

شناسایی تغییرات ساختمان‌های شهری در نقشه‌های ۱:۲۰۰۰ با استفاده از زوج تصاویر ماهواره‌ای GeoEye1

احمد رجبی^{۱*}، مهدی مومنی^۲

دانشجوی کارشناسی ارشد سنجش از دور- دانشکده فنی مهندسی- دانشگاه اصفهان
ahmad.rajabi@mihanmail.ir

استادیار گروه مهندسی نقشه برداری- دانشکده فنی مهندسی- دانشگاه اصفهان
momeni.mehdi@gmail.com

(تاریخ دریافت بهمن ۱۳۹۳، تاریخ تصویب آذر ۱۳۹۴)

چکیده

شناسایی تغییرات نقشه‌های شهری بزرگ مقیاس یکی از مسائل تحقیقاتی روز است. شناسایی تغییرات در این نوع نقشه‌ها با مشکلاتی روبرو است که عبارتند از: سایه‌ها، مناطق پنهان از دید، شباهت خصوصیات طیفی، ناهمگونی بافت و شکل ساختمان‌ها که در تحقیق حاضر این مشکلات حل شده است. در این تحقیق می‌خواهیم با تشکیل یک بردار ویژگی برای پیکسل‌های تصویر به جای اطلاعات طیفی هر پیکسل از تصویر و نیز استفاده از تصویر استریو GeoEye1 به جای تک تصویر قائم آن، کارایی این داده‌ها را در شناسایی تغییرات بوجود آمده برای لایه ساختمان‌ها و به‌روزرسانی نقشه‌های ۱:۲۰۰۰ بررسی کنیم. نوآوری‌های این تحقیق در انتخاب داده‌های استریو متناسب با نوع نقشه بزرگ مقیاس شهری ۱:۲۰۰۰، بررسی جداگانه ویژگی‌های محتوایی تصویر به صورت سعی و خطا و حذف ویژگی‌های اضافی و وابسته، تشکیل بردار ویژگی با اجزای مستقل از هم و موثر و مدیریت خطاهای ناشی از وجود عوارض اضافی مثل پوشش گیاهی و همچنین خطاهای ناشی از اختلاف ارتفاعی و سایه است. برای شناسایی تغییرات، الگوریتمی بر مبنای تفاضل گیری بردار ویژگی پیکسل‌های تصویر، تدوین شده که تغییرات ساختمانی را در ۳ منطقه مطالعاتی شناسایی کرده، پیکسل‌های اضافی را حذف نموده و تغییرات شناسایی شده توسط الگوریتم، نسبت به تغییرات ایجاد شده واقعی با استفاده از ماتریس خطا^۱ ارزیابی شده و نتایج آن در غالب دقت‌های کلی^۲، تولیدکننده^۳ و استفاده کننده^۴ ارائه شده است. مقادیر دقت‌های بدست آمده برای کلاس تغییرات در بهترین حالت برای منطقه دوم که منطقه ای با تراکم ساختمانی کم است، به ترتیب ۹۳،۱۱ درصد، ۶۸،۶۰ درصد و ۶۴،۲۹ درصد می باشد. اما در منطقه سوم که از نظر ساختمانی پرتراکم است دقت‌های بدست آمده برای کلاس تغییرات به ترتیب عبارت است از: ۹۵،۰۷ درصد، ۴۰،۸۱ درصد و ۵۵،۲۲ درصد. با توجه به نتایج بدست آمده برای شناسایی تغییرات با استفاده از زوج تصویر سنجنده GeoEye1، الگوریتم پیشنهادی در مناطق کم تراکم کارایی لازم را دارد و همچنین در مناطق پرتراکم می تواند مناطق بدون تغییر را با دقت بالا به اپراتور معرفی کند.

واژگان کلیدی: تصاویر استریو ماهواره‌ای GeoEye1، به‌روزرسانی، شناسایی تغییرات، نقشه‌های بزرگ مقیاس شهری، ماتریس خطا

* نویسنده رابط

۱ Confusion Matrix
۲ Overall Accuracy
۳ Producer Accuracy
۴ User Accuracy

۱- مقدمه

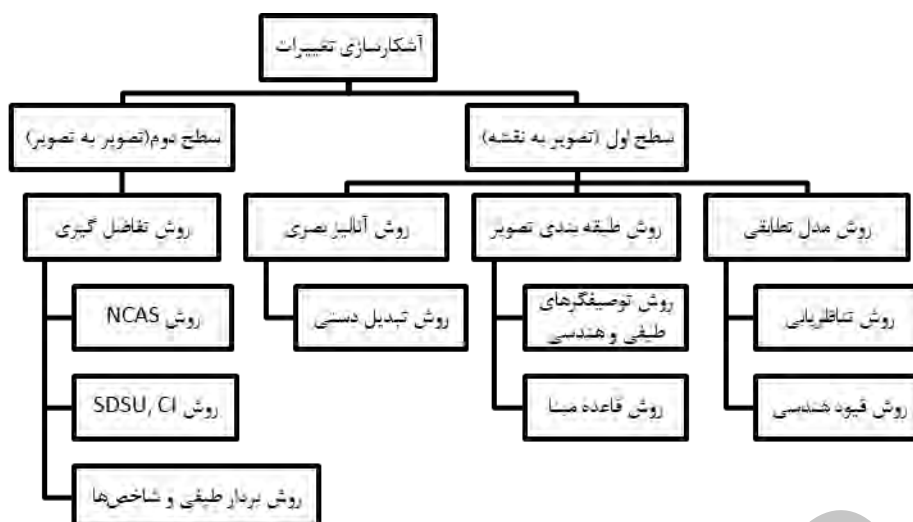
امروزه قابلیت بالای تصاویر ماهواره ای موجب شده تا از این تصاویر برای تولید نقشه های شهری و یا به‌روزرسانی نقشه‌های شهری از طریق شناسایی تغییرات در محیط‌های شهری استفاده شود. امروزه تصاویر سنجنده IRS-P5 که دارای قدرت تفکیک مکانی بالا هستند جهت به‌روزرسانی نقشه های متوسط مقیاس ۱:۲۵۰۰۰ بکار گرفته می شوند [۲]. اما این مقیاس از نقشه تنها درباره تغییرات ابعادی شهر جوابگو بوده و درباره شناسایی تغییرات بافتی کمکی به ما نمی کند. برای تحقیق درباره شناسایی تغییرات بافتی باید سراغ نقشه های شهری بزرگ مقیاس رفت که تولید و به‌روزرسانی آن ها مستلزم دسترسی به تصاویر ماهواره‌ای با قدرت تفکیک بالا می باشد. در حال حاضر با دسترسی به تصاویر دارای قدرت تفکیک مکانی بالا از سنجنده هایی مثل Ikonos-2، QuickBird-2، WorldView-1، WorldView-2 و GeoEye-1 و همچنین با استفاده از روش‌های مختلف شناسایی تغییرات مثل قطعه‌بندی و طبقه‌بندی تصاویر، تبدیل دستی، استفاده از داده های تلفیقی و تفاضل گیری تصویری، فرصت مناسبی جهت تولید نقشه‌های بزرگ مقیاس و سرعت بخشیدن به روند به‌روزرسانی آنها فراهم آمده است. حتی می توان با استفاده از تصاویر استریوی این سنجنده ها، دقت به‌روزرسانی نقشه های شهری با مقیاس ۱:۲۰۰۰ را نیز افزایش داد. طی تحقیقات انجام شده در سال های اخیر، مراحل مختلفی برای عملیات به‌روزرسانی ارائه شده است [۱]، [۲]. اصلی ترین مرحله در به‌روزرسانی نقشه ها، مرحله آشکارسازی تغییرات می باشد. آشکارسازی تغییرات در واقع شناسایی اولیه تغییرات صورت گرفته روی عوارض است. مجموعه روش های آشکارسازی تغییرات جهت به‌روزرسانی را از نظر ساختار داده می توان به ۲ سطح کلی مختلف تقسیم کرد: سطح اول آنالیز تصویر جدید منطقه و نقشه قدیمی (تصویر به نقشه) و سطح دوم آنالیز تصویر جدید منطقه و تصویر و نقشه قدیمی (تصویر به تصویر). بمنظور داشتن حداقل قابلیت های لازم برای ایجاد یک سیستم آشکارسازی تغییرات مناسب، لازم است مطالعاتی در زمینه آشکارسازی تغییرات در سراسر دنیا بررسی شود. این تحقیقات به صورت کلی به دو دسته تقسیم شده اند که

این دو دسته همان سطوح آشکارسازی تغییرات بوده که سطح اول تصویر- نقشه و سطح دوم تصویر-تصویر است. مجموعه روش هایی که برای سطح اول آشکارسازی تغییرات ارائه شده اند شامل روش تطابقی، روش طبقه بندی تصویر و روش آنالیز بصری و مجموعه روش هایی که برای سطح دوم آشکارسازی تغییرات ارائه شده اند شامل روش تفاضل گیری هستند. چگونگی تقسیم بندی ارائه شده در شکل ۱ نمایش داده شده است.

