

The impact of vegetation on urban heat island reduction in the city of Karaj

Fatemeh Ghorbani - Department of Urbanism, Faculty of Art & Architecture, Bu-Ali Sina University, Hamedan, Iran.

Hassan Sajadzadeh¹ - Department of Urbanism, Faculty of Art & Architecture, Bu-Ali Sina University, Hamedan, Iran.

Received: 17 January 2024 Accepted: 20 June 2024

Highlights

- **Comprehensive Analysis:** This study investigates the Land Surface Temperature (LST) and Normalized Difference Vegetation Index (NDVI) over two decades (2000-2021) in Karaj, highlighting key trends.
- **Correlation Between Vegetation and Temperature:** NDVI shows a strong negative correlation with LST, indicating vegetation's cooling impact.
- **Built-Up Areas vs. Green Spaces:** High-density urban areas exhibit elevated temperatures, while regions with dense vegetation are noticeably cooler.
- **Key Findings:** The primary drivers behind Karaj's Urban Heat Island (UHI) effect are the reduction of green spaces and the rise in urban land use.

Extended abstract

Introduction:

In today's world, metropolises face numerous environmental, social, and aesthetic challenges that directly affect the With rapid population growth, urbanization is transforming landscapes, often at the expense of natural green areas. Cities are expanding at unprecedented rates, bringing changes in land use, infrastructure, and building density. Natural permeable surfaces, such as vegetation and open spaces, are replaced by impermeable concrete structures that absorb and retain heat, leading to urban microclimate shifts.

This transformation has profound environmental impacts. One of the most concerning consequences is the **Urban Heat Island (UHI) effect**, where urban areas exhibit higher temperatures compared to their rural counterparts. The UHI effect intensifies as cities grow, impacting energy consumption, air quality, and public health. In this context, reducing UHI has become a priority for sustainable urban planning. Cooling strategies—especially the integration of vegetation—are essential to enhance urban resilience, adapt to climate change, and improve quality of life for city dwellers.

Materials and Methods

Remote sensing technology was used in this study as a powerful tool for analyzing urban temperature dynamics and land-use changes. Using Landsat satellite images from 2001 to 2021, we examined LST and NDVI for Karaj. Landsat imagery, with a resolution of 30 meters, was sourced from the USGS database. To ensure consistency, cloud-free images were selected from warm-season months for each year.

Data processing involved the extraction of LST and NDVI values for Karaj's administrative boundaries. The satellite images were preprocessed, and land-use classification was carried out using the maximum likelihood approach, categorizing land into three classes: built-up areas, vegetation, and barren land. This classification provided a foundation for assessing the relationship between LST and vegetation cover.

Through correlation and regression tree models, we analyzed the interplay between LST and NDVI. By examining

¹ Corresponding author: sajadzadeh@basu.ac.ir

changes in both indices, we aimed to understand vegetation's role in moderating urban heat in Karaj. Our two main objectives were to (1) assess LST and NDVI variations over time, and (2) explore their interdependencies to determine vegetation's influence on UHI.

Discussion of Results

The analysis reveals a clear trend of rising temperatures across Karaj over the study period. This temperature increase is strongly associated with urban expansion and the decline of natural vegetation. Our findings highlight that land-use type significantly influences LST, with barren and built-up areas having markedly higher temperatures.

Central Karaj, a dense urban area with heavy infrastructure and traffic, recorded the highest surface temperatures. These "hot spots" are concentrated around industrial areas, transportation hubs (airports, metro stations, highways), and zones with minimal vegetation. In contrast, areas with vegetation, such as parks and green belts, exhibited substantially cooler surface temperatures. This difference underscores vegetation's role in absorbing less heat and promoting natural cooling. The spatial distribution of LST shows the hottest zones in arid lands surrounding the city and densely built-up urban areas. The NDVI data further supports this observation; as NDVI values increase, LST values decline, illustrating a negative correlation between vegetation density and surface temperature. The correlation analysis reveals that regions with higher NDVI values, particularly in the eastern and northeastern parts of Karaj, experienced significantly lower temperatures.

The land-use maps demonstrate a significant reduction in barren and vegetated areas, accompanied by an increase in urbanized land. These patterns point to a direct relationship between declining vegetation and rising temperatures, reinforcing the critical need for green spaces in Karaj to mitigate UHI effects. Vegetation, as indicated by NDVI, plays a significant role in temperature regulation, with green areas acting as cooling zones in an increasingly built-up landscape.

Conclusions

This study underscores the pivotal role of vegetation in controlling urban temperatures in Karaj. Through detailed LST and NDVI analyses, the results confirm that vegetation coverage is inversely related to LST, with green spaces helping to mitigate the UHI effect. In contrast, barren lands and dense built-up areas contribute significantly to higher temperatures, highlighting the thermal impact of urban development without adequate vegetation.

To address the UHI issue, urban planners and policymakers should prioritize sustainable solutions such as increasing green spaces, incorporating green roofs, and developing urban vegetation initiatives tailored to Karaj's climate. These approaches not only lower urban temperatures but also enhance the city's environmental resilience, support biodiversity, and improve the overall quality of urban life.

Based on the findings, Karaj's urban planning efforts should focus on preserving existing vegetation and expanding green infrastructure. Effective land-use policies that integrate vegetation can help counteract the adverse effects of rising temperatures, contributing to a more sustainable and livable urban environment.

Keywords:

Urban Heat Island, vegetation, satellite imagery, Karaj, land surface temperature

Citation: Ghorbani, F., Sajadzadeh, H. (2024). The impact of vegetation on urban heat island reduction in the city of Karaj, *Motaleate Shahri*, 13(52), 3–16. <https://doi.org/10.22034/urbs.2024.140477.5005>.

Copyrights:

Copyright for this article is retained by the author(s), with publication rights granted to Motaleate Shahri. This is an open-access article distributed under the terms of the Creative Commons Attribution License (<http://creativecommons.org/licenses/by/4.0>), which permits unrestricted use, distribution, and reproduction in any medium, provided the original work is properly cited.



تأثیر تغییرات پوشش گیاهی بر شدت جزیره گرمایی در شهر نمونه مورد مطالعه: کلانشهر کرج

فاطمه قربانی - دانش‌آموخته کارشناسی ارشد، گروه شهرسازی، دانشکده هنر و معماری، دانشگاه بوعلی سینا، همدان، ایران.
حسن سجادزاده - استاد گروه شهرسازی، دانشکده هنر و معماری، دانشگاه بوعلی سینا، همدان، ایران.

تاریخ دریافت: ۲۷ دی ۱۴۰۲ تاریخ پذیرش: ۳۱ خرداد ۱۴۰۳

چکیده

با توجه به تغییرات اقلیمی و همچنین توسعه های شهری بدون توجه به کیفیت زیست محیطی، شکل‌گیری جزیره گرمایی شهری به یکی از چالش‌های جدی عصر حاضر تبدیل شده است. هدف عمده این پژوهش، تحلیل وضعیت پوشش گیاهی و دمای سطح زمین برای بررسی شکل‌گیری جزایر حرارتی شهری در شهر کرج است. به این منظور و در راستای آشکارسازی تأثیر فضاهای سبز در محیط‌های حرارتی شهر کرج، از داده‌های سنجش از دور برای استخراج فضاهای سبز، دمای سطح زمین و پوشش زمین استفاده شده است. دمای سطح زمین با استفاده از تصاویر مودیس^۲ محاسبه شد. تغییرات پوشش گیاهی با استفاده از اطلاعات برداشت شده توسط سنجنده‌های مربوطه ماهواره لندست^۳ ۷ و ۸ مربوط به سال‌های ۲۰۰۱ و ۲۰۲۱ استخراج شده و بعد از اعمال تصحیحات لازم و بررسی تصاویر، اقدام به شناسایی تغییرات کاربری اراضی و نوع تغییرات آن گردید. نتایج بررسی‌ها نشان داد که اراضی بایر پیرامون شهر به صورت پیوسته دارای بالاترین دما و لکه‌های گرم هستند و محدوده‌های دمایی بسیار گرم را تشکیل می‌دهند. در محدوده مسکونی شهر نیز جزایر حرارتی برپافت فرسوده و محدوده‌های متراکم منطبق است. همچنین تحلیل و بررسی نقشه‌های دمای سطح زمین نشان دهنده افزایش دمای سطح در شهر کرج است. در عین حال، واکاوی نقشه‌ها حکایت از رابطه قوی بین پوشش گیاهی و دمای سطح زمین در کلانشهر کرج دارد. نقشه‌های کاربری اراضی نیز نشان از کاهش مساحت پوشش گیاهی و افزایش کاربری انسان ساخت دارد. این موضوع به طور واضح نشان دهنده این است که مهم‌ترین عامل در گسترش جزایر گرمایی و افزایش دما در بازه زمانی مورد بررسی، کمبود پوشش گیاهی بوده است. در نتیجه فضاهای سبز و پوشش گیاهی در شهرها به طور چشمگیری سبب تعدیل جزایر حرارتی شهری هستند. به این صورت که نواحی همچون اراضی بایر و نواحی دارای پوشش گیاهی کمتر، دارای دمایی بیشتری نیز هستند. بنابراین گسترش بام سبز و استفاده از پوشش گیاهی سازگار با اقلیم هر منطقه به عنوان راه حلی برای کاهش جزیره گرمایی پیشنهاد می‌شود.

واژگان کلیدی: جزایر حرارتی شهری، پوشش گیاهی، تصاویر ماهواره‌ای، کرج.

نکات برجسته

- تجزیه و تحلیل TSL و NDVI برای سال‌های ۲۰۰۰-۲۰۲۰ برای شهر کرج انجام شد.
- شاخص NDVI به شدت با تغییرات دمای سطح زمین همبستگی دارد.
- مناطقی که متراکم ساخته شده بودند، دمای بالاتری نسبت به مناطق پوشیده از پوشش گیاهی را نشان دادند.
- این نشان می‌دهد که کاهش پوشش گیاهی و افزایش کاربری اراضی شهری از مهمترین عوامل توسعه جزایر گرمایی کرج بوده است.

