

تأثیر پارامترهای بحرانی بر فرایند هیدرولیز با غنای ۲۰ درصد توسط کد MCNP

مرتضی، رجبی^{۱*}؛ بهزاد، تیموری سیبچانی^۲؛ علی، پهلوان^۱

۱. دانشگاه آزاد اسلامی مازندران، واحد علوم و تحقیقات، گروه فیزیک

۲. سازمان انرژی اتمی، شرکت سوخت راکتورهای هسته ای

چکیده:

یکی از مسائل مهمی که باید در چرخه سوخت هسته ای توجه ویژه به آن داشت بحث مربوط به بحرانی شدن می باشد. نظر به آنکه در طی فرآیندهای تولید سوخت هسته ای از ترکیبات شیمیایی محلول استفاده می شود، امکان کند شدن نوترونها و متعاقب آن بحرانی شدن سیستمی که فرآیندها در آن روی می دهد محتمل خواهد بود. فرایند هیدرولیز از نقطه نظر ایمنی هسته ای، دارای پتانسیل خطر بالایی بوده و لذا انجام محاسبات بحرانی یکی از مسائلی است که در مرحله طراحی و بهره برداری باید به آن توجه شود. هدف از این مطالعه ارائه مدلی برای شبیه سازی تانک هیدرولیز توسط کد MCNP ۲C در مرحله تبدیل UF_6 با غنای ۲۰ درصد به UO_2F_2 می باشد.

کلید واژه: بحرانی، فرآیند هیدرولیز، شبیه سازی، کد MCNP

مقدمه

بحرانی شدن هنگامی پیش می آید که حداقل یکی از چند نوترونی که در یک فرایند شکافت گسیل می شود شکافت هسته ای دیگری را موجب شود. هرگاه ماده شکافت پذیر تحت تابش نوترون قرار گیرد، برهمکنش شکافت می تواند روی داده و چنانچه شرایط لازم فراهم باشد فرآیند زنجیره ای شکافت اتفاق خواهد افتاد. در طی این واکنش زنجیره ای، هسته های ماده شکافت پذیر به چند پاره تقسیم شده و مقادیر قابل ملاحظه ای انرژی به شکل تابش آزاد و مقادیر زیادی محصولات شکافت پرتوزا تولید می شود. در هر راکتور هسته ای، بحرانی شدن تحت شرایط کنترل شده صورت گرفته و پارامترهای راکتور از نظر ایمنی و سطح قدرت شدیداً کنترل می شود. در خصوص سیستم های هسته ای دیگر، بجز راکتورهای هسته ای، اگر چنانچه در طی فرآوری و یا کار کردن با سوخت هسته ای حالت بحرانی به طور تصادفی حاصل شود، نتایج آن برای کارکنان و تجهیزات بسیار وخیم خواهد بود. چنانچه بخواهیم از مرگ یا جراحت شدید یا خسارات مالی ناشی از حادثه بحرانی شدن پرهیز شود، حداکثر مراقبت و کنترل را هنگام کار کردن و استفاده از مواد شکافت پذیر باید به عمل آورد. عموماً چنین اقداماتی را که برای جلوگیری از رخ دادن حادثه بحرانی شدن انجام می شود کنترل بحرانی شدن یا ایمنی هسته ای می نامند. یکی از روشهایی که بعنوان اقدامات پیش گیرانه جهت جلوگیری از

بحرانیت ناخواسته می توان از آن نام برد، انجام محاسبات و یا شبیه سازی سیستم های هسته ای می باشد. انجام محاسبات بر مبنای روش مونت کارلو یکی از معتبرترین روشهای محاسباتی می باشد. روش مونت کارلو بر مبنای اصول آماری استوار می باشد و جهت شبیه سازی سیستم های هسته ای در سه بعد، فراوان مورد استفاده قرار گرفته است. بدین منظور مدلی آماری همانند آنچه با واقعیت اتفاق می افتد، تشکیل شده و پدیده مورد نظر با کمک اعداد و حرکات تصادفی، چندین بار تکرار می شود. محاسبات بر مبنای روش مونت کارلو توسط کدهایی مانند MCNP، CSSMO، KENO، MONK و GOC در کارخانجات چرخه سوخت هسته ای برای برآورد بحرانیت استفاده می شوند. در این پروژه از کد کامپیوتری MCNP برای انجام محاسبات استفاده شده است.

