



## بررسی تغییرات پوشش اراضی با استفاده از دو نرم افزار متلب و سیستم اطلاعات جغرافیایی (مطالعه موردی شهر تهران)

محمد مهدی خلیلی<sup>۱</sup> , بهرام ملک محمدی<sup>۲</sup>، زهرا دهقان منشادی<sup>۳</sup>

۱. دانشجوی دکترا، برنامه ریزی، مدیریت محیط زیست و HSE، دانشکده محیط زیست، دانشگاه تهران، تهران، ایران. نویسنده مسئول: mm.khalili@ut.ac.ir

۲. استاد، گروه برنامه ریزی، مدیریت محیط زیست و HSE، دانشکده محیط زیست، دانشگاه تهران، تهران، ایران.

۳. دانشجوی دکترا، برنامه ریزی، مدیریت محیط زیست و HSE، دانشکده محیط زیست، دانشگاه تهران، تهران، ایران.

اطلاعات مقاله	چکیده
تاریخها: دریافت: ۱۴۰۴/۰۷/۱۲ پذیرش: ۱۴۰۴/۰۹/۰۷	نقشه‌های پوشش اراضی، نقش تعیین کننده ای در برنامه ریزی برای توسعه پایدار شهری دارند از این رو تهیه آنها، از داده‌های سنجش از دور برای نقشه‌برداری، ارائه گزارش‌های عملیاتی و به دست آوردن اطلاعات برای پیشبرد فعالیت‌های علمی، مهم و ضروریست. با دسترسی آزاد به تصاویر ماهواره‌ای، تولید این نوع از نقشه‌ها افزایش یافته است. این نقشه‌ها به دلیل پایش موثر و ارائه راهکارهایی برای افزایش کیفیت محیط - زیست اهمیت دارد این مطالعه با هدف تهیه نقشه‌های پوشش اراضی در شهر تهران با استفاده از تصاویر ماهواره‌ای Landsat 5 و 8 در بازه زمانی ۱۹۸۹-۲۰۲۳ نگارش یافته است. اهمیت این تحقیق در ارائه مقایسه‌ای میان دو نرم افزار سیستم اطلاعات جغرافیایی و متلب برای تهیه این نقشه‌ها است. دو ابزاری که خروجی آن‌ها می‌تواند برای تصمیم‌گیری در حوزه برنامه‌ریزی شهری، مدیریت سرزمین و ارزیابی ظرفیت زیستی شهر استفاده شود. نتایج این پژوهش نشان داد، تغییرات قابل توجهی در طبقات پوشش گیاهی، فضای انسان‌ساخت و بایر در این بازه زمانی رخ داده است. مقدار عددی فضای انسان‌ساخت روندی صعودی داشته در حالی که طبقات پوشش گیاهی و بایر الگویی نزولی داشته‌اند. نوسان تغییرات برای این شاخص‌ها به ترتیب (۱۹/۵۶۷ - ۲۳/۲۷۵)، (۴۵/۱۴۴ - ۳۲/۸۱) و (۱۷/۳۱۰ - ۶۴/۶۱) کیلومتر مربع محاسبه شد. مقدار پهنه آبی نیز در فاصله (۳۳/۱ - ۲۱/۰) است. تصاویر بدست آمده از نرم افزار سیستم اطلاعات جغرافیایی، در نرم افزار متلب استفاده شد، تا قابلیت های دو نرم افزار در تهیه نقشه پوشش اراضی مقایسه شود. مقایسه تصاویر، مشخص کرد که روند تغییرات تمامی طبقات در دو نرم افزار مشابه بوده اما نتایج عددی تا حدودی متفاوت است. بیشترین فاصله عددی محاسبه شده مربوط به طبقه پوشش گیاهی در سال ۲۰۱۹ به میزان ۴۷ کیلومتر مربع و کمترین تفاوت عددی نیز مربوط به فضای انسان‌ساخت در سال ۱۹۸۹ به مقدار ۴ کیلومتر مربع برآورد شد. نتایج حاصل از این مطالعه می‌تواند، داده‌های مفیدی را به منظور تعیین پوشش اراضی در محدوده شهر تهران در اختیار برنامه ریزان شهری قرار دهد.
واژگان کلیدی: سنجش از دور پوشش اراضی سیستم اطلاعات جغرافیایی MATLAB	

استناد: خلیلی، محمد مهدی، ملک محمدی، بهرام، دهقان منشادی، زهرا (۱۴۰۴). بررسی تغییرات پوشش اراضی با استفاده از دو نرم افزار متلب و سیستم اطلاعات جغرافیایی (مطالعه موردی شهر تهران). *رویکردهای نو در مطالعات انسان و محیط*، ۲(۲). ۱۴۳-۱۵۸.

<https://doi.org/10.30487/hmes.2025.2050811.1079>



## Evaluation of land cover changes using MATLAB and ArcGIS software; a case study of Tehran city

Mohammadmahdi Khalili <sup>1</sup> ✉ , Bahram Malek Mohammadi <sup>2</sup>, Zahra Dehghan Manshadi <sup>3</sup>

1. Ph.D. Candidate, Department of Environmental Planning, Management and HSE, Faculty of Environment, University of Tehran, Tehran, Iran. Corresponding author: mm.khalili@ut.ac.ir
2. Professor, Department of Environmental Planning, Management and HSE, Faculty of Environment, University of Tehran, Tehran, Iran.
3. Ph.D. Candidate, Department of Environmental Planning, Management and HSE, Faculty of Environment, University of Tehran, Tehran, Iran.

### Article Info

#### History

Received: October 04, 2025

Accepted: November 28, 2025

#### Keywords

Remote sensing  
Land cover  
Arc GIS  
MATLAB

### Abstract

Land cover maps play a crucial role in planning for sustainable urban development, therefore, their preparation from remote sensing data for mapping, providing operational reports, and obtaining information for advancing scientific activities is important and necessary. With free access to satellite images, the production of this type of maps has increased. The accuracy of these maps is important for effective monitoring and providing solutions for increasing environmental quality. This study was written with the aim of preparing land cover maps in Tehran using Landsat 8 and Landsat 5 satellite images in the period 1989-2023. The importance of this research lies in providing a comparison between the two software Arc GIS and MATLAB, for preparing these maps. Two tools whose output can be used for decision-making in the field of urban planning, land management, and assessing the urban carrying capacity. The results of this research showed that significant changes have occurred in the vegetation cover classes, built and barren space during this period. The numerical value of built-up area had an upward trend, while the vegetation and barren areas experienced a downward trend. The fluctuation of changes for these indicators was calculated as (19.567 - 23.275), (45.144 - 32.81) and (17.310 - 64.61) km<sup>2</sup>, respectively. The amount of water area was also estimated in the range (1.33 - 0.21). The output of the images obtained from the Arc GIS software was used as the input of the MATLAB software to compare the capabilities of the two software in preparing land cover maps. By comparing the images, it was determined that the change trends of all classes in the two software were similar, but the numerical results were somewhat different. The largest calculated numerical distance related to the vegetation cover class in 2019 was 47 km<sup>2</sup>, and the smallest numerical difference related to the built-up area in 1989 was estimated at 4 km<sup>2</sup>. The results of this study can provide useful data for urban planners to determine land cover within the city of Tehran.

**Citation:** Khalili, M., Malek Mohammadi, B., & Dehghan Manshadi, Z. (2025). Evaluation of land cover changes using MATLAB and ArcGIS software; a case study of Tehran city. *Innovative Approaches in Human-Environment Studies*, 2(2), 143-158.

<https://doi.org/10.30487/hmes.2025.2050811.1079>

© 2025 Authors, Innovative Approaches in Human-Environment Studies.

**Publisher:** The Organization for Researching and Composing University Textbooks in the Islamic Science and Humanities (SAMT)

## مقدمه

یافته‌های اخیر محیط زیست شهری نشان می‌دهد، شهرنشینی و صنعتی شدن از مؤلفه‌های مهم تغییر کاربری و پوشش اراضی است که با هجوم اکثریت جمعیت جهان به شهرها، اهمیت آن افزایش یافته‌است (et al Ahmed., 2020). کاهش فضای سبز و باز در محیط‌های شهری موجب بروز مشکلات متعددی مانند آلودگی هوا، جزایر حرارتی و آلودگی صوتی می‌شود که این عوامل بر سلامت و رفاه شهروندان تأثیر می‌گذارند (Lopes et al., 2025). فضاهاى سبز شهری مزایای اکوسیستمی مانند بهبود کیفیت هوا، آب، خاک و کارکردهای روانشناختی مانند کاهش استرس، فراهم کردن فضای برای تفکر، فعالیت و آرامش دارند. (Nasehi & Imanpour namin., 2020, Dehghan Manshadi et al., 2023). از نظر اجتماعی شهروندان به استفاده از فضای شهر، افزایش انسجام اجتماعی و بالا رفتن تعاملات مشتاق می‌کند و منافع اقتصادی مانند کاهش آلودگی، پیشگیری و کاهش بروز بیماری‌ها، جذب بازدیدکنندگان و ایجاد درآمد و اشتغال را در پی دارد (Khalili et al., 2024; Yu et al., 2024). بنابراین بررسی زمانی و مکانی و آشکارسازی دقیق و به موقع تغییرات پوشش اراضی، نقش مهمی در فرآیند برنامه ریزی و مدیریت منابع طبیعی دارد (al Dehghan Manshadi et., 2024).

