مقاله پژوهشی

مجله ماشین‌بینایی و پردازش‌تصویر
سال یازدهم، شماره سوم، پاییز ۱۴۰۳

رهیافت مبتنی بر بینایی‌ماشین - الگوریتم اشتراک‌گیری در کشف و تعیین مشخصه رادیوایزوتوپ‌های بی‌پشتوانه

امیرمحمد بیگ زاده[۱] و هادی اردینی[۲]

چکیده

تشخیص و شناسایی عناصر رادیواکتیو یک جنبه حیاتی در زمینه‌های مختلف از جمله ایمنی هسته‌ای، نظارت بر محیط‌زیست و فیزیک بهداشت پرتوی است. روش‌های سنتی شناسایی رادیواکتیویته اغلب به تکنیک‌های دستی وقت‌گیر یا تجهیزات تخصصی که ممکن است به‌راحتی در دسترس نباشند، متکی هستند. بااین‌حال، پیشرفت‌ها در فناوری بینایی‌ماشین جایگزین امیدوارکننده‌ای ارائه می‌کند که از قدرت هوش مصنوعی و پردازش تصویر برای افزایش دقت و کارایی شناسایی عناصر رادیواکتیو استفاده می‌کند. این مقاله به بررسی کاربرد تکنیک بینایی‌ماشین در شناسایی نوع عناصر رادیواکتیو خارج از کنترل می‌پردازد و بر ادغام الگوریتم‌های تصویربرداری، چارچوب‌های یادگیری عمیق و تحلیل داده‌های آشکارسازها تمرکز می‌کند که می‌تواند فرآیند شناسایی را به طور خودکار انجام داده و خطای انسانی را به حداقل برساند. سامانه مدل شده به طور هم‌زمان تصاویر حرکتی را دریافت و پردازش کرده و مسیر حرکت اجسام را تشخیص می‌دهد و به طور هم‌زمان داده‌های پرتوی در آشکارساز ثبت می‌گردد. از روی طیف‌های ثبت شده در آشکارسازها، حضور چشمه یا چشمه‌های رادیواکتیو و نوع آن‌ها مشخص می‌گردد. در ادامه با داشتن طیف‌های ثبت شده در زمان‌های مختلف و با شناسایی شماره شناسایی اشیا حاضر از روی تصاویر موقعیت و نوع ماده رادیواکتیو مشخص می‌گردد.

کلید واژه ها

رادیوایزوتوپ، پردازش تصویر، بینایی ماشین، مونت‌کارلو، طیف‌نگاری، چشمه‌های رادیواکتیو بی‌پشتوانه

۱ – مقدمه

در دهه‌های اخیر، ظهور فناوری‌های پیشرفته، چشم‌انداز تحقیقات علمی و کاربردهای عملی را در حوزه‌های مختلف به‌طور اساسی متحول کرده است. میان این نوآوری‌ها، بینایی‌ماشین رشته‌ای که علوم کامپیوتر، هوش مصنوعی و تکنیک‌های تصویربرداری را با هم ادغام می‌کند، به عنوان ابزاری قدرتمند برای تجزیه‌وتحلیل دقیق و شناسایی اشیا در تنظیمات متعدد ظاهر شده است. یکی از حوزه‌های حیاتی که فناوری‌های بینایی‌ماشین در آن پیشرفت‌های چشمگیری دارند، در تشخیص و شناسایی عناصر رادیواکتیو است که نقشی حیاتی در زمینه‌هایی از انرژی هسته‌ای و کاربردهای پزشکی گرفته تا نظارت بر محیط‌زیست و امنیت ملی ایفا می‌کنند [۱]. عناصر رادیواکتیو که با هسته‌های ناپایدار و گسیل تابش مشخص می‌شوند، درجات مختلفی از خطر برای سلامت انسان و محیط‌زیست تلقی می‌گردند. قابلیت شناسایی سریع و دقیق این عناصر به ویژه در سناریوهایی که شامل مدیریت پسماندهای هسته‌ای، ایمنی پرتوی و واکنش اضطراری در حین وقوع حوادث هسته‌ای است، از اهمیت بالایی برخوردار است [۲]. روش‌های

این مقاله در شهریورماه ۱۴۰۳ دریافت شد؛ در آبان‌ماه بازنگری و در دی‌ماه پذیرفته گردید.

[۱]پژوهشکده کاربرد پرتوها، پژوهشگاه علوم و فنون هسته‌ای، سازمان انرژی اتمی ایران، تهران، ایران
رایانامه: abeigzadeh@aeoi.org.ir

[۲]سازمان انرژی -پژوهشگاه علوم و فنون هسته ای -پژوهشکده کاربرد پرتوها

نویسنده مسئول: امیرمحمد بیگ‌زاده

سنتی تشخیص عنصر رادیواکتیو اغلب بر فرایندهای دستی و ابزارهای آشکارسازی تخصصی تکیه می‌کنند که می‌تواند زمان‌بر، مستلزم کار فشرده و مستعد خطای انسانی باشند [۳]. علاوه بر این، روش‌های مرسوم معمولاً به متخصصان آموزش‌دیده نیاز دارند تا داده‌ها را تفسیر کنند که منجر به تأخیر و افزایش خطر در موقعیت‌های بحرانی می‌شود. در تقابل با این موضوع، ادغام تکنیک‌های بینایی‌ماشین یک تغییر الگوواره در نحوه رویکرد ما به شناسایی مواد رادیواکتیو ارائه می‌دهد. بینایی‌ماشین با استفاده از الگوریتم‌های پیچیده و سیستم‌های تصویربرداری با قدرت تفکیک بالا، خودکارسازی فرایندهای تشخیص را امکان‌پذیر می‌کند و سرعت و دقت شناسایی را افزایش می‌دهد. سیستم‌های بینایی‌ماشین می‌توانند الگوهای تابش و داده‌های طیفی را در زمان واقعی تجزیه‌وتحلیل کنند که منجر به تصمیم‌گیری سریع در برنامه‌هایی می‌شود که هر ثانیه از آن اهمیت دارد. این قابلیت به ویژه در پایش محیطی حیاتی است که شناسایی سریع آلودگی رادیواکتیو می‌تواند به کاهش آسیب‌های زیست‌محیطی و محافظت از سلامت عمومی کمک کند [٤ و ٥].

