

Performance Evaluation of Backscatter Imaging System with Scintillator Detector and Pencil X-ray in Real Environment Conditions

Mojtaba Askari¹  | Ali Taheri¹ | Hojjat Mahani¹ | AmirMohammad Beigzadeh¹ | Mohsen Mehrabi¹

1. Radiation Applications Research Institute, Nuclear Science and Technology Research Institute, Tehran, Iran, Email: moasgari@aeoi.org.ir

ABSTRACT

Article Information:

Research Article

Received 03 Nov. 2024

Revised 12 Feb. 2025

Accepted 30 May 2025

Keywords:

Backscatter Imaging,
Pencil Beam,
X ray Beam,
Chopper wheel.

X-ray backscattering imaging has garnered significant attention worldwide due to its diverse industrial applications, including non-destructive testing, security inspection, and quality control. In this study, a backscattering imaging system utilizing a pencil X-ray beam was designed and fabricated. The system comprises an industrial X-ray generator, two plastic detectors, a rotating chopper wheel, a data acquisition unit, data processing software, and MATLAB-based image reconstruction. The chopper wheel modulates the X-ray beam, enabling it to scan the entire sample. To assess the system's performance, a series of experiments were conducted using full and partially filled oil and paint cans. The results demonstrate that backscattering imaging is particularly effective for low-density and low atomic number materials, such as adhesives, paints, and oils, producing high-quality images. Additionally, combining data from both detectors and applying a low-pass filter significantly enhances image quality. One of the key advantages of backscattering imaging systems is their capability to scan materials with low atomic numbers—including adhesives, paints, petroleum-derived fluids, plastics, polymers, explosives, and even aluminum—a finding corroborated by this study. The results highlight the device's potential for a broad range of industrial applications. Future work will focus on implementing a spatial division method for signal processing and comparing its performance with the time division algorithm used in this study. Additionally, the authors plan to extend the imaging experiments to other lightweight materials.

Cite this article: Askari, M., Taheri, A., Mahani, H. Beigzadeh, A. M. & Mehrabi, M. (2024). Performance Evaluation of Backscatter Imaging System with Scintillator Detector and Pencil X-ray in Real Environment Conditions. *Journal of Nondestructive Testing Technology*, 4 (1), 25-37.



© The Author(s).

DOI: <http://doi.org/10.30494/jndt.2025.486640.1155>

Publisher: Iranian Society for Nondestructive Testing

ارزیابی عملکرد دستگاه تصویربرداری پس‌پراکنشی با آشکارساز سوسوزن و پرتو ایکس مدادی در شرایط محیط واقعی

مجتبی عسکری[✉] | ، علی طاهری^۱ | ، حجت اله ماهانی^۱ | ، امیرمحمد بیگزاده^۱ | ، محسن محرابی^۱

۱. پژوهشکده کاربرد پرتوها، پژوهشگاه علوم و فنون هسته‌ای، تهران، ایران، رایانامه: moasgari@aeoi.org.ir

چکیده:

تصویربرداری پس‌پراکنشی مبتنی بر پرتو ایکس در سال‌های اخیر توجه بسیاری را در سراسر جهان به خود جلب کرده و کاربردهای گسترده‌ای در حوزه‌های مختلف صنعتی، از جمله آزمون‌های غیرمخرب، بازرسی امنیتی و کنترل کیفیت، یافته است. در این پژوهش، یک دستگاه تصویربرداری پس‌پراکنشی با استفاده از باریکه پرتو ایکس مدادی طراحی و ساخته شد. این سامانه شامل یک مولد صنعتی پرتو ایکس، دو آشکارساز پلاستیکی، یک چرخ برشگر دوار، سیستم جمع‌آوری داده، نرم‌افزار پردازش داده و سامانه تشکیل تصویر مبتنی بر MATLAB است. چرخ برشگر دوار پرتوهای ایکس مدادی را ایجاد کرده و امکان جاروب کامل نمونه را فراهم می‌کند. برای ارزیابی عملکرد این سیستم، مجموعه‌ای از آزمایش‌ها با استفاده از قوطی‌های روغن و رنگ (در حالت‌های پر و نیمه‌پر) انجام شد. نتایج نشان داد که تصویربرداری پس‌پراکنشی در شناسایی مواد با عدد اتمی و چگالی پایین، از جمله چسب‌ها، رنگ‌ها و روغن‌ها، کارایی بالایی داشته و قادر به تولید تصاویر با کیفیت بالا است. همچنین، ترکیب داده‌های هر دو آشکارساز و به‌کارگیری فیلتر پایین‌گذر روی تصاویر، به‌طور محسوسه‌ای کیفیت تصاویر پس‌پراکنشی را بهبود می‌بخشد. از مهم‌ترین مزایای دستگاه‌های تصویربرداری پس‌پراکنشی، توانایی اسکن مواد با عدد اتمی پایین، نظیر چسب‌ها، رنگ‌ها، سیالات مشتق‌شده از نفت، پلاستیک‌ها، پلیمرها، مواد منفجره و حتی آلومینیوم است، که نتایج این پژوهش نیز بر این قابلیت صحنه می‌گذارد. یافته‌های این مطالعه نشان می‌دهد که این سامانه پتانسیل گسترده‌ای برای کاربردهای صنعتی دارد. در ادامه این پژوهش، پردازش سیگنال‌ها با استفاده از روش تقسیم مکانی و مقایسه آن با الگوریتم تقسیم زمانی (مورد بررسی در این مطالعه) در دستور کار قرار خواهد گرفت. همچنین، برنامه‌ریزی برای تصویربرداری از سایر مواد سبک نیز در برنامه تحقیقات آینده نویسندگان قرار دارد.

اطلاعات مقاله:

مقاله پژوهشی

تاریخ دریافت:

۱۴۰۳/۰۸/۱۳

تاریخ بازنگری:

۱۴۰۳/۱۱/۲۴

تاریخ پذیرش:

۱۴۰۴/۰۳/۰۹

کلیدواژه‌گان:

تصویربرداری پس‌پراکنشی؛

باریکه مدادی؛

پرتو ایکس؛

چرخ برشگر

استناد: عسکری، مجتبی؛ طاهری، علی؛ ماهانی، حجت‌الله؛ بیگزاده، امیرمحمد و محرابی، محسن. (۱۴۰۳). ارزیابی عملکرد دستگاه تصویربرداری پس‌پراکنشی با آشکارساز سوسوزن و پرتو ایکس مدادی در شرایط محیط واقعی. *مجله فناوری آزمون‌های غیرمخرب*، ۴ (۱)، ۲۵-۳۷.

