

تأثیر نانو و میکروذرات اکسید بیسموت بر خواص حفاظ از پرتوی شیشه‌های تلوریم به کمک کد MCNPX

آرین نیک‌راه^۱، پیوند طاهرپرور^۲، علیرضا صدر ممتاز^۳

مقاله پژوهشی

چکیده

مقدمه: استفاده از حفاظ‌ها، یکی از مهم‌ترین ابزارها در مواجهه با تابش‌های پرتوی محسوب می‌شود. اخیراً به منظور بهبود خواص حفاظ‌ها در کنار سهولت استفاده و نیز ابعاد آن‌ها؛ بهره‌گیری از حفاظ‌هایی حاوی نانوذرات بسیار مورد توجه قرار گرفته است. هدف از این مطالعه، بررسی ترکیبات تلوریم حاوی نانوذرات بیسموت اکساید به عنوان حفاظ تابشی بر اساس پارامترهای استاندارد ارزیابی حفاظ‌های پرتوی می‌باشد.

روش‌ها: در این مطالعه، ضمن ارزیابی اولیه عملکرد شیشه‌های تلوریم به عنوان حفاظ تابشی، نقش افزودن نانوذرات اکسید بیسموت در بهبود خواص حفاظتی این شیشه‌ها در برابر تابش‌های فوتونی به کمک کد مونت‌کارلو MCNPX بررسی شد. ارزیابی عملکرد به کمک عامل‌هایی مانند ضریب تضعیف جرمی (μ_m) و ضریب انتقال (TF) ارزیابی گردید. بازه انرژی تابش فرودی ۱۵keV تا ۳۰۰keV برای شیشه‌های تلوریم حاوی میکرو و نانوساختار در نظر گرفته شد. همچنین اثر ابعاد نانو ذرات بر عملکرد حفاظ تابشی مورد بررسی و بحث قرار گرفت.

یافته‌ها: شبیه‌سازی‌های صورت پذیرفته نشان می‌دهد که بهبود μ_m با کاهش ابعاد نانوذرات رابطه‌ی مستقیم دارند. همچنین افزایش درصد وزنی بیسموت در حفاظ باعث افزایش μ_m می‌شود به صورتی که بهترین نقش حفاظتی، اختصاص به ترکیبی دارد که شامل نانوذراتی با بیشترین درصد وزنی باشد.

نتیجه‌گیری: نتایج بدست آمده بیانگر آن است که شیشه‌های تلوریم حاوی نانوذرات بیسموت، حفاظ تابشی بهتری در قیاس با عدم حضور نانوذرات محسوب می‌شوند. از سوی دیگر؛ وجود ذرات بیسموت در ابعاد نانومتر حفاظت تابشی بهتری نسبت به ذراتی در ابعاد میکرومتر بیسموت را ایجاد می‌نمایند.

واژگان کلیدی: نانو ذرات؛ بیسموت؛ تلوریم؛ حفاظ تابش

ارجاع: نیک‌راه آرین، طاهرپرور پیوند، صدر ممتاز علیرضا. تأثیر نانو و میکروذرات اکسید بیسموت بر خواص حفاظ از پرتوی شیشه‌های تلوریم به

کمک کد MCNPX. مجله دانشکده پزشکی اصفهان ۱۴۰۲؛ ۴۱ (۷۴۹): ۱۱۵۶-۱۱۴۷

مقدمه

با وجود کاربردهای وسیع و گسترده‌ی تابش‌ها در پزشکی و صنعت؛ انسان مدت‌هاست، از خطرات قرار گرفتن در معرض آن نیز آگاه بوده و از این‌رو توسعه‌ی حفاظ‌های مؤثر در برابر تابش همواره مورد توجه است. در موارد درمانی نیز؛ نیاز روزافزون به حفاظت از بافت‌های غیر هدف و اندام‌های در معرض خطر یا نزدیک به بافت‌های سرطانی، منجر به بهبود روش‌های پرتودرمانی می‌شود (۱-۴). بصورت رایج و تاریخی از مواد استاندارد مانند سرب و بتن برای محافظت از تابش‌ها استفاده می‌شود، اما این مواد محدودیت‌هایی را در زمینه‌های حفاظ تابش دارا هستند. برخی از این محدودیت‌ها شامل سمیت

سرب و کاهش چگالی بتن باگذشت زمان است (۵-۷)؛ از این‌رو، مواد جایگزینی به‌عنوان مواد حفاظ تابشی مانند شیشه، سرامیک و پلیمر نیز در کنار مواد یاد شده، توجه قرار گرفته‌اند. مواد شیشه‌ای یکی از بهترین انتخاب‌ها در این زمینه هستند؛ زیرا به دلیل شفافیت، قابلیت قالب‌گیری به هر شکل، حلال مناسب برای عناصر مختلف و شکل‌دهی آسان، خاصیت جذابی دارند. از جمله این نوع حفاظ‌ها، شیشه‌های غنی از تلوریت بشمار می‌روند که برای کاربردهای محافظت در برابر پرتوها امیدوارکننده ظاهر شده‌اند. ویژگی‌های حائز اهمیت این نوع شیشه‌ها، ساخت ساده در دماهای ذوب پایین، چگالی بالا، ضریب شکست بالا، پنجره‌ی انتقال عالی ضریب شکست،

۱- دانشجوی دکترا، گروه فیزیک، پردیس دانشگاهی، دانشگاه گیلان، گیلان، ایران

۲- دانشیار، گروه فیزیک، دانشکده‌ی علوم پایه، دانشگاه گیلان، گیلان، ایران

۳- استاد، گروه فیزیک، دانشکده‌ی علوم پایه، دانشگاه گیلان، گیلان، ایران

نویسنده‌ی مسؤول: پیوند طاهرپرور؛ دانشیار، گروه فیزیک، دانشکده‌ی علوم پایه، دانشگاه گیلان، گیلان، ایران

نانو و میکرو در ماتریس مبتنی بر Si را ساختند. ضرایب تضعیف جرم کامپوزیت به طور جامع با استفاده از کد MCNPX مونت کارلو (MC) و XCOM مورد بررسی قرار گرفت. نتایج تجربی و MC نشان داد که کامپوزیت‌های نانو ساختار دارای خواص تضعیف فوتون بالاتر (تقریباً ۱۱-۱۸ درصد) نسبت به نمونه‌های کوچک برای فوتون‌های تابش ایکس هستند. میزان تضعیف تابش برای انرژی‌های پایین‌تر بیشتر از انرژی‌های بالاتر بود. بنابراین، مشخص شد که خواص محافظ کامپوزیت‌ها به طور قابل توجهی با افزودن ذرات نانو برای فوتون‌های کم انرژی تقویت شده است (۲۱).

