

# فصلنامه علمی-ترویجی پدافند غیرعامل

سال نهم، شماره ۱، بهار ۱۳۹۷، (پیاپی ۳۳): صص ۶۶-۵۷

## پایش تغییرات پوشش کاربری اراضی به کمک تلفیق ماسک باینری و روش پس رده‌بندی در تصاویر ماهواره‌ای چندزمانه (بررسی موردی: منطقه فرودگاه بین‌المللی امام خمینی (ره))

علیرضا عرب سعیدی<sup>۱</sup>، عباس مالیان<sup>۲\*</sup>

تاریخ دریافت: ۱۳۹۵/۱۱/۰۸

تاریخ پذیرش: ۱۳۹۶/۰۴/۱۹

### چکیده

داشتن نقشه دقیق و اطلاعات مکانی قابل اطمینان می‌تواند مبنای تصمیم‌گیری صحیح و مدیریت دانش‌بنیان فعالیت‌های عمرانی در اطراف شهرهای بزرگ باشد. فرآیند آشکارسازی تغییرات زمینه را برای بهنگام‌سازی اطلاعات مکانی فراهم می‌سازد. روش‌های متنوعی به‌منظور انجام فرآیند آشکارسازی تغییرات توسط تصاویر ماهواره‌ای تاکنون ارائه شده است. در این مطالعه، تغییرات کاربری اراضی ناشی از تأسیس فرودگاه بین‌المللی امام خمینی (ره) و تأثیر آن بر محیط‌زیست پیرامونی طی یک دوره ده ساله مورد بررسی قرار گرفت. به‌منظور بررسی و تحلیل تغییرات از روش تلفیقی تولید ماسک باینری و مقایسه پس‌رده‌بندی استفاده شد. ماسک باینری توسط روش‌های تسلدکپ و تلفیق روش‌های آستانه‌گذاری خودکار اتسو و کیتلر پیاده‌سازی شد و مقایسه نیز توسط رده‌بندهای بیشترین شباهت، ماشین بردار پشتیبان و شبکه عصبی مصنوعی صورت گرفت. در این مطالعه از تصاویر متوسط مقیاس سنجنده TM ماهواره لندست مربوط به سال‌های ۲۰۰۰، ۲۰۰۶ و ۲۰۱۰ برای شناسایی تغییرات استفاده شد. نتایج به‌دست‌آمده نشان می‌دهد که روش پیشنهادی از نظر مقایسه کمی و کیفی در نشان‌دادن تغییرات در مقایسه با روش پس‌رده‌بندی و بدون تلفیق ماسک از دقت بالاتری برخوردار بوده است. دقت کلی و ضریب کاپا در حالت استفاده از روش شبکه عصبی برای تولید نقشه تغییرات معادل ۷۶/۵۱ و ۷۸/۶۸ بوده است. درحالی‌که دقت روش مقایسه پس‌رده‌بندی برای شبکه عصبی معادل ۶۷/۶۶ و ۴۹/۸۶ به‌دست آمده است

کلیدواژه‌ها: آشکارسازی تغییرات، تلفیق آستانه‌گذاری، مقایسه پس‌رده‌بندی، شبکه عصبی مصنوعی، تصاویر ماهواره‌ای لندست.

۱- کارشناس ارشد سنجش از دور، گروه مهندسی نقشه برداری، دانشگاه تربیت دبیر شهید رجایی

۲- استادیار دانشگاه تربیت دبیر شهید رجایی، Email: a.malian@srttu.edu، نویسنده مسئول

## ۱- مقدمه

کلی مقایسه مستقیم، پس‌رده‌بندی، روش‌های شیء‌گرا، روش‌های مبتنی بر مدل، روش‌های مبتنی بر پردازش سری‌های زمانی، روش‌های بصری و روش‌های ترکیبی قابل تقسیم‌بندی هستند [۵].

از جمله روش‌های متداول که در فرآیندهای آشکارسازی تغییرات مورد استفاده قرار می‌گیرد روش رده‌بندی داده‌ها می‌باشد. رده‌بندی فرآیند تصمیم‌گیری است که در آن داده‌ها به رده مشخصی اختصاص داده می‌شوند. تاکنون روش‌های متعددی مبتنی بر روش رده‌بندی، در فرآیند شناسایی تغییرات توسعه داده شده‌اند. همچنین، روش ترکیبی شناسایی تغییرات با استفاده از ماسک باینری، ترکیبی از دسته روش‌های مبتنی بر مقایسه مستقیم و مبتنی بر رده‌بندی است. براساس این روش در مرحله نخست، ماسک باینری تولید می‌شود و سپس با قراردادن ماسک باینری بر روی تصویر زمان بعدی، مناطق تغییر یافته حذف می‌شوند و تنها مناطق تغییر یافته رده‌بندی می‌گردند. در پژوهش حاضر، هدف، استفاده هم‌زمان از روش‌های مقایسه مستقیم و پس‌رده‌بندی در شناسایی تغییرات می‌باشد.

## ۲- مروری بر تحقیقات پیشین

اطلاع از وضعیت کاربری‌ها و پوشش اراضی و نحوه تغییرات آن در گذر زمان یکی از مهم‌ترین موارد در برنامه‌ریزی‌های کلان می‌باشد. فرآیند شناسایی تغییرات زمینه را برای به‌هنگام‌رسانی اطلاعات فراهم می‌آورد و یکی از موضوعات کاربردی در بسیاری از علوم مربوط به زمین است. روش‌های متداولی که برای آشکارسازی تغییرات به کار گرفته می‌شوند، معمولاً مبتنی بر پیکسل هستند. الخوذیری<sup>۱</sup> و همکارانش در سال ۲۰۰۵، روش‌های پیکسل پایه تحلیل مؤلفه اصلی و اختلاف تصاویر را بر روی تصاویر با تفکیک بالای ماهواره ایکونوس<sup>۲</sup> اعمال کرده است. سپس تصاویر تغییرات با استفاده از تحلیل شیء‌گرا بررسی می‌شوند چراکه باعث بهبود آشکارسازی تغییرات پیکسل پایه می‌شوند [۶]. روش‌های بدون نظارت مبتنی بر روش‌های آشکارسازی تغییرات، با مشکلات زیادی در شناسایی و برجسب‌گذاری خط سیرهای تغییر یافته مواجه می‌شود [۷]. یکی از روش‌های رایج در بحث شناسایی تغییرات، کاربرد مقدار حد آستانه به‌منظور ایجاد تمایز میان رده تغییر و بدون تغییر است. انتخاب حد آستانه مناسب، به‌طور کلی دارای راه‌حلی مشخص و قطعی نیست خصوصاً برای الگوریتم‌های بدون نظارت که هیچ داده زمینی برای در اختیار گذاشتن اطلاعات قبلی موجود نیست.

