

طراحی، ساخت و مشخصه‌یابی هسته‌ای ماسک ضد اشعه رادیواکتیو

اسکندر اسدی امیرآبادی^(۱)، مرضیه سلیمی^(۲)، نیما قلعه^(۲)، غلامرضا اطلاعاتی^(۳)

^(۱) دانشگاه شهید بهشتی، پژوهشگاه لیزر و پلاسما

^(۲) دانشگاه دامغان، دانشکده فیزیک

^(۳) دانشگاه صنعتی امیرکبیر، دانشکده مهندسی انرژی و فیزیک

چکیده: در این پژوهش ضمن بررسی فرمولاسیون‌های متنوع برای ساخت ماسک مناسب جهت استفاده به عنوان ماده جذب نوترون و گاما و نیز توجه به خواص مکانیکی مطلوب، با استفاده از شبیه‌سازی با کد MCNP، کربید بور (به میزان ۵٪ وزنی) به عنوان جذب نوترون و تنگستن (با درصدهای مختلف) به عنوان جذب گاما انتخاب شد. نتایج مطالعات تجربی بر روی میزان جذب تابش‌های نوترون و گاما توسط حفاظ ساخته شده و مقایسه آنها با داده‌های شبیه‌سازی و نیز مطالعه خواص مکانیکی ارائه شده است. در نهایت بهترین فرمولاسیون از نظر هسته‌ای و مکانیکی برای ساخت ماسک انتخاب شد.

Design, fabrication and characterization of radioactive mask

Asadi Amirabadi, Eskandar¹; Salimi, Marzieh², Ghal-Eh, Nima², Etaati, Gholamreza³

¹ Laser-Plasma Research Institute, Shahid Beheshti University, Tehran, Iran

² School of Physics, Damghan University, Damghan, Iran

³ Energy Engineering and Physics Department, Amir Kabir University of Technology, Tehran, Iran

Abstract

Abstract: A variety of formulations have been studied for the fabrication of neutron and gamma-ray shielding mask. Having considered different mechanical properties, it has been decided to use 5 wt. percent boron carbide as a neutron absorber and different wt. percent tungsten as gamma absorber materials. The results of measurement studies and the comparison with corresponding MCNP simulations are presented for the best combination choice.

PACS No. 29

حفاظ‌های مناسبی برای حفاظت در برابر تابش‌های نوترون و گاما ساخت. اینگونه حفاظها را می‌توان در کاربردهای متنوعی در صنعت، پزشکی و در حوزه پدافند غیرعامل در ساخت ماسک‌های ضد اشعه استفاده نمود.

۱- مواد و روشها

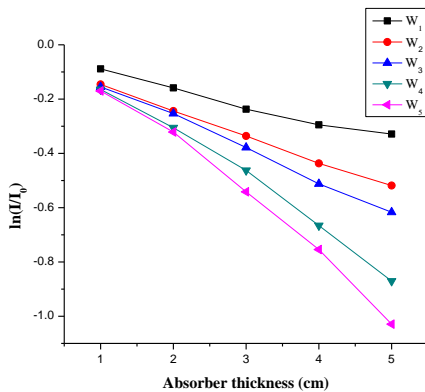
۱-۲ مطالعات شبیه‌سازی

در این پژوهش با استفاده از کد مونت‌کارلو MCNPX، چیدمان آزمایش شامل یک چشمه امریسیوم-بریلیوم، یک حفاظ کروی و یک شمارنده نوترونی شبیه‌سازی شده است. در این شبیه‌سازی،

