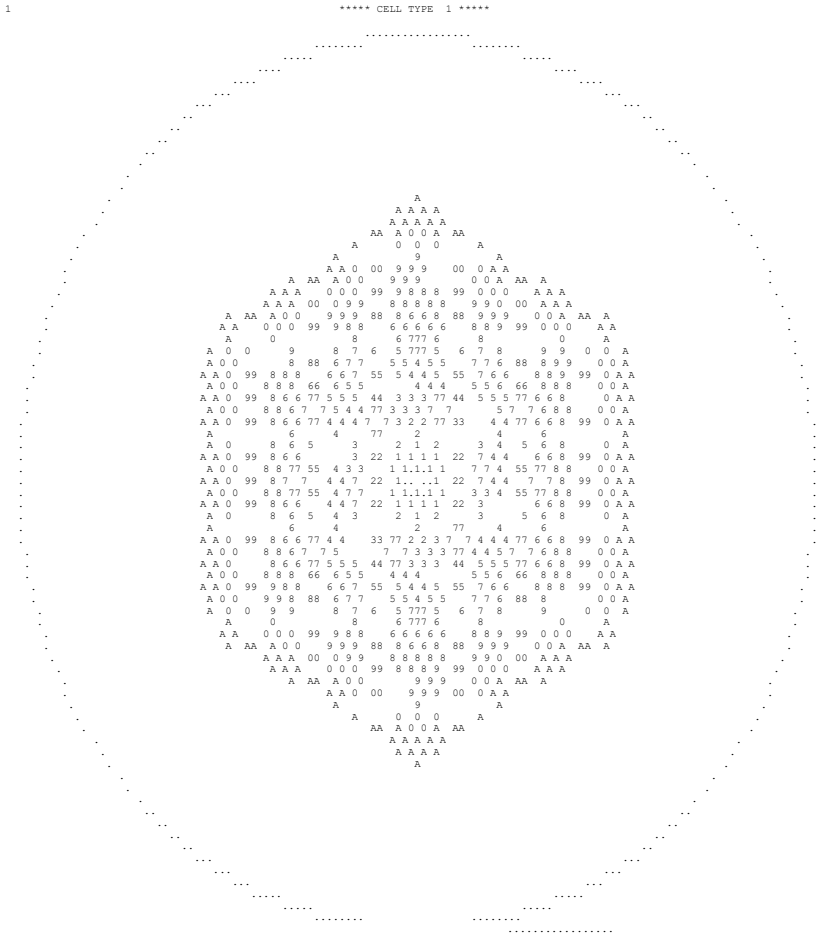
نتایج

جدول ۱:ترکیبات سوخت تازه برای چهار نوع سوخت

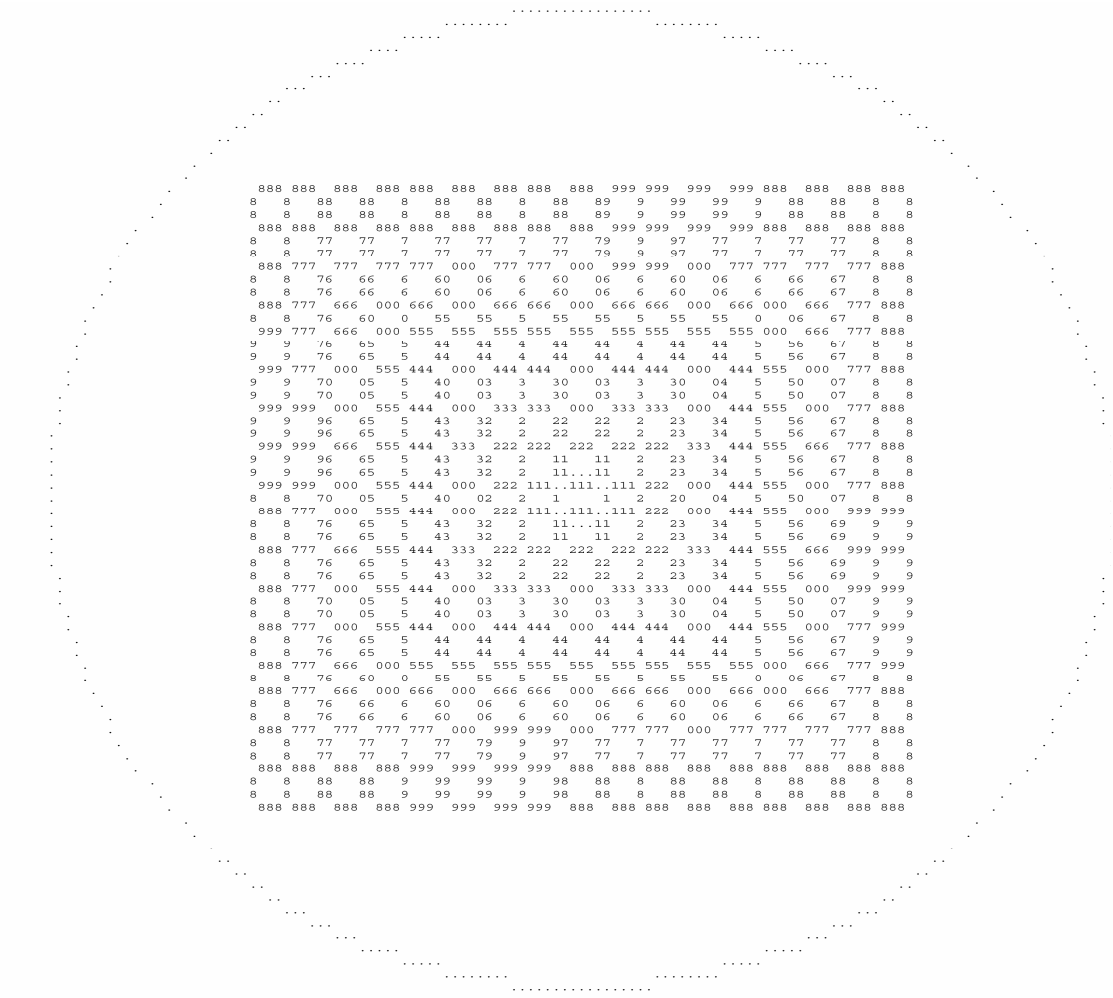
ایزوتوپ	1 (Atoms/(b.cm))	2 (Atoms/(b.cm))	3 (Atoms/(b.cm))	4 (Atoms/(b.cm))
^{16}O	4.3036×10-2	4.3051×10^{-2}	3.92351×10^{-2}	4.63586×10^{-2}
^{234}U	‹2.0×10^{-7}	‹2.0×10^{-7}	8.0×10^{-6}	
^{235}U	4.1762×10^{-5}	4.0964×10^{-5}	8.7370×10^{-4}	5.50785×10^{-5}
^{238}U	2.0576×10^{-2}	2.0183×10^{-2}	1.8744×10^{-2}	2.22106×10^{-2}
^{238}Pu	1.8089×10^{-7}	1.9720×10^{-5}		
^{239}Pu	8.4610×10^{-4}	7.5671×10^{-4}		8.68469×10^{-4}
^{240}Pu	5.2111×10^{-5}	3.1941×10^{-4}		4.60024×10^{-5}
^{241}Pu	1.6078×10^{-6}	1.2464×10^{-4}		9.16253×10^{-6}
^{242}Pu	2.6685×10^{-7}	6.8527×10^{-5}		
^{241}Am	1.7864×10^{-7}	1.6878×10^{-5}		

جدول ۲: تغییرات ضریب تکثیر مؤثر نوترون برای سوخت تازه با چگالیهای متفاوت بخار آب

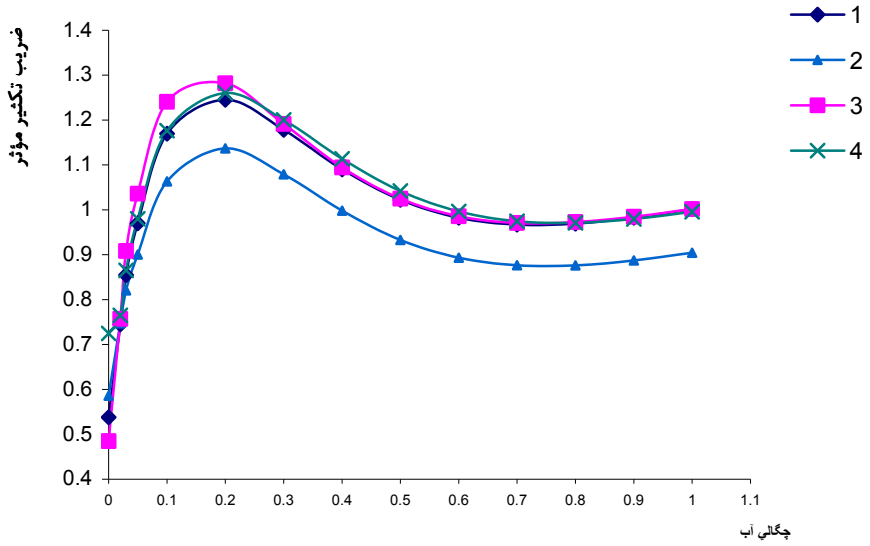
چگالی بخار آب (gr/cm^3)	ضریب تکثیر مؤثر			
	1	2	3	4
