

بررسی خواص محافظت از پرتوی شیشه‌های تلوریوم تقویت شده با ذرات نانو تنگستن به

کمک کد MCNP

INC29-1217

پیوند طاهرپرور^۱، علیرضا صدرممتاز^۲، آرین نیک‌راه^۳

۱. گروه فیزیک هسته‌ای، دانشگاه گیلان، رشت، ایران

چکیده:

استفاده از حفاظ‌های تابشی یکی از مهم‌ترین ابزار در مواجهه و محافظت در برابر تابش‌های پرتوی است. به‌واسطه اهمیت امر، ارزیابی حفاظ‌های تابشی همواره مورد توجه است و اخیراً بهره‌گیری از حفاظ‌هایی حاوی نانو ذرات به‌واسطه کارایی آن‌ها بسیار مورد توجه قرار گرفته است. این مطالعه، شبیه‌سازی قابلیت تضعیف پرتوهای یون‌ساز در محدوده‌ی تشخیصی توسط سیستم‌های شیشه‌ای TeO_2 حاوی درصد جرمی‌های مختلف ۴۵٪-۱۰٪ میکرو و نانو ذرات اکسید تنگستن (WO_3) مورد ارزیابی قرار گرفته است. اثر نانو ذرات اکسید تنگستن (WO_3) بر ضرایب تضعیف جرمی (μ_m) و تأثیر لایه نیم مقدار (HVL) نمونه شیشه با استفاده از MCNPX (نسخه ۲,۶,۰) در انرژی‌های مختلف ۳۰۰-۶۰ keV تعیین گردیده و نتایج حاصل از ضریب تضعیف جرمی با داده‌های کتابخانه‌ی XCOM مقایسه شده‌اند. نتایج به دست آمده حاکی از بهبود خواص حفاظتی شیشه تلوریوم حاوی ذرات WO_3 تحت افزودن نانو ذرات با ابعاد و غلظت‌های متفاوت است.

کلیدواژه: MCNPX، نانو ذرات، ضریب تضعیف جرمی، حفاظ شیشه‌ای، تنگستن

Investigating the radiation protection properties of tellurium glasses reinforced with nanoparticles using MCNPX code

Peyvand TaherParvar¹, Alireza Sadremomtaz², Aryan Nikrah³

1. Associate Professor, Department of Nuclear Physics, Gilan University, Rasht

2. Professor, Department of Physics, Gilan University, Rasht

3. Ph.D. Student, Department of Nuclear Physics, Gilan University, Rasht

Abstract:

Radiation shields are one of the most important tools to protect from radiation. Due to the importance of this matter, the evaluation of radiation shield materials is always of interest, and recently the use of shields containing nanoparticles has received much attention due to their efficiency. This study has evaluated the simulation of ionizing radiation attenuation in the diagnostic range by TeO_2 glass systems containing 10-45% keV micro and nanoparticles of tungsten oxide (WO_3) in different masses. The effect of tungsten oxide nanoparticles (WO_3) on the mass attenuation coefficients (μ_m) and the effect of the half-value layer (HVL) of the glass sample was determined using MCNPX (version 2.6.0) at different energies of 60-300 keV and the results of the attenuation coefficient Masses have been compared with XCOM library data. The obtained results indicate the improvement of the protective properties of tellurium glass containing WO_3 particles under the addition of nanoparticles with different dimensions and concentrations.

