



محاسبات نوترونیکی یک مجتمع سوختی با سوخت پودری

علی، پذیرنده؛ سروش، حیدری سنگستانی*؛ پگاه، غفاری

دانشگاه آزاد اسلامی واحد علوم و تحقیقات تهران، دانشکده فنی مهندسی، گروه مهندسی هسته ای

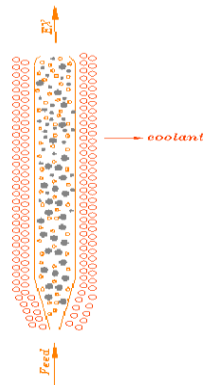
چکیده

این مقاله به بررسی نحوه استفاده از سوخت هسته ای به صورت پودر در راکتورهای گاز-جامد می پردازد، بدین شکل که یک مجتمع سوختی معرفی شده که در آن سوخت پودری، توسط گاز هلیوم به صورت سیال درآمده و امکان کنترل اتوماتیک جریان گاز- جامد توسط کاربر فراهم می شود، در نتیجه همزمان سموم سوختی تولید شده جداسازی می گردد. بنابراین با تغییر میزان پودر سوخت در گاز حامل، استفاده کمتری از میله های کنترل صورت پذیرد. در این تحقیق آنالیز نوترونیکی پودر سوخت (MOX)، گاز حامل سوخت و سیال خنک کننده، توسط کد محاسباتی MCNP ۲C انجام شده است. اطلاعات ورودی به کد MCNP ۲C توسط محاسبات ترموهیدرولیک این طرح بهینه سازی شده است.

کلمات کلیدی: سوخت پودری، کد محاسباتی MCNP ۲C، گاز حامل سوخت

مقدمه

سوخت پودری مورد نظر سوختی است که در ابعاد میکرومتر شکل گرفته، توسط گاز هلیوم سیال می شود و در طول میله سوخت حرکت می کند. در جریان این حرکت شکافت رخ داده و حرارت تولید شده، توسط گاز حامل سوخت و گاز خنک کننده به مبدل انتقال پیدا می کند. از مزایای طرح پیشنهادی این است که بتوان جهت کنترل راکتور از میزان سوخت در کانال سوخت نیز استفاده کرد، که این کمک شایانی به اقتصاد نوترونی و نهایتاً میزان مصرف سوخت می کند. از طرف دیگر با توجه به تولید سموم مختلف نظیر زینان و ساماریم در طی مراحل شکافت، با توجه به سیال بودن پودر سوخت، در هر عبور از کانال می توان این سموم را از سوخت جداسازی کرد و از اتلاف قسمت زیادی از نوترونها توسط این سموم جلوگیری نمود. سیال پودری فوق به جهت یکسان کردن توزیع شکافت و انتقال حرارت از پائین و سیال خنک کننده در خلاف جهت جریان سوخت از بالا وارد مجتمع شده و حرارت را از روی غلاف برداشت می کند. شکل ۱ جریان سیال پودر سوخت در لوله سوخت را نشان می دهد.



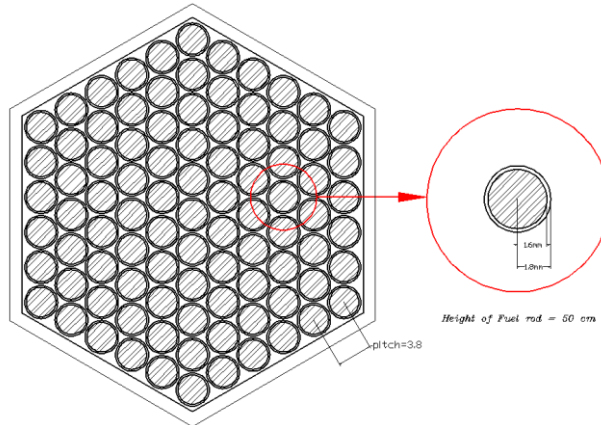
شکل ۱: جریان سیال پودر سوخت در لوله سوخت

