



۳ و ۴ اسفند ماه ۱۳۹۰
پژوهشگاه کاربردی پروتا (یزد)



Nuclear Society of Iran
18th Iranian's Nuclear Conference
22-23 February, 2012

Nuclear Science and Technology Research Institute
Radiation Applications Research School

18th Iranian's Nuclear Conference

محاسبه دز مؤثر در سانحه هسته‌ای فوکوشیما با استفاده از کد محاسباتی MCNP و مقایسه با نتایج تحلیلی

کیانی نسب، میترا* - رفعت متولی، لاله* - میری حکیم آباد، سید هاشم - بابازاده طلوتی، سمانه
دانشگاه فردوسی مشهد، دانشکده علوم پایه، گروه فیزیک

چکیده:

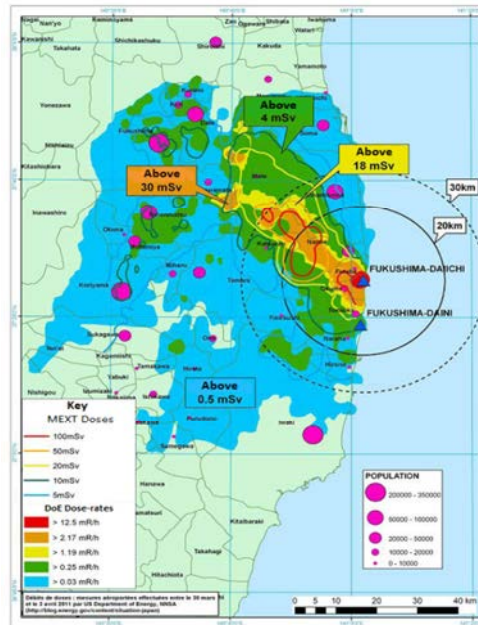
سانحه هسته‌ای فوکوشیما ژاپن سبب انتشار مقادیر قابل ملاحظه‌ای ایزوتوپ‌های پرتوزا در محیط اطراف شده است. حضور این ایزوتوپ‌ها در محیط اطراف مشکلات اساسی را برای انسان به وجود می‌آورد. از این رو با بهره‌گیری از فانتوم مرجع ORNL مقدار انرژی ذخیره شده توسط ۲۰ ایزوتوپ شکافت را در بدن با استفاده از کد محاسباتی MCNP-4C در پنج عمق آلودگی متفاوت محاسبه و اندازه‌گیری می‌کنیم. در نهایت با رسم نمودار دز مؤثر برحسب عمق آلودگی، اثر نفوذ ایزوتوپ‌ها به درون خاک بررسی خواهد شد. از مقایسه داده‌های موجود با نتایج به دست آمده به روش تحلیلی درمی‌یابیم که دلیل عمده یکسان نبودن داده‌ها، تفاوت در روش محاسبه دز می‌باشد. کلمات کلیدی: ایزوتوپ، دز مؤثر، عمق آلودگی، کد MCNP

مقدمه:

سانحه هسته‌ای فوکوشیما در تاریخ ۱۵ مارس سال ۲۰۱۱ در ژاپن اتفاق افتاد و موجب شد مقدار زیادی ایزوتوپ پرتوزا در محیط اطراف پراکنده شده و روی سطح زمین ریزش کند. پرتوهای خروجی از ایزوتوپ‌ها با احتمال زیادی با اعضای مختلف بدن انسان برهم‌کنش کرده و اثرات مخربی را به وجود می‌آورند. برای برآورد صحیح آسیب‌های تابش ناشی از انتشار ایزوتوپ‌ها، کمیت‌های دزسنجی معرفی می‌شوند. کمیت پایه برای انجام محاسبات دزسنجی دز جذبی می‌باشد که به صورت متوسط انرژی ذخیره شده توسط پرتو در واحد جرم عضو تعریف می‌شود. کمیت دیگری که برای اهداف این پژوهش مورد استفاده قرار می‌گیرد دز مؤثر است. دز مؤثر عبارت است از مجموع حاصل ضرب دز معادل و ضریب وزنی بافت، و برای کل بدن تعریف شده است.

