

## بررسی اثرات پرتوی ناشی از نشت گاز هگزافلوراید اورانیوم (UF6) با غنای طبیعی به روش شبیه‌سازی با نرم افزار RASCAL

مسعود صائب<sup>۱</sup>، داریوش شهبازی گهرویی<sup>۲</sup>

### مقاله کوتاه

#### چکیده

**مقدمه:** انتشار مواد رادیواکتیو در اثر حوادث پرتوی در مراکز هسته‌ای تأمین سوخت، باعث آلودگی محیط زیست و جذب پرتوها از طریق تنفس توسط افراد و کارکنان منطقه‌ی حادثه دیده اهمیت زیادی دارد. هدف از انجام این پژوهش، شبیه‌سازی حادثه با استفاده از نرم‌افزار Radiological assessment system for consequence analysis (RASCAL) و مقایسه با نتایج مدل گوسی (Gaussian model) است.

**روش‌ها:** حادثه‌ی مورد نظر در این مطالعه، نشت گاز هگزافلوراید اورانیوم در انبار سوره‌ی سایت هسته‌ای اصفهان بود. جهت جغرافیایی انتشار مواد رادیواکتیو و میزان دز دریافتی کارکنان و افراد مستقر در اطراف سایت تا شعاع ۱۰ کیلومتری آن برآورد شد.

**یافته‌ها:** در این تحقیق، نشت گاز هگزافلوراید اورانیوم، بیشترین میزان مواد رادیواکتیو منتشر شده است که باعث دز دریافتی کارکنان و مردم منطقه می‌شود.

**نتیجه‌گیری:** نشت گاز هگزافلوراید اورانیوم، اثر قطعی بر روی کارکنان و مردم نخواهد داشت. همچنین، توصیه می‌شود که برای انجام محاسبات و خطر ناشی از اثرات پرتوی از کدهای نرم‌فزاری استفاده گردد.

**واژگان کلیدی:** آزاد شدن رادیواکتیو؛ حوادث پرتوی؛ هگزافلوراید اورانیوم؛ آلودگی محیطی

**ارجاع:** صائب مسعود، شهبازی گهرویی داریوش. بررسی اثرات پرتوی ناشی از نشت گاز هگزافلوراید اورانیوم (UF6) با غنای طبیعی به روش شبیه‌سازی با نرم افزار RASCAL. مجله دانشکده پزشکی اصفهان ۱۳۹۹؛ ۳۸ (۶۰۱): ۸۸۵-۸۸۲.

اثرات بیولوژیکی آن را کنترل کرد (۵-۲). هدف اصلی این پژوهش، محاسبه و ارزیابی دز دریافتی در شرایط اضطراری (نشت احتمالی گاز Uranium hexafluoride یا UF6) و تأثیرات آن بر کارکنان سایت هسته‌ای اصفهان و مردم منطقه می‌باشد.

#### روش‌ها

حادثه‌ی پرتوی در نظر گرفته شده مربوط به نشت احتمالی گاز هگزافلوراید اورانیوم (UF6) در انبار مواد شیمیایی شرکت سوره در سایت هسته‌ای اصفهان می‌باشد. با توجه به این که رها شدن مواد رادیواکتیو در محیط آزاد، بسته به شرایط جوی موجود در زمان وقوع حادثه رابطه‌ی مستقیم دارد و می‌تواند محیط اطراف سایت را آلوده نماید، پس محدوده‌ی محاسبات تا شعاع ۱۰ کیلومتری از مرکز سایت هسته‌ای اصفهان واقع در شمال شرق شهر اصفهان در نظر گرفته شد. این تحقیق در بهار و تابستان سال ۱۳۹۸ صورت گرفته است.

