

اندازه گیری ضریب تضعیف خطی کامپوزیت های تقویت شده با مواد نانو مورد استفاده در حفاظ سازی

سمیرا سرشوق^۱، کمال حداد^{۱*}، رضا فقیهی^۱، سیدمجتبی زبرجد^۲، محمدهادی مقیم^۳

^۱ بخش مهندسی هسته ای، دانشکده مهندسی مکانیک، دانشگاه شیراز، شیراز، فارس، ایران.

^۲ مرکز تحقیقات ایمنی هسته ای، دانشگاه شیراز، شیراز، فارس، ایران.

^۳ مرکز تحقیقات تابش، دانشگاه شیراز، شیراز، فارس، ایران.

^۴ بخش مهندسی مواد، دانشکده مهندسی، دانشگاه شیراز، شیراز، فارس، ایران.

*فارس، شیراز، دانشگاه شیراز، دانشکده مهندسی مکانیک، بخش مهندسی هسته ای، کد پستی: ۷۱۹۳۳-۱۶۵۴۸

پست الکترونیکی: hadadk@shirazu.ac.ir

چکیده

استفاده از پرتوهای اشعه ایکس در صنایع مختلف و به خصوص در کاربردهای پزشکی در حال افزایش است. در این راستا طراحی مواد محافظ سبک و کارآمد بر پایه نانو کامپوزیت های پلیمری و مطالعه دقیق تأثیر افزودن نانو ذرات با اندازه های مختلف در پلیمرها بر تضعیف اشعه ایکس ضروری به نظر می رسد. در این تحقیق نانو کامپوزیت های اپوکسی با درصدهای مختلف نانو ذرات اکسید مس (۵ و ۱۰ درصد وزنی) تولید شده و تأثیر پارامترهای مختلف از جمله انرژی پرتوهای اشعه ایکس و ضخامت نمونه ها بر تضعیف اشعه ایکس مورد مطالعه قرار گرفت. برای این منظور نمونه های نانو کامپوزیتی در معرض اشعه ایکس مشخصه ۲۵/۲۷ keV و ۲۸/۴۹ keV ناشی از قلع قرار گرفته و ضریب تضعیف خطی نمونه ها با استفاده از طیف نگار نیمه هادی HPGGe اندازه گیری شد. همچنین نحوه توزیع نانو ذرات در زمینه اپوکسی با استفاده از میکروسکوپ الکترونی روبشی مورد بررسی قرار گرفت. نتایج آزمون اشعه ایکس نشان دهنده تفاوت قابل توجه توانایی اپوکسی در تضعیف اشعه ایکس با افزودن نانو ذرات می باشد. همچنین تصاویر میکروسکوپی توزیع مناسب نانو ذرات در زمینه اپوکسی حتی در درصدهای بالا را نشان می دهد.

کلیدواژگان: نانوذره، اکسید مس، اپوکسی، اشعه ایکس، ضریب تضعیف.

۱. مقدمه

رزین اپوکسی (EP) دسته ای از پلیمرهای ترموست با عملکرد کلی بالاست که کاربردهای گسترده ای به عنوان جزء اصلی چسب ها و ماتریس ها در کامپوزیت ها در صنایع مختلف [۱] را دارد. این خانواده ترکیب منحصر به فردی از خواص را

ارائه می‌دهند که با سایر رزین‌های ترموست دیگر دست‌نیافتنی هست. استحکام مکانیکی بالاتر، ویژگی‌های حرارتی و الکتریکی بهتر، مقاومت مطلوب در برابر خوردگی، انقباض کمتر در طول پخت و چسبندگی عالی به اکثر الیاف و پرکننده‌ها برخی از نکات برجسته این خواص هستند [۳،۲]. که در نتیجه آن‌ها می‌توان از اپوکسی به‌عنوان ماتریس رایج در نانو کامپوزیت‌های پلیمری استفاده کرد [۴]. با این حال، رزین‌های اپوکسی از شکل‌پذیری (شکنندگی) کم، چقرمگی نامناسب و حساسیت شدید در برابر ترک که همگی از ویژگی‌های نامطلوب اصلی آن‌ها هستند رنج می‌برند [۵]. این امر ثابت شده است که خواص مواد پلیمری از جمله اپوکسی با اضافه کردن نانو پرکننده‌ها بدون تضعیف خواص مکانیکی ذات یو همچنین وزن کم آن‌ها افزایش می‌یابد [۶]. در این راستا مواد نانو کامپوزیت بر پایه پلیمر توجه منحصربه‌فردی در زمینه علم مهندسی مواد به‌منظور ایجاد مواد جدید با خواص جدید و یا بهبود یافته در مقایسه با مواد بکر [۷] را به خود جلب کرده‌اند.

