University of Tehran Press

Journal of Environmental Studies

Homepage: www.Jes.ut.ac.ir

Online ISSN 2345-6922

Revealing the Trend of the Impact of Urban Development on the Creation of Heat Islands within the Boundaries and Buffer Zone of the National Botanical Garden of Iran

Mohammad Matinizadeh[1], Yaser Ghasemi Aryan[2]✉, Hadi Eskandari Damaneh [3], Ali Alizadeh Aliabadi[4]

1. Forest Research Division, Research Institute of Forests and Rangelands, Agricultural Research Education and Extension Organization (AREEO), Tehran, Iran. E-mail: matini@rifr-ac.ir
2. Corresponding Author, Desert Research Division, Research Institute of Forests and Rangelands, Agricultural Research, Education and Extension Organization (AREEO), Tehran, Iran. E-mail: ghasemiaryan@rifr-ac.ir
3. Desert Research Division, Research Institute of Forests and Rangelands, Agricultural Research, Education and Extension Organization (AREEO), Tehran, Iran. E-mail: hadi.eskandari@rifr-ac.ir
4. Iranian Research Institute of Plant Protection, Agricultural Research Education and Extension Organization (AREEO), Tehran, Iran. E-mail: aalizadeh1340@yahoo.com

Article Info

Article type:
Research Article

Article history:
Received 24 December 2025
Received in revised form 22 May 2026
Accepted 25 May 2026
Available online 15 June 2026

Keywords:
district 22 of Tehran,
land use change,
spatiotemporal changes of the land surface,
urban green space,
urban resilience
.

ABSTRACT

Objective: Botanical gardens are of particular importance worldwide as centers for preserving biodiversity and as genetic and environmental reserves for education, cultural development, scientific research, and tourism. The National Botanical Garden of Iran, with its history spanning more than half a century and a high diversity of native and exotic plants, as well as various animal species, is considered a unique institution in Iran and the Middle East. However, urban development in the area has become a serious threat to its preservation over the past two decades. This study aims to reveal the impact of urban development on the formation of heat islands within the boundaries and buffer zone of the National Botanical Garden of Iran.

Method: In this study, Landsat 8 satellite imagery from five years (1990, 2000, 2010, 2020, and 2025) was used to assess two indices: land surface temperature (LST) and urban thermal field variation index (UTFVI).

Results: The temporal and spatial analysis of temperature over the 35 years from 1990 to 2025 indicated an upward trend. As a result the temperature class above 45 degrees Celsius increased from zero percent in 1990 to 24.55 percent in 2025. The study of spatial trends in the area and territory of the National Botanical Garden of Iran indicated that heat islands have occurred more frequently within the garden. Accordingly, the images of the LST index in 2025 clearly showed that the highest level in the temperature class above 45 degrees Celsius was observed in the garden area. On the other hand, the highest level in the class below 30 degrees Celsius was observed in the garden area. An examination of the spatial and temporal changes in the thermal comfort variance index (UTFVI) showed that over 35 years, the trend in changes in the thermal comfort index in the upper and middle classes within the garden area increased, reaching from 37.47 and 0 percent in 1990 to 45.81 and 1.99 percent in 2025, respectively. However, the bad, worse, and worst classes were mostly within the garden area.

Conclusions: The results of the present study clearly show the role of land-use changes and construction in increasing heat island intensity, and the role of vegetation development in improving thermal comfort. Considering the deterioration and drying of Chitgar Forest Park in the east and southeast of the National Botanical Garden of Iran, which will increase the negative effects of climate change and heat islands, authorities need to prioritize protecting and enhancing vegetation cover to ensure ecological sustainability. Special attention should be given to maintaining diversity and the percentage of vegetation, especially broadleaf trees, within the garden and Chitgar Forest Park, to foster a healthier environment.

Cite this article: Matinizadeh, M., Ghasemi Aryan, Y., Eskandari Damaneh, H., Alizadeh Aliabadi, A. (2026). Revealing the Trend of the Impact of Urban Development on the Creation of Heat Islands within the Boundaries and Buffer Zone of the National Botanical Garden of Iran. *Journal of Environmental Studies, 52* (1), 83-104. https://doi.org/10.22059/JES.2026.407694.1008656

© The Author(s).

Publisher: University of Tehran Press.

DOI: https://doi.org/10.22059/JES.2026.407694.1008656

Introduction

The analysis of land surface changes includes both natural features and those created by humans. Human actions such as urban growth, deforestation, and industrialization have greatly altered land surfaces over time. (Wang & Yang, 2020). Urban growth usually replaces natural landscapes with impervious surfaces such as asphalt and concrete. This decrease in surface reflectance leads to higher land surface temperatures (LST). Such changes reduce vegetation cover, which normally helps regulate air temperature, thereby increasing urban heat absorption. (Liu et al., 2019). LST represents the temperature emitted from the Earth's surface, measured in Kelvin or Celsius, and is a crucial factor in climate dynamics and human impacts on the environment. Higher LST can influence monsoon patterns and result in unpredictable rainfall (Hasan et al., 2025). LST serves as a crucial indicator of the land's energy and water exchange with the atmosphere, affecting the hydrological cycle, the urban heat island effect, hydrological modeling, agriculture, and environmental monitoring. (Duan et al., 2025; Jamaludin et al., 2025). Satellite imagery is frequently used to estimate LST, and integrating remote sensing (RS) with GIS technologies can effectively assess, correct, and model LST variations.

Landsat 8 and 9 TIRS images are among the most dependable satellite datasets for tracking LST variations, thanks to their high spatial and temporal resolution and wide availability. Despite their benefits, obtaining precise LST estimates remains difficult due to atmospheric effects, sensor calibration issues, surface emissivity variations, and cloud cover. Consequently, selecting the appropriate algorithm and preprocessing methods is crucial for accurate LST retrieval. Botanical gardens are vital centers for biodiversity preservation, education, scientific research, and tourism, with worldwide importance. The National Botanical Garden of Iran, housing around 4000 native and non-native plant species, is a unique site dedicated to conserving genetic resources in Iran and the Middle East. Over the past two decades, changes in urban policies and approaches have negatively impacted this garden. This study aims to investigate how urban development influences the creation of heat islands within the garden boundaries.

Method

This study analyzed temporal and spatial temperature variations using the Land Surface Temperature (LST) index over the National Botanical Garden of Iran from 1990 to 2025. Data were obtained from Landsat 5 and 8 satellite images acquired in 1990, 2000, 2010, 2020, and 2025. Additionally, urban thermal comfort (UTC) was modeled using the urban thermal field variation index (UTFVI). The UTFVI is a widely adopted index for evaluating the thermal environment of cities, accounting for thermal ecology and urban comfort. It categorizes urban regions into six distinct thermal ecology zones, ranked from most to least favorable conditions.

Results

The study area's land use map categorizes land into four main types: barren lands, built areas, roads, and vegetation, covering the years from 1990 to 2025. An accuracy assessment revealed an overall accuracy of 90% in 1990 and 92% in 2025, with kappa coefficients of 0.87 and 0.89, respectively. Over the 35-year span, significant land-use changes occurred. Built areas and roads grew by 28.87% and 7.96%, while barren lands and vegetation declined by 21.71% and 15.25%. The data indicated a notable increase in temperatures from 1990 to 2025. The results indicated a rising temperature trend within the Botanical Garden. In 1990, no temperatures exceeded 45 °C, but by 2025, temperatures exceeding 45 °C accounted for 24.55% of all temperature categories. The proportions for 2000, 2010, and 2015 were 1.19%, 3.9%, and 11.65%, respectively. The data showed that the most significant increases occur in both the highest and lowest temperature classes, whereas other ranges show no clear pattern. Spatial analysis of the Iranian Botanical Garden highlights more frequent heat islands. The 2025 LST images confirm that the highest temperatures

fall within the <45 °C class, with the >30 °C class being most dominant inside the garden. The analysis of the thermal variance index (UTFVI) over 35 years revealed increases in excellent and average thermal comfort from roughly 37.47% and 0% in 1990 to approximately 45.81% and 1.99% in 2025. Spatial analysis of the National Botanical Garden showed that the average, good, and excellent thermal comfort classes are more common within the garden, whereas the poor, worse, and worst classes are mainly outside. As the garden's green space expanded, indices for good-to-excellent comfort levels grew, especially in the central and northern parts. Conversely, lower-comfort classes tended to develop in surrounding areas, notably in the southern and eastern regions, with patches appearing in gardens in the northern areas.

Conclusions

The current study confirms that uncontrolled urban expansion has led to the formation of heat islands around the garden. A 35-year trend analysis reveals rising temperatures, which align with periods of nearby construction. Over 90% of this heat exposure occurs within the garden area, posing a threat to plants imported from colder climates. Conversely, efforts to protect and enhance vegetation within the garden have led to more days with temperatures below 30°C, highlighting vegetation's role in cooling urban areas. The increase in heat islands is most pronounced in the northeast and southwest of the garden, partly due to the degradation of Chitgar Forest, the drying of its stands, and the construction of the Shahid Hamedani Highway. Spatial analysis shows that zones within the garden generally have higher proportions of good-to-excellent thermal comfort, whereas areas outside tend to fall into lower classes. As green space has expanded over the past three decades, rising temperatures have correlated with habitat development, and index ratings have improved as surface area has increased. These findings emphasize the influence of green space on temperature regulation. The study also indicates that extensive construction around the National Botanical Garden has amplified harmful heat conditions, posing a significant threat to its future as a national monument. To ensure ecological sustainability, urban development, population policies, and resource use in District 22 of Tehran need to be adjusted. It is essential to restrict further construction while maintaining and enhancing vegetation cover, particularly broad-leaved trees, within the garden and in Chitgar Forest Park. As Landsat 8-9 and 5 satellite images were used in this study, incorporating Sentinel satellite data is recommended for more accurate analysis of vegetation cover and surface temperature changes. Comparing the results of others with this study could yield even more precise insights.

Author Contributions

Mohammad Matinizadeh: Conceptualization, Data curation, Formal analysis, Investigation, Methodology, Software, Resources, Writing the original draft.
Yaser Ghasemi Aryan: Conceptualization, Data curation, Formal analysis, Methodology, Project administration, Resources, Supervision, Writing-review and editing.
Hadi Eskandari Damaneh: Conceptualization, data curation, formal analysis, investigation, methodology, software, and writing-review and editing,
Ali Alizadeh Aliabadi: Conceptualization, Data curation, Formal analysis, Investigation, Methodology, Software, Resources, Writing-original draft

Data Availability Statement

Data will be made available on request.

Acknowledgements

This study was prepared as part of the authors' commitment to social responsibility, with the aim of raising awareness about the necessity of protecting the Iran National Botanical Garden, one of the country's most valuable botanical repositories and a significant scientific, educational, and cultural heritage asset.

Undoubtedly, safeguarding this national and internationally important resource requires the attention, collaboration, and collective commitment of all stakeholders, responsible institutions, and members of the scientific community.

The authors would like to express their sincere appreciation to all experts, researchers, and specialists whose valuable insights, constructive comments, and suggestions contributed significantly to enhancing the quality and scientific rigor of this work.

Ethical considerations

The authors affirm that all ethical issues pertinent to this research have been thoroughly considered and addressed in accordance with relevant guidelines and standards.

The authors avoided data fabrication, falsification, plagiarism, and misconduct.

Funding

This work is based on research funded by a research project at the research institutes of forests and rangelands.

Conflict of interest

The authors declare that they have no known competing financial interests or personal relationships that could have appeared to influence the work reported in this paper.

University of Tehran Press

نشریه محیط شناسی

Homepage: http://Jes.ut.ac.ir

شاپای چاپی: ۸۶۲۰–۱۰۲۵
شاپای الکترونیکی: ۶۹۲۲–۲۳۴۵

آشکارسازی روند تاثیر توسعه شهری بر ایجاد جزایر حرارتی در محدوده و حریم باغ گیاه‌شناسی ملی ایران

محمد متینی‌زاده [۱]، یاسر قاسمی آریان [۲]✉، هادی اسکندری دامنه [۳]، علی علیزاده علی‌آبادی [۴]

۱. بخش تحقیقات جنگل، مؤسسه تحقیقات جنگل‌ها و مراتع کشور، سازمان تحقیقات، آموزش و ترویج کشاورزی، تهران، ایران. رایانامه: matini@rifr-ac.ir
۲. نویسنده مسئول، بخش تحقیقات بیابان، مؤسسه تحقیقات جنگل‌ها و مراتع کشور، سازمان تحقیقات، آموزش و ترویج کشاورزی، تهران، ایران. رایانامه: ghasemiaryan@rifr-ac.ir
۳. بخش تحقیقات بیابان، مؤسسه تحقیقات جنگل‌ها و مراتع کشور، سازمان تحقیقات، آموزش و ترویج کشاورزی، تهران، ایران. رایانامه: hadi.eskandari@rifr-ac.ir
۴. مؤسسه تحقیقات گیاه‌پزشکی کشور، سازمان تحقیقات، آموزش و ترویج کشاورزی، تهران، ایران. رایانامه: aalizadeh1340@yahoo.com

اطلاعات مقاله

نوع مقاله: مقاله پژوهشی

تاریخ دریافت: ۱۴۰۴/۱۰/۰۳
تاریخ بازنگری: ۱۴۰۵/۰۳/۰۱
تاریخ پذیرش: ۱۴۰۵/۰۳/۰۴
تاریخ انتشار: ۱۴۰۵/۰۳/۲۵

کلیدواژه‌ها:
تاب‌آوری شهری،
تغییرات مکانی و زمانی سطح زمین،
تغییر کاربری،
فضای سبز شهری،
منطقه ۲۲ تهران

چکیده

هدف: باغ‌های گیاه‌شناسی به‌عنوان مرکزی برای حفظ تنوع‌زیستی و ذخایر ژنتیکی و محیطی برای آموزش و ترویج، فرهنگ‌سازی، انجام تحقیقات علمی و گردشگری از اهمیت ویژه‌ای در سطح جهان برخوردارند. باغ گیاه‌شناسی ملی ایران با قدمتی بیش از نیم‌قرن و تنوع بالای گیاهان بومی و غیربومی و انواع گونه‌های جانوری، یک اثر منحصربه‌فرد در ایران و خاورمیانه محسوب می‌شود. با این حال توسعه شهری در حریم باغ، طی دو دهه اخیر به یک تهدید جدی برای حفظ آن تبدیل شده است. در همین راستا تحقیق حاضر با هدف آشکارسازی روند تاثیر توسعه شهری بر ایجاد جزایر حرارتی در محدوده و حریم باغ گیاه‌شناسی ملی ایران انجام گرفت.