#### مقدمه

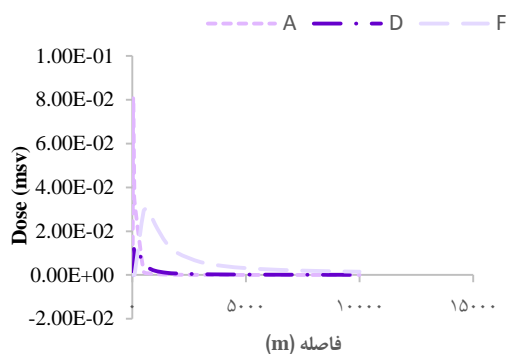
در اثر حوادث پرتوی احتمالی در مراکز هسته‌ای، آزاد شدن مواد پرتوزا در محیط اطراف آن، مناطق وسیعی را در بر می‌گیرد (۱). تدوین برنامه‌ی پاسخ در شرایط اضطراری هسته‌ای و برنامه‌ریزی متناسب با نوع فعالیت‌های در حال انجام در تأسیسات چرخه‌ی سوخت، می‌تواند به فراهم ساختن آمادگی لازم برای پاسخ در شرایط اضطراری کمک کننده باشد. در این راستا، اولین قدم، ارزیابی کیفی و تشخیص خطرات خاص سایت و شرایط مرتبط با وضعیت اضطراری می‌باشد که نیاز به پاسخ سریع دارد. اولین گام در شرایط اضطراری، جمع‌آوری اطلاعات به موقع است که بتوان در خصوص تأیید و یا اصلاح اقدامات حفاظتی تصمیم‌گیری کرد. در صورت بروز یک حادثه همانند نشت احتمالی یک ماده‌ی شیمیایی خطرناک، باید نحوه‌ی انتشار آن از قبل شبیه‌سازی شده و میزان پخش ماده در فواصل مختلف محاسبه گردد تا با بهترین شکل بتوان

۱- دانشجوی کارشناسی ارشد مدیریت محیط زیست- ایمنی، گروه بهداشت و محیط زیست، واحد نجف‌آباد، دانشگاه آزاد اسلامی، نجف‌آباد، ایران  
۲- استاد، گروه فیزیک پزشکی، دانشکده‌ی پزشکی، دانشگاه علوم پزشکی اصفهان، اصفهان، ایران  
نویسنده‌ی مسؤل: داریوش شهبازی گهرویی؛ استاد، گروه فیزیک پزشکی، دانشکده‌ی پزشکی، دانشگاه علوم پزشکی اصفهان، اصفهان، ایران

