



سینجس از دور

GIS ایران



سنجش از دور و GIS ایران
Iranian Remote Sensing & GIS

سال هفتم، شماره سوم، پاییز ۱۳۹۴
Vol.7, No. 3, Autumn 2015

۸۳-۹۶

ارائه روشی جدید مبتنی بر آنالیز بردار تغییرات جهت بهبود نتایج فرایند آشکارسازی تغییرات

حسین صادقی^{۱*}، علی حسینی پور^۲، روزبه شاد^۳

۱. دانشجوی کارشناسی ارشد سنجش از دور، دانشگاه فردوسی، مشهد
۲. دانشجوی کارشناسی ارشد سنجش از دور و سیستم اطلاعات جغرافیایی، دانشگاه خوارزمی، تهران
۳. استادیار گروه عمران، دانشکده مهندسی، دانشگاه فردوسی، مشهد

تاریخ پذیرش مقاله: ۱۳۹۴/۱۲/۱۸

تاریخ دریافت مقاله: ۱۳۹۴/۳/۱۷

چکیده

امروزه آشکارسازی تغییرات با استفاده از تصاویر ماهواره‌ای، یکی از حوزه‌های اصلی تحقیقات به شمار می‌رود. یکی از مشکلات استفاده از تصاویر ماهواره‌ای خطاهای بی‌شمار در این تصاویر است. خطاهای ناشی از اثر نورپردازی سطح جزء مشکلات اساسی در فرایند آشکارسازی تغییرات است. از این رو، در پژوهش پیش رو، به منظور کاهش خطاهای ایجاد شده در نتایج آشکارسازی تغییرات با استفاده از روش آنالیز بردار تغییرات، روشی ساده و در عین حال مناسب برای کاهش خطاهای ناشی از اثر نورپردازی ارائه شده است. در روش پیشنهادی، پس از اعمال تبدیل Tasseled cap روی تصاویر، جهت بردار تغییرات با راستای بردار پیکسل مربوط به تصویر مبنا در فضای طیفی مقایسه و سپس آستانه‌های زاویه‌ای، برای کاهش خطاهای نورپردازی محاسبه می‌شود. مساحت زیر منحنی ROC و همچنین پارامترهای احتمال تشخیص صحیح در روش پیشنهادی، به ترتیب، ۰/۹۷۰ و ۰/۹۷ است و مقدار False Alarm برای آن ۰/۳۲ به دست آمده است. نیز، مقایسه نتایج روش پیشنهادی با نتایج روش‌های مرسوم آشکارسازی تغییرات دقت بیشتر روش پیشنهادی را نشان داده است.

کلید واژه‌ها: آشکارسازی تغییرات، بردار تغییرات، فضای طیفی، آستانه، اثر نورپردازی

* نویسنده عهده‌دار مکاتبات: مشهد، شهرستان فریمان، شهر فرهادگرد، خیابان امام علی (قله بالا)، کوچه بعد از نانوايي. کدپستی: ۹۳۹۷۱۱۸۹۳۱

۱- مقدمه

آشکارسازی تغییرات با استفاده از تصاویر ماهواره‌ای از آغاز پرتاب نخستین ماهواره‌های سنجش از دور، از مهم‌ترین کاربردهای استفاده از این تصاویر بوده است (Kresse & Danko, 2012). گرفتن تصاویر ماهواره‌ای همواره با خطاهای گوناگون همراه است. بنابراین، برای استفاده از تصاویر مختلف در کاربردهای گوناگون، مراحل پیش‌پردازش اجتناب‌ناپذیر است. آشکارسازی تغییرات و به طور گسترده‌تر پایش تغییرات، به مفهوم استفاده از تصاویر گرفته‌شده در طول زمان برای تعیین تغییرات پدیده‌ها یا اشیا تعریف می‌شود (Singh, 1989). امروزه با گسترش ماهواره‌های گوناگون، امکان استفاده از تصاویر متنوع برای دریافت تغییرات در انواع پدیده‌ها فراهم شده است (Ben-Dor et al., 2013). مهم‌ترین خطاها در تصاویر ماهواره‌ای خطاهای هندسی و خطاهای رادیومتریکی‌اند (Jensen, 1996). خطاهای هندسی، با فرض ناچیز بودن خطاهای دوران زمین، پوششگر سنسور، کرویت زمین، شکست نور، و... فقط به دلیل زمین‌مرجع‌سازی تصاویر ماهواره‌ای ایجاد خواهند شد.

در آشکارسازی تغییرات به منظور کاهش خطای یادشده، معمولاً در ابتدا تصویر مبنایی انتخاب و سپس با دقتی معین، زمین‌مرجع می‌شود. در ادامه، سایر تصاویر به نسبت تصویر مورد نظر هم‌مرجع‌سازی^۱ خواهند شد. بنابراین، خطاهای هندسی موجود در تصاویر، در این دو مرحله پدید می‌آیند. خطای دیگری که در فرایند آشکارسازی تغییرات تأثیر بسیار می‌گذارد، خطای رادیومتریکی است. بحث تصحیحات رادیومتریکی یا تبدیل رادیانس دریافتی در سنسور به بازتابندگی روی سطح زمین، همواره در تصاویر ماهواره‌ای با نوعی عدم قطعیت همراه است. زیرا همیشه نمی‌شود رفتار پیچیده اتمسفر و برهم‌کنش آن با نور خورشید را مدل کرد. از این رو، بسیاری از خطاهای رادیومتریکی که باعث ایجاد خطا در رادیانس دریافتی در سنسور می‌شود، مربوط به اتمسفر است و بخشی دیگر مربوط به هندسه تصویربرداری سنسور و موقعیت خورشید در لحظه تصویر برداری (Jensen, 1996). از جمله خطاهای ایجادشده به دلیل هندسه نورپردازی

سطح، خطای مربوط به توپوگرافی سطح زمین است. خطای مورد نظر به دلیل تغییرات زیاد بردار نرمال بر سطح ایجاد می‌شود. تغییرات بالای بردار نرمال بر سطح بیانگر تغییرات بالای توپوگرافی است که این تغییرات، افزون بر تأثیر در قدرت تفکیک مکانی، میزان انرژی دریافتی در سنسور (رادیانس) را نیز تحت تأثیر قرار می‌دهند. خطاهای بیان‌شده باعث ایجاد تغییرات کاذب در نتایج نهایی آشکارسازی تغییرات می‌شوند. بنابراین، لازم است با به‌کارگیری روش‌های گوناگون این آثار تا حد امکان کاهش یابند. بدین منظور، از آن جهت که محاسبه بازتابندگی در سطح زمین (تصحیح مطلق رادیومتریکی) فرایند پیچیده و هزینه‌بری است و همچنین، در بسیاری از مواقع داده‌های میدانی برای انجام دادن این فرایند وجود ندارند، در آشکارسازی تغییرات معمولاً از تصحیح نسبی رادیومتریکی استفاده می‌شود. در فرایند یادشده یکی از تصاویر مرجع قرار می‌گیرد و تصاویر دیگر (از نظر رادیومتریکی) به نسبت آن نرمال‌سازی خواهند شد (Yange & Lo, 2000). نرمال‌سازی، در واقع، انتقال محدوده مقادیر پیکسل‌های تصویر هدف به محدوده مقادیر پیکسل‌های تصویر مرجع است. برای نمونه، تطبیق هیستوگرام^۲ تصاویر هدف و تصویر مرجع از ساده‌ترین روش‌های نرمال‌سازی به شمار می‌آید. در فرایند تعیین تغییرات به جز روش‌های پیش‌پردازش که در دقت نهایی تأثیر دارند، انتخاب روش مناسب نیز اهمیت خاصی دارد. برای نمونه، در برخی روش‌ها نوعی از نویزها نیز تقلیل می‌پذیرند. (در روش نسبت دو تصویر نویزهای ضرب‌شونده کاهش می‌یابند). همچنین، از دیگر پارامترهای مهم در نتایج نهایی آشکارسازی تغییرات، انتخاب آستانه مناسب است. مرحله آستانه‌گذاری از آن جهت اهمیت دارد که خطاهای فرایند آشکارسازی تغییرات در مرحله پیش‌پردازش به وجود می‌آیند و در مرحله آستانه‌گذاری پدیدار می‌شوند. از این رو، مرحله آستانه‌گذاری نیز ممکن است نقشی اساسی در کاهش خطاهای آشکارسازی تغییرات داشته باشد (Adar et al., 2014).