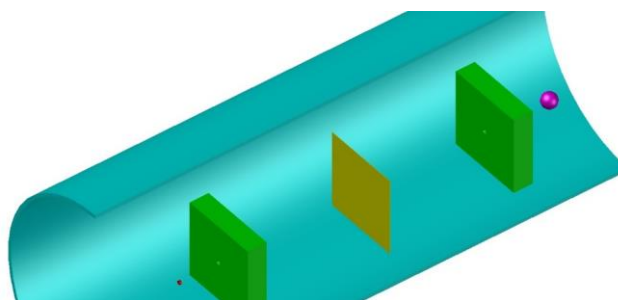
Keywords: MCNPX, nanoparticles, mass attenuation coefficient, glass shield, Tungsten

۱- مقدمه

با توجه به گستره بهره‌گیری از مواد پرتوزا، بخصوص در مباحث مربوط به پزشکی هسته‌ای، کاربردهای صنعتی و نیز تولید انرژی، حفاظت از تابش همواره مورد توجه می‌باشد. به صورت رایج در بحث مربوط به حفاظت پرتوی سه عامل مورد توجه قرار می‌گیرد: زمان، مسافت و حفاظ. مورد سوم در ارتباط با بهره‌گیری از مواد محافظ (عمدتاً سرب و بتن) در فاصله میان تابش و انسان است. در این راستا، استفاده از مواد نسل جدید و تحقیقات مختلف برای معرفی حفاظ بهتر در برابر تابش مورد توجه قرار گرفته است و بررسی‌ها و پژوهش‌های گسترده‌ای در خصوص بهره‌گیری از موادی بهینه که بتوانند در این فرایند مورد استفاده قرار گیرند، صورت پذیرفته است [۱ و ۲]. در واقع لازمه یک ماده به عنوان یک حفاظ خوب، داشتن ضریب تضعیف جرمی بالا می‌باشد تا به صورت مؤثری توان توقف مناسبی در مواجهه با پرتوهای تابشی ایجاد نمایند، اخیراً بهره‌گیری از موادی بر پایه شیشه به دلیل ساختار شفاف آن، به عنوان حفاظی مناسب و در پاره‌ای موارد، جایگزین مطرح شده است [۳]. در بین حفاظ‌های شیشه‌ای مورد مطالعه، شیشه‌های تلوریت به دلیل چگالی قابل توجه و عدد اتمی زیاد آن‌ها به شدت مورد توجه قرار گرفته است [۴-۵]. در مطالعه حاضر به منظور بهبود خواص حفاظتی شیشه تلوریت از نانو ذرات اکسید تنگستن (WO_3) که اخیراً مورد توجه قرار گرفته شده، استفاده شده است. در شبیه‌سازی‌های انجام گرفته، خواص حفاظتی شیشه تلوریت دوتایی با (TeO_2-WO_3) با درصد‌های متفاوت تنگستن (۴۵، ۴۰، ۳۵، ۳۰، ۲۵، ۲۰، ۱۵، ۱۰ درصد) در برابر تابش فوتونی به کمک کد MCNPX و تعیین ضریب تضعیف جرمی μ_m مورد ارزیابی قرار گرفته است. به منظور اعتبار سنجی داده‌ها نیز از نتایج ارائه شده از پایگاه داده XCOM در همان محدوده انرژی بهره‌برده ایم [۶]. علاوه بر آن، به منظور بررسی کامل‌تر در طیف انرژی گسترده‌تر، مقادیر μ_m و HVL در انرژی‌های مختلف از 60 keV ، 300 keV با استفاده از نرم‌افزار MCNPX شبیه‌سازی و ارائه شده است.

۲- مواد و روش‌ها

در مطالعه حاضر به کمک کد MCNPX (نسخه ۲،۶،۰)، ضریب تضعیف جرمی نمونه‌های شیشه با درصد‌های مختلف نانو ذرات WO_3 مورد بررسی قرار گرفته است. به منظور محاسبه پارامترهای اشاره شده هندسه شکل ۱ در کد MCNPX تعریف شد. هندسه؛ علاوه بر چشمه، آشکارساز و نمونه مورد مطالعه، شکل ۱، شامل ۲ کولیماتور سربی (چگالی = ۱۱،۳ گرم بر سانتی‌متر مکعب) به منظور اطمینان از تشکیل یک هندسه-باریک است. از سوی دیگر، چشمه به صورت نقطه‌ای و آشکارساز نیز به صورت یک کره تعریف شد.



