

## پوشش دهی پارچه پنبه ای با نانوکامپوزیت بیسموت تنگستات دوپ شده با باریم و هیدروکسی آپاتیت برای بهبود خواص محافظتی در برابر پرتو و ویژگی های فیزیکی-راحتی

حانیه حق شناس جاریانی<sup>۱</sup>، ابوالفضل زارع<sup>۱\*</sup>، لیلا غلامزاده<sup>۲</sup>

<sup>۱</sup>دانشکده مهندسی نساجی، دانشگاه یزد، یزد، ایران

<sup>۲</sup>دانشکده فیزیک، دانشگاه یزد، یزد، ایران

a.zare@yazd.ac.ir

تاریخ دریافت ۱۴۰۴/۰۲/۰۵ تاریخ پذیرش ۱۴۰۴/۰۶/۲۷

### چکیده

در این مطالعه، نانو بیسموت تنگستات دوپ شده با باریم از طریق هیدروترمال تهیه گردید. به منظور مشخصه یابی نمونه، از طیف سنجی پراش پرتو ایکس (XRD و EDX) و میکروسکوپ روبشی تفاضلی انتشار میدانی (FESEM) استفاده شد. محلول آبی نمونه تهیه شده با غلظت های مختلف نانو بیسموت تنگستات دوپ شده با باریم همراه با هیدروکسی آپاتیت و پلی (وینیل الکل) از طریق روش پد-خشک-پخت بر روی پارچه های پنبه ای پوشش-دهی شدند. نتایج نشان داد که نمونه پنبه ای خام دارای بیشترین مقدار گذردهی هوا به مقدار ۱۵۷ سی سی/ثانیه و نمونه P10B40H20 با ۹۴ سی سی/ثانیه دارای کمترین میزان گذردهی هوا می باشند. همچنین رزین PVA بر روی نمونه ها، منجر به کاهش راحتی پارچه می گردد ولی نانوذرات بیسموت تنگستات دوپ شده با باریم و هیدروکسی آپاتیت، تأثیر بسزایی بر روی این فاکتور ندارند. نتایج حاصل از آزمایش محافظت در برابر پرتو نشان می دهد که افزایش هر سه ماده منجر به افزایش خاصیت محافظتی در برابر پرتو شده و در میان نقش افزایش نانوذرات بیسموت تنگستات دوپ شده با باریم قابل ملاحظه می باشد. بیشترین مقدار تضعیف اشعه رادیوم مربوط به نمونه P10B40H20 با درصد تضعیف ۷۳/۲۳ و کمترین تضعیف مربوط به نمونه خام با مقدار ۵۹/۵۸ درصد می باشد. همچنین نمونه های حاوی PVA دارای بالاترین ثبات شستشویی می باشند. واژگان کلیدی: پارچه پنبه ای، بیسموت تنگستات دوپ شده با باریم، روش پوشش دهی پد-خشک-پخت، محافظت در برابر تابش.

## Coating cotton fabric with barium-doped bismuth tungstate nanocomposite and hydroxyapatite to improve radiation protection and physical-comfort properties

Hanieh Haghshenas Jariani<sup>1</sup>, Abolfazl zare<sup>1</sup>, Leila Gholamzadeh<sup>2</sup>

<sup>1</sup>Department of Textile Engineering, Yazd University, Yazd, I.R. Iran

<sup>2</sup>Department of Physics, Yazd University, Yazd, I.R. Iran

a.zare@yazd.ac.ir

### Abstract

In this study, barium (Ba) doped nano-bismuth tungstate was prepared by the hydrothermal method. In order to characterize the sample, X-ray diffraction (XRD and EDX) and field emission scanning electron microscopy (FESEM) were applied. The aqueous solution of the prepared sample with different concentrations of nano-bismuth tungstate oxide doped with barium oxide along with hydroxyapatite (HAP) and poly (vinyl alcohol) (PVA) was coated on the cotton fabrics by the pad-dry-cure method. The results showed that the raw cotton sample had the highest air permeability of 157 cc/sec and the P10B40H20 sample had the lowest air permeability of 94 cc/sec. In the other hand, PVA resin on the samples leads to a decrease in fabric comfort, but barium-doped bismuth tungstate nanoparticles and hydroxyapatite do not have any significant effect on this factor. The radiation shielding results showed that the increase of three material concentrations led to an increase in the radiation shielding properties. The highest attenuation of radium radiation was found in the P10B40H20 sample with a 73.23 attenuation percentage, and the lowest attenuation was found in the raw sample with a percentage of 58.59. Also, samples containing PVA have the highest washing fastness.

Keywords: Cotton fabric, bismuth tungstate oxide doped with barium oxide, Pad-dry-cure coating technique, Radiation shielding.

## ۱- مقدمه

در سال‌های اخیر به دلیل پیشرفت در فناوری، کاربرد پرتوهای یونیزه‌کننده در نیروگاه‌های هسته‌ای، مراکز بهداشتی، هواضا و پزشکی (مانند توموگرافی، تصویربرداری تشخیصی، رادیوتراپی و غیره) به میزان قابل ملاحظه‌ای گسترش یافته است. اما حتی در سطوح متوسط، بسیاری از انواع پرتوها تأثیرات منفی اجتناب‌ناپذیری بر زندگی و بدن موجودات زنده داشته و خطرات موجود بر سلامت جامعه را افزایش می‌دهند. در نتیجه، استفاده از روش‌های مناسب محافظت در برابر پرتو، نقش اساسی در افزایش سلامتی موجودات زنده ایفا می‌کند [۵-۱]. در همین راستا، محققان، مواد کامپوزیت پلیمری تقویت‌شده حاوی موادی با عدد اتمی بالا را تولید کرده‌اند که توانایی جذب بالایی دارند [۸-۶]. مزایای زیادی در استفاده از پلیمرها به عنوان مواد محافظ در برابر تشعشع وجود دارد. در مقایسه با مواد محافظ مرسوم، آنها مواد سبکی هستند. بنابراین، آنها یک راه حل مطلوب برای کاربردهایی هستند که وزن در آنها یک عامل مهم محسوب می‌شود، به عنوان مثال، در هواضا یا مراقبت‌های بهداشتی [۹-۱۱].

می‌توان ویژگی‌های پلیمرها را طوری تنظیم کرد که برای انواع کاربردهای محافظ در برابر تشعشع مناسب باشند. محققان می‌توانند کیفیت تضعیف یک پلیمر را بهبود بخشند، برای مثال، با تغییر ساختار شیمیایی پلیمر برای افزایش یا کاهش مقاومت آن در برابر نوع خاصی از تابش [۱۲-۱۵]. نامبیار<sup>۱</sup> و همکارانش [۱۶] کامپوزیت‌های

پلی‌دی‌متیل‌سیلوکسان<sup>۲</sup> (PDMS) را با مخلوط‌های مختلف ترکیباتی با عدد اتمی بالا، از جمله اکسید تنگستن بیسموت<sup>۳</sup> ( $\text{Bi}_2(\text{WO}_4)_3$ ) و اکسید بیسموت ( $\text{Bi}_2\text{O}_3$ ) برای محافظت در برابر پرتو ایکس تهیه کردند. مشخص شد که یک کامپوزیت PDMS با ۳۶/۳۶ درصد وزنی  $\text{Bi}_2(\text{WO}_4)_3$  در مقایسه با موادی فقط حاوی PDMS، ۵۰ درصد افزایش تضعیف داشته است. آنها در کار خود به این نتیجه رسیدند که یک نمونه کامپوزیت با ۶۰/۶ درصد وزنی  $\text{Bi}_2\text{O}_3$  بهترین محافظت را با تضعیف ۹۲/۵ درصد برای پرتو تولید شده با توان ۶۰ کیلوولت ارائه می‌دهد.

ستن<sup>۳</sup> و همکارانش [۱۷] قابلیت جذب تابش کامپوزیت‌های پلیمری تقویت‌شده با قلع، آنتیموان، بیسموت و تنگستن را بررسی کردند. آنها اظهار داشتند که استفاده از این کامپوزیت‌های پلیمری مختلف برای محدوده‌های تشخیصی پرتو ایکس مناسب است و کامپوزیت‌های مورد مطالعه، نمونه‌های جایگزین برای لباس‌های مبتنی بر سرب هستند.

مغربی<sup>۴</sup> و همکارانش [۱۸] از دو پارچه نایلون و پلی‌استر به عنوان پایه اولیه منسوج استفاده نموده و آنها را با مخلوط پلی‌وینیل کلرید<sup>۵</sup> (PVC) همراه با درصد‌های مختلف میکرو اکسید بیسموت لایه‌نشانی کردند. نتایج نشان داد که  $\text{Bi}_2\text{O}_3$  در یک ماتریس رزین مناسب می‌تواند روی پارچه‌ها پوشش داده شود و این کامپوزیت‌ها موادی مناسب برای تولید پیش‌بندهای انعطاف‌پذیر، پوشیدنی و

2- Polydimethylsiloxane

3 - Çetin

4- Maghrebi

5-Poly(Vinyl chloride)

1- Nambiar

همچنین با افزایش میکروذرات، لایه نیم جذب (HVL)<sup>۵</sup>، لایه یک‌دهم جذب<sup>۶</sup> (TVL) کاهش می‌یابد.