علاوه بر این، بینایی‌ماشین را می‌توان با محیطهای عملیاتی مختلف، از چیدمان‌های آزمایشگاهی بسیار کنترل‌شده تا سناریوهای غیرقابل‌پیش‌بینی دنیای واقعی مانند عملیات بازیابی حوادث، تطبیق داد[٦]. همان‌طور که این سیستم‌ها به تکامل خود ادامه می‌دهند، مجهز به یادگیری عمیق پیشرفته و قابلیت‌های هوش مصنوعی هستند که امکان تشخیص دقیق ویژگی‌های مواد را فراهم می‌کند، حتی در شرایط چالش‌برانگیز که روش‌های سنتی ممکن است شکست بخورند. چشم‌انداز یکپارچه‌سازی این فناوری‌ها نه‌تنها ایمنی و کارایی شناسایی عناصر رادیواکتیو را افزایش می‌دهد، بلکه درها را به روی فرصت‌های جدیدی در تحقیق و اکتشاف این زمینه پیچیده باز می‌کند. شناسایی ایمن و مؤثر مواد رادیواکتیو متحرک در محیطهای پرتردد مانند مراکز حمل‌ونقل، تأسیسات صنعتی و مناطق شهری چالش بزرگی برای امنیت عمومی و امنیت ملی است[۷]. همان‌طور که تجارت و تجارت جهانی افزایش می‌یابد، خطر جابه‌جایی تصادفی یا مخرب مواد رادیواکتیو نیز افزایش می‌یابد و نیاز به سیستم‌های نظارتی قوی برای شناسایی و کاهش خطرات احتمالی دارد. پیچیدگی این محیطها به طور قابل‌توجهی تشخیص مواد رادیواکتیو را مختل می‌کند[۸].

مناطق پرتردد اغلب با انبوهی از اجسام متحرک وسایل نقلیه، افراد و ماشین‌آلات مشخص می‌شوند. این پس‌زمینه آشفته می‌تواند نشانه‌های آشکار پرتوی را پنهان کند و روش‌های تشخیص سنتی، مانند شمارنده‌های گایگر دستی یا ایستگاه‌های نظارت ثابت، برای ارائه هشدارهای به موقع را دشوار کند [۹]. برای مقابله با این چالش‌های چندگانه، فناوری‌های بینایی‌ماشین راه‌حل امیدوارکننده‌ای را ارائه دهند. با توانمندسازی سیستم‌های کنترل با تکنیک‌های تصویربرداری پیشرفته، خودکار کردن فرآیند تشخیص امکان‌پذیر می‌شود و سرعت و دقت را افزایش می‌دهد. در اینجا برخی از ابزارها و روش‌های خاصی وجود دارد که می‌توان از آن‌ها استفاده کرد [۱۰].

۱. دوربین‌های با قدرت تفکیک بالا: این دستگاه‌ها می‌توانند تصاویر دقیقی از اجسام متحرک در مناطق پرترافیک بگیرند و دید واضح‌تری از منابع بالقوه رادیواکتیو ارائه می‌دهند. هنگامی‌که آن‌ها با آشکارسازهای پرتوی جفت می‌شوند، می‌توانند به تعیین محل و نوع مواد خطرناک کمک کنند.

۲. الگوریتم‌های پیشرفته: الگوریتم‌های یادگیری ماشین را می‌توان برای تشخیص علائم خاص مرتبط با مواد رادیواکتیو، حتی در محیط‌های به‌هم‌ریخته آموزش داد. این الگوریتم‌ها می‌توانند فایل‌های ویدئویی و داده‌های حسگر را در زمان واقعی تجزیه‌وتحلیل کنند تا بین اشیای بی‌خطر و تهدیدات بالقوه تمایز قائل شوند و به طور قابل‌توجهی هشدارهای کاذب را کاهش دهند.

۳. سیستم‌های نظارت خودکار: ادغام بینایی‌ماشین با سیستم‌های نظارت خودکار امکان نظارت مستمر را بدون نیاز به نظارت مداوم انسانی فراهم می‌کند. چنین سیستم‌هایی می‌توانند هشدارهایی را هنگام شناسایی ناهنجاری‌ها ارائه دهند و پاسخ سریع را ممکن می‌سازند.

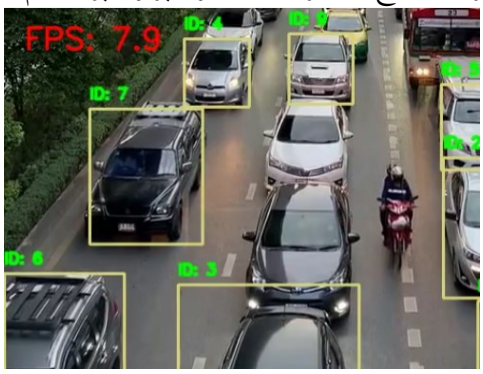
٤. فنّاوری هواپیماهای بدون سرنشین: پهپادهای مجهز به بینایی‌ماشین و قابلیت‌های آشکارسازی پرتوی می‌توانند در مناطق پرترافیک گشت‌زنی کنند و از راه دور مناطقی را که ممکن است برای اپراتورهای انسانی چالش‌برانگیز یا ناامن باشد، بررسی کنند. این امکان نظارت انعطاف‌پذیر و تنظیمات سریع الگوهای نظارت را فراهم می‌کند.

۵. تکنیک‌های ترکیب داده‌ها: با ترکیب داده‌ها از منابع متعدد مانند نظارت تصویری، آشکارسازی پرتوی و حسگرهای محیطی سیستم‌های بینایی‌ماشین می‌توانند یک آگاهی موقعیتی جامع ایجاد کنند. این رویکرد کل‌نگر، شانس شناسایی دقیق و مکان‌یابی مواد رادیواکتیو را در زمان واقعی بهبود می‌بخشد.

ادغام فناوری‌های بینایی‌ماشین در کشف و مکان‌یابی مواد رادیواکتیو متحرک، پیشرفتی حیاتی در پرداختن به چالش‌های ناشی از محیط‌های پر ترافیک است [۱]. همان‌طور که این سیستم‌ها تکامل می‌یابند، نه‌تنها امنیت عمومی و امنیت ملی را افزایش می‌دهند، بلکه اعتماد بیشتری را در مدیریت مواد بالقوه خطرناک تقویت می‌کنند. همان‌طور که چشم‌انداز حمل‌ونقل و تجارت جهانی همچنان درحال‌رشد است، سرمایه‌گذاری در این پیشرفت‌های تکنولوژیکی برای تضمین آینده‌ای امن ضروری خواهد بود.

سیستم‌های بینایی ماشین در بخش‌های مختلف صنعت هسته‌ای از قبیل تصویربرداری پزشکی هسته‌ای با هدف پردازش تصاویر و بهبود کیفیت آن‌ها، بازرسی غیرمخرب در تأسیسات هسته‌ای و راکتورهای هسته‌ای جهت تشخیص خوردگی و ترک‌ها در لوله‌ها و نیز استفاده از سیستم‌های بینایی ماشین در یافتن چشمه‌های رادیواکتیو در قالب ربات‌های زمینی و پرنده مورد استفاده قرار گرفته است. در کار مارتوری و همکارانش از یک نمونه ربات با دوربین استفاده شده است. در این کار از راهکاری برای تسهیل و بهبود عملیات تخریب و جمع‌آوری در یک راکتور هسته‌ای با استفاده از کنترل رباتیک ارائه شده است [۱۳-۱۱].

