

(علمی-ترویجی)

طراحی سامانه آشکارسازی هدف در مناطق بومی ایران: مطالعه موردی آبادان و اهواز، با استفاده از تصاویر ماهواره‌ای چندطیفی لندست ۸ و سنتینل ۲

مریم ایمانی^{۱*}

۱- آزمایشگاه پردازش تصویر و آنالیز اطلاعات، دانشکده مهندسی برق و کامپیوتر، دانشگاه تربیت مدرس، کدپستی: ۱۱۱-۱۴۱۵

* استادیار (نویسنده پاسخگو)، ایمیل:

maryam.imani@modares.ac.ir

تصاویر ابرطیفی اطلاعات طیفی با ارزشی را جهت آشکارسازی هدف فراهم می‌کنند، ولی از آن جاکه این تصاویر برای مناطق ایران در دسترس نیستند. بنابراین، در این پژوهش از تصاویر چندطیفی با حدوداً ۱۰ باند طیفی استفاده شده است. با توجه به تفاوت‌های بین تصویر ابرطیفی و چندطیفی، نیاز به طراحی یک سامانه مناسب جهت انتخاب و تطبیق آشکارساز مناسب برای تصاویر چندطیفی احساس می‌شود. در این مقاله، یک روش سازمان یافته جهت ارزیابی روش‌های آشکارسازی هدف تصاویر ابرطیفی استفاده و یک سامانه آشکارسازی هدف طراحی شده است. طبق این سامانه بررسی می‌شود که کدام یک از آشکارسازها می‌تواند انتخاب مناسبی جهت اعمال بر روی تصاویر چندطیفی ایران باشد. جهت این امر دو ماهواره لندست ۸ و سنتینل ۲ را به ترتیب برای تصاویری از مناطق آبادان و اهواز مورد استفاده قرار گرفته‌اند. طبق نتایج آزمایش‌ها، آشکارساز نگاشت زاویه طیفی بر مبنای کرنل، در آشکارسازی بسیاری از اهداف با استفاده از تصاویر چندطیفی عملکرد مناسب‌تری از خود نشان می‌دهد.

واژه‌های کلیدی: آشکارسازی هدف، هدف نابه‌هنجار، تصویر چندطیفی، لندست ۸، سنتینل ۲

Target Detection System Design for Domestic Areas in Iran: Case Study in Abadan and Ahvaz, Using Satellite Multi-spectral Images of Landsat 8 and Sentinel 2

Hyperspectral images provide worthful spectral information for target detection. Since these images are not available in Iran, we use multi-spectral images with approximately 10 bands. Due to differences of hyperspectral and multi-spectral images, a target detection system (using multi-spectral images) is designed in this work. An algorithm for selection and adaptation of an appropriate target detector was proposed to this end. The algorithmic approach assesses the target detectors performances on hyperspectral images and designs a systematic target detector system. This system assesses which of target detectors of hyperspectral images can be useful for multi-spectral images. Two images from Abadan and Ahvaz acquired by Landsat 8 and Sentinel 2 were selected for our experiments. According to our results, the Kernel based spectral angle mapper shows superior results for targets detection using multi-spectral images.

Keywords: Target Detection, Anomalous Target, Multi-spectral Image, Landsat 8, Sentinel 2

M. Imani^{*}

1- Image processing and Information Analysis Lab, Department of Electrical and Computer Engineering, Tarbiat Modares University, Postal Code: 14115-111, Tehran, IRAN

* Assistant Professor (Corresponding Author): Email:

imani@modares.ac.ir

۱- مقدمه

آشکارسازی اهداف از جمله کاربردهای مهم در علم سنجش از دور است. در سال‌های اخیر، آشکارسازی اهداف با استفاده از تصاویر ماهواره‌ای مورد توجه فراوانی قرار گرفته است. این امر به دو صورت با نظارت و یا بدون نظارت قابل انجام است. در حالت اول هدف مورد علاقه مشخص است. در این حالت، به دنبال امضای طیفی خاصی در صحنه هستیم و پیکسل‌هایی که بیشترین همبستگی را با امضای طیفی پیکسل مد نظر داشت را به عنوان هدف در نظر می‌گیریم. در آشکارسازی اهداف به صورت نظارت شده به امضای طیف هدف مورد علاقه نیازمندیم. این طیف یا از کتابخانه‌های در دسترس یا با اندازه‌گیری میدانی توسط طیف‌سنج حاصل می‌شود. در حالت دوم آشکارسازی اهداف (آشکارسازی نابهنجاری)، بدون توجه به اینکه امضای طیفی اهداف چه هستند به دنبال هرآنچه جستجو می‌شود که چه از لحاظ مکانی، طیفی و یا بافتی با زمینه متفاوت باشد. در این حالت، بدون نیاز به داشتن هیچگونه دانش پیشینی در مورد اهداف به آشکارسازی آنها پرداخته می‌شود.

در هر دو حالت آشکارسازی هدف با نظارت و بدون نظارت، هدف مورد نظر می‌تواند پدیده‌های طبیعی مثل یافتن یک دریاچه کوچک یا یک نوع پوشش گیاهی خاص یا یک مزرعه و یا مصنوعات ساخت بشر مثل خودرو، کارخانه، پل، هواپیما و غیره باشد. در آشکارسازی هدف نظارت شده، هدف مورد علاقه توسط کاربر انتخاب می‌شود و در موارد آشکارسازی نابهنجاری، هیچ هدفی از قبل انتخاب نشده و خروجی سامانه یک نقشه آشکارسازی است که مناطق نابهنجار صحنه (از نظر طیفی یا مکانی) را نشان می‌دهد.

شناسایی اهداف نابهنجار از مسائل مورد توجه و علاقه پژوهشگران است که دارای کاربردهای شناسایی بسیاری می‌باشد [۷-۱]. روش‌های شناسایی هدف که به طور معمول با استفاده از تصویربرداری هوایی انجام می‌شوند، از تصاویر با رزولوشن مکانی بالا استفاده می‌کنند که امکان تفکیک شیء یا عنصر نابهنجار موجود در صحنه را فراهم می‌آورند. این نوع تصاویر حاوی اطلاعات مکانی بالایی از قبیل شکل، بافت و لبه هستند که امکان شناسایی یک عنصر نابهنجار قرار گرفته در یک پیش‌زمینه یکنواخت و همگن را فراهم می‌کنند. اما در صورتی که عنصر نابهنجار موجود در صحنه دارای شکل، بافت، رنگ و مشخصات مکانی مشابه با پیش‌زمینه باشد، امکان شناسایی هدف با تصاویر رزولوشن مکانی بالا میسر نخواهد بود. این جا است که برای تفکیک‌پذیری میان پیش‌زمینه و هدف نابهنجار موجود در آن باید از اطلاعات طیفی بهره برد. تصویربرداری ابرطیفی امکان اخذ تصویر از

یک منطقه در تعداد طول موج زیاد و به هم پیوسته را فراهم می‌کند. در نتیجه به جای یک تصویر حاوی اطلاعات مکانی، یک مکعب از اطلاعات را خواهیم داشت که در دو بعد دارای اطلاعات مکانی و در بعد سوم حاوی اطلاعات طیفی است. حجم زیاد اطلاعات طیفی با ارزش موجود در تصاویر ابرطیفی امکان تفکیک میان عناصر مختلف حتی با امضای طیفی مشابه را با دقت و جزئیات بالا فراهم می‌آورد. آشکارساز آر-ایکس^۱ اولین روش آشکارساز نابهنجاری توسط تصاویر ابرطیفی است که حدود بیست و هفت سال پیش معرفی شد [۸] و تاکنون نیز در میان پژوهشگران به دلیل سادگی در اجرا جایگاه ویژه‌ای دارد. این آشکارساز با فرض این که پیش‌زمینه دارای توزیع نرمال چند متغیره است، از فاصله ماهلانوبیس^۲ توزیع گوسی برای تعیین احتمال تعلق هر پیکسل از تصویر به پیش‌زمینه استفاده می‌کند. این روش زمانی کارا است که فرض توزیع گوسی (نرمال) صحت داشته باشد. این در حالی است که در بسیاری از سناریوهای واقعی، با یک پیش‌زمینه غیرهمگن دارای توزیع پیچیده روبرو هستیم که توزیع نرمال برای بیان آن کفایت نمی‌کند. در این حالت، استفاده از فرض اشتباه گوسی باعث آلوده شدن اطلاعات پیش‌زمینه توسط اطلاعات اهداف نابهنجار یا سیگنال‌های نویز شده و در نتیجه سبب شناسایی اشتباه تعدادی از سیگنال‌های نویز و یا پیش‌زمینه به جای نابهنجاری‌ها می‌شود.

به منظور کاهش اثر نویز و ناهنجاری در تخمین اطلاعات پیش‌زمینه و افزایش دقت تخمین آمارگان آن (بردار میانگین و ماتریس کواریانس) در سال ۲۰۱۴ دو روش RX وزن‌دار^۳ و RX بر مبنای فیلترینگ خطی^۴ [۹] معرفی شدند. آشکارساز RX وزن‌دار وزن‌های متفاوتی را به نمونه‌های پیش‌زمینه اختصاص می‌دهد. این در حالی است که در آشکارساز RX، برای محاسبه بردار میانگین و ماتریس کواریانس پیش‌زمینه به تمامی پیکسل‌ها وزن یکسانی نسبت داده می‌شود. به منظور حفظ سیگنال پیش‌زمینه و کاهش اثر سیگنال‌های غیر پیش‌زمینه، RX وزن‌دار به پیکسل‌های نزدیک‌تر به پیش‌زمینه نسبت به پیکسل‌هایی که از پیش‌زمینه دور هستند، وزن بیشتری اختصاص می‌دهد. با ایده‌ای مشابه به روش RX وزن‌دار، آشکارساز LF-RX با اعمال یک فیلترینگ خطی بر روی تصویر، اثر پیکسل‌های نزدیک به پیش‌زمینه را در تخمین آمارگان پیش‌زمینه افزایش می‌دهد. آشکارساز زیرفضای وفقی^۵

1. RX (Reed Xiaoli)
2. Mahalanobis Distanc
3. Weighted-RX
4. Linear Filter-based RX (LF-RX)
5. Adaptive Subspace Detector (ASD)

بر روی تصاویر ابرطیفی طراحی و معرفی شده‌اند، در این مقاله سعی می‌کنیم از این ظرفیت موجود استفاده و روش‌های کارایی آشکارسازی هدف برای تصاویر چندطیفی را بیابیم. جهت این ارزیابی از یک روش سازمان یافته بهره برده‌ایم تا یک سامانه آشکارساز مناسب طراحی و پیاده‌سازی نماییم. در ادامه، تعدادی از آشکارسازهای هدف تصاویر ابرطیفی را مرور و پس از آن در بخش بعد سامانه آشکارساز هدف برای تصاویر چندطیفی را معرفی می‌کنیم. نتایج آزمایش‌های انجام شده و جمع‌بندی مقاله در بخش‌های ادامه آمده است.

۲- آشکارسازهای هدف تصاویر ابرطیفی

در این قسمت به بیان تعدادی از روش‌های آشکارسازی هدف می‌پردازیم. در ابتدا تعدادی از روش‌های آشکارسازی هدف مبتنی بر امضای طیفی را بیان می‌کنیم.

