



بررسی تغییر نگهدارنده آهنی همسوساز نوترونی کانال D راکتور تحقیقاتی تهران به آلومینیوم یا استیل با روش شبیه سازی

غلامزاده، زهره* - باورنگین، الهام

سازمان انرژی اتمی، پژوهشگاه علوم و فنون هسته‌ای، پژوهشکده راکتور و ایمنی هسته‌ای

چکیده:

حفاظ سازی مناسب برای سیستم های موجود در راکتور، از مسائل مهم رعایت اصل ALARA برای پرسنل پرتوکار مراکز هسته ای است. از آنجائیکه قطعه آهنی نگهدارنده همسوساز کانال D راکتور تحقیقاتی تهران، زنگ زده است و به دلیل قرارگیری در معرض شار نوترون به شدت اکتیو شده است، در این کار، امکانسنجی تعویض قطعه به استیل و یا آلومینیوم انجام شده است. از دو کد MCNPX و ORIGEN جهت بررسی اثرات تغییر ماده نگهدارنده بر شار نوترون و نیز دز گاما استفاده شده است. با استفاده از یک اندازه گیری تجربی و شبیه سازی توسط کد های محاسباتی، راستی آزمایی محاسبات انجام شده است. نتایج کار نشان می دهد که آلومینیوم می تواند گزینه مناسبی باشد.

کلمات کلیدی: راکتور تحقیقاتی تهران، نگهدارنده همسوساز کانال D، کد MCNPX

مقدمه:

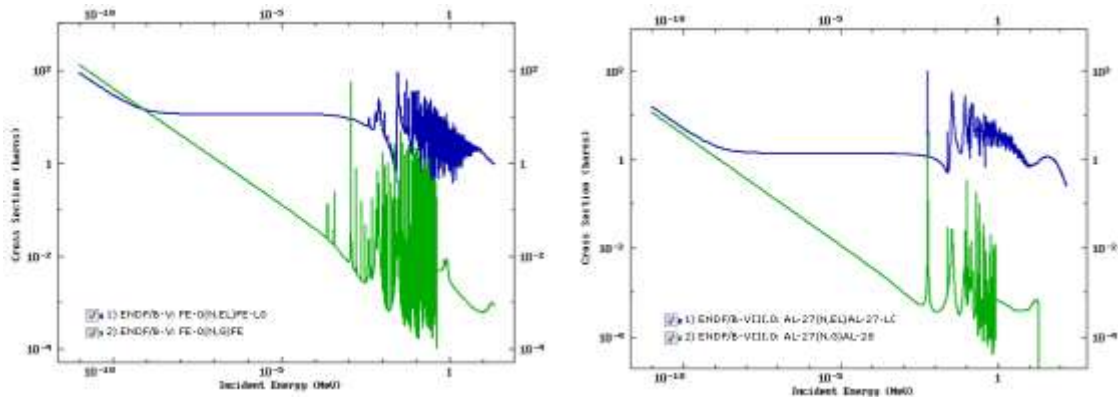
در یک پژوهش که توسط (Akkas (۲۰۱۵) و همکاران انجام شده است مطالعه مواد کامپوزیت بورالین (ماتریس کاربید بورون- آلومینیوم فلزی - Al/B_4C) به عنوان حفاظ اشعه گاما و نوترون مورد بررسی قرار گرفته است. در این بررسی، اثرات درصد کاربید بور در ماده و اندازه ذرات کاربید بور بر خاصیت کاهش گاما و نوترون مشخص شد. سایز دانه های کاربید بور به ترتیب ۳، ۵۳، ۱۱۳، ۲۰۰ و ۵۰۰ میکرومتر انتخاب شد و درصد آن در آلیاژ با آلومینیوم ۵، ۱۰، ۱۵، و ۲۰٪ انتخاب گردید. بررسی این گروه نشان می دهد در سایزهای کوچکتر درصد بالاتر یعنی ۲۰٪ مطلوب است و برای سایزهای درشت کاربید بور تفاوت قابل ملاحظه ای بین سایز ۲۰۰ میکرون و ۵۰۰ میکرون در ترکیب ۲۰٪ وجود ندارد. نتیجه گیری ها نشان داد که افزایش نسبت کاربید بور در کامپوزیت های بورالین باعث ضرایب میرایی خطی بالاتر می شود. علاوه بر این، کاهش اندازه ذرات کاربید بور باعث افزایش ضریب تضعیف گاما در برابر چشمه رادیوایزوتوپ گاما Cs-137 می شود. افزایش نسبت کاربید بور در کامپوزیت های بورالین باعث افزایش سطح مقطع نوترون ماکروسکوپی بالاتر می شود [۱].



