



بررسی تجربی پایداری بلند مدت دزیمتر PS-MWCNT تحت تأثیر پرتوهای گاما در ناحیه رادیوتراپی

مسیبی، آرمین*؛ ملکی، شهریار؛ ضیائی، فرهود؛ حاجیلو، ناهید

پژوهشگاه علوم و فنون هسته‌ای، پژوهشکده کاربرد پرتوها

چکیده

در این کار تجربی، پایداری پاسخ دزیمتر برخط نانوکامپوزیت پلی استایرن- نانولوله کربنی چند جداره در محدوده آهنگ دز $151,31-45,77$ mGy/min تحت پرتو دمی گامای چشمه کبالت-60 در دزهای تابشی 1 kGy و 3 kGy ارزیابی شد. مهمترین ویژگی فیزیکی این نوع نانوکامپوزیت‌ها از دیدگاه دزیمتری، زمان واهلش می‌باشد. نتایج نشان داد که افزودن نانولوله های کربنی به بستر پلیمر باعث کاهش زمان واهلش نانوکامپوزیت و افزایش پایداری پاسخ دزیمتر می‌گردد. حداکثر تغییر پاسخ دزیمتر پرتو دمی شده در دزهای 1 kGy و 3 kGy پس از گذشت ۷۲ ساعت به ترتیب برابر $4,2\%$ و $6,3\%$ برآورد گردید. کلمات کلیدی: پایداری بلند مدت، دزیمتر نانوکامپوزیت، زمان واهلش، پرتوهای گاما، رادیوتراپی

مقدمه

به منظور ساخت یک دزیمتر فعال بر پایه نانوکامپوزیت‌های پلیمری، لازم است تأثیر پرتوهای گاما بر روی خصوصیات فیزیکی مواد مذکور بررسی گردد. دزیمترهای نانوکامپوزیتی از دو فاز نرم (پلیمر) و سخت (نانو لوله‌های کربنی) تشکیل شده‌اند. نانوکامپوزیت پلیمر-نانو لوله کربن در پژوهشهای قبلی توسط نویسندگان حاضر از جنبه‌های شبیه سازی و تجربی به عنوان یک دزیمتر تابشی مطرح گردید [۱-۹]. در این دزیمتر، جریان تابشی ایجاد شده توسط پرتو به صورت تغییرات ولتاژ در خروجی سیستم الکترونیکی طراحی شده به صورت دیجیتال نشان داده می‌شود. اگر مقداری بار درون ماده ای رسانا قرار داشته باشد، نیروهای کولنی باعث مهاجرت بارهای الکتریکی مذکور به سطح ماده شده و هیچ باری درون ماده باقی نمی‌ماند. زمان مورد نیاز برای رسیدن ماده هادی به حالت بدون بار زمان واهلش نام دارد:

$$T_r = \frac{\epsilon}{\sigma} \quad (1)$$

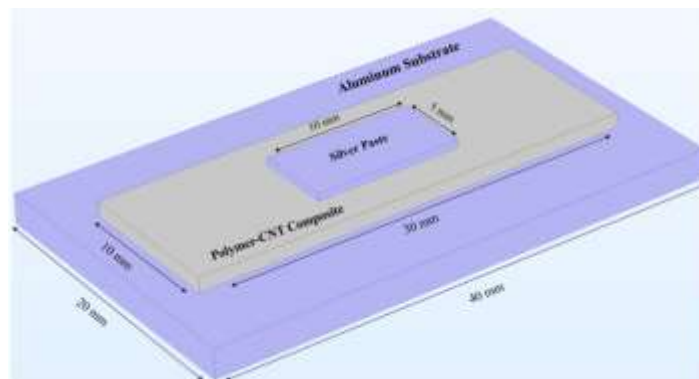
که ϵ و σ به ترتیب گذردهی الکتریکی و رسانندگی الکتریکی ماده به شمار می‌روند. مطابق این رابطه، هر چه هدایت الکتریکی کامپوزیت (σ) بیشتر باشد، زمان واهلش کوتاهتر خواهد بود و به نوعی تعادل و پایداری در قرائت بار الکتریکی کامپوزیت مذکور سریعتر اتفاق خواهد افتاد. به نظر می‌رسد که افزودن درصد وزنی اندکی از نانو لوله‌های کربن به بستر پلیمری می‌تواند کاهش زمان واهلش بار در کامپوزیت مذکور را به دنبال داشته باشد. این امر می‌تواند به واسطه کاهش گاف باند پلیمر در اثر افزوده شدن نانو لوله های کربن به آن باشد که به تبع آن آهنگ تونل زنی کوانتومی یا جهش الکترونها نیز افزایش خواهد داشت؛ که این