۱-۲- فیلتر وقتی طیفی

فیلتر وقتی طیفی^{۱۲} بر مبنای این فرض ساخته شده است که پیش‌زمینه و هدف دارای توزیع گوسی با ماتریس کواریانس یکسان ولی میانگین متفاوت هستند. آزمون نسبت احتمال تعمیم یافته^{۱۳} به توزیع مفروض اعمال می‌شود تا خروجی آشکارساز به صورت رابطه (۱) حاصل شود.

$$D_{SMF} = \frac{s^T C_b^{-1} x}{\sqrt{s^T C_b^{-1} s}} \quad (1)$$

در رابطه (۱)، s امضای طیفی (بردار) هدف، x بردار طیفی نمونه تست و C_b ماتریس تخمین زده شده پیش‌زمینه است. با قرار دادن یک حد آستانه بر روی خروجی آشکارساز می‌توان اهداف را از پیش‌زمینه جدا کرد.

۲-۲- آشکارساز زیرفضای وقتی

در آشکارساز زیرفضای وقتی^۴، پیکسل هدف به صورت یک ترکیب خطی از امضای طیفی هدف و امضای طیفی پیش‌زمینه مدل می‌شود. در این روش نیز با اعمال آزمون نسبت احتمال تعمیم یافته، خروجی آشکارساز به صورت رابطه (۲) حاصل می‌شود.

$$D_{MSD} = \frac{x^T (I - P_b) x}{x^T (I - P_{tb}) x} \quad (2)$$

در رابطه (۲) داریم:

که از یک مدل مخلوط بهره می‌برد، می‌تواند در جداسازی پیکسل‌های مخلوط پیش‌زمینه و هدف مناسب باشد [۲۱].

آشکارساز معمول RX روابط مرتبه بالاتر بین باندهای طیفی در طول موج‌های مختلف را در نظر نمی‌گیرد. روابط غیرخطی بین باندهای طیفی مختلف می‌تواند برای تفکیک دقیق‌تر بین هدف و پیش‌زمینه مورد بهره‌برداری قرار بگیرند. به علاوه همان‌طور که بیان شد، فرض توزیع گوسی (نرمال) در الگوریتم RX همیشه فرض معتبری نیست. برای رفع موارد ذکر شده، یک نسخه غیرخطی از الگوریتم RX در سال ۲۰۰۵ معرفی شد. در این نسخه غیرخطی، داده از فضای اولیه به یک فضا با بعد بالاتر نگاشت داده می‌شود که فرض گوسی در آن فضای بعد بالا معتبر خواهد بود. با استفاده از نگاشت غیرخطی اعمال شده، از همبستگی‌های بین باندهای طیفی برای پیاده‌سازی آشکارساز RX استفاده می‌شود. از آن‌جاکه پیاده‌سازی الگوریتم RX به دلیل بعد بالای فضای ویژگی به‌طور مستقیم امکان‌پذیر نیست، استفاده از حقه کرنل برای این امر پیشنهاد شده است. آشکارساز RX بر مبنای کرنل^۶ [۱۰] بر این مبنا شکل گرفته است. در بسیاری از تحقیقات فرض بر این قرار گرفته است که پیش‌زمینه و هدف نابه‌هنجار در دو زیرفضای مختلف قرار گرفته‌اند [۱۱]. در سال ۲۰۱۵ دو روش نوین آشکارسازی معرفی شد که بدون نیاز به داشتن فرضی در مورد توزیع پیش‌زمینه و یا تخمین آمارگان آن، از بیان‌های مختلفی برای تخمین پیش‌زمینه استفاده می‌کند. پس از تخمین پیش‌زمینه، با کم کردن آن از سیگنال تصویر دریافتی، تخمینی از سیگنال هدف نابه‌هنجار حاصل می‌شود. آشکارسازهای سی-آر-دی^۷ [۱۲] و بی-جی-اس-آر-دی^۸ [۱۳] در این دسته جای می‌گیرند. CRD و BJSRD به ترتیب از بیان مشارکتی^۹ و از بیان تنک^{۱۰} به این منظور استفاده می‌کنند. تعدادی از آشکارسازهای پیشنهادی دیگر از ویژگی‌های طیفی- مکانی تصاویر ابرطیفی، خواص ذاتی سیگنال پیش‌زمینه و یا بیان تنک استفاده می‌کنند [۲۱-۱۴]. از جمله آشکارسازهای غیر پارامتریک که بدون تخمین آمارگان و بر مبنای مدل‌سازی پیش‌زمینه و هدف کار می‌کنند، آشکارساز هدف بر مبنای تنک^{۱۱} می‌باشد که می‌تواند برای مدل‌سازی داده تصویر با داشتن یک دیکشنری مناسب از آن کارا باشد [۲۲].

از آن‌جاکه اکثریت آشکارسازهای معرفی شده برای اعمال

6. Kernel-RX (KRX)
7. Collaborative Representation Based Anomaly Detector (CRD)
8. Background Joint Sparse Representation Detection (BJSRD)
9. Collaborative Representation
10. Sparse Representation
11. Sparse Target Detector (STD)

12. Spectral Matched Filter (SMF)
13. Generalized Likelihood Ratio Test (GLRT)
14. Matched Subspace Detector (MSD)

(علمی-ترویجی)
مریم ایمانی

که در آن، x بردار پیکسل مورد نظر و S نیز سیگنال هدف و b ناهنجاری پیش‌زمینه است که توزیع نرمال آن با میانگین بردار μ و ماتریس کواریانس Σ است. اگر پیکسل تحت آزمایش r باشد، فاصله ماهالانویس بین پیکسل تحت آزمایش و میانگین بردار پیش‌زمینه خواهد بود:

$$D_{Global\ RX}(r) = (r - \mu)^T \Sigma^{-1} (r - \mu). \quad (10)$$

اگر فاصله D بدست آمده از رابطه (۱۰) از یک آستانه تعریف شده بزرگتر باشد، پیکسل تحت آزمایش یک ناهنجاری نامیده می‌شود. RX می‌تواند به صورت سراسری^{۱۷} و یا محلی^{۱۸} پیاده‌سازی شود. در آشکارساز RX سراسری از میانگین و ماتریس کواریانس کل تصویر به عنوان آمارگان پیش‌زمینه استفاده می‌شود. RX محلی اساساً یک نسخه از RX سراسری است که مدل پیش‌زمینه سراسری با یک مدل محلی جایگزین می‌شود. برای تشخیص ناهنجاری‌ها دو پنجره متحد‌المركز بر روی هر پیکسل در تصویر کشیده می‌شود. اندازه پنجره داخلی که باند محافظ نامیده می‌شود، اندازه هدف در تصویر است.

برای آشکارساز RX محلی معادله (۳) به صورت معادله (۴) اصلاح می‌شود که در آن μ_{local} میانگین بردار و Σ_{local} ماتریس کواریانس پیش‌زمینه محلی است (رابطه ۱۱).

$$D_{LRX}(r) = (r - \mu_{local})^T \Sigma_{local}^{-1} (r - \mu_{local}) \quad (11)$$

همان‌طور که قبلاً گفته شد، آشکارساز RX فاصله ماهالانویس بین پیکسل تحت آزمایش و داده‌های پیش‌زمینه را محاسبه می‌کند. چنانچه این فاصله از یک حد آستانه تعریف شده بیشتر باشد، آن پیکسل به عنوان ناهنجاری در نظر گرفته می‌شود. در این محاسبه میانگین μ و ماتریس کواریانس Σ از روی x_i ‌ها محاسبه می‌شود.

۲-۶- آشکارساز خط میانه-میانگین و RX (MML-RX)

روش آشکارساز خط میانه-میانگین و RX (MML-RX) در مرجع [۱۹] پیشنهاد شده است که از مزایای متریک خط میانه-میانگین در آشکارساز RX استفاده شود. یعنی برای محاسبه میانگین μ و ماتریس کواریانس Σ به جای پیکسل x_i از پیکسل $x_{i,mml}$ استفاده شود. همانطور که در شکل ۱ نشان داده شده است، پای عمود پیکسل x_i بر روی خط میانه-میانگین است.

$$P_b = BB^\#, \quad (3)$$

$$P_{tb} = [S B][S B]^\#, \quad (4)$$

که در آنها، S و B به ترتیب ماتریس هدف و پیش‌زمینه هستند که به ترتیب ستون‌های آن‌ها از امضای طیفی پیکسل‌های هدف و پیش‌زمینه تشکیل شده است. هم‌چنین $B^\#$ به معنای شبه معکوس ماتریس B است که از رابطه (۵) محاسبه می‌شود.

$$B^\# = (B^T B)^{-1} B^T \quad (5)$$

۲-۳- آشکارساز زیرفضای انطباقی

در روش آشکارساز زیرفضای انطباقی^{۱۵}، پیکسل هدف با استفاده از زیرفضای هدف متشکل از امضاها طیفی نمونه‌های هدف تقریب زده می‌شود. برای خروجی آشکارساز داریم:

$$D_{ASD} = \frac{x^T C_b^{-1} S (S^T C_b^{-1} S)^{-1} S^T C_b^{-1} x}{x C_b^{-1} x}. \quad (6)$$

که همه نمادها در قبل تعریف شده‌اند.

۲-۴- آشکارساز تصویر زیرفضای متعامد

آشکارساز تصویر زیرفضای متعامد^{۱۶} بر مبنای بیشینه کردن نسبت سیگنال به نویز داده هدف در زیرفضای متعامد به زیرفضای پیش‌زمینه کار می‌کند و دارای خروجی زیر است:

$$D_{OSP} = s^T (1 - BB^\#) x. \quad (7)$$

۲-۵- آشکارساز RX

آشکارساز RX یک روش پایه و البته پرکاربرد برای تشخیص ناهنجاری است. RX یک الگوریتم تشخیص ناهنجاری شناخته شده است که توزیع نرمال چند متغیره را برای داده‌های پیش‌زمینه در نظر می‌گیرد و فاصله ماهالانویس بین پیکسل تحت آزمایش و داده‌های پیش‌زمینه را محاسبه می‌کند. چنانچه این فاصله از یک حد آستانه تعریف شده بیشتر باشد، آن پیکسل به عنوان ناهنجاری در نظر گرفته می‌شود. آشکارساز RX بر مبنای این فرض کار می‌کند که پیش‌زمینه دارای توزیع گوسی چند متغیره است درحالی که این فرض همیشه مناسب نیست. با در نظر گرفتن توزیع گوسی چند متغیره برای پیش‌زمینه با میانگین μ_b و کواریانس Σ_b دو فرضیه داریم که عبارتند از:

$$H_0: x = b, \quad (8)$$

$$H_1: x = s + b, \quad (9)$$

17. Global RX

18. Local RX

15. Adaptive Subspace Detector (ASD)

16. Orthogonal Subspace Projection (OSP)

$$\mu_t = \frac{1}{n_t} \sum_{i=1}^{n_t} x_{t,i}, \quad (12)$$

$$\Sigma_t = \frac{1}{(n_t - 1)} \sum_{i=1}^{n_t} (x_{t,i} - \mu_t)(x_{t,i} - \mu_t)^T. \quad (13)$$

