



# بست و یکمین کنفرانس هشتای ایران

۷ و ۶ اسفند ماه ۱۳۹۳ دانشگاه اصفهان

## سیستم تشخیص مواد آلی از سایر مواد بر اساس پس پراکندگی ایکس

سپیده سادات عظیمی<sup>(۱)</sup>، فائزه رحمانی<sup>(۲)</sup>، وحید دوست محمدی<sup>(۳)</sup>، اسماعیل بیات<sup>(۳)</sup>

<sup>(۱)</sup> دانشگاه شهید بهشتی، دانشکده مهندسی هسته‌ای، گروه کاربرد پرتوها

<sup>(۲)</sup> دانشکده فیزیک، دانشگاه صنعتی خواجه نصیرالدین طوسی

<sup>(۳)</sup> سازمان انرژی اتمی، پژوهشکده علوم و فنون هسته‌ای

### چکیده:

روش تصویربرداری پس پراکندگی، مبتنی بر پرتوهای ایکس پس پراکنده شده از جسم می‌باشد. قرارگیری مولد پرتوزا و سیستم آشکارسازی در یک سمت جسم مورد نظر و نیز قابلیت تشخیص مواد سبک از مواد سنگین از مزایای این سیستم محسوب می‌شود. به دلیل اینکه اغلب مواد منفجره، مخدر و مشروبات الکلی دارای ترکیبات با وزن مولکولی سبک هستند، با استفاده از این روش، می‌توان این مواد را به خوبی تشخیص داد. برای این منظور با شبیه سازی با کد GATE7 و MCNPX2.6 بازه انرژی مناسب برای تفکیک مواد سبک از سنگین تعیین شده است. بر اساس نتایج این تحقیق، بکارگیری ایکس با دو انرژی  $70\text{ keV}$  و  $40\text{ keV}$  به طور همزمان، قابلیت تفکیک مواد سبک از سنگین را فراهم می‌سازد.

**کلمات کلیدی:** پرتو ایکس، پس پراکندگی، تشخیص مواد سبک و سنگین، GATE 7, MCNPX2.6

### مقدمه

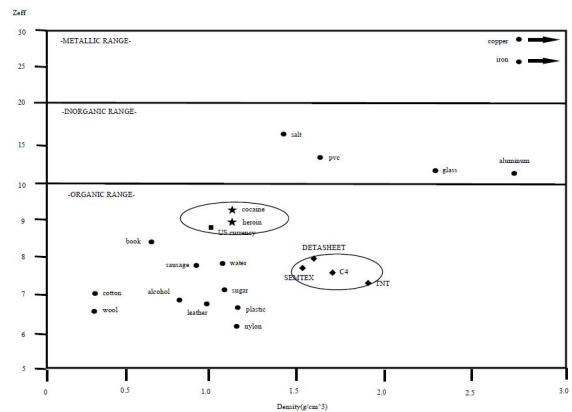
همه سیستم‌های مبتنی بر پرتو ایکس، تصاویری مبتنی بر پرتو X عبوری و یا پس پراکنده (بازگشتی) تولید می‌کنند که این تصاویر اطلاعاتی از عدد اتمی و چگالی ماده ارائه می‌کنند. سیستم‌های پرتو ایکس، اغلب برای بازرسی انسان، چمدان، بسته‌های پستی و اجسام نسبتاً کوچک مورد استفاده قرار می‌گیرد. بر خلاف بسیاری از روش‌های عبوری، در روش‌های پس پراکندگی چشمه و آشکارساز در یک طرف شیء مورد نظر مستقر می‌شوند، لذا دسترسی به یک طرف شیء برای بازرسی کافی است. این امر بازرسی موقعیت‌هایی را که برای سیستم‌های ایکس عبوری بسیار دشوار یا حتی غیرممکن است، ممکن می‌سازد. **Error! Unknown switch argument.** و **i**. اصولاً مواد رایج حمل شده در چمدان‌ها و بسته بندی‌ها مطابق نقشه‌ای که محور عمودی آن عدد اتمی مؤثر و محور افقی آن بر حسب چگالی می‌باشد، دسته بندی می‌شوند (شکل ۱). روش‌های تابش ایکس هم به چگالی کل ماده و هم به عدد اتمی مؤثر ماده حساس می‌باشد **i**. سطح مقطع هر سه اندرکنش مهم ایکس با ماده به عبارتی پراکندگی کامپتون، فوتوالکتریک، پراکندگی هم‌دوس، حداقل تابعی از انرژی فوتون و عدد اتمی ماده



