

# فصلنامه علمی-ترویجی پدافند غیرعامل

سال هفتم، شماره ۲، تابستان ۱۳۹۵، (پیاپی ۲۶) صص ۷۱-۵۵

## بررسی ماهواره تصویربرداری TerraSAR-X به منظور اقدامات پدافند غیرعامل

مسعود اردینی<sup>۱</sup>، محمد روئین فر<sup>۲</sup>، روح الله رضانی<sup>۳</sup>، احمد رضا امین<sup>۴</sup>

تاریخ دریافت: ۱۳۹۴/۰۹/۱۷

تاریخ پذیرش: ۱۳۹۴/۱۲/۲۵

### چکیده

در سال‌های اخیر، سنجنده‌های SAR در فرکانس‌های مختلف رادیویی و با وضوح‌های متفاوت، در حال تصویربرداری هستند. در این مقاله با استناد به آرشیو آنلاین ماهواره TerraSAR-X سعی در ارائه یک توصیف آماری برای این ماهواره، در تصویربرداری از مناطق حساس و استراتژیک داریم. از آنجاکه در سال‌های اخیر منطقه جنوب غرب آسیا درگیری‌های متعددی به خود دیده، لذا این منطقه به‌عنوان مطالعه موردی در نظر گرفته شده است. ماهواره TerraSAR-X از بسیاری از اهداف استراتژیک و نظامی نظیر مراکز هسته‌ای، موشکی، مناطق تحت درگیری نظامی، فرودگاه‌ها، پایگاه‌های هوایی، سدها، بنادر و بسیاری از مکان‌های دیگر تصویربرداری کرده که بررسی توالی تصویربرداری از این مناطق به سازمان‌های ذی‌ربط در برنامه‌ریزی برای پدافند غیرعامل کمک می‌کند.

**کلیدواژه‌ها:** ماهواره، سنجنده SAR، تصویربرداری، TerraSAR-X، آرشیو، مناطق نظامی و استراتژیک

۱- کارشناس ارشد، دانشگاه جامع امام حسین (ع)

۲- کارشناس ارشد دانشگاه جامع امام حسین (ع)

۳- کارشناس ارشد دانشگاه جامع امام حسین (ع)

۴- استادیار، دانشگاه جامع امام حسین (ع) - aamin@ihu.ac.ir - نویسنده مسئول

## ۱. مقدمه

رادارهای SAR<sup>۱</sup> گونه‌ای از رادارها هستند که قادرند در طول موج‌های متنوع رادیویی از یک منطقه تصویربرداری کنند. برتری این روش تصویربرداری نسبت به تصویربرداری با طول موج مرئی، در این است که تصویربرداری به‌وسیله رادار SAR، تقریباً در همه شرایط محیطی و آب‌وهوایی نظیر شب، هوای ابری، مه‌آلود و... ممکن است. از طرفی از آنجاکه در تصاویر SAR سطح زمین و عوارض آن از دریچه طول موج دیگری دیده می‌شود، شاخصه‌ها و مشاهداتی حاصل خواهد شد که در تصاویر مرئی یا به‌خوبی دیده نشده و یا اصلاً دیده نمی‌شوند.

هم‌اکنون ساخت ماهواره‌های SAR رشد روزافزونی داشته و مؤسسات نظامی و امنیتی متعدد، بودجه‌های عظیمی را صرف ساخت ماهواره SAR نموده‌اند، در حال حاضر ده‌ها ماهواره و ده‌ها پرنده با سرنشین و بدون سرنشین در طول موج‌های مختلف در هوا و فضا در حال تصویربرداری هستند. حتی تلاش‌هایی جهت مجهز کردن سیکر موشک‌ها به سنجنده SAR دیده می‌شود. با توجه به‌وضوح مناسب این تصاویر، بسیاری از اهداف استراتژیک و نظامی در معرض دید این سنجنده‌ها قرار خواهند گرفت. بنابراین مراکز هسته‌ای، موشکی، مناطق تحت درگیری نظامی، فرودگاه‌ها، پایگاه‌های هوایی، سدها، بنادر مهم و بسیاری از مکان‌های دیگر از جمله مناطق مورد علاقه رادارهای SAR هستند.

کشور ایران یکی از اهداف مهم بسیاری از سنجنده‌های SAR نظامی (چه هواپایه و چه فضاپایه) است. به‌طور مثال مالکین FIA-RADAR (ماهواره SAR ساخته‌شده به‌وسیله ایالات‌متحده) اعلام کرده‌اند که این ماهواره می‌تواند جهت کشف اعوجاج‌های خاک ناشی از تونل‌های سری در کشورهایی نظیر ایران و کره شمالی به‌کار گرفته شود [۱]. پروژه FIA-RADAR شامل ۳ ماهواره پرتاب‌شده و ۲ ماهواره در انتظار پرتاب است. طبق تخمین انجام شده ایالات‌متحده تا سال ۲۰۰۵ هزینه ۱۰ میلیارد دلاری صرف این پروژه کرده و تا بیست سال آینده این هزینه‌ها تا ۲۵ میلیارد دلار هم خواهد رسید [۲]. گفته می‌شود که تنها، طرح پیشنهادی ارائه‌شده توسط بوئینگ برای مشارکت در ساخت FIA-RADAR حدود ۱ میلیارد دلار ارزان‌تر از لاکهید مارتین<sup>۲</sup> بوده است [۳]. البته باید به یاد داشت که این تنها پروژه ماهواره SAR دنیا نیست، پیوست ۱ لیستی از تعداد و نام ماهواره‌های مختلفی را ارائه می‌دهد که به سنجنده SAR مجهز هستند.

باتوجه به وسعت خاکی کشورمان نمی‌توان تمام نقاط آن را در

مقابل تصویربرداری این‌گونه رادارها مقاوم نمود و می‌بایست اولویت‌های مکانی را تعیین کرد. از طرفی باتوجه به اتفاقات منطقه‌ای ممکن است یکی از مکان‌ها در مقطعی از زمان مورد توجه رادارهای SAR باشد و در مقطع دیگری جز مناطق مهم نباشد. در نتیجه در بررسی مکان‌های دارای اولویت باید حوادث سیاسی و نظامی آن منطقه در آن برهه از زمان را در نظر گرفت.

این مقاله سعی دارد تا روشی را برای مدل کردن رفتار رادارهای SAR ارائه دهد. روشی که این مقاله برای استخراج مدل رفتارشناسی سنجنده‌های SAR مورد استفاده قرار داده، بررسی آرشیو تصاویر ماهواره TerraSAR-X است. در آرشیو این ماهواره مکان، زمان، وضوح، حالت و پهنای باند سیگنال تصویربرداری قابل دسترس است [۵]. همچنین این آرشیو امکان مشاهده پیش‌نمایش‌هایی از مناطق تصویربرداری‌شده با وضوح کاسته‌شده را فراهم می‌کند. ماهواره TerraSAR-X در سال ۲۰۰۷ به فضا پرتاب و در مداری خورشید آهنگ با فاصله ۵۱۴km از سطح زمین قرار گرفت. وزن ماهواره ۱۲۵۰kg است و توسط ماهواره بر Dnepr به فضا پرتاب شد. این ماهواره در فرکانس ۹/۶۵GHz تصویربرداری می‌نماید، همچنین پهنای باند تصویربرداری این ماهواره حداکثر تا ۳۰۰MHz خواهد بود. ماهواره TerraSAR-X به‌صورت پالسی سیگنال راداری خود را به سمت منطقه تصویربرداری می‌فرستد. محدوده نرخ تکرار پالس<sup>۳</sup> برای این سنجنده برابر ۳KHz تا ۶/۵KHz و دوره کاری<sup>۴</sup> این سنجنده برابر ۱۳ تا ۲۰ درصد بوده و سیگنال ارسالی توسط این سنجنده از فشرده‌سازی فرکانس خطی<sup>۵</sup> استفاده می‌نماید. این ماهواره دارای توان تشعشعی ۲۲۶۰watt بوده و به آنتن آرایه فازی فعال<sup>۶</sup> با طول ۴/۸m و عرض ۰/۷m مجهز است. اطلاعات بیش‌تر در رابطه با این ماهواره را در [۸-۶] خواهید یافت.

جدول (۱) وضوح و عرض نوار تصویربرداری و جدول ۲ قیمت سفارش یک تصویر در حالت‌های مختلف تصویربرداری را بیان می‌کند. حالت‌های رایج تصویربرداری TerraSAR-x عبارت‌اند از: نقطه‌ای خیره<sup>۷</sup>، نقطه‌ای وضوح بالا<sup>۸</sup>، نقطه‌ای<sup>۹</sup>، نوارهای<sup>۱۰</sup>، اسکن<sup>۱۱</sup> و اسکن وسیع<sup>۱۲</sup>.

<sup>3</sup> Pulse Repetition Frequency (PRF)

<sup>4</sup> Duty Cycle

<sup>5</sup> Linear Frequency Modulation (LFM)

<sup>6</sup> Active

<sup>7</sup> Staring SpotLight (ST)

<sup>8</sup> High Resolution SpotLight (HS)

<sup>9</sup> SpotLight (SL)

<sup>10</sup> StripMap (SM)

<sup>11</sup> ScanSAR (SC)

<sup>12</sup> Wide ScanSAR (WS)

<sup>1</sup> Synthetic Aperture Radar (SAR)

<sup>2</sup> Lockheed Martin

است. بنابراین می‌توان با استفاده از روش توضیح‌داده‌شده، دریافت که شکل (۱) متعلق به سد اسوان<sup>۱</sup> بوده و مواردی مانند سامانه موشکی ضدهوایی و سامانه موشکی هاوک<sup>۲</sup>، سایت راداری، ایستگاه برق و ساختمان پلیس در نزدیکی سد اسوان نام‌گذاری شده است.



شکل ۱- تصویربرداری از منطقه‌ای در کشور مصر با حالت HS [۵]

همه نقاط نام‌گذاری شده در [۱۰] با وضوح مناسبی قابل مشاهده هستند، به‌طور مثال شکل (۲) قسمتی از سد اسوان را نشان می‌دهد.



شکل ۲- بزرگنمایی منطقه انتخاب شده در شکل (۱) [۱۰]

از آنجاکه امکان بررسی کل آرشیو در غالب یک مقاله ممکن نیست، پس منطقه جنوب غرب آسیا برای مطالعه انتخاب شده است. علت انتخاب این منطقه را می‌توان این‌طور توضیح داد که کشور ایران و بخش مهمی از همسایگانش در این منطقه قرار دارند و همچنین، مناقشات متعددی در سال‌های اخیر در این منطقه رخ داده است. همچنین، بازه زمانی بررسی آرشیو تصاویر ماهواره TerraSAR-X از ۲۰۰۷ (ابتدای شروع به فعالیت ماهواره) تا اواسط ۲۰۱۵ (زمان تهیه این مقاله) انتخاب شده است.