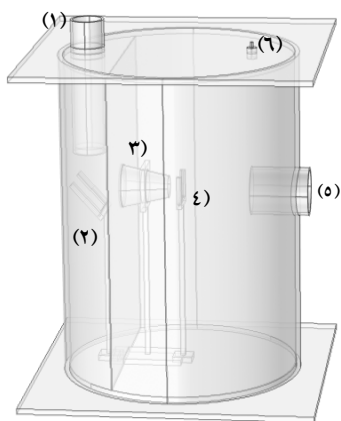
با توسعه سریع فناوری، فن‌آوری هسته‌ای به‌طور گسترده‌ای در صنعت و مراقبت‌های پزشکی استفاده شده و این امر منجر به افزایش احتمال تماس مردم با انواع مختلف پرتوها می‌گردد. مواد مختلفی از جمله بتن و سرب به‌منظور حفاظت در برابر اشعه و کاهش آسیب‌های ناشی از آن استفاده می‌شوند که در بسیاری از این کاربردها مواد سبک‌تر کارآمدتر هستند. از سوی دیگر حفاظ‌های سربی نسبتاً سنگین هستند و سمیت این مواد یک مسئله زیست‌محیطی است [۸]. با توجه به چگالی کم و ویژگی‌های ساخت آسان نوع جدیدی از مواد بر پایه ترکیبات پلیمری پر شده از نانو ذرات بیشتر و بیشتر مورد توجه قرار گرفته‌اند. نانو ذرات مس به دلیل کاربردهای بالقوه خود را در بسیاری از زمینه‌های مهم علم و فن‌آوری نظیر سنسورهای گاز، انتقال فاز مغناطیسی، کاتالیزور و ابررساناها مورد توجه بسیاری بوده است. علاوه بر این فیلترهای مسی به‌منظور بهبود

کیفیت تصویر و کاهش دوز تابش داده شده به بیمار در روش‌های بالینی رادیولوژی مرسوم استفاده می‌شود. به دنبال مطالعات وسیع در حوزه نانو تکنولوژی و مشخص شدن توانایی‌های فوق‌العاده این مواد در بسیاری از زمینه‌ها توجه محققین در زمینه حفاظ سازی به این مواد جلب شد. تحقیقات انجام‌شده نشان می‌دهد که افزودن اکسید مس در ساختار نانو نسبت به میکرو در زمینه مومو اپکسیمی تواند منجر به تضعیف بهتر طیف اشعه ایکس در ناحیه انرژی کم شود [۹، ۱۰]. تحقیقات مشابه دیگری در مورد اثر افزودن نانو اکسید تنگستن به اپوکسی در تضعیف طیف اشعه X و همچنین خواص مکانیکی آن انجام شده که مؤید بهبود توانایی تضعیف و خواص مکانیکی این پلیمرها می‌باشد [۱۱، ۱۲].

حال با توجه به کاربرد گسترده نانو ذرات در طراحی حفاظ بدون سرب در برابر پرتوهای ایکس در مطالعات پزشکی و صنعتی بهره‌گیری از این کاربردها نیازمند مطالعه دقیق وابستگی تضعیف اشعه ایکس به اندازه ذرات است. در این تحقیق به مطالعه اثر اندازه ذرات، غلظت مواد، انرژی پرتوهای ایکس و ضخامت نمونه بر تضعیف این پرتوها پرداخته شده است.

