



سنجش از دور , GIS ایران



سنجش از دور و GIS ایران سال پانزدهم، شماره دوم، تابستان ۱۴۰۲
Iranian Remote Sensing & GIS Vol.15, No. 2, Summer 2023

۷۲-۵۵

مقاله پژوهشی

آنالیز سری زمانی تصاویر راداری پایش نیمه خودکار در نظارت بر ساخت و ساز غیرمجاز شهری (منطقه مورد مطالعه: شهرک‌های مهرآوران، اندیشه و فراز یزد)

زهرة صالحی نژاد^۱ و سیدعلی المدرسی^{۲*}

۱. کارشناسی ارشد سنجش از دور و سیستم اطلاعات جغرافیایی، دانشکده فنی و مهندسی، دانشگاه آزاد اسلامی یزد، یزد
۲. استاد تمام، گروه سنجش از دور، دانشکده فنی و مهندسی، دانشگاه آزاد اسلامی یزد، یزد

تاریخ پذیرش مقاله: ۱۴۰۱/۰۸/۱۷

تاریخ دریافت مقاله: ۱۴۰۱/۰۲/۳۰

چکیده

تخلفات ساختمانی، به سبب سطح فراگیر و آثار بلندمدت و پایدارشان در نیم‌رخ شهرها، از مهم‌ترین چالش‌های شهرنشینی نوین محسوب می‌شوند. روش‌های رایج و معمول که امروزه در کنترل ساخت‌وسازها استفاده می‌شود، بسیار زمان‌بر و پرهزینه است. هدف اصلی این پژوهش ارائه چارچوبی نوین به منظور برآورد سریع و کم‌هزینه، در آشکارسازی و نظارت بر ساخت‌وسازها و شناسایی ساختمان‌های غیرمجاز شهری، با استفاده از تصاویر ماهواره سنتینل-۱ در دوره زمانی ۲۰۱۷ تا ۲۰۲۲ و سیستم‌های اطلاعات مکانی است. بدین منظور در مرحله اول، براساس تحلیل و پردازش در نرم‌افزار SNAP، ضریب پراکنش سیگنات‌های تصاویر استخراج و به دو طبقه ساختمان و غیرساختمان تفکیک شده و حد آستانه بیشتر از ۰/۰۱ به دست آمده است. سپس، با استفاده از الگوریتم پیکسل‌مینا، تصویر باینری ساختمان و غیرساختمان به صورت صفر و یک تهیه و براساس اختلاف دو تصویر، منطقه‌ای که ساخت‌وساز در آن انجام شده است مشخص شد. پس از آشکارسازی مناطقی ساختمانی تغییر یافته، با استفاده از الگوریتم‌های طبقه‌بندی حداکثر احتمال و جنگل تصادفی، این مناطق در سه کلاس (ساختمان، در حال ساخت و سایر اراضی) قرار گرفتند و با نقشه برداشت میدانی و پارسل‌های بدون پروانه ارزیابی شدند. نتایج نشان داد تعداد ساختمان‌های بدون پروانه با استفاده از الگوریتم حداکثر احتمال، جنگل تصادفی و برداشت میدانی، به ترتیب، ۱۳۵ و ۴۸ و ۱۳۵ است؛ همچنین دقت اجرای روش حداکثر احتمال به بیشترین میزان ۰/۸۹٪ و ضریب کاپای ۰/۸۳٪ نسبت به روش جنگل تصادفی، با دقت کلی ۰/۸۶٪ و ضریب کاپای ۰/۸۱٪ بوده است.

کلیدواژه‌ها: تصاویر راداری، ماهواره سنتینل-۱، پایش نیمه خودکار، ساختمان‌های غیرمجاز شهری، پلیس ساختمان.

* نویسنده مکاتبه‌کننده: گروه سنجش از دور، دانشکده فنی و مهندسی، دانشگاه آزاد اسلامی یزد، یزد.

Email: almodaresi@iauyazd.ac.ir
https://orcid.org/0000-0002-4285-1941
https://dx.doi.org/10.48308/gisj.2023.102885



Copyright: © 2023 by the authors. Submitted for possible open access publication under the terms and conditions of the Creative Commons Attribution (CC BY) license (https://creativecommons.org/licenses/by/4.0/).

۱- مقدمه

هم‌گام با رشد روزافزون جمعیت و گسترش شهرنشینی، افراد با مشکلاتی، از جمله کمبود مسکن و سایر خدمات رفاهی روبه‌رو می‌شوند که به افزایش ساخت‌وسازهای غیرمجاز در شهرها و به‌ویژه کلان‌شهرها انجامیده است. نمی‌توان در برابر افزایش میزان تخلفات ساختمانی در کلان‌شهرها و آسیب‌هایی که به زندگی شهری و محیط شهر می‌رسانند چشم‌پوشی کرد و ضرورت برخوردی مناسب با این مسئله عیان می‌شود (Kapoor & Blanc, 2008). با بررسی فعالیت‌های ساختمانی در کلان‌شهرها و حوزه‌های پیرامونی آنها، می‌توان گفت آمار و ارقام تخلفات، در قیاس با سال‌های گذشته، چندبرابر شده است (Golmeh, 2017). به‌طور کلی علت بروز ساخت‌وسازهای غیرمجاز شهری نقص در قوانین ساخت‌وساز شهری و فقدان نظارت درست بر آن و ضعف مدیریت شهری در مقابله با ساخت‌وساز غیرمجاز است (Einollah Zadeh & Yusuf Pour, 2014). با توجه به اینکه منطقه ۳ شهر یزد جزء مناطق جدید به‌شمار می‌رود و میزان ساخت‌وساز در این منطقه به‌نسبت سال‌های اخیر به‌مراتب افزایش زیادی داشته است، لزوم کار پژوهش بر مبنای توجه بیشتر به این منطقه، در بررسی‌ها و نظارت بالقوه، احساس می‌شود (Esmaili Aliai, 2017; Esmailpour et al., 2018).

روش کنونی که امروزه در شهرداری‌ها برای کنترل و شناسایی ساخت‌وسازهای غیرقانونی، به‌شیوه معمول و قدیمی، به‌کار می‌رود براساس حضور عامل انسانی و جست‌وجوی اتفاقی در سراسر مناطق شهر است. از معایب این روش، می‌توان به پرهزینه‌بودن، زمان‌بر بودن و غیردقیق بودن آن اشاره کرد. این در حالی است که شناسایی ساخت‌وسازهای غیرمجاز شهری باید، تا حد امکان، سریع و کم‌هزینه باشد تا بتوان، در کمترین زمان ممکن، از ادامه روند جلوگیری کرد. سنجش از دور دانش و فناوری دریافت اطلاعات از روی زمین، بدون حضور در محل است. همچنین تلاش بر این است که در پردازش و استخراج اطلاعات از این داده‌ها، عامل انسانی کمترین نقش را داشته باشد (Liang & Wang, 2019).

پژوهشگران بسیاری، در زمینه آشکارسازی تغییرات ساختمانی‌ها، از تصاویر ماهواره‌ای و هوایی استفاده کرده‌اند (Soltani & Sargargar Ardakani, 2013) و با استفاده از تصاویر ماهواره‌ای کوئیک‌برد، باندهای ۱ تا ۴، به‌منظور به‌دست‌آوردن محدوده کلاس‌های عوارض شهری مورد نظر مانند ساختمان‌ها، جاده‌ها، گیاهان و پیاده‌روها به تشخیص محدوده ساختمانی‌ها روی آوردند. سپس کلاس ساختمان‌ها را با استفاده از روش الگوریتم شیء‌مبنا^۱ تفکیک کردند؛ کلاس‌های گیاه، معابر، پیاده‌روها و ساختمان‌ها جداسازی و تغییرات مساحت، در دو سال متفاوت ۲۰۰۸ و ۲۰۱۲، مقایسه شد و محدوده به‌دست‌آمده، با نقشه‌های املاک که از ممیزی سطح شهر ایجاد شدند، مقایسه و دقت روش ارزیابی شد. در نهایت، محدوده‌های ساخته‌شده غیرمجاز، با مقایسه نقشه‌های املاک دارای مجوز، به‌دست آمدند. مزرعه طلایی^۲ و همکاران (۲۰۱۵) با استفاده از عکس هوایی UltraCam با قدرت تفکیک مکانی بالا، مربوط به سال‌های ۱۳۹۰ و ۱۳۹۳، اطلاعات دقیق مکانی و ساخت‌وسازهای غیرمجاز را در بخشی از منطقه ۳ شهر یزد استخراج کرده‌اند. روش‌های تحلیل تصاویر که در مطالعه به‌کار رفته، روش درخت تصمیم‌گیری و روش شیء‌مبناست. روش درخت تصمیم‌گیری (پیکسل‌مبنا) فقط روی پیکسل‌های تصویری و اغلب بر مبنای ویژگی‌های طیفی تصمیم‌گیری می‌کنند و روش شیء‌مبنا، علاوه بر ویژگی طیفی، ویژگی‌های دیگری همچون ویژگی بافت، هندسی و شاخص‌های شکل را نیز استخراج می‌کند. استخراج ساخت‌وسازها با روش درخت تصمیم‌گیری، با دقت ۸۴٪ و روش شیء‌مبنا، با دقت ۹۷٪ انجام شد. خلیلی مقدم و حناچی^۳ (۲۰۱۵)، طی دو مقاله پیاپی در مورد پایش نیمه‌خودکار ساخت‌وسازهای غیرقانونی در محدوده شهرها، به‌جای روش کنترل کنونی که میدانی و به‌طبع زمان‌بر و

1. Object Based
2. Mazraeh Talaei
3. Khalili Moghadam & Hanachi

دقیق‌تری برای استفاده از تصاویر آیکونوس نشان داد. این پژوهش، با استفاده از روش نیمه خودکار، تغییرات ساختمان‌ها را پایش کرد و با مقایسه برداشت‌های میدانی، صحت بالایی به دست داد.

