

ارائه روشی جهت انتخاب باند برای آشکارسازی نظارت شده اهداف زیر پیکسلی در تصاویر ابرطیفی

شهرام شریفی هاشجین^{۱*}، علی درویشی بلورانی^۲، صفا خزائی^۳

^۱ دانشجوی دکتری سنجش از دور و سیستم‌های اطلاعات مکانی - گروه سنجش از دور و سیستم‌های اطلاعات مکانی

- دانشکده جغرافیا - دانشگاه تهران

sh.sharifi@ut.ac.ir

^۲ استادیار گروه سنجش از دور و سیستم‌های اطلاعات مکانی - دانشکده جغرافیا - دانشگاه تهران

ali.darvishi@ut.ac.ir

^۳ استادیار گروه مهندسی عمران - دانشگاه جامع امام حسین(ع)

skhazai@ihu.ut.ac.ir

(تاریخ دریافت دی ۱۳۹۴، تاریخ تصویب خرداد ۱۳۹۵)

چکیده

در دهه‌های اخیر مطالعات بسیاری در زمینه آشکارسازی هدف در تصاویر ابرطیفی انجام شده است. این در حالیست که در زمینه آشکارسازی هدف مطالعات کمتری نسبت به حوزه طبقه‌بندی جهت کاهش ابعاد و انتخاب باندهای مناسب انجام شده است. از طرفی در پردازش داده‌های سنجش از دور، انتخاب باند در حوزه پردازش تصاویر ابرطیفی نقش بسیار مهمی دارد. چرا که از مجموعه تمام باندهای تصویر، بهترین آنها را از لحاظ ارزش و تنوع اطلاعاتی جهت کاهش ابعاد داده و کاهش بار محاسباتی انتخاب می‌شوند. این مطالعه یک روش ساده برای انتخاب باندهای مناسب به منظور آشکارسازی اهداف زیرپیکسل از طریق حذف باندهای بد ارائه می‌نماید. این روش بر مبنای شناسایی باندهای بد از طریق مقایسه طیف آزمایشگاهی و میدانی در باندهای متناظر، باندهای بهینه شناسایی و جهت ورود به روش‌های آشکارسازی هدف معرفی می‌شوند. جهت ارزیابی روش ارائه شده از مجموعه داده ابرطیفی TDBT، چند روش انتخاب باند دیگر و پارامتر ارزیابی هشدار اشتباه استفاده شد. روش ارائه شده توانست نتایج آشکارسازی برای اهداف مختلف را در دو روش مطرح و متداول آشکارسازی هدف به نام‌های ACE و CEM بهبود ببخشد. در مجموع از میان تمام اهداف مورد ارزیابی تنها در ۱۲ درصد از موارد دقت آشکارسازی کاهش یافت. سرعت بالا، سادگی، بار محاسباتی پایین و زمان کوتاه پردازش از مزایای روش ارائه شده است.

واژگان کلیدی: تصاویر ابرطیفی، آشکارسازی هدف، انتخاب باند، طیف هدف

* نویسنده رابط

۱- مقدمه

امروزه، سنجنده‌های تصویربرداری ابرطیفی با تعداد بسیار زیاد باندهای طیفی، معمولاً از محدوده‌ی مرئی تا مادون قرمز موج متوسط طیف الکترومغناطیس، جهت استخراج اطلاعات از اشیاء و پدیده‌ها به طور گسترده مورد استفاده قرار می‌گیرند. در دهه‌ی اخیر، آشکارسازی اهداف بیش از پیش مورد توجه محققین قرار گرفته است [۱]. روش‌های آشکارسازی اهداف بر مبنای در اختیار داشتن یا نداشتن اطلاعات، بویژه امضاء طیفی، از اهداف به دو دسته نظارت شده و نظارت نشده تقسیم می‌شوند. آشکارسازی اهداف زیر پیکسل^۱ که در آنها هدف مورد نظر تنها بخشی از سطح پیکسل را می‌پوشاند، یکی از مهمترین چالش‌های کاربرد تصاویر ابرطیفی است. چرا که در پیکسل مورد نظر، طیف این اهداف با پدیده‌های مجاور دیگر ترکیب می‌شوند و تنها در حد بسیار کمی از پس‌طیف زمینه تصویر منحرف می‌شوند [۲].

آشکارسازی نظارت شده اهداف را می‌توان به عنوان یک طبقه‌بندی تک کلاسه در نظر گرفت. در این حالت با استفاده از نمونه‌های آموزشی کلاس هدف از سایر پیکسل‌های تصویر به عنوان کلاس زمینه تفکیک خواهند شد. نمونه‌های آموزشی برای کلاس هدف، همان امضای طیفی اهداف می‌باشد که در دو نوع آزمایشگاهی و یا میدانی مورد استفاده قرار می‌گیرند [۳-۶]. روش‌های آشکارسازی هدف را می‌توان به دو دسته آماری مانند خوشه‌بندی و غیرآماری مانند نزدیکترین همسایگی تقسیم نمود. این در حالی است که روش‌های آماری خود به دو دسته پارامتریک و غیرپارامتریک تقسیم‌بندی می‌شود. فیلتر انطباقی (۷ و ۸) یکی از روش‌های پرکاربرد و جامع با مدل پارامتریک در حوزه آشکارسازی نظارت شده اهداف می‌باشد. بسیاری از روش‌های امروزی آشکارسازی هدف خود برگرفته از روش فیلتر انطباقی می‌باشند. برخی از این روش‌های معروف عبارتند از: Constrained Energy Minimization (CEM) [۹ و ۱۰]، Adaptive Cosine Estimator (ACE) [۱۱] و Spectral Angle Mapper (SAM) [۱۲].

همچنین، تعداد بسیار بالای باندها در تصاویر ابرطیفی از مسائل مهم در آشکارسازی اهداف محسوب می‌شود.

همبستگی بالای این باندها باعث افزونگی داده می‌شود که خود مشکلات بعدی و از جمله پدیده‌ی هیوز^۲ [۱۳] را در پی خواهد داشت. از این رو موضوع انتخاب باندهای مناسب برای آشکارسازی هدف بسیار حائز اهمیت است. اما، بسیاری از روش‌های انتخاب باند با رویکرد استفاده جهت طبقه‌بندی تصویر ارائه شده‌اند و توجه کمتری به حوزه آشکارسازی اهداف معطوف شده است. بر این اساس، هدف اصلی این تحقیق ارائه‌ی یک روش ساده اما کارآمد جهت کمک به بهبود نتایج آشکارسازی نظارت شده اهداف از طریق حذف باندهای بد (نامناسب) می‌باشد.

