

## بررسی قابلیت تضعیف کامپوزیت‌های حاوی میکرو و نانوذرات تنگستن و سرب به عنوان حفاظ پرتوهای X تشخیصی

نادیا آثاری شیک<sup>۱</sup>، لیلا غلامزاده<sup>۱\*</sup>، محسن خواجه‌امینیان<sup>۱</sup> و محمداسماعیل فضیلت‌معدلی<sup>۲</sup>

<sup>۱</sup>دانشکده فیزیک، دانشگاه یزد، یزد، ایران.

<sup>۲</sup>دفتر فیزیک بهداشت، بخش رادیولوژی، بیمارستان نمازی، شیراز، ایران.

\*یزد، دانشگاه یزد، دانشکده فیزیک، گروه فیزیک هسته‌ای، کدپستی: ۷۴۱-۸۹۱۹۵

پست الکترونیکی: gholamzadeh@yazd.ac.ir

### چکیده

در این مقاله قابلیت تضعیف پرتوهای X در محدوده انرژی تشخیصی توسط کامپوزیت‌های حاوی میکرو و نانوذرات تنگستن ( $WO_3$ ) اندازه‌گیری و با قابلیت تضعیف کامپوزیت‌های حاوی میکروذرات و نانوذرات سرب ( $PbO$ ) مقایسه شده است. بدین منظور، پس از سنتز نانوذرات و تهیه میکروذرات، درصدهای مختلف این مواد در بستری از امولسیون پلی وینیل کلراید (EPVC) وارد شده و به صورت ورقه‌هایی با ضخامت ۲ mm آماده گردیدند و تحت پرتودهی در بازه ۴۰-۱۰۰ kVp قرار گرفتند. دز عبوری، چگالی و ضریب تضعیف جرمی نمونه‌های ساخته شده تعیین گردیده و با مطالعات پیشین مقایسه شده‌اند. طبق نتایج به دست آمده، قابلیت تضعیف حفاظ‌های حاوی نانومواد، بهتر از قابلیت تضعیف نمونه‌های حاوی میکرومواد است. همچنین نتایج مربوط به نمونه‌های حاوی  $WO_3$  تفاوت اندکی با نتایج تضعیفی  $PbO$  دارد. به علاوه همه نمونه‌های تهیه شده دارای چگالی بسیار کم‌تری نسبت به  $PbO$  و  $WO_3$  هستند. بنابراین حفاظ‌های نانو ساختار حاوی تنگستن در عین سبکی و انعطاف مناسب، می‌تواند جایگزین مناسبی برای حفاظ‌های سربی باشند.

کلیدواژگان: پرتو X، حفاظ، تنگستن، سرب، ضریب تضعیف جرمی، نانوذرات، میکروذرات

## ۱. مقدمه

پرتو X به‌عنوان پرکاربردترین بخش امواج الکترومغناطیسی در زمینه پزشکی تشخیصی شناخته شده است [۱]. کاربردهای فراوان پزشکی - تشخیصی پرتوهای X به بیش از ۳ میلیارد پرتودهی تشخیصی سالانه در سراسر جهان منجر می‌شود [۲]. از آنجا که پرتو X در محدوده پرتوهای یون‌ساز طیف الکترومغناطیس قرار دارد، لازم است به مسئله کاهش آسیب‌های قطعی و احتمالی ناشی از پرتوهای یون‌ساز، توجه ویژه گردد [۱،۳].

بدین منظور، از بین روش‌های مختلف، حفاظ‌گذاری در برابر پرتو، یکی از اساسی‌ترین و مناسب‌ترین روش‌های کاهش اثرات مخرب پرتو می‌باشد [۴]. بررسی‌ها نشان داده است که از بین مواد مختلف، عناصر با عدد اتمی بالا می‌توانند عملکرد مناسب‌تری در این زمینه داشته باشند [۵].

خواص فیزیکی مانند چگالی و عدد اتمی بالا، انعطاف‌پذیری، و فراوانی سرب باعث شده است که این ماده برای مدت طولانی به‌عنوان بهترین گزینه جهت حفاظ‌گذاری مطرح باشد [۶،۷]. با مشخص شدن مضرات فراوان سرب و استفاده طولانی مدت از آن، تلاش برای یافتن جایگزین مناسب برای سرب، به یکی از دغدغه‌های مهم حفاظت در برابر پرتو تبدیل شده است [۸،۹،۱۰].

