

محاسبه و بررسی جرم بحرانی سوخته‌های هسته ای گازی مختلف در طرح مفهومی یک

موتور هسته ای با ساختار سیلندر و پیستون

پذیرنده، علی *، حقانی دوگانه، آرش

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

چکیده

در این تحقیق با استفاده از کد MCNPX جرم بحرانی سوخته‌های هسته ای $^{235}\text{UF}_6$ ، $^{233}\text{UF}_6$ ، $^{241}\text{PuF}_6$ و $^{242}\text{AmF}_6$ در فاز گازی تحت فشار و دمای بالا در یک هندسه استوانه ای محاسبه و مورد بررسی و مقایسه قرار گرفته است. جرم لازم برای بحرانی شدن هر یک از ایزوتوپ های مورد مطالعه نشان می دهد که بیشترین جرم بحرانی متعلق به ^{235}U و کمترین آن را ^{242}Am دارا می باشد. از نظر تاثیرات دمایی ^{233}U کمترین تغییرات را در بازه دمایی مورد مطالعه در میزان جرم بحرانی از خود نشان می دهد. با توجه به ویژگی های هر کدام از ایزوتوپ ها یک ترکیب بهینه از چند ایزوتوپ می تواند به عنوان سوخت گازی مناسب برای یک موتور هسته ای مورد استفاده قرار گیرد.

کلیدواژه: موتور هسته ای، جرم بحرانی، سوخت هسته ای گازی، سیلندر و پیستون، MCNPX

مقدمه

یک سیکل ترموهیدرلیک شبیه به موتور درون سوز اولین پیشنهادی بود که توسط Ohanian و Schneider به عنوان یک موتور هسته ای بر اساس ساختار سیلندر و پیستون ارائه شد [۱]. اولین مطالعات امکان سنجی این طرح توسط Kylstretal [۲] صورت گرفت. این تحقیق نشان داد که سوخت UF_6 در یک موتور شکافت از نوع اتو زمینه و پتانسیل کارکرد خوبی دارد. گستره قدرت و بهره ترمودینامیکی نزدیک به ۵۰٪ از یک سو و هزینه پایین تولید سوخت مورد نظر در مقابل سوخت های سرمایه‌ی جذابت زیادی برای موضوع ایجاد کرده است. از مهمترین مسائل نوترونیکی مطرح در این مسئله انتخاب نوع سوخت و مقادیر جرم بحرانی و ابعاد سیلندر سیستم است که مورد توجه محققین قرار گرفته است.

نخستین گزارش در زمینه مطالعه یک قلب با سوخت گازی توسط George Bell در سال ۱۹۵۵ ارائه شد [۳]. در این گزارش با استفاده از تئوری سن فرمی و تئوری پخش مسائل نوترونیکی یک قلب گازی کروی که با کند کننده و بازتابنده احاطه شده است مورد بررسی قرار گرفته است. از تئوری سن فرمی برای تحلیل کند شدن نوترون در کند کننده و بازتابنده (فرض شده است که نوترون سریع در سوخت جذب یا کند نشود) و از تئوری پخش برای توضیح پخش نوترون حرارتی درون قلب و شکافت درون آن استفاده شده است. رآکتور کاملاً حرارتی با گاز UF_6 (ایزوتوپ خالص ^{235}U) و آب سنگین، برلیوم و گرافیت به عنوان بازتابنده

