

بررسی امکان استفاده از ترکیب عناصر سرب، تنگستن و باریم به منظور افزایش بازدهی روپوش‌های محافظ در مقابل پرتوهای ایکس محدوده‌ی تشخیصی بوسیله کد MCNP محمودرضا، اکبری*؛ سمیرا، سرشوق؛ حسن، یوسف نیا؛ سمانه، ذوالقدری؛ محمد، قنادی مراغه^۲

^۱ دانشگاه شیراز، دانشکده مهندسی مکانیک، بخش مهندسی هسته‌ای

^۲ سازمان انرژی اتمی، پژوهشگاه علوم و فنون هسته‌ای، پژوهشکده چرخه سوخت هسته‌ای

چکیده

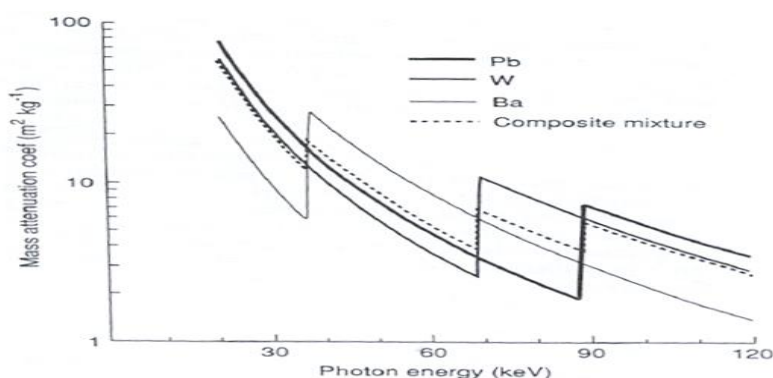
در این تحقیق، به منظور کاهش وزن روپوش‌های محافظتی مورد استفاده در رادیولوژی تشخیصی، استفاده از عناصر تنگستن و باریم در ترکیب با سرب، بررسی شد. دستگاه پرتو ایکس مستقر در مرکز تحقیقات تابش دانشگاه شیراز با استفاده از کد MCNP ۲C شبیه سازی شد. نمونه‌هایی با ابعاد $10\text{cm} \times 10\text{cm}$ از روپوش‌های محافظتی، حاوی درصد‌های مختلف از عناصر سرب، تنگستن و باریم، در مسیر طیف قرار گرفته و درصد عبور اکسپوزر از آنها محاسبه شد. نتایج نشان دادند که ترکیب عناصر ذکر شده، به ازای درصد عبور اکسپوزر تقریباً یکسان، کاهش جرم تقریبی ۲۰ درصد را نسبت به حالت استفاده از سرب خالص در پی خواهد داشت.

کلید واژه: روپوش محافظ، پرتو ایکس، محدوده‌ی تشخیصی، کد MCNP ۲C، نرم افزار spectrum processor

۱. مقدمه

استفاده از روپوش‌های محافظ توسط کارکنان بخش‌های فلوروسکوپی و رادیولوژی، دز تابشی دریافتی آن‌ها را به میزان قابل توجهی کاهش می‌دهد [۱ تا ۴]. در بسیاری از اتاق‌های رادیولوژی، روپوش‌های محافظ در مقابل پرتو ایکس، می‌بایست توسط این کارکنان برای زمان‌های طولانی پوشیده شود. لذا تلاش‌هایی برای ساخت روپوش‌های محافظ سبک‌تر که پرتوهای ایکس تولید شده در گستره‌ی ۶۰-۱۰۰ کیلوولت‌پیک را با بازده بیشتری جذب کنند، انجام گرفته است [۵ و ۶].

