

Change Detection in Residential Areas Construction by Using Photogrammetry Products

Muhammad Amin Bakhshi, Mehrdad Eslami*, Ali Sarkargar Ardakani, Ramin Saadi Esfangere

Geomatics Department, Imam Hossein University, Tehran, Iran

* Corresponding Author: meslami@ihu.ac.ir

Abstract

Introduction: Change detection, one of the applications of remote sensing images and photogrammetric data, with a history of over four decades in various military and civilian domains, plays an important role in urban management, crisis management, monitoring natural resources, ensuring security, and governmental governance. Monitoring and controlling changes within the boundaries and urban areas, especially in addressing unauthorized land-use changes, is one of the most critical needs of urban management. For this purpose, using classical methods, despite their simplicity and accessibility, lacks the necessary efficiency due to limitations in accuracy, speed, and comprehensiveness. On the other hand, implementing new deep learning-based methods such as neural networks also faces challenges due to the difficulties in preparing training data, being time-consuming and costly, and requiring powerful computational and hardware resources. This paper aims to present a relatively fast, cost-effective, and high-accuracy process for detecting and identifying changes in residential areas.

Material and methods: The proposed process, aimed at overcoming the limitations of previous methods, is based on the use of photogrammetric products, including Digital Surface Models (DSM) and orthophotomosaics, along with the application of various filters. The input data, with horizontal and vertical accuracies better than 3 cm , have been prepared and enable the identification of buildings that have undergone changes over time. The proposed process involves generating a Digital Difference Model (DDM) by subtracting two-time DSMs, which visualizes height changes in both positive and negative directions. Initial targets are then extracted by applying height and area threshold limits, combined with multiple filtering stages on the input data. To reduce recognition errors caused by factors such as shadows, vegetation, vehicles, and other existing features, orthophotomosaic classification using intelligent algorithms is performed and applied to the Digital Difference Model. This step reduces the impact of interfering features and leads to the extraction of the final targets.

Results and discussion: To evaluate the performance of the proposed process, two study areas in Yazd Province were selected: one with a simple urban texture and the other with a complex urban texture. The data include orthophotomosaics with a pixel size of 1 cm for both study areas. Additionally, the Digital Surface Models (DSMs) have pixel sizes of 1 cm and 1 cm , respectively. It is worth noting that the time interval between data acquisitions was two months for the first study area and three years for the second. The results of implementing the proposed process achieved an overall accuracy of over 90% in the first study area and over 83% in the second. Optimal values for height and area thresholds and filter settings were determined through a trial-and-error process, by defining various events and precisely analyzing the counts of correct targets, missed targets, and false targets to achieve the highest accuracy. Analysis and evaluation of the proposed process show that applying appropriate filters in four stages increased the overall algorithm accuracy by more than 3% .

Conclusion: The proposed process is highly dependent on the study area and the threshold values corresponding to its urban texture. Despite this limitation, the presented method, due to its lower cost and higher speed compared to similar methods, has broad applicability in areas similar to those studied. Additionally, the results of this paper show that this process, due to its high accuracy and acceptable results, can serve as an effective tool in the field of urban management and monitoring authorized and unauthorized changes, contributing to improving decision-making processes in this domain and effectively addressing the need for urban boundary control. For other areas with textures different from those in this study, it is necessary to calculate optimal values for operational components and thresholds using a similar methodology.

Keywords: Change Detection, DSM, Unauthorized Construction, Photogrammetry Products, Urban Management

آشکارسازی تغییرات ساخت و ساز مناطق مسکونی با استفاده از محصولات فتوگرامتری

محمدامین بخشی، مهرداد اسلامی*، علی سرکارگر اردکانی رامین سعدی اسفنگره

مرکز علم و فناوری مهندسی ژئوماتیک، دانشکده پیامبر اعظم (ص)، دانشگاه جامع امام حسین (ع)، تهران، ایران

*نویسنده عهده دار مکاتبات: meslami@ihu.ac.ir

چکیده

سابقه و هدف: شناسایی تغییرات، یکی از کاربردهای تصاویر و داده‌های سنجنش‌ازدور و فتوگرامتری، با سابقه‌ای بیش از چهار دهه در حوزه‌های مختلف نظامی و غیرنظامی، برای انواع مختلفی از اهداف و عوارض است که در مدیریت شهری، مدیریت بحران، پایش منابع طبیعی، تأمین امنیت و حکمرانی دولت‌ها، نقش مهمی ایفا می‌کند. پایش و کنترل تغییرات در محدوده و حریم شهرها، به‌ویژه در مواجهه با تغییر کاربری غیرمجاز زمین، از ضروری‌ترین نیازهای مدیریت شهری است. برای این منظور، استفاده از روش‌های کلاسیک، علی‌رغم سادگی و در دسترس بودن، به دلیل محدودیت‌های دقت، سرعت و جامعیت، کارایی لازم را ندارند. در مقابل، اجرای روش‌های جدید مبتنی بر یادگیری عمیق مانند شبکه‌های عصبی نیز به دلیل مشکلات آماده‌سازی داده‌های آموزشی، زمان‌بر و هزینه‌بر بودن و نیاز به منابع محاسباتی و سخت‌افزاری قدرتمند، با چالش‌هایی همراه است. این مقاله با هدف ارائه یک فرایند نسبتاً سریع، کم هزینه و با دقت بالا برای شناسایی و آشکارسازی تغییرات در مناطق مسکونی، انجام گرفت.

مواد و روش‌ها: فرایند پیشنهادی، با هدف برطرف کردن محدودیت‌های روش‌های پیشین، مبتنی بر استفاده از محصولات فتوگرامتری، شامل مدل رقومی سطح (DSM) و تصاویر ارتوفتوموزاییک و اعمال فیلترهای مختلف بر روی آن‌ها، ارائه شده است. داده‌های ورودی با دقت‌های مسطحاتی و ارتفاعی بهتر از ۳۰ سانتی‌متر، تهیه شده و امکان شناسایی ساختمان‌هایی که در طول زمان دچار تغییرات شده‌اند را فراهم می‌کنند. فرایند پیشنهادی شامل تولید مدل رقومی اختلاف (DDM) از تفریق مدل رقومی سطح دوزمانه است که این مدل، تغییرات ارتفاعی را در دو جهت مثبت و منفی نمایش می‌دهد. سپس با اعمال حدهای آستانه‌ای ارتفاع و مساحت، همراه با چند مرحله فیلترگذاری بر روی داده‌ی ورودی، اهداف اولیه استخراج می‌شوند. برای کاهش خطای شناسایی ناشی از وجود عوارضی نظیر سایه‌ها، پوشش گیاهی، خودروها و دیگر عوارض موجود، طبقه‌بندی تصاویر ارتوفتوموزاییک با استفاده از الگوریتم‌های هوشمند، انجام گرفته و به مدل رقومی اختلاف، اعمال شد. این مرحله، اثر عوارض مزاحم را کاهش داده و به استخراج اهداف نهایی منجر خواهد شد.

نتایج و بحث: برای ارزیابی عملکرد فرایند پیشنهادی، دو منطقه‌ی مطالعاتی در استان یزد، یک منطقه دارای بافت شهری ساده و دیگری دارای بافت شهری پیچیده، انتخاب گردید. داده‌ها شامل تصاویر ارتوفتوموزاییک با اندازه‌ی پیکسل ۱۰ سانتی‌متر برای هر دو منطقه‌ی مطالعاتی می‌باشد. همچنین مدل‌های رقومی سطح به ترتیب دارای اندازه‌ی پیکسل ۴۰ و ۱۰ سانتی‌متر است. لازم به ذکر است که فاصله‌ی زمانی تهیه‌ی داده‌ها برای منطقه‌ی مطالعاتی اول، برابر با دو ماه و در منطقه‌ی مطالعاتی دوم، سه سال است. نتایج اجرای فرایند پیشنهادی در منطقه‌ی مطالعاتی اول با دقت کلی بیش از ۹۰ درصد و در منطقه‌ی دوم، با دقت کلی بیش از ۸۳ درصد، به دست آمد. تعیین مقادیر بهینه برای حدهای آستانه ارتفاع و مساحت و مقادیر فیلترها، به نحوی که به بالاترین دقت برسند، از طریق فرایند آزمون و خطا و با تعریف رخدادهای مختلف و بررسی و شمارش دقیق تعداد اهداف صحیح، اهداف جافتاده و اهداف اشتباه، انجام شد. تحلیل و ارزیابی فرایند پیشنهادی، نشان می‌دهد که اعمال فیلترهای مناسب در چهار مرحله، دقت کلی الگوریتم را تا بیش از ۳۰ درصد افزایش داده است.

نتیجه‌گیری: فرایند پیشنهادی، به منطقه‌ی مطالعاتی و مقادیر حدآستانه‌ی متناسب با بافت شهری آن، وابستگی زیادی دارد. باوجود این محدودیت، روش ارائه‌شده به دلیل هزینه‌ی پایین‌تر و سرعت بالاتر نسبت به دیگر روش‌ها، قابلیت اجرایی گسترده‌ای در مناطق مشابه مناطق مورد مطالعه را دارد. همچنین، نتایج این مقاله نشان می‌دهد که این فرایند به دلیل دقت بالا و نتایج قابل قبول، می‌تواند به‌عنوان ابزاری کارآمد در حوزه‌ی مدیریت شهری و پایش تغییرات مجاز و غیرمجاز، بهره‌برداری شده و در

بهبود فرایندهای تصمیم‌گیری در این حوزه، مؤثر باشد و نیازهای آن به کنترل حریم شهری را به‌خوبی برطرف کند. برای دیگر مناطقی که بافت متفاوتی با این مقاله دارند، لازم است که با روش مشابه، مقادیر بهینه برای مؤلفه‌های اجرایی و حدهای آستانه، محاسبه شود.

کلمات کلیدی: شناسایی تغییرات، مدل رقومی سطح، ساخت‌وساز غیرمجاز، محصولات فتوگرامتری، مدیریت شهری

۱- مقدمه

یکی از حوزه‌های کاربردی علوم ژئوماتیک، آشکارسازی و شناسایی تغییرات است که براساس عارضه و هدف مورد بررسی، استفاده‌ی فراوانی در امور نظامی و غیرنظامی دارد. شناسایی و پایش مواضع و استحکامات دشمن، ارزیابی خسارت در حملات، ارزیابی تغییرات محیط در مانورها و رزمایش‌ها، نظارت بر فعالیت‌های پنهان‌سازی و کشف عوارض استتار شده، به‌روزرسانی نقشه‌های عملیاتی و شناسایی موانع جدید (مانند دیوارها یا خرابی‌های ناشی از جنگ) برای تنظیم مسیرهای حرکت خودروها، سلاح‌های هدایت‌شونده و پهپادها، از جمله کاربردهای نظامی است. مدیریت و برنامه‌ریزی شهری، پایش محیط زیست، مدیریت بحران، پایش ساخت‌وسازها و شناسایی ساخت‌وسازهای غیرمجاز (Hamidi and Bigdeli, ۲۰۲۱)، بررسی حریم ساختمان‌ها، آشکارسازی اضافه‌طبقات، مدیریت سیلاب شهری، شبیه‌سازی جریان آب در خیابان‌ها برای طراحی بهینه‌ی شبکه‌ی زهکشی، کشاورزی و منابع طبیعی، پایش سلامت محصولات با اندازه‌گیری ارتفاع گیاهان (مانند ذرت یا گندم) برای برآورد رشد و نیاز آبی، مدیریت جنگل‌ها و منابع طبیعی در تشخیص قطع غیرقانونی درختان، پایش ذوب یخچال‌ها، پایش فرونشست زمین، مدیریت ترافیک هوایی با شناسایی موانع ارتفاعی (مانند دکل‌ها) در مسیر پرواز پهپادها یا هلیکوپترها، نگهداری زیرساخت‌های شهری مانند پل‌ها، معدن‌داری و زمین‌شناسی و برآورد حجم مواد استخراج‌شده از یک منطقه، باستان‌شناسی و میراث فرهنگی و کشف و شناسایی عوارض مصنوعی پنهان‌شده زیر خاک، ردیابی حفاری‌های زیرزمینی برای تشخیص تغییرات ارتفاعی ناشی از ساخت تونل‌های با کاربری‌های مختلف، در دسته‌ی کاربردهای عمومی و غیرنظامی قرار می‌گیرند.

امروزه به دلیل تنوع و توسعه‌ی روزافزون تجهیزات جمع‌آوری داده‌های سنجش‌ازدوری، دسترسی به داده‌های سری زمانی با قدرت تفکیک مکانی بالا، با سهولت بیش‌تر و در فاصله‌های زمانی کوتاه‌تر، فراهم شده‌است. بر این اساس، تغییر رفتار طیفی عوارض در گذر زمان که شامل تغییر در رنگ، بافت، اندازه، شکل و سایر ویژگی‌های هندسی و رادیومتریکی عارضه می‌شود، مهم‌ترین عامل استفاده از داده‌های چندزمانه، برای آشکارسازی و شناسایی تغییرات خواهد بود. (Moghim et al., ۲۰۱۶) محصولات فتوگرامتری پهپاد که به‌صورت گسترده‌تری نسبت به دیگر داده‌های سنجش‌ازدوری در دسترس عموم قرار دارد، امکان تهیه‌ی داده‌های سه‌بعدی با قدرت تفکیک مکانی بسیار بالا را نیز دارد. ماهیت سه‌بعدی جهان و تغییرات دائمی عوارض، به دنبال روش‌هایی است که بتواند تغییرات را در هر سه بعد (طول، عرض، ارتفاع) اندازه‌گیری کرده و تحلیل کند. برای جلوگیری از تغییر کاربری و ساخت‌وسازهای غیرمجاز در مدیریت شهری و پایش حریم شهرها، نیازمند بهره‌گیری مؤثر از دانش و فناوری به‌روز است. با توجه به این موارد، ثابت بودن ارتفاع ساختمان‌ها در طول زمان و در صورت وقوع تغییری در این ویژگی که بازتاب آن در بُعد سوم قابل مشاهده است، استفاده از داده‌های ارتفاعی، بهترین گزینه برای پایش وضعیت ساخت‌وسازهای مجاز و غیرمجاز، در مناطق شهری و غیرشهری است.