گزارش شده است. در سال ۱۹۵۸ تحقیقی توسط Safonov به چاپ رسید که در آن تحقیق در زمینه قلب گازی با این فرض صورت گرفته بود که کندکننده کاملاً در خارج قلب و گاز شکافت پذیر در ناحیه داخلی قلب واقع شده باشد در این مقاله از تئوری فرمی و تئوری پخش و تئوری انتقال در محاسبات استفاده شده است [۴]. در سال های ۱۹۶۱ و ۱۹۶۳ Hyland, Ragsdle و Gum تحقیقات گسترده ای را به صورت پارامتریک برای قلب استوانه ای با سوخت گازی انجام دادند. در این تحقیق برای نخستین بار از یک کد هسته ای برای محاسبات استفاده شد که از تئوری پخش چهار گروهی دو بعدی سود میبرد [۵] و [۶]. آنها علاوه بر اورانیوم، پلوتونیوم را نیز به عنوان سوخت مورد مطالعه قرار دادند. در سال ۱۹۶۵ Konfman [۵] طی گزارشی با بررسی کند کننده های مختلف از جمله برلیوم آب سنگین و گرافیت تحقیقات قبلی را در این زمینه کامل کرد. در سال ۱۹۶۷ Herwig و [۷] Latham با مطالعه و بررسی جامع گزارش های پیشین اعلام کردند که از نظر نوترونیکی بکار گیری سوخت اورانیوم ۲۳۵ و اورانیوم ۲۳۳ و آب سنگین و برلیوم گزینه های مناسبی برای یک موتور هسته ای می باشد. در سال ۱۹۹۹ Ronen, Aboudy و Regev طی مقاله ای استفاده از ^{242m}Am را به عنوان سوخت مورد بررسی قرار دادند که به لحاظ سطح مقطع شکافت بالای این ایزوتوپ حجم سیلندر موتور بسیار کوچکتر از مدل های قبلی محاسبه شده است [۸]. آنها در محاسبات نوترونیکی خود از کد MCNP4 بهره گرفته اند.

در این مقاله سعی شده است که مسائل مربوط به بحرانیات سوخت گازی در یک هندسه استوانه ای برای سوخت های اورانیوم، پلوتونیوم و امرسیوم به اجمال مورد مقایسه و تحلیل قرار گیرد. در این تحقیق برای محاسبات نوترونیکی از کد MCNPX استفاده شده است. هر سوخت در دما و حجم های مختلف به لحاظ امکان بحرانی شدن مورد مطالعه قرار گرفته است. همان طور که در بررسی اجمالی کارهای قبلی انجام شده در این زمینه اشاره شد اکثر محاسبات صورت گرفته با استفاده از کدهای ابتدایی و یا روش های تحلیلی با تقریب های زیاد بوده است.

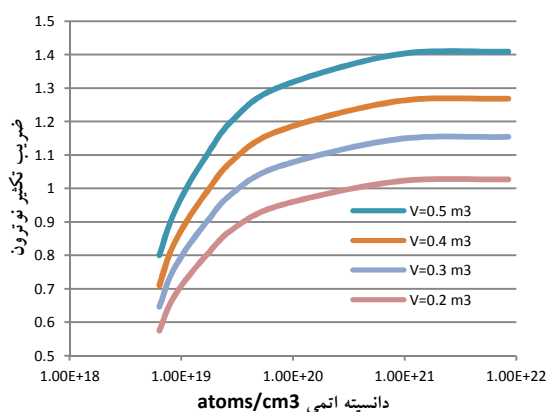
روش کار

در این تحقیق قلب استوانه ای مورد نظر توسط کد MCNPX مدل شده و با استفاده از یک برنامه کامپیوتری که با زبان برنامه نویسی FORTRAN در فضای Developer Studio تهیه شده است تغییرات لازم در فایل ورودی کد اعمال می شود. با مطالعه منابع و مقالات قبلی که در این زمینه چاپ شده است قطر سیلندر مورد مطالعه ۶۰ سانتیمتر در نظر گرفته شده است و بازتابنده از جنس آب سنگین به ضخامت ۱۰۰ سانتیمتر در محاسبات لحاظ شده است. فشار در تمام حالت های مورد بررسی ۵ اتمسفر در نظر گرفته شده و تغییرات ضریب تکثیر در دانسیته های اتمی مختلف برای حجم و دماهای متفاوت برای هر یک از ایزوتوپ ها گزارش شده است در نهایت در شرایط یکسان دمای ۲۰۰۰ درجه کلوین و حجم ۰/۵ متر مکعب و فشار ۵ اتمسفر جرم بحرانی تمام ایزوتوپ ها در کنار هم برای مقایسه گزارش شده است. از آن جا که کتابخانه