راکتور پیشنهادی نوعی از راکتورهای هسته ای است که از گاز هلیوم به عنوان خنک کننده استفاده می کند . در این راکتور لوله های سوخت به صورت ساختار هگزا گونال در کنار یکدیگر قرار گرفته اند . حجم سوخته های سرامیکی در برابر تغییرات دما و تابش فوق العاده پایدار است. وجود تخلخل در مواد سرامیکی باعث می شود در دماهای بالا پارهای شکافت گازی به راحتی از داخل سوخت خارج شده و از متورم شدن سوخت که کاهش میزان مصرف سوخت را به دنبال دارد جلوگیری کند و همینطور قابلیت جداسازی پاره های شکافت بوجود می آید. از معایب سوخته های سرامیکی پایین بودن رسانایی حرارتی آنهاست . که در طرح ارائه شده با افزایش سطح نسبت به حجم به جهت پودری بودن سوخت، بر این مسئله غلبه می کنیم سوخت UO_2 برای استفاده به عنوان سوخت در این راکتور هسته ای به دلایل زیر ترجیح داده می شود: (۱) بالا بودن نقطه ذوب بدون تغییر فاز (۲) نداشتن میل ترکیبی با سیال خنک کننده و مواد ساختمانی راکتور (۳) پایین بودن سطح مقطع جذب نوترون های حرارتی در اکسیژن (۴) قابلیت خروج پاره های شکافت وعدم تغییر فاز تا نقطه ذوب با توجه به بررسی های انجام شده و کم بودن مقدار سوخت در واحد طول لوله سوخت نسبت به راکتور با سوخت جامد، در این نوع راکتور نوترون دیرتر کند شده و احتمال شکافت سریع زیادتری وجود دارد . بنابراین سوخت مورد استفاده در این نوع راکتور ترکیبی از UO_2 و PUO_2 می باشد.

[۱]-[۲]-[۳]

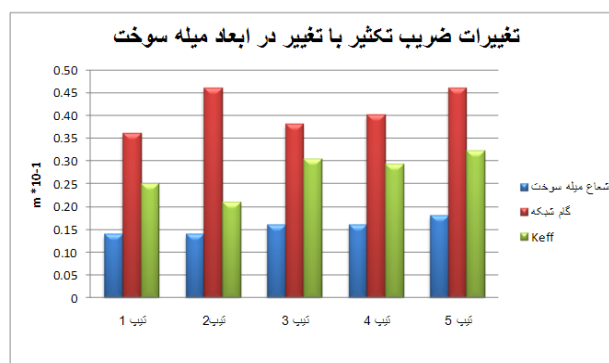
روش کار

به منظور شبیه سازی محاسباتی، هندسه را بصورت یک مجتمع ۹۱ لوله ای با سوخت گازی دی اکسید اورانیوم در نظر می گیریم. (شکل ۲)



شکل ۲ مقطعی از هندسه مجتمع سوخت ۹۱ لوله ای . ارتفاع مجتمع سوخت نیم متری باشد .

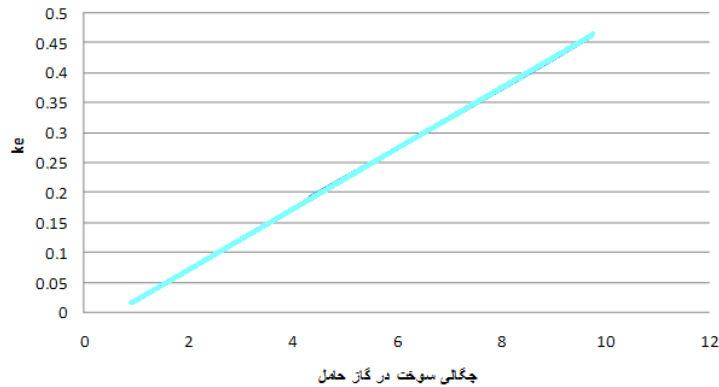
نتایج محاسبات بررسی ابعاد مناسب لوله سوخت: برای دستیابی به ساختار مناسب لوله سوخت جهت افزایش بهره وری، ابعاد مختلف از لوله سوخت را با ثابت ماندن ضخامت غلاف مورد بررسی قرار می دهیم . در شکل ۳ با محاسبه ke برای تیپ های مختلف از ترکیب شعاع لوله سوخت و گام شبکه ، مشاهده می کنیم که بهترین ساختار در شعاع داخلی لوله سوخت ۱۶mm و ضخامت لوله (غلاف) ۲mm با گام شبکه ۳٫۸ در چیش هگزا گونال اتفاق می افتد .