از جمله موضوعات مهم در برنامه‌ریزی شهری، رعایت اصول پدافند غیرعامل است که از ارکان آن، شناسایی تغییرات به‌وجودآمده در محیط و مکان‌یابی مناطق ایمن در مواقع بحران است. شناسایی مناطق در حال تغییر و تحلیل تغییرات از جمله اصول علمی و ملاحظات پدافندی به‌منظور حفظ سرمایه‌های ملی است [۱]. همچنین، به‌دلیل افزایش جمعیت و پیشرفت فن‌آوری، شهرها به‌سرعت در حال توسعه و تغییر هستند. بنابراین، با توجه به تغییرات کاربری و پوشش اراضی، داشتن اطلاعات از چگونگی روند تغییرات به‌منظور برنامه‌ریزی و تصمیم‌گیری‌های آینده بسیار حائز اهمیت است. شناسایی تغییرات را می‌توان فرآیندی به‌منظور مشخص کردن اختلافات در یک شیء یا پدیده، به‌وسیله مشاهده آن در زمان‌های متفاوت معرفی کرد [۲]. با توجه به مزایایی نظیر دید یکپارچه و قابلیت تکرارپذیری داده‌های دور‌کاوی، این دسته از داده‌ها به‌عنوان مهم‌ترین منابع به‌منظور کاربردهای مختلف پایش تغییرات مورد استفاده قرار می‌گیرند. شناسایی تغییرات در دور‌کاوی بر پایه رده‌بندی به دو روش نظارت‌شده و بدون نظارت انجام می‌شود. تحلیل و آشکارسازی تغییرات، با استفاده از روش‌های بدون نظارت، مربوط به زمانی است که با تولید نقشه باینری تغییرات، نیازی به استخراج نقشه ماهیت تغییرات نباشد.

پایش خودکار تغییرات در آمایش، رشد و توسعه شهرها نسبت به روش‌های بدون نظارت و نیمه‌خودکار به زمان و هزینه کمتری نیاز دارد و موجب کاهش دخالت کاربر می‌شود. پایش خودکار تغییرات با استفاده از داده‌های دور‌کاوی تحت تأثیر شرایط گوناگون زمانی، طیفی و مکانی می‌باشد [۳]. صرف‌نظر از روش مورد استفاده به‌منظور تحلیل و شناسایی تغییرات، به‌دلیل تأثیر برخی پارامترها بر انرژی ثبت‌شده در سنجنده، لازم است پیش‌پردازش‌هایی بر روی تصاویر انجام شود. هنگام ثبت امواج بازتابی توسط سنجنده‌ها، خطاهایی می‌تواند رخ دهد که از جمله آن خطاهای مربوط به عوامل جوی مؤثر در میزان انعکاس رسیده به سنجنده‌ها می‌باشد. بنابراین، به‌منظور استفاده از داده‌های رقومی، اصلاح خطاهای رادیومتریک ضروری خواهد بود [۴]. روش‌های مختلفی با هدف شناسایی تغییرات توسط داده‌های دور‌کاوی تاکنون ارائه شده است. انتخاب روش و الگوریتم مناسب به‌منظور شناسایی تغییرات اقدامی مهم و اساسی است چراکه روش انتخاب‌شده در تفسیر و تحلیل نتایج، تأثیر قابل ملاحظه‌ای دارد. دلیل اهمیت انتخاب روش در ابتدا، تأثیر مستقیم روش مورد استفاده بر روی نوع رده‌بندی و سپس بر اطلاعات مربوط به تغییرات می‌باشد. روش‌های آشکارسازی تغییرات در تصاویر به هفت دسته

1- Al-Khudhairy

2- Ikonos

استفاده نمی‌شود. هریک از محققین، از جنبه‌های مختلف به دسته‌بندی و معرفی آن‌ها پرداخته‌اند. شیوه‌های پس از رده‌بندی و شیوه‌های پیش از رده‌بندی به‌منظور دسته‌بندی کلی شیوه‌های شناسایی تغییرات قرار می‌گیرند [۱۵]. طرح شناسایی تغییرات از دو مرحله استخراج ویژگی و تابع تصمیم‌گیری تشکیل می‌شود [۱۶]. در این تحقیق به‌جای استفاده از یک آستانه‌گذاری گسسته، تلفیق حد آستانه به‌صورت مستقل مورد آزمون قرار گرفته است.

### ۳- مواد و روش تحقیق

منطقه مورد مطالعه در این تحقیق، جنوب استان تهران و اطراف فرودگاه بین‌المللی امام خمینی (ره) می‌باشد. در سال‌های اخیر این منطقه دچار تغییرات کاربری اراضی بسیاری شده است. در این تحقیق از تصاویر ماهواره‌ای سری لندست و سنجنده TM استفاده شده که تصاویری با توان تفکیک ۳۰ m و با ابعاد ۸۰۰×۸۰۰ پیکسل از منطقه موردنظر تهیه شده است. این تصاویر متعلق به سال‌های ۲۰۰۰، ۲۰۰۶ و ۲۰۱۰ هستند.

### ۳-۱- پیش‌پردازش

صرف‌نظر از روش مورد استفاده برای آشکارسازی تغییرات، لازم است بر روی تصاویر چندزمانه پیش‌پردازش<sup>۴</sup> صورت گیرد تا این تصاویر برای تحلیل‌های اصلی آماده شوند. تصاویر مورد استفاده به لحاظ وضعیت فصلی در تاریخ‌های تقریباً یکسان دریافت شده‌اند که در شکل (۱) نشان داده شده است. تصاویر توسط نرم‌افزار ENVI تحت عملیات پیش‌پردازش قرار گرفتند و تصحیح اثر جو بر روی هریک از باندهای آن‌ها انجام شد. تصاویر از نظر هندسی به‌طور کامل نسبت به یکدیگر تطبیق داده شدند به‌گونه‌ای که پیکسل به پیکسل نظیر یکدیگر گردیدند.