شکل ۱: هندسه طراحی شده در کد MCNPX

و هندسه نمونه مورد بررسی این صورت تعریف شده است که یک حجم کروی به عنوان سلول ماده جاذب و یک حجم مکعبی به عنوان سلول بستر حفاظ، گوی جاذب در مرکز آن قرار دارد، و این دو حجم با یکدیگر هم‌زمان سلول واحد برای ایجاد هندسه اصلی را تشکیل می‌دهند. برای رسیدن به هندسه اصلی و مورد استفاده در فایل ورودی کد، در جهت ارضای هدف مدنظر، با ایجاد شبکه از طریق دستور Fill و U در بخش سلول فایل ورودی MCNPX نمونه مورد قرار داده شد. تعداد ذرات شبیه‌سازی شده ۵ میلیون انتخاب گردید، میزان خطایی کمتر از ۰/۱ درصد را در نتایج به دنبال داشت. برای بررسی

میزان شار جذبی در ناحیه آشکارساز از تالی شار F4 استفاده شده است. این نوع تالی مجموع شار در حجم سلول را به دست می‌دهد [۷].

همان‌طور که گفته شد؛ به‌منظور بررسی میزان کارایی حفاظ‌های طراحی شده، از پارامتر ضریب تضعیف جرمی استفاده شد. ضریب تضعیف جرمی یکی از مهم‌ترین پارامترها در تعیین نفوذ و انتشار پرتوهای گاما در مواد محسوب می‌شود که بر اساس قانون بیر-لامبرت به‌صورت رابطه زیر قابل تعریف است:

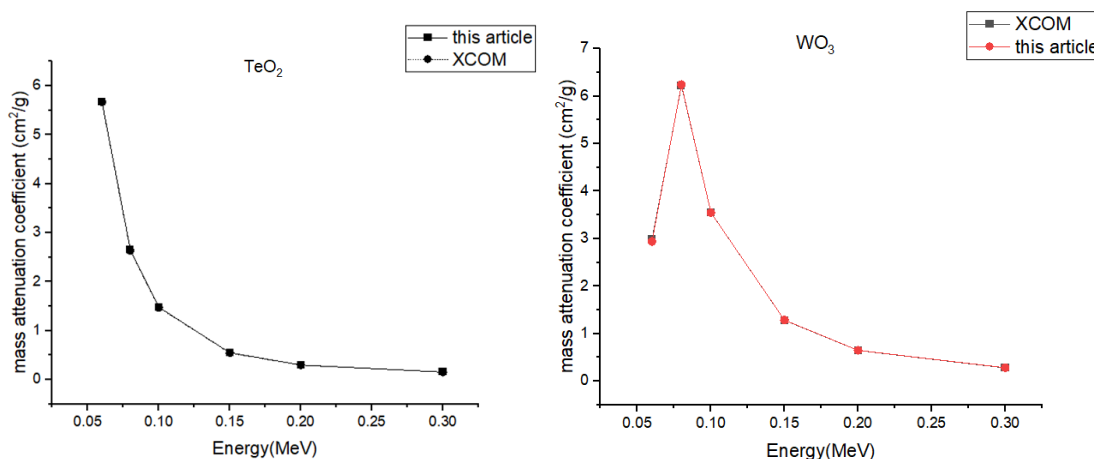
$$\mu_m \times X = \ln \left(\frac{I_0}{I} \right) \quad (1)$$

که I_0 و I به ترتیب شدت فوتون فرودی و تضعیف شده هستند. μ_m ($\text{cm}^2 \cdot \text{g}^{-1}$) ضریب تضعیف جرمی و X نیز ضخامت نمونه برحسب واحد میلی‌متر می‌باشد و واژه‌شناسی حفاظ‌گذاری، میزان تضعیف پرتوهای گاما بر حسب یک لایه نیم مقدار و یا به اصطلاح HVL مفید است. HVL ضخامت نمونه شیشه مورد نیاز برای کاهش شدت فوتون فرودی تا ۵۰ درصد مقدار اولیه آن است که مطابق رابطه زیر تعریف می‌شود.