طبقه‌بندی پوشش اراضی شامل: انواع جنگل‌ها، مناطق شهری و زمین‌های کشاورزی، با استفاده از تصاویر ماهواره‌ای است. این طبقه‌بندی به عنوان یک مجموعه داده اساسی برای مطالعات تشخیص تغییرات عمل می‌کند که هدف آن شناسایی، تجزیه و تحلیل تغییرات پوشش زمین در طول زمان است (Ahmed et al., 2020). محققان با مقایسه نقشه‌های پوشش اراضی دوره‌های مختلف، می‌توانند الگوهای تغییر، مانند جنگل‌زدایی و گسترش شهری را تشخیص دهند (Das et al., 2021). پیشرفت داده‌های سنجش از دور، در دسترس بودن و گستردگی کاربرد آن، همچنین توسعه حسگرها و بالا رفتن قدرت محاسباتی نرم افزارهای موجود، سبب افزایش مطالعات در این زمینه شده‌است (Zhu et al., 2022). داده‌های سنجش از دور مانند تصاویر ماهواره‌های لندست و سنتینل، شامل یک دوره طولانی از مشاهدات سطح زمین است که به منظور تشخیص، نظارت و نقشه برداری از پویایی تغییرات پوشش و کاربری اراضی در اختیار عموم قرار گرفته‌است (Delaney et al., 2025). با این حال، چالش‌هایی همچون انتخاب مناسب‌ترین نرم‌افزار پردازش تصویر و ارزیابی دقت نتایج حاصل از روش‌های مختلف، همچنان به قوت خود باقی است. بنابراین، نیاز است که پژوهش‌های بیشتری در این زمینه انجام شود.

سرعت تغییر کاربری اراضی در تهران و تأثیر گسترده آن بر پایداری محیط‌زیست شهری، بر اهمیت پایش دقیق و تحلیل ساختاری این تغییرات افزوده‌است. بسیاری از پژوهش‌های پیشین از تصاویر ماهواره‌ای برای طبقه‌بندی پوشش اراضی استفاده کرده‌اند اما تنها بر یک نرم‌افزار یا یک الگوریتم طبقه‌بندی تمرکز داشته، به مقایسه دقیق پردازشی میان ابزارهای مختلف توجه نکرده‌اند. علاوه بر این، به کاربرد زبان‌های برنامه‌نویسی پیشرفته مانند متلب در تحلیل تغییرات پوشش اراضی کمتر توجه داشته‌اند. مرور مطالعات اخیر نشان می‌دهد که اگرچه تحلیل تغییرات پوشش اراضی در مقیاس‌های زمانی و مکانی مختلف انجام شده، به ارزیابی تطبیقی ابزارها و روش‌های پردازش تصویر در محیط‌های نرم‌افزاری مختلف کمتر پرداخته‌اند. بر این اساس، هدف اصلی مطالعه حاضر، تحلیل تغییرات پوشش اراضی شهر تهران طی بازه زمانی ۱۹۸۹ تا ۲۰۲۳ با استفاده از طبقه‌بندی حداکثر احتمال در محیط نرم‌افزار سیستم اطلاعات جغرافیایی و زبان برنامه‌نویسی متلب است. این پژوهش تلاش دارد ضمن مقایسه نتایج حاصل از این دو محیط نرم‌افزاری، دقت محاسباتی هر یک را ارزیابی کند.

متلب یک زبان برنامه‌نویسی برای انجام محاسبات عددی است که Math Works آن را توسعه داد. متلب از جبر خطی، پردازش سیگنال، پردازش تصویر و سایر توابع ریاضی پشتیبانی می‌کند (Chen & Huang, 2025). این زبان، قابلیت‌های زیادی برای مصورسازی داده‌ها دارد و به کاربران این امکان را می‌دهد تا نمودارها و انیمیشن‌های دوبعدی و سه‌بعدی با کیفیت بالا ایجاد کنند؛ داده‌های خود را به طور مؤثر تجزیه و تحلیل نمایند. علاوه بر این، متلب به طور یکپارچه با سایر زبان‌های برنامه‌نویسی، از جمله C، C++، Fortran، Java، Python ترکیب می‌شود و امکان استفاده مجدد از کد را در پلتفرم‌ها و سیستم‌های مختلف فراهم می‌کند (Kafy et al., 2021; Trauth, 2025).

نوآوری اصلی این تحقیق در بهره‌گیری همزمان از دو محیط نرم‌افزاری متفاوت و انجام مقایسه تطبیقی دقت محاسبات تغییرات پوشش اراضی است که می‌تواند در شناسایی بهینه‌ترین ابزارهای تحلیل فضایی در مطالعات شهری و محیط‌زیستی مؤثر باشد.

سنجش از دور و سیستم اطلاعات جغرافیای از ابزارهای اصلی در تحلیل تغییرات پوشش اراضی است که در سال‌های اخیر استفاده از داده‌های آن‌ها گسترش زیادی داشته‌است. پژوهش Tahir et al. (۲۰۲۵) از سال ۱۹۹۴ تا ۲۰۲۴ نشان می‌دهد که منطقه لاهور، گسترش بی‌برنامه شهری را در طول سه دهه گذشته داشته‌است. به طوری که مناطق مسکونی در حدود ۳۵۹٫۸ کیلومتر مربع با تخریب پوشش گیاهی به مساحت ۱۹۸٫۷ کیلومتر مربع و زمین‌های بایر به مساحت ۱۵۸٫۵ کیلومتر مربع افزایش یافت. همچنین در این پژوهش ارزیابی صحت طبقه‌بندی نظارت‌شده با استفاده از سیستم اطلاعات جغرافیایی نشان داد که این طبقه‌بندی، بیشتر از ۹۰٪ دقت دارد.

Abebe et al. (۲۰۲۲) بین سال‌های ۱۹۸۶ تا ۲۰۱۶ پژوهش را با استفاده از سیستم اطلاعات جغرافیایی در منطقه گوبالاتو انجام داد که نشان می‌دهد در ۳۰ سال گذشته پوشش جنگلی، مراتع و زمین‌های کشاورزی کاهش قابل توجهی داشته‌است. به طور کلی، این تغییرات با افزایش جمعیت و فعالیت‌های انسانی مانند چوب سوخت، تولید زغال چوب، گسترش مناطق کشت و سکونت در منطقه گوبالاتو، شمال شرقی اتیوپی مرتبط است.

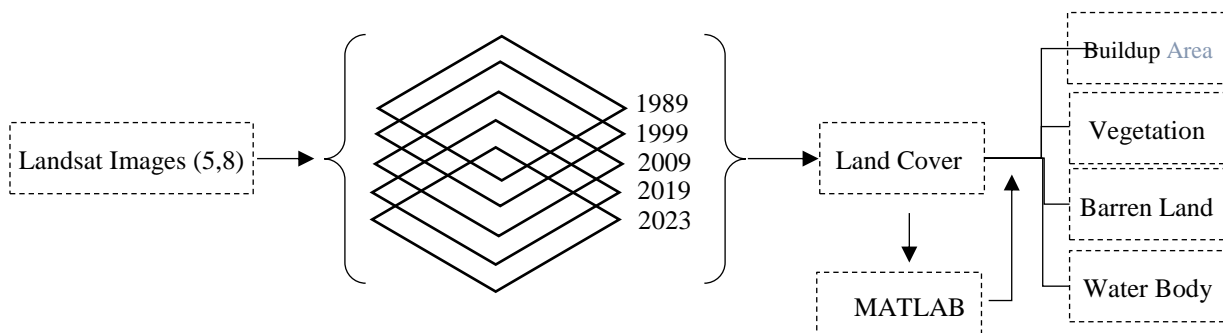
مروری بر مطالعات تغییرات کاربری و پوشش زمین در نپال (Paudel et al., 2016) این ادعاها را تأیید کرد که پوشش جنگلی و برفی/یخچالی با افزایش زمین‌های زراعی و سازه‌های انسان‌ساخت - به ویژه شهرنشینی مرتبط با تکه‌تکه شدن زیستگاه - کاهش یافته‌است. براساس این یافته‌ها، تکه‌تکه شدن زیستگاه و جنگل‌زدایی - در صدر شهرنشینی - تهدیدی جدی برای توسعه پایدار منابع طبیعی نپال است که خدمات حیاتی اکوسیستم را ارائه می‌دهند. یافته‌های مشابهی که تغییرات بی‌سابقه کاربری و پوشش زمین را در ۳۰ سال گذشته، به ویژه در هسته‌های شهری، از جمله کاتماندو، برجسته می‌کند، در مطالعات موجود گزارش شده‌است به عنوان مثال Khanal et al. (۲۰۱۹) در تجزیه و تحلیل خود از الگوهای رشد تاریخی شهری در دره کاتماندو گزارش می‌دهند که مناطق مسکونی بین سال‌های ۲۰۰۰ تا ۲۰۱۸ بیش از دو برابر شده‌است مطالعه مشابه Ishtiaque et al. (۲۰۱۷) گزارش می‌دهد که مناطق مسکونی بین سال‌های ۲۰۰۰ تا ۲۰۱۸ بیش از درصد گسترش یافته‌اند و به نیاز مبرم به تجزیه و تحلیل سیستماتیک عمده از روند شهرنشینی و کاربری زمین و پوشش زمین اشاره می‌کند. بر اساس داده‌های سری زمانی ۳۳ ساله، Thapa and Murayama (۲۰۰۹) مشاهده کردند که مناطق شهری انسان‌ساخت در دره کاتماندو در دهه‌های ۱۹۶۰ و ۱۹۷۰ روند رشد آهسته‌ای داشتند که از دهه ۱۹۸۰ به سرعت افزایش یافته‌است. علاوه بر این، Haack and Rafter (۲۰۰۶) در مطالعه خود برای بررسی تغییرات شهری در دره کاتماندو، افزایش ۴۵۰ درصدی بین سال‌های ۱۹۷۰ تا ۲۰۰۰ را گزارش کرد که یافته‌های گزارش شده توسط مطالعات (BHAGAWAT RIMAL; Ishtiaque et al., 2017; Khanal et al., 2019; Paudel et al., 2016; Thapa & Murayama, 2009) مبنی بر افزایش قابل توجه رشد شهری از سال ۲۰۰۰ را تأیید می‌کند. با وجود تهدیدی که شهرنشینی سریع، بر خدمات اکوسیستم و رفاه انسان دارد، هیچ یک از این مطالعات بر منطقه کاتماندو (هسته دره کاتماندو) تمرکز نکرده و با وجود اهمیت تغییرات کاربری و پوشش زمین برای برنامه‌ریزان و سیاست‌گذاران، آینده آن را پیش‌بینی نکرده‌اند. با این حال، این مطالعات بر لزوم مطالعات علمی قوی‌تر برای تعمیق درک موجود از پویایی تغییر کاربری و پوشش زمین، برای هدایت سیاستمداران، تصمیم‌گیرندگان و برنامه‌ریزان شهری برای طراحی و اجرای برنامه‌های توسعه پایدار، توافق و تأکید داشتند (Wang et al., 2020).

