






Unauthorized Urban Construction Detection by Combining Sentinel-1 and -2 Images: Imam Region of Yazd City in the Period from 2015 to 2020

- Seyed Ali Almodarresi ***  Professor, Department of Remote Sensing, Faculty of Engineering, Islamic Azad University, Yazd, Iran.
- Mohammad-Mehdi Mohammadipoor**  MSc in Remote Sensing and Geographic Information Systems, Faculty of Engineering, Islamic Azad University, Yazd, Iran.
- Zohreh Salehi Nezhad**  MSc in Remote Sensing and Geographic Information Systems, Faculty of Engineering, Islamic Azad University, Yazd, Iran.

1. Introduction

In recent years, urbanization has been increasing due to rapid population growth and migration from rural to urban areas to benefit from job opportunities. This rapid growth has led to changes in land use and an increase in built-up areas. Building violations are one such issue that can be a threat to the urban structure. Illegal building construction is the specific violation that leads to unauthorized buildings. The method used today in municipalities to control and identify illegal construction is based on manual intervention and random searches by municipal inspection officers. Currently, satellite images are established tools for identifying and monitoring changes in buildings and residential areas. A valuable goal of this research is to use remote sensing and geographic information systems as advanced tools for building extraction. Choosing a suitable algorithm for extracting urban constructions, updating construction information at regular intervals, and reducing time and cost are other goals of this research. For this purpose, a combination of Sentinel 1 and 2 satellite images from the period 2015 to 2020 was used to extract accurate spatial information and detect unauthorized constructions in part of Region 1 of Yazd (Imam Shahr). The aim of this study is to present an algorithm for combining radar and optical images to detect unauthorized urban constructions and

* Corresponding Author: almodaresi@gmail.com

How to Cite: Salehi Nezhad, Z; Mohammadipoor; Almodarresi, A. (2025). Unauthorized Urban Construction Detection by Combining Sentinel-1 and -2 Images: Imam Region of Yazd City in the Period from 2015 to 2020, *Journal Urban and Regional Development Planning*, 10 (34). 155-187.

identify height violations with the least possible cost and time. This method is novel in its own right and is expected to provide more appropriate results than traditional methods for optimizing the patrol routes of municipal inspection officers.

2. Methodology

The present study is applied in terms of purpose and descriptive-analytical in terms of nature and method, and is a type of spatial research. Part of the theoretical information has been collected through library studies and by using documents, evidence, reports, and theses related to the research topic.

In this study, Sentinel-1A/B and Sentinel-2A/B time-series satellite images were combined to extract building heights for the Imam Shahr region of Yazd, which distinguishes structures built in urban contexts. The image used in the present study was clipped from a radar image with different polarizations. The next step was to produce an interferogram from the image pair. This step was performed after co-registering the images. Then the interferogram was generated. The interferogram is composed of horizontal fringes resulting from the complex multiplication of pixels from the master and slave images. These fringes were integrated after performing an interband mosaic.

To make the digital surface model (DSM) absolute, it is necessary to use either ground control points or a method that correlates two DSMs, as is recently used in software such as SNAP. In the present study, control points were used.

For the separation and differentiation of buildings based on height, the following steps were performed. First, using layer stacking and the nearest neighbor resampling type, texture features—including the mean and variance in VV polarization and the mean, variance, and dissimilarity in VH polarization—were grouped together so that subsequent processing could be performed on this set of features. Then, using an artificial neural network classification method, urban impervious surfaces and building heights were extracted. Finally, the accuracy of the obtained results was measured using the kappa coefficient and overall accuracy.

3. Results

The results of the present study are as follows:

1. The average kappa coefficient and overall accuracy for Sentinel-1 images in VV polarization are 16.77% and 5.79%, respectively, and for VH polarization, 16.79% and 66.80%.
2. For the neural network classification map of Sentinel-2 images, these values are 73% and 66.75%, respectively.

3. Furthermore, the number and area of unauthorized constructions showed that in 2015, the study area had the highest amount of unauthorized construction compared to other years studied. This is attributed to an increase in migrants, weaknesses in field inspections by building inspection officers, a legal vacuum in dealing with violators, and the manner of enforcement or factors contributing to violations (municipality, citizen).

4. Conclusion

The detection of unauthorized urban constructions in this study confirmed the research hypothesis; meaning that the detection of unauthorized urban buildings by combining Sentinel-1 and -2 series images with minimal human intervention is a new, fast, and cost-effective solution for detecting and monitoring unauthorized urban constructions. Furthermore, the use of radar data for detecting urban surfaces using the support vector machine method has high potential. It also shows that the use of methods such as texture analysis in optical images, which consider patterns, spatial relationships, and changes between image pixels and their neighbors, greatly increases the accuracy of the results in complex urban landscapes. The image processing results show the growth of unauthorized urban constructions in 2015. The use of the presented satellite image-based method for detecting unauthorized urban constructions significantly reduces the time required to identify illegal buildings, helps to prevent their continuation, and thus achieves the objectives of this research.

Keywords: Sentinel-1 Radar Images, Sentinel-2 Optical Images, Unauthorized Buildings, Radar Interferometry, Imam Shahr Region, Yazd



آشکارسازی ساخت‌وسازهای غیرمجاز شهری با تلفیق تصاویر

سنتینل ۱ و ۲

(منطقه امام شهر یزد در بازه زمانی ۲۰۱۵ تا ۲۰۲۰)

استاد گروه سنجش ازدور، دانشکده فنی مهندسی، دانشگاه آزاد اسلامی یزد، یزد، ایران.

* سیدعلی المدرسی

کارشناسی ارشد سنجش ازدور و سیستم اطلاعات جغرافیایی، دانشکده فنی و مهندسی، دانشگاه آزاد اسلامی یزد، یزد، ایران.

محمد مهدی محمدی پور

کارشناسی ارشد سنجش ازدور و سیستم اطلاعات جغرافیایی، دانشکده فنی و مهندسی، دانشگاه آزاد اسلامی یزد، یزد، ایران.

زهره صالحی نژاد

چکیده

ساخت‌وساز غیرمجاز از چالش‌های اساسی در توسعه شهری به شمار می‌رود. بیشتر ساخت‌وسازهای غیرمجاز شهری صورت گرفته در شهرهای بزرگ ایران، مربوط به تخلفات ارتفاعی و احداثی، پروانه ساخت و مربوط به کاربری‌های تجاری است. روش‌های رایج جهت کنترل ساخت‌وساز زمان‌بر و پرهزینه است. از این رو هدف اصلی این پژوهش ارائه چارچوبی جهت برآورد سریع و کم‌هزینه، در نظارت و آشکارسازی ساختمان‌های غیرمجاز و تخلفات ارتفاعی منطقه امام شهر یزد به دلیل تراکم جمعیت و ساخت‌وساز زیاد و پتانسیل بالای مهاجرپذیری، با استفاده از تلفیق تصاویر ماهواره راداری سنتینل ۱ و تصاویر اپتیک سنتینل ۲ در بازه زمانی ۲۰۱۵ تا ۲۰۲۰ است. بدین منظور پس از تصحیحات هندسی و رادیومتریک تصاویر با استفاده از نرم‌افزارهای SNAP و ENVI، برای جداسازی و تفکیک ساختمان‌ها بر اساس ارتفاع نخست با استفاده از ویژگی‌های بافتی شامل میانگین، واریانس و نبود تشابه در پلاریزیشن VH، VV باهم در یک دسته قرار گرفتند و با استفاده از روش طبقه‌بندی شبکه عصبی حداکثر احتمال، سطوح نفوذناپذیر شهری و ارتفاع ساختمان‌ها و استفاده از تصاویر اپتیک برای شناسایی سایه ساختمان‌ها استخراج گردید. نتایج پردازش‌ها، میانگین ضریب کاپا و دقت کلی تصاویر سنتینل ۱- با پلاریزیشن VV برابر ۷۷/۱۶ و ۷۹/۵ درصد و در پلاریزیشن VH برابر ۷۹/۱۶ و ۸۰/۶۶ درصد و برای نقشه طبقه‌بندی شبکه عصبی تصاویر سنتینل ۲-، ۷۳ و ۷۵/۶۶ درصد؛ همچنین تعداد و مساحت ساخت‌وسازهای غیرمجاز نشان داد که در سال ۱۳۹۴ محدوده مورد مطالعه بیشترین میزان ساخت‌وساز غیرمجاز نسبت به سایر سال‌های مطالعاتی به سبب افزایش مهاجر، ضعف در بازدید میدانی پلیس ساختمان، خلأ قانونی برخورد با متخلفین و نحوه رسیدگی یا عوامل تخلف (شهرداری، شهروند) اشاره دارد.

کلید واژه‌ها: تصاویر راداری سنتینل ۱، تصاویر اپتیک سنتینل ۲، ساختمان‌های غیرمجاز، روش تداخل سنجی راداری، منطقه امامشهر یزد

۱. مقدمه و بیان مسئله

شهرها موتورهایی برای رونق اقتصادی و توسعه اجتماعی هستند که از تمرکز مردم و فعالیت‌های اقتصادی ناشی می‌شوند (Jimboh et al., 2017). در سال‌های اخیر، شهرنشینی به دلیل رشد سریع جمعیت و مهاجرت از مناطق روستایی به مناطق شهری به‌منظور بهره‌مندی از فرصت‌های شغلی، روند صعودی داشته است (Kaya et al., 2016; Sekertakin et al., 2018; Sekertakin et al., 2016). افزایش مهاجرت شهری به رشد و توسعه شهرها بدون برنامه‌ریزی و یا با برنامه‌ریزی ضعیف کمک کرده است. این رشد سریع سبب تغییرات کاربری اراضی نظیر کاهش زمین‌های کشاورزی و اراضی دارای پوشش گیاهی و افزایش مناطق ساخته شده، گردیده است. این تغییرات مشکلاتی نظیر توزیع نامتعادل منابع، آلودگی هوا، ازدحام جمعیت (Lagarias, 2012)، تشدید اثر جزیره گرمایی شهری (Adamowski and Prokoph, 2013)، اثر گلخانه‌ای (Hornweg et al., 2011)، کاهش کیفیت آب (Kaya et al., 2012) و افزایش ریسک سیلاب شهری را در پی داشته است (جعفری و عطارچی، ۱۴۰۰).