شهرنشینی، فرآیند تبدیل جامعه روستایی مبتنی بر کشاورزی به جامعه شهری مبتنی بر صنعت، در حال تبدیل شدن به یک مشکل جدی است (Yao et al, 2017: 1). بیش از نیمی از جمعیت جهان در محیط‌های شهری زندگی می‌کنند و پیش بینی می‌شود که تا سال ۲۰۵۰ جمعیت شهرهای جهان به حدود ۷۵ درصد برسد (Karimi et al, 2021: 1). درک فرایند رشد شهری در برنامه ریزی و مدیریت شهری به منظور رسیدن به شکل شهری پایدار بسیار مهم است (al, akbari et al, 2020: 158). بر اساس گزارش جمعیت سازمان ملل متحد (۲۰۱۴)، ۵۴ درصد جمعیت انسان در مناطق شهری زندگی می‌کنند. تا سال ۲۰۵۰ جمعیت روستایی به یک سوم وسعت کنونی خود کاهش خواهد یافت (Colunga et al, 2015: 206). تغییرات کاربری زمین در اثر شهرنشینی می‌تواند تعادل انرژی در شهرها را تغییر دهد و به نوبه خود بر حرارت شهر تأثیر بگذارد (Yoo, 2018: 1). تغییرات ناشی از شهرنشینی به طور معمول شامل جایگزینی خاک و پوشش گیاهی با سطوح غیر قابل نفوذ است و سازه‌های شهری به عنوان یکی از آنها شناخته می‌شوند (Zhou et al, 2014: 2). مطالعات زیادی نشان داده‌اند که گسترش شهرها منجر به کاهش پوشش گیاهی می‌شود که در نتیجه به اثر جزایر گرمایی کمک می‌کند (Deilami et al, 2016: 1). افزایش فضاها سبز شهری منجر به اثر خنک‌کنندگی می‌شوند، در حالی که پوشش‌های غیر قابل نفوذ زمین که بخش بزرگی از مناطق «ساخته شده» را تشکیل می‌دهند، منجر به گرم شدن هوا می‌شوند (Duncan et al, 2019: 119). هندسه شهری با ایجاد ساختار سه بعدی خاص به وسیله ساختمان‌های مرتفع سبب سکون هوا و کاهش سرعت باد در محدوده شهری می‌شوند (Shamsipour et al, 2013: 45). دمای سطح زمین نیز یکی از مهم‌ترین پارامترهای مؤثر در مطالعات جهانی به حساب می‌آید که فاکتوری مهم در کنترل فرآیندهای بیولوژیکی، شیمی و فیزیکی زمین است (Asghari & Emami, 2019: 196). جزیره گرمایی شهری (UHI) یک پدیده رایج در سراسر جهان است که دمای بالای مناطق شهری را در مقایسه با محیط اطرافشان توصیف می‌کند (Zhou, et al, 2017: 1). جزایر حرارتی همچنین می‌توانند به طور جدی بر سلامت انسان و کیفیت هوا تأثیر بگذارند که منجر به افزایش عوارض و مرگ و میر می‌شود (Zhou et al, 2016: 2). جزایر گرمایی بر گرم‌زدگی، آفتاب سوختگی، کم آبی بدن و مشکلات تنفسی مؤثرند (Deilami et al, 2016: 2). در ایران نیز به دنبال جریان گرم شدن جهانی، تغییر اقلیم در حال رخداد بوده و در مناطق مختلف به اشکال گوناگون در حال ظهور است. به طور کلی تغییرات اقلیمی در ایران، شامل افزایش مدت زمان تابش، افزایش دما و طوفان است (Asadi & Sharghi, 2018: 1). جزیره گرمایی شهری نیز به دلیل کیفیت پایین هوای تولید شده توسط عوامل خنک کننده مختلف می‌تواند سلامت انسان را تشدید کرده و باعث بیماری‌های تنفسی مختلف شود (Zhou et al, 2017: 4). برخی از اقدامات انجام شده توسط معماران و برنامه ریزان شهری برای تنظیم حرارتی بهتر اقلیمی، استفاده از متریال و مواد به رنگ روشن به علت خواص بازتابی و یا اجرای پوشش گیاهی روی زمین یا روی ساختمان هاست (Lemonsu et al, 587).

۲. مبانی نظری

جزیره گرمایی شهری برای نخستین بار در سال ۱۸۱۹ م. به وسیله لاک هاوراد در مورد شهر لندن مطرح شد. از آن پس مطالعات بسیاری در این مورد انجام گرفت که از آن میان می‌توان به تحقیقات بورنستین در نیویورک، اوک در مونترال، تومیا در توکیو، کلارک در سینسیناتی، دمتریو در مسکو و هام در اشتوتگارت اشاره کرد (Dehgha, 2003: 28). گروور و سینگ با استفاده از تصاویر ماهواره‌ای لندست، یک مطالعه مقایسه‌ای در ارزیابی جزیره گرمایی شهری برای دو کلانشهر دهلی و بمبئی هند برای ارزیابی روند افزایشی گرمای شهری و همبستگی آن با NDVI انجام دادند و به این نتیجه رسیدند که شهرنشینی و روند کاهش پوشش گیاهی، عامل اصلی افزایش دما در مناطق شهری است (Grover & Singh, 2015). جامعی و همکاران نیز به بررسی جزایر حرارتی و ارتباط آن با پوشش گیاهی در ملبورن استرالیا پرداختند. این مطالعه بر سه هدف متمرکز بود: مرحله نخست، تجزیه و تحلیل دمای سطح زمین^۱ و تفاوت نرمال سازی شده (NDBI) و پوشش گیاهی (NDVI)، دوم، بررسی روابط متقابل بین LST، NDVI و NDBI و سوم، شناسایی الگوهای LST در منطقه شهری ملبورن. نتایج نشان داد که الگوی LST در طول دوره مطالعه به سمت شمال غرب و جنوب شرق گسترش یافته است (Jamei et al, 2019). گوها و همکاران به بررسی رابطه LST با NDVI و NDBI برای فلورانس و ناپل در ایتالیا پرداخته‌اند. نتایج حاکی از همبستگی منفی LST با NDVI و همبستگی مثبت با NDBI برای هر دو شهر بود (Guha et al, 2018). پرومدریک و همکاران با هدف تحلیل رابطه شاخص نرمال شده تفاوت گیاهی (NDVI) و دمای سطح زمین (LST) در موانگ ماها ساراخام در تایلند به ارزیابی NDVI با داده‌های ماهواره لندست ۸ و دستیابی به دما با دماسنج‌های دیجیتال و در نهایت رابطه بین این دو شاخص پرداخته‌اند (Prohmdirek et al, 2020). در عراق نیز الساعدی و همکاران بر اساس تصاویر ماهواره ای لندست، شاخص نرمال شده تفاوت گیاهی (NDVI) برای کل پوشش گیاهی را در بغداد در هر سال محاسبه کرده‌اند. نتایج نشان داد که رابطه خطی بین میانگین NDVI و حداقل و حداکثر UHI^۲ ضعیف است که نشان می‌دهد پوشش گیاهی با حداقل UHI همبستگی مثبت و با حداکثر UHI همبستگی منفی دارند (Al-Saadi et al, 2020). اودوم و نسه تغییرات پوشش زمین در اویو در نیجریه و رابطه با LST و NDVI را بررسی کردند که در نهایت تصاویر چندطیفی لندست که منطقه مورد مطالعه را پوشش می‌دهند برای سه دوره ۱۹۸۶، ۲۰۰۰ و ۲۰۱۸ به دست آمد و نتایج نشان داد که همبستگی منفی بالایی بین LST و NDVI در سه دوره وجود داشت (Nse & Udom, 2020).

شاهفهد مطالعه ای برای مدل سازی الگوی مکانی-زمانی UHI و روابط آن با شاخص‌های کاربری زمین شهرهای دهلی و بمبئی از سال ۱۹۹۱ تا ۲۰۱۸ انجام داده است. در این تحقیق که برای ارزیابی دمای سطح از تصاویر لندست با استفاده از الگوریتم تک پنجره‌ای استفاده شده، شاخص‌های مورد نظر و نقاط داغ شناسایی شدند که نتایج آن در

1 Normalized Difference Vegetation Index (NDVI)

2 Land Surface Temperature (LST)

3 Urban Heat Islands (UHI)

در تحقیقاتی که در ایران نیز انجام شده، مجنونی و رمضانی برای بررسی وضعیت جزیره حرارتی از طبقات تک باند برای بررسی توزیع دمای سطح زمین در محدوده تهران و تعیین اثرات محلی جزیره حرارتی در سطح این شهر استفاده کرده‌اند. نتایج نشان داد که اثر جزیره حرارت شهری بیشتر در مناطق شمالی این شهر قرار داشته که ناشی از وجود شهرک صنعتی و توپوگرافی کوهستانی است. همچنین نتایج نشان داد که بین دمای سطح زمین و شاخص پوشش گیاهی تهران ارتباط منفی وجود دارد (Majnouni & Ramazani, 2019). در پژوهشی دیگر، حجازی و آبادی به اثبات تأثیر تعدیل‌کنندگی فضای سبز در پارک طالقانی تهران پرداختند. اندازه‌گیری‌های زمینی و تصاویر ماهواره‌ای نشان داد که مراکز شهرهای بزرگ مانند تهران نسبت به نقاط حاشیه‌ای خود دمای بالاتری دارند (Hejazi & Abadi, 2002). رمضانی و نقیبی نیز در پژوهش خود به تحلیل وضعیت پوشش گیاهی و دمای سطح زمین در شهر ارومیه برای بررسی شکل‌گیری جزایر حرارتی شهری و تحلیل آنها پرداخته‌اند. در نتایج مشخص گردید که افزایش دمای نواحی داخل شهر ارومیه، عمدتاً به دلیل از بین رفتن پوشش گیاهی و زیرساخت و ساز رفتن اراضی سبز و همچنین فضاهای داخل محدوده شهری است که پوشش تنک آنها از بین رفته است (Ramezani & Naghibi, 2020). بروجرودی و احمدی ندوشن نیز به بررسی رابطه پوشش گیاهی شهری و درجه حرارت سطح زمین با استفاده از تصاویر ماهواره ای لندست TM و OLI و شاخص LST در شهر اصفهان پرداخته‌اند. در نهایت برای ارزیابی دمای سطح زمین (LST) و رابطه آن با نقشه پوشش گیاهی از الگوریتم استخراج دمای سطح زمین (LST) استفاده گردید. تحلیل تغییرات زمانی جزایر حرارتی شهر اصفهان گویای افزایش جزایر گرمایی و کاهش فضایی منطقه‌های خنک شهری بود (Boroujeni & Ahmadi, 2020). عبدی و همکاران نیز الگوی پراکنش دمای سطحی زمین و رابطه آن با ویژگی‌های خرده اقلیم فضای سبز شهری و پوشش گیاهی در محدوده چهارگانه (مناطق ۱، ۲، ۳ و منطقه مرکزی) شهرک ساری را بررسی و به مقایسه تغییرات حرارتی پرداخته‌اند. دمای سطح زمین در طول دوره آماری در وضعیت کمینه و بیشینه طی سال‌های ۲۰۰۹ تا ۲۰۱۷ روند صعودی داشته که این افزایش دمای در مناطقی از شهر که از فضای سبز بیشتری برخوردار بوده کمتر دیده شده است (Abdi et al, 2021). زرگری و همکاران به مقایسه شرایط اقلیمی جزیره حرارتی شهری سطحی (SUHI) در تهران و حومه با استفاده از داده‌های شبانه‌روزی سه ماهواره پرداخته‌اند. بیشترین مقادیر LST در مرکز شهر تهران و مناطق حومه شهر در شب مشاهده می‌شود. همچنین اختلاف دما در شب در تهران و حومه غربی افزایش و در روز کاهش می‌یابد (Zargari et al, 2024).

