بررسی تجربی قدرت حفاظ سازی گامای نانوکامپوزیت WO3/Epoxy و میکرو کامپوزیت PbO/Epoxy

روح اله عادلی[۱]، سید پژمان شیرمردی*[۲]، سید جواد احمدی[۳]

۱. پژوهشکده راکتور و ایمنی هسته ای -پژوهشگاه علوم و فنون هسته ای- سازمان انرژی اتمی ایران
۲. پژوهشکده کاربرد پرتوها- -پژوهشگاه علوم و فنون هسته ای- سازمان انرژی اتمی ایران
۳. پژوهشکده مواد و چرخه سوخت هسته ای- پژوهشگاه علوم و فنون هسته ای- سازمان انرژی اتمی ایران

چکیده:

بهره‌گیری از مواد کامپوزیتی در کاربردهای مهندسی رشد چشمگیری داشته است. در همین راستا حضور مواد کامپوزیتی در حوزه هسته‌ای و به خصوص بحث حفاظ‌سازی تابش هسته‌ای بسیار پررنگ شده است. در این کار تحقیقاتی، پس تولید کامپوزیت پلیمری WO3/Epoxy و PbO/Epoxy، قدرت حفاظ‌سازی به صورت تجربی برای تابش‌های MeV ۰/۶۶۲ مقایسه و عملکرد هسته‌ای این دو ترکیب استخراج گردید. نتایج نشان می‌دهد که بهره‌گیری از نانو ذرات تقویت کننده اکسید تنگستن در کنار ویژگی‌های منحصر به فردی که دارد، ضریب تضعیف جرمی بالاتر و ضخامت نیم جذب کمتری را نسبت به حفاظ تقویت شده با سرب از خود نشان می‌دهد.

کلمات کلیدی: *کامپوزیت پلیمری، حفاظ‌سازی هسته‌ای، اپوکسی، نانو ذره، اکسید تنگستن*

مقدمه :

بیش از سی سال است که مواد کامپوزیتی، پلاستیک‌ها و سرامیک‌ها به عنوان مواد برتر شناخته شده‌اند. حجم کاربرد مواد کامپوزیت به طور پیوسته در حال رشد است و در بازار های جدید نفوذ و تسخیر زیادی داشته‌اند. پلیمرها به دلیل سبکی، عدم حساسیت به خوردگی و مقاومت سایشی اغلب به جای نمونه‌هایی که مشابه فلزی دارند مورد استفاده قرار می‌گیرند. از طرف دیگر در اغلب کاربردهای مهندسی تلفیق خواص، مورد نیاز است. به عنوان مثال در هوافضا، پزشکی هسته‌ای و یا راکتورهای هسته‌ای ، امکان استفاده از یک نوع ماده که همه خواص مورد نظر را فراهم نماید وجود ندارد.

از حوزه‌های بسیار مهم کاربرد مواد کامپوزیتی می‌توان به مبحث حفاظ‌سازی هسته‌ای اشاره کرد. حفاظ‌های سربی به طور گسترده در تضعیف تابش‌های گاما و ایکس به کار گرفته می‌شوند. با این وجود به دلایل

* P_shirmardi@aut.ac.ir

متعددی از جمله سمیت بالای سرب، سنگینی، شکننده بودن و خطرات زیست محیطی که بواسطه پرتوگیری بلند مدت سرب ایجاد می‌شود [۱, ۲] تلاش ها به منظور جایگزینی این نوع حفاظ آغاز شده است. عنصر تنگستن بواسطه خواص فیزیکی و هسته‌ای مطلوبی که دارد به عنوان یکی از نامزدهای مهم در این حوزه مطرح است. مقاومت حرارتی و مقاومت به خوردگی از جمله خواص بارز این عنصر به شمار می‌آید، ضمن اینکه سمیت بیولوژیکی این عنصر به مراتب کمتر از سرب است.

همچنین در میان بسترهای مختلف پلیمری، رزین اپوکسی خواص بسیار مطلوبی را در کاربردهای حفاظ‌سازی از خود نشان داده است. این پلیمر گرماسخت[1] حین فرایند ساخت،کمترین جمع‌شدگی[2] را از خود نشان می‌دهد که سبب پایداری ابعادی قطعه طراحی شده می‌گردد. چسبندگی خوب به اکثر مواد، مقاومت در برابر حرارت و رطوبت [۳, ٤] و مقاومت تابشی خوب [۵] از دیگر خواص این رزین محسوب می‌شود.