Zhang و همکاران [۱۴] روشی نظارت نشده مبتنی بر شباهت بین باندها جهت حذف تعدادی از باندها و کاهش ابعاد داده پیشنهاد کردند. در این روش جهت ارزیابی شباهت بین باندها از شاخص SID-SAM استفاده گردید. نتایج این تحقیق بر روی دو مجموعه داده ابرطیفی حاوی اهداف چند-پیکسلی^۳ نشان داده است که کارایی الگوریتم ACE با اعمال روش پیشنهادی کاهش باند بهبود می‌یابد. Kang و همکاران (۲۰۱۵) [۱۵] نیز یک روش جدید انتخاب باند نظارت نشده به نام LBS^۴ را جهت آشکارسازی هدف در تصاویر ابرطیفی ارائه نمودند. LBS مسأله انتخاب باند را از حالت گسسته به یک مسأله بهینه سازی پیوسته جهت ارزیابی همزمان اهمیت همه باندها تبدیل می‌کند. نتایج این تحقیق بر روی دو مجموعه داده ابرطیفی نشان می‌دهد که بر مبنای الگوریتم آشکارسازی هدف CEM، LBS از کارایی خیلی بهتری نسبت به سه روش انتخاب باند MEV [۱۶]، BAO [۱۷] و VNVBS [۱۸] برخوردار است. Wang و همکاران (۲۰۱۳) [۱۹] با حذف باندهای نامناسب از طریق یک روش ترکیبی به نام Sorting Out-Direct Out دقت شناسایی هدف را در تصاویر ابرطیفی افزایش دادند. در این روش برحسب مقادیر بدست آمده در تابع هزینه مقادیر باندها مرتب سازی می‌شوند که در نهایت تعدادی از آنها انتخاب می‌شوند. روش ارائه شده، با نام BRS^۵، در مقایسه با سه روش کلاسیک انتخاب باند، به نام‌های SAM و OIF^۶ [۲۰] و استراتژی فاصله یابی باتاچاریا جوابهای بهتری داد.

^۲ Hughes^۳ Multi-pixel^۴ Least absolute shrinkage and selection operator-based band selection^۵ Band removed selection^۶ Optimum index factor^۱ Sub-pixel

دیگر، طیف میدانی اهداف در زمان نمونه برداری تحت تأثیر محیط پیرامون از قبیل اثرات اتمسفری، پوشش های گیاهی منطقه و بویژه پدیده جذب ناشی از بخار آب قرار می گیرد. در روش پیشنهادی، باندهای بد (نویزی و خطادار) را می توان از طریق مقایسه ی طیف میدانی با طیف آزمایشگاهی شناسایی نمود. در این تحقیق، این مقایسه از طریق تفاضل گیری بین دو طیف مذکور در تک تک باندهای متناظر انجام می شود. فرضیه اصلی در روش ارائه شده پیروی مجموعه اختلاف طیفی در همه باندها از یک توزیع نرمال با میانگین و واریانس مشخص می باشد. به این ترتیب، بر اساس این فرضیه و انتخاب یک حد آستانه ی مناسب، باندهایی که اختلاف طیفی آنها بر طبق توزیع نرمال به عنوان آنومالی شناسایی شوند به عنوان باندهای بد شناسایی می شوند و لذا می توان مجموعه ی باندهای بهینه را جهت آشکارسازی اهداف مشخص نمود. رابطه ی (۱) ایده ی پیشنهادی را به صورت ریاضی بیان می نماید.

$$\frac{d_i}{s_i} > \eta ; d_i = |b_i^L - b_i^F| \quad (1)$$

در رابطه بالا، b_i^F و b_i^L به ترتیب نشان دهنده ی مقدار باند i در طیف آزمایشگاهی و میدانی می باشند و d_i نشان دهنده ی اختلاف این دو طیف آزمایشگاهی و میدانی در باند i ام است. s_i معرف واریانس مقادیر $\{d_i\}_{i=1}^N$ می باشد. η نیز نشان دهنده ی یک حد آستانه ی مشخص است.

۲-۲- الگوریتم ACE

در این روش پارامترهای آماری زمینه نا معلوم است و زمینه تصویر بوسیله یک توزیع نرمال چند متغیره به شکل $N(\mu, \Gamma)$ مدلسازی می شود. که در آن μ و Γ به ترتیب نشان دهنده میانگین و انحراف معیار پیکسل های زمینه تصویر می باشد. اگر طیف هدف و زمینه تصویر را با t و b و فراوانی آنها را با α نمایش دهیم، می توان فرضیه حضور و عدم حضور هدف در پیکسل را با رابطه زیر نمایش داد.

$$\begin{aligned} H_0 : \alpha_b \cdot b + w \\ H_1 : \alpha_t \cdot t + \alpha_b \cdot b + w \end{aligned} \quad (2)$$

که در آن، w همان نویز additive زمینه تصویر می باشد. به این ترتیب می توان با استفاده از تست نسبت شباهت

Geng و همکاران (۲۰۱۳) روشی به نام HOSVD^۱ مبنی بر تأثیر طیف هدف بر روی تابع توزیع مقادیر پیکسل های تصویر ارائه نمودند [۲۱]. در این تحقیق از پارامتر چولگی جهت تعیین میزان انحراف از تابع توزیع استفاده گردید. ایشان روش ابداعی خود را با روش های PCA^۲ و FastICA مقایسه نمودند که نتایج حاکی از برتری روش پیشنهادی ایشان داشت.

در مطالعات مربوط به انتخاب باند جهت آشکارسازی اهداف، معمولاً توجه محققین بر روی باندهای تصویر و ارتباط بین این باندها بوده است. استفاده از شباهت، همبستگی، کوریانس و سایر پارامترهای آماری بین باندها جز موارد پرکاربرد در این حوزه می باشند [۱۴، ۱۹ و ۲۱]. اما مسئله ای که می توان به آن اشاره نمود عدم توجه محققین به خود طیف هدف می باشد، چرا که ممکن است طیف هدف در برخی از باندهای انتخابی تصویر دارای خطا باشد و لذا استفاده از این باندها موجب کاهش دقت آشکارسازی هدف شود. از این رو در این تحقیق شناسایی باندهای نامناسب از طریق مطالعه و تحلیل بر روی طیف هدف مورد توجه قرار گرفته است.

در ادامه این مقاله، در بخش ۲ روش های انتخاب باند و نیز الگوریتم های معروف آشکارسازی اهداف در سطح زیرپیکسل ACE و CEM به همراه مجموعه داده مورد استفاده ارائه می شوند. روش پیشنهادی نیز در بخش ۳ معرفی می شود. نتایج ارزیابی روش پیشنهادی در بخش ۴ بیان خواهد شد. در پایان (بخش ۵)، بحث و جمع بندی ارائه خواهد شد.

