



ارزیابی عملکرد پایشگر پرتویی 1-NSTRI-RPM-2020 برای چشمه‌های پرتوزا در حال حرکت

مجتبی عسکری^{۱*}، جواد کوچک‌پور^{۱،۲}، علی طاهری^۱، سید ابوالفضل حسینی^۲

۱. پژوهشکده کاربرد پرتوها، پژوهشگاه علوم و فنون هسته‌ای، ۱۳۳۹-۱۴۱۵۵، تهران - ایران

۲. گروه مهندسی هسته‌ای، دانشکده مهندسی انرژی، دانشگاه شریف، صندوق پستی، ۱۱۳۶۵-۸۶۳۹، تهران - ایران

چکیده:

هر ساله آژانس بین‌المللی انرژی اتمی گزارشی از سرقت، از دست دادن و یا عدم نظارت بر کنترل مواد رادیواکتیو در برخی از کشورها را ارائه می‌دهد. با توجه به خطرات ناشی از پرتوهای یونساز و انجام عملیات تروریستی با استفاده از چشمه‌های مولد این پرتوها، لزوم حفاظت افراد در برابر چنین اقدامات تروریستی کاملاً احساس می‌شود. از این رو پایشگرهای درگاهی در مبادی و نقاط حساس مستقر شده‌اند تا از حمل و نقل غیرقانونی مواد رادیواکتیو جلوگیری نمایند. در این پژوهش، عملکرد پایشگر پرتویی مدل NSTRI-RPM-2020-1 برای چشمه‌های آزمایشگاهی در حال حرکت مورد بررسی قرار می‌گیرد. سیستم ساخته شده از دو آشکارساز سوسوزن پلاستیک با ابعاد بزرگ به همراه ۴ تیوب تکثیر کننده نوری تشکیل شده است. این ارزیابی برای چشمه‌های آزمایشگاهی ^{60}Co با اکتیویته ۱.۰۹ و ^{137}Cs با اکتیویته ۷ میکروکوری با سرعت‌های یکنواخت ۰/۱۵، ۰/۳۱ و ۰/۴۳ متر بر ثانیه انجام شده است. نتایج نشان داده شده، سیستم ساخته شده توانایی تشخیص چشمه‌های آزمایشگاهی در حال حرکت را دارد.

کلیدواژه‌ها:

پایشگر پرتویی، سوسوزن پلاستیک ابعاد بالا، پرتو گاما، چشمه‌های پرتوزا در حال حرکت

Performance evaluation of radiation portal monitor NSTRI-RPM-2020-1 for moving radiation sources

Mojtaba Askari^{1*}, Javad Kochakpour^{1,2}, Ali Taheri¹, Seyed Abolfazl Hosseini²

1. Radiation Applications Research School, Nuclear Science and Technology Research Institute, P.O.BOX: 14155-1339, Tehran, Iran

2. Nuclear Engineering, Department of Energy Engineering, Sharif University of Technology, P.O.BOX: 8639-11365, Tehran, Iran.

Abstract

Each year, the IAEA reports the theft, loss or failure to control radioactive material in some countries. Given the dangers of ionizing radiation and carrying out terrorist operations using the radiation source, the need to protect people against such terrorist acts is fully felt. Therefore, radiation portal monitors have been deployed at sensitive place and borders to prevent the illegal transport of radioactive material. In this study, the performance of the NSTRI-RPM-2020-1 radiation portal monitor for moving lab-scale radiation sources is investigated. The system consists of two large-sized plastic scintillation detectors with 4 PMTs. This evaluation has been performed for ^{60}Co radiation source with activity of 1.09 and 4.9 microcurie and ^{137}Cs radiation source with activity 7 microcurie with uniform velocities of 0.15, 0.31 and 0.43 m/s. The results shown that the built system has the ability to detect the moving lab-scale radiation sources.