شکل‌های (۳ و ۴) به ترتیب پوشش دو حالت SC و SM در منطقه ایران است. همان‌طور که در شکل‌ها نیز نشان داده شده، دو

جدول ۱- وضوح و عرض نوار تصویربرداری [۹]

حالت تصویربرداری	ابعاد تصویر (km <sup>2</sup> )	حداکثر وضوح (m)
نقطه‌ای خیره	4 x 3.7	0.25
نقطه‌ای وضوح بالا	10 x 5	1
نقطه‌ای	10 x 10	2
نواره‌ای	30 x 50	3
اسکن	100 x 150	18.5
اسکن وسیع	270 x 200	40

جدول ۲- هزینه خرید تصاویر از TerraSAR-x [۹]

نوع تصویر	قیمت برای تصویربرداری جدید (یورو)	قیمت برای تصاویر آرشیوی (یورو)
نقطه‌ای خیره	6950	3475
نقطه‌ای وضوح بالا	5950	2975
نقطه‌ای	4250	2125
نواره‌ای	2950	1475
اسکن	1750	875
اسکن وسیع	1750	875

فلسفه ایجاد آرشیو توسط مالکین ماهواره می‌تواند، فروش تصاویر گرفته‌شده در گذشته باشد. مؤسسات مختلف در سراسر دنیا می‌توانند سفارش اخذ یک تصویر جدید را به مالکین ماهواره بدهند. با توجه به قیمت‌های درج‌شده، سازمان سفارش‌دهنده تصویر علاوه‌بر این‌که باید دارای انگیزه‌های مشخص و دقیقی باشد، همچنین منطقه تصویربرداری شده نیز می‌بایست دارای ویژگی خاصی باشد. یکی از اهداف این مقاله کشف ویژگی‌های مناطق تصویربرداری شده و موجود در آرشیو است. برای این امر از اطلاعات [۱۰] استفاده می‌نماییم.

در [۱۰] بسیاری از مکان‌ها توسط افراد و مؤسسات مختلف روی نقشه نام‌گذاری شده است. هرچند صحت این نام‌گذاری به‌طور قطع معتبر نیست، اما با مقایسه‌های انجام‌شده انطباق مناسبی با واقعیت مشاهده شده دارد. روش کار این چنین است که با رجوع به [۵] طول و عرض جغرافیایی محل تصویربرداری شده را مشاهده کرده و برای یافتن ویژگی‌های منطقه تصویربرداری شده به مرجع [۱۰] مراجعه می‌شود، بنابراین به کمک [۱۰] می‌توان دریافت که چه تأسیسات یا عوارضی در این تصویر قرار گرفته است. به‌طور مثال شکل (۱) یکی از تصاویر گرفته‌شده از کشور مصر در حالت HS است که تصویر SAR آن به‌صورت پیش‌نمایشی با وضوح کاسته‌شده به نمایش در آمده است. همان‌طور که در شکل (۱) مشاهده می‌شود، مشخص نیست این تصویر متعلق به کدام شهر است و چه تأسیساتی در آن قرار گرفته

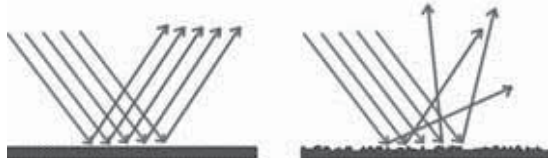
<sup>1</sup> Aswan

<sup>2</sup> Hawk

در بخش ۲ مقاله اهداف قابل رؤیت و مثال‌هایی از تصاویر SAR درج شده است. در بخش ۳ آرشیو ماهواره TerraSAR-x در مناطق تحت درگیری در جنوب غرب آسیا بررسی خواهد شد. در بخش ۴ این مقاله مناطق استراتژیک شامل سایت‌های هسته‌ای و نظامی مورد مطالعه قرار می‌گیرد. در بخش ۵ نقاطی بررسی می‌شود که در دو دسته پیشین قرار نگرفته‌اند ولی دارای توالی تصویربرداری هستند. در بخش ۶ مروری بر روش‌های ضد تصویربرداری SAR انجام خواهد شد. در بخش ۷، ضمن بحث در مورد مطالب طرح‌شده، به نتیجه‌گیری در بخش ۸ پرداخته خواهد شد.

## ۲. اهداف قابل رؤیت و مثال‌هایی از اهمیت تصاویر SAR

میزان روشنایی هر پیکسل از تصویر SAR بیانگر میزان سطح مقطع راداری<sup>۱</sup> آن است، بنابراین هدفی در تصویر SAR دیده می‌شود که دارای RCS مناسبی باشد. میزان RCS به پارامترهای متنوعی وابسته است به‌طور مثال در شکل (۶)، تأثیر زاویه تابش و ناهمواری سطح تصویربرداری نشان داده شده است. تصویربرداری SAR همواره با زاویه تابش غیرصفر انجام می‌شود، بنابراین در زمانی که محل فرستنده و گیرنده یکسان است، سطوح صاف مانند جاده‌ها، سطح دریا و رودخانه و باند فرود هواپیماها در تصاویر خروجی SAR به‌صورت کاملاً تیره دیده می‌شوند. وقتی امواج به سطوح ناصاف برخورد می‌کنند قسمتی از امواج به سمت گیرنده برمی‌گردد، پس نسبت به سایر سطوح به‌صورت روشن‌تر دیده می‌شود.



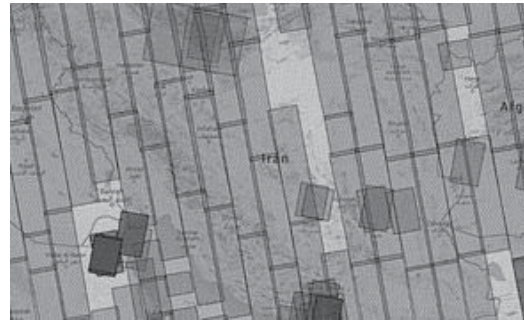
شکل ۶- بازتاب امواج الکترومغناطیس از سطوح صاف و ناصاف

زاویه بین سطح زمین و راستای موج تابشی نیز در میزان RCS موثر است، به‌طور مثال در تصویربرداری از سطح شیب‌دار مسطح، در صورتی امکان تولید RCS بزرگ وجود دارد که شیب این سطح متمم زاویه تابش رادار باشد. اما اگر این اتفاق رخ ندهد، میزان RCS کوچک خواهد بود. شکل (۷) این اتفاق را نشان می‌دهد.

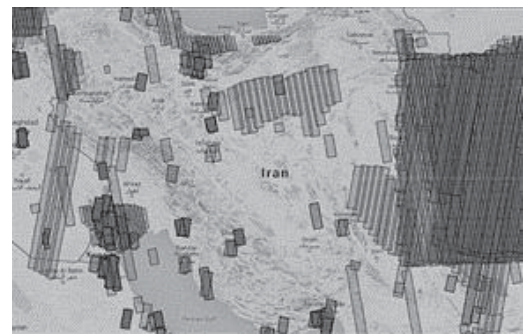


شکل ۷- بازتاب قوی امواج الکترومغناطیس از سطوح صاف

حالت SC و SM یک منطقه وسیع را تصویربرداری می‌کنند و از آنجاکه دارای وضوح پایین و عرض نوار بزرگی هستند، در نتیجه بررسی آن‌ها نمی‌تواند به یافتن نقاط دارای اهمیت نظامی و امنیتی بیانجامد.

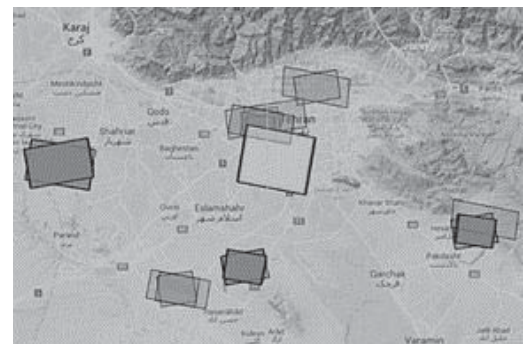


شکل ۳- حالت SC بر روی ایران در بازه ۲۰۰۷ تا ۲۰۱۵ [۵]



شکل ۴- حالت SM بر ایران در بازه ۲۰۰۷ تا ۲۰۱۵ [۵]

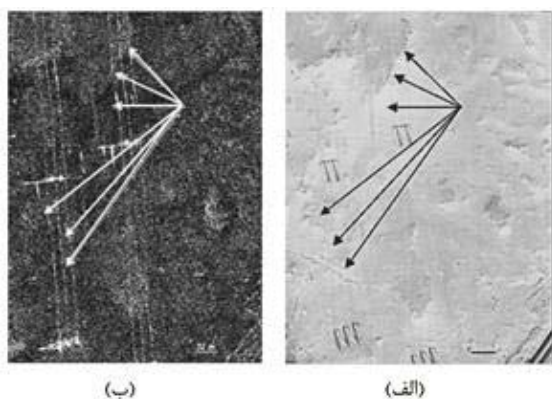
در شکل (۵) مناطق تصویربرداری شده در سه حالت ST, HS و SL در تهران و حوالی آن را نمایش می‌دهد. همان‌طور که در شکل نیز نشان داده شده است، به‌علت عرض کوچک نوار تصویربرداری در این حالت‌ها می‌توان بررسی نمود چه اهدافی مورد تصویربرداری قرار گرفته است. از طرفی دقت و وضوح این حالت‌ها باعث می‌شود اهدافی که در این نواحی قرار گرفته‌اند از اهمیت بیشتری برخوردار باشند. بنابراین در این مقاله، آرشیو از حیث سه حالت ST, HS و SL بررسی خواهد شد.



شکل ۵- سه حالت ST, HS و SL در تهران در بازه ۲۰۰۷ تا ۲۰۱۵ [۵]

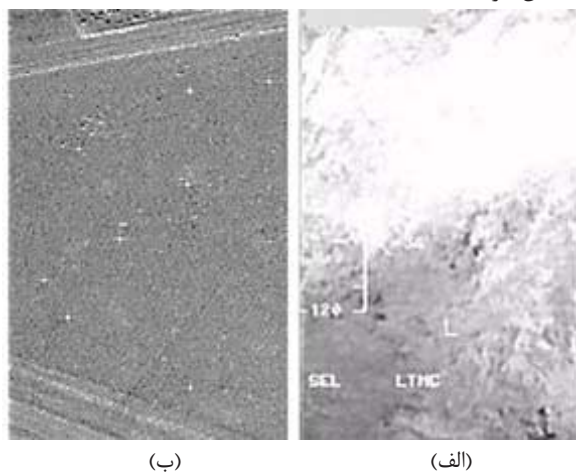
<sup>1</sup> Radar Cross Section (RCS)





شکل ۹- تصویر مرئی از خطوط انتقال برق توسط الف) ماهواره Quickbird، ب) ماهواره TerraSAR-x [۱۸]

شاید بتوان تصویربرداری مادون قرمز حرارتی را یک رقیب برای تصاویر SAR دانست، چراکه امکان تصویربرداری در شب نیز توسط این دوربین‌ها فراهم است. اما قطعاً تصاویر SAR ایراد مهم تصویربرداری IR، یعنی عدم تشخیص دو جسم مجزا ولی هم‌دما را ندارند. در تصویر شکل (۱۰) یک مقایسه بین تصویربرداری SAR و IR شده است. این تصاویر از یک منطقه، در زمان یکسان و با سکوی یکسان گرفته است.



