



بیست و یکمین کنفرانس هشتای ایران

۶ و ۷ اسفند ماه ۱۳۹۳ دانشگاه اصفهان

ارزیابی مخاطرات ناشی از پاره های شکافت در حادثه بحرانیت بر پایه حوادث مبنای طراحی واحد تولید پودردی اکسید اورانیوم (UO_2) با غنای ۵ درصد

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

۱- چکیده:

در این گزارش میزان دز جذبی و تاثیرات ناشی از ریزشهای اتمی در اثر وقوع حادثه بحرانیت در واحد تولید پودر دی اکسید اورانیوم با غنای ۵ درصد برآورد شده است. محاسبات تخمین دز دریافتی، نحوه گسترش ابر اتمی با استفاده از روش محاسباتی انجام گردیده است. محاسبات بر اساس مقدار ماده پرتوزای رها شده به جو، شرایط آب و هوایی و ارتفاع انتشار می باشد. محاسبات نشان می دهد مقدار دز دریافتی از ^{131}I نسبت به بقیه پاره های شکافت آزاد شده در محیط بیشتر و به مقدار ۱۴۰ میکرو سیورت می باشد. روند تغییرات دز دریافتی تعدادی از پاره های شکافت حاصل از حادثه بحرانیت بر حسب فاصله از مرکز انتشار در مقاله ارائه گردیده است.

۲- کلیدواژه: دی اکسید اورانیوم، بحرانیت، انتشار، ابر اتمی، دز، پاره های شکافت

۳- مقدمه

بحرانی شدن را می توان رسیدن به شرایط فیزیکی لازم برای ادامه واکنش زنجیری در یک ماده شکافت پذیر تعریف کرد. در جریان واکنش زنجیری، هسته های ماده شکافت پذیر متلاشی شده و مقادیر فوق العاده ای انرژی به شکل تابش آزاد و مقادیر زیادی محصولات شکافت پرتوزا نیز تولید می شود. در صورتی که این حادثه در خارج راکتور و در جریان تولید سوخت هسته ای به طور تصادفی حاصل شود، نتایج آن می تواند وخیم باشد. به طور کلی، میزان تعداد شکافت در یک حادثه بحرانیت بین 10^{15} تا 10^{20} با مقدار متوسط 10^{17} تخمین زده می شود. در یک فرض بسیار محافظه کارانه تعداد کل شکافت 10^{19} در یک حادثه بحرانیت در طول ۸ ساعت فرض شده است. چشمه مربوط به حادثه بحرانیت در جدول (۱) آورده شده است. در این بررسی میزان دز ناشی از محصولات شکافت با توجه مدل نیمه تجربی گاوسی محاسبه شده است. [1] [2]



بیست و یکمین کنفرانس هسته‌ای ایران

۶ و ۷ اسفند ماه ۱۳۹۳ دانشگاه اصفهان

جدول (۱): مقادیر اکتیویته هسته‌های رها شده در حادثه بحرانیت با تعداد شکافت $10^{19} \times 1/00$ در

مدت زمان ۸ ساعت [1]

