



بررسی وقوع حادثه ذوب ۱۰ درصدی قلب راکتور تحقیقاتی پیشنهادی فارس و محاسبه دز معادل موثر کل ناشی از این حادثه با استفاده از کد HYSPLIT

یاسر حمیدی اطهر*^۱، فرشاد فقیهی^۱، احمد پیروزمند^۱، نیلوفر منوچهری^۱

^۱بخش مهندسی هسته ای، دانشکده مهندسی مکانیک، دانشگاه شیراز، شیراز

چکیده:

در این تحقیق به بررسی دز معادل موثر کل ناشی از یک حادثه‌ی فرضی راکتور تحقیقاتی پیشنهادی فارس پرداخته شده است. از آنجایی که هنوز راکتور مورد نظر در مرحله طراحی مفهومی است، بنابراین از مشخصات راکتور تحقیقاتی تهران که بسیار شبیه این راکتور می باشد، استفاده شده است. شبیه سازی‌ها برای یک دوره یک ساله (۲۰۱۶) و با استفاده از داده‌های نشت محصولات شکافت به بیرون در صورت وقوع یک حادثه فرضی و همچنین کد محیطی HYSPLIT، انجام شده است. در این تحقیق از داده‌های هواشناسی NOAA(GDAS) استفاده شده است. محاسبات برای ته نشست هسته‌های پرتوزا بر روی سطح زمین و میزان غلظت در ارتفاع ۱/۵ متری از سطح زمین انجام شد.

کلمات کلیدی: راکتور تحقیقاتی، دز موثر سالانه، HYSPLIT، داده‌های هواشناسی NOAA

مقدمه:

در عملکرد عادی هر راکتور مقداری مواد رادیواکتیو به محیط وارد می‌شود. این ورود مواد رادیواکتیو به محیط می‌تواند از طرق مختلف انجام بگیرد. مهمترین راه انتشار مواد پرتوزا از دودکش راکتور به واسطه سیستم‌های تهویه می‌باشد. اتمسفر مهمترین راه انتقال رادیونوکلیدهای آزاد شده از یک حادثه هسته‌ای در فواصل مسافت‌هاست [1]. مدل HYSPLIT در آزمایشگاه تحقیقات هوایی سازمان ملی اقیانوسی و جوی ایالات متحده (NOAA) برای محاسبه‌ی مسیر حرکت بسته‌های هوا یا انفصال پراکندگی و ته نشست آلودگی‌ها توسط دراکسلر و هس در سال ۱۹۹۷ توسعه پیدا کرد [2].

۱- انواع پرتوگیری و راه‌های آن

اثرات تابش معمولاً به دو گروه تقسیم می‌شوند، این تقسیم بندی بستگی دارد به این که صدمه ناشی از تابش قرار گرفتن خارجی باشد یعنی تابش از خارج به تمام بدن وارد شود، یا تابش داخلی مربوط به تابش اشعه‌ای است که از ایزوتوپ‌های رادیواکتیو جذب شده در بدن ناشی می‌شود [3].



۱-۱- پرتوگیری داخلی

تابش داخلی زمانی ایجاد می‌شود که بدن از داخل یا از خارج با یک ماده‌ی پرتوزا آغشته شده باشد. از این رو، حفاظت در برابر تابش داخلی با جلوگیری از آلودگی یا آغشتگی مواد پرتوزا یا کمینه سازی آن، در تماس با سطح بدن و یا در داخل بدن افراد سر و کار دارد [3].

الف- دز ناشی از بلع

در شبیه‌سازی‌های مربوط به بلع گروه مواد غذایی سبزیجات، غلات، ریشه‌ها، گیاهان، گوشت و شیر چهارپایان مورد توجه قرار می‌گیرد [4].

