

## آشکارسازی سه‌بعدی تغییرات کاربری اراضی شهری مبتنی بر تحلیل شیء مبنای مدل‌های رقومی ارتفاعی

فاطمه طبیب محمودی<sup>۱\*</sup>، سیده شراره حسینی<sup>۲</sup>

- ۱- استادیار، گروه مهندسی نقشه‌برداری، دانشکده مهندسی عمران، دانشگاه تربیت دبیر شهید رجایی، تهران، ایران  
۲- کارشناسی ارشد، گروه مهندسی نقشه‌برداری، دانشکده مهندسی عمران، دانشگاه تربیت دبیر شهید رجایی، تهران، ایران

دریافت: ۹۹/۳/۱۸ پذیرش: ۹۹/۸/۱۷

### چکیده

تغییرات در محیط زیست شهری، عمدتاً در ساخت، تخریب یا بازسازی ساختمان‌ها، تحت تأثیر عواملی نظیر بلایای طبیعی و یا گسترش شهری به وجود می‌آیند. شناسایی این تغییرات می‌تواند نقش بسزایی در بروزرسانی مدل‌های سه‌بعدی شهری و تصمیم‌گیری صحیح مدیران در مدیریت سوانح و بحران‌ها داشته باشد. از میان تمامی روش‌های آشکارسازی تغییرات که به دو دسته دویبعدی و سه‌بعدی تقسیم می‌شوند، روش‌های آشکارسازی سه‌بعدی تغییرات ساختمان‌ها، به دلیل مرتفع بودن عارضه ساختمان، مناسب‌تر هستند و نتایج حاصل از آن‌ها به واقعیت نزدیک‌تر است. هدف از این مطالعه ارائه روشی مؤثر برای آشکارسازی سه‌بعدی تغییر در ساختمان‌های مناطق شهری براساس مدل‌های رقومی ارتفاعی است. روش ارائه‌شده در این مقاله شامل سه مرحله اصلی است: (۱) تولید مدل رقومی سطح، مدل رقومی زمین و مدل رقومی سطح نرمال در دو بازه زمانی، (۲) انجام تجزیه و تحلیل شیء مبنای شامل قطعه‌بندی و طبقه‌بندی ساختاری مدل‌های رقومی ارتفاعی به منظور تولید نقشه‌های طبقه‌بندی چندزمانه، (۳) تهیه نقشه‌های تغییر و تجزیه و تحلیل درصد تغییر بین کلاس‌های مختلف عوارض در مناطق شهری. توانایی الگوریتم پیشنهادی در یک منطقه شهری در حال توسعه سریع در تهران، در فاصله زمانی ۹ ساله ارزیابی شد. نتایج به دست آمده حاکی از کاهش سطح زمین و خاک لخت در حدود ۱/۳۷٪ است و همچنین، ساختمان‌های کم‌ارتفاع (کمتر از ۳ طبقه) نیز در حدود ۷/۶٪ کاهش یافته‌اند. علاوه بر این، کلاس



ساختمان‌های مرتفع (بیش از سه طبقه) در حدود ۱۶/۴٪ افزایش یافته که علاوه بر نوسازی ساختمان‌های کم‌ارتفاع، سازه‌های جدید را نیز شامل می‌شود.

**واژه‌های کلیدی:** شکارسازی تغییرات، ساختمان، مدل سه‌بعدی شهری، تحلیل شیء مبنا، قطعه‌بندی، ویژگی‌های ساختاری.

## ۱- مقدمه

سطح زمین در مقیاس محلی و جهانی به سرعت در حال تغییر است و این موضوع با انعکاس قابل توجهی در زندگی مردم، اقتصاد، و محیط زیست همراه می‌باشد. برخی تغییرات به دلایل طبیعی رخ می‌دهند، مانند تغییرات ناشی از طوفان یا آتش‌سوزی زمین‌های جنگلی، در حالی که برخی دیگر از تغییرات روی زمین مانند استخراج منابع زیرزمینی، عملیات کشاورزی، ساخت‌وساز و رشد شهری، ناشی از پروژه‌های انسانی هستند. انواع دیگری از تغییرات نیز وجود دارند که ترکیبی از عوامل طبیعی و انسانی می‌باشند. برای مثال زمین‌لرزه و سیل اساساً فرایندهایی طبیعی هستند که اغلب با فعالیت‌های انسانی در زمینه کاربری زمین تشدید شده و شتاب گرفته‌اند. به منظور توسعه پایدار در محیط‌های شهری، لازم است نقشه‌های توپوگرافی در مدل‌های سه‌بعدی شهر به هنگام‌سازی شوند. این امر مستلزم پایش مداوم تغییرات رخ داده در کلیه عوارض سطح زمین به ویژه ساختمان‌های شهری است. البته این نیاز تنها محدود به مدیریت و برنامه‌ریزی نیست، بلکه در مواقع رخداد بلایای طبیعی همچون سیل و زمین‌لرزه آگاهی از تغییرات ایجاد شده برای امداد رسانی به‌موقع و نیز بازسازی مجدد مناطق آسیب‌دیده، به‌شدت ضروری است.

داده‌های سنجش از دور چندزمانه در بسیاری از موارد به‌عنوان منبعی بسیار مطمئن برای آشکارسازی تغییرات رخ داده در محیط زیست شهری مورد استفاده قرار می‌گیرند. داده‌های سنجش از دور هوابرد و فضابرد می‌توانند به‌طور قابل توجهی نظارت بر شهرها را در محدوده گسترده‌ای از برنامه‌های کاربردی، به‌عنوان مثال، نظارت بر رشد شهری، ساخت‌وساز و تخریب ساختمان‌ها، ارزیابی آسیب در برابر بلایای طبیعی و مدیریت بحران بهبود بخشند (Alimohammadi et al., 2000; Chaabouni-Chouayakh & Reinartz, 2011). روش‌های مختلفی برای آشکارسازی تغییرات ساختمان‌های شهری با استفاده از انواع مختلف داده سنجش از دور برای دستیابی به طیف گسترده‌ای از نیازهای کاربردی ایجاد شده است (Singh, 2001; Abdollahi et al., 2020; Alimohammadi et al., 1989). الگوریتم‌های آشکارسازی

تغییرات مبتنی بر داده‌های سنجش‌ازدور چندزمانه را می‌توان براساس نوع داده و روش اجرایی به دو دسته کلی الگوریتم‌های دوبعدی و سه‌بعدی تقسیم‌بندی نمود (Qin et al., 2016).

