

شبیه‌سازی و استخراج ویژگی‌های محافظ نانوچندسازه‌های با پیوند ناهمگون بیسموت برای محافظت در برابر پرتوهای گاما

مهدی عشقی*، محمدرضا علی‌پور

گروه فیزیک هسته‌ای، گروه و مرکز علم و فناوری فیزیک، دانشگاه جامع امام حسین (ع)، تهران

چکیده: مواد محافظ پرتو و اجزای سازه‌های محافظ باید دارای خواص مکانیکی خوب، قابلیت استفاده طولانی مدت و انعطاف‌پذیری مناسب باشند. نانوچندسازه‌ها در شرایط مختلف خواص ریزساختاری و مکانیکی خوبی دارند. این مقاله به بررسی اصول محافظ پرتو گاما، از جمله برهم‌کنش پرتوهای گاما با ماده، نانوچندسازه‌های با پیوند ناهمگون بیسموت با ترکیب غلظت‌های مشخص (۸۰، ۸۵، ۹۰ و ۹۹ درصد) اکسید بیسموت با وانادیم به‌عنوان ماده حفاظی برای محافظت موثر در برابر پرتو گاما می‌پردازد. روش‌های مختلف بررسی محافظ پرتو گاما، از جمله روش‌های اندازه‌گیری و شبیه‌سازی کامپیوتری را با استفاده از ابزار شبیه‌سازی مونت کارلویی Geant4 مورد بحث قرار می‌دهد. همچنین، برای بررسی عملکرد این نانوچندسازه‌ها، کمیت‌های موثر در تضعیف پرتو گاما مانند ضریب تضعیف جرمی، مسافت آزاد میانگین، لایه یک‌دهم مقدار و ضریب انباشت را محاسبه می‌شوند. در نهایت، این مقاله یک نمای کلی از محافظ پرتو گاما ارائه می‌دهد که برای اطمینان از ایمنی انسان و تجهیزات در مقابله با پرتوها می‌پردازد.

واژه‌های کلیدی: حفاظ پرتو گاما، اکسید بیسموت، نانو چندسازه، بیسموت-وانادات، شبیه‌سازی مونت کارلو.

meshghi@ihu.ac.ir: ایمیل نویسنده مسئول

۱- مقدمه

استفاده از منابع انرژی بالا در زمینه‌های پزشکی، صنعت و کشاورزی با پیشرفت فناوری افزایش یافته است. بنابراین، پرداختن به اثرات پرتوها به یکی از موضوعات مهم فیزیک تبدیل شده است. محافظت از افراد در برابر پرتو، به دلیل اثرات مخربی زیستی که برای سلول دارد، فوق‌العاده مهم است [۱]. سرب یا تنگستن که عناصر سنگینی هستند به عنوان مواد محافظ کامل در نظر گرفته می‌شوند. در واقع، این عناصر برای شکل‌گیری فیزیکی غیرممکن هستند و پایداری کمی دارند [۳و۲]. با توجه به ویژگی‌های حفاظی برجسته‌ای که سرب و مواد حاوی سرب ارائه می‌دهند، سرب و ترکیبات حاوی سرب در طول تاریخ به‌طور گسترده در زمینه حفاظت در برابر پرتوات مورد استفاده قرار گرفته‌اند. با این حال، سرب یک ماده شیمیایی خطرناک است. به‌عنوان یک نتیجه مستقیم از اثرات خطرناک سرب، پیشرفت و تحقیق در مورد ترکیبات غیر سمی برای استفاده در محافظ‌های پرتویی در حال حاضر مهمتر از همیشه است [۴-۶]. درک خوب برهم‌کنش پرتو گاما با ماده، نخستین کلید برای یافتن مواد موثر محافظ پرتو با خواص فیزیکی مناسب است. مواد با عدد اتمی بالا و عناصر با چگالی بالا، احتمال برهم‌کنش پرتوهای گاما با ماده محافظ را افزایش

می‌دهند که انتخاب خوبی به‌عنوان مواد حفاظ هستند. در تحقیقات انجام‌گرفته در دنیا تایید شده است که موادی با چگالی بالا توانایی خوبی در تضعیف پرتوهای گاما دارند که مهمترین ویژگی یک ماده محافظ برای محافظت در برابر پرتو است. وزن، ضخامت و هزینه مواد محافظ نگرانی‌های مهمی است که محققان را برای یافتن مواد محافظ پرتوی مناسب مورد توجه قرار می‌دهد. برخی از نمونه‌های این مواد جدید شامل سرامیک، آلیاژ، شیشه، مصالح ساختمانی و چندسازه‌های پلیمری است. با تغییر ترکیب مواد موجود، می‌توان مواد محافظ جدیدی نیز ساخت [۷-۱۰].

افزون بر خواص محافظ پرتویی چندسازه‌ها، خواص مکانیکی آن‌ها برای استفاده به‌عنوان اجزای ساختاری در طراحی تجهیزاتی که می‌توانند تحت تابش استفاده شوند، بسیار مهم است. بنابراین، ضمن بهبود خواص محافظتی چندسازه‌ها، کیفیت این چندسازه‌ها نیز باید در نظر گرفته شود [۱۱]. با توجه به نگرش بی‌پایان فن‌آوری برای بهبود خواص مکانیکی و عملکرد سازه‌ها، تقویت چندسازه‌ها توجه دانشمندان را برای ارائه یک پیشرفت مطلوب در طراحی سازه‌های چندسازه‌ی قابل اجرا جلب می‌کند. در زمینه بهبود خواص مکانیکی، افزایش پایداری الاستوپلاستیک و ناپایداری

حتی در دمای بالا پایدار بماند و برای استفاده مناسب باشد [۲۴-۲۶].

در زمینه‌های مختلف اکسید بیسموت ماده ای است که در مقایسه با سایر ترکیبات مورد استفاده برای محافظت در برابر پرتو مانند سرب، عموماً غیر سمی است. اکسید بیسموت یک جایگزین مقرون به صرفه برای محافظت در برابر پرتو است زیرا در مقایسه با سایر موادی که در صنعت استفاده می شود، به نسبت ارزان است [۲۷].