۱-۱- روش های آشکارسازی تغییرات ارائه شده برای سطح اول

۱-۱-۱- روش مدل تطابقی

روش مدل تطابقی روشی نسبتاً جدید به منظور استخراج عوارض تصویری بر مبنای استفاده از اطلاعات موجود در تصویر و نقشه متناظر منطقه است. اساس این روش، طراحی یک مدل ریاضی قوی بمنظور استخراج شکل و ساختار عوارض موجود در تصویر بر مبنای تناظریابی میان عوارض موجود در تصویر منطقه و پایگاه داده مکانی متناظر آن می باشد. Zhang و همکاران (۲۰۰۴) روشی را برای استخراج تغییرات در شبکه راه های یک منطقه ارائه کرده که متکی بر تلفیق عوارض استخراج شده از تصویر ماهواره ای و نقشه قدیمی منطقه است. در این روش ابتدا جاده ها از تصویر ماهواره ای منطقه با استفاده از روشی بر مبنای تبدیل ویولت (wavelet) استخراج شده اند و پس از آن عملیات تناظریابی اجرا شده است. پس از انجام تناظریابی، نوع تغییر برای راه مشخص شده و به نقشه اعمال می شود [۵]. این مدل توسط Bailloetl (۲۰۰۵) برای استخراج تغییرات ساختمان‌ها نیز استفاده شده و به جای استفاده از طیف رادیومتریکی که برای آشکارسازی تغییرات ساختمان مناسب نیست، از دو نوع داده به عنوان قیود اصلی مدل تطابق استفاده شده است. اولاً: اطلاعات خارجی مانند مدل رقومی سطح و ثانیاً: اطلاعات داخلی، مانند پارامتر شکل [۶]. ۳ مشخصه اصلی روش Bailloetl عبارتند از: ۱- استفاده از ویژگی‌های هندسی به عنوان قید و نه به عنوان یک لایه اطلاعاتی، ۲- استفاده از یک مدل منظم به عنوان پیش فرض برای ساختمان‌ها که نوع هندسه ساختمان‌ها در مناطق مختلف متغیر است و ۳- عدم توجه به سایر ویژگی‌های تصویر مثل بافت.



شکل ۱- روش‌های ارائه شده برای شناسایی تغییرات

۱-۲- روش طبقه بندی تصاویر

یکی از روش‌های مهم آشکارسازی تغییرات، که امروزه بسیار مورد توجه محققان قرار گرفته است، طبقه بندی تصویر به منظور استخراج عوارض می باشد. اگرچه طبقه بندی تصویر، امکان استخراج اطلاعات معنی دار از تصویر را ممکن می سازد، اما دارای چند مشکل اساسی نیز می باشد. از جمله این مشکلات می توان به مشکل طبقه بندی تصاویر با قدرت تفکیک مکانی بالای ماهواره ای که روش‌های ساده پیکسل مبنا قادر به حل آن نخواهند بود اشاره کرد. مشکلات طبقه بندی مناطق بسیار متراکم شهری به دلیل پیچیدگی‌های فوق العاده، عدم همگونی داده‌ها، وجود موانع، سایه، مناطق پنهان و مشکلاتی از این قبیل که آنالیز طبقه بندی را با خطاهای بسیاری مواجه خواهند نمود [۲].

تحقیقات مهم در این زمینه، از سال ۲۰۰۴ با تحقیق در به روزرسانی ساختمان‌ها از روی تصاویر هوایی با استفاده از طبقه بندی پیکسل مبنا (Pixel-based) توسط Olsen آغاز شده است. الگوریتم ارائه شده توسط او جهت به روزرسانی پایگاه داده رقومی دقیق و کاملاً سه بعدی کشور دانمارک مورد استفاده قرار گرفت [۷]. اما در سال ۲۰۰۴، روشی شیء مبنا توسط Walter در به روزرسانی جاده، ساختمان و گیاه از روی تصاویر ماهواره ای ارائه شد [۸]. تحقیق بعدی منجر به ارائه روش پیکسل مبنا توسط Jung شد که از روی تصاویر هوایی ساختمان‌ها را به روزرسانی می کرد [۹]. نیکفر و همکاران (۲۰۱۰) تحقیقی به منظور به روزرسانی نقشه های ۱:۲۵۰۰۰

پوششی ایران انجام دادند. نتیجه این تحقیق ارائه یک الگوریتم بر مبنای قطعه بندی تصاویر با استفاده از توصیف‌گرهای طیفی و هندسی قطعه بندی بود [۲]. نقطه قوت این تحقیق، استفاده از توصیف‌گرهای متناسب با قطعه بندی و طبقه بندی تصویر بوده است که با این روش بر ضعف طبقه بندی‌های پیکسل مبنا و شیء مبنا غلبه کرده است. اما ضعف اصلی در این است که تنها تغییرات کلی عوارض در یک مقیاس کوچک را بررسی کرده و در بافت منطقه شهری مخصوصاً عوارض ساختمانی و تک ساختمان‌ها در مقیاس‌های بزرگ تر، راه حلی ارائه نکرده است. یکی دیگر از مهمترین تحقیقات در زمینه به روزرسانی نقشه‌ها با استفاده از طبقه بندی تصویر مربوط به کار Bouziani و همکاران (۲۰۱۰) است [۱۵] که هدف آن‌ها به روزرسانی نقشه های بزرگ مقیاس شهری و داده های مورد استفاده ایشان تصاویر پانکروماتیک و چندطیفی سنجنده کوئیک برد و نقشه رقومی قدیم منطقه بود. در حالت کلی روش ارائه شده توسط Bouziani عبارت است از مقایسه تصویر با قدرت تفکیک بالای مکانی با نقشه رقومی سابق که لزوماً باید به روز رسانی شود. این روش بر پایه یک رویکرد قاعده مبنا می باشد که اجازه می دهد تا عوارض شناخته شده با ویژگی های مختلف آنالیز شوند. استراتژی بوزیانی چند مزیت مهم دارد: ۱- امکان ترکیب دانش موجود با نقشه قبلی در روند آنالیز تصویر و موقعیت‌یابی مکان‌های محتمل برای تغییر. ۲- امکان استخراج لایه‌های اصلی و مورد نیاز در نقشه‌های بزرگ مقیاس مخصوصاً در مناطق شهری. ۳- امکان بررسی

تغییرات عوارض، بویژه عوارض ساختمانی و تک ساختمان‌ها در نقشه‌های بزرگ مقیاس. اما از معایب آن می‌توان موارد زیر را برشمرد: ۱- وابستگی شدید الگوریتم به اطلاعات و دانش نقشه‌های قدیمی (حال آنکه خود نقشه قدیمی با روش مخصوص زمان خود تهیه شده و ممکن است دارای خطا بوده باشد). ۲- الگوریتم تنها روی تصاویر با کنتراست بالا و نوردهی مناسب، بازدهی دارد و در صورتی که تصویر دارای شرایط ایده‌آل ذکر شده نباشد، نمی‌توان روی این روش حساب کرد. ۳- داده ورودی در این روش باید کاملاً قائم (اورتو) باشد و اگر عوارض تصویری دچار خطای ناشی از اختلاف ارتفاع باشند (که در اکثر تصاویر با قدرت تفکیک بالا موجود هست) آن تصویر در این روش قابل استفاده نیست. ۴- مناطق مورد مطالعه در این روش، مناطقی با بافت منظم و ساختمان‌های پراکنده هستند و روش نیز تنها در این‌گونه مناطق خوب عمل می‌کند و روی مناطقی که کمی پیچیدگی در توزیع عوارض داشته باشند دچار ضعف می‌شود.

۱-۱-۳- روش استفاده از آنالیزهای بصری

این دسته از روش‌های به‌روزرسانی نقشه‌ها برای مجریان طرح بسیار زمان بر بوده و نیز دارای هزینه بالاتری نسبت به روش‌های طبقه‌بندی تصاویر است. همچنین این روش‌ها قابلیت نیمه اتوماتیک بودن روش‌های قبل را نیز از دست می‌دهند. اما با همه این وجود، دقت و صحت مناسب و قابل اعتماد در این روش از مزایای این دسته روش‌هاست. به عبارت دیگر با توجه به ۳ مسئله، این روش از مهمترین روش‌های به‌روزرسانی نقشه‌ها به شمار می‌رود: (۱) به‌روزرسانی نقشه‌ها در علم نقشه برداری همواره مهم بوده است پس آنالیز بصری نیز مهم است. (۲) به‌روزرسانی نقشه‌ها به صورت فوری و لحظه‌ای مورد تقاضا نیست پس آنالیز بصری می‌تواند بکار گرفته شود. (۳) در به‌روزرسانی نقشه‌ها بحث Completeness (تطبیق کامل) مطرح است که اگر اجرا نشود عملیات به‌روزرسانی ناقص بوده و به درد نمی‌خورد. آنالیز بصری روشی است که از درجه بالای Completeness برخوردار است. یکی از جدیدترین الگوریتم‌های ارائه شده که برمبنای آنالیزهای بصری و تبدیل دستی از تصویر به نقشه تدوین گردیده، در سال ۲۰۱۲ توسط Zahir Ali و همکاران تهیه و استفاده شده است [۱۶]. آنها با ارائه

روشی یکپارچه در به‌روز رسانی نقشه‌های کاداستر در پاکستان با استفاده از آنالیزهای بصری تصاویر سنجش از دور، یکی از تحقیق‌های مهم در این بخش را انجام داده‌اند. علاوه بر الگوریتم Zahir Ali، چند تحقیق مهم دیگر در سطح بر روی تصاویر WorldView-2 انجام شده که از جمله آن‌ها می‌توان به ارائه تحقیق حمیدی و همکاران (۲۰۱۳) پرداخت که با استفاده از روش‌های مدلسازی مختلف به تصحیح هندسی تصویر WorldView-2 پرداخته و با در اختیار داشتن ۵۷ نقطه کنترل و نقاط چک مستقل و ترکیبات آن‌ها مدل‌های ریاضی چندجمله‌ای و رشنال و RPC را پیاده‌سازی کرده‌اند که در نتیجه این تحقیق تصحیح هندسی با ضرایب RPC پاسخگوی دقت مسطحاتی و ارتفاعی مورد نیاز در تهیه و بازنگری نقشه‌های توپوگرافی ۱:۲۰۰۰ بوده است [۲۱].