بسیاری از مطالعات قبلی در زمینه آشکارسازی تغییرات ساختمان‌های شهری فقط براساس تصاویر سنجش‌ازدور چندطیفی و بدون به‌کارگیری اطلاعات ارتفاعی انجام شده است که عمدتاً ناشی از عدم دسترسی به مدل‌های رقومی ارتفاعی منطقه می‌باشد (Bouziani et al., 2010; Brunner et al., 2010; Huang et al., 2014; Vakalopoulou et al., 2015).

با این حال، مشکلات موجود در روش‌های آشکارسازی دوبعدی تغییرات، از جمله نیاز به انجام پردازش‌های زیاد بر روی داده‌ها به منظور حل مشکلات شباهت طیفی عوارض مانند شباهت سقف ساختمان‌ها با سطح آسفالت معابر و خیابان‌ها، حتی برای مناطق کوچک، عدم توانایی در انجام محاسبات حجمی به دلیل عدم وجود داده‌های ارتفاعی و دسترسی آسان‌تر به داده‌های ارتفاعی در سال‌های اخیر، محققان را به سمت استفاده از روش‌های آشکارسازی سه‌بعدی تغییرات سوق داده است (Martha et al., 2010; Tian et al., 2014; Waser et al., 2008; Daniel & Doran, 2013; Gruen, 2013).

روش‌های آشکارسازی سه‌بعدی تغییرات را می‌توان به دو دسته اصلی روش‌های مقایسه هندسی و روش‌های تحلیل هندسی - طیفی تقسیم‌بندی نمود (Qin et al., 2016). بسیاری از تحقیقات صورت‌گرفته در گروه روش‌های مقایسه هندسی، از اختلاف بین مدل‌های رقومی ارتفاعی چندزمانه برای آشکارسازی سه‌بعدی تغییرات استفاده نموده‌اند (Martha et al., 2010; Gong et al., 2000; Chaabouni-Chouayakh et al., 2011; Chaabouni-Chouayakh et al., 2010; Sasagawa et al., 2013; Dini et al., 2012; Tian et al., 2014; Stal et al., 2013; Vu et al., 2004).

محاسبه فواصل اقلیدسی بین مدل‌های رقومی ارتفاعی نیز شاخه دیگری از روش‌های آشکارسازی سه‌بعدی تغییرات مبتنی بر مقایسه هندسی است. این روش‌ها زمان‌بر بوده و دارای پیچیدگی محاسباتی زیادی می‌باشند (Waser et al., 2008; Akca et al., 2010; Gruen & Akca, 2005; Qin & Gruen, 2014; Eden & Cooper, 2008; Champion et al., 2010; Schenk et al., 2000; Xiao et al., 2013; Zavodny, 2012).

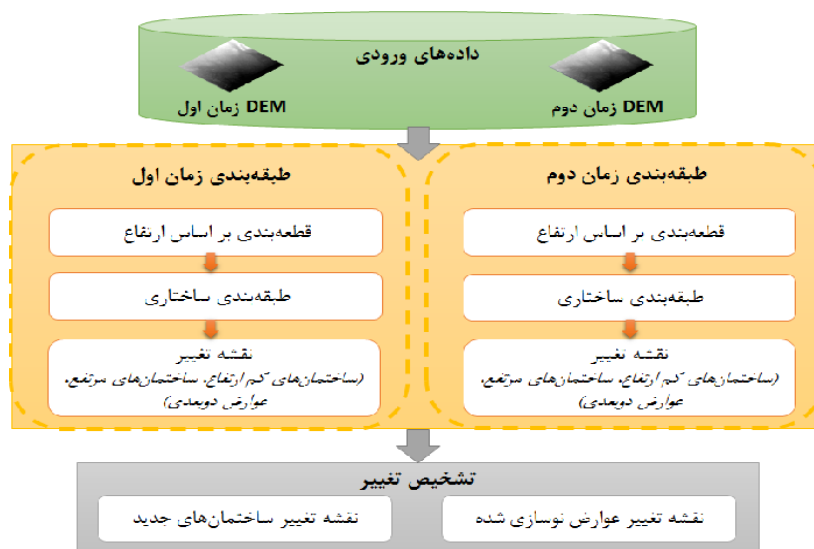
روش‌های آشکارسازی سه‌بعدی تغییرات در گروه تحلیل هندسی - طیفی را می‌توان به سه دسته روش‌های اصلاح نهایی، ادغام مستقیم ویژگی و پس طبقه‌بندی تقسیم نمود (Qin et al., 2016). روش‌های اصلاح نهایی از یک ساختار سلسله مراتبی استفاده می‌کنند که در آن تغییرات اولیه با مقایسه هندسی شناسایی شده و سپس، با استفاده از تحلیل هندسی و طیفی بهبود می‌یابند (Chaabouni-Chouayakh & Reinartz, 2011; Chaabouni-Chouayakh et al., 2011).

طبقه‌بندی ابتدا نتایج طبقه‌بندی کاربری/ پوشش اراضی را تولید می‌کنند. سپس، کلاس‌های عارضه را در نقشه‌های طبقه‌بندی چندزمانه با یکدیگر مقایسه می‌نمایند. مزیت اصلی این گروه از روش‌های آشکارسازی تغییرات این است که داده‌های ارتفاعی نتایج تشخیص عارضه یا طبقه بندی تصویر را بهبود داده و به تبع آن نتایج آشکارسازی تغییرات نیز بهبود می‌یابد (Matikainen et al., 2010; Rottensteiner et al., 2007; Nebiker et al., 2014).

از آنجایی که اطلاعات ارتفاعی در تشخیص ساختمان‌های شهری نقش بسیار قابل توجهی دارد، در این مقاله یک روش آشکارسازی سه‌بعدی تغییرات مبتنی بر تحلیل شیء مبنای مدل‌های رقومی ارتفاعی چندزمانه پیشنهاد داده شده است.