از میان مطالعات گوناگونی که برای یافتن جایگزین مناسب سرب انجام شده است، برخی پژوهش‌ها نیز به بررسی مواد نانو ساختار نیز پرداخته‌اند [۱۱،۱۲]. از آنجا که در این پژوهش‌ها نتایج با نمونه‌های حاوی سرب مقایسه نشده‌اند، در این مقاله، مقایسه پارامترهای مختلف برای نمونه‌های حاوی نانو ذرات و میکروذرات WO<sub>3</sub> با PbO انجام شده است.

## ۲. مواد و روش‌ها

به‌منظور کاهش هزینه‌ها و تهیه نانو مواد مقرون به صرفه، در ابتدا، نانو مواد مورد استفاده سنتز شدند. سنتز نانوذرات تنگستن بر اساس روش هیدروترمال [۱۳] و فرآیند سنتز سرب، بر اساس روش شیمیایی [۱۴] انجام شدند. میکروذرات تنگستن اکسید و سرب اکسید، به‌ترتیب از شرکت‌های سیگما و مرک، تهیه شدند و در تهیه کامپوزیت‌ها مورد استفاده قرار گرفتند.

برای تهیه نمونه‌های کامپوزیتی، درصدهای مختلفی از پودر فلزی (۲۰٪ و ۴۰٪ وزنی) را در بستر پلیمری امولسیون پلی وینیل کلراید (EPVC<sup>۱</sup>)، شرکت پتروشیمی اروند) وارد کرده و سپس به‌مدت ۴۵ دقیقه تحت حرارت ۱۶۰ °C درون کوره قرار گرفت تا ورقه‌های کامپوزیتی آماده شوند. ضخامت‌های نمونه‌های تهیه شده ۲ mm بوده و دارای انعطاف‌پذیری خوبی هستند.

پرتودهی به نمونه‌ها به‌وسیله دستگاه Varian (لامپ Varian، مدل rad-68) در محدوده انرژی ۱۰۰ - ۴۰ kVp و جریان در زمان ۱۰ mAs انجام گرفت. اندازه‌گیری دز با استفاده از دزیومتر Piranha (Piranha-657) و نرم‌افزار Ocean انجام گرفت و داده‌ها با دقت بسیار بالا (به میزان چهار رقم اعشار) ثبت گردید. چیدمان اجزای مختلف فرآیند پرتودهی همانند شکل ۱ است. با استفاده از رابطه ۱ (رابطه دبی-شرر) اندازه نانوکریستال‌ها قابل تعیین است.

$$D = K \frac{\lambda}{\beta \cos \theta} \quad (1)$$

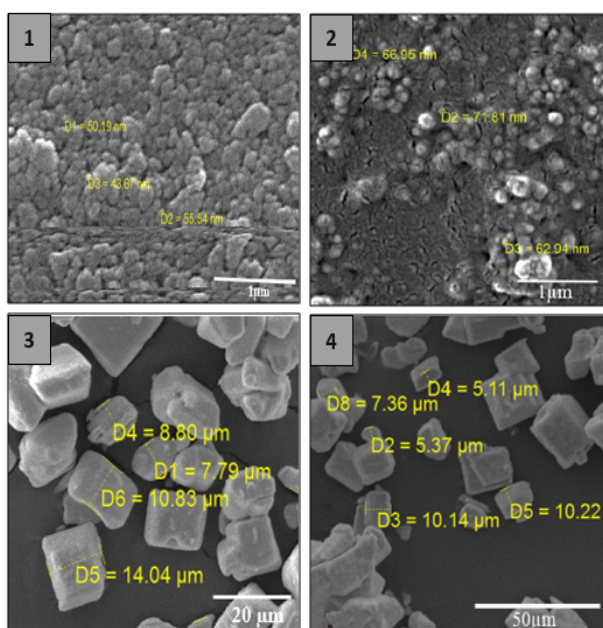
که  $D$ ،  $\lambda$ ،  $\beta$  و  $\theta$  به‌ترتیب اندازه بلور، طول موج پرتو X مورد استفاده در دستگاه پراش پرتو X، پهنای کل در نصف

<sup>1</sup> Emulsion Poly Vinyl Chloride

## ۳. نتایج

تصویر میکروسکوپ الکترونی (SEM) نمونه‌ها با استفاده از میکروسکوپ الکترونی VEGA3 TESCAN تهیه شد و در شکل ۲ نشان داده شده است. اندازه متوسط نانوذرات تنگستن اکسید و سرب اکسید به ترتیب حدود ۵۰ nm و ۶۰ nm می‌باشد. همچنین اندازه متوسط میکروذرات هر دو ماده حدود ۵-۱۵ μm است.