نانوکامپوزیت‌های پلیمر/اکسید فلزی به دلیل خواص ویژه خود مانند سبک بودن مواد مورد استفاده برای محافظت، توجه زیادی را به عنوان جایگزینی برای محافظ‌های سنتی به خود جلب کرده‌اند [۱۴]. با ترکیب فناوری نانو با توجه به مساحت سطحی بالای نانومواد و نانوالیاف، و همچنین عناصر با عدد اتمی بالا در کامپوزیت‌ها، منسوجاتی سبک و مقاوم در برابر انواع تابش‌ها تولید شدند [۲۱-۲۳]. نامبار و همکارانش PDMS با نانوپودرهای ۹۰ تا ۱۲۰ نانومتر  $\text{Bi}_2\text{O}_3$  مخلوط و نانوکامپوزیت‌هایی با درصدهای مختلف وزنی/وزنی اکسید بیسموت به کل ماده کامپوزیتی (۲۸/۵۷، ۳۷/۵ و ۴۴/۴۴ درصد) تولید نمودند. آن‌ها دریافتند که یک نانوکامپوزیت PDMS/ $\text{Bi}_2\text{O}_3$  با ۴۴/۴۴ درصد وزنی  $\text{Bi}_2\text{O}_3$  و ۳/۷۳ میلی‌متر ضخامت، قابلیت تضعیف کامل در برابر تابش اشعه ایکس تولیدشده با ولتاژ ۶۰ کیلوولت را دارد که این ولتاژ عموماً در فرایندهای رادیولوژی مورد استفاده قرار می‌گیرد [۲۴].

آساری شیک و غلامزاده، کامپوزیت‌های پلی(وینیل کلرید) PVC حاوی ترکیبات سرب، بیسموت و تنگستن، آماده و قابلیت آن‌ها را در محافظت از اشعه ایکس تشخیصی (۴۰ تا ۱۰۰ کیلوولت) مورد مطالعه قرار دادند. بدین منظور کامپوزیت‌های پلیمری حاوی ۲۰ و ۴۰ درصد وزنی پودرهای نانو یا میکروذرات (با ضخامت حدود ۱ میلی‌متر) تهیه شدند. نتایج نشان داد که کامپوزیت‌های حاوی

بدون سرب می‌باشند. پارچه‌های پلی‌استر پوشش داده شده با بیش از ۵۰٪  $\text{Bi}_2\text{O}_3$  توانایی محافظتی بالایی را برای اشعه ایکس عبوری نشان دادند.

آیگان و آمار<sup>۱</sup> [۱۹] پارچه‌ای سبک و راحت با قابلیت حفاظت در برابر تشعشعات یونیزه‌کننده تولید نمودند. آن‌ها، از پودر اکسید بیسموت (III) ( $\text{Bi}_2\text{O}_3$ ) و پلی(اتیلن ترفتالات)<sup>۲</sup> (PET) برای پوشش‌دهی منسوج اسپان‌باند پلی‌استر<sup>۳</sup> (PES) با استفاده از فناوری الکترورسی استفاده نمودند. نتایج نشان داد که عملکرد حفاظتی در برابر تابش یونیزه‌کننده اسپان‌باند‌های PES پوشش داده شده با الیاف نانوکامپوزیت  $\text{Bi}_2\text{O}_3/\text{PET}$  بهتر از اسپان‌باند‌های پوشش داده شده با نانوالیاف PET بدون  $\text{Bi}_2\text{O}_3$  بود. تضعیف اشعه ایکس با افزایش مقادیر  $\text{Bi}_2\text{O}_3$  افزایش یافت. آن‌ها بیان داشتند که اسپان‌باند‌های PES پوشش داده شده با الیاف نانوکامپوزیت  $\text{Bi}_2\text{O}_3/\text{PET}$  به صورت چندلایه، منسوجات جایگزین مناسبی برای تولید لباس‌های محافظ پوشیدنی هستند. زارع<sup>۴</sup> و همکاران [۲۰] پژوهشی را با هدف ساخت یک سپر محافظ مقرون به صرفه، سازگار با محیط زیست، سبک‌وزن و راحت انجام دادند. در ابتدا پارچه‌های پلی‌استر با PVA که حاوی میکروذرات بیسموت ( $\text{Bi}_2\text{O}_3$ ) و اکسید باریم (BaO) بودند در نسبت‌های وزنی ۳۰ و ۵۰ درصد پوشانده شدند. نتایج نشان داد که پارچه پوشش‌داده‌شده با ۳۰ درصد وزنی BaO بیشترین میزان تضعیف را دارد و ضرایب تضعیف با افزایش اکسیدهای باریم و بیسموت افزایش می‌یابد.

1 - Aygün and Alma

2- Poly(ethylene terephthalate)

3 - Polyester

4- Zare

5- half-value layer

6- tenth-value layer

نانوذرات از برخی جهات از کامپوزیت‌های مشابه حاوی میکروذرات در محافظت از اشعه ایکس عملکرد بهتری دارند. همچنین در میان کامپوزیت‌های حاوی نانوذرات، کامپوزیت‌های حاوی  $\text{Bi}_2\text{O}_3$  و  $\text{PbO}$  عملکرد مشابهی داشتند [۲۵]. در پژوهشی بایومی<sup>۱</sup> و همکارانش [۲۶] پوششی از نانومواد سرب تنگستات ( $\text{PbWO}_4$ ) و بیسموت تنگستات ( $\text{Bi}_2\text{WO}_6$ ) را بر روی منسوج مخلوط پنبه-پلی-استر استفاده نمودند. به منظور افزایش پایداری این نانومواد بر روی بستر مذکور از کیتوسان به عنوان یک ماده بیوپلیمر استفاده شد. نتایج نشان داد که نمونه‌های نانوکامپوزیتی تولیدشده با درصد‌های مختلف  $\text{PbWO}_4$  و  $\text{Bi}_2\text{WO}_6$  (۷۰-۰ درصد) دارای خواص حفاظتی عالی در برابر پرتوهای ایکس و گاما می‌باشند. همچنین مشخص شد که پارچه‌های محافظ پوشش داده شده حاوی نانوذرات  $\text{Bi}_2\text{WO}_6$  خواص حفاظتی بهتری نسبت به نانوذرات  $\text{PbWO}_4$  دارند.

غلامزاده<sup>۲</sup> و همکارانش [۲۷] در سال ۲۰۲۲ به منظور محافظت در برابر اشعه ایکس، نانوکامپوزت‌های بیسموت تنگستات دوپ شده و دوپ نشده با باریم را همراه با PVC به عنوان ماتریس کامپوزیت، تهیه نمودند. بدین منظور نانوذرات بیسموت تنگستات با درصد‌های مختلفی از باریم، دوپ شده و با غلظت ۱۵ درصد وزنی با PVC مخلوط شدند. سپس از نمونه‌ها، صفحه‌ای به ضخامت حدود ۲ میلی‌متر آماده و این نمونه‌ها در معرض لامپ اشعه ایکس با ولتاژهای ۴۰، ۸۰ و ۱۲۰ کیلوولت، ۱۰

میلی‌آمپر ساعت و فاصله ۴۴/۵ سانتی‌متر از منبع پرتو اشعه ایکس قرار گرفتند. ضرایب تضعیف خطی و جرمی نیز برای نمونه‌های مختلف محاسبه شد. نتایج نشان داد که در بین نمونه‌ها، نمونه‌ای که حاوی ۷/۵ میلی‌مول  $\text{Bi}_2\text{WO}_6$  دوپ شده با باریم می‌باشد دارای بیشترین مقدار تضعیف در ولتاژ ۴۰ کیلوولت می‌باشد و ضرایب تضعیف، با افزایش مقدار باریم افزایش می‌یابد. نمونه‌های دارای ۱۵ و ۱۷/۵ میلی‌مول  $\text{Bi}_2\text{WO}_6$  دوپ شده با باریم، تضعیف بالاتری نسبت به بقیه در ۸۰ و ۱۲۰ کیلوولت داشتند. علاوه بر این، لایه نیم‌جذب (HVL)، لایه یک‌دهم جذب (TVL) و ضخامت معادل سرب ۲۵/۰ میلی‌متر برای همه نمونه‌ها محاسبه شد. کمترین مقدار HVL مربوط به نمونه حاوی ۷/۵ میلی‌مول  $\text{Bi}_2\text{WO}_6$  دوپ شده با باریم بود. همانطور که نتایج به وضوح نشان می‌دهد، افزایش مقدار دوپ باریم، منجر به کاهش HVL و TVL می‌شود. نانوکامپوزیت‌های هیبریدی مانند ترکیب  $\text{WO}_3 / \text{Bi}_2\text{O}_3$  به دلیل هم‌افزایی، قادرند طیف وسیع‌تری از انرژی پرتوها را جذب کردند. این اثر هم‌افزایی به دلیل پوشش گسترده لایه‌های جذب، توزیع یکنواخت نانوذرات، و حضور عناصر سنگین با عدد اتمی بالا است. لایه جذب  $\text{WO}_3$  و  $\text{Bi}_2\text{O}_3$  در انرژی ۶۹/۵ keV و ۹۰/۵ keV است. جذب فوتوالکتریک، در انرژی لایه جذب به‌طور ناگهانی افزایش می‌یابد. پرتوهای ایکس با انرژی نزدیک به این لایه‌ها به‌شدت به‌وسیله‌ی این مواد جذب می‌شوند.