وانادیوم استحکام دمایی بالا، ضریب تنش حرارتی بالا، خاصیت فعال‌سازی کم، دارای پتانسیل بازده ترمودینامیکی بالا، قابلیت اطمینان و در دسترس بودن را داراست. افزایش کیفیت مواد نانوچندسازه با ترکیب وانادیم در یک ماتریس امکان پذیر است. عنصر وانادیم که به‌عنوان پرکننده‌های تقویت‌کننده عمل می‌کنند، منجر به افزایش استحکام و سفتی نانوچندسازه می‌شود. پایداری حرارتی، مقاومت در برابر حرارت و کیفیت عایق الکتریکی نانوچندسازه را می‌توان با وانادیم بهبود بخشید. پژوهش‌های در مورد استفاده از چندسازه‌های وانادیم برای اهداف مختلفی مانند جلوگیری از تداخل الکترومغناطیسی و مدیریت انرژی حرارتی انجام شده است. از این رو، افزودن وانادیم به یک ماتریس نانوذرات اکسید بیسموت می‌تواند ویژگی‌های فیزیکی، حرارتی و الکتریکی ماده چندسازه را افزایش دهد و آن را به یک ماده بالقوه مفید برای محافظت در برابر پرتو تبدیل کند [۲۸ و ۲۹].

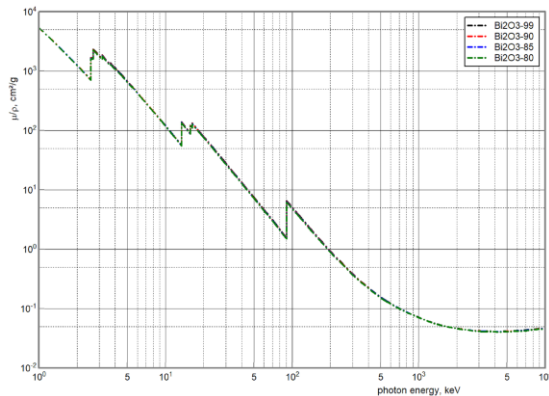
در این مطالعه، برای دستیابی به بازدهی جذب بالای پرتو گاما توسط نانوچندسازه‌های نسل جدید شامل مواد با عدد اتمی بالا بررسی می‌شود. برای این منظور، نانوچندسازه‌های اکسید بیسموت (Bi_2O_3) حاوی نانوذرات بیسموت-وانادات به‌عنوان جایگزینی برای مواد محافظ گاما پیشنهاد شده‌اند. ما بر روی تاثیر درصد‌های مختلف نانوچندسازه‌های بیسموت روی تضعیف پرتو گاما تمرکز کرده و اثرات تغییر در میزان اکسید بیسموت با افزایش وانادیوم می‌پردازیم.

۲- شبیه‌سازی

این ابزار، یک ابزار شبیه‌سازی بر اساس اتم‌ها و پرتوهای پُرانرژی است که برای مطالعه و شبیه‌سازی برهم‌کنش آن‌ها با ماده استفاده می‌شود. این شبیه‌ساز در زمینه‌های مختلفی از جمله فیزیک پزشکی، صنعت هسته‌ای، رادیوبیولوژی و فیزیک شتاب‌دهنده‌ها مورد استفاده قرار می‌گیرد. ابزار Geant4 مبتنی بر برنامه‌نویسی C^{++} از روش‌های پیشرفته‌ی مهندسی نرم‌افزار و ویژگی‌های شیء‌گرایی استفاده می‌کند. این شبیه‌ساز قابلیت شبیه‌سازی برهم‌کنش پرتوهای گاما، پروتون، نوترون، آلفا، بتا و حتی پرتوهای کیهانی با ماده را داراست و با استفاده از الگوریتم‌های پیشرفته، برهم‌کنش‌های متعددی را در محیط‌های مختلف از جمله هوا، آب، سیلیکات، فلزات و... با استفاده از روش‌های تصادفی مانند روش‌های مونت‌کارلویی شبیه‌سازی می‌کند و می‌تواند نتایج دقیقی را در مورد برهم‌کنش پرتوها با ماده ارائه دهد [۳۰ و ۳۱].

ورق فلزی در برخی تحقیقات با کمک روش تجربی و اجزای محدود ارائه شده است [۱۲ و ۱۳]. طبق مطالعات، افزودن نانوذرات به مواد خاص می‌تواند پتانسیل آن‌ها را در برابر تضعیف پرتو افزایش دهد یکی از مهمترین ویژگی‌های نانو چندسازه‌ها استحکام و دوام بالای آن‌ها است و می‌توان خواص آن‌ها را با ترکیب و تکنیک‌های آماده‌سازی اصلاح کرد [۱۴-۱۶]. پایین آوردن ابعاد مواد فلزی به سطح نانومتر، رابط‌های فلزی ایجاد می‌کند که برای افزایش خواص مواد بسیار مهم است. با کاهش ابعاد ماده و گذر از اندازه بحرانی، به‌تدریج قوانین مکانیک کلاسیک، کم اثر شده و دیگر توان پیش‌بینی و توجیه رفتار ماده را ندارد. با گذر از این مقدار بحرانی وارد محدوده‌ی نانو می‌شود. با ورود به ابعاد نانو، قلمرو حکم‌فرمایی مکانیک کوانتوم آغاز می‌شود. با ورود به این ابعاد (که به‌صورت کلی کم‌تر از ۱۰۰ نانومتر فرض شده است) رفتار مواد نسبت به حالت توده‌ای دگرگون خواهد شد. در این محدوده رفتار مواد با تغییر اندازه، تغییر کرده و پدیده‌ها وابسته به اندازه می‌شوند. آنچه در این ابعاد کوچک نمایان می‌شود، نمودار شدن تفاوت‌های ناشی از رفتار دوگانه موجی - ذره‌ای الکترون‌های ماده است [۱۷]. نسبت بین سطح و حجم مواد تقویت‌شده مورد استفاده در طول آماده‌سازی نانوچندسازه‌ها به‌طور مستقیم در درک ساختار و ویژگی دخیل است. مواد نانوچندسازه که از مواد غیرفلزی، فلزی و پلیمری در طی فرآیندی خاص تشکیل شده است، مزیت بیشتری برای حفظ ویژگی‌های اولیه و غلبه بر برخی عیوب فراهم می‌کند. نانوچندسازه‌ها راه جایگزین جدیدی برای غلبه بر محدودیت‌های فعلی میکروچندسازه‌ها هستند که این محدودیت‌ها با ورود به اندازه نانومتر کاهش می‌یابد و در حال تبدیل‌شدن به مواد موفقی هستند [۱۸]. یکی از روش‌های تقویت نانوچندسازه‌ها استفاده از یک ماتریس برای تشکیل چندسازه‌های حاوی نانوذرات است. نانوچندسازه‌های زمینه فلزی یک ماده چند فازی است که از فلز انعطاف‌پذیر یا ماتریس آلیاژی تشکیل شده است که در آن مقداری مواد تقویت‌کننده در ابعاد نانو کاشته شده است. خاصیت نانوچندسازه‌های زمینه فلزی شکل‌پذیری، استحکام و مدول بالا است [۱۹].