در تحقیق دیگر بامدادی و همکاران (۲۰۱۴) در زمینه تهیه نقشه کاداستر زراعی، از تصویر سنجنده WorldView-2 استفاده کردند. در این تحقیق ابتدا تصحیح هندسی تصویر با استفاده از ۳ ترکیب متفاوت برای نقاط کنترل و چک به روش رشنال زمین وابسته انجام شده است که در بهترین حالت دقت هندسی با استفاده از ۴۰ نقطه کنترل به ۰.۴۳ متر رسیده است. سپس تصویر قائم با استفاده از مدل رقومی ارتفاعی منطقه که از نقشه‌های پوششی حاصل شده، بدست آمده است که میزان خطای روی طول در تصویر قائم برابر $RMSE = 0.49$ متر می‌باشد که برای تهیه نقشه ۱:۲۰۰۰ مناسب است [۲۲].

۱-۲- روش‌های آشکارسازی تغییرات ارائه شده برای سطح دوم

در این مرحله آشکارسازی تغییرات از طریق گروه دوم یعنی تصویر به تصویر انجام شده و نسبت به روش‌های سطح اول وابستگی به نقشه قبلی منطقه کمتر است به این دلیل که در سطح اول ابتدا عوارض مختلف از جدیدترین تصویر استخراج می‌شود و پس از آن برای شناسایی تغییرات از مقایسه مرزهای عوارض موجود با نقشه قبلی استفاده می‌شود اما در سطح دوم شناسایی تغییرات مستقیماً از مقایسه تصاویر حاصل شده و به پایگاه داده اعمال می‌شود. در اینجا روش تصویر به تصویر به دو دسته دیگر تقسیم شده است: (۱) آشکارسازی تغییرات روی ۲

تردیدهایی در خصوص توان کاربرد عملی سنجش از دور در تهیه نقشه های بزرگ مقیاس شهری وجود دارد. به عنوان مثال، مسئله مهم، پایداری و درجه اطمینان است برای زمانی که بخواهیم نقشه های تهیه شده از مناطق شهری را با استفاده از داده های سنجش از دور به روز رسانی و بهنگام سازی کنیم. اهمیت و پیچیدگی این مسئله جایی زیاد است که نقشه های مورد مطالعه ما برای به روز رسانی نقشه های بزرگ مقیاس باشند. با ظهور سنجنده هایی که دارای تصاویر با قدرت تفکیک مکانی بسیار بالا هستند، به نظر می رسد که توان سنجش از دور در تهیه لایه های نقشه بسیار بالا رفته باشد، اما این مسئله باید مورد بررسی قرار گیرد. برای بررسی این موضوع فرضیاتی مطرح می شود که عبارتند از: (۱) استفاده از تصاویر استریوی GeoEye1 با زاویه دید متفاوت به جای تک تصویر قائم به عنوان تصویر جدید، می تواند در مدیریت خطاهای ناشی از اختلاف ارتفاع و ایجاد سایه نیز کمک کند. (۲) ویژگی های طیفی بیانگر هندسه هستند، اما در به روز رسانی نقشه های بزرگ مقیاس، استفاده از ویژگی های طیفی به تنهایی در آشکار سازی تغییرات موثر نخواهد بود پس باید ویژگی های دیگر تصویر را بکار گرفت. بدین منظور می توان ویژگی های مستقل و موثر را از دیگر ویژگی ها جدا کرده و مجموع ویژگی های انتخاب شده را به عنوان بردار ویژگی در نظر گرفت و برای آشکار سازی تغییرات استفاده کرد. با توجه به فرضیات ارائه شده، در تحقیق پیش رو می خواهیم کارایی تصاویر استریوی سنجنده GeoEye1 را در به روز رسانی نقشه های شهری با مقیاس ۱:۲۰۰۰ بررسی نماییم.

با توجه به تحقیقات و روشهای ارائه شده از سطوح مختلف آشکار سازی تغییرات، حداقل قابلیت های لازم برای ایجاد یک سیستم آشکار سازی تغییرات قوی و پایدار عبارتند از: توانایی آنالیز مناطق پیچیده از نقطه نظر طیف رادیومتریکی و بافت (مانند متراکم شهری) [۵]، [۶] استفاده بهینه از حداقل اطلاعات، بکارگیری الگوریتم های هوشمند در ارزیابی نتایج [۱۵]، نداشتن محدودیت در شناسایی تغییرات برای به روز رسانی نقشه های بزرگ مقیاس، داشتن سرعت عمل بالا و صرف هزینه بهینه، قابل پیاده سازی برای سازمان ها و ادارات مجری در امر به روز رسانی [۶]، [۱۶]، [۱۷]، [۱۸]. پس در این مرحله باید سطحی از آشکار سازی را در نظر بگیریم که قابلیت های

تصویر در زمان های مختلف (۲) آشکار سازی تغییرات روی چند تصویر در زمان های مختلف که از دسته دوم برای افزایش ویژگی های مکانی استفاده می شود. آشکار سازی تغییرات روی ۲ تصویر یا بیشتر مستلزم مقایسه آنهاست: (۱) مقایسه مستقیم مشخصه های منحصر به فرد در تصاویر (۲) مقایسه کردن تصاویرها پس از توصیف و تفسیر که البته ممکن است دچار خطای تلفیق مشخصه های منحصر به فرد شود. در طی سالهای اخیر برای امر به روز رسانی انواع نقشه های موضوعی در مقیاس های متوسط و کوچک از این دسته روش ها استفاده شده است ولی در شناسایی تغییرات برای به روز رسانی نقشه های بزرگ مقیاس شهری روشی ارائه نشده است. در اینجا مروری کلی بر روش های ارائه شده در این دسته خواهیم کرد.

روش NCAS توسط آقای caccetta و همکارانش در سال ۲۰۰۷ برای حذف خطا در مقایسه کردن تصاویرها (خطای تلفیق مشخصه های منحصر به فرد تصاویر که در مرحله مقایسه تصاویر پس از توصیف آنها ایجاد می شود) ارائه شد که در آن از یک سری زمانی و مدلسازی مکانی بهره گیری شده بود [۱۷]. روش های SDSU و CI بوجود آمدند که با استفاده از تمام طیف های ورودی، مشخصه های از دست رفته یا از بین رفته را جمع آوری می کرد. این روش ها محصول روسیه و اروپا هستند که فضای ویژگی تصویر اول و دوم را ترکیب کرده و به نقشه ی پوشش از بین رفته می رسد. این روش ها از داده های سری زمانی MODIS برای نقشه سازی تغییرات استفاده می کنند که توسط آقای HONSEN و همکارانش در سال ۲۰۱۰ بوجود آمد [۱۸]. روش سوم استفاده از بردار طیفی یا شاخص تغییر از یک حالت مرجع می باشد که این روش توسط آقای XIAN و همکارانش در سال ۲۰۰۹ استفاده شد. در این مجموعه ای از شاخص ها از جمله NDVI، وجود دارند که در مسیر شناسایی و ثبت تغییرات فعالیت دارند. این روش در لایه تغییر پوشش اراضی NLCD بکار گرفته می شود [۲]، [۲۰].

اگر به صورت کلی صحبت کنیم می توانیم بگوییم که هیچ کدام از مجموعه روش های معرفی شده برای شناسایی تغییرات نقشه های ۱:۲۰۰۰ شهری که موضوع و هدف اصلی تحقیق ما می باشد، به تنهایی کارآمد نیستند یا در هر کدام در شرایط خاصی به نتیجه می رسند. با وجود پیشرفت های مثبت در بخش تولید تصاویر ماهواره ای،

لازم را در جهت به‌روزرسانی نقشه‌های بزرگ مقیاس داشته باشد. یکی از ملزومات الگوریتم‌های شناسایی تغییرات، پس پردازش نتایج آشکارسازی می باشد که از دید اکثر روش‌ها دور مانده است [۶] و یا به صورت حدودی به آن پرداخته شده است [۱۵]. در این مرحله نیز باید از فیلترهای شکل شناسی^۱ کمک گرفت. با توجه به فرضیات مسئله و اینکه روش‌های آشکارسازی تغییرات در سطح دوم (تصویر به تصویر) در به‌روزرسانی نقشه‌های موضوعی کوچک یا متوسط مقیاس نتایج قابل قبولی داشته و مورد تایید سازمان‌های مجری طرح بوده، ما نیز الگوریتم آشکارسازی تغییرات را بر مبنای سطح تصویر به تصویر می‌گذاریم. مزیت اصلی این سطح از آشکارسازی تغییرات، حفظ تمامی اطلاعات ثبت شده در تصویر و بررسی جزء به جزء دو تصویر است. پیش‌نیازهای استفاده از این سطح، ۲ مورد است: ۱- هم مختصات و هم اندازه بودن تصاویر قدیمی و جدید ۲- همزمان بودن تصویر قدیمی با نقشه اولیه.

