



Detection and Analysis of Land Cover and Land Use Changes in Kerman City Using Satellite Imagery and Geographic Information Systems (GIS)

Moslem Ghasemi¹ , Mitra Rostamzadeh²

1. (Corresponding Author) Department Geography, Faculty of Social Sciences, Yazd University, Yazd, Iran

Email: ghasemimasih197@gmail.com

2. Department of Architecture, Payame Noor University, Kerman Branch, Kerman, Iran

Email: rostamzadeh@gmail.com

ARTICLE INFO

Article type:

Research Paper

Article History:

Received:

14 April 2026

Received in revised form:

27 May 2026

Accepted:

29 June 2026

Available online:

6 August 2026

Keywords:

Change Detection,
Land Use,
Land Cover, Remote
Sensing,
Landsat Imagery,
Geographic Information
System (GIS),
Kerman City.

ABSTRACT

The present study was conducted with the aim of detecting and analyzing the trend of land cover and land use changes in Kerman city during the period from 2017 to 2025. This research is applied in terms of purpose and descriptive-analytical in terms of nature and method. To prepare land use maps, Landsat satellite imagery was used across five time periods, including the years 2017, 2019, 2021, 2023, and 2025. Image processing, preparation of information layers, and data analysis were performed using ArcGIS Pro and SAGA GIS software, and image classification was carried out based on the Maximum Likelihood algorithm. In this study, five main classes were extracted—built-up lands, rangelands, barren lands, agricultural lands, and tree cover—and their change trends were evaluated. The findings of the research indicated that during the studied period, the share of built-up lands increased from 37.93% in 2017 to 40.75% in 2025, reflecting the continuation of the physical development of Kerman city. In contrast, barren lands decreased from 16.52% to 6.26%, with a major portion of this area converted to other land uses, particularly built-up lands and rangelands. Furthermore, the share of rangelands increased from 40.74% to 47.62%, and agricultural lands, after minor fluctuations, reached 5.27% at the end of the period. Tree cover also remained below 0.13% throughout the entire period and did not experience any notable changes. The results of the research indicate that the dominant trend of land use changes in Kerman city has been the gradual expansion of built-up areas and the continuous decline of barren lands. These changes reflect the physical expansion of the city and the transformation of the spatial structure of land use in recent years.

Citation: Ghasemi, M., & Rostamzadeh, M. (2026). Detection and Analysis of Land Cover and Land Use Changes in Kerman City Using Satellite Imagery and Geographic Information Systems (GIS). *Journal of Urban Planning and Design*, 2 (2), 1-17.

<http://doi.org/10.22034/j94594.2026.595979.1051>



© The Author(s)

Publisher: Iranian Geography and Urban Planning Association.



آشکارسازی و تحلیل تغییرات پوشش و کاربری اراضی شهر کرمان با استفاده از تصاویر ماهواره‌ای و سامانه اطلاعات جغرافیایی (GIS)

مسلم قاسمی^۱ ✉، میترا رستم زاده^۲

۱- نویسنده مسئول، گروه جغرافیا، دانشکده علوم اجتماعی، دانشگاه یزد، یزد، ایران. رایانامه: ghasemimasih197@gmail.com

۲- گروه معماری، دانشگاه پیام نور واحد کرمان، کرمان، ایران. رایانامه: rostamzadeh@gmail.com

اطلاعات مقاله	چکیده
نوع مقاله: مقاله پژوهشی تاریخ دریافت: ۱۴۰۵/۰۱/۲۵ تاریخ بازنگری: ۱۴۰۵/۰۳/۰۶ تاریخ پذیرش: ۱۴۰۵/۰۴/۰۸ تاریخ چاپ: ۱۴۰۵/۰۵/۱۵ واژگان کلیدی: آشکارسازی تغییرات، کاربری اراضی، پوشش اراضی، سنجش از دور، تصاویر لندست، سامانه اطلاعات جغرافیایی (GIS)، شهر کرمان.	پژوهش حاضر با هدف آشکارسازی و تحلیل روند تغییرات پوشش و کاربری اراضی شهر کرمان طی دوره زمانی ۲۰۱۷ تا ۲۰۲۵ انجام شده است. این پژوهش از نظر هدف، کاربردی و از لحاظ ماهیت و روش، توصیفی-تحلیلی است. به منظور تهیه نقشه‌های کاربری اراضی از تصاویر ماهواره‌ای لندست در پنج دوره زمانی شامل سال‌های ۲۰۱۷، ۲۰۱۹، ۲۰۲۱، ۲۰۲۳ و ۲۰۲۵ استفاده شد. پردازش تصاویر، تهیه لایه‌های اطلاعاتی و تحلیل داده‌ها با بهره‌گیری از نرم‌افزارهای ArcGIS Pro و SAGA GIS انجام گرفت و طبقه‌بندی تصاویر بر اساس الگوریتم حداکثر احتمال صورت پذیرفت. در این مطالعه، پنج کلاس اصلی شامل اراضی ساخته‌شده، مراتع، اراضی بایر، اراضی زراعی و پوشش درختی استخراج و روند تغییرات آن‌ها مورد ارزیابی قرار گرفت. یافته‌های پژوهش نشان داد که طی دوره مورد مطالعه، سهم اراضی ساخته‌شده از ۳۷٫۹۳ درصد در سال ۲۰۱۷ به ۴۰٫۷۵ درصد در سال ۲۰۲۵ افزایش یافته که بیانگر تداوم توسعه کالبدی شهر کرمان است. در مقابل، اراضی بایر از ۵۲٫۱۶ درصد به ۴۶٫۲۶ درصد کاهش یافته و بخش عمده‌ای از آن به سایر کاربری‌ها، به‌ویژه اراضی ساخته‌شده و مراتع، تبدیل شده است. همچنین سهم مراتع از ۴۰٫۷۴ درصد به ۴۷٫۶۲ درصد افزایش یافته و اراضی زراعی پس از نوسانات جزئی، در پایان دوره به ۵٫۲۷ درصد رسیده است. پوشش درختی نیز در تمام دوره کمتر از ۰٫۱۳ درصد باقی‌مانده و تغییرات محسوسی را تجربه نکرده است. نتایج پژوهش نشان می‌دهد که روند غالب تغییرات کاربری اراضی در شهر کرمان، توسعه تدریجی محدوده‌های ساخته‌شده و کاهش مستمر اراضی بایر بوده است. این تغییرات بیانگر گسترش فیزیکی شهر و تغییر ساختار فضایی کاربری اراضی در سال‌های اخیر است
استناد: قاسمی، مسلم و رستم زاده؛ میترا. (۱۴۰۵). آشکارسازی و تحلیل تغییرات پوشش و کاربری اراضی شهر کرمان با استفاده از تصاویر ماهواره‌ای و سامانه اطلاعات جغرافیایی (GIS). <i>مجله برنامه‌ریزی و طراحی شهری</i>، ۲ (۲)، ۱۷-۱. http://doi.org/10.22034/j94594.2026.595979.1051	



مقدمه

کاربری و پوشش اراضی از مهم‌ترین مؤلفه‌های شکل‌دهنده ساختار فضایی شهرها به شمار می‌روند و تغییرات آن‌ها بازتابی از روندهای توسعه کالبدی، تحولات محیطی و نحوه بهره‌برداری از منابع سرزمین است. در دهه‌های اخیر، رشد شهرنشینی، توسعه فیزیکی شهرها، افزایش تقاضا برای زمین و گسترش فعالیت‌های انسانی موجب تغییرات گسترده‌ای در الگوی کاربری اراضی شده است. این تغییرات علاوه بر دگرگونی سیمای شهر، بر برنامه‌ریزی شهری، مدیریت منابع طبیعی، خدمات اکوسیستمی و کیفیت محیط‌زیست نیز تأثیرگذار بوده و پایش مستمر آن‌ها را به یکی از ضرورت‌های اساسی مدیریت شهری تبدیل کرده است. (Shang et al, 2022 – Tang et al., 2020). در این میان، فناوری سنجش‌ازدور و سامانه اطلاعات جغرافیایی (GIS) به دلیل امکان تهیه داده‌های دقیق، بهنگام و گسترده، به یکی از مهم‌ترین ابزارهای آشکارسازی و پایش تغییرات کاربری و پوشش اراضی تبدیل شده‌اند. استفاده از تصاویر ماهواره‌ای چند زمانه این امکان را فراهم می‌کند که روند تغییرات کاربری اراضی در دوره‌های زمانی مختلف با دقت مناسب استخراج، مقایسه و تحلیل شود و الگوهای توسعه فضایی شهرها به صورت کمی و مکانی مورد ارزیابی قرار گیرد. (Clay, 2011 – Sarvar et al., 2016). از این رو این فرآیند می‌تواند در سطحی گسترده به تغییرات اجتماعی و اقتصادی در بخش‌های مختلف شهرها منجر شده و با ورود پروژه‌های جدید و توسعه زیرساخت‌ها، ممکن است جمعیت‌های جدیدی نیز به مناطق مختلف شهری جذب شوند که می‌تواند به تنوع فرهنگی و اقتصادی منجر شده که می‌تواند به بروز تنش‌های اجتماعی و فرهنگی بین ساکنان قدیمی و جدید نیز منجر شود (Moosavi et al., 2018). از سوی دیگر، تغییرات پوششی و کاربری اراضی ممکن است به تخریب محیط‌زیست و کاهش کیفیت زندگی در سکونتگاه‌های انسانی نیز منجر شود؛ به عنوان مثال، تبدیل اراضی سبز به مناطق مسکونی یا تجاری می‌تواند به کاهش فضای سبز و افزایش آلودگی هوا و صوتی منجر شود که این مسئله به‌ویژه برای ساکنان حاشیه‌ای شهرها که معمولاً از منابع مالی کمتری برخوردارند، چالش‌های جدی ایجاد می‌کند (Majedi et al., 2012).