روش کار

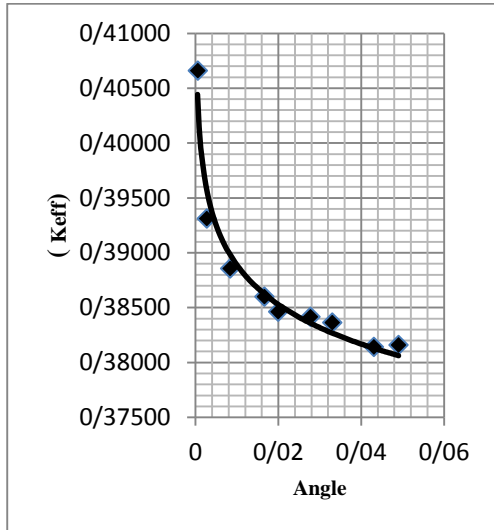
یکی از مراحل چرخه سوخت، تولید سوخت می باشد. این مرحله از چرخه سوخت هسته ای تغییر اورانیوم غنی شده به یک شکل مناسب جهت تولید سوخت می باشد. فرآیندهای تولید سوخت با هم تفاوت داشته و چگونگی انتخاب این فرآیندها، به محل کاربرد آنها بستگی دارد. یکی از فرآیندهای تولید سوخت، فرایند تبدیل گاز UF_6 به U_2O_8 غنی شده است که این عمل در طی فرایند هیدرولیز انجام می گیرد. در فرایند هیدرولیز UF_6 با غنای مشخص که در داخل سیلندرهای مخصوص قرار دارد وارد یک اتاقک شده و در داخل گرمکن الکتریکی قرار می گیرد. گرمای ایجاد شده توسط گرمکن الکتریکی که سیلندر را از طرفین و بالا احاطه کرده اند باعث تصعید UF_6 جامد و تبدیل به گاز UF_6 می شود پس از آن گاز وارد تانک هیدرولیز شده و با آب واکنش می دهد تا محلول UO_2F_2 تولید شود. گاز UF_6 در تانک هیدرولیز به دلیل وجود خلاء، با آب خروجی از لوله واکنش داده و محلول UO_2F_2 را بر اساس معادله زیر تولید می نماید:



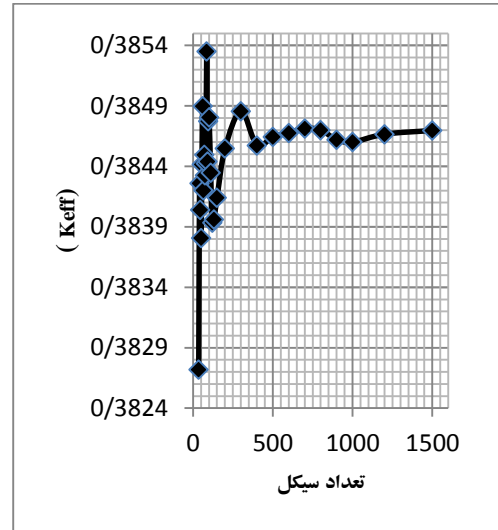
نتایج

برخی از عواملی که در فرآیند هیدرولیز می تواند بر روی بحرانیت سیستم اثر گذارد عبارتند از مقدار ماده شکافت پذیر، چگالی ماده شکافت، غلظت محلول حاوی ماده شکافت پذیر، شکل هندسی، حجم مجتمع شکافت پذیر، حضور یا عدم حضور جاذب های نوترون، حضور یا عدم حضور انعکاس دهنده، حضور یا عدم حضور جذب کننده های قوی نوترون (سموم هسته ای)، غنای ماده شکافت پذیر و برهمکنش دو یا چند مجتمع از مواد شکافت پذیر که هر یک از آنها به تنهایی زیر بحرانی هستند. به طور کلی جلوگیری از بحرانیت هسته ای، با محدود کردن حداقل یکی از عواملی که حالت بحرانی را تعیین می کند، امکان پذیر می باشد. به این روش

