



## کشف و مکان‌یابی چشمه پرتوی متحرک و پنهان با تلفیق اطلاعات دوربین شهری و آشکارساز یدور سدیم در حالت‌های پیوسته و منقطع

هادی اردینی<sup>\*</sup>، مجتبی عسکری، امیرمحمد بیگزاده

پژوهشکده کاربرد پرتوها، پژوهشگاه علوم و فنون هسته‌ای، سازمان انرژی اتمی ایران، صندوق پستی: ۱۴۱۵۵-۱۳۳۹، تهران- ایران

\*Email: hardini@aeoi.org.ir

مقاله‌ی پژوهشی

تاریخ دریافت مقاله: ۱۴۰۰/۲/۱۲ تاریخ پذیرش مقاله: ۱۴۰۰/۴/۹

### چکیده

اگرچه انرژی هسته‌ای و مواد رادیواکتیو به طور قابل توجهی در بهبود سلامت ملی و اقتصاد کشور نقش ایفا نموده است، اما عدم شناسایی مواد رادیواکتیو خارج از کنترل می‌تواند تهدید قابل توجهی برای سلامت و امنیت عمومی باشد. در این تحقیق، بر روی کشف و مکان‌یابی چشمه متحرک ضعیف با بهره‌گیری از یک سیستم مرکب از دوربین نظارتی شهری و آشکارساز یدور سدیم، مطالعه صورت گرفته است. با تلفیق تصاویر دوربین و اطلاعات شمارش پرتو گاما امکان کشف و تشخیص هدف آلوده از میان سایر اشیاء فراهم شده است. هدف از طراحی این سیستم، ایجاد بستری نسبتاً ارزان قیمت، جهت ارتقا توان مقابله با مخاطرات هسته‌ای با شناسایی و ردیابی مداوم چشمه‌های خارج از کنترل است. بر اساس همین نگاه، مطالعه بر روی این سیستم در دو حالت جریان اطلاعات پیوسته و منقطع که دو صورت معمول در یک سیستم متشکل از دوربین و آشکارساز می‌باشد، صورت گرفته است. با بهره‌گیری از یک الگوریتم ابتکاری سریع و با حجم محاسباتی پایین نتایج شناسایی چشمه در دو حالت فوق‌ارایه شده است. نتایج نشان داد که سیستم تلفیقی با کمک الگوریتم، توانایی پیدا کردن چشمه متحرک در هر دو حالت دارا است و امکان کشف چشمه در حالت پیوسته سریع‌تر از حالت ناپیوسته می‌باشد.

**کلیدواژه‌ها:** تلفیق اطلاعات سنسورها، کشف، مکان‌یابی، چشمه متحرک، مواد رادیواکتیو خارج از کنترل

## Detection and localization of mobile and weak radioactive sources by data-fusion of a surveillance camera and a NaI detector in the continuous and discontinuous modes

H. Ardiny\*, M. Askari, A.M. Beigzadeh

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

Research Article

Received 2.5.2021, Accepted 30.6.2021

### Abstract

Although nuclear energy and radioactive materials have considerably impressed national health and economics, inappropriate use of radioactive materials can pose a significant threat to public health and security. This research aims to enhance defensive capabilities for countering nuclear terrorism by accurate detection and continuous tracking. A vital component of this system is to equip surveillance cameras of a region with a relatively low-cost radiation detector (NaI detectors) for counting gamma rays. Data-fusion of the surveillance camera and radioactive sensor that is linked together helps us detect and localize suspicious sources among other objects. The system can provide data flow (continuous) or a collection of snapshots several times (discontinuous), then a fast and new algorithm detects the suspicious source in these two modes. The promising results represent the integrated system by employing the new algorithm to detect the suspicious source in both data modes. Still, the source can be detected quicker in the continuous mode.

**Keywords:** Data-fusion, Detection, Localization, Mobile sources, Material out of regulatory control



## ۱. مقدمه

برای تعیین موقعیت چشمه‌های پنهان شده رادیواکتیو می‌توان از روش‌های مختلف استفاده کرد، به‌عنوان نمونه سه روش اصلی آن عبارت‌اند از:

- روش هوایی: با استفاده از ربات‌های پرنده و یا بالگردهای سرنشین‌دار می‌توان منطقه وسیعی را مورد پایش قرار داد.
- روش زمینی: سیستم آشکارسازی را می‌توان در وسیله نقلیه مستقر نمود و با گشت‌زنی در محیط مورد نظر اقدام به پیدا کردن موقعیت چشمه رادیواکتیو نمود.
- روش استفاده از شبکه: شبکه‌ای از آشکارسازهای پرتوی ثابت را در نظر گرفت که هر کدام از آن‌ها در موقعیت خودشان ثابت قرار دارند و از این طریق می‌توان مسیرهایی که چشمه پس از خروج از مکان اصلی‌اش در آن‌ها جابه‌جا شده است را تعیین نمود و در پیدا نمودن محل چشمه از آن‌ها بهره برد.

در هر کدام از روش‌های بالا، کارهای متعددی انجام شده است که عمدتاً مبتنی بر یک الگوریتم ریاضی هستند و برخی نیز با نتایج تجربی اعتبارسنجی شده است. در بررسی کارهای مشابه صورت گرفته در دنیا می‌توان به تحقیق آقای کروز اشاره نمود که خصوصیات چشمه رادیواکتیو بی‌پشتوانه<sup>۲</sup> از طریق طیف‌سنجی گاما را انجام داد. در کار کروز و همکاران روند و اقدامات انجام شده برای مشخصه‌یابی دو چشمه رادیواکتیو بی‌پشتوانه در کارخانه ذوب آکروس آرکوپیا<sup>۳</sup> توصیف شده است. برای مشخصه‌یابی، از یک سیستم طیف‌سنجی گاما با استفاده از آشکارساز یدور سدیم ۳ اینچ در ۳ اینچ با تحلیل‌گر چندکاناله Nucleus PCA-II استفاده شده است؛ که در نهایت رادیوایزوتوپ شناسایی شده یک چشمه  $^{137}\text{Cs}$  بود [۴]. ارزیابی داده‌های آماری در طیف‌سنجی متحرک پرتوی گاما با هدف جستجوی آنلاین چشمه نقطه‌ای گم شده توسط جرپه<sup>۴</sup> و همکاران انجام شد. هدف اصلی در کار جرپه بهینه‌سازی روش‌های آماری به‌صورت آنلاین برای تعیین محل قرارگیری چشمه با دقت بالا بود. در کار او داده‌ها از یک آشکارساز یدور سدیم ۳ اینچ در ۳ اینچ داخل خودرو و دو چشمه نقطه‌ای واقع در فواصل مختلف از جاده به دست آمد. بهره‌گیری از مجموعه‌ای از الگوریتم‌ها و آنالیزها برای تشخیص چشمه تابش با استفاده از شبکه از آشکارسازهای که در مکان‌های مختلف توزیع شده بود توسط لیو<sup>۵</sup> انجام شد [۵].

