

## آشکارسازی تغییرات زیر پیکسلی کاربری اراضی در تصاویر ابرطیفی مبتنی بر جداسازی طیفی و پسپردازش

مهندی حسنلو<sup>۱\*</sup>، سید تیمور سیدی<sup>۲</sup>

۱- استادیار گروه سنجش از دور، دانشکده مهندسی نقشه‌برداری و اطلاعات مکانی، پردیس دانشکده‌های فنی، دانشگاه تهران

۲- کارشناسی ارشد سنجش از دور، دانشکده مهندسی نقشه‌برداری و اطلاعات مکانی، پردیس دانشکده‌های فنی، دانشگاه تهران

تاریخ پذیرش مقاله: ۱۳۹۵/۰۸/۰۷ | تاریخ دریافت مقاله: ۱۳۹۶/۱۲/۰۷

### چکیده

امروزه سنجش از دور با دارا بودن توان تفکیک مکانی و طیفی بالا، پوشش گسترده و با کمترین هزینه برای دریافت داده از زمین، نقش کلیدی را در حوزه پژوهش‌های علوم زمین و پایش محیط‌زیست از جمله آشکارسازی تغییرات داشته است. به‌طور کلی تشخیص به موقع و دقیق تغییرات در مقیاس محلی و جهانی، در مدیریت بهینه‌ی استفاده از منابع، از اهمیت بالایی برخوردار است. تصاویر فرآیندی، به‌علت دارا بودن توان تفکیک طیفی بالا، نتایج بهبود یافته‌ای از آشکارسازی تغییرات و همچنین جزئیات بیشتری از فرآیند آشکارسازی تغییرات را فراهم می‌نمایند. استفاده از روش‌های مبتنی بر جداسازی طیفی روی تصاویر فرآیندی، توانمندی بسیار بالایی برای دست یافتن به اطلاعات مهم زیرپیکسل دارد. در این پژوهش یک روش آشکارسازی تغییرات با استفاده از الگوریتم‌های تفاضل‌گیری، اتسو و جداسازی طیفی ارائه گردیده است. یکی از مهمترین قابلیت‌های روش پیشنهادی، بهبود توان تفکیک مکانی نقشه تغییرات است. همچنین علاوه بر تهیه نقشه تغییرات به صورت دودویی و خودکار، قادر به استخراج اطلاعات درباره ماهیت کلاس‌های تغییر نیز و دستیابی به تغییرات در زیرپیکسل می‌باشد. به‌منظور ارزیابی کارایی و دقت روش پیشنهادی، از دو مجموعه داده‌ی چند زمانه‌ی فرآیندی به کار گرفته شد. داده اول از سنجنده‌ی هایپریون، مربوط به مزارع کشاورزی اطراف شهر جیانگسو واقع در چین است. به‌منظور کاهش خطای تهیه نقشه واقعیت زمینی و افزایش اعتمادپذیری؛ یک داده شبیه‌سازی شده از سنجنده‌ی هوابرد اوریس؛ تهیه گردید. ارزیابی خروجی‌های به‌دست‌آمده نشان‌دهنده، دقت کلی بالا و نرخ کم هشدارهای روش پیشنهادی، در مقایسه با روش‌های رایج آشکارسازی تغییرات، است. به‌طوری‌که دقت کلی برای داده چین، با دقت کلی بالای ۰/۹۱٪، ضریب کاپا ۰/۸۵٪ و نرخ هشدارهای اشتباہ کلی کمتر از ۰/۷٪ هزینه محاسباتی و نسبتاً پایین نسبت به روش‌های متداول حکایت می‌کند. علاوه نتایج به‌دست آمده برای داده شبیه‌سازی شده، ۰/۸۰٪ درصد ضریب کاپا، ۰/۸۲٪ و میزان نرخ هشدارهای اشتباہ آن، ۰/۱۹٪ درصد است.

کلیدواژه‌ها: آشکارسازی تغییرات، تصاویر فرآیندی، جداسازی طیفی، الگوریتم اتسو، زیر پیکسل

\*نویسنده مکاتبه کننده: دانشکده مهندسی نقشه‌برداری و اطلاعات مکانی، پردیس دانشکده‌های فنی، دانشگاه تهران

تلفن: ۰۲۱ ۶۱۱۱۴۵۲۵

## ۱- مقدمه

بار محاسباتی و زمانی کم و تأثیرپذیری اندک از شرایط محیطی (اتمسفری) و دستگاهی (نویز) را داشته باشد [۱۳ و ۱۴].

در سال ۲۰۰۵ کینگ و همکاران یک روش آشکارسازی تغییرات مبتنی بر اختلاط طیفی بر روی تصاویر فراطیفی پرداختند. عضوهای خالص از طریق محاسبه بردار باقیمانده با در نظر گرفتن یک پیشفرض خاص انجام شده است. همچنین با استفاده از الگوریتم جداسازی خطی کمترین مربعات با قیود کامل<sup>۱</sup> بردار فراوانی برای هر کدام از داده‌ها محاسبه می‌شود. در ادامه اطلاعات تغییر را با استفاده از عضوهای خالص و با مقایسه دو بردار فراوانی محاسبه خواهد شد [۱۵]. در این روش اگرچه با استفاده از تصاویر فراطیفی نتایج قابل قبولی را به دست آوردند اما نیز یکسری از چالش‌ها باقی است. از جمله آن‌ها، نیاز به داشتن یک حدآستانه دانش مبنا از سوی کاربر، مشکل مقایسه دو امضا طیفی متناظر، اگرچه روش پیشنهادی مبتنی بر اختلاط طیفی است اما سطح تصمیم‌گیری برای استخراج تغییرات در سطح پیکسل است.

در سال ۲۰۰۸ ملا و همکاران یک روش آشکارسازی تغییرات بر روی تصاویر فراطیفی بکار برند که در آن از الگوریتم کواریانس<sup>۲</sup> انس متقابل<sup>۳</sup> و معادل‌سازی کواریانس<sup>۴</sup>، به عنوان پیش‌بینی کننده، استفاده می‌شود. در مرحله بعد به منظور یافتن تغییرات از مؤلفه‌های خروجی از الگوریتم شناسایی کننده آنامولی<sup>۵</sup> استفاده کردند. همچنین با استفاده از قطعه‌بندی داده مرجع عملکرد آشکارسازی تغییرات را بهبود بخشیدند [۱۶]. نیاز به انتخاب حدآستانه و

در سال‌های گذشته وجود برخی از مشکلات گوناگون از جمله دسترسی دشوار به مناطق، هزینه‌های مالی بالا و البته زمان‌گیر بودن فرآیند ارائه‌ی گزارش‌های پایش محیط، موجب چالش‌های بسیاری برای سازمان‌های مربوطه شده است [۱ و ۲]. امروزه با وجود فناوری سنجش‌از دور این مشکلات مرتفع گردیده است. سنجش‌از دور به عنوان ابزاری کارآمد و یک منبع اطلاعاتی مهم به طور پیوسته، با پوشش وسیع و با کمترین هزینه از زمین داده جمع‌آوری می‌کند [۳]. اخیراً، با روی کار آمدن سنجنده‌های جدید، در بی‌آن بهبود توان تفکیک زمانی، مکانی، طیفی؛ بین محققان این حوزه علاقه شدیدی برای استخراج اطلاعات از تصاویر چند زمانه ایجاد شده است [۴ و ۵]. تصاویر فراطیفی به دلیل دارا بودن محتوای اطلاعات طیفی بالا دارای کاربردهای گوناگونی از جمله: شناسایی اهداف، طبقه‌بندی و آشکارسازی تغییرات می‌باشند [۲، ۶ و ۷]. در این بین آشکارسازی سنجش‌از دور مورد توجه محققان قرار گرفته و پژوهش‌های بسیاری در این رابطه صورت گرفته است [۸ و ۹]. آشکارسازی تغییرات فرآیندی است که تغییرات یک پدیده را در زمان‌های متفاوت برای یک منطقه جغرافیایی یکسان اندازه‌گیری می‌کند [۱۰]. آشکارسازی تغییرات دارای کاربردهای مختلفی در حوزه‌های مطالعاتی علوم زمین، از جمله: شناسایی آلودگی‌های شهری و محیط‌زیست، استرس محصولات، پایش توسعه شهری و بروز رسانی نقشه‌ها است [۱۱].

سنجنده‌های فراطیفی در یک طول موج پیوسته و بسیار نزدیک با پهنای باند حدود ۰/۴ نانومتر به اخذ داده می‌پردازند [۱۲]. با توجه به خاص بودن نوع داده مورد استفاده، نیاز به فن‌های خاصی برای پردازش اطلاعات می‌باشد. به طور کلی روش‌های آشکارسازی تغییرات باید قابلیت پردازش اطلاعات با حجم بالا،

<sup>1</sup> Fully Constrained Least Squares Linear Unmixing (FCLSLU)

<sup>2</sup> Cross Covariance (CC)

<sup>3</sup> Covariance Equalization (CE)

<sup>4</sup> Anomaly Detector (AD)

فراطیفی ارائه کردند، در این روش با استفاده از پیکسل‌های زمان اول به همراه یکسری از اطلاعات شامل امضای طیفی و اطلاعات همسایگی هر یک از مناظر مرتبط با آن پیکسل یک زیر فضای پس‌زمینه ساخته می‌شود و در نهایت بردار تغییر بهدست می‌آید<sup>[۱]</sup>. در روش پیشنهادی از سوی نویسنده‌گان، نیاز به انتخاب حدآستانه، عدم ارائه نقشه تغییرات چندگانه و حساسیت به نویز از جمله مسائلی است که می‌توان به عنوان معایب بدان اشاره داشت.

در سال ۲۰۱۴ لو و همکاران روش مبتنی بر الگوریتم شبه نظارت متریک فاصله‌ای آشکارسازی تغییرات<sup>۵</sup> ارائه کردند. در این روش ابتدا با داشتن یکسری از داده آموزشی الگوریتم چارچوب یادگیری متریک مرتب شده<sup>۶</sup> برای یادگیری متریک فاصله‌ای به کار گرفته می‌شود، پس از یادگیری متریک فاصله‌ای نواحی تغییر و بدون تغییر نمایان می‌شود<sup>[۱۹]</sup>. نیاز به داشتن داده آموزشی، حجم بالای محاسبات و پیچیدگی روش پیشنهادی باعث شده است که این روش چندان مورد توجه کاربران قرار نگیرد.

در سال ۲۰۱۵ پلازا و همکاران یک روش آشکارسازی تغییرات زیر پیکسل ارائه کردند، این روش ابتدا با کنار هم گذاشتن هر دو داده ابرطیفی عضوهای خالص توسط الگوریتم هایسیم<sup>۷</sup> تخمین زده می‌شود و سپس برای دو داده (کنار هم گذاشته شده) اجزا خالص توسط الگوریتم ان-فایندر<sup>۸</sup> یا سیسال<sup>۹</sup> استخراج می‌شود. در مرحله بعد با به کارگیری الگوریتم‌های جداسازی خطی کمترین مربعات با قیود کامل بردار فراوانی محاسبه و نهایتاً اطلاعات تغییر با مقایسه دو بردار فراوانی محاسبه می‌شود<sup>[۲۰]</sup>. اگرچه روش پیشنهاد

حساسیت به نویز، از جمله مهمترین معایب روش پیشنهادی آنها است.