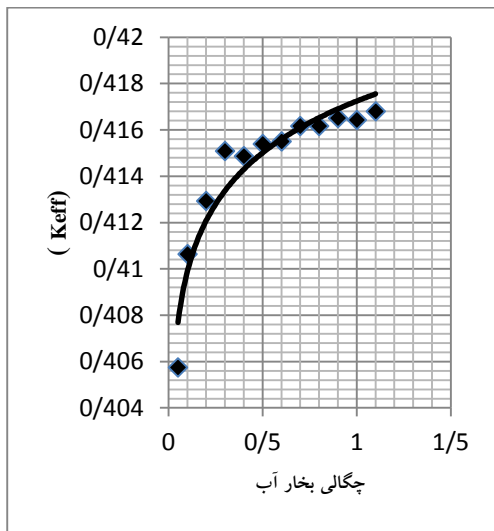
کنترل تک پارامتری می گویند. مواردی که در این تحقیق مورد بررسی قرار گرفته است بصورت نمودار آورده شده است :



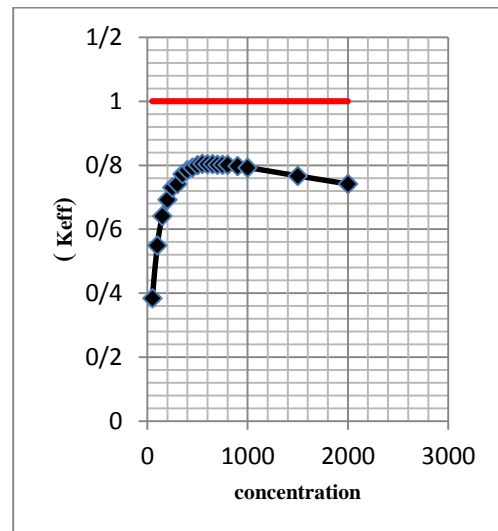
نمودار ۲: ضریب تکثیر بر حسب زاویه بل جار



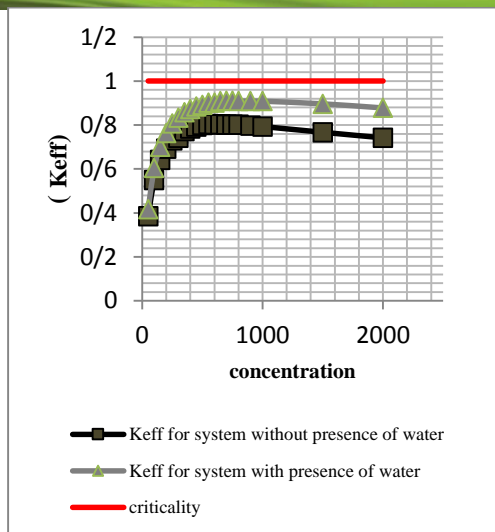
نمودار ۱: ضریب تکثیر بر حسب تعداد سیکل



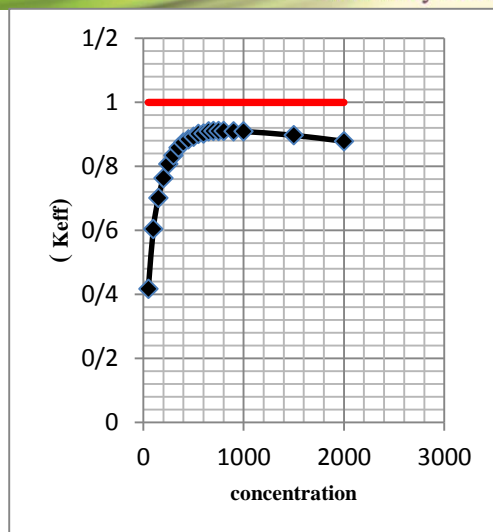
نمودار ۴: تاثیر آب گرفتگی اطراف تانک بر ضریب تکثیر