به طور مشابه، تخمین آمارگان پیش‌زمینه انجام خواهد شد. از آنجاکه تعداد نمونه‌های آموزشی مورد استفاده در عمل محدود است، برای جلوگیری از منفرد شدن ماتریس کواریانس پیش‌زمینه و هدف، آن‌ها را به صورت زیر تنظیم می‌کنیم:

$$\Sigma_b = \alpha \Sigma_b + (1 - \alpha) \text{diag}(\Sigma_b), \quad (14)$$

$$\Sigma_t = \alpha \Sigma_t + (1 - \alpha) \text{diag}(\Sigma_t), \quad (15)$$

که در آن، $0 \leq \alpha \leq 1$ یک ضریب تنظیم است که برابر با $\alpha = 0.5$ انتخاب شده است. با در نظر گرفتن x به عنوان سیگنال تست و t به عنوان بردار طیف، زاویه طیفی آن‌ها به صورت زیر تخمین زده می‌شود:

$$\theta = \arccos \left(\frac{x^T t}{\|x\| \|t\|} \right). \quad (16)$$

معیار SAM ممکن است وابستگی‌های غیرخطی را از دست بدهد. از این رو، از نگاهت به فضای هیلبرت^{۲۲} و حقه کرنل برای در نظر گرفتن روابط غیر خطی بین پیکسل تست و بردار طیف استفاده خواهیم کرد. نگاهت به فضای هیلبرت عبارتست از:

$$\Phi: \mathcal{X} \rightarrow \Omega, \\ \mathbf{x} \rightarrow \Phi(\mathbf{x}).$$

معیار شباهت (تابع کرنل) با استفاده از ضرب داخلی دو بردار نگاهت یافته تعریف می‌شود و داریم:

$$k(x_i, x_j) = \Phi(x_i) \cdot \Phi(x_j). \quad (17)$$

در این صورت، نسخه کرنل یافته SAM یعنی KSAM به صورت زیر قابل محاسبه است:

$$\theta = \arccos \left(\frac{\Phi(\mathbf{x})^T \Phi(\mathbf{t})}{\|\Phi(\mathbf{x})\| \|\Phi(\mathbf{t})\|} \right). \quad (18)$$

در این صورت زاویه طیفی بین دو نمونه با استفاده از کرنل‌ها خواهد شد و داریم:

$$\theta = \arccos \left(\frac{k(\mathbf{x}, \mathbf{t})}{\sqrt{k(\mathbf{x}, \mathbf{x}) k(\mathbf{t}, \mathbf{t})}} \right), \quad (19)$$

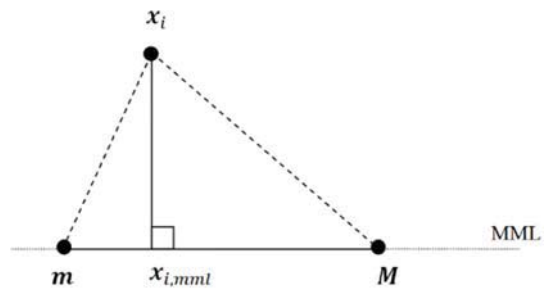
که در آن،

$$k(\mathbf{x}, \mathbf{t}) = e^{-\frac{\|\mathbf{x}-\mathbf{t}\|^2}{2\sigma^2}}. \quad (20)$$

آشکارساز DTD-KSAM فاصله بین پیکسل آزمون را از پیش‌زمینه و هدف محاسبه و از اختلاف آن‌ها به عنوان معیار آشکارسازی بهره می‌برد و عبارتست از:

مزیت استفاده از این روش آن است که داده پیش‌زمینه قابل اطمینان‌تری را فراهم می‌کند. زیرا در آشکارساز RX بدون استفاده از خط میانه-میانگین، ناهنجاری‌های پرت در برآورد آمار پیش‌زمینه سبب می‌شود که میانگین محاسبه شده با مقدار واقعی تفاوت زیادی داشته باشد و در نتیجه عملکرد آشکارساز RX تضعیف می‌شود.

برای مقابله با اثرات منفی ناشی از ناهنجاری‌های پرت و برای اصلاح موقعیت داده‌های پیش‌زمینه، از متریک خط میانه-میانگین جهت فراهم آوردن نمونه‌های پیش‌زمینه قابل اعتمادتر استفاده می‌شود. بنابراین، آمار پیش‌زمینه (میانگین و ماتریس کواریانس) پایدارتر و قابل اطمینان‌تر تخمین زده می‌شود.



شکل (۱): تصویر پیکسل x_i روی خط میانه-میانگین [۱۹].

۲-۷- آشکارسازهای بر مبنای زاویه طیفی

آشکارساز هدف بر مبنای تفاضل با استفاده از زاویه طیفی^{۱۹} معرفی شده در مرجع [۲۰] برخلاف سایر آشکارسازها که تنها فاصله بین پیکسل آزمون را تا پیش‌زمینه محاسبه می‌کنند، فاصله پیکسل تست را هم از پیش‌زمینه و هم از امضای طیفی هدف محاسبه می‌کند. این آشکارساز از نگاهت زاویه طیفی^{۲۰} بر مبنای کرنل^{۲۱} برای جداکردن اهداف از پیش‌زمینه در فضای غیرخطی با استفاده از حقه کرنل استفاده می‌کند. با در نظر گرفتن $\mathbf{X}_b = [x_{b,1}, x_{b,2}, \dots, x_{b,n_b}]$ و $\mathbf{X}_t = [x_{t,1}, x_{t,2}, \dots, x_{t,n_t}]$ به عنوان نمونه‌های آموزشی پیش‌زمینه و هدف با در نظر گرفتن هر کدام از نمونه‌های $\mathbf{x}_{b,i} \in \mathcal{R}^d$ و $\mathbf{x}_{t,i} \in \mathcal{R}^d$ در یک فضای d بعدی، بردار میانگین و ماتریس کواریانس پیش‌زمینه و هدف به صورت زیر تخمین زده می‌شوند:

19. Difference Based Target Detection (DTD) Using Kernelized Spectral Angle Mapper (KSAM): DTD-KSAM

20. Spectral Angle Mapper (SAM)

21. Kernelized Spectral Angle Mapper (KSAM)

22. Hilbert Space

که دارای امضای طیفی متفاوت نسبت به پیش‌زمینه است. گام دوم این است که آیا این عنصر نابه‌هنجار موجود در تصویر، هدف مورد علاقه ما است یا خیر. برای انجام گام دوم نیاز است که امضای طیفی هدف مورد علاقه از یک کتابخانه طیفی شناخته شده در دسترس باشد و یا یک فیلتر منطبق طیفی از مجموعه‌ای از نمونه‌های آموزشی طراحی شده باشد. آشکارسازی نابه‌هنجاری از جمله روش‌های شناسایی الگو هستند که برای شناسایی اهداف بسیار مورد توجه و علاقه‌اند. به عنوان نمونه، می‌توان به شناسایی یک هدف نابه‌هنجار از تصویر اخذ شده توسط یک ماهواره از یک منطقه وسیع از سطح زمین اشاره کرد. به عنوان یک مثال ساده فرض کنید که در یک منطقه بیابانی به دنبال یافتن یک شیء هستیم. در تصویری که از یک منطقه بیابانی اخذ شده است، بیابان پیش‌زمینه و شیء مذکور یک هدف نابه‌هنجار در این تصویر است. اگر این شیء دارای رنگ و شکل و بافت مشابه با پیش‌زمینه باشد، تصاویر معمولی تک بانده سیاه و سفید یا سه بانده رنگی اخذ شده در باند مرئی امکان شناسایی شیء هدف را نمی‌دهند. در این جا است که تصویربرداری ابرطیفی به کمک ما می‌آید. در این نوع تصویربرداری، تصویر اخذ شده در هر طول موج، اطلاعات و جزئیات متفاوتی در اختیار ما قرار می‌دهد. اطلاعات با ارزش طیفی در طول موج‌های طیفی متنوع و تعداد باندهای طیفی زیاد که توسط تصویر ابرطیفی فراهم می‌شود، امکان تفکیک بین پوشش خاک و شیء مذکور را فراهم می‌کند.

آشکارسازی اهداف با تصاویر ابرطیفی بر مبنای دسترس‌پذیری اطلاعات پیشین هدف به دو دسته کلی تقسیم می‌شود:

۱- هیچ اطلاعات پیشینی از طیف هدف مورد نظر در دسترس نمی‌باشد. این دسته از روش‌ها، آشکارسازی نابه‌هنجاری نامیده شده و جزء آشکارسازی هدف بدون نظارت محسوب می‌شوند. به عبارت ساده‌تر در این دسته مشخص نیست به دنبال چه می‌گردیم. فقط به دنبال یافتن عناصری از صحنه تصویربرداری هستیم که با سایر عناصر موجود در پیش‌زمینه تفاوت داشته و نابه‌هنجار محسوب می‌شوند.

۲- اطلاعات طیفی هدف (امضای طیفی آن) در دسترس است. این دسته از روش‌ها، آشکارسازی هدف به صورت نظارت شده هستند. در این دسته، هدف مورد علاقه جستجو مشخص است.

نابه‌هنجاری‌ها اهداف مورد علاقه‌ای هستند که دو مشخصه اصلی دارند. اولین و مهم‌ترین اهداف نابه‌هنجار، امضای طیفی

$$D_{DTD-KSAM}(x) = \arccos \left(\frac{k(x, \bar{x}_b)}{\sqrt{k(x, x)k(\bar{x}_b, \bar{x}_b)}} \right) - \arccos \left(\frac{k(x, \bar{x}_t)}{\sqrt{k(x, x)k(\bar{x}_t, \bar{x}_t)}} \right). \quad (21)$$

۲-۸- آشکارساز بر مبنای بیان تنک

تعدادی از روش‌های آشکارسازی هدف نیز بر مبنای مدل کار می‌کنند. از جمله معروف‌ترین و پرکاربردترین این روش‌ها می‌توان به روش آشکارسازی هدف بر مبنای بیان تنک^{۲۳} اشاره کرد. این آشکارساز یک تصویر را با استفاده از نمونه‌های هدف و پیش‌زمینه به صورت تنک تقریب می‌زند و از خطای تقریب برای آشکارسازی استفاده می‌نماید.

۳- سامانه آشکارسازی هدف برای تصاویر چندطیفی بومی ایران

آشکارسازی اهداف مورد علاقه و یا اهداف نابه‌هنجار از مهم‌ترین کاربردهای تصویربرداری ابرطیفی محسوب می‌شود. برخلاف روش‌های معمول تصویربرداری که اطلاعات از تصویر با رزولوشن مکانی بالا به دست می‌آیند، تصویربرداری ابرطیفی با بهره‌گیری از رزولوشن طیفی بالا، امکان تفکیک‌پذیری پیش‌زمینه و هدف را افزایش می‌دهد. تصاویر ابرطیفی اطلاعات قابل توجهی در مورد مشخصات طیفی مواد موجود در صحنه را فراهم می‌کنند. به نوعی یک اسپکترومتر ابرطیفی با تصویربرداری در صدها باند طیفی باریک به هم پیوسته، امکان شناسایی و آشکارسازی انواع خاصی از اشیاء یا عناصر موجود در صحنه را فراهم می‌کند. سنجنده‌های ابرطیفی که از ویژگی‌های انعکاس یا بازتابش اشیاء موجود در سطح زمین بهره می‌برند، اطلاعات داده‌های موجود در سطح زمین را در رنج وسیعی از باندهای مرئی و مادون قرمز فراهم می‌آورند. جمع‌آوری این اطلاعات، اجازه آشکارسازی و شناسایی اهداف مورد علاقه را با بهره‌گیری از امضای طیفی عناصر موجود در صحنه تصویربرداری می‌دهد.

