



بیست و یکمین کنفرانس هسته‌ای ایران

۶ و ۷ اسفند ماه ۱۳۹۳ دانشگاه اصفهان

تصویربرداری از یک نمونه استاندارد به منظور اعتبار سنجی کد MCNPX2.7 جهت بررسی

سیستم های بازرسی اشعه ایکس

حامد عبدالله نژاد^۱، ناصر وثوقی^۱، حسین جعفری^۲، سید محمد هاشمی نژاد^۲

^۱دانشگاه صنعتی شریف، دانشکده مهندسی انرژی

^۲دانشگاه صنعتی امیرکبیر، دانشکده مهندسی انرژی و فیزیک

چکیده:

به منظور اعتبار سنجی کد MCNPX2.7، ابتدا از یک نمونه استاندارد به صورت تجربی تصویربرداری اشعه ایکس صورت گرفت شد. سپس همین پیکربندی با استفاده از تالی رادیوگرافی کد MCNPX2.7 مدل سازی و شبیه سازی گردید. اطلاعات خروجی شبیه سازی با استفاده از برنامه پردازش تصویر نوشته شده در نرم افزار Matlab، به تصویر تبدیل شد. در گام بعد نتایج شبیه سازی با تجربی به دو روش بصری و عددی مقایسه شدند. مقایسه این نتایج منجر به دست یابی به تطابق و سازگاری بسیار خوبی بین نتایج شبیه سازی و تجربی گردید. سپس به بررسی و امکان سنجی تصویر برداری با کد MCNPX2.7 برای تشخیص مواد غیر مجاز در محموله های با حجم بزرگ، با مدل سازی طرحی به ابعاد $2m \times 2m$ حاوی مواد غیرمجاز بررسی شد.

واژه‌های کلیدی: سیستم های بازرسی با اشعه ایکس، تالی رادیوگرافی، MCNPX2.7

۱- مقدمه

استفاده از سیستم های تصویربرداری با اشعه ایکس علاوه بر کاربردهای پزشکی و صنعتی، در زمینه های مختلف امنیتی مانند شناسایی مواد مخدر در سطح دنیا در حال گسترش می باشد. یکی از مراحل مهم قبل از ساخت یک سیستم تصویربرداری اشعه ایکس، جهت کاهش هزینه ها و صرفه جویی در وقت، طراحی مفهومی آن براساس شبیه سازی ها می باشد. به همین دلیل شبیه سازی یک سیستم رادیوگرافی کامل برای کاربردهای صنعتی بسیار ضروری است [1] تا [4]. کد محاسبات هسته ای MCNPX یک روش قدرتمند برای تراورد ذرات الکترون، گاما، و نوترون در سه بعد و در مواد مختلف می باشد. از این کد در زمینه های مختلف استفاده های گوناگونی شده است [5]، [6]. با اصلاحاتی که در نسخه MCNPX صورت گرفته است، امکان تصویربرداری با چشمه های فوتون و نوترون نیز فراهم شده است [7]. در این مقاله تلاش می شود توسط این کد، به بررسی عملکرد یک



بیست و یکمین کنفرانس هشتای ایران

۶ و ۷ اسفند ماه ۱۳۹۳ دانشگاه اصفهان

سیستم تصویربرداری اشعه ایکس جهت اسکن نمودن محموله های بزرگ مانند کانتینر ها که احتمال جابجا نمودن مواد مخدر و مواد قاچاق را دارند، پرداخته شود. به منظور اعتبار سنجی نتایج شبیه سازی، ابتدا به روش تجربی از یک قطعه استاندارد، تصویربرداری اشعه ایکس انجام می شود. سپس همین قطعه در کد MCNPX مدل سازی شده و با استفاده از تالی رادیوگرافی موجود در این کد، ماتریس تصویر حاصل از شبیه سازی آن بدست می آید. اطلاعات خروجی شبیه سازی با استفاده از یک برنامه پردازش تصویر نوشته شده در نرم افزار Matlab به تصویر تبدیل می گردد. در نهایت، نتایج تجربی و شبیه سازی به دو روش ماتریسی و تصویری مقایسه می شوند تا صحت نتایج شبیه سازی و سازگار بودن نتایج این نتایج با واقعیت، مورد تایید قرار گیرد. در گام آخر؛ توسط کد MCNPX2.7، به تصویربرداری از هندسه ای با ابعاد بزرگ که حاوی مواد غیرمجاز می باشد، پرداخته شده و نتایج آن مورد بررسی قرار می گیرند.