الگوریتمی برای موقعیت‌یابی کارآمد و قوی چشمه‌های رادیواکتیو چندتایی در محیط‌های پیچیده توسط شین<sup>۶</sup> و همکارانش توسعه داده شد. در این کار یک الگوریتم

علی‌رغم کاربردهای فراوان چشمه‌های گاما در پرتودرمانی، تصویربرداری صنعتی، پزشکی و غیره، احتمال به سرقت رفتن، مفقود شدن یا جابه‌جایی آن‌ها همواره یک تهدید برای امنیت ملی می‌باشد. اگر این چشمه‌ها فعالیت بالایی داشته باشند، ممکن است باعث آسیب پرتوی جدی به افراد مجاور به چشمه و محیط گردند؛ و یا در فعالیتهای تروریستی مورد استفاده قرار گیرند؛ بنابراین آشکارسازی یا تعیین موقعیت چشمه‌های رادیواکتیو حایز اهمیت است و کشف به‌موقع و دقیق مواد هسته‌ای و رادیواکتیو خارج از کنترل یک چالش فوق‌العاده مهم برای امنیت ملی است [۱]. یک چشمه گامای مفقودشده، بسته به انرژی و میزان فعالیت آن، می‌تواند برای کاربران و هم‌چنین محیط عمومی خطر جدی باشد. تاکنون، آژانس بین‌المللی انرژی اتمی چندین قاچاق غیرقانونی و سایر فعالیتهای غیرمجاز مربوط به مواد هسته‌ای و مواد رادیواکتیو خارج از کنترل نظارتی را گزارش داده است، به‌عنوان نمونه حوادث گویانیا<sup>۱</sup> در سال ۱۹۸۷، گیلان ۱۹۹۶، اکوادور ۲۰۰۹ که بر اثر چشمه‌های گامازای مفقودشده ایجاد شده است را می‌توان نام برد [۲].

از نقطه‌نظر امور دفاعی و امنیتی بهترین راه برای تشخیص نوع رادیونوکلیید، استفاده از سامانه‌هایی است که گمرک و مرزبانی برای شناسایی حمل‌ونقل و قاچاق مواد رادیولوژیک توسط تروریست‌های بالقوه باید آن‌ها را به کار گیرد. شناسایی این مواد به‌ویژه به دلیل گسیل ذرات با تعداد کم و ایجاد شمارش ضعیف در آشکارسازها بسیار دشوار است. این میزان شمارش کم زمانی که چشمه برای پنهان ماندن از آشکارسازها در داخل یک حفاظ قرار داده شده است و نیز زمانی که چشمه متحرک باشد، مانند یک شهر که رفت و آمد افراد یا اتومبیل‌ها وجود دارد، کشف و مکان‌یابی مواد رادیواکتیو پنهان را با چالش مواجه می‌نماید؛ بنابراین شناسایی رادیونوکلییدهای گسیلنده گاما پنهان شده و متحرک با فعالیت کم از الزامات حیاتی است که دست‌یابی به آن بسیار دشوار است، علاوه بر این، روش‌های شناسایی و آشکارسازی در تقابل با نویز پس‌زمینه، قدرت تفکیک محدود آشکارساز و محیط‌های ناهمگن در طول مسیرهای بین چشمه‌ها و آشکارسازها است؛ بنابراین، آشکارسازی تحت تأثیر نویزهای پس‌زمینه و پراکندگی کامپتون قرار می‌گیرد و به مسأله کاهش نسبت سیگنال به نویز (SNR) تبدیل می‌شود که آشکارسازی به‌موقع و معنی‌دار را غیرممکن می‌کند [۳].

2. Orphan Sources

3. Aceros Arequipa

4. Hjerpe

5. Liu

6. Chin



لیدار، دوربین کینکت<sup>۳</sup> (دوربین مخصوص سنجش حرکت و مکان اشیا) و آشکارساز و با کمک همبستگی اطلاعات بین آن‌ها، توانسته‌اند چشمه را تخمین بزنند [۱۱]. در تحقیقی مشابه، یک دوربین عمقی<sup>۴</sup> و آشکارساز هسته‌ای جهت ساخت یک نقشه سه‌بعدی استفاده شده است تا بتوان به صورت مؤثر منطقه خطر را بررسی نمود [۱۲]. در هر یک از مدل‌سازی‌ها و کارهای تجربی اشاره شده فوق، الگوریتم‌ها و نیز چیدمان‌های تجربی با هدف یافتن چشمه‌های مفقودشده انجام شده است. نکته کلیدی در این نوع تحقیقات این است که از طریق تلفیق اطلاعات آشکارساز هسته‌ای و سیستم‌های تصویربرداری سه‌بعدی (لیدار، دوربین عمقی) می‌توان بین مکان چشمه متحرک و شمارش پرتو یک همبستگی ایجاد نمود تا بتوان چشمه مفقود شده را کشف نمود. از آن‌جا که شمارش پرتو با مجذور فاصله نسبت عکس دارد و با استخراج اطلاعات مکانی چشمه این رابطه برقرار می‌گردد. در این کار یک روش تجربی به همراه رایبه الگوریتم برای پیدا نمودن چشمه آلوده به مواد رادیواکتیو با تلفیق اطلاعات دوربین‌های شهری و آشکارساز شمارنده پرتوگاما طراحی و پیاده‌سازی شده است. این طرح مبنای روشی است که بتوان دوربین‌های موجود در سطح شهر و مکان‌های عمومی را مجهز به آشکارساز شمارنده پرتو نمود. با این روش نسبتاً ارزان‌قیمت می‌توان شناسایی و مکان‌یابی چشمه آلوده به مواد رادیواکتیو را صورت داد. طبق بهترین تحقیقات انجام شده، استفاده هم‌زمان از دوربین و آشکارساز شمارنده جهت شناسایی و مکان‌یابی چشمه آلوده به مواد رادیواکتیو متحرک با نگاه توسعه در شبکه‌های سنسوری برای اولین بار انجام می‌گیرد. آشکارسازهای شمارنده پرتوگاما (نظیر گایگر مولر و آشکارساز سوسوزن) معمولاً از نوع ارزان آشکارسازهای هسته‌ای می‌باشد که با اضافه شدن به دوربین‌های معمول شهر امکان مانیتورینگ و استخراج اطلاعات هویتی و مکانی چشمه آلوده را با تلفیق اطلاعات فراهم می‌نماید. لذا با نگاه توسعه بر اساس دوربین‌های موجود شهری، دو حالت معمول را در یک نود<sup>۵</sup> (سیستم) دوربین و آشکارساز مورد بررسی قرار دادیم: (۱) جریان اطلاعات (پرتوی و تصویری) به صورت پیوسته دریافت گردد (۲) جریان اطلاعات (پرتوی و تصویری) به صورت منقطع و لحظه‌ای ثبت گردد. هم‌چنین قابلیت این سامانه و هم‌چنین الگوریتم توسعه داده شده در یافتن یک چشمه گامای پنهان‌شده با اکتیویته پایین مورد بررسی قرار گرفت که نتایج خوبی در موقعیت‌یابی چشمه پنهان حاصل شد.

