

بررسی خواص حفاظتی شیشه‌های فسفاته‌ی سرب‌دار و عاری از سرب در برابر فوتون‌ها با

استفاده از کد مونت کارلو MCNPX

معصومه پولادی^۱، صدیقه سینا^{۱*}، مهرانوش کریمی پورفرد^۱، زهرا راکب^۱ و سارینا نورزادی^۳

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

^۲مرکز تحقیقات تابش، دانشگاه شیراز، شیراز، فارس، ایران.

^۳دانشگاه بولونیا، بولونیا، ایتالیا.

*فارس، شیراز، دانشگاه شیراز، دانشکده مهندسی مکانیک، مرکز تحقیقات تابش، کدپستی: ۷۱۹۳۶-۱۶۵۴۸.

پست الکترونیکی: samirasina@shirazu.ac.ir

چکیده

آنژیوگرافی یکی از روش‌های پرکاربرد در تشخیص پزشکی و درمان بیماران است، که دز تابشی نسبتاً بالایی را برای بیمار و پرسنل به همراه دارد. در این بخش‌ها، در حال حاضر استفاده از حفاظ‌های سقفی، پاراو‌ان‌های شفاف و عینک‌های ساخته شده از شیشه‌های سرب‌دار برای حفاظت پرتویی پرسنل کاربرد بسیاری یافته‌اند. در این مطالعه از کد شبیه‌ساز مونت کارلو MCNPX برای طراحی حفاظ‌های شفاف و عاری از سرب با قابلیت استفاده برای حفاظت پرتویی استفاده شده است. به این منظور، دو نوع شیشه فسفاتی حاوی درصد‌های مختلفی از مواد سنگین شبیه‌سازی شده و از نظر توان تضعیف فوتون‌ها با انرژی‌های مختلف با یکدیگر مقایسه شدند. پس از شبیه‌سازی شیشه‌های مختلف، ضرائب تضعیف جرمی هر نمونه برای فوتون‌های تک انرژی محاسبه گردید. پس از آن با شبیه‌سازی طیف‌های اشعه ایکس مورد استفاده در آنژیوگرافی، ضخامت لایه‌های نیمه‌کننده اول و دوم برای هر طیف محاسبه گردید. نتایج این مطالعه نشان می‌دهد که مقادیر شبیه‌سازی شده ضریب تضعیف جرمی شیشه‌ها، تطابق خوبی را با نتایج XCOM نشان می‌دهد. بر طبق نتایج، شیشه‌های عاری از سرب طراحی شده توان تضعیف قابل مقایسه‌ای با حفاظ‌های سرب‌دار دارند که می‌توانند به‌عنوان جایگزین مناسبی برای شیشه‌های سرب‌دار استفاده شوند.

کلیدواژگان: آنژیوگرافی، حفاظ‌های شیشه ای، حفاظ عاری از سرب، مونت کارلو، حفاظت پرتویی.

۱. مقدمه

سال‌هاست که آنژیوگرافی از عروق در تشخیص و درمان بیماری‌های قلبی-عروقی که مهم‌ترین عامل مرگ و میر در دنیا محسوب می‌شود، به‌کار می‌رود. در آنژیوگرافی رگ‌های قلبی، یک لوله پلاستیکی قابل انعطاف وارد رگ می‌شود و یک ماده حاجب به‌وسیله کنتراست به داخل رگ‌ها تزریق می‌شود. در همین

یکی از حوزه‌های پرکاربرد پرتوها در پزشکی، استفاده از فلوروسکوپی در تشخیص نارسایی عروق قلبی و درمان آن در بخش آنژیوگرافی و آنژیوپلاستی قلبی است [۱، ۲].

آنژیوگرافی یک روش تشخیصی و درمانی با دز نسبتاً بالا به‌منظور ارزیابی مشکلات عروق قلبی و محیطی است.

حین دستگاه اشعه ایکس به سرعت تصاویر پشت سر هم از عروق را تهیه می‌کند.

مطالعات نشان داده است که در مقایسه با سایر روش‌های تصویربرداری‌های تشخیصی، دز دریافتی بیمار، پزشک و پرسنل در آنژیوگرافی به‌طور قابل توجهی بالاتر است. در این روش با توجه به ضرورت حضور کادر پزشکی در مجاورت بیمار و طولانی بودن فرآیند تصویربرداری، امکان پرتوگیری‌های شغلی ارگان‌های حساس بدن از جمله عدسی‌های چشم وجود دارد.

