



شبیه‌سازی و طراحی باریکه‌ساز دیسکی برای سیستم تصویربرداری تمام بدن انسان با استفاده از اشعه ایکس پس‌پراکنده

زهرا علی‌پور[✉]، محمدرضا پهلوانی^{ID}

گروه فیزیک، دانشکده علوم پایه، دانشگاه مازندران، صندوق پستی: ۴۷۴۱۵-۴۱۶، مازندران - ایران

*Email: alipoor_z@yahoo.com

مقاله پژوهشی

تاریخ دریافت مقاله: ۱۴۰۳/۰۴/۰۱ تاریخ بازنگری مقاله: ۱۴۰۳/۰۶/۰۸ تاریخ پذیرش مقاله: ۱۴۰۳/۰۶/۱۹

چکیده

سیستم‌های تصویربرداری پرتوهای ایکس پس‌پراکنده به دلیل حساسیت زیاد به مواد آلی، دز تابشی کم و نیز اسکن از یک سمت جسم، ویژگی‌های کاربردی منحصر به فردی دارند. در دستگاه‌های مبتنی بر این روش، اسکن توسط باریکه مدادی شکل ایکس انجام می‌شود که شکل و ابعاد باریکه و شدت آن، نقش بسیار زیادی در کیفیت تصویر و دز دریافتی فرد تحت اسکن دارد. جهت ایجاد باریکه مدادی شکل، پرتو مخروطی شکل لامپ ایکس از یک باریکه‌ساز بادبزی و متعاقب آن یک دیسک دوار شکاف‌دار عبور می‌کند. برای طراحی چیدمان بهینه باریکه‌ساز بادبزی و دیسک دوار شکاف‌دار، طرح‌های مختلف براساس طول و درز باریکه‌ساز، و نیز عرض شکاف دیسک دوار با استفاده از کد MCNPX2.6 شبیه‌سازی گردید. ضخامت و جنس مناسب دیسک دوار برای حداقل رساندن دز ناشی از ۴ میلی‌متر از آلیاژ تنسگن-مس به دست آمد. براساس نتایج حاصل از شبیه‌سازی آزمون‌های کیفیت تصویر، باریکه‌ساز با طول ۲۰ سانتی‌متر، درز ۱ میلی‌متر، و نیز شکاف دیسک با عرض ۱ میلی‌متر بهینه‌ترین باریکه ایکس را برای سیستم تصویربرداری پس‌پراکنده تمام بدن ایجاد می‌کند. براساس نتایج شبیه‌سازی، بهترین کیفیت تصاویر ایکس پس‌پراکنده در سرعت دوران دیسک ۱۵۰۰ rpm و سرعت نسبی حرکت عمودی ۴۰ سانتی‌متر بر ثانیه محاسبه شده است.

کلیدواژه‌ها: باریکه‌ساز بادبزی، دیسک دوار، لامپ پرتو ایکس، کیفیت تصویر، کد MCNPX2.6

Simulation and design of disc-type beam-shaping assembly for X-ray back scatter whole-body imaging system

Z. Alipoor*, M.R. Pahlavani

Department of Physics, Faculty of Basic Science, University of Mazandaran, P.O.BOX: 47415-416, Mazandaran – Iran

Research Article

Received: 21.06.2024,

Revised: 29.08.2024,

Accepted: 09.09.2024

Abstract

The X-ray backscatter imaging systems have unique inspection capabilities and practical features due to their high sensitivity to organic materials, low radiation dose, and ability to scan from one side of the object. The scan is performed by an X-ray pencil beam. The shape, size, and intensity of the beam play a significant role in the image quality and the radiation dose received by the person. To create a pencil-shaped beam, the cone-shaped beam of the X-ray tube passes through a fan beam collimator and a chopper wheel. Different designs were simulated to optimize the fan beam collimator and chopper wheel, considering factors such as length and gap of the collimator, as well as the slit width of the disc using the MCNPX2.6 code. To minimize leakage dose, a 4-mm tungsten/copper alloy disc was determined to be the most suitable in terms of thickness and material. Based on the simulation results from image quality tests, it was found that a collimator with a length of 20 cm, a 1 mm gap, and a 1 mm slit width of the disc produced the most optimal X-ray beam for backscatter whole-body imaging systems. The best image quality was achieved at a disc rotational speed of 1500 rpm and a relative speed of vertical movement at 40 cm/s.

Keywords: Fan beam collimator, Chopper wheel, X-ray tube, Image quality, MCNPX2.6 code



۱. مقدمه

سیستم‌های بازرسی فردی مبتنی بر اشعه ایکس بنا به نوع استفاده از پرتو ایکس به دو دسته پس‌پراکنده و عبوری تقسیم می‌شوند. هر یک از این سیستم‌ها مزایا و معایب خاص خود را دارند. در تصویربرداری پس‌پراکنده، چشمه و آشکارساز در یک طرف شی موردنظر مستقر می‌شوند. این امر می‌تواند بازرسی موقعیت‌هایی را که برای سیستم‌های ایکس عبوری بسیار دشوار یا حتی غیرممکن است، میسر سازد. در تصویربرداری پس‌پراکنده، میزان دز دریافتی شخص بسیار کمتر از نوع عبوری بوده و انواع اجسام جاسازی شده در زیر لباس به خوبی قابل نمایش است [۱، ۲]. اولین سیستم تصویربرداری تمام بدن که از فناوری پس‌پراکنده استفاده می‌کرد توسط Steven W. Smith در سال ۱۹۹۲ تولید شد. اسمیت این فناوری و حقوق را به شرکت Rapiscan Systems فروخت. امروزه، شرکت‌های دیگری همچون شرکت OSI، شرکت AS&E و گروه مهندسی Tek84، تولیدکنندگان پیشرو در سیستم‌های تصویربرداری پس‌پراکنده در دنیا هستند [۳].

برای به دست آوردن یک تصویر پرتو ایکس پس‌پراکنده، تعیین پیکسل تصویر به دو روش تقسیم مکانی و تقسیم زمانی انجام می‌شود. در روش تقسیم مکانی، موازی‌سازی پرتو بر روی آشکارساز انجام می‌شود، از آنجایی که آشکارساز برای به دست آوردن اطلاعات دقیق موقعیت، به شدت با تعداد زیادی موازی‌ساز کوچک قطعه‌بندی می‌شود، این روش به‌خاطر بازده پایین، نسبتاً نويز دارد [۴، ۵]. در مقابل، روش موازی‌سازی چشمه پرتو، با ابزار باریکه مدادی شکل، شدت بالایی در هر پیکسل را ارائه می‌کند. این نوع سیستم تصویربرداری پس‌پراکنده از لامپ ایکس، باریکه‌ساز پرتو ایکس و آشکارساز تشکیل شده است (شکل ۱). بنا بر نیاز، انواع لامپ ایکس با ابعاد کانون و زاویه بازشدگی مختلفی قابل استفاده هستند. آشکارسازها معمولاً به شکل صفحه‌ای و از نوع سوسوزن GOS هستند [۵]. در روش تصویربرداری ایکس پس‌پراکنده با روش باریکه مدادی شکل، پرتو خروجی از لامپ اشعه ایکس که عموماً مخروطی شکل است، با عبور از فاصله میان دو صفحه موازی سربی (باریکه‌ساز)، به شکل باریکه بادبزی تبدیل می‌شود. این باریکه بادبزی در برخورد با یک دیسک دوار دارای شکاف، به صورت باریکه مدادی شکل خارج می‌گردد. تعداد شکاف‌های دیسک، به زاویه بازشدگی لامپ بستگی دارد [۶].

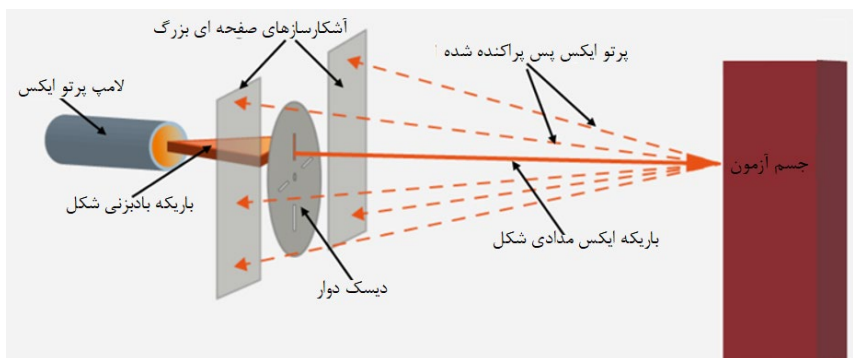
مشخصات باریکه ایکس، نقش بسیار زیادی در کیفیت تصویر و دز دریافتی جسم تحت اسکن دارد. علاوه بر ابعاد کانون

لامپ ایکس، پارامترهای طول باریکه‌ساز، درز باریکه‌ساز (فاصله بین دو صفحه باریکه‌ساز)، ضخامت دیسک دوار، عرض شکاف روی دیسک دوار و فاصله جسم تا دیسک دوار بر مشخصات باریکه تأثیرگذارند. اما محدودیت‌های مکانیکی مانعی برای امکان تغییر گسترده این پارامترها می‌باشد. به‌طور مثال، هر قدر طول باریکه‌ساز بیشتر باشد، باریکه بادبزی با یکنواختی بسیار بهتری ایجاد می‌شود، اما به تبع آن قطر دیسک نیز افزایش یافته، بنابراین ساخت دیسک و بالانس آن، نمونه‌ای از چالش‌های رایج و دشوار پیش‌رو خواهد بود.