جدول ۱. میزان دز دریافتی افراد در فواصل مختلف در سه طبقه‌ی آب و هوایی

فاصله (Km)	میزان دز در طبقه‌ی A (msv)	میزان دز در طبقه‌ی D (msv)	میزان دز در طبقه‌ی F (msv)
۰/۰۱	***	***	***
۰/۰۲	۱/۱۱ × ۱۰ <sup>-۲</sup>	***	***
۰/۰۳	۶/۰۱ × ۱۰ <sup>-۲</sup>	***	***
۰/۰۴	۸/۱۲ × ۱۰ <sup>-۲</sup>	۱/۳۹ × ۱۰ <sup>-۶</sup>	***
۰/۰۵	۷/۸ × ۱۰ <sup>-۲</sup>	۹/۳۴ × ۱۰ <sup>-۵</sup>	***
۰/۰۶	۶/۷۵ × ۱۰ <sup>-۲</sup>	۸/۳۳ × ۱۰ <sup>-۴</sup>	***
۰/۰۷	۵/۶۶ × ۱۰ <sup>-۲</sup>	۲/۹۰ × ۱۰ <sup>-۳</sup>	***
۰/۰۸	۴/۷۳ × ۱۰ <sup>-۲</sup>	۶/۱۲ × ۱۰ <sup>-۳</sup>	***
۰/۰۹	۳/۹۶ × ۱۰ <sup>-۲</sup>	۹/۸۰ × ۱۰ <sup>-۳</sup>	***
۰/۱۰	۳/۳۵ × ۱۰ <sup>-۲</sup>	۴/۳۱ × ۱۰ <sup>-۳</sup>	***
۰/۵۰	۱/۶۲ × ۱۰ <sup>-۳</sup>	۵/۷۵ × ۱۰ <sup>-۳</sup>	۲/۹۲ × ۱۰ <sup>-۲</sup>
۰/۷۰	۸/۰۴ × ۱۰ <sup>-۴</sup>	۳/۳۹ × ۱۰ <sup>-۳</sup>	۳/۰۳ × ۱۰ <sup>-۲</sup>
۱/۰۰	۴/۱۸ × ۱۰ <sup>-۴</sup>	۱/۹۲ × ۱۰ <sup>-۳</sup>	۲/۳۲ × ۱۰ <sup>-۲</sup>
۱/۵۰	۱/۹۰ × ۱۰ <sup>-۴</sup>	۱/۰۱ × ۱۰ <sup>-۳</sup>	۱/۴۶ × ۱۰ <sup>-۲</sup>
۲/۰۰	۱/۰۹ × ۱۰ <sup>-۴</sup>	۶/۵۵ × ۱۰ <sup>-۴</sup>	۱/۰۰ × ۱۰ <sup>-۲</sup>
۳/۰۰	۵/۱۱ × ۱۰ <sup>-۵</sup>	۳/۵۸ × ۱۰ <sup>-۴</sup>	۵/۹۰ × ۱۰ <sup>-۳</sup>
۴/۰۰	۳/۱۹ × ۱۰ <sup>-۵</sup>	۲/۳۶ × ۱۰ <sup>-۴</sup>	۴/۱۰ × ۱۰ <sup>-۳</sup>
۵/۰۰	۲/۳۴ × ۱۰ <sup>-۵</sup>	۱/۷۳ × ۱۰ <sup>-۴</sup>	۳/۱۳ × ۱۰ <sup>-۳</sup>
۶/۰۰	۱/۸۶ × ۱۰ <sup>-۵</sup>	۱/۳۴ × ۱۰ <sup>-۴</sup>	۲/۵۴ × ۱۰ <sup>-۳</sup>
۷/۰۰	۱/۵۲ × ۱۰ <sup>-۵</sup>	۱/۰۹ × ۱۰ <sup>-۴</sup>	۲/۱۴ × ۱۰ <sup>-۳</sup>
۸/۰۰	۱/۲۸ × ۱۰ <sup>-۵</sup>	۹/۱۹ × ۱۰ <sup>-۵</sup>	۱/۸۶ × ۱۰ <sup>-۳</sup>
۹/۰۰	۱/۰۹ × ۱۰ <sup>-۵</sup>	۷/۸۸ × ۱۰ <sup>-۵</sup>	۱/۶۵ × ۱۰ <sup>-۳</sup>
۱۰/۰۰	۹/۴۲ × ۱۰ <sup>-۶</sup>	۶/۸۸ × ۱۰ <sup>-۵</sup>	۱/۴۸ × ۱۰ <sup>-۳</sup>

در شکل ۱ نیز نمودار تغییرات دز دریافتی در فواصل مختلف از محل حادثه نمایش داده شده است.



شکل ۱. نمودار تغییرات دز در فواصل مختلف در سه طبقه‌ی آب و هوایی

چشمه‌ی هوا برد مقدار ماده‌ی رادیو اکتیو (بر حسب گرم یا کوری) است و بر همین اساس، تعیین اصطلاح چشمه‌ی هوا برد (۴) با پنج عامل و با رابطه‌ی خطی زیر تعریف می‌شود:

$$MAR = LPF \times RF \times ARF \times DR \times \text{Source term}$$

که در آن، MAR (Material-at-Risk) (ماده‌ی ریسک پذیر)، Airborne release fraction (DR) Damage ratio نسبت آسیب، (ARF) کسر رهاسازی در هوا، RF کسر قابل استنشاق و Leakpath factor (LPF) عامل مسیر نشت است.

