

Original Article

Iranian Remote Sensing GIS
Journal of

Change Detection in Residential Areas Construction by Using Photogrammetry Products

Muhammad Amin Bakhshi, Mehرداد Eslami^{*}, Ali Sarkargar Ardakani, Ramin Saadi Esfangere**Affiliation**

Geomatics Dep., Imam
Hossein University, Tehran,
Iran

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 30 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 10 cm for both study areas. Additionally, the Digital Surface Models (DSMs) have pixel sizes of 40 cm and 10 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 30%.

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.

Citation:

Bakhshi, M. A., Eslami, M.,
Sarkargar Ardakani, A., Saadi
Esfangere, R., *Change
Detection in Residential Areas
Construction by Using
Photogrammetry Products,
Iran J Remote Sens GIS,
18(1): 37-58.*

* Corresponding Author: meslami@ihu.ac.ir
DOI: <https://doi.org/10.48308/gisj.2025.236867.1231>

Received: 2024.09.10

Accepted: 2025.02.22





آشکار سازی تغییرات ساخت و ساز مناطق مسکونی با استفاده از محصولات فتوگرامتری

محمد امین بخشی، مهرداد اسلامی¹، علی سرکارگر اردکانی، رامین سعیدی اسفندگره

سمت

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

چکیده

سابقه و هدف: شناسایی تغییرات یکی از کاربردهای تصاویر و داده‌های سنجش از دور و فتوگرامتری، با سابقه‌ای بیش از چهار دهه در حوزه‌های گوناگون نظامی و غیرنظامی، برای اهداف و عوارض گوناگون 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. روش‌های کلاسیک، به‌رغم سادگی و در دسترس بودن، به دلیل محدودیت‌های دقت و 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 داشتن به منابع محاسباتی و سخت‌افزاری قدرتمند، با چالش‌هایی همراه است. این مقاله، با هدف مطرح کردن فرایندی تقریباً سریع، کم‌هزینه و دارای دقت بالا برای شناسایی و آشکار سازی تغییرات در مناطق مسکونی، انجام شد.

مواد و روش‌ها: هدف از طرح فرایند پیشنهادی برطرف کردن محدودیت‌های روش‌های پیشین، مبتنی بر استفاده از محصولات فتوگرامتری، شامل مدل رقومی سطح (DSM) و تصاویر ارتوفتوموزائیک و اعمال فیلترهای گوناگون روی آن‌هاست. داده‌های ورودی، با دقت‌های مسطحانی و ارتفاعی بهتر از ۳۰ سانتی‌متر، تهیه شده و امکان شناسایی ساختمان‌هایی را که در طول زمان دچار تغییرات شده‌اند، فراهم می‌کند. 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 آستانه ارتفاع و مساحت، همراه با چند مرحله فیلترگذاری روی داده ورودی، اهداف اولیه استخراج می‌شوند. برای اینکه خطای شناسایی ناشی از وجود عوارضی نظیر سایه‌ها، پوشش گیاهی و خودروها کاهش یابد، تصاویر ارتوفتوموزائیک با استفاده از الگوریتم‌های هوشمند، طبقه‌بندی می‌شود و به مدل رقومی اختلاف، اعمال می‌شود. این مرحله تأثیر عوارض مزاحم را کاهش می‌دهد و به استخراج اهداف نهایی منجر می‌شود.

نتایج و بحث: برای ارزیابی عملکرد فرایند پیشنهادی، دو منطقه مطالعاتی در استان یزد، یک منطقه دارای بافت شهری ساده و دیگری دارای بافت شهری پیچیده، انتخاب شد. داده‌ها شامل تصاویر ارتوفتوموزائیک با اندازه پیکسل ۱۰ سانتی‌متر، برای هر دو منطقه مطالعاتی می‌شود. مدل‌های رقومی سطح نیز به ترتیب، دارای اندازه پیکسل ۴۰ و ۱۰ سانتی‌متر است. شایان ذکر است که فاصله زمانی تهیه داده‌ها، برای منطقه مطالعاتی اول، برابر با دو ماه و در منطقه مطالعاتی دوم، سه سال است. نتایج اجرای فرایند پیشنهادی، در منطقه مطالعاتی اول، با دقت کلی بیش از ۹۰٪ و در منطقه دوم، با دقت کلی بیش از ۸۳٪ 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 گوناگون و بررسی و شمارش دقیق تعداد اهداف صحیح، اهداف جافتا شده 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٪ افزایش داده است.

نتیجه‌گیری: فرایند پیشنهادی بسیار تحت تأثیر منطقه مطالعاتی و مقادیر حد آستانه متناسب با بافت شهری آن قرار دارد. با وجود این محدودیت، روش مطرح شده به دلیل هزینه کمتر و سرعت بالاتر، در قیاس با دیگر روش‌ها، امکان اجرایی گسترده‌ای در منطقه‌های مشابه با مناطق مورد مطالعه دارد. همچنین نتایج این مقاله نشان می‌دهد که این فرایند، به علت دقت بالا و نتایج مورد قبول، می‌تواند به‌منزله ابزاری کارآمد در حوزه مدیریت شهری و پایش تغییرات مجاز و غیرمجاز، بهره‌برداری شود و در بهبود فرایندهای تصمیم‌گیری در این زمینه، مؤثر باشد و نیازهای آن به کنترل حریم شهری را به خوبی برطرف کند. در مورد دیگر مناطقی که بافت متفاوتی با مناطق مطرح شده در این مقاله دارند، مقادیر بهینه باید با روشی مشابه، در مورد مؤلفه‌های اجرایی و حدهای آستانه، محاسبه شود.

واژه‌های کلیدی: شناسایی تغییرات، مدل رقومی سطح، ساخت و ساز غیرمجاز، محصولات فتوگرامتری، مدیریت شهری.

استناد:

بخشی، م. ا.، اسلامی، م.، سرکارگر اردکانی، ع.، سعیدی اسفندگره، ر.، آشکار سازی تغییرات ساخت و ساز مناطق مسکونی با استفاده از محصولات فتوگرامتری، نشریه سنجش از دور و GIS ایران، سال ۱۸، شماره ۱، بهار ۱۴۰۵: ۲۷-۵۸.



۱- مقدمه

یکی از حوزه‌های کاربردی علوم ژئوماتیک آشکارسازی و شناسایی تغییرات است که براساس عارضه و هدف مورد بررسی، استفاده فراوانی در مسائل 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 مسیر حرکت خودروها، سلاح‌های هدایت‌شونده و پهپادها، از جمله کاربردهای نظامی است. مدیریت و برنامه‌ریزی شهری، پایش محیط‌زیست، مدیریت بحران، پایش ساخت‌وسازها و شناسایی ساخت‌وسازهای غیرمجاز (Hamidi & Bigdeli, 2021)، بررسی حریم ساختمان‌ها، آشکارسازی اضافه‌طبقات، مدیریت سیلاب شهری، شبیه‌سازی جریان آب در خیابان‌ها برای طراحی بهینه شبکه 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 به‌منظور تشخیص قطع غیرقانونی درختان، پایش ذوب یخچال‌ها و فرونشست زمین، مدیریت ترافیک هوایی با شناسایی موانع ارتفاعی (مانند دکل‌ها) در مسیر پرواز پهپادها یا بالگردها، نگهداری زیرساخت‌های شهری مانند پل‌ها، معدن‌داری و زمین‌شناسی و برآورد حجم مواد استخراج‌شده از مناطق باستان‌شناسی و میراث فرهنگی و کشف و شناسایی عوارض مصنوعی پنهان‌شده در زیر خاک، ردیابی حفاری‌های زیرزمینی برای تشخیص تغییرات ارتفاعی ناشی از ساخت تونل‌های دارای کاربری‌های گوناگون در دسته کاربردهای عمومی و غیرنظامی قرار می‌گیرند.

امروزه به دلیل تنوع و توسعه روزافزون تجهیزات جمع‌آوری داده‌های سنجش‌ازدوری، دسترسی به داده‌های سری زمانی با قدرت تفکیک مکانی بالا، با سهولت بیشتر و در فاصله‌های زمانی کوتاه‌تر، فراهم شده

است. 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 (Moghimi et al., 2016). محصولات فتوگرامتری پهپاد که گسترده‌تر از دیگر داده‌های سنجش‌ازدوری در دسترس عموم قرار دارد، امکان تهیه داده‌های سه‌بعدی با قدرت تفکیک مکانی بسیار بالا را نیز دارد. ماهیت سه‌بعدی جهان و تغییرات دائمی عوارض نیازمند روش‌هایی است که بتواند تغییرات را در هر سه بعد (طول، عرض، ارتفاع) اندازه‌گیری و تحلیل کند. برای جلوگیری از تغییر کاربری و ساخت‌وسازهای غیرمجاز در مدیریت شهری و پایش حریم شهرها، به بهره‌گیری مؤثر از دانش و فناوری به‌روز نیاز است. با توجه به این موارد، ثابت‌بودن ارتفاع ساختمان‌ها در طول زمان و در صورت وقوع تغییری در این ویژگی که بازتاب آن را می‌توان در بعد سوم مشاهده کرد، استفاده از داده‌های ارتفاعی بهترین گزینه برای پایش وضعیت ساخت‌وسازهای مجاز و غیرمجاز در مناطق شهری و غیرشهری است.