۳-۱- فرآیند آشکارسازی

فرآیند آشکارسازی و شناسایی اهداف در تصاویر ابرطیفی حاوی دو مرحله اصلی است. گام اول شناسایی اهداف نابه‌هنجار است

(علمی-ترویجی)

طراحی سامانه آشکارسازی هدف در مناطق بومی ایران: مطالعه موردی آبادان و اهواز با استفاده از تصاویر ماهواره‌ای چندطیفی لندست ۸ و سنتینل ۲

پیکسل‌های تصویر به عنوان پیش‌زمینه انتخاب می‌شوند. سپس، ویژگی‌های مختلف پیش‌زمینه از جمله ویژگی‌های طیفی، شکلی و بافتی توسط فیلترهای مجزا در بلوک‌های نمایش داده شده، استخراج خواهد شد. پس از آن، این ویژگی‌ها برای تخمین آمارگان و بیان تقریبی پیش‌زمینه تصویر استفاده می‌شوند. تخمین هدف نابه‌هنجار با استفاده از پیش‌زمینه تخمین زده شده و روش‌های تقریب تصویر چون بیان مشارکتی^{۲۵} و بیان تنک^{۲۶} حاصل می‌شود.

سامانه آشکارساز نابه‌هنجاری (به اختصار سان) می‌تواند به دو صورت نظارت شده و بدون نظارت ارزیابی شود:

- **سان نظارت شده:** در این روش، نقشه عوارض زمینی و کتابخانه طیفی عناصر موجود در منطقه مورد مطالعه و یا نقشه صحت زمینی در دسترس است. در این صورت به راحتی می‌توان با مقایسه نقشه آشکارساز تولید شده با GTM موجود، میزان دقت آشکارساز را محاسبه نمود.

- **سان بدون نظارت:** در این روش، هیچ شناختی از منطقه مورد مطالعه نداریم و یا نوع پوشش، نقشه عوارض و غیره در دسترس نمی‌باشند. در این حالت، تنها روش برای ارزیابی دقت آشکارساز، تست میدانی و تطابق اهداف نابه‌هنجار شناسایی شده با عوارض زمینی موجود در منطقه مورد مطالعه است.

در فلوچارت‌های شکل ۴ دو حالت سان مشاهده می‌شود. در سامانه آشکارساز نابه‌هنجاری (سان) بدون نظارت، تصویر چندطیفی یا ابرطیفی به عنوان ورودی به سامانه و نقشه آشکارسازی و مدت زمان اجرا در خروجی به کاربر داده می‌شود. اعتبارسنجی نتیجه حاصل در این حالت توسط ارزیابی‌های میدانی به دست می‌آید. در حالت نظارت شده علاوه بر تصویر منطقه مورد مطالعه، کتابخانه طیفی عوارض زمینی و یا نقشه درستی منطقه (برچسب‌های پوشش‌های مختلف) در دسترس است. در این حالت، به دلیل در دسترس بودن نقشه درستی، امکان ارزیابی نقشه آشکارسازی در خروجی وجود دارد و دقت آشکارسازی هم به خروجی‌های سامانه افزوده می‌شود. همان‌طور که بیان شد، به دلیل عدم دسترسی به تصاویر ابرطیفی مناطق بومی ایران، از تصاویر چندطیفی اخذ شده توسط سنجنده‌های از راه دور استفاده خواهیم نمود.

متفاوت آن‌ها نسبت به پیکسل‌های پیش‌زمینه تصویر است. دومین مشخصه اهداف نابه‌هنجار، رخداد آن‌ها با احتمال پایین است. به عبارت دیگر، در حالی که پیکسل‌های پیش‌زمینه اکثریت پیکسل‌های تصویر را تشکیل می‌دهند، پیکسل‌های هدف نابه‌هنجار بخش کوچکی از تصویر اخذ شده را شامل می‌شوند.

شناسایی اهداف نابه‌هنجار با دقت مطلوب و سرعت معقول بسته به نوع کاربری دارای اهمیت ویژه‌ای در کاربردهای مختلف جستجو، نظارت و شناسایی هدف است. در تصاویر با پیش‌زمینه پیچیده نیاز به آشکارسازی است که با دقت بالایی قادر به تخمین پیش‌زمینه و شناسایی هدف نابه‌هنجار باشد. اکثر روش‌های کارا برای محیط‌های پیچیده به دلیل پیچیدگی محاسباتی بالا با تأخیر کار شناسایی را انجام می‌دهند. در این پژوهش به دنبال راه‌حلی برای مواجهه با این موضوعات چالش‌برانگیز می‌باشیم.

۳-۲- سامانه طراحی شده

در این جا نیازمند بررسی آشکارسازهای هدف مورد استفاده برای داده‌ها در سطح جهانی، پیاده‌سازی و بررسی عملکرد آن‌ها، شناسایی معایب و فواید آشکارسازهای موجود و سپس طراحی آشکارساز نابه‌هنجاری، آزمایش، عیب‌یابی و ارزیابی آن با استفاده از داده‌های در دسترس جهانی و داده‌های بومی ایران هستیم. با توجه به عدم دسترسی به تصاویر ابرطیفی مناطق بومی ایران از تصاویر چندطیفی موجود استفاده خواهیم نمود. مراحل انجام در شکل ۲ نشان داده شده است. سامانه آشکارساز نابه‌هنجاری (به اختصار سان) در ۲ حالت فوق دارای اجزای زیر است:

- **ورودی:** تصویر چندطیفی یا ابرطیفی، نقشه عوارض زمینی ناحیه تصویربرداری شده، کتابخانه طیفی عوارض زمینی موجود، نقشه صحت زمینی^{۲۴} در صورت وجود،
- **خروجی:** نقشه آشکارسازی، دقت آشکارسازی و مدت زمان آشکارسازی و
- **مدل:** هدف اصلی این پروژه طراحی مدل مناسب آشکارساز می‌باشد که یک نمای کلی از آن در شکل ۳ مشاهده می‌شود.

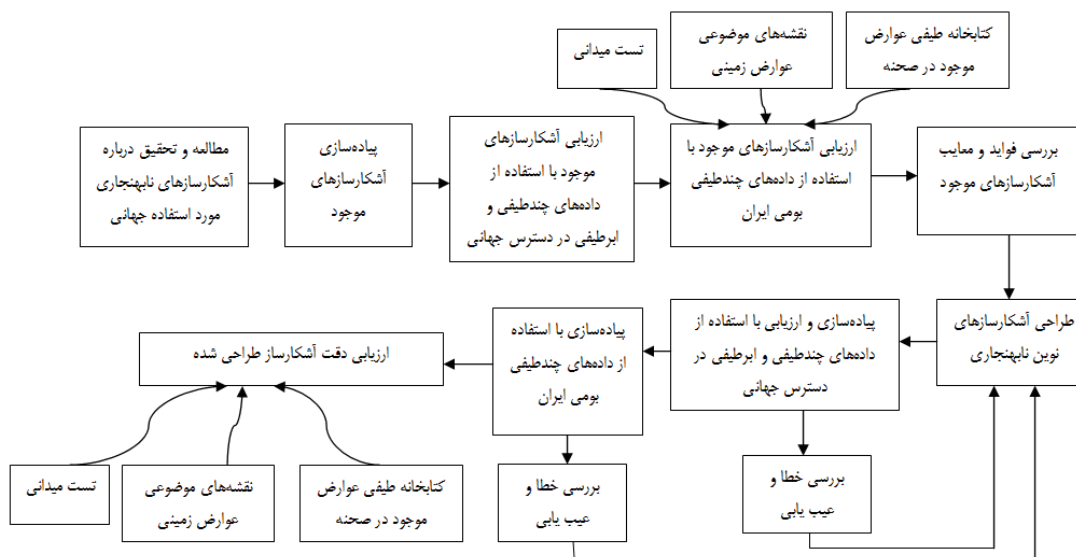
در مدل شکل ۳، یک سامانه آشکارساز اهداف نابه‌هنجار مشاهده می‌شود. جهت آشکارسازی، ابتدا زیرمجموعه‌ای از

25. Collaborative Representation

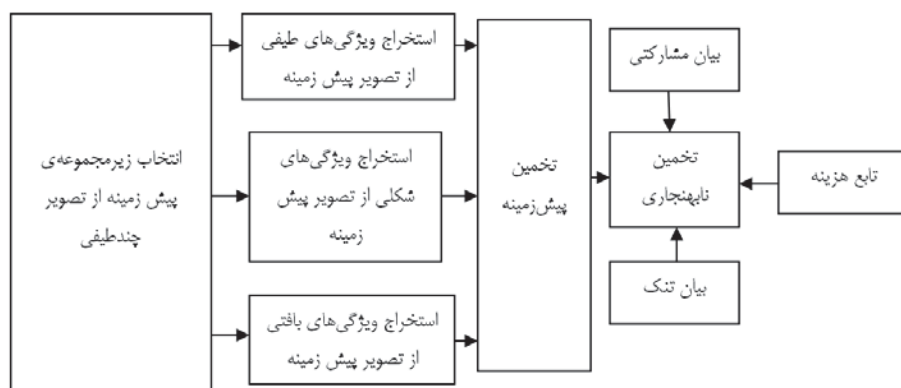
26. Sparse Representation

24. Ground Truth Map (GTM)

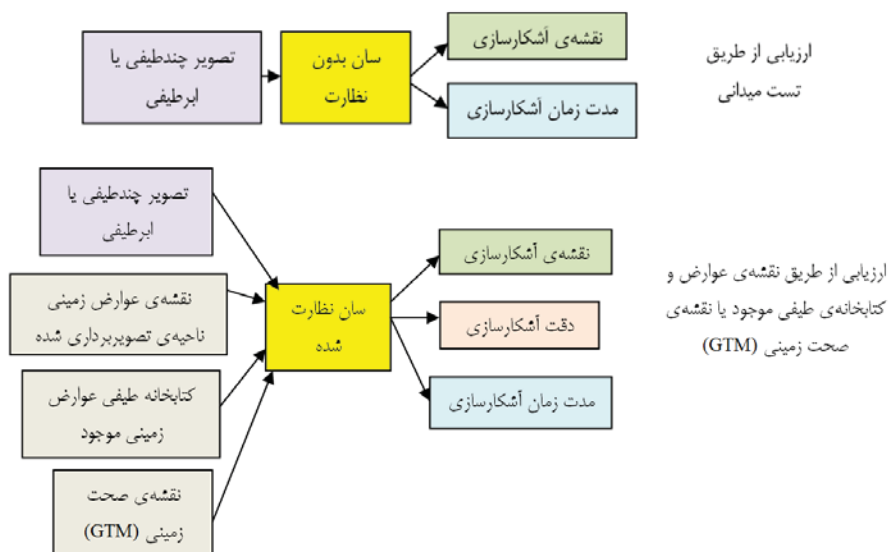
(علمی-ترویجی)
مریم ایمانی



شکل (۲): فلوچارت طراحی آشکارساز برای مناطق بومی ایران.



شکل (۳): سامانه آشکارساز ناپهنجاری (به اختصار سان).



شکل (۴): سان نظارت شده و سان بدون نظارت.

۴- آزمایش‌ها و بررسی نتایج

جهت آشکارسازی اهداف در سامانه طراحی شده از روش‌های آشکارسازی ساده و سریع استفاده کردیم که قابلیت استفاده در کارهای آنلاین را نیز داشته باشند. از این میان، آشکارسازهای مختلف $[23] SMF$ ، $[24] MSD$ ، $[21] ASD$ ، $[25] OSP^2$ ، $[26] SAM$ ، $[27] KSAM$ و $[22] STD$ جهت ارزیابی در سامانه مورد بررسی قرار گرفتند.