0.00	0.537943±02.58%	0.586017±02.68%	0.484997±05.57%	0.724621±2.01%
0.02	0.745029±03.41%	0.747393±02.79%	0.757341±03.27%	0.765167±1.46%
0.03	0.855052±02.54%	0.820636±02.99%	0.908549±00.48%	0.865098±2.11%
0.05	0.970093±06.90%	0.900555±07.25%	1.035905±05.65%	0.979879±3.32%
0.10	1.169744±05.51%	1.063506±06.38%	1.240485±03.61%	1.176337±1.18%
0.20	1.245346±01.00%	1.136894±01.82%	1.281829±01.01%	1.260301±2.03%
0.30	1.178117±03.43%	1.079111±02.76%	1.191528±04.98%	1.200193±5.12%
0.40	1.090310±06.89%	0.998045±06.12%	1.094552±07.94%	1.113694±4.29%
0.50	1.022371±09.07%	0.932994±08.38%	1.024799±09.89%	1.042216±3.18%
0.60	0.982669±09.80%	0.893352±09.26%	0.985668±10.55%	0.996418±7.11%
0.70	0.967300±10.08%	0.876484±09.41%	0.970921±10.39%	0.974622±7.23%
0.80	0.969454±10.19%	0.876287±09.48%	0.972792±09.88%	0.971075±7.11%
0.90	0.982572±09.36%	0.887238±09.18%	0.984572±09.02%	0.979659±8.12%
1.00	1.001776±08.94%	0.904311±09.56%	1.001659±08.24%	0.995573±8.23%