هر چند مطالعات و تحقیقات اخیر بیانگر این مطلب بوده است که بهره‌گیری از ذرات تضعیف‌گر گاما در ابعاد نانو، تنها در گستره چند ده کیلو الکترون ولت سبب بهبود قدرت حفاظ‌سازی است [٦, ۷]، با این وجود لازم به ذکر است که بهره‌گیری از ابعاد نانو بواسطه توزیع همگن‌تر، سبب بهبود خواص مکانیکی و شیمیایی حفاظ کامپوزیتی نیز خواهد شد [۸].

در مطالعات تحلیلی و شبیه‌سازی [۹, ۱۰] و همچنین تجربی [۱۱-۱۳] بیشماری قدرت حفاظ‌سازی ترکیبات مختلف غیر سربی و آلیاژی در برابر تابش گاما مورد بررسی قرار گرفته است. در این مقاله سعی بر آن است قدرت حفاظ‌سازی دو حفاظ کامپوزیتی، یکی تقویت شده با میکروذرات سربی و دیگری تقویت شده با نانوذرات تنگستنی را مورد بررسی قرار دهیم. نتایج این مطالعه در طراحی یک حفاظ کامپوزیتی بهینه در برابر تابش‌های گاما در صنعت، پزشکی و همچنین شتابدهنده‌ها و راکتور قابل استفاده خواهد بود.

روش کار :

کامپوزیت‌های ساخته شده در این مطالعه در بستر پلیمری رزین اپوکسی (ML-526) بر پایه ماکرومولکول بیسفنل A[3] و عامل پخت[4] (HA-11) طراحی شدند. این رزین از شرکت مواد مهندسی مکرر خریداری شد. همچنین افزودنی‌های اکسیدی WO3 و PbO که به ترتیب از شرکت های Research Nanomaterials آمریکا

[1] Thermoset
[2] Shrinkage
[3] Bisphenol- A
[4] Hardener

و کهربا تجهیز ایران خریداری شدند و به عنوان تضعیفگر گاما مورد استفاده قرار گرفتند. جدول ۱ مشخصات هریک از ذرات فوق را نشان می‌دهد.

جدول شماره (۱) مشخصات اکسید تنگستن و اکسید سرب.

نام ماده	نماد شیمیایی	چگالی (gcm^{-3})	رنگ	ابعاد ذرات	خلوص (٪)
اکسید تنگستن	WO3	۷/۱۶	زرد	۶۰ nm	۹۹/۹
اکسید سرب	PbO	۹/۵۳	سبز کم‌رنگ	۱۰-۲۰ µm	۹۹/۹

آماده‌سازی نمونه‌های کامپوزیتی بدین صورت انجام پذیرفت که به منظور حباب‌زدایی از بستر، ابتدا رزین را به مدت ۲۰ دقیقه در حمام آلتراسونیک قرار داده می‌شود. به موازات این، جرم مشخصی از عامل پخت را به نسبت H/R =۲۵٪ وزن کرده و ذرات اکسید سرب و یا اکسید تنگستن را پس از رطوبت‌زدایی، به عامل پخت که از گرانروی کمتری نسبت به رزین اپوکسی برخوردار است، افزوده و به صورت دستی با میله‌ای شیشه‌ای ترکیب شد. دوغاب حاصله را به رزین اپوکسی افزوده و با بهره‌گیری همزمان میکس مکانیکی و امواج آلتراسونیک، ضمن تلفیق همگن فازها، حداکثر حباب‌زدایی از سیستم صورت پذیرفت. جزییات بیشتر و دقیق‌تر فرایند تولید در مرجع شماره [۱۴] قابل دستیابی است. نهایتا ترکیب حاصل را به قالب سیلیکونی از قبل آماده شده ریخته و اجازه می‌دهیم فرایند پخت در دمای اتاق کامل شود. جدول (۲)مشخصات نمونه‌های کامپوزیتی ساخته شده را نشان می‌دهد.