تغییرات کاربری اراضی در شهر کرمان به عنوان یک چالش مهم در مدیریت شهری و توسعه پایدار مطرح می‌باشد. طی این فرآیند، با افزایش جمعیت و رشد سریع شهری، زمین‌های کشاورزی و طبیعی به تدریج به کاربری‌های مسکونی، تجاری و صنعتی تبدیل می‌شوند که این تغییرات نه تنها بر کیفیت زندگی ساکنان تأثیر می‌گذارد، بلکه به کاهش تنوع زیستی، افزایش آلودگی و فشار بر منابع آبی نیز منجر می‌شود. بنابراین، بررسی دقیق روندهای تغییر کاربری اراضی در کرمان و شناسایی عوامل مؤثر بر آن، برای ایجاد راهکارهای مؤثر در مدیریت پایدار و حفظ محیط‌زیست این شهر ضروری است.

شهر کرمان نیز طی سال‌های اخیر تحت تأثیر رشد جمعیت، توسعه کالبدی، افزایش فعالیت‌های خدماتی و تغییر الگوی استفاده از اراضی، با تغییرات قابل‌توجهی در ساختار پوشش و کاربری اراضی مواجه بوده است. با وجود انجام برخی مطالعات در زمینه توسعه شهری کرمان، تاکنون بررسی جامع روند تغییرات پوشش و کاربری اراضی این شهر بر پایه تصاویر ماهواره‌ای چند دوره‌ای و تحلیل دقیق تغییرات کلاس‌های مختلف کاربری در بازه زمانی اخیر کمتر مورد توجه قرار گرفته است. نبود اطلاعات دقیق درباره میزان و روند این تغییرات می‌تواند برنامه‌ریزی فضایی و تصمیم‌گیری‌های مدیریتی را با محدودیت مواجه سازد. بر همین اساس، پژوهش حاضر با بهره‌گیری از تصاویر ماهواره‌ای لندست مربوط به سال‌های ۲۰۱۷، ۲۰۱۹، ۲۰۲۱، ۲۰۲۳ و ۲۰۲۵ و استفاده از نرم‌افزارهای ArcGIS Pro و SAGA GIS، درصد آشکارسازی و تحلیل روند تغییرات پنج کلاس اصلی پوشش و کاربری اراضی شامل اراضی ساخته شده، مراتع، اراضی بایر، اراضی زراعی و پوشش درختی در شهر کرمان است. نتایج این پژوهش می‌تواند تصویری روشن از روند تحولات

فضایی شهر طی سال‌های اخیر ارائه داده و زمینه لازم را برای پایش مستمر تغییرات و بهبود فرآیند برنامه‌ریزی شهری فراهم آورد. از این‌رو سؤال اصلی تحقیق این است که چه تغییراتی در کاربری اراضی شهر کرمان طی ادوار موردنظر رخ داده است؟

شجاع و همکاران (۲۰۲۵) پژوهش با بهره‌گیری از Landsat، Google Earth Engine، GIS، و TerrSet و تصاویر Landsat روند تغییرات کاربری اراضی استان تهران را در بازه ۲۰۰۳ تا ۲۰۲۳ تحلیل کرد. نتایج نشان داد که تلفیق پردازش ابری و سامانه اطلاعات جغرافیایی، دقت آشکارسازی تغییرات را افزایش داده و امکان پایش مستمر توسعه شهری را فراهم می‌کند. این مطالعه از نظر به کارگیری فناوری‌های نوین در آشکارسازی تغییرات، مکمل مناسبی برای ادبیات پژوهش شما است.

میامی و اسماعیلی (۲۰۲۴) روند گسترش شهری کرمان را طی سال‌های ۱۹۹۰ تا ۲۰۲۰ با استفاده از تصاویر ماهواره‌ای، شاخص‌های توسعه شهری و روش‌های تحلیل فضایی بررسی کردند. یافته‌ها نشان داد که توسعه شهر عمدتاً به سمت حاشیه‌های پیرامونی گسترش یافته و افزایش اراضی ساخته‌شده مهم‌ترین ویژگی تغییرات فضایی شهر بوده است. این پژوهش بر نقش سنجش‌ازدور در پایش توسعه کالبدی شهر تأکید دارد. در پژوهشی که توسط شفیع‌زاده و همکاران (۲۰۲۴) انجام شد، تغییرات پوشش اراضی، دمای سطح زمین و رشد شهری در شهرهای کرمان و زاهدان با استفاده از تصاویر ماهواره‌ای بررسی شد. نتایج نشان داد که افزایش اراضی ساخته‌شده، تغییرات محسوسی در ویژگی‌های زیوفیزیکی سطح زمین ایجاد کرده و الگوی پوشش اراضی نقش مهمی در تغییرات اقلیم شهری دارد. این مطالعه اهمیت آشکارسازی دقیق تغییرات پوشش اراضی را برای تحلیل پیامدهای محیطی توسعه شهری نشان می‌دهد.

تیموری و همکاران (۲۰۲۳) تغییرات کاربری اراضی شهر مراغه را با رویکرد اکولوژی منظر و GIS بررسی کردند. نتایج نشان داد که افزایش اراضی شهری موجب کاهش یکپارچگی منظر و افزایش تکه‌تکه شدن کاربری‌های طبیعی شده است. پژوهشگران تأکید کردند که تحلیل تغییرات کاربری اراضی باید همراه با شاخص‌های فضایی انجام شود تا الگوی واقعی تحولات سرزمین مشخص گردد. زرنديان و همکاران (۲۰۲۳) با ترکیب داده‌های سنجش‌ازدور، مدل Land Change Modeler و مدل InVEST، تغییرات کاربری اراضی کلان‌شهر کرج را شبیه‌سازی کردند. نتایج نشان داد که توسعه شهری بدون مداخله مدیریتی موجب کاهش خدمات اکوسیستمی و افزایش تبدیل اراضی طبیعی به کاربری‌های انسان‌ساخت می‌شود. پژوهش، قابلیت مدل‌های شبیه‌سازی در مدیریت آینده کاربری اراضی را تأیید کرد.

نوروزی (۲۰۲۳) در پژوهشی با عنوان «اندازه‌گیری تغییرات کاربری اراضی و کمی‌سازی گسترش شهری با استفاده از سنجش‌ازدور و GIS (مطالعه موردی: کلان‌شهر قم)» از تصاویر لندست، طبقه‌بندی حداکثر احتمال، شاخص آنتروپی شانن و شاخص شدت توسعه شهری استفاده کرد. نتایج نشان داد که رشد کالبدی شهر قم طی سال‌های ۱۹۸۵ تا ۲۰۲۱ به‌صورت پراکنده و عمدتاً در پیرامون شهر رخ داده است. این مطالعه از نظر روش پردازش تصاویر و آشکارسازی تغییرات، شباهت زیادی به پژوهش شما دارد. شهریاری و همکاران (۲۰۲۰) با استفاده از تصاویر Landsat، مدل CA-Markov و Land Change Modeler تغییرات کاربری اراضی شهر کرمان را طی سال‌های ۱۹۸۹ تا ۲۰۱۷ بررسی کردند. نتایج نشان داد اراضی ساخته‌شده تقریباً دو برابر شده، اراضی بایر کاهش یافته و پوشش گیاهی افزایش نسبی داشته است. همچنین مدل پیش‌بینی نشان داد که روند توسعه شهری در آینده نیز ادامه خواهد یافت. این مطالعه اهمیت استفاده از تصاویر چند زمانه و مدل‌های تغییر کاربری را در مدیریت توسعه شهری نشان داد.

خلیلی و همکاران (۲۰۲۰) در مطالعه‌ای، تغییرات پوشش اراضی شهر تبریز با استفاده از تصاویر لندست، طبقه‌بندی حداکثر احتمال و زنجیره مارکوف بررسی و برای پیش‌بینی تغییرات آینده نیز مدل‌سازی انجام دادند. نتایج نشان داد که

اراضی ساخته‌شده بیشترین نرخ رشد را داشته‌اند و مدل مارکوف توانسته است روند آینده تغییرات را با دقت قابل قبولی پیش‌بینی کند. محمدیان و همکاران (۲۰۱۷) با استفاده از تصاویر لندست، طبقه‌بندی نظارت‌شده، مدل CA-Markov و شاخص آنتروپی شانون، تغییرات کاربری اراضی شهر قم را طی سال‌های ۱۹۸۷ تا ۲۰۱۳ بررسی کردند. نتایج نشان داد که افزایش اراضی ساخته‌شده منجر به کاهش اراضی کشاورزی و باغات شده و روند گسترش شهری در آینده نیز ادامه خواهد یافت. این پژوهش یکی از شناخته‌شده‌ترین مطالعات ایرانی در حوزه آشکارسازی تغییرات کاربری اراضی است. فیضی‌زاده و همکاران (۲۰۱۶) مدلی برای شبیه‌سازی تغییرات کاربری اراضی شهر تبریز ارائه کردند که در آن از تصاویر لندست، روش حداکثر احتمال و مدل‌های تغییر کاربری استفاده شد. نتایج نشان داد که توسعه میان‌افزا می‌تواند نسبت به توسعه پراکنده، الگوی پایداری برای مدیریت رشد شهری ایجاد کند. این پژوهش از نظر روش طبقه‌بندی تصاویر و تحلیل تغییرات، برای مقاله شما ارزش ارجاعی بالایی دارد.

