

پیش بینی پاسخ یک سیستم تصویربرداری ایکس پس پراکنده به آزمون‌های استاندارد کیفیت تصویر با استفاده از شبیه‌سازی MCNPX

علیپور، زهرا*^(۱) - بیات، اسمعیل^(۲) - روشن، محسن^(۳) - جمیلی، سعید^(۴)

۱- دانشگاه زنجان، دانشکده فیزیک، گروه هسته‌ای

۲- دانشگاه شهید بهشتی، دانشکده مهندسی هسته‌ای، گروه کاربرد پرتوها

۳- سازمان انرژی اتمی ایران، پژوهشگاه علوم و فنون هسته‌ای، پژوهشکده کاربرد پرتوها

۴- دانشکده شهید شمسی پور، گروه الکترونیک

چکیده:

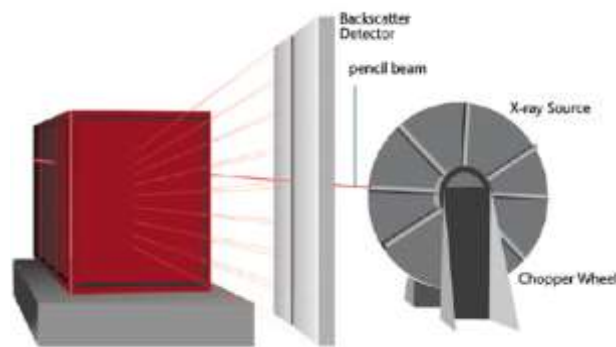
در این تحقیق آزمون‌های استاندارد کیفیت تصویر برای یک سیستم تصویربرداری ایکس پس پراکنده با طیف ایکس 225kV توسط کد MCNPX شبیه‌سازی شد. بر اساس نتایج بدست آمده از این تحقیق، خروجی آزمون‌ها قابل محاسبه و پیش‌بینی بوده و در نتیجه انجام آزمایش‌های تجربی، که الزامی می‌باشد، در تعداد کمتر و هزینه بسیار پایتتر مقدور می‌گردد.

کلمات کلیدی: (تصویربرداری ایکس پس پراکنده، فانتوم استاندارد، کنتراست، MCNPX)

مقدمه:

سیستم‌های بازرسی مبتنی بر اشعه ایکس بنا به نوع استفاده از پرتو ایکس به سه دسته پس پراکنده، عبوری و سیستم‌های ترکیبی پس پراکنده- عبوری تقسیم می‌شوند. هر یک از این سیستم‌ها مزایای و معایب خاص خود را دارند [۱]. تصویربرداری پرتوهای پس پراکنده قابلیت بازرسی و ویژگی‌های کاربردی منحصر به فردی دارد؛ بطور مثال، در تصویربرداری پس پراکنده منبع ایکس و آشکارساز در یک طرف شی مورد نظر مستقر می‌شوند. این امر می‌تواند امکان بازرسی در موقعیت‌هایی را به کاربر دهد که برای سیستم‌های ایکس عبوری بسیار دشوار یا حتی غیرممکن است [۲]. پیاده‌سازی سیستم تصویربرداری ایکس پس پراکنده در دو روش تسهیم زمانی و تسهیم فضایی انجام می‌شود که روش تسهیم زمانی (استفاده از باریکه مدادی شکل پرتو) رایج‌تر بوده و در بیشتر سیستم‌ها بکار می‌رود [۳]. در شکل ۱، نمایی از این سیستم دیده می‌شود. برای تعیین کیفیت تصویر سیستم‌های تصویربرداری ایکس پس پراکنده، مطابق استانداردهای بین‌المللی، بایستی چهار آزمون ذیل توسط اندازه‌گیری انجام شود [۴، ۵]:

آزمون قدرت تفکیک: هدف از این آزمون اندازه‌گیری حداقل تفکیک بین ویژگی‌های یک جسم آزمون است. جسم آزمون دارای سه شکاف است و قدرت تفکیک مکانی در زمانی که هر سه شکاف به طور کامل در تصویر قابل مشاهده باشند، تعیین می‌شود.



شکل ۱. نمایی از یک سیستم تصویربرداری مبتنی بر ایکس پس پراکنده

آزمون عمق نفوذ: هدف از این آزمون اندازه‌گیری بیشینه ضخامت از فولاد است که بتوان جهت‌گیری جسم آزمون معینی را در تصویر اشعه ایکس تعیین کرد.

آزمون شناسایی سیم: هدف این آزمون، تعیین کوچکترین قطر سیمی است که قابل مشاهده در تصویر اشعه ایکس باشد.

