بسم الله الرحمن الرحیم

اولین کنفرانس علمی پژوهشی افق های نوین در علوم جغرافیا و برنامه ریزی، معماری و شهرسازی ایران

گواهی پذیرش مقاله

تاریخ: ۱۳۹۴/۰۵/۲۷

شماره: ۲۰۸

پژوهشگر/پژوهشگران محترم:

حسین صادقی، روزبه شاد

با نظر هیات محترم داوران مقاله شما تحت عنوان:

چگونگی پایش تغییرات با استفاده از تصاویر ماهواره ای

در اولین کنفرانس علمی پژوهشی افق های نوین درعلوم جغرافیا و برنامه ریزی، معماری و شهرسازی ایران که در راستای توسعه و ترویج علوم و فنون بنیادین درجامعه برگزار گردید، جهت ارائه شفاهی مورد پذیرش قرار گرفته و در مجموعه مقالات علمی- پژوهشی کنفرانس به چاپ رسیده است.

دکتر غلامرضا سبزقبایی
رئیس کنفرانس و رئیس انجمن
توسعه و ترویج علوم و فنون بنیادین

دکتر علی دشتی شفیعی
دبیر علمی کنفرانس و رئیس کمیته داوران

تهران-۲۶الغایت ۲۷مرداد۱۳۹۴

www.niconf.ir

اولین کنفرانس علمی پژوهشی افق های نوین
در علوم جغرافیا و برنامه ریزی، معماری و شهرسازی ایران
www.niconf.ir
انجمن توسعه و ترویج علوم و فنون بنیادین

چگونگی پایش تغییرات با استفاده از تصاویر ماهواره‌ای

حسین صادقی، روزبه شاد

۱- دانشجوی کارشناسی ارشد سنجش از دور، دانشگاه فردوسی مشهد، مشهد، ایران

۲- استادیار گروه عمران، دانشگاه فردوسی مشهد، مشهد، ایران

Email: hosseinsadeghi88@yahoo.com

چکیده

آشکارسازی تغییرات و یا به طور کلی پایش تغییرات یک پدیده و یا عارضه، از مهمترین کاربردهای تصاویر ماهواره‌ای می‌باشد. با توجه به مزیت‌های گوناگون این تصاویر و در دسترس بودن آنها، امکان استفاده از آنها در پایش تغییرات به طور روزافزون در حال افزایش است. از این رو شناخت ویژگی‌ها و روش‌های مناسب آشکارسازی تغییرات در هر حوزه بسیار حائز اهمیت است. بدین منظور در این مقاله چهارچوب اصلی آشکارسازی تغییرات با استفاده از تصاویر ماهواره‌ای ارائه می‌گردد و روش‌های مرسوم پایش تغییرات به همراه عملکرد آنها مورد بررسی قرار می‌گیرند.

کلمات کلیدی: آشکارسازی تغییرات، تصاویر ماهواره‌ای، روش‌های آشکارسازی تغییرات.

۱. مقدمه

آشکارسازی تغییرات یکی از مهمترین کاربردهای تصاویر ماهواره‌ای است که در بسیاری از حوزه‌ها مورد استفاده قرار می‌گیرد. مزیت-های مختلف این تصاویر باعث گردیده که استفاده از آنها به سرعت افزایش یافته و در زمینه‌های مختلف استفاده از تصاویر مذکور به منظور مدیریت و برنامه‌ریزی یکی از مهمترین اقدامات اولیه باشد. امروزه علم جغرافیا و بحث برنامه‌ریزی در آن به منظور دستیابی به توسعه‌ی پایدار لزوم استفاده از فناوری‌های جدید و مدرن را به روشنی آشکار کرده است. بدین منظور سنجش از دور از آن جهت که بدون تماس مستقیم با پدیده و یا عارضه‌ی زمینی می‌تواند اطلاعات بسیار مفیدی درباره‌ی پدیده و یا عارضه‌ی مورد نظر، ارائه دهد به یکی از مرسوم‌ترین روش‌های مورد استفاده در مدیریت و برنامه‌ریزی در حوزه‌های مختلف جغرافیایی تبدیل شده است.

