



طراحی، ساخت و مشخصه یابی هسته‌ای حفاظ لاستیکی و بتنی

مرضیه، سلیمی^۱؛ اسکندر، اسدی امیرآبادی^۲؛ نیما، قلعه^۱؛ غلامرضا، اطاعتی^۳؛ زهرا، سلطانی^۳

۱- دانشگاه دامغان، دانشکده فیزیک

۲- دانشگاه پیام نور تهران، گروه فیزیک

۳- دانشگاه صنعتی امیرکبیر، دانشکده مهندسی انرژی و فیزیک

چکیده:

در این پژوهش دو نوع حفاظ لاستیکی و بتنی مورد بررسی قرار می‌دهیم. در حفاظ لاستیکی با استفاده از شبیه‌سازی با کد MCNPX، کرید بور (به میزان ۵٪ وزنی) به عنوان جاذب نوترون و تنگستن (با درصد‌های مختلف) به عنوان جاذب گاما انتخاب و نتایج مطالعات تجربی نیز ارائه شده است. در مورد حفاظ بتنی، ابتدا سنگدانه مصنوعی معدن بور زنجان و سنگ مگنت از معدن بافق انتخاب شدند. با مطالعه شبیه‌سازی با کد MCNPX به ترتیب مقادیر ۰/۲ و ۰/۶ درصد وزنی بور را برای بتن معمولی و بتن سنگین پیشنهاد می‌کنند. بر اساس نتایج حاصل از شبیه‌سازی، بتن‌های معمولی و سنگین و سنگین با افزودن بور و نیز عیار سیمان ۳۵۰ و ۴۰۰ ساخته شده و خواص هسته‌ای بررسی و گزارش شده‌اند.

کلمات کلیدی: لاستیک، بتن، حفاظ، ضریب تضعیف، نوترون، گاما

۱- مقدمه

در طراحی متداول حفاظ، معمولاً دو نوع تابش گاما و نوترون مدنظر قرار می‌گیرند. میزان تضعیف پرتوهای گاما متناسب با جرم و عدداتمی ماده حفاظ است. تنگستن، به‌عنوان 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 از جمله لاستیک قابل اختلاط است. حفاظ‌سازی چشمه نوترون با توجه به قدرت چشمه و نوع کاربرد آن متفاوت می‌باشد. از مواد جاذب نوترون که سطح مقطع بالایی برای جذب نوترون گرمایی دارند، کادمیوم، بور و لیتیوم را می‌توان نام برد. همچنین در ساخت بتن جهت حفاظ‌گذاری نوترون از سنگ معدن بور طبیعی محصول معدن قره گل زنجان استفاده شد. جهت حفاظ‌گذاری گاما از سنگ آهن مگنت محصول شرکت سنگ آهن بافق استفاده شد. این ایده جدید باعث کاهش هزینه نسبت به واردات بتن از کشور روسیه گردید. از جمله کاربردهای صنعتی این محصول باید به ساخت پناهگاه و اتاق‌های فرماندهی در حوادث هسته‌ای اشاره نمود. از دیگر کاربردها در زمینه پزشکی و صنعتی نیز باید به ساخت مراکز پرتوپزشکی، اتاق نگهداری چشمه‌های رادیواکتیو، کانتینرهای حمل مواد رادیواکتیو و دفن پسماندهای هسته‌ای اشاره نمود.



