

ساخت پارچه محافظ اشعه ایکس و اشعه رادیواکتیو بر پایه نانوذرات اکسید بیسموت، اکسید تنگستن و کیتوسان

تاریخ دریافت: ۱۴۰۲/۱۲/۰۵

تاریخ پذیرش: ۱۴۰۲/۱۲/۲۴

کد مقاله: ۸۵۴۲۵

طاها واحدیان^۱، پارسا واحدیان^۱، آروین رحمانی^۱،
پوریا عین افشار^۱، سید صابر میرحسینی^{۲*}

چکیده

تأثیرات سرطان‌زا پرتو ایکس در سال‌های اخیر اثبات شده است. امروزه، در بسیاری از دستگاه‌ها، از جمله لباس‌های حفاظتی ساخته شده از سرب، محافظت از بدن در برابر اشعه ایکس انجام می‌شود؛ اما لوازم حفاظت شخصی ایکس-ری از سرب دارای مشکلاتی از جمله سمیت، عدم انعطاف پذیری و وزن بالا هستند. همچنین حوادث هسته ای اتفاق افتاده در یک قرن اخیر، آثار و نتایج جبران ناپذیری را در بر داشته است. پیامدهای ناشی از پرتوهای ساطع شده از انفجار هسته ای با توجه به نوع ماده رادیواکتیو پخش شده در جو ضمن آلوده کردن آب، خاک و گیاهان، سبب بیماری‌های مختلف پوستی و حتی تغییر در ساختار DNA شده که نسل‌های آینده نیز از آن مصون نبوده اند. یکی از راهکاری محافظت کننده در برابر این تشعشعات استفاده از محافظ‌های سربی است. از آنجایی که سرب یک فلز سمی و بسیار سنگینی است؛ پس باید برای محافظت از اثرات مخرب آنها پوششی ساخته شود که عاری از سرب باشد تا بتواند بر این اساس بیماران و پرسنل رادیولوژی را در برابر پرتوهای یونیزان غیرضروری محافظت کند. بیسموت و تنگستن شباهت فراوانی با سرب دارند و می‌توانند گزینه جایگزین مناسبی با سرب باشند. این دو عنصر مزایای فراوانی دارند. از جمله اینکه غیرسمی هستند و چگالی کمتری داشته و محصول ارزانتری می‌توان از آنها تهیه کرد و از همه مهمتر اینکه سازگاری بهتری با محیط زیست داشته و تضعیف بیشتری نسبت به سرب ایجاد می‌کنند. به طور کلی در این مطالعه پارچه‌ی حاوی نانوذرات اکسید بیسموت، اکسید تنگستن و چسب کیتوسان تهیه شد. برای تایید سنتز صحیح مواد تهیه شده از آنالیز پراش اشعه ایکس (XRD) استفاده شد. از روش دوزیمتری جاذب اشعه ایکس و روش گایگر مولر به ترتیب برای سنجش میزان جذب تشعشعات توسط پارچه‌ها استفاده شد، بهترین نتیجه مربوط به نمونه حاوی ترکیب نانوذرات اکسید بیسموت و اکسید تنگستن بود که توانست میزان تشعشعات را به میزان ۷۰٪ نسبت به پارچه ساده کاهش دهد. همچنین مشخص شد، پارچه با پوشش نانوذرات اکسید بیسموت+نانوذرات اکسید تنگستن نشان داد که جذب بهتری نسبت به سایر نمونه‌ها دارد.

واژگان کلیدی: اشعه ایکس، اکسید بیسموت، اکسید تنگستن، کیتوسان، ایمنی

۱- پژوهشگر تیم پژوهشی لنترن، شرکت البرز نانو تجهیزایان، البرز، ایران و پژوهشگر مجتمع آموزشی آموزشی علامه طباطبایی

تهران، ایران

۲- دکتری مهندسی مواد دانشگاه صنعتی امیرکبیر، تهران، ایران (نویسنده مسئول) s.mirhosseini@aut.ac.ir

پرتو ایکس نوعی از تابش الکترومغناطیسی و جزو پرتوهای یونساز به حساب می‌آید که به‌طور گسترده‌ای در علوم و صنایع مختلف مانند صنعت، معدن، کشاورزی و پزشکی استفاده می‌شود. چندین مطالعه ثابت کرده است که پرتو ایکس پرکاربردترین روش مورد استفاده در بخش پزشکی (تشخیص و درمان) می‌باشد. پرتوگیری طولانی از این تابش‌ها می‌تواند موجب اثرات زیست‌شناختی شوند. بنابراین برای کاهش اثرات احتمالی و قطعی ناشی از پرتوهای یونیزان، حفاظ‌گذاری در برابر پرتو یک روش مناسب است. با بررسی‌های انجام شده از بین مواد مختلف، عناصر فلزی با عدد اتمی و چگالی بالا می‌توانند حفاظ خوبی در برابر پرتوهای ایکس باشند. سرب و ترکیبات آن به دلیل خواص فیزیکی مانند عدد اتمی و چگالی بالا به عنوان بهترین ماده جهت حفاظ‌گذاری (محافظت در برابر پرتو ایکس) پیشنهاد شده اند اما با مشخص شدن سمیت سرب و به خطر انداختن سلامتی، به طور جدی در کاربردهای مختلف محافظت در برابر پرتو محدود شده اند. از این رو تلاش‌های زیادی صورت گرفت تا بتوان مواد غیر سربی، سبک و مقرون به صرفه برای محافظت از پرتو ایکس را جایگزین سرب کرد. بنابراین از پلیمرها و چندین عنصر فلز سنگین مانند: بیسموت، تنگستن، باریوم و غیره به عنوان مواد محافظ در برابر پرتو ایکس و جایگزین سرب استفاده شده است و نیز کامپوزیت‌های این مواد کاندیدی محبوبی برای تولید موادی شده‌اند که می‌توانند برای کاهش موثر پرتو ایکس طراحی شوند. همچنین از میان مطالعات گوناگون، برخی پژوهش‌ها نیز به بررسی مواد نانو ساختار پرداخته‌اند (بلوسوبرامانیان، ۲۰۰۰).