با توجه به موارد یاد شده، اگرچه مطالعاتی درباره‌ی شیشه‌های سیلیکا حاوی نانوذرات در پژوهش‌های دنیال شده است (۲۲-۲۶)؛ اما تاکنون پژوهشی درباره‌ی خصوصیات حفاظت پرتوی شیشه‌های تلوریوم حاوی نانوذرات و میکرو ذرات بیسموت به عنوان جایگزین شیشه‌های سیلیکا صورت نگرفته است. از این رو در مطالعه‌ی حاضر، شیشه‌های تلوریوم آلیاژ شده با نانو ذرات بیسموت اکساید به عنوان ماده‌ی جدید، برای حفاظ‌های تابشی مورد بررسی قرار گرفت. در این پژوهش، برای بهبود خواص محافظت در برابر تابش‌های فوتونی، به شیشه‌های حاوی تلوریوم، میکرو ذرات و نانوذرات بیسموت به‌عنوان اصلاح‌کننده به شیشه اضافه شد تا اثر این نانوذرات بر خاصیت حفاظتی آن مورد ارزیابی قرار گیرد. مطالعات نشان می‌دهد که بیسموت کمک قابل توجهی به تثبیت ساختار شیشه‌ای می‌کند به صورتی که شیشه‌های بیسموت اکساید دوام شیمیایی شیشه را نیز بهبود می‌بخشد. علاوه بر این، با توجه به جرم اتمی (Z) بالای بیسموت، انتظار می‌رود (علاوه بر داشتن مزیت دلیل سمی نبودن این عنصر)، با تضعیف بیشتر تابش فوتونی همراه باشد (۲۷-۲۹). با توجه به اینکه شناسایی عامل‌های جذب انرژی فوتون برای توضیح عملکرد کامپوزیت‌های شیشه‌ای در کاربردهای حفاظ تابش مهم است، برای بررسی این عامل‌ها از نرم‌افزار رایانه‌ای MCNPX مبتنی بر کد مونت کارلو استفاده گردید.

روش‌ها

پارامترهای محافظ: احتمال برهمکنش پرتو گامای فرودی فوتون‌ها با شدت اولیه I_0 در گذر از حفاظی با ضخامت x (cm) به کمک ضریب تضعیف خطی پرتوگاما (μ) (قانون بیر - لمبرت) توصیف می‌شود (۳۰):

$$\mu(\text{cm}^{-1}) = \frac{1}{x} \ln \left(\frac{I_0}{I} \right) \quad (1)$$

که در رابطه‌ی مذکور، I شدت پرتوها پس از گذر از حفاظ است. μ_m برای یک ماده‌ی معین به‌عنوان یک پارامتر محافظ مهم می‌باشد که از آن برای توصیف و توصیف نفوذ پرتوگاما و برهمکنش

خواص نوری غیرخطی بالاتر، پایداری خوب، دوام شیمیایی بالا، ایمنی بالا در برابر خوسه‌بندی و تبلور و انرژی‌های نسبتاً کم فونون می‌باشد (۸-۱۰).

مطالعات گسترده‌ای به بررسی اثر محافظتی شیشه در برابر تابش و نقش مواد افزودنی در بهبود خواص آن، انتشار یافته است. بطور نمونه در پژوهش صورت پذیرفته توسط Sayyed، توانایی حفاظت در برابر تابش چهار شیشه بر پایه‌ی TeO_2 با ترکیب TeO_2 -ZnO- Bi_2O_3 - Bi_2O_3 و درصد‌های (۰، ۵، ۱۰، ۱۵، ۲۰ درصد) Bi_2O_3 مورد بررسی قرار گرفته است. مطالعات صورت پذیرفته نشان داد، شیشه حاوی میزان ۲۰ درصد از Bi_2O_3 بیشترین توانایی برای حفاظت از تابش را داراست و با افزایش میزان Bi_2O_3 ، ویژگی‌های حفاظت در برابر تابش این شیشه‌ها بهبود می‌یابد (۱۱).

پژوهش‌های مشابهی در ارتباط با خواص حفاظتی ترکیبات اضافه شده به شیشه صورت پذیرفته که آن را به عنوان یک حفاظ تابشی مناسب شفاف مطرح نموده است که در مراجع (۱۵-۱۲) قابل ملاحظه می‌باشد. از سوی دیگر، نقش حفاظت تابشی ذرات عناصر فلزی سنگین (به واسطه‌ی عدد اتمی بالای آن‌ها) در مواردی که تابش‌های فوتونی وجود دارد کاملاً اثبات شده می‌باشد و در این راستا تحقیقاتی وسیعی در بهره‌گیری از این عناصر در قالب نانوذرات به منظور بهبود خواص تابشی به ویژه در تابش‌های فوتونی با انرژی کم (پرتوهای مورد استفاده در رادیولوژی تشخیصی) صورت پذیرفته است (۱۹-۱۶). از این رو، در پژوهش حاضر به بررسی تأثیر نانوذرات در بهبود خواص حفاظت پرتویی شیشه پرداخته شد.

در بررسی حفاظت تابشی ترکیبات حاوی نانوذرات می‌توان به پژوهش Alavian و Tavakoli-Anbaran اشاره نمود (۲۰). در پژوهش یاد شده، کامپوزیت‌های پلیمری فلزی (Polymer matrix composite) PMC و اثر بخشی آن‌ها را در زمینه‌ی حفاظت در برابر تابش با استفاده از کد MCNPX به منظور مطالعه‌ی اثر اندازه و نسبت نانوذرات تنگستن (W) بر خواص حفاظ در برابر تابش در پلی‌اتیلن کم چگال (LDPE) مورد بررسی قرار گرفته است. آنان ساختاری حاوی ذرات W در اندازه‌های ۱۰۰ نانومتر، ۱ میکرومتر، ۱۰ میکرومتر، ۲۰ میکرومتر و نسبت‌های ۱، ۵، ۱۰، ۱۵، ۲۰، ۲۵ درصد وزنی در داخل ماتریس LDPE را مورد مطالعه قرار دادند. نتایج بدست آمده بیان‌گر آن بوده که نسبت ذرات پرکننده مؤثرتر از اندازه‌ی ذرات پرکننده در تضعیف تابش پرتو گاما است (۲۰).

در مطالعه‌ی دیگر، Malekzadeh و همکاران با هدف مطالعه خواص حفاظ تابشی کامپوزیت بیسموت-سیلیکون (Bi-Si) حاوی درصد‌های متفاوتی از ذرات میکرو و نانو Bi برای تابش‌های ایکس کم انرژی، حفاظ‌های کامپوزیت تابشی متشکل از ذرات Bi با اندازه

چگالی ۵/۶۷ و جرم مولی ۱۵۹/۵۹۹، Bi_2O_3 با چگالی ۸/۹ و جرم مولی ۴۶۵/۹۵۹ مورد مطالعه قرار گرفت. در ادامه و پس از اعتبارسنجی نتایج؛ شیشه پر شده از ذرات بیسموت اکساید در اندازه‌های ۵۰ nm، ۰٫۵ mm، ۵ mm و ۵۰ mm با درصد وزنی‌های ۱۰، ۱۵، ۲۰، ۲۵، ۳۰، ۳۵، ۴۰ و ۴۵ درصد انتخاب گردید. برای بررسی میزان شار جذبی در ناحیه‌ی آشکارساز از تالی شار (تعداد ذره در واحد سطح) F4 (۲۱) استفاده شده است. این تالی مجموع شار در حجم سلول را در خروجی ارائه می‌کند. به کمک شار تعیین شده، ضرایب تضعیف جرمی حفاظ‌های شیشه‌ای تلوریوم با درصد‌های مختلف ذرات Bi_2O_3 با استفاده از شبیه‌سازی MCNPX برای انرژی‌های فوتون‌های مختلف ۱۵، ۲۰، ۳۰، ۴۰، ۵۰، ۶۰، ۸۰، ۱۰۰، ۱۲۰، ۱۴۰، ۱۵۰، ۲۰۰ و ۳۰۰ keV محاسبه شد. برای بررسی میزان دقت هندسه و اعتبارسنجی اولیه، نتایج شبیه‌سازی MCNPX با داده‌های بانک اطلاعات NIST XCOM (۳۴) و مقاله‌ی Malekzadeh و همکاران مقایسه شد (۲۱). XCOM یک بانک داده‌ی اعتبارسنجی استاندارد از سطح مقطع‌های جذب فوتونی عناصر تا عدد اتمی ۱۰۰ (در گستره‌ی انرژی ۱ keV تا ۱۰۰ GeV) می‌باشد. شبیه‌سازی‌ها در هر مرحله برای ۵ میلیون ذره و در مدت زمان متوسط ۳۰۰ دقیقه بر روی رایانه‌ی شخصی با سی‌پی‌یو I99900Kcafe lake انجام شد. خطای آماری نتایج برای همه‌ی محاسبات کمتر از ۱ درصد بود.