ابتلا به سرطان و ایجاد کاتاراکت (کدر شدن عدسی چشم یا آب مروارید) از جمله آثار بیولوژیکی احتمالی دریافت پرتوهای یونیزان هستند که می‌توانند در سطوح پرتوگیری‌های شغلی رخ دهند. این مورد به حدی حائز اهمیت است که کمیسیون بین المللی حفاظت پرتویی (ICRP) در گزارش شماره ۱۱۸ توصیه می‌نماید که بر اساس تحقیقات صورت گرفته به‌منظور پیشگیری از آثار قطعی پرتو بر روی عدسی چشم، حد دز سالیانه دریافتی عدسی چشم برای پرتوکاران از میزان قبلی ۱۵۰ میلی سیورت به ۲۰ میلی سیورت کاهش یابد [۴،۳].

آژانس بین المللی انرژی اتمی در توصیه شماره ۱۷۳۱ خود شرایط کاری پرتوکارانی که احتمال پرتوگیری عدسی چشم در آن‌ها وجود دارد و برآورد دز عدسی چشم در آن‌ها لازم است را به چند دسته تقسیم می‌کند.

الف) پرتوکارانی که در معرض میدان تابشی یکنواخت کل بدن از پرتوهای نافذ قرار گرفته‌اند.

ب) کارکنانی که در معرض پرتوهای بتا و ایکس کم انرژی (کم‌تر از ۱۵ کیلو الکترون‌ولت) قرار دارند.

ج) پرتوکارانی که در پروسیجرهای فلوروسکوپی در نزدیکی بیمار قرار دارد یا پروسیجرهای مداخله‌ای بر پایه CT انجام می‌دهند و کارکنان سیکلوترون‌ها.

د) کارکنان تأسیسات هسته‌ای که با گلاوباکس یا با پلوتونیوم و اورانیوم کار می‌کنند [۵].

اندازه‌گیری دز عدسی چشم برای همه پرتوکاران شاغل در بخش‌های فلوروسکوپی و افرادی که در زمان انجام پروسیجرهای مداخله‌ای، در اتاق فلوروسکوپی حضور دارند حتی آن‌هایی که در فاصله‌ی دور از بیمار قرار دارند، ضروری به نظر می‌رسد [۵].

کمیت Hp(d) برای پرتوهای با قدرت نفوذ کم و زیاد تعریف شده است و بیان‌گر معادل دز در نقطه مشخص در عمق d از بافت نرم بدن است. پارامتر مورد استفاده در برآورد دز چشم افراد Hp(۳) است که در آن دز چشم را در عمق ۳ میلی‌متری چشم در نظر می‌گیرد.

مسئله حفاظت در برابر پرتوها و طراحی و ساخت حفاظ‌های پرتویی مناسب همواره مورد توجه محققین بوده است [۱۴-۶]. سرب به علت عدد اتمی و چگالی بالا همواره به‌عنوان یکی از بهترین گزینه‌ها برای حفاظت در برابر فوتون‌ها در نظر گرفته می‌شود. اما مواردی همچون سمیت بالا، غیرقابل انعطاف بودن و سنگینی سرب پژوهشگران را به سمتی هدایت کرد که به دنبال مواد بهتری به‌عنوان جایگزین سرب برای حفاظت در برابر اشعه باشند [۱۷-۱۵].

استفاده از عینک‌های سرب‌دار کمک شایانی به کاهش دز چشم پرتوکاران شاغل در بخش‌های آنژیوگرافی می‌کند، اما ساخت حفاظ‌های شفاف و شیشه‌های عاری از سرب مورد علاقه محققین قرار گرفته است [۱۹،۱۸].

گنکو برکین و همکاران در سال ۲۰۱۳ یک شیشه‌ی عاری از سرب با ترکیب بیسموت و استرانسیوم برای جایگزین کردن شیشه‌های سرب‌دار ارائه دادند [۲۰]. شیشه سرب‌دار که ضریب تضعیف بالایی را نشان می‌دهد، برای شیشه محافظ تابش شناخته شده‌ترین و محبوب‌ترین نوع ماده است. با توجه به سمی بودن

$$HVL = \frac{\ln 2}{\mu} \quad (3)$$

که در این روابط I و I_0 شدت فوتون‌های عبوری در حضور محافظ و شدت فوتون‌های اولیه هستند. X ضخامت محافظ، ρ چگالی محافظ و HVL ضخامتی از محافظ است که اگر در مسیر فوتون‌ها قرار گیرد شدت آن‌ها را به نصف مقدار اولیه کاهش می‌دهد.