در سال ۲۰۱۱ ماربیو و همکاران روشی به منظور آشکارسازی تغییرات با استفاده از تصاویر فراطیفی ارائه کردند. ابتدا توسط الگوریتم تفاضل‌گیری و تحلیل مؤلفه اصلی<sup>۱</sup> و الگوریتم خوشبندی ک-میانگین<sup>۲</sup> تغییرات اصلی استخراج کردد و تغییرات جزئی و نواحی محتمل تغییر توسط الگوریتم شناسایی تغییرات چند متغیره وزن دار تکراری<sup>۳</sup> طی یک فرآیند تکراری استخراج می‌شود<sup>[۱۷]</sup>. یکی از چالش‌های مهمی که در روش پیشنهاد ارائه شده اشاره داشت، نیاز به زمان بالای پردازش، انتخاب حدآستانه و نیاز به داشتن پیش‌فرض خاص برای داده است.

در سال ۲۰۱۲ دو و همکاران روشی مبتنی بر شناسایی اهداف بر روی تصاویر فراطیفی روی هم گذاشته شده ارائه کردند. در این پژوهش، برای هریک از نواحی تغییریافته و بدون تغییر یکسری داده آموزشی ایجاد می‌شود، سپس تصاویر روی هم گذاشته می‌شود و به منظور کاهش ابعاد تصاویر فراطیفی از الگوریتم تحلیل مؤلفه اصلی استفاده شده است. نهایتاً اطلاعات تغییر را توسط الگوریتم برآوردگر همدوسی‌های انطباقی<sup>۴</sup> به دست آورده‌اند<sup>[۱۸]</sup> در این روش نیاز به داشتن داده آموزشی از مهمترین چالش‌های روش پیشنهادی از سوی نویسنده‌گان است. علاوه بر آن، نیاز به انتخاب حدآستانه چالش بعدی است که محوبیت روش پیشنهادی را کاهش می‌دهد.

در سال ۲۰۱۳ وو و همکاران یک روش نظارت شده مبتنی بر ایجاد زیر فضای پس‌زمینه در تصاویر

<sup>5</sup> Semi supervised Distance Metric for Change Detection (SSDM-CD)

<sup>6</sup> Regularized Metric Learning Framework (RMLF)

<sup>7</sup> Hysime

<sup>8</sup> N-finder

<sup>9</sup> SISAL

<sup>1</sup> Principal Component Analysis (PCA)

<sup>2</sup> K-Means

<sup>3</sup> Iteratively Re-weighted Multivariate Alteration Detection (IR-MAD)

<sup>4</sup> Adaptive Coherence/Cosine Estimator (ACE)

نتایج آشکارسازی تغییرات می‌تواند در دو گروه عمدۀ مورد بررسی قرار گیرد [۵، ۲۴، ۲۳، ۲۲ و ۲۵] : گروه اول، نقشه تغییرات دودویی<sup>۱</sup>، ب) نقشه تغییرات چندگانه<sup>۲</sup>. نقشه تغییرات به صورت دودویی، تغییرات را فقط در قالب صفر و یک بیان می‌کند، بدین صورت که؛ نواحی تغییر یافته به صورت یک و نواحی بدون تغییر به صورت صفر است. در گروه دوم، نقشه تغییرات به شکلی ارائه می‌گردد، که هر کدام از کلاس‌های تغییر دارای یک برچسب مخصوص به خود را داشته باشند. نقشه‌ای که از گروه دوم حاصل می‌شود، جزئیات بیشتری از تغییرات را عرضه می‌کند.

به طور کلی روش‌های آشکارسازی تغییرات به کمک تصاویر ابرطبیفی به پنج گروه کلی تقسیم می‌شوند. گروه اول، روش‌های طبقه‌بندی مبتنی بر الگوریتم‌های همیستگی مبنا<sup>۳</sup> است. این الگوریتم‌ها از عملگرهای ساده ریاضی<sup>۴</sup> به منظور آشکارسازی تغییرات استفاده می‌کنند. از جمله این روش‌ها می‌توان به تفضیل گیری<sup>۵</sup>، نسبت گیری<sup>۶</sup>، متریک اقلیدسی<sup>۷</sup>، الگوریتم اندازه‌گیری زاویه‌ طیفی<sup>۸</sup> اشاره نمود [۲۶ و ۲۷]. از مزایای این روش‌ها می‌توان به کارگیری ساده و حجم پایین محاسبات اشاره نمود. در گروه اول، تخمین حد آستانه بهینه و مناسب برای یافتن پیکسل‌های تغییر و بدون تغییر کار مشکلی می‌باشد همچنین اطلاعات ماتریس نقشه تغییر را نیز فراهم نمی‌نماید [۲۷، ۲۸ و ۲۹]. گروه دوم، روش‌های تبدیل مبنا هستند که شامل تحلیل مؤلفه اصلی<sup>۹</sup>، تحلیل تغییرات چند متغیره<sup>۱۰</sup> و

شده دارای عملکرد خوبی در آشکارسازی تغییرات دارد اما نیاز به انتخاب حدآستانه بر روی فراوانی‌های به دست آمده و تهیه نقشه تغییرات در زیر پیسکل از جمله مهمترین مسائلی است که این روش را به منظور آشکارسازی تغییرات قابل توصیه نیست.

در سال ۲۰۱۶ لیو و همکاران روش آشکارسازی تغییرات مبتنی بر اختلاط طیفی را ارائه داده‌اند. در این تحقیق، ابتدا هر داده چند زمانه فراتیفی بر روی هم گذاشته می‌شود و در مرحله بعد این داده‌ها به چند ناحیه تقسیم و عضوهای خالص در هر ناحیه تخمین و استخراج می‌شود. در مرحله بعد هر کدام از این عضوهای خالص از نواحی مختلف، ماهیتشان مشخص می‌شود که هر عضو خالص مربوط به عضو خالص تغییر یا بدون تغییر است. بعد از مشخص شدن هویت این اجزا خالص، هر کدام از این اجزا خالص که در نواحی مختلف مشترک می‌باشند، توسط یک الگوریتم و با اعمال یک حدآستانه مشخص یافت می‌شود و ادغام می‌شود تا در نقشه تغییرات نهایی یک برچسب بگیرند. در گام آخر با اجرای الگوریتم جداسازی خطی کمترین مربعات با قیود کامل اطلاعات تغییر استخراج می‌شود [۵ و ۲۱]. این روش دارای ساختار کاملاً پیچیده، بار محاسباتی و هزینه زمانی بالایی دارد. علاوه بر این نیاز به تعیین یک حدآستانه دانش مبنا از سوی کاربر دارد. مهمتر از همه، اگرچه این روش از اختلاط طیفی استفاده نموده است اما سطح تصمیم‌گیری به منظور استخراج نقشه تغییرات در سطح پیکسل است.

در سال ۲۰۱۷، حسنلو و همکاران روشی مبتنی بر انطباق مبنا به منظور آشکارسازی تغییرات ارائه نمودند [۲]. در این روش از دو متریک فاصله و شباهت مبنا به منظور آشکارسازی تغییرات استفاده نمودند. در این یکی از مهمترین مسائلی که وجود دارد نیاز به داشتن داده آموزشی از سوی کاربر است.

<sup>1</sup> Binary Change Map

<sup>2</sup> Multiple Change map

<sup>3</sup> Match Based

<sup>4</sup> Math Simple Operator

<sup>5</sup> Image Differencing

<sup>6</sup> Image Ratio

<sup>7</sup> Euclidean Metric

<sup>8</sup> Spectral Angle Mapper

<sup>9</sup> Principle components analysis

<sup>10</sup> Multivariate alternative detection

منظور، برای مقایسه، به منظور به دست آوردن نقش تغییر نیاز به عامل انسانی دارد [۲۶، ۱۰ و ۲۷]. گروه چهارم، روش‌های طبقه‌بندی مستقیم است. این روش‌ها بر پایه روی هم گذاشتن داده‌ها با یک طبقه‌بندی کننده استفاده می‌شود. آشکارسازی تغییرات در این گروه بر این اساس است که کلاس‌های بدون تغییر در بین هر یک از داده‌های چند زمانه در دارای پیکسل‌هایی با خصوصیات امضا طیفی ثابتی در بین تصاویر چند زمانه نسبت به کلاس‌های تغییر دارد. به عبارت دیگر، پیکسل‌های کلاس‌های بدون تغییر، دارای امضا طیفی یکسانی در طول زمان‌های مختلف دارد. الگوریتم‌های این گروه از این ویژگی به منظور استخراج تغییرات بهره می‌گیرند. مزیت اصلی این روش‌ها تأثیری کم از شرایط محیطی (اتمسفری) و دستگاهی (نویز) است، علاوه بر این با یک طبقه‌بندی نقشه تغییر به دست می‌آید. این روش‌ها مشابه گروه سوم در دو چارچوب نظارت شده و بدون نظارت انجام می‌پذیرد. از معایب این روش نیاز به داده آموزشی، وابستگی دقیق آشکارسازی تغییرات به دقیق طبقه‌بندی، فراهم نمودن اطلاعات کم درباره ماتریس تغییر است [۳۱ و ۳۰]. گروه پنجم، روش‌های ترکیبی است. این روش‌ها ترکیبی از هر کدام از گروه‌های قبلی است. معمولاً این روش‌ها نسبتاً دقیق بالایی دارند و به صورت نظارت نشده مورد استفاده قرار می‌گیرند [۲۶ و ۵۵].

به علت وجود توان تفکیک مکانی ضعیف سنجنده‌های تصویربرداری فراتیفی از نوع فضابردار، روش‌های مبتنی بر اختلاط طیفی جایگاه ویژه‌ای در تحلیل داده‌های سنجش از دوری در کاربردهای مختلفی از جمله مهمترین آن، طبقه‌بندی و آشکارسازی تغییرات پیدا کرده است. به طوری که با استفاده از این تکنیک‌ها نتایج را به صورت قابل توجهی بهبود دادند. این تکنیک‌ها این امکان را می‌دهد، اهداف را، در سطح زیر یک پیکسل شناسایی کنیم. استفاده از تکنیک‌های مبتنی بر اختلاط طیفی، اگرچه جزئیات زیر پیکسلی را

تحلیل مؤلفه مستقل<sup>۱</sup> است. هدف اصلی این روش‌ها انتقال داده از فضای تصویر به فضای دیگری است که شباهت بین باندها به حداقل ممکن می‌رسد. معمولاً برای این کار از خصوصیات آماری مرتبه دوم به بالاتر استفاده می‌کنند. این روش‌ها توانایی پردازش داده با ابعاد بالا و پتانسیل کنترل نویز را دارند. مهمترین معایب این روش‌ها، مشکل پیدا کردن مولفه‌ای که شامل بیشترین محتوای اطلاعاتی تغییر و انتخاب حد آستانه مناسب را دارا است همچنین، اطلاعات ماتریس نقشه تغییر را هم فراهم نمی‌نمایند [۲۸، ۲۷ و ۱۰]. گروه سوم، روش‌های پس‌طبقه‌بندی که این روش‌ها بر پایه طبقه‌بندی هر کدام از داده‌ها به صورت جداگانه و در ادامه مقایسه آن‌ها، به منظور استخراج نقشه تغییر است. این روش‌ها در دو دسته اصلی انجام می‌گیرد که دسته اول آن روش‌های با طبقه‌بندی کننده به صورت نظارت شده و دسته دوم روش‌های با طبقه‌بندی کننده بدون نظارت است. روش‌های نظارت شده طبقه‌بندی که شامل: طبقه‌بندی کننده ماشین بردار پشتیبان<sup>۲</sup> و طبقه‌بندی کننده بیشترین احتمال شباهت<sup>۳</sup> است. از جمله مهمترین مزیت این روش‌ها تاثیر پذیری کمتر از شرایط اتمسفری و نویز است. معایب اصلی این دسته، نیاز به داده آموزشی می‌توان بدان اشاره نمود. این در حالی است، جمع‌آوری داده آموزشی در بین تصاویر چند زمانه کار دشواری است. دسته دوم، روش‌های نظارت نشده که شامل: الگوریتم طبقه‌بندی ایزو-دیتا<sup>۴</sup>، فازی سی-مینز<sup>۵</sup> و ک-مینز<sup>۶</sup> هم است. در این دسته از این گروه از روش‌های آشکارسازی تغییرات، کار برچسب گذاری کلاس‌های هر یک از

<sup>1</sup> Independent component analysis<sup>2</sup> Support Vector Machine(SVM)<sup>3</sup> Maximum Likelihood<sup>4</sup> ISO-DATA<sup>5</sup> Fuzzy C-Means (FCM)<sup>6</sup> K-Means

به طبع آن افزایش زمان محاسباتی می‌شود. در حالی که روش پیشنهادی این روش، بر روی یک داده با ابعاد معادل با یکی از ابعاد تصاویر، تحلیل اختلاط طیفی را انجام می‌دهد.

