

## ارائه روش ترکیبی بر مبنای تبدیل موجک و *IHS* بهینه‌سازی شده به منظور ادغام تصاویر سنجش از دوری از طریق تحلیل برجستگی

سعید محمدنژاد نیازی<sup>۱</sup>، رضا شاه حسینی<sup>۲\*</sup>

۱- دانشجوی دکتری فتوگرامتری، دانشکده مهندسی نقشه‌برداری و اطلاعات مکانی، دانشکدگان فنی دانشگاه تهران  
۲- استادیار گروه فتوگرامتری و سنجش‌از‌دور، دانشکده مهندسی نقشه‌برداری و اطلاعات مکانی، دانشکدگان فنی دانشگاه تهران

تاریخ دریافت مقاله: ۱۴۰۲/۰۴/۱۲ تاریخ پذیرش مقاله: ۱۴۰۲/۱۱/۲۴

### چکیده

ماهوره‌های سنجش از دوری داده‌های متنوعی را در بخش‌های مختلف طیف الکترومغناطیسی با قدرت تفکیک طیفی، زمانی و مکانی فراهم می‌کنند. برای بهره‌برداری کامل از داده‌های سنجش از دوری که از منابع مختلف حاصل می‌شوند تکنیک‌های مختلف عددی و تحلیلی ادغام تصاویر توسعه یافته‌اند. در میان روش‌های ادغام تصاویر موجود، روش مبتنی بر تبدیل رنگی شدت رنگ اشباع‌شدگی (*IHS*) و تبدیل موجک (*WT*) به دلیل کارایی، سرعت و دقت بالا از پرکاربردترین الگوریتم‌های ادغام تصاویر هستند؛ اما عموماً این روش‌ها روی کل تصویر به صورت یکجا اعمال می‌شوند و اساساً تمام تصویر با هر ویژگی و محتوایی را به‌عنوان یک شی در نظر می‌گیرند؛ درحالی‌که در یک تصویر ماهواره‌ای از مناطق مختلف، محتوای اطلاعاتی متفاوتی وجود دارد. در این تحقیق فرایندی جدید به‌منظور ادغام تصاویر بر پایه تجزیه تصویر بر مبنای برجستگی سطح آن ارائه شد. به این ترتیب تصویر به دو بخش برجسته و غیربرجسته تقسیم شده و سناریوی ادغام در این دو محدوده متفاوت خواهد بود. در مناطق برجسته که شامل مناطق مسکونی، جاده‌ها و... هستند، از روش *IHS* بهبود یافته با استفاده از روش بهینه‌سازی ژنتیک استفاده شد و در مناطق غیربرجسته (جنگل، مرتع و کشاورزی) از تبدیل موجک جهت تجزیه و استخراج عوارض با فرکانس بالا استفاده گردید. همچنین در این تحقیق به‌منظور پیاده‌سازی و ارزیابی روش ارائه شده، از نمونه تصویرهای مربوط به سنجنده‌های *WORLDVIEW2* بهره گرفته شده است. نتایج بصری و کمی طیفی و مکانی، نشان‌دهنده بهبود نتایج ادغام در مقایسه با روش‌های مرسوم و یکپارچه می‌باشد (مقادیر عددی مربوط به شاخص‌های مورد ارزیابی *ERGAS*، *CC*، *RASE* و *RMSE* در مقایسه با روش‌های مورد مقایسه نشان‌دهنده نتایج بهتری بود). قابل ذکر است که سرعت پردازش در این روش، بسیار بالاتر از تکنیک‌های نوین بر مبنای شبکه‌های یادگیری عمیق می‌باشد.

**کلیدواژه‌ها:** برجستگی، ادغام تصاویر ماهواره‌ای، تبدیل موجک، تبدیل فضای رنگی *IHS* الگوریتم ژنتیک.

\* نویسنده مکاتبه کننده: گروه فتوگرامتری و سنجش از دور، دانشکده مهندسی نقشه‌برداری و اطلاعات مکانی، دانشکدگان فنی، دانشگاه تهران، تهران، ایران.

تلفن: ۰۲۱۶۱۱۱۴۵۲۷

## ۱- مقدمه

طبق مطالعات، ادغام تصویر پانکروماتیک و چند طیفی با قدرت تفکیک مکانی پایین به ابزاری قدرتمند جهت بسیاری از کاربردها تبدیل شده و به همین علت روش‌های مختلف ادغام در دو دهه اخیر ارائه شده است [۱، ۲، ۳ و ۶]. ادغام تصویر چند طیفی با قدرت تفکیک مکانی پایین و تصویر پانکروماتیک با قدرت تفکیک مکانی بالا برای بسیاری از کاربردهای سنجش‌ازدوری شامل طبقه‌بندی، قطعه‌بندی و شناسایی عوارض حائز اهمیت است [۴۴ و ۶۳]. ایده اصلی طرح‌شده در ادغام تصویر، حفظ مقادیر طیفی تصویر چند طیفی مرجع تا حد امکان در تصاویر خروجی و بهبود قدرت تفکیک مکانی است [۴]؛ چراکه در واقع الگوریتم‌های مختلف، نتایج متفاوتی را نتیجه می‌دهند [۵]. اصولاً روش‌های ادغام تصاویر، ترکیب دو یا چند تصویر مختلف برای تشکیل یک تصویر جدید با استفاده از یک الگوریتم مشخص و معین است و هدف از آن آشکارسازی اطلاعات نمایان شده در تصویر، جهت افزایش قابلیت تفسیر تصاویر و همچنین افزایش دقت داده‌ها است. هدف اصلی روش‌های ادغام، تولید تصویری جدید حاوی اطلاعاتی است که به طور کامل محتویات تصاویر مرجع را دارا باشد. با این وجود روش‌های ادغام تصاویر معمولاً با اعوجاجات طیفی و مکانی در تصویر خروجی همراه هستند. میزان این اعوجاجات با توجه به روش و نیز داده‌های مورد استفاده متغیر است. امروزه به دلیل هزینه‌های بالا و پیچیدگی طراحی سنجنده‌های ماهواره‌ای، تولید تصاویر با وضوح مکانی و طیفی بالا به طور هم‌زمان، کاری دشوار و حتی غیرممکن است [۴۴]. در مناطق مختلف به دلیل وجود بافت‌های متفاوت و مرزهای واضح، تمایز قابل‌توجهی نسبت به محیط اطراف وجود دارد [۴۴ و ۶۳]؛ این در حالی است که مناطقی مانند زمین‌های کشاورزی،

جنگل‌ها و علفزارها از نظر طیفی و هندسی دارای مرزهای مشخص و همچنین تمایز قابل توجه نسبت به گروه خودشان نیستند [۴۳].

در سال‌های اخیر، روش‌های فراوانی برای حل معضل داده‌های ماهواره‌ای با نهایت کیفیت مکانی و بصری ایجاد شده است [۴۴ و ۶۳]. با توجه به الگوریتم‌های به کاررفته در فرایند استخراج جزئیات تصویری، آنها را می‌توان به دو گروه کلی طبقه‌بندی کرد: نخست روش‌های مبتنی بر جایگزینی مؤلفه<sup>۲</sup> (CS) که جزئیات را بر اساس تفاوت بین تصویر پانکروماتیک منطبق با هیستوگرام و ترکیب خطی باندهای چند طیفی استفاده می‌کند و در گروه دوم روش‌های مبتنی بر تجزیه و تحلیل چندسطحی<sup>۳</sup> (MRA) که از تفاوت بین تصویر پانکروماتیک و نسخه پایین‌گذر حاصل از تجزیه چند سطحی استفاده می‌کنند، اشاره نمود [۴۴]. تزریق جزئیات مکانی استخراج شده معمولاً به صورت جهانی یا محلی با کمک پنجره‌های کشویی<sup>۴</sup> اجرا می‌شود. به‌طور کلی، برآورد جهانی بار محاسباتی کمی دارد، در حالی که تزریق جزئیات به صورت محلی می‌تواند به نتایج بهتری منجر شود [۴۴ و ۶۳].

برای تفسیر بصری و کمی کلاس‌های مختلف در تصاویر سنجش از دوری الزامات طیفی و مکانی متفاوت است. به‌عنوان مثال، اهداف ساخت بشر مانند جاده‌ها، ساختمان‌ها و فرودگاه‌ها به جزئیات مکانی بیشتری برای تجسم، تجزیه و تحلیل و طبقه‌بندی بهتر نیاز دارند [۴۵]. این مناطق عموماً بافت فراوان و مرزهای مشخصی دارند که آنها را نسبت به محیط اطرافشان قابل توجه‌تر می‌کنند. در مقابل، مناطقی مانند زمین‌های کشاورزی، جنگل‌ها و مرتع‌ها با ویژگی‌های طیفی متمایز می‌شوند، در نتیجه به ویژگی‌های طیفی تحریف نشده برای حل مسئله تفسیر نیاز دارند [۴۳].

<sup>۲</sup> Component substitution-based methods<sup>۳</sup> Multi Resolution Analysis<sup>۴</sup> sliding windows<sup>۵</sup> Pan-Shahrpening (Fusion)

شاخص مشترک در گروهی از تصاویر طراحی شده‌اند. تکنیک‌های رایج در این زمینه شامل استراتژی یادگیری متریک [۵۱]، خوشه‌بندی مشترک [۵۲، ۵۳] و [۵۴] مخلوط گاوسی [۵۵] و بهینه‌سازی جریان گرادیان [۵۶] است. اخیراً محققان از شبکه عصبی کانولوشنال برای بهبود دقت تشخیص نیز استفاده کرده‌اند [۵۷].

با این حال، روش‌های مرسوم تشخیص برجستگی ابتدا برای تصاویر اخذ شده از طبیعت توسعه یافته‌اند. آنها به طور کامل ویژگی‌های طیفی و فضایی تصاویر سنجش‌ازدور را در نظر نمی‌گیرند و نمی‌توانند در ترکیب تصاویر سنجش‌ازدور به خوبی کار کنند؛ بنابراین در این پژوهش یک مدل جدید بر مبنای یکپارچه‌سازی فشرده‌سازی مبتنی بر انتشار و روش‌شنایی برای تجزیه و تحلیل نشانه‌های برجستگی از جمله ویژگی‌های طیفی و مکانی در تصاویر سنجش‌ازدور پیشنهاد شده است و سپس یک استراتژی تلفیق برای به دست آوردن نتایج محصول نهایی ادغام شده ارائه شده است. این تحقیق شامل موارد زیر است:

(۱) در این تحقیق تجزیه و تحلیل برجستگی چشمی به عنوان روشی مؤثر برای نشان دادن مناطق با ویژگی‌های متفاوت برای کیفیت فضایی و طیفی معرفی شده است و سپس مدل استخراج برجستگی از تصاویر به صورت کاملاً بدون نظارت برای تجزیه و تحلیل نشانه‌های برجسته برای استخراج مناطق برجسته در تصاویر سنجش‌ازدور توسعه داده شده است.