بر همین اساس نظارت بر تحولات شهری در مقیاس‌های مکانی و زمانی ضروری است تا درک تغییرات در شهرها و تأثیر آنها بر منابع طبیعی و سیستم‌های محیطی بهبود یابد. تخلف از مقررات ساخت‌وساز شهری را می‌توان در کنار اجرا نشدن طرح‌ها و برنامه‌های شهری، از مهم‌ترین مسائلی دانست که علم برنامه‌ریزی شهری با آن روبه‌رو است (Douglas, 2006). تخلفات ساختمانی موضوع بسیار مهمی برای تمامی شهرداری‌ها در سراسر کشور است که می‌تواند موجبات تهدید ساختار شهری را فراهم آورد (خلیلی مقدم و همکاران، ۱۳۹۵). ساخت‌وساز غیرمجاز شهری شکلی از تخلفات است که منجر به احداث بنا می‌گردد (Fekade, 2000). حال این بنا می‌تواند کلاً به‌صورت غیرمجاز ساخته

شود و یا بخشی از آن غیرمجاز ساخته شده و یا ضوابط و مقررات ساختمانی در آن رعایت نشده باشد که در هر سه صورت ساخت‌وساز غیرمجاز نامیده می‌شود (گلمهر، ۱۳۹۷).

روش کنونی که امروزه در شهرداری‌ها برای کنترل و شناسایی ساخت‌وسازهای غیرقانونی مورداستفاده قرار می‌گیرد بر اساس حضور عامل انسانی و جست‌وجو به صورت اتفاقی توسط پلیس ساختمان در سراسر مناطق شهر است. از جمله معایب این روش می‌توان به پرهزینه، زمان‌بر و غیردقیق بودن آن اشاره نمود. همچنین ممکن است به دلیل تبانی برخی از سازندگان با بازرسین شهرداری، برخی از تخلفات به شهرداری گزارش نشود. این در حالی است که شناسایی ساخت‌وسازهای غیرمجاز شهری باید به اندازه کافی سریع و کم‌هزینه و با حداقل حضور انسانی باشد تا بتواند در کمترین زمان ممکن از ادامه این ساخت‌وسازها جلوگیری به عمل آورد؛ بنابراین یک روش بهینه جهت کاهش هزینه‌های مالی نیروی انسانی در کنترل ساخت‌وسازهای غیرمجاز شهری بیش‌ازپیش موردنیاز است. پیشرفت‌های اخیر در علم سنجش‌ازدور فرصت‌هایی را برای نظارت بر هزینه‌های مؤثر تغییرات شهری و تأثیر آن بر روی سیستم‌های پیچیده اجتماعی و فنی شهری فراهم می‌کند و مدیران و کارشناسان را قادر می‌سازد تا تصمیمات آگاهانه‌ای برای کاهش اثرات منفی بر محیط‌زیست بگیرند. داده‌های سنجش‌ازدور منبع اطلاعاتی مهم و قدرتمند در مورد مورفولوژی شهری و تغییرات در طول زمان هستند. (Azmedroub et al., 2016).

در حال حاضر، تصاویر ماهواره‌ای در زمینه شناسایی و نظارت بر ساخت‌وسازها و تغییرات کاربری مسکونی دارای جایگاه خاص خود می‌باشند. استفاده از سنجش‌ازدور و سیستم اطلاعات جغرافیایی به عنوان علوم نوین در زمینه استخراج ساخت‌وسازها به عنوان یک هدف ارزشمند پژوهش حاضر مطرح است. انتخاب الگوریتم مناسب جهت استخراج ساخت‌وسازهای شهری، روزآمدسازی اطلاعات ساخت‌وسازها در بازه‌های زمانی منظم و کاهش وقت و هزینه، از اهداف دیگر این پژوهش است که جهت نیل به این هدف از تلفیق تصاویر ماهواره‌ای سنتینل ۱ و ۲ با قدرت تفکیک مکانی بالا مربوط به بازه زمانی ۲۰۱۵ تا ۲۰۲۰ به منظور استخراج اطلاعات دقیق مکانی و ساخت‌وسازهای غیرمجاز بخشی

از منطقه یک یزد (امام شهر) بهره گرفته شده است. هدف این مطالعه معطوف به ارائه الگوریتمی برای تلفیق تصاویر رادار و اپتیک جهت آشکارسازی ارتفاع ساخت و سازهای غیرمجاز شهری و تخلفات ارتفاعی با کمترین هزینه و زمان ممکن است که در نوع خود بدیع و انتظار می‌رود نتایج مناسب‌تری نسبت به روش‌های سنتی برای تعیین مسیر بهینه برای پلیس ساختمان در اختیار کارشناسان مربوطه قرار دهد.

۲. ضرورت تحقیق

از معایب روش سنتی نظارت بر ساخت‌وسازها می‌توان به پرهزینه بودن، زمان‌بر و غیردقیق بودن آن اشاره کرد. استفاده از فن‌آوری‌های نوین سنجش از راه دور به انضمام تکمیل اطلاعات استخراج شده از پردازش تصاویر در محیط نرم‌افزار GIS^۱، به‌عنوان یک ابزار جامع در بخش‌های توصیفی و مکانی می‌تواند در امر جمع‌آوری، ذخیره‌سازی، به‌روزرسانی، نمایش و انتشار کلیه داده‌های یک ملک، مدیران و برنامه‌ریزان شهری را یاری رساند. در صورتی که چنین طرحی اجرا شود، می‌تواند به‌عنوان یک سامانه جامع زیرساختی چنان‌که پیش‌تر نیز ذکر شد برای مدیریت و برنامه‌ریزی مناسب در نظارت بر ساخت‌وسازهای غیرمجازی انجام اقدامات پیشگیرانه موردنیاز، به اطلاعات دقیق و به‌روز ارجاع شده مکانی احتیاج است.

بر این اساس سؤالات تحقیق به‌صورت زیر مطرح می‌شود:

۱. تصاویر ماهواره‌ای می‌تواند جایگزین مناسبی جهت تسهیل در شناسایی و نیز صرفه‌جویی در وقت و نیروی انسانی جهت ممیزی گردند؟
۲. تلفیق تصاویر اپتیک و راداری اطلاعات ارزشمندی با دقت بالا جهت آشکارسازی تخلفات ارتفاعی ساخت‌وساز غیرمجاز ارائه می‌دهد؟

۳. پیشینه تحقیق

پژوهش‌های داخلی و خارجی بسیاری در سال‌های اخیر در استفاده از تصاویر ماهواره‌ای برای آشکارسازی سطوح نفوذناپذیر شهری و ساخت‌وسازهای غیرمجاز انجام گرفته شده است از جمله (جدول ۱):

جدول ۱- پیشینه تحقیق

نویسنده	سال انتشار	یافته‌ها
خصالی و همکاران	۱۳۹۲	استخراج عارضه راه شهر شیراز با استفاده از تصاویر آیکنوس و TerraSAR-X و آیکنوس با اطلاعات بافت در الگوریتم شبکه عصبی
سلطانی و سرکارگر اردکانی	۱۳۹۳	استخراج ساخت‌وسازهای غیرمجاز با استفاده از تصاویر چند طیفی و پانکروماتیک ماهواره کویک بردباند‌های ۱ تا ۴ با روش شیء مبنا
ملک نژاد و همکاران	۱۳۹۴	طبقه‌بندی مناطق شهری استفاده از ویژگی‌های بافتی در افزایش طبقه‌بندی تصاویر تک باند سنجنده ALI و ابرطیفی هایپر یون در مناطق مسکونی و صنعتی جنوب شهر تهران
مسجدی و همکاران	۱۳۹۴	شناسایی ساخت‌وساز با طبقه‌بندی تصاویر پلاریمتری رادار بر اساس طبقه‌بندی کننده ماشین بردار پشتیبان و میدان‌های تصادفی مارکوف
کابلی زاده و همکاران	۱۳۹۷	کاربرد تلفیق تصاویر ماهواره‌ای لندست ۸ و سنتینل ۲ در پایش محیطی شهر اهواز
سهرابی مفرد و بختیاری	۱۳۹۹	آشکارسازی سطوح نفوذناپذیر شهری با استفاده از ویژگی‌های بافتی تصویر راداری Sentinel-1 شهر بندرعباس
محمد نژاد آروق	۱۳۹۹	شناسایی و استخراج اراضی شهری با استفاده از تصاویر ماهواره‌ای سنتینل ۱ و ۲
فرهادی و همکاران	۱۴۰۰	استخراج ساختمان‌ها در نواحی شهری مبتنی بر داده‌های سری زمانی تصاویر سنتینل ۱ و ۲ شهر تبریز
صالحی نژاد و المدرسی	۱۴۰۲	آشکارسازی و نظارت بر ساخت‌وسازهای غیرمجاز شهری با استفاده از تصاویر راداری سنتینل ۱ شهر یزد

آشکارسازی ساخت‌وسازهای غیرمجاز شهری با ... ، صالحی‌نژاد و همکاران | ۱۶۳

نویسنده	سال انتشار	یافته‌ها
Lu et al	2011	آشکارسازی سطوح نفوذناپذیر شهر و روستا در آمازون با استفاده از تصاویر لندست TM و راداری
Fu & Shao	2016	استخراج سطوح نفوذناپذیر شهرستان ووهان از توابع استان هوتنی در چین با استفاده از تصاویر سنتینل ۱ و GF-2
Zhang et al	2016	استخراج سطح نفوذناپذیر شهری با استفاده از تصاویر نوری GF-1 و راداری سنتینل ۱
Vigneshwaran et al	2018	استخراج ساخت‌وساز در مناطق مسکونی با استفاده از تصاویر ماهواره‌ای سنتینل ۲
Sun et al	2019	تهیه نقشه‌های زمین‌های شهری با استفاده از تصاویر ماهواره‌ای سنتینل ۱ و ۲ در محیط سامانه GEE
Frantz et al	2020	استخراج در مقیاس ملی آلمان از ارتفاع ساختمان با استفاده از تصاویر راداری سنتینل ۱ و ۲
X Zhang et al	2020	تهیه نقشه مناطق غیر قابل نفوذ با استفاده از تصاویر ماهواره‌ای لندست ۸ و سنتینل ۱
Aliabad et al	2022	بررسی توانایی شناسایی ساخت‌وسازهای جدید در مناطق شهری با استفاده از تصاویر پهپادها، گوگل ارث و سنتینل ۲
Žuk, L., & Królewicz, S	2022	کاربرد تصاویر ماهواره‌ای سنتینل ۱ و ۲ در مدیریت میراث پارک منظر لدنیکا (لهستان)
Yashasvi Mehta et al	2024	تشخیص ساخت‌وساز غیرقانونی با استفاده از تصاویر ماهواره سنتینل ۲
V Kević et al	2025	تحلیل زمانی داده‌های ماهواره‌ای چند طیفی سنتینل ۲ برای پایش ساخت‌وساز شهرنشینی در جمهوری کرواسی
Y Wu et al	2025	شناسایی روندهای توسعه ساختمان‌ها و تغییرات کاربری/پوشش زمین در پارک منظر لدنیکا با استفاده از تصاویر راداری و نوری سنتینل ۱ و ۲.