هرموسیلا^۳ و همکاران (۲۰۱۱)، در پژوهشی، دو رویکرد اصلی برای تشخیص و مکان‌یابی خودکار ساختمان‌ها را با استفاده از تصاویر داده‌های لیدار، مقایسه و ارزیابی کردند. براساس الگوریتم شیء‌مبنا و حد آستانه‌گذاری، طبقه‌بندی انجام شد و نتایج نشان می‌دهد رویکرد مبتنی بر حد آستانه‌گذاری کارآیی بالایی در ارزیابی تکنیک‌های تشخیص ساختمان دارد. کوچ و سیرانی^۴ (۲۰۱۲) خطوط ساختمان را به صورت خودکار استخراج کردند؛ آنها ابتدا نقاط مشخصه محلی را از تصویر استخراج و سپس، براساس اصلاح عملکرد برجسته آشکار ساز هریس که می‌تواند منطقه شهری و ساختمان را به وضوح نشان دهد، لبه‌ها را استخراج کردند. این کار به تعیین زیرمجموعه‌های نقطه متعلق به ساختمان‌ها و در نهایت، نمایش تغییرات حاصل کمک می‌کند. استانکوویچ و آفاناسیف^۵ (۲۰۱۸) روشی پیشنهاد کرده‌اند که تکنیک‌های پردازش تصویر را با ابزارهای یادگیری عمیق، برای خودکار سازی بازرسی دولتی در زمینه تشخیص ساختمان‌های غیرقانونی، ترکیب می‌کند. طبقه‌بندی با استفاده از تکنیک شبکه عصبی (CNN) و تأیید نهایی با مطابقت نقشه کاداستر صورت گرفته است. نتیجه مجموعه داده‌های تصاویر ماهواره‌ای نشان می‌دهد رویکرد پیشنهادی به نتایج مورد قبولی در تشخیص ساختمان و ارزیابی قانونی دست یافته است. کرانچیچ و دورین^۶ (۲۰۲۱) در پژوهشی، با استفاده از تصاویر ماهواره‌ای سنتینل-۲A به دستور وزارت ساختمان و برنامه‌ریزی کروواسی، برای

هزینه‌بر است، روش‌های جدید نیمه خودکار را به کار بردند. در این پژوهش، روش نیمه خودکاری مبتنی بر تلفیق سنجش از دور و سیستم‌های اطلاعات مکانی به منظور شناسایی ساخت و سازهای غیرقانونی، با استفاده از تصاویر ماهواره‌ای دوزمانی (GeoEye-1) از محدوده‌های غرب شهر تهران، نقشه‌های پوششی در مقیاس ۱:۲۰۰ و پایگاه داده ممیزی بهنگام اطلاعات ساختمانی منطقه، پیشنهاد شده است. پس از اعمال تصحیحات رادیومتریک و هندسی بر تصاویر ماهواره‌ای، پیکسل‌های تغییر یافته در تصاویر با تلفیق روش عملگر فازی یا ضمنی و روش تفسیر فازی شهودی شناسایی و تصاویر طبقه‌بندی شدند. سپس تغییرات هر ساختمان با تحلیل‌های مکانی محاسبه شد و با حد آستانه مجاز ساخت و ساز، بر طبق قوانین شهرداری منطقه مورد مطالعه، مقایسه شد؛ بدین ترتیب ساختمان‌های در حال ساخت شناسایی شدند و در نهایت، ساخت و سازهای غیرقانونی، با پرسش و پاسخ از پایگاه داده بهنگام ممیزی شهرداری به منزله عوارض مشکوک مشخص شدند. دقت کلی ۹۸٪، ۸۶٪ و ۱۰۰٪ به ترتیب در مورد روش فازی طبقه‌بندی تصویر، شناسایی ساختمان‌های در حال ساخت و شناسایی ساخت و سازهای غیرقانونی به دست آمد. فهمیده مدامی^۱ و همکاران (۲۰۲۲)، طی مطالعه‌ای با استفاده از تصاویر ماهواره‌ای و تصاویر پهپاد، دوربین‌های نصب شده روی خودرو و AVL به منزله ورودی سیستم مانیتورینگ هوشمند با هدف پایش ساخت و سازهای غیرقانونی با کمترین حضور عامل انسانی، موفق شدند ساختمان‌های در حال تغییر و غیرقانونی را با دقت کلی ۹۴٪ و ضریب کاپای ۷۱٪ شناسایی کنند. بایبورت^۲ و همکاران (۲۰۰۸) طی پژوهشی، با استفاده از تصاویر ماهواره‌ای لندست، اسپات و آیکونوس با دوره زمانی سه ماه یکبار، ساخت و سازهای غیرقانونی استانبول را در محدوده خدمات‌دهی شهرداری شناسایی کردند. پردازش‌های صورت گرفته روی هر سه تصویر نتایج

1. Fahmideh Madami
2. Bayburt
3. Hermosilla
4. Kovacs & Sziranyi
5. Ostankovich & Afanasyev
6. Kranjcic & Durin

۲- روش تحقیق

۲-۱- منطقه مورد مطالعه

شهرک‌های مهرآوران، اندیشه و فراز بین ۳۱ درجه و ۴۸ دقیقه تا ۳۱ درجه و ۴۹ دقیقه عرض شمالی و ۵۴ درجه و ۲۱ دقیقه تا ۵۴ درجه و ۲۲ دقیقه طول شرقی، در محدوده پانزده کیلومتری جنوب شرق شهر یزد و حوالی منطقه گردشگری دخمه زرتشتیان قرار دارند. شهرستان یزد در دره‌ای خشک و پهناور بین کوه‌های شیرکوه و خرانق، در ۱۵ درجه و ۵۳ دقیقه تا ۴۰ درجه و ۵۴ دقیقه طول شرقی و ۴۶ درجه و ۳۱ دقیقه تا ۱۵ درجه و ۳۲ دقیقه عرض شمالی واقع شده و میانگین بلندی آن از سطح دریا ۱۲۰۰ متر است. شهرستان یزد، با جمعیتی معادل ۷۳۰۰۰۰ نفر در سال ۱۴۰۰، هفدهمین شهرستان پرجمعیت ایران است (شکل ۱).

۲-۲- داده‌های سنجنده سنتینل-۱

در این پژوهش، از سری زمانی تصاویر راداری ماهواره سنتینل-۱ استفاده شد. تصاویر با دوره زمانی هر شش ماه از تاریخ ۲۰۱۷/۰۶/۱۲ تا ۲۰۲۲/۰۱/۰۵، از سایت Copernicus Open Access Hub^۲ دانلود و در نرم‌افزار SNAP^۳ پردازش شدند. جدول ۱ جزئیات تصاویر دریافتی را نشان می‌دهد.

۲-۳- روش پردازش

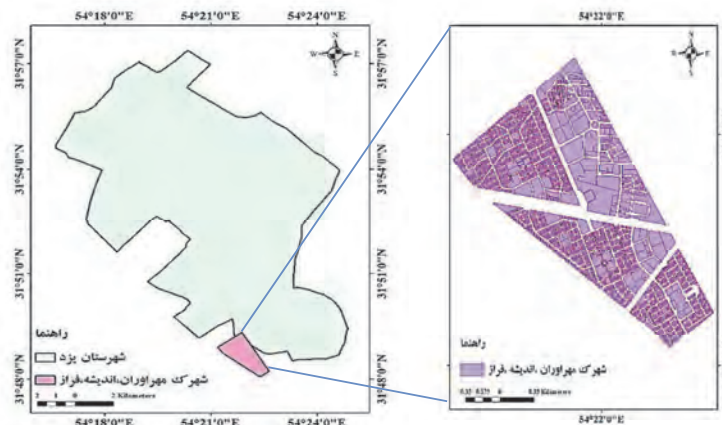
پس از دانلود تصاویر، نرم‌افزارهای پردازش تصاویر ماهواره‌ای ENVI و SNAP به کار رفت؛ برای تحلیل پردازش‌ها، از نرم‌افزار QGIS3.22 و ArcGIS10.6 و به منظور تطبیق داده‌های به دست آمده با نقشه زیرین گوگل ماهواره‌ها بپیرید، از سامانه تحت وب Geotajak و نرم‌افزار Google Earth Pro استفاده شد.