به دلیل اهمیت پایش مداوم محدوده و حریم قانونی شهرها و تغییراتی از قبیل ساخت و سازهای جدید، تغییرات کاربری مجاز و غیرمجاز، دیوارکشی و تصرف اراضی و املاک عمومی، انفال و موقوفه که می‌تواند در بازه‌های زمانی کوتاه‌مدت رخ بدهد، ارائه‌ی روشی بر مبنای داده‌های سری زمانی سه‌بعدی که شناسایی و آشکارسازی این موارد را با دقت و با سرعت بالا و به‌صورت بهینه انجام بدهد، ضروری به نظر می‌رسد.

انتخاب داده‌ی مورد استفاده و همچنین روش فرایند اجرایی، مهم‌ترین گام در رسیدن به شناسایی هدف است. اصول شناسایی تغییرات در تمام تصاویر، بر مکان‌یابی اشیای مورد نظر و طبقه‌بندی آن‌ها متمرکز بوده و براساس تغییرات در رنگ، شکل و بافت، ویژگی‌های هندسی و طیفی عوارض که به شکل تغییرات رادیومتریکی ظاهر می‌شود، انجام می‌شود. (Han et al., ۲۰۱۲) بر این مبنا، روش‌های تشخیص اشیای مبتنی بر تطبیق الگو، مبتنی بر دانش، مبتنی بر تجزیه و تحلیل تصویر (OBIA)، روش‌های مبتنی بر هوش مصنوعی و روش‌های مبتنی بر مجموعه‌ی داده‌های در دسترس عموم، از جمله روش‌های شناسایی تغییرات است. (Cheng and Han, ۲۰۱۶) از جمله روش‌هایی که در سال‌های اخیر، به‌طور فزاینده‌ای مورد بهره‌برداری قرار گرفته‌اند، رویکرد استفاده از یادگیری عمیق است که می‌توان با استفاده از شبکه‌های عصبی کانولوشن (CNN)، تفاوت‌های بین دو زمان را شناسایی کرد. با توسعه‌ی روش‌های یادگیری ماشین و یادگیری عمیق، متون علمی بسیار زیادی برای شناسایی و آشکارسازی انواع اهداف که خصوصیات و مؤلفه‌های مشخصی داشته و از عکس‌های هوایی و قائم قابل شناسایی و استخراج است، بدون در نظر گرفتن شرایط تصویربرداری و ویژگی‌های منطقه، به پیشرفت‌های قابل توجهی در دقت و سرعت اجرا رسیده‌است. (Shi et al., ۲۰۲۰) (Zhifang et al., ۲۰۰۳) مانند تشخیص استفاده و یا عدم استفاده از کلاه ایمنی در محیط‌های کارگاهی که توسط لیانگ و لو انجام شده‌است. (Liang and Seo, ۲۰۲۳) با تشکیل شبکه‌ی عصبی برای داده‌های تصویری زمان اول و دوم و مقایسه‌ی آن‌ها، می‌توان کل فرایند تشخیص تغییرات را به‌صورت خودکار اجرا کرده و دقت را در مقایسه با روش‌های سنتی، به‌طور چشم‌گیری افزایش داد؛ اما، تحقیقات بیش‌تری برای توسعه و ارزیابی روش‌های یادگیری عمیق، به‌خصوص در زمینه‌ی تولید مدل و نمونه‌های آموزشی سه‌بعدی، مورد نیاز است که در مقایسه با تصاویر دو بعدی RGB و چندطیفی، به تعداد قابل توجهی از منابع آموزشی و محاسباتی نیز نیاز دارند.

در پژوهش‌های پیشین، با روش‌های مبتنی بر محاسبه‌ی تغییرات رادیومتریک که با استفاده از تصاویر سه باندهی RGB و چندباندی فتوگرامتری و ماهواره‌ای قابل انجام است، با کمک الگوریتم‌های توسعه‌یافته بر این مبنا، به دقت بالاتر از ۹۷ درصد در شناسایی و استخراج ساختمان‌ها در مناطق شهری رسیده‌اند (Masoumi et al., ۲۰۲۱) (Guerin et al., ۲۰۱۴)، ولی بیش‌تر این روش‌ها به دلیل وجود تغییرات رادیومتریک نامربوط (مانند سایه‌ها) (Sanin et al., ۲۰۱۲)، علاوه بر ضعف در اجرا و شناسایی تعداد اهداف صحیح، برای بررسی تغییرات ارتفاعی در بُعد سوم، ناکارآمد هستند. بررسی تغییرات سه‌بعدی، علاوه بر شناسایی تغییرات و خسارت به وجود آمده، در شناخت ساخت و سازهای غیرمجازی که در نواحی حومه‌ای شهرها اتفاق می‌افتد، از ابزارهای کارآمد و مؤثر است (Shen et al., ۲۰۱۶). رویکرد بررسی سه‌بعدی تغییرات، به دلیل استفاده از داده‌ی با ماهیت متفاوت، بسیار متفاوت‌تر از روش‌های بررسی دوبعدی است (Krauß and Tian, ۲۰۲۰). هنگام استفاده از تصاویر سنجنش از دور، سایه‌ها، پوشش گیاهی و اشیایی با ویژگی‌های طیفی و مورفولوژیکی مشابه به ساختمان‌ها، می‌توانند باعث تشخیص نادرست، حذفیات و لبه‌های ناقص شوند.

از جمله اولین روش‌های شناسایی تغییرات سه‌بعدی و چندزمانه، روش هیستوگرام جهت‌گردان است که با استفاده از عکس‌های هوایی استریو، انجام می‌شده و دقت پایینی داشته‌است. (Zhifang et al., ۲۰۰۳) (Hong et al., ۱۹۹۹) استفاده از داده‌های فتوگرامتری هوایی که در طول زمان تهیه شده‌اند، داده‌های به‌روز و به‌هنگامی که در اولین فرصت بعد از وقوع بحران تهیه می‌شود، در ارزیابی خسارت و تلفات مالی و جانی قابل استفاده است. برای مثال، با استفاده از DSM که یک روز پس از زمین‌لرزه‌ی شهر وان تهیه‌شده و بررسی و تطبیق آن با داده‌هایی که در گذشته تهیه شده بود، به شناسایی خودکار ساختمان‌ها و نقاط تخریب‌شده در اثر این حادثه، با نوآوری در به کارگیری ویژگی‌های هندسی عوارض، پرداختند (Erdogan and Yilmaz, ۲۰۱۹). با یک روش جدید ترکیب تقسیم‌بندی مشترک و برش‌های گراف مبتنی بر سوپرپیکسل در کلاس‌بندی «نوساز»، «بلندتر»، «تخریب‌شده» و «پایین‌تر»، با استفاده از داده‌های دوزمانه DSM و با استفاده از الگوریتم برش نمودار برای رسیدن به جواب بهینه، تغییرات ساختمان‌ها را به دست آورده‌اند (Pang et al., ۲۰۱۹). چارچوب یادگیری مشترک چندوجهی برای تشخیص تغییر ساختمان، از جدیدترین پژوهش‌هایی است که با آموزش مشترک یک شبکه‌ی تصویر دوزمانی سیامی و یک شبکه‌ی اختلاف ارتفاع (HDiff) با داده‌های منبع برجسب دار و جفت‌های داده‌ی هدف بدون برجسب، در ترکیب یادگیری مشترک سه روش یادگیری مشترک وانیلی، یادگیری مشترک تلفیقی و یادگیری مشترک تلفیقی جدا، در سناریوهای عملیاتی تشخیص تغییرات، به نتیجه‌ی بهینه با امتیاز ۷۹٫۲۹٪ رسیدند (Xie et al., ۲۰۲۴). در جدیدترین تحقیقات نیز با استفاده از شبکه‌ی ترکیب ویژگی چند مقیاسی برای داده‌های دو وجهی (MFFNet) و به کارگیری DSM با ابعاد پیکسل ۱ متری که از تصاویر ماهواره‌ای تولید شده، با حذف اثر پوشش گیاهی و سایه‌ها، تغییرات ساختمانی به وجود آمده در یکی از مناطق شهری چین را با دقت بالا با استفاده از یادگیری عمیق، شناسایی کردند (Guo et al., ۲۰۲۴).

باید در نظر داشت که علاوه بر هدف مورد نظر، مانند ساختمان، عوارض دیگری نیز در محیط وجود دارند که رفتار سه‌بعدی آن‌ها، مشابه با عارضه‌ی هدف مورد نظر است. با توجه به مشکلات تفسیر و پردازش داده‌ها، می‌بایست با ادغام رویکردهای هوشمند با محاسبات سنتی، خطاهای ناشی از پیکسل‌های مزاحم، مانند سایه‌ها (Movia et al., ۲۰۱۶) که می‌توانند بیش از ۳۰ تا ۳۵ درصد تصویر را پوشانده و باعث از بین رفتن اطلاعات مفید شوند را کاهش داد. (Sanin et al., ۲۰۱۲) (Gao et al., ۲۰۱۸) تغییرات و جابه‌جایی‌های سایه‌ها، پوشش گیاهی و عوارضی مانند خودروها نیز باعث تغییرات ارتفاعی در مدل رقومی سطح چندزمانه می‌شود؛ ولی جزو کلاس ساخت و ساز یا تخریب ساختمان نیست. در تحقیقات گذشته، با استفاده از محصولات جانبی دیگر همچون شاخص نرمال‌شده‌ی تفاوت پوشش گیاهی (NDVI)، اقدام به حذف اثر سایه از مدل رقومی سطح کرده و به نتایج ارزشمندی در بررسی تغییرات ارتفاعی عوارض بشرساخت رسیده بودند (Gao et al., ۲۰۱۸).

هدف این مقاله، ارائه‌ی یک رویکرد جدید برای شناسایی تغییرات ساختمان‌ها در مناطق شهری، بر مبنای تغییرات ارتفاعی است که به شناسایی ساخت‌وسازهای غیرمجاز کمک می‌کند. روش پیشنهادی براساس حد‌آستانه‌گذاری براساس ادغام محصولات استاندارد فتوگرامتری با قدرت تفکیک بسیار بالا در چندگام است که به صورت سری زمانی و با دقت و مشخصات متفاوت از منابع مختلف جمع‌آوری شده‌اند. سپس با اعمال نتیجه‌ی طبقه‌بندی تصویر ارتوفتوموزاییک به مدل ورودی، عوارض مزاحم مانند سایه‌ها و پوشش گیاهی، از اهداف نهایی حذف شده و با ترکیب مقادیر مختلف برای مؤلفه‌های اجرایی در رخدادهای مختلف، دقت کلی اجرای فرایند برای تشخیص ساختمان‌ها، ارزیابی شد.

۲- مبانی نظری

براساس توضیحات گفته شده، نیاز به حذف اثر عوارض مزاحم در منطقه و ارزیابی دقت شمارش و شناسایی اهداف، دو گام اجرای فرایند پیشنهادی است که مبانی نظری آن‌ها به همراه روابط محاسباتی، به شرح زیر می‌باشد:

۲-۱- طبقه‌بندی نظارت‌شده تصاویر

به منظور طبقه‌بندی تصاویر ارتوفتوموزاییک مناطق مطالعاتی، برای حذف اثر عوارض مزاحم از محاسبات شناسایی، آشکارسازی و شمارش عارضه‌ی هدف مورد نظر مقاله (ساختمان‌ها)، از روش طبقه‌بندی بیش‌ترین شباهت (Maximum Likelihood)، استفاده شد. این روش مطابق رابطه‌ی ۱، پیکسل‌های تصویر را براساس تعداد باندها و مشابهت با نمونه‌ی آموزشی، طبقه‌بندی می‌کند.

$$PX(X) = \text{Exp}(-1/2 \ln |\sum_k| (1/2 \sum_k^{-1} (X - mk)) \quad \text{رابطه‌ی (۱)}$$

که در آن، n تعداد باندهای تصویر ورودی، X پیکسل تصویر در n باند، $PX(X)$ احتمال تعلق پیکسل X به کلاس k هستند. دقت طبقه‌بندی نیز براساس دو معیار دقت کلی و ضریب کاپا، مورد سنجش قرار می‌گیرد.