شهرنشینی تغییرات عمده ای در الگوی کاربری پوشش زمین، تعادل گرمای شهری و وضعیت محیطی شهرهای سراسر جهان به همراه داشته است (Singh & Grover, 2014: 88). پیامدهای گسترش جمعیت و شهرنشینی طیف وسیعی از مسائل را بر محیط شهری، اقلیم و تأمین آب ایجاد کرده است (Yadav et al, 2023: 1142). یکی از تأثیرات کلیدی رشد سریع شهرنشینی بر محیط زیست، تأثیر جزیره گرمایی شهری (UHI) است (Li et al, 2011: 3249). نتیجه آن، جایگزین شدن پوشش‌های گیاهی به سطوح بتنی غیرقابل نفوذ و خشک هست که منجر به افزایش

طراحی فضای سبز شهری برای کاهش اثرات UHI و آسایش حرارتی در شهرهای کشورهای در حال توسعه می‌تواند مفید باشد (Shahfahad, 2019). استاشیا، به بررسی و تحلیل مقایسه‌ای در رفتار حرارتی مصالح ساختمانی رایج شهری و پوشش گیاهی و پیامدهای اثر جزیره گرمایی شهری پرداختند. نتایج بررسی نشان می‌دهد که استفاده راهبردی از انواع خاصی از سطوح پوشش گیاهی شهری به جای مصالح ساختمانی معمولی می‌تواند یک اقدام مؤثر برای کاهش UHI باشد که منجر به بهبود کیفیت زندگی در شهرهای مقاوم به آب و هوا می‌شود (Stachea et al, 2021). جبار و یوسف به ارزیابی تغییرات پوشش سبز شهری در لاهور پاکستان و تأثیر آن بر اثرات LST و UHI پرداخته‌اند. یافته‌ها در برگزیده همبستگی منفی بین LST و NDVI و همبستگی مثبت بین LST و NDBI شد و نتیجه‌گیری نشان داد که ادامه کاهش پوشش سبز بسیار آسیب‌زاست زیرا ممکن است شهر را از نظر اکولوژیکی شکننده‌تر کند (Jabbar & Yusuf, 2021). نجوک و تنبوم میزان ارتباط بین LULC، LST و elevation و محرک‌های تغییرات مکانی و زمانی را بررسی کرده‌اند. LST و NDVI به دست آمده از تصاویر ماهواره‌ای نشان داد که پوشش گیاهی کاهش یافته و مقادیر LST دارای خوشه‌های دمایی بالایی در مناطق ساخته شده و دربرگیرنده مقادیر کاهش در نواحی حاشیه بوده است (Njoku & Tenenbaum, 2022).

الله و همکاران در پژوهشی رابطه بین LST، NDVI و LULC را با عناصر توپوگرافی در پاکستان بررسی کردند. نتیجه این شد که همبستگی بین NDVI و LST برای همه انواع LULC به جز بدنه آبی منفی بود (Ullah et al, 2023). در پژوهشی دیگر، نایدو و همکاران رابطه بین تغییرات LULC در بنگالور هند و تأثیر متناظر بر LST را بررسی کردند. نتایج حاصل از این مطالعه نیاز به رشد برنامه ریزی شده و پایدار مناطق شهری با پوشش گیاهی را از طریق برنامه ریزی شهری و راهبردهای طراحی نشان می‌دهد که خود می‌تواند به مهار بیشتر LST در آینده کمک کند (Keerthi Naidu et al, 2023). در پژوهشی دیگر که به وسیله پوهان و سولستیانو با استفاده از تصاویر ماهواره ای لندست در شهر میدان اندونزی در خصوص بررسی تغییرات LST و تغییرات پوشش زمین انجام گرفت، نتایج تحقیق نشان می‌دهد که در بازه زمانی ۲۰۰۰ تا ۲۰۱۹ افزایش مساحت زمین‌های ساخته شده و کاهش سطح پوشش گیاهی مشاهده شده است؛ این در حالیست که LST در این بازه زمانی رشد صعودی داشته است (Pohan & Sulistiyono, 2023). شیلپا و سانتوش، نیز رابطه بین تغییرات LULC، دمای سطح زمین (LST)، شاخص‌های طیفی مانند شاخص گیاهی تفاوت نرمال شده (NDVI)، شاخص ایجاد اختلاف نرمال شده (NDBI) و شاخص تفاوت نرمال شده آب (NDWI) را در روستایی در بنگالور هند بررسی کرده‌اند. نتایج مطالعه رگرسیون نموده‌های پراکنده برای LST-NDVI را مقدار منفی، LST-NDBI را مقدار مثبت و LST-NDWI را مقدار منفی نشان داد (Santhosh & Shilpa, 2023). همچنین شن و همکاران، شش توده شهری در چین و آمریکا را در تابستان از نظر چشم‌انداز حرارتی و توزیع شدت جزیره گرمایی شهری (SUHI) با استفاده از داده‌های دمای سطح زمین (LST) مقایسه کرده‌اند. نتایج نشان داد که LDI و NDVI اثرات قابل توجهی بر توزیع شدت جزیره گرمایی شهری در چین و آمریکا دارند (Shen et al, 2023).

کیفیت آب و ... (Bhargava et al, 2017: 3). به عنوان مثال تخمین زده شد که ۴۰ هزار مرگ اضافی در اروپا در طول گرمای تابستان ۲۰۰۳ رخ داده است (Karimi et al, 2022: 1670). این تفاوت و تغییر در این دو مفهوم، توازن انرژی و رطوبتی در محیط‌های شهری را از بین برده و به ایجاد مشکلات زیست محیطی جدی مانند سیلاب‌های شهری و تنش‌های گرمایی برای ساکنان شهر منجر می‌شود (Shamsipour et al, 2013: 68). میانگین دمای ایران (۱۸ درجه سلسیوس) سه درجه سلسیوس از میانگین جهانی دما بالاتر و آهنگ افزایش دمای ایران (۲ درجه سلسیوس در صد سال) دست کم دو برابر آهنگ جهانی افزایش دماست (Masoodian & Montazeri, 2020: 36).

۲.۲. پوشش و کاربری زمین

مطالعه و درک بهتر پوشش، کاربری زمین، تغییرات آن، تأثیرات آنها بر مناطق شهری و بر شرایط مختلف آب و هوایی امری حیاتی است. به طور کلی کاربری زمین به چگونگی استفاده از زمین از نظر عملکرد اجتماعی و اقتصادی اشاره دارد. بنابراین تشخیص دادن بین این دو شاخص سیمای سرزمین مهم است، زیرا می‌تواند بین ویژگی‌های بیوفیزیکی مانند پوشش زمین و ویژگی‌های انسانی مانند فعالیت‌های اقتصادی - اجتماعی ارتباط برقرار کند (Asadi et al, 2020: 760). یکی از راهبردهای مهم برای تقلیل دما در فصول گرم سال، شناسایی پوشش گیاهی موجود و حفظ و تقویت آن است؛ چه در باغ‌های خصوصی، چه به صورت فضاهای سبز عمومی یا فضای سبز موجود در خیابان‌ها (Shirgir et al, 2020: 549).

۲.۳. شاخص نرمال شده تفاوت پوشش گیاهی (NDVI)

شاخص نرمال شده تفاوت پوشش گیاهی (NDVI)، یک معیار مهم برای پوشش گیاهی است که نشان دهنده پراکندگی شاخص برای توصیف و رشد پوشش گیاهی سطحی است (Lin et al, 2022: 1). شاخص نرمال شده تفاوت پوشش گیاهی (Difference Normalized Index Vegetation) یک شاخص مؤثر برای پوشش گیاهی است و معمولاً برای توصیف پوشش گیاهی استفاده می‌شود که یک عامل رایج در تجزیه و تحلیل و اندازه‌گیری‌های سنجش از دور است و به طور گسترده در تحقیقات اکوسیستم استفاده می‌شود (Yan et al, 2023: 1).

۳. روش تحقیق

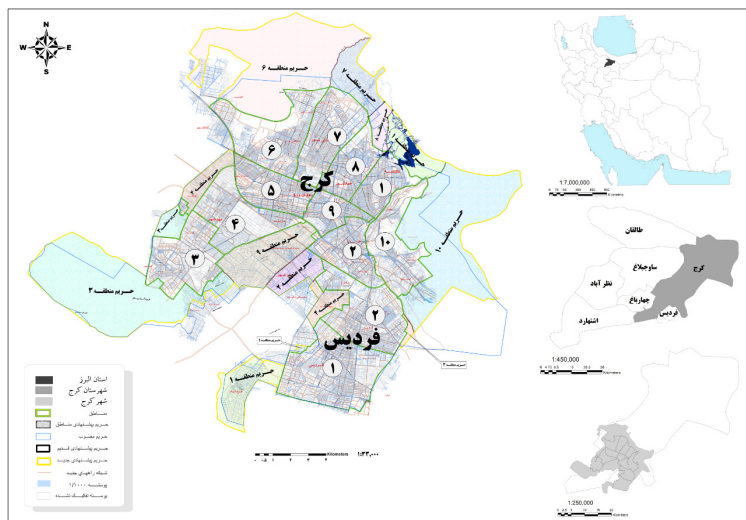
۳.۱. منطقه مورد مطالعه

شهر کرج در حد فاصل عرض‌های شمالی ۳۵ درجه و ۴۲ دقیقه و ۳۵ درجه و ۵۳ دقیقه و ۲۰ ثانیه و بین دو طول ۵۰ درجه و ۵۰ دقیقه و ۵۰ ثانیه تا ۵۱ درجه و ۳ دقیقه شرقی، با ارتفاع متوسط ۱۲۹۷ متر از سطح دریا واقع شده است. رشد سریع شهر کرج باعث شده که بسیاری از باغ‌ها و اراضی کشاورزی با تغییر کاربری به فضاهای صنعتی و مسکونی تبدیل شوند و مسائل محیط زیستی از جمله آلودگی هوا، آلودگی آب و درکل کاهش ظرفیت پالایش و جذب آلاینده‌ها در این کلانشهر به وجود آیند. بنابراین به واسطه داشتن چنین جایگاهی، نیاز به بررسی نقشه حرارتی بیش از پیش احساس می‌شود (تصویر شماره ۱).

جزایر گرمایی می‌شود (Yadav et al, 2023: 1142). پوشش گیاهی (VC) که شامل جنگل، زمین کشاورزی، پوشش گیاهی متراکم و کم تراکم است، از تنوع زیستی با حفظ پوشش خاک و متعادل کردن چرخه هیدرولوژیکی، اکوسیستم، هوا و دمای سطح محافظت می‌کند تا پیامدهای تغییرات آب و هوایی را به حداقل ممکن برساند. بنابراین شهرنشینی یکی از مهم‌ترین متغیرهای تأثیرگذار بر VC است که با تبدیل فضای سبز به محیطی برای فعالیت‌های انسانی منجر به افزایش دمای سطح می‌شود (Rahaman et al, 2022: 1). چنین رشد شهری مسبب مسائل مختلفی است که مربوط به محیط زیست، تغییرات آب و هوایی، تخریب اکوسیستم، جزیره گرمایی شهری، امواج گرما، سیل ناگهانی شهری، از بین رفتن زمین‌های کشاورزی و افزایش سطوح بتنی شهری و دمای شهری است (Gohain et al, 2021: 2). در سال‌های اخیر، مطالعات مختلف نشان داده است که افزایش دمای هوای شهرها ناشی از پدیده جزایر حرارتی، تأثیرات منفی زیادی بر ابعاد اجتماعی، زیست محیطی و اقتصادی شهرها دارد (Aflaki et al, 2017: 1).