تصاویر ماهواره‌ای دارای خصوصیت‌هایی مانند: قدرت تفکیک مکانی، زمانی، رادیومتریکی و طیفی هستند که تصاویر ماهواره‌ای گوناگون به کمک این ویژگی‌ها و خصوصیات بیان می‌شوند. در این رابطه با توجه به کاربردهای مورد نیاز، ماهواره‌های پرتاب شده به فضا، دارای ویژگی‌های مختلفی بوده و برای هر یک از موضوعات کاری باید ماهواره‌ی مناسب، با توجه به ویژگی‌های آن انتخاب گردد. استفاده از تصاویر ماهواره‌ای در زمینه‌های مختلف موجب ساخت و پرتاب ماهواره‌های گوناگون گردید. یکی از این زمینه‌ها (که در بسیاری از علوم دیگر کاربرد دارد) پایش پدیده‌ها و یا به طور گسترده‌تر بررسی تغییرات کلیه‌ی عوارض روی سطح زمین و یا اقیانوس-هاست[8-10,13,17,31,32]. از آنجا که ماهواره‌های موجود در فضا، خورشید آهنگ[1] بوده و تمامی سطح زمین را پوشش می‌دهند و همچنین به طور پیوسته نیز از سطح زمین تصویربرداری می‌کنند، پایش پدیده‌ها و اکوسیستم یکی از کاربردهای اصلی تصاویر ماهواره‌ای در سنجش از دور است. پایش پدیده‌های زمینی با استفاده از آنالیز تصاویر، در طول زمان‌های مختلف انجام می‌گیرد. پایش در سطح زمین ممکن است در مکان‌های مختلف و شرایط گوناگون انجام گیرد. از جمله این موارد می‌توان به: پایش توسعه و یا عدم توسعه‌ی مکان‌های شهری (که در مناطق شهری انجام می‌گیرد و باید تصویر مورد استفاده قدرت تفکیک مکانی بالایی داشته باشند)[19,27,30,38]، افزایش بستر رودخانه‌ها و دریاچه‌های فصلی در طول سال [21]، اثرات حاصل از سیلاب و خشکسالی بر مزارع کشاورزی و علفزارها [15,35]، گسترش و یا نابودی جنگل‌ها و مراتع طبیعی به دلیل خطرات طبیعی و یا استفاده بی‌رویه‌ی انسان از آنها [11,14,28,36]، بالا آمدن سطح آب اقیانوس‌ها و دریاها با پایش خط ساحلی در دراز مدت [22]، زلزله و اثرات آن بر محیط طبیعی [26,34]، سونامی و طوفان‌های ویرانگر بر مناطق ساحلی، و همانند آن اشاره نمود. بنابراین شناخت این پدیده‌ها و تغییرات آن‌ها در طول زمان با استفاده از تصاویر ماهواره‌ای بسیار مناسب‌تر از دیگر شیوه‌های مرسوم قدیمی است. از طرفی با پوشش گسترده تصاویر ماهواره‌ای عمل مذکور در سطح وسیع‌تری انجام گرفته و هزینه‌ها نیز بسیار کاهش می‌یابند. از بدو پرتاب ماهواره‌های

[1]. Sun- Synchronize

سنجش از دوری، پایش و به طبع آن آشکارسازی تغییرات[1] با استفاده از تصاویر ماهواره‌ای از مهمترین موضوعات و زمینه‌های تحقیقاتی بوده است [18,20,30]. از این رو، پژوهش‌گران به منظور یافتن روش‌های مختلف آشکارسازی تغییرات و پایش پدیده‌ها، تحقیقات مفصلی انجام دادند. گسترش علوم رایانه و توانائی آن در پردازش اطلاعات با دقت و سرعت زیاد، تحلیل تصاویر دیجیتال در سنجش از دور را رونق بیشتری بخشید. لذا محققان روش‌های پایش پدیده‌های سطح زمین را با استفاده از این نوع تصاویر ابداع کردند. با قدرت‌مند شدن سیستم‌های رایانه‌ای و افزایش قدرت پردازش آنها روش‌های پایش پدیده‌ها نیز تحت تاثیر قرار گرفت و امکان استفاده از الگوریتم‌های پیچیده‌تر فراهم شد [18]. با این کار، دقت این روش‌ها نیز افزایش یافته و برای پایش یک پدیده‌ی خاص (به طور مثال روان‌آبها)، امکان استفاده از تعداد زیادی تصاویر در طول زمان‌های مختلف، فراهم گردید. با ظهور ماهواره‌ها با قدرت تفکیک بسیار بالا (همانند: آیکونوس، Quick bird) توسعه و پایش مناطق شهری هم به عنوان یکی از زمینه‌های کاربرد تصاویر ماهواره‌ای برای مدیریت منابع و خدمات شهری مطرح گردید[32,33,37]. در نتیجه حوزه‌ی پایش پدیده‌ها از نواحی بزرگ (مانند جنگل‌ها، مزارع و نظیر آن) به نواحی کوچکتر (مانند: روستاها، شهرها و حتی ساختمان‌های مسکونی) توسعه یافت. بدین منظور و به طبع تغییر قدرت تفکیک مکانی ماهواره‌ای، الگوریتم‌ها و روش‌های پایش نیز تغییر یافتند و امکان مدیریت مکان‌ها و منابع مختلف در سطح زمین با سهولت بسیار و بهتر از گذشته میسر گردید[10,13,23,24]. استفاده از تصاویر ماهواره‌ای در پایش پدیده‌ها تنها به میزان تغییر آنها محدود نشد، بلکه با استفاده از روش‌های مختلف ریاضی و آمار و مدل‌های پیش‌بینی امکان تخمین مواردی مانند: خسارت‌های حاصل، میزان افزایش جمعیت یک شهر[19,29,34]، رانش زمین، میزان تولید محصولات کشاورزی[11]، تولید و یا عدم تولید یک محصول خاص در یک منطقه (با توجه به سطح زیر کشت آن در سایر مناطق کشور)، خشکسالی و یا عدم خشکسالی (با توجه به وضعیت گیاهان یک ناحیه‌ی خاص) [19]، در فرایند پایش پدیده‌های سطح زمین فراهم گردید. با این سطح فعالیت گسترده، حوزه‌ی عملکرد پایش به سطح اقیانوس‌ها نیز راه یافت [8,9,33] و از تصاویر ماهواره‌ای برای سنجش تغییرات مواردی مانند: سطح اقیانوس‌ها، آلودگی‌آبها، زندگی جانوران آبزی (مانند افزایش و کاهش فیتوپلانکتون‌ها) [12]، مرجان‌های دریایی، جریان‌های دریایی و غیرو استفاده شد. با پرتاب ماهواره‌هایی با هدف بررسی اتمسفر، امکان تحلیل تصاویر ماهواره‌ای برای آشکارسازی تغییرات اتمسفر نیز به وجود آمد[1,2,4-7]. تغییرات اتمسفریک از پارامترهای بسیار مهم در کاربردهای هواشناسی و سنجش آلودگی هوا به شمار می‌رود، چرا که با اطلاع از وضع و شرایط اتمسفر می‌توان میزان تغییر در پدیده هایی نظیر: هواویزه‌ها (Aerosols)[3]، ذرات بخار آب، گازهای گلخانه‌ای و نظیر آنرا به‌دست آورد. همچنین با پایش مستمر اتمسفر مواردی مانند: خشکسالی‌ها، گرمایش زمین، میزان افزایش حفره‌ی لایه‌ی ازن (و تاثیرات مخرب آن بر روی انسان و پدیده‌های زمینی)، آلودگی هوای شهرها، میزان بارندگی، باران‌های اسیدی، تعداد روزهای سالم در طول سال، مناطق بحرانی از لحاظ آلودگی هوا، مناطق در معرض خشکسالی و همانند آن، قابل تعیین است. همچنین اطلاعات به دست آمده از اتمسفر در واکاوی (کالیبراسیون) دیگر تصاویر ماهواره‌ای مانند مدل کردن بخار آب اتمسفر، مورد استفاده قرار می‌گیرد.