یوان و همکاران (۲۰۲۴) مجموعه داده FUSU را برای آشکارسازی تغییرات کاربری اراضی شهری معرفی کردند و نشان دادند که داده‌های چند زمانه با قدرت تفکیک بالا می‌توانند دقت تحلیل تغییرات شهری را به میزان قابل‌توجهی افزایش دهند. تینگو و همکاران (۲۰۲۳) در مقاله‌ای یک مرور نظام‌مند درباره کاربرد سنجش‌ازدور در آشکارسازی تغییرات کاربری اراضی مناطق ساحلی ارائه داد و روندهای پژوهشی، سنجنده‌ها، الگوریتم‌ها و نرم‌افزارهای مورد‌استفاده را تحلیل کرد. گونگ و همکاران (۲۰۲۰) در مقاله‌ای نخستین نقشه جهانی پوشش اراضی با تفکیک ۱۰ متر را تهیه کردند که تحول بزرگی در مطالعات تغییرات کاربری اراضی محسوب می‌شود.

وانگ و همکاران (۲۰۲۱) کاربرد یادگیری عمیق در آشکارسازی تغییرات تصاویر ماهواره‌ای را بررسی کردند و نتیجه گرفتند که شبکه‌های عصبی کانولوشنی نسبت به روش‌های کلاسیک دقت بیشتری دارند. وولدر و همکاران (۲۰۱۸) نقش تصاویر Landsat را در پایش تغییرات محیطی و کاربری اراضی طی چند دهه بررسی کردند و نشان دادند این داده‌ها ستون فقرات مطالعات آشکارسازی تغییرات هستند.

سونگ و همکاران (۲۰۱۸) در پژوهش تغییرات جهانی پوشش اراضی را طی بیش از سه دهه با استفاده از سری زمانی Landsat تحلیل کرد و نشان داد داده‌های چند زمانه امکان استخراج روندهای بلندمدت را فراهم می‌کنند. براون و همکاران (۲۰۱۸) با استفاده از Google Earth Engine و تصاویر Landsat روشی برای پایش سریع تغییرات کاربری اراضی ارائه کردند و دقت بالای پردازش ابری را نشان دادند.

ژو (۲۰۱۷) مروری جامع بر روش‌های آشکارسازی تغییرات در تصاویر سنجش‌ازدور ارائه کرد و روش‌های مبتنی بر طبقه‌بندی، مقایسه پس از طبقه‌بندی و تحلیل شیء‌گرا را مقایسه نمود. نتایج نشان داد که روش مقایسه پس از طبقه‌بندی یکی از دقیق‌ترین روش‌ها برای بررسی تغییرات کاربری اراضی است. هانسن و همکاران (۲۰۱۳) با استفاده از تصاویر Landsat، نخستین نقشه جهانی تغییرات پوشش اراضی با قدرت تفکیک ۳۰ متر را تهیه کردند. پژوهش نشان داد که داده‌های چند زمانه لندست قابلیت بسیار بالایی در آشکارسازی تغییرات پوشش اراضی دارند و می‌توانند مبنای مطالعات منطقه‌ای و شهری قرار گیرند. ستو و همکاران (۲۰۱۲) روند گسترش شهرهای جهان و تغییرات کاربری اراضی ناشی از شهرنشینی را بررسی کردند. نتایج نشان داد که توسعه شهری مهم‌ترین عامل تغییر پوشش اراضی در کشورهای درحال توسعه است و سنجش‌ازدور مؤثرترین ابزار برای پایش این تغییرات در مقیاس‌های زمانی و مکانی مختلف محسوب می‌شود.

مبانی نظری

امروزه تغییرات پوشش و کاربری اراضی به عنوان یکی از شاخص های اصلی ارزیابی تحولات فضایی و توسعه شهری شناخته می شود و پایش مستمر این تغییرات، نقش مهمی در شناخت روند گسترش شهرها، مدیریت منابع زمین و برنامه ریزی کاربری اراضی ایفا می کند (Seto et al, 2014). با افزایش سرعت شهرنشینی، توسعه کالبدی شهرها و تغییر الگوی استفاده از اراضی، نیاز به اطلاعات دقیق، بهنگام و قابل اعتماد درباره وضعیت و روند تغییرات کاربری اراضی بیش از گذشته احساس می شود. در چنین شرایطی، فناوری سنجش از دور و سامانه اطلاعات جغرافیایی به دلیل توانایی در استخراج اطلاعات مکانی دقیق و تحلیل تغییرات در مقیاس های زمانی مختلف، به یکی از مهم ترین ابزارهای مطالعات شهری تبدیل شده اند (Li et al, 2020).

شهر کرمان نیز طی سال های اخیر دستخوش تغییرات قابل توجهی در ساختار فضایی خود شده است. گسترش مناطق ساخته شده، تغییر در الگوی بهره برداری از اراضی و دگرگونی برخی پوشش های طبیعی، ضرورت پایش مستمر این تحولات را دوجندان کرده است. با وجود اهمیت این موضوع، هنوز اطلاعات جامعی از روند تغییرات کاربری اراضی شهر کرمان در یک دوره زمانی پیوسته و مبتنی بر تصاویر ماهواره ای چند زمانه در دسترس نیست. نبود چنین اطلاعاتی می تواند موجب کاهش دقت در تصمیم گیری های مرتبط با توسعه شهری، تخصیص بهینه اراضی و مدیریت تغییرات فضایی شود. از سوی دیگر، تهیه نقشه های دقیق کاربری اراضی و آشکارسازی روند تغییرات آن ها، مبنای بسیاری از مطالعات شهری، زیست محیطی و برنامه ریزی فضایی محسوب می شود. بنابراین، انجام این پژوهش از آن جهت ضروری است که با بهره گیری از تصاویر ماهواره ای لندست و قابلیت های سامانه اطلاعات جغرافیایی، روند تغییرات پوشش و کاربری اراضی شهر کرمان را طی سال های ۲۰۱۷ تا ۲۰۲۵ به صورت کمی و مکانی آشکار ساخته و تصویری روشن از تحولات فضایی شهر ارائه می دهد. از منظر کاربردی نیز نتایج این پژوهش می تواند به عنوان یک پایگاه اطلاعاتی قابل استناد برای شهرداری کرمان، اداره کل راه و شهرسازی، اداره منابع طبیعی، سازمان محیط زیست و سایر نهادهای برنامه ریز مورد استفاده قرار گیرد و زمینه تصمیم گیری مبتنی بر شواهد را در مدیریت توسعه شهری فراهم سازد.

تحولات کاربری و پوشش اراضی در مناطق شهری، به ویژه در کلان شهرها، از دیرباز مورد توجه پژوهشگران بوده است. با پیشرفت تکنولوژی سنجش از دور و ظهور ماهواره هایی با قدرت تفکیک مکانی و زمانی بالاتر (مانند سری سنتینل و لندست)، امکان پایش دقیق تر و با جزئیات بیشتر این تغییرات فراهم شده است. این رویکرد به ما اجازه می دهد تا فراتر از تحلیل های صرفاً توصیفی، به درک عمیق تری از الگوهای فضایی-زمانی و همچنین محرک های آن دست یابیم (Ghaffari et al., 2019). نظریه «کالبدشکافی شهری» نیز در کنار این تحلیل ها، به درک چگونگی شکل گیری و گسترش لکه های شهری و تأثیر آن بر کاربری اراضی پیرامون کمک می کند.

در عصر حاضر، تمرکز بر «تاب آوری شهری» ابعاد جدیدی به تحلیل تغییرات کاربری و پوشش اراضی بخشیده است. پژوهش ها نشان می دهند که تغییرات نامتوازن کاربری اراضی، مانند کاهش فضاهای سبز و افزایش سطوح نفوذناپذیر، مستقیماً بر شدت پدیده هایی چون سیلاب های شهری و اثرات جزیره حرارتی تأثیر می گذارد (Zhou et al., 2019). در مناطق خشک و نیمه خشک مانند کرمان، مدیریت پایدار منابع آب و خاک حیاتی است و تحلیل LULC نقش کلیدی در شناسایی مناطقی دارد که بیشترین آسیب پذیری را در برابر تغییرات اقلیمی و شهری شدن دارند. مدل سازی دینامیک های

1LULC

2Sentinel

3Landsat 8/9

4Urban Morphology

5Urban Resilience

6UHI

LULC با استفاده از رویکردهای یادگیری ماشین^۱ و هوش مصنوعی فصل نوینی را گشوده است. الگوریتم‌هایی مانند شبکه‌های عصبی^۲، ماشین بردار پشتیبان^۳ و جنگل‌های تصادفی^۴ در کنار روش‌های کلاسیک مانند زنجیره مارکوف^۵ دقت پیش‌بینی و شبیه‌سازی سناریوهای آینده را به‌طور چشمگیری ارتقا داده‌اند (Ali et al., 2020). این مدل‌ها به ما امکان می‌دهند تا اثرات سیاست‌های مختلف شهری را بر آینده کاربری اراضی پیش‌بینی کرده و به سمت توسعه شهری پایدارتر گام برداریم. سامانه اطلاعات جغرافیایی به‌عنوان یک بستر یکپارچه، نقش محوری در تجمیع، تحلیل و بصری‌سازی داده‌های مکانی حاصل از سنجش‌ازدور و سایر منابع ایفا می‌کند. تحلیل‌های مکانی پیشرفته در GIS، مانند تحلیل همپوشانی^۶، تحلیل شبکه^۷ و تحلیل الگوهای مکانی^۸، امکان شناسایی روابط پیچیده میان عوامل مؤثر بر LULC و پیامدهای آن را فراهم می‌سازند (Zhan et al., 2020). این ابزار، پلی میان داده‌های خام ماهواره‌ای و اطلاعات قابل‌فهم برای تصمیم‌گیران است.