آزمون کنتراست: سیستم‌های تصویربرداری ایکس پس پراکنده در آزمون کنتراست با دو چالش متفاوت مواجه می‌شوند که به توانایی سیستم برای ارائه یک تفاوت محسوس در روشنایی بین مناطق مجاور بستگی دارد:

کنتراست لایه‌ای^۱ که شبیه به مفهوم کنتراست در تصویربرداری عبوری است. کنتراست لایه‌ای به صورت توانایی شناسایی یک ورق نازک از مواد آلی در حضور یک ورق بسیار ضخیم‌تر از همان مواد تعریف شده است. از آنجا که پس پراکنندگی، یک تکنولوژی تصویربرداری نزدیک به سطح است، ورق نازک بایستی بین چشمه پرتو ایکس و ورق بسیار ضخیم‌تر از مواد قرار گیرد.

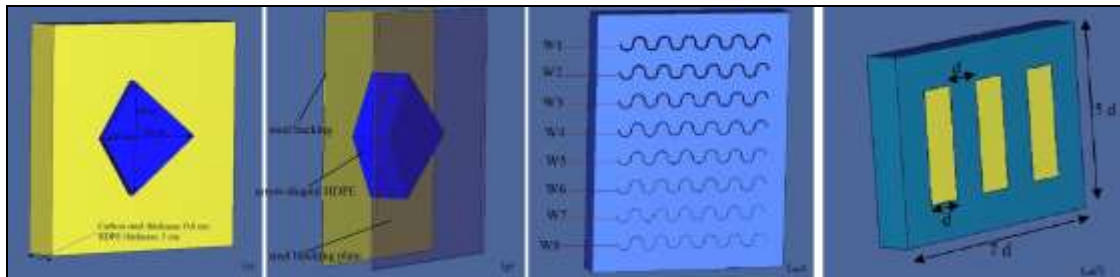
کنتراست ایزوله^۲ که یک اندازه‌گیری از توانایی تشخیص یک ورق نازک جدا شده است. کنتراست ایزوله به صورت توانایی شناسایی یک ورق نازک از مواد آلی در غیاب پراکنندگی از مواد دیگر تعریف شده است. این معیار از حساسیت کنتراست به صورت ضخامت موادی که می‌تواند شناسایی گردد، مشخص شده است. با توجه به هزینه بالای ساخت اجسام آزمون و نیز زمانبر بودن انجام تجربی هر یک از تست‌ها، این تحقیق جهت بررسی امکان تعیین پارامترهای تصویر توسط شبیه‌سازی اجسام آزمون شکل گرفت.

¹ layer contrast

² isolation contrast

روش کار :

برای هر آزمون، فانتوم مورد نیاز بر اساس استانداردهای بین‌المللی طراحی شد. جسم آزمون برای قدرت تفکیک مکانی، یک صفحه پلی اتیلن با چگالی $0.05 \pm 0.95 \text{ g/cm}^3$ ، با سه شکاف دارای عرض، فاصله بین شکاف و ضخامت d و ارتفاع $5d$ می‌باشد. جسم آزمون برای عمق نفوذ، یک قطعه پلی اتیلن به شکل لوزی نامتقارن، طول قطرها 30 سانتی‌متر و ضخامت 10 سانتی‌متر است. در آزمون شناسایی سیم، هشت رشته سیم سینوسی شکل با قطرهای $0.12 \text{ mm} - 3.6 \text{ mm}$ از جنس مس، با طول کافی برای شش تناوب با دامنه حدود 2.5 cm در نظر گرفته شد. از یک صفحه پلی اتیلنی با ضخامت 5 cm به عنوان نگهدارنده استفاده شده و سیم‌های مسی بر روی آن قرار گرفت. جسم آزمون برای تعیین کنتراست لایه‌ای، لوزی‌های مشابه با آزمون نفوذ بوده اما ضخامت آنها 0.75 mm ، 1.5 mm ، 3 mm و 6 mm می‌باشد. این صفحات بطور جداگانه بر روی یک صفحه پلی اتیلنی با ابعاد $10 \times 60 \times 60 \text{ cm}$ پیوست می‌شوند. تفاوت جسم آزمون برای تعیین کنتراست ایزوله با کنتراست لایه‌ای، جنس و ضخامت صفحه پشتی^۱ می‌باشد که یک ورق فولادی به ابعاد $0.6 \text{ cm} \times 60 \text{ cm} \times 60 \text{ cm}$ است. برای شبیه‌سازی فانتوم‌ها و فرآیند تصویربرداری به روش ایکس پس پراکنده از کد مونت کارلو MCNPX 2.6 استفاده شد. اجسام آزمون شبیه‌سازی شده در کد MCNPX در شکل ۲ آورده شده‌اند.