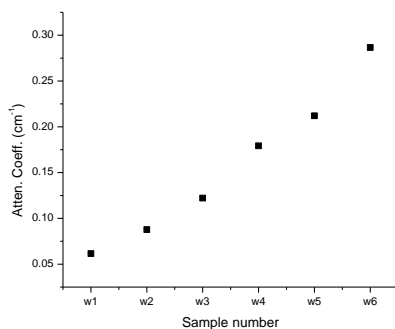
مقدمه

در طراحی متداول حفاظ، معمولاً دو نوع تابش گاما و نوترون مدنظر قرار می‌گیرند. تنگستن، به عنوان یک ماده مؤثر برای حفاظ‌سازی در برابر پرتوهای گاما، ماده سمی نبوده و از لحاظ قدرت تضعیف‌کنندگی بهتر از سرب شناخته می‌شود و برخلاف سرب به خوبی با مواد پلیمری قابل اختلاط است. حفاظ‌سازی چشمه نوترون با توجه به قدرت چشمه و نوع کاربرد آن متفاوت می‌باشد. از مواد جذب نوترون که سطح مقطع بالایی برای جذب نوترون گرمایی دارند، کادمیوم، بور و لیتیوم را می‌توان نام برد. با افزودن فیلرهای مختلف به پلیمرها می‌توان از این مواد نیز

MCNPX مدل شد و برای مقادیر مختلف تنگستن، کاهش شمارش آشکارساز محاسبه گردید که در شکل (۳) نتایج مربوط به نمونه W2 آورده شده است، که مقایسه همخوانی بسیار خوبی را نشان می‌دهد.



شکل (۱): نمودار $\ln(I/I_0)$ نمونه‌های مختلف بر حسب



شکل (۲): ضریب تضعیف نمونه‌های لاستیکی.

به منظور مقایسه نتایج تجربی و شبیه‌سازی، چیدمان آزمایش در کد MCNPX مدل شد و برای مقادیر مختلف تنگستن، کاهش شمارش آشکارساز محاسبه گردید که در شکل (۳) نتایج مربوط به نمونه W2 آورده شده است، که مقایسه همخوانی بسیار خوبی را نشان می‌دهد. به منظور تعیین میزان جذب نوترون‌های حرارتی در حفاظ‌های لاستیکی طراحی شده، در حفاصل چشمه امرسیوم-برلیوم و آشکارساز، از ۸ سانتی‌متر پلی‌اتیلن خالص استفاده شده است (این مقدار ضخامت توسط کد MCNP به عنوان ضخامت بهینه تعیین شده است). نتایج تجربی مربوط به میزان جذب نوترون در نمونه‌های مختلف در شکل (۴) آمده است. باتوجه به اینکه میزان ماده جذب نوترون یعنی کریبیدور در نمونه

شار و آهنگ دز هم ارز نوترون در فاصله ۸۰ سانتیمتری از مرکز چشمه به ازا ۹ ماده شامل آب، پارافین، پلی‌اتیلن، بتن، آهن، گرافیت، پلی‌بور، بوروپلی‌اتیلن و کریبیدور درگستره انرژی 10-8eV تا 16MeV محاسبه شده است. نتایج نشان می‌دهد کریبیدور بهترین کارایی را در میان ۹ ماده بکاررفته داراست. به منظور شبیه‌سازی خصوصیات حفاظ‌سازی پلی‌اتیلن‌های بردار و برای یافتن درصد مناسب کریبیدور در کامپوزیت، ضخامت‌های مختلف کریبیدور مورد مطالعه قرار گرفت که نتیجه بررسی نشان داد که شمارش نوترون‌ها با افزایش ضخامت ماده جاذب نهایتاً به حدود ۵ درصد مقدار شمارش بدون حضور حفاظ کاهش می‌یابد و بعد از آن روند تقریباً ثابتی دارد.

۲-۲ مطالعات تجربی

۲-۲-۱ ساخت

در این پژوهش با توجه عدد ۵ درصد بدست آمده از مطالعه شبیه‌سازی، به منظور تهیه حفاظ لاستیکی مناسب جهت تضعیف شار نوترون، از حفاظهایی با ۵ درصد کریبیدور و برای تضعیف پرتو گاما از درصدهای مختلف تنگستن استفاده شد که عبارت بودند از: (W1): لاستیک خالص، (W2): ۵ درصد کریبیدور با ۵ درصد تنگستن، (W3): ۵ درصد کریبیدور با ۱۵ درصد تنگستن، (W4): ۵ درصد کریبیدور با ۳۰ درصد تنگستن، (W5): ۵ درصد کریبیدور با ۳۵ درصد تنگستن، (W6): ۵ درصد کریبیدور با ۴۵ درصد تنگستن و (W7): ۵ درصد کریبیدور با ۸۰ درصد تنگستن.

