

مقایسه توانایی کاهش دز پرتو X توسط محافظ‌های میکروکامپوزیت و نانوکامپوزیت بیسموت از طریق آزمون CT قفسه سینه

پریناز محنتی^{۱*}، رضا ملک‌زاده^۱، محمد یوسفی سوته^۱ و فرهاد یزدان‌ستاد^۲

^۱گروه فیزیک پزشکی، دانشکده پزشکی، دانشگاه علوم پزشکی تبریز، تبریز، آذربایجان شرقی، ایران.

^۲شرکت کاوشگران نوین و ایده‌گستران فردا، مرکز رشد فناوری تجهیزات پزشکی، دانشگاه علوم پزشکی تبریز، تبریز، آذربایجان شرقی، ایران.

*آذربایجان شرقی، تبریز، دانشگاه علوم پزشکی تبریز، دانشکده پزشکی، گروه فیزیک پزشکی، کد پستی: ۵۱۶۶۶-۱۴۷۶۶

پست الکترونیکی: parinazmehnti@yahoo.com

چکیده

مقایسه‌ی بین محافظ‌های پرتوی با ضخامت‌ها و ساختارهای مختلف (به‌ویژه اندازه ذرات متفاوت مواد سازنده‌ی آنها) در انتخاب محافظ مطلوب برای بیمار جهت استفاده در آزمون‌های تصویربرداری پزشکی به‌ویژه سی‌تی‌اسکن کمک‌کننده است. در این مطالعه به‌منظور ساخت محافظ‌های پرتویی کامپوزیت برای پستان، پودر بیسموت در دانه‌بندی‌های میکرو و نانو با سیلیکون مخلوط شد. ابعاد محافظ‌ها ۲۰ cm × ۲۰ cm، ضخامت آنها ۱ mm و درصد وزنی بیسموت در همه‌ی آنها ۱۰٪ بوده است. آزمون CT با دستگاه سی‌تی‌اسکن ۱۶ مولتی‌اسلایس (TOSHIBA) با شرایط ۱۰۰ kVp، ۵۰ mA و ضخامت اسلایس ۰/۵ mm و پیچ ۱ mm و فانتوم قفسه سینه مؤنث با سایز پستان زن نرمال انجام گرفت. برای جلوگیری از ایجاد آرتیفکت در هنگام تصویربرداری، از یک لایه فوم به ضخامت ۱ cm در زیر محافظ‌ها و بر روی فانتوم استفاده گردید. برای سنجش دز در نواحی سطح (معادل پوست) و لایه چهارم پستان فانتوم (معادل بافت غده‌ای) از قرص‌های TLD استفاده شد. نتایج نشان داد که به‌کارگیری میکروکامپوزیت بیسموت موجب کاهش ۱۲٪ و به‌کارگیری کامپوزیت نانویبسموت باعث کاهش ۱۸/۴٪ در لایه پوست پستان گردید و هر دو کامپوزیت به‌طور معنی‌دار ($p < 0/05$) موجب کاهش دز شدند. همچنین محافظ نوع نانوکامپوزیت بیسموت موجب کاهش بیشتر دز در مقایسه با نوع میکروکامپوزیت بیسموت شد. به‌علاوه تغییرات نویز کمتری در تصاویر CT با محافظ نانوکامپوزیت مشاهده گردید.

کلیدواژه‌گان: کاهش دز پستان، پرتو ایکس، محافظ پرتویی، کامپوزیت‌های بیسموت، سی‌تی‌اسکن، فانتوم قفسه سینه.

۱. مقدمه

را فراهم می‌کند که می‌تواند در سه محور آگزیمال^۱، کرونال^۲ و سائیتال^۳ بازسازی شود و این منجر به تشخیص بالا و نمایش جزییات ساختاری می‌گردد. با توجه به اینکه آزمون‌های

امروزه استفاده از پرتو ایکس و کاربرد آن در تشخیص برای بیماری‌ها به حدی است که به‌عنوان چشم سوم پزشک شناخته شده است. سی‌تی‌اسکن یکی از مهم‌ترین روش‌های تصویربرداری پزشکی، تعیین و تشخیص بیماری‌ها می‌باشد. سی‌تی‌اسکن اطلاعات آناتومیکی اساسی از ناحیه مورد آزمون

