

Research Paper

Spatiotemporal Changes in Regional Temperature Influenced by Global Warming in Tehran Province, Iran



Niloofar Mohammadi¹ , *Zahra Hejazizadeh¹ , Parviz Zeaiean Firouzabadi² , AliReza Karbalaee¹

1. Department of Climatology, Faculty of Geographical Sciences, Kharazmi University, Tehran, Iran.

2. Department of Remote Sensing and GIS, Faculty of Geographical Sciences, Kharazmi University, Tehran, Iran.



Citation Mohammadi, N., Hejazizadeh, Z., Zeaiean Firouzabadi, P., Karbalaee, A. (2025). [Spatiotemporal Changes in Regional Temperature Influenced by Global Warming in Tehran Province, Iran (Persian)]. *Disaster Prevention and Management Knowledge*, 15(2):124-143. <https://doi.org/10.32598/DMKP.15.2.904.1>

 <https://doi.org/10.32598/DMKP.15.2.904.1>

ABSTRACT

Background and objective Urban development has changed the characteristics of the land surface. These changes have the potential to influence weather patterns at a local scale. Consequently, with the rise in temperature, urban areas face a significant challenge known as the urban heat island (UHI) effect. This study aims to investigate the spatiotemporal changes in regional temperature and the UHI extent in Tehran Province, Iran, using both meteorological and remote sensing data.

Method Daily temperature data from synoptic stations in Tehran (Shemiran, Chitgar, Mehrabad, Abali, Firuzkuh, and Geophysics) from 1996 to 2020 were obtained from the National Meteorological Organization to examine the temperature change using the Mann-Kendall test. To measure the regional average temperature based on MODIS images, the monthly land surface temperature (LST) data during 2014-2024 were downloaded from NASA's website and calculated in ArcGIS Pro software. To prepare the UHI map, profile, and extent, Landsat 8 satellite images for 2024 were obtained from the USGS website and the thermal profile was drawn for the Tehran districts (1, 9, 18, 22) based on the highest LST. The Climate Engine application was used to prepare the maps for the normalized difference vegetation index (NDVI) and LST between 2013 and 2024.

Results All stations' temperatures showed an increasing trend except for Chitgar. The highest regional temperatures were seen in July and August. In 2015, Varamin and Rey cities experienced the highest LST in these months (52.5 °C), which increased to 52.97 °C in 2018. The study of the relationship between the trend in NDVI and LST showed a direct and inverse relationship. The examination of the UHI extent showed that the heat sources were in the south, southeast, west, southwest, and northern regions of Tehran. The air temperature and LST both showed similar and consistent change patterns in June and July.

Conclusion This study reveals that climate change, caused by global warming, summer subtropical high-pressure system, and air subsidence in Iran, as well as increased greenhouse gas emissions, land-use changes, and vegetation loss, have significantly altered the spatiotemporal patterns of temperature in urban areas of Tehran. The findings of this research can be utilized in developing long-term plans for adapting to climate change in the field of urban crisis management.

Keywords Climate Change, Greenhouse gases, Land surface temperature, Vegetation index, MODIS, Global warming

Article Info:

Received: 21 Nov 2024

Accepted: 02 Mar 2025

Available Online: 01 Jul 2025

* Corresponding Author:

Zahra Hejazizadeh, Professor.

Address: Department of Climatology, Faculty of Geographical Sciences, Kharazmi University, Tehran, Iran.

Tel: +98 (21) 88329220

E-mail: hejazizadeh@khu.ac.ir



Copyright © 2025 The Author(s);

This is an open access article distributed under the terms of the Creative Commons Attribution License (CC-BY-NC: <https://creativecommons.org/licenses/by-nc/4.0/legalcode.en>), which permits use, distribution, and reproduction in any medium, provided the original work is properly cited and is not used for commercial purposes.

Extended Abstract

Introduction

Today, with the development of urbanization, cities have influenced the local, regional, and even global climate. One of the key elements in climatology studies is microclimate, since the effects of small local climates cause global climate changes. These changes have significantly contributed to the increase in the average global temperature. Vegetation loss, changes in land use, migration from rural to urban areas (population growth), agriculture, deforestation, and most importantly, the increase in greenhouse gases and the heat dissipated by human activities have caused urban warming and intensified the heat island effect in cities. This study aims to investigate the spatiotemporal changes in regional temperature and the extent of the urban heat island (UHI) in Tehran Province, Iran.

Methods

To investigate the temperature, the Mann-Kendall statistical test and Landsat 8 satellite and MODIS images were used. In the first step, the daily temperature of Tehran synoptic stations (Shamiran, Chitgar, Mehrabad, Abali, Firouzkoh, and Geophysics) from 1996 to 2020 were obtained from the National Meteorological Organization. Then, to investigate the trend of temperature change based on a monthly time series over time, the Mann-Kendall test was used. To measure the average regional temperature based on the MODIS images (MOD11C3 product), 53 monthly time series images of land surface temperature (LST_Day_CMG) were downloaded from the NASA's website for the years 2014-2024. Then, in order to prepare the map and profile of the UHI, Landsat 8 satellite images (band 10) were obtained for a period of one year (2024). After determining the maximum land surface temperature (LST) in Tehran, the temperature profiles of four districts (no. 1, 18, 9, 22) from among 22 different districts were drawn. Finally, using the Climate Engine software, the normalized difference vegetation index (NDVI) and LST changes were investigated.

Results

Temperature time series analysis of selected stations (Shimiran, Chitgar, Mehrabad, Abali, Firouzkoh, and Geophysics) for 1996-2020 showed an increasing trend in all stations except for Chitgar station. Examining the average regional temperature of cities in Tehran Province for the years 2014-2024 based on the MODIS data

showed the highest regional temperature in July and August. In these months of 2015, Varamin and Rey cities experienced the highest LST (52.50 °C). Three years later in these months of 2018, this figure reached 52.97 °C. In 2022 and 2023, in the same months, Varamin, Mallard, Rey, Pakdasht, and Pishva cities experienced a temperature of 48 °C.

Expansion of construction, vegetation loss, and consumption of fossil fuels were the factors involved in increasing the LST. Investigating the relationship between the trend in NDVI and LST based on Landsat 8 images between 2013 and 2024 showed that they had a direct and inverse relationship with each other, such that in June, July, and August of 2017, 2019, and 2024, it was observed that with a slight increase in NDVI, the LST reached 51.21 °C. This was more evident in the western, northern, and southwestern regions. Moreover, on October 28, 2020, the NDVI was -0.0, while in December and November of 2018, 2023, and 2021, it reached -0.03, -0.03, and -0.04, respectively. Thus, the slight increase in vegetation cover has not been able to justify the increase in temperature in the summer and autumn seasons. Investigating the expansion of UHI based on Landsat 8 images in 2024 showed that the most heat sources were in the south, southeast, west, north, southwest, and northern areas of Tehran, but the LST in June 2024 reached 52 °C, which was more evident in districts 9 and 22. Although air temperature and LST showed different values in the districts of Tehran, they had similar patterns of changes in June and July.

Conclusion

This study reveals that climate change, caused by global warming, summer subtropical high-pressure system, and air subsidence in Iran, as well as increased greenhouse gas emissions, land-use changes, and vegetation loss, have significantly altered the spatiotemporal patterns of temperature in urban areas of Tehran. The findings of this research can be utilized in developing long-term plans for adapting to climate change in the field of urban crisis management.

Ethical Considerations

Compliance with ethical guidelines

All ethical principles were considered. Since there was no experiment on human or animal samples, the need for an ethical code was waived.



Funding

This work is based upon research funded by [Iran National Science Foundation \(INSF\)](#) under project (Grant No.:4038495).

Authors' contributions

Conceptualization, software/statistical analysis, and initial draft preparation: Niloofar Mohammadi; Supervision, review and editing: Zahra Hejazizadeh, Parviz Zeaiean Firouzabadi, and Alireza Karbalaee.

Conflicts of interest

The authors declared no conflict of interest.

Acknowledgments

The authors would like to thank the [Iran National Science Foundation \(INSF\)](#) for the financial support.



مقاله پژوهشی

ارزیابی روند تغییرات مکانی و زمانی دمای منطقه‌ای تحت اثر گرمایش جهانی در استان تهران

نیلوفر محمدی^۱، * زهرا حجازی‌زاده^۲، پرویز ضیائی‌ان فیروزآبادی^۳، علیرضا کربلایی^۱

۱. گروه آب و هواشناسی، دانشکده علوم جغرافیایی، دانشگاه خوارزمی، تهران، ایران.

۲. گروه سنجش از دور و سیستم اطلاعات جغرافیایی، دانشکده علوم جغرافیایی، دانشگاه خوارزمی، تهران، ایران.

Use your device to scan and read the article online

**Citation** Mohammadi, N., Hejazizadeh, Z., Zeaiean Firouzabadi, P., Karbalaee, A. (2025). [Spatiotemporal Changes in Regional Temperature Influenced by Global Warming in Tehran Province, Iran (Persian)]. *Disaster Prevention and Management Knowledge*, 15(2):124-143. <https://doi.org/10.32598/DMKP.15.2.904.1>**doi** <https://doi.org/10.32598/DMKP.15.2.904.1>

حکیده

زمینه و هدف شهرها با توسعه خود به‌طور قابل توجهی ویژگی‌های سطح زمین را تغییر داده‌اند. این تغییرات توانسته در مقیاس محلی بر الگوهای آب‌وهوایی اثر داشته باشد. بنابراین شهرها با افزایش دما، با یک چالش بزرگ به نام جزیره حرارتی مواجه شده‌اند. هدف این مطالعه، بررسی روند تغییرات مکانی و زمانی دمای منطقه‌ای و گستردگی جزیره حرارتی در استان تهران است. یکی از رویکردهای نوآورانه در این پژوهش تلفیق دید هواشناسی و سنجش از دور است.

روش داده‌های دمای روزانه ایستگاه‌های سینوپتیک تهران (شمیران، چیتگر، مهرآباد، آبعلی، فیروزکوه و ژئوفیزیک) از سال ۱۹۹۶ تا ۲۰۲۰ از سازمان هواشناسی جهت بررسی روند دما با آزمون من کندال، اخذ شد. جهت محاسبه میانگین دمای منطقه‌ای، تصاویر سنجنده مودیس دمای ماهانه سطح زمین از سایت ناسا طی سال‌های ۲۰۱۴ تا ۲۰۲۴ دانلود و در محیط Arc GIS Pro محاسبه شد. جهت تهیه نقشه، پروفیل و گستردگی جزیره حرارتی تصاویر ماهواره‌ای لندست ۸ در سال ۲۰۲۴، از سایت USGS دریافت شد و پروفیل حرارتی مناطقی از تهران (۱، ۹، ۱۸، ۲۲) براساس بالاترین دمای سطح زمین، ترسیم شد. جهت تهیه نقشه روند تغییرات شاخص پوشش گیاهی و دمای سطح زمین بین سال‌های ۲۰۱۳ تا ۲۰۲۴، از برنامه Climate Engine بهره گرفته شد.

یافته‌ها الگوی رفتاری دما در ایستگاه‌های شمیران، چیتگر، مهرآباد، آبعلی، فیروزکوه و ژئوفیزیک به‌جز چیتگر افزایشی بود. بررسی میانگین دمای منطقه‌ای شهرستان‌های تهران بالاترین دمای منطقه‌ای را در ماه‌های جولای و آگوست نشان داد که در سال ۲۰۱۵ شهرستان‌های ورامین و ری بالاترین دمای رویه زمین را با ۵۲/۵۰ درجه سانتی‌گراد تجربه کردند. در سال ۲۰۱۸ در همین ماه‌ها این رقم به ۵۲/۹۷ درجه سانتی‌گراد رسید. بررسی روند رابطه شاخص پوشش گیاهی و دمای رویه زمین نشان داد این دو با هم رابطه مستقیم و معکوسی دارند. بررسی گسترش جزیره حرارتی نشان داد تمرکز کانون گرما در نواحی جنوب، جنوب شرق، غرب و شمال و جنوب غرب و مناطق شمالی تهران است. شاخص اقلیمی دمای هوا و دمای رویه زمین هر دو از لحاظ الگوی تغییرات دما در ماه‌های ژوئن و جولای مشابه هم بودند و عملکرد یکسانی داشتند.

نتیجه‌گیری مطالعه حاضر نشان می‌دهد تغییر اقلیم ناشی از گرمایش جهانی، استقرار پر فشار جنب حاره تابستانه و فرونشینی هوا در ایران، همراه با افزایش گازهای گلخانه‌ای و تغییرات کاربری اراضی، به‌ویژه از بین رفتن پوشش گیاهی، موجب شده است الگوهای دمایی در مناطق شهری تهران دستخوش تغییرات مکانی و زمانی قابل توجهی شوند. یافته‌های این پژوهش می‌تواند در تدوین برنامه‌های بلندمدت برای سازگاری با تغییر اقلیم از حیطة مدیریت بحران در شهرها مورد استفاده قرار گیرد.

کلیدواژه‌ها تغییر اقلیم، دمای سطح زمین، گازهای گلخانه‌ای، مودیس، مدل سازی

اطلاعات مقاله

تاریخ دریافت: ۱۴۰۳/۰۱/۰۳

تاریخ پذیرش: ۱۴۰۳/۱۲/۱۲

تاریخ انتشار: ۱۴۰۴/۰۱/۱۰

* نویسنده مسئول:

دکتر زهرا حجازی‌زاده

نشانی: تهران، دانشگاه خوارزمی، دانشکده علوم جغرافیایی، گروه آب و هواشناسی.

تلفن: ۸۸۳۲۹۲۲۰ (۲۱) +۹۸

پست الکترونیکی: hejazizadeh@khu.ac.ir



Copyright © 2025 The Author(s);

This is an open access article distributed under the terms of the Creative Commons Attribution License (CC-BY-NC: <https://creativecommons.org/licenses/by-nc/4.0/legalcode.en>), which permits use, distribution, and reproduction in any medium, provided the original work is properly cited and is not used for commercial purposes.