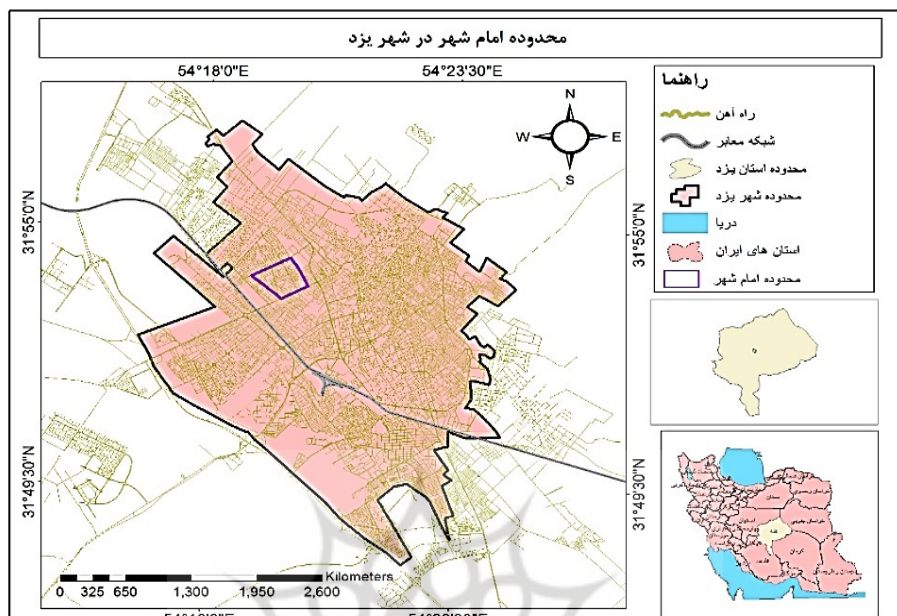
در مطالعه حاضر، پردازش تصاویر سری زمانی سنتینل ۱ و ۲ علاوه بر شناسایی تمامی ساخت‌وسازهای جدید و تغییرات کلی پوشش سطح زمین، به آشکارسازی ارتفاع ساختمان‌ها در صورتی که طبقه‌ای به صورت غیرمجاز به ساختمان موجود اضافه گردد در بازه زمانی ۶ ساله که با عنوان تخلفات ارتفاعی منطقه مسکونی امامشهر یزد پرداخته، جنبه نوآوری و تفاوت آن با پژوهش‌های گذشته که صرفاً به شناسایی سطوح ارضی و توسعه روند افقی آن‌ها با استفاده از تصاویر ماهواره‌ای مختلف بوده، است.

۴. روش‌شناسی تحقیق

مطالعه حاضر از نظر هدف، پژوهش کاربردی و از نظر ماهیت و روش کار، پژوهش توصیفی - تحلیلی مکانی است. بخشی از اطلاعات نظری از طریق مطالعات اطلاعات کتابخانه‌ای، استفاده از اسناد، مدارک و گزارش‌ها و پایان‌نامه‌های مربوط با موضوع تحقیق، جمع‌آوری شد.

۴-۱- محدوده مورد مطالعه

شهر یزد از نظر موقعیت جغرافیایی در مرکز شهرستان و استان یزد بین $31^{\circ} 47' 39''$ تا $31^{\circ} 56' 51''$ عرض شمالی واقع شده و دارای $54^{\circ} 24' 33''$ طول شرقی و $31^{\circ} 47' 39''$ تا $31^{\circ} 56' 51''$ عرض شمالی واقع شده و دارای 1215 متر ارتفاع از سطح دریا است (مرکز آمار ایران، ۱۳۹۵). یزد با جمعیت $529,673$ تن 12 همین شهر پرجمعیت ایران و با مساحت 100 کیلومتر مربع هفتمین شهر بزرگ ایران است (مرکز آمار ایران، ۱۳۹۵). در شکل ۱، نمایی از محدوده مطالعاتی امام شهر در شهر یزد مشاهده می‌شود. امام شهر، محله‌ای در شمال غرب شهر یزد است.



شکل ۱- محدوده مورد مطالعه

۲-۴- داده‌ها

مشخصات مربوط به داده‌های مورد استفاده در جدول ۲ ارائه شده است. سنتینل-۱، یک ماهواره راداری در باند C، با قدرت تفکیک مکانی ۵٪*۲۰ متر قابل دسترس است. که در مطالعه حاضر از محصول^۱ GRD با حد تفکیک مکانی ۵ متر و تعداد ۲۳۰ صفحه تصویر استفاده شده است. داده‌های این محموله در ایران شامل دو قطبش^۲ VV و VH است. ماهواره اپتیکی سنتینل-۲ که دارای ۱۳ باند طیفی در محدوده مرئی^۳، مادون قرمز نزدیک^۴ و مادون قرمز طول موج کوتاه^۵ با قدرت تفکیک مکانی ۱۰،۲۰ و ۶۰ متری است. (فرهادی و همکاران، ۱۴۰۰)

1. Ground Range Detected
2. Polarization
3. Visible
4. Near Infrared
5. Short- Wave Infrared

جدول ۲- مشخصات مربوط به نوع داده‌های مورد استفاده

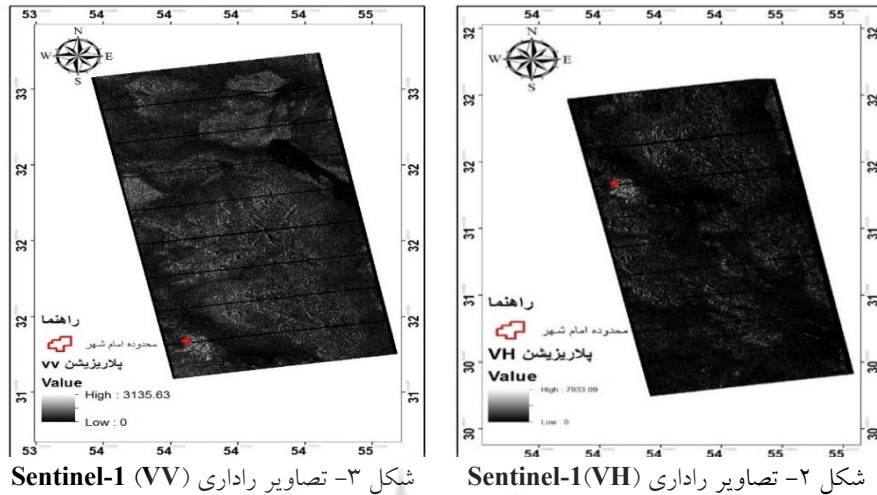
پلاریزاسیون	مد تصویر	تاریخ تصویر سنتینل ۱	تاریخ تصویر سنتینل ۲
VV+VH	IW	۲۰۱۵/۱۰/۰۳	۲۰۱۵/۱۰/۱۰
VV+VH	IW	۲۰۱۶/۱۰/۲۷	۲۰۱۶/۱۰/۲۰
VV+VH	IW	۲۰۱۷/۱۰/۱۰	۲۰۱۷/۱۰/۱۵
VV+VH	IW	۲۰۱۸/۱۰/۰۷	۲۰۱۸/۱۰/۰۵
VV+VH	IW	۲۰۱۹/۱۰/۱۳	۲۰۱۹/۱۰/۱۶
VV+VH	IW	۲۰۲۰/۱۰/۱۵	۲۰۲۰/۱۰/۱۸

۳-۴- پیش‌پردازش تصاویر اپتیک و رادار

پس از اخذ تصاویر پیش‌پردازش‌های ضروری از جمله کالیبراسیون رادیومتریک، حذف نویز حرارتی، اسپیکل و تصحیح هندسی در نرم‌افزار SNAP انجام شد. همچنین در تصاویر اپتیک، تصحیحات اتمسفری و توپوگرافی انجام شد. در تصاویر رادار جهت پیش‌پردازش، از فیلتر لی تصحیح شده استفاده شد. اصل اساسی در این فیلتر که فیلتر اسپیکل با پنجره‌ای در امتداد لبه نیز نامیده می‌شود این است که تنها پیکسل‌های همسایه را انتخاب کنیم که دارای ویژگی‌های پراکنشی مشابه با پیکسل مرکزی هستند (Kim et al, 2011).

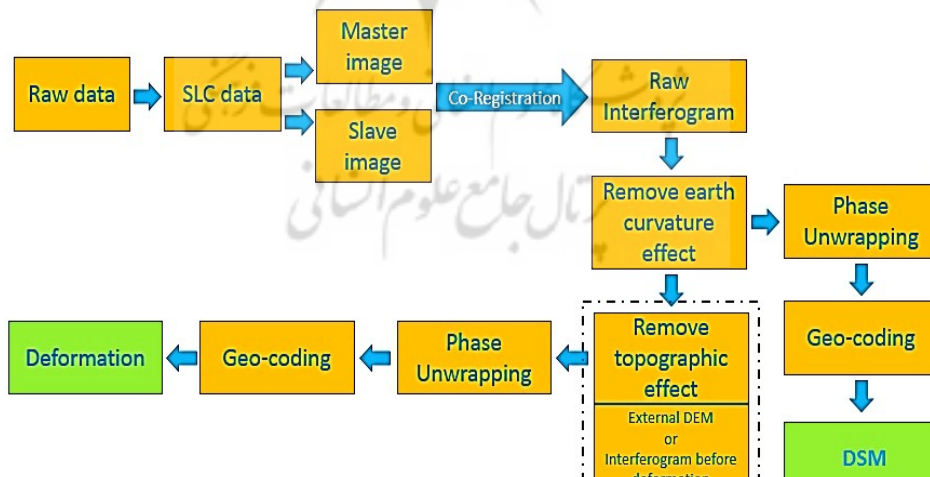
۵. روش و یافته‌های پژوهش

در این مطالعه، سری‌های زمانی Sentinel-1A/B و Sentinel-2A/B برای استخراج ارتفاع ساختمان‌ها برای منطقه امام شهر یزد که ساختارهای ساخته‌شده را در بافت‌های شهری حل می‌کند، ترکیب شد (شکل ۲ و ۳).



۱-۵- متغیرهای وابسته: ارتفاع ساختمان

برای برآورد ارتفاع ساختمان و اعتبارسنجی، از داده‌های ساختمانی دریافتی از شهرداری و اطلاعات مربوط به بلوک‌های ساختمان و ارتفاع آن استفاده شد. از سایر نقشه‌ها مانند کاداستر شهر یزد و برداشت‌های ممیزی املاک نیز جهت تلفیق اطلاعات استفاده گردید. فلوچارت مراحل کار به شرح شکل (۴) است.

