



ORIGINAL RESEARCH PAPER

Dynamic Analysis of Urban Heat Islands in Tehran (2013-2023) Based on MODIS Images and Google Earth Engine

S. T. Mansouri, E. Zarghami*

Department of Architecture, Faculty of Architectural Engineering and Urban Planning, Shahid Rajaei Teacher Training University, Tehran, Iran

ABSTRACT

Received: 15 January 2024

Reviewed: 6 April 2024

Revised: 18 April 2025

Accepted: 20 May 2024

KEYWORDS:

Land Surface Temperature
(LST)

Land Use

Remote Sensing

Tehran

Urban Heat Islands

* Corresponding author

✉ ezarghami@sru.ac.ir

☎ (+98912) 1064467

Background and Objectives: Today, urbanization is expanding and it is predicted that by 2030, more than two-thirds of the world's population will live in cities. This population needs spaces such as residential, business, leisure, etc. to live. This has led to changes in the natural environment to create the said uses. These changes have various consequences on the environment and human life, which can be mentioned as the increase of impervious levels in the city and the reduction of green space. Based on this, the city environment acts as a heat collector and creates heat islands due to the production of more heat due to the consumption of fossil fuels as well as the presence of impermeable surfaces and tall buildings. The main reason for the formation and intensification of urban heat islands is the change of the land surface due to the uneven development of the city. Today, detailed and comprehensive investigation of urban thermal islands, which is related to the growth of the city, has been noticed by city managers. Remote sensing is one of the best tools to detect this phenomenon. This article examines the influence of urban environment structure on thermal changes in Tehran.

Methods: To achieve this goal of the research, to determine the trend of temperature changes in 22 regions of Tehran in the period from January 1, 2013 to January 1, 2023, coding was done in Google Earth Engine. For this purpose, the shape file of Tehran city was prepared and after calling the shape file in Google Earth Engine, remote sensing images of MODIS 11A2 006 Terra satellite were extracted. These images were 460, which were converted into much smaller and higher resolution images by the reducer of the Google Earth Engine system. Then, according to the required data received from the MODIS 11A2 006 Terra satellite, the average ground surface temperature trend at night, the ground surface temperature change trend, the ground surface temperature transect trend and the average ground surface temperature change trend at night for the 22 regions of Tehran in the interval The period from January 1, 2013 to January 1, 2023 was examined.

Findings: After measuring the data, areas 10, 11, and 12 in the center of Tehran had the least, and areas 1, 3, and 4 in the northeast of Tehran and areas 21 and 22 in the northwest of Tehran had the most thermal changes in time. The temperature of the ground surface in areas 1, 3, 4, 21 and 22 with an average of 288.6 K, were the hottest areas in Tehran.

Conclusion: The results showed that the urban heat islands created in Tehran are different based on the factors that cause temperature changes. This difference is primarily due to land use and land cover in the disproportionate and unbalanced development of the city and indicates the close relationship between land cover and surface temperature. Also, the correlation study between land cover and land surface temperature showed that there is an inverse relationship between these two parameters and there is no direct relationship between population density and land surface temperature in some areas. Considering the nature of the research, this research can be effective in reducing the intensity and expansion of urban heat islands with proper planning for better and more use of water and green space.



NUMBER OF REFERENCES

60



NUMBER OF FIGURES

14



NUMBER OF TABLES

1

مقاله پژوهشی

تحلیل دینامیک جزایر حرارتی شهری در تهران (۲۰۱۳-۲۰۲۳) براساس تصاویر MODIS و موتور Google Earth

سید تاج‌الدین منصور، اسماعیل ضرغامی*

گروه معماری دانشکده مهندسی معماری و شهرسازی دانشگاه تربیت دبیر شهید رجایی تهران، ایران

چکیده

پیشینه و اهداف: امروزه شهرنشینی در حال گسترش است و پیش‌بینی شده است که تا سال ۲۰۳۰ بیش از دو سوم جمعیت جهان در شهرها زندگی خواهند کرد. این جمعیت، برای زندگی کردن نیازمند فضاهایی مانند مسکونی، کسب‌وکار، گذران اوقات فراغت و غیره هستند. این امر، منجر به تغییرات محیط طبیعی برای ایجاد کاربری‌های گفته شده است. این تغییرات، پیامدهای گوناگونی بر محیط زیست و زندگی انسان‌ها دارند که می‌توان به افزایش سطوح نفوذناپذیر در سطح شهر و کاهش فضای سبز اشاره نمود. بر این اساس، محیط شهر به‌علت تولید حرارت بیشتر ناشی از مصرف سوخت‌های فسیلی و همچنین، وجود سطوح نفوذناپذیر و ساختمان‌های بلند، به‌عنوان جمع‌کننده حرارت عمل کرده و جزایر حرارتی را به‌وجود می‌آورد. علت اصلی تشکیل و تشدید جزایر حرارتی شهری، تغییر سطح زمین در اثر توسعه ناموزون شهر است. امروزه، بررسی دقیق و جامع جزایر حرارتی شهری که با رشد شهر در ارتباط است، مورد توجه مدیران شهری قرار گرفته است. علم سنجش از دور یکی از بهترین ابزارهای تشخیص این پدیده است. این مقاله، به بررسی تأثیر ساختار محیط شهری بر تغییرات حرارتی در شهر تهران می‌پردازد.

