

## مروری بر پرکننده‌های معدنی در انواع بسترهای پلیمری به منظور پوشش محافظ در برابر تابش یونیزه‌کننده

منصوره هدایی<sup>۱</sup>، محمد خواجه مهریزی<sup>۲\*</sup>، مهدی شریفیان<sup>۳</sup>، محمد اسلامی کلانتری<sup>۴</sup>

۱- دانشجوی کارشناسی ارشد، بخش فیزیک اتمی و مولکولی، دانشکده فیزیک، دانشگاه یزد، ایران، صندوق پستی: ۷۴۱-۸۹۱۹۵.

۲- دانشیار، دانشکده مهندسی نساجی، دانشگاه یزد، ایران، صندوق پستی: ۷۴۱-۸۹۱۹۵.

۳- دانشیار، بخش فیزیک اتمی و مولکولی، دانشکده فیزیک، دانشگاه یزد، ایران، صندوق پستی: ۷۴۱-۸۹۱۹۵.

۴- دانشیار، بخش فیزیک هسته‌ای، دانشکده فیزیک، دانشگاه یزد، ایران، صندوق پستی: ۷۴۱-۸۹۱۹۵.

تاریخ دریافت: ۹۹/۰۹/۱۸ تاریخ بازبینی نهایی: ۹۹/۱۱/۱۱ تاریخ پذیرش: ۹۹/۱۱/۱۳ در دسترس بصورت الکترونیک: ۹۹/۱۲/۱۸

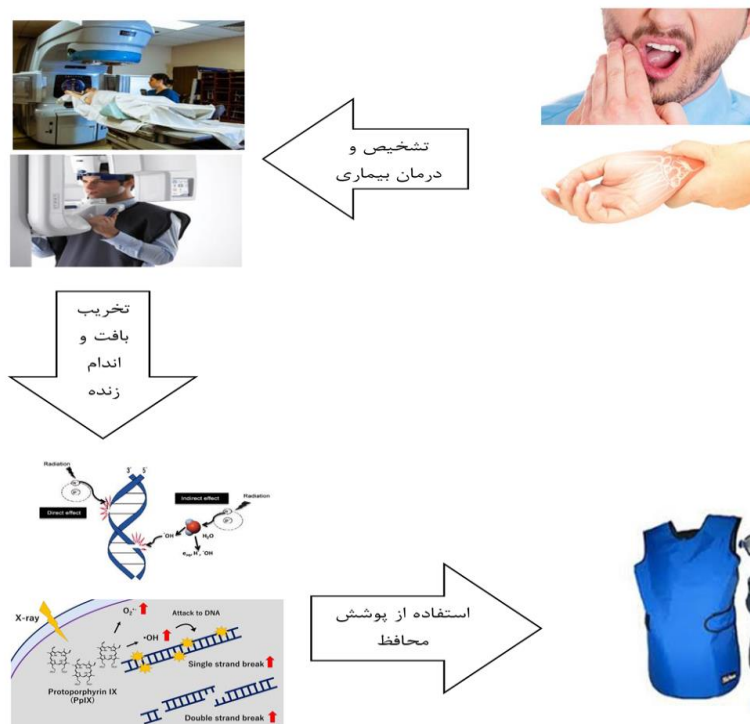
### چکیده

در سال‌های اخیر، با گسترش دامنه تشخیصی بسیاری از امکانات پزشکی، احتمال قرار گرفتن در معرض پرتو X و پرتو گاما افزایش یافته است. به همین دلیل پیش‌بندهای سرب برای تأمین محافظت در برابر پرتو X استفاده شده‌اند و هنوز هم به همین منظور مورد استفاده گسترده قرار می‌گیرند. پیش‌بندهای سربی فعلی دارای مشکلات بسیاری مانند کاهش اثربخشی محافظت، افزایش سطح ناراحتی و وزن زیاد هستند. نقص در پیش‌بندهای سربی مانند ترک خوردگی و سوراخ می‌تواند پرتو را به بیرون نشت داده و باعث بروز آسیب‌های جسمی در فرد شود. در این مقاله به بررسی چرایی استفاده از سرب و یافتن مواد جایگزین برای سرب در کامپوزیت‌های مختلف و مقایسه‌ی این مواد باهم از نظر اندازه ذرات، شدت تابش، ضخامت و خصوصیات فیزیکی پرداخته است. محققان نشان دادند که با جایگزینی سرب توسط مواد معدنی می‌توان به پیش‌بندهایی با وزن کمتر، زیست‌سازگاری بهتر و انعطاف‌پذیری بیشتر رسید که اندازه ذرات مواد معدنی مورد استفاده و ضخامت لایه محافظ متشکل از این مواد نقش مهمی را در تضعیف پرتوهای یونیزه‌کننده بازی می‌کند.

### واژه‌های کلیدی

تابش یونیزه‌کننده، پوشش محافظ در برابر پرتوها، پرتوهای ایکس و گاما، سرب.

### چکیده تصویری



## A Review of Mineral Fillers in a variety of Polymer Substrates in order to Protective Coating against Ionizing Radiation

Mansureh Hodaie<sup>1</sup>, Mohammad Khajeh Mehrizi<sup>2</sup>, Mehdi Sharifian<sup>1</sup>, Mohammad Eslami Kalantari<sup>3</sup>

1- Department of Atomic and Molecular Physics, Faculty of Physics, Yazd University, P. O. Box: 89195-741, Yazd, Iran.

2- Textile Engineering Department, Yazd University, P. O. Box: 89195-741, Yazd, Iran.

3- Department of Nuclear Physics, Faculty of Physics, Yazd University, P. O. Box: 89195-741, Yazd, Iran.

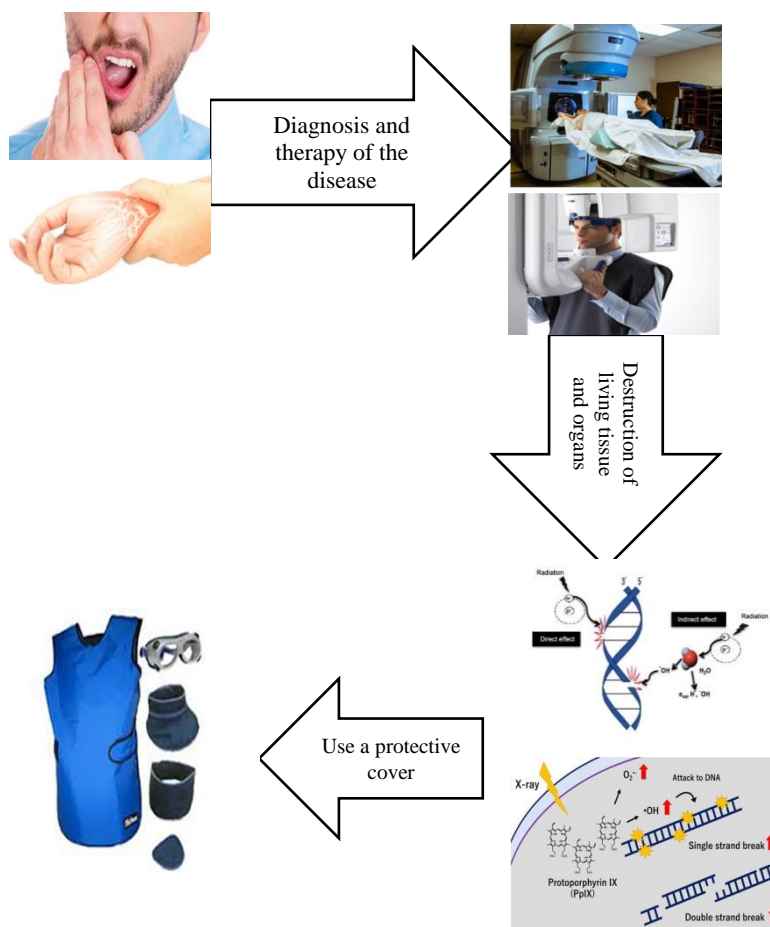
### Abstract

In recent years, with the expansion of the diagnostic range of many medical facilities, the likelihood of exposure to X-rays and gamma rays has increased. For this reason, lead aprons have been used to provide X-ray protection and are still widely used for this purpose. Current lead aprons have many problems, such as reduced protection efficiency, increased discomfort, and high weight. Defects in lead aprons, such as cracks and holes, can leak the beam and cause physical injury. In this paper, we investigate why lead is used and find alternative materials for lead in different composites and compare these materials in terms of particle size, radiation intensity, thickness and physical properties. The researchers showed that substituting lead for minerals could lead to lower weight, better biocompatibility and more flexibility. The particle size of the minerals used and the thickness of the protective layer consisting of these materials play an important role in attenuating ionizing radiation.

### Keywords

Ionizing Radiation, Shielding against rays, X and Gamma rays, Lead.

### Graphical abstract



## ۱- مقدمه

پیشرفت‌های علمی صورت گرفته در زمینه‌های مختلف بی‌شک باعث افزایش کیفیت و ارزش زندگی بشر شده است. با این وجود باید دانست که تحولات فناوری نیز ما را در معرض خطرات بیشتری مانند اثر حملات جسمی، شیمیایی و زیستی ناشناخته قرار داده است. علاوه بر این، ما در معرض خطرات ناشی از آتش‌سوزی، مواد شیمیایی، پرتوها و ارگانوسم‌های زیستی مانند باکتری‌ها و ویروس‌ها قرار می‌گیریم. خوشبختانه، وسایل محافظت ساده و مؤثر بیشتر این خطرات در دسترس است. اکنون لباس‌های محافظ بخش عمده‌ای از پارچه‌ها هستند که به عنوان منسوجات فنی یا صنعتی طبقه‌بندی می‌شوند [۱].

در علم فیزیک پرتو به معنی انتشار یا انتقال انرژی به شکل ذرات یا امواج در محیط یا فضاست. پرتوها به دو دسته یون‌ساز و غیر یون‌ساز تقسیم می‌شوند. پرتوهای غیر یون‌ساز دارای انرژی در سطح اتمی هستند. این دسته از پرتوها شامل پرتو زیرقرمز، نور مرئی، فرابنفش، امواج ماکروویو و رادیویی است. پرتوهای یون‌ساز دارای انرژی کافی الکترومغناطیسی برای خارج کردن اتم‌ها و مولکول‌های موجود در بافت و تغییر واکنش‌های شیمیایی در بدن (دگرگونی مولکول‌ها به طور کامل یا جزئی) است. پرتوهای ایکس و گاما دو پرتو مهم یونیزه کننده هستند. این پرتوهای شناخته شده باعث ایجاد آسیب می‌شوند، به همین دلیل هنگام قرار گرفتن در معرض پرتو X باید جلیقه سرب پوشیده شود [۲].