مقدمه

امروزه با گسترش شهرنشینی، شهرها بر اقلیم محلی، منطقه‌ای تا سطح جهانی اثر گذاشته‌اند و توانسته‌اند بر الگوهای آب‌وهوایی اثرات قابل‌توجهی داشته باشند (آدیری و همکاران، ۲۰۲۴؛ امانوئل و کروگر، ۲۰۱۲). تغییرات آب‌وهوایی در سطح جهانی ناشی از اثرات اقلیم‌های کوچک محلی است. این تغییرات به‌طور قابل‌توجهی به افزایش میانگین دمای جهانی کمک کرده است (دمیس نگس و همکاران، ۲۰۲۴؛ هیئت بین‌الدول تغییر اقلیم، ۲۰۲۱). از بین بردن پوشش گیاهی، سطوح غیرقابل نفوذ، محدود بودن فضاهای سبز و آبی، تغییرات کاربری، مهاجرت از روستا به شهر (افزایش جمعیت)، کشاورزی، جنگل‌زدایی و مهم‌تر از همه افزایش گازهای گلخانه‌ای ناشی از فعالیت‌های انسانی موجب گرمایش شهری و تشدید جزیره حرارتی در شهرها شده است (هیئت بین‌الدول تغییر اقلیم، ۲۰۲۲؛ لیو و همکاران، ۲۰۲۴؛ آلسوابکه و همکاران، ۲۰۲۴؛ حجازی‌زاده و مقیمی، ۱۳۸۱؛ حجازی‌زاده و مقیمی، ۱۳۸۶).

مناطق شهری در مقایسه با محیط روستایی، دستاوردهای حرارتی بالاتری دارند، این دینامیک به‌عنوان پدیده جزیره گرمایی شهری شناخته شده است (لیو و همکاران، ۲۰۲۴؛ حجازی‌زاده و مقیمی، ۱۳۸۱). از دیدگاه اقلیمی، ۳ مؤلفه اصلی (سامانه‌های همدید، باد و ابرناکی) بر شدت و ضعف جزیره حرارتی نقش دارند. در زمانی که آسمان بدون ابر باشد، اختلاف دما بین شهر و روستا زیاد است و در شرایطی که همراه با سرعت باد و هوا ناپایدار باشد، اختلاف حرارتی بین شهر و روستا کم می‌شود و از شدت جزیره حرارتی کاسته می‌شود. اما شدت جزیره حرارتی در زمان استقرار سامانه‌های آنتی‌سیکلونی بیشتر از شرایط سیکلونی است (اسکورو، ۱۳۷۷؛ خداجو و همکاران، ۱۴۰۰). بنابراین جزیره حرارتی بر عناصر اقلیمی اثرگذار است. این مشکل در آینده به دلیل تغییر اقلیم در شهرها شدیدتر خواهد شد (جی و همکاران، ۲۰۲۴؛ لو و همکاران، ۲۰۲۴). در ایران، تهران یکی از استان‌هایی است که با تمام مشکلات عنوان‌شده، بافتی متراکم با بالاترین نرخ جمعیت و شهرنشینی و صنعت دارد (سودودی و همکاران، ۲۰۱۴؛ هیئت بین‌الدول تغییر اقلیم، ۲۰۲۱).

تهران، تاکنون ۱۷ موج گرمایی را تجربه کرده است که منجر به مرگ‌ومیر ۱۰۶۹ نفر شده است (احمدنژاد و همکاران، ۲۰۱۳). بنابراین انجام مطالعه‌ای جهت روند تغییرات مکانی و زمانی دما در این استان ضروری به نظر می‌رسد. پیشینه مطالعاتی نشان می‌دهد زمینه پژوهش در حیطه گرمایش جهانی از سال ۱۹۱۱ در انجمن سلطنتی هواشناسی آغاز شد و در انگلستان، ثبت دما از سال ۱۶۵۹ به‌صورت منظم شروع شده است (عزیزی، ۱۳۸۳). این داده‌ها، زمینه‌ای ارزشمند برای تحلیل روند تغییرات دمایی در طول سالیان را فراهم آورده‌اند (وایل و وایتهد، ۲۰۱۳).

لوک هاوارد، نخستین فردی است که در سال ۱۸۰۶ تفاوت دمای شهر لندن و حومه را با در نظر داشتن تراکم و توسعه شهری مورد مطالعه قرار داد (استورات، ۲۰۱۹). مرور مطالعات نشان می‌دهد، تحقیقات گسترده‌ای در زمینه روند دمای منطقه‌ای و میانگین دمای جهانی انجام شده است (عزیزی و همکاران، ۱۳۸۴) و از دیرباز تا کنون مطالعه جزیره حرارتی و تغییر اقلیم در شهرها مورد اقبال پژوهشگران داخل و بین‌الملل است. از لحاظ روش‌شناسی مطالعه جزیره حرارتی و دمای رویه زمین به ۲ دسته (فناوری سنجش از دور و مدل‌سازی) تقسیم شده است. دسته اول، روش سنجش از دور، در پژوهش‌ها به‌عنوان تکنیکی در نظر گرفته شده است که امکان پایش جزیره حرارتی در سطح شهری (یک منطقه بزرگ) در یک زمان معین را دارد و آن را پوشش می‌دهد. دسته دوم، روش مدل‌سازی، برای تحلیل و شبیه‌سازی محیط‌های حرارتی در یک بخش شهری است و شامل مدل‌های جوی، مدل‌های دینامیکی است که توزیع دمای منطقه‌ای و مبادلات تابشی و حرارتی بین بافت شهری و جو را بررسی می‌کنند (بهی و همکاران، ۲۰۲۰).

در این راستا، رنجبر سعادت و همکاران (۱۳۸۴)، به مطالعه شبیه‌سازی عددی جزیره حرارتی تهران با مدل MM5 پرداختند. نتایج نشان داده در زمان استقرار توده هوای گرم، شرایط گسترش جزیره حرارتی در شب شکل نمی‌گیرد و شدت ضعیفی دارد، اما در زمانی که توده هوای سرد استقرار دارد، شدت جزیره حرارتی بیشتر است و در نیمه شمالی تهران شکل می‌گیرد. مطالعه شکیب و همکاران (۱۳۸۸)، در رابطه با پوشش اراضی و جزیره حرارتی در تهران نشان داد ضمن اینکه جذب و ذخیره انرژی تابشی در سطوح غیرقابل نفوذ اثر گرمایشی دارد، پوشش گیاهی با ایجاد تعادل بین تبخیر و تعرق و ایجاد سایه اثر خنک‌کننده دارد. صادقی‌نیا و همکاران (۱۳۹۱)، به مطالعه تحلیل مکانی‌زمانی جزیره حرارتی در کلان‌شهر تهران پرداختند و نتایج این پژوهش نشان داده است در مناطق غربی و جنوب غرب تهران به دلیل کاهش پوشش گیاهی و توسعه کاربری‌های کارگاهی و صنعتی جزیره حرارتی شدت داشته است.

مسعودیان و ترکی (۱۳۹۸)، به بررسی تغییرات زمانی مکانی جزیره حرارتی در اهواز پرداختند. نتایج این مطالعه نشان داد اهواز در روز به میزان ۲ درجه سانتی‌گراد سردتر است، بنابراین با رخداد جزیره سرمایی روبه‌رو است. این در حالی است که در شب ۲/۲ درجه سانتی‌گراد از محیط اطرافش گرم‌تر بوده و دمای بالاتری دارد که با شکل‌گیری جزیره حرارتی روبه‌رو است. شیخی و همکاران (۱۳۹۹)، به بررسی شبیه‌سازی عددی عملکرد برنامه‌های کنترلی جزیره گرمایی تابستانه با مدل میان مقیاس WRF در تهران پرداختند. نتایج نشان داد باتوجه به توپوگرافی تهران و دمای بالا در این منطقه، سناریوی تغییر آلوده سطوح، بالاترین اثر را در سطح زمین نسبت به ۲ سناریوی کاهش تراکم ساختمانی و افزایش مناطق سبز شهری دارد. در نتیجه تهران در

مقابل استرس گرمایی آسیب‌پذیری بالایی را دارا است.

نصیری و همکاران (۱۴۰۰)، به بررسی تغییر اقلیم و چالش‌های ارزیابی کمی تغییر اقلیم در تهران پرداختند. نتایج این مطالعه نشان داده است باتوجه به مناطق پرتراکم تهران، طی دوره ۳۰ ساله (۱۹۹۱ تا ۲۰۲۰) این کلان‌شهر افزایش دما و کاهش رطوبت را تجربه کرده است که اثرات تغییر اقلیم با شکل‌گیری جزیره حرارتی خیلی بیشتر خواهد شد. **مفتاحی و همکاران (۱۴۰۱)**، به بررسی تغییرات فضایی زمانی الگوی جزیره حرارتی در تهران پرداختند. نتایج نشان داد در مناطق شمالی تهران میزان نقاط سرد قابل توجه است. درحالی‌که در محدوده‌های غرب، غربی و جنوب شرق تهران شکل‌گیری نقاط داغ شدت داشته است. در نهایت، **آزاده و اعتمادی‌کیا (۱۴۰۳)**، در مطالعه‌ای مدل‌سازی گسترش فضایی جزایر حرارتی در رشت را مورد واکاوی قرار دادند. نتایج هم‌پوشانی شاخص‌ها نشان داد در محلات پیرسرا و ضیابری روند گسترش فضایی جزیره حرارتی بیشتر است و در ۲۶ محله کلان‌شهر رشت، احتمال شکل‌گیری جزیره حرارتی بسیار بالا است.

لی و همکاران (۲۰۰۴)، به مطالعه اثر جزیره حرارتی بر میانگین دمای سالانه طی ۵۰ سال گذشته در چین پرداختند. نتایج نشان داد اثر جزیره حرارتی بر میانگین دمای سالانه از منطقه‌ای به منطقه دیگر تفاوت داشت. در دره رودخانه یانگ تسه و جنوب چین، اثر جزیره حرارتی روند گرمایش را حدود ۰/۱۱ درجه سانتی‌گراد در هر دهه افزایش داده است. درحالی‌که در شمال شرق، شمال چین، و شمال غربی، جزیره حرارتی اثر جزئی بر روند گرم شدن دمای سالانه منطقه دارد. **شوال و همکاران (۲۰۰۹)**، به بررسی جزیره حرارتی و اثر دماهای حدی در جولای ۲۰۰۷ در بخارست پرداختند. نتایج نشان داده است در روز، دماهای حدی تغییرات قابل توجهی در ویژگی‌های جزیره حرارتی ایجاد می‌کند، به‌طوری‌که قادر است شدت جزیره حرارتی را در مناطقی محو و پراکنده کند یا گسترش دهد و در برخی نقاط دیگر باعث شود جزیره‌های حرارتی جابه‌جا شود.

لاووت و همکاران (۲۰۱۵)، به بررسی جزیره حرارتی برای ۸ مورد از شهرهای جهان با بهره‌گیری از مدل‌های URBCLIM و CMIP5 پرداختند. نتایج نشان داد طبق سناریوی RCP8.5 (۱۹۸۶-۲۰۰۵) و افق آتی (۲۰۸۱-۲۱۰۰) در همه شهرهای مدنظر (آلماتا، آنتروپ، برلین، بیلپائو، لندن، نیویورک، ریودوژانیرو و اسکوپیا) هم دمای شهری و روستایی تا ۷ درجه سانتی‌گراد افزایش یافته و به‌شدت گرم‌تر خواهد شد. اما گسترش شدت جزیره حرارتی در برخی از شهرها ضعیف‌تر خواهد بود. در مطالعه‌ای گالدیس و لو (۲۰۲۰)، به بررسی اثرات جزیره حرارتی، دماهای حدی و تغییر اقلیم با بهره‌گیری از مدل MAGICC/SCENGEN و تصاویر ماهواره‌ای لندست ۸ در هنگ‌کنگ پرداختند. آن‌ها دریافتند شکل‌گیری و اثرات جزیره حرارتی در

مناطق شهری و حومه در زمان رخداد موج گرما شدت و گسترش می‌یابد این در حالی است که وجود فضاهای سبز شهری می‌تواند اثر جزیره حرارتی را به حداقل برساند.

تانویسی‌تیپون و همکاران (۲۰۲۳)، به مطالعه پیش‌نمایی روند جزیره حرارتی ناشی از تغییر اقلیم و دمای رویه زمین طبق سناریوهای RCP4.5 و RCP8.5 در تایلند پرداختند. یافته‌های این پژوهش نشان داده است درحالی‌که شاخص‌های حدی سرد روند نزولی را نشان داده است، شاخص‌های گرم روند افزایشی و صعودی داشته است؛ یعنی در ماه‌های آینده تایلند دماهای بالاتری را تجربه خواهد کرد که این مسئله به تشدید جزیره حرارتی و افزایش دمای سطح زمین کمک خواهد کرد.

سیسوانتو و همکاران (۲۰۲۳)، به مطالعه ویژگی‌های مکانی و زمانی جزیره حرارتی در جاکارتا پرداختند. نتایج نشان داده است دمای روزانه و شبانه در مرکز شهر بسیار بالاتر از نواحی اطراف بوده است. به‌طوری‌که اختلاف دمای رویه زمین بین ۳ الی ۶ درجه سانتی‌گراد و دمای هوا بین ۱ الی ۲/۵ درجه سانتی‌گراد بین نواحی مرکزی شهر و نواحی اطراف کاملاً مشهود است. باتوجه به فعالیت‌های اقتصادی، رشد جمعیت اثرات قابل توجهی در شدت جزیره حرارتی خواهد داشت و شدت و گسترش جزیره حرارتی بیشتر در جهت شمال به جنوب و شرق به غرب جاکارتا بوده است. **بونچی و همکاران (۲۰۲۴)**، به بررسی توسعه جزیره حرارتی و گرمایش جهانی از سال ۱۹۸۱ تا ۲۰۲۱ در زاگرب (کرواسی) پرداختند. این پژوهش نشان داده است تغییرپذیری دما (روزانه، ماهانه و سالانه) در کلیه ایستگاه‌ها روند افزایشی داشته است. به‌طوری‌که بیشترین شدت جزیره حرارتی در ایستگاه ماکسی‌میر مشاهده شده است.