در این تحقیق به منظور تعیین یک چهارچوب جهت آشکارسازی تغییرات با استفاده از تصاویر ماهواره‌ای ابتدا ملاحظات و شرایط استفاده از تصاویر ماهواره‌ای ارائه می‌گردد، سپس مراحل آماده‌سازی تصاویر ماهواره‌ای جهت آشکارسازی تغییرات و در نهایت روش‌های مرسوم و مناسب تعیین تغییرات به همراه نحوه‌ی ارزیابی نتایج و صحت سنجی به ترتیب مورد بررسی قرار خواهند گرفت.

۲. ملاحظات مربوط به آشکارسازی تغییرات

همان طور که بیان گردید آشکارسازی تغییرات در بسیاری از حوزه‌های علوم جغرافیا مورد استفاده قرار می‌گیرد و از آن جهت که تصاویر ماهواره‌ای دارای خصوصیات مختلفی هستند و از طرفی دیگر، پدیده‌های مورد ارزیابی دارای مقیاس‌های مکانی و زمانی مختلفی هستند بنابراین لازم است تا ابتدا به منظور تعیین تغییرات، طبیعت، مقیاس زمانی و مکانی پدیده‌ی مورد بررسی به طور کامل مشخص گردد. در غیر این صورت نمی‌توان تصاویر ماهواره‌ای مناسب و متناسب با مقیاس پدیده را انتخاب کرد. همچنین از آن جهت که در تصاویر ماهواره‌ای (نوری) همواره طیف (میزان انرژی دریافتی توسط سنجنده که تبدیل به درجه خاکستری در باندهای مختلف می‌گردد) ثبت شده و مورد ارزیابی قرار می‌گیرد، بنابراین رفتار طیفی پدیده و یا عارضه‌ی مورد نظر نیز همواره بایستی در انتخاب تصاویر لحاظ گردد. در انتخاب تصاویر مورد نظر قدم اول تعیین مقیاس مکانی پدیده مورد نظر و سپس تعیین قدرت تفکیک مکانی تصویر است. در قدم بعدی با در نظر گرفتن رفتار طیفی پدیده (تغییرات طیفی روزانه، ماهانه و یا سالیانه) بازه‌ی زمانی مناسب

[1]. Change Detection

تصاویر جهت آشکارسازی تغییرات تعیین می‌گردد (به طور مثال اخذ تصاویر سالیانه و یا ماهیانه جهت پایش یک پدیده). البته پارامترهای دیگری مانند: شرایط جذر و مد و اتمسفر نیز بر انتخاب بازه‌ی زمانی مناسب بسیار تاثیر گذار هستند. به طور کلی بازه‌ی مناسب بایستی به نحوی انتخاب گردد که خطاهای محیطی و زمانی در تصاویر انتخابی تا حدامکان کمترین میزان باشد تا تغییرات محاسبه شده فقط ناشی از تغییرات واقعی باشند. از دیگر ملاحظات لازم، درنظر گرفتن قدرت تفکیک رادیومتریکی (تعداد بیت تصاویر) و قدرت تفکیک طیفی (تعداد باندهای تصاویر) است که لازم است در تصاویر مورد استفاده تا حدود زیادی یکسان باشند.

۳. آماده‌سازی داده‌ها و تصاویر ماهواره‌ای

پس از انتخاب تصاویر و داده‌های مناسب جهت آشکارسازی تغییرات، گام دوم، انجام فرایندهای پیش‌پردازش می‌باشد. تصحیح رادیومتریکی (اتمسفری) و تصحیح هندسی دو مرحله‌ی اساسی هستند که بر خلاف تصاویر معمول، در تصاویر ماهواره‌ای انجام می‌گیرند. تصحیح رادیومتریکی به منظور کاهش خطاهای ایجاد شده در طیف اخذ شده توسط سنسور انجام می‌گردد. به طور کلی تصحیح رادیومتریکی در سنجش از دور به دو طریق مطلق (تبدیل درجه خاکستری تصویر به بازتابندگی بر روی سطح زمین، با استفاده از دو روش تجربی و مدل‌های انتقال) و نسبی (نرمالسازی درجه خاکستری تصاویر با استفاده از یک طیف مرجع) انجام می‌گیرد. به طور معمول تصحیح مطلق زمانی مورد استفاده قرار می‌گیرد که هدف اندازه‌گیری خصوصیات بیوفیزیکی یک عارضه باشد. مدلهای تصحیح مطلق معمولا دقت بالاتری نسبت به مدل‌های هندسی دارند ولی پیچیدگی بسیار زیادی داشته و به داده‌های کمکی بسیار زیادی نیاز دارند. در مقابل مدل‌های نسبی پیچیدگی بسیار کمتری داشته و از دقت پایین‌تری برخوردارند. از آن جهت که آشکارسازی تغییرات طبیعت نسبی دارد (تغییرات نسبت به یک زمان مرجع سنجیده می‌شود) بنابراین در فرایند تعیین تغییرات با استفاده از تصاویر ماهواره‌ای از تصحیح رادیومتریکی نسبی (نرمالسازی) تصاویر مختلف نسبت به یک تصویر مرجع استفاده می‌شود.