شکل ۱۰- مقایسه تصویر IR و SAR، الف) تصویر IR ب) تصویر SAR [۲۵]

## ۲-۲. فیلم‌برداری از یک منطقه به روش SAR

با بهبود سخت‌افزارها امکان فیلم‌برداری به روش SAR فراهم شده است. در [۲۶] دیده می‌شود یک پردازنده DSP هشت هسته‌ای می‌تواند، تصاویر SAR با ابعاد ۴۰۰۰ در ۴۰۰۰ پیکسل را با سرعت ۲۵۰ms تشکیل دهد. در نتیجه اگر وضوح SAR را برابر ۰/۵m در نظر بگیریم، ابعاد تصویر برابر ۲km در ۲km خواهد شد و این پردازنده می‌تواند یک ویدئو با ۴ فریم در ثانیه برای چنین منطقه‌ای تشکیل دهد.

فرکانس نیز بر میزان RCS اهداف تأثیر مهمی دارد، به طوری که هر فرکانس برای کشف نوع خاصی از هدف است. به طور مثال باند P برای تصویربرداری از اهداف مدفون در زمین و زیست‌توده‌ها مناسب است، باند L برای کشف اهداف زیر پوشش گیاهی مورد استفاده قرار می‌گیرد. همچنین، جهت نقشه‌برداری برای کاربردهای زمین‌شناسی و زمین‌های کشاورزی استفاده خواهد شد. باند C نیز جهت نقشه‌برداری در کاربردهای زمین‌شناسی و زمین‌های کشاورزی مورد استفاده قرار می‌گیرد و علاوه بر آن در آشکارسازی اهدافی مانند کشتی‌ها، قایق‌های کوچک در سواحل و دریا‌های آزاد و همین‌طور آشکارسازی وسایل نقلیه در زمین‌های هموار، کاربرد دارد. باند X و Ku کاربردهایی در شناسایی اهداف ساخته‌شده توسط بشر را دارند. همچنین، قابلیت شناسایی کشتی‌ها، قایق‌های کوچک و وسایل نقلیه در زمین‌های هموار را خواهند داشت [۱۵].

جنس محیط نیز پارامتری تأثیرگذار در میزان RCS است. به طور مثال رطوبت خاک بر میزان RCS تأثیرگذار است به طوری که هر چه خاک مرطوب‌تر باشد، میزان انعکاس امواج نیز بیشتر خواهد بود. با استفاده از تأثیر پلاریزاسیون بر RCS و با مقایسه دو تصویر از زمین‌های کشاورزی با پلاریزاسیون متفاوت، می‌توان به میزان رشد محصولات پی برد [۱۴].

## ۲-۱. مقایسه تصویربرداری طول موج مرئی و رادیویی

تماشای دنیا از دریچه امواج رادیویی ممکن است مواردی را نمایش دهد که در تصاویر گرفته‌شده با طول موج نوری مشخص نباشد، به طور مثال شکل (۸-الف) تصویربرداری از انبار تجهیزات در طول موج نور مرئی و شکل (۸-ب) تصویر همان انبارها را در طول موج رادیویی نشان می‌دهد. مشاهده می‌شود در شکل (۸-ب) تجهیزات داخل انبارها قابل مشاهده است [۱۷]. شکل (۹-الف) تصویر مرئی از خطوط انتقال برق را توسط ماهواره تصویربرداری Quickbird (با طول موج مرئی) و تصویر (۹-ب) تصویربرداری از همان مکان را توسط ماهواره TerraSAR-X با طول موج رادیویی نمایش می‌دهد. مشاهده می‌شود در شکل (۹-ب) خطوط انتقال برق با کیفیت مناسب‌تری قابل تشخیص هستند [۱۸].



شکل ۸- الف) تصویر مرئی ب) تصویر راداری [۱۷]

همچنین کاربردهایی نیز در شناسایی زیرساخت‌ها مانند سنگر و استحکامات و محل دفن زباله پیدا کرده است. این که کدام آشکارساز مناسب تر است، وابسته به نوع هدف و منطقه است. جدول زیر مقایسه‌ای بین دو آشکارساز انجام می‌دهد.

جدول ۳- مقایسه آشکارسازهای تغییرات [۱۹].

شخص	آشکارساز تغییرات دامنه	آشکارساز تغییرات شباهت
محل تصویربرداری	کل جهان	صخره‌ای و خشک
هدف مورد تصویربرداری	کشتی- قطار- وسایل نقلیه زره‌پوش- فعالیت‌های نظامی	رد ماشین در جاده خاکی- سنگر و استحکامات- زباله- دان‌ها

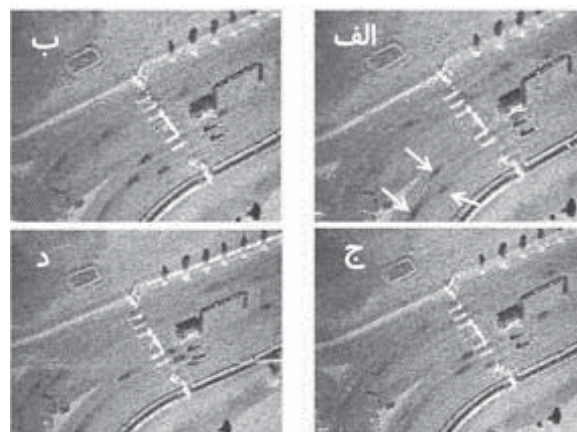
بنابراین باتوجه به شرایط آب و هوایی منطقه جنوب غرب آسیا آشکارساز شباهت می‌تواند موارد مهمی را آشکار کند. به‌طور مثال در شکل (۱۲) تصویر سایت آب سنگین اراک درج شده است. در این تصویر مواردی که به‌وسیله آشکارساز تغییرات شباهت، روی تصاویر TerraSAR-X کشف شده بر روی شکل علامت‌گذاری شده است [۱۹].



شکل ۱۲- آشکارسازی تغییرات در سایت آب‌سنگین اراک [۱۹]

شکل (۱۳) سایت هسته‌ای فردو ایران را نشان داده که توسط ماهواره Cosmo-SkyMed تصویربرداری شده است. در این شکل تغییرات شباهت ایجادشده در دو تاریخ ۲۰۱۰/۰۱/۲۶ و ۲۰۱۰/۰۲/۰۳ به‌صورت خطوط تیره‌تر نمایش داده شده است. این تغییرات می‌تواند حاصل عبور وسایل نقلیه از جاده‌های خاکی در طی این یک هفته باشد.

در [۲۵] می‌توان ویدئوهایی را دید که توسط تصویربرداری SAR ایجاد شده است. یکی از این ویدئوها متعلق به عبور خودروهایی از ورودی پایگاه نیروی هوایی کرتلند واقع در ایالت اوهایو در آمریکا می‌باشد. در این ویدئو اتومبیل‌ها و مسیر حرکتشان نشان داده شده و در آن اتومبیل‌های متحرک به‌صورت سایه‌هایی مشخص هستند که در طول جاده حرکت می‌کنند، محل سایه و محل اتومبیل همواره یکسان است، زمانی که اتومبیل بایستد سایه حاصل از اتومبیل تبدیل به تصویر ناشی از انرژی بازتاب‌شده از اتومبیل شده و دیگر سایه‌ای دیده نمی‌شود. در تصویر زیر چهار فریم از تصاویر این ویدئو درج شده است. در شکل (۱۱-الف) سایه سه اتومبیل با فلش‌هایی نشان داده شده است. به‌راحتی می‌توان با مقایسه تصاویر، عبور اتومبیل‌ها را در طول جاده دید. در شکل (۱۱-ب و ۱۱-ج) به‌ترتیب این سه اتومبیل به ورودی پایگاه نیروی هوایی کرتلند نزدیک می‌شوند. در شکل (۱۱-د) این سه اتومبیل از ورودی پایگاه عبور کرده‌اند.



شکل (۱۱-الف) سایه سه اتومبیل با فلش‌هایی مشخص شده. شکل (ب) سه اتومبیل به نزدیکی ورودی پایگاه نیروی هوایی کرتلند نزدیک می‌شوند. (ج) سه اتومبیل به نزدیکی ورودی پایگاه نیروی هوایی کرتلند نزدیک می‌شوند. (د) سه اتومبیل از ورودی پایگاه عبور کرده‌اند [۲۵].

## ۲-۳. آشکارسازی تغییرات

هرچند یک سنجنده SAR ممکن است از برخی از نقاط هرگز تصویربرداری نکند، اما ممکن است از یک منطقه خاص به‌صورت متوالی تصویربرداری نماید. هدف از تصویربرداری متوالی آشکارسازی تغییرات است. دو روش آشکارسازی مشهور عبارتند از: آشکارساز تغییرات دامنه<sup>۱</sup> و آشکارساز تغییرات شباهت<sup>۲</sup> [۱۹]. در آشکارساز تغییرات دامنه، تغییرات RCS در دو تصویربرداری متوالی به‌صورت تغییر شدت رنگ نشان داده شده می‌شود. آشکارساز تغییرات شباهت خطوطی را در تصویر تعیین می‌کند که کاربردهای مهمی در آشکارسازی حرکت وسایل نقلیه در جاده‌های خاکی پیدا کرده است،

<sup>۱</sup> Amplitude Change Detection (ACD)

<sup>۲</sup> Coherence Change Detection (CCD)

### ۳. تحلیل مناطق مورد درگیری از دیدگاه آرشیو

#### TerraSAR-x

همان‌طور که گفته شد در سال‌های اخیر منطقه جنوب غرب آسیا درگیری‌های متعددی به خود دیده است. تصویربرداری از مناطق جنگ‌زده می‌تواند مربوط به قبل، بعد و حین درگیری‌ها باشد. تصویربرداری‌ها می‌تواند میزان تجهیزات و تخریب‌های صورت‌گرفته را مشخص نماید، از طرفی با توجه به قابلیت SAR در تشخیص حرکت وسایل نقلیه در جاده‌های خاکی می‌توان به وسیله تصاویر SAR تحرکات لجستیکی و برنامه‌ریزی‌های طرف مقابل را کشف کرد. بررسی نظم تصویربرداری از این مناطق جنگ‌زده کمک می‌کند، تا سازمان‌های ذی‌ربط برنامه‌ریزی مشخصی برای حفاظت اطلاعات در صورت رخداد درگیری داشته باشند.

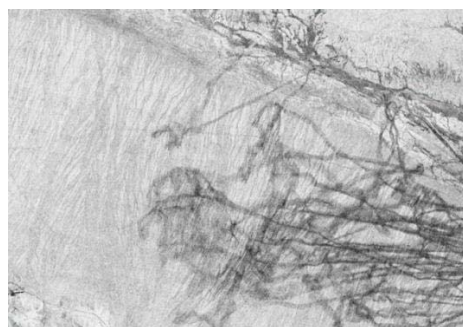
#### ۳-۱. نبرد رژیم اشغالگر قدس و حماس

نبرد رژیم اشغالگر قدس و حماس در غزه از ۲۷ دسامبر سال ۲۰۰۸ شروع شد و تا ۱۷ ژانویه سال ۲۰۰۹ به طول انجامید. تصویربرداری ماهواره TerraSAR-X از منطقه جبلیا و شهر غزه از ۸ ژانویه ۲۰۰۹ شروع شد و تا تاریخ ۲۵ ژانویه ۲۰۰۹ به میزان ۸ مرتبه تصویربرداری شده است [۲۷]. نبرد دیگری نیز ۸ ژوئیه ۲۰۱۴ میلادی شروع شد و حدود ۳۹ روز بعد از شروع نبرد مجدداً تصویربرداری از جبلیا و شهر غزه آغاز شد که تا سپتامبر ۲۰۱۴ حدود ۸ مرتبه تصویربرداری نموده است [۲۸].