گوپتا و همکاران (۲۰۲۴)، به مطالعه ارزیابی مشخصه‌های حرارتی و دینامیک سطح زمین در هند پرداختند. یافته‌های این پژوهش نشان داد ضمن اینکه بین سال‌های ۲۰۰۳ تا ۲۰۱۴ دما در فصل تابستان حدود ۴ درجه سانتی‌گراد افزایش داشته است، شدت جزیره حرارتی ۲۸/۵۲ درصد نسبت به ۲ دهه اخیر در فصل زمستان افزایش یافته است. این افزایش دما و توسعه جزیره حرارتی به عواملی چون کاربری اراضی و الگوهای آب‌وهوای محلی مرتبط بود. همان‌گونه که پیشینه مطالعاتی نشان می‌دهد قسمتی از مطالعات یا به گرمایش جهانی یا به جزیره حرارتی اختصاص داشته است و مطالعاتی مشابه از گذشته تاکنون توسط پژوهشگرانی (**منصوری و همکاران، ۱۴۰۰؛ صادقی‌نیا و همکاران، ۱۳۹۱؛ شکیب و همکاران، ۱۳۸۸**) صورت گرفته است، اما شکاف مطالعاتی موجود، تفاوت در مقیاس‌های زمانی و مکانی، همچنین فقدان یک مطالعه جامع در دید گسترده‌تر کل مناطق تهران و پیوند آن با گرمایش جهانی است.

مطالعات بسیار اندکی در ارتباط با روند تغییرات فضایی و زمانی به‌صورت میانگین دمای منطقه‌ای از منظر گسترش جزیره



۱۳۹۱؛ علی محمدی، ۱۳۸۸؛ آمارنامه شهر تهران، ۱۳۹۶).

داده‌ها

در این پژوهش به ۲ روش هواشناسی و فناوری سنجش از دور پرداخته شده است. مطالعه حاضر، از نوع کمی، اسنادی و کتابخانه‌ای است. تمرکز این پژوهش بر بررسی روند تغییرات مکانی و زمانی دمای منطقه‌ای و گستردگی جزیره حرارتی در استان تهران است. بررسی منابع و پیشینه بر پایه مطالعات اسنادی و کتابخانه‌ای است و جهت بررسی دما از ترکیب روش‌های آزمون آماری من‌کندال و تصاویر ماهواره‌ای جهت تحقق هدف بهره گرفته شده است. در گام اول داده‌های پارامتر دمای روزانه ایستگاه‌های سینوپتیک تهران (شمیران، چیتگر، مهرآباد، آبعلی، فیروزکوه و ژئوفیزیک) از سال ۱۹۹۶ تا ۲۰۲۰ از سازمان هواشناسی کشور اخذ شد. طبق توصیه سازمان هواشناسی برای بررسی تغییر اقلیم نیاز به داده‌های بالای ۳۰ سال است (شیخ و همکاران، ۱۴۰۰).

مبنای انتخاب ایستگاه‌ها براساس دوره آماری مشترک است. طبق داده‌های دریافتی از سازمان هواشناسی کشور، داده‌های پارامترهای اقلیمی، از جمله دمای استان تهران از سال ۱۹۵۱ در برخی از ایستگاه‌ها در دسترس بود، اما در ایستگاه‌های دیگر به دلیل تازه تأسیس بودن ایستگاه‌ها یا فقدان دوره آماری مشترک و نواقص آماری، نیاز به بازسازی بلندمدت داده‌ها (بیشتر از ۳ سال) داشت که در مطالعات تغییر اقلیم توصیه نمی‌شود (عزیزی و همکاران، ۱۳۸۴). بنابراین از بین ۱۲ ایستگاه سینوپتیک تهران، تنها ۶ ایستگاه (شمیران، چیتگر، مهرآباد، آبعلی، فیروزکوه و ژئوفیزیک) که دارای دوره مشترک آماری بالای ۲۰ سال بودند انتخاب شدند و سپس کنترل کیفی داده‌ها انجام شد. جهت بررسی روند پارامتر دما به صورت سری زمانی ماهانه، از گذشته تاکنون (در طول زمان) از آزمون من‌کندال که یکی از رایج‌ترین و پرکاربردترین ابزارهاست، بر پایه آماره Z، براساس سطح معنی‌داری ۹۵ و ۹۹ درصد از ماکرواکسل بهره گرفته شده است (رحیم‌زاده و همکاران، ۱۳۸۲؛ رحیم‌زاده و عسگری، ۱۳۸۳؛ سلمی، ۲۰۰۲؛ کانر و همکاران، ۲۰۱۲).

مطالعه دمای سطح زمین در مطالعات اقلیم‌شناسی یکی از متغیرهای مهم است و از نظر پژوهشگران کاربردهای متعددی در علوم محیطی داشته است (حجازی‌زاده و همکاران، ۱۳۹۲)، بنابراین در گام بعدی جهت محاسبه میانگین دمای منطقه‌ای از تصاویر سنجنده مودیس (MOD11C3) استفاده شد. ۵۳ تصویر سری زمانی ماهانه پارامتر دمای سطح زمین (LST_Day_CMG) از سایت ناسا^۱ طی سال‌های ۲۰۱۴ الی ۲۰۲۴ برای دوره گرم سال با فرمت HDF دانلود شد (کربلاتی و همکاران، ۱۴۰۰).

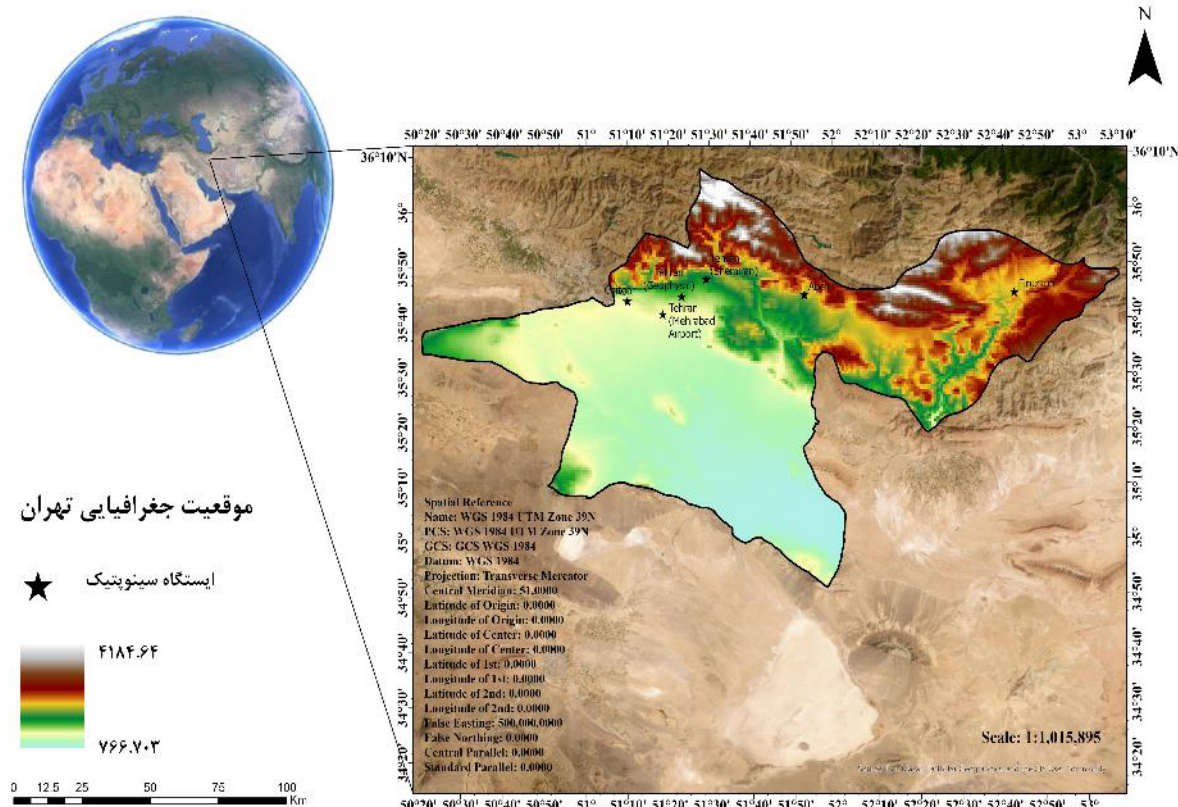
حرارتی صورت گرفته است که آن را به گرمایش جهانی نسبت می‌دهد. بنابراین در این مطالعه به صورت چشمگیر به این موضوع پرداخته شده است. به عبارتی دیگر، یکی از رویکردهای نوآورانه در این پژوهش تلفیق دید هواشناسی و سنجش از دور است که با به کارگیری داده‌های مودیس و لندست برای اولین بار میانگین دمای منطقه‌ای شهرستان‌های تهران همراه با پروفیل حرارتی از مناطق مستعد به گرمایش جهانی مورد بررسی قرار گرفته است. هدف این پژوهش بررسی روند تغییرات مکانی و زمانی دمای منطقه‌ای و گستردگی جزیره حرارتی در استان تهران است. حال سؤال این است تا چه اندازه روند دمای هوا و تغییرات مکانی و زمانی در سطح زمین توانسته است در گسترش جزیره حرارتی در مناطق استان تهران تأثیرگذار باشد؟ در این پژوهش سعی شده است جهت دستیابی به پاسخ، به چند طریق دمای سطح زمین و روند تغییرات فضایی و مکانی میانگین منطقه‌ای در استان تهران با بهره‌گیری از تکنیک‌ها، برنامه جدید مبتنی بر وب Cli-mate Engine و داده‌های جدیدتر مورد واکاوی قرار گیرد.

روش

استان تهران در موقعیت جغرافیایی بین $35^{\circ}00'$ تا $37^{\circ}00'$ عرض شمالی و $49^{\circ}00'$ تا $53^{\circ}00'$ درجه طول شرقی قرار دارد (تصویر شماره ۱). این استان از شمال به استان مازندران، از جنوب به استان قم، از جنوب غربی به استان مرکزی، از غرب به استان البرز و از شرق به استان سمنان محدود می‌شود، دارای ۱۶ شهرستان و طبق سرشماری سال ۱۳۹۵، دارای ۱۳۶۳۷۲۶۷ نفر جمعیت است. پرجمعیت‌ترین شهرستان استان، شهر تهران است که پرجمعیت‌ترین شهر در غرب آسیا و دومین کلان‌شهر خاورمیانه است (مرکز مطالعات و تحقیقات شهرسازی و معماری ایران، ۱۳۷۹؛ سودودی و همکاران، ۲۰۱۴؛ آمارنامه شهر تهران، ۱۳۹۶). آسفالت‌های شهری، وجود وسایل نقلیه، حرارت ناشی از احتراق موتور، ادامه داشتن ساخت‌وسازها، رها شدن مواد سمی همچون سرب مانعی جهت داشتن شهری پایدار است و درواقع تهران از لحاظ زیست‌محیطی رو به توسعه ناپایدار شهری پیش رفته است (طباطبائی، ۱۳۹۲).

باتوجه به موقعیت خاص جغرافیایی (اختلاف ارتفاع در شمال و جنوب آن و ارتفاع زیاد از سطح دریا) این استان شرایط دارای نامتعادل تراکم و بافت شهری است. به عبارتی حدود ۳۰۰۰ متر اختلاف ارتفاع بین بلندترین نقاط مرتفع استان تا پایین‌ترین نقاط وجود دارد و تغییر در رطوبت و دما در سطح استان بارزتر است (اسکندریان، ۱۳۹۴). تهران از لحاظ جریان‌ات جوی، تحت اثر جریان‌ات سیبری و مدیترانه است و توزیع مکانی و زمانی دما و بارش در این استان رابطه معکوسی دارد. به طوری که از لحاظ بارشی وضعیت مناسبی ندارد. متوسط بارش سالیانه حدود ۲۶۳/۹ میلی‌متر و بیشترین بارش سالیانه ۶۰۰ میلی‌متر است و جزو اقلیم نیمه‌خشک محسوب می‌شود (فلاحی و همکاران،

1. <https://search.earthdata.nasa.gov/search>



تصویر ۱. موقعیت جغرافیایی محدوده مورد مطالعه (استان تهران).

زمین^۲ طی بازه زمانی در دسترس ۲۰۱۳ الی ۲۰۲۴، از برنامه مبتنی بر وب (Climate Engine) و از روش آماری من‌کنندال در سطح معنی‌داری ۹۵ درصد، بهره گرفته است (هانتینگتون و همکاران، ۲۰۱۷). Climate Engine برنامه‌ای مبتنی بر وب و رایگان است که بسیار مورد توجه و پسند کاربران قرار گرفته است. ابزاری است که از داده و اطلاعات سامانه Google Earth Engine استفاده می‌کند، اما از این نظر منحصر به فرد است که دسترسی آسان، تجزیه و تحلیل و دانلود مجموعه داده‌های رصد زمین بدون نیاز به کدنویسی فراهم می‌کند. این ابزار کاربر را قادر می‌کند تا نقشه‌ها و خلاصه سری‌های زمانی را از مجموعه کاملی از داده‌ها (هواشناسی، هیدرولوژی و فناوری سنجش از دور) تولید و استخراج کند. از آنجایی که این برنامه جهت پردازش مجموعه‌ای جامع از متغیرها است، می‌توان جهت تهیه روند نقشه سری زمانی بلندمدت جهت هشدار اولیه اثرات آب‌وهوایی مانند خشکسالی، آتش‌سوزی جنگلی، کشاورزی را ارائه داد (هانتینگتون و همکاران، ۲۰۱۷) (تصویر شماره ۲).