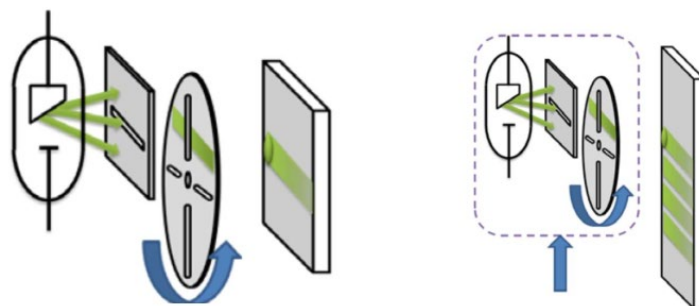
پارامتر مهم دیگری که بر کیفیت تصویر تأثیرگذار است، سرعت اسکن جسم تحت بازرسی است. مطابق شکل ۲، باریکه ایکس با دوران دیسک، یک خط از جسم تحت بازرسی را به‌طور افقی اسکن می‌نماید، سپس جسم یا چیدمان تصویربرداری در جهت عمودی جابه‌جا شده و خط بعدی اسکن می‌گردد. این روال تا اسکن کامل جسم ادامه می‌یابد [۷]. سرعت خطی حرکت عمودی و سرعت دوران دیسک به یکدیگر وابسته هستند تا بین خطوط اسکن فاصله ایجاد نشود. پارامترهای ذکر شده بر کیفیت تصویر سیستم‌های تصویربرداری ایکس پس‌پراکنده تأثیر زیادی دارند، لذا جهت طراحی و ساخت یک سیستم لازم است تأثیر این پارامترها مورد بررسی قرار داده شود. در کشور تاکنون تحقیقی در این زمینه ثبت نشده است و در مطالعات دیگر محققان نیز داده و مشخصات دقیق برای طراحی و ساخت باریکه‌ساز دیسکی مناسب سیستم تصویربرداری پس‌پراکنده بدن ارائه نشده است، تا براساس آن باریکه‌ساز بهینه طراحی و ساخته شود. بررسی تجربی پارامترها مختلف طراحی و ساخت باریکه‌ساز دیسکی نیز بسیار پرهزینه و زمان‌بر می‌باشد. لذا در این تحقیق، برای کاهش زمان و هزینه طراحی بخش باریکه‌ساز سیستم تصویربرداری تمام بدن انسان، از تکنیک شبیه‌سازی مونت کارلو با کد MCNPX۲.۶ استفاده شد [۸-۱۰].

در این تحقیق، به منظور طراحی یک سیستم اسکن برای بازرسی تمام بدن انسان، طرح‌های مختلف براساس طول و درز باریکه‌ساز و عرض شکاف تعبیه شده بر روی دیسک دوار با استفاده از کد شبیه‌سازی MCNPX۲.۶ مورد بررسی قرار گرفت. ضخامت و جنس مناسب دیسک برای کمینه کردن دز نشتی تعیین شد. همچنین براساس پاسخ سیستم تصویربرداری پس‌پراکنده به آزمون‌های کیفیت تصویر، ابعاد بهینه برای طراحی چیدمان باریکه‌ساز با استفاده از نتایج شبیه‌سازی انتخاب شد.





شکل ۱. طرحواره‌ای از چیدمان سیستم تصویربرداری پس پراکنده.



شکل ۲. روند اسکن جسم در یک سیستم تصویربرداری پس پراکنده با باریکه‌ساز دیسکی [۶].

۲. مواد و روش‌ها

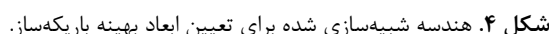
هندسه لامپ ایکس XRB۱۶۰PN۴۸۰/CT ساخت شرکت Spellman با استفاده از کد محاسباتی مونت کارلو MCNPX۲.۶ شبیه‌سازی گردید (شکل ۳). این لامپ از نوع مونوبلاک، قابل استفاده در سیستم‌های متحرک با جنس بدنه شیشه‌ای با هدف تنگستن و دارای زاویه 20° است. ولتاژ این لامپ ایکس بین ۲۰ کیلوولت تا ۱۶۰ کیلوولت و جریان آن در بازه $0.3/3$ میلی‌آمپر تا ۶ میلی‌آمپر وابسته به ولتاژ، قابل تنظیم است. نقطه کانونی لامپ ایکس طبق استاندارد IEC۳۳۶، 0.8×0.8 میلی‌متر است. پرتو ایکس تولید شده علاوه بر فیلتر ذاتی بریلیم، از ۱۰ میلی‌متر روغن، $1/7$ میلی‌متر شیشه و ۱ میلی‌متر آلومینیم عبور می‌کند و زاویه خروج باریکه از لامپ ایکس 60° است [۱۱]. مطابق شکل ۴، برای کنترل و کاهش دز ناشی، یک حفاظ سربی به ضخامت ۵ سانتی‌متر در مقابل لامپ ایکس قرار گرفت، شکاف تعبیه شده در حفاظ سربی به صورت هرمی شکل است که همانند پنجره خروجی باریکه لامپ ایکس XRB۱۶۰PN۴۸۰/CT، از یک جهت دارای زاویه بازشدگی 60° و در جهت دیگر دارای عرض ۳ میلی‌متر است.

در سیستم‌های تصویربرداری، انرژی پرتو ایکس و بازده، ابعاد و جنس آشکارساز، پارامترهای مهم و تأثیرگذار بر کیفیت تصویر می‌باشند، لذا باید در طراحی و ساخت این نوع سیستم‌ها، با شبیه‌سازی و انجام آزمون‌های مختلف، انرژی و آشکارساز بهینه

انتخاب شود. این تحقیق برای طراحی و ساخت باریکه‌ساز بهینه سیستم تصویربرداری پس پراکنده می‌باشد و تأثیر پارامترهای انرژی و آشکارساز بر کیفیت تصویر بررسی نمی‌شود. کیفیت تصویر طرح‌های مختلف باریکه‌ساز و دیسک دوار به‌طور نسبی با یکدیگر مقایسه می‌شوند لذا می‌توان در کد MCNPX۲.۶ با استفاده از تالی F1، پرتو ایکس بازگشتی از جسم آزمون را بر روی یک سطح شمارش نمود و این به معنی در نظر گرفتن بالاترین بازده آشکارساز می‌باشد. در اندازه‌گیری تجربی، در صورت محدودیت در انتخاب آشکارساز با بازده بالا، برای جبران بازده پایین آشکارساز، جریان لامپ ایکس تا حدی می‌تواند افزایش یابد. ولتاژ لامپ ایکس در سیستم‌های تصویربرداری پس پراکنده بدن، مابین ۵۰ کیلوولت تا ۱۲۰ کیلوولت انتخاب می‌شود که در ولتاژهای پایین سهم پس پراکنده بیشتر است اما نفوذ کاهش می‌یابد و در ولتاژهای بالا این روند معکوس می‌شود [۵]، لذا در این تحقیق ولتاژ لامپ ایکس در محدوده میانی ۸۰ کیلوولت با جریان ۱ میلی‌آمپر انتخاب گردید.

محاسبات با استفاده از یک کلاستر و پردازش موازی انجام گردید و تعداد تاریخچه دنبال‌شده (nps) جهت کاهش خطای نسبی تا کمتر از ۵٪ برای چشمه الکترونی (محاسبات شدت باریکه ایکس و دز ناشی از دیسک دوار) 2×10^{11} در نظر گرفته شد و برای محاسبات کیفیت تصویر با چشمه پرتو ایکس، 5×10^8 در نظر گرفته شد.



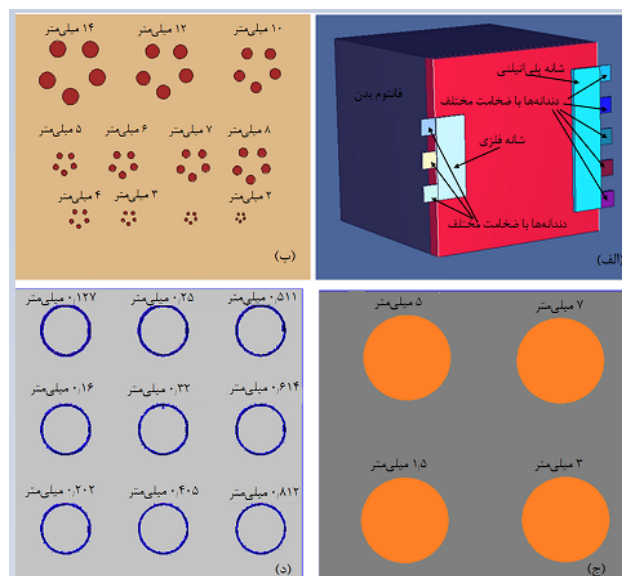


دوره ۴۶، شماره ۲، جلد ۱۱۲، تابستان ۱۴۰۴، ص ۱۰۹-۱۲۲

۳.۲ شبیه سازی آزمون های کیفیت تصویر

بهینه بودن باریکه ایکس که خود منتج از مشخصات باریکه ساز و دیسک است، با استفاده از کیفیت تصویر، قابل تعیین است. طبق استاندارد ۲۰۱۰-۴۲.۴۷ ANSI جهت بررسی کیفیت تصویر دستگاه های اسکن تمام بدن مبتنی بر ایکس پس پراکنده، چهار مشخصه (الف) قدرت تفکیک فضایی، (ب) شناسایی سیم، (ج) شناسایی مواد بر روی بدن و (د) شناسایی مواد در هوا با استفاده از جسم آزمون مختص هر یک از آنها باید اندازه گیری شود. جسم آزمون هر یک از چهار مشخصه فوق بر روی یک بلوک از جنس پلی اتیلن به ابعاد $30 \times 30 \times 30$ سانتی متر به عنوان فانتوم بدن انسان قرار می گیرد [۱۳]. براساس این استاندارد، سیستم تصویربرداری پس پراکنده تمام بدن طراحی شده باید در آزمون قدرت تفکیک قادر به شناسایی گوی به قطر ۶ میلی متر، در آزمون شناسایی مواد بر روی بدن قادر به شناسایی دیسک به ضخامت ۳ میلی متر، در آزمون شناسایی سیم به شناسایی سیم قادر به شناسایی سیم به قطر 0.511 میلی متر و در آزمون شناسایی مواد در هوا قادر به شناسایی دندانه پلاستیکی به ضخامت ۳ میلی متر و شناسایی دندانه فلزی به ضخامت $1/6$ میلی متر باشد.