© نویسندگان

ناشر: انجمن آزمون‌های غیرمخرب ایران

DOI: <http://doi.org/10.30494/jndt.2025.486640.1155>



۱- مقدمه

قدمت استفاده از پرتوهای ایکس و گاما برای بازرسی محموله‌های گمرکی، وسایل نقلیه و حیوانات/افراد به حدود ۵۰ سال قبل برمی‌گردد و روند رو به افزایشی را در سراسر جهان تجربه می‌کند [۱-۳]. به‌طور کلی، دو نوع سیستم بازرسی مبتنی بر تصویر وجود دارد: (۱) حالت عبوری^۱ [۲] و (۲) حالت پس‌پراکنشی^۲ [۴]. علی‌رغم ویژگی‌های منحصر به فرد و کاربردهای تصویربرداری پس‌پراکنشی، مطالعات کمتری در مورد آن در مقایسه با روش تصویربرداری عبوری وجود دارد [۵]. از آنجایی که تمام سامانه تصویربرداری پس‌پراکنشی در یک طرف شئی مورد نظر قرار می‌گیرد، امکان بهره‌گیری از آن به‌صورت سامانه قابل حمل ممکن است [۶]. تصویربرداری پرتو ایکس پس‌پراکنشی کاربردهای گسترده‌ای در حوزه‌های مختلف از قبیل هوافضا، امنیت، تولید و کنترل کیفیت پیدا کرده است [۷-۹]. یکی از مزایای اولیه تصویربرداری پس‌پراکنشی صنعتی، توانایی آن در ارائه اطلاعات دقیق از ساختار داخلی یک شئی، بدون نیاز به جداسازی فیزیکی قطعات تشکیل‌دهنده آن است [۱۰]. این نوع از آزمون غیرمخرب^۳ هنگام بازرسی ساختارهای ظریف یا پیچیده مانند اجزای هواپیما یا دستگاه‌های الکترونیکی بسیار مفید است [۱۱]. در صنعت هوافضا، سیستم‌های تصویربرداری پس‌پراکنشی برای اطمینان از یکپارچگی و ایمنی اجزای هواپیما ضروری هستند [۱۲]. این سامانه‌ها قادر به تشخیص عیوب داخلی مانند ترک‌ها، حفره‌ها یا اجسام خارجی را که ممکن است در طول بازرسی بصری قابل مشاهده نباشند، هستند. در حوزه امنیت، سیستم‌های تصویربرداری پرتو ایکس پس‌پراکنشی نقش مهمی در غربالگری محموله‌ها، بسته‌ها و چمدان‌ها برای شناسایی تهدیدات پنهان دارند [۱۳]. با کمک این

روش، سلاح‌های مخفی، مواد منفجره، مواد مخدر یا سایر اقلام قاچاق را که ممکن است خطرآفرین باشند، شناسایی می‌شوند [۱۴]. فرآیندهای ساخت و کنترل کیفیت نیز از قابلیت‌های منحصر به فرد سیستم‌های تصویربرداری پرتو ایکس پس‌پراکنشی بهره می‌برند. با بررسی ساختار داخلی محصولات، تولیدکنندگان می‌توانند عیوب محصولات را شناسایی، از مونتاژ مناسب اطمینان حاصل کرده و کیفیت محصول را ارزیابی کنند؛ که از تحویل اقلام معیوب به مصرف‌کنندگان جلوگیری می‌کند [۱۵]. در ادامه، به بررسی بخشی از پژوهش‌های انجام شده در حوزه سامانه‌های تصویربرداری پس‌پراکنشی پرداخته می‌شود. پیکربندی یک سامانه تصویربرداری پرتو ایکس پس‌پراکنشی مدادی توسط آنه^۴ و همکاران بهبود یافت و عملکرد آن تحت شرایط مختلف با استفاده از روش شبیه‌سازی مونت کارلو ارزیابی شد [۱۶]. سنتوران^۵ و همکاران یک سیستم تصویربرداری جدید پس‌پراکنشی مبتنی بر پرتو ایکس را با استفاده از یک کولیماتور گردابی^۶ و یک سیستم یکسوساز با شکاف رزوه‌دار^۷ معرفی کردند. در کار آن‌ها، تمام ارزیابی‌ها با استفاده از نرم‌افزار شبیه‌سازی ترابرد پرتو [TracePro ۱۷] انجام شد. مدل‌سازی و تحلیل عددی عملکرد سیستم تصویربرداری پس‌پراکنشی با هدف کاربرد در موارد بازرسی امنیتی توسط هوانگ^۸ و همکاران [۱۸] انجام شد. آنها یک مدل تحلیلی را با استفاده از کد شبیه‌سازی GEANT4 توسعه داده و اعتبارسنجی شبیه‌سازی‌ها را از طریق ارزیابی طیف انرژی و تصاویر پس‌پراکنشی به انجام رساندند. طراحی یک سیستم تصویربرداری پرتو ایکس پس‌پراکنشی با هدف بازرسی خودروها توسط یانگ^۹ و همکاران [۱۹] انجام شد. در کار آن‌ها، تأثیر تقارن چرخ برشگر^{۱۰} بر دقت تصویربرداری و پوشش فضایی باریکه ایکس، شبیه‌سازی شد. استرلوه^{۱۱} و همکاران یک سامانه تصویربرداری پس‌پراکنشی

⁷ Twisted slit

⁸ Huang

⁹ Yang

¹⁰ Chopper wheel

¹¹ Osterloh

¹ Transmission imaging

² Backscatter imaging

³ Non-destructive testing (NDT)

⁴ An

⁵ Senthurran

⁶ Vortex

نمونه‌ها به دلیل برخورداری از عدد اتمی و چگالی پایین، گزینه مناسبی برای تصویربرداری با این گونه سامانه‌ها هستند. همچنین در این مقله، اعمال یک فیلتر پایین‌گذر به منظور کاهش نویز تصاویر و مقایسه تصاویر حاصله از آشکارسازهای مختلف دستگاه مورد مطالعه قرار گرفته است.