از آنجا که توانایی سرب برای جذب تابش در بازه‌ای از انرژی (بین ۵۰ تا ۸۸ کیلو الکترون ولت) به علت قرار گرفتن لایه K سرب در انرژی ۸۸ کیلو الکترون ولت، تقلیل می‌یابد [۶]، برای کاهش وزن روپوش‌های محافظ، می‌توان از مواد دیگری با لایه‌های K متفاوت و اعداد اتمی بالا همراه با سرب استفاده کرد [۴ و ۶]. نمودار ضریب تضعیف جرمی برحسب انرژی برای عناصر باریم (Ba)، تنگستن (W)، سرب (Pb) - که لایه K آن‌ها به ترتیب در $37/4$ ، $69/5$ و 88 کیلو الکترون ولت است - و ترکیب آنها در شکل ۱ نشان داده شده است. به علت تفاوت در انرژی‌های لایه K این عناصر، خواص تضعیفی آن‌ها در این گستره‌ی انرژی به نوعی مکمل یکدیگر می‌باشد. [۶].



شکل ۱. نمودار ضریب تضعیف جرمی برحسب انرژی برای عناصر باریوم، تنگستن، سرب و ترکیب آنها [۶].

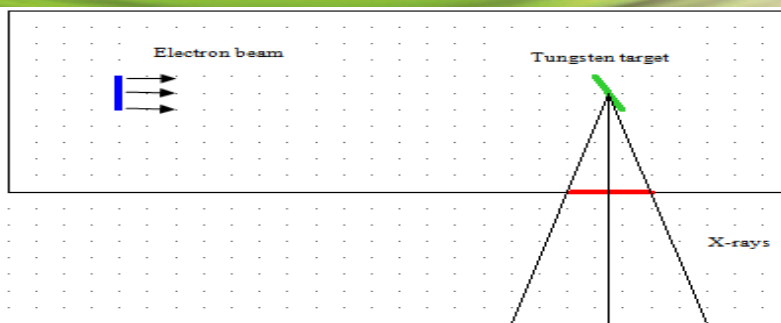
۲. روش کار

در این تحقیق برای شبیه‌سازی طیف حاصل از دستگاه پرتو ایکس تشخیصی و بدست آوردن مقادیر بهینه ترکیبات حفاظتی در روپوش‌ها از کد MCNP۴C استفاده گردید. MCNP۴C یک کد محاسباتی مونته کارلو است که توانایی ترابرد فوتون، الکترون و یا ترکیبی از این دو را دارد [۷].

۱،۲ شبیه سازی دستگاه پرتو ایکس

هندسه‌ی دستگاه پرتو ایکس مرکز تحقیقات تابش دانشگاه شیراز با مشخصات مندرج در جدول ۱ به وسیله‌ی برنامه‌ی MCNP۴C شبیه‌سازی شد (شکل ۲).
جدول ۱. مشخصات دستگاه پرتو ایکس مرکز تحقیقات تابش دانشگاه شیراز

اندازه‌ی نقطه‌ی کانونی ^(۱) (mm)	بریلیم به عنوان فیلتراسیون ذاتی (mm)	آلومینیوم به عنوان فیلتراسیون اضافی (mm)	جنس ماده‌ی هدف تنگستن	زاویه‌ی بازشدگی تابش خروجی از پنجره‌ی خروجی آند ۲۰	زاویه‌ی بازشدگی تابش خروجی از پنجره‌ی خروجی ۴۰
۱/۸	۰/۸	۰/۱			



شکل ۲. تصویر شماتیک هندسه‌ی لامپ پرتو ایکس شبیه‌سازی شده به وسیله‌ی کد MCNP۴C.

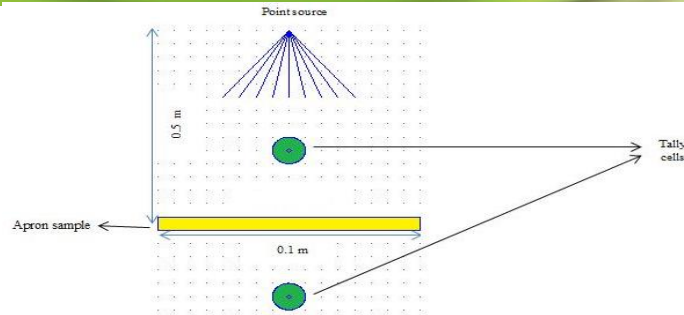
طیف خروجی دستگاه مذکور، با استفاده از کد محاسباتی MCNP۴C و نرم افزار شبیه ساز طیف (SP) spectrum processor نیز بدست آمد و مقایسه شد [۸].

