



طراحی نانوکامپوزیت نانومیله‌های هسته/پوسته‌ی سرب اکسید-آلومینیوم اکسید پخش شده در بستر پلی‌استر به عنوان حفاظ در برابر پرتوهای گاما و الکترون

یزدانی دارکی، سپیده*^(۱) - اسلامی کلانتری، محمد^(۱) - زارع، حکیمه^(۲)

^(۱) دانشگاه یزد، دانشکده فیزیک، بخش هسته‌ای

^(۲) دانشگاه یزد، دانشکده فیزیک، بخش حالت جامد

چکیده:

از نانوکامپوزیت‌های بر پایه پلیمر می‌توان حفاظ‌های سبک و انعطاف‌پذیر طراحی نمود. در این پژوهش، از کد MCNPX به منظور طراحی نانوکامپوزیت شامل نانومیله‌های هسته/پوسته‌ی سرب اکسید-آلومینیوم اکسید که در بستر پلی‌استر توزیع شده‌اند استفاده شد. اثر قطر نانومیله‌های سرب اکسید، ضخامت پوسته‌ی آلومینیوم اکسید و انرژی فوتون فرودی بر میزان تضعیف پرتوهای الکترون و گاما بررسی شد. نتایج نشان می‌دهد وجود پوسته‌ی آلومینیوم اکسید با ضخامت 10 nm بر روی سطح نانومیله‌های سرب اکسید با قطر 100 nm ، میزان تضعیف الکترون‌ها و فوتون‌های با انرژی 0.1 MeV به ترتیب تا 1.5 و 2 برابر افزایش داده است. در تمام نمونه‌ها با کاهش انرژی پرتو فرودی، میزان تضعیف افزایش یافته است.

کلمات کلیدی: کد MCNPX، نانومیله، تضعیف، پرتو گاما، پرتو الکترون، نانوکامپوزیت

Design of PbO/Al₂O₃ Core/Shell Nanorod-Polyester Nanocomposite as a Gamma and Electron Radiation Shielding

Yazdani Darki¹, Sepideh; Eslami-Kalantari¹, Mohammad; Zare², Hakimeh

¹ Yazd University, Faculty of Physics, Division of Nuclear Physics

² Yazd University, Faculty of Physics, Division of Solid state

Abstract:

polymer-based nanocomposites can be designed as light and flexible shielding. In this study, Design of nanocomposite of core/shell lead-Aluminum oxide nanorods in a polyester substrate as a shielding of gamma and electron radiation by MCNPX simulation has been performed. The effects of diameter of lead oxide nanorods, the thickness of aluminum oxide and the energy of incident photon on the gamma and electron attenuation have been investigated. The results show, the attenuation of electrons and photons with the energy of 0.1 MeV will be increase up to 1.5 and 2 times more, respectively due to the existence of an aluminum oxide shell with a thickness of 10 nm on the nanorod lead oxide with a diameter of 100 nm .

Key word: MCNPX, Nanorod, attenuation, gamma radiation, electron radiation, nanocomposite

مقدمه:

گسترش روزافزون کاربرد پرتوهای یونساز در امور مختلف پزشکی، صنایع و کشاورزی به حدی است که وجود آن در زندگی روزمره احساس می‌شود [۱]. از طرفی کار کردن با پرتوهای ایکس و مواد پرتوزا، سبب سوختگی یا