جلوگیری از ساخت‌وسازهای غیرمجاز شهری و با به کارگیری تکنیک طبقه‌بندی از طریق K-Means مدلی برای اتوماسیون فرایند نظارت بر ساختمان‌سازی غیرقانونی در مورد سال‌های ۲۰۱۵ و ۲۰۱۸ پیشنهاد کردند. پتی^۱ و همکاران (۲۰۲۲) در پژوهشی، از تلفیق تصاویر ماهواره سنتینل-۱ و ۲ برای شناسایی تغییرات و نظارت خودکار بر آنها، در منطقه صنعتی والونیا بهره برده‌اند. روش زمان خطی برای تشخیص نقطه تغییر و طبقه‌بندی مبتنی بر آستانه تغییرات را در سه طبقه (پوشش گیاهی، ساختمان و خاک) شناسایی می‌کند و دقت کلی آن حدود ۸۰٪ در محدوده است. در مطالعات صورت گرفته، کاربرد تصاویر ماهواره‌ای در آشکارسازی تغییرات ساختمان‌ها و نظارت بر ساخت‌وسازهای غیرمجاز، به منزله روشی نوین و کاربردی در قیاس با روش قدیمی و رایج، ثابت شده است. همچنین تفاوت سازوکارهای بازپخش در تصاویر راداری (برای نمونه، پشت‌بام ساختمان‌ها دارای بازپخش منفرد و دیوار ساختمان‌ها دارای بازپخش دوگانه‌اند) سبب شناسایی بهتر پدیده‌های شهری می‌شود. داده‌های رادار که به ویژگی‌های هندسی سطوح اراضی شهری حساس‌اند، قادرند اطلاعات در مورد بافت سطح را فراهم کنند و در ترکیب با تصاویر اپتیکی، سطوح غیرقابل‌شناسایی را نشان دهند (Mohammadnejad Arouq, 2019).

با توجه به اهمیت موضوع، هدف از این پژوهش آشکارسازی تغییرات ساختمان‌ها طی دوره زمانی ۲۰۱۷ تا ۲۰۲۲، به دلیل افزایش رشد بی‌رویه ساخت‌وساز در شهرک‌های نوساز منطقه مورد مطالعه و به قصد نظارت بر ساخت‌وسازهای غیرمجاز شهری است. در پژوهش پیش رو، اولین بار از تصاویر راداری سنتینل-۱ استفاده شده و شناسایی و استخراج ساختمان به صورت پیکسل‌مبناست؛ همچنین الگوریتم طبقه‌بندی حداکثر احتمال و جنگل تصادفی، به همراه داده‌های ممیزی بهنگام و نقشه برداشت میدانی، برای شناسایی و نظارت سریع و کم‌هزینه بر ساخت‌وسازهای غیرمجاز شهری به کار رفته است.

1. Petit
2. <https://scihub.copernicus.eu>
3. Sentinel Application Platform

آنالیز سری زمانی تصاویر راداری پایش نیمه خودکار در نظارت بر ساخت و ساز غیرمجاز ...



شکل ۱. محدوده منطقه مورد مطالعه (شهرک مهرآوران، اندیشه و فراز در شهرستان یزد)

جدول ۱. جزئیات تصاویر دریافتی

تصاویر سنتینل-۱ به صورت چندزمانه، با پروداکت
تایپ‌های GRDH سنسور مدار IW

ردیف	تاریخ جمع‌آوری
۱	۲۰۱۷/۰۶/۱۲
۲	۲۰۱۸/۰۱/۰۲
۳	۲۰۱۸/۰۶/۰۷
۴	۲۰۱۹/۰۱/۰۹
۵	۲۰۱۹/۰۶/۰۲
۶	۲۰۲۰/۰۱/۰۴
۷	۲۰۲۰/۰۶/۰۸
۸	۲۰۲۱/۰۱/۱۰
۹	۲۰۲۱/۰۶/۰۳
۱۰	۲۰۲۲/۰۱/۰۱
۱۱	۲۰۲۲/۰۱/۰۵

۲-۳-۲- پس از فراخوانی و اعمال تصحیحات هندسی:

برش مکانی تصویر Terrain و Spatial subset و Correction براساس SRTM و برای تعیین سیستم مختصات و نرمال کردن تأثیرات توپوگرافی، همچنین تصحیحات رادیومتریک، استخراج اطلاعات مداری و حذف نویزهای ناشی از سنجنده و در مرحله بعدی نیز، کالیبره کردن^۱ انجام می‌شود. در این بخش، چون قصد داریم مقادیر بازپراکنده شده را برآورد کنیم، از فرمت سیگمانات بهره می‌بریم و در تنظیمات مورد نظر، تیک این گزینه را فعال می‌کنیم. انتخاب فرمت سیگمانات به این دلیل است که قصد داریم اثر بازپراکنش توپوگرافی داخل شهر را حذف کنیم.

۲-۳-۳- کالیبراسیون سیگمانات^۲:

هدف از کالیبره کردن تصاویر سنتینل (کالیبراسیون سیگمانات) تبدیل ارزش پیکسل خام به مقدار بازپخش زمینی آن پیکسل است. هرچند تصاویر کالیبره نشده برای استفاده کیفی کافی است، به منظور استفاده کمی از داده‌های سنتینل، باید کالیبراسیون انجام شود. جدول کالیبراسیون گنجانده شده در فایل داده (LUT)^۳

۲-۳-۱- پس از آماده‌سازی تصاویر ماهواره‌ای:

در مرحله پیش‌پردازش روی تصاویر، با مجموعه‌ای عملیات بر داده‌های خام (قبل از هرگونه پردازش بصری یا رقومی) خطاهای رادیومتری، اتمسفری، هندسی و مشابه آن مورد توجه قرار می‌گیرد (Alavi Panah, 2017) (شکل ۲).

1. Calibrate
2. Sigma0
3. Look Up Table

۴-۲- الگوریتم پیکسل مینا با نرم افزار SNAP

فرایند طبقه‌بندی پیکسل مینا یکی از روش‌های قدرتمند در ارتباط با تولید نقشه‌های موضوعی، از طریق چند باند طیفی متفاوت است. به صورت کلی ساختار الگوریتم طبقه‌بندی پیکسل مینا را می‌توان در دو مرحله خلاصه‌سازی کرد: خوشه‌های طیفی ایجاد شده در فضای ویژگی و اختصاص یافتن هریک از پیکسل‌ها به یک کلاس (Szuster et al., 2011). در روش پردازش پیکسل مینا، پیکسل به منزله واحد اصلی محسوب می‌شود و ارزش‌های عددی تصاویر مینای طبقه‌بندی را تشکیل می‌دهد. این روش طبقه‌بندی براساس روش‌های آماری به صورت نظارت‌شده و نظارت‌نشده انجام می‌شود و در آن یک پیکسل تنها در یکی از کلاس‌ها قرار می‌گیرد. این دیدگاه کلاسیک براساس نظریه باینری استوار است (شکل ۳).

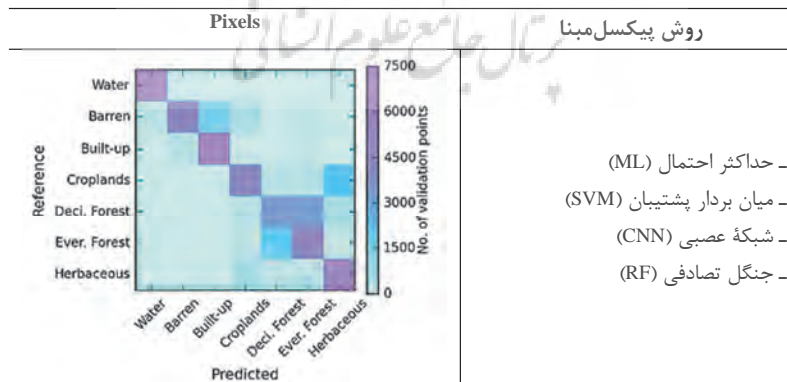
امکان تبدیل ساده ارزش‌های شدت تصویر به ارزش سیگمانات را می‌دهد. ضریب ثابت کالیبراسیون براساس این جدول اعمال می‌شود (El-Darymli et al., 2014).

۴-۳- داده واحد!

فرایندی که چندین تصویر یا چندین باند، طی آن، در قالب داده‌ای واحد قرار می‌گیرد. شرایط لازم برای این کار، تعداد سطر و ستون یکسان و پیکسل‌سایز یکسان است. از جمله کاربردهای داده واحد می‌توان به امکان ورود تمامی اطلاعات به داخل فرایند، مانند طبقه‌بندی، اعمال فرایندهای ریاضیاتی بین‌باندی، محاسبه شاخص‌های طیفی و نسبت‌های بین‌باندی اشاره کرد.



شکل ۲. فلوچارت مراحل پیش‌پردازش تصاویر سنتینل-۱



شکل ۳. کلاس‌های طیفی الگوریتم پیکسل مینا

1. Layer Stack

۱-۴-۲- روش جبری

موقعیت هر پیکسل به عنوان یک نقطه در فضای چندطیفی، در چنین شرایطی، با درجه روشنایی آن نقطه تعیین می‌شود. حال طبقه‌بندی به این صورت است.

$$p(\omega_j/x) > p(\omega_k/x) \Rightarrow x \in \omega_j \quad (۴)$$

$$j=1,2,\dots,M \quad j \neq k$$

پس اگر L_k بیشترین احتمالی باشد که یک پیکسل به کلاس k تعلق می‌گیرد، L_k ماکزیمم احتمال پسین در بین k کلاس خواهد بود؛ یعنی

$$L_k = p(\omega_k/x) = \frac{p(\omega_k)p(x/\omega_k)}{p(x)} = \frac{p(\omega_k)p(x/\omega_k)}{\sum_{j=1}^M p(\omega_j)p(x/\omega_j)}$$

رابطه (۵)

$P(\omega_k)$: احتمال اولیه کلاس k ام

$P(x/\omega_k)$: احتمال مشاهده x در کلاس ω_k .