تصحیح هندسی به مفهوم انتقال سیستم مختصات تصاویر به یک سیستم مختصات مرجع (جغرافیایی) است. بدین منظور می‌بایست از فرایند زمین مرجع‌سازی استفاده کرد. از آن جهت که زاویه‌ی برخورد طیف هر عارضه نسبت به سنسور در تمامی صحنه (تصویر) قائم نمی‌باشد، بنابراین لازم است در فرایند زمین مرجع‌سازی، همواره از مدل‌های رقومی زمین به منظور کاهش خطای ناشی از ارتفاع نقاط استفاده کرد در غیر این صورت این خطا باعث ایجاد نتایج نامطمئن شده و از طرفی قدرت تفکیک مکانی تصویر در تمامی صحنه یکسان نخواهد بود، به عبارتی دیگر، مقیاس در تمامی تصویر یکسان نخواهد بود. جهت انجام فرایند زمین مرجع‌سازی به طور معمول از چندجمله‌ای های ریاضی به عنوان مدل ریاضی انتقال استفاده می‌گردد که جهت محاسبه‌ی پارامترهای آن نیاز به استفاده از نقاط کنترل زمینی است. بعد از انتقال مختصات نیز معمولا با به کارگیری نقاط تست، دقت انتقال هندسی را با معیار RMSE محاسبه می‌کنند. اما در فرایند آشکارسازی تغییرات با توجه به همان مفهوم نسبی بودن آن، ابتدا یکی از تصاویر اخذ شده در طول زمان که از لحاظ بصری و خطاهای مختلف در حالت مناسبتری باشد، به عنوان مرجع انتخاب شده و سپس زمین مرجع می‌گردد. در ادامه سایر تصاویر نسبت به آن هم‌مرجع سازی (انتقال مختصات سایر تصاویر به سیستم مختصات تصویر مرجع) می‌گردد.

به طور خلاصه می‌توان گفت در مرحله‌ی پیش‌پردازش در آشکارسازی تغییرات ابتدا تصحیح هندسی انجام گرفته و سپس تصحیح رادیومتریکی با به کارگیری روش‌های مختلف نرمالسازی مانند: انطباق هیستوگرام، روش‌های آماری (انتقال محدوده‌ی درجه خاکستری سایر تصاویر به محدوده‌ی درجه خاکستری تصویر مرجع با به کارگیری میانگین و انحراف معیار آماری)، عوارض شبه ثابت (Pseud Invariant Feature)، RCS (Radiometric control Set) و غیرو انجام می‌شود.

۴. روش‌های آشکارسازی تغییرات

آشکارسازی تغییرات با استفاده از تصاویر ماهواره‌ای فرایندی است که در آن تغییرات درجه خاکستری در تصاویر اخذ شده در طول زمان نسبت به یک زمان مرجع محاسبه می‌گردد. به عبارتی تصاویر مختلف نسبت به یک تصویر مرجع به صورت متناظر و به صورت پیکسل به پیکسل (در روش‌های پیکسل مبنا) و یا به طریق شیء به شیء (در روش‌های شیء مبنا) مقایسه می‌گردند. که حاصل این مقایسه، تصویر تغییرات خواهد بود. بنابراین از هر روشی که بتوان دو تصویر را به صورت کمی با یکدیگر سنجید، می‌توان در آشکارسازی تغییرات استفاده کرد. با این دید، روش‌های مورد استفاده در آشکارسازی تغییرات بسیار گسترده بوده و روش‌های حوزه‌های مختلف (آشکارسازی تارگت، آشکارسازی آنومالی، وغیر) را می‌توان در فرایند آشکارسازی تغییرات به کاربرد. ولی به طور کلی روش‌های مورد استفاده در حوزه‌ی تعیین تغییرات در دو دسته‌ی بزرگ پیکسل مبنا و شیء مبنا طبقه‌بندی می‌گردند که در دسته‌ی

اول واحد مقایسه پیکسل و در دسته‌ی دوم واحد مقایسه شیء و یا آبجکت می‌باشد. روش‌های دسته‌ی اول جزء روش‌های اولیه و مرسوم آشکارسازی تغییرات محسوب شده که به طور گسترده مورد استفاده قرار می‌گیرند. روش‌های مذکور نسبت به روش‌های موجود در دسته‌ی دوم بسیار ساده‌تر بوده و سرعت اعمال بسیار بیشتری نسبت به دسته‌ی دوم دارند. روش‌های پیکسل مبنا به جز مزایای ذکر شده، نسبت به روش‌های شیء مبنا تنوع بیشتری داشته و قابلیت ترکیب شده با آنالیزهای پیچیده‌تر مانند: الگوریتم ژنتیک، شبکه‌ی عصبی، شبکه‌های بیزین و ... را دارا هستند، و به راحتی می‌توان آنها را در کنار هم و به صورت ترکیبی استفاده کرد. در مقابل روش‌های شیء مبنا زمان محاسباتی بالاتری داشته و نسبت به نویز حساسیت کمتری دارند اما همواره نیاز است که با استفاده از یک روش مناسب ابتدا در تصاویر مرجع و سایر تصاویر آبجکت‌ها و یا شیءها را با استفاده از یک الگوریتم مناسب استخراج کرد.