۲-۲-۲ اندازه‌گیری‌های هسته‌ای

بررسی تضعیف پرتوی گاما

در این اندازه‌گیری از چشمه سزیوم ۱۳۷ با اکتیویته ۱۰۰ میکروکوری و آشکارساز NaI، در زمان زنده ۳۰۰ ثانیه، استفاده شده است. میزان کاهش شمارش آشکارساز بر حسب ضخامت ماده جاذب برای ۵ نمونه با درصدهای مختلف تنگستن در شکل (۱) آمده است که بر اساس آن می‌توان ضریب تضعیف نمونه‌های مختلف را با برازش خطی محاسبه نمود (شکل (۲)). به منظور مقایسه نتایج تجربی و شبیه‌سازی، چیدمان آزمایش در کد

به سرب، فولاد، قلع، بیسموت، آهن، استیل و تنگستن اشاره کرد. پس لاستیک با ۵٪ وزنی کرییدبور و درصدهای مختلفی از تنگستن ساخته شد (نتایج مربوط به کاهش شار گاما در جدول ۱ آمده است).

۳-۱- شبیه‌سازی حادثه هسته‌ای

با انجام شبیه‌سازی، دز حاصل از چشمه گاما با انرژی 0.662MeV در انواع لاستیک برای ضخامت ۳ میلی‌متر، در فواصل مختلف از حادثه هسته‌ای با اکتیویته ۱۰۰ و ۱۰۰۰ کوری محاسبه شد. در جدول‌های زیر میزان دز (سیورت بر ساعت) برای انواع لاستیک با ضخامت ۳ میلی‌متر در فواصل مختلف از مکان حادثه آمده است.

مرجع‌ها

- [۱] Frohlich J.W.N. and Luginsland H.D., The Effect of Filler-Filler and Filler-Elastomer Interaction on Rubber Reinforcement, Composites, Part A, 36, 449-460, 2005.
- [۲] Rubber Research and Engineering Company, Fillers, Reviewing the Properties and Applications in the Rubber Industry, Samar, Tehran, 1377.
- [۳] Boonstra B.B., Role of Particulate Fillers in Elastomer Reinforcement: A Review, Polymer, 20, 691-704, 1979.
- [۴] Heinrich G.M.K. and Vilgis T.A., Reinforcement of Elastomers, Current Opinion in Solid State, Mater. Sci., 6, 195-203, 2002.
- [۵] Alipour A., Naderi G., Bakhshandeh G.R., Valic H., and Shokoochi S., Elastomer Nanocomposites based on NR/EPDM/Organoclay: Morphology and Properties, Int. Polym. Proc., 2011, 48-55, 2011.
- [۶] Tjong S.C., Structural and Mechanical Properties of Polymer Nanocomposites, Mater. Sci. Eng. R-Reports, 53, 73-197, 2006.

جدول ۱: میزان کاهش شار گاما در سه نمونه حفاظ

ضخامت نمونه (cm)	نمونه اول W1					نمونه دوم W2					نمونه سوم W3				
	۱	۲	۳	۴	۵	۱	۲	۳	۴	۵	۱	۲	۳	۴	۵
درصد کاهش شار گامای سیزم ۱۳۷ (۱)	۹	۱۶	۳۸	۶۰	۸۰	۱۱	۲۰	۴۲	۶۳	۸۷	۱۴	۲۴	۴۵	۶۴	۸۸

جدول ۲: دز حاصل از چشمه گاما با انرژی 0.662MeV در لاستیک معمولی برای ضخامت ۳ میلی‌متر

