

ساخت، مشخصه‌یابی و شبیه‌سازی خواص حفاظت در برابر پرتوی گامای نانوکامپوزیت لاستیک سیلیکون آمیخته با نانوذرات اکسید بیسموت

مریم دژانگاه^۱، مجید قجاوند^{۱*}، رضا پورصالحی^۲ و رضا قلی‌پور پیوندی^۳

^۱دانشگاه علم و صنعت ایران، تهران، ایران.

^۲دانشگاه تربیت مدرس، تهران، ایران.

^۳دانشکده فیزیک، دانشگاه صنعتی شاهرود، شاهرود، ایران.

* تهران، دانشگاه علم و صنعت ایران، دانشکده فناوری‌های نوین، کد پستی: ۱۶۸۴۶۱۳۱۱۴

پست الکترونیکی: Ghojvand@iust.ac.ir

چکیده

در این پژوهش بعد از ساخت نانوکامپوزیت لاستیک سیلیکون با افزودنی ذرات اکسید بیسموت، قابلیت جذب پرتوی گاما آن مورد بررسی قرار گرفت. با توجه به اینکه زمینه‌ی پلیمری و نانوذرات در یکدیگر قابل امتزاج بودند، روش فرآوری محلول جهت آماده‌سازی نمونه انتخاب شد و آزمایش میزان تضعیف پرتو گاما در برابر چشمه‌ی آمرسیوم صورت گرفت. نتایج آزمایش تضعیف نشان می‌دهد که حفاظ‌های نانوکامپوزیتی ساخته شده از کارایی بالایی برخوردار هستند به طوری که حفاظ لاستیک سیلیکون - اکسید بیسموت با ضخامت ۲/۱۵ میلی‌متر و ۷۰ درصد وزنی پرکننده، ۸۲ درصد فوتون‌های چشمه‌ی آمرسیوم را جذب می‌کند. در نهایت با استفاده از کد مونت کارلو برای نمونه‌های تهیه شده در مقابل چشمه‌ی آمرسیوم شبیه‌سازی انجام شده و نتایج به دست آمده با نتایج تجربی مقایسه شد؛ که این کد نتایج تجربی را تأیید می‌کند.

کلیدواژگان: لاستیک سیلیکون، اکسید بیسموت، حفاظت، انعطاف‌پذیر، آمرسیوم، مونت کارلو

۱. مقدمه

غیر مخرب^۱ استفاده می‌شود [۱ و ۲]. در دستگاه‌های پرتو پزشکی که تنها بخشی از بدن فرد باید پرتو دهی شود استفاده از حفاظ‌های سربی و قالب‌های بتنی که مستحکم و غیرقابل انعطاف هستند، مشکلاتی ایجاد خواهند کرد. در نتیجه سعی می‌شود تا جاذب‌های غیر سربی انعطاف‌پذیر به منظور حفاظت در برابر پرتوهای یون‌ساز پزشکی ساخته شود. در این بین کامپوزیت‌ها یکی از مناسب‌ترین و پرکاربردترین مواد برای

گاما پرتویی الکترومغناطیسی با بسامد بالا و در نتیجه انرژی بالا است. اشعه‌ی گاما پرتویی یونیزان است که برای سلامتی مضر است. پرتوی گاما به طور معمول در نتیجه‌ی فروپاشی حالت‌های انرژی بالای هسته‌های اتم تولید می‌شود. از اشعه-ی گاما در تشخیص سرطان و فیزیوتراپی و همچنین در تشخیص ترکیب‌های لوله و بررسی چاه‌های نفت به عنوان آزمون

¹ Non Destructive Test (NDT)

ساخت حفاظ تابش‌های هسته‌ای گاما با خواص مکانیکی موردنظر است. یک ماده‌ی کامپوزیت، ترکیبی فیزیکی در مقیاس ماکروسکوپی است که از دو یا چند ماده‌ی مختلف به‌دست آمده است. در ساده‌ترین حالت یک کامپوزیت شامل یک پایه‌ی پلیمری و یک یا چند جزء به‌عنوان پرکننده است [۳].

به منظور دستیابی به خواص حفاظتی در برابر پرتو گاما ضروری است که پرکننده‌ای با عدد اتمی بالا (مانند سرب) یا ترکیبات آن‌ها بطور یکنواخت در ماتریس پلیمری قرار گیرد [۱۳-۴]. دلیل استفاده از عناصر با عدد اتمی بالا این است که سطح مقطع پراکندگی هر اتم در اثر فوتو الکتریک تقریباً با توان چهارم عدد اتمی متناسب است [۵، ۷، ۱۰، ۱۳]. پارامتر مؤثر دیگر در مقدار تضعیف پرتو، چگالی جرمی فلز است چرا که نشان‌دهنده آن است که چه تعداد مرکز پراکندگی در واحد حجم وجود دارد. واضح است که هر چه تعداد اتم‌ها در واحد حجم بیشتر باشد به همان نسبت پراکندگی اتم‌ها بیشتر خواهد بود. بر این اساس فلزات سنگینی چون تنگستن و بیسموت و سرب به دلیل عدد اتمی بالا و چگالی جرمی قابل توجه برای استفاده به‌عنوان پرکننده مناسب هستند.