۲- مواد و روش ها

۲-۱- روش پیشنهادی

ایده اصلی روش پیشنهادی این تحقیق در انتخاب باندهای مناسب از طریق حذف باندهای بد بر مبنای مقایسه طیف های آزمایشگاهی و میدانی اهداف می باشد. از آنجایی که طیف آزمایشگاهی اهداف در شرایط استاندارد و با کمترین میزان نویز و تأثیرات اتمسفری تهیه می شود لذا می توان آن را به عنوان طیف ایده آل در نظر گرفت. از سوی

^۱ Higher Order Singular Value Decomposition

^۲ Principal component analysis

تعمیم یافته (GLRT) آشکارساز ACE را طبق معادله ۳ نمایش داد.

$$D_{ACE}(x) = \frac{(t^T \Gamma^{-1} x)^2}{(t^T \Gamma^{-1} t)(x^T \Gamma^{-1} x)} \quad (3)$$

در این روش نیز یک مقایسه شباهت بین طیف هدف و پیکسل‌های تصویر انجام می‌شود و بنابراین نیازی به شناخت مؤلفه‌های اصلی تصویر نیست.

۲-۳- الگوریتم CEM

در روش CEM بر مبنای بردار هدف (t) یک فیلتر ایجاد می‌شود که با اعمال بر روی داده‌های ابرطیفی یک تصویر جدید ایجاد می‌شود که در آن پیکسل‌های شبیه به طیف هدف برجسته خواهند شد [۶].

$$D_{CEM}(x) = \frac{t^T R^{-1} x}{t^T R^{-1} t} \quad D_{CEM}(x) = F \cdot x \quad (4)$$

در این معادله t ، طیف هدف و x پیکسل مورد آزمایش می‌باشد. R می‌تواند ماتریس همبستگی و یا کوریانس باشد. در روش CEM با اعمال یک قید مشخص، انرژی خروجی از اهداف نسبت به سایر پیکسل‌ها بیشینه خواهد بود. اگر این فیلتر را F بنامیم رابطه ۴ به شکل $D_{CEM}(x) = F \cdot x$ بیان خواهد شد که هدف، حل معادله کمینه کردن مقدار $F^T R F$ با اعمال شرط $t^T \cdot F = 1$ می‌باشد.

در واقع این قید باعث کمینه کردن اثر سایر پدیده‌ها بر روی خروجی از طریق اعمال قید بر روی خود طیف به جای فراوانی آن است و چون در این روش بر روی مقدار فراوانی تمرکز نمی‌شود استفاده از آن برای تعیین کمیت اهداف مناسب نخواهد بود. با توجه به اینکه از این روش تنها در آشکارسازی نظارت شده اهداف می‌توان استفاده نمود، این روش به منابع نویز و دقت طیف هدف بسیار حساس است. پس لازم است طیفی که به الگوریتم آشکارساز معرفی می‌شود دارای دقت کافی، به دور از منابع خطا و دارای بیشترین شباهت به طیف اهداف مورد نظر در داخل تصویر باشد. همانند متد ACE در این روش نیز یک مقایسه شباهت بین طیف هدف و پیکسل‌های تصویر انجام می‌شود و بنابراین نیازی به شناخت مؤلفه‌های اصلی تصویر نیست.

۲-۴- کاشت هدف در تصاویر ابرطیفی

در مطالعات بسیاری از کاشت هدف جهت ارزیابی روش‌های آشکارسازی هدف استفاده شده است [۲۲ و ۲۳]. اگر پیکسلی دارای طیف هدف باشد، می‌توان طیف آن پیکسل را به صورت یک ترکیب خطی از طیف دو بخش زمینه و هدف در نظر گرفت. اگر کسر f از این پیکسل مربوط به طیف هدف و کسر $(1-f)$ این پیکسل شامل طیف زمینه باشد آنگاه می‌توان آن را به شکل معادله ۵ نشان داد [۲۳]. در این معادله t و b به ترتیب نشان دهنده طیف هدف و زمینه هستند.

$$Z = f \cdot t + (1 - f) \cdot b \quad (5)$$

این روش اثرات جانبی که از تابش و پراکنده شدن تشعشعات طیف هدف به پیکسل‌های پس زمینه محلی ناشی می‌شود را در نظر نمی‌گیرد. از این رو در مطالعه [۲۲] معادله‌ای جدید جهت اعمال این اثرات بر روی پیکسل‌های جانبی ارائه گردید. ایشان از یک تابع گوسی به صورت رابطه‌ی ۶ به عنوان تابع گسترش تشعشعات هدف استفاده کردند. در این رابطه ρ_i فاصله فضایی بین پیکسل پس‌زمینه و پیکسل هدف و ω پهنای تابع گوسی است.

$$Z_i = \exp(-\rho_i^2 / \omega^2) \cdot f \cdot t + (1 - \exp(-\rho_i^2 / \omega^2) \cdot f) \cdot b_i \quad (6)$$

۲-۵- مجموعه داده مورد استفاده

جهت انجام آزمایشات و ارزش‌یابی روش ارائه شده از مجموعه داده TDBT^۱ [۲۴] استفاده گردید. این مجموعه داده شامل دو تصویر رادیانس و بازتاب از شهر کوک‌سیتی^۲ واقع در ایالت مونتانا^۳ آمریکا می‌باشد. همچنین موقعیت مکانی دقیق اهداف به عنوان داده حقیقت زمینی به همراه امضای طیفی میدانی و آزمایشگاهی آنها در این مجموعه موجود می‌باشد (شکل ۱). تصویر با استفاده از سنجنده هوایی HyMap در ۱۲۶ باند و به ابعاد ۸۰۰×۲۸۰ پیکسل و با قدرت تفکیک مکانی ۳ متر تهیه شده است. در هنگام تصویربرداری در محدوده زرد رنگ مشخص شده در شکل ۱،

^۱ Target Detection Blind Test

^۲ Cook city

^۳ Montana

تصحیحات رادیومتریک و اتمسفریبر روی یک تصویر رادیانس به دست آمده است. بنابراین به عنوان یک مجموعه داده مرجع نیازی به انجام پیش‌پردازش و اجرای تصحیحات متداول ندارد. در این مجموعه داده، طیف آزمایشگاهی اهداف در ۲۱۵۰ باند نمونه برداری شده است. لذا جهت مقایسه و تفاضل‌گیری بین این دو طیف آزمایشگاهی و میدانی لازم است طیف آزمایشگاهی هر هدف به ۱۲۶ باند تصویر نمونه‌برداری گردد. همچنین، با توجه به اینکه برای استفاده از هر یک از الگوریتم‌های انتخاب باند PRTTools به نمونه‌های آموزشی برای کلاس هدف نیاز است، لذا در این تحقیق، ۴۰ هدف به طور مصنوعی از طریق روش کاشت طیف اهداف، در تمام خوشه‌های اصلی تصویر ایجاد گردید. تصویر از طریق الگوریتم خوشه‌بندی K-means [۲۷] به ۵ بخش تقسیم گردید و طیف میدانی اهداف با توجه به تعداد پیکسل‌های هر خوشه، با یک توزیع متناسب کاشت گردید. جهت کاشت اهداف ابعاد پنجره پیرامونی ۵×۵ و همچنین مقدار ω برابر با $\sqrt{2}$ در نظر گرفته شده است. ۴۰ پیکسل کاشته شده به عنوان نمونه‌های آموزشی مربوط به هدف به همراه ۱۶۰ پیکسل تصادفی از پس زمینه به الگوریتم‌های انتخاب باند PRTTools معرفی گردیدند. همچنین در این تحقیق، مقدار η برابر با ۲ در نظر گرفته شد که تا حدودی معرف آشکارسازی ناهنجاری‌ها در سطح اطمینان ۰/۹۵ برای تابع توزیع نرمال می‌باشد.

