



مقایسه‌ی قابلیت تضعیف کامپوزیت‌های حاوی تنگستن به عنوان حفاظ پرتوی ایکس تشخیصی

نگار ربیعی بابوکانی، لیلا غلامزاده^{۱*}

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

چکیده:

در این مقاله به اندازه‌گیری و مقایسه‌ی قابلیت تضعیف پرتوهای ایکس توسط کامپوزیت‌های حاوی تنگستن در محدوده‌ی انرژی تشخیصی پرداخته شده است. به این منظور دو ترکیب حاوی تنگستن از جمله اکسید تنگستن خالص (۱۰۰ درصد) (WO_3) و ترکیبی از اکسید تنگستن (ناخالص) و اکسید سولفید که تقریباً ۸۵٪ این ترکیب را اکسید تنگستن تشکیل می‌دهد سنتز شدند و سپس درصدهای مختلف این مواد در بستری از امولسیون پلی ونیل کلراید (EPVC) وارد شده و کامپوزیت‌هایی به صورت ورقه‌هایی با ضخامت تقریباً 1 ± 0.01 mm آماده گردید و تحت پرتوهای در ولتاژهای لامپ پرتو ایکس ۴۰، ۸۰ و ۱۲۰ kV قرار گرفتند. سپس با اضافه کردن لایه به نمونه‌ها ضخامت نمونه‌ها را افزایش داده و مجدداً تحت پرتوهای قرار گرفتند. درصد تضعیف، چگالی و ضریب تضعیف نمونه‌ها تعیین گردید. طبق نتایج نشان دادند که قابلیت تضعیف نمونه‌ی اکسید تنگستن خالص بهتر از نمونه‌ی حاوی اکسید تنگستن ناخالص (با ناخالصی اکسید سولفید) است. بنابراین حفاظ‌های حاوی نانو تنگستن در عین سبکی می‌توانند جایگزین خوبی برای حفاظ‌های سربی باشند.

کلید واژه‌ها: ترکیبات حاوی تنگستن، کامپوزیت های پلیمری، محافظ پرتو ایکس

Comparison of attenuation of tungsten-containing composites as diagnostic X-ray shielding

Negar Rabiei Babokani, Leila Gholamzadeh*

Nuclear Department, School of Physics, Yazd University, Yazd, Iran

Abstract:

In this paper, the x-ray attenuation capability of tungsten-containing composites in the diagnostic energy range is measured and compared. For this purpose, two compounds containing tungsten, including tungsten oxide (WO_3) and a combination of tungsten oxide and sulfide oxide, which is approximately 85% of tungsten oxide, were synthesized, and then different percentages of these substances in a bed of polyvinyl chloride emulsion (EPVC) was prepared in the form of sheets with a thickness of approximately 1 mm and were irradiated at energies of 40, 80, 120 KV. Then the number of layers of samples was increased and re-irradiated, respectively. the passing dose, density and attenuation coefficient of the samples were determined. According to the results, the attenuation capability of the pure tungsten oxide sample is better than that of the sample containing impure tungsten oxide, and the increase in the thicknesses of the specimens increases the x-ray attenuation capacity at a specified energy, which is consistent with the previous results. Therefore, shields containing nano-tungsten, while lightweight, can be a good alternative to lead shields.

Keywords: Polymer composites, Tungsten compounds, X-ray shielding

¹ Email: gholamzadeh@yazd.ac.ir

۱. مقدمه:

پرتو یا تشعشع عبارت است از انرژی که به صورت امواج یا ذرات در خلاء یا در محیط مادی منتشر می‌شود [۱]. پرتوهای ایکس و گاما از بیشترین فرکانس در بین همه امواج الکترومغناطیس برخوردارند و بنابراین دارای کوتاهترین طول موج و بیشترین مقدار انرژی هستند [۲]. ویلهلم کنراد رونتگن^۲ فیزیکدان آلمانی در هشتم نوامبر ۱۸۹۵ میلادی پرتوی ایکس را کشف کرد [۳]. پرتو ایکس یا پرتو رونتگن دارای طول موج حدود ۰/۰۱ تا ۱۰ نانومتر و انرژی بین ۱۰۰ الکترون ولت تا ۱۰۰ کیلو الکترون ولت است. طول موج پرتو ایکس از طول موج پرتو فرابنفش پایین‌تر و از طول موج پرتو گاما بالاتر است. به پرتو ایکس با فوتون‌های پر انرژی‌تر (بالای ۵ یا ۱۰ کیلوولت و با طول موج ۰/۱ تا ۰/۲ نانومتر) پرتوی ایکس سخت در پرتوهای با انرژی پایین‌تر را پرتوی ایکس نرم می‌گویند [۴]. پرتو ایکس به دلیل طول موج بسیار کوتاه و فرکانس بالا، قدرت عبور از بیشتر مواد و محیط‌ها را دارد. در کنار اثرات مفیدی که پرتوی ایکس برای علوم مختلف به ویژه پزشکی به ارمغان آورده است، لزوم توجه به اثرات زیان بار این پرتو نیز قابل توجه می‌باشد، بنابراین ما به دنبال تضعیف پرتو ایکس هستیم. کمیت و کیفیت دو اصطلاح برای بیان خصوصیات یک دسته پرتوی ایکس هستند. کمیت به تعداد فوتون‌ها در دسته پرتو و کیفیت به انرژی آن‌ها اطلاق می‌شود. شدت یک دسته پرتو، حاصل ضرب تعداد و انرژی فوتون‌ها است، لذا به کمیت و کیفیت هر دو مربوط می‌شود. تضعیف عبارت است از کاهش شدت یک دسته پرتوی ایکس که در هنگام عبور از ضخامت یک ماده جاذب، ایجاد می‌شود. از آنجا که این عامل معیاری از یک تغییر در شدت پرتو است، لذا تضعیف نیز به کمیت و کیفیت فوتون‌ها در دسته پرتو ایکس بستگی دارد. سه عامل برای کاهش پرتو در دسترس است: زمان، فاصله و موانع [۵].

شار پرتوهای گاما و ایکس را می‌توان با یک ماده لایه‌ای ضخیم و یا متراکم، با عدد اتمی بالا مانند سرب را کاهش داد. البته میزان تضعیف به انرژی فوتون فرودی و عدد اتمی ماده هدف بستگی دارد. موادی که چگالی بالاتری دارند برای کاهش شار فوتون‌های ایکس و گاما از مواد با چگالی کمتر موثرتر عمل می‌کنند [۳]. سرب و آلیاژهای آن مقرون به صرفه‌ترین مواد برای محافظت در برابر اثرات پرتوهای ایکس و گاما به دلیل عدد اتمی بالا هستند [۶]. سرب هنگام استنشاق یا بلعیدن بسیار سمی است. در سال‌های اخیر تلاش برای ایجاد گزینه‌های جایگزین برای مواد محافظ به طور چشمگیری افزایش یافته است [۷]. علاوه بر سمیت شناخته شده، سرب دارای معایب دیگر، از جمله نقطه ذوب کم، چگالی بالا، استحکام کم، نرمی و انعطاف پذیری زیاد در دمای اتاق است. از این رو تلاش شده است کامپوزیت‌های پلیمری حاوی فلزاتی با عدد اتمی بالا، جایگزینی برای سرب معرفی شود که معایب سرب را نداشته باشد. بنابراین از فلزات و ترکیبات فلزات سنگین همچون تنگستن استفاده شده است. در این مقاله به مقایسه‌ی قابلیت تضعیف ترکیبات حاوی تنگستن می‌پردازیم.

۲. مواد و روش‌ها

ابتدا نانو مواد مورد استفاده سنتز شدند. سنتز نانو ذرات اکسید تنگستن خالص بر اساس روش هیدروترمال انجام شد [۸]. فرآیند سنتز نانو حاوی ترکیبات تنگستن با کمک روش هیدروترمالی که در سال ۲۰۱۱ توسط تانگ و همکاران ارائه گردیده است، انجام گرفت که در ادامه به آن می‌پردازیم [۹]. ابتدا مقدار ۱/۶۵ گرم از پودر سدیم تنگستات و ۱/۱۷ گرم از پودر سدیم سولفید و 5/012 گرم محلول ۲ مولار هیدرو کلراید اسید و ۰/۱۵ گرم CTAB در ۳۰ میلی لیتر آب مقطر توسط هم‌زن مغناطیسی هم زده شد تا محلول یکنواخت زرد رنگ داشته باشیم. PH محلول نهایی باید برابر ۶ باشد که توسط کاغذ مخصوص اندازه گرفته شد. سپس این مخلوط به یک اتوکلاو منتقل شده و مهر و موم شد و به مدت ۲۴ ساعت تحت حرارت ۱۸۰°C قرار داده شد و پس از آن به طور طبیعی در دمای اتاق سرد شد. رسوبات سیاه توسط سانتریفیوژ جمع آوری و برای چند بار با آب مقطر و اتانول مطلق شسته شدند. سرانجام محصولات در دمای ۸۰°C به مدت ۱۰ ساعت خشک شدند. در نهایت پودر مشکی رنگی بدست آمد.

