

## شناسایی سامانه‌های دفاع موشکی پاتریوت MIM-104 در اطراف ایران توسط تصاویر راداری سنتینل-۱

نوع مقاله: ترویجی

احمد اردکانی<sup>۱</sup>، محمدحسین فتحی<sup>۲</sup>

تاریخ پذیرش مقاله: ۱۴۰۰/۸/۲۴

تاریخ دریافت مقاله: ۱۴۰۰/۶/۲۷

صفحات: ۲۷-۴۰

### چکیده

ایران در یکی از بحرانی‌ترین مناطق دنیا به نام خاورمیانه قرار گرفته است. این منطقه به دلیل موقعیت مناسب و ذخایر فراوان انرژی، همواره مورد توجه کشورهای خارجی و در رأس آن‌ها آمریکا بوده است. همین امر سبب دخالت‌های فراوان آمریکا و تاسیس پایگاه‌های متعدد نظامی در اطراف ایران به خصوص بعد از حادثه ۱۱ سپتامبر شده است. رصد اطلاعاتی مستمر این پایگاه‌ها و تاسیسات مربوط به آن‌ها یکی از مهم‌ترین راه‌های بازدارندگی است که می‌تواند توسط دانش سنجش از دور صورت گیرد. یکی از تکنیک‌های سنجش از دور، رادار روزنه مصنوعی است که در سال‌های اخیر مورد توجه قرار گرفته و این درحالی است که ماهواره سنتینل-۱ که در سال ۲۰۱۴ توسط سازمان فضایی اروپا پرتاب شد نیز از همین تکنیک استفاده می‌کند. یکی از کاربردهای این ماهواره که در این مقاله معرفی شده است، شناسایی سامانه‌های پاتریوت MIM-104 است. این امر از طریق نمایش ترکیبی قطبیدگی‌های VH و VV توسط دو تصویر اخذ شده در گذرهای شب و روز ماهواره از یک نقطه صورت می‌پذیرد که به صورت خطوط X مانند که محل قرارگیری سامانه‌های پاتریوت است، نمایش داده می‌شود. پردازش تصاویر مربوط به این ماهواره نیز توسط سامانه Google Earth Engine صورت گرفته که موجب صرفه‌جویی قابل توجه در زمان تحلیل و بالا رفتن دقت نتایج به علت به حداقل رسیدن خطای انسانی می‌شود. نتایج نشان داد که در مناطق اطراف ایران و به خصوص در کشورهای عربی حاشیه خلیج فارس، حداقل ۱۶ سامانه فعال پاتریوت وجود دارد که بیانگر توسعه فراوان آن در سال‌های اخیر بوده و لزوم رصد مداوم این سامانه‌ها را نشان می‌دهد.

واژگان کلیدی: سامانه پاتریوت، سنتینل-۱، گوگل ارث انجین، تصاویر راداری

<sup>۱</sup> پژوهشگر دانشگاه افسری امام علی (ع) ahmad2520@gmail.com

<sup>۲</sup> استادیار جغرافیای طبیعی دانشگاه افسری امام علی (ع) geo.fathi@gmail.com

## مقدمه

یکی از حساس‌ترین مناطق دنیا، منطقه غرب آسیاست. در سال‌های اخیر با خرید تسلیحات و نظامی‌گیری توسط کشورهای حاشیه خلیج فارس و همچنین مداخلات دولت‌های خارجی و در رأس آن‌ها آمریکا، این منطقه به منطقه‌ای بحرانی تبدیل شده است (فرزین‌راد، فروزان و عالیشاهی، ۱۳۹۹؛ حبیبی، ۲۰۱۹).

حضور آمریکا در خلیج فارس و توسعه پایگاه‌های هوایی و دریایی این کشور در منطقه، یکی از چالش‌های بزرگ ایران در تامین امنیت مرزهای خود است. آمریکا با حضور خود در منطقه علاوه بر آنکه می‌خواهد مانع قدرت‌گیری ایران شود، به دنبال حفظ جایگاه منطقه‌ای خود نیز است (زارعی، شهیدی و سلگی، ۲۰۱۹).

هر دولتی وظیفه دارد تمامیت ارضی کشور را حفظ نموده و از آن دفاع نماید. بدین ترتیب ایران نیز بایستی با هدف عدم خدشه‌دار شدن امنیت مرزهای خود، به تقویت روزافزون توان دفاعی و بازدارندگی خود بپردازد (قادری کنگاوری، ۲۰۱۸). در حال حاضر، بازدارندگی از اصول دفاعی کشور بوده و در سند چشم‌انداز ۱۴۰۴ نیز مورد تاکید قرار گرفته است (سعدآبادی و رحیمی‌راد، ۱۳۹۹). پس یافتن راه‌های مختلف برای بالا بردن این قدرت، امری مهم تلقی می‌شود. یکی از راه‌های افزایش قدرت بازدارندگی ایران، رصد اطلاعاتی این پایگاه‌ها به صورت مداوم است. روش‌های مختلفی برای جمع‌آوری اطلاعات از پایگاه‌های دشمن وجود دارد که یکی از آن‌ها سنجش از دور<sup>۱</sup> است.