بر اساس عملیات ریاضی روی تصاویر دریافتی در زمان‌های متفاوت، نقشه تغییرات تهیه می‌شود. بر همین اساس، با اعمال شرط روی پیکسل سائز تصاویر پهنه‌های ساختمانی از دیگر پهنه‌ها جدا می‌شود.

$$\text{Sigma } 0_VH > 0.01 \text{ then } 1.0 \text{ else } 0 \quad (۱)$$

سپس به جداسازی این پهنه‌ها در دوره‌های زمانی متفاوت می‌پردازیم؛ به این ترتیب که t_1 و t_2 ، به ترتیب، مختص زمان اول (داده سال ۲۰۲۱/۰۶/۱۴) و (داده سال ۲۰۲۲/۰۱/۰۵) و مکعب حاصل از ویژگی‌های استخراج شده با استفاده از مدل‌های متفاوت تجزیه است (Ilsever & Unsalan, 2012; Otsu, 1979).

$$ID = \text{Cube}(t_2) - \text{Cube}(t_1) \quad (۲)$$

۵-۲- طبقه‌بندی

۱-۵-۲- الگوریتم حداکثر احتمال

ارزش بازتابی هر پیکسل ناشناخته، بر اساس واریانس و کوواریانس آن، به طبقه واکنش طیفی ویژه تحلیل می‌شود. در این روش، فرض بر این است که توزیع داده‌های هر طبقه بر اساس توزیع نرمال در اطراف پیکسل میانگین آن طبقه قرار گرفته‌اند (Ridd & Liu, 1998). ارزش بازتابی هر پیکسل ناشناخته، در این شیوه، طبق واریانس و کوواریانس آن به طبقه واکنش طیفی ویژه تحلیل می‌شود (Alishah Arat et al., 2011; Hadian et al., 2011).

عملکرد این طبقه‌بندی کننده بر اساس قانون بیز است. فرض کنید در مورد یک تصویر، کلاس‌های طیفی را به صورت $\omega_i, i=1,2,\dots,M$ بیان کنیم که در آن M بیانگر تعداد کلاس‌ها باشد. احتمال اینکه یک پیکسل در موقعیت x بتواند به یکی از این کلاس‌ها طبقه‌بندی شود، بر اساس احتمال پسین بیز آن کلاس، به صورت زیر بیان می‌شود:

$$I=1,2,\dots,M \quad p(\omega_i/x) \quad (۳)$$

۲-۵-۲- الگوریتم جنگل تصادفی^۱

الگوریتم یادگیری جمعی است که از زیرمجموعه‌های گوناگون داده‌های آموزشی (بگینگ و بوستینگ) استفاده می‌کند و مجموعه ویژگی‌های اولیه، با استفاده از روش زیرفضای تصادفی^۲، m زیر فضا با ابعاد k را به صورت تصادفی انتخاب می‌کند (انتخاب ویژگی‌ها می‌تواند همراه با جایگزینی یا بدون جایگزینی باشد). سپس هریک از این زیرمجموعه‌ها به منزله ورودی برای ساخت یک درخت به کار می‌رود. این روش، زمانی که ویژگی بسیاری در اختیار باشد یا با افزونگی ویژگی‌ها^۳ روبه‌رو شود، بسیار خوب عمل می‌کند (Horning, 1998; Ho, 2010). پارامترهای تنظیم پذیر، در این روش، تعداد درختان و تعداد متغیرها برای جداسازی در هریک از گره‌هاست؛ این مقدار همیشه از بعد فضای داده‌های ورودی کوچک‌تر است. نکته‌ای که باید بدان

1. Random Forest
2. Random Subspace Method (RSM)
3. Features Redundancy

شده که به درستی طبقه‌بندی شده‌اند و از شرکت‌دادن پیکسل‌هایی که نادرست طبقه‌بندی شده‌اند صرف‌نظر می‌شود؛ در نتیجه، این معیار فقط به‌منزلهٔ صحت کلی نقشهٔ حاصل خواهد بود (Zhang & Foody, 2001; Richards & Jia, 2006). معادلهٔ آن به‌شرط زیر است:

$$\text{صحت کلی} = \frac{\text{مجموع پیکسل‌هایی که درست طبقه‌بندی شده‌اند}}{\text{کل پیکسل‌های تصویر}}$$

رابطه (۶)

۱-۶-۲- محاسبهٔ ضریب کاپا

ضریب کاپا نشان‌دهندهٔ توافق حاصل از طبقه‌بندی با داده‌های واقعیت زمینی است. دامنهٔ این ضریب بین ۰-۱ است که عدد ۱ به هم‌سویی یا توافق صددرصد نقشهٔ طبقه‌بندی‌شده با واقعیت زمینی اشاره دارد (رفعیان و همکاران، ۱۳۸۵). معادلهٔ ضریب کاپا برابر است با:

$$k = \frac{\theta_2 - \theta_1}{1 - \theta_2}$$

رابطه (۷)

مقدار θ_2 نمایانگر میزان توافق دو ارزیاب است؛ مقدار θ_1 نشان‌دهندهٔ میزان توافق مورد انتظار است. در محیط نرم‌افزار ENVI با فراخوانی نقشه‌های طبقه‌بندی‌شده و انتخاب کلاس‌ها و تلفیق با نمونه‌های زمینی که از نقشهٔ برداشت میدانی بهره‌گرفته شده است، دقت کلی و ضریب کاپا به‌دست می‌آید.

۳- نتایج

۱-۳- نتایج پیش‌پردازش تصاویر در دورهٔ زمانی

پیش‌پردازش روی تک‌تک تصاویر شامل تصحیحات هندسی (برش تصویر براساس موقعیت جغرافیایی منطقهٔ مورد مطالعه و تعیین نوع سیستم مختصات) و تصحیحات رادیومتریک (حذف نویزهای ناشی از سنجنده برای کاستن اثرشان در داده‌ها) می‌شود. پس

توجه شود شیوهٔ تعیین کردن این دو پارامتر است. افزایش تعداد درختان تا جایی ادامه می‌یابد که خطا دیگر کاهش نیابد. درمورد تعداد متغیرها برای جداسازی در هریک از گره‌ها، نخست، مقدار آن برابر با F ویژگی در نظر گرفته می‌شود. مقدار متداول برای F در برخی موارد، $1 + \log_2(M)$ و گاه نصف یا دوبرابر این مقدار است و M به بُعد فضای ویژگی ورودی اشاره دارد (Pal, 2005). در برخی موارد نیز مقدار F ، در طبقه‌بندی، برابر با \sqrt{M} در نظر گرفته می‌شود. افزایش تعداد ویژگی‌های ورودی ممکن است دقت در درخت‌ها را، به‌صورت جداگانه، افزایش دهد اما، به‌تبع آن، باعث افزایش همبستگی میان درختان جنگل و کاهش صحت در کل مجموعه می‌شود (Liaw & Wiener, 2002; Jin, 2012). به‌منظور برآورد میزان خطا یا به‌عبارتی، میزان طبقه‌بندی ناصحیح، از شاخصی به نام خارج از کیسه^۱ استفاده می‌کنند. نحوهٔ عمل این شاخص بدین‌صورت است که حدود یک‌سوم داده‌ها را برای آزمودن، کنار می‌گذارد و از سایر داده‌ها، برای عملیاتی همچون طبقه‌بندی و ایجاد درخت تصمیم، استفاده می‌کند (Amit & Geman, 1997). شاخص اهمیت متغیر^۲ به‌منظور برآورد اهمیت متغیر m درخت k محاسبه می‌شود؛ بدین‌صورت که با حذف متغیر مورد نظر، میزان کاهش صحت نتایج بررسی می‌شود. به‌عبارتی دیگر، اگر فقدان ویژگی خاصی به کاهش بیشتر صحت متوسط بینجامد، آن ویژگی اهمیت بیشتر در تصمیم‌گیری دارد (Breiman, 1996).

۲-۶- محاسبهٔ صحت کلی

صحت کلی از جمع عناصر قطر اصلی ماتریس خطا، تقسیم‌بر کل پیکسل‌ها به‌دست آمد. صحت کلی معیاری برای ارزش‌گذاری صحت طبقه‌بندی است که با تقسیم مجموعهٔ پیکسل‌های صحیح طبقه‌بندی‌شده تمامی طبقات بر مجموعهٔ پیکسل‌های تصویر حاصل شده است. در این معیار، فقط از پیکسل‌هایی استفاده

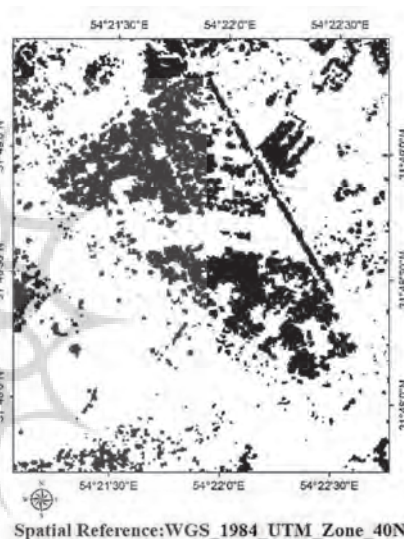
1. Out of Bag (OOB)
2. Variable Importance

تصاویر است. از الگوریتم پیکسل مبنای استفاده کردیم؛ با شرط اینکه اگر ارزش پیکسل‌های مقدار درجه خاکستری $P(x,y)$ روی تصویر بیشتر از $0/01$ بود، عدد ۱ و در غیر این صورت، عدد صفر را در نظر بگیرد. این درجات خاکستری به دوره تغییراتی تقسیم شد که تمامی پیکسل‌های تصویر، پس از اعمال تصحیح رادیومتریک، در آن قرار گرفته است. با این کار، توانستیم تمامی مقادیر درجات خاکستری تصویر ماهواره‌ای را به $(0,1)$ تبدیل کنیم.