روش ترکیبی شناسایی تغییرات با استفاده از ماسک باینری ترکیبی از دسته‌های مبتنی بر مقایسه مستقیم و مبتنی بر رده‌بندی است. در این روش، ابتدا ماسک باینری با استفاده از یکی از روش‌های مقایسه مستقیم تولید می‌شود و سپس با قراردادن این ماسک باینری بر روی تصویر تاریخ دوم مناطق تغییرنیافته حذف شده و فقط مناطق تغییرنیافته در این تصویر رده‌بندی می‌شوند. سپس تنها مناطق ماسک‌شده در هریک از تصاویر رده‌بندی شده تاریخ‌های مختلف با استفاده از روش مقایسه پس رده‌بندی با یکدیگر مقایسه شده و مناطق تغییرنیافته و ماهیت تغییرات در بازه زمانی موردنظر تعیین می‌شوند. هدف از این مقاله به‌کارگیری هم‌زمان روش‌های مستقیم و پس از رده‌بندی در شناسایی تغییرات است.

روش‌های ترکیب الگوریتم می‌تواند به‌منظور انتخاب تابع تصمیم‌گیری استفاده شود که در بهبود عملکرد تصمیم‌گیری مؤثر باشد. آشکارسازی تغییرات ترکیبی<sup>۱</sup>، به استفاده از دو یا چند روش برای آشکارسازی تغییرات و یا به‌کاربردن روند پیکسل مینا با ترکیب روش‌های شیئی مینا اطلاق می‌شود [۸]. روش‌های آشکارسازی تغییرات ترکیبی می‌توانند مزایای الگوریتم‌های شناسایی تغییرات مبتنی بر آستانه‌گذاری و همچنین رده‌بندی را به‌صورت یکجا داشته باشند. یکی دیگر از مسائل بزرگ در رابطه با روش‌های رده‌بندی بدون نظارت مانند خوشه‌بندی، انتخاب تعداد گروه‌ها یا خوشه‌ها است. انتخاب تعداد نامناسب از خوشه‌ها، خروجی را تحت تأثیر قرار می‌دهد و نتایج متفاوتی را منجر می‌شود [۹]. گروهی از محققان دریافتند که صحت آشکارسازی تغییرات به‌وسیله جای‌گذاری حد آستانه‌های متفاوت برای تغییرات مثبت و منفی بهبود می‌یابد [۱۰]. آستانه‌گذاری بهینه با استفاده از یک روش آزمون و خطای دستی یا در فرآیند خودکارسازی و آزمودن آن شناسایی می‌شوند [۱۱]. الگوریتم‌های انتخاب آستانه‌گذاری خودکار متنوعی طرح‌ریزی و بحث شده‌اند که عملکرد این الگوریتم‌ها وابسته به صحنه می‌باشد. روش‌های آشکارسازی تغییرات به‌منظور رده‌بندی از الگوریتم‌های نظارت‌شده و بدون نظارت استفاده می‌کنند. در روش‌های نظارت‌شده از مجموعه داده‌های آموزشی استفاده می‌شود. کیفیت، صحت و کامل بودن داده‌های آموزشی به‌منظور رده‌بندی با صحت بالا و نیز آشکارسازی بهتر مشکل است. ریچارد<sup>۲</sup> و همکاران با توجه به رویکرد ذکرشده به بررسی شناسایی تغییرات کاربری اراضی پرداختند [۱۲]. از آنجایی که نمونه‌های آموزشی در روش نظارت‌شده باید مبتنی بر ترکیب طیفی-زمانی چندزمانه باشند، اختصاص یافتن هریک از نمونه‌های آموزشی به هریک از رده‌های تغییرات دشوار است. مقایسه مبتنی بر رده‌بندی جزئیات تغییرات برای اندازه‌گیری (مقایسه پس از رده‌بندی و رده‌بندی مستقیم چندزمانه یا ترکیب تصاویر) روشی رایج است که در مطالعات آشکارسازی تغییرات اقتباس شده و می‌تواند شامل پیکسل و شیئی شود [۱۳]. گذشته از این، روال‌های یادگیری ماشین<sup>۳</sup> (مانند شبکه مصنوعی عصبی، ماشین بردار پشتیبان) و روش‌های مبتنی بر سامانه اطلاعات مکانی برای مطالعات تغییرات نیز استفاده می‌شوند [۱۴]. فنون آشکارسازی تغییرات از دیدگاه واحد محاسباتی به روش‌های مبتنی بر پیکسل و مبتنی بر شیئی تقسیم می‌شود. در شیوه‌های پیکسل مینا فقط از اطلاعات طیفی استفاده می‌شود و از اطلاعات ساختاری و مفهومی که در شناخت عوارض نقش مهمی دارند،

1- Hybrid Change Detection

2- Pilon

3- Machine Learning

4- Pre-Processing

### ۳-۲- انتخاب باند طیفی مناسب

به منظور افزایش فضای ویژگی‌های ورودی و استخراج هرچه بیشتر اطلاعات در مرحله تولید ماسک، رده‌بندی و نیز تهیه نقشه تغییرات، به انتخاب باندهای مناسب پرداخته می‌شود. این عمل با استفاده از شاخص OIF<sup>۱</sup> و استفاده از نسبت‌های باندی تصویر انجام می‌شود. هدف از انجام این کار، افزایش میزان اختلاف بازتاب پوشش‌های مختلف زمینی در باندهای یادشده با توجه به کیفیت تصاویر مذکور و نیز کمک به رده‌بندی بهتر عوارض در رده‌های مرتبط است. هدف استفاده از شاخص OIF جداسازی عوارض و نمایش بصری بهتر عوارض زمینی از یکدیگر می‌باشد. بنابراین، به جای استفاده از همه باندهای تصویر چندطیفی، تعداد به‌خصوصی از باندها در این مرحله، انتخاب می‌شوند. این شاخص شامل بیشترین اطلاعات تصویری با کمترین افزونگی است. مقدار این شاخص بر اساس رابطه (۱) محاسبه می‌شود:

$$OIF = \frac{\sum S_i}{\sum |r_{ij}|} \quad (1)$$

که در آن،  $S_i$  انحراف معیار باند  $i$  و  $I$  ماتریس یکبه یک و  $r_{ij}$  ضریب همبستگی دو باند است که از رابطه (۲) محاسبه می‌شود:

$$r = \frac{\sum_j^n (X_i - \bar{X})(Y_j - \bar{Y})}{\sqrt{\sum_i^n (X_i - \bar{X})^2} \sqrt{\sum_i^n (Y_i - \bar{Y})^2}} \quad (2)$$

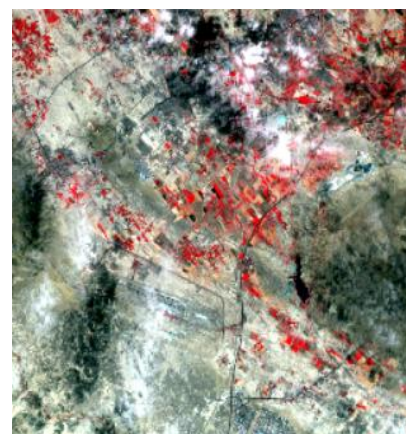
مقدار بالای OIF بیشترین اطلاعات تصویری با کمترین مقدار افزونگی را در بر خواهد داشت. به منظور آشکارسازی تغییرات تصاویر مورد نظر از ترکیب باندی ۲ و ۳ و ۴ که از بالاترین مقدار شاخص OIF برخوردار است در مراحل فرآیندشناسایی تغییرات استفاده می‌شود.