جدول شماره (۲) مشخصات نمونه‌های کامپوزیتی ساخته شده در آنالیز تضعیف گاما

کد نمونه	چگالی (gcm^{-3})	ضخامت (mm)	تقویت کننده (wt%)	
			WO3	PbO
W5t2	۱/۱۵۸	۲	۵	–
W5t4		۴	۵	–
W5t8		۸	۵	–
P5t2	۱/۱۶۱	۲	–	۵
P5t4		۴	–	۵
P5t8		۸	–	۵

به منظور بررسی و مقایسه قدرت تضعیف گاما در مواد، فارغ از فیزیک و چگالی مواد، لازم است ضریب تضعیف جرمی دو ماده را بایکدیگر مقایسه کنیم. ضریب تضعیف جرمی یک ماده بر حسب $cm^2.g$ بیان و از رابطه زیر اندازه‌گیری می‌شود:

$$\mu_m\,(\mathrm{cm}^2/\mathrm{g})=\frac{\mu\,(\mathrm{cm}^{-1})}{\rho\,(\mathrm{g/cm}^3)}$$

که در آن ρ چگالی ماده بر حسب gcm^{-3} و μ ضریب تضعیف خطی کل ماده بر حسب cm^{-1} است که به لحاظ تحلیلی، همان شیب خط منجنی نسبت شدت فوتون‌های عبوری به ضخامت حفاظ است. همچنین ضخامتی از حفاظ که در آن شدت باریکه ورودی به نصف کاهش پیدا می‌کند، از رابطه زیر قابل محاسبه است:

$$\mathrm{HVL}=\frac{0.693}{\mu\,(\mathrm{cm}^{-1})}$$

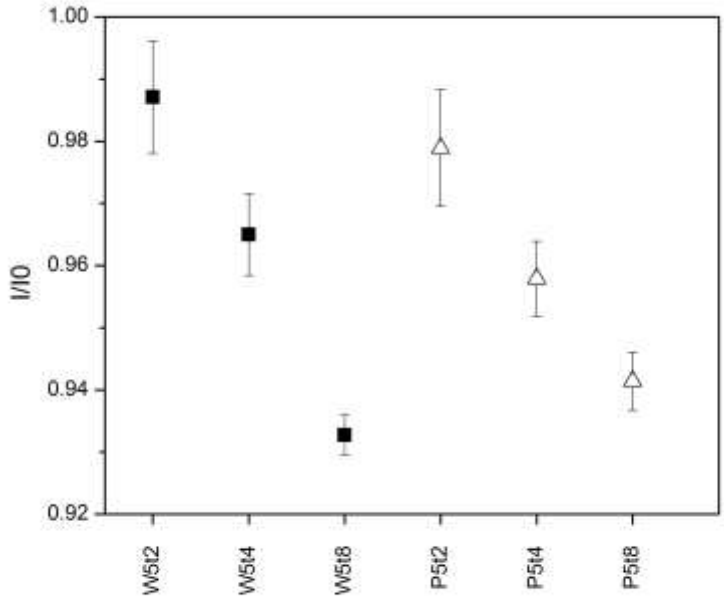
آزمایشات تضعیف باریکه فوتونی بوسیله چشمه نقطه‌ای Cs-137 (5.8 μCi) با انرژی باریکه ۰/٦٦٢ MeV و در یک هندسه موازی‌سازی شده صورت پذیرفت. تضعیف شدت باریکه بوسیله آشکار ساز GR-130 که از نوع شمارشگر سوسوزن[1] NaI (Tl) می‌باشد، اندازه‌گیری شد. نهایتا با بهره‌گیری از مفاهیم آماری، داده‌های تجربی همراه با اندازه‌گیری خطا گزارش شدند.

نتایج :

در این مطالعه تجربی، شار نسبی گذرنده از ضخامت‌های مختلف کامپوزیت‌های Epoxy/WO3 و Epoxy/PbO با درصد وزنی مشابه ۵wt% اندازه‌گیری شدند. شکل (۱) میانگین این اندازه‌گیری‌ها را نشان می‌دهد.

همچنین با بهره‌گیری از رابطه ضریب تضعیف جرمی، قدر ت حفاظ‌سازی کامپوزیت‌ها مورد مقایسه قرار گرفتند که نتایج آن برای نمونه‌های با ضخامت بیشینه ۸ mm در جدول (۲) ذکر شده است.