1. co-registration
2. histogram matching

است (مانند مدل رقومی زمین و ...) و اطلاعات مورد نظر برای بسیاری از صحنه‌ها و نواحی در دسترس نیست، در بسیاری مواقع در فرایند آشکارسازی تغییرات در مرحله پیش‌پردازش، به نرمال‌سازی تصاویر بسنده می‌شود و سپس، تصاویر نرمال‌شده وارد فرایند تعیین تغییرات خواهد شد. این امر از مشکلات اساسی در فرایند آشکارسازی تغییرات به شمار می‌رود، زیرا به علت نبود الگوریتم‌های مناسب، نمی‌شود تأثیر خطاهای گوناگون را به صورت مناسبی کاهش داد. از این جهت، در این تحقیق سعی شده بدون استفاده از اطلاعات جانبی (مانند مدل رقومی با دقت بالا) و با به‌کارگیری مفهوم زاویه بین پیکسل‌های نظیر در فضای طیفی، تا حد امکان تأثیرات توپوگرافی و شرایط نورپردازی کاهش یابد. همچنین، روش محاسبه تأثیرات مذکور به گونه‌ای است که با طبیعت تصاویر ماهواره‌ای کاملاً سازگار است. به عبارت ساده‌تر، در روش پیشنهادی، افزایش تعداد باندهای تصاویر ماهواره‌ای باعث افزایش دقت آن خواهد شد. افزون بر این، چون فرایند آشکارسازی تغییرات از کاربردهای عمده تصاویر ماهواره‌ای به شمار می‌رود و امروزه در حوزه‌های گوناگون برای پایش و تعیین تغییرات از این تصاویر استفاده می‌شود، روش پیشنهادی را می‌شود در مرحله پیش‌پردازش در فرایند آشکارسازی تغییرات به کار برد. همچنین، وجه تمایز روش پیشنهادی در مقایسه با دیگر روش‌های ارائه‌شده در این است که این روش فقط برای تصحیح اثر توپوگرافی و شرایط نورپردازی در فرایند آشکارسازی تغییرات (که از عمده‌ترین منابع خطا هستند) قابل استفاده خواهد بود. بدین جهت، در تحقیق پیش رو به منظور بهبود نتایج آشکارسازی تغییرات در تصاویر سنسور TM ماهواره لندست، نخست تبدیل Tasseled cap روی تصاویر اعمال می‌شود و سپس، روشی جدید براساس ترکیب

شرایط توپوگرافی زمین (شیب و جهت شیب) از پارامترهای مؤثر در تغییر رادینانس دریافتی در سنسور محسوب می‌شوند. تاکنون پژوهش‌هایی برای اصلاح تأثیر توپوگرافی در تصاویر ماهواره‌ای صورت پذیرفته است. برای نمونه، تأثیر نرمال‌سازی توپوگرافی در تصاویر TM ماهواره لندست بررسی شده است (Allen, 2000) و بدین ترتیب، خطای ایجادشده با شرایط توپوگرافی گوناگون در صحنه کاهش داده شده است. از آن جهت که یکی از کاربردهای متداول تصاویر ماهواره‌ای بررسی مناطق گیاهی است (Huang et al., 2010)، با استفاده از تصاویر لندست اثر تصحیح توپوگرافی روی نتایج شاخص NDVI و NPP¹ را بررسی کرده و نشان داده است که این تصحیح بر شاخص NDVI² بسیار تأثیر دارد و اصلاح نشدن آن سبب ایجاد خطای قابل ملاحظه‌ای در نتایج نهایی شاخص مورد نظر خواهد شد. در همین راستا (Gao et al., 2014)، استفاده از روش‌های مختلف تصحیح توپوگرافی روی آنالیزهای گیاهی بررسی و ادعا شده که این تصحیح نتایج را بسیار بهبود می‌بخشد. در پژوهش مورد نظر، روش Minneart+SCS³ با فرض عدم لامبرتین برای عوارض موجود در تصویر، نتایج بهتری ارائه داده است. با وجود پژوهش‌هایی در زمینه حذف آثار توپوگرافی در تصاویر ماهواره‌ای (Gao et al., 2006, Richter et al., 2009)، تاکنون پژوهش‌های بسیار کمی در زمینه تأثیر این خطا روی نتایج آشکارسازی تغییرات انجام گرفته است. برای نمونه، در (Mena & Malpica, 2006) برای بهبود نتایج آشکارسازی تغییرات، فقط تأثیر سایه (یکی از تأثیرات شرایط نورپردازی) در تصاویر ماهواره‌ای با در نظر گرفتن مدل رقومی سطح⁴ تصحیح شده است.

به طور خلاصه می‌شود گفت به‌رغم توسعه روش‌های گوناگون در فرایند آشکارسازی تغییرات، تاکنون تأثیر شرایط توپوگرافی و نیز آثار آن در نتایج فرایند مذکور کمتر مورد توجه قرار گرفته است. از آن رو که برای تعیین دقیق اثر توپوگرافی و همچنین دیگر خطاهای اتمسفری، به اطلاعات جانبی بسیاری نیاز

1. Net primary productivity
2. Normalized Difference Vegetation Index
3. Sun-Canopy-Sensor
4. Digital Terrain Model

شکل ۱ نشان داده شده است. ناحیه مطالعاتی در طول‌های جغرافیایی $36^{\circ} 37' 52''$ ، $36^{\circ} 31' 19''$ شرقی و عرض‌های $59^{\circ} 27' 19''$ تا $59^{\circ} 19' 29''$ شمالی قرار دارد. برای انتخاب منطقه مورد نظر در تصویر اصلی، قسمتی برگزیده شده است که از نظر کنتراست مناسب و نیز، بدون ابر باشد.

۲-۲-۲ روش‌ها

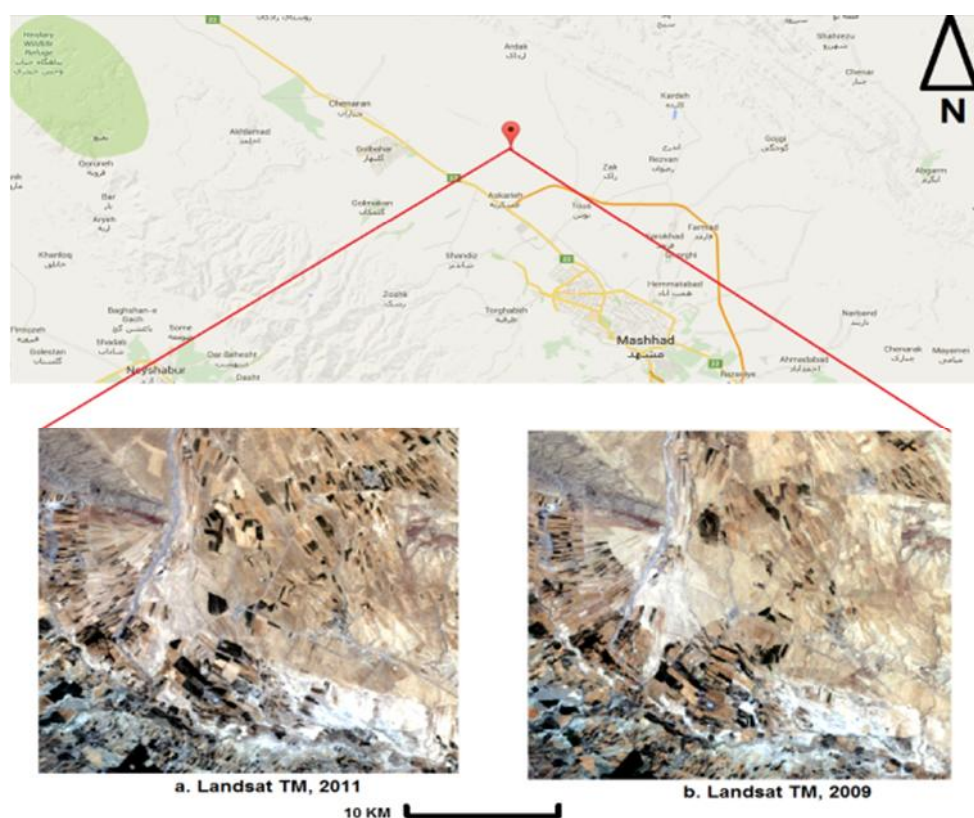
باید گفته شود برای تعیین تغییرات در تصاویر ماهواره‌ای روش‌های گوناگونی ارائه شده است (Ünsalan, 2012). این روش‌ها در دو دسته پیکسل‌مبنا و شی‌مبنا قرار می‌گیرند. روش‌های پیکسل‌مبنا به صورت تحلیل پیکسل‌های متناظر در دو تصویر اعمال می‌شوند، بدین جهت از روش‌های دسته دوم ساده‌ترند، و همچنین کاربردهای گوناگونی دارند (Hussain et al., 2013).

