



بیست و یکمین کنفرانس هسته‌ای ایران

۶ و ۷ اسفند ماه ۱۳۹۳ دانشگاه اصفهان

محاسبه آهنگ دز نوترون و گاما در یک حادثه بحرانی فرضی در اثر افزایش تدریجی غلظت محلول اورانیومی ($UO_2F_2-H_2O$) با استفاده از کد محاسباتی MCNP

هادی شامرادی فر^{*}، فاطمه منصور زاده، ابوالفضل علانی، مرتضی شهشهانی، بهزاد تیموری
سازمان انرژی اتمی، شرکت سوخت راکتورهای هسته‌ای

چکیده:

در این تحقیق میزان آهنگ دز کل نوترون و دزگاما و همچنین دز حاصل از پاره های شکافت در یک حادثه بحرانی فرضی در اثر افزایش تدریجی غلظت محلول اورانیومی ($UO_2F_2-H_2O$) با استفاده از کد محاسباتی MCNP بر آورد شده است. آهنگ دز نوترون و گاما محاسبه شده در این حادثه در نزدیک ترین فاصله به مخزن به ترتیب عبارتند از 25.62 mSV/s و 8.63 mSV/s می باشد. با توجه به کوتاهی نیمه عمر تعدادی از پاره شکافت، تغییرات آهنگ دز حاصل از پاره های شکافت با تغییر زمان محاسبه و ارایه شده است.

کلید واژه: کد MCNP - دز- بحرانی-پاره های شکافت

مقدمه:

بحرانی شدن هنگامی پیش می آید که حداقل یکی از چندین نوترونی که در یک فرایند شکافت گسیل می شود شکافت هسته ای دیگری را موجب شود. اما اگر چه هر وقت ماده قابل شکافت تحت تابش نوترون قرار می گیرد یک واکنش زنجیره ای اتفاق می افتد، همه دستگاههای شامل مواد شکافت پذیر به حالت بحرانی نمی رسند. اگر تعداد نوترونهای تلف شده در نتیجه فرار از دستگاه یا جذب غیر شکافتی در مواد غیر شکافا بیشتر از تعداد نوترونهای تولید شده در اثر شکافت باشند، واکنش زنجیری خود نگهدار نیست و نمی تواند به بحرانی منجر شود. در این حالت مجموعه ماده شکافت پذیر را زیر بحرانی می نامند. اگر یک واکنش زنجیری خود نگهدار باشد، و چنانچه آهنگ تولید نوترون شکافت از آهنگ اتلاف آن تجاوز کند، مجموعه را فوق بحرانی می خوانند. هنگامی که دقیقاً یک نوترون از هر شکافت برای ایجاد شکافت دیگر تولید شود، دستگاه را بحرانی می نامند [۱].

به طور کلی، میزان تعداد شکافت در یک حادثه بحرانی بین $1/0 \times 10^{15}$ تا $1/0 \times 10^{20}$ با مقدار متوسط $2/0 \times 10^{17}$ تخمین زده می شود. در یک فرض بسیار محافظه کارانه تعداد کل شکافت $1/0 \times 10^{19}$ در یک حادثه بحرانی در طول ۸ ساعت فرض شده است. چشمه مربوط به حادثه بحرانی در جدول (۱) آورده شده است.

جدول (۱): مقادیر اکتیویته هسته های رها شده در حادثه بحرانی با تعداد شکافت $1/0 \times 10^{19}$ [۲].

Isotope	Fission product	Leak Path Factor (LPF)	Damage Ratio (DR)	Airborne Release	Respirable Fraction (RF)	Source Term (Bq)
---------	-----------------	------------------------	-------------------	------------------	--------------------------	------------------