Keywords: Radiation Portal Monitors, high-dimensional plastic scintillation, gamma radiation, Moving radiation sources

Email: moasgari@aeoi.org.ir

۱. مقدمه

امروزه سیستم‌های پیش‌نگر درگاهی برای تشخیص حضور مواد هسته‌ای در راه‌های مواصلاتی، ورودی و خروجی مرزها و کارخانه‌ها مورد استفاده قرار می‌گیرند [۱،۲]. با توجه به خطرات ناشی از پرتوهای یونساز و انجام عملیات تروریستی با استفاده از چشمه‌های مولد این پرتوها، لزوم حفاظت افراد در برابر چنین اقدامات تروریستی کاملاً احساس می‌شود [۳،۴]. مهمترین نکته در مورد لزوم استفاده از تجهیزات ایمنی در برابر پرتوها این است که پرتوهای یونساز با حواس پنجگانه قابل شناسایی نیستند و در مواردی قادر به آلوده سازی بخش وسیعی از یک منطقه مسکونی یا شهری می‌باشند. این مواد ممکن است فاقد هرگونه علامت مشخصه‌ای باشند و همانطور که در گزارش‌های حوادث پرتوی آژانس بین‌المللی انرژی اتمی آمده است [۳،۴]، قطعاتی از این مواد با اکتیویته بسیار بالا همراه با مواد و تجهیزات دیگر و یا فلزات و آهن‌آلات اسقاط وارد کشور شود. بنابراین ورود سهوی یا عمدی این مواد (به عنوان بمب‌های کثیف و یا به مقصود ایراد اتهام به کشور) می‌تواند علاوه بر وارد آوردن ضایعات و بیماری‌های جسمی به شهروندان، کشور را متحمل خسارات و ضررهای اقتصادی یا سیاسی جبران‌ناپذیری نماید.

منابع احتمالی ورود آلودگی رادیو اکتیو به کشور عموماً شامل موارد ذیل می‌باشد:

- واردات تولیدات فلزی آلوده از مبادی ورودی کشور
- واردات آهن قراضه از مبادی ورودی کشور
- ورود مواد اولیه آلوده به کارخانجات ذوب فلزات
- ورود تولیدات آلوده به مواد رادیواکتیو به صنایع کشور به وسیله کارخانجات فولاد

پایشگرهای درگاهی، تجهیزاتی هستند که برای بازرسی عبور و مرور افراد، وسایل نقلیه، بار از جهت وجود مواد پرتوزا به خصوص در مبادی ورودی و خروجی کارخانجات و مرزها و نیز کنترل آلودگی در سوانح پرتوی مورد استفاده قرار می‌گیرند [۵]. با توجه به نیاز کشور به سنجش و کنترل آلودگی در سوانح پرتوی و همچنین کنترل ورود و خروج مواد رادیواکتیو از مرزها، تاسیسات و نقاط حساس وجود چنین سامانه‌ای در نقاط یاد شده ضروری به نظر می‌رسد.

بنابراین لازم است به منظور ممانعت از خروج یا ورود مواد هسته‌ای در هنگام عبور از زیرساخت‌های حمل و نقل کشورها و مراکز حساس آن‌ها طراحی شود. یکی از موثرترین سیستم‌ها جهت کشف آلودگی‌های پرتویی، سیستم‌های پایشگر درگاهی هستند. این پایشگرها در مدل‌های مختلف فردی و خودرویی موجود هستند و تا کنون تحقیقات زیادی در مورد سیستم‌های پایشگر درگاهی در جهان انجام شده است [۶-۸]. با توجه به تحقیقات انجام شده، آشکارسازهایی که در سیستم‌های پایشگر درگاهی مورد استفاده قرار می‌گیرند، آشکارسازهای سوسوزن در ابعاد بزرگ پلاستیک و NaI(Tl) می‌باشند تا بازدهی مناسبی برای آشکارسازی مقادیر کمی از پرتو باشند [۹،۱۰]. همچنین برای جداسازی پرتو زمینه مطالعاتی بر روی الگوریتم‌های انتخاب پنجره انرژی بر روی سیستم‌های پایشگر درگاهی انجام شده است [۱۱]. نظر به اهمیت بالای ساخت پایشگرهای درگاهی با استانداردهای لازم، در این پژوهش پایشگر درگاهی مدل NSTRI-RPM-2020-1 که در پژوهشگاه علوم و فنون هسته‌ای طراحی و ساخته شده است، برای چشمه‌هایی با اکتیویته آزمایشگاهی در حال حرکت ارزیابی گردید که در ادامه نتایج آن ارائه خواهد شد.