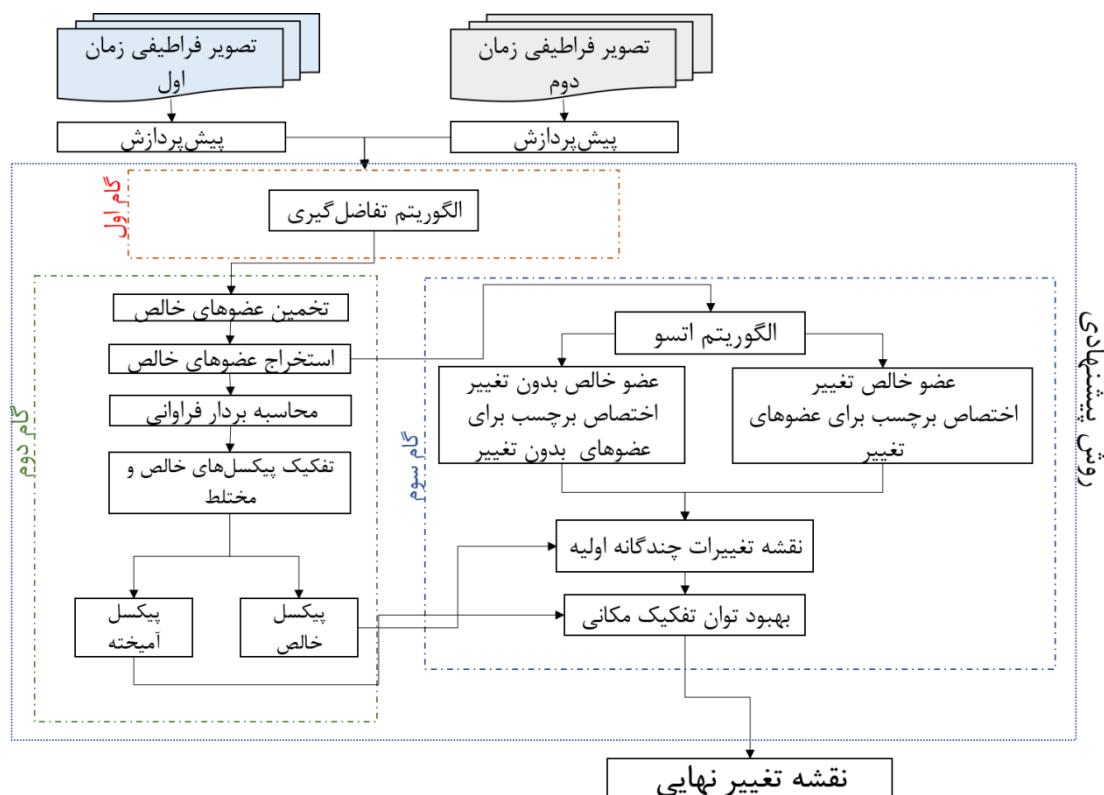
در بخش‌های بعدی جزئیات روش پیشنهادی بیشتر تشریح خواهد شد. این مقاله در پنج بخش سازمان‌دهی شده است: بخش اول مقدمه است که بیان شده، در بخش دوم، جزئیات روش پیشنهادی؛ بخش سوم، منطقه مورد مطالعه و پیش‌پردازش‌ها؛ بخش چهارم، ارائه نتایج و پیاده‌سازی و بخش پنجم، نتیجه‌گیری و ارائه نتایج آمده است.

## ۲- روش پیشنهادی

این بخش به تشریح جزئیات ساختار روش پیشنهادی می‌پردازد. مطابق با فلوچارت شکل (۱)، ساختار روش پیشنهادی ارائه شده است. روش پیشنهادی سه فاز مختلف انجام می‌گیرد که: (۱) فاز آشکارساز که هدف از اجرای این فاز آشکار کردن نواحی تغییر از نواحی بدون تغییر است، این کار توسط تفاضل گیری انجام می‌گیرد. (۲) فاز جداسازی طیفی، هدف از این فاز دستیابی به اهداف زیر پیکسل است. این فاز از سه الگوریتم هایسیم، ان-فایندر و کمترین مربعات با قیود کامل (به منظور تخمین و استخراج عضوهای خالص و محاسبه بردار فراوانی) استفاده می‌شود. (۳) فاز تصمیم‌گیری، هدف از اجرای این فاز مشخص نمودن ماهیت عناصر خالص استخراج شده، با استفاده از الگوریتم اتسو است. به عبارت دیگر در این فاز هر کدام از عناصر خالص تغییر و بودن تغییر مشخص می‌شود. همچنین برای هر عضو خالص یک برچسب عددی مشخص می‌شود. (۴) فاز بهبود توان تفکیک مکانی، هدف از اجرای این فاز بهبود توان تفکیک مکانی نقشه تغییرات است. این کار توسط الگوریتم مبتنی بر معکوس وزنده‌ی فاصله انجام می‌گیرد. در بخش‌های بعدی در مورد جزئیات روش پیشنهادی بیشتر توضیح داده شده است.

فراهم می‌کند، اما هنوز توزیع مکانی این اهداف، در یک پیکسل مشخص نیست. اخیراً استفاده از این تکنیک در تحلیل آشکارسازی تغییرات مورد توجه محققین این حوزه قرار گرفته است. یکی از معایب اصلی این روش‌ها، اگرچه بیشتر این تحقیقات مبتنی بر اختلاط طیفی می‌باشند اما هنوز در سطح یک پیکسل تصمیم‌گیری کردند. به عبارت دیگر خروجی نهایی این تحقیقات در سطح یک پیکسل هستند.

هدف این مقاله، ارائه یک روش آشکارسازی تغییرات مبتنی بر تحلیل اختلاط طیفی، با به‌کارگیری تصاویر ابرطیفی است. روش پیشنهادی متشکل از الگوریتم‌های تفاضل گیری، اتسو و جداسازی طیفی است. این روش دارای چند قابلیت و مزیت عمده با سایر روش‌ها است: (۱) برخلاف سایر روش‌های متداول آشکاری سازی تغییرات که در سطح پیکسل است، روش پیشنهادی توانایی شناسایی تغییرات در زیر پیکسل را دارد. (۲) این روش قابلیت بهبود توان تفکیک مکانی نقشه تغییرات را دارد. این بدین‌منظور است که خروجی نهایی نقشه تغییرات مناسب و رودی دارای توان تفکیک مکانی بالاتری هستند. (۳) بسیاری از روش‌های متداول آشکارسازی تغییرات، نقشه تغییر را به صورت دودویی ارائه می‌دهد، این در حالی است که روش پیشنهادی دارای قابلیت ارائه نقشه تغییرات چندگانه است. نقشه تغییرات چندگانه می‌تواند به کابران و مدیران در فهم بهتر تغییرات جهت اخذ تصمیمات آگاهانه کمک کند. (۴) بسیاری از روش‌های متداول آشکارسازی تغییرات به صورت ناظارت شده، یا نیمه ناظارت هستند که این روش‌ها مشکلات و چالش‌های خاص خود را دارای اما روش پیشنهادی در قالب بدون ناظارت است. به عبارت دیگر نیازی برای داده آموزشی و انتخاب حدآستانه تغییرات ندارد. (۵) روش‌های مبتنی بر اختلاط طیفی دو زمان اول و دوم را در سطح مکان یا در سطح طیف روی هم می‌گذارند و در ادامه تحلیل اختلاط طیفی را انجام می‌دهند، این کار باعث افزایش حجم محاسبات و



شکل ۱: فلوچارت روش پیشنهادی

احتمال یکسان بودن مقادیر پیکسل در دو زمان و در بی آن صفر شدن پیکسل در این فاز وجود دارد. برای این منظور یک مقدار ثابتی پس از تخمین و استخراج عضوهای خالص، به تمامی پیکسل‌ها و عضوهای خالص استخراج شده اضافه می‌گردد تا مقادیر صفر حذف شود.

## ۲-۲- جداسازی طیفی

تصاویر فراتیفی در سنجش از دور بواسطه کاربردهای فراوان آن جایگاه خاصی پیدا کرده است. با وجود اینکه، این تصاویر از توان تفکیک طیفی بالایی برخوردار هستند، اما هنوز توان تفکیک مکانی پایینی دارند، این امر به محدودیت‌های فناوری ساخت سنجنده فراتیفی بر می‌گردد [۳۴]. به علت وجود مناظر متفاوت در یک پیکسل زمینی، مقدار انرژی که به سنجنده می‌رسد، ترکیبی از چند عارضه زمینی است. بنابراین توان تفکیک مکانی ضعیف

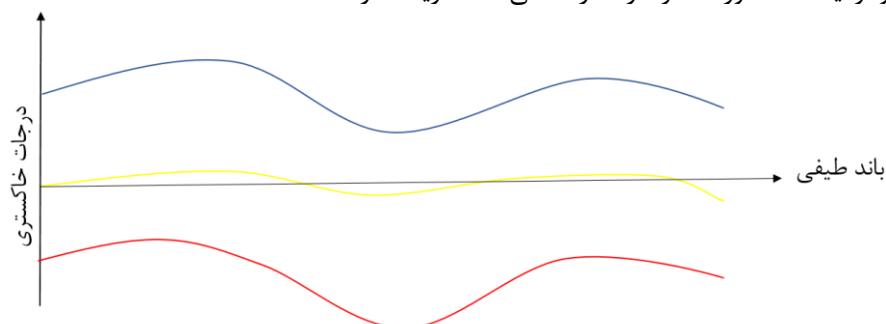
## ۲-۱- فاز آشکارساز

هدف از اجرا این فاز، بارز کردن نواحی تغییر از نواحی بدون تغییر بواسطه یک عملگر ساده ریاضی (تفاضل گیری) است. در این فاز پیکسل‌های بدون تغییر دارای امضای طیفی نزدیک به محور صفر و پیکسل‌های تغییر دارای مقادیر بزرگتر یا کوچکتر از صفر دارند. الگوریتم تفاضل گیری یکی از الگوریتم‌های پرکاربرد در آشکارسازی تغییرات با استفاده از داده‌های سنجش از دوری است [۲ و ۳۳]. از مهم‌ترین مزایای این روش به کارگیری ساده آن و حجم کم با محاسباتی آن است.

$$D_{X_{ij}}^K = X_{ij}^K(t_1) - X_{ij}^K(t_2) \quad (1)$$

در رابطه (۱)،  $X_{ij}^K(t_1)$  و  $X_{ij}^K(t_2)$  مقادیر درجات خاکستری تصویر زمان اول و زمان دوم در سطر  $i$  و ستون  $j$  در باند  $K$  می‌باشند. با توجه به اینکه

چشم اندازهایی که در طول زمان تغییر کردند، دارای امضای طیفی مشابه، نمودار طیفی قرمز و آبی در شکل (۲) خواهد داشت. هدف از اجرای الگوریتم اختلال طیفی به منظور آشکارسازی تغییرات: تخمین و استخراج درصد حضور این هر کدام از این امضاهای طیفی (تغییر و بدون تغییر)، در هر پیکسل را دارد. همچنین با تعیین کلاس هر کدام از این امضاهای، توسط الگوریتم اتسو، کلاس هر پیکسل تصویر ابرطیفی مشخص می‌شود. زیر بخش‌های بعدی به جزئیات روش‌های اختلال طیفی می‌پردازد.