در حفاظ‌های کامپوزیتی، استفاده از ذرات ریزتر، و در حالت ایده‌آل نانومتری، به‌عنوان پرکننده می‌تواند موجب افزایش استحکام مکانیکی، افزایش ضریب تضعیف، افزایش مقاومت در فرایند پرتوگیری، افزایش انعطاف پذیری و کاهش وزن و حجم گردد. در توضیح این موارد اینکه، افزایش زیاد درصد فاز پرکننده باعث کاهش استحکام مکانیکی کامپوزیت می‌گردد و همین مسئله حداکثر درصد افزودنی را با محدودیت عملی مواجه می‌کند. از طرفی، در شرایطی که نسبت وزنی پرکننده ثابت بماند، کوچک شدن اندازه ذرات پرکننده استحکام مکانیکی کامپوزیت را افزایش می‌دهد [۱۴]. بر این اساس با استفاده از ذرات ریزتر، بدون این‌که از حداقل

استحکام لازم عدول کنیم، امکان افزایش درصد وزنی فلز سنگین در حفاظ کامپوزیتی فراهم می‌شود که به معنی افزایش ضریب تضعیف جرمی کامپوزیت می‌باشد. در نتیجه برای تأمین یک مقدار جذب مشخص می‌توان از مقدار ماده کمتری (هم از نظر وزنی و هم جرمی) برای ساخت حفاظ استفاده کرد [۱۴]. مزیت دیگر استفاده از نانوذرات در حفاظ‌های کامپوزیتی به افزایش ضریب جذب خطی گاما در انرژی‌های پایین به دلیل افزایش در زاویه پراکندگی باز می‌گردد. [۱۳، ۱۱، ۵، ۸]. افزایش مقاومت حفاظ در پرتوگیری [۱۵] و حفظ انعطاف پذیری پلیمر به دلیل توزیع یکنواخت‌تر استرس در کامپوزیت و کم شدن تمرکز استرس در نقاط مختلف آن [۱۶] موارد دیگری از فواید استفاده از پرکننده‌های نانومتری در ساخت حفاظ می‌باشند.

در راستای حفاظت در برابر پرتو، کالوکشین و همکارانش از پایه‌ی پلیمری پلی‌اتیلن با وزن مولکولی بالا و نانوذرات (B_۴C, BN, Pb, W) به‌عنوان پرکننده استفاده کردند که نانو-کامپوزیت‌های به‌دست آمده منجر به افزایش ضریب پراکندگی اشعه‌ی ایکس تا ۴۰٪ شده است [۶]. هاریش و همکارانش اثر ترکیب سه اکسید سرب (PbO, PbO_۲, Pb_۲O_۳) را روی کامپوزیت پلیمری رزین ایزوفتالیک در تضعیف پرتوهای گاما بررسی کردند و مشاهده کردند که با افزایش میزان پرکننده میزان تضعیف افزایش پیدا می‌کند. همچنین کامپوزیت ISO+PbO به نسبت دو کامپوزیت دیگر از تضعیف بهتری برخوردار بوده که دلیل آن بالاتر بودن درصد پرکننده‌ی Pb درون ماتریس کامپوزیت معرفی کرده‌اند و نیز به این نتیجه دست یافتند که توزیع یکنواخت پرکننده‌ی اکسید سرب اثربخشی بهتری در کارایی حفاظت کامپوزیت دارد [۸]. اید از پایه‌ی پلیمری اپوکسی فنیل و اکسید سرب به‌عنوان پرکننده استفاده کرده است. نتیجه‌ی حاصله تولید مواد پلیمری با وزن سبک و مقاومت مکانیکی و حرارتی خوب، با حفاظت خوب

۲. مواد و روش‌ها

در این پژوهش از لاستیک سیلیکون^۱ PDMS با فرمول شیمیایی $\text{CH}_3[\text{Si}(\text{CH}_3)_2\text{O}]_n\text{Si}(\text{CH}_3)_3$ به‌عنوان پایه‌ی پلیمری (چگالی $1/13 \text{ g/cm}^3$) و پرکننده‌ی اکسید بیسموت با چگالی $8/9 \text{ g/cm}^3$ استفاده شد. نانوذرات مورد استفاده محصول شرکت دای جونگ کره و اندازه ذرات آن‌ها حدود ۳۵ نانومتر بود. با توجه به اینکه نانوذرات اکسید بیسموت در پایه‌ی پلیمری لاستیک سیلیکون قابل امتزاج هستند روش فرآوری محلول جهت تهیه‌ی نانوکامپوزیت‌های لاستیک سیلیکون - اکسید بیسموت انتخاب شد [۳۴-۳۲].

روش آزمایش بدین‌صورت که در ابتدا با ترازوی دیجیتالی با توجه به درصد وزنی هریک از اجزای تشکیل‌دهنده‌ی نانو کامپوزیت مواد جدا شد و در یک بشر مخلوط شد و درون قالب در دمای اتاق به‌منظور خشک شدن قرار گرفت و پس از اینکه نمونه‌ها خشک شدند از قالب خارج شدند و در نهایت ضخامت نمونه‌ها به‌وسیله‌ی ریزسنج اندازه‌گیری شد. در جدول ۱ ضخامت و چگالی نمونه‌های ساخته شده آورده شده است.