$$HVL = \frac{\ln 2}{\mu} \quad (2)$$

۳- اعتبار سنجی

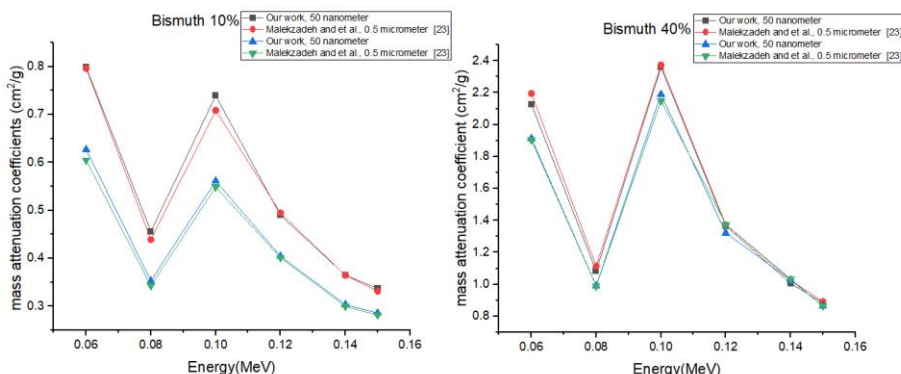
به‌منظور اعتبار سنجی اولیه، محاسبه ضریب تضعیف خطی محاسبه شده برای حفاظ TeO_2 و WO_3 به کمک کد MCNPX با انرژی‌های مختلف به دست آمد و نتایج شبیه‌سازی با داده‌های بانک اطلاعاتی NIST XCOM مقایسه شد [۹].



شکل (۲) مقایسه نتایج TeO_2 و WO_3 در مقاله با داده‌های XCOM

نتایج حاصل از این مقایسه که در شکل ۲ به تصویر کشیده شده است نشان از توافق بسیار خوب داده‌های NIST XCOM با نتایج حاصل از شبیه‌سازی در مقاله حاضر است و انحراف داده‌ها را کمتر از ۱ درصد نشان می‌دهد. به‌منظور بررسی اعتبار سنجی نتایج نمونه در مقیاس نانو و میکرو ذرات از هندسه مقاله ملک‌زاده و همکاران کمک گرفته شد [۱۰]. هندسه مورد استفاده برای اعتبار سنجی نتایج مربوط به شبیه‌سازی نانو و میکرو ذرات مشابه با شکل ۱ است. دو کولیماتور سربی به ابعاد 20×20 با قطر در فاصله 50 cm دوطرفه نمونه قرار گرفته، چشمه دیسکی به قطر 1 cm در یک سو و پشت یکی از کولیماتورها قرار دارد همچنین آشکارساز کروی با قطر در سمت دیگر و پشت به کولیماتور دوم

قرار می‌گیرد. نتایج حاصل از ضریب تضعیف جرمی مربوط به حفاظ سیلیکون با دارا بودن حالت‌های مختلف درصد جرمی بیسموت، در حالت‌های نانو و میکرو، با مقاله ملک‌زاده و همکاران [۱۰] در شکل ۳ به نمایش درآمده است.