۲-۲- اعتبارسنجی و محاسبه‌ی دقت فرایند پیشنهادی

با توجه به اجرای فرایند پیشنهادی با استفاده از ترکیب سه مؤلفه‌ای که به تولید رخداد‌های مختلف می‌انجامد، لازم است تا با بررسی معیارهایی ارزیابی دقت اجرای یک الگوریتم در شناسایی اهداف در تصاویر سنجش از دوری، رخدادی که می‌تواند به بهترین دقت برسد را شناسایی نمود. با سنجش حالت‌های مختلفی که ممکن است در اجرای یک الگوریتم رخ دهد، عامل کنار گذاشتن یا انتخاب آن الگوریتم، بر این اساس انجام می‌شود. به همین ترتیب از ماتریس اغتشاش، برای شمارش میان واقعیت زمینی و آن چه که الگوریتم پیش‌بینی و شناسایی می‌کند، استفاده می‌شود. این جدول برای هر رخداد به صورت جداگانه تشکیل شده و دقت کلی آن، بر اساس نقشه‌ی واقعیت زمینی، انجام می‌شود. بنابراین، چهار حالت پیش می‌آید:

جدول ۱- ماتریس اغتشاش

	پیش‌بینی الگوریتم		
	مثبت	منفی	
واقعیت زمینی	TP	FN	مثبت
	FP	TN	منفی

به‌طور خلاصه، رفتار فرایند پیشنهادی براساس اهداف شناسایی‌شده، در چهار حالت واقعیت زمینی مثبت و پیش‌بینی مثبت (TP)، واقعیت زمینی مثبت و پیش‌بینی منفی (FP)، واقعیت زمینی منفی و پیش‌بینی مثبت (FN) و در نهایت، واقعیت زمینی منفی و پیش‌بینی منفی (TN)، بررسی می‌شود.

معیارهای ارزیابی دقت الگوریتم‌های شناسایی هدف نیز عبارت‌اند از:

۲-۲-۱- دقت کلی

صحت اجرای یک الگوریتم، در حالت‌های TP و TN برقرار است. به این معنی که تنها اهدافی که به درستی شناسایی شده و به درستی، جزو اهداف اصلی، شناسایی نمی‌شوند. در این معیار، طبق رابطه‌ی ۲، نسبت مجموع تعداد عناصری که درست تشخیص داده شده‌اند به جمع تمامی رخدادها در تمامی حالات، محاسبه می‌شود. از این معیار برای محاسبه‌ی کیفیت یک الگوریتم استفاده می‌شود.

$$\text{Accuracy} = \frac{TP + TN}{TP + TN + FP + F}$$

رابطه‌ی (۲)

۲-۲-۲- ضریب کاپا

با استفاده از ماتریس اغتشاش، معیار کاپا، الگوریتم را با یک الگوریتم طبقه‌بندی تصادفی مقایسه می‌کند و اعلام می‌کند که چه مقدار از یک الگوریتم تصادفی، بهتر عمل کرده‌است. این معیار طبق رابطه‌ی ۳ محاسبه می‌شود. مقدار این ضریب، عددی بین ۱- تا ۱+ خواهد بود، که هر چه به ۱+ نزدیک‌تر باشد، بیانگر وجود توافق بیش‌تر بین مقیاس‌ها و هر چه به ۱- نزدیک‌تر باشد، نشان‌دهنده‌ی وجود توافق کم‌تر بین آن‌ها است. از طرف دیگر، اگر ضریب توافق کاپا صفر شود، نشان‌دهنده‌ی عدم توافق کامل است.

$$\text{Kappa} = \frac{\text{Pr}(a) - \text{Pr}(e)}{1 - \text{Pr}(e)}$$

رابطه‌ی (۳)

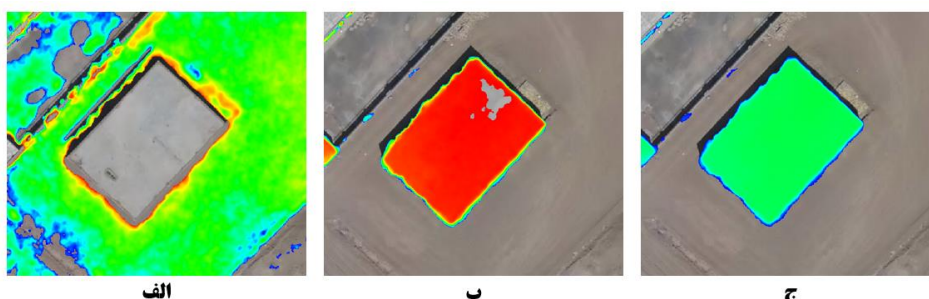
که در آن $\text{Pr}(a)$ برابر با توافق درست و $\text{Pr}(e)$ برابر با شانس توافق است و از حاصل ضرب احتمال با واقعیت با مقدار محاسبه‌شده‌ی الگوریتم، به دست می‌آید. در این رابطه، با بررسی واقعیت و پیش‌بینی از واقعیت، مقدار کاپا محاسبه می‌شود.

۳- شناسایی مؤلفه‌های اجرایی فرایند پیشنهادی

روند اجرای فرایند پیشنهادی، با استفاده از سه مؤلفه‌ی حدآستانه‌ی ارتفاع، حدآستانه‌ی مساحت و نسبت طول به عرض، انجام می‌شود که روش تعیین مقادیر بهینه برای هر کدام از مؤلفه‌ها، به شرح زیر خواهد بود:

۳-۱- حدآستانه‌ی ارتفاع

برای شناخت مناسب‌ترین مقدار برای حدآستانه‌ی ارتفاع برای کلاس ساختمان در مناطق شهری، مطابق شکل ۱، مدل رقومی اختلاف را در بازه‌های ارتفاعی مختلف، بررسی می‌کنیم. با اعمال حدآستانه‌ی ارتفاع‌های مختلف بر روی این هدف، رفتار عارضه در ارتفاع‌های متفاوت، به ترتیب در ۰ تا ۱ متر، ۱ تا ۵ متر، و ۱ تا بزرگ‌ترین مقدار مدل رقومی اختلاف، بررسی شد. مشاهده می‌شود که یک ساختمان مسکونی، در ارتفاع کم‌تر از ۱ متر، قابل نمایش نیست. در مقابل، از ارتفاع ۱ متر به بالا، همواره رفتار منظم و مشخصی دارد و سطح پیوسته‌ای را که نشان‌دهنده‌ی یک ساختمان باشد، نمایش می‌دهد. ولی اگر این مقدار، محدود شده بین دو عدد باشد، احتمال شامل شدن عارضه در میان اهداف نهایی با توجه به بخش‌های ناپیوسته‌ای که تشکیل می‌شود، کاهش می‌یابد.



الف

ب

ج

شکل ۱. بررسی تغییرات ارتفاعی در حدهای آستانه‌ی مختلف با استفاده از مدل رقومی اختلاف. الف) اعتبارسنجی مدل رقومی اختلاف در ۰ تا ۱ متر. ب) ۱ تا ۵ متر. ج) ۱ متر تا بزرگ‌ترین مقدار مدل رقومی اختلاف

۲-۳- حد آستانه‌ی مساحت

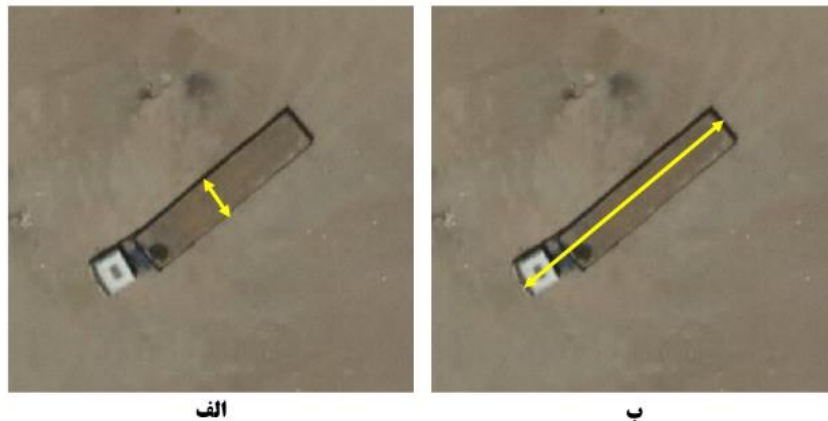
پس از استخراج پیکسل‌های بزرگ‌تر از حد آستانه‌ی ارتفاع، لازم است سطح ناحیه‌ای که به‌عنوان هدف شناخته می‌شود، در یک ارتفاع یکسان، ابتدا به یکدیگر متصل شده و پس از تشکیل یک سطح پیوسته، حد آستانه‌ی مساحت به آن اعمال شده تا از دیگر عوارض موجود در منطقه نیز تفکیک شود. مناسب‌ترین مقدار برای حد آستانه‌ی مساحت، با آزمون و خطا و اعتبارسنجی نتایج هر مقدار تعیین می‌شود. لازم به ذکر است که با توجه به ابعاد مدل رقومی اختلاف، در گام اول باید مساحتی که نشان‌دهنده‌ی یک ساختمان کامل است را شناسایی کرده و میزان دقت در شناسایی اهداف را با استفاده از آن، مورد سنجش قرار داد. در منطقه‌ی مطالعاتی اول (شهر یزد) که مدل رقومی اختلاف دارای ابعاد پیکسل ۴۰ سانتی‌متری است، مساحت یک پیکسل برابر با ۰/۱۶ متر مربع است. در مناطق شهری که مساحت ساختمان‌های مسکونی، دارای ابعاد و اندازه‌های متفاوتی است، ابتدا باید نسبت به شناخت از منطقه اقدام کرده و مقدار حد آستانه‌ی مساحت، با دیدگاه کامل و صحیح تعیین شود. در منطقه‌ی مطالعاتی دوم (شهر مهریز) که ابعاد مدل رقومی اختلاف برابر با ۱۰ سانتی‌متر بوده و مساحت هر پیکسل، ۰/۰۱ مترمربع می‌شود، نیاز به تبدیل وضعیت در یکسان‌سازی مقادیر میان دو منطقه‌ی مطالعاتی وجود دارد. سپس متناسب با هدف تعیین‌شده، با اعمال حد آستانه‌ای که عوارض شناسایی‌شده را براساس مساحت آن‌ها از یکدیگر تفکیک می‌کند، می‌توان عوارض مورد نظر را استخراج کرد. این مورد با بررسی و اعتبارسنجی ۱۰ مورد از ساختمان‌های منطقه‌ی مطالعاتی که در تصویر اول موجود نبوده و در تصویر دوم ظاهر شده‌اند، که به معنی ساخت و ساز است، انجام گرفت.

۳-۳- نسبت طول به عرض

در تمام مناطق شهری و غیرشهری، عوارضی مانند خودروها حضور داشته که بسته به نوع آن‌ها، ارتفاع‌های مختلفی دارند. با بررسی‌های انجام‌شده و تعیین کلاس خودروهای سواری و تجاری مانند اتوبوس و تریلرها، این عوارض از حدود ارتفاع ۰/۵ متر الی ۳/۵ متر مشاهده می‌شوند.

با توجه به هدف مقاله، برای حذف اثر خودروها از نتایج نهایی، لازم است که با کمک هندسه‌ی عوارض، نسبت دو مؤلفه‌ی هندسی اهداف شناسایی‌شده در گام‌های قبلی که به‌ترتیب برابراند با طول (محور بزرگ) و عرض (محور کوچک)، محاسبه‌شده و مقادیر بزرگ‌تر از حد آستانه‌ی مشخصی را از نتایج نهایی، فیلتر کرد. کاربرد دیگر این مؤلفه، در شناسایی دیوارکشی‌ها، لبه‌ها و خطوط مرزی است که از نظر ارتفاع و مساحت، با شرط حد آستانه سازگاری دارند، ولی جزو کلاس هدف مورد نظر که می‌بایست یک ساختمان باشد، نبوده و باید از نتایج حذف شوند.

در شکل ۲، مؤلفه‌های هندسی یک عارضه، مشاهده می‌شود. در خودروهای سواری که ابعاد کوچک‌تری از خودروهای تجاری دارند، نسبت طول به عرض آن‌ها مشابه اجزای ساختمان‌ها، مانند خرپشته و... به دست می‌آید. از طرف دیگر، این نوع عوارض با توجه به ابعاد کوچک‌تر از حد آستانه‌ی مساحت، پیش از این مرحله، حذف شده‌اند. فرایند پیشنهادی، با ترکیب این سه مؤلفه و تولید رخدادهای مختلفی که هر کدام، مقادیر متفاوتی دارند، اجرا شده و مناسب‌ترین مقادیر هر مؤلفه، براساس اعتبارسنجی دقت آن رخداد، انتخاب خواهد شد.



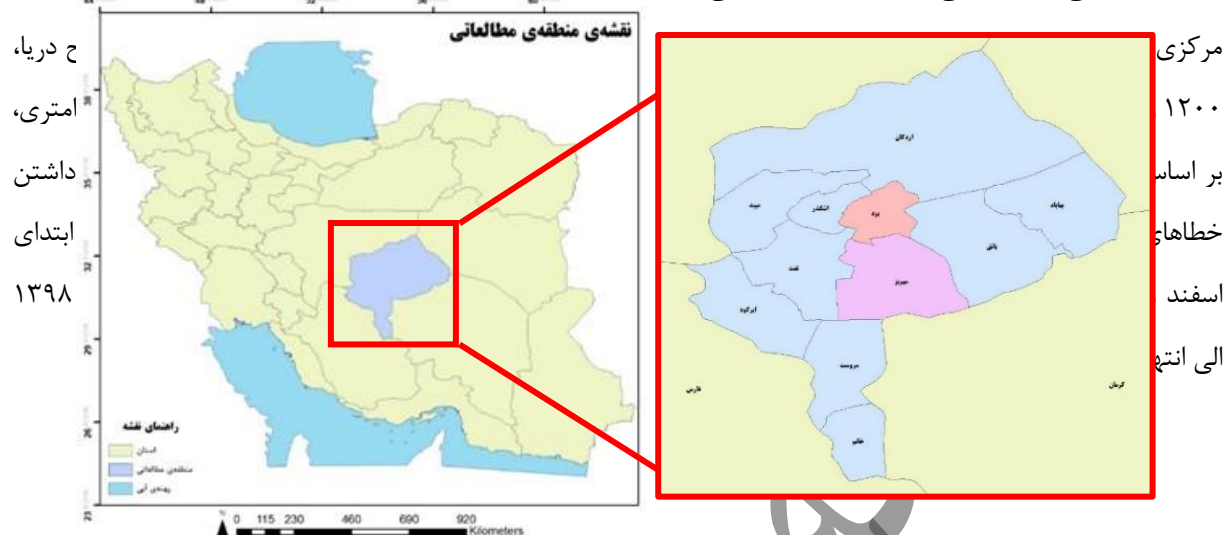
شکل ۲. بررسی تغییرات مؤلفه‌های هندسی عوارض. الف) محور کوچک (عرض). ب) محور بزرگ (طول).