در این تحقیق از چشمه‌ی آمرسیوم - ۲۴۱ با نیمه‌عمر ۴۳۲ سال استفاده شده است؛ که دارای طیف انرژی ویژه به خود است [۳۵]. ضریب تضعیف جرمی و درصد تضعیف اشعه‌ی گاما با ضخامت و درصد پرکننده‌ی مختلف به‌دست آمده است. آشکارساز مورد استفاده یدور سدیم اصلاح شده به‌وسیله‌ی تالیم بوده که درون محفظه‌ای به جنس آلومینیوم قرار دارد که باعث می‌شود انرژی‌های کمتر از 40 KeV به آشکارساز نرسد. چشمه‌ی آمرسیوم به‌وسیله‌ی پوشش آلومینیومی احاطه شده است که با توجه به عدد اتمی، چگالی و ضخامت پایین آن نمی‌توان نقش همسوساز را برای آن در نظر گرفت.

در برابر پرتوهای ایکس در محدوده ۶۶۲ تا ۱۳۳۷ کیلو الکترون‌ولت بوده است [۹]. ایوانوف و همکارانش حفاظتی از جنس ماده‌ی پلیمری پلی‌اتیلن با وزن مولکولی بالا به همراه تنگستن و کربن‌کاربید نانوکامپوزیت ساختند و نتیجه گرفتند که با افزایش پرکننده ضریب تضعیف افزایش پیدا می‌کند [۱۰]. لیو به همراه همکارانش با ساخت میکروکامپوزیت و نانوکامپوزیت پلیمری $\text{Gd}(\text{AA})_2/\text{NA}$ به این نتیجه دست یافتند که استفاده از نانوذرات قابلیت حفاظت را افزایش می‌دهند [۴]. بوتلهو به همراه همکارانش تأثیر اندازه‌ی میکرو و نانوذرات پرکننده‌ی اکسید مس درون کامپوزیت را روی تضعیف پرتوی گامای کم‌انرژی بررسی کردند. آن‌ها به این نتیجه رسیدند که در انرژی‌های پایین میزان تضعیف اندازه‌ی نانو از میزان تضعیف ناشی از اندازه‌ی میکرو بیشتر است [۵]. نورآزمان و همکارانش از اپوکسی به‌عنوان پایه‌ی پلیمری و از اکسیدتنگستن به‌عنوان عامل جاذب استفاده کردند و به این نتیجه رسیدند که اندازه‌ی نانو و میکرو پرکننده‌ها در انرژی‌های ۱۰-۳۰ کیلو الکترون‌ولت در میزان تضعیف پرتو بسیار مؤثر و در انرژی‌های بالاتر این تأثیر کمتر می‌شود [۱۱، ۱۲]. نمونه‌های دیگری با استفاده از کامپوزیت‌ها برای مقاصد حفاظت پرتو در مراجع [۳۱] تا [۱۷] آمده است.

در این پژوهش از پلیمر لاستیک سیلیکون با توجه به ویژگی‌های آن، که عبارتند از: عایق آب، عایق رطوبت، عایق هوا، عایق صدا، مقاوم در برابر حرارت، مقاوم در برابر برودت، مقاوم در برابر اسید، مقاوم در برابر روغن و خاصیت نارسایی الکتریسیته؛ استفاده شد و برای دستیابی به حفاظ پرتوی گاما از نانوذره‌ی اکسید بیسموت با توجه به عدد اتمی بالا و همچنین غیر سمی بودن آن به‌عنوان پرکننده استفاده شد؛ و نتایج برای چشمه‌ی آمرسیوم مورد بررسی قرار گرفت.

¹ Polydimethylsiloxane

۳. آزمایش پرتو دهی

کاهش پرتوی گاما (dI)، در یک ضخامت کوچک از ماده (حفاظ) dx ، در هر نقطه از ماده متناسب است با شدت پرتو در آن نقطه $I(x)$ و ضخامت dx

$$dI \propto I(x)dx \quad (۱)$$

یک ثابت تناسب به این رابطه اضافه می شود و از آنجا که $dI(x)$ مقداری است که کاهش یافته است در نتیجه به همراه یک ضریب منفی خواهد بود که به صورت رابطه ی ۲ است.

$$dI = -\mu I(x)dx \quad (۲)$$

با انتگرال گیری شدت روی کل ضخامت حفاظ، عبارت زیر به دست می آید:

$$I = I_0 e^{-\mu x} \quad (۳)$$

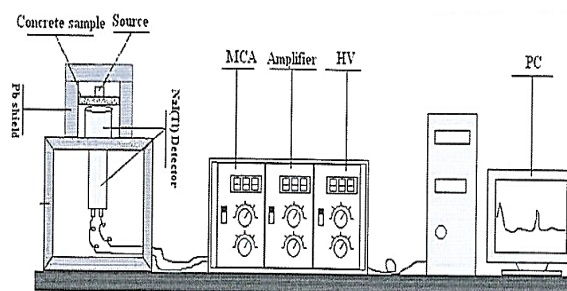
در این رابطه I_0 شدت پرتو فرودی، I شدت پرتو عبوری، x ضخامت جذب کننده (cm) و μ ضریب تضعیف خطی (cm^{-1}) است که به جنس ماده ی جذب کننده و انرژی فوتون های فرودی بستگی دارد و در واقع این کمیت مجموع احتمال رخداد چهار برهم کنش ممکن برای پرتوی گاما که عبارتند از برهم کنش پراکندگی فوتوالکتریک، برهم کنش پراکندگی کامپتون، برهم کنش تولید زوج و برهم کنش پراکندگی همدوس با الکترون های ماده است. در معادلات فوق تصور بر این است باریکه ی موازی بر حفاظ با ضخامت کم فرود آید، در نتیجه در این حالت هرگاه یک فوتون دچار یک برهم کنش شد از مسیر باریکه خارج شده و وارد آشکارساز نمی شود؛ اما در واقعیت امکان دارد باریکه ای واگرا بر حفاظی ضخیم فرود آید که در نتیجه ممکن است پرتوها دچار برهم کنش پراکندگی شوند اما باز وارد آشکارساز شوند که در این حالت مقدار شدت دریافتی در آشکارساز بیشتر از مقدار پیش بینی شده توسط رابطه ی ۳ است و در نتیجه ضخامت حفاظ کمتر از مقدار لازم برآورد می شود. اثر پرتوهای پراکنده