### ۳-۳- آستانه گذاری

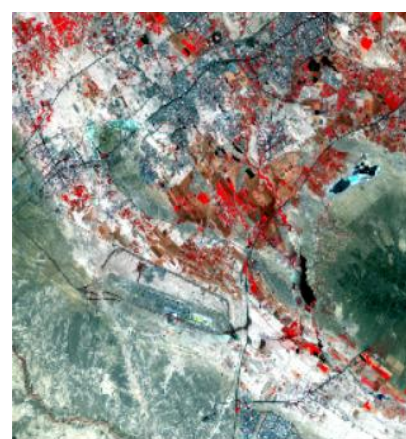
مقایسه بصری نقشه‌های باینری تولیدشده در باندهای مختلف طیفی و مقایسه کمی دقت آشکارسازی تغییرات متناظر آن‌ها، مؤید این واقعیت است که تغییرات رخ داده در سطح زمین به گونه‌ای است که این تغییرات در بخش‌های متفاوتی از طیف الکترومغناطیس و در نتیجه در باندهای مختلف تصاویر چندطیفی قابل شناسایی هستند. نتایج آستانه‌گذاری و ماسک باینری تولیدشده در شکل (۲) نشان داده شده است.



الف



ب



ج

شکل (۱): تصاویر مورد استفاده. (الف) تصویر کاذب رنگ سنجنده TM متعلق به منطقه مورد مطالعه در سال ۲۰۰۰ (ب) تصویر کاذب رنگ سنجنده TM متعلق به منطقه مورد مطالعه در سال ۲۰۰۶ (ج) تصویر کاذب رنگ سنجنده TM متعلق به منطقه مورد مطالعه در سال ۲۰۱۰

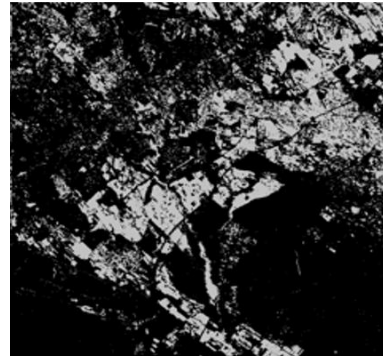
آمدن درجات خاکستری تا حد زیادی نزدیک به تصویر مرجع شد. این مورد موجب به دست آمدن ماسک باینری با دقت بالاتری نسبت به روش‌های دیگر شده است. در روش تطبیق هیستوگرام از اطلاعات تمام تصویر برای بهنجارسازی نسبی استفاده می‌شود. این روش موجب به وجود آمدن تأثیر مثبت برای تولید ماسک باینری شده است. در پی آن، تنها مناطق تغییر یافته در این تصاویر رده بندی می‌شوند. برای این منظور از روش‌های رده بندی نظارت شده ماشین بردار پشتیبان، بیشترین شباهت و شبکه عصبی مصنوعی استفاده شد. از سطح هریک از تصاویر به انتخاب داده‌های آموزشی و آزمایشی پرداخته شد. با توجه به بررسی تصاویر از لحاظ رده‌های موجود، چهار رده عوارض ساخت بشر، پوشش گیاهی، اراضی بایر و نواحی آب شناسایی شد و داده‌های آموزشی و آزمایشی انتخاب گردید. توسط روش‌های رده بندی یاد شده در بخش قبل، تصاویر به رده‌های شناسایی شده رده بندی و نقشه کاربری اراضی مربوط به هر سال با چهار رده کاربری به دست آمد.

روشی که معمولاً برای انجام تحلیل تصویر تغییرات با استفاده از روش‌های جبری مورد استفاده قرار می‌گیرد، آستانه گذاری است. تعیین حد آستانه بهینه معمولاً به صورت سعی و خطا و مبتنی بر تجربیات فرد خبره است. به منظور مقایسه کیفیت کمی و کیفی ماسک باینری تولید شده از دو روش آستانه گذاری خودکار اتسو<sup>۱</sup> و کیتلر<sup>۲</sup> استفاده شد.

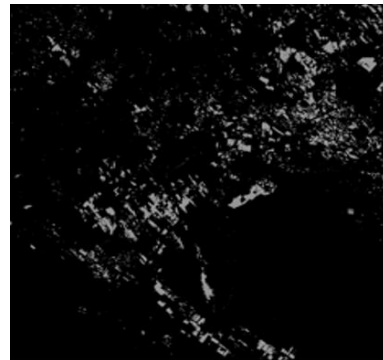
بعد از مرحله پیش پردازش تصاویر چندزمانه شامل تصحیحات هندسی و ثبت هندسی تصاویر پیکسل به پیکسل نسبت به یکدیگر، ماسک باینری تولید شد و پس از آن با استفاده از یک الگوریتم قابل اعتماد آستانه گذاری بر روی تصویر، نقشه تغییرات صحیح تولید گردید. هیستوگرام تصویر اختلاف مورد تحلیل قرار می‌گیرد تا بهترین حد آستانه برای تفکیک پیکسل‌های تغییر یافته و تغییر نیافته تعیین شود. هدف فرآیند آستانه گذاری تخمین حد آستانه‌ای مناسب است تا مناطق تغییر یافته از بدون تغییر متمایز شوند. در این تحقیق از تلفیق دو روش حد آستانه گذاری خودکار اتسو و حد آستانه گذاری کیتلر استفاده شده است.