روش‌های شیء مبنا به طور معمول در مناطق شهری و در تصاویر با سطح جزئیات بالا (قدرت تفکیک مکانی بالا کمتر از ۵ متر) مورد استفاده قرار می‌گیرد. مطابق تحقیقات انجام گرفته، نتایج این روش‌ها در تصاویر با سطح جزئیات بالا (فرکانس مکانی بالا) دقت بیشتری نسبت به نتایج روش‌های پیکسل مبنا دارند. به طور خلاصه زمانی این روش‌ها برای آشکارسازی تغییرات مناسب هستند که پدیده‌ی مورد بررسی دارای جزئیات فراوان هستند (مانند بررسی مناطق شهری، سدها، ساختمان‌ها، تاسیسات حیاتی و مهم و ...). با این وجود در در این روش‌ها هنوز الگوریتم مناسب جهت صحت سنجی آنها وجود ندارد.روش‌های شیء مبنا از پرکاربردترین و قدیمی‌ترین روش‌های مورد استفاده جهت آشکارسازی تغییرات به شمار می‌روند. در این روش‌ها، واحد محاسباتی پیکسل بوده و از این نظر به نویزهای موجود در تصاویر حساسیت دارند. روش‌های مذکور خود در چند دسته تقسیم بندی می‌گردند[18]. مهمترین آنها که در دسته‌ی روش‌های جبری طبقه‌بندی می‌گردند شامل موارد زیر هستند.

- **تفریق تصویر**[1]

این روش به صورت تفریق تصویر هدف از تصویر مرجع است. بنابراین پیکسل‌هایی با مقادیر نزدیک به صفر در تصویر تغییرات، مناطقی را نشان خواهند داد که در آن‌ها تغییری صورت نگرفته است. هیستوگرام تصویر تغییرات، مشابه نمودار گوسی می‌باشد. به نحوی که (در تصویر) مقادیر حول مبدا، مربوط به نواحی تغییر نیافته بوده و ارزشهای دو سمت انتهایی نمودار نشان دهنده‌ی نواحی تغییر یافته می‌باشند. رابطه‌ی زیر روش تفریق تصویر را بیان می‌کند.

$$I_d(x,y) = I_1(x,y) - I_2(x,y) \qquad (۱)$$

که در آن I_d تصویر حاصل تفریق و I_1 ، I_2 تصاویر مربوط به دو زمان مختلف می‌باشند. در نهایت با انتخاب حدآستانه‌ی مناسب (که معمولا مقدار آن به صورت تجربی انتخاب می‌گردد)، تصویر تغییرات نهایی به دست خواهد آمد.

$$T(x,y) = \begin{cases} 1 & I(x,y) > \tau \\ 0 & \text{otherwise} \end{cases} \qquad (۲)$$

در فرمول فوق τ حدآستانه بوده که توسط کاربر و یا با استفاده از روش‌های موجود محاسبه می‌شود.

- **نسبت دو تصویر**[2]

در روش نسبت دو تصویر، تصاویر بر یکدیگر تقسیم می‌شوند. بنابراین، در تصویر حاصل، مقادیر نزدیک به ۱ نواحی بدون تغییر را نشان خواهند داد. در معادله زیر، رابطه مورد استفاده در روش توضیح داده شده، تعریف گردیده است.

$$I_r(x,y) = \frac{I_1(x,y)}{I_2(x,y)} \qquad (۳)$$

تقسیم دو تصویر باعث حذف نویزهای ضربی (به خصوص اسپکل در تصاویر راداری) و نویزهای مربوط به توپوگرافی سطح، در تصویر نهایی خواهد شد. بنابراین در تصاویر راداری از این روش نیز می‌توان استفاده نمود.

- **رگرسیون**

[1] Image Difference
2. Image Ratio

این روش در واقع همان روش تفریق دو تصویر بوده که در آن عملیات پیش‌پردازش (به منظور حذف خطای رادیومتریکی) به صورت نرمالسازی تصویر هدف نسبت به تصویر مرجع با استفاده از یک معادله‌ی خط انجام می‌گیرد.

$$I_{norm}(x,y) = aI_{Ref}(x,y) + b \quad (۴)$$

$$I_{reg}(x,y) = I_{Ref}(x,y) - I_{Norm}(x,y) \quad (۵)$$

در روابط فوق، I_{reg} نشان دهنده تصویرنتیجه، و I_{Ref} مبین تصویر مرجع هستند. به منظور محاسبه‌ی ضریب زاویه و عرض از مبدا خط، (در صورت استفاده از بیش از دو عارضه) می‌توان از کمترین مربعات برای محاسبه‌ی این دو پارامتر استفاده کرد.

- **تفریق پس‌زمینه**[1]

در روش تفریق پس‌زمینه ابتدا تصویر مرجع به عنوان تصویر پس‌زمینه انتخاب شده و سپس این تصویر از سایر تصاویر کم می‌شود.

$$I_{Background}(x,y) = Med\ (I_1(x,y), I_2(x,y), \ldots, I_n(x,y)) \quad (۶)$$

$$I_{change}(x,y) = I_{1:n(}x,y) - I_{Background}(x,y) \quad (۷)$$

در روابط فوق، n تعداد باندها و Med فیلتر میانه بوده که به منظور محاسبه‌ی تصویر تغییرات (در تصویری با n باند) استفاده می‌شود.