۴- مواد و روش‌ها

روش این مقاله، با تأکید و تمرکز بر ساختمان‌ها و توده‌های خاکریزی و خاکبرداری، ارائه‌ی رویکردی جدید برای شناسایی و اشکارسازی تغییرات از داده‌های با قدرت تفکیک مکانی بالا که به صورت چندزمانه تهیه شده‌اند، به صورت سه‌بعدی، با فرایند دو مرحله‌ای شامل تولید یک مدل رقومی اختلاف از مدل رقومی سطح و اعمال حدهای آستانه بر روی آن، برای شناسایی و جداسازی تغییرات عوارض نام‌برده، با روش مقایسه‌ی پس از طبقه‌بندی با حذف اثر عوارض مزاحم موجود در منطقه است. در گام اول، یک مدل نسبتاً عاری از اثرات سایه و پوشش گیاهی به دست می‌آید که امکان تشخیص دقیق‌تر اهداف موردنظر را در مناطق مسکونی، فراهم می‌کند. با تهیه‌ی نقشه‌ی واقعیت زمینی از مدل رقومی اختلاف، اعتبار اهداف شناسایی شده، ارزیابی و با استفاده از تصاویر ارتوفتوموزاییک زمان‌های اول و دوم، اعتبارسنجی شناسایی هدف، انجام می‌گیرد. در این مرحله، مقدار مناسب مؤلفه‌های مؤثر در شناسایی تغییرات، در رخدادهای مختلف، بررسی شده و در نهایت با شمارش اهداف صحیح، اشتباه و جافتاده و براساس معیارهای اندازه‌گیری دقت، مواردی که به بالاترین دقت رسیدند، به عنوان پارامترهای اجرایی ثبت می‌شود. اجزای ساختمان‌ها مانند خرپشته، سایه‌بان و...، پوشش گیاهی و خودروهای موجود در صحنه، جزو اهداف مورد نظر در شناسایی تغییرات نبوده و با کمک فیلترهایی نظیر نسبت طول به عرض که بر روی اهداف اولیه اعمال می‌شود، از اهداف نهایی کنار گذاشته و از شمارش آن‌ها خودداری می‌شود. به طور پیش فرض، خطای ناشی از تولید محصولات فتوگرامتری، در حد مجاز در نظر گرفته شد تا این خطاها در نتایج نهایی، اثرگذار نباشند.

۴-۱- منطقه‌ی مورد مطالعه

منطقه‌ی مورد مطالعه در این مقاله، شامل دو ناحیه‌ی شهری در شهرستان‌های یزد و مهریز است که در موقعیت $31/52$ الی 32 عرض جغرافیایی و $54/26$ الی $54/57$ طول جغرافیایی و در منطقه‌ی ۴۰ سیستم تصویب UTM، قرار دارد. این منطقه جزو فلات



شکل ۳. نقشه‌ی منطقه‌ی مطالعاتی اول (یزد) و دوم (مهریز) و موقعیت جغرافیایی آن‌ها

۴-۲- داده‌های مورد استفاده

مشخصات ابزار عکسبرداری هوایی این دو منطقه، در جدول ۲، آورده شده است. روش تهیه‌ی داده‌های مورد استفاده، مثلث‌بندی هوایی به همراه پردازش نقاط کنترل زمینی، با استفاده از تولید ابرنقطه‌ی متراکم از طریق محاسبات نقاط گرهی و کلیدی و تولید مدل رقومی سطح و در انتها، تولید ارتوفتوموزاییک، بوده است.

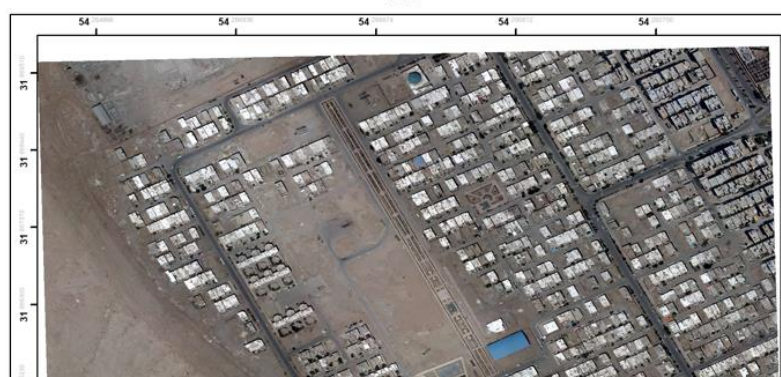
جدول ۲- مشخصات ابزار تهیه‌ی داده‌ها

ردیف	منطقه‌ی مطالعاتی	تصویر	زمان تهیه	پرنده	دوربین	GSD	فاصله‌ی کانونی
۱	اول (یزد)	اول	اسفند ۱۳۹۹	جایروکوپتر	Phase One	۶ cm	۱۰۰ mm
		دوم	فروردین ۱۴۰۰	پرنده سرنشین‌دار	FujiFilm GFX ۱۰۰	۴ cm	۵۰ mm
۲	دوم (مهریز)	اول	بهمن ۱۳۹۸	DJI فانتوم ۴ پرو	DJI فانتوم ۴ پرو	۲ cm	۸.۸ mm
		دوم	فروردین ۱۴۰۱	پرنده سرنشین‌دار	FujiFilm GFX ۱۰۰	۴ cm	۵۰ mm

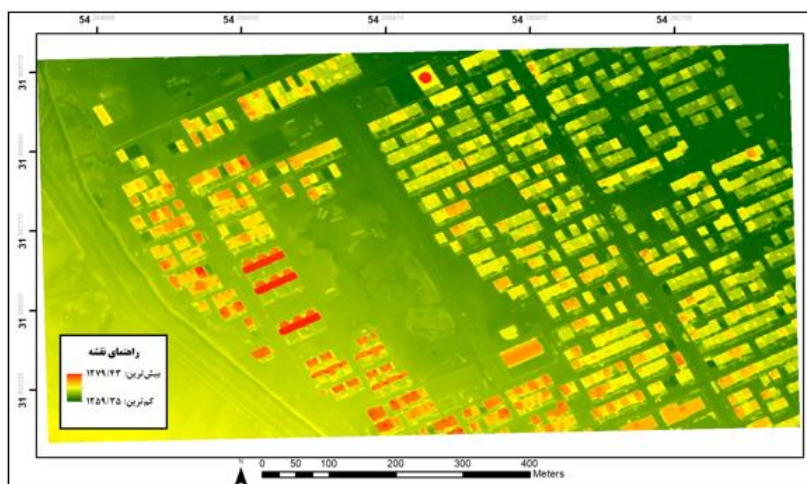
بررسی‌های انجام‌شده در منطقه‌ی مطالعاتی اول (شهر یزد) ، تغییراتی در کلاس‌های ساختمان، اجزای ساختمان (خرپشته، سایه‌بان و...)، ایجاد راه‌ها و معابر جدید، جابه‌جایی خودروها، ناحیه‌های خاکریزی و خاکبرداری، عوارض و تجهیزات کارگاهی، کانکس و بوفه و پوشش گیاهی را از نظر تغییرات ارتفاعی نمایش می‌دهد. موارد ذکرشده، در شکل ۴ قابل مشاهده است. تصاویر ارتوفتوموزاییک این منطقه که در شکل ۵ آورده شده، به ترتیب برای تصویر زمان اول و دوم، با دقت زمینی ۶ و ۴ سانتی‌متر، تهیه شده و دارای پیکسل‌هایی به ابعاد ۱۰ سانتی‌متر است. مدل رقومی سطح این منطقه، دارای دقت ارتفاعی ۳۰ سانتی‌متر بوده و پیکسل‌های آن به ابعاد ۴۰ سانتی‌متر است. با توجه به شکل ۶، حداقل ارتفاع منطقه به همراه عوارض موجود در آن در زمان اول، ۱۲۵۹/۳۵ و حداکثر آن به میزان ۱۲۷۹/۴۳ متر است. در زمان دوم، این مقادیر به ترتیب ۱۲۵۸/۷۲ و ۱۲۷۹ متر است.



شکل ۴. اهداف بررسی شده در مقاله- شامل ساختمان، اجزای ساختمان (خرپشته و سایه‌بان)، دیوارکشی، توده‌ی خاکریزی، خودروها

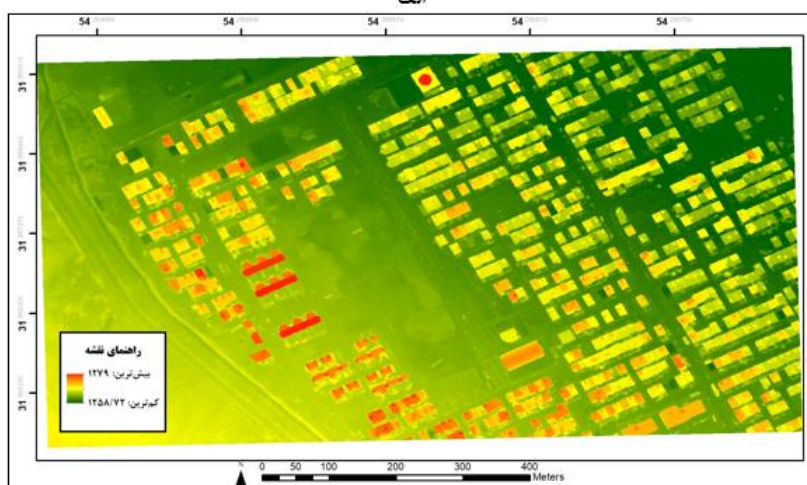


ان دوم (۱۴۰۰)



شکل ۵. تصاویر

الف



ب

شکل ۶. مدل رقومی سطح منطقه‌ی مطالعاتی اول (شهر یزد). الف) مدل زمان اول (۱۳۹۹). ب) مدل زمان دوم (۱۴۰۰)

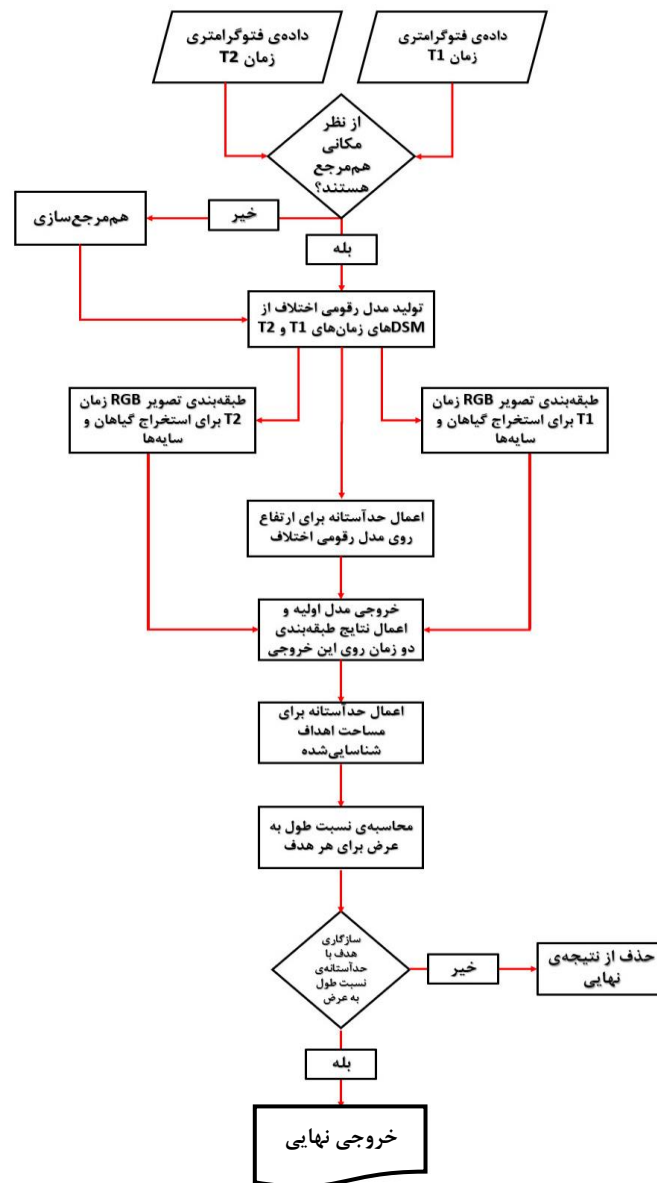
بررسی‌های انجام‌شده در منطقه‌ی مطالعاتی دوم (شهر مهریز) از نظر تغییرات ارتفاعی، تغییراتی در کلاس‌های ساختمان، اجزای ساختمان (خرپشته، سایه‌بان و...)، راه‌ها و معابر جدید، جابه‌جایی خودروها، ناحیه‌های خاکریزی و خاکبرداری، استخر، دیوارکشی، تسطیح زمین، پوشش زمین بایر و پوشش گیاهی را نمایش می‌دهد. تصاویر ارتوفتوموزاییک این منطقه، به ترتیب برای تصویر زمان اول و دوم، با دقت زمینی ۲ و ۴ سانتی‌متر تهیه شده و دارای پیکسل‌هایی به ابعاد ۱۰ سانتی‌متر است. مدل رقومی سطح این منطقه دارای دقت ارتفاعی ۳۰ سانتی‌متر و پیکسل‌هایی به ابعاد ۱۰ سانتی‌متر است. حداقل ارتفاع در زمان اول، ۱۴۴۱/۳۱

و حداکثر آن ۱۴۸۳/۸ متر است. این مقادیر در زمان دوم به ترتیب ۱۴۴۱/۱۲ و ۱۴۸۷/۷۵ متر است. در شکل ۲، نمونه‌ای از عوارض بررسی شده از نظر تغییرات ارتفاعی در مناطق مطالعاتی اول و دوم، نمایش داده شده است.