روش‌های زاویه طیفی (Spectral angle) و آنالیز بردار تغییرات^۱ پیشنهاد می‌شود. تبدیل Tasseled cap فقط برای تعیین نوع تغییرات و همچنین، کاهش تعداد باندها به کار می‌رود. در ادامه، طبق روش پیشنهادی، آستانه مناسب نیز معرفی خواهد شد.

۲- مواد و روش‌ها

۲-۱- داده‌های مورد استفاده و منطقه مورد مطالعه

تصاویر به کاررفته در این مقاله مربوط به سنسور TM ماهواره لندست ۵ است. که هر دو در ماه اوت سال‌های ۲۰۰۹ و ۲۰۱۱ گرفته شده‌اند. منطقه مطالعاتی در اطراف شهر مشهد واقع شده که از نظر توپوگرافی شیب‌های مختلفی دارد. این باعث می‌شود خطاهای مربوط به اثر نورپردازی (که مستقیماً وابسته به توپوگرافی سطح است) تا حد زیادی بزرگ باشند. منطقه مطالعاتی مورد نظر در

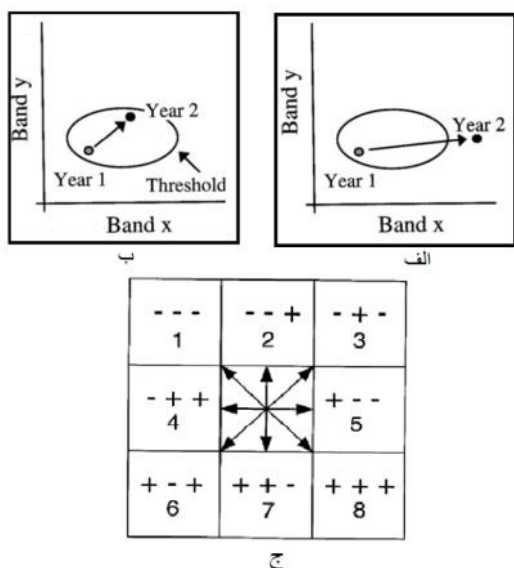


شکل ۱. منطقه مطالعاتی

1. change vector analysis (CVA)

۲-۲-۱- پیش‌پردازش

محاسبه بزرگی تغییرات نیز رابطه (۱) به کار می‌رود.
 رابطه (۱) $CM = \sqrt{\sum_{k=1}^t \sum_{i=1}^m (N_{k1} - N_{ki})^2}$
 در رابطه (۱) N_{ki} باند k ام از تصویر مبنا و N_{k1} باند k ام از تصویر i ام و همچنین، CM تصویر بزرگی تغییرات است.



شکل ۲. مفهوم بردار تغییرات، الف) پیکسل‌های تغییر یافته در فضای ویژگی ب) پیکسل‌های تغییر نیافته در فضای ویژگی ج) مفهوم جهت تغییرات (در فضای سه‌بعدی)

برای اعمال روش بردار تغییرات کافی است که ابتدا اختلاف پیکسل‌های متناظر در دو تصویر به دست آید و سپس، با بررسی آن‌ها (شکل ۲) جهت تغییرات محاسبه شود. در ادامه، با محاسبه بزرگی تغییرات، استفاده از رابطه (۱) و انتخاب آستانه مناسب در آن، نتیجه نهایی با ضرب این تصویر در تصویر جهت تغییرات به دست می‌آید. بنابراین، ملاحظه می‌شود روش بردار تغییرات در عین سادگی، جهت تغییرات را نیز در طول زمان نشان می‌دهد. از آنجا که در روش بردار تغییرات نوع تغییرات مشخص نمی‌شود، این روش معمولاً همراه با تبدیل Tasseled cap به کار می‌رود. همچنین، در بردار تغییرات می‌شود زاویه تغییرات را نیز محاسبه کرد و براساس آن، تحلیل‌های مختلفی روی تصاویر انجام داد.

برای کاهش خطاهای هندسی، نخست دو تصویر با یکدیگر هم‌مرجع شدند. در ادامه، برای کاهش خطاهای رادیومتریکی، دو تصویر با استفاده از روش‌های آماری تصحیح شدند. برای تصحیح رادیومتریکی در اینجا یکی از تصاویر (تصویری که کنتراست بالاتر دارد) مبنا قرار گرفته و تصویر دوم با پارامترهای آماری میانگین و انحراف معیار به نسبت تصویر مبنا، نرمال‌سازی شده است. بدین ترتیب، خطاهای رادیومتریکی بسیار کاهش می‌یابند. در مرحله بعد، برای مقایسه دو تصویر، نخست DN های تصاویر به بازتابندگی در سنسور^۱ تبدیل شده (کالیبراسیون) و سپس، تبدیل Tasseled Cap روی آن دو انجام گرفته است. از آن جهت که در روش آنالیز بردار تغییرات، نوع تغییرات قابل تعیین نیست (برای مثال، تبدیل نواحی گیاهی به نواحی شهری و غیره) و فقط افزایش یا کاهش باندها (افزایش یا کاهش باند/ باندهای خاص در دو تصویر) نمایش داده می‌شود، از تبدیل Tasseled Cap استفاده شده است. از دیگر سو، یکی از مزیت‌های استفاده از این تبدیل کاهش ابعاد تصویر است.

۲-۲-۲- آنالیز بردار تغییرات

روش بردار تغییرات یکی از روش‌های مناسب آشکارسازی تغییرات به شمار می‌رود که می‌تواند علاوه بر تعیین بزرگی تغییرات، جهت آن‌ها را نیز نشان دهد (Malila, 1980). در این روش، از فضای طیفی برای محاسبه جهت تغییرات استفاده می‌شود. مفهوم جهت در روش بردار تغییرات به صورت کاهش یا افزایش طیف یک پیکسل در جهات گوناگون، با در نظر گرفتن تعداد باندها تعریف می‌شود. در شکل ۲ مفهوم جهت تغییرات برای دو باند نشان داده شده است. مطابق شکل ۲، تصویر جهت تغییرات با بررسی علامت اختلاف باندهای متناظر در دو تصویر قابل محاسبه است. بدین ترتیب، برای تعریف جهت تغییرات در تصویری با n باند، 2^n کد یا جهت تغییرات تعریف می‌شود. برای