- **آنالیز بردار تغییرات**[2]

آنالیز بردار تغییرات[25] روشی است که در آن به منظور تعیین تغییرات، پارامترهای اندازه (بزرگی) و جهت محاسبه می‌شود. بنابراین یک روش مناسب جهت به دست آوردن تغییرات خواهد بود. در روش مورد نظر، به منظور محاسبه‌ی تصویر جهت تغییرات، زاویه‌ی طیفی لحاظ نخواهد شد. بدین منظور، میزان مثبت و یا منفی بودن تغییرات اندازه‌گیری می‌شود. در این روش به منظور محاسبه‌ی اندازه‌ی بردار تغییرات، دو بردار طیفی در دو تصویر از هم کم می‌شوند.

$$CM=\sqrt{(N_{11}-N_{12})^2+(N_{21}-N_{22})^2+(N_{31}-N_{32})^2} \quad (۸)$$

در رابطه‌ی فوق (که اندازه‌ی تغییرات در دو تصویر بر مبنای سه باند محاسبه شده است)، N_{11} باند اول از تصویر اول، N_{12} باند اول از تصویر دوم و CM تصویر بزرگی تغییرات هستند. روش آنالیز بردار تغییرات یکی از روش‌های مناسب آشکارسازی تغییرات به شمار می‌رود.

به جز روش‌های جبری مذکور، روش‌های انتقال طیفی نیز در دسته‌ی روش‌های پیکسل‌مبنا قرار دارند، که به طور گسترده مورد استفاده قرار می‌گیرند. که مهمترین آنها روش‌های انتقال مولفه‌های اصلی، Tasseled Cap ، شاخص‌های گیاهی، و تبدیلاتی مانند: گرام اشمیت و کااسکویر هستند. در تبدیل، مولفه‌های اصلی، ابتدا تصاویر مختلف اخذ شده به صورت یک تصویر درآمده (باندهای آنها در کنار هم قرار می‌گیرند) و سپس انتقال مولفه‌های اصلی بر روی مجموعه اعمال می‌گردد. که از آنجا که در فضای مولفه‌های اصلی، باندها بر اساس واریانس مرتب شده‌اند، بنابراین باندهای ابتدایی انتقال مولفه‌های اصلی، تغییرات را نشان خواهندداد. از شاخص‌های گیاهی و تبدیل Tasseled Cap هم به صورت اعمال آنها بر تصاویر مختلف و سپس مقایسه‌ی آنها استفاده می‌گردد. سایر تبدیلات و انتقال‌های طیفی نیز به صورت موردی مورد استفاده قرار گرفته‌اند. البته به جز روش‌های ذکر شده در اینجا، همان طور که قبلا بیان شد، روش‌های دیگری نیز جهت آشکارسازی تغییرات استفاده می‌شوند که بیشتر ترکیبی بوده و در موارد خاص مورد استفاده قرار می‌گیرند. اما روش‌های اشاره شده در اینجا، روش‌هایی هستند که به راحتی می‌توان از آنها در حوزه‌ی جغرافیایی و محیط زیست جهت آشکارسازی تغییرات استفاده کرد.

۵. ارزیابی صحت (اعتبار سنجی)

هر گونه نتیجه و ارائه‌ی خروجی‌های یک تحلیل در سنجش از دور و در بسیاری از حوزه‌های دیگر بدون ارائه‌ی دقت و صحت نتایج، اعتبار آنها را زیر سوال برده و اطمینان به نتایج به دست آمده بسیار پایین خواهد بود. در تصاویر ماهواره‌ای از آن جهت که عدم قطعیت‌های بیشماری وجود دارد بنابر این همواره نیاز است تا مرحله‌ی صحت سنجی انجام گیرد. در بحث آشکارسازی تغییرات از

[1] Background Difference
[2]. Change Vector Analysis

ماتریس خطا جهت دقت و صحت نتایج تغییرات استفاده می‌گردد. جهت تشکیل ماتریس خطا نیاز است تا در تصویر تغییرات فرایند نمونه‌برداری (پیکسل‌های تغییر یافته و بدون تغییر) انجام گیرد. جهت اطمینان از اعتبار آماری نتایج ماتریس خطا می‌بایست فرایند نمونه‌برداری به صورت تصادفی ساده و به نحوی انجام گیرد که نمونه‌ها از نظر مکانی نسبت به هم فاصله‌ی مناسبی داشته باشند (شرط مستقل بودن آنها) و همچنین پراکندی آنها در تصویر به صورت یکنواختباشد. ولی از آنجا که در بیشترین حالت تنها ۲۰ درصد تصویر دچار تغییرات خواهد شد، بنابراین لازم است تا نمونه‌ها در اطراف نواحی تغییر یافته بیشتر باشند (جلوگیری از ایجاد تورش در نمونه‌ها). بعد از تشکیل ماتریس خطا و محاسبه‌ی آماره‌ی کاپا و صحت کلی، لازم است تا آزمون معناداری آماره‌ی کاپا نیز به همراه مقیاس (قدرت تفکیک مکانی تصویر) بیان گردد. زیرا سطح جزئیات و کلاس‌های مختلف در مقیاس‌های مکانی گوناگون در تصاویر ماهواره‌ای مختلف است. از این رو، بیان آماره‌ی کاپا و صحت کلی بدون مقیاس تصویر، نمی‌تواند به درستی اعتبار نتایج را بیان کند.