در آزمون‌های آنژیوگرافی مغز و یا آنژیوگرافی کرونری به علت مدت زمان طولانی مراحل تصویر برداری با اشعه ایکس، احتمال بالایی برای پرتوگیری بافت حساس چشم و خطر ابتلا به سرطان یا بیماری‌های ناشی از پرتوها مطرح است. هدف از انجام این پژوهش، بررسی کارایی شیشه‌های فسفاتی سرب‌دار در کاهش دز چشم پرتوکاران آنژیوگرافی و فلوروسکوپی از طریق شبیه‌سازی است.

۲. روش انجام پژوهش

در این پژوهش از شبیه‌سازی برای بررسی کارایی شیشه‌های فسفاتی سرب‌دار (حاوی PbO) و بدون سرب (حاوی Bi₂O₃) به‌عنوان محافظ استفاده شده است.

شیشه‌های سرب‌دار ZnO-PbO-P₂O₅ و عاری از سرب ZnO-Bi₂O₃-P₂O₅ در شش غلظت و درصد مختلف اکسید سرب و اکسید بیسموت شبیه‌سازی شد. سپس ضرایب تضعیف خطی و جرمی هر یک از این نمونه‌ها در ۸ انرژی (به‌صورت تک انرژی ۶۰، ۸۰، ۱۰۰، ۱۲۰، ۱۴۰، ۱۵۰ و ۲۰۰ کیلو الکترون ولت) و در سه طیف انرژی خروجی تیوب اشعه ایکس با انرژی ۸۰، ۱۰۰ و ۱۲۰ کیلو ولتاژ پیک که عمدتاً مورد استفاده در آنژیوگرافی هستند، محاسبه گردید. برای این منظور در هر انرژی شیشه‌ها در سه ضخامت مختلف شبیه‌سازی شدند. جدول‌های ۱ و ۳ مشخصات فیزیکی شش نوع شیشه فسفاتی سرب‌دار و عاری از سرب که شبیه‌سازی شده‌اند را نمایش می‌دهد.

ترکیبات سرب بر روی ارگانسیم‌های انسان و همچنین مسائل زیست محیطی، شیشه‌های بدون سرب در تحقیق با استفاده از برخی عناصر سنگین مانند باریوم و بیسموت برای جایگزینی سرب توسط کریت وون و همکاران مورد استفاده قرار گرفتند. در این پژوهش ویژگی‌های تضعیف اشعه گاما در شیشه‌های بدون سرب که از شن و ماسه کوارتز محلی و کربنات باریوم مورد مطالعه قرار گرفت و برای فوتون از منبع تابش گاما در محدوده انرژی ۶۶۲ keV استفاده کردند که نشان داده شد که نمونه‌های شیشه با چگالی کم در برابر اشعه، ضریب تضعیف کم‌تری نسبت به نمونه‌های چگالی بالا ایجاد می‌کنند و هرچه انرژی اشعه گاما بیش‌تر باشد، این ضریب تضعیف کم‌تر است. در نتیجه با ارائه یک عینک با ضریب شکست بالا بدون سرب که از شن کوارتز محلی و کربنات باریوم تهیه و به‌عنوان عینک محافظ تابش گاما معرفی نمودند [۲۱].

انجام تحقیقات تجربی به زمان زیادی احتیاج دارند و بسیار هزینه بر هستند. محققین برای غلبه بر این موانع از روش‌های شبیه‌سازی بهره گرفته‌اند. با استفاده از شبیه‌سازی، بررسی تغییرات در پارامترهای مختلف سهولت می‌یابد. همچنین شبیه‌سازی امکان بررسی پارامترهایی که در عملاً نمی‌توان اندازه‌گیری کرد را فراهم می‌کند. کد MCNPX مونت کارلو یک کد انتقال برای N ذره، اهداف و هندسه عمومی و انرژی پیوسته، وابسته به زمان و همچنین کدی برای انتقال ترکیب نوترون، فوتون و الکترون است.

ضریب تضعیف خطی (μ)، ضریب تضعیف جرمی (μ_m) و لایه نیم جذب کمیت‌های نشان دهنده کارایی محافظ‌های پرتویی هستند که به ترتیب با روابط زیر به‌دست می‌آیند:

$$I = I_0 e^{-\mu x} \quad (1)$$

$$\mu_m = \frac{\mu}{\rho} \quad (2)$$

جدول (۴): درصد عناصر نمونه‌های شیشه فسفاتی سرب‌دار

ZnO-Bi₂O₃-P₂O₅ استفاده شده در شبیه سازی.