جدول (۱): ضخامت و چگالی نانوکامپوزیت ها

کد نمونه	درصد اکسید بیسموت	ضخامت (سانتی متر)	چگالی (گرم / سانتی متر مکعب)
۱	۱۰	۰/۲۰۰	۱/۲۳
۲	۲۰	۰/۲۲	۱/۳۶
۳	۳۰	۰/۲۶۰	۱/۵۲
۴	۴۰	۰/۲۵۳	۱/۷۳
۵	۵۰	۰/۲۳۰	۱/۹۹
۶	۶۰	۰/۱۸۸	۲/۳۶
۷	۷۰	۰/۲۱۵	۲/۸۴

در نتیجه پرتوها به صورت واگرا بر روی حفاظ فرود می آیند و ضریب انباشت ظاهر می شود. آشکارساز مورد استفاده شدت اشعه ی گاما قبل از برخورد با حفاظ و بعد از عبور از آن از ضخامت های مختلف از نانوکامپوزیت های ساخته شده ی حاوی درصد وزنی مختلف از اکسید بیسموت را ثبت می کند که پس از گذر از تحلیل گر چندکاناله^۱ و تقویت کننده و افزایش ولتاژ به صورت عددی وارد دستگاه رایانه می شود.

هر نانوکامپوزیت با ضخامت معین دو بار به مدت یک دقیقه در مقابل چشمه ی گامای آمرسیوم قرار گرفت و نتایج ثبت شد. شماتیک چیدمان آزمایش اندازه گیری ضریب تضعیف در شکل ۱ آمده است.



شکل (۱): شماتیک چیدمان آزمایش تضعیف پرتو گاما

¹ Multi Channel

آلومینیومی با ضخامت ۲ میلی‌متر قرار دارد. در فاصله‌ی ۷ میلی‌متری از جعبه، ورقه‌ی آلومینیومی به ضخامت ۲ میلی‌متر قرار دارد که حد فاصل بین جعبه و ورقه محل قرار گرفتن نمونه‌ها است. چشمه‌ی نقطه‌ای آمرسیوم درون پوشش آلومینیومی به ضخامت ۱ میلی‌متر قرار دارد که مجموع چشمه و پوشش آلومینیومی درون استوانه‌ای به شعاع داخلی ۱/۱ سانتی‌متر و شعاع خارجی ۱/۵ سانتی‌متر از جنس پلی‌پروپیلن قرار گرفته‌اند. با توجه به شکل کل سامانه روی تخته‌ی چوبی به ضخامت ۳ سانتی‌متر قرار دارد. در این شبیه‌سازی از تالی f8 که ارتفاع پالس^۲ نامیده می‌شود که در واقع فراوانی انرژی ثبت شده در هر سلول را بیان می‌کند و متناسب با میزان فوتونی است که آشکارساز ثبت می‌کند استفاده شده است [۳۹،۳۸،۳۷،۳۶]. در مرحله‌ی اول مقدار f8 برای چشمه‌ی آمرسیوم بدون قراردادن نمونه‌ها به‌دست می‌آید که عدد به دست آمده برابر با I_0 است. در مراحل بعد با استفاده از همین تالی، برنامه برای زمانی که هر یک از نمونه‌ها در مقابل چشمه-ی آمرسیوم قرار دارند اجرا می‌شود و در هر مرحله خروجی تالی یادداشت شده که برابر با مقدار I است و درصد تضعیف و ضریب تضعیف جرمی برای هر نمونه به‌دست می‌آید.

شده را با استفاده ضریبی بنام ضریب انباشت^۱ لحاظ می‌کنند [۳۱ و ۳۱]؛ که تابعی از ماده‌ی حفاظ، ضخامت آن و انرژی پرتو است [۱۳]. در نتیجه در این حالت معادله‌ی ۳ به‌صورت زیر تغییر می‌کند.

$$I = B(\mu x, E) I_0 e^{-\mu x} \quad (4)$$

و با استفاده از رابطه‌ی ۵ درصد تضعیف را برای هر نمونه به‌دست خواهیم آورد.