مواد و روشها

۱-۲ مطالعات شبیه سازی

در این پژوهش با استفاده از کد مونت کارلو MCNPX، چیدمان آزمایش شامل یک چشمه کالیفرنیم-۲۵۲، شار و آهنگ دز هم ارز نوترون در فاصله ۸۰ سانتیمتری از مرکز چشمه به ازاء ۹ ماده شامل آب، پارافین، پلی اتیلن، بتن، آهن، گرافیت، پلی بور، بوروپلی اتیلن و کربیدبور درگستره انرژی 10^{-8}eV تا 16MeV محاسبه شده است. نتایج نشان می دهد کربیدبور بهترین کارایی را در میان ۹ ماده بکاررفته داراست. به منظور شبیه سازی خصوصیات حفاظ سازی پلی اتیلن های بردار و برای یافتن درصد مناسب کربیدبور در کامپوزیت، ضخامتهای مختلف کربیدبور مورد مطالعه قرار گرفت که نتیجه بررسی نشان داد که شمارش نوترونها با افزایش ضخامت ماده جاذب نهایتاً به حدود ۵٪ مقدار شمارش بدون حضور حفاظ کاهش می یابد و بعد از آن روند تقریباً ثابتی دارد. لذا می توان نتیجه گرفت که باید در ساخت کامپوزیت از حداکثر ۵٪ وزنی ماده تقویت کننده (کربیدبور) استفاده کرد.

همچنین با استفاده از محاسبات MCNPX، مقدار بور طبیعی لازم برای تضعیف مناسب تابش های گاما و نوترون برای بتن معمولی، ۰/۲ و بتن سنگین، ۰/۶ درصد وزن بتن به دست آمد و در ساخت بتن های نهایی از این مقدار بور، به صورت سنگدانه بردار استفاده شد.

۲-۲ مطالعات تجربی

۱-۲-۲ ساخت

در این پژوهش با توجه عدد ۵٪ بدست آمده از مطالعه شبیه سازی، به منظور تهیه حفاظ لاستیکی مناسب جهت تضعیف شار نوترون، از حفاظهایی با ۵٪ کربیدبور و برای تضعیف پرتو گاما از درصدهای مختلف تنگستن استفاده شد که عبارت بودند از: (W_۱): لاستیک خالص، (W_۲): ۵٪ کربیدبور با ۵٪ تنگستن، (W_۳): ۵٪ کربیدبور با ۱۵٪ تنگستن، (W_۴): ۵٪ کربیدبور با ۳۰٪ تنگستن، (W_۵): ۵٪ کربیدبور با ۳۵٪ تنگستن، (W_۶): ۵٪ کربیدبور با ۴۵٪ تنگستن و (W_۷): ۵٪ کربیدبور با ۸۰٪ تنگستن. از هر نمونه، پنج حفاظ در ابعاد ۱۶×۹×۱ برش داده شد.

جهت تعیین نسبت های اختلاط بتن مطابق آنچه در جدول ۱ آمده است، از دو روش ACI و روش ملی ایران استفاده گردید. در تهیه این مخلوط های بتنی از نسبت آب به سیمن ۰/۴۵ استفاده شد.

برای نامگذاری نمونه های بتن، از علائم اختصاری زیر استفاده شده است: NC: بتن با وزن مخصوص معمولی HC: بتن سنگین حاوی مگنت B: بتن حاوی سنگدانه بردار مصنوعی. عدد بلافاصله بعد از حرف C مقدار مواد سیمانی، عدد بلافاصله بعد از حرف B مقدار سنگدانه بردار مصنوعی را نشان می دهد. همه مخلوط ها حاوی میکروسیلیس به مقدار ۵ درصد وزنی سیمن می باشند

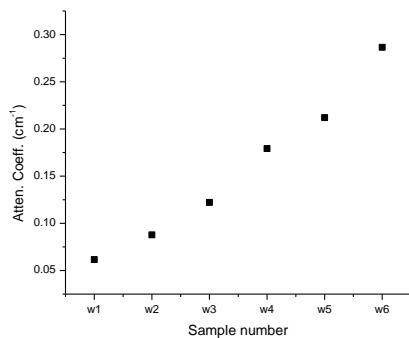
جدول ۱: انواع مخلوط‌های بتنی ساخته شده

ردیف	۱	۲	۳	۴	۵	۶	۷	۸	۹	۱۰
نشانه مخلوط	NC _{۳۵}	NC _{۳۵} .B _۲	HC _{۳۵}	HC _{۳۵} .B _۶	NC _{۴۰}	NC _{۴۰} .B _۲	HC _{۴۰}	HC _{۴۰} .B _۶	HC _{۴۰} .B _۴	HC _{۴۰} .B _۸