(۲) در این تحقیق یک ساختار تلفیق تصاویر ماهواره‌ای بر اساس مناطق حاوی برجستگی و فاقد آن ارائه شده که روی نتایج نهایی در مقایسه متریک‌های کمی و همچنین تحلیل‌های بصری نتایج مثبتی به ارمغان آورده است.

(۳) در این تحقیق از ویژگی‌های مثبت روش شدت - رنگ - اشباع (IHS) و تبدیل موجک پیچیده درختی (DT-CWT) استفاده شده است تا استخراج جزئیات به ترتیب برای مناطق برجسته و غیربرجسته صورت

تزیق فضایی نامناسب در آن مناطق ممکن است به طور جدی تنوع طیفی آنها را افزایش دهد و به طور هم‌زمان باعث ایجاد اثر شدید نویز "تمک و فلفلی" شود که منجر به کاهش دقت در طبقه‌بندی می‌شود [۴۶، ۴۷]. با این حال، اکثر روش‌های موجود پردازشی یکپارچه بدون توجه به این ویژگی‌ها در کل سطح تصاویر اجرا می‌کنند. این مسئله قطعاً منجر به این مشکل شود که در مناطقی که انتظار می‌رود کیفیت مکانی بالاتری داشته باشند، هنوز به اندازه کافی بهبود نیافته‌اند [۴۷]. حفظ کیفیت مکانی و طیفی به سختی می‌تواند در کل تصویر به صورت یکپارچه ایجاد شود؛ چراکه در هر نقطه‌ای از تصاویر می‌بایست تکنیک‌های محلی را جایگزین روش‌های کلی نمود [۴۷]. بدیهی است که گام کلیدی برای حل این مشکل، تقسیم این دو نوع منطقه با شرایط متفاوت است [۴۷].

با الهام از مطالب ذکر شده، سعی شده تا تجزیه و تحلیل برجستگی را به عنوان راه‌حلی برای تقسیم دو منطقه با ویژگی‌های متفاوت معرفی کنیم. تجزیه و تحلیل برجستگی از مفاهیم بصری سرچشمه می‌گیرد و هدف آن استخراج جزئیات متمایز یا بخش‌های منحصربه‌فرد است که می‌تواند توجه افراد را در تصاویر جلب کند. اکثر رویکردهای تحلیل برجستگی موجود از ویژگی‌های سطح پایین مانند شدت، رنگ و ویژگی برای تولید قطعات متمایز بدون هیچ‌گونه اطلاعات قبلی استفاده می‌کنند [۴۹ و ۵۰].

یان و همکاران (۲۰۱۳) یک مدل سلسله مراتبی را معرفی کردند که در آن مقادیر برجستگی را در هر لایه محاسبه کردند و سپس با استفاده از یک مدل ساختار درختی، مناطق برجسته را به دست آوردند. به منظور استفاده از اطلاعات متقابل در میان تصاویر متعدد، روش‌های تشخیص نواحی برجسته برای یافتن اشیای

<sup>۱</sup>Saliency analysis

گرفته و در فرایند ادغام استفاده شود.

## ۲- مطالعات پیشین

در این بخش سعی شده تا مطالعات پیشین انجام شده در خصوص روش‌های ادغام مورد استفاده در این تحقیق به طور مختصر بیان شود.

### ۲-۱- روش‌های مبتنی بر جایگزینی جزء

اصل روش‌های مبتنی بر  $CS$  یک طرح طیفی از تصویر چند طیفی ( $MS$ ) است و در ادامه یک تبدیل خطی جهت در نظر گرفتن جزئیات مکانی در تصویر پانکروماتیک تخمین زده می‌شود. پس از تخمین مؤلفه و  $CS$ ، تصاویر ادغام شده با تبدیل معکوس تولید می‌شوند. همبستگی بالا بین مؤلفه جایگزین و تصویر پانکروماتیک نقش مهمی در عملکرد این خانواده ایفا می‌کند؛ بنابراین، تطبیق هیستوگرام تصویر پانکروماتیک با مؤلفه شدت، یک قانون کلی است. تجزیه و تحلیل مؤلفه اصلی ( $PCA$ )، تبدیل  $IHS$  و تبدیل برووی<sup>۳</sup> روش‌های مرسوم ادغام تصاویر مبتنی بر  $CS$  هستند. این تکنیک‌ها معمولاً در زمان صرفه‌جویی می‌کنند و در تلفیق تصاویر سنجش از دوری مؤثر هستند، اما نسبت به حفظ ویژگی‌های طیفی وفاداری پایینی دارند [۲۷، ۲۶ و ۲۸].

در جوامع سنجش از دوری احتمالاً یکی از مشهورترین روش‌های ادغام تصاویر، الگوریتم  $IHS$  است که روشی مبتنی بر رنگ است. روش‌هایی که اساس آن‌ها روش  $IHS$  است بسیار پرکاربرد هستند؛ در واقع به دلیل محاسبات تقریباً ساده و همچنین به دلیل قدرت تفکیک مکانی بالای تصویر خروجی و نیز کارایی بالای این الگوریتم در تصاویر ماهواره‌ای، باعث شده تا این الگوریتم مورد استقبال قرار گیرد [۱۱]. با وجود قدرت روش ادغام  $IHS$  از لحاظ محاسباتی و اجرای سریع در حال استفاده از داده‌هایی با حجم بالا، این روش از لحاظ

وجود اعوجاجات طیفی در تصویر ادغام شده خروجی، بسیار ضعیف است. علت این امر می‌تواند به دلیل اختلافات بسیار شدید درجات خاکستری تصویر پانکروماتیک و تصویر شدت باشد [۲۱]. واحد محاسباتی در این روش‌ها غالباً پیکسل است؛ چراکه پیکسل کوچک‌ترین جز حاوی اطلاعات است، بنابراین کمترین نابودی اطلاعات در طی فرایند ادغام رخ می‌دهد. از این رو روش‌های ادغام بر مبنای پیکسل، غالباً دارای دقت بالایی اند [۲۵].

با وجود قدرت روش ادغام  $IHS$  از لحاظ محاسباتی و اجرای سریع در حال استفاده از داده‌هایی با حجم بالا، این روش از لحاظ وجود اعوجاجات طیفی در تصویر ادغام شده خروجی بسیار ضعیف است. علت این امر می‌تواند به دلیل اختلافات بسیار شدید درجات خاکستری تصویر پانکروماتیک و تصویر شدت باشد [۱۴]. با این وجود بسیاری از مطالعات در جهت بهتر شدن این روش از لحاظ طیفی انجام شده است.

### ۲-۲- روش‌های ادغام چند سطحی<sup>۴</sup>

روش‌های چند سطحی با استفاده از عملیات فیلترینگ در سطوح چندگانه باندها است. این گروه از روش‌ها معمولاً اطلاعات مکانی را به خوبی حفظ می‌کنند، ولی اغلب حافظ خوبی برای اطلاعات طیفی نیستند [۹ و ۱۰]. این روش‌ها معمولاً فیلترهای رقومی را اعمال می‌کنند که تبدیل موجک [۱۸ و ۱۹]، تبدیل  $contourlet$  [۲۰]، تبدیل منحنی [۲۱]، هرم‌های لاپلاسی [۲۲] و تبدیل موج‌دار [۲۳] را برای به دست آوردن چندگانه پوشش می‌دهند. در نمایش مقیاس‌های مختلف در رویکردهای مبتنی بر چند سطحی، ابتدا از تبدیل‌های مختلف برای تجزیه تصاویر پانکروماتیک به اجزای چند مقیاسی استفاده شود [۲۴]. سپس اطلاعات مکانی معادل موجود در جزء فرکانس بالا به یک تصویر چندطیفی نمونه‌برداری شده تزریق می‌شود. تصاویر دقیق

<sup>۱</sup>Multi Spectral

<sup>۲</sup>Principal Component Analysis

<sup>۳</sup>brovey

<sup>۴</sup>Multi resolution analysis-based methods

متعلق به سنجنده *worldview2* مربوط به منطقه سیدنی کشور استرالیا استفاده شده است (شکل (۱)). منطقه نیمه‌شهری مطالعاتی در شهر سیدنی کشور استرالیا واقع شده است که تصویر ماهواره‌ای این منطقه با قدرت تفکیک مکانی ۲ متر برای تصویر چند طیفی و ۵۰ سانتی‌متر برای تصویر پانکروماتیک است.

روش‌های مبتنی بر *CS* و *MRA* به خوبی مستند شده‌اند [۲۴]. علاوه بر این، فیلترهای حفظ لبه اغلب با تبدیل‌های *MRA* ادغام می‌شوند.

