



## بهبود آشکارسازی تغییرات کاربری اراضی با استفاده از روش هسته مبنای نگارنده زاویه طیفی در تصاویر فراطیفی

مهدی حسنلو<sup>۱\*</sup>، سید تیمور سیدی<sup>۲</sup>، عبدالرضا سیدی<sup>۳</sup>

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

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

۳- کارشناسی ارشد علوم کامپیوتر، دانشگاه پیام نور گرگان

تاریخ دریافت مقاله: ۱۳۹۵/۰۹/۰۹ تاریخ پذیرش مقاله: ۱۳۹۶/۰۸/۲۱

### چکیده

تغییرات کاربری به‌عنوان عاملی پایه در تغییرات محیط زیست عمل کرده و به یک بحران تبدیل شده است. شناسایی و ارزیابی تغییرات الگوهای کاربری اراضی یک امر ضروری است، که اگر به‌هنگام و با دقت بالا انجام گیرد، می‌تواند به برنامه‌ریزان و مدیران سازمان‌های مربوطه در اتخاذ تصمیمات آگاهانه‌تر در جهت استفاده بهینه از منابع و جلوگیری از وقوع بحران کمک نماید. این امر با آشکارسازی تغییرات میسر می‌گردد. تصاویر فراطیفی، به علت دارا بودن توان تفکیک طیفی بالا، نتایج بهبود یافته‌ای از آشکارسازی تغییرات و همچنین جزئیات بیشتری از فرآیند آشکارسازی تغییرات را فراهم می‌نمایند. یکی از چالش‌های رایج روش‌های متداول آشکارسازی تغییرات، تأثیرپذیری از شرایط محیطی و دستگامی است. این امر موجب تشخیص نادرست یکسری از پیکسل‌ها در فرآیند آشکارسازی تغییرات می‌گردد. بدین منظور، در این پژوهش یک روش آشکارسازی تغییرات کاربری اراضی با استفاده از الگوریتم نگارنده زاویه طیفی، فنون هسته مبنای و الگوریتم پیشینه‌سازی امید در تصاویر فراطیفی پیشنهاد شده است. در ابتدا یکسری داده آموزشی به‌منظور بهینه نمودن پارامترهای هسته در طی یک فرآیند خودکار توسط الگوریتم نگارنده زاویه طیفی و الگوریتم پیشینه‌سازی امید ریاضی استخراج می‌گردد. در ادامه، داده از فضای تصویر به فضای هیلبرت توسط الگوریتم هسته پایه نگارنده زاویه طیفی انتقال می‌یابد. نهایتاً، نقشه تغییر با استفاده از الگوریتم پیشینه‌سازی امید ریاضی به‌دست می‌آید. از مهم‌ترین مزایای این روش: خودکار بودن، عدم نیاز به تنظیم پارامترهای دانش مبنای، نرخ کم هشدارهای اشتباه و دقت بالا و حجم پایین محاسبات می‌توان اشاره نمود. برای بررسی توانایی روش پیشنهادی، تصاویر ابرطیفی دریافت شده از مزارع کشاورزی هرمیستن واقع در آمریکا توسط سنجنده هایپریون استفاده و مورد ارزیابی قرار گرفته است. نتایج به‌دست آمده نشان‌دهنده بهبود قابل توجه آشکارسازی تغییرات با به‌کارگیری روش پیشنهادی در مقایسه با مدل استاندارد نگارنده زاویه طیفی است، به طوری که دقت کلی بالای ۹۴٪، ضریب کاپا ۰/۸۴، نرخ هشدارهای اشتباه کلی کمتر از ۶٪ و هزینه محاسباتی و زمانی نسبتاً پایین حکایت می‌کند.

**کلیدواژه‌ها:** تصاویر فراطیفی، آشکارسازی تغییرات، هسته مبنای، طبقه‌بندی پیشینه‌سازی امید، نگارنده زاویه طیفی.

\*نویسنده مکاتبه کننده: خیابان کارگرشمالی، دانشکده مهندسی نقشه برداری و اطلاعات مکانی، پردیس دانشکده‌های فنی، دانشگاه تهران

تلفن: ۰۲۱-۶۱۱۱۴۵۲۵

## ۱- مقدمه

از پیدایش سنجش از دور تاکنون، سنجنده‌های متنوعی برای اخذ داده از زمین و محیط‌زیست به کار گرفته شده است. این تنوع داده باعث توجه بیشتر محققان به تحلیل داده‌های سنجش از دوری و به تبع آن به کارگیری سنجش از دور در حوزه‌های مختلفی شده است. با پیشرفت تکنولوژی، امکان ساخت سنجنده‌هایی با توان تفکیک مکانی، زمانی، طیفی، رادیومتریکی بالا فراهم گردیده است، که امکان تحلیل دقیق‌تر اشیاء و پدیده‌های زمینی را به وجود آورده است [۱]. یکی از مهم‌ترین پیشرفت‌های چشمگیر در زمینه سنجنده‌های سنجش از دور، ساخت سنجنده‌های فراطیفی با قابلیت اخذ تصویر با توان تفکیک طیفی بالا (صدها باند طیفی با طول موج باریک) است [۱، ۲، ۳]. افزایش تعداد باندهای طیفی، اطلاعات بیشتری در زمینه شناسایی و طبقه‌بندی پوشش زمینی عوارض و موارد مشابه را فراهم آورده است. با وجود این سنجنده‌ها امکان تشخیص و تمایز عوارض مختلف حتی با وجود شباهت‌های زیاد امکان پذیر شده است [۲، ۴ و ۵]. از این رو مطالعات گسترده‌ای روی تصاویر فراطیفی در حوزه‌ها و کاربردهای مختلفی مانند: شناسایی اهداف، طبقه‌بندی، شناسایی ناهنجاری و آشکارسازی تغییرات انجام گرفته است [۵]. در این بین یکی از کاربردهای اصلی تصاویر فراطیفی که در چند دهه اخیر مورد توجه محققان بوده است؛ آشکارسازی تغییرات است.

آشکارسازی تغییرات عبارت است از مجموعه پردازش‌هایی که تغییرات یک شی یا یک عارضه و یا به طور کلی یک محیط جغرافیایی را نسبت به زمان‌های مختلف شناسایی می‌کند [۶]. آشکارسازی تغییرات به طور وسیعی در حوزه‌های مختلف مطالعات علوم زمین کاربرد دارد که شامل: پایش توسعه شهری، پایش جنگل‌ها، جلوگیری از وقوع

فاجعه، به روزرسانی نقشه‌های تغییرات کاربری اراضی و مدیریت بهینه استفاده از منابع است [۷، ۸، ۹ و ۱۰]. در تصاویر سنجش از دوری این تغییرات که به صورت تغییر در ویژگی‌های بافتی، شکل و یا درجات خاکستری نمایان می‌شوند، عمدتاً مربوط به تغییرات کاربری و پوشش زمین است [۶]. اگرچه عوامل دیگری مانند؛ اثرات اتمسفری، وجود نویز، تفاوت زاویه تابش خورشید و اثرات فصلی هم باعث تغییرات در تصاویر چندزمانه سنجش از دوری می‌شوند [۴، ۱۱ و ۱۲]. اما با یکسری پیش پردازش‌ها یا پس پردازش‌هایی می‌توان اثر این عوامل را بر نتایج آشکارسازی تغییرات کاهش داد.

تغییرات مربوط به خصوصیات بیوفیزیکی و پوشش اراضی از جمله تغییراتی هستند که به طور مستقیم و غیرمستقیم بر زندگی جامعه بشری تاثیر قابل توجهی می‌گذارند. بنا به گزارشات و تحقیقات پیشین، این تغییرات تاثیر زیادی بر محیط زیست، اقتصاد و مسائل اجتماعی گذاشته است. به طور مثال تبدیل جنگل‌ها و مزارع کشاورزی به منظور توسعه شهری باعث شده تا حجم محصولات غذایی با کیفیت و محصولات چوبی کاهش یافته و به تبع آن چرخه اقتصاد با یک عامل مخرب روبرو شود. فرسایش و شوری خاک، کویرزایی و سایر مشتقاتی نمونه‌ای از اثرات منفی این تغییرات در عرصه محیط زیست هستند. از نقطه نظر اجتماعی؛ توسعه شهری به حدی پیشروی کرده است که برخی جوامع روستایی هویت اجتماعی خود را از دست داده‌اند. بنابراین اولین کاری که در این زمینه بایستی انجام داد، آشکارسازی تغییرات است [۱۳، ۱۴، ۱۵، ۱۶ و ۱۷].

با توجه به اهمیت آشکارسازی تغییرات در شناسایی تغییرات کاربری زمین و پوشش اراضی لازم است این امر با دقت بالایی انجام گیرد [۱ و ۴]. از طرفی با پیشرفت فن‌آوری امکان اخذ داده با حد تفکیک مکانی، طیفی، زمانی و رادیومتریکی بالا میسر شده است.

