

مقاله پژوهشی

مطالعه ویژگی‌های لاستیک شامل نانوذرات اکسید تنگستن و آهن در حفاظ‌سازی تابش گاما

سیدعلی آقایان* و امیرحسین سعیدی

دانشکده فنی و مهندسی، واحد شاهرود، دانشگاه آزاد اسلامی، شاهرود، ایران

تاریخ ثبت اولیه: ۱۴۰۳/۱۱/۲۵، تاریخ دریافت نسخه اصلاح شده: ۱۴۰۴/۰۲/۱۱، تاریخ پذیرش قطعی: ۱۴۰۴/۰۴/۱۴

چکیده

استفاده از نانو کامپوزیت‌ها در حفاظ‌سازی در برابر پرتوهای یونیزان در صنعت و پزشکی مورد توجه می‌باشد. در انتخاب ماده حفاظ فاکتورهای مهمی نظیر فراوانی آن در طبیعت، عدم پیچیدگی فرآیند ساخت، عدد اتمی فلزات مورد استفاده و تاثیر آن در کاهش فلاکس تابشی و نیز صرفه اقتصادی تاثیر گذار می‌باشند. در این تحقیق، عملکرد حفاظتی کامپوزیت لاستیک و نانوذرات اکسید تنگستن (WO_3) و آهن (Fe) در برابر تابش گاما مورد ارزیابی قرار گرفته است. درصدهای وزنی متفاوتی از نانو کامپوزیت‌ها ساخته و ویژگی‌هایی نظیر طیف تابش گاما، ضریب جذب خطی و HVL مورد بررسی قرار گرفت. همچنین تاثیر ضخامت حفاظ‌های طراحی شده نیز با بررسی چهار ضخامت مختلف ۱/۵، ۳، ۴/۵ و ۶ cm بصورت تجربی مورد مطالعه قرار گرفت. نتایج این تحقیق نشان می‌دهد که با افزایش درصد نانو مواد ضریب تضعیف خطی نیز افزایش می‌یابد. نکته قابل توجه آنست که این نوع حفاظ می‌تواند جایگزین مناسبی برای حفاظ‌های بتنی یا سربی باشد. از نتایج بدست آمده مشخص گردید که بکارگیری نانو مواد اکسید تنگستن ۴۰٪ به همراه نانوذرات آهن با درصد وزنی ۲۰٪ مقدار HVL را در مقایسه با نانو اکسید تنگستن با درصد وزنی ۱۰٪ به کاهشی به اندازه ۳۴٪ می‌رساند.

واژه‌های کلیدی: نانو کامپوزیت، تابش گاما، حفاظ، اکسید تنگستن.

۱- مقدمه

است. با توجه به گسترش روز افزون تصویربرداری پزشکی هسته‌ای و عدم کفایت حفاظت در برابر این پرتوها لازم است که توجه جدی تری لحاظ گردد. حفاظ‌گذاری بعد مهمی از حفاظت در برابر تابش است، زیرا می‌تواند شکلی از کنترل

کاربرد مواد رادیواکتیو در پزشکی هسته‌ای و لزوم حفاظت در برابر پرتوهای یونیزان گاما مورد توجه بسیاری از محققان

* عهده‌دار مکاتبات: سیدعلی آقایان

نشانی: دانشگاه آزاد اسلامی، واحد شاهرود، گروه فیزیک، شاهرود، ایران

تلفن: ۱۷۸-۳۲۲۲۰۰۲۳، دورنگار: ۱۷۸-۳۲۲۲۰۰۲۳، پست الکترونیکی: ali_aghayan@iau.ac.ir

تابش باشد؛ لذا خصوصیات حفاظها و طراحی، کاربرد و کارایی آنها نیازمند توجهات خاص است [۱].

اصولا ماده‌ای که به عنوان حفاظ به کار می‌رود باید دارای ضخامت مناسبی برای جذب پرتو تابیده شده تا حد ایمن باشد [۲]. معمولا از عناصر سنگین و بتن‌ها به عنوان حفاظ استفاده می‌شود. یک حفاظ موثر اشعه گامای غالبا بر اساس لایه نیمه کننده HVL (half-value layer) تعریف می‌شود. لایه نیمه کننده ضخامتی از ماده است که در آن شدت پرتو اولیه نصف می‌شود. برای کاهش هرچه بیشتر شدت پرتو باید ضخامت حفاظ افزایش یابد [۳]. در تضعیف فوتون‌ها ساز کارهای عمده پدیده جذب فوتوالکتریک و پراکندگی کامپتون هستند. در فرآیند جذب فوتوالکتریک و ایجاد زوج یون هر چه عدد اتمی عنصر هدف بیشتر باشد احتمال انجام واکنش افزایش می‌یابد لیکن پراکندگی کامپتون در محدوده انرژی‌های نزدیک به ۱ MeV به عدد اتمی ماده جاذب بستگی نداشته ولی به هر حال تحت تاثیر انرژی پرتو و دانسیته ماده جاذب است. بازده عمل تضعیف تقریبا متناسب با جرم ماده ای است که در مسیر پرتو قرار گرفته و از این رو مواد مختلف با جرم یکسان در مسیر پرتو قابلیت حفاظتی یکسانی در مقابل اشعه ایکس و گاما دارند [۴]. از نظر فیزیکی مواد با عدد اتمی بالا و همینطور دانسیته بالا بدلیل احتمال برهمکنش بالاتر و سطح مقطع جذب بالاتر در برابر پرتوهای ایکس و گاما، گزینه‌های مناسبی برای حفاظ‌سازی می‌باشند [۵].

سرب بدلیل قیمت ارزان و بالا بودن عدد اتمی سرآمد تمامی مواد از نظر ضریب کاهش تابش می‌باشد، لیکن بدلیل سمیت بالا، ضعف خواص مکانیکی و پایداری شیمیایی، بالا بودن جرم حجمی که حمل و نقل آن را با مشکل مواجه می‌کند و از طرف دیگر سختی مکانیکی زیاد که قالب‌گیری و شکل‌پذیری آن را محدود می‌کند با محدودیت‌هایی در بکارگیری آن مواجه است. این ترکیب قابلیت شکل‌پذیری در دمای 60°C را دارد [۶].