### ۳- منطقه مطالعاتی و داده‌های مورد استفاده

در این تحقیق به منظور پیاده‌سازی و ارزیابی روش ارائه شده، از تصویر مربوط به یک منطقه متراکم شهری

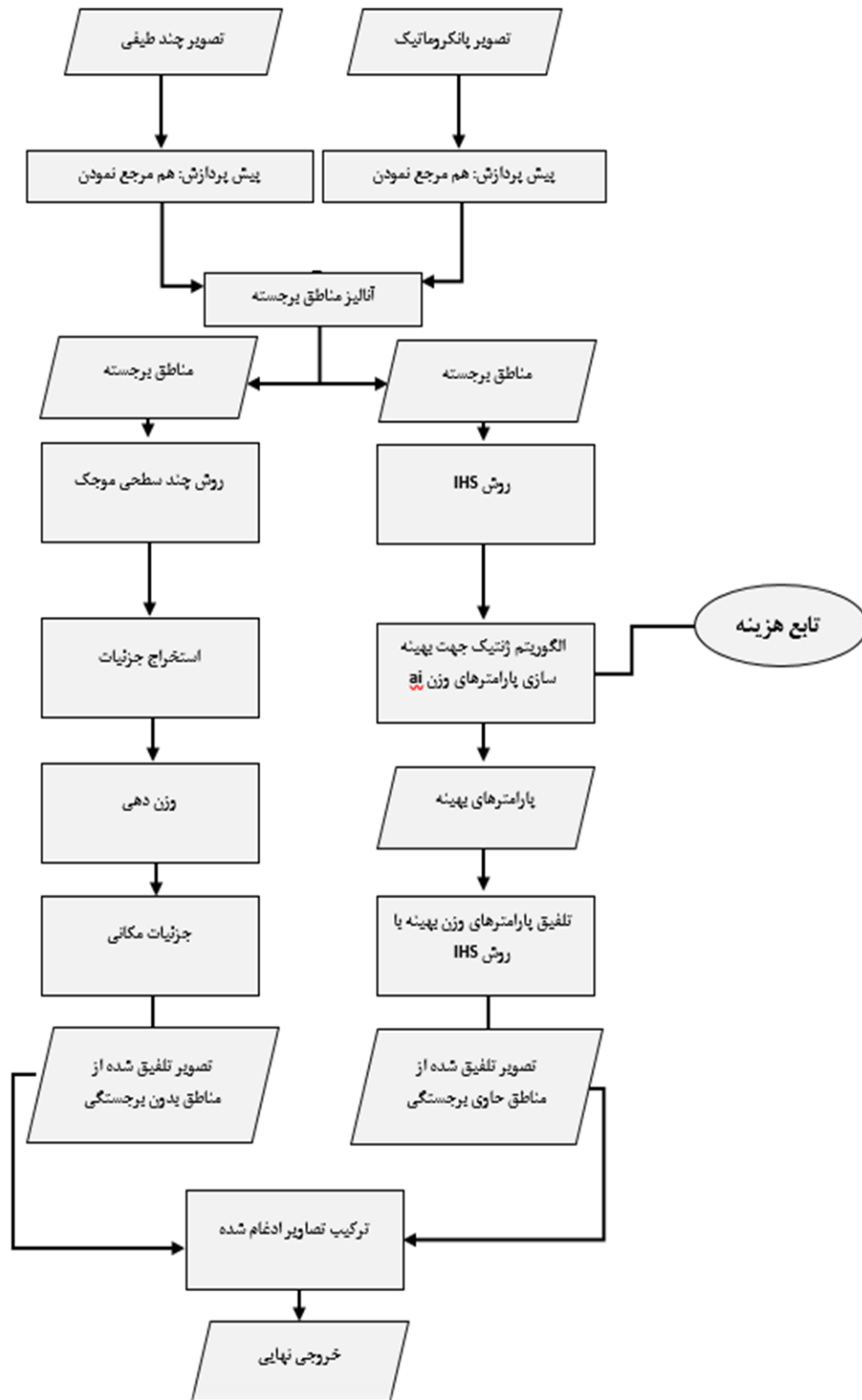


شکل ۱: نمای کلی منطقه مورد مطالعه

ویژگی‌های مختلف را تشخیص داد. در مرحله بعدی، جزئیات فضایی را تخمین زده و با ساختار تلفیق معرفی شده، تصاویر تلفیقی جدید بدست می‌آید. روش IHS بهبود یافته توسط الگوریتم ژنتیک و DT-CWT به ترتیب برای استخراج جزئیات برای مناطق برجسته و مناطق غیربرجسته استفاده می‌شود. شکل (۲) چارچوب پیشنهاد این تحقیق را نشان می‌دهد.

### ۴- روش پیشنهادی

روش پیشنهادی شامل تجزیه و تحلیل برجستگی بر اساس روش استفاده شده در تحقیق ژو و همکاران (۲۰۱۵) با تاکید بر فشرده‌سازی مبتنی بر روش‌های محلی و تلفیق با استفاده از روش تبدیل موجک و IHS موثر بر مناطق برجسته و غیربرجسته بوده است [۶۰]. در مرحله اول، تصاویر پانکروماتیک و چندطیفی به طور خودکار توسط روش اشاره شده به مناطق برجسته و غیربرجسته تقسیم می‌شوند؛ بنابراین می‌توان مناطق با



شکل ۲: روند انجام کار در این تحقیق

انتشار و نمودار ساخته شده منتشر می‌شوند. در نهایت، دو نقشه برجستگی محاسبه شده برای ایجاد یک نقشه برجستگی از نظر پیکسلی ادغام می‌شود. به این منظور از روش موجود در تحقیق ژو و همکاران (۲۰۱۵) استفاده شده است [۶۰]. البته در تحقیق ذکر شده کل الگوریتم ارائه شده روی تصاویر مصنوعی و غیر سنجش از دوری اجرا شده، اما در این تحقیق، روش ارائه شده مذکور روی تصاویر ماهواره‌ای تعمیم داده شده است. تعیین حد آستانه بهینه معمولاً به روش سعی و خطا صورت گرفته و مبتنی بر تجربیات فرد خبره مفسر تصاویر است. در این تحقیق برای تعیین حد آستانه بهینه، از روش حد آستانه-گذاری اتوماتیک اوتسو (*Otsu*) استفاده شده است. روش *Otsu* یکی از پرکاربردترین روش‌های حد آستانه‌گذاری است که تفکیک‌پذیری بین پیکسل‌های دو کلاسی (مثلاً تغییرنیافته (کلاس *CO*) و پیکسل‌های تغییر یافته (کلاس *CI*) را با توجه به واریانس کلاس‌های مربوطه بهینه زمانی انتخاب خواهد شد که مجموع واریانس داخل کلاس‌ها کمینه شود که در واقع متناظر هست با آنکه واریانس بین کلاس‌ها بیشینه گردد [۳۶ و ۳۷]. در شکل (۳)، خروجی این روند مقدار ۰/۲۱۸ برای تصویر *WorldView-2* به‌دست آمده است.

۴-۱- مدل استخراج نواحی برجسته/غیربرجسته  
تشخیص منطقه برجسته یک مشکل چالش برانگیز و یک موضوع مهم در بینایی کامپیوتر است که طیف وسیعی از کاربردها مانند تشخیص و تقسیم‌بندی اشیاء را دارد. روش‌های زیادی برای تشخیص مناطق برجسته با استفاده از نشانه‌های بصری مختلف مانند فشردگی، منحصربه‌فرد بودن و شی بودن پیشنهاد شده‌اند. با این حال، هر روش مبتنی بر نشانه بصری محدودیت‌های خاص خود را دارد. پس از تجزیه و تحلیل مزایا و محدودیت‌های نشانه‌های بصری مختلف، متوجه شدیم که فشردگی و روشنایی (کنتراست) محلی مکمل یکدیگر هستند. علاوه بر این، کنتراست موضعی می‌تواند به طور مؤثری مناطق برجسته سرکوب شده را با استفاده از نشانه‌های فشردگی بازبایی کند. با توجه به این مطلب یک روش تشخیص منطقه برجسته از پایین به بالا را پیشنهاد شده است که فشردگی و نشانه‌های روشنایی محلی را ادغام می‌کند. علاوه بر این، برای تولید یک نقشه برجسته بادقت پیکسلی که به طور یکنواخت‌تری اشیای برجسته را پوشش می‌دهد، اطلاعات برجستگی را با استفاده از فرایند انتشار منتشر می‌کند. ابتدا تصویر در سوپر پیکسل‌ها انتزاع شده و یک نمودار ساخته می‌شود. سپس، دو نقشه برجسته مکمل با استفاده از نشانه بصری فشردگی و کنتراست محلی محاسبه می‌شود. نقشه‌های برجستگی حاصل با استفاده از فرایند



هدف از انتخاب این تکه از تصویر، وجود تمامی کلاس‌های حساس و مدنظر در این مقاله بوده است. ضمناً در بخش سمت راست شکل (۳) مناطق برجسته به طور اتوماتیک با رنگ مشکی ماسک شده و مناطق برجستگی کمتر با درجات خاکستری متفاوت و با توجه به میزان وجود مناطق برجسته طبق الگوریتم به نمایش درآمده است.

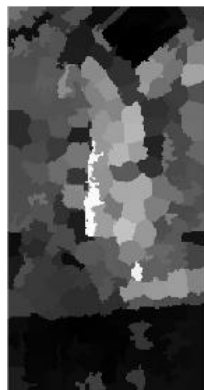
همان‌طور که از شکل (۴) مشخص است نواحی شامل مناطق برجسته (مناطق مسکونی، مناطق حاوی بلوکهای ساختمانی و بالطبع راه آسفالت، عوارض و ساختمان‌های شهری و ... می باشد) به رنگ سیاه به نمایش درآمده است. بادقت به بخش جنوبی تصویر به وضوح مشخص است حتی تک درختان واقع شده در محیط شهری خارج از ماسک مشکی قرار گرفته است.

لذا به دلیل ماهیت اجرای این کد در هر تصویر با ابعاد مختلف (تجزیه و تحلیل برجستگی بر مبنای یکپارچه‌سازی فشرده‌سازی مبتنی بر انتشار و روشنایی محلی)، قطعات تشکیل شده و شناسایی شده به‌عنوان مناطق برجسته در تصاویر مختلف با ابعاد متفاوت به دلیل ماهیت متفاوت پیکسل‌های تصویری می‌تواند مختلف باشد.

با توجه به یکسان بودن ویژگی‌های کلی این منطقه و کل تصویر مرجع (تراکم و شکل بلوک‌های ساختمانی - شکل هندسی خیابان‌ها - جنس کلی بافت منطقه - تراکم و نحوه پوشش گیاهی - مدل هندسی سقف ساختمان‌ها)، تیم تحقیقاتی پیش‌بینی یکسان بودن نتایج کار در این دو منطقه را داشته است؛ لذا شکل (۳) و خروجی‌های این مقاله بر مبنای منطقه‌ای نمونه و جدا شده از سطح کلی این تصویر است.



تصویر ورودی



تصویر برجستگی  
(مناطق سیاه‌رنگ حاوی کلاس‌های برجسته بوده‌اند که ماسک شده‌اند)



ماسک مناطق برجسته  
(صرفاً جهت روشن‌سازی موضوع در این پاسخ نمایش درآمده است)



ماسک مناطق غیر برجسته  
(صرفاً جهت روشن‌سازی موضوع در این پاسخ نمایش درآمده است)

شکل ۴: ماسک مناطق مختلف

کاهش اعوجاج طیفی تا حد معینی در مناطق برجسته، از روش *IHS* بهبود یافته به طریقه روش ژنتیک استفاده کردیم. روش ادغام *IHS* احتمالاً یکی از رایج‌ترین و پرکاربردترین روش‌های ادغام تصاویر سنجش‌ازدوری است [۱۲]. روند اجرایی این روش به این صورت است که ابتدا تصویر سه بانده فضای رنگی *RGB* به فضای

۴-۲- ادغام تصویر بر اساس استراتژی زیرمنطقه‌ای در این بخش سعی شده تا در مورد استراتژی‌های زیر منطقه‌ای به طور مختصر مطالبی بیان شود.