استفاده از نرم افزار متلب در محاسبات پوشش اراضی علاوه بر نشان دادن وضعیت موجود مناطق مطالعاتی، جنبه آینده نگری برای سال‌های آتی دارد. برای نمونه، Ullah et al. (۲۰۲۵) در پاکستان، وضعیت پوشش اراضی را تا سال ۲۰۲۰ بررسی

کرده و یک رویکرد پیش بینانه برای پوشش اراضی منطقه مطالعاتی تا سال ۲۰۵۰، در صورت ادامه یافتن وضعیت موجود ارائه کرده اند. به اعتقاد این محققان، تحقیقات آینده باید پیامدهای گسترش مناطق مسکونی و گرمایش شهری را بر ساکنان محلی بررسی کرده و برنامه ریزی شهری همراه با سیاست های پاسخگو به تغییرات اقلیمی در سطوح منطقه ای و ملی تدوین گردد. Choudhury et al. (۲۰۲۳) نیز با استفاده از متلب وضعیت پوشش اراضی را در آینده برای کشور هند بررسی کرده و معتقداند متلب در پیش بینی وضعیت پوشش اراضی کاربردی است و تحقیقات بیشتری برای گنجاندن طیف گسترده ای از داده های خاک و کلاس های طبقات پوشش اراضی برای ایجاد یک طبقه بندی جامع با استفاده از ابزارهای مبتنی بر یادگیری ماشین لازم است. Stateczny et al. وضعیت پوشش اراضی را با استفاده از متلب در شهرهای مختلف اروپا بررسی کردند و از دیدگاه آنها وجود یک استراتژی مبتنی بر بهینه سازی ترکیبی برای بهبود بیشتر طبقه بندی پوشش اراضی ضروری است.

### روش پژوهش

محدوده مطالعاتی در این پژوهش، مناطق ۲۲ گانه شهر تهران است. تصاویر ماهواره ای مورد نیاز شامل لندست ۵ و ۸ از سایت USGS دریافت شده، سپس به عنوان ورودی در نرم افزار سیستم اطلاعات جغرافیایی پردازش شدند. برای بررسی تغییرات پوشش اراضی، دوره زمانی ۳۴ ساله (۱۹۸۹-۲۰۲۳) انتخاب گردید و در بازه های زمانی ده ساله شامل ۱۹۸۹، ۱۹۹۹، ۲۰۰۹ و ۲۰۱۹، این تصاویر ماهواره ای مقایسه شدند. در ادامه تصاویر ماهواره ای سال ۲۰۲۳ نیز برای بررسی آخرین تغییرات اقلیمی به تصاویر ۴ دوره قبلی افزوده و مقایسه گردید شکل ۱، فرآیند روش پژوهش را نشان می دهد



شکل ۱ فرآیند روش پژوهش

جدول شماره ۱ اطلاعات مربوط به تصاویر ماهواره ای دریافت شده از سایت USGS را نمایش می دهد برای پیشگیری از بروز تداخل در محاسبات به ویژه برآورد میزان سبزیگی، ماه های جولای و آگوست که در آنها شاخص سبزیگی در مقدار حداکثری هستند برای دوره مطالعاتی ۳۴ ساله (۱۹۸۹-۲۰۲۳) انتخاب شدند.

جدول ۱ اطلاعات تصاویر ماهواره ای دریافت شده از سایت USGS (USGS, ۲۰۲۴)

سال	تاریخ سری زمانی	نوع تصویر ماهواره ای	پوشش ابری
۱۹۸۹	۲۹-۸-۱۹۸۹	Landsat 5	کمتر از ۲۰ درصد
۱۹۹۹	۹-۸-۱۹۹۹	Landsat 5	کمتر از ۲۰ درصد
۲۰۰۹	۱۹-۷-۲۰۰۹	Landsat 5	کمتر از ۲۰ درصد
۲۰۱۹	۱۶-۸-۲۰۱۹	Landsat 8	کمتر از ۲۰ درصد
۲۰۲۳	۱۱-۸-۲۰۲۳	Landsat 8	کمتر از ۲۰ درصد

در طبقه‌بندی پوشش اراضی، اصلاحات اتمسفریک و رادیومتریک با استفاده از نرم افزار سیستم اطلاعات جغرافیایی ورژن ۱۰٫۸ اجرا شد. سپس تصاویر سال‌های ۱۹۸۹، ۱۹۹۹، ۲۰۰۹، ۲۰۱۹ و ۲۰۲۳ در چهار گروه شامل طبقه سبز، فضای انسان‌ساخت، طبقه حاوی مناطق بایر و مناطق دارای پهنه آب سطحی دسته‌بندی شدند. جدول شماره ۲ ویژگی‌های چهار طبقه‌بندی استفاده شده در نقشه پوشش اراضی را نشان می‌دهد

جدول ۲ توصیف طبقات استفاده شده در نقشه پوشش اراضی

توصیف	طبقات پوشش اراضی
مناطق مسکونی، شبکه حمل و نقل و خدمات تجاری	Buildup Area
زمین‌های بایر، دشت	Barren Land
پوشش‌های گیاهی متراکم و پراکنده، درختان، زمین‌های کشاورزی، مرتع	Vegetation
دریاچه، تالاب، رودخانه	Water Body

در این پژوهش، برای طبقه‌بندی تصاویر ماهواره‌ای و تهیه نقشه‌های پوشش اراضی، از دو محیط نرم‌افزاری مختلف، سیستم اطلاعات جغرافیایی و متلب، استفاده شد. هر یک از این نرم‌افزارها از الگوریتم‌ها و رویکردهای متفاوتی برای طبقه‌بندی پشتیبانی می‌کنند که بر فرآیند تحلیل تأثیر دارد.

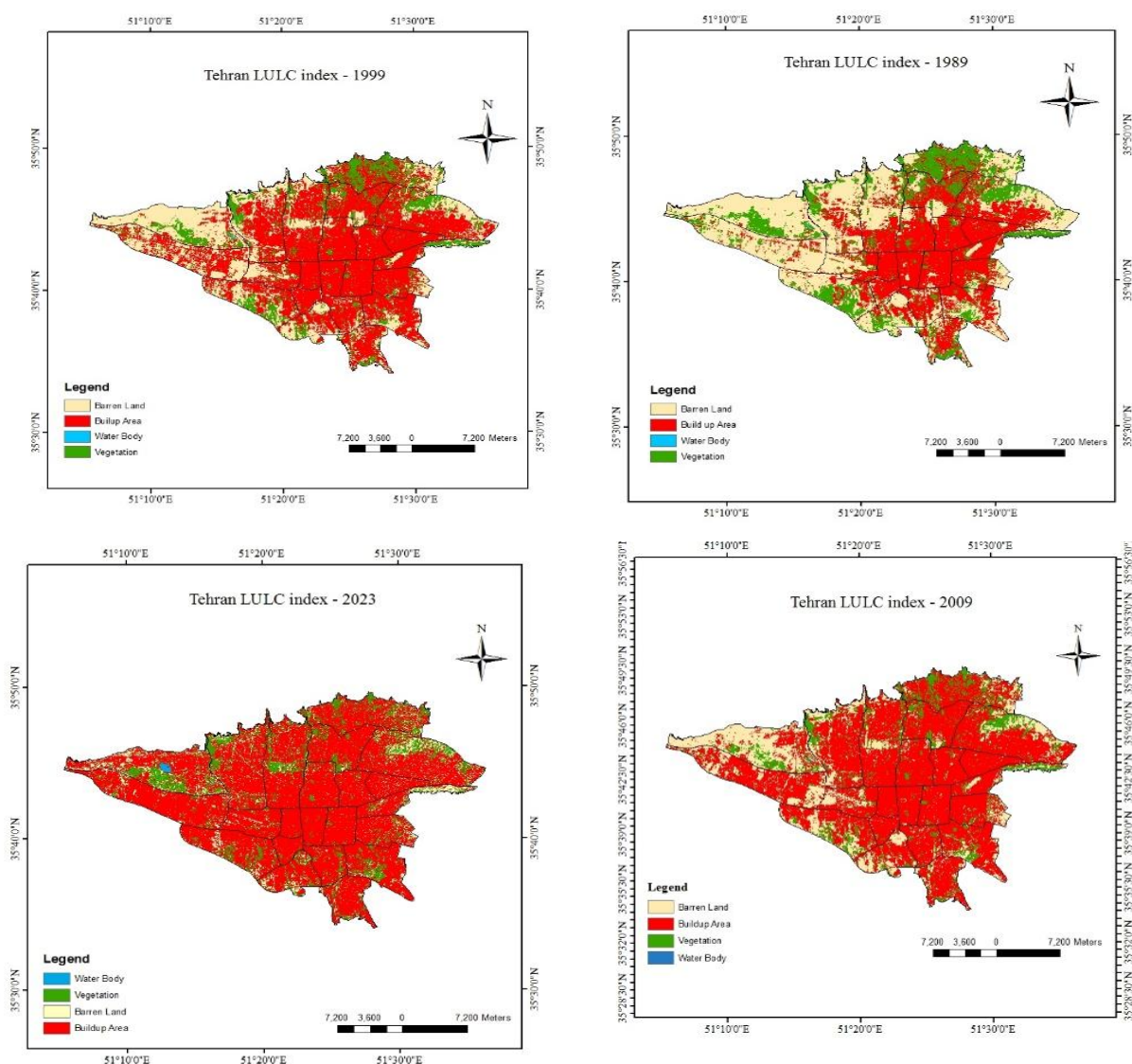
طبقه‌بندی تصاویر، در نرم‌افزار سیستم اطلاعات جغرافیایی، با استفاده از الگوریتم Maximum Likelihood Classification (MLC) انجام می‌شود. این الگوریتم بر پایه تحلیل آماری عمل کرده و فرض می‌کند که توزیع داده‌ها در هر کلاس به صورت نرمال (Gaussian) است. MLC در محیط‌هایی با تفکیک طیفی خوب و داده‌های با توزیع آماری مناسب، عملکرد مناسبی دارد و از الگوریتم‌های متداول در نرم‌افزارهای سنتی سنجش از دور محسوب می‌شود (Richards & Jia, 2006). این الگوریتم از داده‌های آماری مانند بردار میانگین و ماتریس کواریانس (هر طبقه از تصویر استخراج شده از فایل Signature) استفاده می‌کند بنابراین، احتمال هر سلول رستر متعلق به هر طبقه محاسبه شده و مشخص می‌کند که یک سلول با بیشترین احتمال ممکن به کدام طبقه اختصاص دارد. در این مطالعه، از قابلیت Image Processing در نرم افزار متلب استفاده شد. این قابلیت در متلب حاوی تعداد زیادی ابزارها (TOOLS) و توابع (Functions) به منظور پردازش تصاویر، آنالیز و تصویرسازی است.