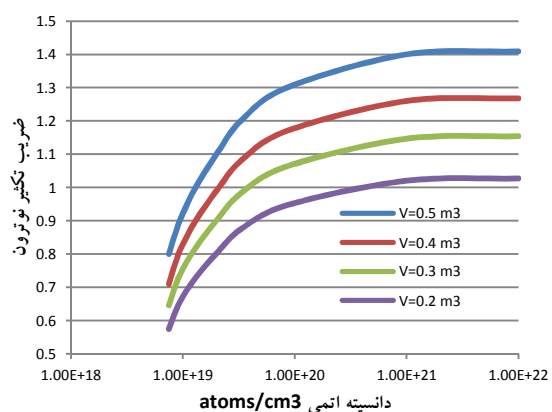
سطوح مقاطع استاندارد کد مورد استفاده در بازه دما و فشارهای مورد نیاز در این تحقیق نیست با استفاده از کد NJOY و بر اساس ENDF نسخه ۶/۵ کتابخانه با فرمت مورد استفاده کد MCNP تهیه شده است.

نتایج

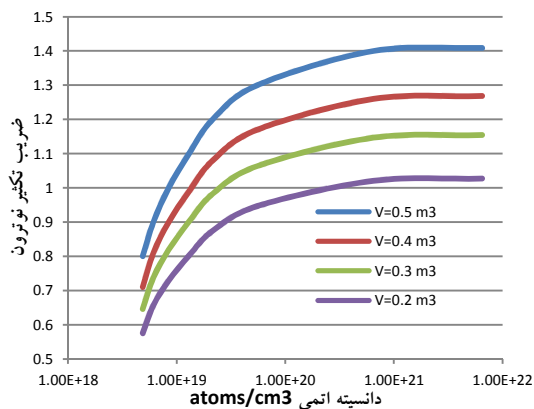
در شکل های ۱ تا ۸ تغییرات ضریب تکثیر نوترون به ازای دانسیته های اتمی مختلف برای حجم و دماهای متفاوت نشان داده شده است. شکل ۹ و جدول ۱ جرم بحرانی ایزوتوپ های متفاوت را در مقایسه با هم نشان می دهد.



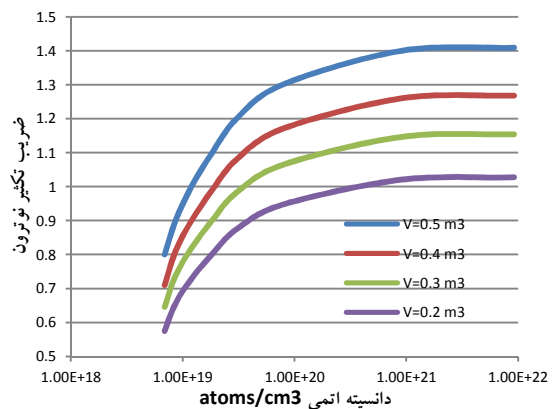
شکل ۲: ضریب تکثیر در حجم و دانسیته اتمی مختلف و دمای ۲۰۰۰ K برای اورانیوم ۲۳۵



شکل ۱: ضریب تکثیر در حجم و دانسیته اتمی مختلف و دمای ۲۳۵ K برای اورانیوم ۲۳۵



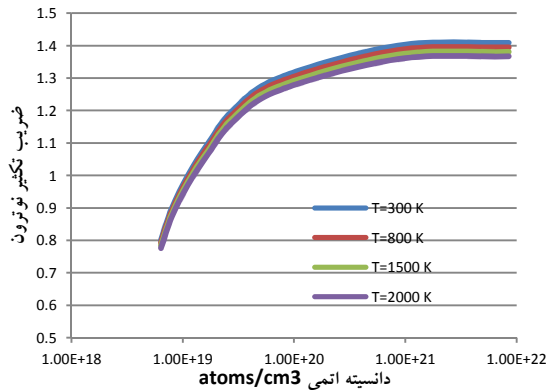
شکل ۴: ضریب تکثیر در حجم و دانسیته اتمی مختلف و دمای ۲۰۰۰ K برای امرسیوم ۲۴۲



