

آشکارسازی تغییرات زیر پیکسلی کاربری اراضی در تصاویر ابرطیفی مبتنی بر جداسازی طیفی و پس پردازش

مهدی حسنلو^{۱*}، سید تیمور سیدی^۲

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 دریافت مقاله: ۱۳۹۵/۰۸/۱۹ تاریخ پذیرش 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 محیط زیست از جمله آشکارسازی تغییرات داشته است. به‌طور کلی تشخیص به‌موقع و دقیق تغییرات در مقیاس محلی و جهانی، در مدیریت بهینه‌ی استفاده از منابع، از اهمیت بالایی برخوردار است. تصاویر فراطیفی، 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 فراطیفی، 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 به‌صورت 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 فراطیفی به‌کارگرفته 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 سنجنده هواپرد 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 ۹۱٪، ضریب کاپا ۰/۸۵، نرخ هشدارهای اشتباه کلی کمتر از ۷٪ و هزینه محاسباتی و نسبتاً پایین نسبت به روش‌های متداول حکایت می‌کند. علاوه نتایج به‌دست آمده برای داده شبیه‌سازی شده، ۹۹/۸۰ درصد ضریب کاپا، ۰/۸۲ و میزان نرخ هشدارهای اشتباه آن، ۰/۱۹ درصد است.

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

۱- مقدمه

بار محاسباتی و زمانی کم و تأثیرپذیری اندک از شرایط محیطی (اتمسفری) و دستگاہی (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^۱ 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 هنوز یکسری از چالش‌ها باقی است. از جمله آن‌ها؛ نیاز به داشتن یک حدآستانه دانش مبنا از سوی کاربر، مشکل مقایسه دو امضای 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 بردند که در آن از الگوریتم کواریانس متقابل^۲ و معادل‌سازی کواریانس^۳، به عنوان پیش‌بینی کننده، استفاده می‌شود. در مرحله بعد به منظور یافتن تغییرات از مؤلفه‌های خروجی از الگوریتم شناسایی کننده آنامولی^۴ 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 فن‌آوری سنجش‌ازدور این مشکلات مرتفع گردیده است. سنجش‌ازدور به عنوان ابزاری کارآمد و یک منبع اطلاعاتی مهم به‌طور پیوسته، با پوشش وسیع و با کمترین هزینه از زمین داده جمع‌آوری می‌کند [۳]. اخیراً، با روی کار آمدن سنجنده‌های جدید، در پی آن 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 تغییرات به عنوان یکی از مهم‌ترین کاربردهای سنجش‌ازدور 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. به‌طور کلی روش‌های آشکارسازی تغییرات باید قابلیت پردازش اطلاعات با حجم بالا،

^۱ Fully Constrained Least Squares Linear Unmixing (FCLSLU)

^۲ Cross Covariance (CC)

^۳ Covariance Equalization (CE)

^۴ 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 [۱۱]. در روش پیشنهادی از سوی نویسندگان، 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^۵ ارائه کردند. در این روش ابتدا با داشتن یکسری از داده آموزشی الگوریتم چارچوب یادگیری متریک مرتب شده^۶ برای یادگیری متریک فاصله‌ای به کار گرفته می‌شود، پس از یادگیری متریک فاصله‌ای نواحی تغییر و بدون تغییر نمایان می‌شود [۱۹]. 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 کرده‌اند، این روش ابتدا با کنار هم گذاشتن هر دو داده ابرطیفی عضوهای خالص توسط الگوریتم هایسیم^۷ تخمین زده می‌شود و سپس برای دو داده (کنار هم گذاشته شده) اجزا خالص توسط الگوریتم ان-فایندر^۸ یا سیسال^۹ 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 [۲۰]. اگرچه روش پیشنهاد

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

در سال ۲۰۱۱ مارپو و همکاران روشی به‌منظور آشکارسازی تغییرات با استفاده از تصاویر فراطیفی ارائه کردند. ابتدا توسط الگوریتم تفاضل‌گیری و تحلیل مؤلفه اصلی^۱ و الگوریتم خوشه‌بندی ک-میانگین^۲ تغییرات اصلی استخراج کردند و تغییرات جزئی و نواحی محتمل تغییر توسط الگوریتم شناسایی تغییرات چند متغیره وزن‌دار تکراری^۳ طی یک فرآیند تکراری استخراج می‌شود [۱۷]. 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 گذاشته‌شده ارائه کردند. در این پژوهش، برای هریک از نواحی تغییر یافته و بدون تغییر یکسری داده آموزشی ایجاد می‌شود، سپس تصاویر روی هم گذاشته می‌شود و به‌منظور کاهش ابعاد تصاویر فراطیفی از الگوریتم تحلیل مولفه اصلی استفاده شده است. نهایتاً اطلاعات تغییر را توسط الگوریتم برآوردگر همدوسی‌های انطباقی^۴ به دست آورده‌اند [۱۸]. در این روش نیاز به داشتن داده آموزشی از مهمترین چالش‌های روش پیشنهادی از سوی نویسندگان است. علاوه بر آن، نیاز به انتخاب حدآستانه چالش بعدی است که محبوبیت روش پیشنهادی را کاهش می‌دهد.