| Isotope | Half-life | Fission product MAR (Bq) | Leak Path Factor (LPF) | Damage Ratio (DR) | Airborne Release Fraction (ARF) | Respirable Fraction (RF) | Source Term (Bq) |
|---------|-----------|--------------------------|------------------------|-------------------|---------------------------------|--------------------------|------------------|
| I-131 | 8 day | 2.7E11 | 1.0 | 1.0 | 1.0 | 1.0 | 1.35E11 |
| I-132 | 2.3hr | 3.8E13 | 1.0 | 1.0 | 1.0 | 1.0 | 1.9E13 |
| I-133 | 20.8hr | 6.2E12 | 1.0 | 1.0 | 1.0 | 1.0 | 3.1E12 |
| I-134 | 52.6min | 1.5E14 | 1.0 | 1.0 | 1.0 | 1.0 | 7.5E13 |
| I-135 | 6.6hr | 1.9E13 | 1.0 | 1.0 | 1.0 | 1.0 | 9.5E12 |
| Xe-133m | day 2.2 | 7.0E8 | 1.0 | 1.0 | 1.0 | 1.0 | 7.0E8 |
| Xe-133 | 5.2 day | 1.0E8 | 1.0 | 1.0 | 1.0 | 1.0 | 1.0E8 |
| Xe-135m | 15.3min | 1.2E13 | 1.0 | 1.0 | 1.0 | 1.0 | 1.2E13 |
| Xe-135 | 9.1hr | 1.9E11 | 1.0 | 1.0 | 1.0 | 1.0 | 1.9E11 |
| Xe-137 | 3.8min | 8.8E14 | 1.0 | 1.0 | 1.0 | 1.0 | 8.8E14 |
| Kr-83m | 1.8hr | 5.4E12 | 1.0 | 1.0 | 1.0 | 1.0 | 5.4E12 |
| Kr-85m | hr 4.5 | 3.3E12 | 1.0 | 1.0 | 1.0 | 1.0 | 3.3E12 |
| Kr-85 | 10.7 yr | 4.8E5 | 1.0 | 1.0 | 1.0 | 1.0 | 4.8E5 |
| Kr-87 | 76.3 min | 4.0E13 | 1.0 | 1.0 | 1.0 | 1.0 | 4.0E13 |
| Kr-88 | hr 2.8 | 2.4E13 | 1.0 | 1.0 | 1.0 | 1.0 | 2.4E13 |
| Kr-89 | min 3.2 | 1.7E15 | 1.0 | 1.0 | 1.0 | 1.0 | 1.7E15 |
| Cs-137 | 30yr | 3.7E8 | 1.0 | 1.0 | .01 | 1.0 | 3.7E6 |

۴- روش کار

در این بخش نحوه مدل سازی به کار گرفته شده در این روش محاسباتی به اختصار توضیح داده می شود، سپس خلاصه‌ای از نحوه محاسبه دز بیان می گردد .

۴-۱- مدل نیمه تجربی گاوسی

مدل پخش به کار گرفته شده برای توزیع ابر اتمی، یک مدل نیمه تجربی می باشد و شکل تابع ریاضی به کار گرفته شده برای محاسبات تابع گاوسی می باشد. غلظت ماده رادیواکتیو بر حسب بکرل بر متر مکعب در هر نقطه (x,y,z) به صورت معادله (۱) می باشد. [3]



بست و یکمین کنفرانس هشتای ایران

۶ و ۷ اسفند ماه ۱۳۹۳ دانشگاه اصفهان

$$C(x, y, z) = \frac{Q}{2\pi u \sigma_y \sigma_z} \exp\left(-\frac{y^2}{2\sigma_y^2}\right) \left\{ \exp\left(-\frac{(z - H_e)^2}{2\sigma_z^2}\right) + \exp\left(-\frac{(z + H_e)^2}{2\sigma_z^2}\right) \right\} \quad (1)$$

در معادله (۱)، آهنگ پرتوزایی Q (Bq/s) می باشد، توابع پخش بر حسب متر می باشند که انحراف معیار استاندارد توزیع ابر اتمی در جهت های x ، y و z را نشان می دهند و تابعی از پایداری وضعیت هوا و فاصله در جهت باد می باشند. شکل ریاضی این توابع به صورت معادله (۲) می باشد: [3]

$$\sigma = p.X^q \quad (2)$$

مقادیر p و q بسته به نگارشهای مختلف محاسبات متغیر می باشند.

u سرعت متوسط باد منطقه بر حسب (m/s) در راستای محور افقی (x)، z ارتفاع از سطح زمین، x فاصله بر حسب (m) در جهت باد و y فاصله بر حسب (m) در جهت عمود بر باد می باشد.