۲.۱. جزیره گرمایی شهری (UHI)

مراکز شهری معمولاً به دلیل سطوح تیره تر و پوشش گیاهی کمتر، جذب بیشتر و بازتاب کمتری از خورشید (آلبدو) و ظرفیت رسانایی حرارتی بیشتری نسبت به مناطق اطراف دارند (Aflaki et al, 2017: 2). این نوع تغییرات در سطوح شهری منجر به افزایش دمای هوا و سطح مناطق مسکونی در مقایسه با مناطق اطراف آنها می‌شود (Rizvi et al, 2022: 1). جزیره گرمایی شهری ویژگی منطقه شهری را توصیف می‌کند که در آن دمای شبانه گرمتر از دمای محیط اطراف است (Ridha, 2017: 7). به عبارت دیگر به پدیده بالا بودن چشمگیر دمای برخی از شهرها یا مناطق شهری در مقایسه با حومه شهر یا محدوده‌های روستایی اطراف گفته می‌شود (Kasniza Jumari et al, 2023: 2). تحقیقات نشان می‌دهد که مکان‌های شهری گرم تر از نواحی روستایی اطرافشان هستند و به طور کلی به این پدیده «جزیره حرارتی شهری» گفته می‌شود (Geo et al, 2015: 1). جزیره گرمایی شهری، خطوط هم دمای بسته‌ای هستند که نماینده پهنه گرمند؛ به ویژه پهنه‌هایی که بشر وضع طبیعی زمین را برهم زده است. دلیل این نام گذاری شباهت خطوط هم دما در این پهنه‌ها با خطوط تراز ارتفاعی جزایر بر روی نقشه‌های توپوگرافی بوده است (Mazidi et al, 2019). (22) جزایر حرارتی شهری با توجه به ویژگی‌هایشان در لایه‌های مختلف جو شهری به سه گروه بزرگ طبقه‌بندی شدند: جزیره حرارتی شهری سطحی (SUHI)، جزیره حرارتی شهری لایه‌ای برای تجزیه و تحلیل در مقیاس خرد (CLUHI) و جزیره حرارتی شهری لایه مرزی برای تجزیه و تحلیل در مقیاس متوسط (BLUHI) (Karimi et al, 2021: 2). اثر SUHI معمولاً توسط سنجش از دور ماهواره ای نظارت می‌شود که داده‌های دمای سطح زمین (Ts) را پیوسته ارائه می‌دهد (Yao et al, 2021: 2). این افزایش SUHI تأثیر نامطلوبی بر تشعشعات سطحی دارد و مصرف انرژی را افزایش می‌دهد (Mohammad & Goswami, 2021). جزایر گرمایی شهری دارای اثرات منفی بسیاری هستند که عبارتند از: افزایش مصرف انرژی، افزایش انتشار آلاینده‌های هوا و گازهای گلخانه‌ای، به خطر انداختن سلامت و آسایش انسان، کاهش



تصویر شماره ۱: موقعیت جغرافیایی محدوده مورد مطالعه مأخذ: طرح تفصیلی حوزه ۱ کرمان، ۱۳۹۴

۳.۲. روش گردآوری اطلاعات

پژوهش حاضر از نظر هدف، پژوهش کاربردی و از نظر ماهیت و روش کار، پژوهش توصیفی-تحلیلی است. در این مطالعه اطلاعات محدودی مورد نظر نیز از تصاویر ماهواره‌ای لندست ۸ به دست آمد و تحلیل‌های مربوط به آن از طریق نرم افزارهای ENVI و ARC GIS اجرا شده است. تصاویر ماهواره‌ای مورد استفاده در این پژوهش مربوط به ۱۳ آگوست سال ۲۰۰۱ و ۲۷ جولای سال ۲۰۲۱ ماهواره لندست به دست آمده است. روش تحقیق در این پژوهش شامل سه بخش کلی است. بخش نخست برای کشف تغییرات پوشش گیاهی است. برای رسیدن به این نتیجه از نرم افزار ENVI استفاده شد. در این نرم افزار بعد از جدا کردن محدوده مورد مطالعه، تصحیحات رادیومتریک و اتمسفری به ترتیب به وسیله ابزارهای Radiometric Calibration و FLAASH انجام گرفت و مقدار رقومی هر پیکسل به مقدار تابش و بازتاب سطح تبدیل شد. در ادامه مقادیر داده‌های تصحیح اتمسفری به وسیله ابزار band math بین صفر و یک تصحیح شد. در مرحله بعد با استفاده از ROI اقدام به طبقه‌بندی گردید. در این روش از سه طبقه انسان ساخت- شهری، پوشش گیاهی و بایر استفاده شد. در نهایت از بین روش‌های طبقه‌بندی تصاویر با انتخاب الگوریتم بیشترین شباهت (Maximum Likelihood Classification) اقدام به طبقه‌بندی برای هر دو دوره گردید. به منظور بررسی دقت طبقه‌بندی از نقشه کاربری اراضی سال ۲۰۰۱ و ۲۰۲۱ منطقه مورد مطالعه استفاده شد. دقت طبقه‌بندی با بررسی پارامترهای آماری دقت تولیدکننده، دقت کاربر و ضریب کاپا انجام شد. ضریب کاپا دقت طبقه‌بندی را نسبت به یک طبقه‌بندی تصادفی ارزیابی می‌نماید و نشان‌دهنده توافق دقت کلی با حالت موجود در طبیعت است و با رابطه محاسبه شد.

$$K = \frac{N(\sum_{i=1}^r x_{ii}^2) - (\sum_{i=1}^r x_{i+} x_{+i})}{N^2 - \sum_{i=1}^r x_{i+} x_{+i}} \quad (\text{رابطه ۱})$$

در بخش دوم پژوهش شاخص پوشش گیاهی (NDVI) محاسبه شد

که برای دستیابی به آن از ابزار NDVI در نرم افزار Envi استفاده شد (رابطه ۲). در این شاخص گیاهی از دو باند قرمز (RED) و مادون قرمز نزدیک (NIR) تصاویر ماهواره‌ای استفاده می‌شود.

$$\frac{P_{nir} - P_{red}}{P_{nir} + P_{red}} = NDVI \quad (\text{رابطه ۲})$$

به دلیل آن که میزان پوشش گیاهی یکی از عوامل مؤثر در کاهش دمای محیطی است، لازم است تا شاخص پوشش گیاهی که برای نواحی دارای پوشش گیاهی را از غیر آن جدا می‌کند نیز در این قسمت مورد استفاده قرار گیرد (Ramezani & Naghibi, 2020: 200). NDVI را می‌توان از نزدیک کردن طول موج مادون قرمز و طول موج‌های مرئی قرمز منعکس شده از سطح زمین برای محاسبه اختلاف بازتاب‌ها به دست آورد. مقادیر این شاخص در دامنه بین -۱ و +۱ است که بررسی و نمایش مقادیر را به راحتی امکان‌پذیر می‌کند (Prohmdirek et al, 2020: 226). در هر مکانی که مقادیر NDVI مثبت باشد، نشان‌دهنده افزایش پوشش گیاهی و تراکم آن است و هر جایی که NDVI نزدیک به صفر یا مقادیر منفی است، نشان‌دهنده سطح غیر پوشش گیاهی مانند آب و زمین بایر است (Al-Saadi, 2020: 4).

در بخش سوم پژوهش برای به دست آوردن دمای سطح زمین (LST) با استفاده از اینترنت و سامانه Google Earth Engine (GEE) انجام شد. دمای سطح زمین (LST) یکی از محصولات سنجنده MODIS است که پیش از این نیز در تخمین T_{air} در تحقیقات بسیاری استفاده شده است. سنجنده MODIS بر روی دو ماهواره Terra و Aqua قرار دارد. با توجه به مدار چرخش این دو ماهواره حول زمین، محصولات ماهواره Terra در ساعت ۱۰:۳۰ صبح و ۱۲ شب به وقت محلی و محصولات ماهواره Aqua در ساعت ۱ شب و ۳ ظهر به وقت محلی ارائه می‌شود (واعظ موسوی و مختارزاده، ۱۳۹۴: ۶). برای تهیه نقشه دمای سطح زمین با استفاده از سنجنده MODIS موجود بر روی ماهواره Terra با قدرت تفکیک یک کیلومتر و زمان یک روزه (MOD-11A1) مربوط به هر دوره استفاده شده است. سپس با استفاده از رابطه ۳ دمای کلویین به سلسیوس

تغییر می یابد.

(رابطه 3)

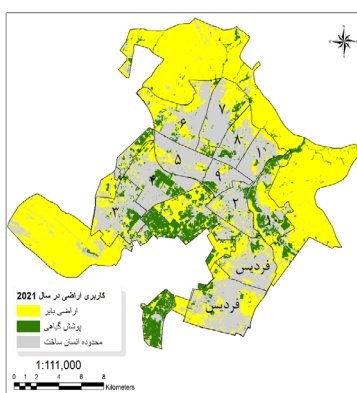
$$LST = (LST \text{ image in Kelvin} \times 0.02) - 273.15$$

۴. بحث و یافته ها

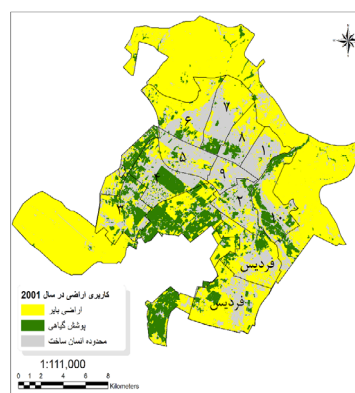
۴.۱. واکاوی تغییرات کاربری اراضی

نقشه پوشش اراضی منطقه مطالعاتی در سال ۲۰۰۱ با میزان ضریب کاپا برابر با ۹۷ درصد تهیه شد. نقشه های کاربری اراضی شهر کرج در بازه زمانی مورد بررسی به روش طبقه بندی حداکثر همانندی در تصاویر شماره ۲ و ۳ ارائه شده است. بر این اساس شهر کرج به سه کاربری اراضی بایر (رنگ زرد)، محدوده انسان ساخت (رنگ طوسی) و پوشش گیاهی (رنگ سبز) طبقه بندی و تغییرات آنها در دوره زمانی مورد نظر تحلیل شد. شهر کرج از سال ۲۰۰۱ تا سال ۲۰۲۱ شاهد رشد و گسترش

پراکنده ای در محیط شهری خود بوده که ناشی از ساخت و سازهای انسان در این شهر است. جدول شماره ۱ مساحت هر کاربری را در سال های ۲۰۰۱ و ۲۰۲۱ نشان می دهد. طبق این جدول، تغییرات در کاربری شهری ۲۰۰۱ در مقایسه با سال ۲۰۲۱ به صورتی است که در طی این دوره حدود ۳۱ میلیون و ۶۶۲ هزار و ۲۷۸ کیلومتر مربع بر وسعت اراضی شهری افزوده شده است. در عین حال از سال ۲۰۰۱ تا سال ۲۰۲۱ بیشترین شدت تغییرات در پوشش گیاهی رخ داده؛ به گونه ای که حدود ۱۰ میلیون و ۸۱۲ هزار و ۶۳۵ کیلومتر مربع از مساحت پوشش گیاهی کرج کاسته شده است. بنابراین و بر اساس این جدول، مساحت محدوده ساخته شده از سال ۲۰۰۱ تا ۲۰۲۱ رشد و مساحت مراتع کاهش پیدا کرده است. علت تغییرات اراضی بایر در بازه بین ۲۰۰۱ تا ۲۰۲۱ تغییرات زمین های کشاورزی در منطقه است.