۲- ابزار و روش کار

۲-۱- دستگاه تصویربرداری پس‌پراکنشی

مطابق شکل ۱، این دستگاه از یک لامپ پرتو ایکس، دو آشکارساز سوسوزن پلاستیکی^۵، یک چرخ برشگر و سیستم جمع‌آوری، پردازش داده و تولید تصویر، ایجاد شده است. آشکارساز از دو سوسوزن پلاستیکی با ابعاد cm^3 $5 \times 5 \times 25$ ، چشمه پرتو ایکس داخلی مدل IAPX160i با حداکثر ولتاژ 160 kV با اندازه نقطه کانونی 0.5 mm و قابلیت تنظیم ولتاژ و جریان (0.4 mA و 0.6) استفاده شده است. چرخ برشگر آهنی با قطر خارجی 480 cm دارای ۸ سوراخچه^۷ با قطر 4 mm (در این مطالعه فقط ۴ سوراخچه مورد استفاده قرار گرفت)، طراحی و ساخته شد. همچنین از دو لامپ تکثیرکننده نوری^۸ CR10503 جهت ثبت پالس‌های نوری سوسوزن‌های پلاستیکی استفاده شد. همچنین برای حرکت نمونه از یک ریل^۹ با سرعت قابل کنترل و ثابت استفاده شد. در این طراحی، چرخش چرخ برشگر و حرکت خطی نمونه، سبب جاروب کل سطح نمونه توسط پرتوهای ایکس مدادی می‌شود. نمای واقعی دستگاه ساخته‌شده در شکل ۲ به تصویر کشیده شده است. برای حفظ نسبت ابعادی^{۱۰} جسم در تصویر، سرعت نسبی نقاله و چرخ برشگر باید به‌دقت تنظیم شود.

را با یک یکسوساز^۱ با شکاف رزوه‌دار جدید ارائه کردند [۲۰]. نتایج آنها نشان داد که یکسوساز با شکاف رزوه‌دار به‌طور مؤثر مشکل عملکرد یک سامانه مبتنی بر ساختار روزنه-دوربین را برای پرتوهای پراکنشی حل کرده است. هوول^۲ و فیوره^۳ یک مطالعه شبیه‌سازی برای تصویربرداری از صفحه‌های فشار دستگاه‌های انفجاری دست‌ساز را انجام دادند [۲۱]. در مطالعه آن‌ها، یک کد شبیه‌سازی مونت کارلو جهت بررسی توانایی سامانه تصویربرداری پس‌پراکنشی در تشخیص صفحه فشار توسعه داده شده است. یک سامانه تصویربرداری پس‌پراکنشی تجاری قابل حمل به‌نام (Z-Backscatter Van (ZBV توسط شرکت Rapiscan نیز به بازار معرفی شده که قادر به تصویربرداری با قدرت تفکیک بالا و تجزیه و تحلیل زمان-واقعی است [۲۲-۲۵]. نمونه‌های تجاری دیگری از سامانه‌های تصویربرداری پرتو ایکس پس‌پراکنشی نیز توسط Viken Detection و NuSAFE هر کدام با ویژگی‌های گوناگون به بازار معرفی شده‌اند [۲۶ و ۲۷].

در مطالعه حاضر، یک سامانه تصویربرداری پرتو ایکس پس‌پراکنشی کوچک^۴ و قابل حمل طراحی و ساخته شده که دارای قابلیت نصب آسان و داده‌برداری نقطه‌ای با باریکه ایکس مدادی می‌باشد. تاکنون، ارزیابی عملکرد سامانه‌های تصویربرداری پس‌پراکنشی در محیط‌های واقعی و برای نمونه‌های تجاری/صنعتی کمتر مورد توجه قرار گرفته است. در حالیکه اینگونه ارزیابی‌ها، سبب برآورد کارایی «واقعی» شده و می‌تولند محدوده کاربری این اسکنرها را به‌خوبی ترسیم نماید. در این مطالعه، اقدام به ارزیابی عملکرد دستگاه تصویربرداری پس‌پراکنشی مذکور برای سه نمونه (۱) چسب حرارتی تفنگی، (۲) قوطی چسب پلاستیکی و اسپری‌های چسب ۱۲۳ و (۳) قوطی‌های روغن و رنگ، شده است. این

⁶ Focal spot size

⁷ Pinhole

⁸ Photomultiplier tube (PMT)

⁹ Conveyor belt

¹⁰ Aspect ratio

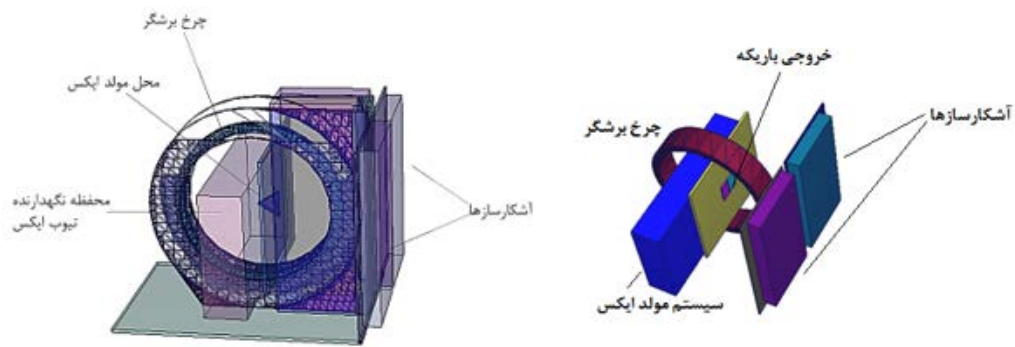
¹ Collimator

² Heuvel

³ Fiore

⁴ Compact

⁵ Plastic scintillator



شکل (۱) طرح واره‌ای از دستگاه تصویربرداری پس‌پراکنشی با پروتو ایکس مدادی.



شکل (۲) نمای واقعی از دستگاه تصویربرداری پس‌پراکنشی ساخته‌شده در پژوهشگاه علوم و فنون هسته‌ای.