شکل ۳: تیپ های مختلف از ترکیب شعاع لوله سوخت و گام شبکه با در نظر گرفتن ke بررسی شده است

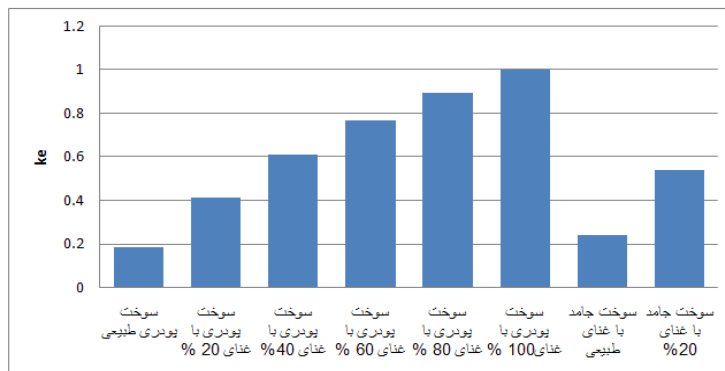
نتایج

در صورتی که مقدار سوخت در گاز حامل را تغییر دهیم شکل ke بر حسب چگالی سوخت در گاز حامل بصورت خطی تغییر می کند که در شکل ۴ نشان داده شده است .



شکل ۴ ضریب تکثیر بر حسب چگالی سوخت UO_2 (با غنای ۲۰٪) در گاز حامل برای ۹۱ لوله سوخت

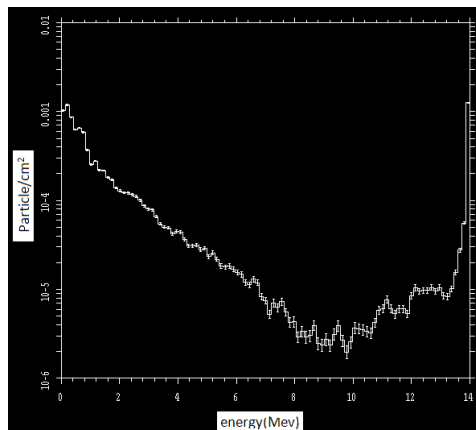
برای محاسبه ضریب تکثیر بی نهایت در کد $MCNP_4C$ از "صفحات سفید به عنوان بازتابنده در دیواره مجتمع سوخت استفاده می کنیم . استفاده از بازتابنده ساده اصطلاحی در کد $MCNP_4C$ موجب افزایش بیشتری در ضریب تکثیر بی نهایت نسبت به بازتابنده کسینوسی می شود. مقدار k_{inf} برای مجتمع شکل ۲ با ۹۱ میله سوخت برابر ۱,۳۲۲ به دست آمد. تاثیر غنای سوخت بر ke و مقایسه آن با سوخت جامد در شکل ۵ مقایسه تغییر غنای سوخت در مجتمع با سوخت پودری و مجتمع با سوخت جامد با ۹۱ لوله سوخت نشان داده شده است و در دو ستون آخر شکل مقدار ke برای مجتمعی با سوخت جامد نشان داده شده است. مقایسه در شرایط یکسان با در نظر گرفتن یک میله سوخت به ضخامت ۱,۶ میلیمتر، قطر ۲ میلیمتر و جرم سوخت پودری برابر با ۶,۹ کیلوگرم انجام گرفته است . همانطور که می بینیم ضریب تکثیر در مجتمع ۹۱ لوله ای با سوخت جامد با غنای ۲۰٪ ، ۱۸٪ بیشتر از مجتمع با سوخت پودری با غنای ۲۰٪ است .



شکل ۵: مقایسه تغییر غنای سوخت در مجتمع با سوخت پودری و مجتمع با سوخت جامد با ۹۱ لوله سوخت

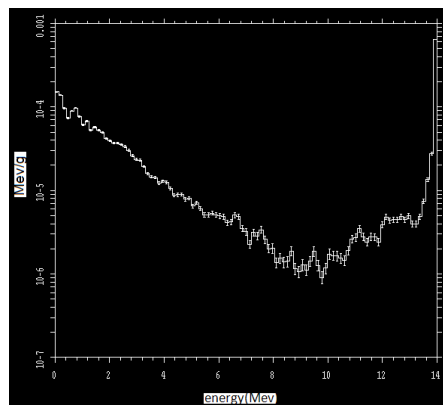
بهینه سازی با در نظر گرفتن شرایط همزمان نوترونیک و ترموهیدرولیک: در طی محاسبات نوترونیک و ترموهیدرولیک مجتمع سوخت با ۹۱ لوله سوخت به منظور بهینه سازی از کد $MCNP_4C$ و کد CFX