تاکنون پژوهش‌های زیادی در زمینه شناسایی عوارض مختلف به وسیله تصاویر ماهواره ای نگاشته شده است که به تعدادی از آنها اشاره می‌شود. بلنجر و همکاران با ارائه الگوریتمی جدید، اقدام به شناسایی مناطق سوخته با کمک

تصاویر سنتینل-۱ نمودند. این الگوریتم براساس پراکنش در باند C و با استفاده از آتش سوزی‌های فعال و داده‌های پوشش زمین تعریف شده است. صحت سنجی نتایج حاصل نیز با کمک تصاویر ماهواره لندست-۸ و سنتینل-۲ صورت گرفت. دقت نتایج به دست آمده در این تحقیق، حدود ۴۳٪ بیان شده است (Belenguer-Plomer, Tanase, Fernandez-Carrillo, & Chuvieco, 2019).

در پژوهشی دیگر، رن و همکاران با معرفی یک مدل بر پایه یادگیری عمیق<sup>۲</sup> در تصاویر سنتینل-۱، اقدام به تخمین اندازه کشتی‌ها نمودند. این مدل براساس یک مدل رگرسیون مبتنی بر شبکه عصبی عمیق<sup>۳</sup> پایه‌ریزی شده است که ورودی‌های آن، اندازه اولیه کشتی و زاویه جهت‌گیری آن و ویژگی‌های ظاهری کشتی در تصاویر رادار روزنه مصنوعی<sup>۴</sup> است. همچنین تابع مربع خطای میانگین برای بهینه‌سازی نتایج آن در نظر گرفته شد. نتایج نشان داد که این مدل می‌تواند اندازه کشتی را در تصاویر راداری سنتینل-۱ به خوبی اندازه‌گیری کند و میانگین خطای مطلق آن کمتر از ۰/۸ پیکسل به دست آمد (Ren, Li, & Xu, 2021).

همچنین لی و همکاران در تحقیق خود، الگوریتمی جدید را معرفی کردند که امکان تخمین ارتفاع ساختمان‌ها را براساس تصاویر سنتینل-۱ فراهم می‌کند. شیوه این الگوریتم به این صورت است که ابتدا یک شاخص به نام VVH که ترکیبی از قطبیدگی‌های VV و VH در تصاویر سنتینل-۱ است، تهیه شد. سپس یک مدل براساس شاخص VVH و ارتفاع ساختمان‌های مرجع در ۷ شهر آمریکا ساخته و در گام آخر نیز ارتفاع ساختمان شهرهای بزرگ آمریکا براساس همین مدل تخمین زده شد. میانگین مربع خطای به دست

<sup>۲</sup> Deep learning<sup>۳</sup> Deep neural network<sup>۴</sup> Synthetic Aperture Radar (SAR)<sup>۱</sup> Remote sensing

می‌کند. در صورتی که سامانه سنجش از دور، انرژی طبیعی اجسام را که ناشی از تابش خورشید است اندازه‌گیری کند، به آن سنجش از دور غیرفعال یا اپتیکی اطلاق می‌شود. پس از آن، تکنیک‌های تصویربرداری دیگری مانند رادار روزنه مصنوعی معرفی شدند که دارای قابلیت‌های بیشتری نسبت به سنجش از دور غیرفعال دارند (Agrawal & Khairnar, 2019).

رادار روزنه مصنوعی سامانه مهمی است که از زمان معرفی، توجه محققان به آن جلب شده است. SAR دارای کارکردهای فراوانی است که علت آن، توانایی این سامانه در تصویربرداری در شرایط بد آب و هوایی و همچنین عدم وابستگی به روز و شب است. از کاربردهای SAR می‌توان به تهیه نقشه‌های کاربری، پایش ترافیک‌های دریایی، پایش جابه‌جایی زمین و تهیه نقشه‌های رقوم ارتفاعی اشاره کرد (Bovenga, 2020). این سامانه از امواج ماکروویو استفاده کرده و در مقایسه با تصویربرداری اپتیکی، طول موج‌های بلندتری دارد. در سال ۱۹۷۸ اولین سنجنده SAR به فضا پرتاب شد (Agrawal & Khairnar, 2019).

سنجنده‌های SAR با ۳ پارامتر معرفی می‌شوند: فرکانس عملیاتی<sup>۱</sup>، زاویه حادثه<sup>۲</sup> و قطبیت<sup>۳</sup>. زاویه حادثه را می‌توان با زاویه بین پرتوی رادار و یک خط عمود بر سطح زمین برحسب تعریف کرد. فرکانس و زاویه حادثه بر عمق نفوذ میکروویو تأثیر می‌گذارند. عمق نفوذ با طول موج افزایش می‌یابد؛ اما با افزایش زاویه کاهش می‌یابد (Adeli et al., 2020). قطبیدگی با جهت‌گیری بردار میدان الکتریکی موج الکترومغناطیسی منتقل شده و دریافت شده تعریف می‌شود. همچنین قطبیدگی براساس ساختار هدف تعریف می‌شود. همچنین سیگنال بازپراکنش شده می‌تواند به سه حالت پراکنش

آمده بین نتایج تخمینی و مرجع، ۱/۵ متر به دست آمد که نتیجه‌ای قابل قبول را نشان می‌دهد (Li, Zhou, Gong, (Seto, & Clinton, 2020).

