نشریه علمی مهندسی فناوری اطلاعات مکانی

سال هشتم، شماره سوم، پاییز ۱۳۹۹

Vol.8, No.3, Autumn 2020

۲۱ -۳۸

مقاله پژوهشی

DOR: 20.1001.1.20089635.1399.8.3.3.7

[Downloaded from jgit.kntu.ac.ir on 2026-11-23]

[DOR: 20.1001.1.20089635.1399.8.3.7]

[DOI: 10.52547/jgit.8.3.21]

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 داده‌است. 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 فوریه 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 خواهدبود. 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 ماهالانوبیس وزن‌دار براساس معیار میانه در روش تجزیه پیشنهادی، توانسته به هر پیکسل، وزنی را متناسب با مرکز پس‌زمینه اختصاص داده و بدین‌ترتیب نتایج آشکارسازی ناهنجاری را بهبود بخشد. پیاده‌سازی الگوریتم پیشنهادی بر تصاویر ابرطیفی *Pavia Center* و *Pavia University* 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 نصیر الدین طوسی.

تلفن: ۰۹۱۲۷۲۷۳۱۲۱

Email: momati@mail.kntu.ac.ir

۱- مقدمه

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

آشکارسازی اهداف در تصاویر ابرطیفی به‌عنوان یک طبقه‌بندی دوکلاسه در راستای جداسازی پیکسل‌های اهداف خاص از پس‌زمینه مطرح می‌گردد[۲]. به‌طورکلی 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[2]. 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 گردیده‌است[۳ و ۱۱]. از کاربردهای آشکارسازی ناهنجاری در تصاویر ابرطیفی می‌توان به شناسایی مواد معدنی، تشخیص استرس گیاهی، مانیتورینگ محیط‌زیست، 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، عمدتا 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 درحالی‌است که به‌علت وجود پیسکل‌های ناهنجاری و نویز در تصاویر، امکان عدم دست‌یابی به دقت بالا در ویژگی‌های آماری برآوردشده از پس‌زمینه بسیار محتمل خواهد بود[۳ و ۱۱]. هم‌چنین همبستگی بین باندی در 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 خواهدبود. 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 باندی و حجم محاسبات، توانسته از اطلاعات توامان 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*

[Downloaded from jgit.kntu.ac.ir on 2026-11-23]
[DOR: 20.1001.1.20089635.1399.8.3.3.7]
[DOI: 10.52547/jgit.8.3.21]

الگوریتمهای بسیاری ارائه گردیده‌است. به‌طورکلی 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 قراردهیم.

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 معمولا 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 تکنیک-های 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*[15]*. به‌علت در دسترس نبودن اطلاعات پیشین از پس‌زمینه، این روش از طریق جایگزین‌نمودن یک بردار واحد با بردار طیفی هدف در الگوریتم *RX*، توانسته‌است 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 زیرفضای مستقل می‌تواند از اثرات پس‌زمینه تا میزان قابل‌توجهی 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 تمایزبخشی میان پس‌زمینه و ناهنجاری خواهد کاست *[۳ و ۱۹]*. از طرفی دیگر وجود همبستگی بین باندی 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 ارائه-شده حاکی از آن است که استفاده از تکنیک‌های کاهش بعد، به‌عنوان پیش‌پردازش الگوریتم آشکارسازی ناهنجاری، توانسته از افزونگی بین باندی، 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 ساخته‌است*[۳ و ۱۱]*. از

[۱] *Reed-Xiaoli*

[۲] *Uniform Target Detector*

[۳] *Subspace RX*

[۴] *Principal Component Analysis*

[۵] *Discrete Wavelet Transform*

[Downloaded from jgit.kntu.ac.ir on 2026-11-23]
[DOR: 20.1001.1.20089635.1399.8.3.3.7]
[DOI: 10.52547/jgit.8.3.21]

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 درنظرگرفتند[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 نخواهدبود[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 مبنا، با 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 داده‌شد[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 خواهدشد.

۳- مواد و روش

در این بخش، تصاویر مورد استفاده و هم‌چنین روش پیشنهادی در آشکارسازی ناهنجاری‌ها از پس‌زمینه به تفضیل 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 درنظرگرفته‌شده‌است. 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 نام‌برد. در این پژوهش، بخشی از دو تصویر مرکز شهر پاویا به ابعاد ۱۰۸×۱۱۲ پیکسل و دانشگاه پاویا به ابعاد ۴۹×۷۴ پیکسل به-منظور بررسی الگوریتم پیشنهادی آشکارسازی ناهنجاری مورد استفاده قرار می‌گیرند.

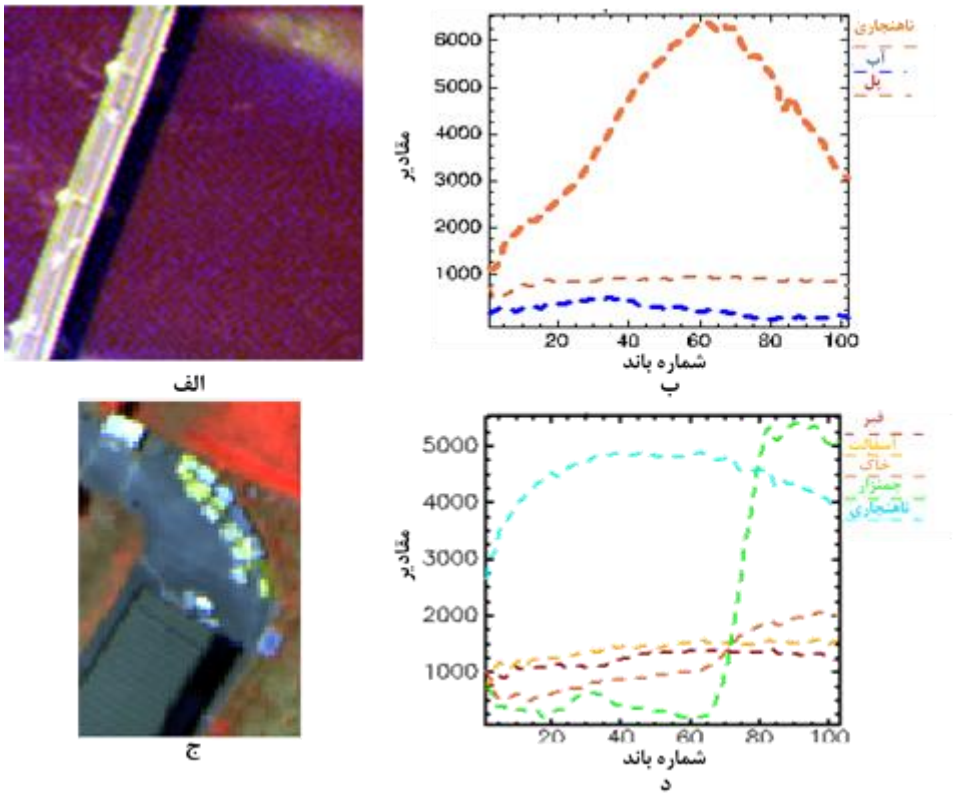
همان‌گونه که از منطقه انتخابی تصویر مرکز شهر پاویا در شکل (۱) می‌توان مشاهده نمود، مناطق آبی و پل به‌عنوان پس‌زمینه و وسایل نقلیه روی پل به‌عنوان تعدادی پیکسل متفاوت از فضای پس‌زمینه درنظرگرفته‌شده‌است. قسمت انتخابی از تصویر دانشگاه پاویا نیز کلاس‌های متفاوتی همانند قیر، آسفالت، علف-زار و وسایل نقلیه را نشان می‌دهد. در این تصویر، پیکسل‌های متعلق به وسایل نقلیه به کلاس ناهنجاری و دیگر پیکسل‌های تصویر به کلاس پس‌زمینه نسبت داده خواهدشد. 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*