پایش مداوم محدوده و حریم قانونی شهرها و دگرگونی‌هایی از قبیل ساخت‌وسازهای جدید، تغییرات کاربری مجاز و غیرمجاز، دیوارکشی و تصرف اراضی و املاک عمومی و انفال و موقوفه که می‌تواند در بازه‌های زمانی کوتاه‌مدت رخ بدهد، اهمیت بسیاری دارد؛ از این رو عرضه روشی بر مبنای داده‌های سری زمانی سه‌بعدی که شناسایی و آشکارسازی این موارد را با دقت و سرعت بالا و به‌صورت بهینه انجام بدهد، ضروری به نظر می‌رسد. انتخاب داده مورد استفاده و همچنین روش فرایند اجرایی مهم‌ترین گام در مسیر شناسایی هدف است. اصول شناسایی تغییرات، در تمامی تصاویر، بر مکان‌یابی اشیای مورد نظر و طبقه‌بندی آن‌ها متمرکز است و براساس تغییرات در رنگ، شکل و بافت، ویژگی‌های هندسی و طیفی عوارض که به شکل تغییرات رادیومتریکی ظهور می‌یابد، انجام می‌شود (Han et al.,

نامربوط (مانند سایه‌ها) (Sanin et al., 2012)، علاوه بر ضعف در اجرا و شناسایی تعداد اهداف صحیح، برای بررسی تغییرات ارتفاعی در بُعد سوم ناکارآمدند. بررسی تغییرات سه‌بعدی، علاوه بر شناسایی تغییرات و خسارت به‌وجودآمده، در شناخت ساخت‌وسازهای غیرمجازی که در نواحی حومه شهرها اتفاق می‌افتد، از ابزارهای کارآمد و مؤثر است (Shen et al., 2017). رویکرد بررسی سه‌بعدی تغییرات، به‌دلیل استفاده از داده‌های ماهیت متفاوت، بسیار متفاوت‌تر از روش‌های بررسی دوبعدی است (Krauß & Tian, 2020). هنگام استفاده از تصاویر سنجش از دور، سایه‌ها، پوشش گیاهی و اشیایی با ویژگی‌های طیفی و مورفولوژیکی مشابه ساختمان‌ها ممکن است 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 اندکی داشته است (Hong et al., 1999; Zhifang et al., 2003). از داده‌های فتوگرامتری هوایی که در طول زمان تهیه شده‌اند و داده‌های به‌روز و به‌هنگامی که در اولین فرصت پس از وقوع بحران تهیه می‌شود، می‌توان در ارزیابی خسارت و تلفات مالی و جانی استفاده کرد. برای نمونه، با استفاده از DSM که یک روز پس از زمین‌لرزه شهر وان تهیه شده و بررسی و تطبیق آن با داده‌های به‌دست‌آمده در گذشته، ساختمان‌ها و نقاط تخریب‌شده برآثر این حادثه، با نوآوری در به‌کارگیری ویژگی‌های هندسی عوارض، به‌صورت خودکار شناسایی شدند (Erdogan & Yilmaz, 2019). با 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 نیز الگوریتم برش نمودار برای رسیدن به پاسخ بهینه، تغییرات ساختمان‌ها به دست آمده است (Pang et al., 2019). چارچوب یادگیری مشترک چندوجهی، برای تشخیص تغییر ساختمان، از پژوهش‌های

بر این مبنا، روش‌های تشخیص اشیا مبتنی بر تطبیق الگو، مبتنی بر دانش، مبتنی بر تحلیل تصویر (OBIA)، مبتنی بر هوش مصنوعی و مبتنی بر مجموعه‌داده‌های در دسترس عموم از جمله روش‌های شناسایی تغییرات است (Cheng & Han, 2016). از روش‌هایی که در سال‌های اخیر کاربرد فزاینده‌ای داشته‌اند، رویکرد استفاده از یادگیری عمیق است که می‌توان، با استفاده از شبکه‌های عصبی کانولوشن (CNN)، تفاوت‌های بین دو زمان را شناسایی کرد. روش‌های یادگیری ماشین و یادگیری عمیق، در دقت و سرعت شناسایی اهداف از تصاویر هوایی و قائم، به پیشرفت‌های چشمگیری دست یافته‌اند. این روش‌ها می‌توانند اهدافی با ویژگی‌ها و مؤلفه‌های خاص را بدون در نظر گرفتن شرایط تصویربرداری و ویژگی‌های منطقه، استخراج و آشکارسازی کنند (Shi et al., 2020; Zhifang et al., 2003). از نمونه‌های آن، تشخیص به‌کاربردن/نبردن کلاه ایمنی در محیط‌های کارگاهی است که لیانگ و سو انجام داده‌اند (Liang & Seo., 2023). با تشکیل شبکه عصبی برای داده‌های تصویری زمان اول و دوم و مقایسه آن‌ها، می‌توان کل فرایند تشخیص تغییرات را به‌صورت خودکار اجرا کرد و دقت را در مقایسه با روش‌های ابتدایی، افزایش چشمگیری داد؛ اما تحقیقات بیشتری برای توسعه و ارزیابی روش‌های یادگیری عمیق، به‌ویژه در زمینه تولید مدل و نمونه‌های آموزشی سه‌بعدی، ضرورت می‌یابد که در مقایسه با تصاویر دوبعدی RGB و چندطیفی، به منابع آموزشی و محاسباتی فراوانی نیز نیاز دارند.

در پژوهش‌های پیشین، با روش‌های مبتنی بر محاسبه تغییرات رادیومتریک که با استفاده از تصاویر سه‌باندی RGB و چندباندی فتوگرامتری و ماهواره‌ای انجام‌پذیر است، از الگوریتم‌های توسعه‌یافته بر این مبنا کمک گرفته شد و دقت بیشتر از ۹۷٪، در شناسایی و استخراج ساختمان‌ها در مناطق شهری، به دست آمد (Guerin et al., 2014; Masumei et al., 2022) اما بیشتر این روش‌ها، به‌دلیل وجود تغییرات رادیومتریک

کمک می‌کند. روش پیشنهادی براساس حد آستانه‌گذاری، با توجه به ادغام محصولات استاندارد فتوگرامتری دارای قدرت تفکیک بسیار بالا در چند گام است که به صورت سری زمانی و با دقت و مشخصات متفاوت، از منابع گوناگون جمع‌آوری شده‌اند. در این پژوهش، با اعمال نتیجه طبقه‌بندی تصویر ارتوفتوموزائیک به مدل ورودی، عوارض مزاحم مانند سایه‌ها و پوشش گیاهی، از اهداف نهایی حذف شد؛ سپس مقادیر گوناگون، برای مؤلفه‌های اجرایی در رخدادهای متفاوت، ترکیب شد تا دقت کلی اجرای فرایند، برای تشخیص ساختمان‌ها، ارزیابی شود.

۲- مبانی نظری

براساس توضیحات بیان‌شده، دو گام اجرای فرایند پیشنهادی عبارت است از نیاز به حذف اثر عوارض مزاحم در منطقه و ارزیابی دقت شمارش و شناسایی اهداف که مبانی نظری آن‌ها به‌همراه روابط محاسباتی، بدین‌قرار است:

۲-۱- طبقه‌بندی نظارت‌شده تصاویر

به‌منظور طبقه‌بندی تصاویر ارتوفتوموزائیک مناطق مطالعاتی، برای حذف اثر عوارض مزاحم از محاسبات شناسایی، آشکارسازی و شمارش عارضه هدف مورد نظر مقاله (ساختمان‌ها)، از روش طبقه‌بندی بیشترین شباهت^۱ استفاده شد. این روش، مطابق رابطه (۱)، پیکسل‌های تصویر را براساس تعداد باندها و مشابهت با نمونه آموزشی، طبقه‌بندی می‌کند.

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

رابطه (۱)

در این معادله، n تعداد باندهای تصویر ورودی، X پیکسل تصویر در n باند و PX(X) احتمال تعلق پیکسل X به کلاس k هستند. دقت طبقه‌بندی نیز، براساس دو معیار دقت کلی و ضریب کاپا، سنجیده می‌شود.

جدیدی است که با آموزش مشترک یک شبکه سیامی دوزمانی و یک شبکه اختلاف ارتفاع (HDiff) و با استفاده از داده‌های منبع برچسب‌دار و جفت‌داده‌های هدف بدون برچسب، سه روش یادگیری مشترک (وانیلی، تلفیقی و تلفیقی جدا) را ترکیب کرده است. این روش، در سناریوهای عملیاتی تشخیص تغییرات، به امتیاز بهینه F1 برابر با ۰.۷۹/۲۹ دست یافته است (Xie et al., 2024). در جدیدترین تحقیقات نیز با استفاده از شبکه ترکیب ویژگی چندمقیاسی برای داده‌های دووجهی (MFFNet) و به‌کارگیری DSM با ابعاد پیکسل یکمتری که از تصاویر ماهواره‌ای تولید شد، با حذف اثر پوشش گیاهی و سایه‌ها، تغییرات ساختمانی پدیدآمده در یکی از مناطق شهری چین، با استفاده از یادگیری عمیق، با دقت بالا شناسایی شد (Guo et al., 2024).

باید در نظر داشت علاوه‌بر هدف مورد نظر، مانند ساختمان، عوارض دیگری نیز در محیط وجود دارند که رفتار سه‌بعدی آن‌ها مشابه با عارضه هدف مورد نظر است. با توجه به مشکلات تفسیر و پردازش داده‌ها، باید رویکردهای هوشمند را با محاسبات سنتی ادغام کرد تا خطاهای ناشی از پیکسل‌های مزاحم، مانند سایه‌ها (Movia et al., 2016) را که می‌توانند بیش از ۳۰ تا ۳۵٪ تصویر را بپوشانند و باعث ازبین‌رفتن اطلاعات مفید شوند، کاهش داد (Gao et al., 2018; Sanin et al., 2012). تغییرات و جابه‌جایی‌های سایه‌ها، پوشش گیاهی و عوارضی مانند خودروها نیز باعث تغییرات ارتفاعی در مدل رقومی سطح چندزمانه می‌شود؛ اما جزء کلاس ساخت‌وساز یا تخریب ساختمان به شمار نمی‌رود. در تحقیقات گذشته، با استفاده از محصولات جانبی دیگر همچون شاخص نرمال‌شده تفاوت پوشش گیاهی (NDVI)، اثر سایه از مدل رقومی سطح حذف شده و در بررسی تغییرات ارتفاعی عوارض انسان‌ساخت، نتایج ارزشمندی به دست آمده بود (Gao et al., 2018).

هدف این مقاله طرح رویکردی جدید برای شناسایی تغییرات ساختمان‌ها در مناطق شهری، بر مبنای تغییرات ارتفاعی است که به شناسایی ساخت‌وسازهای غیرمجاز

1. Maximum Likelihood

و به درستی، درزمره اهداف اصلی، شناسایی نمی‌شوند. در این معیار، طبق رابطه (۲)، نسبت مجموع تعداد عناصری که به درستی تشخیص داده شده‌اند به جمع تمامی رخدادهای در تمامی حالات، محاسبه می‌شود. این معیار برای محاسبه کیفیت الگوریتم‌ها به کار می‌رود.

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

رابطه (۲)

۲-۲-۲- ضریب کاپا

معیار کاپا، با استفاده از ماتریس اغتشاش، الگوریتم را با یک الگوریتم طبقه‌بندی تصادفی مقایسه و اعلام می‌کند که عملکرد آن تا چه حد بهتر از الگوریتم تصادفی بوده است. این معیار طبق رابطه (۳) محاسبه می‌شود. مقدار این ضریب عددی بین ۱- تا ۱+ خواهد بود؛ هرچه به ۱+ نزدیک‌تر باشد، گویای توافق بیشتر بین مقیاس‌ها و هرچه به ۱- نزدیک‌تر باشد، نشان‌دهنده توافق کمتر بین آن‌هاست. از طرف دیگر، اگر ضریب توافق کاپا صفر شود، فقدان توافق کامل را می‌رساند.

$$\text{Kappa} = \frac{\text{Pr}(a) - \text{Pr}(e)}{1 - \text{Pr}(e)} \quad (3)$$

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

۳- شناسایی مؤلفه‌های اجرایی فرایند پیشنهادی

فرایند پیشنهادی با استفاده از سه مؤلفه حد آستانه ارتفاع، حد آستانه مساحت و نسبت طول به عرض اجرا می‌شود؛ روش تعیین مقادیر بهینه، برای هر یک از مؤلفه‌ها، در ادامه می‌آید.