حادثه	۱ متری	۵ متری	۱۰ متری	۵ متری	۱۰ متری	۵ متری
اکتیویته ۱۰۰۰ کوری	32.07919	0.123948039	0.2931817	1.23285391	0.040375017	0.000350893
اکتیویته ۱۰۰۰۰ کوری	320.7919	1.239480391	2.9318173	12.3285391	0.403750165	0.00350893

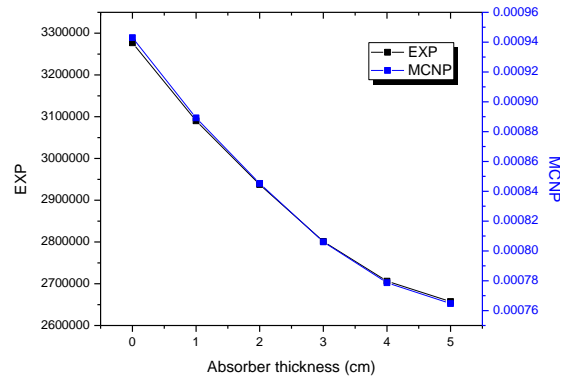
حادثه	۵۰ متری	۱۰۰ متری	۵۰۰ متری	۱ کیلومتر	۱۰ کیلومتر
اکتیویته ۱۰۰۰ کوری	0.007861024	4.76795E-07	3.49312E-10	5.88412E-13	4.82146E-54
اکتیویته ۱۰۰۰۰ کوری	0.078610236	4.76795E-06	3.49312E-09	5.88412E-12	4.82146E-53

جدول ۳: دز حاصل از چشمه گاما با انرژی 0.662MeV در لاستیک W2 برای ضخامت ۳ میلی‌متر

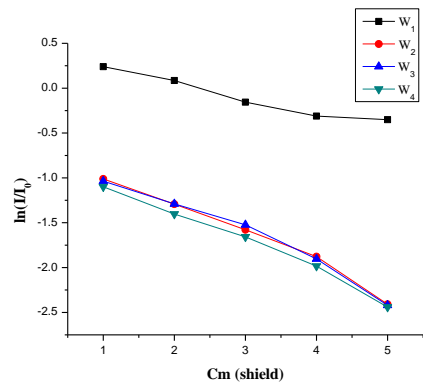
حادثه	۵ متری	۱۰ متری	۵ متری	۱۰ متری	۵ متری
اکتیویته ۱۰۰۰ کوری	0.278795	0.01071454	0.002548	0.001077213	0.000350893
اکتیویته ۱۰۰۰۰ کوری	2.787952	0.10714541	0.02548	0.010772131	0.00350893

حادثه	۵۰ متری	۱۰۰ متری	۵۰۰ متری	۱ کیلومتر	۱۰ کیلومتر
اکتیویته ۱۰۰۰ کوری	6.83189E-05	4.14375E-09	3.03582E-12	5.1138E-15	4.19025E-56
اکتیویته ۱۰۰۰۰ کوری	0.000683189	4.14375E-08	3.03582E-11	5.1138E-14	4.19025E-55

های W_1 ، W_2 و W_3 یکسان است (صرفاً درصد تنگستن تغییر کرده است)، انتظار می‌رود میزان تضعیف یکسان باشد. چنانچه مشاهده می‌شود، با افزودن ۵٪ وزنی کریید بور به لاستیک، ضریب تضعیف تقریباً دو برابر شده است.



شکل (۳): مقایسه نتایج تجربی و شبیه‌سازی برای نمونه W_2



شکل (۴): مقایسه میزان تضعیف شار نوترونهاي حرارتی توسط نمونه های مختلف لاستیک.