یافته‌ها

اعتبارسنجی: به منظور اعتبارسنجی اولیه، محاسبه μ_m محاسبه شده برای حفاظ TeO_2 و Bi_2O_3 به کمک کد MCNPX با انرژی‌های مختلف به دست آمد و نتایج شبیه‌سازی با داده‌های بانک اطلاعاتی NIST XCOM مقایسه شد (۳۴). همچنین به منظور اعتبارسنجی بیشتر در مقیاس نانو و میکرو ذرات، از هندسه و نتایج پژوهش Malekzadeh و همکاران استفاده شد (۲۱). هندسه‌ی مورد استفاده برای اعتبارسنجی نتایج مربوط به شبیه‌سازی نقش حفاظ تابشی، هندسه‌ی شامل نانو و میکرو ذرات بیسموت (به عنوان نمونه) در آرایشی مشابه با شکل ۱ است. دو موازی‌ساز سربی به ابعاد 20×20 با ضخامت ۵ cm در فاصله‌ی ۵۰ cm در دوطرفه نمونه قرار گرفته، چشمه دیسکی به قطر ۱ cm در یک سو و پشت یکی از موازی‌سازها قرار دارد همچنین آشکارساز کروی با ۴ cm قطر در سمت دیگر و پشت به موازی‌ساز دوم قرار گرفته است. نتایج حاصل از μ_m مربوط به بیسموت، در حالت‌های نانو و میکرو به همراه نتایج مربوط به پژوهش Malekzadeh و همکاران در شکل ۲ به‌نمایش درآمده است (۲۱).

با حفاظ استفاده می‌شود. محاسبات μ_m برای یک ماده معین را می‌توان با معادله‌ی (۲) توصیف کرد (۳۱):

$$\mu_m (cm^2 \times g^{-1}) = \frac{\mu (cm^{-1})}{\rho (g \times cm^{-3})} \quad (2)$$

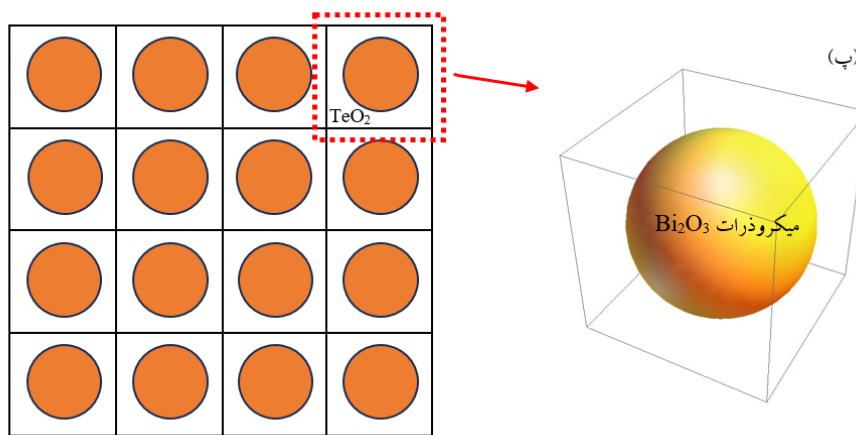
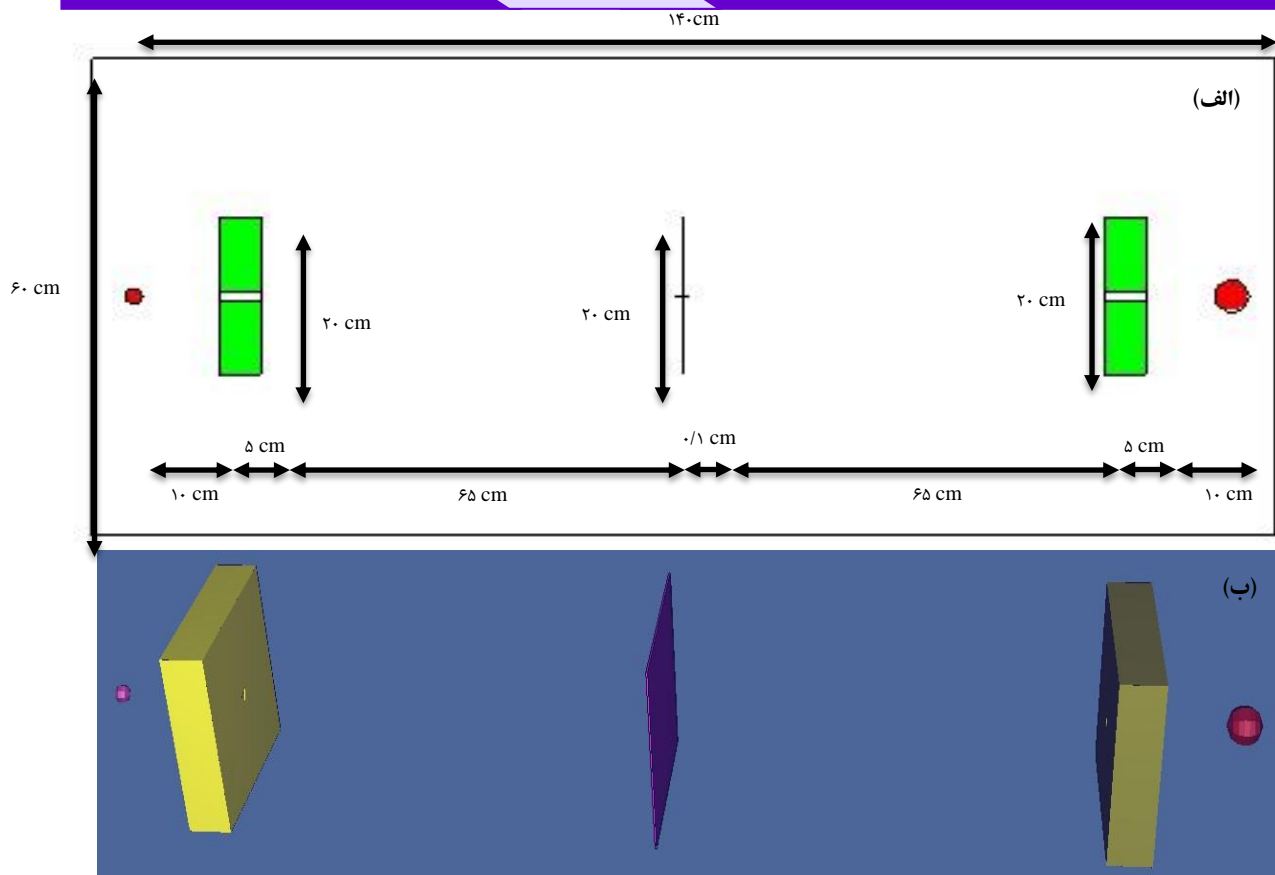
ρ چگالی مواد مورد مطالعه است، ضریب انتقال (TF)، نسبت فوتون‌های عبوری از ترکیب به فوتون‌هایی است که از نمونه‌ی اولیه عبور می‌کنند (۲۰):