موقعیت‌یابی دقیق چندین چشمه با استفاده از شبکه‌ای از حسگرها تحت فرایندهای فیزیکی و کاهش خطای اندازه‌گیری تصادفی آرایه شده است. شناسایی چشمه‌های رادیواکتیو در محیط‌های شهری با استفاده از مفهوم ریاضی تجمع بیزی داده‌های طیف‌سنج‌های متحرک گاما توسط تاندون و همکارانش به دست آمد. در این کار روشی برای کشف تجمع فضایی مشاهدات طیفی چندتایی برای آشکارسازی هم‌زمان و مشخصه‌یابی چشمه‌های رادیواکتیو تهدیدآمیز توسعه داده شده است [۶]. نوسانات تابش پس‌زمینه داده‌برداری در زمان کوتاه و هنگام حرکت مواد رادیواکتیو را سخت می‌نماید. برای رفع مشکل از مفهوم شبکه‌های حسگر متحرک استفاده شد و یک شبکه کوچک از حسگرهای متحرک با استفاده از آشکارسازهای پرتوی تجاری و تلفن‌های همراه ایجاد شد [۷].

شاخه دیگری که در تحقیقات دنبال شده است تلفیق اطلاعات سنسورهای مختلف جهت یافتن چشمه آلوده بوده است. در ربات پرنده [۸]، تلفیق اطلاعات پرتوی، نقشه سه‌بعدی به همراه اطلاعات موقعیت مکانی تفسیر بهتری را فراهم نموده است. در تحقیق [۹]، تلفیق اطلاعات بین دوربین تصویربرداری و آشکارساز کامپتون<sup>۱</sup> صورت گرفته است. سیستم کامپتون جهت شناسایی چشمه‌های ثابت مورد استفاده قرار می‌گیرد، اما تلفیق آن با تصویر امکان شناسایی چشمه‌های متحرک را با جبران‌ساز حرکتی از طریق دوربین فراهم نموده است. هم‌چنین مؤلفین نتایج را با استفاده شبکه‌ای از دوربین‌ها و آشکارساز کامپتون در حرکت خودروها در جاده‌ای اعتبارسنجی نموده‌اند. در بسیاری از مناطق پویا (مانند فرودگاه‌ها، ایستگاه‌های مترو) جابه‌جایی افراد، کانتینرها می‌تواند شناسایی و مکان‌یابی مواد رادیواکتیو با چالش جدی مواجه نماید، چرا که هم مواد رادیواکتیو امکان حرکت دارند و حضور جمعیت نیز حساسیت را چند برابر نموده است. یکی از روش‌هایی که راه‌حلی برای این موضوع است که ترکیب لیدار<sup>۲</sup> و دو آشکارساز مایع بوده است که با تلفیق اطلاعات آن‌ها و برقراری همبستگی بین آن‌ها با اطمینان بالا قادر به تشخیص چشمه در این نوع محیط‌ها بوده است، لیدار یکی از فن‌آوری‌های سنجش از راه دور است که با تاباندن لیزر به هدف و تجزیه و تحلیل نور بازتاب‌شده، فاصله را اندازه می‌گیرد. لیدار مشابه رادار است که بعضی اوقات نیز رادار لیزری نامیده می‌شود. اختلاف اصلی لیدار و رادار، طول موج‌های تابشی مورد استفاده است. رادار از طول‌موج‌هایی در ناحیه رادیویی استفاده می‌کند در حالی که لیدار طول موج‌های لیزری را به کار می‌برد [۱۰]. هم‌چنین مؤلفین در تحقیقات قبلی خود از تلفیق