روش پژوهش: در این تحقیق از تصاویر ماهواره‌ای سنجنده لندست ۸ در ۵ دوره زمانی ۱۹۹۰، ۲۰۰۰، ۲۰۱۰، ۲۰۱۵ و ۲۰۲۵ جهت تعیین دو شاخص دمای سطح زمین (LST) و تغییرات میدان حرارتی شهری(UTFVI) استفاده شد.

یافته‌ها: نتایج مربوط به تغییرات زمانی و مکانی دما برای بازه ۳۵ ساله از ۱۹۹۰ تا ۲۰۲۵ بیانگر روند افزایشی دما است. به طوری که طبقه دمایی بیش از ۴۵ درجه سانتی‌گراد از صفر درصد در سال ۱۹۹۰ به ۲۴/۵۵ درصد در سال ۲۰۲۵ رسیده است. بررسی روند تغییرات مکانی در محدوده و حریم باغ گیاه‌شناسی ملی ایران گویای این واقعیت است که جزایر گرمایی بیشتر در حریم باغ رخ داده است. بر همین اساس، تصاویر مربوط به شاخص LST در سال ۲۰۲۵ به‌خوبی نشان می‌دهد که بیشترین سطح مربوط به طبقه بیشتر از ۴۵ درجه سانتی‌گراد در حریم باغ بوده و بالعکس بیشترین سطح مربوط به طبقه کمتر از ۳۰ درجه سانتی‌گراد در محدوده باغ مشاهده شد. بررسی روند تغییرات مکانی و زمانی شاخص واریانس حرارتی (UTFVI) نشان داد که در بازه زمانی ۳۵ ساله روند تغییرات شاخص آسایش حرارتی در طبقات عالی و متوسط در محدوده باغ، افزایشی بوده و به ترتیب از مقدار ۳۷/۴۷ و صفر درصد در سال ۱۹۹۰ به ۴۵/۸۱ و ۱/۹۹ درصد در سال ۲۰۲۵ رسیده است. این در حالی است که طبقات بد، بدتر و بدترین بیشتر در حریم باغ بوده است.

نتیجه‌گیری: نتایج پژوهش پیش‌رو به‌روشنی نقش تغییرات کاربری و ساخت‌وسازها را در افزایش جزایر حرارتی و نقش توسعه پوشش گیاهی را در آسایش حرارتی نشان می‌دهد. با توجه به زوال و خشکیدگی پارک جنگلی چیتگر در شرق و جنوب‌شرقی باغ گیاه‌شناسی ملی ایران که اثرات منفی تغییرات اقلیمی را مضاعف نموده و بر تشدید جزایر حرارتی در آینده نزدیک خواهد افزود لازم است در جهت پایداری اکولوژیکی باغ، تعدیلی در رویکردهای توسعه شهری، سیاست‌های توزیع جمعیت و استفاده از منابع‌طبیعی منطقه ۲۲ صورت پذیرد. به نحوی که ضمن جلوگیری از توسعه ساخت‌وسازهای بیشتر، حفظ و تقویت تنوع و درصد پوشش گیاهی، هم در حریم باغ و هم در محدوده پارک جنگلی چیتگر با استفاده از درختان پهن‌برگ، به طور ویژه مدنظر مسئولان امر قرار گیرد.

استناد: متینی‌زاده، محمد؛ قاسمی آریان، یاسر؛ اسکندری دامنه، هادی، و علیزاده علی‌آبادی، علی (۱۴۰۵). آشکارسازی روند تاثیر توسعه شهری بر ایجاد جزایر حرارتی در محدوده و حریم باغ گیاه‌شناسی ملی ایران. *نشریه محیط‌شناسی*، ۵۲ (۱)، ۸۳-۱۰۴. https://doi.org/10.22059/JES.2026.407694.1008656

ناشر: انتشارات دانشگاه تهران.

© نویسندگان.

مقدمه

تحلیل تغییرات سطح زمین شامل ویژگی‌های طبیعی و انسانی آن می‌شود. فعالیت‌های انسانی مانند گسترش شهری، جنگل‌زدایی و صنعتی شدن، سطح زمین را در طول زمان عمیقاً تغییر داده‌اند (Wang & Yang, 2020). شهرنشینی، که با هدف دستیابی به استانداردهای زندگی بهتر هدایت می‌شود، به سرعت در حال تغییر پوشش زمین است، به‌طوری که پیش‌بینی می‌شود جمعیت شهری جهان تا سال ۲۰۵۰ به ۶۸ درصد برسد (Battista & de Lieto Vollaro, 2017; Fattah & Morshed, 2022). رشد مناطق شهری، معمولاً مناظر طبیعی را با سطوح نفوذناپذیری مانند آسفالت و بتن جایگزین می‌کند، که باعث کاهش بازتاب سطحی و افزایش دمای سطح زمین[1] (LST) می‌شود، که گاهی تا ۶۰ درجه سانتی‌گراد می‌رسد (Akbari & Rose, 2008; Bobes-Jesus et al., 2013; Mohajerani et al., 2017). این تغییرات با از بین بردن پوشش گیاهی، تعدیل‌کننده طبیعی هوا را کاهش می‌دهد و جذب گرمای شهری را تشدید می‌کند (Liu et al., 2019). به دنبال این روند جهانی، ایران نیز شاهد افزایش چشمگیر شهرنشینی بوده است، به‌طوری‌که نسبت شهرنشینی بین سال‌های ۱۳۳۵ تا ۱۳۹۵ پیوسته رو به افزایش بود و طی آن، جمعیت افراد ساکن در مناطق شهری ۱۰ برابر شده است. طبق مدل پیش‌بینی جمعیت سازمان ملل متحد برای سال ۲۰۲۴، پیش‌بینی می‌شود که جمعیت ایران تا سال ۲۰۵۴ به ۱۰۳ میلیون نفر برسد. افزایش دمای سطح زمین حاصل از افزایش جمعیت و مناطق شهری و مسکونی، به تشدید اثر جزیره گرمایی شهری[2] (UHI) کمک می‌کند که با مصرف بالای انرژی، بلایای طبیعی و خطرات سلامت انسان رابطه نزدیکی دارد (Pal & Ziaul, 2017). گرمای شدید یک خطر قابل توجه برای سلامت انسان و محیطزیست است که بیماری‌های قلبی عروقی، دیابت، آسم و بیماری‌های روانی را تشدید و همچنین افزایش خطر تصادفات، انتقال بیماری‌های عفونی و گرمازدگی را در پی خواهد داشت. طبق مطالعات انجام‌شده بین سال‌های ۲۰۰۰ تا ۲۰۱۹، تقریباً ۴۸۹۰۰۰ مرگ‌ومیر مرتبط با گرما هر ساله در سراسر جهان رخ می‌دهد (Zhao et al., 2021). LST دمایی است که از سطح زمین ساطع می‌شود و بر حسب کلوین یا سلسیوس اندازه‌گیری می‌شود و یکی از متغیرهای مهم برای برآورد تغییرات اقلیمی و اثرات انسانی بر محیطزیست است. افزایشLST بر شرایط آب‌وهوایی کشورهای موسمی تأثیر می‌گذارد و منجر به بارندگی‌های غیرقابل پیش‌بینی می‌شود (Hasan et al., 2025). LST شاخص خوبی از تعادل انرژی و آب زمین بین جو و خشکی است که نقش مهمی در بسیاری از زمینه‌های مطالعاتی مانند چرخه هیدرولوژیکی، جزیره گرمایی اوج شهری، مدل‌سازی هیدرولوژیکی، بهره‌وری کشاورزی و بخش‌های نظارت بر محیطزیست ایفا می‌کند (Duan et al., 2025; Jamaludin et al., 2025). تصاویر ماهواره‌ای به‌طور گسترده برای برآورد LST استفاده می‌شوند، این تصاویر با استفاده از باندهای مادون قرمز حرارتی ابزاری قدرتمند، برای پایش تغییرات LST در مقیاس منطقه‌ای تا جهانی ارائه می‌دهند (Eskandari Damaneh et al., 2024; Suthar et al., 2024). برای مثال، از باند حرارتی لندست ۹/۸ OLI/TIRS با وضوح ۳۰ متر برای تصویربرداری عملیاتی زمین (OLI) و ۱۰۰ متر برای حسگرهای مادون قرمز حرارتی (TIRS) در بسیاری از تحقیقات برای پایش تغییرات LST استفاده شده است (اسکندری دامنه و همکاران،۱۴۰۰ الف). همچنین، می‌توان از طیف‌سنج تصویربرداری با وضوح متوسط (MODIS) نیز برای مطالعات LST استفاده کرد، از آنجایی که حداقل وضوح آن، ۲۵۰ متر بوده که ممکن است برای مناطق کوچک مناسب نباشد. تصاویر لندست ۸ و ۹ با باند TIRS به‌دلیل وضوح مکانی و زمانی مناسب و همچنین در دسترس بودن تصاویر ماهواره‌ای، یکی از تصاویر ماهواره‌ای قابل اعتماد برای پایش تغییراتLST هستند. علاوه بر مزایای تخمین LST مبتنی بر ماهواره، دستیابی به دقت بالا به دلیل عواملی مانند تداخل جوی، مشکلات کالیبراسیون حسگر، تغییرات ضریب گسیلندگی سطح و پوشش ابر همچنان چالش برانگیز است. بنابراین، انتخاب یک الگوریتم و تکنیک پیش‌پردازش مناسب برای بازیابی قابل اعتماد LST بسیار مهم است. با توجه به مطالب بالا می‌توان بیان داشت که تشخیص تغییرات پوشش زمین و پایش دمای سطح زمین از طریق بازدیدهای میدانی، زمان‌بر و پرزحمت است و می‌تواند باعث خطا شود. علاوه بر این، ادغام فناوری‌های RS و GIS می‌تواند به طور مؤثر نوسانات LST را ارزیابی، اصلاح و مدل‌سازی کند. همچنین در مطالعات اخیر، با ادغام علم داده‌های مکانی و تصاویر ماهواره‌ای لندست با موفقیت نقشه‌های تغییرات LST تولید شده است که تغییرات سطح زمین را از طریق

1. Land Surface Tempreture
2. Urban Heat Island

آن ارزیابی می‌کنند. از این‌رو برای پرداختن به چالش‌های شهرنشینی و ایجاد جزایر حرارتی آن تعیین وضعیت نیازهای توسعه‌ای فعلی و آینده ضروری است.

باغ‌های گیاه‌شناسی ، مرکز حفظ تنوع‌زیستی، آموزش، تحقیقات علمی و گردشگری به‌شمار می‌روند. در همین راستا سازمان‌ها و کنوانسیون‌های بین‌المللی همچون کنوانسیون تنوع‌زیستی (CBD)[1] و سازمان بین‌المللی حفاظت از طبیعت ملل متحد (IUCN)[2] توصیه می‌کنند حریم‌های حفاظت‌شده با اندازه و ویژگی‌های مشخص ایجاد شود تا اکوسیستم‌های حساس آنها حفظ شوند. به‌طورکلی مناطق حائل یا حریم[3] به‌عنوان یک راهبرد حفاظتی، یکی از ملزومات مدیریت و برنامه‌ریزی برای حفاظت از زیستگاه‌های طبیعی و همین‌طور زیستگاه‌های بشرساخت در نظر گرفته می‌شوند. منطقه حائل به منطقه‌ای خارج از یک منطقه حفاظت‌شده (پیرامون آن) گفته می‌شود که ضمن این که خدمات زیستگاهی حیات‌وحش و اکوسیستم را ارائه می‌دهد، مردم می‌توانند از آن منافع مادی یا اقتصادی کسب کنند (Guerra et al., 2026). باغ گیاه‌شناسی ملی ایران در سال ۱۳۴۷ تأسیس شد. این اکوسیستم ارزشمند با دارا بودن حدود ۴۰۰۰ گونه گیاهی بومی و غیربومی متعلق به نواحی رویشی مختلف ایران و برخی نقاط جهان (شامل ۱۳۰۰ گونه بومی که ۱۱۳ گونه آنها در معرض خطر انقراض بوده و ۲۷۰۰ گونه غیربومی و خارجی و مربوط به مناطق مختلف فیتوجغرافیایی جهان) و ورود انواعی از جانوران به ویژه پرندگان و حشرات به خصوص گرده‌افشانان و ... به یک اثر ملی منحصربه‌فرد در موضوع حفاظت از ذخایر ژنتیکی در ایران و خاورمیانه تبدیل شده است. در حالی که منطقه ۲۲ شهر تهران، محل قرارگیری این باغ، تا اوایل دهه ۸۰ به‌عنوان شهری با اکولوژی پایدار محسوب می‌شد، اما با تغییر رویکردها و سیاست‌های شهری، به منطقه‌ای برای شکل‌گیری بلندمرتبه‌ها تبدیل شد و برج‌های فراوانی طی دو دهه گذشته در این منطقه و در نزدیکی باغ گیاه‌شناسی ملی ایران ساخته شد. اثرات منفی این ساخت‌وسازها به‌وضوح بر باغ آشکار است که از آن جمله می‌توان به کاهش شدید منابع آبی، کاهش سرعت باد و عدم تهویه هوا، افزایش میزان و گستره گردوغبار، افزایش آلودگی‌های هوا، نور (در شب) و آلودگی‌های صوتی، نفوذ پساب یا فاضلاب شهری به خاک و آلوده‌سازی آب در دسترس گیاهان، کوچ و نابودی جانوران موجود در این اکوسیستم و نابودی منظر اشاره کرد (حمزه‌ای و همکاران، ۱۴۰۱). شاید یکی از مهمترین تهدید برای گیاهان باغ، ایجاد و تقویت جزایر گرمایی باشد. در همین راستا تحقیق حاضر با هدف آشکارسازی تاثیر توسعه شهری بر ایجاد جزایر گرمایی در محدوده باغ گیاه‌شناسی ملی ایران انجام گرفته است.

