

## طراحی حفاظ با پایه‌ی پلیمری عاری از سرب با قابلیت حفاظت پرتویی بالا برای فوتون‌های ایکس در محدوده‌ی رادیولوژی تشخیصی با استفاده از شبیه‌سازی Monte carlo کد MCNP5

سید محمدجواد مرتضوی<sup>۱</sup>، علیرضا ظهیری<sup>۲</sup>، داریوش شهبازی گهروی<sup>۳</sup>، صدیقه سینا<sup>۴</sup>، مسعود حقانی<sup>۵</sup>

### مقاله پژوهشی

### چکیده

**مقدمه:** حفاظ‌های مورد استفاده در رادیولوژی تشخیصی، بر پایه‌ی سرب می‌باشند. از آن جایی که سرب یک فلز سمی است، پس باید حفاظی ساخته شود که عاری از سرب باشد و همچنین، بتواند پرسنل رادیولوژی تشخیصی و بیماران را از پرتوهای یونیزان غیر ضروری محافظت کند.

**روش‌ها:** ابتدا لایه‌ی جذب K فلزات مختلف که در محدوده‌ی طیف انرژی رادیولوژی تشخیصی می‌باشند، بررسی شد و با توجه به اثر هم‌پوشانی انرژی لایه‌ها، ترکیب مختلفی از فلزات به عنوان ورودی شبیه‌ساز Monte carlo، کد MCNP5 در نظر گرفته شد. اطلاعات به دست آمده از شبیه‌ساز Monte carlo، مشخص می‌کند که چه فلزاتی با چه ترکیب و درصدی می‌توانند بیشترین تأثیر را بر کاهش عبور پرتوهای ایکس از حفاظ داشته باشند.

**یافته‌ها:** استفاده از ترکیب ۲۰ درصد وزنی قلع، ۱۵ درصد وزنی تنگستن و ۴۵ درصد وزنی بیسموت با پایه‌ی ۲۰ درصد وزنی پلیمر گزینده‌ی خوبی در محدوده‌ی رادیولوژی تشخیصی بود که در مقایسه با حفاظ سربی، چگالی کمتری داشت و به خوبی انرژی پرتوهای ایکس را کاهش می‌داد.

**نتیجه‌گیری:** با استفاده از اثر هم‌پوشانی لایه‌ی جذب فلزات مختلف، می‌توان یک حفاظ عاری از سرب ساخت که شدت پرتوهای ایکس در محدوده‌ی رادیولوژی تشخیصی را بهتر از سرب کاهش دهد.

**واژگان کلیدی:** حفاظ بدون سرب، قلع، تنگستن، بیسموت، پرتوی ایکس تشخیصی

**ارجاع:** مرتضوی سید محمدجواد، ظهیری علیرضا، شهبازی گهروی داریوش، سینا صدیقه، حقانی مسعود. طراحی حفاظ با پایه‌ی پلیمری عاری از سرب با قابلیت حفاظت پرتویی بالا برای فوتون‌های ایکس در محدوده‌ی رادیولوژی تشخیصی با استفاده از شبیه‌سازی Monte carlo کد MCNP5

مجله دانشکده پزشکی اصفهان ۱۳۹۵؛ ۳۴ (۳۸۵): ۶۴۱-۶۳۷

### مقدمه

در بخش‌های رادیولوژی تشخیصی، برای حفاظت پرسنل و بیماران از پرتوهای غیر ضروری یونیزان، از حفاظ‌هایی استفاده می‌شود که حاوی فلز سرب می‌باشند (۱-۲). سرب با داشتن عدد اتمی بالا (۸۲)، جاذب خوبی برای پرتوهای ایکس در محدوده‌ی رادیولوژی تشخیصی است (۳)، اما سمی بودن این فلز به طور کامل مشخص است و همچنین اثرات مخرب زیستی دارد (۴). خاصیت سمی بودن سرب، باعث می‌شود که تأثیرات بسیار بدی بر کودکان و

سال‌خوردگان داشته باشد و با آسیب رساندن به پیوندهای عصبی به خصوص در کودکان، موجب بیماری‌های خونی و مغزی گردد. همچنین، تماس با سرب در زنان باردار، می‌تواند منجر به سقط جنین، مرده‌زایی، زایمان زودرس و تولد نوزاد کم وزن و حتی ناقص شود (۵-۱۱).