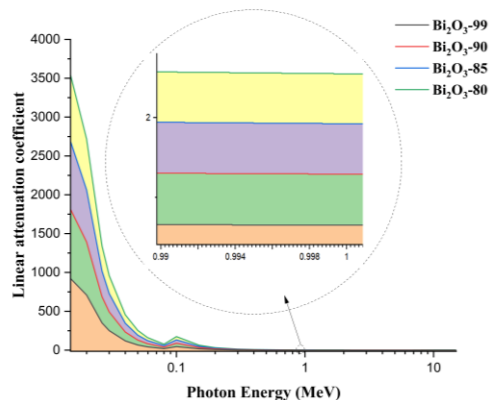
مزایای اصلی نانوچندسازه‌ها نسبت به سایر مواد چندسازه‌ی عبارتند از: نسبت سطح به حجم بالا (این مزیت باعث می‌شود اندازه پرکننده و فاصله کوچک بین پرکننده‌ها وجود داشته باشد)؛ خواص مکانیکی بهتر، شکل‌پذیری بالا بدون کاهش مقاومت و مقاومت در برابر خراش [۲۰-۲۳]. نانوذرات تشکیل‌شده از اکسید بیسموت (Bi_2O_3) به دلیل ترکیب خاصی از ویژگی‌ها که به آن‌ها اجازه می‌دهد به طور موثر پرتو را جذب کنند، اغلب در محافظت از پرتو استفاده می‌شوند. مطالعات اخیر نشان داده است که توانایی محافظت در برابر پرتو موادی که حاوی نانوذرات Bi_2O_3 هستند از نظر کارایی و اثربخشی نسبت به Bi_2O_3 حجیم برتر است. اکسید بیسموت دارای نقطه ذوب بالایی است که باعث می‌شود



شکل ۱. تغییرات ضریب تضعیف جرمی نانوچندسازه‌های منتخب برحسب انرژی فوتون‌های گاما

ضریب تضعیف خطی معیاری است که نشان می‌دهد یک پرتو در هنگام عبور از ماده، به چه میزان شدت پرتوهای الکترومغناطیسی مانند پرتوهای ایکس یا گاما را کاهش می‌دهد. ضریب تضعیف خطی به انرژی تابش، عدد اتمی و چگالی ماده و ضخامت ماده بستگی دارد. معمولاً در واحدهای cm^{-1} یا m^{-1} اندازه‌گیری می‌شود.

در شکل ۲، مشاهده می‌شود که با افزایش درصد وانادیوم در نانوچندسازه‌های مورد بررسی با این که چگالی کاهش می‌یابد، میزان تضعیف خطی افزایش یافته است. در انرژی‌های کمتر از ۵۰۰ کیلو الکترون‌ولت شدت تضعیف پرتو بهتر خودش را نشان می‌دهد.



شکل ۲. تغییرات ضریب تضعیف خطی نانوچندسازه‌های منتخب برحسب انرژی فوتون‌های گاما

مسیر آزاد میانگین مفهومی است برای توصیف میانگین مسافتی که یک ذره بین برخورد با ذرات دیگر طی می‌کند استفاده می‌شود. این فاصله مشخصه‌ای است که به چگالی و برهم‌کنش ذرات در یک محیط بستگی دارد. همان‌طور که در شکل ۳ مشاهده می‌شود، با افزایش انرژی، مسافت آزاد میانگین پرتو فرودی نیز با شیب زیادی افزایش می‌یابد.