<sup>۱</sup>-Bayomi<sup>۲</sup>-Gholamzadeh

ترکیب این دو ماده باعث پوشش گسترده تری از انرژی‌های پرتو ایکس می‌شود [۲۸].

در این پژوهش، ابتدا نانوذرات بیسموت تنگستات دوپ شده با باریم، سنتز شده و سپس ترکیب آن با هیدروکسی آپاتیت تهیه می‌شوند. در ادامه، این نانوکامپوزیت از طریق روش پد-خشک-پخت و با غلظت‌های مختلفی از هیدروکسی آپاتیت (۲۰-۰ درصد) و نانوذرات  $\text{Bi}_2\text{WO}_6(\text{Ba})$  (۴۰-۰ درصد) به کمک پلی(وینیل الکل) بر روی پارچه ۱۰۰ درصد پنبه‌ای لایه‌نشانی می‌شوند. در نهایت، خواص حفاظتی، فیزیکی و راحتی منسوجات نانوکامپوزیتی پوشش داده شده، مورد بحث و بررسی قرار خواهند گرفت.

## ۲- تجربیات، مواد مورد استفاده و روش آزمایش:

در این آزمایش از پارچه ۱۰۰ درصد پنبه‌ای آهارگیری و سفیدگری شده با تراکم تار ۳۸ عدد نخ در سانتی‌متر و تراکم پود ۲۷ عدد نخ در سانتی‌متر با وزن ۱۳۵/۴ گرم در متر مربع بوده (از شرکت یزدباف، ایران) استفاده شد. تمام مواد مورد استفاده در این پژوهش بدون خالص‌سازی از شرکت‌های تجاری خریداری شدند.

### ۲-۱- سنتز نانو بیسموت تنگستات دوپ شده با باریم

ابتدا ۱۰ میلی‌مول بیسموت نیترات پنتاهیدرات در ۸ میلی‌لیتر از محلول اسید نیتریک ۱۰ درصد حل شد. پس از حل شدن کامل محلول، ۷/۵ میلی‌مول استات باریم به آن اضافه گردید. سپس ۵ میلی‌مول سدیم تنگستات دی-هیدرات در اتیلن گلیکول به مدت یک ساعت در دمای اتاق حل شد. پس از هم‌خوردن کامل روی همزن

مغناطیسی، محتوی هردو ظرف به آرامی با یکدیگر مخلوط شده و در ادامه این دو ماده به مدت ۳۰ دقیقه بر روی همزن مغناطیسی به طور کامل مخلوط شدند. pH مخلوط با استفاده از سود روی ۷ تنظیم شد. به منظور تهیه ماده به صورت پودر، مخلوط حاصله در اتوکلاو و در دمای ۱۸۰ درجه سانتیگراد به مدت ۳ ساعت خشک شده و رسوب سفیدرنگ حاصله سه مرتبه با آب مقطر شستشو داده و در نهایت در محیط آزمایشگاهی خشک شد [۳۰].

### ۲-۲- تکمیل پارچه به روش پد

برای تکمیل پارچه به روش پد، محلول پلیمری با غلظت ۱۰ درصد وزنی/وزنی با افزودن پلی (وینیل الکل) (PVA) در آب مقطر بر روی همزن مغناطیسی در دمای ۹۰-۸۰ درجه سانتیگراد تهیه و به مدت ۲ ساعت تهیه شد. سپس درصد‌های وزنی مختلفی از نانوذرات  $\text{Bi}_2\text{WO}_6(\text{Ba})$  (۴۰-۰ درصد) و هیدروکسی آپاتیت (۲۰-۰ درصد) تهیه شده از شرکت مرک، آلمان) به‌طور جداگانه در آب مقطر حل و به محلول پلیمری اضافه شد. سیتریک اسید و هیپوفسفیت سدیم به ترتیب به عنوان اتصال‌دهنده عرضی و کاتالیزور در حین همزدن با همزن مغناطیسی به محلول اضافه و به منظور یکنواختی و همگن‌سازی، محلول در حمام التراسونیک به مدت ۱۵ دقیقه عمل شدند. سپس پارچه پنبه‌ای به مدت ۳۰ دقیقه در محلول مذکور تحت فرایند آغشته‌سازی قرار گرفت. نمونه‌ها با استفاده از دستگاه فولارد (Pneumatic Heavy Duty Padder Model D349A، شرلی، آمریکا) با پیکاپ (درصد برداشت) ۹۵ درصد پد شدند. نمونه‌ها در دمای ۱۷۰ درجه سانتیگراد

افزار spss 2020 به منظور تحلیل آماری نتایج و معنادار بودن داده‌ها در سطح ۵٪ استفاده شد. همچنین به منظور اثربخشی متغیرهای مستقل از آنالیز واریانس (ANOVA) استفاده گردید.

به مدت ۱۰ دقیقه جهت خشک شدن و تثبیت در بخاردهنده آزمایشگاهی (SDL mini dryer & Steamer Model 398، شرلی، آمریکا) قرار گرفتند. مشخصات نمونه‌های تهیه‌شده در جدول ۱ آورده شده است. از نرم

جدول ۱- مشخصات نمونه‌های تهیه‌شده با نانوذرات  $\text{Bi}_2\text{WO}_6(\text{Ba})$  و هیدروکسی آپاتیت

کد نمونه	درصد پلی(وینیل الکل) (%)	درصد نانوذرات بیسموت تنگستات دوپ شده با باریم (%)	درصد هیدروکسی آپاتیت (%)
P0B0H0	0	0	0
P0B0H20	0	0	20
P0B20H0	0	20	0
P0B20H20	0	20	20
P0B40H0	0	40	0
P0B40H20	0	40	20
P10B0H0	10	0	0
P10B0H20	10	0	20
P10B20H0	10	20	0
P10B20H20	10	20	20
P10B40H0	10	40	0
P10B40H0	10	40	20

### ۳-۲- روش‌های ارزیابی نمونه‌ها

### ۲-۳-۲- طیف سنجی پراش پرتو ایکس

بعد از سنتز نانو ساختار  $\text{Bi}_2\text{WO}_6(\text{Ba})$ ، به منظور بررسی خلوص و بلورینگی نمونه تهیه‌شده، طیف XRD در توان ۴۰ کیلوولت و ۸۰ میلی‌آمپر در برابر لامپ تکرنگی Cu K $\alpha$  (توسط دستگاه Bruker D8-advance X-ray diffractometer) تهیه و با استفاده از رابطه‌ی دبی-شرر، اندازه ذرات مشخص شدند (رابطه ۱).

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

در این رابطه، D اندازه ذرات،  $\lambda$  طول موج پرتو ایکس (۱/۵۴۱۸ آنگستروم)،  $\beta$  پهنای پیک در نصف ارتفاع پیک

### ۲-۳-۱- میکروسکوپ الکترونی روبشی انتشار میدانی (FESEM)

به منظور اندازه‌گیری ابعاد ماده پودری  $\text{Bi}_2\text{WO}_6(\text{Ba})$  سنتز شده از دستگاه میکروسکوپ الکترونی روبشی انتشار میدانی (FESEM) استفاده گردید. دستگاه FESEM مورد استفاده در این پژوهش مدل MIRA III ساخت شرکت Tescsn, Czech Republic است. محدوده بزرگ‌نمایی آن بین ۱۰ تا ۵۰۰۰۰۰ برابر و با قدرت تفکیک‌پذیری کمتر از ۱ تا ۲۰ نانومتر بسته به نوع نمونه است.