۳-۲- عملکرد روش پیشنهادی

باند‌های نمونه نمونه‌برداری شده و میدانی اهداف F3، F4، F5 و F6 در شکل ۲ نشان داده شده‌اند.

۱۰ هدف مشخص در منطقه چمن‌زار قرار داشته‌اند. ویژگی‌های تک‌تک اهداف زیرپیکسل در جدول ۱ ارائه شده است. طیف آزمایشگاهی و میدانی این اهداف به ترتیب دارای ۲۱۵۰ و ۱۲۶ باند می‌باشد.



شکل ۱- تصویر HYMap، کادر زرد رنگ محل اهداف را نشان می‌دهد.

جدول ۱- مشخصات اهداف زیر-پیکسل به متر

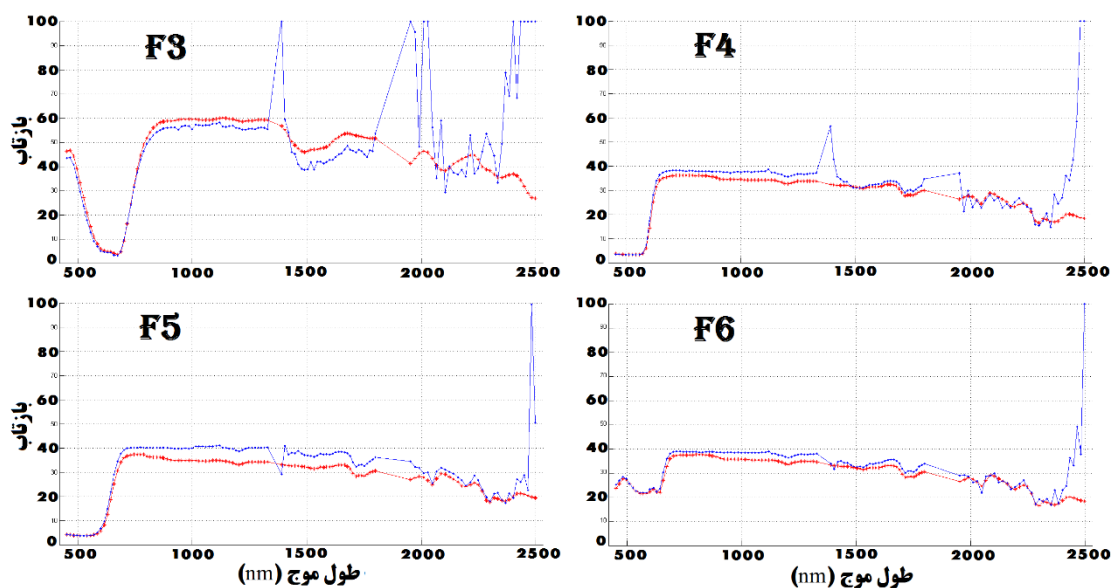
نوع	اندازه	نام	نوع	اندازه	نام
نایلون زرشکی	2×2	F5a	پارچه آبی	2×2	F3a
نایلون زرشکی	1×1	F5b	پارچه آبی	1×1	F3b
نایلون خاکستری	2×2	F6a	نایلون قرمز	2×2	F4a
نایلون خاکستری	1×1	F6b	نایلون قرمز	1×1	F4b

۳- نتایج تجربی و بحث

در این بخش، کارایی استفاده از روش پیشنهادی انتخاب باند در مقایسه با استفاده از تمام باند‌های تصویر (۱۲۶ باند)، یک مجموعه باند انتخاب شده‌ی تجربی و نیز ۶ مجموعه باند انتخابی توسط جعبه ابزار معروف PRTTools [۲۵]، برای آشکارسازی اهداف زیرپیکسلی از طریق الگوریتم‌های ACE و CEM که در محیط MATLAB پیاده‌سازی شده‌اند بر روی مجموعه داده‌ی TDBT مورد ارزیابی قرار می‌گیرد. جهت پیاده‌سازی روش‌های آشکارسازی هدف نیز از محیط MATLAB استفاده گردید. مجموعه باند‌های انتخابی تجربی شامل ۹۰ باند بهینه معرفی شده توسط Gerg [۲۶] است و مجموعه باند‌های انتخابی توسط جعبه ابزار معروف PRTTools شامل ۶ روش متداول انتخاب باند به نام‌های Pudil's floating Branch، Forward، Plus-L-takeaway-R، Individual، and bound و Backward می‌باشد.

۳-۱- پیش‌پردازش

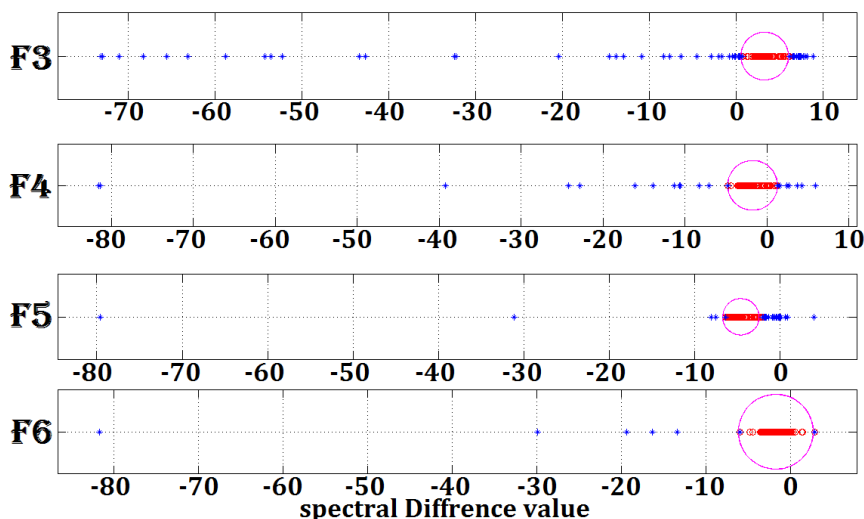
تصویر فراطیفی مجموعه داده TDBT یک تصویر بازتابی زمین مرجع شده است که از طریق اعمال



شکل ۲- طیف آزمایشگاهی (قرمز) و میدانی (آبی) اهداف زیرپیکسل

دایره و به مرکزیت آن می‌توان باندهای مناسب و نامناسب را به ترتیب در داخل و خارج از دایره مشاهده نمود (شکل ۳). همان طور که در این شکل نشان داده شده است باندهای بد به رنگ آبی و باندهای انتخاب شده به صورت نقاط قرمز مشخص شده‌اند. از طرفی باندهایی که دارای خطای بیشتری هستند در فواصل دورتری از دایره قرار می‌گیرند.

