اولین کنفرانس مهندسی فناوری اطلاعات مکانی
دانشگاه صنعتی خواجه نصیرالدین طوسی
دانشکده مهندسی نقشه‌برداری
۲۹ و ۳۰ دی ماه ۱۳۹۴

The 1st National Conference on Geospatial Information Technology
K.N.Toosi University of Technology
Faculty of Geomatics Engineering
19 - 20 January 2016

بررسی و ارزیابی تکنیک‌های شناسایی تغییرات در تصاویر با حد تفکیک بالا مبتنی بر واحد پایه محاسباتی

الهه تمیمی [۱*]، حمید عبادی [۲]، عباس کیانی [۳]

۱- دانشجوی کارشناسی ارشد، گروه فتوگرامتری و سنجش‌ازدور، دانشگاه صنعتی خواجه‌نصیرالدین طوسی
۲- دانشیار گروه فتوگرامتری و سنجش‌ازدور، دانشگاه صنعتی خواجه‌نصیرالدین طوسی (عضو قطب علمی فناوری اطلاعات مکانی)
۳- دانشجوی دکتری، گروه فتوگرامتری و سنجش‌ازدور، دانشگاه صنعتی خواجه‌نصیرالدین طوسی

چکیده :

شناسایی تغییرات در سنجش‌ازدور، فرآیندی به‌منظور شناسایی اختلافات در وضعیت عارضه یا پدیده با مشاهده‌ی آن در زمان‌های مختلف می‌باشد. شناسایی تغییرات، زمینه را برای به‌روزرسانی اطلاعات در مورد سطح زمین فراهم می‌کند که مبنایی در بسیاری از کاربردها بشمار می‌آیند. ازجمله این کاربردها می‌توان برنامه‌ریزی و مدیریت منابع طبیعی، نظارت بر تغییرات پوشش کاربری/اراضی، ارزیابی و برآورد میزان تخریب عوارض، رشد و توسعه شهری اشاره نمود. تکنیک‌های متعددی در شناسایی تغییرات توسط محققین ارائه شده است که از دیدگاه‌های مختلفی دسته‌بندی‌شده‌اند. با توجه به هدف مقاله حاضر، این تکنیک‌ها از نظر واحد پایه محاسباتی به دو گروه کلی پیکسل‌مبنا و شیءمبنا تقسیم شده‌اند. در تکنیک‌های پیکسل‌مبنا از اطلاعات طیفی تصاویر استفاده می‌شود و برای تصاویر با حد تفکیک پایین مناسب می‌باشند و از حجم پایین محاسباتی نیز برخوردار می‌باشند اما به دلیل ضعف اطلاعات موجود در یک پیکسل، عدم استفاده از اطلاعات ساختاری و معنایی و تولید نتایج فلفل-نمکی، شناسایی تغییرات در تصاویر با حد تفکیک مکانی بالا از طریق این تکنیک‌ها عملکرد ضعیفی دارد. با ظهور پیشرفت‌هایی در سنجنده‌های سنجش‌ازدور و قابلیت اخذ تصویر با حد تفکیک مکانی بالا، آنالیز از سطح پیکسل به سطح شیء تغییر کرده است. در تکنیک‌های شناسایی تغییرات شیءمبنا علاوه بر اطلاعات طیفی، از اطلاعات ساختاری و معنایی اشیاء تصویری استفاده می‌شود. با توسعه تکنیک‌های آنالیز شیءمبنای تصویر، نقاط ضعف تکنیک‌های پیکسل‌مبنا رفع شده است و بهبود قابل‌توجهی در نتایج استخراج اطلاعات در مقایسه با تکنیک‌های پیکسل‌مبنا گزارش‌شده است. در این مقاله، با توجه به اهمیت تکنیک‌های شیءمبنا، به‌مرور و بررسی تکنیک‌های شناسایی تغییرات و چالش‌های موجود در این تکنیک پرداخته می‌شود.

واژه‌های کلیدی : تغییرات، تکنیک‌های پیکسل‌مبنا، تصاویر هوایی/ ماهواره‌ای، تکنیک‌های شیءمبنا.

نویسنده مکاتبه کننده : الهه تمیمی
آدرس پستی : تهران، خیابان ولیعصر، تقاطع میرداماد غربی، دانشگاه صنعتی‌خواجه نصیرالدین طوسی، دانشکده نقشه برداری
تلفن : ۰۲۱-۸۸۸۷۷۰۷۳
آدرس پست الکترونیک : Elahe.tamimi@gmail.com

۱- مقدمه

اطلاعات به‌روزرسانی شده در مورد کاربری/پوشش اراضی از اهمیت ویژه‌ای برخوردار است. شناسایی تغییرات به دلیل ظهور اطلاعات زمینی بدست آمده از ماهواره‌ها، تبدیل به گرایش اصلی تحقیقات در آنالیز تصاویر سنجش‌ازدور شده است. داده‌های سنجش‌ازدور به دلایل متعددی (امکان اخذ داده در زمان‌های متفاوت، فرمت دیجیتال مناسب برای محاسبات و انتخاب حد تفکیک‌های متنوع طیفی و مکانی) به‌عنوان منبع اصلی در شناسایی تغییرات محسوب می‌گردند [۱, ۲].

شناسایی تغییرات در سنجش‌ازدور توسط سینگ در سال ۱۹۸۹ به‌عنوان فرآیندی به‌منظور شناسایی اختلافات در وضعیت شیء یا پدیده با مشاهده‌ی آن در زمان‌های مختلف» تعریف‌شده است. از اهداف اصلی در شناسایی تغییرات می‌توان به مشخص کردن موقعیت هندسی و نوع تغییرات، کیفیت تغییرات و ارزیابی صحت نتایج اشاره نمود [۳-۵]. یک تحقیق شناسایی تغییرات مناسب، شامل اطلاعات: منطقه تغییریافته و نرخ تغییرات، توزیع مکانی انواع عوارض تغییریافته، سیر تغییرات انواع پوشش اراضی و ارزیابی دقت نتایج می‌باشد [۶]. کلی‌ترین طرح شناسایی تغییرات از دو مرحله استخراج ویژگی (به‌عنوان‌مثال اختلاف یا نسبت) و تابع تصمیم‌گیری (به‌عنوان‌مثال تغییریافته[1] در مقابل تغییرنیافته[2]) تشکیل می‌شود. بااین‌حال، تمامی روش‌های شناسایی تغییرات از مراحل فوق تبعیت نمی‌کنند [۷]. فرآیند شناسایی تغییرات از سه مرحله‌ی اصلی پیش‌پردازش، انتخاب تکنیک شناسایی تغییرات، ارزیابی دقت تشکیل می‌شود.