در شکل ۱ شمایی از دز مؤثر در اولین سال در اطراف مکان سانحه نشان داده شده است [۱]. عوامل متعددی از جمله جهت باد و فاصله از مکان سانحه در دز مؤثر تأثیرگذار است. همان‌طور که مشاهده می‌شود حتی در

نواحی دور از سانحه نیز مقدار دز مؤثر بیشتر از دز مجاز سالانه پیش‌بینی شده است. از این رو در اختیار داشتن داده‌های دزسنجی دقیق برای برآورد میزان تخریب بسیار ضروری است.



شکل ۱- نقشه میزان دز مؤثر در نواحی اطراف مکان سانحه فوکوشیما

روش کار :

ایده‌ی محاسبه و اندازه‌گیری آسیب‌های تابش ناشی از سوانح هسته‌ای از سال ۱۹۷۴ توسط دیلمن مطرح شد [۲]. دیلمن و چندین گروه دیگر با روش تحلیلی و به کمک حل معادله‌ی پخش بولتزمن نتایج خود را معرفی کردند. اما به علت استفاده از چندین تقریب برای حل معادله از جمله حذف فانتوم از محاسبات میدان تابش و در نظر گرفتن چشمه به صورت تک انرژی نمی‌توان به نتایج به دست آمده اطمینان کرد. به همین دلیل روش محاسبه از طریق کدهای محاسباتی مطرح شد. محاسبات این مطالعه توسط کد MCNP-4C، که براساس ترابرد ذرات به روش مونت کارلو است، انجام می‌گردد. برای این منظور باید هندسه مسئله به طور کامل شبیه‌سازی شود.

اولین نکته در شبیه‌سازی، انتخاب مناسب چشمه است. پرتوهای خروجی از چشمه شامل چهار نوع آلفا، بتا، گاما و تابش نوترونی هستند. با توجه به نفوذ زیاد پرتوی گاما نسبت به سایر پرتوها و این که بیش از ۹۰ درصد دز خارجی از تابش گاما ناشی می‌شود چشمه مورد بررسی باید ساطع‌کننده گاما باشد. در این تحقیق با انتخاب ۲۰ ایزوتوپ، محاسبات دز جذبی و دز مؤثر را با استفاده از فانتوم ORNL انجام می‌دهیم [۳].

هدف این مطالعه برآورد آسیب‌های تابش ناشی از ایزوتوپ‌هایی است که روی سطح زمین ریزش می‌کنند. اما باید به این نکته توجه کرد که در واقعیت، ایزوتوپ‌ها با احتمالی، که به شرایط محیطی بستگی دارد،



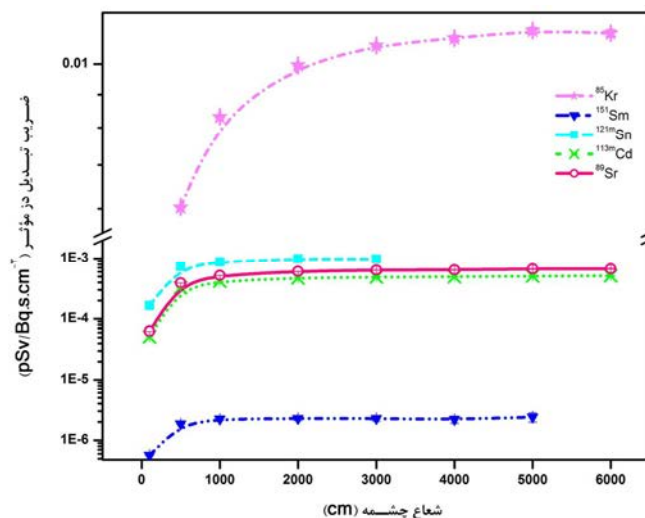
18th Iranian's Nuclear Conference

جذب خاک شده و پرتوزایی می‌کنند. بنابراین با محاسبه و اندازه‌گیری دز مؤثر در پنج عمق ۱، ۲، ۳، ۴ و ۵ سانتی‌متر و با انتخاب خاک با رطوبت نسبی ۶۵ درصد و چگالی $1/6 \text{ g/cm}^3$ اثر آلودگی ایزوتوپ‌ها در خاک بررسی خواهد شد.