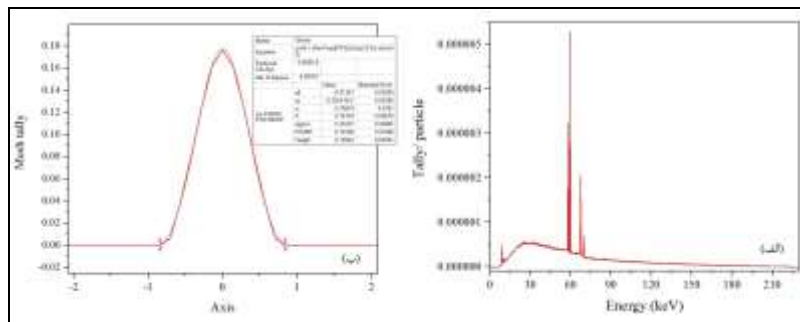
شکل ۲. هندسه شبیه‌سازی شده توسط MCNPX برای آزمون الف) قدرت تفکیک. ب) شناسایی سیم ج) عمق نفوذ د) کنتراست در گام نخست باید طیف انرژی پرتو ایکس و توزیع مکانی شدت باریکه (پروفایل باریکه) پس از خروج از کالیبراتورها تعیین شود. طیف پرتو ایکس سیستم تصویربرداری مورد نظر، حاصل از بمباران الکترونی تنگستن با انرژی 225 keV می‌باشد و این طیف از یک کالیبراتور سربی به طول 40 cm و قطر دهانه خروجی 0.25 cm عبور می‌کند. اجسام در فاصله 150 cm از خروجی باریکه ایکس فرض شده‌اند، بنابراین توزیع مکانی و طیف انرژی باریکه ایکس پس از طی این فاصله شبیه‌سازی شد و با استفاده از نتایج آن، مشخصات باریکه ایکس در لحظه برخورد با جسم تعیین گردید. برای هریک از اجسام آزمون، باریکه ایکس یک خط از جسم را بطور عمودی اسکن کرده، سپس جسم با گام تعیین شده‌ای (مانند 3 mm یا 5 mm یا

¹ Backing

7mm) جابجا شده و خط بعدی جسم اسکن می گردد و این روال تا اسکن کامل جسم ادامه می یابد. دو آشکارساز صفحه‌ای بزرگ با استفاده از تالی F1 تعداد پرتوهای پس پراکنده شده در هر نقطه را ثبت می کنند. با توجه به تعداد بسیار بالای نقاط، برای سهولت محاسبات، اجرای کد MCNP در برنامه‌ای تحت نرم افزار متلب صورت گرفت و با تعریف حلقه‌های IF-END اجرای برنامه برای تمام نقاط به طور خودکار انجام شد. خروجی تالی F1، بدست آمده برای نقاط مختلف سطح فانتوم با استفاده از یک برنامه به زبان C# به ماتریس تبدیل گردید. تهیه تصویر از این ماتریس توسط نرم افزار Origin-Lab انجام شد.

نتایج :

در شکل ۳ الف، طیف انرژی ایکس شبیه‌سازی شده حاصل از بمباران الکترونی تنگستن پس از عبور از کالیماتور سربی بطول 40cm و در فاصله 1.5m مشاهده می شود. توزیع مکانی این طیف نشان می دهد که باریکه دارای توزیع گاوسی با پهنای نیم بیشینه (FWHM) 7 mm می باشد (شکل ۲ ب).



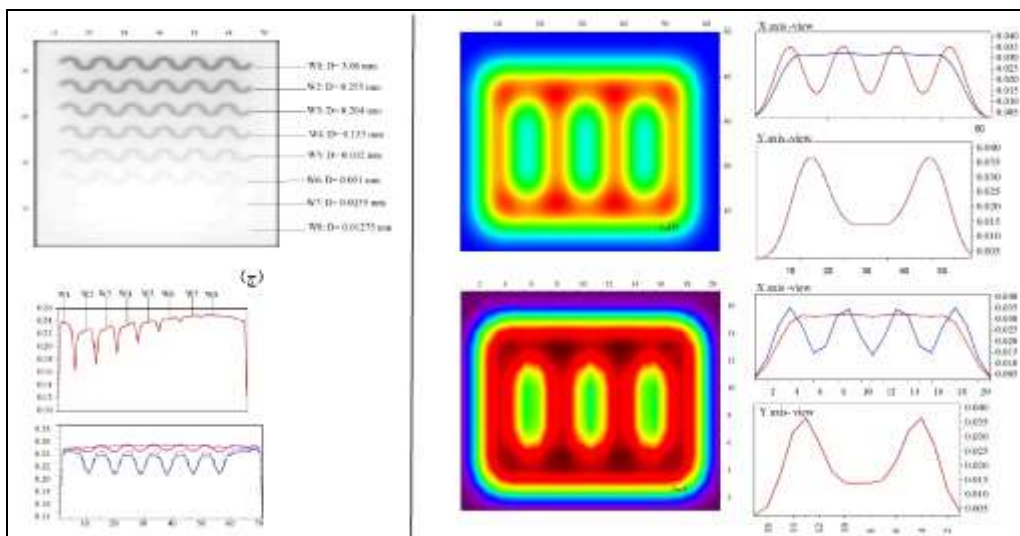
شکل ۳. الف) توزیع انرژی طیف خروجی پرتو ایکس ب) توزیع مکانی طیف خروجی پرتو ایکس