آسیب‌های دیگری هم چون سرطان، ضایعات وراثتی، مشکلات گوارشی و طاسی سر می‌شود. سه روش متداول کاهش زمان پرتوگیری، افزایش فاصله از چشمه پرتوزا و به کار بردن حفاظ مناسب می‌تواند خطرات پرتوگیری را به حداقل رساند. واضح است هر چه مدت زمان حضور در میدان پرتو کم‌تر و فاصله از چشمه پرتوزا بیش‌تر باشد پرتوگیری کاهش خواهد یافت. استفاده از حفاظ مناسب بین منبع پرتوزا و فرد باعث کاهش پرتوگیری می‌شود و حتی در بعضی از موارد تنها راه عملی برای کاهش پرتوگیری است [۲]. با توجه به نوع پرتو یونیزان، از عناصر مختلفی برای ساخت حفاظ استفاده می‌شود. سرب و آلومینیوم از عناصر مرسوم هستند که برای تضعیف پرتوهای یونیزان در ساختار ماده‌ی حفاظ به کار برده که در طبیعت به وفور یافت می‌شوند. سرب به دلیل جرم اتمی بالا، انعطاف‌پذیری، ارزان بودن، مقاوم در برابر خوردگی و فراوانی در طبیعت، ماده‌ای مناسب برای حفاظ پرتوهای ایکس و گاما است. آلومینیوم یکی از مؤثرترین عناصر برای تضعیف پرتو الکترون است. تاکنون تحقیقات زیادی برای استفاده از این عناصر در ساخت ماده‌ی حفاظ انجام شده است. یکی از حوزه‌هایی که اخیراً مورد توجه محققان قرار گرفته، استفاده از نانومواد به عنوان حفاظ برای تضعیف و حذف پرتوهای هسته‌ای است. بر طبق گزارش‌ها، نانومواد به دلیل داشتن نسبت سطح به حجم بالا، توانایی جذب فوتون بیش‌تر را دارند. از نانومواد یا میکرومواد پخش شده در بستر پلیمر می‌توان به منظور طراحی حفاظ‌های سبک و انعطاف‌پذیر برای پرتوهای یونساز استفاده کرد. به دلیل شکل‌دهی و طراحی ماده با هندسه خاص، سادگی روش‌های تولید و امکان تولید اشکال بسیار پیچیده با روش‌های آسان می‌توان از آن‌ها برای طراحی حفاظ‌های مؤثر برای پرتوهای مربوط به صنعت خاص استفاده کرد. در نانوکامپوزیت‌ها علاوه بر بستر پلیمر، نانومواد به عنوان مواد پرکننده نیز می‌توانند نقش تضعیف‌کننده پرتوهای یونساز را داشته باشند [۳ و ۴].

تاکنون پژوهش‌های کمی برای ساخت و طراحی نانوکامپوزیت‌ها به عنوان حفاظ پرتوهای یونیزان انجام شده است. کیم^۱ و همکارانش از نانوذرات تنگستن کپسوله شده در پلی‌اتیلن در بستر پلیمر برای ساخت حفاظ پرتوهای یونیزان استفاده کردند. بر طبق نتایج شبیه‌سازی با کد MCNPX، بیش‌ترین اثر میرایی پرتوهای با انرژی ۰٫۱ MeV مربوط به میکروذرات تنگستن (۱۰۰ μm) نسبت به نانوذرات تنگستن (۱۰۰ nm) است که این نتیجه با کار تجربی مغایرت دارد. زیرا نانوذرات در همین انرژی، ۷۵ درصد بیش‌تر از میکروذرات تضعیف دارند [۵]. کالکارنی^۲ و همکارانش در سال ۲۰۱۴ نانوکامپوزیت‌های بر پایه‌ی اکسیدهای فلزی مختلف مانند آهن اکسید، روی اکسید، سیلیکا، زیرکونیوم دی‌اکسید و تیتانیوم دی‌اکسید، در بستر پلیمر پلی‌وینیل‌الکل به عنوان ماده محافظ امواج الکترومغناطیسی^۳، ارائه دادند. آن‌ها نانوکامپوزیت‌های لایه‌ای با ضخامت حدود ۰٫۵ mm با درصد‌های مختلف از نانوذرات اکسید فلزی (۰٫۱، ۰٫۵، ۱، ۵ و ۱۰ درصد) استفاده کردند. نتایج نشان می‌دهد نانوکامپوزیت‌های شامل ۱۰ درصد وزنی از نانوذرات سیلیکا و آهن اکسید نسبت به دیگر

¹ Kim

² Kulkarni

³ Electromagnetic Interference



نانوذرات اکسید فلزی تضعیف بیش‌تری را نشان داده است. این نانوذرات دارای پایداری حرارتی و خواص مکانیکی بالاتر نسبت به سایر نانوذرات اکسید فلزی هستند [۶].