بر اساس این اختلاف‌ها، باندهای بد قابل شناسایی هستند. برای هر هدف، مقادیر اختلاف طیفی با استفاده از روش پیشنهادی محاسبه گردید. بر روی این مجموعه مقادیر اختلاف‌ها می‌توان یک تابع توزیع نرمال با میانگین و انحراف معیار مشخص برازش داد. در این تحقیق برای هر هدف یک دایره به مرکزیت میانگین و شعاع $2/5$ برابر انحراف معیار تعریف گردید. با قراردادن این مقادیر بر روی



شکل ۳- مقادیر تفاضل بین بازتاب دو طیف آزمایشگاهی و میدانی در ۱۲۶ باند تصویر برای اهداف مختلف

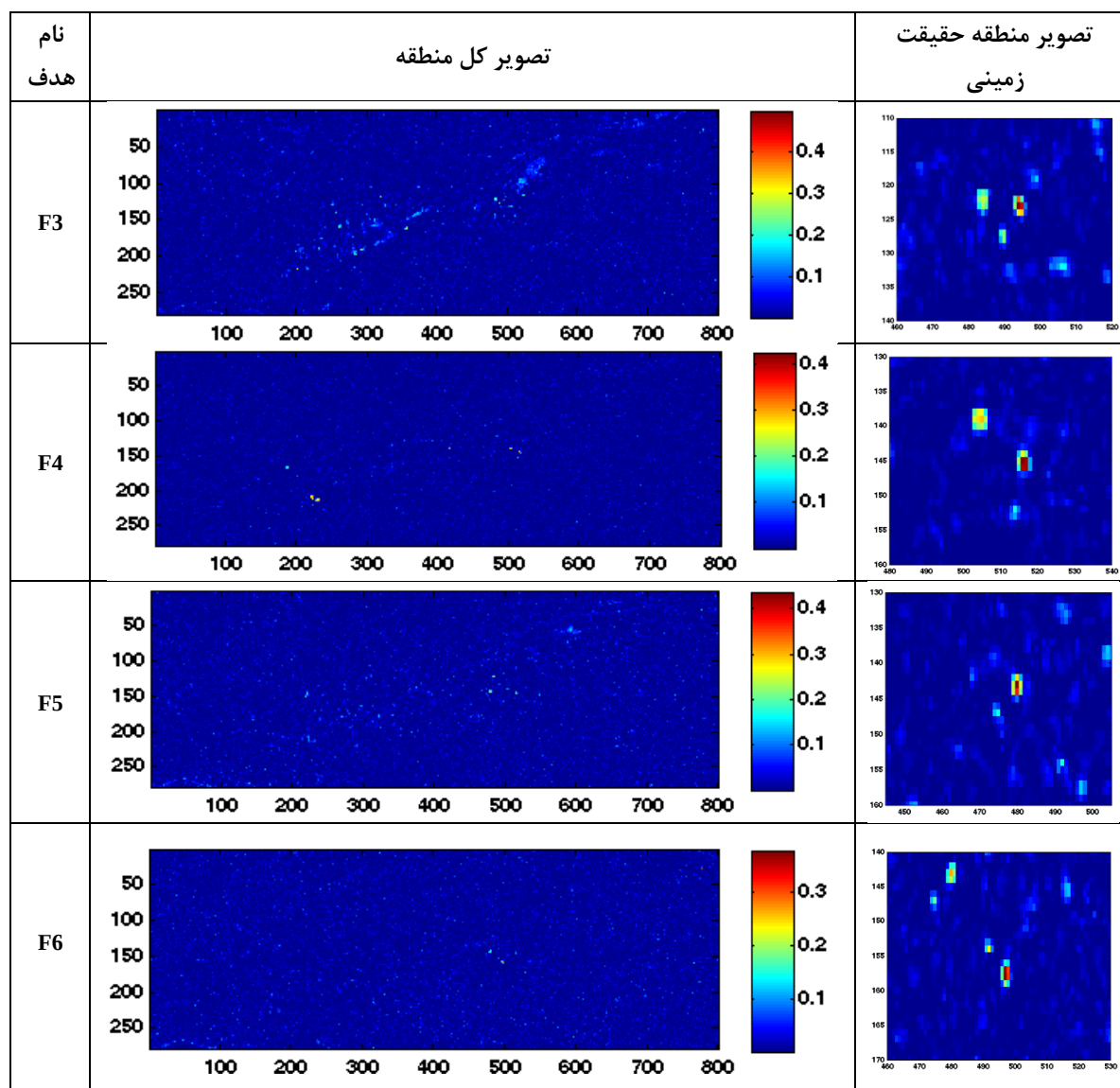
نتایج نشان داده شده در شکل ۳ مؤید همین مسأله و البته کارایی روش ارائه شده در شناسایی طیف‌های مخدوش است. تعداد باندهای حذف شده برای اهداف F3, F4, F5 و F6 به ترتیب برابر است با ۵۴، ۱۸، ۳۲ و ۵ باند که شماره باندهای حذف شده در جدول ۲ ارائه شده است.

همانطور که در شکل ۲ مشهود است، با توجه به اختلالات موجود، طیف میدانی هدف F3 بیشتر از سایر اهداف تحت تأثیر منابع خطا قرار گرفته است و مخدوش است. به این ترتیب انتظار می‌رود با پیاده سازی روش ارائه شده بیشترین تعداد حذف باند در این هدف اتفاق بیفتد که

باند های انتخاب شده از روش پیشنهادی به الگوریتم های آشکارسازی هدف ACE و CEM معرفی شدند که خروجی این روش ها در شکل های ۴ و ۵ به ترتیب برای روش ACE و CEM نمایش داده شده اند. ستون سمت راست تصاویر منطقه معرفی شده توسط حقیقت زمینی را نمایش می دهد که به وضوح موقعیت اهداف بر روی آنها قابل شناسایی است.