شکل۱. آرایش هندسی میله های سوخت در یک مجتمع سوخت شش گوش ، شبیه سازی شده با کد WIMS



شکل۲. آرایش هندسی میله های سوخت در یک مجتمع سوخت مربعی، شبیه سازی شده با کد WIMS



شکل ۳. نمودار تغییرات ضریب تکثیر مؤثر نوترون با چگالی بخار آب

بحث و نتیجه گیری

نتایج نشان میدهد اگر چگالی کند کننده به واحد نزدیک شود، K_{eff} حاصل به K_{eff} یک مجتمع سوخت تنها نزدیک می شود. با توجه به نتایج حاصل در جدول۲ هنگامیکه چگالی آب از حدود ۰/۷ تا ۱ تغییر می کند، تغییرات K_{eff} کم می شود و K_{eff} حاصل به K_{eff} یک تک مجتمع سوخت نزدیک می شود. یعنی هر مجتمع سوخت ، مجتمعهای سوخت اطرافش را نمی بیند زیرا آب به اندازهٔ کافی در اطراف هر مجتمع سوخت وجود دارد بطوریکه آن مجتمع سوخت را ایزوله می کند. از چگالی صفر (هوا) تا چگالی $0/2\ gr/cm^3$ K_{eff} افزایش می یابد تا در نقطهٔ ۰/۲ به ماکزیمم مقدارش می رسد و پس از آن کاهش می یابد. (از چگالی $0/2\ gr/cm^3$ تا $0/7\ gr/cm^3$) در این ناحیه کند کننده بر عکس عمل می کند و باعث کاهش راکتیویته می شود. شکل ۳ تغییرات ضریب تکثیر مؤثر با چگالی آب برای چهار نوع سوخت VVER-1000 را نشان می دهد. . در نمودار تغییرات K_{eff} با چگالی بخار آب با افزایش میزان رطوبت، K_{eff} افزایش یافته، در چگالی بخار آب متناظر با $0/2\ gr/cm^3$ به مقدار ماکزیمم می رسد وپس از آن دوباره کاهش می یابد. با توجه به تغییرات K_{eff} با چگالی بخار آب احتمال بحرانی و یا فوق بحرانی شدن سیستم وجود دارد و بنابراین لازم است که در طراحی استخرهای سوخت با قرارگیری میله های سوخت در فاصلهٔ مناسبی از یکدیگر از این امر جلوگیری کرد.

نتایج مندرج در جدول ۲ نشان می دهد که خطای محاسبات کد WIMS در مقایسه با مراجع [2] و [3] بطور متوسط کمتر از ۶٪ بوده است. تفاوت در گروههای انرژی و کتابخانهٔ مورد استفاده در

هر کد، همچنین متفاوت بودن روش حل مسأله و تعریف جزئیات ساختار هندسی هنگام شبیه سازی ، از عوامل مؤثر در اختلاف نتایج کد WIMS در مقایسه با مرجع می باشد.

مراجع

[1]: Halsall M.J, A Summary Of WIMSD4 Input Options , 1967

[2]: Margaret B. Emmett, Calculational Benchmark Problems for VVER-1000 Mixed Oxide Fuel Cycle, 1996

[3]: Gehin J.C, Primm R.T., American Nuclear society Light Water Reactor Mixed Oxide Benchmark, 1997, Computational Physics and Engineering Division Oak Ridge National Laboratory