همچنین، سرب استفاده شده حالت خوردگی و شکنندگی به خود می‌گیرد و پس از مدتی قابل استفاده نمی‌باشد (۱۲) و به علت سنگینی، عدم راحتی و غیر قابل شستشو بودن، کارایی چندانی

۱- استاد، گروه فیزیک و مهندسی پزشکی، دانشکده‌ی پزشکی، دانشگاه علوم پزشکی شیراز، شیراز، ایران

۲- دانشجوی کارشناسی ارشد، گروه فیزیک پزشکی، دانشکده‌ی پزشکی، کمیته‌ی تحقیقات دانشجویی، دانشگاه علوم پزشکی اصفهان، اصفهان، ایران

۳- استاد، گروه فیزیک پزشکی، دانشکده‌ی پزشکی، دانشگاه علوم پزشکی اصفهان، اصفهان، ایران

۴- استادیار، مرکز تحقیقات تابش و گروه مهندسی هسته‌ای، دانشکده‌ی مهندسی مکانیک، دانشگاه شیراز، شیراز، ایران

۵- مربی، گروه رادیولوژی، دانشکده‌ی پیراپزشکی، دانشگاه علوم پزشکی شیراز، شیراز، ایران

نخواهند داشت (۱۳). امروزه، از حفاظ‌های ترکیبی، مانند ترکیب یکنواختی از سرب، تنگستن یا بیسموت و یک پلیمر بی‌اثر مانند پلی‌اتیلن استفاده می‌شود. با این روش، علاوه بر تضعیف مؤثر در برابر پرتوهای ایکس و گاما، از میزان سمیت سرب کاسته می‌شود (۱۴-۱۳).

سرب با دارا بودن دانسیته‌ای معادل ۱۱/۳۴ گرم بر سانتی‌متر مکعب، در محدوده‌ی انرژی‌های بالایی فوتونی قرار دارد که در آن پدیده‌ی فوتوالکتریک غالب است و نسبت به عناصری همچون تنگستن جذب را بهتر انجام می‌دهد (۱۵).

Martinez و Cournoye، لزوم جایگزینی سرب با فلزات دیگر را بررسی کردند و ضمن بیان مضرات سرب، فلزاتی برای جایگزینی سرب از جمله تنگستن و بیسموت را معرفی کردند (۱۴). McCaffrey و همکاران، از روش شبیه‌سازی، جهت بررسی فلزات و از روش اندازه‌گیری تجربی، جهت بررسی چند حفاظ ترکیبی استفاده کردند (۱۶). آن‌ها نتیجه گرفتند که تضعیف واحد جرم بعضی از فلزات نظیر باریوم، قلع، گادولینیوم و تنگستن در اغلب موارد، بیشتر از سرب یا شبیه سرب است و دریافتند که محاسبات Monte carlo را می‌توان قبل از ساخت حفاظها (جهت بهینه‌سازی آن‌ها) استفاده نمود (۱۶).

در این تحقیق، طراحی حفاظ بدون سرب به روش شبیه‌سازی با Monte carlo، کد MCNP5 انجام شده است. این حفاظ دارای دانسیته و لایه‌ی نیم‌جذب (HVL یا Half-value layer) کمتری نسبت به سرب است که باعث می‌شود حفاظ سبک‌تر و نازک‌تری ساخته شود. روپوش‌های ساخته شده از این حفاظ سبک‌تر است و توسط کارکنان شاغل در رادیولوژی تشخیصی و به ویژه زنان باردار بسیار راحت‌تر مورد استفاده قرار می‌گیرد.

نرم‌افزار Excel ترسیم گردید.