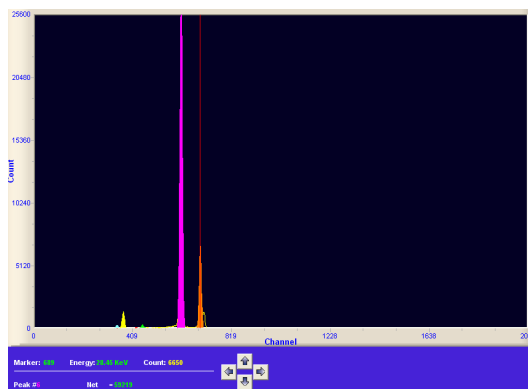
۲. مواد و روش تحقیق

به‌منظور بررسی اثر پارامترهای مورد نظر بر تضعیف پرتوهای ایکس قالب‌هایی برای تهیه نمونه‌هایی در ابعاد $4\text{cm} \times 4\text{cm}$ و ضخامت‌های $200\mu\text{m}$ و 3mm و 10mm ساخته شدند. سپس رزین اپوکسی (M506) بر پایه بیسفنول A و هاردنر (HA11) پلی آمیناز شرکت مواد مهندسی مکرر (تهران، ایران) تهیه شده و نانو کامپوزیت اپوکسی-اکسید مس با درصد‌های مختلف وزنی اکسید مس ۵ و ۱۰ درصد با استفاده از روش ذیل ساخته شدند. به این ترتیب که نانو پودر اکسید مس با استفاده از همزن التراسونیک تحت 100W در استون به مدت ۳۰ دقیقه مخلوط شدند. سپس، رزین اپوکسی به محلول



شکل (۱): تصویر شماتیک سیستم اندازه‌گیری میزان تضعیف اشعه ایکس، (۱) محل قرارگیری تیوب اشعه X و کالیماتور آن، (۲) پایه نگهدارنده هدف اول، (۳) کالیماتور مخروطی، (۴) پایه نگهدارنده نمونه نانو کامپوزیت، (۵) محل قرارگیری طیف نگار، (۶) محل اتصال به پمپ خلا.

در گام اول این تحقیق طیف حاصل از قلع در غیاب نمونه‌ها با استفاده از طیف نگار HPGe ثبت گردید که در شکل ۲ نمونه‌ای از آن نشان داده شده است. در این طیف پیک‌های مربوط به اشعه ایکس مشخصه قلع در انرژی‌های $25/27 \text{ keV}$ و $28/49 \text{ keV}$ به وضوح دیده می‌شود.



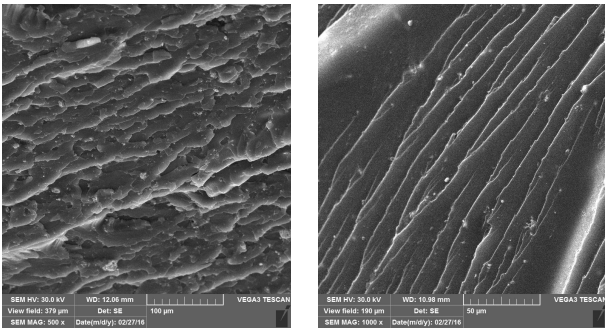
شکل (۲): طیف حاصل از قلع که با استفاده از طیف نگار HPGe ثبت گردیده است.

پس از آن نمونه‌های اپکسی خالص با سه ضخامت $200 \mu\text{m}$ و 3 mm و 10 mm و در ادامه نمونه‌های نانو کامپوزیت اکسید مس ۵٪ و ۱۰٪ با سه ضخامت مذکور در

اضافه شد و تحت شرایط فوق به مدت ۳۰ دقیقه التراسونیک شدند. این مخلوط در 70°C برای ۱۸ ساعت در آون حرارت داده شد تا استون اضافه شده خارج گردد. پس از آن، هاردنر اضافه شده و توسط یک همزن مغناطیسی مخلوط شدند. این مخلوط در محفظه خلاء گاز زدایی و به قالب موردنظر تزریق شد. در نهایت مرغوبیت و اندازه پودر نانو اکسید مس موجود و همچنین نحوه توزیع نانو ذرات در زمینه اپوکسی با استفاده از میکروسکوپ الکترونی روبشی مورد بررسی قرار گرفته شد.