در برخی از کاربردها نیز می‌توان به استفاده از بینایی‌ماشین در بازرسی غیرمخرب تأسیسات هسته‌ای و محیط‌هایی با سطح تشعشعات بالا پرداخت. سیستم‌هایی در قالب بازوهای مکاترونیکی ونیز ربات‌های گشت زن، اسکنرهای لیزری مبتنی بر بینایی‌ماشین در بازرسی خوردگی محفظه‌های نگهداری پسماندهای هسته‌ای با هدف کاهش ورود کارکنان به محیط‌های تابشی بالا وجود دارد که در ادامه به برخی از آن‌ها اشاره می‌گردد [۱۴]. در یک کار تجربی با بهره‌گیری از بینایی‌ماشین راه‌حل مناسبی برای بازرسی لوله‌های تحت‌فشار و تنش در صنعت هسته‌ای توسط سئولین ارائه گردیده است، در این کار با تلفیق الگوریتم‌های بینایی ماشین، داده‌برداری و پردازش تصویر به بازرسی بده داخلی بدنه لوله‌های تحت‌فشار و دمای بالا و نیز درجه اکسیداسیون آن‌ها پرداخته شده است [۱۵] درکار دیگر بازرسی قرص‌های سوخت هسته‌ای با استفاده از بینایی‌ماشین و شبکه عصبی توسط کالی انجام شد [۱۶]. با توجه به استفاده چشمگیر از سیستم‌های بینایی‌ماشین در بازرسی و کنترل صنایع هسته‌ای، لذا توسعه این سامانه‌ها و الگوریتم‌های حاکم بر آن‌ها در داخل کشور در جهت حفظ ایمنی تأسیسات هسته‌ای، افزایش ایمنی در به‌کارگیری و جابه‌جایی مواد رادیواکتیو ضروری به نظر می‌رسد. الگوریتم‌های مستقلی است که بتواند به طور مداوم در محیط‌های پرخطر، از جمله سایت‌های هسته‌ای و حتی مناطق شهری مانند مرزها برای یافتن مواد خارج از کنترل نظارتی برای افزایش قابلیت پایش سامانه‌های مبتنی بر بینایی‌ماشین متشکل از دوربین‌های نظارتی و آشکارسازهای رادیواکتیو سودمند باشد. هدف در این مطالعه ارائه راهکار بهینه و کارآمد برای کشف نوع ماده رادیواکتیو متحرک و خارج از کنترل در سناریوی پرتوی پر ازدحام است.



شکل (۱): نمونه‌هایی از صحنه‌های دوربین‌های نظارتی درحالی‌که الگوریتم‌های بینایی‌ماشین چندین شیء مشابه را با اختصاص یک شماره شناسایی منحصربه‌فرد ردیابی می‌کنند [۱۷].

تصویر نشان داده شده در شکل ۱ یک نماگرفت[۱] از یک سیستم نظارت تصویری با ویژگی‌های ردیابی خودکار است که چندین شیء را شناسایی و ردیابی می‌کند. این سامانه‌ها به طور کلی متشکل از یک دوربین نظارت شهری می‌باشند که با الگوریتم‌های پردازش تصویر و ردیابی اشیا مجهز شده‌اند. کادرهای رنگارنگ با اعداد روی تصویر قرار گرفته‌اند که هر کدام یک شناسه ردیابی منحصربه‌فرد برای هر شیء یا شخص را نشان می‌دهند.

۲-مواد و روش‌ها

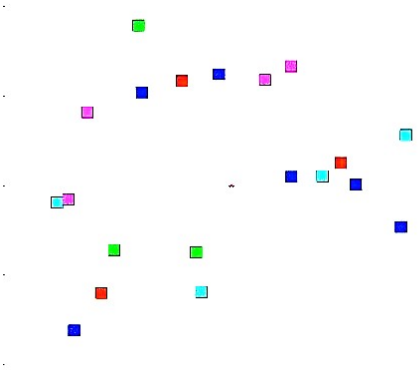
در این تحقیق از نرم‌افزار MATLAB و کد مونت‌کارلو MCNPX برای توسعه همه الگوریتم‌ها و مدل‌سازی محیط و تجزیه‌وتحلیل آن‌ها استفاده شد.

۲-۱-الگوریتم سناریوی دینامیک پر ازدحام

یک الگوریتم ایجاد محیط پویا برای جابه‌جایی حرکت ۲۰ جسم با شکل یکسان توسعه داده شد. این الگوریتم یک شبیه‌سازی نمایشی از مربع‌های متحرک در رنگ‌های مختلف ایجاد می‌کند که پس از یک بازه زمانی خاص رفتار و حرکت آن‌ها در کنار یکدیگر به صورت یک فایل ویدئویی ذخیره می‌شود. موقعیت‌ها و سرعت‌های مربع‌ها مقداردهی اولیه می‌شوند و به طور مداوم در طول شبیه‌سازی به‌روز می‌شوند. با اجرای معادلات و محدودیت‌ها در الگوریتم، از برخورد بین مربع‌ها جلوگیری می‌شود و رفتار آن‌ها رفتار روبات‌های تیمیو در هنگام برخورد با موانع و تقابل با یکدیگر را منعکس می‌کند. به روشی مشابه، مربع‌ها از طریق حسگرهای مادون‌قرمز با یکدیگر تعامل دارند تا از اختلال در حرکات یکدیگر جلوگیری کنند. تصویری از حرکت این ربات‌ها در شکل ۲ نشان داده شده است. تصویر خروجی الگوریتم در شکل ۳ نشان داده شده است