نظریه «توسعه هماهنگ» در برنامه‌ریزی شهری، بر لزوم انطباق رشد کالبدی با زیرساخت‌ها و خدمات شهری تأکید دارد. در پژوهش تغییرات کاربری اراضی کرمان، بررسی اینکه آیا گسترش شهر در راستای تأمین خدمات شهری بوده یا صرفاً یک «گسترش لجام‌گسیخته» (Urban Sprawl) را شاهد هستیم، اهمیت بالایی دارد. این امر با تحلیل تراکم و پراکندگی کاربری‌های مختلف در طول زمان قابل‌سنجش است (Seto et al., 2012). پدیده‌های زیست‌محیطی مانند «اثر جزیره حرارتی شهری» به‌طور مستقیم تحت تأثیر تغییرات LULC قرار دارند. کاهش پوشش گیاهی و افزایش سطوح ساخته‌شده (مانند آسفالت و ساختمان‌ها) منجر به جذب و نگهداری بیشتر حرارت شده و دمای محیط را افزایش می‌دهد. تحلیل هم‌زمان نقشه‌های LULC و نقشه‌های دمای سطح زمین (LST) که از طریق تصاویر ماهواره‌ای قابل‌استخراج هستند، می‌تواند شدت این پدیده را در مناطق مختلف شهری کرمان و ارتباط آن با نوع کاربری اراضی روشن سازد (Li et al., 2020). در نهایت، تحلیل‌های LULC در بستر شهری مانند کرمان، نباید بدون در نظر گرفتن «محرك‌های مقیاس بزرگ» صورت پذیرد. سیاست‌های ملی و منطقه‌ای، روندهای اقتصادی، رشد جمعیت و حتی تغییرات اقلیمی در مقیاس کلان، همگی در شکل‌دهی به تغییرات کاربری در مقیاس شهری نقش دارند. بنابراین، یک تحلیل جامع نیازمند در نظر گرفتن این عوامل در کنار تحلیل‌های مکانی-زمانی در مقیاس شهری است تا بتوان به درک کامل‌تری از چرایی و چگونگی این تغییرات دست‌یافت (Seto et al., 2014).

روش پژوهش

روش پژوهش حاضر از نظر هدف، کاربردی و از نظر ماهیت و روش، توصیفی-تحلیلی است. در این پژوهش، به‌منظور آشکارسازی و تحلیل روند تغییرات پوشش و کاربری اراضی شهر کرمان، از داده‌های سنجش‌ازدور و سیستم اطلاعات جغرافیایی (GIS) استفاده‌شده است. بدین منظور، تصاویر ماهواره‌ای Landsat مربوط به پنج دوره زمانی شامل سال‌های

1 Machine Learning

2 Neural Networks

3 SVM

4 Random Forest

5 CA-Markov

6 Overlay Analysis

7 Network Analysis

8 Spatial Pattern Analysis

9 Coordinated Development

10 Urban Heat Island - UHI

11 Macro-level Drivers

2017، ۲۰۱۹، ۲۰۲۱، ۲۰۲۳ و ۲۰۲۵ از پایگاه داده USGS Earth Explorer دریافت و پس از انجام پیش پردازش های لازم مورد استفاده قرار گرفتند. انتخاب تصاویر چند زمانه امکان بررسی روند تغییرات پوشش و کاربری اراضی در یک دوره زمانی مشخص را فراهم می سازد. در مرحله نخست، عملیات پیش پردازش تصاویر شامل تصحیح هندسی، تصحیح اتمسفری، حذف خطاهای ناشی از شرایط جوی، ترکیب باندها و برش محدوده مطالعاتی انجام شد. سپس تصاویر آماده شده با استفاده از نرم افزارهای ArcGIS Pro و SAGA GIS مورد پردازش و تحلیل قرار گرفتند. برای استخراج طبقات کاربری اراضی، از روش طبقه بندی نظارت شده (Supervised Classification) استفاده شد. در این روش، نمونه های آموزشی از سطح تصویر برای طبقات مختلف کاربری انتخاب شده و الگوریتم طبقه بندی بر اساس الگوی طیفی نمونه ها، سایر پیکسل ها را در طبقات مشابه قرار می دهد.

در این پژوهش، طبقات اصلی پوشش و کاربری اراضی شامل:

❖ مناطق ساخته شده

❖ اراضی بایر

❖ پوشش مرتعی

❖ اراضی زراعی و محصولات کشاورزی

❖ پوشش درختی متراکم در نظر گرفته شدند.

به منظور افزایش دقت طبقه بندی، از الگوریتم حداکثر احتمال استفاده شد. این الگوریتم بر اساس احتمال تعلق هر پیکسل به یک طبقه مشخص، مناسب ترین کلاس کاربری را تعیین می کند. پس از تهیه نقشه های کاربری اراضی در دوره های زمانی مختلف، تغییرات مساحت هر طبقه محاسبه و میزان افزایش یا کاهش هر کاربری طی دوره مورد مطالعه استخراج شد. در نهایت، با مقایسه نقشه های چند زمانه، الگوی تغییرات پوشش و کاربری اراضی شهر کرمان مشخص و روند تحول فضایی آن تحلیل شد.

یافته ها

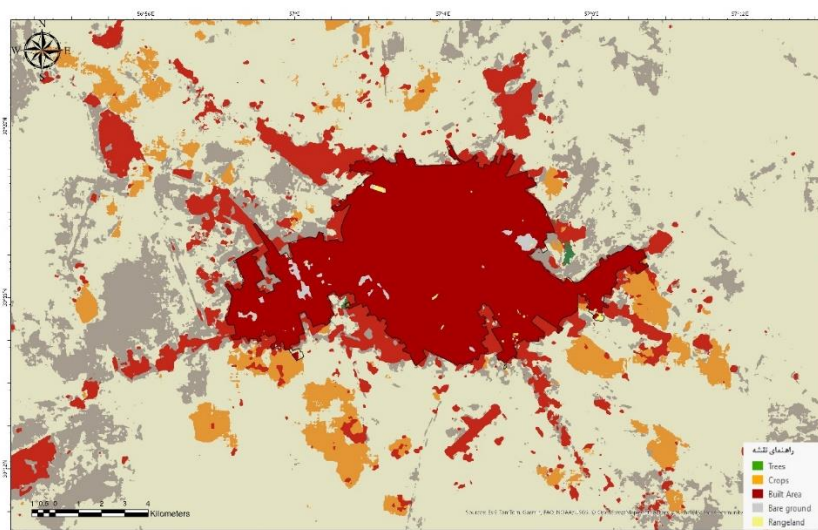
در پژوهش حاضر، به منظور آشکارسازی تغییرات پوشش و کاربری اراضی شهر کرمان، تصاویر ماهواره ای Landsat مربوط به پنج دوره زمانی شامل سال های ۲۰۱۷، ۲۰۱۹، ۲۰۲۱، ۲۰۲۳ و ۲۰۲۵ مورد استفاده قرار گرفت. با توجه به هدف پژوهش که بررسی روند تغییرات سطح زمین و میزان جابه جایی طبقات کاربری طی یک دوره زمانی مشخص است، تصاویر ماهواره ای پس از انجام مراحل پیش پردازش شامل اصلاحات هندسی و اتمسفری، بهبود کیفیت و آماده سازی داده ها، در محیط نرم افزارهای ArcGIS Pro و SAGA GIS مورد پردازش قرار گرفتند. در مرحله بعد، تصاویر ماهواره ای با استفاده از روش طبقه بندی نظارت شده و الگوریتم حداکثر احتمال طبقه بندی شدند. در این روش، ابتدا نمونه های آموزشی مربوط به هر طبقه کاربری از سطح تصاویر استخراج شده و سپس بر اساس ویژگی های طیفی پیکسل ها، سایر بخش های تصویر در طبقات مشابه قرار گرفتند.

در این پژوهش، سطح منطقه مورد مطالعه به پنج طبقه اصلی شامل مناطق ساخته شده، اراضی بایر، مراتع و پوشش کم تراکم گیاهی، اراضی زراعی و پوشش درختی متراکم تقسیم بندی شد. انتخاب این طبقات با توجه به شرایط طبیعی و کالبدی شهر کرمان و با هدف تفکیک مهم ترین عناصر تشکیل دهنده پوشش سطح زمین انجام گرفت.

به‌منظور ارزیابی صحت طبقه‌بندی تصاویر، از ضریب کاپا استفاده شد. نتایج نشان داد که مقدار ضریب کاپا برای سال‌های ۲۰۱۷، ۲۰۱۹، ۲۰۲۱، ۲۰۲۳ و ۲۰۲۵ به ترتیب برابر با ۰,۹۵، ۰,۹۴، ۰,۹۳، ۰,۹۳ و ۰,۹۹ بوده است. مقادیر به‌دست‌آمده نشان‌دهنده میزان بالای توافق میان طبقات استخراج‌شده از تصاویر ماهواره‌ای و داده‌های مرجع زمینی است. به‌طور کلی، مقادیر بالاتر از ۰,۸۰ نشان‌دهنده صحت بسیار مطلوب طبقه‌بندی بوده و بیانگر آن است که روش حداکثر احتمال توانسته است طبقات مختلف پوشش و کاربری اراضی شهر کرمان را با دقت مناسبی تفکیک کند. با توجه به روند تغییرات ضریب کاپا، کاهش جزئی دقت در سال‌های ۲۰۲۱ و ۲۰۲۳ می‌تواند ناشی از افزایش شباهت طیفی برخی کاربری‌ها، به‌ویژه میان اراضی بایر، زمین‌های بدون پوشش و برخی سطوح ساخته‌شده باشد. با این حال، افزایش مقدار ضریب کاپا در سال ۲۰۲۵ تا میزان ۰,۹۹ نشان می‌دهد که تفکیک طبقات کاربری در این دوره با بالاترین میزان اطمینان انجام شده است.