به منظور بررسی و مقایسه میزان تضعیف اشعه ایکس در این پلیمرها یک سیستم منحصربه‌فرد طراحی و ساخته شد به گونه‌ای که با استفاده از طیف اشعه ایکس که گستره وسیعی از انرژی‌ها را شامل می‌شود اشعه ایکس مشخصه تک انرژی تولید و سپس با به حداقل رساندن تابش زمینه ضریب تضعیف جرمی این پلیمرها برای اشعه ایکس مشخصه $25/27 \text{ keV}$ و $28/49 \text{ keV}$ ناشی از قلع با استفاده از طیف نگار نیمه‌هادی HPGe اندازه‌گیری گردید. در شکل ۱ تصویر شماتیک این سیستم نشان داده شده است. در گام اول طیف اشعه ایکس در تیوب اشعه ایکس تولید و توسط کالیماتور سربی به سمت هدف اول هدایت می‌شود. در نتیجه برخورد فوتون‌های اشعه ایکس با این هدف پرتوایکس مشخصه تولید می‌شود که با عبور از کالیماتور سربی مخروطی به سمت هدف دوم که همان نمونه‌های نانو کامپوزیت ساخته شده هستند، و پس از عبور از آن‌ها به سمت طیف نگار هدایت می‌شود. پرتوایکس خروجی از تیوب به پارامترهایی نظیر شدت الکترون‌های فرودی I_e ، kV_p و زمان پرتودهی بستگی دارد که قابل تنظیم هستند. در این سیستم طیف پرتو فرودی بدون حضور نمونه به عنوان I_0 و در حضور نمونه‌ها به عنوان I با استفاده از آشکارساز HPGe اندازه‌گیری می‌شود.

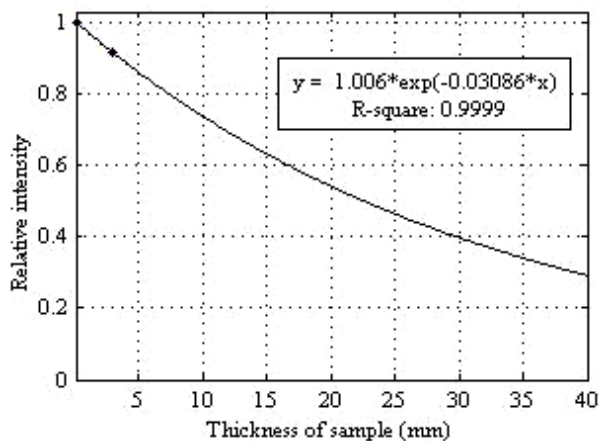
در درصدهای بالا را نشان می‌دهد.



شکل (۳): تصاویر میکروسکوپ الکترونی روبشی نانو کامپوزیت

اپکسی حاوی ۵٪ (راست) و ۱۰٪ (چپ) نانو پودر اکسید مس

در شکل ۴، ۵ و ۶ نمودار شدت نسبی فوتون‌های اشعه ایکس مشخصه قلع $25/27 \text{ keV}$ و $28/49 \text{ keV}$ برحسب ضخامت نمونه به ترتیب برای اپکسی خالص، نانو کامپوزیت ۵٪ و ۱۰٪ آمده است. در این نمودارها معادله تابع‌نمایی برازش شده و همچنین مقدار R-square آن نشان داده شده که پس از مقایسه با رابطه ۱ مقدار ضریب تضعیف خطی آن‌ها تعیین می‌شود.



مقابل طیف نگار قرار داده و روند بالا تکرار گردید. سپس شدت پرتوها با شمارش سطح زیر پیک‌های موجود در طیف با استفاده از نرم‌افزار PeakFit محاسبه شد. با داشتن شدت‌های فرودی I_0 و عبوری I و ضخامت نمونه (X) ، ضرایب تضعیف خطی از رابطه ۱ تعیین گردید.