[Downloaded from jgit.kntu.ac.ir on 2026-11-23]
[DOR: 20.1001.1.20089635.1399.8.3.3.7]
[DOI: 10.52547/jgit.8.3.21]

زمینه، تعداد کمی را شامل شده و از رفتار متفاوتی در باندهای طیفی برخوردار می‌باشند. از این‌رو می‌توان این پیکسل‌ها را به‌عنوان ناهنجاری درنظرگرفت. شکل (۱) ترکیب رنگی کاذب حاصل از دو تصویر متعلق به مرکز شهر و دانشگاه پاویا و هم‌چنین رفتار کلاس‌های پس-زمینه و ناهنجاری را نشان می‌دهد.



شکل ۱: (الف) ترکیب رنگی کاذب تصویر متعلق به مرکز شهر پاویا متشکل از ۳ باند طیفی (۳۰، ۶۸ و ۲)، (ب) رفتار کلاس‌های پس‌زمینه و ناهنجاری در ۱۰۲ باندهای طیفی، (ج) ترکیب رنگی کاذب تصویرمتعلق به دانشگاه پاویا متشکل از ۳ باند طیفی (*80*، *70* و *30*)، (د) رفتار کلاس‌های پس‌زمینه و ناهنجاری در ۱۰۳ باند طیفی

۳-۲- روش پیشنهادی

در این پژوهش به‌منظور آشکارسازی ناهنجاری از پس-زمینه، الگوریتم پیشنهادی شامل دو مرحله اساسی خواهدبود:

۱) کاهش بعد تصویر ابرطیفی با استفاده از تکنیک تبدیل فوریه سریع (*FFT*)[۱]

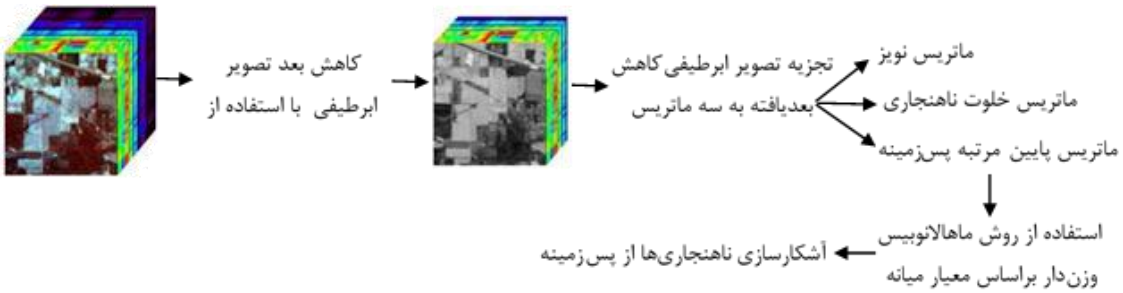
۲) به‌کارگیری یک الگوریتم آشکارسازی ناهنجاری با هدف تجزیه تصویر ابرطیفی پیش‌پردازش‌شده به سه ماتریس ساختاری پس‌زمینه، ناهنجاری و نویز.

شکل(۲) روند کلی الگوریتم پیشنهادی در آشکارسازی ناهنجاری تصاویر ابرطیفی را نشان می‌دهد. 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 پس‌زمینه به‌کارگرفته می‌شود. در روش پیشنهادی، تکنیک *FFT* به‌عنوان یک تکنیک خطی کاهش بعد فضای باندی، پیش از الگوریتم آشکارسازی

[۱] *Fast Fourier Transform (FFT)*

[Downloaded from jgit.kntu.ac.ir on 2026-11-23]
[DOR: 20.1001.1.20089635.1399.8.3.3.7]
[DOI: 10.52547/jgit.8.3.21]

ناهنجاری بر تصویر اعمال می‌گردد.



شکل۲: روند کلی الگوریتم پیشنهادی آشکارسازی ناهنجاری ها از پس زمینه

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 بعدیافته 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 به‌عنوان 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 به‌عنوان جایگزینی از معیار میانگین در فاصله ماهالانوبیس، به‌منظور بهبود عملکرد تفکیک پیکسل‌های پس‌زمینه و ناهنجاری مطرح گردیده‌است.

۳-۲-۱- کاهش بعد تصویر ابرطیفی

عملکرد روش‌های کاهش بعد تصاویر ابرطیفی در آشکارسازی ناهنجاری‌ها، وابستگی به پارامترهای دقت و زمان حاصل از به‌کارگیری تصویر کاهش بعدیافته در تفکیک ناهنجاری از پس‌زمینه خواهد داشت[۳۴]. از روش‌های خطی کاهش بعد تصاویر ابرطیفی می‌توان به-روش‌های *PCA*، *DWT* و*FFT* اشاره‌نمود. 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 نخواهدبود[۳۵].. با وجود محدودیت‌های ذکرشده از تکنیک *PCA*، در این پژوهش دو روش کاهش بعد *FFT* و *DWT* مورد بررسی قرار خواهندگرفت.

تبدیل فوریه به‌عنوان 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 به‌منظور تعیین طیف فرکانسی یک سیگنال دیجیتال می‌توان از تبدیل فوریه گسسته استفاده نمود. تبدیل فوریه سریع را می‌توان روشی کاربردی در جهت پیاده‌سازی بهینه تبدیل فوریه گسسته با حجم کم محاسبات تبدیل بیان نمود. بسیاری از سیگنال‌ها عمدتا شامل مولفه‌های پایین فرکانسی بوده که با اعمال تبدیل فوریه گسسته بر سیگنال و محاسبه دامنه آن،

[۱] *Low-Rank*

[۲] *Sparse*

[Downloaded from jgit.kntu.ac.ir on 2026-11-23]
[DOR: 20.1001.1.20089635.1399.8.3.3.7]
[DOI: 10.52547/jgit.8.3.21]

می‌توان مولفه‌های پایین فرکانسی را در سیگنال اصلی مشخص نمود[۳۰].