ب- دز ناشی از استنشاق

دزی که هم از طریق رادیونوکلوئیدهایی که در اتمسفر وجود دارند و هم از طریق ایزوتوپ‌های رسوب کرده که دوباره معلق شده، افراد از طریق استنشاق دریافت می‌کنند توسط رابطه زیر بیان می‌شود [4].

$$D_{in} = C_A * V_B * DC_{inh} * (1 - F_{ind} + F_{ind} * r_{ind})$$

D_{in} : دز استنشاق کل بر حسب سیورت

C_A : غلظت هوا در مجموع زمان بر حسب بکرل بر متر مکعب در روز

V_B : آهنگ تنفس (۲۳ متر مکعب بر روز)

DC_{inh} : ضریب تبدیل دز برای استنشاق برای یک هسته پرتوزا بر حسب سیورت بر بکرل

F_{ind} : کسری از زمان که در داخل حفاظ گذرانده می‌شود و برابر با ۰/۷ است.

r_{ind} : ضریب کاهش برای هوای داخل

۱-۲- پرتوگیری خارجی

تابش خارجی عبارت است از تابشی که از ماشین‌های پرتو X و دیگر دستگاه‌هایی که مشخصاً برای تولید تابش طراحی شده‌اند، یا از دستگاه‌هایی مانند میکروسکوپ الکترونی که تولید پرتو X از اثرات جانبی آنهاست، و همچنین از ایزوتوپ‌های پرتوزا سرچشمه می‌گیرد. اگر ختنی سازی و از بین بردن چشمه‌ی تابشی عملی نباشد، آنگاه با به کار بردن همزمان یکی از سه روش زیر می‌توان پرتوگیری افراد را در برابر تابش خارجی تحت کنترل درآورد: الف- به حداقل رساندن زمان پرتوگیری ب- به حداکثر رساندن فاصله از چشمه تابش ج- حفاظ گذاری پیرامون چشمه‌ی تابش [3].

- پرتوگیری خارجی از توده پرتوزا

دز ناشی از یک پرتوگیری خارجی از یک توده پرتوزا توسط رابطه زیر قابل بیان است [4].



$$D_{\text{ectcl}} = C_A F_{\text{ind}} * DC_{\text{ectcl}} * (1 - F_{\text{ind}} + * F_{\text{builcl}})$$

D_{ectcl} : دز ناشی از پرتوگیری خارجی از توده پرتوزا از هسته بر حسب سیورت

C_A : غلظت هوا برای هسته پرتوزا بر حسب بکرل بر متر مکعب در ثانیه

DC_{ectcl} : ضریب تبدیل دز برای واحد غلظت هوا برای دز تابشی خارجی برای توده‌ای نامحدود بر حسب سیورت بر ثانیه بر بکرل بر متر مکعب

F_{ind} : کسری از زمان که در داخل حفاظ گذرانده می‌شود که برابر با ۰/۷ است.

F_{builcl} : ضریب کاهش متوسط داخل ساختمان از تابش خارجی توده‌ها که برابر با ۰/۷ در نظر گرفته می‌شود.

- پرتوگیری خارجی از پرتوزایی ته نشست شده

دز تابش خارجی ناشی از پرتوزایی ته نشست شده بر روی زمین در طی سه دوره حساب می‌شود:

دوره اول: برای یک دوره یک ماهه پس از ته نشست

دوره دوم: بازه زمانی یازده ماهه از ماه دوم تا یک سال پس از ته نشست

دوره سوم: یک سال پس از ته نشست تا پایان دوره محاسبه

دز خارجی ته نشست شده توسط رابطه‌ی زیر محاسبه می‌شود [4].

$$D_{\text{extso}} = DC_{\text{exso}} * Q_A * [1 - F_{\text{ind}} * (1 - F_{\text{builcl}})] * \frac{e^{-\lambda * t_i} - 1 - e^{-\lambda * t_i}}{\lambda} * F_{\text{run offi}} * F_{\text{penei}}$$

D_{extso} : دز ناشی از پرتوگیری خارجی از هسته پرتوزای خاص که بر روی زمین ته نشست کرده است.

DC_{exso} : ضریب تبدیل دز برای پرتوگیری خارجی سطح آلوده برای هسته پرتوزای خاص

Q_A : ته نشست کل برای هسته پرتوزای خاص بر واحد سطح (بکرل بر متر مربع)

F_{ind} : کسری از زمان که در داخل حفاظ گذرانده می‌شود و برابر با ۰/۷ می‌باشد.