نمونه	درصد وزنی Zn	درصد وزنی Bi	درصد وزنی P	درصد وزنی O
PZBi ₀	۰.۴۰۱۷	-	۰.۲۸۱۷	۰.۳۱۶۶
PZBi _{۱۰}	۰.۳۲۱۴	۰.۰۸۹۷	۰.۲۸۱۷	۰.۳۹۷۲
PZBi _{۲۰}	۰.۲۴۱۰	۰.۱۷۹۴	۰.۲۸۱۷	۰.۲۹۷۹
PZBi _{۳۰}	۰.۱۶۰۷	۰.۲۶۹۱	۰.۲۸۱۷	۰.۲۸۸۵
PZBi _{۴۰}	۰.۰۸۰۳	۰.۳۵۸۸	۰.۲۸۱۷	۰.۲۷۹۱
PZBi _{۵۰}	-	۰.۴۴۸۵	۰.۲۸۱۷	۰.۲۶۹۸

جهت طراحی حفاظ شیشه ای سربی برای فوتون‌هایی با انرژی مختلف در محدوده آنژیوگرافی از نرم افزار شبیه‌سازی مونت کارلو، کد MCNPX^۶ استفاده شد. هندسه سیستم مورد نظر به وسیله کدهای مونت کارلو ترسیم شد. ابعاد شیلد و همچنین مکان چشمه دقیقاً بر اساس اندازه‌های واقعی شبیه‌سازی شدند. این هندسه شبیه‌سازی به این علت انتخاب شد که شرایط بیم باریک فراهم گردد. در فایل ورودی انرژی چشمه‌های تک انرژی با انرژی‌های مختلف ۵۰، ۶۰، ۸۰، ۱۰۰، ۱۲۰، ۱۴۰ و ۱۵۰ کیلو الکترون ولت تعریف شده و از تالی F۴ که چگالی فوتون را روی حجم مورد نظر محاسبه می‌کند استفاده شد. همچنین برای مقایسه و نشان دادن تأثیر شیلد، برنامه یک بار دیگر برای حالتی که هیچ گونه حفاظی در مقابل چشمه ذکر شده نباشد محاسبه و مجدد خروجی آن در فاصله ۱ متری محاسبه شد. در شکل ۱ هندسه شبیه‌سازی ترسیم شده است. ترکیبات مختلفی از اکسید سرب و بیسموت به‌عنوان ورودی شبیه‌سازی شیشه‌های فسفاتی وارد نرم افزار شدند. در شبیه سازی، سعی شد تا حد امکان، هندسه نزدیک به هندسه خوب باشد بنابراین آشکارسازی فوتون‌های عبوری از حفاظ در نزدیکی حفاظ انجام شد. با اندازه‌گیری فوتون‌های عبوری از حفاظ و استفاده از فرمول‌های ۱ تا ۳ ضرایب تضعیف خطی و جرمی و لایه نیمه‌کننده برای هر نوع شیشه محاسبه شد.

جدول‌های ۲ و ۴ نیز مشخصات درصد عناصر تشکیل دهنده انواع مختلف شیشه‌های فسفاتی با غلظت‌های مختلف اکسید سرب و اکسید بیسموت را که در شبیه‌سازی استفاده شده‌اند نمایش می‌دهد.

جدول (۱): مشخصات فیزیکی و درصد ترکیب‌های تشکیل دهنده شیشه

فسفاتی سرب‌دار ZnO-PbO-P₂O₅.

نمونه	درصد وزنی ZnO	درصد وزنی PbO	درصد وزنی P ₂ O ₅
PZPb ₀	۵۰	۰	۵۰
PZPb _{۱۰}	۴۰	۱۰	۵۰
PZPb _{۲۰}	۳۰	۲۰	۵۰
PZPb _{۳۰}	۲۰	۳۰	۵۰
PZPb _{۴۰}	۱۰	۴۰	۵۰
PZPb _{۵۰}	۰	۵۰	۵۰

جدول (۲): درصد عناصر نمونه‌های شیشه فسفاتی سرب‌دار

ZnO-PbO-P₂O₅ استفاده شده در شبیه سازی.