*Relaxation time

افزایش می‌تواند زمان برگشت‌پذیری به هدایت الکتریکی حالت قبلی را تسریع نماید. در این کار تجربی، پایداری بلند مدت دزیتر نانوکامپوزیتی PS-MWCNT تحت تاثیر پرتوهای گاما در ناحیه رادیوتراپی مورد مطالعه قرار گرفته است.

مواد و روشها

در این پژوهش تجربی، پلی‌استایرن (PS) گرید ۱۵۴۰ و چگالی 1.05 g/cm^3 از پتروشیمی تبریز به صورت پودر تهیه گردید. نانولوله‌های کربنی چند دیواره (MWCNT) با درصد خلوص بیش از ۹۹٪ از شرکت US-Nano خریداری شد. مشخصات فیزیکی نانولوله‌های کربنی چند دیواره تهیه شده عبارتند از: قطر خارجی ۱۵-۵ nm، قطر داخلی ۳-۵ nm، طول $50 \mu\text{m}$ ، چگالی 2.1 g/cm^3 SSA^۲، بزرگتر از $233 \text{ m}^2/\text{g}$ و هدایت الکتریکی 10^7-10^5 S/m ؛ در نهایت حلال‌های شیمیایی با خلوص بالا از شرکت مرک (Merc) تهیه گردید. به منظور آماده‌سازی مواد، ابتدا نانولوله‌های کربنی چند دیواره به حجم مشخصی از حلال دی کلرومتان (DCM) افزوده شد و در دستگاه اولتراسونیک پروب دار مدل UP200H با توان ۲۰۰W و فرکانس کاری ۲۴ kHz به مدت ۲۰ دقیقه فراصوت دهی شد. به طور همزمان، پلی‌استایرن در ظرف دیگری حاوی حلال تولوئن در دمای $^{\circ}\text{C}$ ۱۰۰ به مدت ۳۰ دقیقه روی همزن مغناطیسی قرار داده شد تا اینکه پلیمر به طور کامل در آن حل گردید. شایان ذکر است که در این مرحله، به منظور جلوگیری از تبخیر حلال در دمای بالا، روی ظرف با فویل آلومینیوم پوشانده شد. در نهایت این دو محلول با یکدیگر ترکیب شده و به مدت یک ساعت مجدداً فراصوت دهی گردید. با توجه به اختلاف نقطه جوش دو حلال دی کلرومتان (نقطه جوش $^{\circ}\text{C}$ ۳۹/۶) و تولوئن (نقطه جوش $^{\circ}\text{C}$ ۱۱۱)، هنگام ترکیب دو محلول با یکدیگر، کاواکها یا حبابهایی مشاهده گردید که احتمالاً منجر به شکستن کلوخه‌های نانولوله‌های کربنی و در نهایت پخش بهتر و یکنواخت‌تر نانولوله‌های کربنی درون بستر پلیمری می‌گردد. سپس به منظور ساخت نانوکامپوزیت مذکور، مطابق شکل ۱ طراحی‌های مورد نظر انجام شد. در نهایت نانوکامپوزیت‌های مذکور با ابعاد مورد نظر آماده شد که در نهایت از چسب نقره برای ساخت الکتروود در دو طرف نمونه‌ها بهره‌گیری گردید.



شکل ۱: طراحی نانوکامپوزیت پلیمر-نانولوله کربن و نمایش الکتروودهای ساخته شده از چسب نقره.