در پردازش تصویر، طیف هر پیکسل تصویر ابرطیفی به‌عنوان یک سیگنال درنظرگرفته‌شده که پس از تعیین ضرایب تبدیل فوریه سریع و محاسبه دامنه این مقادیر می‌توان باندهای فرکانس پایین تصویر ابرطیفی را تعیین نمود[۳۰]. در واقع دامنه محاسبه‌شده از ضرایب تبدیل فوریه سریع در باندهای فرکانس‌های پایین از مقادیر بیش‌تری 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 به‌دست آورده و در ادامه الگوریتم آشکارسازی ناهنجاری را بر تصویر پیش‌پردازش‌شده اعمال نمود.

در تکنیک *DWT* با تجزیه سیگنال موردنظر می‌توان به هر دو بخش اطلاعاتی فرکانس بالا (نویز و جزئیات) و فرکانس پایین (بخش اصلی سیگنال) دست یافت[۲۴ و ۳۴]. 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 تجزیه‌شده را مولفه‌های فرکانس پایین و بخش محدودی از آن را مولفه‌های فرکانس بالا دربرمی‌گیرند[۲۴]. از این‌رو رفتار اصلی هر سیگنال را 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 درنظرگرفته و سپس با محاسبه ضرایب *DWT* سیگنال، می‌تواند مقادیر بالا و پایین دامنه را در سیگنال تعیین نماید. مقادیر بالا و پایین دامنه به‌ترتیب بیانگر فرکانس‌های غالب و محدود از سیگنال اصلی خواهندبود[۲۴]. از این‌رو با صرف‌نظر از فرکانس‌های متناظر با مقادیر پایین دامنه، می‌توان ابعاد تصویر ابرطیفی را کاهش داد[۳۴].

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 پس‌زمینه به‌طور تقریبی ترکیبی خطی متشکل از چندین بردار پایه درنظرمی‌شود. از این‌رو فضای پس‌زمینه را می‌توان به‌عنوان ماتریسی با ویژگی کمبود بعد یا رتبه پایین درنظرگرفت. از طرفی دیگر تعداد کم پیکسل‌های ناهنجاری به نسبت کل فضای تصویر، فرض توزیع تصادفی و احتمال کم حضور را برای ناهنجاری‌ها ایجاد می‌نماید. به‌عبارت دیگر ماتریس ناهنجاری در فضای تصویر را می‌توان به‌عنوان ماتریس خلوت در نظر داشت. هم‌چنین لازم به ذکر است که نویز ناشی از عوامل مختلف می‌تواند به‌عنوان متغیرهای تصادفی مستقل با توزیع نرمال یکسان در باندهای تصویر ابرطیفی مدل‌سازی گردد[۱۴].

در روش ارائه‌شده، تصویر ورودی را می‌توان به سه ماتریس مرتبه پایین پس‌زمینه، ماتریس خلوت ناهنجاری و ماتریس نویز تجزیه نمود. تکنیک مورد استفاده قادر خواهدبود علاوه بر تفکیک سیگنال‌های حاوی اطلاعات از نویز موجود در تصاویر، مولفه پس‌زمینه را از اطلاعات حاوی ناهنجاری‌ها مجزا نموده و از هر دو مولفه اطلاعاتی پس‌زمینه و ناهنجاری به‌طورهمزمان استفاده نماید. الگوریتم پیشنهادی توانسته

[Downloaded from jgit.kntu.ac.ir on 2026-11-23]
[DOR: 20.1001.1.20089635.1399.8.3.3.7]
[DOI: 10.52547/jgit.8.3.21]

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

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 مسأله بهینه‌سازی رابطه (۲) خواهدبود.

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

δ پارامتر تنظیم در جهت کنترل خطا

card (S) تعداد ستون‌های غیرصفر در ماتریس S می-باشد.

به‌منظور حل این مسأله، الگوریتم پرسرعت انجام تجزیه[۱](*GoDec*) علاوه بر تعیین دو ساختار پس‌زمینه و ناهنجاری، قادر بوده مولفه نویز را نیز به‌طور همزمان درنظر بگیرد.

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

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

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 مسأله و با فرضیات زیر، در رابطه (۴) خواهیم داشت:

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

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

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

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

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

$P_\Omega(.)$ 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:

رابطه(۷)

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

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

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

اندیس F در رابطه (۸) بیانگر نرم فروبنیوس و پارامتر ε برابر با حد آستانه درنظرگرفته 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 ماهالانوبیس برحسب میانه را می‌توان با رابطه (۹) تعریف نمود:

[۱] *Go Decomposition*

[Downloaded from jgit.kntu.ac.ir on 2026-11-23]
[DOR: 20.1001.1.20089635.1399.8.3.3.7]
[DOI: 10.52547/jgit.8.3.21]

رابطه(۹)

$$D_{\text{proposed method}}(x) = (x-\mu_b)^T \Gamma_b^{-1}(x-\mu_b)$$
$$\mu_b = \text{Median}(B_1, B_2, ..., B_N)$$
$$\Gamma_b = \frac{1}{N}(B-\mu_b)^T \times (B-\mu_b)$$
$$\Gamma_b = VAV^T$$
$$\Gamma_b^{-1} = VA^{-1}V^T = \sum_{i=1}^{B} \lambda_i^{-1} V_i V_i^T$$

در این رابطه μ_b و Γ_b به‌ترتیب برابر میانه و ماتریس کواریانس داده پس‌زمینه ورودی می‌باشد.

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

۴- نتایج و بحث

در این بخش، نتایج حاصل از مراحل کاهش بعد تصاویر ابرطیفی و الگوریتم پیشنهادی آشکارسازی ناهنجاری‌ها از پس‌زمینه به تفضیل مورد بررسی قرار خواهندگرفت.