در شکل ۵ هندسه شبیه سازی شده توسط کد MCNPX۲.۶ برای چهار جسم آزمون کیفیت تصویر مشاهده می شود. به ازای عرض های مختلف شکاف دیسک و طول و درزهای مختلف باریکه ساز، مجموعه ای از باریکه های ایکس با ابعاد مقطع و شدت باریکه متفاوت محاسبه گردید و اجسام آزمون توسط هر یک از این باریکه ها اسکن شد.



شکل ۵. اجسام آزمون کیفیت تصویر شبیه سازی شده توسط MCNPX۲.۶. (الف) جسم آزمون شناسایی مواد در هوا نصب شده بر فانتوم بدن، (ب) جسم آزمون قدرت تفکیک مکانی، (گویی های فلزی با قطر مختلف)، (ج) جسم آزمون شناسایی مواد بر روی بدن، (دیسک های پلی اتیلنی با ضخامت مختلف)، (د) جسم آزمون شناسایی سیم (سیم مسی با قطرهای مختلف).

۴.۲ نحوه شبیه سازی اسکن جسم آزمون توسط MCNP

در کد MCNPX۲.۶ امکان شبیه سازی دینامیکی وجود ندارد، لذا جهت شبیه سازی تشکیل یک تصویر از اسکن هر جسم آزمون، لازم است برای هر نقطه شبیه سازی انجام شود و چشمه در مقابل جسم آزمون به اندازه گام جابه جایی محاسبه شده مطابق با سرعت دوران دیسک و سرعت جابه جایی باریکه ساز، جابه جا گردد و مجدداً برای نقطه جدید، این روال شبیه سازی تا اسکن کل جسم آزمون تکرار شود. تعداد نقاط شبیه سازی شده برای هر جسم آزمون وابسته به گام جابه جایی جسم آزمون در مقابل چشمه است. در گام های بزرگتر تعداد نقاط لازم برای شبیه سازی بیشتر و در گام های بزرگتر تعداد نقاط لازم برای شبیه سازی کمتر است. براساس ابعاد مقطع 30×30 سانتی متر فانتوم بدن، اگر گام جابه جایی در جهت افقی (معادل سرعت دوران دیسک) $2/5$ میلی متر و گام جابه جایی در جهت عمودی ۴ میلی متر در نظر گرفته شود، برای اسکن کل جسم آزمون، باید بیش از ۹ هزار نقطه شبیه سازی شود. با توجه به طولانی بودن زمان محاسبات به خصوص با شروع شبیه سازی از باریکه الکترون، شبیه سازی های مربوط به آزمون های کیفیت تصویر در دو مرحله انجام گردید. در مرحله اول، چیدمان سیستم تصویربرداری با جزئیات بخش های مختلف آن همچون لامپ ایکس و باریکه ساز و دیسک دوار شبیه سازی شد و مشخصات باریکه ایکس (ابعاد مقطع باریکه و شدت آن) در محل جسم تحت اسکن، در فاصله ۸۷ سانتی متری از کانون لامپ ایکس، توسط اندرکنش ذره الکترون با هدف تنگستن محاسبه گردید.

در مرحله بعد، در کد MCNPX۲.۶، چشمه به صورت یک باریکه ایکس با مشخصات ابعاد باریکه و شدت به دست آمده از محاسبات قبل تعریف گردید و کل سطح جسم آزمون با جابه جایی این باریکه، نقطه به نقطه، اسکن شد. بدین منظور، هر جسم آزمون مطابق شکل ۶ مقابل آشکارسازها قرار گرفت و باریکه ایکس از فاصله بین دو آشکارساز عبور نمود و پس از برخورد به جسم آزمون، میزان پرتوهای ایکس پس پراکنده روی سطح آشکارساز، توسط تالی F۱ محاسبه شد. با توجه به تعداد بسیار زیاد نقاط برای اسکن اجسام آزمون کیفیت تصویر، اجرای کد MCNPX۲.۶ در برنامه ای تحت نرم افزار متلب صورت گرفت [۱۴] و با تعریف حلقه های IF-END، براساس ابعاد جسم آزمون و گام جابه جایی، ورودی های کد MCNPX۲.۶ تولید و اجرا گردید. برای هر جسم آزمون، خروجی های تالی F۱، با استفاده از یک برنامه به زبان C# به ماتریس تبدیل گردید. سرانجام، این ماتریس توسط نرم افزار Origin تبدیل به تصویر شد.

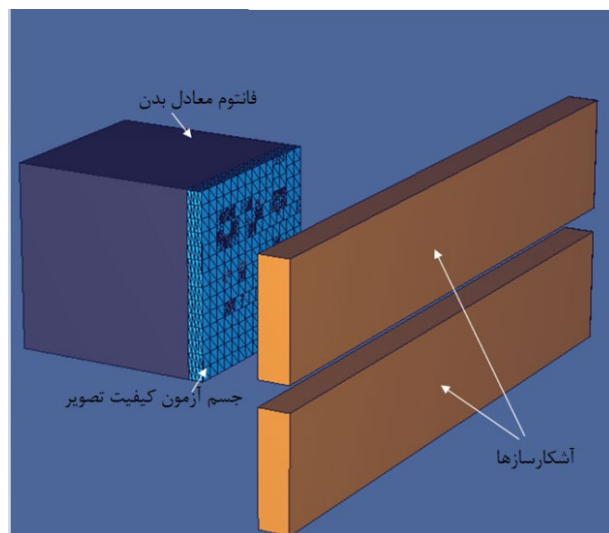


جدول ۱. گام جابه‌جایی افقی باریکه ایکس در شبیه‌سازی براساس سرعت دوران دیسک

سرعت دوران دیسک	زمان اسکن عرض	تعداد پیکسل‌ها	گام معادل برای جابه‌جایی افقی چشمه (میلی‌متر)	زمان
۱۵۰۰	۰/۰۱	۴۰۰	۲/۵	۲۵
		۵۰۰	۲	۲۰
		۶۶۰	۱/۵	۱۵
۲۰۰۰	۰/۰۰۷	۴۰۰	۲/۵	۱۷/۵
		۵۰۰	۲	۱۴
		۶۶۰	۱/۵	۱۰
۲۵۰۰	۰/۰۰۶	۴۰۰	۲/۵	۱۵
		۵۰۰	۲	۱۲
		۶۶۰	۱/۵	۹

جدول ۲. گام جابه‌جایی عمودی باریکه ایکس در شبیه‌سازی با توجه به سرعت دوران دیسک

سرعت دوران دیسک	زمان اسکن عرض	گام معادل برای جابه‌جایی عمودی (میلی‌متر)	سرعت جابه‌جایی عمودی (سانتی‌متر بر ثانیه)	زمان لازم برای اسکن انسان به ارتفاع ۱۸۰ سانتی‌متر (ثانیه)
۱۵۰۰	۰/۰۱	۷	۷۰	۲/۵۷
		۶	۶۰	۳
		۵	۵۰	۳/۶
		۴	۴۰	۴/۵
		۳	۳۰	۶
		۲	۲۰	۹
۲۰۰۰	۰/۰۰۷	۷	۱۰۰	۱/۸
		۶	۸۶	۲/۰۹
		۵	۷۱	۲/۵۴
		۴	۵۷	۳/۱۶
		۳	۴۳	۴/۱۹
		۲	۲۹	۶/۲۱
۲۵۰۰	۰/۰۰۶	۷	۱۱۷	۱/۵۴
		۶	۱۰۰	۱/۸
		۵	۸۳	۲/۱۷
		۴	۶۶	۲/۷۳
		۳	۵۰	۳/۶
		۲	۳۳	۵/۴۵



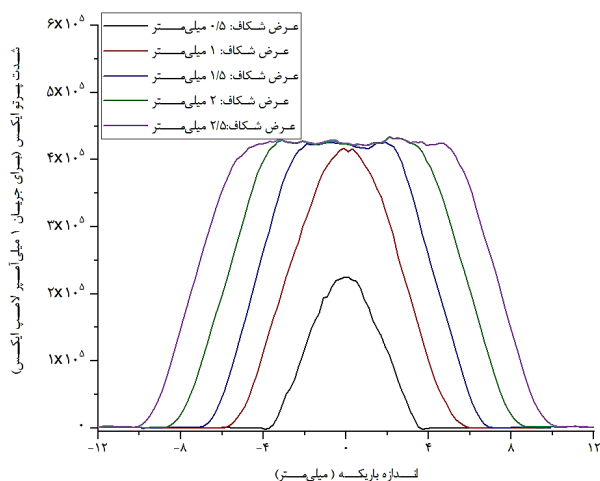
شکل ۶. چیدمان شبیه‌سازی شده برای آزمون‌های کیفیت تصویر سیستم تصویربرداری ایکس پس‌پراکنده.