همان‌طور که در شکل ۲ مشاهده می‌شود برخی از نانوذرات PbO به هم چسبیده‌اند و حالت کلوخه‌گون شده‌اند و این در حالی است که نانوذرات WO<sub>3</sub> تقریباً یکنواخت هستند.



شکل (۲): تصاویر SEM (۱) نانوذرات WO<sub>3</sub> (۲) نانوذرات PbO

(۳) میکرو WO<sub>3</sub> (۴) میکرو PbO

طیف XRD نمونه‌ها با استفاده از دستگاه پراش پرتو X، Philips X'Pert Pro با طول موج پرتو λ=1.54 Å تعیین گردید و با استفاده از رابطه ۱، اندازه بلورها نیز محاسبه شد که اندازه نانوبلورهای PbO و WO<sub>3</sub> به ترتیب

ارتفاع قله بیشینه و زاویه پراش در شدیدترین قله می‌باشد. k نیز یک مقدار ثابت است که به شکل و اندازه بلور بستگی دارد [۱۱].

ضریب تضعیف جرمی کامپوزیت‌ها با استفاده از رابطه ۲ تعیین گردید.

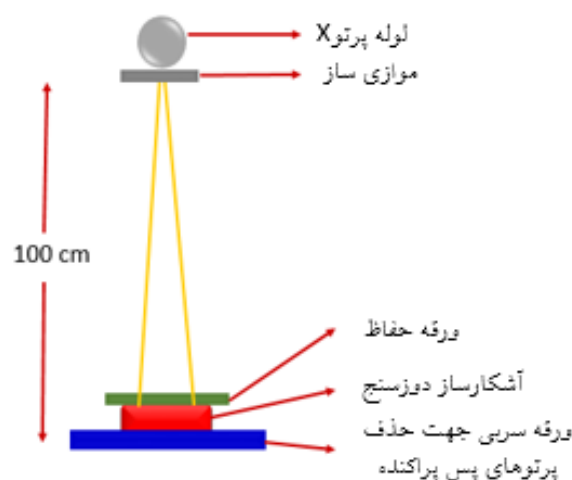
$$\mu_m = -\frac{1}{\rho x} \ln\left(\frac{D}{D_0}\right) \quad (2)$$

که  $\mu_m$ ،  $\rho$ ،  $x$ ،  $D$  و  $D_0$  به ترتیب ضریب تضعیف جرمی، چگالی، ضخامت، میزان دز با حفاظ و میزان دز بدون حفاظ می‌باشد.

چگالی نمونه‌ها نیز با کمک رابطه ۳ که به رابطه ارشمیدس معروف است، تعیین می‌شود.

$$\rho = \frac{m\rho'}{m - m'} \quad (3)$$

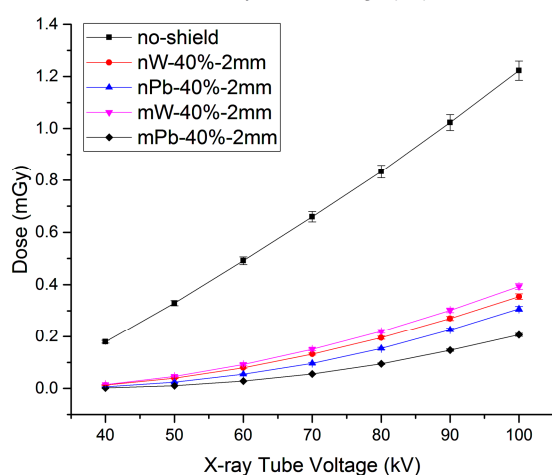
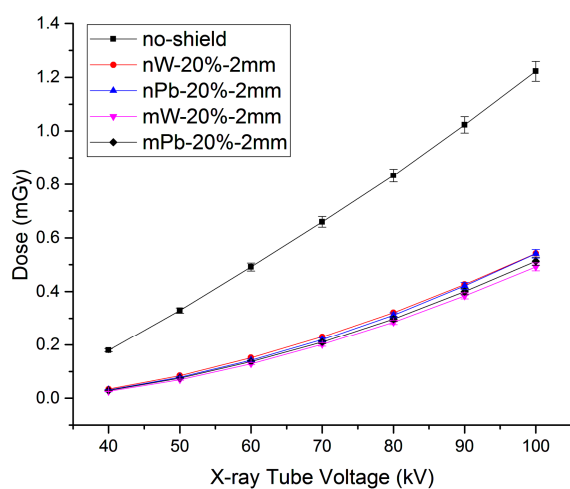
که  $\rho$ ،  $m$ ،  $\rho'$  و  $m'$  به ترتیب چگالی کامپوزیت، جرم اندازه‌گیری شده کامپوزیت به وسیله ترازو، چگالی سیال (آب) و جرم کامپوزیت غوطه‌ور درون سیال می‌باشد.