پرتو یا تشعشع عبارت است از انرژی که به صورت امواج الکترومغناطیس در خلاء یا در محیط مادی منتشر می‌شود. بطور ساده پرتوها را می‌توان انرژی عبوری تعریف کرد. برخی از پرتوها دارای جرم و بعضی فاقد آن می‌باشند و با توجه به میزان انرژی دارای قدرت نفوذ در ماده هستند. پرتوها به دو دسته پرتوهای یونیزان (یونساز) و پرتوهای غیر یونیزان (غیر یونساز) طبقه بندی می‌شوند. معمولاً وقتی همراه با واژه پرتو کلمه دیگری بکار نرود پرتوهای یونیزان مورد نظر می‌باشد. تشعشعات نیز جزء عوامل زیان آور محیط کار قرار می‌گیرد و پایش فردی و محیطی این عامل نیز به طور کامل از سوی قوانین در کشورمان حمایت می‌شود. آلودگی‌های حرارتی، تشعشعات خطرناک، ضایعات و زباله‌های اتمی تمامی محیط زیست را در معرض خطرات جدی قرار داده است. نسل بشر را با مرگ و میرهای دردناک و بیماری‌های حاد و مزمن و حتی تغییرات منفی در دی‌ان‌ای روبرو ساخته است. تمامی موجودات زنده از جمله گیاهان، جانوران و تمامی محیط‌های زیست شامل جو، زمین، آب و هوا و در حقیقت کل کره زمین را تهدید می‌کند. پرتوهای رادیواکتیو یا (مواد رادیواکتیو) به طور کلی سمی هستند. رادیواکتیو برای حیات موجودات مضر است. رادیواکتیو در سطح بسیار بسیار بالا ایجاد مسمومیت می‌کنند و در نهایت وارد بدن انسان که می‌شوند، حتی اگر شخص مسموم زنده بماند، باعث تغییرات ژنتیکی در فرد می‌شوند و مهم‌ترین ضرر مواد رادیواکتیو را می‌توان تغییرات ژنتیکی دانست. مواد رادیواکتیو از اتم‌های ناپایداری تشکیل می‌شوند که تجزیه می‌شوند و انرژی سطح بالایی به نام تابش رادیواکتیو را آزاد می‌کنند. این اتم‌ها نهایتاً عناصر جدیدی را تشکیل می‌دهند. سه نوع تابش رادیواکتیو وجود دارد که ذرات آلفا، بتا و پرتوهای گاما خوانده می‌شود (خور، ۲۰۰۱).

در دستگاه‌های پرتو پزشکی که تنها بخشی از بدن فرد باید پرتو دهی شود استفاده از حفاظ‌های سربی و قالب‌های بتنی که مستحکم و غیرقابل انعطاف هستند، مشکلاتی ایجاد خواهند کرد. در نتیجه سعی می‌شود تا جاذبه‌های غیر سربی انعطاف پذیر به منظور حفاظت در برابر پرتوهای یونساز پزشکی ساخته شود (لاندل و نیلسن، ۱۹۹۳). در این بین کامپوزیت‌ها یکی از مناسب‌ترین و پرکاربردترین مواد برای ساخت حفاظ تابش‌های هسته‌ای گاما با خواص مکانیکی مورد نظر است. یک ماده‌ی کامپوزیت، ترکیبی فیزیکی در مقیاس میکروسکوپی است که از دو یا چند ماده‌ی مختلف به دست آمده است. در ساده‌ترین حالت یک کامپوزیت شامل یک پایه‌ی پلیمری و یک یا چند جزء به عنوان پرکننده است. به منظور دستیابی به خواص حفاظتی در برابر پرتو گاما ضروری است که پرکننده‌ای با عدد اتمی بالا (مانند سرب) یا ترکیبات آنها بطور یکنواخت در ماتریس پلیمری قرار گیرد. دلیل استفاده از عناصر با عدد اتمی بالا این است که سطح مقطع پراکندگی هر اتم در اثر فوتو الکتربیک تقریباً با توان چهارم عدد اتمی متناسب است. پارامتر مؤثر دیگر در مقدار تضعیف پرتو، چگالی جرمی فلز است چرا که نشان‌دهنده آن است که چه تعداد مرکز پراکندگی در واحد حجم وجود دارد. واضح است که هر چه تعداد اتم‌ها در واحد حجم بیشتر باشد به همان نسبت پراکندگی اتم‌ها بیشتر خواهد بود. بر این اساس فلزات سنگینی چون تنگستن و بیسموت و سرب به دلیل عدد اتمی بالا و چگالی جرمی قابل توجه برای استفاده به عنوان پرکننده مناسب هستند (خور، ۲۰۰۱).