در مطالعه دیگری (Reda ۲۰۱۶) یک ماده حفاظ حاوی آلومینیوم، آهن، مس و سرب به عنوان حفاظ اشعه گاما با روش شبیه سازی بررسی کرده است. این مطالعه نشان می‌دهد که ترکیب این مواد می‌تواند قابل مقایسه با حفاظ سربی بوده ضمن اینکه وزن آن بسیار کمتر از حفاظ سربی است [۲].

در کار تحقیقاتی انجام شده توسط Ashraf (۱۹۸۹) از سرب و فولاد (استیل) و آلومینیوم به عنوان مواد حفاظ برای پرتوهای نوترون و گاما استفاده شده است. در این کار بهینه کردن سیستم رادیوگرافی مدنظر بوده است و جسم نگهدارنده همسوساز با پر کردن محفظه استیل ضد زنگ با بتن با چگالی بالا ساخته شده است که این روش منجر به وضوح بهتری برای حصول تصویر رادیوگرافی گردیده است این کار بیان کرده است که می‌توان از مواد فسفر، آلومینیوم، برنز و فولاد (استیل ضد زنگ) به عنوان ماده جسم موازی کننده نوترونهای انرژی کمتر استفاده کرد [۳].

طبق مقایسه سطح مقطع‌های جذب و پراکندگی آلومینیوم خالص و آهن (شکل ۱) نتیجه می‌شود که نسبت جذب به پراکندگی هر دو ماده تقریباً می‌تواند در قسمتی از ناحیه انرژی به ویژه ناحیه نوترون سریع، مشابه هم باشد یا حتی در مورد آلومینیوم این مقدار می‌تواند بیشتر هم شود زیرا در قسمتی از ناحیه انرژی سریع، آهن بسیار پراکننده نوترون است لذا این مطلب نشان می‌دهد احتمالاً آلومینیوم بتواند جایگزین قطعه نگهدارنده آهنی گردد [۴].

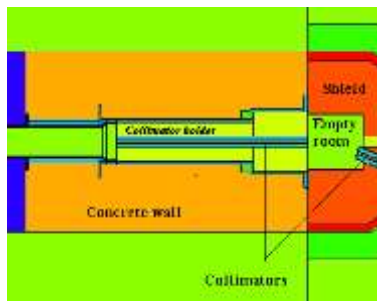


شکل ۱- مقایسه سطح مقطع جذب و پراکندگی دو ماده آهن و آلومینیوم؛ راست، آلومینیوم-چپ، آهن [۴].
از آنجائیکه بیشتر درصد وزنی استیل از آهن تشکیل شده است، رفتار استیل نزدیک آهن فرض گردید. لذا در این کار، بررسی تغییر نگهدارنده آهنی به آلومینیوم و استیل هدف مطالعه قرار گرفته است و با تحلیل رفتار نوترونیک و حفاظ سازی هریک، معایب و مزایای هر ماده نگهدارنده بحث و بررسی خواهد شد.