۴-۱- مرحله کاهش بعد تصویر ابرطیفی

در این پژوهش، دو روش *FFT* و *DWT* به‌منظور کاهش بعد تصویر ابرطیفی و مرحله پیش‌پردازش الگوریتم آشکارسازی ناهنجاری مورد بررسی قرار می‌گیرند. در کاربرد کاهش بعد تصویر، رزولوشن در راستای زمانی مورد توجه نبوده و می‌توان با اعمال دو تبدیل فوریه سریع و موجک، رزولوشن را از حوزه زمان به فرکانس انتقال داده و تمامی فرکانس‌های یک سیگنال را تعیین نمود. در واقع مقادیر درجات خاکستری هر پیکسل از باندهای تصویر ابرطیفی به‌عنوان یک سیگنال در نظر گرفته شده که با اعمال تبدیل فوریه سریع و یا موجک بر آن، طیف فرکانسی سیگنال در هر پیکسل برآورد خواهدشد. پس از اعمال اولیه فیلتر پایین‌گذر و بالاگذر بر تصویر، می‌توان دریافت بخش عمده سیگنال در تصویر از مولفه‌های پایین فرکانس تشکیل شده است. بنابراین با محاسبه دامنه حاصل از دو تبدیل *FFT* و *DWT* بر سیگنال هر پیکسل، میزان تغییرات دامنه در مولفه‌های مختلف فرکانسی قابل مشاهده خواهدبود. شکل(۳) تغییرات درجات خاکستری چندین شماره پیکسل تصادفی در باندهای دو تصویر ابرطیفی و همچنین میزان تغییرات دامنه در مولفه‌های فرکانسی حاصل از *FFT* را نشان می‌دهد.

در حالت کلی مولفه‌های مرتبط با مقادیر بالای دامنه در مقایسه با سایر مولفه‌های فرکانسی، اطلاعات بیشتری را از سیگنال حفظ می‌نمایند. با بررسی رفتار چندین پیکسل تصادفی انتخاب‌شده از هر تصویر ابرطیفی در شکل(۳) می‌توان 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 می‌باشند. حال می‌توان از همین ویژگی در جهت کاهش ابعاد تصویر ابرطیفی بهره گرفت. در واقع با میان‌گیری از دامنه تمامی پیکسل‌های تصویر در هر باند طیفی و مرتب نمودن مقادیر حاصل از بیش‌ترین به کوچک‌ترین مقدار، باندهایی با بیش‌ترین مقادیر دامنه انتخاب می‌گردد.

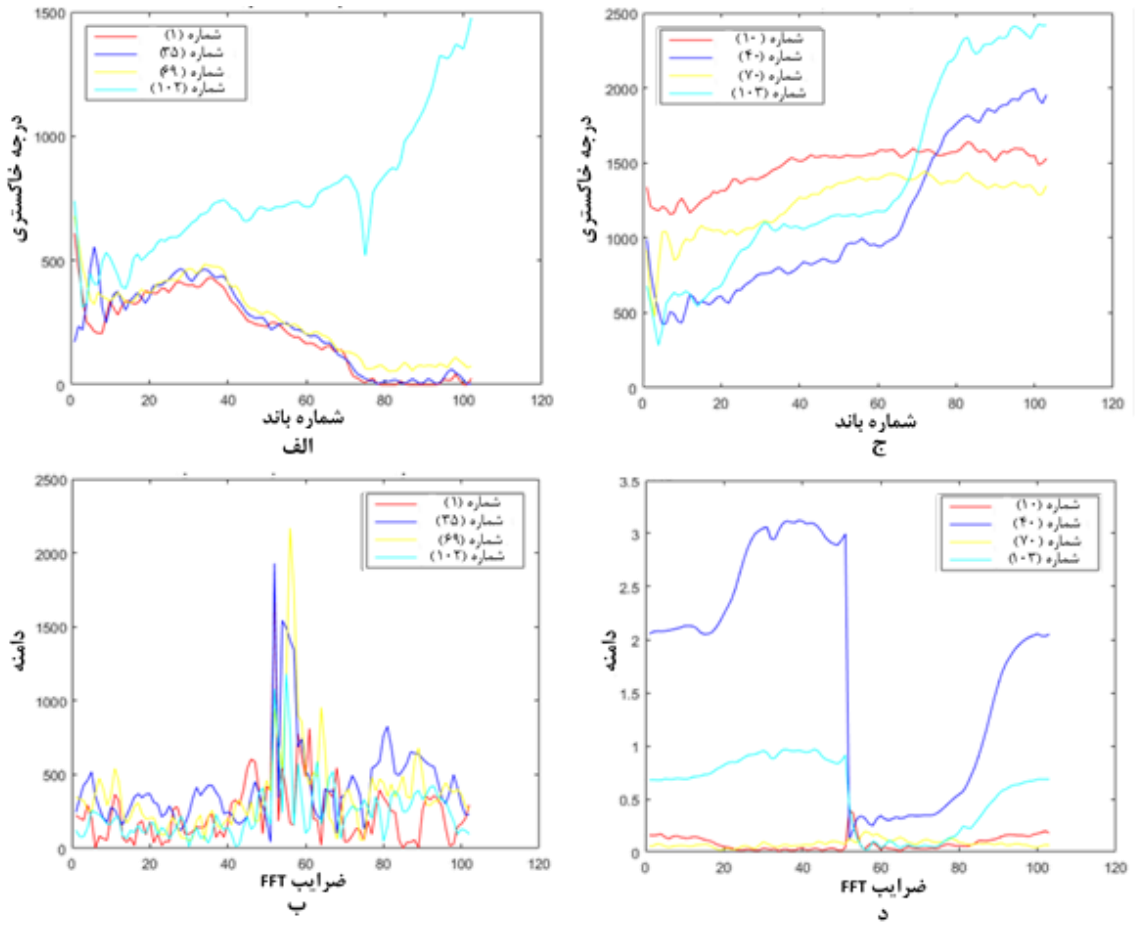
شکل (۴) میانگین دامنه حاصل از تبدیل فوریه سریع را در باندهای هر یک از تصاویر ابرطیفی نشان می‌دهد. همان‌گونه که در این شکل مشاهده می‌گردد باندهای ۵۲ و ۵۳ از تصویر ابرطیفی متعلق به مرکز شهر پاویا و باندهای ۳۱-۳۰ و ۴۰-۳۵ از تصویر ابرطیفی متعلق به دانشگاه پاویا در مقایسه با سایر باندهای طیفی از بیش‌ترین مقادیر دامنه برخوردار می‌باشند. حال با باندهای انتخابی از هر یک از دو تصویر متعلق به مرکز شهر و دانشگاه پاویا، می‌توان تقریب مناسبی از تصاویری با تعداد بالای باند طیفی تشکیل داده و به‌عنوان تصویر پیش‌پردازش‌شده وارد الگوریتم آشکارسازی ناهنجاری نمود. در روش کاهش بعد *DWT*، ابتدا یک پیکسل به‌طور تصادفی از میان تمام پیکسل‌های دو تصویر ابرطیفی انتخاب شده و سپس تابع موجک دوبچیز۳[۱] در سطوح مختلف بر سیگنال پیکسل انتخابی (مقادیر