1. Top of Atmosphere Reflectance

۲-۲-۳- تبدیل Tasseled cap

در استفاده از آنالیز مؤلفه‌های اصلی برای تصاویر، باید دانست که این آنالیز میزان وابستگی بین باندهای تصاویر را مشخص می‌کند و تصویر را به فضایی انتقال می‌دهد که در آن، کمترین وابستگی بین باندها وجود دارد. این تبدیل به صحنه و تصویر وابسته است (Abdi & Williams, 2010). از این رو، تلاش شد تبدیلی معرفی شود که این مشکل را نداشته باشد. به عبارتی، فقط به سنسور وابسته باشد. این تلاش‌ها به معرفی تبدیل Tasseled Cap یا Kauth and Thomas (KT) منجر شد (Kauth & Thomas, 1976). این تبدیل مشابه تبدیل آنالیز مؤلفه‌های اصلی (PCA) تبدیلی خطی است. در این تبدیل، با استفاده از ترکیب خطی باندهای سنسور، چهار باند جدید به دست می‌آید (Huang et al., 2002). به عبارتی، تصویر به فضای چهاربندی منتقل می‌شود. این تبدیل بر مبنای خصوصیات فیزیکی پوشش‌های سطح زمین ارائه شده است. یعنی باندهای تصویر انتقال یافته بر خصوصیات فیزیکی پوشش سطح زمین منطبق‌اند. باندهای پدید آمده در این انتقال با یکدیگر وابستگی ندارند و بنابراین، می‌توانند فضای چهاربندی تشکیل دهند. این باندها شامل Brightness, Greenness, Yellowness, Haze و دو باند Greenness و Brightness مربوط به همبستگی بین دو باند مرئی، و دو باند فروسرخ نزدیک‌اند و به ترتیب، تغییرات میزان سبزی‌نگی گیاهان و تغییرات بازتابندگی خاک پس‌زمینه را نشان می‌دهند. باند Yellowness میزان زردی گیاهان صحنه و باند Haze شرایط اتمسفر (میزان Aerosols / هواویزه) را نشان می‌دهد. برای محاسبه هر باند، نخست بازتابندگی در بالای سطح اتمسفر (TOA Reflectance) محاسبه می‌شود و سپس، این مقادیر برای هر باند سنسور، در ضرایب این تبدیل ضرب می‌شوند (رابطه ۲). برای جلوگیری از مقدار منفی در باندهای این تبدیل، بعد از اعمال هر ضریب برای یک باند، مقدار ثابتی نیز با آن جمع می‌شود تا مقادیر این تبدیل مثبت باشند.

$$U_i = R_i \times X + C_i \quad \text{رابطه (۲)}$$

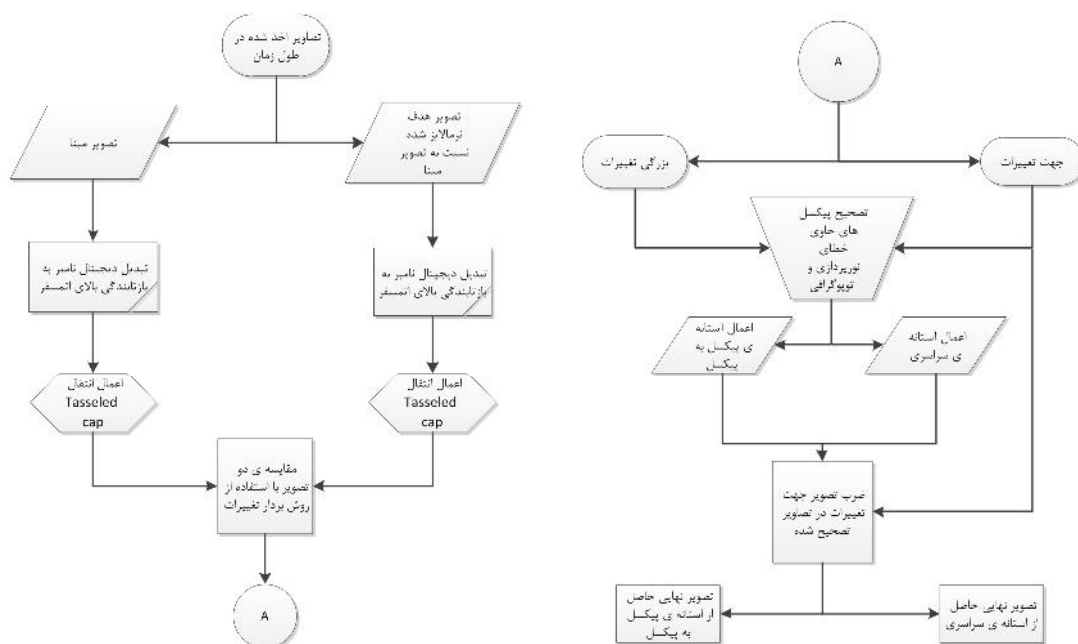
در رابطه (۲)، R_i ضریب تبدیل، X تصویر اولیه، C_i مقدار ثابت برای جلوگیری از مقدار منفی و U_i باند i ام تبدیل Tasseled Cap است. در فرایند آشکارسازی تغییرات به منظور محاسبه تغییرات، بعد از اعمال این تبدیل روی تصاویر مرجع و هدف تصاویر حاصل به طور متناظر از یکدیگر کسر می‌شوند.

۲-۲-۴- روش پیشنهادی

الگوریتم تعیین تغییرات در این تحقیق به صورت فلوجارت ارائه شده در شکل ۳ است. مطابق با شکل مذکور (سمت چپ)، نخست، پس از اعمال مراحل پیش‌پردازش و استفاده از تبدیل Tasseled Cap می‌شود دو تصویر بزرگی و جهت تغییرات را محاسبه کرد، سپس با استفاده از محاسبه آستانه زاویه‌ای (سمت راست)، با استفاده از تصاویر بزرگی و جهت تغییرات، پیکسل‌های دارای خطا مشخص می‌شوند و مقدار آن‌ها صفر قرار داده خواهد شد. در نهایت، تصاویر نتیجه (تصاویر حاصل از اعمال آستانه‌های زاویه‌ای پیکسل به پیکسل و سراسری) در تصویر جهت تغییرات اولیه ضرب می‌شود و در نتیجه، پیکسل‌های دارای خطا از تصویر جهت تغییرات حذف می‌شود و نتایج نهایی به دست می‌آید.

پیش از ارائه جزئیات روش پیشنهادی، لازم است مفهوم فضای طیفی در آنالیز تصاویر ماهواره‌ای بررسی شود. در شکل ۴، طیف‌نگاری دوبعدی^۱ که بیانگر فضای طیفی دوبعدی است، برای تصویر لندست نشان داده شده است. در طیف‌نگار، بزرگی بردار معمولاً ناشی از شرایط مختلف نورپردازی (شرایط توپوگرافی گوناگون و اثر سایه) است و تغییر در نوع پیکسل (تغییر نوع ماده درون پیکسل) باعث دوران بردار آن پیکسل می‌شود (Adams & Gillespie, 2006). برای نمونه، در شکل مورد نظر URB_i پیکسل‌های نواحی شهری را نشان

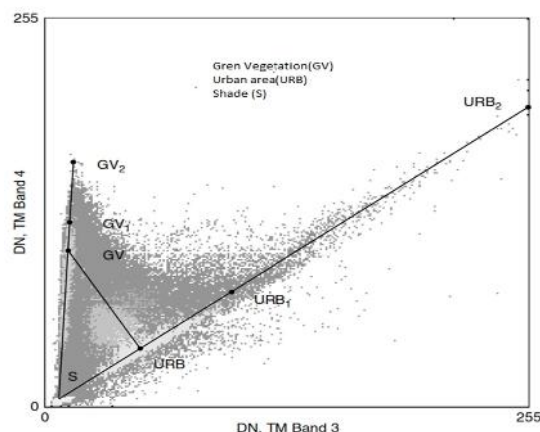
1. 2D scatter plot



شکل ۳. دیاگرام مراحل روش پیشنهادی

به کمک زاویه طیفی، تغییرات واقعی در طول زمان را محاسبه کرد.

بنابراین، مشکل اساسی در روش آنالیز بردار تغییرات (در تصویری که بزرگی تغییرات را نشان می‌دهد) در نظر نگرفتن اثر نورپردازی در پیکسل‌های گوناگون است. به عبارتی، اندازه بردار تغییرات به منزله تغییرات نهایی در نظر گرفته می‌شود. در حالی که تغییرات واقعی در فضای طیفی آن گاه رخ خواهد داد که افزون بر بزرگی بردار تغییرات، زاویه طیفی آن به نسبت راستای بردار پیکسل زمان اول، دچار تغییر شود. در غیر این صورت، تغییر در بزرگی بردار تغییرات یک پیکسل در طول زمان (در فضای طیفی) به دلیل خطاهای مربوط به نورپردازی و شرایط توپوگرافی خواهد بود. بنابراین، اساس تغییر کلاس پیکسلی خاص در تصاویر (در طول زمان)، تغییر در زاویه بردار طیفی آن است. این مفهوم اساس روش پیشنهادی است. برای بیان بهتر روش پیشنهادی، شکل ۵ آورده شده است. در این شکل، T1 پیکسل در تصویر مرجع (زمان اول) و T2 پیکسل متناظر آن در تصویر هدف (زمان دوم) است. $(r2-r1)$ بردار تغییرات و θ_2 میزان دوران زاویه