هرکدام از مراحل فوق دارای روش‌هایی است که روش بهینه متناسب با نوع داده‌ی مورد استفاده، دقت موردنیاز انتخاب می‌شود. تکنیک‌های شناسایی تغییرات از دیدگاه واحد پایه محاسباتی به دودسته: پیکسل‌مبنا و شیء‌مبنا تقسیم شده است [۸]. در تکنیک‌های پیکسل‌مبنا فقط از اطلاعات طیفی استفاده می‌شود و از اطلاعات ساختاری و مفهومی که در شناخت عوارض نقش مهمی دارند، استفاده نمی‌شود [۸]. استخراج عوارض بر مبنای واقعیت معمولاً نتایج مورد انتظار از پردازش تصویر است؛ به‌عبارت‌دیگر، هدف اصلی پردازش تصویر استخراج عوارضی است که از نظر ویژگی‌های طیفی و شکلی با واقعیت‌های موجود در طبیعت تطابق داشته باشد. روش‌های طبقه‌بندی پیکسل‌مبنا قابلیت برآورده کردن این انتظار را ندارند. با ظهور تصاویر سنجش‌ازدور با حد تفکیک مکانی خیلی بالا، ضعف تکنیک‌های پیکسل‌مبنا در این تصاویر و عدم عملکرد مناسب روش‌های پیکسل‌مبنا در مناطق پرتراکم شهری، استفاده از تکنیک‌های شیء‌مبنا روشی مناسب به‌منظور شناسایی تغییرات مناطق پرتراکم شهری می‌باشد. در تکنیک‌های شناسایی تغییرات شیء‌مبنا علاوه بر اطلاعات طیفی، از اطلاعات ساختاری و معنایی اشیاء تصویری استفاده می‌شود.

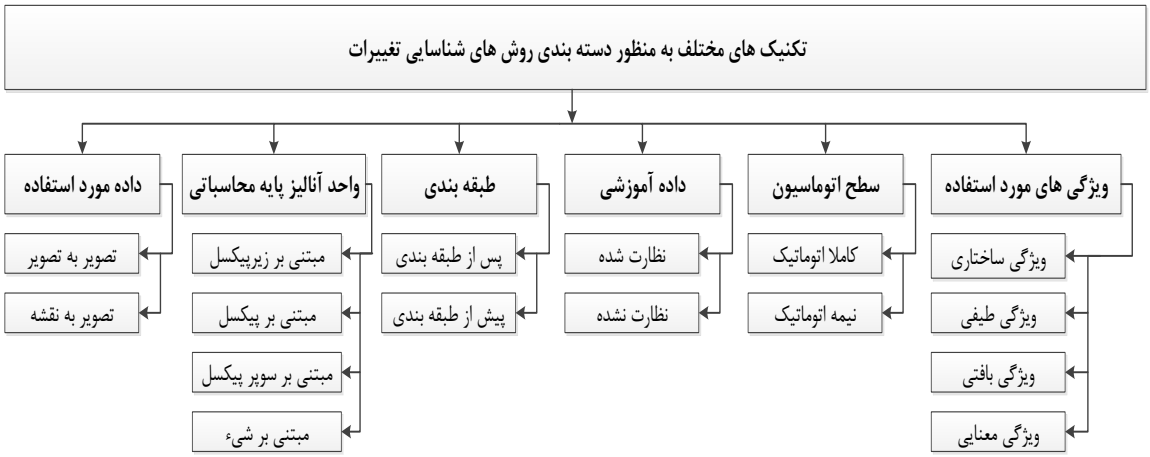
با توجه به مسائل مطرح‌شده در این مقاله، مبحث شناسایی تغییرات در چهار بخش مورد تحلیل واقع می‌شود. در بخش اول مقدمه‌ای بر شناسایی تغییرات ارائه می‌شود. سپس دیدگاه‌های مختلف در دسته‌بندی تکنیک‌های شناسایی تغییرات بیان می‌شود. در بخش سوم مروری بر تکنیک‌های شیء‌مبنا و نقاط قوت و ضعف هرکدام از تکنیک‌ها ارائه شده است. در بخش آخر نتیجه‌گیری از مقایسه تکنیک‌های فوق ارائه شده است.

۲-دیدگاه‌های مختلف در دسته‌بندی تکنیک‌های شناسایی تغییرات

تکنیک‌های متعددی به‌منظور شناسایی تغییرات توسط محققین ارائه شده است که از دیدگاه‌های مختلفی دسته‌بندی‌شده‌اند. با توجه به هدف مقاله حاضر، این تکنیک‌ها از نظر واحد پایه محاسباتی به دو گروه پیکسل‌مبنا و شیء‌مبنا تقسیم شده‌اند. بررسی‌های متعددی بر تکنیک‌های پیکسل‌مبنا ارائه شده است و در آن‌ها تکنیک‌های

[1] Change
[2] No Change

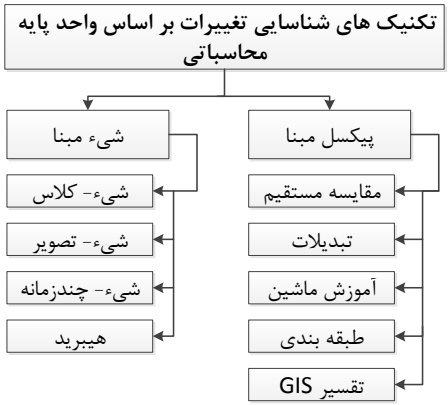
شناسایی تغییرات از دیدگاه‌های مختلفی موردبررسی قرار گرفتند و دسته‌بندی‌شده‌اند [۳, ۶, ۹-۱۲]. ازجمله آن می‌توان به هوسین [۱۳]، چن [۲]، لو [۶] اشاره نمود. هر یک از این محققین، از جنبه‌های مختلف به دسته‌بندی و معرفی آن‌ها پرداخته‌اند که اکثراً در دو دسته: تکنیک‌های پس از طبقه‌بندی[3] و تکنیک‌های قبل از طبقه‌بندی[4] برای دسته‌بندی کلی تکنیک‌های شناسایی تغییرات قرار می‌گیرند [۱۴]. چان و همکارانش، تکنیک‌های شناسایی تغییرات پیکسل‌مبنا را به دو گروه تکنیک‌های شناسایی میزان تغییرات و تکنیک‌های شناسایی ماهیت تغییرات گروه‌بندی کرده‌اند [۱۵]. لو و همکارانش تکنیک‌های شناسایی تغییرات را در هفت دسته کلی: تکنیک‌های جبری، تبدیلات، طبقه‌بندی، مدل‌های پیشرفته، تکنیک‌های سیستم اطلاعات جغرافیایی، آنالیز بصری و تکنیک‌های دیگر بررسی نمودند [۶]. آندرو و همکارانش تکنیک‌های شناسایی تغییرات را بر اساس واحد پایه محاسباتی در هفت گروه: پیکسل، کرنل، هم‌پوشانی شیء-تصویر، مقایسه شیء-تصویر، اشیاء تصویری چند زمانه، پلیگون و هیبرید دسته‌بندی نموده‌اند و بر اساس روش مقایسه در شش گروه: مقایسه مستقیم، مقایسه پس از طبقه‌بندی، تبدیلات، آنالیز بردار تغییرات، روش هیبرید و مقایسه بر اساس ویژگی دسته‌بندی نموده‌اند [۱۶]. دوی و همکارانش در سال ۲۰۱۵ مروری بر تکنیک‌های شناسایی تغییرات بر اساس واحد پایه محاسباتی پیکسل‌مبنا و شیءمبنا داشته‌اند و به بررسی نقاط قوت و ضعف هرکدام از روش‌ها پرداخته‌اند [۸]. در مواجه با تصاویر با حد تفکیک بالا تکنیک‌های شیءمبنا از کارایی بالاتری نسبت به سایر روش‌ها برخوردار بوده ولی درعین‌حال چالش‌های نیز در مواجه با این تصاویر دچار می‌شوند بر این اساس برخی از محققین به بررسی چالش‌های مربوط به این تکنیک در مطالعات مروری پرداخته‌اند [۲, ۸, ۱۲, ۱۷, ۱۸]. با توجه به مطالعات مروری متعدد، انواع دسته‌بندی تکنیک‌های شناسایی تغییرات در شکل (۱) ارائه شده است.