نتایج طبقه‌بندی تصاویر نشان می‌دهد که داده‌های ماهواره‌ای Landsat و الگوریتم Maximum Likelihood قابلیت مناسبی برای پایش تغییرات پوشش و کاربری اراضی شهر کرمان داشته و نقشه‌های تولیدشده می‌توانند به‌عنوان مبنایی معتبر برای تحلیل روند تغییرات طی دوره ۲۰۱۷ تا ۲۰۲۵ مورد استفاده قرار گیرند.

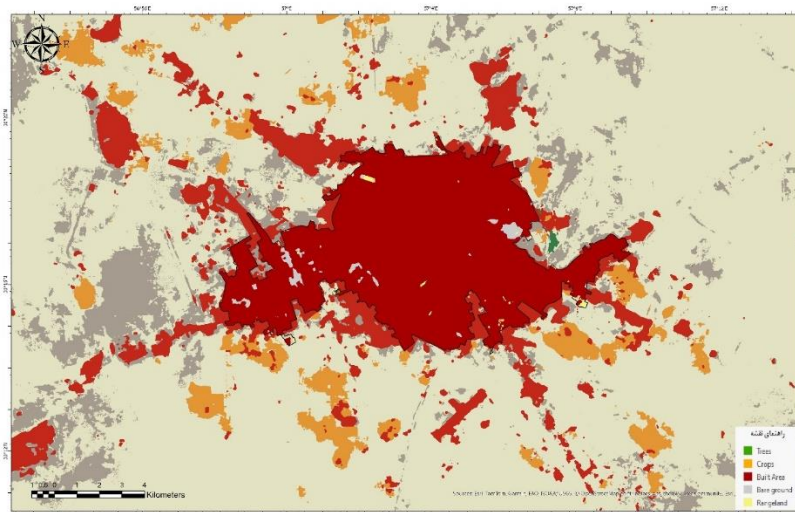
بر اساس نتایج طبقه‌بندی تصاویر ماهواره‌ای، در سال ۲۰۱۷ بیشترین سهم از سطح محدوده مورد مطالعه مربوط به طبقه مراتع و پوشش گیاهی کم‌تراکم با مقدار ۴۰,۷۴ درصد بوده است. پس‌از آن، مناطق ساخته‌شده با ۳۷,۹۳ درصد بیشترین سهم را به خود اختصاص داده‌اند. این وضعیت نشان می‌دهد که در ابتدای دوره بررسی، ساختار فضایی شهر کرمان ترکیبی از پهنه‌های طبیعی پیرامونی و مناطق توسعه‌یافته شهری بوده است. اراضی بایر با ۱۶,۲۲ درصد سومین طبقه گسترده منطقه را تشکیل داده‌اند که نشان‌دهنده وجود پهنه‌های فاقد پوشش گیاهی و زمین‌های آماده توسعه در محدوده شهری و پیرامونی است. همچنین اراضی کشاورزی با ۴,۷۱ درصد و پوشش درختی با ۰,۱۲ درصد کمترین سهم را داشته‌اند که با شرایط اقلیمی خشک منطقه کرمان همخوانی دارد.



شکل ۱. تغییرات کاربری اراضی حاصل از طبقه‌بندی ۲۰۱۷

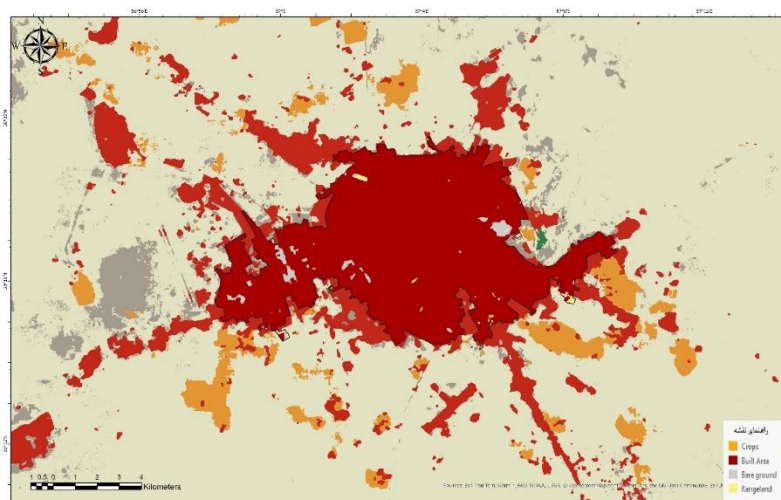
در سال ۲۰۱۹، سطح مناطق ساخته‌شده به ۳۸,۷۲ درصد افزایش یافته است. این افزایش نسبت به سال ۲۰۱۷ نشان‌دهنده ادامه روند توسعه کالبدی و گسترش سطوح مصنوع در شهر کرمان است. هم‌زمان، اراضی بایر از ۱۶,۵۲

درصد به ۱۲,۷۹ درصد کاهش یافته‌اند که می‌تواند بیانگر تبدیل بخشی از زمین‌های بدون پوشش به مناطق ساخته‌شده یا تغییر در طبقات پوشش زمین باشد. کاهش جزئی اراضی کشاورزی از ۴,۷۱ درصد به ۳,۷۶ درصد نیز نشان می‌دهد که بخشی از اراضی تولیدی منطقه تحت تأثیر فرآیندهای توسعه‌ای قرار گرفته‌اند. در مقابل، افزایش مراتع به ۴۴,۶۱ درصد نشان‌دهنده تغییر بخشی از طبقات کم پوشش به سمت پوشش مرتعی است.



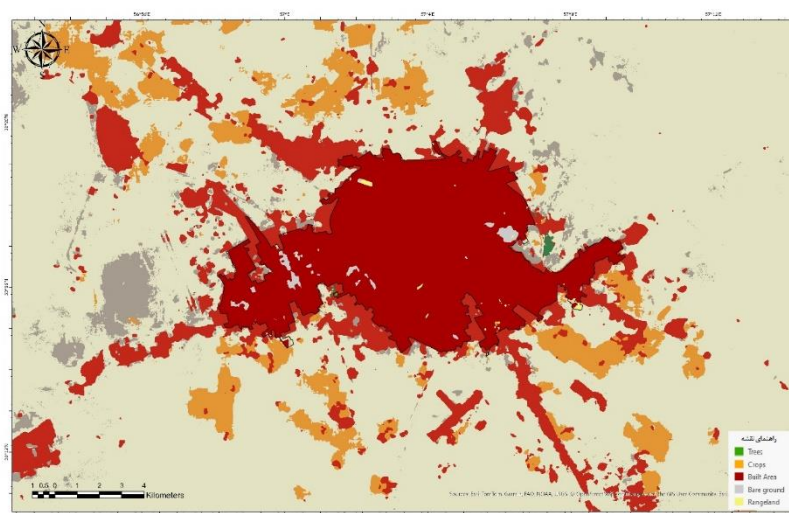
شکل ۲. تغییرات کاربری اراضی حاصل از طبقه‌بندی ۲۰۱۹

در سال ۲۰۲۱، روند افزایش مناطق ساخته‌شده ادامه یافته و این طبقه به ۳۹,۶۶ درصد رسیده است. این افزایش نشان‌دهنده تداوم گسترش سطح شهری در محدوده مورد مطالعه است. مهم‌ترین تغییر این سال مربوط به کاهش شدید اراضی بایر است؛ به‌طوری‌که این طبقه از ۱۲,۷۹ درصد در سال ۲۰۱۹ به ۷,۱۱ درصد در سال ۲۰۲۱ کاهش یافته است. این کاهش بیانگر تبدیل بخش قابل‌توجهی از اراضی بدون پوشش به سایر کاربری‌ها، به‌ویژه ساخت‌وسازهای شهری است. در همین دوره، مراتع به ۴۸,۹۸ درصد افزایش یافته‌اند و بیشترین سهم سطح منطقه را به خود اختصاص داده‌اند. این افزایش می‌تواند ناشی از تغییرات طبقه‌بندی طیفی میان اراضی بایر و پوشش‌های کم‌تراکم گیاهی باشد.