۵.۲ محاسبه و تعیین سرعت اسکن بهینه (وابسته به سرعت دوران دیسک و سرعت نسبی حرکت عمودی)

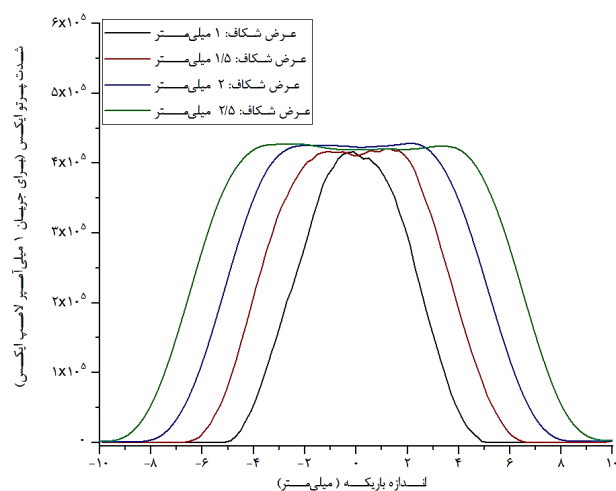
در صورتی که سرعت دوران دیسک با سرعت نسبی عمودی (بین جسم تحت اسکن و باریکه‌ساز ایکس) به درستی تنظیم نشود، تصویر حاصل، دچار کشیدگی یا جمع‌شدگی می‌گردد. علاوه بر این، در سرعت بالای دیسک، زمان پرتودهی هر نقطه کاهش یافته، لذا با کاهش میزان شمارش پرتو ایکس بازگشتی، کیفیت تصویر کاهش می‌یابد. آزمون قدرت تفکیک مکانی براساس سرعت‌های مختلف دوران دیسک و سرعت‌های مختلف عمودی شبیه‌سازی شد تا سرعت مناسب برای دوران دیسک، متناسب با سرعت عمودی به‌دست آید. در جدول ۱، گام‌های مختلف^۱ جابه‌جایی افقی برای اسکن جسم آزمون (فاصله بین دو نقطه متوالی اسکن) مشاهده می‌شود. این گام‌ها براساس سرعت‌های مختلف دوران دیسک و تعداد پیکسل‌های انتخابی برای هر خط اسکن محاسبه شد. در تعیین سرعت جابه‌جایی افقی، تعداد شکاف دیسک نیز لازم است لحاظ شود. این محاسبات به‌طور موردی برای دیسک با ۴ شکاف با عرض ۱ میلی‌متر و باریکه‌ساز به طول ۲۰ سانتی‌متر و درز ۱ میلی‌متر مورد بررسی قرار گرفت. زمان اسکن عرض ۱۰۰ سانتی‌متر، معادل زمان لازم برای یک دور دوران دیسک تقسیم بر تعداد شکاف تعبیه شده بر روی دیسک می‌باشد و با تقسیم زمان اسکن عرض ۱۰۰ سانتی‌متر بر تعداد پیکسل، زمان داده‌برداری در هر پیکسل به‌دست آمد. جدول ۲، روند انتخاب گام جابه‌جایی عمودی با توجه به سرعت دوران دیسک می‌باشد.

1. Pitch

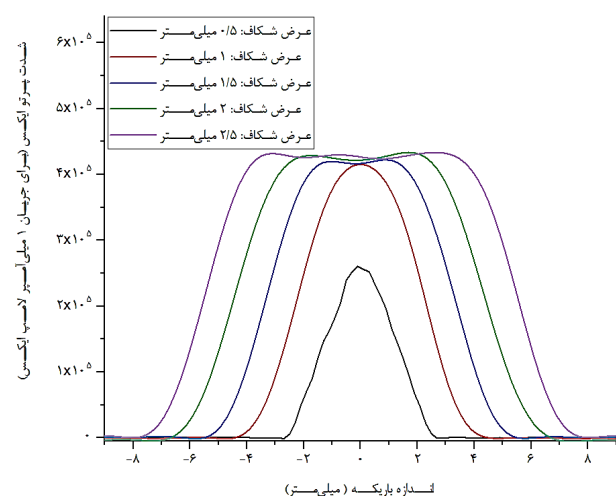




شکل ۷. مقایسه شدت باریکه ایکس شبیه سازی شده برای باریکه ساز با طول ۱۵ سانتی متر برحسب عرض های شکاف مختلف.



شکل ۸. مقایسه شدت باریکه ایکس شبیه سازی شده برای باریکه ساز با طول ۱۷ سانتی متر برحسب عرض های شکاف مختلف.



شکل ۹. مقایسه شدت باریکه ایکس شبیه سازی شده برای باریکه ساز با طول ۲۰ سانتی متر برحسب عرض های شکاف مختلف.

۳. تجزیه و تحلیل نتایج

۱.۳ تعیین ضخامت بهینه دیسک

در معادل محیطی محاسبه شده در محل قرارگیری فرد تحت اسکن، برای دیسک های با ضخامت و جنس مختلف قرار گرفته مقابل باریکه ساز در جدول ۳ گزارش شده است. براساس نتایج شبیه سازی، دز نشتی با استفاده از دیسکی از جنس آلایژ تنگستن-مس با ضخامت ۴ میلی متر، در حد دز زمینه خواهد بود و همچنین جرم دیسک کمتر از ۲ کیلوگرم است. لازم به ذکر است که میانگین خطای محاسباتی در تمام محاسبات انجام شده در مطالعه حاضر کمتر از ۲ درصد می باشد.

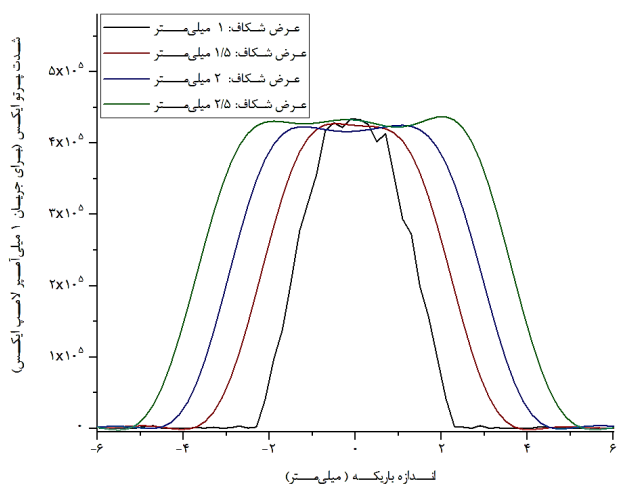
۲.۳ تعیین ابعاد بهینه چیدمان باریکه ساز

شدت باریکه ایکس براساس پارامترهای مختلف باریکه ساز (طول و درز باریکه ساز) و دیسک (عرض شکاف) در شکل های ۷ تا ۱۳ نشان داده شده است. همچنین شکل و ابعاد مقطع باریکه اشعه ایکس برای باریکه ساز به طول ۲۰ سانتی متر در شکل ۱۴ مشاهده می شود.

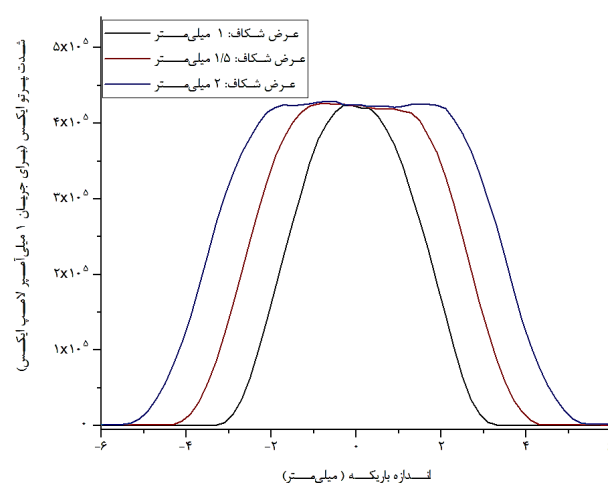
جدول ۳. تأثیر دیسک با ضخامت و جنس مختلف در دز نشتی ناشی از لامپ پرتو ایکس با ولتاژ ۸۰ کیلوولت و جریان ۱ میلی آمپر

جنس	ضخامت دیسک (میلی متر)	دز نشتی (سیورت بر ساعت)	جرم دیسک (کیلوگرم)
بدون دیسک	۰	۰/۲۵۴	
آلیاژ تنگستن-مس	۱	$۰/۵۶ \times 10^{-3}$	۰/۴۹
	۲	۹×10^{-6}	۰/۹۷
	۴	۴×10^{-9}	۱/۹۵
آلیاژ برنج	۲۰	$۷/۵ \times 10^{-6}$	۵/۰۷
	۳۰	$۰/۲۹ \times 10^{-6}$	۷/۶
	۵۰	$۰/۱ \times 10^{-6}$	۱۲/۶۷
آلیاژ استیل	۵	$۵/۷۴ \times 10^{-3}$	۱/۲۲
	۲۰	$۶/۲ \times 10^{-5}$	۴/۹
	۳۰	۴×10^{-6}	۷/۳۵
سرب	۳	$۸/۴ \times 10^{-6}$	۱/۰۷
	۴	$۰/۸ \times 10^{-6}$	۱/۴۲