نانوذرات اکسید بیسموت دارای سد کنندگی اشعه ماوراء بنفش و فعالیت ضدباکتری هستند و می‌توانند پتانسیل خوبی برای کاربردهای مختلف به ویژه در زمینه‌های پزشکی، دارویی، غذایی، و آرایشی و بهداشتی داشته باشند. نانوذرات اکسید بیسموت به دلیل عدد اتمی و خاصیت دیامغناطیسی، جذب اشعه ایکس را با کارایی بالاتری نسبت به سرب انجام می‌دهد و سمیت کمتری دارد. نانو ذرات اکسید تنگستن به شکل یک پودر زرد رنگ که دارای یک مورفولوژی تقریباً کروی است ظاهر می‌شوند. همچنین این نانو ذرات دارای نقطه جوش ۱۷۰۰ درجه سانتی گراد و نقطه ذوب ۱۴۷۳ درجه سانتی گراد می‌باشد. نانو ذرات اکسید تنگستن به عنوان رنگ دهنده و رنگدانه در سرامیک‌های مختلف و سایر مواد مرکب استفاده می‌شود. آلیاژها می‌توانند هنگام تولید اشکال خاصی از فلزات تنگستن و آلیاژهای تنگستن استفاده شود. ذخیره اطلاعات برای تولید دستگاه‌های ذخیره سازی حافظه با چگالی

بالا استفاده می شود. نانوذرات اکسید در پارچه ها و منسوجات ضد آتش استفاده می شود. از آن به عنوان کاتالیزور و در تصفیه فاضلاب استفاده می شود (فو و همکاران، ۲۰۰۸).

کیتین یک پلی ساکارید طبیعی است و به طور برجسته در پوست سخت پوستانی مثل خرچنگ و میگو، کوتیکول حشرات و دیواره سلولی قارچ ها یافت می شود. تاریخچه کیتین و کیتوسان به قرن ۱۱ برمی گردد. برای اولین بار یک دانشمند فرانسوی به نام براکونوت، کیتین را از قارچ استخراج کرد. سپس روت کیتوسان را از فرآیند استیل زدایی بازی کیتین در حضور هیدروکسید پتاسیم به دست آورد و در نهایت ساختار آن به طور کامل کشف شد. کیتین با فرمول شیمیایی $(C_8H_{13}O_5N)$ یک پلی ساکارید طبیعی است که پلیمر بلندی از گلوکز آمین مشتقی از گلوکز است و در جانداران متنوعی یافت می شود. این ماده سازنده اصلی دیواره سلولی اسکلت خارجی بندپایانی چون حشرات و خرچنگ ها و جاندارانی دیگر را تشکیل می دهد و همچنین نقش حفاظتی را برای جانوران ایفا می کند (کومار، ۲۰۰۴) کیتوسان، پلی ساکاریدی طبیعی، مشابه ساختار سلولز است و از استیل زدایی کیتین به دست می آید که یک پلیمر کاتیونیک محسوب می شود و به واسطه دی استیلاسیون، در اثر حرارت دادن کیتین در هیدروکسید سدیم حاصل می گردد. درجه دی استیلاسیون که نسبت به گروه های استیل گلوکز آمین به گروه های آمین موجود در ساختار کیتوسان نشان می دهد عامل مهمی در میزان حلالیت و سایر خواص کیتوسان محسوب می گردد. کیتوسان های تجاری معمولاً درصد دی استیلاسیون بالای ۶۰ درصد و وزن مولکولی بین ۱۶ هزار تا ۱ و ۲ میلیون دالتون می باشد (کاتلت، ۲۰۰۱). خواص کیتوسان را میتوان از دو جنبه زیر مورد بررسی قرار داد. خواص شیمیایی کیتوسان: از نظر شیمیایی، می توان گفت که کیتوسان پلیمری خطی است و دارای گروه های آمین و هیدروکسیل فعال می باشد. مطالعات زیادی در زمینه کاهش اثرات سرب به علت سنگینی آپرون های موجود توسط پژوهشگران از طریق نصف کردن مقدار سرب به کار رفته در آپرون ها انجام شد که البته به دنبال آن اثر حفاظتی آپرون ها تا حدی کاهش یافت. در ادامه مطالعاتی بر روی مواد جایگزینی از جمله پلی اتیلن، تنگستن و بیسموت انجام شد. همچنین، در سال ۲۰۰۸ توسط آرکا و همکاران با استفاده از ترکیبی سبک وزن ساخته شده از ورقه های تک لایه و دو لایه از جنس تنگستن و آنتیموان مطالعاتی صورت گرفت و تضعیف مناسبی مشاهده شد. در تحقیق دیگری که توسط ویتج و همکاران در سال ۲۰۱۳ انجام شد مقایسه ای بین تضعیف توسط آپرون های حاوی قلع ۲۰٪ بیسموت و ۸۰٪ قلع با آپرون های سری صورت گرفت که نشان داد آپرون های حاوی قلع تضعیف کمتری نسبت به سرب و قلع/بیسموت دارند و قلع/بیسموت به مقدار کمی دوز سطحی را افزایش می دهد (آرکا، ۲۰۰۸) (ویتج، ۲۰۱۳). در این پروژه تحقیقاتی حاضر تلاش شد برای اولین بار یک پارچه محافظ سبک وزن با استفاده از ترکیب نانوذرات اکسید بیسموت و کیتوسان استخراج شده از پوست میگو در بستری از پلیمر محافظ ساخته شود. این پارچه علاوه بر مقرون به صرفه بودن و تضعیف اشعه ایکس، دوستدار محیط زیست می باشد.

۲- مواد و روش ها

۲-۱- سنتز نانو ذرات اکسید بیسموت به روش سل- ژل

ابتدا ۴/۸۵ گرم از نیترات بیسموت ۵ آبه را در ۴۲/۲ میلی لیتر محلول نیتریک اسید غلیظ حل شد. سپس ۲ گرم اسید سیتریک به آرامی به محلول اضافه و زمان داده شد تا محلول شفاف حاصل شود. در آخر ۲/۶ گرم سورفکتانت پلی اتیلن گلیکول ۶۷۵ درصد وزنی به محلول اضافه شد. محلول درون سانتریفیوژ با سرعت ۳۰۰ دور بر دقیقه و دمای آزمایشگاه به مدت ۳ ساعت قرار داده شد. سپس محلول در بوته چینی ریخته شد و مدت ۱ ساعت در دمای ۱۲۰ درجه سانتی گراد قرار گرفت تا تبخیر به صورت کامل انجام شود. جهت خالص سازی بیشتر با آب مقطر و اتانول شسته شد. و به مدت ۳۰ دقیقه در دمای ۱۸۰ درجه سانتی گراد داخل آون قرار گرفت تا خشک شود و سپس تحت دمای ۵۰۰ درجه سانتی گراد در کوره قرار گرفت تا کلسینه شدن صورت بگیرد.