پیشینه پژوهش

در سال‌های گذشته در تحقیقات مختلفی به بررسی گسترش مناطق شهری و ایجاد جزایر حرارتی حاصل از این گسترش پرداخته شده است. در این زمینه Chen et al., (2025) با تحلیل داده‌های جهانی از بیش از ۱۵۰ شهر، نشان دادند که بهره‌وری پوشش گیاهی شهری به‌طور چشمگیری تحت تأثیر دو عامل اصلی افزایش شهرنشینی و تغییرات اقلیمی قرار دارد و تأکید می‌کند که برای حفظ تاب‌آوری اکولوژیکی شهرها، باید برنامه‌ریزی‌های شهری به‌گونه‌ای باشد که فضای سبز تقویت شود و اثرات منفی شهرنشینی کاهش یابد. Aslani et al., (2025) با تحلیل نقشه‌های دمای سطح زمین در مناطق مختلف تهران نشان دادند که شدت جزیره گرمایی شهری (UHI) به‌طور قابل‌توجهی تحت تأثیر تراکم ساختمانی، کمبود فضای سبز، و نوع مصالح ساختمانی است. آنها دریافتند که مناطق مرکزی و جنوبی شهر بیشترین دمای سطحی را تجربه می‌کنند، در حالی که مناطق شمالی با پوشش گیاهی بیشتر، شدت UHI کمتری دارند. این مطالعه تأکید می‌کند که راهکارهای منطقه‌محور مانند توسعه فضای سبز، استفاده از مصالح سرد، و بهینه‌سازی مصرف انرژی می‌توانند نقش مؤثری در کاهش اثرات گرمایی در تهران ایفا کنند. Taiwo et al., (2023) با استفاده از داده‌های سنجش از دور و شاخص‌های پوشش گیاهی مانند NDVI، به بررسی تأثیر تغییرات کاربری زمین بر ویژگی‌های اراضی کشاورزی و شدت خشکسالی پرداختند. آنها نشان دادند که تغییرات سریع در پوشش گیاهی، به‌ویژه تبدیل اراضی کشاورزی به مناطق شهری یا صنعتی، باعث کاهش

1. Convention on Biological Diversity
2. International Union for Conservation of Nature
3. Buffer zones

ظرفیت تولید و افزایش آسیب‌پذیری در برابر خشکسالی شده است. Duan et al., (2024) با استفاده از داده‌های سری زمانی NDVI در بازه ۲۰۰۰ تا ۲۰۲۲، روند رشد پوشش گیاهی شهری در چین را بررسی کردند. آنها دریافتند که با وجود رشد شهرنشینی، بسیاری از شهرهای چین بهبود نسبی در پوشش گیاهی داشته‌اند، به‌ویژه در مناطقی که سیاست‌های توسعه پایدار اجرا شده است. Feng et al., (2024) با تحلیل داده‌های ۳۲۸ شهر چین، نشان دادند که تنوع اقلیمی و فضایی نقش مهمی در الگوهای رشد پوشش گیاهی دارد. آنها بیان داشتند که شهرهایی با بارندگی بیشتر و تراکم جمعیت کمتر، رشد گیاهی بهتری داشته‌اند، در حالی که مناطق خشک و پرتراکم با کاهش پوشش گیاهی مواجه بوده‌اند. Zhu et al., (2023) با استفاده از مدل‌های رگرسیون خطی و حذف اثرات فصلی، روند رشد پوشش گیاهی در شهر تیانجین را بررسی کردند. نتایج آنها نشان داد که نوسانات فصلی می‌تواند ارزیابی بلندمدت را تحت تأثیر قرار دهد و درک دقیق از این نوسانات برای تحلیل واقعی در اختیار محققان می‌گذارد. Manna and Sarkar (2025) در مطالعه خود نتیجه گرفتند که فعالیت‌های صنعتی و معدنی در شرق هند تأثیر مستقیمی بر افزایش دمای سطح زمین داشته‌اند. آنها تأکید کردند که کاهش پوشش گیاهی، افزایش سطوح نفوذناپذیر، و تغییرات کاربری زمین از عوامل کلیدی در تشدید اثرات گرمایی هستند. این مطالعه پیشنهاد می‌کند که برای کاهش اثرات گرمایی در مناطق صنعتی، باید از راهکارهایی مانند توسعه فضای سبز، استفاده از مصالح سرد، و مدیریت پایدار منابع‌طبیعی بهره گرفت. Patra et al., (2025) با بهره‌گیری از الگوریتم‌های یادگیری ماشین و داده‌های مکانی، دینامیک چشم‌انداز شهری و ارتباط آن با تغییرات حرارتی سطح را در یک شهر صنعتی گرمسیری بررسی کردند. نتایج آنها نشان داد که رشد نامتوازن شهری و کاهش فضای سبز، شدت دمای سطحی را افزایش داده است. Saini et al., (2025) نتیجه گرفتند که شهر گوروگرام طی دو دهه گذشته با رشد سریع شهری و صنعتی مواجه بوده که این امر منجر به افزایش دمای سطح زمین و تشدید پدیده جزیره گرمایی شهری شده است. آنها تأکید کردند که برای کاهش اثرات گرمایی، باید از روش‌هایی مانند توسعه فضای سبز، استفاده از مصالح سرد، و برنامه‌ریزی اقلیم‌محور بهره گرفت. همچنین، تحلیل منطقه‌محور می‌تواند در شناسایی نقاط بحرانی و اولویت‌بندی اقدامات محیط‌زیستی مؤثر باشد.

در سال‌های اخیر، پژوهش‌ها در زمینه جزایر حرارتی در بافت‌های شهری ایران به‌صورت گسترده مورد توجه قرار گرفته که نشان می‌دهند افزایش سطوح سخت و کاهش پوشش گیاهی می‌تواند موجب افزایش دمای سطح زمین در مناطق شهری شود. به‌طور مثال، تحقیق احمدی و همکاران (۱۳۹۸) در شهر تهران با استفاده از داده‌های سنجش از دور نشان داد که مناطق با تراکم ساختمانی بالاتر، به‌طور مشخص دماهای بیشتری نسبت به فضاهای سبز ثبت می‌کنند. همچنین نتایج مطالعه اسکندری دامنه و همکاران (۱۴۰۰ الف) در شهر کرمان نتایج نشان داد که در دامنهٔ زمانی این پژوهش، مناطق مسکونی و انسان‌ساخت افزایش ۱۴/۲۰ درصدی و کاربری‌های پوشش گیاهی، اراضی بایر با پوشش گیاهی کم و اراضی شور و بدون پوشش گیاهی نیز به‌ترتیب کاهش ۷۶/۳، ۲۳/۸ و ۲۲/۲ درصدی داشتند. کوشش وطن و اصغری زمانی (۱۴۰۰) در تبریز افزایش اثرات جزایر حرارتی را با افزایش توسعه شهری و کاهش بافت‌های طبیعی مرتبط دانسته‌اند.

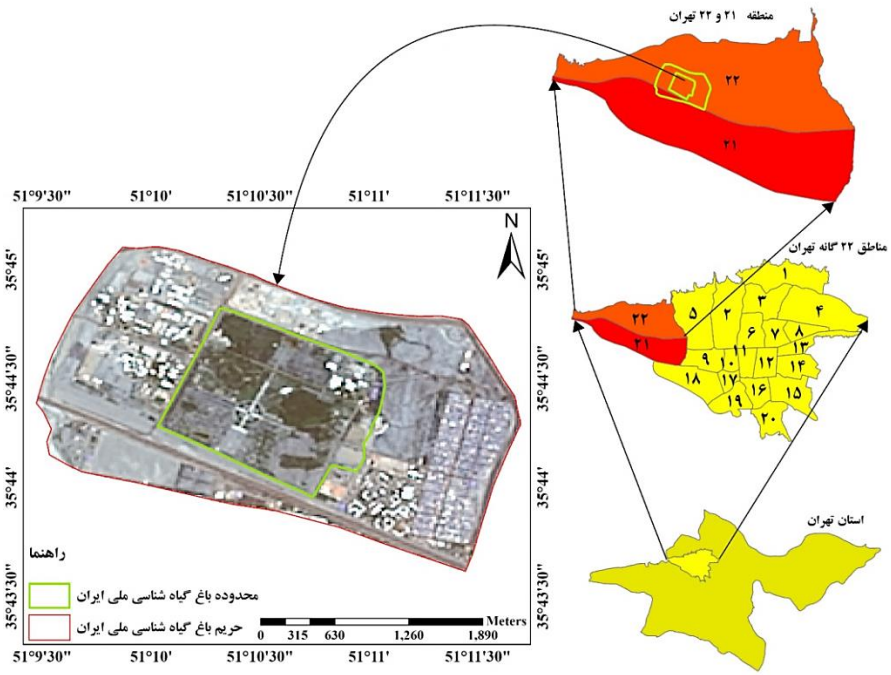
مرور پژوهش‌های انجام شده نشان می‌دهد که ایجاد جزایر حرارتی و اثرات جانبی آن روز به روز اهمیت پیدا کرده و با توجه به افزایش جمعیت شهری و تغییرات اقلیمی اخیر اهمیت آن دوچندان شده است، نتایج این پژوهش‌ها حکایت از این واقعیت دارد که توسعه شهری بدون توجه به فضاهای سبز و حفاظت از اکوسیستم‌های طبیعی، می‌تواند منجر به افزایش دماهای موضعی گردد، موضوعی که در باغ‌ها و محدوده‌های حساس مانند باغ گیاه‌شناسی ملی ایران نیز اهمیت دارد. از این‌رو هدف از این پژوهش آشکارسازی تاثیر توسعه شهری بر ایجاد جزایر حرارتی در محدوده باغ گیاه‌شناسی ملی ایران در بازه زمانی ۱۹۹۰ تا ۲۰۲۵ است. در این تحقیق منظور از محدوده، مرز باغ گیاه‌شناسی و منظور از حریم، منطقه حائل قانونی باغ (که با هدف حفاظت از آن در نظر گرفته شده است) می‌باشد.

روش شناسی پژوهش

منطقه مورد مطالعه

باغ گیاه‌شناسی ملی ایران در زمینی به وسعت ۱۴۵ هکتار در حاشیه آزادراه تهران–کرج، در شمال شهرک آزادشهر در محدوده

جغرافیایی ۳۵ درجه و ۴۴ دقیقه و ۸ ثانیه تا ۳۵ درجه و ۴۴ دقیقه و ۴۱ ثانیه عرض شمالی و ۵۱ درجه و ۱۰ دقیقه و ۱۲ ثانیه تا ۵۱ درجه و ۱۰ دقیقه و ۵۴ ثانیه طول شرقی واقع شده است. ارتفاع باغ از سطح دریا ۱۳۲۱ متر با شیب اصلی ۸/۲ درصد (شمال به جنوب) و شیب فرعی ۱/۱ درصد (غرب به شرق) است. اقلیم منطقه براساس تقسیم‌بندی آمبروژه، نیمه‌خشک سرد و بر اساس تقسیم‌بندی دومارتن، خشک و استپی است. باد غالب منطقه شمال و شمال‌غرب است. پارک چیتگر، به عنوان یکی از بزرگترین بوستان‌های جنگلی استان تهران، با مساحت ۹۵۰ هکتار در شرق باغ گیاه‌شناسی ملی ایران واقع است. این پارک در طول چند دهه گذشته متاثر از عوامل انسانی و اقلیمی دستخوش تغییرات نامناسب بوده است. به‌طوری که رویش درخت کاج جنگلی در طی چهل سال با افزایش دمای متوسط سالانه کاهش یافته و بر اساس مطالعات انجام گرفته، کاهش بیش از حد در دهه نود ناشی از آلاینده‌ها بوده است (ترکمن و همکاران، ۱۴۰۲). حریم باغ گیاه‌شناسی ملی ایران در سال ۱۴۰۱ در دفتر ثبت آثار، حفظ و احیاء میراث معنوی و طبیعی در وزارت میراث فرهنگی، گردشگری و صنایع دستی، با هدف تعیین ضوابط و مقررات مشخص برای حفاظت از آن به تصویب رسید (حمزه‌ای و همکاران، ۱۴۰۱). شکل ۱ موقعیت باغ گیاه‌شناسی ملی ایران را نشان می‌دهد.