بیست و یکمین کنفرانس هشتای ایران

۶ و ۷ اسفند ماه ۱۳۹۳ دانشگاه اصفهان

	MAR (Bq)			Fraction (ARF)		
I-131	3.219×10^{11}	1.0	1.0	0.25	1.0	8.0475×10^{10}
I-132	4.07×10^{13}	1.0	1.0	0.25	1.0	1.0175×10^{13}
I-133	5.92×10^{12}	1.0	1.0	0.25	1.0	1.48×10^{12}
I-134	1.665×10^{14}	1.0	1.0	0.25	1.0	4.1625×10^{13}
I-135	1.739×10^{13}	1.0	1.0	0.25	1.0	4.3475×10^{12}
Xe-131m	3.034×10^9	1.0	1.0	1.0	1.0	3.034×10^9
Xe-133m	6.66×10^{10}	1.0	1.0	1.0	1.0	6.66×10^{10}
Xe-133	9.99×10^{11}	1.0	1.0	1.0	1.0	9.99×10^{11}
Xe-135m	8.14×10^{13}	1.0	1.0	1.0	1.0	8.14×10^{13}
Xe-135	1.332×10^{13}	1.0	1.0	1.0	1.0	1.332×10^{13}
Xe-137	1.813×10^{15}	1.0	1.0	1.0	1.0	1.813×10^{15}
Kr-83m	5.92×10^{12}	1.0	1.0	1.0	1.0	5.92×10^{12}
Kr-85m	5.55×10^{12}	1.0	1.0	1.0	1.0	5.55×10^{12}
Kr-88	2.405×10^{13}	1.0	1.0	1.0	1.0	2.405×10^{13}
Kr-89	1.554×10^{15}	1.0	1.0	1.0	1.0	1.554×10^{15}

روش کار

محاسبات مربوط به دز جذبی گاما و نوترون در شرایط حادثه بحرانیت با توجه به فرضیات ذیل محاسبه و ارایه می گردد:

الف) سناریو فرضی: وقوع حادثه بحرانیت در اثر افزایش تدریجی غلظت محلول اورانیمی (UO₂F₂-H₂O)
ب) فرضیات مساله: از جمله پارامترهای مجهولی که در مورد تعیین پارامترهای محاسباتی در حادثه بحرانیت وجود دارد، تعیین دقیق تعداد واکنش های شکافت مخصوصاً در اولین پیک بحرانیت می باشد. به منظور تعیین نرخ شکافت در اولین پیک بحرانیت با بررسی ماهیت حوادث بحرانیت، 10^{14} شکافت برای اولین پیک بحرانیت لحاظ گردیده است.

ج) روش مدل سازی: محاسبات دزیمتری در حادثه بحرانیت هسته ای شامل محاسبه دز گامای آنی و دز نوترون بر حسب فاصله و همچنین دز گامای ناشی از پاره های شکافت بر حسب فاصله و زمان می باشد، که دز کل گزارش شده، حاصل جمع دزهای ذکر شده می باشد. لازم به ذکر است که با توجه به اینکه نرم افزارهای موجود



بیست و یکمین کنفرانس هشتای ایران

۶ و ۷ اسفند ماه ۱۳۹۳ دانشگاه اصفهان

قابلیت محاسبات دز گامای ناشی از پاره های شکافت را ندارند این محاسبات به صورت دستی و برای کلیه رادیو نوکلوییدها انجام شده است.

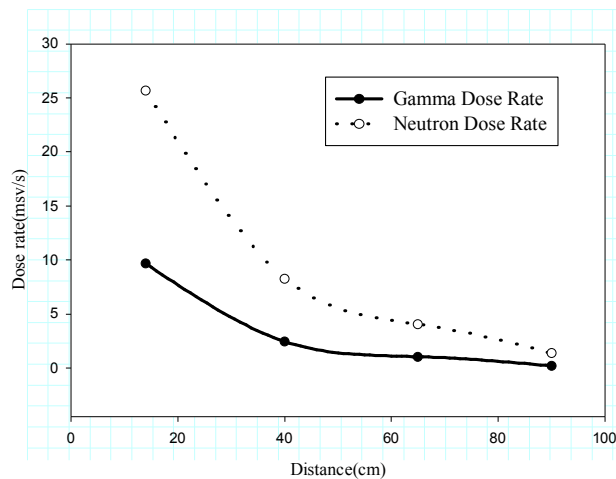
نتایج

دز گاما و نوترون ناشی از شکافت

جدول (۲). آهنگ دز کل گاما و نوترون در فواصل مختلف تانک هیدرولیز ناشی از شکافت در لحظه

وقوع

فاصله از مرکز تانک (cm)	آهنگ دز کل گاما (mSV/s)	آهنگ دز کل نوترون (mSV/s)
14	8.63	25.62
40	3.41	8.24
65	1.28	4.91