۲-۲ پیدا کردن ترکیب بهینه برای روپوش های محافظ

در طراحی روپوش‌های محافظ سربی، پودر سرب (با جرم‌های واحد سطح برابر با ۵/۶۵ و ۴/۵ کیلوگرم بر مترمربع) با یک الیاف انعطاف‌پذیر (که می تواند پلاستیک یا وینیل باشد)، ترکیب می گردند. در اکثر روپوش‌های محافظ معمول، این الیاف پوششی جرمی در حدود ۲/۵ تا ۳ کیلوگرم بر مترمربع و تضعیفی معادل یک قطعه سرب به ضخامت ۰/۲۵ تا ۰/۵ میلی متر را به روپوش اضافه می کنند [۶]. در این مطالعه، جرم‌های واحد سطح ترکیب سرب، تنگستن و باریم برابر با مقادیر ۵/۶۵ و ۴/۵ کیلوگرم بر مترمربع در نظر گرفته شد. جرم واحد سطح کل روپوش به ترتیب برابر با ۸/۱۵ و ۸/۶۵ کیلوگرم بر مترمربع خواهد بود. برای ترکیب این فلزات با جرم سطحی ۴/۵ کیلوگرم بر مترمربع و جرم الیاف پوششی برابر با ۲/۵ کیلوگرم بر مترمربع این مقدار برابر با ۷ کیلوگرم بر متر مربع است. ضخامت نمونه‌های طراحی شده با استفاده از فرمول (۱) محاسبه گردید.

$$L = \frac{m}{\rho_{av} A} \quad (1)$$

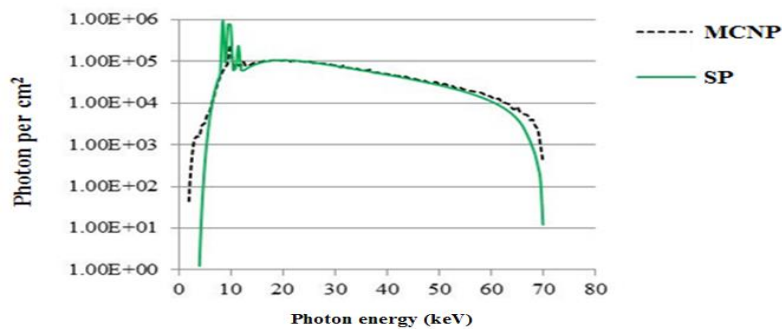
که در آن L ، m ، ρ_{av} ، A و به ترتیب ضخامت، جرم نمونه، چگالی متوسط ترکیب و مساحت سطح نمونه می‌باشند.



شکل ۳. نمودار شماتیک از نحوه شبیه سازی هندسه‌ی مسئله برای محاسبه درصد عبور اکسپوزر

۳. نتایج

نتایج بدست آمده از شبیه سازی طیف پرتوهای ایکس حاصل از نرم افزار شبیه ساز طیف SP و کد MCNP در شکل ۴ با هم مقایسه شده‌اند، که توافق خوبی بین نتایج حاصل از دو نرم افزار مشاهده می شود.



شکل ۴. مقایسه‌ی طیف پرتو ایکس شبیه‌سازی شده با کد MCNP و نرم‌افزار SP در مقیاس نیمه لگاریتمی

به منظور بدست آوردن ترکیب بهینه که در آن درصد عبور اکسپوزر کمینه می شود، میزان تضعیف پرتوهای ایکس از نمونه‌هایی با ابعاد $10\text{cm} \times 10\text{cm}$ متشکل از ترکیب های مختلف از عناصر سرب، باریم و تنگستن محاسبه شد. درصدهای عبور اکسپوزر از نمونه های به جرم $86/5$ گرم (جرم نمونه $10\text{cm} \times 10\text{cm}$ برای روپوش با جرم سطحی $8/65$ کیلوگرم بر مترمربع) برای جرم‌های سطحی متفاوت از سرب و باریم، $81/5$ گرم (جرم نمونه $10\text{cm} \times 10\text{cm}$ برای روپوش با جرم سطحی $8/15$ کیلوگرم بر مترمربع) برای عناصر تنگستن و باریم و 70 گرم (جرم نمونه $10\text{cm} \times 10\text{cm}$ برای روپوش با جرم سطحی 7 کیلوگرم بر مترمربع) شامل عناصر تنگستن، سرب و باریم محاسبه شد. کمترین مقدار درصد عبور اکسپوزر برای این ترکیبات به ترتیب برابر $0/3176$ ، $0/403$ و $0/572$ بدست آمدند. نتایج بدست آمده درصد عبور اکسپوزر برای روپوش با جرم سطحی 7 کیلوگرم بر مترمربع شامل عناصر تنگستن، سرب و باریم به طور نوعی در جدول ۳ آورده شده است.