به تبع آن کیفیت و کمیت داده آموزشی باعث شده تا از محبوبیت این روش کاسته شود.

در سال ۲۰۱۳ وو و همکاران روشی نظارت شده ارائه دادند که در آن با استفاده از پیکسل‌های زمان اول، امضای طیفی و اطلاعات همسایگی هر یک از مناظر مرتبط با آن پیکسل؛ بردار تغییر مربوط به هر پیکسل و به تبع آن نقشه تغییرات تولید می‌شد [۲۰]. این روش، نیاز به انتخاب حدآستانه مناسب به منظور تولید نقشه تغییرات دارد. در کاربردهای واقعی آشکارسازی تغییرات به دست آوردن یک حدآستانه مناسب که بتواند تمامی تغییرات را شناسایی کند، کار مشکلی است. علاوه بر آن تأثیرپذیری این روش در برابر شرایط دستگاهی و محیطی کاملاً مشهود است. در سال ۲۰۱۴ لو و همکاران روش مبتنی بر الگوریتم شبه نظارت متریک فاصله‌ای آشکارسازی تغییرات<sup>۲</sup> جهت آشکارسازی تغییرات ارائه دادند. در این روش پس از یادگیری متریک فاصله‌ای، نواحی تغییر و بدون تغییر قابلیت تفکیک پذیری پیدا می‌کنند [۲۱]. زمان محاسباتی بالا و مشکلات مربوط به اخذ داده آموزشی بین تصاویر چندزمانه باعث شده تا از محبوبیت این روش کاسته شود.

در سال ۲۰۱۵ پلازا و همکاران یک روش آشکارسازی تغییرات مبتنی بر اختلاط طیفی ارائه کرده‌اند، این روش ابتدا با کنار هم گذاشتن هر دو داده چند زمانه ابرطیفی عضوهای پایانی توسط الگوریتم هایسیم<sup>۳</sup> تخمین زده می‌شود و سپس برای هر داده چند زمانه عضوهای پایانی توسط الگوریتم ان-فایندر<sup>۴</sup> یا سیسال<sup>۵</sup> استخراج می‌شود. در مرحله بعد با به کارگیری الگوریتم‌های جداسازی خطی کمترین مربعات با

صحت و کیفیت خروجی محصولات سنجش‌ازدوری وابسته به کیفیت و نوع داده جمع‌آوری شده و همچنین کارایی روش پردازشی است. از این رو به منظور پردازش این داده‌ها و تولید نقشه‌ها و لایه‌های اطلاعات مکانی دقیق و با صحت بالا، ارائه روش‌های مناسب و جدید امری اجتناب‌ناپذیر است. به‌طور کلی تاکنون روش‌های مختلفی برای آشکارسازی تغییرات با استفاده از تصاویر فراطیفی توسعه داده شده است که در ادامه سعی می‌شود هر کدام از این روش‌ها به‌طور خلاصه ارائه شوند

در روشی که توسط برونزه و همکاران در سال ۲۰۱۲ منتشر شده، اتوماتیک بودن سطح اتوماسیون (انتخاب حدآستانه بهینه) به کمک الگوریتم‌های پیشینه امید و تحلیل بردار تغییرات انجام گرفته است [۱۸]. اگرچه این روش در یک چارچوب نظارت نشده انجام می‌گیرد، اما در فرآیند انتخاب حدآستانه به یک هیستوگرام شفاف نیاز دارد. همانطور که می‌دانید در تصاویر سنجش از دوری، به دلیل پیچیدگی عوارض موجود در منطقه مورد مطالعه، شرایط محیطی و عوامل دستگاهی، همیشه هیستوگرامی شفاف از نواحی تغییر و بدون تغییر وجود ندارد. این مساله موجب عدم انتخاب حدآستانه بهینه و در نتیجه پایین آمدن دقت آشکارسازی تغییرات می‌گردد.

وو و همکاران در سال ۲۰۱۲ روشی ارائه دادند که در آن با استفاده از داده‌های آموزشی (شامل پیکسل‌های تغییر و بدون تغییر) و الگوریتم برآوردگر همدوسی‌های انطباقی<sup>۱</sup>، آشکارسازی تغییرات انجام می‌گرفت. در این روش برای کاهش تعداد باندهای تصاویر فراطیفی و به تبع آن کاهش اثر پدیده هیوز از الگوریتم تحلیل مؤلفه اصلی استفاده نمودند [۱۹]. نیاز به داشتن داده آموزشی و

<sup>۲</sup> Semi supervised Distance Metric for Change Detection (SSDM-CD)

<sup>۳</sup> Hysime

<sup>۴</sup> N-finder

<sup>۵</sup> Sisal

<sup>۱</sup> Adaptive Coherence/Cosine Estimator (ACE)

داده مورد استفاده چنین پیش‌فرض‌هایی را نداشته باشد، نتایج حاصل جوابگوی نیازهای کاربردی نخواهد بود [۲۵ و ۲۶].

با توجه به چالش‌ها و مشکلات آشکارسازی تغییرات، نیاز به داشتن یک روش آشکارسازی تغییرات که بتواند چالش‌های ذکر شده را به حداقل ممکن برساند، امری اجتناب‌ناپذیر است. بدین منظور پژوهش حاضر در نظر دارد، یک چارچوب جدید آشکارسازی تغییرات را ارائه دهد که بتواند چالش‌های موجود در آشکارسازی تغییرات را به حداقل برساند. علاوه بر آن در نظر دارد، پتانسیل و ظرفیت نگارنده زوایه طیفی هسته مینا را با به‌کارگیری تصاویر فراطیفی مورد بررسی قرار دهد. این روش در دسته‌بندی روش‌های متدوال آشکارسازی تغییرات؛ در گروه ترکیبی قرار می‌گیرد. روش پیشنهادی بر اساس به‌کارگیری چند مرحله‌ای الگوریتم هسته مینای نگارنده زوایه طیفی و طبقه‌بندی تصویر با بیشینه‌سازی امید در یک چارچوب بدون نظارت انجام می‌شود. در بخش‌های بعدی جزئیات روش پیشنهادی بیشتر تشریح خواهد شد. این مقاله در پنج بخش سازمان‌دهی شده است: بخش اول مقدمه است که بیان شد؛ 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.