$$Attenuation = \frac{N_0 - N}{N_0} \times 100 \quad (5)$$

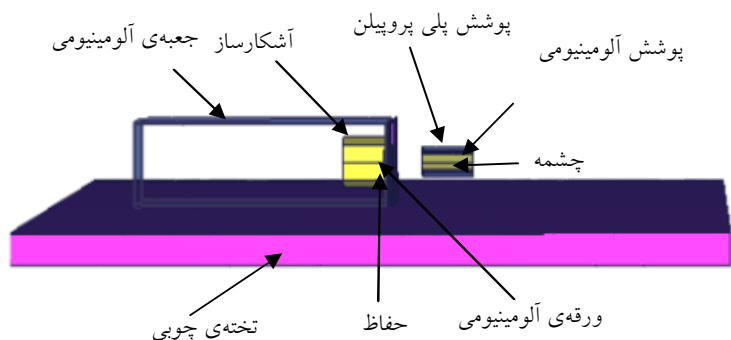
برای به‌دست آوردن ضریب تضعیف جرمی با داشتن چگالی و ضخامت برای هر نمونه از رابطه‌ی ۶ می‌توان استفاده کرد.

$$\mu_m = \frac{1}{x\rho} \ln\left(\frac{N_0}{N}\right) \quad (6)$$

که در این روابط N_0 تعداد فوتون‌های ثبت شده توسط آشکارساز برای زمانی است که هیچ حفاظی در مقابل چشمه‌ی آمرسیوم قرار ندارد و N تعداد فوتون‌های ثبت شده توسط آشکارساز برای حالتی است که هر یک از نمونه‌ها در مقابل چشمه قرار گرفته باشند.

۴. شبیه‌سازی با کد MCNP-4C

در نمای کلی از چگونگی قرار گرفتن سیستم واقعی در آزمایشگاه جهت تضعیف پرتوی گاما حاصل از نمونه‌های لاستیک سیلیکون - اکسید بیسموت با چگالی و ضخامت‌های متفاوت برای نزدیکی نتایج شبیه‌سازی به واقعیت فاصله‌ی چشمه‌ی آمرسیوم از آشکارساز ۹ سانتی‌متر است؛ و همچنین محیط اطراف سیستم هوا با چگالی 0.00125 g/cm^3 در نظر گرفته شده است و ذرات فوتون در درون آشکارساز دنبال می‌شود. در شکل ۲ نمای کلی سامانه‌ی شبیه‌سازی نشان داده شده است. همان‌طور که مشاهده می‌شود آشکارساز در یک جعبه‌ی



شکل (۲): تصویر سه بعدی هندسه‌ی شبیه‌سازی چشمه‌ی آمرسیوم

² Puls Height Tally

¹ Buildup factor

۵. بحث و نتایج

در این بخش نتایج حاصله از دو روش آزمایشگاهی و شبیه سازی برای نمونه های اکسید بیسموت بررسی می شود و نتایج به دست آمده بایکدیگر مقایسه می شوند و درصد خطا با توجه به رابطه ی ۷ به دست می آید.

$$error = \frac{sim - exp}{sim} \times 100 \quad (7)$$

با توجه به جدول ۲ مشاهده می شود که نانوکامپوزیت لاستیک سیلیکون - اکسید بیسموت حاوی ۱۰ درصد وزنی اکسید بیسموت با ضخامت ۰/۲ سانتی متر و چگالی g/cm^3 ۱/۲۳، ۱۴/۴ درصد فوتون های چشمه ی آمرسیوم را جذب می کند؛ که نتیجه ی شبیه سازی برای همین نانوکامپوزیت جذب ۱۴/۹ درصدی فوتون های چشمه ی آمرسیوم است.

نانوکامپوزیت لاستیک سیلیکون - اکسید بیسموت حاوی ۲۰ درصد وزنی اکسید بیسموت با ضخامت ۰/۲۲ سانتی متر و چگالی g/cm^3 ۱/۳۶، ۲۷/۸ درصد فوتون های چشمه ی آمرسیوم را جذب می کند که نتایج شبیه سازی، جذب ۲۷/۶۳ درصدی فوتون های چشمه ی آمرسیوم را نشان می دهد. افزایش درصد جذب، نسبت به نانوکامپوزیت ۱۰ درصدی اکسید بیسموت را می توان به افزایش ضخامت و افزایش درصد پرکننده که باعث افزایش چگالی می شود نسبت داد.

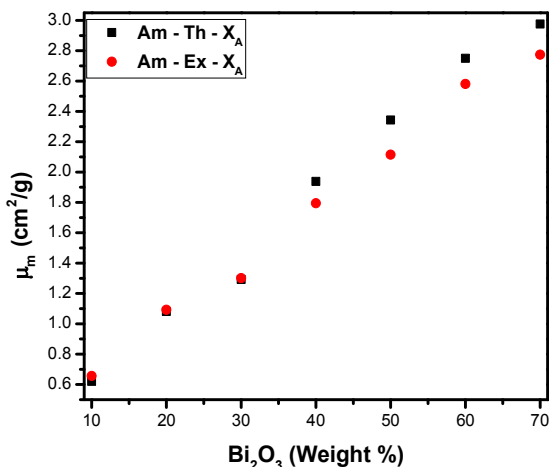
نانو کامپوزیت لاستیک سیلیکون - اکسید بیسموت حاوی ۳۰ درصد وزنی اکسید بیسموت با ضخامت ۰/۲۶ سانتی متر و چگالی g/cm^3 ۱/۵۲، ۴۰/۱۹ درصد فوتون های چشمه ی آمرسیوم را جذب می کند که نتایج شبیه سازی، جذب ۳۹/۹۹ درصدی فوتون های چشمه ی آمرسیوم را نشان می دهد. در این نانوکامپوزیت علت افزایش درصد تضعیف نسبت به نمونه ی ۲۰ درصدی اکسید بیسموت افزایش ضخامت و چگالی است. نانو کامپوزیت لاستیک سیلیکون - اکسید بیسموت حاوی ۴۰ درصد وزنی اکسید بیسموت با ضخامت ۰/۲۵۳ سانتی متر و

چگالی g/cm^3 ۱/۷۳، ۵۴/۴۱ درصد فوتون های چشمه ی آمرسیوم را جذب می کند که نتایج شبیه سازی، جذب ۵۷/۱۹ درصدی فوتون های چشمه ی آمرسیوم را نشان می دهد. در این نانو کامپوزیت علت افزایش درصد تضعیف نسبت به نمونه ی ۳۰ درصدی اکسید بیسموت هر چند که ضخامت کاهش پیدا کرده است، افزایش چگالی است.