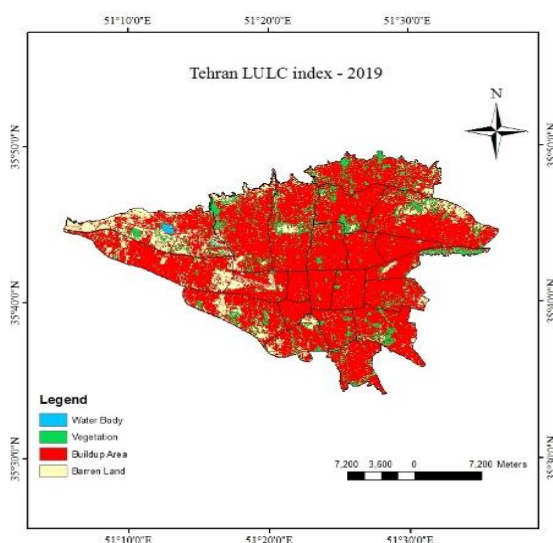
طبقه‌بندی تصویر در متلب یا همان Segmentation ابزار است که به منظور مشخص کردن میزان روشنایی (Brightness) یا شدت رنگ پیکسلی (Intensity) استفاده می‌شود. تصاویری که در این مطالعه بوسیله متلب پردازش شده‌اند، خروجی نقشه‌های بدست آمده در نرم افزار سیستم اطلاعات جغرافیایی بوده که با استفاده از قابلیت Image Processing این پردازش برای آن‌ها انجام شده است و بدین طریق امکان محاسبه مجدد مقادیر هر طبقه محاسبه شده در سیستم اطلاعات جغرافیایی برای متلب نیز فراهم گردید تا دقت محاسبات در هر دو نرم افزار سنجیده شود. Image Segmenter APP قابلیت است که در متلب به منظور تعیین آستانه (Threshold) شدت رنگ پیکسلی (Intensity) است. با تغییر عددی این قابلیت، امکان جداسازی پیکسلی برای هر طبقه پوشش اراضی فراهم گردید به طوری که با تغییر دستی (Manually) آن، امکان مشاهده همزمان تغییرات وجود داشته و در نتیجه کاربر می‌تواند خطاهای تشخیص پیکسلی در نرم افزار را بدین طریق برطرف کند.

### یافته‌های پژوهش

شکل ۲ تغییرات پوشش اراضی شهر تهران را در بازه زمانی ۱۹۸۹ تا ۲۰۲۳ نمایش می‌دهد. همان‌طور که مشاهده می‌شود، سه طبقه «سبز»، «بایر» و «ساخته‌شده» در طول این دوره ۳۴ ساله تغییرات عمده‌ای داشته‌اند، در حالی که پهنه‌های آبی، که تنها در

تصاویر مربوط به سال‌های ۲۰۱۹ و ۲۰۲۳ (همچون دریاچه مصنوعی چیتگر) نمایان شده‌اند، تغییرات قابل توجهی نداشته‌اند. این موضوع به ماهیت انسان‌ساخت این پهنه‌ها بازمی‌گردد. با توجه به نقشه‌های پوشش اراضی شهر تهران، در سال ۱۹۸۹ می‌توان دریافت که بیشترین میزان مناطق دشتی و زمین‌های بایر در فضای اطراف شهر تهران، شامل غرب، شمال غرب، شمال شرق و تا حدودی در بخش جنوب شهر وجود داشته‌است. بیشتر مناطق انسان‌ساخت در محدوده مرکزی شهر تهران تمرکز دارد در حالی که بیشترین میزان پوشش گیاهی در شمال، شمال شرق و بخش جنوب غربی و تا حدودی در غرب و شرق تهران متمرکز است. بررسی روند تغییرات در پوشش اراضی شهر تهران در فواصل زمانی ۱۰ ساله نشان می‌دهد که مناطق انسان‌ساخت رشد بسیار چشمگیری داشته‌است به عبارت دیگر در این بازه زمانی ۳۴ ساله، مناطق مربوط به زمین‌های بایز و فضای سبز محلی بستری برای رشد مناطق شهری بوده است به طوری که در سال ۲۰۲۳ تنها بخش‌های محدودی از اراضی بایر در شرق و غرب تهران باقی مانده و میزان سبزی‌نگی، به ویژه در شمال و شرق شهر، کاهش چشمگیری داشته‌است.





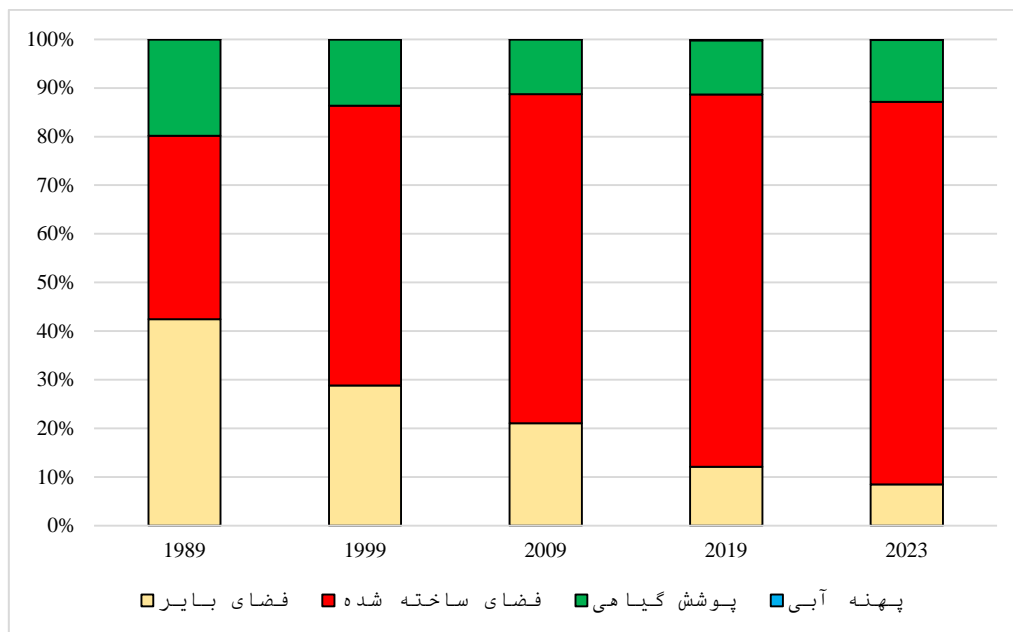
شکل ۲ نقشه‌های پوشش اراضی شهر تهران (۱۹۸۹-۲۰۲۳)

بدنه‌های آبی اصلی که در شهر تهران ردیابی شده، مربوط به دریاچه آزادی و چیتگر در غرب این شهر است که البته دریاچه چیتگر در دو تصویر آخر (سال های ۲۰۱۹ و ۲۰۲۳)، با توجه به زمان احداث این دریاچه، قابل رؤیت است. به صورت کلی شهر تهران دارای بدنه آبی روباز قابل توجهی نبوده و تنها رشد ناچیزی را در فاصله زمانی ۳۴ ساله نشان می‌دهد که علت آن نیز احداث دریاچه روباز چیتگر در غرب تهران است.