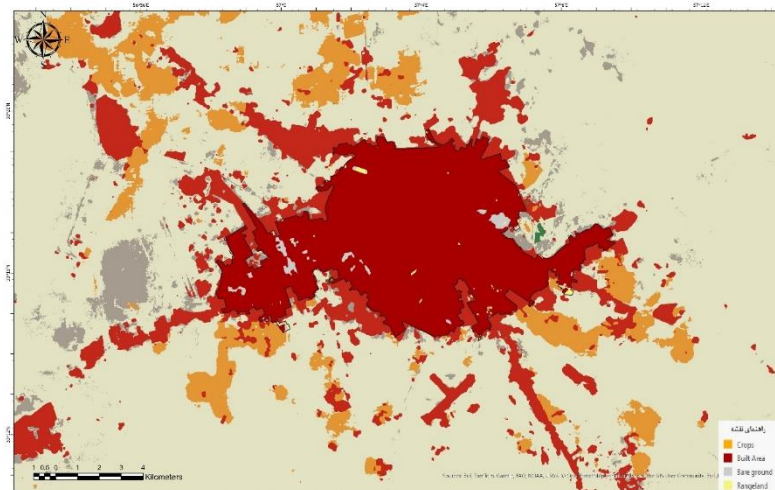
شکل ۳. تغییرات کاربری اراضی حاصل از طبقه‌بندی ۲۰۲۱

در سال ۲۰۲۳، مناطق ساخته‌شده با مقدار ۴۰,۷۶ درصد به بیشترین مقدار خود در دوره مطالعه رسیده‌اند. این موضوع نشان‌دهنده ادامه روند توسعه فیزیکی شهر کرمان و افزایش سطح اراضی تحت تأثیر فعالیت‌های انسانی است. در مقابل، اراضی بایر به ۶,۳۷ درصد کاهش یافته‌اند که نسبت به سال ۲۰۱۷ حدود ۱۰ درصد کاهش را نشان می‌دهد. این تغییر بیانگر کاهش قابل توجه زمین‌های بدون استفاده یا آماده توسعه است. پوشش درختی نیز با افزایش جزئی از ۰,۱۱ درصد در سال ۲۰۲۱ به ۰,۱۳ درصد رسیده است که نشان‌دهنده تغییرات محدود در پوشش گیاهی متراکم منطقه است.



شکل ۴. تغییرات کاربری اراضی حاصل از طبقه‌بندی ۲۰۲۳

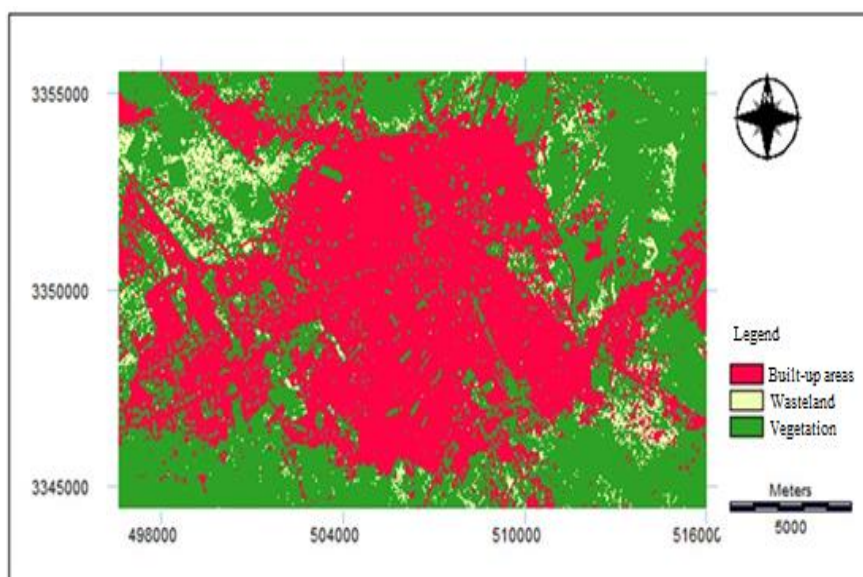
در آخرین سال بررسی، مناطق ساخته‌شده با مقدار ۴۰,۷۵ درصد تقریباً در سطح مشابه سال ۲۰۲۳ باقی‌مانده‌اند. این موضوع نشان می‌دهد که روند گسترش کالبدی شهر در سال‌های پایانی دوره موردبررسی به مرحله ثبات نسبی نزدیک شده است. اراضی کشاورزی با افزایش به ۵,۲۷ درصد بیشترین مقدار خود را در دوره مطالعه ثبت کرده‌اند. همچنین اراضی بایر با کاهش به ۶,۲۶ درصد به کمترین میزان خود رسیده‌اند. به‌طورکلی، نتایج دوره ۲۰۱۷ تا ۲۰۲۵ نشان می‌دهد که مهم‌ترین تغییر رخ داده، افزایش حدود ۲,۸۲ درصدی مناطق ساخته‌شده و کاهش حدود ۱۰,۲۶ درصدی اراضی بایر بوده است که نشان‌دهنده روند تبدیل زمین‌های باز و بدون پوشش به کاربری‌های انسانی است.



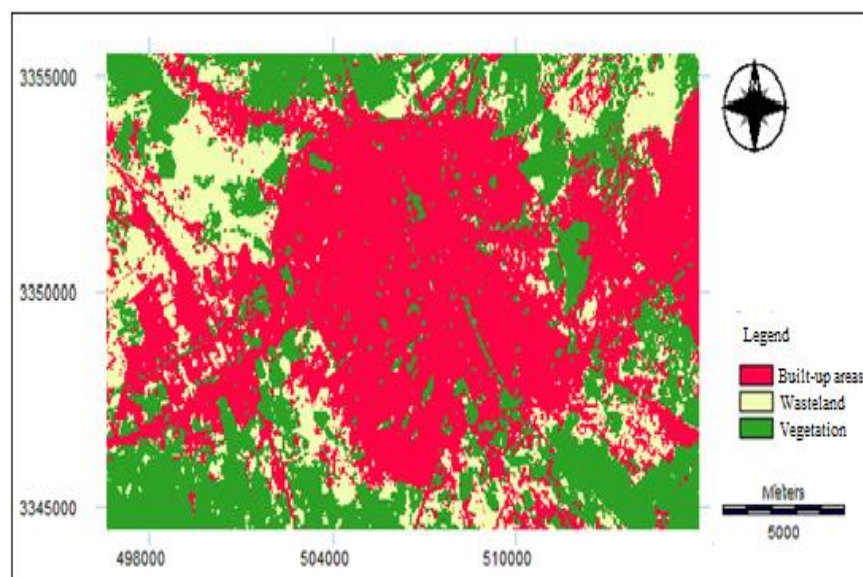
شکل ۵. تغییرات کاربری اراضی حاصل از طبقه‌بندی ۲۰۲۵

به‌منظور بررسی روند احتمالی تغییرات آینده پوشش و کاربری اراضی شهر کرمان، تغییرات مشاهده‌شده در فاصله سال‌های ۲۰۱۷ تا ۲۰۲۵ مورد تحلیل قرار گرفت. در این پژوهش، پیش‌بینی تغییرات بر اساس روند تاریخی طبقات کاربری و میزان افزایش یا کاهش آن‌ها انجام شد. به‌عبارت‌دیگر، با بررسی رفتار هر یک از طبقات کاربری در دوره زمانی مورد مطالعه، امکان ارزیابی جهت احتمالی تغییرات آینده فراهم شد. نتایج نشان داد که مهم‌ترین روند تغییراتی مربوط به افزایش تدریجی مناطق ساخته‌شده و کاهش اراضی بایر است. سطح مناطق ساخته‌شده از ۳۷٫۹۳ درصد در سال ۲۰۱۷ به ۴۰٫۷۵ درصد در سال ۲۰۲۵ افزایش یافته است. ادامه این روند نشان می‌دهد که در صورت تداوم شرایط موجود، سهم مناطق انسان‌ساخت در ساختار کاربری اراضی شهر کرمان در آینده نیز افزایش خواهد یافت. همچنین، کاهش شدید اراضی بایر از ۱۶٫۵۲ درصد در سال ۲۰۱۷ به ۶٫۲۶ درصد در سال ۲۰۲۵ نشان‌دهنده روند تبدیل تدریجی زمین‌های آزاد به سایر کاربری‌ها است. بنابراین، می‌توان انتظار داشت که در سال‌های آینده، فشار توسعه شهری بیشتر بر پهنه‌های باز باقی‌مانده وارد شود.

در مقابل، تغییرات طبقات کشاورزی، مراتع و پوشش درختی روند نوسانی‌تری داشته است. اراضی کشاورزی پس از کاهش اولیه، در سال ۲۰۲۵ به ۵٫۲۷ درصد افزایش یافته‌اند که نشان‌دهنده پایداری نسبی این کاربری در مقایسه با سایر طبقات است. همچنین سهم بسیار پایین پوشش درختی (حدود ۰٫۱۰ درصد) نشان می‌دهد که این طبقه در آینده نیز نقش محدودی در ساختار پوشش زمین منطقه خواهد داشت. به‌منظور بررسی اعتبار نتایج، صحت طبقه‌بندی تصاویر ماهواره‌ای با استفاده از ضریب کاپا ارزیابی شد. مقادیر ضریب کاپا برای سال‌های ۲۰۱۷، ۲۰۱۹، ۲۰۲۱، ۲۰۲۳ و ۲۰۲۵ به ترتیب ۰٫۹۵، ۰٫۹۴، ۰٫۹۳، ۰٫۹۳ و ۰٫۹۹ به دست آمد. این مقادیر نشان‌دهنده توافق بسیار مطلوب میان داده‌های طبقه‌بندی‌شده و داده‌های مرجع بوده و بیانگر قابلیت بالای نتایج استخراج‌شده برای تحلیل روند تغییرات کاربری اراضی است.