جدول ۱- شماره باندهای حذف شده

نام هدف	شماره باندهای حذف شده
F3	۱۲-۱۴ و ۲۰-۱۶ و ۶۳-۶۵ و ۶۸-۷۱ و ۷۳ و ۷۶ و ۷۹-۸۳ و ۸۵-۸۷ و ۹۰-۹۱ و ۹۴-۱۰۰ و ۱۰۲-۱۰۴ و ۱۰۸-۱۱۰ و ۱۱۲-۱۱۵ و ۱۱۷-۱۲۶
F4	۶۳-۶۴ و ۹۵-۹۶ و ۹۸-۱۰۰ و ۱۰۳ و ۱۰۵ و ۱۲۶-۱۱۷
F5	۱-۱۲ و ۶۳-۶۴ و ۹۵ و ۹۸ و ۱۰۰ و ۱۰۱ و ۱۰۳ و ۱۰۶ و ۱۰۸ و ۱۰۹ و ۱۱۱-۱۱۵ و ۱۲۰ و ۱۲۳ و ۱۲۵-۱۲۶
F6	۱۲۲-۱۲۶



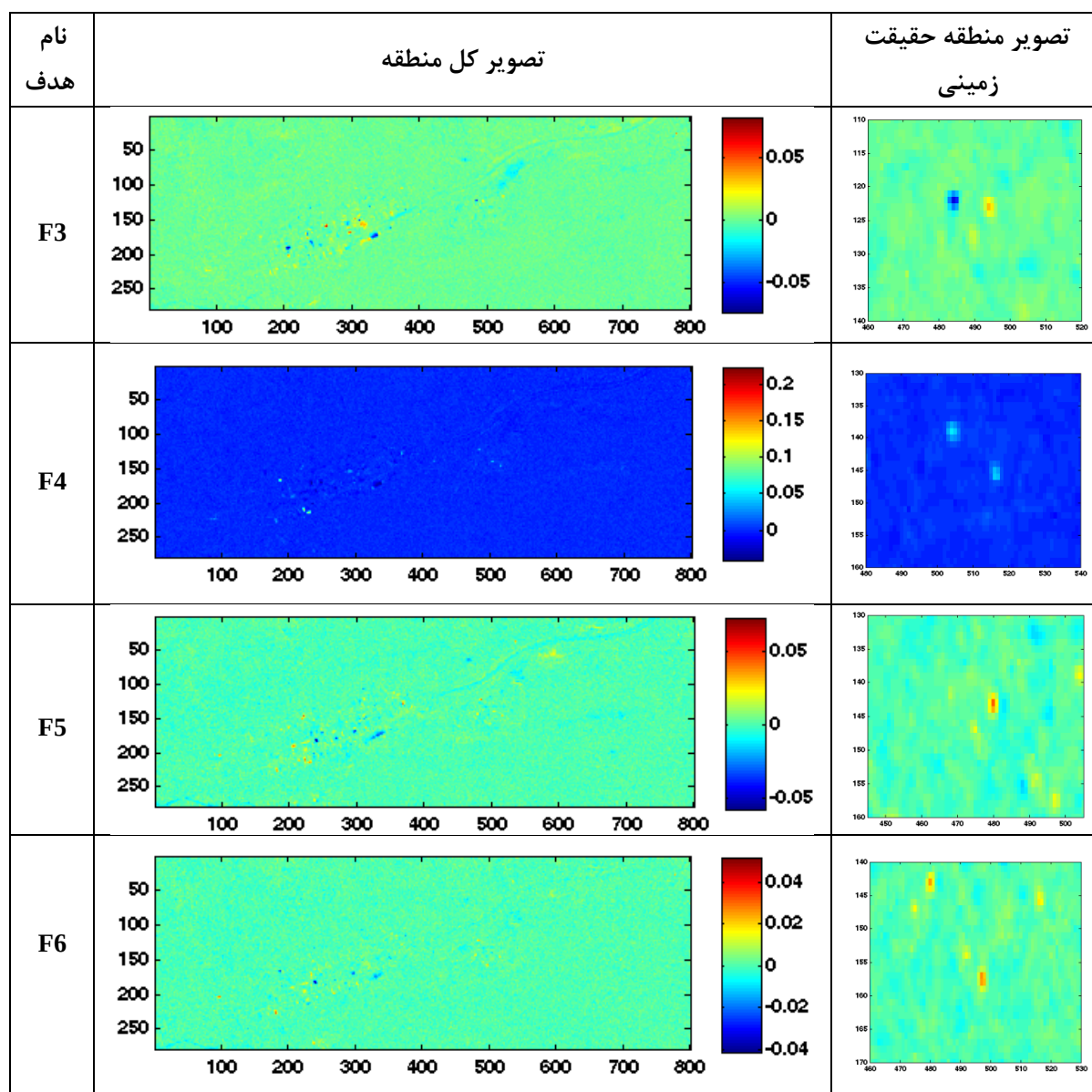
شکل ۴- نتایج حاصل از اجرای روش ACE بر روی تصویر HyMap

مشاهده نیست. به عنوان مثال می توان هدف F3 را نام برد. از طرفی برای اهدافی مانند F6 که در کل تصویر پدیده مشابه بسیاری کمی دارند به راحتی می توان محدوده موقعیت

برای اهدافی که در کل تصویر و بویژه در منطقه شهری دارای پدیده های مشابه هستند مقدار هشدار اشتباه افزایش می یابد و موقعیت مکانی هدف به وضوح در کل تصویر قابل

مکانی هدف را بر روی تصویر شناسایی نمود. با توجه به ستون سمت راست شکل‌های ۴ و ۵ می‌توان دریافت که با اعمال پنجره‌های محلی و یا داشتن اطلاع اولیه از موقعیت اهداف می‌توان روش‌های آشکارسازی را بر روی یک طبقه

خاص از تصویر اعمال نمود و دقت آشکارسازی را افزایش داد. مانند یافتن خودرو در منطقه پوشش گیاهی و یا یافتن کشتی در آب به عنوان یک طبقه مشخص از یک تصویر.



شکل ۵- نتایج حاصل از اجرای روش CEM بر روی تصویر HyMap

۳-۳- ارزیابی کارایی روش پیشنهادی

در جدول ۲ کارایی الگوریتم‌های ACE و CEM بر اساس تعداد هشدار اشتباه در آشکارسازی هریک از ۱۰ هدف زیرپیکسلی برای روش پیشنهادی انتخاب باند، همگی ۱۲۶ باند و مجموعه باندهای Gerge و نیز ۶ مجموعه باند انتخاب شده توسط PRtools ارائه شده است. در این جدول هر هشدار اشتباه نماینده یک پیکسل در تصویر است. نتایج

در اینجا لازم به توضیح است که در طیف میدانی هرچه تأثیر منابع خطا باشد همبستگی بین باندها افزایش خواهد یافت. افزایش همبستگی باندها باعث استفاده از باندهای بیشتر مناسب در آشکارسازی هدف خواهد شد، که طبیعتاً حضور تعداد باندهای بیشتر با اطلاعات صحیح موجب کاهش تعداد هشدار اشتباه در آشکارسازی هدف مورد نظر خواهد شد.