طیف انرژی محدوده رادیولوژی تشخیصی نشان می‌دهد که باید از فلزاتی استفاده کرد که لبه‌ی جذب K آن‌ها بین ۱۰۰-۲۰ کیلوالکترون ولت باشد.

با توجه به این که هر عنصر به تنهایی می‌تواند انرژی‌های تا اندازه‌ای بالاتر از لبه‌های جذب خود را به شدت کاهش دهد؛ بنا بر این، بررسی لبه‌ی جذب انرژی فلزات در محدوده‌ی روی تا بیسموت (عدد اتمی بین ۸۳-۳۰) اهمیت دارد. لبه‌ی جذب قلع حدود ۲۹، تنگستن حدود ۷۰، سرب ۸۸ و بیسموت ۹۱ کیلوالکترون ولت است. با توجه به این که لبه‌ی جذب K بیسموت به سرب خیلی نزدیک است، می‌توان بیسموت را جایگزین این فلز سمی در حفاظ‌های ترکیبی مورد استفاده در رادیولوژی تشخیصی نمود. در شبیه‌سازی، سعی شد تا حد امکان، ژئومتری نزدیک به واقعیت باشد. آشکارسازی فوتون‌های عبوری از حفاظ در نزدیکی حفاظ انجام شد و سپس ترکیبات مختلفی از این فلزات به عنوان ورودی شبیه‌ساز Monte carlo کد MCNP5 تعریف شدند.

آن‌گاه، طیف انرژی پرتوهای عبوری از حفاظ با ترکیبات مختلف مورد بررسی قرار گرفتند و با استفاده از شبیه‌ساز، شدت پرتوی عبوری از حفاظ و شدت پرتوی اولیه با استفاده از تالی f5 با توجه به رابطه‌ی مربوط به تضعیف پرتوی ایکس به دست آمد و بر این اساس، HVL محاسبه گردید.

با مقایسه‌ی HVL، کارایی یک حفاظ در کاهش شدت پرتوها مشخص شد. پس از اطمینان از صحت شبیه‌سازی، فلزهای انتخاب شده شامل قلع، تنگستن و بیسموت با شبیه‌ساز Monte carlo، کد MCNP5C مورد بررسی تضعیف فوتونی قرار گرفتند.

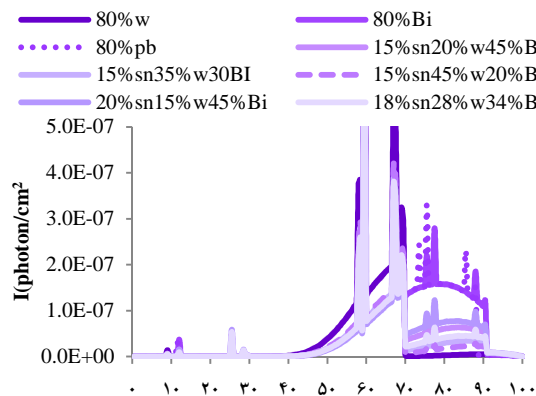
### یافته‌ها

تنگستن در انرژی‌های ۶۹/۵-۴۰ کیلوالکترون ولت نسبت به سرب، بیسموت و قلع، تضعیف کمتری را نشان داد (شکل ۱). قلع، تضعیف بسیار خوبی در انرژی ۲۹ کیلوالکترون ولت و بالاتر داشت که نسبت به سرب و بیسموت تضعیف بهتری را نشان داد؛ به طوری که نمودار قلع در انرژی ۸۸-۴۰ کیلوالکترون ولت در زیر نمودار بیسموت و سرب قرار گرفت. همچنین، قلع در تضعیف پرتوهای اختصاصی حاصل از تنگستن موجود در آند تیوب پرتوی ایکس نیز بهتر از سه فلز دیگر بود که در شکل ۱ به طور کامل مشخص است. بیسموت، دارای تضعیف مشابه با سرب بود، با این تفاوت که لبه‌ی جذب سرب ۸۸ و بیسموت ۹۰ کیلوالکترون ولت بود. پس می‌توان عنوان کرد که قلع و تنگستن، تضعیف بهتری در محدوده‌ی پرتوهای ایکس تشخیصی دارند، اما با توجه به این که چگالی تنگستن خیلی بیشتر از