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

⁵ Semi supervised Distance Metric for Change Detection (SSDM-CD)

⁶ Regularized Metric Learning Framework (RMLF)

⁷ Hysime

⁸ N-finder

⁹ SISAL

¹ Principal Component Analysis (PCA)

² K-Means

³ Iteratively Re-weighted Multivariate Alteration Detection (IR-MAD)

⁴ Adaptive Coherence/Cosine Estimator (ACE)

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

نتایج آشکارسازی تغییرات می‌تواند در دو گروه عمده مورد بررسی قرار گیرد [۵، ۲۱، ۲۲، ۲۳، ۲۴ و ۲۵]: گروه اول) نقشه تغییرات دودویی^۱، (ب) نقشه تغییرات چندگانه^۲. نقشه تغییرات به‌صورت دودویی، تغییرات را فقط در قالب صفر و یک بیان می‌کند، بدین صورت که؛ نواحی تغییر یافته به‌صورت 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.

به‌طور کلی روش‌های آشکارسازی تغییرات به کمک تصاویر ابرطیفی به پنج گروه کلی تقسیم می‌شوند. گروه اول، روش‌های طبقه‌بندی مبتنی بر الگوریتم‌های همبستگی مبنا^۳ است. این الگوریتم‌ها از عملگرهای ساده ریاضی^۴ به‌منظور آشکارسازی تغییرات استفاده می‌کنند. از جمله این روش‌ها می‌توان به تفاضل‌گیری^۵، نسبت‌گیری^۶، متریک اقلیدسی^۷، الگوریتم اندازه‌گیری زاویه طیفی^۸ اشاره نمود [۱۰، 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 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^۹، تحلیل تغییرات چند متغیره^{۱۰} و

¹ Binary Change Map

² Multiple Change map

³ Match Based

⁴ Math Simple Operator

⁵ Image Differencing

⁶ Image Ratio

⁷ Euclidean Metric

⁸ Spectral Angle Mapper

⁹ Principle components analysis

¹⁰ Multivariate alternative detection

مناظر، برای مقایسه، به منظور به دست آوردن نقش تغییر نیاز به عامل انسانی دارد [۱۰، ۲۶ 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 امضای طیفی ثابتی در بین تصاویر چند زمانه نسبت به کلاس‌های تغییر دارد. به عبارت دیگر، پیکسل‌های کلاس‌های بدون تغییر، دارای امضای 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 آن 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 دقت آشکارسازی تغییرات به دقت طبقه‌بندی، فراهم نمودن اطلاعات کم درباره ماتریس تغییر است [۲، ۳۰ و ۳۱]. گروه پنجم، روش‌های ترکیبی است. این روش‌ها ترکیبی از هر کدام از گروه‌های قبلی است. معمولاً این روش‌ها نسبتاً دقت بالایی دارند و به صورت نظارت نشده مورد استفاده قرار می‌گیرند [۲ و ۵].

به علت وجود توان تفکیک مکانی ضعیف سنجنده‌های تصویربرداری فراطیفی از نوع فضا برد، 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^۱ 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 مؤلفه‌ای که شامل بیشترین محتوای اطلاعاتی تغییر و انتخاب حد آستانه مناسب را دارا است همچنین، اطلاعات ماتریس نقشه تغییر را هم فراهم نمی‌نمایند [۱۰، ۲۶، ۲۷، ۲۸ و ۲۹]. گروه سوم، روش‌های پس طبقه‌بندی 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^۲ و طبقه‌بندی کننده بیشترین احتمال شباهت^۳ است. از جمله مهمترین مزیت این روش‌ها تأثیر 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^۴، فازی سی-مینز^۵ و ک-مینز^۶ هم است. در این دسته از این گروه از روش‌های آشکارسازی تغییرات، کار برچسب گذاری کلاس‌های هر یک از

¹ Independent component analysis

² Support Vector Machine (SVM)

³ Maximum Likelihood

⁴ ISO-DATA

⁵ Fuzzy C-Means (FCM)