بتن یک تضعیف کننده خوب تابش گاما است. اکثر حفاظ‌های تابش هسته‌ای دارای لایه‌های مختلفی از بتن با ترکیبات چگالی مختلف هستند [۷]. بتن‌ها ارزان‌تر بوده و برای طراحی هر ساختاری مناسب هستند. اما عموما بعد از مدت طولانی که بتن در معرض تابش قرار می‌گیرد، به علت افزایش تنش کششی ناشی از تغییرات حجمی بتن تحت انقباض، نشست، تنش حرارتی گرمای هیدراسیون، تغییر جو و بار، در بتن ترک ایجاد می‌شود. گذشته از این درصد رطوبت باعث ایجاد عیوبی مانند کاهش چگالی و استحکام بتن می‌شود [۲]. اخیرا استفاده از حفاظ‌های عاری از سرب با جایگزینی مواد فلزی توسعه یافته است. به عنوان مثال شیشه‌های بیسموت سیلیکات برای کاربردهای حفاظ‌سازی در مواردی که نیاز به شیلد شفاف باشد، مورد توجه قرار گرفته است [۸]. همچنین اکسید تنگستن و اکسید آهن نیز در کامپوزیت‌های سبک وزن مورد استفاده قرار گرفتند [۹].

در دهه‌های اخیر سیمان با گرانول‌های سربی و سیلیکات و همینطور لاستیک با کامپوزیت‌های سربی مورد استفاده قرار گرفته است [۱۰]. لیکن این مواد سمیت زیادی داشته و مخاطرات زیادی را ایجاد می‌نمایند. لذا مواد فاقد سرب ایمن تر و جایگزین مناسب‌تری خواهند بود. لاستیک EPDM (Ethylene propylene diene monomer) بدلیل مقاومت حرارتی خوب، مقاومت در برابر رطوبت و عایق الکتریکی از جمله پلیمرهای سنتز شده شیمیایی است که زنجیره پلی اتیلنی داشته و در ترکیب با ذرات اکسید فلزی (filler) قابلیت کاربرد در حفاظت در برابر پرتوها را نیز دارد. استفاده از این لاستیک با اسید بوریک به عنوان حفاظت نوترونی و نیز ترکیب آن با بلوک‌های کربنی به عنوان حفاظ امواج الکترومغناطیسی معرفی شده است [۱۱]. برای کاربردهای در فضای باز مواد قابل انعطافی نظیر لاستیک EPDM مورد توجه قرار گرفته است. این ماده در مقایسه با لاستیک معمولی ویژگی‌های فیزیکی خوبی از قبیل مقاومت در برابر اشعه فرابنفش، گرما، بخار و رطوبت را داشته و نیز قابلیت

پنج غلظت متفاوت بین ۲ تا ۱۰ درصد اکسید تنگستن در زمینه اپوکسی و انرژی تابشی سیکروترون در محدوده ۱۰ تا ۴۰ keV به عنوان منبع پرتو ایکس استفاده کردند. این مطالعه نشان داد که اثر سایز ذرات در تضعیف پرتو ایکس به مقدار زیادی تابع انرژی تابشی سینکروترون می‌باشد.

ضریب جذب اشعه ایکس در نانو کامپوزیت حاصل از ترکیب نانوذرات سرب در زمینه پلی آیلین نیز مورد مطالعه قرار گرفته است. در این تحقیق از چهار میزان درصد وزنی ۱۰ تا ۴۰ درصدی سرب در پلی آیلینی و ضخامت‌های مختلف بر حسب میلیمتر استفاده شده است. این مطالعه نشان داد که با افزایش درصد نانوذرات سرب در زمینه پلی آیلین ضریب تضعیف نانو کامپوزیت مورد نظر افزایش می‌یابد [۱۸]. در یک تحقیق دیگر ضریب تضعیف خطی و جرمی اشعه گاما توسط نانو و میکرو کامپوزیت تیتانیوم دی براید در زمینه بور کاربید و سیلیکون کاربید نظر برای دو چشمه گاما Cs-137 و Co-60 با انرژی‌های ۱/۲۵ MeV و ۰/۶۶۲ MeV مورد بررسی واقع گردید. نتایج این مطالعه نشان داد که افزایش تیتانیوم دی براید به کاربید بور و کاربید سیلیکون سبب افزایش ضرایب تضعیف خطی و جرمی کامپوزیت حاصل می‌شود [۱۹].

نانوذرات تنگستن در زمینه پلی اتیل گلیکول نیز به عنوان حفاظ اشعه گاما مورد استفاده قرار گرفته‌اند [۲۰]. در این تحقیق نانو و میکرو ذرات تنگستن با درصد‌های ۷/۵٪ و ۱۵٪ پخش شده و ضریب تضعیف این کامپوزیت‌های حاصل برای چشمه‌های گامای Cs-137، Co-60، Ba-113 مطالعه گردید. این مطالعه نیز نشان داد که کاهش سایز ذرات تنگستن در کامپوزیت با افزایش ضریب تضعیف جرمی کامپوزیت همراه است. همچنین ضریب تضعیف جرمی با کاهش درصد وزنی تنگستن، افزایش می‌یابد. در مطالعه دیگری از نانوذرات اکسید روی در زمینه پلیمر آکریل آمید برای حفاظ تابش گاما استفاده شده است. چهار نوع نانو کامپوزیت با درصد‌های وزنی متفاوت و یک میکرو کامپوزیت مورد مطالعه واقع شده است [۲۱].