F_{builcl} : ضریب کاهش برای حفاظ سازی داخل ساختمان که برابر ۰/۳ می‌باشد.

$F_{\text{run offi}}$: ضریب تصحیح برای جریان آب در نواحی شهری، در ماه اول این ضریب برابر با ۱ می‌باشد.

F_{penei} : ضریب حفاظ سازی ناشی از نفوذ هسته‌های پرتوزا بر روی زمین (دوره اول ۱، دوم ۰/۵ و سوم ۰/۳۷)

T_i و T_{i-1} : زمان‌های شروع و پایان دوره i ام.

۲- مدل HYSPLIT

مدل HYSPLIT در آزمایشگاه تحقیقات هوایی سازمان ملی اقیانوسی و جوی ایالات متحده (NOAA) برای محاسبه‌ی

مسیر حرکت بسته‌های هوا یا انفعال پراکندگی و ته نشست آلودگی‌ها توسط دراکسلر و هس در سال ۱۹۹۷ توسعه پیدا

کرد [2].



۱-۲- پارامترهای ورودی HYSPLIT

الف- سورس ترم

بعضی از کاراکترهای راکتور مورد بررسی در جدول ۱ نشان داده شده است [6].

ب- داده‌های هواشناسی

مرکز ملی خدمات هواشناسی برای پیش بینی محیط زیست (NECP) ایالات متحده، مجموعه‌ای از تجزیه و تحلیل‌های کامپیوتری و عملیات پیش بینی را انجام می‌دهد. آزمایشگاه تحقیقات هوایی مرکز ملی جوی و اقیانوسی ایالات متحده (NOAA ARL)، برای محاسبات مدل‌سازی پراکندگی و انتقال نمونه‌های هوا از مدل HYSPLIT استفاده می‌کند. از سال ۱۹۸۹ آزمایشگاه تحقیقات هوایی آغاز به جمع آوری بعضی از این داده‌های هواشناسی به منظور مطالعات تحقیقاتی در آینده نمود. یکی از این سیستم‌ها، سیستم یکسان سازی داده‌های هواشناسی (GDAS) می‌باشد که در این تحقیق از آن استفاده می‌کنیم [2].

جدول (۱) بعضی از مشخصات راکتور تحقیقاتی مورد نظر

۵۷	ارتفاع فیزیکی دودکش (متر)
۸/۷	سرعت خروج رادیونوکلئید (متر بر ثانیه)
۱/۲۵	شعاع دودکش (متر)
۱۸	دمای بالای دودکش (درجه سلسیوس)
۲	سرعت باد در دهانه دودکش (متر بر ثانیه)

۲-۲- مشخصات سایت مورد نظر

از آنجایی که راکتور مورد نظر در حال طراحی مفهومی است و به راکتور تهران بسیار شبیه می‌باشد، بنابراین از مشخصات راکتور تحقیقاتی تهران استفاده می‌کنیم. یکی از مهمترین اقداماتی که قبل از احداث یک سایت هسته‌ای مدنظر قرار دارد، انتخاب مکانی مناسب برای احداث آن می‌باشد. یکی از سایت‌های پیشنهادی برای ساخت راکتور تحقیقاتی فارس موقعیت جغرافیایی باجگاه، در عرض جغرافیایی 29.72 N و طول جغرافیایی 52.59 E می‌باشد.

۳- سناریوی حادثه

همان طور که قبلاً ذکر شد در این تحقیق از مشخصات و ویژگی‌های راکتور تحقیقاتی تهران استفاده می‌کنیم. در حال حاضر که راکتور تحقیقاتی تهران تنها دارای یک سیستم خاموشی است دو حادثه قابل تصور که وقوع آنها می‌تواند سبب آسیب به قلب شود، سقوط یکی از بسته‌های سوخت کنترلی به درون قلب یا باز شدن بیجای دریچه فلاپر و عدم کارکرد سیستم خاموشی اول راکتور در هر دو حالت است. حادثه اول می‌تواند بر اثر بادکردگی مجموعه



سوخت کنترل‌سی و در نتیجه بالا آمدن آن هنگام بیرون کشیدن میله کنترل اتفاق بیفتد. حادثه باز شدن نایجای شیر فلاپر و عدم عملکرد سیستم خاموشی اول راکتور که از حوادث فراتر از مبنای طراحی است، در حالت بدبینانه می‌تواند سبب ذوب ۱۰ درصد قلب شود [5].