⁶ K-Means

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

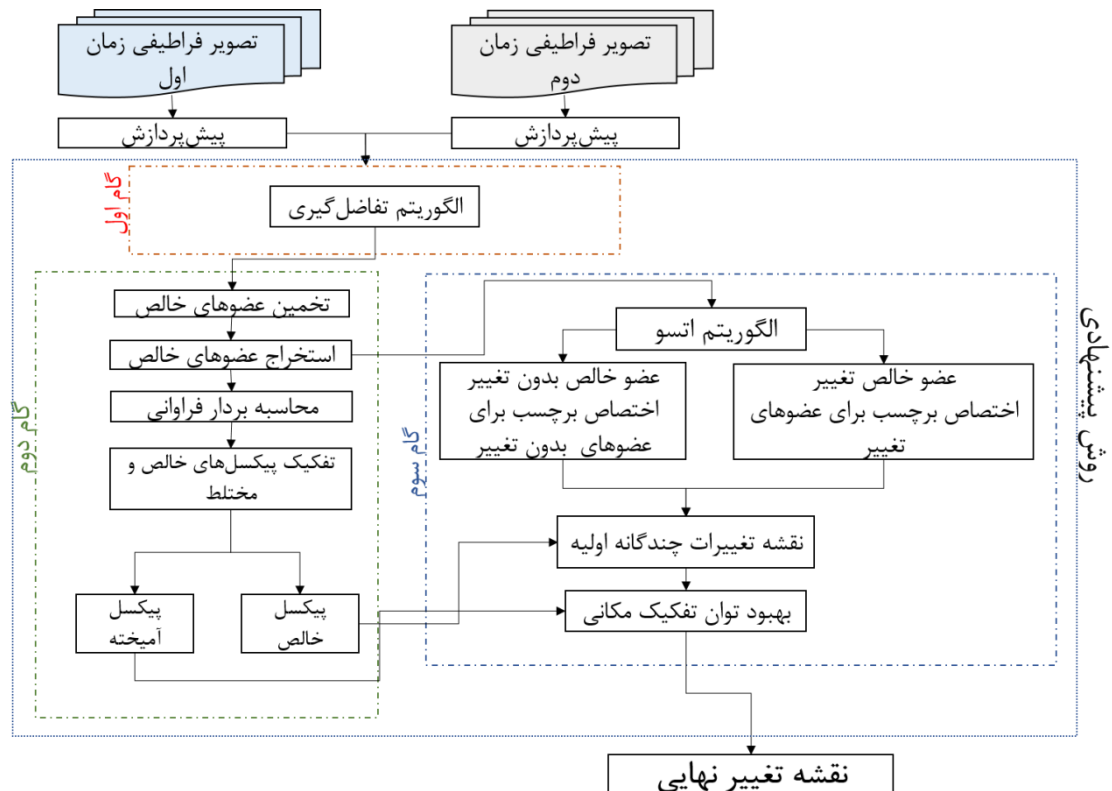
در بخش های بعدی جزئیات روش پیشنهادی بیشتر تشریح خواهد شد. این مقاله در پنج بخش سازمان دهی شده است: بخش اول مقدمه است که بیان شد؛ در بخش دوم، جزئیات روش پیشنهادی؛ بخش سوم، منطقه مورد مطالعه و پیش پردازش ها؛ بخش چهارم، ارائه نتایج و پیاده سازی و بخش پنجم، نتیجه گیری و ارائه نتایج آمده است.

۲- روش پیشنهادی

این بخش به تشریح جزئیات ساختار روش پیشنهادی می پردازد. مطابق با فلوجارت شکل (۱)، ساختار روش پیشنهادی ارائه شده است. روش پیشنهادی سه فاز مختلف انجام می گیرد 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 می گیرد. (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 می شود. (۳) فاز تصمیم گیری، 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 می شود. همچنین برای هر عضو خالص یک برجسب عددی مشخص می شود. (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 می گیرد. در بخش های بعدی در مورد جزئیات روش پیشنهادی بیشتر توضیح داده شده است.

فراهم می کند، اما هنوز توزیع مکانی این اهداف، در یک پیکسل مشخص نیست. اخیرا استفاده از این تکنیک در تحلیل آشکارسازی تغییرات مورد توجه محققین این حوزه قرار گرفته است. یکی از معایب اصلی این روش ها، اگرچه بیشتر این تحقیقات مبتنی بر اختلاط طیفی می باشند اما هنوز در سطح یک پیکسل تصمیم گیری 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 به کارگیری تصاویر ابرطیفی است. روش پیشنهادی متشکل از الگوریتم های تفاضل گیری، اتسو و جداسازی طیفی است. این روش دارای چند قابلیت و مزیت عمده با سایر روش ها است: (۱) برخلاف سایر روش های متداول آشکارسازی 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 بدین منظور است که خروجی نهایی نقشه تغییرات متناسب ورودی دارای توان تفکیک مکانی بالاتری هستند. (۳) بسیاری از روش های متداول آشکارسازی تغییرات، نقشه تغییر را به صورت دودویی ارائه می دهد، این در حالی است که روش پیشنهادی دارای قابلیت ارائه نقشه تغییرات چندگانه است. نقشه تغییرات چندگانه می تواند به کاربران و مدیران در فهم بهتر تغییرات جهت اخذ تصمیمات آگاهانه کمک کند. (۴) بسیاری از روش های متداول آشکارسازی تغییرات به صورت نظارت شده، یا نیمه نظارت هستند که این روش ها مشکلات و چالش های خاص خود را دارای اما روش پیشنهادی در قالب بدون نظارت است. به عبارت دیگر نیازی برای داده آموزشی و انتخاب حد آستانه تغییرات ندارد. (۵) روش های مبتنی بر اختلاط طیفی دو زمان اول و دوم را در سطح مکان یا در سطح طیف روی هم می گذارند و در ادامه تحلیل اختلاط طیفی را انجام می دهند، این کار باعث افزایش حجم محاسبات و



شکل ۱: فلوچارت روش پیشنهادی

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 سنجنش از دوری است [۲ و ۳۳]. از مهم‌ترین مزایای این روش به کارگیری ساده آن و حجم کم بار محاسباتی آن است.

$$D_{X_{ij}}^K = X_{ij}^K(t_1) - X_{ij}^K(t_2) \quad \text{رابطه (۱)}$$

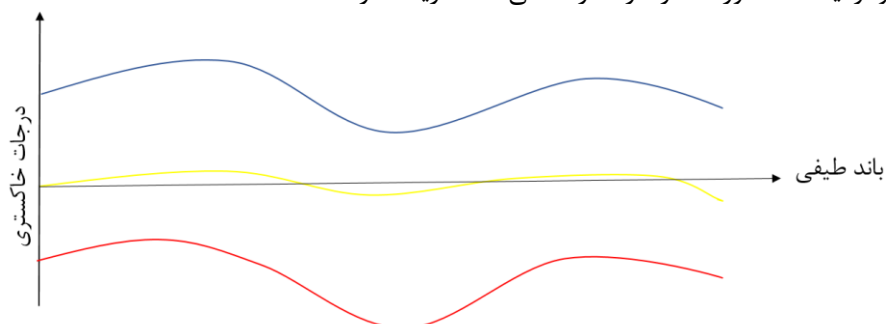
در رابطه (۱)، $X_{ij}^K(t_1)$ و $X_{ij}^K(t_2)$ مقادیر درجات خاکستری تصویر زمان اول و زمان دوم در سطر i و ستون j در باند K می‌باشند. با توجه به اینکه