به‌دلیل این‌که فوتون‌های خروجی از چشمه ممکن است با احتمالی وارد خاک شده و پس از برخورد با ذرات خاک به سطح زمین برگشته و پرتوزایی کنند، بنابراین، برای برآورد صحیح دز، تعیین اثر زمین نیز ضروری است. طبق گزارش سازمان انرژی اتمی ژاپن این مقدار حدود شش پویش آزاد متوسط پیشنهاد شده است [۴]. در نهایت برای انجام محاسبات دزسنجی، فانتوم دقیقاً روی سطح زمین قرار گرفته و چشمه به صورت استوانه روی سطح زمین و داخل خاک تعریف می‌شود. به عبارت مشخص، فرض بر این است که پرتودهی از پایین صورت می‌گیرد. نتیجه محاسبات با در نظر گرفتن درصد وزنی تولید ایزوتوپ‌ها در نیروگاه ارائه خواهد شد.

نتایج :

اولین مرحله برای ارائه داده‌های دزسنجی مورد اعتماد تعیین شعاع بهینه است. برای این منظور با رسم نمودار ضریب تبدیل دز مؤثر برحسب شعاع چشمه، اقدام به محاسبه و اندازه‌گیری این کمیت می‌نماییم. در شکل ۲ مقادیر شعاع بهینه چند ایزوتوپ به‌طور نمونه مشهود است.

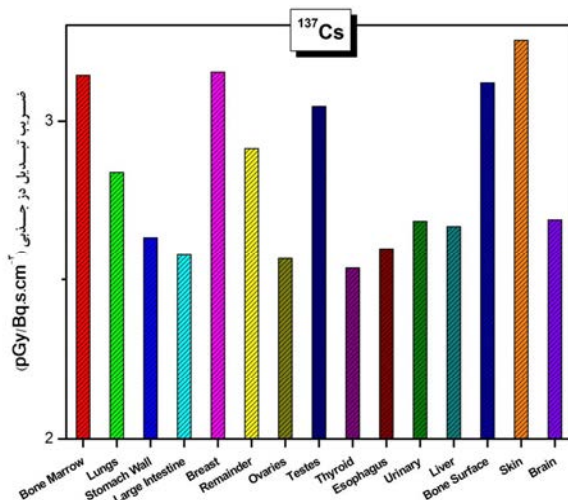


شکل ۲- نمودار ضریب تبدیل دز مؤثر برحسب شعاع چشمه

همان‌طور که در شکل مشاهده می‌شود این کمیت به انرژی پرتوهای گاما بستگی دارد. شعاع بهینه برای ایزوتوپ‌هایی که در یک محدوده انرژی قرار دارند یکسان است. از طرف دیگر با افزایش انرژی گاما به مقدار شعاع بهینه افزوده می‌گردد.

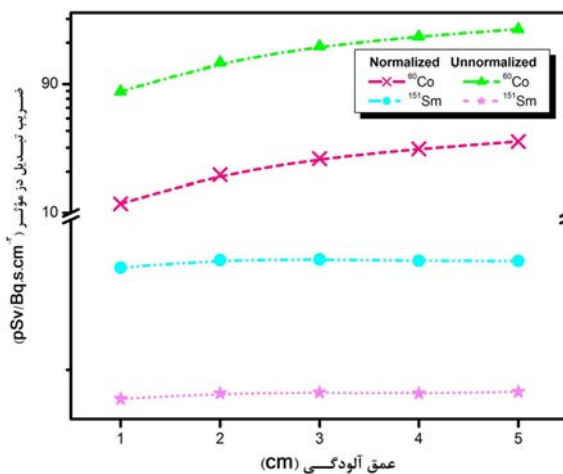
18th Iranian's Nuclear Conference

همان‌طور که قبلاً بیان شد دز جذبی به عنوان کمیت پایه‌ی دزسنجی معرفی گردید. در شکل ۳ ضریب تبدیل دز جذبی ناشی از پرتوگیری از ایزوتوپ ^{137}Cs نمایش داده شده است. با توجه به شکل ۳ مشاهده می‌شود اعضای سطحی و سراسری بدن، مانند پوست، سطح استخوان و سینه بیشترین مقدار دز را نسبت به سایر اعضا دریافت می‌کنند، به این دلیل که بیشتر در معرض پرتو قرار دارند.