۲- مدل سازی نمونه استاندارد

پیش از امکان سنجی شبیه سازی تصویر برداری با MCNPX2.7 برای تشخیص مواد غیر مجاز در محموله های با حجم بزرگ، نیاز به اعتبار سنجی کد با نتایج تجربی برای نمونه استاندارد می باشد. بدین منظور از یک نمونه استاندارد مطابق شکل ۱ استفاده می شود. می توان ابعاد این نمونه که از لایه های مختلف آلومینویم، استیل و پلی کربنات تشکیل شده است را در این شکل مشاهده نمود. پله ای سمت چپ این نمونه استاندارد از یک زیر لایه از جنس استیل و از چند طبقه صفحات پلی کربنات تشکیل شده است. در پله ای میانی، یک زیر لایه آلومینیومی و تعدادی صفحات طبقه بندی شده ی پلی کربناتکار گذاشته شده است، و در نهایت، پله سمت راست تنها از طبقات پلی کربناتتشکیل شده است.

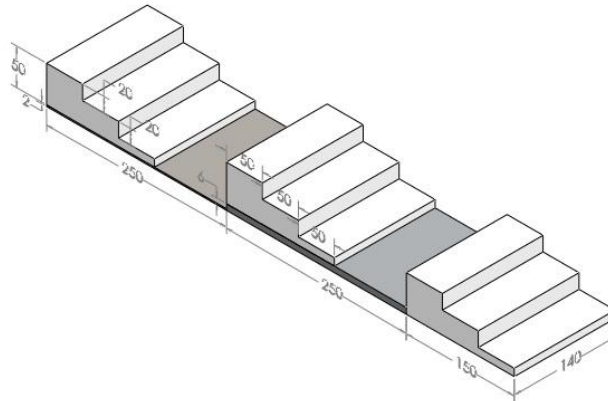
لامپ اشعه ایکس مورد استفاده در این آزمایش، بر روی انرژی ۱۴۰ keV و جریان ۱.۲ mA تنظیم می باشد. ماده هدف این لامپ تنگستن و دارای زاویه ۲۰ درجه است. فیلتر ذاتی بریلیومی و فایبر گلس آن نیز به ترتیب دارای ضخامت های ۰.۸ mm و ۱.۵ mm می باشند. آشکارسازهای بکار گرفته شده در این سیستم تصویربرداری دارای چینش خطی بوده که از بردهای فوتودیود جفت شده با کریستال های سوسوزن GOS ($Gd_2O_2S: Tb$) تشکیل شده اند. با توجه به ناحیه فعال آشکارسازها، ابعاد هر پیکسل 2.5×2.5 می باشد. با حرکت نمونه استاندارد از روی آشکارسازها اطلاعات به سیستم کامپیوتری منتقل می شود. هر آشکارساز با توجه به سرعت جسم پالس خود را به سمت برد



بیست و یکمین کنفرانس هسته‌ای ایران

۶ و ۷ اسفند ماه ۱۳۹۳ دانشگاه اصفهان

داده بردار ارسال کرده و ماتریس تصویر جسم بدست می آید. همین پیکربندی به صورت دقیق در کد MCNPX2.7 مدل‌سازی شده و با استفاده از تالی رادیوگرافی و طیف شبیه سازی شده‌ی لامپ در این کد، تصویر حاصل از شبیه سازی نیز حاصل گردید.



شکل ۱ مدل استاندارد جهت تصویربرداری تجربی، ساخته شده از استیل، آلومینیوم و پلی کربنات.