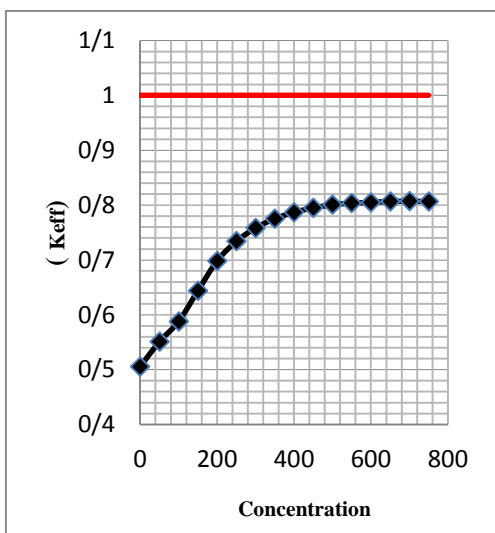
نمودار شماره ۳: تغییرات غلظت بر ضریب تکثیر



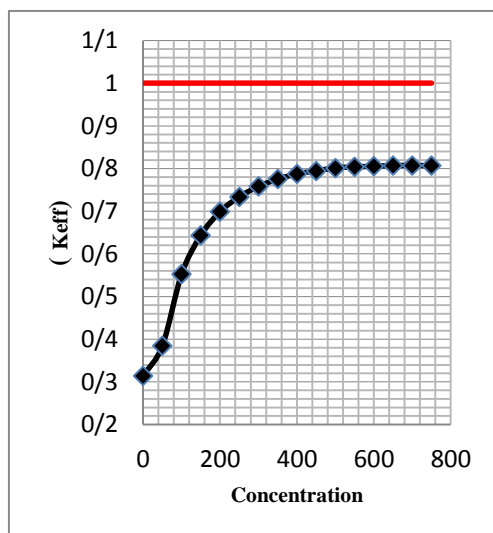
نمودار ۶: مقایسه نمودارها در حالت آب گرفتگی و بدون آب گرفتگی



نمودار ۵: آب گرفتگی در غلظت های مختلف



نمودار ۸: ضریب تکثیر برای تشکیل ۲۵ کیلوگرم کریستال



نمودار ۷: ضریب تکثیر برای تشکیل ۵ کیلوگرم کریستال

بحث و نتیجه گیری

نتایج زیر از نمودارها ارائه شده استخراج می شود. بمنظور تعیین تعداد سیکل های لازم جهت انجام محاسبات از نتایج ارائه شده در نمودار شماره (۱) استفاده شده است. با توجه به این نمودار مشخص می باشد که هر چه تعداد سیکل ها افزایش می یابد تغییرات ضریب تکثیر کاهش یافته و در یک محدوده معقول تری قرار می گیرد. طبق نمودار شماره (۲) تاثیر تغییر زاویه بل جار بر ضریب تکثیر بررسی گردید. طبق بررسی های انجام شده