$$T = \frac{(\text{Bi}_2\text{O}_3/\text{TeO}_2)}{\text{TeO}_2} \quad (3)$$

شبیه‌سازی با کد مونت کارلو: در این مقاله به کمک کد مونت کارلوی MCNPX (نسخه‌ی ۲.۶.۰) که در آزمایشگاه ملی لوس آلاموس آمریکا (LANL (Los Alamos National Laboratory) (۳۲) توسعه یافته است، کمیت‌های متفاوتی از جمله آهنگ شار پرتوهای گاما معادل محاسبه شد. کد انتقال ذرات مونت کارلو MCNPX برنامه‌ای برای مدل‌سازی برهمکنش نوترون‌ها، پرتوهای گاما و ایکس، الکترون‌ها و نیز سایر ذرات باردار سنگین در مواد مختلف است. این کد از کتابخانه‌های هسته‌ای و مدل‌های مختلف فیزیک برای برهمکنش ذرات با ماده استفاده می‌کند (۳۲، ۳۳).

MCNPX یک کد استاندارد چند منظوره جهت شبیه‌سازی و بررسی ترابرد ذرات متفاوتی از جمله نوترون‌ها، پروتون‌ها، فوتون‌ها و بسیاری از ذرات زیر اتمی بوده در یک فضای شبیه‌سازی شده‌ی سه بعدی صورت می‌پذیرد (۳۲). در این پژوهش به کمک کد MCNPX، به منظور اعتبارسنجی با پژوهش Malekzadeh و همکاران (۲۱)، یک هندسه‌ی پرتو باریک برگرفته از هندسه‌ی Malekzadeh و همکاران مدل‌سازی شد (۲۱). هندسه‌ی مسأله شامل یک چشمه دیسکی به قطر ۰/۵ سانتی‌متر می‌باشد که به فاصله‌ی ۶۵ سانتی‌متر از نمونه قرار گرفته است. در فاصله‌ی ۱۰ سانتی‌متری از چشمه، موازی‌ساز استوانه‌ای از جنس سرب به قطر ۵ سانتی‌متر دارای حفره‌ای به قطر ۰/۵ سانتی‌متر در وسط استوانه‌ی نمونه به فاصله‌ی ۵۰ سانتی‌متر از موازی‌ساز اول قرار گرفته و موازی‌سازی توخالی دیگر از جنس سرب به فاصله ۵۰ سانتی‌متر پس از نمونه و پیش از آشکارساز (مطابق شکل ۱) قرار گرفت. به فاصله‌ی ۱۰ سانتی‌متر از موازی‌ساز دوم کره‌ای با قطر ۴ سانتی‌متر به‌عنوان یک آشکارساز تعریف شده است. در این برنامه از کتابخانه‌ی فایل‌های داده‌های هسته‌ای ارزیابی شده (ENDF)/B-VI-Released استفاده شد (۲۱). چشمه استوانه‌ی شکل در کارت داده MCNPX به‌عنوان دستورات ERG، PAR، POS، AXE، VEC و DIR برای انرژی، نوع ذرات، موقعیت و جهت تعریف شده است (۲۱).

به منظور اعتبارسنجی اولیه، نمونه از جنس شیشه TeO_2 با



شکل ۱ الف): هندسه‌ی طراحی شده در کد MCNPX (ب) هندسه در سه بعد، طراحی شده در کد MCNPX (پ) هندسه‌ی ماتریس شیشه‌های تلوریوم حاوی نانوذرات Bi_2O_3

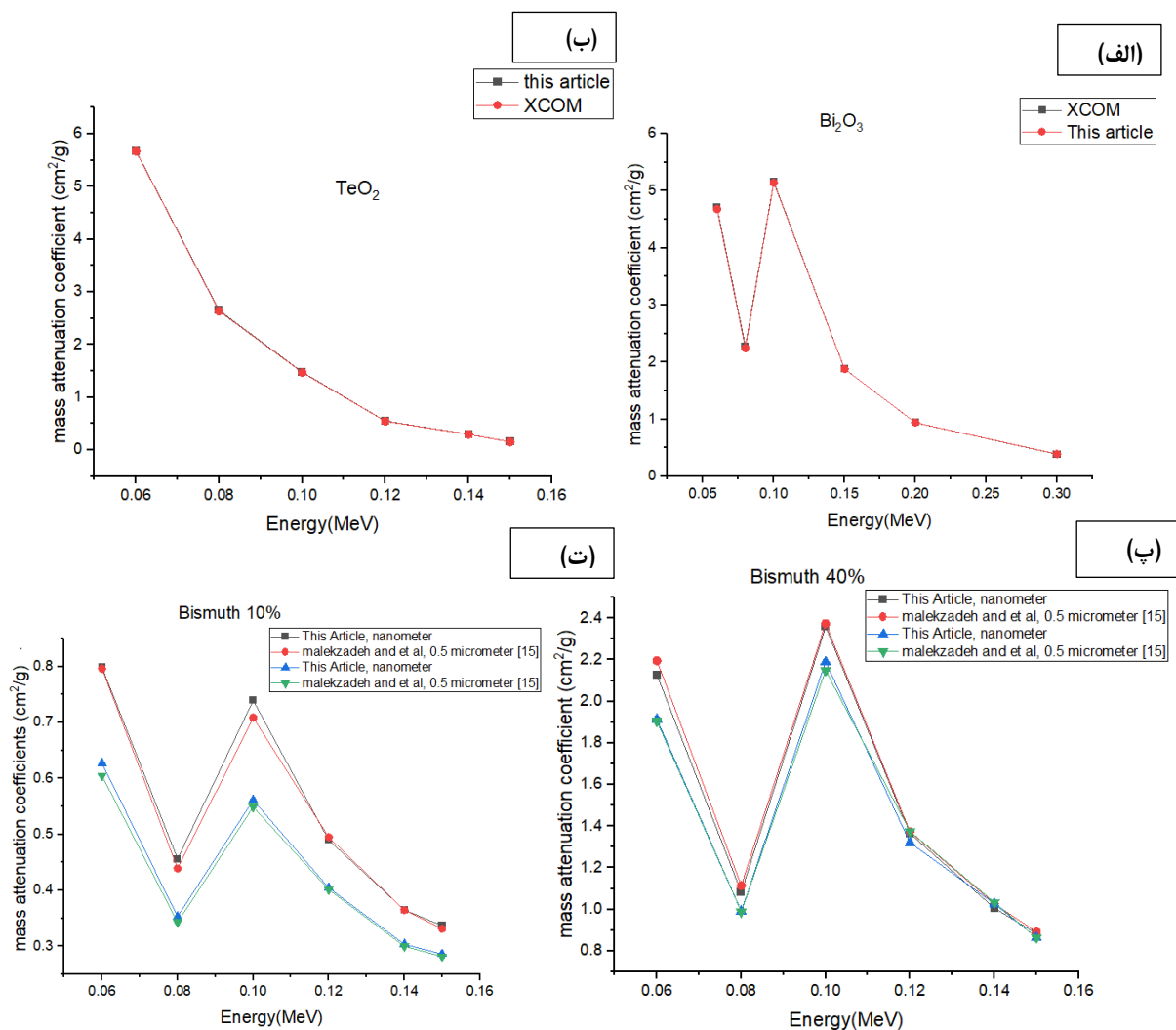
در حدود ۳ درصد بود که نشان از اعتبارسنجی درست روند شبیه‌سازی می‌باشد.