تالی رادیوگرافی کد MCNPX مبتنی بر تکنیک آشکارسازهای نقطه‌ای است. صفحه‌ای که تصویر روی آن ایجاد می شود، شبکه‌ای از آشکارسازهاست که کنار هم چیده شده‌اند. خروجی کد، ماتریسی به ابعاد آشکارسازها است. هر آشکارساز با ذخیره تعداد ذرات دریافت کرده، یک پیکسل از تصویر را نشان می دهد. نکته مهم در استفاده از تالی‌های رادیوگرافی این است که این تالی‌ها فقط برای ذرات غیر باردار (فوتون و نوترون) قابل استفاده‌اند. سه نوع تالی رادیوگرافی وجود دارد: TIR، PI، و TIC. با توجه به اینکه تالی TIR صفحه‌ی مشبندی شده‌ای همانند فیلم عکسبرداری در سیستم‌های تصویربرداری اشعه ایکس ایجاد می کند، از این تالی جهت تصویربرداری از نمونه استاندارد طراحی شده استفاده می شود.

۲-۱- پردازش ماتریس اطلاعات و تصویر

جهت پردازش ماتریس و تبدیل آن به تصویر در آزمایش تجربی، از نرم افزار ویژه‌ای که برای این سیستم تصویربرداری نوشته شده است، استفاده می شود. ماتریس تولید شده توسط MCNPX، با استفاده از برنامه‌ای که در نرم افزار Matlab نوشته شد، به تصویر تبدیل شد. در این برنامه برای تولید تصاویر با کیفیت مطلوب، با استفاده از روش‌های پردازش تصویر بهترین کنتراست ایجاد شد. جهت ایجاد، بهبود کیفیت و افزایش کنتراست تصویر از دستورات `imadjust`، `histeq`، `mat2gray` استفاده گردید.



بیست و یکمین کنفرانس هسته‌ای ایران

۶ و ۷ اسفند ماه ۱۳۹۳ دانشگاه اصفهان

۲-۲- مقایسه نتایج تجربی و شبیه سازی

برای مقایسه نتایج شبیه سازی با نتایج حاصل از انجام آزمایش دو راه پیش رو است: تبدیل داده های خروجی به تصویر و مقایسه آن دو تصویر با یکدیگر، یا تبدیل تصویر حاصل از رادیوگرافی به ماتریسی از اعداد و مقایسه این دو ماتریس با یکدیگر. در مرحله نخست، نتایج حاصل از تجربه و شبیه سازی، از منظر بصری و بر اساس تصویر حاصل از هر کدام از مراحل کار، با یکدیگر در معرض مقایسه قرار گرفتند. تصاویر حاصل از نمونه استاندارد، به روش تجربی و شبیه سازی، به ترتیب در شکل های ۲-۲- الف و ۲-ب نشان داده شده اند. با توجه به این تصاویر، بخش هایی از تصویر که لایه استیل در آن وجود دارد (قسمت چپ تصاویر) به دلیل جذب فوتون ها توسط استیل، تیره تر دیده می شوند. بخش هایی از تصاویر که فقط از پلی اتیلن تشکیل شده اند و دارای چگالی پایین تری هستند (قسمت راست تصاویر)، روشن تر دیده می شوند. همانطور که از مقایسه این تصاویر مشاهده می شود مطابقت بسیار خوبی بین نتایج شبیه سازی با نتایج تجربی وجود دارد.

در مرحله دوم، مقایسه نتایج شبیه سازی با نتایج تجربی، به روش مقایسه ماتریس های آنها پرداخته می شود. در این روش مقادیر یکی از سطرهای ماتریس حاصل از شبیه سازی، با مقادیر یکی از سطرهای ماتریس حاصل از نتایج تجربی، مقایسه می شوند که می توان این مقایسه را در شکل ۳ مشاهده نمود. با توجه به این شکل مطابقت خوبی بین نتایج تجربی و شبیه سازی وجود دارد. تفاوت های کوچکی بین نتایج تجربی و شبیه سازی دیده می شود. این تفاوت می تواند نشأت گرفته از سه عامل، وجود نویز های الکترونیکی در نتایج تجربی، وجود ناخالصی در لایه های مختلف نمونه استاندارد و خطا در اندازه گیری دقیق ضخامت آنها باشد. همانطور که مشاهده می شود بیشترین اختلاف عددی در قسمت میانی نمودار است که مربوط به حضور استیل می باشد. باید توجه داشت که استیل دارای ضریب تضعیف بسیار بزرگتری نسبت به پلی کربنات می باشد، بنابراین حضور لایه-ی بسیار نازکی از آن می تواند تضعیف زیادی در پرتورا منجر گردد، لذا مهمترین دلیل در وجود اختلاف در نمودارها، خطای موجود در ابزار اندازه گیری است. با توجه به بررسی های نتایج شبیه سازی و تجربی، مشاهده می شود که تطابق بسیار خوبی بین نتایج شبیه سازی با نتایج تجربی وجود دارد؛ بنابراین در ادامه به بررسی تصویربرداری از یک هندسه بزرگ پرداخته می شود.