۳-۱- حد آستانه ارتفاع

به منظور شناخت مناسب‌ترین مقدار برای حد آستانه ارتفاع در مورد کلاس ساختمان در مناطق شهری، مطابق شکل ۱،

۲-۲- اعتبارسنجی و محاسبه دقت فرایند پیشنهادی
با توجه به اجرای فرایند پیشنهادی با استفاده از ترکیب سه مؤلفه‌ای که به تولید رخدادهای گوناگون می‌انجامد، باید معیارهایی را بررسی کرد تا بتوان دقت اجرای یک الگوریتم را در شناسایی اهداف در تصاویر سنجش‌ازدوری، ارزیابی نمود و به این ترتیب، رخدادهای را که می‌تواند به بهترین دقت برسد، شناسایی کرد. با سنجش حالت‌های متفاوتی که ممکن است در اجرای یک الگوریتم رخ دهد، عامل کنار گذاشتن یا انتخاب آن الگوریتم بر این اساس مشخص می‌شود. به همین ترتیب، برای شمارش تعداد اهداف واقعیت زمینی و آنچه الگوریتم پیش‌بینی و شناسایی می‌کند، ماتریس اغتشاش به کار می‌رود. این جدول به صورت جداگانه برای هر رخداد تشکیل شده و دقت کلی آن براساس نقشه واقعیت زمینی تنظیم شده است؛ بنابراین چهار حالت پیش می‌آید که در آن مشاهده می‌شود.

جدول ۱. ماتریس اغتشاش

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

به طور خلاصه، رفتار فرایند پیشنهادی برپایه اهداف شناسایی‌شده در این چهار حالت بررسی می‌شود: 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).
در ادامه، معیارهای ارزیابی دقت الگوریتم‌های شناسایی هدف بیان می‌شود.

۲-۲-۱- دقت کلی

صحت اجرای الگوریتم، در حالت‌های TP و TN، برقرار است؛ یعنی فقط اهدافی که به درستی شناسایی شده‌اند

در منطقه مطالعاتی اول (شهر یزد) که مدل رقومی اختلاف (DDM)^۱ دارای ابعاد پیکسل چهل‌سانتی‌متری است، مساحت یک پیکسل برابر با ۰/۱۶ مترمربع است. در مناطق شهری که مساحت ساختمان‌های مسکونی دارای ابعاد و اندازه‌های متفاوتی است، ابتدا باید درمورد منطقه شناخت به دست آورد و مقدار حد آستانه مساحت را، با دیدگاه کامل و صحیح، تعیین کرد. در منطقه مطالعاتی دوم (شهر مهریز) که ابعاد مدل رقومی اختلاف برابر با ۱۰ سانتی‌متر است و مساحت هر پیکسل ۰/۰۱ مترمربع می‌شود، نیاز به تبدیل وضعیت در یکسان‌سازی مقادیر میان دو منطقه مطالعاتی وجود دارد. سپس متناسب با هدف تعیین‌شده، با اعمال حد آستانه‌ای که عوارض شناسایی شده را براساس مساحت آن‌ها از یکدیگر تفکیک می‌کند، می‌توان عوارض مورد نظر را استخراج کرد. این کار با بررسی و اعتبارسنجی ده مورد از ساختمان‌های منطقه مطالعاتی که در تصویر اول وجود نداشتند و در تصویر دوم ظاهر شده‌اند — به معنی ساخت‌وساز — انجام شد.

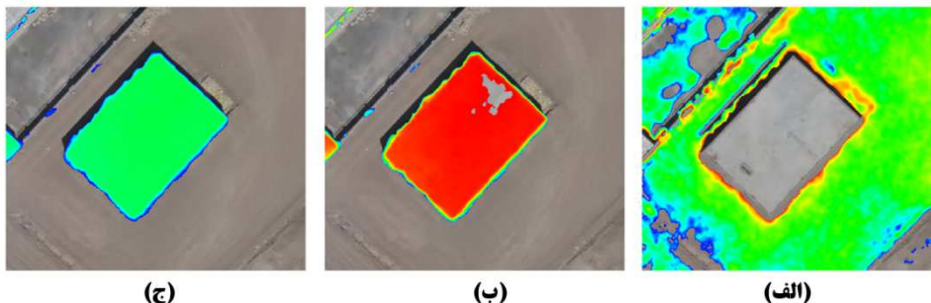
۳-۳- نسبت طول به عرض

در تمامی مناطق شهری و غیرشهری، عوارضی مانند خودروها حضور دارند که با توجه به نوعشان، ارتفاع‌های متفاوتی دارند. در پی بررسی‌های انجام‌شده و تعیین کلاس خودروهای سواری و تجاری، مانند اتوبوس‌ها و تریلرها، این عوارض از حدود ارتفاع ۰/۵ متر تا ۳/۵ متر مشاهده می‌شوند.

مدل رقومی اختلاف، در بازه‌های ارتفاعی گوناگون، بررسی و حد آستانه ارتفاع‌های متفاوت، روی این هدف، اعمال شد و سپس رفتار عارضه در ارتفاع‌های متفاوت، به ترتیب در ۰ تا ۱ متر، ۱ تا ۵ متر و ۱ تا بیشترین مقدار مدل رقومی اختلاف، بررسی شد. مشاهده می‌شود که امکان نمایش ساختمانی مسکونی، با ارتفاعی کمتر از ۱ متر، وجود ندارد. در مقابل، مدل رقومی اختلاف، از ارتفاع ۱ متر به بالا همواره رفتار منظم و مشخصی دارد و سطح پیوسته‌ای را که نشان‌دهنده یک ساختمان باشد، نمایش می‌دهد. ولی اگر این مقدار بین دو عدد محدود شده باشد، احتمال شامل‌شدن عارضه در میان اهداف نهایی، با توجه به بخش‌های ناپیوسته‌ای که تشکیل می‌شود، کاهش می‌یابد.

۲-۳- حد آستانه مساحت

پس از استخراج پیکسل‌های بیشتر از حد آستانه ارتفاع، باید سطح ناحیه‌ای که هدف شناخته می‌شود، در ارتفاعی یکسان، ابتدا به یکدیگر متصل شود؛ پس از تشکیل سطحی پیوسته، حد آستانه مساحت بر آن اعمال شود تا از دیگر عوارض موجود در منطقه نیز تفکیک شود. مناسب‌ترین مقدار، برای حد آستانه مساحت، با آزمون‌وخطا و اعتبارسنجی نتایج هر مقدار تعیین می‌شود. شایان ذکر است که با توجه به ابعاد مدل رقومی اختلاف، در گام نخست، باید مساحتی را شناسایی کرد که نشان‌دهنده ساختمانی کامل است و میزان دقت در شناسایی اهداف را نیز با استفاده از آن سنجید.



شکل ۱. بررسی تغییرات ارتفاعی در حد آستانه‌های متفاوت، با استفاده از مدل رقومی اختلاف: اعتبارسنجی مدل رقومی اختلاف در ۰ تا ۱ متر (الف)؛ در ۱ تا ۵ متر (ب)؛ در ۱ متر تا بیشترین مقدار مدل رقومی اختلاف (ج)

1. Digital Difference Model

برای شناسایی و آشکارسازی تغییرات از داده‌های دارای قدرت تفکیک مکانی بالا، به صورت سه‌بعدی، است که به صورت چندزمانه تهیه شده‌اند. در این شیوه، از فرایند دومرحله‌ای، شامل تولید یک مدل رقومی اختلاف از مدل رقومی سطح و اعمال حدهای آستانه روی آن، استفاده شده تا با روش مقایسه پس از طبقه‌بندی، از طریق حذف اثر عوارض مزاحم در منطقه، تغییرات عوارض نام‌برده شناسایی و جداسازی شود.

در گام اول، مدلی نسبتاً عاری از تأثیرات سایه و پوشش گیاهی به دست می‌آید که امکان تشخیص دقیق‌تر اهداف مورد نظر را در مناطق مسکونی، فراهم می‌کند. با تهیه نقشه واقعیت زمینی از مدل رقومی اختلاف، اعتبار اهداف شناسایی شده ارزیابی و با استفاده از تصاویر ارتوفتوموزائیک زمان‌های اول و دوم، شناسایی هدف اعتبارسنجی می‌شود. در این مرحله، مقدار مناسب مؤلفه‌های مؤثر در شناسایی تغییرات، در رخدادهای گوناگون، بررسی می‌شود و در نهایت، با شمارش اهداف صحیح، اشتباه و جافتاده و براساس معیارهای اندازه‌گیری دقت، مواردی که به بیشترین دقت رسیدند به‌منزله پارامترهای اجرایی ثبت می‌شوند.

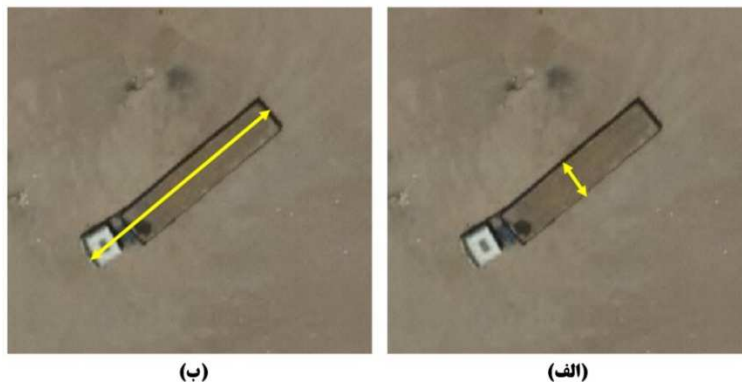
اجزای ساختمان‌ها، مانند خرپشته و سایه‌بان، پوشش گیاهی و خودروهای موجود در صحنه جزء اهداف مورد نظر در شناسایی تغییرات نیستند و با کمک فیلترهایی همچون نسبت طول به عرض که روی اهداف اولیه اعمال

با توجه به هدف مقاله، برای حذف اثر خودروها از نتایج نهایی، باید از هندسه عوارض استفاده کرد تا نسبت دو مؤلفه هندسی اهداف شناسایی شده در گام‌های قبلی را که به ترتیب برابرند با طول (محور بزرگ) و عرض (محور کوچک)، به دست آورد و مقادیر بیشتر از حد آستانه 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 اما جزء کلاس هدف مورد نظر، که باید ساختمان باشد، نیستند و باید از نتایج حذف شوند. در شکل ۲، مؤلفه‌های هندسی یک عارضه مشاهده می‌شود. در خودروهای سواری که ابعادشان از خودروهای تجاری کوچک‌تر است، نسبت طول به عرض همانند اجزای ساختمان‌ها، مانند خرپشته و موارد دیگر، به دست می‌آید. از دیگر سو این نوع عوارض، با توجه به ابعاد کوچک‌تر از حد آستانه مساحت، پیش از این مرحله حذف شده‌اند.