۳- نتایج و بحث

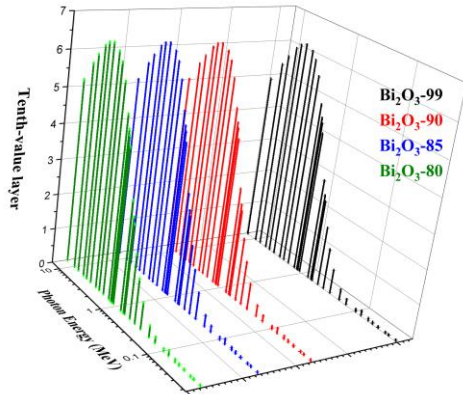
مشخصات نانوچندسازه‌ها، شامل کسر وزنی عناصر تشکیل‌دهنده و چگالی در جدول ۱ نشان داده شده است. ضریب تضعیف جرمی، برای توصیف توانایی یک ماده برای کاهش شدت یک پرتو در هنگام عبور از ماده است. ضریب تضعیف جرمی به عوامل متعددی از جمله انرژی پرتو فرودی، نوع پرتو تابیده‌شده و ترکیب اتمی و مولکولی ماده هدف بستگی دارد. با توجه به شکل ۱ میزان تضعیف جرمی تمامی نانوچندسازه‌ها اختلاف کمی باهم دارند و تقریباً به‌طور یکسان عمل می‌کنند. در انرژی‌های کم فوتون، ضریب جذب تحت تأثیر اثر فوتوالکتریک است، جایی که یک فوتون پرتو ایکس و گاما با یک اتم جذب می‌شود و یک الکترون پوسته داخلی از اتم خارج می‌شود. احتمال وقوع این فرآیند به شدت به انرژی فوتون نسبت به انرژی اتصال پوسته الکترونی بستگی دارد. در انرژی‌های فوتون درست بالای لبه جذب، ضریب جذب به دلیل اثر فوتوالکتریک افزایش شدیدی را نشان می‌دهد. این افزایش به دلیل این است که انرژی فوتون برای یونیزه کردن یک الکترون از پوسته اتمی مرتبط با لبه جذب کافی است. در طیف‌سنجی جذب فوتون‌ها، لبه‌های جذب مربوط به افزایش ناگهانی ضریب جذب فوتون‌ها توسط یک اتم یا یک ماده است، زیرا انرژی فوتون به انرژی لازم برای حذف یک الکترون از یک پوسته اتمی خاص نزدیک می‌شود. رایج‌ترین پوسته در لبه‌های جذب K، L و M هستند که مربوط به حذف الکترون‌ها از پوسته‌های اتمی هستند.

جدول ۱: مشخصات نانوچندسازه‌های منتخب

نمونه‌ها	چگالی	درصد وزنی عناصر		
		O	V	Bi
Bi ₂ O ₃ -99	۸/۸۷	۰/۱۰۳۹	۰/۰۰۱۵	۰/۸۹۴۴
Bi ₂ O ₃ -90	۸/۷۵	۰/۱۱۲۴	۰/۰۱۵۲	۰/۸۷۱۸
Bi ₂ O ₃ -85	۸/۶۸	۰/۱۱۷۱	۰/۰۲۳۵	۰/۸۵۹۲
Bi ₂ O ₃ -80	۸/۶۱	۰/۱۲۱۹	۰/۰۳۱۴	۰/۸۴۶۶

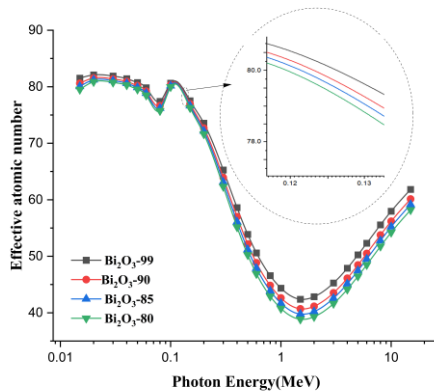
همچنین، در شکل ۱ به وضوح مشاهده می‌شود که در لبه‌های جذب، ضریب تضعیف جرمی افزایش می‌یابد. لبه جذب K به افزایش شدید ضریب جذب فوتوالکتریک یک اتم یا یک ماده در یک انرژی خاص اشاره دارد. علاوه بر لبه جذب K، لبه‌های جذب L، M، N و O در انرژی بالاتری نیز وجود دارد که مربوط به حذف الکترون‌ها از لایه‌های اتمی بالاتر است.

غالب بودن پدیده فوتوالکترونیک یک پرش میزان ضخامت لایه یکدهم مقدار به دلیل لبه‌های جذب به وجود می‌آید و سبب کاهش شیب نزولی ضریب تضعیف می‌شود که رابطه مستقیم با لایه یکدهم مقدار دارد.



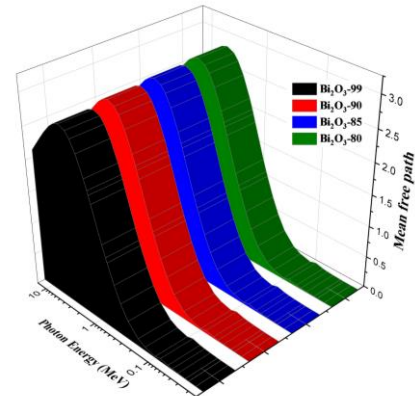
شکل ۵. تغییرات لایه یکدهم کننده نانوجندسازهای منتخب برحسب انرژی فوتون‌های گاما

عدد اتمی موثر به عنوان میانگین وزنی اعداد اتمی، اتم‌ها سازنده در یک ترکیب یا مخلوط محاسبه می‌شود. عدد اتمی موثر یک روش مناسب برای توصیف پیکربندی کلی الکترون‌ها و خواص مواد است. بدیهی است که مقدار ناخالصی به شدت بر پارامترهای عدد اتمی موثر تأثیر می‌گذارد. زیرا، تفاوت‌های قابل توجهی بین ساختارهای Bi_2O_3 -99 و Bi_2O_3 -80 وجود دارد که در آن مقدار عدد اتمی موثر Bi_2O_3 -80 حدود ۰/۵ برابر بیشتر از مقدار Bi_2O_3 -99 است. این تفاوت به شدت در انرژی پایین‌تر از ۳۰۰ کیلو الکترون‌ولت کاهش می‌یابد (شکل ۶).



شکل ۶. تغییرات عدد اتمی موثر نانوجندسازهای منتخب برحسب انرژی فوتون‌های گاما

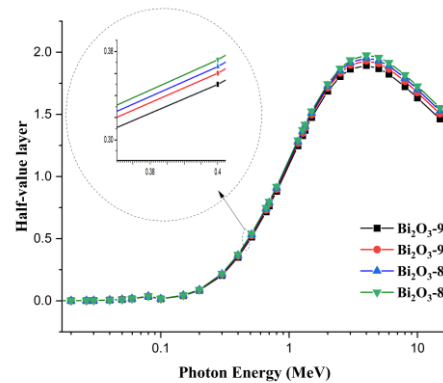
چگالی الکترون موثر، روشی است برای تقریب چگالی الکترون‌های یک ماده یا بافت به گونه‌ای که گویی همه الکترون‌ها به جای توزیع در سراسر اتم در هسته اتم متمرکز شده‌اند. تعداد الکترون‌ها در واحد حجم و همچنین عدد اتمی و وزن مولکولی عناصر تشکیل‌دهنده را در نظر می‌گیرد.



