



بررسی اثر حفاظتی کامپوزیت نانولیفی پلی وینیل الکل حاوی نانوذرات Bi_2O_3 بر روی بستر پلی استری در برابر پرتو ایکس

فاطمه ظفری^۱، لیلا غلامزاده^{۱*}، ابوالفضل زارع^۲

۱. بخش هسته‌ای، دانشکده فیزیک، دانشگاه یزد، یزد، ایران

۲. بخش شیمی نساجی، دانشکده مهندسی نساجی، دانشگاه یزد، یزد، ایران

چکیده

پرتو ایکس نوعی از تابش الکترومغناطیسی و جزو پرتوهای یونساز به حساب می‌آید که به‌طور گسترده‌ای در علوم و صنایع مختلف مانند پزشکی کاربرد دارد. با توجه به اثرات مخرب این تابش روی انسان، بحث ساخت حفاظ در برابر این پرتو از اهمیت خاصی برخوردار است. در این پژوهش، لایه نانولیف پلی وینیل الکل حاوی نانوذرات اکسید بیسموت (Bi_2O_3) با درصدهای وزنی مختلف (۰-۳۵ wt%) به روش الکتروسی بر روی پارچه پلی استری به منظور حفاظت در برابر پرتو ایکس ریسیده شدند. قابلیت تضعیف پرتوهای ایکس در ولتاژ ۴۰ کیلو ولت با استفاده از نانولیف الکتروسی پلی وینیل الکل حاوی نانوذرات اکسید بیسموت با درصدهای وزنی مختلف اندازه‌گیری و با هم مقایسه شد. با استفاده از میکروسکوپ الکترونی روبشی (SEM)، توزیع نانوذرات در کامپوزیت لیفی تهیه‌شده مورد بررسی قرار گرفت. نتایج نشان داد که با افزایش درصد وزنی نانوذرات Bi_2O_3 در نانولیف پلیمری الکتروسی بر روی بستر منسوج، میزان محافظت در برابر پرتو ایکس افزایش می‌یابد.

کلیدواژگان: الکتروسی، کامپوزیت‌های نانولیفی، حفاظت در برابر پرتو ایکس، نانوذرات اکسید بیسموت، پلی وینیل الکل

The investigation of X-ray shielding by poly(vinyl alcohol) (PVA) nanofiber composite containing Bi_2O_3 nanoparticles on the polyester mat

Fatemeh Zafari¹, Leila Gholamzadeh^{1*}, Abolfazl Zare²

1. Nuclear Department, Faculty of Physics, Yazd University, Yazd, Iran.

2. Department of Textile Chemistry, Faculty of Textile Engineering, Yazd University, Yazd, Iran.

Abstract

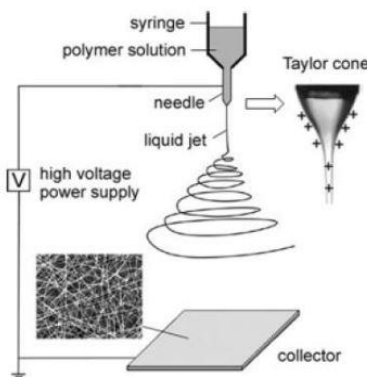
X-ray is a type of electromagnetic radiation and ionizing radiation that is widely used in various sciences and industries such as medicine. Due to the destructive effects of this radiation on humans, the issue of making protective materials against this radiation is of particular importance. In this study, polyvinyl alcohol (PVA) nanofibers containing Bi_2O_3 nanoparticles with different weight percentages (0-35 wt%) were fabricated electrically on fabric to use as X-rays shields. The attenuation ability of X-rays at 40 kV energies was measured and compared by PVA electrospun nanofibers containing bismuth oxide nanoparticles with different weight percentages. Dispersion of nanoparticles in polymer nanofibers was observed using scanning electron microscopy (SEM). The results show that by increasing the weight percentage of Bi_2O_3 nanoparticles in electrospun polymer nanofibers, the X-ray attenuation capacity also increases.