۳-۴- روش تحقیق

مطابق شکل ۷ که فرآیند مکانی بررسی می‌شوند. طول زمان، تغییر شک سطح، یکسان باشد.

مطابق هم‌مرجع بودن ساختمان و... که در هر دو مدل رقومی می‌شود.



شکل ۷. فلوجارت روند اجرای فرایند پیشنهادی

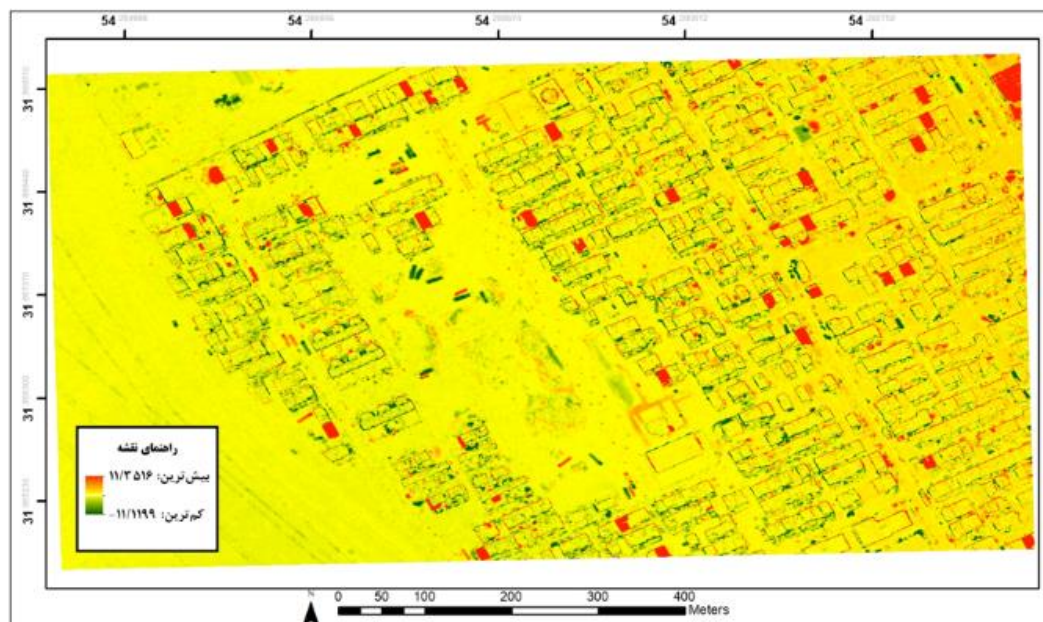
در صورتی برقرار بودن شرط هم‌مرجع بودن داده‌ها، می‌توان مراحل بعدی را انجام داد. مدل رقومی اختلاف^۱ (DDM)، یک تصویر در ابعاد مدل‌های رقومی سطح بوده و ابعاد پیکسل‌های آن نیز به همان اندازه است و به‌صورت تفریق مدل رقومی سطح زمان دوم از مدل رقومی سطح زمان اول به دست می‌آید. مقادیر آن به جای نمایش ارتفاع عارضه، مقدار تغییر یافته را نمایش می‌دهد؛ یعنی، اگر در زمان اول، ساختمانی به ارتفاع ۶ متر وجود داشته و در زمان دوم، ارتفاع آن به ۹ متر رسیده باشد، مقدار ۳ متر، قابل مشاهده است. این محصول، مبنای بررسی تغییرات ارتفاعی عوارض است.

از ویژگی‌های مدل رقومی اختلاف می‌توان عدم حساسیت به توپوگرافی منطقه و عدم اثرپذیری از آن را نام برد. از طرف دیگر، اگر در عملیات عکسبرداری، عملیات مثلث‌بندی، تهیه‌ی نقاط کنترل زمینی و تولید محصولات فتوگرامتری، خطایی وجود داشته‌باشد، این خطا در مدل رقومی اختلاف نیز ظاهر شده و نتایج کاملاً اشتباه را نمایش می‌دهد و اگر مبنای محاسباتی قرار بگیرد، نتایج آن نیز اشتباه است.

این مدل براساس رابطه‌ی (۴)، محاسبه و تولید می‌شود:

$$\text{DDM} = \text{DSM}_{T2} - \text{DSM}_{T1} \quad \text{رابطه‌ی (۴)}$$

با توجه به شکل ۸، در مدل رقومی اختلاف تولیدشده که مربوط به منطقه‌ی مطالعاتی اول (شهر یزد) می‌شود، مناطقی که با رنگ قرمز مشاهده می‌شوند، نشان‌دهنده‌ی عوارضی هستند که با توجه به الگوی نمایش مدل، دچار تغییرات ارتفاعی مثبت شده‌اند. از طرف دیگر، ناحیه‌هایی به رنگ سبز تیره مشاهده می‌شوند که نشانگر تغییرات ارتفاعی منفی، به معنی جابه‌جایی و یا تخریب عارضه است. بخش عمده‌ی منطقه‌ی مورد مطالعه که تغییرات ارتفاعی آن‌ها، کمتر از مقدار مورد بررسی از نظر مؤلفه‌های فرایند پیشنهادی است، به رنگ زرد، قابل مشاهده هستند.



شکل ۸. مدل رقومی اختلاف منطقه‌ی مطالعاتی اول (شهر یزد) - این داده به عنوان ورودی اصلی فرایند پیشنهادی مقاله است.

^۱ Digital Difference Model

پس از تولید مدل رقومی اختلاف، ابتدا فیلتر Median برای نرم‌سازی نقاط شارپ روی تصویر، برای کاهش اثرگذاری بر محاسبات، اعمال می‌شود. یکی از ساده‌ترین راه‌حل‌ها برای عدم تأثیر پوشش گیاهی و سایه‌ها در نتایج نهایی، با توجه به رفتار طیفی مشابه این دو عارضه در تصاویر RGB، انجام طبقه‌بندی تصاویر ارتوفتوموزاییک و اعمال نتیجه‌ی آن به صورت مقادیر نظیر به نظیر پیکسل‌ها به مدل رقومی اختلاف است. در گام بعدی، این عملیات بر روی تصاویر ارتوفتوموزاییک زمان‌های اول و دوم، در دو کلاس نویز و سایر عوارض، برای اعمال نتایج آن به مدل رقومی اختلاف، انجام می‌شود. اثر این دو عارضه بر اهداف نهایی، یکی از عوامل ایجاد خطا در شناسایی و شمارش اهداف است. به این صورت که اگر در تصویر زمان اول، سایه‌ای وجود داشته باشد، اثر آن در مدل رقومی اختلاف، به صورت مقادیر منفی؛ یعنی، واقعه‌ی تخریب، دیده می‌شود. این اثر در تصویر زمان دوم، در مقادیر مثبت؛ یعنی، واقعه‌ی ساخت، ظاهر می‌شود. لازم به ذکر است که این مورد در حالت کلی بوده و احتمال بروز نتایج بالعکس و موارد استثنا نیز وجود دارد. برای پوشش گیاهی موجود در منطقه نیز با توجه به تغییرات ارتفاعی دائمی این عارضه، امکان شمارش آن‌ها در میان هدف مورد نظر که در این مقاله، ساختمان‌ها هستند، بسیار زیاد خواهد بود. این مورد با استفاده از روش‌های طبقه‌بندی تصویر، در دو کلاس پس‌زمینه (سایر عوارض) و نویز (سایه و پوشش گیاهی)، با استفاده از روش بیش‌ترین شباهت، به عنوان قابل اعتمادترین طبقه‌بندی‌کننده، (Wu et al., 2016) مطابق رابطه‌ی (۱) انجام گرفت. نمونه‌ی نتیجه‌ی طبقه‌بندی تصاویر ارتوفتوموزاییک برای حذف سایه‌ی ساختمان، در شکل ۷ مشاهده می‌شود. برای پوشش گیاهی نیز مشابه سایه، عمل می‌شود. با انجام این مرحله، مقدار پیکسل‌هایی که در کلاس نویز قرار دارند، در مدل رقومی اختلاف، صفر خواهد شد و به این ترتیب، داده‌ی خام ورودی، آماده انجام پردازش‌های شناسایی اهداف می‌شود. در نتیجه‌ی اعمال نتایج طبقه‌بندی به عنوان فیلتر حذف نویز، دقت اجرای فرایند، افزایش یافته و به بالاترین مقدار خود خواهد رسید.

هرچه فاصله‌ی زمانی دو تصویر از یکدیگر بیش‌تر باشد، احتمال وجود خطا نیز بیش‌تر می‌شود؛ به گونه‌ای که ممکن است حتی با اعمال فیلتر نتایج طبقه‌بندی به نتایج محاسبه‌شده، خطاهای ذکر شده حذف نشوند. چراکه در فاصله‌ی زمانی بیش‌تر از سه ماه، عوامل دیگری مانند تغییر زاویه‌ی تابش خورشید و تغییر پوشش زمین، غیرقابل انکار خواهد بود.

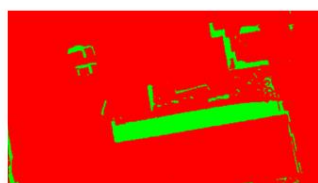
البته در برخی مواقع، اعمال فیلتر طبقه‌بندی باعث از بین بردن و عدم شمارش یک هدف در نتایج نهایی می‌شود. همان طور که در شکل ۹ مشاهده می‌شود، اگر در نقطه‌ای در زمان اول، سایه‌ای وجود داشته باشد که در زمان دوم، یک عارضه‌ی جدید ایجاد شده باشد، با اعمال این فیلتر و در روند اجرای فرایند پیشنهادی، قسمتی از مساحت عارضه از بین می‌رود. بنابراین ممکن است آن عارضه جزو اهداف نهایی، شناسایی و استخراج نشود. در قسمت ج شکل ۹، عارضه ایجاد شده با رنگ زرد مشخص شده است. به طور کلی، نمی‌توان از مرحله‌ی فیلترگذاری صرف نظر کرد؛ زیرا، وجود پوشش گیاهی و سایه‌های فراوان، باعث افزایش تصاعدی خطا، در محاسبه و ارزیابی حدهای آستانه‌ی مختلف در آزمایش فرایند پیشنهادی می‌شود.



الف



ب



شکل ۹. شناسایی و حذف خطاها با کمک طبقه‌بندی تصویر. رنگ قرمز نشانگر پس‌زمینه و رنگ سبز، نمایش‌دهنده‌ی سایه و پوشش گیاهی است. حذف اثر سایه در منطقه‌ی مطالعاتی اول (شهر یزد). الف) تصویر زمان اول (اسفند ۱۳۹۹). ب) تصویر طبقه‌بندی زمان اول. ج) تصویر زمان دوم (فروردین ۱۴۰۰)، عارضه‌ی جدید به رنگ زرد مشخص شده‌است. د) تصویر طبقه‌بندی زمان دوم.