در مرحله پرتودهی این نانوکامپوزیت در دزهای ۱ kGy و ۳ kGy، از گاماسل (Gamma Cell-220 Canadian) مستقر در سازمان انرژی اتمی - تهران با آهنگ دز ۱ Gy/s استفاده شد. پس از این مرحله جهت خوانش و مقایسه نتایج دزیمتری، مطابق شکل ۲ جهت پرتودهی از چشمه Picker V9 واقع در آزمایشگاه دزیمتری استاندارد ثانویه سازمان انرژی اتمی، کرج بهره‌گیری شد که در SSD^3 ۸۰ cm آهنگ دز پرتوهای گاما برابر ۷۵ mGy/min است. به منظور اندازه‌گیری جریان تابشی ایجاد شده توسط پرتو، از سیستم الکترونیکی که جریان تابشی ایجاد شده را بر حسب تغییرات ولتاژ در خروجی نشان می‌دهد، استفاده شده است.



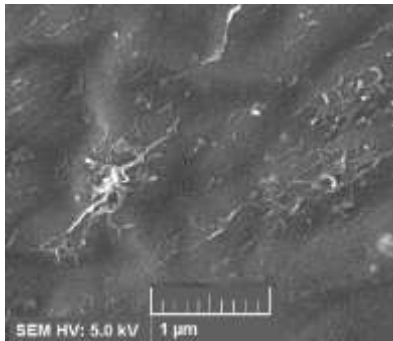
شکل ۲: سیستم پرتودهی گاما (Picker V9) مورد استفاده در این پژوهش.

نتایج

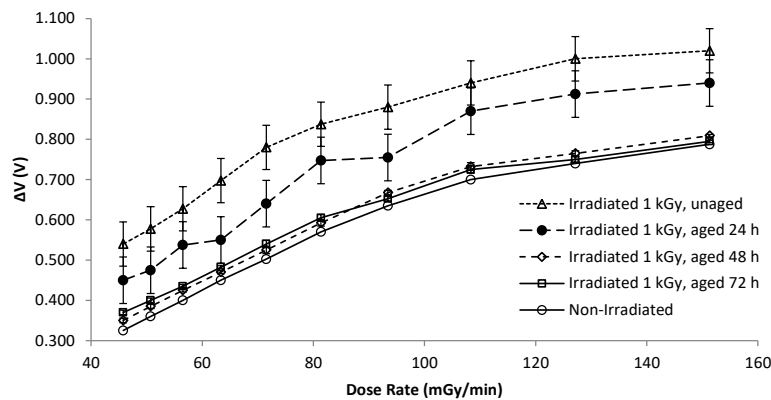
پس از ساخت نانوکامپوزیت PS/MWCNT، به منظور اطمینان از پخش و توزیع مناسب و یکنواخت نانوذرات در بستر پلیمری، مطابق شکل ۳ از آزمون SEM بهره‌گیری شد. در این شکل نانولوله‌های کربنی چند جداره در بستر پلی استایرن به تصویر کشیده شده است. پس از ساخت نانوکامپوزیت PS/MWCNT و اطمینان از پخش همگن نانولوله‌های کربن در بستر پلیمری، فرآیند پرتودهی صورت گرفت. محدوده آهنگ دز مورد استفاده در این کار تجربی جهت بررسی زمان برگشت پذیری نانوکامپوزیت تحت پرتودهی دزهای بالا، ۴۵/۷۷-۱۵۱/۳۱ mGy/min می‌باشد. ابتدا نمونه نانوکامپوزیت تحت پرتودهی با دز ۱ kGy قرار گرفت. در شکل‌های ۴ و ۵ پاسخ دزیمتر (به صورت تغییر ولتاژ) پرتودهی شده تحت دزهای ۱ kGy و ۳ kGy در محدوده آهنگ دز ۴۵/۷۷-۱۵۱/۳۱ mGy/min به تصویر کشیده شده که با پاسخ دزیمتر مذکور در حالت پیش از پرتودهی در دزهای بالا (Non-Irradiated) نیز مقایسه شده است. مطابق شکل ۴، پس از پرتودهی نمونه نانوکامپوزیت در دز ۱ kGy، بلافاصله خوانش پاسخ دزیمتر در محدوده آهنگ دز نمونه شاهد (پرتودهی نشده) صورت گرفت. این کار در سه روز متوالی صورت گرفت و نتایج آن ثبت شد. نتایج حاکی از یک کاهش کلی در خروجی ولتاژ در تمامی آهنگ دزها نسبت به خوانش روز اول بود. اما در روز سوم و پس از ۷۲ ساعت سپری شدن از زمان پرتودهی، مشاهده گردید که پاسخ دزیمتر تقریباً به حالت قبل

³Source to Surface Distance

از پرتودهی رسیده و حداکثر تغییرات نمونه نانوکامپوزیت پرتودهی شده به میزان ۱ kGy نسبت به نمونه شاهد در محدوده آهنگ دز ۴۵,۷۷-۱۵۱,۳۱ mGy/min برابر ۴,۲٪ است.