هر چند اغلب پخش اتمسفریک مواد رایج است؛ اما حقیقت این است که سهم بسیار کمی از توزیع گازها در اتمسفر بر اثر پدیده‌ی پخش انجام می‌گیرد. به همین دلیل، تقریب‌های توزیع گازها در اتمسفر، به جای استفاده از تئوری پخش کلاسیک، بر اساس مدل‌های ریاضی که حالات هواشناسی را لحاظ کرده‌اند، بنا شده‌اند. یکی از معمول‌ترین مدل‌ها که برای تخمین غلظت سطح زمینی جریان گازهای ناشی از یک چشمه‌ی نقطه‌ی مانند دهانه‌ی یک دودکش، مورد استفاده قرار می‌گیرد، مدل ابر گاوسی با مسیر راست خط است که فرمول کلی مدل ابر گاوسی است (۴) و برآیند ارتفاع واقعی دودکش و عوامل مؤثر در آن به صورت زیر به دست می‌آید:

$$H = h + d \left( \frac{v}{u} \right)^{1.4} \left( 1 + \frac{\Delta T}{T} \right)$$

که در آن h ارتفاع فیزیکی دودکش، d قطر مجرای خروجی دودکش، v سرعت خروج مواد، u سرعت میانگین باد منطقه،  $\Delta T$  اختلاف دمای مواد خروجی و هوا و T دمای هوای محیط است.

نرم‌افزار Radiological assessment system for consequence analysis (RASCAL) با استفاده از روش گسترده‌ی ابر گازی (ناشی از پخش و نشت مواد رادیو اکتیو در محیط) در هر نقطه‌ای با استفاده از پایداری جوی، سرعت باد و فاصله در راستای جهت باد می‌تواند در شرایط اضطراری با محاسبه‌ی غلظت نشت گاز UF6 از سیلندرهای مخصوص نگهداری این گاز در فواصل مختلف، میزان دز مؤثر را در فواصل مختلف را محاسبه کند (۵).

محاسبات با در نظر گرفتن یک سیلندر ۱۰ تنی گاز UF6 با غنای طبیعی و با احتمال خرابی در پیچه‌ی سیلندر و یا کاهش ضخامت بدنه‌ی سیلندر و سوراخ شدن تحت شرایط آب و هوایی موجود انجام شده است. از انجام محاسبات در تمامی طبقات جوی خودداری شد و محاسبات در طبقات D (بهار و پاییز) و A (تابستان) و F (زمستان) انجام گرفت.

#### یافته‌ها

نتایج محاسبات مربوط به حادثه‌ی احتمالی نشت گاز UF6 با غنای طبیعی از سیلندر X ۴۸ در سه طبقه‌ی آب و هوایی A، D و F در جدول ۱ آمده است.

### بحث

با توجه به نتایج، وقوع حادثه‌ی احتمالی در طبقه‌ی آب و هوایی D، بیشترین شرایط پخش مواد را دارا می‌باشد و مواد منتشر شده در جو، به سرعت رقیق می‌گردد. وقوع حادثه در طبقه‌ی آب و هوایی A با توجه به حرکت لایه‌های جو و تخلیه‌ی اتمسفر، بیشترین میزان دز دریافتی در فواصل نزدیک به محل رخ خواهد داد. با توجه به این‌که بیشترین دز در داخل محدوده شرکت می‌باشد، قابل کنترل است. میزان دز در نواحی خارج از محدوده شرکت نیز که از محل حادثه به شعاع ۲ کیلومتری و در ناحیه‌ی شرقی از محل نشت می‌باشد، در حد میکروسیورت است که اثر قطعی قابل توجهی ندارد، اما بدترین حالت، وقوع حادثه در طبقه‌ی آب و هوایی F می‌باشد. در شرایط آب و هوایی در این طبقه و عدم حرکت لایه‌های جوی، بیشترین ماندگاری مواد و در وسعت زیاد اتفاق خواهد افتاد. بنابراین، تدابیر اورژانسی و گروه‌های پاسخ جهت رفع آلودگی و اقدامات درمانی در بیرون از محدوده شرکت دارای اهمیت می‌باشد. البته، با توجه به این‌که از فاصله‌ی ۲ کیلومتری به بعد، میزان دز کاهش می‌یابد، احتمال بروز اثرات قطعی بسیار ناچیز می‌باشد. در تحقیقاتی که توسط محققان در این زمینه انجام شده است (۸-۶) و با توجه به شعاع مؤثر آلودگی، برآوردهای این مطالعه، همخوانی خوبی با کارهای صورت گرفته‌ی قبلی دارد.