محاصره نوار غزه، از ۲۰۰۷ انجام شد. گذرگاه رفح از ۲۰۰۸ تا ۲۰۱۰ به صورت مداوم در حال تصویربرداری بوده است. در سال ۲۰۰۸، ۲۰۰۹ و ۲۰۱۰ به ترتیب به تعداد ۲، ۲۳، ۱۴ مرتبه از این گذرگاه تصویربرداری شده است.

در رفح تونل‌های زیرزمینی وجود دارد که توسط ساکنان برای رفت‌وآمد به مصر حفر شده است. از این تونل‌ها به خصوص برای تهیه وسایل بنیادی زندگی استفاده می‌شود. در بخش مقدمه گفته شد که ماهواره SAR می‌تواند اعوجاج‌های خاک ناشی از تونل‌های سری را پیدا کند، در نتیجه تصاویر این ماهواره می‌تواند ابزاری برای کشف تونل‌های زیرزمینی باشد.

با فرض آن که مشتریان این تصاویر رژیم اشغالگر قدس باشند، باید به خاطر داشت که استفاده رژیم اشغالگر قدس از ماهواره آلمانی TerraSAR-x در حالی است که این کشور خود مالک ماهواره‌های Tecsar-1 و Tecsar-2 بوده و همچنین یکی از سازندگان ماهواره تصویربرداری Risat-2 است. همه این ماهواره‌ها در یک باند فرکانسی تصویربرداری می‌کنند. در نتیجه احتمالاً ماهواره‌های نامبرده نتوانسته‌اند، تمام نیازهای رژیم اشغالگر قدس را برآورده سازند و یا ممکن است مأموریت تصویربرداری از این مناطق، تقسیم‌بندی شده و تصویر مکان فوق‌الذکر در زمان ذکر شده به ماهواره TerraSAR-x اختصاص یافته باشد.



شکل ۱۳- آشکارسازی تغییرات در مجاورت سایت هسته‌ای فردو در ۲۰۱۰/۰۱/۲۶ و ۲۰۱۰/۰۲/۰۳ [۲۰].

در صورت اطلاع از این نوع ماهواره‌های تصویربرداری و زمان مجدد عبور ماهواره‌ها نیروهای خودی می‌توانستند، منطقه را قبل از مشاهده دوم به میزان زیادی پاک‌سازی نمایند.

#### ۲-۴. تجهیزات نظامی و موقعیت‌های استراتژیک

رادارهای SAR کنونی توانسته‌اند به تفکیک‌پذیری بالایی برسند. چنین تفکیک‌پذیری‌ای می‌تواند توصیف دقیقی از تجهیزات را به نمایش بگذارد. شکل ۱۴- ب تصاویری از هواپیمای C-130 است که توسط یک رادار SAR با وضوح ۱۰ cm به دست آمده است [۱۷].

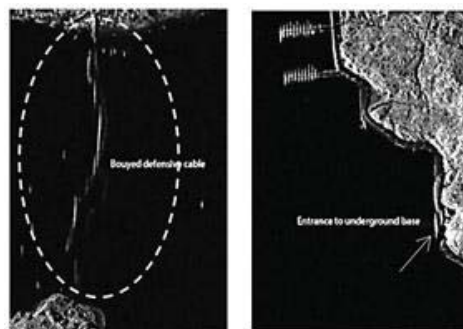


(ب)

(الف)

شکل ۱۴- (الف) تصویر مرئی (ب) تصویر راداری [۱۷].

در شکل (۱۵- الف) ورودی یک تونل زیرزمینی در سواحل پایگاه دریایی چین و شکل (۱۵- ب) کابل‌های دفاعی قرار گرفته در آب‌های همین پایگاه نمایش داده شده است. هر دو تصویر توسط ماهواره Cosmo-Skymed گرفته شده است [۲۰].



(ب)

(الف)

شکل ۱۵- (الف) ورودی یک تونل زیرزمینی، (ب) کابل‌های دفاعی مرزی [۲۰].



### ۲-۳. درگیری‌های سوریه

درگیری‌های سوریه از سال ۲۰۱۱ شروع شد، [۲۱] نشان می‌دهد که هریک از طرفین درگیر در این نبرد بر چه قسمت‌هایی از خاک سوریه تسلط دارند، تقسیم‌بندی قوا در این مرجع برای تاریخ ۲۶ جولای ۲۰۱۵ است. به نکته مهمی که در مقایسه مرجع [۲۱] با مناطق تصویربرداری شده از سوریه می‌رسیم عبارتست از بخش‌های تحت تصرف داعش تصاویر به مراتب کم‌تری گرفته شده و غالب تصاویر تهیه شده متعلق به مناطق تحت کنترل دولت سوریه است. بنابراین به احتمال بالایی سفارش‌دهندگان این تصاویر طرف‌های مخالف دولت سوریه خواهند بود. به‌طور مثال پایگاه هوایی طبقه از مواردی است که در مقطعی خاص مورد تصویربرداری قرار گرفته است. این پایگاه هوایی تنها پایگاه نظامی در استان رقه بود که در جریان جنگ داخلی سوریه، ارتش سوریه هنوز کنترل آن را حفظ کرده بود. این فرودگاه در ۲۴/۸/۲۰۱۴ به دست داعش افتاد هر چهار تصویر گرفته شده از این پایگاه مربوط به قبل از تسخیر آن بوده است، از طرفی سه تصویر از چهار تصویر گرفته شده از این پایگاه مربوط به یک ماه قبل از تسخیر بوده است. اگر این تصاویر در اختیار داعش قرار گرفته باشد (که به احتمال زیاد نیز این‌گونه است) کمک اطلاعاتی موثری در اختیار آن‌ها قرار داده است. سایر فرودگاه‌های نظامی نیز در این بازه مرتباً مورد تصویربرداری قرار گرفته که در ادامه توضیح داده شده است.

چهارده شهر بزرگ سوریه از لحاظ جمعیت عبارت‌اند از: حلب، دمشق، دوما، حمص، لاذقیه، حماه، طرطوس، رقه، دیرالزور، سویداء، حسکه، درعا، ادلب و قنیطره. از برخی از این شهرها به صورت متعدد در سال ۲۰۱۴ تصویربرداری شده است. تمامی شهرهای تصویربرداری شده مانند حماه، حمص، الشعیرات، دمشق، لاذقیه، طرطوس و قسمتی از حلب همگی زیر مجموعه دولت سوریه است. اگر به مرجع [۱۰] مراجعه شود تاسیسات نظامی متعددی از جمله پایگاه موشکی و هوایی و انبارهای تجهیزات نظامی، سنگرها و ... در نقشه نام‌گذاری شده است.

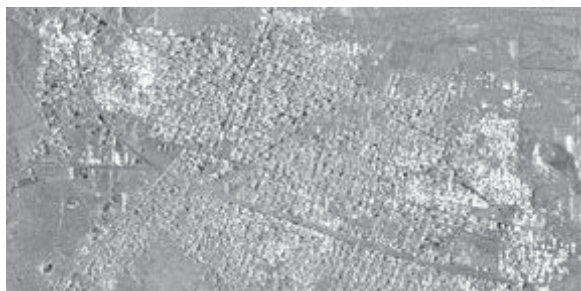
جدول ۴- توالی تصویربرداری از برخی از شهرهای سوریه [۵]

	۱	۲	۳	۴	۵	۶	۷
حماه							۱۵
شعیرات						۲	۱۱
حمص		۱				۲	۱۴
دمشق				۱	۳		۸
حلب						۴	۹
بندر لاذقیه		۱					۶
طرطوس							۷

در تاریخ ۱۶ اکتبر ۲۰۱۴ میلادی، شبه‌نظامیان داعش از سه جبهه به کوبانی حمله کردند و ماهواره TerraSAR-X تصویربرداری خود از این شهر را از ۲۷ اکتبر ۲۰۱۴ شروع کرد. در تاریخ ۲۶ ژانویه ۲۰۱۵ کوبانی آزاد شد [۲۹]. این ماهواره نیز تصویربرداری خود از این شهر را از ۳۰ ژانویه ۲۰۱۵ خاتمه داد. در این حدفاصل به میزان ۳۲ مرتبه از این شهر تصاویری در مد ST گرفته است. در دو تصویر زیر تفاوت شهر کوبانی در ابتدا و انتهای نبرد نشان داده شده است. تخریب‌های ناشی از جنگ حتی در تصاویر وضوح پایین به خصوص در مرکز شهر مشاهده می‌شود. اگر تصاویر وضوح بالا تهیه شود، آنگاه می‌توان حجم تخریب‌ها را به صورت دقیق‌تری بررسی نمود.



شکل ۱۶- تصویر گرفته شده از شهر کوبانی در ابتدای درگیری توسط TerraSAR-X [۵]



شکل ۱۷- تصویر گرفته شده از شهر کوبانی در انتهای درگیری توسط TerraSAR-X [۵]

مناطق متعدد دیگری از خاک سوریه مورد تصویربرداری قرار گرفته است که در اینجا مورد بررسی قرار نمی‌گیرد. این تصویربرداری‌ها حتی شامل کمپ زعتری در خاک اردن و مرز سوریه نیز شده است. این منطقه از سال ۲۰۱۲ به پناهندگان سوری اسکان داده است. قابل ذکر است در سال ۲۰۱۳ تا ۲۰۱۴ به تعداد ۶ مرتبه از این منطقه تصویربرداری شده است.

### ۳-۳. تجاوز عربستان سعودی به یمن

در مارس ۲۰۱۵ حملات هوایی به خاک یمن به رهبری عربستان آغاز شد، قبل از حمله هوایی به یمن و در سال ۲۰۱۴ برخی از شهرهای مرزی عربستان و یمن مورد تصویربرداری قرار گرفته است. بنابراین یک تفاوت بین این مورد و دو مورد پیشین وجود دارد. در



همچنین نشان داده شده که از چه مکان‌هایی از کشور عراق در حالت ST, HS و SL تصویربرداری شده است. نکته مهم در مرجع مذکور آن است که از بخش‌های تحت تصرف داعش تصاویر به مراتب کم‌تری گرفته شده و بنابراین این احتمال وجود دارد که سفارش‌دهندگان این تصاویر از حامیان داعش هستند.

در سال ۲۰۱۴ بیش‌ترین تعداد دفعات تصویربرداری از شهرهای کشور عراق انجام شده است. هرچند قبل از سال ۲۰۱۴ تصویربرداری از برخی شهرها انجام شده، اما تعداد دفعات آن نسبت به سال ۲۰۱۴ کم‌تر است. طبق مطالب گفته‌شده در پاراگراف قبل این موضوع نمی‌تواند بی‌ارتباط با حمله داعش در سال ۲۰۱۴ به عراق باشد. در سال ۲۰۱۴ از شهرهای موصل، نجف، تلعفر، اربیل، کرکوک، اسکندریه، حله، سوران، سلیمانیه و سنجار تصویربرداری شده است. در سال ۲۰۱۴ بیش‌ترین تعداد تصویربرداری (۱۲ بار) مربوط به شهر موصل بوده و پس از آن شهرهای شمالی عراق نظیر اربیل و کرکوک با ۶ بار تصویربرداری، بیش‌ترین میزان تصویربرداری را به خود اختصاص داده‌اند. همین‌طور از شهرهای بصره و القرنه هم در سال ۲۰۱۵ تصویربرداری شده است. جدول (۶) توالی تصویربرداری از شهرهای مهم عراق را از سال ۲۰۰۸ تا ۲۰۱۵ نشان می‌دهد.