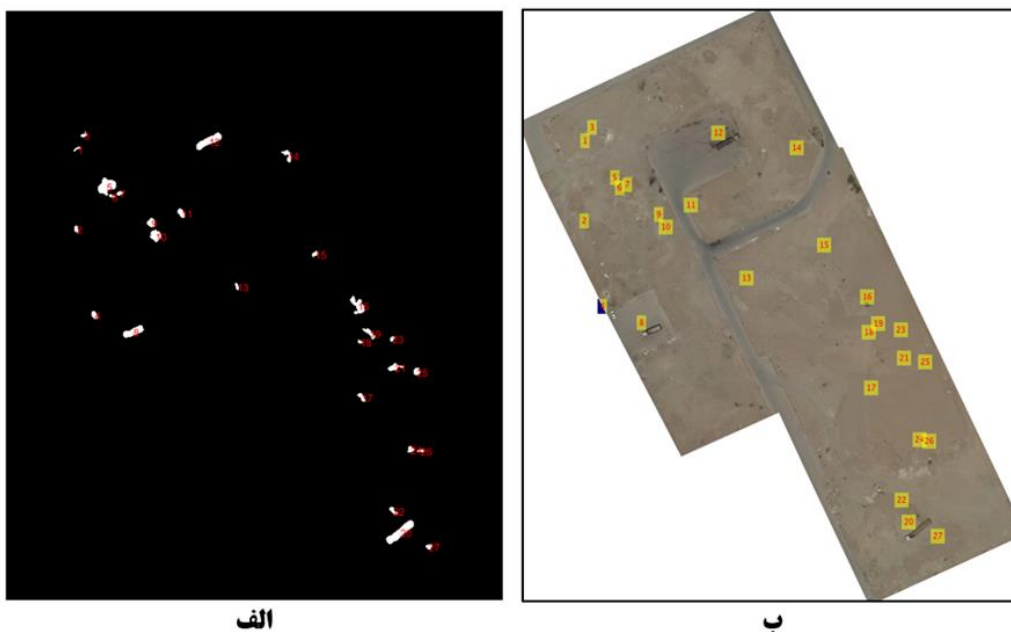
در پژوهش‌های گذشته، روش حدآستانه‌گذاری در شناسایی عوارض را به‌عنوان اصلی‌ترین عامل به‌کارگیری مدل رقومی سطح دانسته‌اند. حدآستانه از طریق آزمون و خطا و بررسی منطقه به دست می‌آید. (۲۰۱۳، Shahtahmassebi et al.) ابتدا نیاز است مؤلفه‌هایی که به شناسایی و استخراج اهداف کمک می‌کنند، محاسبه شوند. این گام در دو مرحله و با تعریف مؤلفه‌های حدآستانه‌ی ارتفاع و حدآستانه‌ی مساحت، انجام می‌شود. اولین مؤلفه، مقدار پیکسل‌های مدل رقومی اختلاف، به‌عنوان نمایش‌دهنده‌ی تغییرات ارتفاعی است. با اعمال مرحله‌ی اول حدآستانه‌گذاری، یک تصویر دودویی تولید می‌شود که در آن، عوارض با ارتفاع کم‌تر از حدآستانه‌ی ارتفاع، از داده‌ی محاسباتی اولیه، برای مراحل بعدی، حذف می‌شود. در مرحله‌ی دوم و با اعمال حدآستانه‌ی مساحت، پیکسل‌های هم‌ارتفاعی که در همسایگی یکدیگر قرار دارند، به‌صورت سطوح به هم پیوسته، تعریف شده و به‌عنوان اهداف محاسباتی مراحل بعدی، استخراج می‌شوند.

در این مرحله برای هر هدف شناسایی‌شده، پنج مؤلفه که به ترتیب عبارت‌اند از: شناسه (برای شمارش هدف)، مختصات X و Y مرکز هدف (براساس سیستم مختصات عکسی)، محور بزرگ (طول)، محور کوچک (عرض) و نسبت طول به عرض، محاسبه و در یک جدول، ذخیره می‌شود. در گام بعدی، با استفاده از مؤلفه‌ی نسبت طول به عرض و اعمال مقدار مناسبی که به کمک نقشه‌ی واقعیت زمینی به دست می‌آید، اهدافی که با شرط حدهای آستانه‌ی سازگار هستند ولی در کلاس عارضه‌ی مورد نظر نیستند، از نتایج حذف می‌شوند. برای مثال، عوارضی مانند اتوبوس، کامیون، سایه‌بان‌ها و... که از نظر هندسی، طول بزرگ‌تری از عرض دارند و به شکل مستطیل‌های با طول بزرگ‌تر ظاهر شده، در این مرحله، از اهداف نهایی، حذف می‌شوند.

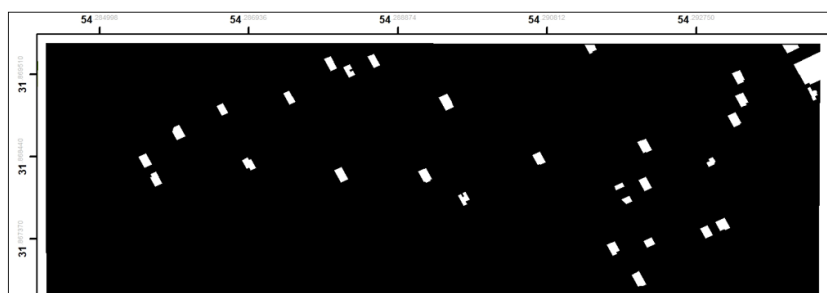
	1	2	3	4	5
1	1	4.6246	160	196	2.5227
2	2	2.1637	155	132	2.6842
3	3	3.4572	158	138	1.3333
4	4	3.5155	156	183	3.7922
5	5	3.6832	159	168	2.3091
6	6	4.5345	99	170	3.3469
7	7	3.2603	168	148	1.5147
8	8	7.3066	114	170	2.0467
9	9	6.5124	157	166	1.7444
10	10	4.4825	104	192	2.2222
11	11	3.4808	174	149	1.4839
12	12	4.9171	128	149	1.2981

شکل ۱۰. مقادیر DN محاسبه شده برای اهداف نهایی- ستون های ۱ الی ۵ به ترتیب برابرند با: شناسه ی اختصاصی شمارنده ی هدف، میانگین مقدار مدل رقومی اختلاف در سطح هدف، مقدار مرکز هدف در تصویر زمان T۱، مقدار مرکز هدف در تصویر زمان T۲، نسبت طول به عرض هدف

در انتها، اهداف نهایی که با تمام شرایط سازگار هستند، یک مرتبه به صورت تصویر دودویی و یک مرتبه بر روی تصویر ارتوفتوموزاییک زمان دوم، به همراه شناسه ی شمارنده ی هدف، نمایش داده می شود. (شکل ۱۱) طبیعی است اهدافی که با واقعیت زمینی تطابق ندارند، در میان اهداف نهایی وجود داشته باشند. در نهایت با شمارش اهدافی که توسط فرایند پیشنهادی، شناسایی شده و با بررسی و تطابق آن ها با واقعیت زمینی، میزان دقت کلی فرایند پیشنهادی با کمک معیارهای متداول، محاسبه و ارزیابی می گردد. در نهایت، عواملی که باعث کاهش و افزایش دقت شناسایی اهداف می شود، بررسی شده و پیشنهادهایی که منجر به حذف حداکثری عوامل مزاحم از روند اجرا می شود، ارائه خواهد شد.



شکل ۱۱. خروجی فرایند پیشنهادی. الف) در تصویر باینری خروجی، اهداف نهایی به رنگ سفید مشخص شده و شمارنده ی آن ها نیز به رنگ قرمز، در بالای هر هدف، قابل مشاهده است. ب) نمایش نظیر اهداف نهایی بر روی تصویر ارتوفتوموزاییک زمان دوم برای شناسایی عوارض و اهداف مورد نظر مقاله که در اینجا فقط شامل ساختمان ها و توده های خاکریزی می شود، لازم است که ابتدا نقشه ی واقعیت زمینی برای هر دو منطقه ی مطالعاتی، تهیه شود. برای این منظور، با استفاده از مدل رقومی اختلاف و فیلتر کردن مقادیر پیکسل های آن از ارتفاع ۱ متر با بالا، با اعتبارسنجی مقایسه ای در کنار تصویر ارتوفتوموزاییک، به صورتی که در ادامه توضیح داده می شود، شناسایی اهداف به صورت دستی انجام شده و سطح آن ها به شکلی که از سایر عوارض متمایز شود، ترسیم می شود. با توجه به حداستانه ی ارتفاعی مورد نظر، در منطقه ی مطالعاتی اول (شهر یزد)، تعداد ۴۱ هدف و در منطقه ی مطالعاتی دوم (شهر مهریز)، ۶۵ هدف شناسایی شد.



شکل ۱۲. نقشه‌ی واقعیت زمینی تهیه‌شده برای منطقه‌ی مطالعاتی اول (شهر یزد) - شمارش اهداف محاسبه‌شده و ارزیابی دقت اجرای فرایند، از طریق این داده انجام می‌شود.

۵- نتایج و بحث

لازم به ذکر است که فرایند پیشنهادی، تنها در مناطق مشابه مناطق مطالعاتی این مقاله می‌تواند به نتایج مشابه برسد. برای مثال در مناطقی مانند شهر تهران که ساختمان‌های آن ارتفاع بیش‌تری از ساختمان‌های این مناطق دارد، نیاز است ابتدا مقادیر مختلف حدهای آستانه، آزمایش و ارزیابی شده و سپس برای شناسایی ساختمان‌های جدید، اقدام کرد.

۵-۱- شناسایی تغییرات عوارض ساخته‌شده (تغییرات ارتفاعی مثبت)

۵-۱-۱- منطقه‌ی مطالعاتی اول (شهر یزد)

در جدول ۳، نتایج اجرای فرایند پیشنهادی که براساس سه مؤلفه‌ی نام‌برده، به‌صورت گام به گام در ۲۰ رخداد مختلف انجام گرفت. مشاهده می‌شود. در اینجا تنها رخدادهایی که به دقت کلی بالاتر از ۸۰ درصد رسیدند، بررسی می‌شود. با شمارش تعداد کل اهدافی که هر رخداد شناسایی می‌کند، تعداد اهداف صحیح، تعداد اهداف اشتباه و تعداد اهداف جاافتاده، دقت کلی شناسایی هر رخداد براساس معیارهای ارزیابی دقت براساس ماتریس اغتشاش، محاسبه شد. با مرتب‌سازی نتایج، بر مبنای مؤلفه‌ی دقت کلی بر اساس مقدار کم‌تر به بیش‌تر، بالاترین دقت کلی، در رخداد حدآستانه‌ی ارتفاع ۱ متر، حدآستانه‌ی مساحت ۲۰۰ پیکسل و نسبت طول به عرض ۳/۵، به مقدار ۰/۹۰۵ (۹۰/۵ درصد) به دست می‌آید. همچنین ضریب کاپا در این حالت، به مقدار ۰/۹۲۱ می‌رسد. بنابراین، مقادیر مؤلفه‌های این رخداد، در منطقه‌ی مطالعاتی دوم (شهر مهریز) بررسی شده و نتایج آن‌ها با یکدیگر مقایسه می‌شود.

جدول ۳- نتایج اجرای الگوریتم با دقت کلی بالاتر از ۸۰ درصد در منطقه‌ی مطالعاتی اول (شهر یزد)

ردیف	حدآستانه‌ی ارتفاع (متر)	حدآستانه‌ی مساحت (پیکسل)	نسبت طول به عرض	تعداد کل اهداف	صحیح TP	خطا FP	جاافتاده FN	Overall Accuracy	Kappa
۱	۱	۱۵۰	۴	۴۶	۳۹	۷	۲	۰/۸۱۳	۰/۹۴۹
۲	۰/۵	۲۰۰	۳	۴۲	۳۷	۵	۳	۰/۸۲۲	۰/۸۹۵
۳	۱	۱۵۰	۳	۴۱	۳۸	۳	۳	۰/۸۶۴	۰/۹۲۱

۰/۹۲۱	۰/۸۶۴	۳	۳	۳۸	۴۱	۴	۲۰۰	۱	۴
۰/۹۲۱	۰/۸۶۴	۳	۳	۳۸	۴۱	۵	۲۰۰	۱	۵
۰/۹۴۹	۰/۸۶۷	۲	۴	۳۹	۴۳	۳/۵	۱۵۰	۱	۶
۰/۸۹۲	۰/۸۸۱	۴	۱	۳۷	۳۸	۳	۲۰۰	۱	۷
۰/۹۲۱	۰/۹۰۵	۳	۱	۳۸	۳۹	۳/۵	۲۰۰	۱	۸

۲-۵- منطقه‌ی مطالعاتی دوم (شهر مهریز)

اندازه‌ی پیکسل‌های مدل رقومی اختلاف این منطقه، برابر با ۱۰ سانتی‌متر (۰/۰۱ مترمربع) است. بنابر پارامترهای تعیین‌شده در منطقه‌ی مطالعاتی اول (شهر یزد)، مقدار ۲۰۰ پیکسل برای حدآستانه‌ی مساحت که برابر با ۳۲ مترمربع می‌شود، با اعمال ضریب ۱۶ برای معادل‌سازی این مقدار در منطقه‌ی مطالعاتی دوم (شهر مهریز)، به ۳۲۰۰ پیکسل، برابر با ۳۲ مترمربع، تبدیل می‌شود. با اعمال این ضریب، ۱۵۰ پیکسل، به ۲۴۰۰ پیکسل تبدیل می‌شود.

نتایج اجرای فرایند پیشنهادی در منطقه‌ی مطالعاتی دوم (شهر مهریز) نشان می‌دهد که اعمال حدآستانه‌ی ارتفاع ۱ متر و حدآستانه‌ی مساحت ۲۰۰ پیکسل، بهترین نتیجه را به دست می‌آورد؛ اما، با تغییر نسبت طول به عرض از مقدار ۳/۵ به ۴، نتایج قابل اعتمادتری حاصل می‌شود. به گونه‌ای که در رخداد با نسبت طول به عرض برابر ۴، با کاهش یک واحدی در تعداد اهداف خطا، دقت کلی در بالاترین حالت با افزایش حدود ۳ درصدی، از ۸۰/۸ درصد به ۸۳/۶ درصد می‌رسد. ضریب کاپا نیز برابر ۰/۹۳۴ به دست می‌آید. نتایج اجرا، بررسی، تحلیل و ارزیابی فرایند پیشنهادی در رخدادهای مختلف در منطقه‌ی مطالعاتی دوم (شهر مهریز)، در جدول ۴ قابل مشاهده است.