ارتفاع موثر آزاد سازی ابر اتمی از رابطه (۳) به دست می آید که در آن h ارتفاع فیزیکی دودکش، d قطر مجرای خروجی دودکش، v سرعت خروج مواد، μ سرعت میانگین باد منطقه، Δt اختلاف دمای مواد خروجی و هوا و T دمای هوای محیط می باشد. [4]

$$H_e = h + d \left(\frac{v}{\mu} \right)^{\frac{1}{4}} \left(1 + \frac{\Delta t}{T} \right) \quad (3)$$

۴-۲- نحوه محاسبه دز

به فاصله اندکی پس از وقوع حادثه بحرانیت، مواد پرتوزا به داخل جو رها می شوند و ساکنین اطراف کارخانه نیز مانند کارکنان کارخانه در معرض تشعشع موجود در جو و سپس در معرض تشعشعات ناشی از نشست مواد پرتوزا بر روی زمین یا سطوح مختلف قرار می گیرند. در این محاسبات صرفاً تشعشع خارجی ناشی از ماده پرتوزای موجود در ابر اتمی و همچنین استنشاق مواد پرتوزای موجود در ابر اتمی را محاسبه شده است.

۱- تشعشع خارجی ناشی از ماده پرتوزای موجود در ابر اتمی (E_{im}) تشکیل شده به صورت معادله (۴) می باشد، در آن مقدار دز بر حسب سیورت و C_A انتگرال زمانی موثر غلظت بر حسب ($Bq.s/m^3$) در معادله (۱)، O_F مدت زمان پرتو گیری و F_{im} فاکتور تبدیل نرخ دز خارجی، بر حسب ($Bq \times s$) / ($Sv \times m^3$) می باشد. [5]

$$E_{im} = C_A D F_{im} O_F \quad (4)$$

۲- دز حاصل از استنشاق مواد پرتوزای موجود در ابر اتمی (E_{inh}) به صورت معادله (۵) می باشد که در آن DF_{inh} فاکتور تبدیل نرخ دز استنشاق، IR نرخ تنفس می باشد.

$$E_{inh} = C_A \cdot DF_{inh} \cdot IR \cdot O_F \quad (5)$$

۴-۳- فرضیات در نظر گرفته شده در محاسبات



بیست و یکمین کنفرانس هشتای ایران

۶ و ۷ اسفند ماه ۱۳۹۳ دانشگاه اصفهان

۱. کلاس پایداری جوی، کلاس F در نظر گرفته شده است و سرعت و ضرایب σ_y و براساس σ_y این کلاس پایداری تعیین شده اند.

۲. مدت زمان آزاد شدن مواد پرتوزا در حادثه بحرانیت در حدود ۸ ساعت از زمان شروع حادثه در نظر گرفته شده است.

۳. مدت زمان در معرض تشعشع بودن نیز حدود ۱ ساعت فرض شده است.

۴. ارتفاع آزاد شدن مواد در جو در حادثه بحرانیت حدود ۸۰ متر در نظر گرفته شده است.

۵. از آنجا که در واپاشی مواد پرتوزا، یک زنجیره واپاشی می بایست در نظر گرفته شود و آهنگ پرتوزایی هسته های مادر و دختر به صورت روابط نمایی کاهش پیدا می کنند، لذا Q در رابطه (۱) تابع زمان می باشد، که در این محاسبات در نظر گرفته نشده است.

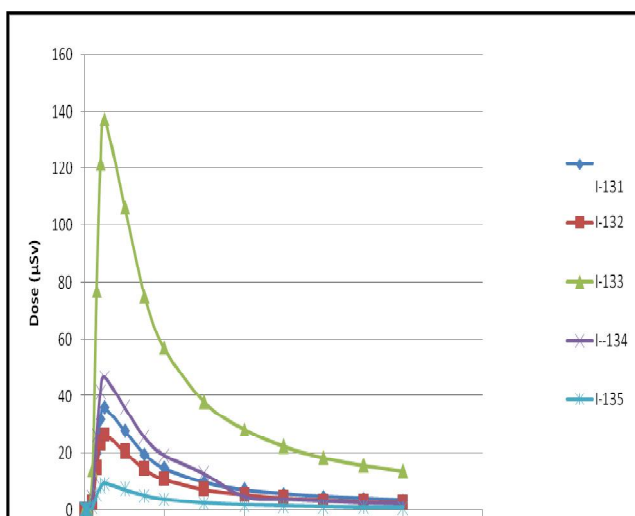
۶. در محاسبه دز حاصل از پاره های شکافت در حادثه بحرانیت، فاصله محل وقوع حادثه تا استک و مدت زمانی که پاره های شکافت طی می کنند تا از استک خارج شوند لحاظ نشده است.