در سال‌های اخیر، با گسترش دامنه تشخیصی، بسیاری از امکانات پزشکی، احتمال قرار گرفتن در معرض پرتو X، پرتو گاما، فلوروسکوپی، توموگرافی انتشار پوزیترون<sup>۱</sup> و پرتو درمانی را افزایش داده‌اند. به همین دلیل پیش‌بندهای سرب برای تأمین محافظت در برابر پرتو X استفاده شده‌اند و هنوز هم به همین منظور مورد استفاده گسترده قرار می‌گیرند. پیش‌بندهای سربی فعلی دارای بسیاری از مشکلات مانند کاهش اثربخشی محافظت، افزایش سطح ناراحتی و وزن زیاد همراه هستند. نقص در پیش‌بندهای سربی مانند ترک خوردگی و سوراخ می‌تواند پرتو را به بیرون نشت داده و باعث بروز آسیب‌های جسمی در فرد شود. همه این نقایص رایج توسط بسیاری از محققان به خوبی شناخته شده است. به همین ترتیب، سمی بودن مواد سربی باعث شده تا محققان در جستجوی مواد جایگزین سازگار با محیط‌زیست باشند [۲].

## ۲- آشکارسازی پرتو X و گاما

**آشکارساز گایگر - مولر:** این آشکارساز از قدیمی‌ترین انواع آشکارساز بوده که به‌خاطر سادگی، قیمت پایین، عملکرد آسان و مزایای دیگر همچنان مورد استفاده واقع می‌شود. عملکرد آشکارساز گایگر، بر پایه یون‌سازی است؛ بدین صورت که با شتاب گرفتن الکترون‌ها در یک میدان قوی، اتم‌های گاز درون محفظه، یونیزه شده و به‌همی از الکترون‌ها به وجود می‌آید که این به‌همی الکترونی، موجب برانگیختگی در سایر اتم‌ها و مولکول‌ها شده و به‌همی‌های

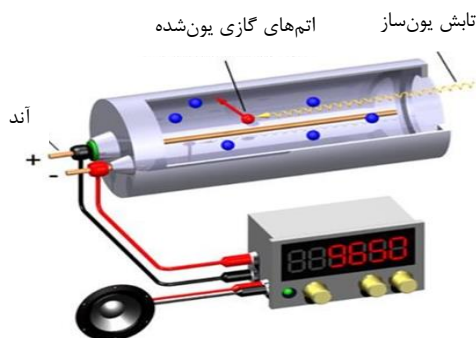
متوالی دیگری را ایجاد می‌کند که نهایتاً منجر به ثبت تپ می‌گردد. عیب این آشکارساز، فقدان اطلاعات انرژی و زمان مرده طولانی آن می‌باشد. شکل ۱ طرحی از آشکارساز گایگر- مولر را نشان می‌دهد [۳].

**آشکارساز سوسوزن:** نحوه کار این آشکارسازها، به‌وسیله تبدیل پرتوهای X به فوتون‌های نوری، با استفاده از ترکیبات آشکارسازی می‌باشد. فوتون‌های اپتیکی به فوتوکاتد برخورد کرده و پس از برخورد‌های مکرر به لامپ‌های تقویت فوتون، تکثیر فوتونی رخ می‌دهد. فوتون‌های تکثیر شده در آند جمع‌آوری شده و نهایتاً به‌وسیله فوتو دیود یا سایر ابزارهای اندازه‌گیری، آشکارسازی می‌شود. مواد آشکارسازی شامل سوسوزن‌های آلی، تک بلورهای سدیم یدید، تک بلورهای سزیم یدید و غیره می‌باشند. بازده انرژی آشکارسازهای آلی بسیار پایین است؛ در عین حال سرعت پاسخگویی این آشکارسازها از مرتبه نانوثانیه بوده و می‌توانند به‌طور نسبی حدود ۱۰۶ فوتون را در ثانیه شمارش کنند. نوع دیگری از این آشکارسازها موسوم به آشکارساز سوسوزن گازی، ترکیبی از اتاقک یونی گازی و آشکارساز فوتون است تا بتواند عملکرد بهتری ارائه دهد. در این آشکارساز، الکترون‌های تولید شده به‌وسیله فوتون‌ها با ذرات باردار گاز اندرکنش کرده و در یک میدان قوی شتاب می‌گیرد، به نحوی که می‌تواند پرتو فرابنفش تولید نماید. پرتو فرابنفش معمولاً انتقال فاز دارد و پس از آن با ابزار مناسبی آشکارسازی می‌شود [۴، ۳].

**آشکارساز نیمه‌رسانا:** این آشکارسازها دارای ابعاد بسیار کوچک‌تری نسبت به آشکارسازهای گازی هستند. آشکارسازهای نیمه‌رسانا غالباً عملکرد ضعیفی در زمینه تفکیک انرژی دارند. حساس نبودن به میدان مغناطیسی از دیگر امتیازهای آشکارسازهای نیمه‌رساناست. حامل‌های بار در این آشکارسازها، الکترون - حفره است. در واقع وقتی فوتون در ناحیه ذاتی برهم‌کنش می‌کند، زوج الکترون - حفره تولید می‌شود که این زوج در حضور میدان الکتریکی جدا شده، به سمت آشکارساز سوق داده می‌شوند و آشکارسازی می‌گردند. انرژی لازم برای تولید زوج الکترون - حفره در مواد مختلف، متفاوت است [۴، ۳].

### ۳- مروری بر حفاظ‌بندی تابش‌های یونیزه‌کننده و انتخاب مواد حفاظ

عموماً تابش‌ها از نظر ایجاد یونیزاسیون در محیط مادی به دو دسته تابش‌های یونیزان مستقیم و غیرمستقیم تقسیم می‌شوند: دسته اول (شامل ذرات باردار و یون‌ها) به شدت با محیط اندرکنش کرده و عموماً به سادگی متوقف می‌شوند.



شکل ۱- طرحی از آشکارساز گایگر مولر [۳].

<sup>1</sup> Positron Emission Tomography (PET)

## مقاله

می‌باشند، جلیقه‌های با ضخامت ۱ mm سرب بیشترین حفاظت را به‌وجود می‌آورند اما به‌علت وزن بالای آن‌ها بیش از ده کیلوگرم) از جلیقه‌هایی با ضخامت ۰/۵ mm سرب استفاده می‌شود [۱۰].

با توجه به اینکه روپوش را شخص پرتوکار باید استفاده کند و گاه تا ساعت‌ها باید آن را به تن داشته باشد، میزان وزن و انعطاف‌پذیری آن بسیار مهم است. چرا که زیاد بودن ضخامت حفاظ‌ها منجر به انعطاف‌پذیری ناکافی و در نتیجه ترک خوردن آن‌ها در هنگام خمیدگی و یا تا شدن می‌گردد. به همین علت پژوهش‌های زیادی برای کاهش سرب مورد استفاده در ساخت این روپوش‌های محافظ ایجاد شده است. هم‌چنین اخیراً با توجه به سمیت سرب و عوارض جذب آن در بدن انسان (که عبارت است از ایجاد کم‌خونی، افزایش فشار خون، مشکلات کلیوی، بروز نارسایی در جنین و یا سقط آن، بروز اختلالات عصبی و آسیب‌های مغزی، کاهش بهره‌هوشی و قدرت یادگیری در کودکان) و هم‌چنین با توجه به اینکه روپوش سربی تا ده سال دوام دارد و علاوه بر غیرقابل بازیافت بودن آن و مسائل مربوط به دفن بهداشتی سرب در محیط، لزوم گذار از حفاظ‌های انعطاف‌پذیر سربی به حفاظ‌های عاری از سرب بیشتر احساس می‌شود [۱۱، ۱۲].

از بین مواد مختلف، موادی که خواص مشابه سرب داشته باشند را می‌توان براساس معیارهای مختلفی مانند لبه جذب K، چگالی، ضریب تضعیف و غیره انتخاب کرد. یکی از معیارهایی که می‌تواند در انتخاب ماده دخیل باشد، لبه جذب K عنصر است. چگالی نیز معیار دیگری است که بخاطر تاثیر آن بر وزن، باید مورد توجه قرار گیرد [۶].

محدوده پتانسیل‌های تشخیصی، بازه ۱۵۲-۵۲ KVP را شامل می‌شود. با توجه به افت قابلیت تضعیف ماده‌های بالاتر از ناحیه لبه جذب، از بین عناصری که لبه جذب آن‌ها در این بازه قرار دارد، عناصر با عدد اتمی بیشتر و در نتیجه لبه جذب بزرگ‌تر، می‌توانند گزینه‌های مطلوب‌تری باشند. البته با مراجعه به جدول تناوبی ملاحظه می‌شود عناصری که پس از بیسموت قرار دارند عموماً جزو عناصر مصنوعی یا رادیواکتیو هستند. یکی از مهم‌ترین معیارهای انتخاب ماده، ضریب تضعیف ماده است. از آن‌جا که ضریب تضعیف خطی به چگالی و فاز ماده بستگی دارد، با استفاده از ضریب تضعیف جرمی می‌توان متغیرهای مختلف را کاهش داد و مقایسه بهتری را داشت [۱۳].

### ۵- عوامل موثر در میزان تضعیف پرتوهای یونیزه‌کننده

ایمانی‌پور و همکارانش به مطالعه پوشش‌های محافظ پرتو X با مواد معدنی مختلف پرداختند. مطالعات آن‌ها نشان داد که میزان جذب پرتو X به اندازه‌ی ذرات ماده معدنی، ضخامت، شدت تابش و نوع ماده محافظ بستگی دارد [۱۴].

اما دسته دوم (شامل فوتون‌ها و نوترون‌ها) به واسطه ماهیت متفاوت اندرکنش‌شان با محیط، عموماً نافذ هستند لذا حفاظ‌بندی برای آن‌ها بسیار مشکل‌تر است. به همین دلیل عمده توجه‌ها به حفاظ‌بندی در این حوزه و بهینه‌سازی حفاظ‌ها (از لحاظ هزینه و کارایی) معطوف است. حفاظ‌بندی یا زیستی است یا غیرزیستی. عملکرد حفاظ‌بندی زیستی کاهش دادن پرتوگیری موجودات زنده و عملکرد حفاظ‌بندی غیرزیستی کاهش دادن پرتوگیری موجودات غیرزنده در مجاورت مواد پرتوزا است. طراحی و آنالیز حفاظ‌بندی در هر کدام از این دو حوزه به تناسب نوع و انرژی تابش فرودی و نیز میزان کاهش مورد نیاز در دوز دریافتی صورت می‌گیرد [۶، ۵].