شکل ۲: امضای طیفی هر کدام از کلاس‌های تغییر و بدون تغییر در فضای شباهت

در این تحقیق از الگوریتم ان‌فایندر<sup>۱</sup> استفاده شده است. این الگوریتم به طور وسیع در سنجش‌از دور استفاده می‌شود. ایده اصلی این الگوریتم پیدا کردن پیکسل‌هایی است که می‌تواند بیشینه حجم سیمپلکس<sup>۲</sup> را بسازد. این پیکسل‌ها به عنوان عضوهای خالص در نظر گرفته می‌شود [۴۲ و ۴۳]. به علت ریاضیات پیچیده پیدا کردن عضوهای خالص، این مسئله می‌تواند فقط به صورت تخمینی بهینه از مسئله مورد نظر باشد.

### ۲-۲-۳- محاسبه بردار فراوانی

مقدار فراوانی هر کدام از عضوهای خالص استخراج شده، توسط الگوریتم کمترین مربعات با قیود کامل<sup>۳</sup> برای

تصاویر ابرطیفی می‌تواند باعث اختلال طیفی پیکسل‌ها در تصاویر فراتطیفی گردد [۳۶ و ۳۷].

هدف از جداسازی طیفی تشخیص اجزا سازنده یک پیکسل مختلف و محاسبه بردار فراوانی آن‌ها است [۳۸، ۳۹ و ۴۰]. با توجه به شکل (۲) عضوهای خالص هر یک از اجزاء سازنده صحنه تصویربرداری در طول زمان ثابت باشد (عضو بدون تغییر)، امضای طیفی مطابق نمودار زرد خواهد داشت. این امضای طیفی در طول موج‌های مختلف، دارای مقادیری با نوسانات اندک و نزدیک محور صفر دارد. در حالی که هریک از

## ۲-۲-۱- تخمین تعداد عضو خالص

هدف از اجرای این بخش تخمین عضوهای خالص است. این کار توسط الگوریتم هایسیم انجام می‌گیرد. این الگوریتم یکی از روش‌های تخمین بعد ذاتی به صورت خودکار است. این روش ابتدا با تخمین از ماتریس همبستگی نویز و ماتریس سیگنال شروع می‌شود. سپس یک زیرمجموعه‌ای از مقادیر بردار ویژه (مرتبط با تعداد عضو خالص) طوری انتخاب می‌شود که بتواند، زیر فضای تشکیل شده را در کمترین خطای نمایش دهد [۴۱].

## ۲-۲-۲- استخراج عضوهای طیفی

پس از تخمین تعداد عضوهای خالص لازم است، به منظور شناسایی هر یک از عوارض موجود در صحنه، عضوهای خالص، استخراج شود. به منظور استخراج عضوهای خالص روش‌های مختلفی ارائه شده است که

<sup>1</sup> N-Finder

<sup>2</sup> Simplex

<sup>3</sup> Fully Constrained Least Square

خالص	مخلوط	خالص
خالص	مخلوط	خالص
خالص	مخلوط	خالص
۱	۰,۸ ۰,۲	۰,۹۵ ۰,۰۵
۰,۹۷ ۰,۰۳	۰,۵۱ ۰,۴۹	۰,۹۸ ۰,۰۲
۰,۹۹ ۰,۰۱	۰,۲۳ ۰,۷۷	۱

شکل ۳: نمایش پیکسل‌های مختلط و خالص بر حسب فراوانی

### ۱-۳-۲- بهبود توان تفکیک مکانی نقشه تغییرات

پس از مشخص شدن هر پیکسل (خالص- مختلط) نیاز به جایگذاری پیکسل‌ها در نقشه تغییرات داریم. برای این منظور ابتدا یک تصویری به توان تفکیک مکانی بالاتری از تصویر اولیه، به تناسب ۲-۱ یا ۴-۱ یا ۹-۱ تولید می‌کنیم. نکته‌ای که حائز اهمیت است که تصویر جدید برای هر پیکسل از تصویر اولیه، یک پیکسل مربعی با توجه به کاربرد، با ابعاد  $2 \times 2$  یا  $3 \times 3$ ، باید تولید گردد. به طور کلی این مراحل به صورت زیر است:

(الف) ابتدا تمامی پیکسل‌هایی که به عنوان پیکسل خالص شناخته شده است، برچسب متناظر بیشترین فراوانی، برای هر پیکسل تصویر جدید پر می‌شود. برای تفهیم بهتر این موضوع شکل (۴) را در نظر بگیرید که در ابتدا تمامی پیکسل‌های خالص، بر حسب برچسب‌های متناظرشان پر می‌شوند.

هر پیکسل از فاز آشکار محاسبه محاسبه خواهد شد. ایده اصلی این الگوریتم یافتن مقدار فراوانی یکی از هر عضو خالص به طوریست که، مقدار فراوانی مثبت و مجموع فراوانی هر کدام از عضوهای خالص برای هر پیکسل، برابر یک شود [۳۹]. با محاسبه مقدار فراوانی، در مورد هر پیکسل تصمیم‌گیری می‌شود.

### ۲- فاز تصمیم‌گیری

پس از استخراج عناصر خالص به منظور مشخص نمودن عنصر خالص تغییر یا بدون تغییر از یک مجموعه ویژگی‌های آماری و الگوریتم اتسو استفاده می‌کنیم. این شاخص‌های آماری شامل: میانگین، انحراف معیار، متوسط ریشه میانگین مربعات<sup>۱</sup> و میانگین خطای مطلق<sup>۲</sup> می‌باشد. این شاخص‌ها بر روی هر کدام از عضوهای خالص محاسبه می‌شود، سپس با به کارگیری الگوریتم اتسو بر روی این شاخص‌ها، به صورت جداگانه، در مورد هر عضو خالص تصمیم‌گیری می‌شود. خروجی الگوریتم اتسو یک یا دو است، اگر برای هر عضو خالص، تمامی این خروجی یک بود، آن عضو خالص کلاس "بدون تغییر" در نظر گرفته می‌شود. در غیر این صورت عضو خالص کلاس "تغییر" خواهد بود (شکل (۳)).

پس از تعیین ماهیت هر کدام از عناصر خالص نیاز به تصمیم‌گیری در مورد ماهیت هر پیکسل است. این تصمیم‌گیری، با توجه به مقدار فراوانی در دو مرحله انجام می‌گیرد. الف) پیکسل‌هایی خالص؛ این پیکسل به پیکسل‌هایی اطلاق می‌گردد که مقدار فراوانی آن‌ها از یک حد مشخص بیشتر باشد. ب) پیکسل‌های مختلط، به پیکسل‌هایی اطلاق می‌گردد که مقدار فراوانی آنها از یک حد مشخص کمتر باشد.

<sup>1</sup> Mean Root Mean Square

<sup>2</sup> Mean absolute Error

د) برای برچسب‌های باقی‌مانده مرحله ب، با استفاده از معکوس وزن‌دهی فاصله پرمی‌شود. به عبارت دیگر موقعیت مکانی هر برچسبی که در تصویر اولیه حضور داشته، با محاسبه امتیاز برای هر چسب از طریق پیکسل‌های خالص همسایگی مشخص می‌گردد. برچسبی که دارای بیشترین امتیاز را در آن همسایگی دارد، به پیکسل تعلق می‌گیرد (شکل (۶)).

۱	۱	۱	۱	۲	۲
۱	۱	۱	۲	۲	۲
۱	۱	۱	۲	۲	۲
۱	۱	۱	۲	۲	۲
۱	۱	۱	۲	۲	۲
۱	۱	۱	۲	۲	۲
۱	۱	۲	۲	۲	۲

شکل ۶: برچسب با بیشترین امتیاز

### ۳- منطقه و داده فراتیفی مورد مطالعه

این بخش به جزئیات، منطقه مطالعاتی و داده مورد استفاده بهمنظور آشکارسازی تغییرات در این مقاله می‌پردازد.

#### ۳-۱- داده اول

سنجدنه هایپریون بر روی روی ماهواره Environment Observation-1(EO-1) قرار دارد و از نوع فضابرد است. مشخصات این سنجدنه در جدول (۱) آمده است.

در این تحقیق بهمنظور آشکارسازی تغییرات کاربری اراضی با استفاده از تصاویر فراتیفی از داده‌ی مربوط به مزارع کشاورزی استفاده شده است. این داده‌ها به فاصله زمانی یک سال از اطراف شهر جیانگسو واقع در چین توسط سنجدنه هایپریون اخذ شده است. این داده در تاریخ‌های ۱۲-اردیبهشت-۱۳۸۵ و ۲۶-خرداد-

۱	۱			۲	۲
۱	۱			۲	۲
۱	۱			۲	۲
۱	۱			۲	۲
۱	۱			۲	۲
۱	۱			۲	۲
۱	۱			۲	۲
۱	۱			۲	۲

شکل ۴: پیکسل‌های خالص شناخته با بیشترین فراوانی

ب) پیکسل‌های مخلوط بر حسب فراوانی، مرتب می‌شود و پیکسل‌هایی که فراوانی‌شان دارای مقداری بزرگتر یک حاصل می‌کند (مطابق رابطه (۲)) برای جایگزینی انتخاب می‌شود.

$$N_p = \text{round}(A \times S_r^2) \quad S_r = 1:n \quad (2)$$

در این معادله  $S_r$  توان تفکیک مکانی تصویر جدید،  $A$  مقدار فراوانی و  $N_p$  تعداد پیکسل‌هایی که برای هر امضای طیفی که می‌باشد در تصویر جدید جایگذاری شود.

ج) برای مشخص نمودن موقعیت برچسب هر پیکسل در تصویر جدید، ابتدا برچسب تمامی پیکسل‌های خالص در تصویر جدید جایگزین می‌شود. برای هر پیکسل مخلوط که دارای بیشترین فراوانی است، جایگزین پیکسل معادل تصویر اولیه می‌گردد (مطابق شکل (۵)).

۱	۱	۱	۱	۲	۲
۱	۱	۱	۱	۲	۲
۱	۱	۱	۱	۲	۲
۱	۱	۱	۱	۲	۲
۱	۱	۱	۱	۲	۲
۱	۱	۱	۱	۲	۲
۱	۱	۲	۲	۲	۲
۱	۱	۲	۲	۲	۲

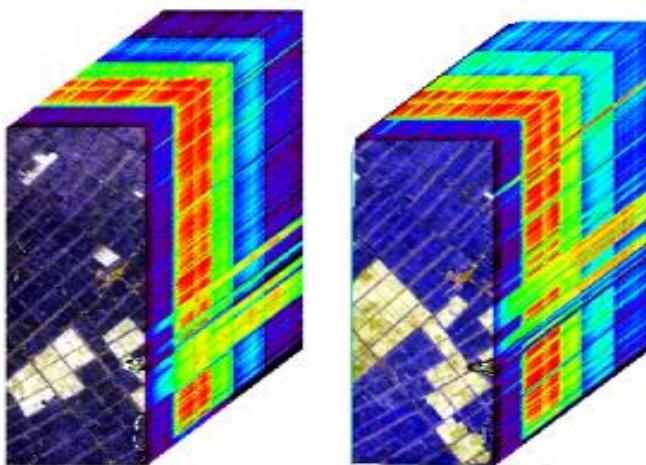
شکل ۵: جایگزین پیکسل‌های معادل تصویر اولیه

مزارع است. عمدۀ این تغییرات مربوط به زمین‌های کشاورزی و رودخانه است.