شکل ۱. موقعیت جغرافیایی محدوده (خط سبز) و حریم باغ گیاه‌شناسی ملی ایران (خط قرمز)

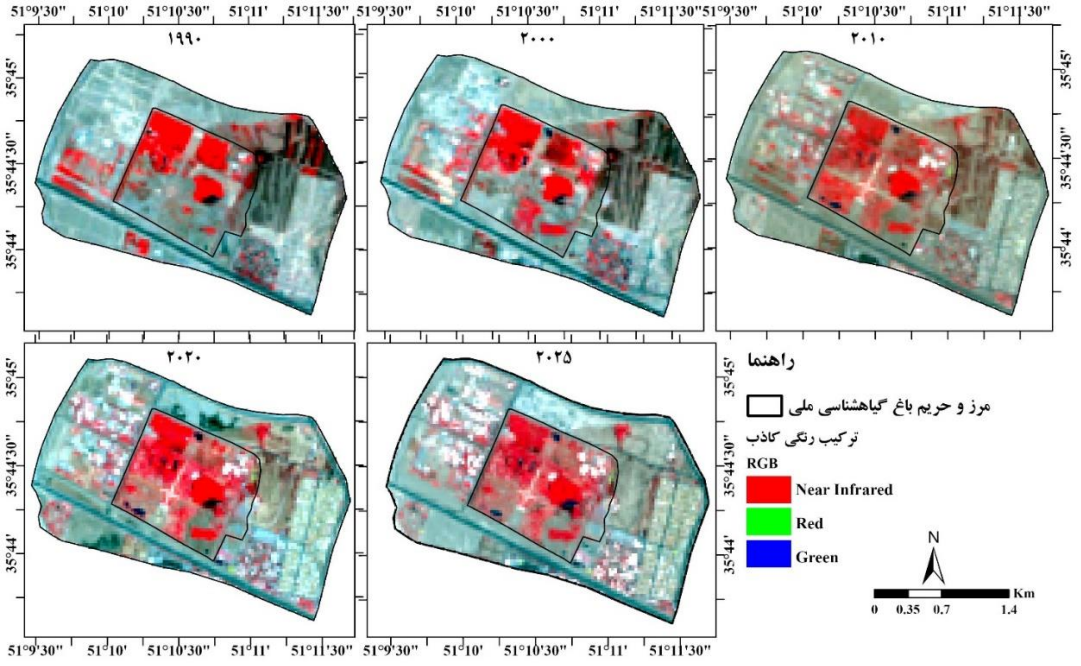
داده‌های ماهواره‌ای

در تحقیق حاضر با هدف آشکارسازی روند تاثیر توسعه شهری بر ایجاد جزایر حرارتی در محدوده و حریم باغ گیاه‌شناسی ملی ایران از تصاویر ماهواره‌ای سنجنده لندست در ۵ دوره زمانی ۱۹۹۰، ۲۰۰۰، ۲۰۱۰، ۲۰۲۰ و ۲۰۲۵ جهت تعیین دو شاخص دمای سطح زمین (LST) و تغییرات میدان حرارتی شهری (UTFVI) استفاده شد. همچنین جهت بررسی تغییرات کاربری اراضی در دوره مورد بررسی از تصاویر سنجندهٔ لندست منطقه در محدوده و حریم باغ گیاه‌شناسی ملی استفاده گردید. ابزار استفاده شده شامل نرم‌افزارهای $ArcGISpro_{3.6}$، $QGIS_{3.40}$ و اطلاعات مورد نیاز از داده‌های سنجش از دور شامل تصاویر ماهواره‌ای مربوط به سنجندهٔ لندست ۵ و لندست ۸ بوده که در جدول ۱ و شکل ۲ ارائه شده است. این داده‌های چندطیفی از سایت زمین‌شناسی آمریکا دریافت و برای پیش‌پردازش و پردازش‌های لازم آماده شد. به‌منظور تهیهٔ نقشهٔ کاربری بر روی تصاویر دریافت شده مراحل تصحیح رادیومتریک و تصحیح اتمسفری انجام گرفت. پس از اعمال پیش‌پردازش‌های لازم، نقشهٔ طبقه‌بندی کاربری اراضی محدودهٔ مورد مطالعه برای

سال‌های ۱۹۹۰ و ۲۰۲۵ با استفاده از روش حداکثر احتمال در نرم‌افزار $QGIS_{3.40}$ و $ArcGISpro_{3.6}$ تهیه شد (اسکندری دامنه و همکاران، ۱۴۰۰ب). جهت برآورد شاخص دمای سطح زمین و تهیه نقشه کاربری اراضی با استفاده از روش حداکثر احتمال[1]، به‌ترتیب از افزونه‌های SCP[2] و RS & GIS در محیط $QGIS_{3.40}$ استفاده گردید. در نهایت نقشهٔ کاربری در چهار طبقهٔ عمدهٔ اراضی بایر، مناطق انسان‌ساخت، جاده و پوشش گیاهی تهیه شد.

جدول ۱. مشخصات تصاویر استفاده‌شده

دوره زمانی	تاریخ میلادی	ماهواره	سنجنده	گذر/ ردیف	قدرت تفکیک مکانی (متر)
۱۹۹۰	۱۹۹۰/۰۶/۱۳	لندست ۵	TM	۳۵/۱۶۴	۳۰
۲۰۰۰	۲۰۰۰/۰۶/۰۸	لندست ۵	TM	۳۵/۱۶۴	۳۰
۲۰۱۰	۲۰۱۰/۰۶/۰۴	لندست ۵	TM	۳۵/۱۶۴	۳۰
۲۰۲۰	۲۰۲۰/۰۶/۱۵	لندست ۵	OLI/TIRS	۳۵/۱۶۴	۳۰
۲۰۲۵	۲۰۲۵/۰۶/۲۰	لندست ۸	OLI/TIRS	۳۵/۱۶۴	۳۰



شکل ۲. تصاویر ماهواره لندست ۵ و ۸ از منطقه مورد مطالعه در تاریخ‌های مورد بررسی

پس از پایان مرحلهٔ طبقه‌بندی، نتایج طبقه‌بندی از طریق مقایسهٔ نقشه‌های طبقه‌بندی‌شده با واقعیت زمینی و با کمک معیارهای تعیین صحت، به‌صورت کمّی برآورد شد. در این تحقیق برای ارزیابی صحت نقشه‌های طبقه‌بندی شده، با مقایسهٔ متناظر با نقاط واقعیت زمینی حاصل از مطالعات میدانی و با استفاده از تصاویر گوگل ارث، ماتریس خطا تشکیل و براساس آن صحت کلی و ضریب کاپا محاسبه شد (Kafy et al., 2020). شاخص کاپا پیکسل‌های نادرست طبقه‌بندی‌شده را مدنظر قرار می‌دهد و صحت طبقه‌بندی را نسبت به یک طبقه‌بندی کاملاً تصادفی محاسبه می‌کند. شاخص کاپا با استفاده از رابطهٔ ۱ محاسبه شد.

رابطه (۱) $$Kappa = \frac{P_0 - P_c}{1 - P_c}$$

در این رابطه P_0 درستی مشاهده‌شده و P_c توافق مورد انتظار است (اسکندری دامنه و همکاران، ۱۳۹۹).

1. Maximum Likelihood
2. Semi-Automatic Classification Plugin

شاخص دمای سطح زمین (LST)

دمای سطح زمین از پارامترهای فیزیکی اساسی در فرآیندهای سطحی است که به تغییرات اقلیمی در مقیاس جهانی و منطقه‌ای و خصوصیات سطحی زمین پاسخ می‌دهد (Owen et al., 1998). همچنین دمای سطح زمین عامل مهمی است که به کمک فناوری سنجش از دور می‌توان تأثیر آن را بر محیط اطراف بررسی نمود. در این زمینه برای محاسبهٔ دمای سطح زمین (LST) از باندهای حرارتی (باند ۶ لندست ۵ (TM) و باندهای ۱۰ و ۱۱ لندست ۸ (OLI/TIRS) استفاده شد. ابتدا رادیانس طیفی باند حرارتی لندست ۵ و باندهای حرارتی لندست ۸ با استفاده از رابطه‌های ۲ و ۳ محاسبه شد و در نهایت با استفاده از رابطهٔ ۴ دمای سطح زمین برحسب درجهٔ سانتی‌گراد محاسبه شد. در زیر، رابطه‌های ۲ تا ۴ آورده شده است (Hasan, et al, 2025).

$$L\lambda = Lmin + \left(\frac{Lmax-Lmin}{255}\right) \times DN$$ رابطه (۲)

$$L\lambda = ML \times DN + AL$$ رابطه (۳)

$$LST = \frac{T_B}{1+\left(\lambda \times \frac{T_B}{\rho}\right) \times \ln(\varepsilon)} - 273.15$$ رابطه (۴)

Lλ، رادیانس طیفی بالای اتمسفر؛ ML، ضریب تبدیل که از متادیتا به‌دست می‌آید و AL، ضریب تبدیل است که از متادیتا به‌دست می‌آید.

Qcal، ارزش رقومی باند خام (DN) و Lmax و Lmin از متادیتای لندست ۵ به‌دست می‌آیند. در اینجا $\rho = 1.438 \times 10^{-2} mk$ همچنین ε، قابلیت انتشار است که با استفاده از روش NDVI محاسبه می‌شود (اسکندری دامنه و همکاران، ۱۴۰۰ الف؛ Ahmadaali et al., 2021)، TB = دمای درخشندگی ماهواره است که با استفاده از رابطهٔ ۵ محاسبه می‌شود.

$$TB = \frac{K2}{ln\left[\left(\frac{K1}{L\lambda}\right)+1\right]}$$ رابطه (۵)

K1 ثابت تبدیل حرارتی اول و K2 ثابت تبدیل حرارتی مربوط به هر سنجنده ماهواره لندست است. در گام سوم بعد کسری پوشش گیاهی (FVC) با استفاده از رابطه ۶ که در این رابطه از شاخص نرمال شده تفاضل پوشش‌گیاهی (NDVI) که از رابطه ۵ به دست آمده استفاده می‌شود (اسکندری دامنه و همکاران، ۱۴۰۰ ب).

$$NDVI = \frac{(NIR-RED)}{(NIR+RED)}$$ رابطه (۶)

در این رابطه NIR مقدار مادون قرمز نزدیک برای هر پیکسل در تصویر و RED مقدار باند قرمز برای هر پیکسل در تصویر دامنه تغییرات این شاخص بین ۱+ و ۱− است (Bian et al, 2026).

$$FVC = \frac{NDVI-NDVImin}{NDVImax-NDVImin}$$ رابطه (۷)

در گام چهارم ضریب انتشار سطح زمین (LSE) یا گسیل‌مندی سطح ε از رابطه ۸ محاسبه می‌گردد.

$$LSE = 0.004\ FVC + 0.986$$ رابطه (۸)

در نهایت دمای سطح زمین از رابطه ۹ برآورد شد.

$$LST = \frac{BT}{1+\lambda\left(\frac{BT}{P} \times ln\varepsilon\right)} - 273.1$$ رابطه (۹)

در این رابطه LST دمای سطح زمین برحسب سانتی گراد، λ طول موج رادیانس ساطع شده، P معادل ۱۴۳۸۰ و ε گسیل‌مندی سطح می‌باشد.

مدل‌سازی آسایش حرارتی شهری (UTC) از طریق شاخص حرارتی شهری(UTFVI)

از شاخص تغییرات میدان حرارتی شهری (UTFVI) یکی از شاخص‌های پرکاربرد برای ارزیابی محیط حرارتی شهرها از منظر بوم‌شناسی حرارتی و آسایش حرارتی شهری است. این شاخص نقش مهمی در تحلیل الگوهای آسایش حرارتی شهری(UTC) در شهرهای مختلف جهان ایفا می‌کند.(Naim and Kafy, 2021, Shahfahad et al, 2024) . UTFVIمناطق شهری را بر اساس شدت شرایط حرارتی به شش منطقه بوم‌شناسی حرارتی متمایز تقسیم می‌کند (جدول ۲) که از مطلوب‌ترین تا نامطلوب‌ترین شرایط دسته‌بندی می‌شوند. مدل‌سازی UTFVI با استفاده از رابطه ۱۰ به صورت زیر محاسبه می‌گردد:

$$UTFVI = \frac{(Ts - Tmean)}{Tmean}$$ رابطه (۱۰)

در این رابطه Ts:دمای سطح زمین در یک پیکسل خاص و Tmean: میانگین دمای سطح زمین در کل منطقه

جدول ۲. طبقه‌بندی مناطق شهری بر اساس:UTFVI

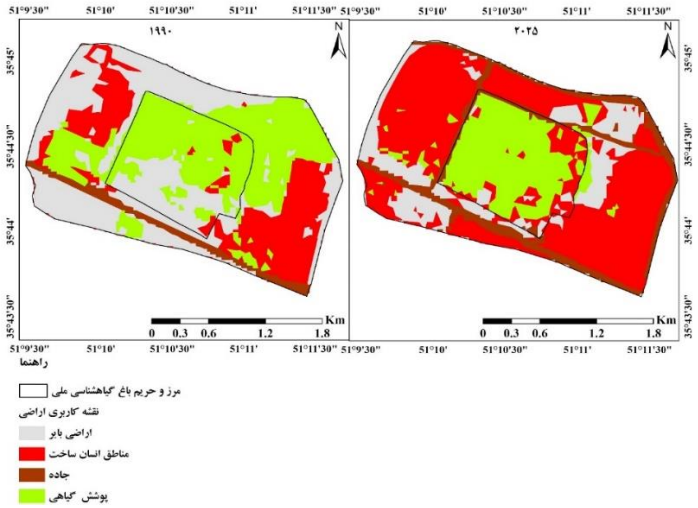
کلاس	مقدار UTFVI	شدت پدیده جزیره حرارتی شهری (UHI)	ارزیابی بوم‌شناسی حرارتی
۱	<۰	ندارد	عالی
۲	۰– ۰/۰۰۵	ضعیف	خوب
۳	۰/۰۰۵– ۰/۰۱۰	متوسط	نرمال
۴	۰/۰۱۰– ۰/۰۱۵	شدید	بد
۵	۰/۰۱۵– ۰/۰۲	شدیدتر	بدتر
۶	> ۰/۰۲	بسیار شدید	بدترین

یافته‌های پژوهش

نتایج مربوط به نقشهٔ کاربری اراضی منطقهٔ مورد مطالعه در چهار طبقهٔ عمده شامل اراضی بایر، مناطق انسان‌ساخت، جاده و پوشش گیاهی برای دورهٔ زمانی ۱۹۹۰ تا ۲۰۲۵ در جدول ۳ و شکل ۳ ارائه گردیده است. بررسی دقت و صحت کاربری‌های تولیدشده نشان داد که دقت کلی نقشهٔ کاربری برای سال‌های ۱۹۹۰ و ۲۰۲۵ به‌ترتیب ۹۰ و ۹۲ درصد و ضریب کاپا برای این کاربری‌ها نیز ۰/۸۷ و ۰/۸۹ است. بررسی درصد تغییرات کاربری اراضی نشان داد (جدول ۳) که روند این تغییرات در دورهٔ زمانی ۳۵ ساله چشمگیر بوده است، به‌طوری که مناطق انسان‌ساخت و جاده‌سازی به ترتیب ۲۸/۸۷ و ۷/۹۶ درصد افزایش داشته است. این در حالی است که کاربری‌های اراضی بایر و پوشش گیاهی به‌ترتیب با ۲۱/۷۱ و ۱۵/۲۵ درصد کاهش همراه بوده است.