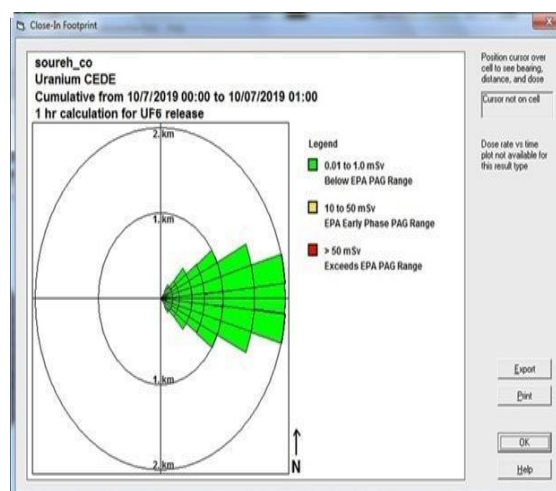
### نتیجه‌گیری

بر اساس یافته‌های این مطالعه، می‌توان نتیجه‌گیری کرد در صورت بروز حادثه‌ی احتمالی، دز پرتوی قابل توجهی که باعث بروز اثرات بیولوژیکی پرتو گردد، مردم و کارکنان سایت اصفهان را تهدید نمی‌کند.

### تشکر و قدردانی

این مطالعه، برگرفته از پایان‌نامه‌ی کارشناسی ارشد مدیریت محیط زیست-ایمنی، گروه بهداشت و محیط زیست، واحد نجف‌آباد، دانشگاه آزاد اسلامی ایران است که با کد ۱۵۰۲۱۲۱۴۹۵۲۰۳۰ به تصویب رسیده است.

همان گونه که در جدول ۱ مشاهده می‌شود، در طبقه‌ی آب و هوایی A در فواصل نزدیک به محل حادثه و تا فاصله‌ی ۱۰۰ متری، میزان دز دریافتی افراد به نسبت بالا می‌باشد. با افزایش فاصله با توجه به شرایط آب و هوایی و حرکت لایه‌های جو، از غلظت مواد رادیو اکتیو کاسته می‌شود و در نتیجه، میزان دز دریافتی نیز کاهش می‌یابد، اما در طبقه‌ی آب و هوایی D، پس از انتشار گاز UF6 و با فاصله گرفتن از محل حادثه، از میزان غلظت مواد رادیو اکتیو پراکنده شده در جو و به دنبال آن از دز دریافتی توسط افراد کاسته خواهد شد. در این طبقه‌ی آب و هوایی، به دلیل جابه‌جایی سریع جریانات هوا و وزش باد، از غلظت مواد در جو کاسته خواهد شد، اما در طبقه‌ی آب و هوایی F شرایط به گونه‌ی دیگری است. سکون لایه‌های جوی، باعث ماندگاری مواد رادیو اکتیو منتشر شده در جو و حرکت رو به پایین ترکیبات رادیو اکتیو به دلیل سنگینی اورانیوم خواهد شد. در این طبقه‌ی آب و هوایی، گسترش وسیع تر مواد رادیو اکتیو و در فواصل دورتر مشاهده می‌شود. شکل ۲، نحوه‌ی انتشار گاز UF6 را نشان می‌دهد.