۲- داده‌های مورد استفاده

در این تحقیق به دلیل در دسترس بودن زوج تصاویر GeoEye1 و نیز پاسخگو بودن دقت مورد نیاز تصاویر به منظور بررسی به‌روزرسانی نقشه‌های بزرگ مقیاس شهری ۱:۲۰۰۰ از نظر ثنوری، تصاویر سنجنده GeoEye1 بکارگرفته شد. در جدول ۱ تعدادی از پارامترهای مهم سنجنده GeoEye1 ارائه شده است. درباره پارامتر قدرت تفکیک مکانی باید به این نکته اشاره کرد که سنجنده GeoEye1 تصاویر خود را با قدرت تفکیک مکانی ۰٫۴۱ متر دریافت می‌کند، اما این تصاویر با قدرت تفکیک مکانی ۰٫۵ متر در اختیار کاربران قرار می‌گیرد. بنابراین در محاسبات سنجش دقت مسطحاتی باید به این نکته دقت کرد. راجع به پارامتر عرض باند باید گفت که عرض باند ۱۵٫۲ کیلومتر مناسب تهیه ویا به‌روزرسانی کامل نقشه‌های ۱:۵۰۰۰ و کوچکتر از آن نیست. هرچند از نظر دقت مسطحاتی و ارتفاعی تصاویر این سنجنده برای نقشه‌های ۱:۲۰۰۰ و ۱:۵۰۰۰ و کوچکتر مناسب است اما این عرض از عرض استاندارد نقشه ۱:۵۰۰۰ کوچکتر است. بنابراین تصاویر سنجنده GeoEye1 برای تهیه یا

به‌روزرسانی کامل نقشه ۱:۲۰۰۰ کاربرد خواهد داشت. قدرت تفکیک رادیومتریکی پارامتر مهم دیگری است که در جدول به آن اشاره شده است. دلیل اهمیت پارامتر این است که هرچقدر مقدارش بیشتر باشد تصویر اخذ شده توسط سنجنده از نظر محتوایی قوی‌تر و از نظر تفسیری قابل درک‌تر است و همچنین در استخراج ویژگی‌های تصویر کاملاً موثر خواهد بود. پارامتر دیگر نسبت B:H است. اهمیت این پارامتر در تعیین دقت ارتفاعی قابل دریافت از تصاویر سنجنده GeoEye1 است. با توجه به مقدار این پارامتر در سنجنده GeoEye1، تصاویر اخذ شده توسط سنجنده دارای دقت ارتفاعی مناسب برای تهیه و یا به‌روزرسانی نقشه‌های ۱:۲۰۰۰ می‌باشند.

۳- روش پیشنهادی

کار اصلی در آشکارسازی تغییرات بین دو تصویر، پس از ریجستر کردن دقیق و هم‌اندازه کردن تصاویر نسبت به همدیگر، در واقع تفاضل ویژگی‌های دو تصویر از یکدیگر می‌باشد. یکی از مهمترین مشکلات کار با بردار ویژگی ذکر شده، این است که بردار ویژگی می‌تواند شامل تعداد زیادی ویژگی باشد که بکارگیری این بردار برای تک تک پیکسل‌های تصویر، فضای زیادی را طلب نموده و نیز حجم محاسبات را بسیار افزایش می‌دهد. همچنین بعضی از ویژگی‌های تصویر همبستگی زیادی به یکدیگر دارند که افزودن آن‌ها به بردار ویژگی اطلاعات بیشتری از عوارض تصویر به ما نمی‌دهد و تنها حجم محاسبات را افزایش می‌دهد. در اینجا ابتدا مجموعه‌ای از مهمترین ویژگی‌های بافتی را استخراج کرده و برای انتخاب ویژگی‌های مناسب و برطرف نمودن مشکلات ذکر شده، میزان همبستگی هر کدام از ویژگی‌ها را با سایر ویژگی‌های استخراج شده، محاسبه کرده و سپس هر کدام از ویژگی‌هایی که دارای همبستگی بیشتر هستند در یک گروه قرار می‌گیرند و در نهایت از هر گروه یک ویژگی انتخاب شده و در مجموع ویژگی‌های انتخاب شده بردار ویژگی را تشکیل می‌دهند.

^۱ Morphology

جدول ۱- پارامترهای مهم سنجنده GeoEye1

پارامتر	مقدار
ابعاد پیکسل	۰,۴۱ متر (پانکروماتیک) و ۱,۶۵ متر (رنگی)
عرض باند	۱۵,۲ کیلومتر
قدرت تفکیک رادیومتریکی	۱۱ بیت
نسبت B:H	۰,۵۴ (حداقل) و ۰,۸۳ (حداکثر)

این گروه‌بندی بر مبنای میزان همبستگی ویژگی‌های پیشنهادی انجام شده که ممکن است با افزودن سایر ویژگی‌ها، گروه‌بندی حاضر نیز تغییر کند. در این مرحله برای تشکیل بردار ویژگی باید از هر گروه یک ویژگی انتخاب کرده و در نهایت با حداقل ۴ عضو بردار ویژگی را تشکیل داد. بدین منظور اعضای هر یک از ۴ گروه ویژگی، در مناطق و تصاویر مختلف با عمل تفاضل‌گیری آزموده می‌شوند. هدف از این کار، شناخت میزان کارایی ویژگی‌ها در آشکارسازی تغییرات روی تصاویر مختلف با نوردهی، زاویه تابش خورشید، هندسه تصویربرداری متفاوت و همچنین تصاویر قائم و مایل می‌باشد. در نهایت این مرحله باید ویژگی‌هایی انتخاب شوند که دارای بیشترین کارایی در آشکارسازی تغییرات بوده و کمترین تاثیرپذیری از بین اثرات تغییر زاویه تابش خورشید، تشابه طیفی، نوردهی و لایه‌های اضافی را (به عنوان اثرات احتمالی موثر در تفاضل‌گیری تصاویر) داشته باشد. اگر بخواهیم در یک دید کلی نتایج تفاضل‌گیری از ویژگی‌های عنوان شده روی تصاویر مربوط به ۴ منطقه متفاوت از نظر وضعیت نوردهی، زاویه تابش خورشید و هندسه تصویربرداری را بیان کرده و عملکرد این ویژگی‌ها در حذف پارامترهای موثر در تفاضل‌گیری را به صورت جداگانه مورد بررسی قرار دهیم، می‌توان جدول ۳ را ارائه داد.

با توجه به جدول ۳ و همچنین مطالب ارائه شده، اگر بخواهیم برداری از این ویژگی‌ها تشکیل دهیم که در تفاضل‌گیری بتواند پارامترهای موثر روی همه نوع تصاویر را حذف یا کاهش و یا مدیریت کرده و عملکرد قابل قبولی در شناسایی واستخراج تغییرات داشته باشد باید از ویژگی‌های گروه‌های مختلف مورد بحث که دارای بهترین عملکرد و بیشترین کارایی در مقابله با پارامترهای موثر در تفاضل‌گیری و آشکارسازی تغییرات داشتند را در قالب بردار ویژگی قرار داده و در تفاضل‌گیری استفاده کرد.

بدین منظور ۳ قسمت از تصاویر پانکروماتیک سنجنده GeoEye1 قدیمی و جدید که از نظر تراکم ساختمانی (ساختمان به عنوان مهمترین عارضه در نقشه های شهری) متفاوت هستند را انتخاب کرده و برخی از ویژگی های بافتی تصویر مثل std^1 , $mean$, $data\ range$, ton , $entropy$, $skewness$, $homogeneity$, $contrast$, $disimilarity$, $second\ moment$, $correlation$ و $object$ را برای هر کدام از تصاویر استخراج می شود. سپس برای هر ویژگی، میزان همبستگی با سایر ویژگی ها را با استفاده از رابطه ۴-۱ محاسبه می شود.

$$\rho = \frac{Cov(i, j)}{\sqrt{var(i) \times var(j)}} \quad (1)$$

در رابطه بالا ρ میزان همبستگی بین دو ویژگی i و j ، $Cov(i, j)$ کوواریانس تصاویر دو ویژگی i و j ، $var(i)$ واریانس ویژگی i و $var(j)$ واریانس ویژگی j را نشان می دهند. پس از محاسبه میزان همبستگی ویژگی های استخراج شده نسبت به یکدیگر، این ویژگی ها با توجه به میزان همبستگی در چند گروه طبقه بندی می شوند. حال از هر گروه ویژگی که در آن ویژگی ها دارای نتایج مشابه هستند، یک ویژگی انتخاب می گردد. جدول ۲ میانگینی از میزان همبستگی ویژگی های تصاویر متنوع از نظر تراکم ساختمانی و میانگین این مقادیر را نشان می دهند. با توجه به نتایج جدول ۲ ویژگی های استخراج شده بر حسب میزان همبستگی به ۴ گروه تقسیم می شوند که به شرح زیر است:

- گروه ۱: $\{contrast, data\ range, disimilarity, std, correlation\}$
- گروه ۲: $\{entropy, skewness\}$
- گروه ۳: $\{homogeneity, second\ moment\}$
- گروه ۴: $\{ton, maen, object\}$