## ۲- روش تحقیق

در این مقاله، یک الگوریتم آشکارسازی سه‌بعدی تغییرات، با در نظر گرفتن سه رویکرد ۱- ساخت ساختمان‌های جدید در مناطق مسطح ۲- نوسازی ساختمان‌های کم‌ارتفاع (کمتر از سه طبقه) و تبدیل آن‌ها به ساختمان‌های مرتفع (بیشتر از سه طبقه) ۳- تخریب عوارض ساختمانی به‌منظور توسعه اراضی برای مناطق شهری ارائه می‌شود.



شکل ۱: ساختار روش پیشنهادی آشکارسازی سه‌بعدی تغییرات ساختمان در منطقه شهری

همان‌طور که در شکل ۱ نشان داده شده است، الگوریتم آشکارسازی سه‌بعدی تغییرات در این مقاله دارای سه مرحله اصلی است:

(۱) تولید مدل رقومی ارتفاعی زمین<sup>۱</sup> (DTM)، مدل رقومی ارتفاعی سطح<sup>۲</sup> (DSM) و مدل رقومی سطح نرمال<sup>۳</sup> (nDSM) برای دو دوره زمانی مختلف. با تفاضل DSM که شامل اشیاء سه‌بعدی مانند ساختمان‌ها و درختان و ساختارهای دو‌بعدی مانند خاک و جاده‌ها است از DTM که فقط شامل ساختارهای دو‌بعدی و طبیعی است، nDSM تولید می‌شود که صرفاً اشیاء سه‌بعدی را نمایش می‌دهد.

(۲) انجام تحلیل شیء‌مبنای تصویر که از قطعه‌بندی و طبقه‌بندی ساختاری مدل‌های رقومی ارتفاعی تشکیل شده است. در این مرحله از الگوریتم پیشنهادی، نقشه‌های طبقه‌بندی چندزمانه برای آشکارسازی تغییرات حاصل می‌شوند.

(۳) تهیه نقشه‌های تغییر براساس نتایج طبقه‌بندی چندزمانه مدل‌های رقومی ارتفاعی. نقشه‌های تغییر تولیدشده شامل ساختمان‌های جدید ساخته‌شده، ساختمان‌های نوسازی‌شده و دارای تغییرات ارتفاعی، و ساختمان‌های تخریب‌شده به‌منظور توسعه اراضی می‌باشد.

## ۲-۱- تحلیل شیء‌مبنا مبتنی بر ویژگی‌های ارتفاعی و ساختاری

در اولین مرحله از تحلیل شیء‌مبنای پیشنهادی در این مقاله، تکنیک قطعه‌بندی چندمقیاسه بر روی محتوای nDSM هر دوره زمانی به‌منظور قطعه‌بندی آن به نواحی همگون اعمال شده است. قطعه‌بندی تصویر عبارت است از تقسیم تصویر به نواحی مفهومی همگون و بدون هم پوشانی با یکدیگر، که این نواحی همگون را در اصطلاح شیء تصویری و یا قطعه تصویری می‌نامند. به بیانی دیگر، به مجموعه‌ای از پیکسل‌های همسایه که دارای یک شاخص شباهت مانند درجه خاکستری، بافت، شکل، مقیاس و ... باشند، شیء یا قطعه تصویری گفته می‌شود. روش قطعه‌بندی چندمقیاسه یک فرایند تکراری مبتنی بر شرط همگونی محلی است که شباهت بین عوارض تصویری مجاور را توصیف می‌نماید (Tabib Mahmoudi et al., 2013). در این تحقیق، شرط همگونی وجود شباهت ارتفاعی بین عوارض سه‌بعدی موجود در nDSM می‌باشد.

1. Digital Terrain Model (DTM)
2. Digital Surface Model (DSM)
3. Normalized Digital Surface Model (nDSM)



در مرحله دوم از تحلیل شیء مبنای پیشنهادی، یک فرایند طبقه‌بندی دانش‌مبنا بر روی نواحی قطعه‌بندی شده انجام می‌شود. بنابراین، لازم است دانش کافی درباره قطعات تصویری همگون جمع‌آوری گردد. از آنجایی که هدف اصلی این تحقیق آشکارسازی سه‌بعدی تغییرات ساختمان‌ها در مناطق شهری مبتنی بر مدل‌های رقومی ارتفاعی است، زمین (خاک لخت و جاده)، ساختمان‌های کم‌ارتفاع (تا سه طبقه) و ساختمان‌های مرتفع (بیش از سه طبقه) به عنوان کلاس‌های عارضه از پیش تعریف‌شده، انتخاب شده‌اند. بنابراین، حد آستانه‌های مبتنی بر ارتفاع به همراه برخی از ویژگی‌های ساختاری مانند مساحت، انطباق در چهارضلعی و کشیدگی قطعه، مناسب برای تشخیص ساختمان، جاده و زمین لخت یک پایگاه دانش غنی را در این تحقیق فراهم می‌کنند.

$$Rect\_Fit = \frac{Area_{Region}}{Length \times Width} \quad (1)$$

(۲)

$$Elongation = \frac{Length}{Width}$$

جدول ۱: حد آستانه ارتفاع و ویژگی‌های ساختاری برای هر یک از عوارض

عوارض	ارتفاع (nDSM)	مساحت	انطباق در چهارضلعی	کشیدگی قطعه
زمین	۱-۰	۲۶۱۰۰	۰٫۹-۰٫۷	۱۰-۷٫۲-۱
ساختمان کم‌ارتفاع	۹-۱	۱۵۰۰-۴۰	۰٫۷-۰٫۳	۷-۲
ساختمان مرتفع	>۹	۱۵۰۰-۴۰	۰٫۷-۰٫۳	۷-۲

در رابطه (۱) Rect-Fit به معنی انطباق در چهارضلعی،  $Area_{Region}$  مساحت قطعه و  $Length$  و  $Width$  به ترتیب، طول و عرض چهارضلعی دربرگیرنده قطعه عارضه می‌باشند. در رابطه (۲) نیز  $Elongation$  همان کشیدگی قطعه است و  $Length$  و  $Width$  به ترتیب، طول و عرض قطعه عارضه موردنظر است. بعد از جمع‌آوری ویژگی‌های ساختاری فوق‌الذکر برای هر یک

از قطعات عارضه و ضمن در نظر گرفتن حدود آستانه ارتفاعی، قوانین استنتاج منطقی مناسب برای تولید نقشه طبقه‌بندی مشتمل بر کلاس‌های عارضه زمین، ساختمان کم‌ارتفاع و ساختمان مرتفع اعمال می‌گردد.