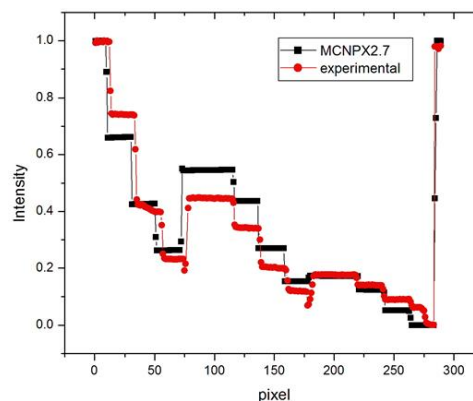


(الف)



(ب)

شکل ۲ الف: تصویر تجربی نمونه استاندارد؛ ب: تصویر حاصل از شبیه‌سازی نمونه استاندارد.



شکل ۳ نمودار مقایسه عددی نتایج حاصل از تصویر برداری از نمونه استاندارد دپرو و شبیه‌سازی یو تجربی.

۳- تصویربرداری از هندسه‌ای با ابعاد بزرگ

در سیستم‌های تصویربرداری اشعه ایکس جهت شناسایی مواد تهدید کننده، اعداد اتمی و چگالی مواد را به گروه‌های مختلفی تقسیم بندی کرده و به هر کدام از آنها، یک سطح خاصی از تیرگی و روشنی را نسبت می‌دهند. اساسا مواد را به دو دسته‌ی معدنی و آلی دسته بندی می‌کنند. مواد آلی را می‌توان موادی با عدد اتمی کمتر

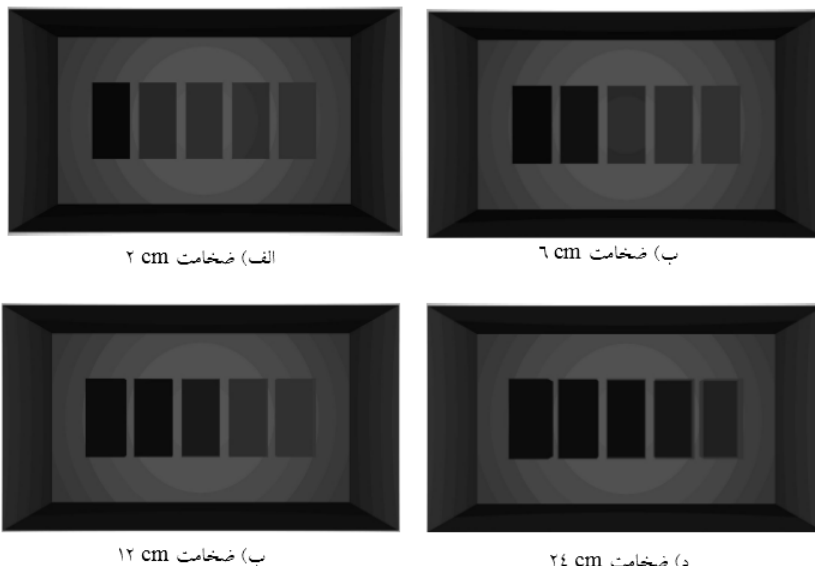
از ۸ دانست؛ اما مواد با عدد اتمی در بازه ۱۰-۸ جزء مواد نسبتا معدنی، و مواد با با عدد اتمی ۱۰-۱۲ جزء مواد معدنی با نسبت بیشتر شناخته می‌شوند. دسته‌ی دیگری از مواد که تقریبا در همین گروه مواد معدنی قرار می‌گیرند، فلزات می‌باشند که شامل فلزات نیمه سنگین و فلزات سنگین می‌باشند. لذا فلزات در تصاویر رادیوگرافی، بسته به ضخامتشان می‌توانند صاحب تیرگی بسیار بیشتری باشند؛ اما در مقابل، مواد آلی باید دارای روشنی خاصی در تصویر باشند. لذا چنانچه بتوان در تصویربرداری از اشیاء بزرگ، بر حسب عدد اتمی و چگالی آنها به سطح خاکستری متناسب با آن اشیاء دست یافت، می‌توان از تکنیک اشعه ایکس در تصویربرداری استفاده کرد. لذا، کانتینری با ابعاد $100 \times 100 \times 180 \text{ cm}^3$ را که دارای پنج جعبه با ابعاد یکسان $20 \times 20 \times 40 \text{ cm}^3$ بوده و هر کدام حاوی موادی با اعداد اتمی مختلف از پنج گروه هستند، مدلسازی گردید. جعبه‌ها با توجه به افزایش