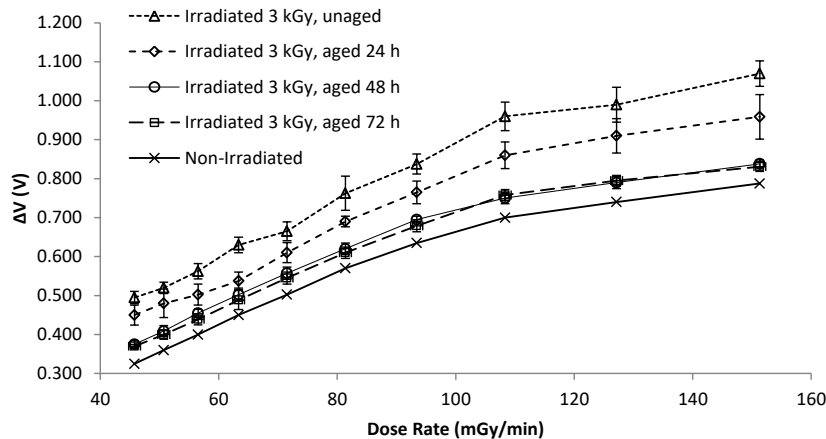
شکل ۳: تصاویر SEM از نانوکامپوزیت PS/MWCNT



شکل ۴: پاسخ نمونه نانوکامپوزیت پرتودهی شده تحت دز ۱ kGy در آهنگ‌های دز و زمانهای مختلف (مقدار انحراف معیار برابر ۱,۷٪).

مطابق شکل ۵، پس از پرتودهی نمونه نانوکامپوزیت در دز ۳ kGy، بلافاصله خوانش پاسخ دزیتر در محدوده آهنگ دز نمونه شاهد (پرتودهی نشده) صورت گرفت. این کار نیز مانند مورد قبلی (۱ kGy) در سه روز متوالی صورت گرفته و نتایج آن ثبت گردید. در این حالت نیز نتایج حاکی از یک کاهش کلی در خروجی ولتاژ در تمامی آهنگ دزها نسبت به خوانش روز اول بود. اما در روز سوم و پس از ۷۲ ساعت سپری شدن از زمان پرتودهی، مشاهده گردید که پاسخ دزیتر تقریباً به حالت قبل از

پرتو دهی رسیده و حداکثر تغییرات نمونه نانوکامپوزیت پرتو دهی شده به میزان ۳ kGy نسبت به نمونه شاهد در محدوده آهنگ



دز قبلی برابر ۶/۳٪ است.

شکل ۵: پاسخ نمونه نانوکامپوزیت پرتو دهی شده تحت دز ۳ kGy در آهنگ‌های دز و زمانهای مختلف (مقدار انحراف معیار برابر ۱/۶٪).

بنابراین افزودن نانولوله های کربنی به بستر پلیمر باعث کاهش زمان واهلش نانوکامپوزیت و افزایش پایداری پاسخ دزیمتر می‌گردد. نتیجه اینکه به منظور استفاده از نانوکامپوزیت پلیمر-نانولوله کربن به عنوان دزیمتر، به منظور تعدیل نمودن عوامل موثر بر پایداری خوانش این دسته دزیمترها به عنوان یک پیشنهاد می‌توان نمونه مذکور را قبل از تستهای اندازه گیری پرتویی، در یک دز جذبی بهینه (احتمالاً نزدیک به ناحیه کراسلینک شدن^۴ یا ایجاد اتصال عرضی نمونه) پیش-پرتو دهی نمود. همانگونه که از شکل ۵ مشخص است، با افزایش مقدار آهنگ دز، مقدار ولتاژ خروجی (پاسخ دزیمتر) افزایش می‌یابد. لذا در محدوده ۴۵/۷۷-۱۰۸/۳۳ mGy/min پاسخ دزیمتر بصورت خطی افزایش می‌یابد و در این ناحیه می‌توان از این دزیمتر برای کاربردهای گوناگون بخصوص در کاربردهای پزشکی (حوزه‌ی تشخیصی و درمانی) استفاده نمود.