جدول ۳. تغییرات کاربری مرز و حریم باغ گیاه‌شناسی ملی در دورهٔ ۱۹۹۰ تا ۲۰۲۵ برحسب هکتار و درصد

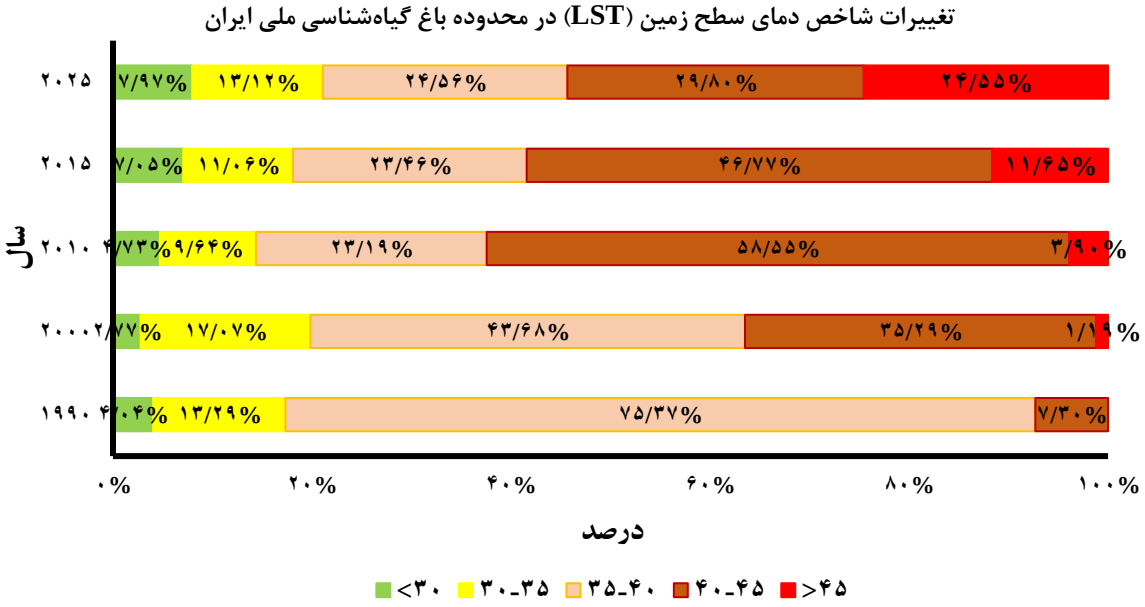
کاربری اراضی	۱۹۹۰		۲۰۲۵		۱۹۹۰ تا ۲۰۲۵	
	مساحت (هکتار)	مساحت(٪)	مساحت (هکتار)	مساحت(٪)	مساحت(٪)	مساحت (٪)
اراضی بایر	۲۱۹/۰۵	۳۷/۲۷	۹۲/۲۹	۱۵/۷۰	-۲۱/۵۸	
مناطق انسان‌ساخت	۱۳۰/۰۳	۲۲/۱۳	۲۹۹/۸۳	۵۰/۹۹	۲۸/۸۷	
جاده	۲۴/۳۲	۴/۱۴	۷۱/۱۶	۱۲/۱۰	۷/۹۶	
پوشش گیاهی	۲۱۴/۲۹	۳۶/۴۶	۱۲۴/۷۲	۲۱/۲۱	-۱۵/۲۵	
کل	۵۸۷/۶۹	۱۰۰	۵۸۸/۱۱	۱۰۰		



شکل ۳. نقشهٔ تغییرات کاربری اراضی مرز و حریم باغ گیاه‌شناسی ملی ۱۹۹۰ و ۲۰۲۵

تغییرات زمانی و مکانی دما در بازه ۳۵ ساله از ۱۹۹۰ تا ۲۰۲۵ در محدوده مورد مطالعه

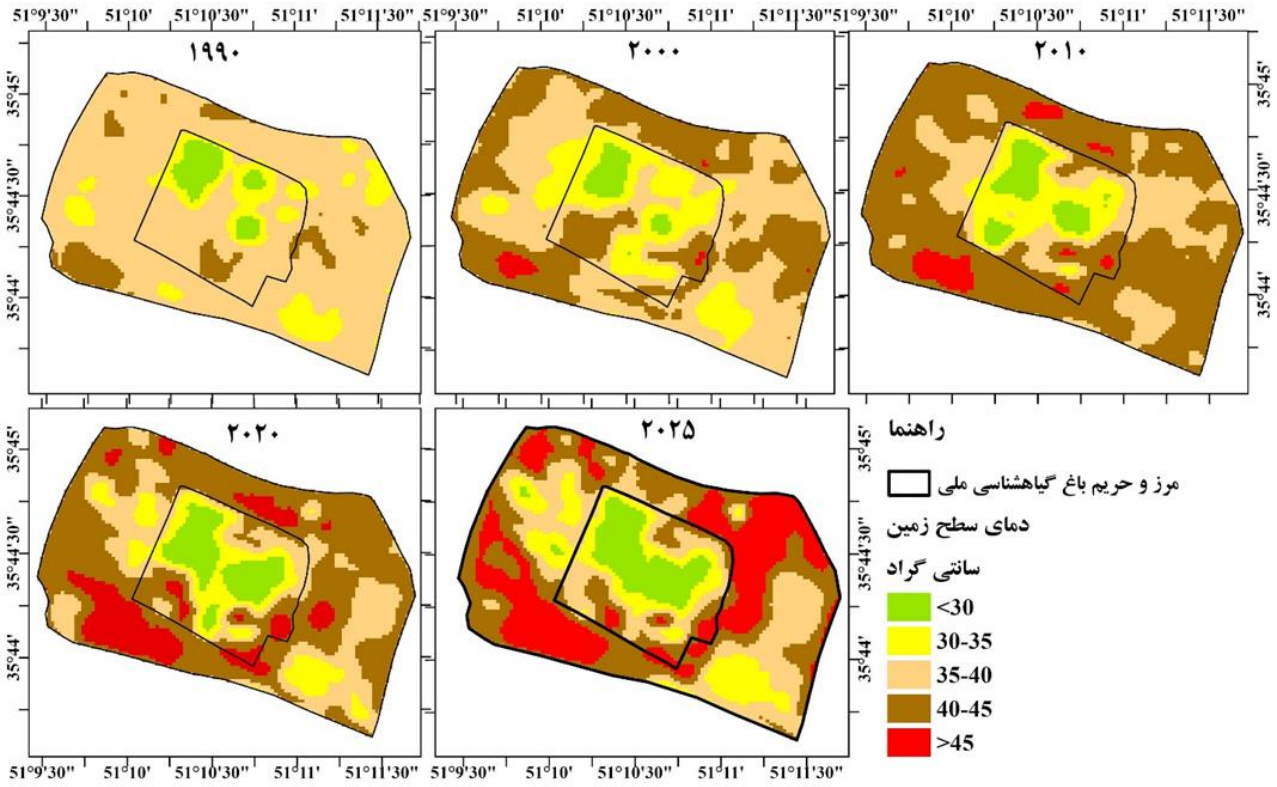
نتایج مربوط به تغییرات زمانی و مکانی دما برای بازه ۳۵ ساله از ۱۹۹۰ تا ۲۰۲۵ در محدوده و حریم باغ گیاه‌شناسی ملی ایران به ترتیب در شکل‌های ۴ و ۵ نشان داده شده است. نتایج بیانگر روند افزایشی دما در محدوده مورد بررسی بوده است به طوری که در سال ۱۹۹۰ دمای بیشتر از ۴۵ درجه سانتی‌گراد مشاهده نشده، اما در سال ۲۰۲۵، ۲۴/۵۵ درصد از طبقات دمایی را به خود اختصاص داده است. در همین راستا مقدار این طبقه دمایی، در سال‌های ۲۰۰۰، ۲۰۱۰، ۲۰۱۵ به ترتیب ۱/۱۹، ۳/۹ و ۱۱/۶۵ درصد بوده است. نکته درخور توجه، افزایش آستانه‌های دمایی در سال‌های مورد بررسی است، چنانچه هم‌زمان با طبقه دمایی فوقانی (۴۵ <) طبقه تحتانی نیز (۳۰ >) از ۴ درصد در سال ۱۹۹۰ به ۷/۹۷ درصد در سال ۲۰۲۵ رسیده است. در همین راستا مقدار این طبقه در ۲۰۰۰، ۲۰۱۰، ۲۰۱۵ به ترتیب ۲/۷۷، ۴/۳۷ و ۷/۰۵ درصد بوده است.



شکل ٤. تغییرات شاخص دمای سطح زمین (LST) در محدوده باغ گیاه‌شناسی ملی ایران در بازه زمانی ۱۹۹۰ تا ۲۰۲۵ (منبع یافته‌های تحقیق)

نتایج بیانگر این واقعیت است که افزایش دما تنها در کلاس فوقانی و تحتانی از روند افزایش مشخص برخوردار بوده و سایر طبقات دمایی روند مشخصی را دنبال نمی‌کنند. در این میان بیشترین درصد تغییرات مساحت را طبقه دمایی ۴۰–۳۵ درجه سانتی‌گراد به خود اختصاص داده است به‌طوری که مقدار آن از ۷۵/۳۷ درصد در سال ۱۹۹۰ به ۲۴/۵۶ درصد در سال ۲۰۲۵ رسیده است. کمترین تغییرات در طبقه دمایی ۳۵–۳۰ مشاهده می‌شود و این طبقه در سال ۲۰۱۰ کمترین مقدار خود یعنی ۹/۶۴ درصد و در سال ۲۰۰۰ بیشترین مقدار یعنی ۱۷/۰۷ درصد را نشان می‌دهد.

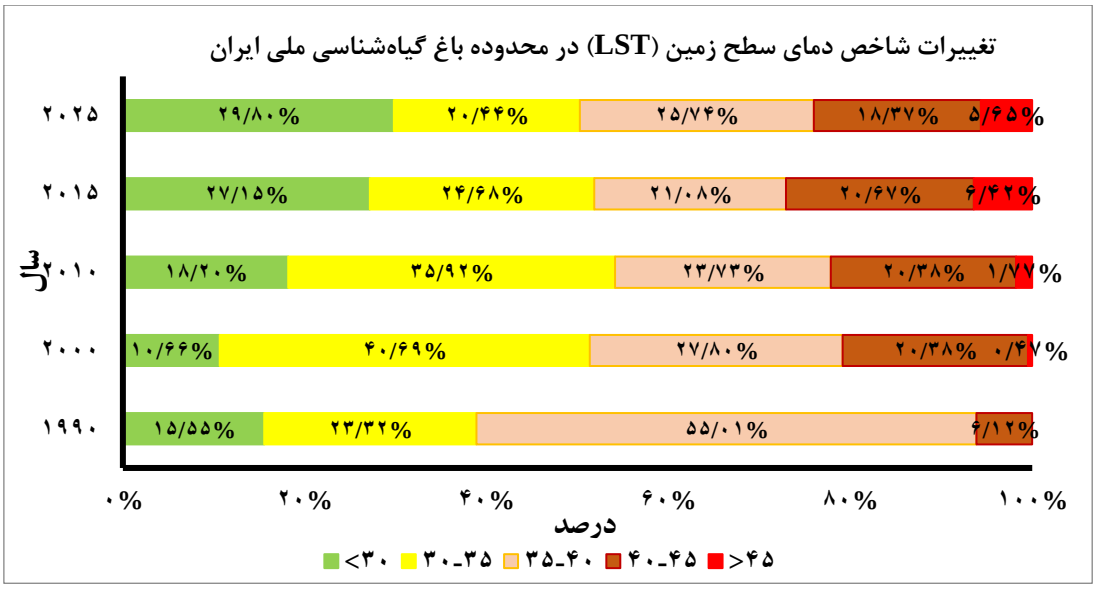
به طورکلی بر اساس نتایج به دست آمده، از سال ۲۰۰۰ به بعد بیشتر تغییرات بین دو کلاس فوقانی اتفاق افتاده است. در این بازه زمانی از کلاس ۴۰–۳۰ کاسته و بر کلاس ۴۵ < افزوده شده است. در همین راستا طبقه دمایی ۴۵–۴۰ در سال ۲۰۰۰ در بیشترین مقدار خود یعنی ۵۸/۵۵ درصد قرار داشته است. با ادامه روند مقدار این طبقه در سال ۲۰۲۵ به ۲۹/۸ درصد کاهش یافته و جای خود را به طبقه ۴۵< داده است. بر این اساس طبقه ۴۵< از ۳/۹ در سال ۲۰۱۰ به ۲۴/۵۵ درصد در سال ۲۰۲۵ افزایش یافته است.