۴-۲-۱- رویکرد تلفیق تصاویر در مناطق برجسته

برای بهبود وضوح مکانی تا حد امکان و به طور هم‌زمان

این فرایند طبق رابطه (۴) صورت می‌گیرد [۱۳].

$$\begin{bmatrix} F(R) \\ F(G) \\ F(B) \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} R + Pan - I \\ G + Pan - I \\ B + Pan - I \end{bmatrix} \quad \text{رابطه (۴)}$$

در رابطه (۴)،  $F(i)$  تصویر چند طیفی ادغام شده به دست آمده است. پیاده‌سازی روش IHS به این شکل بسیار کارا خواهد بود و به همین علت به این روش نام FAST\_IHS اطلاق شده است [۷].

به همین دلیل روش IHS، الگوریتم مطلوبی برای کار با داده‌های با حجم بالا است.

در این تحقیق از روش توسعه یافته در تحقیق نیازی و همکاران (۲۰۱۶) به دلیل غلبه و کاهش اعوجاجات طیفی و مکانی در روش IHS استفاده شده است [۴۴]. در این روش پیشنهادی، پارامترهای وزن بهینه برای تولید تصویر شدت با استفاده از الگوریتم بهینه‌سازی ژنتیک استفاده گردیده است.

تصویر شدت حاصل از یک رابطه خطی بین تمامی باندهای طیفی تصویر چند طیفی است (رابطه (۵)) و در حقیقت پارامترهای وزن هر یک از این باندها تأثیر مستقیمی روی نتایج نهایی ادغام خواهد داشت. همان‌طور که در بخش قبلی اشاره شد، در تحقیقات قبلی اغلب برای این پارامترها مقادیر مساوی و یا اخیراً مقادیر تجربی در نظر گرفته شده است [۸ و ۲۹].

در روش پیشنهادی پارامترهای وزن از طریق الگوریتم بهینه‌سازی ژنتیک محاسبه می‌شوند.

رنگی IHS تبدیل می‌گردد. در مرحله بعدی تصویر شدت طبق رابطه (۱) تولید می‌گردد.

$$I = \alpha_1 R + \alpha_2 G + \alpha_3 B \quad \text{رابطه (۱)}$$

سپس این تصویر با تصویر پانکروماتیک جایگزین می‌شود. قبل از ادغام تصاویر، فرایند تطابق هیستوگرام بین دو تصویر چند طیفی و پانکروماتیک باهدف یکسان کردن محدوده طیفی دو تصویر اجرا می‌گردد. در نهایت فرایند جایگزینی طبق رابطه (۲) اشاره شده در ذیل صورت می‌گیرد [۱۳].

$$\begin{bmatrix} I \\ H \\ S \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \alpha_1 & \alpha_2 & \alpha_3 \\ -\sqrt{2} & -\sqrt{2} & 2\sqrt{2} \\ \frac{1}{\sqrt{2}} & \frac{-1}{\sqrt{2}} & 0 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} R \\ G \\ B \end{bmatrix} \quad \text{رابطه (۲)}$$

در این فرایند به جای ضرایب  $\alpha_i = 1/3; (i=1,2,3)$  مقادیر ذکر شده استفاده می‌گردد. در ادامه این فرایند ادغام، نوبت به هم مقیاس کردن تصویر پانکروماتیک (رابطه (۳)) از لحاظ یکسان کردن مقادیر میانگین و واریانس با تصویر شدت می‌رسد [۱۳]:

$$P = \frac{\sigma_I}{\sigma_P} (P - \mu(P)) + \mu(I) \quad \text{رابطه (۳)}$$

در رابطه (۳)،  $\mu$  و  $\delta$  به ترتیب میانگین و واریانس تصویر پانکروماتیک است. محتویات موجود در تصویر شدت سپس با تصویر هم مقیاس شده پانکروماتیک حاصل از مرحله قبل جایگزین می‌گردد و در آخر تبدیل معکوس IHS برای رسیدن به تصویر ادغام شده نهایی انجام می‌شود.

$$F = RMSE + ERGAS + (1 - QAVE) + RASE + SAM + SID + (1 - Spatial) \quad \text{رابطه (۵)}$$

توجه داشت که حتماً بین حالات مختلف مسئله باید دارای پیوستگی مناسب و منطقی وجود داشته باشد. در نهایت الگوریتم‌های ژنتیک این امکان را می‌دهد که حرکتی سریع در فضای مسئله به سوی هدف برقرار شود. اجزا الگوریتم ژنتیک، کروموزوم، جمعیت و تابع

الگوریتم‌های ژنتیک الگوریتم‌هایی هستند که دارای قدرت بسیار زیادی در یافتن جواب مسئله هستند [۳۸]. کاربرد اصلی این الگوریتم در مسائلی است که دارای فضای جستجوی بسیار بزرگ هستند و عملاً بررسی همه حالت‌ها ممکن نیست [۳۹]. از طرفی باید

هدف است. هر کروموزوم نشان‌دهنده یک نقطه در فضای جستجو و یک راه‌حل ممکن برای مسئله مورد نظر است [۴۰]. خود کروموزوم‌ها (راه‌حل‌ها) از تعداد ثابتی ژن (متغیر) تشکیل می‌شوند. برای نمایش کروموزوم‌ها، معمولاً از کدگذاری‌های دودویی (رشته‌های بیتی) استفاده می‌شود. مجموعه‌ای از کروموزوم‌ها یک جمعیت را تشکیل می‌دهند. با تأثیر عملگرهای ژنتیکی بر روی هر جمعیت، جمعیت جدیدی با همان تعداد کروموزوم تشکیل می‌شود. به‌منظور حل هر مسئله با استفاده از الگوریتم‌های ژنتیکی، ابتدا باید یک تابع برازندگی برای آن مسئله ابداع شود [۴۰]. برای هر کروموزوم، این تابع عددی غیر منفی را برمی‌گرداند که نشان‌دهنده شایستگی یا توانایی فردی آن کروموزوم است. در الگوریتم ژنتیک پس از مرحله تولید مثل، جواب نهایی حاصل می‌گردد. در طی مرحله تولیدمثل از عملگرهای ژنتیکی استفاده می‌شود. با تأثیر این عملگرها بر روی یک جمعیت، نسل بعدی آن جمعیت تولید می‌شود. عملگرهای انتخاب، آمیزش<sup>۵</sup> و جهش معمولاً بیشترین کاربرد را در الگوریتم‌های ژنتیکی دارند. در نهایت هنگامی که شرط پایان الگوریتم برقرار گردد، جواب بهینه مشخص می‌گردد.

در مسئله انتخاب پارامترهای وزن بهینه نیز، در صورتی که تعداد پارامترها (فضای جستجوی پارامترها) زیاد بوده و در نتیجه امکان بررسی تمام حالت‌های مختلف قرارگیری پارامترها در کنار هم و انتخاب مجموعه مناسب میسر نباشد، از الگوریتم ژنتیک به‌منظور انتخاب بهینه‌ترین وزن‌ها استفاده می‌گردد. ساده‌ترین روش کد نمودن مسئله، تعیین طول

کروموزوم‌ها برابر با تعداد مجهولات موجود در مبنای دو (طول کروموزوم‌ها برابر با ۲۸ در نظر گرفته شد) و قرار دادن ژن‌ها به دو صورت یک و صفر است که عدد یک بیانگر حضور و عدد صفر بیانگر عدم حضور است. پس از پایان اجرای الگوریتم نیز پارامترهای انتخابی معادل با ژن‌های دارای عدد یک می‌باشند که تبدیل از مبنای ۲ به مبنای ۱۰ صورت می‌پذیرد. در الگوریتم ژنتیک، جمعیت اولیه برابر ۵۰۰ کروموزوم به‌صورت تصادفی تولید شد. در هر نسل ۲۵ کروموزوم برتر به نسل بعد انتقال پیدا می‌کنند. همچنین از روش تورنمنت برای انتخاب والدین، تقاطع تک نقطه‌ای با نرخ ۸۰ درصد و جهش یکنواخت استفاده شد. در صورتی که تفاوت بین بهترین نتیجه ۱۰ نسل متوالی از ۰٫۰۰۱ کمتر باشد، الگوریتم متوقف خواهد شد. در الگوریتم ژنتیک به‌منظور محاسبه میزان تناسب (شایستگی) یک جواب، تعریف یک تابع ارزیابی مناسب برای مسئله ضروری است [۴۰ و ۴۱]. در این صورت ترکیب خطی از معیارهای دقت مکانی و طیفی می‌تواند به‌عنوان تابع ارزیابی مورد استفاده قرار گیرد.

به همین منظور تصویر شدت جدید به همراه باندهای دیگر به‌عنوان ورودی به الگوریتم ژنتیک به جهت دستیابی به بهینه‌ترین پارامترها معرفی می‌شوند. مقادیر بالاتر تابع ارزیابی در الگوریتم ژنتیک بهترین نتایج را تولید می‌کند. در روش پیشنهادی تابع ارزیابی به صورت ترکیبی خطی از معیارهای کیفیت کیفی و مکانی طراحی شده است.

#### ۴-۲-۲- رویکرد تلفیق تصاویر در مناطق غیربرجسته

برای مناطق غیربرجسته، تصویر پانکروماتیک توسط *DT-CWT* برای استخراج اطلاعات با فرکانس بالا به‌عنوان جزئیات مکانی تجزیه می‌شود.

*DT-CWT* نه تنها می‌تواند تجزیه و بازسازی کامل را ارائه دهد، بلکه در انتخاب ناچیز و انتخاب جهت نیز عملکرد عالی دارد. بار محاسباتی *DT-CWT* نیز بسیار کمتر است. *DT-CWT* با ادغام توانایی انتخاب جهت با

<sup>۱</sup>Gene

<sup>۲</sup>Reproduction

<sup>۳</sup>Generation

<sup>۴</sup>Selection

<sup>۵</sup>Crossover

<sup>۶</sup>Mutation

این روش، از معیارهای زیر استفاده شده است.