اثر افزایش مقدار ذرات Bi_2O_3 بر خواص μ_m و تأثیر افزایش اندازه‌ی ذرات Bi_2O_3 بر μ_m شیشه‌های تلوریوم: پس از اعتبارسنجی انجام شده و به منظور ارزیابی اثرات افزودن میزان نانوذرات Bi_2O_3 بر ضرایب تضعیف جرمی شیشه‌های تلوریوم، از همان هندسه‌ی شکل ۱

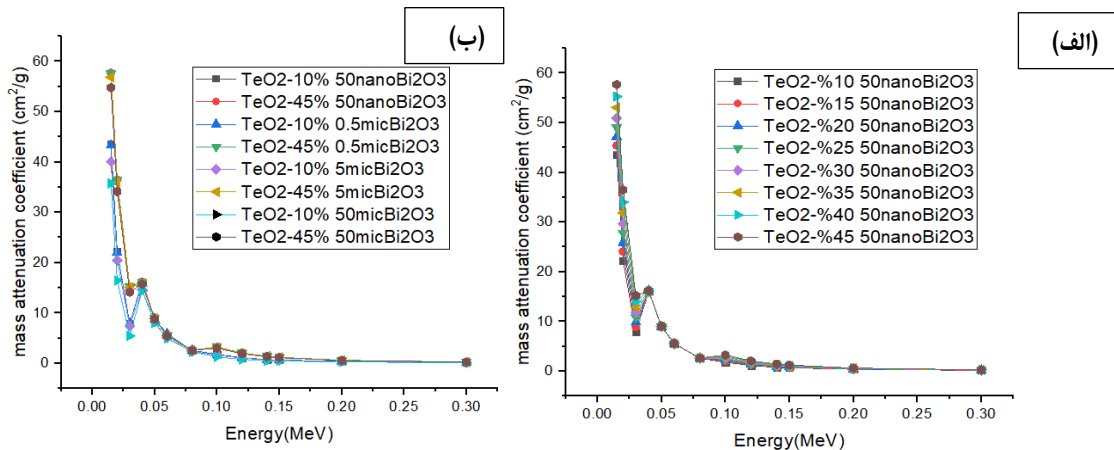
نتایج حاصل از این مقایسه در شکل ۲ (الف و ب)، نشان از توافق بسیار خوب داده‌های NIST XCOM با نتایج حاصل از شبیه‌سازی در مقاله‌ی حاضر است و انحراف داده‌ها کمتر از ۱ درصد را نشان می‌دهد. همچنین نتایج به دست آمده از نمودار شکل ۲ (پ و ت) بیانگر تفاهم خوبی بین نتایج کار حاضر و نتایج مطالعه‌ی Malekzadeh و همکاران است (۲۱). میزان بیشینه‌ی انحراف نتایج

مشاهده می‌شود که کمترین مقادیر μ_m برای همه‌ی انرژی‌ها به‌دست آمده به نمونه حاوی ۱۰٪ Bi_2O_3 تعلق دارد. با افزایش تدریجی مقدار Bi_2O_3 ، μ_m فزونی می‌یابد. در استفاده از نانوذرات در حفاظ‌گذاری، با توجه به افزایش احتمال در جذب فوتون به واسطه‌ی قرارگیری انرژی فوتون در اختلاف تراز انرژی لایه‌های اتمی (خصوصاً لایه‌ی K)، میزان احتمال جذب فوتون تشدید می‌یابد. این امر عامل گسستگی در نمودار حاصل در شکل ۳ (الف) می‌باشد. با این حال، در درصد وزنی پایین Bi_2O_3 ویژگی جذب لبه K به وضوح قابل مشاهده نیست. با افزایش غلظت Bi_2O_3 در شیشه‌های تلوریم، اثر لبه‌ی K با افزایش μ_m در آن انرژی آشکارتر می‌شود.

استفاده شد و غلظت‌های ۱۰ تا ۴۵ درصد (با پله‌ی ۵ درصدی) از نانوذرات حفاظ شیشه‌ای اضافه گردید. نتایج حاصل از تغییرات ضرایب تضعیف جرمی بر حسب انرژی فوتون در شکل ۳ (الف) به نمایش درآمده است. همچنین به‌منظور ارزیابی اثرات ابعاد ذرات بر توانایی تضعیف فوتون توسط شیشه‌های آلاینده، μ_m حفاظ‌ها در دو درصد وزنی متفاوت از Bi_2O_3 ۱۰ و ۴۵ درصد در اندازه‌های ۵۰nm، ۰.۵mm، ۵mm و ۵۰mm مدل‌سازی شد. در شکل ۳ (ب)، مقادیر μ_m محاسبه شده به کمک شبیه‌سازی MCNPX نسبت به انرژی فوتون فرودی برای شیشه‌های TeO_2 تقویت شده با Bi_2O_3 نشان داده شد.

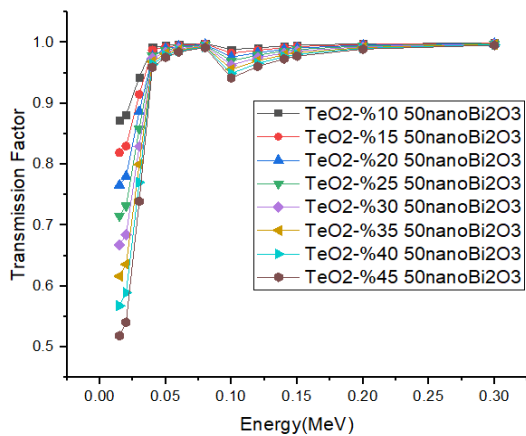


شکل ۳. تغییرات μ_m بر حسب انرژی برای الف) تلوریم در پژوهش حاضر و مقایسه‌ی آن با بانک اطلاعات NIST XCOM [۲۴] ب) بیسموت اکساید محاسبه شده در پژوهش حاضر و مقایسه‌ی آن با بانک اطلاعات NIST XCOM (۲۴) ج) حفاظ سیلیکونی حاوی درصد وزنی ۱۰ درصد بیسموت برای ابعاد نانومتر و میکرومتر محاسبه شده در پژوهش حاضر و مقایسه‌ی آن با نتایج Malekzadeh و همکاران (۲۱) د) حفاظ سیلیکونی حاوی درصد وزنی ۴۰ درصد بیسموت برای ابعاد نانومتر و میکرومتر محاسبه شده در پژوهش حاضر و مقایسه‌ی آن با نتایج Malekzadeh و همکاران (۲۱)



شکل ۳. الف) تغییرات μ_m بر حسب انرژی برای درصد‌های وزنی ۱۰ تا ۴۵ درصد (با پله ۵ درصدی) نانوذرات Bi_2O_3 ب) تغییرات ضریب تضعیف جرمی بر حسب انرژی برای درصد‌های وزنی ۱۰ و ۴۵ درصد ذرات Bi_2O_3

در ناحیه‌ی تشخیص می‌شود، بنابراین عامل‌های انتقال افزایش می‌یابد. تغییرات مشاهده شده در فاکتورهای انتقال با توجه به تمام نسبت‌های Bi_2O_3 از روند مشابهی پیروی می‌کند در حالی که نرخ انتقال کمتر برای اندازه‌ی ۵۰ نانومتر Bi_2O_3 به نسبت ۴۵ درصد تعیین می‌شود.



