

تفکیک ناهنجاری‌ها از پس‌زمینه براساس تجزیه تصویر ابرطیفی کاهش بعد یافته

مهرنوش امتی^{۱*}، محمودرضا صاحبی^۲، یزدان عامریان^۳

۱- دانشجوی دکتری سنجش از دور - دانشکده مهندسی نقشه‌برداری - دانشگاه صنعتی خواجه نصیرالدین طوسی

۲- دانشیار دانشکده مهندسی نقشه‌برداری - دانشگاه صنعتی خواجه نصیرالدین طوسی

۳- استادیار دانشکده مهندسی نقشه‌برداری - دانشگاه صنعتی خواجه نصیرالدین طوسی

تاریخ دریافت مقاله: ۱۳۹۸/۰۲/۳۱ تاریخ پذیرش مقاله: ۱۳۹۸/۰۷/۰۸

چکیده

کاربرد آشکارسازی ناهنجاری در بسیاری از زمینه‌های تحقیقاتی، جایگاه ویژه‌ای را در میان پردازش‌های تصاویر ابرطیفی به‌خود اختصاص داده است. امروزه بسیاری از روش‌های مطرح در این زمینه، تنها از اطلاعات پس‌زمینه در راستای تمایزبخشی میان پیکسل‌های ناهنجاری و پس‌زمینه استفاده می‌نمایند. این درحالی‌است که عواملی همانند نویز و وجود پیکسل‌های ناهنجاری در پس‌زمینه، فرض تبعیت از توزیع آماری خاص پس‌زمینه و همچنین تعداد بسیار باندهای تصویر ابرطیفی و همبستگی میان آن‌ها، منجر به محدودیت روش‌های ارائه شده و ایجاد خطا در آشکارسازی ناهنجاری‌ها می‌گردد. هدف از این پژوهش، ارائه روش نوین آشکارسازی ناهنجاری با قابلیت رفع محدودیت‌های مطرح شده می‌باشد. در روش پیشنهادی ابتدا تبدیل فوری سریع (*FFT*) به‌عنوان پیش‌پردازش الگوریتم آشکارسازی ناهنجاری بر تصویر اعمال می‌شود. استفاده از این تکنیک کاهش بعد خطی، علاوه بر بهبود عملکرد الگوریتم آشکارسازی، قادر به کاهش قابل توجه حجم محاسبات نیز خواهد بود. در ادامه با تجزیه تصویر ابرطیفی کاهش بعدیافته به ماتریس پایین‌مرتبه پس‌زمینه و ماتریس خلوت ناهنجاری، علاوه بر جداسازی نویز از سیگنال‌های موجود در تصویر، می‌توان از هر دو مولفه پس‌زمینه و ناهنجاری به‌منظور استخراج اطلاعات استفاده نمود. در واقع با تفکیک مولفه ناهنجاری از پس‌زمینه، از اثر وجود پیکسل‌های ناهنجاری در پس‌زمینه کاسته شده و تنها از این ماتریس به‌منظور استخراج اطلاعات و ویژگی‌های آماری پس‌زمینه استفاده می‌گردد. همچنین به‌کارگیری فاصله ماحالانوبیس وزن‌دار براساس معیار میانه در روش تجزیه پیشنهادی، توانسته به هر پیکسل، وزنی را متناسب با مرکز پس‌زمینه اختصاص داده و بدین ترتیب نتایج آشکارسازی ناهنجاری را بهبود بخشد. پیاده‌سازی الگوریتم پیشنهادی بر تصاویر ابرطیفی *Pavia University* و *Pavia Center* و مقایسه نتایج حاصل از آن‌ها با دیگر روش‌های متداول در این زمینه، نشان از عملکرد بهتر تکنیک پیشنهادی در آشکارسازی پیکسل‌های ناهنجاری از فضای پس‌زمینه داشته‌است.

کلید واژه‌ها: آشکارسازی ناهنجاری، کاهش بعد و تجزیه تصویر ابرطیفی، ماتریس پایین‌مرتبه پس‌زمینه، ماتریس خلوت ناهنجاری.

* نویسنده مکاتبه کننده: تهران - خیابان ولیعصر - بالاتر از میدان ونک - تقاطع میرداماد - دانشکده مهندسی نقشه‌برداری - دانشگاه صنعتی خواجه نصیرالدین طوسی.

تلفن: ۰۹۱۲۲۷۳۳۱۲۱

۱- مقدمه

در مقایسه با تصاویر چندطیفی و پانکروماتیک، امروزه تصویربرداری ابرطیفی با امکان اخذ داده در محدوده تقریباً پیوسته‌ای از امواج الکترومغناطیس و تشکیل صدها و یا حتی هزاران باند طیفی با توان تفکیک کم‌تر از چند نانومتر، امکان آشکارسازی هرچه دقیق‌تر اهداف سطح زمین را فراهم آورده است [۱].

آشکارسازی اهداف در تصاویر ابرطیفی به‌عنوان یک طبقه‌بندی دوکلاس در راستای جداسازی پیکسل‌های اهداف خاص از پس‌زمینه مطرح می‌گردد [۲]. به‌طور کلی براساس دانش قبلی موجود از ویژگی‌های طیفی اهداف، تکنیک‌های مطرح در این زمینه را می‌توان در دو دسته کلی نظارت‌شده و نظارت‌نشده تقسیم‌بندی نمود. در روش‌های نظارت‌شده آشکارسازی هدف، از طریق مقایسه طیف هر پیکسل تصویر با طیف مرجع (طیف اهداف خاص) و به‌کارگیری انواع روش‌های شباهت طیفی، می‌توان اهداف موردنظر را از پس‌زمینه متمایز ساخته و شناسایی نمود. این در حالی است که الگوریتم‌های نظارت‌نشده بدون نیاز به داشتن اطلاعات پیشین از طیف هدف، امکان تشخیص پیکسل‌هایی با ویژگی‌های طیفی متفاوت از پس‌زمینه فراهم می‌آورند [۳].

امروزه آشکارسازی ناهنجاری^۱ در راستای تعیین اهدافی کوچک با ویژگی‌های طیفی متفاوت از پس‌زمینه، به‌عنوان زیرمجموعه‌ای از آشکارسازی اهداف نظارت‌نشده مطرح می‌گردد [۲]. عدم نیاز به اطلاعات پیشین از رفتار طیفی اهداف و اعمال پیش‌پردازش‌های اولیه بر تصاویر، موجبات جایگاه قابل‌توجه آشکارسازی ناهنجاری در بسیاری از کاربردهای تصاویر ابرطیفی گردیده است [۳ و ۱۱]. از کاربردهای آشکارسازی ناهنجاری در تصاویر ابرطیفی می‌توان به شناسایی مواد معدنی، تشخیص استرس گیاهی، مانیتورینگ محیط-

زیست، تشخیص اهداف نظامی پنهان، عملیات امداد و نجات و غیره اشاره نمود [۴، ۵، ۶، ۷، ۸، ۹ و ۱۰]. روش‌های متداول مطرح در آشکارسازی ناهنجاری‌ها، عمدتاً تنها اطلاعات را از پس‌زمینه استخراج کرده و براساس تفاوت میان پس‌زمینه و ناهنجاری‌ها، آن‌ها را شناسایی می‌کنند [۱۱]. در واقع این تکنیک‌ها از کل پیکسل‌های تصویر و یا همسایگی محلی اطراف هر پیکسل به‌منظور محاسبه ویژگی‌های آماری پس‌زمینه استفاده می‌نمایند [۱۱ و ۱۳]. این درحالی است که به‌علت وجود پیکسل‌های ناهنجاری و نویز در تصاویر، امکان عدم دستیابی به دقت بالا در ویژگی‌های آماری برآورده شده از پس‌زمینه بسیار محتمل خواهد بود [۳ و ۱۱]. هم‌چنین همبستگی بین باندهای تصاویر ابرطیفی، موجب محدودیت در تعیین ویژگی‌های آماری پس‌زمینه (محاسبه معکوس ماتریس کواریانس) و ایجاد خطا در آشکارسازی ناهنجاری‌ها می‌گردد [۳]. از دیگر محدودیت تکنیک‌های مطرح در این زمینه، فرض تبعیت توزیع آماری پس‌زمینه از توزیع نرمال چندمتغیره و عدم برقراری این فرض در تصاویر متشکل از تعدادی عوارض پیچیده خواهد بود [۱۱ و ۱۲].

با وجود محدودیت‌های ذکرشده در تکنیک‌های متداول آشکارسازی ناهنجاری، هدف اصلی از این پژوهش، بهبود عملکرد تفکیک ناهنجاری‌ها از فضای پس‌زمینه در حداقل زمان محاسباتی ممکن خواهد بود. پیشنهاد به‌کارگیری همزمان دو تکنیک کاهش بعد و تجزیه تصویر ابرطیفی به سه ساختار پس‌زمینه، ناهنجاری و نویز موجود در تصویر، علاوه بر استخراج باندهای حاوی اطلاعات تصویر ابرطیفی، کاهش همبستگی بین باندهای و حجم محاسبات، توانسته از اطلاعات توأمان هر دو مولفه پس‌زمینه و ناهنجاری در روند آشکارسازی ناهنجاری‌ها استفاده نماید.

۲- مروری بر مطالعات انجام‌شده

تاکنون در راستای تمایز بخشیدن میان پس‌زمینه/ناهنجاری و به‌عبارتی تشخیص پیکسل‌هایی با ویژگی‌های طیفی متفاوت از پیکسل‌های پس‌زمینه،

^۱ Anomaly Detection

زیرفضای مستقل می‌تواند از اثرات پس‌زمینه تا میزان قابل توجهی صرف‌نظر نماید [۱۶، ۱۷ و ۱۸].

البته باید اشاره نمود که روش RX و مشتقات آن، از تمامی و یا بخشی از فضای تصویر به‌منظور محاسبه ویژگی‌های آماری پس‌زمینه استفاده مینمایند [۱۹]. همین امر حساسیت تعیین ماتریس میانگین و کواریانس پس‌زمینه را به ناهنجاری‌های موجود در فضای تصویر افزایش داده و از تمایز بخشی میان پس‌زمینه و ناهنجاری خواهد کاست [۳ و ۱۹]. از طرفی دیگر وجود همبستگی بین بانندی در تصاویر ابرطیفی، محاسبه معکوس ماتریس کواریانس را با محدودیت ایجاد کرده و شدت آن زمانی افزایش می‌یابد که از پنجره‌های محلی به‌منظور انجام محاسبات استفاده گردد [۳ و ۲۱].