۲-۲- مراحل آماده سازی نانوذرات اکسید تنگستن

روش سنتز نانوذرات اکسید تنگستن به روش ته نشینی و هیدروترمال انجام شد. برای این کار تنگستن پنج اکسید به عنوان منبع تنگستن برای ساخت نانوذرات اکسید تنگستن در حلال آب استفاده شد، ۰/۱ مول تنگستن پنج اکسید را در ۱۰۰ میلی لیتر آب حل شد. محلول حاوی تنگستن را به یک سیستم اتوکلاو از جنس استیل ضدزنگ منتقل کرده و شرایط فشار و دما به گونه ای تنظیم می شوند که فرآیند ته نشینی و رسوب گذاری نانوذرات اکسید تنگستن انجام شود. اتوکلاو در آون تحت دمای ۱۲۰ درجه سانتیگراد و فشار بالا به مدت ۱ ساعت قرار گرفت. در شرایط هیدروترمال، تنگستن از محلول ته نشین می شود و به صورت نانوذرات اکسید تنگستن در سیستم تشکیل می شود. پس از اتمام فرآیند ته نشینی، نانوذرات اکسید تنگستن از محلول جدا می شوند، آن ها توسط سانتریفیوژ شستشو داده شدند تا مواد اضافی از روی سطح ذرات حذف شد. نانوذرات اکسید تنگستن در آون در دمای ۸۰ درجه سانتی گراد به مدت ۲۴ ساعت گرفت تا کاکالا خشک شوند و به صورت پودری جمع آوری شوند.

۳-۲- مراحل آماده سازی چسب کیتوسان

کیتوسان با جرم مولکولی بالا از شرکت البرز نانو تجهیز رایان خریداری شد، سپس ۲ گرم از کیتوسان به ۱۰۰ میلی لیتر محلول استیک اسید ۱ درصد اضافه شد و به خوبی همزده شد و به شکل یک ترکیب ژله ای غلیظ درآمد. البته شایان ذکر است که خود کیتوسان علاوه بر ایجاد اتصال نانو ذرات به پارچه خود نیز در برابر تشعشعات رادیواکتیو مقاومت دارد.

۴-۲- ساخت پارچه مقاوم به تشعشع با نانوذرات و چسب کیتوسان

برای ساخت پارچه و بررسی مقاومت آن سپس مراحل انتقال نانو ماده به سطح پارچه انجام گردید. پارچه کتان به علت جذب بالای مواد همچنین با رنگ تیره به علت جذب بالای نوری آن انتخاب گردید. چهار عدد پارچه ۱۰ در ۱۰ سانتیمتر برش داده شد که ضخامت هر چهار پارچه برش داده شده جهت پوشش دهی با سه بار اندازه گیری و میانگین گیری تقریباً یکسان و برابر μm ۱۳۱۰ گزارش گردید. سپس محلول حاوی نانوماده و کیتوسان به عنوان عامل چسبنده (نسبت ۷۰ درصد پودر و ۳۰ درصد چسب کیتوسان) توسط اسپری بادی به سطح پارچه منتقل گردید. نمونه ها شامل چهار نوع پارچه بدون پوشش، پارچه حاوی نانوذرات اکسید بیسموت، پارچه حاوی نانوذرات اکسید تنگستن و پارچه حاوی ترکیب نانوذرات اکسید بیسموت و اکسید تنگستن (به نسبت ۱ به ۱) تهیه شد. تمامی نمونه ها در درون آون با دمای ۵۰-۶۰ تا درجه به مدت ۸ ساعت قرار گرفت تا به خوبی خشک شوند. سپس پارچه جهت انجام تست های مقاومت در مقابل تشعشعات رادیواکتیو با دستگاه شمارنده گایگر مولر به مرکز تحقیقات سازمان انرژی اتمی تهران ارسال گردید. در روند اندازه گیری ها، پارچه ها بین آشکارساز و چشمه تابشی Sr قرار گرفت، که فاصله آشکارساز تا پارچه ها ۱۰cm و فاصله چشمه تا پارچه ها ۲cm در نظر گرفته شد. روش دوزیمتری جاذب اشعه ایکس برای پارچه محافظ با استفاده از نانوذرات اکسید بیسموت و نانوذرات اکسید تنگستن تهیه شد. فاصله بین لامپ مولد و پروب را به ۱۰۰ سانتیمتر تنظیم کرده و نمونه پارچه محافظ را در فاصله ۵۰ سانتیمتری از لامپ قرار داده شد. برای تایید سنتز صحیح مواد تهیه شده از آنالیز پراش اشعه ایکس (XRD) دانشگاه امیرکبیر مدل EQUINOX3000 استفاده شد. برای تعیین مشخصات و خصوصیات ریخت‌شناسی و تعیین ساختار میکرو جاذب از دستگاه‌های میکروسکوپ الکترونی روبشی (SEM مدل TESCAN 3MIRA) استفاده شد.

۳- بحث و نتایج

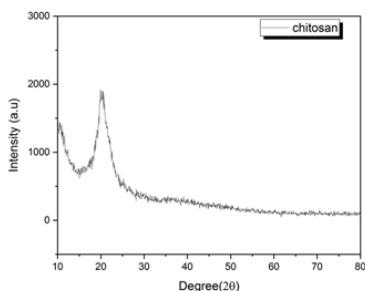
۳-۱- آنالیزهای مشخصه یابی

الف- آنالیز XRD کیتوسان: شکل ۱ الگوی پراش اشعه ایکس را برای نمونه کیتوسان نشان می دهد. الگوی پراش کیتوسان استخراجی حاصل از آنالیز XRD در زوایای ۱۰ و $2\theta = 20$ درجه نشان دهنده ساختار کریستالی کیتوسان است که با کارهای دیگران مطابقت دارد. لازم به ذکر است که قله های الگوی پراش اشعه ایکس به دلیل اندازه متوسط کریستالیت بسیار کوچکشان اندکی عریض و پهن هستند.