## بیست و یکمین کنفرانس هسته‌ای ایران

۶ و ۷ اسفند ماه ۱۳۹۳ دانشگاه اصفهان

است [i i v]. مواد با عدد اتمی بالا در محدوده وسیعی از انرژیها، سطح مقطع جذب فوتوالکتریک بزرگ دارند؛ لذا فوتونها پس از برخورد با ماده مورد نظر، فیلتر شده و با احتمال کمی پراکنده می شوند. مواد با عدد اتمی پایین نظیر مواد آلی، سطح مقطع فوتوالکتریک بسیار کم دارند و بیشتر طیف پراکندگی کامپتون، پراکنده می شوند [v]. بر همین اساس مواد آلی در اثر پراکندگی، سیگنال های قوی تری در آشکارساز ایجاد خواهند کرد که از این پارامتر در سیستم های پس پراکندگی ایکس جهت آشکارسازی و شناسایی مواد با Z پایین استفاده می کنند [vi]. در این تحقیق با استفاده از شبیه سازی با کد Gate 7 انرژی های مختلف پرتو ایکس برای تشخیص مواد آلی از مواد غیر آلی و فلزی بررسی شده است و با استفاده از نتیجه بدست آمده تصویربرداری انجام شده است.



شکل ۱ عدد اتمی مؤثر و چگالی مواد مختلف [ii]

### روش کار

برای محاسبات در ابتدا از کد GATE 7 استفاده شد که دلیل استفاده از آن، بررسی شمارش اندرکنش های مختلف به صورت مجزا در نمونه می باشد. چیدمان کلی آزمایش شبیه سازی شده مطابق شکل ۲ می باشد.



شکل (۲) نمونه (۲) چشمه (۳) آشکارساز پس پراکندگی

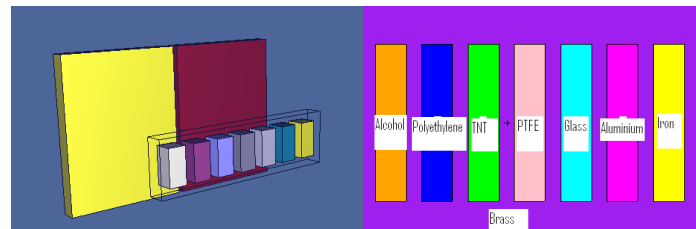
فوتون های تولید شده از لامپ اشعه ایکس به صورت چشمه نقطه ای و باریکه ای جهت دار به نمونه که در فاصله ۱۰ سانتی متری از آن قرار گرفته، تابانده شد. آشکارساز در طرف چشمه و در فاصله ۱۰