¹ standard deviation

جدول ۲- میانگین همبستگی ویژگی‌های محاسبه شده تصویر نسبت به یکدیگر در ۳ منطقه با تراکم متفاوت

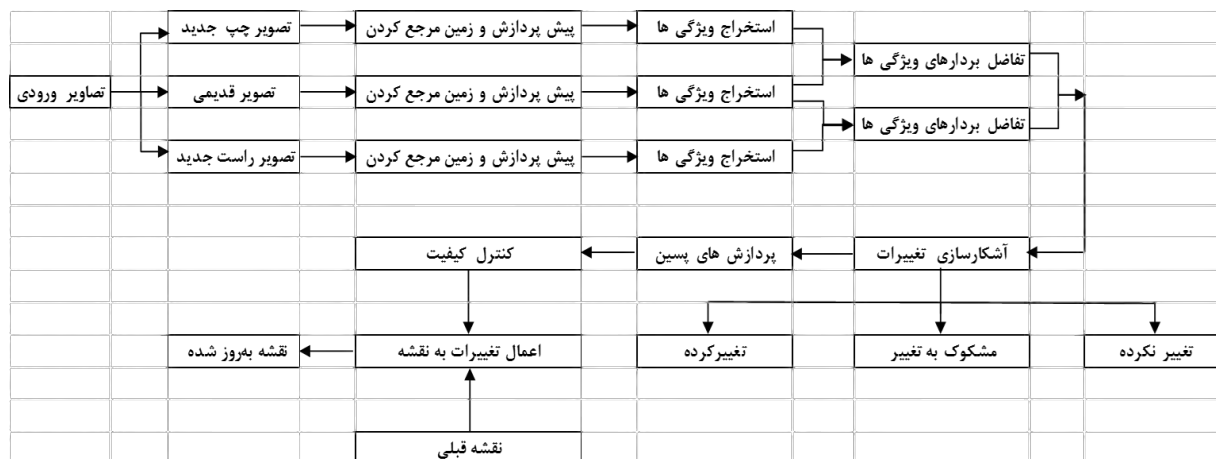
	contrast	correlation	data range	dissimilarity	entropy	homogeneity	mean	object	second moment	skewness	ton	variance
contrast	1.0000	0.1776	0.6598	0.8593	0.1561	-0.3811	0.1007	-0.0563	-0.2116	0.1346	0.3069	0.7720
correlation	0.1776	1.0000	0.2171	0.2211	-0.1458	-0.1555	-0.1748	0.1499	0.1704	-0.1484	-0.2039	0.2081
data range	0.6598	0.2171	1.0000	0.8813	0.3062	-0.5445	0.0860	-0.1418	-0.4099	0.2961	0.0894	0.9760
dissimilarity	0.8593	0.2211	0.8813	1.0000	0.3035	-0.5867	0.0938	-0.1294	-0.3988	0.2575	0.0992	0.8408
entropy	0.1561	-0.1458	0.3062	0.3035	1.0000	-0.5959	-0.2801	-0.5056	-0.9907	0.9108	-0.4580	0.2506
homogeneity	-0.3811	-0.1555	-0.5445	-0.5867	-0.5959	1.0000	0.1791	0.3525	0.9429	-0.6547	0.1975	-0.5013
mean	0.1007	-0.1748	0.0860	0.0938	-0.2801	0.1791	1.0000	0.5600	0.6763	-0.5725	0.9158	0.1557
object	-0.0563	0.1499	-0.1418	-0.1294	-0.5056	0.3525	0.5600	1.0000	0.8898	-0.8198	0.5693	-0.2130
second moment	-0.2116	0.1704	-0.4099	-0.3988	-0.9907	0.9429	0.6763	0.8898	1.0000	-0.8144	0.6129	-0.1618
skewness	0.1346	-0.1484	0.2961	0.2575	0.9108	-0.6547	-0.5725	-0.8198	-0.8144	1.0000	-0.5615	0.1241
ton	0.3069	-0.2039	0.0894	0.0992	-0.4580	0.1975	0.9158	0.5693	0.6129	-0.5615	1.0000	0.1240
std	0.7720	0.2081	0.9760	0.8408	0.2506	-0.5013	0.1557	-0.2130	-0.1618	0.1241	0.1240	1.0000

جدول ۳- عملکرد ویژگی‌های تصویر در حذف پارامترهای موثر در تفاضل‌گیری

ویژگی	پارامتر	عملکرد در حذف پیکسل‌های مشابه	حذف لایه‌های اضافی	حذف اثر نوردی	حذف اثر تشابه طیفی	حذف اثر تغییر زاویه تابش خورشید
contrast (گروه ۱)		✓	✗	✗	✗	✗
data range (گروه ۱)		✓	✓	✗	✗	✗
dissimilarity (گروه ۱)		✓	✗	✗	✗	✗
std (گروه ۱)		✓	✓	✗	✗	✓
correlation (گروه ۱)		✓	✗	✗	✗	✗
entropy (گروه ۲)		✓	✓	✓	✓	✗
skewness (گروه ۲)		✓	✗	✓	✓	✗
homogeneity (گروه ۳)		✓	✗	✓	✓	✗
second moment (گروه ۳)		✓	✓	✓	✓	✗
ton (گروه ۴)		✓	✗	✗	✗	✗
maen (گروه ۴)		✓	✗	✗	✗	✗
object (گروه ۴)		✓	✓	✗	✓	✗

جدید و یک تصویر قدیمی، عملیات تفاضل‌گیری دوبار انجام می‌شود که در نهایت ۲ تصویر خروجی از تغییرات آشکارسازی شده بدست می‌آید که با اشتراک‌گیری از دو تصویر خروجی، یک تصویر نهایی از تغییرات ایجاد می‌شود که در آن پیکسل‌های تصویر در ۳ کلاس جای می‌گیرند. کلاس اول "تغییرکرده" نام دارد و شامل پیکسل‌هایی است که در هر دو تصویر قبلی جزء کلاس "تغییرکرده" بوده‌اند. کلاس دوم "تغییرنکرده" نام دارد و شامل پیکسل‌هایی است که در هر دو تصویر قبلی در کلاس "تغییرنکرده" حضور داشته‌اند. کلاس سوم نیز "مشکوک به تغییر" نام دارد و شامل پیکسل‌هایی است که در یکی از دو تصویر قبلی جزء کلاس "تغییرکرده" و در تصویر دیگر جزء کلاس "تغییرنکرده" بوده‌اند.

مطابق بحث بالا، از هریک از گروه‌های ویژگی ارائه شده، یک ویژگی برحسب کارایی انتخاب شده و در مجموع بردار ویژگی ما با ۴ ویژگی پیشنهادی تشکیل می‌شود. این ۴ ویژگی عبارتند از: std (گروه ۱)، entropy (گروه ۲)، second moment (گروه ۳) و object (گروه ۴). بدینوسیله در تفاضل‌گیری بجای تفاضل سطح به سطح اطلاعات، از تفاضل حجم به حجم اطلاعات استفاده می‌شود. در عملیات تفاضل‌گیری اگر در ۳ یا ۴ سطح از ۴ سطح اطلاعات بردارهای ویژگی هر پیکسل وجود تغییرات مشاهده شود، آن پیکسل جزء پیکسل‌های "تغییرکرده" قرار می‌گیرد و در غیر این صورت آن پیکسل جزء پیکسل‌های "تغییرنکرده" قرار می‌گیرد. با توجه به بکارگیری تصاویر استریو GeoEye1 به‌عنوان دو تصویر

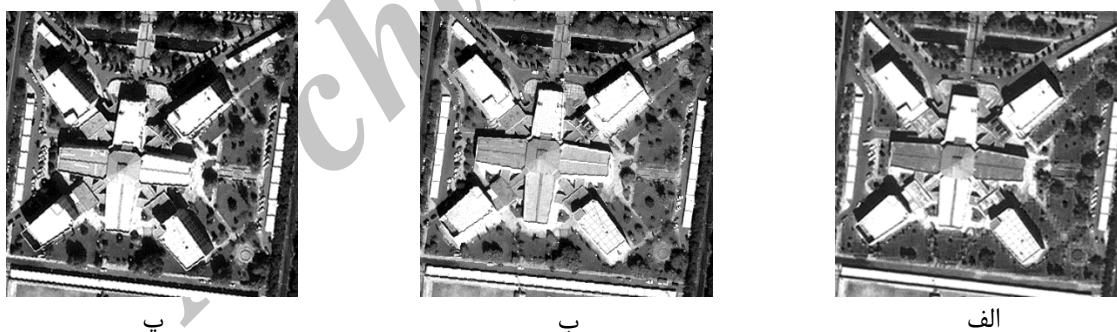


شکل ۲- نمودار الگوریتم پیشنهادی

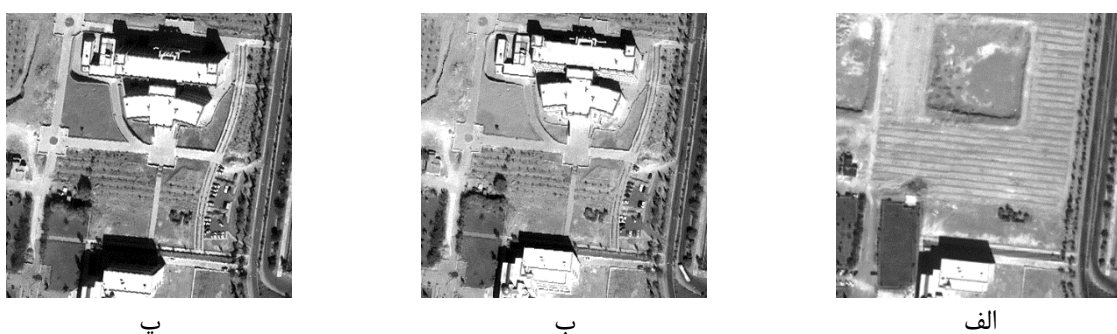
۴- نتایج

برای اجرای مراحل ارائه شده در به روزرسانی نقشه ۱:۲۰۰۰، از تصویر پانکروماتیک سنجنده GeoEye1 سال ۲۰۰۹ به عنوان تصویر قدیمی و از دو تصویر مایل چپ و راست پانکروماتیک سال ۲۰۱۳ به عنوان تصاویر جدید استفاده شد. استخراج ویژگی‌های مختلف از این تصاویر و ترکیب کردن آن‌ها برای تفاضل‌گیری، در کاهش اثر نوردهی متفاوت و اثر تشابه طیفی پیکسل‌های تصاویر موثر است.