شکل (۲) تصویری از مبنای تجمعی ربات‌ها

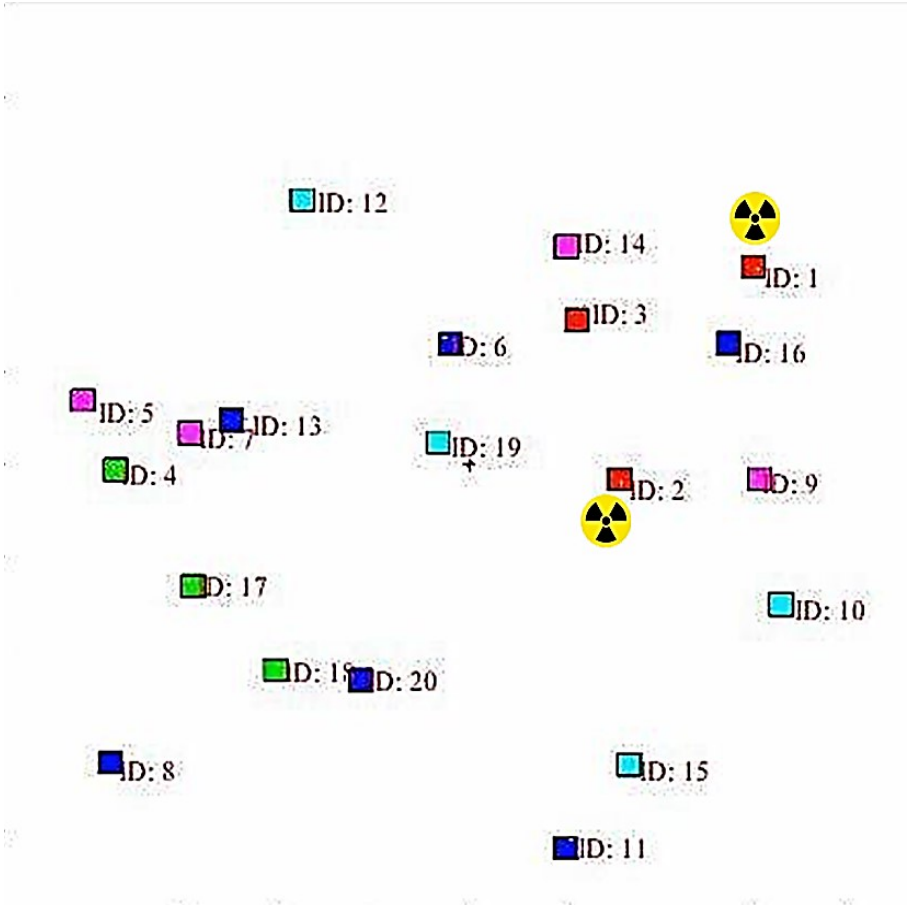
[۱] Screen Shot



شکل (۳) یک فریم از حرکت کاراکترها در کنار یکدیگر

همان‌گونه که بیان گردید در این مطالعه برای ردیابی اشیای هم‌شکل از روش بینایی‌ماشین مبتنی بر الگوریتم کاناد-لوکاس-توماسی استفاده شد. روش KLT بر این اصل استوار است که مهم‌ترین اطلاعات در یک تصویر را می‌توان با مجموعه کوچک‌تری از ویژگی‌ها یا الگوها نشان داد که آن‌ها را می‌توان با استفاده از روش‌های ریاضی استخراج کرد. در این الگوریتم برای هر جسم متحرک یک شماره شناسایی در نظر گرفته شد که این شماره شناسایی برای مکان‌یابی هر شیء دخیل در سناریو در هر زمان بسیار مفید است؛ لذا برای ۲۰ کاراکتر کدهای شناسایی ۱ تا ۲۰ به صورت ID:1 تا ID:20 تعریف گردید. ربات‌ها از ابتدا در این فضای ۱۰۰ متر مربعی به‌طور دلخواه چیده شده‌اند و در مدت زمان ۱۲۰ ثانیه، حرکتی دلخواه دارند. بنابراین ورود و خروجی توسط ربات‌ها به کل منطقه وجود ندارد.

۲-۲-الگوریتم ردیابی اشیای هم‌شکل

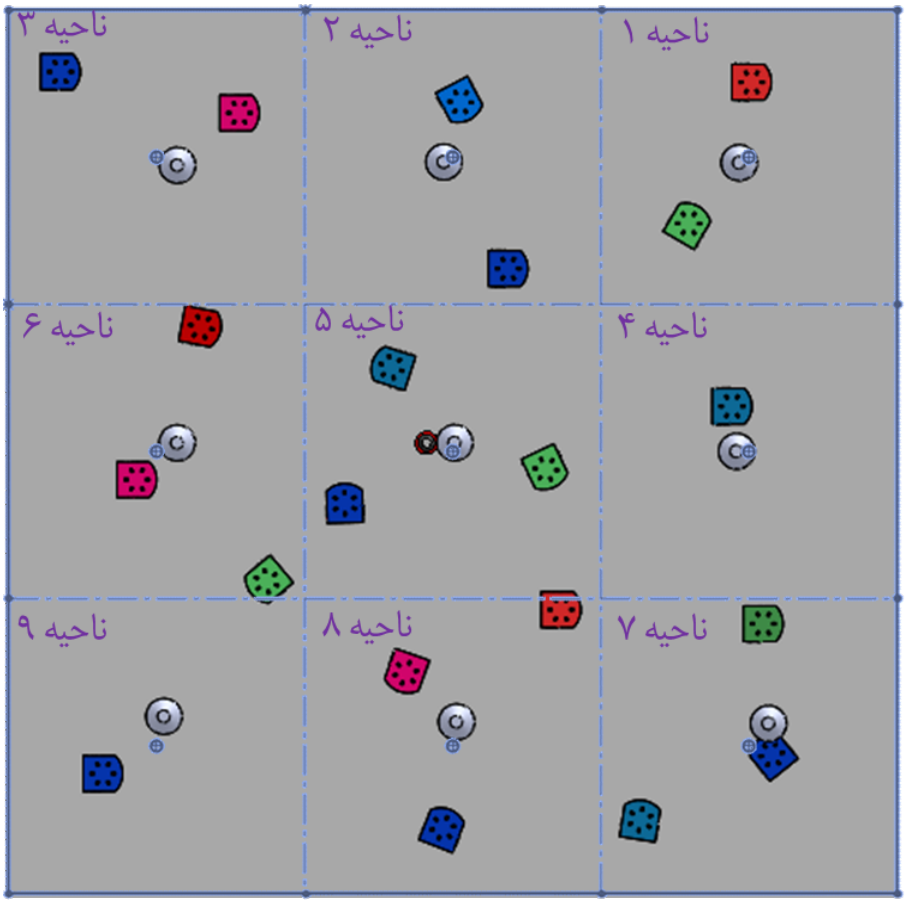


شکل (٤) اختصاص شماره شناسایی به هر کاراکتر جهت ردیابی

۲-۳-شبیه‌سازی سناریوی پرتوی با کد مونت‌کارلو

برای مدل‌سازی سناریوی پرتوی از کد مونت‌کارلوی MCNPX استفاده شد [۱۸]. برای این منظور ۳۰۰۰ برنامه برای موقعیت‌های مختلفی که ربات‌ها به صورت با حرکت پیوسته برای ربات قرمز رنگ نشان داده شده در شکل ٤ در میان دیگر اشیای متحرک نوشته شد. دو ربات قرمز با شماره شناسایی ۱ و ۲ به عنوان ربات آلوده به ماده پرتوزا فرض شد. لذا سناریوی پرتوی برای آن‌ها تعریف گردید. برای آشکارسازی پرتوهای گسیل شده از این ربات در طی مسیر حرکتش از ۹ آشکارساز سوسوزن یدور