مقایسه نتایج شبیه سازی نشان داد که با وجود حذف سرب در ترکیبات و کاهش حدود ۶ درصدی جرم نمونه‌ها، درصد عبور اکسپوزر قابل مقایسه و در مواردی کمتر از ترکیبات حاوی سرب می‌باشد. این مطلب بیانگر آن است که امکان طراحی روپوش‌های فاقد سرب، وجود دارد. همچنین به طور کلی می‌توان نتیجه گیری نمود که استفاده از ترکیباتی چون باریم و تنگستن در کنار سرب می‌تواند کاهش جرم تقریبی ۲۰ درصد را نسبت به حالت استفاده از سرب خالص در پی داشته باشد.

جدول ۲. درصد عبور اکسپوزر برای نمونه $10\text{cm} \times 10\text{cm}$ به جرم ۷۰ گرم شامل عناصر سرب، تنگستن و باریم.

ردیف	سرب (kg/m^3)	تنگستن (kg/m^3)	باریم (kg/m^3)	وینیل (kg/m^3)	چگالی موثر ترکیب (g/cm^3)	ضخامت نمونه (cm)	درصد عبور اکسپوزر
۱	۲/۲۵	۲/۲۵	۰	۲/۵	۱۰/۱۹۶	۰/۰۶۸۷	۱/۲۳۹۱
۲	۲/۵	۲/۵	۰/۵	۲/۵	۹/۳۷۲	۰/۰۷۴۷	۱/۰۰۰۹
۳	۱/۷۵	۱/۷۵	۱	۲/۵	۸/۵۲۱	۰/۰۸۲۲	۰/۷۹۵۵
۴	۱/۵	۱/۵	۱/۵	۲/۵	۷/۱۳	۰/۰۹۸۲	۰/۶۶۷۲
۵	۱/۲۵	۱/۲۵	۲	۲/۵	۶/۸۴۷	۰/۱۰۲۲	۰/۶۱۱۲
۶	۱	۱	۲/۵	۲/۵	۵/۹۹۳	۰/۱۱۶۸	۰/۵۷۲۳
۷	۰/۷۵	۰/۷۵	۳	۲/۵	۵/۱۴۲	۰/۱۳۶۱	۰/۵۸۶۸
۸	۰/۵	۰/۵	۳/۵	۲/۵	۴/۲۸۸	۰/۱۶۳۲	۰/۶۴۰۴
۹	۰/۲۵	۰/۲۵	۴	۲/۵	۳/۴۶۵	۰/۲۰۲۰	۰/۷۹۹۳
۱۰	۰	۰	۴/۵	۲/۵	۲/۶۱۴	۰/۲۶۷۸	۱/۰۸۵۰

۴. بحث و نتیجه‌گیری

همانطور که در شکل ۱ نیز مشاهده می‌شود، ضریب تضعیف جرمی باریم بین انرژی‌های ۳۷/۴ و ۶۹/۵، از تنگستن بیشتر است و از طرفی فوتون‌هایی با این انرژی تقریباً یک سوم طیف را تشکیل می‌دهند (شکل ۴)، لذا کاهش قابل توجه در مقدار باریم در ترکیب، مسلماً درصد عبور اکسپوزر را افزایش خواهد داد. از طرف دیگر، تنگستن در بازه‌ی انرژی کمتر از ۳۷/۴ که تقریباً دو سوم طیف را تشکیل می‌دهند (شکل ۴)، ضریب تضعیف جرمی بالاتری دارد (شکل ۱). لذا با افزایش مقدار تنگستن در ترکیب و کاهش مقدار باریم در آن، درصد عبور اکسپوزر در ابتدا کاهش و سپس افزایش می‌یابد.