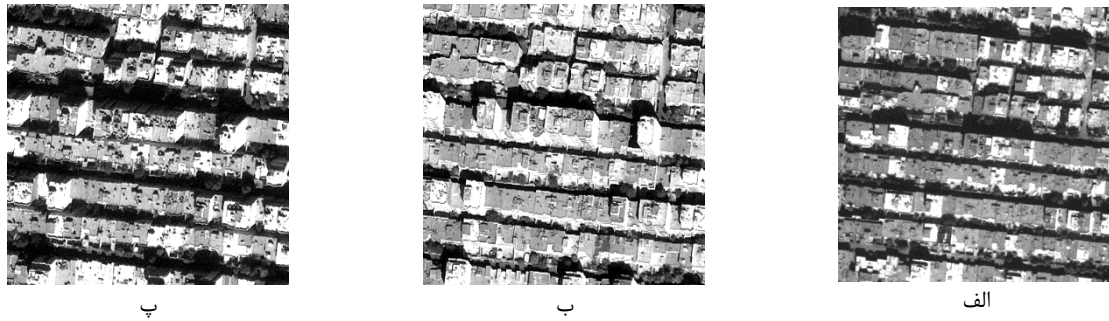
در ادامه باید روندی بکار گرفته شود که باقیمانده احتمالی خطاهای ناشی از پارامترهای موثر حذف و خطای ناشی از جابجایی ارتفاعی وارد شده را مدیریت کرد. همچنین آشکارسازی تغییرات وارد شده را مدیریت کرد. همچنین باقیمانده اطلاعات اضافی حذف و نتایج بدست آمده بصورت خالص و تمیز ارائه شود. این عملیات با استفاده از فیلترهای شکل‌شناسی قابل اجرا می‌باشد. بعضی از فیلترهای شکل‌شناسی عبارتند از Erosion، Dilation، Closing و Opening که در محیط نرم‌افزار Matlab قابل پیاده‌سازی می‌باشد.



شکل ۳- منطقه مورد مطالعه ۱- تصویر الف: تصویر GeoEye1 ۲۰۰۹- تصویر ب: تصویر GeoEye1 راست ۲۰۱۳- تصویر پ: تصویر GeoEye1 چپ ۲۰۱۳



شکل ۴- منطقه مورد مطالعه ۱- تصویر الف: تصویر GeoEye1 ۲۰۰۹- تصویر ب: تصویر GeoEye1 راست ۲۰۱۳- تصویر پ: تصویر GeoEye1 چپ ۲۰۱۳



شکل ۵- منطقه مورد مطالعه ۱- تصویر الف: تصویر GeoEye1 ۲۰۰۹- تصویر ب: تصویر GeoEye1 راست ۲۰۱۳- تصویر پ: تصویر GeoEye1 چپ ۲۰۱۳

۵- ارزیابی نتایج شناسایی تغییرات

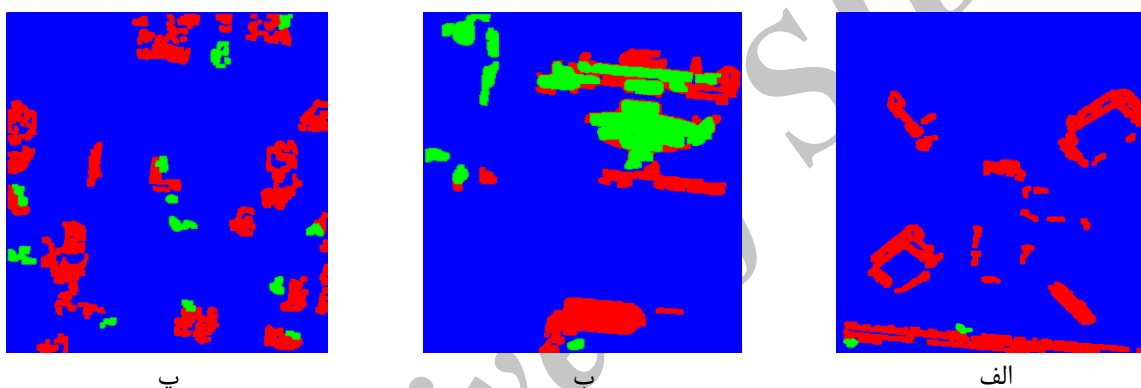
برای ارزیابی بهتر و منظم تر نتیجه شناسایی تغییرات، در تصویر خروجی از مرحله قبل دو کلاس "بدون تغییر" و "مشکوک به تغییر" با یکدیگر ادغام شدند. این کار به این دلیل انجام شد که هدف ما از ارائه پیکسل‌هایی در قالب کلاس "مشکوک به تغییر" در درجه اول مدیریت خطای ناشی اختلاف ارتفاع ساختمان‌ها بوده که در تصاویر مایل وجود داشته و در تفاضل‌گیری، روی این گروه از پیکسل‌ها تاثیر گذار می‌باشد و در درجه بعدی این کلاس فقط به عنوان گروهی از پیکسل‌هایی که استعداد تغییر را دارند، برای بررسی بیشتر به اپراتور پیشنهاد می‌شوند. در نتیجه روی این کلاس نمی‌توان برای تغییرات مسطحاتی حساب باز کرد و آن را قبل از بررسی و تحلیل، به نقشه اعمال نمود. در اینجا ادعای ما روی کلاس "تغییر کرده" است که باید میزان دقت و اعتماد پذیری آن را سنجید. در ادامه به منظور ارزیابی دقت شناسایی تغییرات رخ داده در هر یک از مناطق، از ماتریس خطاها استفاده شد. پس از اجرای ماتریس خطا و مقایسه تصاویر مربوط به تغییرات استخراجی با تغییرات واقعی، نتایج آن طبق جدول ۵،۴ و ۶ بدست آمد.

در منطقه مطالعاتی اول هیچگونه تغییر در لایه ساختمانی اتفاق نیفتاده است به این دلیل در تشکیل ماتریس خطا به برخی از سلول‌ها عدد صفر اختصاص داده شده است، در نتیجه محاسبه دقت‌های تولیدکننده و استفاده‌کننده برای کلاس "تغییر کرده" امکان‌پذیر نیست. در حالت کلی تنها می‌توان به این نکته اشاره کرد که در این منطقه با توجه به عدم ایجاد تغییرات ساختمانی در سطح، الگوریتم نیز فقط ۲۴۰ عدد از ۱۱۶۸۷۰ عدد پیکسل تصویر را به اشتباه در کلاس تغییرات قرار داده است. البته دقت کلی ۹۹/۷ درصد نیز بیانگر این موضوع است.

در شکل ۳ همانطور که مشخص است هیچ تغییری در لایه ساختمانی صورت نگرفته است. در شکل ۴ مشخصاً یک ساختمان به منطقه اضافه شده است. شکل ۵ مربوط به یک منطقه همراه با بافت پیچیده شهری است. پس از استخراج ویژگی‌ها، از حضور این ۴ ویژگی بجای درجات خاکستری تصویر، برای هر پیکسل از تصویر بردار ویژگی تشکیل شد. با تفاضل‌گیری از بردار ویژگی پیکسل‌های تصویر جدید چپ از تصویر قدیمی و تصویر جدید راست از تصویر قدیمی، در هر کدام یک از دو عملیات تفاضل، اگر مقدار تفاضل در ۳ مورد از ویژگی‌های هر بردار غیرصفر بود، آن پیکسل، می‌تواند یک پیکسل تغییر کرده باشد. در ادامه به پس‌پردازش نتایج می‌رسیم. در این مرحله باید باقیمانده اطلاعات اضافی مثل تک پیکسل‌های موجود در نتایج گام قبلی را حذف کرده و نتایج بدست آمده را بصورت خالص و تمیز ارائه کنیم. برای اجرای این مرحله روی مناطق مورد مطالعه، ابتدا از اجرای عملگر Opening با ضریب ۱ و محدوده موثر 4×4 روی خروجی گام سوم استفاده شد و سپس عملگر Closing با ضریب ۱ و محدوده موثر 3×3 روی نتیجه حاصل از اجرای عملگر Opening پیاده شد. همچنین برای افزایش کارایی الگوریتم، با استفاده از یک شرط مساحت برای مناطق تغییر کرده یا مشکوک به تغییر، الگوریتم دنبال می‌شود. قابل ذکر است که مقادیر استفاده شده در این شرط بصورت سعی و خطا بدست آمده است. شرط پیشنهادی به شرح زیر است: ۱- مناطق سبز یا قرمز دارای تعداد پیکسل مساوی یا کمتر از ۴ عدد حذف می‌شوند. ۲- مناطق سبز یا قرمز دارای تعداد پیکسل بیشتر از ۴ پیکسل، هر پیکسل تا فضای N پیکسل رشد می‌کند. در این شرط ها، N مساحت تقریبی کوچکترین ساختمان منطقه مورد مطالعه می‌باشد. در منطقه مورد مطالعه ما، $N=16$ می‌باشد. نتایج در شکل ۶ واضح است.