در نهایت تصویر دوبعدی تشکیل شود. با جاروب خط-به-خط^۵ جسم توسط باریکه مدادی، داده‌های کل جسم جمع‌آوری می‌شود. برای تشکیل تصویر از الگوریتم تقسیم زمانی^۶ استفاده شده است. با حرکت جسم توسط نقاله، خط‌های متوالی بر روی جسم جاروب شده و این کار تا جاروب کل جسم ادامه پیدا می‌کند. پیاده‌سازی روش تقسیم زمانی و تشکیل تصویر در یک رابط گرافیکی کاربر^۷ در محیط برنامه‌نویسی نرم‌افزار MATLAB انجام شده است. در

۲-۲- پردازش داده و تشکیل تصویر

سیگنال خروجی هر لامپ تکثیرکننده نوری ابتدا وارد یک پیش تقویت‌کننده^۱ شده و پس از آن وارد تقویت‌کننده^۲ اختصاصی می‌شود. در نهایت، سیگنال خروجی تقویت‌کننده برای از یک ماژول تبدیل آنالوگ به دیجیتال^۳ عبور می‌کند. سیگنال دیجیتال سپس وارد یک ماژول آنالیزگر چند-پارامتری شده^۴ تا اطلاعات زمانی آن استخراج گردد. در ادامه بر اساس روندنمای شکل ۳، پردازش داده انجام شده تا

^۵ Line-by-line scanning

^۶ Time multiplexing algorithm

^۷ Graphical user interface (GUI)

^۱ Preamplifier

^۲ Amplifier

^۳ Analogue to digital converter (ADC)

^۴ Multi-parameter analyzer (MPA)

این رابط گرافیکی، تصویر هر آشکارساز به‌طور جداگانه قابل حصول و دسترسی است. همچنین، قابلیت اعمال انواع فیلترهای پردازش تصویر در این رابط گرافیکی فراهم شده است.



شکل ۳) روندنمای پردازش داده و تشکیل تصویر در دستگاه تصویربرداری پس‌پراکنشی.

۳-۲- ارزیابی عملکرد سامانه

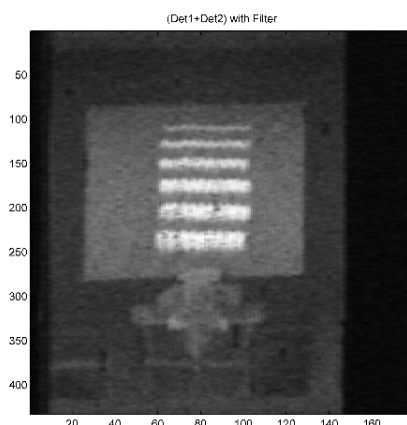
۳-۲-۱- بررسی قدرت تفکیک مکانی

و طول یکسان ۱۳cm نصب شده بر روی یک بستر پلکسی گلاس با ابعاد $33 \times 33 \text{ cm}^2$ و ضخامت 2 mm^2 استفاده شده است. نتایج حاصل از تصویربرداری پس‌پراکنشی فانتوم‌های شکل ۴ نیز بدون و با اعمال فیلتر در شکل ۵ نشان داده شده است. همانطور که انتظار می‌رفت، تمامی فانتوم‌ها با دقت قابل قبولی شناسایی شدند که این امر نشان دهنده قدرت این روش در تصویربرداری از مواد سبک با عدد اتمی و چگالی پایین است.

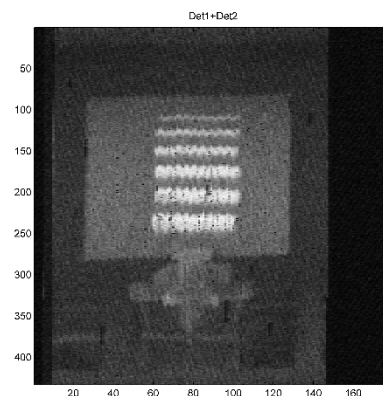
جهت بررسی قدرت تفکیک مکانی از ۶ عدد میله پلی اتیلن با قطر مقاطع متفاوت از ۸ mm الی ۲.۸ mm با گام ۴ mm



شکل ۴) فانتوم‌های ساخته شده پلی‌اتیلنی در بستر پلکسی‌گلاس



ب



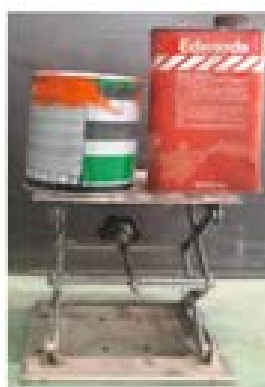
الف

شکل ۵) تصویر پس‌پراکنشی حاصل از آشکارسازهای اول و دوم و مجموع آن‌ها برای فانتوم‌های پلی‌اتیلنی (تصاویر سمت چپ با اعمال فیلتر متوسط‌گیر بر اساس پنجره ۳ در ۳) و تصاویر سمت راست بدون اعمال فیلتر).

۲-۲-۳- ارزیابی عملکرد در شرایط واقعی

انتخاب همه آن نمونه‌ها این است که همانطور که قبلا هم ذکر شد، روش تصویربرداری پس‌پراکنشی برای اجسام با عدد اتمی و چگالی پایین مناسب می‌باشد که برای این مواد انتخاب شده، صدق می‌کند. در این بخش از تصویربرداری، پارامترهای تصویربرداری برای ولتاژ ۱۰۰ kV و جریان mA ۰/۶ تنظیم شد.