#### الف) معیارهای ارزیابی حفظ اطلاعات طیفی

- معیار ارزیابی ضریب همبستگی [۱۶]: طبق رابطه (۸) این معیار، ضریب همبستگی بین تصویر ادغام شده نهایی و تصویر چند طیفی (MS) را نشان می‌دهد. رابطه (۸)

$$CC(A, B) = \frac{\sum_{m,n} (A_{m,n} - \mu_A)(B_{m,n} - \mu_B)}{\sqrt{\sum_{m,n} (A_{m,n} - \mu_A)^2 \sum_{m,n} (B_{m,n} - \mu_B)^2}}$$

در رابطه (۸)،  $A$  و  $B$  به ترتیب تصاویر چند طیفی و ادغام شده و  $\mu_A$  و  $\mu_B$  به ترتیب میانگین تصویر مرجع چند طیفی (MS) و تصویر ادغام شده است.

- معیار ارزیابی خطای  $RMSE$  [۳۱]: طبق رابطه (۹)،

این معیار نشان‌دهنده میزان تغییرات بین نتیجه ادغام یک باند و باند اصلی است. مقدار کم این معیار نشان‌دهنده حفظ اطلاعات طیفی باند اصلی در فرایند ادغام است. رابطه مربوط به این معیار در زیر آمده است:

رابطه (۹)

$$RMSE = \sqrt{\frac{\sum_x \sum_i (A_i(x) - F_i(x))^2}{n \times m \times d}}$$

در رابطه (۹)،  $x$  پیکسل و  $i$  تعداد باندهای تصویر است، همچنین  $n$  تعداد سطرها،  $m$  تعداد ستون‌ها و  $d$  تعداد باندهای تصویری است.

- معیار ارزیابی خطای  $ERGAS$  [۳۱]: طبق

رابطه (۱۰)، این معیار در واقع میزان انحراف طیفی در تصویر ادغام نهایی را نشان می‌دهد. اگر مقدار این معیار به صفر نزدیک‌تر باشد نشان‌دهنده آن است که تصویر ادغام خروجی از لحاظ طیفی قوی‌تر است. رابطه بیانگر

کاهش مصنوعات خوب، توانایی برتری در استخراج اطلاعات ظریف با فرکانس بالا دارد. در این بخش تحقیق، از الگوریتم نسبتاً جدید ارائه شده در تحقیق سلسنیک و همکاران (۲۰۰۵) استفاده شده است [۵۹]. در تبدیل موجک، سیگنال ورودی در سطوح مختلفی نمایش داده می‌شود. هر یک از این سطوح شامل اطلاعات کلی تا جزئی از داده مورد نظر هستند. این مفهوم به منظور بهبود و رفع کاستی‌های انتقال فوریه کلاسیک تعریف و ارائه شد. از فواید تبدیل موجک آن است که این تبدیل، تفکیک زمانی بالا را برای فرکانس‌های بالا و تفکیک زمانی پایین را برای فرکانس‌های پایین ایجاد می‌کند. از دیگر فواید تبدیل موجک، آنالیز محلی آن است که امکان آنالیز چند تفکیکی را فراهم می‌کند (رابطه (۶)).

رابطه (۶)

$$X_{WT}(\tau s) = \frac{1}{\sqrt{|s|}} \int_{-\infty}^{+\infty} x(t) \psi * \left( \frac{t-\tau}{s} \right) dt$$

سیگنال تبدیل شده تابعی از پارامتر انتقال  $\tau$  و پارامتر مقیاس  $s$  است. موجک مادر با  $\psi$  تعریف می‌شود و \* بیانگر عملگر ترکیب است. المان‌های  $X_{WT}(\tau s)$  ضرایب موجک نامیده می‌شوند. تبدیل موجک پیوسته تبدیل معکوس نیز دارد که به صورت رابطه (۷) نمایش داده می‌شود.

رابطه (۷)

$$X_{WT}(\tau s) = \frac{1}{C_{\psi}^2} \iint_{-\infty}^{+\infty} X_{WT}(\tau s) \frac{1}{s^2} \psi \left( \frac{t-\tau}{s} \right) d\tau ds$$

مقیاس بزرگ، منطبق بر فرکانس پایین است که اطلاعات کلی از سیگنال ایجاد می‌کند. مقیاس‌های کوچک منطبق بر فرکانس‌های بالا هستند که اطلاعات جزئی از سیگنال را فراهم می‌کنند. نتایج این الگوریتم در پژوهش‌های دیگر و بروزتر نیز مورد تایید قرار گرفته است.

#### ۴-۳- معیارهای ارزیابی نتایج حاصل از روش‌های

#### ادغام تصاویر

برای ارزیابی میزان ابقای اطلاعات طیفی و مکانی نتایج

<sup>۱</sup>Correlation Coefficient

این معیار در زیر نشان داده شده است:

رابطه (۱۰)

$$ERGAS = 100 \frac{h}{l} \sqrt{\frac{1}{N} \sum_{n=1}^N \left( \frac{RMSE(n)}{\mu(n)} \right)^2}$$

در رابطه (۱۰)،  $h/l$  نسبت اندازه پیکسل تصویر پانکروماتیک به چند طیفی و  $\mu$  میانگین  $n$  امین باند و  $N$  تعداد باندها است.

- معیار ارزیابی خطای  $RASE$  [۳۲]: طبق

رابطه (۱۱)، این معیار، متوسط خطای طیفی نسبی تصویر ادغام شده در باندهای طیفی را نشان می‌دهد و به صورت رابطه زیر محاسبه می‌شود.

رابطه (۱۱)

$$RASE = \frac{100}{M} \sqrt{\frac{1}{N} \sum_{i=1}^N RMSE^2(B_i)}$$

در رابطه (۱۱)،  $M$  میانگین  $n$  باند طیفی تصویر ادغام شده و تصویر چند طیفی مرجع است.

- نگاهت زاویه طیفی  $SAM$  [۳۳]: طبق رابطه (۱۲)،

پارامتر  $SAM$  را برای کل تصویر محاسبه شده است و مقدار میانگین  $\alpha$  به دست آمده است. در واقع  $\alpha$  دارای مقداری بین صفر و یک است و هر چه بین مقدار به صفر نزدیک تر باشد اطلاعات طیفی کیفیت بالاتری دارند.

رابطه (۱۲)

$$\cos \alpha = \frac{\sum_{i=1}^N x_i y_i}{\sqrt{\sum_{i=1}^N x_i^2 \sum_{i=1}^N y_i^2}}$$

در رابطه (۱۲)،  $N$  تعداد باندها،

$x = (x_1, x_2, \dots, x_N)$  و  $y = (y_1, y_2, \dots, y_N)$  به ترتیب بردارهای طیفی تصاویر مرجع و ادغام شده با طول موج یکسان است.  $\alpha$  زاویه طیفی در یک نقطه مشخص است.

- ارزیابی بر اساس واگرایی اطلاعات طیفی  $SID$

[۳۴]:

بر طبق روابط (۱۳) و (۱۴) داریم:

$$p_j = \frac{x_j}{\sum_{i=1}^N x_i} \quad \text{رابطه (۱۳)}$$

$$q_j = \frac{y_j}{\sum_{i=1}^N y_i}$$

در روابط (۱۳) و (۱۴)،  $N$  تعداد باندها است؛ بنابراین  $SID$  به صورت رابطه (۱۴) تعریف می‌گردد:

رابطه (۱۴)

$$SID(x, y) = D(x \| y) + D(y \| x)$$

در رابطه (۱۴)،  $D(x \| y)$  آنترپی نسبی است که به صورت:

$$D(x \| y) = \sum_{i=1}^L p_i \log(p_i / q_i)$$

همین منوال  $D(y \| x)$  نیز تعریف خواهد شد. هر چه دیورژانس به دست آمده برای شناسه طیفی یک پیکسل و شناسه طیفی تصویر از نظر قدر مطلق کوچک تر بودند، شباهت این دو شناسه به یکدیگر بیشتر است.

(ب) معیارهای ارزیابی حفظ اطلاعات مکانی

- معیار ارزیابی همبستگی مکانی [۳۵]: هر چه

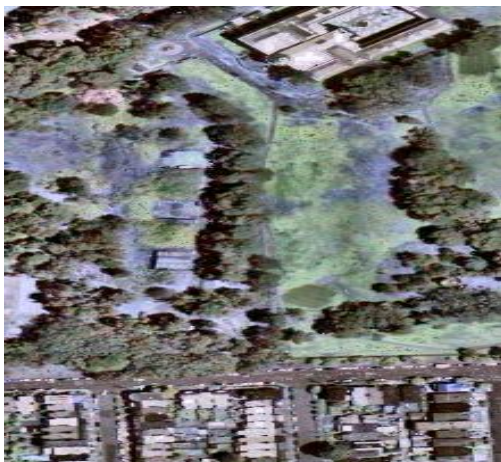
همبستگی مؤلفه‌های بالا بین تصویر با دقت مکانی بالا و تصویر حاصل از ادغام بیشتر باشد، گویای مشارکت بیشتر این ویژگی‌ها در حاصل کار است. پنجره بالاگذری که در این تحقیق مورد استفاده قرار می‌گیرد به صورت رابطه (۱۵) است. در رابطه (۱۵)،  $F_{KHPF}$ ،  $C_{PANHPF}$  به ترتیب نتایج اعمال ماسک فوق روی تصاویر ادغام شده و پانکروماتیک و  $\sigma_F$  و  $\sigma_{PAN}$  به ترتیب انحراف معیار تصویر مرجع پانکروماتیک و تصویر ادغام شده است.