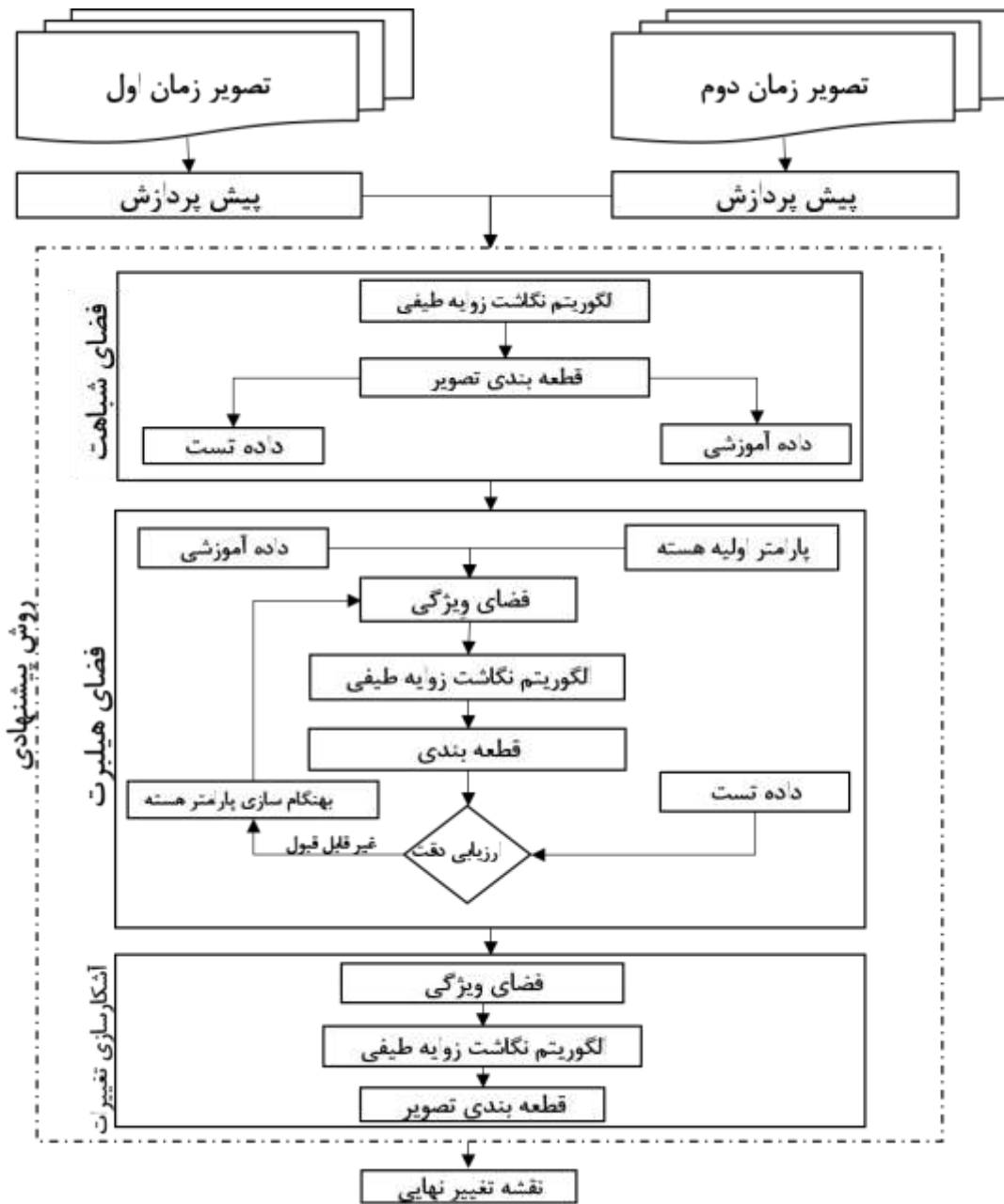
## ۲- روش پیشنهادی

این بخش به تشریح جزئیات ساختار روش پیشنهادی می‌پردازد. مطابق با فلوچارت شکل (۱)، ساختار روش پیشنهادی ارائه شده است، که شامل الگوریتم‌های نگارنده زوایه طیفی و طبقه‌بندی تصویر با بیشینه‌سازی امید است. مطابق این الگوریتم داده پس از انجام پیش‌پردازش‌های لازم وارد فضای شباهت می‌شود.

قیود کامل، بردار فراوانی محاسبه و نهایتاً اطلاعات تغییر با مقایسه دو بردار فراوانی محاسبه می‌شود [۲۲]. در این روش، مقایسه بردار فراوانی بین دو پیکسل به‌منظور ایجاد نقشه تغییرات به دانش اولیه یک عامل انسانی نیاز دارد. همچنین وجود نویز و شرایط جوی باعث ایجاد اثرات منفی روی تحلیل اختلاط طیفی می‌گردد، که در نتیجه آن دقت آشکارسازی تغییرات پایین می‌آید.

به‌طور کلی روش‌های آشکارسازی تغییرات را می‌توان در پنج گروه: روش‌های شباهت مینا، روش‌های تبدیل مینا، روش‌های پس طبقه‌بندی، روش‌های طبقه‌بندی مستقیم و روش‌های نوین و ترکیبی تقسیم‌بندی کرد [۶ و ۱۲]. هرکدام از این روش‌ها دارای مزایا و معایبی است که بسته به کاربرد و شرایطی پیشنهاد شده‌اند. اما به‌طور کلی این روش‌ها در آشکارسازی تغییرات با تصاویر فراطیفی دارای معایبی مانند نیاز به داده آموزشی، وابستگی به نویز و شرایط اتمسفری، عدم استفاده از خصوصیات ذاتی تصویر فراطیفی، نیاز به تعیین حد آستانه بهینه، انتخاب باندهای بهینه، حجم بالای محاسبات، نیاز به تنظیم پارامترها مبتنی بر دانش بشری، اختلاط پیکسل‌های تغییر و بدون تغییر اشاره نمود [۶، ۱۲، ۲۳ و ۲۴].

الگوریتم نگارنده زوایه طیفی، یکی از متدوال‌ترین الگوریتم‌های سنجش‌ازدوری است که به وفور در تحلیل داده‌های فراطیفی مورد استفاده قرار می‌گیرد. به‌دلیل حساسیت بالای این روش به کیفیت داده ورودی، در استفاده از این روش، پیش‌فرض خاصی (ارائه داده با کیفیت بسیار مطلوب) در نظر گرفته می‌شود. به‌عبارت دیگر وجود یکسری عوامل مانند نوفه و تاثیرات جوی در داده، جواب نهایی مساله را تحت تاثیر قرار می‌دهد. در صورتی که

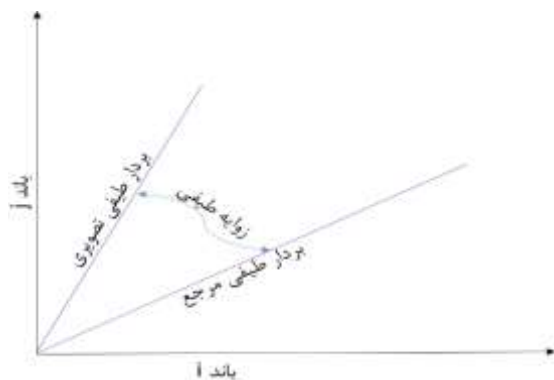


شکل ۱: فلوچارت روش پیشنهادی

استخراج می‌شود. این داده آموزشی، وارد فضای ویژگی شده و برای یافتن پارامتر بهینه هسته مورد ارزیابی قرار می‌گیرد. مقادیر بهینه پارامترهای هسته با استفاده از الگوریتم جست‌وجوی شبکه‌ای<sup>۱</sup>

در ابتدا، نواحی تغییر و بدون تغییر، توسط الگوریتم نگارنده زوایه طیفی پیش‌بینی شده سپس هر پیکسل توسط الگوریتم پیشینه‌سازی امید، تصمیم‌گیری و به یکی از دو کلاس تغییر و بدون تغییر تفکیک می‌شود. در مرحله بعد، به منظور تعیین پارامترهای بهینه هسته، یکسری داده آموزشی از نقشه تغییر اولیه

<sup>۱</sup> Grid Search



شکل ۲: الگوریتم نگارنده زاویه طیفی

## ۲-۲- اصول هسته

استفاده از روش‌های هسته مینا در تشخیص الگو و یادگیری ماشین، به علت بهبود نتایج به طور چشمگیری افزایش یافته به طوریکه؛ این امر موجب گردیده، در بسیاری از تحلیل‌های سنجش از دوری از جمله: آشکارسازی تغییرات، کاهش ابعاد، شناسایی اهداف، شناسایی ناهنجاری، پایش تخریب و طبقه‌بندی مورد توجه قرار گیرد [۳۰، ۳۱ و ۳۲]. در مواردی که مرز تصمیم‌گیری به صورت خطی جداپذیر نیست، استفاده از توابع هسته باعث می‌شود که مرز تصمیم‌گیری غیرخطی و روابط پیچیده بین داده‌ها، به صورت خطی تفکیک شود (مطابق شکل (۳)) [۲۴ و ۳۰]. این امر با یک نگاهت غیرخطی، با انتقال داده از فضای تصویر به یک فضای دیگری تحت عنوان فضای ویژگی که دارای ابعادی متفاوت از فضای ورودی (فضای تصویر) است، مسیر می‌گردد.

توابع هسته دارای شکل‌های مختلفی است که مهم‌ترین آن‌ها، هسته چندجمله‌ای، هسته خطی و هسته پایه شعاعی است. روابط این هسته‌ها در جدول (۱) به همراه پارامترهای آن نشان داده شده است.

تعیین می‌گردد. پس از تعیین مقدار بهینه پارامتر هسته، تصاویر چندزمانه به منظور آشکارسازی تغییرات به مراحل الگوریتم پیشنهادی وارد می‌شوند و نقشه تغییر نهایی تولید می‌شود. در بخش‌های بعدی به تشریح جزئیات روش پیشنهادی پرداخته شده است.

## ۲-۱- الگوریتم نگارنده زاویه طیفی

الگوریتم نگارنده زاویه طیفی زیرمجموعه از روش‌های شباهت مینا است، که زاویه طیفی بین بردار مرجع و بردار هدف را اندازه‌گیری می‌کند [۲۵ و ۲۶]. الگوریتم نگارنده زاویه طیفی در تحلیل داده‌های سنجش از دوری و پردازش تصویر به وفور استفاده می‌شود. از جمله مهم‌ترین این کاربردها می‌توان به: استروفیزیک<sup>۱</sup>، بینایی کامپیوتر<sup>۲</sup>، مهندسی صنعت<sup>۳</sup>، شناسایی اهداف، طبقه‌بندی، آشکارسازی تغییرات، تصحیح‌های اتمسفری و شاخص ارزیابی کیفیت در عضو پایانی استخراج شده، فشرده‌سازی تصویر و حذف نویز، اشاره داشت [۲۵، ۲۶، ۲۷، ۲۸ و ۲۹]. به علت مستقل بودن زاویه طیفی از طول بردار، این الگوریتم در برابر تابش‌های متفاوت نور خورشید تغییرناپذیر است. زاویه طیفی بین دو بردار مطابق به رابطه (۱) تعریف می‌شود.