شکل ۱: تکنیک‌های مختلف به‌منظور دسته‌بندی تکنیک‌های شناسایی تغییرات

به دلیل ظهور تصاویر سنجش‌ازدور با حد تفکیک مکانی خیلی بالا و ضعف روش‌های پیکسل‌مبنا در این تصاویر و مناطق پرتراکم شهری، در ادامه به معرفی تکنیک‌های مختلف شناسایی تغییرات شیءمبنا در تصاویر سنجش‌ازدور چند زمانه و بررسی قابلیت‌ها، نقاط ضعف و قوت تکنیک‌ها پرداخته می‌شود (شکل ۲).

[3] Post-classification Techniques
[4] Pre-classification Techniques



شکل ۲: تکنیک‌های شناسایی تغییرات بر اساس واحد پایه محاسباتی

۳- تکنیک‌های شناسایی تغییرات شیءمبنا

تکنیک‌های شناسایی تغییرات شیءمبنا که تحت عنوان OBCD[5] شناخته می‌شوند، به‌منظور رفع محدودیت‌های تکنیک‌های پیکسل‌مبنا ارائه شده‌اند. با ظهور پیشرفت‌هایی در سنجنده‌های سنجش‌ازدور و قابلیت اخذ تصویر با حد تفکیک مکانی بالا، آنالیز از سطح پیکسل به سطح شیء تغییر کرده است. تکنیک‌های پیکسل‌مبنا در تصاویر با حد تفکیک مکانی بالا به دلیل وجود تنوع طیفی بالا در عوارض با محدودیت مواجه شده است. حد تفکیک مکانی بالاتر نیز منجر به پیکسل‌های مخلوط می‌شود که به‌عنوان یکی از بزرگ‌ترین منبع خطا و عدم اطمینان در شناسایی تغییرات پوشش اراضی در نظر گرفته می‌شود [۱۳]. به‌طورکلی، انگیزه استفاده از اشیاء تصویری به‌منظور شناسایی تغییرات به دلایل: افزایش دقت طبقه‌بندی، کاهش شناسایی تغییرات بدلی و استفاده از ویژگی‌های اشیاء تصویری ایجادشده می‌باشد [۲].

تکنیک‌های شناسایی تغییرات شیءمبنا که تحت عنوان OBIA[6] شناخته می‌شوند، بخشی از آنالیز شیءمبنا تصویر می‌باشند. پیشرفت‌های اخیر در حوزه‌ی فنّاوری‌های اطلاعات گرافیکی[7] از یک‌سو و توسعه‌ی سیستم‌های آنالیز تصویر مبتنی بر اشیاء تصویری (به‌عنوان‌مثال eCognition، Object IMAGINE و ENVI) از سوی دیگر سبب شده است که این نوع آنالیز به روشی کارآمد و تأثیرگذار تبدیل شود [۱۳]. در OBIA در ابتدا تصویر قطعه‌بندی می‌شود و اشیاء تصویری تولید می‌شود و سپس بر اساس اشیاء تصویری ویژگی‌های مختلف استخراج می‌شود و درنهایت اشیاء تصویری طبقه‌بندی می‌شوند و به کمک یکی از روش‌های شناسایی تغییرات شیءمبنا، تغییرات شناسایی می‌شوند. همچنین یکی از مزایای OBIA آسان‌تر نمودن پردازش هم‌زمان داده رستری و داده برداری می‌باشد [۱۸]. واحد پایه‌ی آنالیز در OBIA، اشیاء تصویری می‌باشد که اطلاعات جامع‌تری مانند بافت، شکل، ارتباطات مکانی با اشیاء همسایه و داده مکانی جانبی برای حد تفکیک مکانی متفاوت ارائه می‌دهد که امکان استخراج محتوای مکانی را فراهم می‌کند و این آنالیز مشابه با تجزیه‌وتحلیل انسان است که به‌طور مستقیم اشیاء را از تصویر به‌جای پیکسل‌های منحصربه‌فرد با در نظر گرفتن ویژگی‌های مختلف (به‌عنوان‌مثال ابعاد، بافت و شکل) و ترتیب مکانی این اشیاء به‌منظور درک معانی شناسایی می‌کند [۱۹]. مطالعات مروری متعددی در زمینه OBCD انجام شده است. در یکی از بررسی‌ها، دوی تکنیک‌های شیءمبنا را به سه دسته: شیء- تصویر، شیء- کلاس، شیء-چند زمانه تقسیم کرد [۸]. استو، استراتژی‌های OBCD را به دو گروه مقایسه پس از طبقه‌بندی و آنالیز اشیاء تصویر چند زمانه تقسیم کردند [۲۰].

[5] Object Based Change Detection (OBCD)
[6] Object Based Image Analysis (OBIA)
[7] Graphical information technologies

چن، این روش‌ها را در چهار دسته: شیء- تصویر[8]، شیء- کلاس[9]، شیء-چند زمانه[10] و هیبرید گروه‌بندی کردند [۲]. در ادامه به معرفی تکنیک‌های OBCD پرداخته می‌شود.