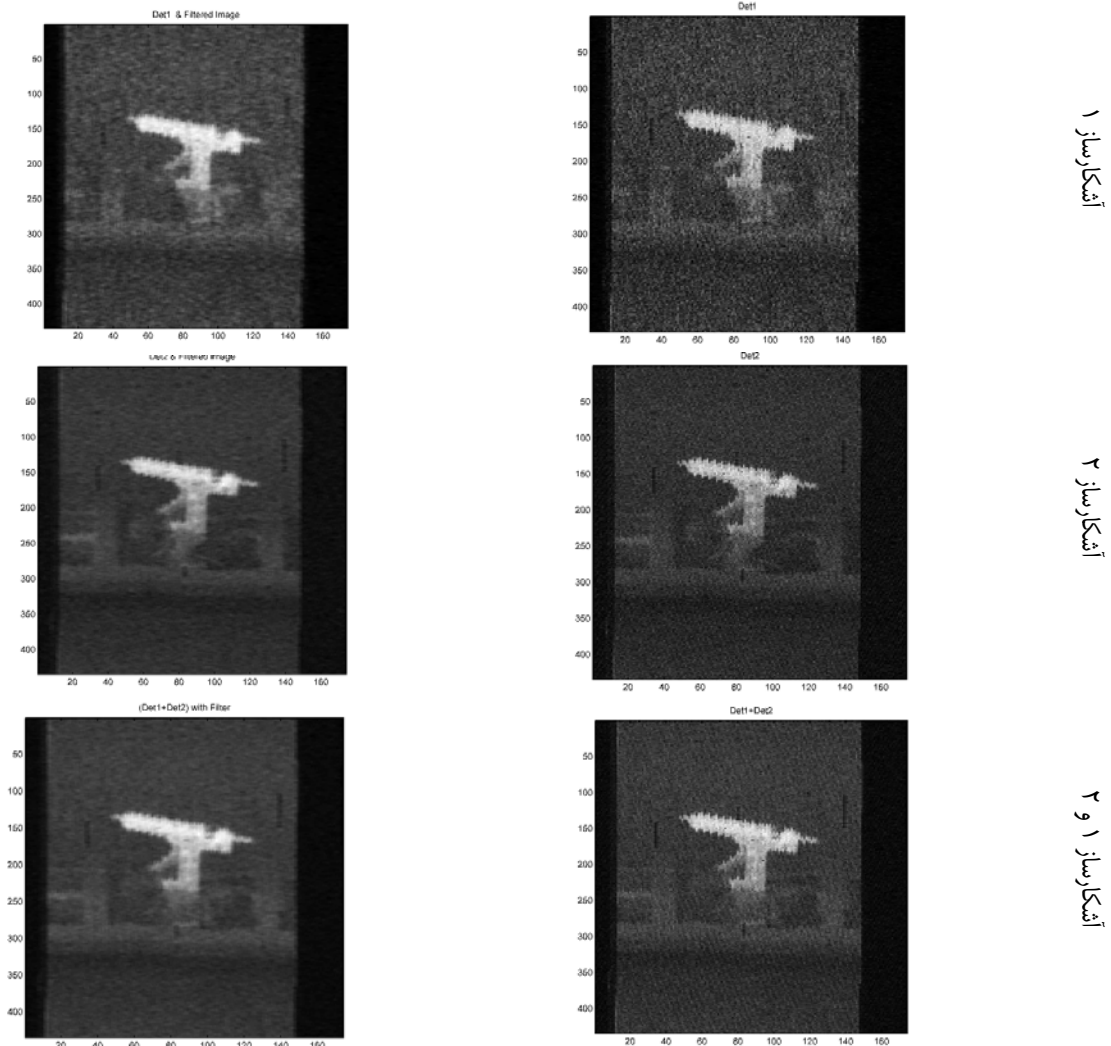
همچنین برای ارزیابی عملکرد جسم، از نمونه‌های واقعی استفاده شد. برای این منظور، مطابق شکل ۶، داده‌برداری برای چسب حرارتی تفنگی، روغن، رنگ و در نهایت برای چسب و اسپری چسب ۱۲۳، انجام شد. علت



شکل ۶) چسب حرارتی تفنگی (راست)، قوطی‌های روغن و روغن (وسط) و چسب پلاستیکی و اسپری چسب ۱۲۳ (چپ).

علاوه بر این، سرعت ریل (نقاله) برابر با 8 mm/s تنظیم شد. پر واضح است که زمان جمع‌آوری داده بر حسب عرض نمونه مورد تصویربرداری، متغیر می‌باشد. تصاویر اشعه ایکس یک‌بار بدون فیلتر و یک‌بار با استفاده از یک فیلتر میانگین‌گیر (برای کاهش نویز) با ابعاد کرنل^۱ [۳ و ۳] بدست آمده و مورد مقایسه قرار گرفت.

¹ Kernel size



شکل ۷) تصاویر پرتو پس‌پراکنشی حاصل از آشکارسازهای اول و دوم و مجموع آن‌ها برای چسب حرارتی تفنگی (تصاویر سمت چپ با اعمال فیلتر متوسط گیر بر اساس پنجره 3×3 و تصاویر سمت راست بدون اعمال فیلتر).

۳- نتایج و بحث

تصویربرداری پس‌پراکنشی، سطح نویز تصویر بوده که معمولاً بالا است. برای برون‌رفت از این چالش چند راه‌کار اصلی وجود دارد؛ () افزایش تعداد آشکارسازها، () افزایش جریان لامپ پرتو ایکس و () پردازش تصاویر و استفاده از فیلترهای پایین‌گذر که در این مطالعه، از هر سه بهره‌گرفته شده است. مولد پرتو ایکس قادر به تولید جریان لامپ 0.4 و 0.6 mA است که در اینجا از جریان 0.6 mA استفاده شد. همچنین، تصاویر هر دو آشکارساز، مورد بهره‌برداری قرار گرفتند و در نهایت از یک فیلتر پایین‌گذر برای کاهش نویز بهره‌گرفته شد. نتایج نشان می‌دهند که اعمال فیلتر، سبب کاهش چشم‌گیر سطح نویز در هر دو آشکارساز می‌شود.

شکل ۵، تصاویر پرتو ایکس پس‌پراکنشی را برای هر دو آشکارساز دستگاه و با/بدون اعمال فیلتر میانگین‌گیر^۱ مربوط به چسب حرارتی تفنگی نمایش می‌دهد. همان‌گونه که از تصاویر مشخص است، هر آشکارساز سوسوزن پلاستیکی به‌تنهایی قادر به ارائه یک تصویر تشخیصی مناسب است. با جمع سیگنال‌های هر دو آشکارساز، نسبت سیگنال به نویز^۲ تصویر افزایش یافته و در نتیجه کیفیت تصویر بهبود می‌یابد. با توجه به اینکه محتویات جسم، چسب (یک ماده با عدد اتمی و چگالی پایین) می‌باشد، تصویر از کنتراست^۳ مناسبی برخوردار است. در حالت کلی، یکی از چالش‌های مهم در