روش کار :

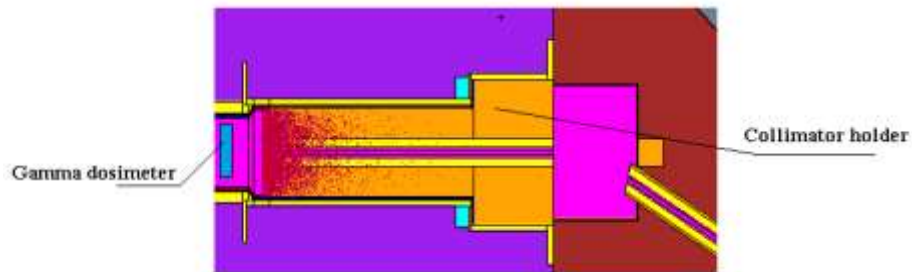
در شکل ۲ قطعه آهنی نگهدارنده همسوساز کانال D راکتور تحقیقاتی تهران نشان داده شده است. همسوساز نوع سولر کانال D راکتور تهران با جزئیات توسط کد MCNPX2.6.0 شبیه‌سازی شد. کد MCNPX قادر به ترابرد ۳۴ ذره به روش مونت کارلو و نیز شبیه‌سازی انواع موضوعات مرتبط با راکتورهای هسته‌ای، شتابدهنده‌ها، بررسی تولید رادیوایزوتوپها، تصویربرداری‌های نوترون و گاما و بسیاری از موارد دیگر است [۵]. تغییرات شار نوترون پس از همسوساز با تغییر جنس آن محاسبه گردید. با استفاده از کد ORIGEN2.1 تغییرات طیف فوتون قطعه نگهدارنده که در معرض شار نوترون در حدود 10^{10} n/s.cm² قرار گرفته است، بررسی گردید و رفتار پرتوزایی هر یک از مواد نگهدارنده مختلف پس از خاموشی راکتور مورد بررسی قرار گرفت. کد ORIGEN یک کد کامپیوتری Point-depletion برای محاسبات واپاشی مواد رادیواکتیو است که توسط ORNL در اوائل دهه ۱۹۷۰ توسعه داده شده است. این کد در شبیه‌سازی چرخه‌های سوخت هسته‌ای بکار برده شده است. این کد در آزمایشگاه ملی برای راکتورهای موجود، از جمله راکتورهای تحت فشار، راکتورهای آب جوشان، راکتورهای زاینده نمک مذاب و راکتورهای دوتریم-اورانیوم استفاده می‌شود [۶]. سه ماده نگهدارنده مختلف که عبارتند از آهن، آلومینیوم-۶۰۶۱ و استیل ۳۱۶ در این کار بررسی شد و رفتار نوترونیکی و پرتوزایی آنها با هم مقایسه شد. در نهایت با اندازه‌گیری دز قطعه آهنی تخریب شده که نیاز به تعویض دارد و مقایسه آن با مقدار حاصل از شبیه‌سازی انجام شده توسط کدهای محاسباتی، محاسبات انجام شده راستی‌آزمایی گردید.



شکل ۲- شبیه‌سازی کانال D به همراه همسوساز و نگهدارنده همسوساز نصب شده در آن

در شبیه‌سازی دز قطعه، تاریخچه پرتودهی و خنک‌شوندگی آن در کد ORIGEN اعمال گردید و شدت فوتون گسیل شده از چشمه از کد مذکور استخراج شده و به عنوان چشمه‌نمایی (زیرا شار نوترون روی قطعه به صورت نمایی کاهش می‌یابد) در طول قطعه نگهدارنده در کد MCNPX تعریف گردید (شکل ۳) و دز قطعه در قسمت ابتدایی آن

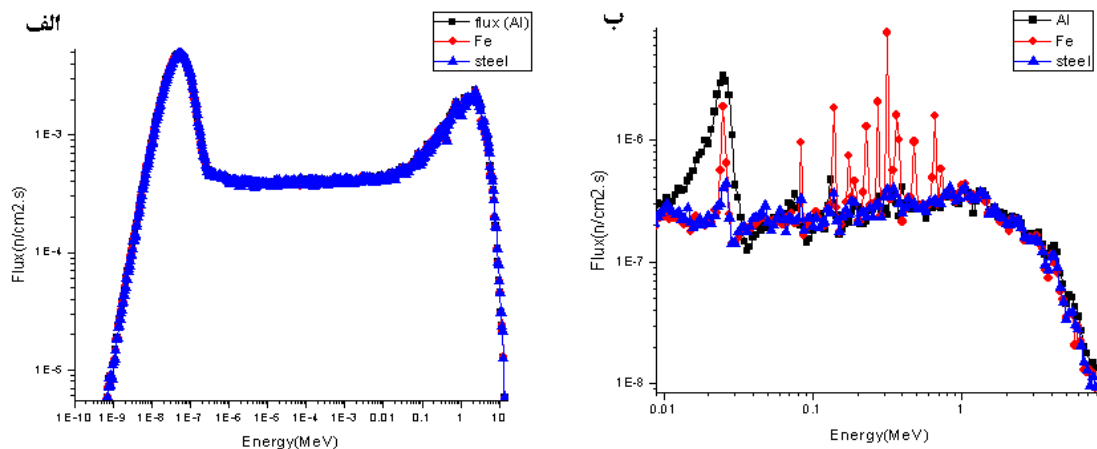
محاسبه گردید و با مقدار تجربی مقایسه شد. از ضرایب تبدیل شار به دز ICRP21 برای محاسبه دز گامای قطعه اکتیو شده استفاده گردید.