شکل (۱): چیدمان اجزای مختلف فرآیند پرتودهی.

کم‌ترین دز عبوری مربوط به نمونه حاوی میکرو  $PbO$  و نانو  $PbO$  است.

همان‌طور که در شکل ۲ دیده شد، برخی از نانوذرات  $PbO$  سنتز شده به هم چسبیده و کلوخه‌گون گردیده است که تأثیر آن در میزان دز عبوری کم‌تر برای میکروذرات سرب اکسید نسبت به نمونه حاوی نانوذرات سرب اکسید قابل مشاهده است.

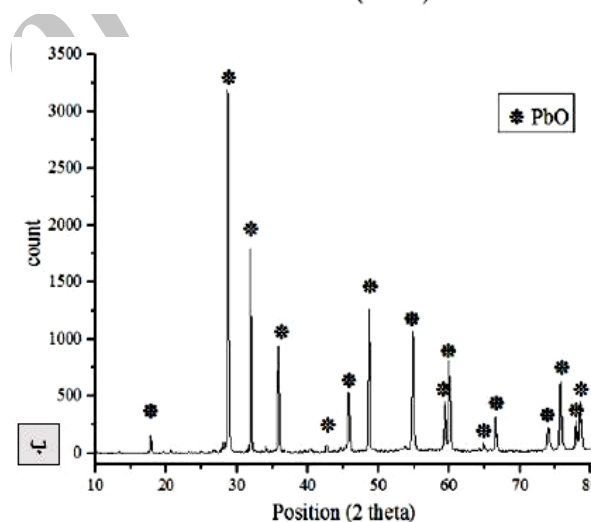
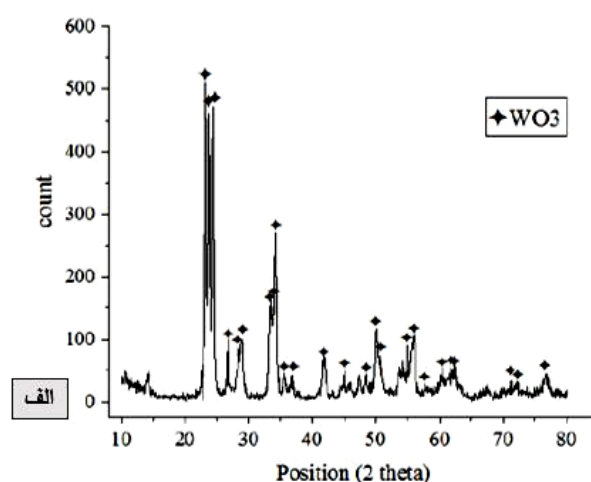


شکل (۴): تغییرات دز بر حسب تغییرات ولتاژ لامپ پرتو X

کامپوزیت‌های مختلف حاوی پودر فلزی (الف) ۲۰٪ وزنی (ب) ۴۰٪ وزنی.