نتیجه گیری

در این پژوهش ابتدا با مطالعه و بررسی نه ماده آب، پارافین، پلی‌اتیلن، بتن، آهن، گرافیت، پلی‌بور، پلی‌اتیلن بور و کرییدبور برای حفاظ نوترونی انتخاب شد. سپس آهنگ دز هم ارز و شار نوترون‌های حاصل از چشمه کالیفرنیوم-۲۵۲، برای ضخامت‌های مختلف از این نه ماده با شبیه‌سازی با کد MCNPX نتیجه‌گیری شد که بهترین حفاظ در برابر شار نوترون، کرییدبور می‌باشد. با شبیه‌سازی دیگر با کد MCNPX درصد بهینه کرییدبور ۵٪ وزنی به دست آمد. همچنین از مواد مؤثر در جذب پرتوی گاما می‌توان

جدول ۴: دز حاصل از چشمه گاما با انرژی 0.662MeV در لاستیک W3 برای ضخامت ۳ میلیتر

حادثه	امتری	۵متری	۱۰ متری	۵ امتری	۵امتری
اکتیویته ۱۰۰۰ کوری	0.275941149	0.010604854	0.002521912	0.001066185	0.000347301
اکتیویته ۱۰۰۰۰ کوری	2.759411491	0.106048537	0.025219122	0.010661854	0.003473008

حادثه	۵۰متری	۱۰۰ متری	۵۰۰ متری	۱ کیلومتر	۱۰ کیلومتر
اکتیویته ۱۰۰۰ کوری	6.76195E-05	4.10133E-09	3.00474E-12	5.06145E-15	4.14736E-56
اکتیویته ۱۰۰۰۰ کوری	0.000676195	4.10133E-08	3.00474E-11	5.06145E-14	4.14736E-55

جدول ۵: دز حاصل از چشمه گاما با انرژی 0.662MeV در لاستیک W4 برای ضخامت ۳ میلیتر

حادثه	امتری	۵متری	۱۰ متری	۵ امتری	۵امتری
اکتیویته ۱۰۰۰ کوری	0.271189439	0.010422238	0.002478485	0.001047826	0.00034132
اکتیویته ۱۰۰۰۰ کوری	2.711894394	0.10422238	0.024784849	0.010478257	0.003413203

حادثه	امتری	۵متری	۱۰ متری	۵ امتری	۵امتری
اکتیویته ۱۰۰۰ کوری	0.268663	0.01032514	0.0024554	0.001038064	0.00033814
اکتیویته ۱۰۰۰۰ کوری	2.686629	0.10325141	0.0245539	0.010380638	0.003381404

جدول ۶: دز حاصل از چشمه گاما با انرژی 0.662MeV در لاستیک W5 برای ضخامت ۳ میلیتر

حادثه	۵۰متری	۱۰۰ متری	۵۰۰ متری	۱ کیلومتر	۱۰ کیلومتر
اکتیویته ۱۰۰۰ کوری	6.64551E-05	4.03071E-09	2.953E-12	4.97429E-15	4.07594E-56
اکتیویته ۱۰۰۰۰ کوری	0.000664551	4.03071E-08	2.953E-11	4.97429E-14	4.07594E-55

حادثه	۵۰متری	۱۰۰ متری	۵۰۰ متری	۱ کیلومتر	۱۰ کیلومتر
اکتیویته ۱۰۰۰ کوری	6.5836E-05	3.99316E-09	2.92549E-12	4.92795E-15	4.03796E-56
اکتیویته ۱۰۰۰۰ کوری	0.00065836	3.99316E-08	2.92549E-11	4.92795E-14	4.03796E-55

جدول ۷: دز حاصل از چشمه گاما با انرژی 0.662MeV در لاستیک W6 برای ضخامت ۳ میلیتر

حادثه	امتری	۵متری	۱۰ متری	۵ امتری	۵امتری
اکتیویته ۱۰۰۰ کوری	0.2616	0.01005371	0.0023908	0.001010775	0.000329251
اکتیویته ۱۰۰۰۰ کوری	2.616003	0.10053711	0.0239085	0.010107748	0.003292513

حادثه	۵۰متری	۱۰۰ متری	۵۰۰ متری	۱ کیلومتر	۱۰ کیلومتر
اکتیویته ۱۰۰۰ کوری	6.41053E-05	3.88818E-09	2.84858E-12	4.7984E-15	3.93181E-56
اکتیویته ۱۰۰۰۰ کوری	0.000641053	3.88818E-08	2.84858E-11	4.7984E-14	3.93181E-55