در پژوهشی دیگر، تکنیک کاهش بعد تصاویر ابرطیفی به‌منظور رفع محدودیت‌های ذکرشده ارائه گردید [۲۲]. از انواع روش‌های به‌کاررفته در این زمینه می‌توان به آنالیز مولفه اصلی^۴ (PCA) و تبدیل گسسته موجک^۵ (DWT) اشاره نمود [۲۲، ۲۴ و ۲۵]. نتایج ارائه‌شده حاکی از آن است که استفاده از تکنیک‌های کاهش بعد، به‌عنوان پیش‌پردازش الگوریتم آشکارسازی ناهنجاری، توانسته از افزونگی بین بانندی، حجم محاسبات و حتی نویز موجود در تصاویر ابرطیفی کاسته و عملکرد الگوریتم آشکارسازی ناهنجاری RX و مشتقات آن را به‌منظور تفکیک میان پس‌زمینه و ناهنجاری بهبود بخشد [۲۲، ۲۳ و ۲۴].

فرض برقراری توزیع نرمال در صورت ناهنجاری و نویزهای موجود در تصاویر ابرطیفی، الگوریتم RX و مشتقات آن را در آشکارسازی میان پس‌زمینه و ناهنجاری با محدودیت مواجه ساخته است [۳ و ۱۱]. از

الگوریتم‌های بسیاری ارائه گردیده است. به‌طور کلی دغدغه‌های اصلی در تشخیص ناهنجاری‌ها را می‌توان در این دو مورد بیان نمود:

- (۱) چگونگی تشخیص پس‌زمینه
 - (۲) تعیین احتمال وجود ناهنجاری در یک پیکسل. در ادامه قصد داریم تعدادی از مطالعات صورت‌گرفته در این زمینه را مورد بررسی قرار دهیم.
- فرض اساسی دسته‌ای از آشکارسازها براساس پیروی از توزیع نرمال بوده که در میان آن‌ها از الگوریتم رید-شیاولی^۱ (RX) می‌توان به‌عنوان متداول‌ترین آشکارساز ناهنجاری در تصاویر ابرطیفی نام برد [۱۳]. در طراحی این آشکارساز، فرض اساسی بر پایه آن است که پس‌زمینه همگن بوده و می‌توان رفتار آن را با توزیع نرمال چندمتغیره مدل نمود [۳]. گرچه این فرض معمولاً در تصاویری با وجود تنوع و پیچیدگی طیفی عوارض برقرار نبوده و پیروی از آن منجر به افزایش نرخ هشدار اشتباه می‌گردد [۳ و ۱۳]. بدین‌منظور تکنیک‌های دیگری در راستای بهبود عملکرد آشکارساز RX و تمرکز بر افزایش تفکیک‌پذیری میان پس‌زمینه و ناهنجاری مطرح گردید.

به‌منظور بهبود عملکرد RX ، اشتون و همکاران، روش آشکارسازی ناهنجاری یکنواخت^۲ (UTD) را در جهت حذف پس‌زمینه و نویزهای موجود در تصویر ارائه نمودند [۱۵]. به‌علت در دسترس نبودن اطلاعات پیشین از پس‌زمینه، این روش از طریق جایگزین نمودن یک بردار واحد با بردار طیفی هدف در الگوریتم RX ، توانسته است عملکرد آن را بهبود بخشد [۱۵ و ۱۶]. دیگر الگوریتم زیرفضای رید-شیاولی^۳ ($SSRX$) با تصویرسازی پس‌زمینه در یک زیرفضای جداگانه و تفکیک ویژگی‌های آماری پس‌زمینه و ناهنجاری در دو

^۱ Reed-Xiaoli

^۲ Uniform Target Detector

^۳ Subspace RX

^۴ Principal Component Analysis

^۵ Discrete Wavelet Transform

این‌رو در پژوهشی دیگر با ارائه روش بیکن^۱ (BACON) و محاسبه ویژگی‌های آماری قدرتمند از زیرمجموعه‌ای از پیکسل‌های تصاویر ابرطیفی و در یک روند تکراری، از اثر ناهنجاری‌ها در محاسبه متغیرهای آماری پس-زمینه صرف‌نظر گردیده‌است [۲۶].

هم‌چنین در رویکردی دیگر، ابرکره‌ای را در فضای ویژگی تصاویر ابرطیفی و اطراف پس‌زمینه محصور نموده و در ادامه پیکسل‌های خارج از این فضا را به-عنوان ناهنجاری‌ها در نظر گرفتند [۲۷ و ۲۸]. گرچه این روش در صورت وجود چندین کلاس متفاوت در پس-زمینه، از پایداری بالایی برخوردار نمی‌باشد [۲۷]. با وجود تخمین دقیقی از پس‌زمینه در تمامی الگوریتم-های ذکرشده، هم‌چنان تمایزبخشی میان ناهنجاری و نویزهای موجود در تصاویر ابرطیفی به‌آسانی امکان‌پذیر نخواهد بود [۲۷ و ۲۸]. لازم به ذکر است که در این روش‌ها تنها از اطلاعات پس‌زمینه در راستای تفکیک ناهنجاری‌ها از میان پیکسل‌های پس‌زمینه استفاده می-گردد. در راستای جلوگیری از اثرات پیکسل‌های ناهنجاری در ویژگی‌های آماری محاسبه‌شده از پس-زمینه، سان و همکاران در سال ۲۰۱۴، توانستند روش تجزیه تصویر ابرطیفی را به دو مولفه پس‌زمینه و ناهنجاری ارائه دهند [۱۱].

در الگوریتم پیشنهادی تجزیه تصویر به ماتریس‌های پایین مرتبه و خلوت^۲ (LRaSMD) اقلیدسی مبنای استفاده از فاصله اقلیدسی محاسبه‌شده میان بردار ناهنجاری هر پیکسل و میانگین ماتریس ناهنجاری در هر باند طیفی، مقداری متناسب با احتمال وجود ناهنجاری به هر پیکسل نسبت داده شد [۱۱]. گرچه با وجود تفکیک ماتریس پس‌زمینه از ناهنجاری در این روش، از اطلاعات پس‌زمینه صرف نظر شده و تنها به ماتریس ناهنجاری توجه بیش‌تری می‌گردد. این در

حالی است که امکان وجود برخی پیکسل‌های غیرناهنجاری در این ماتریس، موجب اشتباه تشخیص ناهنجاری‌ها از پس‌زمینه و افزایش هشدارهای اشتباه خواهد شد.

۳- مواد و روش

در این بخش، تصاویر مورد استفاده و هم‌چنین روش پیشنهادی در آشکارسازی ناهنجاری‌ها از پس‌زمینه به تفصیل شرح داده می‌شوند.

۳-۱- داده مورد استفاده

به‌منظور ارزیابی عملکرد الگوریتم پیشنهادی در آشکارسازی ناهنجاری‌ها، دو منطقه متفاوت از مرکز شهر پاویا واقع در شمال ایتالیا به‌عنوان مناطق انتخابی در این پژوهش در نظر گرفته شده‌است. از مشخصات اخذ این دو تصویر ابرطیفی می‌توان به قدرت تفکیک مکانی ۱/۳ متر اشاره نمود.

دو تصویر ابرطیفی متعلق به مرکز شهر و دانشگاه پاویا، به‌ترتیب از ۱۰۲ و ۱۰۳ باند طیفی در محدوده طول موج ۴۳۰ تا ۸۶۰ نانومتر تشکیل شده که کلاس‌های مختلفی همانند آب، درخت، چمنزار، خاک لخت، سایه، آسفالت و ... را می‌توان در آن‌ها نام برد. در این پژوهش، بخشی از دو تصویر مرکز شهر پاویا به ابعاد ۱۰۸×۱۱۲ پیکسل و دانشگاه پاویا به ابعاد ۷۴×۴۹ پیکسل به-منظور بررسی الگوریتم پیشنهادی آشکارسازی ناهنجاری مورد استفاده قرار می‌گیرند.

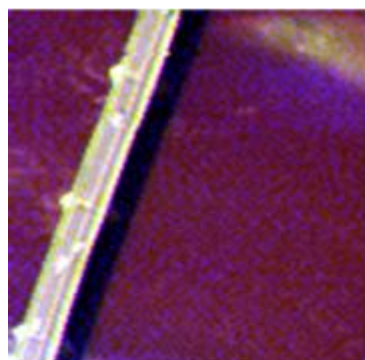
همان‌گونه که از منطقه انتخابی تصویر مرکز شهر پاویا در شکل (۱) می‌توان مشاهده نمود، مناطق آبی و پل به‌عنوان پس‌زمینه و وسایل نقلیه روی پل به‌عنوان تعدادی پیکسل متفاوت از فضای پس‌زمینه در نظر گرفته شده‌است. قسمت انتخابی از تصویر دانشگاه پاویا نیز کلاس‌های متفاوتی همانند قیر، آسفالت، علف-زار و وسایل نقلیه را نشان می‌دهد. در این تصویر، پیکسل‌های متعلق به وسایل نقلیه به کلاس ناهنجاری و دیگر پیکسل‌های تصویر به کلاس پس‌زمینه نسبت داده خواهد شد. در شکل زیر واضح بوده که تعداد پیکسل‌های مربوط به وسایل نقلیه در مقایسه با پس-

^۱ Blocked Adaptive Computationally Efficient Outlier Nominators

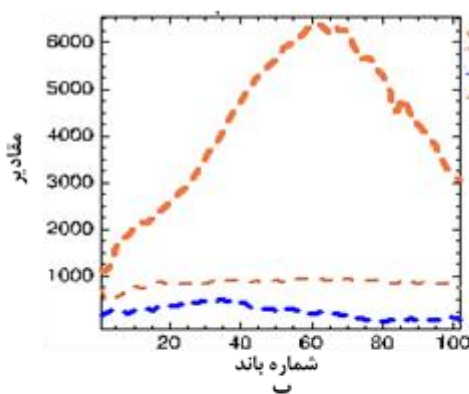
^۲ Low-rank and Sparse Matrix Decomposition

ترکیب رنگی کاذب حاصل از دو تصویر متعلق به مرکز شهر و دانشگاه پاویا و همچنین رفتار کلاس های پس-زمینه و ناهنجاری را نشان می دهد.