تأثیر مثبت افزایش عدد اتمی بر قابلیت تضعیف، سبب شده است که دز ثبت شده برای نمونه‌های حاوی تنگستن

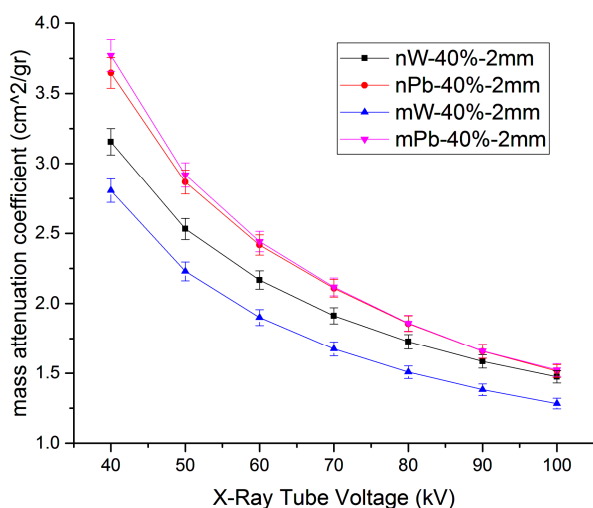
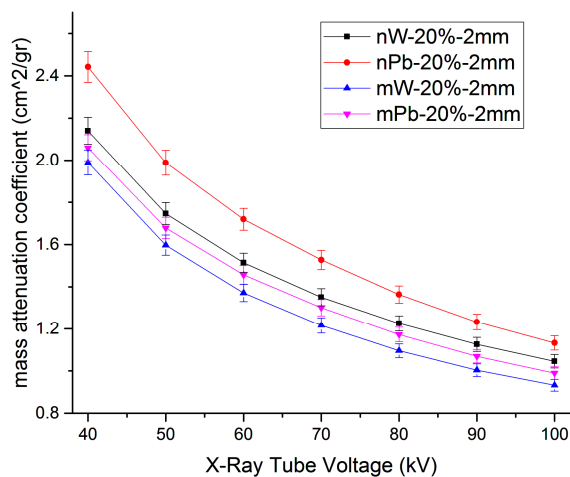
۴۶ nm و ۲۵ nm می‌باشد. همان‌طور که در شکل ۳ دیده می‌شود، همخوانی خوبی بین قله‌های طیف نانوذرات سنتز شده (کل طیف) و قله‌های نمونه مرجع (که با علامت مشخص شده) وجود دارد. بنابراین، فرآیند سنتز این مواد به درستی انجام گرفته است.



شکل (۳): طیف XRD نمونه‌ها (الف) نانو  $WO_3$  (ب) نانو  $PbO$ .

نمودار تغییرات دز بر حسب تغییر ولتاژ لامپ پرتو X، در شکل ۴ نشان داده شده است. با توجه به شکل ۴ (الف)، برای نمونه‌های حاوی ۲۰٪ وزنی پودر اکسید فلزی، میزان دز ثبت شده تقریباً یکسان است؛ بنابراین در این نمونه‌ها، نوع ماده مورد استفاده تأثیر چندانی در نتایج ندارد. در شکل ۴ (ب)،

گردد و طبق این نکته که رابطه افزایش انرژی و دز ثبت شده یک رابطه معکوس است، می‌توان نتیجه گرفت با افزایش ولتاژ، میزان ضریب تضعیف نمونه‌ها کاهش می‌یابد و بزرگی ضرایب تضعیف، منجر به تضعیف بهتر خواهد شد.



شکل (۵): تغییرات ضریب تضعیف جرمی تجربی برحسب تغییرات ولتاژ لامپ پرتو X کامپوزیت‌های مختلف حاوی پودر اکسید فلزی (الف) ۲۰٪ وزنی (ب) ۴۰٪ وزنی.

طبق شکل ۵ (الف)، نمونه‌های حاوی نانوذرات به دلیل دانه‌بندی کوچک‌تر، نسبت سطح به حجم بیشتر [۱۵]، تغییرات باز آرایشی و اندرکنشی با فوتون‌ها که در ابعاد کم‌تر از ۱۰۰ nm رخ می‌دهد و همچنین پراکندگی بهتر در بستر پلیمری، تضعیف بهتری دارند. فارغ از اینکه پودر اکسید فلزی

( $Z=74$ )، به میزان اندکی کم‌تر از میزان دز ثبت شده برای نمونه‌های حاوی سرب ( $Z=82$ ) باشد. با توجه به ساختار یکنواخت نانوذرات و میکروذرات  $WO_3$ ، دز ثبت شده برای نمونه‌های حاوی نانوذرات بهتر از نتایج مشابه برای نمونه‌های حاوی میکروذرات است که این نتیجه با آنچه در پژوهش‌های [۱۱،۱۲] مشاهده شده بود، هم‌خوانی دارد.