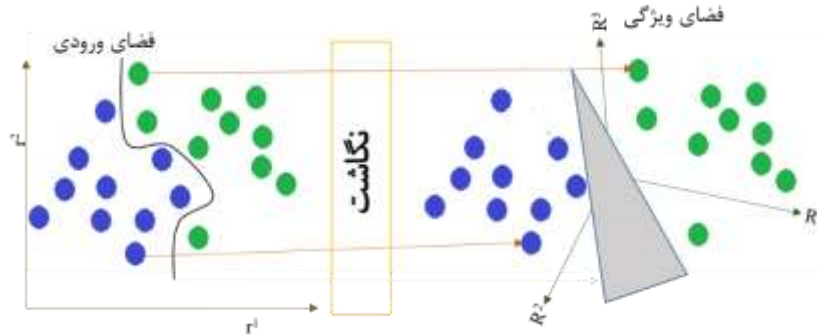
$$\text{رابطه (۱)} \quad SAM_{\alpha} = \cos^{-1} \left( \frac{x_1 \cdot x_2}{|x_1| \cdot |x_2|} \right)$$

که در آن  $x_1$  و  $x_2$  به ترتیب بردار مرجع و بردار هدف است. شکل (۲) زاویه طیفی بین دو بردار را نشان می‌دهد.

<sup>1</sup> Astrophysics

<sup>2</sup> Computer Vision

<sup>3</sup> Industrial Engineering



شکل ۳: نحوه نگاشت داده از فضای ورودی به فضای ویژگی توسط هسته

جدول ۱: انواع توابع هسته پایه و پارامترهای تخمین

نوع هسته	رابطه ریاضی	پارامترهای تخمین	تعداد پارامترها
خطی	$k(x, y) = x^T y$	.	.
چندجمله‌ای	$k(x, y) = (\gamma x^T y + \beta_0)^d$	$d, \gamma, \beta_0$	۳
پایه شعاعی	$k(x, y) = e^{(-\gamma \ x-y\ ^2)}$	$\gamma$	۱

رابطه (۲)  $\varphi: X \rightarrow F, x \rightarrow \varphi(x)$

که در آن  $\varphi$ ، تابع نگاشت،  $F$  فضای ویژگی،  $X$  داده فراطیفی ورودی است. همچنین  $x$  به عنوان عضوی از مجموعه داده فراطیفی  $X$  پس از نگاشت توسط تابع نگاشت به صورت  $\varphi(x)$  در فضای ویژگی در می آید. به منظور تعمیم هسته نگارنده زاویه طیفی به مساله آشکارسازی تغییرات دو داده سنسجش از دوری با  $N$  پیکسل در  $m$  باند طیفی،  $U = \{u_1, \dots, u_N\} \subset R^m$  و  $V = \{v_1, \dots, v_N\} \subset R^m$  در نظر بگیرید. این داده‌ها پس از نگاشت توسط تابع  $\varphi$  به ترتیب به صورت  $\{\varphi(u_1), \dots, \varphi(u_N)\}$  و  $\{\varphi(v_1), \dots, \varphi(v_N)\}$  در می آیند.

از آنجایی که، رابطه ریاضی تابع نگاشت به سادگی قابل پیاده سازی نیست، معمولاً از فرم هسته‌ای (کرنلی) آن استفاده می شود [۲۴]. هسته‌ها می تواند توسط توابع مختلفی تعریف شود، اما رابطه کلی برای دو نمونه  $u_i$  و  $v_j$  (پیکسل  $i$ ام و  $j$ ام از تصویر فراطیفی) مطابق با رابطه (۳) تعریف می شود [۲۵ و ۲۶].

رابطه (۳)  $K(v_i, u_j) = \langle \varphi(v_i), \varphi(u_j) \rangle$

### ۲-۳- هسته نگارنده زاویه طیفی

داده ورودی، توسط تابع نگاشت به یک فضای جدیدی، تحت عنوان فضای ویژگی نگاشت می شود که در آن الگوهای دارای تفکیک پذیری غیرخطی، قابلیت تفکیک خطی می یابند. به منظور درک بهتر مساله تغییر ابعاد، شکل (۳) را در نظر بگیرید. فرض کنید:  $X = (x_1, \dots, x_k)$  یک مجموعه داده فراطیفی با  $k$  پیکسل و  $x$ ، یک پیکسل از داده فراطیفی است. هر کدام از پیکسل های داده  $X$  یک بردار طیفی، با  $m$  تعداد باندهای طیفی است. مجموعه مرجع  $E = (e_1, \dots, e_h)$  را با  $h$  پیکسل در نظر بگیرید؛ که هر کدام از پیکسل های آن، یک بردار طیفی در ابعاد  $1 \times m$  است. مولفه های مجموعه مرجع، کلاس های مدنظر ما هستند که در این پژوهش، کلاس تغییر و بدون تغییر می باشد. می خواهیم مجموعه داده فراطیفی  $X$  را توسط یک تابع غیرخطی  $\varphi$  به فضای ویژگی  $(F)$  نگاشت کنیم. مجموعه  $X$  در فضای ویژگی به یک ماتریسی در ابعاد  $X_{h \times k}$  نگاشت می شود. رابطه (۲) نگاشت غیرخطی از فضای ورودی به فضای ویژگی را بیان می کند.

در رابطه (۶)،  $\theta_i$  پارامتر آمیخته گوسی است. مدل آمیخته گاوسی برای مشاهدات مستقل و هم توزیع، مجموع وزن دار  $k$  مولفه با تابع چگالی گوسی است، که مطابق رابطه (۷) نمایش داده می شود.

$$f(x_i|\mu, \Sigma) = \sum_{i=1}^k \alpha_i \varphi(x_i|\mu_i, \Sigma_i) \quad (7)$$

در رابطه (۷)،  $\varphi(x_i|\mu_i, \Sigma_i)$  تابع چگالی گوسی با پارامترهای  $\Sigma_k$  و  $\mu_k$  مربوط به مولفه  $k$ ام است که از طریق رابطه (۶) به دست می آید. به طور کلی الگوریتم پیشینه سازی امید با ورودی تعداد چگالی گوسی در مدل آمیخته ( $k$ )، میزان خطای برای توقف تکرارها (۴)، هیستوگرام تصویر (H) شروع شده و با خروجی پارامترهای  $(\alpha_1, \dots, \alpha_k, p_1, \dots, p_k)$  پایان می یابد [۳۲ و ۳۳]. مراحل این الگوریتم به صورت زیر است:

(۱) محاسبه امید، احتمال تعلق هر کدام از مشاهدات به مؤلفه  $k$  ام (رابطه (۸)).

$$\varphi(i|x_j, \theta) = \frac{p_i f_i(x_j|\alpha_i)}{\sum_{k=1}^k p_k f_k(x_j|\alpha_k)} \quad (8)$$

(۲) پیشینه سازی امید، در این مرحله پارامترهای مدل آمیخته گوسی به روز رسانی می شود (رابطه (۹)).

$$p_i^{new} = \frac{1}{k} \sum_{j=1}^k \varphi(i|x_j, \theta^{old})$$

$$\mu_i^{new} = \frac{\sum_{j=1}^k x_j \varphi(i|x_j, \theta^{old})}{\sum_{j=1}^k \varphi(i|x_j, \theta^{old})}$$

$$\Sigma_i^{new} = \frac{\sum_{j=1}^k \varphi(i|x_j, \theta^{old}) (x_j - \mu_i^{new})(x_j - \mu_i^{new})^T}{\sum_{j=1}^k \varphi(i|x_j, \theta^{old})}$$

(۳) شرط توقف، زمانی که به شرط توقف برسد، الگوریتم از تکرار خارج می شود (رابطه (۱۰)).

$$\|\theta^{new} - \theta^{old}\| \leq \varepsilon \quad (10)$$

برای مورد خاص آشکارسازی تغییرات، ما دو کلاس تغییر و بدون تغییر داریم، بنابراین تعداد  $k$  برابر دو است. بعد از تعیین پارامترهای مدل برای هر مشاهده، احتمال تعلق به کلاس  $k$  ام محاسبه می شود و پیکسل به کلاسی تعلق می یابد که بیشترین احتمال تعلق را

در این رابطه،  $K$  تابع هسته (در این پژوهش از سه فرم مختلف تابع هسته که در جدول (۱) به آن پرداخته شده، استفاده می شود) و  $\langle \varphi(v_i) \cdot \varphi(u_j) \rangle$  نشان دهنده ضرب داخلی بین دو بردار  $\varphi(v_i)$  و  $\varphi(u_j)$  است. معادله نگارنده زوایه طیفی هسته مبنا برای دو نمونه، بردار طیفی  $v_i$  و  $u_j$  با رابطه (۴) تعریف می شود.

$$\theta_{ij} = \cos^{-1} \left( \frac{K(v_i, u_j)}{K(v_i, v_i) \cdot K(u_j, u_j)} \right) \quad (4)$$

که در آن  $\theta_{ij}$  زاویه بین دو بردار طیفی در فضای ویژگی است.