² Wilhelm Conrad Röntgen



برای تهیه نمونه‌های کامپوزیتی درصدهای وزنی متفاوتی از پودرهای فلزی سنتز شده (۲۰٪ و ۵۰٪ وزنی) با امولسیون پلی‌ونیل کلراید (EPVC^۳) و روغن DOP^۴ مخلوط گردید. سپس در کوره با دمای ۱۲۰°C به مدت ۳۰ دقیقه فرآیند پخت انجام شد. ضخامت نمونه‌های تهیه شده تقریباً ۱ mm می‌باشد.

پرتودهی به نمونه‌ها به وسیله دستگاه Varian (لامپ Varian، مدل ۶۸-rad) در مرکز تحقیقات تابش دانشگاه شیراز در انرژی‌های ۴۰، ۸۰، ۱۲۰ کیلوولت و جریان ۱۰ mA در زمان ۰/۵ min انجام گرفت. اندازه‌گیری دز با استفاده از دزیتر Piranha (Piranha-۶۵۷) و نرم‌افزار Ocean انجام گرفت و داده‌ها با دقت بسیار بالا ثبت گردید. چیدمان اجزای مختلف فرآیند پرتودهی به صورت شکل ۱ است. با استفاده از رابطه‌ی ۱ (دبای-شرر) اندازه نانو کریستال‌ها قابل اندازه‌گیری است.

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

که در آن $D(m)$ ، $\lambda(m)$ ، $\beta(^{\circ})$ (بتا برحسب درجه است که به رادیان باید تبدیل شود، 2θ به ترتیب اندازه بلور، طول موج پرتو ایکس مورد استفاده در دستگاه پراش پرتو ایکس، پهنای کل در نصف ارتفاع قله‌ی بیشینه و زاویه پراش در شدیدترین قله می‌باشد. k مقدار ثابتی است که به ساختار و اندازه‌ی بلور بستگی دارد [۱۰]. ضریب تضعیف جرمی کامپوزیت‌ها با استفاده از رابطه‌ی ۲ تعیین شد.

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

که $(\mu_m \text{ cm}^2 \cdot \text{g}^{-1})$ ، $\rho (\text{g} / \text{cm}^3)$ ، $x(\text{cm})$ ، $D (\text{Gy})$ ، $D_0 (\text{Gy})$ به ترتیب ضریب تضعیف جرمی، چگالی، ضخامت، میزان دز بدون حفاظ می‌باشد.

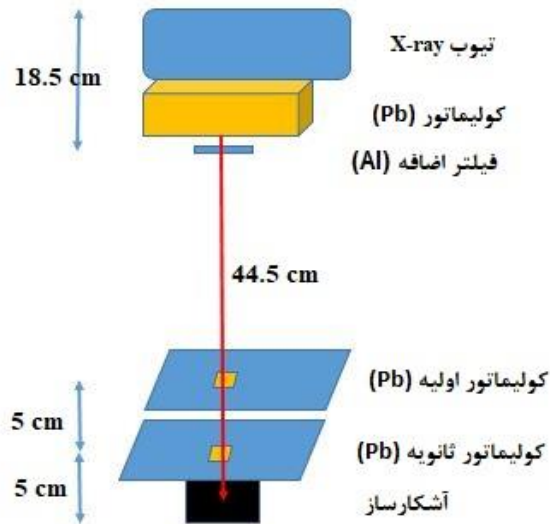
چگالی نمونه‌ها نیز به کمک رابطه‌ی ارشمیدس (رابطه‌ی ۳) تعیین می‌شود.