روش‌ها: برای رسیدن به این هدف پژوهش برای مشخص کردن روند تغییرات دمایی در مناطق ۲۲ گانه شهر تهران در بازه زمانی اول ژانویه ۲۰۱۳ تا اول ژانویه ۲۰۲۳، ابتدا کد نویسی در Google Earth Engine انجام شد. برای این کار، شیپ فایل شهر تهران تهیه گردید و پس از فراخوانی شیپ فایل در Google Earth Engine، تصاویر سنجش از دور ماهواره MODIS 11A2 006 Terra استخراج گردید. این تصاویر، ۴۶۰ عدد بودند که به‌وسیله کاهنده سامانه Google Earth Engine به تصاویری بسیار کمتر و با وضوح بیشتر، تبدیل گردیدند. سپس، با توجه به داده‌های مورد نیاز و دریافتی از ماهواره MODIS 11A2 006 Terra میانگین روند دمای سطح زمین در شب، روند تغییرات دمای سطح زمین، روند برش عرضی دمای سطح زمین و میانگین روند تغییرات دمای سطح زمین در شب برای مناطق ۲۲ گانه شهر تهران در بازه زمانی اول ژانویه ۲۰۱۳ تا اول ژانویه ۲۰۲۳ مورد بررسی قرار گرفت.

یافته‌ها: پس از اندازه‌گیری داده‌ها، مناطق ۱۰، ۱۱ و ۱۲ در مرکز تهران، کمترین و مناطق ۱، ۳ و ۴ در شمال شرق تهران و مناطق ۲۱ و ۲۲ در شمال غرب تهران بیشترین تغییرات حرارتی را در زمان، در نظر داشتند. دمای سطح زمین در مناطق ۱، ۳، ۴، ۲۱ و ۲۲ با میانگین ۲۸۸/۶ کلوین، گرم‌ترین مناطق در شهر تهران بودند.

نتیجه‌گیری: نتایج، نشان داد که جزایر حرارتی شهری ایجاد شده در شهر تهران بر اساس عواملی که باعث تغییرات دمایی می‌شوند، متفاوت هستند. این تفاوت در درجه اول به دلیل کاربری و پوشش اراضی در توسعه نامتناسب و نامتوازن شهر است و نشان‌دهنده رابطه نزدیک بین پوشش زمین و دمای سطح زمین می‌باشد. همچنین، مطالعه همبستگی بین پوشش زمین و دمای سطح زمین نشان داد که بین این دو پارامتر رابطه‌ای معکوس وجود دارد و بین تراکم جمعیت و دمای سطح زمین در برخی مناطق رابطه مستقیمی وجود ندارد. با توجه به ماهیت تحقیق، این پژوهش می‌تواند با برنامه‌ریزی صحیح برای استفاده بهتر و بیشتر از آب و فضای سبز در کاهش شدت و گسترش جزایر حرارتی شهری مؤثر باشد.

تاریخ دریافت: ۲۵ دی ۱۴۰۲

تاریخ داوری: ۱۸ فروردین ۱۴۰۲

تاریخ اصلاح: ۳۰ فروردین ۱۴۰۲

تاریخ پذیرش: ۳۱ اردیبهشت ۱۴۰۳

واژگان کلیدی:

دمای سطح زمین

کاربری اراضی

سنجش از راه دور

تهران

جزایر حرارتی شهری

* نویسنده مسئول

ezarghami@sru.ac.ir

۰۹۱۲-۱۰۶۴۴۶۷

مقدمه

[۲ و ۳]. این رشد بیش از حد به‌ویژه در کشورهای در حال توسعه باعث کاهش آلودگی سطوح شهری، افزایش جرم پوشش‌های سطحی در واحد سطح و افزایش گرمای مصنوعی ناشی از فعالیت کارخانه‌ها، حمل‌ونقل، دستگاه‌های تهویه مطبوع و کاهش سطوح تبخیر و تغییر معادلات تعادلی رطوبت و انرژی شهری می‌شود [۴ و ۵ و ۶]. در دهه‌های اخیر، جزایر حرارتی شهری که به‌عنوان مناطقی با گرادیان دمایی منفی در