در جدول ۱ بهترین حدود آستانه تعیین شده برای ارتفاع و ویژگی‌های ساختاری برای تشخیص عوارض شهری مورد نظر در این تحقیق نشان داده شده است. این حدود آستانه براساس آزمون و خطا در نمای ویژگی نرم‌افزار eCognition تعیین می‌شوند. پس از ایجاد نقشه‌های طبقه‌بندی برای هر دو زمان، انجام فرایند آشکارسازی سه‌بعدی تغییرات می‌تواند درصد ساخت ساختمان‌های جدید، نوسازی ساختمان‌های کم‌ارتفاع و تبدیل شدن آن‌ها به ساختمان‌های مرتفع و میزان تخریب ساختمان‌ها به منظور توسعه اراضی را تعیین کند.

### ۳- یافته‌های پژوهش

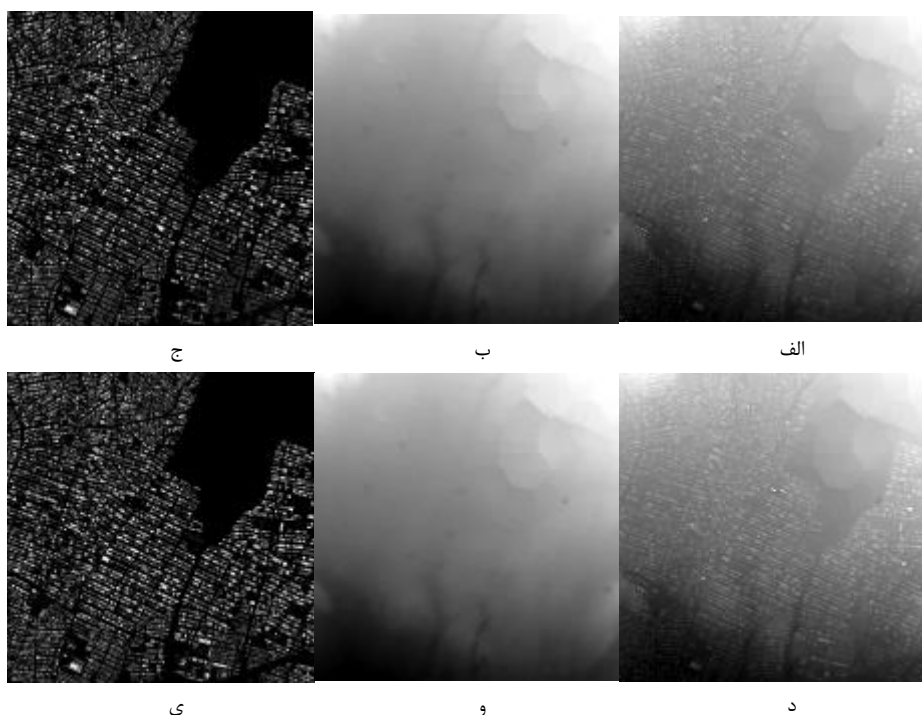
#### ۳-۱- منطقه مورد مطالعه و داده‌های مورد استفاده

در این تحقیق، از یک مدل رقومی ارتفاعی زمین و دو مدل رقومی سطح در دو بازه زمانی مربوط به سال‌های ۱۳۸۰ و ۱۳۸۹ واقع در منطقه‌ای در شمال شهر تهران در کشور ایران با وضوح مکانی یک متر استفاده شده است. این داده‌ها به همت سازمان نقشه‌برداری کشور تهیه و در این تحقیق مورد استفاده قرار گرفته است. مدل‌های رقومی ارتفاعی مورد استفاده، حاصل از لایه‌های مسطحاتی و ارتفاعی نقشه‌های توپوگرافی شهری است که توسط سازمان نقشه‌برداری کشور تولید شده‌اند. منطقه مورد مطالعه در این تحقیق یک منطقه شلوغ شهری دارای انواع ساختمان‌ها، معابر و عوارض شهری می‌باشد. شکل ۲ نمایش‌دهنده مدل‌های DSM، DTM و nDSM مربوط به بازه زمانی ۹ ساله مورد استفاده است. به دلیل نظامی بودن بخشی از منطقه (گوشه شمال شرقی تصویر)، اطلاعات ارتفاعی از این منطقه در دسترس نیست و در تمامی مراحل تحقیق صفر در نظر گرفته شده است.

#### ۳-۲- نتایج اجرایی مراحل روش پیشنهادی

پس از تولید nDSMها در مرحله اول، که در بردارنده عوارض طبیعی و مصنوعی دارای ارتفاع بالای سطح زمین هستند، در مرحله بعد الگوریتم قطعه‌بندی چندمقیاسه بر روی nDSMهای هر دوره زمانی با تنظیم مقادیر ۲۵، ۰/۱ و ۰/۵ به ترتیب برای پارامترهای مقیاس، شکل و فشردگی اعمال می‌شود. شایان ذکر است که مقادیر پارامترهای فوق‌الذکر براساس نوع کلاس

های عارضه تعریف شده در این تحقیق (ساختمان و زمین) و همچنین قدرت تفکیک مکانی مدل‌های رقومی ارتفاعی مورد استفاده، تنظیم شده است. سپس، با اعمال قوانین استنتاج منطقی مبتنی بر ویژگی‌های ساختاری مساحت، انطباق در چهارضلعی و کشیدگی قطعات عارضه، نقشه طبقه‌بندی عوارض به سه کلاس زمین، ساختمان کم‌ارتفاع و ساختمان مرتفع برای هریک از سال‌های ۱۳۸۰ و ۱۳۸۹ تولید می‌شود. شکل ۳ نتایج طبقه‌بندی و طبقه‌بندی دانش‌مبنای مدل‌های رقومی ارتفاعی هر دو بازه زمانی را نشان می‌دهد.