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

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

³ Emulsion Poly Vinyl Chloride

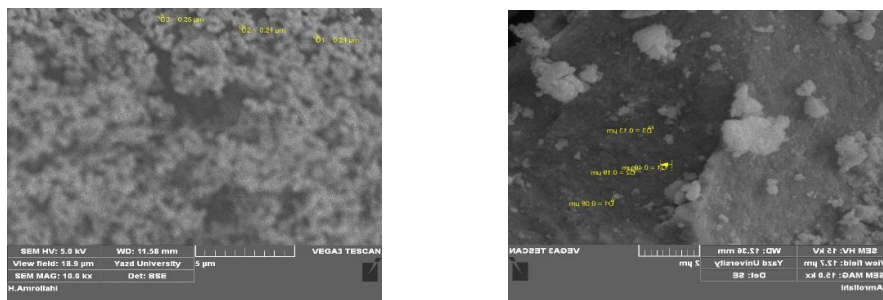
⁴ Dioctyle Phthalate



شکل ۱. چیدمان اجزای مختلف فرآیند پرتودهی

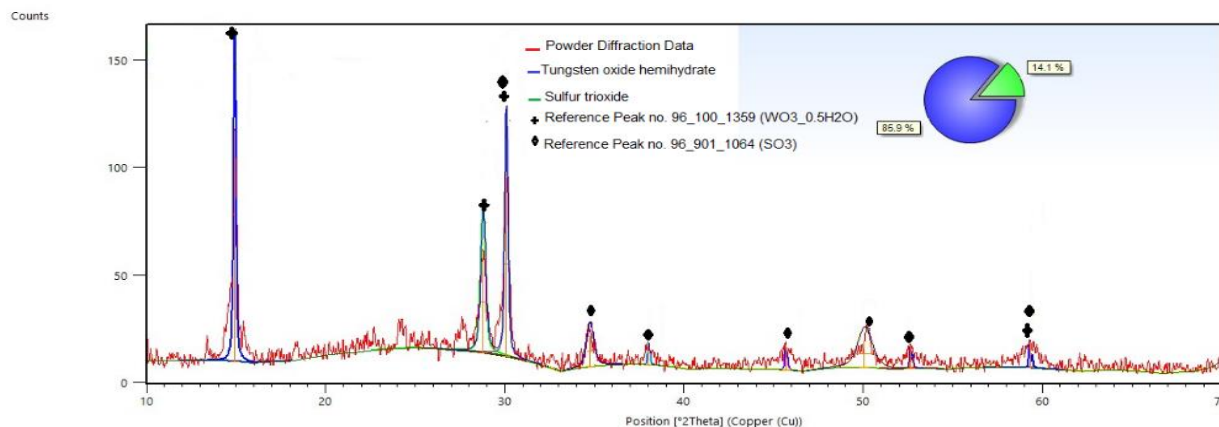
۳. نتایج:

تصویر میکروسکوپ الکترونی (SEM) نمونه‌ها که با استفاده از میکروسکوپ الکترونی VEGA3 TESCAN تهیه شد در شکل ۲ نشان داده شده است. اندازه متوسط نانو ذرات تنگستن اکسید خالص و تنگستن اکسید هیدرات ناخالص به ترتیب حدود 133 nm و ۲۴۰ nm می‌باشد. همانطور که در شکل ۲ مشاهده می‌کنید برخی از نانو ذرات اکسید تنگستن خالص به هم چسبیده‌اند و حالت کلوخه‌گون شده‌اند.