۱- آزمون قدرت تفکیک:

در شکل ۳، تصویر حاصل از شبیه‌سازی فانتوم با گام‌های 1 mm و 3 mm مشاهده می شود.

۲- آزمون شناسایی سیم:

فانتوم شناسایی سیم با گام‌های 3mm، 5 mm و 7mm اسکن شد. در شکل ۴ ج، تصویر شبیه‌سازی شده توسط MCNPX حاصل از ایکس پس پراکنده برای فانتوم شناسایی سیم مشاهده می شود.

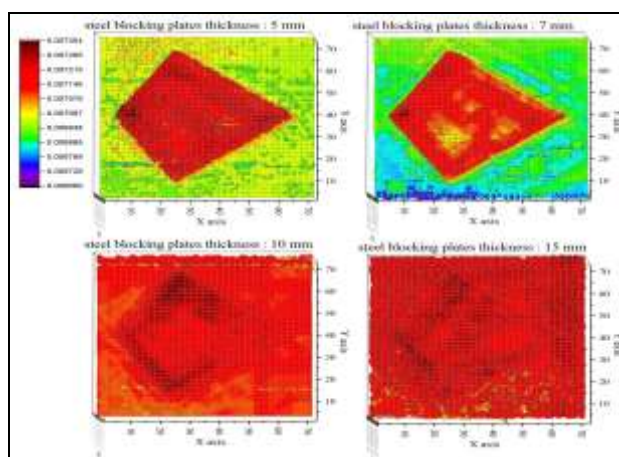


شکل ۴. تصویر شبیه‌سازی شده توسط MCNPX از فانتوم قدرت تفکیک الف) با گام‌های 1 mm ب) با گام‌های 3 mm.

ج) تصویر شبیه‌سازی شده توسط MCNPX از فانتوم شناسایی سیم با گام‌های 5 mm

۳-آزمون عمق نفوذ:

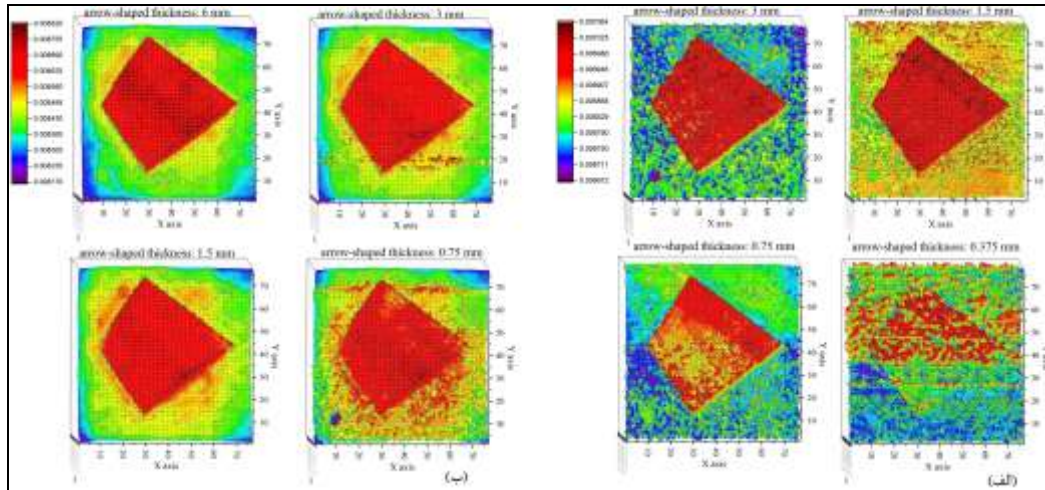
هندسه شبیه‌سازی شده یک جسم پیکانی شکل پلیمری که بر روی یک ورقه ضخیم استیل-کربن نصب شده و روی آن یک ورقه استیل نازک قرار گرفته، در شکل ۳-ج، مشاهده می‌شود. برای شبیه‌سازی آزمون عمق نفوذ، تصویر حاصل از جسم پیکانی شکل با ضخامت 10cm در پشت ورق‌های فولادی با ضخامت‌های مختلف بدست آمد. شبیه‌سازی‌ها برای گام‌های 3mm، 5mm و 7mm انجام شد. در شکل ۵، تصویر حاصل از قرار گیری جسم آزمون پیکانی پشت ورق‌های استیل-کربن با ضخامت‌های 5 mm، 7 mm، 10 mm و 15 mm که با گام 5 mm اسکن شده است، مشاهده می‌شود.