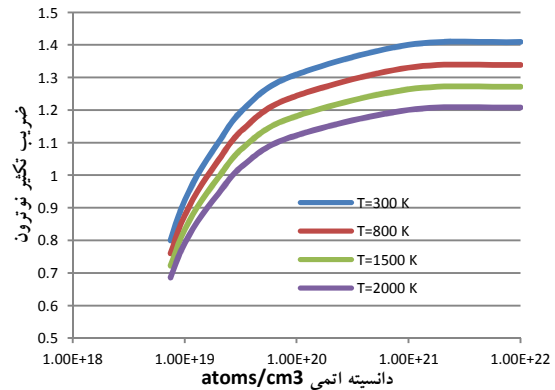
شکل ۳: ضریب تکثیر در حجم و دانسیته اتمی مختلف و دمای ۲۰۰۰ K برای پلوتونیوم ۲۳۹



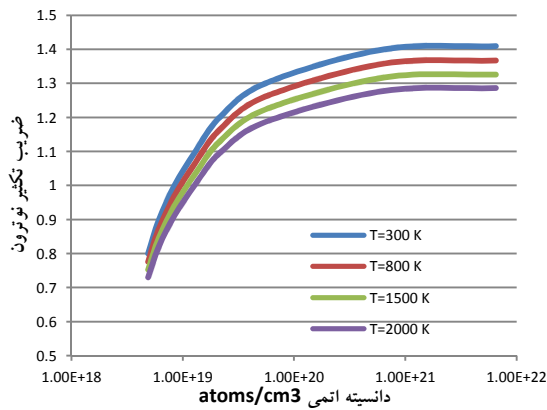
18th Iranian's Nuclear Conference



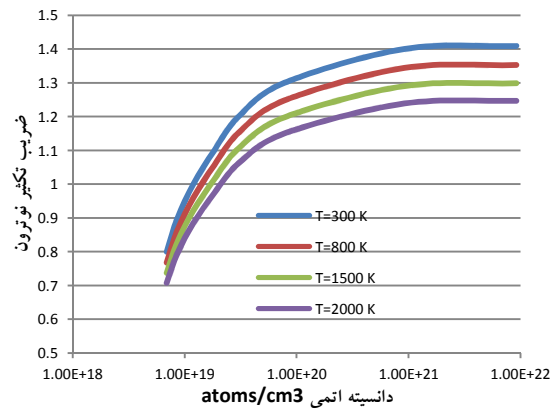
شکل ۴: ضریب تکثیر در دما و دانشیته اتمی مختلف و حجم ۰/۵ متر مکعب برای اورانیوم ۲۳۵



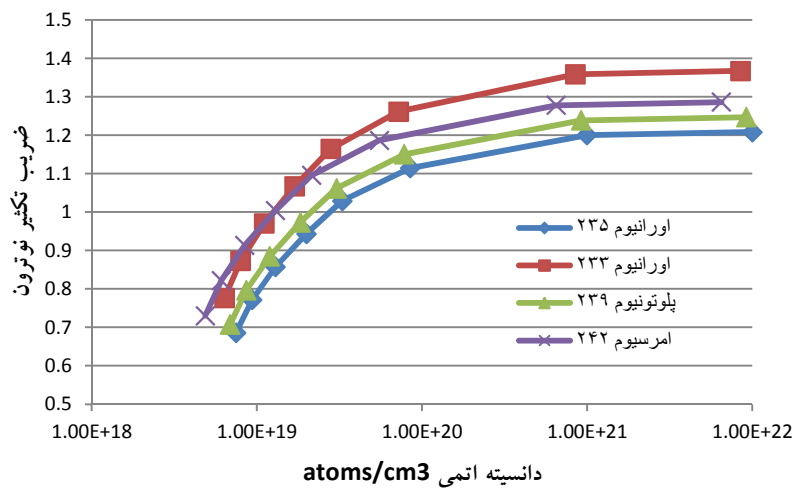
شکل ۵: ضریب تکثیر در دما و دانشیته اتمی مختلف و حجم ۰/۵ متر مکعب برای اورانیوم ۲۳۵



شکل ۶: ضریب تکثیر در دما و دانشیته اتمی مختلف و حجم ۰/۵ متر مکعب برای اورانیوم ۲۳۵