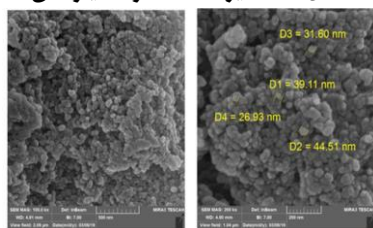
ب- آنالیز XRD کیتوسان: شکل ۲ تصاویر FESEM مربوط به نمونه نانوکیتوسان در بزرگنمایی های ۲۰۰ هزار برابر و ۱۰۰ هزار برابر قابل مشاهده است که تایید کننده تشکیل ذرات کروی کیتوسان با ابعاد نانومتری است.

ج- آنالیز نانوذرات اکسید بیسموت: در شکل ۳ ساختار بلوری نانوذرات اکسید بیسموت توسط پراش پرتو ایکس در زوایای بین ۱۰ تا ۸۰ بررسی شد. بر اساس این نتایج پیکهای مشخصه با الگوی استاندارد نانوذرات آلفا-اکسید بیسموت $\alpha\text{-Bi}_2\text{O}_3$ با شماره ۴۱-۱۴۴۹ JCPD تطابق دارد.

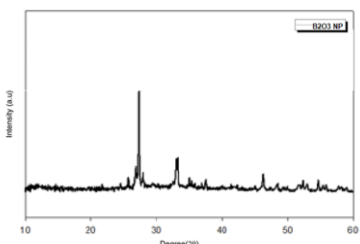
د- آنالیز نانوذرات اکسید تنگستن: در شکل ۴ ساختار بلوری نانوذرات اکسید تنگستن توسط پراش پرتو ایکس در زوایای بین ۱۰ تا ۸۰ بررسی شد. بر اساس این نتایج پیکهای مشخصه با الگوی استاندارد نانوذرات اکسید تنگستن با شماره ۸۳-۰۹۵۰ JCPD تطابق دارد.



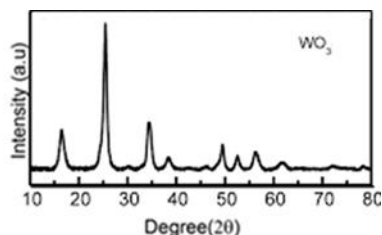
شکل ۱- آنالیز XRD نمونه کیتوسان



شکل ۲- آنالیز FESEM نمونه نانوذرات کیتوسان



شکل ۳- آنالیز XRD نمونه نانوذرات اکسید بیسموت



شکل ۴- آنالیز XRD نمونه نانوذرات اکسید تنگستن

$$D = 0.9\lambda / \beta \cos \theta \quad (1)$$

تمامی الگوهای پراش، توسط نرم‌افزار X'Pert High Score و با استفاده از الگوهای استاندارد مورد ارزیابی قرار گرفتند. برای محاسبه اندازه دانه یا همان کریستالیت از معادله دبی شر استفاده شد. در رابطه (۳-۱)، D میانگین اندازه دانه یا کریستالیت بر حسب نانومتر و λ طول موج اشعه ایکس بر حسب نانومتر (۰/۱۵۴) و β پهنای بلندترین پیک در نصف ارتفاع بر حسب رادیان و θ زاویه تفرق بلندترین پیک بر حسب درجه است (برهانی، ۱۳۹۶). در جدول ۱ محاسبه اندازه ذرات نمونه های تهیه شده آورده شد که مشخص شد که اندازه ذرات زیر ۱۰۰ نانومتر هست و تایید کننده نانو سائز بودن ذرات است.

جدول ۱- محاسبه اندازه ذرات نمونه های تهیه شده

نام نمونه	زاویه 2θ	$\cos \theta$	نانومتر λ	پهنای پیک در نصفه ارتفاع رادیان β	$\beta \cos \theta$	اندازه دانه بر حسب نانومتر D
نانوذرات اکسید بیسموت	۲۸	۰/۹۷۰	۰/۱۵۴	۰/۰۰۶	۰/۰۰۵	۲۷/۷۲
نانوذرات اکسید تنگستن	۲۵	۰/۹۷	۰/۱۵۴	۰/۰۰۲	۰/۰۰۲	۶۰

۳-۲- نتایج شمارنده گایگر مولر

در محاسبات معمولاً ضخامت x بر حسب cm تعریف می شود که μ نیز عکس سانتیمتر یا cm^{-1} تعریف می گردد. در جدول ۲ نتایج اندازه گیری ضریب تضعیف چهار نوع پارچه گزارش گردیده است.