جدول شماره ۲ مقدار مساحت (بر حسب کیلومتر مربع) برای چهار طبقه انسان‌ساخت، سبز، بایر و پهنه آبی در بازه زمانی ۱۹۸۹-۲۰۲۳ را نشان می‌دهد. که از نرم افزار سیستم اطلاعات جغرافیایی استخراج شده است با توجه به نتایج جدول ۲ و نمودار ۱ می‌توان دریافت که مناطق نفوذناپذیر انسان‌ساخت بیشترین رشد را در این فاصله زمانی دارند و شاخص زمین‌های باز روندی کاهشی داشته است. شاخص سبزی‌نگی نیز علیرغم کاهش چشمگیر تا سال ۲۰۱۹، رشد نسبی را تا سال ۲۰۲۳ داشته که علت آن می‌تواند گسترش فضای سبز شهری در محدوده غرب (چیتگر) و مرکزی تهران (منطقه ۵) است.

جدول ۲ مقدار مساحت طبقه‌های انسان‌ساخت، سبز، بایر و پهنه آبی در بازه زمانی ۱۹۸۹-۲۰۲۳ (کیلومتر مربع)

۲۰۲۳	۲۰۱۹	۲۰۰۹	۱۹۹۹	۱۹۸۹	طبقات پوشش اراضی / سال
۵۶۷/۱۹	۵۵۸/۶۹	۴۹۴/۱۵	۴۲۰/۰۴	۲۷۵/۲۳	طبقه انسان‌ساخت
۶۱/۶۴	۸۸/۵۶	۱۵۳/۵۵	۲۱۰/۳۹	۳۱۰/۱۷	طبقه بایر
۹۹/۸۶	۸۱/۳۲	۸۲/۰۴	۹۹/۳۷	۱۴۴/۴۵	طبقه سبز
۱/۳۳	۱/۴۶	۰/۲۵	۰/۲۵	۰/۲۱	پهنه آبی



نمودار ۱ مقدار فراوانی تجمعی طبقات سبز، بایر، انسان ساخت و پهنه آبی در بازه زمانی ۱۹۸۹-۲۰۲۳ (درصد)

این تغییرات بر فشار روزافزون بر محیط زیست شهری تهران دلالت دارند. کاهش اراضی باز و سبز منجر به تشدید مشکلات محیط‌زیستی همچون افزایش دمای شهری، کاهش کیفیت هوا و محدودیت در نفوذ آب به سفره‌های زیرزمینی شده است؛ مسائلی که در مطالعات مشابه مانند Tayyebi et al. (2018)، Nasehi and Imanpour namin (2020) و Dehghan Manshadi et al. (2024) نیز به عنوان پیامدهای اصلی گسترش شهرنشینی بی‌برنامه مطرح شده‌اند.

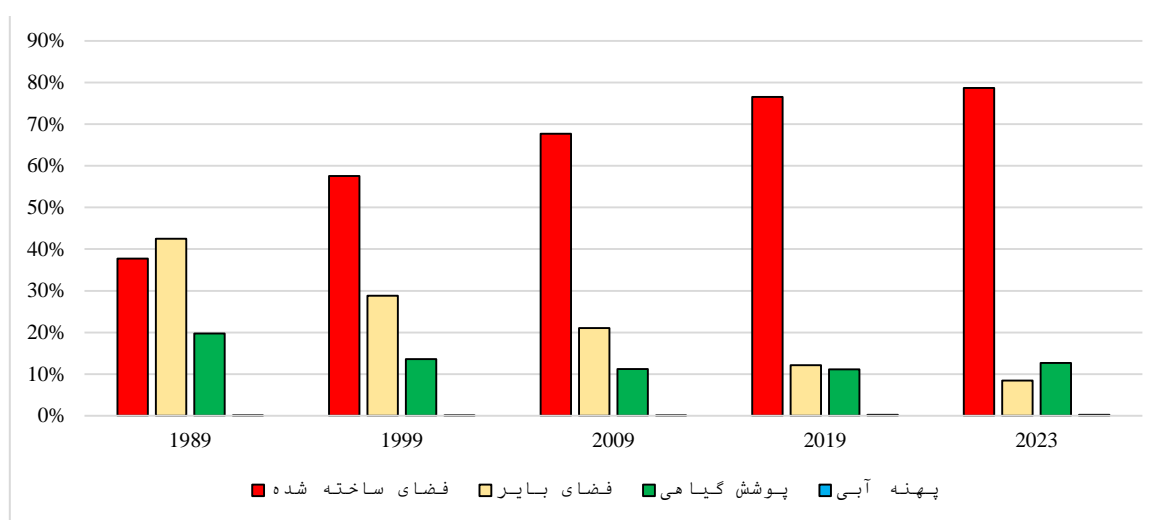
### بحث

تغییرات کاربری و پوشش زمین، تأثیر قابل توجهی در خدمات اکوسیستم شهری دارند که در این مطالعه میزان تغییرات کاربری اراضی در بازه زمانی ۱۹۸۵ تا ۲۰۲۳ بررسی شده است. با توجه به جدول شماره ۲ و نمودار شماره ۱، کاربری انسان ساخت رشدی حدوداً دو برابری را نشان داده به طوری که از مقدار ۲۷۵/۲۳ کیلومتر مربع در سال ۱۸۹۸ به مقدار ۵۶۷/۱۹ کیلومتر مربع در سال ۲۰۲۳ افزایش یافته است. نتایج نشان می‌دهد در سال ۲۰۲۳ نزدیک به ۸۰ درصد از ظرفیت مساحت شهر تهران توسط عوامل انسان ساخت تکمیل شده است. ابعاد زمین‌های بایر از ۳۱۰/۱۷ کیلومتر مربع در سال ۱۹۸۹ به ۶۱/۶۴ کیلومتر مربع در سال ۲۰۲۳ کاهش یافته است. همانطور که در نمودار شماره ۲ مشاهده می‌شود شاخص سبزی‌نگی نیز افتی ۴۵ درصدی داشته و از مقدار ۱۴۴/۴۵ کیلومتر مربع در سال ۱۹۸۹ به ۹۹/۸۶ در سال ۲۰۲۳ نزول کرده است.

بررسی داده‌ها، نشان می‌دهد، سهم کاهش یافته در زمین‌های بایر و سبزی‌نگی در شهر تهران برای توسعه مناطق انسان ساخت به کار رفته است که باعث رشد چشمگیر این شاخص در طول ۳۴ سال اخیر شد به طوری که افزایش تأسیسات شهری منجر به افزایش سطوح نفوذناپذیر و از بین رفتن سطوح نفوذپذیر مانند پوشش گیاهی شده است. از جمله مطالعاتی که با نرم افزار سیستم اطلاعات جغرافیایی به بررسی پوشش اراضی پرداخته اند می‌توان به مطالعه Taloor et al. (۲۰۲۱) اشاره کرد که در حوزه آبخیز رودخانه Ravi در کشور هند انجام شد. نتایج این پژوهش نشان داد، تغییرات پوشش گیاهی در فاصله ۰/۵۰۹ تا ۰/۱۰۶- بود بطوری که نواحی شمالی به دلیل دارا بودن نواحی کوهستانی مقدار کمتری پوشش گیاهی داشتند و مناطق جنوبی که شامل زمین‌های کشاورزی بودند سهم بیشتری از

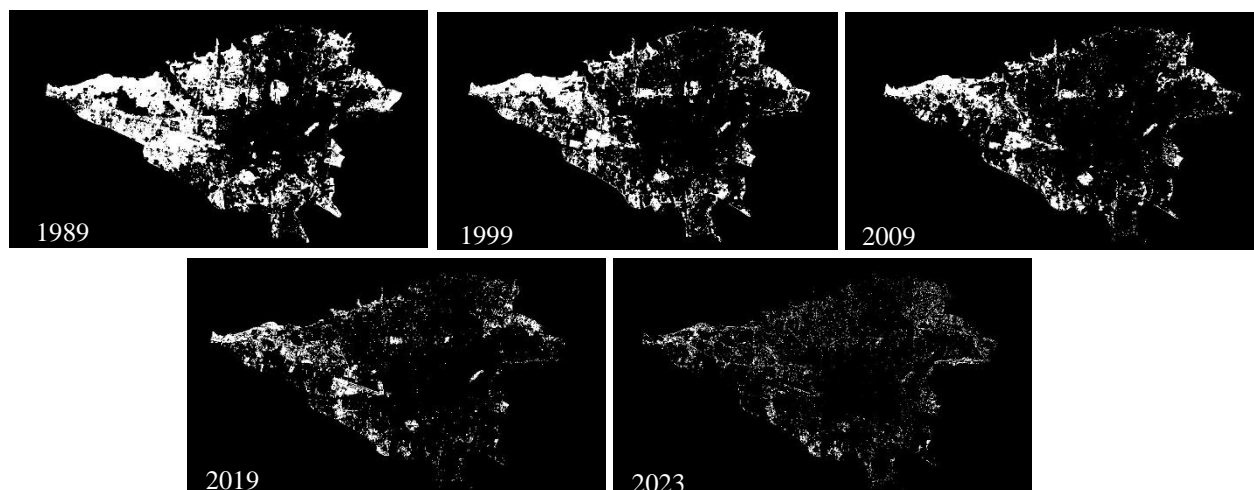
پوشش گیاهی را به خود اختصاص دادند. مطالعه Justino et al. (۲۰۲۵) در برزیل نشان داد در بازه زمانی ۱۹۸۵-۲۰۲۲، مقدار پوشش گیاهی در محدوده (۰/۸۳ تا ۰/۵۸-) است که موجب نگرانی محققان شده است همچنین در مطالعه‌ای که Duan et al. (۲۰۲۵) از سال ۱۹۹۱ تا ۲۰۲۳ در پاکستان انجام دادند، علیرغم یک افزایش نسبی در ایجاد ساخت و سازهای شهری تا سال ۲۰۱۱، شدت شاخص نرمال شده فضای انسان ساخت تا سال ۲۰۲۳ نسبت به سال های قبل شدت کمتری داشت. تغییر در میزان این شاخص طبق مطالعه Gyile et al. (۲۰۲۵) در کشور غنا نیز روند افزایشی داشته به طوری که از حدود ۴۲ کیلومتر مربع در سال ۱۹۹۱ به ۷۲ کیلومتر مربع تغییر یافته است. مطابق نظر محققان، افزایش در شاخص نرمال شده فضای انسان ساخت با کاهش پوشش گیاهی رابطه مستقیم داشته که در افزایش یافتن نرخ جزایر حرارتی، افزایش دمای سطحی زمین و تغییرات اقلیمی ارتباط مستقیم دارد (Aslani et al., 2025).