۴-۱- معیارهای ارزیابی کمی

معمولاً جهت ارزیابی کیفیت از منحنی مشخصه عملکرد گیرنده^۳ و سطح زیر منحنی^۴ استفاده می‌شود. یک منحنی ROC احتمال آشکارسازی P_d را در برابر نرخ آلودگی R_f رسم می‌کند که عبارتند از:

$$P_d = \frac{N_{cd}}{N_t} \quad (14)$$

$$R_f = \frac{N_{fd}}{N} \quad (15)$$

که در آن، N تعداد کل پیکسل‌های تصویر، N_t تعداد پیکسل‌های هدف، N_{cd} تعداد پیکسل‌های درست آشکارسازی شده N_{fd} تعداد نمونه‌هایی است که به اشتباه آشکار شده‌اند. آشکارسازی که نمودار ROC آن به سمت چپ بالا نزدیک‌تر است و یا AUC معادل آن بزرگتر است، کارتر می‌باشد.

در داده‌های ابرطیفی مورد آزمایش که نقشه درستی منطقه در دسترس است، ۱۰ درصد نمونه‌های برجسب‌دار در دسترس به صورت تصادفی از کل منطقه انتخاب و به عنوان نمونه‌های آموزشی در نظر گرفته شدند. ۹۰ درصد نمونه‌های باقی مانده نیز به عنوان نمونه تست استفاده شدند. اما در داده‌های چندطیفی بومی مورد استفاده که فاقد GTM هستند، نمونه‌های آموزشی از روی نقشه گوگل ارث^۵ در نظر گرفته شدند. در این حالت نیز ۱۰ درصد از کل تعداد پیکسل‌های تصویر شناسایی و برجسب زده شده و سپس به عنوان نمونه آموزشی مورد استفاده قرار گرفتند.

۴-۲- ارزیابی کمی بر روی تصاویر ابرطیفی

از آن‌جاکه برای ارزیابی کمی روش‌های آشکارسازی هدف به نقشه درستی (GTM) تصویر ناحیه مورد نظر نیاز است و برای

تصاویر چندطیفی در دسترس GTM فراهم نیست، از این رو ابتدا جهت ارزیابی کمی روش‌های پیشنهادی خود آن‌ها را بر روی دو داده ابرطیفی آزمایش می‌کنیم. سپس، در ادامه به ارزیابی کیفی روش‌ها بر روی داده‌های چندطیفی بومی می‌پردازیم. داده‌های ابرطیفی مورد استفاده جهت ارزیابی کمی از مناطق ساده انتخاب شده‌اند. این داده‌ها در بسیاری از پژوهش‌های دیگر به عنوان دیتاست‌های مرسوم جهت ارزشیابی روش‌های آشکارسازی هدف مورد استفاده قرار گرفته‌اند.

تصویر ابرطیفی سنديگو، توسط سنجنده اویریس^۶ اخذ شده است. این تصویر حاوی ۲۲۴ باند طیفی در طول موج ۰/۳۷-۲/۵۱ میکرومتر است که پس از حذف باندهای نویزی و جذب آب، ۱۸۹ باند طیفی باقی مانده است. از این تصویر ۴۰۰×۴۰۰ یک زیر ناحیه ۸۰×۸۰ برای انجام آزمایش‌ها انتخاب شده است. تصویر رنگ کاذب منطقه، تصویر باند ۱۹ زیرناحیه انتخابی و نقشه هدف متناظر با آن در شکل ۵ مشاهده می‌شود.

داده ساختگی (مصنوعی) براساس تکه‌ای از یک تصویر ابرطیفی واقعی ساخته شده است. این تصویر دارای ۱۸۶ باند طیفی است. رزولوشن مکانی تصویر ۳/۵ متر می‌باشد. جهت اطلاعات بیشتر در مورد نحوه ساخت این تصویر مصنوعی، خواننده به مرجع [۱۴] ارجاع داده می‌شود. تصویر رنگ کاذب به همراه نقشه هدف این داده در شکل ۶ مشاهده می‌گردد.

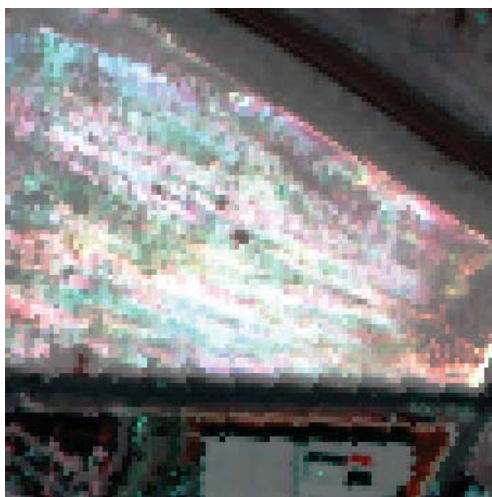
دقت و سرعت روش‌های آشکارسازی هدف در جدول ۱ (برای داده سنديگو) و جدول ۲ (برای داده ساختگی) مقایسه شده‌اند. مساحت زیر منحنی ROC (AUC) و زمان اجرای روش‌های مختلف در این جدول‌ها بیان شده‌اند. از نتایج به دست آمده، یافته‌های زیر قابل دریافت است:

۱- اگرچه روش STD در داده سنديگو بالاترین دقت (حدود ۹۷ درصد) را به دست آورده است، اما این آشکارساز در داده ساختگی، کارایی قابل توجهی از خود نشان نداده است. روش STD از بیان تنک استفاده می‌کند و تنها برای داده‌هایی کارایی عالی از حد نشان می‌دهد که به طور ذاتی تنک باشند و بیان تنک تقریب دقیقی از تصویر ارائه دهد. در ضمن، روش STD به دلیل محاسبات مربوط به حل مسئله بهینه‌سازی تنک، از کمترین سرعت در مقایسه با سایر روش‌های رقیب برخوردار است.

1. Matched Subspace Detector (MSD)
2. Orthogonal Subspace Projection (OSP)
3. Receiver Operating Characteristic (ROC)
4. Area under Curve (AUC)
5. Google Earth

(علمی-ترویجی)
مریم ایمانی

Synthetic data



Target map

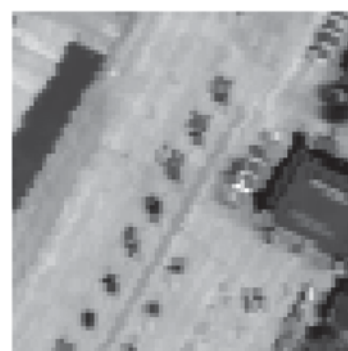
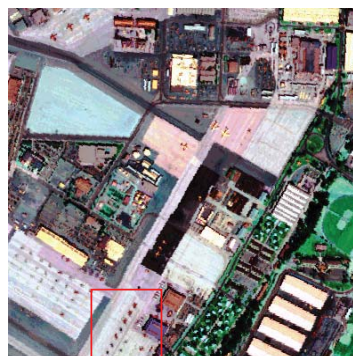


شکل (۶): تصویر رنگ کاذب منطقه و نقشه هدف دیتاست ساختگی.

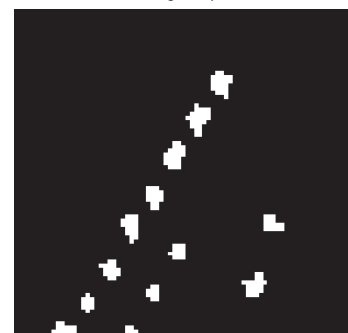
۲- روش ASD در هر دو دیتاست واقعی و ساختگی کارایی مناسبی از خود نشان داده است. این آشکارساز با بهره‌گیری از یک مدل مخلوط در جداسازی پیکسل‌های مخلوط پیش‌زمینه از هدف مناسب است. به طور کلی، می‌توان این آشکارساز را یک کاندید مناسب (از نظر دقت و سرعت) بیان کرد.

۳- اگرچه SAM سریعترین روش است ولی دارای کمترین دقت در داده سنديگو است و

۴- دو روش MSD و OSP در داده ساختگی دارای دقت زیر ۵۰ درصد هستند. بنابراین، این روش‌ها آشکارسازهای قابل اعتمادی نمی‌باشند.



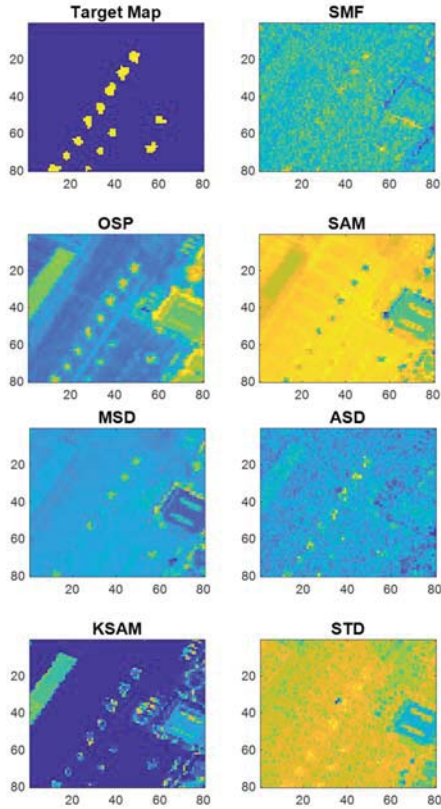
Target Map



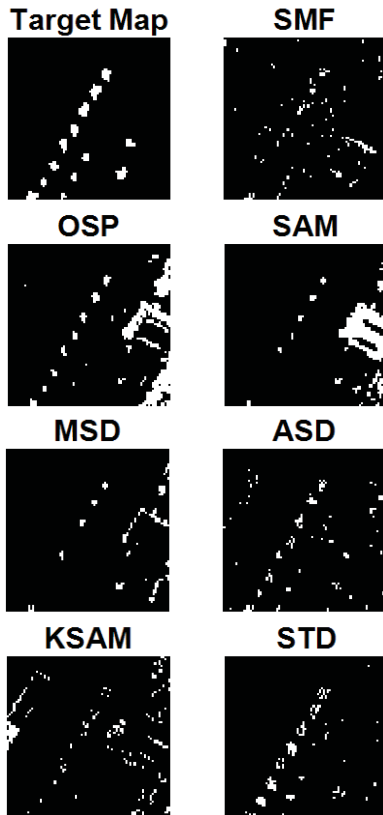
شکل (۵): تصویر رنگ کاذب منطقه، تصویر باند ۱۹ زیرناحیه انتخابی و نقشه هدف دیتاست سنديگو.

جدول (۱): نتایج کمی آشکارسازی داده سنديگو.

روش	AUC	زمان اجرا (ثانیه)
SMF	۸۰/۱۷	۰/۲۴
MSD	۸۶/۹۲	۰/۳۷
ASD	۹۰/۷۶	۱/۳۷
OSP	۸۶/۹۶	۰/۰۷
SAM	۴۰/۵۳	۰/۰۴
KSAM	۸۷/۵۳	۰/۱۰
STD	۹۷/۲۰	۸/۴۱



شکل (۸): نقشه رنگی خروجی آشکارساز برای داده سنديگو.