شکل ۴ بررسی ضریب انتقال بر حسب انرژی برای شیشه‌های تلوریم حاوی نانوذرات Bi_2O_3 در درصد وزنی‌های (۱۰ تا ۴۵٪)

بحث

منابع اشعه‌ی ایکس با انرژی کم (۲۰-۱۵۰ keV)، به طور گسترده در رادیولوژی تشخیصی استفاده می‌شوند. از این رو پژوهش‌های مختلفی به بررسی و بهبود مواد حفاظتی در برای کاهش شدت این تابش‌ها پرداخته شده است. به طور کلی برهمکنش میان پرتو ایکس کم انرژی و مواد محافظ در درجه‌ی اول، شامل اثرات جذب فوتوالکتریک و پراکندگی کامپتون است که سطح مقطع جذب آن‌ها به ترتیب به عدد

در مجاورت لبه‌ی K (یعنی در انرژی ۴۰ keV و ۸۰ keV)، μ_m به دلیل غلبه‌ی اثر فوتوالکتریک، به سرعت افزایش می‌یابد؛ بنابراین به وضوح مشاهده می‌شود که با افزایش درصد Bi_2O_3 شیشه‌های تلوریم، μ_m برای هر انرژی افزایش دارد. با توجه به شکل ۳ (ب) در انرژی‌های کم، مقادیر μ_m به شدت با افزایش انرژی فوتون کاهش می‌یابد. جهش ناگهانی در مقادیر ضریب تضعیف در درصد وزنی ۴۵ درصد به جذب لبه‌ی K اشاره دارد. همچنین به دلیل درصد پایین Bi_2O_3 (درصد ۱۰) تأثیر لایه‌ی K در این انرژی‌ها مشهود نیست. در انرژی‌های بالا، مقادیر μ_m به صورت تدریجی (به واسطه‌ی موارد یاد شده در سطور پیشین) کاهش می‌یابد تا آن‌جا که اثر اندازه‌ی پرکننده‌ی شیشه‌ها، مشاهده می‌شود تغییر ناچیزی در مقدار μ_m نسبت به اندازه‌ی پرکننده در این ناحیه انرژی وجود دارد.

بررسی ضریب انتقال برای شیشه‌های تلوریم حاوی ذرات

Bi_2O_3 به منظور بررسی خواص انتقال شیشه‌های تلوریم حاوی ذرات نانو Bi_2O_3 ، کمیت TF مورد بررسی قرار گرفت. به این منظور با تقسیم شار فوتون گذرا از نمونه $\text{Bi}_2\text{O}_3/\text{TeO}_2$ بر شار فوتون گذرا از نمونه TeO_2 ، کمیت TF بدست آمد. شکل ۴ نشان دهنده‌ی ضریب انتقال می‌باشد.

شکل ۴ بیانگر TF است که در انرژی‌های کم، عوامل انتقال به شدت افزایش می‌یابد تا انرژی فوتون‌های فرودی ۰/۸ MeV روند افزایشی داشته باشد. سپس، به دلیل اثر لایه‌ی K در انرژی ۰/۴ MeV و ۰/۱ MeV با کاهش ناگهانی همراه می‌شود. پس از آن، یک ناحیه‌ی افزایشی با افزایش انرژی مشاهده می‌شود؛ به این دلیل است که غلبه‌ی جذب فوتوالکتریک در ناحیه‌ی کم انرژی به کاهش شار فوتون در ناحیه‌ی تشخیص و عوامل انتقال نیز کمک می‌کند. علاوه بر این کاهش جذب فوتوالکتریک فوتون‌ها باعث افزایش شار فوتون

ابعاد در نتیجه، شیشه تلوریوم حاوی نانوذرات ۴۵ درصد بیسموت در ارزیابی‌های صورت گرفته بهترین نقش محافظتی را نشان می‌دهند و می‌توان به عنوان یک محافظ بهینه و شفاف مطرح شود. این نتایج در تطابق با نتایج ارائه شده توسط Alavian و Tavakoli-Anbaran می‌باشد که نشان دادند نسبت پرکننده نسبت به اندازه‌ی پرکننده (برای ترکیبات LDPE) در تضعیف تابش گاما مؤثرتر است (۲۰). البته به دلیل عدم توانایی کد MCNPX در ایجاد ماتریس حاوی نانوذرات با ابعاد کمتر از ۵۰ nm و عدم توانایی در بررسی انرژی‌های کمتر از ۱۰ keV، محدودیت‌هایی در شبیه‌سازی این گستره انرژی و ابعاد یاد شده وجود دارد که با توسعه‌ی کدها می‌تواند مدنظر قرار گیرد و به عنوان توسعه‌ی کار حاضر پیشنهاد می‌گردد.

نتیجه‌گیری

در این مطالعه به کمک شبیه‌سازی، نمونه حفاظ‌های تلوریوم حاوی نانوذرات و میکرو ذرات مورد بررسی قرار گرفت. نتایج نشان داد، حفاظ‌های تلوریوم حاوی نانوذرات به دلیل اندازه‌ی کوچک‌تر ذرات نانو نسبت به میکروذرات در یک درصد وزنی مشخص، تابش را به طور مؤثرتری مسدود می‌کنند. همچنین مقادیر ضریب انتقال نمونه‌های شیشه‌ای با افزایش غلظت بیسموت کاهش می‌یابد که بر نقش حفاظتی مؤثرتر آن صحنه می‌گذارد. مضاف بر اینکه با توجه به ویژگی‌های فیزیکی بیسموت، این عنصر می‌تواند به عنوان یک اصلاح‌کننده‌ی شبکه شیشه‌ای عمل نموده و سبب بهبود ویژگی‌های استحکامی نمونه‌های شیشه گردد. در مجموع با توجه به نتایج پژوهش حاضر، ساخت حفاظ‌های تلوریوم حاوی نانوذرات بیسموت به عنوان یک حفاظ مؤثر پیشنهاد می‌گردد.

تشکر و قدردانی

از تمامی کسانی که ما را در انجام این پژوهش یاری رساندند کمال تشکر و قدردانی را داریم.