90	0.763	2.34
----	-------	------



بیست و یکمین کنفرانس هسته ای ایران

۶ و ۷ اسفند ماه ۱۳۹۳ دانشگاه اصفهان

شکل (۱) تغییرات دز نوترون و گاما با فاصله از مرکز تانک

محاسبه دز گامای ناشی از پاره های شکافت

در این حالت آهنگ دز گامای ناشی از پاره های شکافت توسط کد محاسباتی MCNP [۳] به ازای یک ذره محاسبه شد و آهنگ دز گامای کل ناشی از این عناصر را با حاصلضرب نتایج MCNP در مقدار اکتیویته هسته های رها شده در حادثه بحرانیّت (تعداد متوسط هسته های رها شده) در فواصل مختلف بدست آورده که در جدول (۳) ارایه شده است. و همچنین تغییر آهنگ دز کل برای تمام پاره های شکافت در لحظه وقوع حادثه فرضی با شدت مفروض در فواصل مختلف در نمودار (۲) آورده شده است.

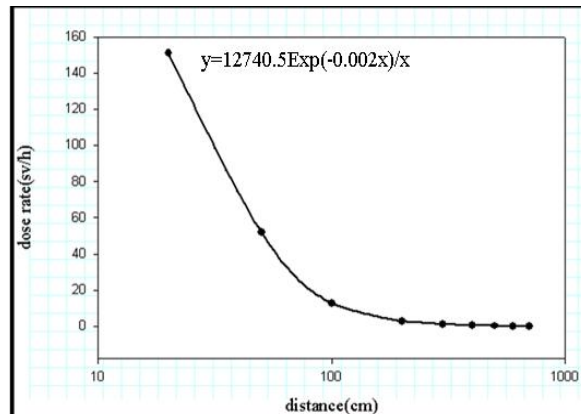
جدول (۳) تغییرات آهنگ دز جذبی گاما ناشی از پاره های شکافت بر حسب فاصله (1×10^{14} Fission)

	Dose Rate(Sv/h) 14cm	50cm	200cm	400cm	700cm	1000cm
I-131	6.98E-04	8.25E-04	3.51E-05	2.55E-06	8.54E-08	5.13E-09
I-132	1.14E+00	5.71E-01	2.58E-02	2.51E-03	1.96E-04	9.74E-06
I-133	7.73E-03	4.76E-02	2.29E-03	2.18E-04	1.13E-05	7.55E-07
I-135	1.40E+00	5.08E-01	2.49E-02	3.05E-03	2.67E-04	2.61E-05
Xe-131m	3.09E-09	7.13E-09	9.77E-11	4.57E-11	7.49E-15	1.76E-17
Xe-133	8.22E-08	8.41E-07	1.04E-08	4.78E-11	9.98E-14	4.32E-16
Xe-135	2.45E-02	3.88E-02	1.49E-03	1.06E-04	1.20E-06	2.34E-08
Kr-85m	2.44E-03	4.08E-03	1.58E-04	7.90E-06	2.43E-07	8.21E-10
Kr-88	1.12E+01	3.73E+00	1.88E-01	2.43E-02	2.21E-03	2.53E-04
Kr-89	7.73E+02	2.53E+02	1.26E+01	1.72E+00	1.82E-01	7.56E-02
TOTAL	7.87E+02	2.58E+02	1.28E+01	1.75E+00	1.84E-01	7.59E-02



بیست و یکمین کنفرانس هسته‌ای ایران

۶ و ۷ اسفند ماه ۱۳۹۳ دانشگاه اصفهان



شکل ۲). تغییر آهنگ دز کل گاما ناشی از تمام پاره های شکافت در فواصل مختلف در لحظه وقوع

با توجه به معادله ارایه شده برای این نمودار، می توان برای فواصل مختلف آهنگ دز را محاسبه نمود. لازم بذکر است که مقدار دز به دلیل کوتاهی نیمه عمر تعدادی از پاره شکافت شدیداً تابع زمان بوده و لازم است تغییرات آن نیز مورد بررسی قرار گیرد. که برای فاصله ۱۴ cm دز را در زمان های مختلف بدست آورده ایم که در جدول (۳) ارایه شده است