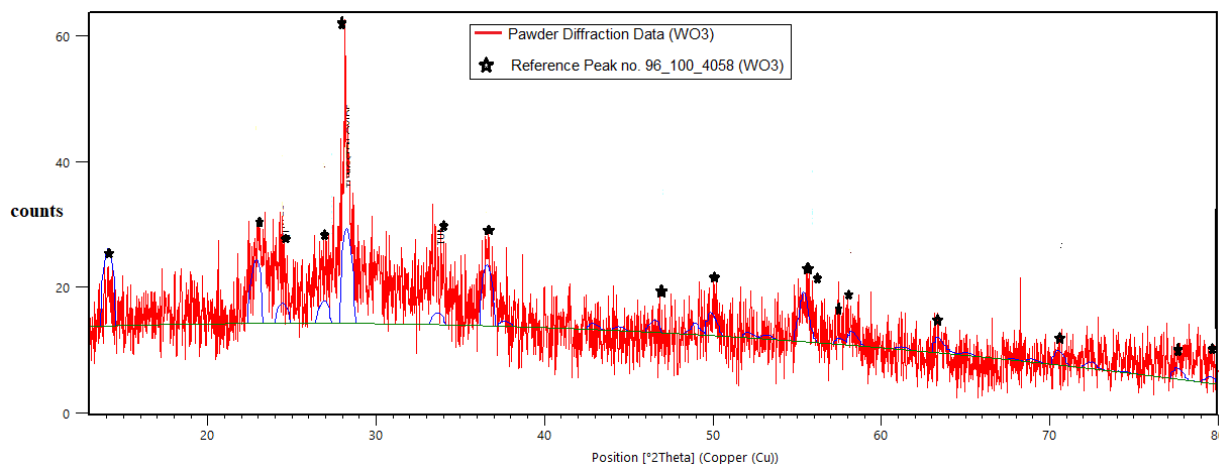


شکل ۲. تصاویر SEM سمت راست: نانو WO_3 و سمت چپ: نانوی حاوی ذرات تنگستن

طیف XRD نمونه با استفاده از دستگاه پراش ایکس , Philips X'Pert Pro با طول موج پرتو $\lambda = 1/54A^0$ تعیین گردید و با استفاده از رابطه‌ی ۱ اندازه‌ی نانو بلورها برای ذرات اکسید تنگستن خالص برابر ۸۸ nm و برای اکسید تنگستن هیدرات ناخالص برابر ۳۵ nm می‌باشد. در شکل ۳ و ۴ می‌توان همخوانی بین قله‌های طیف نانو ذرات سنتز شده با قله‌های نمونه‌ی مرجع (که با علامت مشخص شده) را مشاهده کرد.