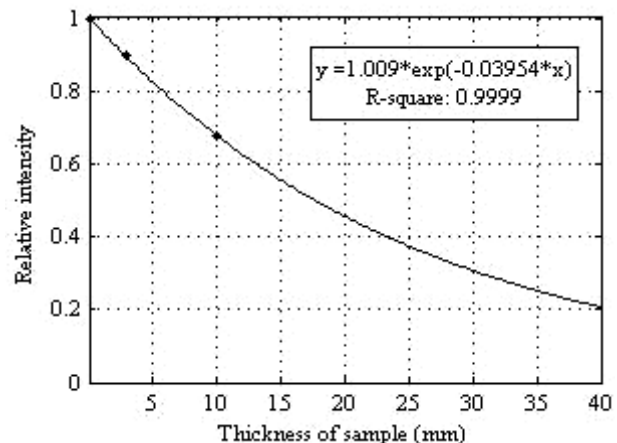
$$\frac{I}{I_0} = \exp(-\mu x) \quad (1)$$

برای محاسبه دقیق‌تر ضریب تضعیف خطی نمودار نتایج

در نرم‌افزار MATLAB رسم و با استفاده از ابزار Fitting مقدار μ و R-square آن تعیین گردید.

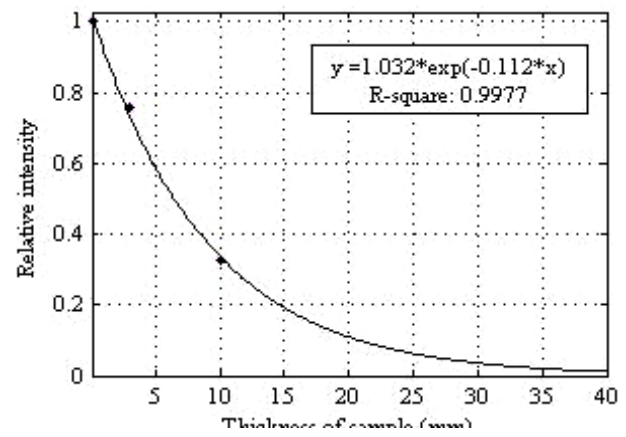
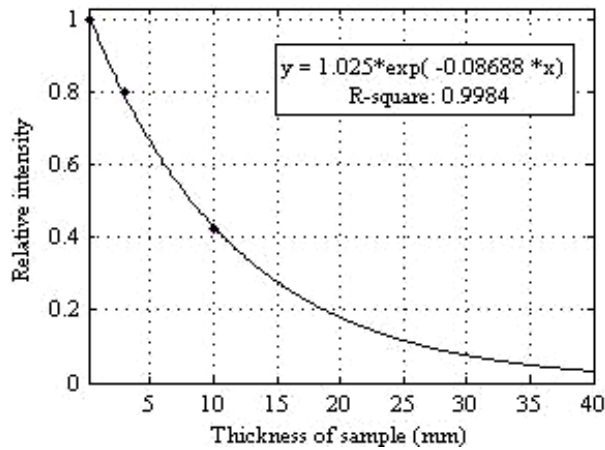
۳. نتایج و بحث

در شکل ۳ تصاویر میکروسکوپ الکترونی روبشی نانو کامپوزیت‌های پلیمری تهیه شده نشان داده شده است. تصاویر میکروسکوپی توزیع مناسب نانو ذرات در زمینه اپوکسی حتی