شکل ۴. مفهوم اثر نورپردازی در تغییر اندازه بردار طیفی

می‌دهند که از نظر اثر نورپردازی با یکدیگر اختلاف دارند ولی همگی بیانگر نواحی شهری‌اند. برای تغییر نوع پیکسل، لازم است بردار پیکسل در فضای طیفی دوران یابد. به عبارتی دیگر، مطابق شکل ۴ پیکسل‌های نواحی گیاهی (GV1) و شهری (URB1) فقط از لحاظ زاویه طیفی با یکدیگر اختلاف دارند و از نظر بزرگی بردار، یکسان‌اند. با این توضیح، در صورتی که محورهای طیف‌نگار، باندهای متناظر در تصاویر مبنا (تصویر زمان اول) و هدف (تصویر زمان دوم) انتخاب شوند، می‌شود

مثلثات و همچنین، مشخص بودن مقدار r_1 ، محاسبه کرد. همان‌طور که مشخص است، با توجه به یکسان نبودن بردار r_1 برای پیکسل‌های گوناگون در تصویر زمان اول، برای هر پیکسل خاص آستانه زاویه‌ای منحصر به فردی محاسبه خواهد شد. به عبارتی، هر چه مقدار r_1 کوچکتر باشد (با توجه به اینکه مقدار D ثابت است) مقدار محاسبه‌شده برای θ_1 بزرگتر خواهد بود. این خاصیت باعث می‌شود آثار سایه نیز به مقدار مناسبی تقلیل یابد (زیرا هرچه بردار r_1 کوچک‌تر باشد، احتمال وجود سایه در آن بیشتر است) (شکل ۴).

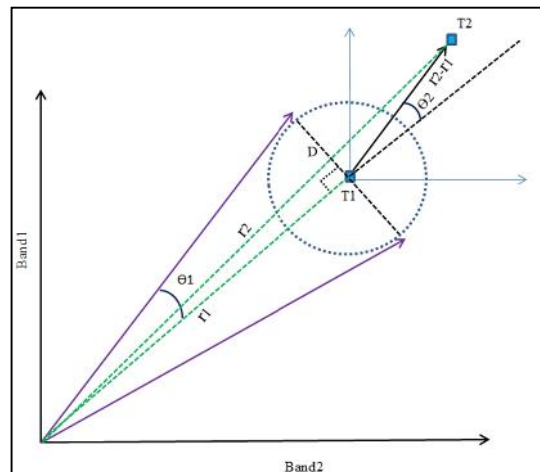
همان‌طور که مشاهده می‌شود، روش پیشنهادی برای کاهش خطاهای نورپردازی و توپوگرافی در فضای طیفی بسیار ساده است و به راحتی با دیگر روش‌های تعیین آستانه (روش‌های تعیین مقدار D) ترکیب می‌شود و به صورت پیکسل به پیکسل آستانه نهایی را محاسبه می‌کند. به منظور تعیین آستانه نهایی، پس از اعمال آستانه D در تصویر بزرگی تغییرات، مقدار θ_2 در تصویر نتیجه به‌ازای هر پیکسل محاسبه می‌شود. سپس اگر مقدار مورد نظر از آستانه زاویه‌ای θ_1 بزرگتر باشد، پیکسل مذکور به‌منزله پیکسل دارای تغییرات طبقه‌بندی‌شده، و در غیر این صورت، به‌منزله پیکسل بدون تغییر در نظر گرفته می‌شود. همچنین، می‌شود با استفاده از همه مقادیر θ_1 محاسبه‌شده، یک آستانه زاویه‌ای سراسری نیز تعیین کرد.

۳- نتایج و اعتبارسنجی

۳-۱- نتایج

برای تعیین تغییرات صحنه، نخست، باید مقدار D (آستانه انتخابی) در تصویر بزرگی تغییرات (تصویر حاصل از اعمال رابطه ۱) تعیین شود. با توجه به روش‌های مختلف آستانه‌گذاری در پردازش تصویر، در اینجا از روش آتسو (Otsu, 1975)، استفاده شده است. در ادامه با استفاده از روابط مثلثات، آستانه زاویه‌ای (θ_1) به‌ازای هر پیکسل تعیین شد. در شکل ۶ (ب) و ۶ (د) تصاویر بزرگی تغییرات به همراه هیستوگرام آن نمایش

بردار تغییرات به نسبت راستای بردار r_1 است و نیز، θ_1 آستانه زاویه‌ای محسوب می‌شود. مقدار پارامتر D ، آستانه‌ای است که در روش مرسوم آنالیز بردار تغییرات برای جداسازی تغییرات کاذب در مقابل تغییرات واقعی به کار می‌رود. مطابق این مطالب، می‌شود گفت اگر تغییرات واقعی در طول زمان در پیکسلی خاص اتفاق افتاده باشد، لزوماً مقدار θ_2 و D مخالف صفر خواهند بود. اما اگر تغییرات فقط به علت شرایط توپوگرافی و نورپردازی باشد، فقط مقدار D مخالف صفر است. زیرا همان‌طور که بیان شد، آثار مربوط به توپوگرافی و اثر نورپردازی فقط در بزرگی بردار در فضای طیفی (بزرگی بردار r_1) دیده خواهد شد. بنابراین روش پیشنهادی، با در نظر گرفتن مقدار θ_2 ، باعث کاهش خطاهای مربوط به توپوگرافی و اثر نورپردازی در نتایج نهایی روش بردار تغییرات خواهد شد.



شکل ۵. مفهوم روش پیشنهادی

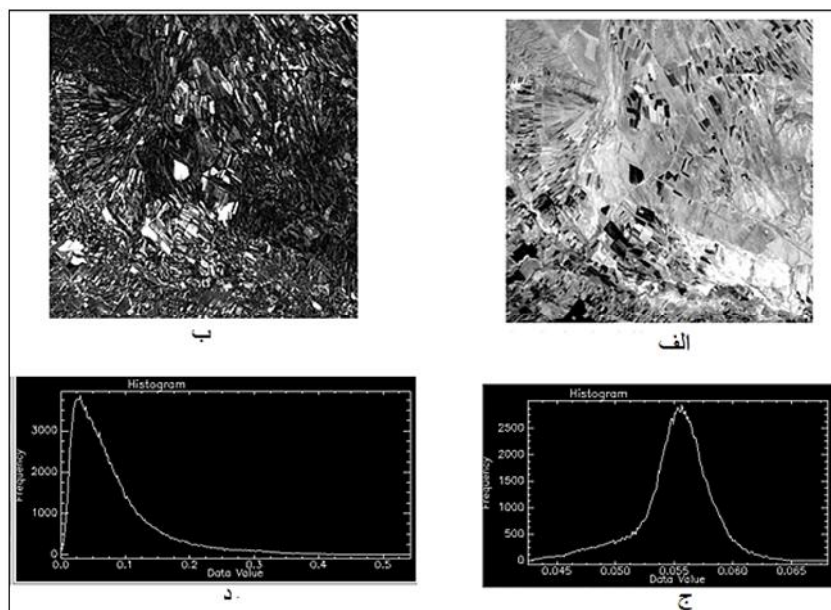
به منظور تعیین آستانه D می‌شود از روش‌های مرسوم آستانه‌گذاری در پردازش تصویر یا دیگر روش‌های مناسب (Sezgin, 2004) استفاده کرد. در تعیین آستانه مورد نظر، از تصویر بزرگی تغییرات استفاده می‌شود. باید گفت در صورتی مقدار غیرصفر θ_2 بیانگر تغییرات واقعی خواهد بود که از مقدار آستانه θ_1 بزرگتر باشد. برای انتخاب آستانه زاویه‌ای θ_1 ، پس از تعیین مقدار D ، می‌شود θ_1 را با استفاده از روابط

تصویر ارائه کند. برای نمونه، تعیین نواحی در صحنه که در طول زمان از زمین بایر به پوشش گیاهی تبدیل شده‌اند. همچنین، در صورت استفاده از روش‌های طبقه‌بندی برای تعیین نوع تغییرات، خطاهای ایجاد شده در طبقه‌بندی تصویر نیز در نتایج نهایی آشکارسازی تغییرات دیده می‌شوند. نیز، مطلب مهم دیگری که از تصویر جهت تغییرات به دست می‌آید، تعیین مناطق دارای ابهام با به‌کارگیری روش بردار تغییرات است. به عبارتی، مناطقی که در آن‌ها هر سه باند تبدیل Tasseled cap افزایش یا کاهش یافته‌اند، دارای ابهام‌اند زیرا اطلاعاتی که از جهت تغییرات به دست می‌آید، نمی‌تواند تغییر کلاس پیکسل را بیان کند (و در واقع، کاهش یا افزایش تغییرات را نشان می‌دهد و تغییر در نوع تغییرات قابل تعیین نیست). بنابراین، به‌کارگیری روش بردار تغییرات در کنار تبدیل یادشده در این گونه نواحی، محدودیت‌هایی دارد. در شکل ۷، در مناطق سیاه‌رنگ تغییری رخ نداده است.