## بیست و یکمین کنفرانس هشتای ایران

۶ و ۷ اسفند ماه ۱۳۹۳ دانشگاه اصفهان

سانتی متری آن قرار دارد. هدف از این کار بررسی میزان اندرکنش فوتوالکتریک و پرتو ایکس بازگشتی از مواد مختلف به ازای انرژی‌های مختلف می‌باشد. در این تحقیق، تأثیر انرژی پرتو ایکس تابشی در تصویر ایجاد شده از موادی چون آهن، آلومینیوم، شیشه، PTFE، پلی اتیلن، TNT، الکل با شبیه‌سازی با کد MCNPX2.6 بررسی شد (شکل ۴). در میان مواد مطرح شده در شکل ۱، آهن از فلزات، آلومینیوم و شیشه از ناحیه میانی مواد غیر آلی و PTFE، پلی اتیلن، TNT و الکل از مواد آلی انتخاب شده‌اند. هدف از این کار بررسی امکان تفکیک این سه دسته ماده از یکدیگر با استفاده از پرتو ایکس بازگشتی و نیز تعیین بهترین انرژی ایکس می‌باشد. پرتو ایکس به مواد مورد نظر تابانده شده و پرتوهای ایکس بازگشتی در آشکارساز پشت چشمه، ثبت می‌گردند. مواد بکار برده شده به صورت نوارهایی به پهنا و ضخامت ۱ cm می‌باشند. با تابش خط به خط به صورت عمودی و جابجایی افقی جسم، کل نمونه اسکن و فوتون‌های پس‌پراکنده شده از هر پیکسل جسم در آشکارساز جمع آوری و شمارش شده‌اند. ترتیب قرارگیری مواد در شکل ۳ نشان داده شده است.



شکل ۳ هندسه‌ی شبیه‌سازی با MCNPX2.6

### نتایج

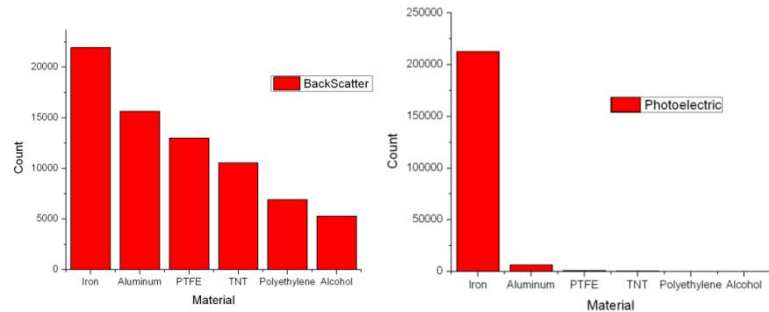
همانطور که بیان شد، با استفاده از کد Gate 7 و نیز هندسه شکل ۲، میزان اندرکنش فوتوالکتریک در ماده و میزان پرتو ایکس بازگشتی در آشکارساز به ازای مواد مختلف ثبت گردید. در شکل‌های ۵-۸ تعداد اندرکنش فوتوالکتریک در ماده و نیز فوتون‌های پس‌پراکنده شده به سوی آشکارساز برای مواد گوناگون در انرژی‌های مختلف نشان داده شده است. مشاهده می‌شود با افزایش عدد اتمی، تعداد اندرکنش‌های فوتوالکتریک و پس‌پراکنده‌گی زیاد می‌شود. همانطور که در شکل‌های ۵ و ۶ دیده می‌شود، با افزایش انرژی، در مواد با عدد اتمی بالا، فوتوالکتریک و پس‌پراکنده‌گی بیشتری تولید می‌شود. همچنین در شکل ۷ و ۸ مشخص است که در انرژی‌های کمتر از ۱۰۰ keV عناصر با عدد اتمی بالا نظیر آهن و آلومینیوم جذب فوتوالکتریک بیشتری دارند و تعداد فوتون پس‌پراکنده کمترین نسبت به مواد با عدد اتمی پایین‌تر دارند. بنابراین به ازای انرژی‌های کمتر از ۱۰۰ keV مواد فلزی