زمینه، تعداد کمی را شامل شده و از رفتار متفاوتی در باندهای طیفی برخوردار می باشند. از این رو می توان این پیکسل ها را به عنوان ناهنجاری در نظر گرفت. شکل (۱)



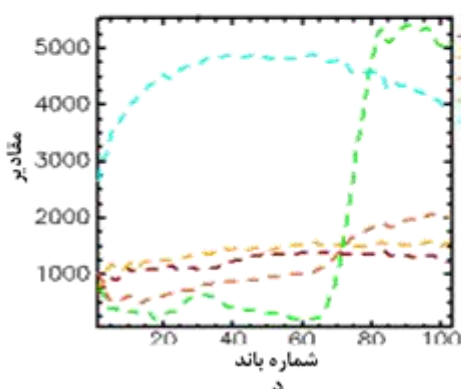
الف



ب



ج



د

شکل ۱: (الف) ترکیب رنگی کاذب تصویر متعلق به مرکز شهر پاویا متشکل از ۳ باند طیفی (۳۰، ۶۸ و ۲)، (ب) رفتار کلاس های پس زمینه و ناهنجاری در ۱۰۲ باندهای طیفی، (ج) ترکیب رنگی کاذب تصویر متعلق به دانشگاه پاویا متشکل از ۳ باند طیفی (۸۰، ۷۰ و ۳۰)، (د) رفتار کلاس های پس زمینه و ناهنجاری در ۱۰۳ باند طیفی

هدف تجزیه تصویر ابرطیفی پیش پردازش شده به سه ماتریس ساختاری پس زمینه، ناهنجاری و نویز. شکل (۲) روند کلی الگوریتم پیشنهادی در آشکارسازی ناهنجاری تصاویر ابرطیفی را نشان می دهد. در مرحله نخست، کاهش بعد تصویر ابرطیفی در راستای کاهش همبستگی بین باندی تصویر ابرطیفی، افزایش سرعت در محاسبات و همچنین افزایش احتمال تشخیص ناهنجاری از پس زمینه به کار گرفته می شود. در روش پیشنهادی، تکنیک FFT به عنوان یک تکنیک خطی کاهش بعد فضای باندی، پیش از الگوریتم آشکارسازی

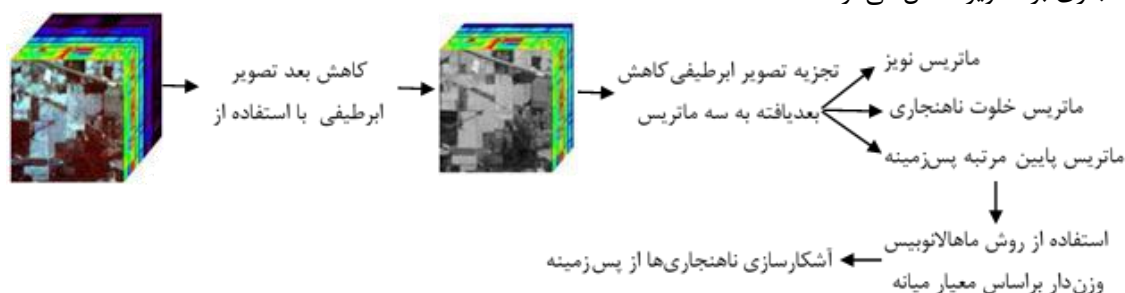
۳-۲- روش پیشنهادی

در این پژوهش به منظور آشکارسازی ناهنجاری از پس-زمینه، الگوریتم پیشنهادی شامل دو مرحله اساسی خواهد بود:

- (۱) کاهش بعد تصویر ابرطیفی با استفاده از تکنیک تبدیل فوریه سریع^۱ (FFT)
- (۲) به کارگیری یک الگوریتم آشکارسازی ناهنجاری با

^۱ Fast Fourier Transform (FFT)

ناهنجاری بر تصویر اعمال می‌گردد.



شکل ۲: روند کلی الگوریتم پیشنهادی آشکارسازی ناهنجاری‌ها از پس‌زمینه

تفکیک ناهنجاری از پس‌زمینه خواهد داشت [۳۴]. از روش‌های خطی کاهش بعد تصاویر ابرطیفی می‌توان به- روش‌های PCA ، DWT و FFT اشاره نمود. در ایده اصلی تکنیک کاهش بعد PCA ، با تغییر دستگاه مختصات اولیه، مجموعه داده‌ها در راستاهایی با بیش‌ترین واریانس (بیش‌ترین اطلاعات ممکن) تصویر می‌گردند. این درحالی‌است که ممکن است محتوای داده در باندهای تصویر ابرطیفی منطبق بر جهت‌های تعیین- شده از PCA نباشند. همچنین این تکنیک کاهش بعد، علاوه بر هزینه بالا و زمان‌بر بودن انجام محاسبات آن، قادر به حفظ ویژگی‌های طیفی و اطلاعات مفید باندهای تصویر ابرطیفی نخواهد بود [۳۵]. با وجود محدودیت‌های ذکرشده از تکنیک PCA ، در این پژوهش دو روش کاهش بعد FFT و DWT مورد بررسی قرار خواهند گرفت.

تبدیل فوری به عنوان ابزاری اساسی در جهت پردازش سیگنال شناخته می‌شود. این تبدیل با تصویرسازی سیگنال از حوزه زمان به حوزه فرکانس، از توانایی تعیین تمامی فرکانس‌های سیگنال برخوردار می‌باشد. از این‌رو به منظور تعیین طیف فرکانسی یک سیگنال دیجیتال می‌توان از تبدیل فوری گسسته استفاده نمود. تبدیل فوری سریع را می‌توان روشی کاربردی در جهت پیاده‌سازی بهینه تبدیل فوری گسسته با حجم کم محاسبات تبدیل بیان نمود. بسیاری از سیگنال‌ها عمدتاً شامل مولفه‌های پایین فرکانسی بوده که با اعمال تبدیل فوری گسسته بر سیگنال و محاسبه دامنه آن،

در دیگر مرحله از روش پیشنهادی، با توجه به محدودیت سایر روش‌های آشکارسازی ناهنجاری، از ایده تفکیک ماتریس ورودی به دو مولفه ماتریس پایین مرتبه^۱ و ماتریس خلوت^۲ استفاده کرده و توانسته با تجزیه تصویر ابرطیفی کاهش بعد یافته به سه ماتریس نویز، پایین مرتبه پس‌زمینه و خلوت ناهنجاری، میان اطلاعات و نویزهای موجود در تصویر تمایز بخشیده و از هر دو مولفه پس‌زمینه و ناهنجاری در استخراج اطلاعات استفاده نماید. در روش ارائه‌شده، استفاده از تکنیک کاهش بعد به عنوان مرحله پیش‌پردازش الگوریتم تجزیه آشکارسازی ناهنجاری، با انتخاب باندهای حاوی بیش‌ترین اطلاعات از میان باندهای بالای تصویر ابرطیفی، توانسته از حجم محاسبات الگوریتم آشکارسازی ناهنجاری بکاهد. همچنین در این پژوهش، استفاده از معیار میانه به عنوان جایگزینی از معیار میانگین در فاصله ماحالانوبیس، به منظور بهبود عملکرد تفکیک پیکسل‌های پس‌زمینه و ناهنجاری مطرح گردیده است.

۳-۲-۱- کاهش بعد تصویر ابرطیفی

عملکرد روش‌های کاهش بعد تصاویر ابرطیفی در آشکارسازی ناهنجاری‌ها، وابستگی به پارامترهای دقت و زمان حاصل از به کارگیری تصویر کاهش بعد یافته در

^۱ Low-Rank

^۲ Sparse

می‌توان توسط ضرایب تقریب DWT (مرتبط با فرکانس‌های پایین سیگنال اصلی) بیان نمود [34]. تکنیک کاهش بعد DWT ابتدا هر پیکسل تصویر ابرطیفی را همانند یک سیگنال در نظر گرفته و سپس با محاسبه ضرایب DWT سیگنال، می‌تواند مقادیر بالا و پایین دامنه را در سیگنال تعیین نماید. مقادیر بالا و پایین دامنه به ترتیب بیانگر فرکانس‌های غالب و محدود از سیگنال اصلی خواهند بود [24]. از این رو با صرف نظر از فرکانس‌های متناظر با مقادیر پایین دامنه، می‌توان ابعاد تصویر ابرطیفی را کاهش داد [34].

۳-۲-۲- الگوریتم آشکارسازی ناهنجاری

وجود عوارض مشابه با ویژگی‌های طیفی یکسان در پیکسل‌های مجاور، موجب همگنی این مناطق از تصویر ابرطیفی می‌گردند. با وجود همبستگی بین باندی در این تصاویر، هر بردار طیفی در مناطق همگن و یکنواخت پس زمینه به طور تقریبی ترکیبی خطی متشکل از چندین بردار پایه در نظر می‌شود. از این رو فضای پس زمینه را می‌توان به عنوان ماتریسی با ویژگی کمبود بعد یا رتبه پایین در نظر گرفت. از طرفی دیگر تعداد کم پیکسل‌های ناهنجاری به نسبت کل فضای تصویر، فرض توزیع تصادفی و احتمال کم حضور را برای ناهنجاری‌ها ایجاد می‌نماید. به عبارت دیگر ماتریس ناهنجاری در فضای تصویر را می‌توان به عنوان ماتریس خلوت در نظر داشت. همچنین لازم به ذکر است که نویز ناشی از عوامل مختلف می‌تواند به عنوان متغیرهای تصادفی مستقل با توزیع نرمال یکسان در باندهای تصویر ابرطیفی مدل سازی گردد [14].

در روش ارائه شده، تصویر ورودی را می‌توان به سه ماتریس مرتبه پایین پس زمینه، ماتریس خلوت ناهنجاری و ماتریس نویز تجزیه نمود. تکنیک مورد استفاده قادر خواهد بود علاوه بر تفکیک سیگنال‌های حاوی اطلاعات از نویز موجود در تصاویر، مولفه پس-زمینه را از اطلاعات حاوی ناهنجاری‌ها مجزا نموده و از هر دو مولفه اطلاعاتی پس زمینه و ناهنجاری به-طور همزمان استفاده نماید. الگوریتم پیشنهادی توانسته

می‌توان مولفه‌های پایین فرکانسی را در سیگنال اصلی مشخص نمود [30].

در پردازش تصویر، طیف هر پیکسل تصویر ابرطیفی به-عنوان یک سیگنال در نظر گرفته شده که پس از تعیین ضرایب تبدیل فوریه سریع و محاسبه دامنه این مقادیر می‌توان باندهای فرکانس پایین تصویر ابرطیفی را تعیین نمود [30]. در واقع دامنه محاسبه شده از ضرایب تبدیل فوریه سریع در باندهای فرکانس‌های پایین از مقادیر بیش تری در مقایسه با سایر باندها برخوردار می‌باشند. از این ویژگی می‌توان در جهت کاهش ابعاد تصویر ابرطیفی استفاده نمود.

مراحل تکنیک پیشنهادی در راستای کاهش بعد تصویر ابرطیفی عبارتند از:

- ۱) اعمال تکنیک تبدیل فوریه سریع بر هر پیکسل از باندهای تصویر ابرطیفی
 - ۲) محاسبه دامنه تبدیل فوریه سریع در هر یک از این پیکسل‌ها
 - ۳) میانگین‌گیری از مقادیر دامنه در تمامی پیکسل‌های تصویر در هر باند
 - ۴) انتخاب باندهایی با بیش‌ترین مقادیر دامنه (متناظر با مولفه‌های فرکانس پایین تصویر ابرطیفی ورودی)
- با انتخاب چندین باند متناظر با بیش‌ترین مقادیر دامنه از تصویر و تشکیل ماتریس کاهش بعدیافته، می‌توان تقریب مناسبی از تصویر ابرطیفی اولیه به دست آورده و در ادامه الگوریتم آشکارسازی ناهنجاری را بر تصویر پیش‌پردازش شده اعمال نمود.