۶. نتیجه‌گیری

آشکارسازی تغییرات با استفاده از تصاویر ماهواره‌ای یکی از مهمترین کاربردهای تصاویر ماهواره‌ای است که در حوزه‌های مختلف مورد استفاده قرا می‌گیرد. حوزه‌ی جغرافیا و برنامه‌ریزی جهت توسعه‌ی پایدار با توجه به مقیاس آن از جمله حوزه‌هایی است که تصاویر ماهواره‌ای و بحث سنجش از دور در آن به صورت گسترده مورد استفاده قرار می‌گیرد. با توجه به اهمیت محیط زیست و اکوسیستم محیط اطراف انسان و وجود پدیده‌هایی مختلف که بر زندگی او تاثیر دارند، نیاز است تا روشی مناسب جهت مدلسازی رفتار آنها و پایش پدیده‌های مذکور در طول زمان فراهم گردد. تصاویر ماهواره‌ای با توجه به مزیت‌های گوناگونی که دارند بهترین گزینه جهت این کار می‌باشند. از این رو در این تحقیق به طور خلاصه چهارچوب اصلی آشکارسازی تغییرات در حوزه‌ی جغرافیا و محیط زیست انسان با استفاده از تصاویر ماهواره‌ای بیان گردید. همچنین چگونگی استفاده از تصاویر ماهواره‌ای و ملاحظات لازم جهت آشکارسازی تغییرات به همراه مراحل تعیین تغییرات به طور خلاصه مورد ارزیابی قرار گرفت. همچنین، روش‌های مختلف موجود در فرایند تعیین تغییرات نیز مورد بحث و بررسی قرار گرفته و نحوه‌ی استفاده از هر روش به همراه معایب و مزیت‌های الگوریتم‌های مختلف آشکارسازی تغییرات بیان شده است. در نهایت نیز نحوه‌ی مناسب ارزیابی خطا و بحث صحت سنجی مناسب در آشکارسازی تغییرات ارائه شده و چگونگی نمونه‌برداری و استراتژی مناسب آن بیان شده است.

مراجع

۱. حجازی، ع.، مباشری، م. ر.، احمدیان مرج، ا.، "تهیه‌ی نقشه‌ی توزیع مکانی ذرات معلق با قطر کمتر از دو نیم میکرومتر درهوای شهر تهران با استفاده از داده‌های سنجنده‌ی مدیس"، تحقیقات کاربردی علوم جغرافیایی، تهران، ۲۲(۱۲) ، ۱۶۱-۱۷۸، ۱۳۹۱.

۲. فرج زاده اصل، م.، کریمی احمدآباد، م.، قائمی، ه.، مباشری، م. ر.، چگونگی انتقال رطوبت در بارش زمستانه‌ی غرب ایران، مدرس علوم انسانی، تهران، ۱(۱۳) ، ۱۹۳-۲۱۷، ۱۳۸۸.

۳. قربانی سالخورد، ر.، مباشری، م. ر.، رحیم زاده، م.، "توانایی داده‌های سنجنده‌ی مدیس در تحلیل‌های کیفی و کمی کیفیت هوا در مناطق شهری، پژوهش‌های اقلیم شناسی"، مشهد،۳و۴(۱) ، ۵۹-۷۲، ۱۳۸۹.

۴. مباشری، م. ر.، "پایش تغییرات لایه‌ی ازن در جو ایران با استفاده از داده‌های ماهواره‌ای"، محیط شناسی، تهران، ۴۴ (۳۳) ،۴۳-۵۴ ۱۳۸۵.

۵. مباشری، م. ر.، پورباقری کردی، س.م.، فرج زاده اصل، م.، صادقی نائینی، ع.، "براورد آب قابل بارش کلی با استفاده از تصاویر ماهواره‌ای MODIS و داداه‌های رادیوساوند"، ناحیه‌ی تهران، مدرس علوم انسانی، تهران،۱(۱۴) ،۱۰۷-۱۲۶،۱۳۸۹.

۶. مباشری، م. ر.، فرج زاده اصل، م.، کریمی، ن، "روشی سریع برای تعیین فشار بالای ابر(FAST CTP) در تصاویر MODIS، جغرافیا و توسعه، زاهدان"،۳۱(۱۱)، ۱۶۵-۱۸۲،۱۳۹۲.

۷. مباشری، م. ر.، رضایی، ر.،"تشخیص پوشش مه و ابرهای کوتاه St با استفاده از تصاویر ماهواره MSG-1، نشریه‌ی دانشکده فنی، تهران"، ۸ (۴۰) ،۱۱۰۷-۱۱۱۹،۱۳۸۹.

۸. مباشری، م. ر.، مباشری، ا.، " بررسی تحلیلی شارتابشی در پوسته‌ی سطحی آب با هدف کاربرد در سنجش از دور SST، اقیانوس شناسی، تهران"، ۱(۱) ، ۳۳-۴۴، ۱۳۸۹.

9. Appeaning Addo, K., Larbi, L., Amisigo, B., "Ofori-Danson, P. K. , Impacts of coastal inundation due to climate change in a cluster of urban coastal communities in Ghana, West Africa, Remote Sensing", 3(9), 2029-2050, 2011.

10. Baade, J., Schmullius, C," High-resolution mapping of fluvial landform change in arid environments using Terra SAR-X images, In Geoscience and Remote Sensing Symposium (IGARSS)", IEEE International (pp. 2159-2162) ، IEEE. 2010.

11. Baker, D. J., Richards, G., Grainger, A., Gonzalez, P., Brown, S., DeFries, R., Stolle, F," Achieving forest carbon information with higher certainty: A five-part plan, environmental science & policy", 13(3), 249-260 ،2010.
12. Ballestero, D," Remote sensing of vertically structured phytoplankton pigments, Top. Meteor. Oceanogr, "6(1،14-23), 1999..

13. Coppin, P., Jonckheere, I., Nackaerts, K., Muys, B., Lambin, E. ", Review Article Digital change detection methods in ecosystem monitoring: a review, International journal of remote sensing", 25(9), , 1565-1596 ،2004

14. Fagan, M., DeFries, R. ," Measurement and Monitoring of the World's Forests, A review and summary of remote sensing technical capability, Resources for the Future (RFF)", 2009.