#### ۲-۴- الگوریتم پیشینه سازی امید

الگوریتم پیشینه سازی امید ریاضی یک روش تکراری به منظور یافتن، برآورد پیشینه درست نمایی برای داده های گمشده (مشاهدات به طور کامل موجود نباشد) است. در حقیقت پیشینه سازی امید یکی از متداول ترین روش هایی است که به منظور برآورد چگالی داده در یک چارچوب بدون نظارت به کار برده می شود [۳۲]. این روش با استفاده از تخمین های اولیه از پارامترهای مدل شروع شده و در تکرارهای بعدی مقادیر این پارامترها به روز می شوند و این کار تا جایی ادامه می یابد که الگوریتم همگرا شود [۳۲ و ۳۳]. در الگوریتم پیشینه سازی مرحله تکراری از دو گام محاسبه امید و پیشینه سازی تشکیل می شود. فرض کنید، ما  $k$  مؤلفه در مدل آمیخته داریم. رابطه تابع چگالی احتمال آمیخته ای به صورت رابطه (۵) است [۳۲ و ۳۳].

$$f(x|\theta) = \sum_{i=1}^k \alpha_i f_i(x|\theta_i) \quad (5)$$

که در آن  $x$  بردار خصوصیات و  $\alpha_i$  وزن آمیخته، تحت شرایط  $\sum_{i=1}^k \alpha_i = 1$  و  $\theta = (\alpha_1, \dots, \alpha_k, \theta_1, \dots, \theta_k)$  و  $f_i$  توزیع چگالی پارامتری شده به وسیله  $\theta_i$  است [۳۲ و ۳۳].

$$P(x|\theta_i) = e^{-\frac{1}{2\sigma^2}(x-\mu_i)^2} \quad (6)$$



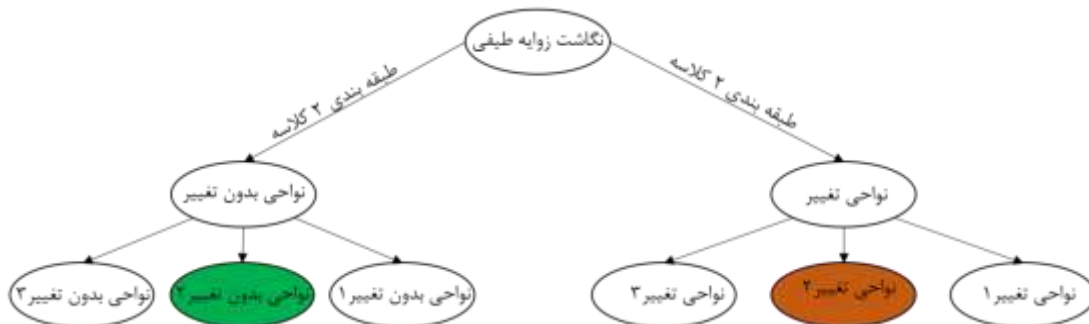
به دلیل اینکه، در الگوریتم پیشنهادی، امید، کلاس‌ها برحسب مقادیر پیش‌بینی شده توسط الگوریتم نگارنده زوایه طیفی برچسب می‌گیرند، بنابراین داده آموزشی، از کلاسی دارای برچسب دو، از مرحله قبل، انتخاب می‌شود.

علت انتخاب کلاس وسطی، افزایش اعتمادپذیری در انتخاب داده آموزشی است. افزایش اعتمادپذیری از دو عامل نشأت می‌گیرد: (الف) کلاس نویز که معمولاً در ابتدا و انتهای هیستوگرام ایجاد می‌گردد و بنابراین انتخاب کلاس وسطی باعث عدم تاثیرپذیری این کلاس از نویز می‌شود و (ب) به علت آمیخته شدن قله‌های هیستوگرام کلاس تغییر و بدون تغییر انتخاب حدآستانه با دقت پایینی انجام می‌گردد. بنابراین انتخاب کلاس دومی، به علت روند انتخاب حدآستانه باعث، مرتفع نمودن اثرات این عوامل می‌شود. پس از انجام مراحل فوق نمونه‌های آموزشی با درصد اطمینان بالاتری به منظور یافتن پارامترهای بهینه هسته وارد فرآیند می‌شود. شکل (۴) نحوه انتخاب داده آموزشی را ارائه می‌دهد.

داشته باشد. سپس برای آن پیکسل برچسب اختصاص داده می‌شود [۳۲ و ۳۳].

## ۲-۵- انتخاب داده آموزشی

هدف از اجرای این بخش انتخاب داده آموزشی جهت تعیین پارامترهای هسته انتخابی است. وجود برخی عوامل از جمله: مقادیر نویزی، شرایط اتمسفری و عدم شفافیت قله‌های نواحی تغییر و بدون تغییر در هیستوگرام و آمیخته شدن این قله‌ها، باعث می‌شود که نمونه‌های انتخابی بعد از آستانه‌گذاری از قطعیت کمتری برخوردار باشند. بنابراین به منظور افزایش قطعیت و اعتمادپذیری داده آموزشی، انتخاب داده آموزشی به اساس چهار مرحله می‌باشد: (۱) تهیه نقشه اولیه در دو کلاس تغییر و بدون تغییر توسط الگوریتم نگارنده زوایه طیفی و مدل آمیخته گوسی. (۲) استخراج پیکسل‌های تغییر و بدون تغییر از خروجی الگوریتم نگارنده زوایه طیفی در دو کلاس مجزا. (۳) به کارگیری مجدد الگوریتم طبقه‌بندی بر روی پیکسل‌های هر کدام کلاس‌های مرحله قبل (تغییر و بدون تغییر) و ایجاد سه کلاس. (۴)



شکل ۴: نحوه انتخاب داده آموزشی

به دست آمده به منظور آشکارسازی تغییرات وارد مرحله بعد می‌شود.

## ۳- منطقه و داده فرایینی مورد مطالعه

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

داده انتخاب شده به دو بخش تست و آموزشی تقسیم می‌شوند. در ابتدا توسط الگوریتم جست و جوی شبکه‌ای پارامترهای هسته بهینه می‌شوند. مقادیر بهینه پارامترهای هسته با اجرای کامل الگوریتم جست و جوی شبکه‌ای انجام می‌گیرد. برای مقادیری از پارامترها، که دقت کلی دارای بیشترین مقدار است به عنوان مقادیر بهینه در نظر گرفته می‌شود. سپس پارامترهای

مقایسه آن‌ها با سایر روش‌ها بیشتر توضیح داده خواهد شد.

#### ۴-۱- پیش‌پردازش داده فراطیفی

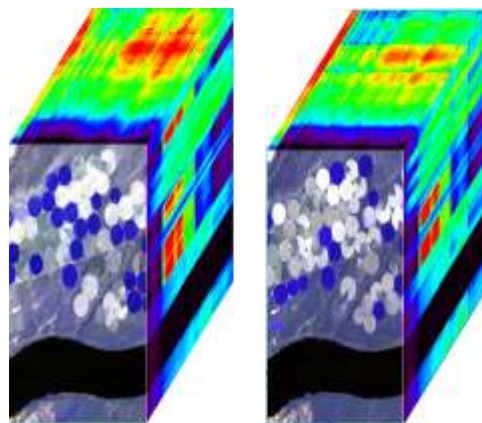
تصاویر فراطیفی اخذشده توسط سنجنده هایپریون، به‌علت وجود شرایط محیطی و دستگاہی نیاز به یکسری پیش‌پردازش دارند. این پیش‌پردازش‌ها در دو سطح انجام می‌گیرد و شامل پیش‌پردازش‌های هندسی و طیفی است. پیش‌پردازش‌های طیفی مربوط به مقادیر درجه خاکستری است و شامل: حذف جابجایی یک پیکسل، حذف باندهای بدون داده، حذف اثرات نوار شدگی و نویز، تصحیح اثر انحنای طیفی، تبدیل رادیومتریکی، تصحیح اتمسفری و نرمالیزه کردن داده در بازه صفر و یک است [۳۵ و ۳۶]. نرمالیزه کردن باعث می‌شود که تأثیر باندهای با محدوده عددی بالاتر بر باندهای با محدوده‌ی عددی کوچک‌تر کمتر شده و همچنین باعث کمینه شدن اثرات نویز بر روی نتایج می‌شود. تصحیحات اتمسفری به کمک ماژول فلش<sup>۲</sup> در نرم افزار انوی انجام شده است. پیش‌پردازش‌های مکانی مربوط به موقعیت مکانی پیکسل‌ها است، که برای این منظور از تصحیح هندسی نسبی استفاده نمودیم. نقاط متناظر در دو تصویر به‌صورت دستی شناسایی می‌شود و یک تصویر به‌عنوان مرجع و تصویر دیگر نسبت به تصویر مرجع ثبت هندسی می‌شود. روش باز نمونه‌برداری به‌کار رفته در این پژوهش به صورت دورنیایی خطی می‌باشد. میزان خطای ریشه میانگین مربعات خطا<sup>۳</sup> تصحیح هندسی برای داده‌های استفاده‌شده، حدود ۰/۴ پیکسل است.