اتمی و چگالی الکترونی مواد محافظ بستگی دارد (۳۵، ۳۶). به دلیل عدد اتمی و چگالی نسبتاً بالا و همچنین هزینه‌ی ارزان، حفاظ‌های سربی به عنوان یک حفاظ تابش ایکس عالی در نظر گرفته می‌شود (۳۷). با این حال، مواد محافظ مبتنی بر سرب از معایب قابل توجهی مانند وزن سنگین، انعطاف‌پذیری ضعیف، سمیت شدید و همچنین فرایند بازیافت پر هزینه رنج می‌برند. از این‌رو امروزه استفاده از شیشه‌های حاوی نانوذرات فلزی در ساخت حفاظ‌های کامپوزیتی با پایه‌ی شیشه‌ای (به جای پلیمر) مورد توجه بسیاری از محققان قرار گرفته است.

در مطالعه‌ی حاضر، ضرایب تضعیف جرمی شیشه‌های تلوریوم حاوی نانو و میکرو ذرات Bi_2O_3 بررسی در یک هندسه بارکه باریک، مورد ارزیابی قرار گرفت. بصورت کلی، نتایج حاکی از بهبود قابل توجه قابلیت حفاظت تابشی شیشه در مواجهه با تابش فوتونی، در حضور نانوذرات Bi_2O_3 بود. مقایسه‌ی نتایج حاصل از پژوهش حاضر با مطالعه‌ی Sayyed (۱۱)، بیانگر استفاده از نانوذرات بیسموت اکساید (به جای شکل ترکیباتی متداول آن)، به دلیل ساختار منظم و نیز خصوصیات ذرات در ابعاد نانومتر بود (۳۸) که سبب افزایش جذب فوتون و متعاقب آن معرفی حفاظ بهتری می‌گردد. به صورتی که μ_m برای شیشه‌هایی حاوی نانوذرات تا ۳۰ درصد نسبت به شیشه‌های بررسی شده‌ی بدون نانوذره، بهبود می‌یابد.

از سوی دیگر مقایسه‌ی پژوهش حاضر با مطالعه‌ی Malekzadeh و همکاران در سال ۲۰۱۹ (که حفاظ سیلیکونی حاوی نانوذرات و میکروذرات بیسموت را مورد بررسی قرار دادند) (۲۱) نشان داد که استفاده از شیشه‌های تلوریوم به عنوان جایگزین شیشه‌های سیلیکون به دلیل عدد اتمی بالاتر (و در نتیجه سطح مقطع جذب فوتونی بیشتر)، بهبود قابل توجهی در خصوصیات حفاظتی را مسبب می‌گردد.

شبیه‌سازی‌های صورت پذیرفته نشان داد که بهبود μ_m با کاهش ابعاد نانوذرات رابطه‌ی مستقیم دارند. به صورتی که بهترین نقش حفاظتی اختصاص به ترکیبی دارد که شامل نانوذراتی با کوچکترین

References

- Moradi F, Jalili M, Saraee KRE, Abdi MR, Abdul-Rashid HA. Radiation shielding assessment for interventional radiology personnel: Geant4 dosimetry of lead-free compositions. *Biomed Phys Eng Express* 2024; 10(2): 025029.
- Varshney S, Kumar L, Dwivedi UK, Narayan PK. Experimental Investigation of X-Ray Radiation Shielding and Radiological Properties for Various Natural Composites. *Asian Pac J Cancer Prev* 2023; 24(10): 3555-61.
- Semwal MK. Khan's the physics of radiation therapy. *J Med Phys.* 2020; 45(2): 134-5.
- Kazemi F, Malekie S, Hosseini MA. A monte carlo study on the shielding properties of a Novel Polyvinyl Alcohol (PVA)/WO₃ composite, against gamma rays, using the MCNPX Code. *J Biomed Phys Eng* 2019; 9(4): 465-72.
- Elkholy H, Othman H, Hager I, Ibrahim M, de Ligny D. Thermal and optical properties of binary magnesium tellurite glasses and their link to the glass structure. *J Alloys Compd* 2020; 823: 153781.
- Pascuta P, Pop L, Stefan R, Olar L, Borodi G, Bolundut LC, Culea E. The impact of Ag and Cu nanoparticles on optical and magnetic properties of

