شبیه سازی نوترونی قلب راکتور پیشرفته ALFRED با استفاده از کد *MCNPX*

رهبری،کورش [(۱)]* – مستی،داریوش[(۱)]– سپانلو،کامران[(۲)] –ظریفی، احسان [(۲)]

[۱]گروه مهندسی هسته ای ، واحد بوشهر ، دانشگاه آزاد اسلامی، بوشهر ، ایران

[۲] سازمان انرژی اتمی ایران، پژوهشگاه علوم و فنون هسته ای، پژوهشکده رآکتور و ایمنی هسته ای

چکیده:

در سالهای اخیر تمایل به ساخت رآکتورهایی پیشرفته و ایمنی بالا به دلیل نیاز به واحدهای تولیدی در شبکه های برق بخصوص در شهرهای کم جمعیت در حال افزایش می باشد. از مشخصه های اصلی این رآکتورهای پیشرفته می توان به ایمنی ذاتی بالا، سادگی تجهیزات، زمان بهره برداری بیشتر،عدم نیازبه سوختگذاری به مدت چند سال، بازدهی بالاتر، هزینه بهره برداری کمتر اشاره نمود.در این تحقیق، به بررسی رفتار نوترونی قلب رآکتور پیشرفته با خنک کننده سرب ALFRED پرداخته می شود. هدف از انجام محاسبات نوترونی قلب یک راکتور، محاسبه توزیع شار نوترون در قلب و محاسبه ضریب تکثیر موثر می باشد. جهت انجام محاسبات نوترونی از کد MCNPX 2.6 استفاده خواهد شد.

کلمات کلیدی: *رآکتور ALFRED ، کد MCNPX ، ضریب تکثیر موثر Keff ، شبیه سازی نوترونی*

مقدمه:

در طول تاریخ، انرژی همواره برای پیشرفت انسانها نقشی اساسی داشته است. به منظور پیشرفت انرژی هسته ای برای برطرف کردن نیاز انرژی آینده، ده کشور آرژانتین، آفریقای جنوبی، آمریکا، انگلستان, برزیل، ژاپن، سوئیس، فرانسه، کانادا و کره در یک همکاری بین المللی (Generation IV International Forum, GIF) برای تحقیق در مورد نسل آینده سیستم های انرژی هسته ای که با نام نسل چهارم شناخته می شوند، با هم به توافق رسیدند [۱]. این راکتورها قرار است پس از سال ۲۰۳۰ وارد بازار شوند. تغییرات بنیادی در پیکربندی سیستم ها و شکل های راکتورهای قدیمی منجر به تولید راکتورهای جدید شد که این راکتورها نیازمند تو سعه و تحقیق بنیادی، برر سی های دقیق و ساخت واحدهای نیمه صنعتی می باشند. قابلیت های راکتورهای نسل چهارم علاوه بر تولید الکتریسیته، نمک زدایی آب دریا و کاربردهای حرارتی می با شد. در سال ۲۰۰۰ ک شورهای مؤ سس GIF اولین ن شـ ست خود را برای بحث در مورد ضرورت انجام تحقیقات برای طراحی راکتورهای نسل بعدی، تشکیل دادند. پس از آن، راهکاری برای جهت دهی به فعالیت ها تهیه شد و م سئولیت اجرایی آن بر عهده گروه واب سته به وزارت انرژی ایالات متحده قرار گرفت.در این تحقیق، به برر سی رفتار نوترونی قلب رآکتور پیشرفته با خنک کننده سرب ALFRED پرداخته می شود. هدف از انجام محاسبات نوترونی قلب یک راکتور، محاسبه توزیع شار نوترون در قلب و محاسبه ضریب تکثیر موثر می باشد.با توجه به لزوم انجام

محاسبات دقیق نوترونی،ابتدا نیاز است هندسه واقعی قلب، ترکیب و غنای سوخت، گام شبکه، شعاع و ارتفاع میله های سوخت، ترکیب ومکان جاذب های سوختنی، انواع و مکان قرار گیری میله های کنترل، آرایش مجتمع های سوخت در قلب رآکتور،بازتابنده های شعاعی و محوری، تعیین ومشخص گردند. جهت انجام محا سبات نوترونی از کد MCNPX استفاده خواهد شد. در کد MCNPX با بهره گیری از روش آماری مونت کارلو این محاسبات صورت می پذیرد.