3. Kinect Camera

4. RGB-D Camera

5. Node

Journal of Nuclear Science and Technology

Vol. 101, No 4, 2022, P 94-102

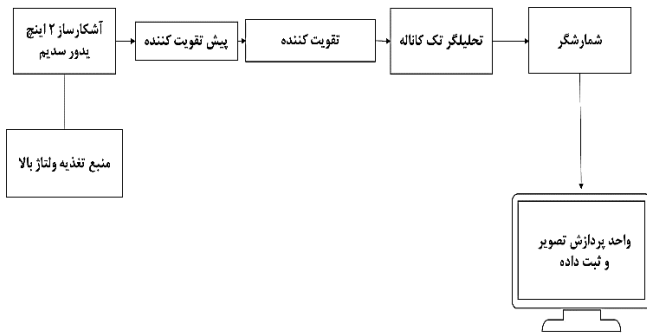
1. Compton

2. Lidar

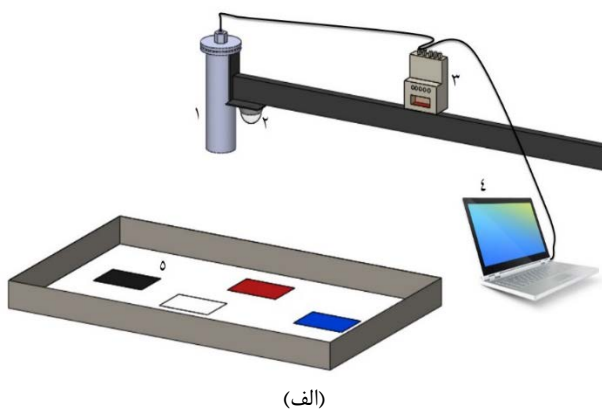


## ۲. روش کار

شکل ۳ فیلترهای اعمالی بر روی تصاویر و پیدا کردن مرکز صفحات را نشان می‌دهد. همان‌طور که در این شکل ملاحظه می‌شود، الگوریتم‌های پردازش تصویر به درستی مرکز چهار برگه رنگی را تشخیص داده‌اند و مرکز هر رنگ با نقاطی توپر مشخص شده است و مختصات این نقاط در بالا و سمت چپ هر تصویر نمایش داده می‌شود.



شکل ۱. واحدهای بخش آشکارسازی.



(الف)



(ب)

شکل ۲. (الف) طرحی از چیدمان آزمایش. (۱) آشکارساز (۲) دوربین، (۳) الکترونیک آشکارساز، (۴) بخش توسعه الگوریتم و پردازش داده‌ها، (۵) نمونه‌های مورد بررسی، (ب) آشکارساز و دوربین در محیط واقعی.

با توجه به موارد ذکر شده هدف یافتن چشمه رادیواکتیو متحرک است. بدین‌منظور از یک دوربین مدار بسته ۴ مگاپیکسلی با برد دید در شب ۵۰ متر مدل IPC-HDBW۲۴۳۱RP-ZS با نام تجاری دام داهوا، در کنار یک آشکارساز یدور سدیم ۲ اینچ استفاده شده است که با تلفیق خروجی این دو سامانه، چشمه مورد نظر را می‌توان پیدا نمود. البته امکان استفاده از آشکارساز گازی نیز وجود داشت چرا که ما فقط از شمارش پرتوها بهره گرفته‌ایم، اما به جهت بهبود دقت از این نوع آشکارساز استفاده می‌گردد چرا که از یک چشمه ضعیف  $^{60}\text{Co}$  با اکتیویته  $4/9$  میکروکوری استفاده شده است و بهبود آشکارساز رسیدن به نتایج را تسریع خواهد نمود. سیستم آشکارساز که شامل یک کریستال یدور سدیم دو اینچ است با یک PMT کوپل شده است و در ارتفاع یک متری از سطح آزمایش نصب شده است. پرتوهای گاما پس از برخورد با کریستال، نور سوسوزنی ضعیفی را تولید می‌کنند که این نور توسط PMT به جریان ضعیف تبدیل می‌شود. مدار الکترونیک به کار رفته پس از PMT به ترتیب شامل یک پیش تقویت کننده و تقویت کننده با قابلیت تقویت، دو مقایسه گر سطح پایین و بالا، یک شمارنده و یک ارسال کننده آرایه داده‌ها در قالب یک رشته ده بیتی با پروتکل RS-۲۳۲ به کامپیوتر می‌باشد. پنجره انرژی بسته شده برای آشکارساز بین بازه  $1500-2000$  keV می‌باشد. واحدهای بخش آشکارسازی در شکل ۱ نشان داده شده است.

در شکل ۲ طرحی از چیدمان تجربی مستقر در آزمایشگاه سیستم‌های سنجش گر و رباتیک (واقع در پژوهشگاه علوم و فنون هسته‌ای)، برای پیدا نمودن چشمه پنهان نشان داده شده است. در آزمایش اول ۴ برگه کاغذ به رنگ‌های سیاه، سفید، آبی و قرمز به صورت اتفاقی در زیر دوربین جابه‌جا خواهند شد. این برگه‌ها در وضعیت‌های مختلف قرار داده شده و در هر بار با استفاده از الگوریتم‌های پردازش تصویر و اعمال فیلترهای مناسب جهت جدا کردن رنگ مرکز فاصله آشکارساز از مرکز صفحات به دست آورده می‌شود. الگوریتم پردازش تصویر استفاده شده بر اساس فیلتر کانال رنگ عمل می‌کند ابتدا تصویر گرفته شده در RGB را به فضای HSV منتقل می‌گردد و با فیلتر کردن پارامترهای رنگ (hue, saturation, value) اهداف از هم تمییز داده می‌شوند. در شکل ۳ (ج، د، و، ه) چهار هدف با رنگ‌های متفاوت علامت‌گذاری شده‌اند و با رنگ سفید و مابقی رنگ‌ها مشکی شده‌اند.



الگوریتم زیر جهت پیدا کردن محل چشمه طراحی و پیاده شده است که مراحل آن به صورت زیر است و این الگوریتم را HDL<sup>۲</sup> می‌نامیم:

I. n حالت به صورت تصادفی از ۶۰ وضعیت انتخاب می‌شود که n می‌تواند از ۲ تا ۲۵ باشد. n در واقع حداقل تعداد اطلاعات مورد نیاز برای تشخیص درست چشمه است.