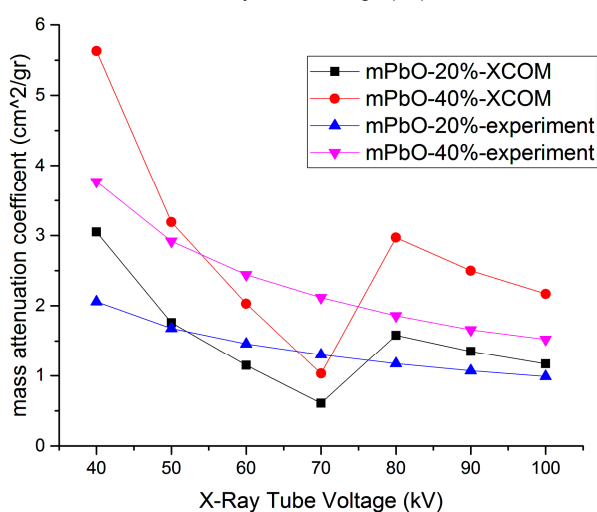
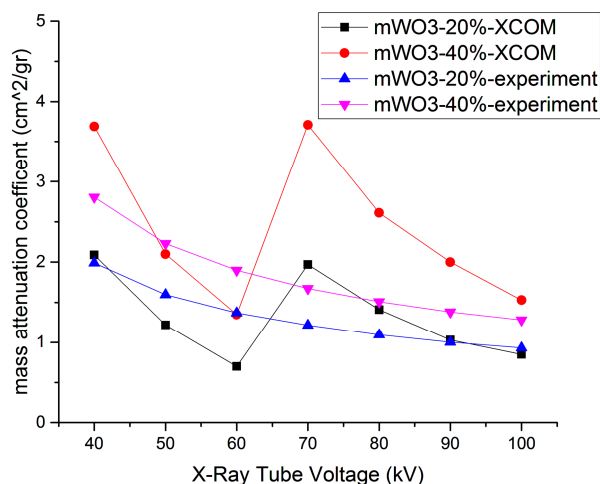
به‌علاوه، از مقایسه شکل‌های ۴ (الف) و ۴ (ب) مشاهده می‌شود که با دو برابر شدن میزان پودر فلزی مورد استفاده، میزان دز ثبت شده ۲/۵-۱/۵ برابر کاهش می‌یابد. بنابراین می‌توان انتظار داشت که با افزایش مقدار پودر اکسید فلزی، دز عبوری به میزان بیش‌تری کاهش یابد.

با کمک رابطه ۲، چگالی نمونه‌های کامپوزیتی تعیین گردیده و در جدول ۱ نشان داده شده است.

جدول (۱): چگالی نمونه‌های کامپوزیتی ساخته شده.

کامپوزیت حاوی میکرو ذرات	کامپوزیت حاوی نانو ذرات	چگالی $gr/cm^3$	چگالی $gr/cm^3$
W- ۲۰٪	W- ۲۰٪	۱/۳۲	۱/۳۰
W- ۴۰٪	W- ۴۰٪	۱/۵۹	۱/۵۴
Pb- ۲۰٪	Pb- ۲۰٪	۱/۳۲	۱/۲۸
Pb- ۴۰٪	Pb- ۴۰٪	۱/۵۹	۱/۵۸

همان‌طور که در جدول فوق مشاهده می‌شود، چگالی کامپوزیت‌های حاوی نانوذرات کم‌تر از چگالی حفاظ‌های حاوی میکروذرات است. همچنین چگالی تمام نمونه‌های تهیه شده کم‌تر از  $\frac{gr}{cm^3}$  ۲ است. از مقایسه این چگالی‌ها با چگالی  $PbO$  و  $WO_3$  مشاهده می‌شود که این کامپوزیت‌ها به میزان قابل توجهی سبک‌تر هستند. تغییرات ضریب تضعیف جرمی برای نمونه‌های مختلف در شکل ۵ نشان داده شده است. با توجه به اینکه افزایش ولتاژ، سبب افزایش انرژی پرتو X می‌-



شکل (۶): تغییرات ضریب تضعیف جرمی تئوری و تجربی برحسب تغییرات ولتاژ لامپ پرتو X کامپوزیت‌های حاوی میکروذرات (الف) تنگستن اکسید (ب) سرب اکسید.