شکل ۳. تغییرات مسافت آزاد میانگین نانوجندسازهای منتخب برحسب انرژی فوتون‌های گاما

بنابراین، می‌توان گفت با افزایش انرژی مسافت آزاد میانگین برای یک پرتو در تمامی نانوجندسازهای مورد بررسی به صورت یکنواخت با شیب زیادی افزایش می‌یابد. با افزایش درصد بیسموت-وانادات به ۲۰ درصد، مسافت آزاد میانگین نیز کاهش یافته که خود نویدبخش عملکرد بهتر این ترکیب در انرژی‌های پایین (کمتر از ۱۰۰ کیلو الکترون‌ولت) برای استفاده به عنوان ماده حفاظ نسبت به سه ترکیب دیگر است.

لایه نیم‌مقدار (HVL) به عنوان ضخامت ماده مورد نیاز برای کاهش شدت تابش به نصف یا کاهش نرخ دوز پرتو تا ۵۰ درصد مقدار اولیه آن تعریف شده و به انرژی تابش و خواص مواد بستگی دارد.

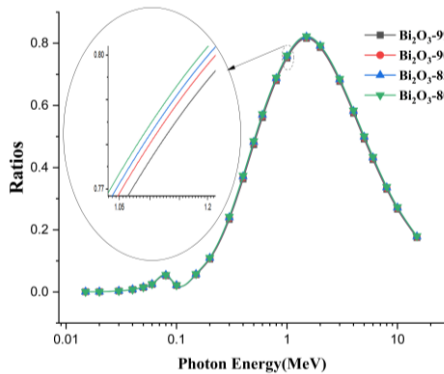


شکل ۴. تغییرات لایه نیم‌کننده نانوجندسازهای منتخب برحسب انرژی فوتون‌های گاما

باتوجه به شکل ۴، با افزایش انرژی پرتو فرودی ترکیب دارای ۹۹ درصد بیسموت عملکرد بهتری را نشان می‌دهد. در اینجا به خوبی اثر چگالی خودش را نشان می‌دهد، به صورتی که با کاهش چگالی نمونه‌ها لایه نیم‌مقدار نیز افزایش می‌یابد.

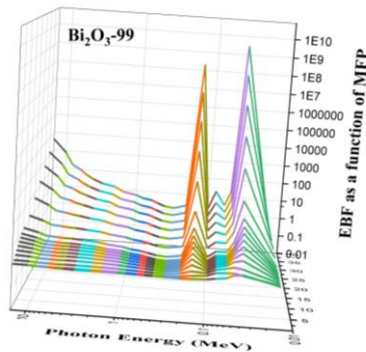
لایه یکدهم مقدار (TVL) اصطلاحی است که شدت فوتون را به یکدهم (یعنی ۱۰٪) مقدار اولیه آن کاهش می‌دهد. لایه یکدهم مقدار به نوع، انرژی تابشی و همچنین ماده‌ای که برای محافظت استفاده می‌شود بستگی دارد. با توجه به شکل ۵ در انرژی‌های کم‌تر از ۵۰۰ کیلو الکترون‌ولت به دلیل

متفاوت باشد. در انرژی‌های پایین و برای مواد با عدد اتمی کم، سهم جذب فوتوالکتریک بر پراکندگی کامپتون بیشتر است و در نتیجه این نسبت کم است. با افزایش انرژی فوتون‌ها، احتمال پراکندگی کامپتون نسبت به جذب فوتوالکتریک افزایش می‌یابد و در نتیجه این نسبت بالاتر می‌رود.

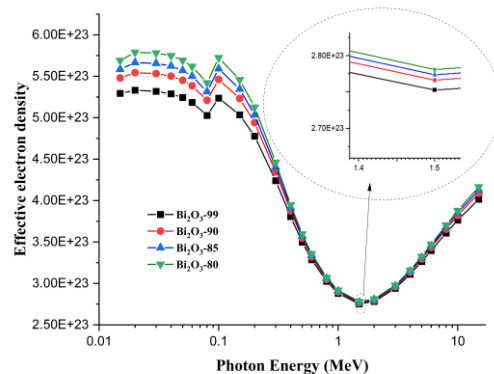


شکل ۹. نسبت تغییرات ضریب تضعیف کامپتون به ضریب تضعیف کل نانوجندسازهای منتخب برحسب انرژی فوتون‌های گاما

به‌طور کلی، مواد با اعداد اتمی بالاتر به دلیل افزایش احتمال پراکندگی کامپتون با اتم‌های سنگین‌تر، دارای مقدار سطح مقطع بالاتری برای پراکندگی کامپتون هستند که این مطالب به‌وضوح در شکل ۹ مشاهده می‌شود. برای ساخت حفاظ در انرژی‌های پایین (کمتر از ۲۰۰ کیلو الکترون‌ولت) این نانوجندسازها به دلیل نسبت کم پدیده پراکندگی کامپتون و به ضریب تضعیف کل در این انرژی‌ها مناسب است.



شکل ۱۰-۱۱. تغییرات ضریب انبساط با انرژی فوتون در مسیرهای آزاد میانگین مختلف برای نانوجندسازهای منتخب برحسب انرژی فوتون‌های گاما

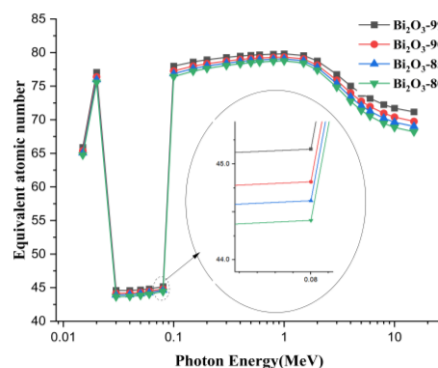


شکل ۷. تغییرات چگالی الکترونی موثر نانوجندسازهای منتخب برحسب انرژی فوتون‌های گاما

بدیهی است که مقدار ناخالصی به شدت بر پارامترهای چگالی الکترون موثر نیز تأثیر می‌گذارد. زیرا، تفاوت‌های قابل توجهی بین Bi_2O_3 -80 و Bi_2O_3 -99 مشاهده شد که در آن مقدار چگالی الکترون موثر Bi_2O_3 -80 حدود ۰/۷ برابر بیشتر از مقدار Bi_2O_3 -99 است. این تفاوت به شدت در انرژی بالاتر از ۳۰۰ کیلو الکترون‌ولت کاهش می‌یابد (شکل ۷).

