



## بررسی و مطالعه آشکارسازهای سوسوزن پلاستیکی برای به‌کارگیری در سیستم‌های کشف مواد پرتوزا

مجتبی عسکری<sup>۱\*</sup>، جواد کوچک‌پور<sup>۲</sup>، علی طاهری<sup>۱</sup>

۱. پژوهشکده کاربرد پرتوها، پژوهشگاه علوم و فنون هسته‌ای، سازمان انرژی اتمی ایران، صندوق پستی: ۱۳۳۹-۱۴۱۵۵، تهران - ایران  
۲. گروه مهندسی هسته‌ای، دانشکده مهندسی انرژی، دانشگاه صنعتی شریف، صندوق پستی، ۱۱۳۶۵-۸۶۳۹، تهران - ایران

\*Email: moasgari@aeoi.org.ir

### مقاله پژوهشی

تاریخ دریافت مقاله: ۱۴۰۰/۱/۲۱ تاریخ پذیرش مقاله: ۱۴۰۰/۳/۱۹

### چکیده

امروزه با توجه به خطرات ناشی از مواد رادیواکتیو، کنترل پرتویی مرزها و مراکز حساس از اهمیت ویژه‌ای برخوردار است. به همین دلیل هر ساله آژانس بین‌المللی انرژی اتمی گزارشی از سرقت، گم شدن و یا عدم نظارت و کنترل بر جابه‌جایی مواد رادیواکتیو در برخی از کشورها را ارائه می‌دهد. بنابراین ایجاد و معرفی روش‌های نوین برای مقابله با چنین تهدیداتی بسیار ضروری خواهد بود. یکی از مؤثرترین سیستم‌ها جهت کشف مواد و آلودگی‌های پرتویی، پایشگرهای کشف مواد پرتوزا هستند. در این مطالعه نتایج ارزیابی عملکرد آشکارسازهای سوسوزن پلاستیکی بزرگ برای استفاده در این نوع از پایشگرهای پرتویی ارائه می‌شود. در ابتدا طراحی‌ها و ساخت مدارات، الکترونیکی و نگه‌دارنده‌های مکانیکی پایشگر صورت گرفت. سپس آزمون‌های عملکردی دستگاه با استفاده از چشمه‌های آزمایشگاهی  $^{60}\text{Co}$  و  $^{137}\text{Cs}$  در حال حرکت و هم‌چنین آزمون‌های تعیین حداقل اکتیویته قابل تشخیص این پایشگر انجام و نتایج آن گزارش شده است. نتایج حاصل از آزمون‌های تعیین حداقل اکتیویته قابل تشخیص پایشگر پرتویی نشان داد که سیستم آشکارسازی توانایی تشخیص چشمه  $^{60}\text{Co}$  با حداقل اکتیویته ۱ میکروکوری حداکثر در فاصله ۱۰۰ سانتی‌متر و چشمه  $^{137}\text{Cs}$  با حداقل اکتیویته ۲ میکروکوری در فاصله ۷۵ سانتی‌متر را دارد. براساس نتایج به دست آمده مشخص شد که سیستم پایشگر ساخته شده توانایی تشخیص چشمه‌های با اکتیویته آزمایشگاهی به صورت ثابت و در حال حرکت را با دقت خوبی داراست.

**کلیدواژه‌ها:** پایشگر پرتویی، سوسوزن پلاستیک، چشمه‌های پرتوزا در حال حرکت، حداقل اکتیویته قابل تشخیص

## Assessment of plastic scintillation detectors for employing in monitoring systems of radioactive material

M. Askari<sup>\*1</sup>, J. Kochakpour<sup>1,2</sup>, A. Taheri<sup>1</sup>

1. Radiation Applications Research School, Nuclear Science and Technology Research Institute, AEOI, 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

### Research Article

Received 10.4.2021, Accepted 9.6.2021

### Abstract

Nowadays, due to the threats of radioactive materials, control of borders and sensitive facilities is of particular importance. For this reason, every year the International Atomic Energy Agency publishes a report on the theft, loss or lack of monitoring and control on the movement of the radioactive materials in some countries. Therefore, it will be necessary to create and introduce new methods to deal with such threats. One of the most effective systems for detecting radioactive materials and contaminants are radioactive portal monitors. In this study, the results of performance evaluation of large plastic scintillation detectors for use in this type of monitoring systems are presented. Initially, the design and construction of electronic circuits and mechanical holders were done. Then, the functional tests of the device were performed using  $^{60}\text{Co}$  and  $^{137}\text{Cs}$  sources. Finally, the minimum detectable activity using this monitoring device was determined. The results of the tests to determine the minimum detectable activity of the system showed that it can detect a  $^{60}\text{Co}$  source with a minimum activity of 1  $\mu\text{Ci}$  at a maximum distance of 100 cm and a  $^{137}\text{Cs}$  source with a minimum activity of 2  $\mu\text{Ci}$  at a maximum distance of 75 cm respectively. Regard to the obtained results, it was found that the developed monitoring system has the ability to detect the radioactive sources with good accuracy.

**Keywords:** Radiation portal monitor, Plastic scintillation, Moving radiation sources, Minimum detectable activity



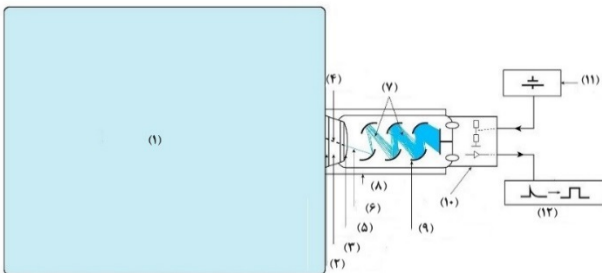
## ۱. مقدمه

بازدهی مناسبی برای آشکارسازی شدت‌های کم از پرتوها هستند [۱۰، ۱۱]. هم‌چنین برای حذف پرتوهای زمینه، مطالعاتی بر روی الگوریتم‌های انتخاب پنجره انرژی در سیستم‌های پیشگر درگاهی انجام شده است [۱۲].

با توجه به اهمیت بالای ساخت پیشگرهای درگاهی با استانداردهای لازم، در این پژوهش پیشگر درگاهی مدل ۱-۲۰۲۰-RPM-NSTRI که در پژوهشگاه علوم و فنون هسته‌ای طراحی و ساخته شده است، برای چشمه‌هایی با اکتیویته آزمایشگاهی در حال حرکت و هم‌چنین برای محاسبه حداقل اکتیویته قابل تشخیص (MDA<sup>۱</sup>) آن ارزیابی گردید که در ادامه نتایج آن ارائه خواهد شد.