شکل ۲: الف، ب، ج) DTM، DSM و nDSM بازه زمانی اول (سال ۱۳۸۰)، د، و، ی) DTM، DSM و nDSM بازه زمانی دوم (سال ۱۳۸۹)

برای انجام آشکارسازی سه‌بعدی تغییرات، نتایج طبقه‌بندی شیء مبنای زمان‌مند تولیدشده در مرحله قبل، با یکدیگر مقایسه می‌شوند. شکل ۴ (الف) نقشه تغییرات کلی را نشان می‌دهد و اشکال ۴ (ب، ج، د) به ترتیب، نقشه تغییرات زمین، ساختمان کم‌ارتفاع و ساختمان مرتفع به دیگر کلاس‌ها را نمایش می‌دهند.



جدول ۲ برخی از اطلاعات آماری حاوی مساحت اولیه و ثانویه هر کلاس عارضه و درصد تفاضل تعیین شده از تغییرات چندزمانه را نشان می‌دهد. شکل ۵ نقش هر کلاس عارضه را در مساحت نهایی سایر کلاس‌ها در سال ۱۳۸۹ نمایش می‌دهد.

جدول ۲: اطلاعات آماری از وضعیت کلاس‌های عوارض در زمان اول و دوم

کلاس‌ها	مساحت اولیه (پیکسل)	مساحت ثانویه (پیکسل)	تفاضل مساحت (پیکسل)	درصد تفاضل (%)
ساختمان کم ارتفاع	۱۷۶۷۳۰۹	۱۵۹۵۶۴۱	-۱۷۱۶۶۸	-۰.۹۷۱۴
ساختمان مرتفع	۱۶۷۵۹۱۶	۱۹۵۰۷۱۹	۲۷۴۸۰۳	۱.۶۳۹۷
زمین	۷۵۴۴۰۵۹	۷۴۴۰۹۲۴	-۱۰۳۱۳۵	-۰.۱۳۶



شکل ۳: الف، ب) نتیجه قطعه‌بندی و نقشه طبقه‌بندی بازه زمانی اول (سال ۱۳۸۰)، ج، د) نتیجه قطعه‌بندی و نقشه طبقه‌بندی بازه زمانی دوم (سال ۱۳۸۹)



جزئیات تغییرات برای هریک از کلاس‌های عارضه در جدول ۳ نشان داده شده است. به عنوان مثال، مساحت اولیه کلاس زمین در دوره زمانی اول ۷۵۴۴۰۵۹ بود که در بازه زمانی ۹ ساله به دلیل ساخت‌وساز کاهش و به ۷۰۱۳۳۳۹ تقلیل می‌یابد. ولی در برخی مناطق ساختمان‌های کم‌ارتفاع و همچنین مرتفع به دلیل تخریب (۲۷۶۳۷۸) ساختمان کم ارتفاع و ۱۵۱۲۰۷ ساختمان مرتفع) به زمین تبدیل می‌شوند و بنابراین، مساحت جدید کلاس زمین ۷۴۴۰۹۲۴ پیکسل است.

جدول ۳: جزئیات تغییرات هریک از کلاس‌ها

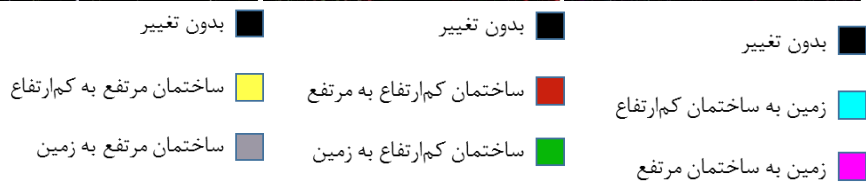
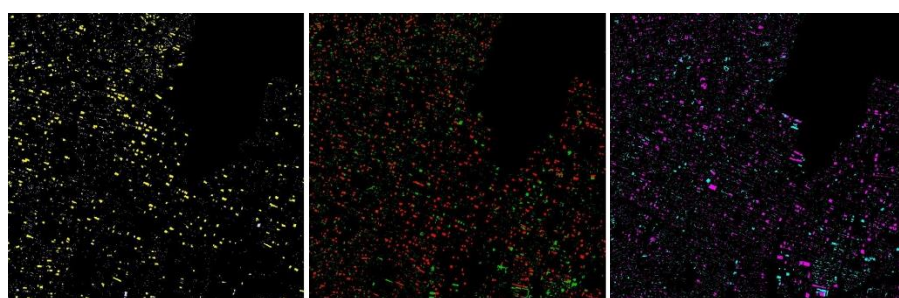
مساحت ثانویه			مساحت اولیه	کلاس‌ها
زمین	ساختمان مرتفع	ساختمان کم ارتفاع		
۲۰۰۱۸۲	۲۴۰۰۸۶	۱۱۵۵۳۷۳	۱۷۶۷۳۰۹	ساختمان کم ارتفاع
۳۳۰۵۳۸	۱۲۸۴۶۲۳	۳۳۵۵۵۸	۱۶۷۵۹۱۶	ساختمان مرتفع
۷۰۱۳۳۳۹	۱۵۱۲۰۷	۲۷۶۳۷۸	۷۵۴۴۰۵۹	زمین

برای کلاس ساختمان‌های کم‌ارتفاع، مساحت اولیه ۱۷۶۷۳۰۹ بوده که به دلیل تخریب یا ساخت ساختمان‌های مرتفع به ۱۱۵۵۳۷۳ کاهش یافته است. علاوه بر این، برخی از مناطق زمین (۲۰۰۱۸۲ پیکسل) به دلیل ساخت ساختمان‌های جدید به ساختمان کم‌ارتفاع تغییر یافته و برخی از مناطق ساختمان‌های مرتفع (۲۴۰۰۸۶ پیکسل) به ساختمان‌های کم‌ارتفاع تبدیل شده‌اند. برای کلاس ساختمان‌های مرتفع، مساحت اولیه در حدود ۱۶۷۵۹۱۶ در فاصله زمانی ۹ ساله به ۱۲۸۴۶۲۳ تغییر یافت. اما در این بازه زمانی، مساحت حدود ۳۳۵۵۵۸ پیکسل از ساختمان‌های کم‌ارتفاع به دلیل نوسازی به ساختمان‌های مرتفع تبدیل شده است. علاوه بر این، مساحت حدود ۳۳۰۵۳۸ پیکسل از کلاس زمینی به دلیل ساخت ساختمان‌های جدید در زمین‌های خالی به ساختمان‌های مرتفع تبدیل شده است.