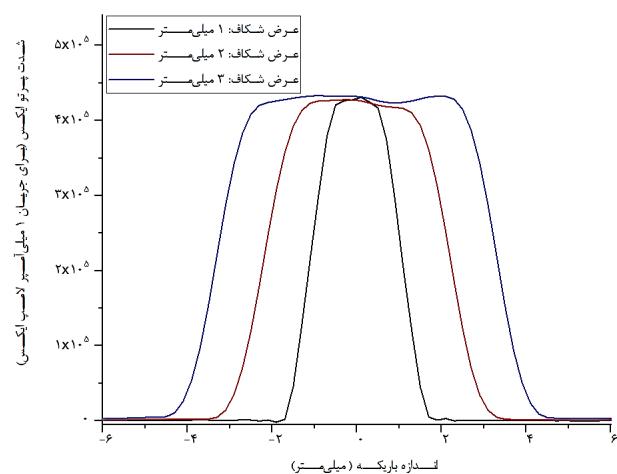




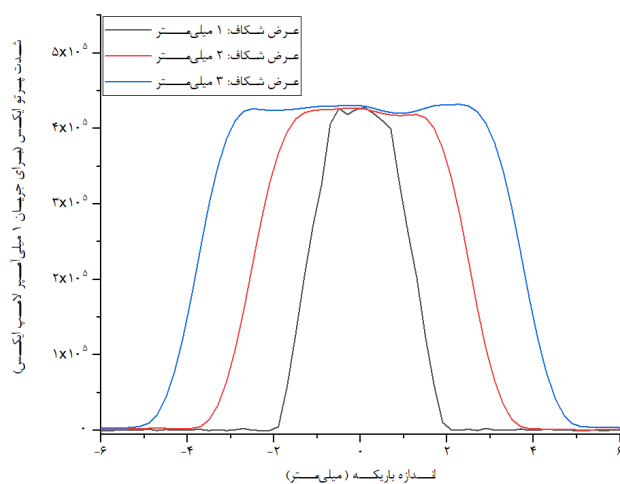
شکل ۱۱. مقایسه شدت باریکه ایکس شبیه‌سازی شده برای باریکه‌ساز با طول ۳۰ سانتی‌متر برحسب عرض‌های شکاف مختلف.



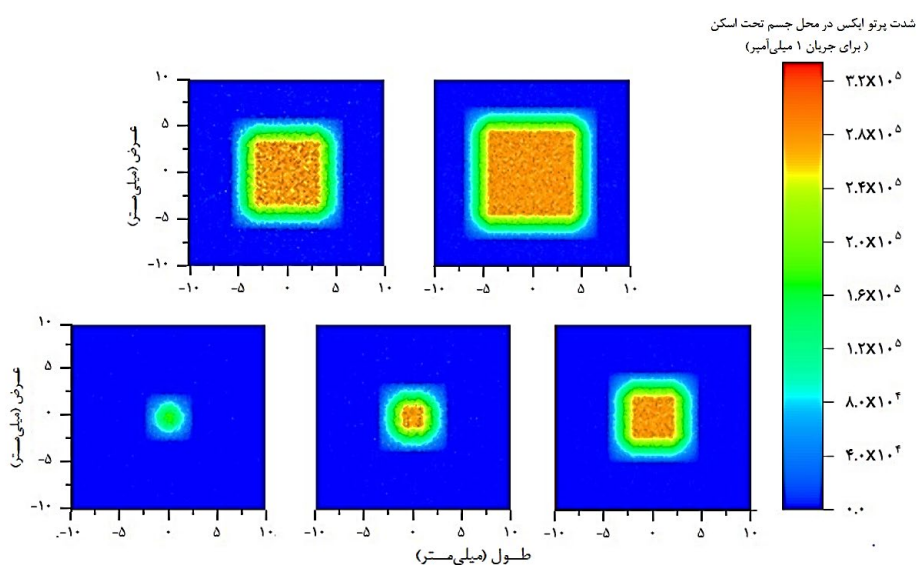
شکل ۱۰. مقایسه شدت باریکه ایکس شبیه‌سازی شده برای باریکه‌ساز با طول ۲۵ سانتی‌متر برحسب عرض‌های شکاف مختلف.



شکل ۱۳. مقایسه شدت باریکه ایکس شبیه‌سازی شده برای باریکه‌ساز با طول ۴۰ سانتی‌متر برحسب عرض‌های شکاف مختلف.



شکل ۱۲. مقایسه شدت باریکه ایکس شبیه‌سازی شده برای باریکه‌ساز با طول ۳۵ سانتی‌متر برحسب عرض‌های شکاف مختلف.



شکل ۱۴. ابعاد و شکل باریکه ایکس شبیه‌سازی شده برای باریکه‌ساز با طول ۲۰ سانتی‌متر برحسب عرض‌های شکاف مختلف.

۳.۳ تأثیر سرعت دوران دیسک و سرعت جابه‌جایی باریکه‌ساز بر کیفیت تصویر

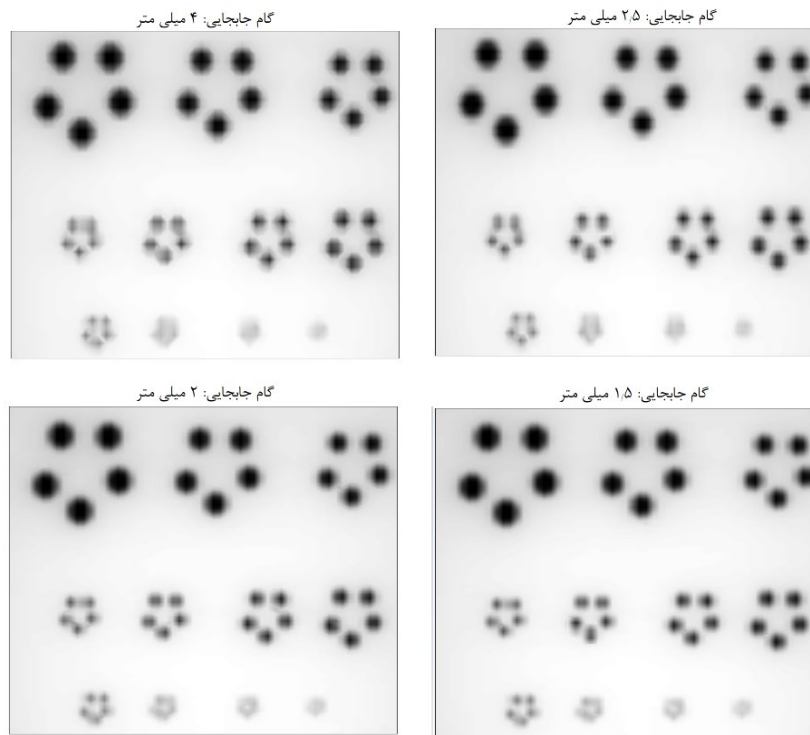
تصویر حاصل از شبیه‌سازی اسکن جسم آزمون قدرت تفکیک براساس سرعت‌های مختلف دوران دیسک در شکل ۱۵ با یکدیگر مقایسه شده‌اند. گام‌های انتخاب‌شده برای جابه‌جایی چشمه در شبیه‌سازی‌ها براساس سرعت‌های مختلف دوران دیسک و تعداد پیکسل‌ها در طول ۱۰۰ سانتی‌متر (معادل عرض بدن یک فرد) می‌باشد که در جدول ۱ بیان شد. گام جابه‌جایی عمودی باریکه ایکس در این شبیه‌سازی ۴ میلی‌متر انتخاب شد. با توجه به آن‌که تصویر در یک سیستم تصویربرداری پس‌پراکنده بدن به‌صورت سیاه و سفید ارائه می‌شود، در این تحقیق نیز، نتایج شبیه‌سازی اسکن فانتوم‌های آزمون کیفیت تصویر به‌صورت سیاه و سفید نمایش داده می‌شود.

نتایج شبیه‌سازی‌ها براساس طول‌های مختلف باریکه‌ساز ارائه شده است و تأثیر عرض شکاف بر روی ابعاد باریکه و شدت آن در یک طول مشخص مورد مطالعه قرار گرفته است (عرض شکاف و درز باریکه‌ساز یکسان می‌باشد). مطابق جدول ۴، در یک طول یکسان باریکه‌ساز، با افزایش عرض شکاف، ابعاد باریکه اشعه ایکس افزایش خواهد یافت. همچنین مشاهده می‌شود که در یک عرض شکاف یکسان، برای رسیدن به ابعاد باریکه ایکس کوچک‌تر، باید طول باریکه‌ساز افزایش یابد. بنابراین هرچه طول باریکه‌ساز بلندتر و عرض شکاف کوچک‌تر انتخاب شود، ابعاد باریکه در محل جسم تحت اسکن کوچک‌تر می‌شود. در سیستم‌های تصویربرداری پرتو ایکس هرچه ابعاد باریکه ایکس کوچک‌تر باشد، سیستم طراحی شده دارای قدرت تفکیک بهتری است. اما در طراحی یک سیستم تصویربرداری علاوه بر رسیدن به کیفیت تصویر بهتر، باید به ابعاد نهایی سیستم طراحی شده و محدودیت‌های مکانیکی نیز توجه نمود.