Keywords: Electrospun, Nanofiber composite, X-ray protection, Bi_2O_3 nanoparticles, polyvinyl alcohol

* Email: gholamzadeh@yazd.ac.ir

۱. مقدمه

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، پزشکی استفاده می‌شود [۱-۳]. چندین مطالعه ثابت کرده است که پرتو ایکس پرکاربردترین روش مورد استفاده در بخش پزشکی (تشخیص و درمان) می‌باشد [۱، ۳]. پرتوگیری طولانی از این تابش‌ها می‌تواند موجب اثرات زیست‌شناختی شوند [۴-۶]. بنابراین برای کاهش اثرات احتمالی و قطعی ناشی از پرتوهای یونیزان، حفاظ‌گذاری در برابر پرتو یک روش مناسب است [۱، ۷]. با بررسی‌های انجام شده از بین مواد مختلف، عناصر فلزی با عدد اتمی و چگالی بالا می‌توانند حفاظ خوبی در برابر پرتوهای ایکس باشند [۸]. سرب و ترکیبات آن به دلیل خواص فیزیکی مانند عدد اتمی و چگالی بالا به‌عنوان بهترین ماده جهت حفاظ‌گذاری (محافظت در برابر پرتو ایکس) پیشنهاد شده اند اما با مشخص شدن سمیت سرب و به‌خطر انداختن سلامتی، به‌طور جدی در کاربردهای مختلف محافظت در برابر پرتو محدود شده اند [۱-۳]. 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 کنند [۹]. بنابراین از پلیمرها و چندین عنصر فلز سنگین مانند: بیسموت، تنگستن، باریم و غیره به عنوان مواد محافظ در برابر پرتو ایکس و جایگزین سرب استفاده شده است و نیز کامپوزیت‌های این مواد کاندیدای جذابی برای تولید موادی شده‌اند که می‌توانند برای کاهش موثر پرتو ایکس طراحی شوند [۲، ۳، ۱۰]. همچنین از میان مطالعات گوناگون، برخی پژوهش‌ها نیز به بررسی مواد نانو ساختار پرداخته‌اند [۱۱، ۱۲]. الکتروروسی که با عنوان فراوری الکترواستاتیک الیاف شناخته می‌شود، روشی است که در اصل برای تولید الیاف پلیمری با قطر در اندازه نانومتر است. این روش به دلیل سادگی تنظیم و راه‌اندازی، هزینه‌های کمتر تولید، خواص مکانیکی عالی، تولید نانوالیاف پلیمری یکنواخت و پیوسته نسبت به سایر روش‌ها، قادر به توزیع نانوذرات در ماتریس پلیمری و بهبود خواص نانو کامپوزیت‌ها به عنوان یک روش موثر شناخته شده است، که توانسته مورد توجه بسیاری از محققان برای اختراع محصولات بیشماری برای کاربردهای مختلف قرار بگیرد [۱]. طرحی از دستگاه الکتروروسی در شکل ۱ نشان داده شده است. نانوذرات با درصدهای وزنی مختلف به عنوان پرکننده‌هایی برای تهیه نانو کامپوزیت‌های پلیمری الکتروروسی شده خواهند بود زیرا آن‌ها اثر محافظتی خوبی در برابر پرتو ایکس ارائه می‌دهند و همچنین به‌عنوان ماده اصلی برای تولید ماده محافظ پرتو ایکس بدون سرب انتخاب شدند [۳]. در این مقاله، نانوالیاف پلی وینیل الکل حاوی نانوذرات Bi_2O_3 با درصدهای وزنی مختلف (۰-۳۵ wt%) با استفاده از روش الکتروروسی بر روی پارچه به‌منظور حفاظت در برابر پرتو ایکس ساخته شده اند.



شکل ۱. طرحی از دستگاه الکتروروسی

۲. مواد و روش‌ها

۱۰۲ مواد اولیه

سنتز نانوذرات اکسید بیسموت براساس روش هیدروترمال انجام گرفته است [۱۳]. پودر پلی‌وینیل‌الکل، تهیه شد و در تولید نانوالیاف پلیمری الکتروریسی حاوی نانوذرات مورد استفاده قرار گرفت.