در انتخاب مواد برای حفاظ‌بندی، اولین چیزی که باید در نظر گرفته شود، کارایی مواد حفاظ است. این کارایی را میزان اندرکنش‌های تابش فرودی با اتم‌های ماده حفاظ تعیین می‌کند که آن هم اساساً تابع نوع و انرژی تابش و هم‌چنین عدد اتمی ماده حفاظ است. یک حفاظ کارآمد، بخش عمده انرژی تابش نفوذی را در فاصله نسبتاً کوتاهی (ضخامت اندکی) از خود تلف می‌کند، بدون این‌که تابش اضافی دیگری از خود گسیل نماید. با این وجود عوامل دیگری از قبیل هزینه تامین مواد، وزن مواد، فضای در دسترس برای تعبیه حفاظ و غیره در انتخاب مواد حفاظ تاثیر مستقیم دارد. هنگامی که میزان هزینه مهم باشد، تقریباً اکثر مواد رایج را می‌توان برای حفاظ‌بندی استفاده کرد ولی بخاطر کارایی حفاظتی، بایستی ضخامت حفاظ تهیه شده از آن‌ها را زیاد انتخاب نمود [۶، ۵].

از جمله موادی که در حفاظ‌سازی گاما مورد استفاده هستند می‌توان سرب، تنگستن، آهن و بتن را نام برد. سرب (Pb) ماده‌ای است با چگالی  $g/cm^3$  ۱۱/۳۴ و نقطه ذوب  $^{\circ}C$  ۳۲۷/۴ که برای تهیه حفاظ ترجیح داده می‌شود. این عنصر به‌علت عدد اتمی بالای خود (۸۲) از طریق جذب بیشتر فوتون‌های پراکنده، باعث تضعیف شدید تابش‌های ایکس و گاما می‌شود. این فلز سالیان بسیاری است که به‌عنوان جاذب مناسب فوتون در کار با تابش‌های ایکس و گاما مورد استفاده قرار گرفته است [۷] و هم‌چنین سرب به‌علت فراوانی، ارزان بودن و در دسترس بودن به‌عنوان انتخاب اول در حفاظت پرتویی جایگاه ویژه‌ای داشته و با سرب کوبی دیوارها و درب‌ها در اطراف دستگاه و هم‌چنین روپوش‌های سربی باعث حفاظت افراد و بیماران شده است [۸].

### ۴- خطرات حفاظ سربی

در پژوهش‌های جدید انجام شده بر روی سرب، پژوهشگران نشان دادند که این عنصر شامل خطراتی است؛ از جمله سمی بودن سرب، عوامل ارگونومی (وزن بیش از حد حفاظ سربی) و غیرقابل بازیافت بودن آن و هم‌چنین داشتن خطراتی برای محیط زیست [۹]. جلیقه‌های سربی مورد استفاده در رادیولوژی دارای ضخامت سرب، ۰/۲۵ mm و ۰/۵ mm و یا یک میلی‌متر

جدول ۱- درصد تضعیف پرتو برای حفاظ سربی برای انرژی‌های ۵۰، ۷۵ و ۱۰۰ کیلو الکترون ولت [۱۰].

ضخامت معادل (mm)	وزن (kg)	۵۰ Kev	۷۵ Kev	۱۰۰ Kev
۰/۲۵	۳-۱۰	۹۷	۶۶	۵۱
۰/۵	۶-۱۵	۹۹/۹	۸۸	۷۵
۱	۱۲-۲۵	۹۹/۹	۹۹	۹۴

۵-۱- اندازه ذرات

مغربی<sup>۱</sup> و همکارانش پوشش اکسید بیسموت با استفاده از رزین پلی وینیل کلراید بر روی پارچه های پلی استر و نایلون در ولتاژ ۸۰ کیلوولت مورد بررسی قرار دادند. همان طور که در شکل ۲ نشان داده شده است، به این نتیجه رسیدند که پارچه های پلی استر روکش شده با بیش از ۵۰٪ اکسید بیسموت توانایی محافظت در برابر پرتو X منتقل شده را دارند. همچنین نشان داده اند که اندازه میکروذرات اکسید بیسموت می تواند برای کاهش پرتو X مؤثر باشد [۱۵].

آزمان<sup>۲</sup> و همکارانش خصوصیات انتقال پرتو X برای کامپوزیت های اپوکسی پر شده با ۲ تا ۱۰ درصد اکسید تنگستن با استفاده از طیف سنجی جذب پرتو X سنکروترون<sup>۳</sup> در ۴۰-۱۰ کیلوولت بررسی کردند. نتایج بدست آمده برای تعیین انرژی پرتو X معادل ولتاژهای لوله پرتو X دستگاه های ماموگرافی و رادیولوژی مورد استفاده قرار دادند. نتایج هنگامی که با نمونه های میکرووی خود مقایسه می شوند، توانایی تضعیف برتر نانو کامپوزیت های اپوکسی اکسید تنگستن را در محدوده انرژی ۲۵-۱۰ کیلوولت تأیید می کنند. با این حال، در انرژی تابش سنکروترون بالاتر (به عنوان مثال، ۴۰-۳۰ کیلوولت)، ویژگی های انتقال پرتو X برای اثر کامپوزیت های اپوکسی اکسید تنگستن در اندازه نانو و میکرو مشابه بودند. خصوصیات مکانیکی کامپوزیت های اپوکسی در ابتدا با افزایش بارگذاری پرکننده افزایش می یابد اما افزایش بیشتر در بارگذاری WO<sub>3</sub> منجر به از بین رفتن استحکام، ضریب مدول و سختی می شود [۱۶].

آغاز<sup>۴</sup> و همکارانش خصوصیات محافظتی محافظ های بدون سرب حاوی نانو و میکرو ذرات اکسید تنگستن در برابر پرتو X کم انرژی را مورد مطالعه قرار دادند. نتایج نشان می دهد که محافظ های WO<sub>3</sub> / PVC نانو ساختاری دارای خواص تضعیف فوتون بالاتر در مقایسه با نمونه های میکرو هستند. شکل ۳ به وضوح نشان می دهد که اندازه کوچکتر ذرات اکسید تنگستن با ساختار نانو می تواند خاصیت محافظت در برابر پرتو را بهتر تضمین کند [۱۷].

صابری<sup>۵</sup> و همکارانش از رزین اپوکسی و رزین پلی استر غیراشباع به صورت ترکیبی با مقدار برابر با استفاده از نانو و میکرو ذرات اکسید سرب با غلظت های مختلف پوشش محافظ تهیه کردند. ضریب تضعیف به عنوان تابعی از غلظت و ضخامت اندازه گیری شد. اندازه گیری ها با استفاده از دو منبع رادیواکتیو، منبع اول CS (۱۳۷) با انرژی MeV ۰/۶۶۲ و دوم CO (۶۰) با انرژی MeV ۱/۱۷۳ و ۱/۳۳۲ انجام شد. نتایج نشان داد که برای ضخامت و غلظت یکسان، محافظ های نانو در مقایسه با محافظ های میکرو کارایی بالاتری دارند. همچنین آزمایش های مکانیکی بر روی نمونه های آماده شده انجام شد، و محافظ های تولید شده از خواص مکانیکی و تضعیف مناسبی برخوردار بودند [۱۸].

غلامزاده<sup>۶</sup> و همکارانش کامپوزیت های پرتو X و محافظ پرتوی گاما با صرفه جویی در محیط، با استفاده از یک روش پوشش مقرون به صرفه ساختند. پودرهای نانو و میکرووی اکسید تنگستن، اکسید سرب و اکسید بیسموت به عنوان پایه جایگزینی برای مواد محافظ استفاده شدند. سپس در ولتاژ ۴۰، ۷۰ و ۱۲۰ کیلوولت، ۱۰ میلی آمپر و SID ۴۰ (یعنی فاصله از منبع پرتو X تا نمونه) در معرض لوله پرتو X قرار گرفتند. آن ها هم چنین در معرض پرتوهای گاما منبع CS (۱۳۷) قرار گرفتند. درصد تضعیف (AP) ضرایب تضعیف جرم و عدد اتمی مؤثر (Zeff) برای نمونه های مختلف محاسبه شد. از این مطالعه بدیهی است که کامپوزیت های پلیمری حاوی اکسید تنگستن، اکسید سرب و اکسید بیسموت می توانند روی پارچه ها روکش شوند که روشی مؤثر برای تولید منسوجات منعطف و پوشیدنی مانند پیش بند است. نتایج نشان داد که، در مقادیر کم انرژی، تضعیف نمونه های حاوی نانو ذرات، بالاتر از نمونه هایی است که حاوی ذرات میکرو هستند. همچنین، در سطح انرژی ۶۶۲ Kev، هیچ تفاوتی بین نمونه های حاوی میکرو و نانو ذرات اکسید تنگستن و اکسید بیسموت وجود ندارد. با این حال، یک پایه حاوی میکرو ذرات اکسید سرب دارای ضریب جرم بالاتر از یک پایه حاوی نانو ذرات اکسید سرب است. این مطالعه تا حدی به مقایسه درصد تضعیف تجربی و نظری MCNP4C نمونه های میکرو اکسید تنگستن، اکسید سرب و اکسید بیسموت در معرض تابش یونیزه کننده اختصاص یافته است.

<sup>1</sup> Maghrabi

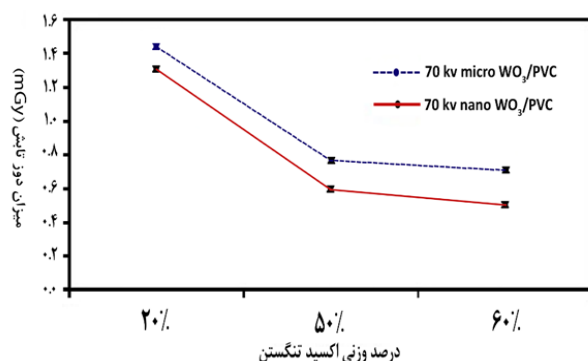
<sup>2</sup> Azman

<sup>3</sup> XAS

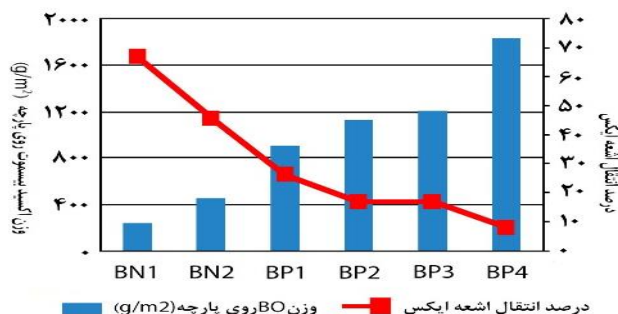
<sup>4</sup> Aghaz

<sup>5</sup> Saberi

<sup>6</sup> Gholamzadeh



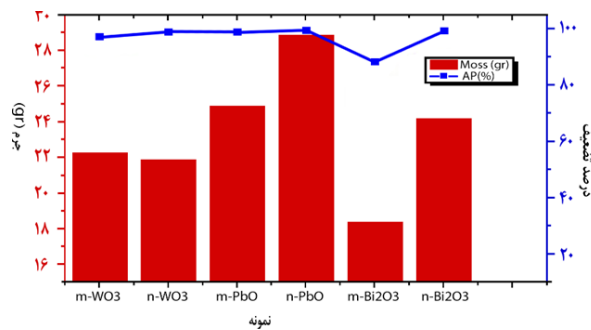
شکل ۳- اندازه گیری محافظ های میکرو و نانوساختار با ضخامت ۱/۱ میلی متر را به عنوان عملکرد درصد وزنی WO<sub>3</sub> برای ۷۰ کیلوولت [۱۷].