<sup>1</sup> -Field emission scanning electron microscopy (FESEM)

زاویه بازگشت از چروک، توانایی نمونه‌های پارچه را برای بازگشت به شکل اولیه خود پس از چروک شدن و رها شدن از فشار، نشان می‌دهد. برای انجام این آزمایش توسط دستگاه Crease Recover Tester and Loading Device، نمونه‌های پارچه‌ای با ابعاد ۱/۵ در ۴ سانتی‌متر تحت وزن ۱ کیلوگرمی برای مدت زمان ۵ دقیقه تحت فشار قرار می‌گیرند. سپس نمونه‌ها رها شده و در گیره دستگاه زاویه چروک محکم می‌شوند. پس از ۵ دقیقه، زاویه ثبت می‌شود. این آزمون برای هر نمونه ۳ بار تکرار شد.

۲-۳-۶- آزمون خمش پارچه و محاسبه سختی خمشی و مدول خمشی منسوج

آزمون خمش پارچه، سفتی یا استحکام خمشی منسوجات را اندازه‌گیری می‌کند، که برای درک نحوه رفتار پارچه در حین استفاده، بسیار مهم است. سختی پارچه با استفاده از آزمایش خمش تعیین می‌شود. برای آماده‌سازی، نمونه‌ها به اندازه ۲۵×۲۰۰ میلی‌متر از جهت تار بریده شده و روی میز شیب‌دار دستگاه خمشی قرار می‌گیرند. این دستگاه یک زاویه ثابت برای اندازه‌گیری میزان خم شدن پارچه زیر وزن خود اعمال می‌کند. طول خمش برای هر نمونه ثبت می‌شود. پارچه‌هایی که برای خم شدن به طول بیشتری نیاز دارند، سخت‌تر در نظر گرفته می‌شوند. مقدار سختی نهایی با گرفتن میانگین طول‌های خمشی از نمونه‌های آزمایش شده محاسبه می‌شود. با استفاده از رابطه‌ی (۲) سختی خمشی نیز برای این آزمون محاسبه گردید.

$$G = 9.8 \times m \times C^3 \times 10^{-3} \quad (2)$$

بیشینه،  $2\theta$  زاویه پراش در بلندترین پیک و  $k$  ثابت شرر که به شکل بلور بستگی دارد و یک مقدار ثابت است.

۲-۳-۳- اندازه‌گیری ضخامت و وزن

ضخامت، به‌طور قابل توجهی در درصد تضعیف تابش مواد پوشش‌داده‌شده، نقش اساسی ایفا می‌نماید. همچنین وزن نمونه‌ها در بررسی ثابت شستشویی و آزمون سختی نیز موثر است. بر این اساس، قبل و بعد از آماده‌سازی نمونه‌ها، ضخامت و وزن آن‌ها اندازه‌گیری شد. برای اندازه‌گیری ضخامت، از دستگاه ضخامت‌سنج پارچه مدل Digital Thickness Gauge M034A استفاده شد. همچنین برای اندازه‌گیری وزن، از ترازوی دیجیتال با دقت ۴ رقم اعشار استفاده گردید.

۲-۳-۴- اندازه‌گیری نفوذپذیری هوا

نفوذپذیری هوای منسوجات به میزان هوایی اطلاق می‌شود که می‌تواند از پارچه عبور کند. حجم هوا بر حسب میزان هوای عبوری از سطح پارچه‌ای به ابعاد معین و فشار مشخصی اندازه‌گیری می‌شود. این آزمایش که در استاندارد بریتانیایی BS ۵۶۳۶ مشخص شده است، جریان هوا را در ناحیه خاصی از پارچه زمانی که فشار دو طرف ۵ میلی‌متر فشار آب است، ارزیابی می‌کند. برای این آزمایش، نمونه‌های پارچه‌ای به ابعاد ۵×۵ سانتی‌متر تهیه شد و آزمایش در هر نمونه سه بار انجام شد. میانگین جریان هوا بر حسب CC/S محاسبه شد. بدین منظور از دستگاه مدل Air permeability m021 استفاده شد.

۲-۳-۵- آزمون زاویه بازگشت از چروک

برای بررسی تضعیف پرتو نمونه‌ها از آشکارساز گایگر مولر استفاده شد. فاصله‌ی نمونه‌ها تا منبع رادیوم  $^{226}\text{R}$ ، ۲۲ سانتی‌متر در نظر گرفته شد. همچنین از یک دستگاه ۱۳ سانتی‌متر در نظر گرفته شد.  $^{226}\text{R}$  دارای هفت پرتو گاما در شمارنده P نیز استفاده شد.  $^{226}\text{R}$  دارای هفت پرتو گاما در محدوده ۱۸۶ تا ۶۰۰ کیلوالکترون‌ولت، پنج ذره آلفا در محدوده ۴۱۶۰ تا ۴۷۸۴ کیلوالکترون‌ولت و ۲۲ پرتو ایکس در محدوده ۱۰ تا ۹۸ کیلوالکترون‌ولت بود. پارچه‌های پوشش داده شده در مقابل منبع قرار داده شدند و تعداد ذرات عبوری از نمونه‌های پارچه پدیده در یک دقیقه برای هر ضخامت، پنج بار شمارش شد. میانگین داده‌ها از تابش پس‌زمینه کم شد. در نهایت، ضرایب تضعیف هر نمونه با استفاده از رابطه‌ی (۴) برای هر نمونه محاسبه شد.

$$A(\%) = \frac{I_0 - I}{I_0} \times 100 \quad (4)$$

در این رابطه، A درصد تضعیف،  $I_0$  شدت پرتو فرودی به آشکارساز بدون محافظ و I شدت پرتو فرودی به آشکارساز با حضور حفاظ می‌باشد.

### ۳- بحث و نتیجه‌گیری

#### ۳-۱- بررسی مشخصه‌یابی پودرها

در شکل ۳-۱ و ۳-۲، الگوی پراش پرتو ایکس ذرات  $\text{Bi}_2\text{WO}_6(\text{Ba})$  و هیدروکسی آپاتیت (HAP) نشان داده شده است که نمایانگر یک ساختار بلوری است. بعد از آزمون XRD، تحلیل طیف به کمک نرم افزار score high xpert انجام شد. طبق شکل ۱ پیک‌های اصلی نمونه با پیک‌های  $\text{Bi}_2\text{WO}_6$  با کد مرجع 01-079-2381 و پیک-های BaO با کد مرجع 01-072-0746 منطبق بود که

در این رابطه G سختی خمشی ( $\mu\text{N.m}$ )، m وزن در متر مربع پارچه ( $\text{g/m}^2$ ) و C میانگین طول خمش (cm) نیز می‌باشد. مدول خمشی به عنوان درجه‌ای از شقی مربوط می‌شود که در آن ضخامت به‌طور هم‌زمان به‌عنوان مقاومت در برابر خمش در نظر گرفته می‌شود. دو پارچه ممکن است سختی خمشی یکسانی داشته باشند، اما اگر تفاوت مشخصی در ضخامت وجود داشته باشد، پارچه ضخیم‌تر، مدول خمش کمتری را خواهد داشت. طبق رابطه‌ی (۳) می‌توان مدول خمشی را محاسبه کرد:

$$q = \frac{12G}{t^3} \times 1000 \quad (3)$$

در این رابطه q مدول خمش ( $\text{N/m}^2$ ) سختی خمشی ( $\mu\text{N.m}$ ) و t ضخامت (mm) می‌باشد.

#### ۳-۲-۷- ارزیابی ثبات شستشویی

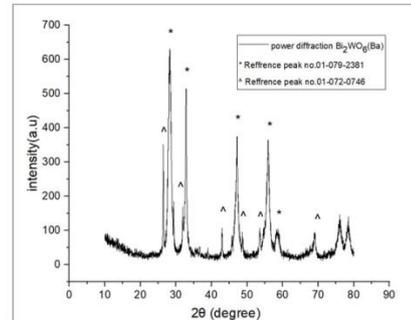
این آزمایش که طبق استاندارد ISO 105-1994-C02 مشخص شده است، پایداری شستشوی محصولات نساجی را ارزیابی می‌نماید. بدین منظور منسوجات تکمیل شده را در ظرفی حاوی ۲ گرم بر لیتر صابون غیریونی قرار داده و شستشو در دمای ۶۰ درجه سانتیگراد به مدت ۴۵ دقیقه انجام می‌گیرد. در نهایت نمونه‌ها در دمای محیط خشک می‌شوند. وزن نمونه‌ها قبل و بعد از شستشو اندازه‌گیری و درصد کاهش وزن به عنوان معیاری از پایداری تکمیل انجام شده گزارش می‌گردد.

۳-۲-۸- اندازه‌گیری میزان تضعیف پرتو با چشمه رادیوم توسط نمونه‌های پارچه‌ای پوشش داده شده با مواد نانوکامپوزیتی

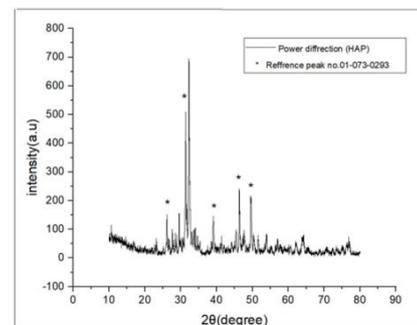
نشان دهنده‌ی سنتز صحیح این ماده می‌باشد [۷۰].