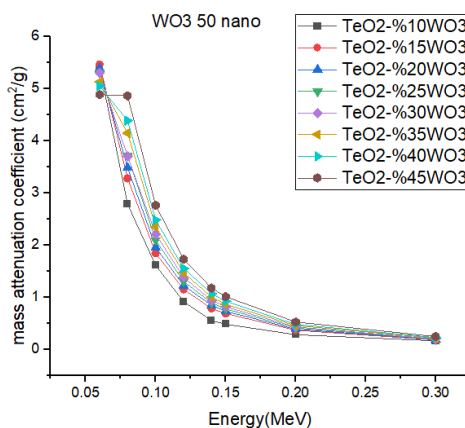


شکل (۳) مقایسه Bi-Si در حالت‌های نانو و میکرو با داده‌های این مقاله و مقاله ملک‌زاده

نتایج به دست آمده از نمودار شکل ۳ بیانگر تفاهم خوبی بین نتایج کار حاضر و نتایج ملک‌زاده می‌باشد. میزان بیشینه انحراف نتایج در حدود ۳٪ می‌باشد که نشان از اعتبار سنجی درست روند شبیه‌سازی می‌باشد.

۳-۱ اثر افزایش مقدار ذرات WO_3 بر خواص ضریب تضعیف جرمی شیشه‌های تلوریوم

پس از اعتبار سنجی انجام شده و به‌منظور ارزیابی اثرات افزودن میزان نانو ذرات WO_3 بر ضرایب تضعیف جرمی شیشه‌های تلوریوم، از همان هندسه شکل ۱ استفاده شد و غلظت‌های ۱۰٪، ۱۵٪، ۲۰٪، ۲۵٪، ۳۰٪، ۳۵٪، ۴۰٪ و ۴۵٪ از نانو ذرات WO_3 به حفاظ شیشه‌ای اضافه گردید. نتایج حاصل از تغییرات ضرایب تضعیف جرمی بر حسب انرژی فوتون در شکل ۴ به نمایش درآمده است.

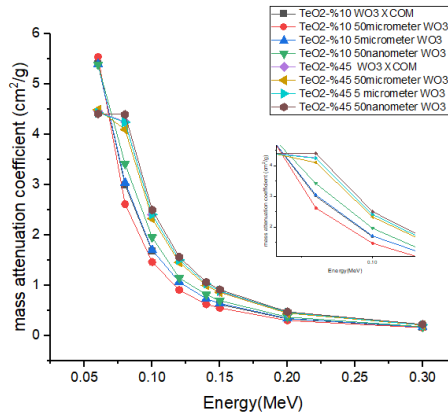


شکل (۴) مقایسه ضرایب تضعیف جرمی برای در صد جرمی‌های مختلف ذرات WO_3 در انرژی‌های مختلف

مشاهده می‌شود که کمترین مقادیر ضرایب تضعیف جرمی برای همه انرژی‌ها به دست آمده به نمونه حاوی ۱۰٪ WO_3 تعلق دارد. با افزایش تدریجی مقدار WO_3 ، ضرایب تضعیف جرمی فزونی می‌یابد. با این حال، در درصد وزنی پایین WO_3 ، ویژگی جذب لبه K به‌وضوح قابل مشاهده نیست. با افزایش WO_3 در شیشه‌های تلوریوم، اثر لبه K با افزایش ضرایب تضعیف جرمی در آن انرژی آشکارتر می‌شود. در مجاورت لبه K (یعنی در انرژی ۸۰ keV)، ضریب تضعیف جرمی به دلیل غلبه اثر فوتوالکتریک به سرعت افزایش یافت. همچنین با افزایش انرژی مخصوصاً در انرژی‌های بالا ضرایب تضعیف جرمی به هم نزدیک می‌شود. بنابراین به‌وضوح مشاهده می‌شود که با افزایش درصد WO_3 شیشه‌های تلوریوم، ضریب تضعیف جرمی برای هر انرژی افزایش می‌یابد.