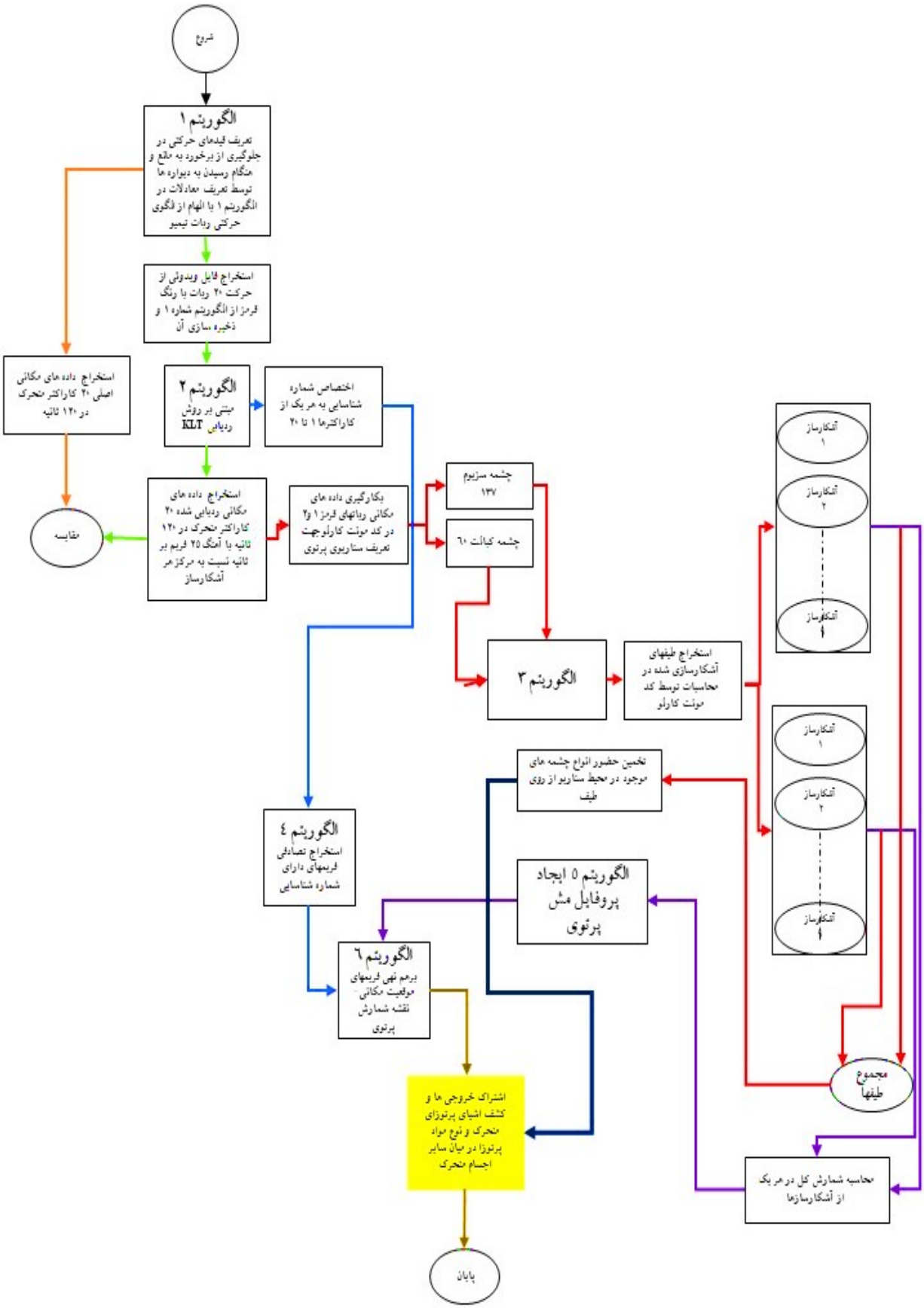
سدیم با ابعاد ۵ اینچ در موقعیت‌های منظم در هندسه استفاده شد. طرحی از هندسه در شکل ۵ نشان داده شده است. در شبیه‌سازی از چشمه‌های گامازای سزیم-۱۳۷ و کبالت-۶۰ استفاده شد. اعتبار سنجی داده‌های مدل‌سازی شده با نتایج تجربی برای ردیابی سه ربات که یکی از آن‌ها آلوده به ماده رادیواکتیو بود در مطالعه قبلی ما آمده است[].



شکل (۵) طرح سه‌بعدی از هندسه مدل‌سازی شده نمای بالایی

۲-٤-الگوریتم همپوشانی تصاویر نقشه پرتوی و تصاویر ردیابی اشیا

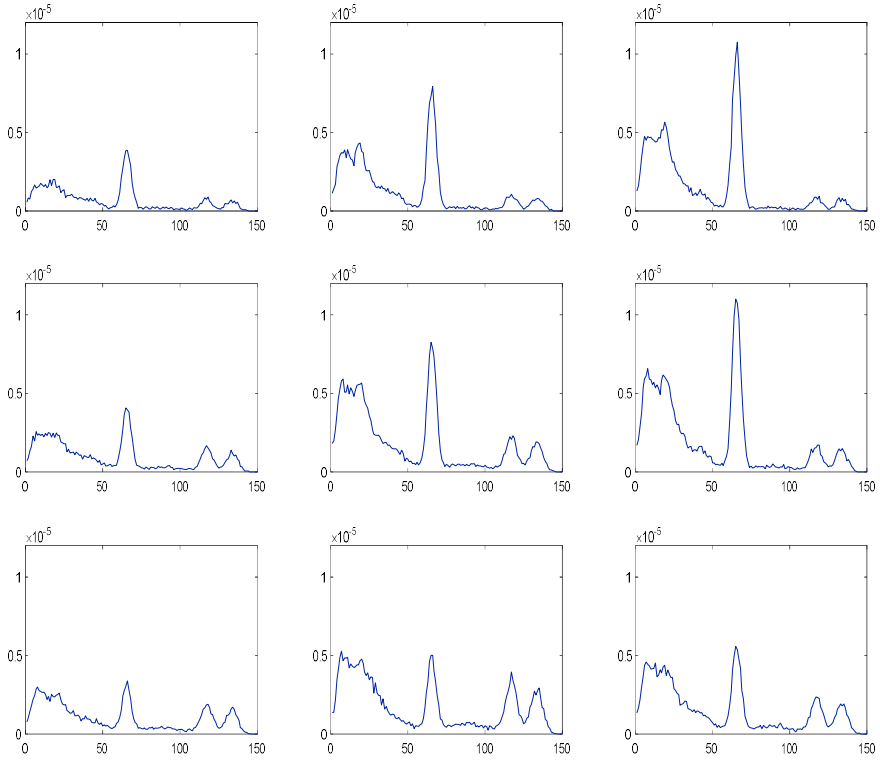
در این بخش از الگوریتم همپوشانی تصاویر نقشه پرتوی و تصاویر ردیابی کاراکترها استفاده شد. در شکل ٦ فلوچارت گام‌های مربوط به تشکیل فایل ویدئویی حرکت ۲۰ ربات هم‌شکل با الگوبرداری از معادلات حرکت ربات‌های تیمیو در یک محیط و ثبت داده‌های ردیابی شده؛ مقایسه موقعیت‌های مکانی اصلی و موقعیت‌های مکانی ردیابی شده با الگوریتم مبتنی بر روش KLT؛ بهره‌گیری از موقعیت مکانی کاراکترهای قرمز در طراحی سناریوی پرتوی با کد مونت‌کارلو؛ استخراج خروجی کد مونت‌کارلو به صورت طیف و شمارش ثبت شده در آشکارسازها به‌ازای هر موقعیت؛ و در نهایت بهره‌گیری از روش برهم‌نهی تصاویر مکانی - نقشه پرتوی (طیف‌نگاری) و در نهایت بررسی اشتراک اجسام مشکوک به آلودگی در فریم‌های مختلف برای مکان‌یابی چشمه‌های پرتوزای متحرک در میان سایر اجسام را نشان می‌دهد مکانی اصلی آن‌ها؛ ردیابی مکان کاراکترها توسط الگوریتم ثانویه از روی محتوای ویدئویی مرحله اول و ثبت داده‌های مکانی.