[1] Scintillation counter



شکل (۱) شار نسبی گذرنده از ضخامت‌های مختلف حفاظ کامپوزیتی. مربع‌های سیاه: نانوکامپوزیت Epoxy/WO3 و مثلث‌های سفید: میکرو کامپوزیت‌های Epoxy/PbO

جدول (۲) ضریب تضعیف جرمی حفاظ‌های کامپوزیتی (چشمه Cs-137)

حفاظ کامپوزیتی	ضریب تضعیف جرمی (cm^2/g)	HVL (cm)
نانوکامپوزیت W5t8/Epoxy	۰/۰۷۵۰ ± ۰/۰۰۲۷	۷/۹٤
میکرو کامپوزیت P5t8/Epoxy	۰/۰۶۴۹ ± ۰/۰۰۲۳	۹/۱۸

بحث ونتیجه گیری :

در این مطالعه تجربی حفاظ غیرسربی WO3/Epoxy به صورت نانوکامپوزیتی ساخته و با میکرو کامپوزیت PbO/Epoxy مقایسه شد. داده‌ها مقادیر ضریب تضعیف جرمی ۰/۰۷۵۰ cm^2/g و ۰/۰۶۴۹ cm^2/g را به ترتیب برای کامپوزیت WO3/Epoxy و PbO/Epoxy را گزارش می‌کنند. نتایج نشان می‌دهد که بهره‌گیری از نانو ذرات تقویت کننده اکسید تنگستن در کنار ویژگی‌های منحصر به فردی که دارد، ضریب تضعیف جرمی بالاتر و ضخامت نیم جذب کمتری را نسبت به حفاظ تقویت شده با سرب از خود نشان می‌دهد. بنابراین ضخامت کمتری از کامپوزیت تقویت شده با تنگستن قادر است جایگزین سرب در بحث حفاظ‌سازی تابش گاما گردد.

مراجع :

1. **Harish, V., et al., *Preparation and Characterization of Lead Monoxide Filled Unsaturated Polyester Based Polymer Composites for Gamma Radiation Shielding Applications,* Journal of Applied Polymer Science, 112: p. 1503–1508. 2009.**
2. **Chilton, B., J. Kenneth Shultis, and R.E. Faw, *Principles of Radiation Shielding*, New Jersey: Prentice-Hall, Inc. p. 493, 1984.**
3. **Paluvai, N.R., S. Mohanty, and S.K. Nayak, *Studies on thermal degradation and flame retardant behavior of the sisal fiber reinforced unsaturated polyester toughened epoxy nanocomposites,* Journal of Applied Polymer Science, 132(24): p. 15, 2015.**
4. **Sidhu, J.S., G.S. Lathkar, and S.B. Sharma, *Development of Epoxy Composite filled with Micro Tungsten Disulphide Particles and its Mechanical Properties,* Advanced Materials Research, 875-877: p. 288-294, 2014..**
5. **Ivanov, V.S., *Radiation Chemistry of Polymers*, Taylor & Franci, 1992.**
6. **Nambiar, S., E. Osei, and K.J.T.W. Yeow, *Polymer Nanocomposite-Based Shielding Against Diagnostic X-rays,* Journal of Applied Polymer Science, 127: p. 4939–4946, 2013.**
7. **Noor Azman, N.Z., S.A. Siddiqui, and I.M. Lowa, *Characterisation of micro-sized and nano-sized tungsten oxide-epoxy composites for radiation shielding of diagnostic X-rays,* Materials Science and Engineering, 33: p.4952-7, 2013.**
8. **Noor Azman, N., et al., *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): p. 62-67, 2013.**
9. **Singh, V.P. and N. Badiger, *An investigation on gamma and neutron shielding efficiency of lead-free compounds and alloys,* Indian Journal of Pure & Applied Physics, 54: p. 443-448, 2016.**
10. **Shirmardi, S.P., M. Shamsaei, and M. Naserpour, *Comparison of photon attenuation coefficients of various barite concretes and lead by MCNP code, XCOM and experimental data.* Annals of Nuclear Energy, 55: p. 288–291, 2013.**
11. **Oto, B., et al., *Investigation of gamma radiation shielding properties of various ores.* Progress in Nuclear Energy, 85: p. 391-403, 2015.**
12. **Akkurt, I., et al., *Photon attenuation coefficients of concrete includes barite in different rate.* Annals of Nuclear Energy, 37: p. 910–914, 2010.**
13. **Osman, A.M., A.M. Abdel-Monem, and F.F. Mansour Aly, *Investigation the Shielding Properties of Alumina Reinforced Composite,* Journal of Chemical, Biological and Physical Sciences, 6(1): p. 302-315, 2016.**
14. **Adeli, R., S.P. Shirmardi, and S.J. Ahmadi, *Neutron Irradiation Tests on B4C/Epoxy Composite for neutron Shielding Application and the Parameters Assay.* Radiation Physics and Chemistry, 127: p. 140–146, 2016.**