## ۲. روش کار

یک پیشگر درگاهی (RPM<sup>۲</sup>) به طور معمول از چند آشکارساز سوسوزنی پلاستیک با حجم بالا تشکیل می‌شود. اصول آشکارسازی این پیشگرها به این صورت است که ابتدا سوسوزن بزرگ تعبیه شده با دریافت پرتو، پالس‌های نوری ضعیفی ایجاد می‌کند، سپس پالس تولید شده به وسیله تیوب تکثیرکننده نوری (PMT<sup>۳</sup>) به جریان الکتریکی (مطابق با شکل ۱) تبدیل و سپس تقویت می‌شود [۱۳]. خروجی آشکارساز برای تجزیه و تحلیل اطلاعات به گیرنده مرکزی و بسته به نیاز به یک سیستم هشداردهنده و رایانه متصل می‌شود. بنابراین در پیشگرهای درگاهی پس از افزایش تعداد سیگنال دریافتی به بیش از حد مجاز آستانه‌ای در آشکارسازهای پرتویی (که در ابتدا با توجه به پس‌زمینه طبیعی تخمین زده می‌شود)، زنگ هشدار فعال شده و وجود مواد پرتوزای عبوری تشخیص داده خواهد شد.



شکل ۱. نحوه عملکرد سیستم آشکارسازی در پیشگرهای درگاهی (۱: سوسوزن پلاستیک، ۲: اتصال نوری، ۳: هدایت‌کننده نور، ۴: نور لومینسانس، ۵: فوتوکاتد، ۶: فوتوالکترون، ۷: فوتوالکترون‌های ثانویه، ۸: بازتاب‌کننده نوری، ۹: داینود، ۱۰: مقسم ولتاژ و تقویت‌کننده، ۱۱: منبع ولتاژ بالا و ۱۲: خروجی).

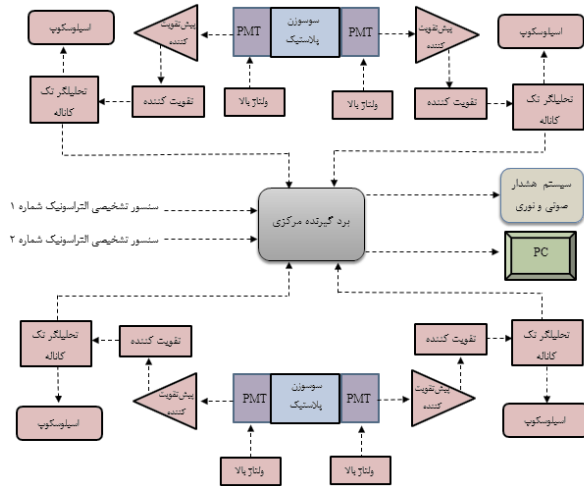
در بین سال‌های ۱۹۹۳ تا ۲۰۰۴ آژانس بین‌المللی انرژی اتمی، ۶۶۲ مورد قاچاق مواد هسته‌ای را تأیید و ثبت کرده است. داده‌های آن‌ها حاکی از آن است که این قاچاق حداقل تا حدی ناشی از تقاضای موجود در بازار سیاه برای این مواد رادیواکتیو است. قابل ذکر است که مقادیر واقعی قاچاق و یا سرقت مواد رادیواکتیو به دلیل وجود سیستم‌های سنتی برای تشخیص، به مراتب بیش‌تر از آمار ذکر شده می‌باشد. هم‌چنین حمله به تأسیسات هسته‌ای Pelindaba در آفریقای جنوبی در سال ۲۰۰۷، که در آن عاملان نفوذ به مقدار قابل توجهی از اورانیوم غنی شده دسترسی پیدا کرده و به سرقت بردند نمونه بارز این موضوع است [۱، ۲]. در همین اواخر در ۳ اکتبر سال ۲۰۲۰ یک دوربین پرتونگاری مدل SPEC۱۵۰ با چشمه رادیواکتیو <sup>۱۹۲</sup>Ir با اکتیویته حدود ۷۰ کوری (۲,۷۵ TBq) در نزدیکی شهر تکس کوکو مکزیک ربوده شد. در آماری دیگر در ۲۴ نوامبر سال ۲۰۲۰، (۴ آذر سال ۱۳۹۹) ۳ چشمه <sup>۲۲۶</sup>Ra با پرتوزایی تقریبی ۱۹ mCi از کامیونی حامل فلز مس در مرزهای شمال غربی ایران کشف شد [۳]. با توجه به خطرات ناشی از پرتوهای یون‌ساز، لزوم حفاظت افراد در برابر چنین اقداماتی کاملاً ضروری است [۴، ۵]. مهم‌ترین نکته در مورد لزوم استفاده از تجهیزات ایمنی در برابر پرتوها این است که پرتوهای یون‌ساز با حواس پنجگانه قابل شناسایی نبوده و در مواردی قادر به آلوده‌سازی بخش وسیعی از یک منطقه مسکونی یا شهری هستند. بنابراین ورود سهوی یا عمدی این مواد می‌تواند علاوه بر وارد آوردن ضایعات و بیماری‌های جسمی به شهروندان، کشور را متحمل خسارات و ضررهای اقتصادی یا سیاسی جبران‌ناپذیری نماید. بنابراین لازم است روش‌های مقابله نوینی 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 مؤثرترین سیستم‌ها جهت کشف آلودگی‌های پرتویی، پیشگرهای کشف مواد پرتوزا می‌باشد. این پیشگرها در مدل‌های مختلف فردی و خودرویی موجود هستند. امروزه سیستم‌های پیشگر درگاهی برای تشخیص حضور مواد هسته‌ای در راه‌های مواصلاتی، ورودی و خروجی مرزها و کارخانه‌ها مورد استفاده قرار می‌گیرند [۶، ۷]. تاکنون تحقیقات زیادی در مورد سیستم‌های پیشگر درگاهی در جهان انجام شده است [۸، ۹]. با توجه به نتایج این دست از تحقیقات، آشکارسازهایی که در سیستم‌های پیشگر درگاهی مورد استفاده قرار می‌گیرند، آشکارسازهای سوسوزن پلاستیکی در ابعاد بزرگ و در صورت لزوم سوسوزن‌های NaI(Tl) می‌باشند که دارای