شکل (٦) تصویری از گسیل ذرات در فضای شبیه‌سازی‌شده اتاق به ابعاد ۱۰×۱۰×۱۰ مترمکعب

۳-نتایج

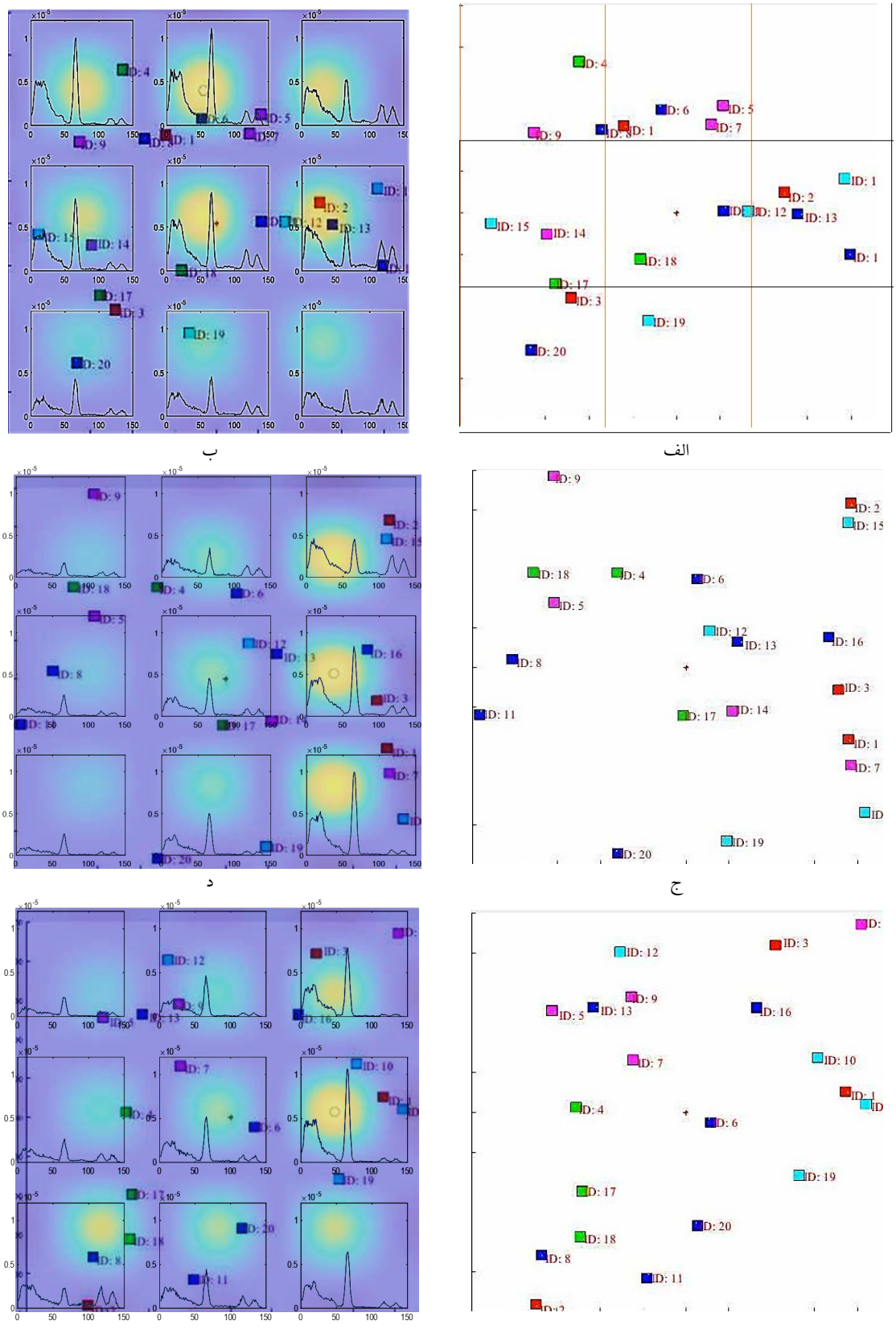
با بررسی طیف‌هایی که آشکارسازهای مستقر در ۹ موقعیت مختلف ثبت کردند نتیجه گرفته شد که قله‌های ثبت شده حاکی از آن است که در محیط دو چشمه سزیم-۱۳۷ و کبالت-۶۰ حضور دارد (شکل ۷). از ادغام نتایج مربوط به نقشه طیف پرتوی و تصاویر مربوط به فریم‌های موقعیت مکانی هر یک از کاراکترها موقعیت شی آلوده به ماده پرتوزا کشف گردید و شماره شناسایی مربوط به آن مشخص گردید. بدین ترتیب که در ابتدا از ۳۰۰۰ فریم مربوط به حرکت جمعی ربات‌ها در کنار یکدیگر سه فریم به صورت دلخواه انتخاب گردید. نتایج مربوط به همپوشانی تصاویر نقشه پرتوی و موقعیت مکانی اشیا در شکل ۹ نشان داده شده است. در محیط از ادغام نتایج مربوط به نقشه شمارش پرتوی و تصاویر مربوط به فریم‌های موقعیت مکانی هر یک از کاراکترها موقعیت شی آلوده به ماده پرتوزا کشف گردید و شماره شناسایی مربوط به آن مشخص گردید. نتایج مربوط به همپوشانی تصاویر نقشه پرتوی و موقعیت مکانی اشیا در شکل ۸ نشان داده شده است. از ۳۰۰۰ فریم مربوط به حرکت جمعی ربات‌ها در کنار یکدیگر سه فریم به صورت دلخواه انتخاب گردید. در این سه فریم قله‌های بیشینه که مربوط به یکی از نواحی ۱ تا ۹ است مشاهده می‌شود. در سه فریم همپوشانی شده در تصاویر شکل ۸، در شکل ۸ ب قله مربوط به سزیم-۱۳۷ در ناحیه ۲ بیشینه است؛ یعنی کاراکتر آلوده به چشمه گامازای سزیم-۱۳۷ در این ناحیه قرار دارد و کاراکترهایی که در این ناحیه قرار دارند مشکوک به آلودگی با چشمه سزیم-۱۳۷ هستند و قله‌های بیشینه نشان‌دهنده حضور چشمه کبالت-۶۰ مربوط به ناحیه ٤ هستند به همین ترتیب برای شکل ۸-د بیشینه سزیم-۱۳۷ در ناحیه ۷ و برای کبالت-۶۰ در ناحیه ۱ ثبت شده است و درنهایت در فریم منتخب سوم بیشینه سزیم-۱۳۷ در ناحیه ٤ و برای کبالت-۶۰ در ناحیه ۹ قرار دارد. قله مشخصه بیشینه ثبت شده در هر آشکارساز نسبت به سایر آشکارسازها بدین معنی است شی آلوده به ماده پرتوزا نزدیک به آشکارسازی است که بیشینه را ثبت کرده و در همان ناحیه‌ای قرار دارد که مقدار بیشینه ثبت شده است.