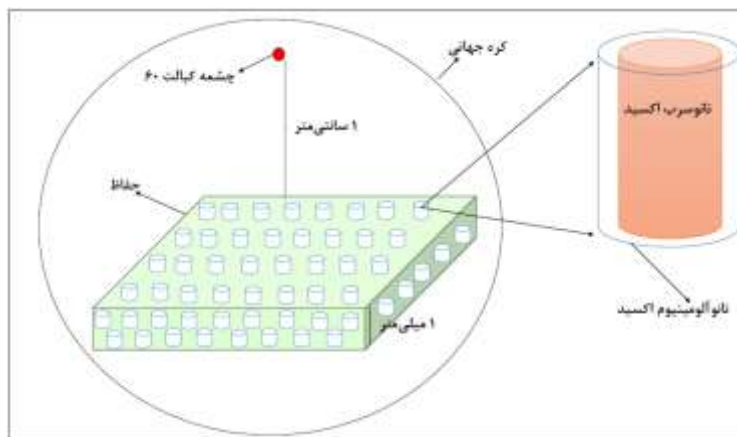
در این پژوهش، برای ساخت ماده‌ی محافظ سبک و انعطاف‌پذیر که بتواند همزمان پرتوهای گاما، ایکس، الکترون و پرتوهای ثانویه‌ای که از سرب خارج می‌شود را تضعیف کند، ساختار نانومیله‌ی هسته/پوسته‌ی سرب اکسید-آلومینیوم اکسید که در بستر پلیمر پخش شده‌اند در نظر گرفته شده است. در این مقاله، برای اولین بار ساختار نانوکامپوزیت شامل نانومیله‌های هسته/پوسته‌ی سرب اکسید-آلومینیوم اکسید پخش شده در زمینه‌ی پلی‌استر با کد MCNPX شبیه‌سازی و اثر قطر نانومیله‌ی سرب اکسید، ضخامت پوسته‌ی آلومینیوم اکسید و انرژی فوتون فرودی بر میزان پرتوهای گاما و الکترون بررسی شد.

روش کار:

کد MCNPX، یکی از کدهای محاسبات هسته‌ای است که براساس روش مونت کارلو کار می‌کند. از جمله کاربردهای این کد طراحی حفاظ، آشکارسازها و محاسبات دزیمتری در پرتوپزشکی است. در این کد هر چه هندسه تعریف شده به شکل واقعی نزدیک‌تر باشد، به نتایج مطلوب‌تری خواهیم رسید. با توجه به هدف این پژوهش یعنی تضعیف پرتو گاما و الکترون، تالی مورد استفاده F1 که تعداد ذرات خروجی را محاسبه می‌کند، است. در این تحقیق، کبالت ۶۰ با دو انرژی 1.17 MeV و 1.33 MeV به عنوان چشمه‌ی سطحی پرتو در فاصله‌ی 1 cm از حفاظ در نظر گرفته شد. نانوکامپوزیت شامل نانومیله‌های هسته/پوسته‌ی سرب اکسید-آلومینیوم اکسید پخش شده در بستر پلی‌استر به عنوان لایه محافظ استفاده شد. ضخامت کل لایه 1 mm و با طول و عرض 1 cm در نظر گرفته شد. اندازه‌گیری‌ها (تعداد ذرات خروجی) بر روی مرز بعد از لایه نانوکامپوزیت انجام شد. در تمام مراحل، طول نانومیله‌ها 100 nm در نظر گرفته شده است. اثر قطر نانومیله‌های سرب اکسید (۲۵، ۵۰، ۷۵ و 100 nm) و ضخامت نانوالومینیوم اکسید بر میزان تضعیف بررسی و در نهایت اثر انرژی چشمه‌ی نقطه‌ای فوتونی و الکترونی با انرژی‌های 0.1 ، 0.3 ، 0.5 ، 1 ، 2 ، 3 ، 4 و 5 MeV بر میزان تضعیف محاسبه شد. در این حالت بهینه‌ی انرژی و بهینه‌ی ساختار حفاظ، به عنوان بیش‌ترین میزان تضعیف تعیین شد.

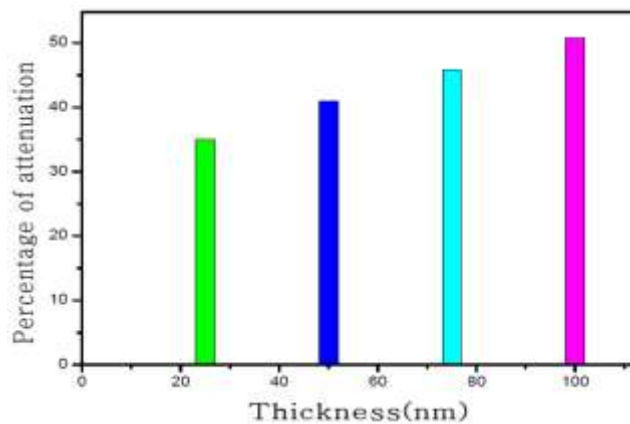
نتایج و بحث:

در شکل ۱ طرح‌واره‌ای از ساختار نانوکامپوزیت نشان داده شده است. در این ساختار، نانومیله‌های هسته/پوسته‌ی سرب اکسید-آلومینیوم اکسید با طول 100 nm به عنوان ماده‌ی تضعیف‌کننده در زمینه‌ی پلی‌استر با طول و عرض 1 cm و ضخامت 1 mm توزیع شده‌اند. چشمه‌ی کبالت در فاصله‌ی 1 cm از حفاظ قرار دارد.

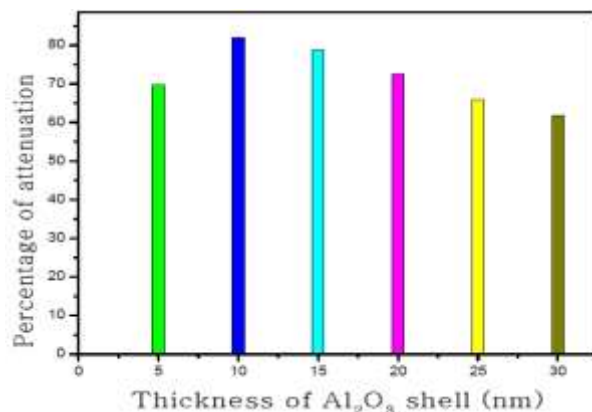


شکل ۱: طرح‌واره‌ای از ساختار نانوکامپوزیت با نانومیله‌های هسته/پوسته‌ی سرب اکسید-آلومینیوم اکسید

شکل ۲، اثر قطر نانومیله‌های سرب اکسید (۲۵، ۵۰، ۷۵ و ۱۰۰ nm) بر میزان تضعیف پرتوهای گاما را نشان می‌دهد. بر طبق شکل، با افزایش قطر نانومیله‌ها میزان تضعیف افزایش می‌یابد. بیش‌ترین تضعیف مربوط به ساختار نانومیله‌ای با قطر ۱۰۰ nm است که میزان تضعیف ۵۰٫۷۳ درصد است. لازم به ذکر است قطرهای بالاتر از ۱۰۰ nm جزء نانو ساختارها محسوب نمی‌شود و در محاسبات لحاظ نشده است. با انتخاب نانومیله‌ی سرب اکسید به ضخامت ۱۰۰ nm و پوشش آلومینیوم اکسید به ضخامت‌های مختلف، پوشش بهینه با بیش‌ترین تضعیف (۸۱٫۹۲ درصد) برای ضخامت ۱۰ از آلومینیوم اکسید بدست آمد. شکل ۳ روند تأثیر افزایش ضخامت پوششی را نشان می‌دهد.

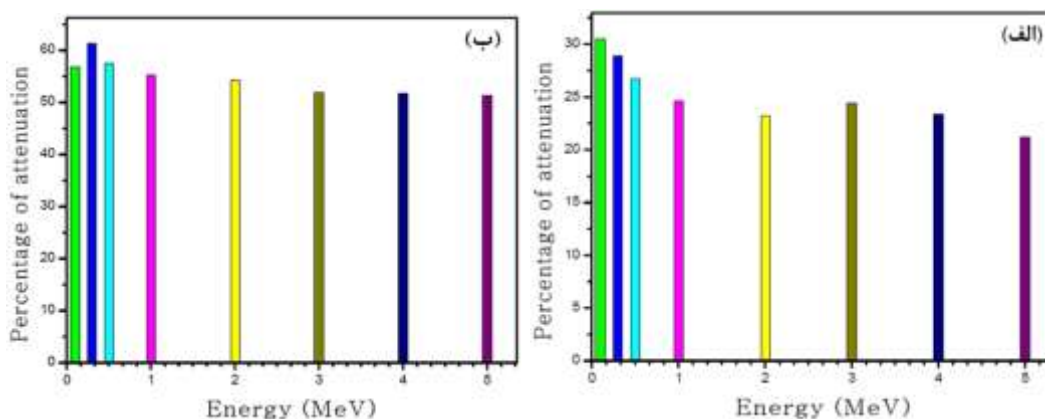


شکل ۲: اثر قطر نانومیله سرب اکسید بر میزان تضعیف پرتوی گاما



شکل ۳: اثر ضخامت پوسته‌ی آلومینیوم اکسید در ساختار نانومیله‌ی هسته/پوسته بر میزان تضعیف پرتوی گاما