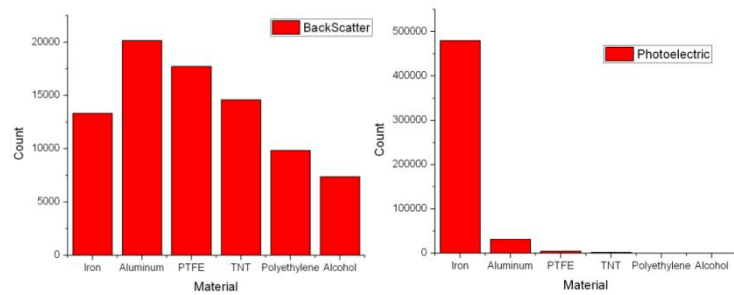
# بیست و یکمین کنفرانس هسته ای ایران

۶ و ۷ اسفند ماه ۱۳۹۳ دانشگاه اصفهان

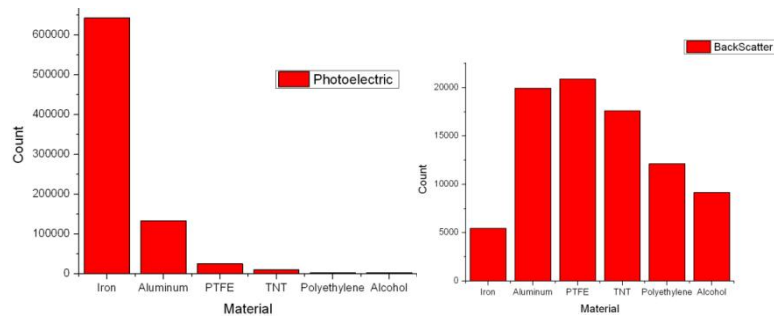
مانند آهن، کاملاً از سایر مواد از جمله مواد منفجره، الکل، پلی اتیلن، آلومینیوم و PTFE مشخص و قابل تفکیک می باشند.



شکل ۴ میزان اندرکنش فوتواکتریک و پس پراکندگی پرتو ایکس از مواد مختلف به ضخامت ۱ سانتی متری به ازای پرتو ایکس فرودی ۲۲۰ keV



شکل ۵ میزان اندرکنش فوتواکتریک و پس پراکندگی پرتو ایکس از مواد مختلف به ضخامت ۱ سانتی متری به ازای پرتو ایکس فرودی ۱۲۰ keV

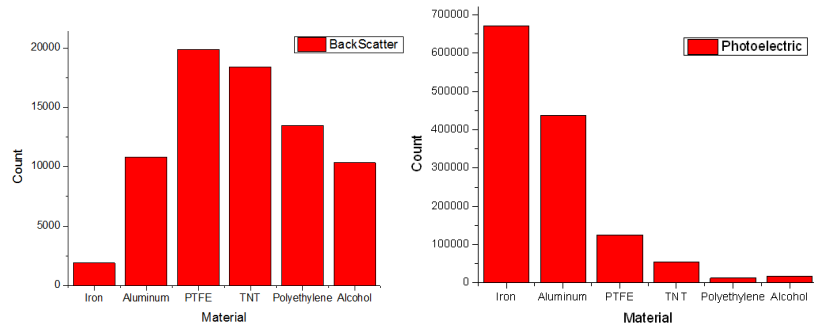


شکل ۶ میزان اندرکنش فوتواکتریک و پس پراکندگی پرتو ایکس از مواد مختلف به ضخامت ۱ سانتی متری به ازای پرتو ایکس فرودی ۷۰ keV