^۱ Axial

^۲ Coronal

^۳ Sagittal

کامپوزیت بیسموت-سیلیکون می‌باشد که می‌تواند دز تابشی رسیده به بافت پستان را کاهش دهد [۵-۸]. همچنین مطالعات نشان می‌دهد که اندازه‌ی بیسموت استفاده شده در محافظ‌های کامپوزیت و نیز ضخامت آن‌ها در میزان کاهش دز پرتو مؤثر است [۹، ۱۰]. بنابراین به دلیل پرتوگیری بالای پستان در آزمون‌های تشخیصی سی‌تی‌اسکن قفسه سینه لزوم انجام یک روش حفاظتی قابل قبول جهت کاهش دز رسیده به بافته‌ای حساس، با حفظ ارزش تشخیصی تصویر موردتوجه می‌باشد.

۲. مواد و روش‌ها

اندازه ذرات و دانه‌بندی پودرهای بیسموت مورد استفاده برای ساخت محافظ پرتویی میکرو بیسموت در این مطالعه کمتر از $150 \mu\text{m}$ بوده که با ماتریس سیلیکون رابر به صورت کامپوزیت مورد استفاده قرار گرفتند. برای ساخت نانوذرات از نیترات بیسموت استفاده گردید. محافظ‌های پرتویی پستان مورد استفاده در مطالعه‌ی حاضر با محافظ‌های مورد استفاده در مطالعات دیگر متفاوت بودند. جهت ساخت نانوذرات ابتدا نیترات بیسموت با اسید نیتریک با در صد معین مخلوط شده و به مدت دو ساعت تحت همزن شدید یکنواخت گردید. سپس محلول اسیدسیتریک به صورت قطره قطره به مدت ۲ ساعت به آرامی به محلول اول اضافه گردید. PH محلول شفاف به دست آمده باید حدوداً ۲ الی ۳ برابر بیشتر از PH محلول اولیه باشد. سپس محلول پلی‌اتیلن گلیکول به میزان ۱۰٪ وزن کل محلول، به محلول اضافه شد تا سل شفاف به دست آمد. رسوب حاصله در دمای ۱۲۰ درجه سانتی‌گراد خشک و سپس در دمای ۱۸۰ درجه و سپس در دمای ۵۰۰ درجه، تصفیه و کاملاً خشک شد تا پودر نانوذرات اکسید بیسموت به دست آمد. برای مشخصه یابی نانوذرات ساخته شده از روش‌های SEM^۱ و TEM^۲ استفاده شد.

سی‌تی‌اسکن قفسه سینه، یکی از متداول‌ترین آزمون‌ها جهت بررسی انواع بیماری‌های ریوی و قلبی در دنیا می‌باشد، کاهش دز پرتوی ناشی از تصویربرداری از ناحیه قفسه سینه یکی از موضوعات مهم و مورد توجه می‌باشد. از طرفی در سی‌تی‌اسکن قفسه سینه به دلیل تابش‌گیری اندام‌های حساس به پرتو مانند پستان، ریه‌ها و قلب و همچنین مجاورت این اندام‌ها با تیروئید و چشم، می‌تواند منجر به افزایش دز کلی بیماران شده و در نهایت ریسک القای سرطان را افزایش دهد [۱-۳]؛ از این رو جهت حفاظت بیماران در سی‌تی‌اسکن استفاده از روش‌های مختلف حفاظتی برای کاهش دز دریافتی در نواحی اندام‌های حساس ضرورت می‌یابد. بر این اساس جهت کاهش دز رسیده به بیماران و کارکنان از محافظ‌های پرتویی استفاده می‌شود. متداول‌ترین لوازم و لباس‌های محافظ در بخش‌های تشخیصی و درمانی پزشکی از سرب ساخته می‌شوند که توانایی بالایی در جذب پرتوهای ایکس اولیه و پراکنده شده دارند. از معایب مهم محافظ‌های سربی، توانایی آن در جذب پرتوهای تابشی و عدم نمایان شدن اندام قرار گرفته در زیر محافظ می‌باشد و استفاده از محافظ‌های سربی می‌تواند به حذف تصاویر قفسه سینه و ریه منجر شود. تکنولوژیست بسته به شرایط بیمار و آزمون، یک یا دو مورد از اصول کاهش پرتویی را در طول آزمون استفاده می‌کند. محافظ‌های سربی به‌عنوان معمول‌ترین وسایل حفاظتی از چندین سال قبل در رادیولوژی مرسوم بوده و در فلوروسکوپی استفاده می‌شوند. امروزه در مورد تصاویر قفسه سینه در اندام‌های حساس و روش‌های تصویربرداری مانند سی‌تی‌اسکن قفسه سینه محافظ‌های بیسموت جهت کاهش دز، بدون تأثیرگذاری در تصویر بخش‌هایی از بدن که در سطح قدامی قرار گرفته‌اند مثل تیروئید، عدسی چشم و پستان پیشنهاد گردیدند [۴]. یکی از راهکارهای بالقوه عملی حفاظت پرتوی، استفاده از محافظ‌هایی با خصوصیت‌های متفاوت مانند محافظ