بیست و یکمین کنفرانس هسته‌ای ایران

۶ و ۷ اسفند ماه ۱۳۹۳ دانشگاه اصفهان

چگالی و عدد اتمی قرار گرفته اند و به ترتیب از راست به چپ حاوی چوب، الکل، شیشه، سیلیکون و طلا هستند. با تغییر ضخامت جعبه ها امکان تفکیک و شناسایی مواد از همدیگر بررسی شدند. می توان نتایج تغییر ضخامت را در شکل ۴ مشاهده نمود. مشخص شد که با تغییر ضخامت این جعبه ها، می توان در تصویر رادیوگرافی، به راحتی تفکیک و تمایز بسیار خوبی بین مواد با اعداد اتمی مختلف ایجاد کرد و آنها را مورد بررسی قرار داد.



شکل ۴ تصاویر ایجاد شده از جعبه‌های مختلف با تغییر ضخامت آنها از ۲ cm تا ۲۴ cm.

۴- نتیجه گیری

تصویربرداری با اشعه ایکس از یک نمونه استاندارد به صورت تجربی و شبیه سازی با کد MCNPX2.7 صورت گرفت شد. نتایج شبیه سازی با تجربی به دو روش بصری و عددی مقایسه شدند. این نتایج مطابقت خوبی را نشان دادند. سپس امکان سنجی تصویر برداری با کد MCNPX2.7 برای تشخیص مواد غیر مجاز در محموله های بزرگ انجام شد. این شبیه سازی نشان داد که برای تشخیص مواد با اعداد اتمی مختلف می توان از نتایج این کد استفاده کرد.

مراجع

- [1] Aakenes, U.R., 1995. Radioactivity monitored from moored oceanographic buoys. Chem. Ecol. 10, 61–69.
- [2] Wedekind, Ch., Schilling, G., Grutmuller, M., Becker, K., 1999. Gamma-radiation monitoring network at sea. Appl. Radiat. Isot. 50, 733–741.
- [3] Tsabaris, C., Ballas, D., 2005. On line gamma-ray spectrometry at open sea. Appl. Radiat. Isot. 62, 83–89.



بیست و یکمین کنفرانس هسته‌ای ایران

۶ و ۷ اسفند ماه ۱۳۹۳ دانشگاه اصفهان

- [4] Osvath, I., Povinec, P.P., Livingston, H.D., Ryan, T.P., Muslow, S., Commanducci, J.-F., 2005. Monitoring of radioactivity in NW Irish Sea water using a stationary underwater gamma-ray spectrometer with satellite data transmission. *J. Radioanal. Nucl. Chem.* 263, 437–440.
- [5] Maucec, M., de Meijer, R.J., Rigollet, C., Hendricks, P.H.G.M., Jones, D.G., 2004. Detection of radioactive particles offshore by g- ray spectrometry part I: Monte Carlo assessment of detection of depth limits. *Nucl. Instrum. Methods Phys. Res. A* 525, 593–609.
- [6] van Put, P., Debauche, A., De Lellis, C., Adam, V., 2004. Performance level of an autonomous system of continuous monitoring of radioactivity in seawater. *J. Environ. Radioact.* 72, 177–186.
- [7] C. Tsabaris, An autonomous in situ detection system for radioactivity measurements . *Appl. Radiat. Isot.* 66, 1419–1426 ,2008.
- detection and measurement, Third edition, 1999.