جدول ۲- نتایج اندازه گیری ضریب تضعیف دو نوع پارچه و نانومواد

نمونه	ضخامت پارچه (۲ لایه) / سانتی متر	شدت پرتو در غیاب پارچه I_0	شدت پرتو در حضور پارچه I	کاهش نسبی پرتو I/I_0	درصد بهبود نسبت به پارچه معمولی
پارچه بدون پوشش	۰/۱۳۱	۰/۱۴۱	۰/۰۲۸	۰/۱۹	-
پارچه با پوشش نانوذرات اکسید بیسموت	۰/۱۳۱	۰/۱۴۱	۰/۰۱۳	۰/۰۹۲	۵۱٪
پارچه با پوشش نانوذرات اکسید تنگستن	۰/۱۳۱	۰/۱۴۱	۰/۰۱۱	۰/۰۷۸	۵۸٪
پارچه با پوشش نانوذرات اکسید بیسموت+ نانوذرات اکسید تنگستن	۰/۱۳۱	۰/۱۴۱	۰/۰۰۸	۰/۰۵۶	۷۰٪

نتایج اندازه گیری نشان میدهد که برای پارچه معمولی (۲ لایه روی هم) پرتوها پس از عبور از نمونه تغییر محسوسی مشاهده نمی شود. این در حالی است که برای نمونه دارای نانو پوشش اکسید بیسموت تحت همین شرایط شدت نهایی پرتوها پس از عبور از نمونه به $9/2\%$ از مقدار اولیه اش کاهش می یابد. به عبارتی نمونه های نانوذرات اکسید بیسموت در مقایسه با نمونه معمولی به میزان 51% عملکرد بهتری در تضعیف پرتوهای بتای چشمه استرانسیوم-۱۶ ارائه می دهند. همچنین برای نمونه نانوذرات اکسید تنگستن شدت نهایی پرتوها به میزان $7/8\%$ پرتو اولیه اش کاهش می یابد و برای نمونه ترکیبی نانو ذرات اکسید بیسموت/اکسید تنگستن به $5/6\%$ درصد کاهش یافت. برای نمونه ترکیبی اکسید تنگستن و اکسید بیسموت در مقایسه با نمونه معمولی 70% درصد بهبود حاصل شده است. که نشان دهنده بهره گیری از خاصیت هم افزایی نانوذرات اکسید بیسموت و اکسید تنگستن است و عملکرد صحیح آن را نشان می دهد.

۳-۳- نتایج روش دوزیمتری جاذب اشعه ایکس

روش دوزیمتری جاذب اشعه ایکس برای پارچه محافظ با استفاده از نانوذرات اکسید بیسموت و نانوذرات اکسید تنگستن تهیه شد. فاصله بین لامپ مولد و پروب را به 100 سانتیمتر تنظیم کرده و نمونه پارچه محافظ را در فاصله 50 سانتیمتری از لامپ قرار داده شد. با استفاده از دستگاه دوزیمتری، تابش ایکس را ابتدا بدون استفاده از پارچه محافظ و سپس با استفاده از پارچه محافظ اندازه گیری شد. مقادیر تابش را با یکدیگر مقایسه کرده و نسبت جذب اشعه ایکس توسط پارچه محافظ را با گروه کنترل (که

ممکن است شامل یک نمونه بدون پارچه ساده) مقایسه شد. این نمونه‌ها برای ۱۰ بار انجام شد و میانگین گرفته شد. نتایج ارزیابی شدت اشعه ایکس برای نمونه‌های مختلف در جدول ۳ قابل مشاهده است.

جدول ۳. ارزیابی شدت اشعه ایکس در نمونه‌های مختلف

میانگین شدت اشعه	نمونه
$10^3 * 2/66$	پارچه بدون پوشش
$10^3 * 1/46$	پارچه با پوشش نانوذرات اکسید بیسموت
$10^3 * 1/39$	پارچه با پوشش نانوذرات اکسید تنگستن
$10^3 * 1/22$	پارچه با پوشش نانوذرات اکسید بیسموت+ نانوذرات اکسید تنگستن

با توجه به نتایج به دست آمده، پارچه با پوشش نانوذرات اکسید بیسموت+نانوذرات اکسید تنگستن نشان داد که جذب بهتری نسبت به سایر نمونه‌ها دارد. این نتایج نشان می‌دهند که ضریب جذب اشعه ایکس توسط مواد با نانوذرات بیسموت بیشتر از پارچه بدون پوشش است. همچنین پارچه حاوی نانوذرات اکسید تنگستن جذب بیشتری نسبت به نانوذرات اکسید بیسموت داشته است. در حفاظ‌های کامپوزیتی، استفاده از ذرات ریزتر، و در حالت ایده‌آل نانومتری، به عنوان پرکننده می‌تواند موجب افزایش استحکام مکانیکی، افزایش ضریب تضعیف، افزایش مقاومت در فرایند پرتوگیری، افزایش انعطاف پذیری و کاهش وزن و حجم گردد. در توضیح این موارد اینکه، افزایش زیاد درصد فاز پرکننده باعث کاهش استحکام مکانیکی کامپوزیت می‌گردد و همین مسأله حداکثر درصد افزودنی را با محدودیت عملی مواجه می‌کند. از طرفی، در شرایطی که نسبت وزنی پرکننده ثابت بماند، کوچک شدن اندازه ذرات پرکننده استحکام مکانیکی کامپوزیت را افزایش می‌دهد (فو و همکاران، ۲۰۰۸). بر این اساس با استفاده از ذرات ریزتر، بدون این که از حداقل استحکام لازم عدول کنیم، امکان افزایش درصد وزنی فلز سنگین در حفاظ کامپوزیتی فراهم می‌شود که به معنی افزایش ضریب تضعیف جرمی کامپوزیت می‌باشد. در نتیجه برای تأمین یک مقدار جذب مشخص میتوان از مقدار ماده کمتری (هم از نظر وزنی و هم جرمی) برای ساخت حفاظ استفاده کرد (نامیار و همکاران، ۲۰۱۲).