در ترکیب ردیف ۶ جدول ۲، مقدار جرم سطحی سرب و تنگستن برابر ۱ کیلوگرم بر مترمربع و جرم سطحی باریم برابر با ۲/۵ کیلوگرم بر مترمربع است. همان طور که در این جدول نیز مشاهده می‌شود از ردیف ششم به بعد، با کاهش مقادیر سرب و تنگستن و افزایش مقدار باریم، درصد عبور اکسپوزر افزایش می‌یابد. علت



این امر کاهش عدد اتمی موثر ترکیب به علت کاهش مقادیر سرب و تنگستن - که عدد اتمی بزرگتری نسبت به باریم دارند - می باشد، زیرا که برهمکنش غالب در انرژی های کمتر از ۷۰ کیلو الکترون ولت، فوتوالکتریک بوده که به عدد اتمی بسیار وابسته است.

در این مطالعه، مقایسه طیف دستگاه پرتو ایکس بدست آمده از کد مونت کارلوی MCNP و نرم افزار شبیه ساز طیف SP، نشان می دهد که محاسبات MCNP در تخمین طیف خروجی دستگاه پرتو ایکس از دقت کافی برخوردار است. نتایج شبیه سازی با کد مونت کارلوی MCNP4C نیز بیانگر آن است که امکان استفاده از ترکیب عناصر تنگستن و باریم، همراه با (یا به جای) سرب به منظور افزایش بازدهی روپوش های محافظ در مقابل پرتوهای ایکس در محدوده ی تشخیصی، وجود دارد. همچنین نتایج نشان می دهند که مقادیر بهینه از ترکیب این عناصر می تواند کاهش جرم تقریبی ۲۰ درصد و یا افزایش بازده ۲۰ درصدی، را در روپوش های محافظ پرتوهای ایکس محدوده ی تشخیصی ایجاد کند و امکان طراحی روپوش هایی که فاقد سرب باشند، وجود دارد.

References:

۱. E.L. McGuire, M.L. Baker, J.F. Vandergrift, "Evaluation of radiation exposures to personnel in fluoroscopic x-ray facilities," Health Phys, ۴۵, ۹۷۵-۹۸۰ (۱۹۸۳).
۲. J.M. Boon, D.C. Levin, "Radiation exposure to angiographers under different fluoroscopic imaging conditions," Radiology, ۱۸۰, ۸۶۱-۸۶۵ (۱۹۹۱).
۳. M.V. Marx, L. Niklason, E.A. Mauger, "Occupational radiation exposure to interventional radiologist: a prospective study," J Vasc Interv Radiol, ۳, ۵۹۷-۶۰۶ (۱۹۹۲).
۴. T.E. Hubbert, J.J. Vucich, M.R. Armstrong, "Lightweight aprons for protection against scattered radiation during fluoroscopy," AJR, ۱۶۱, ۱۰۷۹-۱۰۸۱ (۱۹۹۳).
۵. P.H. Murphy, Y. Wu, S.A. Glaze, Attenuation properties of lead composite aprons," Radiology, ۱۸۶, ۲۶۹-۲۷۲ (۱۹۹۳).
۶. J. Martin, M.J. Yaffe, G.E. Mawdsley, M. Lilley, R. Servant, G. Reh, "Composite materials for x-ray protection," Health Phys, ۶۰, ۶۶۱-۶۶۴ (۱۹۹۱).
۷. "MCNP4C: Monte Carlo N-Particle Transport Code System," Los Alamos National Laboratory, Los Alamos, New Mexico, (۲۰۰۰).
۸. J.R. Andrew, "Report ۷۸ Spectrum Processor," IPEM, (۱۹۹۷).
۹. J. P. McCaffrey, H. Shen, B. Downton, E. Mainegra-Hing, "Radiation attenuation by lead and nonlead materials used in radiation shielding garments," Med Phys, ۳۴, (۲۰۰۷).