### ۳-۳-۱- روش آستانه گذاری اتسو

روش آستانه گذاری اتسو یکی از پرکاربردترین روش‌های آستانه گذاری است که تفکیک پذیری بین پیکسل‌های تغییر نیافته و تغییر یافته را با توجه به واریانس رده‌های مربوطه بیشینه می‌کند به طوری که حد آستانه بهینه زمانی انتخاب می‌شود که جمع واریانس داخل رده‌ها کمینه شود. این مسئله در واقع متناظر با این است که واریانس بین



الف



ب

مناطق بدون تغییر  
مناطق تغییر یافته

شکل (۲): ماسک باینری تولید شده (الف) روش اتسو (ب) روش کیتلر

جدول (۱): معیارهای ارزیابی دقت تهیه ماسک باینری

روش	دقت کلی	ضریب کاپا
اتسو	۶۶	۵۲
کیتلر	۴۳	۵۰
تلفیق (روش پیشنهادی)	۷۵	۶۱

بر اساس نتایج جدول (۱)، ماسک تولید شده به روش تلفیقی پیشنهاد شده در مقاله از لحاظ دقت کلی و ضریب کاپا بالاتر از دو ماسک دیگر به دست آمده است. در حالی که هر سه ماسک تولید شده به علت طبیعت پیکسلی خود دارای نویزهایی در مناطق تولید شده و تغییر نیافته می‌باشند. روش اتسو تا حدودی توانسته است مناطق تغییر یافته را نشان دهد. در ادامه، با توجه به ماسک باینری تولید شده و با قراردادن این ماسک باینری بر روی دو تصویر، مناطق تغییر نیافته شناسایی شدند و این مناطق ماسک گردیدند و از روند آشکارسازی تغییرات کنار گذاشته شدند. انجام تصحیح بهنجارسازی<sup>۱</sup> نسبی بر روی تصاویر که از طریق تطبیق هیستوگرام<sup>۲</sup> انجام شد باعث به وجود

انحراف معیار  $\sigma_i^2$  و احتمال پیشینی  $P_i$  پیروی می‌کنند. برای یک مورد از دو رده مختلف پس‌زمینه و پیش‌زمینه و با توجه به آستانه (T) پارامترها می‌توانند به صورت زیر برآورد شوند:

$$P_i(T) = \sum_{g=a}^b h(g) \quad (10)$$

$$\mu_i(T) = \frac{1}{P_i(T)} \sum_{g=a}^b h(g)g \quad (11)$$

$$\sigma_i^2 = \frac{1}{P_i(T)} \sum_{g=a}^b (g - \mu_i(T))^2 h(g) \quad (12)$$

تابع ارزیابی می‌تواند به صورت زیر محاسبه شود:

$$J(T) = 1 + 2[P_1(T) \log \sigma_1(T) + P_2(T) \log \sigma_2(T)] - 2[P_1(T) \log P_1(T) + P_2(T) \log P_2(T)] \quad (13)$$

کمینه آستانه خطا می‌تواند توسط معیار به حداقل رساندن، محاسبه می‌شود. نقش این تابع در یافتن کمینه خطا است. در این تحقیق از ترکیب دو روش ماسک باینری و مقایسه پس از رده‌بندی استفاده شده است. نتایج پارامترهای دقت در جدول (۲) ارائه شده است.

جدول (۲): معیارهای ارزیابی دقت تهیه ماسک باینری

ضریب کاپا	دقت کلی	دقت واقعییت زمینی رده بی‌تغییر	دقت تولیدکننده رده بی‌تغییر	روش
۶۱	۷۵	۷۸/۵	۷۸/۹۳	تلفیق (روش پیشنهادی)
۵۲	۶۶	۵۷/۲۱	۶۹/۷	اتسو
۵۰	۴۹	۷۰/۴۸	۷۱/۵	کیتلر

#### ۴- بحث و نتایج

پس از تولید ماسک باینری مناسب و تعیین مناطق تغییر یافته و بدون تغییر و اعمال بر روی تصاویر، در مرحله بعدی تنها مناطق تغییر یافته رده‌بندی می‌شوند. بدین منظور از روش‌های رده‌بندی نظارت‌شده بیشترین شباهت، ماشین بردار پشتیبان و شبکه عصبی استفاده شد.

#### ۴-۱- روش رده‌بندی شبکه عصبی

یکی از متداول‌ترین روش‌های رده‌بندی برای شبکه عصبی مصنوعی، روش شبکه عصبی پرسپترون<sup>۴</sup> چندلایه است. این روش‌ها دارای

رده‌ها بیشینه شود. یک تصویر اختلاف را می‌توان تابع شدت در نظر گرفت که شامل N پیکسل با درجات خاکستری ۱ تا L-۱ می‌باشد. در صورتی که تعداد پیکسل‌هایی با درجه خاکستری i را با  $f_i$  نشان دهیم،  $P_i$  احتمال درجه خاکستری i در تصویر اختلاف قدر مطلق حاصل از تصاویر مرجع و هدف به صورت زیر می‌باشد [17].

$$P_i = \frac{f_i}{N} \quad (3)$$

هدف الگوریتم، پیدا کردن حد آستانه بهینه می‌باشد. در صورتی که این حد آستانه را با t نشان دهیم، رده  $C_0$  شامل جمع احتمالات درجات خاکستری  $[t+1, \dots, L-1]$  می‌باشد. در این صورت توزیع احتمال درجات خاکستری دو رده مزبور به صورت روابط (۴-۵) می‌باشد:

$$C_0 = \frac{P_1}{w_0(t)}, \frac{P_2}{w_0(t)}, \dots, \frac{P_t}{w_0(t)} \quad (4)$$

$$C_1 = \frac{P_{t+1}}{w_1(t)}, \frac{P_{t+2}}{w_1(t)}, \dots, \frac{P_{L-1}}{w_1(t)} \quad (5)$$

در صورتی که  $w_1(t) = \sum_{i=1}^t P_i$  و  $w_2(t) = \sum_{i=t+1}^L P_i$  باشد،

میانگین دو رده  $C_0$  و  $C_1$  طبق روابط (۶-۷) برآورد می‌شود:

$$\mu_1(t) = \sum_{i=1}^t \frac{p_i}{w_1(t)} \quad (6)$$

$$\mu_2(t) = \sum_{i=t+1}^L \frac{p_i}{w_2(t)} \quad (7)$$

روش آستانه‌گذاری اتسو واریانس بین رده‌ای در تصویر آستانه‌گذاری شده را به صورت زیر معرفی می‌کند:

$$\sigma_B^2(t) = w_1(t)(\mu_2(t) - \mu_T)^2 + w_2(t)(\mu_1(t) - \mu_T)^2 \quad (8)$$

الگوریتم اتسو به دنبال حد آستانه بهینه X می‌گردد که واریانس بین رده‌ای را مطابق رابطه زیر بیشینه کند:

$$X = \text{Arg MAX} \{ \sigma_B^2(t) \} \quad (9)$$

برای تعیین حد آستانه بهینه نیاز است تا تمامی پارامترهای فوق برای هر نماینده t ( $1 \leq t \leq L$ ) تعیین شوند.