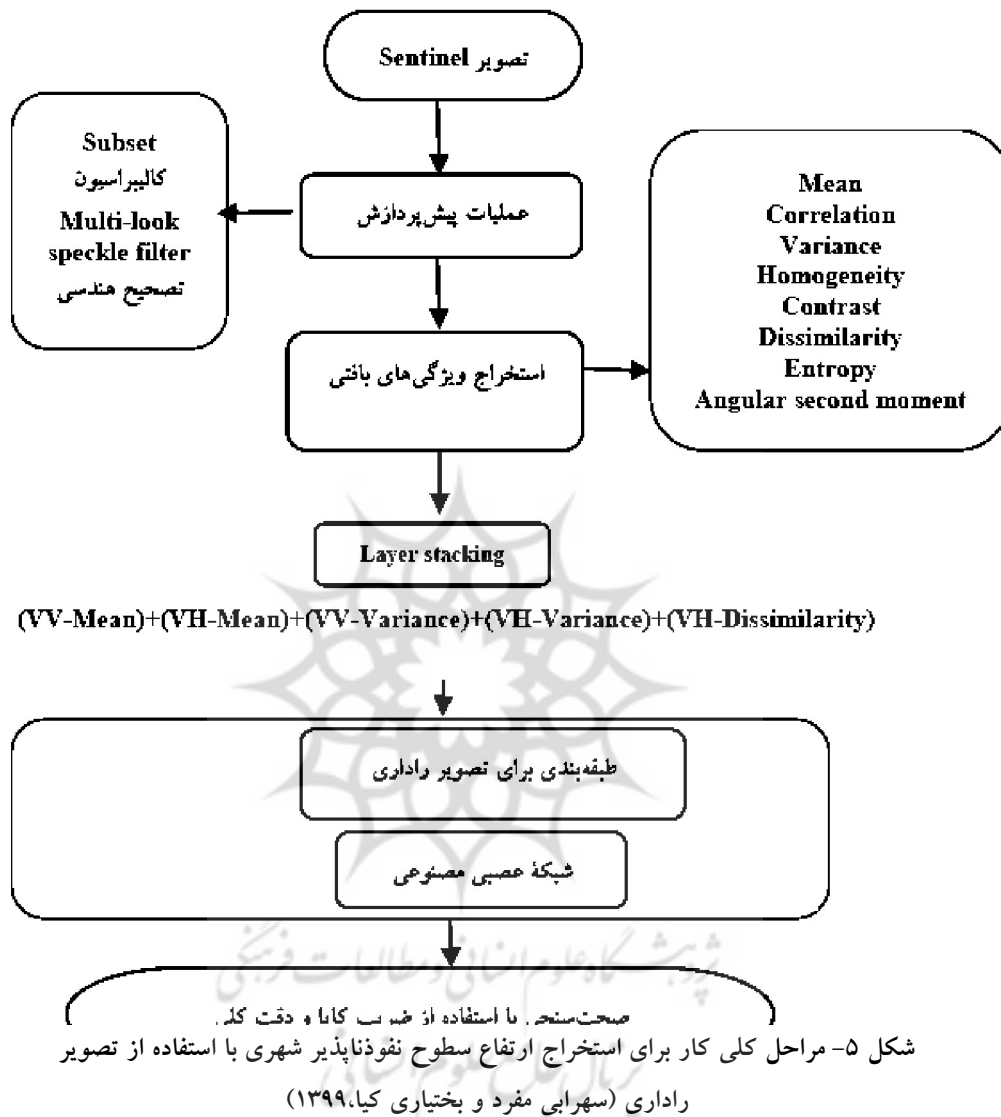


شکل ۴- فلوچارت مراحل پردازش تصاویر راداری

جهت ارزیابی مدل رقومی سطح تولیدشده توسط این تصاویر، از مدل داده‌های ارتفاع ساختمان که با دقت سانتی‌متر از شهر یزد و امام شهر تهیه شد استفاده می‌شود. این اطلاعات ارتفاعی با استفاده از روش نقشه‌برداری زمینی و فتوگرامتری هوایی جمع‌آوری شده است. دیتوم ارتفاعی اطلاعات جمع‌آوری شده ژئوئید است. قابل ذکر است که توجیه مسطحاتی مدل رقومی سطح نسبی تولیدشده با استفاده از سنجنده سنتینل-۱ از مدل ارتفاعی رقومی SRTM استفاده می‌کند و دیتوم مسطحاتی آن WGS84 است؛ ولی دیتوم ارتفاعی استفاده‌شده در سنتینل-۲ بیضوی EGM ۹۶ است؛ لذا نیاز است که ارتفاع ژئوئید (جدایی ژئوئید از بیضوی مذکور) در محدوده مورد مطالعه محاسبه شود تا ارزیابی ارتفاعی مدل رقومی تولیدشده توسط سنجنده سنتینل-۱ و مدل سطح رقومی مرجع در یک دیتوم ارتفاعی صورت گیرد. تصویر مورداستفاده پژوهش حاضر از تصویر راداری در پلاریزیشن‌های مختلف برش زده شد. مرحله بعد تولید اینترفروگرام از زوج تصویر است. این مرحله پس از انجام هم‌مرجع‌سازی^۱ میان تصاویر صورت پذیرفت. سپس اینترفروگرام تولید گردید. اینترفروگرام از حاصل ضرب مختلط پیکسل به اینترفروگرام تولیدشده همانند تصاویر اصلی از نوارهای افقی تشکیل شده است. این نوارها پس از انجام موزاییک بین نواری^۲ یکپارچه شدند. بنا به دلایل مختلف، از جمله شرایط طبیعی، اختلاف ارتفاع شدید، خطا در انجام هم‌مرجع‌سازی تصاویر و غیره، اینترفروگرام حاصل شده تا حدی دارای نویز است. از این رو برای کاهش نویز رخ داده از یک فیلتر کاهش‌دهنده نویز فاز به نام فیلتر گلدستین^۳ استفاده شد. اینترفروگرام تولیدشده حاوی اطلاعات ارتفاعی است؛ اما به علت وجود تناوب در فاز بین π و π ، لذا می‌بایست که این اطلاعات متناوب به اطلاعاتی مطلق و از نوع ارتفاع تبدیل شود. این کار با انجام عملیات unwrapping صورت پذیرفت.

1. Registration
2. debursting
3. Goldstein

جهت انجام Unwrapping از الگوریتم SNAPHU استفاده شد. پس از انجام unwrapping، هندسه تصویربرداری از حالت رنج مایل به رنج زمینی تبدیل شد. پس از تغییر هندسه تولیدشده اطلاعات ارتفاعی به صورت نسبی تولید می‌شود. برای مطلق شدن مدل رقومی سطح نیاز است که یا از نقطه کنترل و یا از روش تناظریابی دو مدل رقومی سطحی که اخیراً در نرم‌افزارهایی همچون SNAP استفاده می‌شود، بهره‌برداری گردد. در پژوهش حاضر از نقاط کنترل استفاده شد. در مرحله جداسازی و تفکیک ساختمان‌ها بر اساس ارتفاع مراحل ذیل انجام پذیرفت. نخست با استفاده از (Layer stacking, Resampling Type Nearest Neighbour) ویژگی‌های بافتی شامل میانگین و واریانس در پلاریزیشن VV و میانگین، واریانس و نبود تشابه در پلاریزیشن VH با هم در یک دسته قرار گرفتند تا پردازش‌های بعدی روی مجموعه ویژگی‌های مدنظر انجام شود. سپس با استفاده از روش طبقه‌بندی شبکه عصبی مصنوعی، سطوح نفوذناپذیر شهری و ارتفاع ساختمان‌ها استخراج گردید. در پایان صحت نتایج به دست آمده با استفاده از ضریب کاپا و دقت کلی سنجیده شد. شکل (۵)



در این پژوهش به منظور تهیه سطوح نفوذناپذیر ساختمان‌ها، از ماتریس هم وقوع درجات خاکستری GLCM استفاده شد که یکی از روش‌های متداول برای استخراج پارامترهای بافت در تصاویر سنجش از دور است (Dabbiru et al., 2017). این تکنیک از

کارآمدترین تکنیک‌های استخراج بافت از تصاویر سنجش‌ازدور است (صادقی و همکاران، ۱۳۹۴). که نخستین بار هارلیک^۱ آن را معرفی کرد. او از این ماتریس در سال ۱۹۷۳ برای طبقه‌بندی تصاویر اپتیکی استفاده کرد و توانست با استخراج ۱۴ ویژگی بافت، نتایج طبقه‌بندی بهتری را ایجاد کند (سعید زاده و همکاران، ۱۳۹۴). برای تعریف این ماتریس فرض می‌شود $(I(x,y), 0 \leq x \leq N-1, 0 \leq y \leq N-1)$ معرف یک تصویر با ابعاد درجات خاکستری است (قنادی و همکاران، ۱۳۹۳). این ماتریس شامل $G \times G$ درایه و هر درایه آن برابر با P_d است. d بردار جابه‌جایی و برابر با (dx, dy) است.

$P_d(i, j)$ نیز برابر است با تعداد تکرار جفت درجه خاکستری i و j که به فاصله d از یکدیگر قرار گرفته‌اند (سعید زاده و همکاران، ۱۳۹۴). ماتریس رخداد توأم درجات خاکستری به صورت زیر تعریف می‌شود:

رابطه ۴-۱:

$$pd(i,j) = | \{ (r,s), (t,v) : I(r,s)=i, I(t,v)=j \} |$$

ورودی (i, j) ماتریس بیان‌کننده تعداد رخداد زوج‌های درجات خاکستری است که در فاصله d از هم قرار گرفته‌اند. در این تعریف $(r,s), (t,v) \in N \times N$ و $| \bullet |$ برابر با تعداد عضوهای مجموعه است (قنادی و همکاران، ۱۳۹۳). این ماتریس هم برای کل تصویر و هم برای ناحیه خاصی از آن محاسبه می‌شود. به منظور استخراج ویژگی‌های بافت باید به هر پیکسل یک عدد نسبت داد؛ بنابراین نخست روی هر پیکسل پنجره‌ای با ابعاد فرد 5×5 قرار داده شده است و در این پنجره ماتریس محاسبه می‌شود. با استفاده از این ماتریس امکان استخراج تعداد زیادی از ویژگی‌های بافت با استفاده از روابط آماری وجود دارد که هر ویژگی یک عدد را به هر پیکسل اختصاص می‌دهد (سعید زاده و همکاران، ۱۳۹۴). ویژگی‌های چندبافتی که از ماتریس GLCM به دست آورده می‌شود شامل زاویه تماس لحظه‌ای، کنتراست، همبستگی، آنترپی،

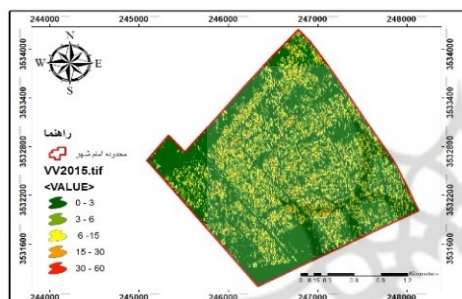
واریانس، لحظه تفاوت معکوس، تفاوت متوسط، تفاوت واریانس، تفاوت آنتروپی، مجموع متوسط، مجموع واریانس و مجموع آنتروپی است. پس از آشکارسازی مناطق ساختمانی، با استفاده از الگوریتم طبقه‌بندی حداکثر احتمال^۱ (جدول ۳)، که به پیکسل موردنظر کلاسی نسبت داده می‌شود که بیشترین احتمال تعلق پیکسل به آن کلاس وجود دارد برای این منظور طبقه‌بندی تصاویر به سه کلاس ساختمان‌های جدید، ساختمان و سایر پرداخته شد.