این جدول نشان دهنده اثرات مثبت انتخاب باند و بویژه روش پیشنهادی بر روی آشکارسازی هدف و کاهش میزان هشدار اشتباه است. سادگی و عدم پیچیدگی در محاسبات از مهمترین مزایای این روش است.

جدول ۲- تعداد هشدار اشتباه برای آشکارسازی اهداف زیرپیکسلی در مجموعه داده TDBT توسط الگوریتم‌های ACE و CEM بر اساس استفاده از روش‌های مختلف انتخاب باند

BS method	TD method	F6b	F6a	F5b	F5a	F4b	F4a	F3b	F3a
All bands(126)	ACE	9	1	775	1	21	3	172602	127271
	CEM	102	28	348	19	316	61	142241	37669
Gergs bands(90)	ACE	3019	1	25607	26	31	20	219044	50849
	CEM	1288	21	14989	299	386	318	106859	7240
Backward FS	ACE	12	1	25045	10	601	12	48596	111235
	CEM	111	33	1471	46	765	92	205309	184013
Forward FS	ACE	9	1	49956	5	403	12	27490	3765
	CEM	102	37	8129	112	796	141	14861	652
Individual FS	ACE	10	1	24051	1	32	11	120570	124163
	CEM	122	43	2392	40	408	109	69448	63469
Plus-L-takeaway-R FS	ACE	9	1	49956	5	403	12	27490	3765
	CEM	102	37	8129	112	796	141	14861	652
Branch and bound FS	ACE	10	1	23027	1	34	11	171779	127724
	CEM	123	43	2263	39	412	109	109982	76966
Pudil's floating FS	ACE	199407	83166	21212	26595	60662	82299	111704	44981
	CEM	126077	12701	222529	20054	25477	21989	154271	26170
Proposed method	ACE	9	1	29	1	81	1	23	1
	CEM	72	14	181	16	287	66	470	64

آماري با مقایسه‌ی تعداد هشدار اشتباه اهداف ۱ متری و ۲ متری متناظر (مطابق جدول ۲) مشهود است. همچنین می‌توان دریافت که هدف F3 از لحاظ طیفی با یکی از عناصر خالص موجود در تصویر مشابهت بالایی دارد که این امر موجب افزایش نرخ هشدار اشتباه در آشکارسازی آن شده است (جدول ۲).

علاوه بر این باندهای جذبی آب نیز به علت تأثیر بر روی شدت بازتاب در طیف هدف، توسط روش ارائه شده حذف گردیدند، که نشان از کارایی روش ارائه شده است. با توجه به شکل‌های ۴ و ۵ می‌توان دریافت که هرچه ابعاد هدف مورد نظر کمتر باشد، تعداد هشدار اشتباه جهت آشکارسازی آن هدف بیبشتر می‌شود. این موضوع به صورت

جدول ۳- دامنه کاهش مقدار هشدار اشتباه

نام هدف	F6b	F6a	F5b	F5b	F5a	F4b	F4a	F3b	F3b	F3a	F3a
مقادیر قدیمی FA	102	21	775	348	19	316	3	27490	14861	3765	652
مقادیر جدید FA	72	14	29	181	16	287	1	23	470	1	64

مقادیر حاصل از پیاده سازی روش ارائه شده است. برای اهدافی مانند F5 که طیف میدانی کمتر تحت تأثیر منابع خطا قرار گرفته و شبیه طیف آزمایشگاهی است انتظار می‌رود تعداد باندهای کمتری حذف شوند و به این ترتیب دامنه تغییر در مقادیر هشدار اشتباه به نسبت اهداف دیگر کمتر باشد.

۴- نتیجه‌گیری

در این تحقیق یک روش ساده جهت انتخاب باندهای بهینه جهت آشکارسازی نظارت شده اهداف در تصاویر ابرطیفی معرفی گردید. روش ارائه شده بر مبنای مقایسه

با توجه به جدول ۲، از میان ۱۶ مورد آزمایشی تنها در دو مورد بهبود نتایج حاصل نشده است. به عبارتی، تنها در ۱۲ درصد از موارد مقدار هشدار اشتباه افزایش یافت. همانطور که در شکل ۲ نشان داده شده است، طیف هدف F3 بیش از سایر اهداف مخدوش شده است. از این رو انتظار می‌رفت که دامنه بهبود مقدار هشدار اشتباه در این هدف بیش از سایر اهداف باشد که نتایج جدول ۳ همین مسأله را نشان می‌دهد. این موضوع اهمیت حذف باندهای بد را پیش از اجرای روش‌های آشکارسازی هدف نشان می‌دهد.

مقادیر قدیمی هشدار اشتباه نشان دهنده بهترین مقدار اخذ شده از سایر روش‌های انتخاب باند در هر دو روش ACE و CEM و مقادیر جدید هشدار اشتباه نشان دهنده

طیف آزمایشگاهی و میدانی هدف، شناسایی و حذف باندهای بد استوار است. در این مقایسه یک تابع توزیع نرمال بر روی مقدار اختلاف طیفی باندها برازش داده می‌شود و باندهایی که خارج از این تابع توزیع نرمال قرار می‌گیرند به عنوان باندهای بد حذف خواهند شد.

به دلیل استفاده از تابع توزیع نرمال تعیین یک حد آستانه بهینه و دقیق برای جداسازی باندهای بد و خوب بسیار دشوار است. به همین علت با استفاده از انحراف معیار یک حد آستانه تعریف خواهد شد که این مسأله حساسیت روش ارائه شده را به تعیین یک حد آستانه بهینه نشان می‌دهد. در روش ارائه شده از میانگین و انحراف معیار استفاده شد. این در حالی است که می‌توان از میانه نیز به جای میانگین استفاده کرد. اما نتایج نشان داد که فرضیه توزیع نرمال درست است و به این ترتیب مقدار میانگین و

میانه نزدیک هم خواهد بود و به این ترتیب بر روی نتایج نهایی تأثیری نداشت.

نتایج تجربی بر روی سه مجموعه از انتخاب باندهای مختلف و مقایسه آنها با روش ارائه شده نشان داد که روش ارائه شده در انتخاب باندهای بهینه جهت ورود به روش‌های آشکارسازی هدف نظارت شده نتایج بهتری ارائه خواهد داد و تنها در ۱۲ درصد از نتایج نتوانست مقدار دقت را بهبود ببخشد. سرعت بالا، سادگی، بار محاسباتی پایین و زمان کوتاه پردازش از مزایای روش ارائه شده است. مزیت دیگر این روش استفاده از آن به عنوان پس پردازش سایر روش‌های انتخاب باند است. به نحوی که خروجی روش‌های دیگر به عنوان ورودی وارد این روش گردد. پیاده سازی این روش به عنوان پس پردازش سایر روش‌ها هدف بعدی محققین این مقاله است.