شکل ۳- شبیه سازی چشمه گاما روی نگهدارنده همسوساز نوترون به منظور محاسبه دز گاما

نتایج :

در شکل ۳ تغییرات طیف نوترون پس از عبور از نگهدارنده همسوساز برای ۳ ماده نگهدارنده آهن، استیل و آلومینیوم محاسبه و مقایسه شده است. شار در مقابل قسمت ماده نگهدارنده درون یک حجم استوانه‌ای تعریف شده محاسبه شد. چشمه نوترونها پشت نگهدارنده و به صورت موازی تعریف شد تا بتواند وضعیت تغییر طیف نوترونها را بعد از عبور از ماده نگهدارنده به صورت واضح‌تری مشخص نماید. همچنانکه شکل ۳ نشان می‌دهد تغییر قطعه نگهدارنده به آلومینیوم تغییر خاصی از لحاظ کاهش حفاظ نوترون ایجاد نکرده است.

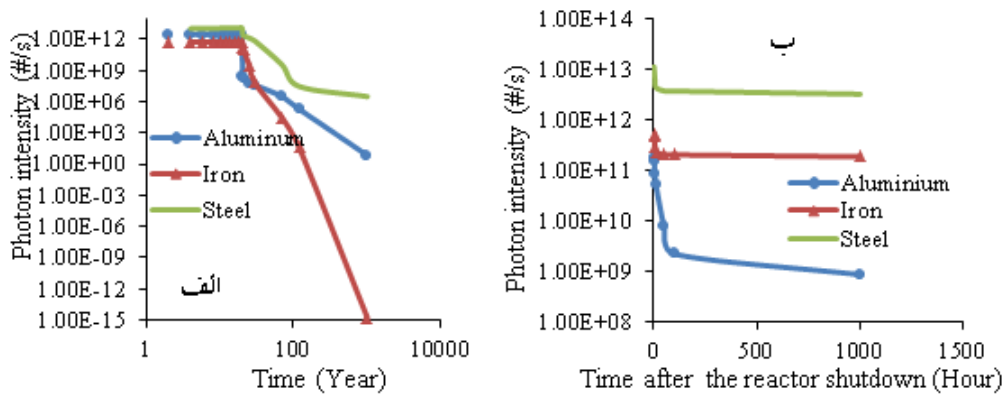


شکل ۴- تغییرات طیف نوترون (الف) در مقابل دهانه خروجی همسوساز با نگهدارنده از جنس مختلف مواد (ب) بعد از نگهدارنده همسوساز با جنس مختلف مواد



همچنین تغییرات طیف نوترون در مقابل همسوساز به جهت بررسی تاثیرات پراکندگی مواد مختلف بر شار نوترون مقابل دهانه همسوساز بررسی شد که محاسبات نشان داد شار نوترون مقابل دهانه خروجی همسوساز به واسطه تغییر ماده نگهدارنده تغییر نمی‌کند (شکل ۴-ب).