۱۳۸۶ اخذ شده و ابعاد آن  $416 \times 129$  می‌باشد (شکل ۷). این داده دارای پنج کلاس عمدۀ شامل: زمین‌های کشاورزی، ساختمان، آب، درخت و جاده بین

جدول ۱: مشخصات سنجنده فراتیفی هایپریون

گستره طیفی	توان تفکیک مکانی	عرض نوار برداشت	توان تفکیک طیفی	توان تفکیک رادیومتریکی	پوشش طیفی
۰/۴ تا ۲/۵ میکرومتر	۳۰ متر	۷/۵ کیلومتر	۱۰ نانو متر	۱۶ بیتی	بهصورت پیوسته



شکل ۷: نمایش ترکیب رنگی کاذب داده فراتیفی که به ترتیب در سال‌های ۱۳۸۵ و ۱۳۸۶ در شهر چیانگسو-چین اخذ شده.

### ۲-۳- داده دوم

داده دوم مورد استفاده در این تحقیق مربوط به سنجنده هوابرد اوریس است. مشخصات این سنجنده در جدول (۲) آمده است.

یکی از مهمترین چالش‌ها در ارزیابی نتایج آشکارسازی تغییرات، کیفیت تهیه نقشه واقعیت زمینی است. برای این منظور در این پژوهش از داده مرجعی که در چندین پژوهش معتبر علمی بکار رفته، استفاده گردیده است. این امر باعث تسهیل در فرآیند تهیه در واقعیت زمینی می‌شود. بهطوری‌که واقعیت زمینی از طریق مقالات مربوط استخراج گردید و علاوه بر آن به منظور افزایش صحت واقعیت زمینی از تصاویر با توان تفکیک مکانی بالا ازجمله: داده پانکروماتیک سنجنده ALI<sup>۱</sup> و تصاویر گوگل ارث<sup>۲</sup> استفاده شده است.

<sup>1</sup> ALI<sup>2</sup> Google Earth

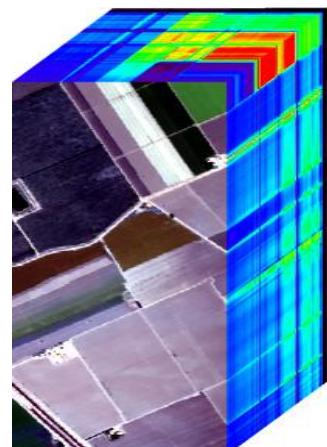
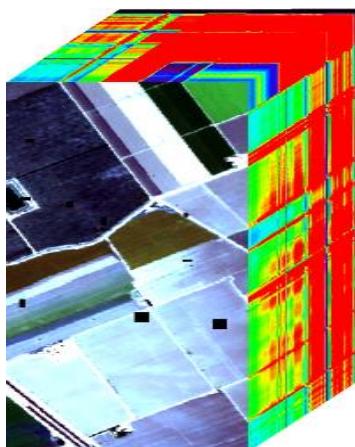
جدول ۲: مشخصات تصویر مورد استفاده از سنجنده اوریس

مشخصات تصویر	گستره طیفی	توان تفکیک مکانی	پهنای باند	توان تفکیک طیفی	پوشش طیفی	تاریخ اخذ
اوریس	۲,۵-۰,۴ میکرومتر	۳/۷ متر	۱۲ کیلومتر	۱۰ نانومتر	به صورت پیوسته	۱۹۹۲

- ۱) اعمال مدل افاین ۳ برای شبیه سازی شرایط جوی
- ۲) جایگزینی یکسری ناحیه ببروی یکسری از کلاس به منظور ایجاد تغییرات.

استفاده از این داده یک مزیت عمدی دارد، موقعیت پیکسل های تغییر و بدون تغییر به صورت کامل و با دقیقیت ۱۰۰٪ در اختیار است. علاوه بر این تغییرات ناشی از خطا ثبت هندسی تصاویر را نخواهیم داشت.

منطقه مورد مطالعه مربوط به منطقه‌ای کشاورزی که از اطراف روستای سالیناس واقع در ایالت کالیفرنیا اخذ شده است. تصویر دارای  $512 \times 217$  پیکسل، دقت رادیومتریک ۸ بیت و دارای ۱۶ کلاس می‌باشد. به منظور آشکارسازی تغییرات یک نمونه داده دیگر از این داده تولید نمودیم (شکل ۸). برای نزدیک نمودن این داده به شرایط واقعی یکسری پردازش روی آن انجام دادیم که به ترتیب زیر است:



شکل ۸: نمایش ترکیب رنگی کاذب داده فراتیفی اوریس اصلی و شبیه‌سازی شده

طیفی است. پیش‌پردازش‌های طیفی مربوط به مقادیر درجه خاکستری است و شامل: حذف باندهای بدون داده، حذف اثرات نوار شدگی و نویز، تصحیح اثر انحنای طیفی، تبدیل رادیومتریکی و تصحیح اتمسفری است [۴۴ و ۴۵]. پیش‌پردازش‌های مکانی مربوط به موقعیت مکانی پیکسل‌ها است، که برای این منظور از تصحیح هندسی نسبی استفاده نمودیم. نقاط متناظر در دو تصویر به صورت دستی شناسایی می‌شود و یک تصویر به عنوان مرجع و تصویر دیگر نسبت به تصویر

#### ۴- پیاده‌سازی و ارائه نتایج

در این بخش به توضیح شیوه پیاده‌سازی و در ادامه به ارائه نتایج به دست آمده پرداخته می‌شود.

#### ۴-۱- پیش‌پردازش داده فراتیفی

تصاویر ابرطیفی اخذ شده توسط سنجنده هایپریون، به علت وجود شرایط محیطی و دستگاهی نیاز به یکسری پیش‌پردازش دارند. این پیش‌پردازش‌ها در دو سطح انجام می‌گیرد و شامل پیش‌پردازش‌های هندسی و

مبتنی بر الگوریتم تحلیل مؤلفه متعارف است. تبدیل تحلیل مؤلفه مستقل یک روش تبدیل مبنا که هدف آن یافتن یک ترکیب خطی غیر گوسی از داده‌ها، به طوری که مؤلفه‌های آن به صورت آماری مستقل هستند. روش طبقه‌بندی مستقیم تصاویر چندزمانه فازی-سی‌مینز، یک روش بدون نظارت مبتنی بر طبقه‌بندی داده‌ها روی هم گذاشته شده است. با توجه به اینکه روش پیشنهادی در چارچوب بدون نظارت انجام می‌گیرد بنابراین، انتخاب حد آستانه در این دو الگوریتم (تکنیک شناسایی تغییرات چندمتغیره وزن دار تکراری، تحلیل مؤلفه مستقل) بوسیله الگوریتم ک-میانگین انجام می‌گردد.

پس از انجام پیش‌پردازش‌های لازم به ترتیب روی هر کدام از داده‌های زمانمند، روش پیشنهادی مورد تحلیل و ارزیابی قرار گرفته است. به منظور اثبات کارایی روش پیشنهادی، هر کدام از داده‌های تصویر چندزمانه را از توان تفکیک مکانی اولیه، به توان تفکیک مکانی کمتر انتقال دادیم. سنجنده هایپریون که دارای توان تفکیک مکانی ۳۰ متر دارد، به وسیله میانگین‌گیری هر ۳ پیکسل به یک پیکسل، به توان تفکیک مکانی ۹۰ متر رساندیم. همچنین داده دوم را از توان تفکیک مکانی از ۳/۷ متر به توان تفکیک مکانی ۱/۷ متر به وسیله میانگین‌گیری کاهش دادیم.

#### ۲-۱-نتایج داده اول

تعداد عضوهای خالص تخمین زده شده برابر با نه عضو می‌باشد. این تخمین برروی داده در فضای آشکارساز انجام شده است. شکل (۹) عضوهای خالص استخراج شده توسط الگوریتم ان‌فایندر را نمایش می‌دهد. با توجه به این شکل عناصر خالص بدون تغییر دارای امضای طیفی با نوسانات کم و مقادیری نزدیک به صفر می‌باشند.

مرجع ثبت هندسی می‌شود. میزان خطای ریشه میانگین مربعات خطأ<sup>۱</sup> تصحیح هندسی برای داده‌های استفاده شده، حدود ۰/۴ است. برای داده دوم، پیش‌پردازش‌های لازم اعمال گردیده است. تنها پیش‌پردازش لازم حذف باندهای بدون داده است. این تصویر دارای ۲۲۴ باند می‌باشد که ۳۹ باند آن به علت باند جذبی آب و نداشتن هیچگونه محتويات حذف گردید و در نهایت از ۱۱۲ باند باقیمانده استفاده شد.

#### ۲-۲-پیاده‌سازی و ارائه نتایج

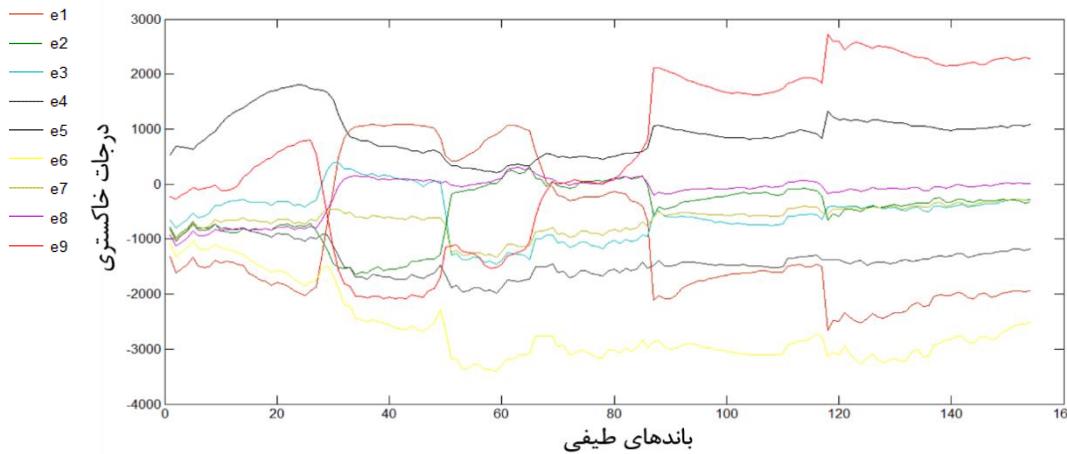
ارزیابی و ارائه نتایج یکی از مهم‌ترین قسمت‌های این پژوهش است، برای این منظور در این پژوهش علاوه بر ارزیابی بصری به ارزیابی کمی هم پرداخته شده است. جهت تحلیل کمی از شاخص‌های دقت کلی، ضریب کاپا و نرخ هشدارهای اشتباہ استفاده شده است. علاوه بر آن جهت اثبات قابلیت روش پیشنهادی، خروجی آن با روش‌های متداول آشکارسازی تغییرات مقایسه شده است. این روش‌ها، براساس دسته‌بندی که در قسمت مقدمه این پژوهش انجام شده است، انتخاب شده است. روش‌هایی که جهت مقایسه روش پیشنهادی با سایر روش‌ها استفاده شده است، شامل: اختلاط طیفی مبتنی بر الگوریتم بر سیسال [۲۰]، بردار تحلیل تغییرات فشرده<sup>۲</sup> [۲۴]، تکنیک شناسایی تغییرات چندمتغیره وزن دار تکراری [۴۶] و طبقه‌بندی مستقیم تصاویر چندزمانه - فازی-سی‌مینز<sup>۳</sup> [۴۸ و ۴۷]