با بررسی تحقیقات صورت گرفته مشخص شد که بر اساس ترکیب قطبیدگی‌های مختلف، می‌توان برخی عوارض خاص را در تصاویر راداری شناسایی کرد. با داشتن یک مرجع صحت سنجی مانند تصاویر Google Earth، می‌توان نوع عوارض یافت شده را مورد بررسی قرار داد.

در این مقاله، یکی از کاربردهای سنجش از دور در حوزه نظامی مورد بررسی قرار می‌گیرد و آن، شناسایی سامانه‌های پاتریوت MIM-104 موجود در مناطق اطراف ایران به وسیله تکنیک رادار روزنه مصنوعی است. این کار به وسیله تصاویر ماهواره سنتینل-۱ صورت می‌پذیرد و پردازش داده‌ها توسط سامانه آنلاین Google Earth Engine (GEE) انجام می‌گیرد. مسلماً پردازش ده‌ها تصاویر راداری به وسیله نرم افزارهای متداول، علاوه بر صرف زمان و هزینه زیاد، دارای خطاهای انسانی نیز بوده و همچنین در صورت نیاز به بررسی فعال بودن این سامانه در زمان‌های دیگر، تمامی این عملیات بایستی تکرار شوند. با استفاده از سامانه GEE، علاوه بر صرف جویی قابل توجه در زمان، نیاز به هیچ‌گونه دریافت تصویر راداری خام نیست و تمامی پردازش‌ها توسط موتورهای گوگل انجام می‌شوند.

هدف اصلی این تحقیق، معرفی یک روش پایدار و کم هزینه و سریع برای پایش مداوم سامانه‌های پاتریوت MIM-104 مستقر در اطراف ایران است تا بدین وسیله بخشی از اطلاعات لازم شامل موقعیت این سامانه‌ها، فعال یا غیرفعال بودن آنها و اضافه یا حذف شدنشان برای بررسی تحرکات دشمن حاصل شود.

## مبانی نظری تحقیق

سنجش از دور تکنیکی است که به وسیله آن می‌توان بدون تماس فیزیکی، اقدام به مشاهده و جمع‌آوری اطلاعات از زمین نمود. این علم بر روی امواج الکترومغناطیس کار

<sup>۱</sup> frequency

<sup>۲</sup> incident angle

<sup>۳</sup> polarization

Osio, Pham, & Carreiras, Quegan, Tansey, & Lefèvre, 2020) ۷.۵ سانتی متر است، کار می‌کند (Page, 2020).

در حالت پهنای باند تداخل سنج<sup>۲</sup>، تصاویر راداری دارای فاصله پیکسلی  $10 \times 10$  متر هستند (Brinkhoff, Vardanega, & Robson, 2019). همچنین این ماهواره به صورت دوقطبی<sup>۳</sup> و شامل هر چهار قطبیدگی  $VH+HV$ ,  $VV+VH$ ,  $HH+HV$  بوده و زاویه حادثه آن بین ۳۱ تا ۴۶ درجه است (Xue, Geng, Yan, Xie, & Yu, 2020).

تصاویر راداری به کار برده شده مربوط به سال ۲۰۱۶ تا انتهای ۲۰۲۰ است.

#### پ- سامانه Google Earth Engine:

Google Earth Engine یک سامانه محاسبات ابری است که ترکیبی از چند پتابایت تصاویر ماهواره‌ای و مجموعه داده‌های مکانی با قابلیت تجزیه و تحلیل در مقیاس سیاره‌ای را در اختیار دانشمندان، محققان و توسعه‌دهندگان قرار می‌دهد تا تغییرات، روندیابی و تعیین اختلافات در سطح زمین را مورد بررسی قرار دهند (Wang et al., 2020; Oliphant et al., 2019). کاربران می‌توانند الگوریتم مورد نظر خود را نوشته و یا از کتابخانه توابع ارائه شده توسط Earth Engine API استفاده کنند و به این ترتیب با کمترین دانش کدنویسی، پردازش‌های مورد نظر خود را اعمال کنند. این توابع که در یک سامانه پردازش موازی بزرگ پیاده‌سازی شده‌اند، به صورت خودکار، محاسبات را تقسیم و توزیع می‌کنند و به این ترتیب توان تجزیه و تحلیل را بالا می‌برند (Trainor-Guitton, Turon, & Dubucq, 2021).

سطحی، حجمی و سطحی-حجمی تقسیم‌بندی شود (Dolado et al., 2020).

سامانه‌های رادار با روزنه مصنوعی، امواج در قطبیت افقی H و قطبیت عمودی V را ارسال و در همین قطبیت‌ها دریافت کرده و به این ترتیب ترکیب‌های مختلف این امواج شامل HH, HV, VH و VV حاصل می‌شود. این حالات که شامل اطلاعات دامنه و فاز است، در قالب ماتریس پراکنش، اطلاعات هدف را نمایش می‌دهند (Manavalan, Rao, & Krishna Mohan, 2017).