نمونه	درصد وزنی Zn	درصد وزنی Pb	درصد وزنی P	درصد وزنی O
PZPb ₀	۰.۴۰۱۷	-	۰.۲۸۱۷	۰.۳۱۶۶
PZPb _{۱۰}	۰.۳۲۱۴	۰.۰۹۲۸	۰.۲۸۱۷	۰.۳۰۴۱
PZPb _{۲۰}	۰.۲۴۱۰	۰.۱۸۵۷	۰.۲۸۱۷	۰.۲۹۱۶
PZPb _{۳۰}	۰.۱۶۰۷	۰.۲۷۸۵	۰.۲۸۱۷	۰.۲۷۹۱
PZPb _{۴۰}	۰.۰۸۰۳	۰.۳۷۱۳	۰.۲۸۱۷	۰.۲۶۶۶
PZPb _{۵۰}	-	۰.۴۶۴۲	۰.۲۸۱۷	۰.۲۵۴۱

جدول (۳): مشخصات فیزیکی و درصد ترکیب تشکیل دهنده

شیشه فسفاتی ZnO-Bi₂O₃-P₂O₅

نمونه	ZnO (wt%)	Bi ₂ O ₃ (wt%)	P ₂ O ₅ (wt%)
PZBi ₀	۴۰	۰	۵۰
PZBi _{۱۰}	۴۰	۱۰	۵۰
PZBi _{۲۰}	۳۰	۲۰	۵۰
PZBi _{۳۰}	۲۰	۳۰	۵۰
PZBi _{۴۰}	۱۰	۴۰	۵۰
PZBi _{۵۰}	۰	۵۰	۵۰

جدول (۶): ضرایب تضعیف جرمی شیشه فسفاتی PZBi_{۵۰} در انرژی‌های مورد استفاده در آنژیوگرافی.

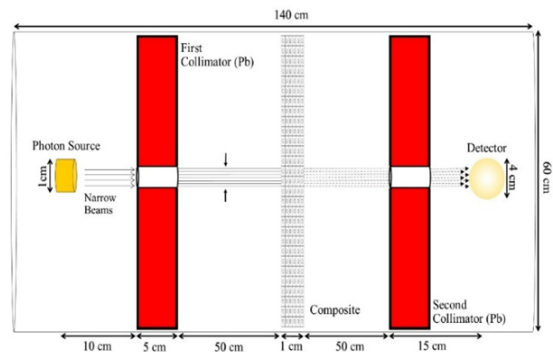
Energy (KeV)	MCNPX ($\frac{cm^2}{gr}$)	XCom ($\frac{cm^2}{gr}$)	Diff (%)
۵۰	۳.۷۳	۳.۶۳	۲.۶۸
۶۰	۲.۳۱	۲.۲۶	۲.۱۷
۸۰	۱.۱۵	۱.۰۹	۵.۲۱
۱۰۰	۲.۶۲	۲.۵۶	۲.۳۲
۱۲۰	۱.۷۱	۱.۶۴	۴.۰۹
۱۴۰	۱.۱۷	۱.۱۳	۱.۱۰
۱۵۰	۰.۹۷۴	۰.۹۶۰	۱.۴۳
۲۰۰	۰.۵۱۰	۰.۵۰۲	۱.۵۷

جدول (۷): ضخامت‌های لایه نیم جذب دوم نمونه شیشه‌های فسفاتی سرب‌دار ZnO-PbO-P_۲O_۳ در طیف‌های انرژی تیوب اشعه ایکس آنژیوگرافی.

Sample s	۸۰ KVp		۱۰۰ KVp		۱۲۰ KVp	
	HVL _۱ (cm)	HVL _۲ (cm)	HVL _۱ (cm)	HVL _۲ (cm)	HVL _۱ (cm)	HVL _۲ (cm)
PZPb _۰	۰.۵۱۶	۰.۹۷۴	۰.۷۰۹	۱.۳۳۸	۱.۳۳۲	۲.۵۱۴
PZPb _{۱۰}	۰.۳۵۷	۰.۷۱۴	۰.۴۳۲	۰.۸۶۴	۰.۶۳۲	۰.۲۶۴
PZPb _{۲۰}	۰.۲۷۰	۰.۵۴	۰.۳۳۴	۰.۶۶۸	۰.۴۵۵	۰.۹۱
PZPb _{۳۰}	۰.۲۲۲	۰.۴۴۴	۰.۲۴۸	۰.۴۹۶	۰.۳۱۸	۰.۶۳۶
PZPb _{۴۰}	۰.۱۸۶	۰.۳۷۲	۰.۲۶۵	۰.۵۳	۰.۲۶۲	۰.۵۴۵
PZPb _{۵۰}	۰.۱۶۴	۰.۳۲۸	۰.۱۶۸	۰.۳۳۶	۰.۱۹۹	۰.۳۹۸

جدول (۸): ضخامت‌های لایه نیم جذب دوم نمونه شیشه‌های فسفاتی عاری از سرب ZnO-Bi_۲O_۳-P_۲O_۳ در طیف‌های انرژی تیوب اشعه ایکس آنژیوگرافی.