¹ Scanning Electron Microscope

² Transmission Electron Microscope

شکل ظاهری و ساختار سطحی مواد نقش مهمی در خواص فیزیکی و سطحی آن ایفا می‌کند. استفاده از تصویر برداری SEM برای بررسی شکل توپوگرافی سطح، میزان یکنواختی، جهت‌گیری و نحوه توزیع بسیار سودمند است. نتایج آزمون SEM نشان دادند که نانوذرات ساخته شده، ذرات تقریباً هم‌شکل و کروی می‌باشند و به طور یکنواخت پراکنده شده‌اند. همچنین با استفاده از تصویربرداری TEM اندازه نانو ذرات بین ۶۰-۲۰ نانومتر بوده و ذرات به حالت کروی می‌باشند [۱۱].

۱.۲. روش تهیه محافظ‌ها

مخلوط سیلیکونی که حاوی ذرات میکرو بیسموت و نانو اکسید بیسموت است بعد از پخش همگن مواد و حباب‌زدایی به آرامی از یک طرف قالب درون آن ریخته شد و به اندازه ضخامت قالب در درون آن به آرامی پخش گردید. عمل پخش کردن به آرامی انجام شد تا ماتریس به طور یکنواخت در همه جای قالب پخش شود. پس از پخش کامل مواد در قالب در انتهای کار، ماده سخت‌کننده توسط اسپری بر روی مواد محافظ اسپری شد. این کار باعث جلوگیری از خشک شدن سریع سیلیکون شده و زمان کافی برای پخش مواد در قالب را فراهم آورد. محافظ‌های سیلیکونی میکروبیسموت و نانوبیسموت در ابعاد ۲۰ cm × ۲۰ cm و ضخامت ۱ mm در درصد وزنی ۱۰٪ ساخته شدند.

با توجه به این نکته که در ساخت محافظ‌های کامپوزیتی باید یک تعاملی بین کاهش دز و تغییرات نويز و به دنبال آن کیفیت تصاویر پزشکی برای تشخیص در نظر گرفته شود. اگر درصد فلز بیسموت موجود در کامپوزیت افزایش پیدا کند موجب افزایش کارایی حفاظ و در نتیجه کاهش شدید دوز پرتویی خواهد شد ولی در این شرایط احتمال کاهش ارزش تشخیصی تصاویر پزشکی زیاد است. همچنین اگر مقدار فلز

بیسموت موجود در حفاظ خیلی پایین باشد ضمن حفظ کیفیت تصاویر، حفاظ پرتویی ارزشمندی نخواهیم داشت [۱۲].

بنابراین بعد از چندین مرتبه آزمون حفاظ‌های ساخته شده و ارزیابی حفاظ‌ها با ضخامت‌ها و درصد‌های وزنی مختلف بهترین نتایج را در حفاظ‌های کامپوزیتی ۱۰٪ بیسموت با ضخامت یک میلی‌متر مشاهده کردیم و در ادامه آزمون‌های بررسی کاهش پرتوی با این شرایط ادامه یافت. پلیمر استفاده شده عبارت است از سیلیکون با نام تجاری silicone rubber (RTV 728) که به‌عنوان ماتریس سیلیکونی خریداری و مورد استفاده قرار گرفت. این نوع ماده سیلیکونی از دو بخش ماده پایه و سخت‌کننده تشکیل شده است. برای انجام دزیمتری از قرص‌های LiF:Mg, Cu, P (GR-200) TLD استفاده شد. ابتدا چهار عدد از این قرص‌ها جهت کالیبراسیون مورد استفاده قرار گرفتند و بقیه قرص‌ها در کنار و در مرکز فانتوم پستان‌ها بر روی یک خط راست به منظور ارزیابی دز پوستی و یا در لایه چهارم پستان به منظور ارزیابی دز دریافتی غدد در حالت با و بدون استفاده از محافظ‌های پرتویی تحت تابش قرار گرفتند. با استفاده از دستگاه خوانشگر TLD مدل ۷۱۰۳ موجود در آزمایشگاه دزیمتری، گروه فیزیک پزشکی، دانشکده پزشکی، دانشگاه علوم پزشکی تبریز مقادیر تغییرات بار الکتریکی موجود در قرص‌ها با استفاده از پروتکل مخصوص خوانش قرص‌های ترمولومینسانس (TLD, GR-200) برحسب نانو کولمب خوانده و ثبت شد.