منطقه سوم مطالعاتی، دقت کلی ۹۵ درصد بوده است. همچنین دقت‌های تولیدکننده و استفاده‌کننده برای کلاس بدون تغییر با ارائه مقادیر ۹۷ درصد، حاکی از دقت و اطمینان بسیار بالا برای عملکرد الگوریتم برای طبقه‌بندی کلاس بدون تغییر در این منطقه است. اما دقت‌های تولیدکننده ۴ درصد و دقت استفاده‌کننده ۵ درصد برای طبقه‌بندی کلاس تغییر کرده، گویای عملکرد بسیار ضعیف الگوریتم در شناسایی تغییرات در منطقه می‌باشد. منطقه سوم به نمایندگی از مناطق دارای بافت متراکم و پیچیده شهری انتخاب شده بود که الگوریتم ما موفق به شناسایی تغییرات آن نشد اما حسن الگوریتم در اینگونه مناطق شناسایی مناطق بدون تغییر است، یعنی می‌تواند قسمت‌های تغییر نکرده از منطقه را معرفی نماید.

در منطقه دوم از مجموعه مناطق مطالعاتی، دقت کلی الگوریتم ۹۳ درصد محاسبه شده است اما این پارامتر به تنهایی نمی‌تواند تعیین کننده میزان کارایی الگوریتم در منطقه باشد. احتمال طبقه‌بندی صحیح برای هر یک از کلاس‌ها، با محاسبه دقت تولیدکننده ۹۵ درصد برای کلاس بدون تغییر و ۶۸ درصد برای کلاس تغییر کرده بدست آمد که مقادیر خوبی هستند. میزان قابلیت اطمینان به طبقه‌بندی هر یک از کلاس‌ها نیز با بکارگیری دقت استفاده کننده ۹۶ درصد برای کلاس بدون تغییر و ۶۴ درصد برای کلاس تغییر کرده محاسبه شد که مقادیر مناسبی هستند. در مجموع عملکرد الگوریتم در منطقه دوم که نماینده مناطق شهری کم تراکم است، قابل قبول می‌باشد.



شکل ۶- تصویر خروجی از اعمال فیلترهای شرط مساحت روی نتایج الگوریتم از ۳ منطقه مورد مطالعه (رنگ آبی: بدون تغییر، رنگ سبز: تغییر کرده و رنگ قرمز: بخش‌های دارای تغییرات احتمالی قابل ارائه به اپراتور)

جدول ۴- نتایج ارزیابی الگوریتم پیشنهادی در منطقه اول

Overall Accuracy = (۱۱۶۸۷۰/۱۱۶۶۳۰) %۹۹,۷۹۴۶				
Ground Truth (Pixels)				
Classification		بدون تغییر	تغییر کرده	Total
	بدون تغییر	۱۱۶۶۳۰	۰	۱۱۶۶۳۰
	تغییر کرده	۲۴۰	۰	۲۴۰
	Total	۱۱۶۸۷۰	۰	۱۱۶۸۷۰

Class	Prod. Acc.	User Acc.
بدون تغییر	%۱۰۰,۰۰	%۹۹,۷۹
تغییر کرده	%۰	%۰

جدول ۵- نتایج ارزیابی الگوریتم پیشنهادی در منطقه دوم

Overall Accuracy = (۱۰۱۲۱۰/۹۴۲۴۵) %۹۳,۱۱۸۳				
Ground Truth (Pixels)				
Classification		بدون تغییر	تغییر کرده	Total
	بدون تغییر	۸۷۳۷۰	۳۸۱۸	۹۱۱۸۸
	تغییر کرده	۳۱۴۷	۶۸۷۵	۱۰۰۲۲
	Total	۹۰۵۱۷	۱۰۶۹۳	۱۰۱۲۱۰

Class	Prod. Acc.	User Acc.
بدون تغییر	%۹۵,۸۱	%۹۶,۵۲
تغییر کرده	%۶۸,۶۰	%۶۴,۲۹

جدول ۶- نتایج ارزیابی الگوریتم پیشنهادی در منطقه سوم

Overall Accuracy = (۱۴۳۲۰۶/۱۳۶۱۴۸) %۹۵,۰۷۱۴				
Ground Truth (Pixels)				
Classification		بدون تغییر	تغییر کرده	Total
	بدون تغییر	۱۳۵۹۶۲	۳۳۷۹	۱۳۹۳۴۱
	تغییر کرده	۳۶۷۹	۱۸۶	۳۸۶۵
	Total	۱۳۹۶۴۱	۳۵۶۵	۱۴۳۲۰۶

Class	Prod. Acc.	User Acc.
بدون تغییر	%۹۷,۵۸	%۹۷,۳۷
تغییر کرده	%۴,۸۱	%۵,۲۲

۶- بحث و نتیجه‌گیری

سنجنده GeoEye1، الگوریتم پیشنهادی در مناطق کم تراکم کارایی لازم را دارد و همچنین در مناطق پرتراکم می‌تواند مناطق بدون تغییر را با دقت بالا به اپراتور معرفی کند. دقت‌های بدست آمده برای کلاس تغییر کرده و تغییر نکرده در شکل‌های ۷ و ۸ ارائه شده است. اما در نهایت با توجه به دقت نتایج حاصل از الگوریتم در مناطق پرتراکم، در عمل نظریه تناسب تصویر پانکروماتیک GeoEye1 با تولید یا به‌روزرسانی لایه ساختمانها در نقشه‌های شهری ۱:۲۰۰۰ مردود می‌باشد. اما روش حاضر با دقت بالایی در مناطق مختلف می‌تواند بخش‌های بدون تغییر را شناسایی کند. سایر نتایجی که از این تحقیق حاصل شد عبارتند از:

- ۱- در عملیات شناسایی تغییرات در سطح تصویر به تصویر، تفاضل‌گیری از تصاویر بر مبنای ویژگی‌های طیفی، به دلیل ایجاد خطاهای مختلف، به هیچ وجه نمی‌تواند در به‌روزرسانی نقشه‌های بزرگ مقیاس موثر باشد.
- ۲- مهمترین منبع تولید خطا در الگوریتم پیشنهادی، تنوع طیفی ساختمان‌ها می‌باشد.
- ۳- هم مرجع کردن تصاویر چپ و راست جدید با تصویر قدیمی نیز خطای مهمی است که با انتخاب نقاط متناظر با توزیع مناسب می‌توان آن را به حداقل رساند.
- ۴- اثر تغییر زاویه تابش خورشید، تشابه طیفی و تغییر نوردهی از دیگر خطاهای مهم در پیاده‌سازی الگوریتم است که با انتخاب تصاویر مناسب و تشکیل بردار ویژگی قابل حذف است.

۵- استخراج تغییرات ساختمانی به منظور به‌روزرسانی نقشه‌های بزرگ مقیاس در لایه ساختمان کار مشکلی است ولی با تولید ویژگی‌های بافتی بیشتر، تفاضل‌گیری ساده و در نظر گرفتن استراتژی مناسب، می‌توان حداقل در مناطق کم تراکم تغییرات ساختمانی را شناسایی نمود و در مناطق پرتراکم نیز قسمت‌هایی که احتمال تغییر در آن‌ها کم تر است را مشخص کرد.

در این مرحله به علت اهمیت دقت مسطحاتی در تهیه یا به‌روزرسانی نقشه‌های بزرگ مقیاس، با استفاده از روابط مربوط به محاسبه دقت مسطحاتی و دقت ارتفاعی مورد نیاز برای نقشه‌ها، مقیاس نقشه قابل استخراج از تصویر سنجنده GeoEye1 را محاسبه کرده و با دقت حاصل از الگوریتم پیشنهادی مقایسه شد.

$$S = \frac{\text{Pixel Size}}{0.3 \text{ mm} \times \sqrt{2}} \quad [۳] (۲)$$

S : عدد مقیاس نقشه، Pixel Size : ابعاد پیکسل مجاز روی زمین.
دقت مورد انتظار ارتفاعی نقشه‌ها طبق رابطه ۳ محاسبه می‌شود:

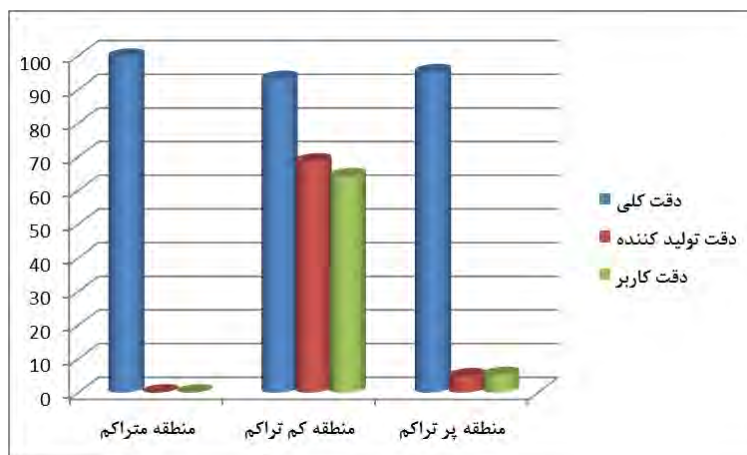
$$\delta e = 0.33 \times C.I \text{ (Contour Interval)} \quad [۳] (۳)$$

C.I : فاصله منحنی ترازها، δe : دقت ارتفاعی مورد نیاز.