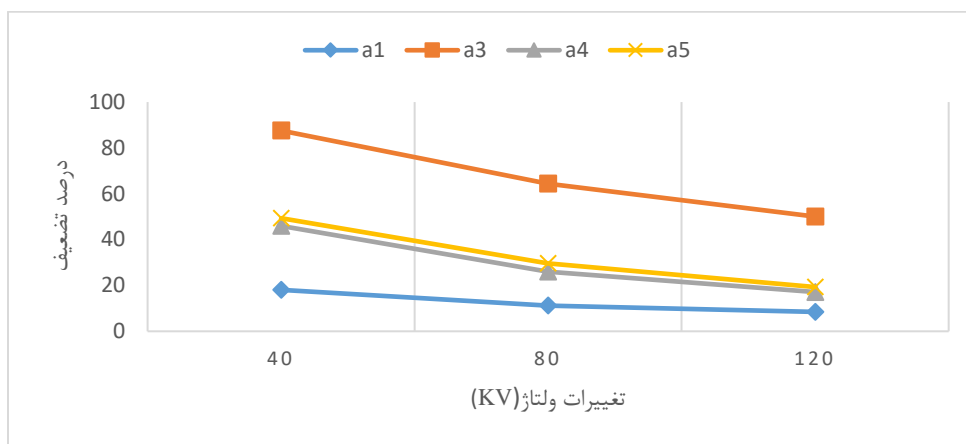


شکل ۳. طیف XRD نمونه‌ی حاوی اکسید تنگستن و اکسید سولفید

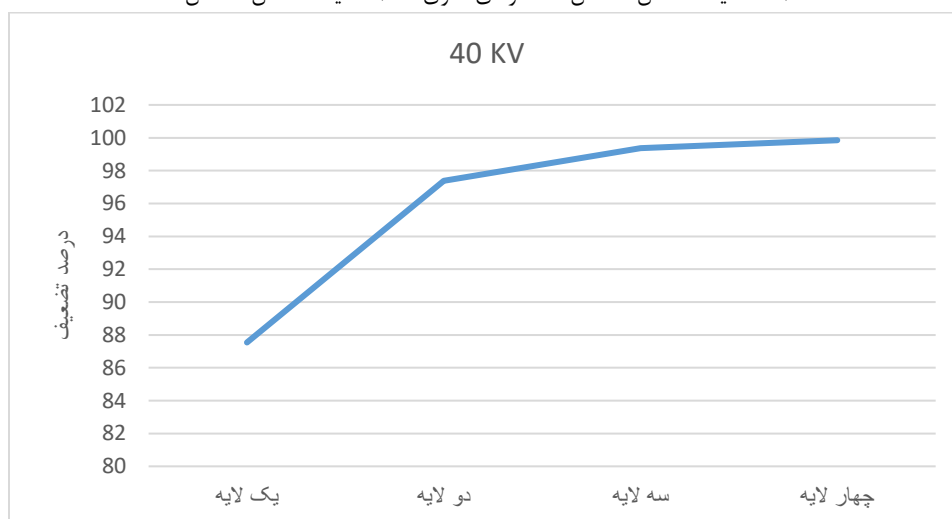


شکل ۳. طیف XRD WO₃

نمودار درصد تضعیف بر حسب تغییرات ولتاژ لامپ پرتوی ایکس: a1: نمونه فاقد پودر فلزی. a۳: نمونه‌ی حاوی ۵۰٪ اکسید تنگستن خالص. a4: نمونه‌ی حاوی ۲۰٪ اکسید تنگستن خالص. a5: نمونه‌ی حاوی ۵۰٪ اکسید تنگستن خالص در شکل ۴ نشان داده شده است. با توجه به شکل ۴، برای ولتاژ لامپ ۴۰ kV و در یک لایه از نمونه‌های حاوی ۲۰٪ و ۵۰٪ وزنی پودر اکسید تنگستن خالص درصد تضعیف تقریباً یکسان و برابر با ۴۵ و ۴۹ درصد به ترتیب است. بنابراین افزایش درصد پودر اکسید تنگستن خالص در تضعیف‌کنندگی تاثیر چندانی ندارد. همانطور که دیده می‌شود، بیشترین درصد تضعیف مربوط به نمونه‌ی حاوی ۵۰٪ تنگستن اکسید خالص است این مقدار برابر با حدود ۸۸ درصد است. در شکل ۵، تغییرات درصد تضعیف در ضخامت‌های مختلف در ولتاژ 40 kV برای نمونه‌ی حاوی ۵۰٪ نانو تنگستن اکسید خالص نشان داده شده است. در شکل ۵، تغییرات درصد تضعیف WO₃ در ضخامت‌های مختلف در ولتاژ ۴۰ kV محاسبه و مقایسه شده است. با توجه به شکل ۵، با افزایش ضخامت میزان درصد تضعیف نمونه‌ها افزایش پیدا می‌کند.

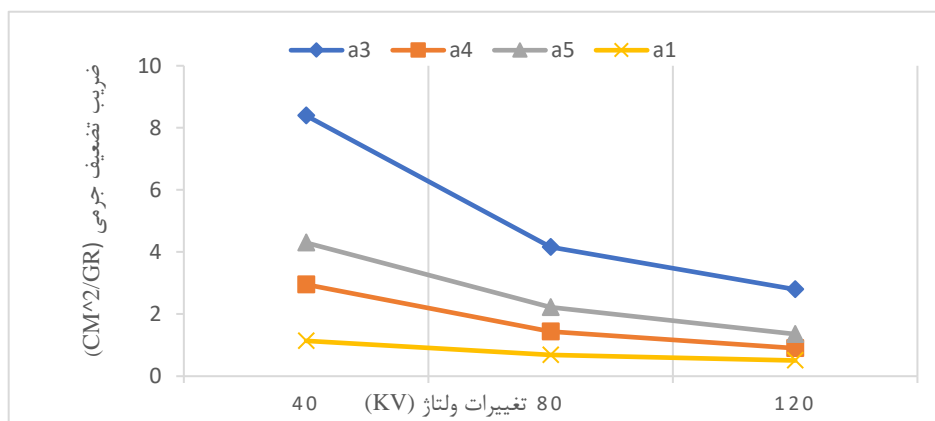


شکل ۴. درصد تضعیف بر حسب تغییرات ولتاژ لامپ پرتوی X: a1 نمونه فاقد پودر فلزی، a۳ نمونه‌ی حاوی ۵۰٪ اکسید تنگستن خالص، a4 نمونه‌ی حاوی ۲۰٪ اکسید تنگستن ناخالص، a5 نمونه‌ی حاوی ۵۰٪ اکسید تنگستن ناخالص.