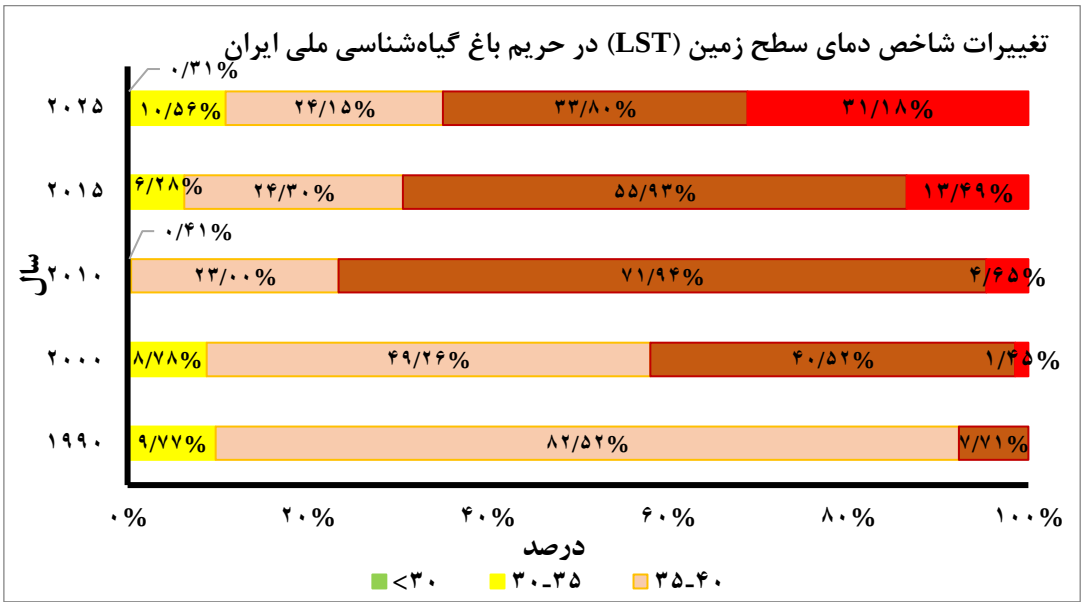
شکل ۵. تغییرات شاخص دمای سطح زمین (LST) در محدوده و حریم باغ گیاه‌شناسی ملی ایران در بازه زمانی ۱۹۹۰ تا ۲۰۲۵ (منبع یافته های تحقیق)

بررسی تغییرات شاخص دمای سطح زمین (LST) در محدوده و حریم باغ گیاه‌شناسی ملی ایران

بررسی روند تغییرات مکانی در محدوده و حریم باغ گیاه‌شناسی ملی ایران در شکل‌های ۶ و ۷ نشان داده شده است. نتایج گویای این واقعیت است که جزایر گرمایی، بیشتر در حریم باغ رخ داده است. بر همین مبنا، تصاویر مربوط به شاخص LST در سال ۲۰۲۵ به خوبی نشان می‌دهد که بیشترین سطح مربوط به طبقه ۴۵< در حریم باغ است. همچنین بیشترین سطح مربوط به طبقه ۳۰ > درجه سانتی‌گراد در محدوده باغ مشاهده می‌شود.



شکل ٦. تغییرات شاخص دمای سطح زمین (LST) در محدوده باغ گیاه‌شناسی ملی ایران
در بازه زمانی ۱۹۹۰ تا ۲۰۲۵ (منبع یافته های تحقیق)

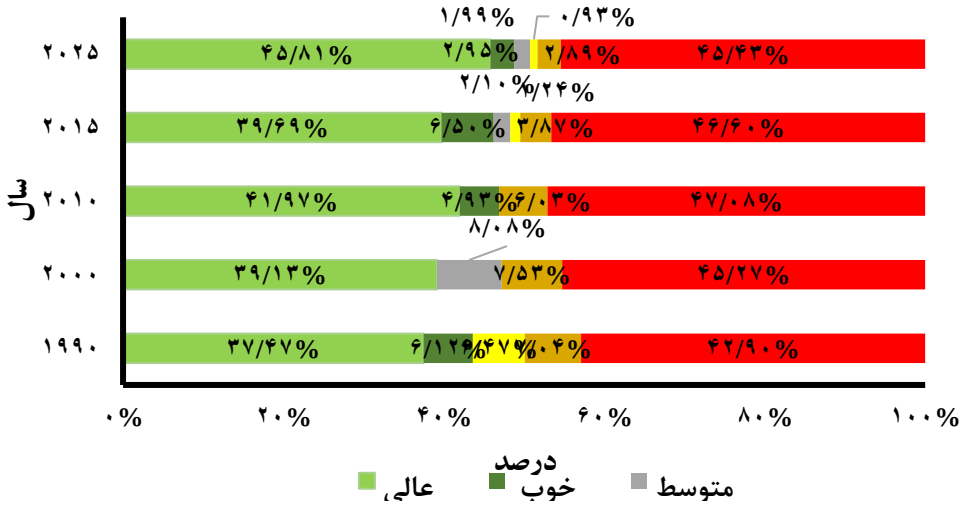


شکل ۷. تغییرات شاخص دمای سطح زمین (LST) در حریم باغ گیاه‌شناسی ملی ایران
در بازه زمانی ۱۹۹۰ تا ۲۰۲۵ (منبع یافته های تحقیق)

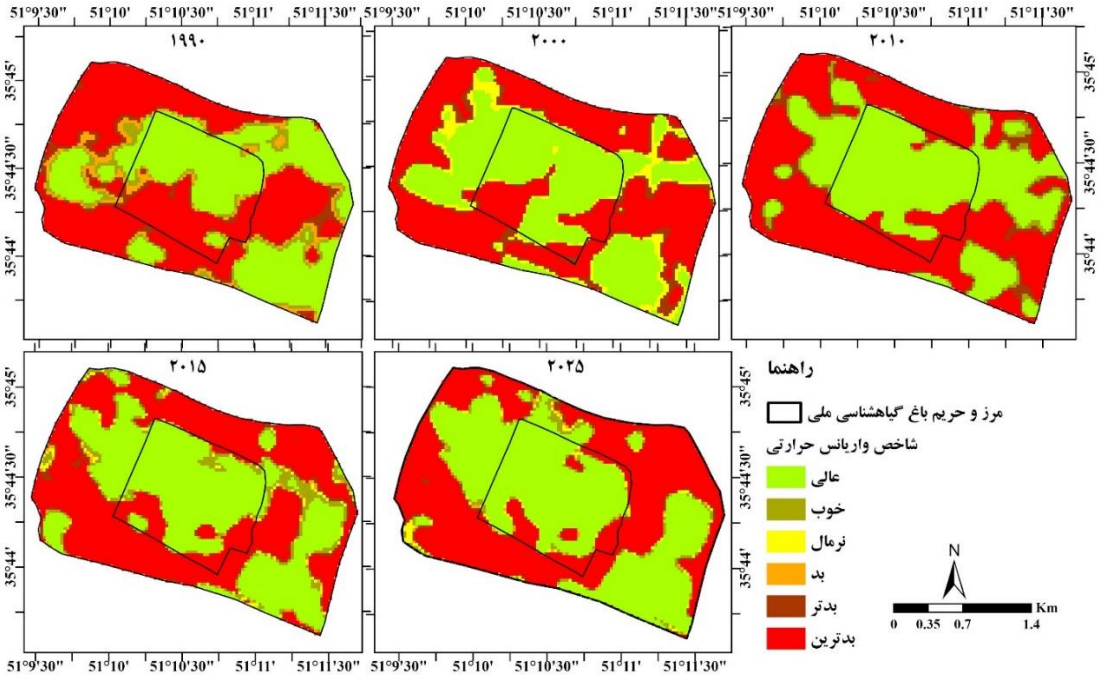
بررسی تغییرات شاخص واریانس حرارتی (UTFVI) در محدوده و حریم باغ گیاه‌شناسی ملی ایران

بررسی روند تغییرات مکانی و زمانی شاخص واریانس حرارتی (UTFVI) در محدوده و حریم باغ گیاه‌شناسی ملی ایران در شکل‌های ۸ و ۹ آورده شده است. این نتایج نشان داد که در بازه زمانی ۳۵ ساله، شاخص آسایش حرارتی عالی و متوسط روند افزایشی داشته که این شاخص‌ها به ترتیب در سال ۱۹۹۰ حدود ۳۷/۴۷ و صفر درصد بوده که در سال ۲۰۲۵ به حدود ۴۵/۸۱ و ۱/۹۹ درصد رسیده است این در حالی است که طبقه خوب این شاخص در سال ۱۹۹۰ حدود ۶/۱۲ درصد که در سال ۲۰۲۵ به حدود ۲/۹۵ درصد رسیده که نشان از کاهش این طبقه است. همچنین طبقه بدترین در این بازه زمانی افزایشی بوده از حدود ۴۲/۹۰ در سال ۱۹۹۰ به حدود ۴۵/۴۳ در سال

۲۰۲۵ رسیده است، از طرفی دیگر دو طبقه بد و بدتر کاهشی بوده که به ترتیب از حدود ۶/۴۷ و ۷/۰۴ درصد در سال ۱۹۹۰ به حدود ۰/۹۳ و ۲/۸۹ درصد در سال ۲۰۲۵ رسیده است. بررسی تغییرات مکانی شاخص آسایش حرارتی در محدوده باغ گیاه‌شناسی ملی نشان می‌دهد که طبقات متوسط، خوب و عالی بیشتر در محدوده داخل باغ بوده این در حالی است که طبقات بد، بدتر و بدترین بیشتر در محدوده اطراف باغ حاکم بوده‌اند. با گذر زمان و با گسترش فضای سبز باغ، شاخص‌های متوسط تا عالی در قسمت‌های مرکزی و شمالی باغ افزایش یافته این در حالی است که کلاس‌های بد، بدتر و بدترین در محدوده اطراف باغ به ویژه در قسمت جنوبی و شرقی و به صورت لکه‌ای در قسمت‌های شمالی باغ گسترش یافته‌اند.



شکل ۸. تغییرات شاخص واریانس حرارتی (UTFVI) در محدوده باغ گیاه‌شناسی ملی ایران در بازه زمانی ۱۹۹۰ تا ۲۰۲۵ (منبع یافته های تحقیق)



شکل ۹. تغییرات شاخص واریانس حرارتی (UTFVI) در محدوده باغ گیاه‌شناسی ملی ایران در بازه زمانی ۱۹۹۰ تا ۲۰۲۵ (منبع یافته های تحقیق)

بحث

باغ‌های گیاه‌شناسی در دنیا، به‌عنوان ذخیره‌گاه‌های خارج رویشگاهی، نقش مهمی برای حفاظت از گونه‌های گیاهی ایفا می‌کنند. مناطق حریم اطراف این باغ‌ها با هدف حفظ آنها در برابر آلودگی، ساخت‌وسازهای غیرمجاز، فعالیت‌های مخرب و تغییرات محیطزیستی ایجاد می‌شوند. تخریب این حریم و نادیده گرفتن اهمیت آن، خسارات جبران‌ناپذیری به زیستمندان و اندوخته‌های طبیعی ارزشمند باغ وارد خواهد ساخت. انتخاب محل شکل‌گیری باغ گیاه‌شناسی ملی ایران در سال ۱۳۴۷، خارج از حریم شهری تهران و در دل مراتع کوه‌پایه البرز به این دلیل بود که استقرار گیاهان حساس و نیمه‌حساس به ویژگی‌های اقلیمی تهران در باغ با کمک عناصر طبیعی محل، به‌دور از تنش‌های مختلف طبیعی و انسانی صورت گیرد. اما سیاست‌های توسعه شهری در دهه‌های گذشته و به ویژه گسترش انبوه‌سازی در منطقه ۲۲ (محل قرارگیری باغ) شرایط بسیار دشواری برای ادامه حیات موجودات مختلف باغ ایجاد کرده است. به علت اختلاف فاحش بین مقادیر ظرفیت زیستی و جای‌پای‌اکولوژیکی (قادری و همکاران، ۱۳۹۷)، وضعیت توسعه در منطقه ۲۲ تهران، ناپایدار است.