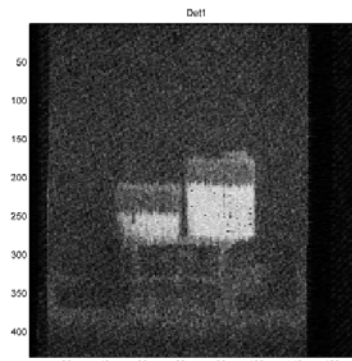
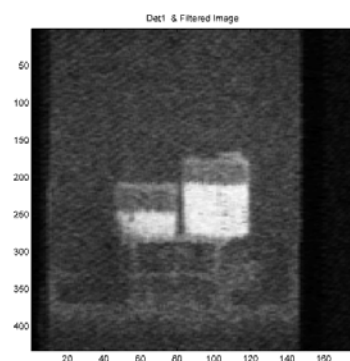
³ Image contrast

¹ Average filter

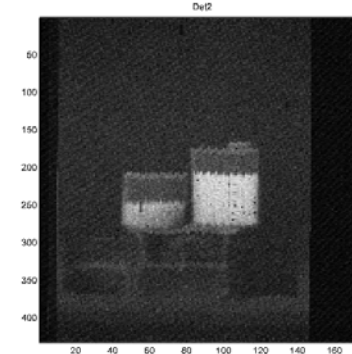
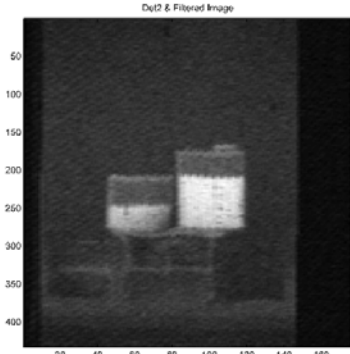
² Signal-to-noise ratio (SNR)

پس پراکنشی می‌باشند. نکته جالب توجه آنکه، قوطی نگهدارنده که از جنس فلز می‌باشد، به دلیل برخورداری از ضخامت اندک در تصاویر به راحتی قابل مشاهده است. کنتراست میان روغن/چسب و هوای داخل قوطی‌ها نیز بالا بوده که به افتراق آن‌ها کمک شایانی می‌نماید. این موضوع از جمله مزیت‌های تصویربرداری پس پراکنشی به شمار می‌رود.

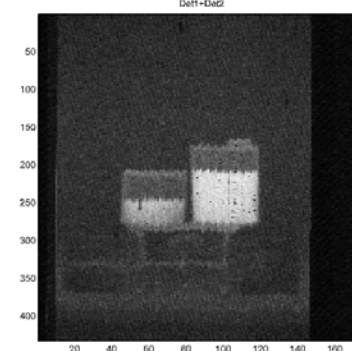
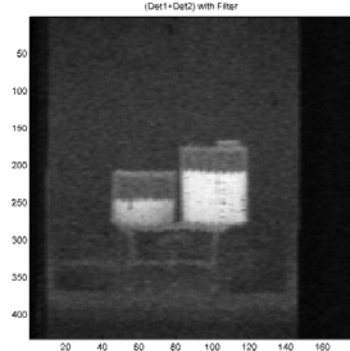
مشابه با تصویربرداری از چسب حرارتی تفنگی (شکل ۷)، شکل ۸، تصاویر مربوط به رنگ و روغن را نشان می‌دهد. با دقت در این شکل پیداست که سطح روغن و رنگ موجود در قوطی‌ها به راحتی قابل تشخیص است. اعمال یک فیلتر پایین‌گذر سبب حذف نویزهای فرکانس بالا در تصاویر شده و کیفیت آن‌ها را بهبود می‌بخشد. روغن و رنگ به دلیل پایین بودن عدد اتمی و چگالی، گزینه مناسبی برای تصویربرداری



آشکارساز ۱



آشکارساز ۲



آشکارساز ۱ و ۲

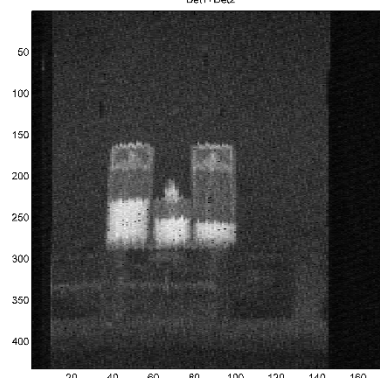
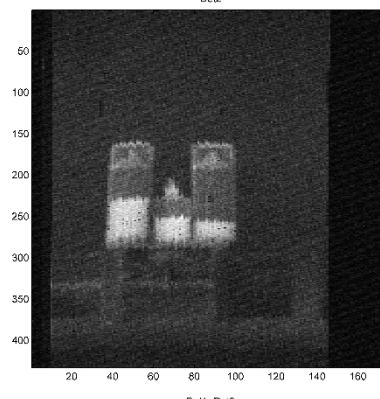
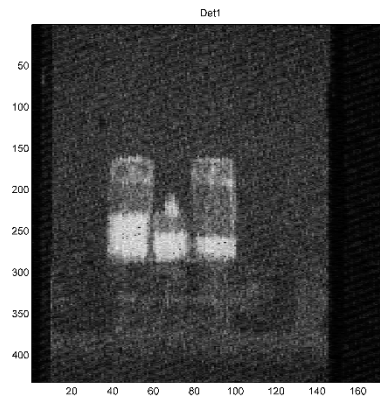
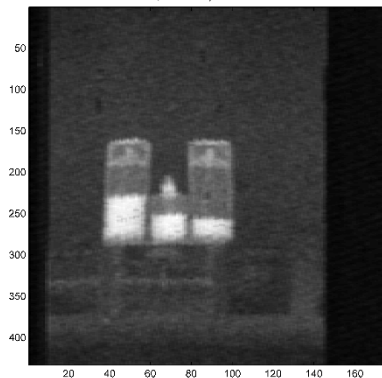
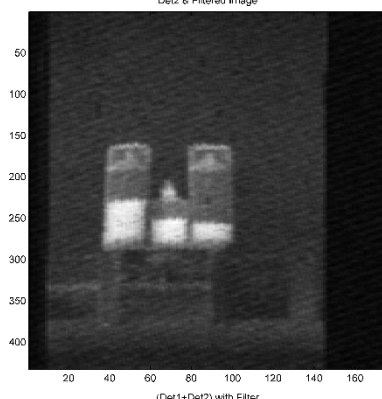
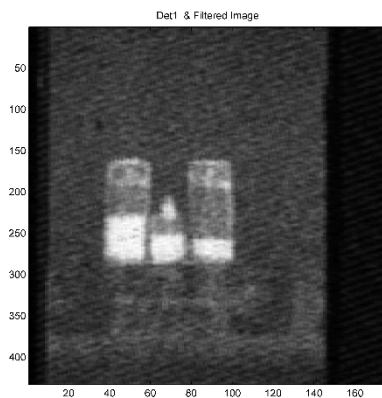
شکل ۸) تصویر پس پراکنشی حاصل از آشکارسازهای اول و دوم و مجموع آن‌ها برای قوطی‌های روغن و رنگ (تصاویر سمت چپ با اعمال فیلتر متوسط‌گیر بر اساس پنجره 3×3 و تصاویر سمت راست بدون اعمال فیلتر).