شکل ۷: ضریب تکثیر در دما و دانشیته اتمی مختلف و حجم ۰/۵ متر مکعب برای پلوتونیوم ۲۳۹



شکل ۹: مقایسه ضریب تکثیر چهار ایزوتوپ مورد مطالعه در شرایط یکسان



جدول ۱: مقایسه جرم بحرانی ایزوتوپ های مختلف در شرایط یکسان

ایزوتوپ	اورانیوم ۲۳۵	اورانیوم ۲۳۳	پلوتونیوم ۲۳۹	امرسیوم ۲۴۲
جرم بحرانی g	۵۵۸۵/۳۶	۲۴۹۶/۷۶	۴۳۷۲/۳۴	۱۸۶۵/۳۳

بحث و نتیجه گیری

همان طور که در شکل های ۱ تا ۸ مشاهده می شود امکان ایجاد حالت بحرانی برای هر چهار ایزوتوپ مورد مطالعه در فشار ۵ اتمسفر و دما و حجم های مختلف وجود دارد. تنها میزان جرم بحرانی که در جدول ۱ و شکل ۹ به صورت مقایسه ای نشان داده شده برای این منظور متفاوت است. جدول ۱ نشان می دهد که بیشترین جرم بحرانی مربوط به اورانیوم ۲۳۵ و کمترین میزان آن متعلق به امرسیوم ۲۴۲ که حاصل سطح مقطع شکافت بالای این ایزوتوپ است. ولی از سوی دیگر محدودیت منابع این ایزوتوپ بدلیل میزان کم آن در طبیعت و تحصیل آن از طریق تابش دیدن پلوتونیوم این ویژگی بارز آن را کمرنگ می کند. با دقت در نمودار شکل های ۵ تا ۸ تغییرات کم میزان جرم بحرانی برای اورانیوم ۲۳۳ در دماهای متفاوت مشهود است که به دلیل تغییرات اندک سطح مقطع شکافت در دماهای بالا می باشد این ویژگی اهمیت خاصی برای این ایزوتوپ به عنوان سوخت گازی ایجاد می کند. با توجه به ویژگی های هر یک از ایزوتوپ ها به نظر می رسد ترکیب بهینه از این ایزوتوپ ها می تواند سوخت مناسبی برای یک موتور هسته ای با سوخت گازی و ساختار سیلندر و پیستون پیشنهاد شود.



مراجع

- [1] R.T. Schneider and M.J. Ohanian, patent disclosure to NASA (1970).
- [2] C.D. Kylstra, J.L. Cooper and B.E. Miller, "UF6 Plasma engine"
Second Symposium on Uranium Plasmas: Research and Applications, AIAA, New York (1971).
- [3] G.I. Bell, "Calculation of the Critical Mass of UF6 as a Gaseous Core, with Reflectors of D2O, Be and C" USAEC Report LA-1874 Los Alamos Scientific Laboratory (February 1955).
- [4] G. Safonov, "Externally Moderated Reactors" Proceedings of the Second United Nations International Conference on the Peaceful Uses of Atomic Scientific Laboratory (February 1955).
- [5] R. G. Ragsdale and R.E. Hyland, "Some Nuclear Calculation of 235U-D2O Gaseous-Core Cavity Reactors" Report NASA-TN-475, National Aeronautics and Space Administration, Lewis Research Center (October 1961).
- [6] R. E. Hyland, R. G. Ragsdale, and E. J. Gunn, " Two-Dimensional Criticality Calculations of Gaseous-Core Cylindrical-Cavity Reactor" Report NASA-TN-D-1575, National Aeronautics and Space Administration, Lewis Research Center (March 1963)
- [7] R. M. Kaufman, W. F. Osborn, Jr. , J. R. Simmons, and E. B. Roth, "Reactor Physics Calculations for the Gaseous Core Cavity Reactor" Allison Res. End. , 8:11-18 (1965).
- [8] Y. Ronen, M. Aboudy and D. Regev "A nuclear engine design with 242mAm as a nuclear fuel" Annals of Nuclear Energy 27 85-91(2000).