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

۲-۲- جداسازی طیفی

تصاویر فراطیفی در سنجنش 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 فراطیفی 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

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 اختلاط 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 امضاها، توسط الگوریتم اتسو، کلاس هر پیکسل تصویر ابرطیفی مشخص می‌شود. زیر بخش‌های بعدی به جزئیات روش‌های اختلاط طیفی می‌پردازد.



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

در این تحقیق از الگوریتم ان-فایندر^۱ استفاده شده است. این الگوریتم به‌طور وسیع در سنجش‌ازدور استفاده می‌شود. ایده اصلی این الگوریتم پیدا کردن پیکسل‌هایی است که می‌تواند بیشینه حجم سیمپلکس^۲ 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 به‌صورت 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^۳ برای

تصاویر ابرطیفی می‌تواند باعث اختلاط طیفی پیکسل‌ها در تصاویر فراطیفی گردد [۳۵، ۳۶ و ۳۷].

هدف از جداسازی طیفی تشخیص اجزا سازنده یک پیکسل مختلط و محاسبه‌ی 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 به‌صورت 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 خطا، نمایش دهد [۴۱].

۲-۲-۲- استخراج عضوهای طیفی

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

¹ N-Finder

² Simplex

³ 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 برحسب

فراوانی

۲-۳-۱- 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 ۱-۲ یا ۱-۴ یا ۱-۹ 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 ۲×۲ یا ۳×۳، 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، برحسب 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 طور یست 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.

۲-۳-۲ 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^۱ و میانگین خطای مطلق^۲ 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.

^۱ Mean Root Mean Square^۲ 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 ۴).

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

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

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

ج) برای مشخص نمودن موقعیت برچسب هر پیکسل در تصویر جدید، ابتدا برچسب تمامی پیکسل‌ها خالص در تصویر جدید جایگزین می‌شود. برای هر پیکسل مختلط 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

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	۱	۲	۲	۲
۱	۱	۲	۲	۲	۲

شکل ۶: برچسب با بیشترین امتیاز

۳- منطقه و داده فراطیفی مورد مطالعه

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

۳-۱- داده اول

سنجنده هایپریون بروی روی ماهواره Environment Observation-1 (EO-1) قرار دارد و از نوع فضا برد است. مشخصات این سنجنده در جدول (۱) آمده است.

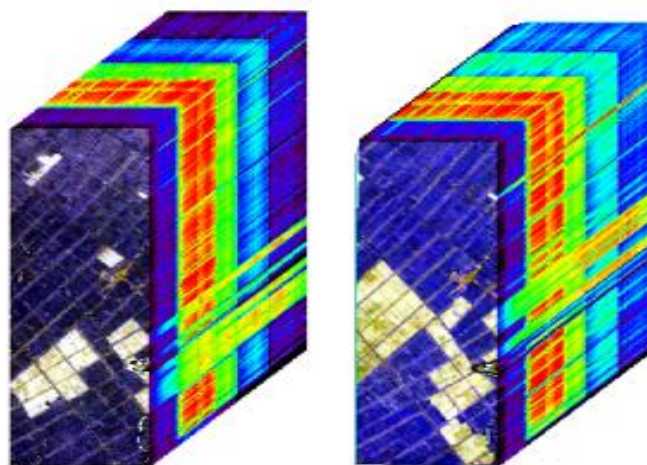
در این تحقیق به‌منظور آشکارسازی تغییرات کاربری اراضی با استفاده از تصاویر فراطیفی از داده‌ی مربوط به مزارع کشاورزی استفاده شده است. این داده‌ها به فاصله زمانی یک سال از اطراف شهر جیانگسو واقع در چین توسط سنجنده هایپریون اخذ شده است. این داده در تاریخ‌های ۱۲-اردیبهشت-۱۳۸۵ و ۲۶-خرداد-

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

۱۳۸۶ اخذ شده و ابعاد آن ۴۱۶×۱۲۹ می‌باشد (شکل (۷)). این داده دارای پنج کلاس عمده شامل: زمین‌های کشاورزی، ساختمان، آب، درخت و جاده بین

جدول ۱: مشخصات سنجنده فراطیفی هایپریون

پوشش طیفی	توان تفکیک رادیومتریکی	توان تفکیک طیفی	عرض نوار برداشت	توان تفکیک مکانی	گستره طیفی
به صورت پیوسته	۱۶ بیتی	۱۰ نانو متر	۷.۵ کیلومتر	۳۰ متر	۰.۴ تا ۲.۵ میکرومتر



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

۳-۲- داده دوم

داده دوم مورد استفاده در این تحقیق مربوط به سنجنده هواپرد 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 از جمله: داده پانکروماتیک سنجنده آلی^۱ و تصاویر گوگل ارث^۲ استفاده شده است.