[۱] *Daubechies3*

[Downloaded from jgit.kntu.ac.ir on 2026-11-23]
[DOR: 20.1001.1.20089635.1399.8.3.3.7]
[DOI: 10.52547/jgit.8.3.21]

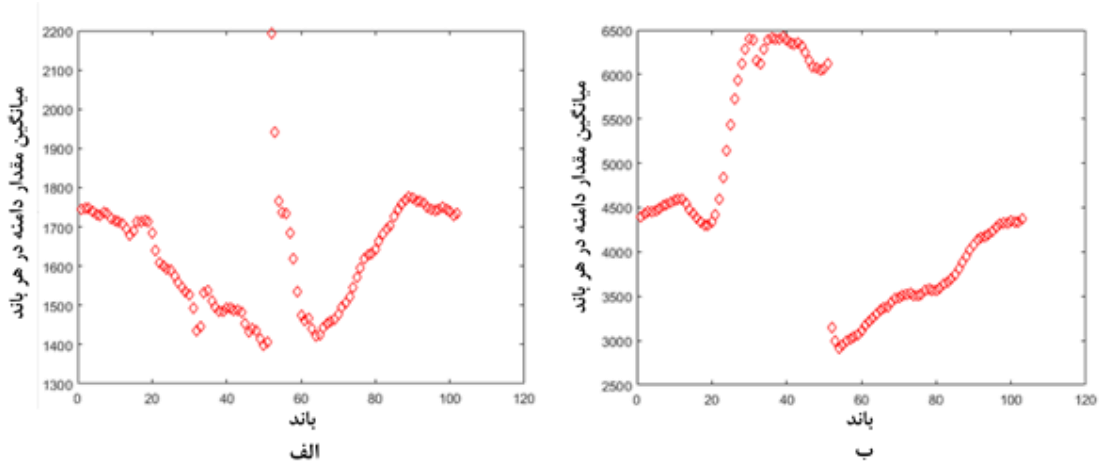
پیکسل انتخابی در باندهای مختلف) اعمال گردیده‌است. در این پژوهش پس از محاسبه ضریب همبستگی میان سیگنال اولیه (مقادیر پیکسل انتخابی) و سیگنال بازسازی شده از هر یک از سطوح تجزیه، در نهایت سطح تجزیه ۶ با کوچک‌ترین مقدار همبستگی بالاتر از حد آستانه انتخاب گردید.

شکل (۵) سیگنال اولیه، مقادیر دامنه متناظر با ضرایب تجزیه *DWT* را با استفاده از تابع موجک دوبچیز۳ و در سطوح مختلف ۴ و ۶ در هر یک از تصاویر ابرطیفی نشان می‌دهد.



شکل۳: (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

[Downloaded from jgit.kntu.ac.ir on 2026-11-23]
[DOR: 20.1001.1.20089635.1399.8.3.3.7]
[DOI: 10.52547/jgit.8.3.21]



شکل۴: (الف) مقادیر میانگین‌گیری شده از دامنه تمامی پیکسل‌های تصویر در هر باند طیفی از تصویر متعلق به مرکز شهر پاویا (ب) مقادیر میانگین‌گیری شده از دامنه تمامی پیکسل‌های تصویر در هر باند طیفی از تصویر متعلق به دانشگاه پاویا

همان‌گونه که شکل (۵-پ) نشان می‌دهد ۵ مولفه فرکانسی اولیه از تصویر متعلق به مرکز شهر پاویا با بالاترین مقادیر دامنه، بیش‌ترین اطلاعات از سیگنال را دربرگرفته و می‌توان آن‌ها را به‌عنوان تقریبی از سیگنال اولیه متصور شد. هم‌چنین 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 باقی‌مانده مولفه‌های فرکانسی (متناظر با کم‌ترین مقادیر دامنه) را فراهم می‌آورد.

۴-۲- مرحله به‌کارگیری الگوریتم آشکارسازی ناهنجاری

در این مرحله پس از انجام پیش‌پردازش بر دو تصویر ابرطیفی و انتخاب باندهای بهینه، می‌توان الگوریتم پیشنهادی را بر تصاویر کاهش بعدیافته اعمال نمود. منحنی مشخصه عملکرد سیستم[۱] (*ROC*) به‌عنوان راهکاری رایج در راستای ارزیابی انواع الگوریتم‌های آشکارسازی ناهنجاری به‌کارمی‌رود. 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 می‌نماید.

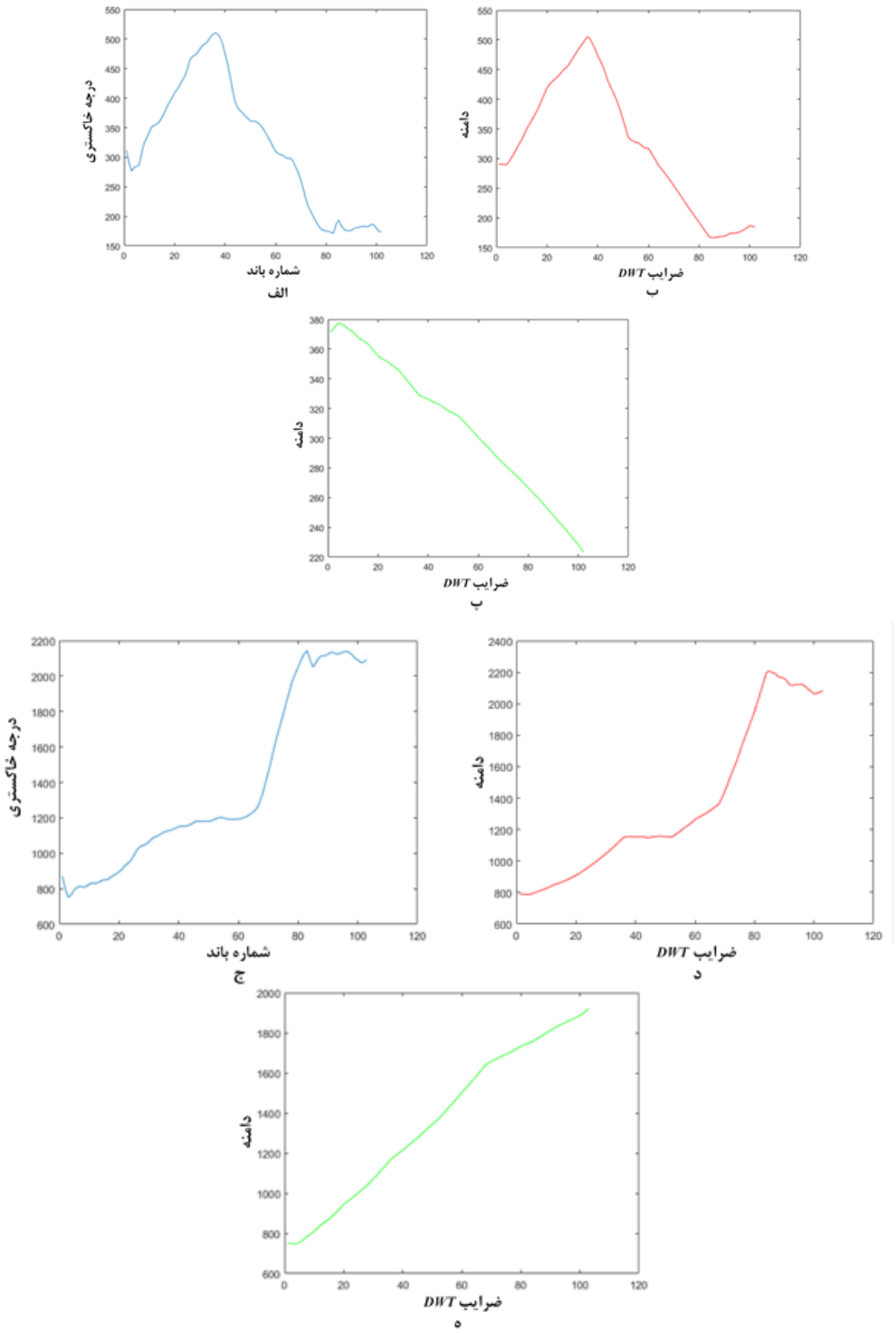
در واقع مساحت بیش‌تر سطح زیر منحنی[۲] (*AUC*) بیانگر عملکرد بهتر الگوریتم آشکارساز در تشخیص ناهنجاری‌ها از فضای پس‌زمینه خواهدبود.