جدول (۴). تغییرات آهنگ دز کل گاما در زمان های مختلف برای فاصله ۱۴ سانتی متر از تانک

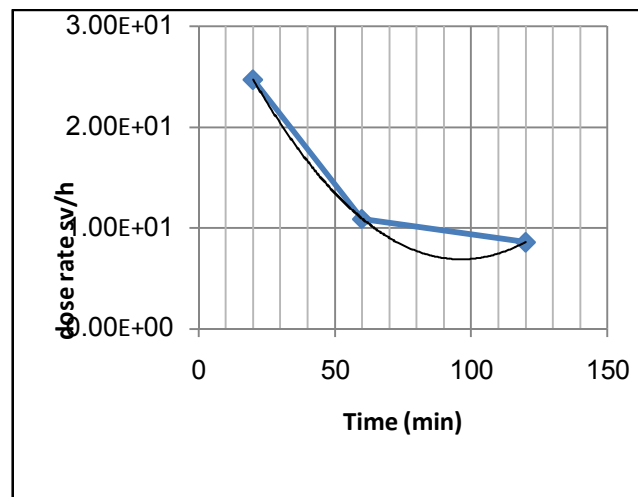
	Half Life	Dose rate(sv/h) 20 min	60 min	120min
I-131	8.04 day	6.97E-04	6.95E-04	6.93E-04
I-132	2.3 hour	1.03E+00	8.44E-01	6.25E-01
I-133	20.8 h	7.57E-03	7.48E-03	7.23E-03
I-135	6.61 h	1.36E+00	1.26E+00	1.14E+00
Xe-131m	11.8 d	3.09E-09	3.09E-09	3.08E-09
Xe-133	5.24 d	8.20E-08	8.17E-08	7.36E-08
Xe-135	9.11 h	2.37E-02	2.27E-02	2.10E-02
Kr-85m	4.48 h	2.32E-03	2.09E-03	1.79E-03
Kr-88	2.8 h	1.04E+01	8.77E+00	6.82E+00
Kr-89	3.16 min	1.19E+01	6.95E-04	2.86E-09
TOTAL		2.47E+01	1.09E+01	8.61E+00

هیدرولیز، ناشی از پاره های شکافت



بیست و یکمین کنفرانس هسته‌ای ایران

۱۷ و ۱۸ اسفند ماه ۱۳۹۳ دانشگاه اصفهان



شکل ۳). تغییرات آهنگ دز کل گاما در زمان‌های مختلف برای فاصله ۱۴ سانتی متر از تانک هیدرولیز، ناشی از پاره‌های شکافت

نتیجه گیری

محاسبات دزیمتری در حادثه بحرانیت هسته‌ای شامل محاسبه آهنگ دز گامای آنی و دز نوترون بر حسب فاصله و همچنین آهنگ دز گامای ناشی از پاره‌های شکافت بر حسب فاصله و زمان می‌باشد. نتایج محاسبات در جداول (۲)، (۳) و همچنین جدول (۴) ارائه شده است. با توجه به نتایج محاسبات آهنگ دز نوترون آنی از دز گاما همواره بیشتر می‌باشد. و همچنین آهنگ دز مربوط به پاره‌های شکافت با نیمه عمرهای کم مانند کریپتون که در لحظه اول وقوع حادثه دارای دز گامای بالایی می‌باشد، به مقدار بسیار ناچیز می‌رسد.

مراجع

[1] Krane, K., Introductory Nuclear Engineering, Robert E. Krieger, 1975.

[2] Nuclear fuel cycle facility accident analysis handbook, NUREG/CR 6410, March 1998



بیست و یکمین کنفرانس هسته‌ای ایران

۶ و ۷ اسفند ماه ۱۳۹۳ دانشگاه اصفهان

- [3] MCNP4C Monte Carlo N-Particle Transport Code System, Los Alamos National Laboratory, 2000.
- [4] Cashwell, E.D., Neergaard, J.R., Taylor, W.M., Turner, G.D., MCNP: A Neutron Monte Carlo Code, Los Alamos Scientific Laboratory Report, LA-4751, 1972.
- [5] Dubi A., "Monte Carlo Calculation for Nuclear Reactors", Hand Book of Nuclear Reactor Calculations, Vol. II, CRC press., 1986.