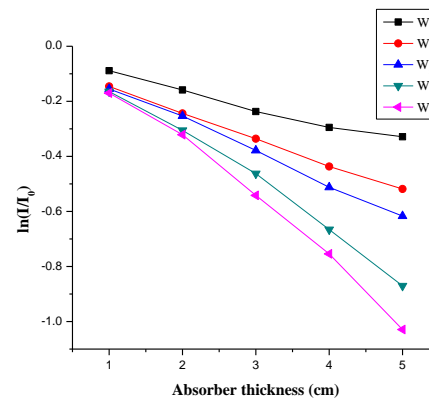
۲-۲-۲ اندازه‌گیری‌های هسته‌ای حفاظ لاستیکی

• بررسی تضعیف پرتوی گاما

در این اندازه‌گیری از چشمه سزیوم ۱۳۷ با اکتیویته ۱۰۰ میکروکوری و آشکارساز سوسوزن یودورسیدیوم، 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)).



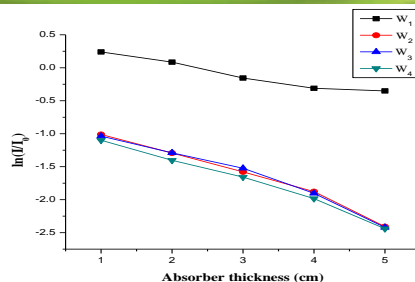
شکل (۲): ضریب تضعیف نمونه‌های لاستیکی.



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

• بررسی تضعیف نوترونی

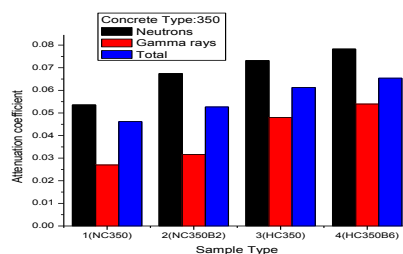
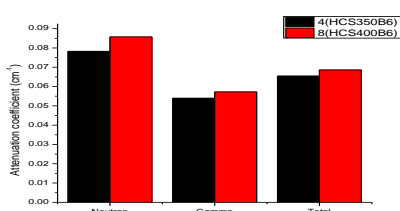
به منظور تعیین میزان جذب نوترون‌های حرارتی در حفاظ‌های لاستیکی طراحی شده، در حدفصل چشمه امرسیوم-بریلیوم و آشکارساز، از ۸ سانتی‌متر پلی‌اتیلن خالص استفاده شده است (این مقدار ضخامت توسط کد MCNPX به عنوان ضخامت بهینه تعیین شده است). نتایج تجربی مربوط به میزان جذب نوترون در نمونه‌های مختلف در شکل (۳) آمده است. با توجه به اینکه میزان ماده جاذب نوترون یعنی کربیدبور در نمونه‌های W_۲ و W_۴ یکسان است (صرفاً درصد تنگستن تغییر کرده است)، انتظار می‌رود میزان تضعیف یکسان باشد. چنانچه مشاهده می‌شود، با افزودن ۵٪ وزنی کربید بور به لاستیک، ضریب تضعیف تقریباً دوبرابر شده است.



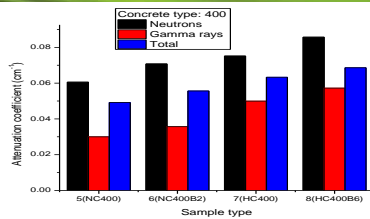
شکل (۳): مقایسه میزان تضعیف شار نوترونیهای حرارتی توسط نمونه های مختلف لاستیک.