- new Tb₂O₃-PbO-TeO₂ glass ceramic system. *J Alloys Compd* 2019; 799: 442-9.
7. Klimesz B, Lisiecki R, Ryba-Romanowski W. Sm³⁺-doped oxyfluorotellurite glasses - spectroscopic, luminescence and temperature sensor properties. *J Alloys Compd* 2019; 788: 658-65.
 8. Al-Hadeethi Y, Sayyed MI. Using Phy-X/PSD to investigate gamma photons in SeO₂-Ag₂O-TeO₂ glass systems for shielding applications. *Ceramics International* 2020; 46(8, Part B): 12416-21.
 9. Sharma A, Sayyed MI, Agar O, Tekin HO. Simulation of shielding parameters for TeO₂-WO₃-GeO₂ glasses using FLUKA code. *Results in Physics* 2019; 13: 102199.
 10. Mehnati P, Yousefi Sooteh M, Malekzadeh R, Divband B. Synthesis and characterization of nano Bi₂O₃ for radiology shield. *Nanomed J* 2018; 5(4): 222-6.
 11. Sayyed MI. Bismuth modified shielding properties of zinc boro-tellurite glasses. *J Alloys Compd* 2016; 688: 111-7.
 12. Hila FC, Sayyed MI, Javier-Hila AMV, Jecong JFM. Evaluation of the Radiation Shielding Characteristics of Several Glass Systems Using the EPICS2017 Library. *Arab J Sci Eng* 2022; 47(1): 1077-86.
 13. Almuqrin AH, Sayyed MI, Prabhu NS, Kamath SD. Influence of Bi₂O₃ on mechanical properties and radiation-shielding performance of lithium zinc bismuth silicate glass system using Phys-X software. *Materials (Basel)* 2022; 15(4): 1327.
 14. Sayyed MI, Albarzan B, Almuqrin AH, El-Khatib AM, Kumar A, Tishkevich DI, et al. Experimental and Theoretical Study of Radiation Shielding Features of CaO-K₂O-Na₂O-P₂O₅ Glass Systems. *Materials (Basel)* 2021; 14(14): 3772.
 15. Aloraini DA, Almuqrin AH, Sayyed MI, Al-Ghamdi H, Kumar A, Elsafi M. Experimental Investigation of Radiation Shielding Competence of Bi₂O₃-CaO-K₂O-Na₂O-P₂O₅ Glass Systems. *Materials (Basel)* 2021; 14(17): 5061.
 16. Haque M, Shakil MS, Mahmud KM. The promise of nanoparticles-based radiotherapy in cancer treatment. *Cancers (Basel)* 2023; 15(6): 1892.
 17. Poignant F, Monini C, Testa É, Beuve M. Influence of gold nanoparticles embedded in water on nanodosimetry for keV photon irradiation. *Med Phys* 2021; 48(4): 1874-83.
 18. Hahn MB, Zutta Villate JM. Combined cell and nanoparticle models for TOPAS to study radiation dose enhancement in cell organelles. *Sci Rep* 2021; 11(1): 6721.
 19. Zhao J, Zhou M, Li C. Synthetic nanoparticles for delivery of radioisotopes and radiosensitizers in cancer therapy. *Cancer Nanotechnol* 2016; 7(1): 9.
 20. Alavian H, Tavakoli-Anbaran H. Study on gamma shielding polymer composites reinforced with different sizes and proportions of tungsten particles using MCNP code. *Progress in Nuclear Energy* 2019; 115: 91-8.
 21. Malekzadeh R, Mehnati P, Sooteh MY, Mesbahi A. Influence of the size of nano- and microparticles and photon energy on mass attenuation coefficients of bismuth-silicon shields in diagnostic radiology. *Radiol Phys Technol* 2019; 12(3): 325-34.
 22. Cinan ZM. A theoretical focus on nanoparticle attenuation capabilities for potential utilizations in radiation protect: TiO₂-SiO₂-Fe₃O₄-B₄C-Al₂O₃. *Phys Scr* 2023; 98(8): 085315.
 23. Soni G, Gouttam N, Joshi V. Synthesis and comparisons of Optical and Gamma Radiation shielding properties for ZnO and SiO₂ nanoparticles in PMMA nanocomposites thin films. *Optik* 2022; 259: 168884.
 24. Sayyadi E, Mesbahi A, Zamiri RE, Nejad FS. A comprehensive Monte Carlo study to design a novel multi-nanoparticle loaded nanocomposites for augmentation of attenuation coefficient in the energy range of diagnostic X-rays. *Polish Journal of Medical Physics and Engineering* 2021; 27(4): 279-89.
 25. Elsafi M, El-Nahal MA, Sayyed MI, Saleh IH, Abbas MI. Effect of bulk and nanoparticle Bi₂O₃ on attenuation capability of radiation shielding glass. *Ceramics International* 2021; 47(14): 19651-8.
 26. Mahmoud HH, Battisha IK, Ezz-Eldin FM. Structural, optical and magnetic properties of γ -irradiated SiO₂ xerogel doped Fe₂O₃. *Spectrochim Acta A Mol Biomol Spectrosc* 2015; 150: 72-82.
 27. Azman MN, Abualroos NJ, Yaacob KA, Zainon R. Feasibility of nanomaterial tungsten carbide as lead-free nanomaterial-based radiation shielding. *Radiation Physics and Chemistry* 2023; 202: 110492.
 28. Rammah YS, El-Agwany FI, Mahmoud KA, Novatski A, El-Mallawany R. Role of ZnO on TeO₂.Li₂O.ZnO glasses for optical and nuclear radiation shielding applications utilizing MCNP5 simulations and WINXCOM program. *Journal of Non-Crystalline Solids* 2020; 544: 120162.
 29. Tijani SA, Al-Hadeethi Y. The influence of TeO₂ and Bi₂O₃ on the shielding ability of lead-free transparent bismuth tellurite glass at low gamma energy range. *Ceramics International* 2019; 45(17, Part B): 23572-7.
 30. Kaur P, Singh D, Singh T. Heavy metal oxide glasses as gamma rays shielding material. *Nuclear Engineering and Design* 2016; 307: 364-76.
 31. Chanthima N, Kaewkhao J. Investigation on radiation shielding parameters of bismuth borosilicate glass from 1keV to 100GeV. *Ann Nucl Energy* 2013; 55: 23-8.
 32. McKinney G. MCNPX User's Manual, Version 2.6.02008.
 33. Issa SAM, Tekin HO, Elsaman R, Kilicoglu O, Saddeek YB, Sayyed MI. Radiation shielding and mechanical properties of Al₂O₃-Na₂O-B₂O₃-Bi₂O₃ glasses using MCNPX Monte Carlo code. *Mater Chem Phys* 2019; 223: 209-19.
 34. Berger MJ, Hubbell JH, Seltzer JS, Zucker DS. XCOM: Photon Cross Section Database (version 1.2). (Accessed April 1, 2024), Available from: <https://www.nist.gov/publications/xcom-photon-cross-section-database-version-12>
 35. Reddy BRC, Manjunatha HCS, Vidya YS, Sridhar KN, Seenappa L, Manjunatha S, et al. X-ray/gamma radiation shielding properties of zinc ferrite nanoparticles synthesised via solution combustion method. *Radiat Prot Dosimetry* 2023; 199(20): 2506-12.

36. Alshipli M, Altaim TA, Aladailah MW, Oglat AA, Alsenany SA, Tashlykov OL, et al. High-density polyethylene with ZnO and TiO₂ nanoparticle filler: Computational and experimental studies of radiation-protective characteristics of polymers. *Journal of Radiation Research and Applied Sciences* 2023; 16(4): 100720.
37. Jamal AbuAlRoos N, Azman MN, Baharul Amin NA, Zainon R. Tungsten-based material as promising new lead-free gamma radiation shielding material in nuclear medicine. *Phys Med* 2020; 78: 48-57.
38. Hsiao YY, Tai FC, Chan CC, Tsai CC. A computational method to estimate the effect of gold nanoparticles on X-ray induced dose enhancement and double-strand break yields. *IEEE Access* 2021; 9: 62745-51.

The Effect of Bismuth Oxide Nanoparticles and Microparticles on the Radiation Shielding Properties of Tellurium Glasses Using MCNPX Code

Aryan Nikrah¹, Payvand Taherparvar², Alireza Sadremomtaz³

Original Article

Abstract

Background: Using shields is considered one of the most critical tools for ionizing radiation. Recently, to enhance the properties of shields alongside ease of use and their dimensions, the incorporation of shields containing nanoparticles has garnered significant attention. This study aims to investigate tellurium compounds containing bismuth oxide (Bi₂O₃) nanoparticles as radiation shielding based on the standard parameters of radiation shielding evaluation.

Methods: In this study, while conducting an initial assessment of the performance of tellurium glasses as radiation shields, the role of adding Bi₂O₃ nanoparticles in improving the protective properties of these glasses against photon radiation was investigated using the Monte Carlo code MCNPX. The performance assessment was conducted using parameters such as mass attenuation coefficient (μ_m) and transmission factor (TF). The energy range of incident radiation for tellurium glasses with micro and nanostructures was from 15 keV to 300 keV. Furthermore, the effect of nanoparticle dimensions on the performance of radiation shields was examined and discussed.

Findings: The simulations show that the improvement of μ_m has a direct relationship with the reduction of the dimensions of nanoparticles. Also, increasing the weight percentage of bismuth in the protection increases μ_m so that the best protective role is assigned to the composition that contains nanoparticles with the highest weight percentage.

Conclusion: The results indicate that tellurium glasses containing bismuth nanoparticles provide better radiation shielding than the absence of nanoparticles. Moreover, the presence of bismuth particles in nanometer dimensions creates superior radiation shields compared to particles in micrometer dimensions.

Keywords: Nanoparticles; Bismuth; Tellurium; Radiation protection

Citation: Nikrah A, Taherparvar P, Sadremomtaz A. **The Effect of Bismuth Oxide Nanoparticles and Microparticles on the Radiation Shielding Properties of Tellurium Glasses Using MCNPX Code.** J Isfahan Med Sch 2024; 41(749): 1147-56.

1- PhD Student, Department of Physics, University Campus 2, University of Guilan, Rasht, Iran

2- Associate Professor, Department of Physics, University of Guilan, Rasht, Iran

3- Professor, Department of Physics, University of Guilan, Rasht, Iran

Corresponding Author: Payvand Taherparvar, Associate Professor, Department of Physics, University of Guilan, Rasht, Iran; Email: p.taherparvar@guilan.ac.ir