فرایند پیشنهادی، با ترکیب این سه مؤلفه و تولید رخدادهای گوناگونی که هر یک مقادیر متفاوتی دارد، اجرا شد و مناسب‌ترین مقادیر هر مؤلفه، براساس اعتبارسنجی دقت آن رخداد، انتخاب شد.

۴- مواد و روش‌ها

روش این مقاله، با تأکید و تمرکز بر ساختمان‌ها و توده‌های خاک‌ریزی و خاک‌برداری، بیان رویکردی جدید



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

ارتوفتوموزائیک و مدل رقومی سطح و با پیش‌فرض هم‌مرجع مکانی بودن و در محدوده مجاز قراردادن خطاهای تولید آن‌ها، تهیه شده است. فاصله زمانی دو تصویر، در منطقه مطالعاتی اول (شهر یزد)، دو ماه و از ابتدای اسفند ۱۳۹۹ تا انتهای فروردین ۱۴۰۰ و در منطقه مطالعاتی دوم (شهر مهریز)، سه سال و از ابتدای بهمن ۱۳۹۸ تا انتهای فروردین ۱۴۰۱ است.

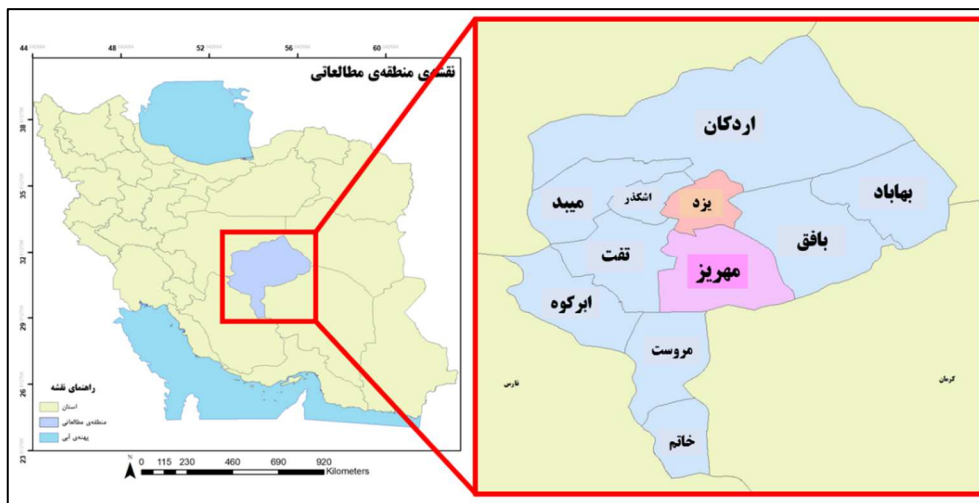
۴-۲- داده‌های مورد استفاده

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

می‌شوند، از اهداف نهایی کنار گذاشته و از شمارش آن‌ها خودداری می‌شود. به‌طور پیش‌فرض، خطای ناشی از تولید محصولات فتوگرامتری در حد مجاز در نظر گرفته شد تا این خطاها، در نتایج نهایی، اثرگذار نباشند.

۴-۱- منطقه مورد مطالعه

منطقه مورد مطالعه، در این مقاله، شامل دو ناحیه شهری در شهرستان‌های یزد و مهریز است که در موقعیت $31/52$ تا 32 درجه عرض جغرافیایی و $54/26$ تا $54/57$ درجه طول جغرافیایی و در منطقه ۴۰ سیستم تصویر UTM قرار دارند. این منطقه جزء فلات مرکزی ایران است و در منطقه‌ای مسطح، میان کوه‌های شیرکوه و خرانق، قرار دارد. متوسط ارتفاع شهرستان یزد، از سطح دریا، 1200 و شهرستان مهریز، 1400 متر است. داده‌های مورد بررسی این مناطق، از طریق عکس‌برداری هوایی و به‌روش فتوگرامتری، براساس تصویر



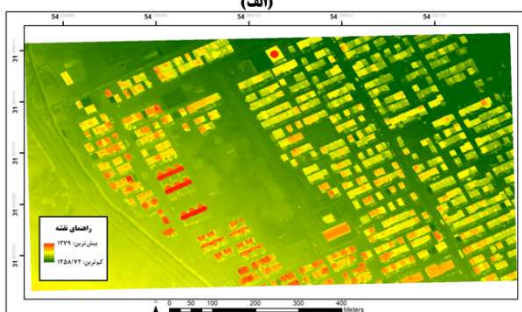
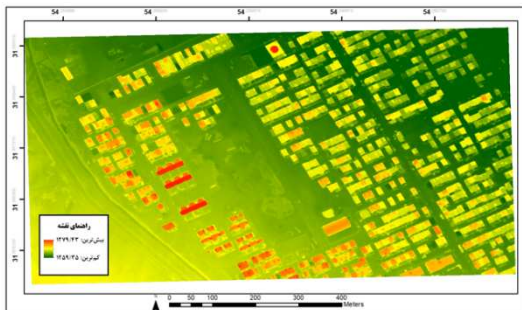
شکل ۳. نقشه منطقه مطالعاتی اول (یزد) و دوم (مهریز) و موقعیت جغرافیایی آن‌ها

جدول ۲. مشخصات ابزار تهیه داده‌ها

ردیف	منطقه مطالعاتی	تصویر	زمان تهیه	پرنده	دوربین	GSD	فاصله کانونی
۱	اول (یزد)	اول	اسفند ۱۳۹۹	جایرو کوپتر	Phase One	۶ سانتی‌متر	۱۰۰ میلی‌متر
		دوم	فروردین ۱۴۰۰	پرنده سرنشین‌دار	FujiFilm GFX100	۴ سانتی‌متر	۵۰ میلی‌متر
۲	دوم (مهریز)	اول	بهمن ۱۳۹۸	DJI فانتوم ۴ پرو	DJI فانتوم ۴ پرو	۲ سانتی‌متر	۸/۸ میلی‌متر
		دوم	فروردین ۱۴۰۱	پرنده سرنشین‌دار	FujiFilm GFX100	۴ سانتی‌متر	۵۰ میلی‌متر



شکل ۵. تصاویر ارتوفتوموزائیک منطقه مطالعاتی اول (شهر یزد): تصویر زمان اول (۱۳۹۹) (الف); تصویر زمان دوم (۱۴۰۰) (ب)



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

بررسی‌های انجام‌شده در منطقه مطالعاتی اول (شهر یزد) تغییراتی در کلاس‌های ساختمان، اجزای ساختمان (خرپشته، سایه‌بان، ...)، 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 (شکل ۴). تصاویر ارتوفتوموزائیک این منطقه که در شکل ۵ آورده شده، به‌ترتیب، درمورد تصویر زمان اول و دوم با دقت زمینی ۶ و ۴ سانتی‌متر تهیه شده و دارای پیکسل‌هایی با ابعاد ۱۰ سانتی‌متر است. مدل رقومی سطح این منطقه دارای دقت ارتفاعی ۳۰ سانتی‌متر و پیکسل‌های آن به ابعاد ۴۰ سانتی‌متر است. با توجه به شکل ۶، حداقل ارتفاع منطقه به‌همراه عوارض آن، در زمان اول، ۱۲۵۹/۳۵ و حداکثر آن ۱۲۷۹/۴۳ متر است. در زمان دوم، این مقادیر به‌ترتیب، ۱۲۵۸/۷۲ و ۱۲۷۹ متر است.

بررسی‌های انجام‌شده در منطقه مطالعاتی دوم (شهر مهریز) از نظر تغییرات ارتفاعی، تغییراتی را 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 نمایش می‌دهد.



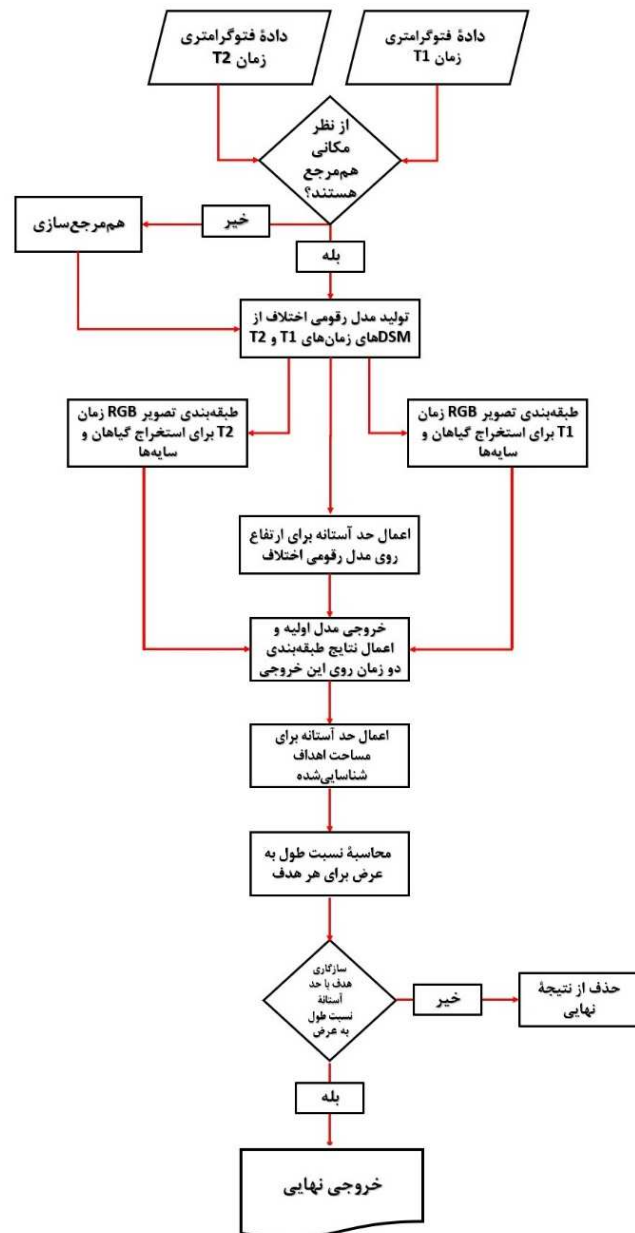
شکل ۴. اهداف بررسی‌شده در مقاله، شامل ساختمان، اجزای ساختمان (خرپشته و سایه‌بان)، دیوارکشی، توده خاک‌ریزی، خودروها

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 فرایند اجرای مقاله را نمایش می‌دهد، در ابتدا لازم است داده‌های زمان اول و دوم، از لحاظ

تصاویر ارتوفتوموزائیک این منطقه به‌ترتیب، برای تصویر زمان اول و دوم، با دقت زمینی ۲ و ۴ سانتی‌متر تهیه شده‌اند و پیکسل‌هایی به ابعاد ۱۰ سانتی‌متر دارند. مدل رقومی سطح این منطقه دارای دقت ارتفاعی ۳۰ سانتی‌متر و پیکسل‌هایی با ابعاد ۱۰ سانتی‌متر است. حداقل ارتفاع، در زمان اول، ۱۴۴۱/۳۱ و حداکثر آن ۱۴۸۳/۸ متر است. این مقادیر در زمان دوم، به‌ترتیب،



شکل ۷. فلوچارت روند اجرای فرایند پیشنهادی

آن را نام برد. از دیگر سو اگر در عملیات عکس‌برداری، عملیات مثلث‌بندی، تهیه نقاط کنترل زمینی و تولید محصولات فتوگرامتری خطایی وجود داشته باشد، این خطا در مدل رقومی اختلاف نیز ظاهر می‌شود و نتایج کاملاً اشتباه را نمایش می‌دهد و اگر مبنای محاسباتی قرار بگیرد، نتایج آن نیز اشتباه است.