1. Minimum Detectable Activity (MDA)
2. Radiation Portal Monitor (RPM)
3. Photomultiplier Tube (PMT)

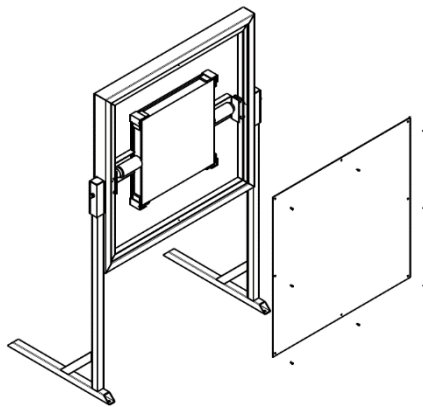


جلویی وارد آشکارساز می‌شوند، برای افزایش حساسیت سیستم آشکارسازی، صفحه جلویی باید ضخامت کم‌تری داشته باشد. بدین منظور برای ساخت این صفحات از آلومینیم با ضخامت ۲ میلی‌متر استفاده شده است. شکل ۳، سازه نگاه‌دارنده آشکارساز بر روی پایه را به همراه آشکارساز سوسوزن، تیوب تکثیرکننده نوری و بردهای الکترونیکی به صورت شماتیکی نشان می‌دهد.

در نهایت پس از طراحی‌های صورت گرفته، پیشگر درگاهی ساخته شد که در شکل ۴ تصویری از آن ارائه شده است.



شکل ۲. بلوک دیاگرام سیستم آشکارسازی به همراه الکترونیک دستگاه NSTRI-RPM-۲۰۲۰-۱



شکل ۳. شماتیکی از سازه آشکارساز پیشگر درگاهی.



شکل ۴. پیشگر درگاهی NSTRI-RPM-۲۰۲۰-۱

پایشگر درگاهی NSTRI-RPM-۲۰۲۰-۱ در مرحله اول از نوع پایشگر درگاهی نفری بوده و در حال حاضر در حال ارتقاء به خودرویی است. این پایشگر برای مطابقت با الزامات استانداردهای نظارت بر آلودگی پرتویی در پاسخ‌های اضطراری رادیولوژیکی طراحی و ساخته شده است که مجهز به دو آشکارساز سوسوزن پلاستیک پلی وینیل تولوئن (PVT<sup>۱</sup>) با ابعاد (L×W×H) ۵۰×۵×۵۰ cm (L×W×H) ۵۰×۵ Lit) به همراه چهار عدد PMT، ماژول‌های منبع تغذیه، تقویت‌کننده و پیش‌تقویت کننده مطابق شکل ۲ می‌باشد. از طرف دیگر دو عدد سنسور التراسونیک به عنوان سنسورهای تشخیص حرکت<sup>۲</sup> در دستگاه تعبیه شده است.

هر چقدر تعداد PMT‌های متصل شده به آشکارساز افزایش یابد، دقت دستگاه نیز افزایش خواهد یافت که البته استفاده از ۴ عدد PMT و مکان اتصال آن‌ها نیز به صورت تجربی بهینه شده است. موقعیت PMT‌ها در سطح کریستال سوسوزن پلاستیک به صورت تجربی جابه‌جا و موقعیتی که بیش‌ترین شمارش در آن ثبت شد، به عنوان مکان مناسب جهت اتصال PMT به کریستال انتخاب گردید. بهترین پاسخ سیستم آشکارسازی برای حالتی که دو PMT در وسط و روبه‌روی هم به آشکارساز متصل شده‌اند به دست آمد.

به منظور سهولت در بخش طراحی از چهار برد مجزای SCA<sup>۳</sup> جهت شمارش پالس‌های خروجی تیوب‌های تکثیرکننده نوری و همچنین از یک برد مرکزی جهت پردازش، نمایش و اعمال فرامین، بهره برده شده است. در هر دو نوع از بردها، از پردازنده قدرتمند ARM استفاده شده است.

این پایشگر درگاهی دارای دو بخش اصلی آشکارسازی می‌باشد که در دو طرف مسیر عبوری افراد و اتومبیل‌ها قرار می‌گیرند. هر بخش دارای سیستم آشکارسازی مجزا شامل دو بخش کلی نگاه‌دارنده و پایه آشکارساز می‌باشد. طراحی صورت گرفته در این بخش باید به گونه‌ای باشد که بتوان فاصله بین دو بخش آشکارسازی را تنظیم نمود. پایه نگاه‌دارنده آشکارساز طوری طراحی شده است که در صورت لزوم بتوان آن را جدا نمود و برای کاربردهای مختلف ارتفاع آن را تغییر داد. ارتفاع این پایه طوری است که مرکز آشکارساز در فاصله ۱۲۵ سانتی‌متری از سطح زمین قرار بگیرد. همچنین برای ساخت سازه نگاه‌دارنده باید بر روی چارچوب نگاه‌دارنده آشکارساز دو صفحه در جلو و پشت قرار بگیرد. صفحه پشتی برای کاهش میزان پرتوهای رسیده به آشکارساز از ورق آهن به ضخامت ۵ میلی‌متر ساخته شده است. با توجه به این که پرتوها از صفحه

1. Polyvinyl Toluene (PVT)
2. Occupancy Sensor
3. Single Channel Analyzer (SCA)



### ۳. نتایج

تمامی تجهیزات این آزمایش در تمام مراحل در وضعیت ثابت و مشخصی قرار داده شدند تا شرایط یکسانی برای انجام همه‌ی آزمون‌ها ایجاد شود. خروجی نرم‌افزار پیاده‌سازی شده، شمارش‌های جمع‌آوری شده از هر PMT و هم‌چنین شمارش کل در بازه‌های زمانی نمونه‌برداری شده است. نتایج گزارش شده در این مطالعه، شمارش کل هر چهار PMT با زمان نمونه‌برداری ۱sec برای چشمه‌های  $^{60}\text{Co}$  و  $^{137}\text{Cs}$  با سرعت‌های عبوری مختلف می‌باشد. لازم به ذکر است که در تمام آزمون‌های تجربی انجام شده بر روی این پیشگر، در جهت کاهش خطا و افزایش دقت، آزمون‌ها چندین بار به صورت مکرر انجام شده است. در نمودارهای ارائه شده در شکل ۶، نمودار سبز رنگ میزان شمارش، خط آبی رنگ میانگین شمارش زمینه به اضافه سه انحراف معیار زمینه و خط قرمز رنگ میانگین شمارش زمینه به اضافه چهار انحراف معیار زمینه می‌باشد. کاربر می‌تواند برای استفاده از این پیشگر پرتویی انحراف معیار مدنظر خود (سه و چهار انحراف معیار) را انتخاب نماید. استفاده از سه و چهار انحراف معیار برای کاهش خطاهای مثبت و منفی است. انتخاب حالت چهار انحراف معیار، خطای مثبت که حاصل از نوسانات شمارش زمینه است را کاهش می‌دهد اما در عین حال ممکن است در برخی موارد که چشمه عبوری دارای اکتیویته پایینی باشد، پیشگر توانایی تشخیص نداشته و آن را به عنوان شمارش‌های زمینه ثبت نماید و دچار خطای منفی شود. هم‌چنین قبل از عملیاتی نمودن این پیشگر برای پایش افراد و مواد عبوری، نیاز است این پیشگر برای مدت زمان ۲۰ ثانیه شمارش زمینه را اندازه‌گیری و به‌روزرسانی نماید. به همین دلیل نتایج اندازه‌گیری‌ها مستقل از زمان و مکان اندازه‌گیری خواهد شد. در شکل‌های ۶ تا ۸، نتایج آنالیز چشمه  $^{60}\text{Co}$  با اکتیویته ۱ میکروکوری با سرعت‌های عبوری مختلف ارائه شده است. براساس نتایج به دست آمده، در تشخیص این چشمه توسط پیشگر با سرعت‌های مذکور محدودیتی وجود نخواهد داشت.