Samples	۸۰ KVp		۱۰۰ KVp		۱۲۰ KVp	
	HVL _۱ (cm)	HVL _۲ (cm)	HVL _۱ (cm)	HVL _۲ (cm)	HVL _۱ (cm)	HVL _۲ (cm)
PZBi _۰	۰.۵۱۶	۰.۹۷۴	۰.۷۰۹	۱.۳۳۸	۱.۳۳۲	۲.۵۱۴
PZBi _{۱۰}	۰.۳۷۸	۰.۷۵۶	۰.۴۵۸	۰.۹۱۶	۰.۶۷۰	۱.۳۴۰
PZBi _{۲۰}	۰.۲۸۶	۰.۵۷۲	۰.۳۵۴	۰.۷۰۸	۰.۴۸۲	۰.۹۶۴
PZBi _{۳۰}	۰.۲۳۵	۰.۴۷۰	۰.۲۶۳	۰.۵۲۶	۰.۳۳۷	۰.۶۷۴
PZBi _{۴۰}	۰.۱۹۷	۰.۳۹۴	۰.۲۸۱	۰.۵۶۲	۰.۲۷۷	۰.۵۵۴
PZBi _{۵۰}	۰.۱۷۹	۰.۳۵۸	۰.۱۸۱	۰.۳۶۲	۰.۲۱۷	۰.۴۳۴



شکل (۱): هندسه شبیه‌سازی شده در نرم افزار مونت کارلو.

به‌منظور اطمینان از صحت و دقت کد نوشته شده، ضرایب تضعیف جرمی به‌دست آمده از کد نوشته شده و داده‌های نرم افزار استاندارد WINXcom مقایسه شدند.

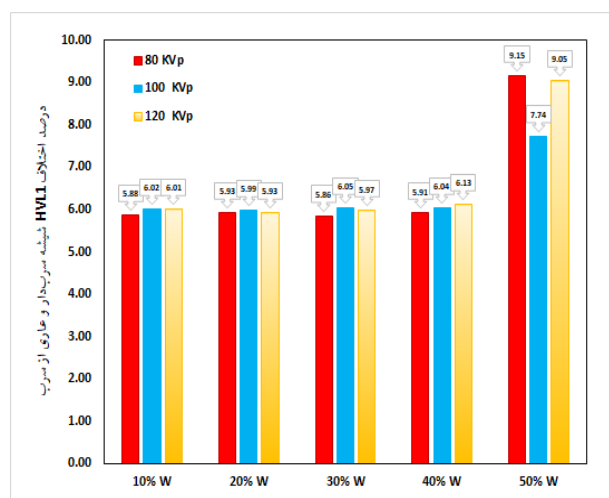
۳. نتیجه‌گیری

در ابتدا برای اعتبارسنجی شبیه‌سازی انجام شده، ضرایب تضعیف جرمی فوتون‌های تک انرژی در شیشه‌های سرب‌دار و عاری از سرب (با ۵۰٪ وزنی اکسید سرب و اکسید بیسموت) در جدول‌های ۵ و ۶ نشان داده شده است. بررسی مقادیر نشان داده شده در این جداول مشخص می‌کند که نتایج شبیه‌سازی مونت کارلوی انجام شده با نتایج XCom هم‌خوانی بسیار خوبی دارد. در ادامه، ضخامت‌های لایه نیم جذب اول و دوم این حفاظ‌های سرب‌دار و عاری از سرب برای طیف‌های اشعه X، به دست آمده و در جدول‌های ۷ و ۸ نشان داده شده است.

جدول (۵): ضرایب تضعیف جرمی شیشه فسفاتی PZPb_{۵۰} در انرژی‌های مورد استفاده در آنژیوگرافی.