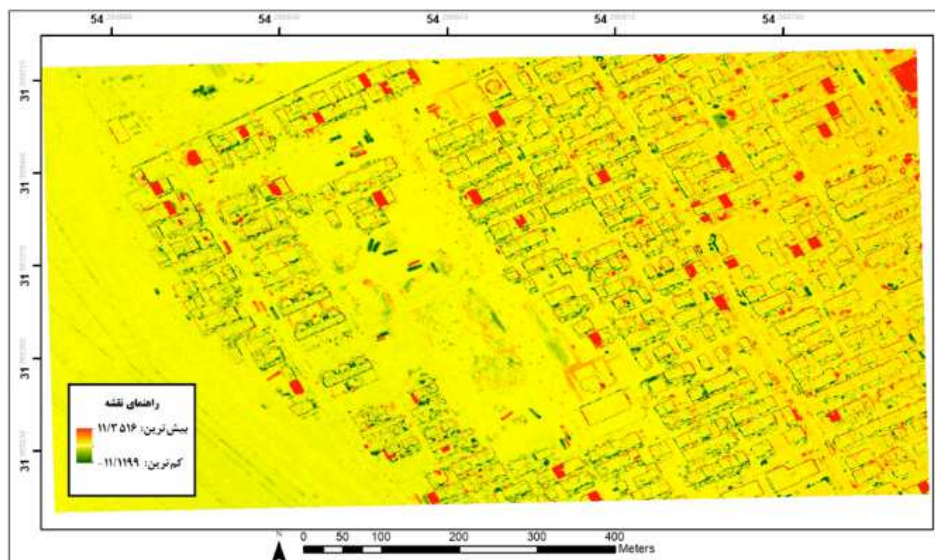
$$\text{رابطه (۴)} \quad \text{DDM} = \text{DSM}_{T2} - \text{DSM}_{T1}$$

با توجه به شکل ۸، در مدل رقومی اختلاف تولیدشده که به منطقه مطالعاتی اول (شهر یزد) تعلق دارد، مناطق دارای رنگ قرمز نشان‌دهنده عوارضی‌اند که با توجه به الگوی نمایش مدل، دچار تغییرات ارتفاعی مثبت شده‌اند. از سوی دیگر، ناحیه‌هایی با رنگ سبز تیره مشاهده می‌شوند که بیانگر تغییرات ارتفاعی منفی، به معنی جابه‌جایی یا تخریب عارضه‌اند. بخش عمده منطقه مورد مطالعه که تغییرات ارتفاعی در آن‌ها، از نظر مؤلفه‌های فرایند پیشنهادی، کمتر از مقدار مورد بررسی است، با رنگ زرد مشاهده می‌شود.

هم‌مرجع بودن مکانی، بررسی شوند؛ به این صورت که موقعیت پیکسل چند عارضه، مانند دکل، دیوار و یا گوشه‌ای از ساختمان که در طول زمان، تغییرشکل هندسی و ارتفاعی نداشته و ثابت بوده‌اند، در هر دو تصویر ارتوفتوموزائیک و هر دو مدل رقومی سطح، باید یکسان باشد. با توجه به متفاوت بودن زمان عکس‌برداری هوایی، این مورد شامل ثابت‌بودن سایه‌ها نمی‌شود.

در صورت برقراربودن شرط هم‌مرجع بودن داده‌ها، می‌توان مراحل بعدی را انجام داد. مدل رقومی اختلاف عبار است از تصویری در ابعاد مدل‌های رقومی سطح که ابعاد پیکسل‌های آن نیز به همان اندازه است و از راه 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، این سه متر را می‌توان مشاهده کرد. این محصول مبنای بررسی تغییرات ارتفاعی عوارض است.

از ویژگی‌های مدل رقومی اختلاف، می‌توان حساسیت‌نداشتن به توپوگرافی منطقه و اثرپذیر نبودن از



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

هرچه فاصله زمانی دو تصویر از یکدیگر بیشتر باشد، احتمال وجود خطا نیز افزایش می‌یابد؛ به گونه‌ای که ممکن است، حتی با اعمال فیلتر نتایج طبقه‌بندی بر نتایج محاسبه شده، خطاهای اشاره شده حذف نشوند زیرا در فاصله زمانی بیشتر از سه ماه، عوامل دیگری مانند تغییر زاویه تابش خورشید و تغییر پوشش زمین، انکارناپذیر خواهد بود. البته در برخی مواقع، اعمال فیلتر طبقه‌بندی باعث از بین بردن و شمارش نشدن هدفی در نتایج نهایی می‌شود. همان‌طور که در شکل ۹ دیده می‌شود، اگر در نقطه‌ای در زمان اول، سایه‌ای وجود داشته باشد که در زمان دوم، عارضه‌ای جدیدی در آن نقطه ایجاد شده باشد، با اعمال این فیلتر و طی اجرای فرایند پیشنهادی، بخشی از مساحت عارضه از بین می‌رود. بنابراین ممکن است آن عارضه، در زمره اهداف نهایی، شناسایی و استخراج نشود. در شکل ۹-ج، عارضه ایجاد شده با رنگ زرد مشخص شده است. به‌طور کلی، نمی‌توان از مرحله فیلترگذاری صرف‌نظر کرد زیرا وجود پوشش گیاهی و سایه‌های فراوان باعث افزایش تصاعدی خطا در محاسبه و ارزیابی حدهای آستانه گوناگون، طی آزمایش فرایند پیشنهادی می‌شود. در پژوهش‌های گذشته، روش حد آستانه‌گذاری در شناسایی عوارض را اصلی‌ترین عامل به‌کارگیری مدل رقومی سطح دانسته‌اند. حد آستانه از طریق آزمون‌وخطا و بررسی منطقه به دست می‌آید (Shah Tahmassebi et al., 2013). ابتدا باید مؤلفه‌هایی محاسبه شوند که به شناسایی و استخراج اهداف کمک می‌کنند. این گام در دو مرحله و با تعریف مؤلفه‌های حد آستانه ارتفاع و حد آستانه مساحت انجام می‌شود. اولین مؤلفه مقدار پیکسل‌های مدل رقومی اختلاف، به‌منزله نمایش‌دهنده تغییرات ارتفاعی است. با اعمال مرحله اول حد آستانه‌گذاری، تصویری دودویی تولید می‌شود که در آن عوارض دارای ارتفاع کمتر از حد آستانه ارتفاع، برای مراحل بعدی، از داده محاسباتی اولیه حذف می‌شود. در مرحله دوم و با اعمال حد آستانه مساحت، پیکسل‌های هم‌ارتفاعی که در همسایگی یکدیگر قرار دارند، به‌صورت سطوح به‌هم‌پیوسته تعریف و به‌منزله اهداف محاسباتی مراحل بعدی، استخراج می‌شوند.

پس از تولید مدل رقومی اختلاف، ابتدا فیلتر Median برای نرم‌سازی نقاط شارپ روی تصویر، اعمال می‌شود تا اثرگذاری در محاسبات کاهش یابد. یکی از ساده‌ترین راه‌حل‌ها برای تأثیرنگذاشتن پوشش گیاهی و سایه‌ها در نتایج نهایی، با توجه به رفتار طیفی مشابه این دو عارضه در تصاویر RGB، طبقه‌بندی تصاویر ارتوفتوموزائیک و اعمال نتیجه آن به‌صورت مقادیر نظیر به‌نظیر پیکسل‌ها به مدل رقومی اختلاف است. در گام بعدی، این عملیات روی تصاویر ارتوفتوموزائیک زمان‌های اول و دوم، در دو کلاس نویز و سایر عوارض، انجام می‌شود تا نتایج آن، به مدل رقومی اختلاف، اعمال شود. اثر این دو عارضه، در 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 به‌صورت مقادیر منفی - یعنی واقعه تخریب - دیده می‌شود. این اثر در تصویر زمان دوم، در مقادیر مثبت - یعنی واقعه ساخت - ظاهر می‌شود. شایان ذکر است که این مورد در حالت کلی رخ می‌دهد و احتمال بروز نتایج برعکس و موارد استثنا نیز وجود دارد. در مورد پوشش گیاهی منطقه نیز، با توجه به تغییرات ارتفاعی دائمی این نوع عارضه، امکان شمارش درختان و بوته‌ها جزء اهداف مورد نظر (در این مقاله، ساختمان‌ها) بسیار زیاد خواهد بود. این کار با استفاده از روش‌های طبقه‌بندی تصویر، در دو کلاس پس‌زمینه (سایر عوارض) و نویز (سایه و پوشش گیاهی)، از طریق روش بیشترین شباهت که مورد اعتمادترین طبقه‌بندی‌کننده است (Wu et al., 2016)، طبق رابطه (۱) انجام شد. نمونه نتیجه طبقه‌بندی تصاویر ارتوفتوموزائیک، برای حذف سایه ساختمان، در شکل ۷ مشاهده می‌شود. در مورد پوشش گیاهی نیز، مشابه سایه عمل می‌شود. با انجام دادن این مرحله مقدار پیکسل‌هایی که در کلاس نویز قرار دارند، در مدل رقومی اختلاف، صفر خواهد شد و به این ترتیب، داده خام ورودی آماده پردازش‌های شناسایی اهداف می‌شود. در نتیجه اعمال نتایج طبقه‌بندی به‌منزله فیلتر حذف نویز، دقت اجرای فرایند افزایش می‌یابد و به بیشترین مقدار خواهد رسید.