نانو کامپوزیت لاستیک سیلیکون - اکسید بیسموت حاوی ۵۰ درصد وزنی اکسید بیسموت با ضخامت ۰/۲۳ سانتی متر و چگالی g/cm^3 ۲، ۶۲/۱۹ درصد فوتون های چشمه ی آمرسیوم را جذب می کند که نتایج شبیه سازی، جذب ۶۵/۹۶ درصدی فوتون های چشمه ی آمرسیوم را نشان می دهد. در این نانو کامپوزیت علت افزایش درصد تضعیف نسبت به نمونه ی ۴۰ درصدی اکسید بیسموت هر چند که ضخامت کاهش پیدا کرده است، افزایش چگالی است.

نانو کامپوزیت لاستیک سیلیکون - اکسید بیسموت حاوی ۶۰ درصد وزنی اکسید بیسموت با ضخامت ۰/۱۸۸ سانتی متر و چگالی g/cm^3 ۲/۳۶، ۶۸/۱۸ درصد فوتون های چشمه ی آمرسیوم را جذب می کند که نتایج شبیه سازی، جذب ۷۰/۴۸ درصدی فوتون های چشمه ی آمرسیوم را نشان می دهد. در این نانوکامپوزیت علت افزایش درصد تضعیف نسبت به نمونه ی ۵۰ درصدی اکسید بیسموت هر چند که ضخامت کاهش پیدا کرده است، افزایش چگالی است.

نانو کامپوزیت لاستیک سیلیکون - اکسید بیسموت حاوی ۷۰ درصد وزنی اکسید بیسموت با ضخامت ۰/۲۱۵ سانتی متر و چگالی g/cm^3 ۲/۸۴، ۸۲/۱۵ درصد فوتون های چشمه ی آمرسیوم را جذب می کند که نتایج شبیه سازی، جذب ۸۴/۲۶ درصدی فوتون های چشمه ی آمرسیوم را نشان می دهد. در این نانو کامپوزیت علت افزایش درصد تضعیف نسبت به نمونه ی ۶۰ درصدی اکسید بیسموت، افزایش ضخامت و چگالی است.



شکل (۳): ضریب تضعیف جرمی تجربی و شبیه‌سازی نمونه‌ها

جدول (۲): نتایج آزمایش پرتودهی و شبیه‌سازی نمونه‌های لاستیک سیلیکون - اکسید بیسموت در مقابل چشمه‌ی آمرسیوم

کد نمونه	درصد تضعیف شبیه‌سازی	درصد تضعیف آزمایشگاهی	ضریب تضعیف جرمی شبیه‌سازی (سانتی مترمربع بر گرم)	ضریب تضعیف جرمی آزمایشگاهی (سانتی مترمربع بر گرم)	درصد خطا
۱	۱۴/۱۴	۱۴/۹۰	۰/۶۲۰	۰/۶۵۶	۵/۷۹
۲	۲۷/۶۳	۲۷/۸۰	۱/۰۸۱	۱/۰۹۲	۱/۰۱
۳	۳۹/۹۹	۴۰/۱۹	۱/۲۹۴	۱/۳۰۰	۰/۶۴
۴	۵۷/۱۹	۵۴/۴۱	۱/۹۳۸	۱/۷۹۴	۷/۴۲
۵	۶۵/۹۶	۶۲/۱۹	۲/۳۴۲	۲/۱۱۴	۹/۷۳
۶	۷۰/۴۸	۶۸/۱۸	۲/۷۵۰	۲/۵۸۱	۶/۱۳
۷	۸۴/۲۶	۸۲/۱۵	۲/۹۷۶	۲/۷۷۳	۶/۷۹

۶. نتیجه‌گیری

استفاده از لاستیک سیلیکون به‌عنوان پایه‌ی پلیمری و نانو افزایش یافته‌ی اکسید بیسموت سبب می‌شود که به حفاظ پرتوی گاما دست یافته شود. همچنین مشاهده شد درصد تضعیف، متأثر از درصد پرکننده و ضخامت حفاظ است. به‌طوری که با افزایش درصد پرکننده به‌علت افزایش چگالی و عدد اتمی و با افزایش ضخامت به‌علت برهم‌کنش‌های بیشتر فونون با حفاظ، افزایش درصد تضعیف و افزایش ضریب تضعیف

همچنین با توجه به شکل ۳ و جدول ۲ مشاهده می‌شود که با افزایش درصد پرکننده ضریب تضعیف جرمی به‌علت افزایش میزان تضعیف افزایش پیدا می‌کند به‌طوری که این مقدار برای نمونه‌های ۱۰ تا ۷۰ درصدی به ترتیب ۰/۶۵۶، ۱/۰۹۲، ۱/۰۸۱، ۱/۲، ۱/۷۹۴، ۱/۱۱۴، ۲/۵۸۱ و ۲/۷۷۳ سانتی مترمربع بر گرم است که نتایج شبیه‌سازی برای همین نمونه‌ها به ترتیب مقادیر ۰/۶۲، ۱/۰۸۱، ۱/۲۹۴، ۱/۹۳۸، ۲/۳۴۲، ۲/۷۵۰ و ۲/۹۷۶ سانتی مترمربع بر گرم است.