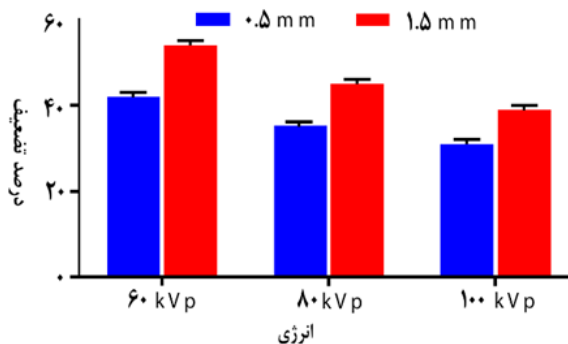
شکل ۲- مقایسه مقدار اکسید بیسموت و درصد انتقال پرتو X [۱۵].

## مقاله

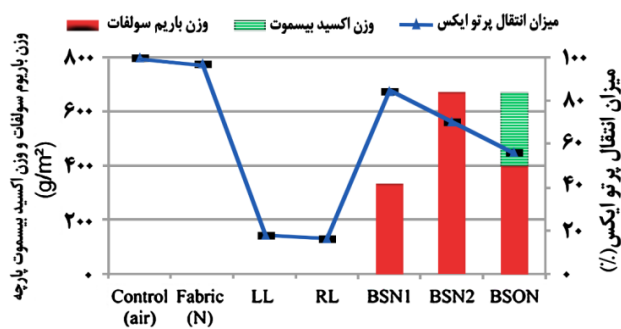
وزنی از پلی وینیل کلراید باشد، که مطابق با نتایج تجربی بدست آمده از اندازه‌گیری‌های انتقال پرتو X بود. شکل ۶ میزان اشعه ایکس منتقل شده (% از کنترل (هوا))، پارچه نایلون ۶،۶ بدون روکش (N)، نمونه‌های استاندارد سرب (LL & RL) و نمونه‌های پوشش داده شده  $BaSO_4(BS)$  و  $Bi_2O_3(BO)$  را با هم مقایسه می‌کند [۲۲]. کسوکتام<sup>۷</sup> و همکارانش روی عملکرد تضعیف پرتو X پارچه‌های پنبه‌ای با پوشش سولفات باریم تحقیق کردند. ۵۰-۱۰ درصد وزنی از سولفات باریم / چسب تهیه شده و روی پارچه‌های پنبه‌ای پوشانده شده است.



شکل ۴- مقایسه کامپوزیت‌ها از نظر جرم و درصد تضعیف آن‌ها در ۴۰ کیلو ولت [۱۹].



شکل ۵- کاهش دوز محافظ‌ها با ضخامت‌های مختلف در انرژی‌های مختلف [۲۰].



شکل ۶- مقایسه میزان پرتو X منتقل شده (% از کنترل (هوا))، پارچه نایلون ۶،۶ بدون روکش (N)، نمونه‌های استاندارد سرب (LL & RL) و نمونه‌های پوشش داده شده  $BaSO_4(BS)$  و  $Bi_2O_3(BO)$  [۲۲].

در ۴۰ کیلو ولت، نتایج تجربی و نظری برای سه نمونه تقریباً یکسان بود. در ۷۰ کیلوولت و ۱۲۰ کیلو ولت، این نتایج در مورد نمونه حاوی میکرو ذرات اکسید بیسموت به طور قابل توجهی متفاوت بود. همانطور که در شکل ۴ مشاهده می‌شود جرم نانوذرات حاوی سرب و اکسیدهای بیسموت بالاتر از نمونه‌های میکرو است و همچنین این ذرات دارای سرعت تضعیف بیشتری نیز هستند [۱۹].

### ۵-۲- شدت تابش

مهنتی<sup>۱</sup> و همکارانش به تولید محافظ‌های نانو اکسید بیسموت با ۹۰ درصد سیلیکون و ۱۰ درصد اکسید بیسموت پرداختند. آن‌ها دریافتند که متوسط دوز بدون استفاده از محافظ‌های نانو برای ولتاژهای ۶۰، ۸۰ و ۱۰۰ کیلوولت به ترتیب ۷۳۳، ۴۲۱ و ۱۱۱۰ میکروگری است. شکل ۵ نشان می‌دهد که با افزایش انرژی ۱۰۰-۶۰ کیلو ولت خاصیت تضعیف پرتو X کاهش می‌یابد. نتایج نشان می‌دهد که محافظ‌های جدید حاوی ذرات نانو  $Bi_2O_3$  دارای توانایی میرایی بالای پرتو X هستند اما با افزایش انرژی، خاصیت میرایی محافظ‌ها کاهش می‌یابد [۲۰].

عبدالسalam<sup>۲</sup> و همکارانش پنج نمونه از پلی اتیلن با چگالی بالا<sup>۳</sup> با تغییر غلظت اکسید بیسموت را مورد پژوهش قرار دادند. نمونه‌ها مورد بررسی طیف‌سنجی پراش پرتو<sup>۴</sup> X، طیف‌سنجی پراش انرژی پرتو<sup>۵</sup> X، میکروسکوپ الکترونی روبشی<sup>۶</sup> و طیف‌سنجی رامان قرار گرفتند و در نهایت ضریب تضعیف جرمی  $\frac{H}{\rho}$  برای هر نمونه با استفاده از پرتو باریک گاما در هشت انرژی بین ۳۰/۸ تا ۳۸۳/۹ کیلو الکترون ولت اندازه‌گیری شد. نتایج SEM پراکندگی بهتری از پرکننده‌های نانو با پایه پلیمری نشان می‌دهد. همچنین نتایج نشان داد که کامپوزیت با ترکیب ۹۸٪ از پلی اتیلن با چگالی بالا و ۲٪ از اکسید بیسموت ترکیب مناسبی است که می‌تواند در کاربردهای محافظ پرتو بین ۳۰/۸۲ تا ۳۸۳/۹ Kev استفاده شود [۲۱].

مغربی و همکارانش به ارزیابی اثر محافظ پارچه‌های روکش شده با سولفات باریم و اکسید بیسموت پرداختند. خواص مختلفی از جمله جرم در واحد سطح، ضخامت مواد و ریخت‌شناسی سطح مورد بررسی قرار گرفت. برای میزان انتقال همه نمونه‌ها توسط پرتو X در ۸۰KV تحت تابش قرار گرفتند. میزان انتقال پرتو X با سولفات باریم از ۸۴/۵٪ تا ۷۰/۵٪ متغیر است. با این حال مخلوط اکسید بیسموت/ سولفات باریم هنگامی که روی پارچه اعمال می‌شوند این میزان انتقال پرتو X را به ۵۵/۶٪ افزایش داده است. مقدار ضریب تضعیف حقیقی همراه با مخلوط‌های مختلف پوشش شامل ترکیب وزن‌های مختلف از پلی وینیل کلراید، سولفات باریم و اکسید بیسموت بین ۱۰۵-۰ مگا الکترون ولت با استفاده از کد XCOM تعیین شد. نتایج XCOM حاکی از آن بود که ضریب تضعیف پرتو X در بین تمام پوشش‌های تهیه شده باید مخلوطی باشد که حاوی ۱۳/۳ درصد وزنی از اکسید بیسموت، ۲۰ درصد وزنی از سولفات باریم و ۶۶/۷ درصد

<sup>1</sup> Mehnati  
<sup>2</sup> Abdalsalam  
<sup>3</sup> HDPE  
<sup>4</sup> XRD  
<sup>5</sup> EDX  
<sup>6</sup> SEM

<sup>7</sup> Kusuktham

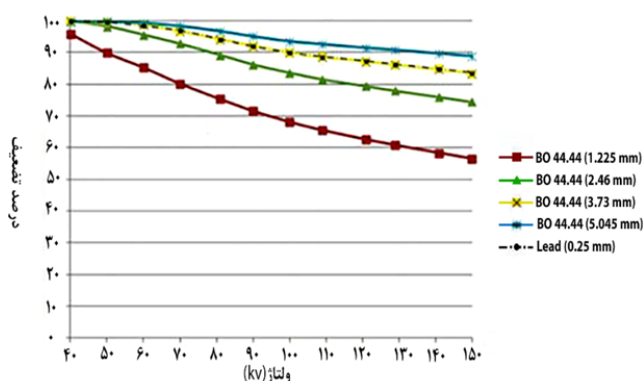
ضخامت  $3/73$  میلی متر قادر به کاهش تمام پرتو X پراکنده تولید شده در پتانسیل لوله  $60$  کیلو ولت است [۲۶].

دژانگه و همکارانش با استفاده ساخت نانوکامپوزیت لاستیک سیلیکون با افزودنی ذرات اکسید بیسموت، قابلیت جذب پرتوی گاما آن را مورد بررسی قرار دادند. آزمایش میزان تضعیف پرتو گاما در برابر چشمه ی آمرسیوم صورت گرفت. نتایج آزمایش تضعیف نشان می دهد که حفاظ های نانو کامپوزیتی ساخته شده، از کارایی بالایی برخوردار هستند به طوری که حفاظ لاستیک سیلیکون - اکسید بیسموت با ضخامت  $2/15$  میلی متر و  $70$  درصد وزنی پرکننده،  $82$  درصد فوتون های چشمه ی آمرسیوم را جذب می کند. در نهایت با استفاده از کد مونت کارلو برای نمونه های تهیه شده در مقابل چشمه ی آمرسیوم شبیه سازی انجام شده و نتایج به دست آمده با نتایج تجربی مقایسه شد؛ که این کد نتایج تجربی را تأیید می کند [۲۷].

کاملی و همکارانش در این تحقیق به بررسی ضریب تضعیف جرمی در پرتوهای تابش گاما در ضخامت های مختلف از نانوذرات اکسیدسرب و نیترات سرب پرداخته شده است. در این مطالعه اندازه گیری های دقیقی بر روی میزان عبور پرتو گامای گسیل شده و یا پرتو X حاصل تابش ترمزی پرتو بتا از چشمه های  $Ra (262)$ ،  $Cs (137)$  و  $Sr (90)$  با آشکارساز گایگر مولر انجام گرفته است. با توجه به نتایج حاصله برای ضریب تضعیف جرمی  $\mu (cm^2/g)$  مشاهده می شود که تاثیر افزایش ضخامت نمونه های نانو در تضعیف تابش گاما بسیار زیاد است. براساس آزمایش انجام شده، ضریب تضعیف جرمی مربوط به نانو اکسید سرب، در مقایسه با نیترات سرب بزرگتر است. در نتیجه از ضخامت کمتری از نانو سرب برای ساخت حفاظ پرتو گاما نسبت به حفاظ های سربی مشابه می توان استفاده کرد. این باعث می شود برای رسیدن به حداقل تضعیف مجاز حفاظ های سبک تری نسبت به حفاظ های سربی قبلی داشته باشیم [۱۰].