شکل ۵. تغییرات درصد تضعیف WO_3 در ضخامت‌های مختلف در ولتاژ ۴۰ KV

در شکل 6 تغییرات ضریب جرمی بر حسب تغییرات ولتاژ برای نمونه‌ها نشان داده شده است. با توجه به اینکه با افزایش ولتاژ، انرژی پرتوی ایکس نیز افزایش می‌یابد، می‌توان نتیجه گرفت که با افزایش ولتاژ، میزان ضریب تضعیف نمونه‌ها کاهش می‌یابد. با توجه به شکل ۶ ضریب تضعیف جرمی برای نمونه‌ی حاوی اکسید تنگستن خالص، بهتر از ضریب تضعیف نمونه‌ی حاوی تنگستن اکسید ناخالص است.



شکل ۶. تغییرات ضریب تضعیف جرمی بر حسب تغییرات ولتاژ لامپ پرتوی a1: نمونه فاقد پودر فلزی. a3: نمونه‌ی حاوی ۵۰٪ اکسید تنگستن خالص. a4: نمونه‌ی حاوی ۲۰٪ اکسید تنگستن ناخالص. a5: نمونه‌ی حاوی ۵۰٪ اکسید تنگستن ناخالص.

۴. نتیجه‌گیری:

در این پژوهش به منظور بررسی قابلیت تضعیف ترکیبات حاوی تنگستن به سنتز نانو مواد، ساخت کامپوزیت، پرتودهی و مقایسه قابلیت تضعیف نمونه‌های کامپوزیتی پرداخته شد. در این پژوهش دو روش مختلف برای سنتز نانو ذرات اکسید تنگستن انجام شده است که نهایتاً با تحلیل طیف XRD مشخص شده که یکی صد درصد اکسید تنگستن خالص است (مطابقت با طیف مرجع دارد) همچنین با اندازه رابطه دبای شرر مشخص شده است که اندازه بلورکها ۸۸ نانومتر و رنگ نانو ذرات سبز فیروزه‌ای است. در روش دوم سنتز، طیف نمونه حاصل فقط ۸۵ درصد با اکسید تنگستن مطابقت دارد و بقیه اکسید سولفید است و رنگ نمونه سیاه است. البته در اینجا اندازه بلورکها حدود ۳۵ نانومتر برآورد شده است. با وجود اینکه اندازه نانوذرات در نمونه دومی کوچکتر است اما از روش اولی سنتز، عملکرد تضعیف کمتری دارند. در ولتاژ ۴۰ کیلو ولت با یک لایه (تقریباً یک میلی متری) از کامپوزیت ساخته شده به حدود ۸۸ درصد تضعیف رسیدیم البته با افزایش لایه‌ها (حدود سه الی چهار میلیمتر) به صدد صد تضعیف خواهیم رسید.

مراجع:

۱. S.R. Cherry, J.A. Sorenson and M.E. Phelps, Physics in Nuclear Medicine, (2012).
۲. R.W. Roussin, B.L. Kirk and D.K. Trubey, Radiation Shielding and Protection in Encyclopedia of Physical Science and Technology, edited by R. Meyers (Academic Press, New York, 2003), pp. 581-612.
۳. S.h. Chen, A Study on Properties of Novel Metallic Foam for Nuclear Applications, North Carolina State University, 2015.
۴. D. Attwood, in: Soft X-rays and extreme ultraviolet radiation, (Cambridge university press, Berkeley, 1999), p.2.
۵. H. Gorabi, in: fizik radiology tashkhisi Christensen, (Heydari, Tehran, 1393). (In Persian)
۶. B. Nilsson and A. Brahme, Interaction of Ionizing Radiation with Matter, Comprehensive Biomedical Physics. 1-36 (2014).
۷. A.Z. Miric and A. Grusd, Soldering And Surface Mount Technology, Lead-free alloys. 10, 19-25(1998).
۸. M. Kajeh Aminian and J. Ye, Morphology influence on photocatalytic activity of tungsten oxide loaded by platinum nanoparticles, J. Mater. Res. 25(1), 141-148 (2010).



۹. G. Tung et al. Surfactant-assisted hydrothermal synthesis and characterization of ws_2 nanorods, Mater. Lett. 65, 3457-3460 (2011).
۱۰. N. Z. Noor Azman, 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, J. Mater. Sci. Eng. C. 33(8), 4952-4957 (2013)