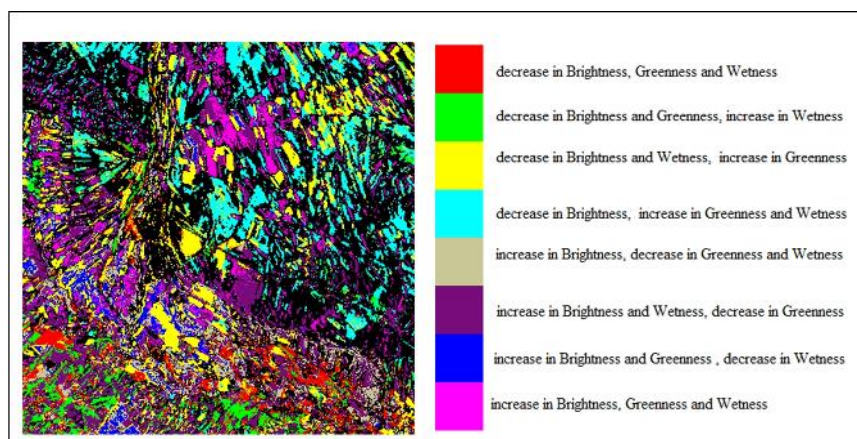
۳-۲- اعتبارسنجی

در ارائه نتایج آشکارسازی تغییرات و اعتبارسنجی آن‌ها، به طور معمول، از منحنی ROC و همچنین، ماتریس خطا (دارای دو کلاس تغییر یافته و بدون تغییر) استفاده می‌شود. منحنی ROC معمولاً معیاری برای بیان توانایی یک روش در تعیین تغییرات واقعی در مقابل تغییرات کاذب، با استفاده از آستانه‌های گوناگون است. به عبارتی ساده‌تر، پس از اعمال روش آشکارسازی تغییرات، تصویر به دست آمده (تصویر تغییرات) به‌ازای آستانه‌های مختلف (که به صورت صعودی از صفر تا مقدار بیشینه تغییرات متفاوت خواهند بود) آستانه‌گذاری می‌شود و به‌ازای هر آستانه، ماتریس خطا با استفاده از داده‌های مرجع محاسبه می‌شود. با استفاده از ماتریس خطا، دو پارامتر احتمال تشخیص درست (محور عمودی) و احتمال تشخیص نادرست (محور افقی) تعیین می‌شود. پس در واقع، منحنی یادشده فقط برای سنجش توانایی (قدرت)

داده شده است. همان‌طور که در هیستوگرام تصویر بزرگی تغییرات مشاهده می‌شود، فراوانی پیکسل‌های اطراف صفر بسیار بیشتر از فراوانی پیکسل‌ها با مقادیر بزرگتر است. این موضوع نشان می‌دهد که بیشتر تغییرات مقادیر کوچکی دارند. به عبارت دیگر، در منطقه مطالعاتی تغییر عمده‌ای صورت نگرفته است. در شکل ۶ (الف) و ۶ (ج)، به ترتیب، تصویر آستانه‌های محاسبه شده به صورت محلی (Θ_1) برای هر پیکسل و هیستوگرام آن نشان داده شده است. مطابق با این شکل‌ها، هیستوگرام تصویر آستانه‌های (مقادیر Θ_1) محاسبه شده، مشابه نمودار گوسی است. در نتیجه، با استفاده از آن به راحتی می‌شود آستانه‌ای سراسری انتخاب کرد (به جای مقادیر مختلف Θ_1). در اینجا با توجه به شکل آن، می‌شود میانگین این هیستوگرام را به‌منزله آستانه سراسری برگزید و سپس برای تعیین تغییرات نهایی، مقادیر مختلف Θ_2 را با آن مقایسه کرد. پارامترهای دیگری که از این هیستوگرام به دست می‌آید، محدوده تغییرات واقعی در صحنه (محدوده محور افقی هیستوگرام) به همراه فراوانی بیشترین تغییرات (میانگین هیستوگرام) است. که اگر مکان این مقدار در تصویر نمایش داده شود، تعیین کلاس و نوع این مقدار نیز امکان دارد. افزون بر این، گوسی بودن هیستوگرام نشان می‌دهد که انتخاب آستانه سراسری به صورت میانگین هیستوگرام، احتمالاً بهترین انتخاب است، اگرچه می‌شود آستانه سراسری را در محدوده‌ای اطراف میانگین نیز انتخاب کرد. از مزیت‌های آستانه‌گذاری بر مبنای هیستوگرام کاهش زمان محاسبات است زیرا زمان محاسبات به اندازه تصویر وابسته نخواهد بود. نتایج آشکارسازی تغییرات با استفاده از روش پیشنهادشده در شکل ۷ نمایش داده شده است. در شکل مورد نظر، هر کد با یک رنگ مشخص شده و چون باندهای تبدیل Tasseled Cap معین‌اند، نوع تغییرات نیز در تصویر تشخیص داده می‌شود. تبدیل فوق در کنار روش بردار تغییرات، گاه ممکن است اطلاعاتی بسیار بیشتر از طبقه‌بندی مرسوم



شکل ۶. الف) تصویر آستانه‌های محاسبه‌شده به صورت محلی (ب) تصویر بزرگی تغییرات (ج) هیستوگرام تصویر آستانه‌های محاسبه‌شده به صورت محلی (د) هیستوگرام تصویر بزرگی تغییرات

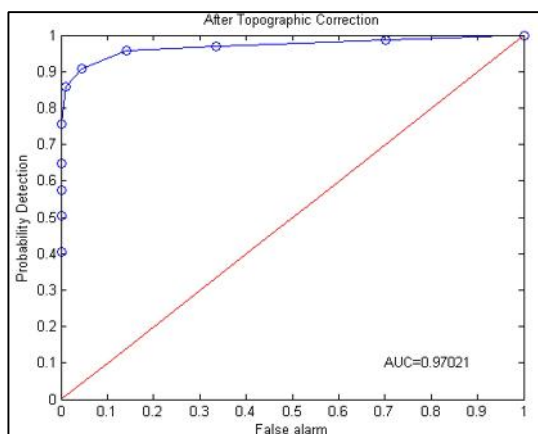


شکل ۷. نتایج آشکارسازی تغییرات در تصویر جهت تغییرات

داده‌های زمینی و نقشه‌های مرجع برای محاسبه ماتریس خطا وجود دارد، می‌شود به مشکلات ناهمزمانی بین تصاویر و داده‌های مرجع میدانی، تغییرات ایجادشده در بازه دریافت تصاویر و نقشه‌های مرجع، به‌روز نبودن نقشه‌های مورد نظر، نامعین بودن تعداد و کلاس‌های نمونه‌برداری میدانی در حین گرفتن تصاویر ماهواره‌ای و بسیاری دیگر از مشکلات اشاره کرد. این محدودیت‌ها در فرایند آشکارسازی تغییرات مشکلات بیشتری ایجاد می‌کنند. با توجه به مشکلات و عدم قطعیت‌های بیان‌شده، بسیاری اوقات (به‌ویژه مواقعی که تعیین تغییرات مربوط به گذشته است) استفاده از تصاویر مینا و دیگر تصاویر برای تعیین

روش آشکار تغییرات در تعیین تغییرات واقعی، در مقابل تغییرات کاذب است. از این رو، معیار نهایی دقت و صحت نتایج آشکارسازی تغییرات، ماتریس خطای به دست آمده به‌ازای انتخاب آستانه‌ای مناسب است. شایان ذکر است که در اینجا داده‌های مرجع برای محاسبه ماتریس خطا و پارامترهای احتمال تشخیص درست یا نادرست از سوی کاربر، به صورت بصری با مقایسه تصاویر مینا و هدف، به دست آمده است. استخراج داده‌های مرجع به این شیوه در آشکارسازی تغییرات به دلایل گوناگونی بهترین راهکار به شمار می‌رود (Congalton, & Green, 2008). از جمله مشکلات عمده که معمولاً در به‌کارگیری

تغییرات مرسوم با روش پیشنهادی، پس از محاسبه تصویر بزرگی تغییرات، آستانه نهایی (مقدار D) با به کارگیری روش آتسو به صورت سراسری و محلی (با در نظر گرفتن پنجره‌ای لغزان به ابعاد ۳۱×۳۱) و همچنین، میانگین هیستوگرام تصویر بزرگی تغییرات، محاسبه شده و نتایج در جدول ۲ آورده شده است. شایان توجه است که ابعاد پنجره لغزان به روش سعی و خطا، طوری انتخاب شده است که بیشترین احتمال تشخیص درست حاصل شود.