## ۵- نتایج تجربی

به‌طور کلی، کارایی روش‌های ادغام تصاویر ماهواره‌ای از دو منظر قابل بررسی است. اول از لحاظ کیفی و بصری، دوم از لحاظ کمی و عددی. به‌منظور بررسی و ارزیابی بصری، تصاویر رنگی حاصل از ترکیب سه باند قرمز، سبز و آبی در شکل (۵) و (۶) نمایش داده شده است.

$$HPF(mask) = \begin{pmatrix} -1 & -1 & -1 \\ -1 & 8 & -1 \\ -1 & -1 & -1 \end{pmatrix} \quad \text{رابطه (۱۵)}$$

$$P(k) = \frac{C_{PANHPF} \cdot F_{KHPF}}{\sqrt{\sigma_{PAN}^2 + \sigma_F^2}}$$



شکل (۶) *GIHS-wavelet* (روش این مقاله)



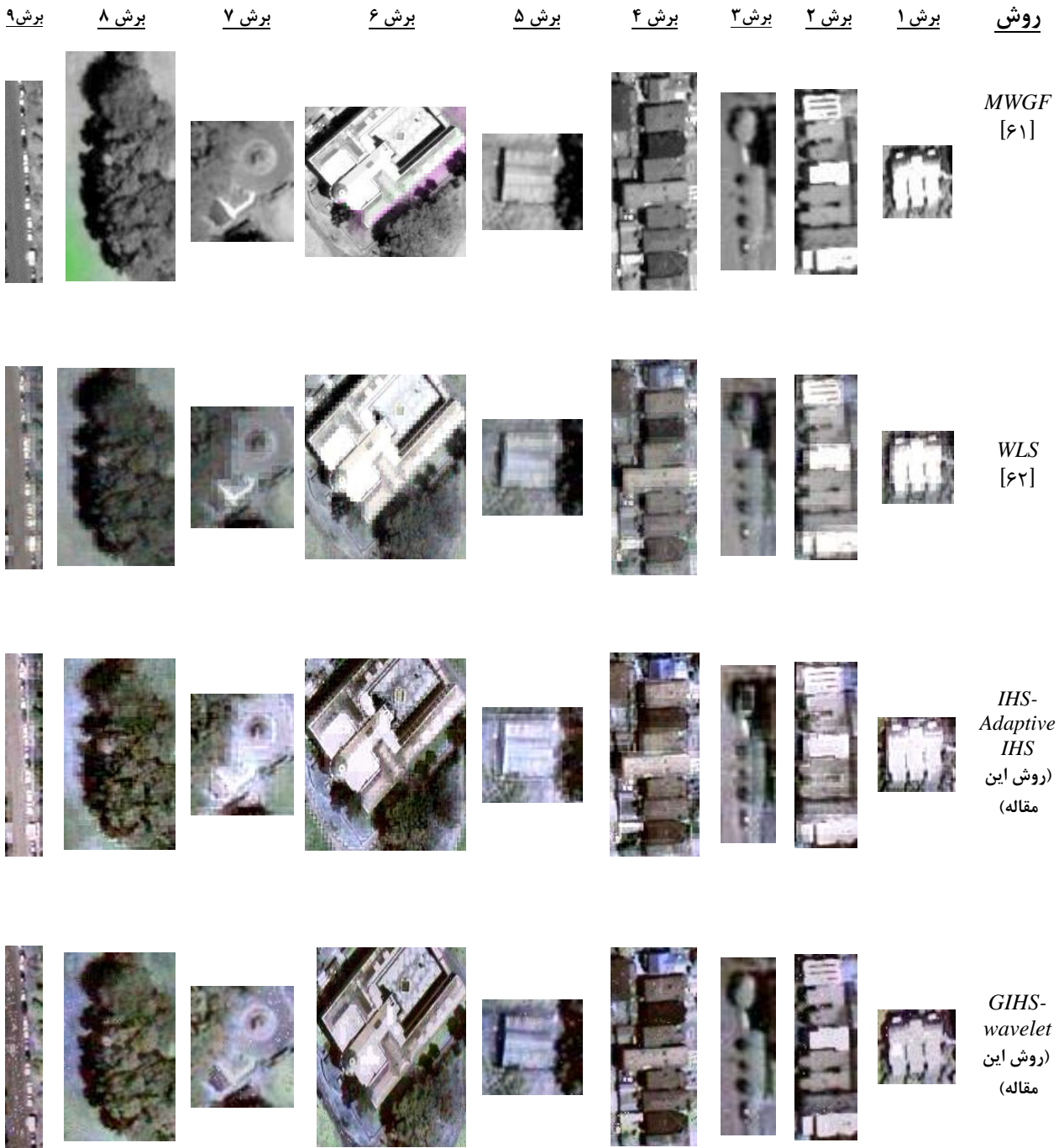
شکل (۵) *IHS IHS-Adaptive* (روش این مقاله)

## شکل ۵: خروجی های نهایی

روی تصاویر حاصل شده دیده می‌شود. طبق شکل (۶)، روش ادغام ارائه شده در این تحقیق، تصویر چند طیفی ورودی را در مناطق دارای برجستگی واضح‌تر ساخته است. اگر به تصاویر مرجع ورودی دقت کنیم این نکته قابل مشاهده است که در تصویر ورودی، مناطق برجسته بسیار تاریک و تیره دیده می‌شود. این امر در واقع فرایند طبقه‌بندی را تحت تأثیر قرار می‌دهد، اما وقتی به خروجی همین تصویر دقت شود به خوبی مناطق حاوی اطلاعات برجسته قابل مشاهده است و در واقع این مناطق از لحاظ طیفی روشن‌تر شده است.

از لحاظ بصری، بررسی عوارض کلیدی در یک تصویر مانند مناطق پوشیده از گیاه، ساختمان‌ها و راه‌ها ... می‌تواند توانایی روش ادغام مورد استفاده را نشان دهد. طبق شکل (۶)، سعی شده است تا از تمامی محتوای اطلاعاتی تصاویر، تکه‌های مختلف انتخاب شود. از لحاظ بصری خروجی روش مورد استفاده در این تحقیق، شامل تصاویری با وضوح بالاتر و روشنایی متناسب در تمامی بخش‌های تصویر به نسبت تصویر مرجع چند طیفی ورودی بوده است؛ این در حالی است که خروجی این روش از لحاظ طیفی به تصویر مرجع اولیه بسیار نزدیک بوده است و اعوجاجات طیفی کمتری

روش	برش ۱	برش ۲	برش ۳	برش ۴	برش ۵	برش ۶	برش ۷	برش ۸	برش ۹
تصویر چند طیفی اولیه									
<i>Adaptive-IHS</i> [۴۲]									
<i>brovey</i>									
<i>IHS-GA</i> [۴۴]									
<i>PCA</i>									



شکل ۶: خروجی تصاویر ادغام شده مربوط به روش های مورد ارزیابی و روش پیشنهادی در تحقیق

هستند که به نظر می‌رسد اساساً ضعف کلی این روش - ها در مقالات نیز همین مسئله باشد. به‌منظور اندازه‌گیری تغییرات طیفی ظریف که به‌سختی می‌توان با مشاهده بصری متوجه آن شد، چندین شاخص کیفیت پرکاربرد برای ارزیابی کمی انتخاب شده است. به همین ترتیب طبق جداول ارزیابی، اعوجاجات طیفی این روش نیز حداقل مقدار ممکن بوده است که معیارهای ارزیابی در جدول (۱) نیز نشانگر این مسئله است. طبق شکل (۶)، اعوجاجات طیفی زیادی در نتایج حاصل از روش‌های ادغام خانواده *IHS* برای داده مورد استفاده مشاهده می‌شود. در واقع این روش‌ها به طور ذاتی اطلاعات مکانی را به نحو قابل قبول حفظ کرده، ولی اطلاعات طیفی را حفظ نمی‌کنند؛ زیرا ضرایب مورد استفاده در تصویر شدت بدون توجه به ماهیت اطلاعاتی باندها به‌صورت تجربی و یا برابر باهم به کار برده شده است. نکته قابل توجه، بهبود طیفی خروجی روش *IHS-GA* به علت محاسبه دقیق سهم هر باند در تشکیل تصویر شدت بوده است.

همچنین خروجی روش پیشنهادی از لحاظ مکانی نیز بهبود اساسی یافته است. علت این امر نبود اختلاف فاحش بین تصویر شدت و پانکروماتیک به دلیل وجود ضرایب بهینه در روند تشکیل تصویر شدت بوده است. در مناطق شامل بلوک‌های ساختمانی که در شکل (۶)، برش‌های (۱)، (۲)، (۳)، (۴)، (۵) و (۶) نمایش داده شده، مشخص است که لبه‌ها بدون تضاریس و اعوجاجات مکانی و طیفی بوده است. در خروجی‌های مربوط به روش پیشنهادی، لبه‌ها تیزتر به نظر می‌رسند. علت این امر تاکید ویژه الگوریتم مورد استفاده در مناطق حاوی برجستگی به حفظ حداکثری ویژگی‌های بافت و مکانی بوده است، اما در سایر الگوریتم‌های مورد استفاده این مشکل به‌صورت جدی مشاهده می‌شود. نکته دیگر قابل ذکر در این کار وجود اعوجاجات و تغییرات طیفی در مناطق غیربرجسته می‌باشد. همان‌طور که در شکل (۶) مشخص است، خروجی مربوط به روش‌های *IHS-GA* و *brovey*, *MWGF* و همگی دارای اعوجاجات و نویزهایی در مناطق گیاهی

جدول ۱: معیارهای ارزیابی استفاده شده در این تحقیق - تلفیقی از متریک‌های مکانی و طیفی

روش	<i>cc</i>	<i>ERGAS</i>	<i>RASE</i>	<i>RMSE</i>	<i>SID</i>	<i>Spatial</i>
<i>MWGF</i> [61]	۰.۱۹۰۵۴	۰.۲۰۲	۰.۷۶۴۸۸	۰.۶۸۵۰۷	۰.۹۶۳	۰.۹۹۰۶
<i>WLS</i> [62]	۰.۱۸۹۱	۰.۱۴۰۴	۰.۴۵۴۲۷	۰.۴۰۵۹۸	۰.۸۵۸	۰.۷۰۵۳۵
<i>Brovey</i>	۰.۵۶۹۳۳	۰.۲۰۴۱	۰.۷۸۳۶۲	۰.۶۹۷۷۳	۰.۱۶۱	۰.۹۵۳۲۶
<i>AdaptiveIHS</i> [42]	۰.۰۴۱۸۳	۰.۲۳۱۷	۰.۵۹۲۵۲	۰.۵۲۷۶	۰.۲۰۶۳۷	۰.۶۶۷۳۹
<i>IHS-GA</i> [44]	۰.۰۷۳۰۵	۰.۲۵۰۶	۰.۶۵۰۷۵	۰.۵۷۹۴۳	۰.۲۱۴۶۲	۰.۹۱۶۶۱
<i>PCA</i>	۰.۴۶۳۲۱	۰.۱۹۶۹	۰.۴۹۴۲۴	۰.۴۳۷۴۹	۰.۵۵۲۵	۰.۶۱۲۳۸
<i>IHS_AdaptiveIHS</i> (روش این تحقیق)	۰.۲۳۳۸۵	۰.۱۵۱۶	۰.۴۵۴۱۸	۰.۴۰۲۷۳	۰.۱۵۰۰۳	۰.۷۸۹۹۷
<i>GIHS_wavelet</i> (روش این تحقیق)	۰.۰۱۰۵	۰.۱۴۴	۰.۳۷۰۷	۰.۳۲۷۸	۰.۱۹۴۳۴	۰.۹۸۴۵۸
<i>Reference</i>	*	*	*	*	*	۱

این معیارها است. بر طبق جدول (۱) و تصاویر نشان داده شده در شکل (۳)، اکثر معیارهای طیفی و کمی روش پیشنهادی حاکی از عملکرد مطلوب این روش به نسبت دیگر روش‌های موجود در این تحقیق بوده است.