اکنون، توانایی یک شهر برای تشکیل و تشدید جزایر حرارتی شهری، یک واقعیت پذیرفته شده است. در واقع، این یکی از مستندترین اثرات آب و هوایی ناشی از تغییر محیط جوی توسط انسان است [۱]؛ بنابراین، رشد سریع شهرنشینی و توسعه بی‌برنامه مناطق شهری در برابر سطح پایین پوشش طبیعی یکی از علل اصلی تغییرات آب‌وهوایی جهانی است

در مقابل، اگرچه داده‌های سری Landsat دارای وضوح مکانی بالایی هستند، اما برای پایش LST در چرخه‌های زمانی طولانی مناسب نیستند. از سویی دیگر، چرخه بررسی MSG کوتاه است، با این حال، وضوح فضایی پایینی دارد که برای توصیف اطلاعات دقیق تغییرات LST مناسب نیست. همچنین NOAA/AVHRR دارای مشکلات رانش مداری هستند؛ بنابراین، محصولات MODIS Terra و Aqua پرکاربردترین مجموعه داده‌ها برای نظارت بر محیط حرارتی در مقیاس‌های فضایی مختلف می‌باشند [۳۰ و ۳۱]. MODIS/Aqua مدارهای متفاوتی با زمان‌های روگذر متفاوت دارد. زمان گذار Terra حدود ۱۰:۳۰ و ۲۲:۳۰ به وقت محلی خورشیدی است، در حالی که زمان گذار Aqua حدود ۱۳:۳۰ و ۰۱:۳۰ به وقت محلی خورشیدی است [۳۲]. اگر چه مطالعات زیادی در مورد تأثیر قابل توجه گسترش شهرها برافزایش LST مناطق گرم و خشک انجام شده است، اما مطالعات کمی در مورد تأثیر پیچیدگی شکل و آرایش پوشش زمین بر پدیده جزایر حرارتی شهری به‌ویژه در شهر تهران انجام شده است. علاوه بر این، بررسی تغییرات پدیده جزایر حرارتی شهری در شهرهایی مانند تهران که دارای بافت شهری مربوط به دوره‌های مختلف تاریخی هستند و هر دوره معیارهای خاص خود را در تفکیک زمین شهری برای ساخت‌وساز داشته است، بسیار حائز اهمیت است.

علاوه بر این، از آنجایی که فرم شهر و فضاهای باز شهری و ابعاد و اندازه ساختمان‌ها نقش اساسی در میزان جذب و دفع انرژی و در نتیجه، میزان مصرف انرژی فسیلی و دمای محیط دارند، اما تاکنون تحقیقات کمی در دنیا و به‌ویژه در ایران در مورد شرایط مورفولوژی شهری و تأثیر پوشش زمین با استفاده از حسگر MODIS در موتور (GEE (Google Earth engine) بر جزایر حرارتی شهری انجام شده است. مزیت این روش نسبت به سایر روش‌ها، این است که سیستم GEE مزیت‌های بسیاری بر سایر سیستم‌های مشابه خود دارد؛ از جمله دسترسی آسان و دقیق به تصاویر ماهواره‌ای پردازش‌شده، عدم نیاز به پردازش تصاویر، سرعت پردازش بسیار بالا، رایگان بودن و پشتیبانی از داده‌های ماهواره‌ای عمومی، پشتیبانی از پردازش سری‌های زمانی سنجش از دور، عدم وابستگی به سیستم‌های دسکتاپ، عدم نیاز به سخت‌افزار قدرتمند، کاربرد برای تحقیقات دانشگاهی و کاربرد در پروژه‌های تجاری، برای اندازه‌گیری LST. بر این اساس در این پژوهش استفاده شده است.

هدف این پژوهش، بررسی تأثیر ساختار محیط شهری بر تغییرات گرما در شهر تهران است. برای دستیابی به این هدف، ابتدا میانگین روند LST در شب، روند تغییرات LST، روند برش عرضی LST و روند میانگین تغییرات LST در شب در ۲۲ منطقه تهران در بازه زمانی اول ژانویه ۲۰۱۳ تا اول ژانویه ۲۰۲۳ با استفاده از روش حرارتی ارزیابی می‌شود؛ بنابراین، در این پژوهش بر اساس داده‌های دریافتی از باندهای ماهواره MODIS11A2 006 Terra در موتور GEE، توزیع فضایی LST و رابطه آن با کاربری زمین و پوشش زمین، به‌ویژه سطح پوشش فضای سبز در مناطق شهر، مورد تجزیه و تحلیل قرار گرفته است. همچنین، تحلیل تأثیر رابطه بین LST و تراکم جمعیت بر مصرف انرژی و سلامت ساکنان منطقه