همچنین برای نمونه HAP در شکل ۲ پیک نمونه با کد

مرجع 01-073-0293 منطبق بود [۷۱].



شکل ۱: طیف XRD نمونه  $\text{Bi}_2\text{WO}_6(\text{Ba})$



شکل ۲: طیف XRD نمونه HAP

با توجه به نتایج حاصل از پراش پرتو ایکس نمونه‌ها،

متوسط اندازه ذرات (D) با استفاده از رابطه دبای شرر

بدست آمد. متوسط اندازه بلور  $\text{Bi}_2\text{WO}_6(\text{Ba})$  حدود

$35/15$  نانومتر و متوسط اندازه بلور HAP حدود  $48/01$

نانومتر بدست آمد.

۳-۲- نتایج مربوط به آزمایش FESEM

تصاویر FESEM گرفته شده از نمونه‌های P10B40H0 ،

P10B0H20 ، P0B40H0 ، P0B40H20 و P10B40H20

در بزرگنمایی ۵ میکرومتر کنار هم در شکل ۳ آورده شده

است. در این تصاویر وجود نانوذرات بر روی الیاف قابل

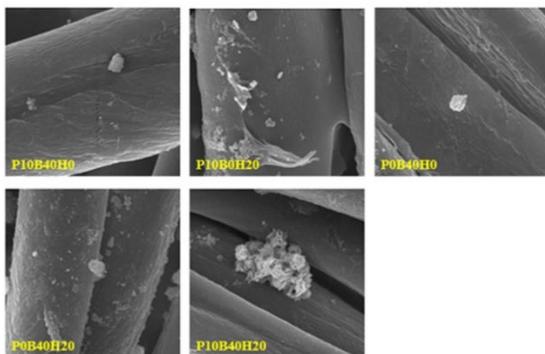
مشاهده می‌باشد. همچنین پس از بررسی تصاویر FESEM

گرفته شده از نمونه‌ها توسط نرم افزار Image J، قطر ذرات

مشاهده شده روی الیاف در نقاط مختلف اندازه‌گیری شد.

میانگین قطر بر حسب میکرومتر و همچنین انحراف معیار

داده‌ها نیز در جدول ۲ گزارش شده است.



شکل ۳: تصاویر FESEM نمونه‌های P10B40H0 ،

P10B40H20 و P0B40H20 ، P0B40H0 ، P10B0H20

در بزرگنمایی ۵ میکرومتر

جدول ۲- میانگین قطر و انحراف معیار نمونه‌ها

نام نمونه	میانگین قطر ( $\mu\text{m}$ )	انحراف معیار ( $\mu\text{m}$ )
P0B40H0	3.29	1.39
P10B40H0	3.41	1.12
P10B0H20	4.69	2.05
P0B40H20	2.8	1.0
P10B40H20	3.16	1.70

اتمی آن را اندازه‌گیری شود. تصاویر EDS گرفته شده از نمونه‌ها در شکل ۳ نمایش داده شده است. با بررسی نتایج آزمون EDS، وجود عناصر کربن، اکسیژن، فسفر، کلسیم، باریوم، تنگستن و بیسموت در نمونه‌ها مشاهده شد که نشان می‌دهد مواد به خوبی روی پارچه پوشش داده شده است.

### ۳-۳- نتایج آزمون گذردهی هوا

آزمون نفوذپذیری هوا طبق استاندارد BS 5636 برای هر نمونه ۵ بار تکرار و میانگین نتایج برای همه نمونه‌ها در جدول ۳ ارائه شده است. یافته‌ها نشان می‌دهد که پلی- (وینیل الکل) باعث بسته شدن منافذ پارچه شده بنابراین نمونه‌های حاوی این ماده، دارای مقادیر پایین گذردهی هوا می‌باشند. از طرفی دیگر استفاده از نانوذرات باعث شده که به خوبی بین الیاف نفوذ کرده و باعث بسته شدن فضای خالی پارچه شده است که در مقایسه با پارچه خام، نفوذپذیری هوا کاهش یافته است. افزایش درصد وزنی  $\text{Bi}_2\text{WO}_6(\text{Ba})$  به طور کلی منجر به کاهش بیشتر میزان گذردهی هوا شده است. نمونه‌هایی که هم  $\text{Bi}_2\text{WO}_6(\text{Ba})$  و هم HAP دارند، کمترین میزان گذردهی هوا را نشان می‌دهند. کاهش نفوذپذیری هوا در پارچه را می‌توان به راه‌های مسدود شده جریان هوا از طریق آن پارچه‌ها نسبت داد [۶۹]. نتایج آماری نشان می‌دهد که نمونه‌های P10B20H0، P10B20H20 و P10B40H0 دارای میزان گذردهی مشابه‌ای می‌باشند و بقیه نمونه‌های دیگر (به غیر از P10B40H0) در یک گروه از نظر آماری قرار می‌گیرند. نمونه P10B40H0 دارای کمترین گذردهی هوا می‌باشد

بر روی نمونه P10B0H20 که حاوی پلیمر و هیدروکسی آپاتیت و فاقد نانوساختار  $\text{Bi}_2\text{WO}_6(\text{Ba})$  می‌باشد ذرات محدودی روی الیاف پارچه مشاهده می‌شود. در نمونه‌های دارای نانوذرات  $\text{Bi}_2\text{WO}_6(\text{Ba})$  (P10B40H0 و P10B40H20)، کاملاً مشهود است. در نمونه P0B40H0 که فقط شامل نانوساختار  $\text{Bi}_2\text{WO}_6(\text{Ba})$  بدون پلیمر و هیدروکسی آپاتیت است، توزیع ذرات روی الیاف (مطابق شکل) قرار نگرفته است همچنین تعداد ذرات هم زیاد نمی‌باشد که دلیل آن می‌تواند عدم چسبندگی نانوذرات بر روی سطح الیاف و نخ باشد که در شستشوی اولیه از روی منسوج حذف شده‌اند. در دو نمونه P10B40H0 و P10B40H20 که پلیمر و درصد نانوساختار مشابه دارند فقط در مقدار هیدروکسی آپاتیت تفاوت دارند تعداد ذرات روی الیاف از دو نمونه قبلی بهتر شده است. بر روی نمونه‌ی شامل هیدروکسی - آپاتیت P10B40H20 بیشترین ذرات بر روی پارچه مشاهده می‌شود که می‌توان دلیلی بر چسبندگی خوب و درصد بالای نانو ذرات هیدروکسی آپاتیت و اکسید بیسموت تنگستات دوپ شده با باریوم در نظر گرفت. نتایج آماری نشان می‌دهد که اختلاف قطر تمام نمونه‌ها، معنادار می‌باشد (p-value کمتر از ۰/۰۵ می‌باشد)