۳-۱- شناسایی تغییرات شیء- تصویر

الگوریتم‌های شناسایی تغییرات شیءمبنا که بر مقایسه‌ی مستقیم اشیاء تصویری متمرکز هستند، در گروه روش‌های شناسایی تغییرات شیء- تصویر قرار می‌گیرند. در روش مقایسه مستقیم شیء-تصویر، اشیاء از یک تصویر استخراج می‌شوند و به داده‌ی تصویری اخذشده در زمان دوم نسبت داده می‌شوند یا در آن جستجو می‌شوند. تغییرات می‌تواند یا به‌وسیله‌ی ویژگی‌های هندسی (مانند عرض، مساحت و فشردگی) [۲۱, ۲۲] و یا ویژگی‌های طیفی مانند (مقادیر میانگین باندها) [۲۳] و یا ویژگی‌های استخراج‌شده از اشیاء تصویری (مانند بافت) [۲۱, ۲۴] شناسایی شوند. به‌طورکلی، دو روش توسعه‌یافته است. در اولین روش، میلر، الگوریتم OBCD را به‌منظور شناسایی تغییرات حباب‌های بامعنی (مانند اشیاء) بین جفت تصاویر خاکستری پیشنهاد داد [۲۵]. این الگوریتم شامل دو مرحله: استخراج اشیاء تصویری به کمک آنالیز پیوستگی، تناظریابی اشیاء تصویری بین دو تصویر به‌منظور شناسایی تغییرات می‌باشد. ازآنجایی‌که الگوریتم مستقیماً بر روی اشیاء استخراج‌شده انجام می‌شود، بنابراین در این روش نیازی به پنجره از قبل تعیین‌شده نیست و این روش نتایج بهتری را حتی در تصاویر ورودی نویزی حاصل می‌کند. در دومین روش، قطعات از تصاویر چند زمانه به‌منظور شناسایی تغییرات استخراج می‌شوند و مقایسه می‌شوند [۲۶]. محدودیت روش اول این است که فقط تغییرات مربوط به اشیاء استخراج‌شده از تصویر اول حاصل می‌شود و اشیاء جدیدی که ممکن است در تصویر زمان دوم به علت تغییر به وجود آمده باشند، شناسایی نخواهند شد. بااین‌حال دومین روش امکان استفاده از تمامی اشیاء تصویری از هر دو تصویر را به‌منظور آنالیز تغییرات فراهم می‌کند. لفبور و همکارانش، استفاده از ویژگی‌های هندسی (مانند اندازه، شکل و موقعیت) و اطلاعات محتوایی (مانند بافت به‌دست‌آمده از تبدیل موجک[11]) در در OBCD را مورد ارزیابی قرار دادند [۲۱]. از دیگر تحقیقات انجام‌شده در این روش می‌توان به تحقیقات های و هال [۲۳] و چن و همکارانش [۲۷] اشاره نمود (جدول ۱).

۳-۲- شناسایی تغییرات شیء- کلاس

در این روش دو قطعه‌بندی به‌صورت جداگانه ایجاد می‌شود و به‌طور مستقل اشیاء تصویری طبقه‌بندی می‌شود و با مقایسه‌ی مستقل اشیاء طبقه‌بندی‌شده از تصاویر چند زمانه تغییرات شناسایی می‌شوند. در مرحله طبقه‌بندی، الگوریتم طبقه‌بندی هم از اطلاعات طیفی و هم از اطلاعات بافتی استفاده می‌کند. تکنیک‌های طبقه‌بندی مورد استفاده شامل: درخت تصمیم‌گیری، بیشترین شباهت، نزدیک‌ترین همسایگی [۴] و فازی می‌باشد. مقایسه‌ی مستقیم اشیاء تصویری نمی‌تواند تغییرات «از-به» کلاس‌های عوارض را ارائه دهد (به‌عنوان‌مثال تغییر از منطقه بایر به پوشش گیاهی) که این نوع تغییرات نیازمند اطلاعات اضافی طبقه‌بندی هستند. این روش ماتریس تغییرات را که بیان‌کننده‌ی اطلاعات تغییرات «از-به» است، فراهم می‌کند. ازآنجایی‌که هر شیء متعلق به یک کلاس خاص است، مرحله‌ی مقایسه‌ی شیء در OBCD نیازی به در نظر گرفتن ویژگی‌هایی مانند مقادیر طیفی و بافت شیء ندارد [۲]. لایه‌هایی GIS یا نقشه‌های موجود با استفاده از این روش به‌روزرسانی می‌شوند. محققین متعددی با استفاده راهکارهایی را با استفاده از این روش ارائه داده‌اند که می‌توان به دوریکس [۲۸]، والتر [۲۹]، لالیبرت [۳۰]، هیزل [۳۱]، لی [۳۲] و سان [۳۳] اشاره نمود (جدول ۱).

[8] Image-Object Change Detection
[9] Class-Object Change Detection
[10] Multitemporal-object Change Detection
[11] Wavelet

۳-۳- شناسایی تغییرات شیء- چند زمانه

در این روش، تصاویر چند زمانه با یکدیگر ترکیب می‌شوند و به‌منظور تولید تغییرات اشیاء متناظر قطعه‌بندی می‌شوند زیرا اشیاء تصویری حاصل از قطعه‌بندی، در زمان‌های متفاوت بدست آمده‌اند. لازم به ذکر است تصاویر اخذشده در زمان‌های مختلف به‌ندرت از منطقه مشابه اخذ می‌شوند که این امر به دلایل شرایط روشنایی، زاویه‌ی دید و شرایط آب و هوایی می‌باشد [۳۴]؛ بنابراین این اشیاء تصویری از نظر هندسی با یکدیگر متفاوت هستند، حتی اگر متعلق به یک عارضه‌ی جغرافیایی باشند [۸]. بجای قطعه‌بندی تصاویر چند زمانه به‌صورت جداگانه، مفهوم شناسایی تغییرات اشیاء چند زمانه مزیت تمام حالات چند زمانه صحنه‌ی تصویری را در برمی‌گیرد[۲].

دسلی، مجموعه تصویر چند زمانه ورودی را با یکدیگر با محاسبه‌ی ویژگی‌های طیفی آن (مانند میانگین و انحراف استاندارد) از هر زمان برای همه‌ی اشیاء تصویری قطعه‌بندی می‌کند. درنهایت، تمایز بین اشیاء تغییریافته و تغییرنیافته با استفاده از آنالیز آماری مبتنی بر آزمون کای- اسکوئر[12] انجام می‌شود. نویسنده با استفاده از این راهکار دقت شناسایی را بیشتر از ۹۰ درصد و کاپا کلی را بیش‌تر از ۰.۸۰ گزارش کرده است [۳۵]. محققین متعددی با استفاده راهکارهایی را با استفاده از این روش ارائه داده‌اند که می‌توان به بنتمپس [۳۶]، کانچدا [۳۷] اشاره نمود. برخی از محققین به بررسی تأثیر روش‌های متفاوت طبقه‌بندی پرداخته‌اند که می‌توان به استو [۳۸]، دولیر [۳۹]، یانگ [۴۰]، وانگ [۴۱] اشاره نمود (جدول ۱).