داده‌های هر دو آشکارساز، تصاویر با کیفیت بالاتری قابل حصول است. به علاوه، اعمال یک فیلتر پایین‌گذر بر روی تصاویر سبب کاهش چشم‌گیر سطح نویز تصویر شده و به ارزش تشخیصی تصاویر پس پراکنشی می‌افزاید. نکته قابل توجه در شکل ۹،

در نهایت، تصاویر دو اسپری چسب ۱۲۳ و یک قوطی پلاستیکی چسب در شکل ۹ به نمایش گذاشته شده است. همان‌طور که پیداست، سطح محتویات چسب هر سه نمونه به راحتی قابل مشاهده است. مشابه شکل‌های ۷ و ۸، با ترکیب

همچنین به واسطه یک طرفه بودن آن، قابلیت تصویربرداری نامحسوس مسیر است. لازم به ذکر است که به دلیل فیزیک مسأله، تصویربرداری پس‌پراکنشی بیشتر اطلاعات سطحی جسم را به نمایش می‌گذارد و از عمق نفوذ بالایی برخوردار نمی‌باشد.

مشاهده درب قوطی‌های چسب ۱۲۳ به واسطه جنس پلاستیکی (با عدد اتمی و چگالی پایین) است. از جمله مزیت‌های تصویربرداری پس‌پراکنشی عدم نیاز به هر دو طرف نمونه است که این ویژگی به خصوص در صنعت برای تصویربرداری از اجسام بزرگ و یا نمونه‌های که به هر دو طرف آن دسترسی وجود ندارد مفید است.



آشکارساز ۱

آشکارساز ۲

آشکارساز ۱ و ۲

شکل ۹) تصویر پس‌پراکنشی حاصل از آشکارسازهای اول و دوم و مجموع آن‌ها برای قوطی‌های چسب و اسپری ۱۲۳ (تصاویر سمت چپ با اعمال فیلتر متوسط‌گیر بر اساس پنجره 3×3 و تصاویر سمت راست بدون اعمال فیلتر).

پس‌پراکنشی مدادی ساخته‌شده در پژوهشگاه علوم و فنون هسته‌ای در شرایط محیط واقعی ارزیابی شد. این دستگاه دارای حفاظ داخلی بوده و از نقطه‌نظر حفاظت در برابر پرتو

۴- نتیجه‌گیری

در این مطالعه عملکرد سامانه تصویربرداری پرتو ایکس

- Accelerators, Spectrometers, Detectors and Associated Equipment, 1003*, p.165325. Askari M, Beigzadeh AM, Taheri A (2021). "A new method for detecting the radioactive materials using X or γ -ray cargo inspection systems", *Nucl Instrum Methods A*, 1003:16532.
- [4] Towe, B.C. and Jacobs, A.M., (1981). X-ray backscatter imaging. *IEEE Transactions on Biomedical Engineering*, (9), pp.646-654. Towe BC, Jacobs AM (1981). "X-ray backscatter imaging", *IEEE Trans Biomed Eng*, **28**:646-54.
- [5] Callerame, J., 2006. X-ray backscatter imaging: photography through barriers. *Powder diffraction*, 21(2), pp.132-135. Callerame J (2006). "X-ray backscatter imaging: Photography through barriers", *Powder Diffraction*, **21**:132-135.
- [6] Dinca, D.C., Schubert, J.R. and Callerame, J., (2008), April. X-ray backscatter imaging. In *Optics and Photonics in Global Homeland Security IV* (Vol. 6945, pp. 283-295). SPIE. Dinca DC, Schubert JR, Callerame (2008). "X-ray backscatter imaging", *Proceedings Volume 6945, Optics and Photonics in Global Homeland Security IV*; 694516.
- [7] Niemann, W. and Zahorodny, S., (1998). Status and future aspects of X-ray backscatter imaging. In *Review of Progress in Quantitative Nondestructive Evaluation: Volume 17A* (pp. 379-385). Boston, MA: Springer US. Niemann, W., Zahorodny, S. (1998). *Status and Future Aspects of X-Ray Backscatter Imaging*. In: Thompson, D.O., Chimenti, D.E. (eds) *Review of Progress in Quantitative Nondestructive Evaluation*. Springer, Boston, MA.
- [8] Kochakpour, J., Taheri, A. and Askari, M., (2021). Development of an experimental method based on Compton backscattering to measure the wax thickness in petroleum pipelines. *Journal of Instrumentation*, 16(10), p. T10008. Kochakpor J, Tahei A, Askari M (2021). "Development of an experimental method based on Compton backscattering to measure the wax thickness in petroleum pipelines", *J Instrum*, **16**:T1008.
- [9] Askari, M., Taheri, A., Kochakpour, J. and Sasanpour, M.T., (2021). An intelligent gamma-ray technique for determining wax thickness in
- ایمن است. همچنین، به دلیل استفاده از چرخ برشگر و تعبیه پیچ‌های توخالی با قطرهای متغیر به‌عنوان پرکننده سوراخچه‌ها، گستره وسیعی از رزولوشن‌های مکانی قابل حصول است. اگرچه، تنها با استفاده از یک آشکارساز می‌توان به تصویر قابل قبولی رسید که سبب کاهش چشم‌گیر قیمت و وزن دستگاه خواهد شد، اما استفاده هم‌زمان از دو آشکارساز کیفیت تصویر بالاتری را ارائه می‌دهد. مزیت ذاتی دستگاه‌های تصویربرداری پس‌پراکنشی، اسکن مواد با عدد اتمی پایین (چسب‌ها، رنگ‌ها، سیالات مشتق‌شده از نفت، پلاستیک، پلیمر، مواد منفجره و حتی آلومینیوم) می‌باشد که نتایج این مطالعه گواهی بر این مدعاست. یافته‌های این پژوهش نشان دادند که طیف وسیعی از کاربردهای صنعتی برای این دستگاه قابل ترسیم است. فعالیت آتی این مقاله استفاده از روش تقسیم مکانی^۱ برای پردازش سیگنال‌ها و مقایسه آن با الگوریتم تقسیم زمانی (مطالعه حاضر) خواهد بود. همچنین، تصویربرداری از سایر مواد سبک نیز در دستور کار نویسندگان می‌باشد.