# بیست و یکمین کنفرانس هسته ای ایران

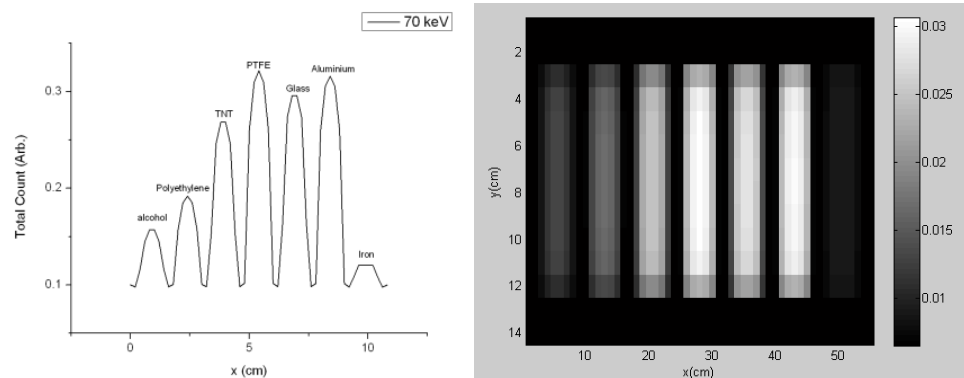
۶ و ۷ اسفند ماه ۱۳۹۳ دانشگاه اصفهان



شکل ۷ میزان اندرکنش فوتوکتتریک و پس پراکندگی پرتو ایکس از مواد مختلف به ضخامت ۱ سانتی متری به ازای پرتو ایکس فرودی ۴۰ keV

با توجه به شکل های ۷-۸ مشخص است که به ازای کاهش انرژی پرتو ایکس از ۷۰ keV به ۴۰ keV میزان پرتو ایکس بازگشتی از آلومینیوم کاهش یافته است. این به دلیل جذب بیشتر پرتوهای ایکس بازگشتی در آلومینیوم در انرژی پایین تر می باشد.

تصاویر حاصل از شبیه سازی MCNPX2.6 نیز در شکل های ۹-۱۰ نشان داده شده است. در شکل ۸ (سمت راست) تصویر نوارها به ازای پرتو ایکس با انرژی ۷۰ keV و در شکل ۸ (سمت چپ) میزان پرتو ایکس بازگشتی از هر ماده نشان داده شده است. همانطور که دیده می شود، تصویر آهن بسیار کم رنگ ظاهر شده است و نوار مربوط به آلومینیوم و PTFE دارای رنگ مشابه هم می باشند.

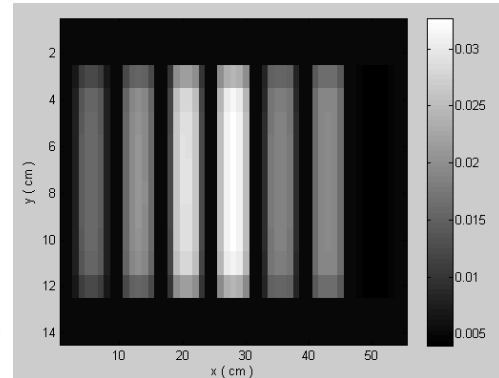
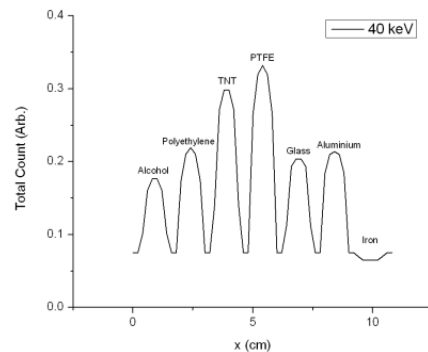