#### ۵-۴- نوع ماده محافظ

کفری<sup>۵</sup> و همکارانش از مواد ترکیب شده با ترکیبات غیرسرب مانند  $BaSO_4$ ،  $Cd_2O_3$ ،  $Bi_2O_3$  به صورت جداگانه، و به صورت دولایه و به عنوان یک کرم دست پر شده با  $Bi_2O_3$  استفاده کردند [۸].



شکل ۷- درصد تضعیف برای ضخامت های مختلف برای ولتاژ  $40 - 150$  کیلو ولت [۲۶].

برای ارزیابی محافظ پرتو X، پارچه هایی با لایه های مختلف تحت تابش پرتو X در سطح انرژی  $100 - 50$  کیلوولت آزمایش شدند. نتایج نشان داد که تابش پرتو X محافظ در محدوده  $77 - 1/48$  بود، که نشان می دهد با افزایش محتوای سولفات باریم تضعیف پرتو به طور قابل توجهی افزایش می یابد. علاوه بر این، تعداد لایه های پارچه نیز نقش مهمی داشته است. سرانجام مشخص شد که پارچه های پنبه ای با پوشش سولفات باریم با توجه به تست مالش و شست و شو، دوام بالایی دارند [۲۳].

کازمپور<sup>۱</sup> و همکارانش از چند ترکیب غیرسربی جدید (سیلیسیم-تنگستن) و (تنگستن، قلع، باریم، پلی وینیل کلراید) و (تنگستن، قلع، کادمیم و پلی وینیل کلراید) در محدوده رادیولوژی در دو هندسه پرتوی پهن و باریک استفاده کردند. تضعیف سازی پرتو این مواد در  $40$ ،  $60$ ،  $90$  و  $120$  کیلو ولت را ارزیابی کردند. نتایج با برخی مواد حاوی سرب (سرب/ پلی وینیل کلراید) مقایسه شد. آن ها چهار ماده بدون سرب را معرفی کردند، سه نمونه دارای چگالی کم اما عملکرد تضعیف سازی بهتری در مقایسه با برخی کامپوزیت های حاوی سرب مانند Pb-EPVC در هر دو توزیع باریک و پهن داشتند. تحلیل های آن ها نشان داد که در انرژی های پایین ( $40$  KV)، هنوز سرب و کامپوزیت های سرب بهترین مواد برای تضعیف سازی تابش هستند. در حالی که، در  $60$  و  $90$  کیلوولت کامپوزیت های (W-Sn-Cd-EPVC) عملکرد تضعیف سازی بهتری نسبت به سرب و کامپوزیت های سرب نشان می دهد. کامپوزیت های (W-Sn-Ba-EPVC) نتایج یکسانی با کامپوزیت های (W-Sn-Cd-EPVC) در  $90$  کیلو ولت داشتند اما در  $120$  کیلوولت نتایج بهتری در هر دو وضعیت پرتو باریک و پهن داشتند. این حفاظ های بدون سرب می توانند به طور قابل توجهی در محافظت پرتو در محدوده وسیع تشخیص رادیولوژی جایگزین سرب شوند [۲۴].

هاشمی<sup>۲</sup> و همکارانش کامپوزیت های  $GO-Pb_3O_4$  را در نسبت های مختلف پرکننده ( $5$  و  $10$  درصد وزنی) و ضخامت های مختلف ( $4$  و  $6$  میلی متر) ساختند. بررسی تضعیف پرتو X نشان داد که تقویت کامپوزیت های مبتنی بر اپوکسی با  $GO-Pb_3O_4$  منجر به بهبود قابل توجهی در میزان تضعیف کلی پرتو X می شود. عملکرد ضریب تضعیف پرتو X کامپوزیت ها رابطه مستقیمی با بارگذاری پرکننده و ضخامت کامپوزیت داشت. نتایج شبیه سازی نشان داد که تأثیر بارگذاری  $GO-Pb_3O_4$  بر عملکرد محافظ پرتو X با افزایش ولتاژ کاهش می یابد [۲۵].

#### ۵-۳- ضخامت پوشش محافظ

نامبیر<sup>۳</sup> و همکاران از نانو کامپوزیت های پلی متیل سیلوکسان<sup>۴</sup> با استفاده از درصد وزنی مختلف از نانوپودر اکسید بیسموت ساخته اند. خواص تضعیف نانوکامپوزیت ها با استفاده از انرژی پرتو X تشخیصی از  $40$  تا  $150$  کیلوولت پتانسیل لوله مشخص شد و با ویژگی های تضعیف ورق سرب خالص با ضخامت  $2/25$  میلی متر مقایسه شد. نتایج نشان می دهد که نانو کامپوزیت های ساخته شده دارای پتانسیل تضعیف پرتو X است. شکل ۷ نشان می دهد که نانوکامپوزیت PDMS/BO با  $44/44$  درصد وزنی از BO و

<sup>1</sup> Kazempour

<sup>2</sup> Hashemi

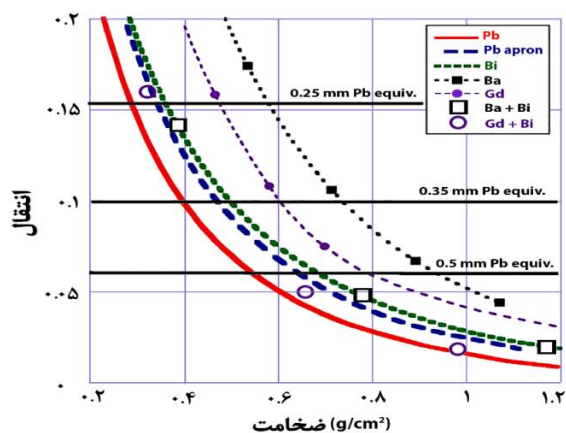
<sup>3</sup> Nambiar

<sup>4</sup> PDMS

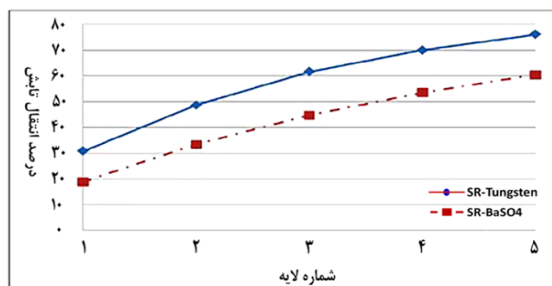
<sup>5</sup> Caffrey

## مقاله

کارایی بیشتری نسبت به جاذب سرب معمولی داشت. درصد جذب پرتو X در پماد نانو ذرات اکسید بیسموت  $56/79\%$  است. در حالی که مقدار جذب در سرب  $0/5$  میلی متر  $42\%$  تا  $40\%$  است. جاذب پرتو X بر پایه نانو ذرات اکسید بیسموت نیمه‌جامد حاوی مزایای بسیاری در مقایسه با جاذب سرب معمولی مانند؛ مساحت بالا، مقدار کم جاذب، استفاده آسان، بازدهی بالای جذب پرتو X و اثر سمی کمتر بر محیط‌زیست است [۳۱]. گونگور<sup>۴</sup> و همکارانش تاثیر افزودن اکسید بیسموت بر خواص تضعیف مکانیکی، حرارتی پرتو گاما در رزین اتیلن پروپیلن دین مونومر<sup>۵</sup> به مطالعه پرداختند [۳۲].



شکل ۸- انتقال برحسب اندازه‌گیری ضخامت چندین ماده آزمایشی و لایه‌های دو لایه، در هندسه پرتو پهن با تحت تابش ولتاژ پرتو  $100\text{ kV}$  کیلوولت اندازه‌گیری شده است [۸].



شکل ۹- نسبت تضعیف تابش سازه‌های لایه‌ای در ولتاژ لوله  $100\text{ kV}$  کیلوولت [۲۸].

جدول ۲- شدت تضعیف نمونه‌های بیسموت نیترات، باریم سولفات و اکسید بیسموت در وزن‌های برابر [۳۰].

شدت تضعیف (%)			لایه
P60BiO40	P60Ba40	P60BiN40	
۳۷/۹۳	۱۵/۳۹	۲۸/۹۹	۱
۴۱/۷۷	۲۷/۵۵	۳۹/۳۹	۲
۵۲/۲۵	۳۳/۵۶	۴۷/۷۳	۳
۵۶/۷۹	۳۷/۷۹	۵۱/۶	۴

اندازه‌گیری‌های تضعیف که در هندسه‌های پرتو باریک و پرتو پهن انجام شد، نشان می‌دهد که این هندسه‌های مختلف نتایج قابل توجهی ارائه می‌دهند. شکل ۸ نشان می‌دهد که مواد محافظ تابشی دارای  $\text{Bi}_2\text{O}_3$  تضعیف معادل یا برتر در مقایسه با مواد تجاری مبتنی بر Pb و غیر Pb در محدوده انرژی  $\text{KVP}$   $130-60$  گرم دست جدید مملو از  $\text{Bi}_2\text{O}_3$  یک رویکرد جدید و موثر برای محافظت از دست را نشان داد [۸].

آرال<sup>۱</sup> و همکارانش به بررسی پارچه‌های نخی با رزین سیلیکونی که حاوی پودرهای تنگستن و سولفات باریم در وزن‌های برابر  $(60\%)$  بود، پرداختند. نسبت تضعیف پرتو X نمونه‌ها با ولتاژ لوله  $80$ ،  $100$  و  $150\text{ kV}$  مطابق با استانداردهای محافظت پزشکی اندازه‌گیری شد. شکل ۹ نشان می‌دهد که افزودنی‌های تنگستن موجود در پوشش رزین سیلیکون نسبت به نمونه‌های پوشش داده شده با رزین سیلیکون-سولفات باریم در ضخامت‌های مشابه، تضعیف بهتری دارند. علاوه بر این، پارچه‌های روکش شده با رزین سیلیکون و تنگستن مقاومت انعطاف پذیری بالایی را نشان می‌دهد، تا جایی که برخی از ترک‌ها در پوشش رزین سیلیکون و سولفات باریم مشاهده شده است [۲۸].