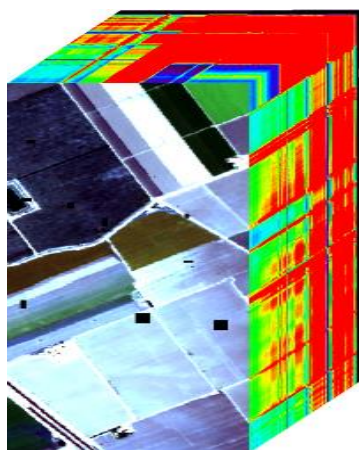
^۱ ALI

^۲ Google Earth

جدول ۲: مشخصات تصویر مورد استفاده از سنجنده اوریس

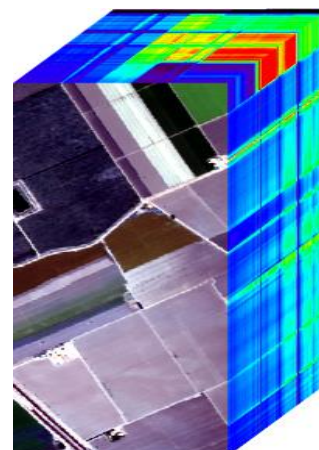
تاریخ اخذ	پوشش طیفی	توان تفکیک طیفی	پهنای باند	توان تفکیک مکانی	گستره طیفی	مشخصات تصویر
۱۹۹۲	به صورت پیوسته	۱۰ نانومتر	۱۲ کیلومتر	۳/۷ متر	۲/۵-۰/۴ میکرومتر	اوریس

(۱) اعمال مدل افاین ۳ برای شبیه سازی شرایط جوی
(۲) جایگزینی یکسری ناحیه بر روی یکسری از کلاس
به منظور ایجاد تغییرات.
استفاده از این داده یک مزیت عمده دارد، موقعیت
پیکسل‌های تغییر و بدون تغییر به صورت کامل و با
دقت ۱۰۰٪ در اختیار است. علاوه بران تغییرات ناشی
از خطا ثبت هندسی تصاویر را نخواهیم داشت.



شکل ۸: نمایش ترکیب رنگی کاذب داده فراطیفی اوریس اصلی و شبیه سازی شده

منطقه مورد مطالعه مربوط به منطقه‌ای کشاورزی که از
اطراف روستای سالیانس واقع در ایالت کالیفرنیا اخذ
شده است. تصویر دارای 512×217 پیکسل، دقت
رادیومتریکی 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:



طیفی است. پیش پردازش‌های 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]. پیش پردازش‌های 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- پیاده سازی و ارائه نتایج

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

۴-۱- پیش پردازش داده فراطیفی

تصاویر ابرطیفی اخذ شده توسط سنجنده هایپریون، به
علت وجود شرایط محیطی و دستگاهی نیاز به یکسری
پیش پردازش دارند. این پیش پردازش‌ها در دو سطح
انجام می‌گیرد و شامل پیش پردازش‌های 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، به‌طوری که مؤلفه‌های آن به‌صورت 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 حدآستانه در این دو الگوریتم (تکنیک شناسایی تغییرات چندمتغیره وزن‌دار 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. به‌منظور 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 ۳۷ متر به توان تفکیک مکانی ۱۱۷ متر به‌وسیله میانگین‌گیری کاهش دادیم.

۴-۲-۱- نتایج داده اول

تعداد عضوهای خالص تخمین زده شده برابر با نه عضو می‌باشد. این تخمین بر روی داده در فضای آشکارساز انجام شده است. شکل (۹) عضوهای خالص استخراج‌شده توسط الگوریتم ان-فایندر 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 خطا^۱ 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 به‌علت باند جذبی آب و نداشتن هیچگونه محتویات حذف گردید و در نهایت از ۱۱۲ باند باقیمانده استفاده شد.

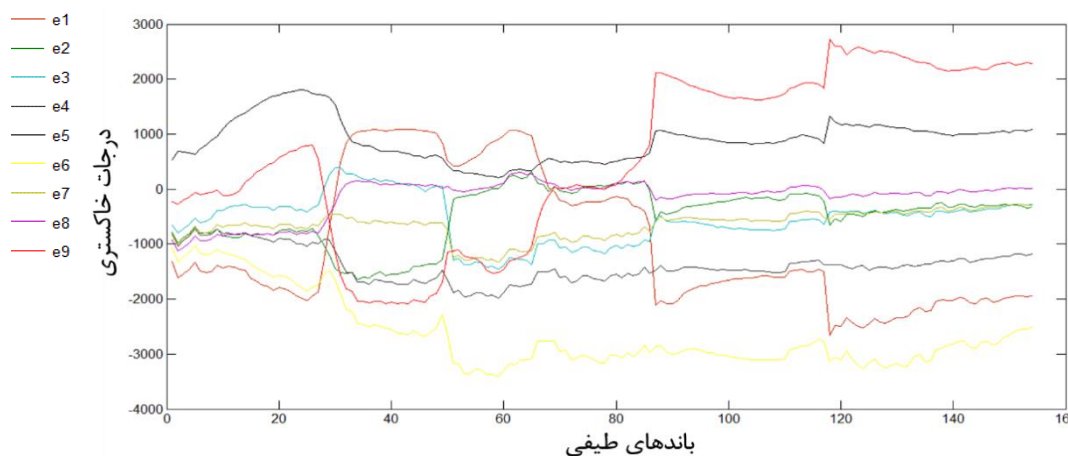
۴-۲-۲- پیاده‌سازی و ارائه نتایج

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 اشتباه 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^۲ [۲۴]، تکنیک شناسایی تغییرات چندمتغیره وزن‌دار تکراری [۴۶] و طبقه‌بندی مستقیم تصاویر چندزمانه فازی-سی‌مینز^۳ [۴۷ و ۴۸] می‌باشد. روش بردار تحلیل تغییرات فشرده یکی از روش‌های آشکارسازی تغییرات به‌صورت 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 وزن‌دار تکراری جز روش‌های تبدیل مبنا و