جدول ۳- مراحل اجرایی طبقه‌بندی با روش حداکثر احتمال

نام پارامتر	مقدار پیش فرض	توضیحات
Vector		
New Vector Data		
New building Building Other		تعریف سه کلاس ساختمان‌های جدید، ساختمان، سایر
Layer Manager		انتخاب عوارض برای طبقه‌بندی هر کلاس
Save Product		
Supervised Classification		طبقه‌بندی نظارت‌شده
Maximum Likelihood Classification Method		الگوریتم حداکثر احتمال
Add Open		فراخوانی تصویر موردنظر
Train Vector		به دلیل اینکه داده‌های ما وکتوری هستند
New building Building Other Time1 Time2		کلاس‌های تعریف‌شده و باندهای ورودی برای طبقه‌بندی
Run		فرایند ذخیره‌سازی و پردازش
نتیجه		

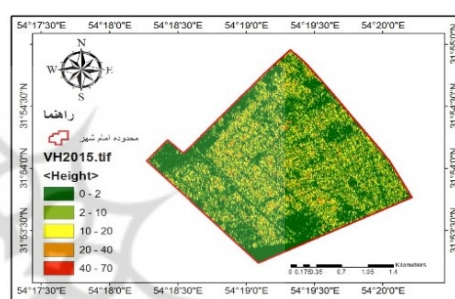
آشکارسازی ساخت‌وسازهای غیرمجاز شهری با ... ، صالحی‌نژاد و همکاران | ۱۷۳

تصاویر زیر (شکل ۶ تا ۳۰) نقشه ارتفاعی ساختمان‌های منطقه امامشهر یزد به همراه موقعیت ساخت‌وسازهای غیرمجاز شهری می‌باشد که در پلاریزاسیون‌های (ویژگی‌های بافتی شامل میانگین و واریانس در پلاریزاسیون VV و میانگین، واریانس و نبود تشابه در پلاریزاسیون VH) از سال ۲۰۱۵ الی ۲۰۲۰ لحاظ گردیده است. که نشانگر ساخت‌وساز مربوط به آن سال می‌باشد. در صورت استفاده از لایه پارس‌های دارای مجوز ساخت یا عدم مجوز ساخت امکان آشکارسازی ساخت‌وسازهای غیرمجاز وجود دارد.



شکل ۷ - نقشه DSM در پلاریزاسیون VV در تاریخ

۲۰۱۵/۱۰/۰۳



شکل ۸ - نقشه DSM در پلاریزاسیون VH در تاریخ

۲۰۱۵/۱۰/۰۳



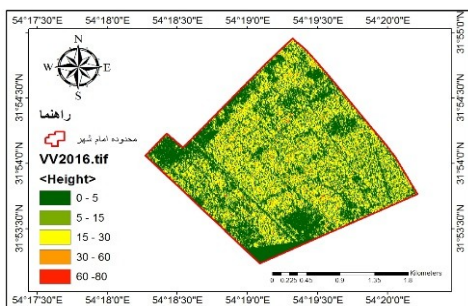
شکل ۹ - موقعیت ساختمان‌های غیرمجاز شهری

پلاریزاسیون VV در تاریخ ۲۰۱۵/۱۰/۰۳



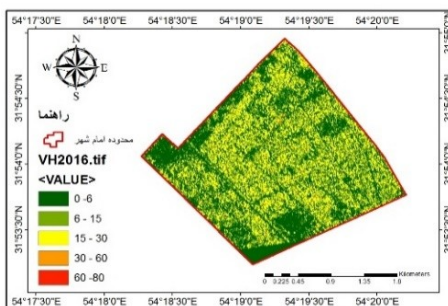
شکل ۱۰ - موقعیت ساختمان‌های غیرمجاز شهری

پلاریزاسیون VH در تاریخ ۲۰۱۵/۱۰/۰۳



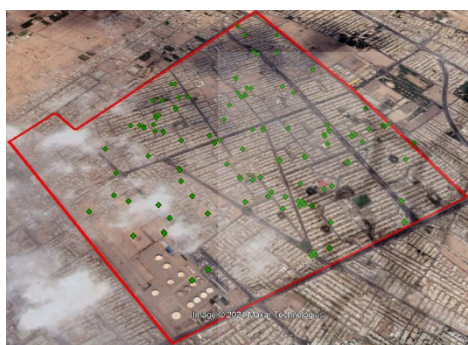
شکل ۱۱- نقشه DSM در پلاریزاسیون VV در تاریخ

۲۰۱۶/۱۰/۲۷



شکل ۱۰- نقشه DSM در پلاریزاسیون VH در

تاریخ ۲۰۱۶/۱۰/۲۷



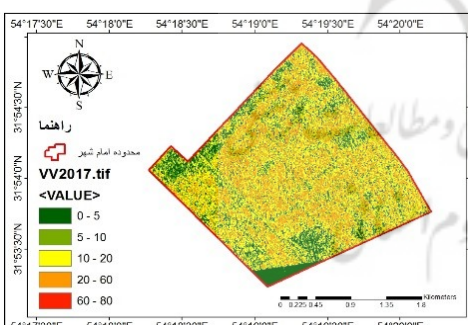
شکل ۱۳- موقعیت ساختمان‌های غیرمجاز شهری

پلاریزاسیون VV تاریخ ۲۰۱۶/۱۰/۲۷



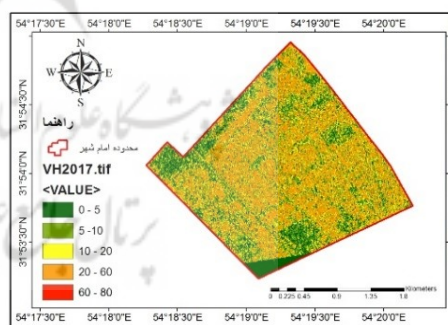
شکل ۱۲- موقعیت ساختمان‌های غیرمجاز شهری

پلاریزاسیون VH تاریخ ۲۰۱۶/۱۰/۲۷



شکل ۱۵- نقشه DSM در پلاریزاسیون VV در تاریخ

۲۰۱۷/۱۰/۱۰



شکل ۱۴- نقشه DSM در پلاریزاسیون VH در

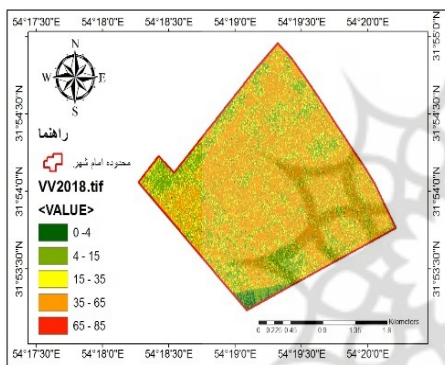
تاریخ ۲۰۱۷/۱۰/۱۰



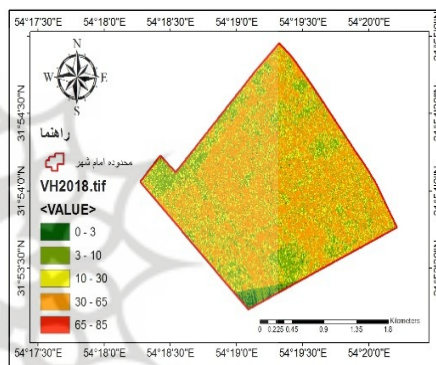
شکل ۱۷- موقعیت ساختمان‌های غیرمجاز شهری
پلاریزاسیون VH ۲۰۱۷/۱۰/۱۰



شکل ۱۶- موقعیت ساختمان‌های غیرمجاز شهری
پلاریزاسیون VH ۲۰۱۷/۱۰/۱۰



شکل ۱۹- نقشه DSM در پلاریزاسیون VV در تاریخ
۲۰۱۸/۱۰/۰۷



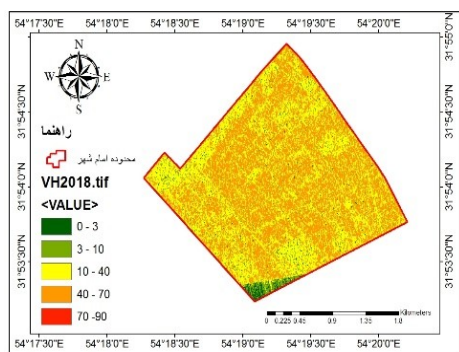
شکل ۱۸- نقشه DSM در پلاریزاسیون VH در
تاریخ ۲۰۱۸/۱۰/۰۷