قرار دادن مقدار زیاد فیلر را نیز در خود دارد [۱۲]. برای این منظور پلیمرهایی نظیر پلی اتیلن، پلی اتیلن بازیابی شده، اپکسی، پلی استر، اتیلن پروپیلن، لاستیک طبیعی، پلی استرین و با ترکیبات فلزی بیسموت، سرب، اکسید تنگستن، کادمیوم مورد استفاده واقع شده‌اند [۱۳]. از این میان اکسید تنگستن، فلزی با وزن مولکولی ۱۸۳/۸۵ g/mol و درجه ذوب بالا °C ۳۴۱۰ و بدون هیچ سمیت است. استفاده از لاستیک حاوی اکسید تنگستن در مقالات متعددی ارائه شده و امیدهای زیادی برای حفاظت پرتوی ایجاد کرده است. خصوصاً شکل‌پذیری این ترکیب حائز اهمیت بوده بطوریکه اکسید تنگستن مجدداً با فرآیند حرارت‌دهی قابلیت بازیافت دارد [۱۴]. کاربرد نوعی ترکیب خاص لاستیک با اکسید تنگستن برای استفاده در الکترون تراپی و رادیوتراپی و نیز کاربرد آن در کلیماتورها نیز مورد توجه قرار گرفته است. لاستیک‌های اکسید تنگستن به دلیل انعطاف‌پذیری و انحنا گرفتن مناسب و ضد آب بودن می‌توانند در موقعیت‌های زیادی در پزشکی هسته‌ای بکار آید [۱۵].

در مطالعه دیگری احمد خلیف مهمد و همکارانش خواص حفاظی مخلوطی از سرب و لاستیک را بررسی کردند [۳]. آزمایشات آن‌ها نشان دادند که نمونه‌های با ۷۵ درصد سرب و ۲۵ درصد نیتروژن و بوتادین بهترین خواص حفاظتی را در بین نمونه‌ها دارد.

تحقیقات اخیر بر استفاده از نانوذرات برای بهبود قابلیت برخی از آن‌ها به عنوان حفاظ پرتو یونیزان متمرکز شده است. برخلاف میکروذرات اندازه کوچکتر نانوذرات منجر به ویژگی‌های فیزیکی و شیمیایی منحصربفردی مانند ویژگی‌های نوری و محافظت در برابر تابش در ماده‌ای که در آن قرار داده می‌شوند، می‌شود [۱۶]. مشابه این مطالعه توسط گروه دیگری از محققین و با استفاده از میکرو و نانوذرات تنگستن در زمینه اپوکسی به عنوان حفاظ پرتو ایکس انجام شده است. افزودن نانوذرات اکسید فلزات سنگین احتمال برهمکنش فوتون‌ها را افزایش می‌دهد و منجر به بهبود اثربخشی حفاظت در برابر اشعه می‌شود [۱۷]. این گروه از

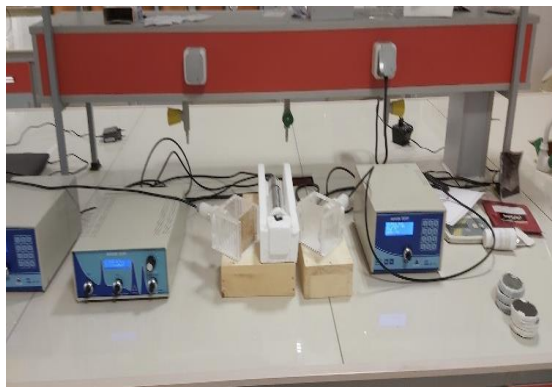
استفاده از پودرهای لاستیک و ترکیب آن با نانوذرات و فشرده‌سازی آن‌ها و در عین حال نگهداری تمامیت شیت‌های آماده شده توسط رزین‌های آلی وجود دارد. بطوریکه شیت‌های تهیه شده قابلیت حفظ حالت و شکل خود را در شرایط مختلف دارا می‌باشند. همچنین در این شرایط استفاده از ضایعات لاستیکی با این تمهیدات مورد توجه قرار خواهد گرفت.

۲- فعالیت‌های تجربی

آشکارساز یدید سزیم فعال شده با تالیوم CsI(Tl) مورد استفاده در این پژوهش، متداول‌ترین نوع سوسوزن‌های غیرآلی تک بلورهای هالوژن‌قلیایی هستند که معمولاً در پزشکی هسته‌ای، اندازه‌گیری‌های محیطی، ژئوفیزیک و فیزیک انرژی‌های متوسط مورد استفاده قرار می‌گیرند. چگالی و عدد اتمی بالا همراه با حجم زیاد این بلور، آنرا به صورت یک آشکارساز با بازده بسیار خوب برای پرتوهای گاما در آورده است [۱۳]. آشکارساز مورد استفاده و ست‌آپ آزمایشی در شکل (۱) آورده شده است.

جدول ۱: ویژگی‌های فیزیکی چشمه تابش کبالت-۶۰.

چشمه	نیمه عمر (سال)	نوع تابش	انرژی تابش گاما (MeV)	اکتیویته (μCi)	HVL برای سرب (mm)
Co-60	۵/۲۷	گاما	۱/۳۳۲۵۱ ۱/۱۷۳۲۳	۷	۱/۲۷



شکل ۱: تجهیزات آزمایش.