۵- نتایج

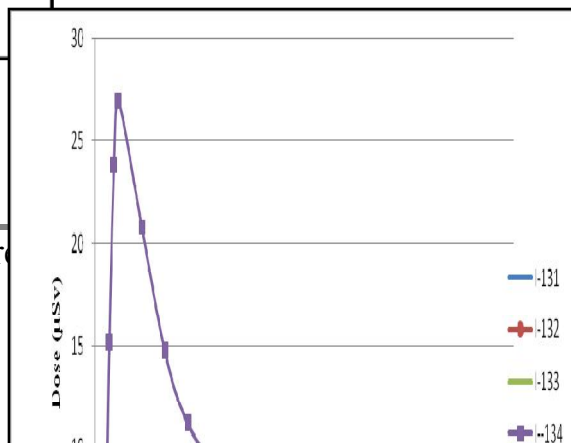
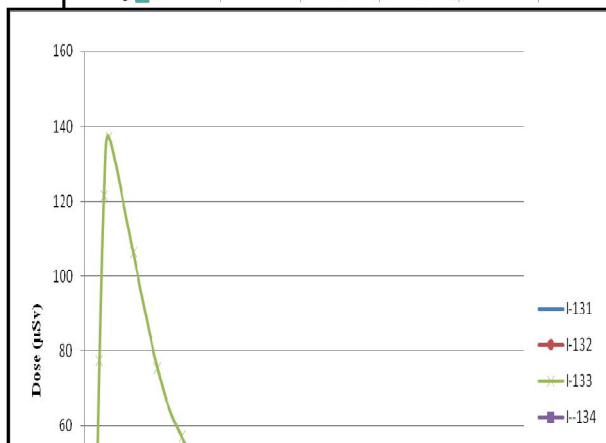
اطلاعات مربوط به دز دیافتی حاصل از انتشار ایزوتوپ های ید در جدول (۲) و شکل های (۱)، (۲) و (۳)، ایزوتوپ های کریبتون در جدول (۳) و شکل (۴) و سزیم در جدول (۴) و شکل (۵) آورده شده است.

جدول ۲- دز دریافتی حاصل از ایزوتوپ های ید بر حسب میکرو سیورت

| d(m) | I-131 | I-132 | I-133 | I-134 | I-135 |
|-------|----------|----------|----------|----------|----------|
| 250 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 |
| 400 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 |
| 600 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 |
| 1000 | 1.70E-04 | 1.25E-04 | 6.49E-04 | 2.20E-04 | 4.45E-05 |
| 2000 | 3.78E+00 | 2.79E+00 | 1.45E+01 | 4.90E+00 | 9.90E-01 |
| 3000 | 2.02E+01 | 1.49E+01 | 7.73E+01 | 2.62E+01 | 5.29E+00 |
| 4000 | 3.18E+01 | 2.35E+01 | 1.22E+02 | 4.13E+01 | 8.34E+00 |
| 5000 | 3.59E+01 | 2.65E+01 | 1.38E+02 | 4.66E+01 | 9.42E+00 |
| 10000 | 2.78E+01 | 2.05E+01 | 1.06E+02 | 3.60E+01 | 7.28E+00 |
| 20000 | 1.49E+01 | 1.10E+01 | 5.70E+01 | 1.93E+01 | 3.91E+00 |
| 40000 | 7.37E+00 | 5.44E+00 | 2.82E+01 | 4.78E+00 | 1.93E+00 |
| 60000 | 4.85E+00 | 3.58E+00 | 1.86E+01 | 3.15E+00 | 1.27E+00 |
| 80000 | 3.61E+00 | 2.67E+00 | 1.38E+01 | 2.34E+00 | 9.47E-01 |