۲-۲-۳ اندازه گیری های هسته ای حفاظ بتنی

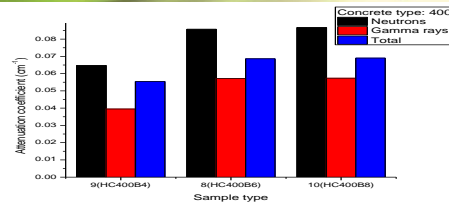
برای تست های هسته ای بتن، با استفاده از سامانه جداسازی نوترون-گاما که از خروجی سوسوزن ^{252}Cf و روش گذر از صفر استفاده می کند، میزان کاهش شار نوترونی عبور کرده از نمونه بتن مورد نظر تعیین می گردد. حفاظ های بتنی ساخته شده با ضخامتهای ۳، ۶، ۹ و ۱۲ سانتی متر را مماس بر آشکارساز قرار داده و موقعیت آشکارساز در فاصله ۷۱ سانتی متری از چشمه تنظیم می گردد. نتایج ضریب تضعیف خطی بدست آمده از اندازه گیری در شکل (۴) آمده است. همانطور که در شکل ۴ مشاهده شد، افزودن بور به بتن معمولی و بتن سنگین، شار نوترون و گامای ثانویه و شار کل را افزایش داد، همچنین شار بتن سنگین از بتن معمولی بیشتر شد. اما مطابق اندازه گیری های انجام شده، عیار سیمان ۳۵۰ از لحاظ مکانیکی و ظاهری مناسب نیست، که بر این اساس عیار سیمان ۴۰۰ انتخاب شد و بتن سنگین حاوی بور با این عیار از سیمان تهیه گردید. در ادامه از لحاظ هسته ای مقایسه بین بتن سنگین حاوی بور با عیار سیمان ۳۵۰ و بتن سنگین حاوی بور با عیار سیمان ۴۰۰ در شکل (۵) نشان داده شده است. شکل (۶) نیز ضریب تضعیف خطی بتن سنگین حاوی بور با عیار ۴۰۰ و با درصد های وزنی ۰/۴ و ۰/۶ و ۰/۸ بور را نشان می دهد. همانطور که مشاهده می شود از درصد وزنی ۰/۴ تا ۰/۶ تغییر مناسب و قابل قبولی از لحاظ آماری داشتند، ولی از درصد ۰/۶ تا ۰/۸ تغییر چندانی نداشتند. همانطور که قبلاً دیدیم در شبیه سازی ۰/۶ درصد انتخاب شد، پس از لحاظ تجربی هم ۰/۶ درصد انتخاب شد. نتیجه مقایسه میزان تضعیف بتن معمولی و بتن معمولی حاوی ۰/۲ درصد بور و بتن سنگین و بتن سنگین حاوی ۰/۶ درصد بور (که همگی با عیار سیمان ۴۰۰ ساخته شده اند) در شکل (۷) آمده است که چنانچه مشاهده می شود بتن سنگین حاوی ۰/۶ درصد بور از لحاظ تضعیف تابش ورودی نتایج بهتری را نشان می دهد.



شکل (۴): نتایج تست هسته ای انواع بتن با عیار سیمان ۳۵۰.
شکل (۵): مقایسه تست هسته ای بتن سنگین حاوی بور با عیار سیمان ۳۵۰ و ۴۰۰.



شکل (۷): نتایج تست هسته ای انواع بتن با عیار سیمان ۴۰۰.



شکل (۶): مقایسه بین سه درصد وزنی مختلف بور در بتن سنگین با عیار سیمان ۴۰۰.

۲- بحث و نتیجه گیری

در این پژوهش ابتدا با شبیه سازی با کد MCNPX نتیجه گیری شد که بهترین حفاظ در برابر شار نوترون، کربیدبور می باشد. با شبیه سازی دیگر درصد بهینه کربیدبور ۵٪ وزنی به دست آمد. پس لاستیک با ۵٪ وزنی کربیدبور و درصدهای مختلفی از تنگستن ساخته شد (نتایج مربوط به کاهش شار گاما در جدول ۲ آمده است). برای اینکه لاستیک خواص مکانیکی بالا و دارای انعطاف پذیری خوب و فیلرپذیری بالایی باشد از NR لاستیک طبیعی و قطبی استفاده شد، همچنین برای اینکه لاستیک تحت شرایط اوزونی مناسب و در تماس با اسیدها مقاوم باشد، از CR لاستیک مصنوعی و غیر قطبی استفاده شد. پس ترکیب این دو ماده با هم پیوند چندگانه تشکیل داده و علاوه بر انعطاف و خواص مکانیکی بالا فیلرپذیری خوبی دارند. در این پژوهش، همچنین برای اولین بار در کشور، با استفاده از فاز سخت کربیدبور و حرکت به سمت ساخت صفحات انعطاف پذیر، حفاظ هایی طراحی و ساخته شده است که مقاومت حرارتی بالا، مقاومت در برابر تخریب اوزون، بسیار سبک و با دارا بودن مقادیر مختلفی از مواد جاذب نوترون نظیر بور و لیتیموم دارای ضریب تضعیف بسیار خوبی برای جذب نوترون های حرارتی می باشند.