در این تحقیق کارایی حفاظتی ترکیب لاستیک با نانوذرات اکسید تنگستن و آهن در برابر تابش گاما مورد ارزیابی قرار گرفته و در عین حال از ویژگی‌های مکانیکی این کامپوزیت‌ها استفاده خواهد شد. همچنین تلاش گردید با تغییر دادن درصد‌های وزنی به ترکیب مناسبی برای حفاظ تابش دسترسی پیدا نماییم. درصد وزنی نانوذراتی که به بسترهای مورد نظر اضافه می‌گردد، همواره مورد چالش بوده است. نکته مهم مسله فراوانی این نانوذرات در طبیعت و نحوه آماده‌سازی این نانوذرات می‌باشند. بدلیل عدد اتمی فلزات و تاثیر این پارامتر در جذب و کاهش فلاکس تابش، غالباً نانوذرات بکار گرفته شده از جنس فلز می‌باشند. همچنین قیمت تمام شده بعضی از این نانوذرات از جهت اقتصادی مقرون به صرفه نمی‌باشد. استفاده از حفاظ‌های سبک در مراکز بیمارستانی که تصمیم به توسعه فضای بهره‌برداری از تابش‌های یونیزان را دارند، بسیار اهمیت دارد؛ بنابراین بررسی این نوع سازه در حفاظ‌سازی بسیار با اهمیت می‌باشد. در نظر است با مقایسه خواص حفاظتی در برابر تابش گاما برای کامپوزیت بکار گرفته شده و شیت‌های سربی در شرایط یکسان به استخراج تحلیل‌های مناسبی جهت کاربرد این کامپوزیت برای مقاصد حفاظتی دست پیدا کنیم. همچنین در این تحقیق علاوه بر درصد وزنی، به بررسی سایز ترکیبات نانو فلزی در بستر لاستیک جهت کاهش میزان تابش گاما نیز پرداخته شده است. در بکارگیری بستر اصلی نانوذرات تلاش می‌شود با استفاده از پودرهای لاستیک و رزین‌های آلی (چسب) و اعمال شرایط فیزیکی مناسب، فشردگی مطلوبی برای پودر لاستیک حاصل شود و حداقل مقدار ممکن از نظر حجم اشغال شده نمونه حاصل گردد.

بررسی تاثیر ترکیب وزنی در بکار بردن همزمان چند نانوذره در مطالعات گذشته وجود نداشته به عبارتی می‌توان ضریب وزنی هر کدام از نانوذرات را در کامپوزیت تغییر داد و به ترکیبی که هم از لحاظ قیمت و هم سبکی وزن مناسب باشد، دست یافت. کما اینکه بدلیل سختی شکل پذیری لاستیک در فرآیندهای حرارتی و به عنوان یک راهکار مناسب امکان



شکل ۲: لاستیک و نمونه‌های آماده شده.

در ارزیابی حفاظ ابتدا به بررسی اثر حفاظ لاستیکی بدون نانومواد و تاثیر آن در میزان کاهش شدت تابش و در مرحله دوم با بکارگیری حفاظ لاستیکی شامل نانومواد و تغییرات شدت تابش پرداخته شد. نمونه‌ها شامل گرانول‌های لاستیک و اکسید تنگستن (WO_3) با خلوص ۹۹/۹ و با درصد وزنی ۱۰٪، ۲۰٪ و ۴۰٪ و همینطور ترکیب آهن Fe با درصد وزنی ۱۰٪ و ۲۰٪ با اکسید تنگستن با درصد وزنی ۲۰٪ و ۴۰٪ انتخاب گردید. ضخامت حفاظ‌ها به نیز به ترتیب ۱/۵، ۳، ۴/۵ و ۶ سانتی‌متر در نظر گرفته شد. از ترکیب نانومواد با لاستیک با استفاده از دستگاه SEM (microscope scanning electron) تصویربرداری گردید تا ساختار میکروسکوپی حفاظ نیز از جهت اختلاط مشاهده گردد. دانسیته لاستیک به کار گرفته شده برابر $2/5 \text{ g/cm}^3$ و از نوع لاستیک طبیعی است.

۳- نتایج و بحث

یکی از روش‌های شناسایی مشخصات نانومواد از جمله شکل، اندازه، مساحت ویژه، نوع ساختار کریستالی و مساحت ویژه ذرات استفاده از تصویربرداری میکروسکوپ الکترون روبشی SEM است. تصاویر حاصل از SEM امکان بررسی نحوه توزیع و پراکندگی نانوذرات در بستر لاستیک و نیز سایز نانوذرات در نمونه‌ها را فراهم می‌آورد. تعدادی از تصاویر میکروسکوپ الکترونی در شکل ۳ (a,b) نشان داده شده است. قطر ذرات در تصاویر بدست آمده در محدوده ۴۰ تا ۵۴ نانومتر بوده و توزیع مناسبی از نظر یکنواختی مشاهده می‌شود. از نظر مورفولوژی عدم تجمع نانوذرات مشهود می‌باشد که بیانگر اختلاط مطلوب می‌باشد. بزرگنمایی بالای

در تنظیمات MCA (multi channel analyser) تعداد کانال‌ها ۱۰۲۴ بوده و ولتاژ منبع تغذیه ۵۵۰ V در نظر گرفته شد. چشمه رادیو اکتیو استفاده شده یک چشمه آزمایشگاهی کبالت ($Co-60$) بود که خواص فیزیکی آن در جدول (۱) آمده است.

نمونه‌های لاستیک مورد استفاده با آسیاب کردن لاستیک طبیعی و تهیه گرانول‌های لاستیک با سایز $0/001$ میلی‌متر آماده‌سازی گردید. این گرانول‌ها در قالب‌های از پیش آماده شده گذاشته و بصورت دقیق توزین گردید. در مراحل بعدی با توزین دقیق افزودن نانومواد با ترازویی با دقت $0/001 \text{ g}$ درصدهای وزنی مورد نظر تهیه و در میکسر سانتریفیوژی اختلاط کامل حاصل گردید. سپس مواد مخلوط شده در قالب‌های استوانه‌ای به ارتفاع $1/5 \text{ cm}$ و شعاع $2/5 \text{ cm}$ از جنس پلکسی گلاس با ضخامت 1 mm ریخته شد (شکل ۲). کالیبراسیون دستگاه MCA با چشمه گامای $Co-60$ انجام شده و سپس شمارش زمینه طی چند بازه 300 s اندازه‌گیری و ثبت گردید. در مرحله بعد طیف انرژی گامای $Co-60$ بدون استفاده از حفاظ در فاصله 4 cm از سطح دتکتور و طی 600 s با استفاده از نرم‌افزار APTEC ثبت گردید. لازم بذکراست مطابق قانون جذب نمایی تابش، شدت تابش (شمارش) اولیه (I_0) شدتی است که بدون حفاظ به آشکارساز رسیده و ثبت می‌گردد. $I(x)$ شدت تابشی حالتی است که طی آن تابش از حفاظ به ضخامت x و ضریب جذب خطی μ عبور و توسط آشکارساز ثبت می‌گردد (معادله ۱):