علت آن را علاوه بر خطای تجربی و شبیه‌سازی می‌توان به این نسبت داد که در شبیه‌سازی، پراکندگی نانوذرات به صورت یکنواخت هستند اما در واقعیت ممکن است ذرات به هم چسبیده باشند که در اینجا با افزایش درصد پرکننده، احتمال کلوخه شدن ذرات بیشتر می‌شود و به هم چسبیدگی ذرات باعث کاهش درصد تضعیف و در نتیجه کاهش ضریب تضعیف جرمی و خطی خواهد بود.

جرمی نتیجه می‌شود. همچنین نانو کامپوزیت لاستیک سیلیکون - اکسید بیسموت حاوی ۷۰ درصد وزنی اکسید بیسموت با ضخامت ۲/۱۵ میلی‌متر منجر به تضعیف ۸۲ درصدی اشعه‌ی گامای ساطع شده از چشمه‌ی آمرسیوم می‌شود؛ که نتایج شبیه‌سازی برای همین نمونه، جذب ۸۴ درصدی فوتون‌های چشمه‌ی آمرسیوم را نشان می‌دهد.

همچنین مشاهده می‌شود که با افزایش درصد پرکننده اختلاف بیشتری بین نتایج شبیه‌سازی و تجربی خواهد بود؛ که

۷. مراجع

- [1] G.F. Knoll. Radiation detection and measurement. John Wiley & Sons, (2010).
- [2] F.A. Aharonian. Very high energy cosmic gamma radiation: a crucial window on the extreme Universe. World Scientific, (2004).
- [3] R.F. Landel, L.E. Nielsen. Mechanical properties of polymers and composites. CRC Press, (1993).
- [4] L. Liu, H. Lei, Y. Cheng, Z. Wan, J. Ri-Guang, Z. Li-Qun. In situ reaction and radiation protection properties of Gd (AA) 3/NR composites. Macromolecular rapid communications 25, no. 12 (2004), 1197-1202.
- [5] M.Z. Botelho, R. Künzel, E. Okuno, R.S. Levenhagen, T. Basegio, C.P. Bergmann. X-ray transmission through nanostructured and microstructured CuO materials. Applied Radiation and Isotopes 69.2 (2011), 527-530.
- [6] S.D. Kaloshkin, V.V. Tcherdyntsev, M.V. Gorshenkov, V.N. Gulbin. Radiation-protective polymer-matrix nanostructured composites. Journal of Alloys and Compounds, 536S (2012) S522-S526
- [7] M.I. Alymov, I.V. Tregubova, K.B. Povarova, A.B. Ankudinov, E.V. Evstratov. Development of physicochemical foundations for the synthesis of tungsten-based nanopowders with controlled properties. Russian Metallurgy (Metally), (2006), 217-220.
- [8] V. Harish, N. Nagaiah, H. G. Harish. Lead oxides filled isophthalic resin polymer composites for gamma radiation shielding applications. Indian Journal of Pure and Applied Physics 50, no. 11 (2012), 847-850.
- [9] G.A. Eid, A.I. Kany, M.M. El-Toony, I.I. Bashter, F.A. Gaber. Application of Epoxy/Pb 3 O 4 Composite for Gamma Ray Shielding. Arab Journal of Nuclear Sciences and Applications, v. 46(2); p. 226-233 (2013).
- [10] S. Ivanov, S.M. Ivanov, S.A. Kuznetsov, A.E. Volkov, P.N. Terekhin, S.V. Dmitriev, V.V. Tcherdyntsev, M.V. Gorshenkov, A.A. Boykov. Photons transport through ultra-high molecular weight polyethylene based composite containing tungsten and boron carbide fillers. Journal of Alloys and Compounds. 586, (2014), S455-S458.
- [11] N.N. Azman, S. Siddiqui, and I.M. Low. Characterisation of micro-sized and nano-sized tungsten oxide-epoxy composites for radiation shielding of diagnostic X-rays. Materials Science and Engineering: C, 33(8), (2013), 4952-4957
- [12] N.Z. Noor Azman, S.A. Siddiqui, R. Hart, I.M. Low. Effect of particle size, filler loadings and x-ray tube voltage on the transmitted x-ray transmission in tungsten oxide-epoxy composites. Applied Radiation and Isotopes. 71(1), (2013), 62-67.
- [13] S. Nambiar, J.T. Yeow. Polymer-composite materials for radiation protection. ACS applied materials & interfaces 4.11 (2012), 5717-5726.
- [14] S. Y. Fu, X. Q. Feng, B. Lauke, Y. W. Mai., Effects of particle size, particle/matrix interface adhesion and particle loading on mechanical properties of particulate-polymer composites. Composites Part B 39 (2008) 933-961.
- [15] V. K. Tiwari, T. Shripathi, N.P. Lalla, P. Maiti. Nanoparticle induced piezoelectric, super toughened, radiation resistant, multi-functional nanohybrids. Nanoscale. 4, (2012), 167-175.