سپس از راه محاسبه ریاضی، با استفاده از فرمول Time2-Time1 (تصویر جدید- تصویر قدیم)، تصاویر محاسبه شده در زمان‌های متفاوت را از تصاویر قبل کم می‌کنیم. نتیجه این مرحله تصاویری است که ساختمان‌های در حال ساخت و تغییر یافته را نمایش می‌دهد (شکل ۵).

ملاحظه می‌کنید که تصویر دوم حاصل افزوده شدن مجموعه‌ای از پهنه‌های ساختمانی به تصویر اول یا برخی تغییرات در آن است و وقتی از هم کم می‌شوند، فقط پهنه‌های تغییر یافته و اضافی ناشی از ساخت و ساز جدید باقی می‌ماند (شکل ۶).

از اعمال آن و تعدیل اثر توپوگرافی و نیز کالیبره کردن تصاویر که طی آن، مقادیر بازپراکنده شده و رسیده به سنجنده براساس سیگمانات محاسبه می‌شود، در مرحله بعدی باید نویز نقطه‌ای را در داده‌های بازپراکنده شده تعدیل و برطرف کرد (شکل ۴). در پژوهش پیش رو، برای ارزیابی میزان افزایش تغییرات ساخت و ساز در شهرک‌های مورد مطالعه، از آنالیز سری زمانی تصاویر از سال ۲۰۱۷ تا ۲۰۲۲، به صورت هر شش ماه یکبار، استفاده شد.



شکل ۴. خروجی پیش پردازش تصویر

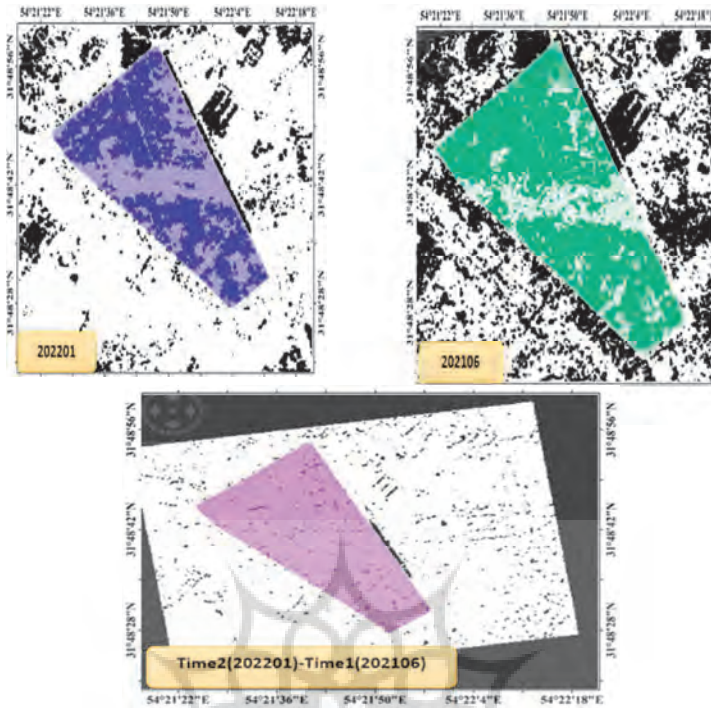
۳-۳- نتایج طبقه‌بندی الگوریتم حداکثر احتمال و جنگل تصادفی

در مرحله بعد، از طبقه‌بندی براساس الگوریتم حداکثر احتمال و الگوریتم جنگل تصادفی استفاده شد؛ این دو شیوه از روش‌های یادگیری ماشین و دارای صحت عملکرد بالایی‌اند. این دو الگوریتم، به دلیل نمونه‌گیری تصادفی، روش عمومی‌سازی (جنرالیزاسیون) ^۲ بهتری فراهم می‌کنند و در نتیجه، برآوردهای بهتری در اختیار می‌گذارند (Horning, 2010).

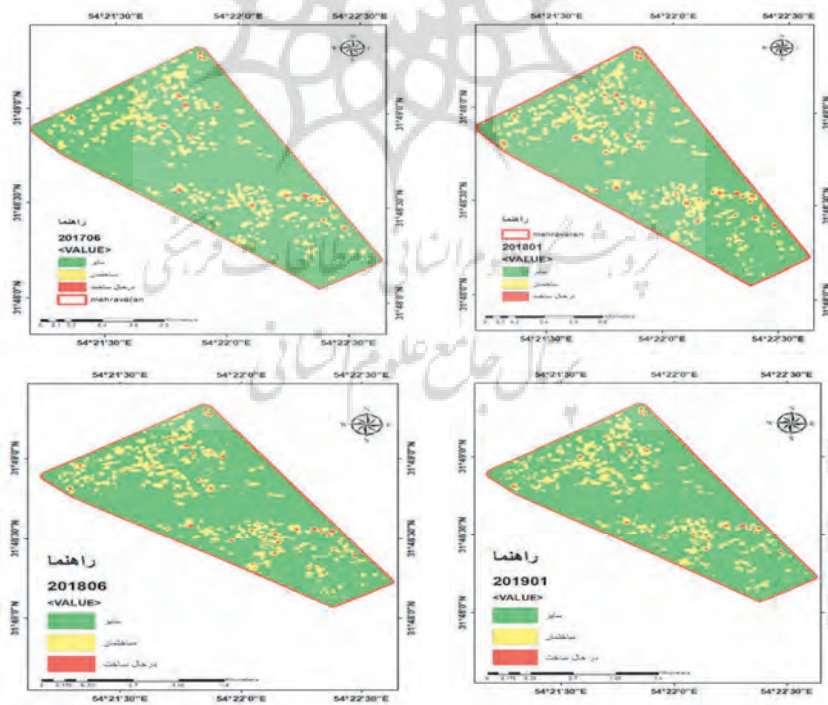
۳-۲- نتایج الگوریتم پیکسل مبنای آشکارسازی تغییرات

برای مشخص کردن محدوده‌های ساختمانی، در ابتدا روی تصویر اول یک شرط گذاشته می‌شود؛ به این ترتیب که آن دسته از مناطق، مثلاً دارای مقادیر سیگمانات بیشتر از $0/01$ ، را به منزله محدوده‌های ساختمانی در نظر بگیرد. انتخاب حد آستانه براساس ارزش سیگمانات پهنه‌های ساختمانی به دست آمده، در پژوهش حاضر، حاصل استخراج اطلاعات پیکسل‌های

1. Pixel Base
2. Generalization

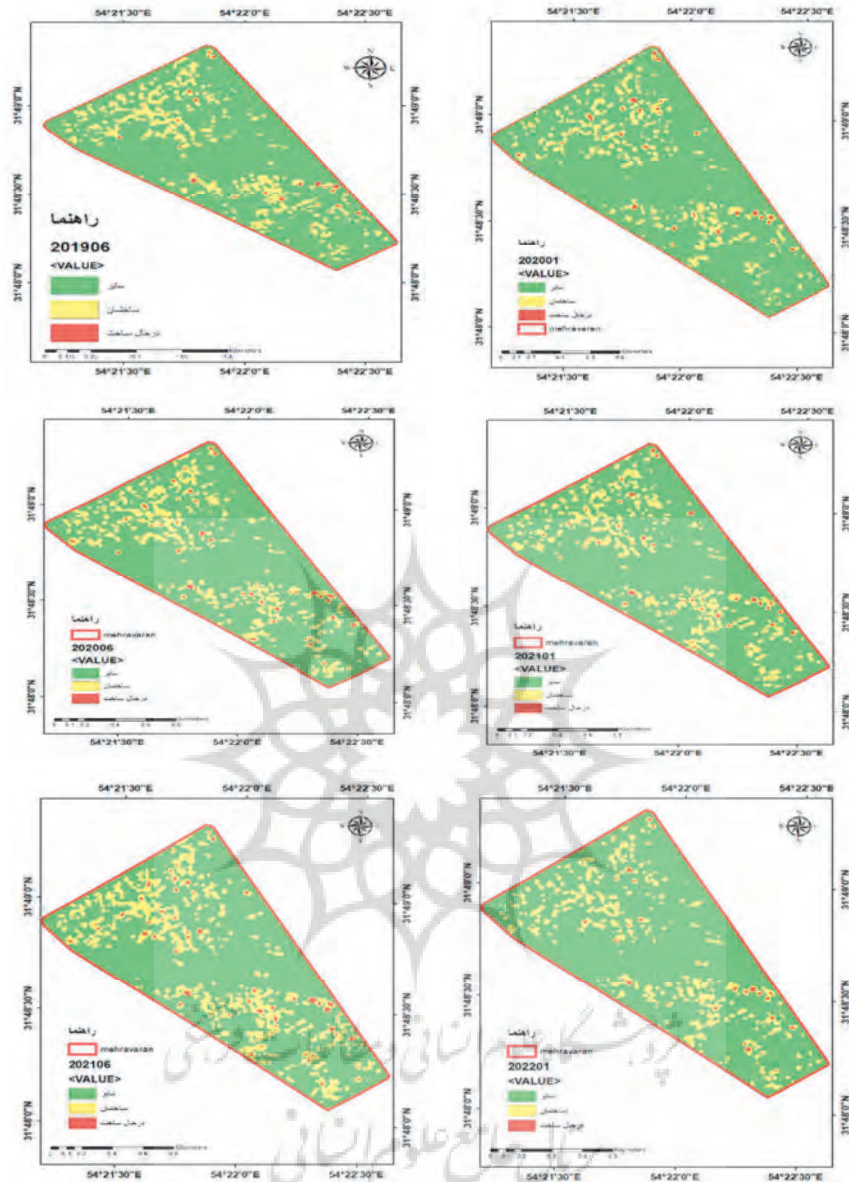


شکل ۵. خروجی آنالیز دو تصویر راداری با الگوریتم پیکسل مینا در نرم افزار SNAP



شکل ۶. نمایش پهنه‌های تغییر یافته ساختمان‌ها در سری زمانی ۲۰۱۷ تا ۲۰۲۲

آنالیز سری زمانی تصاویر راداری پایش نیمه خودکار در نظارت بر ساخت و ساز غیرمجاز ...