شکل ۱- دز کل دریافتی حاصل از ایزوتوپ های ید

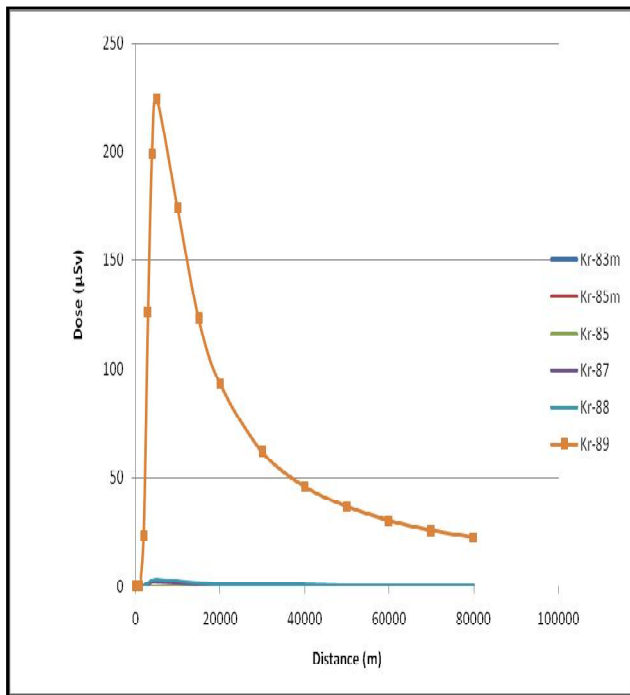




بیست و یکمین کنفرانس هشتای ایران

۷ و ۸ اسفند ماه ۱۳۹۳ دانشگاه اصفهان

شکل ۳- دز حاصل از استنشاق ایزوتوپ های ید بر حسب میکرو سیورت

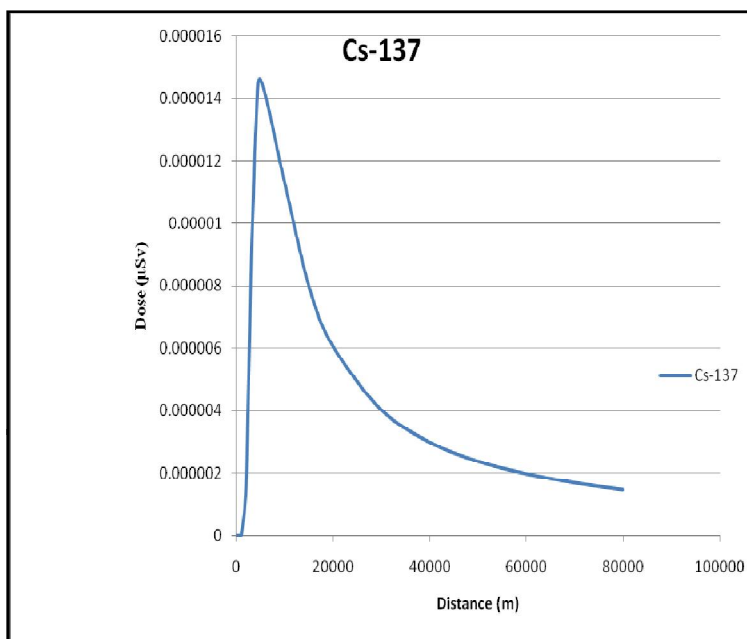


شکل ۲- دز حاصل از ابر اتمی ایزوتوپ های ید

جدول ۳- دز دریافتی حاصل از ایزوتوپ های کریپتون بر حسب میکرو سیورت

| d(m) | Kr-83m | Kr-85m | Kr-85 | Kr-87 | Kr-88 | Kr-89 |
|-------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|
| 250 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 |
| 400 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 |
| 600 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 |
| 1000 | 5.28E-11 | 1.61E-07 | 3.72E-16 | 1.07E-05 | 1.60E-05 | 1.06E-03 |
| 2000 | 1.18E-06 | 3.58E-03 | 8.29E-12 | 2.39E-01 | 3.55E-01 | 2.36E+01 |
| 3000 | 6.29E-06 | 1.92E-02 | 4.43E-11 | 1.28E+00 | 1.90E+00 | 1.26E+02 |
| 4000 | 9.91E-06 | 3.02E-02 | 6.99E-11 | 2.02E+00 | 2.99E+00 | 1.99E+02 |
| 5000 | 1.12E-05 | 3.41E-02 | 7.88E-11 | 2.27E+00 | 3.38E+00 | 2.24E+02 |
| 10000 | 8.64E-06 | 2.63E-02 | 6.10E-11 | 1.76E+00 | 2.61E+00 | 1.73E+02 |
| 20000 | 4.64E-06 | 1.41E-02 | 3.27E-11 | 9.44E-01 | 1.40E+00 | 9.31E+01 |
| 40000 | 2.29E-06 | 6.99E-03 | 1.62E-11 | 4.67E-01 | 6.93E-01 | 4.60E+01 |
| 60000 | 1.51E-06 | 4.60E-03 | 1.07E-11 | 3.07E-01 | 4.57E-01 | 3.03E+01 |
| 80000 | 1.12E-06 | 3.43E-03 | 7.93E-12 | 2.29E-01 | 3.40E-01 | 2.26E+01 |

جدول ۴- دز دریافتی حاصل از سزیم-۱۳۷ بر حسب میکرو سیورت