شکل ۲۱- موقعیت ساختمان‌های غیرمجاز شهری
پلاریزاسیون VH ۲۰۱۸/۱۰/۰۷

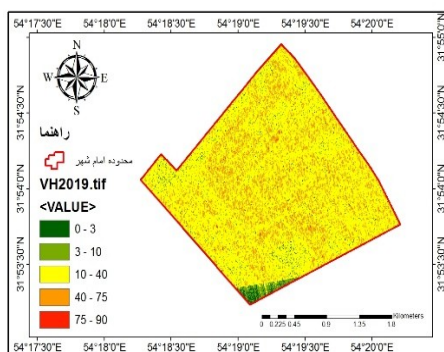


شکل ۲۰- موقعیت ساختمان‌های غیرمجاز شهری
پلاریزاسیون VH ۲۰۱۸/۱۰/۰۷



شکل ۲۳- نقشه DSM در پلاریزاسیون VV در تاریخ

۲۰۱۹/۱۰/۱۳



شکل ۲۲- نقشه DSM در پلاریزاسیون VH در

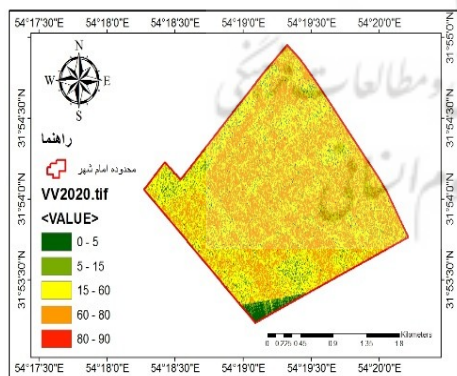
تاریخ ۲۰۱۹/۱۰/۱۳



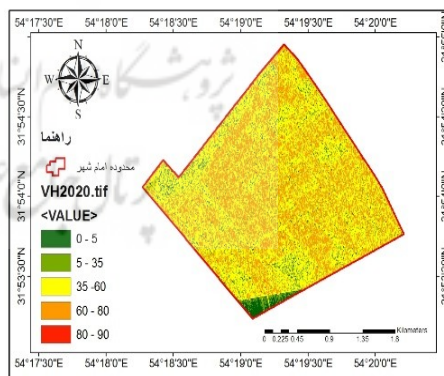
شکل ۲۵- موقعیت ساختمان‌های غیرمجاز شهری پلاریزاسیون VH ۲۰۱۹/۱۰/۱۳



شکل ۲۴- موقعیت ساختمان‌های غیرمجاز شهری پلاریزاسیون VH ۲۰۱۹/۱۰/۱۳



شکل ۲۷- نقشه DSM در پلاریزاسیون VV در تاریخ ۲۰۲۰/۱۰/۱۵



شکل ۲۶- نقشه DSM در پلاریزاسیون VH در تاریخ ۲۰۲۰/۱۰/۱۵

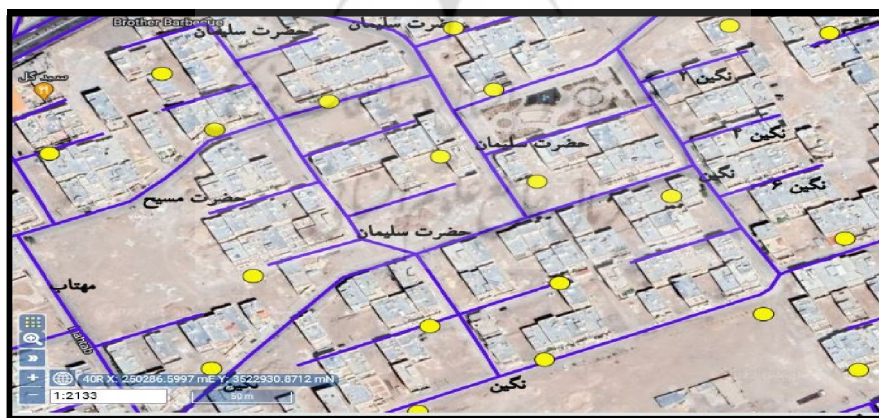
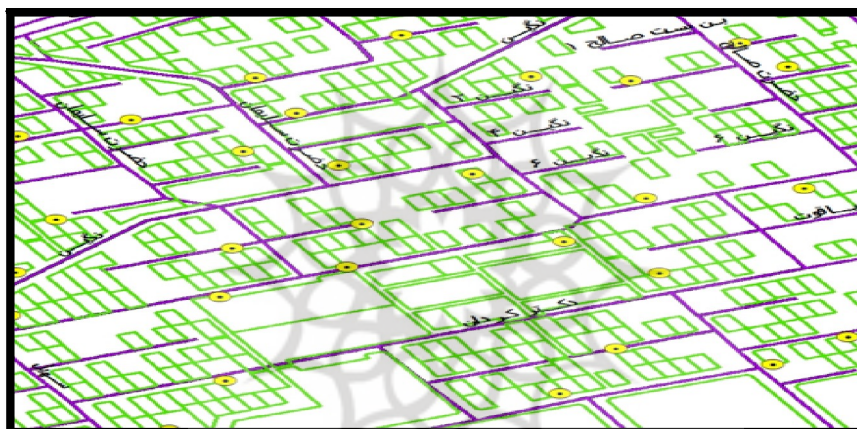


شکل ۲۹- موقعیت ساختمان‌های غیرمجاز شهری

شکل ۲۸- موقعیت ساختمان‌های غیرمجاز شهری

پلاریزاسیون ۷۷ ۱۵/۱۰/۲۰۲۰

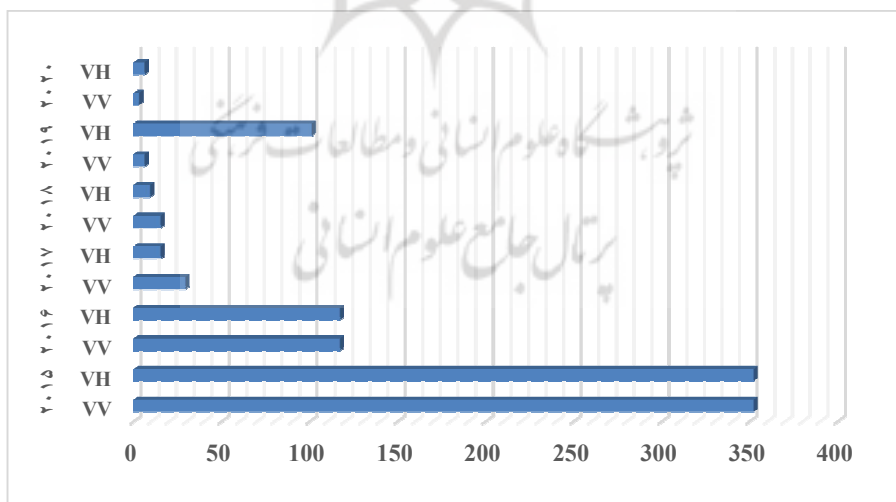
پلاریزاسیون ۱۵۷H ۱۰/۱۰/۲۰۲۰



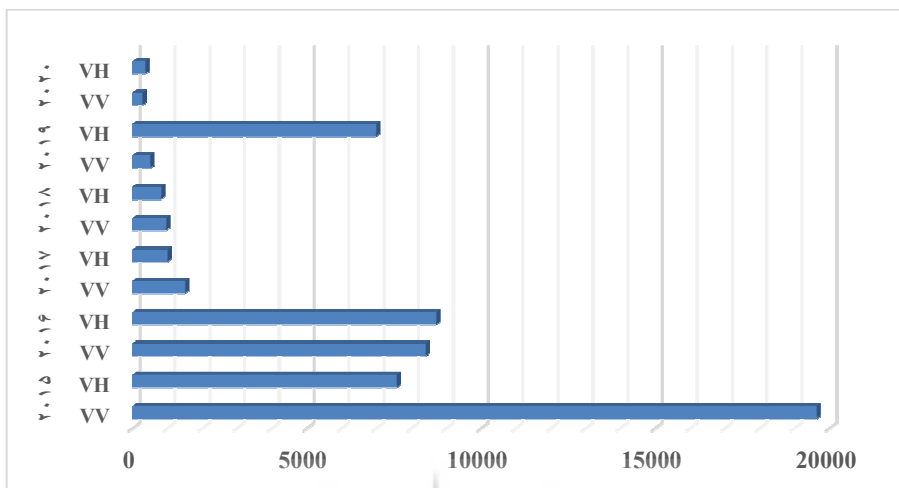
شکل (نقشه) ۳۰- طبقه‌بندی شده الگوریتم حداکثر احتمال ساختمان‌های در حال ساخت بدون پروانه

جدول ۴- تعداد و مساحت ساخت‌وسازهای غیرمجاز شهری منطقه امام شهر (۲۰۱۵-۲۰۲۰)

تاریخ	پلاریزاسیون	تعداد ساختمان‌های غیرمجاز	مساحت ساختمان‌های غیرمجاز
۲۰۱۵	VV	۳۵۲	۱۹۶۳۱
	VH	۳۵۲	۷۵۷۵
۲۰۱۶	VV	۱۱۷	۸۴۰۲
	VH	۱۱۷	۸۷۰۷
۲۰۱۷	VV	۲۹	۱۵۰۰
	VH	۱۵	۹۹۷
۲۰۱۸	VV	۱۵	۹۵۲
	VH	۹	۸۰۶
۲۰۱۹	VV	۶	۵۰۷
	VH	۱۰۱	۶۹۷۶
۲۰۲۰	VV	۳	۲۷۹
	VH	۶	۳۶۷



شکل ۳۱- تعداد ساختمان‌های غیرمجاز شماری منطقه امام شهر (۲۰۱۵-۲۰۲۰)



شکل ۳۲- مساحت ساختمان‌های غیرمجاز شماری منطقه امام شهر (۲۰۲۰-۲۰۱۵)

۶. نتایج صحت کلی نقشه‌های تولیدشده

جهت بررسی دقیق‌تر و برآورد دقت مدل نقشه‌های تولیدشده با داده‌های زمینی و نقشه ارتفاع ساختمان‌ها دریافتی از شهرداری مقایسه شدند که در جدول (۵) آمده است.