عدد اتمی معادل (Z_{eq})، روشی برای تقریب برهم‌کنش‌های پیچیده‌ای است که بین فوتون‌ها و اتم‌ها در یک ماده یا بافت رخ می‌دهد. با استفاده از یک عدد اتمی منفرد و مؤثر که چگالی الکترون و ترکیب کلی ماده را مشخص می‌کند. عدد اتمی معادل به عنوان میانگین وزنی اعداد اتمی عناصر تشکیل دهنده در یک ماده یا بافت، با وزن تعیین شده توسط چگالی الکترونی هر عنصر محاسبه می‌شود.

باتوجه به شکل ۸، میزان عدد اتمی معادل نانوجندسازهای مورد بررسی تفاوت چندانی با یکدیگر ندارند. با این حال، در انرژی‌هایی که پدیده تولید زوج غالب است، مشاهده می‌شود که ماده با چگالی بالاتر به دلیل وجود الکترون بیشتر عدد اتمی معادل بالاتری را نسبت به سایرین نشان می‌دهد.



شکل ۸. تغییرات عدد اتمی معادل نانوجندسازهای منتخب برحسب انرژی فوتون‌های گاما

نسبت سطح مقطع پراکندگی کامپتون به ضریب تضعیف کل معیاری برای سنجش احتمال پراکندگی کامپتون نسبت به انواع دیگر برهم‌کنش‌های بین فوتون‌ها و ماده است. این نسبت بسته به انرژی فوتون‌های فرودی و عدد اتمی ماده می‌تواند

به دلیل افزایش احتمال تولید زوج و کاهش احتمال پراکندگی کامپتون کاهش می‌یابد (شکل‌های ۱۰).

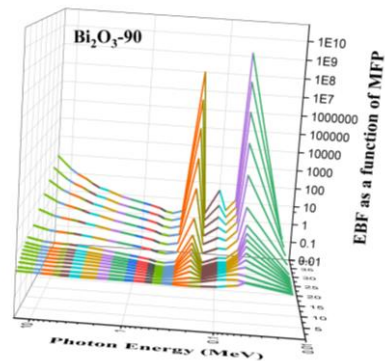
۴- نتیجه‌گیری

در این مطالعه، ما خواص محافظ گاما نانوجندسازهای اکسید بیسموت مانند ضریب تضعیف جرمی، ضریب تضعیف خطی، لایه نیم‌مقدار، لایه یکدهم مقدار، مسیر آزاد میانگین و موارد دیگر را در محدوده انرژی فوتون ۰/۰۱۵ تا ۱۰ مگا الکترون‌ولت بررسی کردیم. ما نتایج را با استفاده از ابزار شبیه‌سازی مونت‌کارلویی Geant4 به دست آوردیم. نتایج نشان داد که در انرژی‌های کم‌تر از ۵۰۰ کیلو الکترون‌ولت لبه‌های جذب باعث بهتر شدن عملکرد ماده به عنوان محافظ می‌شود و در انرژی‌های بالاتر اثر چگالی در کاهش تابش بهتر خودش را نشان می‌دهد. در واقع، لایه نیم‌کننده، لایه یکدهم کننده، مسیر آزاد میانگین برای نانوجندسازهای مورد بررسی نشان می‌دهد که با افزایش انرژی فوتون، میرایی کاهش می‌یابد. با توجه به استحکام، مقاومت در برابر خوردگی شیمیایی و فیزیکی و شکل‌دهی راحت این نانوجندسازها، می‌توان در محل‌هایی که محدودیت شیمیایی، فیزیکی وجود دارد، در برابر اثرات پرتو گاما محافظت کرد. در پایان، نتایج به دست آمده را در اشکال مناسب نشان داده و مورد تجزیه و تحلیل قرار دادیم.

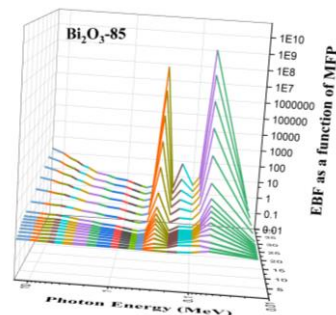
تعارض منافع: هیچ گونه تعارض منافع توسط نویسندگان بیان نشده است.

۵. منابع

- [1]. Møller AP, Mousseau TA. The effects of natural variation in background radioactivity on humans, animals and other organisms. *Biological Reviews*. 2012;88(1):226–54. <https://doi.org/10.1111/j.1469-185x.2012.00249.x>
- [2]. Abualroos NJ, Amin NAB, Zainon R. Conventional and new lead-free radiation shielding materials for radiation protection in nuclear medicine: A review. *Radiation Physics and Chemistry*. 2019; 165:108439. <https://doi.org/10.1016/j.radphyschem.2019.108439>
- [3]. Lewis RD, Ong KH, Emo B, Kennedy J, Brown C, Condoor SS, Thummalakunta L. Do new wipe materials outperform traditional lead dust cleaning methods? *Journal of Occupational and Environmental Hygiene*. 2012;9(8):524–33. <https://doi.org/10.1080/15459624.2012.695975>
- [4]. Chaiphaksa W, Borisut P, Chanthima N, Kaewkhao J, Sanwanatee NW. Mathematical calculation of gamma rays interaction in bismuth gadolinium silicate glass using WinXCom program. *Materials Today: Proceedings*.