شکل ۵. تصاویر شبیه‌سازی شده توسط MCNPX از فانتوم عمق نفوذ با گام‌های 5 mm

۴- آزمون کنتراست:

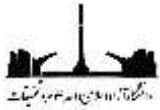
در شکل ۶.الف، تصاویر حاصل از اسکن پیکان‌های پلی اتیلنی با ضخامت‌های مختلف قرار گرفته بر روی فولاد مشاهده می‌شود. تصاویر حاصل از اسکن پیکان‌ها با ضخامت‌های مختلف قرار گرفته بر روی صفحه پلی اتیلن در شکل ۶.ب، مشاهده می‌شود.



شکل ۲. تصاویر شبیه‌سازی شده توسط MCNPX (الف) از فانتوم کنتراست ایزوله (ب) از فانتوم کنتراست لایه‌ای

بحث و نتیجه گیری :

همانطور که در شکل ۴ مشاهده می‌شود برای مشخصه قدرت تفکیک، گام‌های اسکن مهم می‌باشد، برای فانتوم تفکیک با $d=7\text{ mm}$ اسکن با گام‌های کمتر از 3mm تصویر خوبی از فانتوم ارائه می‌کند درحالی که برای فانتوم با $d=5\text{mm}$ ، گام 1mm مورد نیاز است. در آزمون‌های دیگر با گام‌های 5mm هم تصویر قابل قبول بدست می‌آید و نیازی به گام‌های کوچکتر نخواهد بود. گام‌های بزرگتر از FWHM باریکه ایکس (7mm) باعث می‌شود بخش‌هایی از جسم در حال اسکن تصویربرداری نشود. در آزمون شناسایی سیم، سیستم شبیه‌سازی شده، سیم‌های با قطر بیشتر از 0.051 cm را به خوبی شناسایی می‌کند. در آزمون عمق نفوذ، سیستم شبیه‌سازی شده با حضور صفحه‌های مسدود کننده استیل با ضخامت کمتر از 10mm، قادر خواهد بود جسم پشت آن را شناسایی کند. در سیستم‌های تجاری تصویربرداری ایکس پس‌پراکنده 225kV، عمق نفوذ 6-10mm گزارش شده است. با توجه به شکل ۶.الف، باریک‌ترین پیکان قابل شناسایی در آزمون کنتراست ایزوله دارای ضخامت 0.75mm می‌باشد. بر اساس نتایج بدست آمده از شبیه‌سازی آزمون کنتراست لایه‌ای، باریک‌ترین پیکان قابل شناسایی در حضور ورق بسیار ضخیم تر پلی اتیلنی، 1.5mm است.



مراجع :

1. Wells, K., and D. A. Bradley. "A review of X-ray explosives detection techniques for checked baggage." Applied Radiation and Isotopes 70, no. 8, pp:1729-1746, (2012)
2. Lalleman, A.S., et. al "A dual X-ray backscatter system for detecting explosives: Image and discrimination of a suspicious content." In Nuclear Science Symposium and Medical Imaging Conference (NSS/MIC), 2011 IEEE, pp. 299-304. IEEE, 2011.
3. Alex Chalmers, Louis W. Perich, X-Ray Backscatter Detection Imaging Modules, United States Patent, No.: Us7505556, American Science And Engineering, Mar. 17, 2009.
4. American National Standards Institute. American National Standard for Determination of the Imaging Performance of X-Ray and Gamma-Ray Systems for Cargo and Vehicle Security Screening (ANSI N42.46-2008). New York, NY 10016-5997, USA.
5. American National Standards Institute. American National Standard for Measuring the Imaging Performance of X-Ray and Gamma-Ray Systems for Security Screening of Humans (ANSI N42.47-2010). New York, NY 10016-5997, USA.