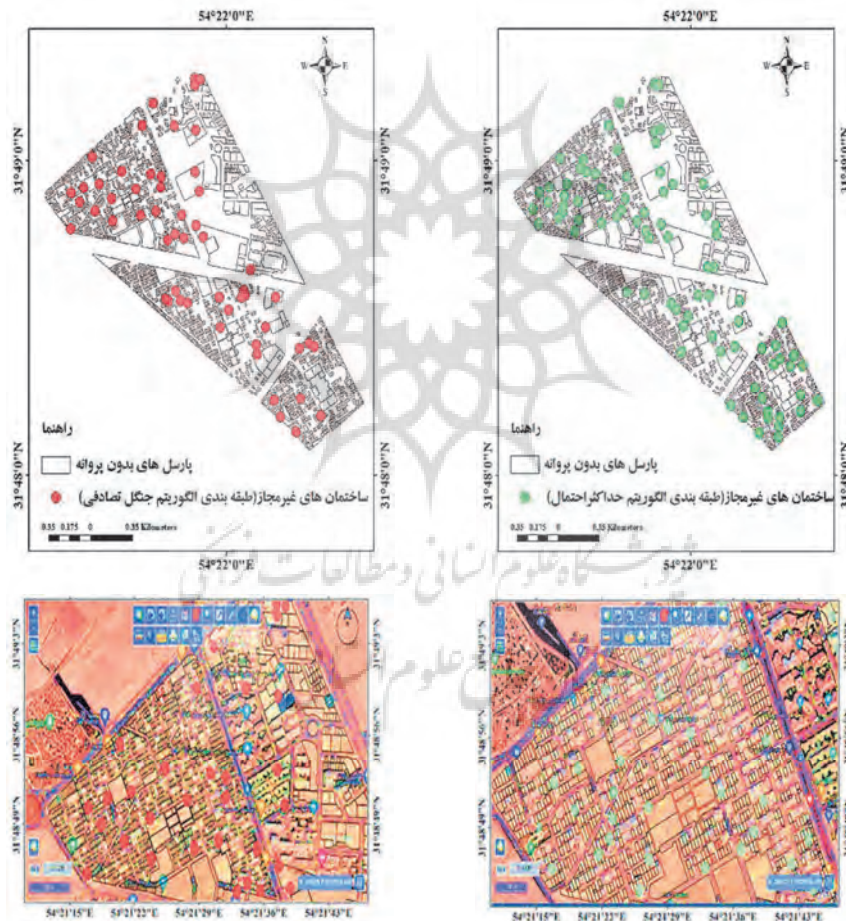
شکل ۶. نمایش پهنه‌های تغییر یافته ساختمان‌ها در سری زمانی ۲۰۱۷ تا ۲۰۲۲

روش جبری و طبقه‌بندی‌های صورت گرفته، نقشه خروجی که به صورت سطحی است، به شکل مرکز عارضه (نقطه‌ای) ایجاد و ترکیب دو نقشه طبقه‌بندی شده حداکثر احتمال و جنگل تصادفی، به همراه لایه پارس‌های بدون پروانه (تهیه شده از سازمان فاوا شهرداری یزد) نمایش داده شد.

در روش حداکثر احتمال، به پیکسل مورد نظر کلاسی نسبت داده می‌شود که بیشترین احتمال تعلق پیکسل به آن کلاس وجود دارد. الگوریتم جنگل تصادفی از شیوه‌های امروزی و جدید در روش‌های درخت-پایه است که شامل انبوهی از درخت‌های کلاس‌بندی و رگرسیونی می‌شود. با اجرای فرایند پردازش تصاویر و اعمال الگوریتم

مشخص شدن دقیق ساختمان‌های در حال ساخت، باید با لایه پارسل‌های بدون پروانه هم‌پوشانی گرفته شود تا مشخص شود چه تعداد از ساختمان‌های در حال ساخت حاصل از پردازش بدون پروانه است. در نهایت، طبق نقشه حاصل از الگوریتم حداکثر احتمال، تعداد ساختمان‌های در حال ساخت بدون پروانه ۱۳۵ عدد (شکل ۷) و برپایه پردازش الگوریتم جنگل تصادفی، این تعداد ۱۳۰ بود (شکل ۸).

شهرداری یزد پایگاه داده ممیزی جامعی دارد که شامل تمامی اطلاعات توصیفی ساختمان‌ها، به همراه موقعیت مکانی آنها می‌شود. هر ساختمان پلاک ثبتی منحصر به فردی دارد که شناسه ساختمانی تلقی می‌شود. با استفاده از شناسه پلاک ثبتی و پرسش و پاسخ از پایگاه داده، می‌توان به اطلاعات توصیفی و مکانی ساختمان مورد نظر دست یافت. برای

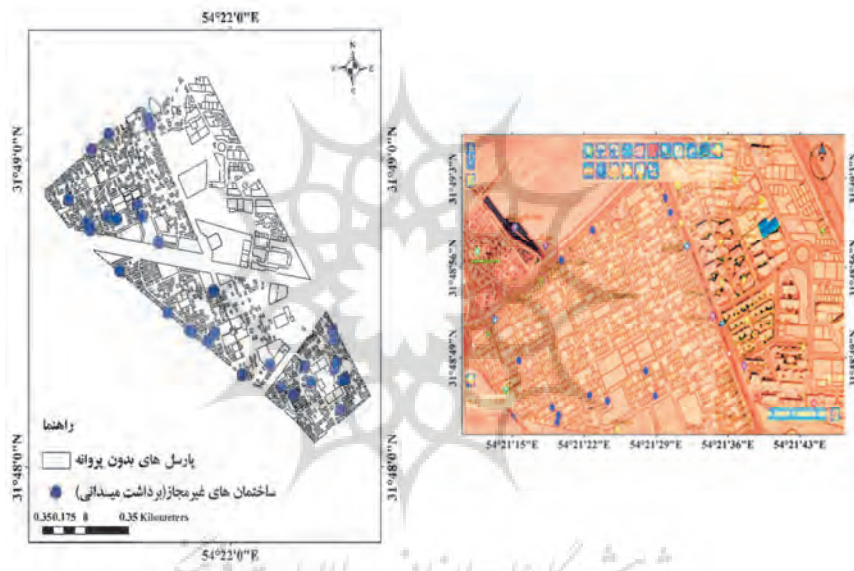


شکل ۸. اشتراک نقشه طبقه‌بندی شده الگوریتم جنگل تصادفی ساختمان‌های در حال ساخت، با پارسل‌های بدون پروانه

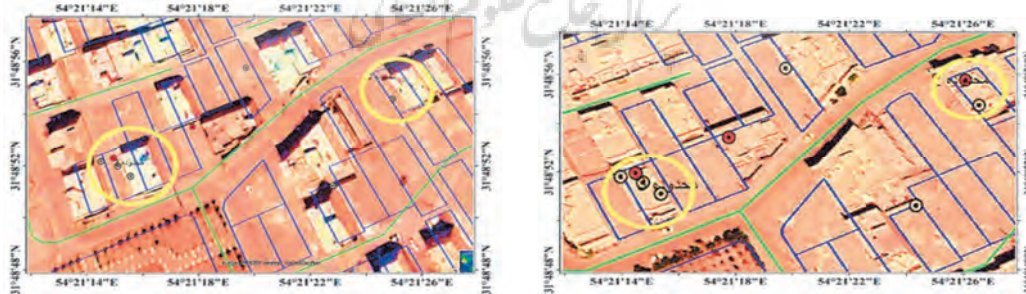
شکل ۷. اشتراک نقشه طبقه‌بندی شده الگوریتم حداکثر احتمال ساختمان‌های در حال ساخت، با پارسل‌های بدون پروانه

موقعیت نقاط ثبت شده روی نقشه زیرین گوگل ماهواره هابیرید مشاهده می شود. با استفاده از نقشه برداشت میدانی که با نقاط قرمز در تصویر مشخص است و با اشتراک این لایه با داده های ممیزی شهرداری، با هدف فیلتر ساختمان های بدون پروانه، مشخص شد ۴۸ عدد از این نقاط برداشت شده میدانی با پارسل های بدون پروانه اشتراک دارند (شکل ۱۰).

به منظور بررسی صحیح پردازش های صورت گرفته، مقایسه ای با لایه داده های ممیزی شهرداری و نیز برداشت میدانی انجام شد که به ایجاد نقشه ساختمان های در حال ساخت انجامید. در این شیوه، نقاط به صورت میدانی برداشت و در محیط سامانه تحت وب (ژئوتاژک)، به صورت لایه وکتوری تهیه و مقایسه می شود. در شکل ۹، لایه برداشت میدانی ساختمان های در حال ساخت، به همراه لایه منطقه مورد مطالعه و



شکل ۹. اشتراک نقشه برداشت میدانی ساختمان های در حال ساخت با پارسل های بدون پروانه



شکل ۱۰. نمایش موقعیت ساختمان های غیرمجاز شهری در محدوده مورد مطالعه (نقاط سفید حاصل پردازش تصاویر و نقاط قرمز برداشت میدانی اند)

۴-۳- نتایج صحت کلی

نتایج این پژوهش با داده‌های واقعیت زمینی مقایسه شد؛ بدین ترتیب تصویر نقشه تغییرات به‌دست‌آمده از روش پایش نیمه‌خودکار بررسی شد و ماتریس خطای حاصل از طبقه‌بندی جنگل تصادفی و حداکثر احتمال به‌وجود آمد. در نتیجه، دقت کلی الگوریتم حداکثر احتمال ۰/۸۹ و ضریب کاپای ۰/۸۳ و درمورد طبقه‌بندی تصویر به‌روش الگوریتم جنگل تصادفی نیز، دقت کلی ۰/۸۶ و ضریب کاپای ۰/۸۱ به‌دست آمد (جدول ۲).