می‌باشد. روش بردار تحلیل تغییرات فشرده یکی از روش‌های آشکارسازی تغییرات به صورت نظارت‌نشده است. این الگوریتم مبتنی بر بردار تحلیل تغییرات و انتخاب خودکار حد آستانه بر مبنای تئوری بیشینه‌سازی امید ریاضی است. روش شناسایی تغییرات چندمتغیره وزن دار تکراری جز روش‌های تبدیل مبنا و

<sup>1</sup> Root Mean Square Error

<sup>2</sup> Compressed Change Vector Analysis (C2VA)

<sup>3</sup> Direct-Multi-Date Classification Fuzzy C-means (DMC-FCM)



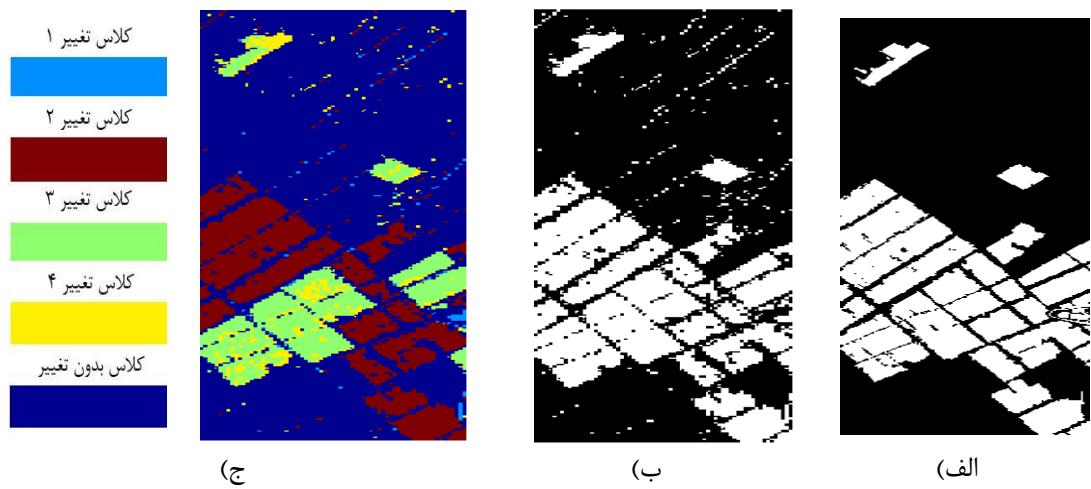
شکل ۹: عضوهای خالص استخراج شده از پس از بکارگیری الگوریتم تفاضل گیری برای داده هایپریون (۳۰ متری)

این پارامترها شامل، تعداد تکرارها و تعداد کلاس‌ها است. به منظور استخراج اطلاعات تغییر فقط به صورت دودویی، ما تعداد تکرارها را برابر با ۱۰۰ و تعداد کلاس‌ها را ۲ در نظر گرفتیم. برای الگوریتم تحلیل تغییرات فشرده برای انتخاب حدآستانه نیاز دارد یک یکسری از پارامترها را تعیین کنیم. که تعداد تکرارها تا ۲۰ و مقدار اولیه پارامتر K را ۶/۰ تعادل قطعه، برابر دو می‌باشد.

شکل (۱۰) خروجی روش پیشنهادی را ارائه می‌دهد، شکل (۱۰)-ب خروجی الگوریتم پیشنهادی را به صورت دودویی ارائه می‌دهد. شکل (۱۰)-ج نقشه تغییرات انواع کلاس‌ها عرضه شده است. با توجه به خروجی الگوریتم اتسو که چهار کلاس تغییر را عرضه کرده بود شکل (۱۰)-ج، نشان دهنده نقشه تغییرات انواع کلاس‌ها است. همانطور که مشخص است پنج کلاس تغییر توسط الگوریتم شناسایی شده، عمده این تغییرات مربوط به کشت مزارع مربوط است.

در مرحله بعد هویت هر کدام از عناصر خالص با به کارگیری الگوریتم اتسو، بر روی یکسری از شاخص‌های مشخص آماری سنجیده می‌شود. پس از محاسبه‌های شاخص‌های، نیاز به تعیین کلاس هر کدام از این عضوهای خالص داریم، که این کار به وسیله الگوریتم اتسو انجام می‌گیرد. برای این منظور، هر عضو خالص که دارای مقادیر کمتر از چهار است، به عنوان عضو خالص بدون تغییر در نظر گرفته می‌شود. عضوهای خالص که، از نظر عددی، دارای مقادیر کمتر شاخص‌ها، هستند، به عنوان عضوهای بدون تغییر در نظر گرفته می‌شود.

جهت مقایسه کارایی و عملکرد روش پیشنهادی، خروجی‌های این را با روش‌های متداول گفته شده مقایسه نمودیم. روش پس طبقه‌بندی مبنا ایزو-دیتا نیاز به تخمین اولیه‌ای از تعداد کلاس دارد که برای این منظور ۵ کلاس و تعداد تکرارها را ۱۰۰ در نظر گرفتیم. روش طبقه‌بندی مستقیم تصاویر چندزمانه فازی-سی‌مینز نیز دارای پارامترهای تنظیم اولیه است،



شکل ۱۰: روش پیشنهادی در حد پیکسل برای داده هایپریون. (الف) واقعیت، (ب) زمینی نقشه تغییر به صورت دودویی و (ج) نقشه کامل تغییرات

در آشکارسازی تغییرات است. همچنین نرخ کم هشدارهای اشتباه است.

#### ۴-۲-۲-نتایج داده دوم

تعداد عضوهای خالص تخمین زده برابر با دوازده عضو خالص می باشد. سایر پارامترهای تنظیم مشابه دارای مقادیر یکسانی با داده اول دارد. شکل (۱۲) نتایج حاصل از آشکارسازی تغییرات برای داده شبیه سازی شده است. نتایج بصری نشان دهنده عملکرد بالای روش پیشنهادی به منظور آشکارسازی تغییرات است. شکل (۱۲)-ج نقشه تغییرات چندگانه را نشان می دهد که روش پیشنهادی بخوبی تمامی تغییرات کلاس های چندگانه را شناسایی کرده است.

شکل (۱۳) نمایش مقایسه بصری روش پیشنهادی با سایر روش های متداول آشکارسازی تغییرات برای داده شبیه سازی شده است. شکل (۱۳)-الف روش طبقه بندی چند زمانه فازی سی مینز را ارائه می دهد، مطابق این شکل قسمتی از انواع پوشش ها به صورت اشتباهی به عنوان ناحیه تغییر توسط الگوریتم شناسایی شده است. این رویه به صورت محسوسی در شکل های (۱۳)-ب-ج-ز دیده می شود. در حالی که مطابق شکل (۱۳)-و، که مربوط به روش پیشنهادی است، این موضوع به طور بسیار ناچیز به

نتایج ارائه شده در شکل (۱۰) حاکی از آن است، که تصاویر فراطیفی دارای پتانسیل بالایی در آشکارسازی تغییرات می باشند که تقریباً بیشتر تغییرات شناسایی شده اند. همچنین عملکرد روش پیشنهادی و روش های دیگر در شکل (۱۱) نمایان است.

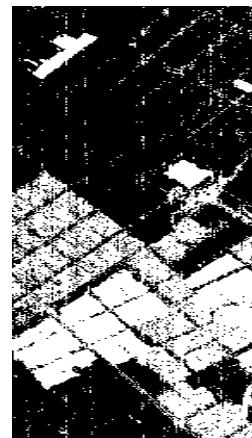
به منظور تحلیل دقیق تر روش پیشنهادی و سایر روش ها محاسبات کمی هم، انجام شده است. بدین منظور از سه شاخص ارزیابی دقت، شامل دقت کلی، نرخ هشدارهای اشتباه کلی و ضریب کاپا استفاده شده است.

$$\alpha + \beta = \alpha + \beta \quad (3)$$

در رابطه (۳)،  $\alpha$  نرخ کلی هشدارهای اشتباه،  $\beta$  پیکسل های تغییر که بدون تغییر شناخته شده و  $\alpha$  پیکسل های تغییر که بدون تغییر شناخته شده است. همچنین زمان پردازش الگوریتم های فوق در سه کلاس شامل: (الف) زمان پردازشی کم، (ب) زمان پردازشی متوسط و (ج) زمان پردازشی بالا است، مورد ارزیابی قرار گرفته است. جدول (۳)، دقت، نتایج آشکارسازی تغییرات را نمایش می دهد. نتایج این جدول نشان دهنده دقت بالای روش پیشنهادی در مقایسه با سایر روش های متداول

شناسایی تغییرات پوشش کاربری اراضی دارای نرخ کم هشدارهای اشتباه است.

چشم می‌خورد. این موضوع نشان دهنده عملکرد بسیار خوب روش پیشنهادی است، به طوری که علاوه بر