#### ۳-۱- داده فراطیفی

سنجنده هایپریون بروی روی ماهواره EO-1<sup>۱</sup> قرار دارد و از نوع فضا برد است. مشخصات این سنجنده در جدول (۲) آمده است.

#### ۳-۲- منطقه مطالعاتی

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 سه سال از مزارع هرمیستن واقع در آمریکا توسط سنجنده هایپریون اخذ شده است. این داده در تاریخ‌های ۷-اردیبهشت-۱۳۸۳ و ۳-اردیبهشت-۱۳۸۶ اخذشده و ابعاد آن ۳۰۸×۲۴۱ است (شکل (۵)).



شکل ۵: نمایش ترکیب رنگی کاذب داده فراطیفی که به ترتیب در سال‌های ۱۳۸۳ و ۱۳۸۶

#### ۴- پیاده‌سازی و ارائه نتایج

به‌منظور ارزیابی دقت و مقایسه الگوریتم پیشنهادی با سایر روش‌های متداول در آشکارسازی تغییرات از تصاویر فراطیفی استفاده شده است. برای نیل به این هدف داده، لازم است یکسری از پیش‌پردازش‌ها بر روی تصاویر فراطیفی صورت گیرد [۳۴ و ۳۵]. در قسمت‌های بعدی در مورد جزئیات این پیش‌پردازش‌ها، نتایج به‌کارگیری الگوریتم پیشنهادی و

<sup>۲</sup> FLAASH

<sup>۳</sup> Root Mean Square Error

<sup>۱</sup> Environment Observation-1

جدول ۲: مشخصات سنجنده فراطیفی هایپریون

پوشش طیفی	توان تفکیک راد یومتریکی	توان تفکیک طیفی	پهنای باند	توان تفکیک مکانی	گستره طیفی
به صورت پیوسته	۱۶ بیتی	۱۰ nm	۵٫۷ کیلومتر	۳۰ متر	۰٫۴ تا ۲٫۵ μm

#### ۴-۲- پیاده سازی و ارائه نتایج

ارزیابی و ارائه نتایج یکی از مهم ترین قسمت های این پژوهش است، برای این منظور در این پژوهش علاوه بر ارزیابی های بصری به ارزیابی های کمی هم پرداخته شده است. جهت تحلیل کمی از شاخص های دقت کلی، ضریب کاپا و نرخ هشدارهای اشتباه استفاده شده است. تمامی پردازش ها در محیط برنامه نویسی ویژوال استودیو سی پلاس پلاس نسخه تولید ۲۰۱۵، با کامپوتری با مشخصات، پردازنده ی هسته ای اینتل، حافظه ۸ گیگ، گرافیک ۲ گیگ ان ویدیا جی فورس و در ویندوز ۶۴ بیتی انجام شده است. جهت انجام پیش پردازش های اشاره شده در قسمت های قبل از نرم افزار انوی ورژن ۵٫۳ استفاده شده است. همچنین در این پژوهش، به منظور مقایسه روش پیشنهادی از انواع روش های متداول در آشکارسازی تغییرات استفاده شده است. این روش ها شامل: شناسایی تغییرات مبتنی بر زیرفضا<sup>۱</sup>، تکنیک شناسایی تغییرات چند متغیره با وزندهی تکراری<sup>۲</sup> و تحلیل بردار تغییرات فشرده<sup>۳</sup> می باشد. روش تحلیل بردار تغییرات فشرده دارای یک پارامتر تنظیم است. مقدار پارامتر تنظیم آن را برابر ۰٫۸۹ قرار داده شد. با توجه به این که روش پیشنهادی یک روش بدون نظارت است؛ بنابراین مقادیر حد آستانه برای دو روش تکنیک شناسایی تغییرات چند متغیره با وزندهی تکراری و شناسایی تغییرات مبتنی بر زیر فضا

توسط الگوریتم اتسو تعیین گردید. با توجه به نتایج ارائه شده در شکل (۶) بیشتر روش ها تمامی تغییرات را استخراج نموده است؛ اما تفاوت روش ها بیشتر در تشخیص های اشتباه است که در شکل (۶) به خوبی نمایان است. با توجه به خروجی های ارائه شده در این شکل روش ها پیشنهادی کارآمدتر از سایر روش ها است. پس از انجام پیش پردازش های اشاره شده در قسمت های قبل الگوریتم پیشنهادی بر روی داده مورد نظر مورد ارزیابی قرار گرفت. مطابق روش پیشنهادی پس از به کارگیری مدل استاندارد نگارنده زاویه طیفی اولین مرحله انتخاب داده آموزشی و تست توسط الگوریتم پیشنهادی است. به منظور کاهش روند محاسباتی از ۳۰۰۰ پیکسل انتخاب شده به طور تصادفی، ۴۰۰ پیکسل به عنوان داده آموزشی تغییر و ۴۱۶ پیکسل به عنوان داده آموزشی بدون تغییر انتخاب شد. پارامترهای هسته، به همراه داده تست توسط الگوریتم جست و جوی شبکه ای بهینه می شود و همچنین مقادیر پارامترهای هسته در جدول (۳) آمده است.

جدول ۳: پارامترهای بهینه هسته

نوع کرنل	پارامتر	مقدار پارامتر
چند جمله ای	$d$	۵
	$\gamma$	۱
	$\beta_0$	$10^{-5}$
پایه شعاعی	$\gamma$	$10^{-6}$

پس از یافتن مقدار بهینه پارامترهای هسته، داده ها به فضای ویژگی انتقال می یابد. در ادامه توسط الگوریتم پیشینه سازی امید ریاضی طبقه بندی می شود. شکل (۶) نتایج خروجی الگوریتم پیشنهادی را به صورت بصری

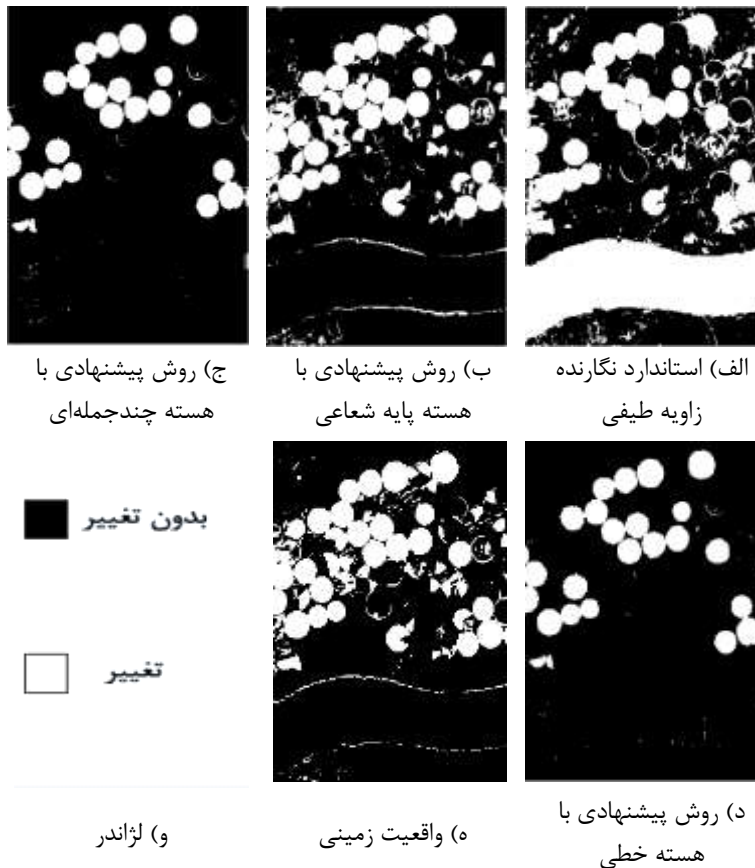
<sup>1</sup> Subspace-based Change Detection

<sup>2</sup> Iterative Reweighted Multivariate Alternative Detection

<sup>3</sup> Compressed Change Vector Analysis

این شکل نواحی رودخانه به صورت اشتباهی ناحیه تغییر توسط الگوریتم شناسایی شده است.