پس از اجرای هر الگوریتم آشکارسازی و تشکیل دو کلاس پس‌زمینه و ناهنجاری، با محاسبه نسبت تعداد پیکسل‌های ناهنجاری صحیح شناسایی‌شده به نسبت کل پیکسل‌های ناهنجاری، احتمال تشخیص صحیح ناهنجاری‌ها تعیین می‌گردند. هم‌چنین با محاسبه نسبت تعداد پیکسل‌های پس‌زمینه که به اشتباه ناهنجاری شناسایی شده به تعداد کل پیکسل‌های پس-زمینه می‌توان نرخ هشدار اشتباه را نیز به دست آورد. در این پژوهش، عملکرد الگوریتم پیشنهادی و زمان اجرای آن با سایر روش‌های آشکارسازی همانند *SSRX*، *BACON* و *LRaSMD* اقلیدسی‌مبنا، مقایسه و مورد ارزیابی قرار گرفت.

[۱] *Receiver Operating Characteristic*

[۲] *Area Under Curve*

[Downloaded from jgit.kntu.ac.ir on 2026-11-23]
[DOR: 20.1001.1.20089635.1399.8.3.3.7]
[DOI: 10.52547/jgit.8.3.21]



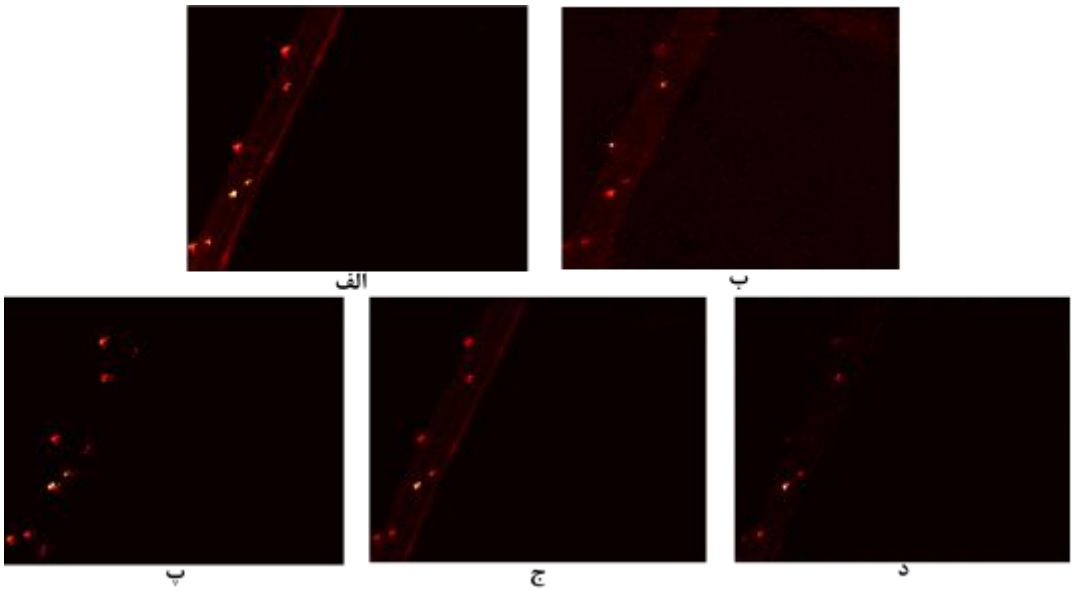
شکل۵: (الف) تغییرات درجات خاکستری پیکسل انتخابی در باندهای تصویر ابرطیفی متعلق به مرکز شهر پاویا (ب) میزان تغییرات دامنه در مولفه‌های فرکانسی حاصل از ***DWT*** متعلق به تصویر مرکز شهر پاویا در سطح تجزیه ۴ (پ) میزان تغییرات دامنه در مولفه‌های فرکانسی حاصل از ***DWT*** متعلق به تصویر مرکز شهر پاویا در 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

[Downloaded from jgit.kntu.ac.ir on 2026-11-23]
[DOR: 20.1001.1.20089635.1399.8.3.3.7]
[DOI: 10.52547/jgit.8.3.21]

در شکل (۶) نتایج آشکارسازی پیکسل‌های ناهنجاری در تصاویر متعلق به مرکز شهر و دانشگاه پاویا را می‌توان برای هر یک از الگوریتم‌های آشکارساز مشاهده نمود. نتایج نشان‌دهنده آن است که روش *SSRX* بدون حذف اثرات پیکسل‌های ناهنجاری از پس‌زمینه، ویژگی‌های آماری پس‌زمینه را تخمین زده و نتایج آشکارسازی را تحت تاثیر قرار داده‌است. هم‌چنین دیگر روش آشکارساز *BACON* با انتخاب زیرمجموعه‌ای اولیه از پیکسل‌های عاری از ناهنجاری توانسته عملکرد دیگری را در مقایسه با روش قبلی نشان دهد.