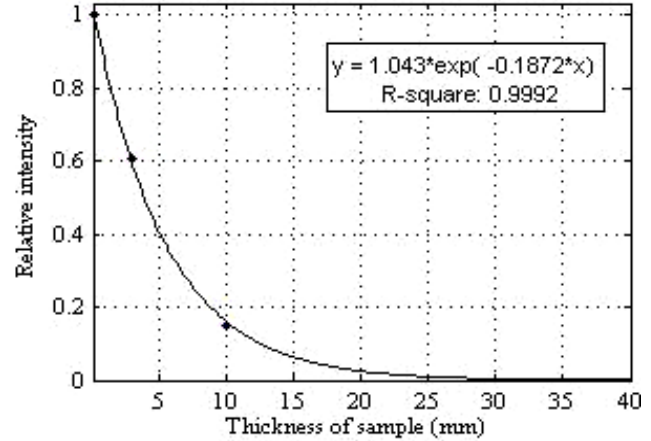
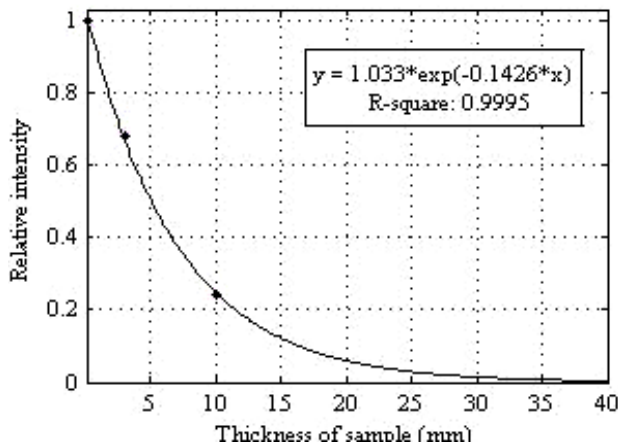


شکل (۴): شدت نسبی فوتون‌های اشعه ایکس مشخصه قلع $25/27 \text{ keV}$ راست و $28/49 \text{ keV}$ چپ برحسب ضخامت نمونه مربوط به اپکسی

خالص



شکل (۵): شدت نسبی فوتون‌های اشعه ایکس مشخصه قلع (۲۵/۲۷ keV) راست و (۲۸/۴۹ keV) چپ بر حسب ضخامت نمونه مربوط به نانو کامپوزیت اکسید مس ۵٪



شکل (۶): شدت نسبی فوتون‌های اشعه ایکس مشخصه قلع (۲۵/۲۷ keV) راست و (۲۸/۴۹ keV) چپ بر حسب ضخامت نمونه مربوط به نانو کامپوزیت اکسید مس ۱۰٪

جدول (۱): مقادیر ضریب تضعیف خطی پرتوهای ایکس مشخصه قلع مربوط به اپکسی خالص، نانو کامپوزیت اکسید مس ۵٪ و ۱۰٪

اپکسی خالص		نانو کامپوزیت اکسید مس ۵٪		نانو کامپوزیت اکسید مس ۱۰٪	
اشعه ایکس	ضریب تضعیف خطی $\mu(\text{mm}^{-1})$	R-square	ضریب تضعیف خطی $\mu(\text{mm}^{-1})$	R-square	ضریب تضعیف خطی $\mu(\text{mm}^{-1})$
۲۵/۲۷ keV	۰/۰۳۹۵۴	۰/۹۹۹۹	۰/۱۱۲۰	۰/۹۹۷۷	۰/۱۸۷۲
۲۸/۴۹ keV	۰/۰۳۰۸۶	۰/۹۹۹۷	۰/۰۸۶۸۸	۰/۹۹۸۴	۰/۱۴۲۶

مس ۵٪ و ۱۰٪ و همچنین مقدار R-square آن‌ها آمده است.

در جدول ۱ مقادیر ضریب تضعیف خطی پرتوهای ایکس

مشخصه Sn مربوط به اپکسی خالص، نانو کامپوزیت اکسید

۴. نتیجه‌گیری

نتایج حاصله نشان می‌دهد که با افزودن نانو اکسید مس به پلیمر اپکسی توانایی آن در تضعیف اشعه X به‌طور قابل‌ملاحظه‌ای افزایش می‌یابد ولیکن این روند خطی نبوده که می‌تواند ناشی از انباشتگی ذرات نانو اکسید مس باشد و برای تحقیق این امر مطالعه نمونه‌هایی با درصد وزنی بالاتر لازم است. اندازه‌گیری دقیق ضریب تضعیف شامل برخی روش‌های ساده اما حیاتی است.