جدول ۵- جدول دقت نقشه‌های تولیدشده با استفاده از ضریب کاپا و دقت کلی

تاریخ	ستتیل ۱			
	VH		VV	
	ضریب کاپا	دقت کلی	ضریب کاپا	دقت کلی
۲۰۱۵/۱۰/۰۳	۸۰	۸۱	۷۹	۸۲
۲۰۱۶/۱۰/۲۷	۷۸	۸۰	۷۶	۷۷
۲۰۱۷/۱۰/۱۰	۷۷	۷۸	۷۴	۷۵
۲۰۱۸/۱۰/۰۷	۸۱	۸۲	۷۹	۸۳
۲۰۱۹/۱۰/۱۳	۷۹	۸۲	۷۷	۸۰
۲۰۲۰/۱۰/۱۵	۸۰	۸۱	۷۸	۸۰
میانگین	۷۹,۱۶	۸۰,۶۶	۷۷,۱۶	۷۹,۵

ستینیل ۲		
تاریخ نزدیک به ستینیل ۱	نقشه طبقه‌بندی شبکه عصبی	
	ضریب کاپا	دقت کلی
۲۰۱۵/۱۰/۱۰	۷۵	۷۶
۲۰۱۶/۱۰/۲۰	۷۴	۷۶
۲۰۱۷/۱۰/۱۵	۷۶	۸۰
۲۰۱۸/۱۰/۰۵	۷۱	۷۴
۲۰۱۹/۱۰/۱۶	۷۲	۷۴
۲۰۲۰/۱۰/۱۸	۷۰	۷۴
میانگین	۷۳	۷۵,۶۶

۷. بحث و نتیجه‌گیری

یکی از مهم‌ترین مسائل و چالش‌های پیشرو در شهر یزد که رتبه بالایی در زمینه ساخت‌وسازهای غیرمجاز شهری دارد، آشکارسازی و نظارت بر ساخت‌وساز است. شناسایی ساخت‌وسازهای غیرمجاز شهری در این پژوهش سبب شد فرضیه مطالعه حاضر به اثبات برسد؛ بدین معنی که آشکارسازی ساختمان‌های غیرمجاز شهری با تلفیق تصاویر ستینیل سری ۱ و ۲ با کمترین حضور عامل انسانی راه‌حلی جدید، سریع و مقرون‌به‌صرفه برای شناسایی و نظارت ساخت‌وسازهای غیرمجاز شهری است و با نتایج (محمد نژاد آروق، ۱۳۹۹؛ فرهادی و همکاران، ۱۴۰۰؛ Frantz et al, 2020; Sen et al, 2019). مطابقت دارد. همچنین استفاده از داده‌های راداری در آشکارسازی سطوح شهری با روش ماشین بردار پشتیبان پتانسیل زیادی دارد که با نتایج پژوهش‌های (مسجدی و همکاران، ۱۳۹۴؛ سهرابی مفرد و بختیاری کیا، ۱۳۹۹؛ صالحی نژاد و المدرسی، ۱۴۰۲؛ Zhang, et al, 2016; X Zhang et al, 2020; Shao et al, 2016) مطابقت دارد و تأییدکننده این یافته است که داده‌های راداری با توجه به ویژگی‌های کامل‌تری که نسبت به داده‌های نوری دارند، به بهبود آشکارسازی سطوح نفوذناپذیر شهری کمک می‌کنند. همچنین نشان می‌دهد استفاده از روش‌هایی چون بررسی بافت در تصاویر اپتیکی که

الگوها و روابط مکانی و تغییرات بین پیکسل‌های تصویر و پیکسل‌های مجاور را در نظر می‌گیرند، دقت نتایج را به میزان زیادی در مناظر پیچیده شهری افزایش می‌دهد که با نتایج به‌دست‌آمده پژوهش‌های (خصالی و همکاران، ۱۳۹۲؛ ملک‌نژاد و همکاران، ۱۳۹۴؛ سهرابی مفرد و بختیاری کیا، ۱۳۹۹؛ Chatziantoniou et al, 2017) که نشان دادند روش‌های طبقه‌بندی هنگام ترکیب با ویژگی‌های آماری بررسی بافت برای آشکارسازی و تفکیک سطوح شهری نتایج مناسب‌تری ارائه می‌دهند مطابقت دارد. نتایج پردازش تصاویر در جدول (۴ و ۵) نشانگر افزایش ساخت‌وساز غیرمجاز شهری در سال ۱۳۹۴ می‌باشیم که با توجه به اینکه منطقه امامشهر یزد دارای پتانسیل مهاجرپذیری بالایی در این سال می‌باشد و به طبع با افزایش جمعیت مهاجر و نیاز به تهیه مسکن و با بررسی نتایج حاصل از پردازش تغییرات ساختمانی صورت گرفته، شاهد افزایش بی‌رویه ساخت‌وساز غیرمجاز در این محدوده می‌باشیم. در مطالعه حاضر با استفاده از تصاویر ماهواره‌ای سنتینل ۱ و ۲ با قدرت تفکیک مکانی بالا مربوط به بازه زمانی ۶ سال به‌منظور استخراج اطلاعات دقیق مکانی و ساخت‌وسازهای غیرمجاز بخشی از منطقه یک یزد (امامشهر) بهره‌گرفته شده است و نقشه شهری و پایگاه داده بهنگام ممیزی شهرداری از ساختمان‌های محدوده مورد مطالعه ارائه شد؛ به کمک آن موقعیت ساختمان‌هایی که به‌صورت غیرقانونی در حال ساخته شدن بودند شناسایی شدند. نتایج این پژوهش حاکی از آن است که اکثر ساخت‌وسازهای غیرقانونی را می‌توان با استفاده از روش ارائه شده به‌صورت نیمه‌خودکار شناسایی کرد و نهایتاً با یک بازدید میدانی هدفمند از صحت نتایج حاصل شده در کوتاه‌ترین زمان ممکن اطمینان حاصل کرد. همچنین استفاده از این تکنیک، باعث به‌حداقل رسیدن امکان تبانی بین سازندگان و بازرسین شهرداری و تسریع در روند تشخیص ساخت‌وسازهای غیرقانونی و کمک به جلوگیری از ادامه ساخت آن‌ها می‌شود. به‌کارگیری این روش به بازرسین شهرداری برای جست‌وجوی هدفمند در سطح شهر کمک می‌کند. بدین معنی که با شناسایی ساخت‌وسازهای غیرقانونی، موقعیت مکانی آن‌ها نیز شناسایی شده و به بازرسین شهرداری گزارش می‌شود تا بازرسان بتوانند در کمترین زمان ممکن عوارض مشکوک را

بررسی نمایند. استفاده از آشکارسازی ساخت‌وسازهای غیرمجاز شهری با استفاده از تصاویر ماهواره‌ای ارائه شده مشخصاً باعث کاهش زمان شناسایی ساخت‌وسازهای غیرقانونی و کمک به جلوگیری از ادامه چنین ساخت‌وسازهایی شده و اهداف این پژوهش را محقق می‌سازد.




تقدیر و تشکر

از حمایت سازمان فناوری اطلاعات و ارتباطات شهرداری یزد، به دلیل در اختیار گذاشتن داده‌های ممیزی بهنگام منطقه مورد مطالعه و از خدمات ESA بابت تأمین منابع رایانه‌های مورداستفاده با داده‌های Copernicus Sentinel 1&2 تشکر و قدردانی می‌کنیم.

تعارض منافع

نویسندگان این مقاله اعلام می‌دارند که هیچ‌گونه تعارض منافی در ارتباط با این مطالعه وجود ندارد.

Orcid

Seyed Ali Almodarresi  <https://orcid.org/0000-0002-4285-1941>
Mohammad-Mehdi  <https://orcid.org/0000-0002-4919-0293>
Mohammadipoor
Zohreh Salehi Nezhad  <https://orcid.org/0000-0002-0724-058X>

منابع

- جعفری، شاهین و عطارچی، سارا. (۱۴۰۰). آشکارسازی مناطق ساخته‌شده شهری با استفاده از تصاویر مدارهای متفاوت سنتینل ۱، مورد مطالعه: شهر اصفهان. پژوهش‌های جغرافیای برنامه‌ریزی شهری، دوره ۹، شماره ۳: ۷۰۹-۷۳۴.

[doi:10.2059/jurbangeo.2021.317204.1439](https://doi.org/10.2059/jurbangeo.2021.317204.1439)

- خصالی، الهه؛ ولدان زوج، محمدجواد؛ دهقانی، مریم و مختارزاده، مهدی، (۱۳۹۲)، مقایسه استخراج عارضه راه در مناطق شهری از تصاویر با حد تفکیک بالای TerraSER-X و آیکونوس با استفاده از اطلاعات بافت در الگوریتم‌های شبکه عصبی، سنجش از دور و GIS ایران، دوره ۵، شماره ۴: ۲۳-۳۶.

magiran.com/p1581695

- خلیلی مقدم، دلاور و حناچی، پیروز. (۱۳۹۵)، پایش نیمه‌خودکار ساخت‌وسازهای غیرقانونی در محدوده شهری با استفاده از تصاویر ماهواره‌ای و روش پیکسل مبنای عملگر فازی بای ضمنی، نشریه علمی مهندسی نقشه‌برداری و اطلاعات مکانی، سال هفتم، شماره سوم: ۱۱۶-۱۰۵.

<http://gej.issge.ir/article-1-191-fa.html>

- سعیدزاده، فاطمه؛ محمدنژاد نیازی، سعید؛ صاحبی، محمدرضا و مختارزاده، مهدی. (۱۳۹۴)، استخراج بهینه‌سازی و بررسی تأثیر اطلاعات مختلف بافت تصویر در طبقه‌بندی تصاویر بزرگ مقیاس، بیست و دومین همایش و نمایشگاه ملی ژئوماتیک، سازمان نقشه‌برداری ایران، تهران.

- سلطانی، محمدرضا و سرکارگر اردکانی، علی. (۱۳۹۳)، تشخیص محدوده ساختمان‌ها با استفاده از تصاویر ماهواره‌ای وضوح بالا با روش طبقه‌بندی شی مینا (Base Object) و استخراج ساخت‌وسازهای غیرمجاز، همایش ملی کاربرد مدل‌های پیشرفته تحلیل فضایی (سنجش‌ازدور و GIS) در آمایش سرزمین، یزد

<https://civilica.com/doc/365214>.

- سهرابی مفرد، مرضیه و بختیاری کیا، مسعود. (۱۳۹۹)، آشکارسازی سطوح نفوذناپذیر شهری با استفاده از ویژگی‌های بافتی تصویر راداری، فصلنامه علمی برنامه‌ریزی فضایی (مقاله پژوهشی)، سال دهم، شماره یکم، پیاپی ۳۶: ۸۵-۱۰۴.

[10.22108/sppl.2019.117592.1392](https://doi.org/10.22108/sppl.2019.117592.1392)

- صادقی، وحید؛ عنایتی، حمید و عبادی، حمید. (۱۳۹۴)، بهبود شناسایی تغییرات در مناطق شهری با انتخاب ویژگی‌های طیفی و مکانی بهینه مبتنی بر الگوریتم ژنتیک، فصلنامه علمی پژوهشی اطلاعات جغرافیایی (سیهر)، دوره ۲۴، شماره ۹۶: ۱۳۵-۱۵۲.

[10.22131/sepehr.2016.18949](https://doi.org/10.22131/sepehr.2016.18949)

- صالحی نژاد، زهره و المدرسی، سید علی. (۱۴۰۲)، آنالیز سری زمانی تصاویر راداری پایش نیمه‌خودکار در نظارت بر ساخت‌وساز غیرمجاز شهری (منطقه مورد مطالعه: شهرک‌های مهرآوران، اندیشه و فراز یزد). نشریه سنجش‌ازدور و GIS، دوره ۱۵، شماره ۲: ۵۵-۷۲.