۲-۳ تأثیر افزایش اندازه ذرات WO_3 بر خواص ضریب تضعیف جرمی شیشه‌های تلوریوم

به منظور ارزیابی اثرات ابعاد ذرات بر توانایی تضعیف فوتون توسط شیشه‌های آلاییده، ضرایب تضعیف جرمی (μ/ρ) حفاظها در دو درصد وزنی متفاوت از WO_3 (۰.۱۰٪ و ۰.۴۵٪) در اندازه‌های (۵۰nm، ۰.۵mm، ۵mm و ۵۰mm) مدل‌سازی شد. در شکل ۵ مقادیر μ/ρ محاسبه شده به کمک شبیه‌سازی MCNPX، نسبت به انرژی فوتون فرودی برای شیشه‌های TeO_2 تقویت شده با WO_3 به نمایش درآمده است.

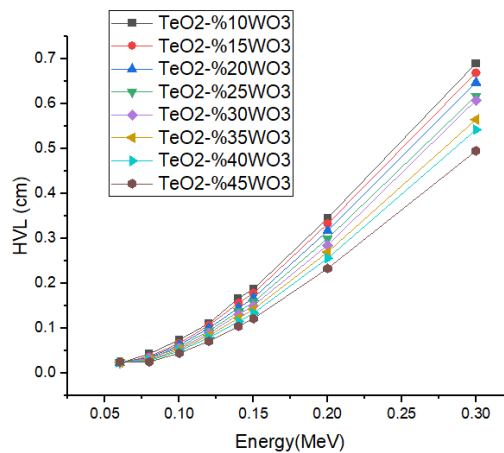


شکل (۵) مقایسه ضرایب تضعیف جرمی برای اندازه‌های مختلف ذرات WO_3 در درصد جرمی‌های ۰.۱۰٪ و ۰.۴۵٪ در انرژی‌های مختلف

با توجه به شکل ۵ در انرژی‌های کم، مقادیر μ/ρ به شدت با افزایش انرژی فوتون کاهش می‌یابد. جهش ناگهانی در مقادیر ضریب تضعیف در درصد وزنی ۰.۴۵٪ به جذب لبه K اشاره دارد. همچنین به دلیل درصد پایین WO_3 (۰.۱۰٪) تأثیر لایه K در این انرژی‌ها مشهود نیست. در انرژی‌ها بالا، مقادیر μ/ρ به صورت تدریجی (به واسطه موارد یاد شده در سطور پیشین) کاهش می‌یابد تا آنجا که اثر اندازه پرکننده شیشه‌ها، مشاهده می‌شود تغییر ناچیزی در مقدار μ/ρ نسبت به اندازه پرکننده در این ناحیه انرژی وجود دارد.

۳-۳ بررسی کمیت لایه نیم مقدار ذرات WO_3 بر شیشه‌های تلوریوم

به منظور ارزیابی اثربخشی نقش حفاظ تابشی کمیت HVL نمونه‌های شیشه TeO_2 حاوی WO_3 نیز مورد مطالعه قرار گرفته است. شکل ۶ تغییرات HVL با محتوای ذرات ۵۰ نانومتر WO_3 را در نمونه‌های شیشه تلوریوم نشان می‌دهد.



شکل (۶) بررسی کمیت لایه نیم مقدار برای درصدهای جرمی مختلف ذرات WO_3 در نمونه TeO_2 با انرژی‌های مختلف

از شکل ۶ مشخص است که تفاوت مقادیر HVL در انرژی‌های بالاتر محسوس است و به صورت کلی، مقادیر HVL با افزایش انرژی پرتوگاما افزایش می‌یابد، زیرا برای کاهش شدت فوتون فرودی تا ۵۰ درصد مقدار اولیه، ضخامت هدف

بیشتری مورد نیاز است. علاوه بر این، افزایش محتوای WO_3 در نمونه شیشه تلوریوم، HVL را کاهش می‌دهد، که حاکی از توان اثربخشی حفاظتی بالاتر این گونه از شیشه‌ها در مقایسه با شیشه تلوریوم خالص است. HVL نمونه‌های شیشه با افزایش درصد جرمی ذرات WO_3 در نمونه TeO_2 کاهش می‌یابد که در تناظر با تغییرات افزایش ضریب تضعیف جرمی مواد مورد مطالعه است.