جدول ۴. نتایج شبیه‌سازی براساس ابعاد مختلف باریکه‌ساز

طول باریکه‌ساز (سانتی‌متر)	قطر دیسک دوار (سانتی‌متر)	جرم دیسک دوار (کیلوگرم)	عرض شکاف دیسک دوار و درز باریکه‌ساز (میلی‌متر)	ابعاد باریکه ایکس در محل جسم تحت اسکن (میلی‌متر)	شدت باریکه در محل جسم تحت اسکن/ جریان ۱ میلی‌آمپر (تعداد فوتون/ سانتی‌متر مربع. ثانیه)
۱۵	۱۸٫۳	۱٫۶۳	۰٫۵	۷ × ۷	۳ × ۱۰ ^۶
			۱	۱۱٫۴ × ۱۱٫۴	۸٫۲۹ × ۱۰ ^۶
			۱٫۵	۱۳٫۶ × ۱۳٫۶	۱٫۲۴ × ۱۰ ^۷
			۲	۱۷ × ۱۷	۱٫۶۷ × ۱۰ ^۷
			۲٫۵	۱۹٫۸ × ۱۹٫۸	۲٫۰۹ × ۱۰ ^۷
۱۷	۲۰٫۶	۲٫۰۷	۱	۹٫۷ × ۹٫۷	۷٫۲۵ × ۱۰ ^۶
			۱٫۵	۱۲٫۸ × ۱۲٫۸	۱٫۰۸ × ۱۰ ^۷
			۲	۱۵ × ۱۵	۱٫۴۷ × ۱۰ ^۷
			۲٫۵	۱۷٫۶ × ۱۷٫۶	۱٫۸۴ × ۱۰ ^۷
			۳	۲۰ × ۲۰	۲٫۲۴ × ۱۰ ^۷
۲۰	۲۴	۲٫۸۱	۰٫۵	۵٫۲۸ × ۵٫۲۸	۲٫۴ × ۱۰ ^۶
			۱	۷٫۴ × ۷٫۴	۶٫۲ × ۱۰ ^۶
			۱٫۵	۱۰ × ۱۰	۹٫۲۸ × ۱۰ ^۶
			۲	۱۲٫۷ × ۱۲٫۷	۱٫۲۴ × ۱۰ ^۷
			۲٫۵	۱۵٫۲ × ۱۵٫۲	۱٫۵۷ × ۱۰ ^۷
۲۵	۲۹٫۸۵	۴٫۳۴	۱	۶ × ۶	۴٫۹۵ × ۱۰ ^۶
			۱٫۵	۷٫۷۶ × ۷٫۷۶	۷٫۵ × ۱۰ ^۶
			۲	۹٫۴۸ × ۹٫۴۸	۱٫۰۱ × ۱۰ ^۷
			۳	۱۱٫۲ × ۱۱٫۲	۱٫۲۴ × ۱۰ ^۷
			۳٫۵	۱۳٫۹ × ۱۳٫۹	۱٫۵۷ × ۱۰ ^۷
۳۰	۳۵٫۶	۶٫۱۸	۱	۴ × ۴	۴٫۱۵ × ۱۰ ^۶
			۱٫۵	۶ × ۶	۶٫۳ × ۱۰ ^۶
			۲	۷٫۲ × ۷٫۲	۸٫۳۴ × ۱۰ ^۶
			۲٫۵	۹٫۲ × ۹٫۲	۱٫۰۵ × ۱۰ ^۷
			۳	۱۱ × ۱۱	۱٫۲۴ × ۱۰ ^۷
۳۵	۴۱٫۴	۸٫۳۵	۱	۴ × ۴	۳٫۵۴ × ۱۰ ^۶
			۲	۶٫۲ × ۶٫۲	۷٫۱۶ × ۱۰ ^۶
			۳	۹ × ۹	۱٫۰۸ × ۱۰ ^۷
			۳٫۵	۱۱٫۲ × ۱۱٫۲	۱٫۲۴ × ۱۰ ^۷
			۴	۱۳٫۹ × ۱۳٫۹	۱٫۵۷ × ۱۰ ^۷
۴۰	۴۷	۱۰٫۷۶	۱	۴ × ۴	۳٫۱۱ × ۱۰ ^۶
			۲	۶٫۲ × ۶٫۲	۶٫۲۷ × ۱۰ ^۶
			۳	۹ × ۹	۹٫۵۵ × ۱۰ ^۶
			۳٫۵	۱۱٫۲ × ۱۱٫۲	۱٫۲۴ × ۱۰ ^۷
			۴	۱۳٫۹ × ۱۳٫۹	۱٫۵۷ × ۱۰ ^۷





شکل ۱۵. تأثیر گام جابه‌جایی افقی باریکه ایکس (معادل سرعت مختلف دوران دیسک دوار) بر تصویر جسم آزمون قدرت تفکیک.

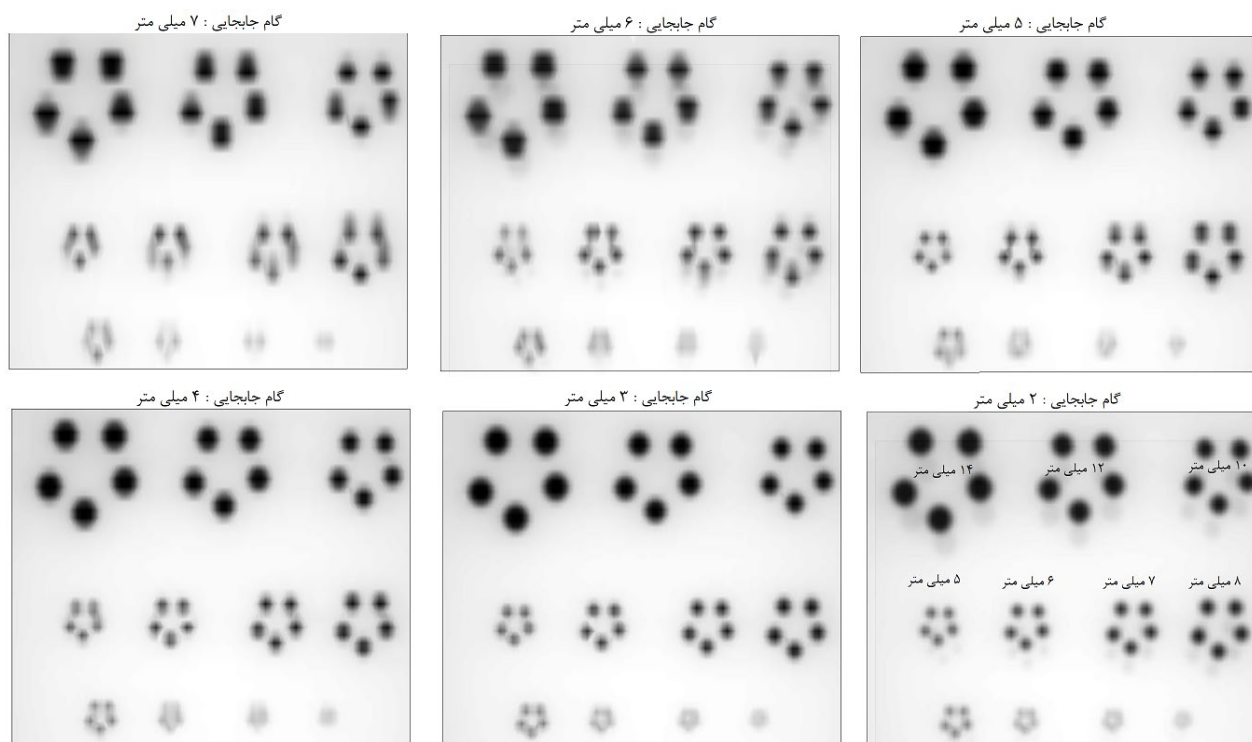
شبیه‌سازی، هر چه میزان سرعت نسبی حرکت عمودی آهسته‌تر باشد، سیستم دارای کیفیت تصویر بهتری خواهد بود، اما برای اجتناب از افزایش دز دریافتی جسم تحت اسکن، باید سرعتی انتخاب شود که سیستم طراحی شده حداقل‌های استاندارد بین‌المللی در کیفیت تصویر را برآورده کند. بنابر نتایج به‌دست آمده از شبیه‌سازی، اگر گام عمودی ۴ میلی‌متر انتخاب شود، جسم آزمون قدرت تفکیک با قطر ۶ میلی‌متر به خوبی قابل مشاهده است. لذا در ادامه شبیه‌سازی‌ها، گام جابه‌جایی افقی و عمودی باریکه در اسکن جسم آزمون کیفیت تصویر به ترتیب ۲/۵ میلی‌متر و ۴ میلی‌متر در نظر گرفته می‌شود.

۴.۳ تأثیر پارامترهای باریکه‌ساز و دیسک دوار بر کیفیت تصویر
برای انتخاب چیدمان بهینه باریکه‌ساز- دیسک دوار، نتایج تصویر شبیه‌سازی شده از اسکن آزمون قدرت تفکیک مکانی برای حالت‌های مختلف طول و درز باریکه‌ساز و عرض شکاف تعبیه شده بر روی دیسک دوار با یکدیگر مقایسه می‌شود. در این شبیه‌سازی‌ها براساس نتایج ارائه شده در جدول ۴ و محدودیت‌های مکانیکی موجود، طول‌های باریکه‌ساز کمتر از ۲۵ سانتی‌متری مورد بررسی قرار می‌گیرد. نتیجه حاصل از این شبیه‌سازی در شکل ۱۷، نشان داده شده است.