مقایسه با محیط اطرافشان شناخته می‌شوند، یکی از مهم‌ترین عوامل تأثیرگذار بر کیفیت زندگی انسان‌ها هستند [۷ و ۸ و ۹]. پدیده جزایر حرارتی شهری یک خطر ناشی از رشد کنترل نشده مناطق در شهرها است [۱۰ و ۱۱]. حتی اگر دما بالا نرود، شهرها اکنون با این مشکل مواجه هستند [۱۲ و ۱۳ و ۱۴ و ۱۵ و ۱۶]. شهرها به دلیل داشتن سطوح فیزیکی متفاوت از محیط اطراف خود (مناطق روستایی) بر اقلیم مناطق خود تأثیر می‌گذارند [۱۷ و ۱۸]. علاوه بر این، دگرگونی و طراحی سریع ساختمان‌ها و افزایش و گسترش آسمان‌خراش‌ها و همچنین افزایش فعالیت‌های صنعتی، منجر به توسعه جزایر حرارتی شهری شده است [۱۹ و ۲۰ و ۲۱ و ۲۲].

دمای سطح برای مطالعه اقلیم‌شناسی شهری بسیار مهم است. با ظهور فناوری سنجش از دور، پایش از راه دور جزایر حرارتی شهری با استفاده از سکوی ماهواره‌ای امکان‌پذیر شده است و راه‌های جدیدی را برای مشاهده جزایر حرارتی شهری و بررسی علل آن‌ها از طریق ترکیب سنجش از دور حرارتی و اقلیم‌شناسی شهری، فراهم کرده است. بر این اساس، تعریف صحیح متغیرهای سنجش از دور به منظور درک دقیق محتوای اطلاعات کمیت‌های سنجش از دور و چگونگی ارتباط آن‌ها با ویژگی‌های سطح واقعی مهم است. سنجش از دور حرارتی دمای سطح شهری، یک مورد خاص از مشاهده دمای سطح زمین است که در پاسخ به تعادل انرژی سطح متفاوت است. دمای سطح حاصل، اثرات تابش سطحی و خواص ترمودینامیکی، از جمله رطوبت سطح، میزان انتشار دمای سطح، میزان تابش سطح، اثرات جو نزدیک به سطح و ارتباط آن با انتقال حرارت از سطح را در برمی‌گیرد [۲۳].

محاسبه مقدار LST (Land Surface Temperature) برابر دمای سطح زمین) به‌عنوان نقطه شروع برای تجزیه و تحلیل جزایر حرارتی شهری در نظر گرفته می‌شود [۲۳ و ۲۴ و ۲۵]. در مطالعات تغییر اقلیم شهری، LST به‌عنوان یکی از مهم‌ترین پارامترهای مؤثر بر پدیده جزایر حرارتی شهری شناخته می‌شود [۱۹ و ۲۶]. به‌عنوان یک روش رایج برای پایش LST، روند گرمایش را می‌توان با کمک مکان‌یابی تغییرات دما به‌طور دقیق شناسایی کرد [۲۷ و ۲۸]. سنجش‌از‌دور ماهواره‌ای می‌تواند به‌عنوان مبنایی مناسب برای پایش تغییرات اقلیمی در نظر گرفته شود زیرا مشاهدات فوری و بسیار دقیقی را ارائه می‌دهد. مطالعات اخیر بر روی اعتبارسنجی این روش نشان داده است که LST در انواع مختلف پوشش زمین دارای دقت نسبتاً بالایی با خطاهای مطلق در محدوده ۱/۰ تا ۳/۰ کلوین هستند. در حال حاضر، داده‌های LST از طیف گسترده‌ای از منابع ماهواره‌ای مانند MODIS Terra/Aqua، NOAA/AVHRR، Landsat TM5، ETM+6، OLI7 و MSG به‌دست می‌آیند. این حسگرها محصول LST را در وضوح زمانی (زیر ۸ تا ۱۶ روز) و مکانی (زیر ۱۰۰ متر تا ۳ کیلومتر) با دوره‌های مختلف ارائه می‌دهند. MODIS Terra/Aqua که به‌سرعت راه‌اندازی می‌شود، محصولات LST جهانی را با دقت مکانی خوب، زمان‌بندی و دقت بالا ارائه می‌دهد [۲۹].

دریافتند که بخش‌هایی از شهر تهران مستعد تشدید جزایر حرارتی شهری در آینده هستند. صلاح‌الدین و همکاران (۱۳۹۹) پایین‌ترین و بالاترین مقادیر LST را در طول روز و شب برای شهر تهران مورد بررسی قرار دادند. آن‌ها با استفاده از تصاویر سنجنده MODIS تأثیرات پوشش زمین، ساختمان‌ها و تراکم جمعیت را بر روند تغییرات LST تعیین کردند. ثناگر دربانی و همکاران (۱۳۹۹) در پژوهش خود برای شهر مشهد که با استفاده از تصاویر سنجنده MODIS صورت گرفت، راهکارهای طراحی معماری و شهری را برای کاهش اثرات جزایر حرارتی شهری ارائه دادند. آن‌ها با بررسی میزان تأثیر پوشش زمین، پوشش گیاهی، تراکم ساختمان‌ها و پوشش معابر میزان سرعت باد و همچنین درصد دریافت انرژی خورشیدی را توسط سطوح شهری معین کردند. مقدم و همکاران (۱۴۰۲) در پژوهشی که برای شهر یزد انجام دادند، با استفاده از تصاویر ماهواره Landsat، میزان تأثیر پوشش زمین و پوشش گیاهی را بر تغییرات LST بررسی کردند. آن‌ها، دریافتند که مدل‌سازی تغییرات LST با محاسبه پارامترهای مختلف مربوط به توسعه کاربری‌ها در سطح زمین رابطه‌ای مستقیم دارد.