روند سری زمانی شاخص نرمال‌شده تفاوت پوشش گیاهی در بازه زمانی ۲۰۱۳ الی ۲۰۲۴ استان تهران با بهره‌گیری از تصاویر

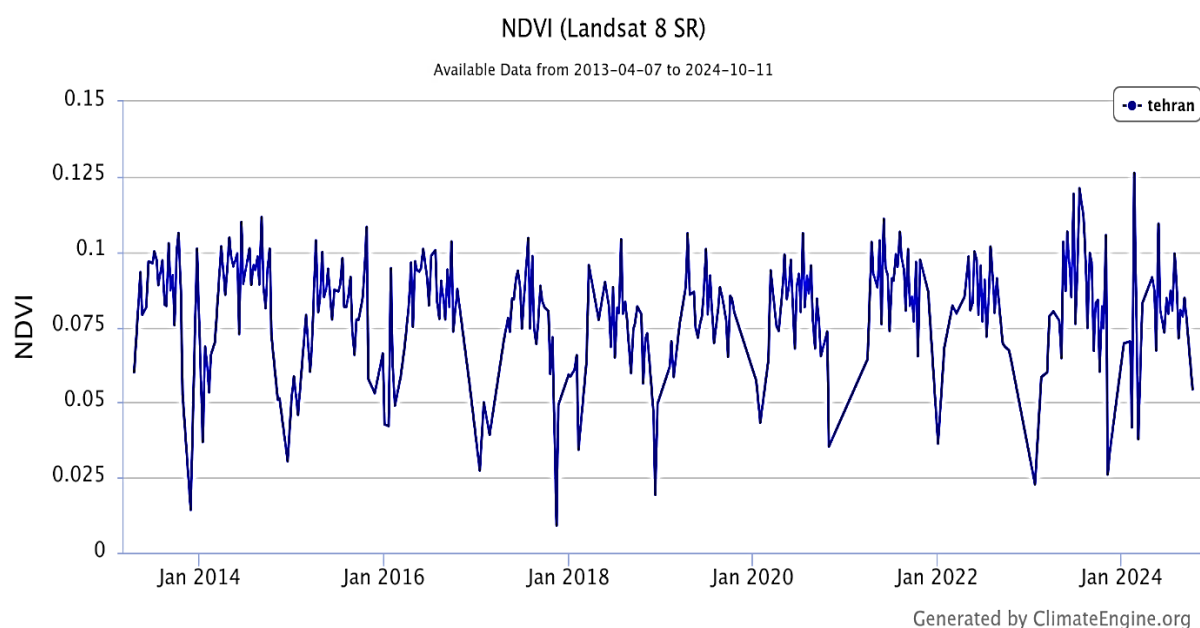
مسعودیان، ۱۳۸۹). این محصول دمای ماهانه رویه سطح زمین را در دوره روزانه و شبانه در شرایط آسمان صاف، به طول و عرض جغرافیایی ۰/۰۵ درجه ارائه می‌دهد (وان، ۲۰۰۷) و بعد از تبدیل واحد درجه از کلون به سانتی‌گراد، از تابع آمار منطقه‌ای جهت برآورد میانگین دمای منطقه‌ای در محیط Arc GIS Pro بهره گرفته شد (طیبه و همکاران، ۲۰۱۸؛ احمدی و همکاران، ۱۳۹۷). سپس جهت تهیه نقشه، پروفیل و برآورد گسترده‌ی جزیره حرارتی در مناطق شهری تهران از باند ۱۰، تصاویر ماهواره‌ای لندست ۸ در بازه زمانی ۱ سال (۲۰۲۴)، با تفکیک مکانی ۳۰ متر، از سایت سازمان زمین‌شناسی ایالات متحده^۳ دریافت شد و در محیط Arc MAP جزیره حرارتی محاسبه شد و پس از بررسی بالاترین بیشینه دمای رویه سطح زمین از بین مناطق ۲۲ گانه، پروفیل حرارتی مناطق از تهران (۱، ۱۸، ۹، ۲۲) به‌عنوان نمونه براساس بالاترین دمای سطح زمین، ترسیم شد.

در نهایت این مطالعه برای نخستین بار در ایران به‌طور مستقیم، جهت تهیه نقشه روند تغییرات سری زمانی میانگین ماهانه شاخص نرمال‌شده تفاضل پوشش گیاهی^۴ و دمای سطح

2. <https://earthexplorer.usgs.gov/>

3. Normalized Difference Vegetation (NDVI)

4. Land surface temperature (LST)



تصویر ۲. روند سری زمانی ماهانه NDVI استان تهران در بازه زمانی ۲۰۱۳ تا ۲۰۲۴

طبق این فرمول، n تعداد مشاهدات سری، و x_j و x_k به ترتیب داده‌های z و k سری است که در ادامه همان‌طور که فرمول شماره ۲ نشان داده است تابع علامت sgn محاسبه می‌شود:

$$\begin{aligned} sgn(x_j - x_k) &= +1 & for(x_j - x_k) &> 0 \\ 2. \quad sgn(x_j - x_k) &= 0 & for(x_j - x_k) &= 0 \\ sng(x_j - x_k) &= -1 & for(x_j - x_k) &< 0 \end{aligned}$$

در فرمول شماره ۳ محاسبه واریانس S را نشان داده است:

$$\begin{aligned} for \quad n > 10 \\ 3. \quad var(s) &= \frac{n(n-1)(2n+5) - \sum_{t=1}^m t(t-1)(2t+5)}{18} \\ for \quad n < 10 \\ var(s) &= \frac{n(n-1)(2n+5)}{18} \end{aligned}$$

در گام بعدی n و m تعداد دنباله‌هایی را نشان می‌دهد که در آن حداقل یک داده تکراری باشد. t معرف فراوانی داده با ارزش یکسان در یک دنباله بوده که در نهایت آماره z با یکی از روابط زیر استخراج می‌شود (فرمول شماره ۴):

$$\begin{aligned} 4. \quad z &= \frac{s-1}{\sqrt{var(s)}} & for \quad s > 0 \\ z &= 0 & for \quad s = 0 \\ z &= s+1\sqrt{var(s)} & for \quad s < 0 \end{aligned}$$

۳۰ متر لندست ۸ با استفاده از این پلتفرم نشان داده شده است و در این مطالعه جهت بررسی رابطه روند پوشش گیاهی و دمای سطح زمین از این ابزار آنلاین جهت صحت و دقت بهره گرفته شده است.

آزمون من‌کندال

این آزمون جهت واکاوی روندهای یکنواخت در سری داده‌های محیطی، داده‌های اقلیمی و هیدرولوژیکی استفاده می‌شود و ابتدا توسط من (۱۹۴۵) ارائه و توسط کندال (۱۹۷۵) توسعه پیدا کرد. این آزمون در سال ۱۹۸۸ توسط سازمان جهانی هواشناسی جهت تحلیل روند سری‌های هواشناسی و هیدرولوژیکی پیشنهاد شد (محمدی و همکاران، ۱۴۰۳؛ پولرت، ۲۰۲۰؛ سلیمی، ۲۰۰۲؛ کانر و همکاران، ۲۰۱۲). در این مطالعه روند سری زمانی پارامتر اقلیمی (دما) براساس آماره Z در ماکرو اکسل بررسی شد. معنی‌داری یا عدم معنی‌داری متغیرها در ایستگاه‌های سینوپتیک (مهرآباد، شمیران، ژئوفیزیک، چیتگر، فیروزکوه و آبعلی) در مقطع زمانی ۲۴ ساله (۱۹۹۶ تا ۲۰۲۰) محاسبه شد (فرمول شماره ۱):

$$1. \quad S = \sum_{k=1}^{n-1} \sum_{j=k+1}^n sgn(x_j - x_k)$$

$$sng(x) = \begin{cases} 1 & \text{if } x > 0 \\ 0 & \text{if } x = 0 \\ -1 & \text{if } x < 0 \end{cases}$$

کلیه ایستگاه‌ها به صورت مشترک در ماه‌های ژوئن و جولای روند افزایشی دما مشاهده شده است که در برخی ایستگاه‌ها معنی دار است. از طرفی، مهم‌ترین ویژگی اقلیمی تهران تغییرات دما است که از سال‌های گذشته افزایش داشته است و شدت روند آن از ماه ژانویه در ایستگاه‌های (شمیران و آبدلی) صعودی است. بنابراین روند مثبت دمای حداکثر بیشترین تغییرات در اکثر ماه‌ها به ایستگاه‌های شمیران، مهرآباد، آبدلی و فیروزکوه تعلق داشته است که علت تغییر ناگهانی دما (جهش) می‌تواند تحت اثر گرمایش جهانی و پرفشار جنب حاره باشد. ایران در کمربند خشک عرض میانه قرار دارد و در دوره گرم سال، با استقرار پرفشار جنب حاره، فرونشینی هوا، هوای گرم، خشک و آفتابی مواجه است و این موجب خشکی بیش‌تر هوا شده است. تغییرات پرفشار جنب حاره توانسته است موجب نوسانات عناصر اقلیمی همچون دما شود (فتاحیان، ۱۴۰۰؛ مسعودیان، ۱۳۸۹).

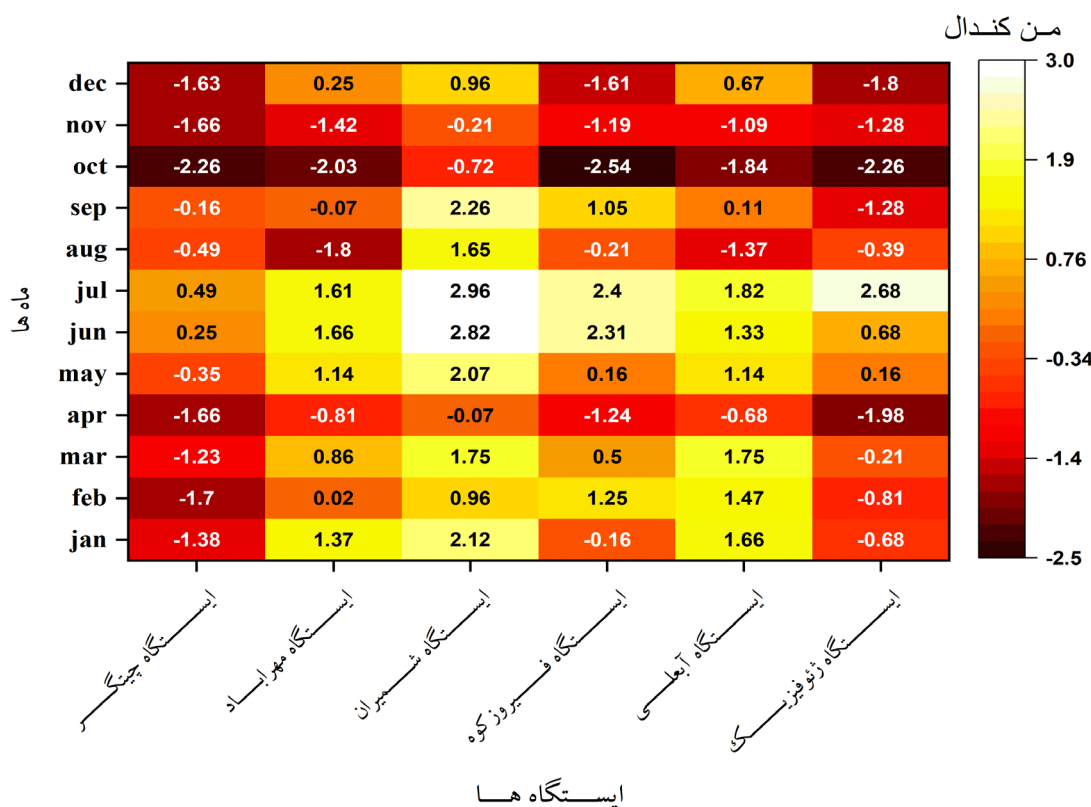
در مطالعه‌ای (حجازی‌زاده، ۱۳۷۲) نشان داده شد بیشترین ارتفاع پرفشار جنب حاره در ماه جولای تا عرض ۳۸ درجه، یعنی در شمالی‌ترین حد خود امتداد دارد، اما در مطالعه‌ای دیگر (فتاحیان، ۱۴۰۰) نشان داده شد این افزایش ارتفاع باتوجه به گرمایش جهانی بیشتر شده است و تا عرض ۴۰ درجه پیش رفته است. در پژوهشی دیگر (علیچانی و همکاران، ۱۳۹۸) نشان داده شد رفتار مکانی و زمانی پرفشار جنب حاره حدود ۱۰۰

در این پژوهش با سطوح معنی‌دار ۹۵ و ۹۹ درصد برآورد شده است. مقادیر مثبت معرف روندهای صعودی خواهد بود و اگر منفی باشد با روند نزولی در نظر گرفته می‌شود. فرض صفر در این پژوهش مبنی بر وجود نداشتن روند در داده‌های بزرگ‌تر از مقادیر Z رد می‌شود. در این مطالعه اگر مقدار P از ۰/۰۵ کمتر باشد فرضیه H_0 که بر نبود وجود روند در سری زمانی است؛ دالت دارد. اما در مقابل اگر مقدار سطح معنی‌داری از ۰/۰۵ بیشتر باشد قبول فرضیه H_1 و دال بر وجود روند است (سلیمی، ۲۰۰۲؛ کایر و همکاران، ۲۰۱۲).

یافته‌ها

بررسی روند تغییرات دما براساس آزمون من کندال

در این پژوهش جهت واکاوی روند تغییرات ناگهانی پارامتر اقلیمی دما، از ۶ ایستگاه سینوپتیک (شمیران، چیتگر، مهرآباد، آبدلی، فیروزکوه و ژئوفیزیک) در بازه زمانی ۱۹۹۶ تا ۲۰۲۰ بهره گرفته شد. همان‌طور که تصویر شماره ۳ نشان می‌دهد، الگوی رفتاری سری زمانی دمای ماهانه، در ایستگاه‌های شمیران، مهرآباد، آبدلی، فیروزکوه و ژئوفیزیک روند افزایشی و صعودی را در سطح معنی‌داری ۹۵ و ۹۹ درصد نشان داده است. در



تصویر ۳. بررسی روند سری زمانی دمای ماهانه، ایستگاه‌های سینوپتیک (شمیران، چیتگر، مهرآباد، آبدلی، فیروزکوه و ژئوفیزیک) در بازه زمانی (۱۹۹۶-۲۰۲۰).