### روش‌ها

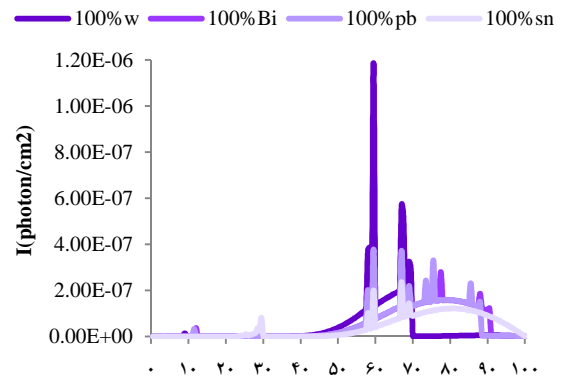
در شبیه‌سازی بر اساس استاندارد American National Standards Institute/American Nuclear Society (ANSI/ANS)، برای ترابرد پرتوهای فوتونی در عبور از محیط‌های مختلف از کدهای ترابرد پرتوها مانند MCNP5C استفاده شد است. شبیه‌سازی برای طیف انرژی ۱۰۰ kVp (100 peak kilovoltage) اجرا گردید. اطلاعات خروجی توسط تالی‌های ۴ و ۵ که بیانگر شار فوتون عبوری از سلول یا نقطه‌ی خاص می‌باشد، توسط آشکارسازها تعیین گردید. مدت زمان اجرای هر بار شبیه‌سازی ۱۰ ساعت بود تا خطای آن به حداقل می‌رسید. در این مدت زمان، به طور تقریبی ۱/۵ میلیارد فوتون با انرژی‌های مختلف توسط شبیه‌ساز مورد ردیابی و بررسی قرار گرفت. در نهایت، طیف انرژی پرتوهای عبوری از حفاظ توسط

بیسموت، این ترکیب، همچنان تضعیف بیشتری نسبت به حفاظ سربی داشت و دارای چگالی کمتری نسبت به حفاظ سربی بود. برای پرتوهای ایکس با انرژی ۱۰۰ کیلو الکترون ولت، نتایج نشان داد که بیشترین کاهش شدت پرتوها مربوط به ترکیب ۱۵ درصد وزنی قلع، ۴۵ درصد وزنی تنگستن و ۲۰ درصد وزنی بیسموت با ۲۰ درصد وزنی پلیمر بود که این ترکیب، بیشترین کاهش شدت را در طیف داشت (شکل ۲).



شکل ۲. منحنی طیف پرتوی عبوری از لایه‌ها با استفاده از شبیه‌ساز MCNP تالی ۵، محور عمودی شدت پرتوی عبوری از لایه به ازای هر فوتون و محور افقی انرژی دسته‌ی پرتو را نشان می‌دهد.

سرب می‌باشد، باید بیسموت را که به طور تقریبی تضعیفی مانند سرب اما چگالی کمتر از سرب و تنگستن دارد، وارد ترکیب نمود تا چگالی ترکیب کاهش یابد.



شکل ۳. منحنی طیف پرتوی عبوری از لایه‌ها با استفاده از شبیه‌ساز MCNP تالی ۵، محور عمودی شدت پرتوی عبوری از لایه به ازای هر فوتون و محور افقی انرژی دسته‌ی پرتو را نشان می‌دهد.