شکل ۹. شناسایی و حذف خطاها با کمک طبقه‌بندی تصویر. رنگ قرمز نشان‌دهنده پس‌زمینه و رنگ سبز نمایش‌دهنده سایه و پوشش گیاهی است. اثر سایه در منطقه مطالعاتی اول (شهر یزد) حذف می‌شود: تصویر زمان اول (اسفند ۱۳۹۹) (الف)؛ تصویر طبقه‌بندی زمان اول (ب)؛ تصویر زمان دوم (فروردین ۱۴۰۰). عارضه جدید با رنگ زرد مشخص شده است (ج)؛ تصویر طبقه‌بندی زمان دوم (د)

زمینی به دست می‌آید، اهدافی از نتایج حذف می‌شوند؛ این اهداف با شرط حدهای آستانه سازگارند ولی در کلاس عارضه مورد نظر نیستند. برای نمونه، عوارضی مانند اتوبوس، کامیون، سایه‌بان‌ها که از نظر هندسی، طول آن‌ها از عرضشان بیشتر است و به شکل مستطیل‌های با طول بیشتر ظاهر شده‌اند، در این مرحله، از اهداف نهایی حذف می‌شوند.

در این مرحله برای هر هدف شناسایی‌شده، پنج مؤلفه محاسبه و در جدولی ذخیره می‌شوند 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. در گام بعدی، با استفاده از مؤلفه نسبت طول به عرض و اعمال مقدار مناسبی که به کمک نقشه واقعیت

	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 محاسبه‌شده برای اهداف نهایی: ستون‌های ۱ تا ۵، به ترتیب، عبارت‌اند از شناسه اختصاصی شمارنده هدف، میانگین مقدار مدل رقومی اختلاف در سطح هدف، مقدار مرکز هدف در تصویر زمان T1، مقدار مرکز هدف در تصویر زمان T2، نسبت طول به عرض هدف

برای شناسایی عوارض و اهداف مورد نظر مقاله که در اینجا فقط شامل ساختمان‌ها و توده‌های خاکریزی می‌شود، لازم است ابتدا نقشه واقعیت زمینی، برای هر دو منطقه مطالعاتی، تهیه شود. بدین منظور، از مدل رقومی اختلاف استفاده می‌شود و مقادیر پیکسل‌های آن، از ارتفاع ۱ متر به بالا، فیلتر می‌شود. سپس با اعتبارسنجی مقایسه‌ای در کنار تصویر ارتوفتوموزائیک، به‌صورتی که در ادامه توضیح داده می‌شود، اهداف به‌صورت دستی شناسایی می‌شوند و سطح آن‌ها، به‌شکلی که از سایر عوارض متمایز گردند، ترسیم می‌شود. با توجه به حد آستانه ارتفاعی مورد نظر، در منطقه مطالعاتی اول (شهر یزد)، ۴۱ هدف و در منطقه مطالعاتی دوم (شهر مهریز)، ۶۵ هدف شناسایی شد.

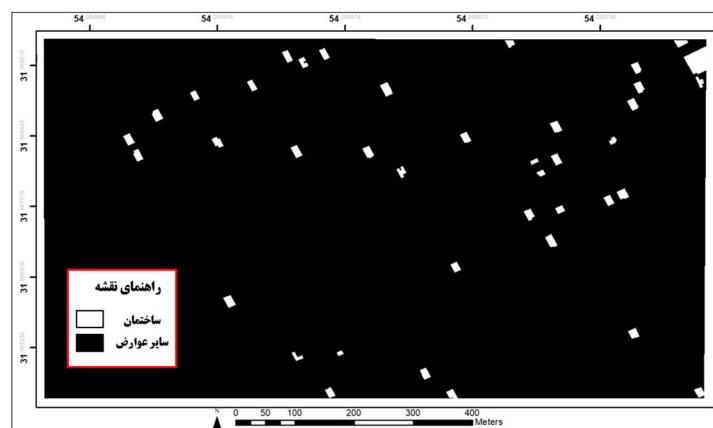
در انتها، اهداف نهایی که با تمامی شرایط سازگارند، یک مرتبه به‌صورت تصویر دودویی و یک مرتبه روی تصویر ارتوفتوموزائیک زمان دوم، به‌همراه شناسه شماره‌دهنده هدف، نمایش داده می‌شوند (شکل ۱۱). طبیعی است اهدافی که با واقعیت زمینی تطابق ندارند در میان اهداف نهایی وجود داشته باشند. در نهایت، اهدافی که از طریق فرایند پیشنهادی شناسایی شده‌اند شمارش می‌شوند و با واقعیت زمینی بررسی و مطابقت داده می‌شوند؛ از این راه، میزان دقت کلی فرایند پیشنهادی، با کمک معیارهای متداول، محاسبه و ارزیابی می‌شود. در نهایت، عواملی که باعث کاهش و افزایش دقت شناسایی اهداف می‌شوند، بررسی و پیشنهادهایی که به حذف حداکثری عوامل مزاحم از روند اجرا منجر می‌شود، بیان خواهد شد.



(ب)

(الف)

شکل ۱۱. خروجی فرایند پیشنهادی: در تصویر باینری خروجی، اهداف نهایی با رنگ سفید مشخص شده‌اند و شماره‌دهنده آن‌ها نیز با رنگ قرمز، در بالای هر هدف، مشاهده می‌شود (الف)؛ نظیر اهداف نهایی، روی تصویر ارتوفتوموزائیک زمان دوم، نمایش داده شده است (ب)



شکل ۱۲. نقشه واقعیت زمینی تهیه‌شده برای منطقه مطالعاتی اول (شهر یزد): شمارش اهداف محاسبه‌شده و ارزیابی دقت اجرای فرایند از طریق این داده انجام می‌شود

نشریه سنجش از دور و GIS ایران
سال ۱۸، شماره ۱، بهار ۱۴۰۵

۵- نتایج و بحث

باید اشاره کنیم که فرایند پیشنهادی فقط در مناطقی، همچون مناطق مطالعاتی این مقاله، به نتایج مشابه می‌رسد. برای نمونه، در مناطقی مانند شهر تهران که ارتفاع ساختمان‌های آن بیشتر از ساختمان‌های مناطق مورد مطالعه ما است، ابتدا باید مقادیر متفاوت حدهای آستانه آزمایش و ارزیابی شوند و سپس برای شناسایی ساختمان‌های جدید، اقدام کرد.

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

۵-۱-۱- منطقه مطالعاتی اول (شهر یزد)

در جدول ۳، نتایج اجرای فرایند پیشنهادی که براساس سه مؤلفه نام‌برده، به صورت گام‌به‌گام در بیست رخدادهای گوناگون انجام شد، مشاهده می‌شود. در این پژوهش، صرفاً رخدادهایی بررسی می‌شود که به دقت کلی بیشتر از ۸۰٪ رسیدند. با شمارش تعداد کل اهدافی که هر رخداد شناسایی می‌کند، تعداد اهداف صحیح و اشتباه و جافتاده، و دقت کلی شناسایی هر رخداد براساس معیارهای ارزیابی دقت، با استفاده از ماتریس اغتشاش، محاسبه شد. با مرتب‌سازی نتایج، با در نظر گرفتن مؤلفه دقت کلی بر مبنای مقدار کمتر به بیشتر، بالاترین دقت کلی به دست می‌آید؛ این مقدار در رخداد حد آستانه ارتفاع ۱ متر، حد

آستانه مساحت ۲۰۰ پیکسل و نسبت طول به عرض ۳/۵، با مقدار ۰/۹۰۵ (۹۰٪/۵) حاصل شد. ضریب کاپا نیز، در این حالت، به ۰/۹۲۱ می‌رسد. بنابراین مقادیر مؤلفه‌های این رخداد، در منطقه مطالعاتی دوم (شهر مهریز)، بررسی و نتایج آن‌ها با یکدیگر مقایسه می‌شود.

۵-۱-۲- منطقه مطالعاتی دوم (شهر مهریز)

اندازه پیکسل‌های مدل رقومی اختلاف این منطقه برابر با ۱۰ سانتی‌متر (۰/۰۱ مترمربع) است. بنا بر پارامترهای تعیین‌شده در منطقه مطالعاتی اول (شهر یزد)، ۲۰۰ پیکسل برای حد آستانه مساحت که برابر با ۳۲ مترمربع است، با اعمال ضریب ۱۶ برای معادل‌سازی این مقدار در منطقه 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 منطقه مطالعاتی دوم (شهر مهریز) نشان می‌دهد که اعمال حد آستانه ارتفاع ۱ متر و حد آستانه مساحت ۲۰۰ پیکسل بهترین نتیجه را در بر دارد اما، با تغییر نسبت طول به عرض از ۳/۵ به ۴، نتایج مورد اعتمادتری حاصل می‌شود؛ به گونه‌ای که در رخداد با نسبت طول به عرض برابر ۴، هنگامی که کاهش یک‌واحدی در تعداد اهداف خطا ایجاد می‌شود، دقت کلی در بالاترین حالت افزایشی

جدول ۳. نتایج اجرای الگوریتم با دقت کلی بالاتر از ۸۰٪ در منطقه مطالعاتی اول (شهر یزد)

ردیف	حد آستانه ارتفاع (متر)	حد آستانه مساحت (پیکسل)	نسبت طول به عرض	تعداد کل اهداف	صحیح TP	خطا FP	جاافتاده FN	Overall Accuracy	Kappa
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
۴	۱	۲۰۰	۴	۴۱	۳۸	۳	۳	۰/۸۶۴	۰/۹۲۱
۵	۱	۲۰۰	۵	۴۱	۳۸	۳	۳	۰/۸۶۴	۰/۹۲۱
۶	۱	۱۵۰	۳/۵	۴۳	۳۹	۴	۲	۰/۸۶۷	۰/۹۴۹
۷	۱	۲۰۰	۳	۳۸	۳۷	۱	۴	۰/۸۸۱	۰/۸۹۲
۸	۱	۲۰۰	۳/۵	۳۹	۳۸	۱	۳	۰/۹۰۵	۰/۹۲۱

حدود سه درصدی می‌یابد و از ۸۰/۸٪ به ۸۳/۶٪ می‌رسد. ضریب کاپا نیز ۰/۹۳۴ به دست می‌آید. جدول ۴ نتایج اجرا، بررسی، تحلیل و ارزیابی فرایند پیشنهادی در رخدادهای گوناگون را، در منطقه مطالعاتی دوم (شهر مهریز)، نشان می‌دهد.