#### مواد و روش‌ها

##### الف- معرفی منطقه مورد مطالعه:

مناطق مورد مطالعه در این تحقیق، کشورها و مناطق اطراف ایران هستند که به لحاظ سیاسی، نظامی و منطقه‌ای بر شرایط ایران تاثیرگذار هستند. از میان این کشورها، عربستان مورد بررسی قرار نگرفته که علت آن، نبود تصاویر راداری سنتینل-۱ در سامانه GEE است. به این ترتیب کشورهای عراق، سوریه، لبنان، اردن، بحرین، یمن، امارات، قطر، عمان، کویت، افغانستان، پاکستان، ترکمنستان، آذربایجان، ترکیه و فلسطین اشغالی مناطق مورد مطالعه این تحقیق را تشکیل می‌دهند.

##### ب- داده‌ها:

تصاویر استفاده شده در این پژوهش مربوط به ماهواره سنتینل-۱ است که به عنوان نسل جدید رادارهای سازمان فضایی اروپا<sup>۱</sup> و بخشی از برنامه نظارت بر محیط زیست اروپا بوده و وظیفه آن پایش مداوم زمین و اقیانوس‌هاست. این رادار در آوریل ۲۰۱۴ پرتاب شد و در باند C که دارای طول موج ۳.۷۵ تا

<sup>۲</sup> IW

<sup>۳</sup> Dual polarized

<sup>۱</sup> Copernicus

**ت- سامانه پاتریوت:**

سامانه پاتریوت یکی از اولین سامانه‌های تاکتیکی وزارت دفاع ایالات متحده است که به آن لقب قاتل مستقل داده‌اند. قاتل مستقل به سامانه‌ای اطلاق می‌شود که قادر به اعمال نیروی کشنده با کمترین میزان دخالت انسانی باشد. مطالعات ساخت این سامانه از سال ۱۹۶۱ آغاز شد و پس از انجام آزمایش‌های نهایی در اواخر دهه ۱۹۷۰ میلادی، در سال ۱۹۸۴ به خدمت ارتش آمریکا درآمد. موشک‌های بالستیک ضد تاکتیکی پاتریوت نخستین بار در عملیات طوفان صحرا در اوایل دهه ۱۹۹۰ علیه اسکاد عراق استفاده شد (Parsch, Hawley, 2017). (2007).

**ج- روش شناسی:**

تصاویر راداری می‌توانند در حوزه‌های مختلف نظیر مباحث نظامی کاربرد داشته باشند (Ding, Wen, 2017). (Huang, Ma, & Yang, 2017). با علم به اینکه محدوده فرکانس نظامی مورد استفاده برای سامانه‌های راداری زمینی، هوایی و دریایی ۵.۲۵ تا ۵.۸۵ گیگاهرتز بوده (Electronic communication Committee, 2017) و باند C رادار سنتینل-۱ نیز دارای فرکانس مرکزی ۵.۴۰۵ گیگاهرتز است (Gruber, Wagner, Hegyiova, Greifeneder, & Schlaffer, 2013)، پس انطباق خوبی میان این دو فرکانس وجود دارد. بدین سان، روش اصلی به کار برده شده در این تحقیق، براساس انطباق میان فرکانس رادار سنتینل-۱ و فرکانس‌های نظامی است.

به این ترتیب برای شناسایی این سامانه در محیط GEE، مطابق شکل ۱ ابتدا تصاویر ماهواره سنتینل-۱ فراخوانی شده که این تصاویر در محیط GEE با عنوان "COPERNICUS/S1\_GRD" شناخته می‌شود. سپس بازه زمانی مورد بررسی باید مشخص شود. از آنجایی که سامانه پاتریوت در برخی مناطق همواره فعال نیست و برخی مواقع غیرفعال می‌شود،

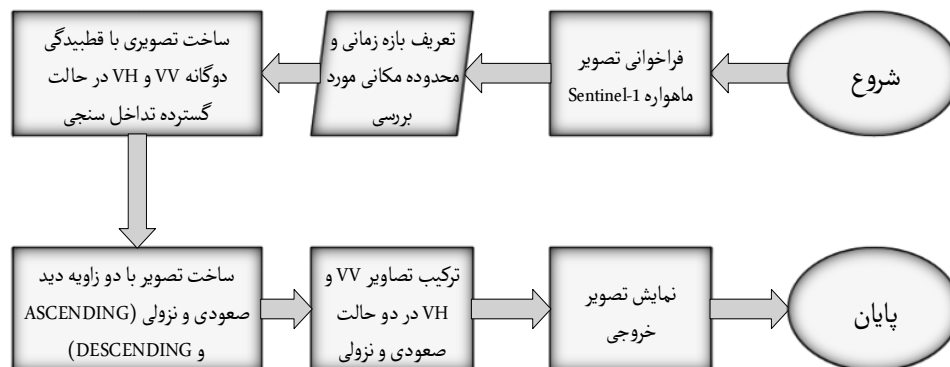
هرچه بازه تعریف شده طولانی‌تر باشد، موجب ایجاد نویزهایی در تصویر خروجی می‌شود. به این دلیل بهتر است که بازه حداکثر در حدود ۱ سال اختیار شود؛ با این حال و در صورت تعریف بازه چند ساله، همچنان سامانه‌های فعال در آن دوره زمانی با کیفیت نمایش کمتر، نشان داده می‌شوند.