هرچه زاویه بل جار بیشتر شود ضریب تکثیر کاهش پیدا می کند از طرفی از لحاظ مهندسی شیمی هر چه سطح تماس آب با گاز زیاد باشد سرعت واکنش هیدرولیز زیادتر می شود همچنین هر چه دمای آب افزایش یابد سرعت واکنش افزایش می یابد. با توجه به محاسبات هسته ای که هر چه مقدار زاویه بل جار بزرگتر ضریب تکثیر کوچکتر می شود و با توجه به محاسبات مهندسی شیمی هرچه قدر سطح انجام واکنش افزایش یابد سرعت واکنش افزایش می یابد بنابراین مقدار اپتیمم که هم از لحاظ مهندسی شیمی و هم مهندسی هسته ای قابل توجه است مقدار زاویه ۰/۰۱۹۹ در نظر گرفته شده است. تاثیر تغییرات غلظت اورانیوم بر ضریب تکثیر در مرحله بعد بررسی شد با مراجعه به نمودار شماره (۳) مشخص می شود که تا غلظت ۵۵۰ gr/lit روند تغییرات صعودی است ولی از آن به بعد روند نزولی را در پیش می گیرد که دلیل آن اشباع شدن اورانیوم در محلول UO_2F_2 می باشد. همانطور که مشخص است بیشترین مقدار ضریب تکثیر ۰/۸۰۴۲ می باشد که نشان می دهد تحت هیچ شرایطی سیستم به حالت بحرانی نمی رسد. تاثیر آب گرفتگی بر ضریب تکثیر و همچنین آب گرفتگی در غلظت های مختلف اورانیوم مورد بررسی قرار گرفت و نتایج حاصل در نمودارهای (۴) و (۵) آورده شده است. در حادثه آب گرفتگی اطراف تانک به دلیل بازگشت کسری از نوترونهای نشت کرده به داخل تانک هیدرولیز، ضریب تکثیر تجهیز افزایش پیدا می کند. در بدبینانه ترین حالت که دورتادور تانک را آب فرا گرفته باشد محاسبات برای غلظت ۵۰ gr/lit انجام گرفت و مشخص شد هر چه چگالی بخار آب بیشتر می شود ضریب تکثیر نیز افزایش می یابد اما برای غلظت ۵۰ gr/lit حداکثر میزان ضریب تکثیر ۰/۴۱۶۸۰۹۲۶ و مربوط به حالتی که اطراف تانک را به طور کامل آب فرا گرفته و این نشان می دهد برای این غلظت هیچگاه سیستم به حالت بحرانی نمی رسد. همچنین برای غلظت های مختلف اورانیوم برای زمانی که تانک به طور کامل در آب غوطه ور شده ضریب تکثیر محاسبه شد و مشخص گردید بیشترین مقدار ضریب تکثیر برای غلظت ۷۰۰ gr/lit و به میزان ۰/۹۱۰۴۸۱۹۰۴ بوده و نشان دهنده آن است که سیستم همچنان زیر بحرانی باقی می ماند. در نمودار شماره (۶) دو حالت فوق مورد مقایسه قرار گرفته است. مطابق نمودارهای (۷) و (۸) تاثیر تشکیل کریستال بر ضریب تکثیر در غلظت های مختلف مورد بررسی قرار گرفت ضریب تکثیر در غلظت های مختلف برای حالت های تشکیل کریستال به میزان ۵ کیلوگرم و ۲۵ کیلوگرم محاسبه شد و مشخص گردید سیستم برای هر دو حالت برای غلظت های مختلف اورانیوم زیر بحرانی باقی می ماند.



دانشگاه گیلان

۷ و ۸ اسفند ماه ۱۳۹۲
رشت - دانشگاه گیلان

سیستیم کفراسس
پارا



Nuclear society of Iran
20th Iranian Nuclear Conference
26-27 February, 2014
University of Guilan Rasht - Iran

مراجع

۱. Těšínský M. "Measurement and Monte Carlo Simulation of the Neutron Spectra of the Subcritical Reactor Experiment" . Master of Science Thesis. University of Stockholm , ۲۰۰۶.
۲. Briemeister, J.F," MCNP: A General Monte Carlo N-particle Transport ode", Version ۲B, Los Alamos National Laboratory, ۲۰۰۰.
۳. Alexeev N., Behrens D., Davydova G., Donderer R., Ehrenstein D., Krayushkin A., Meyer S. and Schumacher O., " The Monte Carlo codes MCNP and MCU for RBMK criticality calculation" , Nuclear Engineering and Design, ۱۹۹۸.
۴. W.C. Jordan, J.C. Turner , " Estimated Critical Conditions for UO₂-F₂-H₂O Systems in Fully Water-Reflected Spherical Geometry", Oak Ridge National Laboratory, December ۱۹۹۲
۵. A.E.Danise,,J.M.Scaglione, D.L.Newell, D.J.Tunney , W.E.Hutchins ."Preclosure Criticality Analysis Process Report". U.S. Department of Energy Las Vegas, Nevada. October ۲۰۰۴
۶. J.Delammoy and R. Faron , "conversion of concentrate containing uranium and uranium hexafluoride Uranium", Toronto, Canada , ۱۹۸۲.
۷. American National Standards Institute (ANSI)- ۸,۷- " Nuclear criticality safety in the storage of fissile materials", ۱۹۹۸
۸. U.S.Department of Energy , "DOE Standard Radiological Control Guide of Good Practicesfor Occupational Radiological Protectionin Uranium Facilities", ۱۱۳۶,Washington July ۲۰۰۹.
۹. "IAEA International Basic Safety Standards for Protection Against Inoizing Radiation and for the Safety of Radiation Sources" , ۱۹۹۶, S.S NO. ۱۱۵