تصویربرداری از مناطق مرزی عراق و ایران یکی از مواردی است که در بررسی کشور عراق جلب توجه می‌کند، به‌طور مثال در سال ۲۰۱۴ از مناطق مرزی عراق که در نزدیکی مرز ایران و در محدوده پیرانشهر تا سردشت قرارگرفته به‌میزان ۳۷ مرتبه تصویربرداری شده است.

جدول ۶- آمار تصویربرداری از شهرها در حالت‌های ST, HS و SL [۵]

	سینجار	سلیمانیه	القرنه	سوران	بصره	نجف	حله	اسکندریه	بغداد	کرکوک	اربیل	تلعفر	موصل
۲۰۰۸													
۲۰۰۹													
۲۰۱۰													
۲۰۱۱													
۲۰۱۲													
۲۰۱۳													
۲۰۱۴													
۲۰۱۵													

اینجا تصویربرداری‌ها قبل از شروع نبرد است و در زمان نبرد تصویربرداری توسط TerraSAR-X انجام نشده است. البته این امکان وجود دارد که در حین نبرد از ماهواره دیگری استفاده شده باشد. در جدول (۵) شهرهای تصویربرداری‌شده و توالی تصویربرداری درج شده است.

جدول ۵- تصویربرداری از مرز یمن و عربستان در سال ۲۰۱۴ [۵]

تاریخ	۲۰۱۴/۰۵	۲۰۱۴/۰۶	۲۰۱۴/۰۷	۲۰۱۴/۰۸	۲۰۱۴/۰۹	۲۰۱۴/۱۰	۲۰۱۴/۱۱	۲۰۱۴/۱۲
۳								
۳								
۳								
۳								
۳								
۳								
۳								
۳								

در جدول (۶) تنها شهر الحرض متعلق به یمن است و سایر شهرها متعلق به عربستان می‌باشد. در مرجع [۲۲] محل تحت تسلط نیروهای مختلف و همچنین شهرهای تصویربرداری‌شده را نشان داده شده است. تمام شهرهای تصویربرداری‌شده در قسمتی از مرز یمن است که تحت رهبری نیروهای انصارالله است. مرزهای ارائه‌شده در مرجع [۲۲] برای تاریخ ۱۵ اوت ۲۰۱۵ هست.

این‌که این شهرها در یک‌زمان محدود و همگی در یک حالت تصویربرداری هستند و این‌که هر شهر سه مرتبه مورد تصویربرداری قرارگرفته است، این احتمال را تقویت می‌کند که شاید مشتریان آن‌یک سازمان بوده است. بعید است این سازمان وابسته به کشور عربستان باشد، احتمالاً کشور ثالثی از تحرکات عربستان قبل از حمله به یمن جاسوسی می‌کرده است.

### ۳-۴. درگیری‌های عراق

همزمان با اقدام نظامی در سوریه، داعش حمله به عراق را آغاز کرد و موفق شد شهرهای رمادی و فلوجه از مهم‌ترین شهرهای استان الانبار در عراق را به قلمرو خود اضافه کند. در ژوئن ۲۰۱۴ مهم‌ترین موفقیت داعش با تصرف موصل (دومین شهر بزرگ عراق) به‌دست آمد. آن‌ها در ماه‌های بعد نیز پیشروی‌های زیادی داشته و تا ژوئن ۲۰۱۵ حدود نیمی از خاک سوریه و بخش‌های شمال غربی عراق را به تصرف خود در آوردند. داعش در این دوره بخش‌هایی از متصرفات خود را نیز از دست داده و از جمله شهر مهم تکریت را در آوریل ۲۰۱۵ به ارتش عراق و نیروی شبه‌نظامی حشدالشعبی که برای جنگ با این گروه تشکیل شده، واگذار کرده است.

مرجع [۲۱] نشان می‌دهد که هریک از طرفین درگیر در این نبرد بر چه قسمتهایی از خاک عراق تسلط دارند، این تقسیم‌بندی براساس آخرین تحولات در تاریخ ۲۶ جولای ۲۰۱۵ است. در این مرجع

جدول ۸- توالی تصویربرداری از سایت موشکی ایران [۵]

	۱	۲	۳	۴	۵	۶	۷	۸
پایگاه تبریز		۱	۲	۲		۱		
اسفهان								
پایگاه خرم‌آباد							۱۶	
پایگاه سجاد (ملارد)								۱۳
پایگاه کرمانشاه								۱۶
پایگاه شورآباد					۳	۱۰	۳	
توپ‌خانه محافظتی		۱	۲					
سایت پرتاب ماهواره				۲	۴	۱۲	۳	۱
پارچین				۱		۷	۴	۱

#### ۳-۴. سایر نقاط استراتژیک کشورهای جنوب غرب

##### آسیا

جدول (۱۰) تعداد تصویربرداری‌ها در دوره‌های مختلف از برخی از مناطق استراتژیک موجود در منطقه جنوب غرب آسیا را نشان می‌دهد. در این میان گذرگاه ملک فهد یکی از پرتکرارترین موارد است. این پل ارتباطی که ۲۵km طول دارد، بین بحرین و عربستان است. در سال ۲۰۱۰ تصمیماتی برای توسعه این گذرگاه با بودجه ۵/۳ میلیون دلار گرفته شد، این امکان وجود دارد که حجم بالای تصاویر گرفته‌شده در این سال مربوط به این تصمیم باشد.

چند پایگاه هوایی نیز در این مجموعه قرار خواهد گرفت. از جمله آن می‌توان به فرودگاه بین‌المللی بن گویون بزرگ‌ترین فرودگاه بین‌المللی در سرزمین‌های اشغالی اشاره کرد. پایگاه اسکادران ۲۷ نیروی هوایی ارتش رژیم اشغال‌گر قدس در این فرودگاه قرار دارد. در مثال‌های دیگر می‌توان به پایگاه هوایی شهید موفق اشاره نمود که یک فرودگاه نظامی واقع در کشور اردن است، هواپیمای میراژ و F-16 در نقشه مرجع [۱۰] بر روی این فرودگاه نشانه‌گذاری شده است. مرکز آموزش‌های مشترک در خاک اردن نیز یکی دیگر از نقاط تصویربرداری شده است.

مناطق متعددی از خاک سوریه نیز مورد تصویربرداری قرار گرفته است. از جمله آن‌ها می‌توان به پایگاه ارتش تیپ ۸۹، یک مجموعه تحقیقاتی نظامی کنار دریاچه سبخه‌الجبول، تجهیزات راداری و موشکی در غرب معرشحور اشاره کرد.

#### ۴. مکان‌های استراتژیک مورد تصویربرداری توسط

##### TerraSAR-x

تصویربرداری از مکان‌های استراتژیک به خصوص مناطق استراتژیک ایران یکی دیگر از موارد پرتکرار در آرشیو ماهواره TerraSAR-X است.

#### ۴-۱. سایت هسته‌ای ایران

سایت‌های هسته‌ای ایران پرتکرارترین نقطه از لحاظ تصویربرداری هستند. در این بین سایت هسته‌ای فردوی قم رکورددار بیش‌ترین تصویربرداری است. مراجع [۱۱] و [۱۲] نتایج استفاده از آشکارسازهای تغییرات شباهت در این سایت را بررسی کرده است.

جدول ۷- توالی تصویربرداری از سایت‌های هسته‌ای [۵]

	۱	۲	۳	۴	۵	۶	۷	۸
سایت آب‌سنگین اراک	۱	۴	۴	۱	۱	۱۸	۵	۵
نیروگاه هسته‌ای بوشهر				۱	۲	۱۱	۱	۲
کارخانه غنی‌سازی اورانیوم اصفهان	۱	۲				۱۰	۳	۲
تأسیسات هسته‌ای نطنز	۳	۳	۵		۱	۱۱	۵	۵
معدن اورانیوم گچین			۱	۶				۹
سایت فردو قم			۱۲	۵۶	۵۷	۵۳	۲۷	۲۰

#### ۴-۲. سایت‌های موشکی ایران

عمده تصاویری که از سایت‌های موشکی ایران گرفته‌شده، مربوط به سال ۲۰۱۳ به بعد است. از جمله نقاط نام‌گذاری شده از این مکان‌های نظامی در پایگاه اینترنتی [۱۰] می‌توان به سیلوهای موشک سام ۶ و سام ۱۵ و شهاب ۳، سنگر زیرزمینی پوشیده‌شده برای موشک سیار، انبارهای موشک سیار ضدهوایی، دهانه تونل‌های زیرزمینی و مکان تولید سوخت موشک اشاره کرد. بنابراین تمامی این مکان‌ها در معرض دید ماهواره TerraSAR و سایر هواپیماها و ماهواره‌های جاسوسی بوده است. همچنین سایت پرتاب ماهواره واقع در جنوب شرقی سمنان یکی از مکان‌هایی است که می‌توان در قسمت سایت‌های موشکی در نظر گرفت.





تصویربرداری می‌تواند به سفارش نهادهای غیرنظامی نظیر سازمان‌های مرتبط با میراث فرهنگی و به‌منظور کشف و نگهداری آثار تاریخی انجام شده باشد.

جدول ۱۳- توالی تصویربرداری از شهرهای تاریخی [۵]

شماره	شهر	تاریخ	تاریخ	تاریخ	تاریخ	تاریخ	تاریخ	تاریخ
۱	پترا						۳	
۲	پرگامون			۷				
۳	کویول حصار	۱۰	۳					۱۳
۴	پالامیرا		۹	۵			۳	

### ۵-۵. معادن و منابع نفتی

معادن و میدان‌های نفتی و گازی نیز یکی دیگر از اهداف رادار SAR هستند. شرکت معدنی فسفات اردن، میدان گازی عمان، میدان نفتی ام‌قدیر در کشور کویت، پتروشیمی بندر امام در خوزستان و پالایشگاه نفت تاپراش ترکیه از جمله مناطقی است که مکرر توسط TerraSAR-X مورد تصویربرداری قرار گرفته است. در جدول زیر مشاهده می‌شود که منطقه نفتی ام‌قدیر با ۸۴ بار تصویربرداری با اختلاف بالایی نسبت به سایرین قرار گرفته است.

جدول ۱۴- توالی تصویربرداری‌ها از معادن و منابع نفتی [۵]

شماره	شهر	تاریخ	تاریخ	تاریخ	تاریخ	تاریخ	تاریخ	تاریخ	تاریخ
۱	ام‌قدیر			۲۷	۱۷	۱۷	۲۳		
۲	میدان گازی عمان	۵							
۳	شرکت معدنی فسفات			۳					
۴	پتروشیمی بندر امام				۱	۱			
۵	پالایشگاه نفت تاپراش	۲	۱			۳	۲		
۶	الرمیله‌الشمالیه عراق	۱							

### ۵-۶. تصویربرداری از محل سقوط هواپیما

یکی دیگر از مناطق تأمل برانگیز، دو تصویربرداری از محل سقوط هواپیمای پرواز Caspian Airlines Flight 7908 می‌باشد. این تصاویر به فاصله یک روز و دو روز پس از سقوط گرفته شده است. این هواپیما ۱۵ جولای ۲۰۰۹ در استان قزوین سقوط کرد.