۴- نتایج

الف- از تعداد ۳۶۶ خروجی برای غلظت و ته نشست، از هر ماه روزی که بیشترین غلظت را در ارتفاع ۱/۵ متری از سطح زمین و بیشترین میزان ته نشست را روی سطح زمین داشت، به عنوان معیار برای انجام محاسبات انتخاب شد، برای شرایط حادثه میزان انتشار مواد رادیو اکتیو را ۵ ساعت و کل زمان اجرای برنامه را ۴۸ ساعت در نظر گرفته شد. مطابق جدول زیر از هر ماه یک روز انتخاب شد و محاسبات دز بر اساس این روزها انجام شد.

جدول (۲): میزان غلظت و ته نشست در شرایط حادثه برای روزهای مورد بررسی

ردیف	ماه	روز انتخابی	ماکزیمم غلظت (Bq/m^3)	ماکزیمم ته نشست (Bq/m^2)
1	ژانویه	18	3.02E+04	2.07E+03
2	فوریه	17	3.14E+04	1.88E+03
3	مارس	3	2E+04	3.16E+02
4	آوریل	8	5.21E+03	3.36E+02
5	می	16	5.59E+03	9.92E+02
6	ژوئن	28	2.1E+03	2.62E+02
7	جولای	21	3.62E+03	2.03E+02
8	اگوست	27	3.8E+03	3.46E+02
9	سپتامبر	21	1.31E+03	9.29E+01
10	اکتبر	11	3.7E+02	1.9E+02
11	نوامبر	12	3.5E+04	2E+03
12	دسامبر	24	2.65E+03	1.1E+03

جدول (۳): مقادیر دز بیشینه و فاصله از راکتور برای بدترین روزهای هر ماه پس از حادثه

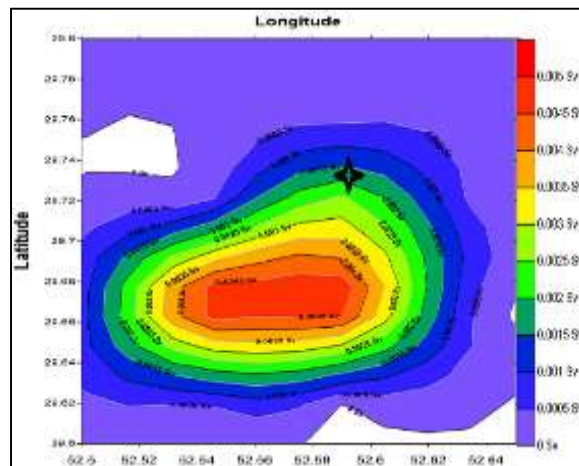
ماه	روز مورد بررسی	دز بیشینه (میلی سیورت)	طول جغرافیایی	عرض جغرافیایی	فاصله از راکتور
ژانویه	۱۸	۵,۱۴	۵۲,۴۹	۲۹,۶۷	۱۰ کیلومتری جنوب غربی
فوریه	۱۸	۵,۱	۵۲,۵۴	۲۹,۶۲	۱۲ کیلومتری جنوب
مارس	۳	۴,۹۷	۵۲,۴۹	۲۹,۷۲	۹,۵ کیلومتری غرب
آوریل	۸	۰,۸۳	۵۲,۵۹	۲۹,۶۷	۵,۵ کیلومتری جنوب
می	۱۶	۱,۲	۵۲,۵۹	۲۹,۶۲	۱۱ کیلومتری جنوب
ژوئن	۲۸	۰,۶۲	۵۲,۵۴	۲۹,۶۷	۸ کیلومتری جنوب غربی