در ادامه به بررسی میزان اکتیوشن قطع و نیز پرتوایی آن پس از خاموشی راکتور می‌پردازیم. در شبیه‌سازی توسط کد ORIGEN در ابتدا فرض شد قطع به مدت ۲۰ سال در معرض شار متوسط نوترون 10^{11} n/s.cm² قرار گیرد. در شکل ۴ رفتار پرتوایی این نگهدارنده با مواد مختلف نشان داده شده است. همانطوریکه شکل ۴ نشان می‌دهد دقیقاً بعد از ۲ سال همه مواد به تعادل می‌رسند یعنی میزان اکتیویته آنها تا ۲۰ سال در معرض شار نوترون تغییری نمی‌کند و پس از خاموشی طبق شکل افت شدت فوتون آلومینیوم بسیار سریع است درحالیکه پس از ۱۰ سال خنک‌شوندگی، شدت فوتون قطع آهن به سطح آلومینیوم می‌رسد. محاسبات نشان می‌دهد استیل ۳۱۶ که در این کار بررسی شده است قطع مناسبی نیست زیرا به شدت اکتیو می‌شود و شدت فوتون آن حدود ۱۰۰ برابر بیشتر از قطع آهنی در زمان روشن بودن راکتور است و هنگام خاموش شدن نیز رفتار خنک‌شوندگی آن بسیار بدتر از قطع آهنی است (شکل ۵-الف).



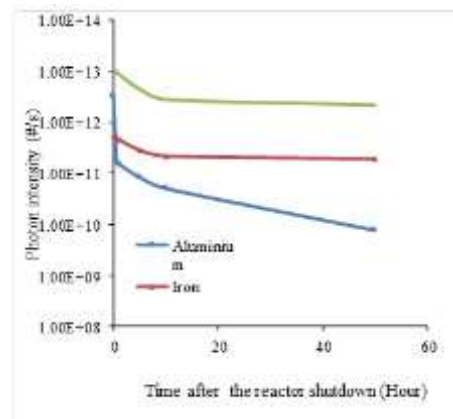
شکل ۵- تغییر شدت فوتون نگهدارنده از جنس مختلف مواد (الف) در زمان روشن بودن راکتور به مدت ۲۰ سال و

سپس خاموشی راکتور (ب) در زمان خاموشی بر حسب ساعت

همانطوریکه شکل ۵-ب نشان می‌دهد، پس از ۱۰۰ ساعت از خاموشی راکتور شدت گسیل فوتون قطع نگهدارنده به میزان ۱۰۰ برابر نسبت به زمان روشن بودن راکتور کاهش می‌یابد درحالیکه کاهش شدت گسیل فوتون در مورد قطعات آهنی و استیل حدود یک دوم است. پس از ۵۰ سال وضعیت پرتوایی قطع آهنی به سطح قطع آلومینیومی می‌رسد درحالیکه پرتوایی قطع استیل بسیار بالا است. این بدین معنی است که قطع استیل چه در زمان کاری راکتور و چه از دیدگاه پسمانداری، قطع مناسبی محسوب نمی‌شود.



در ادامه وضعیت پرتوزایی قطعه نگهدارنده‌ای که به مدت ۲ سال در معرض شار نوترون ذکر شده در قبل بوده است، نشان داده شده است. همچنانکه شکل نشان می‌دهد، شدت فوتون قطعه آلومینیومی ۵ ساعت پس از خاموشی راکتور به میزان ۳۰ برابر کاهش می‌یابد درحالیکه شدت فوتونی دو قطعه آهنی و استیل حدود نصف می‌گردد. در زمان روشن بودن راکتور شدت فوتون قطعه آلومینیومی حدود ۱۰ برابر قطعه آهنی است ولی به محض خاموش شدن راکتور در مقایسه با قطعه آهنی عملکرد بسیار بهتری دارد (شکل ۶).



شکل ۶- تغییر شدت فوتون نگهدارنده از جنس مختلف مواد در حالت خاموشی قطعه ای که به مدت ۲ سال در معرض شار نوترون بوده است

محاسبات نشان می‌دهد میانگین انرژی گامای قطعه های اکتیو شده آلومینیوم، آهن و استیل به ترتیب ۸۳/۶، ۵۵/۶ و ۵۷/۴ است. میانگین انرژی طیف فوتون گسیل شده از قلب راکتور نیز ۷۴ keV است، لذا انتخاب نگهدارنده آلومینیوم به کاهش دز حال راکتور پس از خاموشی سیستم کمک می‌کند ضمن اینکه جابجایی قطعه در زمان مورد نیاز به لحاظ بهداشت پرتویی بسیار ایمن تر است.