شکل ۶. تغییرات کاربری اراضی حاصل از طبقه‌بندی ۲۰۲۵



شکل ۷. تغییرات کاربری اراضی حاصل از طبقه‌بندی ۲۰۲۵

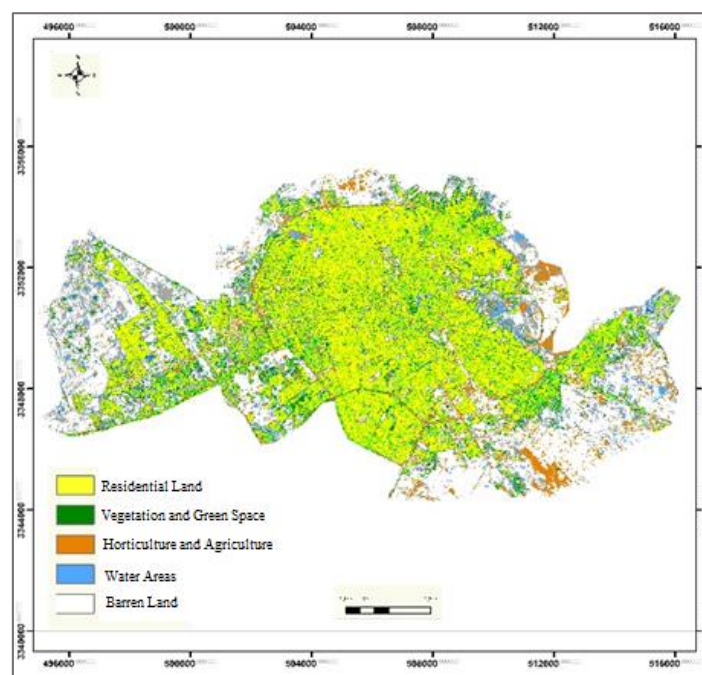
در مجموع، نتایج پیش‌بینی روندی نشان می‌دهد که در صورت ادامه الگوی فعلی توسعه، مهم‌ترین تغییر آینده شهر کرمان، افزایش سهم مناطق ساخته‌شده و کاهش بیشتر پهنه‌های بایر خواهد بود. همچنین اعتبار بالای طبقه‌بندی تصاویر، قابلیت استفاده از نتایج پژوهش برای پایش و مدیریت تغییرات آینده کاربری اراضی را تأیید می‌کند. به‌منظور شناسایی روند تغییرات پوشش و کاربری اراضی شهر کرمان، نقشه‌های تولیدشده از طبقه‌بندی تصاویر ماهواره‌ای سال‌های ۲۰۱۷، ۲۰۱۹، ۲۰۲۱، ۲۰۲۳ و ۲۰۲۵ با یکدیگر مقایسه شدند. نتایج آشکارسازی تغییرات نشان داد که در طول دوره موردبررسی، مهم‌ترین تغییرات مربوط به افزایش سطح مناطق ساخته‌شده و کاهش پهنه‌های بایر بوده است. بررسی تغییرات نشان می‌دهد که مناطق ساخته‌شده از ۳۷٫۹۳ درصد در سال ۲۰۱۷ به ۴۰٫۷۵ درصد در سال ۲۰۲۵ افزایش یافته‌اند. این افزایش حدود ۲٫۸۲ درصدی بیانگر توسعه تدریجی سطوح مصنوع و افزایش فعالیت‌های انسان‌ساخت در محدوده شهر کرمان است. در مقابل، اراضی بایر با کاهش قابل توجه از ۱۶٫۵۲ درصد در سال ۲۰۱۷ به ۶٫۲۶ درصد در

سال ۲۰۲۵ مواجه شده‌اند. کاهش حدود ۱۰,۲۶ درصدی این طبقه نشان می‌دهد که بخش قابل توجهی از زمین‌های فاقد پوشش در طول دوره مطالعه تغییر وضعیت داده و به سایر کاربری‌ها تبدیل شده‌اند. بررسی روند تغییرات اراضی کشاورزی نشان می‌دهد که این طبقه در ابتدا کاهش یافته و از ۴,۷۱ درصد در سال ۲۰۱۷ به ۳,۷۶ درصد در سال ۲۰۱۹ رسیده است، اما در سال‌های بعد روند افزایشی داشته و در سال ۲۰۲۵ به ۵,۲۷ درصد افزایش یافته است. این تغییرات نشان‌دهنده نوسانات محدود این کاربری در طول دوره مطالعه است. پوشش درختی نیز در تمام سال‌ها سهم بسیار محدودی داشته و مقدار آن بین ۰/۱۰ تا ۰,۱۳ درصد متغیر بوده است. این وضعیت با شرایط اقلیمی خشک شهر کرمان سازگار بوده و نشان‌دهنده محدودیت پوشش گیاهی متراکم در منطقه است. در مجموع، تحلیل تغییرات نشان می‌دهد که مهم‌ترین فرآیند رخ داده در دوره ۲۰۱۷ تا ۲۰۲۵، تبدیل بخشی از اراضی بایر به مناطق ساخته شده و سایر کاربری‌ها بوده است. این روند بیانگر حرکت تدریجی ساختار کاربری اراضی شهر کرمان از پهنه‌های باز و بدون استفاده به سمت توسعه انسان‌ساخت است.

جدول ۱. روند کلی تبدیل کاربری‌ها

کاربری اولیه	روند تغییر	کاربری غالب جایگزین	تفسیر
اراضی بایر	کاهش شدید	مناطق ساخته شده	توسعه کالبدی شهر و استفاده از زمین‌های آزاد
مناطق ساخته شده	افزایش تدریجی	-	رشد فعالیت‌های شهری
اراضی کشاورزی	نوسان محدود	تغییرات محدود	تأثیرپذیری از شرایط محیطی و انسانی
مراتع	افزایش نسبی	-	تغییرات طبقه‌بندی و گسترش پوشش کم‌تراکم
پوشش درختی	ثبات نسبی	-	محدودیت طبیعی منطقه

نتایج نشان داد که طی دوره ۲۰۱۷ تا ۲۰۲۵، مهم‌ترین تغییر کاربری در شهر کرمان، افزایش سطح مناطق ساخته شده و کاهش اراضی بایر بوده است. این موضوع بیانگر تغییر تدریجی ترکیب پوشش زمین و افزایش سهم فعالیت‌های انسان‌ساخت در ساختار کاربری شهر است.



شکل ۸. نقشه پیش‌بینی سال ۲۰۵۰

بحث

تغییرات پوشش و کاربری اراضی یکی از مهم‌ترین شاخص‌های سنجش تحولات محیطی و انسانی در مناطق شهری محسوب می‌شود. رشد جمعیت، توسعه فعالیت‌های اقتصادی، افزایش نیاز به زیرساخت‌ها و گسترش کالبدی شهرها موجب شده است که پایش مداوم تغییرات سطح زمین به یکی از ضرورت‌های اساسی برنامه‌ریزی شهری و مدیریت محیطی تبدیل شود. پژوهش حاضر با هدف آشکارسازی تغییرات پوشش و کاربری اراضی شهر کرمان طی دوره زمانی ۲۰۱۷ تا ۲۰۲۵ و با استفاده از تصاویر ماهواره‌ای Landsat و تکنیک‌های سنجش‌ازدور انجام شد. نتایج حاصل از طبقه‌بندی تصاویر ماهواره‌ای نشان داد که روش طبقه‌بندی نظارت‌شده مبتنی بر الگوریتم حداکثر احتمال، توانایی مناسبی در تفکیک طبقات مختلف کاربری اراضی داشته است. مقادیر بالای ضریب کاپا در سال‌های مورد مطالعه (۰,۹۳ تا ۰,۹۹) نشان‌دهنده صحت بالای نقشه‌های استخراج‌شده و قابلیت اعتماد نتایج حاصل از فرآیند طبقه‌بندی است.

تحلیل تغییرات نشان داد که مهم‌ترین تحول رخ داده در ساختار پوشش زمین شهر کرمان، افزایش سطح مناطق ساخته‌شده و کاهش اراضی بایر بوده است. مناطق ساخته‌شده از ۳۷,۹۳ درصد در سال ۲۰۱۷ به ۴۰,۷۵ درصد در سال ۲۰۲۵ افزایش یافته‌اند. این روند نشان‌دهنده توسعه تدریجی فعالیت‌های انسان‌ساخت و افزایش سهم کاربری‌های شهری در ساختار فضایی منطقه است. در مقابل، اراضی بایر با کاهش قابل توجه از ۱۶,۵۲ درصد به ۶,۲۶ درصد مواجه شده‌اند. این کاهش بیانگر تبدیل بخش قابل توجهی از زمین‌های فاقد پوشش به سایر کاربری‌ها، به‌ویژه کاربری‌های مرتبط با فعالیت‌های شهری است. چنین تغییری نشان می‌دهد که توسعه شهری کرمان طی دوره مورد بررسی توانسته است بخش قابل توجهی از پهنه‌های باز پیرامونی را تحت تأثیر قرار دهد.

نتیجه‌گیری

نتایج همچنین نشان داد که کاربری‌های طبیعی مانند پوشش درختی و مراتع تغییرات محدودتری داشته‌اند. سهم بسیار پایین پوشش درختی (حدود ۰,۱۰ درصد) نشان‌دهنده شرایط اقلیمی خشک منطقه و محدودیت گسترش پوشش گیاهی متراکم است. همچنین تغییرات مراتع و اراضی کشاورزی بیشتر تحت تأثیر شرایط محیطی، تغییرات فصلی و تفاوت‌های طیفی تصاویر ماهواره‌ای قرار داشته است. مقایسه دوره‌های مختلف نشان می‌دهد که بیشترین شدت تغییرات در فاصله سال‌های ۲۰۱۷ تا ۲۰۲۱ رخ داده است؛ دوره‌ای که کاهش چشمگیر اراضی بایر و افزایش مناطق ساخته‌شده مشاهده می‌شود. پس از سال ۲۰۲۳، روند افزایش مناطق ساخته‌شده تقریباً تثبیت شده که می‌تواند نشان‌دهنده کاهش زمین‌های مناسب توسعه یا تغییر در الگوی توسعه شهری باشد. به‌طور کلی، یافته‌های پژوهش بیانگر آن است که شهر کرمان طی دوره مورد مطالعه با روند تدریجی تغییر از پهنه‌های باز و طبیعی به سمت ساختارهای انسان‌ساخت مواجه بوده است. استفاده از فناوری سنجش‌ازدور در این پژوهش نشان داد که این فناوری می‌تواند ابزاری کارآمد، سریع و دقیق برای پایش تغییرات کاربری اراضی و حمایت از تصمیم‌گیری‌های مدیریتی باشد.