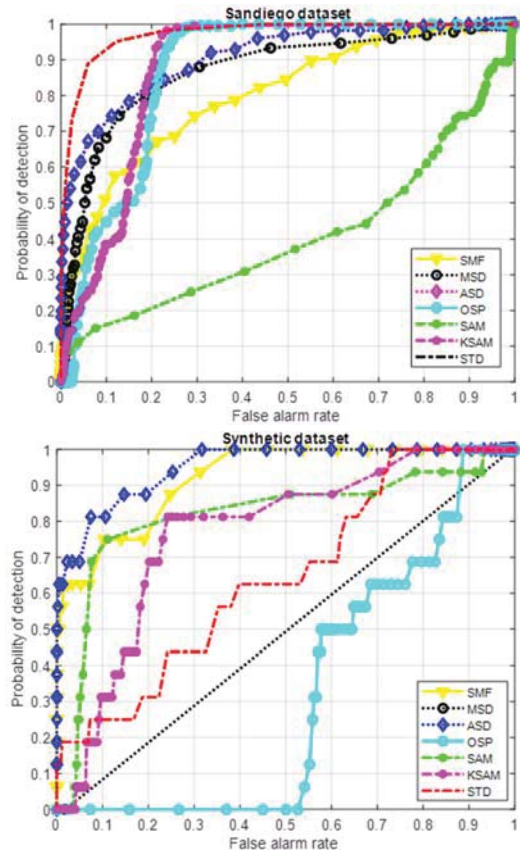


شکل (۹): نقشه باینری آشکارساز برای داده سنديگو.

جدول (۲): نتایج کمی آشکارسازی داده ساختگی.

روش	AUC	زمان اجرا (ثانیه)
SMF	۹۲/۱۰	۰/۲۰
MSD	۴۹/۳۶	۰/۶۳
ASD	۹۵/۱۱	۰/۰۶
OSP	۳۲/۰۵	۰/۰۸
SAM	۸۱/۷۰	۰/۰۳
KSAM	۷۶/۹۷	۰/۰۶
STD	۶۴/۴۸	۱۳/۵۲

نمودارهای ROC به دست آمده برای دو دیتاست در شکل ۷ نشان داده شده‌اند. برای داده سنديگو، نقشه رنگی خروجی آشکارساز در شکل ۸ نشان داده شده است. با قراردادن یک حد آستانه بر روی مقدار خروجی آشکارساز، نقشه آشکارسازی باینری (سیاه و سفید) حاصل شده است که در شکل ۹ نمایش داده شده است. نقشه‌های مذکور برای داده ساختگی نیز به ترتیب در شکل‌های ۱۱-۱۰ دیده می‌شوند.



شکل (۷): نمودارهای ROC آشکارسازهای مختلف، برای داده سنديگو (بالا) و داده ساختگی (پایین).

۴-۳- ارزیابی کیفی بر روی تصاویر چندطیفی

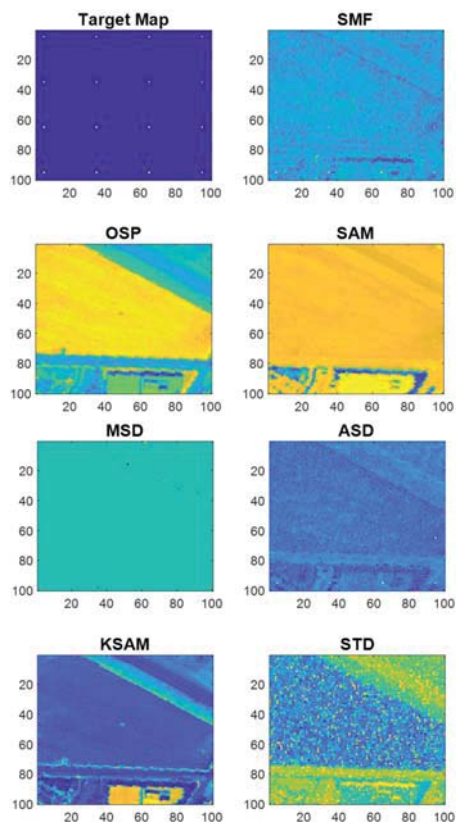
در این بخش، به ارزیابی سامانه آشکارساز هدف بر روی تصاویر بومی ایران خواهیم پرداخت. دو تصویر بومی در این آزمایش‌ها مورد بررسی قرار گرفته‌اند. تصویری از یک منطقه آبادان اخذ شده توسط ماهواره لندست ۸ و تصویری از منطقه‌ای در اهواز اخذ شده توسط ماهواره استنسپل ۲. جزئیات تصاویر مورد استفاده و نتایج آزمایش‌ها در ادامه ذکر شده است.

در آشکارسازی هدف به صورت نظارت شده چند نمونه با امضای طیفی مشخص را به عنوان هدف در نظر گرفته و در تصویر به دنبال شناسایی اهدافی با امضای طیفی خاص هستیم. از آنجاکه نقشه آشکارسازی تصاویر چندطیفی در دسترس در عمل مشخص نیست نمی‌توان از معیارهای ارزیابی ROC و AUC جهت محاسبه دقت آشکارسازی استفاده کرد. بلکه تنها با مقایسه چشمی نقشه هدف به دست آمده با تصویر ناحیه به دست آمده از گوگل ارث می‌توان تا حدودی به دقت آشکارساز مورد استفاده پی برد. آنچه به عنوان نمونه آموزشی طیف هدف به ورودی آشکارساز داده شده از خود تصویر انتخاب شده است. تعدادی از پیکسل‌های تصویر (کمتر از ۱۰ پیکسل) به عنوان نمونه آموزشی هدف مورد نظر در نظر گرفته شده‌اند.

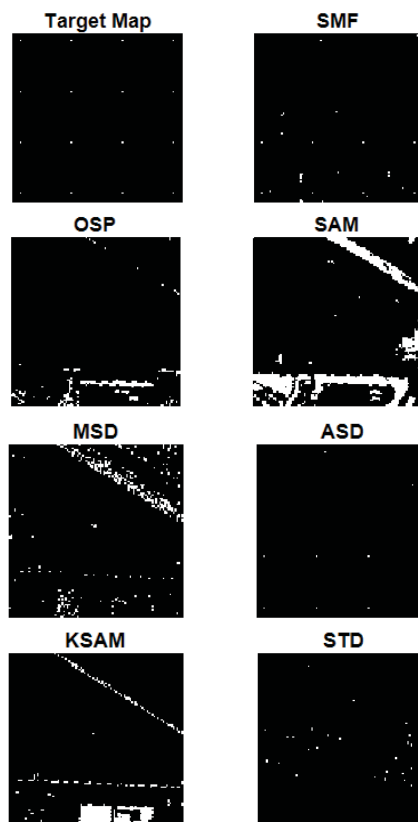
در آشکارسازی هدف (به صورت نظارت شده)، طیف هدف بایستی به طریق طیف‌سنجی میدانی به دست آمده و به عنوان ورودی آشکارساز داده شود. به دلایل زیر استفاده از امضای طیفی موجود در کتابخانه‌های طیفی چندان مناسب و کارا نیست:

۱- سنجنده‌ای که به وسیله آن کتابخانه طیفی به دست آمده با سنجنده‌ای که تصویر (داده) تست مورد آزمایش توسط آن اخذ شده، یکی نیست. ممکن است سنجنده کتابخانه طیفی یک سنجنده ابرطیفی باشد اما سنجنده‌ای که تصویر مورد آزمایش را اخذ کرده، یک سنجنده چند طیفی باشد. چطور از امضاهای طیفی کتابخانه‌ای که دارای ابعادی متفاوت با ابعاد داده است، استفاده کنیم؟ در ضمن رنج طول موج سنجنده‌ای که داده را اخذ کرده با رنج طول موج سنجنده‌ای که امضای طیفی کتابخانه را به دست آورده متفاوت است. با این موضوع چگونه برخورد کنیم؟

۲- در مورد داده لندست اگرچه در کتابخانه طیفی سازمان فضایی، امضای طیفی هر ماده را رسم کرده و مقدار طیف هر ماده را در باندهای سنجنده‌های مختلف مشخص کرده، اما مقادیر آن به صورت یک بردار ویژگی قابل دانلود نیست و فقط شکل امضای طیفی موجود

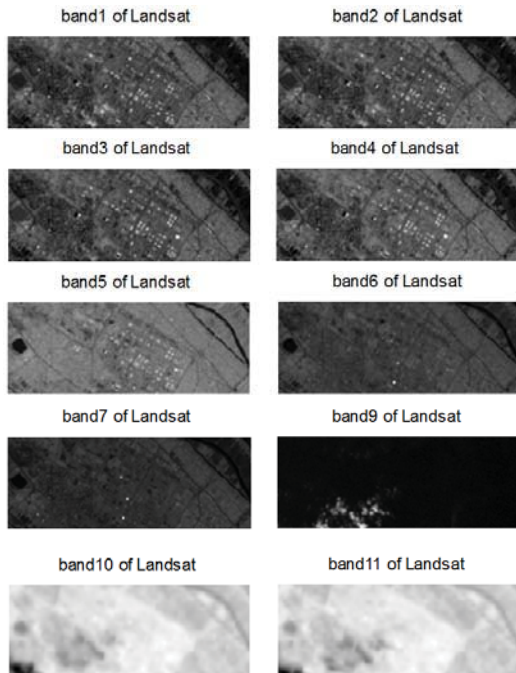


شکل (۱۰): نقشه رنگی خروجی آشکارساز برای داده ساختگی.



شکل (۱۱): نقشه باینری آشکارساز برای داده ساختگی.

شکل ۱۳ دیده می‌شود. باندهای طیفی سنتینل ۲ دارای ۳ رزولوشن مکانی متفاوت ۱۰، ۲۰ و ۶۰ متر است. تصویر ناحیه مرود مطالعه اهواز در ۳ باند با رزولوشن متفاوت در شکل ۱۴ نشان داده شده است.



شکل (۱۲): باندهای طیفی لندست ۸ تصویر آبادان (باند ۱ تا ۱۱ تصویر چندطیفی به جز باند ۸ نمایش داده شده‌اند).



شکل (۱۳): باندهای طیفی لندست ۸ تصویر آبادان (باند ۱ تا ۱۱ تصویر چندطیفی به جز باند ۸ نمایش داده شده‌اند).

است. ضمناً باندهای ۱۰ و ۱۱ (مادون قرمز حرارتی) موجود نیست.

۳- به دلیل عدم شناخت از صحنه‌ای که تصویر مورد آزمایش از آن اخذ شده، نمی‌دانیم دقیقاً به دنبال چه ماده‌ای با چه فرمول و طیفی باید در کتابخانه طیفی باشیم. به طور مثال، حتی اگر بدانیم که هدف مورد نظر از خاک پوشیده شده، تعداد بسیار زیادی از انواع خاک در کتابخانه طیفی وجود دارد که نمی‌دانیم کدام یک طیف هدف است. پس بهتر است از طریق تست میدانی، طیف چند نمونه را به عنوان نمونه آموزشی هدف به دست آوریم.

داده مربوط به منطقه آبادان توسط سنجنده لندست ۸ اخذ شده است. این داده از سایت <http://earthexplorer.usgs.gov> دانلود شده و دارای مشخصات زیر است: این تصویر در ۲۷ آوریل ۲۰۱۷ در مسیر^۸ ۱۶۵ و ردیف^۹ ۳۹۹ اخذ شده و کد مشخصه آن در سایت مذکور LC08_L1TP_165039_20170427_20170515_01_T 1 می‌باشد. باندهای طیفی لندست ۸ تصویر مورد مطالعه آبادان در شکل ۱۲ مشاهده می‌شوند. باند ۸ که پانکروماتیک است و دارای رزولوشن طیفی متفاوت در آزمایشات استفاده نشده است.