مطالعات زیادی در باره پردازش تصاویر با نرم افزار متلب انجام شده است از جمله مطالعاتی که پوشش اراضی را با استفاده از این نرم افزار بررسی کرده اند، مطالعه Hao et al. (۲۰۲۱) است. آن‌ها از سال ۲۰۱۳ تا ۲۰۱۵ در شهرستان نینگچی با استفاده از داده‌های مدل رقومی ارتفاع و نرم افزار متلب به ایجاد تصاویر سه بعدی از پوشش زمین پرداخته اند که این نوع تصاویر، اطلاعات تغییر پوشش زمین را به صورت واقعی نشان می‌دهند. از آنجا که هیچ ضلع سایه‌داری<sup>۱</sup> وجود ندارد، توزیع مناطق تغییر یافته و بدون تغییر به راحتی قابل مشاهده است؛ بنابراین، این نمودارها می‌توانند به طور مؤثر برای تجزیه و تحلیل تغییرات پویای پوشش زمین استفاده شوند. بیشتر مطالعاتی که با استفاده از متلب انجام گرفته، مربوط به قابلیت پیش بینی این نرم افزار در بررسی روند تغییرات پوشش اراضی در آینده است. برای مثال، در مطالعه‌ای که Rehman et al. (۲۰۲۲) انجام دادند، به شبیه سازی و پیش بینی تغییرات آینده دمای سطح زمین با رویکرد شبکه عصبی در کشور پاکستان تا سال ۲۰۴۷ پرداختند. نتایج این مطالعه نشان داد، شبکه عصبی پرسپترون چند لایه هنگامی که یک مجموعه ای از داده و فرآیندهای آن را دریافت می‌کند، احتمالاً خروجی تصادفی با دقت کمتری ارائه می‌دهد. همچنین Kafy et al. (۲۰۲۲) شاخص واریانس حرارتی شهری را در بنگلادش با روش شبکه عصبی در متلب برای سال‌های ۲۰۲۵ و ۲۰۳۰ پیش بینی کرد. با تجزیه و تحلیل داده‌های ۲۵ ساله، این مطالعه مشخص کرد که پوشش سبز و منابع آبی، شهر نقش مهمی در کاهش اثرات شاخص واریانس حرارتی شهری دارند و بیش از ۴۰ درصد از مساحت شهر در تابستان به دلیل تراکم بالای مناطق انسان ساخت، دمای بیشتری را نسبت به دیگر مناطق دارند.

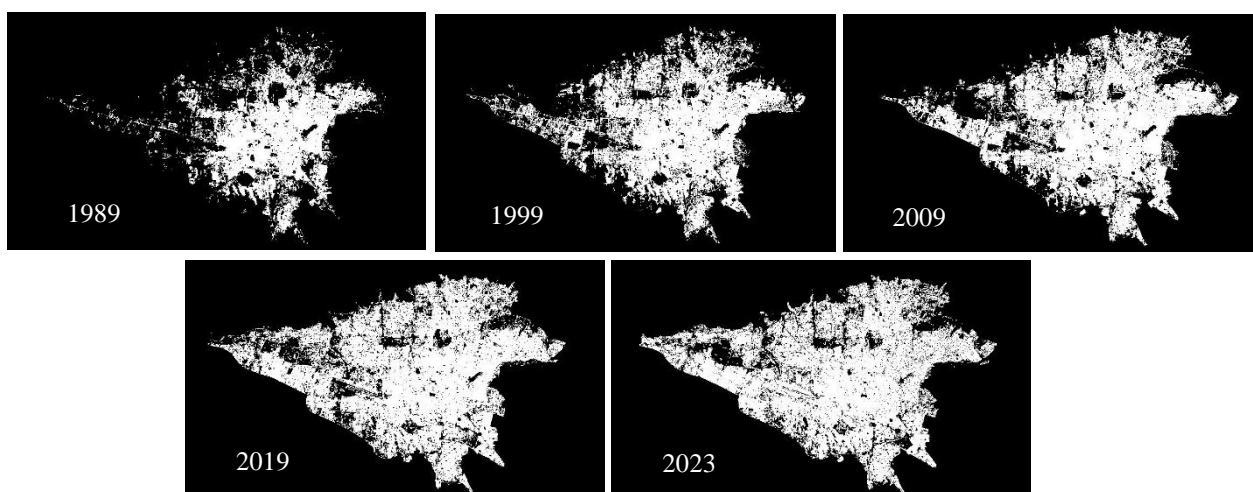


نمودار ۲ روند تغییرات طبقات سبز، بایر، انسان ساخت و پهنه آبی در بازه زمانی ۱۹۸۹-۲۰۲۳ (درصد)

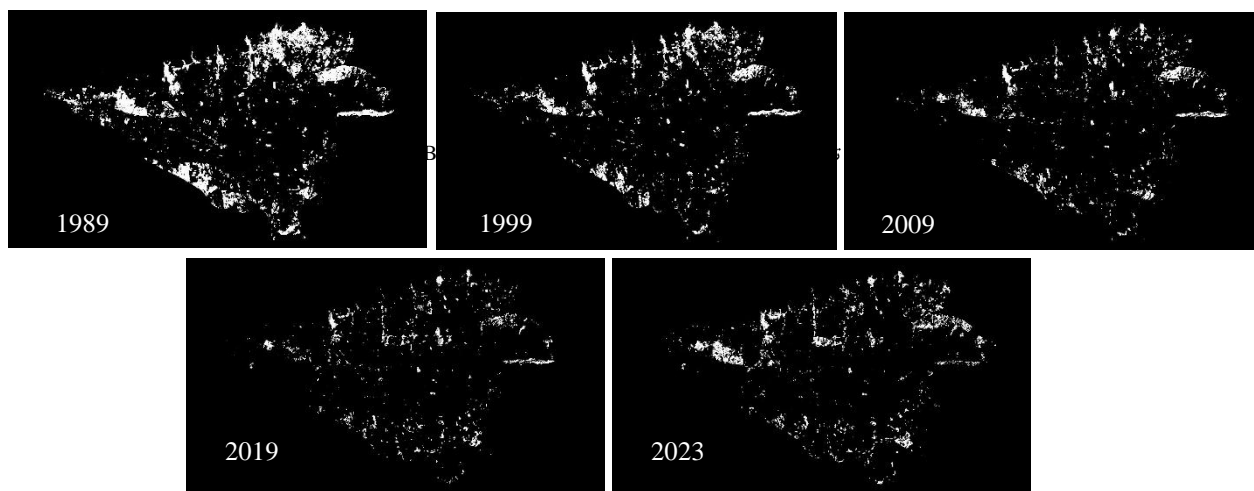
در ادامه، از قابلیت نرم افزار متلب برای تحلیل تصاویر سیستم اطلاعات جغرافیایی استفاده شد و نتایج بدست آمده از این نرم افزار با اطلاعات نرم افزار متلب از ارزیابی نقشه پوشش اراضی در سال های ۱۹۸۹ تا ۲۰۲۳، مقایسه شد. با بکارگیری نقشه های پوشش اراضی که از نرم افزار سیستم اطلاعات جغرافیایی بدست آمد، آنالیز تصاویر در نرم افزار متلب بر اساس دستورات تعریف شده در آن اجرا شد که خروجی آن در شکل شماره ۲ آمده است



شکل ۲ میزان تغییرات طبقه مناطق بایر در خروجی نرم افزار متلب (۱۹۸۹-۲۰۲۳)



شکل ۳ میزان تغییرات طبقه مناطق انسان ساخت در خروجی نرم افزار متلب (۱۹۸۹-۲۰۲۳)



شکل ۴ میزان تغییرات طبقه پوشش گیاهی در خروجی نرم افزار متلب (۱۹۸۹-۲۰۲۳)

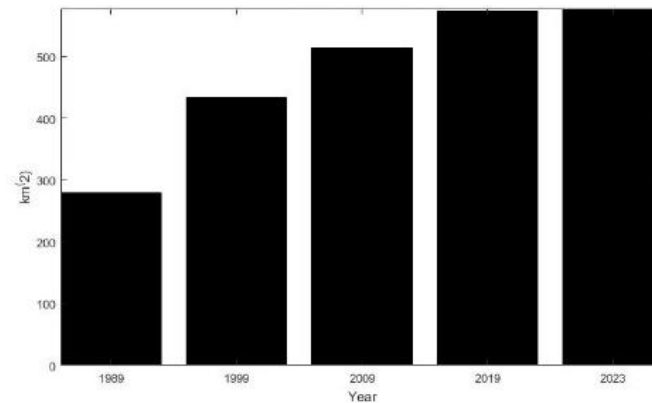
تصاویر ۲، ۳ و ۴ خروجی بدست آمده از نقشه پوشش اراضی شهر تهران در نرم افزار متلب را نمایش می دهند. در این نرم افزار بر حسب قابلیت تفکیک پیکسلی و همچنین تمایز پیکسل های بر حسب آستانه رنگی که برای هر کدام از طبقات تعریف شده است، تعداد پیکسل مربوط به هر شاخص مشخص شده و بر اساس الگوریتم و دستوراتی که در متلب تعریف می شوند مقدار هر کدام از طبقات بر حسب مساحت (کیلومتر مربع) قابل تخمین است. پیکسل های سفید در هر تصویر نمایانگر مقدار هر کدام از شاخص های نام برده، در آن سال است. در مورد طبقات بایر و سبز بیشترین مقدار پیکسل قابل ردیابی مربوط به سال ۱۹۸۹ بوده که در بازه زمانی ۳۴ ساله، این پیکسل های کاهش یافته به طوری که در سال ۲۰۲۳ به کمترین میزان تراکم خود در فضای داخلی شهر تهران رسیده اند. در سمت مقابل مقدار فضای انسان ساخت در این مدت زمان روندی صعودی را نشان می دهند.