استفاده از قطعه آهنی این مزیت را دارد که هنگام پسمانداری و منفک کردن قطعه از راکتور، پس از ۵۰ سال از خنک شوندهی قطعه افت دز آن سریع‌تر است درحالیکه قطعه آلومینیومی سبک‌تر و نیز ارزان‌تر است و ضمن کارکرد راکتور رفتار بسیار بهتری را از خود نشان می‌دهد. محاسبات نشان داد ساخت نگهدارنده استیل مطلوب نیست زیرا رفتار آهنگ گسیل فوتون آن ضمن کارکرد راکتور و نیز رفتار خنک شوندهی آن از دیدگاه پسمانداری مناسب نیست. به منظور راستی آزمایی محاسبات، دز قطعه آهنی پرتودیده که دچار آسیب و خوردگی شده است و نیاز به تعویض دارد اندازه گیری شد. همچنین با استفاده از کد ORIGEN قطعه در معرض شار متوسط 1×10^{10} n/s.cm² قرار داده شد و شدت فوتون گسیل شده از آن پس از ۲ سال از خنک شوندهی محاسبه گردید. طیف و شدت فوتون در کد MCNPX استفاده شد و دز قطعه



آهنی پرتودیده محاسبه شد. محاسبات نشان می‌دهد دز متوسط قطعه $8/5 \text{ mSv/h}$ است که با مقدار اندازه گیری شده 10 mSv/h همخوانی خوبی دارد. لذا کد ORIGEN به خوبی می‌تواند در تحلیل رفتار پرتوزایی مواد مختلف ساختار راکتور مورد استفاده قرار گیرد.

بحث و نتیجه گیری :

قطعه آهنی نگهدارنده همسو ساز کانال D که به مرور زمان در معرض شار نوترون به شدت اکتیو شده و نیز زنگ زده است، نیاز به تعویض دارد. در این بررسی سه ماده آهن، آلومینیوم و استیل بررسی شد. نتایج حاصل نشان می‌دهد از دیدگاه نوترونیک و شار نوترون بعد از همسو ساز، تعویض قطعه به ماده دیگر مشکلی ایجاد نخواهد کرد. از دیدگاه حفاظ سازی و شدت فوتون، قطعه آلومینیوم هرچند که ضمن کار راکتور شدت 10 برابر آهن ایجاد می‌کند ولی در عرض چند ساعت از خاموشی راکتور به شدت فوتونهای گسیل شده از قطعه کاهش می‌یابد لذا آلومینیوم می‌تواند گزینه مناسبی برای ماده جایگزین قطعه خراب شده باشد. همچنین از دیدگاه تعمیر نگهداری و پسمانداری رفتار این ماده بسیار مناسب است. نتایج نشان داد استیل از لحاظ رفتار پرتوزایی و نیز پسمانداری ماده مناسبی نیست.

مراجع :

1. A. Akkas, A.B. Tugrul, B. Buyuk, A.O. Addemir, M. Marsoglu and B. Agacan, Shielding Effect of Boron Carbide Aluminium Metal Matrix Composite against Gamma and Neutron Radiation, Ata Physica Polonica A, vol.208, 176-179, 2015.
2. S.M. Reda, Gamma Ray Shielding by a New Combination of Aluminum, Iron, Copper and Lead Using MCNP5, Arab Journal of Nuclear Science and Applications, 94(4), 211-217 211-217, 2016.
3. M. M. Ashraf, Shielding Calculations for the Design of Neutron Radiography Facility Around Parr, Pakistan Institute of Nuclear Science & Technology, 1989.
4. EXFOR: Experimental Nuclear Reaction Data, <https://www-nds.iaea.org/exfor/>
5. Pelowitz DB. "Users' manual versión of MCNPX2.6.0," LANL, LA-CP-07-1473, 2008.
6. A. G. Croff. A user's manual for the ORIGEN2 computer code, ORNL, 1980.