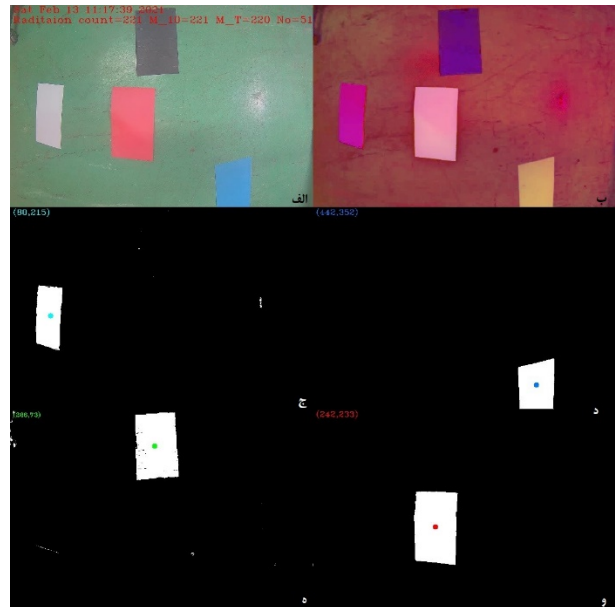
II. برای هر رنگ یک پرچم در نظر گرفته می‌شود که در ابتدا مقادیر آن‌ها صفر است. میزان شمارش در هر حالت با میانگین حالت‌های انتخاب شده مقایسه می‌شود. اگر شمارش بزرگ‌تر از میانگین بود، برگه‌ای که به آشکارساز نزدیک‌تر بود انتخاب می‌شود و پرچم آن رنگ یک عدد اضافه می‌گردد. هم‌چنین اگر شمارش کم‌تر از میانگین بود برگه دورتر از آشکارساز انتخاب می‌شود و پرچم آن رنگ یک عدد اضافه می‌گردد.

III. پس از پایان تمام حالت، رنگی به‌عنوان چشمه در نظر گرفته می‌شود که دارای بیش‌ترین پرچم باشد. اگر در این حالت پرچم دو رنگ مساوی باشند، حالت تساوی اتفاق می‌افتد و نمی‌توان چشمه را پیدا نمود.

در شکل ۵ فلوچارت الگوریتم ارائه شده نشان داده شده است.



شکل ۴. به‌کارگیری ربات تیمیو جهت انجام آزمایش ثبت اطلاعات پرتوی به صورت پیوسته.



شکل ۳. خروجی الگوریتم‌های پردازش تصویر (الف) تصویر اصلی (ب) تصویر در فرمت HSV جهت پردازش (ج) تشخیص رنگ سفید و فیلتر سایر رنگ‌ها (د) تشخیص رنگ آبی و فیلتر سایر رنگ‌ها (ه) تشخیص رنگ سیاه و فیلتر سایر رنگ‌ها (و) تشخیص رنگ قرمز و فیلتر سایر رنگ‌ها.

در گام بعدی یک چشمه رادیواکتیو در زیر برگه قرمز رنگ قرار داده شد. چشمه رادیواکتیو مورد استفاده یک چشمه  $^{60}\text{Co}$  با فعالیت ۴٫۹ میکروکوری است. برگه‌های رنگی به صورت اتفاقی در ۶۰ وضعیت متفاوت قرار داده می‌شوند و در هر وضعیت میزان شمارش در آشکارساز و فاصله آن‌ها تا مرکز آشکارساز به دست آورده می‌شود.

در حالت داده برداری پیوسته از یک ربات به نام تیمیو<sup>۱</sup> [۱۳] کمک گرفته شد. همان‌طور که در شکل ۴ مشخص است چشمه در زیر ورق قرمز رنگ و بر روی ربات قرار گرفته است. ربات با سرعت ثابت ۵ cm/s حرکت می‌کند هم‌زمان پردازش تصویر و ثبت اطلاعات پرتوی صورت می‌گیرد. حین انجام آزمایش مراحل زیر دنبال می‌گردد:

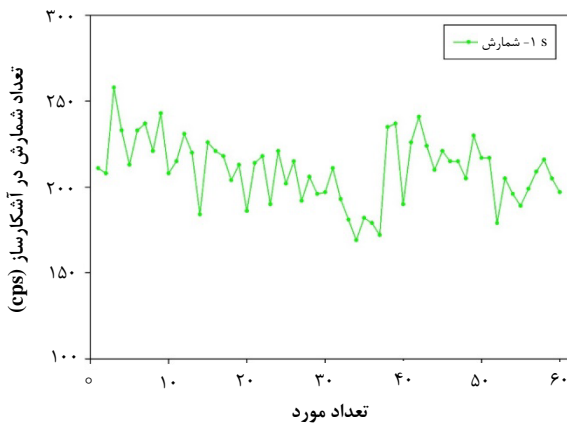
I. محل برگه‌های رنگی در دو بعد مشخص می‌شود و هر رنگ جداگانه تشخیص و جدا می‌شود.

II. فاصله مرکز هر رنگ تشخیصی تا مرکز آشکارساز محاسبه می‌شود.

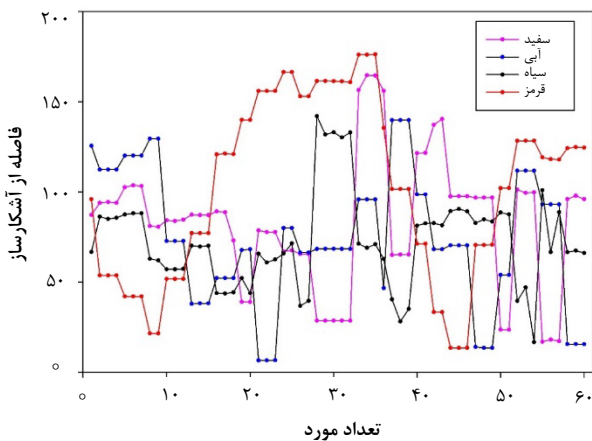
III. شمارش پرتو ثبت می‌گردد.







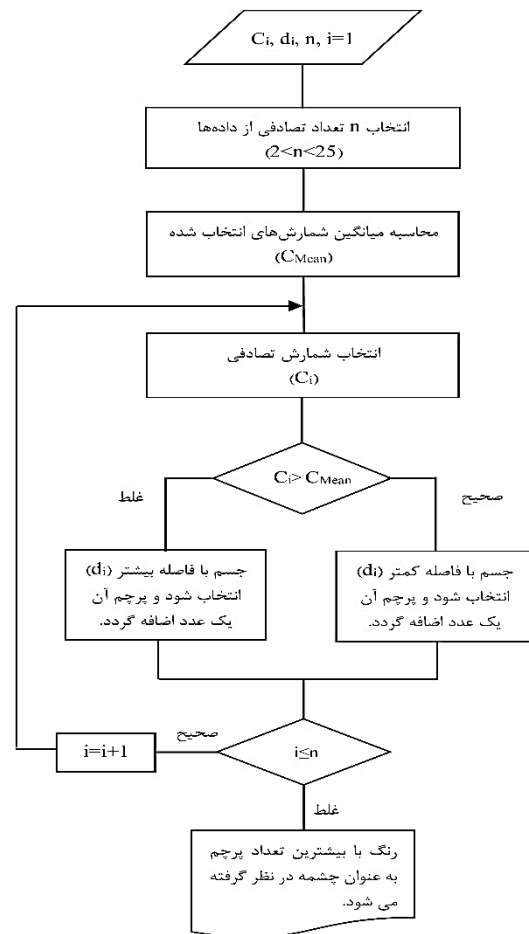
شکل ۶. میزان شمارش در آشکارساز در وضعیت‌های مختلف.