تصاویر شکل ۲، بیشترین مقدار فضای بایر در سال ۱۹۸۹ و در نواحی غربی شهر تهران را نشان می دهند که با رنگ سفید متمایز شده اند و روند کاهش پیکسل های سفید که مبین فضای بایر است در طول این مدت ۳۴ ساله ادامه داشته و در سال ۲۰۲۳ به کمترین میزان خود رسیده است. مقایسه تصاویر شکل ۲ و ۳ نشان می دهد اکثر پیکسل های سفید معرف طبقه بایر در شکل ۲ توسط پیکسل های سفید طبقه انسان ساخت در شکل ۳ جایگزین شده اند. به عبارت دیگر بخش زیادی از مناطق دشتی شهر تهران در این مدت ۳۴ ساله بواسطه توسعه شهر نشینی کاهش داشته است. کاهش شاخص سبزیگنی در تصاویر شکل ۴ نیز کاملاً محسوس است و این کاستی در طبقه سبز در مناطق شمالی، شرقی و جنوب غربی شهر تهران قابل رؤیت است علیرغم اینکه توسعه نامحسوس فضای سبز شهری در بخش مرکزی شهر نیز مشهود است.

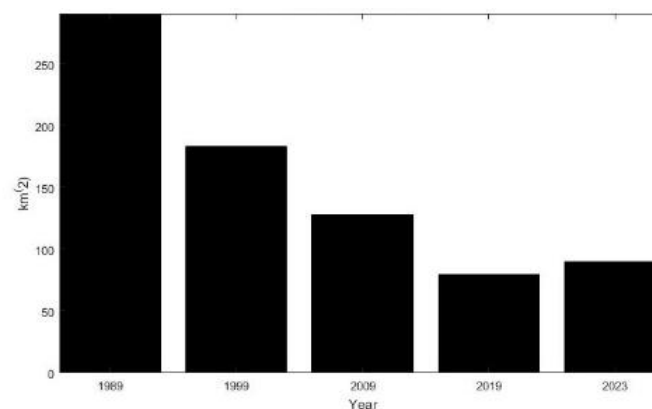
مقدار تغییرات عددی که به صورت کیفی در شکل شماره ۲ مشاهده می شود به صورت کمی نیز در نمودار شماره ۳ مشاهده می شود. روندی که در تغییر مساحت طبقات در نرم افزار متلب بدست آمده است مشابه نمودار شماره ۲ بوده که از نرم افزار سیستم اطلاعات جغرافیایی استخراج گردیده است اما مقادیر عددی بدست آمده در نرم افزار متلب تا حدودی متفاوت است. مقایسه مقادیر جدول شماره ۲ و ۳ نشان می دهد میزان تغییرات در مقدار مساحت طبقه سبز در دو نرم افزار سیستم اطلاعات جغرافیایی و متلب در بازه ۴۷-۲۰ کیلومتر مربع نوسان داشته که بیشترین نرخ تغییر در مقایسه با دو طبقه دیگر است. نوسان تغییرات در مورد طبقه بایر در حدود ۲۷-۷ کیلومتر مربع بوده که به ترتیب در سال های ۱۹۸۹ و ۲۰۰۹ بدست آمده است در حالی که حداکثر و حداقل تغییر در فضای انسان ساخت ۲۰ و ۴ کیلومتر مربع بوده که نسبت به دو طبقه قبلی نوسان کمتر و در نتیجه انطباق بالاتری را با نتایج سیستم اطلاعات جغرافیایی نشان می دهد.

جدول ۲ مقدار مساحت طبقات سبز، بایر، انسان ساخت و پهنه آبی با استفاده از نرم افزار متلب در بازه زمانی ۱۹۸۹-۲۰۲۳ (کیلومتر مربع)

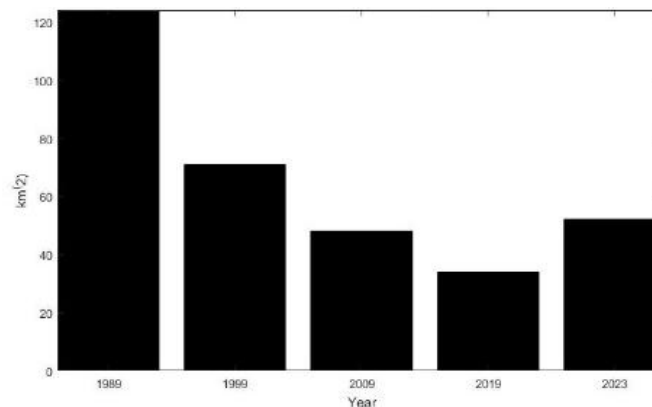
سال	۱۹۸۹	۱۹۹۹	۲۰۰۹	۲۰۱۹	۲۰۲۳	کمترین تغییر مساحت (سال) - بیشترین تغییر مساحت (سال) در مقایسه با سیستم اطلاعات جغرافیایی
فضای انسان ساخت	۲۷۹	۴۳۴	۵۱۴	۵۷۴	۵۷۸	۴ (۱۹۸۹) - ۲۰ (۲۰۰۹)
فضای سبز	۱۲۴	۷۱	۴۸	۳۴	۵۲	۲۰ (۱۹۸۹) - ۴۷ (۲۰۱۹)
فضای بایر	۲۹۱	۱۸۳	۱۲۸	۸۱	۴۷	۷ (۲۰۱۹) - ۲۷ (۱۹۹۹)



تغییرات مناطق انسان ساخت



تغییرات مناطق بایر



تغییرات پوشش گیاهی

نمودار ۳ نمودار تغییرات کمی سه طبقه بایر، پوشش گیاهی و انسان ساخت در خروجی نرم افزار متلب (۱۹۸۹-۲۰۲۳)

### نتیجه گیری

تغییر کاربری و پوشش اراضی فرآیندی دینامیک و پیچیده است که از تلاقی سیستم های طبیعی و انسانی بدست می آید و اثر مستقیمی بر آب، خاک و هوا دارد. وقوع این پدیده می تواند پیامدهای اقتصادی، اجتماعی، زیست محیطی در مقیاس محلی، ناحیه ای و جهانی داشته باشد. در این مقاله به ارزیابی تغییر پوشش اراضی شهر تهران در بازه زمانی ۳۴ ساله (۲۰۲۳-۱۹۸۹) پرداخته شد. میزان تغییرات پوشش اراضی با دو نرم افزار سیستم اطلاعات جغرافیایی و متلب اندازه گیری شد. با

توجه به بررسی محقق، مقاله داخلی که تغییرات پوشش اراضی را با استفاده از قابلیت پردازش تصاویر نرم افزار متلب اندازه گیری کند، یافت نشد آنچه از خروجی های این دو نرم افزار بدست آمد، نشان داد اگرچه نتایج روند تغییرات در هر دو نرم افزار شباهت دارند؛ مقدار کمی طبقات اندازه گیری شده، تا حدودی نتایج متفاوتی را در دو نرم افزار داشته است. به عنوان نمونه، محاسبات مربوط به پوشش اراضی در نرم افزار سیستم اطلاعات جغرافیایی نشان داد طبقات پوشش گیاهی، بایر و فضای انسان ساخت به ترتیب با ضرایبی در حدود  $۱/۴۴-$ ،  $۵/۳-$  و  $۲/۰۶+$  تغییر داشته اند در حالی که میزان تغییرات برای همین شاخص هادر نرم افزار متلب  $۲/۳-$ ،  $۶/۲-$  و  $۲/۰۷+$  برآورد گردید. به نظر می رسد در راستای دستیابی به نتایج دقیق به لحاظ مقادیر کمی، نرم افزار سیستم اطلاعات جغرافیایی می تواند مفیدتر باشد و کارشناسان نیز می تواند برای مشخص کردن میزان تغییرات طبقات در پوشش اراضی، از نرم افزار متلب استفاده قرار کنند.