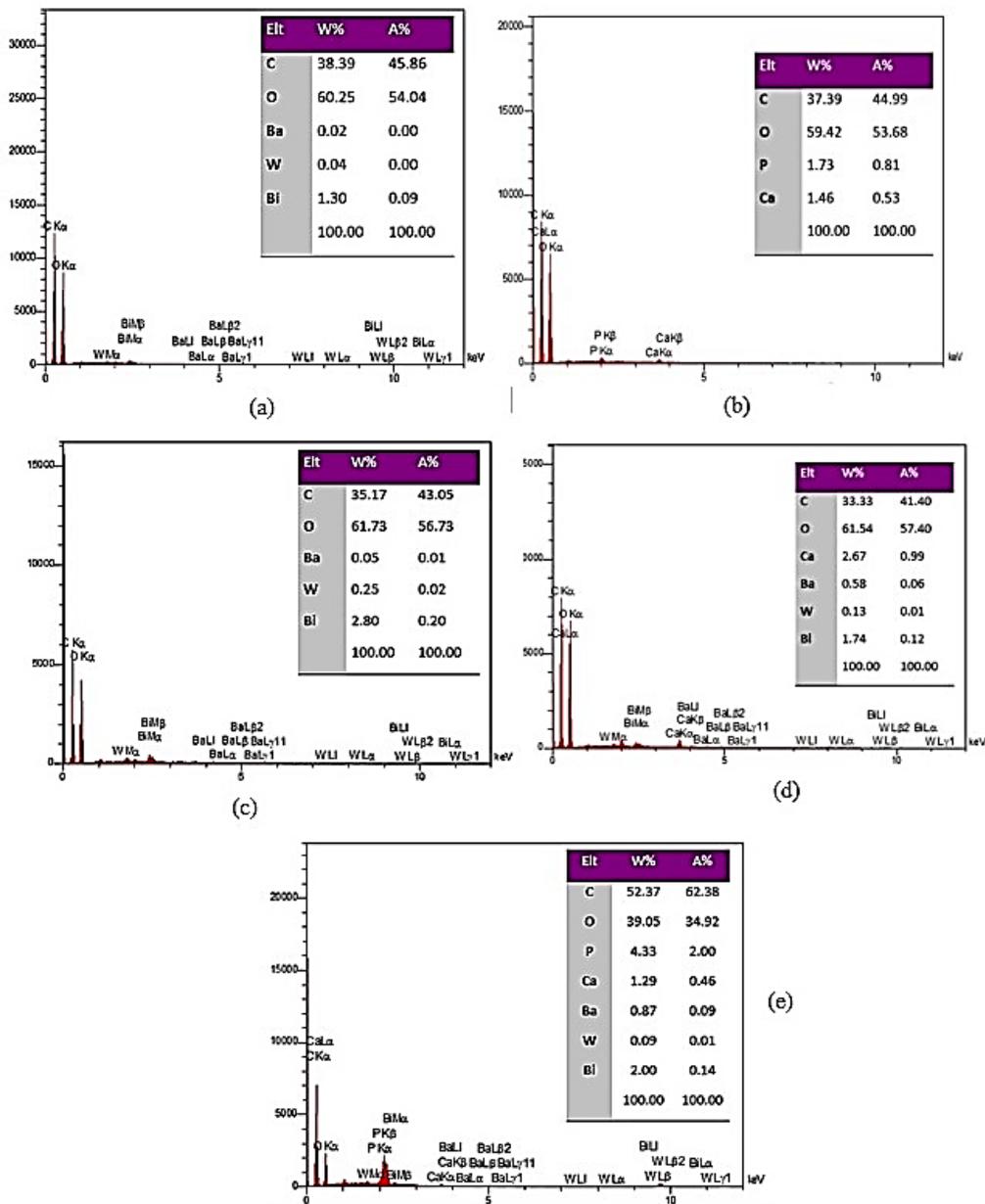
### ۳-۲-۱- نتایج مربوط به EDS

آزمون EDS یا EDX یک افزونه در دستگاه‌های SEM جهت تشخیص عناصر موجود و درصد آن در نمونه‌ها می‌باشد. این آزمایش می‌تواند با استفاده از انرژی پرتو ایکس منتشر شده از نمونه، نوع عنصر و درصد وزنی یا درصد

دارای بهترین گذردهی هوا می باشد.

و این بدان معناست که دارای کمترین میزان عبور هوا بوده

و از نظر راحتی، نامطلوب می باشد. نمونه P10B40H0



شکل ۳: نتایج آزمون EDS نمونه های (a) P10B40H0 (b) P10B0H2 (c) P0B40H0 (d) P0B40H2 (e) P10B40H20

جدول ۳- نتایج گذردهی هوا و بازگشت از چروک پذیری نمونه‌ها

نمونه	گذردهی هوا (cc/s)	زاویه بازگشت از چروک پذیری (درجه)
POB0H0	157 ±9	82 ±2
POB0H20	151 ±5	83 ±2
POB20H0	147 ±6	84 ±1
POB20H20	142 ±4	82 ±3
POB40H0	135 ±6	82 ±1
POB40H20	128 ±3	82 ±2
P10B0H0	132 ±4	97 ±3
P10B0H20	124 ±4	95 ±4
P10B20H0	118 ±6	91 ±5
P10B20H20	115 ±3	94 ±5
P10B40H0	110 ±5	104 ±3
P10B40H20	94 ±4	91 ±5

## ۳-۴- نتایج آزمون زاویه بازگشت از چروک

برای این آزمایش، زاویه بازگشت از چروک نمونه‌ها پس از رهاشدن از فشار، اندازه‌گیری شد. این آزمون برای هر نمونه ۳ بار تکرار شد و میانگین نتایج در جدول ۳ ارائه شده است. توجه به این نکته مهم است که زاویه بازگشت از چین و چروک بالاتر، نشان دهنده مقاومت کمتر چین و چروک بوده که برای اهداف ما مطلوب‌تر است. نتایج نشان می‌دهد که افزایش غلظت پلی(وینیل الکل) منجر به افزایش قابل ملاحظه بر روی زاویه بازگشت از چروک می-

گردد و این بدان معناست که این ماده، چروک‌پذیری منسوج را بعد از قرارگیری در معرض تنش‌های فشاری کاهش می‌دهد. با مقایسه نمونه‌ها در جدول ۳ می‌توان نتیجه گرفت که در غلظت‌های مشابه PVA و هیدروکسی آپاتیت، افزایش غلظت نانوذرات منجر به افزایش زاویه بازگشت از چروک می‌گردد. در مجموع، تغییرات غلظت هیدروکسی آپاتیت تأثیر چندانی بر روی این فاکتور نداشته است. نتایج آماری حاصل از جدول ۳ نشان می‌دهد که زاویه بازگشت‌پذیری از چروک ۶ نمونه (POB0H0،

نشان نمی‌دهند. در مجموع افزایش غلظت نانوذرات و هیدروکسی آپاتیت تغییرات قابل ملاحظه‌ای بر روی لختی نمونه‌های پنبه‌ای ایجاد نمی‌نماید هرچند به نظر می‌رسد تا حدودی آن را بهبود می‌دهد.

### ۳-۶- نتایج ثبات شستشویی

در این بخش آزمون ثبات شستشویی طبق استاندارد C02 105 ISO-1994 انجام شد. وزن نمونه‌ها قبل و بعد از شستشو در جدول ۵ آورده شده است. نتایج نشان می‌دهد که نمونه‌هایی که فاقد ماده پلیمری می‌باشند دارای ثبات خوبی نمی‌باشند که علت آن را می‌توان عدم تثبیت مواد ذرات بیسموت‌تنگستات دوپ شده با باریم و هیدروکسی آپاتیت دانست. نمونه‌های حاوی پلی(وینیل الکل) ثبات شستشویی خوبی داشته و درصد کاهش وزن در حدود ۱ درصد را نشان می‌دهند. ثبات شستشویی خوب نشان دهنده‌ی تثبیت خوب مواد پوشش داده شده روی پارچه می‌باشد. نتایج آماری نیز نشان می‌دهد که تمام نمونه‌هایی که حاوی پلی(وینیل الکل) می‌باشند بر اساس درصد کاهش وزن در یک گروه قرار گرفته و اختلاف معناداری در نتایج آن‌ها مشاهده نمی‌گردد.

۳-۷- بررسی درصد تضعیف برای نمونه‌های مختلف در برابر چشمه رادیوم

پس از تهیه نمونه‌های نهایی، میزان تضعیف در تعداد لایه-های مختلف پارچه‌ها اندازه‌گیری شد. برای هر نمونه این آزمون ۳ بار تکرار شد. نمونه‌ها ۳۰ ثانیه با فاصله‌ی ۱۳ سانتی‌متر تا آشکارساز قرار گرفتند. نمودارهایی که این

P0B0H20، P0B20H0، P0B20H20، P0B40H0 و P0B40H20 در یک گروه قرار می‌گیرند و این بدان معناست که این نمونه‌های فاقد PVA دارای زاویه بازگشت از چروک پذیری مشابه‌ای می‌باشند. همچنین نمونه‌های P10B0H0، P10B0H20، P10B20H0، P10B20H20 و P10B40H20 نیز در یک دسته قرار می‌گیرند. در مجموع، نمونه P10B40H0 دارای بالاترین زاویه بازگشت از چروک بوده و در یک دسته متفاوت از نمونه‌های دیگر قرار می‌گیرد.

### ۳-۵- نتایج طول خمش

با افزایش سختی پارچه، مقاومت پارچه در برابر خم شدن بیشتر می‌شود. باتوجه به نتایج، نمونه‌های دارای PVA دارای طول خمش بیشتر هستند و از آنجایی که ضخامت آن‌ها هم بیشتر از بقیه نمونه‌ها است مدول خمشی بیشتری نیز دارند که نشان‌دهنده‌ی شقی بیشتر آن‌ها نیز است. به عبارت دیگر، نمونه‌های حاوی PVA دارای لختی و افتایش کمتری بوده و دارای خاصیت راحتی کمتری می‌باشند. همچنین نمونه‌های بدون PVA طول خمش و ضخامت کمتری نسبت به سایر نمونه‌ها نیز دارند بنابراین شقی کمتری نیز دارند. اضافه کردن نانوذرات و هیدروکسی آپاتیت به PVA نیز باعث بهبود شقی پارچه شده است (جدول ۴). نتایج آماری نشان می‌دهد که نمونه‌های حاوی PVA از نظر طول خمش، سختی خمشی و مدول خمشی در یک دسته قرار می‌گیرند و این بدان معناست که تفاوت معناداری در اعداد مشاهده نمی‌گردد. در نمونه‌های فاقد PVA، به غیر از نمونه خام و نمونه P0B0H20، بقیه نمونه‌ها از نظر آماری تفاوت معناداری را

بنابراین بیشترین درصد تضعیف مربوط به نمونه ای با پلی وینیل الکل و بالاترین درصد وزنی  $\text{Bi}_2\text{WO}_6(\text{Ba})$  می باشد. با افزودن تعداد لایه درصد تضعیف بیشتر شده زیرا ضخامت افزایش یافته است و نمونه های چهار لایه توانسته اند تا حداکثر ۷۳ درصد تضعیف داشته باشند. همچنین افزودن هیدروکسی آپاتیت به افزودنی ها، بر روی ضریب تضعیف تأثیر قابل ملاحظه ای نداشته است.