۲.۲. فانتوم قفسه سینه مؤنث

این فانتوم به صورت لایه‌ای دارای قفسه سینه شامل ریه و پستان در ابعاد نرمال مؤنث و از جنس پلی‌اتیلن و معادل بافت سینه بوده و در ساختار ریه‌های آن، کرک به‌کار رفته است تا بتوان مقادیر ضرایب جذب را در آزمون‌های سی‌تی‌اسکن

استفاده از قرص‌های TLD، ابتدا قرص‌های خریداری شده در آزمایشگاه شرکت پارس ایزوتوپ به ۵ گروه ۱۷ تایی تقسیم شدند. سپس به هرکدام از گروه‌ها، دزهای ۱/۵، ۲، ۲/۵، ۳ و ۳/۵ میلی‌سیورت داده شد. در ادامه به منظور رسم منحنی کالیبراسیون، مقادیر بار هر یک از قرص‌ها برحسب نانو کولمب خوانده شد و نمودار کالیبراسیون قرص‌ها به‌دست آمد. زمان انجام دزیمتری چهار عدد از قرص‌ها به‌عنوان کالیبراسیون و نشان‌دهنده دز زمینه مورد استفاده قرار می‌گرفتند. بقیه قرص‌ها در قسمت مرکزی فانتوم برست روی یک خط راست به منظور ارزیابی دز پوستی و یا در لایه چهارم پستان به‌منظور ارزیابی دز دریاقتی غدد شیری در حالت با و بدون استفاده از حفاظ‌های پرتویی تحت تابش قرار گرفتند.

قبل از هر بار استفاده قرص‌ها به‌منظور حذف تشعشع‌های احتمالی باقی‌مانده و نامطلوب و جلوگیری از ایجاد خطا در دزیمتری در کوره حرارتی با شرایط دمای ۲۴۰ درجه سانتی‌گراد به مدت ۱۰ دقیقه قرار می‌گرفتند. بعد از ده دقیقه حضور قرص‌ها در دمای مورد نظر باید در همان دما از کوره خارج شوند و سریعاً سرد گردند [۱۳].

بعد از هر بار آزمون پرتودهی قرص‌ها، مقادیر بار موجود در قرص‌های TLD با استفاده از خوانشگر مشخص شد. سپس جهت تبدیل آن‌ها به مقدار پرتو دریافتی، این مقادیر با استفاده از منحنی کالیبراسیون و اعمال ضرایب مربوط به هر قرص TLD به میلی‌سیورت تبدیل شدند. بعد از انجام پرتودهی‌های مخصوص برای کالیبراسیون قرص‌های TLD، نمودار کالیبراسیون دزیمترهای ترمولومینسانس مورد استفاده به‌دست آمد. این منحنی در تبدیل مقدار بار الکتریکی خوانده شده در قرص‌ها، برحسب سیورت یا گری و اعمال ضرایب مورد استفاده قرار می‌گیرد.

با در دست داشتن رابطه شیب منحنی و قرار دادن بار الکتریکی ثبت شده در این رابطه مقدار دوز دریافتی هر قرص

شبه‌سازی نمود. این فانتوم بر طبق پروتکل ICRU48, ICRP 23 ساخته شده است و طرح اولیه آن با توجه به موقعیت آناتومیکی اندام‌ها در گروه فیزیک پزشکی دانشکده پزشکی دانشگاه علوم پزشکی تبریز شبه‌سازی گردیده است. دو عدد پستان از جنس معادل بافت نرم طوری روی فانتوم نصب شده‌اند تا از لحاظ فیزیکی و رادیوگرافیکی شبیه قفسه سینه زن نرمال باشند. پستان‌ها شامل چهار لایه هستند که ضخامت هر لایه ۱ cm است.