- [16] P.M. Ajayan, L.S. Schadler, P.V. Braun. *Nanocomposite Science and Technology*. Wiley-VCH: Weinheim, Germany, *Polymer-Based and Polymer-Filled Nanocomposites*, (2003).
- [17] Chen S, Bourham M, Rabiei A, *Radiation Physics and Chemistry*, Novel light-weight materials for shielding gamma ray 96 (2014) 27–37.
- [18] J.P. McCaffrey, F. Tessier, and H. Shen, *Med. Phys*, Radiation shielding materials and radiation scatter effects for interventional radiology (IR) physicians. 39 (7), July (2012).
- [19] M.M. Abdel-Aziz, A.S. Badran, A.A. Abdel-Hakem, F.M. Helaly, and A. B. Moustafa. Styrene-butadiene rubber/lead oxide composites as gamma radiation shields. *Journal of Applied Polymer Science*, Vol. 42 (1991), 1073-1080.
- [20] R. S. Kaundal, S. Kaur, N. Singh, K. J. Singh. Investigation of structural properties of lead strontium borate glasses for gamma-ray shielding applications. *J. Phys. Chem Solid* 71, (2010), 1191–1195.
- [21] Q. Lin, B. Yang, J. Li. Synthesis, characterization and property studies of Pb 2+-containing optical resins. *Polymer* 41, (2000), 8305–8309.
- [22] M. M. abdel-Aziz, A. S. Badran, A. A. Abdel-; F. M. Helaly, A. B. Moustafa. Styrene-butadiene rubber/lead oxide composites as gamma radiation shields. *Journal of Applied Polymer Science*, Vol. 42, (1991), 1073-1080.
- [23] V. Harish, N. Nagaiah, T. Niranjana Prabhu, K. T. Varughese. Preparation and characterization of lead monoxide filled unsaturated polyester based polymer composites for gamma radiation shielding applications. *Journal of Applied Polymer Science*, Vol. 112, (2009), 1503–1508.
- [24] L. Yvan, L. Pierre, Thermo-mechanical analysis of lead monoxide filled unsaturated polyester based polymer composite radiation shields. 1,384,603, GB 1034533 (1965).
- [25] J. M. MacLeod, R.H. Servant, R. Hector. Characterisation of micro-sized and nano-sized tungsten oxide-epoxy composites for radiation shielding of diagnostic X-rays. *Eur Pat.* 372,758, CA 2,003,879, Jpn 02,223,899, U. S. 5,278,219 (1990).
- [26] R. Hussain, Z.U. Haq, D.J. Mohammad. A study of the shielding properties of poly ethylene glycol-lead oxide composite. *Isla AcadSci* (1997), 10, 81.
- [27] M.M. Abdul Aziz, A.S. Badran, A.A. Abdel-Hakem, F.M. Healy, A. B. Moustafa. Styrene-butadiene rubber/lead oxide composites as gamma radiation shields. *J ApplPolymSci* (1991), 42, 1073.
- [28] M. M. Abdul Aziz, S. E. Gawaily. Development of physicochemical foundations for the synthesis of tungsten-based nanopowders. *PolymDegrad Stab* (1997), 55, 269.
- [29] V. I. Pavlenko; V. M. Lipkanskii, R. N. Yastrebinskii. Preparation and radiation attenuation performances of metal oxide filled polyethylene based composites for ionizing electromagnetic radiation shielding applications. *J Eng Phys Thermophys* (2004), 77, 11.
- [30] M.E. Cournoyer, R.L. Dodge. Pollution Prevention Benefits of Non-Hazardous Shielding Glovebox Gloves. *J React Mat*, 311-317 (2011).
- [31] H. Cember. *Introduction to health physics*. Wiley (1969).
- [۳۲] ا. خزیری. آمیزه کاری در صنایع پلیمر. ج. دوم، انتشارات دانشگاه صنعتی اصفهان، (۱۳۸۸).
- [۳۳] ا. رحیمی. آشنایی با پلیمرها و کاربرد آنها. ج. دوم، انتشارات پژوهشگاه پلیمر و پتروشیمی ایران، (۱۳۸۹).
- [34] E. Matijević. *Current Opinion in Colloid & Interface Science*. Controlled colloid formation, 1.2 (1996), 176-183.
- [35] RadDecay.exe
- [۳۶] کاسه‌ساز، یاسر، حسن‌زاده. مصطفی، آموزش کد MCNP، ج. اول. تهران، گذار (۱۳۹۱).
- [37] C.M. Salgado. Validation of a NaI (TI) detector's model developed with MCNP-X code. *Progress in Nuclear Energy* 59, (2012) 19-25.
- [38] H.T. Anbaran, R. Izadi-Najafabadi, and H. Miri-Hakimabad. The effect of detector dimensions on the NaI (TI) detector response function. *J Appl Sci* 9 (2009), 2168-2173.
- [39] H. M. Hakimabad, H Panjeh, and A.Vejdani-Noghreian. Evaluation the nonlinear response function of a 3×3in NaI scintillation detector for PGNA applications. *Applied radiation and isotopes*. 65.8 (2007), 918-929. Conference, February 27 – March 3, (2011).