Energy (KeV)	MCNPX ($\frac{cm^2}{gr}$)	XCom ($\frac{cm^2}{gr}$)	Diff (%)
۵۰	۳.۶۲	۳.۶۰	۰.۵۵
۶۰	۲.۲۹	۲.۲۳	۲.۶۲
۸۰	۲.۰۹	۱.۰۸	۰.۹
۱۰۰	۲.۶۱	۲.۵۶	۱.۹
۱۲۰	۱.۶۸	۱.۶۳	۲.۷
۱۴۰	۱.۱۹	۱.۱۳	۰.۵
۱۵۰	۰.۹۷۱	۰.۹۵۸	۱.۳۳
۲۰۰	۰.۵۰۸	۰.۴۹۹	۱.۷۸

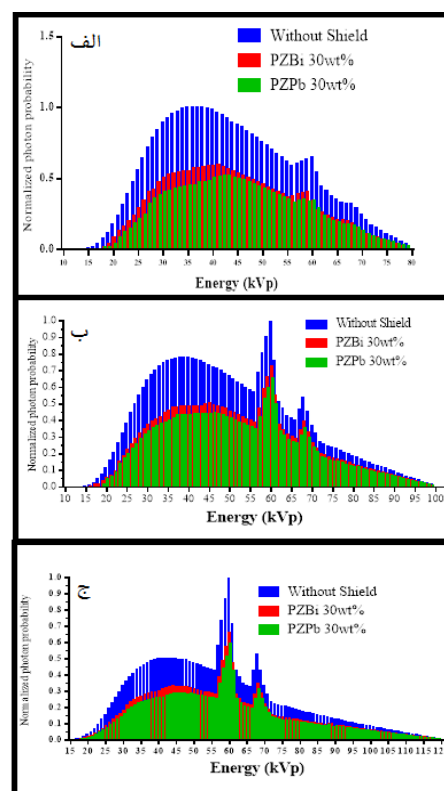
شکل ۳، درصد اختلاف ضخامت لایه نیم جذب اول برای حفاظ‌های شیشه‌ای سرب‌دار و عاری از سرب (با درصد‌های مختلف اکسید سرب یا اکسید بیسموت) را در طیف‌های مختلف اشعه ایکس نشان می‌دهد. چنانچه مشخص است، اختلاف بین ضخامت لایه نیمه‌کننده حفاظ‌های عاری از سرب حاوی اکسید بیسموت با ضخامت لایه نیمه‌کننده حفاظ سرب‌دار قابل مقایسه است، بنابراین می‌توان این حفاظ‌ها را جایگزین حفاظ‌های سربی کرد.



شکل (۳): مقایسه‌ی HVL₁ در حضور حفاظ‌های سربی و عاری از سرب (با درصد‌های وزنی مختلف اکسید سرب و اکسید بیسموت).

۴. تشکر و قدردانی. با سپاس از پرسنل محترم مرکز تحقیقات تابش دانشگاه شیراز.

شکل ۲، مقایسه یک نمونه طیف انرژی اشعه ایکس به دست آمده بدون حضور و با حضور شیشه‌های سرب‌دار و بدون سرب نشان می‌دهد. چنانچه مشخص است، حفاظ سرب‌دار به نسبت حفاظ عاری از سرب (با ۳۰٪ اکسید سرب و اکسید بیسموت) تضعیف بیشتری دارد، اما حفاظ عاری از سرب نیز تضعیف قابل قبولی را نشان می‌دهد.



شکل (۲): مقایسه‌ی طیف اشعه ایکس بدون و با حضور حفاظ‌های سربی و عاری از سرب.

۵. مراجع

1. K. Doi. Current status and future potential of computer-aided diagnosis in medical imaging. *British J. Radiol.* 6 (4) (2014) 33-38.
2. A. J. Einstein, K. W. Moser, R. C. Thompson, M. D. Cerqueira, M. J. Henzlova. Radiation dose to patients from cardiac diagnostic imaging. *Circulation* 116 (11) (2007) 29-35.
3. F. A. Stewart, A. V. Akleyev, M. Hauer-Jensen, J. H. Hendry, N. J. Kleiman, T. J. Macvittie, W. H. Wallace. ICRP publication 118: ICRP statement on tissue reactions and early and late effects of radiation in normal tissues and organs—threshold doses for tissue reactions in a radiation protection context. *Ann. ICRP* 41(1-2) (2012) 1-322.
4. T. J. Boal, M. Pinak. Dose limits to the lens of the eye: International Basic Safety Standards and related guidance. *Ann. ICRP* 44 (1 suppl) (2015) 112-117.
5. E. Carinou. IAEA Tec Doc-1731 'Implications for occupational radiation protection of the new dose limit for the lens of the eye'. *Radiat. Prot. Dosimetry* 171 (4) (2016) 554-556.
6. A. Ramazani-Moghaddam-Arani, M. Esmaili. Preparation and characterization of Epoxy/Lead