داده دوم مورد استفاده مربوط به تصویری حوالی شهر اهواز است که توسط ماهواره سنتینل ۲ اخذ شده است. این داده از سایت <https://scihub.copernicus.eu/dhus/#/home> دانلود شده و دارای مشخصات زیر است: تاریخ اخذ تصویر ۲۰۱۷/۰۶/۱۲ است و توسط سنجنده MSI و ماهواره سنتینل ۲ اخذ شده است. شناسه این تصویر در سایت مذکور S2A_MSIL1C_20170612T072301_N0205_R006_T39RTQ_20170612T072304 است.

دلیل انتخاب مناطق فوق این بوده است که این نواحی دارای عناصر و پدیده‌هایی با بافت، ساختار هندسی، شکل و اندازه‌های متفاوت و متنوع هستند. بنابراین، سنجش دقت آشکارسازها با اعتبار بالاتری انجام می‌شود. روش‌های مختلف آشکارسازی برای شناسایی اهدافی با شکل و اندازه متفاوت استفاده شده‌اند تا کارایی آن‌ها برای آشکارسازی ساختارهای متفاوت سنجیده شود.

تصویر گوگل ارث داده مورد استفاده در آزمایش‌ها در

7. Thermal Infrared
8. Path
9. Row

(علمی-ترویجی)
مریم ایمانی

داد. نتیجه آشکارسازی در شکل ۱۷ نشان داده شده است. هدف مورد مطالعه بعدی، نواحی دایره‌ای شکل نشان داده شده در شکل ۱۸ هستند. شعاع تقریبی هر دایره سفید رنگ به طور متوسط برابر ۲۶ متر و مساحت حدودی آن برابر ۲ کیلومتر است. جهت آشکارسازی این اهداف آشکارساز KSAM توسط سامانه انتخاب شد. نقشه آشکارسازی به دست آمده در شکل ۱۹ مشاهده می‌شود. هدف سوم مورد مطالعه در تصویر آبادان ناحیه‌ای به شعاع تقریبی ۱۴/۸۲ متر و مساحت حدودی ۰/۸۳/۶۹۳ کیلومتر است که در شکل ۲۰ با فلش قرمز رنگ نشان داده شده است. بزرگ شده این هدف نیز در شکل ۲۰ به رنگ آبی دیده می‌شود. جهت آشکارسازی این هدف آشکارساز KSAM کارایی مطلوبی از خود نشان داد که نتیجه آن در شکل ۲۱ مشاهده می‌شود.



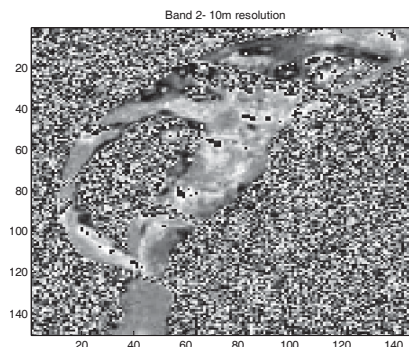
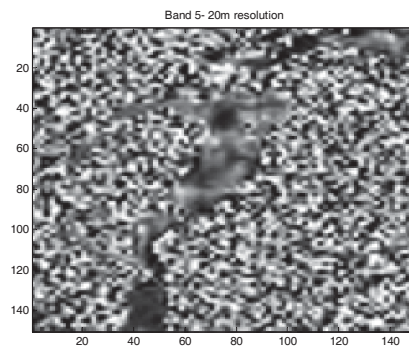
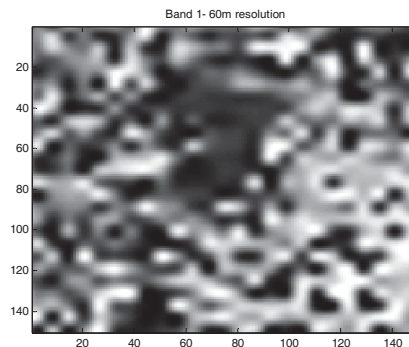
شکل (۱۵): اهداف مورد نظر جهت شناسایی در تصویر آبادان.



شکل (۱۶): هدف مورد مطالعه در تصویر آبادان (نواحی سبز رنگ) با مساحت ۳۴۰ متر در ۳۳۰ متر (شکل بالایی) و با طول ۲/۲۲ کیلومتر (شکل پایینی).



شکل (۱۷): نقشه آشکارسازی باینری اهداف مورد مطالعه در تصویر آبادان با مساحت ۳۴۰ متر در ۳۳۰ متر و با طول ۲/۲۲ کیلومتر.



شکل (۱۴): باندهای طیفی لندست ۸ تصویر آبادان (باند ۱ تا ۱۱ تصویر چندطیفی به جز باند ۸ نمایش داده شده‌اند).

۴-۴- نتایج آشکارسازی بر روی تصویر آبادان

در هر آزمایش، از میان آشکارسازهای معرفی شده در بخش ۱ و ۲ و با استفاده از سامانه طراحی شده در بخش ۳، آشکارساز مناسب برای آشکارسازی هر هدف تعیین و نقشه خروجی آشکارساز به دست آمده است. جهت ارزیابی درستی، نقشه آشکارساز حاصل شده با تصویر گوگل ارث آن مقایسه شده است. لازم به توضیح مجدد است که به دلیل عدم وجود نقشه درستی هدف (با برجسب‌های پیش‌زمینه و هدف) امکان ارزیابی کمی نتایج وجود ندارد.

در ابتدا دو هدف اولیه مورد جستجوی خود که به دنبال آشکارسازی آن‌ها هستیم را مشخص می‌نماییم. این اهداف در شکل ۱۵ با فلش و دایره قرمز رنگ مشخص شده‌اند. اهداف مورد نظر، در شکل ۱۶ بزرگ نمایی شده و مساحت و طول آن‌ها مشخص شده‌اند. برای این اهداف، آشکارساز ASD، دقت خوبی را برای شناسایی از خود نشان

(علمی-ترویجی)

طراحی سامانه آشکارسازی هدف در مناطق بومی ایران: مطالعه موردی آبادان و اهواز با استفاده از تصاویر ماهواره‌ای چندطیفی لندست ۸ و سنتینل ۲

خروجی آشکارساز RX سراسری اعمال شده بر تصویر آبادان در شکل ۲۲ مشاهده می‌شود. از مقایسه تصویر مورد مطالعه و نقشه آشکارساز به دست آمده مشخص می‌شود که پالایشگاه آبادان به عنوان یک هدف نابه‌هنجار (با امضای طیفی متفاوت نسبت به پیش‌زمینه) آشکار شده است.



شکل (۲۲): پالایشگاه آبادان به عنوان عنصر نابه‌هنجار در تصویر آبادان.

۴-۵- نتایج آشکارسازی بر روی تصویر اهواز

اولین هدف مورد نظر در منطقه اهواز و بزرگ شده این هدف جهت شناسایی در شکل ۲۳ نشان داده شده است. شعاع حدودی این هدف ۱۲/۰۲ متر و مساحت تقریبی آن نیز برابر ۴۵۵/۳۴ متر مربع است. آشکارساز KSAM برای شناسایی این هدف توسط سامانه انتخاب شده است و نتیجه آشکارسازی در شکل ۲۴ مشاهده می‌شود. هدف دوم جهت شناسایی بام ساختمانی به ابعاد حدودی ۲۰ متر در ۳۲ متر است. محل هدف و بزرگ شده آن در شکل ۲۵ مشاهده می‌شود. برای آشکارسازی این هدف هم آشکارساز KSAM انتخاب و نتیجه آشکارسازی در شکل ۲۶ مشاهده می‌شود.

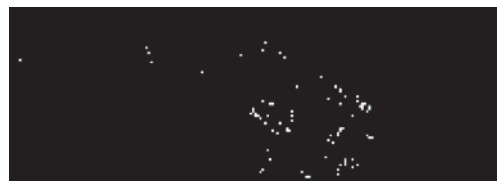


شکل (۲۳): بزرگ شده هدف اول تصویر اهواز ناحیه‌ای به مساحت

۴۵۵/۳۴ متر مربع.



شکل (۱۸): هدف مورد مطالعه در تصویر آبادان، نواحی دایره‌ای شکل با شعاع حدودی ۲۶ متر و مساحت حدودی برابر ۲ کیلومتر.



شکل (۱۹): نقشه آشکارسازی باینری اهداف نواحی دایره‌ای شکل در تصویر آبادان.



شکل (۲۰): هدف مورد مطالعه در تصویر آبادان، ناحیه‌ای به مساحت حدودی ۶۹۳/۰۸ کیلومتر.



شکل (۲۱): نقشه آشکارسازی باینری هدف مورد مطالعه در تصویر آبادان، ناحیه‌ای به مساحت حدودی ۶۹۳/۰۸ کیلومتر.

آن چه تا کنون انجام دادیم، آشکارسازی هدف به صورت نظارت شده بود. به این معنی که چند نمونه با امضای طیفی مشخص را به عنوان هدف در نظر گرفته و در تصویر به دنبال شناسایی اهدافی با امضای طیفی خاص بودیم. در ادامه یک آشکارسازی هدف بدون نظارت (آشکارسازی نابه‌هنجاری) انجام داده‌ایم. به این معنی که به صورت بدون نظارت در تصویر به دنبال شناسایی اهدافی با امضای طیفی متفاوت نسبت به پیش‌زمینه باشیم.

(علمی-ترویجی)
مریم ایمانی

شکل (۲۶): نقشه آشکارسازی هدف دوم تصویر اهواز، بام ساختمانی به ابعاد حدودی ۲۰ متر در ۳۲ متر.



شکل (۲۷): بزرگ شده هدف سوم تصویر اهواز، بامی به ابعاد حدودی ۲۹ متر در ۳۸ متر.



شکل (۲۸): نقشه آشکارسازی هدف سوم تصویر اهواز، بامی به ابعاد حدودی ۲۹ متر در ۳۸ متر.

هدف سوم جهت شناسایی بامی به ابعاد حدودی ۲۹ متر در ۳۸ متر است. محل هدف و بزرگ شده آن در شکل ۲۷ و نقشه آشکارسازی آن در شکل ۲۸ مشاهده می‌شود. جهت آشکارسازی این هدف از آشکارساز STD استفاده شده است که بر مبنای بیان تنک کار می‌کند. هدف چهارم جهت شناسایی، تکه‌ای زمین چمن در نزدیکی هتل پارس اهواز به ابعاد حدودی ۸ متر در ۲۱ متر است. تصویر این هدف و بزرگ شده آن در شکل ۲۹ قابل مشاهده است. جهت آشکارسازی این هدف نیز آشکارساز KSAM کارایی خوبی از خود نشان داد که نتیجه آن در شکل ۳۰ مشاهده می‌شود. هدف پنجم مورد شناسایی، جزیره تفریحی به ابعاد حدودی ۶ متر در ۱۷ متر است که تصویر آن و بزرگ شده‌اش در شکل ۳۱ مشاهده می‌شود. آشکارسازی این هدف با استفاده از آشکارساز KSAM انجام و نتیجه در شکل ۳۲ نمایش داده شده است.



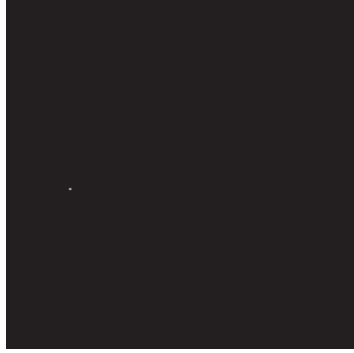
شکل (۲۴): نقشه آشکارسازی هدف اول تصویر اهواز، ناحیه‌ای به مساحت ۴۵۵/۳۴ متر مربع.