### ۵-۷. برخی از نقاط پرتکرار با انگیزه نامشخص

در این بخش نقاطی بررسی می‌شوند که مرتباً مورد تصویربرداری قرار گرفته‌اند، اما علت این تصویربرداری‌ها برای نویسندگان این مقاله به‌صورت سؤال باقی‌مانده است. در آب‌های نزدیک به امارات از یک مکان خاص تصویربرداری‌های مکرری دیده می‌شود که ممکن است متعلق به یک جزیره مصنوعی و یا اسکله نفتی باشد. به‌هرحال هیچ

مسجدسلیمان دارای تکرار بیش‌تری است.

تصویربرداری از سدهای سایر کشورهای جنوب غرب آسیا نیز انجام شده است که از جمله آن‌ها می‌توان به سدهایی اشاره کرد که بر مسیر رود نیل در کشور مصر و بر مسیر رود فرات در کشور سوریه و ترکیه قرار گرفته است. همچنین سد موصل بر رودخانه دجله نیز مکرر مورد تصویربرداری قرار گرفته است. پل شهید کلانتری بر روی دریاچه ارومیه و کانال سوئز نیز از مناطق مورد تصویربرداری هستند، تعداد تصویربرداری‌ها در جدول (۱۲) نشان داده شده است.

جدول ۱۲- توالی تصویربرداری از سد [۵]

شماره	شهر	تاریخ	تاریخ	تاریخ	تاریخ	تاریخ	تاریخ	تاریخ	تاریخ
۱	کانال سوئز							۱۴	
۲	سد مسجدسلیمان	۶	۳۲						
۳	سایر سدهای ایران			۳					
۴	پل شهید کلانتری	۳	۱۲						
۵	سدهای روی رود دجله					۴		۱	۱
۶	سد روی رود فرات			۱	۲				

### ۵-۳. شهرهای ساحلی، بنادر و جزایر

بندرعباس با ۲۶ بار تصویربرداری از سال ۲۰۰۸ تا ۲۰۱۴ پرتکرارترین بندر ایران از لحاظ تصویربرداری به‌وسیله ماهواره TerraSAR-X است. در این مکان مجموعه‌ای از تأسیسات نظامی قرار دارد که از جمله آن می‌توان به مقر نیروی دریایی ایران، مقر نیروی هوا- دریا و پایگاه موشک ضدهوایی اشاره کرد، بنابراین این حجم بالای تصویربرداری می‌تواند ناشی از وجود همین تأسیسات نظامی باشد. بندر جاسک، بندر چابهار، بندرانزلی و بندر ترکمن نیز از جمله مواردی است که بین ۱ الی ۴ مرتبه مورد تصویربرداری قرار گرفته است. همچنین جزایری مانند قشم، سیری، ابوموسی، لاوان، خارک، تنب بزرگ و تنب کوچک توسط ماهواره TerraSAR-X مورد تصویربرداری قرار گرفته‌اند.

تصویربرداری از جزایر و بنادر شامل سایر کشورهای جنوب غرب آسیا نیز می‌شود که از جمله می‌توان به جزایر مصنوعی دبی، ابوظبی و دوحه اشاره کرد، همین‌طور بسیاری از شهرهای ساحلی و بنادر پیرامون دریای سرخ و مدیترانه جزو مناطقی هستند که مورد تصویربرداری قرار گرفته‌اند.

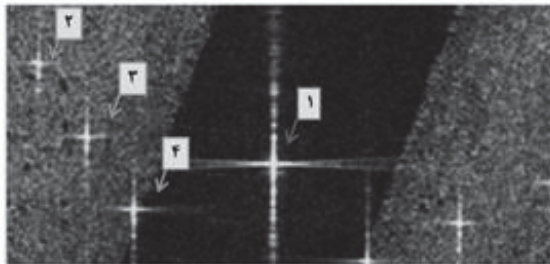
### ۵-۴. مناطق تاریخی

مناطق تاریخی یکی دیگر از اهداف رادار SAR به‌نظر می‌رسد. شهر تاریخی پترا در اردن، شهر تاریخی کویول حصار، پرگامون در ترکیه و شهر تاریخی پالامیرا در سوریه برخی از مکان‌های تاریخی مورد تصویربرداری توسط ماهواره TerraSAR هستند. این تعداد

در مرجع [۳۰] استفاده از رفلکتورها برای ایجاد اختلال در تصویر SAR پیشنهاد شده و در این مرجع بیان می‌شود که رفلکتورها می‌توانند RCS بسیار بزرگی را نسبت به اندازه خود ایجاد نموده و اگر رفلکتورها در جهت مناسب قرار داده شوند، انعکاس این رفلکتورها باعث محو اشیاء و پدیده‌های اطراف آن خواهد شد. این که استفاده از رفلکتورها تا چه میزان اشیاء اطراف خود را محو می‌نماید تا حد زیادی وابسته به طراحی رادار SAR نیز هست. به‌طور مثال در شکل ۱۹ نتیجه یک آزمون عملی درج‌شده است. در شکل (الف) دیده می‌شود که مجموعه‌ای از رفلکتورها در یک منطقه قرار داده شده است. این رفلکتورها در تصویر SAR به‌صورت شکل (ب) ظاهر شده‌اند.



(الف)

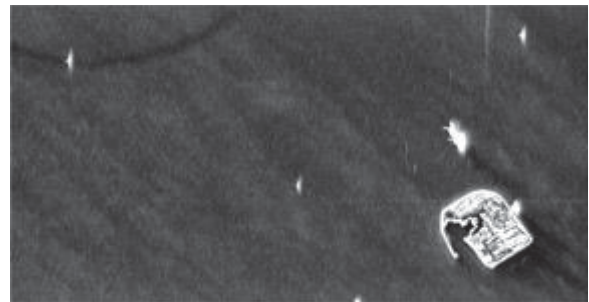


(ب)

شکل ۱۹- الف) قرار دادن رفلکتور در یک منطقه، ب) تصویر ناشی از قرار دادن رفلکتور [۱۷]

فرض کنید که قرار است تا تصویر منطقه‌ای مانند شکل (۱۳) توسط این روش مورد اختلال قرار گیرد، بنابراین نیازمند مجموعه‌ای متعدد و عظیم از رفلکتورها هستیم. این تعداد بالا از رفلکتورها ممکن است مزاحمت‌هایی برای کارکنان این منطقه و فرآیند کاری ایجاد نماید. نکته دیگری که در رابطه با این روش غیر فعال وجود دارد، این است که رفلکتورها در تمام زوایا دارای RCS بزرگی نیستند، به‌طور مثال در شکل (۲۰ و ۲۱) دو نمونه رفلکتور و میزان RCS برحسب زوایای مختلف قید شده است. در این شکل‌ها دیده می‌شود که RCS در برخی از زوایا بسیار بزرگ و در برخی از زوایا بسیار کوچک باشد. تنظیم هر رفلکتور برای رسیدن به بیشترین RCS موجب می‌شود هر رفلکتور نیازمند یک سرومکانیزم باشد تا با عبور ماهواره آن را در راستای مطلوب قرار گیرد.

ردی از این مکان در نقشه [۱۰] وجود ندارد. تصویر SAR این مکان به‌صورت شکل (۱۸) است.



شکل ۱۸- تصویر ماهواره TerraSAR از منطقه نزدیک به امارات [۵]

شهر اشکون و منطقه جنوبی عین‌الجدی دو نقطه در سرزمین‌های اشغالی است که تصویربرداری‌های مکرری از آن انجام شده ولی علت آن مشخص نیست. تعداد تصویربرداری‌ها و زمان آن‌ها در جدول ۱۶ درج شده است. همچنین جنوب غربی شهر تهران شامل مناطق ۱۷، ۱۸ و ۱۹ نیز مکرر مورد تصویربرداری قرار گرفته است که انگیزه سفارش‌دهندگان تصویربرداری از این مناطق مشخص نیست.

جدول ۱۵- توالی تصویربرداری از نقاط پرتکرار [۵]

ت.ب	ت.ب	ت.ب	ت.ب	ت.ب	ت.ب	ت.ب	ت.ب
۱۶	۱۵		۳۳	۷			جزیره اماراتی
۸	۲۱	۲۳	۲۱	۲۴	۲		شهر اشکون
			۵	۱۴	۲۵	۷	عین‌الجدی
۳	۱۴						تهران

## ۶. مروری بر سامانه‌های ضد تصویربرداری SAR:

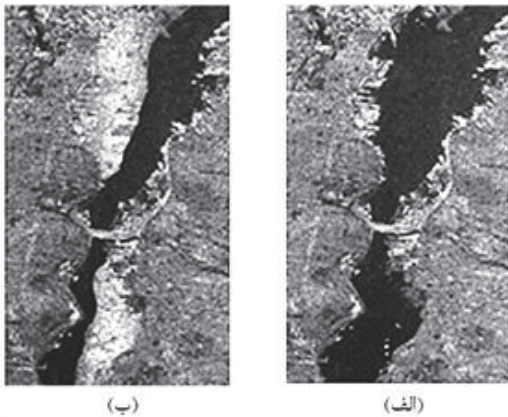
همان‌طور که گفته شد، این مقاله سعی دارد تا روشی را برای مدل‌کردن رفتار رادارهای SAR ارائه دهد. این مدل می‌تواند تعیین کند کدام نقطه برای چه مدت می‌بایست مجهز به سامانه‌های ضد تصویربرداری SAR شود. در این قسمت مروری کوتاه بر روش‌های رایج ضد تصویربرداری SAR انجام شده است.

مرجع [۲۳] روش‌های ضد تصویربرداری SAR را به دو دسته کلی غیر فعال<sup>۱</sup> و فعال تقسیم‌بندی می‌نماید. در روش غیر فعال سیگنالی به سمت ماهواره ارسال نمی‌شود اما در روش فعال ارسال سیگنال وجود خواهد شد.

در روش غیر فعال منطقه مورد محافظت را می‌توان با مجموعه‌ای از فویل‌های فلزی یا جاذب الکترومغناطیس پوشاند، تا اهداف اصلی زیر این پوشش قرار گیرد. به‌طور مثال اگر قرار باشد تا منطقه فردوی قم از دید رادارهای SAR پنهان بماند می‌بایست برای کل آن منطقه سقفی از پوشش فلزی یا جاذب الکترومغناطیسی کشیده شود.

<sup>1</sup> Passive

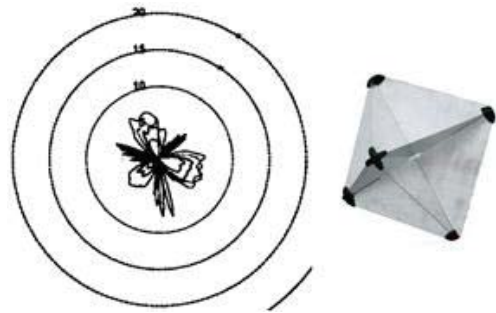
برخی از روش‌های غیرهمدوس قادرند تا اهداف دروغین در تصاویر ایجاد نموده و یا شکل عوارض زمین را تغییر دهند. روش‌هایی که قصد فریب دارند، روش‌های پیچیده‌تری هستند و نیازمند تخمین دقیق پارامترهای بسیاری از سیگنال SAR و نحوه حرکت سکوی SAR است. شکل (۲۳-الف) تصویر منطقه بدون اعمال فریب را نشان می‌دهد، شکل (۲۳-ب) تصویر منطقه بعد از فریب را نشان می‌دهد. همانطور که مشاهده می‌شود، در شکل (۲۳-ب) نسبت به شکل (۲۳-الف)، رودخانه دارای عرض باریک‌تری است.