تصویر شماره ۳: نقشه کاربری اراضی در سال ۲۰۲۱



تصویر شماره ۲: نقشه کاربری اراضی در سال ۲۰۰۱

جدول شماره ۱: مساحت زمین در سال ۱۳۸۰ و ۱۴۰۰ (به متر مربع)

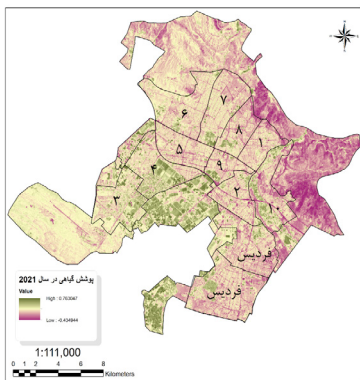
ردیف	پوشش زمین	۲۰۰۱	۲۰۲۱
۱	انسان ساخت	۸۷۳۸۵۴۸۹	۱۱۹۰۴۷۷۶۷
۲	پوشش گیاهی	۵۶۶۸۹۵۳۹	۴۵۸۷۶۹۰۴
۳	بایر	۲۱۰۱۲۸۸۹۰	۱۸۹۳۲۹۸۵۱
۴	ضریب کاپا (درصد)	٪۹۷	٪۹۸

مورد بررسی برداشت می شود، تمرکز هسته های خنک شهری (پایین ترین میزان دمایی) در نقشه های دمای سطح زمین و در انطباق با گستره های پوشش گیاهی است. در عین حال، در دوره مورد بررسی تغییرات محسوس و کاهش پوشش گیاهی، به ویژه در پهنه های مرکزی، جنوبی و غربی شهر کاملاً آشکار است. با توجه به نقشه های موجود، به نظر می رسد تغییرات کاربری اراضی کشاورزی به مناطق شهری و مسکونی، عاملی اساسی در تخریب پوشش گیاهی محدوده باشد. بیشینه شاخص پوشش گیاهی در بازه مورد مطالعه در سال ۲۰۰۱ از ۱ به ۰.۷ در سال ۲۰۲۱ کاهش یافته است. همچنین کمینه شاخص پوشش گیاهی در همان بازه زمانی در سال ۲۰۰۱ از ۰.۶ به ۰.۴ در سال ۲۰۲۱ نیز تغییر داشته است (تصاویر شماره ۴ و ۵).

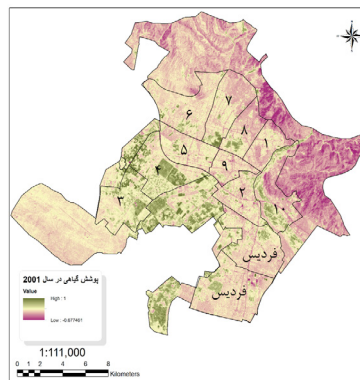
پس از بررسی مساحت کاربری ها در طبقه های مورد نظر، نقشه های پوشش گیاهی و دمای سطح زمین تهیه شد.

۴.۲. تحلیل تغییرات پوشش گیاهی

تحلیل شاخص تفاضل به هنجار شده پوشش گیاهی در بازه زمانی مورد بررسی در سال های ۲۰۰۱ تا ۲۰۲۱ مشخص نمود که پهنه شرقی و مرکزی شهر به سبب وجود باغ فاتح جهان شهر، باغ سیب و اراضی سبز مهر شهر، کاخ مروراید مهر شهر و فضاهای سبز در منطقه ۱۰ که در نوع خود منحصر به فردند، از خنک ترین مکان های شهری است. از دیگر نواحی خنک شهر می توان به اطراف پارک ها و فضاهای سبز درون شهری مانند پارک چمران و پارک خانواده و ... اشاره نمود. همچنین در بخش های شمالی، مرکزی و جنوبی شهر نیز پوشش گیاهی به صورت پراکنده و خرد مشاهده می شود. آنچه از نقشه های پوشش گیاهی در دوره زمانی



تصویر شماره ۵: نقشه پوشش گیاهی در سال ۲۰۲۱



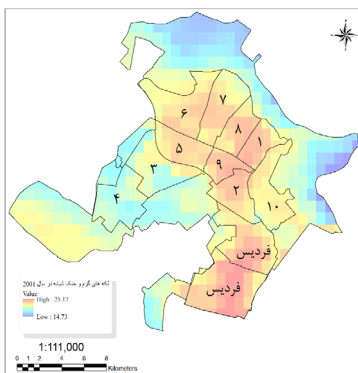
تصویر شماره ۴: نقشه پوشش گیاهی در سال ۲۰۰۱

۴.۳. ارزیابی الگوها و تغییرات دمای سطح زمین

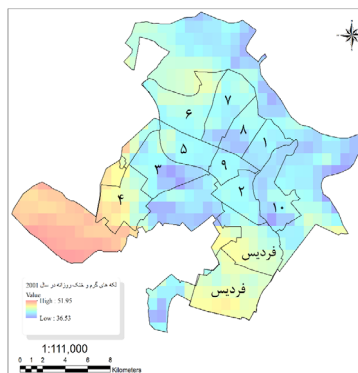
با توجه به تصاویر نقشه‌های زیر، کمینه و بیشینه دمای نقشه‌های موجود در محدوده مورد نظر، نشان از افزایش تدریجی دما در محدوده مورد مطالعه دارد. طبق تصاویر موجود، کمترین دما در محدوده مربوط به نواحی است که دربرگیرنده مراتع و پوشش گیاهی هستند و بیشینه دما در محدوده‌های عاری از پوشش گیاهی را شامل می‌شود. با بررسی نقشه‌های دمای سطح زمین شهر کرج در بازه زمانی ۲۰۰۱ تا ۲۰۲۱ مشخص شد که محدوده‌های دمایی بسیار گرم (لکه‌های گرم hot spots) که با رنگ قرمز نمایش داده شده، رابطه بسیار نزدیکی با پوشش سطح زمین دارند؛ به نحوی که جزایر حرارتی در این پهنه جغرافیایی عمدتاً منطبق بر اراضی بایر در اطراف شهر هستند که غالباً دارای کاربری غیرمسکونی هستند و به صورت گسترده‌ای به هم پیوسته و متراکم‌تر در شمال، شمال غرب، جنوب و جنوب غربی شهر کرج در تمام نقشه‌های (LST) مشاهده می‌شود. همچنین واکای نقشه‌های دمای سطح زمین در شهر کرج حکایت از ارتباط بسیار زیاد بین کمترین مقدار دما با کاربری پوشش گیاهی دارد. بررسی نقشه دمای روزانه سطح زمین در سال ۲۰۰۱ نشان از استقرار لکه‌های گرم در اراضی بایر پیرامون شهر دارد. مهم‌ترین محدوده‌ها در این مناطق، در بخش‌های جنوب، جنوب غربی و غرب شهر منتهی به اراضی بایر منطقه ۳ و ۴ است. چندین لکه گرم نیز در نواحی شمالی منطقه ۶ به چشم می‌خورد. کمینه و بیشینه دمای شبانه نیز به ترتیب، تقریباً برابر با ۱۴ و ۲۵ درجه سانتیگراد بوده است (تصویر شماره ۷). مقایسه الگوی حرارتی شهر کرج در سال ۲۰۰۱ با نقشه حرارتی در سال ۲۰۲۱ نشان از تشابه تقریبی این دو الگو دارد؛ با این تفاوت که از قلمرو محدوده‌های بسیار گرم در پیرامون شهر به دلیل توسعه اراضی شهری (مناطق انسان‌ساخت) و افزایش پوشش گیاهی مرتبط در جنوب و غرب کاسته شده است. علاوه بر محدوده‌های پیشین، در شمال غرب، این نواحی گرم افزایش داشته است. در این زمان (۲۰۲۱) کمینه و بیشینه دمای شبانه شهر کرج به ترتیب تقریباً برابر با ۱۱ و ۲۶ درجه سانتیگراد بوده است (تصویر شماره ۹). در نقشه‌های دمای شبانه، لکه‌های خنک (cold spots) عمدتاً در نواحی شمالی و شرقی که اراضی بایر را شامل می‌شود، مشاهده می‌شوند.

به طور کلی، تحلیل الگوهای دمای سطح زمین (LST) و لکه‌های دمایی

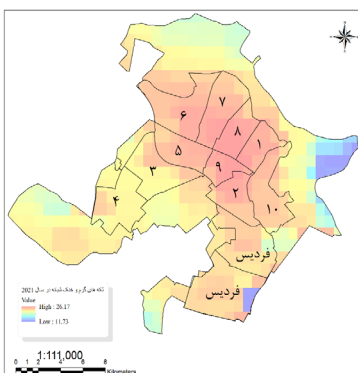
گرم و خنک در بازه زمانی ۲۰۰۱ تا ۲۰۲۱ نشان داد که توزیع مکانی جزایر حرارتی عمدتاً منطبق بر اراضی بایر پیرامونی شهر به صورت پیوسته و متراکم با کاربری غالباً غیرمسکونی و در مناطق شهری با کاربری غالب مسکونی منطبق بر پهنه‌های بافت فرسوده و متراکم شهری مرکز شهر و الگوهای خطوط و محورهای ارتباطی و شبکه‌های دسترسی است. همچنین در این دوره زمانی به دلیل گسترش سطوح نفوذناپذیر که منجر به کاهش جذب آب توسط خاک و گیاهان می‌شود، شاهد افزایش لکه‌های گرم و کاهش لکه‌های خنک در این محدوده هستیم. تحلیل زمانی مراکز حرارتی نیز نشان می‌دهد که با گذشت زمان از وسعت طبقات دمایی بسیار گرم بر پیرامون شهر به سبب تبدیل اراضی بایر به مناطق شهری جدید کاسته شده است. همچنین وضعیت دمای شبانه به طور قابل توجهی با تصاویر روز متفاوت است. تصاویر دما نشان دهنده این است که با حرکت به سمت مرکز شهر، شدت تراکم لکه‌های گرم به اوج خود می‌رسد و سپس در مناطق حومه شمالی، شرقی و غربی به شدت کاهش می‌یابد. در این تصاویر، مقادیر LST کاهش دمای بارزتری را در حومه شرقی در مقایسه با حومه غربی نشان می‌دهند. گفتنی است که نمودارهای LST نشان می‌دهند، مناطقی که در طول روز دمای کمتری در مقایسه با مناطق اطراف دارند، در شب شاهد دمای بیشتری نسبت به سایر نواحی هستند. از عوامل مهم تشدید حلقه‌های گرمایی در بعضی از مناطق شهری با توجه به موقعیت منطقه، می‌شود به آلاینده‌های دودزا مانند کارخانه‌های صنعتی، خیابان‌های پرترافیک، مکان‌های دارای بافت فرسوده در مرکز شهر، حاشیه مناطق منتهی به اراضی بایر، محدوده‌های اطراف مراکز تجاری و فرهنگی اشاره نمود. همچنین شکل‌گیری لکه‌های خنک در شهر کرج رابطه بسیار نزدیکی با استقرار پوشش گیاهی، به ویژه تمرکز باغ سیب مهرشهر و باغ فاتح جهانشهر، بوستان چمران، باغ جهان، پارک ایران کوچک، پارک خانواده، فضاهای سبز در منطقه ۱۰ و سایر فضاهای سبز این شهر، به سبب نقش تعدیل‌کنندگی دما دارد. بنابراین همان‌طور که در نقشه‌ها دمای سطح زمین کاملاً مشخص است، جزایر حرارتی شهر در حال گسترش است و دمای سطح شهر در این دوره ۲۰ ساله روندی صعودی داشته است؛ که نتیجه افزایش ساخت و ساز و وجود اراضی بایر در محدوده مطالعاتی است.