بنابراین، انجام تجزیه و تحلیل کمی روی نتایج به دست آمده از آشکارسازی تغییرات نشان می‌دهد که ۴۲۷۵۸۵ پیکسل از مساحت کلی ساختمان‌های کم‌ارتفاع و مرتفع در حال تخریب و تبدیل آن‌ها به زمین است. بازسازی ارتفاعی ساختمان‌های کم‌ارتفاع به ساختمان‌های مرتفع در مساحت ۳۳۵۵۵۸ پیکسل انجام شده است. علاوه بر این، ساختمان‌های جدید مساحت حدود ۵۳۰۷۲۰ پیکسل از پیکسل‌هایی که زمین بوده‌اند را اشغال کرده است. این سازه‌های جدید متشکل از ساختمان‌های کم‌ارتفاع و مرتفع می‌باشند (شکل ۶).



الف

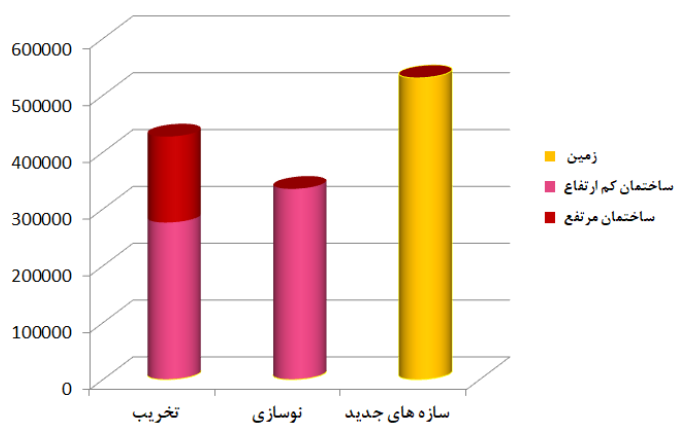


د

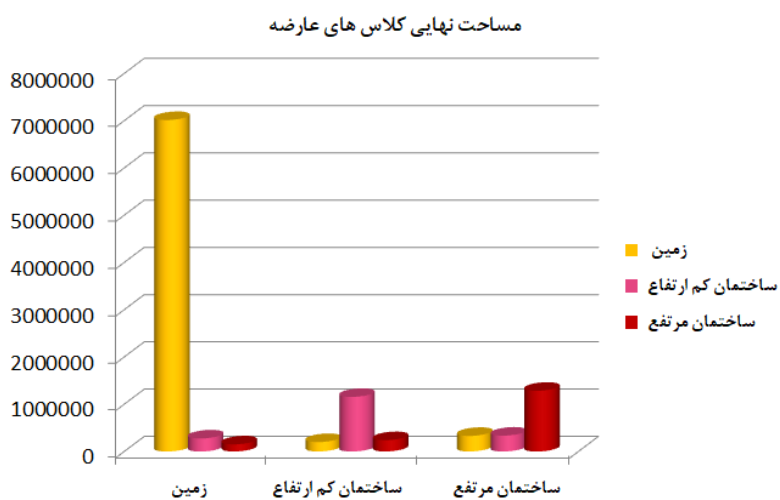
ج

ب

شکل ۴: الف) نقشه جامع تغییرات، ب) نقشه تغییرات کلاس عارضه زمین، ج) نقشه تغییرات کلاس عارضه ساختمان کم‌ارتفاع، د) نقشه تغییرات کلاس عارضه ساختمان مرتفع



شکل ۶: مطالعه تخریب، بازسازی و ساخت عوارض جدید در منطقه مورد مطالعه



شکل ۵: نقش هر کلاس عارضه در مساحت نهایی عوارض

#### ۴- بحث و نتیجه‌گیری

با توجه به اینکه در این مقاله، داده‌های ورودی تنها مدل‌های رقومی ارتفاعی درخواست شده از سازمان نقشه‌برداری ایران در سال‌های ۱۳۸۰ و ۱۳۸۹ از یک محدوده شهری شلوغ تهران بودند و خوشبختانه در طول این بازه زمانی حدوداً ۹ ساله این محدوده جغرافیایی مورد هیچ پدیده مخرب طبیعی واقع نشده است، هدف اصلی این پژوهش بررسی میزان تغییرات ساختمان‌ها با سه‌نقطه نظر (۱) ساخت‌وساز و گسترش شهری، (۲) نوسازی عوارض ساختمانی یا میزان تبدیل بافت قدیم شهری با عمدتاً ساختمان‌های کم‌ارتفاع و ویلایی به بافت مدرن شهری با ساختمان‌های مرتفع و (۳) تخریب ساختمان‌ها جهت بازسازی مجدد یا توسعه راه‌ها، جاده‌ها و اراضی تعیین شد. در نهایت، نتایج و نقشه‌های سه‌بعدی تغییرات تولید شده، اطلاعات مفیدی به منظور بروزرسانی مدل‌های سه‌بعدی شهری در اختیار قرار می‌دهند.