ارائه می‌دهد. شکل (۶-الف) روش مدل استاندارد الگوریتم نگارنده زاویه طیفی را ارائه می‌دهد، مطابق

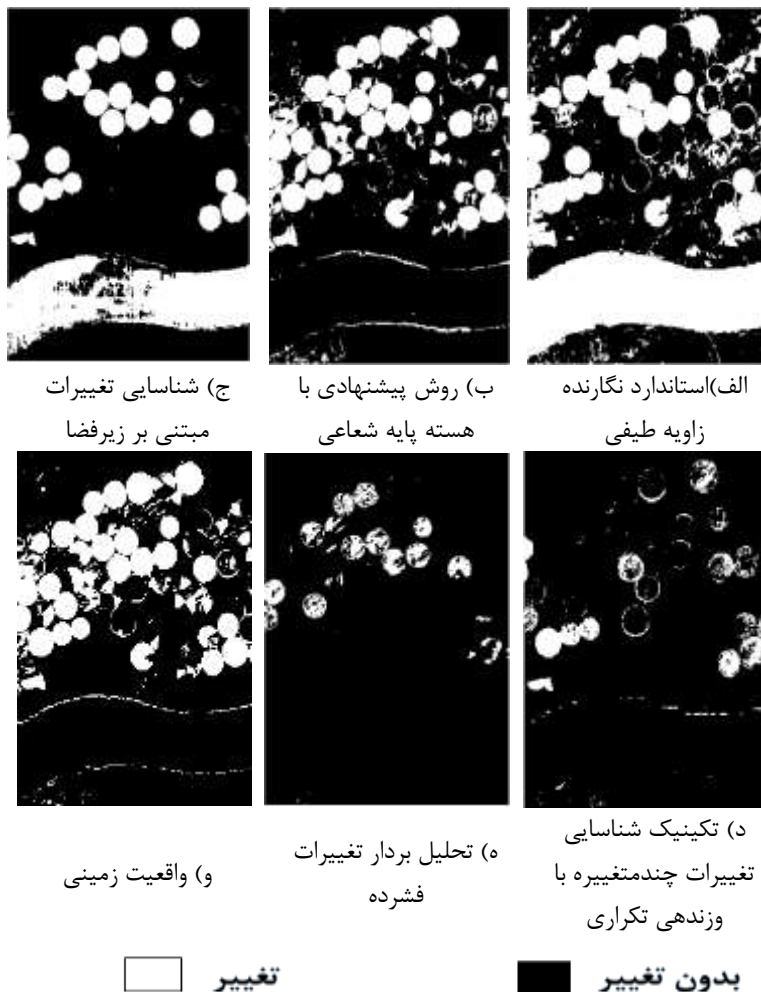


شکل ۶: مقایسه بصری روش پیشنهادی با مدل استاندارد نگارنده زاویه طیفی

الگوریتم پیشنهادی شناسایی شده، فقط تغییرات جزئی شناسایی نشده است. همچنین خروجی این هسته دارای نرخ کم هشدارهای اشتباه، و نواحی رودخانه توسط الگوریتم به طور صحیحی شناسایی شده است.

شکل (۷) روش پیشنهادی با هسته پایه شعاعی را با سایر روش‌های متدوال آشکارسازی تغییرات نمایش می‌دهد. خروجی نمایش داده شده در این شکل حاکی از آن است که الگوریتم پیشنهادی دارای کارایی بالایی نسبت به سایر روش‌های متدوال در آشکارسازی تغییرات دارد این در حالی است که سایر الگوریتم‌ها توانایی تشخیص جزئیات همه تغییرات را نداشتند.

در حالیکه مطابق شکل (۶-ب-ج-د)، که در آن از روش‌های هسته مبنا استفاده شده، این موضوع به‌طور محسوسی نمایان است. در شکل (۶-ب) به‌طور کامل تمامی تغییرات شناسایی شده است و علاوه بر آن در این شکل رودخانه به‌عنوان ناحیه تغییر وارد نشده است. این موضوع نشان دهنده عملکرد بسیار خوب روش پیشنهادی با هسته پایه شعاعی است، به طوری که علاوه بر شناسایی تغییرات پوشش کاربری اراضی دارای نرخ کم هشدارهای اشتباه است. شکل (۶-ج) روش پیشنهادی با هسته چندجمله‌ای و شکل (۶-د) روش پیشنهادی با هسته خطی را ارائه می‌دهد، مطابق این شکل تغییرات اصلی توسط



شکل ۷: مقایسه بصری روش پیشنهادی با دیگر روش‌های متداول آشکارسازی تغییرات

باعث بهبود دقت آشکارسازی تغییرات می‌شود. مدل استاندارد نگارنده زوایه طیفی دارای دقت کلی ۶۸٪ است و این در حالی است که استفاده از روش‌های هسته مینا باعث بهتر شده نتایج شده و دقت کلی به بالای ۹۴٪ رسیده است. همچنین نرخ هشدارهای اشتباه کلی کمتر شده و از ۳۱٪ به ۵٪ رسیده است. هر دوی تحلیل بصری و کمی نشان‌دهنده عملکرد بسیار خوب روش پیشنهادی در مقایسه با سایر روش‌ها را نشان می‌دهد.

به منظور اثبات کارایی روش پیشنهادی و تحلیل دقیق‌تر روش‌های پیشنهادی مورد تحلیل کمی قرار داده شده است. برای این منظور از سه شاخص تحلیل دقت استفاده شده است. جدول (۴) نتایج تحلیل کمی از به کارگیری روش پیشنهادی و مدل استاندارد روش نگارنده زوایه طیفی را نمایش می‌دهد. با توجه به نتایج حاصل، روش پیشنهادی با هسته پایه شعاعی که به صورت برجسته نمایان شده، دارای دقت بالایی نسبت به سایر روش‌ها است. همچنین استفاده از روش‌های هسته مینا

جدول ۴: تحلیل کمی روش پیشنهادی و دیگر روش های متداول

نرخ هشدار اشتباه کلی (%)	شاخص کاپا	دقت کلی (%)	روش آشکارسازی تغییرات
۳۱٫۶۱	۰٫۳۰۹	۶۸٫۳۸۱۷	نگارنده زوایه طیفی استاندارد
۵٫۵۷	۰٫۸۳۹۱	۹۴٫۴۱۱۳	روش پیشنهادی با هسته پایه شعاعی
۱۰٫۱۲	۰٫۶۶۰	۸۷٫۸۸۹	روش پیشنهادی با هسته چندجمله‌ای
۱۰٫۲۶	۰٫۶۵۴	۸۹٫۷۳۵	روش پیشنهادی با هسته خطی
۱۶٫۱۴۷	۰٫۳۰۴	۸۳٫۸۵۳	شناسایی تغییرات چند متغییره با وزندهی تکراری
۱۵٫۴۲	۰٫۴۱۹	۸۴٫۵۷۵	تحلیل بردار تغییرات فشرده
۲۲٫۱۴۵	۰٫۴۰۰	۷۷٫۸۵۵	شناسایی تغییرات مبتنی بر زیرفضا

چالش‌های موجود در این پژوهش یک روش خودکار آشکارسازی تغییرات به کمک تصاویر فراطیفی ارائه شد که این روش نسبت به مدل استاندارد آن دارای یکسری ویژگی‌ها است، این ویژگی‌ها شامل (۱) خودکار بودن و عدم نیاز به هرگونه داده آموزشی از سوی کاربر، (۲) پتانسیل و دقت بالای روش پیشنهادی در کشف تغییرات به طوری که قابلیت تشخیص تغییرات جزئی را شامل است، (۳) عدم نیاز به هرگونه تنظیم پارامتر و دانش قبلی، (۴) نرخ کم هشدارهای اشتباه روش پیشنهادی، و (۵) دقت بالای روش پیشنهادی در مقایسه با سایر روش‌های متداول می‌باشد.