در گام بعدی برای انجام تست‌های عملکردی دستگاه، اندازه‌گیری‌ها با چشمه  $^{137}\text{Cs}$  با اکتیویته ۲ میکروکوری تکرار گردید، که نتایج آن در شکل‌های ۹ تا ۱۱ ارائه شده است. نتایج نشان داد که در سرعت‌های بالا معیار تشخیص این چشمه می‌بایست سه سیگما قرار داده شود. به طور کلی افت و خیزها ناشی از آمار و تصادفی بودن شمارش‌های زمینه و شمارش‌های حاصل از چشمه و هم‌چنین نویزهای الکترونیکی است.

لازم به ذکر است که پیشگر درگاهی NSTRI-RPM-۲۰۲۰-۱ قابلیت جابه‌جایی و تنظیم فاصله بین دو سیستم آشکارسازی برای کاربرد مدنظر (خودرویی و یا عابر پیاده) را نیز دارا است. پس از ساخت این پیشگر، آزمون‌های مهمی می‌بایست در کنترل کیفی آن مورد توجه قرار گیرد که عبارتند از:

۱. برای تعیین حداقل اکتیویته قابل تشخیص توسط دستگاه، چشمه‌های  $^{60}\text{Co}$  با اکتیویته ۱ میکروکوری و  $^{137}\text{Cs}$  با اکتیویته ۲ میکروکوری در فاصله ۲۵ تا ۱۵۰ سانتی‌متر از مرکز سیستم آشکارسازی با گام‌های ۲۵ سانتی‌متری قرار داده شد و میزان شمارش در بازه یک ثانیه، ۳۰ بار خوانده شد.

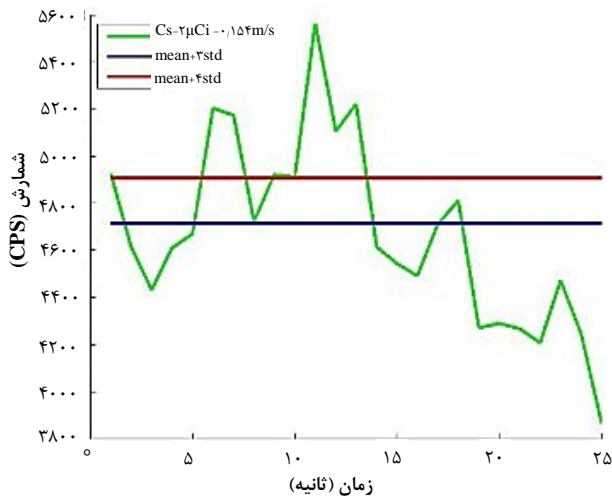
۲. عملکرد و پاسخ سیستم پیشگر درگاهی ساخته شده براساس تابعی از سرعت جسم در حال عبور مورد ارزیابی و بهینه‌سازی قرار گرفت. برای این منظور داده‌های خروجی سیستم به همراه اطلاعات سرعت حرکت جسم، تجزیه و تحلیل پس پردازشی می‌شوند. برای انجام این آزمون با توجه به این‌که تعیین دقیق سرعت حرکت چشمه‌های عبوری در مقابل پیشگر پرتویی یکی از فاکتورهای اساسی در تعیین دقت دستگاه می‌باشد، از ریلی جهت به حرکت درآوردن چشمه‌ها با سرعت مشخص که در راستای افقی جابه‌جا می‌شوند، مطابق شکل ۵ استفاده شد.

چشمه‌های آزمایشگاهی مورد استفاده در این آزمون نیز  $^{60}\text{Co}$  با اکتیویته ۱ میکروکوری و  $^{137}\text{Cs}$  با اکتیویته ۲ میکروکوری بودند که در موقعیت مشخص (در فاصله ۱ متری از هر آشکارساز) بر روی ریل سوار شده و با سرعت‌های یکنواخت  $۰/۱۵۴$ ،  $۰/۳۱$  و  $۰/۴۵$  متر بر ثانیه از داخل پیشگر مطابق شکل ۵ عبور داده شدند. هم‌چنین پارامترهای قابل تنظیم پیشگر از قبیل ولتاژ بالا و آستانه ولتاژ پایین در هنگام انجام آزمون‌ها، مقداردهی و بهینه‌سازی شدند. نهایتاً، ولتاژ بالا برابر با  $H.V=950V$  و آستانه ولتاژ پایین برابر با  $Low\ level=150mV$  برای انجام آزمون‌ها تنظیم شدند.

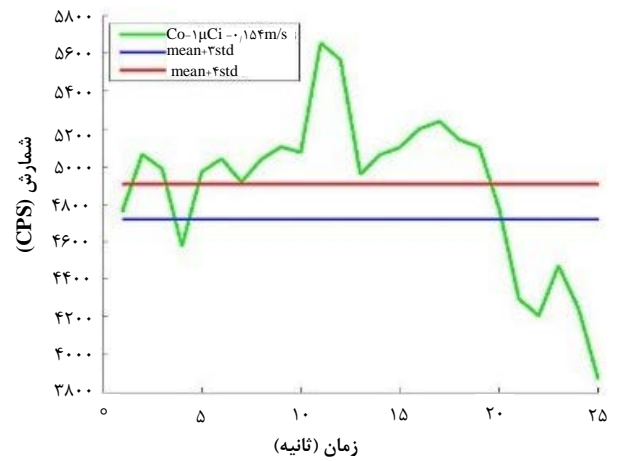


شکل ۵. شماتیکی از چینش آزمون پیشگر برای انجام آزمون سرعت چشمه‌های در حال عبور.