بررسی سری زمانی رابطه شاخص نرمال شده تفاضل پوشش گیاهی و دمای سطح زمین در بازه زمانی ۲۰۱۳-۲۰۲۴ با لندست^۸

در تصویر شماره ۵، رابطه روند میانگین بین دمای سطح زمین و شاخص نرمال شده تفاضل پوشش گیاهی بین سال‌های ۲۰۱۳ تا ۲۰۲۴ نشان داده شده است. هدف از بررسی روند، نشان دادن روند یکنواخت بالا به پایین بین تغییرات شاخص نرمال شده تفاضل پوشش گیاهی با دمای سطح زمین در سطح معنی داری ۹۵ درصد، در بازه زمانی تعریف شده است. در این بررسی روند تغییرات شاخص نرمال شده تفاضل پوشش گیاهی، با رنگ قرمز مشخص شده است و هرچه عدد به سمت مقادیر منفی باشد، نشان دهنده عدم پوشش گیاهی و سطوحی غیر از پوشش گیاهی در تهران است. در مقابل دمای سطح زمین هرچه متمایل به طرف رنگ قرمز باشد، آن مناطق دمای سطح زمین بالاتری را نسبت به سایر نواحی تجربه کرده‌اند.

در تصویر شماره ۵ (الف)، شاخص نرمال شده تفاضل پوشش گیاهی در ۳۱ جولای ۲۰۱۹ به ۰/۰۴ رسیده است و دمای سطح زمین در همین تاریخ با عدد ۵۱ درجه سانتی گراد ثبت شده است. در ۳۰ ژوئن ۲۰۱۷ شاخص نرمال شده تفاضل پوشش گیاهی به ۰/۰۵ و دمای سطح زمین به ۵۱/۲۱ درجه سانتی گراد رسید و در آگوست ۲۰۲۴، شاخص نرمال شده تفاضل پوشش گیاهی به ۰/۰۳ و دمای سطح زمین به ۴۸ درجه سانتی گراد رسیده است. در مقابل در ۲۸ اکتبر ۲۰۲۰ روند شاخص نرمال شده تفاضل پوشش گیاهی ۰/۰- بوده و در ماه‌های دسامبر و نوامبر سال‌های ۲۰۱۸، ۲۰۲۳ و ۲۰۲۱ به ترتیب به ۰/۰۳-، ۰/۰۳- و ۰/۰۴- رسیده است. آنچه مشخص است افزایش جزئی پوشش گیاهی هم نتوانسته است افزایش دمای سطح زمین را توجیه کند و دمای سطح زمین الگوی رفتاری مثبت و افزایشی نشان داده است.

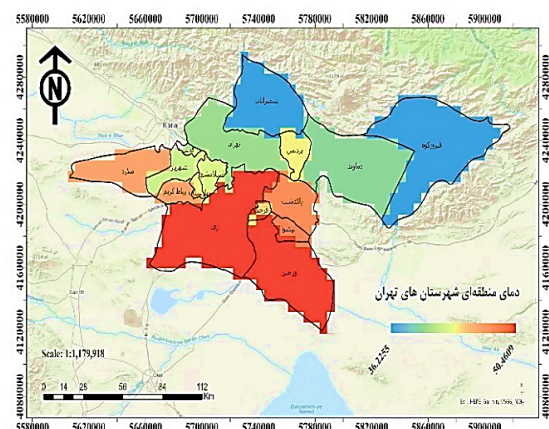
در تصویر شماره ۵ (ب)، محدوده غرب و جنوب غرب تهران از لحاظ پوشش گیاهی توزیع متراکمی نداشته است. علاوه بر مناطق ۲۲ و ۱۵ تهران، در محدوده‌های دیگر از جمله شهریار، باغستان، چیتگر، شهرک استقلال، خاورشهر، شهرک ولیعصر، پاسداران، یوسف‌آباد، سرخه حصار و اسلامشهر از لحاظ شاخص نرمال شده تفاضل پوشش گیاهی فقیر بوده و روند کاهشی را نشان داده‌اند. دمای سطح زمین در مناطق غربی تهران، از جمله منطقه ۲۲ در شمال غرب تهران و جنوب شرق تهران روند افزایشی داشته است.

متر بر ارتفاع پرفشار جنب حاره افزایش یافته و فرونشینی‌ها بیشتر شده است. بنابراین افزایش روند دما در ماه‌های ژوئن و جولای در استان تهران قابل توجیه است. اثر گلخانه‌ای موجب افزایش دمای زمین می‌شود و افزایش غلظت گازهای گلخانه‌ای باتوجه به فعالیت‌های انسانی در مکان‌های شهری نظیر تهران موجب افزایش دمای بیش از حد زمین شده است. شهرها به دلیل تولید گازهای گلخانه‌ای و گسترش شهری بیش از حد انتظار گرم‌تر شده‌اند و در گرم شدن جهانی نقش اساسی دارند (کمالاتار و کمالاتار، ۲۰۲۴). بنابراین نتایج این مطالعه با توجه به گرمایش جهانی، فعالیت‌های تجاری و صنعتی در مرکز شهر تهران و موقعیت ایستگاه‌ها قابل قبول است، یافته‌های این پژوهش پاسخ‌گوی سؤال پژوهش است و با برخی مطالعات (فتاحیان، ۱۴۰۰؛ عزیزی و همکاران، ۱۳۸۴؛ رحیم‌زاده و عسگری، ۱۳۸۳؛ نجفیان گرجی و همکاران، ۱۳۹۶؛ ملکی‌نژاد و همکاران، ۱۳۹۲؛ حجازی‌زاده و پروین، ۱۳۸۸) مطابقت دارد.

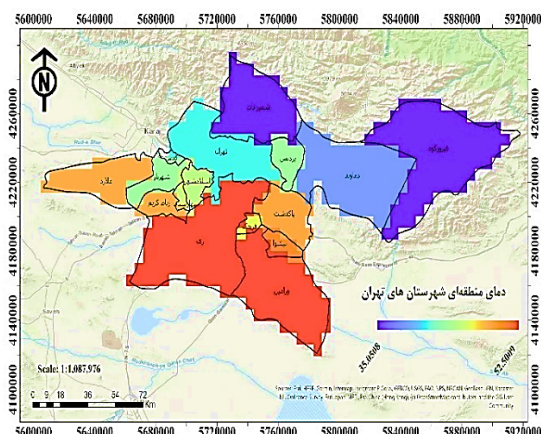
بررسی میانگین دمای منطقه‌ای شهرستان‌های استان تهران با سنجنده مودیس

تصویر شماره ۴، تصاویر میانگین دمای منطقه‌ای استان تهران با سنجنده مودیس، محصول MOD11C3 در بازه زمانی ۲۰۱۴ تا ۲۰۲۴ را به صورت ماهانه نشان داده است (از بین ۵۳ تصویر، ۶ مورد به عنوان نمونه آورده شده است). بررسی‌های دمای روزانه سطح زمین نشان داده است طی بازه زمانی ۲۰۱۴ تا ۲۰۲۴ بالاترین دما در ماه‌های جولای و آگوست بوده است. از این بین شهرستان‌های ورامین و ری بالاترین دمای سطح زمین را در ژوئن ۲۰۱۵ با ۵۲/۵۰ درجه سانتی گراد و در سال ۲۰۱۸ در همین ماه با ۵۲/۹۷ درجه سانتی گراد به ثبت رسانده‌اند. در ماه‌های می و ژوئن سال ۲۰۲۱ شهرستان‌های ورامین، ری، ملارد و رباط کریم به ترتیب دمای سطح زمین ۴۳/۵۲ و ۵۱/۵۳ درجه سانتی گراد را تجربه کرده‌اند (تصویر شماره ۴، پ). در سال‌های ۲۰۲۲ و ۲۰۲۳ در ماه‌های جولای و آگوست شهرستان‌های ورامین، ملارد، پاکدشت، ری و پیشوا بالاترین دمای سطح زمین را با ۴۸ درجه سانتی گراد داشتند (تصویر شماره ۴، ت).

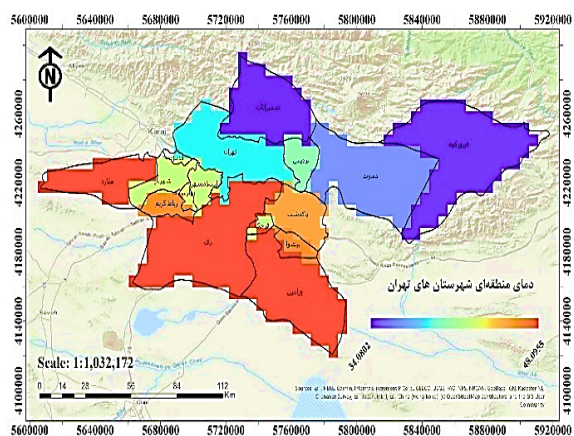
در مجموع بررسی ۵۳ تصویر میانگین منطقه‌ای شهرستان‌های تهران نشان داد ضمن اینکه دمای بیشینه در بازه زمانی ۱۰ ساله افزایش داشت، به همان میزان هم در ماه‌های جولای و آگوست دمای کمینه در مناطق فیروزکوه، شمیرانات و دماوند در سال ۲۰۱۸ به ۳۷/۷۹ درجه سانتی گراد رسیده است. این امر می‌تواند به دلیل افزایش گازهای گلخانه‌ای و از همه مهم‌تر از بین بردن و کاهش پوشش گیاهی، تغییر کاربری، گسترش مسکن‌سازی در این مناطق موجب افزایش دمای سطح زمین در این نواحی شده باشد.



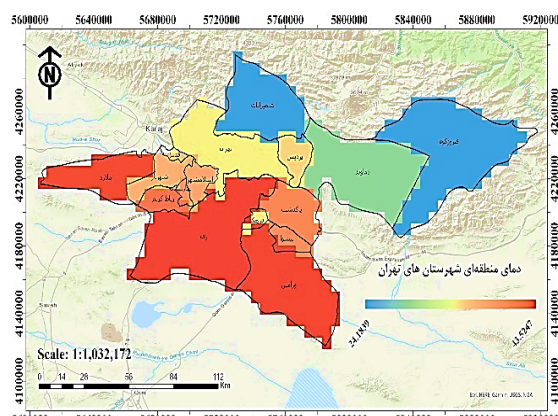
ب



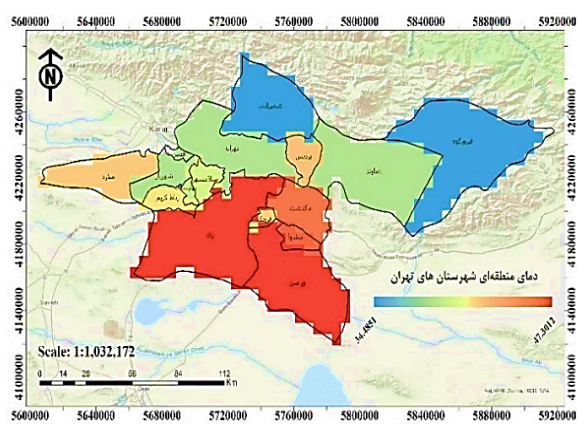
الف



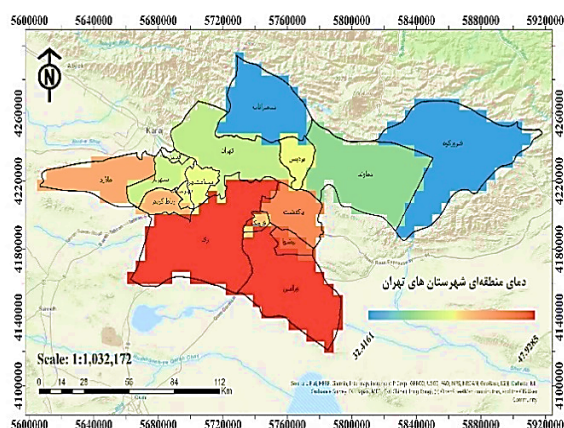
ت



پ



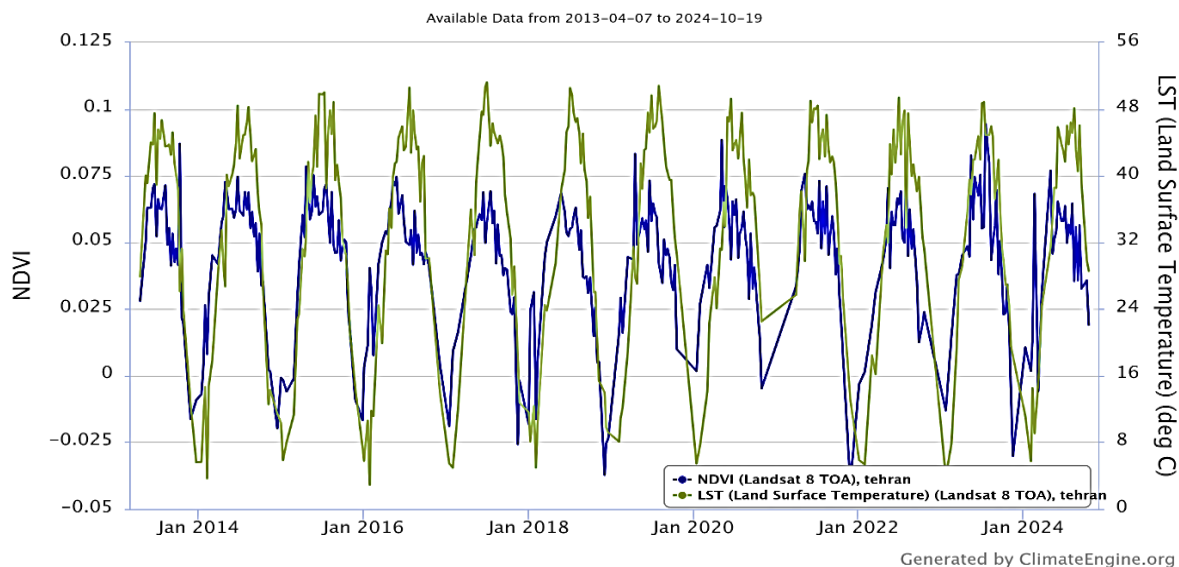
ج



ث

تصویر ۴. میانگین دمای مناطق شهری با تصاویر مودیس، شهرستان‌های تهران در بازه زمانی ۲۰۱۴-۲۰۲۴.