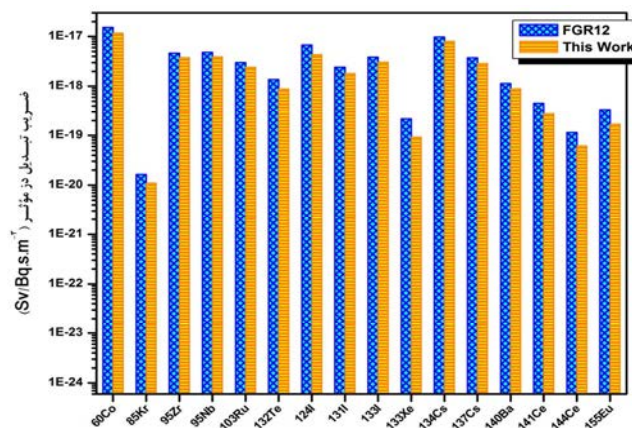
شکل ۳- نمودار ضریب تبدیل دز جذبی ناشی از انتشار ایزوتوپ ^{137}Cs در عمق آلودگی ۱ cm

نتایج کد محاسباتی MCNP با در نظر گرفتن غلظت یکسان برای تمام ایزوتوپ‌ها ارائه می‌شود. اما در واقعیت غلظت ایزوتوپ‌هایی که در نیروگاه تولید می‌شود بسیار متفاوت است. برای این که به برآورد دقیق‌تری از میزان آسیب برسیم باید نتایج ضریب تبدیل دز مؤثر براساس درصد وزنی تولید ایزوتوپ‌ها در نیروگاه بهنجار شود. در شکل ۴ نمودار ضریب تبدیل دز مؤثر برحسب عمق آلودگی در دو حالت بهنجار و نابهنجار با هم مقایسه شده است.



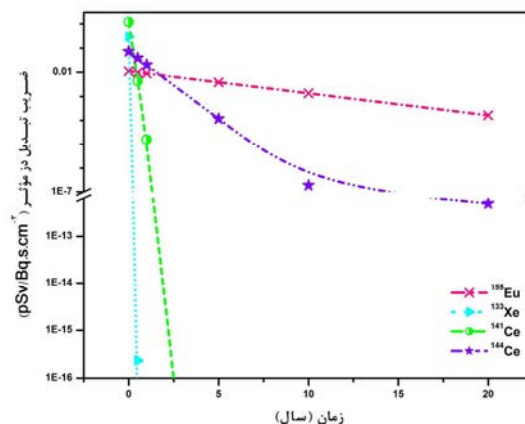
شکل ۴- نمودار ضریب تبدیل دز مؤثر برحسب عمق آلودگی با در نظر گرفتن درصد وزنی تولید در نیروگاه و بدون آن

با توجه به شکل ۴ مشاهده می‌شود میزان تغییرات ضریب تبدیل دز مؤثر با عمق آلودگی یکسان نیست. به این معنی که با بیشتر شدن عمق آلودگی تا ۵ برابر مقادیر دز مؤثر غالباً حدود ۲ تا ۳ برابر افزایش می‌یابد. در شکل ۵ مقایسه‌ای بین داده‌های دز مؤثر در این مقاله و نتایج به دست آمده به روش تحلیلی، که توسط اکرم و کریستی در سال ۱۹۹۳ انجام شده، صورت گرفته است. تفاوت ۱۰ تا ۵۰ درصدی در بعضی موارد به علت تفاوت در روش محاسباتی، حذف فانتوم از محاسبات تابش و نیز محاسبه برای چشمه تک انرژی در روش تحلیلی می‌باشد.



شکل ۵- مقایسه مقادیر دز مؤثر ایزوتوپ‌ها در عمق آلودگی ۱ سانتی‌متر

عامل دیگری که در برآورد میزان آسیب مؤثر است مدت زمان حضور ایزوتوپ‌ها در محیط است. نتایجی که تاکنون ارائه شده است مقدار دز مؤثر را دقیقاً پس از سانحه محاسبه و اندازه‌گیری کرده است. اما اثرات مخرب بعضی از ایزوتوپ‌ها، با توجه به نیمه‌عمرشان، تا مدت‌ها در محیط باقی می‌ماند. شکل ۶ ضریب تبدیل دز مؤثر چند ایزوتوپ را در زمان‌های مختلف پس از سانحه نشان می‌دهد.