با توجه به نوع داده ورودی و عدم دسترسی به اطلاعات طیفی منطقه در دو تاریخ مدنظر، بهترین روش جهت آشکارسازی سه‌بعدی تغییرات، روش پس طبقه‌بندی تشخیص داده شد. الگوریتم آشکارسازی سه‌بعدی تغییرات با تأکید بر عارضه ساختمان براساس انجام تحلیل شیء مینا در مدل‌های رقومی ارتفاعی چندزمانه ارائه شد. زمین (خاک لخت و راه‌ها)، ساختمان‌های کم‌ارتفاع (تا سه طبقه) و ساختمان‌های مرتفع (بیش از سه طبقه) به‌عنوان کلاس‌های شیء در نقشه‌های طبقه‌بندی در نظر گرفته شدند. نتایج آشکارسازی سه‌بعدی تغییرات مبتنی بر پس طبقه‌بندی نشان داد که پیکسل‌های زمینی حدود ۱/۳۶ درصد کاهش یافته است، همچنین ساختمان‌های کم‌ارتفاع نیز در حدود ۹/۷ درصد کاهش داشته‌اند و ساختمان‌های مرتفع حدود ۱۶/۴ درصد افزایش یافته است. این نتایج حاکی از آن است که در گروه ساخت‌وسازهای جدید و گسترش شهری این منطقه با ۴/۸ درصد رشد مواجه بوده که در مساحتی حدود ۱۳۲۶۸۰ مترمربع از منطقه مطالعاتی حادث شده است. به‌علاوه، بازسازی بافت شهری قدیمی و تبدیل آن به ساختمان‌های مرتفع نیز وسعتی برابر با ۸۳۸۸۹ مترمربع از منطقه را پوشش می‌دهد. در گروه تخریب ابنیه نیز نتایج به‌دست آمده نشان‌دهنده این واقعیت است که در بازه ۹ ساله مدنظر در این تحقیق، تخریب ساختمان‌ها در وسعتی معادل ۱۰۶۸۸۹ مترمربع از منطقه مطالعاتی رخ داده است.

با توجه به سه‌جنبه تغییر در مناطق شهری حاوی تخریب، نوسازی و ساخت‌وسازهای جدید، نتایج به‌دست آمده تأیید می‌کند که عمده‌ترین تغییرات رخ داده در منطقه مورد مطالعه این تحقیق در گروه ساخت‌وسازهای جدید با بیش از ۵۰۰۰۰۰ پیکسل بوده است. علاوه بر این،



بیشتر تخریب‌ها در ساختمان‌های کم‌ارتفاع رخ داده که تأییدکننده کاهش بافت فرسوده شهر و معابر شهری، است.

## منابع

- عبداللهی، علی اصغر، خبازی، مصطفی، درانی‌زاده، زهرا، «مدلسازی تغییرات کاربری اراضی با استفاده از شبکه عصبی پرسپترون (مطالعه موردی: شهر لاهیجان)» *برنامه‌ریزی و آمایش فضا*، دوره ۲۴، شماره ۱، صص. ۴۹-۷۹، ۱۳۹۹.
- علیمحمدی، عباس، عیسوی، وحید، کرمی، جلال، «افزایش دقت در طبقه‌بندی کاربری و پوشش اراضی مبتنی بر شاخص‌های قابل استخراج از واریوگرام در تصاویر ماهواره‌ای» *برنامه‌ریزی و آمایش فضا*، دوره ۱۵، شماره ۳، صص. ۱-۱۸، ۱۳۹۰.
- علیمحمدی، عباس، موسیوند، علی جعفر، شایان، سیاوش، «پیش‌بینی تغییرات کاربری و پوشش زمین با استفاده از تصاویر ماهواره‌ای و مدل زنجیره‌ای مارکوف» *برنامه‌ریزی و آمایش فضا*، دوره ۱۴، شماره ۳، صص. ۱۱۷-۱۳۱، ۱۳۸۹.
- Abdollahi, A., Khabbazi, M. and Daranizadeh, Z. "Modeling Land Use Changes Using Perceptron Neural Network (Case Study: Lahijan City)," *The Journal of Spatial Planning* 24 (1), 49-79, 2020.
- Akca, D., Freeman, M., Sargent, I. and Gruen, A. "Quality assessment of 3D building data". *The Photogrammetric Record* 25 (132), 339-355, 2010.
- Alimohammadi, A., Eisavi, V. and Karami, J. "Increasing accuracy in land use/ cover classification based on extracted indicators from variogram in satellite images," *The Journal of Spatial Planning* 15 (3), 1-18, 2001.
- Alimohammadi, A., Mousivand, A.J. and Shayan, S. "Predicting land use/ cover changes using satellite images and the Markov chain model," *The Journal of Spatial Planning* 14 (3), 117-131, 2000.
- Bouziani, M., Goïta, K. and He, D.-C. "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* 65 (1), 143-153, 2010.

- Brunner, D., Lemoine, G. and Bruzzone, L. "Earthquake damage assessment of buildings using VHR optical and SAR imagery". *Geoscience and Remote Sensing, IEEE Transactions on* 48 (5), 2403-2420, 2010.
- Chaabouni-Chouayakh, H. and Reinartz, P. "Towards automatic 3D change detection inside urban areas by combining height and shape information". *Photogrammetrie-Fernerkundung-Geoinformation* 2011 (4), 205-217, 2011.
- Chaabouni-Chouayakh, H., d'Angelo, P., Krauss, T. and Reinartz, P. "Automatic urban area monitoring using digital surface models and shape features". In: *Urban Remote Sensing Event (JURSE), 2011 Joint*, pp. 85-88, 2011.
- Chaabouni-Chouayakh, H., Krauss, T., d'Angelo, P. and Reinartz, P. "3D Change Detection Inside Urban Areas Using Different Digital Surface Models". *International Archives of Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences* 38 86-91, 2010.
- Champion, N., Boldo, D., Pierrot-Deseilligny, M. and Stamon, G. "2D building change detection from high resolution satellite imagery: A two-step hierarchical method based on 3D invariant primitives". *Pattern Recognition Letters* 31 (10), 1138-1147, 2010.
- Daniel, S. and Doran, M. A. "geoSmartCity: geomatics contribution to the smart city". In: *Proceedings of the 14th Annual International Conference on Digital Government Research*, pp. 65-71, 2013.
- Dini, G., Jacobsen, K., Rottensteiner, F., Al Rajhi, M. and Heipke, C. "3D Building Change Detection Using High Resolution Stereo Images and a GIS Database". *ISPRS-International Archives of the Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences* 1 299-304, 2012.
- Eden, I. and Cooper, D. B. "Using 3D line segments for robust and efficient change detection from multiple noisy images". In: *10th European Conference on Computer Vision, Marseille, France, 12-18, October*, pp. 172-185, 2008.
- Gong, P., Biging, G. S. and Standiford, R. "Technical Note: Use of Digital Surface Model for Hardwood Rangeland Monitoring". *Journal of Range Management* 53 (6), 622-626, 2000.