^۱ Root Mean Square Error

^۲ Compressed Change Vector Analysis (C2VA)

^۳ Direct-Multi-Date Classification Fuzzy C-means (DMC-FCM)



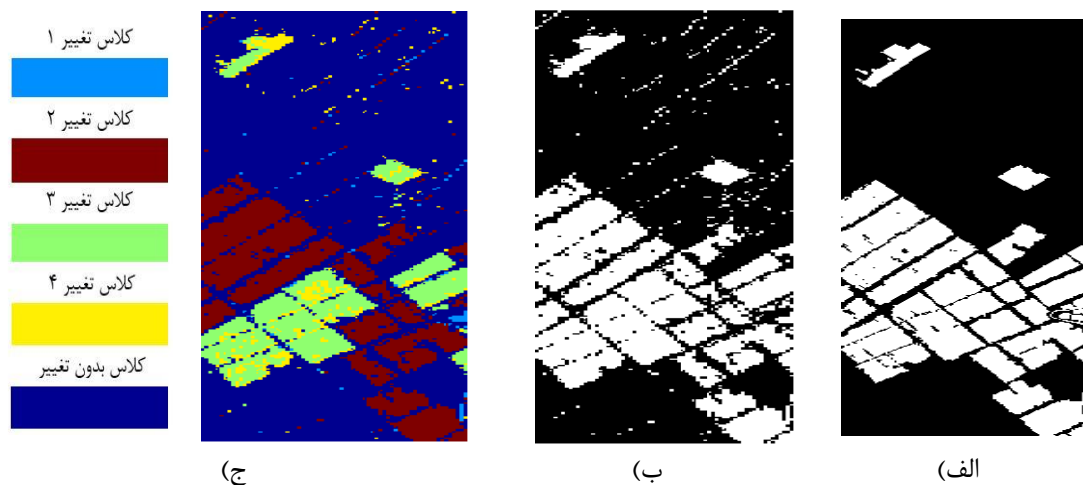
شکل ۹: عضوهای خالص استخراج شده از پس از بکارگیری الگوریتم تفاضل گیری برای داده های پیر یون (۳۰ متری)

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 حد آستانه نیاز دارد یک یکسری از پارامترها را تعیین کنیم. که تعداد تکرارها تا ۲۰ و مقدار اولیه پارامتر K را ۰/۶ تعداد قطعه، برابر دو می باشد.

شکل (۱۰) خروجی روش پیشنهادی را ارائه می دهد، شکل (۱۰) - ب خروجی الگوریتم پیشنهادی را به صورت دودویی ارائه می دهد. 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 می شود. پس از محاسبه های شاخصهای، نیاز به تعیین کلاس هر کدام از این عضوهای خالص داریم، که این کار به وسیله الگوریتم اتسو انجام می گیرد. برای این منظور، هر عضو خالص که دارای مقادیر کمتر از چهار است، به عنوان عضو خالص بدون تغییر در نظر گرفته می شود. عضوهای خالص که، از نظر عددی، دارای مقادیر کمتر شاخصها، هستند، به عنوان عضوهای بدون تغییر در نظر گرفته می شود.

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



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

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

۴-۲-۲- نتایج داده دوم

تعداد عضوهای خالص تخمین زده شده 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 چندزمانه 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.

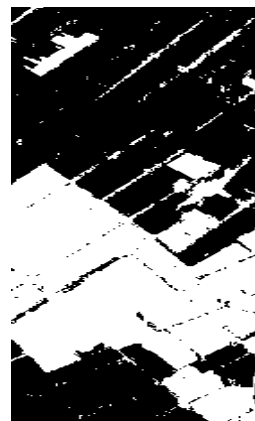
به منظور تحلیل دقیق تر روش پیشنهادی و سایر روش ها محاسبات کمی هم، انجام شده است. بدین منظور از سه شاخص ارزیابی دقت، شامل دقت کلی، نرخ هشدارهای اشتباه کلی و ضریب کاپا استفاده شده است.

$$\text{رابطه (۳)} \quad \mathcal{N} = \alpha + \beta$$

در رابطه (۳)، \mathcal{N} نرخ کلی هشدارهای اشتباه، β پیکسل های تغییر که بدون تغییر شناخته شده و α 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

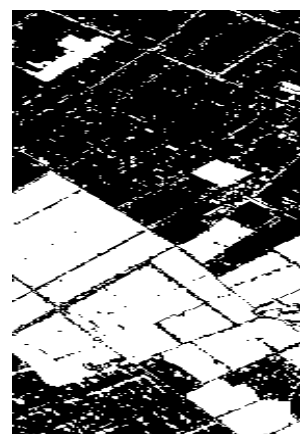
شناسایی تغییرات پوشش کاربری اراضی دارای نرخ کم هشدارهای اشتباه است.