۲. روش کار

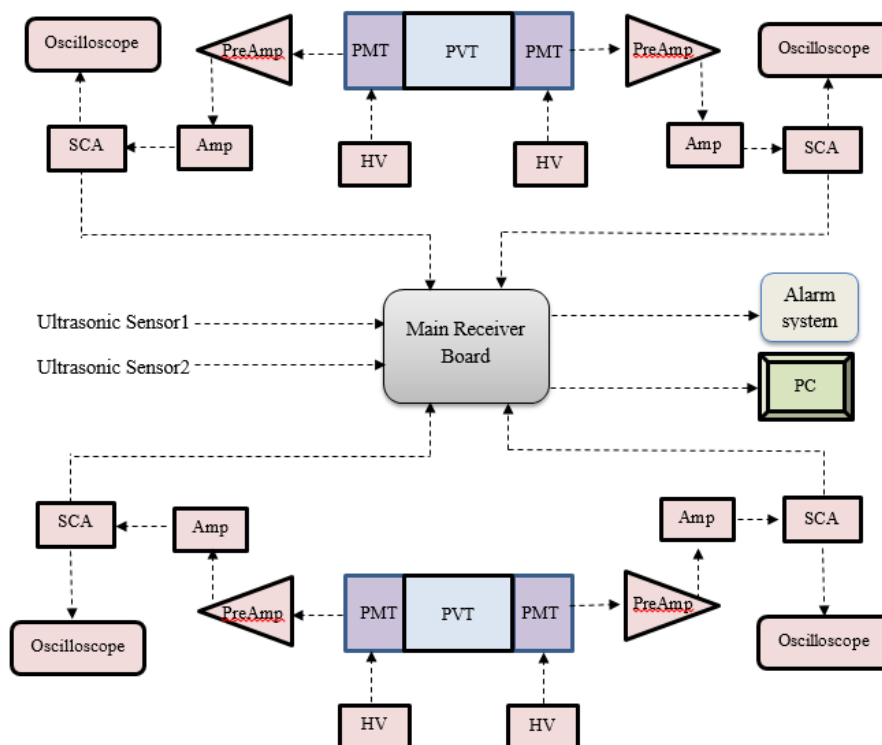
برای نظارت بر رادیواکتیویته از وسایل نقلیه و یا عابر پیاده، معمولاً از پایشگرهای پرتویی (RPM^1) استفاده می‌شود. این سیستم‌ها از چند آشکارساز سوسوزنی پلاستیک با حجم بالا تشکیل می‌شود.

اصول آشکارسازی پایشگر درگاهی با استفاده از آشکارسازهای سوسوزن به این صورت است که ابتدا یک ماده سوسوزن با حجم و ابعاد بزرگ با دریافت پرتو، پالس‌های نوری ضعیفی ایجاد می‌کند، سپس پالس تولید شده به وسیله تیوب تکثیر کننده نوری (PMT) به

¹Radiation Portal Monitoring

جریان الکتریکی تبدیل و تقویت می شود [۱۲]. خروجی آشکارساز برای تجزیه و تحلیل اطلاعات به گیرنده مرکزی و بسته به نیاز به یک سیستم هشدار دهنده و رایانه متصل می شود. در پایشگرهای درگاهی پس از افزایش سیگنال دریافتی بیش از حد مجاز آستانه‌ای که در ابتدا با توجه به پس زمینه طبیعی تخمین زده شود، زنگ هشدار فعال خواهد شد.