یکی از دلایل تفاوت نتایج این منطقه، با منطقه مطالعاتی اول، نسبت طول به عرض و تفاوت در ابعاد پیکسل مدل رقومی اختلاف است. از طرف دیگر، چند عارضه ساختمانی در این منطقه وجود دارد که به دلیل شکل هندسی مشابه با خودروهای بزرگ (مانند اتوبوس)، با اعمال مؤلفه نسبت طول به عرض، از نتایج نهایی حذف می‌شوند. بنابراین با اعمال مقدار ۳/۵ برای نسبت طول به عرض، دقت بالای ۸۰٪ حاصل شد. از آنجاکه روش پیشنهادی در دو منطقه مطالعاتی اجرا شد، نتایج نشان می‌دهد که امکان اعتبارسنجی فرایند پیشنهادی وجود دارد.

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

برای ارزیابی نتایج اعمال فیلترهای حذف نویزها بر مدل رقومی اختلاف، باید اثر اعمال کردن/ نکردن آن‌ها در نتایج نهایی محاسبه شود. بنابراین، با توجه به نتایج منطقه مطالعاتی اول (شهر یزد) و رخداد دارای بالاترین دقت کلی (۹۰/۵٪)، در این مرحله، صرفاً این مورد بررسی شد. در ابتدا تمامی فیلترها و مؤلفه 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 اعمال نشدن فیلترهای گفته‌شده است؛ به گونه‌ای که تمامی اهداف واقعیت زمینی شناسایی می‌شود و هیچ هدف شناسایی نشده‌ای باقی نمی‌ماند. اما با افزایش چندبرابری تعداد اهداف اشتباه (FP) مواجه می‌شویم؛ در نتیجه، معیارهای ارزیابی دقت نیز کاهش درخور ملاحظه‌ای را نمایش می‌دهند و دقت کلی، با کاهش ۲۲ درصدی، به ۰/۶۸۳ می‌رسد.

در گام بعدی، فرایند پیشنهادی به همراه همه فیلترها، به جز فیلتر طبقه‌بندی، اجرا شد. با این کار، تعداد اهداف محاسبه‌شده، افزایش و تعداد اهداف جافتاده کاهش می‌یابد؛ به گونه‌ای که همه اهداف، مطابق با واقعیت زمینی، شناسایی می‌شود و هیچ هدف جافتاده‌ای باقی نمی‌ماند. از دیگر سو تعداد اهداف اشتباه دچار افزایش چندبرابری می‌شود و در نتیجه، معیارهای ارزیابی دقت نیز کاهش چشمگیری را نمایش می‌دهند؛ به گونه‌ای که دقت کلی به ۰/۷۵۹ می‌رسد.

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

جدول ۴. نتایج اجرای الگوریتم با دقت کلی بالاتر از ۸۰٪ در منطقه مطالعاتی دوم (شهر مهریز)

Kappa	Overall Accuracy	جاافتاده FN	خطا FP	صحیح TP	تعداد کل اهداف	نسبت طول به عرض	حد آستانه مساحت (پیکسل)	حد آستانه ارتفاع (متر)	ردیف
۰/۸۶۰	۰/۵۷۰	۸	۳۵	۵۷	۹۲	۳	۳۲۰۰	۰/۵	۱
۰/۸۷۹	۰/۷۵۳	۷	۱۲	۵۸	۷۰	۳	۲۴۰۰	۱	۲
۰/۹۱۷	۰/۷۶۹	۵	۱۳	۶۰	۷۳	۳/۵	۲۴۰۰	۱	۳
۰/۸۶۰	۰/۷۸۱	۸	۸	۵۷	۶۵	۳	۳۲۰۰	۱	۴
۰/۹۵۳	۰/۷۹۵	۳	۱۳	۶۲	۷۵	۴	۲۴۰۰	۱	۵
۰/۸۹۸	۰/۸۰۸	۶	۸	۵۹	۶۷	۳/۵	۳۲۰۰	۱	۶
۰/۹۳۴	۰/۸۲۴	۴	۹	۶۱	۷۰	۵	۳۲۰۰	۱	۷
۰/۹۳۴	۰/۸۲۶	۴	۸	۶۱	۶۹	۴	۳۲۰۰	۱	۸

جدول ۵. مقایسه نتایج اعمال‌شدن / نشدن فیلترها بر الگوریتم، در نتایج برگزیده منطقه 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
جاافتاده 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 منطقه مطالعاتی، ناهمسانی این مناطق از نظر ابعاد پیکسل داده‌های ورودی و فاصله زمانی و فصل عکس‌برداری دو زمان آن‌ها با یکدیگر است زیرا، با مؤلفه‌های اجرایی یکسان برای دو منطقه در رخدادهای یکسان، نتایج متفاوتی به دست می‌آید اما روند اجرا و نتیجه نهایی، برای کاربرد شناسایی و آشکارسازی ساخت‌وسازهای جدید، مورد قبول است. مطابق جدول ۶، نتایج دو رخداد مشابه در مناطق مطالعاتی اول (شهر یزد) و دوم (شهر مهریز) با یکدیگر مقایسه شده است. بررسی نتایج اعمال‌نشدن فیلترهای گوناگون نکاتی را نشان می‌دهد؛ از جمله اینکه، در صورت اعمال‌نشدن نتایج طبقه‌بندی که برای حذف اثر سایه‌ها و پوشش گیاهی بر مدل اجرایی فرایند پیشنهادی اعمال می‌شوند، تمامی اهداف واقعیت زمینی شناسایی می‌شود و هیچ عارضه‌ای از دست نمی‌رود اما خطای شمارش اهداف نادرست به شدت افزایش می‌یابد؛ نتیجه این وضعیت در

دقت کلی و صحت نتایج شناسایی شده اثر مستقیم دارد و این موارد به کمترین مقدار می‌رسند. از طرف دیگر، با اعمال‌نشدن فیلتر نرم‌سازی لبه‌ها و مؤلفه نسبت طول به عرض، تعداد اهداف شناسایی شده با رخداد اصلی برابر می‌شود اما، در هر دو مورد، خطا افزایش می‌یابد که نتیجه آن، با کاهش میزان صحت اهداف شناسایی شده، در دقت کلی مشاهده می‌شود. در نهایت، طبق بررسی اعمال‌نشدن فیلتر لبه، تعداد اهداف شناسایی نشده با رخداد اصلی یکسان است ولی، در بررسی اعمال‌نشدن نسبت طول به عرض، شاهد کاهش اهداف شناسایی نشده نیز هستیم.

در میان فیلترهای اعمال‌شده به مدل رقمی اختلاف، اعمال‌شدن / نشدن فیلتر لبه تأثیر درخور توجهی در نتایج نهایی نمی‌گذارد و می‌توان آن را کاملاً کنار گذاشت. اما مطابق جدول ۵ و در مقایسه با رخداد اصلی، با کاهش یک‌موردی در تعداد اهداف اشتباه، این فیلتر عامل افزایش دقت کلی منطقه مطالعاتی اول (شهر یزد)، به بالاترین میزان است.

جدول ۶. مقایسه نتایج اجرای فرایند آشکارسازی تغییرات در منطقه مطالعاتی اول (شهر یزد) و دوم (شهر مهریز)

ردیف	منطقه مطالعاتی	حد آستانه ارتفاع (متر)	حد آستانه مساحت (پیکسل)	نسبت طول به عرض	تعداد کل اهداف صحیح TP	خطا FP	جاافتاده FN	Overall Accuracy	Kappa
۲	دوم (شهر مهریز)	۱	۳۲۰۰	۳/۵	۶۷	۸	۶	۰/۸۰۸	۰/۸۹۸

۶- نتیجه‌گیری

شناسایی و آشکارسازی تغییرات عوارض، به‌منظور افزایش سرعت مواجهه با انواع پدیده‌های طبیعی و غیرطبیعی در مدیریت شهری، مسئله‌ای اجتناب‌ناپذیر است. در این مقاله، فرایندی جدید برای شناسایی و آشکارسازی تغییرات رخ داده در گذر زمان به کار رفت. این فرایند براساس ترکیب محصولات فتوگرامتری، شامل مدل رقومی سطح و ارتوفتوموزائیک، مبتنی بر استفاده از ماهیت ارتفاعی و طیفی داده‌ها، اجرا شد. در پژوهش حاضر از داده‌های دارای قدرت تفکیک مکانی بالا (۱۰ و ۴۰ سانتی‌متر)، درمورد دو منطقه مطالعاتی، استفاده شد. همچنین با کمک اعمال حد آستانه و فیلترگذاری چندمرحله‌ای بر مدل رقومی اختلاف که از تفریق دو مدل رقومی سطح دوزمانه حاصل می‌شود، تغییرات ساختمان‌ها با هدف بررسی و شناسایی ساخت‌وسازهای غیرمجاز، استخراج شد که میانگین دقت آن بیشتر از ۸۶٪ بود. با توجه به نتایج بحث‌ها و تحلیل‌ها در مقایسه با روش‌های یادگیری عمیق مبتنی بر شبکه‌های عصبی، سرعت اجرای تقریباً بیشتر، نیازنداشتن به داده آموزشی متناسب و آماده‌سازی آسان‌تر مدل از نقاط قوت این فرایند است. به‌علاوه، عوارضی نظیر سایه‌ها و پوشش گیاهی منطقه، در عملیات شمارش و شناسایی اهداف اختلال ایجاد می‌کنند و خطا در نظر گرفته می‌شوند؛ حذف اثر آن‌ها طی راه‌حلی ساده، با بهره‌گیری از نتایج طبقه‌بندی نظارت‌شده و اعمال آن بر مدل رقومی اختلاف، باعث افزایش دقت نهایی تا ۳۰٪ می‌شود. از فرایند پیشنهادی این مقاله می‌توان در کاربردهای گوناگون نظامی و غیرنظامی، برای شناسایی و آشکارسازی مواضع جدید، تغییرات رخ داده در مناطق عملیاتی و پایش و کنترل محدوده و حریم قانونی مناطق نظامی، شهری و غیرشهری، بهره برد؛ با این تفاوت که حساسیت، در برابر نوع تغییرات، تعیین‌کننده مؤلفه‌های اجرایی فرایند پیشنهادی در منطقه مورد نظر خواهد بود.