نتایج تحقیق حاضر مؤید این واقعیت است که توسعه شهری بی‌ضابطه و بدون توجه به آثار طبیعی و در نهایت نقض حریم باغ گیاه‌شناسی ملی ایران منجر به توسعه جزایر گرمایی در اطراف باغ شده است. بررسی روند ۳۵ ساله نشان داد تغییرات دمایی روندی افزایشی داشته و در سال ۲۰۲۵، ۲۴/۵۵ درصد از طبقه دمایی بیشتر از ۴۵ درجه سانتی‌گراد را به خود اختصاص داده است. در همین راستا مقدار این طبقه دمایی، در سال‌های ۱۹۹۰، ۲۰۰۰، ۲۰۱۰ و ۲۰۱۵ به ترتیب صفر، ۱/۱۹، ۳/۹ و ۱۱/۶۵ درصد بوده است. امروزه یکی از مسائل مهم در مناطق شهری، افزایش دمای هوا سطح زمین به‌دلیل دگرگونی‌های به‌وجود آمده در سطوح طبیعی است که در اثر آن پوشش گیاهی طبیعی حذف شده و با سطوح غیرقابل نفوذ، از جمله سنگ، آسفالت، سیمان و ... جایگزین شده است (Chenghao et al., 2017). روند افزایشی برای طبقه دمایی اشاره شده کاملا با دوره‌های ساخت‌وساز در اطراف باغ منطبق است. این طبقه دمایی که بیش از ۹۰ درصد آن در حریم باغ رخ داده است برای گیاهانی که از اقلیم‌های سردتر از تهران، به باغ گیاه‌شناسی آورده شده و مستقر شده‌اند بسیار مخرب خواهد بود.

از سوی دیگر نتایج پژوهش ما نشان داد که حفاظت و توسعه پوشش گیاهی در محدوده درونی باغ باعث شده است بیشترین سطح طبقه دمایی کمتر از ۳۰ درجه سانتی‌گراد در این محدوده ثبت شود. این مهم بر نقش پوشش گیاهی بر تعدیل دما در شهر تأکید می‌کند. براساس یافته‌های این تحقیق، افزایش سطح جزایر گرمایی در شمال‌شرق و جنوب‌غرب باغ به‌طور جدی رخ داده است. از بین رفتن یکپارچگی جنگل چیتگر و خشک شدن تعداد زیادی از پایه‌های آن و راه‌اندازی بزرگراه شهید همدانی را می‌توان از عوامل مهم برای شمال‌شرق باغ دانست. به طورکلی دو عامل مهم و مؤثر در ایجاد جزایر گرمایی توانایی سطح در بازتاب تابش خورشیدی و وسعت فضای سبز شهری هستند (Hou et al., 2025). توسعه شهری از طریق توسعه سطوح نفوذناپذیر با قابلیت بالای بازتابش خورشید و کاهش فضای سبز نقش مهمی در افزایش جزایر گرمایی دارند (Manna and Sarkar., 2025). در واقع اثر جزیره گرمایی شهری نمونه بارزی از چگونگی تأثیر تغییرات انسانی سطح زمین، بر آب‌وهوای محلی و منطقه‌ای است. در همین راستا مطالعات مختلف استفاده از مصالح سرد، بهینه‌سازی مصرف انرژی، ترویج گسترده زیرساخت‌های سفید مانند سقف‌ها و پیاده‌روهای سفید و زیرساخت‌های سبز (از جمله سقف‌های سبز، دیوارهای سبز، باغ‌ها/ جنگل‌های شهری، چمن‌ها و درختان سایه‌دار) را برای کاهش گرما پیشنهاد می‌کنند (Chen et al., 2025, Aslani., et al., 2025) افزایش پوشش گیاهی به دلیل اثر خنک‌کنندگی تبخیر و تعرق، یکی از کارآمدترین راه‌ها برای کاهش اثر جزیره گرمایی شهری محسوب می‌شود (Feng et al., 2024).

بررسی روند تغییرات مکانی و زمانی شاخص واریانس حرارتی (UTFVI) در محدوده و حریم باغ گیاه‌شناسی نیز مؤید آن است که در بازه زمانی ۳۵ ساله، شاخص آسایش حرارتیِ عالی و متوسط، روند افزایشی داشته که بیشترین سطح آن در محدوده باغ گیاه‌شناسی مشاهده می‌شود. همچنین طبقه بدترین در این بازه زمانی افزایشی بوده است که بیشترین سطح آن در حریم و خارج از محدوده باغ ثبت شده است. به طورکلی بررسی تغییرات مکانی شاخص آسایش حرارتی در محدود باغ گیاه‌شناسی ملی نشان می‌دهد که طبقات متوسط، خوب و عالی بیشتر در محدوده باغ بوده و طبقات بد، بدتر و بدترین بیشتر در حریم باغ حاکم بوده‌اند. از آنجا که گسترش فضای سبز باغ به‌طور عمده از سه دهه پیش بسیار جدی‌تر دنبال شده است، گسترش دمایی فوق به‌صورت زمانی، کاملا با توسعه قطعات و رویشگاه‌های

مختلف در باغ انطباق دارد و شاخص‌های متوسط تا عالی با گذشت زمان با گسترش سطح باغ افزایش یافته است. بنابراین تغییرات شاخص واریانس حرارتی منطقه نیز بر نقش و تأثیر فضای سبز بر تعدیل دما تأکید می‌کند. این در حالی است کلاس‌های بد، بدتر و بدترین در محدوده حریم باغ به ویژه در قسمت جنوبی و شرقی و به صورت لکه‌ای در قسمت‌های شمالی باغ گسترش یافته‌اند. با توجه به وضعیت تغییرات کاربری اطراف باغ می‌توان گفت بخش غربی باغ با توجه به توسعه نهادهای آموزشی-پژوهشی (با تراکم ساخت‌وساز کمتر و فضای سبز بیشتر) کمتر از بخش شرقی متاثر از جزایر حرارتی بوده است. از سوی دیگر تغییرات شاخص واریانس حرارتی (به خصوص در طبقه عالی) در بخش شرقی را نمی‌توان فارغ از تاثیر هم‌زمان باغ گیاه‌شناسی ملی ایران و پارک چیتگر دانست.

در این تحقیق به اثرات ساخت‌وسازهای فراوان و نیز فضای سبز بر طبقات دمایی مختلف اشاره و نشان داده شد که انبوه‌سازی‌های روی داده در منطقه قرارگیری باغ گیاه‌شناسی ملی ایران سبب افزایش طبقات دمایی مضر شده است. این چالش، برای آینده باغ گیاه‌شناسی ملی ایران به‌عنوان یک اثر ملی منحصر به‌فرد، تهدیدی جدی به حساب می‌آید و در صورت نقض حریم باغ از طریق ساخت‌وسازهای پیش‌بینی شده در جوار شمالی آن، می‌تواند شرایط استقرار گیاهان را در باغ بسیار بحرانی کند. طبق دستورالعمل اتحادیه جهانی حفاظت از طبیعت، باید فشار انسانی روی باغ‌های گیاه‌شناسی با داشتن حریم را کم کرده و با ممنوعیت ساخت‌وسازهای بزرگ، صنعتی، تجاری یا معدن‌کاوی، تمامی فعالیت‌ها در حریم آنها سازگار با طبیعت، آموزشی و پایدار باشند (Chen and Sun, 2018).

نتیجه‌گیری و پیشنهادها

به طورکلی بر اساس نتایج می‌توان بیان کرد که در بازه ۳۵ ساله، گسترش و یا کاهش فضای سبز در درون و خارج از محدوده باغ نیز سبب بهبود یا نزول طبقات دمایی مناسب برای باغ شده است. بنابراین جلوگیری از هرگونه اقدام در جهت ایجاد جزایر گرمایی، تهدیدی برای تاب‌آوری و پایداری گونه‌های گیاهی باغ ضروری خواهد بود و به موازات آن، باید برای حفظ پوشش گیاهی موجود و نیز گسترش فضای سبز در حریم و نیز منطقه پیرامونی (خارج از حریم) باغ گیاه‌شناسی ملی ایران، کوشش جدی و مستمر به عمل آید.

همان‌گونه که پیش از این اشاره شد، تا قبل از پیشامد تهدیدات ناشی از بلندمرتبه‌سازی‌ها در اطراف باغ، تمام استانداردهای لازم جهت تاسیس، حفظ و نگهداری باغ‌های گیاه‌شناسی مدنظر بوده و اجرا شده است از جمله می‌توان به شکل‌دهی وجود نوار جنگل‌کاری در سراسر مرز شمالی باغ به طول ۱/۲ کیلومتر (رویشگاه‌های ده هکتاری و جنگل شاکای) و به احداث رودخانه‌ها (به طول ۱/۳ کیلومتر) و ۶ دریاچه (به وسعت ۳۸ هزار مترمربع) اشاره کرد. که این عوامل نیز در صورت بهبود نیافتن شرایط منطقه به‌یقین تحت تأثیر قرار خواهند گرفت. لذا برای پایداری اکولوژیکی باغ گیاه‌شناسی ملی ایران، لازم است تعدیلی در رویکردهای توسعه شهری، سیاست‌های توزیع جمعیت و استفاده از منابع‌طبیعی منطقه ۲۲ صورت پذیرد. به‌نحوی‌که ضمن جلوگیری از توسعه ساخت‌وسازهای بیشتر، حفظ و تقویت تنوع و درصد پوشش گیاهی، هم در حریم باغ و هم در محدوده پارک جنگلی چیتگر با استفاده از درختان پهن‌برگ، به طور ویژه مدنظر مسئولان امر قرار گیرد. با توجه به این که در این تحقیق از تصاویر ماهواره لندست ۸-۹ و ۵ استفاده شده است، پیشنهاد می‌شود برای بررسی دقیق‌تر تغییرات پوشش گیاهی و دمای سطح از داده‌های ماهواره سنتینل استفاده و نتایج آن با نتایج این تحقیق مقایسه گردد.

ملاحظات اخلاقی

پیروی از اصول اخلاق پژوهش

نویسندگان اصول اخلاقی را در انجام و انتشار این پژوهش علمی رعایت نموده‌اند و این موضوع مورد تأیید همه آنهاست.

مشارکت نویسندگان

محمد متینی‌زاده: نظارت بر مراحل انجام پژوهش، بررسی و کنترل نتایج

یاسر قاسمی آریان: طراحی پژوهش، نظارت بر مراحل انجام پژوهش، بررسی و کنترل نتایج، اصلاح، بازبینی و نهایی‌سازی مقاله

هادی اسکندری دامنه: تهیه و آماده‌سازی داده‌ها ، مشارکت در طراحی پژوهش، نظارت بر پژوهش، مطالعه و بازبینی مقاله

علی علیزاده علی‌آبادی: نظارت بر مراحل انجام پژوهش، بررسی و کنترل نتایج

تعارض منافع

بنابر اظهار نویسندگان این مقاله تعارض منافع ندارد.

سپاسگزاری

این پژوهش در راستای ایفای مسئولیت اجتماعی نویسندگان و با هدف آگاهی‌رسانی درباره ضرورت حفاظت از باغ گیاه‌شناسی ملی ایران، به‌عنوان یکی از ارزشمندترین ذخیره‌گاه‌های گیاهی و میراث‌های علمی، آموزشی و فرهنگی کشور، تدوین شده است. بی‌تردید حفاظت از این سرمایه ملی و بین‌المللی، مستلزم توجه، همکاری و هم‌افزایی تمامی ذی‌نفعان، نهادهای مسئول و جامعه علمی کشور است. نویسندگان بر خود لازم می‌دانند از تمامی صاحب‌نظران، پژوهشگران و کارشناسانی که با ارائه دیدگاه‌ها، نقدها و پیشنهادهای ارزشمند خود در ارتقای کیفیت و غنای علمی این پژوهش نقش داشته‌اند، صمیمانه قدردانی نمایند.

منابع

احمدی، محمود؛ داداشی رودباری، عباسعلی و اسفندیاری، ندا (۱۳۹۸). پایش جزایر حرارتی شهری با رویکرد تکاملی فرکتال ویژه (FNEA) مطالعه موردی: کلان‌شهر تهران. *نشریه سنجش از دور و GIS ایران*، ۱۱(۱)، ۹۳-۱۱۲. https://doi.org/10.52547/gisj.11.1.93

اسکندری دامنه، هادی؛ غلامی، حمید؛ خسروی، حسن؛ مهدوی نجف‌آبادی، رسول؛ خورانی، اسدالله و لی، جیمی (۱۳۹۹). مدل‌سازی تغییرات مکانی و زمانی کاربری و پوشش اراضی حوضهٔ دریاچهٔ ارومیه با استفاده از ترکیب سلول خودکار و زنجیرهٔ مارکوف. *جغرافیا و پایداری محیط*، ۱۰(۲)، ۵۷-۷۲. https://doi.org/10.22126/ges.2020.5303.2238

اسکندری دامنه، هادی؛ اسکندری دامنه، حامد؛ چراغی، میثم؛ خسروی، حسن و عادلی ساردوئی، محسن (۱۴۰۰ الف). تأثیر تغییرات کاربری اراضی بر تشکیل جزایر گرمایی با استفاده از سنجش از دور (مطالعهٔ موردی: شهر کرمان). *نشریه محیط زیست طبیعی*، ۷۴(۳)، ۶۱۴-۶۲۸. https://doi.org/10.22059/jne.2022.327993.2258

اسکندری دامنه، هادی؛ غلامی، حمید؛ مهدوی، رسول؛ خورانی، اسداله و لی، جونران (۱۴۰۰ ب). پایش تخریب سرزمین و بیابان‌زایی منطقه‌های خشک و نیمه‌خشک با تأکید بر پاسخ تولید ناخالص اولیه به متغیرهای اقلیمی در بازه ۲۰۰۱-۲۰۱۷ در استان فارس. *پژوهش‌های آبخیزداری*، ۳۴(۱)، ۴۱-۵۸. https://doi.org/10.22092/wmej.2020.342030.1317

ترکمن، جواد؛ قدس‌خواه دریایی، مهرداد و صحرانورد، شهروز (۱۴۰۲). تأثیر عوامل اقلیمی و آلاینده‌های هوای شهر تهران بر رویش درختان کاج پارک جنگلی چیتگر در دوره زمانی ۱۳۵۳-۱۳۹۳. *سلامت و محیط زیست*، ۱۶(۲)، ۳۵۷-۳۶۶.