بررسی دقیق‌تر نشان‌دهنده بهبود مناطق غیربرجسته در تصاویر ادغام شده با روش پیشنهادی این تحقیق از لحاظ کیفیت طیفی نسبت به سایر روش‌ها بوده است. با توجه به معیارهای ارزیابی جدول (۱)، مقادیر به‌دست‌آمده از معیارهای ارزیابی بسیار نزدیک به مقادیر بهینه (مرجع) برای

## ۶- نتیجه‌گیری

یکی از مسائل قابل توجه در حوزه ادغام تصاویر چند طیفی و پانکروماتیک، ایجاد اعوجاجات طیفی و مکانی متعدد در سطح خروجی می‌باشد که عمده مطالعات صورت گرفته در این حوزه، روی این موضوع تمرکز ویژه داشته‌اند و تمامی الگوریتم‌های ارائه شده یا بهبود یافته پیرامون این مسأله تمرکز کرده‌اند. بالطبع برای ارزیابی این موضوع نیز از پارامترها و معیارهای مناسب بهره گرفته شده است. در مقایسه با مطالعات قبلی در حوزه ادغام تصاویر که جهت ارزیابی از معیارهای مکانی یا صرفاً معیارهای طیفی استفاده کرده‌اند، توجه به این نکته ضروری است که باید برای ارزیابی یک روش ادغام از هر دو نوع معیار مکانی و طیفی به‌طور توأمان بهره برد [۲۵ و ۴۲]. در این مطالعه نیز معیارهای طیفی و مکانی متفاوتی در نظر گرفته شده است. از طریق تجزیه و تحلیل بصری و ارزیابی کمی، می‌توان تفاوت‌های آشکاری بین روش ترکیبی این تحقیق و روش‌های کلاسیک موجود مشاهده نمود.

تجزیه و تحلیل بیشتر را می‌توان در هر کلاس از الگوریتم‌های ادغام انجام داد. در میان خانواده روش‌های مبتنی بر *MRA*، روش‌های مبتنی بر تبدیل موجک مزایای آشکاری در ارائه محصول ادغام شده باکیفیت مکانی بهتر نشان می‌دهند.

نتایج تجربی نشان می‌دهد، روش پیشنهادی این تحقیق عملکرد پیشرفته‌ای را ارائه می‌کند و پتانسیل بالایی برای رسیدگی به نیازهای پیچیده مناطق مختلف در ترکیب دارد.

مزیت روش پیشنهادی این تحقیق در مقایسه با روش‌های مرسوم موجود در زمینه ادغام، توانایی حفظ محتوای طیفی و شباهت بین‌باندی قابل توجه بوده

## مراجع

[1] C. Genderen, J. L. "Multi sensor image fusion in remote sensing: concepts, methods and applications". *International Journal of Remote Sensing*, 19(5), pp. 823-854, 1998.

[2] W. Lau, BA. King, Z. Li. "The influences of image classification by fusion of spatially oriented images". *International Archives of Photogrammetry and Remote Sensing*, 33 (Part B7), pp. 752-759, 2000.

است؛ اگرچه عملکرد روش پیشنهادی و برخی روش‌های فوق در نگهداری طیفی و حفاظت از ساختار مکانی کاملاً مشابه است. علاوه بر این، از منظر بصری، پیشنهاد این تحقیق در دستیابی به تعادل خوب بین دقت مکانی و وفاداری طیفی در مناطق با نیازهای متفاوت در تفکیک مکانی و طیفی، بهتر از سایر رویکردها عمل کرده است. نکته قابل ذکر دیگر می‌تواند به مناسب بودن دقت مکانی روش پیشنهادی نسبت به روش‌های کلاسیک که کل تصویر را یکنواخت فرض نموده و الگوریتم به‌صورت یکجا روی کل تصاویر تأثیر می‌گذارد، اشاره نمود. استفاده از روش ترکیبی بر مبنای استفاده از ویژگی‌های مناطق برجسته و غیربرجسته و همچنین استفاده هم‌زمان از نتایج مثبت الگوریتم بهینه‌سازی ژنتیک و روش ادغام *IHS* و همچنین تبدیل موجک باعث بهبود نتایج طیفی شده است که البته این موضوع در حالی است که اطلاعات مکانی نیز حفظ شده است. نتایج حاصل از ارزیابی معیارهای مختلف حاکی از توانایی بالای روش پیشنهادی تحقیق در ادغام تصاویر است.

همان‌طور که از نتایج معیارهای طیفی و مکانی مشخص است، تمامی معیارهای مورد استفاده، نشان‌دهنده توانایی روش پیشنهادی تحقیق نسبت به حفظ و ابقای اطلاعات طیفی و مکانی تصویر پانکروماتیک و چند طیفی مرجع است.

در پایان پیشنهاد می‌گردد در مرحله تولید مناطق برجسته و غیربرجسته علاوه بر ویژگی‌های فشردگی و کنتراست محلی، از روال تعیین حد آستانه‌گذاری اتوماتیک به‌منظور تولید ماسک باینری استفاده شود. تأثیر الگوریتم ژنتیک در تصاویر با تعداد باند طیفی بیشتر نیز قابل بررسی است.

- [3] Z. Wang, AC. Bovik, HR. Sheikh, EP. Simoncelli, "Image quality assessment: From error visibility to structural similarity", *IEEE Transaction on Image Processing*, 13 (4): 600-612, 2004.
- [4] S Yang, M Wang, L Jiao, "Fusion of multispectral and panchromatic images based on support value transform and adaptive principal component analysis", *Information Fusion*, 13 (3): 177-184, 2012.
- [5] S Klonus, M Ehlers, "Image fusion using the Ehlers spectral characteristics preserving algorithm", *GIS science and Remote Sensing*, 44 (2): 93-116, 2007.
- [6] Y. Zhang, "Understanding image fusion". *Photogrammetric Engineering & Remote Sensing*, 70: 657-661, 2004.
- [7] L Alparone, B Aiazzi, S Baronti, A Garzelli, F Nencini, M Selva. "Multispectral and panchromatic data fusion assessment without reference". In: *Photogrammetric Engineering & Remote Sensing*, 2004.
- [8] T. Tu, S. Su, H. Shyn and P. Huang. "A New Look at IHS-like Image Fusion Methods." *Information Fusion*, Vol. 2. pp. 177-186 2001.
- [9] S.K. Sadhasivam, M. B. Keerthivasan and M.S. "Implementation of Max Principle with PCA in Image Fusion for Surveillance and Navigation Application." *Electronic Letters on Computer Vision and Image Analysis* 10(1):1-10, 2011.
- [10] M. N. Do and M. Vetterli, "The contourlet transform: An efficient directional multi-resolution image representation," *IEEE Trans. Image Process.* vol. 14, no. 12, pp. 2091-2106, Dec.2005.
- [11] V. Shah, N. H. Younan, and R. L. King, "An efficient pan-sharpening method via a combined adaptive PCA approach and contourlets," *IEEE Trans. Geosci. Remote Sens.* vol. 46, no.5 pp.1323-1335, 2008.
- [12] EM Schetselaar, "Fusion by the IHS transform: Should we use cylindrical or spherical coordinates". *International Journal of Remote Sensing*, 19 (4): 759-765, 1998.
- [13] M Choi, HC Kim, N Cho, HO Kim. "An improved intensity-hue-saturation method for IKONOS image fusion". *International Journal of Remote Sensing*, 00: 1-10, 2006.
- [14] M. Choi, "A new intensity-hue-saturation fusion approach to image fusion with a tradeoff parameter". *IEEE Transaction on Geoscience and Remote Sensing*, 44 (6): 1672-1682, 2006.
- [15] C. Myungjin. "New Intensity-Hue-Saturation Fusion Approach to Image Fusion with a Tradeoff Parameter". *IEEE Transaction on Geoscience and Remote Sensing*, 44 (6): 1672-1682, 2006.
- [16] P.S. Chavez, A.Y Kwarteng. "Extracting spectral contrast in Landsat Thematic Mapper image data using selective principal component analysis". *Photogrammetric Engineering and Remote Sensing*, 55: 339-348, 1989.
- [17] V.K. Shettigara. "A generalized component substitution technique for spatial enhancement of multispectral images using a higher resolution data set". *Photogrammetry Engineering and Remote Sensing*, 58: 561-567, 1992.
- [18] J. Vrabel, "Multispectral Imagery Band Sharpening Study". *Photogrammetric Engineering & Remote Sensing*, 62: 1075-1083, 1996.
- [19] W. Yang, Y. Gong, "Multi-spectral and panchromatic images fusion based on PCA and fractional spline wavelet". *International Journal of Remote Sensing*, 33 (22): 7060-7074, 2012.
- [20] Earth Resource Mapping Pty Ltd, "The Brovey transform explained", *EMU Forum*, 2 (11), 1990.
- [21] P.S. Chavez, S.C. Sides, J.A. Anderson. "Comparison of three different methods to merge multi-resolution and multispectral data: TM & Spot Pan". *Photogrammetric Engineering & Remote Sensing*, 57: 295-