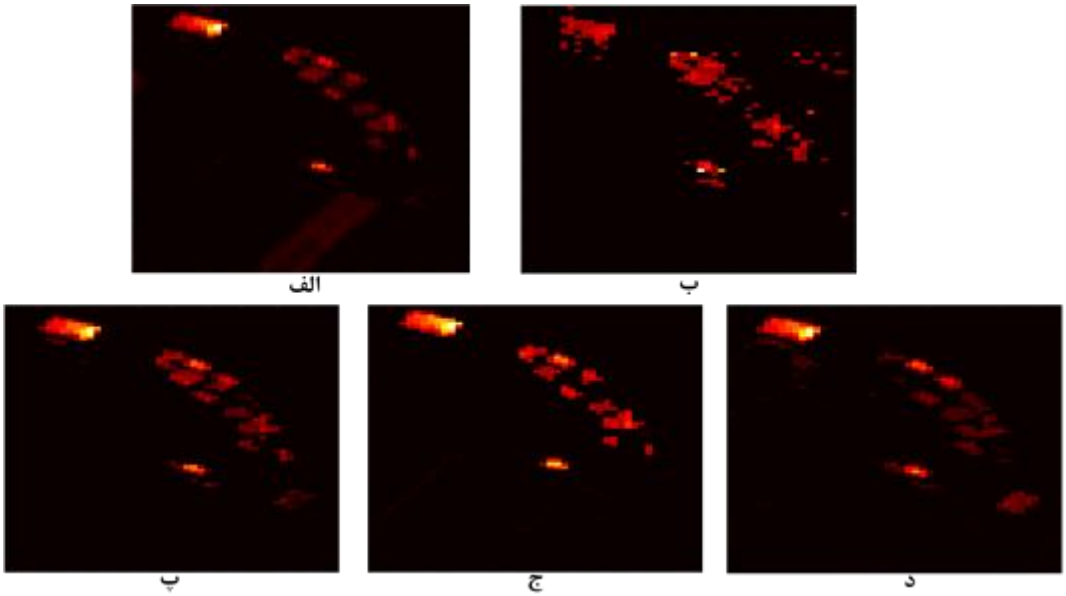
در روش *LRaSMD* اقلیدسی‌مبنا، مقدار هر پیکسل، براساس فاصله اقلیدسی میان بردار حاصل از ماتریس خلوت ناهنجاری و میانگین آن تعیین گردیده‌است. در این الگوریتم، با صرف‌نظر از مولفه پس‌زمینه، تفکیک ناهنجاری‌ها تنها براساس مولفه ناهنجاری حاصل از تجزیه تصویر ورودی انجام گرفته‌است. این در حالی است که با تجزیه ماتریس ورودی به سه مولفه پس‌زمینه، ناهنجاری و نویز، توانسته‌است اثر ناهنجاری‌ها را در مولفه پس‌زمینه به حداقل برساند. هم‌چنین انطباق بیش‌تر فاصله ماهالانوبیس بر فرض توزیع گوسین داده‌های ابرطیفی در مقایسه با فاصله اقلیدسی، در تحقیقات انجام شده به اثبات رسیده‌است.

این در حالی است که نقشه آماری ایجاد شده توسط روش پیشنهادی، با مینیمم‌سازی خطای تجزیه، توانسته نویز را از سیگنال‌های موجود در تصویر تفکیک نموده و با جداسازی دو مولفه پس‌زمینه و ناهنجاری، تعداد پیکسل‌های غیر صفر ناهنجاری را در ماتریسی جداگانه با عنوان ماتریس خلوت ایجاد سازد. هم‌چنین استفاده از معیار میانه در فاصله ماهالانوبیس علاوه بر تخمین دقیق‌تری از ویژگی‌های آماری پس‌زمینه، توانسته تفکیک‌پذیری بهتری را در پیکسل‌های متفاوت از پس‌زمینه ارائه نماید. منحنی *ROC* هر یک از الگوریتم‌های آشکارساز و عملکرد بهتر روش پیشنهادی را می‌توان در شکل (۶)، شکل (۷) و شکل (۹) مشاهده نمود. هم‌چنین جدول (۱) زمان انجام محاسبات را برای هر یک از روش‌های آشکارسازی ناهنجاری نشان میدهد.



شکل۶: نتایج حاصل از الگوریتم‌های آشکارسازی ناهنجاری. الف)*SSRX* ب)*BACON*
پ) *LRaSMD* اقلیدسی‌مبنا ج) روش پیشنهادی با استفاده از کاهش بعد *FFT* د) روش پیشنهادی با استفاده از کاهش بعد *DWT*

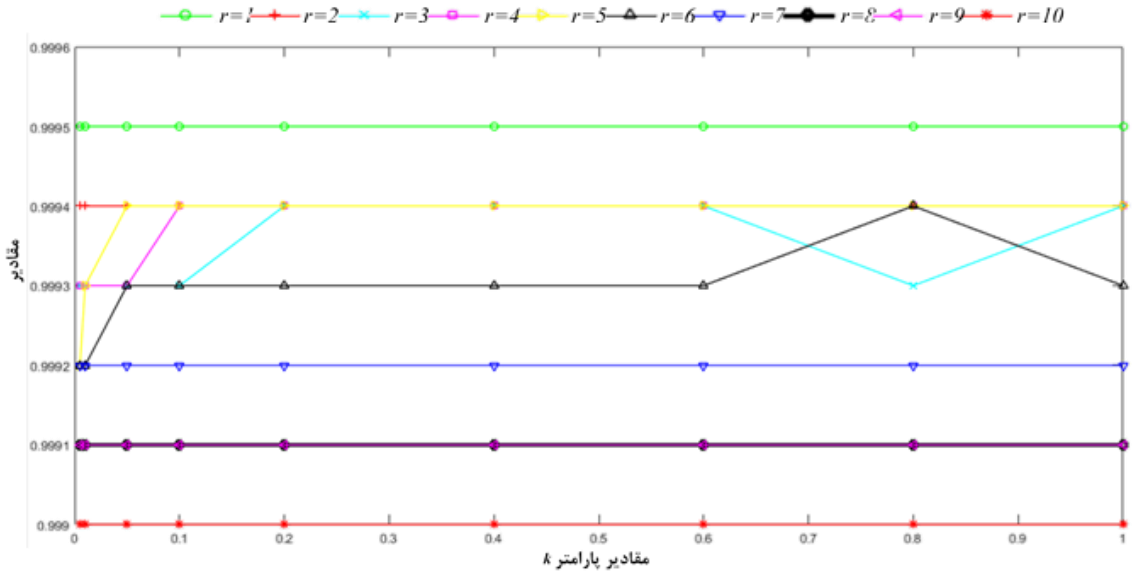
[Downloaded from jgit.kntu.ac.ir on 2026-11-23]
[DOR: 20.1001.1.20089635.1399.8.3.3.7]
[DOI: 10.52547/jgit.8.3.21]