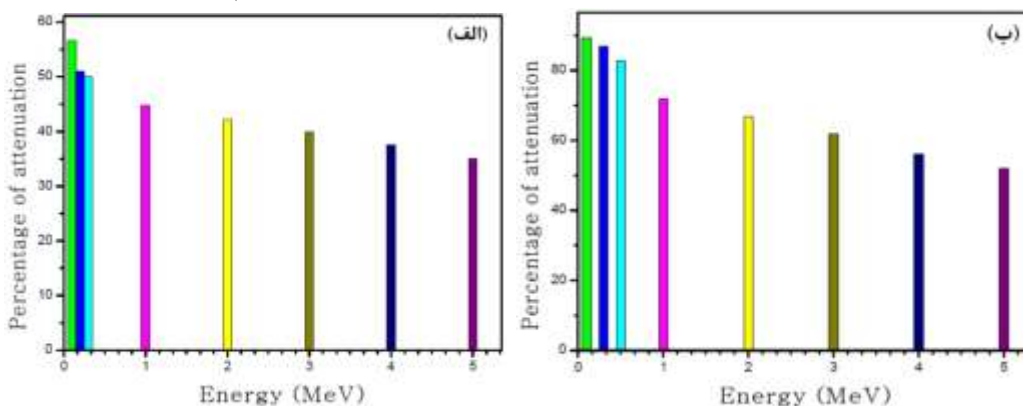
در شکل ۴، اثر انرژی چشمه‌ی نقطه‌ای گاما بر میزان تضعیف نانوکامپوزیت‌های شامل نانومیله‌های سرب اکسید با قطر ۱۰۰ nm، بدون پوشش و با پوشش آلومینیوم اکسید به ضخامت ۱۰ nm نشان داده شده است. بر طبق شکل ۴-الف، با افزایش انرژی چشمه میزان تضعیف برای نانوکامپوزیت شامل نانومیله‌های سرب اکسید کاهش می‌یابد. بیش‌ترین تضعیف مربوط به انرژی ۰.۱ MeV که حدود ۳۰ درصد می‌باشد و این حفاظ می‌تواند برای ساخت لوله‌های رادیولوژی استفاده شود. در شکل (۴-ب)، اثر انرژی فوتون ورودی بر میزان تضعیف برای ساختار نانوکامپوزیت نانومیله‌های هسته/پوسته‌ی سرب اکسید-آلومینیوم اکسید را نشان می‌دهد. طبق شکل بیش‌ترین میزان تضعیف مربوط به انرژی ۰.۳ MeV است که میزان تضعیف حدود ۶۰ درصد رسیده است. با مقایسه‌ی شکل ۴ الف و ب، مشاهده می‌شود که در تمام انرژی‌ها، وجود پوسته‌ی آلومینیوم اکسید با ضخامت ۱۰ nm، باعث افزایش تضعیف تا دو برابر شده است. در نتیجه چنین حفاظی در رادیوتراپی و رادیولوژی مناسب است



شکل ۴: نمودار میزان تضعیف پرتو گاما بر حسب انرژی برای ساختار نانوکامپوزیت شامل، (الف) نانومیله‌های سرب اکسید و (ب) نانومیله‌های هسته/پوسته‌ی سرب اکسید-آلومینیوم اکسید