شکل ۸. منحنی ROC روش پیشنهادی

جدول ۱. نتایج صحت‌سنجی روش پیشنهادی در مقابل روش‌های مرسوم آشکارسازی تغییرات

| Method | Probability Detection | False alarm | Missed alarm |
|--------------------------------|-----------------------|-------------|--------------|
| Adaptive proposed Thresholding | ۰/۹۷ | ۰/۳۲ | ۰/۰۲۷ |
| Global proposed Thresholding | ۰/۹۶ | ۰/۳۳ | ۰/۰۳۱ |
| Image Difference | ۰/۷۸ | ۰/۲۰ | ۰/۲۱۴ |
| Image Ratio | ۰/۹۰ | ۰/۳۴ | ۰/۱۱۱ |
| PCA | ۰/۸۴ | ۰/۲۸ | ۰/۱۵۴ |
| Post Classification | ۰/۹۳ | ۰/۴۰ | ۰/۰۶۴ |

1. probability detection
2. false alarms
3. image difference
4. image ratio
5. principal component analysis

داده‌های مرجع بهترین شیوه خواهد بود. زیرا، با توجه به زمان دریافت تصاویر، معمولاً ممکن است داده‌های زمینی و نقشه‌های مرجع مربوط به زمان گرفتن تصاویر موجود نباشند، حتی در صورت وجود نقشه‌های مرجع به‌روز شده در زمان مورد نظر، ممکن است کلاس‌های آن مشابه کلاس‌های تصویر تغییرات محاسبه‌شده نباشد. از این رو، در آشکارسازی تغییرات و طبقه‌بندی تصاویر ماهواره‌ای که در گذشته دریافت شده‌اند، معمولاً داده‌های مرجع با استفاده از تصاویر دریافت‌شده تعیین می‌شوند. باید گفت در مرحله پیش‌پردازش و به منظور هم‌مرجع‌سازی تصاویر مبنا و هدف، از معیار RMSE استفاده شده و دو تصویر با RMSE کمتر از ۰/۵ پیکسل، هم‌مرجع‌سازی شدند.

منحنی ROC تصویر بزرگی تغییرات در روش پیشنهادی در شکل ۸ آورده شده است. طبق شکل، دقت روش یادشده در سطح مطلوبی است. منحنی ROC حاصل، با استفاده از نرم‌افزار متلب محاسبه شده است. برای به دست آوردن مساحت سطح زیر منحنی ROC (پارامتری برای نشان دادن دقت روش پیشنهادی) از روش دوزنقه استفاده شده است. منحنی مورد نظر میزان تشخیص صحیح پیکسل‌هایی را که به درستی در کلاس تغییر یافته طبقه‌بندی شده‌اند^۱ در مقابل پیکسل‌های تغییر نیافته که به اشتباه در کلاس تغییر یافته قرار گرفته‌اند^۲، نشان می‌دهد.

نتایج صحت‌سنجی روش ارائه‌شده نیز در جدول ۱ آمده است. به منظور امکان مقایسه دقت و صحت روش پیشنهادی در مقابل دیگر روش‌های مرسوم آشکارسازی تغییرات، در اینجا نتایج روش‌های مرسوم آشکارسازی تغییرات، شامل تفریق دو تصویر^۳، نسبت دو تصویر^۴، آنالیز مؤلفه‌های اصلی (PCA)^۵ و post classification نیز در جدول ۱ آورده شده‌اند. همان‌طور که انتظار می‌رفت، دقت در آستانه محلی بهتر از آستانه سراسری است. تشابه نتایج حاصل از اعمال دو آستانه نشان می‌دهد آستانه سراسری به‌طور مناسبی انتخاب شده است. برای امکان مقایسه عملکرد روش آنالیز بردار

جدول ۲. نتایج صحت‌سنجی روش مرسوم آنالیز بردار تغییرات

| | Probability Detection | False alarm | Missed alarm |
|-------------------------------|--------------------------|----------------|-----------------|
| Adaptive Otsu Thresholding | ۰/۸۸ | ۰/۳۸ | ۰/۱۲ |
| Global Otsu Thresholding | ۰/۸۶ | ۰/۳۹ | ۰/۱۴ |
| Average of histogram | ۰/۶۶ | ۰/۵۱ | ۰/۴۴ |

خطاهای مربوط به اثر نورپردازی و توپوگرافی در تصاویر و صحنه‌های گوناگون یکسان نیستند و از این رو، ممکن است در شرایطی تصحیح نشدنشان سبب ایجاد خطاهای بزرگی در نتایج نهایی شود و از اعتبار آن‌ها بسیار بکاهد. با توجه به اینکه پارامترهای به دست آمده از ماتریس خطا (پارامترهای جدول‌های ۱ و ۲) و مساحت زیر منحنی ROC شاخص‌های استاندارد برای نمایش صحت و دقت محسوب می‌شوند (Congalton, & Green, 2008)، مقادیر شاخص‌های مذکور عملکرد روش پیشنهادی و روش آنالیز بردار تغییرات را ارائه می‌کنند و به مقایسه نتایج به دست آمده با دیگر روش‌های آشکارسازی تغییرات نیاز نیست. از دیگر سو، هدف اصلی این تحقیق بهبود نتایج روش آنالیز بردار تغییرات است که مطابق با نتایج بخش اعتبارسنجی، تا اندازه‌ای برآورده شده است. مقایسه دقت روش پیشنهادی با دیگر روش‌های مرسوم (جدول ۱) این موضوع را روشن می‌کند که به دلیل حساس بودن روش‌هایی مانند PCA و تفریق تصاویر، در مقابل تغییر بزرگی بردار در فضای طیفی، دقت آن‌ها از روش ارائه‌شده کمتر خواهد بود (اگرچه در اینجا، درصد وجود پیکسل‌های اشتباه در آن‌ها کمتر از روش پیشنهادی است). همچنین، درصد پیکسل‌های اشتباه طبقه‌بندی‌شده در روش نسبت دو تصویر، به دلیل حساس بودن به نویزهای جمع‌شونده و حساسیت بسیار آن به آستانه، در مقایسه با روش پیشنهادی و روش‌های PCA و تفریق دو تصویر بیشتر است. همین موضوع برای روش post-classification نیز برقرار است. زیرا در این روش، نخست، دو تصویر جداگانه طبقه‌بندی و سپس به صورت متناظر با یکدیگر مقایسه می‌شوند و در این فرایند، میزان تغییر کلاس‌های مختلف به دست می‌آید. از این رو، خطای الگوریتم طبقه‌بندی مستقیماً وارد نتایج نهایی آشکارسازی تغییرات خواهد شد. پس می‌شود انتظار داشت روش پیشنهادی محدودیت‌هایی به مراتب کمتر از روش‌های مرسوم آشکارسازی تغییرات دارد و در عین سادگی، عمده خطاهای موجود

۴- بحث و نتیجه‌گیری

مطابق نتایج به دست آمده، می‌شود گفت استراتژی به کاررفته در اینجا برای کاهش خطاهای مربوط به اثر نورپردازی، به نوع تصویر و ناحیه مورد مطالعه کاملاً وابسته است. این موجب می‌شود روش پیشنهادی امکان این را داشته باشد که در تصاویر دیگر سنسورهای ماهواره‌ای نیز به راحتی به کار رود. نیز، به دلیل پیچیدگی و عدم قطعیت‌های فراوان در تصاویر ماهواره‌ای، معمولاً آستانه‌های محاسبه‌شده در تصاویر گوناگون (در تصویر تغییرات) یکسان نیستند و کاملاً وابسته به شرایط صحنه و سنسورند. آستانه محاسبه‌شده در هر تصویر تغییرات را می‌شود به‌منزله پارامتر D در روش ارائه‌شده به کار گرفت و سپس، با تعیین آستانه زاویه‌ای، از خطاهای مربوط به اثر نورپردازی و توپوگرافی را کاست. از این رو، روش ارائه‌شده را می‌شود مرحله‌ای برای کاهش خطاهای نهایی در فرایند آشکارسازی تغییرات در نظر گرفت. همچنین، در تصاویر حجیم می‌شود با محاسبه آستانه‌ای سراسری، با به‌کارگیری مقادیر مختلف Θ_1 زمان محاسباتی را کاهش داد.