شکل۷: نتایج حاصل از الگوریتم‌های آشکارسازی ناهنجاری. الف)*SSRX* ب)*BACON*
پ) *LRaSMD* اقلیدسی‌مبنا ج) روش پیشنهادی با استفاده از کاهش بعد *FFT* د) روش پیشنهادی با استفاده از کاهش بعد *DWT*

روش پیشنهادی در این تحقیق نیاز به ۲ پارامتر تنظیمی r و k داشته‌است. همان‌گونه که پیش‌تر در رابطه (۳) توضیح داده شد مقدار پارامترهای k و r را می‌توان به‌ترتیب نسبت پیکسل‌های ناهنجاری به کل پیکسل‌های تصویر و تعداد کلاس‌های غالب در پس‌زمینه بیان نمود. براساس آنالیز صورت‌گرفته در [۳۲]، مقدار پارامتر r به‌عنوان مرتبه ماتریس پس‌زمینه با تعداد کلاس‌های اصلی آن وابستگی بسیار داشته‌است. 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 به‌دست 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 به‌دست‌آمده می‌توان دریافت، بالاترین مقدار سطح زیر منحنی ROC در روش پیشنهادی، با انتخاب کوچک‌ترین مقدار پارامتر r حاصل گردیده و افزایش پارامتر r به‌تدریج 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 درنظرگرفته‌شده‌است. هم‌چنین از بالاترین نمودار حاصل در شکل(۸) می‌توان مشاهده نمود که AUC به‌دست آمده از منحنی ROC با افزایش مقادیر k تغییری نداشته و مقادیر ثابتی را نشان می‌دهد. در الگوریتم آشکارساز پیشنهادی، پارامتر k را می‌توان به‌عنوان پارامتر کنترل‌کننده انرژی در ماتریس خلوت ناهنجاری درنظرگرفت. افزایش تدریجی این پارامتر از مقادیر بسیار کوچک آن، منجر به درنظرگیری ویژگی‌های بسیار متمایز ناهنجاری‌ها در ماتریس خلوت حاصل از تجزیه تصویر ورودی می‌گردد. این درحالی‌است که تداوم افزایش مقادیر k، منجر به مشارکت برخی از ویژگی‌های طیفی پیکسل‌های پس‌زمینه در ماتریس ناهنجاری و در نتیجه کاهش تدریجی تفکیک‌پذیری پیکسل‌های پس‌زمینه از ناهنجاری‌ها می‌گردد. از این رو بهینه پارامتر k برابر با مقدار اولیه ۰٫۰۰۵ درنظر گرفته خواهدشد.

[Downloaded from jgit.kntu.ac.ir on 2026-11-23]
[DOR: 20.1001.1.20089635.1399.8.3.3.7]
[DOI: 10.52547/jgit.8.3.21]

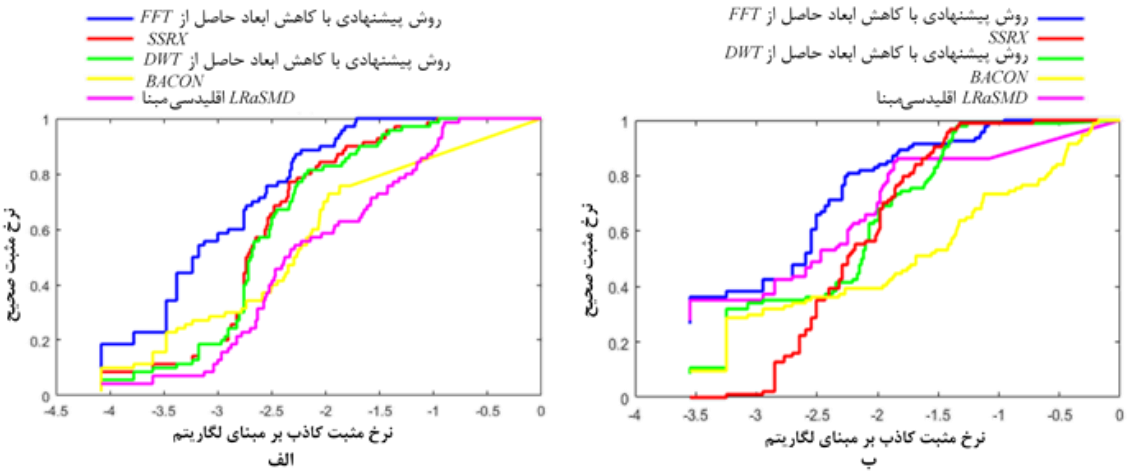


شکل۸: سطح زیر منحنی حاصل از روش پیشنهادی با تغییر پارامترهای r و k

جدول۱: سطح زیر منحنی و زمان اجرای محاسبات

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

[Downloaded from jgit.kntu.ac.ir on 2026-11-23]
[DOR: 20.1001.1.20089635.1399.8.3.3.7]
[DOI: 10.52547/jgit.8.3.21]



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

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 ماهالانوبیس 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 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. به‌طورکلی به‌کارگیری این روش تجزیه با استفاده از فاصله ماهالانوبیس 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.

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,*

[Downloaded from jgit.kntu.ac.ir on 2026-11-23]
[DOR: 20.1001.1.20089635.1399.8.3.3.7]
[DOI: 10.52547/jgit.8.3.21]

"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.

[Downloaded from jgit.kntu.ac.ir on 2026-11-23]
[DOR: 20.1001.1.20089635.1399.8.3.3.7]
[DOI: 10.52547/jgit.8.3.21]

[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 anomoly 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.

[Downloaded from jgit.kntu.ac.ir on 2026-11-23]
[DOR: 20.1001.1.20089635.1399.8.3.3.7]
[DOI: 10.52547/jgit.8.3.21]

K. N. TOOSI UNIVERSITY OF TECHNOLOGY
FACULTY OF GEODESY AND GEOMATICS ENGINEERING

Journal of Geospatial Information Technology
Vol.8 No.3, Autumn 2020

Research Paper

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

Mehrnoosh Omati[1]*, Mahmood Reza Sahebi[2], Yazdan Amerian[3]

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.*

Correspondence Address: *No. 1346, ValiAsr Street, Mirdamad cross, Geomatics Engineering Faculty, K.N. Toosi University of Technology, Tehran, Iran.*
Tel : *09127273121*
Email : *momati@mail.kntu.ac.ir*

[Downloaded from jgit.kntu.ac.ir on 2026-11-23]

[DOR: 20.1001.1.20089635.1399.8.3.3.7]
[DOI: 10.52547/jgit.8.3.21]