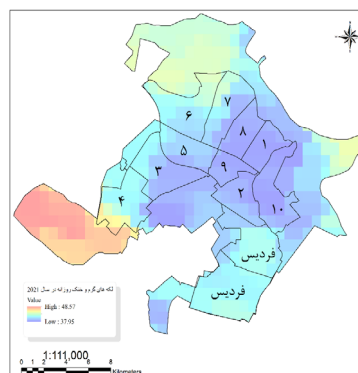
تصویر شماره ۷: نقشه لکه‌های گرم و خنک شبانه سطح زمین در سال ۲۰۰۱



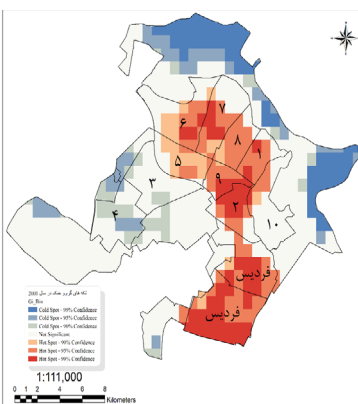
تصویر شماره ۶: نقشه لکه‌های گرم و خنک روزانه سطح زمین در سال ۲۰۰۱



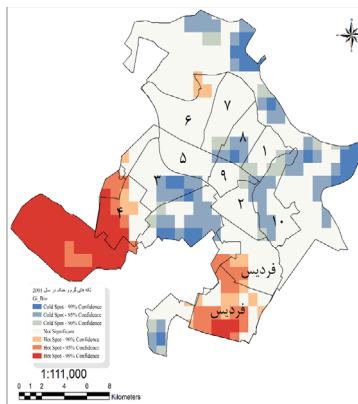
تصویر شماره ۹: نقشه لکه‌های گرم و خنک شبانه سطح زمین در سال ۲۰۲۱



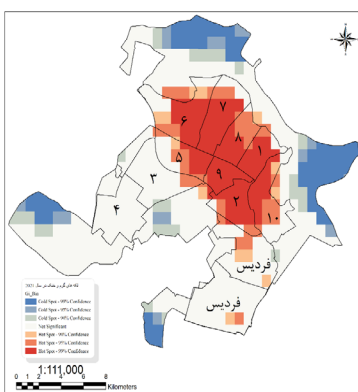
تصویر شماره ۸: نقشه لکه‌های گرم و خنک روزانه سطح زمین در سال ۲۰۲۱



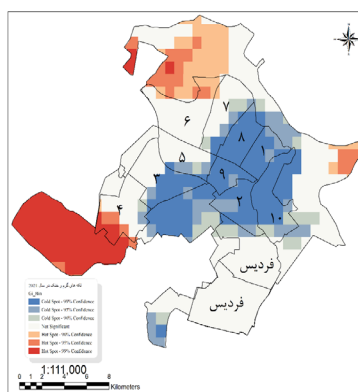
تصویر شماره ۱۱: نقشه لکه‌های گرم و خنک شبانه در سال ۲۰۰۱



تصویر شماره ۱۰: نقشه لکه‌های گرم و خنک روزانه در سال ۲۰۰۱



تصویر شماره ۱۳: نقشه لکه‌های گرم و خنک شبانه در سال ۲۰۲۱



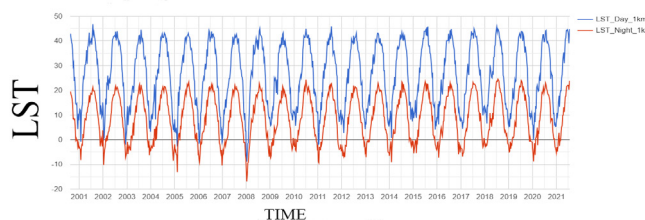
تصویر شماره ۱۲: نقشه لکه‌های گرم و خنک روزانه در سال ۲۰۲۱

۴.۴. ارتباط بین تغییرات دمای سطح زمین و پوشش گیاهی

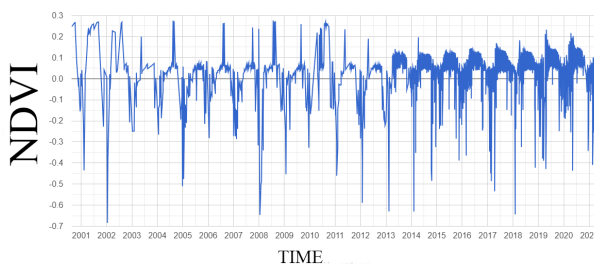
با مطالعه نتایج بررسی های قبلی درباره جزایر گرمایی، کاملاً مشهود است که بین شاخص پوشش گیاهی (NDVI) و دمای سطحی زمین (LST) ارتباطی وجود دارد که به ما کمک می کند دمای سطحی را پیش بینی کنیم. در این پژوهش نیز با توجه به بررسی های انجام شده مشخص شد که بین دمای هوا و شاخص پوشش گیاهی همبستگی برقرار است.

با استفاده از نتایج طبقه بندی تصاویر در بازه زمانی ۲۰۰۱ و ۲۰۲۱ و محاسبه تغییرات مساحت کاربری ها در این دوره ها، مشخص شد در بازه زمانی ۲۰۰۱ تا ۲۰۲۱ مساحت کاربری های محدوده ساخته شده افزایش یافته و میزان پوشش گیاهی کاهش پیدا کرده و اراضی بایر نیز کاهش یافته است. بیشینه دمای شبانه هوا در سال ۲۰۰۱ در این محدوده تقریباً ۲۵ درجه سانتیگراد است که در سال ۲۰۲۱ به ۲۶ درجه تغییر یافته و شاهد افزایش دما به دلیل رشد انسان ساخت هستیم که

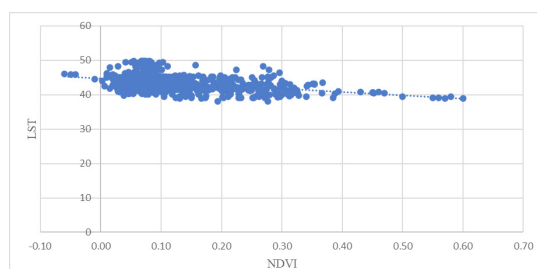
به دنبال کاهش پوشش گیاهی در نواحی مورد نظر در طی سال های مورد بررسی اتفاق افتاده است. به منظور تعیین نقش پوشش گیاهی در انرژی بازتابشی سطوح و در نتیجه دمای سطح زمین، می توان با روش های آماری، میزان همبستگی این دو عامل را مورد مطالعه قرار داد. این آمار از طریق مقایسه یک به یک ارزش های عددی پیکسل های تصاویر هریک از این دو متغیر در محدوده مورد مطالعه صورت گرفت. در این تصاویر مقادیر مربوط به دمای سطح زمین و همچنین شاخص اختلاف پوشش گیاهی برای تمام پیکسل های نقشه تهیه شده ارائه و نمودار روند تغییرات ترسیم شده است. شیب منفی این نمودار، گویای ارتباط منفی قوی دمای سطح زمین با شاخص اختلاف پوشش گیاهی بوده و با به کارگیری این نمودار می توان تغییرات دمای سطح زمین را در شهر کرج در صورت تغییر شاخص اختلاف پوشش گیاهی بهنجار شده پیش بینی نمود (نمودارهای شماره ۱، ۲ و ۳).



نمودار شماره ۱: نمودار دمای روزانه و شبانه سطح زمین از سال ۲۰۰۱ تا سال ۲۰۲۱



نمودار شماره ۲: نمودار سطح پوشش گیاهی از سال ۲۰۰۱ تا سال ۲۰۲۱



نمودار شماره ۳: میزان همبستگی بین دو شاخص LST و NDVI

گسترده، غالباً در اطراف شهر به دلیل وجود اراضی بایر که به شکل جزایر حرارتی پیرامونی وجود دارد و نیز در سال ۲۰۲۱ به صورت خرد در اطراف مراکز صنعتی مانند شهرک صنعتی سیمین دشت، شهرک صنعتی نور، بزرگراه ها و خیابان های پرتراфик و مکان های دارای بافت فرسوده به چشم می خورد. فقدان و یا کمبود شدید پوشش گیاهی و وجود جزایر گرمایی شدید موجب افزایش وضعیت بحرانی زیست محیطی در این پهنه ها شده است.

شناسایی وضعیت بحرانی زیست محیطی در شهر کرج با بهره گیری از مقادیر دمای سطح زمین (LST)، شاخص تفاضل بهنجار شده پوشش گیاهی (NDVI) و شاخص ECI در این محدوده شناسایی شد. براساس این شاخص، پهنه هایی وضعیت بحرانی خواهند داشت که مقدار LST زیاد و NDVI اندک داشته باشند. براساس ارزیابی های انجام شده، بیشترین حساسیت زیست محیطی در حومه های شرقی، شمال شرقی و جنوب شرقی شهر کرج آشکار است. به عبارت دیگر، محدوده بحرانی زیست محیطی در هر دو دوره مطالعاتی به طور

۵. نتیجه‌گیری

نتایج حاصله نشان داد که پهنه‌های دمایی بسیار گرم شهری عمدتاً در اراضی بایر پیرامون شهر و بزرگراه‌های اطراف دیده می‌شوند. در درون شهر نیز این محدوده‌ها منطبق بر مکان‌های اطراف مراکز تجاری و فرهنگی، اطراف بلوارها، خیابان‌های درون شهری و بزرگ راه‌های دارای ترافیک سنگین که با آسفالت پوشیده شده‌اند، مراکز صنعتی با آلودگی بالا و بافت فرسوده در مناطق مسکونی و فشرده به عنوان عامل تشدیدکننده گرمایش شهری هستند. بررسی زمانی جزایر گرمایی در بازه زمانی مورد مطالعه ۲۰۰۱ و ۲۰۲۱ نیز نشان داد که با گذشت زمان، بر وسعت محدوده‌های بسیار گرم بر پیرامون شهر افزوده شده که علت آن عدم وجود پوشش گیاهی، همچنین کاهش تبخیر و تعرق سطحی، تبدیل اراضی بایر به مناطق شهری جدید، احداث شهرک‌های نوساز و یا ساخت وسازهای نوین و نیز وجود آسفالت است. بررسی‌های حاصل از تغییرات پوشش گیاهی از سال ۲۰۰۱ به ۲۰۲۱ نشان می‌دهد که محدوده‌های دارای پوشش گیاهی غنی و با تراکم بالا، دمای کمی را به خود اختصاص داده‌اند و جزو محدوده‌های با دمای پایین‌تر قرار گرفته‌اند. همچنین هرچه قدر پوشش گیاهی زمین بیشتر شود، رطوبت سطحی بیشتر و در نتیجه دمای سطحی زمین کمتر خواهد شد. پوشش گیاهی شهر کرج نیز در دوره زمانی مورد بررسی به سبب تغییرات کاربری اراضی کشاورزی پیرامونی به مناطق شهری و مسکونی جدید کاهش یافته است. در نهایت همبستگی بین دمای سطح و پوشش گیاهی بررسی شد که در برگزیده همبستگی معکوس بین این دو شاخص است. نقش تغییر کاربری‌ها و توسعه شهری در رشد و گسترش جزایر حرارتی شهری و نقش پوشش گیاهی در کاهش اثر این پدیده، دستاوردی است که توسط تحقیقات بسیاری تأیید شده است. به عنوان مثال می‌توان به تحقیقات پین (۲۰۱۶) در شهر لانژو چین و یا تحقیق بوکائی و همکاران (۲۰۱۶) اشاره کرد. در تحقیقات فارسی نیز می‌توان به تحقیقات مهدیان ماهفروزی و همکاران (۱۳۹۴) در بوستان ولایت تهران و احمدی و داداشی رودباری (۱۳۹۵) در شهر مشهد اشاره کرد؛ آنها هم به این نتیجه رسیدند که پوشش‌های گیاهی نقش مهمی در کاهش اثر جزایر حرارتی دارند. برای محدوده مطالعاتی، باتوجه به کاهش تبعات دگرگونی‌های زیست محیطی و دستیابی به توسعه پایدار شهر کرج در نواحی که دارای جزایر حرارتی هستند، پیشنهاد می‌شود باتوجه به کاهش پوشش گیاهی و افزایش دما در بازه زمانی مورد مطالعه، توجه به جایگزین نمودن بافت‌های سبز در راستای حفظ اقلیم شهر و منطقه الزامی است. به خصوص باتوجه به بالا بودن دما در اراضی بایر، حفظ و احیای باغات به صورت پراکنده در بافت شهر به صورت افزایش پوشش گیاهی در مناطق اطراف شهر و فضاهای باز و خصوصی و حاشیه خیابان‌ها و بام‌های سبز برای کاستن از روند افزایش دما و شکل‌گیری جزایر حرارتی اهمیت دارند. نتایج حاصل از شاخص قیاسی حساسیت محیطی (ECL) نیز آشکار کرد که بیشترین حساسیت زیست محیطی در پیرامون شهر غالباً به سبب وجود اراضی بایر در اطراف محدوده‌های صنعتی و خیابان‌های پرتردد وجود دارد که در این میان بهره‌گیری از فضاهای سبز عمومی و کاشت درختان و یا مزارع خورشیدی می‌تواند نقش مؤثری در کنترل جزایر حرارتی در محدوده زمین‌های بایر داشته باشد. البته نتایج این تحقیق برای اکثر کلانشهرهای ایران با ویژگی‌های مشابه شهر کرج قابل تعمیم است.