در این مطالعه، ۲۰ درصد وزنی به پلیمر اختصاص یافت و باقی‌مانده‌ی درصد وزنی که ۸۰ درصد بود، به سه فلز قلع، تنگستن و بیسموت اختصاص داده شد. پس از اجرای تعداد زیادی از این برنامه‌ها به روش شبیه‌ساز Monte Carlo کد MCNP5C، بعضی از بهترین ترکیبات از این سه نوع به دست آمد. در شکل ۲، طیف ترکیبات مختلفی از سه فلز قلع، تنگستن و بیسموت مشخص شده است. در این شکل، طیف ترکیبات با فلز سرب مقایسه شده است که نشان می‌دهد تمام ترکیبات مشخص شده، کاهش بهتری نسبت به سرب داشتند. از مقایسه‌ی طیف‌ها می‌توان نتیجه گرفت که با افزایش مقدار تنگستن، تضعیف در انرژی ۶۹/۵ کیلو الکترون ولت و بالاتر افزایش می‌یابد، اما پرتوهای ۴۰-۶۹/۵ دارای تضعیف کمتری می‌باشند. پس از بررسی و مقایسه‌ی طیف‌ها، شدت پرتوهای عبوری نسبت به شدت اولیه برای ترکیبات مختلف مورد بررسی قرار گرفت. تمامی لایه‌ها به ضخامت ۲ میلی‌متر از ترکیب فلز و ماده‌ی زمینه‌ای شبیه‌سازی شد. درصد وزنی فلز ۸۰ و درصد وزنی ماده‌ی زمینه ۲۰ بود. از آن جایی که چگالی فلزات استفاده شده خیلی بیشتر از چگالی ماده‌ی زمینه‌ای بود، حجم فلز کمتر از ماده‌ی زمینه‌ای بود و این موضوع، سبب پراکندگی فلز در ماده‌ی زمینه‌ای گردید. شدت پرتوی عبور کرده از ترکیبات مختلف، نشان می‌دهد که ترکیب دارای ۱۵ درصد وزنی قلع، ۴۵ درصد وزنی تنگستن، ۲۰ درصد وزنی بیسموت و ۲۰ درصد وزنی پلیمر، دارای بیشترین تضعیف فوتونی است؛ در حالی که چگالی آن از حفاظ سربی بیشتر می‌باشد. از طرفی با انتخاب ترکیب ۲۰ درصد قلع، ۱۵ درصد تنگستن و ۴۵ درصد

## بحث

با توجه به نتایج شبیه‌سازی مونت کارلو، مشخصات چند حفاظ بررسی شد و حفاظ ترکیبی با ۱۵ درصد قلع، ۴۵ درصد تنگستن و ۲۰ درصد بیسموت، دارای بیشترین تضعیف بودند، اما چگالی این ترکیب بدون سرب، بیشتر از حفاظ سربی است. حفاظی با ترکیب ۲۰ درصد قلع، ۱۵ درصد تنگستن و ۴۵ درصد بیسموت، ضعف بهتری نسبت به سرب دارد و چگالی آن از حفاظ دارای سرب کمتر و نسبت به آن‌ها سبک‌تر است. از لایه‌های نیم‌جذب به دست آمده، مشخص شد که حفاظ ترکیبی ۱۵ درصد قلع، ۴۵ درصد تنگستن و ۲۰ درصد بیسموت به دست آمده، دارای کمترین HVL نسبت به سرب است که باعث می‌شود حفاظ نازک‌تری نسبت به حفاظ سربی ساخته شود، اما چگالی بیشتری نسبت به آن دارد. حفاظ با ترکیب ۲۰ درصد قلع، ۱۵ درصد تنگستن و ۴۵ درصد بیسموت دارای HVL کمتری نسبت به حفاظ سربی است و چگالی کمتری نسبت به حفاظ سربی دارد.

با توجه به تحقیق انجام شده و نتایج دیگر پژوهش‌ها (۱۴-۱۵)، فلزات قلع، تنگستن و بیسموت بهتر از نتایج غیر ترکیبی است. همچنین، با توجه به سمی نبودن فلزات استفاده شده در این حفاظ،

وزنی ماده‌ی زمینه‌ای، از ترکیب فلزات قلع، تنگستن و بیسموت استفاده شد. نکته‌ی قابل توجه دیگر این است که این حفاظ به مرور زمان دچار فرسودگی و خوردگی نمی‌شود که علاوه بر استفاده در ایمن‌سازی در و دیوار بخش‌های رادیولوژی تشخیصی، می‌توان در ساخت روپوش‌ها و شیلدهای محافظ در برابر پرتوهای غیر ضروری نیز استفاده نمود.