۲.۲ آماده‌سازی نمونه‌های کامپوزیت‌های نانولیفی

محلول پلیمری PVA با غلظت ۱۰٪ w/w در آب مقطر تهیه شد. این محلول با استفاده از همزن مغناطیسی در دمای ۹۰-۸۰ سلسیوس به مدت ۲ ساعت هم‌زده شد. سپس نانوذرات فلزی Bi_2O_3 با درصد وزنی مختلف (۰ - ۳۵ wt%) به تدریج به محلول پلیمری روی همزن افزوده شد و هم‌زدن در همان دما به مدت ۱ ساعت ادامه یافت. به منظور افزایش یکنواختی محلول، مدت زمان هم‌زدن با همزن مغناطیسی را افزایش داده و جهت کاهش حباب‌های هوا و هم‌گن‌سازی محلول پلیمری، محلول‌های موجود در حمام التراسونیک به مدت ۳۰ دقیقه قرار گرفتند. روش تهیه محلول در جدول ۱ نشان داده شده است. جهت فرآیند الکتروریسی، محلول‌های پلیمری تهیه شده به یک پمپ سرنگ ۲ میلی‌لیتری با سوزن ۲۰-G انتقال یافتند. برای تولید نانوالیاف، فاصله نوک سوزن تا جمع‌کننده، ولتاژ و سرعت جریان محلول به ترتیب ۱۵ سانتی‌متر، ۱۹ کیلوولت و ۰/۳ میلی‌لیتر بر ساعت تنظیم شد. نانوالیاف بر روی پارچه پلی‌استر به مدت ۲ ساعت الکتروریسی شد.

جدول ۱. لیست محلول‌های الکتروریسی آماده شده با درصد وزنی‌های مختلف Bi_2O_3

محلول پلیمری (w/w%)	نانوذرات Bi_2O_3 (wt%)	پلی‌وینیل‌الکل (wt%)
	۰	۱۰۰
	۱۰	۹۰
۱۰	۲۰	۸۰
	۳۰	۷۰
	۳۵	۶۵

۳.۲ اندازه‌گیری ضخامت و چگالی نمونه‌ها

ضخامت نمونه‌ها با استفاده از دستگاه ضخامت‌سنج تعیین گردید. ضخامت نمونه‌های حاوی ۰ wt%، ۱۰ wt%، ۲۰ wt%، ۳۰ wt% و ۳۵ wt% نانو اکسید بیسموت به ترتیب ۰/۰۳۸ cm، ۰/۰۳۹ cm، ۰/۰۳۹۵ cm، ۰/۰۴۱ cm و ۰/۰۴۱۵ cm می‌باشد. یکی از ساده‌ترین راه‌های اندازه‌گیری چگالی، استفاده از مایعی با چگالی معلوم است. که بر اساس فرورفتگی نمونه درون مایع (چگالی نمونه بیشتر از مایع) و یا معلق ماندن نمونه در آن (چگالی نمونه تقریباً برابر چگالی مایع است) می‌توان چگالی نمونه‌ها را به روش غوطه‌وری با کمک رابطه ۱ تعیین کرد. نمونه درون نیترو بنزن با چگالی مشخص قرار داده شد و با توجه به رفتار نمونه در نیترو بنزن، از بنزن در صورتیکه نمونه به‌صورت شناور روی حلال اول بوده و یا از تتراکلرید کربن در صورت فرورفتن نمونه در حلال اول استفاده می‌گردد. حال با مشاهده نمونه در مخلوط حلال‌ها می‌توان فرورفتگی یا معلق بودن آن را بررسی کرد. سپس باید تعادل نمونه به‌صورت معلق در درون حلال حفظ گردد. در این وضعیت می‌توان چگالی نمونه را با چگالی مخلوط حلال‌ها برابر دانست.

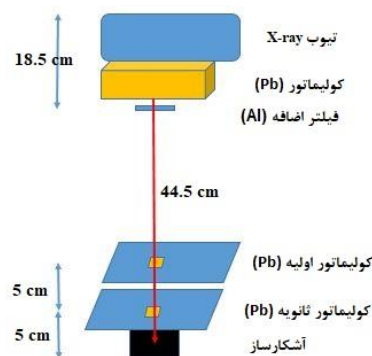
(۱)

$$\rho = \frac{\rho_1 v_1 + \rho_2 v_2}{v_1 + v_2}$$

که ρ چگالی نمونه یا چگالی مایع مخلوط، ρ_1 و ρ_2 چگالی دو مایع مخلوط، v_1 و v_2 حجم دو مایع در مخلوط می‌باشد.