References:

- Abdi, k., & Kamiabi, S., & Zand Moghadam, m. (2021). An Investigation into the Role of Urban Green Space Vegetation on the Temperature Changes Trend of the Urban Environments Area (Case Study: Sari City). *Journal of Environmental Science and Technology*, 23(2 (105)), 135-146. <https://doi.org/10.30495/jest.2021.38883.4423> [in Persian]
- Aflaki, A., & Mirmezahad, M., & Ghaffarianhoseini, A., & Ghaffarianhoseini, A., & Omrany, H., & Wang, Z.-H., & Akbari, H. (2017). Urban heat island mitigation strategies: a state-of-the-art review on Kuala Lumpur, Singapore and Hong Kong. *Cities*, 62, 131-145. <https://doi.org/10.1016/j.cities.2016.09.003>
- akbari, D., Moradzadeh, M., & Akbari, M. (2020). Land Use Changes and Urban Development Simulation Using Neural Network and Markov Chain Cellular Automata. *Research and Urban Planning*, 10(39), 157-170. <https://jupm.marvdasht.iau.ir/author.index?vol=0&vl=All%20Volumes%20&lang=en> [in Persian]
- Al-Saadi, L.M., & Jaber, S.H., & Al-Jiboori. M.H. (2020). Variation of urban vegetation cover and its impact on minimum, and maximum heat islands, *Urban Climate*. <https://doi.org/10.1016/j.uclim.2020.100707>
- Asadi, S., & Sharghi, A. (2018). climate resilience, the future challenge of Iranian architecture. Conference: international conference on civil engineering, architecture and urban management in Iran, Iran. https://www.researchgate.net/publication/328007276_climate_resilience_the_future_challenge_of_iranian_architecture [in Persian]
- Asadi, Y., & Hamzeh, S., & Kiavarz, M. (2020). Investigate the effects of land Use and vegetation on urban heat islands using landscape measurements (Case Study: region 6 of Tehran). *Human Geography Research Quarterly*, 52(2), 759-773. <https://doi.org/10.22059/jhgr.2020.290775.1008022> [in Persian]
- Asghari, S., & Emami, H. (2019). Monitoring the earth surface temperature and relationship land use with surface temperature using of OLI and TIRS Image. *Journal of Applied researches in Geographical Sciences*, 19(53), 195-215. <https://doi.org/10.29252/jgs.19.53.195> [In Persian]
- Bhargava, A., Lakmini, S., & Bhargava, S. (2017). Urban heat island effect: It's relevance in urban planning. *J. Biodivers. Endanger. Species*, 5(187), 2020. <https://doi.org/10.4172/2332-2543.1000187>

- Chander, G., Markham, B. L., & Helder, D. L. (2009). Summary of current radiometric calibration coefficients for Landsat MSS, TM, ETM+, and EO-1 ALI sensors. *Remote sensing of environment*, 113(5), 893-903. <https://doi.org/10.1016/j.rse.2009.01.007>
- Colunga, M. L., Cambrón-Sandoval, V. H., Suzán-Azpiri, H., Guevara-Escobar, A., & Luna-Soria, H. (2015). The role of urban vegetation in temperature and heat island effects in Querétaro city, Mexico. *Atmósfera*, 28(3), 205-218. <https://doi.org/10.20937/ATM.2015.28.03.05>
- Dehghan, M. (2003). Urban Heat Islands, an example of climate change, *Journal: Growth of Geography Education*, 65, 28-35. <https://ensani.ir/fa/article/146765/جزایر-گرمایی-شهری-نمونه-ای-از-تغییر-اقلیم> [in Persian]
- Deilami, K., Kamruzzaman, M., & Hayes, J. F. (2016). Correlation or causality between land cover patterns and the urban heat island effect? Evidence from Brisbane, Australia. *Remote Sensing*, 8(9), 716. <https://doi.org/10.3390/rs8090716>
- Duncan, J. M. A., Boruff, B., Saunders, A., Sun, Q., Hurley, J., & Amati, M. (2019). Turning down the heat: An enhanced understanding of the relationship between urban vegetation and surface temperature at the city scale. *Science of the Total Environment*, 656, 118-128. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2018.11.223>
- Gohain, K. J., Mohammad, P., & Goswami, A. (2021). Assessing the impact of land use land cover changes on land surface temperature over Pune city, India. *Quaternary International*, 575, 259-269. <https://doi.org/10.1016/j.quaint.2020.04.052>
- Grover, A., & Singh, R. B. (2015). Analysis of urban heat island (UHI) in relation to normalized difference vegetation index (NDVI): A comparative study of Delhi and Mumbai. *Environments*, 2(2), 125-138. <https://doi.org/10.3390/environments2020125>
- Guha, S., Govil, H., Dey, A., & Gill, N. (2018). Analytical study of land surface temperature with NDVI and NDBI using Landsat 8 OLI and TIRS data in Florence and Naples city, Italy. *European Journal of Remote Sensing*, 51(1), 667-678. <https://doi.org/10.1080/22797254.2018.1474494>
- Guo, G., Wu, Z., Xiao, R., Chen, Y., Liu, X., & Zhang, X. (2015). Impacts of urban biophysical composition on land surface temperature in urban heat island clusters. *Landscape and Urban Planning*, 135, 1-10. <https://doi.org/10.1016/j.landurbplan.2014.11.007>
- Hejazi, R., & Abadi, P. (2002). The Effect of Plants on Ambient Temperature (Case Study: Taleghani Park). *Journal of Environmental Science and Technology*, 4(12), 45-83. <https://www.sid.ir/en/journal/ViewPaper.aspx?id=109234>
- Jabbar, M., & Yusoff, M. M. (2022). Assessing the spatiotemporal urban green cover changes and their impact on land surface temperature and urban heat island in Lahore (Pakistan). *Geography, Environment, Sustainability*, 15(1), 130-140. <http://doi.org/10.24057/2071-9388-2021-005>
- Jamei, Y., Rajagopalan, P., & Sun, Q. C. (2019). Spatial structure of surface urban heat island and its relationship with vegetation and built-up areas in Melbourne, Australia. *Science of the total environment*, 659, 1335-1351. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2018.12.308>
- Jumari, N. A. S. K., Ahmed, A. N., Huang, Y. F., Ng, J. L., Koo, C. H., Chong, K. L., ... & Elshafie, A. (2023). Analysis of urban heat islands with landsat satellite images and GIS in Kuala Lumpur Metropolitan City. *Heliyon*, 9(8). <https://doi.org/10.1016/j.heliyon.2023.e18424>
- Karimi, A., Mohammad, P., Gachkar, S., Gachkar, D., García-Martínez, A., Moreno-Rangel, D., & Brown, R. D. (2021). Surface urban heat island assessment of a cold desert city: a case study over the Isfahan Metropolitan Area of Iran. *Atmosphere*, 12(10), 1368. <https://doi.org/10.3390/atmos12101368>
- Karimi, A., Mohammad, P., García-Martínez, A., Moreno-Rangel, D., Gachkar, D., & Gachkar, S. (2023). New developments and future challenges in reducing and controlling heat island effect in urban areas. *Environment, Development and Sustainability*, 25(10), 10485-10531. <https://doi.org/10.1007/s10668-022-02530-0>
- Karimi, A., Sanaieian, H., Farhadi, H., & Norouziyan-Maleki, S. (2020). Evaluation of the thermal indices and thermal comfort improvement by different vegetation species and materials in a medium-sized urban park. *Energy Reports*, 6, 1670-1684. <https://doi.org/10.1016/j.egy.2020.06.015>
- Karimi Zarchi, A., & Shahhoseini, R. (2019). Measuring the Intensity of the Surface Urban Heat Islands Using Vegetation and Urban Indices (Case Study: The Cities of Rasht and Langroud). *Geographical Data*, 28(110), 91-106. <https://doi.org/10.22131/sepehr.2019.36614> [in Persian]
- Keerthi Naidu, B. N., & Chundeli, F. A. (2023).