تعارض منافع

هیچ‌گونه تعارض منافع توسط نویسندگان وجود ندارد.

۵- منابع

- [1] Taheri, A., Askari, M. and Biganeh, A., (2023). Industrial gamma-ray computed tomography utilizing rod plastic scintillators. *Journal of Instrumentation*, 18(09), p.P09044.
- [2] Mahani, H., Taheri, A. and Askari, M., (2023). Detection performance of pixelated lutetium-yttrium oxyorthosilicate (LYSO) scintillators for high-resolution photon-counting CT imaging. *Review of Scientific Instruments*, 94(2).
- [3] Askari, M., Beigzadeh, A.M. and Taheri, A., (2021). A new method for detecting the radioactive materials using X or γ -ray cargo inspection systems. *Nuclear Instruments and Methods in Physics Research Section A*:

¹ Space multiplexing

- Homeland Defense IV* (Vol. 5778, pp. 989-993). SPIE.
- [16] An G (2023). Design optimization of backscatter X-ray security scanner based on pencil-beam scanning. *Journal of Instrumentation*, 18(01), p.C01004.
- [17] Selvagumar et al (2022). Modelling of a new X-ray backscatter imaging system: simulation investigation.
- [18] Huang S et al (2019). Modeling and quantitative analysis of X-ray transmission and backscatter imaging aimed at security inspection. *Optics express*, 27(2), pp.337-349.
- [19] Yang B et al (2020). Design of x-ray backscatter imaging system for vehicle detection. In *Counterterrorism, Crime Fighting, Forensics, and Surveillance Technologies IV* (Vol. 11542, pp. 125-133). SPIE.
- [20] Design of x-ray backscatter imaging system for vehicle detection. In *Counterterrorism, Crime Fighting, Forensics, and Surveillance Technologies IV* (Vol. 11542, pp. 125-133). SPIE.
- [21] van den Heuvel J, Fiore F (2012). Simulation study of x-ray backscatter imaging of pressure-plate improvised explosive devices. In *Detection and Sensing of Mines, Explosive Objects, and Obscured Targets XVII* (Vol. 8357, pp. 355-369). SPIE.
- [22] Chalmers A (2003). Single-sided x-ray inspection of vehicles using AS&E's Z-Backscatter Van. In *Penetrating Radiation Systems and Applications V* (Vol. 5199, pp. 19-25). SPIE.
- [23] Kendall SW (2013). Taking it to the streets: Uncovering the secret mobilization of backscatter x-ray technology and the concerns surrounding its use. *Hous. L. Rev.*, 51, p.609.
- [24] Scott J, Railey L (2008). "Regulatory considerations in the licensing of a mobile backscatter X-ray device used in security screening." In *IRPA 12: 12. International Congress of the International Radiation Protection Association (IRPA): Strengthening radiation protection worldwide*, 19-24.
- [25] Rapiscan Systems, available at: <https://www.rapiscansystems.com/en/products/ase-zbv-system>
- pipelines. *Applied Radiation and Isotopes*, 172, p.109667. Askari M, Taheri A, Kochakpour J, Sasanpour MT (2021). "An intelligent gamma-ray technique for determining wax thickness in pipelines", *Appl Radiat Isot*, 172:109667
- [10] Dugan, E.T., Jacobs, A.M., Keshavmurthy, S.P. and Wehlburg, J.C., (1998). Lateral migration radiography. *Journal of Research in Nondestructive Evaluation*, 10(2), pp.75-108. Dugan ET et al (1998). "Lateral migration radiography", *Res Nondestruct Evaluation*, 10:57-108.
- [11] Kolkoori, S., Wrobel, N., Zscherpel, U. and Ewert, U., (2015). A new X-ray backscatter imaging technique for non-destructive testing of aerospace materials. *Ndt & E International*, 70, pp.41-52. Kolkoori S et al (2015). "A new X-ray backscatter imaging technique for non-destructive testing of aerospace materials", *NDT E Intl*, 70:41-52.
- [12] O'Flynn, D., Crews, C., Fox, N., Allen, B.P., Sammons, M. and Speller, R.D., (2017), May. X-ray backscatter sensing of defects in carbon fibre composite materials. In *Advanced Photon Counting Techniques XI* (Vol. 10212, pp. 49-56). SPIE. O'Flynn D et al (2017). "X-ray backscatter sensing of defects in carbon fibre composite materials", *Proc. SPIE 10212, Advanced Photon Counting Techniques XI*, 102120R.
- [13] Rogers, T.W., Jaccard, N., Morton, E.J. and Griffin, L.D., (2017). Automated x-ray image analysis for cargo security: Critical review and future promise. *Journal of X-ray science and technology*, 25(1), pp.33-56. Rogers TW et al (2017). "Automated x-ray image analysis for cargo security: Critical review and future promise." *J X-Ray Sci Technol*, 25:33-56.
- [14] Chalmers A (2005). Three applications of backscatter X-ray imaging technology to homeland defense. In *Sensors, and Command, Control, Communications, and Intelligence (C3I) Technologies for Homeland Security and Homeland Defense IV* (Vol. 5778, pp. 989-993). SPIE.
- [15] Martz HE et al (2016). Three applications of backscatter X-ray imaging technology to homeland defense. In *Sensors, and Command, Control, Communications, and Intelligence (C3I) Technologies for Homeland Security and*

- [26] Viken Detection, available at:
<https://www.heuresistech.com/about>
- [27] NuSAFE Inc, available at:
<https://www.nuSAFE.com/>