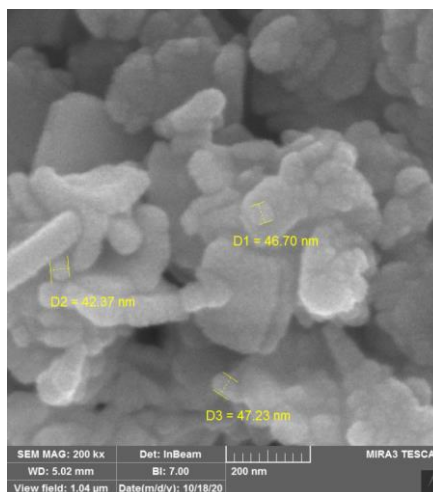
$$I(x) = I_0 \exp(-\mu x) \quad (1)$$

$$\ln(I) = \ln(I_0) - \mu x \quad (2)$$

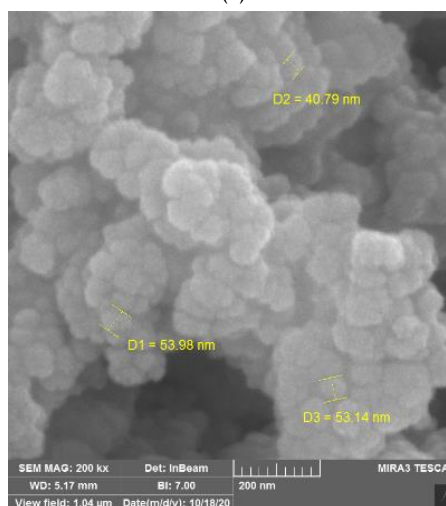
در مرحله بعد با قرار دادن حفاظ‌های تهیه شده حفاصل چشمه رادیو اکتیو و آشکارساز طیف انرژی تابشی اندازه‌گیری و ثبت گردید. برای تنظیم دقیق فاصله چشمه تا سطح آشکارساز از یک تثبیت کننده فاصله استفاده شد تا شرایط در تمام آزمایش یکسان باشد.

به این نقطه شاخص در هر مورد اندازه گیری و ثبت شد. همچنین طیف های انرژی برای نانومواد مختلف در ضخامت های ۱/۵، ۳، ۴/۵ و ۶ cm بصورت مقایسه ای گردآوری گردید. چنانچه انتظار داریم با افزایش ضخامت حفاظ میزان شمارش کاهش یافته و از این واقعیت و دیتای مربوط برای محاسبه میزان ضریب جذب خطی (μ) استفاده گردید. مشخصا تغییر درصد وزنی نانومواد اکسید تنگستن و آهن تغییرات قابل توجهی در میزان حفاظ بوجود آورده است که در این میان اکسید تنگستن با جرم اتمی برابر با $183/84 \text{ amu}$ نقش به سزایی در کاهش شدت تابش ایفا می کند. در شکل ۴ طیف انرژی گاما برای مشاهده اثر ضخامت حفاظ لاستیکی بدون نانومواد در ضخامت های ۳ و ۶ cm به صورت نمونه نمایش داده شده است. همچنین برای مقایسه طیف انرژی در حفاظ های نانوکامپوزیتی در شکل های ۴ الی ۹ نمونه هایی برای ضخامت های مختلف حاوی اکسید تنگستن ۱۰٪ و ۲۰٪ و همینطور ترکیب آهن ۱۰٪ و ۲۰٪ با اکسید تنگستن ۲۰٪ و ۴۰٪ آورده شده است.

تصاویر به وضوح نشان می دهد که ذرات بزرگ در واقع توده های ذرات بسیار کوچکتر هستند.

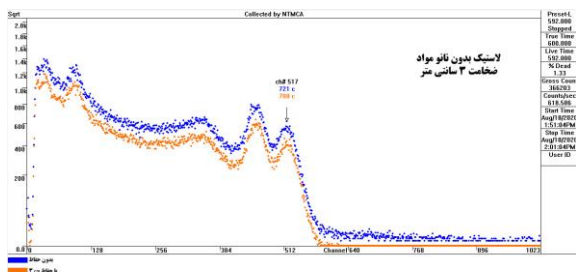


(a)

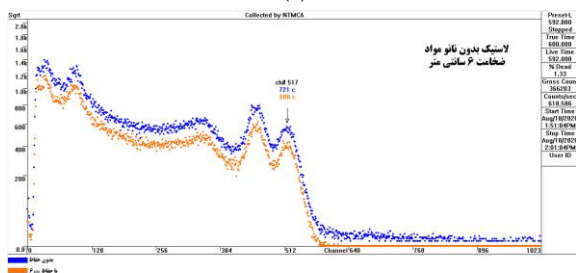


(b)

شکل ۳: تصاویر SEM مربوط به حفاظ لاستیک با (a) نانومواد شامل $\text{Fe}(20\%)$ و $\text{WO}_3(40\%)$ و (b) نانومواد شامل $\text{Fe}(20\%)$ و $\text{WO}_3(20\%)$.