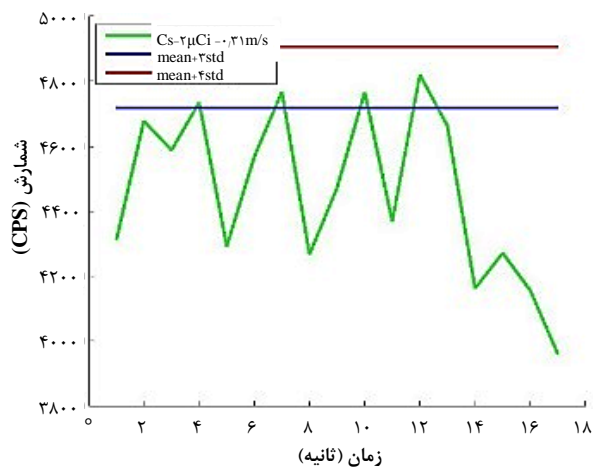




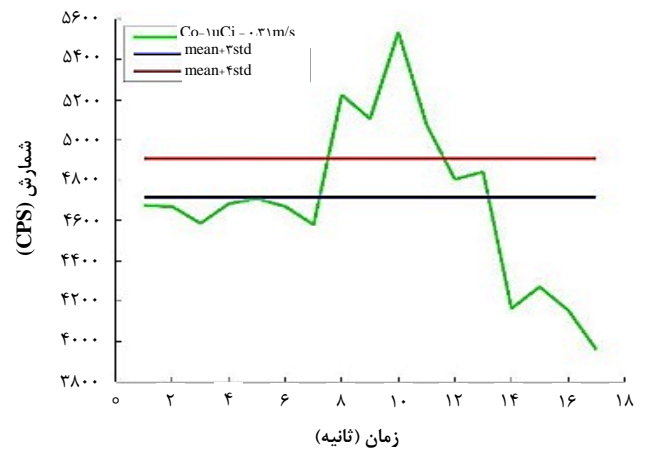
شکل ۹. شمارش چشمه  $^{137}\text{Cs}$  با اکتیویته  $2\mu\text{Ci}$  با سرعت  $0.154\text{ m/sec}$ .



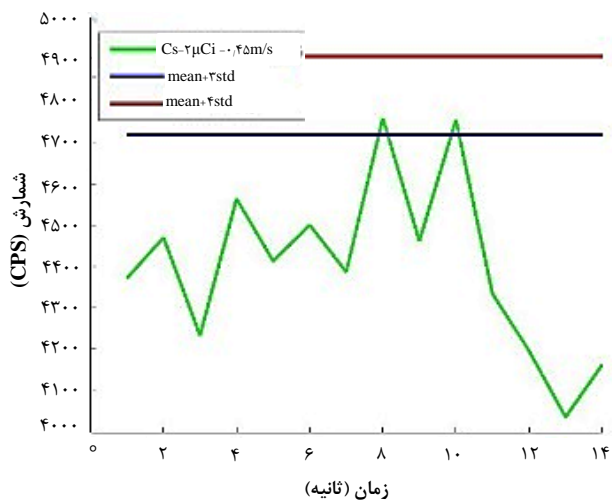
شکل ۶. شمارش چشمه  $^{60}\text{Co}$  با اکتیویته  $1\mu\text{Ci}$  با سرعت  $0.154\text{ m/sec}$ .



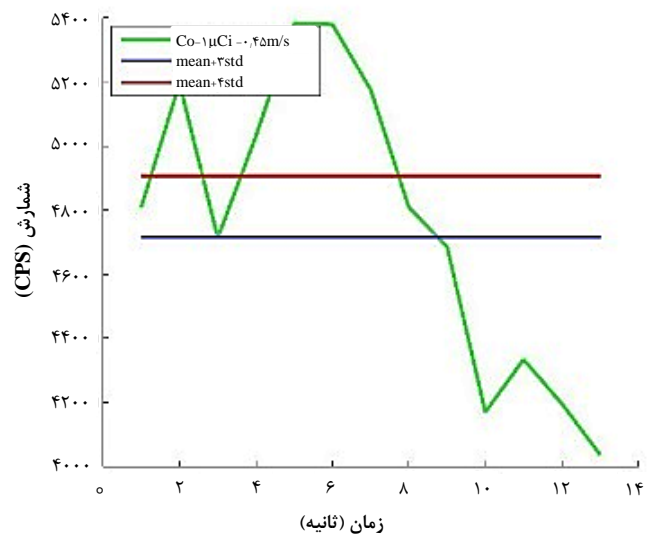
شکل ۱۰. شمارش چشمه  $^{137}\text{Cs}$  با اکتیویته  $2\mu\text{Ci}$  با سرعت  $0.31\text{ m/sec}$ .



شکل ۷. شمارش چشمه  $^{60}\text{Co}$  با اکتیویته  $1\mu\text{Ci}$  با سرعت  $0.31\text{ m/sec}$ .



شکل ۱۱. شمارش چشمه  $^{137}\text{Cs}$  با اکتیویته  $2\mu\text{Ci}$  با سرعت  $0.45\text{ m/sec}$ .



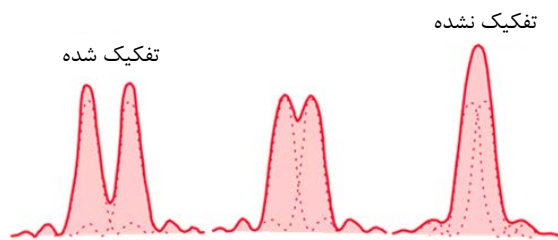
شکل ۸. شمارش چشمه  $^{60}\text{Co}$  با اکتیویته  $1\mu\text{Ci}$  با سرعت  $0.45\text{ m/sec}$ .



برای آن که یک چشمه قابل تشخیص باشد، باید اختلاف بین میانگین شمارش چشمه و میانگین شمارش زمینه از حاصل ضرب سطح اطمینان در جمع انحراف معیار شمارش چشمه و انحراف معیار شمارش زمینه بیش تر باشد.