شکل ۵ الف و ب، میزان تضعیف انرژی چشمه‌ی نقطه‌ای الکترونی بر حسب انرژی برای ساختار نانوکامپوزیت بر پایه پلی استر شامل نانومیله‌های سرب اکسید و نانومیله‌های هسته/پوسته‌ی سرب اکسید-آلومینیوم اکسید نشان می‌دهد. در هر دو حالت با افزایش انرژی چشمه، میزان تضعیف کاهش یافته است و بیشترین میزان تضعیف مربوط به پرتوهای الکترونی با انرژی ۰٫۱ MeV است، که این میزان تضعیف در ساختار نانومیله‌ی هسته/پوسته‌ی سرب اکسید-آلومینیوم اکسید بیش‌تر است. وجود پوسته‌ی آلومینیوم اکسید بر روی سطح نانومیله‌ی سرب اکسید سبب می‌شود تا پرتوهای ثانویه‌ی ایجاد شده در اثر برخورد پرتو با هسته سرب اکسید، توسط پوسته‌ی آلومینیوم اکسید جذب شود و میزان تضعیف افزایش یابد و این میزان تضعیف برای چشمه‌ی با انرژی ۰٫۱ MeV از ۵۶٫۶۶ درصد (ساختار شامل نانومیله‌ی سرب اکسید) به ۸۹٫۲۹ درصد (ساختار شامل نانومیله‌ی هسته/پوسته‌ی سرب اکسید-آلومینیوم اکسید) می‌رسد.



شکل ۵: نمودار میزان تضعیف پرتوالکترون بر حسب انرژی برای ساختار نانوکامپوزیت شامل، (الف) نانومیله‌ی سرب اکسید و (ب) نانومیله هسته/پوسته‌ی سرب اکسید-آلومینیوم اکسید

بحث و نتیجه گیری:

با استفاده از کد MCNPX، نانوکامپوزیتی با ضخامت ۱ mm با بستر پلی استر و نانومیله‌های هسته/پوسته‌ی سرب اکسید-آلومینیوم اکسید به منظور حذف پرتوهای یونیزان برای اولین بار طراحی شد. اثر قطر نانومیله‌های سرب اکسید و ضخامت پوسته‌ی آلومینیوم اکسید بر میزان تضعیف انرژی برای شرایطی که از چشمه سطحی کبالت استفاده شده بررسی شد. بر طبق نتایج، نانومیله‌های سرب اکسید با قطر ۱۰۰ nm که دارای پوسته‌ای از آلومینیوم اکسید با ضخامت ۱۰ nm هستند، بیشترین تضعیف پرتوی گاما (۸۱٫۹۲ درصد) را دارا هستند. وجود پوشش آلومینیوم اکسید باعث افزایش میزان تضعیف تا ۳۰ درصد شده است. میزان تضعیف چشمه‌های فوتونی و الکترونی بر حسب انرژی پرتو فرودی در ساختار نانوکامپوزیت که شامل نانومیله‌های سرب اکسید و نانومیله‌های هسته/پوسته‌ی سرب اکسید-آلومینیوم اکسید است بررسی شد. نتایج نشان می‌دهد که در همه‌ی موارد با کاهش انرژی پرتو فرودی، میزان تضعیف افزایش می‌یابد و وجود پوسته‌ی



آلومینیوم اکسید می‌تواند میزان تضعیف را ۱/۵ برابر (برای چشمه‌ی نقطه‌ای الکترونی) و ۲ برابر (برای چشمه‌ی نقطه‌ای فوتونی) افزایش دهد.

مراجع:

[۱] قاسمی نژاد لیچاهی سیده زهرا؛ بررسی پرتوگیری کادر پزشکی در مراکز پزشکی هسته‌ای شهر رشت، پایان‌نامه ارشد، اسفندماه ۱۳۸۹.

[۲] سمیر هرمان، ابوکاظمی محمدابراهیم، سپهری هوشنگ و بینش علیرضا، آشنایی با فیزیک بهداشت از دیدگاه پرتوشناسی، مرکز نشر دانشگاهی، تهران ۱۳۷۱.

[3] Shruti Nambiar and John Yeow; Polymer-Composite Materials for Radiation Protection, ACS Appl. Mater. Interfaces, 2012, 5717-5726.

[4] Zeinab M. Shakfa, Ahmed E. Hannora & Mohamed M. Sherif; Preparation of Lead-Polymer Nanocomposite for Nuclear Shielding Applications, IJRASET, 2015, 1046-1049.

[5] Jaewoo Kim, Duckbong Seo, Byung Chul Lee, Young Soo Seo & William H. Miller; Nano WO₃ Dispersed Gamma Radiation Shielding Materials; Adv. Eng. Mater., 2014, 1083-1089.

[6] Ranjana Singh, Suresh G. Kulkarni; Nanocomposites based on Transition Metal Oxides in Polyvinyl alcohol for EMI Shielding Application; Polym. Bull., 2014, 497-513.