- Assessing LULC changes and LST through NDVI and NDBI spatial indicators: A case of Bengaluru, India. *GeoJournal*, 88(4), 4335-4350. <http://doi.org/10.1007/s10708-023-10862-1>
- Lemonsu, A., Viguie, V., Daniel, M., & Masson, V. (2015). Vulnerability to heat waves: Impact of urban expansion scenarios on urban heat island and heat stress in Paris (France). *Urban Climate*, 14, 586-605. <https://doi.org/10.1016/j.uclim.2015.10.007>
 - Li, J., Song, C., Cao, L., Zhu, F., Meng, X., & Wu, J. (2011). Impacts of landscape structure on surface urban heat islands: A case study of Shanghai, China. *Remote sensing of environment*, 115(12), 3249-3263. <https://doi.org/10.1016/j.rse.2011.07.008>
 - Lin, M., Hou, L., Qi, Z., & Wan, L. (2022). Impacts of climate change and human activities on vegetation NDVI in China's Mu Us Sandy Land during 2000–2019. *Ecological Indicators*, 142, 109164. <https://doi.org/10.1016/j.ecolind.2022.109164>
 - Majnoui-Toutakhane, A., & Ramazani, M. E. (2019). Investigation and evaluation of thermal island status of Tehran metropolis, using satellite imagery. *Journal of Natural Environment*, 72(1), 29-43. <https://doi.org/10.22059/JNE.2018.253756.1491>
 - Masoodian, S., & Montazeri, M. (2020). Tempo-spatial behavior of Surface Urban Heat Island of Isfahan Metropolitan Area. *Journal of Natural Environmental Hazards*, 9(24), 35-46. <https://doi.org/10.22111/jneh.2019.28437.1493>
 - Mazidi, A., Omidvar, C., Mozafari, G. A., & Taghizadeh, Z. (2019). Revealing the Changes in Esfahan Heat Island Considering Urban Development. *The Journal of Geographical Research on Desert Areas*, 7(1), 21-39. <https://doi.org/20.1001.1.2345332.1398.7.1.2.0>
 - Mohammad, P., & Goswami, A. (2021). Quantifying diurnal and seasonal variation of surface urban heat island intensity and its associated determinants across different climatic zones over Indian cities. *GIScience & Remote Sensing*, 58(7), 955-981. <https://doi.org/10.1080/15481603.2021.1940739>
 - Niliyeh Brojeni, M., & Ahmadi Nadoushan, M. (2019). The relationship between urban vegetation and land surface temperature in Isfahan city using Landsat TM and OLI satellite images and LST index. *Environmental Sciences*, 17(4), 163-178. <https://doi.org/10.29252/envs.17.4.163> [in Persian]
 - Njoku, E. A., & Tenenbaum, D. E. (2022). Quantitative assessment of the relationship between land use/land cover (LULC), topographic elevation and land surface temperature (LST) in Ilorin, Nigeria. *Remote Sensing Applications: Society and Environment*, 27, 100780. <https://doi.org/10.1016/j.rsase.2022.100780>
 - Nse, O. U., Okolie, C. J., & Nse, V. O. (2020). Dynamics of land cover, land surface temperature and NDVI in Uyo City, Nigeria. *Scientific African*, 10, e00599. <https://doi.org/10.1016/j.sciaf.2020.e00599>
 - Pohan, S. A., & Sulistiyono, N. (2023). Analysis of the relationship between urban heat island (UHI) phenomenon and land cover change in Medan city using Landsat satellite imagery. In *Journal of Physics: Conference Series* (Vol. 2421, No. 1, p. 012017). IOP Publishing. <https://doi.org/10.1088/1742-6596/2421/1/012017>
 - Prohmdirek, T., Chunpang, P., & Laosuwan, T. (2020). The relationship between normalized difference vegetation index and canopy temperature that affects the urban heat island phenomenon. *Geographia Technica*, 15(2), 222-234. http://doi.org/10.21163/GT_2020.152.21
 - Rahaman, Z. A., Kafy, A. A., Saha, M., Rahim, A. A., Almulhim, A. I., Rahaman, S. N., ... & Al Rakib, A. (2022). Assessing the impacts of vegetation cover loss on surface temperature, urban heat island and carbon emission in Penang city, Malaysia. *Building and Environment*, 222, 109335. <https://doi.org/10.1016/j.buildenv.2022.109335>
 - Rajeshwari, A., & Mani, N. D. (2014). Estimation of land surface temperature of Dindigul district using Landsat 8 data. *International journal of research in engineering and technology*, 3(5), 122-126. <http://doi.org/10.15623/ijret.2014.0305025>
 - Ramezani, S., & Naghibi, F. (2020). Investigation of the vegetation index changes in the formation of the urban heat islands (Case study: Urmia city). *Research and Urban Planning*, 11(42), 195-206. https://jupm.marvdasht.iau.ir/article_3944.html?lang=en [in Persian]
 - Ridha, S. (2017). Urban heat Island mitigation strategies in an arid climate. In *outdoor thermal comfort reachable, INSA de Toulouse. sensing of environment*, Vol. 113, No. 5, pp. 893-903. <https://theses.hal.science/tel-01596559/>
 - Rizvi, S. H., Fatima, H., Iqbal, M. J., & Alam, K. (2020). The effect of urbanization on the intensification of SUHIs: Analysis by LULC on Karachi. *Journal of Atmospheric and Solar-Terrestrial Physics*, 207,

105374. <https://doi.org/10.1016/j.jastp.2020.105374>
- Sadeghinia, A., Alijani, B., & Zeaieanfiroozabadi, P. (2013). Analysis of spatial-temporal structure of the urban heat island in Tehran through remote sensing and geographical information system. *Journal of Geography and Environmental hazards*, 1(4), 1-17. <https://doi.org/10.22067/geo.v1i4.16950> [in Persian]
 - Santhosh, L. G., & Shilpa, D. N. (2023). Assessment of LULC change dynamics and its relationship with LST and spectral indices in a rural area of Bengaluru district, Karnataka India. *Remote Sensing Applications: Society and Environment*, 29, 100886. <https://doi.org/10.1016/j.rsase.2022.100886>
 - Senanayake, I. P., Welivitiya, W. D. D. P., & Nadeeka, P. M. (2013). Remote sensing based analysis of urban heat islands with vegetation cover in Colombo city, Sri Lanka using Landsat-7 ETM+ data. *Urban Climate*, 5, 19-35. <https://doi.org/10.1016/j.uclim.2013.07.004>
 - Shahfahad, Talukdar, S., Rihan, M., Hang, H. T., Bhaskaran, S., & Rahman, A. (2021). Modelling urban heat island (UHI) and thermal field variation and their relationship with land use indices over Delhi and Mumbai metro cities. *Environment, Development and Sustainability*, 1-29. <https://doi.org/10.1007/s10668-021-01587-7>
 - Shamsipour, A., Azizi, G., Karimi Ahmadabad, M., & Moghbel, M. (2013). Assessing the Physical Surface Temperature Patterns in Urban Environment (Case Study: Tehran). *Geography and Environmental Sustainability*, 3(1), 67-86. <https://ges.razi.ac.ir/?action=articleInfo&article=207&lang=fa&lang=en> [in Persian]
 - Shamsipour, A., & Mahdian Mahforouzi, M., & Akhavan, H., & Hoseinpour, Z. (2013). An Analysis on Diurnal Actions of the Urban Heat Island of Tehran. *Journal of Environmental Studies*, 38 (4), 45-56. <https://doi.org/10.22059/jes.2013.29862>
 - Shen, Z., Xu, X., Sun, Z., Jiang, Y., & Shi, H. (2023). Regional thermal environments (RTEs) and driving forces in six urban agglomerations of China and America. *Building and Environment*, 235, 110185. <https://doi.org/10.1016/j.buildenv.2023.110185>
 - Shirgir, E., Kheyroddin, R., & Behzadfar, M. (2022). Developing a pattern for intervention in urban green infrastructures to reach urban ecological resilience to climate change (Case study: Yousef Abad neighborhood in Tehran). *Journal of Environmental Studies*, 45(3), 545-565. <https://doi.org/10.22059/jes.2020.290829.1007933> [in Persian]
 - Singh, P., Kikon, N., & Verma, P. (2017). Impact of land use change and urbanization on urban heat island in Lucknow city, Central India. A remote sensing based estimate. *Sustainable cities and society*, 32, 100-114. <https://doi.org/10.1016/j.scs.2017.02.018>
 - Singh, R. B., & Grover, A. (2015). Spatial correlations of changing land use, surface temperature (UHI) and NDVI in Delhi using Landsat satellite images. *Urban development challenges, risks and resilience in Asian mega cities*, 83-97. http://doi.org/10.1007/978-4-431-55043-3_5
 - Stache, E. E., Schilperoort, B. B., Ottel , M. M., & Jonkers, H. H. (2022). Comparative analysis in thermal behaviour of common urban building materials and vegetation and consequences for urban heat island effect. *Building and Environment*, 213, 108489. <https://doi.org/10.1016/j.buildenv.2021.108489>
 - Ullah, W., Ahmad, K., Ullah, S., Tahir, A. A., Javed, M. F., Nazir, A., ... & Mohamed, A. (2023). Analysis of the relationship among land surface temperature (LST), land use land cover (LULC), and normalized difference vegetation index (NDVI) with topographic elements in the lower Himalayan region. *Heliyon*, 9(2). <http://doi.org/10.1016/j.heliyon.2023.e13322>
 - Vaez Mousavi A., Mokhtarzadeh M. (2015). Estimation of land surface temperature using MODIS data. In: Gheragozlo A.: *Geomatics 94 National Conference & Exhibition*, Tehran, May 17, 2015: 1–9. <https://www.sid.ir/paper/892070/fa> [in Persian]
 - Yadav, A., Kumar, R., & Swarup, S. (2023). Remote Sensing Image-Based Analysis of the Urban Heat Island Effect in Relation to the Normalized Difference Vegetation Index (NDVI): A Case Study of Patna Municipal Corporation. *Int. J. Res. Appl. Sci. Eng. Technol. (IJRASET)*, 11(1), 1143-1155. <https://doi.org/10.22214/ijraset.2023.48777>
 - Yan, Z., Li, Z., Li, P., Zhao, C., Xu, Y., Cui, Z., & Sun, H. (2023). Spatial and temporal variation of NDVI and its driving factors based on geographical detector: a case study of Guanzhong plain urban agglomeration. *Remote Sensing Applications: Society and Environment*, 32, 101030. <https://doi.org/10.1016/j.rsase.2023.101030>
 - Yao, R., Wang, L., Gui, X., Zheng, Y., Zhang, H., & Huang, X. (2017). Urbanization effects on vegetation and surface urban heat islands in China's Yangtze

- River Basin. *Remote Sensing*, 9(6), 540. <https://doi.org/10.3390/rs9060540>
- Yao, R., Wang, L., Huang, X., Liu, Y., Niu, Z., Wang, S., & Wang, L. (2021). Long-term trends of surface and canopy layer urban heat island intensity in 272 cities in the mainland of China. *Science of the Total Environment*, 772, 145607. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2021.145607>
 - Yoo, S. (2018). Investigating important urban characteristics in the formation of urban heat islands: A machine learning approach. *Journal of Big Data*, 5(1), 2. <https://doi.org/10.1186/s40537-018-0113-z>
 - Zargari, M., Mofidi, A., Entezari, A., & Baaghideh, M. (2024). Climatic comparison of surface urban heat island using satellite remote sensing in Tehran and suburbs. *Scientific Reports*, 14(1), 643. <https://doi.org/10.1038/s41598-023-50757-2>
 - Zhou, B., Rybski, D., & Kropp, J. P. (2017). The role of city size and urban form in the surface urban heat island. *Scientific reports*, 7(1), 4791. <https://doi.org/10.1038/s41598-017-04242-2>
 - Zhou, D., Zhang, L., Li, D., Huang, D., & Zhu, C. (2016). Climate-vegetation control on the diurnal and seasonal variations of surface urban heat islands in China. *Environmental Research Letters*, 11(7), 074009. <https://doi.org/10.1088/1748-9326/11/7/074009>
 - Zhou, W., Qian, Y., Li, X., Li, W., & Han, L. (2014). Relationships between land cover and the surface urban heat island: seasonal variability and effects of spatial and thematic resolution of land cover data on predicting land surface temperatures. *Landscape ecology*, 29, 153-167. <http://doi.org/10.1007/s10980-013-9950-5>.

نحوه ارجاع به مقاله:

قربانی، فاطمه؛ سجاده، حسن (۱۴۰۳)، تاثیر تغییرات پوشش گیاهی بر شدت جزیره گرمایی در شهر؛ نمونه مورد مطالعه: کلانشهر کرج، *مطالعات شهری*، 13 (52)، 19-32. <https://doi.org/10.22034/urbs.2024.140477.5005>

Copyrights:

Copyright for this article is retained by the author(s), with publication rights granted to Motaleate Shahri. This is an open-access article distributed under the terms of the Creative Commons Attribution License (<http://creativecommons.org/licenses/by/4.0>), which permits unrestricted use, distribution, and reproduction in any medium, provided the original work is properly cited.