۴.۲ اندازه‌گیری تضعیف پرتو ایکس نمونه‌ها

پرتو دهی به نمونه‌ها به وسیله‌ی دستگاه Varian (لامپ Varian، مدل ۶۸-rad) در ولتاژ ۴۰ کیلو ولت و جریان ۱۰ mA در زمان ۱۰ min انجام گرفت. اندازه‌گیری دز با استفاده از دزیومتر Piranha (Piranha-۶۵۷) و نرم‌افزار Ocean انجام گرفت و داده‌ها با دقت بسیار بالا (به میزان دو رقم اعشار) ثبت گردید. شدت پرتوی ایکس اولیه I_0 با اندازه‌گیری دز دریافتی بوسیله آشکارساز بدون حضور نمونه‌ای به‌دست آمد. همچنین شدت پرتو ایکس نهایی I با اندازه‌گیری دز دریافتی با حضور نمونه‌ها جلوی آشکارساز به‌دست آمد. چیدمان اجزای مختلف فرآیند پرتو دهی مانند شکل ۲ است.



شکل ۲. چیدمان اجزای مختلف فرآیند پرتو دهی

ضریب تضعیف جرمی نانوکامپوزیت‌های پلیمری با استفاده از رابطه ۲ تعیین گردید.

(۲)

$$D = D_0 e^{-\mu_m \rho x}$$

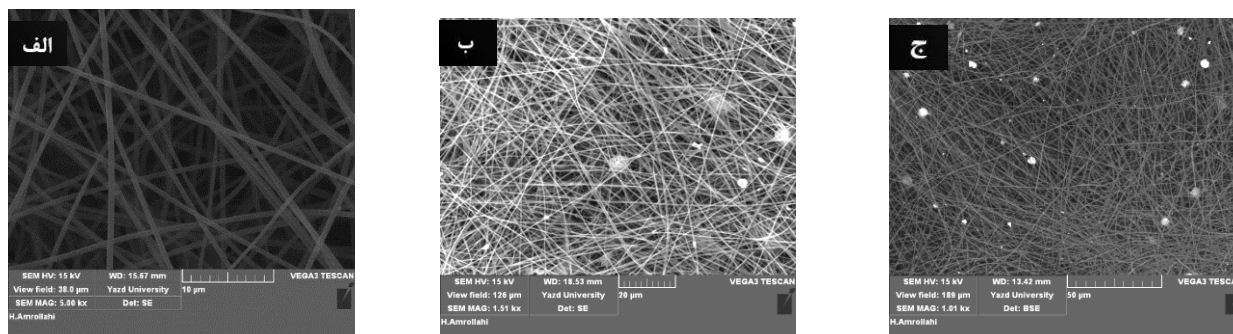
که D به ترتیب ضریب تضعیف جرمی، ضخامت، چگالی، میزان دز بدون حفاظ و میزان دز با حفاظ هستند [۲، ۳]. برای به‌دست آوردن ضریب تضعیف جرمی، ابتدا نمودار $\ln \frac{D}{D_0}$ را بر حسب ضخامت نمونه‌ها رسم می‌کنیم سپس شیب حاصل از نمودار بر چگالی نمونه‌ها تقسیم می‌شود و ضریب تضعیف جرمی به‌دست می‌آید.

۵.۲ روش مشخصه‌یابی

از SEM برای دریافت اطلاعاتی همچون اندازه ذرات سنتز شده، پراکندگی ذرات در نانوالیاف پلیمری الکتروریسی و ساختار نانوالیاف استفاده شده است.