۳-۴- شناسایی تغییرات هیبرید

جدا از الگوریتم‌هایی که قبلاً موردبررسی و بحث قرار گرفتند، الگوریتم‌هایی وجود دارند که هم از تکنیک‌های پیکسل‌مبنا و هم از تکنیک‌های شیءمبنا استفاده می‌کنند. این الگوریتم‌ها، الگوریتم‌های شناسایی تغییرات هیبرید نامیده می‌شوند [۲]. ایده‌ی روش هیبرید این است که اطلاعات اولیه تغییرات باید از پیکسل‌ها استخراج شوند و اشیاء تصویری باید درنتیجه به‌منظور استخراج بهتر نتایج تغییرات مورد استفاده قرار می‌گیرند [۲]. HCD از دو و یا چند روش شناسایی تغییرات استفاده می‌کند که می‌تواند هم در سطح پیکسل و هم در سطح شیء استفاده شود. HCD به دو دسته: آنالیز هیبرید فرآیند مبنا و آنالیز هیبرید نتیجه مبنا تقسیم‌بندی می‌شوند [۱۲]. آنالیز هیبرید فرآیند مبنا از روش‌های مختلف شناسایی در مراحل یا روندهای مختلف شناسایی استفاده می‌کند. در این نوع آنالیز، تلفیق طبقه‌بندی و روش شیءمبنا نسبت به تلفیق طبقه‌بندی و روش جبری بیشتر مرسوم می‌باشد. تحقیقات اخیر نشان می‌دهند که تلفیق دو تکنیک شناسایی تغییرات (به‌عنوان‌مثال تفاضل تصویر و آنالیز مؤلفه‌های اصلی، شاخص پوشش گیاهی و آنالیز مؤلفه‌های اصلی) می‌تواند نتایج شناسایی تغییرات را بهبود دهد. آنالیز هیبرید نتیجه‌مبنا از روش‌های مختلف شناسایی تغییرات استفاده می‌کند و سپس نتایج آن‌ها را به‌طور جامع آنالیز می‌کند. در این نوع آنالیز، استراتژی‌های تلفیق تصمیم‌گیری (به‌عنوان‌مثال رأی‌گیری و منطق فازی و غیره) به‌طور گسترده‌ای مورد استفاده قرار می‌گیرند.

۳-۵- مقایسه تکنیک‌های شیءمبنا

با توجه به روش‌های ذکرشده در شناسایی تغییرات شیءمبنا، در این بخش برخی از تحقیقات انجام‌شده در تکنیک‌های شناسایی تغییرات شیءمبنا و مقایسه بین روش‌های مذکور و بررسی نقاط قوت و ضعف آن‌ها به ترتیب در جدول (۱) و جدول (۲) ارائه شده است.

[12] Chi-square test

جدول ۱: برخی از تحقیقات انجام‌شده در تکنیک‌های شناسایی تغییرات شیءمبنا

تکنیک	راهکار	نام محقق، سال	داده مورد استفاده	هدف راهکار ارائه شده
شیءمبنا	شیء-تصویر	های و هال، ۲۰۰۳ [۲۳]	تصاویر پانکروماتیک اسپات چند زمانه	شناسایی اشیاء تغیر یافته در حد تفکیک‌های مختلف با قطعه‌بندی باند پانکروماتیک تصویر اسپات از دو تاریخ و اعمال مستقیم روش تفاضل تصویر
		چن، ۲۰۰۷ [۲۷]	تصاویر ماهواره‌ای	مقایسه بین سه نوع الگوریتم‌های OBCD: آنالیز همبستگی، PCA و آنالیز تکامل مرز
	شیء-کلاس	هیزل، ۲۰۰۱ [۳۱]	تصاویر ابرطیفی چند زمانه	شناسایی تغییرات اشیاء نظامی با محاسبه ضریب اطمینان اشیاء متناظر استخراج‌شده از دو زمان
		لی و نارایانان، ۲۰۰۳ [۳۲]	تصاویر چند زمانه لندست	کمی کردن تغییرات ازدست‌رفته با استفاده از اندازه‌گیری مشابهت شکل
		لالیبرت، ۲۰۰۴[۳۰]	۱۱ تصویر هوایی، یک تصویر کوئیک‌برد	تولید نقشه‌ی تغییرات پوشش گیاهی با هم‌پوشانی مستقیم تصاویر طبقه‌بندی‌شده دو زمانه
		والتر، ۲۰۰۷ [۲۹]	تصاویر هوایی، نقشه‌های ۱:۲۵۰۰۰	ارزیابی استفاده از ویژگی‌های ورودی مختلف (به‌عنوان‌مثال شاخص پوشش گیاهی و طیفی و بافت) در طبقه‌بندی شیء مبنا به‌منظور به‌روزرسانی نقشه‌های قدیمی
		دوریکس، ۲۰۰۸ [۲۸]	تصاویر اسپات	نظارت بر توسعه شهری با طبقه‌بندی شیء مبنا (با استفاده از توابع تعلق فازی)
		سان، ۲۰۱۵[۳۳]	تصاویر چند زمانه لندست	بررسی تغییرات جنگل با استفاده از شناسایی تغییرات شیءمبنا
	اشیاء چند زمانه	استو، ۲۰۰۸ [۳۸]	تصاویر چندطیفی هوایی	ارزیابی نتایج دو با طبقه‌بندی کننده‌ی نزدیک‌ترین همسایگی و توابع تعلق فازی به‌منظور نظارت بر تغییرات بوته‌ها
		دولیر، ۲۰۰۸ [۳۹]	تصاویر چند زمانه لندست TM و ETM+	ارزیابی نتایج بدست آمده از الگوریتم طبقه‌بندی‌شده نظارت‌نشده ISODATA به‌منظور شناسایی تغییرات پوشش اراضی
		یانگ، ۲۰۱۴ [۴۰]	تصاویر چند زمانه اسپات	شناسایی تغییرات شیءمبنا انواع پوشش اراضی با استفاده از تبدیل کای-اسکوئر
		وانگ، ۲۰۱۵ [۴۱]	تصاویر کوئیک‌برد و ورلد ویو/ تصاویر دو زمانه ماهواره‌ای	کاهش خطاهای شناسایی تغییرات به وجود آمده در اثر جابجایی مکانی تصاویر چند زمانه با زوایای متفاوت اخذ تصویر