شکل (۷) بررسی حضور چشمه یا چشمه‌های رادیواکتیو و نوع آن‌ها در محیط از روی طیف‌های ثبت شده در آشکارسازها-محور افقی شماره کانال انرژی و محور عمودی شمارش نرمال شده به یک

پس از روی‌هم قرار دادن تصاویر شکل ۹ الف تا ج بر روی تصاویر شکل ۹(ه و ز) نتایج مربوط در تصاویر شکل ۹ ک، ل و م نشان داده شده است. در مرحله اول کاراکترهایی با شماره شناسایی ۱،۲، ۸، ۹ و ۱۰ مشکوک به آلودگی هستند و در تصویر بعدی مربوط به ناحیه ٤ کاراکترهایی با شماره شناسایی ۱، ۱۲، ۱۷ و ۱۰ مشکوک بوده و در تصویر نهایی مربوط به ناحیه ۷ کاراکترهای ۱، ۲۰ و ۱۵ ممکن است آلوده باشند. پس از بررسی شماره شناسایی‌های مشکوک می‌توان از طریق اشتراک شماره‌ای

که میان نواحی ۱، ٤ و ۷ وجود دارد مشخص کرد که کاراکتر آلوده به ماده پرتوزا دارای شماره شناسایی ۱ است که در تمام نواحی با شمارش بیشینه حضور دارد.



الف ب ج د ه و

شکل (۸) بررسی حضور چشمه یا چشمه‌های رادیواکتیو و نوع آن‌ها در محیط از روی طیف‌های ثبت شده در آشکارسازها

جدول (۱) نواحی و آشکارسازهایی که قله‌های بیشینه در آن‌ها ثبت شده است

ناحیه	شماره آشکارساز	طیف بیشینه در ثانیه ۱	طیف بیشینه در ثانیه ۲۵	طیف بیشینه در ثانیه ۱۰۰
۱	۱		*کبالت-۶۰	
۲	۲	* سزیم-۱۳۷		
۳	۳			
٤	٤	*کبالت-۶۰		* سزیم-۱۳۷
٥	٥			
٦	٦			
۷	۷		* سزیم-۱۳۷	
۸	۸			
۹	۹			*-کبالت ۶۰

با توجه به طیف‌های ثبت شده توسط آشکارسازها ابتدا مشخص گردید که در محیط دو چشمه پرتوزا با نوع مختلف در حال حرکت هستند، با توجه به قله‌های مشاهده شده در طیف‌های حاصل در ۹ آشکارساز، مشخص می‌شود که چشمه سزیم ۱۳۷ و چشمه کبالت-۶۰ در محیط حضور دارند. در ثانیه‌های اوّل آشکارسازی ماده رادیواکتیو، میزان شمارش آشکارساز برای چشمه‌های ضعیف کم بوده و امکان آشکارسازی چشمه دشوار خواهد بود. بخصوص برای چشمه‌هایی که در حد چند میکرو کوری باشند. این کار با حفاظ سازی چشمه امکان‌پذیر است.

جدول (۲) اشتراک میان شماره‌های شناسایی مشکوک در نواحی مختلف

شماره شناسایی‌های مشکوک به عنوان چشمه سزیم -۱۳۷	ID:1	ID:1	ID:1
			ID:10
	ID:7	ID:6	ID:15
		ID:7	ID:19
	ID:10	ID:8	
شماره شناسایی‌های مشکوک به عنوان چشمه کبالت-۶۰	ID:2	ID:2	ID:2
		ID:10	ID:8
		ID:11	ID:17
	ID:15	ID:12	ID:18
		ID:13	

در گام بعدی با بهره‌گیری از تلفیق تصاویر ثبت شده از مکان هر یک از اشیای متحرک در سناریو با طیف‌های ۹ گانه در ۹ آشکارساز در نواحی تقسیم‌بندی‌شده، اشیا مشکوک به آلودگی پرتوی دسته‌بندی می‌شوند. در نهایت با اشتراک‌گیری از تصاویر تلفیقی نشان داده می‌شود که این آلودگی‌ها مرتبط با کدام شماره شناسایی ۱ تا ۲۰ است. با توجه به اطلاعات نشان داده شده در جدول بالا مشخص می‌گردد که در میان طیف‌های ثبت شده در ثانیه ۱ قله مربوط به چشمه سزیم ۱۳۷ در آشکارساز شماره ۲ مستقر در ناحیه ۲ بیشینه است و به همین صورت قله‌های مربوط به پرتوهای گسیل شده از چشمه کبالت-۶۰ در آشکارساز شماره ٤ که در ناحیه ٤ مستقر است بیشینه است. با توجه به فریم ثبت شده از حرکات اشیا، در این زمان ربات‌هایی با شماره شناسایی ۱،٥،٦،۷ و ۸ در ناحیه ۲ قرار دارند و در ناحیه ٤ نیز حضور ربات‌ها با شماره شناسایی ۲، ۱۰، ۱۱، ۱۲ و ۱۳ ثبت شده است. این بدین معنی است که با توجه به ناحیه‌بندی محیط اشیای متحرک آلوده به ماده رادیواکتیو باید در میان یکی از این شماره‌های شناسایی باشد. به همین ترتیب برای فریم‌های مربوط به زمان ۲۵ ثانیه و ۱۰۰ ثانیه نیز شماره‌های شناسایی مشکوک با توجه به قله طیف بیشینه و نیز شماره شناسایی‌های موجود در ناحیه‌ای که آشکارساز آن قله بلندتر را ثبت نموده است، مشخص می‌گردند. در گام بعدی برای تشخیص دقیق شماره‌های شناسایی دو جسم آلوده به ماده پرتوزا، میان شماره‌های شناسایی ثبت شده در زمان‌های مختلف اشتراک‌گیری به عمل می‌آید و در نهایت دو شماره اصلی آلوده به ماده پرتوزا و اینکه کدام یک از آن‌ها حامل چشمه سزیم-۱۳۷ و کدام‌یک حامل چشمه کبالت-۶۰ است مشخص می‌گردد جدول (**۲**).