- Gruen, A. "Next generation smart cities-the role of geomatics". *BBC 26.17: 32.81 G 547 (25)*, 25, 2013.
- Gruen, A. and Akca, D. "Least squares 3D surface and curve matching". *ISPRS Journal of Photogrammetry and Remote Sensing 59 (3)*, 151-174, 2005.
- Guerin, C., Binet, R. and Pierrot-Deseilligny, M. "Automatic Detection of Elevation Changes by Differential DSM Analysis: Application to Urban Areas". *IEEE Journal of Selected Topics in Applied Earth Observations and Remote Sensing 7 (10)*, 4020-4037, 2014.
- Huang, X., Zhang, L., and Zhu, T. "Building change detection from multi temporal high-resolution remotely sensed images based on a morphological building index". *Selected Topics in Applied Earth Observations and Remote Sensing, IEEE Journal of 7 (1)*, 105-115, 2014.
- Martha, T. R., Kerle, N., Jetten, V., Westen, C. J. and Kumar, K. V. "Landslide volumetric analysis using Cartosat-1-derived DEMs". *IEEE Geoscience and Remote Sensing Letters 7 (3)*, 582-586, 2010.
- Matikainen, L., Hyypä, J., Ahokas, E., Markelin, L. and Kaartinen, H. "Automatic detection of buildings and changes in buildings for updating of maps". *Remote Sensing 2 (5)*, 1217-1248, 2010.
- Nebiker, S., Lack, N. and Deuber, M. "Building Change Detection from Historical Aerial Photographs Using Dense Image Matching and Object-Based Image Analysis". *Remote Sensing 6 (9)*, 8310-8336, 2014.
- Pang, S., Hu, X., Wang, Z. and Lu, Y. "Object-Based Analysis of Airborne LiDAR Data for Building Change Detection". *Remote Sensing 6 (11)*, 10733-10749, 2014.
- Qin, R. and Gruen, A. "3D change detection at street level using mobile laser scanning point clouds and terrestrial images". *ISPRS Journal of Photogrammetry and Remote Sensing 90 (2014)*, 23-35, 2014.
- Qin, R., Tian, J. and Reinartz, P. "3D change detection – Approaches and applications". *ISPRS Journal of Photogrammetry and Remote Sensing (122)*. 41-56. 10.1016/j.isprs.2016.09.013, 2016.



- Rottensteiner, F., Trinder, J., Clode, S. and Kubik, K. "Building detection by fusion of airborne laser scanner data and multi-spectral images: Performance evaluation and sensitivity analysis". *ISPRS Journal of Photogrammetry and Remote Sensing* 62 (2), 135-149, 2007.
- Sasagawa, A., Baltsavias, E., Aksakal, S. K. and Wegner, J. D. "Investigation on automatic change detection using pixel-changes and DSM-changes with ALOS-PRISM triplet images". *ISPRS-International Archives of the Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences* 1 (2), 213-217, 2013.
- Sasagawa, A., Watanabe, K., Nakajima, S., Koido, K., Ohno, H. and Fujimura, H. "Automatic change detection based on pixel-change and DSM-change". *The International Archives of the Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences* 37 (Part B7), 1645-1650, 2008.
- Schenk, T., Krupnik, A. and Postolov, Y. "Comparative study of surface matching algorithms". *International Archives of Photogrammetry and Remote Sensing* 33 (B4), 518-524, 2000.
- Singh, A. "Digital Change Detection Techniques Using Remotely-Sensed Data". *International Journal of Remote Sensing* 10 (6), 989-1003, 1989.
- Stal, C., Tack, F., De Maeyer, P., De Wulf, A. and Goossens, R. "Airborne photogrammetry and lidar for DSM extraction and 3D change detection over an urban area—a comparative study". *International Journal of Remote Sensing* 34 (4), 1087-1110, 2013.
- Tabib Mahmoudi, F., Samadzadegan, F., Reinartz, P. "Object oriented image analysis based on multi-agent recognition system". *Computers & Geosciences* 54 (2013), 219–230, 2013.
- Tian, J., Nielsen, A. A. and Reinartz, P. "Improving change detection in forest areas based on stereo panchromatic imagery using kernel MNF". *IEEE Transactions on Geoscience and Remote Sensing* 52 (11), 7130 – 7139, 2014.
- Vakalopoulou, M., Karantzalos, K., Komodakis, N. and Paragios, N. "Simultaneous registration and change detection in multitemporal, very high



- resolution remote sensing data”. In: Proceedings of the IEEE Conference on Computer Vision and Pattern Recognition Workshops, pp. 61-69, 2015.
- Vu, T., Matsuoka, M. and Yamazaki, F. “LIDAR-based change detection of buildings in dense urban areas”. In: Geoscience and Remote Sensing Symposium. IGARSS'04. IEEE International, pp. 3413-3416, 2004.
- Waser, L., Baltsavias, E., Ecker, K., Eisenbeiss, H., Feldmeyer-Christe, E., Ginzler, C., Küchler, M. and Zhang, L. “Assessing changes of forest area and shrub encroachment in a mire ecosystem using digital surface models and CIR aerial images”. Remote Sensing of Environment 112 (5), 1956-1968, 2008.
- Xiao, W., Vallet, B. and Paparoditis, N. “Change detection in 3D point clouds acquired by a mobile mapping system”. ISPRS Annals of Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences 1 (2), 331-336, 2013.
- Zavodny, A. G. “Change detection in LiDAR scans of urban environments”. Computer Science and Engineering, University of Notre Dame, 2012.