#### ۳-۳- روش آستانه‌گذاری کیتلر

کیتلر و ایلینگورث<sup>۱</sup> نوعی الگوریتم آستانه‌گذاری با تابع هزینه بهینه‌شده پیشنهاد کرده‌اند که مبتنی بر قواعد رده‌بندی بی‌عمل می‌کند. در این روش فرض شده است که مؤلفه‌های قله‌های هیستوگرام در تصویر خاکستری  $h(g)$  از توزیع نرمال با میانگین  $\mu_i$  و

همان طور که از تفسیر بصری نتایج بالا آشکار است، تمامی تصاویر فوق در مناطق تغییر یافته متفاوت هستند. از لحاظ مقایسه کمی، دقت رده بندی دو تصویر مرجع با استفاده از روش شبکه عصبی مصنوعی بالاتر است. علت این امر را می توان قدرت این الگوریتم در شناسایی رده هایی که از لحاظ طیفی به یکدیگر شبیه هستند دانست، ضمن آن که روش شبکه عصبی مصنوعی از بردارهای وزن هر رده به عنوان نماینده آن رده استفاده می کند. معیارهای ارزیابی دقت در جدول (۳) ارائه شده است.

جدول (۳): معیارهای ارزیابی دقت تهیه نقشه ماهیت تغییرات

در مناطق تغییر یافته بدون ماسک

روش	تاریخ تصویر	دقت کلی	ضریب کاپا
بیشترین شباهت	۲۰۰۰	۵۳/۵	۴۶/۵
	۲۰۰۶	۵۹/۸	۴۷/۴
	۲۰۱۰	۶۲/۹	۵۸/۸
ماشین بردار پشتیبان	۲۰۰۰	۵۷/۶۲	۷۱/۸
	۲۰۰۶	۵۶/۵۹	۴۶/۳
	۲۰۱۰	۵۸/۸۵	۵۱/۴
شبکه عصبی	۲۰۰۰	۶۴/۲	۴۸/۹
	۲۰۰۶	۶۷/۵۶	۴۶/۵
	۲۰۱۰	۶۵/۵	۴۷/۴

در مرحله بعد، تنها مناطق ماسک شده در هر یک از تصاویر رده بندی شده زمان های مختلف با استفاده از روش مقایسه پس رده بندی با یکدیگر مقایسه شدند و مناطق تغییر یافته و ماهیت تغییرات در بازه زمانی مورد نظر تعیین گردید. نتایج در شکل (۴) آمده است.

جدول (۴): معیارهای ارزیابی دقت تهیه نقشه ماهیت تغییرات

در مناطق تغییر یافته ماسک شده

روش	زمان تصویر	دقت کلی	ضریب کاپا
بیشترین شباهت	۲۰۰۰	۶۹/۶۲	۶۰/۹
	۲۰۰۶	۶۸/۸	۵۹/۸
	۲۰۱۰	۶۹/۱	۶۰/۹
ماشین بردار پشتیبان	۲۰۰۰	۷۰/۸	۶۴/۸
	۲۰۰۶	۷۱/۲	۶۳/۳
	۲۰۱۰	۷۳/۵	۶۲/۶
شبکه عصبی	۲۰۰۰	۷۳/۳	۶۵/۳۳
	۲۰۰۶	۷۴/۴	۶۸/۴
	۲۰۱۰	۷۳/۴	۶۶/۹

همان طور که در جدول (۴) مشاهده می شود، نتایج رده بندی هر یک از تصاویر ماهواره ای مورد استفاده در این تحقیق نشان می دهد که هر یک از روش های رده بندی عملکرد متفاوتی در تهیه نقشه کاربری اراضی با استفاده از اطلاعات طیفی دارند. جدول (۵) مساحت و درصد تغییرات کاربری اراضی در دوره مطالعه را نشان می دهد.

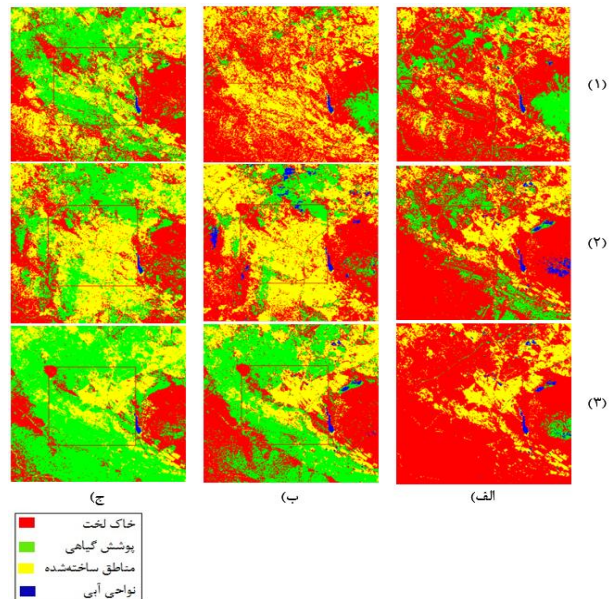
ماهیت رده بندی لایه ای هستند که هر لایه از تعدادی گره تشکیل شده و به وسیله چند ورودی، فرآیند آغاز می شود و به یک خروجی منتهی می شود.

#### ۲-۴- روش رده بندی بیشترین شباهت

در این روش احتمال این که یک پیکسل به هر یک از مجموعه ها m رده تعلق داشته باشد، بررسی می شود. سپس پیکسل به رده ای که بیشترین احتمال را داشته باشد، اختصاص می یابد. این روش یکی از رایج ترین الگوریتم های رده بندی نظارت شده است.

#### ۳-۴- روش رده بندی ماشین بردار پشتیبان

مؤلف اصلی که این روش را متمایز می کند، پیروی روند پردازش این الگوریتم از قاعده ای است که به عنوان کاهش ریسک ساختاری (SRM) شناخته می شود. این روش، خطاهای رده بندی در داده های مشاهده نشده را بدون فرضیه قبل از احتمال تخریب داده به حداقل می رساند.



شکل (۳): نقشه رده بندی تولید شده، (۱) تصویر رده بندی شده سال ۲۰۰۰، (۲) تصویر رده بندی شده سال ۲۰۰۶، (۳) تصویر رده بندی شده سال ۲۰۱۰، (الف) رده بندی به روش شبکه عصبی، (ب) رده بندی به روش بیشترین شباهت، (ج) رده بندی تصویر به روش ماشین بردار پشتیبان

نتایج رده بندی های هر یک از تصاویر ماهواره ای مورد استفاده در این تحقیق نشان می دهد که هر یک از روش های رده بندی دارای عملکرد متفاوتی در تهیه نقشه کاربری اراضی با استفاده از اطلاعات طیفی دارند، اما میان عملکرد این روش ها در تهیه نقشه کاربری اراضی سال ۲۰۰۶ اختلاف وجود دارد. دلیل آن را می توان در کیفیت رادیومتریک بهتر تصویر ۲۰۰۶ نسبت به ۲۰۰۰ دانست.