٤-بحث و نتیجه‌گیری

ادغام تصاویر سیستم بینایی‌ماشین با نقشه‌های شمارش پرتوی نشان‌دهنده یک رویکرد پیشرفته و بسیار مؤثر برای وظیفه حیاتی ردیابی و کاوش مواد رادیواکتیو خارج از کنترل در سناریوهای شلوغ است. این روش نوآورانه از قدرت فناوری پیشرفته برای ارائه ابزاری سریع، کارآمد و قابل‌اعتماد برای

شناسایی، مکان‌یابی و مدیریت مواد رادیواکتیو در محیط‌های چالش‌برانگیز استفاده می‌کند. استفاده از این روش سریع و کارآمد نه‌تنها اثربخشی کلی نظارت و کنترل پرتوی را افزایش می‌دهد، بلکه پروتکل‌های ایمنی و امنیتی مرتبط با جابه‌جایی مواد رادیواکتیو در محیط‌های پر ازدحام و پویا را نیز به‌طور قابل‌توجهی بهبود می‌بخشد. ادغام تصاویر بینایی‌ماشین و داده‌های شمارش پرتوی، فرایندهای تصمیم‌گیری سریع را تسهیل می‌کند و مداخله پیشگیرانه و راهبُردهای مهار در صورت تهدیدات مربوط به مواد رادیواکتیو را ممکن ساخته و عملیات را تسریع می‌سازد. علاوه بر این، با ساده‌سازی فرآیند شناسایی و ردیابی مواد رادیواکتیو خارج از کنترل در سناریوهای شلوغ، این رویکرد دارای پتانسیل خوبی برای افزایش قابلیت‌های واکنش اضطراری، به‌حداقل‌رساندن خطرات بالقوه برای سلامت انسان و محیط‌زیست و ارتقای ایمنی عمومی در خطرات بالا است. هم‌افزایی بین فناوری بینایی‌ماشین و نقشه شمارش و طیف پرتوی راه‌حلی مناسب برای رویارویی با چالش‌های ناشی از حضور مواد رادیواکتیو در فضاهای پر ازدحام را ارائه می‌دهد و بر اهمیت استفاده از روش‌های پیشرفته برای مدیریت مؤثر و کاهش خطرات مرتبط تأکید می‌کند.

مراجع

[1] *Morgan, Dane, Ghanshyam Pilania, Adrien Couet, Blas P. Uberuaga, Cheng Sun, and Ju Li. "Machine learning in nuclear materials research." Current Opinion in Solid State and Materials Science 26, no. 2 (2022): 100975.*

[2] *Bagher, Askari Mohammad, Mirzaei Vahid, and Mirhabibi Mohsen. "Introduction to radioactive materials." Int. J. Renew. Sustain. Energy 3, no. 3 (2014): 59-67.*

[3] *Al Rashdan, Ahmad Y., and Torrey J. Mortenson. Automation Technologies Impact on the Work Process of Nuclear Power Plants. No. INL/EXT-18-51457-Rev000. Idaho National Lab.(INL), Idaho Falls, ID (United States), 2018.*

[4] *Steger, Carsten, Markus Ulrich, and Christian Wiedemann. Machine vision algorithms and applications. John Wiley & Sons, 2018.*

[5] *Li, C., Dos Reis, A.A., Ansari, A., Bertelli, L., Carr, Z., Dainiak, N., Degteva, M., Efimov, A., Kalinich, J., Kryuchkov, V. and Kukhta, B."Public health response and medical management of internal contamination in past radiological or nuclear incidents: A narrative review."Environment international 163 (2022): 107222.*

[6] *Wong, Cuebong, Erfu Yang, Xiu-Tian Yan, and Dongbing Gu. "Autonomous robots for harsh environments: a holistic overview of current solutions and ongoing challenges." Systems Science & Control Engineering 6, no. 1 (2018): 213-219.*

[7] *Downes, Robert, Christopher Hobbs, and Daniel Salisbury. "Combating nuclear smuggling? Exploring drivers and challenges to detecting nuclear and radiological materials at maritime facilities." The Nonproliferation Review 26, no. 1-2 (2019): 83-104.*

[8] Dyke, Jon M. Van. "The legal regime governing sea transport of ultrahazardous radioactive materials." Ocean Development &International Law 33, no. 1 (2002): 77-108.

[9] *Brezina, Corona. Public security in an age of terrorism. The Rosen Publishing Group, Inc, 2009.*

[10] Haffner, Oto, Erik Kučera, and Danica Rosinová. "Applications of Machine Learning and Computer Vision in Industry 4.0." Applied Sciences 14, no. 6 (2024): 2431.

[11] Luk, B. L., A. A. Collie, D. S. Cooke, and S. Chen. "Walking and climbing service robots for safety inspection of nuclear reactor pressure vessels." Measurement and control 39, no. 2 (2006): 43-47.

[12] Schmugge, Stephen J., Lance Rice, N. Rich Nguyen, John Lindberg, Robert Grizzi, Chris Joffe, and Min C. Shin. "Detection of cracks in nuclear power plant using spatial-temporal grouping of local patches." In 2016 IEEE Winter Conference on Applications of Computer Vision (WACV), pp. 1-7. IEEE, 2016.

[13] Marturi, Naresh, Alireza Rastegarpanah, Vijaykumar Rajasekaran, Valerio Ortenzi, Yasemin Bekiroglu, Jeffrey Kuo, and Rustam Stolkin. "Towards advanced robotic manipulations for nuclear decommissioning." Robots operating in hazardous environments (2017).

[14] https://www.par.com/2020/01/16/par-systems-supports-development-smart-robots-next-generation-nuclear-reactors-southern-research-under-department-energy-grant/

[15] R. Seulin et al. in: International Society for Optics and Photonics, (SPIE, California, 2004), pp. 128-136

[16] Kelly, Mark Le Roy. "Nuclear fuel pellet inspection using machine vision and artificial neural networks." (1995).

[17] https://learnopencv.com/real-time-deep-sort-with-torchvision-detectors. Waters, Laurie S. "MCNPX user's manual." Los Alamos National Laboratory 124 (2002).

[۱۸] اردینی، هادی و بیگ زاده، امیرمحمد،۱۴۰۳، ارزیابی الگوریتم مبتنی بر تلفیق داده در کشف و مکان یابی چشمه رادیواکتیوخارج از کنترل از طریق شبیه سازی مونت کارلو و اندازه گیری تجربی، دومین کنفرانس ملی تحول دیجیتال و سیستم های هوشمند، لارستان.

امیرمحمد بیگ‌زاده استادیار پژوهشگاه علوم و فناوری هسته‌ای است. او مدرک دکترای خود را از NSTRI در سال ۲۰۱۸ دریافت نمود. علایق تحقیقاتی او شامل کاربرد پرتوهای یونساز در صنعت، سامانه‌های هوشمند، رادیوگرافی، دزیمتری، اندازه گیری، لیزر و تمام‌نگاری و کدنویسی است.

هادی اردینی استادیار پژوهشکده علوم و فناوری هسته‌ای است. او در سال ۲۰۱۷ دکترای رباتیک، کنترل و سیستم‌های هوشمند را از Ecole Polytechnique F´ed´erale de Lozanne (EPFL) دریافت کرد. زمینه های اصلی تحقیقاتی او رباتیک ازدحام، هوش مصنوعی، کنترل، سیستمهای تشخیص هوشمند مواد رادیواکتیو و دینامیک است.