مراجع

- [1] Geng, X., L. Ji, K. Sun, and Y. Zhao. (2014). "CEM: More Bands, Better Performance." IEEE Geoscience and Remote Sensing Letters, 11(11): 1876–1880, doi:10.1109/LGRS. 2312319.
- [2] Khazai, S., Safari, A., Mojaradi, B. and Homayouni, S. (2013). "An Approach for Subpixel Anomaly Detection in Hyperspectral Images." IEEE Journal of Selected Topics in Applied Earth Observations and Remote Sensing. vol.6, no.2, part3, pp.769–778.
- [3] Yang, S. and Zhenwei, S. (2014). "Sparse CEM and Sparse ACE for Hyperspectral Image Target Detection." in Geoscience and Remote Sensing Letters, IEEE. vol.11, no.12, pp. 2135–2139.
- [4] Yang, H., Du, Q., Su, H. and Sheng, Y. (2011). "An efficient method for supervised hyperspectral band selection." IEEE Geosci. Remote Sens. Lett. vol.8, no.1, pp.138–142.
- [5] Kuo, B., Ho, H., Li, C., Hung, C. and Taur, J. (2014). "A kernel based feature selection method for SVM with RBF kernel for hyperspectral image classification." IEEE J. Sel. Topics Appl. Earth Observ. Remote Sens. vol.7, no.1, pp. 317–3226.
- [6] Jin, X., Paswaters, S. and Cline, H. (2009). "A comparative study of target detection algorithms for hyperspectral imagery." in Proceedings of SPIE. vol.7334, p. 73341W.
- [7] Manolakis, D., Shaw, G. and Keshava, N. (2000). "Comparative analysis of hyperspectral adaptive matched filter detector." in Proc. SPIE, pp. 2–17.
- [8] Chen, J. Y. and Reed, S. I. (1987). "A detection algorithm for optical targets in clutter." IEEE Trans. Aerosp. Electron. Syst. vol. AES-23, no.1, pp.46–59.
- [9] Harsanyi, J. C. (1993). "Detection and classification of subpixel spectral signatures in hyper spectral image sequences." Ph. D. dissertation, Dept. Elect. Eng., Univ. Maryland, Baltimore, MD, USA.
- [10] Chang, C.-I., Liu, J.-M., Chieu, B.-C., Wang, C.-M., Lo, C. S., Chung, P.-C., Ren, H., Yang, C.-W. and Ma, D.-J. (2000). "A generalized constrained energy minimization approach to subpixel target detection for multispectral imagery." Optical Engineering 39(5), 1275–1281.
- [11] Manolakis, D., Marden, D. and Shaw, G. A. (2003). "Hyperspectral image processing for automatic target detection applications." Lincoln Lab.J. vol. 14, no.1, pp.79–116.
- [12] Kruse, F. A., Lefkoff, A. B., Boardman, J. B., Heidebrecht, K. B., Shapiro, A. T., Barloon, P. J. and Goetz, A. F. H. (1993). "The Spectral Image Processing System (SIPS) Interactive visualization and analysis of imaging spectrometer data." Remote Sens. Environ. vol.44, no.2/3, pp.145–163.
- [13] Hughes, G. F. (1968). "On the mean accuracy of statistical pattern recognizers." IEEE Transactions on Information Theory. vol. IT-14, No. 1, pp. 55–63.
- [14] Zhang J; Cao Y; Zhuo L; Wang C; Zhou Q. (2015). "Improved band similarity-based hyperspectral

- imagery band selection for target detection." J. Appl. Remote Sens. vol. 9, 9(1) 095091 Doi: 10.1117/1.JRS. 9.095091.
- [15] Kang. S., Xiurui. G. Luyan Ji. (2015). "A New Sparsity-Based Band Selection Method for Target Detection of Hyperspectral Image." IEEE geoscience and remotesensing letters. vol.12, no.2. pp 329 – 333.
- [16] Sheffield. C. (1985). "Selecting band combinations from multispectral data," Photogramm. Eng. Remote Sens. vol. 51, no. 6, pp. 681–687.
- [17] Keshava. N. (2004). "Distance metrics and band selection in hyperspectral processing with applications to material identification and spectral libraries." IEEE Trans. Geosci. Remote Sens. vol. 42, no. 7, pp. 1552–1565.
- [18] Wang. S. and Chang. C.I. (2007). "Variable-number variable-band selection for feature characterization in hyperspectral signatures." IEEE Trans. Geosci. Remote Sens. vol. 45, no. 9, pp. 2979–2992.
- [19] Wang, Y., Huang. S., Liu. D. and Wang. B. (2013). "A New Band Removed Selection Method for Target Detection in Hyperspectral Image." Journal of Optics 208–213. doi:10.1007/s12596-012-0101-1.
- [20] Chavez. P.S., Berlin. G. L. and Sowers. L.B. (1982). "Statistical method for selecting Landsat MSS ratios." Journal of Applied Photographic Engineering, 8(1):23-30.
- [21] Geng. X., Ji. L., Zhao.Y. and Wang. F., "A smatarget detection method for the hyperspectral image based on high-order singular value decomposition (HOSVD)." IEEE Geosci. And Remote Sens .Lett. 10, 1305–1308, Doi: 10.1109/ LGRS.2013.2238504. (2013).
- [22] Khazai. S., Homayouni. S., Safari. A. and Mojaradi. B. (2011). "Anomaly detection in hyperspectral images based on an adaptive support vector method." IEEE Geosci. Remote Sens. Lett., vol.8, no.2, pp.646–650.
- [23] M. S. Stefanou and J. P. Kerekes. (2099). "A method for assessing spectral image utility," IEEE Trans. Geosci. Remote Sens., vol.47, no.6, pp.1698–1706.
- [24] Kerekes, J. P. and Snyder, D. "Target Detection Blind Test," [Online]. Available: <http://dirsapps.cis.rit.edu/blindtest/>
- [25] Duin, R.P.W., Juszczak, P., Paclik, P., Pekalska, E., de Ridder, D., Tax, D.M.J. and Verzakov, S. (2007). PRTools4.1, A Matlab Toolbox for Pattern Recognition, Delft University of Technology.
- [26] Gerg, I. "MATLAB Hyperspectral Toolbox", [Online]. Available: <https://github.com/isaacgerg/matlabHyperspectralToolbox>.
- [27] MacQueen, J. B. (1967). "Some Methods for classification and Analysis of Multivariate Observations, Proceedings of 5-th Berkeley Symposium on Mathematical Statistics and Probability." Berkeley, University of California Press, 1:281-297.