همچنین می‌توان منطقه مورد بررسی را نیز در GEE تعریف کرد و یا بدون تعریف رها کرد تا هر نقطه از جهان را بتوان بررسی کرد. در گام بعد تصویری ساخته می‌شود که دارای قطبیدگی دوگانه VV و VH در حالت IW باشد که این کار با استفاده از دستور filter بر روی تصویر خام سنتینل-۱ در بازه زمانی تعریف شده صورت می‌گیرد. سپس برای ایجاد دو زاویه دید مختلف و به صورت مجزا، با استفاده از دستور فیلتر، زوایای ASCENDING و DESCENDING از تصویر قبلی جداسازی می‌شود. در ادامه قطبیدگی‌های VV و VH به صورت صعودی و نزولی که جمعا ۴ حالت مختلف را تشکیل می‌دهند، با هم ترکیب شده و تصویر خروجی نمایش داده می‌شود.

نکته‌ای که بایستی مدنظر قرار گیرد، این است که ماهیت این روش براساس ترکیب ۲ تصویر از یک نقطه است که این تصاویر می‌تواند مربوط به گذرهای ماهواره در شب و روز از یک نقطه باشد. از طرفی دیگر، همان‌گونه که ذکر شد، سامانه پاتریوت همواره فعال نیست و در برخی زمان‌ها می‌تواند غیرفعال شود. همچنین به لحاظ تاکتیکی بودن این سامانه، امکان جابه‌جایی آن نیز وجود دارد.

به این ترتیب، به جهت آنکه بتوان خطای تمامی این موارد را پوشش داد، از میانگین تصاویر در یک بازه زمانی بهره برده شده است؛ بدین ترتیب که با تعیین بازه‌ای یک یا چند ماهه، می‌توان چندین تصویر از یک نقطه داشت و در صورت غیرفعال شدن کوتاه‌مدت آن، سامانه همچنان در تصاویر قابل تشخیص باشد و

همچنین در صورت جابه‌جایی، تمام نقاطی که سامانه در آن فعال بوده، مشخص می‌شود.



شکل ۱: مراحل شناسایی سامانه‌های پاتریوت به وسیله تصاویر ماهواره سنتینل-۱ در محیط GEE

در نهایت سامانه پاتریوت مستقر در پایگاه العدید قطر مشخص شد که در شکل ۳ نشان داده شده است. لازم به ذکر است که دقیقاً در محل تقاطع خطوط X، پایگاه مذکور واقع شده است. همچنین هیچ اثری از این خطوط در ایران و برخی دیگر از کشورها نظیر افغانستان، پاکستان و کشورهای شمال ایران دیده نشد.

### تجزیه و تحلیل

مطابق الگوریتم ذکر شده، با نمایش ترکیبی قطب‌های VH و VV در این تصاویر، خطوط X ماندنی ظاهر می‌شوند که عمدتاً در حوزه خلیج فارس نیز تمرکز بیشتری دارند. نمونه‌ای از این نتیجه در شکل ۲ نشان داده شده است. برای مثال، با جستجوی دقیق خطوط قابل مشاهده در شکل ۲،



شکل ۲: خطوط ظاهر شده بر اثر ترکیب دو قطبیدگی VH و VV در کشور قطر (منبع: سامانه GEE)



شکل ۳: شناسایی سامانه پاتریوت واقع در پایگاه العدید قطر (منبع: تصاویر Google Earth)

امارات با ۴ سامانه شناسایی شده، بیشترین تعداد را داراست که این سامانه‌ها در شمال این کشور تراکم بیشتری دارند. معروف‌ترین سامانه فعال در امارات متعلق به پایگاه نظامی الظفره است که محل استقرار نظامیان آمریکایی است. از طرف دیگر کشور قطر قرار دارد که با وجود مساحت اندک آن، دارای ۳ سامانه فعال است که البته بررسی‌ها نشان داد که همه این سامانه‌ها در حال حاضر فعال نیستند و به صورت دوره‌ای غیرفعال می‌شوند. مشهورترین سامانه این کشور نیز مربوط به پایگاه نظامی العدید بوده که آن نیز متعلق به نظامیان آمریکایی است. همچنین سامانه فعال در دوحه نیز در سال‌های اخیر در این محل استقرار یافته است. از سویی دیگر، کشور کوچک بحرین نیز در حال حاضر دو سامانه فعال در اختیار دارد که معروف‌ترین آن‌ها در پایگاه نظامی شیخ عیسی قرار دارد که مربوط به نظامیان آمریکایی و تجهیزات مربوط به آن‌هاست. همچنین دو کشور کویت و اردن نیز هرکدام ۱ سامانه فعال در اختیار دارند که به ترتیب مربوط به پایگاه علی السالم و شهید موفق است که هر دو این‌ها هم متعلق به نظامیان آمریکایی است.