تکنیک	زیر کلاس	مزیت	محدودیت
شیءمبنا	شیء- تصویر	• مقایسه‌ی آسان اشیاء تصویری • سادگی قابلیت اجرا	• وابستگی نتایج بدست‌آمده به دقت قطعه‌بندی • فراهم نشدن اطلاعات تغییرات «از-به» • چالش در جستجوی مکانی اشیاء متناظر در تصاویر چند زمانه • چالش انتخاب حد آستانه‌ی مناسب
	شیء- کلاس	• استفاده از تمام اشیاء برای شناسایی تغییرات • امکان اندازه‌گیری تغییرات هندسی و توپولوژی • شناسایی تغییرات بر اساس مقایسه‌ی تصاویر طبقه‌بندی‌شده • فرآهم نمودن ماتریس کامل‌تر تغییرات «از-به» نسبت به سایر روش‌ها	• تفاوت در اندازه‌ی اشیاء تصویری و متناظرشان در تصاویر چند زمانه به دلیل قطعه‌بندی • نتایج تغییرات نادرست در اثر وجود خطای موقعیتی در مرتبط سازی اشیا دو تصویر • وابستگی نتایج به‌دست‌آمده به‌دقت قطعه‌بندی • وابستگی نتایج به‌دست‌آمده به‌دقت طبقه‌بندی
	اشیاء چند زمانه	• یک مرحله قطعه‌بندی بر تصاویر چند زمانه روی‌هم گذاشته‌شده • ویژگی‌های هندسی مشابه اشیاء تصویری در دو زمان • استخراج ویژگی‌های هندسی، طیفی و استخراج‌شده از اشیاء تصویری به‌منظور ایجاد روند تغییرات	• تولید برخی مصنوعات از هم‌مرجع-سازی اشتباه • عدم تولید اشیاء مختلف/ جدید به وجود آمده در زمان‌های مختلف
	هیبرید	• استفاده‌ی کامل از مزایای الگوریتم‌های متعدد و به دست آوردن نتایج بهتر شناسایی تغییرات • تلفیق مزایای روش‌های شناسایی تغییرات مبتنی بر حد آستانه گذاری و طبقه‌بندی	• مشخص نبودن تأثیر تلفیق‌های مختلف شیءمبنا و پیکسل‌مبنا بر نتایج نهایی • دشوار بودن انتخاب بهترین ترکیب برای کاربرد مورد نظر • استفاده از روش سعی و خطا

جدول ۲: مزایا و محدودیت‌های تکنیک‌های شناسایی تغییرات شیءمبنا

۴- چالش‌ها در تکنیک‌های شناسایی تغییرات شیءمبنا

در OBCD تصویر سنجش‌ازدور بر اساس ویژگی‌های طیفی و مکانی و تجربه‌ی فرد خبره (اغلب در فرم مجموعه قواعد) به‌منظور نمایش عوارض جغرافیایی قطعه‌بندی می‌شوند. خروجی قطعه‌بندی اشیاء تصویری بامعنی از عوارض جغرافیایی می‌باشد. در شناسایی تغییرات شیءمبنا بر اساس مقایسه اختلافات در ویژگی‌های طیفی و/ یا مکان و یا هندسی که اشیاء تصویری در طول زمان دارند، تغییرات شناسایی می‌شود [۲]. الگوریتم‌های قطعه‌بندی بسیاری در حال حاضر وجود دارد که هندسه‌ی شیء تولیدشده را تحت تأثیر قرار می‌دهد. در ادامه به معرفی برخی از چالش‌های موجود در OBCD پرداخته می‌شود.

۴-۱- مقایسه اشیاء تصویری

ازآنجایی‌که اشیاء تصویری به‌عنوان واحد پایه‌ای در OBCD مورد استفاده قرار می‌گیرند، مهم‌ترین مسئله‌ای که نیاز است رفع شود، تعیین تغییرات بین اشیاء تصویری است. راه‌حل مقایسه‌ی اشیاء تصویری داده‌های چند زمانه در موقعیت جغرافیایی مشابه است که این امر به‌عنوان شناسایی تغییرات پیکسل‌مبنا انجام می‌شود. معمولاً اشیاء تصویری

می‌توانند هم به‌طور مستقیم با استفاده از اطلاعات طیفی اشیاء و یا ویژگی‌های مربوطه [۲۱, ۲۳, ۲۵] یا بعد از طبقه‌بندی شیءمبنا [۲۸-۳۰, ۴۲, ۴۳] با یکدیگر مقایسه شوند. توابع آماری معمولاً در مقایسه‌ی اشیاء تصویری مورد استفاده قرار می‌گیرند. جدا از راهکارهای پیکسل‌مبنا، اکثر الگوریتم‌های OBCD که قبلاً اشاره شدند، ویژگی‌های شیءمبنا را (به‌عنوان‌مثال هندسه، بافت، معنا) بکار می‌گیرند که فرصت‌های مناسبی را به‌منظور نظارت بهتر بر تغییرات پوشش اراضی نسبت به استفاده فقط از اطلاعات طیفی فراهم می‌کند [۲]. نوع دیگر الگوریتم OBCD توانسته اشیاء تصویری را با قطعه‌بندی تمام حالت‌های چند زمانه صحنه در یک مرحله استخراج کند [۳۵-۳۹, ۴۴, ۴۵]. درنتیجه، مقایسه‌ی اشیاء تصویری ساده‌تر از الگوریتم مقایسه بعد از طبقه‌بندی است. همچنین مطالعات متعدد قبلی بر کارایی تعامل فرآیندهای پیکسل‌مبنا با شیءمبنا تأکید کردند[۴۶-۴۸]. این الگوریتم‌های OBCD معمولاً نتایج اولیه تغییرات را با استفاده از پیکسل‌ها به دست می‌آورند. تکنیک‌های شیءمبنا بعداً به‌منظور بهبود عملکرد شناسایی تغییرات مورد استفاده قرار می‌گیرد [۲].

۴-۲- ارزیابی دقت

روش‌های ارزیابی مورد استفاده در تکنیک‌های پیکسل مبنا شامل: دقت کلی، دقت کاربر و دقت تولیدکننده می‌شود، بنابراین زمانی که از پیکسل به‌عنوان واحد پایه محاسباتی استفاده می‌شود، استفاده از داده‌های واقعیت زمینی به‌منظور ارزیابی نتایج امری منطقی می‌باشد. با توجه به اینکه در تکنیک‌های شیءمبنا، از اطلاعات طیفی، بافتی، مکانی و هندسی به‌منظور مدل‌سازی واقعیت استفاده می‌شود؛ بنابراین ارزیابی این تکنیک‌ها با چالش همراه است و ارزیابی این تکنیک‌ها متفاوت با ارزیابی تکنیک‌های پیکسل‌مبنا می‌باشد[۴۹]. علی‌رغم اینکه ماتریس خطا در بسیاری از تحقیقات شناسایی تغییرات شیءمبنا به‌منظور ارزیابی نتایج استفاده می‌شود [۴۴, ۵۰]، چالش اصلی مربوط به نوع داده‌ی واقعیت زمینی می‌باشد که می‌تواند پیکسل و شیء تصویری باشد. بااین‌حال، روش‌هایی به‌منظور ارزیابی دقت نتایج تکنیک‌های شیءمبنا توسط محققین ارائه شده است. از نمونه این روش‌ها می‌توان به: اندازه‌گیری صحت نقشه بدست آمده به‌منظور تعیین تعداد قطعات درست طبقه‌بندی‌شده و روش نمونه‌برداری شیءمبنا [۴۹] اشاره نمود.