در راستای نتایج پژوهش، به‌منظور جلوگیری از توسعه بی‌رویه شهر پیشنهادهای ذیل ارائه می‌شود:

- ایجاد سامانه پایش مستمر تغییرات کاربری اراضی شهر کرمان با استفاده از تصاویر ماهواره‌ای به‌روز به‌منظور شناسایی سریع تغییرات غیرمجاز.
- استفاده از فناوری‌های نوین سنجش‌ازدور مانند تصاویر Sentinel و داده‌های با قدرت تفکیک مکانی بالاتر برای افزایش دقت تفکیک کاربری‌های شهری.

- بررسی دوره‌های زمانی کوتاه‌تر برای پایش تغییرات سریع شهری به‌ویژه در مناطق دارای رشد کالبدی بالا.
- تلفیق داده‌های سنجش‌ازدور با اطلاعات جمعیتی، اقتصادی و کالبدی برای شناسایی عوامل مؤثر بر تغییرات کاربری اراضی.
- حفاظت از پهنه‌های طبیعی باقی‌مانده و جلوگیری از تبدیل بی‌رویه اراضی باز به کاربری‌های شهری از طریق سیاست‌های کنترلی و برنامه‌ریزی زمین.
- استفاده از الگوریتم‌های هوش مصنوعی و یادگیری ماشین مانند Random Forest و Support Vector Machine برای مقایسه دقت طبقه‌بندی با روش Maximum Likelihood..

حامی مالی

بنا به اظهار نویسنده مسئول، این مقاله حامی مالی نداشته است.

سهم نویسندگان

در پژوهش مقاله، کارهای میدانی، تحلیل و نگارش مقاله توسط نویسنده اول مقاله انجام شده است؛ صحت، تائید و راهنمایی در تدوین مقاله توسط نویسنده دوم صورت گرفته است.

تضاد منافع

نویسندگان اعلام می‌دارند که هیچ تضاد منافعی در رابطه با نویسندگی و یا انتشار این مقاله ندارند.

تقدیر و تشکر

نویسندگان، از همه افراد، به دلیل مشاوره و راهنمایی علمی و مشارکتشان در این مقاله تشکر و قدردانی می‌نمایند.

References

- Ali, S. A. (2020). A review of machine learning approaches for land use and land cover classification based on remote sensing data. *Remote Sensing Applications: Society and Environment*, 18, 100327.
- Brown, C. F., Brumby, S. P., Guzder-Williams, B., Birch, T., Hyde, S. B., Mazzariello, J., Czerwinski, W., Pasquarella, V. J., Haertel, R., Ilyushchenko, S., Schwehr, K., Weisse, M., Stolle, F., Hanson, C., Guinan, O., Moore, R., & Tait, A. M. (2022). Dynamic World, near real-time global 10 m land use land cover mapping. *Scientific Data*, 9, 251.
- Feizizadeh, B., Blaschke, T., Nazmfar, H., & Rezaei Moghaddam, M. H. (2016). A methodological approach to urban land-use change modeling using infill development pattern: A case study in Tabriz, Iran. *Ecological Processes*, 5, 4.
- Ghaffari, S. M. (2019). Monitoring urban growth and land use change using remote sensing and GIS: A case study of Tehran metropolitan area. *ISPRS International Journal of Geo-Information*, 8(10), 448.
- Gong, P., Liu, H., Zhang, M., Li, C., Wang, J., Huang, H., Clinton, N., Ji, L., Li, W., Bai, Y., Chen, B., Xu, B., Zhu, Z., Yuan, C., Suen, H. P., Guo, J., Xu, N., Li, W., Zhao, Y., ... & Yu, L. (2020). Stable classification with 10-m resolution land cover maps using Sentinel data. *Remote Sensing of Environment*, 258, 112346.
- Hansen, M. C., Potapov, P. V., Moore, R., Hancher, M., Turubanova, S. A., Tyukavina, A., Thau, D., Stehman, S. V., Goetz, S. J., Loveland, T. R., Kommareddy, A., Egorov, A., Chini,

- L., Justice, C. O., & Townshend, J. R. G. (2013). High-resolution global maps of 21st-century forest cover change. *Science*, 342(6160), 850–853.
- Khalili, A. (2020). Extraction of land information, future landscape changes and seismic hazard assessment: A case study of Tabriz, Iran. *Sensors*, 20(24), 7010.
- Li, X., Zhou, Y., Yu, S., Jia, G., Li, H., & Li, W. (2020). Investigating the relationship between land use/land cover and land surface temperature in an arid region city. *Sustainable Cities and Society*, 54, 102006.
- Mohammadian Mosammam, H., Tavakoli Nia, J., Khani, H., Teymouri, A., & Kazemi, M. (2017). Monitoring land use change and measuring urban sprawl based on its spatial forms: The case of Qom city. *Egyptian Journal of Remote Sensing and Space Sciences*, 20(1), 103–116.
- Mohimi, A., & Esmaily, A. (2024). Spatiotemporal analysis of urban sprawl using a multi-technique approach and remote sensing satellite imagery from 1990 to 2020: Kerman, Iran. *Environment, Development and Sustainability*, 26, 18033–18068.
- Norouzi, Y. (2023). Measuring land use changes and quantifying urban expansion using remote sensing and GIS techniques: A case study of Qom. *ISPRS Annals of the Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences*, X-4/W1-2022, 609–615.
- Seto, K. C., Fragkias, M., Güneralp, B., & Reilly, M. K. (2011). A meta-analysis of global urban land expansion. *PLoS ONE*, 6(8), e23777.
- Seto, K. C., Güneralp, B., & Hutyra, L. R. (2012). Global forecasts of urban expansion to 2030 and direct impacts on biodiversity and carbon pools. *Proceedings of the National Academy of Sciences*, 109(40), 16083–16088.
- Shafizadeh, M., Zare, M., & Karimi, N. (2024). Forecasting spatiotemporal dynamics of daytime surface urban cool islands in response to urbanization in drylands: Case study of Kerman and Zahedan cities, Iran. *Remote Sensing*, 16(23), 4416.
- Shahriari, A., Abdollahi, A. A., Mehrabi, A., Khabazi, M., & Derakhshani, R. (2020). Monitoring land use change processes in Kerman based on Markov model and satellite data. *Sustainable Development of Mountain Territories*, 12(1), 39–44.
- Shoja, F., Veisi Nabikandi, B., & Feizizadeh, B. (2025). Spatiotemporal analysis of urbanization-driven land use changes in Tehran Province using novel technologies. *Journal of Geography and Cartography*, 8(2), 1–18.
- Song, X. P., Hansen, M. C., Stehman, S. V., Potapov, P. V., Tyukavina, A., Vermote, E. F., & Townshend, J. R. (2018). Global land change from 1982 to 2016. *Nature*, 560, 639–643.
- Teimouri, R., Ghorbani, R., Karbasi, P., & Sharifi, E. (2023). Investigation of land use changes using the landscape ecology approach in Maragheh City, Iran. *Journal of Environmental Studies and Sciences*, 13, 271–284.
- Tiengo, R., Palácios-Orueta, A., Uchôa, J., & Gil, A. (2023). Remote sensing approaches for land use/land cover change in coastal areas and oceanic islands: An open science-based systematic review. *Journal of Integrated Coastal Zone Management*, 23(1), 1–20.
- Wang, M., Tan, K., Jia, X., Wang, X., & Chen, Y. (2021). A deep learning framework for remote sensing image change detection. *ISPRS Journal of Photogrammetry and Remote Sensing*, 178, 1–17.
- Wulder, M. A., Coops, N. C., Roy, D. P., White, J. C., & Hermosilla, T. (2018). Land cover 2.0. *International Journal of Remote Sensing*, 39(12), 4254–4284.
- Yuan, S., Lin, G., Zhang, L., & Wang, Y. (2024). FUSU: A multi-temporal source land use change segmentation dataset for fine-grained urban semantic understanding. *arXiv preprint arXiv:2404.XXXXX*.
- Zarandian, A., Barati, A. A., & Yavari, A. R. (2023). Scenario modeling to predict changes in land use/cover using Land Change Modeler and InVEST model: A case study of Karaj Metropolis, Iran. *Environmental Monitoring and Assessment*, 195, 1–22.
- Zhan, W., Chen, Y., Zhou, J., Wang, J., Liu, W., Voogt, J., Zhu, X., Quan, J., & Li, J. (2020). Spatial and temporal analysis of land use change and its driving forces in the Yangtze River Delta. *Journal of Geographical Sciences*, 30(5), 779–796.

- Zhou, D., Xiao, J., Bonafoni, S., Berger, C., Deilami, K., Zhou, Y., Frolking, S., Yao, R., Qiao, Z., & Sobrino, J. A. (2019). Satellite remote sensing of surface urban heat islands: Progress, challenges, and perspectives. *Remote Sensing of Environment*, 11(1), 48.
- Zhu, Z. (2017). Change detection using Landsat time series: A review of frequencies, preprocessing, algorithms, and applications. *ISPRS Journal of Photogrammetry and Remote Sensing*, 130, 370–384.