- 303, 1991.
- [22] Q. Younan, N.H. King, R. Shah, "On the performance evaluation of pan-sharpening techniques". *IEEE Transaction on Geoscience and Remote Sensing Letters*, 4 (4): 518-522, 2007.
- [23] F. Bovolo, L. Bruzzone, L. Capobianco, A. Garzelli, S. Marchesi. "Analysis of effect of pan-sharpening in change detection on VHR Images". *IEEE Transaction on Geoscience and Remote Sensing Letters*, 7 (1): 53-57, 2010.
- [24] Otazu and Gonzalez, "Introduction of Sensor Spectral Response into Image Fusion Methods: Application to Wavelet-Based Methods". *IEEE Transactions of Geoscience and Remote Sens.* vol. 43, pp. 2376-2385, 2005.
- [25] Y. Zhang, "Methods for image fusion quality assessment-A Review, comparison and analysis". *The International Archives of the Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences*, 2005.
- [26] Tu. Huang, Hung, C.P. Chang, "A fast intensity hue-saturation fusion technique with spectral adjustment for IKONOS imagery". *IEEE Geosci. Remote Sens. Lett.* vol. 1, no. 4, pp. 309-312, 2005.
- [27] C. Lillesand, Kiefer, "The use of intensity-hue-saturation transformations for merging spot panchromatic and multispectral image data", *Photogramm. Eng. Remote Sens.* vol. 56, no. 4, pp. 459-467, 1990.
- [28] F. Palsson, J. Sveinsson, J. Benediktsson, H. Aanaes. "Classification of pansharpened urban satellite images". *Selected Topics in Applied Earth Observations and Remote Sensing, IEEE Journal of*, 5(1), 281-297, 2012.
- [29] M. Choi, H. Kim, N.I. Cho and H.O. Kim. "An Improved Intensity-Hue-Saturation Method for IKONOS Image Fusion." *International Journal of Remote Sensing*. 2008.
- [30] T.M. Tu, Y.C. Lee, C.P. Chang, P.S. Huang. "Adjustable intensity-hue-saturation and brovey transform fusion technique for IKONOS/Quickbird imagery". In: *Optical Engineering*, 2005.
- [31] L. Wald, "Quality of High Resolution Synthesized Images: Is There a Simple Criterion?" *Proc. Int. Conf. Fusion Earth Data*. 2000.
- [32] T. Ranchin, L. Wald, "Fusion of high spatial and spectral resolution images: The Arsis concept and its implementation". *Photogramm. Eng. Remote Sens.* vol. 66, no. 1, pp. 49-61, 2005.
- [33] R. Yuhas, A. Goetz, J. Boardman, "Discrimination among semi-arid landscape endmembers using the Spectral Angle Mapper (SAM) algorithm", *Summaries 3rd Annu. JPL Airborne Geoscience Workshop*, vol. 1, pp. 147-149, 1992.
- [34] C. Chang, "Spectral information divergence for hyperspectral image analysis", in *Proc. IEEE Int. Geoscience and Remote Sensing Symp. IGARSS'99*, vol. 1, pp. 509-511, 1999.
- [35] J. Zhou, D. Civco, J. Silander, "A wavelet transform method to merge LandSat TM and SPOT panchromatic data," *Int. J. Remote Sens.*, vol. 19, no. 4, pp. 743-757, Mar. 1998.
- [36] M. Mezouar, N. Taleb, K. Kpalma, J. Ronsin, "An Improved Intensity-Hue-Saturation for a High-Resolution Image Fusion Technique Minimizing Color Distortion". *IJICT*, Vol. 3, No. 1, 2010.
- [37] N. Otsu, "A threshold selection method from gray-level histograms." *Automatica* 11(285-296): 23-27, 2010.
- [38] M. Cui, S. Prasad, W. Li, L. Bruce, "Locality preserving genetic algorithms for spatial-spectral hyperspectral image classification". *Selected Topics in Applied Earth Observations and Remote Sensing, IEEE Journal of* 6, 1688-1697, 2013.
- [39] W. Siedlecki, J. Sklansky, "A note on genetic algorithms for large-scale feature selection". *Pattern recognition letters* 10,

- 335 -347, 1989.
- [40] S. Li, H. Wu, D. Wan, J. Zhu, "An effective feature selection method for hyperspectral image classification based on genetic algorithm and support vector machine". *Knowledge-Based Systems* 24, 40-48, 2011.
- [41] A. Garzelli, F. Nencini, "Pan-sharpening of very high resolution multispectral images using genetic algorithms," *Int. J. Remote Sens.*, 2006.
- [42] S. Rahmani, M. Strait, D. Merkurjev, "Evaluation of pan-sharpening methods", 2008.
- [43] S. Franklin, O. Ahmed, "Deciduous Tree Species Classification Using Object-Based Analysis and Machine Learning with Unmanned Aerial Vehicle Multispectral Data." *International Journal of Remote Sensing* 1-10, 2018.
- [44] S. Mohammad Nejad Niazi, M. Mokhtar Zade, F. Saeed Zadeh, "A Novel IHS-GA Fusion Method Based on Enhancement Vegetated Area", *Journal of Geomatics Science and Technology*, 6(1), pp. 235-248, 2016(Persian).
- [45] S. Myint, P. Gober, A. Brazel, "Per-Pixel Vs. ObjectBased Classification of Urban Land Cover Extraction Using High Spatial Resolution Imagery." *Remote Sensing of Environment* 115 (5), 2011.
- [46] Yu, Q., P. Gong, N. Clinton, G. Biginget, M. Kelly, and D. Schirokauer, "Object-Based Detailed Vegetation Classification with Airborne High Spatial Resolution Remote Sensing Imagery." *Photogrammetric Engineering and Remote Sensing* 72 (7): 799-811, 2002.
- [47] D. Tuia, E. Pasolli, W. Emery, "Using Active Learning to Adapt Remote Sensing Image Classifiers." *Remote Sensing of Environment* 115 (9): 2232-2242, 2011.
- [48] L. Zhang, J. Zhang, "A novel remote-sensing image fusion method based on hybrid visual saliency analysis". *International Journal of Remote Sensing*, 39(22), 7942-7964, 2018.
- [49] L. Zhang, K. Yang, H. Li, "Regions of Interest Detection in Panchromatic Remote Sensing Images Based on Multiscale Feature Fusion." *IEEE Journal of Selected Topics in Applied Earth Observations and Remote Sensing* 7 (12): 4704-4716, 2014.
- [50] L. Zhang, A. Li, "Region-Of-Interest Extraction Based on Saliency Analysis of CoOccurrence Histogram in High Spatial Resolution Remote Sensing Images." *IEEE Journal of Selected Topics in Applied Earth Observations and Remote Sensing* 8 (5): 2111-2124, 2015.
- [51] J. Han, G. Cheng, Z. Li, D. Zhang, "A Unified Metric Learning-Based Framework for CoSaliency Detection." *IEEE Transactions on Circuits and Systems for Video Technology* PP (99), 2017.
- [52] J. Chen, L. Zhang, "Joint Multi-Image Saliency Analysis for Region of Interest Detection in Optical Multispectral Remote Sensing Images." *Remote Sensing* 8 (6): 461, 2016.
- [53] X. Yao, J. Han, D. Zhang, F. Nie, "Revisiting Co-Saliency Detection: A Novel Approach Based on Two-Stage Multi-View Spectral Rotation Co-Clustering." *IEEE Transactions on Image Processing* 26 (7), 2017.
- [54] K. Zhang, M. Wang, S. Yang, "Multispectral and Hyperspectral Image Fusion Based on Group Spectral Embedding and Low-Rank Factorization." *IEEE Transactions on Geoscience and Remote Sensing* 55 (3): 1363-1371, 2016.
- [55] W. Wang, J. Shen, X. Li, F. Porikli, "Robust Video Object Cosegmentation." *IEEE Transactions on Image Processing* 24 (10): 3137-3148, 2015a.
- [56] J. Shen, and L. Shao, "Consistent Video Saliency Using Local Gradient Flow Optimization and Global Refinement." *IEEE Transactions on Image Processing* 24 (11): 4185-4196, 2015b.
- [57] H. Chen, N. Liu, C. Yan, and X. Li, "CNNs-

- Based RGB-D Saliency Detection via CrossView Transfer and Multiview Fusion.* IEEE Transactions on Cybernetics PP (99): 1–13, 2017b.
- [58]P. Chavez, S. Sides, J. Anderson, “Comparison of Three Different Methods to Merge Multiresolution and Multispectral Data – Landsat TM and SPOT Panchromatic.” *Photogrammetric Engineering and Remote Sensing* 57 (3): 295–303, 1991.
- [59]S. Selesnick, I. W., R. G. Baraniuk, N. C. Kingsbury, “The Dual-Tree Complex Wavelet Transform.” *IEEE Signal Processing Magazine* 22 (6): 123–151, 2005.
- [60]L. Zhou, Z. Yang, Q. Yuan, Z. Zhou, D. Hu, “Salient region detection via integrating diffusion-based compactness and local contrast”. *IEEE Transactions on Image Processing*, 24(11), 3308-3320, 2015.
- [61]Z. Zhou, S. Li, B. Wang, “Multi-scale weighted gradient-based fusion for multi-focus images”. *Information Fusion*, 20, 60-72, 2014.
- [62]J Ma, Z Zhou, B Wang, H Zong, “Infrared and visible image fusion based on visual saliency map and weighted least square optimization”. *Infrared Physics & Technology*, 82, 8-17, 2017.
- [63]S. Niazi, M. Mokhtarzade, F. Saeedzadeh, “a Novel Ihs-Ga Fusion Method Based on Enhancement Vegetated Area”. *The International Archives of the Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences*, 40, 543-548, 2015.



## ***A Hybrid Method Based on Wavelet Transform and Optimized IHS to Fusion of Remote Sensing Images Through Saliency Analysis***

Saeed Mohammad Nejad Niazi <sup>1</sup>, Reza Shah-Hosseini <sup>2\*</sup>

1- PhD Student, School of Surveying & Geospatial Engineering, College of Engineering, University of Tehran, Tehran, Iran.

2- Assistant Professor, School of Surveying & Geospatial Engineering, College of Engineering, University of Tehran, Tehran, Iran.

### **Abstract**

Remote sensing satellites provide various data in different parts of the electromagnetic spectrum with spectral, temporal and spatial resolution. In order to make full use of the data obtained from different sources, various numerical and analytical techniques of image integration have been developed. Among the existing image integration methods, due to their high efficiency, speed and spatial accuracy, IHS (Intensity Hue Saturation) and Wavelet Transformation are the most widely used algorithms. But generally, these methods are applied to the entire image all together, and basically whatever its characteristics and contents are, they consider the entire image as a unique object. While from a satellite image of different areas we can get different data and contents. In this research, a new process for integrating images using image analysis based on its surface saliency is presented. In this way, the image is divided into two prominent and non-prominent sections, and the integration scenario will be different in these two areas. In the prominent areas, which include residential areas, roads, etc., we used the IHS method which was improved by the genetic optimization method, and in the non-prominent areas (forests, pastures, and agricultural fields) we used the wavelet transformation to analyze and extract the features with high frequency. In this research, in order to implement and evaluate the presented method, samples of images related to worldview 2 gauges have been used. The visual results and the spectral and spatial quantitative ones show the improvement of the integration results compared to the conventional and integrated methods (the output of the assessed metrics CC, ERGAS, RASE and RMSE showed better results compared to the other methods). In addition, the processing speed in this method is much higher than the new techniques which are based on the deep learning networks.

**Key words:** Saliency, Fusion of satellite images, Wavelet Transformation, Intensity Hue Saturation, Genetic Algorithm.