وانگ و لو (۲۰۰۴) حرارت چندین شهر را با استفاده از تصاویر حرارتی مادون قرمز و قدرت تفکیک مکانی بالا با استفاده از روش تک پنجره ارزیابی نمودند که در نتیجه آن‌ها دریافتند به هنگام روز، بخش‌های تجاری و سپس مناطق حمل‌ونقل، بالاترین دما را دارند و پایین‌ترین دما به ترتیب مربوط به محل‌های دارای آب، پوشش گیاهی و اراضی کشاورزی است. در شب، مناطق تجاری، خدماتی، صنعتی و حمل‌ونقل سریع‌تر خنک می‌شوند و در اصل، دمای آن‌ها در ساعات اولیه بامداد، قدری بیشتر از پوشش گیاهی و کشتزارها است. تاردی و همکاران (۲۰۱۶) با استفاده از تصاویر ماهواره Landsat، میزان تأثیر پوشش گیاهی، پوشش زمین و ساختمان‌ها را بر میزان دریافت انرژی خورشیدی توسط آن‌ها مورد بررسی قرار دادند. آن‌ها در پژوهش خود دریافتند که کارایی روش استفاده از تصاویر ماهواره‌های Landsat برای تخمین LST مورد تأیید است. یانگ و همکاران (۲۰۱۹) در پژوهش خود به بررسی تأثیرات پوشش زمین و پوشش گیاهی بر میزان درجه حرارت LST با استفاده از تصاویر سنجنده MODIS پرداختند. آن‌ها، دریافتند که محصولات مختلف MODIS به‌عنوان مرجع مهمی در پایش روند LST می‌تواند به کار رود.

شکاف هدف و تحقیق

مطالعات زیادی در مورد تأثیر توسعه ساختار فیزیکی شهرها بر افزایش دمای سطح زمین در مناطق گرم‌وخشک انجام شده است، اما مطالعات کمی در مورد تأثیر پیچیدگی شکل و آرایش پوشش اراضی بر پدیده جزایر حرارتی شهری به‌ویژه برای شهر تهران، انجام شده است. از طرفی، تحقیقات کمی در دنیا به‌خصوص در ایران در مورد شرایط مورفولوژی شهری و تأثیر پوشش زمین بر جزایر حرارتی شهری با استفاده از حسگر MODIS در موتور GEE انجام شده است.

مورد بررسی قرار گرفته است. به عبارتی می‌توان بیان کرد که برای محاسبه LST، یکی از روش‌های پرکاربرد سنجش از دور مبتنی بر باند MODIS11A2 006 Terra استفاده شد [۳۳ و ۳۲]. لازم به ذکر است که این پژوهش به بررسی یک موضوع چند رشته‌ای مرتبط با پایداری می‌پردازد که نحوه تعامل انسان و محیط بر اساس تغییرات حرارتی را توضیح می‌دهد.