در تکنیک DWT با تجزیه سیگنال مورد نظر می‌توان به هر دو بخش اطلاعاتی فرکانس بالا (نویز و جزئیات) و فرکانس پایین (بخش اصلی سیگنال) دست یافت [24] و تعیین مولفه‌های مختلف فرکانس بالا و پایین، با عبور فیلترهای بالاگذر و پایین‌گذر از سیگنال اصلی صورت می‌گیرد. در روش تجزیه DWT ، بخش عمده‌ای از سیگنال تجزیه شده را مولفه‌های فرکانس پایین و بخش محدودی از آن را مولفه‌های فرکانس بالا در بر می‌گیرند [24]. از این رو رفتار اصلی هر سیگنال را

از تاثیر پیکسل‌های ناهنجاری در محاسبه ویژگی‌های آماری پس‌زمینه و هم‌چنین مشکل معکوس‌سازی ماتریس کواریانس جلوگیری به‌عمل آورده و عملکرد آشکارسازی را بهبود بخشید.

الگوریتم تجزیه ماتریس تصویر ورودی را می‌توان به صورت رابطه (۱) بیان نمود [۲۹ و ۳۱].

$$X = L + S + e \quad \text{رابطه (۱)}$$

X ترم متناظر با تصویر ورودی
 L ترم متناظر با ماتریس رتبه پایین (ماتریس پس-زمینه)

S ترم متناظر با ماتریس خلوت (ماتریس ناهنجاری)
 e ترم نویز بوده که فرض توزیع نرمال یکسان آن در باندهای مختلف برقرار می‌باشد.

ابعاد ماتریس‌های دوبعدی رابطه (۱) برابر است با $N \times B$. N بیانگر تعداد کل پیکسل‌های تصویر و B نماینده تعداد باندهای تصویر ورودی می‌باشند.

با این فرضیات، هدف حل مسئله بهینه‌سازی رابطه (۲) خواهد بود.

$$\begin{aligned} &\text{minimize rank}(L), \text{ minimize card}(S) \\ &\text{subject to } \sum_{(i,j)} (X_{i,j} - L_{i,j} - S_{i,j})^2 \leq \delta \end{aligned} \quad \text{رابطه (۲)}$$

δ پارامتر تنظیم در جهت کنترل خطا
 $\text{card}(S)$ تعداد ستون‌های غیرصفر در ماتریس S می‌باشد.

به‌منظور حل این مسئله، الگوریتم پرسرعت انجام تجزیه (*GoDec*) علاوه بر تعیین دو ساختار پس‌زمینه و ناهنجاری، قادر بوده مولفه نویز را نیز به‌طور همزمان در نظر بگیرد.

رابطه (۲) را می‌توان به همگرایی دو مسئله بهینه‌سازی به صورت رابطه (۳) تبدیل نمود.

$$\begin{aligned} L_t &= \arg \min_{\text{rank}(L) \leq r} \|X - L - S_{t-1}\|_F^2 \\ S_t &= \arg \min_{\text{card}(S) \leq kN} \|X - L_{t-1} - S\|_F^2 \end{aligned} \quad \text{رابطه (۳)}$$

مقدار r و k به‌ترتیب برابر با تعداد کلاس‌های غالب در

پس‌زمینه و انرژی ماتریس خلوت در فضای تصویر (نسبت ناهنجاری‌ها به کل پیکسل‌های تصویر) می‌باشند.

در راستای حل این دو مسئله و با فرضیات زیر، در رابطه (۴) خواهیم داشت:

$$Y_1 = (X - S_{t-1})A_1, \quad Y_2 = X^T A_2 \quad \text{رابطه (۴)}$$

که در این رابطه $A_1 \in \mathbb{R}^{B \times r}$, $A_2 = Y_1 \in \mathbb{R}^{N \times r}$ ماتریس‌های تصادفی می‌باشند.

برای تعیین ماتریس‌های پس‌زمینه و ناهنجاری، در رابطه (۵) و رابطه (۶) خواهیم داشت:

$$L_t = Y_1 (A_2^T Y_1)^{-1} Y_2^T \quad \text{رابطه (۵)}$$

$$S_t = P_\Omega (X - L_{t-1}) \quad \text{رابطه (۶)}$$

$P_\Omega(\cdot)$ برابر است با تصویرسازی یک ماتریس بر روی مجموعه Ω . Ω نیز زیرمجموعه‌ای غیرصفر به اندازه kN تعداد از بزرگ‌ترین اعداد $|X - L_{t-1}|$ به‌منظور تصویرسازی این ماتریس بر مجموعه Ω می‌توان از رابطه (۷) استفاده نمود:

$$P_\Omega (X - L_t)_{(i,j)} = \begin{cases} (X - L_t)_{(i,j)} & \text{if } (i,j) \in \Omega \\ 0 & \text{if } (i,j) \notin \Omega \end{cases} \quad \text{رابطه (۷)}$$

در تکرار اول این الگوریتم ($t=1$)، ماتریس ناهنجاری با مقادیر صفر ($S_0 = 0$) و ماتریس پس‌زمینه را برابر با تصویر ورودی در نظر می‌گیریم ($L_0 = X$). مراحل تکرار را تا زمانی ادامه خواهیم داد که شرط زیر برقرار باشد:

$$\|X - L_t - S_t\|_F^2 / \|X\|_F^2 < \varepsilon \quad \text{رابطه (۸)}$$

اندیس F در رابطه (۸) بیانگر نرم فروبنیوس و پارامتر ε برابر با حد آستانه در نظر گرفته شده بوده که معیاری از توقف الگوریتم می‌باشد. جزئیات این روش را می‌توان در [۲۸] بررسی نمود. پس از تجزیه ماتریس پس‌زمینه و ناهنجاری، معیار فاصله ماحالانوبیس برحسب میانه را می‌توان با رابطه (۹) تعریف نمود:

^۱ Go Decomposition

رابطه (۹)

$$D_{\text{proposed method}}(x) = (x - \mu_b)^T \Gamma_b^{-1} (x - \mu_b)$$

$$\mu_b = \text{Median}(B_1, B_2, \dots, B_N)$$

$$\Gamma_b = \frac{1}{N} (B - \mu_b)^T \times (B - \mu_b)$$

$$\Gamma_b = V A V^T$$

$$\Gamma_b^{-1} = V A^{-1} V^T = \sum_{i=1}^B \lambda_i^{-1} V_i V_i^T$$

در این رابطه μ_b و Γ_b به ترتیب برابر میانه و ماتریس کواریانس داده پس زمینه ورودی می باشد.

در رابطه (۹)، $V = [V_1, V_2, \dots, V_B]$ بیانگر ماتریس بردار ویژه حاصل از تجزیه ماتریس کواریانس پس زمینه و $A = \text{diag}(\lambda_1, \lambda_2, \dots, \lambda_B)$ برابر با ماتریس مقادیر ویژه با شرط $\lambda_1 \geq \lambda_2 \geq \dots \geq \lambda_B$ خواهد بود.

۴- نتایج و بحث

در این بخش، نتایج حاصل از مراحل کاهش بعد تصاویر ابرطیفی و الگوریتم پیشنهادی آشکارسازی ناهنجاری ها از پس زمینه به تفصیل مورد بررسی قرار خواهند گرفت.

۴-۱- مرحله کاهش بعد تصاویر ابرطیفی

در این پژوهش، دو روش FFT و DWT به منظور کاهش بعد تصاویر ابرطیفی و مرحله پیش پردازش الگوریتم آشکارسازی ناهنجاری مورد بررسی قرار می گیرند. در کاربرد کاهش بعد تصاویر، رزولوشن در راستای زمانی مورد توجه نبوده و می توان با اعمال دو تبدیل فوریه سریع و موجک، رزولوشن را از حوزه زمان به فرکانس انتقال داده و تمامی فرکانس های یک سیگنال را تعیین نمود. در واقع مقادیر درجات خاکستری هر پیکسل از باندهای تصاویر ابرطیفی به عنوان یک سیگنال در نظر گرفته شده که با اعمال تبدیل فوریه سریع و یا موجک بر آن، طیف فرکانسی سیگنال در هر پیکسل برآورد خواهد شد. پس از اعمال اولیه فیلتر پایین گذر و بالاگذر بر تصویر، می توان دریافت بخش عمده سیگنال در تصویر از مولفه های پایین فرکانس تشکیل شده است. بنابراین با محاسبه دامنه حاصل از دو تبدیل FFT و DWT بر سیگنال هر پیکسل، میزان تغییرات دامنه در مولفه های مختلف فرکانسی قابل مشاهده خواهد بود. شکل (۳) تغییرات درجات خاکستری چندین شماره

پیکسل تصادفی در باندهای دو تصویر ابرطیفی و همچنین میزان تغییرات دامنه در مولفه های فرکانسی حاصل از FFT را نشان می دهد.