شکل ۷. فاصله هر برگه رنگی تا مرکز آشکارساز.

جدول ۱. نتایج خروجی الگوریتم

| تعداد | قرمز | سیاه | آبی | سفید | عدم تشخیص |
|-------|------|------|-----|------|-----------|
| ۲     | ۲۵۹  | ۰    | ۲۱  | ۳۹   | ۶۸۱       |
| ۳     | ۵۷۰  | ۱۳   | ۶۷  | ۸۲   | ۲۶۸       |
| ۴     | ۶۸۴  | ۲۶   | ۵۷  | ۸۱   | ۱۵۲       |
| ۵     | ۷۰۴  | ۱۰   | ۳۵  | ۵۲   | ۱۹۹       |
| ۶     | ۷۵۹  | ۱۰   | ۲۸  | ۵۰   | ۱۵۳       |
| ۷     | ۸۴۱  | ۶    | ۲۴  | ۳۳   | ۹۶        |
| ۸     | ۸۴۷  | ۴    | ۲۱  | ۳۵   | ۹۳        |
| ۹     | ۸۷۳  | ۵    | ۱۹  | ۲۱   | ۸۲        |
| ۱۰    | ۹۱۷  | ۱    | ۱۳  | ۲۱   | ۴۸        |
| ۱۱    | ۹۴۹  | ۱    | ۹   | ۸    | ۳۳        |
| ۱۲    | ۹۴۳  | ۲    | ۲   | ۶    | ۴۷        |
| ۱۳    | ۹۴۳  | ۰    | ۱۰  | ۱۱   | ۳۶        |
| ۱۴    | ۹۷۰  | ۰    | ۵   | ۷    | ۱۸        |
| ۱۵    | ۹۷۰  | ۰    | ۶   | ۸    | ۱۶        |
| ۱۶    | ۹۸۴  | ۰    | ۲   | ۲    | ۱۲        |
| ۱۷    | ۹۹۱  | ۱    | ۳   | ۲    | ۳         |
| ۱۸    | ۹۹۲  | ۰    | ۰   | ۰    | ۸         |
| ۱۹    | ۹۹۶  | ۰    | ۲   | ۰    | ۲         |
| ۲۰    | ۹۹۷  | ۰    | ۱   | ۰    | ۲         |
| ۲۱    | ۹۹۸  | ۰    | ۰   | ۱    | ۱         |
| ۲۲    | ۹۹۸  | ۰    | ۰   | ۰    | ۲         |
| ۲۳    | ۱۰۰۰ | ۰    | ۰   | ۰    | ۰         |
| ۲۴    | ۹۹۹  | ۰    | ۱   | ۰    | ۰         |
| ۲۵    | ۹۹۹  | ۰    | ۰   | ۰    | ۱         |



شکل ۵. فلوچارت الگوریتم پیدا کردن چشمه تعداد حالت انتخاب n، فاصله هر رنگ با مرکز آشکارساز di، شمارش در آشکارساز Ci.

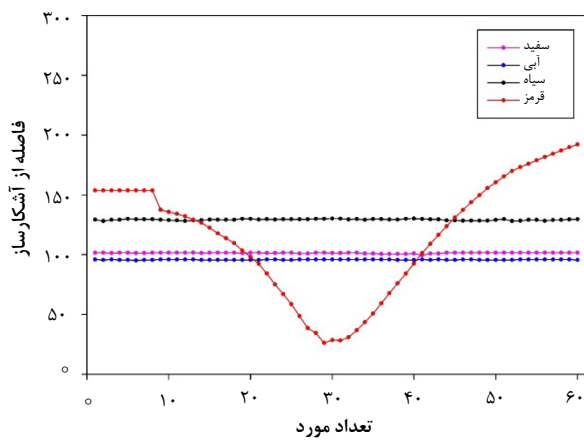
### ۳. نتایج

برای یافتن محل چشمه در حالت غیرپیوسته از چند فریم تصویر استفاده و در هر وضعیت با مقایسه نتایج چشمه پیدا خواهد شد. الگوریتمی مناسب‌تر خواهد بود که با تعداد اطلاعات کم‌تر، مکان چشمه را به درستی پیدا نماید. در شکل ۶ میزان شمارش در آشکارساز نمایش داده شده است که میانگین خطای شمارش‌ها ۶/۹ درصد می‌باشد.

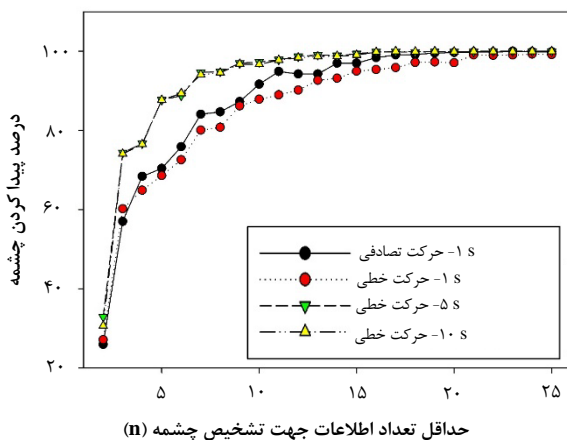
در شکل ۷ نیز فاصله هر برگه با رنگ متفاوت تا آشکارساز نمایش داده شده است.