۴- نتیجه‌گیری

در این مطالعه، ضرایب تضعیف جرمی شیشه توسط نانو WO_3 و میکرو WO_3 بررسی شده است. مشخص شد که اندازه WO_3 بر ضرایب تضعیف جرمی شیشه در تمام انرژی‌های فوتون تأثیر می‌گذارد. نتایج شکل ۴ و ۵ نشان می‌دهند که افزودن ذراتی با ابعاد کوچک‌تر (در مقیاس نانو)، در مقایسه با ذرات بزرگ‌تر (در مقیاس میکرو) موادی با ضرایب تضعیف بیشتری را ارائه می‌دارد. همچنین علاوه بر تأثیر ابعاد ذرات افزایش درصد وزنی WO_3 به شدت بر افزایش ضریب تضعیف ماده نهایی تأثیر دارد. شیشه‌های حاوی نانو ذرات WO_3 به‌طور قابل توجهی خواص حفاظ تابشی را نسبت به میکرو WO_3 بهبود می‌بخشد. از سوی دیگر، نتایج نشان‌دهنده کاهش ضریب تضعیف جرمی با افزایش غلظت اکسید تنگستن در حفاظ شیشه‌ای است؛ با افزایش غلظت اکسید تنگستن، لایه نیم مقدار نیز افزایش پیدا می‌کند. به‌صورت کلی، نتایج حاصل نشان‌دهنده امکان بهره‌گیری از حفاظ‌های شفاف حاوی نانو ذرات WO_3 می‌باشد که می‌تواند در عین شفافیت، حفاظ تابشی ایده‌آلی برای مقاصد تصویربرداری در نظر گرفته شود.

۵- مراجع

- [1] NCRP Report No. 151: Structural shielding design and evaluation for megavoltage X-ray / γ -ray radiotherapy facilities. Oxford (UK), Oxford University Press, (2005).
- [2] M. I. Sayyed, H. Elhouichet, Radiation Physics and Chemistry 130, 335 (2017).
- [3] M. I. Sayyed, Canadian Journal of Physics 94, 1133 (2016).
- [4] Y. Al-Hadeethi, and M. I. Sayyed, Using Phy-X/PSD to investigate gamma photons in SeO_2 - Ag_2O - TeO_2 glass systems for shielding applications, Ceram. Int 46 (8), 12416 (2020).
- [5] Çelikkbilek, M.; Ersundu, A.E.; Aydın, S. Preparation and characterization of TeO_2 - WO_3 -Li 2O glasses. J. Non. Cryst. Solids. 2013, 378, 247–253.
- [6] M. A. Budiawan, S. Suryani, B. Abdullah, and D. Tahir, "Analysis of absorption properties of a composite FlyAsh and Fe_2O_3 for X-ray radiation shielding applications," IOP Conf. Ser.: Mater. Sci. Eng. 593, 012014
- [7] RSICC Computer Code Collection. MCNPX User's Manual Version 2.4.0. Monte Carlo N-Particle Transport Code System for Multiple and High Energy Applications, (2002).
- [8] S. Prabhu et al., Effective atomic number and electron density of some biologically important lipids for electron, proton, alpha particle and photon interactions, Appl. Radiat. Isot. 160, 109137 (2020).
- [9] Berger, M.J., Hubbell, J.H., 1999. XCOM: Photon Cross Sections Database, Web Version 1.2, 1999. Available from: <http://physics.nist.gov/xcom> Originally published as NBSIR 87-3597 XCOM: Photon Cross Sections on a Personal Computer, (1987).
- [10] Malekzadeh R, Mehnati P, Sooteh M Y, Mesbahi A. 2019 Influence of the size of nano- and microparticles and photon energy on mass attenuation coefficients of bismuth-silicon shields in diagnostic radiology