مزیت دیگر استفاده از نانوذرات در حفاظ‌های کامپوزیتی به افزایش ضریب جذب خطی گاما در انرژی‌های پایین به دلیل افزایش در زاویه پراکندگی باز می‌گردد (آزمار و همکاران، ۲۰۱۳). افزایش مقاومت حفاظ در پرتوگیری (تیواری و همکاران، ۲۰۱۲) و حفظ انعطاف پذیری پلیمر به دلیل توزیع یکنواخت تر استرس در کامپوزیت و کم شدن تمرکز استرس در نقاط مختلف آن (آجاییان و همکاران، ۲۰۰۳) موارد دیگری از فواید استفاده از پرکننده‌های نانومتری در ساخت حفاظ میباشند. در راستای حفاظت در برابر پرتو، کالوکشین و همکارانش از پایه‌ی پلیمری پلی‌اتیلن با وزن مولکولی بالا و نانو ذرات C4B، BN، Pb به عنوان پرکننده استفاده کردند که نانو - کامپوزیت‌های به دست آمده منجر به افزایش ضریب پراکندگی اشعه‌ی ایکس تا ۴۰٪ شده است (کالوشکین و همکاران، ۲۰۱۲).

هاریش و همکارانش اثر ترکیب سه اکسید سرب PbO، PbO_۲، Pb_۲O_۳ را روی کامپوزیت پلیمری رزین ایزوفتالیک در تضعیف پرتوهای گاما بررسی کردند و مشاهده کردند که با افزایش میزان پرکننده میزان تضعیف افزایش پیدا می‌کند. همچنین کامپوزیت PbO+ISO به نسبت دو کامپوزیت دیگر از تضعیف بهتری برخوردار بوده که دلیل آن بالاتر بودن درصد پرکننده ی Pb درون ماتریس کامپوزیت معرفی کرده اند و نیز به این نتیجه دست یافتند که توزیع یکنواخت پرکننده ی اکسید سرب اثربخشی بهتری در کارایی حفاظت کامپوزیت دارد (هاریش و همکاران، ۲۰۱۲). اید از پایه‌ی پلیمری اپوکسی‌فیل و اکسید سرب به عنوان پرکننده استفاده کرده است. نتیجه‌ی حاصله تولید مواد پلیمری با وزن سبک و مقاومت مکانیکی و حرارتی خوب، با حفاظت خوب در برابر پرتوهای ایکس در محدوده ۶۶۲ تا ۱۳۳۷ کیلو الکترون ولت بوده است (اید و همکاران، ۲۰۱۳). ایوانوف و همکارانش حفاظی از جنس ماده ی پلیمری پلی اتیلن با وزن مولکولی بالا به همراه تنگستن و کرنیکاریید نانوکامپوزیت ساختند و نتیجه گرفتند که با افزایش پرکننده ضریب تضعیف افزایش پیدا می‌کند (ایوانوف و همکاران، ۲۰۱۴).

لیو به همراه همکارانش با ساخت میکروکامپوزیت و نانوکامپوزیت پلیمری /AA)Gd ۳ NA) به این نتیجه دست یافتند که استفاده از نانوذرات قابلیت حفاظت را افزایش می‌دهند (لیو و همکاران، ۲۰۰۴). بوتلهو به همراه همکارانش تأثیر اندازه ی میکرو و نانوذرات پرکننده ی اکسید مس درون کامپوزیت را روی تضعیف پرتوی گامای کم انرژی بررسی کردند. آنها به این نتیجه رسیدند که در انرژی‌های پایین میزان تضعیف اندازه ی نانو از میزان تضعیف ناشی از اندازه‌ی میکرو بیشتر است (بوتلهو و همکاران، ۲۰۱۱). نورآزمان و همکارانش از اپوکسی به عنوان پایه‌ی پلیمری و از اکسید تنگستن به عنوان عامل جاذب استفاده کردند و به این نتیجه رسیدند که اندازه‌ی نانو و میکرو پرکننده‌ها در انرژی‌های ۱۰-۳۰ کیلو الکترون ولت در میزان تضعیف پرتو بسیار مؤثر و در انرژی‌های بالاتر این تأثیر کمتر می‌شود (نورآزمان و همکاران، ۲۰۱۳).

براساس مطالعات نامیار و همکاران در سال ۲۰۱۲ نانو کامپوزیت لاستیک سیلیکون - اکسید بیسموت حاوی ۷۰ درصد وزنی اکسید بیسموت با ضخامت ۰/۲۱۵ سانتیمتر و ۳ چگالی ۸۴/۲۲cm/g و ۸۲/۱۵ درصد فوتون‌های چشمه‌ی آمرسیوم را جذب می‌کند که نتایج شبیه سازی، جذب ۲۶/۸۴ درصدی فوتون‌های چشمه‌ی آمرسیوم را نشان می‌دهد. در این نانو کامپوزیت علت افزایش

درصد تضعیف نسبت به نمونه ی ۶۰ درصدی اکسید بیسموت، افزایش ضخامت و چگالی است. با افزایش درصد پرکننده ضریب تضعیف جرمی به علت افزایش میزان تضعیف، افزایش پیدا می کند (نامیار و همکاران، ۲۰۱۲).

۴- نتیجه گیری

در این پژوهش پارچه ای مقاوم با استفاده از نانوذرات اکسید بیسموت، اکسید تنگستن و چسب کیتوسان در برابر تشعشعات رادیو اکتیو (بتا) و اشعه ایکس تهیه شد. مقاومت پارچه در برابر تشعشعات رادیو اکتیو (بتا) با استفاده از تابشگر گایگرمولر اندازه گیری شد و ملاحظه شد که بهترین نتیجه مربوط به نمونه حاوی ترکیب نانوذرات اکسید بیسموت و اکسید تنگستن بود که توانست میزان تشعشعات را به میزان ۷۰٪ کاهش دهد. البته می توان با افزایش تعداد لایه های پارچه و پوشش این میزان را افزایش داد. همچنین مشخص شد که اکسید بیسموت و اکسید تنگستن بدلیل عدد اتمی بالای بیسموت و تنگستن و خاصیت دیامغناطیسی آن، جذب اشعه ایکس را با کارایی بالاتری نسبت به سرب انجام می دهند و سمیت کمتری دارند. همچنین با انجام تست XRD برای سه نمونه نانوذرات اکسید بیسموت و نانوذرات اکسید تنگستن و کیتوسان سنتز صحیح این سه مورد بررسی و تایید شد. به طور کلی، از مزایای این طرح میتوان به مقاوم بودن در برابر تشعشعات رادیو اکتیو، غیرسمی و زیست سازگار، چسبندگی فوق العاده بالا، وزن سبک، کاهش قدرت نفوذ تشعشعات رایواکتیو، هزینه پایین و استفاده از نانو ذرات به عنوان لایه بسیار نازک بر روی منسوجات اشاره کرد. از این پارچه می توان به عنوان یک جاذب اشعه ایکس و جاذب رادیواکتیو برای حرفه های مختلفی از جمله پزشکان، دندان پزشکان، کادر اتاق عمل و رادیولوژیست ها استفاده کرد تا از این طریق بهبود سلامت و ایمنی کارکنان را تضمین کرد.