شکل ۲. منطقه‌ی تحت تأثیر دز ناشی از نشت Uranium hexafluoride (UF6) تا شعاع ۲ کیلومتری از محل حادثه در طبقه‌ی آب و هوایی F

### References

- International Atomic Energy Agency. Cytogenetic dosimetry: Applications in preparedness for and response to radiation emergencies. Vienna, Austria: IAEA; 2011.
- Vennart J. The 1990 recommendations of the International Commission on Radiological Protection. J Radiol Prot 1991; 11(3): 199-203.
- Cember H, Johnson TE. Introduction to health physics. 4<sup>th</sup> ed. New York, NY: McGraw-Hill Education; 2008.
- Hobbie RK, Roth BJ. Intermediate physics for medicine and biology. 5<sup>th</sup> ed. New York, NY: Springer; 2015.
- Hosseini Aghdam MR, Metaj N, Aqamir SMR, Gharari R., Hemati H. Cancer risk estimating for various organs du to accidentally released radionuclides from Bushehr Nuclear Power Plant based on BEIR VII Model. Journal of Radiation and Nuclear Technology 2016; 3(1): 53-64.
- Yao R. Atmospheric dispersion of radioactive material in radiological risk assessment and emergency response. Progress in Nuclear Science and Technology 2011; 1: 7-13.
- Şahin S, Ali M. Emergency planning zones estimation for Karachi-2 and Karachi-3 Nuclear Power Plants using Gaussian Puff Model. Sci Technol Nucl Ins 2016; 2016(12): 1-8.
- Pecha P, Smidl V Inverse modelling for real-time estimation of radiological consequences in the early stage of an accidental radioactivity release. J Environ Radioact 2016; 164: 377-94.

## Investigation the Radiation Effects of Natural-Enriched Uranium Hexafluoride (UF6) Gas Leakage by RASCAL Software Simulation

Masoud Saeb<sup>1</sup>, Daryoush Shahbazi-Gahrouei<sup>2</sup>

### Short Communication

#### Abstract

**Background:** Radioactive release materials in nuclear facilities causes environmental pollution, and absorption of radiations by respiration by people and staff in the area of the accident is a vital problem. The aim of this study was to stimulate the event using Radiological assessment system for consequence analysis (RASCAL) software and compare the results with those of Gaussian experimental model.

**Methods:** In this study, the accident included Uranium hexafluoride (UF6) gas leakage in the environment from the storage areas of the Sooreh Company, Isfahan, Iran. The geographical distribution of radioactive material and the received amount of staff and people around the site were estimated at a radius of ten kilometers.

**Findings:** Uranium hexafluoride gas leakage event had the highest amount of radioactivity release that caused absorbed dose to people and staff in the company fence line.

**Conclusion:** Findings showed that Uranium hexafluoride would not threaten any deterministic effects on staff and people. Also, it is recommended to use software codes to calculate event and radiation risk.

**Keywords:** Radioactive hazard release; Nuclear accidents; Uranium compounds; Environmental pollution

**Citation:** Saeb M, Shahbazi-Gahrouei D. Investigation the Radiation Effects of Natural-Enriched Uranium Hexafluoride (UF6) Gas Leakage by RASCAL Software Simulation. J Isfahan Med Sch 2021; 38(601): 882-5.

1- MSc Student, Department of Health and Environment, Najafabad Branch, Islamic Azad University, Najafabad, Iran

2- Professor, Department of Medical Physics, School of Medicine, Isfahan University of Medical Sciences, Isfahan, Iran

**Corresponding Author:** Daryoush Shahbazi-Gahrouei, Professor, Department of Medical Physics, School of Medicine, Isfahan University of Medical Sciences, Isfahan, Iran; Email: shahbazi@med.mui.ac.ir