براساس نشریه منتشر شده در پایگاه [www.americansecurityproject.org](http://www.americansecurityproject.org) که منتشرکننده برخی داده‌های نظامی آمریکاست، ۶ سامانه از ۱۶ سامانه یافت شده، دقیقا در محل پایگاه‌های معرفی شده در این سامانه بوده است. این پایگاه‌ها عبارت اند از: علی السالم کویت، شهید موفق اردن، دیمونا فلسطین اشغالی، العدید قطر، الظفره امارات و شیخ عیسی بحرین (Gruber et al., 2013). بدین ترتیب وجود سامانه پاتریوت در این پایگاه‌ها، امری توجیه پذیر است. با همین روش، ۱۰ سامانه در نقاط اعلام نشده این نشریه نیز شناسایی شدند.

از طرفی در زمانی که این سامانه غیرفعال می‌شود، این خطوط نیز ناپدید می‌شوند. پس با استفاده از این روش می‌توان زمان‌های فعال و غیرفعال بودن این سامانه‌ها را به راحتی شناسایی کرد. در ادامه در شکل ۴، نقشه سامانه‌های پاتریوت یافت شده در منطقه به جز کشور عربستان نمایش داده شده که شامل ۱۶ سامانه فعال از سال ۲۰۱۶ است.

همان طور که مشخص است در شرق کشور، سامانه فعالی وجود ندارد و همچنین در کشورهای همسایه شمالی نیز سامانه‌ای مشاهده نشد. از طرفی در زمان نگارش این مقاله، سامانه فعالی در کشور عراق دیده نشد و همچنین کشورهای حاشیه خلیج فارس دارای چندین سامانه فعال بوده اند.



شکل ۴: سامانه‌های پاتریوت فعال در اطراف ایران به جز کشور عربستان

مساحت اندک دارای ۴ سامانه فعال هستند که در جای  
جای آن قرار گرفته است. تمامی این سامانه‌ها و مختصات  
قرارگیری آن‌ها در شکل ۵ نمایش داده شده است.

کشور یمن نیز دارای ۱ سامانه فعال است که حدودا در  
جنوب این کشور قرار دارد. سرزمین‌های اشغالی با وجود



شکل ۵: سامانه‌های پاتریوت فعال در اطراف ایران و موقعیت جغرافیایی آن‌ها (منبع: تصاویر Google Earth)





ادامه شکل ۵: سامانه‌های پاتریوت فعال در اطراف ایران و موقعیت جغرافیایی آن‌ها (منبع: تصاویر Google Earth)



ادامه شکل ۵: سامانه‌های پاتریوت فعال در اطراف ایران و موقعیت جغرافیایی آن‌ها (منبع: تصاویر Google Earth)

از طرف دیگر، همان‌گونه که ذکر شد، بایستی حتماً یک بازه زمانی برای تصاویر در نظر گرفته شود؛ چرا که ۲ تصویر از هر نقطه برای تحلیل مورد نیاز است. در این حالت، در صورتی که سامانه‌ای برای مدتی غیرفعال نیز شود، باز هم در نتایج نمایش داده می‌شود.

لازم به ذکر است که روش مذکور در عین توانایی، دارای محدودیت‌هایی نیز می‌باشد؛ از جمله اینکه تصاویر ماهواره سنتینل، بازه زمانی روزانه ندارند و در به‌روز رسانی تاخیر دارند. لذا ممکن است تغییراتی در نتایج به‌دست آمده ایجاد شود و پس از چند روز در تصاویر مشخص شود. البته با بررسی نتایج این تحقیق، چنین موردی در منطقه مورد مطالعه و بازه زمانی مورد بررسی مشاهده نگردید.

حداکثر ۳۵۰۰ متری، می‌توان موقعیت سامانه پاتریوت مستقر را شناسایی کرد.

### نتیجه‌گیری

در سال‌های اخیر و با گسترش پایگاه‌های نظامی آمریکا و دخالت‌های روزافزون آن در منطقه خاورمیانه، لزوم رصد اطلاعاتی این پایگاه‌ها و تاسیسات مربوط به آن‌ها مهم‌تر از گذشته به نظر می‌رسد. یکی از راه‌های جمع‌آوری اطلاعات از این تاسیسات، سنجش از دور به وسیله تصاویر ماهواره‌ای است که یکی از ارزان‌ترین این روش‌ها است. با توسعه دانش سنجش از دور، فناوری SAR نیز معرفی گردید و در ادامه آن در سال ۲۰۱۴، ماهواره سنتینل-۱ که از این فناوری استفاده می‌کند، به فضا پرتاب شد. در این مقاله، یکی از کاربردهای سنجش از دور در حوزه نظامی معرفی شد و آن، استفاده از تصاویر ماهواره سنتینل-۱ برای شناسایی سامانه‌های دفاع موشکی پاتریوت MIM-104 است. در این روش و با استفاده از نمایش ترکیبی قطبیدگی‌های VH و VV، می‌توان خطوط X مانندی را در تصاویر ظاهر کرد که محل قرارگیری سامانه‌های پاتریوت فعال هستند.

همچنین تصاویری با دقت بالاتر مانند Google Earth مورد نیاز است تا بتوان دقت نتایج را بالا برد و موقعیت دقیق‌تری از سامانه‌ها را به دست آورد. مورد دیگر نیز اینکه بایستی جهت قرارگیری سامانه با زاویه دید ماهواره اشتراک داشته باشد که در این صورت، سامانه در تصاویر مشاهده می‌شود.