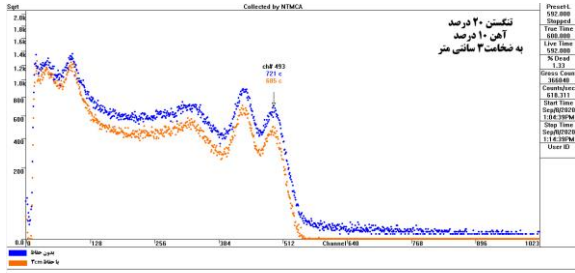
(a)



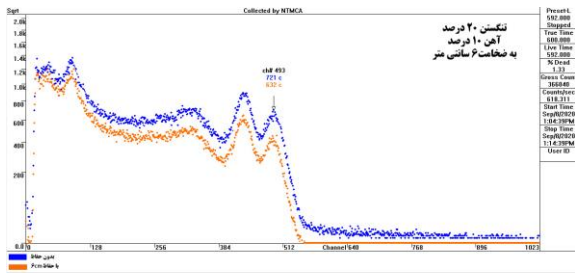
(b)

شکل ۴: تصاویر مقایسه طیف انرژی پرتو گاما در حالت (a) بدون حفاظ و (b) لاستیک بدون نانومواد در ضخامت ۳ و ۶ cm.

خواص حفاظ را به صورت شماتیک از نتایج حاصل از MCA بررسی و با یکدیگر مقایسه گردیده اند. برای مقایسه تاثیر نانومواد مختلف با درصد های متفاوت در حفاظ مورد استفاده از کانال مرتبط با فوتوپیک در طیف انرژی گاما استفاده شده است. لذا شاخص فوتوپیک مربوط به انرژی $1/33 \text{ MeV}$ در طیف انرژی انتخاب گردید و شمارش مربوط

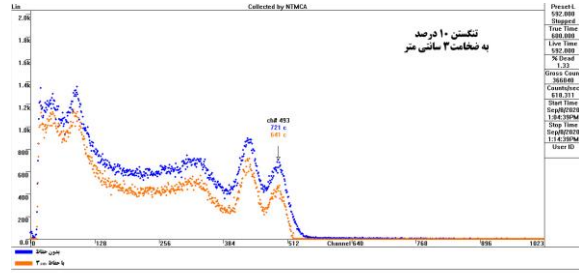


(a)

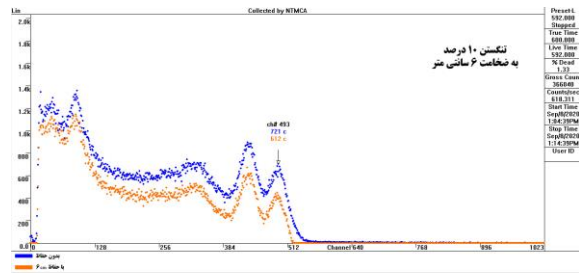


(b)

شکل ۷: مقایسه طیف انرژی پرتو گاما در حالت (a) بدون حفاظ (b) و لاستیک با نانوماده شامل $WO_3(20\%)$ و $Fe(10\%)$.

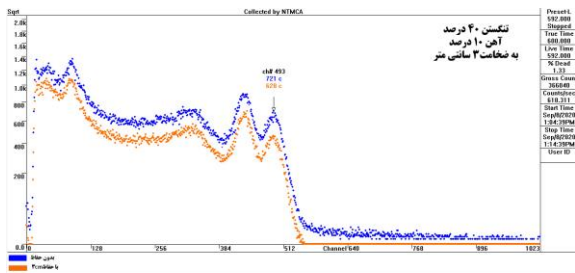


(a)

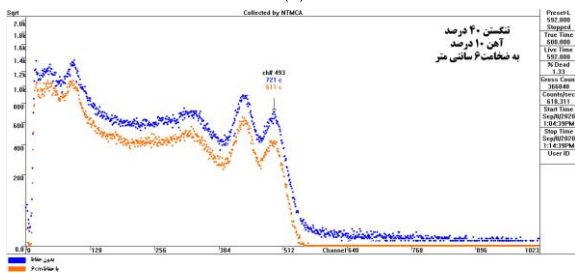


(b)

شکل ۵: مقایسه طیف انرژی پرتو گاما در حالت (a) بدون حفاظ (b) و لاستیک با نانوماده شامل $WO_3(10\%)$.

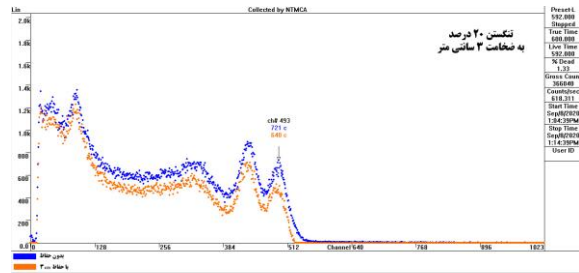


(a)

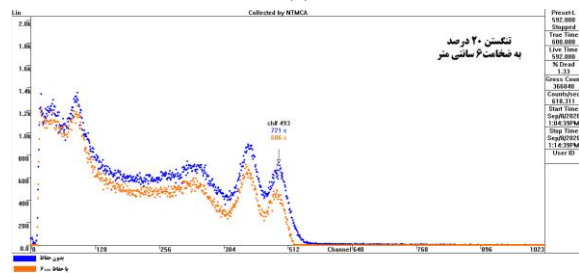


(b)

شکل ۸: مقایسه طیف انرژی پرتو گاما در حالت (a) بدون حفاظ (b) و لاستیک با نانوماده شامل $WO_3(40\%)$ و $Fe(10\%)$.



(a)



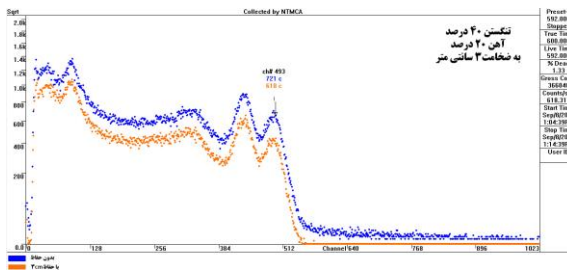
(b)

شکل ۶: مقایسه طیف انرژی پرتو گاما در حالت (a) بدون حفاظ (b) و لاستیک با نانوماده شامل $WO_3(20\%)$.