برای پیدا کردن میزان درستی چشمه در هر n، الگوریتم ۱۰۰۰ بار تکرار می‌شود تا میزان درستی الگوریتم آرایه شده به دست آورده شود. نتایج برای ۱۰۰۰ بار تکرار الگوریتم برای n های (n)، حداقل تعداد اطلاعات مورد نیاز جهت تشخیص چشمه) مختلف در جدول ۱ نشان داده شده است.





شکل ۹. فاصله هر برگه رنگی تا مرکز آشکارساز.



شکل ۱۰. درصد موفقیت پیدا کردن چشمه برای روش‌های مختلف.

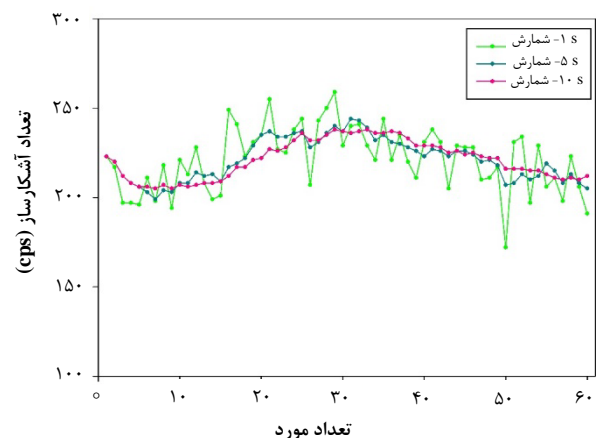
محور افقی در شکل ۱۰ نشان‌دهنده حالات انتخابی می‌باشد و محور عرضی نشان‌دهنده احتمال پیدا کردن چشمه است. در شکل فوق می‌توان به این نکته دست یافت که با افزایش تعداد حالت‌های انتخابی، احتمال موفقیت در پیدا کردن چشمه افزایش می‌یابد. در حالت تصاویر ناپیوسته با انتخاب ۱۰ حالت به صورت تصادفی با دقت بالای ۹۰ درصد الگوریتم قابلیت تشخیص چشمه را دارد. در روش میانگین متحرک با انتخاب ۷ حالت دقت بالای ۹۰ درصد در تشخیص چشمه دست یافته شد؛ اما هر چه در تعداد نمونه‌های کم‌تر بتوان چشمه را پیدا کرد نشان از سریع بودن سیستم تشخیصی است. در نوع ثبت اطلاعات به صورت پیوسته و با بهره‌گیری از تاریخچه اطلاعات پرتوی می‌توان سریع‌تر و با تعداد اطلاعات کم‌تری چشمه مفقود شده را پیدا نمود. هم‌چنین در حالت پیوسته، نتایج میانگین متحرک ۵ و ۱۰ ثانیه تقریباً نزدیک به یکدیگر می‌باشند و عملکرد بهتری نسبت به شمارش در یک ثانیه در همان حالت پیوسته را دارند. در واقع این نشان می‌دهد که در حالت اخذ

همان‌طور که در جدول بالا مشخص است هر چقدر تعداد حالت‌های انتخابی بیشتر باشد، میزان تشخیص درست چشمه بیشتر است و با انتخاب ده حالت به صورت تصادفی با دقت بالای ۹۰ درصد الگوریتم ارایه شده قابلیت تشخیص چشمه در حال حرکت را دارد. به این معنی است که از ده نمونه انتخاب شده به صورت تصادفی، چشمه در بیش از نه مورد درست تشخیص داده شده است.

در آزمایش بعدی برای بررسی یک سیستم واقعی سه‌برگه را در حالت ثابت قرار داده و چشمه بر روی یک ربات قرار داده شد. این ربات با سرعت ثابت در یک مسیر نسبتاً خطی حرکت می‌کند. هر یک ثانیه شمارش و مکان قرارگیری برگه به دست آورده شد. زمان آزمایش ۶۰ ثانیه بود و ۶۰ حالت مختلف به دست آورده شد. با توجه به این‌که پیوستگی در این تصاویر وجود دارد، با استفاده از روش میانگین متحرک، میزان میانگین شمارش‌های ۵ و ۱۰ ثانیه به دست آمد. نتایج برای این حالت‌ها در شکل ۸ نشان داده شده است و میانگین خطای شمارش‌ها ۶٫۷ درصد می‌باشد.

همان‌طور که در شکل ۹ مشاهده می‌شود چشمه در ابتدا توسط ربات به آشکارساز نزدیک می‌شود و سپس با عبور از آشکارساز از آن دور می‌شود. موقعیت سایر رنگ‌ها نسبت به آشکارساز ثابت می‌ماند و حرکتی ندارند.

الگوریتم HDR برای حالت دوم، برای حالت‌های مختلف و میزان شمارش ۱ ثانیه و روش میانگین متحرک در پنجره ۵ و ۱۰ ثانیه اجرا شد. نتایج به‌دست آمده در شکل ۱۰ نشان داده شده است. این نتایج با حالت قبل که تصاویر وابستگی به یکدیگر نداشتند مقایسه شده است.



شکل ۸. میزان شمارش در آشکارساز در وضعیت‌های مختلف حرکت چشمه.

## 1. Moving Average



در گام بعدی درصدد هستیم که با شکل دادن شبکه‌ای از دوربین‌های نظارتی و آشکارسازها، محدوده وسیع‌تری را پوشش دهیم و چالش‌های افزایش مقیاس رو مورد بررسی قرار دهیم. این شبکه به هم پیوسته می‌تواند برای نظارت بی‌وقفه در شهر و یافتن موارد مشکوک در حالی که به نظارت دائم انسانی متکی نیست، توسعه یابد. با تقویت الگوریتم‌های تشخیصی، امکان کشف و مکان‌یابی چند چشمه هم‌زمان و با سرعت‌های متغیر بررسی خواهد شد. هم‌چنین با استفاده از هوش مصنوعی تشخیص و تعقیب اهداف در تصاویر دریافتی از چند دوربین متفاوت مورد مطالعه قرار خواهد گرفت.

### تشکر و قدردانی

بدین‌وسیله مراتب تشکر را از گروه دستگاہوری و همکاران این گروه که امکانات لازم جهت آزمایش فراهم نمودند، داریم.