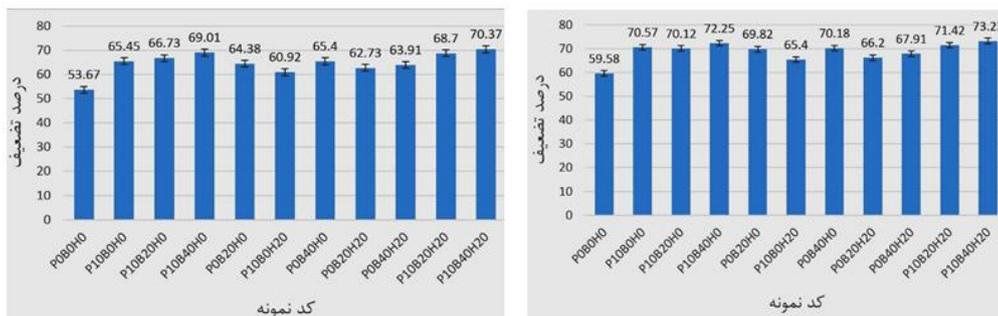
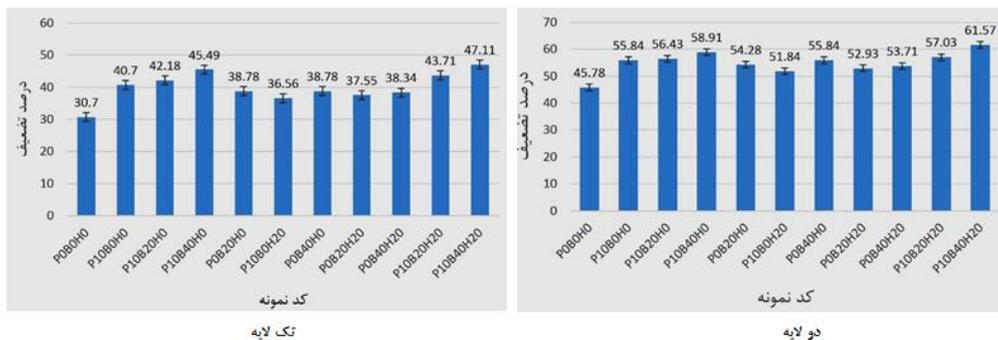
درصدها را نشان می دهند در شکل ۴ نشان داده شده است. نتایج نشان می دهد که تمام پارچه های تکمیل شده دارای درصد تضعیف بیشتری نسبت به نمونه پارچه پنبه ای خام می باشند. با افزایش درصد وزنی نانوذرات، درصد تضعیف نیز بیشتر شده است. همچنین پلی وینیل الکل هم توانسته تضعیف را بهبود ببخشد.

جدول ۴- طول خمش، سختی خمشی و مدول خمشی نمونه های

نمونه	میانگین طول خمش (cm)	میانگین سختی خمشی (mN.m)	میانگین مدول خمشی ( $\text{N/m}^2$ )
P0B0H0	1.9±0.2	9.10	7900.472
P0B0H20	2.1±0.1	12.32	8414.822
P0B20H0	2.7±0.3	26.19	14117.7
P0B20H20	2.8±0.2	29.21	15437.24
P0B40H0	2.7±0.2	26.19	15970.08
P0B40H20	2.9±0.3	28.64	17423.58
P10B0H0	4.7±0.3	138.78	37641.25
P10B0H20	4.6±0.3	132.02	38372.8
P10B20H0	4.6±0.3	131.92	37890.42
P10B20H20	4.5±0.2	125.11	38241.53
P10B40H0	4.5±0.2	123.42	37941.91
P10B40H20	4.4±0.2	126.10	36782.50

جدول ۵- نتایج ثبات شستشویی

نمونه	وزن نمونه قبل از شستشو (g)	وزن نمونه بعد از شستشو (g)	درصد کاهش وزن
P0B0H0	2.5524	2.5524	0
P0B0H20	3.1737	2.4755	22
P0B20H0	3.1518	2.7421	13
P0B20H20	3.1500	2.0790	34
P0B40H0	3.1432	2.2631	28
P0B40H20	3.1859	1.9434	39
P10B0H0	3.3769	3.3296	1
P10B0H20	3.1715	3.1334	1
P10B20H0	3.4326	3.3845	1
P10B20H20	3.4485	3.4140	1
P10B40H0	3.3769	3.3330	1
P10B40H20	3.4656	3.42.05	1



شکل ۴: درصد تضعیف نمونه‌های تک‌لایه، دو‌لایه، سه‌لایه و چهار لایه

## ۴- نتیجه گیری

۵۹/۵۸ درصد می باشد. از نظر آماری، افزایش غلظت بیسموت تنگستات دوپ شده با باریم تأثیر معناداری بر روی افزایش محافظت در برابر پرتو دارد. از آنجاییکه هیدروکسی آپاتیت دارای ساختار متخلخل بوده از این رو این ماده قابلیت جذب فیزیکی نانوذرات را داشته که این امر می تواند منجر به افزایش پایداری نانوذرات بر روی بستر پلیمری و منسوج گردد. نتیجه این امر، افزایش مقدار نانوذرات و تأثیر بیشتر آن ها بر روی میزان تضعیف پرتو خواهد بود. از طرف دیگر، به نظر می رسد که ذرات هیدروکسی آپاتیت با جذب نانوذرات، منجر به رسوب آن ها به صورت کلوئیدی و در نتیجه کاهش مساحت سطحی و اثربخشی آن ها بر روی سطح کالا شده اند. هر دو این پدیده ها باعث می گردد که هیدروکسی آپاتیت، بر روی ضریب تضعیف تأثیر قابل ملاحظه ای نداشته باشد. با این پژوهش می توان در آینده به منسوجاتی محافظ، سبک و - سازگار با محیط زیست دست یافت که جایگزین منسوجات محافظتی سنتی سربی گردند.

## ۵- مراجع

[1] Acikgoz, A., Demircan, G., Yılmaz, D., Aktas, B., Yalcin, S., Yorulmaz, N., Structural, mechanical, radiation shielding properties and albedo parameters of alumina borate glasses: Role of CeO<sub>2</sub> and Er<sub>2</sub>O<sub>3</sub>, *Mater. Sci. Eng B.*, 276, 115519, 2022. <https://doi.org/10.1016/j.mseb.2021.115519>.

[2] Chaiphaksa, W., Borisut, P., Chanthima, N., Kaewkhao, J., Sanwanatee, NW., Mathematical calculation of gamma rays interaction in bismuth gadolinium silicate glass using WinXCom program.

هدف اصلی این پژوهش بررسی اثر همزمان هیدروکسی آپاتیت و Bi<sub>2</sub>WO<sub>6</sub>(Ba) بر روی میزان تضعیف پرتو می باشد. بدین منظور ابتدا بیسموت تنگستات دوپ شده با باریم از طریق هیدروترومال تهیه شد. محلول آبی نمونه تهیه شده با غلظت های مختلف همراه با نانو هیدروکسی آپاتیت و پلی (وینیل الکل) از طریق روش پد-خشک-پخت بر روی پارچه های پنبه ای پوشش دهی شدند. نتایج نشان داد که نمونه پنبه ای خام دارای بیشترین مقدار گذردهی هوا به مقدار ۱۵۷ سی سی/ثانیه و نمونه P10B40H20 با ۹۴ سی سی/ثانیه دارای کمترین میزان گذردهی هوا می باشند. افزایش غلظت هیدروکسی آپاتیت و ذرات بیسموت تنگستات دوپ شده با باریم منجر به کاهش گذردهی هوا شده ولی بر روی لختی و افتایش نمونه های پارچه ای نانوکامپوزیتی، تأثیر قابل ملاحظه معناداری ندارند. آزمون تضعیف پرتو نشان داد که بیشترین مقدار تضعیف اشعه رادیوم مربوط به نمونه P10B40H20 با درصد تضعیف ۷۳/۲۳ و کمترین تضعیف مربوط به نمونه خام با مقدار *Mater. Today. Proc.*, 65, 2412-2415, 2022. <https://doi.org/10.1016/j.matpr.2022.05.529>.