جدول ۴- نتایج اجرای الگوریتم با دقت کلی بالاتر از ۸۰ درصد در منطقه‌ی مطالعاتی دوم (شهر مهریز)

ردیف	حدآستانه‌ی ارتفاع (متر)	حدآستانه‌ی مساحت (پیکسل)	نسبت طول به عرض	تعداد کل اهداف	صحیح TP	خطا FP	جافتاده FN	Overall Accuracy	Kappa
۱	۰/۵	۳۲۰۰	۳	۹۲	۵۷	۳۵	۸	۰/۵۷۰	۰/۸۶۰
۲	۱	۲۴۰۰	۳	۷۰	۵۸	۱۲	۷	۰/۷۵۳	۰/۸۷۹
۳	۱	۲۴۰۰	۳/۵	۷۳	۶۰	۱۳	۵	۰/۷۶۹	۰/۹۱۷
۴	۱	۳۲۰۰	۳	۶۵	۵۷	۸	۸	۰/۷۸۱	۰/۸۶۰
۵	۱	۲۴۰۰	۴	۷۵	۶۲	۱۳	۳	۰/۷۹۵	۰/۹۵۳
۶	۱	۳۲۰۰	۳/۵	۶۷	۵۹	۸	۶	۰/۸۰۸	۰/۸۹۸
۷	۱	۳۲۰۰	۵	۷۰	۶۱	۹	۴	۰/۸۲۴	۰/۹۳۴
۸	۱	۳۲۰۰	۴	۶۹	۶۱	۸	۴	۰/۸۳۶	۰/۹۳۴

یکی از دلایل تفاوت در نتایج این منطقه در نسبت طول به عرض، در تفاوت در ابعاد پیکسل مدل رقومی اختلاف است. از طرف دیگر، چند عارضه ساختمانی در این منطقه وجود دارد که به دلیل شکل هندسی شبیه به خودروهای بزرگ مانند اتوبوس، با اعمال مؤلفه‌ی نسبت طول به عرض، از نتایج نهایی حذف می‌شوند. ولی همان‌طور که با مقدار ۳/۵ به دقت بالاتر از ۸۰ درصد می‌رسد، می‌توان گفت که اعتبارسنجی فرایند پیشنهادی با اجرا و ارزیابی آن در دو منطقه‌ی مطالعاتی، قابل انجام است.

۲-۵- تحلیل و ارزیابی تأثیر اعمال فیلترها بر نتایج فرایند پیشنهادی

برای ارزیابی نتایج اعمال فیلترهای حذف نویزها به مدل رقومی اختلاف، لازم است که اثر اعمال یا عدم اعمال آن‌ها بر نتایج نهایی، محاسبه شود. بنابراین، با توجه به نتایج منطقه‌ی مطالعاتی اول (شهر یزد) و رخدادهای بالاترین دقت کلی (۹۰/۵ درصد)، در این مرحله، تنها این مورد بررسی شد. در ابتدا تمام فیلترها و مؤلفه‌ی نسبت طول به عرض، از فرایند اجرایی، کنار گذاشته شد. به این ترتیب، افزایش تعداد اهداف محاسبه‌شده (TP) و کاهش تعداد اهداف جافتاده (FN)، از نتایج مثبت عدم اعمال فیلترهای گفته‌شده است. به گونه‌ای که تمام اهداف واقعیت زمینی، شناسایی شده و هیچ هدف شناسایی نشده‌ای، وجود نخواهد داشت. اما با افزایش چند برابری تعداد اهداف اشتباه (FP) مواجه هستیم. در نتیجه، معیارهای ارزیابی دقت نیز کاهش قابل ملاحظه‌ای را نمایش می‌دهند. به گونه‌ای که دقت کلی با کاهش ۲۲ درصدی، به مقدار ۰/۶۸۳ می‌رسد.

در گام بعدی، فرایند پیشنهادی به همراه همه‌ی فیلترها به جز فیلتر طبقه‌بندی، اجرا شد. با این کار، تعداد اهداف محاسبه‌شده، افزایش و تعداد اهداف جافتاده، کاهش می‌یابد. به گونه‌ای که تمام اهداف، مطابق با واقعیت زمینی، شناسایی شده و هیچ هدف جافتاده‌ای، وجود ندارد. از طرف دیگر، با افزایش چند برابری تعداد اهداف اشتباه مواجه هستیم. در نتیجه، معیارهای ارزیابی دقت نیز کاهش قابل ملاحظه‌ای را نمایش می‌دهند. به گونه‌ای که دقت کلی به مقدار ۰/۷۵۹ می‌رسد.

با عدم اعمال فیلتر حذف لبه، تعداد اهداف محاسبه‌شده و تعداد اهداف جافتاده، با رخداد اصلی یکسان است. ولی تعداد اهداف اشتباه، افزایش می‌یابد. در نتیجه، دقت کلی به مقدار ۰/۸۸۴ می‌رسد. در نهایت و با عدم اعمال نسبت طول به عرض، تعداد اهداف محاسبه‌شده، با رخداد اصلی، برابر می‌شود؛ ولی تعداد اهداف جافتاده، کاهش و تعداد اهداف اشتباه، افزایش دارد. در نتیجه، دقت کلی به مقدار ۰/۸۲۶ می‌رسد. نتایج ارزیابی اعمال و عدم اعمال فیلترها، در جدول ۵ آمده است.

جدول ۵- مقایسه‌ی نتایج اعمال و عدم اعمال فیلترها به الگوریتم در نتایج برگزیده‌ی منطقه‌ی مطالعاتی اول (شهر یزد)

معیار	رخداد اصلی	حذف همه فیلترها	حذف نتایج طبقه‌بندی	حذف فیلتر لبه	حذف نسبت طول به عرض
تعداد اهداف	۳۹	۶۰	۵۴	۴۰	۴۴
صحیح TP	۳۸	۴۱	۴۱	۳۸	۳۸
خطا FP	۱	۱۹	۱۳	۲	۶
جافتاده FN	۳	۰	۰	۳	۲
دقت کلی	۰/۹۰۵	۰/۶۸۳	۰/۷۵۹	۰/۸۸۴	۰/۸۲۶
ضریب کاپا	۰/۹۲۱	۱/۰۰۰	۱/۰۰۰	۰/۹۲۱	۰/۹۲۳

۳-۵- بحث و بررسی نتایج

مهم‌ترین عوامل تفاوت در نتایج اجرای فرایند پیشنهادی در دو منطقه‌ی مطالعاتی، شرایط غیریکسان دو منطقه از نظر ابعاد پیکسل داده‌های ورودی و فاصله‌ی زمانی و فصل عکسبرداری دو زمان آن‌ها، نسبت به یکدیگر است. چراکه با مؤلفه‌های اجرایی یکسان برای دو منطقه در رخدادهای یکسان، نتایج متفاوتی به دست می‌آید؛ اما، روند اجرا و نتیجه‌ی نهایی، برای کاربرد شناسایی و آشکارسازی ساخت و سازهای جدید، قابل قبول است. مطابق با جدول ۶، نتایج دو رخداد مشابه در مناطق مطالعاتی اول (شهر یزد) و دوم (شهر مهریز)، با یکدیگر مقایسه شده است.

با بررسی نتایج عدم اعمال فیلترهای مختلف، می‌توان نتیجه گرفت که در صورت عدم اعمال نتایج طبقه‌بندی که برای حذف اثر سایه‌ها و پوشش گیاهی، به مدل اجرایی فرایند پیشنهادی اعمال می‌شوند، تمام اهداف واقعیت زمینی، شناسایی می‌شود و هیچ عارضه‌ای از دست نمی‌رود. اما، خطای شمارش اهداف نادرست، به شدت افزایش می‌یابد که نتیجه‌ی آن به‌طور مستقیم، بر روی دقت کلی و صحت نتایج شناسایی شده، اثر گذاشته و به کم‌ترین مقدار می‌رسند.

جدول ۶- مقایسه‌ی نتایج اجرای فرایند آشکارسازی تغییرات در منطقه‌ی مطالعاتی اول (شهر یزد) و دوم (شهر مهریز)

ردیف	منطقه‌ی مطالعاتی	حد آستانه‌ی ارتفاع (متر)	حد آستانه‌ی مساحت (پیکسل)	نسبت طول به عرض	تعداد کل اهداف	صحیح TP	خطا FP	جا افتاده FN	Overall Accuracy	Kappa
۱	اول (شهر یزد)	۱	۲۰۰	۳/۵	۳۹	۳۸	۱	۳	۰/۹۰۵	۰/۹۲۱
۲	دوم (شهر مهریز)	۱	۳۲۰۰	۳/۵	۶۷	۵۹	۸	۶	۰/۸۰۸	۰/۸۹۸

از طرف دیگر، با عدم اعمال فیلتر نرم‌سازی لبه‌ها و مؤلفه‌ی نسبت طول به عرض، تعداد اهداف شناسایی شده، با رخداد اصلی برابر می‌شود؛ ولی در هر دو مورد، خطا افزایش می‌یابد که نتیجه‌ی آن، با کاهش میزان صحت اهداف شناسایی شده، بر روی دقت کلی قابل مشاهده است. در نهایت، در بررسی عدم اعمال فیلتر لبه، تعداد اهداف شناسایی نشده با رخداد اصلی، یکسان است؛ ولی در بررسی عدم اعمال نسبت طول به عرض، شاهد کاهش اهداف شناسایی نشده نیز هستیم.

در میان فیلترهای اعمال شده به مدل رقومی اختلاف، اعمال و عدم اعمال فیلتر لبه، اثر قابل ملاحظه‌ای به نتایج نهایی نمی‌گذارد و می‌توان آن را به‌طور کامل نیز کنار گذاشت؛ اما مطابق با جدول ۵ و در مقایسه با رخداد اصلی، با کاهش یک موردی در تعداد اهداف اشتباه، عامل رسیدن دقت کلی در منطقه‌ی مطالعاتی اول (شهر یزد)، به بالاترین میزان است.

در انتها، با مقایسه‌ی نتایج فرایند پیشنهادی با سایر مطالعات صورت گرفته در زمینه شناسایی و استخراج تغییرات ساختمانی، مشاهده می‌شود که در سال‌های اخیر، استفاده از رویکرد تلفیق داده‌های تصویری و ارتفاعی برای کاهش خطاهای شناسایی و افزایش صحت اهداف استخراج شده، در حال افزایش است. با این حال، مهم‌ترین عامل محدودیت در آشکارسازی ساختمان‌ها، وجود سایه‌ها و پوشش گیاهی است که رفتار ارتفاعی مشابه ساختمان‌ها را از خود نشان می‌دهند. برای حل این مشکل، تحقیقات مختلفی با استفاده از روش‌ها، مجموعه داده‌ها، و شبکه‌های گوناگون انجام گرفته که به‌عنوان مثال، Guo و همکارانش با بهره‌گیری از شبکه MFFNet و استفاده از چندین مجموعه داده‌ی مختلف، توانسته‌اند به دقت کلی ۹۸ درصد در شناسایی و استخراج ساختمان‌های جدید برسند (Guo et al., ۲۰۲۴). در تحقیقی دیگر، Xie و همکارانش با ترکیب روش‌های یادگیری عمیق و تلفیق داده‌های ارتفاعی با تصویری و همچنین استفاده از روش‌های آموزش برچسب‌دار، به دقت نزدیک به ۸۰ درصد در تشخیص و استخراج ساختمان‌ها، دست یافتند. در شبکه‌های عصبی، عامل اصلی تعیین‌کننده‌ی عملکرد شبکه، شامل آماده‌سازی داده‌های آموزشی، فرایند آموزش و ارزیابی شبکه و ساختار خود شبکه است. این عوامل نقش کلیدی در سرعت اجرایی و دقت کلی الگوریتم‌ها ایفا می‌کنند. در این مقاله، با توجه به رویکرد اجرایی فرایند پیشنهادی و عدم نیاز به طراحی و آماده‌سازی شبکه‌ی عصبی، فرایند استخراج اهداف مورد نظر با سرعت بالاتری نسبت به سایر پژوهش‌های مرتبط، انجام می‌شود.

به طور دقیق تر، اجرای فرایند اصلی، شامل تهیه نقشه‌ی واقعیت زمینی، طبقه‌بندی تصاویر ارتوفتوموزاییک و تولید مدل رقومی اختلاف (DDM) که در محیط‌های نرم‌افزاری مختلف انجام گرفت، در کمتر از یک ساعت به نتایجی با دقت بالاتر از ۹۰ درصد رسید. لازم به ذکر است که دستیابی به این سطح دقت، وابسته به ویژگی‌های جغرافیایی، توپوگرافی و بافت منطقه‌ی مورد نظر است.