به طور مثال در شکل ۱۴، اولین شکل از سمت چپ، دو توزیع به طور واضح از هم قابل تفکیک اند و در سومین شکل دو توزیع از هم غیرقابل تفکیک می باشند. اما در شکل وسط نمی توان با قاطعیت تصمیم گرفت که آیا این دو توزیع از هم قابل تفکیک اند یا خیر، بنابراین در این مورد می توان از سطح اطمینان ۲ سیگما یا ۳ سیگما استفاده کرد.

برای به دست آوردن کمترین میزان اکتیویته قابل تشخیص توسط پایشگر درگاهی شمارش میانگین و انحراف معیار در فواصل مختلف با شمارش میانگین و انحراف معیار زمینه مقایسه و در انحراف معیارهای مختلف گزارش می شود. نتایج حاصل از اندازه گیری توسط چشمه  $^{60}\text{Co}$  با اکتیویته ۱ میکروکوری در جدول ۱ ارائه شده است.



شکل ۱۴. تفکیک دو توزیع از یک دیگر.

جدول ۱. نتایج حاصله از چشمه  $^{60}\text{Co}$  برای محاسبه MDA بر حسب فاصله

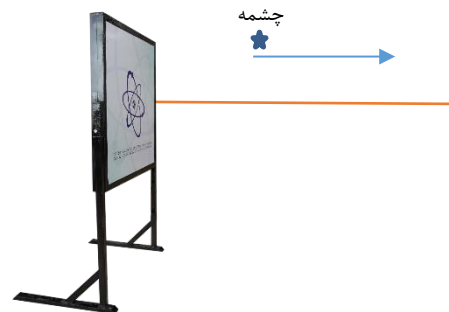
فاصله (cm)	۲۵	۵۰	۷۵	۱۰۰	۱۲۵	۱۵۰
میانگین چشمه ( $m_1$ )	۷۴۷۷	۴۵۳۹	۳۷۹۷	۳۴۰۰	۳۱۳۷	۳۰۶۹
انحراف معیار چشمه ( $\sigma_1$ )	۲۴۶	۱۷۷	۱۱۴	۱۳۴	۱۲۳	۱۴۰
میانگین زمینه ( $m_2$ )	۲۷۶۰	۲۷۶۰	۲۷۶۰	۲۷۶۰	۲۷۶۰	۲۷۶۰
انحراف معیار زمینه ( $\sigma_2$ )	۹۷	۹۷	۹۷	۹۷	۹۷	۹۷
$m_1 - m_2$	۴۷۱۷	۱۷۷۹	۱۰۳۷	۶۴۰	۳۷۷	۳۰۹
$2(\sigma_1 + \sigma_2)$	۱۰۲۹	۸۲۲	۶۳۳	۶۹۳	۶۶۰	۷۱۱
$(m_1 - m_2) - 2(\sigma_1 + \sigma_2)$	۲۶۸۸	۹۵۷	۴۰۴	-۵۳	-۲۸۳	-۴۰۲
$2\sigma$	Ok	Ok	Ok	Ok	Ok	Ok
$2(\sigma_1 + \sigma_2)$	۶۸۶	۵۴۸	۴۲۲	۴۶۲	۴۴۰	۴۷۴
$(m_1 + m_2) - 2(\sigma_1 + \sigma_2)$	۴۰۳۱	۱۲۲۱	۶۱۵	۱۷۸	-۶۳	-۱۶۵
$2\sigma$	Ok	Ok	Ok	Ok	Ok	Ok

بنابراین، برای چشمه های عبوری  $^{60}\text{Co}$  با اکتیویته ۱ میکروکوری و  $^{137}\text{Cs}$  با اکتیویته ۲ میکروکوری با سرعت های مذکور، دستگاه توانایی تشخیص چشمه را دارد. در نهایت می توان گفت که پایشگر درگاهی دارای حساسیتی مناسبی برای چشمه های آزمایشگاهی که با سرعت یکنواخت در حال حرکت بوده و توانایی تشخیص آن ها را دارد.

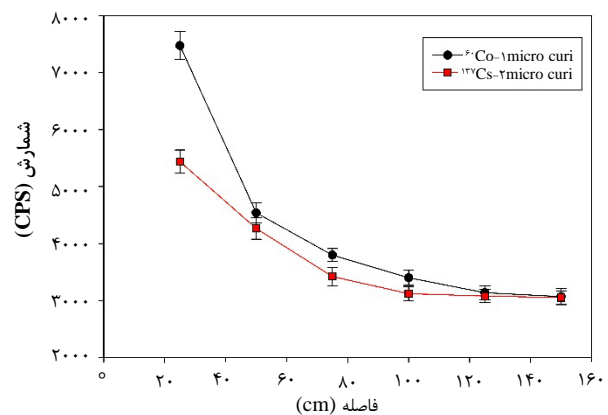
لازم است ذکر گردد که حداکثر سرعت حرکت ریل در این پژوهش برابر با  $0.45 \text{ m/s}$  بوده، بنابراین انتخاب سرعت های بالاتر به دلیل این محدودیت امکان پذیر نبود. برای جبران این کاهش سرعت، اکتیویته چشمه تحت تست کم تر در نظر گرفته شده است.

برای به دست آوردن حداقل اکتیویته قابل تشخیص، چشمه های  $^{60}\text{Co}$  و  $^{137}\text{Cs}$  به ترتیب با اکتیویته های ۱ و ۲ میکروکوری در فاصله ۲۵ تا ۱۵۰ سانتی متر از مرکز سیستم آشکارسازی با گام های ۲۵ سانتی متری قرار داده شدند. در این آزمون هم مشابه با آزمون قبلی، مقدار ولتاژ بالا بر روی ۹۵۰۷ و سطح ولتاژ پایین در ۱۵۰ mV تنظیم گردید. شکل ۱۲ چیدمان اندازه گیری حداقل اکتیویته قابل تشخیص برای سیستم آشکارسازی را نشان می دهد.

میانگین شمارش ثبت شده برای چشمه های  $^{60}\text{Co}$  با اکتیویته ۱ میکروکوری و  $^{137}\text{Cs}$  با اکتیویته ۲ میکروکوری در فواصل مختلف در شکل ۱۳ نشان داده شده است.



شکل ۱۲. چیدمان اندازه گیری حداقل اکتیویته قابل تشخیص چشمه.



شکل ۱۳. میزان شمارش بر حسب فاصله برای چشمه های  $^{60}\text{Co}$  و  $^{137}\text{Cs}$ .