##### ۵- نتیجه‌گیری

زمین همواره تحت تأثیر یکسری از فعالیت‌های طبیعی و مصنوعی دستخوش یکسری از تغییرات می‌شود. به‌منظور مدیریت بهینه استفاده از منابع و جلوگیری از وقوع فاجعه‌های زیست‌محیطی، اجتماعی و اقتصادی آگاهی از این تغییرات امری ضروری است که این امر با آشکارسازی تغییرات انجام می‌گیرد. اما مهم‌ترین ملاک در آشکارسازی تغییرات تشخیص به هنگام و دقیق این تغییرات است. استفاده از روش‌های هسته مینا در آشکارسازی تغییرات باعث بهبود قابل توجه نتایج می‌گردد. در قسمت مقدمه این پژوهش به چالش‌های موجود در آشکارسازی تغییرات با تصاویر ابرطیفی اشاره کردیم. به‌منظور مرتفع نمودن

##### مراجع

- [1] A. R. John and J. Xiuping, "Remote Sensing Digital Image Analysis." N. Y. Springer-Verl. Berl. Heidelb., p. 55, 2006.
- [2] H. Grahn and P. Geladi, Techniques and applications of hyperspectral image analysis. John Wiley & Sons, 2007.
- [3] D. Landgrebe, "Hyperspectral image data analysis," IEEE Signal Process. Mag., vol. 19, no. 1, pp. 17-28, 2002.
- [4] M. T. Eismann, "Hyperspectral remote sensing," 2012.
- [5] R. B. Smith, "Introduction to hyperspectral imaging," Microimages Retrieved June, vol. 30, p. 2008, 2006.
- [6] A. Singh, "Review article digital change detection techniques using remotely-sensed data," Int. J. Remote Sens., vol. 10, no. 6, pp. 989-1003, 1989.
- [7] P. R. Coppin and M. E. Bauer, "Digital change detection in forest ecosystems with remote sensing imagery," Remote Sens. Rev., vol. 13, no. 3-4, pp. 207-234, 1996.

- [8] M. Goswami and M. V. Khire, "Land Use and Land Cover Change Detection for Urban Sprawl Analysis of Ahmedabad City using Multitemporal Landsat Data," *Int. J. Adv. Remote Sens. GIS*, p. pp-1670, 2016.
- [9] L. Ma et al., "Object-Based Change Detection in Urban Areas: The Effects of Segmentation Strategy, Scale, and Feature Space on Unsupervised Methods," *Remote Sens.*, vol. 8, no. 9, p. 761, 2016.
- [10] S. Touati, M. Naylor, and I. Main, "Detection of change points in underlying earthquake rates, with application to global mega-earthquakes," *Geophys. J. Int.*, vol. 204, no. 2, pp. 753-767, 2016.
- [11] X. Chen, L. Vierling, and D. Deering, "A simple and effective radiometric correction method to improve landscape change detection across sensors and across time," *Remote Sens. Environ.*, vol. 98, no. 1, pp. 63-79, 2005.
- [12] 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.
- [13] R. Garrard, T. Kohler, M. F. Price, A. C. Byers, A. R. Sherpa, and G. R. Maharjan, "Land Use and Land Cover Change in Sagarmatha National Park, a World Heritage Site in the Himalayas of Eastern Nepal," *Mt. Res. Dev.*, vol. 36, no. 3, pp. 299-310, 2016.
- [14] G. Gutman and V. Radeloff, *Land-Cover and Land-Use Changes in Eastern Europe after the Collapse of the Soviet Union in 1991*. Springer, 2016.
- [15] A. Popp et al., "Land-use futures in the shared socio-economic pathways," *Glob. Environ. Change*, 2016.
- [16] K. Saez de Bikuña, M. Z. Hauschild, K. Pilegaard, and A. Ibrom, "Environmental performance of gasified willow from different lands including land-use changes," *GCB Bioenergy*, 2016.
- [17] E. Ustaoglu, C. P. Castillo, C. Jacobs-Crisioni, and C. Lavallo, "Economic evaluation of agricultural land to assess land use changes," *Land Use Policy*, vol. 56, pp. 125-146, 2016.
- [18] 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.
- [19] C. Wu, L. Zhang, and B. Du, "Targeted change detection for stacked multi-temporal hyperspectral image," in *Hyperspectral Image and Signal Processing (WHISPERS), 2012 4th Workshop on*, 2012, pp. 1-4.
- [20] 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.
- [21] Y. Yuan, H. Lv, and X. Lu, "Semi-supervised change detection method for multi-temporal hyperspectral images," *Neurocomputing*, vol. 148, pp. 363-375, 2015.
- [22] 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.
- [23] 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.
- [24] 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.
- [25] G. Camps-Valls, "A Note on the Kernel Spectral Angle Mapper," *Electron. Lett.*, 2016.
- [26] X. Liu and C. Yang, "A kernel spectral angle mapper algorithm for remote sensing image classification," in *Image and Signal*

- Processing (CISP), 2013 6th International Congress on, 2013, vol. 2, pp. 814–818.
- [27] A. Chen, H. Zhao, and Z. Pei, "Is Time Series Smoothing Function Necessary for Crop Mapping?—Evidence from Spectral Angle Mapper After Empirical Analysis," in *Computer and Computing Technologies in Agriculture IX: 9th IFIP WG 5.14 International Conference, CCTA 2015, Beijing, China, September 27-30, 2015, Revised Selected Papers, Part I*, 2016, pp. 335–347.
- [28] E. Hasan, T. Fagin, Z. El Alfy, and Y. Hong, "Spectral Angle Mapper and aeromagnetic data integration for gold-associated alteration zone mapping: a case study for the Central Eastern Desert Egypt," *Int. J. Remote Sens.*, vol. 37, no. 8, pp. 1762–1776, 2016.
- [29] H. Zhuang, K. Deng, H. Fan, and M. Yu, "Strategies Combining Spectral Angle Mapper and Change Vector Analysis to Unsupervised Change Detection in Multispectral Images," *IEEE Geosci. Remote Sens. Lett.*, vol. 13, no. 5, pp. 681–685, 2016.
- [30] G. Camps-Valls, L. Bruzzone, and others, *Kernel methods for remote sensing data analysis*, vol. 2. Wiley Online Library, 2009.
- [31] M. Fauvel, J. Chanussot, and J. A. Benediktsson, "Evaluation of kernels for multiclass classification of hyperspectral remote sensing data," in *2006 IEEE International Conference on Acoustics Speech and Signal Processing Proceedings*, 2006, vol. 2, pp. II–II.
- [32] M. Fauvel, J. Chanussot, and J. A. Benediktsson, "A spatial-spectral kernel-based approach for the classification of remote-sensing images," *Pattern Recognit.*, vol. 45, no. 1, pp. 381–392, 2012.
- [33] M. A. Mahjoub and others, "Image segmentation by adaptive distance based on EM algorithm," *ArXiv Prepr. ArXiv12041629*, 2012.
- [34] B. Datt, T. R. McVicar, T. G. Van Niel, D. L. Jupp, and J. S. Pearlman, "Preprocessing EO-1 Hyperion hyperspectral data to support the application of agricultural indexes," *IEEE Trans. Geosci. Remote Sens.*, vol. 41, no. 6, pp. 1246–1259, 2003.
- [35] 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.
- [36] H. Li, D. Zhang, Y. Zhang, and Y. Xu, "Research of image preprocessing methods for EO-1 Hyperion hyperspectral data in tidal flat area," *Geoinformatics*, p. 71471G–71471G, 2008.





## Improving Land Cover Change Detection using Kernel Spectral Angle Mapper Approach in Hyperspectral Images

Mehdi Hasanlou<sup>1</sup>, Seyed Teimoor Seydi<sup>2</sup>, Abdoreza Seydi<sup>3</sup>

1- Assistant professor in School of Surveying and Geospatial Engineering, College of Engineering, University of Tehran

2- Ms.c student of Remote Sensing in School of Surveying and Geospatial Engineering, College of Engineering, University of Tehran

3- Ms.c of Computer Science in University PayamNoor Gorgan

### Abstract

Increasing the population and urban development is one of the most important human actions that cause changes on the face of the earth, especially in the developing countries, which is more. This process can cause devastating effects such as social, economic and biophysical. The harmful effects include; loss of agriculture lands, pasture and forest, change the pattern of the water, which somehow is associated with the changing patterns of land use and land cover. Land use and land cover changes as a basic factor in the changes of the Environment Act and converted into crisis. Identifying and evaluating the potential land-use patterns is essential, that if done on timely and with the high precision, it can help the planners and managers of relevant organizations for more conscious decision and making optimum use of resources in order to prevent the crisis. That would only be possible with the change detection. The hyperspectral images, due to having high spectral resolution, improved results of changes detection, provide more details of the changes. The main purpose of this research is to improve the process of land-use changes detection using spectral angle mapper algorithm, expectation maximization based on kernel based with hyperspectral imagery. The most important advantage of this method are as follow: unsupervised, no need to setting parameters of the knowledge basis, high precision and low false alarms rate. To evaluate the ability of the proposed method, hyperspectral imagery received from agricultural fields of Hermiston in the United States that captured by Hyperion sensors were used. The results are a significant improvement with the use of the proposed method for change detection in the standard spectral angle-mapping model compared to the top so that the overall accuracy is 94%, the coefficient Kappa 0.84 and false alarm rates of less than 6%.

**Key words:** Change Detection, Spectral Angle Mapper, Kernel Based, Hyperspectral Images, Expectation-Maximization Segmentation, Land Cover. Logistic Regression