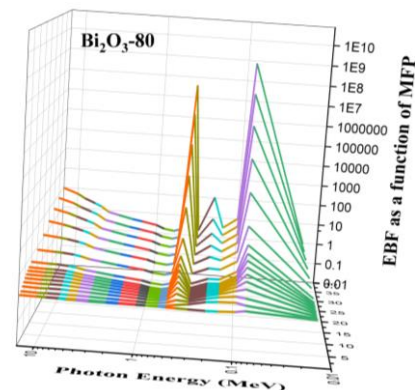


شکل ۱۰-۲. تغییرات ضریب انباشت با انرژی فوتون در مسیرهای آزاد میانگین مختلف برای نانوجندسازهای منتخب برحسب انرژی فوتون‌های گاما



شکل ۱۰-۳. تغییرات ضریب انباشت با انرژی فوتون در مسیرهای آزاد میانگین مختلف برای نانوجندسازهای منتخب برحسب انرژی فوتون‌های گاما

ضریب انباشت انرژی (EABF)، نسبت انرژی جذب‌شده توسط یک ماده با ضخامت و ترکیب معین به انرژی جذب‌شده توسط همان ماده بدون ضخامت را به عنوان تابعی از انرژی فوتون توصیف می‌کند. ضریب تجمعی با انرژی فوتون و مسیر آزاد میانگین فوتون‌ها در ماده تغییر می‌کند. در مسیر آزاد میانگین کوتاه، ضریب انباشت به دلیل غلبه پراکندگی کامپتون و افزایش احتمال رویدادهای پراکندگی متعدد، به سرعت با انرژی فوتون افزایش می‌یابد.



شکل ۱۰-۴. تغییرات ضریب انباشت با انرژی فوتون در مسیرهای آزاد میانگین مختلف برای نانوجندسازهای منتخب برحسب انرژی فوتون‌های گاما

در مسیر آزاد میانگین بیشتر، ضریب انباشت در یک انرژی فوتون خاص به حداکثر می‌رسد و سپس در انرژی‌های بالاتر

- International Journal of Mechanical Sciences. 2019;150:548–60.
<https://doi.org/10.1016/j.ijmecsci.2018.10.044>
- [13]. Polymer Matrix Composites and Technology - 1st Edition. 2011.
<https://shop.elsevier.com/books/polymer-matrix-composites-and-technology/wang/978-0-85709-221-2>
- [14]. Karabul Y, İçelli O. The assessment of usage of epoxy based micro and nano-structured composites enriched with Bi₂O₃ and WO₃ particles for radiation shielding. Results in Physics. 2021;26:104423.
<https://doi.org/10.1016/j.rinp.2021.104423>
- [15]. Prasad R, Pai AR, Oyadiji SO, Thomas S, Parashar SKS. Utilization of hazardous red mud in silicone rubber/MWCNT nanocomposites for high performance electromagnetic interference shielding. Journal of Cleaner Production. 2022;377:134290.
<https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2022.134290>
- [16]. Aldhuhaibat MJR, Amana MS, Jubier NJ, Salim AA. Improved gamma radiation shielding traits of epoxy composites: Evaluation of mass attenuation coefficient, effective atomic and electron number. Radiation Physics and Chemistry. 2021;179:109183.
<https://doi.org/10.1016/j.radphyschem.2020.109183>
- [17]. Kinoshita S, Yoshioka S, Miyazaki J. Physics of structural colors. Reports on Progress in Physics. 2008 Jun 6;71(7):076401.
<https://doi.org/10.1088/0034-4885/71/7/076401>
- [18]. Becher P. Microstructural design of toughened ceramics. Journal of the American Ceramic Society [Internet]. 1991;74(2):255–69.
<https://doi.org/10.1111/j.1151-2916.1991.tb06872.x>
- [19]. Leontie L, Caraman M, Alexe M, Harnagea C. Structural and optical characteristics of bismuth oxide thin films. Surface Science. 2002;507–510:480–5. [https://doi.org/10.1016/s0039-6028\(02\)01289-x](https://doi.org/10.1016/s0039-6028(02)01289-x)
- [20]. Harmer MP, Chan HM, Miller GA. Unique Opportunities for Microstructural Engineering with Duplex and Laminar Ceramic Composites. Journal of the American Ceramic Society. 1992;75(7):1715–28.
<https://doi.org/10.1111/j.1151-2916.1992.tb07188.x>
- 2022;65:2412–5.
<https://doi.org/10.1016/j.matpr.2022.05.529>
- [5]. Tijani SA, Al-Hadeethi Y. The use of isophthalic-bismuth polymer composites as radiation shielding barriers in nuclear medicine. Materials Research Express. 2019;6(5):055323.
<https://doi.org/10.1088/2053-1591/ab0578>
- [6]. Araz A, Kavaz E, Durak R. Neutron and photon shielding competences of aluminum open-cell foams filled with different epoxy mixtures: An experimental study. Radiation Physics and Chemistry. 2021;182:109382.
<https://doi.org/10.1016/j.radphyschem.2021.109382>
- [7]. Mansouri E, Mesbahi A, Malekzadeh R, Mansouri A. Shielding characteristics of nanocomposites for protection against X- and gamma rays in medical applications: effect of particle size, photon energy and nano-particle concentration. Radiation and Environmental Biophysics. 2020;59(4):583–600.
<https://doi.org/10.1007/s00411-020-00865-8>
- [8]. Baykara O, İrim ŞG, Wis AA, Keskin MA, Özkoç G, Avcı A, Doğru M. Polyimide nanocomposites in ternary structure: “A novel simultaneous neutron and gamma-ray shielding material.” Polymers for Advanced Technologies. 2020;31(11):2466–79.
<https://doi.org/10.1002/pat.4962>
- [9]. Kiani M, Ahmadi SJ, Outokesh M, Adeli R, Kiani H. Study on physico-mechanical and gamma-ray shielding characteristics of new ternary nanocomposites. Applied Radiation and Isotopes. 2019;143:141–8.
<https://doi.org/10.1016/j.apradiso.2018.10.006>
- [10]. Al-Buriahi, Abouhaswa AS, Tekin HO, Sriwunkum C, El-Agawany FI, Nutaro T, Kavaz E, Rammah YS. Structure, optical, gamma-ray and neutron shielding properties of NiO doped B₂O₃-BaCO₃-Li₂O₃ glass systems. Ceramics International. 2020;46(2):1711–21. Available from:
<https://doi.org/10.1016/j.ceramint.2019.09.144>
- [11]. Bigoni D. On flutter instability in elastoplastic constitutive models. International Journal of Solids and Structures. 1995;32(21):3167–89.
[https://doi.org/10.1016/0020-7683\(94\)00262-u](https://doi.org/10.1016/0020-7683(94)00262-u)
- [12]. Ghorbel O, Mars J, Koubaa S, Wali M, Dammak F. Coupled anisotropic plasticity-ductile damage: Modeling, experimental verification, and application to sheet metal forming simulation.