پولتابتیم<sup>۲</sup> و همکارانش از کامپوزیت EPDM با افزودن اکسیدهای فلزی  $\text{W}_2\text{O}_3$ ،  $\text{Fe}_3\text{O}_4$  و  $\text{Bi}_2\text{O}_3$  برای بدست آوردن مواد محافظ پرتو گاما منعطف، بدون سرب و با دوام استفاده کردند. نتایج حاکی از آن بود که افزایش در میزان اکسید فلز از  $10$  تا  $100$ ،  $300$  و  $500$  قسمت در هر صد رزین (phr) به ترتیب باعث بهبود خاصیت محافظ پرتو گاما کامپوزیت EPDM می‌شود که بالاترین تضعیف گاما در  $50\text{ phr}$  مادهی  $\text{Bi}_2\text{O}_3$  است. بعلاوه زمان پخت در مقدار اکسید فلز  $100\text{ phr}$  کاهش می‌یابد اما در غلظت‌های بالاتر افزایش می‌یابد [۲۹].

ایمانی پور و همکارانش به بررسی تاثیر استفاده از مواد معدنی مختلف مانند بیسموت نیترات، باریم سولفات و اکسید بیسموت با رزین PVP بر تضعیف پرتو X پرداختند. نتایج آن‌ها نشان داد که پارچه پوشش داده شده با بیسموت نیترات توانایی تضعیف پرتو X بهتری نسبت به نمونه‌های سولفات باریم را دارد تعداد مراحل پد کردن تاثیری در میزان تضعیف ندارد و ترکیبی از بیسموت نیترات و باریم سولفات عملکرد بهتری دارد. هم چنین با ساخت پوشش نانو اکسید بیسموت و مقایسه با بیسموت نیترات مشخص شد که نانو اکسید بیسموت توانایی تضعیف بهتری در مقایسه با میکرو ذرات بیسموت نیترات دارد. جدول ۲ مقایسه‌ای از شدت تضعیف نمونه‌های بیسموت نیترات، باریم سولفات و اکسید بیسموت در درصد‌های وزنی برابر  $(40\%)$  را نشان می‌دهد [۳۰].

### ۵-۵- خصوصیات فیزیکی پوشش محافظ

شیرخانلو<sup>۳</sup> و همکارانش به بررسی نانوذرات اکسید بیسموت در فرمول‌بندی نیمه جامد پرداختند. در آزمایش مقدار سنجی پرتو X، اثر محافظتی نانو ذرات اکسید بیسموت در نیمه‌جامد با جاذب‌های سرب در همه شرایط مشابه بودند. عملکرد جذب پرتو X از نانو ذرات بیسموت پراکنده در نیمه‌جامد

<sup>1</sup> Aral

<sup>2</sup> Poltabtim

<sup>3</sup> Shirkhanloo

<sup>4</sup> Güngör  
<sup>5</sup> EPDM



پرکننده، کارایی محافظ افزایش می‌یابد و با مواد محافظ معمولی قابل مقایسه است. از این رو، کامپوزیت‌های پر شده با  $\text{Bi}_2\text{O}_3$  می‌توانند برای کاربردهای محافظ گاما استفاده شوند [۳۳].

ازدمیر<sup>۲</sup> و همکارانش برای اولین بار از نانو ذرات اکسید سرب برای بدست آوردن ماده کامپوزیتی الاستومری استفاده کردند. علاوه بر این، مواد کامپوزیتی با مقادیر ۸۱، ۱۰۰ و ۱۲۰ کیلوگرمی برای یک دوره تابش ۲۴۸ روز در پرتو گاما تحت تابش قرار گرفتند. نانو ذرات اکسید سرب و اکسید بیسموت با نسبت‌های مختلف وزن مخلوط شدند. مقادیر ضخامت معادل سرب از ۰.۰۷ تا ۰.۶۵ (ضخامت نمونه ۲ تا ۶ میلی‌متر) بدست آمد. نتایج نشان می‌دهد که افزودن اکسید بیسموت تضعیف تابش را افزایش می‌دهد و تابش گاما تا مقدار ۱۲۰ کیلوگرمی منجر به ایجاد تغییرات در خصوصیات مکانیکی و حرارتی مواد کامپوزیت شد [۳۴].

نی<sup>۳</sup> و همکارانش مواد محافظ پخت سریع با یک پایه پلی یورتان دو جزئی و یک ماده پرکننده اکسید بیسموت از طریق یک روش در مقیاس آزمایشگاهی تهیه کردند. با افزایش محتوای پرکننده، چگالی افزایش می‌یابد اما همان‌طور که در شکل ۱۱ مشاهده می‌شود زمان پخت کاهش می‌یابد. خصوصیات محافظ پرتو گاما با افزایش محتوای پرکننده افزایش می‌یابد و می‌توان ضخامت کامپوزیت را برای بهبود عملکرد محافظتی هنگامی که انرژی پرتو گاما زیاد بود افزایش داد. هنگامی که محتوای پرکننده ۶۰ درصد وزنی بود، کامپوزیت خصوصیات جامع بسیار خوبی از خود نشان داد [۳۵].

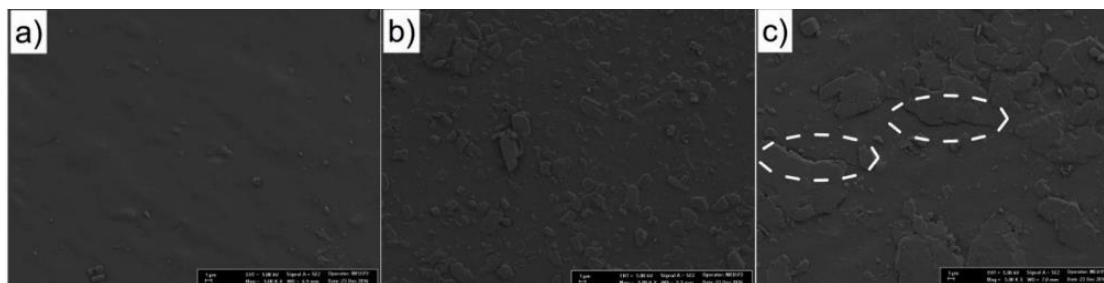
در این زمینه اصلاح سطح با سیلان قبل از ذرات اکسید بیسموت در رزین گنجائیده شد. نمونه‌های EPDM شامل ۱۰٪، ۲۰٪ و ۳۰٪ (W/W) اکسید بیسموت با مقادیرهای ۲۵/۶، ۳۹ و ۵۷ کیلوگرمی در دوره تابش ۱۳۳ روزه با استفاده از منبع پرتو گاما با دوز اولیه ۱۸/۳ کیلوگرمی تابش شدند. نتایج آزمایش مکانیکی نمونه‌ها نشان می‌دهد که محتوای  $\text{Bi}_2\text{O}_3$  بطور قابل توجهی برخواص کششی تاثیر می‌گذارد. هم‌چنین نشان می‌دهد که نسبت تضعیف از ۶۸/۶-۹۴٪ برای نمونه‌ها با مقادیر مختلف ضخامت مواد کامپوزیت اتیلن پروپیلن دین مونومر بدست آمده است. شکل ۱۰ تصاویر SEM نمونه‌های تابش شده در ۵۷ کیلوگرمی بدون و با حضور اکسید بیسموت و نمونه تابش نشده را نشان می‌دهد. همان‌طور که شکل C نشان می‌دهد سطح نمونه تابش شده دارای ترک‌هایی است دلیل این امر می‌تواند تخریب سطح EPDM در طی فرآیند تابش باشد. انتقال انرژی در اثر فوتوالکتریک به عنوان یک سازوکار تعامل بین پرتو گاما و ذرات اکسید بیسموت ممکن است منجر به ترک‌های ذکر شده شود [۳۲].

امبیکا<sup>۱</sup> و همکارانش کامپوزیت‌های پلیمری رزین ایزوفتالیک حاوی اکسید بیسموت با درصدهای مختلف وزنی ساخته‌اند. آن‌ها مشاهده کردند که این ترکیبات از نظر حرارتی تا دمای ۲۰۰ درجه سانتی‌گراد پایدار هستند. تغییرات ساختاری مشاهده نشده است و همه کامپوزیت‌ها رسانایی بسیار کمی نشان می‌دهند. قدرت مکانیکی کامپوزیت‌ها با افزودن اکسید بیسموت با اندکی کاهش، هنگامی که غلظت پرکننده بیش از ۴۰ درصد وزنی باشد، افزایش می‌یابد. نتایج تضعیف نشان می‌دهد که، با افزایش درصد وزنی

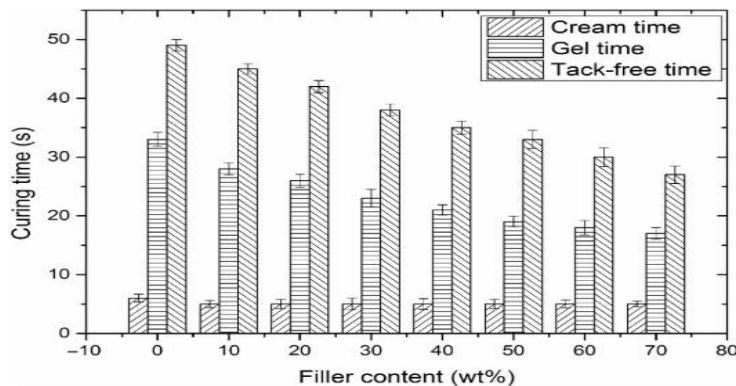
<sup>2</sup> Özdemir

<sup>3</sup> Ni

<sup>1</sup> Ambika



شکل ۱۰- تصاویر SEM از نمونه‌ها (الف) نمونه تابش شده ۵۷ کیلوگرمی بدون محتوای اکسید بیسموت، (ب) تابش نشده و (ج) نمونه‌های تابش شده ۵۷ کیلوگرمی با ۳۰ درصد محتوای اکسید بیسموت [۳۲].



شکل ۱۱- زمان پخت پلی‌یورتان با محتوای مختلف پرکننده [۳۶].

نتایج نشان می‌دهد که به دلیل وزن سبک، هزینه کم، سهولت پردازش، پراکندگی خوب و انعطاف‌پذیری، نانو کامپوزیت‌های HDPE / PbO به عنوان نامزدهای جایگزین امیدوارکننده برای کاربردها در محافظت از پرتو گاما در طیف وسیعی از انرژی مشخص شدند [۳۶]. جدول ۳ و ۴ چکیده‌ای از مطالعات صورت گرفته در زمینه‌ی پوشش‌های محافظ پرتو X و گاما را نشان می‌دهد.

محمود<sup>۱</sup> و همکارانش کامپوزیت‌های پلیمری پلی اتیلن با چگالی بالا (HDPE) پر از نانوذرات اکسید سرب پودر شده (PbO NPs) و اکسید سرب فله PbO (Blk) با وزن پرکننده ۱۰٪ و ۵۰٪ تهیه کردند. این کامپوزیت‌های پلیمری برای محافظت در برابر تابش پرتو گاما ساطع شده از منابع نقطه رادیواکتیو (۲۴۱) Am، (۱۳۳) Ba، (۱۳۷) Cs و (۶۰) Co مورد بررسی قرار داده شد.