ج) تغییرات چندمتغیره وزندهی تکراری



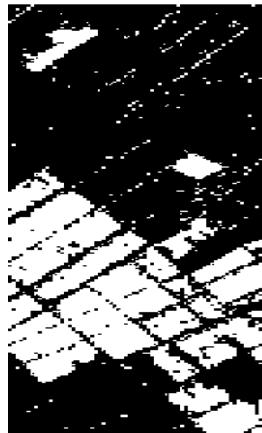
ب) تحلیل بردار تغییر فشرده



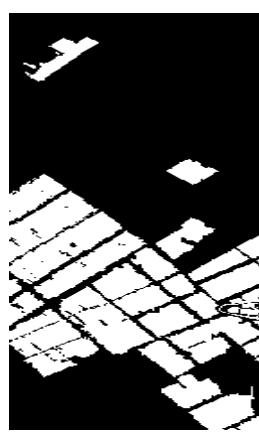
الف) طبقه‌بندی چندزمانه فازی-سی‌مینز



ز) اختلاط طیفی مبتنی بر سیسال-اتسو



و) روش پیشنهادی

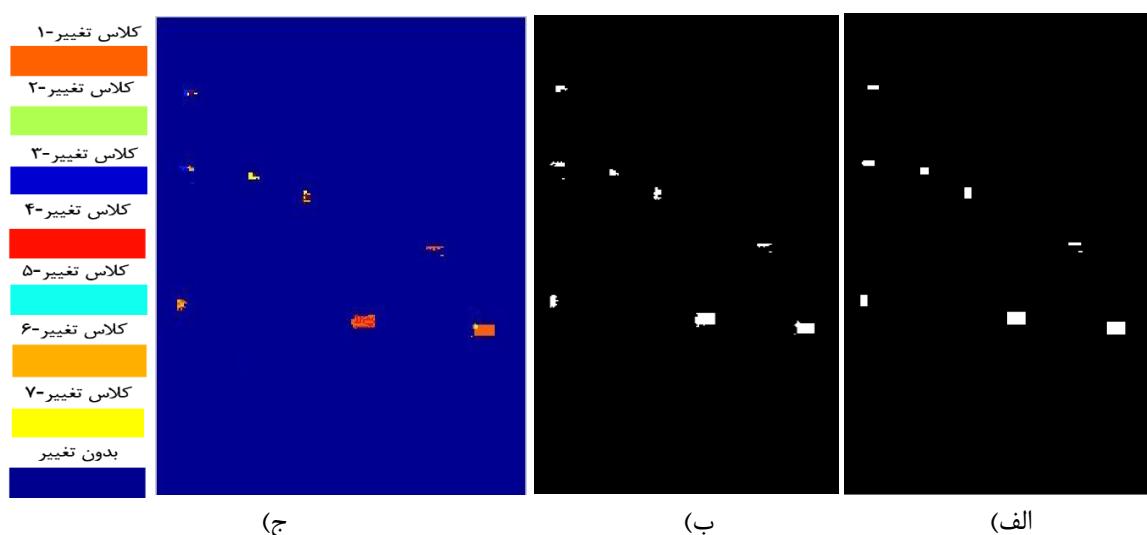


ه) واقعیت زمینی

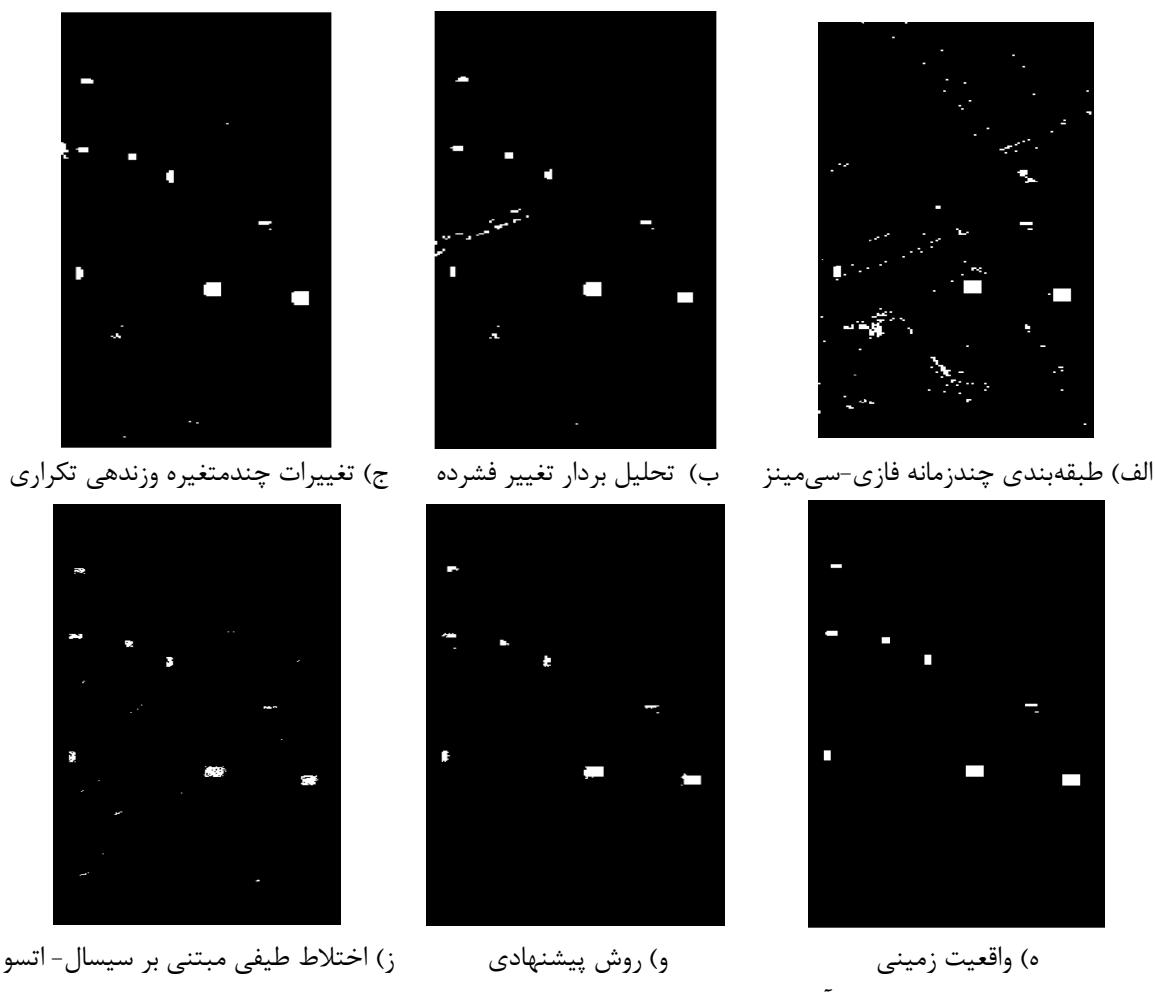
شکل ۱۱: نتایج آشکارسازی تغییرات توسط الگوریتم پیشنهادی و سایر روش‌های متداول

جدول ۳: تحلیل دقیق روش‌ها با روش پیشنهادی

روش	دقت کلی (%)	ضرریب کاپا	زمان	متوجه نرخ هشدارهای اشتباه (%)
اختلاط طیفی مبتنی بر سیسال-اتسو	۸۷,۱۵	۰,۷۰۲	الف	۱۲,۸۵
تغییرات چندمتغیره وزندهی تکراری-ک میانگین	۹۰,۴۶	۰,۷۲۲	د	۹,۵۴
طبقه‌بندی چندزمانه فازی-سی‌مینز	۸۸,۴۸۵	۷۵,۵۴۵	د	۱۱,۵۱
تحلیل بردار تغییر فشرده	۷۶,۵۲۸	۳۱,۸۹۳	الف	۲۲,۴۷
روش پیشنهادی	۹۱,۲۱۷	۸۲,۸۲۵	ب	۸,۷۸



شکل ۱۲: روش پیشنهادی در حد پیکسل برای داده هایپر بیون. الف) واقعیت، ب) زمینی نقشه تغییر به صورت دودوبی و ج) نقشه کامل تغییرات



شکل ۱۳: نتایج آشکارسازی تغییرات توسط الگوریتم پیشنهادی و سایر روش‌های متدائل

جدول، روش پیشنهادی دارای بالاترین دقت و کمترین نرخ هشدارهای اشتباہ را دارد.

جدول (۴) نتایج حاصل شده از به کارگیری روش پیشنهادی بروی داده دوم را ارائه می دهد. مطابق این

جدول ۴: تحلیل دقت سایر روش‌ها با روش پیشنهادی

روش	دقت کلی (%)	ضریب کاپا	زمان	متوسط نرخ هشدارهای اشتباہ(%)
اختلاط طیفی مبتنی بر سیسال- اتسو	۹۹/۷۹	۰/۸۱۴	الف	۰/۲۱۰
تغییرات چندمتغیره وزندهی تکراری	۹۹/۷۵۴	۰/۸۰۲۲۸	د	۰/۲۴۵
طبقه‌بندی چندزمانه فازی- سی‌مینز	۹۸/۷۷۸	۰/۶۹۳۹	د	۱/۲۲۱
تحلیل بردار تغییر فشرده	۹۹/۶۷۷	۰/۷۵۹۳	الف	۰/۳۲۲
روش پیشنهادی	۹۹/۸۰۶	۰/۸۲۲۷	ب	۰/۱۹۳

موارد ذیل اشاره نمود. (۱) روش پیشنهادی دارای دقت، حساسیت، قابلیت بالای آشکارسازی تغییرات و همچنین دارای نرخ کم هشدار اشتباہ کلی نسبت به سایر روش‌های متداول است. این در حالی است که علاوه بر استخراج تغییرات کلاس‌های اصلی، قابلیت استخراج تغییرات جزئی را هم دارد. (۲) روند آشکارسازی تغییرات در پژوهش حاضر، به صورت کاملاً خودکار است. (۳) علاوه بر مشخص نمودن نواحی به صورت دو کلاس تغییر و بدون تغییر (دودویی)، قابلیت ارائه نقشه تغییرات چندگانه را دارد. (۴) الگوریتم پیشنهادی نیازی به هیچ‌گونه تنظیم پارامتر در روند آشکارسازی تغییرات ندارد. این درحالیست که بسیاری از روش‌های آشکارسازی تغییرات، نیاز به تنظیم پارامتر دارند که بیشتر این تخمین یا تعیین پارامترها مبتنی بر دانش بشری است. (۵) قابلیت ارائه نقشه تغییرات در سطح زیر پیسکل است. بسیاری از روش‌های متداول آشکارسازی تغییرات هنوز در سطح پیسکل می‌باشند. (۶) دارای هزینه‌های محاسباتی کمتری نسبت به سایر روش‌های متداول آشکارسازی تغییرات فراتیفی است.

با توجه به نتایج ارائه شده به منظور آشکارسازی تغییرات با استفاده از تصاویر فراتیفی، روش پیشنهادی دارای پتانسیل بالایی برای ارائه نقشه تغییرات در زیر پیکسل را دارد.

#### ۵- نتیجه‌گیری

با توجه به نقش آشکارسازی تغییرات در پایش محیط‌زیست و مدیریت منابع لازم است این امر با دقت هر چه بالاتر انجام گیرد. این تحقیق یک روش نوین آشکارسازی تغییرات با استفاده از تصاویر ابراطیفی سنجنده هایبریون را ارائه داده است. این روش مبتنی بر الگوریتم‌های اختلاط طیفی، فاصله مبنا و اتسو است. نتایج بدست آمده نشان دهنده، دقت بالای روش پیشنهادی در مقایسه با سایر روش‌ها است. همچنین به کارگیری این روش، بر این موضوع دلالت می‌کند که تصاویر ابراطیفی، دارای پتانسیل بالای آشکارسازی تغییرات می‌باشند. بر اساس تحلیل‌های انجام شده به صورت کمی و کیفی با استفاده از روش پیشنهادی قابلیت‌های این روش نسبت به سایر روش‌های متداول آشکارسازی تغییرات بیشتر مشخص می‌شود. از مهمترین این قابلیت‌ها می‌توان به

#### مراجع

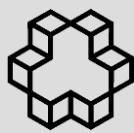
- [1] X. C. Chen, V. Kumar, and J. H. Faghmous, “Online Change Detection Algorithm for

Noisy Time-Series: An Application Tonear-Real Time Burned Area Mapping,” in 2015

- IEEE International Conference on Data Mining Workshop (ICDMW), 2015, pp. 1536–1537.
- [2] S. T. Seydi and M. Hasanlou, “A new land-cover match-based change detection for hyperspectral imagery,” *Eur. J. Remote Sens.*, vol. 50, no. 1, pp. 517–533, 2017.
- [3] S. Liu, L. Bruzzone, F. Bovolo, and P. Du, “A novel hierarchical method for change detection in multitemporal hyperspectral images,” in 2013 IEEE International Geoscience and Remote Sensing Symposium-IGARSS, 2013, pp. 823–826.
- [4] A. M. Melesse, Q. Weng, P. S. Thenkabail, and G. B. Senay, “Remote sensing sensors and applications in environmental resources mapping and modelling,” *Sensors*, vol. 7, no. 12, pp. 3209–3241, 2007.
- [5] S. Liu, “Advanced Techniques for Automatic Change Detection in Multitemporal Hyperspectral Images,” University of Trento, 2015.
- [6] M. Hasanlou, F. Samadzadegan, and S. Homayouni, “SVM-based hyperspectral image classification using intrinsic dimension,” *Arab. J. Geosci.*, vol. 8, no. 1, pp. 477–487, 2015.
- [7] C. Zhao, W. Li, G. A. Sanchez-Azofeifa, B. Qi, and B. Cui, “Improved collaborative representation model with multitask learning using spatial support for target detection in hyperspectral imagery,” *J. Appl. Remote Sens.*, vol. 10, no. 1, pp. 016009–016009, 2016.
- [8] L. Henits, C. Jürgens, and L. Mucsi, “Seasonal multitemporal land-cover classification and change detection analysis of Bochum, Germany, using multitemporal Landsat TM data,” *Int. J. Remote Sens.*, vol. 37, no. 15, pp. 3439–3454, 2016.
- [9] A. Anees, J. Aryal, M. M. O'Reilly, and T. J. Gale, “A relative density ratio-based framework for detection of land cover changes in MODIS NDVI time series,” *IEEE J. Sel. Top. Appl. Earth Obs. Remote Sens.*, vol. 9, no. 8, pp. 3359–3371, 2016.
- [10] A. Singh, “Review article digital change detection techniques using remotely-sensed data,” *Int. J. Remote Sens.*, vol. 10, no. 6, pp. 989–1003, 1989.
- [11] C. Wu, B. Du, and L. Zhang, “A subspace-based change detection method for hyperspectral images,” *IEEE J. Sel. Top. Appl. Earth Obs. Remote Sens.*, vol. 6, no. 2, pp. 815–830, 2013.
- [12] R. B. Smith, “Introduction to hyperspectral imaging,” *Microimages Retrieved June*, vol. 30, p. 2008, 2006.
- [13] M. T. Eismann, J. Meola, and R. C. Hardie, “Hyperspectral change detection in the presence of diurnal and seasonal variations,” *IEEE Trans. Geosci. Remote Sens.*, vol. 46, no. 1, pp. 237–249, 2008.
- [14] R. Shah-Hosseini, S. Homayouni, and A. Safari, “A hybrid kernel-based change detection method for remotely sensed data in a similarity space,” *Remote Sens.*, vol. 7, no. 10, pp. 12829–12858, 2015.
- [15] Q. Du, L. Wasson, and R. King, “Unsupervised linear unmixing for change detection in multitemporal airborne hyperspectral imagery,” in International Workshop on the Analysis of Multi-Temporal Remote Sensing Images, 2005., 2005, pp. 136–140.
- [16] M. T. Eismann, J. Meola, and R. C. Hardie, “Hyperspectral change detection in the presence of diurnal and seasonal variations,” *IEEE Trans. Geosci. Remote Sens.*, vol. 46, no. 1, pp. 237–249, 2008.
- [17] P. Marpu, P. Gamba, and J. A. Benediktsson, “Hyperspectral change detection using IR-MAD and feature reduction,” in Geoscience and Remote Sensing Symposium (IGARSS), 2011 IEEE International, 2011, pp. 98–101.
- [18] C. Wu, L. Zhang, and B. Du, “Targeted change detection for stacked multi-temporal hyperspectral image,” in 2012 4th Workshop on Hyperspectral Image and Signal Processing: Evolution in Remote Sensing (WHISPERS), 2012, pp. 1–4.