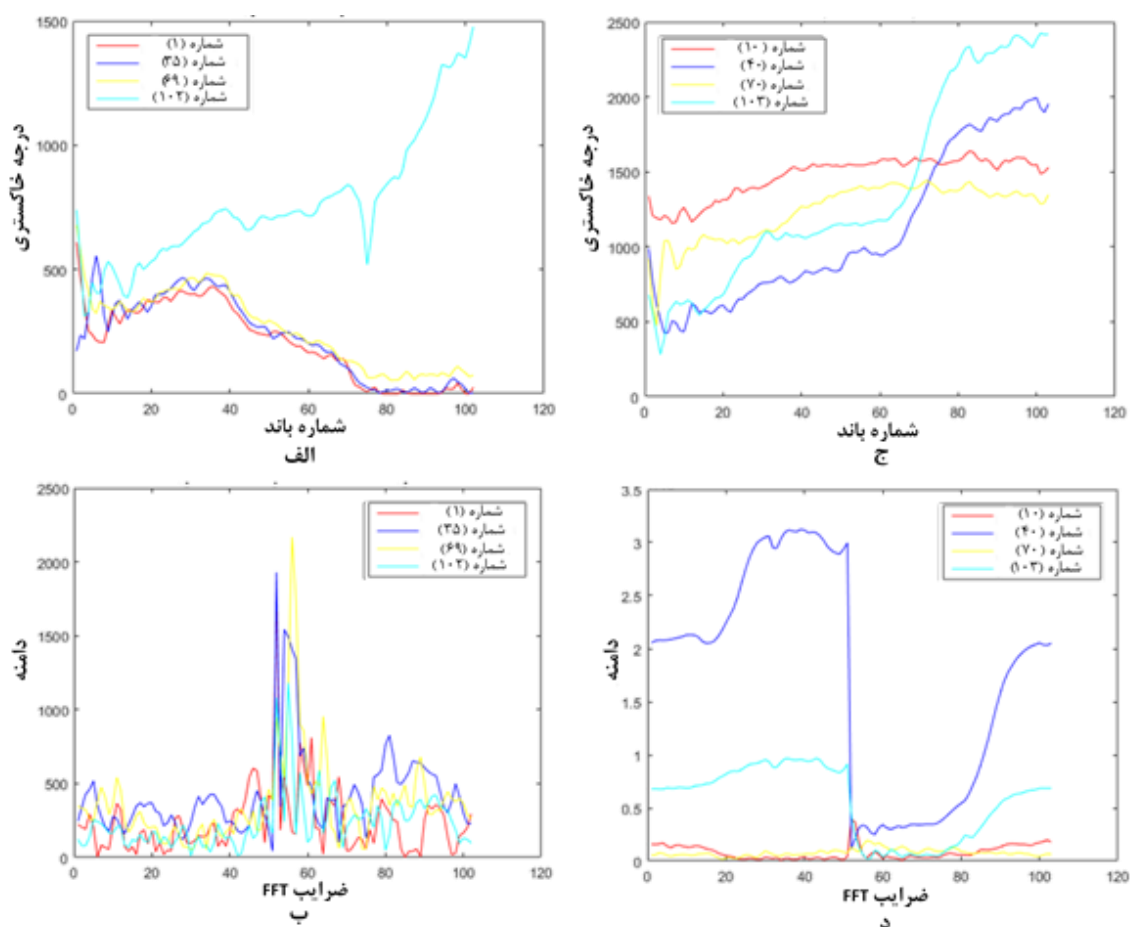
در حالت کلی مولفه های مرتبط با مقادیر بالای دامنه در مقایسه با سایر مولفه های فرکانسی، اطلاعات بیشتری را از سیگنال حفظ می نمایند. با بررسی رفتار چندین پیکسل تصادفی انتخاب شده از هر تصویر ابرطیفی در شکل (۳) می توان مشاهده نمود تنها چندین مولفه فرکانسی حاصل از FFT از مقادیر بالای دامنه برخوردار بوده و این در حالی است که بسیاری از ضرایب فرکانسی دارای مقادیر بسیار پایین دامنه می باشند. حال می توان از همین ویژگی در جهت کاهش ابعاد تصاویر ابرطیفی بهره گرفت. در واقع با میان گیری از دامنه تمامی پیکسل های تصویر در هر باند طیفی و مرتب نمودن مقادیر حاصل از بیش ترین به کوچک ترین مقدار، باندهایی با بیش ترین مقادیر دامنه انتخاب می گردد.

شکل (۴) میانگین دامنه حاصل از تبدیل فوریه سریع را در باندهای هر یک از تصاویر ابرطیفی نشان می دهد. همان گونه که در این شکل مشاهده می گردد باندهای ۵۲ و ۵۳ از تصاویر ابرطیفی متعلق به مرکز شهر پاولا و باندهای ۳۱-۳۰ و ۴۰-۳۵ از تصاویر ابرطیفی متعلق به دانشگاه پاولا در مقایسه با سایر باندهای طیفی از بیش ترین مقادیر دامنه برخوردار می باشند. حال با باندهای انتخابی از هر یک از دو تصویر متعلق به مرکز شهر و دانشگاه پاولا، می توان تقریب مناسبی از تصاویری با تعداد بالای باند طیفی تشکیل داده و به عنوان تصویر پیش پردازش شده وارد الگوریتم آشکارسازی ناهنجاری نمود. در روش کاهش بعد DWT ، ابتدا یک پیکسل به طور تصادفی از میان تمام پیکسل های دو تصویر ابرطیفی انتخاب شده و سپس تابع موجک دو بچیز^{۱۳} در سطوح مختلف بر سیگنال پیکسل انتخابی (مقادیر

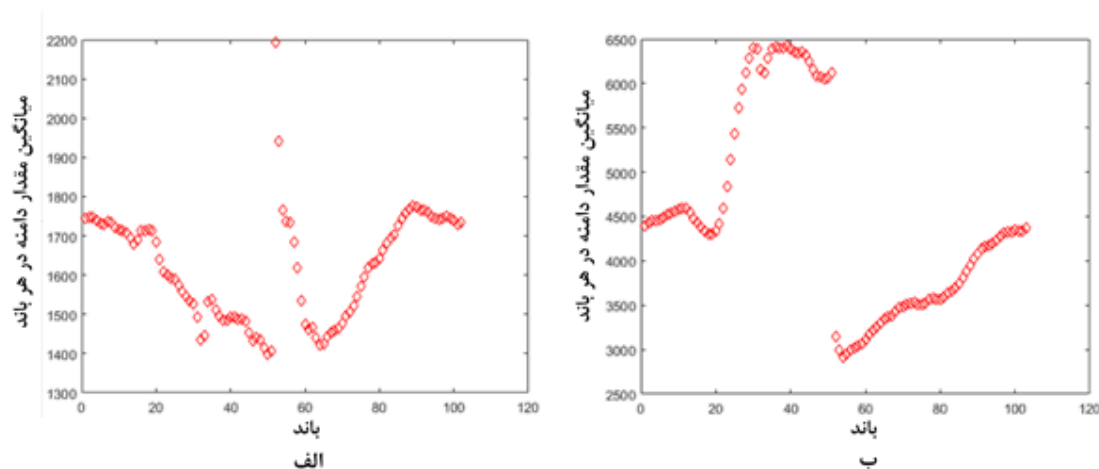
^{۱۳} Daubechies3

حد آستانه انتخاب گردید. شکل (۵) سیگنال اولیه، مقادیر دامنه متناظر با ضرایب تجزیه DWT را با استفاده از تابع موجک دوبچیز ۳ و در سطوح مختلف ۴ و ۶ در هر یک از تصاویر ابرطیفی نشان می‌دهد.

پیکسل انتخابی در باندهای مختلف اعمال گردیده- است. در این پژوهش پس از محاسبه ضریب همبستگی میان سیگنال اولیه (مقادیر پیکسل انتخابی) و سیگنال بازسازی شده از هر یک از سطوح تجزیه، در نهایت سطح تجزیه ۶ با کوچک‌ترین مقدار همبستگی بالاتر از



شکل ۳: (الف) تغییرات درجات خاکستری چندین پیکسل تصادفی در باندهای تصویر ابرطیفی متعلق به مرکز شهر پاویا (ب) میزان تغییرات دامنه در مولفه‌های فرکانسی حاصل از FFT در چندین پیکسل تصادفی از تصویر ابرطیفی متعلق به مرکز شهر پاویا (ج) تغییرات درجات خاکستری چندین پیکسل تصادفی در باندهای تصویر ابرطیفی متعلق به دانشگاه پاویا (د) میزان تغییرات دامنه در مولفه‌های فرکانسی حاصل از FFT در چندین پیکسل تصادفی از تصویر ابرطیفی متعلق به دانشگاه پاویا



شکل ۴: (الف) مقادیر میانگین گیری شده از دامنه تمامی پیکسل های تصویر در هر باند طیفی از تصویر متعلق به مرکز شهر پاویا (ب) مقادیر میانگین گیری شده از دامنه تمامی پیکسل های تصویر در هر باند طیفی از تصویر متعلق به دانشگاه پاویا

در واقع مساحت بیش تر سطح زیر منحنی^۲ (AUC) بیانگر عملکرد بهتر الگوریتم آشکارساز در تشخیص ناهنجاری ها از فضای پس زمینه خواهد بود. پس از اجرای هر الگوریتم آشکارسازی و تشکیل دو کلاس پس زمینه و ناهنجاری، با محاسبه نسبت تعداد پیکسل های ناهنجاری صحیح شناسایی شده به نسبت کل پیکسل های ناهنجاری، احتمال تشخیص صحیح ناهنجاری ها تعیین می گردند. هم چنین با محاسبه نسبت تعداد پیکسل های پس زمینه که به اشتباه ناهنجاری شناسایی شده به تعداد کل پیکسل های پس-زمینه می توان نرخ هشدار اشتباه را نیز به دست آورد. در این پژوهش، عملکرد الگوریتم پیشنهادی و زمان اجرای آن با سایر روش های آشکارسازی همانند SSRX، BACON و LLaSMD اقلیدسی مبنای مقایسه و مورد ارزیابی قرار گرفت.