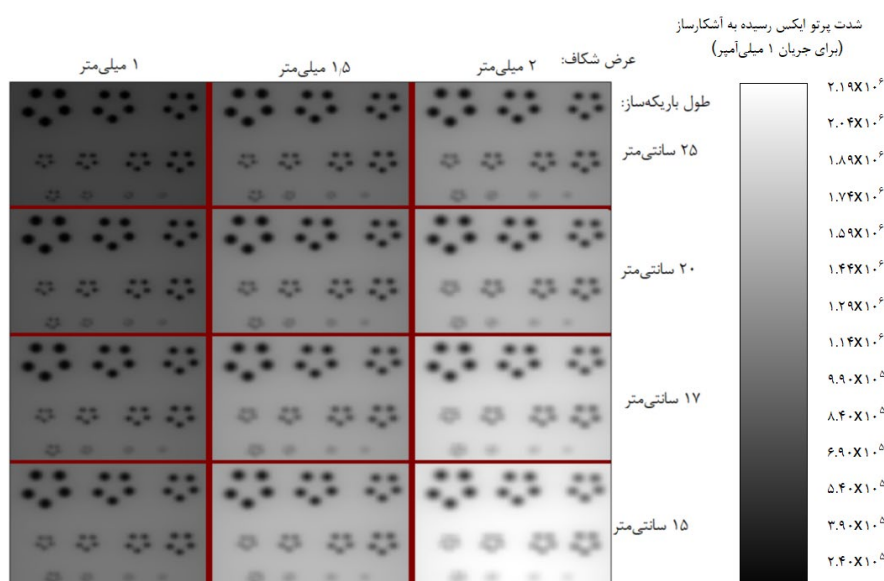
براساس نتایج حاصل از شبیه‌سازی، هرچه تعداد پیکسل‌ها در طول ۱۰۰ سانتی‌متر بیشتر باشد، کیفیت تصویر بهتر خواهد بود. اما براساس داده‌های ارائه شده در جدول ۱، تعداد پیکسل‌های بیشتر به معنی آن است که طول زمان داده‌برداری برای هر پیکسل کوتاه‌تر خواهد شد، بنابراین برای جبران کاهش شمارش در هر پیکسل باید جریان لامپ افزایش یابد که این امر منجر به افزایش دز دریافتی فرد تحت اسکن می‌شود. همچنین با افزایش سرعت دوران دیسک نیز، طول زمانی داده‌برداری برای هر پیکسل کوتاه‌تر خواهد شد، لذا سرعت دوران بیشتر از ۲۰۰۰ دور بر دقیقه مناسب نیست. با توجه به محدودیت‌های موجود در افزایش تعداد پیکسل‌ها، در صورتی‌که در عرض ۱۰۰ سانتی‌متر، ۴۰۰ پیکسل در نظر گرفته شود و در نتیجه هر پیکسل ۲/۵ میلی‌متر را پوشش دهد، در آزمون قدرت تفکیک شبیه‌سازی شده، گوی به قطر ۶ میلی‌متر به خوبی قابل مشاهده است و سیستم طراحی شده حداقل‌های قابل قبول استاندارد ANSI N۴۲.۴۷ را برآورده می‌کند.

بخش بعدی مورد بررسی در سرعت اسکن، مربوط به جابه‌جایی نسبی جسم و باریکه اشعه ایکس در هنگام اسکن است. تصویر شبیه‌سازی شده از اسکن جسم آزمون قدرت تفکیک برای گام‌های عمودی مختلف با استفاده از کد MCNPX۲.۶ در شکل ۱۶ نشان داده شده است. براساس نتایج





شکل ۱۶. نتایج شبیه سازی تأثیر گام جابه جایی عمودی بر کیفیت قدرت تفکیک تصویر جسم آزمون.



شکل ۱۷. تصویر شبیه سازی شده برای جسم آزمون قدرت تفکیک براساس مقادیر مختلف طول باریکه ساز و عرض های شکاف.

میلی متر در نظر گرفته شود، سیستم طراحی شده قادر به شناسایی فانتوم قدرت تفکیک به قطر ۶ میلی متر نخواهد بود. با توجه به آن که کوچک بودن ابعاد بخش مکانیک، مزیت مهمی است، لذا باریکه ساز به طول ۲۰ سانتی متر و دیسک با عرض شکاف ۱ میلی متر، چیدمان بهینه و مناسب برای سیستم تصویربرداری است.

با مقایسه نتایج حاصل از شبیه سازی اسکن جسم آزمون قدرت تفکیک مشاهده می شود، با افزایش طول باریکه ساز و کاهش عرض شکاف، قدرت تفکیک سیستم تصویربرداری بهتر می شود و سیستم طراحی شده با طول باریکه ساز ۲۵ سانتی متر و ۲۰ سانتی متر و عرض شکاف ۱ میلی متر فانتوم قدرت تفکیک به قطر ۶ میلی متر را به خوبی شناسایی می نماید. اگر طول باریکه ساز کمتر از ۲۰ سانتی متر باشد، حتی اگر عرض شکاف ۱

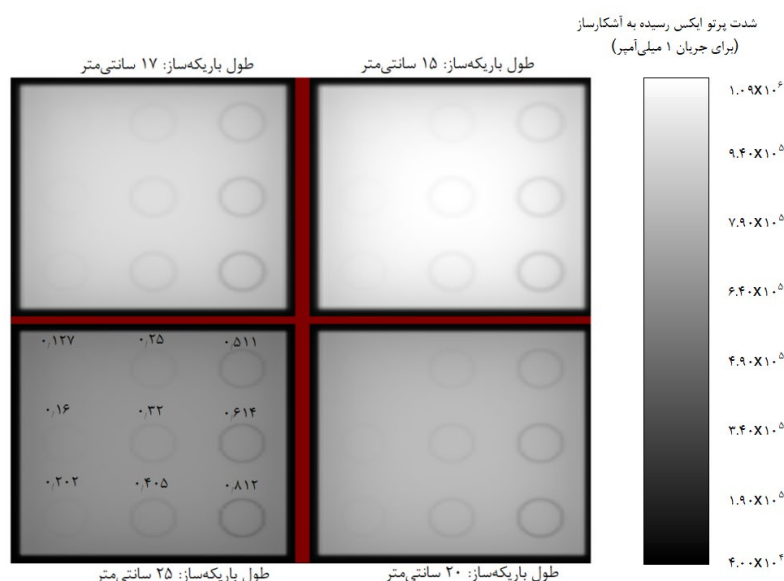


براساس نتایج شبیه‌سازی ارائه شده در شکل ۱۹، سیستم تصویربرداری شبیه‌سازی شده با طول‌های مختلف باریکه‌ساز قادر خواهد بود دیسک پلی‌اتیلنی به ضخامت ۳ میلی‌متر را بر روی فانتوم معادل بدن انسان در تطابق با استاندارد ANSI N42.47 شناسایی نماید. اما تصویر شبیه‌سازی شده از اسکن فانتوم شناسایی مواد بر روی بدن برای باریکه‌ساز با طول ۱۵ و ۱۷ سانتی‌متر کیفیت تصویر پایین‌تری دارد. با بررسی نتایج حاصل شبیه‌سازی مشاهده می‌شود که در آزمون شناسایی مواد بر روی بدن نیز، افزایش شدت باریکه پرتو ایکس خروجی از باریکه‌ساز باعث کاهش کیفیت تصویر می‌شود و جسم سبک قرار گرفته بر روی بدن به خوبی قابل مشاهده نمی‌باشد.

براساس نتایج شبیه‌سازی شده برای اسکن جسم آزمون شناسایی مواد در هوا که در شکل ۲۰ مشاهده می‌شود، حتی نازک‌ترین دندان‌ها شانه فلزی و شانه پلاستیکی در چیدمان با باریکه‌ساز به طول ۱۵ سانتی‌متر و ۱۷ سانتی‌متر به خوبی قابل مشاهده است. چیدمان تصویربرداری شبیه‌سازی با باریکه‌ساز به طول ۲۰ سانتی‌متر نیز قادر به شناسایی نازک‌ترین دندان‌ها شانه فلزی و دندان‌ها شانه پلاستیکی به ضخامت ۲ میلی‌متر می‌باشد. در صورتی‌که طول باریکه‌ساز ۲۵ سانتی‌متر انتخاب شود، سیستم تصویربرداری پس‌پراکنده قادر به شناسایی شانه پلاستیکی کمتر از ۳ میلی‌متر نخواهد بود و همچنین قابلیت شناسایی، هیچ یک از دندان‌های شانه فلزی نصب شده بر روی فانتوم بدن را ندارد و این عدم شناسایی، به دلیل کاهش شدت پرتو ایکس خروجی از باریکه‌ساز با طول ۲۵ سانتی‌متر با عرض شکاف ۱ میلی‌متر است که در جدول ۴ نیز دیده می‌شود.

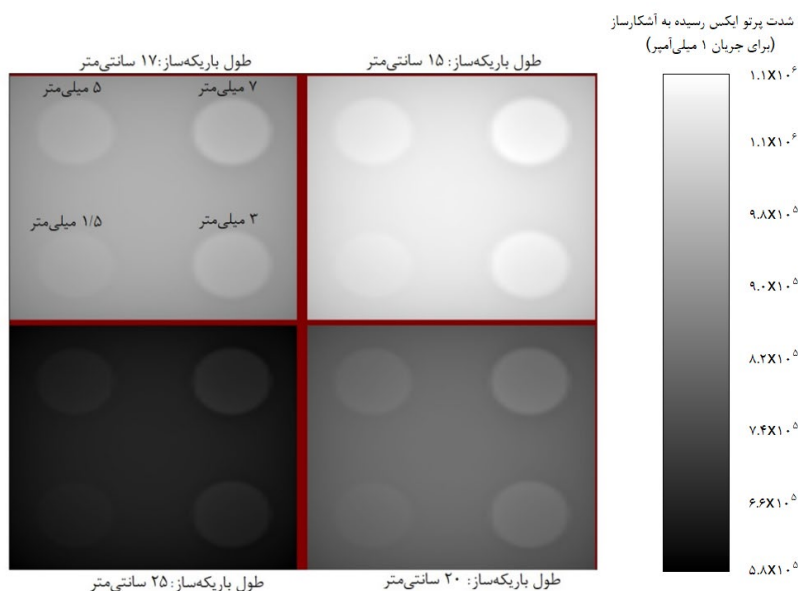
با مقایسه نتایج تصاویر شبیه‌سازی شده از اسکن جسم آزمون قدرت تفکیک و ابعاد باریکه ارائه شده در جدول ۴ براساس چیدمان مختلف باریکه‌ساز می‌توان نتیجه گرفت هرچه ابعاد باریکه کوچک‌تر باشد، سیستم تصویربرداری دارای قدرت تفکیک بهتری خواهد بود. برای اطمینان از بهینه‌بودن مشخصات انتخاب‌شده برای طراحی و ساخت باریکه‌ساز و دیسک دوار، آزمون‌های کیفیت تصویر شناسایی سیم، شناسایی مواد در هوا و شناسایی مواد بر روی بدن نیز شبیه‌سازی می‌شوند. این شبیه‌سازی‌ها برای باریکه‌سازهایی با طول ۱۵، ۱۷، ۲۰ و ۲۵ سانتی‌متر با دیسک با عرض شکاف ۱ میلی‌متر انجام می‌گیرد.