[3] Kozlovskiy, AL., Zdorovets, MV., Effect of doping of Ce<sup>4+</sup>/3+ on optical, strength and shielding properties of (0.5-x)TeO<sub>2</sub>-0.25MoO<sub>3</sub>-0.25Bi<sub>2</sub>O<sub>3</sub>-xCeO<sub>2</sub> glasses. *Mater. Chem. Phys.*, 263, 124444. 2021. <https://doi.org/10.1016/j.matchemphys.2021.124444>

[4] Aygün, B., High alloyed new stainless-steel shielding material for gamma and fast neutron radiation, *Nucl. Eng. Technol.*, 52, 647-53. 2020. <https://doi.org/10.1016/j.net.2019.08.017>

- [5] Zubair, M., Ahmed, E., Hartanto, D., Comparison of different glass materials to protect the operators from gamma-rays in the PET using MCNP code, *Radiat. Phys. Chem.*, 190, 109818, 2022. <https://doi.org/10.1016/j.radphyschem.2021.109818>.
- [6] Aygün, B., Neutron and gamma radiation shielding Ni based new type super alloys development and production by Monte Carlo Simulation technique, *Radiat. Phys. Chem.*, 188, 109630, 2021. <https://doi.org/10.1016/j.radphyschem.2021.109630>.
- [7] Sayyed, MI., Mhareb, MHA., Alajerami, YSM., Mahmoud, KA., Imheidat, MA., Alshahri, F., Alqahtani, M., Al-Abdullah, T., Optical and radiation shielding features for a new series of borate glass samples, *Optik*, 239, 166790, 2021. <https://doi.org/10.1016/j.ijleo.2021.166790>.
- [8] Geidam, IG., Matori, KA., Halimah, MK., Chan, KT., Muhammad, FD., Ishak, M., Umar, S.A., Oxide ion polarizabilities and gamma radiation shielding features of  $\text{TeO}_2\text{-B}_2\text{O}_3\text{-SiO}_2$  glasses containing  $\text{Bi}_2\text{O}_3$  using Phy-X/PSD software. *Mater. Today. Comm.*, 31, 103472, 2022. <https://doi.org/10.1016/j.mtcomm.2022.103472>.
- [9] Issa, SAM., Kumar, A., Sayyed, MI., Dong, MG., Elmahroug, Y., Mechanical and gamma-ray shielding properties of  $\text{TeO}_2\text{-ZnO-NiO}$  glasses, *Mater. Chem. Phys.*, 212, 12–20, 2018. <https://doi.org/10.1016/j.matchemphys.2018.01.058>.
- [10] Aktas, B., Acikgoz, A., Yilmaz, D., Yalcin, S., Dogru, K., Yorulmaz, N., The role of  $\text{TeO}_2$  insertion on the radiation shielding, structural and physical properties of borosilicate glasses, *J. Nucl. Mater.*, 563, 1–12, 2022. <https://doi.org/10.1016/j.jnucmat.2022.153619>.
- [11] Song, Y., Phule, AD., Wang, D., Ma, L., Zhang, ZX., Lightweight self-cleaning trans polyisoprene/ multiwalled carbon nanotubes open cell composite material: Its electromagnetic shielding performance, *Express. Polym. Letters.*, 15, 865–877, 2021. <https://doi.org/10.3144/expresspolymlett.2021.69>.
- [12] Nazlıcan, S., Bozkurt, AM., Karabul, YA., Kılıç, M., Ozdemir, ZG., Low cost radiation shielding material for low energy radiation applications: Epoxy/Yahyali Stone composites, *Prog. Nucl. Energy.*, 135, 103703, 2021. <https://doi.org/10.1016/j.pnucene.2021.103703>.
- [13] Prasad, R., Pai, AR., Oyadiji, SO., Thomas, S., Parashar, SKS., Utilization of hazardous red mud in silicone rubber/MWCNT nanocomposites for high performance electromagnetic interference shielding, *J. Clean. Prod.*, 377, 134290, 2022. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2022.134290>.
- [14] Özdemir, T., Güngör, A., Akbay, IK., Uzun, H., Babuçcuoglu, Y., Nano lead oxide and epdm composite for development of polymer-based radiation shielding material: Gamma irradiation and attenuation tests, *Radiat. Phys. Chem.*, 144, 248–55, 2018. <https://doi.org/10.1016/j.radphyschem.2017.08.021>.
- [15] Kim, S., Ahn, Y., Song, SH., Lee, D., Tungsten nanoparticle anchoring on boron nitride nanosheet-based polymer nanocomposites for complex radiation shielding, *Compos. Sci. Technol.*, 221, 109353, 2022. <https://doi.org/10.1016/j.compscitech.2022.109353>.
- [16] Nambiar, S., Osei, E., Yeow, J., MO-F-BRA-01: polymer composite-based shielding of diagnostic X-rays, *Med. Phys.* 38, 3720, 2011. <https://doi.org/10.1118/1.3612996>.
- [17] Çetin, H., Yurt, A., Yüksel, SH., The absorption properties of lead-free garments for use in radiation protection, *Radiat prot dosim*, 173(4), 345-350, 2016. <https://doi.org/10.1093/rpd/ncw004>.
- [18] Maghrabi, H.A., Vijayan, A., Deb, P., Wang, L., Bismuth oxide-coated fabrics for X-ray

- shielding, *Text. Res. J.*, 86(6), 649–658, 2016. <https://doi.org/10.1177/0040517515592809>.
- [19] Aygün, H.H., Alma, M.H., Bismuth (III) oxide/polyethylene terephthalate nanocomposite fiber coated polyester spunbonds for ionizing radiation protection, *Appl. Phys. A.*, 126(9), 693, 2020. <https://doi.org/10.1007/s00339-020-03880-0>.
- [20] Zare, A., Gholamzadeh, L., Zafari, F., Coating of polyester fabrics with micro-particles of Bi<sub>2</sub>O<sub>3</sub> and BaO for ionization ray shielding. *Appl. Radiat. Isot.*, 192, 110573., 2023. <https://doi.org/10.1016/j.apradiso.2022.110573>.
- [21] Alorain, D.A., Almuqrin, A.H., Sayyed, M.I., Elsafi, M., Impact of WO<sub>3</sub> and BaO nanoparticles on the radiation shielding characteristics of polydimethylsiloxane composites. *e-Polymers*, 23(1), 20230037, 2023. <https://doi.org/10.1515/epoly-2023-0037>.
- [22] Abdolazadeh, T., Morshedian, J., Ahmadi, S., Novel polyethylene/tungsten oxide/bismuth trioxide/ barium sulfate/graphene oxide nanocomposites for shielding against X-ray radiations, *Int. J. Radiat. Res.*, 21(1), 79-87, 2023. <https://doi.org/10.52547/ijrr.21.1.11>.
- [23] Nambiar, S., Yeow, J.T.W., Polymer-composite materials for radiation protection. *ACS Appl Mater Interfaces*, 4, 5717–5726, 2012. <https://doi.org/10.1021/am300783d>.
- [24] Nambiar, S., Osei, E.K. Yeow, J.T.W., Polymer nanocomposite-based shielding against diagnostic X-rays, *J. Appl. Polym. Sci*, 127, 4939–4946. 2013. <https://doi.org/10.1002/app.37980>.
- [25] Asari Shik, N., Gholamzadeh, L., X-ray shielding performance of the EPVC composites with micro-nanoparticles of WO<sub>3</sub>, PbO or Bi<sub>2</sub>O<sub>3</sub>, *Appl. Radiat. Isot.*, 139, 61-65, 2018. <https://doi.org/10.1016/j.apradiso.2018.03.025>.
- [26] Bayoumi, E.E., Attia, N.F., Elshehy, E.A., Abd El-Magied, M.O., Atia, B.M., Galhoum, A.A., Manjunatha, H.C., Sridhar, K.N., Khalil, L.H. and Mohamed, A.A., Tungsten-based hybrid nanocomposite thin film coated fabric for gamma, neutron, and X-ray attenuation, *Surf. Interfaces*, 39, 102883, 2023. <https://doi.org/10.1016/j.surfin.2023.102883>.
- [27] Gholamzadeh, L., Sharghi, H., KhajehAminian, M., Synthesis of barium-doped PVC/Bi<sub>2</sub>WO<sub>6</sub> composites for X-ray radiation shielding. *Nucl. Eng. Technol.*, 54, 318-325, 2022. <https://doi.org/10.1016/j.net.2021.07.045>.
- [28] Wu, Z., Li, Y., Yan, Q., Liu, G., Liu, Y., Wang, G. and He, L., Gamma radiation shielding properties of WO<sub>3</sub>/Bi<sub>2</sub>O<sub>3</sub>/waterborne polyurethane composites. *J. Korean Phys. Soc.*, 81(3), 199-205. 2022. <https://doi.org/10.1007/s40042-022-00503-0>.