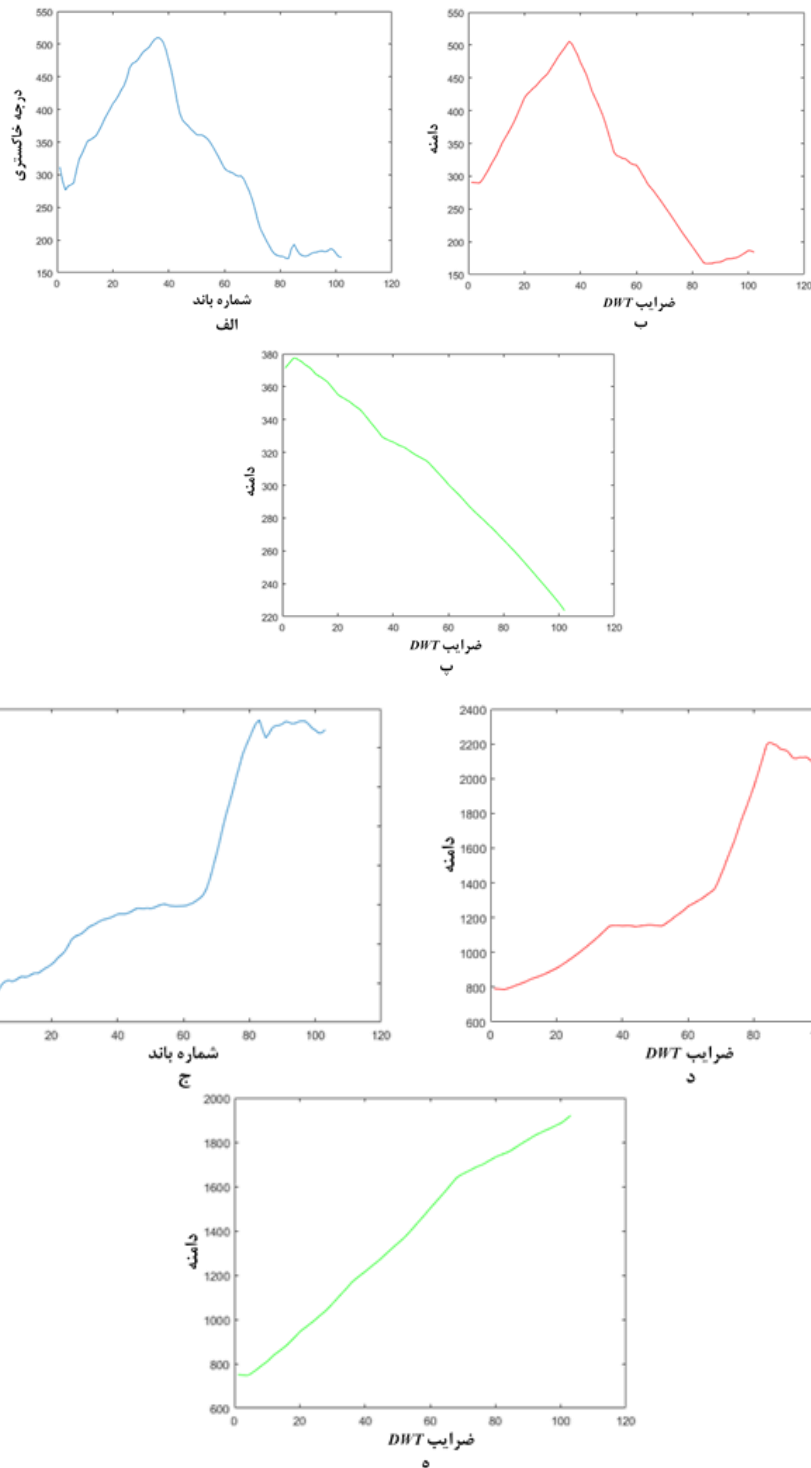
همان گونه که شکل (۵-ب) نشان می دهد ۵ مولفه فرکانسی اولیه از تصویر متعلق به مرکز شهر پاویا با بالاترین مقادیر دامنه، بیش ترین اطلاعات از سیگنال را دربر گرفته و می توان آن ها را به عنوان تقریبی از سیگنال اولیه متصور شد. هم چنین در شکل (۵-ه) نیز ۲ باند ۱۰۲ و ۱۰۳ از تصویر ابرطیفی متعلق به دانشگاه پاویا بدون از دست دادن اطلاعات مفید سیگنال، امکان صرف نظر از باقی مانده مولفه های فرکانسی (متناظر با کم ترین مقادیر دامنه) را فراهم می آورد.

۴-۲- مرحله به کارگیری الگوریتم آشکارسازی ناهنجاری

در این مرحله پس از انجام پیش پردازش بر دو تصویر ابرطیفی و انتخاب باندهای بهینه، می توان الگوریتم پیشنهادی را بر تصاویر کاهش بعد یافته اعمال نمود. منحنی مشخصه عملکرد سیستم^۱ (ROC) به عنوان راهکاری رایج در راستای ارزیابی انواع الگوریتم های آشکارسازی ناهنجاری به کار می رود. این منحنی با برقراری ارتباط میان احتمال تشخیص صحیح / نرخ هشدار اشتباه و محاسبه مساحت سطح زیر منحنی، یک ارزیابی کمی را از عملکرد آشکارساز ارائه می نماید.

^۲ Area Under Curve

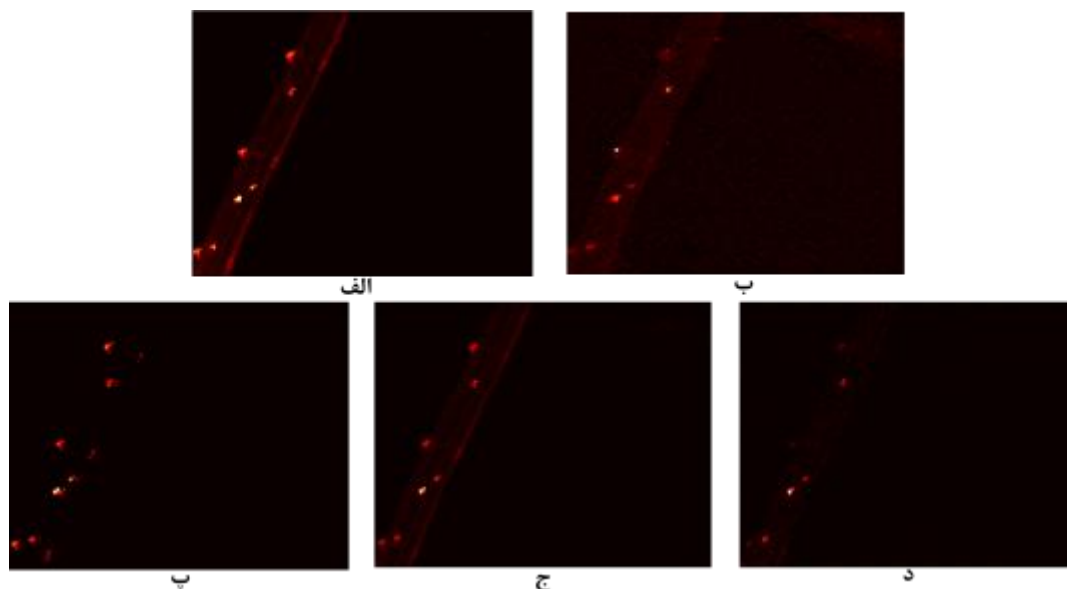
^۱ Receiver Operating Characteristic



شکل ۵: (الف) تغییرات درجات خاکستری پیکسل انتخابی در باندهای تصویر ابرطیفی متعلق به مرکز شهر پاویا (ب) میزان تغییرات دامنه در مولفه‌های فرکانسی حاصل از DWT متعلق به تصویر مرکز شهر پاویا در سطح تجزیه ۴ (پ) میزان تغییرات دامنه در مولفه‌های فرکانسی حاصل از DWT متعلق به تصویر مرکز شهر پاویا در سطح تجزیه ۶ (ج) تغییرات درجات خاکستری پیکسل انتخابی در باندهای تصویر ابرطیفی متعلق به دانشگاه پاویا (د) میزان تغییرات دامنه در مولفه‌های فرکانسی حاصل از DWT متعلق به تصویر دانشگاه پاویا در سطح تجزیه ۴ (ه) میزان تغییرات دامنه در مولفه‌های فرکانسی حاصل از DWT متعلق به تصویر دانشگاه پاویا در سطح تجزیه ۶

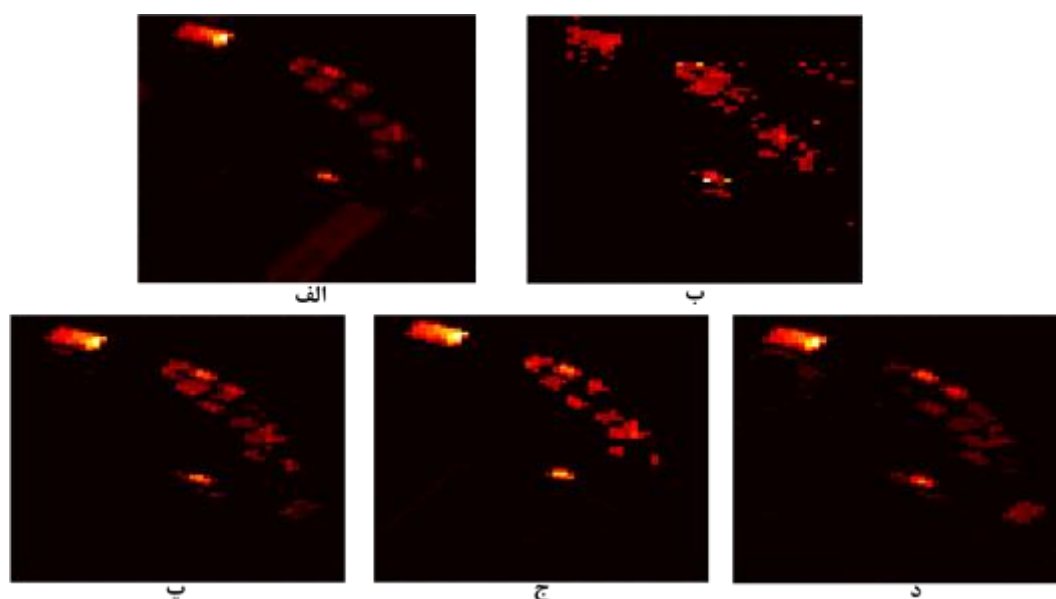
بیشتر فاصله ماهالانوبیس بر فرض توزیع گوسین داده-های ابرطیفی در مقایسه با فاصله اقلیدسی، در تحقیقات انجام شده به اثبات رسیده است. این در حالی است که نقشه آماری ایجاد شده توسط روش پیشنهادی، با مینیمم سازی خطای تجزیه، توانسته نویز را از سیگنال های موجود در تصویر تفکیک نموده و با جداسازی دو مولفه پس زمینه و ناهنجاری، تعداد پیکسل های غیر صفر ناهنجاری را در ماتریسی جداگانه با عنوان ماتریس خلوت ایجاد سازد. هم چنین استفاده از معیار میانه در فاصله ماهالانوبیس علاوه بر تخمین دقیق تری از ویژگی های آماری پس زمینه، توانسته تفکیک پذیری بهتری را در پیکسل های متفاوت از پس زمینه ارائه نماید. منحنی ROC هر یک از الگوریتم های آشکارساز و عملکرد بهتر روش پیشنهادی را می توان در شکل (۶)، شکل (۷) و شکل (۹) مشاهده نمود. هم چنین جدول (۱) زمان انجام محاسبات را برای هر یک از روش های آشکارسازی ناهنجاری نشان میدهد.