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

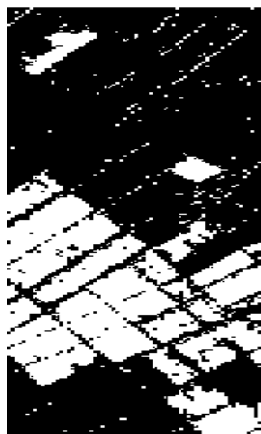


ب) تحلیل بردار تغییر فشرده

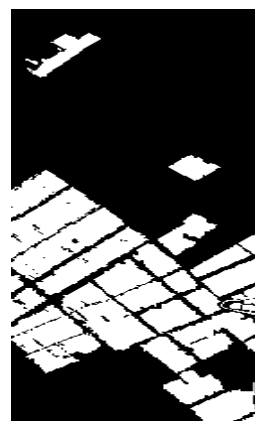
الف) طبقه بندی چندزمانه
فازی-سی مینز



ج) تغییرات چندمتغیره وزندهی
تکراری



و) روش پیشنهادی



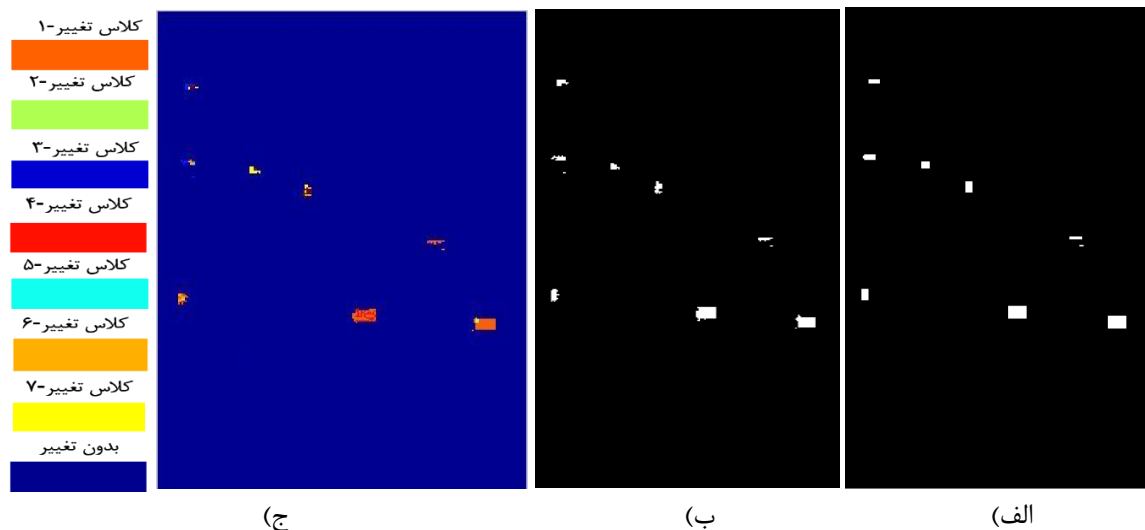
ه) واقعیت زمینی

ز) اختلاط طیفی مبتنی بر
سیسال-اتسو

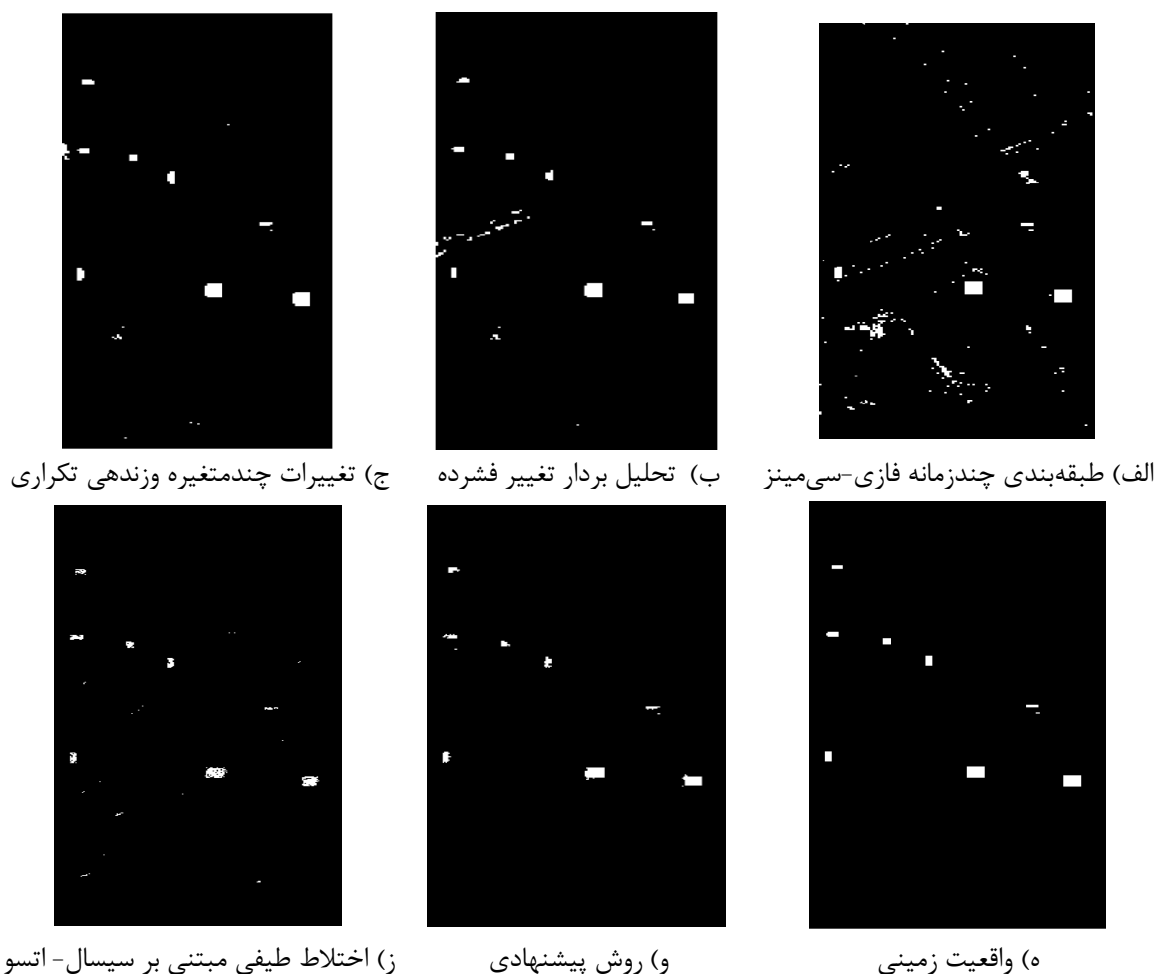
شکل ۱۱: نتایج آشکارسازی تغییرات توسط الگوریتم پیشنهادی و سایر روش های متداول