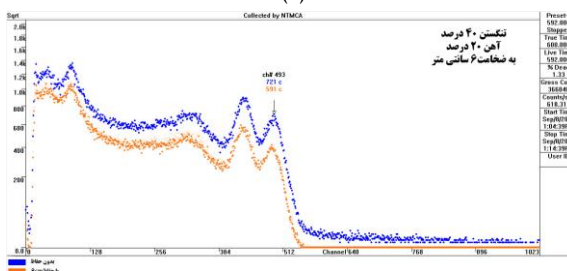
ثبت شده است که نشان دهنده کاهش نسبی ۱۰٪ در استفاده از لاستیک شامل $WO_3(10\%)$ به عنوان حفاظ می‌باشد. به صورت مشابه در شکل‌های (۵) و (۶) نیز با افزایش درصد وزنی اکسید تنگستن در ضخامت ۶ cm از لاستیک مشاهده

چنانچه مشاهده می‌شود در شکل‌های (۴) و (۵) تعداد شمارش ثبت شده توسط آشکارساز در انرژی ۱/۳۳ MeV در مقایسه بین ضخامت ۶ cm از لاستیک بدون نانومواد و لاستیک شامل $WO_3(10\%)$ از میزان ۶۸۰ شمارش به ۶۱۲

می‌شود که میزان شمارش در نقطه شاخص از ۶۱۲ شمارش در (10%) WO₃ به ۶۰۶ شمارش در (20%) WO₃ کاهش یافته که حاکی از کاهش نسبی ۰/۹۸٪ می‌باشد.



(a)



(b)

شکل ۹: مقایسه طیف انرژی پرتو گاما در حالت (a) بدون حفاظ و (b) لاستیک با نانوماده شامل (20%) Fe و (40%) WO₃.

چنانچه مشاهده می‌شود افزایش عدد اتمی و تاثیر آن در افزایش مقدار ضریب جذب خطی (μ) به دلیل اثر جذب فوتوالکتریک می‌باشد.

جدول ۲: مقایسه درصد کاهش نسبی شمارش در ضخامت‌های مختلف ماده حفاظ.

ضخامت (cm)	۱/۵	۳	۴/۵	۶	ماده
لاستیک شامل (10%) WO ₃	۳/۷۶	۸/۴۳	۹/۵۶	۱۰	
لاستیک شامل (20%) WO ₃	۷/۷۸	۸/۵۷	۱۰/۴۲	۱۰/۸۸	
لاستیک شامل (20%) WO ₃ و (10%) Fe	۱/۸۱	۲/۱۲	۷/۶۹	۷/۰۶	
لاستیک شامل (40%) WO ₃ و (10%) Fe	۵/۲۹	۱۰/۲۶	۸/۸۵	۱۰/۱۵	
لاستیک شامل (40%) WO ₃ و (20%) Fe	۸/۲۲	۱۱/۷۱	۱۰/۸۶	۱۳/۰۹	

در جدول (۲) کاهش نسبی شمارش در ضخامت‌های مختلف ماده حفاظ مورد مطالعه در مقایسه با لاستیک آورده شده

است. برای محاسبه مقدار ضریب تضعیف خطی از قانون جذب نمایی و بصورت لگاریتمی (معادله ۲) مواد مختلف بررسی و مطالعه گردید. چنانچه می‌دانیم شیب نمودار لگاریتم شدت بر حسب تابعی از ضخامت حفاظ بیانگر مقدار μ می‌باشد. متعاقباً با استفاده از مقدار μ، مقدار ضخامت لایه نیمه کننده محاسبه شده است. این مقادیر برای تمامی حالت‌های نشان داده شده در قالب شکل (۱۰) محاسبه و در جدول (۳) آورده شده است.

مقایسه مقادیر HVL بدست آمده در مورد سرب و نانومواد مختلف در جدول (۳) بیانگر آنست که ۱/۲۷ mm از سرب اثر تضعیف کننده معادل با ۱۶/۱۷ سانتی متر از WO₃(40%)+Fe(20%) داراست.

مقدار ضخامت HVL برابر با ۱۶/۹۰، ۱۷/۳۶، ۱۷/۷۷ و ۲۵/۶۷ به ترتیب برای (10%) WO₃+Fe(10%)، (20%) WO₃+Fe(10%) و (20%) WO₃+Fe(10%) با مقایسه نتایج بدست آمده مشخص گردید که بکارگیری نانومواد اکسید تنگستن ۴۰٪ به همراه ۲۰٪ آهن مقدار HVL را در مقایسه با نانو اکسید تنگستن با درصد وزنی ۱۰٪ به کاهشی به اندازه ۳۴٪ می‌رساند. این مقدار در مقایسه با نانو اکسید تنگستن ۲۰٪ کاهش ۴٪ را به همراه دارد.

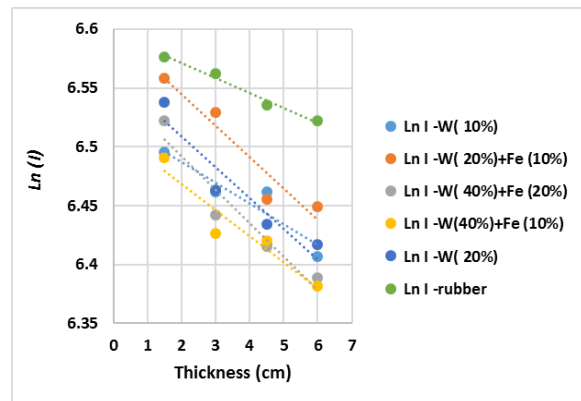
از لحاظ جرم بکار گرفته شده و با توجه به دانسیته سرب و لاستیک که به ترتیب برابر با ۱۱/۳۴ g.cm⁻³ و ۱/۵۲ g.cm⁻³ می‌باشند، به نظر می‌رسد بکارگیری لاستیک در مواردی که محدودیت وزن به دلیل سنگینی سرب برای سازه‌ای وجود داشته باشد می‌توان با بکارگیری لاستیک این محدودیت را مرتفع نمود. از نقطه نظر اقتصادی نیز استفاده از لاستیک در مقایسه سرب مقرون به صرفه می‌باشد. از آنجایی که ضایعات لاستیک طبیعی یکی از معضلات محیط زیستی در جامعه جهانی می‌باشد با یک فناوری صنعتی که شامل پودر کردن لاستیک و افزودن درصد مناسب نانومواد به آن است، می‌توان کامپوزیت‌های سبک و کارآمدی را به جای سرب معرفی نمود. در یک آزمایش دیگر نمونه‌های آماده شده بوسیله مواد خنثی نگهدارنده فشرده‌سازی شد. نمونه‌های