۶- نتیجه‌گیری

شناسایی و آشکارسازی تغییرات عوارض به منظور افزایش سرعت مواجه با انواع پدیده‌های طبیعی و غیرطبیعی در مدیریت شهری، امری اجتناب ناپذیر است. در این مقاله، فرایندی جدید جهت شناسایی و آشکارسازی تغییرات اتفاق افتاده در گذر زمان، براساس ادغام محصولات فتوگرامتری، شامل مدل رقومی سطح و ارتوفتوموزاییک، مبتنی بر استفاده از ماهیت ارتفاعی و طیفی داده‌ها، انجام شد. در این مقاله، با استفاده از داده‌های با قدرت تفکیک مکانی بالا (۱۰ و ۴۰ سانتی‌متر) برای دو منطقه‌ی مطالعاتی، با کمک اعمال حدآستانه و فیلترگذاری در چندمرحله به مدل رقومی اختلاف که از تفریق دو مدل رقومی سطح دوزمانه حاصل می‌شود، تغییرات ساختمان‌ها با هدف بررسی و شناسایی ساخت و سازهای غیرمجاز، با میانگین دقت بالاتر از ۸۶ درصد، استخراج شد. با توجه به نتایج مبتنی بر بحث‌ها و تحلیل‌های به‌دست آمده، در مقایسه با روش‌های یادگیری عمیق مبتنی بر شبکه‌های عصبی، سرعت اجرای به نسبت بالاتر، عدم نیاز به داده‌ی آموزشی متناسب و آماده‌سازی آسان‌تر مدل، از نقاط قوت این فرایند است. از طرف دیگر، عوارضی نظیر سایه‌ها و پوشش گیاهی موجود در منطقه، عملیات شمارش و شناسایی اهداف را دچار اختلال کرده و به‌عنوان خطا محسوب می‌شوند که حذف اثر آن‌ها در راه‌حلی ساده با بهره‌گیری از نتایج طبقه‌بندی نظارت‌شده و اعمال آن به مدل رقومی اختلاف، باعث افزایش دقت نهایی تا ۳۰ درصد می‌گردد. در کاربردهای مختلف نظامی و غیرنظامی، می‌توان از فرایند پیشنهادی این مقاله برای شناسایی و آشکارسازی مواضع جدید، تغییرات اتفاق افتاده در مناطق عملیاتی و پایش و کنترل محدوده و حریم قانونی مناطق نظامی، شهری و غیرشهری، بهره‌گیری کرد؛ با این تفاوت که حساسیت به نوع تغییرات، تعیین‌کننده‌ی مؤلفه‌های اجرایی فرایند پیشنهادی، در منطقه‌ی مورد نظر خواهد بود.

پیشنهاد می‌شود فرایند اجرای این مقاله، در دیگر مناطق کشور که بافت و توپوگرافی متفاوتی با مناطق مطالعاتی این مقاله دارند، اجرا شده و مقادیر بهینه برای مؤلفه‌های اصلی اجرایی فرایند، متناسب با آن منطقه، شناسایی شود. همچنین پیشنهاد می‌شود که برای جلوگیری از خطاهای ناشی از وجود پوشش گیاهی و سایه‌ها در مناطق شهری، فصل عکسبرداری هوایی، تا حد امکان، یکسان بوده و فاصله‌ی زمانی عکسبرداری‌ها، در حدود کمتر از سه ماه باشد. همچنین می‌توان فرایند پیشنهادی این مقاله را با استفاده از شبکه‌های عصبی مبتنی بر یادگیری عمیق، شامل انتخاب حدآستانه و حذف نویزها و عوارض مزاحم را پیاده‌سازی و اجرا کرد.

منابع

Adeline, K.R., Chen, M., Briottet, X., Pang, S.K., & Paparoditis, N. (۲۰۱۳). Shadow detection in very high spatial resolution aerial images: A comparative study. *Isprs Journal of Photogrammetry and Remote Sensing*, ۸۰, ۲۱-۳۸. DOI: ۱۰.۱۰۱۶/j.isprsjprs.۲۰۱۳.۰۲.۰۰۳

Cheng, Guangliang, Yunmeng Huang, Xiangtai Li, Shuchang Lyu, Zhaoyang Xu, Hongbo Zhao, Qi Zhao, and Shiming Xiang. ۲۰۲۴. "Change Detection Methods for Remote Sensing in the Last Decade: A Comprehensive Review" *Remote Sensing* ۱۶, no. ۱۳: ۲۳۵۵. DOI: ۱۰.۳۳۹۰/arXiv.۲۳.۰۵.۰۵۸۱۳

C. Guerin, R. Binet and M. Pierrot-Deseilligny, "Automatic Detection of Elevation Changes by Differential DSM Analysis: Application to Urban Areas," in *IEEE Journal of Selected Topics in Applied Earth Observations and Remote Sensing*, vol. ۷, no. ۱۰, pp. ۴۰۲۰-۴۰۳۷, Oct. ۲۰۱۴, doi: ۱۰.۱۱۰۹/JSTARS.۲۰۱۴.۲۳۰۰۵۰۹

Cheng, Guangliang, Yunmeng Huang, Xiangtai Li, Shuchang Lyu, Zhaoyang Xu, Hongbo Zhao, Qi Zhao, and Shiming Xiang. ۲۰۲۴. "Change Detection Methods for Remote Sensing in the Last Decade: A Comprehensive Review" *Remote Sensing* ۱۶, no. ۱۳: ۲۳۵۵. DOI: ۱۰.۳۳۹۰/arXiv.۲۳.۰۵.۰۵۸۱۳

Erdogan, M. and Yilmaz, A. (۲۰۱۸) 'Detection of building damage caused by Van Earthquake using image and Digital Surface Model (DSM) difference', *International Journal of Remote Sensing*, ۴۰(۱۰), pp. ۳۷۷۲-۳۷۸۶. doi: ۱۰.۱۰۸۰/۰۱۴۳۱۱۶۱,۲۰۱۸,۱۵۵۲۸۱۶.

Gao, Xianjun & Wang, Mingwei & Yang, Yuanwei & Li, Chuck. (۲۰۱۸). Building Extraction from RGB VHR Images using Shifted Shadow Algorithm. *IEEE Access*. PP. ۱-۱. ۱۰,۱۱۰۹. DOI: ۱۰.۱۱۰۹/ACCESS.۲۰۱۸,۲۸۱۹۷۰۵.

Goyal, V., Singh, R., Dhawley, M., Kumar, A., Sharma, S. (۲۰۲۳). Aerial Object Detection Using Deep Learning: A Review. In: Shukla, A., Murthy, B.K., Hasteer, N., Van Belle, JP. (eds) *Computational Intelligence. Lecture Notes in Electrical Engineering*, vol ۹۶۸. Springer, Singapore. DOI: ۱۰.۱۰۰۷/۹۷۸-۹۸۱-۱۹-۷۳۴۶-۸_۸

Guo, Zhihao, Jianping Pan, Peng Xie, Ling Zhu, Chen Qi, Xunxun Wang, Yihan Yang, Yan Wang, Huijuan Zhang, and Zhaohui Ren. ۲۰۲۴. "MFFNet: A Building Change Detection Method Based on Fusion of Spectral and Geometric Information." *Geocarto International* ۳۹ (۱). DOI: ۱۰.۱۰۸۰/۱۰.۱۰۶.۴۹,۲۰۲۴,۲۳۲۲.۵۳.

Han, Wei & Chen, Jia & Wang, Lizhe & Feng, Ruyi & Li, Fengpeng & Wu, Lin & Tian, Tian & Yan, Jining. (۲۰۲۱). Methods for Small, Weak Object Detection in Optical High-Resolution Remote Sensing Images: A survey of advances and challenges. *IEEE Geoscience and Remote Sensing Magazine*. DOI: ۱۰.۱۱۰۹/MGRS.۲۰۲۰,۳۰۴۱۴۵.

hamidi, M. A., bigdeli, H. (۲۰۲۱). 'damage assessment in military operations using deep learning and image processing', *Journal of Soft Computing and Information Technology*, ۱۰ (۳), pp. ۱-۱۰.

Hong, F., Jianqing, Z., Zuxun, Z. et al. House change detection based on DSM of aerial image in urban area. *Geo-spat. Inf. Sci.* ۲, ۶۸-۷۲ (۱۹۹۹). <https://doi.org/۱۰.۱۰۰۷/BF۰۲۸۲۶۷۲۱>

Ioannidis, C., Psaltis, C., & Potsiou, C. (۲۰۰۹). Towards a strategy for control of suburban informal buildings through automatic change detection. *Comput. Environ. Urban Syst.*, ۳۳, ۶۴-۷۴. DOI: ۱۰.۱۰۱۶/j.compenvurbsys.۲۰۰۸.۰۹.۰۱۰

Krauβ, T., Tian, J. (۲۰۲۰). Automatic Change Detection from High-Resolution Satellite Imagery. In: Hadjimitsis, D., et al. *Remote Sensing for Archaeology and Cultural Landscapes*. Springer Remote Sensing/Photogrammetry. Springer, Cham. https://doi.org/۱۰.۱۰۰۷/۹۷۸-۳-۰۳۰-۱۰۹۷۹-۰_۴

Liang, Han, and Suyoung Seo. ۲۰۲۳. "UAV Low-Altitude Remote Sensing Inspection System Using a Small Target Detection Network for Helmet Wear Detection" *Remote Sensing* ۱۵, no. ۱: ۱۹۶. <https://doi.org/۱۰.۳۳۹۰/rs۱۵۰۱۰۱۹۶>

Masumei, A., Feizizadeh, B., Valizadeh Kamran, K. (۲۰۲۲). 'A novel semi-automated approach for detecting and extracting of urban features using object-based aerial image analysis', *Journal of Geography and Planning*, ۲۶(۸۰), pp. ۳۱۵-۳۰۳. doi: ۱۰.۲۲۰۳۴/gp.۲۰۲۰,۴۱۶۳۰,۲۶۹۶

Moghim A, Ebadi H, Sadeghi V. Review of Change Detection Methods from Multitemporal Satellite Images by Pixel-Based and Object-Based Approach. *GEJ* ۲۰۱۶; ۷ (۲) :۹۹-۱۱۰ URL: doi: <http://gej.issgeac.ir/article-۱-۱۷۰-en.html>

Movia, Alessia & Beinat, Alberto & Crosilla, Fabio. (۲۰۱۶). Shadow detection and removal in RGB VHR images for land use unsupervised classification. *ISPRS Journal of Photogrammetry and Remote Sensing*. ۱۱۹. ۱۰.۱۰۱۶/ DOI: ۱۰.۱۰۱۶/j.isprsjprs.۲۰۱۶.۰۵.۰۰۴

Pang, S., Hu, X., Zhang, M., Cai, Z., & Liu, F. (۲۰۱۹). Co-Segmentation and Superpixel-Based Graph Cuts for Building Change Detection from Bi-Temporal Digital Surface Models and Aerial Images. *Remote Sensing*, ۱۱(۶), ۷۲۹. <https://doi.org/۱۰.۳۳۹۰/rs۱۱۰۶۰۷۲۹>

Piyush Raja, Dr. Santosh Kumar, Digvijay Singh Yadav, Dr. Amit Kumar, & Ram Krishna Kumar. (۲۰۲۳). Intelligent Remote Sensing: Applications and Techniques. *Journal of Image Processing and Intelligent Remote Sensing*, ۳(۰۲), ۴۶-۵۳. <https://doi.org/۱۰.۵۵۵۲۹/jipirs.۳۲,۴۶,۵۳>

Qiqi Zhu, Xi Guo, Weihuan Deng, Sunan Shi, Qingfeng Guan, Yanfei Zhong, Liangpei Zhang, Deren Li, Land-Use/Land-Cover change detection based on a Siamese global learning framework for high spatial resolution remote sensing imagery, *ISPRS Journal of Photogrammetry and Remote Sensing*, Volume 181, 2022, Pages 73-88, ISSN 0924-6460, <https://doi.org/10.1016/j.isprsjprs.2021.12.005>.

Sanin, Andres & Sanderson, Conrad & Lovell, Brian. (2012). Shadow Detection: A Survey and Comparative Evaluation of Recent Methods. *Pattern Recognition*. 45. 1781-1790. 10.1016/j.patcog.2011.10.001 DOI: 10.1016/j.patcog.2011.10.001

Shahtahmassebi, A.R., Yang, N., Wang, K., Moore, N.J., & Shen, Z. (2013). Review of shadow detection and de-shadowing methods in remote sensing. *Chinese Geographical Science*, 23, 43-52. DOI: 10.1007/s11464-013-0613-x

Shi, Wenzhong, Min Zhang, Rui Zhang, Shanxiong Chen, and Zhao Zhan. 2020. "Change Detection Based on Artificial Intelligence: State-of-the-Art and Challenges" *Remote Sensing* 12, no. 1: 1788. <https://doi.org/10.3390/rs12101788>

Uwe Stilla, Yusheng Xu, Change detection of urban objects using 3D point clouds: A review, *ISPRS Journal of Photogrammetry and Remote Sensing*, Volume 197, 2023, Pages 228-250, ISSN 0924-6460, <https://doi.org/10.1016/j.isprsjprs.2023.01.001>.

Wu, C., Zhang, L., & Zhang, L. (2016). A scene change detection framework for multi-temporal very high resolution remote sensing images. *Signal Process.*, 124, 181-197. DOI: 10.1016/j.sigpro.2015.09.020

Y. Xie, X. Yuan, X. X. Zhu and J. Tian, "Multimodal Co-Learning for Building Change Detection: A Domain Adaptation Framework Using VHR Images and Digital Surface Models," in *IEEE Transactions on Geoscience and Remote Sensing*, vol. 72, pp. 1-20, 2024, Art no. 0405020, doi: 10.1109/TGRS.2024.3362680.

Zhang, Yu et al. (2023) 'Mixed-former: multi-fusion remote sensing change detection', *International Journal of Remote Sensing*, 44(11), pp. 3007-3028. doi: 10.1080/01431171.2023.2224100.

Zhifang, L., Jianqing, Z., Zuxun, Z. et al. Change detection based on DSM and image features in urban areas. *Geo-spat. Inf. Sci.* 7, 30-41 (2023). <https://doi.org/10.1007/BF02827602>