

تخمین تعداد نمونه‌های مورد نیاز برای تعیین ضرایب مقیاس در پسمان عملیاتی نیروگاه اتمی بوشهر

کیقبادی، مهدی^(۱) - صمدفام، محمد*^(۱) - آقاییگی، حمیدرضا^(۲) - مفتون، ابوالفضل^(۳)

^۱ دانشگاه صنعتی شریف، دانشکده مهندسی انرژی، گروه مهندسی هسته‌ای

^۲ شرکت بهره برداری نیروگاه اتمی بوشهر

^۳ شرکت توسعه و ارتقاء ایمنی نیروگاه‌های اتمی (توانا)

چکیده:

در این پژوهش از دو روش آماری متفاوت برای تخمین تعداد نمونه‌های لازم برای تعیین ضرایب مقیاس هسته‌های پرتوزا در پسمان‌های عملیاتی نیروگاه اتمی بوشهر استفاده شد. تعداد نمونه‌های لازم بر مبنای روش اول (روش میتو) برابر ۱۰ و روش دوم (روش کاشیواگی) برابر ۲۰ بدست آمد. کلمات کلیدی: ضریب مقیاس، نیروگاه اتمی بوشهر، پسمان پرتوزا

مقدمه:

همه کشورهای عضو آژانس بین‌المللی انرژی اتمی موظف‌اند که برای همه پسمان‌های هسته‌ای تولیدی در نیروگاه‌های خود، قبل از دفن نهایی، عناصر اصلی پرتوزای موجود در پسمان به همراه سطح پرتوزایی آن‌ها را مشخص کنند. سطح پرتوزایی برخی از این عناصر (ETM^۱ Nuclide) با روش ساده و غیر مخرب طیف‌سنجی گاما از بیرون بسته پسمان قابل اندازه‌گیری می‌باشند؛ اما سطح پرتوزایی بسیاری از این عناصر (DTM^۲ Nuclide) که اغلب نیمه عمر طولانی هم دارند، تنها از طریق روش‌های رادیوشیمی قابل اندازه‌گیری هستند. بدیهی است اندازه‌گیری تجربی سطح پرتوزایی این نوع هسته‌ها برای تک تک بشکه‌های پسمان در عمل غیرممکن می‌باشد. یک روش کاربردی و آسان برای تعیین سطح پرتوزایی این گروه از عناصر (DTM) استفاده از روش ضریب مقیاس^۳ می‌باشد [۱].

روش ضریب مقیاس بر این فرض استوار است که نسبت غلظت هر یک از هسته‌های DTM به غلظت یکی از هسته‌های ETM (که به آن هسته کلیدی نیز گفته می‌شود) برای یک یا گروهی از جریان‌های پسمان همواره نسبت ثابتی است (به این نسبت ثابت، ضریب مقیاس گفته می‌شود)؛ بنابراین، غلظت هسته DTM

¹ easy to measure

² difficult to measure

³ Scaling Factor

مورد نظر از روی حاصل ضرب غلظت هسته کلیدی و ضریب مقیاس مربوطه تعیین می‌شود. معمولاً دو هسته Co-60 و Cs-137 به عنوان هسته‌های کلیدی انتخاب می‌شوند [۱].

برای تعیین ضرایب مقیاس باید تعدادی نمونه از جریان‌های مختلف پسمان گرفته شده و با انجام آنالیزهای رادیوشیمیایی، غلظت هسته‌های DTM در هر یک از نمونه‌ها تعیین گردد. بنابراین ضروری است تخمین مناسبی از تعداد نمونه‌های مورد نیاز برای تعیین ضرایب مقیاس به عمل آید [۱].

روش کار:

در این پژوهش برای تخمین تعداد نمونه‌های مورد نیاز برای تعیین ضرایب مقیاس، از دو روش آماری که توسط میتو^۱ و دیگران [۲] و کاشیواگی^۲ و دیگران [۳] توصیه شده است، استفاده شده است.

در روش اول، هسته‌های گاما زایی مانند Mn-54، Fe-59 و Co-58 که از بیرون بشکه‌های پسمان قابل اندازه‌گیری می‌باشند، به عنوان هسته‌های DTM مجازی و هسته‌های Co-60 و Cs-137 نیز به عنوان هسته‌های کلیدی در نظر گرفته شده‌اند. برای محاسبه حداقل تعداد نمونه مورد نیاز، M نمونه به صورت تصادفی از میان کل بشکه‌های موجود در پایگاه داده‌ها انتخاب شده و ضرایب مقیاس برای هسته‌های DTM مجازی آن‌ها محاسبه می‌شود. این عمل ۱۰۰۰ بار تکرار شده و ضریب مقیاس مینیمم (SF_{min})، ضریب مقیاس ماکزیمم (SF_{max}) و ضریب مقیاس میانگین (SF_{mean}) در میان این ۱۰۰۰ تکرار محاسبه می‌شود. برای بررسی تأثیر تعداد نمونه‌ها بر روی ضریب مقیاس ابتدا SF_{min} ، SF_{max} و SF_{mean} بر حسب تعداد نمونه (M) رسم می‌شود (شکل شماره ۱). سپس معیار زیر (عنوان شده در مرجع [۱]) مورد بررسی قرار می‌گیرد:

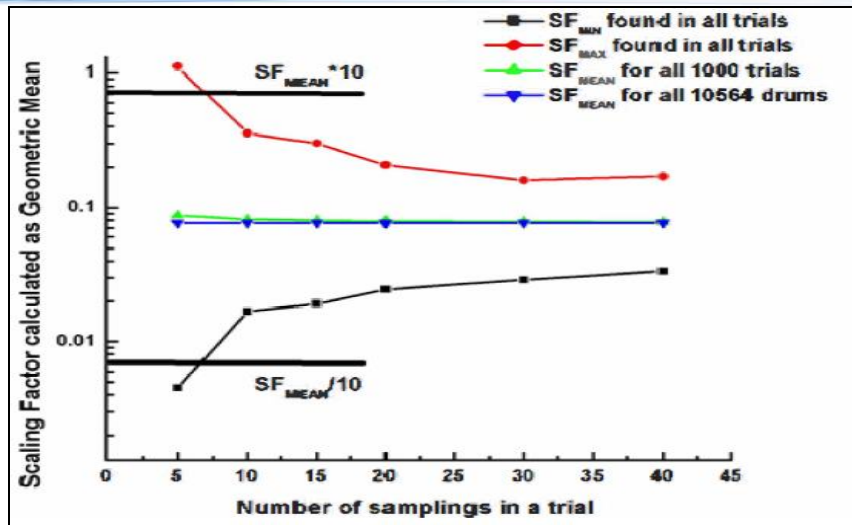
یک ضریب مقیاس کاربردی باید به صورتی باشد که ۹۵/۵ درصد داده‌ها در بازه بین ۰/۱ تا ۱۰ برابر ضریب مقیاس میانگین قرار گیرند.

$$\frac{SF_{mean}}{10} \leq (SF)_i \leq SF_{mean} \cdot 10 \quad (1)$$

مطابق شکل ۱ برای تعداد داده‌های بزرگ‌تر از ۱۰ معیار فوق ارضا شده است [۲].

¹ Mitev

² Kashiwagi



شکل شماره (۱) وابستگی ضریب مقیاس به تعداد نمونه [۲]

در پژوهش حاضر نیز هسته‌های گامزای موجود در پسمان نیروگاه بوشهر به عنوان هسته‌های DTM مجازی انتخاب شد و از شناسنامه‌های شبکه‌های پسمان نیروگاه بوشهر که حاوی میزان پرتوزایی هسته‌های گامزا می‌باشد، به عنوان پایگاه داده‌ها استفاده گردید.

در روش دوم که توسط کاشیواگی و دیگران ارائه شده، با استفاده از اصل بنیادی زیر تعداد نمونه‌های مورد نیاز تخمین زده می‌شود:

((افزایش تعداد داده‌ها، در صورتی که منجر به بهبود قابل ملاحظه‌ای نشود، توجیه ندارد.))

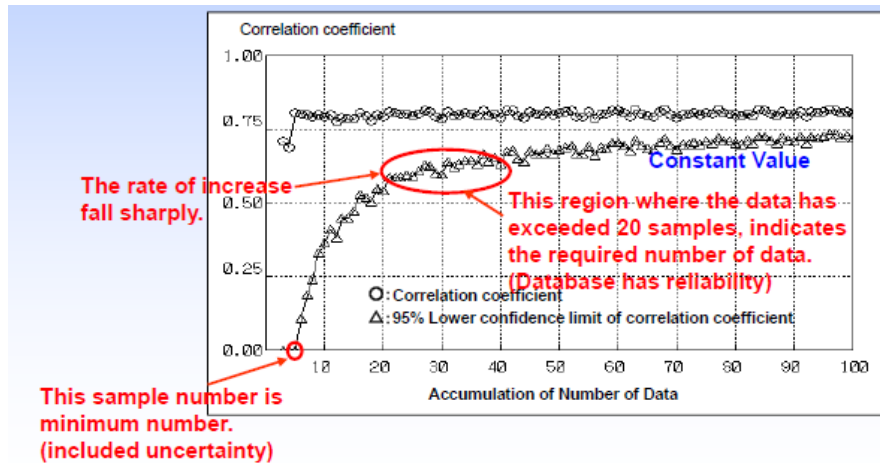
در ادامه باید این معیار کیفی به صورت یک معیار کمی در آمده و بوسیله آن تعداد نمونه‌های مورد نیاز تعیین گردد.