### تشکر و قدردانی

این مقاله حاصل پایان‌نامه‌ی دوره‌ی کارشناسی ارشد علیرضا ظهیری در دانشگاه علوم پزشکی اصفهان به شماره‌ی ۳۹۴۳۲۳ می‌باشد.

محدودیت‌های حفاظ سربی را نداشت و با اطمینان بیشتری می‌توان این حفاظ را جایگزین حفاظ سربی کرد. Cournoye و Martinez بررسی لزوم جایگزینی سرب با فلزات به صورت خالص را ارائه دادند (۱۴).

McCaffrey و همکاران از روش شبیه‌سازی جهت بررسی فلزها و از روش اندازه‌گیری تجربی جهت بررسی چند حفاظ ترکیبی استفاده کردند و نشان دادند که تضعیف واحد جرم بعضی از فلزات نظیر باریم، قلع، گادولینیوم و تنگستن، در اغلب موارد بیشتر یا شبیه سرب است. همچنین، نتیجه گرفتند که محاسبات Monte carlo را می‌توان قبل از ساخت حفاظها (جهت بهینه‌سازی آنها) استفاده نمود (۱۶)، اما به علت زیاد بودن درصد وزنی فلزات و پایین بودن درصد

### References

1. Shahbazi-Gahrouei D. Entrance surface dose measurements for routine x-ray examinations in Chaharmahal and Bakhtiari hospitals. *Iran J Radiat Res* 2006; 4(1): 29-33.
2. Ngaile JE, Uiso CB, Msaki P, Kazema R. Use of lead shields for radiation protection of superficial organs in patients undergoing head CT examinations. *Radiat Prot Dosimetry* 2008; 130(4): 490-8.
3. Nadealian-Dastjerdi F, Shahbazi-Gahrouei D, Alamatsaz MH, Baradaran-Ghahfarokhi M. Photoneutron shielding design for an 18 MV saturne 20 medical linear accelerator. *J Isfahan Med Sch* 2014; 32(300): 1433-43. [In Persian].
4. Hulbert SM, Carlson KA. Is lead dust within nuclear medicine departments a hazard to pediatric patients? *J Nucl Med Technol* 2009; 37(3): 170-2.
5. Verstraeten SV, Aimo L, Oteiza PI. Aluminium and lead: molecular mechanisms of brain toxicity. *Arch Toxicol* 2008; 82(11): 789-802.
6. Coon T, Miller M, Shirazi F, Sullivan J. Lead toxicity in a 14-year-old female with retained bullet fragments. *Pediatrics* 2006; 117(1): 227-30.
7. Shahbazi-Gahrouei D, Nazem M, Sharbafchizadeh M, Saleh M. The Average of Cumulative Radiation Dose in Neonates in the Neonatal Surgery Ward Due to Diagnostic and Therapeutic Radiologic Procedures During the Admission Period. *J Isfahan Med Sch* 2011; 29(140): 626-33. [In Persian].
8. Shahbazi-Gahrouei D, Baradaran-Ghahfarokhi M. Investigation of patient dose from common radiology examinations in Isfahan, Iran. *Adv Biomed Res* 2012; 1: 11.
9. Shahbazi-Gahrouei D, Aminolroayaei F. Investigating the entrance surface and collective doses for radiographic examination in neonatal intensive care unit. *J Isfahan Med Sch* 2015; 33(346): 1730-9. [In Persian].
10. Murata K, Iwata T, Dakeishi M, Karita K. Lead toxicity: does the critical level of lead resulting in adverse effects differ between adults and children? *J Occup Health* 2009; 51(1): 1-12.
11. Shahbazi-Gahrouei D, Baradaran-Ghahfarokhi M. Assessment of entrance surface dose and health risk from common radiology examinations in Iran. *Radiat Prot Dosimetry* 2013; 154(3): 308-13.
12. Schick DK, Casey RN, Sim LH, Siddle KJ. Corrosion of lead shielding in a radiology department. *Australas Radiol* 1999; 43(1): 47-51.
13. Scuderi GJ, Brusovanik GV, Campbell DR, Henry RP, Kwon B, Vaccaro AR. Evaluation of non-lead-based protective radiological material in spinal surgery. *Spine J* 2006; 6(5): 577-82.
14. Martinez TP, Cournoye ME. Lead substitution and elimination study, part II. Proceedings of the WM'01 Conference; 2001 Feb 25-Mar 1; Tucson, AZ, USA.
15. Yue K, Luo W, Dong X, Wang C, Wu G, Jiang M, et al. A new lead-free radiation shielding material for radiotherapy. *Radiat Prot Dosimetry* 2009; 133(4): 256-60.
16. McCaffrey JP, Shen H, Downton B, Mainegra-Hing E. Radiation attenuation by lead and nonlead materials used in radiation shielding garments. *Med Phys* 2007; 34(2): 530-7.