همان‌طور که در شکل ۱۸ مشاهده می‌شود نتایج تصویر شبیه‌سازی شده از اسکن جسم آزمون شناسایی سیم نشان می‌دهد که شدت پرتو ایکس رسیده به آشکارساز با کاهش طول باریکه‌ساز افزایش می‌یابد و باعث روشن‌تر شدن تصویر می‌شود. افزایش شدت پرتو ایکس بازگشتی از فانتوم بدن، مانع مشاهده سیم‌های مسی قرار گرفته بر روی فانتوم بدن می‌شود، لذا در آزمون شناسایی سیم، چیدمانی کیفیت تصویر بهتری دارد که شدت پرتو ایکس خروجی از باریکه‌ساز و دیسک دوار کمتر باشد. براساس نتایج حاصل از شبیه‌سازی، چیدمان باریکه‌ساز با طول ۲۰ و ۲۵ سانتی‌متر کیفیت تصویر بهتری برای جسم آزمون شناسایی سیم دارند و سیستم طراحی شده با شناسایی سیم مسی با قطر ۰/۴ میلی‌متر، حداقل‌های قابل قبول استاندارد ANSI N42.47 را برآورده می‌کند.



شکل ۱۸. تصویر شبیه‌سازی شده برای جسم آزمون شناسایی سیم براساس مقادیر مختلف طول باریکه‌ساز و عرض شکاف ۱ میلی‌متر.





شکل ۱۹. تصویر شبیه سازی شده برای جسم آزمون شناسایی مواد بر روی بدن براساس مقادیر مختلف طول باریکه سازه و عرض شکاف ۱ میلی متر.



شکل ۲۰. تصویر شبیه سازی شده برای جسم آزمون شناسایی مواد در هوا براساس مقادیر مختلف طول باریکه سازه و عرض شکاف ۱ میلی متر.

را داشته باشد. با مقایسه نتایج شبیه سازی اسکن اجسام آزمون های کیفیت تصویر می توان نتیجه گرفت برای آن که سیستم تصویربرداری پس پراکنده طراحی شده قادر باشد هر چهار آزمون قدرت تفکیک، شناسایی سیم، شناسایی مواد بر روی بدن و شناسایی مواد در هوا را با موفقیت پشت سر بگذارد باید طول باریکه سازه ۲۰ سانتی متر و درز باریکه سازه و عرض شکاف دیسک دوار ۱ میلی متر انتخاب شود.

در یک سیستم تصویربرداری پس پراکنده از بدن، برخلاف آزمون های شناسایی سیم و شناسایی مواد بر روی بدن، در آزمون شناسایی مواد در هوا باید شدت باریکه پرتو ایکس در محل جسم تحت اسکن بیشتر باشد تا جسم آزمون شناسایی مواد در هوا (مواد قرار گرفته در پهلوی بدن انسان) قابل شناسایی باشد. لذا طرحی از چیدمان باریکه سازه باید انتخاب شود که قابلیت پشت سر گذاشتن همه آزمون های کیفیت تصویر



۴. نتیجه‌گیری

همان‌طور که دیده شد، با استفاده از کد MCNPX۲.۶ می‌توان، طرح‌های مختلفی از دستگاه‌های تصویربرداری اشعه ایکس پس‌پراکنده را وابسته به نوع کاربرد شبیه‌سازی نمود و نتایج آن در زمینه میزان دز و کیفیت تصویر را پیش‌بینی کرد. این روش هزینه‌های ساخت دستگاه را به دلیل کاهش تعداد موارد آزمون، به شدت کاهش خواهد داد.

یکی از بخش‌های اصلی سامانه‌های تصویربرداری مبتنی بر اشعه ایکس پس‌پراکنده، بخش طراحی و آماده‌سازی باریکه مدادی‌شکل اشعه ایکس است. بهینه‌سازی پارامترهای این بخش مانند تعیین طول و درز باریکه‌ساز و جنس، ابعاد و عرض شکاف دیسک، تنها با شبیه‌سازی فرایند تصویرسازی از اجسام آزمون استاندارد امکان‌پذیر است. در این تحقیق براساس نتایج شبیه‌سازی‌های انجام شده، در صورتی که ماده به‌کار رفته در ساخت دیسک از آلایژ تنگستن-مس با ضخامت ۴ میلی‌متر باشد، دز نشتی در محل فرد تحت اسکن در حد زمینه خواهد بود. مقایسه نتایج شبیه‌سازی اسکن اجسام آزمون کیفیت تصویر در شکل‌های ۱۵ تا ۲۰ نشان می‌دهد در صورت انتخاب سرعت دوران دیسک برابر ۱۵۰۰ دور بر دقیقه، تعداد ۴۰۰ پیکسل برای هر خط اسکن افقی، طول باریکه‌ساز ۲۰ سانتی‌متر، عرض شکاف تعبیه شده بر روی دیسک ۱ میلی‌متر و درز باریکه‌ساز ۱ میلی‌متر، سیستم طراحی شده، هر چهار آزمون کیفیت تصویر تعیین شده توسط استاندارد ANSI N۴۲.۴۷ را با موفقیت پشت‌سر می‌گذارد.

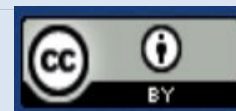
مراجع

- Smith S.W. X-ray Backscatter Detection System, U.S. Patent 5181234. 1991 May.
- Azimi M, Yahaghi E, Roshan M, Bayat E, Mirzapour M, Movafeghi A, Rokrok B. Contrast improvement of backscatter X-ray images by total variation method. *Journal of Nuclear Science and Technology*. 2023;103(2):121-129 [In Persian].
- An G, Park J, Seo H. Design optimization of backscatter X-ray security scanner based on pencil-beam scanning. *International Workshop on Radiation Imaging Detectors*. 2022. doi: <https://doi.org/10.1088/1748-0221/18/01/C01004>.
- Herr M.D, McInerney J.J, Lamser D.G. A Flying Spot X-ray System for Compton Backscatter Imaging. *IEEE Trans. Med. Imaging*. 1994;13(3):461-469. doi: 10.1109/42.310877.
- Sunwoo Y, Kwang H.K, Yun Y. Detection of Buried Landmine with X-ray Backscatter Technique. *Nuclear Instruments and Methods in Physics Research Section A*. 2006;568(1):388-392.
- Pelowitz D.B. Users' manual version of MCNPX2.6.0. LANL. LA-CP-07-1473. 2008.
- Shultis J.K, Faw R.E. An MCNP primer Dept. of Mechanical and Nuclear Engineering. *Kansas State University*. Copyright. 2004-2010.
- Briesmeister J.F. MCNP- A General Monte Carlo N-Particle Transport code Version4C. *Los Alamos National Laboratory Report, USA, LA-13709-M*. 2000.
- XRB160PN480/CT Monoblock *Industrial X-Ray-Generators*. <https://www.spellmanhv.com/en/high-voltage-power-supplies/XRB160PN480>.
- ANSI/HPS-N43.17 standard. Radiation Safety for Personnel Security Screening Systems Using X-Ray or Gamma Radiation. *American National Standards Institute*. 2009. <http://hps.org/hpscc/index.html>.
- ANSI N42.47. American National Standard for Measuring the Imaging Performance of X-ray and Gamma-ray Systems for Security Screening of Humans. *American National Standards Institute*. 2010.
- Etter D.M, Kuncicky D.C, Hull D.W. Introduction to MATLAB. *Prentice Hall*. 20002.

- Wrobel N, Kolkoori S, Zscherpel U. Innovative X-ray Backscatter Technique for Security Applications: Detection of Dangerous Materials. *11th European Conference on Non-Destructive Testing*. 2014.
- Arodzero A, Alreja V, Boucher S. X-ray Backscatter Security Inspection with Enhanced Depth of Effective Detection and Material Discrimination. *Nuclear Science Symposium and Medical Imaging Conference*. 2021. doi: 10.1109/NSS/MIC44867.2021.9875935.

COPYRIGHTS

©2021 The author(s). This is an open access article distributed under the terms of the Creative Commons Attribution (CC BY 4.0), which permits unrestricted use, distribution, and reproduction in any medium, as long as the original authors and source are cited. No permission is required from the authors or the publishers.



استناد به این مقاله

علی‌پور، زهرا، پهلوانی، محمدرضا. (۱۴۰۴)، شبیه‌سازی و طراحی باریکه‌ساز دیسکی برای سیستم تصویربرداری تمام بدن انسان با استفاده از اشعه ایکس پس‌پراکنده. *مجله علوم، مهندسی و فناوری هسته‌ای*، ۱۲(۲)، ۱۰۹-۱۲۲. DOI: <https://doi.org/10.24200/nst.2024.1592.2029>. Url: https://jonsat.nstri.ir/article_1673.html