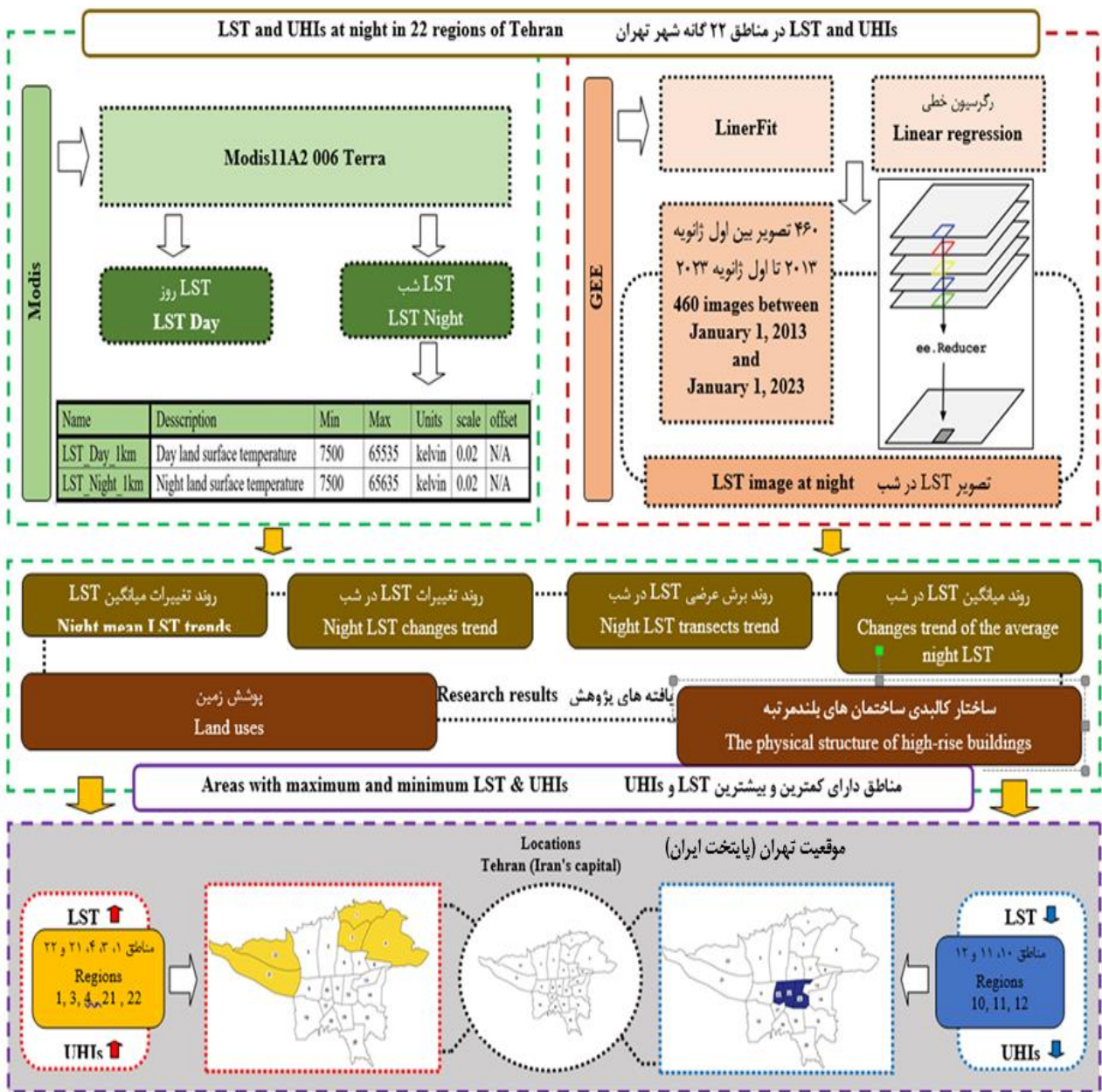
پیشینه تحقیق

با توجه به آن‌چه در مقدمه بیان شد، داده‌های سنجش از دور LST پشتیبانی خوبی برای پایش بر دمای سطح محیط فراهم می‌کنند و در نتیجه ارتباط آن را با تغییرات آب و هوایی در مکان‌های زمانی-فضایی مختلف فراهم می‌نمایند. در این پژوهش، برای بررسی دقیق‌تر پیشینه تحقیق، مقالات و مطالعات موجود در پایگاه علمی اسکوپوس به‌عنوان یکی از جامع‌ترین پایگاه‌های علمی مورد بررسی قرار گرفت و کلید واژه‌های جزایر حرارتی شهری و LST جستجو شدند. نتایج این بررسی، نشان می‌دهد که مطالعات دانشگاهی در این زمینه از دهه ۱۹۶۰ اهمیت بیشتری یافته و تا سال ۲۰۰۰ به‌تدریج افزایش یافته و در هزاره سوم شتاب بیشتری گرفته است. افزایش تحقیقات در سال‌های اخیر می‌تواند تحت تأثیر گزارش‌های سالانه کنوانسیون تغییر اقلیم سازمان ملل متحد و همچنین ارزیابی‌های ملی محیط زیست ایالات متحده در مورد تأثیر گرمایش جهانی باشد.