از مقایسه ضرایب تضعیف جرمی تئوری و تجربی حفاظ-های حاوی میکروذرات مشخص می‌شود که در انرژی‌های کم، تفاوت مقادیر تئوری و تجربی بیش از این تفاوت در انرژی‌های بالا می‌باشد. به عبارت دیگر، در انرژی‌های کم این تفاوت در حدود ۰/۸ واحد است؛ در صورتی که در انرژی‌های بالا تفاوت در حدود ۰/۲ واحد می‌باشد. در کل، مقادیر ضرایب تضعیف جرمی برای محاسبات تئوری بیش از مقادیر مربوط به محاسبات تجربی می‌باشند.

مورد استفاده میکروذره یا نانوذره باشد، ضرایب تضعیف جرمی کامپوزیت‌های حاوی سرب اکسید نسبت به مقادیر به-دست آمده برای کامپوزیت‌های حاوی تنگستن اکسید اندکی بهتر است. به علاوه، این مقادیر برای کامپوزیت‌های حاوی نانو  $\text{WO}_3$  و میکرو  $\text{PbO}$  به هم نزدیک است. طبق شکل ۵ (ب) ضرایب تضعیف جرمی برای نمونه‌های حاوی سرب اکسید، بهتر از ضریب تضعیف نمونه‌های حاوی تنگستن اکسید است که به دلیل عدد اتمی بیشتر و انرژی لبه جذب K بالاتر سرب، این نتایج دور از انتظار نیستند.

از مقایسه شکل ۵ (الف) و ۵ (ب) نیز مشاهده می‌شود که با افزایش میزان پودر اکسید فلزی مورد استفاده، ضریب تضعیف جرمی حفاظ افزایش می‌یابد.

از آنجا که فاکتورهای اساسی مواد نانوساختار (مانند سطح مقطع جذب) جهت انجام محاسبات تئوری ضرایب تضعیف، هنوز توسط مجامع معتبر بین المللی تدوین نشده است، با استفاده از برنامه XCOM، تنها ضرایب تضعیف جرمی برای نمونه‌های حاوی میکروذرات به صورت تئوری تعیین گردید. نمودارهای تغییرات ضرایب تضعیف جرمی تئوری و تجربی در شکل ۶ نشان داده شده است.

همان‌طور که در شکل ۶ دیده می‌شود، در نمودارهای تغییرات ضریب تضعیف، با افزایش ولتاژ ضرایب تضعیف جرمی کاهش می‌یابد. طبق پیش فرض برنامه XCOM، لبه جذب K عناصر تنگستن و سرب در انرژی‌های  $70\text{ keV}$  و  $80\text{ keV}$  در نظر گرفته شده و به همین علت قله‌های مربوط به افزایش ضریب تضعیف در انرژی لبه جذب در نمودارهای تئوری شکل ۶ مشاهده می‌گردد. اما در حقیقت، لبه جذب K عناصر تنگستن و سرب به ترتیب در انرژی‌های  $69.5\text{ keV}$  و  $88\text{ keV}$  قرار دارد [۵] و به همین دلیل در روند تغییرات نمودارهای تجربی، این قله‌ها وجود ندارد.

## ۴. نتیجه‌گیری

تئوری بیش از مقادیر مربوط به محاسبات تجربی می‌باشد و همچنین در انرژی‌های کم، تفاوت این مقادیر بیش از تفاوت آن‌ها در انرژی‌های بالا است. از مقایسه چگالی نمونه‌ها مشخص شد که چگالی نمونه‌های حاوی نانوذرات کم‌تر از چگالی نمونه‌های حاوی میکروذرات می‌باشد. بنابراین با توجه به مقایسه‌های انجام شده و نزدیکی نتایج به‌دست آمده برای  $WO_3$  با نتایج  $PbO$  و با در نظر گرفتن سمیت فراوان سرب، حفاظ‌های حاوی نانوذرات  $WO_3$  می‌توانند جایگزین مناسبی برای حفاظ‌های حاوی سرب باشند. انعطاف مناسب نمونه‌های تهیه شده نشان می‌دهد که می‌توان از این بستر پلیمری در تهیه حفاظ‌های سبک بهره برد.