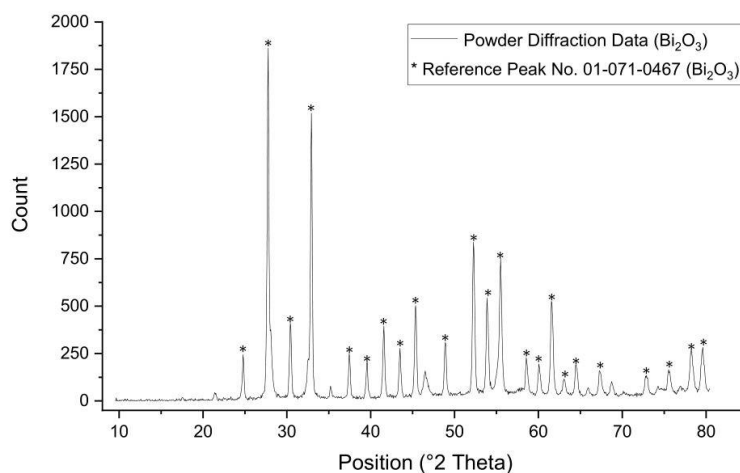
۳. بحث و نتایج

با استفاده از میکروسکوپ الکترونی VEGA3 TESCAN، تصاویر SEM نانوالیاف پلی‌وینیل‌الکل الکتروریسی شده حاوی الف) ۰ wt% نانوذرات Bi_2O_3 (ب) ۲۰ wt% نانوذرات Bi_2O_3 (ج) ۳۰ wt% نانوذرات Bi_2O_3 تهیه شد و در شکل ۳ نشان داده شده است.



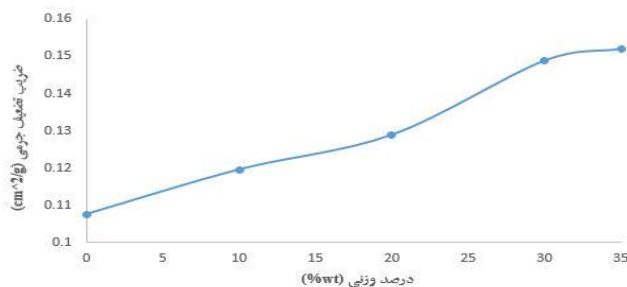
شکل ۳. تصاویر SEM نانوالیاف پلی‌وینیل‌الکل الکتروریسی شده حاوی الف) ۰ wt% نانوذرات Bi_2O_3 (ب) ۲۰ wt% نانوذرات Bi_2O_3 (ج) ۳۰ wt% نانوذرات Bi_2O_3

طیف XRD پودر Bi_2O_3 با استفاده از دستگاه پراش پرتو ایکس، با طول موج پرتو تابیده $\lambda = 0.154 \text{ nm}$ مشخص شد و اندازه بلورکهای اکسید بیسموت حدود 35 nm است. همان‌طور که در شکل ۴ دیده می‌شود، قله‌های نانوذرات اکسید بیسموت سنتز شده با قله‌های نمونه مرجع هم‌خوانی خوبی دارد. بنابراین فرآیند سنتز این ماده به درستی انجام شده است.



شکل ۴. طیف XRD پودر Bi_2O_3 سنتز شده

با استفاده از رابطه ۲ و نتایج پرتو دهی، ضرایب تضعیف جرمی نمونه‌ها محاسبه شده است و برحسب درصد نانوذرات مختلف این ضرایب رسم شده و در شکل ۵ نشان داده شده است. با توجه به شکل ۵، ضریب تضعیف جرمی برای نمونه حاوی ۳۵٪ اکسید بیسموت از ضریب تضعیف جرمی نمونه‌های حاوی ۳۰-۰ درصد وزنی اکسید بیسموت بهتر است.