پایشگر پرتویی مدل NSTRI-RPM-2020-1 برای مطابقت با الزامات استانداردهای نظارت بر آلودگی پرتویی در پاسخهای اضطراری رادیولوژیکی طراحی و ساخته شده است که از دو آشکارساز سوسوزن پلاستیک پلی وینیل تولوئن (PVT^2) با ابعاد ($L \times W \times H$) $50 \times 50 \times 50$ cm (۱۲/۵Lit) به همراه چهار عدد PMT^3 ، ماژول‌های منبع تغذیه، تقویت کننده و پیش تقویت کننده مطابق شکل‌های ۱ و ۲ طراحی و ساخته شده است. همچنین در جهت کاهش دادن شمارش‌های زمینه، پنج طرف آشکارساز با 1cm آهن احاطه و وجه روبه‌روی آشکارسازها در جهت عدم رسیدن نور محیط به سیستم آشکارسازی با 2mm آلومینیوم پوشانده شده است. از طرفی دیگر دو عدد سنسور التراسونیک به عنوان سنسورهای تشخیص حرکت^۴ در دستگاه تعبیه شده است.



شکل ۱. بلوک دیاگرام سیستم آشکارسازی به همراه الکترونیک آن در NSTRI-RPM-2020-1

² Polyvinyl toluene
³ Photomultiplier
⁴ Occupancy Sensor



شکل ۲. نمایی از پایشگر درگاهی NSTRI-RPM-2020-1

لازم به ذکر است، پایشگر درگاهی NSTRI-RPM-2020-1 قابلیت جابه‌جایی و تنظیم فاصله بین دو سیستم آشکارسازی را برای کاربرد مدنظر (خودرویی و یا عابر پیاده) را داراست.

از طرفی دیگر برای انجام آزمون‌ها با توجه به اینکه تعیین دقیق سرعت حرکت چشمه‌های عبوری در مقابل پایشگر پرتویی یکی از فاکتورهای اساسی در تعیین دقت دستگاه می‌باشد، از ریلی در جهت به حرکت درآوردن چشمه‌ها با سرعت مشخص که در راستای افقی جابه‌جا می‌شوند، مطابق شکل ۳ استفاده شده است.

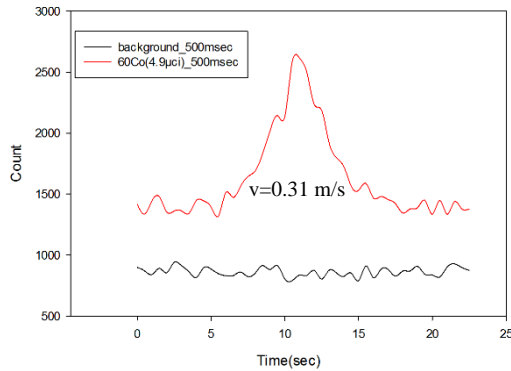
چشمه‌های آزمایشگاهی مورد استفاده در این پژوهش ^{60}Co با اکتیویته‌های $4/9$ و $1/09$ میکروکوری و ^{137}Cs با اکتیویته 7 میکروکوری می‌باشد که در موقعیت مشخص (در فاصله 1 متری از هر آشکارساز) بر روی ریل سوار شده و با سرعت‌های $0/15$ ، $0/31$ و $0/43$ متر بر ثانیه از داخل پایشگر مطابق شکل ۳ عبور می‌کنند.



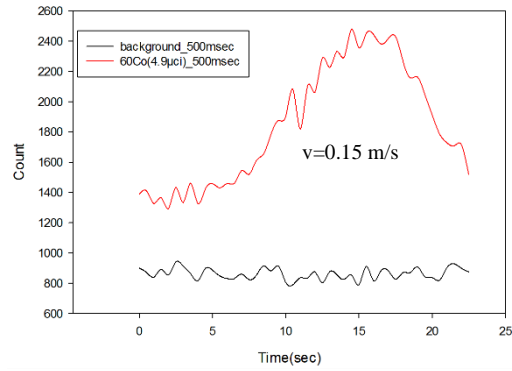
شکل ۳. شماتیکی از برپاسازی NSTRI-RPM-2020-1 در هنگام انجام آزمایش

تمامی تجهیزات این آزمایش در تمام مراحل در وضعیت ثابت و مشخصی قرار گرفته‌اند تا بتوان شرایط یکسانی را برای همه‌ی آزمون‌ها ایجاد نمود.