با توجه به مطالعات گذشته بهترین نتایج زمانی حاصل می‌شود که ضخامت نمونه به‌گونه‌ای باشد که

۶. مراجع

$2 \leq \ln(I_0/I) \leq 4$ و این ضخامت معادل میزان عبور T در بازه $0.02 \leq T \leq 0.13$ می‌باشد [۱۳]. اگر ضرایب تضعیف خطی به‌طور جداگانه برای هر ضخامت با استفاده از رابطه ۱ محاسبه شود بهترین نتایج زمانی حاصل می‌شود که ضخامت نمونه ۱۰ mm باشد که این امر تطابق خوبی با مطالعات گذشته دارد.

۵. تشکر و قدردانی

از مرکز تحقیقات تابش دانشگاه شیراز به دلیل کمک فراوان در انجام این تحقیق کمال تشکر و قدردانی را داریم.

- [1] X.J. Shen, Y. Liu, H.M. Xiao, Q.P. Feng, Z.Z. Yu and S.Y. Fu. The reinforcing effect of graphene nanosheets on the cryogenic mechanical properties of epoxy resins. *Composites Science and Technology*. 72 (2012) 1581–1587.
- [2] D.B. Miracle and S.L. Donaldson. *ASM Handbook: Composites*, ASM International, New York, USA, (2001).
- [3] W. Jiang, F.L. Jin and S.J. Park. Synthesis of ditrimethylolpropane acrylate with low functionality for UV-curable coatings. *Journal of Industrial and Engineering Chemistry*. 18 (2012) 1577–1581.
- [4] R. Eqra and M.H. Moghim. Effect of strain rate on the fracture behaviour of epoxy-graphene nanocomposite. *Bulletin of Materials Science*. (2016) 1–8.
- [5] S. Karimi and S. Javadpour. Comparison of the role of milled glass and carbon fibers on mechanical properties of (bisphenol A)-based epoxy composites. *Journal of Vinyl and Additive Technology*. (2016).
- [6] R. Eqra, K. Janghorban and H. Daneshmanesh. Mechanical properties and toughening mechanisms of epoxy/graphene nanocomposites. *Journal of Polymer Engineering*. 35 (2015) 257–266.
- [7] L.D. Tijng, C.H. Park, W.L. Choi, M.T.G. Ruelo, A. Amarjargal, H.R. Pant, I.T. Im and C.S. Kim. Characterization and mechanical performance comparison of multiwalled carbon nanotube/polyurethane composites fabricated by electrospinning and solution casting. *Composites Part B: Engineering*. 44 (2013) 613–619.
- [8] G.J. Scuderi, G.V. Brusovanik, D.R. Campbell, R.P. Henry, B. Kwone, A.R. Vaccaro. Evaluation of non-lead-based protective radiological material in spinal surgery. *Spine J*. 6 (2006) 577–582.
- [9] M.Z. Botelho, R. Künzel, E. Okuno, R.S. Levenhagen, T. Basesio, C. P. Bergmann. X-ray transmission through nanostructured and microstructured CuO materials. *Applied Radiation and Isotopes*. 69 (2011) 527–530.
- [10] R. Künzel, E. Okuno. Effects of the particle sizes and concentrations on the X-ray absorption by CuO compounds. *Applied Radiation and Isotopes*. 70 (2012) 781–784.
- [11] N.Z. Noor Azman, S.A. Siddiqui, R. Hart, I.M. Low. 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 (2013) 62–67.
- [12] N.Z. Noor Azman, S.A. Siddiqui, I.M. Low. Characterisation of micro-sized and nano-sized tungsten oxide-epoxy composites for radiation shielding of diagnostic X-rays. *Materials Science and Engineering C*. 33 (2013) 4952–4957.
- [13] K. Singh, H. Singh, V. Sharma, R. Nathuram, A. Khanna, R. Kumar, S.S. Bhatti, H.S. Sahota. Gamma-ray attenuation coefficients in bismuth borate glasses. *Nuclear Instruments and Methods in Physics Research B*. 194 (2002) 1–6.