در مطالعه انجام شده به‌منظور بررسی قابلیت تضعیف مواد مختلف، به سنتز نانومواد، ساخت کامپوزیت، پرتودهی و مقایسه قابلیت تضعیف نمونه‌های کامپوزیتی حاوی میکروذرات و نانوذرات  $PbO$  و  $WO_3$  پرداخته شد. طبق نتایج به‌دست آمده، میزان دز عبوری برای نمونه‌های حاوی نانوذرات کم‌تر بوده و نتیجه برای کامپوزیت حاوی  $PbO$  بهتر از کامپوزیت حاوی  $WO_3$  است. همچنین میزان ضریب تضعیف جرمی برای کامپوزیت‌های حاوی سرب اکسید بیش‌تر از کامپوزیت‌های حاوی تنگستن اکسید است. با مقایسه ضرایب تضعیف جرمی تئوری و تجربی حفاظ‌های حاوی میکروذرات مشاهده شد که ضرایب تضعیف جرمی محاسبات

## ۵. مراجع

- [1] S.H.L. JaeWoo Kim, Y. Rang Uhm, B. Lee, J. Jung, Ch. Kyu Rhee, M.K. Lee, H. Min Lee. Radiation shielding members including nanoparticles as a radiation shielding material and method for preparing the same, US8318045 B2, (2009).
- [2] H.A. Maghrabi, A. Vijayan, P. Deb, L. Wang. Bismuth oxide-coated fabrics for X-ray shielding, Text. Res. J. 86 (2016) 649–658.
- [3] Z. Kargar, N. Ghahramany. Radioisotopes and their applications in nuclear physics, Shiraz University Press, Shiraz, Iran, 2002.
- [4] D. Storm. Ten Principles and Ten Commandments of Radiation Protection. Health Physics, Health Phys. 70 (1996) 388–393.
- [5] J.P. McCaffrey, H. Shen, B. Downton, E. Mainegra-Hing. Radiation attenuation by lead and nonlead materials used in radiation shielding garments, Med. Phys. 34 (2007) 530–7.
- [6] Z.W. Li Liu, L. Zhang, H. Shui, W. Shipeng. Lead-free X-ray shielding rubber composite, US8728349 B2, (2009).
- [7] NCRP151, (2005).
- [8] S.C. Kim, K.R. Dong, W.K. Chung. Medical radiation shielding effect by composition of barium compounds, Ann. Nucl. Energy. 47 (2012) 1–5.
- [9] J.P. McCaffrey, H. Shen, B. Downton, E. Mainegra-Hing. Radiation attenuation by lead and nonlead materials used in radiation shielding garments, Med. Phys. 34 (2007) 530–537.
- [10] J. Kim, D. Seo, B.C. Lee, Y.S. Seo, W.H. Miller. Nano-W Dispersed Gamma Radiation Shielding Materials, Adv. Eng. Mater. 16 (2014) 1083–1089.
- [11] N.Z. Noor Azman, S.A. Siddiqui, I.M. Low. Characterisation of micro-sized and nano-sized tungsten oxide-epoxy composites for radiation shielding of diagnostic X-rays, Mater. Sci. Eng. C. 33 (2013) 4952–4957.
- [12] A. Aghaz, R. Faghihi, S.M.J. Mortazavi, A. Haghparast, S. Mehdizadeh, S. Sina. Radiation attenuation properties of shields containing micro and Nano  $WO_3$  in diagnostic X - ray energy range, Int. J. Radiat. Res. 14 (2016) 127–131.
- [13] M. Kajeh Aminian, J. Ye. Morphology

- influence on photocatalytic activity of tungsten oxide loaded by platinum nanoparticles, *J. Mater. Res.* 25 (2010) 141–148.
- [14] N. Mythili, K.T. Arulmozhi. Studies on the electrical and dielectric properties of chemically synthesized  $\alpha$ -PbO nanoparticles, *Appl. Phys. A.* 118 (2015) 261–267.
- [15] H. Chai, X. Tang, M. Ni, F. Chen, Y. Zhang, D. Chen, Y. Qui. Preparation and properties of novel, flexible, lead-free X-ray-shielding materials containing tungsten and bismuth(III) oxide. *J Appl Polym Sci.* 133 (2016) 1–7.

Archive of SID