شش راکتور زیر به عنوان راکتورهای نسل چهار انتخاب شده اند :

1. Gas Cooled Fast Reactor (GFR)
2. Lead Cooled Fast Reactor (LFR)
3. Molten Salt Reactor (MSR)
4. Sodium Cooled Fast Reactor (SFR)
5. Supercritical Water Cooled Reactor (SCWR)
6. Very High Temperature Reactor (VHTR)

رآکتور سرب مذاب (LFR) یکی از ٦ راکتور پیشرفته نسل چهارم است. در چند سال اخیر این نوع راکتور علاقه بسیاری را به خود جلب کرده است و اخیرا کشورهایی مانند: روسیه، آمریکا، اتحادیه اروپا و ... به تحقیق پیرامون این موضوع علاقه نشان داده اند.

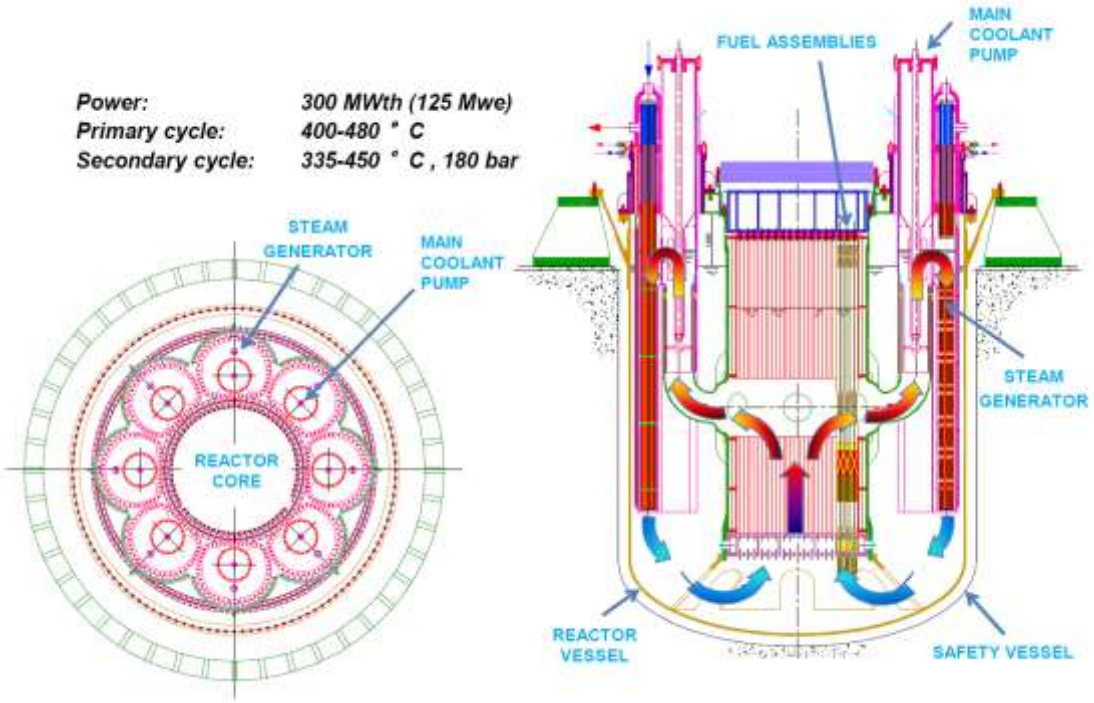
سیستم های LFR دارای قابلیت مدیریت بسیار عالی مواد به دلیل استفاده از طیف نوترون سریع می باشند و از یک چرخه سوخت بسته برای تبدیل کارآمدتر اورانیوم زایا استفاده می کنند. همچنین می تواند به عنوان یک سوزاننده اکتینیدها از سوخت های مصرف شده راکتورهای آب سبک (LWRs) را مصرف نمایند و یا به عنوان یک "راکتور آدیاباتیک" (قادر به سوزاندن پسماندهای آکتینیدی تولیدی خود) استفاده شوند.

روش کار:

معرفی تکنیکی راکتور ALFRED

همانطور که بیان شد برنامه رآکتور ALFRED (Advanced Lead-cooled Fast Reactor European Demonstrator) در چارچوب پروژه LEADER می باشد. هدف از پروژه ALFRED تجزیه و تحلیل جنبه های مختلف فن آوری خنک کننده سرب در راکتورهای سریع می باشد. بطوریکه این پروژه نقش بسیار مهمی را به عنوان ETDR (European Technology Demonstrator Reactor) در زنجیره کلی این تکنولوژی بازی کند.