جدول ۳: تحلیل دقت سایر روش ها با روش پیشنهادی

روش	دقت کلی (%)	ضریب کاپا	زمان	متوسط نرخ هشدارهای اشتباه (%)
اختلاط طیفی مبتنی بر سیکسال-اتسو	۸۷٫۱۵	۰٫۷۰۲	الف	۱۲٫۸۵
تغییرات چندمتغیره وزندهی تکراری-ک میانگین	۹۰٫۴۶	۰٫۷۲۲	د	۹٫۵۴
طبقه بندی چندزمانه فازی-سی مینز	۸۸٫۴۸۵	۷۵٫۵۴۵	د	۱۱٫۵۱
تحلیل بردار تغییر فشرده	۷۶٫۵۲۸	۳۱٫۸۹۳	الف	۲۳٫۴۷
روش پیشنهادی	۹۱٫۲۱۷	۸۲٫۸۲۵	ب	۸٫۷۸



شکل ۱۲: روش پیشنهادی در حد پیکسل برای داده های پیر یون. الف) واقعیت، ب) زمینی نقشه تغییر به صورت دودویی و ج) نقشه کامل تغییرات



شکل ۱۳: نتایج آشکارسازی تغییرات توسط الگوریتم پیشنهادی و سایر روش های متداول

جدول (۴) نتایج حاصل شده از به کارگیری روش پیشنهادی بروی داده دوم را ارائه می دهد. مطابق این جدول، روش پیشنهادی دارای بالاترین دقت و کمترین نرخ هشدارهای اشتباه را دارا است.

جدول ۴: تحلیل دقت سایر روش ها با روش پیشنهادی

روش	دقت کلی (%)	ضریب کاپا	زمان	متوسط نرخ هشدارهای اشتباه (%)
اختلاط طیفی مبتنی بر سیسال- اتسو	۹۹٫۷۹	۰٫۸۱۴	الف	۰٫۲۱۰
تغییرات چندمتغیره وزندهی تکراری	۹۹٫۷۵۴	۰٫۸۰۲۲۸	د	۰٫۲۴۵
طبقه بندی چندزمانه فازی-سی مینز	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 اشتباه کلی نسبت به سایر روش های متداول است. این در حالی است که علاوه بر استخراج تغییرات کلاس های 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 هیچ گونه تنظیم پارامتر در روند آشکارسازی تغییرات ندارد. این درحالیست که بسیاری از روش های 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 روش های متداول آشکارسازی تغییرات هنوز در سطح پیسکل می باشند. (۶) دارای هزینه های محاسباتی کمتری نسبت به سایر روش های متداول آشکارسازی تغییرات فراطیفی است.

با توجه به نتایج ارائه شده به منظور آشکارسازی تغییرات با استفاده از تصاویر فراطیفی، روش پیشنهادی دارای پتانسیل بالایی برای ارائه نقشه تغییرات در زیر پیسکل را دارا است.

۵- نتیجه گیری

با توجه به نقش آشکارسازی تغییرات در پایش محیط زیست 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 ابرطیفی سنجنده هایپرپایون را ارائه داده است. این روش مبتنی بر الگوریتم های اختلاط طیفی، فاصله مبنا و اتسو است. نتایج به دست آمده نشان دهنده، دقت بالای روش پیشنهادی در مقایسه با سایر روش ها است. همچنین بکارگیری این روش، بر این موضوع دلالت می کند که تصاویر ابرطیفی، دارای پتانسیل بالایی در آشکارسازی تغییرات می باشند. بر اساس تحلیل های انجام شده به صورت کمی و کیفی با استفاده از روش پیشنهادی قابلیت های این روش نسبت به سایر روش های متداول آشکارسازی تغییرات بیشتر مشخص می شود. از مهمترین این قابلیت ها می توان 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. Mucci, "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 Hyperspectral Image," *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^{*1}, Seyed Teimoor Seydi²

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.