۵- نتایج و پیشنهادها

با توجه به مطالب ذکرشده در این مقاله، در اختیار داشتن اطلاعات تغییرات در مورد عوارض زمینی و در اختیار داشتن اطلاعات به‌روزرسانی شده باعث شده است که شناسایی تغییرات به یکی از موضوعات مهم تحقیقاتی تبدیل شود استخراج عوارض بر مبنای واقعیت معمولاً نتایج مورد انتظار از پردازش تصویر است؛ به‌عبارت‌دیگر، هدف اصلی پردازش تصویر استخراج عوارضی است که از نظر ویژگی‌های طیفی و شکلی با واقعیت‌های موجود در طبیعت تطابق داشته باشد. روش‌های طبقه‌بندی پیکسل‌مبنا قابلیت برآورده کردن این انتظار را ندارند. با ظهور تصاویر سنجش‌ازدور با حد تفکیک مکانی خیلی بالا، ضعف تکنیک‌های پیکسل‌مبنا در این تصاویر و عدم عملکرد مناسب روش‌های پیکسل مبنا در مناطق پرتراکم شهری، استفاده از تکنیک‌های شیءمبنا روشی مناسب به‌منظور شناسایی تغییرات مناطق پرتراکم شهری می‌باشد. در تکنیک‌های شناسایی تغییرات شیءمبنا علاوه بر اطلاعات طیفی، از اطلاعات ساختاری و معنایی اشیاء تصویری استفاده می‌شود.

در برخی موارد به‌کارگیری طبقه‌بندی پیکسل‌مبنا در تصاویر باحد تفکیک مکانی بالا، نتایج مطلوبی را حاصل نخواهد کرد؛ زیرا با توجه به حجم وسیع اطلاعات موجود در تصاویر با حد تفکیک مکانی بالا، یک پیکسل منفرد به‌تنهایی شامل اطلاعات جامعی مانند شکل، بافت، مقیاس و ... به‌منظور طبقه‌بندی و آنالیز صحیح نمی‌شود. بعلاوه، به دلیل ضعف اطلاعات موجود در یک پیکسل، توانایی تفسیر مفهومی تصویر از طریق روش‌های پیکسل‌مبنا بسیار ضعیف است. از طرفی تکنیک‌های شناسایی تغییرات شیءمبنا با استفاده از آنالیزهای شیءمبنا، قطعه‌بندی و طبقه‌بندی منجر به نتایج مطلوب‌تری در مقایسه با تکنیک‌های شناسایی تغییرات پیکسل‌مبنا می‌شود. استفاده از آنالیزهای شیءمبنا، منجر

به نتایج مطلوب‌تری در مقایسه با تکنیک‌های شناسایی تغییرات پیکسل‌مبنا می‌شود. انگیزه استفاده از اشیاء تصویری به‌منظور شناسایی تغییرات به دلایل: افزایش دقت طبقه‌بندی، کاهش شناسایی تغییرات بدلی، استفاده از ویژگی‌های اشیاء تصویری ایجادشده و حساسیت کمتر این تکنیک به هم‌مرجع‌سازی نسبت به تکنیک پیکسل‌مبنا می‌باشد. با توسعه تکنیک‌های آنالیز شیءمبنای تصویر، نقاط ضعف تکنیک‌های پیکسل‌مبنا رفع شده است و بهبود قابل‌توجهی در نتایج استخراج اطلاعات در مقایسه با تکنیک‌های پیکسل‌مبنا گزارش‌شده است.

مراجع

[1] Coops, N., M. Wulder, and J. White, Identifying and Describing Forest Disturbance and Spatial Pattern. Understanding Forest Disturbance and Spatial Pattern. 2006, CRC Press.

[2] Chen, G., et al., Object-based change detection. International Journal of Remote Sensing, 2012. **33**(14): p. 4434-4457.

[3] Coppin, P., et al., Review ArticleDigital change detection methods in ecosystem monitoring: a review. International journal of remote sensing, 2004. **25**(9): p. 1565-1596.

[4] Im, J. and J.R. Jensen, A change detection model based on neighborhood correlation image analysis and decision tree classification. Remote Sensing of Environment, 2005. **99**(3): p. 326-340.

[5] Macleod, R.D. and R.G. Congalton, A quantitative comparison of change-detection algorithms for monitoring eelgrass from remotely sensed data. Photogrammetric engineering and remote sensing, 1998. **64**(3): p. 207-216.

[6] Lu, D., et al., Change detection techniques. International journal of remote sensing, 2004. **25**(12): p. 2365-2401.

[7] Dreschler-Fischer, L., et al. A knowledge-based approach to the detection and interpretation of changes in aerial images. in Geoscience and Remote Sensing Symposium, 1993. IGARSS'93. Better Understanding of Earth Environment., International. 1993. IEEE.

[8] Devi, R.N. and G.W. Jiji, CHANGE DETECTION TECHNIQUES-A SURVEY. 2015.

[9] Singh, A., Review article digital change detection techniques using remotely-sensed data. International journal of remote sensing, 1989. **10**(6): p. 989-1003.

[10] Mouat, D.A., G.G. Mahin, and J. Lancaster, Remote sensing techniques in the analysis of change detection. Geocarto International, 1993. **8**(2): p. 39-50.

[11] Deer, P., Digital change detection techniques in remote sensing. 1995, DTIC Document.

[12] Jianya, G., et al., A review of multi-temporal remote sensing data change detection algorithms. The International Archives of the Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences, 2008. **37**(B7): p. 757-762.

[13] Hussain, M., et al., Change detection from remotely sensed images: From pixel-based to object-based approaches. ISPRS Journal of Photogrammetry and Remote Sensing, 2013. **80**: p. 91-106.

[14] Chen, X., et al., An automated approach for updating land cover maps based on integrated change detection and classification methods. ISPRS Journal of Photogrammetry and Remote Sensing, 2012. **71**: p. 86-95.

[15] Chan, J.C.-W., K.-P. Chan, and A.G.-O. Yeh, Detecting the nature of change in an urban environment: A comparison of machine learning algorithms. Photogrammetric Engineering and Remote Sensing, 2001. **67**(2): p. 213-226.

[16] Tewkesbury, A.P., et al., A critical synthesis of remotely sensed optical image change detection techniques. Remote Sensing of Environment, 2015. **160**: p. 1-14.

[17] Lang, S., Object-based image analysis for remote sensing applications: modeling reality–dealing with complexity, in Object-based image analysis. 2008, Springer. p. 3-27.