طرح رآکتور ALFRED شامل یک رآکتور سریع با توان ۱۲۵ مگاوات الکتریکی و با خنک کننده سرب می باشد. در شکل (1) نمایی از این رآکتور نشان داده شده است.

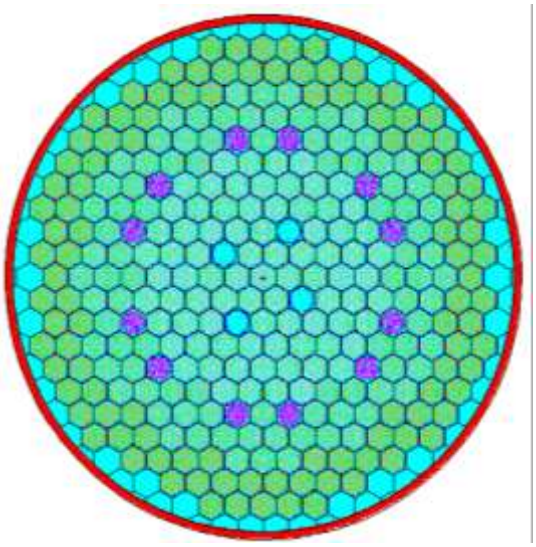


شکل (۱) نمایی از رآکتور ALFRED [۳]

برخی از پارامترهای هندسی رآکتور ALFRED در جدول ۱ آورده شده است. قلب این رآکتور دارای یک شبکه شش ضلعی شامل ۱۷۱ بسته سوخت (FA)، ۱۲ میله کنترل (CR)، ٤ میله ایمنی (SR) و ۱۰۸ میله خالی می باشد. نمایی از قلب این رآکتور در شکل (۲) نشان داده شده است.

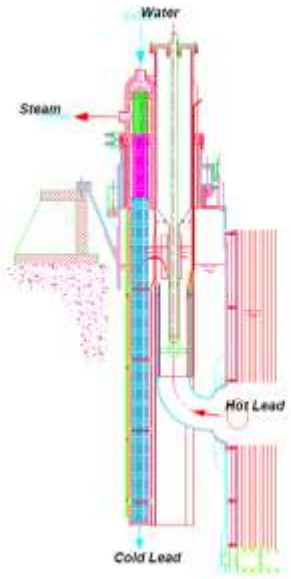
جدول (۱) مشخصات اصلی رآکتور ALFRED [۳]

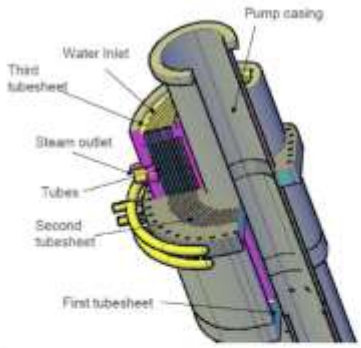
Parameter	Unit	Values
Thermal power	MW	300
Active height	cm	60
Pellet hollow diameter	mm	2
Pellet radius	mm	4.5
Gap thickness	mm	0.15
Clad thickness	mm	0.6
Pin diameter	mm	10.5
Wrapper thickness	mm	4
Distance between 2 wrappers	mm	5
Coolant velocity	m s^{-1}	~1.4
Lattice pitch (hexagonal)	mm	13.86
Pins per FA	-	127
Inner vessel radius	cm	165



شکل (۲) نمایی از قلب رآکتور ALFRED [۳]

این رآکتور دارای ۸ مولدبخار می باشد که همانند رآکتورهای ماژولار در داخل محفظه ایمنی رآکتور به طور متقارن قرار داده شده اند. نمایی از مولدهای بخار این رآکتور و مشخصات آن در شکل (3) نشان داده شده است.