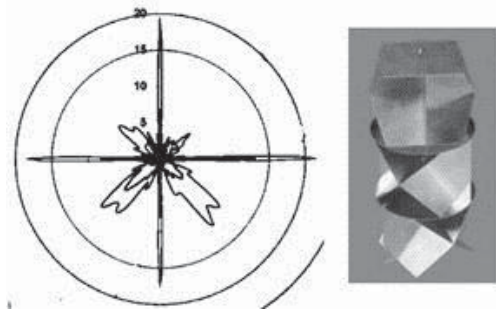
شکل ۲۳- الف) تصویر منطقه بدون اعمال فریب. ب) تصویر منطقه بعد از فریب [۲۲].

## ۷. بحث

ماهواره تجاری TerraSAR-X تنها یک ماهواره SAR از بین ده‌ها ماهواره SAR است که مأموریت تصویربرداری از مناطق مختلف از جمله مناطق حساس و استراتژیک ایران و جنوب غرب آسیا را به‌عهده دارد که اتفاقاً آرشیو تصاویر آن از طریق اینترنت در دسترس عموم گذاشته شده است. به‌طورقطع ماهواره‌های نظامی ایالات متحده آمریکا و رژیم اشغال‌گر قدس و سایر کشورهای هم‌پیمان به‌مراتب و به‌طور مستقیم تصویربرداری از مناطق حساس ایران و جنوب غرب آسیا را با وضوح‌های بهتر و تعداد دفعات بیشتر در دستور کار خود خواهند داشت که دسترسی به آرشیو تصاویر این ماهواره‌ها برای عموم امکان‌پذیر نیست. مطالعه مدل عملکرد این ماهواره از حیث مناطق مورد علاقه برای تصویربرداری از آن‌ها، از این حیث حائز اهمیت است که اگر تصویربرداری از نقاط مرزی قبل از حمله نظامی، یا مناطق حساس هسته‌ای به‌منظور آشکارسازی تغییرات امری رایج باشد، می‌توان با قراردادن سامانه‌های پایش سیگنال SAR در مرزهای کشور و مشاهده ترافیک غیرعادی حضور سیگنال SAR به احتمال‌هایی در ارتباط با تجاوز به حریم هوایی، خاکی و دریایی کشور پی برد. همین‌طور می‌توان بررسی نمود که این منطقه تا چه میزان مورد اهمیت سایر کشورهاست، قاعدتاً تصویربرداری مکرر به‌معنای اهمیت اطلاعاتی آن منطقه است.



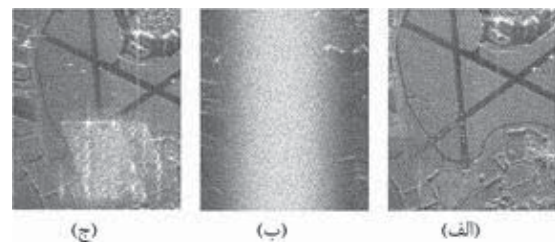
شکل ۲۰- نمونه‌ای از رفلکتور به همراه آزمون RCS در زوایای مختلف [۳۱]



شکل ۲۱- نمونه‌ای از رفلکتور به همراه آزمون RCS در زوایای مختلف [۳۱]

مجموعه ضعف‌های نامبرده‌شده در رابطه با روش غیر فعال موجب می‌شود تا روش‌های فعال مورد بررسی قرار گیرند. روش‌های فعال نیز به دو روش کلی همدوس و غیرهمدوس تقسیم می‌شوند. در روش غیرهمدوس سیگنالی که به‌سمت رادار ارسال می‌شود از جنس آن نیست، ولی در روش همدوس سیگنال رادار SAR دریافت و بعد از تغییر شکل به‌سمت رادار ارسال می‌شود.

مشهورترین روش غیرهمدوس، ارسال نویز به‌سمت رادار است. در روش همدوس فن‌های متنوعی مورد استفاده قرار می‌گیرد. گونه‌ای از روش‌های همدوس وجود دارد که یک منطقه را مورد اختفا قرار می‌دهد. شکل ۲۲- الف تصویر منطقه بدون هرگونه اختلال را نشان می‌دهد و شکل (۲۲-ب) و (۲۲-ج) به‌ترتیب تأثیر اختلال غیرهمدوس و همدوس پوششی را نشان می‌دهد. به‌طور کلی روش‌های همدوس به این علت که سیگنالی از جنس خود رادار SAR به‌سمت ماهواره می‌فرستند، نسبت به روش‌های غیرهمدوس، ذاتاً دارای مقاومت بالاتری در مقابله با روش‌های ضدجنگ الکترونیک دارا هستند.



شکل ۲۲- الف) تصویر بدون تخریب، ب) تخریب غیر همدوس ج) تخریب همدوس [۲۴].



به دفعات مورد تصویربرداری قرار گرفته و حتی پس از آن نیز این تصویربرداری ادامه داشته است. همین طور از مراکز که از لحاظ امنیتی و سیاسی حساس هستند، نظیر مراکز هسته‌ای، موشکی، فرودگاه‌ها، پایگاه‌های هوایی، سدها، بنادر مهم و... تصویربرداری به صورت متوالی انجام شده است. اقدامات پدافند غیرعامل در ارتباط با این تهدیدات به دور روش کلی غیر فعال و فعال دسته‌بندی شده که با جهت اختفاء یا فریب منطقه تحت تصویربرداری مورد استفاده قرار می‌گیرد. مقایسه‌ای نیز بین روش‌های غیر فعال و فعال انجام شده و نتیجه گرفته شده که روش‌های فعال در اختفاء مناطق تحت تصویربرداری و فریب ماهواره‌های SAR از کارایی بیش‌تری برخوردار هستند.

## ۹. مراجع

1. C. Covault, "Top Secret Radar Satellite Set for Vandenberg Lifo," 2012. <http://www.americaspace.com/?p=16363>
2. "Future Imagery Architecture," [https://en.wikipedia.org/wiki/Future\\_Imagery\\_Architecture](https://en.wikipedia.org/wiki/Future_Imagery_Architecture). 2015.
3. J. Pike, "Future Imagery Architecture [FIA] - Phase C," <http://www.globalsecurity.org/intell/systems/fia-phase-c.htm>, 2011.
4. G. Krebs, "Gunter's Space Page," <http://space.skyrocket.de>, 2015.
5. "Airbus Defence & Space TerraSAR-X archive," <http://terra-sar-x-archive.infoterra.de>. 2015.
6. W. Pitz and D. Miller, "The TerraSAR-X Satellite," IEEE Transactions on Geoscience and Remote Sensing, pp. 615-622, 2010.
7. S. Buckreuss, W. Balzer, P. Muhlbaue, and R. Werninghaus, "The terraSAR-X satellite project," In Proc. of International Geoscience and Remote Sensing Symposium, pp. 3096-3098, 2003.
8. H. J. Kramer, "TSX (TerraSAR-X) Mission," <https://directory.eoportal.org>, 2002.
9. "Airbus Defense and Space TerraSAR-X Services International Price List," <http://www.geo-airbusds.com/en/122-price-lists>, 2014.
10. "Wikimapia," <http://wikimapia.org>, 2015.
11. M. Skolnik, "Introduction to radar systems," McGraw-Hill, 2nd Edition, p. 44, 1980.
12. F. Ulaby, "Microwave Remote Sensing: Active and Passive," Artech House, 1986.
13. M. I. Skolnik, "Radar Handbook," McGraw-Hill, Third Edition, 2008.
14. B. Yang, Z. Dongming, W. Xiaoli, and T. Chuangming, "Study of Comprehensive Influencing factors on RCS in SAR Imaging," In Proc. of Asia-Pacific Microwave Conference, 2005.
15. L. Borgarelli, R. Mizzoni, and F. Passaretta, "Thales Alenia Space imaging SAR satellite solutions," In Proc. of Brazilian Symposium of Remote Sensing, 2009.
16. A. Moreira, "Synthetic aperture radar (SAR): Basics, Theory and Future Developments," German Aerospace Center, 2007.
17. A. W. Doerry, D. F. Dubbert, M. E. Thompson, and V. D. Gutierrez, "A portfolio of fine resolution Ka-band SAR

پیوست ۱ لیستی از نام و تعداد ماهواره‌های مختلفی را ارائه می‌دهد که به رادار SAR مجهز هستند. این لیست شامل ماهواره‌های در انتظار پرتاب نیز هست که افزایش تعداد آن‌ها در سال‌های اخیر حاکی از اهمیت موضوع می‌باشد. در این لیست مشاهده می‌شود که حتی کشورهای منطقه نیز قصد دستیابی به این فناوری را دارند، به‌طور مثال کشور ترکیه تا سال ۲۰۱۹ اولین ماهواره مجهز به رادار SAR خود را پرتاب خواهد کرد. باتوجه به این حجم سرمایه‌گذاری در کشورهای مختلف روی تصویربرداری SAR این سؤال پیش می‌آید که کشور ایران به چه مقدار در مقابل تصویربرداری‌های SAR مقاوم شده است؟ آیا کشورمان توانسته است نقاطی را شناسایی کند که هدف اصلی رادارهای SAR است؟

حفظ و حراست اطلاعات مناطق حساس و استراتژیک، در مقابله با سامانه‌های جاسوسی یکی از مأموریت‌های اساسی سازمان‌هایی است که در حوزه پدافند غیرعامل فعالیت دارند. این مقاله نیز از این حیث آماده شد تا یک خطر پیشرو برای امنیت کشور را یادآوری نماید. روش کاری غالب سامانه‌های ضدتصویربرداری SAR قرار دادن RCS بزرگ برای پوشاندن RCS طبیعی موجود در آن منطقه است، بنابراین در صورتی که سامانه‌های ضدتصویربرداری در مناطقی به‌کار گرفته شود که تصویربرداری وضوح بالا انجام نمی‌شود، موجب ایجاد حساسیت در مالکین ماهواره‌های جاسوسی خواهد شد و ممکن است این موضوع به فاش شدن یکی از مکان‌های استراتژیک بیانجامد. در نتیجه قبل از قراردادن هرگونه سامانه ضدتصویربرداری SAR می‌بایست، یک سامانه پایش سیگنال‌های رادار SAR در آن منطقه قرار داد تا میزان تصویربرداری‌ها از آن منطقه مشخص شود. کاربردهای مهم ماهواره SAR نشان می‌دهد، در صورت دستیابی ایران به تصاویر با وضوح بالای ماهواره SAR، می‌توان به ظرفیت‌های ارزشمندی دست یافت. به‌طور مثال با آشکارسازی تغییرات حاصل از عبور وسایل نقلیه از جاده‌های خاکی، می‌توان ضمن رصد تحرکات اشراق در مرزهای شرق و غرب، تمهیدات لازم را در نظر گرفت.