شکل ۵. تغییرات ضرایب تضعیف جرمی تجربی بر حسب درصد وزنی Bi_2O_3

۴. نتیجه‌گیری

نانوالیاف الکتروریسی پلی وینیل الکل حاوی نانوذرات Bi_2O_3 با درصدهای وزنی مختلف (۰-۳۵ wt%) بر روی پارچه با موفقیت ساخته شدند و سپس این نمونه‌ها در معرض پرتوی ایکس قرار داده شدند تا میزان دز عبوری آنها ثبت شود. ضرایب تضعیف جرمی برای این نمونه‌ها در حضور لامپ پرتو ایکس با ولتاژ ۴۰ kV محاسبه و مقایسه شدند. با افزایش درصد نانوذرات اکسید بیسموت در کامپوزیت نانولیفی میزان قابلیت تضعیف افزایش می‌یابد. اما با توجه به ضخامت کم نمونه‌ها و رسوب شدن ذرات سنگین اکسید بیسموت در داخل سرنگ حین فرآیند الکتروریسی تضعیف بالایی نخواهیم داشت مگر آنکه ضخامت نمونه‌ها را افزایش داد اما به دلیل محدودیت زمانی و عدم امکان پذیری استفاده ۲۴ ساعت به بالا (طولانی مدت) از دستگاه الکتروریسی این کار را تا حدودی غیر ممکن می‌کند. همچنین می‌توان از ماده پخش‌کننده خاص در محلول پلیمری استفاده کرد تا از رسوب ذرات در سرنگ جلوگیری کند و ذرات بیشتری به همراه محلول پلیمری به سمت صفحه جمع‌کننده پرتاب شوند. راه حل دیگر این است که برای حفاظ پرتو ایکس در محدوده انرژی تشخیصی از عناصر با عدداتمی پایین با لبه جذب مناسب برای الکتروریسی استفاده شود.

۵. مراجع

1. Noor Azman, N.Z. and B.M. Abunahel, *Electrospun polymer nanocomposites for X-ray shielding application*, in *Electrospun Polymers and Composites*. 2021. p. 513-565.
2. Jamil, M., et al., *Study of electrospun PVA-based concentrations nanofibre filled with Bi_2O_3 or WO_3 as potential x-ray shielding material*. Radiation Physics and Chemistry, 2019. **156**: p. 272-282.
3. Hazlan, M.H., et al., *X-ray attenuation characterisation of electrospun $\text{Bi}_2\text{O}_3/\text{PVA}$ and WO_3/PVA nanofibre mats as potential X-ray shielding materials*. Applied Physics A, 2018. **124**(۷)
4. Liu, F.J., et al., *Preparation, Characterization and Ionizing Radiation Protection Properties of Electrospun Nanofibrous Mats Embedded with Erbium Oxide (Er_2O_3) Nanoparticles*. Journal of Nano Research, 2014. **27**: p. 121-127.
5. de González, A.B. and S. Darby, *Risk of cancer from diagnostic X-rays: estimates for the UK and 14 other countries*. The Lancet, 2004. **363**(9406): p. 345-351.
6. Jayakumar, S., et al., *Synergistic effect of $\beta\text{-Bi}_2\text{O}_3$ and graphene/MWCNT in silicone-based polymeric matrices on diagnostic X-ray attenuation*. Applied Nanoscience, 2019. **9**(8): p. 1891-1913.
7. Strom, D.J., *Ten principles and ten commandments of radiation protection*. Health physics, 1996. **70**(3): p. 388-393.



8. McCaffrey, J., et al., *Radiation attenuation by lead and nonlead materials used in radiation shielding garments*. Medical physics, 2007. **34**(2): p. 530-537.
9. Huda, W., et al., *An approach for the estimation of effective radiation dose at CT in pediatric patients*. Radiology, 1997. **203**(2): p. 4. ۴۲۲-۱۷
10. Aral, N., F. Banu Nergis, and C. Candan, *An alternative X-ray shielding material based on coated textiles*. Textile Research Journal, 2015. **86**(8): p. 803-811.
11. Aghaz, A., et al., *Radiation attenuation properties of shields containing micro and Nano WO₃ in diagnostic X-ray energy range*. International Journal of Radiation Research, 2016. **14**(2): p. 127.
12. Azman, N.Z., S.A. Siddiqui, and I.M. Low, *Characterisation of micro-sized and nano-sized tungsten oxide-epoxy composites for radiation shielding of diagnostic X-rays*. Mater Sci Eng C Mater Biol Appl, 2013. **33**(8): p. 4952-7.
13. Wu, C., et al., *Hydrothermal synthesis and characterization of Bi₂O₃ nanowires*. Materials Letters, 2011. **65**(7): p. 1134-1136.