لازم به ذکر است که این پیشگر پرتویی برای مطابقت با الزامات استانداردهای نظارت بر آلودگی پرتویی در پاسخهای اضطراری رادیولوژیکی طراحی و ساخته شده است و عملکردهای فنی آن از قبیل محدوده انرژی، حداقل اکتیویته قابل تشخیص، آنالیز چشمه‌های در حال حرکت و غیره قابل قیاس با پیشگرهای تجاری موجود می‌باشد. در جدول ۳ مقایسه‌ای از عملکرد فنی پیشگر درگاهی ساخته شده با نمونه‌های تجاری مشابه ارائه شده است.

جدول ۲. نتایج حاصله از چشمه  $^{137}\text{Cs}$  برای محاسبه MDA برحسب فاصله

فاصله (cm)	۲۵	۵۰	۷۵	۱۰۰	۱۲۵	۱۵۰
میانگین چشمه ( $m_1$ )	۵۴۳۸	۴۲۶۵	۳۴۲۲	۲۱۲۱	۳۰۸۰	۳۰۵۱
انحراف معیار چشمه ( $\sigma_1$ )	۲۰۶	۱۸۸	۱۶۰	۱۲۲	۱۱۶	۱۲۰
میانگین زمینه ( $m_2$ )	۲۷۶۰	۲۷۶۰	۲۷۶۰	۲۷۶۰	۲۷۶۰	۲۷۶۰
انحراف معیار زمینه ( $\sigma_2$ )	۹۷	۹۷	۹۷	۹۷	۹۷	۹۷
$m_1 - m_2$	۲۶۷۸	۱۵۰۵	۶۶۲	۳۶۱	۳۲۰	۲۹۱
$2(\sigma_1 + \sigma_2)$	۹۰۹	۸۵۵	۷۷۱	۶۵۷	۶۳۹	۶۵۱
$(m_1 - m_2) - 2(\sigma_1 + \sigma_2)$	۱۷۶۹	۶۵۰	-۱۰۹	-۲۹۶	-۳۱۹	-۳۶۰
$3\sigma$	Ok	Ok	×	×	×	×
$2(\sigma_1 + \sigma_2)$	۶۰۶	۵۷۰	۵۱۴	۴۳۸	۴۲۶	۴۳۴
$(m_1 - m_2) - 2(\sigma_1 + \sigma_2)$	۲۰۷۲	۹۳۵	۱۴۸	-۷۷	-۱۰۶	-۱۴۳
$2\sigma$	Ok	Ok	Ok	×	×	×

نتایج حاصل از اندازه‌گیری چشمه  $^{60}\text{Co}$  با اکتیویته ۱ میکروکوری نشان می‌دهد که این پیشگر پرتویی توانایی تشخیص این چشمه را در فاصله ۱۰۰ سانتی متری (۲σ) و ۷۵ سانتی متری (۳σ) دارد. همچنین نتایج آزمون با استفاده از چشمه  $^{137}\text{Cs}$  با اکتیویته ۲ میکروکوری در جدول ۲ نشان داده شده است. نتایج این اندازه‌گیری هم نشان‌دهنده توانایی دستگاه در تشخیص این چشمه در فاصله‌های ۷۵ سانتی متری (۲σ) و ۵۰ سانتی متری (۳σ) می‌باشد.

علامت × در جداول به این معنا است که این پیشگر قادر به تشخیص چشمه پرتوزای مذکور در آن فاصله نبوده و همچنین علامت Ok به معنای تشخیص آن چشمه در فاصله ثبت شده است.

همچنین محدوده انرژی قابل تشخیص این پیشگر  $3\text{MeV} - 60\text{keV}$  می‌باشد که قابلیت تشخیص چشمه  $^{241}\text{Am}$  را دارد.

در مورد سیستم هشداردهنده پیشگر درگاهی ساخته شده، قبل از عملیاتی نمودن این پیشگر برای پایش افراد و مواد عبوری، نیاز است این پیشگر برای مدت زمان ۲۰ ثانیه شمارش زمینه را اندازه‌گیری و به‌روزرسانی نماید. سپس در ادامه در صورتی که فرد عبوری از پیشگر مذکور حاوی مواد رادیواکتیو باشد و شمارش‌های ثبت شده توسط  $^4\text{PMT}$  از سطح هشدار تنظیم شده توسط کاربر (سه و چهار انحراف معیار) فراتر رود، سیستم هشدار نوری به رنگ قرمز درآمده و سیستم هشدار صوتی فعال خواهد شد. در صورتی که ماده عبوری عاری از هرگونه ماده رادیواکتیو باشد، سیستم هشدار نوری به رنگ سبز درآمده و سیستم هشدار صوتی نیز دیگر فعال نخواهد شد.

جدول ۳. مقایسه‌ای از عملکرد فنی پیشگر درگاهی ساخته شده با نمونه‌های تجاری

مشخصات فنی	NSTRI-RPM-۲۰۲۰-۱	AT۹۳۰	PM۵۰۰۰C-۰۵M	۱۰۰ SG	SaphyGATE GN	BDRM-۰۵
سازنده	پژوهشگاه علوم و فنون هسته‌ای	ATOMTEX	Polymaster	IAP	Bertin	ATOMTEX
نوع آشکارساز	سوسوزن پلاستیک	سوسوزن پلاستیک	سوسوزن پلاستیک	سوسوزن پلاستیک	سوسوزن پلاستیک	سوسوزن پلاستیک
ابعاد آشکارساز (ارتفاع×عرض×طول)	۵۰×۵×۵۰cm	۱۰۰×۵×۱۰۰cm	۱۱۶×۵×۳۴cm	۲۸×۱۳×۱۴cm	۱۹۰×۴۲×۶۶cm	۱۰۰×۵×۱۰۰cm
محدوده انرژی	۶۰keV-۳MeV	۶۰keV-۳MeV	۳۰keV-۳MeV	۶۰keV-۲MeV	۵۰keV-۷MeV	۵۰keV-۳MeV
سنسور اشغال	دارد	ندارد	ندارد	ندارد	دارد	دارد
نحوه هشدار	صوتی و نوری	صوتی و نوری	صوتی و نوری	صوتی و نوری	صوتی و نوری	صوتی
حداقل اکتیویته قابل تشخیص (فاصله ۱ متری)	۲μCi $^{137}\text{Cs}$ @ ۰,۴۵ m/s	۲μCi $^{137}\text{Cs}$ @ ۱,۴ m/s	۱μCi $^{137}\text{Cs}$ @ ۱,۴ m/s	۱۵μCi $^{137}\text{Cs}$ @ ۱ m/s حالت مد گذر از میان	۶,۴ μCi $^{137}\text{Cs}$ @ ۲,۲ m/s	۴,۶ μCi $^{137}\text{Cs}$ @ ۲,۸ m/s
	۱ μCi $^{60}\text{Co}$ @ ۰,۴۵ m/s	۱ μCi $^{60}\text{Co}$ @ ۱,۴ m/s	۰,۵ μCi $^{60}\text{Co}$ @ ۱,۴ m/s	-	۲,۹ μCi $^{60}\text{Co}$ @ ۲,۲ m/s	۲,۳ μCi $^{60}\text{Co}$ @ ۲,۸ m/s
رابط کاربری اتصال به PC	RS۴۸۵	RS۴۸۵	RS۴۸۵	RS۴۸۵	RS۴۸۵	USB / RS۲۳۲