### مراجع

1. B.D. Geelhood, et al, *Overview of portal monitoring at border crossings*, [IEEE Nucl. Sci. Symp. Conf. Rec., Institute of Electrical and Electronics Engineers Inc.](#), 513 (2003).
2. A. Farzanehpour Alwars, F. Rahmani, *A feasibility study of gamma ray source finder development for multiple sources scenario based on a Monte Carlo simulation*, [Sci. Rep.](#), **11(1)**, 6121 (2021).
3. J.V. Candy, *Detection Classification and Estimation of Radioactive Contraband from Uncertain Low-Count Measurements*, [Tech rep., CA United States](#), (2010).
4. W. Cruz, *Characterization of radioactive orphan sources by gamma spectrometry*, [Regional Congress of IRPA on Radiological and Nuclear Safety](#), (Brazil 2013).
5. A.H.-W. Liu, *M.Sc. thesis, California Institute of Technology*, (2010).
6. P. Tandon, et al., *Detection of radioactive sources in urban scenes using Bayesian Aggregation of data from mobile spectrometers*, [Information Systems](#), **57**, 195-206 (2016).
7. J. Zhao, *M.Sc. thesis, University of Illinois*, (2016).
8. P.G. Martin, et al., *3D unmanned aerial vehicle radiation mapping for assessing contaminant distribution and mobility*, [Int. J. Appl. Earth Obs. Geoinf.](#), **52**, 12 (2016).
9. S.M. Brennan, et al., *Radiation detection with distributed sensor networks*, [Computer \(Long Beach. Calif, 2004\)](#), **37(8)**, 57-59 (2004).

تصاویر و اطلاعات در حالت پیوسته، می‌توان از ویژگی‌هایی نظیر روش میانگین متحرک بهره برد که تشخیص را سریع‌تر می‌نماید در حالی‌که این ویژگی در حالت منقطع قابل بهره‌برداری نمی‌باشد. البته واضح است که با افزایش سرعت حرکت چشمه، میزان شار دریافتی در آشکارساز از سمت چشمه کاهش می‌یابد و تشخیص چشمه دشوارتر می‌شود، اما در این مقاله به مطالعه چشمه با یک سرعت ثابت و پیوسته پرداخته شده است تا بتوان اثر پیوستگی در حرکت بهره برد.

هم‌چنین علاوه بر سرعت حرکت چشمه، اکتیویته، انرژی و حساسیت سیستم آشکارسازی از پارامترهای مهم در یافتن چشمه می‌باشند. در این پژوهش فرض بر این است که سیستم آشکارسازی توانایی تشخیص چشمه در محدوده حرکت و دید دوربین مستقر در ارتفاع یک متری را دارد، اما در یک فرایند کامل‌تر، ابتدا باید حضور چشمه در محیط تشخیص داده شود و سپس الگوریتم ارایه شده جهت پیدا کردن موقعیت چشمه اعمال گردد.

### ۴. نتیجه‌گیری و تحقیقات آینده

امروزه با روش‌های پیشرفته پردازش تصویر امکان استخراج موقعیت مکانی اشیا در تصاویر دریافتی از دوربین‌ها (ها) است. از طرفی یک رابطه بین فاصله چشمه متحرک از آشکارساز و تعداد پرتو شمارش شده وجود دارد. این دو ویژگی کمک می‌نماید تا بتوان تا بتوان چشمه مفقود و پنهان را با تلفیق اطلاعات دوربین و آشکارساز (شمارش‌گر پرتو) کشف نمود. در این تحقیق مطالعه بر روی سیستم تلفیق تصاویر دوربین و اطلاعات شمارش پرتو گاما جهت کشف و تشخیص هدف آلوده از میان سایر اشیا انجام شد. هدف از طراحی این سیستم، ایجاد بستری نسبتاً ارزان‌قیمت، جهت ارتقا توان مقابله با مخاطرات هسته‌ای با شناسایی و ردیابی مداوم چشمه‌های خارج از کنترل است. بر اساس همین نگاه، مطالعه بر روی این سیستم در دو حالت جریان اطلاعات پیوسته و منقطع که دو صورت معمول در یک سیستم متشکل از دوربین و آشکارساز می‌باشد، صورت گرفت. نتایج نشان داد که سیستم تلفیقی و الگوریتم ارایه شده توانایی پیدا کردن چشمه متحرک را در هر دو حالت دارد اما در حالت ثبت اطلاعات پیوسته، می‌توان از ویژگی‌هایی نظیر روش میانگین متحرک بهره برد که تشخیص را سریع‌تر می‌نماید در حالی‌که این ویژگی در حالت منقطع قابل بهره‌برداری نمی‌باشد.

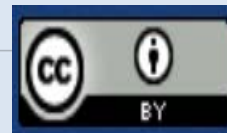




10. K. Stadnikia, et al., *Data fusion for a vision-aided radiological detection system: Correlation methods for single source tracking*, *Nucl. Instruments Methods Phys. Res. Sect. A Accel. Spectrometers, Detect. Assoc. Equip.*, **954**, 161913 (2020).
11. K. Stadnikia, et al., *Data fusion for a vision-aided radiological detection system: Calibration algorithm performance*, *Nucl. Instruments Methods Phys. Res. Sect. A Accel. Spectrometers, Detect. Assoc. Equip.*, **890**, 8 (2018).
12. N. Van Thai, L.C. Chen, *In-situ indoor 3-D land mapping and radioactive source localization*, *2013 IEEE/ASME Int. Conf. Adv. Intell. Mechatronics Mechatronics (Hum. Wellbeing, 2013)*, 1404–1409.
13. F. Mondada, et al., *Bringing Robotics to Formal Education: The Thymio Open-Source Hardware Robot*, *IEEE Robot. Autom. Mag.*, **24(1)**, 77 (2017).

**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

هادی اردینی، مجتبی عسکری، امیرمحمد بیگزاده (۱۴۰۱)، کشف و مکان‌یابی چشمه پرتوی متحرک و پنهان با تلفیق اطلاعات دوربین شهری و آشکارساز یدور سدیم در حالت‌های پیوسته و منقطع، ۱۰۱، ۹۴-۱۰۲

DOI: [10.24200/nst.2022.1451](https://doi.org/10.24200/nst.2022.1451)

Url: [https://jonsat.nstri.ir/article\\_1451.html](https://jonsat.nstri.ir/article_1451.html)