Removed Power [MW]	37.5
Core outlet Lead Temperature [° C]	480.0
Core inlet Lead Temperature [° C]	401.5
Feedwater Temperature [° C]	335.0
Immersed bayonet steam outlet T [° C]	451.5

شکل (۳) مولد بخار رآکتور ALFRED [۳]

رآکتور ALFRED قرار است در ICN(Institute de Cercetari Nucleare) در نزدیکی تاسیسات Pitesti در جنوب رومانی ساخته شود، که در آنجا یک کارخانه تولید سوخت برای دو راکتور CANDU کشور در حال بهره برداری می باشد. ساخت رآکتور ALFRED از سال ۲۰۱۷ آغاز خواهد شد و قرار است در سال ۲۰۲۵ با تولید ۱۲۵ مگاوات الکتریسیته به شبکه برق رومانی متصل گردد.

شبیه سازی رآکتور ALFERD باکدMCNPX 2.6

در این تحقیق راکتور آلـفرد با استفاده از اطلاعات موجود توسـط کد MCNPX 2.6 **شبیه سازی شده است.**
در این کد قلب راکتور با استفاده از دستورKCODE **که برای چشمه محاسبات بحرانی استفاده می شود با تعداد** ۱ **میلیون ذره و تعداد** ۱۵۰ **سیکل شبیه سازی گردید.**
پارامتر های نوترونی که در این تحقیق محاسبه شده عبارت است از : ضریب تکثیر موثر(K_{eff}) **،راکتیویته مازاد**(ρ_{ex})**، زمان متوسط تولید نوترون (**Λ **)و**توزیع شارشعاعی ومحوری نوترون .

نتایج:

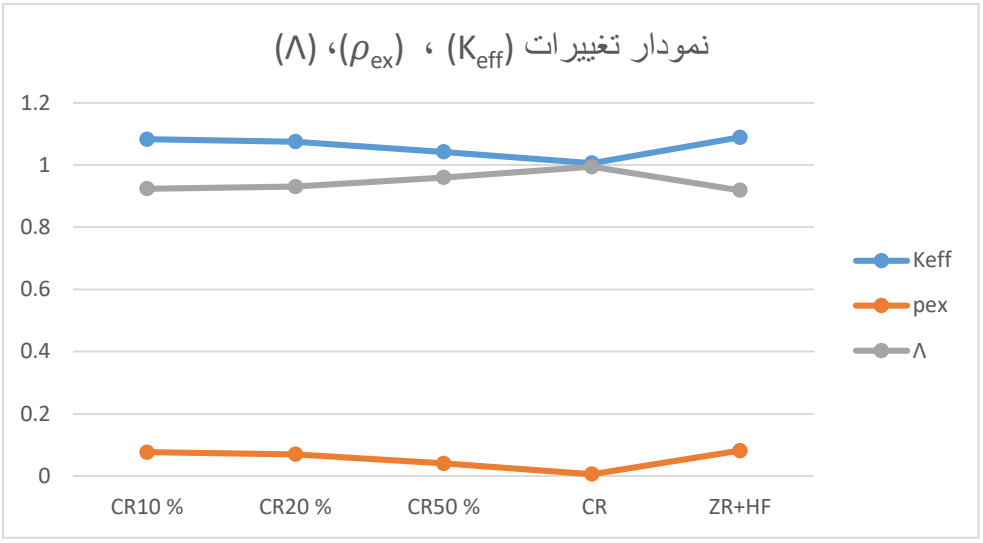
محاسبات بحرانیت وسنتیک رآکتور

محاســـبات بحرانیت رآکتور با در نظر گرفتن % ۱۰، % ۲۰، % ۵۰میله های کنترل در داخل قلب و ضـــریب تاکثیر موثر(Keff) در جدول (2)زیر نشان داده شده است. میزان راکتویته مازاد رآکتور هم با استفاده از رابطه زیر عبارت است از:

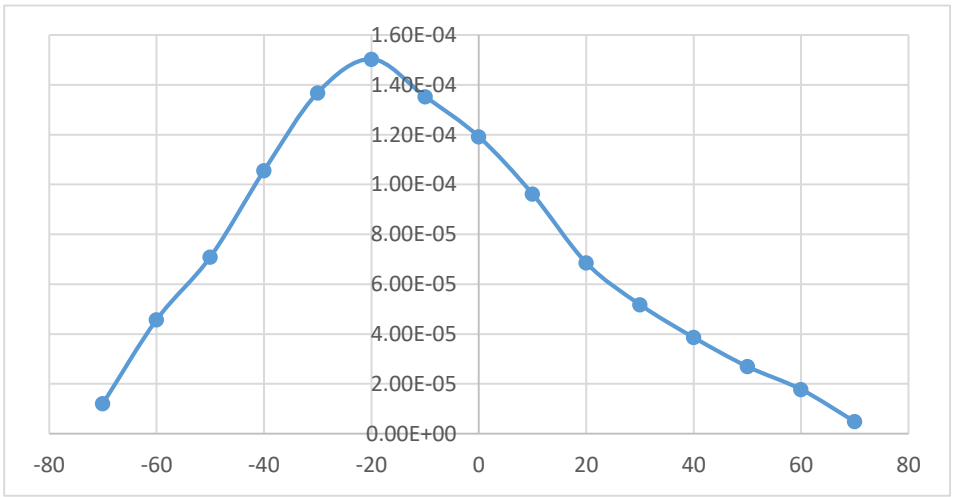
$$\rho_{ex} = (K_{eff} - 1) / K_{eff}$$

جدول (2): محاسبات بحرانیت و سنتیک راکتور ALFRED

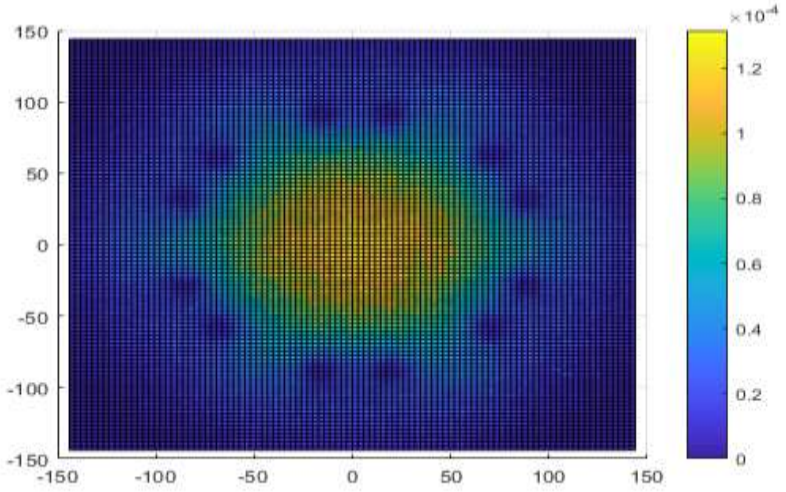
	CR10 %	CR20 %	CR50 %	CR	ZR+HF
K_{eff}	1.08255	1.07483	1.04200	1.00583	1.08879
ρ_{ex}	0.07625	0.06962	0.04030	0.00579	0.08154
Λ	0.9237	0.9303	0.9596	0.9942	0.9184



شکل(٤) نمودار تغییرات ضریب تکثیر موثر(Keff) ،راکتیویته مازاد(ρex)، زمان متوسط تولید نوترون (Λ)



شکل(٥) توزیع شار محوری در قلب راکتور



شکل(۶)- توزیع شارشعاعی در قلب راکتور

بحث و نتیجه گیری:

هدف ازاین تحقیق شبیه سازی وبه دست آوردن پارامترهای نوترونی و محاسبه بحرانیت وسنتیک راکتور در حالت اولیه وبا درنظرگرفتن ۱۰ الی ۵۰ درصدمیله های کنترل در قلب راکتوروتوزیع شارشعاعی ومحوری قلب راکتورمی باشد. بررسی روی نتایج به دست آمده نشان دهنده ی ضریب تکثیر موثر دربهترین حالت مقدار۱/۰۰۵۸۳ وتغییرات آن با وارد کردن میله های کنترل نزدیک یک است. برای برآورد صحیح تر توصیه می شود محاسبات ترموهیدرولیکی جهت توزیع شارنوترونی انجام ونتایج با محاسبات انجام شده کوپل شود.

مراجع:

[1] US DOE (2002). Nuclear Energy Research Advisory Committee and the Generation IV International Forum, a Technology Roadmap for the Generation IV Nuclear Energy System.

[2] Alemberti, A., Carlsson, J., Malambu, E., Orden, A., Cinotti, L., Struwe, D., Agostini, P., Monti, S. (2010). *From ELSY to LEADER - European LFR Activities*. Transactions of the American Nuclear Society, European Nuclear Conference 2010, Barcelona, Spain, May 30 - June 2.
[3] Gregorini, M. (2012). Conceptual design of the DHR system of the ETDR (ALFRED), LEADER project Task No. 3.5