- [19] Y. Yuan, H. Lv, and X. Lu, "Semi-supervised change detection method for multi-temporal hyperspectral images," *Neurocomputing*, vol. 148, pp. 363–375, 2015.
- [20] A. Ertürk and A. Plaza, "Informative change detection by unmixing for hyperspectral images," *IEEE Geosci. Remote Sens. Lett.*, vol. 12, no. 6, pp. 1252–1256, 2015.
- [21] S. Liu, L. Bruzzone, F. Bovolo, and P. Du, "Unsupervised Multitemporal Spectral Unmixing for Detecting Multiple Changes in Hyperspectral Images," *IEEE Trans. Geosci. Remote Sens.*, vol. 54, no. 5, pp. 2733–2748, 2016.
- [22] S. Liu, L. Bruzzone, F. Bovolo, and P. Du, "Hierarchical unsupervised change detection in multitemporal hyperspectral images," *IEEE Trans. Geosci. Remote Sens.*, vol. 53, no. 1, pp. 244–260, 2015.
- [23] F. Bovolo, S. Marchesi, and L. Bruzzone, "A framework for automatic and unsupervised detection of multiple changes in multitemporal images," *IEEE Trans. Geosci. Remote Sens.*, vol. 50, no. 6, pp. 2196–2212, 2012.
- [24] L. Bruzzone and F. Bovolo, "A novel framework for the design of change-detection systems for very-high-resolution remote sensing images," *Proc. IEEE*, vol. 101, no. 3, pp. 609–630, 2013.
- [25] L. Bruzzone, S. Liu, F. Bovolo, and P. Du, "Change Detection in Multitemporal Hyperspectral Images," in *Multitemporal Remote Sensing*, Springer, 2016, pp. 63–88.
- [26] M. Hussain, D. Chen, A. Cheng, H. Wei, and D. Stanley, "Change detection from remotely sensed images: From pixel-based to object-based approaches," *ISPRS J. Photogramm. Remote Sens.*, vol. 80, pp. 91–106, 2013.
- [27] R. Shah-Hosseini, S. Homayouni, and A. Safari, "A hybrid kernel-based change detection method for remotely sensed data in a similarity space," *Remote Sens.*, vol. 7, no. 10, pp. 12829–12858, 2015.
- [28] M. Hasanlou and S. T. Seydi, "Novel Wetland and Water Body Change Detection using Multitemporal Hyperspectral Imagery," presented at the International Water Conference 2016 on Water Resources in Arid Areas, Oman,Muscat, 2016.
- [29] C. Wu, B. Du, and L. Zhang, "A subspace-based change detection method for hyperspectral images," *IEEE J. Sel. Top. Appl. Earth Obs. Remote Sens.*, vol. 6, no. 2, pp. 815–830, 2013.
- [30] A. Singh, "Review article digital change detection techniques using remotely-sensed data," *Int. J. Remote Sens.*, vol. 10, no. 6, pp. 989–1003, 1989.
- [31] M. Hussain, D. Chen, A. Cheng, H. Wei, and D. Stanley, "Change detection from remotely sensed images: From pixel-based to object-based approaches," *ISPRS J. Photogramm. Remote Sens.*, vol. 80, pp. 91–106, 2013.
- [32] S. T. Seydi and M. Hasanlou, "Fusion of Similarity and Distance based Methods for Landcover Change Detection using Hyperpsectral Imagey," *J. Geomat. Sci. Technol.*, vol. 7, no. 2, pp. 111–126, 2017.
- [33] K. Vongsy, M. J. Mendenhall, P. M. Hanna, and J. Kaufman, "Change detection using synthetic hyperspectral imagery," in *2009 First Workshop on Hyperspectral Image and Signal Processing: Evolution in Remote Sensing*, 2009, pp. 1–4.
- [34] A. Ertürk, M.-D. Iordache, and A. Plaza, "Sparse Unmixing With Dictionary Pruning for Hyperspectral Change Detection," *IEEE J. Sel. Top. Appl. Earth Obs. Remote Sens.*, vol. 10, no. 1, pp. 321–330, 2017.
- [35] X. Xu and Z. Shi, "Multi-objective based spectral unmixing for hyperspectral images," *ISPRS J. Photogramm. Remote Sens.*, vol. 124, pp. 54–69, 2017.
- [36] A. Ertürk, M. K. Güllü, D. Çeşmeci, D. Gerçek, and S. Ertürk, "Spatial resolution enhancement of hyperspectral images using unmixing and binary particle swarm optimization," *IEEE Geosci. Remote Sens.*

- Lett., vol. 11, no. 12, pp. 2100–2104, 2014.
- [37] D. Gudex-Cross, J. Pontius, and A. Adams, “Enhanced forest cover mapping using spectral unmixing and object-based classification of multi-temporal Landsat imagery,” *Remote Sens. Environ.*, vol. 196, pp. 193–204, 2017.
- [38] M.-D. Iordache, J. M. Bioucas-Dias, and A. Plaza, “Sparse unmixing of hyperspectral data,” *IEEE Trans. Geosci. Remote Sens.*, vol. 49, no. 6, pp. 2014–2039, 2011.
- [39] D. C. Heinz and others, “Fully constrained least squares linear spectral mixture analysis method for material quantification in hyperspectral imagery,” *IEEE Trans. Geosci. Remote Sens.*, vol. 39, no. 3, pp. 529–545, 2001.
- [40] N. Keshava and J. F. Mustard, “Spectral unmixing,” *IEEE Signal Process. Mag.*, vol. 19, no. 1, pp. 44–57, 2002.
- [41] J. M. Nascimento and J. M. Bioucas-Dias, “Hyperspectral signal subspace estimation,” in 2007 IEEE International Geoscience and Remote Sensing Symposium, 2007, pp. 3225–3228.
- [42] M. E. Winter, “N-FINDR: an algorithm for fast autonomous spectral end-member determination in hyperspectral data,” in SPIE’s International Symposium on Optical Science, Engineering, and Instrumentation, 1999, pp. 266–275.
- [43] C.-I. Chang, C.-C. Wu, and C.-T. Tsai, “Random N-finder (N-FINDR) endmember extraction algorithms for hyperspectral imagery,” *IEEE Trans. Image Process.*, vol. 20, no. 3, pp. 641–656, 2011.
- [44] H. Li, D. Zhang, Y. Zhang, and Y. Xu, “Research of image preprocessing methods for EO-1 Hyperion hyperspectral data in tidal flat area,” in Geoinformatics 2008 and Joint Conference on GIS and Built Environment: Classification of Remote Sensing Images, 2008, p. 71471G–71471G.
- [45] D. Scheffler and P. Karrasch, “Preprocessing of hyperspectral images: a comparative study of destriping algorithms for EO1-hyperion,” in SPIE Remote Sensing, 2013, p. 88920H–88920H.
- [46] A. A. Nielsen, “The regularized iteratively reweighted MAD method for change detection in multi-and hyperspectral data,” *IEEE Trans. Image Process.*, vol. 16, no. 2, pp. 463–478, 2007.
- [47] O. Ahlqvist, “Extending post-classification change detection using semantic similarity metrics to overcome class heterogeneity: A study of 1992 and 2001 US National Land Cover Database changes,” *Remote Sens. Environ.*, vol. 112, no. 3, pp. 1226–1241, 2008.
- [48] M. Gong, Z. Zhou, and J. Ma, “Change detection in synthetic aperture radar images based on image fusion and fuzzy clustering,” *IEEE Trans. Image Process.*, vol. 21, no. 4, pp. 2141–2151, 2012.



## Land Cover Subpixel Change Detection using Hyperspectral Images Based on Spectral Unmixing and Post-processing

Mahdi Hasanlou<sup>\*1</sup>, Seyed Teimoor Seydi<sup>2</sup>

1- Assistant professor in School of Surveying and Geospatial Engineering, College of Engineering, University of Tehran  
2-Ms.c in remote sensing in School of Surveying and Geospatial Engineering, College of Engineering, University of Tehran

### Abstract

The earth is continually being influenced by some actions such as flood, tornado and human artificial activities. This process causes the changes in land cover type. Thus, for optimal management of the use of resources, it is necessary to be aware of these changes. Today's remote sensing plays key role in geology and environmental monitoring by its high resolution, wide covering and low cost of data receiving from the earth and it has many applications such as change detection. To manage the resources optimally, in local and global scale, accuracy and being on-time are very substantial. Hyperspectral images, with their high ability of spectral resolution, can improve change detection in result and extract more detail of changes. In this research a new method of change detection for hyperspectral imagery using the Image-Differencing, Otsu and spectral unmixing algorithms is presented. The proposed method is presented in three steps: (1) Data correction using image differencing method and data conversion to new computing space. At this space, the changed areas would be more outstanding compare to previous space. (2) the decision about the nature of endmembers is made using Otsu algorithm. (3) spatial resolution enhancement based on abundance map. The proposed method can automatically extract binary change map. In addition, this method provides information about the nature of change in sub-pixel level. To examine the performance of the proposed method, the hyperspectral imagery (by Hyperion sensors) from Chiangsu fields in China and a simulated data from the AVIRIS sensor were used. The results show the high accuracy of the proposed method in comparison with other methods. Its overall accuracy is more than 93% and its kappa coefficient is 0.85 and mean false alarm rates is under 7% for China dataset. And also, the results for second dataset are as follow: the overall accuracy is more than 99% and kappa coefficient is 0.82 and mean false alarm rates is under 1%.

**Key words:** Unsupervised Change Detection, Spectral Unmixing, Hyperspectral Images, Otsu Algorithm, Sub-pixel.

**Correspondence Address:** Remote Sensing Group, School of Surveying and Geospatial Engineering, College of Engineering, University of Tehran, Tehran, Iran  
Tel: +98 21 61114525  
Email : hasanlou@ut.ac.ir