جدول ۲: میزان کاهش شار گاما در سه نمونه حفاظ

ضخامت نمونه (cm)	نمونه اول W ₁					نمونه دوم W ₂					نمونه سوم W ₃				
	۱	۲	۳	۴	۵	۱	۲	۳	۴	۵	۱	۲	۳	۴	۵
درصد کاهش شار گامای Cs-۱۳۷ (%)	۹	۱۶	۳۸	۶۰	۸۰	۱۱	۲۰	۴۲	۶۳	۸۷	۱۴	۲۴	۴۵	۶۴	۸۸



در حفاظ بتنی، با مطالعه و بررسی انواع سنگدانه‌های موجود در کشور، سنگدانه‌های سنگین مگنت به عنوان سنگدانه سنگین برای تضعیف گاما و سنگدانه بوردار به منظور جذب نوترون انتخاب شد. مقدار بور طبیعی لازم برای تضعیف مناسب تابش‌های گاما و نوترون برای بتن معمولی ۰/۲ و بتن سنگین، ۰/۶ درصد وزنی بتن به دست آمد.

افزودن بور به بتن معمولی و بتن سنگین شار نوترون و گامای ثانویه و شار کل را افزایش داد، همچنین شار بتن سنگین از بتن معمولی بیشتر شد. اما طبق مشاهدات انجام شده روی نمونه‌های ساخته شده، بتن سنگین عیار سیمان ۳۵۰ از لحاظ مکانیکی و ظاهری مناسب نبوده و بر این اساس عیار سیمان ۴۰۰ انتخاب شده و بتن سنگین حاوی بور با این عیار سیمان ساخته شد که از لحاظ مکانیکی، ظاهری و هسته‌ای بسیار مناسب‌تر از بتن با عیار سیمان ۳۵۰ مشاهده شد. در نهایت بتن شاهد و معمولی حاوی بور و سنگین عیار سیمان ساخته شد.

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, ۳۶, ۴۴۹-۴۶۰, ۲۰۰۵.
- [۲] Rubber Research and Engineering Company, Fillers, Reviewing the Properties and Applications in the Rubber Industry, Samar, Tehran, ۱۳۷۷.
- [۳] Boonstra B.B., Role of Particulate Fillers in Elastomer Reinforcement: A Review, Polymer, ۲۰, ۶۹۱-۷۰۴, ۱۹۷۹.
- [۴] Heinrich G.M.K. and Vilgis T.A., Reinforcement of Elastomers, Current Opinion in Solid State, Mater. Sci., ۶, ۱۹۵-۲۰۳, ۲۰۰۲.
- [۵] Alipour A., Naderi G., Bakhshandeh G.R., Valic H., and Shokoohi S., Elastomer Nanocomposites based on NR/EPDM/Organoclay: Morphology and Properties, Int. Polym. Proc., ۲۰۱۱, ۴۸-۵۵, ۲۰۱۱.
- [۶] Tjong S.C., Structural and Mechanical Properties of Polymer Nanocomposites, Mater. Sci. Eng. R-Reports, ۵۳, ۷۳-۱۹۷, ۲۰۰۶.
- [۷] Briemeister, J. F. "MCNP: A General Monte Carlo N-Particle Transport Code (Version-۴C)." *Los Alamos National Laboratory, LA-۱۳۷۰۹-M* (۲۰۰۰).