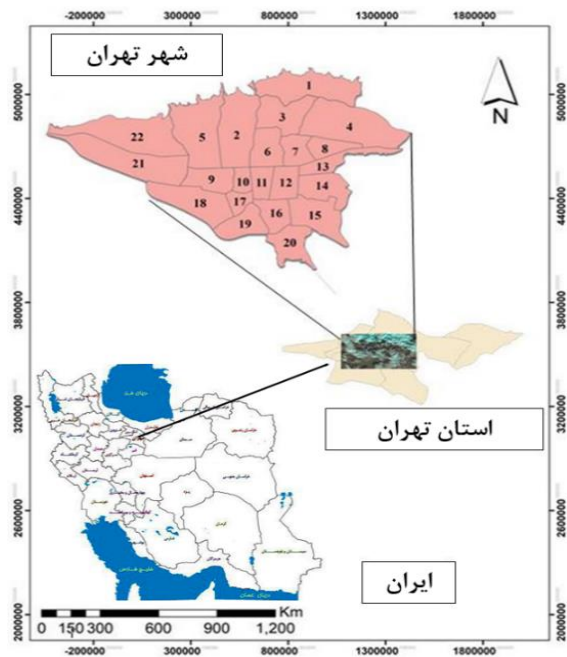
ملک پور و همکاران (۱۳۸۵) پژوهشی در رابطه با تخمین درجه LST با استفاده از داده‌های سنجنده ETM و الگوریتم سبال در شهر تهران انجام دادند. نتایج این پژوهش نشان داد که روش به‌کاررفته جهت تخمین مقادیر بازتابش و درجه حرارت سطح، بر روی مناطق شهری یکنواخت با دقت قابل قبولی عملی بوده و می‌تواند به‌منظور برآورد میزان توسعه شهری در یک دوره زمانی مورد استفاده قرار گیرد. صادقی و همکاران (۱۳۹۴) در پژوهش خود، روند تغییرات حرارتی شهر تهران را به‌صورت فضایی - زمانی در بازه زمانی ۱۹۸۶ تا ۲۰۱۰ با استفاده از روش تک پنجره مورد بررسی قرار دادند که در طی آن با توجه به نتایج خود همبستگی فضایی عمومی، دو نتیجه مهم به‌دست آوردند؛ اول در طول دوره مطالعه خوشه‌های حرارتی جدیدی در شهر تهران شکل گرفته است و دوم، وسعت فضایی خوشه‌های حرارتی قبلی رو به افزایش است. حمزه لو (۱۳۹۵) نقاط حرارتی تهران را با استفاده از تصاویر با توان تفکیک بالای Geoeye و داده برداری میدانی محاسبه نمود و مناطقی از شهر تهران را که در آن‌ها LST رو به افزایش است، مشخص نمود. بذرگر و آخوندزاده (۱۳۹۷) با استفاده از ESTARFM، اطلاعات پرتکرار زمانی سنجنده Modis را با اطلاعات با توان تفکیک مکانی بالای سنجنده ESTER ترکیب کردند. این الگوریتم، برای بهبود دقت پیش‌بینی LST با قدرت تفکیک ۹۰ متر برای قسمتی از شهر تهران که با یک تصویر ESTER پوشش داده شده بود، به کار گرفته شد و نتایج قابل قبولی را به‌ویژه در مناطق غیرهمگن و حفظ جزئیات مکانی نشان داد. آن‌ها،

در این پژوهش، مطابق شکل ۱ ابتدا با استفاده از داده‌های سنجنده MODIS، LST شب و روز مناطق ۲۲ گانه شهر تهران در بازه زمانی اول ژانویه ۲۰۱۳ تا اول ژانویه ۲۰۲۳ اندازه‌گیری شده است، سپس با استفاده از رگرسیون خطی در GEE و تصاویر دریافتی، میزان پیشرفت LST در مناطق ۲۲ گانه شهر تهران اندازه‌گیری شده است. بر اساس نتایج به دست آمده، مناطق ۱۰، ۱۱ و ۱۲ در مرکز شهر تهران کمترین تغییرات حرارتی و مناطق ۱، ۳ و ۴ در شمال شرق تهران و مناطق ۲۱ و ۲۲ در شمال غرب تهران دارای بیشترین تغییرات دما در دوره زمانی مورد نظر بوده‌اند.

در این پژوهش، از تصاویر ماهواره‌ای MODIS11A2 006 Terra در موتور GEE برای ارزیابی و اندازه‌گیری LST و جزیره حرارتی شهری استفاده شده است. مزیت اصلی این روش نسبت به سایر روش‌ها، دسترسی آسان و دقیق به تصاویر پردازش شده سنجنده MODIS و موتور GEE و عدم نیاز به پردازش تصاویر می‌باشد. از دیگر نوآوری‌های این پژوهش، بررسی دوره ده‌ساله شرایط آب‌وهوایی شهر تهران برای ارزیابی جزایر حرارتی شهری است. بر اساس آمار هواشناسی کشور، بررسی ده‌ساله داده‌های هواشناسی می‌تواند به مدیران شهری در اتخاذ تصمیمات مناسب برای توسعه اراضی شهر تهران کمک کند [۳۴]. در شکل ۱ مدل مفهومی تحقیق ارائه شده است.