- oxide nano-composite for shield against gamma and X-rays. *Radiation Safety and Measurement*, 7(5) (2018) 1-8.
7. S. A. Hashemi, S. M. Mousavi, R. Faghihi, M. Arjmand, S. Sina, A. M. Amani. Lead oxide-decorated graphene oxide/epoxy composite towards X-Ray radiation shielding. *Radiat. Phys. Chem.* 146 (2018) 77-85.
 8. S. M. J. Mortazavi, M. Kardan, S. Sina, H. Baharvand, N. Sharafi. Design and fabrication of high-density borated polyethylene nanocomposites as a neutron shield. *Int. J. Radiat. Res.* 14 (4) (2016) 379-383.
 9. M. Zehtabian, E. Piruzan, Z. Molaiemanesh, S. Sina. Design of light multi-layered shields for use in diagnostic radiology and nuclear medicine via MCNP5 Monte Carlo code. *Iranian J. Med. Phys.* 12 (3) (2015) 223-228.
 10. S. Sarshough, K. Hadad, R. Faghihi, M. Zebarjad, M. H. Moghim. Application of characteristic X-rays to measure linear attenuation coefficient of nano-composites used in shielding. *Iranian J. Radiat. Safety Measurement* 7 (3) (2018) 5-10.
 11. N. Asari-shik, L. Gholamzadeh, M. Khajeh-Aminian, M. E. Fazilat-Moaddeli. Study the attenuation ability of the composites containing micro and nano-sized tungsten oxide and lead oxide as diagnostic X-ray shields. *Iranian J. Radiat. Safety Measurement* 6 (3) (2017) 15-22.
 12. S. R. Hashemi, M. Tajik, E. Asadi-Amirabadi. Design and manufacture of composite flexible shield for neutron-gamma mixed fields. *Iranian J. Radiat. Safety Measurement* 8 (2) (2019) 25-34.
 13. S. Afkhami-Namila, S. Malekie, S. Kashian, M. Kheradmand-Saadi. Protective evaluation of Polyethylene-Bismuth Oxide composite for use in dental radiography centers. *Iranian J. Radiat. Safety Measurement* 11 (5) (2023) 57-60.
 14. M. Dejangah, M. Ghojavand, R. Poursalehi, R. Gholipour Peyvandi. Study gamma radiation protection properties of silicon rubber-bismuth oxide nanocomposites: synthesis, characterization and simulation. *Iranian J. Radiat. Safety Measurement* 5(4) (2016) 37-46.
 15. M. Zarei, S. Sina, S. A. Hashemi. Superior X-ray radiation shielding of biocompatible platform based on reinforced polyaniline by decorated graphene oxide with interconnected tungsten-bismuth-tin complex. *Radiat. Phys. Chem.* 188 (2021) 109588.
 16. M. Saeedi-Moghadam, M. Tayebi, N. Chegeni, S. Sina, T. Kolayi. Efficiency of non-lead and lead thyroid shields in radiation protection of CT examinations. *Radiat. Phys. Chem.* 180 (2021) 109265.
 17. A. Aghaz, R. Faghihi, S. Mortazavi, A. Haghparast, S. Mehdizadeh, S. Sina. Radiation attenuation properties of shields containing micro and Nano WO₃ in diagnostic X-ray energy range. *Int. J. Radiat. Res.* 14 (2) (2016) 127-131.
 18. S. A. Hashemi, M. Karimipourfard, S. M. Mousavi, S. Sina, S. Bahrani, N. Omidifar, S. Ramakrishna, M. Arjmand. Transparent sodium polytungstate polyoxometalate aquatic shields toward effective X-ray radiation protection: Alternative to lead glasses. *Mater. Today Commun.* 31 (2022) 103822.
 19. R. Bagheri, T. Tohidi. Gamma ray shielding study of barium-bismuth-borosilicate glasses. *Iranian J. Radiat. Safety Measurement* 11 (5) (2023) 113-116.
 20. G. Berkin. Lead free X-ray shielding glass. *Int. J. Acad. Res.* 5 (5) (2013) 29-34.
 21. K. Won-In, N. Sirikulrat, P. Dararutana. Radiation shielding lead-free glass based on barium-bearing glass using Thailand quartz sands. *Adv. Mater. Res.* 214 (2011) 207-211.