<sup>۱</sup> Mahmoud

جدول ۳- چکیده‌ای از مطالعات صورت گرفته در زمینه پوشش‌های محافظ پرتو X.

سال	پژوهشگر	موضوع پژوهش	نتایج	مرجع
۲۰۱۲	کفری و همکارانش	لایه‌هایی از مواد ترکیب شده با ترکیبات غیر Pb مانند $\text{Bi}_2\text{O}_3$ , $\text{Cd}_2\text{O}_3$ و $\text{BaSO}_4$ به صورت جداگانه، به عنوان لایه‌های دو لایه و به عنوان یک کرم دست پر شده با $\text{Bi}_2\text{O}_3$	مواد محافظ تابشی دارای $\text{Bi}_2\text{O}_3$ تضعیف معادل یا برتر در مقایسه با مواد تجاری سربی و غیرسرب	[۸]
۲۰۱۳	نامبیر و همکارانش	نانو کامپوزیت‌های پلی‌متیل سیلوکزان (PDMS) با استفاده از درصد وزن مختلف نانوپودر اکسید بیسموت	PDMS/BO قادر به کاهش تمام پرتو X پراکنده تولید شده در پتانسیل لوله ۶۰ کیلو ولت، یعنی انرژی پرتویی است که معمولاً در IVR به کار می‌رود را دارد.	[۲۶]
۲۰۱۳	آزمان و همکارانش	کامپوزیت‌های اپوکسی پر شده با ۲ تا ۱۰ درصد $\text{WO}_3$ چند ترکیب غیرسربی جدید (سیلیسیم-تنگستن) و (تنگستن، قلع، باریم، پلی‌وینیل کلراید) و (تنگستن، قلع، کادمیم و پلی‌وینیل کلراید) در محدوده رادیولوژی در دو هندسه پرتوی پهن و باریک استفاده کردند	نانو ذرات در انرژی پایین نسبت به میکروذرات عملکرد بهتری دارند.	[۱۶]
۲۰۱۵	کاظم‌پور و همکارانش	باپوشش اکسید بیسموت با استفاده از رزین پلی وینیل کلراید بر روی پارچه‌های پلی استر و نایلون	در ۶۰ و ۹۰ کیلوولت کامپوزیت‌های (W-Sn-Cd-EPVC) عملکرد تضعیف‌سازی بهتری نسبت به سرب و کامپوزیت‌های سرب نشان می‌دهد.	[۲۴]
۲۰۱۶	مغربی و همکارانش	خصوصیات محافظتی محافظ‌های بدون سرب حاوی $\text{WO}_3$ به اندازه میکروذرات $\text{Bi}_2\text{O}_3$ می‌تواند برای کاهش پرتو X مؤثر باشد	اندازه کوچکتر ذرات $\text{WO}_3$ با ساختار نانو می‌تواند خاصیت محافظت در برابر پرتو را بهتر تضمین کند.	[۱۵]
۲۰۱۶	آغاز و همکارانش	عملکرد تضعیف پرتو X پارچه‌های پنبه‌ای با پوشش سولفات باریم	با افزایش محتوای $\text{BaSO}_4$ تضعیف پرتو به طور قابل توجهی افزایش می‌یابد.	[۲۳]
۲۰۱۷	آرال و همکارانش	تضعیف پرتو X و خاصیت مقاومت در برابر خمشی از مواد محافظتی بدون سرب	تنگستن موجود در پوشش رزین سیلیکون نسبت به نمونه‌های پوشش داده شده با رزین سیلیکون و سولفات باریم در ضخامت‌های مشابه، تضعیف بهتر و انعطاف‌پذیری بالایی دارند.	[۲۸]
۲۰۱۷	شیرخانلو و همکارانش	نانوذرات اکسید بیسموت در فرمول‌بندی نیمه‌جامد	عملکرد جذب پرتو X از نانو ذرات بیسموت پراکنده در نیمه جامد کارایی بیشتری نسبت به جاذب سرب معمولی داشت.	[۳۱]
۲۰۱۷	مغربی و همکارانش	اثر محافظ پارچه‌های روکش شده با سولفات باریم و اکسید بیسموت	ضریب تضعیف پرتو X در بین تمام پوشش‌های تهیه شده باید مخلوطی باشد که حاوی ۱۳/۳ درصد وزنی از $\text{Bi}_2\text{O}_3$ ، ۲۰ درصد وزنی از $\text{BaSO}_4$ و ۶۶/۷ درصد وزنی از PVC باشد.	[۲۲]
۲۰۱۸	ایمانی پور و همکارانش	تأثیر استفاده از مواد معدنی مختلف مانند بیسموت نیترات، باریم سولفات و اکسید بیسموت بر تضعیف پرتو X	نانو اکسید بیسموت توانایی تضعیف بهتری در مقایسه با میکرو ذرات بیسموت نیترات دارد.	[۳۰]
۲۰۱۸	مهنی و همکارانش	محافظ‌های نانو $\text{Bi}_2\text{O}_3$ با ۹۰ درصد سیلیکون و ۱۰ درصد اکسید بیسموت	با افزایش انرژی ۱۰۰-۶۰ کیلو ولت خاصیت تضعیف کاهش می‌یابد.	[۲۰]
۲۰۱۸	هاشمی و همکارانش	استفاده از روش هامر اصلاح شده همراه با یک روش ساخت چند مرحله‌ای، اکسید گرافن (GO) تزئین شده با نسبت‌های مختلف $\text{Pb}_3\text{O}_4$ (GO-Pb <sub>3</sub> O <sub>4</sub> )	که تأثیر بارگذاری $\text{GO-Pb}_3\text{O}_4$ بر عملکرد محافظ پرتو X با افزایش ولتاژ پرتو X کاهش می‌یابد.	[۲۵]

جدول ۴- چکیده‌ای از مطالعات صورت گرفته در زمینه‌ی پوشش‌های محافظ پرتو گاما.

مرجع	نتایج	موضوع پژوهش	پژوهشگر	سال
[۱۰]	تاثیر افزایش ضخامت نمونه‌های نانو در تضعیف تابش گاما بسیار زیاد است.	ضریب تضعیف جرمی در پرتو دهی تابش گاما در ضخامت‌های مختلف از جنس‌های نانو سرب اکسید و نیترات سرب	کاظمی و همکارانش	۲۰۱۵
[۳۵]	خصوصیات محافظ پرتو گاما با افزایش محتوای پرکننده افزایش می‌یابد و می‌توان ضخامت کامپوزیت را برای بهبود عملکرد محافظتی هنگامی که انرژی پرتو گاما زیاد بود افزایش داد.	مواد محافظ پخت سریع با یک پایه پلی اورتان دو جزئی و یک ماده پرکننده PbO	نی و همکارانش	۲۰۱۶
[۲۷]	حفاظ‌های نانو کامپوزیتی ساخته شده از کارایی بالایی برخوردار هستند.	ساخت نانو کامپوزیت لاستیک - سیلیکون با افزودنی ذرات اکسید بیسموت، قابلیت جذب پرتوی گاما	دزبانگه و همکارانش	۲۰۱۶
[۳۳]	افزایش درصد وزنی پرکننده، کارایی محافظ افزایش می‌یابد و با مواد محافظ معمولی در پرتو گاما قابل مقایسه است.	کامپوزیت‌های پلیمری رزین ایزوفتالیک پر از Bi <sub>2</sub> O <sub>3</sub> با وزن‌های مختلف	امبیکا و همکارانش	۲۰۱۷
[۳۴]	افزودن اکسید بیسموت تضعیف تابش را افزایش می‌دهد.	کامپوزیت الاستومری با درصدهای مختلف وزن اکسید سرب و مقایسه با افزودن اکسید بیسموت برای محافظت از پرتو گاما	ازدمیر و همکارانش	۲۰۱۸
[۲۹]	افزایش در میزان اکسید فلز باعث بهبود خاصیت محافظ پرتو گاما کامپوزیت EPDM می‌شود.	کامپوزیت EPDM با افزودن اکسیدهای فلزی Fe <sub>3</sub> O <sub>4</sub> و W <sub>2</sub> O <sub>3</sub> و Bi <sub>2</sub> O <sub>3</sub> برای بدست آوردن مواد محافظ پرتو گاما	پولتاتیم و همکارانش	۲۰۱۸
[۳۲]	نسبت تضعیف از ۹۴-۶۸٪ برای نمونه‌ها با مقادیر مختلف ضخامت مواد کامپوزیت EPDM بدست آمده است.	تاثیر افزودن اکسید بیسموت بر خواص تضعیف مکانیکی، حرارتی پرتو گاما در رزین EPDM	گونگور و همکارانش	۲۰۱۸
[۳۶]	نانو کامپوزیت‌های HDPE / PbO عملکرد خوبی برای محافظت از پرتو گاما در طیف وسیعی از انرژی هستند.	کامپوزیت‌های پلی اتیلن با چگالی بالا پر از نانوذرات اکسید سرب پودر شده (PbO NPs) و اکسید سرب فله (PbO Bk) با وزن پرکننده ۱۰٪ و ۵۰٪	محمود و همکارانش	۲۰۱۸
[۱۸]	ضخامت و غلظت یکسان محافظ‌های نانو در مقایسه با محافظ‌های میکرو کارایی بالاتری دارند.	رزین‌های اپوکسی و رزین پلی استر غیراشباع به صورت ترکیبی با پودر سرامیکی PbO میکرو و نانو	صابری و همکارانش	۲۰۱۹
[۲۱]	کامپوزیت با ترکیب ۹۸٪ از HDPE و ۲۰٪ از Bi <sub>2</sub> O <sub>3</sub> ترکیب مناسبی است که در کاربردهای محافظ پرتو بین ۳۰/۸۲ تا ۳۸۳/۹ Kev استفاده شود.	بررسی پنج نمونه از پلی اتیلن با چگالی بالا با تغییر غلظت اکسید بیسموت	عبدالسلام و همکارانش	۲۰۲۰
[۱۹]	در مقادیر کم انرژی، تضعیف نمونه‌های حاوی نانو ذرات بالاتر از نمونه‌هایی است که حاوی ذرات میکرو هستند.	کامپوزیت‌های پرتوی X و محافظ پرتوی گاما با پودرهای نانو و میکروی Bi <sub>2</sub> O <sub>3</sub> و PbO، WO <sub>3</sub>	غلامزاده و همکارانش	۲۰۲۰

## ۶- نتیجه‌گیری

مواد دارای تضعیف کمتری نسبت به نانو مواد است. در پرتو گاما و انرژی‌های بالای پرتو X میزان تضعیف به اندازه مواد بستگی ندارد. میزان تضعیف پرتو یونیزه کننده به ضخامت مواد، نسبت مواد معدنی و شدت تابش بستگی دارد. با افزایش ضخامت پوشش یا افزایش نسبت مواد معدنی می‌توان پوشش محافظ پرتوی ایکس بهتری دست یافت اما افزایش میزان مواد معدنی باعث انعطاف‌پذیری کمتر و وزن بیشتر می‌شود. با افزایش ضخامت پوشش یا افزایش نسبت مواد معدنی خواص مکانیکی و ضریب تضعیف پوشش‌های محافظ گاما بهبود می‌یابد.