### صحت سنجی نتایج

در جدول ۱، براساس طول و عرض جغرافیایی به دست آمده از طریق GEE که با عنوان طول و عرض محاسباتی آمده‌اند، با مشاهدات به دست آمده از طریق تصاویر Google Earth که با عنوان طول و عرض زمینی نگاشته شده‌اند و دارای دقت بالایی هستند، مقایسه شده و فاصله میان دو نقطه که معادل خطای به دست آمده است، محاسبه شده است. محاسبات مذکور برای نقاطی انجام شده‌اند که سامانه پاتریوت در تصاویر Google Earth قابلیت شناسایی دارند و سایر سامانه‌ها در این تصاویر قابل مشاهده نیستند. همان‌طور که مشاهده می‌شود، خطای نتایج پایین بوده و با شعاع

جدول ۱: محاسبه خطای نقاط جغرافیایی به دست آمده برحسب متر براساس تصاویر Google Earth

نام پایگاه	طول زمینی	عرض زمینی	طول محاسباتی	عرض محاسباتی	فاصله
موفق اردن	290567	3524219	292485	3525992	2612
علی السالم کویت	743221	3250942	745930	3252471	3111
دیمونا فلسطین اشغالی	702551	3432489	702492	3433946	1458
العدید قطر	535065	2776527	534766	2772903	3636
الظفره امارات	251676	2683129	249740	2686045	3500
شیخ عیسی بحرین	458516	2864829	458778	2862837	2009

زیادی برطرف کند. به این ترتیب در این مقاله، مراحل مختلف ترکیب قطبیدگی‌های VH و VV در دو زاویه دید صعودی و نزولی تشریح شد و درنهایت ۱۶ نقطه اطراف ایران که دارای سامانه پاتریوت فعال از سال ۲۰۱۶ بوده‌اند،

از طرفی برای شناسایی این سامانه‌ها در اطراف آن، نیاز به دریافت و پردازش ده‌ها تصویر ماهواره‌ای حجیم است و این کار مستلزم صرف زمان و هزینه زیادی است. سامانه GEE که به تازگی معرفی شده، می‌تواند این مشکل را تا حد

بررسی وضعیت آن‌ها در بازه‌های کوتاه‌مدت و در پی آن، تحرکات احتمالی آمریکا در منطقه را نشان می‌دهد.

شناسایی شد. نتایج نشان داد که در سال‌های اخیر، تعداد سامانه‌های فعال موجود در اطراف ایران افزایش داشته است و کشورهای بیشتری میزبان این سامانه شده‌اند که لزوم