شکل ۸ تصویر حاصل از نوارهای مواد مختلف با ازای انرژی پرتو ایکس تابشی ۷۰ keV



# بیست و یکمین کنفرانس هشتای ایران

۶ و ۷ اسفند ماه ۱۳۹۳ دانشگاه اصفهان



شکل ۹ تصویر حاصل از نوارهای مواد مختلف با ازای انرژی پرتو ایکس تابشی ۴۰ keV

در **Error! Unknown switch argument.** (سمت راست)، تصویر نوارها با ازای پرتو ایکس تابشی ۴۰ keV و در **Error! Unknown switch argument.** (سمت چپ)، میزان پرتو ایکس بازگشتی از هر ماده در نمودار نشان داده شده است. از مقایسه تصاویر نوارها در شکل ۹ و ۱۰ مشخص است که تصویر ناحیه آهن (نوار سمت راست تصویرها) مربوط به انرژی ۴۰ keV نسبت به تصویر انرژی ۷۰ keV دارای وضوح کمتری می باشد که علت آن کاهش پرتو ایکس بازگشتی از آهن و ثبت شده در آشکارساز در این انرژی به دلیل کاهش قدرت نفوذ پرتوهای کم انرژی تر به عمق ماده و از طرفی اتلاف بیشتر در حین پس پراکندگی از عمق ماده به سمت آشکارساز می باشد. همچنین تصویر مربوط به نوارهای آلومینیوم و شیشه نیز در انرژی ۴۰ keV نسبت به تصویر حاصل از ۷۰ keV از شدت کمتری برخوردار است. با مقایسه تصویر حاصل از این دو انرژی به طور همزمان می توان مواد مربوط به سه بخش را که در **Error! Unknown switch argument.** مطرح شد، از یکدیگر تمیز داد. علاوه بر این مواد سبک فلزی و آلی را نیز مشخص کرد.

## بحث و نتیجه گیری

برتری استفاده از سیستم تصویر برداری ایکس بازگشتی، امکان تصویربرداری از مواد سبک (در مقایسه با روش ایکس عبوری) و نیز قرارگیری مولد پرتوزا و آشکارساز در یک سمت ماده می باشد. در سیستم تصویربرداری ایکس بازگشتی، با تغییر انرژی پرتو ایکس تابیده، میزان اندرکنش پس پراکندگی و نیز جذب پرتوهای بازگشتی در ماده تغییر می یابد. لذا با کاهش انرژی ایکس مولد، انرژی پرتو ایکس بازگشتی نیز کاهش یافته که این امر خود منجر به جذب بیشتر پرتو پس پراکنده در مواد سنگین تر می گردد. در نتیجه در تصویر مواد سنگین، شدت پرتوهای پس پراکنده کمتر



# بیست و یکمین کنفرانس هسته‌ای ایران

۶ و ۷ اسفند ماه ۱۳۹۳، دانشگاه اصفهان

می‌شود. بر اساس نتایج، جهت تفکیک موادی نظیر آلومینیوم به عنوان مواد فلزی از مواد سبک آلیمی‌توان از دو انرژی به طور همزمان بهره گرفت و با مقایسه تصویر آنها، نوع مواد سبک را نیز تشخیص داد. در ادامه این تحقیق از الگوریتم‌های پردازش تصویر و شناسایی الگو استفاده خواهد شد. انتظار می‌رود با بکارگیری این روش‌ها، شناسایی این مواد از یکدیگر بهتر صورت گیرد.

مراجع:

[<sup>i</sup>]. Richard W. Conners, Chair, A. Lynn Abbott, Peter M. Athandsdeveloping An Automated Explosives Detection Prototype Based On TheAs&E 101zz System, Thesis Submitted To The Faculty Of The Virginia Polytechnic Institute And State University.

[<sup>ii</sup>]. Eilbert, Richard F., and Kristoph D. Krug. "Aspects of image recognition in Vivid Technologies' dual-energy x-ray system for explosives detection." Applications in Optical Science and Engineering. International Society for Optics and Photonics, 1993.

[<sup>iii</sup>]. H Hirayama "Photon interaction and cross section ,Kek International 2000

[<sup>iv</sup>]. G.F. Knoll, Radiation Detection and Measurement - 4rd edition (Chapters 16 to 18), John Wiley & Sons, 2010.

[<sup>v</sup>]. James R. Connolly, "The Interaction of X-rays with Matter and Radiation Safety" 2012

[<sup>vi</sup>]. Anne-Sophie Lalleman, Gilles Ferrand, "A Dual X-Ray Backscatter System for Detecting Explosives Image and Discrimination of a Suspicious Content" IEEE Nuclear Science Symposium Conference Record, 2011.