داشته که نشان از صحت دقت رده‌بندی و دقت آشکارسازی میزان تغییرات رده‌ها دارد. براساس مقایسه پیکسل به پیکسل پس از رده‌بندی، عمده تغییرات رخ داده در منطقه به نواحی ساخته‌شده توسط بشر اختصاص داشته است.

### ۵- نتیجه‌گیری

پیشرفت سبک‌های نوین چیدمان شهری به‌عنوان یکی از شاخصه‌های توسعه‌یافتگی و همچنین حساسیت طراحی فرودگاه‌ها در هر کشوری به دلیل قابلیت اثرگذاری در سطوح مختلف همواره مورد توجه خاص برنامه‌ریزان شهری و نیز کارشناسان حوزه پدافند غیرعامل بوده است. در زمینه مسائل مرتبط با طراحی فرودگاه، به‌کارگیری شاخصه‌های امنیتی از جمله ضروریات در ساخت آن است. جنبه دیگر اقدامات می‌تواند مشخص نمودن تهدیدات و تدوین رویکرد پدافندی متناسب با آن باشد که در فرودگاه‌ها به دلیل نوع کارکرد و ساختار بسیار حائز اهمیت است. در این پژوهش، ضمن بررسی میدانی کاربری اراضی به پایش تغییرات پیرامون فرودگاه طی سالیان اخیر با استفاده از روش‌های پردازش تصاویر ماهواره‌ای پرداخته شد.

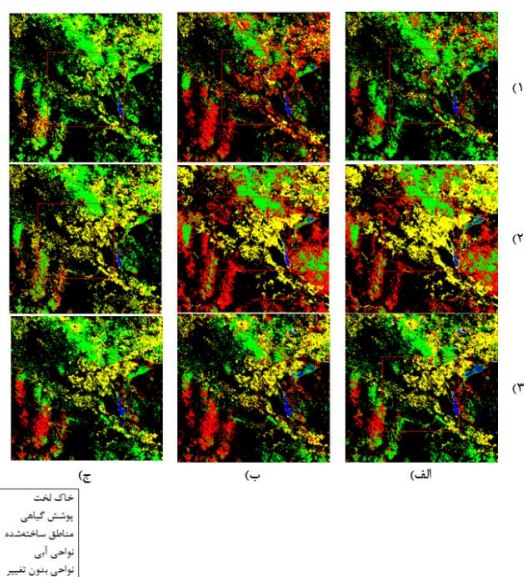
براساس نتایج کمی و بررسی بصری نقشه‌های تولیدشده با استفاده از روش مقایسه مستقیم، هریک از تصاویر دارای رده‌های تغییراتی می‌باشند که از لحاظ صحت‌سنجی با واقعیت، وجود خارجی ندارند. علت این امر را می‌توان در ماهیت روش مقایسه پس رده‌بندی دانست که بسیار وابسته به دقت تهیه نقشه کاربری اراضی در هریک از تصاویر است. در این مقاله از ترکیب دو روش ماسک باینری و مقایسه پس رده‌بندی استفاده شد. در این روند، نکاتی قابل ذکر است از جمله این که پیش‌پردازش در فرآیند شناسایی تغییرات علاوه بر تصحیح هندسی، شامل تصحیحات رادیومتریک از جمله بهنجارسازی و تطابق طیفی هیستوگرام است به طوری که در شناسایی تغییرات با استفاده از روش مقایسه مستقیم، معمولاً مناطق تغییر یافته براساس تحلیل تغییرات طیفی عوارض آشکارسازی می‌شوند. بنابراین، تصحیح رادیومتریک در این روش‌ها ضروری خواهد بود. استفاده از الگوریتم شبکه عصبی مصنوعی به منظور رده‌بندی تصاویر ماسک‌شده علاوه بر حصول نتایج بهتر از نظر دقت کلی و ضریب کاپا، منجر به کاهش زمان فرآیند رده‌بندی و همچنین دقت بیشتر از لحاظ بصری شده است. بنابراین، نقشه‌های کاربری اراضی با ویژگی‌های کیفی بالا و حجم محاسباتی کمتر تولید می‌شود. از نظر مقایسه کمی و کیفی در نشان دادن تغییرات در مقایسه با روش پس رده‌بندی و بدون تلفیق ماسک تولیدشده از دقت بالاتری برخوردار بوده است. دقت کلی و ضریب کاپا با استفاده از روش شبکه عصبی برای نقشه تغییرات به دست آمده از روش پیشنهادی معادل ۷۶/۵۱ و ۷۸/۶۸ بوده است،

جدول (۵): مساحت و درصد تغییرات کاربری‌های اراضی در دوره‌های مطالعه با استفاده از روش مقایسه مستقیم

نوع کاربری	تغییرات ۲۰۰۶ تا ۲۰۱۰	تغییرات ۲۰۱۰ تا ۲۰۰۰
	درصد میزان تغییرات	درصد میزان تغییرات
ساخته‌شده	۱۲۴/۷	-۱۹/۸
پوشش گیاهی	۱۵۱/۸	-۱۵/۸
اراضی بایر	۴۹/۶۴	-۲۸/۲۵
نواحی آب	-۵/۴۷	۱۷/۸۲

جدول (۶): مساحت و درصد تغییرات کاربری‌های اراضی در دوره‌های مطالعه با استفاده از روش پیشنهادی

نوع کاربری	تغییرات ۲۰۰۶ تا ۲۰۱۰	تغییرات ۲۰۱۰ تا ۲۰۰۰
	درصد میزان تغییرات	درصد میزان تغییرات
ساخته‌شده	۱۲۰/۸۳	۱۴/۸
پوشش گیاهی	-۹۳/۱	۲۸/۴۱
اراضی بایر	-۱۲/۴۳	-۲۳/۹
نواحی آب	۰/۴	۹/۱۷



شکل (۴): نقشه رده‌بندی تولیدشده، (۱) تصویر رده‌بندی شده سال ۲۰۰۰، (۲) تصویر رده‌بندی شده سال ۲۰۰۶، (۳) تصویر رده‌بندی شده سال ۲۰۱۰، (الف) رده‌بندی به روش شبکه عصبی، (ب) رده‌بندی تصویر به روش ماشین بردار، (ج) رده‌بندی به روش بیشترین شباهت پشتیبان.