[doi: 10.48308/gisj.2023.102885](https://doi.org/10.48308/gisj.2023.102885)

- فرهادی، هادی؛ مناقبی، طیبه و عبادی، حمید. (۱۴۰۰)، استخراج ساختمان‌ها در نواحی شهری مبتنی بر داده‌های سری زمانی راداری و اپتیکی با استفاده از سامانه گوگل ارث انجین. فصلنامه علمی- پژوهشی اطلاعات جغرافیایی سیهر، دوره ۳۰، شماره ۴۳: ۴۳-۶۳.

<https://doi.org/10.22131/sepehr.2022.251053>

- قنادی، محمدمین؛ عنایتی، حمید و خصالی، الهه. (۱۳۹۷)، تولید مدل رقومی ارتفاعی زمین با استفاده از تصاویر سنتینل-۱ و تکنیک تداخل سنجی راداری، فصلنامه علمی - پژوهشی اطلاعات جغرافیایی سیهر، دوره ۲۷، شماره ۱۰۸: ۱۰۹-۱۲۱.

[10.29252/jgit.3.4.1](https://doi.org/10.29252/jgit.3.4.1)

- کابلی زاده، م؛ و رنگ‌زن، ک و محمدی، ش. (۱۳۹۷)، کاربرد تلفیق تصاویر ماهواره‌ای لندست-۸ و سنتینل-۲ در پایش محیطی. سنجش از دور و سامانه اطلاعات جغرافیایی در منابع طبیعی (کاربرد سنجش‌ازدور و GIS در علوم منابع طبیعی)، دوره ۹، شماره ۳: (پیاپی

<https://www.sid.ir/fa/journal/ViewPaper.aspx?id=474781>. ۷۱-۵۳: (۳۲)

- گلمهر، احسان. (۱۳۹۷)، بررسی علل و عوامل مؤثر در ساخت‌وسازهای غیرمجاز (مطالعه موردی شهر قزوین)، فصلنامه جغرافیا و برنامه‌ریزی منطقه‌ای، دوره هشتم، شماره سوم:

www.noormags.ir/view/fa/articlepage/1840927. ۱۱۳-۱۰۱

- محمد نژاد آروق، وحید. (۱۳۹۹)، شناسایی اراضی شهری با استفاده از تصاویر ماهواره‌ای سنتینل ۱ و ۲ بر پایه سامانه گوگل ارث انجین (GEE). پژوهش‌های جغرافیایی برنامه‌ریزی شهری، دوره ۳، شماره ۸: ۶۱۳-۶۳۰.

[doi:10.22059/jurbangeo.2020.301237.1270](https://doi.org/10.22059/jurbangeo.2020.301237.1270)

- مسجدی، علی؛ مقصودی، یاسر و محمدجواد، ولدان زوج. (۱۳۹۴)، طبقه‌بندی تصاویر پلاریمتری رادار با روزنه مجازی بر اساس تلفیق طبقه‌بندی کننده ماشین بردار پشتیبان و میدان‌های تصادفی مارکوف، مهندسی فناوری اطلاعات مکانی، دوره ۳، شماره ۴.
- ملک‌نژاد، احمد؛ قاسمیان، حسن و میرزا پور، فردین. (۱۳۹۴)، سنجش کارایی ویژگی‌های بافتی GLCM در افزایش دقت طبقه‌بندی تصاویر حاصل از ادغام تصاویر تک باند و ابرطیفی مناطق مسکونی و صنعتی جنوب شهر تهران، نشریه علمی پژوهشی علوم و فنون نقشه‌برداری، دوره ۵، شماره ۱: ۵۵-۶۴.

<https://www.sid.ir/fa/journal/ViewPaper.aspx?id=250766>

- مرکز آمار ایران ۱۳۹۵

- Adamowski, J, and Prokoph, A. (2013). Assessing the Impacts of the Urban Heat Island Effect on Streamflow Patterns in Ottawa, Canada. *Journal of Hydrology*, 496, 225-237.
- Aliabad, F. A., Malamiri, H. R. G., Shojaei, S., Sarsangi, A., Ferreira, C. S. S., & Kalantari, Z. (2022). Investigating the ability to identify new constructions in urban areas using images from unmanned aerial vehicles, Google Earth, and Sentinel-2. *Remote Sensing*, 14(13), 3227.
- Azmedroub, B., Ouarzeddine, M., & Souissi, B. (2016). Extraction of Urban Areas from Polarimetric SAR Imagery. *IEEE Journal of Selected Topics in Applied Earth Observations and Remote Sensing*, 9(6), 2583-2591
- Dabbiru, L., Aanstoos, J.V., Ball, J.E., Younan, N.H., (2017). Screening Mississippi River Levees Using Texture-Based and Polarimetric-Based Features from Synthetic Aperture Radar Data, Vol 6, 29 p, <https://doi.org/10.3390/electronics6020029>
- Douglas, I. (2006). Peri-urban ecosystems and societies: transitional zones and contrasting values. In: McGregor, D, Simon, D, Thompson, D. (Eds.), *The Peri-Urban, Interface: Approaches to Sustainable Natural and Human Resource Use. Earth scan, London*
- Fekade, W. (2000). Deficits of formal urban land management and informal responses under rapid urban growth: an international perspective. *Habitat Int*, [https://doi.org/10.1016/S0197-3975\(99\)00034-X](https://doi.org/10.1016/S0197-3975(99)00034-X)
- Frantz, David & Schug, Franz & Okujeni, Akpona & Navacchi, Claudio & Wagner, Wolfgang & van der Linden, Sebastian & Hostert, Patrick. (2020).

National-scale mapping of building height using Sentinel-1 and Sentinel-2 time series. *Remote Sensing of Environment*. 252.

<https://doi.org/10.1016/j.rse.2020.112128>

- FU, Huyan, Shao, Zhenfeng, (2016). Impacts of feature selection for urban impervious surface extraction using optical image and SAR data, *IEEE, School of Electronics Information and Communications Huazhong University of Science and Technology Wuhan, China*, 978-1-5090-14 79-8/16, DOI: 10.1109/EORSA.2016.7552842
- Hoorweg, D., Sugar, L., & Trejos Gómez, C. L. (2011). Cities and Greenhouse Gas Emissions: Moving Forward. *Environment and Urbanization*, 23(1), 207-227.
- Jimboh, B.A, Al-Hasan, A.Z, Imimole, W.O, and Ahmed, M.B(2017). Contravention of Development Control Measures in Auchi, Edo State, Nigeria, *Applied Science Reports*, 20 (1), pp:30-34. <https://ssrn.com/abstract=3201451>
- Kaya, S., Basar, U. G., Karaca, M., & Seker, D. Z. (2012a). Assessment of Urban Heat Islands Using Remotely Sensed Data. *Ekoloji*, 21(84), 107-113.
- Kaya, S., Seker, D. Z., & Tanik, A. (2012b). Analysis of Urbanized Areas Using VIS Components Model. *Fresenius Environmental Bulletin*, 21(11), 3243-3248.
- Kević, V., Racetin, I., & Krtalić, A. (2025). Temporal Analysis of Multispectral Satellite Data for the Purpose of Urbanization Monitoring. *The International Archives of the Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences*, 48, 165-170.
- Kim C, Jeong J, Kim R, Son Y, Lee KH, et al. (2011). Allometric equations and biomass expansion factors of Japanese red pine on the local level. *Landscape Ecology Engineering* 7: 283-289, <https://doi.org/10.1007/s11355-010-0131-2>
- Lagarias, A. (2012). Urban Sprawl Simulation Linking Macro-Scale Processes to Micro-Dynamics through Cellular Automata, an Application in Thessaloniki, Greece. *Applied Geography*, 34, 146-160.
- Lu, Dengsheng, Moran, Emilio, Hetrick, Scott, (2011). Detection of impervious surface change with multitemporal Landsat images in an urban-rural frontier, *ISPRS Journal of Photogrammetry and Remote Sensing*, Pp 298-299, <https://doi.org/10.1016/j.isprsjprs.2010.10.010>
- Mehta, Y., Baz, A., & Patel, S. K. (2024). Semantic segmentation of optical satellite images for the illegal construction detection using transfer learning. *Results in Engineering*, 24, 103383.
- Sun, Z., Xu, R., Du, W., Wang, L., & Lu, D. (2019). High-resolution urban land mapping in China from sentinel 1A/2 imagery based on Google Earth Engine. *Remote Sensing*, 117, 752.

- Sekertekin, A., Kutoglu, S. H., & Kaya, S. (2016). Evaluation of spatio-temporal variability in Land Surface Temperature: A case study of Zonguldak, Turkey. *Environmental monitoring and assessment*, 188(1), 30.
- Sekertekin, A., Abdikan, S., & Marangoz, A. M. (2018). The acquisition of impervious surface area from LANDSAT 8 satellite sensor data using urban indices: a comparative analysis. *Environmental monitoring and assessment*, 190(7), 381.
- Vigneshwaran, S., & Kumar, S. V. (2018). Extraction of Built-up area using Highresolution Sentinel-2A and Google Satellite Imagery. *International Archives of the Photogrammetry, Remote Sensing & Spatial Information Sciences*, 42
- Wu, Y., Li, X., Gong, Y., & Mwaniki, D. (2025). A flexible framework for identifying urban villages using Sentinel-2 observations and deep learning. *International Journal of Applied Earth Observation and Geoinformation*, 141, 104631
- Zhang, Hongsheng, Lina, Hui, Li, Yu, Zhang, Yuanzhi, Fang, ChaoYang, (2016). Mapping impervious surfaces with the integrated use of Landsat Thematic Mapper and radar data: A case study in an urban-rural landscape, *Landscape and Urban Planning*, Pp 4812-4815.
- Zhang, X., Liu, L., Wu, C., Chen, X., Gao, Y., Xie, S., & Zhang, B. (2020). Development of a global 30 m impervious surface map using multitemporal remote sensing datasets with the Google Earth Engine platform. *Earth System Science Data*, 123, 1625-1648.
- Żuk, L., & Królewicz, S. (2022). Uses of sentinel-1 and-2 images in heritage management: a case study from Lednica Landscape Park (Poland). *Geosciences*, 12(4), 159.

استناد به این مقاله: صالحی نژاد، زهره؛ محمدی پور، محمدمهدی و المدرسی، سیدعلی. (۱۴۰۴). آشکارسازی ساخت و سازهای غیرمجاز شهری با تلفیق تصاویر سنتینل ۱ و ۲ (منطقه امام شهر یزد در بازه زمانی ۲۰۱۵ تا ۲۰۲۰)، فصلنامه برنامه‌ریزی توسعه شهری و منطقه‌ای، ۱۰(۳۴)، ۱۵۵-۱۸۷.



Urban and Regional Development Planning is licensed under a Creative Commons Attribution-NonCommercial 4.0 International License.