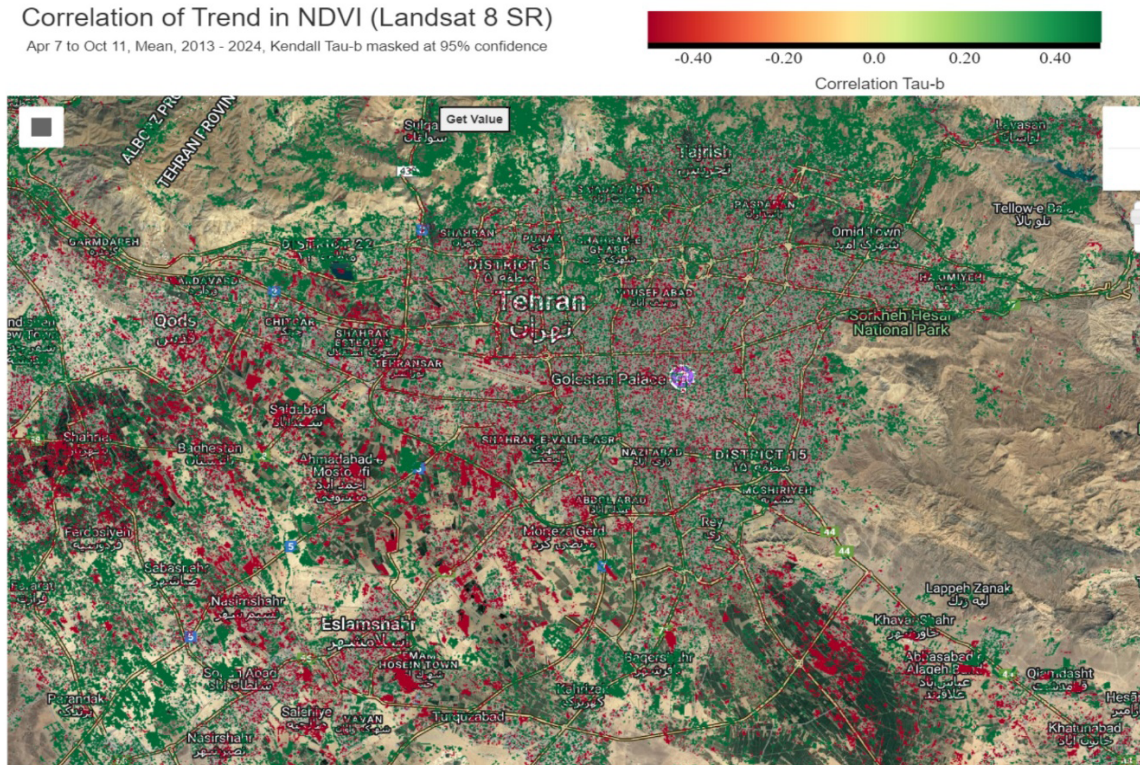
NDVI (Landsat 8 TOA) and LST (Land Surface Temperature) (Landsat 8 TOA)



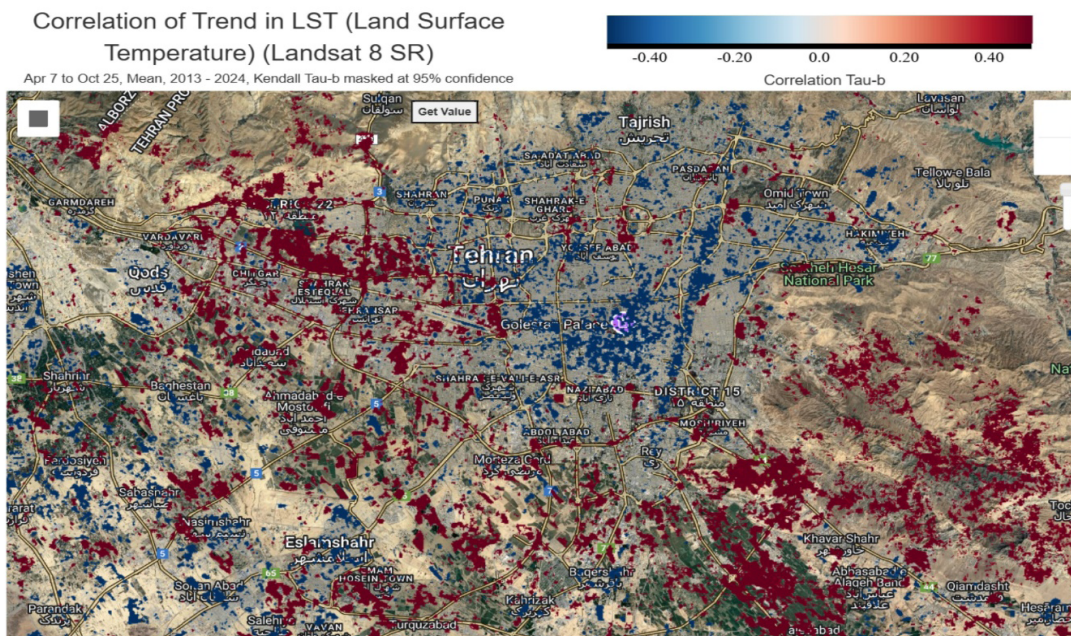
الف

Correlation of Trend in NDVI (Landsat 8 SR)

Apr 7 to Oct 11, Mean, 2013 - 2024, Kendall Tau-b masked at 95% confidence



ب



ج

تصویر ۵. روند شاخص نرمال شده تفاضل پوشش گیاهی و دمای سطح زمین در بازه زمانی ۲۰۱۳-۲۰۲۴ با لندست ۸، ۳۰ متر.

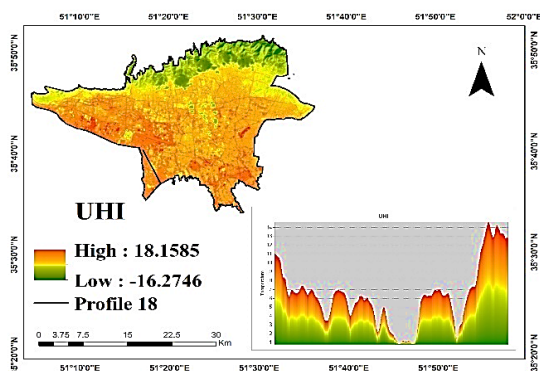
بحث

بررسی جزیره حرارتی شهر ۵ با تصاویر لندست ۸ در بازه زمانی یک سال (۲۰۲۴)

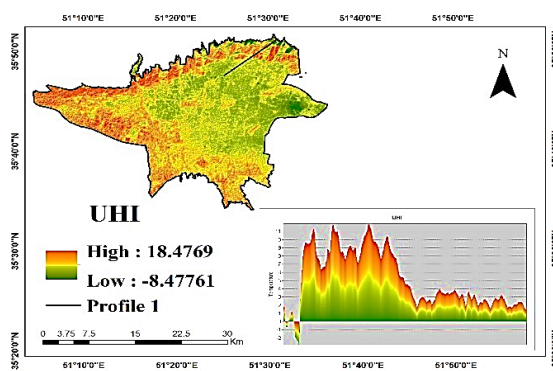
یکی از پارامترهای اصلی مطالعات شهری و اقلیمی دمای سطح زمین است. در این راستا جهت بررسی گستردگی جزیره حرارتی در مناطق ۲۲ گانه تهران و به همراه نیمرخ حرارتی در ۴ محدوده، در ۸ تصویر به عنوان نمونه نشان داده شده است. از جمله، منطقه ۱ محدوده نیاوران، تجریش، پل پارک وی، اطراف قیطریه، دارآباد و فرشته؛ منطقه ۲۲ محدوده بزرگراه خرازی، بزرگراه سردار همدانی، بلوار جدی اردبیلی، خرگوش دره و آزادراه شهید فهمیده؛ منطقه ۹ محدوده فرودگاه مهرآباد، شمشیری و میدان آزادی؛ منطقه ۱۸ محدوده یافت آباد، بزرگراه فتح، بزرگراه آزادگان و بلوار هفده شهریور در تصویر شماره ۶، نمایش داده شده است. همان طور که در تصویر قابل مشاهده است، بیشترین کانون گرما و گسترش جزیره حرارتی طی ماه های گرم، در نواحی شمال غرب، غرب، جنوب غربی، جنوب و جنوب شرقی و مناطق شمالی تهران قابل مشاهده است. بالاترین دمای ثبت شده در سال ۲۰۲۴ مربوط به مناطق ۹ و ۲۲ تهران بود که در ماه های ژوئن، جولای، آگوست و سپتامبر با دمای بالای ۴۵ درجه سانتی گراد

در تصویر شماره ۵ (ب)، به خوبی روند تغییرات تخریب پوشش گیاهی در غرب تهران، مرکز و جنوب شرق پیداست. طبق تصویر شماره ۵ (ب و ج)، افزایش دمای سطح زمین با توزیع پوشش گیاهی ارتباط مستقیم و معکوسی با هم دارند و با کاهش روند پوشش گیاهی، دمای سطح زمین الگوی رفتاری مثبت و افزایشی را نشان داده است. این شرایط علاوه بر فصل گرم در فصل پاییز قابل مشاهده است. به عبارتی آنچه در تصویر شماره ۵ (ب و ج) مشخص است، این مناطق رو به شرایط گرما و مستعد گسترش جزیره حرارتی هستند. ضمن اینکه تغییر کاربری و گسترش کارخانجات و ساخت و ساز مسکونی به ویژه در مناطق ۴، ۵، ۲۱ و ۲۲ در امر افزایش دمای سطح زمین دخالت داشته اند.

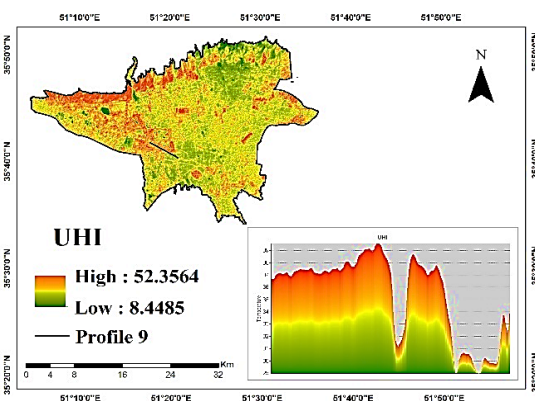
طبق مطالعات (منصوری و ضرغامی، ۱۴۰۳) سطوح نفوذناپذیر شهری به دلیل ضریب جذب بالای تابش خورشیدی، به عنوان جزایر حرارتی عمل کرده و دمای سطح زمین را در این مناطق به طور قابل توجهی افزایش می دهد. یافته های این پژوهش پاسخ گوی سؤال پژوهش است و با برخی مطالعات (نوربخش و نظری نژاد، ۱۴۰۱؛ پوردیهیمی و همکاران، ۱۳۹۸؛ نجفیان گرجی و همکاران، ۱۳۹۶؛ طیبی و همکاران، ۲۰۱۸) مطابقت دارد.



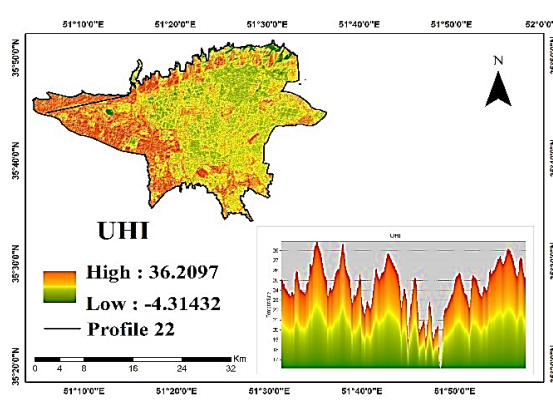
۲۰۲۴/۲/۸ (ب)



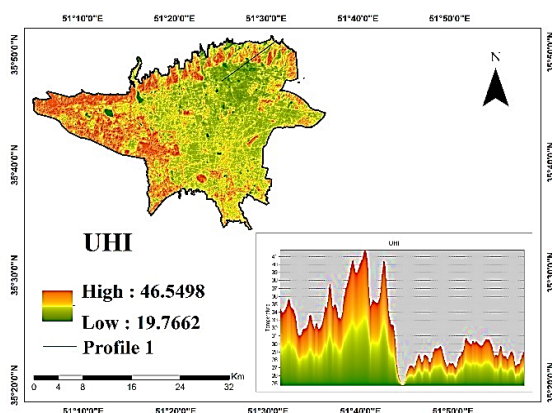
۲۰۲۴/۱/۱۳ (ف)



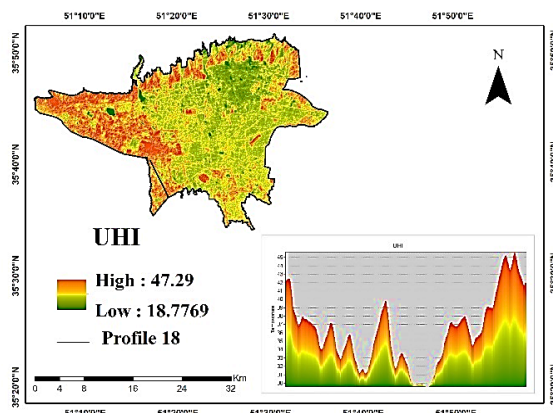
۲۰۲۴/۶/۳ (د)



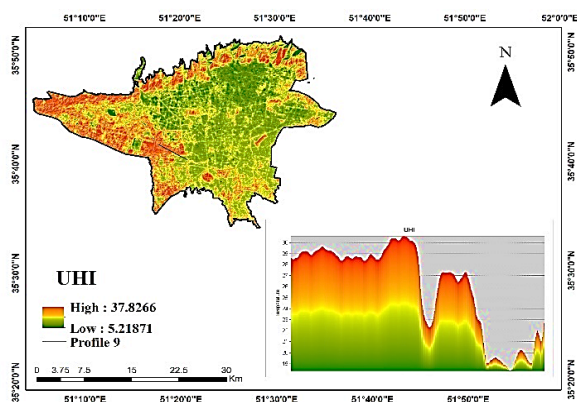
۲۰۲۴/۴/۳ (ج)



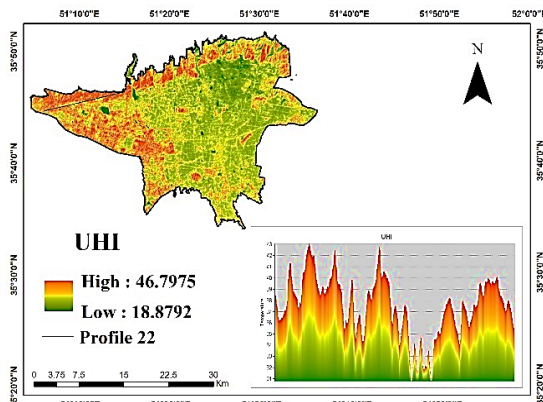
۲۰۲۴/۷/۶ (و)



۲۰۲۴/۷/۵ (ه)



۲۰۲۴/۱۰/۱۰ (ح)



۲۰۲۴/۹/۷ (ز)

تصویر ۶. بررسی جزیره حرارتی شهر با تصاویر لندست ۸ در بازه زمانی ۱ سال (۲۰۲۴).