[18] Blaschke, T., Object based image analysis for remote sensing. ISPRS journal of photogrammetry and remote sensing, 2010. **65**(1): p. 2-16.

[19] Marceau, D.J. and G.J. Hay, Remote sensing contributions to the scale issue. Canadian journal of remote sensing, 1999. **25**(4): p. 357-366.

[20] Stow, D., Geographic object-based image change analysis, in Handbook of applied spatial analysis. 2010, Springer. p. 565-582.

[21] Lefebvre, A., T. Corpetti, and L. Hubert-Moy. Object-oriented approach and texture analysis for change detection in very high resolution images. in Geoscience and Remote Sensing Symposium, 2008. IGARSS 2008. IEEE International. 2008. IEEE.

[22] Zhou, W., A. Troy, and M. Grove, Object-based land cover classification and change analysis in the Baltimore metropolitan area using multitemporal high resolution remote sensing data. Sensors, 2008. **8**(3): p. 1613-1636.

[23] Hall, O. and G.J. Hay, A multiscale object-specific approach to digital change detection. International Journal of Applied Earth Observation and Geoinformation, 2003. **4**(4): p. 311-327.

[24] Tomowski, D., M. Ehlers, and S. Klonus. Colour and texture based change detection for urban disaster analysis. in Urban Remote Sensing Event (JURSE), 2011 Joint. 2011. IEEE.

[25] Miller, O., A. Pikaz, and A. Averbuch, Objects based change detection in a pair of gray-level images. Pattern Recognition, 2005. **38**(11): p. 1976-1992.

[26] Blaschke, T., S. Lang, and G. Hay, Object-based image analysis: spatial concepts for knowledge-driven remote sensing applications. 2008: Springer Science & Business Media.

[27] Chen, Z. and T.C. Hutchinson. Urban damage estimation using statistical processing of satellite images: 2003 bam, iran earthquake. in Electronic Imaging 2005. 2005. International Society for Optics and Photonics.

[28] Durieux, L., E. Lagabrielle, and A. Nelson, A method for monitoring building construction in urban sprawl areas using object-based analysis of Spot 5 images and existing GIS data. ISPRS Journal of Photogrammetry and Remote Sensing, 2008. **63**(4): p. 399-408.

[29] Walter, V., Object-based classification of remote sensing data for change detection. ISPRS Journal of photogrammetry and remote sensing, 2004. **58**(3): p. 225-238.

[30] Laliberte, A.S., et al., Object-oriented image analysis for mapping shrub encroachment from 1937 to 2003 in southern New Mexico. Remote Sensing of Environment, 2004. **93**(1): p. 198-210.

[31] Hazel, G.G., Object-level change detection in spectral imagery. Geoscience and Remote Sensing, IEEE Transactions on, 2001. **39**(3): p. 553-561.

[32] Li, J. and R.M. Narayanan, A shape-based approach to change detection of lakes using time series remote sensing images. Geoscience and Remote Sensing, IEEE Transactions on, 2003. **41**(11): p. 2466-2477.

[33] Son, N.-T., et al., Mangrove mapping and change detection in Ca Mau Peninsula, Vietnam, using Landsat data and object-based image analysis. Selected Topics in Applied Earth Observations and Remote Sensing, IEEE Journal of, 2015. **8**(2): p. 503-510.

[34] Wulder, M.A., et al., Impact of sun-surface-sensor geometry upon multitemporal high spatial resolution satellite imagery. Canadian Journal of Remote Sensing, 2008. **34**(5): p. 455-461.

[35] Desclée, B., P. Bogaert, and P. Defourny, Forest change detection by statistical object-based method. Remote Sensing of Environment, 2006. **102**(1): p. 1-11.

[36] Bontemps, S., et al., An object-based change detection method accounting for temporal dependences in time series with medium to coarse spatial resolution. Remote Sensing of Environment, 2008. **112**(6): p. 3181-3191.

[37] Conchedda, G., L. Durieux, and P. Mayaux, An object-based method for mapping and change analysis in mangrove ecosystems. ISPRS Journal of Photogrammetry and Remote Sensing, 2008. **63**(5): p. 578-589.

[38] Stow, D., et al., Monitoring shrubland habitat changes through object-based change identification with airborne multispectral imagery. Remote Sensing of Environment, 2008. **112**(3): p. 1051-1061.

[39] Duveiller, G., et al., Deforestation in Central Africa: Estimates at regional, national and landscape levels by advanced processing of systematically-distributed Landsat extracts. Remote Sensing of Environment, 2008. **112**(5): p. 1969-1981.

[40] tong Yang, X., H. Liu, and X. Gao, Land cover changed object detection in remote sensing data with medium spatial resolution. International Journal of Applied Earth Observation and Geoinformation, 2015. **38**: p. 129-137.

[41] Wang, B., et al., Object-Based Change Detection of Very High Resolution Satellite Imagery Using the Cross-Sharpening of Multitemporal Data. Geoscience and Remote Sensing Letters, IEEE, 2015. **12**(5): p. 1151-1155.

[42] Blaschke, T., Towards a framework for change detection based on image objects. Göttinger Geographische Abhandlungen, 2005. **113**: p. 1-9.

[43] De Chant, T. and M. Kelly, Individual object change detection for monitoring the impact of a forest pathogen on a hardwood forest. Photogrammetric Engineering & Remote Sensing, 2009. **75**(8): p. 1005-1013.

[44] Im, J., J. Jensen, and J. Tullis, Object-based change detection using correlation image analysis and image segmentation. International Journal of Remote Sensing, 2008. **29**(2): p. 399-423.

[45] Park, N.W. and K.H. Chi, Quantitative assessment of landslide susceptibility using high-resolution remote sensing data and a generalized additive model. International Journal of Remote Sensing, 2008. **29**(1): p. 247-264.

[46] Niemeyer, I., S. Nussbaum, and M.J. Canty. Automation of change detection procedures for nuclear safeguards-related monitoring purposes. in IGARSS. 2005. Citeseer.

[47] McDermid, G.J., et al., Object-based approaches to change analysis and thematic map update: challenges and limitations. Canadian Journal of Remote Sensing, 2008. **34**(5): p. 462-466.

[48] Linke, J., et al., A disturbance-inventory framework for flexible and reliable landscape monitoring. Photogrammetric Engineering & Remote Sensing, 2009. **75**(8): p. 981-995.

[49] Radoux, J., P. Bogaert, and P. Defourny. Overall accuracy estimation for geographic object-based image classification. in Ninth International Symposium on Spatial Accuracy Assessment in Natural Resources and Environmental Sciences. 2010.

[50] He, C., et al. Dynamic monitor on urban expansion based on a object-oriented approach. in INTERNATIONAL GEOSCIENCE AND REMOTE SENSING SYMPOSIUM. 2005.