بودن، انعطاف‌پذیری و بکارگیری نانومواد با عدد اتمی بالا کارایی بسیار مناسبی در حفاظ‌سازی پرتوهای تابشی خواهد داشت که می‌تواند برای اتاق‌های عاری از تابش بکار گرفته شود. خواص لاستیک بکار گرفته شده با استفاده از ویژگی HVL بررسی و مورد ارزیابی قرار گرفت. می‌توان امید داشت که با تغییر ترکیبات نانومواد به ساختار بهینه برای کاربرد های کلینیکی دسترسی پیدا نمود.

مراجع

- [1] Japan Radioisotope Association, *Radioisotopes*, **67**, 2018, 339.
- [۲] سید مهدی حسینی پویا "مبانی دزسنجی در پرتوگیری خارجی"، پژوهشگاه علوم و فنون هسته‌ای، ۱۳۹۴.
- [3] A. Mheemeed, H. Hasan, F. Al-Jomaily, *Journal of Radioanalytical and Nuclear Chemistry*, **291**, 2012, 653.
- [4] H. Cember, E. Johnson, *Introduction to Health Physics*. 2009 McGraw-Hill, Illinois.
- [5] W. Zhang, Y. Yang, *Polymers*, **16**, 2024, 3274.
- [6] M.M. Atta, M.T. Abou-Laila, *Polymer Engineering & Science*, **63**, 2023, 3843.
- [۷] نقی بیات "مطالعه تضعیف پرتوهای گاما توسط بتن باربت"، پایان‌نامه کارشناسی ارشد، دانشگاه یزد، ۱۳۸۳.
- [8] V.P. Singh, N.M. Badiger, N. Chanthima, *Physics and Chemistry*, **98**, 2014, 14.
- [9] R. Bagheri, R. Adeli, *Radiation Physics and Chemistry*, **174**, 2020, 108918.
- [10] A. Levet, *European Physical Journal Plus*, **10**, 2024, 935.
- [11] M.T. Alabsy, M.A. Elzaher, *Scientific Reports*, **13**, 2023, 7744.
- [12] W. Poltabtim, E. Wimolmala, K. Saenboonruang, *Radiation Physics and Chemistry*, **153**, 2018, 1.
- [13] C. Zeng, Q. Kang, Z. Duan, B. Qin, X. Feng, *Journal of Inorganic and Organometallic Polymers and Materials*, **33**, 2023, 2191.
- [14] A.M. Onaizi, M. Amran, W. Tang, *Journal of Building Engineering*, **20**, 2024, 110800.
- [15] H. Kosaka, M. Tamura, S. Hattori, H. Monzen, *Radiation Protection Dosimetry*, **199**, 2023, 366.
- [16] H. Mohamed, *Materials Chemistry and Physics*, **1**, 2022, 126277.
- [17] M.T. Alresheedi, M. Elsafi, *Polymers*, **15**, 2023, 2160.
- [18] S.H. Hosseini, S. Noushin Ezzati, M. Askari, *Polymers for Advanced Technologies*, **26**, 2015, 561.
- [19] B. Buyuk, A.B. Tugrul, *Annals of Nuclear Energy*, **71**, 2014, 46.
- [20] J. Kim, D. Seo, B.C. Lee, Y.S. Seo, W.H. Miller, *Advanced Engineering Materials*, **16**, 2014, 1083.
- [۲۱] فرناز ناصحی، "بررسی امکان کاهش ضخامت جرمی حفاظ‌های پرتو گاما با استفاده از مواد نانو کامپوزیت"، پایان‌نامه کارشناسی ارشد، دانشگاه تبریز، ۱۳۹۴.

حفاظ تهیه شده با پارافین مایع مخلوط و تحت فشار قرار گرفت تا بدین ترتیب ابعاد حفاظ کوچکتر شود.



شکل ۱۰: مقایسه لگاریتم شدت بر حسب تابعی از ضخامت برای حفاظ‌های مختلف.

جدول ۳: مقایسه مادری μ و HVL برای حفاظ‌های مختلف.

HVL (cm)	μ (cm ⁻¹)	ماده حفاظ
۳۴/۶۵	۰/۰۲	لاستیک
۲۵/۶۷	۰/۰۲۷	WO ₃ (10%)
۱۷/۷۷	۰/۰۳۹	WO ₃ (20%)
۱۷/۳۶	۰/۰۴	WO ₃ (20%)+Fe(10%)
۱۶/۹۰	۰/۰۴۱	WO ₃ (40%)+Fe(10%)
۱۶/۱۷	۰/۰۴۳	WO ₃ (40%)+Fe(20%)

۴- نتیجه گیری

در این تحقیق، طراحی حفاظ لاستیکی با ترکیبات نانو برای تابش‌های با انرژی مگا ولتاژی بررسی گردید. در این راستا درصد نانومواد فلزی مختلفی به گرانول‌های لاستیک اضافه گردید. نتایج نشان می‌دهد که با افزایش درصد نانومواد ضریب تضعیف خطی نیز افزایش می‌یابد. نکته قابل توجه آن است که این نوع حفاظ می‌تواند جایگزین مناسبی برای حفاظ‌های بتنی یا سربی باشد. با توجه به خواص فیزیکی کامپوزیت لاستیک بکار گرفته شده از جمله خاصیت ضد آب