جدول ۲. ارزیابی صحت الگوریتم طبقه‌بندی

۱۵۱	تعداد کل ساختمان‌های در حال ساخت شناسایی شده به‌منزله ساختمان‌های غیرمجاز شهری
۱۳۵	تعداد ساختمان‌هایی که به‌روش حداکثر احتمال، به‌درستی به‌منزله ساختمان‌های غیرمجاز شهری شناسایی شده‌اند
۱۴	تعداد ساختمان‌های در حال ساخت که با روش حداکثر احتمال، ساخت‌وساز آنها غیرمجاز شناخته نشده
۱۳۰	تعداد ساختمان‌هایی که با روش جنگل تصادفی، به‌درستی به‌منزله ساختمان‌های غیرمجاز شهری شناسایی شده‌اند
۲۱	تعداد ساختمان‌های در حال ساخت که با روش جنگل تصادفی، ساخت آنها غیرمجاز شناسایی نشده است
۹۰	تعداد کل ساختمان‌های در حال ساخت، شناسایی شده به‌شیوه برداشت میدانی
۴۸	تعداد ساخت‌وسازهای غیرمجاز شهری، شناسایی شده به‌روش برداشت میدانی
۱۷۰	تعداد ساختمان‌های در حال ساخت بدون مجوز، با توجه به آمار شهرداری
۸۹٪	دقت کلی طبقه‌بندی تصویر به‌روش حداکثر احتمال
۸۳٪	ضریب کاپای طبقه‌بندی تصویر به‌روش حداکثر احتمال
۸۶٪	دقت کلی طبقه‌بندی تصویر به‌روش جنگل تصادفی
۸۱٪	ضریب کاپای طبقه‌بندی تصویر به‌روش جنگل تصادفی
۸۸٪	دقت شناسایی ساختمان‌های در حال ساخت

۴-۴- بحث و نتیجه‌گیری

با بررسی فعالیت‌های ساختمانی در کلان‌شهرها و حوزه‌های پیرامونی آنها، می‌توان گفت آمار و ارقام

تخلفات، در مقایسه با سال‌های گذشته، چندبرابر شده است. تا کنون جز در تعداد اندکی از شهرهای ایران، در سایر شهرهای کوچک و متوسط، شهرداری‌ها بر فعالیت‌ها و عملیات ساختمانی و شهرسازی، چه داخل محدوده قانونی شهرها و چه در نقاط حاشیه‌ای، کنترل مؤثری نداشته‌اند و ندارند (Golmehri, 2017). بدین ترتیب این مطالعه چارچوبی برای شناسایی و نظارت نیمه‌خودکار، با استفاده از تصاویر ماهواره‌ای، فراهم می‌کند که راه‌حلی جدید، سریع و مقرون‌به‌صرفه برای پایش ساخت‌وسازهای غیرمجاز شهری است و با نتایج پژوهش‌های دیگر نیز (Soltani & Sargargar, 2013; Mazraeh Talaei et al., 2015; Khalili Moghadam & Hanachi, 2015; Bayburt et al., 2008; Kovacs & Sziranyi, 2012; Ostankovich, 2018; Afanasyev, 2018) مطابقت دارد. تصاویر راداری ماهواره سنتینل-۱ از نظر برداشت رایگان و مداوم طی شبانه‌روز، تفکیک مکانی ده متر و تفکیک زمانی حداقل دوازده روز، برای شناسایی هرچه سریع‌تر ساخت‌وسازهای غیرمجاز شهری به‌قصد اطلاع‌رسانی به پلیس ساختمان، عملکرد بسیار مناسبی دارد. به این نکته در دیگر مطالعات (از جمله Petit et al., 2022; Mohammadnejad Arouq, 2019) نیز اشاره شده است. با توجه به موقعیت منطقه به‌منزله شهرک مسکونی جدید و نتایج حاصل از پردازش تغییرات ساختمانی، شاهد افزایش بی‌رویه ساخت‌وساز در این محدوده بوده‌ایم. این نکته با برخی پژوهش‌ها (Esmailpoor et al., 2018; Soltani & Sargargar, 2013) مطابقت دارد. یافته‌های پژوهش حاضر می‌تواند اطلاعات اساسی برای سازمان‌ها و برنامه‌ریزان شهری، به‌منظور پیشگیری به‌موقع از پدیده ساخت‌وساز غیرمجاز شهری، فراهم کند (Fahmideh, 2021; Modami et al., 2022; Kranjcic & Durin, 2021). با توجه به سرعت عمل و کم‌هزینه‌بودن و نتایج کاربردی این شیوه، در قیاس با روش‌های قدیمی رایج، استفاده از این تکنیک پیشنهاد می‌شود.

۵- نتیجه‌گیری

سال‌هاست که استان یزد، در زمینه ساخت‌وسازهای بدون مجوز، رتبه بالایی در سطح کشور دارد. برای این مسئله علت‌های بسیاری مطرح شده است که گرانی زمین و خانه، در این استان، از مشکلات دامن‌گیر حوزه مسکن و ساختمان شمرده می‌شود. در این پژوهش شیوه جدیدی مبتنی بر روش جبری مطرح شد که هدف آن شناسایی ساخت‌وسازهای غیرقانونی در محدوده شهری بوده است. در این شیوه، آنالیز سری زمانی تصاویر راداری ماهواره سنتینل سری ۱ به کار رفت و نقشه شهری و پایگاه داده بهنگام ممیزی شهرداری از ساختمان‌های محدوده مورد مطالعه ارائه شد؛ به کمک آن، برخی ساختمان‌ها که به صورت غیرقانونی در حال ساخته شدن بودند، در منطقه مورد مطالعه شناسایی شدند. شناسایی ساخت‌وسازهای غیرمجاز شهری در این پژوهش سبب شد فرضیه مطالعه حاضر به اثبات برسد؛ بدین معنی که امکان پایش نیمه خودکار ساخت‌وسازهای غیرقانونی با فنون پردازش تصاویر راداری سنتینل سری یک ۱ با کمترین حضور عامل انسانی و در زمان کوتاه‌تر، وجود دارد. به کارگیری این روش به بازرسان شهرداری در جست‌وجوی هدفمند در سطح شهر کمک می‌کند؛ با شناسایی ساخت‌وسازهای غیرقانونی، موقعیت مکانی آنها نیز مشخص می‌شود و بازرسان شهرداری می‌توانند، در کمترین زمان ممکن، عوارض مشکوک را بررسی کنند.

۶- 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 مورد استفاده با داده‌های Copernicus Sentinel-1 تشکر و قدردانی می‌کنیم.

۷- منابع

- Alavi Panah, S.K., 2017, **Application of Remote Sensing in Earth Sciences**, Tehran: Tehran University Press.
- Alishah Arat, B., Arzani, H., Hosseini, S.Z., Babaei Kafaki, S. & Mirakhorlou, Kh., 2011, **Rangelands vegetation cover mapping using IRS-LissIII data image processing (Case study: Sorkh Abad Basin, Mazandaran)**, Iranian Journal of Range and Desert Reseach, 20(3), PP. 454-462.
- Amit, Y. & Geman, D., 1997, **Shape Quantization and Recognition with Randomized Trees**, Neural Computation, 9, PP. 1545-1588.
- Attarchi, S., 2018, **The Use of Radar Indices in the Extraction of Urban Impervious Surfaces Using All-Polarimetric Radar Image**, City Planning Geography Researches, 7(4), PP. 837-854.
- Bayburt, S., Buyuksalih, G. & Baz, I., 2008, **Detection of Changes in Istanbul Area with Medium and high-resolution Space Images**, Conference: XXith ISPRS Congress At: Beijing Volume: ISPRS Archives – Volume XXXVII Part B2: 1607-1611.
- Breiman, L., 1996, **Out-of-Bag Estimation**, Technical report, Statistics Department, University of California Berkeley, Berkeley CA 94708, 1996b. 33, 34.
- Einollah Zadeh, S. & Yusuf Pour, J., 2014, **Investigation of Factors Affecting Urban Unauthorized Construction and Its Consequences**, International Conference on Architecture, Urban Planning, Civil Engineering, Art and Environment; Future horizons, looking at the past, Tehran.
- El-Darymli, K., McGuire, P., Gill, E., Power, D. & Moloney, C., 2014, **Understanding the Significance of Radiometric Calibration for Synthetic Aperture Radar Imagery**, IEEE 27th Canadian Conference on Electrical and Computer Engineering (CCECE), PP. 1-6.