در شکل (۶) نتایج آشکارسازی پیکسل های ناهنجاری در تصاویر متعلق به مرکز شهر و دانشگاه پویا را می توان برای هر یک از الگوریتم های آشکارساز مشاهده نمود. نتایج نشان دهنده آن است که روش SSRX بدون حذف اثرات پیکسل های ناهنجاری از پس زمینه، ویژگی های آماری پس زمینه را تخمین زده و نتایج آشکارسازی را تحت تاثیر قرار داده است. هم چنین دیگر روش آشکارساز BACON با انتخاب زیرمجموعه ای اولیه از پیکسل های عاری از ناهنجاری توانسته عملکرد دیگری را در مقایسه با روش قبلی نشان دهد. در روش LRA SMD اقلیدسی مینا، مقدار هر پیکسل براساس فاصله اقلیدسی میان بردار حاصل از ماتریس خلوت ناهنجاری و میانگین آن تعیین گردیده است. در این الگوریتم، با صرف نظر از مولفه پس زمینه، تفکیک ناهنجاری ها تنها براساس مولفه ناهنجاری حاصل از تجزیه تصویر ورودی انجام گرفته است. این در حالی است که با تجزیه ماتریس ورودی به سه مولفه پس-زمینه، ناهنجاری و نویز، توانسته است اثر ناهنجاری ها را در مولفه پس زمینه به حداقل برساند. هم چنین انطباق



شکل ۶: نتایج حاصل از الگوریتم های آشکارسازی ناهنجاری. الف) SSRX ب) BACON

پ) روش پیشنهادی با استفاده از کاهش بعد FFT ج) روش پیشنهادی با استفاده از کاهش بعد DWT د) روش پیشنهادی با استفاده از کاهش بعد DWT

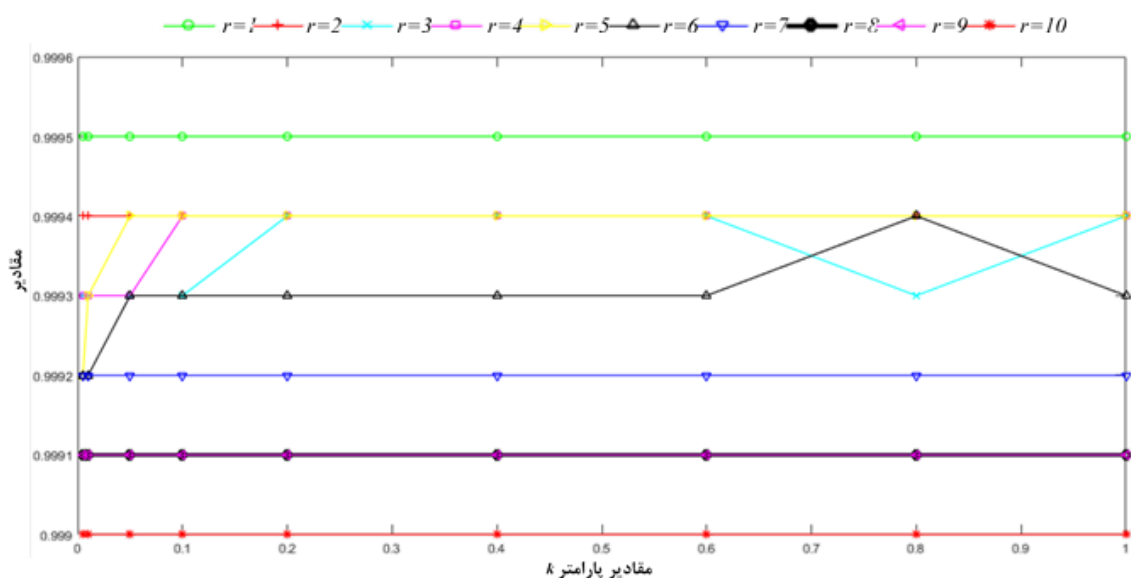


شکل ۷: نتایج حاصل از الگوریتم‌های آشکارسازی ناهنجاری. الف) BACON ب) LRA SMD

پ) اقلیدسی مبنا ج) روش پیشنهادی با استفاده از کاهش بعد FFT د) روش پیشنهادی با استفاده از کاهش بعد DWT

ترین مقدار پارامتر r حاصل گردیده و افزایش پارامتر r به تدریج منجر به کاهش سطح زیر منحنی الگوریتم پیشنهادی می‌گردد. از این رو در این پژوهش، مقدار انتخابی پارامتر r برای دو تصویر برابر با ۱ در نظر گرفته شده است. همچنین از بالاترین نمودار حاصل در شکل (۸) می‌توان مشاهده نمود که AUC به دست آمده از منحنی ROC با افزایش مقادیر k تغییری نداشته و مقادیر ثابتی را نشان می‌دهد. در الگوریتم آشکارساز پیشنهادی، پارامتر k را می‌توان به عنوان پارامتر کنترل کننده انرژی در ماتریس خلوت ناهنجاری در نظر گرفت. افزایش تدریجی این پارامتر از مقادیر بسیار کوچک آن، منجر به در نظرگیری ویژگی‌های بسیار متمایز ناهنجاری‌ها در ماتریس خلوت حاصل از تجزیه تصویر ورودی می‌گردد. این در حالی است که تداوم افزایش مقادیر k ، منجر به مشارکت برخی از ویژگی‌های طیفی پیکسل‌های پس زمینه در ماتریس ناهنجاری و در نتیجه کاهش تدریجی تفکیک پذیری پیکسل‌های پس زمینه از ناهنجاری‌ها می‌گردد. از این رو بهینه پارامتر k برابر با مقدار اولیه ۰/۰۰۵ در نظر گرفته خواهد شد.

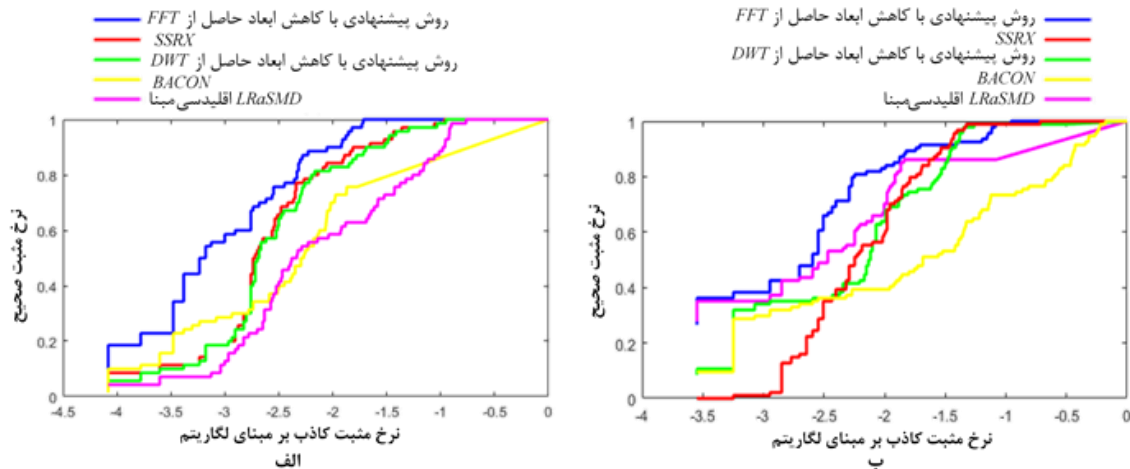
روش پیشنهادی در این تحقیق نیاز به ۲ پارامتر تنظیمی r و k داشته است. همان گونه که پیش تر در رابطه (۳) توضیح داده شد مقدار پارامترهای k و r را می‌توان به ترتیب نسبت پیکسل‌های ناهنجاری به کل پیکسل‌های تصویر و تعداد کلاس‌های غالب در پس زمینه بیان نمود. براساس آنالیز صورت گرفته در [۳۲]، مقدار پارامتر r به عنوان مرتبه ماتریس پس زمینه با تعداد کلاس‌های اصلی آن وابستگی بسیار داشته است. در یک مطالعه انجام شده مقدار این پارامتر در بازه [۴۰-۱] مورد بررسی قرار گرفته و نتیجه حاصل حاکی از آن است که انتخاب مقادیر کوچک r عملکرد بهتری را از خود نشان می‌دهد [۳۳]. در این پژوهش، مقادیر مناسب دو پارامتر r و k را می‌توان از طریق AUC به دست آمده از منحنی ROC در هر مقدار انتخابی تعیین نمود. شکل (۸) تغییرات سطح زیر منحنی ROC حاصل از روش پیشنهادی را همزمان با تغییر مقادیر مختلف پارامترهای k و r نشان می‌دهد. از نتایج به دست آمده می‌توان دریافت، بالاترین مقدار سطح زیر منحنی ROC در روش پیشنهادی، با انتخاب کوچک-



شکل ۸: سطح زیر منحنی حاصل از روش پیشنهادی با تغییر پارامترهای k و r

جدول ۱: سطح زیر منحنی و زمان اجرای محاسبات

تصویر ابرطیفی	روش آشکارسازی	SSRX	BACON	LRaSMD اقلیدسی مبنا	روش پیشنهادی (کاهش بعد FFT)	روش پیشنهادی (کاهش بعد DWT)
تصویر متعلق به مرکز شهر پاویا	زمان انجام محاسبات (ثانیه)	۰٫۹۸	۲٫۲۰	۱٫۷۴	۱٫۱۱	۳٫۲۲
	نرخ هشدار اشتباه	۰٫۰۴۳۴	۰٫۰۵۹۲	۰٫۲۲۳۷	۰٫۰۳۹۳	۰٫۰۴۹۵
تصویر متعلق به دانشگاه پاویا	زمان انجام محاسبات (ثانیه)	۱٫۴۸	۱٫۵۳	۰٫۹۹	۰٫۵۵	۱٫۶۸
	نرخ هشدار اشتباه	۰٫۰۴۹۰	۱٫۴۵۲۴	۰٫۰۳۴۶	۰٫۰۰۳۶	۰٫۰۴۸۷



شکل ۹: الف) منحنی ROC برای هر یک از آشکارسازها در تصویر متعلق به مرکز شهر پاویا (ب) منحنی ROC برای هر یک از آشکارسازها در تصویر متعلق به دانشگاه پاویا

نماید. همچنین روش تجزیه پیشنهادی با فراهم نمودن امکان استفاده از هر دو مولفه پس‌زمینه/ناهنجاری در تصویر و کاهش اثرات وجود نویز و پیکسل‌های ناهنجاری در فضای پس‌زمینه، توانست تخمین دقیقی را از ویژگی‌های آماری پس‌زمینه برآورد نماید. به‌طور کلی به‌کارگیری این روش تجزیه با استفاده از فاصله ماحالانویس برحسب میانه، حاکی از عملکرد بهتر آشکارسازی پیکسل‌های متفاوت از پس‌زمینه داشته‌است.

در تحقیقات آتی پیشنهاد می‌گردد نتایج حاصل از روش‌های غیرخطی کاهش بعد تصاویر ابرطیفی به منظور بهبود هر چه بیش‌تر عملکرد آشکارسازی ناهنجاری‌ها مورد بررسی و ارزیابی قرار گیرد.

۵- نتیجه‌گیری و پیشنهادات

هدف از این پژوهش، ارائه روشی نوین در آشکارسازی پیکسل‌های ناهنجاری از فضای پس‌زمینه در دو تصویر ابرطیفی متعلق به مرکز شهر و دانشگاه پاویا می‌باشد. در روش پیشنهادی، ترکیب به‌کارگیری تکنیک کاهش بعد خطی FFT و الگوریتم تجزیه تصویر با استفاده از فاصله ماحالانویس وزن‌دار، توانست عملکرد تمایزبخشی میان پیکسل‌های پس‌زمینه و ناهنجاری را بهبود بخشد.