شکل (۲۵): هدف دوم تصویر اهواز، بام ساختمانی به ابعاد حدودی ۲۰ متر در ۳۲ متر.

(علمی-ترویجی)

طراحی سامانه آشکارسازی هدف در مناطق بومی ایران: مطالعه موردی آبادان و اهواز با استفاده از تصاویر ماهواره‌ای چندطیفی لندست ۸ و سنتینل ۲



شکل (۳۲): نقشه آشکارسازی هدف پنجم تصویر اهواز، جزیره تفریحی به ابعاد حدودی ۶ متر در ۱۷ متر.



شکل (۲۹): بزرگ شده هدف چهارم تصویر اهواز، تکه‌ای زمین چمن در نزدیکی هتل پارس به ابعاد حدودی ۸ متر در ۲۱ متر.

۴-۵- ابعاد اهداف شناسایی شده

ابعاد اهداف شناسایی شده در تصاویر آبادان (لندست ۸) و اهواز (استنسپل ۲) به طور خلاصه در زیر آمده است:

➤ در تصویر سنجنده لندست ۸ با رزولوشن مکانی ۳۰ متر، اهدافی به ابعاد مختلف از ۱۴ متر تا ۲ کیلومتر شناسایی شدند:

✓ ۳۴۰ متر در ۳۳۰ متر (شکل بالایی)

✓ ۲/۲۲ کیلومتر

✓ ۲۶ متر

✓ ۱۴/۸۲ متر

➤ در تصویر سنجنده سنتنسپل ۲ با رزولوشن مکانی ۱۰، ۲۰ و ۶۰ متر، اهدافی به ابعاد ۶ تا ۴۰ متر شناسایی شدند.

✓ ۱۲/۰۲ متر

✓ ۲۰ متر در ۳۲ متر

✓ ۲۹ متر در ۳۸ متر

✓ ۸ متر در ۲۱ متر

✓ ۶ متر در ۱۷ متر



شکل (۳۰): نقشه آشکارسازی هدف چهارم تصویر اهواز، تکه‌ای زمین چمن در نزدیکی هتل پارس به ابعاد حدودی ۸ متر در ۲۱ متر.



شکل (۳۰): بزرگ شده هدف پنجم تصویر اهواز، جزیره تفریحی به ابعاد حدودی ۶ متر در ۱۷ متر.

۵- نتیجه‌گیری

در این مقاله یک سامانه آشکارساز هدف برای انتخاب مناسب‌ترین آشکارساز برای تصاویر چندطیفی از مناطق بومی ایران طراحی و معرفی شد. از میان آشکارسازهای مختلف ASD، MSD، SMF، STD و KSAM، SAM، OSP جهت آشکارسازی اهداف مختلف مناطق بومی آبادان و اهواز با استفاده از تصاویر چندطیفی لندست ۸ و سنتینل ۲، بهترین کارایی به طور کلی توسط روش KSAM حاصل شد. نتایج آزمایش‌ها نشان داد این روش نسبت به سایر روش‌ها از هر دو جنبه دقت و سرعت کارایی بیشتری بر روی تصاویر چندطیفی حاصل می‌کند. این در حالی است که نتایج به

- [9] Guo, Q., Zhang, B., Ran, Q., Gao, L., Li, J., and Plaza, A., "Weighted-RXD and Linear Filter-based RXD: Improving Background Statistics Estimation for Anomaly Detection in Hyperspectral Imagery", *IEEE J. Sel. Topics Appl. Earth Observ. Remote Sens.*, Vol. 7, No. 6, pp. 2351–2366, 2014.
- [10] Kwon, H. and Nasrabadi, N.M., "Kernel RX-algorithm: A Nonlinear Anomaly Detector for Hyperspectral Imagery", *IEEE Trans. Geosci. Remote Sens.*, Vol. 43, No. 2, pp. 388–397, 2005.
- [11] Schaum, A.P., "Hyperspectral Anomaly Detection Beyond RX", *Proc. SPIE*, Vol. 6565, Art. No. 656502, 2007.
- [12] Li, W. and Du, Q., "Collaborative Representation for Hyperspectral Anomaly Detection", *IEEE Trans. Geosci. Remote Sens.*, Vol. 53, No. 3, pp. 1463–1474, 2015.
- [13] Li, J., Zhang, H., Zhang, L., and Ma, L., "Hyperspectral Anomaly Detection by the Use of Background Joint Sparse Representation", *IEEE J. Sel. Topics Appl. Earth Observ. Remote Sens.*, Vol. 8, No. 6, pp. 2523–2533, 2015.
- [14] Xu, Y., Wu, Z., Li, J., Plaza, A., and Wei, Z., "Anomaly Detection in Hyperspectral Images Based on Low-rank and Sparse Representation", *IEEE Trans. Geosci. Remote Sens.*, Vol. 54, No. 4, pp. 1990–2000, 2016.
- [15] Zhang, Y., Du, B., Zhang, L., and Wang, S., "A Low-rank and Sparse Matrix Decomposition-based Mahalanobis Distance Method for Hyperspectral Anomaly Detection", *IEEE Trans. Geosci. Remote Sens.*, Vol. 54, No. 3, pp. 1376–1389, 2016.
- [16] Ning, M., Yu, P., Shaojun, W., and Wei, G., "A Weight Sae Based Hyperspectral Image Anomaly Targets Detection", *2017 13th IEEE International Conference on Electronic Measurement & Instruments (ICEMI)*, Yangzhou, pp. 511–515, 2017.
- [17] Zhao, R., Du, B., Zhang, L., and Zhang, L., "Beyond Background Feature Extraction: an Anomaly Detection Algorithm Inspired by Slowly Varying Signal Analysis", *IEEE Trans. Geosci. Remote Sens.*, Vol. 54, No. 3, pp. 1757–1774, 2016.
- [18] Du, B., Zhao, R., Zhang, L., and Zhang, L., "A Spectral-spatial Based Local Summation Anomaly Detection Method for Hyperspectral Images", *Signal Process.*, Vol. 124, pp. 115–131, 2016.
- [19] Imani, M., "RX Anomaly Detector with Rectified Background", *IEEE Geoscience and Remote Sensing Letters*, Vol. 14, No. 8, pp. 1313–1317, 2017.
- [20] Imani, M., "Difference Based Target Detection Using Mahalanobis Distance and Spectral Angle", *International Journal of Remote Sensing*, 2018.
- [21] Kraut, S., Scharf, L.L., and McWhorter, L.T., "Adaptive Subspace Detectors", *IEEE Transactions on Signal Processing*, Vol. 49, No. 1, pp. 1–16, 2001.
- [22] Chen, Y., Nasrabadi, N.M., Tran, T.D., "Sparse Representation for Target Detection in Hyperspectral Imagery", *IEEE Journal of Selected Topics in Signal Processing*, Vol. 5, No. 3, pp. 629–640, 2011.

دست آمده بر روی تصاویر ابرطیفی تا حدی متفاوت بود. اگرچه آشکارساز KSAM برای تصاویر ابرطیفی هم نتایج نسبی خوبی حاصل کرد، اما آشکارساز ASD نسبت به آن از خود برتری نشان داد. به هر حال، از نظر سرعت اجرا روش KSAM بسیار سریعتر از ASD عمل می‌کند. آشکارساز STD نیز دقت آشکارسازی خوبی در هر دو مجموعه داده ابرطیفی و چندطیفی فراهم آورد. STD به دلیل محاسبات بالای حل مسئله بهینه‌سازی بیان تنک، کندترین روش از میان روش‌های مورد آزمایش بود. در ادامه این پژوهش می‌توان با ایجاد یک مصالحه بین دقت و سرعت، آشکارسازی طراحی نمود که در فعالیت‌های آشکارسازی برخط (آنلاین) بتواند با دقت و اعتبار بالایی کار شناسایی هدف را انجام دهد.

۶- قدرداری و تشکر

این مقاله توسط بنیاد ملی نخبگان حمایت شده است. به این وسیله از این سازمان قدردانی و تشکر می‌گردد.

۸- مراجع

- [1] Manolakis, D., Marden, D., and Shaw, G. A., "Hyperspectral Image Processing for Automatic Target Detection Applications", *Lincoln Lab. J.*, Vol. 14, No. 1, pp. 79–116, 2003.
- [2] Ma, L., Crawford, M.M., and Tian, J., "Local Manifold Learning Based K-nearest-neighbor for Hyperspectral Image Classification", *IEEE Trans. Geosci. Remote Sens.*, Vol. 48, No. 11, pp. 4099–4109, 2010.
- [3] Sakla, W., Chan, A., Ji, J., and Sakla, A., "A SVDD-based Algorithm for Target Detection in Hyperspectral Imagery", *IEEE Geosci. Remote Sens. Lett.*, Vol. 8, No. 2, pp. 384–388, 2011.
- [4] Imani, M., "Anomaly Detection from Hyperspectral Images, Using Clustering Based Feature Reduction", *Journal of the Indian Society of Remote Sensing*, Vol. 46, No. 9, pp. 1389–1397, 2018.
- [5] Du, B. and Zhang, L., "A Discriminative Metric Learning Based Anomaly Detection Method", *IEEE Trans. Geosci. Remote Sens.*, Vol. 52, No. 11, pp. 6844–6857, 2014.
- [6] Zhao, R., Du, B., and Zhang, L., "Hyperspectral Anomaly Detection via a Sparsity Score Estimation Framework", *IEEE Trans. Geosci. Remote Sens.*, Vol. 55, No. 6, pp. 3208–3222, 2017.
- [7] Imani, M., "Attribute Profile Based Target Detection Using Collaborative and Sparse Representation", *Neurocomputing*, Vol. 313, pp. 364–376, 2018.
- [8] Reed, I.S. and Yu, X., "Adaptive Multiple-band Cfar Detection of an Optical Pattern with Unknown Spectral Distribution", *IEEE Trans. Acoust., Speech Signal Process.*, Vol. 38, No. 10, pp. 1760–1770, Oct. 1990.

- Remote Sensing*, Vol. 32, No. 4, pp. 779-785, 1994.
- [26] Kruse, F.A., Lefkoff, A.B., Boardman, J.W., Heidebrecht, K.B., Shapiro, A.T., Barloon, P.J., and Goetz, A.F.H., "The Spectral Image Processing System (SIPS) Interactive Visualization and Analysis of Imaging Spectrometer Data", *Remote Sensing of Environment*, Vol. 44, No. 2, pp. 145-163, 1993.
- [27] Camps-Valls, G., "Kernel Spectral Angle Mapper", *Electronics Letters*, Vol. 52, No.14, pp. 1218-1220, 2016.
- [23] Robey, F.C., Fuhrmann, D.R., Kelly, E.J., and Nitzberg, R., "A CFAR Adaptive Matched Filter Detector", *IEEE Transactions on Aerospace and Electronic Systems*, Vol. 28, No. 1, pp. 208-216, 1992.
- [24] Scharf, L.L. and Friedlander, B., "Matched Subspace Detectors", *IEEE Transactions on Signal Processing*, Vol. 42, No. 8, pp. 2146-2157, 1994.
- [25] Harsanyi, J.C. and Chang, C.I., "Hyperspectral Image Classification and Dimensionality Reduction: an Orthogonal Subspace Projection Approach", *IEEE Transactions on Geoscience and*