حمزه‌ای، بهنام؛ پناهی، پریسا؛ متینی‌زاده، محمد؛ درگاهیان، فاطمه؛ عباسی، حمیدرضا و علیزاده علی‌آبادی، علی (۱۴۰۱). مروری بر نقش حریم در حفظ و پایداری اکوسیستم‌های طبیعی (مطالعه موردی: باغ گیاه‌شناسی ملی ایران). *تحقیقات حمایت و حفاظت جنگل‌ها و مراتع ایران*، ۲۰(۲)، ۲۱۹-۲۳۴. https://doi.org/10.22092/ijfrpr.2022.360457.1558

قادری، فرهاد؛ اسدی، پریا؛ تمدنی، امین و عزیزی، مرتضی (۱۳۹۷). بررسی پایداری توسعه در منطقهٔ ۲۲ تهران با روش جاپای اکولوژیکی. *مجله جغرافیا و توسعه*، ۱۶(۵۰)، ۲۳۱-۲۴۵. https://doi.org/10.22111/gdij.2018.3575

کوشش وطن، محمدعلی و اصغری زمانی، اکبر (۱۴۰۰). مطالعه دمای سطح زمین شهر تبریز در رابطه با کاربری اراضی با استفاده از تصویر لندست ۸. *پژوهش‌های جغرافیای اقتصادی*، ۲(۳)، ۴۹-۵۸. https://doi.org/20.1001.1.27173747.1400.2.1.4.0

References

Ahmadaali, K., Eskandari Damaneh, H., Ababaei, B., & Eskandari Damaneh, H. (2021). Impacts of droughts on rainfall use efficiency in different climatic zones and land uses in Iran. *Arabian Journal of Geosciences*, *14*(2), 126.https://doi.org/10.1007/s12517-020-06389-1

Ahmadi, M., Dadashiroudbari, A. & Esfandiari, N. (2019). Monitoring the Urban heat islands with a Fractal Net Evolution (FNEA) Approach (Case Study: Tehran Metropolis). *Iranian Journal of Remote Sensing and GIS*, *11*(1), 93-112. https://doi: 10.52547/gisj.11.1.93 [in Persian]

Akbari, H., & Rose, L. S. (2008). Urban Surfaces and Heat Island Mitigation Potentials. *Journal of the Human-Environment System*, *11*(2), 85–101. https://doi.org/10.1618/JHES.11.85

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*, *125*, 106338. https://doi.org/10.1016/j.scs.2025.106338

Battista, G., & De Lieto Vollaro, R. (2017). Correlation between air pollution and weather data in urban areas: Assessment of the city of Rome (Italy) as spatially and temporally independent regarding pollutants. *Atmospheric Environment*, 165, 240–247. https://doi.org/10.1016/J.ATMOSENV.2017.06.050

Bian, J., Wang, Y., Li, A., Zhang, Z., Nan, X., Lei, G., ... & Naboureh, A. (2026). Generating high spatio-temporal fractional vegetation cover reference product for the Wanglang mountain area via space-air-ground integration approach. *Geo-spatial Information Science*, 1-20. https://doi.org/10.1080/10095020.2026.2633647

Bobes-Jesus, V., Pascual-Muñoz, P., Castro-Fresno, D., & Rodriguez-Hernandez, J. (2013). Asphalt solar collectors: A literature review. *Applied Energy*, 102, 962–970. https://doi.org/10.1016/J.APENERGY.2012.08.050

Chen, G., & Sun, W. (2018). The role of botanical gardens in scientific research, conservation, and citizen science. *Plant diversity*, *40*(4), 181-188. https://doi.org/10.1016/j.pld.2018.07.006

Chen, Y., Wang, Y., Zhou, D., & Luo, X. (2025). Regression-based predictive modeling of summer urban microclimate: Quantifying contributions from urban design and urban heat emissions. *Urban Climate*, *62*, 102550. https://doi.org/10.1016/j.uclim.2025.102550

Chenghao, W., Zhi -Hua W., & Jiachuan, Y. (2017). Cooling effect of urban trees on the built environment of contiguous United States. *Earth's Future*, *6* (8): 1066 -1081.

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. https://doi.org/10.1038/s41598-025-89167-x

Eskandari Damaneh, H., Gholami, H., Khosravi, H., Mahdavi Najafabadi, R., Khoorani, A., & Li, G. (2020). Modeling Spatial and Temporal Changes in Land-Uses and Land Cover of the Urmia Lake Basin Applying Cellular Automata and Markov Chain. *Geography and Environmental Sustainability*, *10*(2), 57-72. https://10.22126/ges.2020.5303.2238 [in Persian]

Eskandari Damaneh, H., Cheraghi, M., Khosravi, H., & Adeli Sardooei, M. (2021a). The effect of land use change on the formation of heat islands using remote sensing (Case study: Kerman). *Journal of Natural Environment*, *74*(3), 614–628. https://doi.org/10.22059/jne.2022.327993.2258 [in Persian]

Eskandari Damaneh, H., Gholami, H., Mahdavi, R., Khorani, A. & Li, J. (2021b). Monitoring Land Degradation and Desertification in the Arid and Semi-arid Regions with an Emphasis in Response to Gross Primary Production Relative to the Climatic Variables during the 2001-2017 in the Province of Fars. *Watershed Management Research*, *34*(1), 41-58. https://10.22092/wmej.2020.342030.1317 [in Persian]

Eskandari Damaneh, H., Khosravi, H., & Eskandari Damaneh, H. (2024). Investigating the land use changes effects on the surface temperature using Landsat satellite data: Melesse, A. M., Rahmati, O., & Khsoravi, K. (Eds.). Remote Sensing of Soil and Land Surface Processes: Monitoring, Mapping, and Modeling. Elsevier, 155–174. https://doi.org/10.1016/B978-0-443-15341-9.00007-1

Fattah, Md. A., & Morshed, S. R. (2022). Assessment of the responses of spatiotemporal vegetation changes to climatic variability in Bangladesh. *Theoretical and Applied Climatology, 148*(1), 285–301. https://doi.org/10.1007/s00704-022-03943-7

Feng, F., Yang, X., Jia, B., Li, X., Li, X., Xu, C., & Wang, K. (2024). Variability of urban fractional vegetation cover and its driving factors in 328 cities in China. *Science China Earth Sciences*, *67*(2), 466-482. https://doi.org/10.1007/s11430-022-1219-2

Hamzehee, B., Panahi, P., Matinizadeh, M., Dargahian, F., Abbasi, H. & Alizadeh Aliabadi, A. (2023). An overview of the role of buffer zones in the protection and sustainability of natural ecosystems (Case study: National Botanical Garden of Iran). *Iranian Journal of Forest and Range Protection Research*, *20*(2), 219-234. https://doi.org/10.22092/ijfrpr.2022.360457.1558 [in Persian]

Hasan, I., Goni, O., Katha, Z. T., Rabby, M. I., Hossain, S., Banik, A., Hasan, S., & Rahman, I. (2025). Prediction modeling of land surface temperature in relation to land cover dynamics and health risk perception analysis in barishal city of Bangladesh. *Scientific Reports*, *15*(1), 30730. https://doi.org/10.1038/s41598-025-14868-2

Hou, H., Zhou, W., Wang, J., Yu, M., Cao, J., Wang, Y., ... & Wang, Z. H. (2025). Urbanization-induced disparity of extreme heat distribution in metropolitan Beijing. Sustainable Cities and Society, 127, 106458. https://doi.org/10.1016/j.scs.2025.106458

Jamaludin, N. J., Abdullah, A. F., Muhadi, N. A., & Wayayok, A. (2025). Assessment and enhancement of Landsat 8 land surface temperature retrieval using mono window algorithm and machine learning approaches. *Journal of Atmospheric and Solar-Terrestrial Physics,* 276, 106618. https://doi.org/10.1016/J.JASTP.2025.106618

Koushesh Vatan, M A and Asghari Zamani, A. (2021). Study of land surface temperature concerning land-use in Tabriz city using the Landsat 8 data. *Economic Geography Research*, *2*(3), 49-58. https://doi.org/20.1001.1.27173747.1400.2.1.4.0 [in Persian]

Liu, X., Pei, F., Wen, Y., Li, X., Wang, S., Wu, C., Cai, Y., Wu, J., Chen, J., Feng, K., Liu, J., Hubacek, K., Davis, S. J., Yuan, W., Yu, L., & Liu, Z. (2019). Global urban expansion offsets climate-driven increases in terrestrial net primary productivity. *Nature Communications*, *10*(1), 5558. https://doi.org/10.1038/s41467-019-13462-1

Manna, S., & Sarkar, A. (2025). Quantifying urban Land Surface Temperature (LST) dynamics in an industrial and mining hub of Eastern India using remote sensing and geospatial analysis. *Theoretical and Applied Climatology*, *150*(1–2), 345–362. https://doi.org/10.1007/s00704-025-05386-2

Guerra, B. R., Abrantes, P. C. D. R. M., & Ranieri, V. E. L. (2026). Effective buffer zones to reduce the vulnerability of protected areas: case study of southeastern Brazil. *Journal for Nature Conservation*, 127278. https://doi.org/10.1016/j.jnc.2026.127278

Mohajerani, A., Bakaric, J., & Jeffrey-Bailey, T. (2017). The urban heat island effect, its causes, and mitigation, with reference to the thermal properties of asphalt concrete. *Journal of Environmental Management, 197*, 522–538. https://doi.org/10.1016/J.JENVMAN.2017.03.095

Naim, M. N. H., & Kafy, A. A. (2021). Assessment of urban thermal field variance index and defining the relationship between land cover and surface temperature in Chattogram city: A remote sensing and statistical approach. *Environmental Challenges*, *4*, 100107. https://doi.org/10.1016/j.envc.2021.100107

Owen, J. G. (1990). Patterns of mammalian species richness in relation to temperature, productivity, and variance in elevation. *Journal of mammalogy*, *71*(1), 1-13. https://doi.org/10.2307/1381311

Pal, S., & Ziaul, S. (2017). Detection of land use and land cover change and land surface temperature in English Bazar urban centre. *The Egyptian Journal of Remote Sensing and Space Sciences, 20*(1), 125–145. https://doi.org/10.1016/J.EJRS.2016.11.003

Patra, S., Gavsker, K. K., & Das, T. (2025). Assessing urban landscape dynamics and its relations to changing surface thermal character and prospects: a geospatial study of a tropical industrial city using machine learning algorithms. *Environmental Science and Pollution Research*, 1-35. https://doi.org/10.1007/s11356-025-36572-4

Qaderi, F., Asadi, P., Tamadoni, A. & Azizi, M. (2018). Evaluation of Sustainability of Development in Zone 22 of Tehran by Ecological Footprint Method. *Geography and Development*, *16*(50), 231-245. https://doi.org/10.22111/gdij.2018.3575 [in Persian]

Saini, J., Gupta, A. K., Dhupper, R., & Shrivastava, A. (2025). Spatio-temporal study of urban dynamics with implications on land surface temperature of Gurugram City, India. *Environmental Monitoring and Assessment*, *197*(8), 946. https://doi.org/10.1007/s10661-025-14392-w

Shahfahad, S., Talukdar, S., Naikoo, M. W., Rihan, M., Mohammad, P., & Rahman, A. (2024). Seasonal dynamics of land surface temperature and urban thermal comfort with land use land cover pattern in semi-arid Indian cities: Insights for sustainable urban management. *Urban Climate*, *57*, 102105. https://doi.org/10.1016/j.uclim.2024.102105

Suthar, G., Singh, S., Kaul, N., & Khandelwal, S. (2024). Prediction of land surface temperature using spectral indices, air pollutants, and urbanization parameters for Hyderabad city of India using six machine learning approaches. *Remote Sensing Applications: Society and Environment, 35*. https://doi.org/10.1016/j.rsase.2024.101265

Taiwo, B. E., Kafy, A. A., Samuel, A. A., Rahaman, Z. A., Ayowole, O. E., Shahrier, M., ... & Abosede, O. O. (2023). Monitoring and predicting the influences of land use/land cover change on cropland characteristics and drought severity using remote sensing techniques. *Environmental and Sustainability Indicators*, *18*, 100248. https://doi.org/10.1016/j.indic.2023.100248

Torkaman, J., Ghodskhah Daryaei, M., & Sahranavard, S. (2023). Effects of climatic parameters and air pollutants of Tehran city on the growth of Pinus eldarica in Chitgar forest park during time series (1975-2015). *Iranian Journal of Health and Environment*, *16*(2), 357-366. [in Persian]

Wang, L., & Yang, Z.-L. (2020). Changes in Land Use Influenced by Anthropogenic Activity. *Oxford University Press*. https://doi.org/10.1093/acrefore/9780199389414.013.37

Zhao, Q., Guo, Y., Ye, T., Gasparrini, A., Tong, S., Overcenco, A., Urban, A., Schneider, A., Entezari, A., Vicedo-Cabrera, A. M., Zanobetti, A., Analitis, A., Zeka, A., Tobias, A., Nunes, B., Alahmad, B., Armstrong, B., Forsberg, B., Pan, S.-C., … & Li, S. (2021). Global, regional, and national burden of mortality associated with non-optimal ambient temperatures from 2000 to 2019: a three-stage modelling study. *The Lancet Planetary Health*, *5*(7), e415–e425. https://doi.org/10.1016/S2542-5196(21)00081-4

Zhu, L., Guo, Z., Xing, H., & Sun, W. (2023). A coupled temporal–spectral–spatial multidimensional information change detection framework method: A case of the 1990–2020 Tianjin, China. *IEEE Journal of Selected Topics in Applied Earth Observations and Remote Sensing*, *16*, 5741-5758. https://doi.org/10.1109/JSTARS.2023.3288218