## Designing a Shield with Lead-Free Polymer Base with High Radiation Protection for X-ray Photons in the Range of Diagnostic Radiology Using Monte Carlo Simulation Code MCNP5

Seyed Mohammad Javad Mortazavi<sup>1</sup>, Alireza Zahiri<sup>2</sup>, Daryoush Shahbazi-Gahrouei<sup>3</sup>, Sedigheh Sina<sup>4</sup>, Masoud Haghani<sup>5</sup>

### Original Article

#### Abstract

**Background:** Apron used in diagnostic radiology to protect worker and patients who are exposed to unnecessary ionizing radiation, is based on lead. Although, this protection can prevent the passage of X-rays used in diagnostic radiology, but a lot of research is found that lead is a toxic metal. Therefore, a lead-free shield should be built which can be protect workers and patients from unnecessary ionizing radiation.

**Methods:** In this method, the absorption edge of different metals in the range of the energy spectrum of diagnostic radiology was investigated. Then, with the effect of overlapping edges, different combinations of metals as input Monte Carlo simulation was considered. Information obtained from the Monte Carlo simulation defines how the composition and percentage metals can have maximum impact on reducing the transmission of X-rays from the shield.

**Findings:** The results showed that for building lead-free shields, using 20% tin, 15% of tungsten and 45% of 20% bismuth-based polymer emulsion Poly vinyl Chloride (EPVC) combination is the best options which can reduce X-rays in the range of diagnostic radiology.

**Conclusion:** Characterized by the use of absorption edge overlap effect in different metals we can build a lead-free shield that decreases the intensity of X-rays in the range of diagnostic radiology much better than lead shield.

**Keywords:** Lead-free shields, Tin, Tungsten, Bismuth, X-ray diagnostic

**Citation:** Mortazavi SMJ, Zahiri A, Shahbazi-Gahrouei D, Sina S, Haghani M. **Designing a Shield with Lead-Free Polymer Base with High Radiation Protection for X-ray Photons in the Range of Diagnostic Radiology Using Monte Carlo Simulation Code MCNP5.** J Isfahan Med Sch 2016; 34(385): 637-41.

1- Professor, Department of Medical Physics and Engineering, School of Medicine, Shiraz University of Medical Sciences, Shiraz, Iran

2- MSc Student, Department of Medical Physics, School of Medicine AND Student Research Committee, Isfahan University of Medical Sciences, Isfahan, Iran

3- Professor, Department of Medical Physics, School of Medicine, Isfahan University of Medical Sciences, Isfahan, Iran

4- Assistant Professor, Radiation Research Center, School of Mechanical Mendes, University of Shiraz, Shiraz, Iran

5- Instructor, Department of Radiology, School of Medicine, Shiraz University of Medical Sciences, Shiraz, Iran

**Corresponding Author:** Daryoush Shahbazi-Gahrouei, Email: shahbazi@med.mui.ac.ir