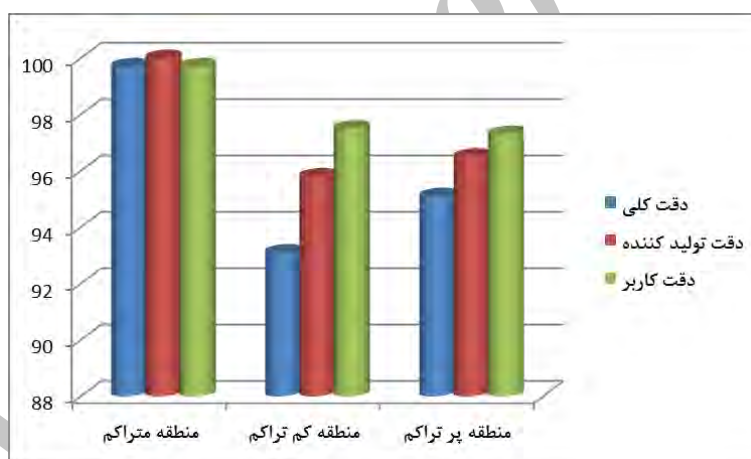
با توجه به دقت مسطحاتی قابل حصول از تصاویر GeoEye1، می‌توان به این نتیجه رسید این تصاویر از لحاظ مسطحاتی و ارتفاعی به صورت تئوریک پاسخگوی نقشه‌های شهری ۱:۲۰۰۰ می‌باشند. از طرف دیگر نتایج بیانگر این موضوع هستند که مقادیر دقت‌های کلی، تولیدکننده و کاربر بدست آمده برای کلاس تغییرات در بهترین حالت برای منطقه دوم که منطقه‌ای با تراکم ساختمانی کم است، به ترتیب ۹۳,۱۱ درصد، ۶۸,۶۰ درصد و ۶۴,۲۹ درصد می‌باشد. اما در منطقه سوم که از نظر ساختمانی پرتراکم است دقت‌های بدست آمده برای کلاس تغییرات به ترتیب عبارت است از: ۹۵,۰۷ درصد، ۴,۸۱ درصد و ۵,۲۲ درصد. با توجه به نتایج بدست آمده برای شناسایی تغییرات با استفاده از زوج تصویر

۸- با تفاضل گیری از بردار ویژگی‌های تصاویر زوج مایل جدید و تصویر قدیمی دارای پتانسیل لازم، می‌توان ساختمان‌هایی که تغییرات ارتفاعی در آن‌ها محتمل است را شناسایی کرده و برای بررسی مجدد به اپراتور معرفی نمود.

۶- ویژگی اصلی که در تحقیق حاضر بدست آمد، عدم وابستگی الگوریتم به اطلاعات اضافی مثل مدل ارتفاعی رقومی است.
۷- اگر تعداد داده های مورد استفاده در آنالیز شناسایی تغییرات بیشتر باشد، قابلیت اطمینان سیستم نیز افزایش می یابد.



شکل ۷- نمودار مقایسه دقت های بدست آمده برای کلاس " تغییر کرده " در مناطق مورد مطالعه



شکل ۸- نمودار مقایسه دقت های بدست آمده برای کلاس " تغییر نکرده " در مناطق مورد مطالعه

مراجع

- [1] GH. Jamebozoeq, (1380), Updating coverage maps of 1: 25000 by satellite imagery, Master Thesis, K. N. Toosi University of Technology.
- [2] M. Nikfar, (1388), Updating coverage maps of 1: 25000 by IRS-P5 images, Master Thesis, K. N. Toosi University of Technology.
- [3] M. R. Mobasheri, (December 1385), Fundamentals of Physical in remote sensing and satellite technology, K.N.Toosi University of Technology, first edition.
- [4] Instructions synchronization mapping, Volume Two (General of Aerial Mapping), Publication No. 119-2, National Cartographic Center.

- [5] M. J. Valadan Zoej, j. Foomani, (1999), Mathematical modeling and accuracy testing of IRS-1C stereo pairs, Joint workshop of ISPRS WG I/1, I/3 and IV/4, pp. 43-69.
- [6] Q.Zhang, I.Couloigner, (2004), A FRAMEWORK FOR ROAD CHANGE DETECTION AND MAP UPDATING, the international archives of the Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information science, Vol. 34, Part XXX.
- [7] T. Bailloeu, V. Prinet, B. Serra, P. Marthon³, p. Chen, H. Zhang, (2005), Digital building map refinement from knowledge-driven active contours and very high resolution optical imagery, German journal of Photogrammetry, Remote Sensing and Geoinformation, Vol. 6, pp. 511-522.
- [8] B. P. Olsen, T. Knudsen, P. Frederiksen, (2004), Automatic change detection for validation of digital map database, ISPRS congress, proceedings of commission II, pp.569-574, Istanbul.
- [9] V. Walter, (2004), object- based classification of Remote Sensing data for change detection, ISPRS Journal of Photogrammetry & Remote Sensing, Vol. 58, pp. 225-238.
- [10] F. Jung, (2004), Detecting building changes from multitemporal aerial Stereopairs. ISPRS Journal of Photogrammetry & Remote Sensing, Vol. 58, pp. 187-201..
- [11] S. P. Lennartz, R. G. Congalton, (2004), Classifying and mapping forest cover types using IKONOS imagery in the northeastern United State. Proceeding of the ASPRS annual conference, Denver, Colorado.
- [12] B.Hurskaie, R. Pellikka, (2004), The informal settlements of Voi in Taita Hills and Kenya, Expedition reports of department of Geography, University of Helsinki, Department of Geography, University of Helsinki.
- [13] A. Oostdijk, M. van Persie, H.H.S. Noorbergen, J. W. van Rijn, (2008), Multi scale object based detection and classification of roads and vehicles in high resolution optical satellite imagery, Geographic object based image analysis for the 21st century, university of Calgary, 2008.
- [14] G. Doxani, S. Siachalou, M. Tsakiri- Strat, (2008), An object oriented approach to urban land cover change detection, the international archives of the Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information sciences. Vol. XXXVII. Part B7, pp. 1655-1660, ISPRS conference, Beijing.
- [15] N. Championa, L. Matikainenb, F. Rottensteinerc, X. Liangb, J. Hyypäb, (2008), Atest of 2D building change detection methods: comparison, evaluation and preventative, the international archives of the Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences. Vol. XXXVII. Part B4, pp. 297-303, ISPRS conference, Beijing.
- [16] M.Bouziani, K.Goïta, D.Ch.Heb, (2008), Automatic change detection of buildings in urban environment from very high spatial resolution images using existing geodatabase and prior knowledge, ISPRS Journal of Photogrammetry and Remote Sensing, doi:10.1016/j. isprsjprs.
- [17] Z.Ali, A.Tuladharb & J.Zevenbergenb, (2012), An integrated approach for updating cadastral maps in Pakistan using satellite remote sensing data, International Journal of Applied Earth Observation and Geoinformation, doi:10.1016/j.jag.
- [18] P.A.Caccetta, S. L.Furby, J.O'Connell, J.F.Wallace, (2007), Continental monitoring:34 years of land cover change using Landsat imagery. 32nd International Symposium on Remote Sensing of Environment, San José, Costa Rica, June 25–29.
- [19] M.C.Hansen, S.V.Stehman, P.V.Potapov, (2010), Quantification of global gross forest cover loss. Proceedings of the National Academy of Sciences, 107, 8650 – 8655.
- [20] G.Xian, C.Homer, J.Fry, (2009), Updating the 2001 National Land Cover Database land cover classification to 2006 by using Landsat imagery change detection methods, Remote Sensing of Environment, 113, 1133–1147.
- [21] G.Xian & C.Homer, (2010), Updating the 2001 National Land Cover Database impervious surface products to 2006 using Landsat imagery change detection methods, Remote Sensing of Environment, 114, 1676–1686.
- [22] M.Hamidi & S.Sadeghian, (2013), WorldView-2 Satelliite Images Comprehensive Assessment For Provide Sari's Topographic Map, International Conference on Civil Engineering Architecture & Urban Sustainable Development, Tabriz , Iran, 27&28 November.
- [23] A.Bamdadi, A.SarkargarArdakani, S.Sadeghian, (2014), Integration of Remote Sensing and the GIS-based Methods for Provision of Cadastral Mapping of Agricultural Areas of Ardakan City, International journal of Advanced Biological and Biomedical Research, Volume 2, Issue 4(2), 342-348.