- Esmailpour, N., Heravi, Z. & Heydari Hamaneh, E., 2018, **Investigating the Causes of Construction Violations in Iranian Cities with an Emphasis on the Role of the Municipality (Case Study: Area 3 of Yazd City)**, Eighth Year City Studies Quarterly, 31, PP. 17-30.
- Esmaili Aliai, E., 2017, **Determining and Identifying Factors of Unauthorized Constructions and Providing Optimal Solutions against Them. Case Study: Yazd City (using TOPSIS Model)**, Taft Azad University.
- Fahmideh Madami, M., Ayaz, M., Alajeh Gardi, A. & Javanshiri, M., 2022, **Analysis of the Smart Model for Monitoring Construction Violations in Urban Management, a Case Study: The Boundaries and Boundaries of Mashhad Metropolis**, Iranian Journal of Remote Sensing & GIS, <https://doi.org/10.52547/gisj.2022.226439.1085>.
- Golmehr, E. 2017, **Investigating the Causes and Effective Factors in Unauthorized Constructions (Case Study of Qazvin City)**, Geography and Regional Planning Quarterly, 8(3), PP. 101-113.
- Hadian, F., Jafari, R., Bushra, H., & Soltani, S., 2011, **Investigating Different Groups of Remote Sensing Plant Indices in the Study of Pasture Types (Case Study: Semiram, Isfahan)**, Pasture Journal, 4, PP. 429-420.
- Hermosilla, T., Ruiz, L.A., Recio, J.A. & Estornell, J., 2011, **Evaluation of Automatic Building Detection Approaches Combining high-resolution Images and LIDAR Data**, International Journal of Remote Sensing, 3, PP. 1188-1210.
- Ho, T.K., 1998, **The Random Subspace Method for Constructing Decision Forests**, IEEE Transactions on Pattern Analysis and Machine Intelligence, 20, PP. 832-844.
- Horning, N., 2010, **Random Forests: An Algorithm for Image Classification and Generation of Continuous Fields Data Sets**, In Proceedings of the International Conference on Geoinformatics for Spatial Infrastructure Development in Earth and Allied Sciences, Osaka, Japan. 911.
- İlsever, M. & Unsalan, C., 2012, **Two-Dimensional Change Detection Methods: Remote Sensing Applications**, Springer Science & Business Media,
- Jin, J., 2012, **A Random forest-based Method for Urban Land Cover Classification Using Lidar Data and Aerial Imagery**, The University of Waterloo.
- Kapoor, M. & Blanc, D., 2008, **Measuring Risk on Investment in Informal Housing: Theory and Evidence from Pune, India**, Regional Science and Urban Economics, 38(4), PP. 311-329.
- Khalili Moghadam N, Delavar M R, Hanachi P. **Semi-Automatic Illegal Building Detection in Urban Areas Using Satellite Images and a Pixel-Based Fuzzy XOR Operator Method**. GEJ 2016; 7 (3) :105-116
- Khalili Moghadam, D. & Hanachi, P., 2015, **Semi-Automatic Monitoring of Illegal Constructions in Urban Area Using Satellite Images and Pixel Method Based on Implicit Fuzzy Operator**, Scientific Journal of Mapping and Geospatial Information Engineering, 7(3), PP. 105-116.
- Kovacs, A. & Sziranyi, T., 2012, **Orientation-based Building Outline Extraction in Aerial Images**, ISPRS Annuals of the Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences, 1-7, PP. 141-146.
- Kranjcic, N. & Durin, B., 2021, **Unsupervised Classification for Illegal Building Monitoring**, Open Access Journal of Waste Management & Xenobiotics ISSN: 2640-2718. DOI: 10.23880/ajax-16000157.
- Liang, S. & Wang, J., 2019, **Advanced Remote Sensing: Terrestrial Information Extraction and Applications**, Academic Press.
- Liaw, A. & Wiener, M., 2002, **Classification of urban-rural areas by Random Forest**, R. news, 2, PP. 18-22.
- Mazraeh Talaei, M., Sargargar Ardakani, A. & Sadeghian, S., 2015, **Extraction of Unauthorized Constructions Using UltraCam Aerial**

- Photo and Spatial Information of Yazd City**, The Second National Conference on the Application of Advanced Spatial Analysis Models (Remote Sensing and GIS) in land use, Yazd, <https://civilica.com/doc/749480>.
- Mohammadnejad Arouq, V., 2019, **Identification of Urban Lands Using Sentinel 1 and 2 Satellite Images Based on the Google Earth Engine (GEE) System**, Urban Planning Geography Research, 8(3), PP. 613-630.
- Ostankovich, V. & Afanasyev, I., 2018, **Illegal Buildings Detection from Satellite Images Using Google Net and Cadastral Map**, In 2018 International Conference on Intelligent Systems (IS) (PP. 616-623). IEEE.
- Otsu, N., 1979, **A Threshold Selection Method from Gray-Level Histograms**, IEEE Transactions on Systems, Man, and Cybernetics, 9(1), PP. 62-66.
- Pal, M., 2005, **Random Forest Classifier for Remote Sensing Classification**, International Journal of Remote Sensing, 26, PP. 217-222.
- Petit, S., Stasolla, M., Wyard, C., Swinnen, G., Neyt, X. & Hallot, E., 2022, **A New Earth Observation Service Based on Sentinel-1 and Sentinel-2 Time Series for the Monitoring of Redevelopment Sites in Wallonia, Belgium**, Land, 11(3), P. 360.
- Rafieyan, O., Darvishsefat, A. A., Namiranian, M., 2006, **The Area Change Detection in the Northern Forests of Iran Using ETM + Data**, jwss 2006; 10 (3) :277-287 URL: <http://jstnar.iut.ac.ir/article-1-584-fa.html>
- Richards, J.A. & Jia, X., 2006, **Remote Sensing Digital Image Analysis: an introduction**, Springer Verlag, Berlin.
- Ridd, M.K. & Liu, J., 1998, **A Comparison of Four Algorithms for Change Detection in an Urban Environment**, Remote Sensing of Environment, 63(2), PP. 95-100.
- Roudgarmi, P., Khorasani, N.A., Monavari, S.M. & Nouri, J., 2009, **Predicting the Effects of Environmental Development Using satellite Images and Remote Sensing Techniques**, Journal of Environmental Sciences and Technology, 11(1), PP. 161-172.
- Soltani, M.R. & Sargargar Ardakani, A., 2013, **Detection of the Boundaries of Buildings Using High Resolution Satellite Images with Object Base Classification Method and Extraction of Unauthorized Constructions**, National Conference on the Application of Advanced Spatial Analysis Models (Remote Sensing and GIS) in Aamish The land, Yazd.
- Szuster, B.W., Chen, Q. & Borger, M., 2011, **Acomparison of Classification Techniques to Support Landcover and Land Use Analysis in Tropical Coastal Zones**, Applied Geography, 31(2), PP. 525-532.
- Zhang, J. & Foody, G.M., 2001, **Fully-Fuzzy Supervised Classification of Sub-Urban Land Cover from Remotely Sensed Imagery: Statistical and Artificial Neuralnetwork Approaches**, International Journal of Remote Sensing, 22(4), PP. 615-628.



مجله علمی سنجش از دور , GIS ایران



سنجش از دور و GIS ایران سال پانزدهم، شماره دوم، تابستان ۱۴۰۲
Iranian Remote Sensing & GIS Vol.15, No. 2, Summer 2023

55-72

Time Series Analysis of Semi-Automatic Monitoring Radar Images in Monitoring Unauthorized Urban Construction (The Studied Area of Mehravaran, Andisheh and Faraz, Yazd)

Salehi Nezhad Z.¹ and Almodaresi S.A.^{2*}

1. M.Sc. of Remote Sensing and Geographical Information System, Faculty of Engineering, Islamic Azad University of Yazd, Yazd
2. Full Prof., Dep. of Remote Sensing, Faculty of Engineering, Islamic Azad University of Yazd, Yazd

Abstract

Construction violations are considered one of the most important challenges of modern urbanization due to their widespread level and long-term and stable effects on the profile of cities. Construction violations are an important issue for municipalities that can threaten building structures in a city. The traditional methods that are used today to control constructions are very time-consuming and expensive. The main goal of this research is to provide a new framework for quick and low-cost estimation, in revealing and monitoring constructions and identifying unauthorized urban buildings using Sentinel-1 satellite images in the period from 2017 to 2022 and spatial information systems. For this purpose, in the first step, based on the analysis and processing in SNAP software, the Sigma-Notch dispersion coefficient of the images was extracted and separated into two floors of buildings and non-buildings, and a threshold limit of more than 0.01 was obtained. Then, by using pixel based algorithm, the binary image of building and non-building was prepared as zero and one, and based on the difference between the two images, the area where the construction was done was determined. After revealing the changed construction areas, they were classified into three classes (building, under construction, and other lands) using maximum likelihood classification algorithms and random forest, and were evaluated with a field survey map and unlicensed parcels. The results showed that the number of unlicensed buildings using the maximum likelihood algorithm, random forest and field sampling is 97,135 and 48, respectively; Also, the accuracy of the maximum likelihood method was 0.89% and the kappa coefficient was 0.83% compared to the random forest method with the overall accuracy of 0.86 and the kappa coefficient was 0.81%.

Keyword: Radar images, Sentinel-1 satellite, Semi-automatic monitoring, Unauthorized urban buildings, Building police.

* Correspondence Address: Dep. of Remote Sensing, Faculty of Engineering, Islamic Azad University of Yazd, Yazd.
Email: almodaresi@iauyazd.ac.ir
<https://orcid.org/0000-0002-4285-1941>
<https://dx.doi.org/10.48308/gisj.2023.102885>



Copyright: © 2023 by the authors. Submitted for possible open access publication under the terms and conditions of the Creative Commons Attribution (CC BY) license (<https://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>).