۳.۲. انجام آزمون CT قفسه سینه

آزمون قفسه سینه در دستگاه سی‌تی‌اسکن ۱۶ مولتی‌اسلایس (TOSHIBA) با شرایط ۱۰۰ kVp، ۵۰ mA و ضخامت اسلایس ۰/۵ mm و پیچ ۱ mm انجام شد. روش انجام آزمون به این صورت است که ابتدا فانتوم را روی تخت و در مرکز گانتری در محل ایزوستتر قرار داده شد به‌طوری که اطمینان حاصل شود مرکز فانتوم با مرکز گانتری منطبق است. شرایط آزمون قفسه سینه نرمال را برای دستگاه سی‌تی‌اسکن در نظر گرفته شد. تصویربرداری توپوگرام اولیه بدون حضور محافظ دزیمتر انجام شد. سپس ۳ قرص TLD بر روی پوست و لایه چهارم پستان قرار گرفت. تصویربرداری یکبار بدون محافظ انجام شد و بعد از جایگزینی دزیمترها سپس به ترتیب با محافظ کامپوزیت میکرو بیسموت و بعد از آن با نانو اکسید بیسموت بر روی برست به همراه فوم به قطر ۱ cm دزیمتری انجام گرفت. بعد از اتمام پرتودهی، قرص‌های TLD پرتو دیده خوانش شده و محاسبه مقادیر دز انجام شد.

در ابتدا ۸۵ عدد قرص دزیمتر ترمولومینسانس LiF:Mg, Cu, P (GR-200) از شرکت ایمن‌گستر رامان کیش خریداری شد. قرص‌های استفاده شده دارای عدد اتمی مؤثر ۸/۳ و حساسیتی حدود ۲۵ مرتبه بیشتر از LiF:Mg, Ti (TLD-100) به پرتو ایکس دارند. به منظور

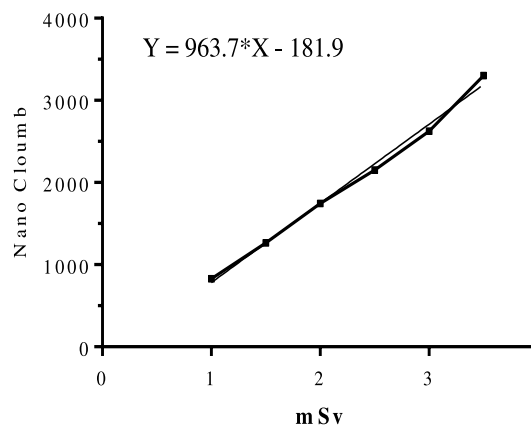
مطابق جدول ۲ نتایج دزیمتری با استفاده از TLD برای نواحی مختلف فانتوم قفسه سینه نشان داد که دز ثبت شده بر روی سطح پستان فانتوم (بافت پوست) در حضور محافظ میکروکامپوزیت برابر $4/26 \text{ mSv}$ و در حضور محافظ نانوکامپوزیت $3/95 \text{ mSv}$ است. همچنین میزان دز در لایه چهارم پستان در فانتوم (بافت غده‌ای) در حضور محافظ میکروکامپوزیت $4/75 \text{ mSv}$ و در حضور محافظ نانوکامپوزیت $4/40 \text{ mSv}$ می‌باشد. بنابراین در آزمون CT با شرایط پرتوی مورد استفاده در این مطالعه، میزان افت میانگین دز پرتو ایکس برای بیمار توسط محافظ‌های میکروکامپوزیتی و نانوکامپوزیتی سیلیکون بیسموت به ترتیب $0/55 \text{ mSv}$ و $0/88 \text{ mSv}$ است.

جدول (۲): دز اندازه‌گیری شده بر حسب mSv برای نواحی مختلف فانتوم قفسه سینه در آزمون CT.