## تشکر و قدردانی

بر خود لازم می‌دانم از همکاری صمیمانه مسئولین محترم واحد پژوهشی دانشکده فیزیک و آزمایشگاه تحقیقات دانشکده مهندسی نساجی دانشگاه یزد صمیمانه تشکر نمایم.

در سال‌های اخیر، با گسترش دامنه تشخیصی بسیاری از امکانات پزشکی، احتمال قرار گرفتن در معرض پرتو X و پرتو گاما افزایش یافته است. به همین دلیل پیش‌بینی‌های سرب برای تأمین محافظت در برابر پرتو X استفاده شده‌اند و هنوز هم به همین منظور مورد استفاده گسترده قرار می‌گیرند. در پژوهش‌های جدید انجام شده بر روی سرب، پژوهشگران نشان دادند که این عنصر شامل خطراتی از جمله سمی بودن سرب، عوامل ارگونومی (وزن بیش از حد حفاظ سربی) و غیر قابل بازیافت بودن آن و هم‌چنین داشتن خطراتی برای محیط زیست است. به همین دلیل محققان در تلاش برای جایگزینی سرب با دیگر مواد هستند. از بین مواد مختلف، موادی که خواص مشابه سرب داشته باشند را می‌توان براساس معیارهای مختلفی مانند لبه جذب K، چگالی، ضریب تضعیف و غیره انتخاب کرد. موادی مانند بیسموت، تنگستن، باریوم و غیره را می‌توان به‌عنوان جایگزین سرب در نظر گرفت. نتایج محققان نشان داد که در انرژی پایین پرتو X اندازه ذرات اموری مهم است و میکرو

1. R. A. Scott, "Textiles for protection", Elsevier, **2005**.
2. A. Zamanian, C. Hardiman, "Electromagnetic radiation and human health: A review of sources and effects", high Freq. Des. 4, 16-26, **2005**.
3. N. Tsoulfanidis and S. Landsberger, *Measurement and detection of radiation*, 8rd ed. Mashhad, Iran, Ferdowsi University of Mashhad Press, **2014**.
4. S. Tavernier, "Experimental Techniques in Nuclear and Particle Physics", Springer, Berlin, Heidelberg, **2010**.
5. G. P. Glasgow, "Structural Shielding Design and Evaluation for Megavoltage X- and Gamma-Ray Radiotherapy Facilities," Med. Phys. 33, Doi: 10.1118/1.2336250, **2006**.
6. J. J. Brunette, "Structural Shielding Design for Medical X-ray Imaging Facilities," Health Phys. 89, **2005**.
7. S. V. Musolino, J. DeFranco, R. Schluack, "The ALARA principle in the context of a radiological or nuclear emergency," Health Phys, 94, 11-109, Feb **2008**.
8. J. P. McCaffrey, F. Tessier, H. Shen, "Radiation shielding materials and radiation scatter effects for interventional radiology (IR) physicians", Med. phys. 39, 4537-4546, **2012**.
9. M. E. Cournoyer, "Lead substitution and elimination study," J. Radioanal. Nucl. Chem. 249, 4-397, **2001**.
۱۰. ف. کاظمی، م. ع. شفائی، و ل. غلامزاده، "بررسی ضریب تضعیف جرمی نانو سرب در چشمه های مختلف گاما"، مجله علمی تابش و فناوری هسته‌ای، ۳، ۴۷-۴۹، **۱۳۹۴**.
11. B. Moore, E. VanSonnenberg, G. Casola, R. A. Novelline, "The relationship between back pain and lead apron use in radiologists", Am. J. Roentgenol. 158, 191-193, **1992**.
12. L. W. Klein, "Occupational health hazards in the interventional laboratory: time for a safer environment," Radiol. 250, 44-48 , **2009**.
13. H. O. M. Fisher, "A nuclear cross section data handbook," **1989**.
۱۴. ف. ایمانی پور، م. خواجه مهریزی، پ. پیوندی، م. اسلامی کلاتری، "مروری بر پوشش های محافظتی در برابر پرتوی ایکس با استفاده از مواد معدنی در کاربردهای پزشکی"، نشریه علمی ترویجی مطالعات در دنیای رنگ، ۹، ۱۴-۱، **۱۳۹۸**.
15. H. A. Maghrabi, A. Vijayan, P. Deb, L. Wang, "Bismuth oxide-coated fabrics for X-ray shielding", Text. Res. J. 86, 649-658, **2016**
16. N. Z. Noor Azman, S. A. Siddiqui, I. M. Low. "Characterisation of microsized and nano-sized tungsten oxide-epoxy composites for radiation shielding of diagnostic X-rays". Mater. Sci. Eng., C, 33, 4952-4957, **2013**.
17. A. Aghaz, R. Faghihi, S. M. J. Mortazavi, A. Haghparast, S. Mehdizadeh, S. Sina, "Radiation attenuation properties of shields containing micro and Nano WO<sub>3</sub> in diagnostic X-ray energy range", Int. J. Radiat. Res, 14, 127-131, **2016**.
18. J. H. Saberi, A. H. Alsarraf, K. H. Mahdi, "A Comparative Study for Micro and Nano shield of (PbO) composite for gamma Radiation," Energy Procediat. 157, 803-814, **2019**.
19. L. Gholamzadeh, N. Asari-Shik, M. K. Aminian, M. Ghasemi-Nejad, "A study of the shielding performance of fibers coated with high-Z oxides against ionizing radiations," Nucl. Instrum. Methods Phys. Res., Sect. A. 973, Doi: 10.1016/j.nima.2020.164174, **2020**.
20. P. Mehnati, M. Y. Sooteh, B. Divband, R. Malekzadeh, "Synthesis and characterization of nano Bi<sub>2</sub>O<sub>3</sub> for radiology shield," Nanomed. 5, 4, 222-226, **2018**.
21. A. H. Abdalsalam, E. Şakar, K. M. Kaky, MHA Mhareb, B. C. Şakar, MI. Sayyed, A. Gürol, "Investigation of gamma ray attenuation features of bismuth oxide nano powder reinforced high-density polyethylene matrix composites," Radiat. Phys. Chem. 168, Doi: 10.1016/j.radphyschem.2019.108537, **2020**.
22. H. A. Maghrabi, A. Vijayan, F. Mohaddes, P. Deb, L. Wang, "Evaluation of X-ray radiation shielding performance of barium sulphate-coated fabrics," Fibers and Polymers, 17, 2047-2054, **2017**.
23. B. Kusuktham, C. Wichayasiri, S. Udon, "X-Ray attenuation of cotton fabrics coated with barium sulphate". J. Min. Met. Mater. 26, 17-23, **2016**.
24. M. Kazempour, M. Saeedimoghadam, F. S. Shooli, N. Shokrpour, "Assessment of the radiation attenuation properties of several lead free composites by Monte Carlo simulation", J. Bio. Phys. Eng. 5, 67-76, **2015**.
25. S. A. Hashemi, S. M. Mousavi, R. Faghihi, M. Arjmand, S. Sina, A. M. Amani, "Lead oxide-decorated graphene oxide/epoxy composite towards X-Ray radiation shielding," Radiat. Phys. Chem. 146, 77-85, **2018**.
26. S. Nambiar, E. K. Osei, J. T. Yeow, "Polymer nanocomposite-based shielding against diagnostic X-rays", J. Appl. Polym. Sci. 127, 4939-4946, **2013**.
۲۷. م. دزآنگاه، م. قجاوند، ر. پ. صالحی، و ر. قلی‌پوریوندی، "ساخت، مشخصه یابی و شبیه‌سازی خواص حفاظت در برابر پرتوی گامای نانوکامپوزیت لاستیک سلیکون آمیخته با نانو ذرات اکسید بیسموت" مجله سنجش و ایمنی پرتو، ۴، ۳۸-۴۶، **۱۳۹۵**.
28. N. Aral, F. B. Nergis, C. Candan, "The X-ray attenuation and the flexural properties of lead-free coated fabrics". J. Ind Text. 47, 252-268, **2017**.
29. W. Poltabtim, E. Wimolmala, K. Saenboonruang, "Properties of lead-free gamma-ray shielding materials from metal oxide/EPDM rubber composites," Radiat. Phys. Chem. 153, 1-9, **2018**.
۳۰. ف. ایمانی پور، "تاثیر استفاده از نانو مواد معدنی بصورت چند لایه بر روی پارچه بی بافت برای محافظت از اشعه ایکس"، پایان‌نامه کارشناسی ارشد، دانشگاه یزد، **۱۳۹۷**.
31. H. Shirkanloo, M. Saffari, S. M. Amini, M. Rashidi, "Novel Semisolid Design Based on Bismuth Oxide (Bi<sub>2</sub>O<sub>3</sub>) nanoparticles for radiation protection," Nanomed Res. 2, 230-238, **2017**.
32. A. Güngör, İ. K. Akbay, D. Yaşar, T. Özdemir, "Flexible X/Gamma ray shielding composite material of EPDM rubber with bismuth trioxide: Mechanical, thermal investigations and attenuation tests," Prog. Nucl. Eng. 106, 262-269, **2018**.
33. M. R. Ambika, V. Harish, N. K. Lokanath, M. A. Sridhar, N. M. Renukappa, S. K. Suman, "Preparation and characterisation of Isophthalic-Bi<sub>2</sub>O<sub>3</sub> polymer composite gamma radiation shields", Radiat. Phys. Chem. 130, 351-358, **2017**.
34. T. Özdemir, A. Güngör, I. K. Akbay, H. Uzun, Y. Babuçuoğlu, "Nano lead oxide and epdm composite for development of polymer based radiation shielding material: Gamma irradiation and attenuation tests," Radiat. Phys. Chem. 144, 248-255, **2018**.
35. M. Ni, X. Tang, H. Chai, Y. Zhang, T. Chen, D. Chen, "Preparation and Properties of the Fast-Curing  $\gamma$ -Ray-Shielding Materials Based on Polyurethane," Nucl. Eng. Technol. 48, 1396-1403, **2016**.
36. M. E. Mahmoud, A. M. El-Khatib, M. S. Badawi, A. R. Rashad, R. M. El-Sharkawy, A. A. Thabet, "Fabrication, characterization and gamma rays shielding properties of nano and micro lead oxide-dispersed-high density polyethylene composites," Radiat. Phys. Chem. 145, 160-173, **2018**.