در انتها، مقایسه نتایج فرایند پیشنهادی با سایر مطالعات انجام‌شده در زمینه شناسایی و استخراج تغییرات ساختمانی نشان می‌دهد، در سال‌های اخیر، استفاده از رویکرد تلفیق داده‌های تصویری و ارتفاعی، برای کاهش خطاهای شناسایی و افزایش صحت اهداف استخراج‌شده، در حال افزایش است. با این حال مهم‌ترین عامل محدودیت در آشکارسازی ساختمان‌ها وجود سایه‌ها و پوشش گیاهی است که رفتار ارتفاعی مشابه ساختمان‌ها دارند. برای حل این مشکل، تحقیقات گوناگونی با استفاده از روش‌ها، مجموعه‌داده‌ها و شبکه‌های گوناگون انجام شده است که می‌توان به نمونه‌هایی اشاره کرد. گوئو^۱ و همکاران (۲۰۲۴) با بهره‌گیری از شبکه MFFNet و استفاده از چندین مجموعه‌داده گوناگون توانسته‌اند، در شناسایی و استخراج ساختمان‌های جدید، به دقت کلی ۹۸٪ برسند. شی^۲ و همکارانش (۲۰۲۴)، با ترکیب روش‌های یادگیری عمیق و تلفیق داده‌های ارتفاعی با تصویری و همچنین استفاده از روش‌های آموزش برچسب‌دار، در تشخیص و استخراج ساختمان‌ها، به دقت نزدیک به ۸۰٪ دست یافتند. در شبکه‌های عصبی، عامل اصلی تعیین‌کننده عملکرد شبکه شامل آماده‌سازی داده‌های آموزشی، فرایند آموزش و ارزیابی شبکه و ساختار خود شبکه است. این عوامل نقش مهمی در سرعت اجرایی و دقت کلی الگوریتم‌ها ایفا می‌کنند. در این مقاله، با توجه به رویکرد اجرایی فرایند پیشنهادی و نیازنداشتن به طراحی و آماده‌سازی شبکه عصبی، فرایند استخراج اهداف مورد نظر سریع‌تر از دیگر پژوهش‌های مرتبط انجام شده است. دقیق‌تر آنکه اجرای فرایند اصلی، شامل تهیه نقشه واقعیت زمینی، طبقه‌بندی تصاویر ارتوفتوموزائیک و تولید مدل رقومی اختلاف که در محیط‌های نرم‌افزاری گوناگون انجام شد، در کمتر از یک ساعت به نتایجی با دقت بیشتر از ۹۰٪ رسید. شاپان ذکر است که دستیابی به این سطح دقت ناشی از ویژگی‌های جغرافیایی، توپوگرافی و بافت منطقه مورد نظر است.

1. Guo
2. Xie

- Goyal, V., Singh, R., Dhawley, M., Kumar, A. & Sharma, S., 2023, **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*, 968, Springer, Singapore, DOI: 10.1007/978-981-19-7346-8_8.
- Guerin, R.B. & Pierrot-Deseilligny, M., 2014, **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), PP. 4020-4037, DOI: 10.1109/JSTARS.2014.2300509.
- Guo, Zh., Jianping, P., Peng, X., Ling, Zh., Chen, Q., Xunxun, W., Yihan, Y., Yan, W., Huijuan, Zh. & Zhaohui, R., 2024, **MFFNet: A Building Change Detection Method Based on Fusion of Spectral and Geometric Information**, *Geocarto International*, 39(1), DOI: 10.1080/10106049.2024.2322053.
- Hamidi, M.A. & Bigdeli, H., 2021, **Damage Assessment in Military Operations Using Deep Learning and Image Processing**, *Journal of Soft Computing and Information Technology*, 10(3), PP. 1-10.
- Han, W., Chen, J., Wang, L., Feng, R., Li, F., Wu, L., Tian, T. & Yan, J., 2021, **Methods for Small, Weak Object Detection in Optical High-Resolution Remote Sensing Images: A Survey of Advances and Challenges**, *Geoscience and Remote Sensing Magazine*, 9(4), PP. 8-34, DOI: 10.1109/MGRS.2020.3041450.
- Hong, F., Jianqing, Z., Zuxun, Z., ... et al., 1999, **House Change Detection Based on DSM of Aerial Image in Urban Area**, *Geo-spat. Inf. Sci.*, 2, PP. 68-72, <https://doi.org/10.1007/BF02826721>.
- Ioannidis, C., Psaltis, C. & Potsiou, C., 2009, **Towards a Strategy for Control of Suburban Informal Buildings through Automatic Change Detection**, *Comput. Environ. Urban Syst.*, 33, PP. 64-74, DOI: 10.1016/j.compenvurbsys.2008.09.010.
- Krauß, T. & Tian, J., 2020, **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/10.1007/978-3-030-10979-0_4.
- پیشنهاد می‌شود فرایند مطرح‌شده در این مقاله، در دیگر مناطق کشور که بافت و توپوگرافی متفاوتی با مناطق مطالعاتی پژوهش دارند، اجرا شود 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 باشد و فاصله زمانی عکس‌برداری‌ها حدوداً کمتر از سه ماه باشد. به‌علاوه، فرایند پیشنهادی این مقاله را می‌توان با استفاده از شبکه‌های عصبی مبتنی بر یادگیری عمیق، شامل انتخاب حد آستانه و حذف نویزها و عوارض مزاحم، اجرا کرد.

۷- منابع

- Adeline, K.R., Chen, M., Briottet, X., Pang, S.K. & Paparoditis, N., 2013, **Shadow Detection in Very High Spatial Resolution Aerial Images: A Comparative Study**, *Isprs Journal of Photogrammetry and Remote Sensing*, 80, PP. 21-38, DOI: 10.1016/j.isprsjprs.2013.02.003.
- Cheng, G. & Han, J., 2016, **A Survey on Object Detection in Optical Remote Sensing Images**, *ISPRS Journal of Photogrammetry and Remote Sensing*, 117, PP. 11-28, ISSN 0924-2716, <https://doi.org/10.1016/j.isprsjprs.2016.03.014>.
- Cheng, G., Yunmeng, H., Xiangtai, L., Shuchang, L., Zhaoyang, X., Hongbo, Zh., Qi, Zh. & Shiming, X., 2024, **Change Detection Methods for Remote Sensing in the Last Decade: A Comprehensive Review**, *Remote Sensing*, 16(13), P. 2355, DOI: 10.48550/arXiv.2305.05813.
- Erdogan, M. & Yilmaz, A., 2018, **Detection of Building Damage Caused by Van Earthquake Using Image and Digital Surface Model (DSM) Difference**, *International Journal of Remote Sensing*, 40(10), P.P 3772-3786, DOI: 10.1080/01431161.2018.1552816.
- Gao, X., Wang, M., Yang, Y. & Li, Chuck, 2018, **Building Extraction from RGB VHR Images Using Shifted Shadow Algorithm**, *IEEE Access*, 6, PP. 22034-22045, DOI: 10.1109/ACCESS.2018.2819705.

- Liang, H. & Seo, S., 2023, **UAV Low-Altitude Remote Sensing Inspection System Using a Small Target Detection Network for Helmet Wear Detection**, Remote Sensing, 15(1), P. 196, <https://doi.org/10.3390/rs15010196>.
- Masumei, A., Feizizadeh, B. & Valizadeh Kamran, K., 2022, **A Novel Semi-Automated Approach for Detecting and Extracting of Urban Features Using Object-Based Aerial Image Analysis**, Journal of Geography and Planning, 26(80), PP. 315-303, DOI: 10.22034/gp.2020.41630.2696.
- Moghimi, A., Ebadi, H. & Sadeghi, V., 2016, **Review of Change Detection Methods from Multitemporal Satellite Images by Pixel-Based and Object-Based Approach**, GEJ., 7(2), PP. 99-110, DOI: <http://gej.issgeac.ir/article-1-170-en.html>.
- Movia, A., Beinat, A. & Crosilla, F., 2016, **Shadow Detection and Removal in RGB VHR Images for Land Use Unsupervised Classification**, ISPRS Journal of Photogrammetry and Remote Sensing, 119, P. 10.1016/j.isprsjprs.2016.05.004.
- Pang, S., Hu, X., Zhang, M., Cai, Z. & Liu, F., 2019, **Co-Segmentation and Superpixel-Based Graph Cuts for Building Change Detection from Bi-Temporal Digital Surface Models and Aerial Images**, Remote Sensing, 11(6), P. 729, <https://doi.org/10.3390/rs11060729>.
- Raja, P., Kumar, S., Yadav, D.S., Kumar, A. & Kumar, R.K., 2023, **Intelligent Remote Sensing: Applications and Techniques**, Journal of Image Processing and Intelligent Remote Sensing, 3(02), PP. 46-53, <https://doi.org/10.55529/jipirs.32.46.53>.
- Qiqi, Zh., Xi, G., Weihuan, D., Sunan, Sh., Qingfeng, G., Yanfei, Zh., Liangpei, Zh. & Deren, L., 2022, **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, 184, PP. 63-78, ISSN 0924-2716, <https://doi.org/10.1016/j.isprsjprs.2021.12.005>.
- Sanin, A., Sanderson, C. & Lovell, B., 2012, **Shadow Detection: A Survey and Comparative Evaluation of Recent Methods**, Pattern Recognition, 45, PP. 1684-1695, 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, PP. 403-420, DOI: 10.1007/s11769-013-0613-x.
- Shen, Y., Lindenbergh, R. & Wang, J., 2017, **Change Analysis in Structural Laser Scanning Point Clouds: The Baseline Method**, Sensors, 17(1), P. 26, <https://doi.org/10.3390/s17010026>.
- Shi, W., Min, Zh., Rui, Zh., Shanxiong, Ch. & Zhao, Zh., 2020, **Change Detection Based on Artificial Intelligence: State-of-the-Art and Challenges**, Remote Sensing, 12(10), P. 1688, <https://doi.org/10.3390/rs12101688>.
- Uwe, S. & Yusheng, X., 2023, **Change Detection of Urban Objects Using 3D Point Clouds: A Review**, ISPRS Journal of Photogrammetry and Remote Sensing, 197, PP. 228-255, ISSN 0924-2716, <https://doi.org/10.1016/j.isprsjprs.2023.01.010>.
- Wu, C., Zhang, L. & Zhang, L., 2016, **A Scene Change Detection Framework for Multi-Temporal Very High Resolution Remote Sensing Images**, Signal Process., 124, PP. 184-197, DOI: 10.1016/j.sigpro.2015.09.020.
- Xie, Y., Yuan, X., Zhu, X.X. & Tian, J., 2024, **Multimodal Co-Learning for Building Change Detection: A Domain Adaptation Framework Using VHR Images and Digital Surface Models**, IEEE Transactions on Geoscience and Remote Sensing, 62, PP. 1-20, Art no. 5402520, DOI: 10.1109/TGRS.2024.3362680.
- Zhang, Y., ... et al., 2023, **Mixed-Former: Multi-Fusion Remote Sensing Change Detection**, International Journal of Remote Sensing, 44(11), PP. 3507-3528, DOI: 10.1080/01431161.2023.2224100.
- Zhifang, L., Jianqing, Z., Zuxun, Z., ... et al., 2003, **Change Detection Based on DSM and Image Features in Urban Areas**, Geo-Spat. Inf. Sci., 6, PP. 35-41, <https://doi.org/10.1007/BF02826752>.

This Page is Intentionally Left Blank