نتایج صحت‌سنجی و منحنی ROC نشان می‌دهد که روش به کار گرفته‌شده به منظور تصحیح خطاهای مربوط به اثر نورپردازی و توپوگرافی در عین سادگی، دقت نتایج نهایی را افزایش می‌دهد. این امر لزوم تصحیحات مربوط به خطاهای یادشده را به روشنی نشان می‌دهد. زیرا تاکنون، به طور معمول در فرایند آشکارسازی تغییرات، تصحیح خطاهای اشاره‌شده کمتر مورد توجه قرار گرفته است. همچنین باید عنوان شود

- Landsat Thematic Mapper Data in Three Mountain Environments**, Geocarto International, ۱۵(۲), ۱۵-۲۲.
- Ben-Dor, E., Schläpfer, D., Plaza, A.J., & Malthus, T., ۲۰۱۳, **Hyperspectral Remote Sensing**, Airborne Measurements for Environmental Research: Methods and Instruments, ۴۱۳-۴۵۶.
- Congalton, R.G. & Green, K., ۲۰۰۸, **Assessing the Accuracy of Remotely Sensed Data: Principles and Practice**, CRC press.
- Gao, M.L., Zhao, W.J., Gong, Z.N., Gong, H.L., Chen, Z. & Tang, X.M., ۲۰۱۴, **Topographic Correction of ZY-3 Satellite Images and Its Effects on Estimation of Shrub Leaf Biomass in Mountainous Areas**, Remote Sensing, ۶(۴), ۲۷۴۵-۲۷۶۴.
- Huang, C., Wylie, B., Yang, L., Homer, C. & Zylstra, G., ۲۰۰۲, **Derivation of a Tasseled Cap Transformation Based on Landsat 7 At-Satellite Reflectance**, International Journal of Remote Sensing, ۲۳(۸), ۱۷۴۱-۱۷۴۸.
- Huang, W., Zhang, L., Furumi, S., Muramatsu, K., Daigo, M. & Li, P., ۲۰۱۰, **Topographic Effects on Estimating Net Primary Productivity of Green Coniferous Forest in Complex Terrain Using Landsat Data: A Case Study of Yoshino Mountain, Japan**, International Journal of Remote Sensing, ۳۱(۱۱), ۲۹۴۱-۲۹۵۷.
- Hussain, M., Chen, D., Cheng, A., Wei, H. & Stanley, D., ۲۰۱۳, **Change Detection from Remotely Sensed Images: From Pixel-Based to Object-Based Approaches**, ISPRS Journal of Photogrammetry and Remote Sensing, ۸۰, ۹۱-۱۰۶.
- Jensen, J.R., ۱۹۹۶, **Introductory Digital Image Processing: A Remote Sensing Perspective** (No. Ed. ۲). Prentice-Hall Inc.
- Kauth, R.J. & Thomas, G.S., ۱۹۷۶, **The Tasseled Cap—A Graphic Description of the Spectral-Temporal Development of Agricultural Crops as Seen by Landsat**, In LARS Symposia (p. ۱۵۹).
- در فرایند آشکارسازی تغییرات را کاهش می‌دهد. از معایب روش ارائه‌شده می‌شود به وابستگی آن به مقدار پارامتر D (آستانه) اشاره کرد. از این رو، افزایش دقت پارامتر مورد نظر باعث افزایش دقت نتایج روش ارائه‌شده خواهد شد. همچنین، باید گفت که همواره مراحل پیش‌پردازش سهم چشمگیری در کاهش خطاهای نهایی دارند و مطابق با آنچه در مقدمه بیان شد، بیشتر خطاهای موجود در تصاویر، به دلیل دقت ناکافی مراحل پیش‌پردازش است. اما باید توجه داشت که به دلیل محدودیت در دریافت داده‌های جانبی بسیار و فرایند پیچیده تصحیحات کامل اتمسفری، معمولاً تصحیحات اتمسفری و رادیومتریکی نسبی انجام می‌شود. از این رو، در اینجا نیز در مرحله پیش‌پردازش، به کمک پارامترهای آماری میانگین و انحراف معیار از تصحیحات نسبی استفاده شد. مزیت این نرمال‌سازی نسبی، کاهش خطاهای بسیار بزرگ و خطاهای مربوط به یکسان نبودن زمان دریافت دو تصویر است. اما با وجود این، برای کاهش بیشتر خطاها لازم است تصحیحات اضافه دیگری نیز اعمال شود که در اینجا بدین منظور، روش پیشنهادی ارائه شد.

۵- منابع

- Abdi, H. & Williams, L.J., ۲۰۱۰, **Principal Component Analysis**, Wiley Interdisciplinary Reviews: Computational Statistics, ۲(۴), ۴۳۳-۴۵۹.
- Adams, J.B. & Gillespie, A.R., ۲۰۰۶, **Remote Sensing of Landscapes with Spectral Images: A Physical Modeling Approach**, Cambridge University Press.
- Adar, S., Shkolnisky, Y. & Ben Dor, E., ۲۰۱۴, **A New Approach for Thresholding Spectral Change Detection Using Multispectral and Hyperspectral Image Aata, a Case Study Over Sokolov, Czech Republic**, International Journal of Remote Sensing, ۳۵(۴), ۱۵۶۳-۱۵۸۴.
- Allen, T.R., ۲۰۰۰, **Topographic Normalization of**

- Sezgin, M., ۲۰۰۴, **Survey Over Image Thresholding Techniques and Quantitative Performance Evaluation**, Journal of Electronic Imaging, ۱۳(۱), ۱۴۶-۱۶۸.
- Singh, A., ۱۹۸۹, **Review Article Digital Change Detection Techniques Using Remotely-Sensed Data**, International Journal of Remote Sensing, ۱۰(۶), ۹۸۹-۱۰۰۳.
- Ünsalan, C., ۲۰۱۲, **Two-Dimensional Change Detection Methods: Remote Sensing Applications**, Springer Science & Business Media.
- Yang, X. & Lo, C.P., ۲۰۰۰, **Relative Radiometric Normalization Performance for Change Detection from Multi-Date Satellite Images**, Photogrammetric Engineering and Remote Sensing, ۶۶(۸), ۹۶۷-۹۸۰.
- Kresse, W. & Danko, D.M., ۲۰۱۲, **Springer Handbook of Geographic Information**, Springer.
- Malila, W.A., ۱۹۸۰, **Change Vector Analysis: An Approach for Detecting Forest Changes with Landsat**, In LARS Symposia (p. ۳۸۵).
- Mena, J.B. & Malpica, J.A., ۲۰۰۶, **A Change Detection Method with Radiometric Normalization and Shadows Removal in Multispectral Satellite Imagery**.
- Otsu, N., ۱۹۷۵, **A Threshold Selection Method from Gray-Level Histograms**, Automatica, ۱۱(۲۸۵-۲۹۶), ۲۳-۲۷.
- Richter, R., Kellenberger, T. & Kaufmann, H., ۲۰۰۹, **Comparison of Topographic Correction Methods**, Remote Sensing, ۱(۳), ۱۸۴-۱۹۶.