منابع

1. Bulasubramanian D. Ultraviolet radiation and cataract. Jour OcaulPharmacolTher 2000;16(3): 285-97. World Health Organization. Ultraviolet Radiation. USA: WHO
2. Press; 1998.P.1-20.; Banrud H. Use of 4- short wave ultraviolet radiation for disinfection in operating rooms. Tidsskrift for den norskLaegeforening 1999; 119(18): 2670-3.
3. Khor, E. 2001. Chitin: fulfilling a biomaterials promise. Amsterdam: Elsevier Science. P.10.
4. ARCA. H. Ç, ŞENEL. S, (2008), Chitosan Based Systems for Tissue Engineering Part 1: Hard Tissues, FABAD J. Pharm. Sci., 33, 35-49.
5. L. Vojtech, Design of Radiofrequency Protective Clothing Containing Silver Nanoparticles, 5 (2013) 141-147. s Richard A. Scott, Textiles for Protection, 2005
6. Z. Yildiz, I. Usta, Investigation of the Electrical Properties and Electromagnetic Shielding Effectiveness of Polypyrrole Coated Cotton Yarns, 2 (2013) 32-37.
7. Kumar, M.N.V.R., Muzarelli, R.A.A., Muzarelli, C., Sashiwa, H., Domb, A.J. 2004. Chitosan chemistry and pharmaceutical perspectives. Chemical Reviews. 104(12): 6017-6084.
8. Chatelet, C., Damour, O., Domard, A. 2001. Influence of the degree of acetylation on some biological properties of chitosan films. Biomaterials. 22(3): 261-268.
9. R.F. Landel, L.E. Nielsen. Mechanical properties of polymers and composites. CRC Press, (1993).
10. S. Y. Fu, X. Q. Feng, B. Lauke, Y. W. Mai., Effects of particle size, particle/matrix interface adhesion and particle loading on mechanical properties of particulate-polymer composites. Composites Part B 39 (2008) 933-961.
11. L. Liu, H. Lei, Y. Cheng, Z. Wan, J. Ri-Guang, Z. Li-Qun. In situ reaction and radiation protection properties of Gd (AA) 3/NR composites. Macromolecular rapid communications 25, no. 12 (2004), 1197-
12. M.Z. Botelho, R. Künzel, E. Okuno, R.S. Levenhagen, T. Basegio, C.P. Bergmann. X-ray transmission through nanostructured and microstructured CuO materials. Applied Radiation and Isotopes 69.2 (2011), 527-530.
13. S.D. Kaloshkin, V.V. Tcherdyntsev, M.V. Gorshenkov, V.N. Gulbin. Radiation-protective polymer-matrix nanostructured composites. Journal of Alloys and Compounds, 536S (2012) S522-S526.
14. V. Harish, N. Nagaiah, H. G. Harish. Lead oxides filled isophthalic resin polymer composites for gamma radiation shielding applications. Indian Journal of Pure and Applied Physics 50, no. 11 (2012), 847-850.
15. S. Ivanov, S.M. Ivanov, S.A. Kuznetsov, A.E. Volkov, P.N. Terekhin, S.V. Dmitriev, V.V. Tcherdyntsev, M.V. Gorshenkov, A.A. Boykov. Photons transport through ultra-

- high molecular weight polyethylene based composite containing tungsten and boron carbide fillers. *Journal of Alloys and Compounds*. 586, (2014), S455-S458.
16. N.N. Azman, S. Siddiqui, and I.M. Low. Characterisation of micro-sized and nano-sized tungsten oxide-epoxy composites for radiation shielding of diagnostic X-rays. *Materials Science and Engineering: C*, 33(8), (2013), 4952-4957.
 17. S. Nambiar, J.T. Yeow. Polymer-composite materials for radiation protection. *ACS applied materials & interfaces* 4.11 (2012), 5717-5726.
 18. V. K. Tiwari, T. Shripathi, N.P. Lalla, P. Maiti. Nanoparticle induced piezoelectric, super toughened, radiation resistant, multi-functional nanohybrids. *Nanoscale*. 4, (2012), 167–175.
 19. S.D. Kaloshkin, V.V. Tcherdyntsev, M.V. Gorshenkov, V.N. Gulbin. Radiation-protective polymer-matrix nanostructured composites. *Journal of Alloys and Compounds*, 536S (2012) S522–S526.
 20. P.M. Ajayan, L.S. Schadler, P.V. Braun. *Nanocomposite Science and Technology*. WileyVCH: Weinheim, Germany, Polymer-Based and Polymer-Filled Nanocomposites, (2003).
 21. N.Z. Noor Azman, S.A. Siddiqui, R. Hart, I.M. Low. Effect of particle size, filler loadings and x-ray tube voltage on the transmitted x-ray transmission in tungsten oxide—epoxy composites. *Applied Radiation and Isotopes*. 71(1), (2013), 62-67.