## منابع

- Abebe, G., Getachew, D., & Ewunetu, A. (2022). Analysing land use/land cover changes and its dynamics using remote sensing and GIS in Gubalafito district, Northeastern Ethiopia. *SN APPLIED SCIENCES*, 4(1), 30 .
- Ahmed, H. A., Singh, S. K., Kumar, M., Maina, M. S., Dzwairo, R., & Lal, D. (2020). Impact of urbanization and land cover change on urban climate: Case study of Nigeria. *Urban Climate*, 32, 100600. <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.uclim.2020.100600>
- Aslani, A., Sereshti, M., & Sharifi, A. (2025). Urban Heat Island Mitigation in Tehran: District-based Mapping and Analysis of Key Drivers. *Sustainable Cities and Society*, 106338 .
- BHAGAWAT RIMAL, P. D. URBAN GROWTH AND LAND USE/LAND COVER CHANGE OF POKHARA SUB-METROPOLITAN CITY, NEPAL .
- Chen, Y & Huang, L. (2025). Introduction. In Y. Chen & L. Huang (Eds.), *MATLAB Roadmap to Applications: Volume I Fundamental* (pp. 1-47). Springer Nature Singapore. [https://doi.org/10.1007/978-981-97-8788-3\\_1](https://doi.org/10.1007/978-981-97-8788-3_1)
- Choudhury, B., Divyanth, L., & Chakraborty, S. (2023). Land use/land cover classification using hyperspectral soil reflectance features in the Eastern Himalayas, India. *Catena*, 229, 107200 .
- Das, M., Das, A., Pereira, P., & Mandal, A. (2021). Exploring the spatio-temporal dynamics of ecosystem health: A study on a rapidly urbanizing metropolitan area of Lower Gangetic Plain, India. *Ecological Indicators*, 125, 107584. <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.ecolind.2021.107584>
- Dehghan Manshadi, Z., Parivar, P., Sotoudeh, A., & Morovati Sharifabadi, A. (2023). Exploring the spatio-temporal dynamics of life support system capacity of urban regions based on ecosystem health assessment (the case of Tehran, Iran). *Environment, Development and Sustainability*. <https://doi.org/https://doi.org/10.1007/s10668-023-02148->
- Dehghan Manshadi, Z., Parivar, P., Sotoudeh, A., & Morovati Sharifabadi, A. (2024). Modeling urban growth effects on carrying capacity in arid and semi-arid regions using system dynamics. *Ecological Modelling*, 487, 110565. <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.ecolmodel.2023.110565>
- Delaney, B., Tansey, K., & Whelan, M. (2025). Satellite Remote Sensing Techniques and Limitations for Identifying Bare Soil. *Remote Sensing*, 17(4), 630. <https://www.mdpi.com/2072-4292/17/4/630>
- Duan, X., Haseeb, M., Tahir, Z., Mahmood, S. A., Tariq, A., Jamil, A., Ullah, S., & Abdullah-Al-Wadud, M. (2025). A geospatial and statistical analysis of land surface temperature in response to land use land cover changes and urban heat island dynamics. *SCIENTIFIC REPORTS*, 15(1), 4943 .
- Gyile, D. N., Asare, A., Osei-Gyabaah, A. P., & Anafo, D. (2025). Assessment of Land Use and Land Cover Changes and Their Impact on Land Surface Temperature in Greater Accra, Ghana .
- Haack, B. N., & Rafter, A. (2006). Urban growth analysis and modeling in the Kathmandu Valley, Nepal. *Habitat International*, 30(4), 1056-1065 .
- Hao, S., Zhu, F., & Cui, Y. (2021). Land use and land cover change detection and spatial distribution on the Tibetan Plateau. *SCIENTIFIC REPORTS*, 11(1), 7531. <https://doi.org/10.1038/s41598-021-87215-w>
- Ishtiaque, A., Shrestha, M., & Chhetri, N. (2017). Rapid urban growth in the Kathmandu Valley, Nepal: Monitoring land use land cover dynamics of a himalayan city with landsat imageries. *Environments*, 4(4), 72 .
- Justino, S. T. P., Paganini, E. A. L., Silva, R. B., de Sousa Silva, R. P., Zabotto, A., & Roder, L. R. (2025). SPATIAL-TEMPORAL ANALYSIS OF VEGETATION COVER AND SOIL DEGRADATION FROM LANDSAT TIME-SERIES—A CASE STUDY IN THE CAATINGA, BRAZIL. *Journal of South American Earth Sciences*, 105528 .

- Kafy, A. A., Faisal, A.-A., Al Rakib, A., Roy, S., Ferdousi, J., Raikwar, V., Kona, M. A., & Fatin, S. M. A. A. (2021). Predicting changes in land use/land cover and seasonal land surface temperature using multi-temporal landsat images in the northwest region of Bangladesh. *Heliyon*, 7(7), e07623. <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.heliyon.2021.e07623>
- Kafy, A. A., Saha, M., Faisal, A.-A., Rahaman, Z. A., Rahman, M. T., Liu, D., Fattah, M. A., Al Rakib, A., AlDousari, A .E., Rahaman, S. N., Hasan, M. Z., & Ahasan, M. A. K. (2022). Predicting the impacts of land use/land cover changes on seasonal urban thermal characteristics using machine learning algorithms. *Building and Environment*, 217, 109066. <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.buildenv.2022.109066>
- Khalili, M., Jafari, H., & Kishani Farahani, M. (2024). Estimation of Emission Rate, Social Cost, and Ecological Footprint of Greenhouse Pollutants Caused by Fossil Fuel Consumption in an Industrial Company. *Environmental Sciences*, 22(3), 517-536. <https://doi.org/10.48308/envs.2024.1376>
- Khanal, N., Uddin, K., Matin, M. A., & Tenneson, K. (2019). Automatic detection of spatiotemporal urban expansion patterns by fusing OSM and landsat data in Kathmandu. *Remote Sensing*, 11(19), 2296 .
- Lopes, H. S., Vidal, D. G., Cherif, N., Silva, L., & Remoaldo, P. C. (2025). Green infrastructure and its influence on urban heat island, heat risk, and air pollution: A case study of Porto (Portugal). *Journal of Environmental Management*, 376, 124446. <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.jenvman.2025.124446>
- Nasehi, S., & Imanpour namin, A. (2020). Assessment of urban green space fragmentation using landscape metrics (case study: district 2, Tehran city). *Modeling Earth Systems and Environment*, 6, 2405-2414 .
- Paudel, B., Zhang, Y.-l., Li, S.-c., Liu, L.-s., Wu, X., & Khanal, N. R. (2016). Review of studies on land use and land cover change in Nepal. *Journal of Mountain Science*, 13, 643-660 .
- Rehman, A., Qin, J., Pervez, A., Khan ,M. S., Ullah, S., Ahmad, K., & Rehman, N. U. (2022). Land-Use/Land Cover Changes Contribute to Land Surface Temperature: A Case Study of the Upper Indus Basin of Pakistan. *SUSTAINABILITY*, 14(2), 934. <https://www.mdpi.com/2071-1050/14/2/934>
- Richards, J. A & .Jia, X. (2006). Interpretation of hyperspectral image data. *Remote sensing digital image analysis: An introduction*, 359-388 .
- Stateczny, A., Bolugallu, S., Parameshachari, B., Ganesan, K., & Muthu, J. Multiplicative Long Short-Term Memory with Improved Mayfly Optimization for LULC Classification. *Remote Sens*. 2022, 14, 4837. In.
- Tahir, Z., Haseeb, M., Mahmood, S. A., Batool, S., Abdullah-Al-Wadud, M., Ullah, S., & Tariq, A. (2025). Predicting land use and land cover changes for sustainable land management using CA-Markov modelling and GIS techniques. *SCIENTIFIC REPORTS*, 15(1), 3271 .
- Taloor, A. K., Drinder Singh, M., & Chandra Kothiyari, G. (2021). Retrieval of land surface temperature, normalized difference moisture index, normalized difference water index of the Ravi basin using Landsat data. *Applied Computing and Geosciences*, 9, 100051. <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.acags.2020.100051>
- Tayyebi, A., Shafizadeh-Moghadam, H., & Tayyebi, A. H. (2018). Analyzing long-term spatio-temporal patterns of land surface temperature in response to rapid urbanization in the mega-city of Tehran. *Land Use Policy*, 71, 459-469 .
- Thapa, R. B., & Murayama, Y. (2009). Examining spatiotemporal urbanization patterns in Kathmandu Valley, Nepal: Remote sensing and spatial metrics approaches. *Remote Sensing*, 1(3), 534-556 .
- Trauth, M. H. (2025). Introduction to MATLAB. In *MATLAB® Recipes for Earth Sciences* (pp. 9-75). Springer .
- Ullah, W., Ahmad, K., Tahir, A. A., Ullah, S., Rafiq, M. T., & Abdullah-Al-Wadud, M .(۲۰۲۵) .Impacts of tourism on LULC and LST dynamics in district Buner and Shangla, Pakistan. *SCIENTIFIC REPORTS*, 15(1), 9304 .
- USGS. (2024). *Earth explorer-home* <https://earthexplorer.usgs.gov/>
- Wang, S. W., Gebru, B. M., Lamchin, M., Kayastha, R. B., & Lee ,W.-K. (2020). Land Use and Land Cover Change Detection and Prediction in the Kathmandu District of Nepal Using Remote Sensing and GIS. *SUSTAINABILITY*, 12(9), 3925. <https://www.mdpi.com/2071-1050/12/9/3925>
- Yu, P., Wei, Y., Ma, L., Wang, B., Yung, E. H .K., & Chen, Y. (2024). Urbanization and the urban critical zone. *Earth Critical Zone*, 1(1), 100011. <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.ecz.2024.100011>
- Zhu, Z., Qiu, S., & Ye, S. (2022). Remote sensing of land change: A multifaceted perspective. *Remote Sensing of Environment*, 282, 113266. <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.rse.2022.113266>