## منابع

- Carreiras, J. M. B., Quegan, S., Tansey, K., & Page, S. (2020). Sentinel-1 observation frequency significantly increases burnt area detectability in tropical SE Asia. *Environmental Research Letters*, 15(5), 54008.
- Ding, B., Wen, G., Huang, X., Ma, C., & Yang, X. (2017). Target Recognition in Synthetic Aperture Radar Images via Matching of Attributed Scattering Centers. *IEEE Journal of Selected Topics in Applied Earth Observations and Remote Sensing*, 10(7), 3334–3347.
- Dolado, I., Alfaro-Mozaz, F. J., Li, P., Nikulina, E., Bylinkin, A., Liu, S., ... Hillenbrand, R. (2020). Nanoscale Guiding of Infrared Light with Hyperbolic Volume and Surface Polaritons in van der Waals Material Ribbons. *Advanced Materials*, 32(9), 1906530.
- Electronic communication Committee. (2017). The European table of frequency allocations and application in the frequency range 9 kHz to 3000 GHz. *Erc Report 25*, (June), 275.
- Gruber, A., Wagner, W., Hegyiova, A., Greifeneder, F., & Schlaffer, S. (2013). Potential of Sentinel-1 for high-resolution soil moisture monitoring. 2013 IEEE International Geoscience and Remote Sensing Symposium-IGARSS, 4030–4033. IEEE.
- Hawley, J. K. (2017). Patriot wars: Automation and the Patriot Air and Missile Defense System. *Ethical Autonomy Series*, (January), 1–14.
- Li, X., Zhou, Y., Gong, P., Seto, K. C., & Clinton, N. (2020). Developing a method to estimate building height from Sentinel-1 data. *Remote Sensing of Environment*, 240, 111705.
- Manavalan, R., Rao, Y. S., & Krishna Mohan, B. (2017). Comparative flood area analysis of C-band VH, VV, and L-band HH polarizations SAR data. *International Journal of Remote Sensing*, 38(16), 4645–4654.
- Oliphant, A. J., Thenkabail, P. S., Teluguntla, P., Xiong, J., Gumma, M. K., Congalton, R. G., & Yadav, K. (2019). Mapping cropland extent of Southeast and Northeast Asia using multi-year time-series Landsat 30-m data using a random forest classifier on the Google Earth Engine Cloud. *International Journal of Applied Earth Observation and Geoinformation*, 81, 110–124.
- Osio, A., Pham, M. T., & Lefèvre, S. (2020). SPATIAL PROCESSING OF SENTINEL IMAGERY FOR MONITORING OF ACACIA FOREST DEGRADATION IN
- سیاست و روابط بین الملل، ۳(۵):۵۰–۷۰.
- زاعی، بهادر؛ موسوی شهیدی، سید مهدی و سلگی، محمد (۲۰۱۹). چالش‌های شکل‌گیری نظام امنیت دسته‌جمعی در منطقه خلیج فارس و سناریوهای احتمالی. فصلنامه جغرافیای نظامی و امنیتی، ۲(۶):۳۷–۷۰.
- سعدآبادی، علی اصغر و رحیمی‌راد، زهره (۱۳۹۹). تحلیل و بررسی سند الگوی اسلامی- ایرانی پیشرفت از منظر علم و فناوری با رویکرد دفاع غیرعامل. *مطالعات امنیت اقتصادی*، ۱(۱):۶۵–۹۲.
- فرزین‌راد، رویه؛ فروزان، یونس و عالی‌شاهی، عبدالرضا (۱۳۹۹). کاربست پارادایم بازاندگی منطقه‌ای در سیاست‌های جمهوری اسلامی ایران در قبال تهدیدات نظامی ایالات متحده در سه سطح. *امنیت ملی*، ۳۵(۱۰):۲۳۱–۶۴.
- قادری کنگاوری، روح اله (۲۰۱۸). نقش مستشاری جمهوری اسلامی ایران در تأمین امنیت منطقه‌ای. *فصلنامه آفاق امنیت*، ۱۱(۴۰):۵–۳۷.
- Adeli, S., Salehi, B., Mahdianpari, M., Quackenbush, L. J., Brisco, B., Tamiminia, H., & Shaw, S. (2020). Wetland Monitoring Using SAR Data: A Meta-Analysis and Comprehensive Review. *Remote Sensing*, 12(14), 2190.
- Agrawal, S., & Khairnar, G. B. (2019). A comparative assessment of remote sensing imaging techniques: Optical, sar and lidar. *International Archives of the Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences - ISPRS Archives*, 42(5/W3), 1–6.
- Belenguer-Plomer, M. A., Tanase, M. A., Fernandez-Carrillo, A., & Chuvieco, E. (2019). Burned area detection and mapping using Sentinel-1 backscatter coefficient and thermal anomalies. *Remote Sensing of Environment*, 233(July), 111345.
- Bovenga, F. (2020). Special Issue “Synthetic Aperture Radar (SAR) Techniques and Applications.” *Sensors*, 20(7), 1851.
- Brinkhoff, J., Vardanega, J., & Robson, A. J. (2019). Land Cover Classification of Nine Perennial Crops Using Sentinel-1 and -2 Data. *Remote Sensing*, 12(1), 96.

characterizing offshore hydrocarbon seeps and spills. *The Leading Edge*, 40(1), 35–44.

Wang, L., Diao, C., Xian, G., Yin, D., Lu, Y., Zou, S., & Erickson, T. A. (2020). A summary of the special issue on remote sensing of land change science with Google earth engine. *Remote Sensing of Environment*, 248, 112002.

Xue, S., Geng, X., Yan, X.-H., Xie, T., & Yu, Q. (2020). Significant wave height retrieval from Sentinel-1 SAR imagery by convolutional neural network. *Journal of Oceanography*, 76(6), 465–477.

LAKE NAKURU RIPARIAN RESERVE. *ISPRS Annals of the Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences*, V-3–2020, 525–532.

Parsch, A. (2007). *Directory of US military rockets and missiles. Appendix 4: Undesignated Vehicles.*

Ren, Y., Li, X., & Xu, H. (2021). A Deep Learning Model to Extract Ship Size From Sentinel-1 SAR Images. *IEEE Transactions on Geoscience and Remote Sensing*, 1–14.

Trainor-Guitton, W., Turon, L., & Dubucq, D. (2021). Python Earth Engine API as a new open-source ecosphere for

## Identification of Patriot MIM-104 missile defense systems around Iran by Sentinel-1 radar images

Ahmad Ardakani, Mohammad Hosein Fathi

### Abstract

Iran is located in one of the most critical regions of the world called the Middle East. Due to its convenient location and abundant energy reserves, this region has always been of interest to foreign countries, led by the United States. This has led to numerous US interventions and the establishment of numerous military bases around Iran, especially after September 11th incident. Continuous monitoring of these bases and related facilities is one of the most important deterrents that can be done by remote sensing knowledge. One of the remote sensing techniques is the synthetic aperture radar, which has been considered in recent years, while the Sentinel-1 satellite launched in 2014 by the European Space Agency uses the same technique. One of the applications of this satellite, which is introduced in this article, is the detection of Patriot MIM-104 systems. This is done by combining the VV and VH polarizations with two images taken during the satellite's day and night transitions from a single point, which are represented by X-shaped lines where the Patriot systems are located. The images related to this satellite are also processed by Google Earth Engine system, which saves considerable time in analysis and increases the accuracy of the results due to the minimization of human error. The results showed that in the regions around Iran and especially in the Arab countries of the Persian Gulf, there are at least 16 active Patriot systems, which indicates its great development in recent years and shows the need for continuous monitoring of these systems.

**Keywords:** Patriot system, Sentinel-1, Google Earth Engine, radar images