بحث و نتیجه گیری

در این کار تجربی، پایداری پاسخ دزیمتر متشکل از ماده نانوکامپوزیتی پلی استایرن-نانولوله کربن چند جداره مورد مطالعه قرار گرفت. بدین منظور نمونه مذکور تحت پرتو دهی گامای چشمه کبالت-۶۰ در محدوده آهنگ دز ۴۵/۷۷-۱۵۱/۳۱ mGy/min مربوط به سیستم پرتو دهی سطح درمانی-کرج قرار گرفت و پاسخ دزیمتر به صورت تغییرات ولتاژ دو سر نمونه ثبت گردید. سپس، نمونه مذکور طی دو مرحله در دزهای ۱ kGy و ۳ kGy تحت پرتو دهی گامای کبالت-۶۰ مربوط به سیستم گاماسل-

^۴Crosslinking

^۵Pre-Irradiation



تهران قرار گرفت. نتایج اندازه‌گیری پاسخ دزیومتر پرتودهی شده در دزهای ۱ kGy و ۳ kGy پس از گذشت ۷۲ ساعت به ترتیب حاکی از تغییراتی برابر ۴/۲٪ و ۶/۳٪ نسبت به پاسخ دزیومتر قبل از پرتودهی است.

مراجع

- [1] S. Malekie, F. Ziaie, A. Esmaeli, Study on dosimetry characteristics of polymer-CNT nanocomposites: Effect of polymer matrix, Nuclear Instruments and Methods in Physics Research Section A: Accelerators, Spectrometers, Detectors and Associated Equipment, 816 (2016) 101-105.
- [2] S. Malekie, F. Ziaie, Study on a novel dosimeter based on polyethylene-carbon nanotube composite, Nuclear Instruments and Methods in Physics Research Section A: Accelerators, Spectrometers, Detectors and Associated Equipment, 791 (2015) 1-5.
- [3] A. Mosayebi, S. Malekie, F. Ziaie, M. Ataee Naeni, Experimental investigation of dosimetry response of nanocomposite of polystyrene-multiwall carbon nanotube in gamma radiation field %J Iranian Journal of Radiation Safety and Measurement, 7 (2019) 21-26.
- [4] A. Mosayebi, S. Malekie, F. Ziaie, A feasibility study of polystyrene/CNT nano-composite as a dosimeter for diagnostic and therapeutic purposes, Journal of Instrumentation, 12 (2017) P05012.
- [5] S. Maleki, F. Ziaie, M.M. Larijani, Simulation of a novel dosimeter based on electrical characteristics of polymethyl Methacrylate-Carbon nanotube composite, Nuclear Science and Technology, 79 (2017) 53-62.
- [6] S. Malekie, The Study of Electrical Conductivity Variation of Polymer-Carbon Nanotube Composite for Radiation Dosimetry Utilization, Nuclear Science & Technology Research Institute, PhD Dissertation, Tehran, Iran, 2016.
- [7] S. Malekie, N. Hajiloo, Comparative Study of Micro and Nano Size WO₃/E44 Epoxy Composite as Gamma Radiation Shielding Using MCNP and Experiment, Chinese Physics Letter, 34 (2017) 108102.
- [8] S. Malekie, S.M. Hashemi Dizaji, F. Ziaie, F. Kazemi, M.A. Hosseini, Experimental comparison of dosimetry and detection response of micro/ nano WO₃-PVA composite to gamma and neutron beams, Iranian Journal of Radiation Safety and Measurement, 6 (2018) 0-0.
- [9] A. Mosayebi, S. Malekie, A. Rahimi, F. Ziaie, Experimental study on polystyrene-MWCNT nanocomposite as a radiation dosimeter, Radiation Physics and Chemistry, (2019) 108362.