- <https://doaj.org/article/79b5aeafade54405bfb7f6e7abcb5db1>
- [29]. Hazlan MH, Jamil M, Ramli RM, Azman NZN. X-ray attenuation characterisation of electrospun Bi₂O₃/PVA and WO₃/PVA nanofibre mats as potential X-ray shielding materials. *Applied Physics A*. 2018;124(7). <https://doi.org/10.1007/s00339-018-1915-8>
- [30]. Pietrzak M, Nettelbeck H, Perrot Y, Villagrasa C, Bancer A, Bug MU, Incerti S. Intercomparison of nanodosimetric distributions in nitrogen simulated with Geant4 and PTra track structure codes. *Physica Medica*. 2022;102:103-9. <https://doi.org/10.1016/j.ejmp.2022.09.003>
- [31]. Alipoor MR, Eshghi M. Evaluation of carbon-platinum nanotubes in the performance of gamma ray shields. *Nano world*. Accepted in 2023, in press.
- [21]. Ogawa M, Kuroda K. Preparation of Inorganic-Organic Nanocomposites through Intercalation of Organoammonium Ions into Layered Silicates. *Bulletin of the Chemical Society of Japan*. 1997;70(11):2593-618. <https://doi.org/10.1246/bcsj.70.2593>
- [22]. Kobayashi T. *Applied Environmental Materials Science for Sustainability* [Internet]. Advances in environmental engineering and green technologies book series. 2017. <https://doi.org/10.4018/978-1-5225-1971-3>
- [23]. Hudandini M, Puri NR, Winardi S, Widiyastuti W, Shimada M, Kusdianto K. Photocatalytic Activity of ZnO/Ag Nanoparticles Fabricated by a Spray Pyrolysis Method with Different O₂:N₂ Carrier Gas Ratios and Ag Contents. *Catalysts*. 2022;12(11):1374. <https://doi.org/10.3390/catal12111374>
- [24]. Nuñez-Briones AG, Benavides R, Bolaina-Lorenzo ED, Martínez-Pardo ME, Kotzian-Pereira-Benavides C, Mendoza-Mendoza E, Galindo RB, García-Cerda LA. Nontoxic flexible PVC nanocomposites with Ta₂O₅ and Bi₂O₃ nanoparticles for shielding diagnostic X-rays. *Radiation Physics and Chemistry*. 2023 Jan 1;202:110512. <https://doi.org/10.1016/j.radphyschem.2022.110512>
- [25]. Almuqrin AH, Aloraini DA, Abualsayed MI. Epoxy-reinforced heavy metal oxides for gamma ray shielding purposes. *Open Chemistry*. 2023;21(1). <https://doi.org/10.1515/chem-2022-0331>
- [26]. Verdipoor K, Alemi A, Mesbahi A. Photon mass attenuation coefficients of a silicon resin loaded with WO₃, PbO, and Bi₂O₃ Micro and Nanoparticles for radiation shielding. *Radiation Physics and Chemistry*. 2018;147:85-90. <https://doi.org/10.1016/j.radphyschem.2018.02.017>
- [27]. Çağlar M, Kayacık H, Karabul Y, Kılıç M, Özdemir ZG. Na₂Si₃O₇/BaO composites for the gamma-ray shielding in medical applications: Experimental, MCNP5, and WinXCom studies. *Progress in Nuclear Energy*. 2019;117:103119. <https://doi.org/10.1016/j.pnucene.2019.103119>
- [28]. Mehnati P, Sooteh MY, Malekzadeh R, Divband B. Synthesis and characterization of nano Bi₂O₃ for radiology shield. *DOAJ (DOAJ: Directory of Open Access Journals)*. 2018;



Simulation and extraction Protective properties of bismuth-based heterojunction Nanocomposites for shielding against gamma rays

M.Eshghi* and M.R.Alipoor

Department of Physics, Faculty of Sciences, Imam Hossein Comprehensive University, Tehran, Iran

Abstract:

Radiation shielding materials and components of shielding structures should have good mechanical properties, long-term usability and appropriate flexibility. Nano composites have good micro structural and mechanical properties in different conditions. This article examines the principles of gamma ray shielding, including the interaction of gamma rays with matter, bismuth-based hetero junction nano composites by combining specific concentrations (90, 90, 85, 80 percent) of bismuth oxide with vanadium as a protective material for effective radiation protection. Gamma pays. Discusses various methods of evaluating gamma ray shielding, including measurement techniques and computer simulations using the Geant4 Monte Carlo tool. Also, to check the performance of these nano composites, we have calculated effective parameters in gamma ray attenuation, such as mass attenuation coefficient, mean free distance, one-tenth layer and accumulation coefficient. Finally, this article provides an overview of gamma ray shielding, which is used to ensure the safety of people and equipment against radiation.

Keywords: Gamma-ray shielding, Bismuth oxide, Heterogeneous bonds, Nanocomposite, Bismuth-vanadate, Monte Carlo simulation.