همان‌طور که در نتایج نیز مشخص است میزان تغییرات با استفاده از ماسک باینری در مجموع نسبت به روش مستقیم در مقایسه با اختلاف تصاویر ابتدا و انتها مقادیر نزدیک‌تر به واقعیت



12. J. Richards and X. Jia, "Image Classification Methodologies Remote Sensing Digital Image Analysis," Springer, Berlin Heidelberg, pp. 295-332, 2006.
13. Y. Bazi, F. Melgani, and H. Al-Sharari, "Unsupervised Change Detection in Multi-Spectral Remotely Sensed Imagery with Level Set Methods," IEEE Transactions on Geoscience and Remote Sensing, vol. 48, pp. 3178-3187, 2010.
14. A. Tewkesbury, "A critical synthesis of remotely sensed optical image change detection techniques," Remote Sensing of Environment, vol. 160, pp. 1-14, 2015.
15. N. Son, "Mangrove Mapping and Change Detection in Ca Mau Peninsula using Landsat Data and Object-Based Image Analysis," IEEE Journal on Selected Topics in Applied Earth Observations and Remote Sensing, vol. 8, no. 2, pp. 503-510, 2015.
16. E. Symeonakis, N. Karathanasis, S. Koukoulas, and G. Panagopoulos, "Monitoring Sensitivity to Land Degradation and Desertification with the Environmentally Sensitive Area Index: The Case of Lesbos Island," Land Degradation and Development, vol. 27, pp. 1562-1573, 2016.
17. V. Sadeghi, "Automatic Change Detection in Satellite Multi Temporal Images by Threshold Optimization Algorithm Based on Particle Mass," Iranian Journal of Remote Sensing & GIS, vol. 28, pp. 681-684, 2014.

درحالی که دقت روش مقایسه پس رده‌بندی برای شبکه عصبی، معادل ۶۷/۶۶ و ۴۹/۸۶ به‌دست آمده است. با بررسی تغییرات به‌وجودآمده در پی احداث فرودگاه امام خمینی (ره)، اراضی محدوده اطراف فرودگاه به‌شدت در حال تغییر بوده و نیاز به بررسی و پایش دقیق اراضی توسط دستگاه‌های نظارتی می‌باشد تا در مواقع بحرانی بتوان بهترین خدمات امداد رسانی را انجام داد و توسعه پایدار منطقه را تضمین نمود.

## ۶- مراجع

۱. خزایی، صفا، روستایی حسین آبادی، سعید، مکان‌یابی پناهگاه‌های چندمنظوره شهری با استفاده از سامانه‌های اطلاعات جغرافیایی (مطالعه موردی: منطقه یک شهرداری تهران)، فصلنامه پدافند غیرعامل، سال ۷، شماره ۴، ۱۳۹۵.
2. A. Singh, "Digital Change Detection Techniques using Remotely Sensed Data," International Journal of Remote Sensing, vol. 10, pp. 989-1003, 1989
3. R. S. Lunetta, D. Johnson, J. G. Lyon, and J. Crotwell, "Impacts of Imagery Temporal Frequency on Land-Cover Change Detection Monitoring," Remote Sensing of Environment, vol. 89, pp. 444-454, 2004.
4. N. C. Coops, M. A. Wulder, and J. C. White, "Identifying and Describing Forest Disturbance and Spatial Pattern. Understanding Forest Disturbance and Spatial Pattern," CRC Press, pp. 31-61, 2006.
5. H. Sui, Q. Zhou, and J. Gong, "Processing of Multi-Temporal Data and Change Detection," Advances in Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences: ISPRS Congress Book, Taylor & Francis, Nottingham, pp. 227-247, 2008.
6. D. H. A. Al-Khudhairi, I. Caravaggi, and S. Giad, "Structural Damage Assessments from Ikonos Data using Change Detection, Object-Oriented Segmentation, and Classification Techniques," Photogrammetric Engineering & Remote Sensing, vol. 71, pp. 825-837, 2005.
7. D. Lu, P. Mausel, E. Brondizio, and E. Moran, "Change Detection Techniques," International Journal of Remote Sensing, vol. 25, pp. 2365-2401, 2004.
8. G. Jianyaa, S. Haiganga, M. Guoruia, and Z. Qimingb, "A Review of Multi-Temporal Remote Sensing Data Change Detection Algorithms," ISPRS Congress, Beijing, China, pp. 757-762, 2008.
9. G. Chen, J. Hay, L. M. T. Carvalho, and M. A. Wulder, "Object-Based Change Detection," International Journal of Remote Sensing, vol. 33, pp. 4434-4457, 2012.
10. R. Pu, P. Gong, Y. Tian, X. Miao, R. I. Carruthers, and G. L. Anderson, "Using Classification and NDVI Differencing Methods for Monitoring Sparse Vegetation Coverage: a Case Study of Salt Cedar in Nevada," USA. International Journal of Remote Sensing, vol. 29, pp. 3987-4011, 2008.
11. P. L. Rosin, "Thresholding for Change Detection," Computer Vision and Image Understanding, vol. 86, pp. 79-95, 2002.

# Land Cover Change Monitoring using Binary Mask Combination and Post-Classification Method in Multi-Temporal Satellite Imagery (Case Study: IK International Airport Region)

A. Arab Saeidi, A. Malian<sup>\*</sup>

## Abstract

Having precise maps and reliable spatial information can be regarded as a basis for accurate decision-making and knowledge-based management of constructional activities in sub-urban areas. Change detection process facilitates updating of spatial information. Various techniques have been proposed for conducting change detection process by means of satellite imageries. In the current study, land-use changes due to the establishment of IK international airport in south of Tehran and its impact on the surrounding environment in a ten-year period have been studied. In order to analyze the occurred changes, a combinatory method of binary mask and post-classification comparison was used. The binary mask was implemented using Tasseled-Cap method and a combination of automatic thresholding methods of Otsu and Kittler. Post-classification comparison was performed by maximum likelihood, support-vector machine and artificial neural network classifiers. Medium scale satellite images of TM sensor related to the years 2000, 2006 and 2010 were used for change detection. The results show that the proposed method had a better performance in change detection compared to post-classification technique without the binary mask combination in terms of quantitative and qualitative comparison. Overall accuracy and Kappa coefficient in the case of producing change map by neural network was achieved as 76.51 and 78.67 while for post-classification method these terms were 67.66 and 49.86, respectively.

**Key Words:** *Change Detection, Thresholding Combination, Post-Classification Comparison, Artificial Neural Network, Landsat Satellite Imagery*

---

<sup>\*</sup> Shahid Rajaee Teacher Training University (a.malian@srttu.edu) - Writer-in-Charge