در روش ضریب مقیاس لازم است که در داده‌های جمع آوری شده برای هر هسته DTM بین آن هسته و هسته کلیدی یک همبستگی مناسب وجود داشته باشد. این همبستگی معمولاً با پارامتر ضریب همبستگی^۱ در نمودار پراکندگی بیان می‌شود؛ بنابراین برای تعیین تعداد نمونه‌های مورد نیاز تغییرات ضریب همبستگی و هم‌چنین تغییرات میزان پراکندگی آن با افزایش تعداد داده‌ها مورد بررسی قرار می‌گیرد.

به عنوان نمونه همانگونه که در شکل شماره ۲ مشاهده می‌شود، تعدادی نمونه به صورت تصادفی از پایگاه داده‌ای که قبلاً جمع آوری شده انتخاب شده و ضریب همبستگی بین هسته DTM و هسته کلیدی برای این تعداد داده محاسبه شده است. این محاسبات برای هر یک از نقاط نمودار ده‌ها بار تکرار شده مقدار میانگین ضریب همبستگی و حد پایین بازه اطمینان آن محاسبه شده است. بدین ترتیب با افزایش تعداد نمونه‌های تصادفی انتخاب شده از پایگاه داده‌ها در هر مرحله، می‌توان تأثیر افزایش داده را بر روی ضریب همبستگی و پراکندگی آن مشاهده نمود. در نهایت با توجه به وضعیت تغییرات این دو پارامتر، تعداد حداقل نمونه‌های

¹ Correlation Coefficient

مورد نیاز برای تعیین ضرایب مقیاس تعیین می گردد. به عنوان نمونه در شکل شماره ۲ برای تعداد نمونه های بیش تر از ۲۰، با افزایش تعداد نمونه تأثیر قابل توجهی روی ضریب همبستگی و حد پایینی بازه اطمینان آن مشاهده نمی شود؛ بنابراین حداقل تعداد نمونه مورد نیاز برابر ۲۰ عدد تعیین می گردد. [۳].

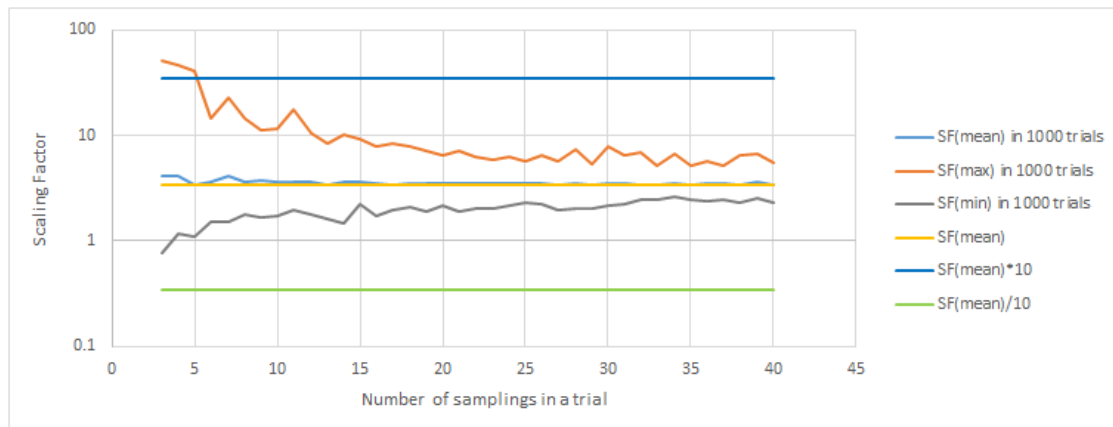


شکل شماره (۲) تأثیر تعداد نمونه بر ضریب همبستگی [۳]

نتایج:

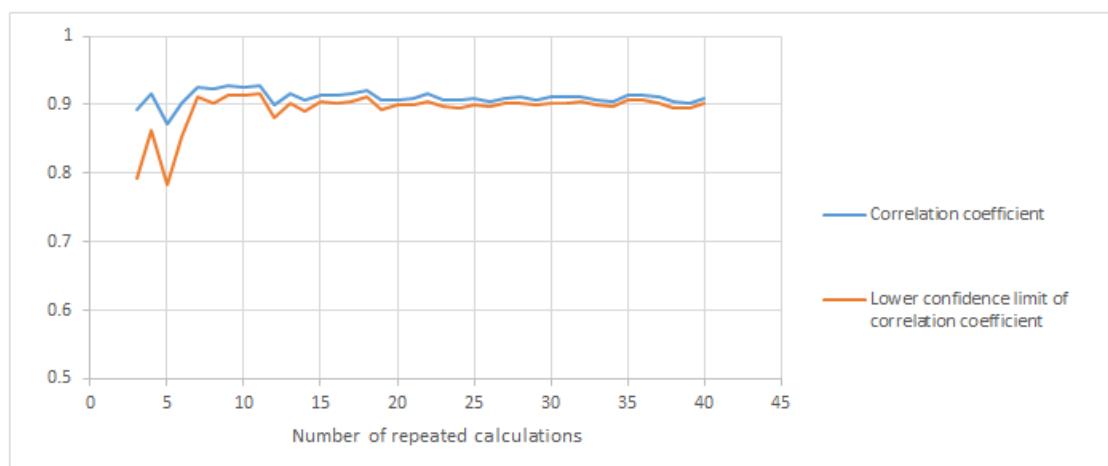
در این پژوهش، حداقل تعداد نمونه های مورد نیاز برای تعیین ضرایب مقیاس با هر دو روش ارائه شده توسط میتو و کاشیواگی تعیین شد. بدین منظور ابتدا ۷ هسته گاما شامل Cs-134, Nb-95, Zr-95, Fe-59, Zn-65, Co-58 و Mn-54 که دارای نیمه عمر نسبتاً طولانی بوده به عنوان هسته های DTM مجازی انتخاب و ضرایب مقیاس آنها تعیین شد. از شناسنامه های مربوط به شبکه های پسمان تولیدی نیروگاه بوشهر به عنوان پایگاه داده ها استفاده گردید.

در شکل شماره ۳ یک نمونه از نمودارهای مربوط به روش میتو در مورد هسته Mn-54 برای پسمان های نیروگاه بوشهر آورده شده است. تعداد نمونه های مورد نیاز برای تعیین ضریب مقیاس هسته Mn-54 طبق این نمودار برابر ۶ می باشد.



شکل شماره (۳) تعداد نمونه‌های مورد نیاز بر مبنای روش میتو در مورد هسته Mn-54

برای سایر هسته‌های DTM مجازی نیز نمودارهای مشابه به شکل ۳ بدست آمده سپس بزرگ‌ترین عدد (تعداد نمونه‌های مورد نیاز) از بین نمودارهای فوق به عنوان تعداد نمونه‌های مورد نیاز برای تعیین ضرایب مقیاس انتخاب شد. بر پایه این روش، تعداد نمونه‌های مورد نیاز برابر ۱۰ نمونه تعیین گردید. بر مبنای روش کاشیواگی، تعداد نمونه‌های لازم برای تعیین ضرایب مقیاس هسته Mn-54 در شکل شماره ۴ آورده شده است. بر طبق این شکل، حداقل تعداد نمونه مورد نیاز حدود ۱۳ می‌باشد. مشابه با روش میتو، نمودارهای مشابه شکل ۴ برای سایر هسته‌های DTM مجازی رسم شده و از بین آن‌ها بزرگ‌ترین عدد بدست آمده به عنوان تعداد نمونه‌های مورد نیاز برای تعیین ضرایب مقیاس هسته‌های DTM واقعی انتخاب گردید. بر پایه این روش، تعداد نمونه‌های مورد نیاز برابر ۲۰ نمونه تعیین گردید.



شکل شماره (۴) تعداد نمونه‌های مورد نیاز بر مبنای روش کاشیواگی در مورد هسته Mn-54

بحث و نتیجه گیری:

تعداد حداقل نمونه‌های مورد نیاز برای تعیین ضرایب مقیاس، بر طبق دو روش ارائه شده توسط میتو و کاشیواگی تعیین گردید. بر مبنای روش میتو این تعداد برابر ۱۰ نمونه و بر مبنای روش کاشیواگی ۲۰ نمونه

محاسبه شد. برای حصول اطمینان از ضرایب مقیاس تعیین شده، محافظه کارانه ترین مقدار از این بین یعنی ۲۰ نمونه را به عنوان نمونه‌های مورد نیاز برای تعیین ضرایب مقیاس تعیین می‌کنیم.

مراجع:

1. Series IN, Determination and use of scaling factors for waste characterization in nuclear power plants, IAEA, Vienna (No. NW-T-1.18), 2009.
2. Mitev, K., T. Boshkova, G. Gerganov, C. Andreev, N. Kirilova, E. Stoyanova, V. Zhivkova, M. Iliev, G. Neshovska, and G. Georgiev, Determination of scaling factors for low and intermediate level dry radioactive waste from kozloduy nuclear power plant, In Nuclear Science Symposium and Medical Imaging Conference (NSS/MIC), 2012 IEEE, pp. 66-73, IEEE, 2012.
3. Kashiwagi, M., and W. Müller, Considerations on the activity concentration determination method for low-level waste packages and nuclide data comparison between different countries, No. IAEA-CN--78. 2000.