در واقع به‌کارگیری تکنیک کاهش بعد FFT به‌عنوان مرحله پیش‌پردازش الگوریتم آشکارسازی ناهنجاری، توانست از میان تعداد باندهای بسیار تصویر ابرطیفی، ویژگی‌هایی با بیش‌ترین اطلاعات را از تصویر استخراج

مراجع

- [1] D. Landgrebe, "On information extraction principles for hyperspectral data," Purdue University, West Lafayette, IN, USA, vol. 34, 1997.
- [2] G. Shaw and D. Manolakis, "Signal processing for hyperspectral image exploitation," *IEEE Signal processing magazine*, vol. 19, pp. 12-16, 2002.
- [3] L. Gao, Q. Guo, A. J. Plaza, J. Li, and B. Zhang, "Probabilistic anomaly detector for remotely sensed hyperspectral data," *Journal of applied remote sensing*, vol. 8, 2002.
- [4] C.-I. Chang, *Hyperspectral data processing: algorithm design and analysis*: John Wiley & Sons, 2013.
- [5] A. Chudnovsky, A. Kostinski, L. Herrmann, I. Koren, G. Nutesku, and E. Ben-Dor,

- "Hyperspectral spaceborne imaging of dust-laden flows: Anatomy of Saharan dust storm from the Bodélé Depression," *Remote sensing of environment*, pp.1013-1024, 2011.
- [6] M. Liu, X. Liu, L. Wu, L. Duan, and B. Zhong, "Wavelet-based detection of crop zinc stress assessment using hyperspectral reflectance," *Computers & geosciences*, vol.37, pp.1254-1263, 2011.
- [7] M. Prabhakar, Y. Prasad, M. Thirupathi, G. Sreedevi, B. Dharajothi, and B. Venkateswarlu, "Use of ground based hyperspectral remote sensing for detection of stress in cotton caused by leafhopper (Hemiptera: Cicadellidae)," *Computers and Electronics in Agriculture*, vol.79, pp. 189-198, 2011.
- [8] M. T. Eismann, A. D. Stocker, and N. M. Nasrabadi, "Automated hyperspectral cueing for civilian search and rescue," *Proceedings of the IEEE*, vol. 97, pp. 1031-1055, 2009.
- [9] P. W. Yuen and G. Bishop, "Hyperspectral algorithm development for military applications: A multiple fusion approach," in *3rd EMRS DTC Technical Conference*, pp.16-17, 2006.
- [10] C. Zhao, Y. Wang, B. Qi, and J. Wang, "Global and local real-time anomaly detectors for hyperspectral remote sensing imagery," *Remote Sensing*, vol. 7, pp. 3966-3985, 2015.
- [11] W. Sun, C. Liu, J. Li, Y. M. Lai, and W. Li, "Low-rank and sparse matrix decomposition-based anomaly detection for hyperspectral imagery," *Journal of Applied Remote Sensing*, vol. 8, 2014.
- [12] A. Huck and M. Guillaume, "Asymptotically CFAR-unsupervised target detection and discrimination in hyperspectral images with anomalous-component pursuit," *IEEE Transactions on Geoscience and Remote Sensing*, vol. 48, pp. 3980-3991, 2010.
- [13] J. Meola, M. T. Eismann, R. L. Moses, and J. N. Ash, "detecting changes in hyperspectral imagery using a model-based approach," *IEEE Transactions on Geoscience and Remote Sensing*, vol. 49, pp. 2647-2661, 2011.
- [14] Y. Xu, Z. Wu, J. Li, A. Plaza, and Z. Wei, "Anomaly detection in hyperspectral images based on low-rank and sparse representation," *IEEE Transactions on Geoscience and Remote Sensing*, vol. 54, pp. 1990-2000, 2016.
- [15] E. A. Ashton and A. Schaum, "Algorithms for the detection of sub-pixel targets in multispectral imagery," *Photogrammetric Engineering & Remote Sensing*, vol. 64, pp. 723-731, 1998.
- [16] S. Küçük and S. E. Yüksel, "Comparison of RX-based anomaly detectors on synthetic and real hyperspectral data," in *Workshop on Hyperspectral Image and Signal Processing: Evolution in Remote Sensing (WHISPERS)*, pp.1-4, 2015.
- [17] N. M. Nasrabadi, "hyperspectral target detection : An overview of current and future challenges," *IEEE Signal Processing Magazine*, vol. 31, pp.34-44, 2014.
- [18] R. Zhao, B. Du, and L. Zhang, "A robust nonlinear hyperspectral anomaly detection approach," *IEEE Journal of Selected Topics in Applied Earth Observations and Remote Sensing*, vol. 7, pp. 1227-1234, 2014.
- [19] B. Du and L. Zhang, "Random-selection-based anomaly detector for hyperspectral imagery," *IEEE Transactions on Geoscience and Remote Sensing*, vol. 49, pp. 1578-1579, 2011.
- [20] K. Heesung and N. M. Nasrabadi, "Kernel RX-algorithm: a nonlinear anomaly detector for hyperspectral imager ", *IEEE Transactions on Geoscience and Remote Sensing*, vol. 43, pp. 388-397, 2005.
- [21] N. Henze and T. Wagner, "A new approach to the BHEP tests for multivariate normality," *Journal of Multivariate Analysis*, vol. 62, pp. 1-23, 1997.

- [22] L. Ma, M. M. Crawford, and J. Tian, "Anomaly detection for hyperspectral images based on robust locally linear embedding," *Journal of Infrared, Millimeter, and Terahertz Waves*, vol. 31, pp. 753-762, 2010.
- [23] M. Zare-Baghbidi, S. Homayouni, and K. Jamshidi, "Improving the RX anomaly detection algorithm for hyperspectral images using FFT," *Journal of Modeling and Simulation in Electrical and Electronics Engineering*, vol. 1, pp. 33-39, 2015.
- [24] M. Zare Baghbidi, K. Jamshidi, A. Naghsh-Nilchi, and S. Homayouni, "Improvement of anomaly detection algorithms in hyperspectral images using discrete wavelet transform," *Signal & Image Processing : An International Journal (SIPIJ)*, vol.2, pp. 13-25, 2011.
- [25] A. Moghimi, A. Mohammadzadeh, and S. Khazai, "Integrating thresholding with level set method for unsupervised change detection in multitemporal SAR images," *Canadian Journal of Remote Sensing*, vol.43, pp. 412-431, 2017.
- [26] N. Billor, A. S. Hadi, and P. F. Velleman, "BACON: blocked adaptive computationally efficient outlier nominators," *Computational Statistics & Data Analysis*, vol. 34, pp. 279-298, 2000.
- [27] A. Banerjee, P. Burlina, and C. Diehl, "A support vector method for anomaly detection in hyperspectral imagery," *IEEE Transactions on Geoscience and Remote Sensing*, vol. 44, pp. 2282-2291, 2006.
- [28] S. Khazai, S. Homayouni, A. Safari, and B. Mojaradi, "Anomaly detection in hyperspectral images based on an adaptive support vector method," *IEEE Geoscience and Remote Sensing Letters*, vol. 8, pp. 646-650, 2011.
- [29] Y. Wang, D. Yang, and M. Deng, "Low-rank and sparse matrix decomposition for genetic interaction data," *BioMed research international*, vol. 2015, pp. 573956-573956, 2015.
- [30] M. Eastaway, "The Discrete Wavelet Transform," [Online]. Available: <http://cnx.org/content/m18985/latest/>.
- [31] C. H. Park and J. H. Chang, "Time-of-arrival source localization based on weighted least squares estimator in line-of-sight/non-line-of-sight mixture environments," *International Journal of Distributed Sensor Networks*, vol. 12, pp. 1-13, 2016.
- [32] A. Sumarsono and Q. Du, "Estimation of number of signal subspaces in hyperspectral imagery using low-rank subspace representation," in *Workshop on Hyperspectral Image and Signal Processing: Evolution in Remote Sensing (WHISPERS)*, pp. 1-4, 2014.
- [33] X. Yuan and J. Yang, "Sparse and low rank matrix decomposition via alternating direction method," *Pacific Journal of Optimization*, vol. 9, pp. 1-11, 2009.
- [34] M. Zare-Baghbidi, S. Homayouni, K. Jamshidi, A. R. Naghsh-Nilchi, "Impact of linear dimensionality reduction methods on the performance of anomaly detection algorithms in hyperspectral images," *Journal of AI and Data Mining*, vol. 3, pp.11-20, 2015.
- [35] S. Kaewpiji, J. Le Moigne, T. El-Ghazawi, "Spectral data reduction via wavelet decomposition," *Society of Photo-Optical Instrumentation Engineers (SPIE)*, vol. 4738, 2002.



Separation Between Anomalous Targets and Background Based on the Decomposition of Reduced Dimension Hyperspectral Image

Mehrnoosh Omati^{1*}, Mahmood Reza Sahebi², Yazdan Amerian³

1- Ph.D. Student of Remote Sensing, Faculty of Geodesy and Geomatics Engineering, K. N. Toosi University of Technology

2- Associate Professor of Faculty of Geodesy and Geomatics Engineering, K. N. Toosi University of Technology

3- Assistant Professor of Faculty of Geodesy and Geomatics Engineering, K. N. Toosi University of Technology

Abstract

The application of anomaly detection has been given a special place among the different processings of hyperspectral images. Nowadays, many of the methods only use background information to detect between anomaly pixels and background. Due to noise and the presence of anomaly pixels in the background, the assumption of the specific statistical distribution of the background, as well as the correlation between bands of hyperspectral images, leads to increase false alarms and the limitation of the presented methods in detecting anomalies. The purpose of this paper is to propose a new method for detecting anomalies with the ability to remove the limitations in background space. In the proposed method, first, the Fast Fourier Transform (FFT) is applied on the image as a preprocess of anomaly detection algorithms. Using this linear dimension reduction technique, in addition to improving the performance of the detection algorithm, can significantly reduce the calculation. Then, by decomposition of reduced dimension hyperspectral image to the low-rank background matrix and the anomaly sparse matrix, in addition to separation of the noise from the signals in the image, both the background and anomaly components can be used to extract information. In fact, by separating the component of the anomaly from the background, the effect of the existence of anomalous pixels in the background is reduced and only the low-rank matrix is used to extract information and statistical characteristics. Also, using the weighted average Mahalanobis distance based on the median criterion in the proposed decomposition method, we can allocate a background corresponding weight to each pixel and improve the anomalies detection results. The implementation of the proposed algorithm on the Pavia Hyperspectral Image and comparing its results with other common methods showed better performance of the proposed technique in detecting anomaly pixels from the background space.

Key words: Anomaly Detection, Dimension Reduction & Decomposition of Hyperspectral Image, Low-rank Background Matrix, Sparse Anomaly Matrix.