شکل ۶- نمودار دز مؤثر در زمان‌های مختلف در عمق آلودگی ۲ cm

18th Iranian's Nuclear Conference

همانطور که در شکل نمایان است آسیب‌های تابش ناشی از ایزوتوپ‌ها با گذشت زمان تغییر می‌کند. با توجه به شکل مشاهده می‌شود پرتوزایی برخی از ایزوتوپ‌ها، مانند ^{133}Xe ، مربوط به زمان سانحه است. به این دلیل که نیمه‌عمر آن‌ها نسبتاً کوتاه است و خیلی زود از محیط حذف می‌شوند. اما ایزوتوپ‌هایی که نیمه‌عمر بالایی دارند، مانند ^{155}Eu و ^{144}Ce تا مدت زمان طولانی پس از سانحه در محیط باقی مانده و آلودگی ایجاد می‌کنند.

نگرانی جوامع بشری نیز پرتوگیری درازمدت از ایزوتوپ‌هایی است که در محیط پراکنده شده و اثرات زیان‌باری را به وجود می‌آورند.

بحث و نتیجه گیری :

وقوع سانحه‌ی هسته‌ای آسیب‌های جدی را برای انسان به وجود می‌آورد. حضور ایزوتوپ‌های با انرژی و نیمه‌عمر بالا در محیط بسیار خطرناک است. در سانحه‌ی هسته‌ای فوکوشیما حضور ایزوتوپ‌هایی مانند ^{60}Co ، ^{134}Cs و ^{131}I بیشترین آسیب را برای افراد ایجاد می‌کند. از طرف دیگر اعضای سطحی بدن مانند پوست بیشتر در معرض آسیب قرار دارند.

در این مطالعه اثر آلودگی ایزوتوپ‌ها در خاک مورد بررسی قرار گرفت. در اکثر ایزوتوپ‌ها افزایش عمق آلودگی موجب بیشتر شدن دز مؤثر گردید. اما برای ایزوتوپ‌های کم انرژی، افزایش عمق آلودگی در خاک تغییری در مقدار دز مؤثر حاصل از پرتوزایی آن‌ها ایجاد نکرد. به عنوان مثال، ضریب تبدیل دز مؤثر برای ایزوتوپ ^{151}Sm در عمق حدود ۲ سانتی‌متر به اشباع رسید.

مقدار کل ضریب تبدیل دز مؤثر تحت پرتوگیری خارجی از ۲۰ ایزوتوپ شکافت مطالعه شده در این مقاله در عمق آلودگی ۵ سانتی‌متری حدود $6/9 \times 10^{-4} \mu\text{Sv/Bq.s.cm}^{-3}$ تخمین زده شد. نتایج ارائه شده در این مطالعه براساس درصد وزنی تولید ایزوتوپ در نیروگاه بهنجار شده‌اند.

مراجع :

[۱] IRSN (Institut de Radioprotection et de Surete Nucleaire). "Assessment on the 66th day of projected external doses for populations living in the north-west fallout zone of the Fukushima nuclear accident." Report DRPH/ 2011-10. 2011.

[۲] Dillman, L. T. Absorbed gamma dose rate for immersion in a semi-infinite radioactive cloud. Health Phys. 27. 571-80. 1974.

[۳] Hashem Miri Hakimabad and Lalle Rafat Motavalli (2007). "Evaluation of specific absorbed fractions from Internal photon sources in ORNL analytical adult phantom"; Radiation Protection Dosimetry. vol. 128, No. 411. 2008.

[۴] Hung, T.V. Satoh, D. Takahashi, F. Tsuda, S. Endo, A. Saito, K. and Yamaguchi, Y). "Calculation of age-dependent dose conversion coefficients for radionuclides uniformly distributed in air"; JAERI-Tech, 2004-079, 2005.