ANSYS/ استفاده شد. از این محاسبات بهترین مقدار سوخت پودری درون لوله سوخت که موجب کمترین میزان خوردگی لوله سوخت می گردید برابر ۵ kg بدست آمد. در این شبیه سازی از سوخت دی اکسید اورانیوم ۴۰٪ غنی شده و چگالی سوخت در گاز حامل ۶۰٪ که ۳۰٪ از میزان سوخت را دی اکسید پلوتونیوم استفاده می شود. میزان ضریب تکثیر موثر پس از انجام بهینه سازی برابر با ۰,۴۲۸۴۱ می باشد. شکل ۱۰ تغییرات شار محاسبه شده توسط MCNP۴C برحسب انرژی نوترون از ۰MeV تا ۱۴MeV در مجتمع ۹۱ لوله با ۵ کیلوگرم سوخت گازی را نشان میدهد.



شکل ۱۰: تغییرات شار بر حسب انرژی نوترون از ۰MeV تا ۱۴ MeV در مجتمع ۹۱ لوله سوخت

در شکل ۱۱ متوسط انرژی آزاد شده در هر گرم از سوخت برحسب طیف انرژی از ۰MeV تا ۱۴MeV در مجتمع ۹۱ لوله سوختی بعد از بهینه سازی نشان داده شده است.



شکل ۱۱: متوسط انرژی آزاد شده در هر گرم از سوخت برحسب طیف انرژی از ۰MeV تا ۱۴MeV را در ۹۱ لوله سوخت برای نقطه بهینه سازی شده

بحث و نتیجه گیری

گرچه در راکتور پیشنهادی محتویات داخل لوله سوخت نا متجانس می باشند ولی بعلت جریان شاره ای متلاطم بنظر میرسد که توزیع دما در راستای شعاعی با تقریب خوبی یکنواخت است. ضمناً موارد زیر حائز اهمیت اند: (۱) جریان متلاطم سیال ذرات اجازه می دهد که عملیات به صورت اتوماتیک کنترل شود. زیرا افزایش دما باعث انبساط گاز و در نتیجه افت راکتیویته می گردد. بنابر این در مقابل تغییرات سریع به سرعت عکس العمل نشان می دهد. (۲) مخلوط شدن سریع ذرات جامد باعث ایجاد شرایط یکنواخت و جلوگیری از ایجاد نقطه داغ و سادگی و اطمینان کنترل شود. (۳) گردش ذرات جامد در بستر گاز، امکان برداشت حرارت تولید شده درون لوله سوخت را علاوه بر خنک کننده خارج از لوله فراهم می سازد. (۴) از لحاظ ایمنی و حالت گذرا مطلوبست و معایب این نوع راکتور عبارتست از: (۱) برای بستر شامل ذرات ریز، جریان گاز و انحراف از حالت ایده آل باعث بهره پائین تماس میگردد. (۲) زمان اقامت دانه های جامد متفاوت است، این موضوع به علت مخلوط شدن ذرات در بستر و خروج تصادفی آنها می باشد، که نتیجه آن کم شدن عملکرد است.

توجه به این نکته ضروری است، که مزایای اقتصادی و صنعتی قابل توجه این راکتور، بستگی به شناخت و فایده آمدن بر معایب آن دارد.

مراجع

[۱]- J.L.M.A. Gomes a, C.C. Pain a,* , M.D. Eaton a, A.J.H. Goddard a, M.D. Piggott a, A.K. Ziver b, C.R.E. de Oliveira c, Y. Yamane d, Investigation of nuclear criticality within a powder using coupled neutronics and thermofluids, Annals of Nuclear Energy, Accepted ۲۸ May ۲۰۰۸

[۲]- Wang Shuyana, Li Xiang, Lu Huilina,* , Jacques Bouillardb, Sun Qiaoquna, Wang Shuaia Simulations of flow behavior of fuel particles in a conceptual helium-cooled spout fluidized bed nuclear reactor, Nuclear Engineering and Design, Accepted ۲۵ August ۲۰۰۸

[۳]- Jae Man Noh, Kang-Seog Kim, Yonghee Kim, Hyun Chul Lee * , Development of a computer code system for the analysis of prism and pebble type VHTR cores, Annals of Nuclear Energy , Accepted ۲۶ March ۲۰۰۸

[۴]- Los Alamos National Laboratory Los Alamos, New Mexico, RSICC COMPUTER CODE COLLECTION MCNP^۴C , Monte Carlo N-Particle Transport Code System , RADIATION SAFETY INFORMATION COMPUTATIONAL CENTER , (February ۲۹, ۲۰۰۰)