نشان داده است. بنابراین نتایج پژوهش با مطالعاتی (صادقی‌نیا و همکاران، ۱۳۹۱؛ پوردیهیمی و همکاران، ۱۳۹۸؛ احمدی و همکاران، ۱۳۹۸؛ منصوری و ضرغامی، ۱۴۰۳) مطابقت داشت.

نتیجه‌گیری

توسعه بی‌رویه شهرها به یکی از عوامل اصلی تشدید تغییر اقلیم در سطح منطقه‌ای و جهانی تبدیل شده است. از بین رفتن پوشش گیاهی، افزایش سطوح سخت و نفوذناپذیر در شهرها و رشد جمعیت شهری، همگی به تغییر اقلیم محلی، مانند نوسانات شدید بارش و افزایش دما دامن زده و مشکلات زیست‌محیطی جدی را به‌ویژه در شهرهای کشورهای در حال توسعه ایجاد است. این پژوهش با هدف روند تغییرات مکانی و زمانی دمای منطقه‌ای و گسترده‌ی، جزیره حرارتی استان تهران را مورد واکاوی قرار داده است. بررسی روند دما در ایستگاه‌های شمیران، چیتگر، مهرآباد، آبعلی، فیروزکوه و ژئوفیزیک در بازه زمانی ۱۹۹۶ تا ۲۰۲۰ الگوی رفتاری دما در کلیه ایستگاه‌ها در ماه‌های ژوئن و جولای افزایشی بود. باتوجه به افزایش گازهای گلخانه‌ای و موقعیت درون‌شهری ایستگاه‌ها، گرمایش جهانی و استقرار سامانه پرفشار جنب حاره در این ماه‌ها و افزایش فرونشینی هوا نتایج قابل توجهی است. بررسی میانگین دمای منطقه‌ای شهرستان‌های تهران در بازه زمانی ۲۰۱۴ تا ۲۰۲۴ با سنجنده مودیس، بالاترین دمای منطقه‌ای را در ماه‌های جولای و آگوست نشان داد. در سال ۲۰۱۵ شهرستان‌های ورامین و ری بالاترین دمای رویه زمین را با ۵۲/۵۰ درجه سانتی‌گراد تجربه کردند و در سال ۲۰۱۸ در ماه‌های جولای و آگوست این رقم به ۵۲/۹۷ درجه سانتی‌گراد رسید. در سال‌های ۲۰۲۲ و ۲۰۲۳ در ماه‌های جولای و آگوست

مواجه بودند. مناطق ۹ و ۲۲ کلان‌شهر تهران، در ماه ژوئن بالاترین دمای سطح زمین، حدود ۵۲ درجه سانتی‌گراد را تجربه کرده‌اند. علت این امر می‌تواند ازدحام جمعیت و تردد وسایل نقلیه (ترافیک) در این منطقه، به‌عنوان منطقه مرکزی تهران (میدان آزادی، غرب (فرودگاه مهرآباد)، از سمت شمال (میدان تجریش)، گسترش مسکن‌سازی در مناطق شمالی تهران و غرب تهران، وجود کارگاه‌های صنعتی (منطقه ۱۸)، پوشش گیاهی کمتر باشد که باعث شده در دوره گرم سال این مناطق دمای بسیار بالایی را تجربه کنند. منصوری و ضرغامی (۱۴۰۳) در مطالعه خود نشان دادند الگوی تغییرات دمای در مناطق مختلف تهران یکسان نیست. مناطق مرکزی شهر به‌طور حداقل نوسانات دمای را داشتند، در حالی که مناطق شمال شرقی و شمال غربی بیشترین نوسانات را تجربه کردند. ضمن اینکه مناطق ۱، ۳، ۴، ۲۱ و ۲۲ نه تنها گرم‌ترین مناطق تهران بودند، بلکه بیشترین تغییرات دمای را داشتند. براساس آمار سال ۱۴۰۱، مناطق ۲۲ گانه تهران طیف گسترده‌ای از کاربری‌ها از جمله مسکونی، آموزشی، صنعتی، فرهنگی و خدماتی را در خود جای داده‌اند.

درمجموع نتایج این پژوهش نشان داد تغییرات دمای هوا و دمای سطح زمین در تهران در ماه‌های گرم سال، الگوی مشابهی را دنبال می‌کند. به عبارت دیگر، این دو شاخص به‌طور هم‌زمان افزایش یا کاهش پیدا می‌کنند. یافته‌های پژوهش پاسخ‌گوی سؤال پژوهش است؛ همان‌گونه که بررسی روند دما در نتایج ایستگاه‌های سینوپتیک (شمیران، چیتگر، مهرآباد، آبعلی، فیروزکوه و ژئوفیزیک) افزایش دما را در ماه‌های ژوئن و جولای صعودی نشان داد، بررسی دمای منطقه‌ای و گسترش جزیره حرارتی در ماه‌های ژوئن، جولای و آگوست دمای افزایشی را



حامی مالی

این اثر تحت حمایت مادی بنیاد ملی علم ایران (INSF) برگرفته شده از طرح شماره ۴۰۳۸۴۹۵ انجام شده است.

مشارکت نویسندگان

مفهوم سازی، انجام تحلیل های نرم افزاری/آماري، نگارش نسخه اولیه مقاله: نیلوفر محمدی؛ راهنمایی، ویرایش و بازبینی مقاله: زهرا حجازی زاده، پرویز ضیائیان فیروزآبادی و علیرضا کربلائی.

تعارض منافع

بنابر اظهار نویسندگان این مقاله تعارض منافع ندارد.

تشکر و قدردانی

از بنیاد ملی علم ایران (INSF) سپاسگزاری می شود.

شهرستان های ورامین، ملارد، ری، پاکدشت و پیشوا دمای ۴۸ درجه سانتی گراد را تجربه کردند. تغییر کاربری، کاهش پوشش گیاهی در افزایش دمای سطح زمین دخیل هستند که در دوره گرم سال همراه با فرونشینی هوا این عوامل موجب شدت دمای سطح زمین شده است. بررسی روند رابطه شاخص پوشش گیاهی و دمای سطح زمین با لندست ۸ بین سال های ۲۰۱۳ تا ۲۰۲۴ نشان داد شاخص پوشش گیاهی و دمای سطح زمین رابطه مستقیم و معکوسی با هم دارند؛ به طوری که در سال های ۲۰۱۷، ۲۰۱۹ و ۲۰۲۴ در ماه های ژوئن، جولای و آگوست با افزایش جزئی پوشش گیاهی، دمای سطح زمین به ۵۱/۲۱ درجه سانتی گراد رسیده است که این امر در محدوده های غرب، شمال و جنوب غرب بیشتر مشهود است. در فصل پاییز، در ۲۸ اکتبر ۲۰۲۰ روند شاخص نرمال شده تفاضل پوشش گیاهی ۰/۰- بود و در ماه های دسامبر و نوامبر سال های ۲۰۱۸، ۲۰۲۳ و ۲۰۲۱ به ترتیب ۰/۰۳-، ۰/۰۳- و ۰/۰۴- رسیده است. آنچه مشخص است، افزایش جزئی پوشش گیاهی نتوانسته است افزایش دمای سطح زمین را در فصل تابستان و پاییز توجیه کند. بررسی گسترش جزیره حرارتی با لندست ۸ در بازه زمانی ۱ سال (۲۰۲۴)، نشان داد بیشترین کانون گرما در نواحی جنوب، جنوب شرق، غرب و شمال و جنوب غرب و مناطق شمالی تهران قابل رؤیت است، اما دمای سطح زمین در ماه ژوئن ۲۰۲۴ به ۵۲ درجه سانتی گراد رسید که در مناطق ۹ و ۲۲ بیشتر مشهود بود. بنابراین از لحاظ هواشناسی، استقرار جریانات پر فشار جنب حاره تابستانه و افزایش فرونشینی هوا در ایران، وجود مراکز صنعتی، تغییرات کاربری، کاهش پوشش گیاهی و احداث شهرک های جدید موجب تغییرات مکانی و زمانی دما در مناطق شهری تهران شده است. به عبارتی این عوامل کمکی به افزایش گرمایش جهانی در سطح محلی (شهرها) کرده است. یافته های این پژوهش با مطالعاتی (منصوری و همکاران، ۱۴۰۰؛ طیبی و همکاران، ۲۰۱۸؛ کوتس و هریس، ۲۰۱۲) همخوانی دارد. تهران با تغییر اقلیم ناشی از گرمایش جهانی مواجه است و با توجه به اقلیم پیش رو (افزایش دما و کاهش بارش) روزهای گرم تری را سپری خواهد کرد. نتایج این مطالعه می تواند در امر برنامه ریزی های جامع شهری و محیط زیستی، مطالعات و برنامه ریزی جهت کاهش گرمایش جهانی، آینده نگری های اقلیمی در سطح کلان جهت تاب آوری در محیط های شهری و مدیریت بحران مفید واقع شود.

ملاحظات اخلاقی

پیروی از اصول اخلاق پژوهش

تمام اصول اخلاقی در نظر گرفته شد. از آنجایی که هیچ آزمایشی روی نمونه های انسانی یا حیوانی انجام نشد، نیاز به کد اخلاقی لغو شد.



References

- Adeyeri, O. E., Folorunsho, A. H., Ayegbusi, K. I., Bobde, V., Adeliyi, T. E., Ndehedehe, C. E., & Akinsanola, A. A. (2024). Land surface dynamics and meteorological forcings modulate land surface temperature characteristics. *Sustainable Cities and Society*, 101, 105072. [DOI:10.1016/j.scs.2023.105072]
- Alijani, B., Toulabi Nejad, M., & Karbalaie Darei, A. (2019). [Investigating the effects of global warming on subtropical high pressure. (Persian)] *Physical Geography Research*, 51(1), 33-50. [DOI:10.22059/jphgr.2019.258677.1007223]
- Alimohamadi, A. (2009). [Planning of Tehran Province (Persian)]. Tehran: Deputy of Planning of Tehran Province.
- Al Shawabkeh, R., AlHaddad, M., Al-Fugara, A. K., Al-Hawwari, L., Al-Hawwari, M. I., & Omoush, A., et al. (2024). Modeling the impact of urban land cover features and changes on the land surface temperature (LST): The case of Jordan. *Ain Shams Engineering Journal*, 15(2), 102359. [DOI:10.1016/j.asej.2023.102359]
- Ahmadnezhad, E., Naieni, K. H., Ardalan, A., Mahmoodi, M., Yunesian, M., & Naddafi, K., et al. (2013). Excess mortality during heat waves, Tehran Iran: an ecological time-series study. *Journal of Research in Health Sciences*, 13(1), 24-31. [Link]
- Ahmadi, M., & Ahmadi, H. (2018). [Monitoring of the night time land surface temperature in Iran based on output of the MODIS (Persian)]. *Geographical Research*, 33(1), 174-190. [Link]
- Ahmadi, M., Dadashiroudbari, A., & Esfandiari, N. (2019). [Monitoring the Urban heat islands with a Fractal Net Evolution (FNEA) Approach (Case Study: Tehran Metropolis) (Persian)]. *Iranian Journal of Remote Sensing and GIS*, 11(1), 93-112. [DOI:10.52547/gisj.11.1.93]
- Azadeh, S. R., & Etemadi kia, H. (2024). [Modeling the Spatial Expansion of Urban Heat Islands in Rasht Metropolitan (Persian)]. *Geography and Territorial Spatial Arrangement*, 14(50), 29-54. [Link]
- Azizi, Gh., Karimi, M., & Sabok Khiz, Z. (2006). [Temperature trends in Iran over the past few decades and the increase in atmospheric CO2 (Persian)]. *Journal of Applied Researches in Geographical Sciences*, 4(4), 27-47. [Link]
- Azizi, Gh. (2004). [Climate change (Persian)]. Tehran: Ghoumes. [Link]
- Bahi, H., Mastouri, H., and Radoine, H. (2020). Review of methods for retrieving urban heat islands. *Materials Today: Proceedings*, 27, 3004-3009. [DOI:10.1016/j.matpr.2020.03.272]
- Bonacci, O., Vrsalovic, A., & Roje-Bonacci, T. (2024). Different development of global warming (GW) and urban heat island (UHI) in the city of Zagreb. *Acta Hydrotechnica*, 36(65), 155-176. [DOI:10.15292/acta.hydro.2023.10]
- Cheval, S., Dumitrescu, A., & Bell, A. (2009). The urban heat island of Bucharest during the extreme high temperatures of July 2007. *Theoretical and Applied Climatology*, 97, 391-401. [DOI:10.1007/s00704-008-0088-3]
- Coutts, A., & Harris, R. (2012). *A Multi-scale Assessment of Urban Heating in Melbourne During an Extreme Heat Event*. Melbourne: Victorian Centre for Climate Change Adaptation Research. [Link]
- Connor, J. A., Farhat, S. K., & Vanderford, M. (2012). *GSI Mann-Kendall toolkit for constituent trend analysis, user's manual*. Houston: GSI Environmental Inc. [Link]
- Demisse Negesse, M., Hishe, S., & Getahun, K. (2024). LULC dynamics and the effects of urban green spaces in cooling and mitigating micro-climate change and urban heat island effects: a case study in Addis Ababa city, Ethiopia. *Journal of Water and Climate Change*, 15(7), 3033-3055. [DOI:10.2166/wcc.2024.662]
- Emmanuel, R., & Krüger, E. (2012). Urban heat island and its impact on climate change resilience in a shrinking city: The case of Glasgow, UK. *Building and Environment*, 53, 137-149. [DOI:10.1016/j.buildenv.2012.01.020]
- Eskandarian, E. (2015). [Climate comfort in Tehran (Persian)]. *Journal of Research in Science, Engineering and Technology*, 1, 57-67. [Link]
- Ge, S., Zhan, W., Wang, S., Du, H., Liu, Z., & Wang, C., et al. (2024). Spatiotemporal heterogeneity in global urban surface warming. *Remote Sensing of Environment*, 305, 114081. [DOI:10.1016/j.rse.2024.114081]
- Galdies, C., & Lau, H. S. (2020). Urban heat island effect, extreme temperatures and climate change: A case study of Hong Kong SAR. In W. Leal Filho, G. Nagy, M. Borga, P. Chávez Muñoz & A. Mag-nuszewski (Eds), *Climate Change, Hazards and Adaptation Options. Climate Change Management*. Cham: Springer. [DOI:10.1007/978-3-030-37425-9_20]
- Gupta, A., Sadab, A., & De, B. (2024). Assessment of critical thermal characteristics and land surface dynamics of an Indian metropolitan city. *Journal of Water and Climate Change*, 15(7), 3409-3430. [DOI:10.2166/wcc.2024.370]
- Hejazizade, Z., & Parvin, N. (2009). [Study of temperature and precipitation changes in Tehran over the past half century (Persian)]. *Journal of Urban Ecology Researches*, 1(0), 43-56. [Link]
- Hejazizadeh, Z., Zeyaeen, P., & Shirkhani, A. (2013). [Comparison of surface temperature estimation using thermal band data (Persian)]. *Geography*, 11(38), 33-50. [Link]
- Hejazizade, Z., & Moghimi, Sh. (2002). [Introductory Microclimatology (Persian)]. Tehran: Payam Noor University. [Link]
- Hejazizade, Z., & Moghimi, Sh. (2007). [Application of climate in urban and regional planning (Persian)]. Tehran: Payam Noor University. [Link]
- Hejazizade, Z. (1993). [Study of subtropical high pressure fluctuations in seasonal changes in Iran (Persian)] [PhD dissertation]. Tehran: Tarbiat Modares University. [Link]
- Huntington, J. L., Hegewisch, K. C., Daudert, B., Morton, C. G., Abatzoglou, J. T., & McEvoy, D. J., et al. (2017). Climate engine: Cloud computing and visualization of climate and remote sensing data for advanced natural resource monitoring and process understanding. *Bulletin of the American Meteorological Society*, 98(11), 2397-2410. [DOI:10.1175/BAMS-D-15-00324.1]
- IPCC. (2022). *Global Warming of 1.5°C. An IPCC Special Report on the impacts of global warming of 1.5°C above pre-industrial levels and related global greenhouse gas emission pathways, in the context of strengthening the global response to the threat of climate change, sustainable development, and efforts to eradicate poverty*. Cambridge: Cambridge University Press. [Link]
- IPCC. (2021). *Sixth report of the working group of the intergovernmental panel on climate change*. Geneva: The Intergovernmental Panel on Climate Change (IPCC). [Link]
- Farjod, M. (2018). [Tehran Municipality Statistical Yearbook (Persian)]. Tehran: Tehran Municipality ICT Organization. [Link]