| D(m) | Cs -137 |
|-------|----------|
| 250 | 0.0 |
| 400 | 0.0 |
| 600 | 0.0 |
| 1000 | 6.89E-11 |
| 2000 | 1.53E-06 |
| 3000 | 8.20E-06 |
| 4000 | 1.29E-05 |
| 5000 | 1.46E-05 |
| 10000 | 1.13E-05 |
| 20000 | 6.05E-06 |
| 40000 | 2.99E-06 |
| 60000 | 1.97E-06 |
| 80000 | 1.47E-06 |



بیست و یکمین کنفرانس هسته‌ای ایران

۷ و ۸ اسفند ماه ۱۳۹۳ دانشگاه اصفهان

شکل ۵- دز دریافتی حاصل از سزیم-۱۳۷

۶- بحث و نتیجه گیری

با توجه به محاسبات انجام شده در مورد مقدار دز دریافتی از انتشار پاره های شکافت حاصل از حادثه بحرانیت در جداول ۱ تا ۵ ارائه شده است، بیشترین مقدار دز با توجه به ارتفاع استک (۸۰ متر) مربوط به فاصله ۵۵۰۰ متری بوده و عنصر ^{131}I و تا فاصله ۶۰۰ متری از استک دز قابل توجهی مشاهده نمی شود و این به دلیل انتشار شبه گوسی پاره های شکافت و با توجه به معادله (۱) و در نظر گرفتن کلاس پایداری F می باشد.

۸- مراجع

1. Nuclear fuel cycle facility accident analysis handbook, NUREG/CR 6410, March 1998
2. Assessment of radioactive material released from a fuel fabrication plant under accident conditions, final report, Commission of the European Communities, 1981.
3. Glanni Petrangeli, Nuclear Safty, Butterworth-Heinemann is an imprint of Elsevier, Linacre House, Jordan Hill, Oxford OX2 8DP. First edition, 2006.
4. H.Sember, T.E.Jonson; Introduction to Health Physics; Copyright © 2009 by The McGraw-Hill Companies
5. IAEA, Generic Programs for Use in Assessing the Impact of Discharges of Radioactive Substances to the Environment. IAEA SS No.19. Vienna, 2001