۱۴٫۵ کیلومتری جنوب غربی	۲۹٫۶۲	۵۲٫۴۹	۰٫۳۱	۲۱	جولای
۱۹ کیلومتری جنوب غربی	۲۹٫۵۷	۵۲٫۴۹	۰٫۷	۲۷	آگوست
۷ کیلومتری جنوب غربی	۲۹٫۶۷	۵۲٫۵۴	۰٫۲۵	۲۱	سپتامبر
۲۲ کیلومتری جنوب	۲۹٫۵۲	۵۲٫۵۹	۰٫۰۷۶	۱۱	اکتبر
۵٫۵ کیلومتری جنوب	۲۹٫۶۷	۵۲٫۵۹	۵٫۲۷۵	۱۲	نوامبر
۷٫۵ کیلومتری جنوب غربی	۲۹٫۶۷	۵۲٫۵۴	۰٫۲۵	۲۴	دسامبر

ب- انتخاب بدترین روز از نظر فیزیک بهداشت در شرایط وقوع حادثه

در بین ۱۲ روز انتخاب شده بین ماه‌های سال ۱۲ نوامبر به دلیل داشتن ماکزیمم غلظت در ارتفاع ۱٫۵ متری از سطح زمین و ماکزیمم ته نشین است بر روی سطح زمین نسبت به بقیه روزها به عنوان بدترین روز در نظر گرفته شد. دزمعادل موثر سالانه در نواحی اطراف راکتور با رنگهای مختلف با مرکزیت نیروگاه نشان داده شده است. مکان نیروگاه با علامت ستاره مشخص شده است.



شکل (۱): نمودار توزیع دز در اطراف راکتور در ۱۲ نوامبر پس از وقوع حادثه

بحث و نتیجه گیری

دز معادل موثر کل برای یک راکتور تحقیقاتی نوعی ۵ مگاواتی در شهر شیراز با استفاده از داده‌های نشت محصولات شکافت به محیط در صورت وقوع یک حادثه که منجر به ذوب ده درصدی قلب راکتور گردد، کد محیطی HYSPLIT و داده‌های هواشناسی NOAA (GDAS) در سال ۲۰۱۶ محاسبه شد. از دیگر نتایج می‌توان به تاثیر باد و شرایط جوی بر میزان غلظت اشاره کرد. در نتایج شبیه‌سازی‌ها نشان داده شده است که ماکزیمم غلظت اطراف راکتور با سرعت باد رابطه عکس دارد. با افزایش سرعت باد مقدار غلظت کاهش یافته و پراکندگی در فاصله‌ی بیشتری از راکتور اتفاق افتاده است



و بالعکس. توزیع مواد رادیو اکتیو در صورت وقوع یک حادثه، به شدت به شرایط آب و هوایی منطقه و آب و هوای محل احداث راکتور بستگی دارد. پیش بینی شرایط پس از وقوع یک حادثه‌ی فرضی، قبل از اینکه حادثه رخ دهد امری غیر طبیعی است زیرا شرایط آب و هوایی در روز حادثه ثابت و پایدار نیست.

مراجع:

- [1]. International Atomic Energy Agency, IAEA –TECDOC-379, Atmospheric Dispersion Models for Application in Relation to Radionuclide Releases, 1986.
- [2]. Peterson, R.A. and J.D. Stackpole, overview of the NMC Production Suite Weather and Forecasting. 4(313-322), 1989.
- [3]. Teodori, F., Sumini, M., GENII-LIN project: A multipurpose health physics code to estimate radiation dose and risk from environment contamination, Radiation Phys. & Chem. 104, 15-22, 2004.
- [4]. Slaper, H., Blaauboer R.O., Eggink G.J., A Risk Assessment Method for Accidental Releases from Nuclear Power Plant in Europe, 1994.
- [5]. Sadeghi, N., Sadrnia, M., & Khakshournia, S. (2013). Radiation dose calculations for an accidental release from the Tehran Research Reactor. *Nuclear Engineering and Design*, 257, 67-71.
- [6]. AEOI, Safety Analysis Report for the Tehran Research Reactor (LEU), Tehran, Iran, 2001.