- Falahati, F., Alijani, B., Ghohrodi Tali, M., & Barati, M. (2012). [Site Selection of Appropriate Locations for Development of Orchards Using GIS & RS, by Emphasizing Climatic Factors (Case study: Walnut - Tehran Province) (Persian)]. *Geography and Environmental Sustainability*, 2(1), 43-54. [\[Link\]](#)
- Fatahian, M. (2018). [The impact of climate change on Iran's summer subtropical high pressure (Persian)] [PhD dissertation]. Tehra: Kharazmi University. [\[Link\]](#)
- Field, C. B., & Barros, V. R. (2014). *Climate Change 2014: Impacts, Adaptation and Vulnerability. Part B: Regional Aspects*. Cambridge: Cambridge University Press. [\[Link\]](#)
- Kamalakar, G., & Kamala, K. (2024). Urban growth, climate change, and the intensification of heat waves in India. *Urban India*, 44(2), 93-97. [\[Link\]](#)
- Karbalae, A. R., Beygam Hejazizadeh, Z., Masoodian, S. A., & Keik-hosravi kiany, M. (2021). [Trend Analysis of Land surface temperature using Remote Sensing Data in Iran (Persian)]. *Journal of Geography and Environmental Hazards*, 10(2), 93-109. [\[DOI:10.22067/geoh.2021.69462.1035\]](#)
- Khodajou, M., Motavali, S., Janbazghobadi, G., & Gandomkar, A. (2021). [Influence of synoptic atmospheric patterns on heat island intensity of Rasht city and climate Element's change (Persian)]. *Geography (Regional Planning)*, 11(44), 85-97. [\[DOI:10.22034/jgeoq.2021.128864\]](#)
- Liu, Y., Zhang, W., Liu, W., Tan, Z., Hu, S., & Ao, Z., et al. (2024). Exploring the seasonal effects of urban morphology on land surface temperature in urban functional zones. *Sustainable Cities and Society*, 103, 105268. [\[DOI:10.1016/j.scs.2024.105268\]](#)
- Lauwaet, D., Hooyberghs, H., Maiheu, B., Lefebvre, W., Driesen, G., & Van Looy, S., et al. (2015). Detailed urban heat island projections for cities worldwide: Dynamical downscaling CMIP5 global climate models. *Climate*, 3(2), 391-415. [\[DOI:10.3390/cli3020391\]](#)
- Lu, H., Gaur, A., & Lacasse, M. (2024). Climate data for building simulations with urban heat island effects and nature-based solutions. *Scientific Data*, 11(1), 731. [\[DOI:10.1038/s41597-024-03532-5\]](#) [\[PMID\]](#)
- Li, Q., Zhang, H., Liu, X., & Huang, J. (2004). Urban heat island effect on annual mean temperature during the last 50 years in China. *Theoretical and Applied Climatology*, 79, 165-174. [\[DOI:10.1007/s00704-004-0065-4\]](#)
- Malekimejad, H., Solaimame, M., Jaedaei, A., & Shater, S. (2013). [Analysis of the precipitation and drought trend variations using Mann-Kendall and Sen Tests in Tehran Province (Persian)]. *Nivar*, 37(80-81), 43-54. [\[Link\]](#)
- Management and Planning Organization of Tehran. (2021). [*City of Tehran Statistical yearbook* (Persian)]. Tehran: Management and Planning Organization of Tehran. [\[Link\]](#)
- Mansouri, S., Khaledi, Sh., & Asadian, F. (2021). [The role of the heat island in the temperature change process of Tehran's urban area (Persian)]. *Territory*, 18(70), 65-84. [\[Link\]](#)
- Mansouri, S., & Zarghami, E. (2023). [Dynamic Analysis of Urban Heat Islands in Tehran (2013-2023) Based on MODIS Images and Google Earth Engine (Persian)]. *Journal of Remote Sensing and Geoinformation Research*, 2(1), 45-64. [\[DOI:10.22061/jrsg.2024.10762.1057\]](#)
- Masoodian, S. A., & Torky, M. (2019). [Climatology of Surface Urban Heat Island of Ahwaz Metropolis (Persian)]. *Geography and Environmental Planning*, 30(1), 75-92. [\[DOI:10.22108/gep.2019.115913.1128\]](#)
- Masoodian, S. A. (2011). [*Climate of Iran* (Persian)]. Mashhad: Shariee-toos. [\[Link\]](#)
- Meftahi, M., Monavari, S. M., Kheirkhah Zarkesh, S. M. M., Vafaeinejad, A., & jozi, S. A. (2022). [Spatial-Temporal Variation of Heat Island Pattern in Tehran and Its Effective Factors (Persian)]. *Environmental Researches*, 13(25), 67-91. [\[Link\]](#)
- Mohammadi, N., Hejazizadeh, Z., Zeaiean Firoozabadi, P., & Karbalae, A. (2024). [Detection of the effect of climate change on the mechanism of heat Islands in Tehran Province (Persian)]. *Nivar*, 48(124-125), 203-224. [\[DOI:10.30467/nivar.2024.442784.1281\]](#)
- Najafian, M. R., Moghimi, E., & Mohamadi, H. (2017). [Evaluation of temperature changes, heat island pattern and vegetation cover during hot days in Tehran (Persian)]. *Journal of Physical Geography*, 10(38), 1-18. [\[Link\]](#)
- Nasiri, R., Motesaddi Zarandi, S., & Motlagh, M. E. (2022). [Climate change and the challenges of quantitative assessment of urban climate change: A case study in Tehran Metropolis (Persian)]. *Journal of School of Public Health and Institute of Public Health Research*, 19(3), 293-314. [\[Link\]](#)
- Noorbakhsh, M., & Nazari Nejad, A. (2022). [Investigation of the relationship between NDVI and EVI vegetation indices and land surface temperature in Tehran (Persian)]. *Journal of Geography and Human Relations*, 5(1), 225-236. [\[Link\]](#)
- Pohlert, T. (2023). *Non-parametric trend tests and change-point detection*. California: Creative Commons. [\[Link\]](#)
- Pourdeihimi, S., Tahsildoost, M., & Ameri, P. (2019). [Effect of vegetation cover on energy consumption optimization due to reduction of urban heat island intensity: Case of Tehran Metropolitan Area (Persian)]. *Quarterly Journal of Energy Policy and Planning Research*, 5 (3), 97-122. [\[Link\]](#)
- Rahimzade, F., Asgari, A., & Nohi, K. (2003). [*An insight into the difference in the rate of increase in minimum and maximum temperatures and the decrease in the diurnal range of temperatures in the country* (Persian)]. Paper presented at: National-Regional Climate Change Conference, Isfahan, Iran, 20 October 2003. [\[Link\]](#)
- Rahimzade, F., & Asgari, A. (2004). [An insight into the difference in the rate of increase in minimum and maximum temperatures and the decrease in the diurnal range of temperatures in the country (Persian)]. *Geographical Research Journal*, 73(2), 155-171. [\[Link\]](#)
- Ranjbar, A., Azadi, M., Bidokhti, A. A., & Sadeghi, S. A. (2005). [A case study of Tehran heat island and its numerical simulation (Persian)]. *Journal of the Earth and Space Physics*, 31(1), 63-78. [\[Link\]](#)
- Sadeghinia, A., Alijani, B., & Ziaiean, P. (2013). [Analysis of spatial - temporal structure of the urban heat island in Tehran through remote sensing and geographical information system (Persian)]. *Geography and Environmental Hazards*, 1(4), 1-2. [\[Link\]](#)
- Shakiba, A., Firoozabadi, P., Ashorlo, D., & Namdari, S. (2009). [Analysis of relationship between land use/cover and urban Heat Island, Using ETM+(Persian)]. *Iranian Journal of Remote Sensing and GIS*, 1(1), 39-58. [\[Link\]](#)
- Stewart, I. D. (2019). Why should urban heat island researchers study history? *Urban Climate*, 30, 100484. [\[DOI:10.1016/j.uclim.2019.100484\]](#)

- Sodoudi, S., Shahmohamadi, P., Vollack, K., Cubasch, U., & Che-Ani, A. I. (2014). Mitigating the urban heat island effect in megacity Tehran. *Advances in Meteorology*, 2014(1), 547974. [DOI:10.1155/2014/547974]
- Siswanto, S., Nuryanto, D. E., Ferdiansyah, M. R., Prastiwi, A. D., Dewi, O. C., & Gamal, A., et al. (2023). Spatio-temporal characteristics of urban heat Island of Jakarta metropolitan. *Remote Sensing Applications: Society and Environment*, 32, 101062. [DOI:10.1016/j.rsase.2023.101062]
- Salimi, T. (2002). Detecting trends of annual values of atmospheric pollutants by the Mann-Kendall test and Sen's slope estimates-the Excel template application MAKESENS. Ilmatieteen laitoks. [Link]
- Sheikhi, V., Malakoti, H., & Ghader, S. (2021). [Numerical simulation of the performance of summer heat island control programs in Tehran metropolis by evaluating heat fluxes (Persian)]. *Journal of Spatial Analysis Environmental Hazards*, 7(4), 105-126. [Link]
- Escourrou, G. (1998). *Climate and the city: Urban environment* [Sh. Khaledi, Persian trans.]. Tehran: Tabiat Publisher. [Link]
- Tabatabaei, S. (2014). [An investigation of urban-environmental management in Tehran during three historical periods of Qajar, Pahlavi and post Islamic revolution (Persian)]. *Scientific- Research Quarterly of Geographical Data (SEPEHR)*, 22(88), 69-74. [Link]
- Thanvisitthpon, N., Nakburee, A., Khamchiangta, D., & Saguansap, V. (2023). Climate change-induced urban heat Island trend projection and land surface temperature: A case study of Thailand's Bangkok metropolitan. *Urban Climate*, 49, 101484. [DOI:10.1016/j.uclim.2023.101484]
- Tayyebi, A., Shafizadeh-Moghadam, H., & Tayyebi, A. H. (2018). Analyzing long-term spatio-temporal patterns of land surface temperature in response to rapid urbanization in the mega-city of Tehran. *Land Use Policy*, 71, 459-469. [DOI:10.1016/j.landuse-pol.2017.11.023]
- Urban Planning and Architecture Research Center of Iran. (2000). [Tehran Urban Complex Plan Report (Persian)]. Tehran: Urban Planning and Architecture Research Center of Iran.
- While, A., & Whitehead, M. (2013). Cities, urbanisation and climate change. *Urban Studies*, 50(7), 1325-1331. [DOI:10.1177/0042098013480963]
- Wan, Z. (2007). *Collection-5 MODIS land surface temperature products users' guide*. California: ICES, University of California, Santa Barbara. [Link]