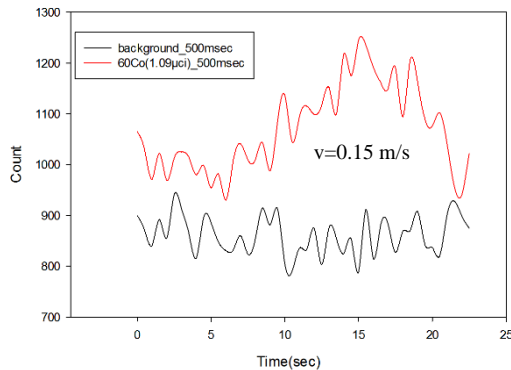
خروجی نرم‌افزار پیاده‌سازی شده، شمارش‌های جمع‌آوری شده از هر PMT و همچنین شمارش کل را در بازه‌های زمانی نمونه‌برداری مورد انتخاب کاربر نمایش خواهد داد. در این پژوهش نتایج شمارش کل از چهار PMT با زمان نمونه‌برداری 500 msec برای چشمه ^{60}Co و ^{137}Cs با سرعت مختلف عبوری در شکل ۴ تا ۱۲ نشان داده شده است.



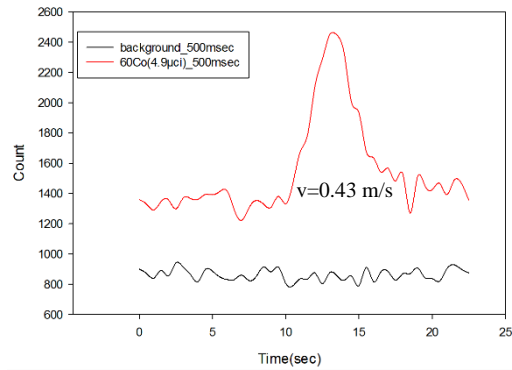
شکل ۳. تشخیص حرکت ^{60}Co با اکتیویته $4.9 \mu\text{ci}$ و سرعت 0.31 m/s در بازه زمانی ۸ الی ۱۳ ثانیه



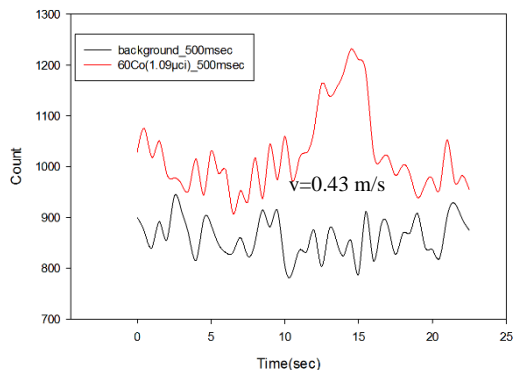
شکل ۴. تشخیص حرکت ^{60}Co با اکتیویته $4.9 \mu\text{ci}$ و سرعت 0.15 m/s در بازه زمانی ۱۲ الی ۲۰ ثانیه



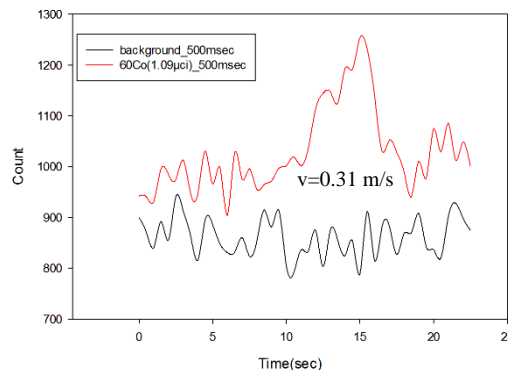
شکل ۵. تشخیص حرکت ^{60}Co با اکتیویته $1.09 \mu\text{ci}$ و سرعت 0.15 m/s در بازه زمانی ۱۲ الی ۱۸ ثانیه