## ۴. نتیجه گیری

با توجه به اهمیت و جایگاه ویژه پایشگرهای درگاهی در جلوگیری از حمل و نقل غیر قانونی مواد پرتوزا، این مطالعه در راستای طراحی و ساخت این نوع از پایشگرها انجام شده است. در این مطالعه در ابتدا طراحی الکترونیکی و مکانیکی صورت گرفته و سپس سیستم پایشگر درگاهی تشخیص مواد پرتوزا مدل ۱-۲۰۲۰-NSTRI-RPM با استفاده از سوسوزنهای پلاستیکی بزرگ پیاده سازی و ساخته شده است. آزمونهای ارزیابی عملکرد انجام شده برای این پایشگر درگاهی عبارتند از:

۱. بررسی نحوه عملکرد پایشگر پرتویی ساخته شده برای چشمه های  $^{60}\text{Co}$  و  $^{137}\text{Cs}$  در حال حرکت.

۲. به دست آوردن حداقل اکتیویته قابل تشخیص سیستم برای چشمه های  $^{60}\text{Co}$  و  $^{137}\text{Cs}$ .

در آزمون اول چشمه های  $^{60}\text{Co}$  و  $^{137}\text{Cs}$  به ترتیب با اکتیویته های ۱ و ۲ میکروکوری با استفاده از ریلی با سرعت های ۰/۱۵۴، ۰/۳۱ و ۰/۴۵ متر بر ثانیه از مقابل پایشگر عبور داده شد و نتایج کل نیز با شمارش های زمینه با انحراف معیارهای ۳۵ و ۴۵ بررسی گردید. بر اساس نتایج به دست آمده، پاسخ پایشگر درگاهی برای پایش ناحیه تحت پوشش خود برای چشمه های در حال حرکت با سرعت ثابت دارای دقت خوبی بود. به طور کیفی می توان بیان کرد که این پایشگر پرتویی قابلیت تشخیص چشمه های  $^{60}\text{Co}$  و  $^{137}\text{Cs}$  با سرعت های ذکر شده را دارد.

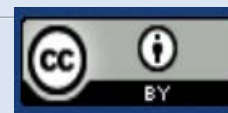
هم چنین نتایج حاصل از آزمون تعیین حداقل اکتیویته قابل تشخیص پایشگر پرتویی نشان داد که سیستم آشکارسازی توانایی تشخیص چشمه  $^{60}\text{Co}$  با اکتیویته ۱ میکروکوری حداکثر در ۱۰۰ سانتی متر (۲۵) و ۷۵ سانتی متر (۳۵) را دارد. هم چنین این فاصله برای چشمه  $^{137}\text{Cs}$  با اکتیویته ۲ میکروکوری ۷۵ سانتی متر (۲۵) و ۵۰ سانتی متر (۳۵) تعیین شد.

## مراجع

1. IAEA-TECDOC-1596-CD, *Improvement of Technical Measures to Detect and Respond to Illicit Trafficking of Nuclear and Radioactive Materials*, (2008).
2. J. Ely, R. Kouzes, *The use of energy windowing to discriminate SNM from NORM in radiation portal monitors*, Nuclear Instruments and Methods in Physics Research Section A: Accelerators, Spectrometers, Detectors and Associated Equipment, **2(373-387)**, 560 (2006).
3. <https://www-news.iaea.org/erfview.aspx?mid=47f42a04-547c-47a2-ae26-16f490158890>.
4. K. Guthe, *The Global Nuclear Detection Architecture and the Deterrence of Nuclear Terrorism, Comparative Strategy*, **33(5)**, 424-450 (2014).
5. R. Coogan, C. Marianno, W. Charlton, *A strategic analysis of stationary radiation portal monitors and mobile detection systems in border monitoring, Nuclear Engineering and Technology*, (2019).
6. S.S. Nafee, M.I. Abbas, *A theoretical approach to calibrate radiation portal monitor (RPM) systems, Applied Radiation and Isotopes*, 1474-1477 (2008).
7. L.A. McLay, J.D. Lloyd, E. Niman, *Interdicting nuclear material on cargo containers using knapsack problem models, Annals of Operations Research*, **187(1)**, 185-205 (2011).
8. M.G. Paff, S.D. Clarke, 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).
9. Y. Kim, et al, *Inverse Calibration Matrix Algorithm for Radiation Detection Portal Monitors, Radiation Physics and Chemistry*, (2018).
10. D. Stromswold, et al, *Field tests of a NaI(Tl)-based vehicle portal monitor at border crossings, In IEEE Symposium Conference Record Nuclear Science*, Rome, (2004).
11. C. Lee, W.-G. Shin, *Validation of energy-weighted algorithm for radiation portal monitor using plastic scintillator, Applied Radiation and Isotopes*, **107**, 160-164 (2016).
12. T. Grisa, D. Sas, *On the ratio distribution of energy windowing algorithms for radiation portal monitors, Applied Radiation and Isotopes*, **132**, 195-199 (2018).
13. G.F. Knoll, *Radiation Detection and Measurement*, New York, Wiley, (2010).

## COPYRIGHTS

©2021 The author(s). This is an open access article distributed under the terms of the Creative Commons Attribution (CC BY 4.0), which permits unrestricted use, distribution, and reproduction in any medium, as long as the original authors and source are cited. No permission is required from the authors or the publishers.



استناد به این مقاله

مجتبی عسکری، جواد کوچک پور، علی طاهری (۱۴۰۱)، بررسی و مطالعه آشکارسازهای سوسوزن پلاستیکی برای به کارگیری در سیستم های کشف مواد پرتوزا، ۱۰۰، ۱۲۵-۱۳۲

DOR: 20.1001.1.17351871.1401.43.2.14.9

Url: [https://jonsat.nstri.ir/article\\_1391.html](https://jonsat.nstri.ir/article_1391.html)