با محافظ‌های دارای ضخامت mm		بدون محافظ	ناحیه اندازه‌گیری دز
میکروکامپوزیت	نانوکامپوزیت		
$3/95 \pm 0/4$	$4/26 \pm 0/76$	$4/84 \pm 0/1$	سطح پستان فانتوم (پوست)
$4/4 \pm 0/2$	$4/75 \pm 0/42$	$5/26 \pm 0/3$	لایه چهارم پستان فانتوم (بافت غده‌ای)

مطابق شکل ۲ میزان کاهش دز با به‌کارگیری کامپوزیت سیلیکون-نانوبیسموت 10% با ضخامت 1 mm در سطح پوست $18/4\%$ و در لایه چهارم پستان $16/3\%$ بود. همچنین در مورد محافظ‌های کامپوزیت سیلیکون-میکروبیسموت 10% با ضخامت 1 mm میزان کاهش دز در سطح پوست 12% و در لایه چهارم پستان $9/7\%$ بود. آنالیز نتایج مطالعه حاضر با مطالعه محتبی و همکاران [۱۴] نشان می‌دهد که با استفاده از نانوذرات بیسموت به جای میکروذرات بیسموت در محافظ با ضخامت 1 mm و استفاده از فانتوم و شرایط یکسان، میزان کاهش دز در کامپوزیت‌های نانوبیسموت به طور معناداری (حدود $6/5\%$ ، $p < 0/05$) بیشتر می‌باشد؛ در حالی که بررسی کیفیت تصاویر

محاسبه می‌گردد. داده‌های مربوط به بارهای الکتریکی ثبت شده توسط خوانشگر قبل از تبدیل به میلی‌سیورت در شکل ۱ نشان داده شده است.



شکل (۱): نمودار منحنی کالیبراسیون قرص‌های ترمولومینسانس دزیمتری. مقدار بار موجود در قرص‌ها (نانوکولن) بر حسب مقدار دوز (میلی‌سیورت) داده شده، رسم شده است.

۳. نتایج و بحث

مطابق شکل ۱ با در دست داشتن رابطه شیب منحنی و قرار دادن بار الکتریکی ثبت شده در این رابطه مقدار دز دریافتی هر قرص محاسبه می‌گردد. داده‌های مربوط به بارهای الکتریکی ثبت شده توسط خوانشگر قبل از تبدیل به میلی‌سیورت در جدول ۱ نشان داده شده است.

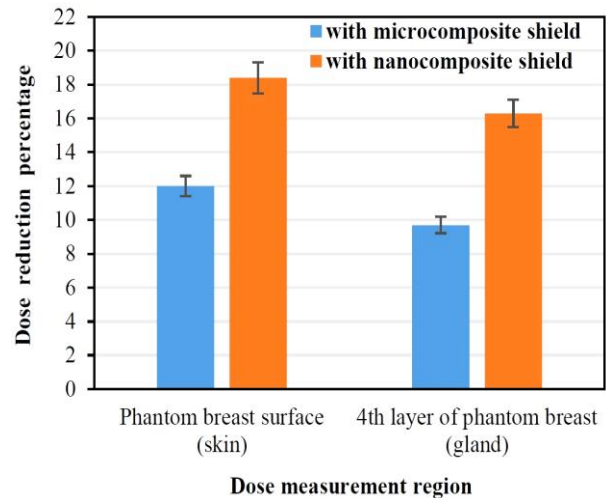
جدول (۱): دز اندازه‌گیری شده بر حسب mSv در حضور محافظ‌های میکرو و نانو کامپوزیت در آزمون CT.

با محافظ‌های دارای ضخامت 1 mm		بدون محافظ	ناحیه اندازه‌گیری دز
میکروکامپوزیت	نانوکامپوزیت		
۳۶۲۲	۳۹۲۱	۴۴۷۹	سطح پستان فانتوم (پوست)
۴۲۳۷	۴۵۷۴	۵۰۶۵	لایه چهارم پستان فانتوم (بافت غده‌ای)

۴. نتیجه‌گیری

در این مطالعه از پودر میکرو و نانو ذرات بیسموت برای ساخت محافظ‌ها استفاده شد تا تأثیر استفاده از نانو ذرات به جای میکرو ذرات در محافظ‌ها مورد بررسی قرار گیرد. یافته‌ها نشان داد که هر دو نوع محافظ کامپوزیت دز رسیده به سطح (معادل پوست) و لایه چهارم (معادل بافت غده‌ای) پستان فانتوم قفسه سینه را تا حد مطلوبی کاهش می‌دهند که البته میزان کاهش دز توسط محافظ نانوکامپوزیتی به‌طور محسوسی بیشتر از میکروکامپوزیت بود. همچنین تجزیه و تحلیل کیفیت تصویر حاکی از آن بود که تفاوت قابل توجهی در تصویر سی‌تی‌اسکن با و بدون محافظ وجود ندارد. بنابراین استفاده از این محافظ‌ها برای حفاظت بیماران در طول تصویربرداری سی‌تی پیشنهاد می‌گردد.