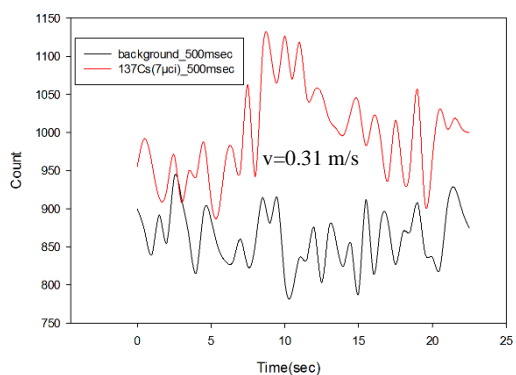
شکل ۶. تشخیص حرکت ^{60}Co با اکتیویته $4.9 \mu\text{ci}$ و سرعت 0.43 m/s در بازه زمانی ۱۲ الی ۱۶ ثانیه



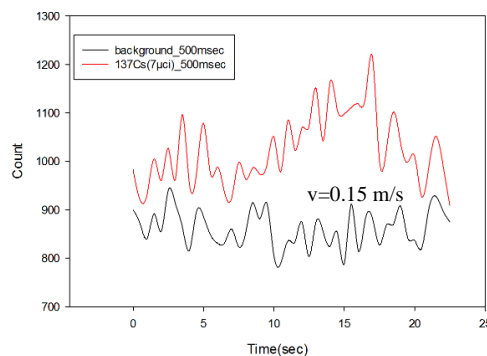
شکل ۹. تشخیص حرکت ^{60}Co با اکتیویته $1.09\mu\text{Ci}$ و سرعت 0.43m/s در بازه زمانی ۱۳ الی ۱۶ ثانیه



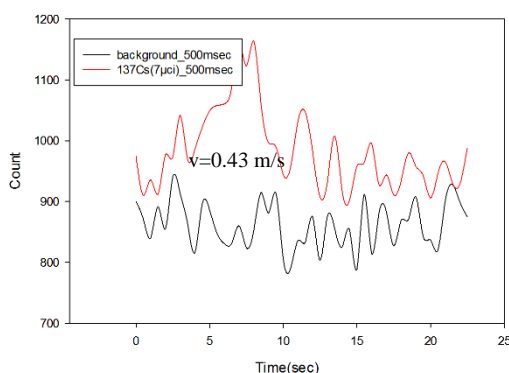
شکل ۸. تشخیص حرکت ^{60}Co با اکتیویته $1.09\mu\text{Ci}$ و سرعت 0.31m/s در بازه زمانی ۱۳ الی ۱۸ ثانیه



شکل ۱۱. تشخیص حرکت ^{137}Cs با اکتیویته $7\mu\text{Ci}$ و سرعت 0.31m/s در بازه زمانی ۸ الی ۱۲ ثانیه



شکل ۱۰. تشخیص حرکت ^{137}Cs با اکتیویته $7\mu\text{Ci}$ و سرعت 0.15m/s در بازه زمانی ۱۲ الی ۱۸ ثانیه



شکل ۱۲. تشخیص حرکت ^{137}Cs با اکتیویته $7\mu\text{Ci}$ و سرعت 0.43m/s در بازه زمانی ۳ الی ۷ ثانیه



لازم است ذکر شود که در تمام آزمون‌های تجربی انجام شده در این پژوهش، در جهت کاهش خطا و افزایش دقت، آزمون‌ها چندین بار به صورت مکرر انجام شده است تا جواب مطلوب و منطقی از نتایج بدست آید. همانطور که از پاسخ دستگاه نسبت به چشمه‌های عبوری در شکل ۴ تا ۱۲ ملاحظه می‌شود، پایشگر درگاهی NSTRI-RPM-2020-1 دارای حساسیتی مناسبی برای چشمه‌های آزمایشگاهی که با سرعت یکنواخت در حال حرکت می‌باشند را داراست و توانایی تشخیص چشمه‌های ذکر شده را دارد.