15. Ghulam, A., Qin, Q., Teyip, T., Li, Z. L," Modified perpendicular drought index (MPDI): a real-time drought monitoring method, ISPRS Journal of Photogrammetry and Remote Sensing", 62(2150-164), 2007.

16. Haq, M., Akhtar, M., Muhammad, S., Paras, S., Rahmatullah, J. , "Techniques of remote sensing and GIS for flood monitoring and damage assessment: a case study of Sindh province, Pakistan, The Egyptian Journal of Remote Sensing and Space Science", 15(2،135-141), 2012.

17. Helzel, T., Kniephoff, M., Petersen, L، "WERA: remote ocean sensing for current, wave and wind direction, In Proc US/EU-Baltic Int Symposium" ،(pp. 23-25) ، 2006.

18. Hussain, M., Chen, D., Cheng, A., Wei, H., Stanley, D," Change detection from remotely sensed images: From pixel-based to object-based approaches, ISPRS Journal of Photogrammetry and Remote Sensing", 80, 91-106

19. Jat, M. K., Garg, P. K., Khare, D. , "Monitoring and modelling of urban sprawl using remote sensing and GIS techniques, International journal of Applied earth Observation and Geoinformation," 10(1)، 2008.
26-43,
20. Jianya, G., Haigang, S., Guorui, M., Qiming, Z. , "A review of multi-temporal remote sensing data change detection algorithms, The International Archives of the Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences", 37(B7), 2008.

757-762.
21. Kemp, J., Villeneuve, N., Chevallier, L., Servadio, Z., Jacquard, F. ," A study of riverbed dynamics using remote sensing: a 3D case study of Rivière des Galets, La Réunion Island, In Geoscience and Remote Sensing Symposium, 2009 IEEE International, IGARSS" ، (Vol. 3, pp. III-753) ،IEEE. 2009.

22. Kostiuk, M. , "Using Remote Sensing Data to Detect Sea Level Change, Intenational Archives of Photogrammetry Remote sensing And Spatial Information Sciences", 34(1),
105-113،2002.

23. Liu, S., Du, P., Gamba, P., Xia, J"، Fusion of difference images for change detection in urban areas, In Urban Remote Sensing Event (JURSE)", Joint (pp. 165-168) ،IEEE. 2011.

24. Liu, X., Clarke, K., Herold, M ، "Population Density and Image Texture, Photogrammetric Engineering & Remote Sensing", 72(2), 187-196، 2006.

25. Malila, W. A"، Change vector analysis ، an approach for detecting forest changes with Landsat, In LARS Symposia،" (p. 385) ، 1980.

26. Murai, S.," Monitoring of disasters using remote sensing GIS and GPS, In Proceedings of the International symposium on management System for disaster prevention، ،" (pp. 9-11)، 2006.

27. Noor, N. M، Rosni, N. A. ," Determination of Spatial Factors in Measuring Urban Sprawl in Kuantan Using Remote Sensing and GIS, Procedia-Social and Behavioral Sciences" , 85, 502-512، 2013.

28. Ochego, H ، "Application of remote sensing in deforestation monitoring: a case study of the Aberdares (Kenya), In 2nd FIG Regional Conference" Marrakech, Morocco, December, 2003.

29. Qiu, F., Woller, K. L., Briggs, R. , "Modeling urban population growth from remotely sensed imagery and TIGER GIS road data, Photogrammetric Engineering & Remote Sensing،" 69(9), 1031-104, 2003 .

30. Radke, R. J., Andra, S., Al-Kofahi, O., Roysam, B ، "Image change detection algorithms: a systematic survey, Image Processing, IEEE Transactions on", 14(3), 294-307 ،2005.

31. Rogan, J., Chen, D. , "Remote sensing technology for mapping and monitoring land-cover and land-use change, Progress in planning", 61(4), 301-325 ،2004.

32. Ramachandra, T. V., Kumar, U ، "Geographic resources decision support system for land use, land cover dynamics analysis, In Proceedings of the FOSS/GRASS Users conference ،" (pp. 12-14) ،2004.

33. Sandven, S., Johannessen, O. M., Kloster, K ، "Sea ice monitoring by remote sensing, Encyclopedia of Analytical Chemistry ، ". (capter8).

34. Stancalie,G., Alecu, C., Catana, S.," Flood hazard assessment and monitoring using geographic information and remotely sensed data, International Archives of Photogrammetry and Remote Sensing", 33(B7/4; PART 7)، , 1472-1479.، 2000.

35. Su, Z. B., Chen, Y., Menenti, M., Sobrino, J., Li, Z. L., Verhoef, W., Shan, X., "Drought monitoring and prediction over China, In Proceedings of the 2008 Dragon symposium, Dragon programme, final results, 2004-2007, Beijing, China 21-25 April 2008./ed. by H. Lacoste and L. Ouwehand. Paris: ESA", ISBN 978-92-9221-219-3 (ESA SP; 655) 8 p، 2008.

36. Tucker, C. J., Townshend, J. R," Strategies for monitoring tropical deforestation using satellite data, International Journal of Remote Sensing" ، 21(6-7), 1461-1471 ،2000.

37. Xu, H., Wang, X., Xiao, G., "A remote sensing and GIS integrated study on urbanization with its impact on arable lands: Fuqing City, Fujian Province, China, Land Degradation & Development، " 11(4), 301-314 ،2000 .

38. Yang, L., Xian, G., Klaver, J. M., Deal, B.,"Urban land-cover change detection through sub-pixel imperviousness mapping using remotely sensed data", Photogrammetric Engineering & Remote Sensing،" 69(9) ، 1003-1010 ،2003.