CT اخذ شده حاکی از این بود که میزان تغییرات نويز نیز در کامپوزیت‌های نانوبیسموت نسبت به کامپوزیت‌های میکروبیسموت حدود ۱۴٪ کمتر است.



شکل (۲): نمودار میزان افت مقدار دز اندازه‌گیری شده در نواحی سطحی و لایه چهارم پستان فانتوم قفسه سینه مؤنث.

۵. مراجع

- [1] D. Brenner and E. Hall. Computed tomography an increasing source of radiation exposure. N. Engl. J. Med. 357(22) (2007) 2277–2284.
- [2] W. Huda and A. Vance. Patient radiation doses from adult and pediatric CT. AJR. Am. J. Roentgenol. 188(2) (2007) 540–546.
- [3] R. Bindman, J. Lipson, R. Marcus, K. Kim, M. Mahesh, R. Gould, A. González and D. Miglioretti. Radiation dose associated with common computed tomography examinations and the associated lifetime attributable risk of cancer. Arch. Intern. Med. 169(22) (2009) 2078–2086.
- [4] P. Mehnati, M. Ghavami and H. Heidari. Reducing Radiation Doses in Female Breast and Lung during CT Examinations of Thorax: A new Technique in two Scanners. J. Biomed. Phys. Eng. 7(3) (2017) 217–224.
- [5] A. Einstein, C. Elliston, D. Groves, B. Cheng, S. Wolff, G. Pearson, M. Peters, L. Johnson, S. Bokhari, et al. Effect of bismuth breast shielding on radiation dose and image quality in coronary CT angiography. J. Nucl. Cardiol. 19(1) (2012) 100–108.
- [6] B. Fricke, L. Donnelly, D. Frush, T. Yoshizumi, V. Varchena, S. Poe and J. Lucaya. In-plane bismuth breast shields for pediatric CT: effects on radiation dose and image quality using experimental and clinical data. AJR. Am. J. Roentgenol. 180(2) (2003) 407–411.
- [7] C. Hohl, J. Wildberger, C. Süß, C. Thomas, G. Mühlenbruch, T. Schmidt, D. Honnef, R. Günther and A. Mahnken. Radiation dose reduction to breast and thyroid during MDCT: effectiveness of an in-plane bismuth shield. Acta Radiol. 47(6) (2006) 562–567.
- [8] S. Kim, T. Yoshizumi, D. Frush, C. Evans and G. Toncheva. Dosimetric characterisation of bismuth shields in CT: measurements and Monte Carlo simulations. Radiat. Prot. Dosimetry. 133(2) (2009) 105–110
- [9] P. Mehnati, M. Arash and P. Akhlaghi. Bismuth-Silicon and Bismuth-Polyurethane Composite Shields for Breast Protection in Chest Computed Tomography Examinations. J. Med. Phys. 43(1) (2018) 61–65
- [10] P. Mehnati, M. Yousefi Sooteh, R. Malekzadeh, B. Divband and S. Refahi. Breast Conservation From Radiation Damage By Using Nano Bismuth Shields In Chest CT Scan. Crescent J. Med. Biol. Sci. 6(1) (2018) 46–50.
- [11] P. Mehnati, M. Yousefi Sooteh, R. Malekzadeh and B. Divband. Synthesis and characterization of nano Bi₂O₃ for radiology shield. Nanomed J. 5(4) (2018) 222–226.
- [12] P. Mehnati, R. Malekzadeh and M. Yousefi Sooteh. Use of bismuth shield for protection of superficial radiosensitive organs in patients undergoing computed tomography: a literature review and meta-analysis. Radiol. Phys. Technol. 12(1) (2019) 6–25.
- [13] P. Mehnati, R. Malekzadeh, M. Yousefi Sooteh and S. Refahi. Assessment of the efficiency of new bismuth composite shields in radiation dose decline to breast during chest CT. Egypt. J. Radiol. Nucl. Med. 49(4) (2018) 1187–1189.
- [14] P. Mehnati, A. Amirnia and N. Jabbari. Estimating cancer induction risk from abdominopelvic scanning with 6- and 16-slice computed tomography. Int. J. Radiat. Biol. 93 (2017) 416–425.