۳. نتیجه‌گیری

با توجه به اهمیت و جایگاه ویژه پایشگرهای درگاهی در جلوگیری از حمل و نقل مواد پرتوزا، پایشگر درگاهی NSTRI-RPM-2020-1 که در پژوهشگاه علوم و فنون هسته‌ای طراحی و ساخته شده است برای پاسخ به چشمه‌های در حال حرکت با سرعت ثابت در این مطالعه ارزیابی گردید. نتایج نشان‌دهنده پاسخ مطلوب دستگاه برای پایش ناحیه تحت پوشش خود برای چشمه‌های در حال حرکت با سرعت ثابت با اکتیویته آزمایشگاهی خواهد بود.

۴. تشکر و قدردانی

نویسندگان مراتب تقدیر و تشکر خود را از پژوهشگاه علوم و فنون هسته‌ای به دلیل حمایت‌های صورت گرفته در جهت تحقق طراحی و ساخت پایشگر درگاهی مدل NSTRI-RPM-2020-1 در طول انجام پروژه اعلام می‌دارد.

۵. مراجع

1. S. S. Nafee and M. I. Abbas, "A theoretical approach to calibrate radiation portal monitor (RPM) systems," Applied Radiation and Isotopes, pp. 1474-1477, 2008.
2. L. A. McLay, J. D. Lloyd and E. Niman, "Interdicting nuclear material on cargo containers using knapsack problem models," Annals of Operations Research, vol. 187, no. 1, pp. 185-205, 2011.
3. K. Guthe, "The Global Nuclear Detection Architecture and the Deterrence of Nuclear Terrorism," Comparative Strategy, vol. 33, no. 5, pp. 424-450, 2014.
4. R. Coogan, C. Marianno and W. Charlton, "A strategic analysis of stationary radiation portal monitors and mobile detection systems in border monitoring," Nuclear Engineering and Technology, 2019.
5. IAEA-TECDOC-1596-CD, Improvement of Technical Measures to Detect and Respond to Illicit Trafficking of Nuclear and Radioactive Materials, 2008..
6. L. A. McLay, J. D. Lloyd and E. Niman, "Interdicting nuclear material on cargo containers using knapsack problem models," Annals of Operations Research, vol. 187, no. 1, pp. 185-205, 2011.
7. M. G. Paff, S. D. Clarke and S. A. Pozzi, "Organic liquid scintillation detector shape and volume impact on radiation portal monitors," *Nuclear Instruments and Methods in Physics Research Section A: Accelerators, Spectrometers, Detectors and Associated Equipment*, 2016.
8. Y. Kim, M. Kim, K. T. Lim, J. Kim and G. Cho, "Inverse Calibration Matrix Algorithm for Radiation Detection Portal Monitors," *Radiation Physics and Chemistry*, 2018.
9. D. Stromswold, J. Darkoch, J. Ely, R. Hansen and R. Kouzes, "Field tests of a NaI(Tl)-based vehicle portal monitor at border crossings," in IEEE Symposium Conference Record Nuclear Science, Rome, 2004.
10. C. Lee and W.-G. Shin, "Validation of energy-weighted algorithm for radiation portal monitor using plastic scintillator," Applied Radiation and Isotopes, vol. 107, pp. 160-164, 2016.



11. T. Grisa and D. Sas, "On the ratio distribution of energy windowing algorithms for radiation portal monitors," Applied Radiation and Isotopes, vol. 132, pp. 195-199, 2018.
12. G. F. Knoll, Radiation Detection and Measurement, New York: Wiley, 2010.