## ۸. نتیجه‌گیری

در این مقاله با بررسی آرشیو تصاویر اخذشده توسط یک ماهواره تجاری آلمانی به نام TerraSAR-X، مناطق مورد علاقه برای تصویربرداری این ماهواره مورد تجزیه و تحلیل قرار گرفت. این ماهواره SAR در باند X و با وضوح‌های مختلف اقدام به تصویربرداری از مناطق حساس و استراتژیک جنوب غرب آسیا از جمله مناطق هسته‌ای ایران و مناطق تحت درگیری در کشورهای نظیر سوریه، عراق و فلسطین نموده که وجود تصویربرداری قبل و بعد از درگیری و جنگ، به‌منظور آشکارسازی تغییرات و مقایسه تصاویر جهت دسترسی به داده‌های مفید عملیاتی و اطلاعاتی مورد نیاز بوده است. مثال‌های ذکرشده در متن حاکی از آن است که عمدتاً مناطقی که کاندیدای درگیری هستند، در طول درگیری توسط این ماهواره

جدول ۱۷- ماهواره‌های SAR کشورهای قاره اروپا [۴]

مالک	نام ماهواره	سال پرتاب شده	پرتاب	باند تصویربرداری
ایتالیا	Cosmo-SkyMed 1	۲۰۰۷	بله	X
	Cosmo-SkyMed 2	۲۰۰۷	بله	
	Cosmo-SkyMed 3	۲۰۰۸	بله	
	Cosmo-SkyMed 4	۲۰۱۰	بله	
	CSG 1	۲۰۱۶	خیر	
	CSG 2	۲۰۱۷	خیر	
آلمان	SAR-Lupe 1	۲۰۰۶	بله	X
	SAR-Lupe 2	۲۰۰۶	بله	
	SAR-Lupe 3	۲۰۰۷	بله	
	SAR-Lupe 4	۲۰۰۷	بله	
	SAR-Lupe 5	۲۰۰۸	بله	
	SARah 1	۲۰۱۸	خیر	
	SARah 2	۲۰۱۹	خیر	
	SARah 3	۲۰۱۹	خیر	
	TerraSAR-X	۲۰۰۷	بله	
	TanDEM-X	۲۰۱۰	بله	
اسپانیا	Paz	۲۰۱۶	خیر	X
روسیه	Almaz T 2	۱۹۸۷	بله	S
	Almaz T 1	۱۹۹۱	بله	
	Kondor	۲۰۱۳	بله	
	Kondor-E 1	۲۰۱۴	بله	
روسیه	Meteor-M 1	۲۰۰۹	بله	X
	Meteor-M 2	۲۰۱۴	بله	
	Meteor-M 2-1	۲۰۱۶	خیر	
	Meteor-M 2-2	۲۰۱۶	خیر	
	Obzor-R 1	۲۰۱۸	خیر	
	Obzor-R 2	؟	خیر	
ESA	Sentinel 1A	۲۰۱۱	بله	C
	Sentinel 1B	۲۰۱۶	خیر	
	Sentinel 1C	۲۰۲۱	خیر	
	Sentinel 1D	؟	خیر	
L	Envisat 1	۲۰۰۲	بله	

- images: part I," In Proc. of SPIE Defense and Security Symposium, 2005.
- "TerraSAR-X IMINT Manual," <http://www.geo-airbusds.com/sg/3223-terrasar-x-imint-manual>; 2015.
  - "TerraSAR-X Applications Guide, Extract: Change Detection and Monitoring: Geospatial / Image Intelligence," Airbus Defence and Space Geo-Intelligence Programme Line, 2015.
  - "Rolling Dgi," <http://www.youtube.com>, 2014.
  - "Islamic State of Iraq and the Levant," [https://en.wikipedia.org/wiki/Islamic\\_State\\_of\\_Iraq\\_and\\_the\\_Levant](https://en.wikipedia.org/wiki/Islamic_State_of_Iraq_and_the_Levant), 2015.
  - "Saudi Arabian-led intervention in Yemen," [https://en.wikipedia.org/wiki/Saudi\\_Arabian-led\\_intervention\\_in\\_Yemen](https://en.wikipedia.org/wiki/Saudi_Arabian-led_intervention_in_Yemen), 2015.
  - L. Nan and Q. Changwen, "Research on Jamming Synthetic Aperture Radar Technologies," 1st Asian and Pacific Conference on Synthetic Aperture Radar, 2007.
  - 31: SAR – 2b, Ohio University, 2013.
  - "Video SAR Sandia National Laboratories," <http://www.sandia.gov/radar/video/index.html>, 2015.
  - D. Wang, M. Ali, and E. Blinka, "Synthetic Aperture Radar (SAR) Implementation on a TMS320C6678 Multicore DSP," Texas Instruments Incorporated, 2015.
  - "Gaza War (2008–09)," [https://en.wikipedia.org/wiki/Gaza\\_War\\_\(2008%E2%80%9309\)](https://en.wikipedia.org/wiki/Gaza_War_(2008%E2%80%9309)), 2016. (in Persian)
  - "Israel-Gaza conflict," [https://en.wikipedia.org/wiki/2014\\_Israel%E2%80%93Gaza\\_conflict](https://en.wikipedia.org/wiki/2014_Israel%E2%80%93Gaza_conflict), 2016. (in Persian)
  - "Kobani," <https://en.wikipedia.org/wiki/Koban%C3%AE>, 2016. (in Persian)
۳۰. دهقانی، حمید، موسی زاده، کیومرث، ایجاد اختلال در تصویربرداری SAR با استفاده از رفلکتورها، علوم و فناوری‌های پدافند غیرعامل، سال ۴، شماره ۴، صص ۲۴۶-۲۳۹، ۱۳۹۲.
- "On Test Radar Reflectors," [www.yachtingmonthly.com](http://www.yachtingmonthly.com), 2005.
  - F. Zhou, B. Zhao, M. Tao, X. Bai, B. Chen, and G. Sun, "A Large Scene Deceptive Jamming Method for Space-Borne SAR," IEEE Trans. on Geoscience and Remote Sensing, vol. 51, no. 8, pp. 4486-4495, 2013.
  - "Satellite and Airborne SAR Sensor Specifications," [www.crcsi.com.au](http://www.crcsi.com.au), 2012.

## پیوست ۱:

در این پیوست لیست ماهواره‌های SAR پرتاب شده و در انتظار پرتاب ارائه شده است.

جدول ۱۶- ماهواره‌های SAR کشورهای منطقه [۴]

مالک	نام ماهواره	سال پرتاب شده	پرتاب	باند تصویربرداری
رژیم صهیونیستی	TECSAR 1	۲۰۰۸	بله	X
	TECSAR 1	۲۰۱۴	بله	
ترکیه	Göktürk 3	۲۰۱۹	خیر	؟

پیوست ۲:

در این پیوست لیست برخی از ماهواره‌های SAR پرتاب شده همراه با اطلاعاتی نظیر عرض نوار تصویربرداری و وضوح آنها ارائه شده است.

جدول ۲۰- عرض نوار تصویربرداری و وضوح [۳۳].

	عرض نوار	وضوح
	تصویربرداری (km)	تصویربرداری (m)
Cosmo SkyMed 1-4	10	1
	30-40	3-15
	100-200	30-100
	30	15
RADARSAT-1	45	8
	100	30
	150	30
	300	50
	500	100
SAR-Lupe 1-5	75	18-28
	170	30
	8	<1
RISAT-1	5.5	<2
	10	3
	30	12
	120	25
	240	50
RADARSAT-1	45	8
	100	30
	150	30
	300	50
	500	100
	75	18-28
RADARSAT-2	170	30
	20	3
	50	8
	50	8
	100	25
	150	30
	300	50
	500	100
HJ-1C	75	18
	25	12
	25	25
JianBing-5	40	5
	100	20
Kondor-E	20	5
	100	40
PAZ	20-150	5-30
	10-20	1-3
	5-10	1-2
KOMPSAT-5	15-30	3-6
	100	15
	5	1
TerraSAR-X2	30	3
	100	20
	10-40	0.5
Cosmo-SkyMed 2 <sup>ND</sup> GEN	50-500	1-4
	10	1
	40	3
	100, 200	20, 40
	30	15

جدول ۱۸- ماهواره‌های SAR کشورهای قاره آمریکا [۴]

مالک	نام ماهواره	سال پرتاب شده	پرتاب شده	باند تصویربرداری
آمریکا	Lacrosse1	۱۹۸۸	بله	X
	Lacrosse2	۱۹۹۱	بله	
	Lacrosse3	۱۹۹۷	بله	
	Lacrosse4	۲۰۰۰	بله	
	Lacrosse5	۲۰۰۵	بله	
	FIA-Radar1	۲۰۱۰	بله	
	FIA-Radar2	۲۰۱۲	بله	
	FIA-Radar3	۲۰۱۳	بله	
	FIA-Radar4	۲۰۱۶	خیر	
FIA-Radar5	۲۰۱۷	خیر		
L	NISAR	۲۰۱۹	خیر	
کانادا	Radarsat 1	۱۹۹۵	بله	C
	Radarsat 2	۲۰۰۷	بله	
	Radarsat Constellation 1	۲۰۱۸	خیر	
	Radarsat Constellation 2	۲۰۱۸	خیر	
	Radarsat Constellation 3	۲۰۱۸	خیر	
برزیل	MAPSAR	؟	خیر	L
آرژانتین	SAOCOM 1A	۲۰۱۶	خیر	L
	SAOCOM 1B	۲۰۱۸	خیر	

جدول ۱۹- ماهواره‌های SAR کشورهای قاره آسیا [۴]

مالک	نام ماهواره	پرتاب شده	سال پرتاب شده	باند تصویربرداری
هند	RISAT 1	۲۰۱۲	بله	C
	RISAT 2	۲۰۰۹	بله	X
ژاپن	JERS	۱۹۹۹	بله	L
	ALOS 1	۲۰۰۶	بله	
	ALOS 4	۲۰۱۴	بله	
	IGS-Radar 1	۲۰۰۳	بله	
چین	IGS-Radar 2	۲۰۰۷	بله	X
	IGS-Radar 3	۲۰۱۱	بله	
	IGS-Radar 4	۲۰۱۳	بله	
	IGS-Radar 5	۲۰۱۶	خیر	
	IGS-Radar spare	۲۰۱۵	بله	
چین	Yaogan 1	۲۰۰۶	بله	؟
	Yaogan 3	۲۰۰۷	بله	
	Yaogan 6	۲۰۰۹	بله	
	Yaogan 7	۲۰۰۹	بله	
	Yaogan 10	۲۰۱۰	بله	
	Yaogan 13	۲۰۱۱	بله	
	Yaogan 18	۲۰۱۳	بله	
	Yaogan 23	۲۰۱۴	بله	
	Yaogan 24	۲۰۱۴	بله	
Yaogan 29	۲۰۱۵	بله		
کره جنوبی	KOMPSat 5	۲۰۱۳	بله	X



## A Survey of TerraSAR-X Imagery Satellite for Passive Defense Measurements

M. Ardini, M. Roeinfar, R. Ramezani, A. Amin<sup>\*</sup>

### Abstract

In recent years, Synthetic Aperture Radars (SAR) is taking images at different frequencies and resolutions. In this paper, we tried to present a statistical description of military and strategic places using online TerraSAR-X archive. The South West Asia has witnessed many wars in recent years, so this region was selected as the case study. TerraSAR-X has taken image from most of the military and strategic places, for example, missile and nuclear centrals, cities at war, airports, military airbases, dams, seaports, and many other places. Studying the sequence of imaging can help the related organizations to plan about Passive Defense.

**Key Words:** *Satellite, Synthetic Aperture Radars (SAR), Imaging, TerraSAR-X, Archive, Military and Strategic Places*

---

<sup>\*</sup> Imam Hussein Comprehensive University (aamin@ihu.ac.ir)