شکل ۱: مدل مفهومی پژوهش
Fig 1: Conceptual model of research



شکل ۲: موقعیت منطقه مورد مطالعه
Fig 2: Location of the studied area

همچنین Google Earth Engine یک پلتفرم مبتنی بر ابر برای تجزیه و تحلیل جغرافیایی در مقیاس سیاره‌ای است که توانایی‌های محاسباتی عظیم Google را بر روی انواع مسائل اجتماعی پر تأثیر از جمله جنگل‌زدایی، خشک‌سالی، فاجعه، بیماری، امنیت غذایی، مدیریت آب، نظارت بر آب‌وهوا به ارمغان می‌آورد. در این زمینه، GEE به‌عنوان یک پلتفرم یکپارچه طراحی شده برای توانمندسازی حفاظت از محیط زیست، نه تنها برای دانشمندان سنجش از دور، بلکه مخاطبان بسیار گسترده‌تری که فاقد ظرفیت فنی لازم برای استفاده از ابررایانه‌ها یا منابع محاسبات ابری در مقیاس بزرگ هستند، طراحی شده است [۳۶]. بر این اساس و برای ارزیابی عوامل مؤثر بر افزایش یا کاهش پدیده جزایر حرارتی شهری در بازه زمانی مورد نظر، میانگین روند LST در شب، روند تغییرات LST، روند برش عرضی LST و روند میانگین تغییرات LST در شب برای مناطق ۲۲ گانه شهر تهران تهیه گردید. با استفاده از GEE، یک برنامه وب رایگان Climate Engine (CE) است که با استفاده از آن می‌توان LST و تغییرات کاربری زمین را نظارت کرد. با کمک این روش پیشرفته، کاربران می‌توانند داده‌ها و محصولات مختلف آب‌وهوای جهانی و منطقه‌ای را پردازش و تجسم نمایند که دسترسی به آن‌ها بسیار سریع است [۳۷]. سنجنده MODIS، LST را با وضوح فضایی یک کیلومتر در یک دوره ۸ روزه ارائه می‌دهد. هر مقدار پیکسل در MOD11A2 میانگین ساده‌ای از تمام پیکسل‌های MOD11A1 است که در آن دوره ۸ روزه جمع‌آوری شده است. دوره مرکب ۸ روزه به این دلیل است که دو برابر این مدت زمان دقیقی است که برای تکرار مسیر زمینی سکوی Aqua و Terra است. همچنین همراه با این باندها، دمای سطح روز و شب، ارزیابی‌های کنترل کیفیت، زمان‌های مشاهده، زاویه دید اوج و پوشش آسمان صاف در باندهای ۳۱ و ۳۲ ارائه شده است

مواد و روش‌ها

منطقه مورد مطالعه

تهران، به‌عنوان پایتخت ایران در شمال کشور و در دامنه جنوبی رشته‌کوه‌های البرز واقع شده است. این شهر، بیش از ۶۰۰ کیلومتر مربع وسعت دارد و بین ۳۵ درجه و ۳۱ دقیقه تا ۳۵ درجه و ۵۷ دقیقه عرض شمالی و ۵۱ درجه و ۴ دقیقه تا ۵۱ درجه و ۴۷ دقیقه طول شرقی واقع شده است. این شهرستان از شمال به رشته کوه البرز، از شرق به لواسانات، از غرب به شهرستان کرج و از جنوب با شهرستان ورامین همسایه است. شهر تهران از نظر تقسیمات اداری به ۲۲ منطقه، ۱۲۵ ناحیه و ۳۵۵ محله تقسیم شده است. این شهر، پرجمعیت‌ترین شهر و پایتخت ایران، مرکز استان تهران است. شهر تهران در برآورد سال ۱۴۰۱ بالغ بر ۹۰۳۹۰۰۰ نفر جمعیت داشته است و طبق برآورد سال ۲۰۱۸ سازمان ملل، سی و چهارمین شهر پرجمعیت جهان و پرجمعیت‌ترین شهر غرب آسیا می‌باشد. همچنین کلان‌شهر تهران، دومین کلان‌شهر پرجمعیت خاورمیانه است. تهران، از نظر ناهمواری‌های طبیعی به دو دشت و کوهپایه البرز تقسیم می‌شود و دامنه فعلی آن از ۹۰۰ تا ۱۸۰۰ متر بالاتر از سطح دریا است. تهران، دارای آب‌وهوای نیمه‌خشک می‌باشد که در فصل زمستان نیمی از کل بارندگی سالانه آن را تأمین می‌کند و تابستان، کم‌بارش‌ترین فصل تهران است. ارتفاع شهر تهران از سطح دریا ۹۰۰ تا ۱۸۰۰ متر می‌باشد. این ارتفاع از شمال به جنوب کاهش می‌یابد. به‌عنوان مثال، ارتفاع در میدان تجریش در شمال شهر حدود ۱۳۰۰ متر و در میدان راه‌آهن که ۱۵ کیلومتر پایین‌تر است، ۱۱۰۰ متر می‌باشد. تهران، از نظر ناهمواری‌های طبیعی به دو ناحیه کوهپایه‌ای و دشتی تقسیم می‌شود. از دامنه‌های البرز تا جنوب شهر ری، تپه‌های کوچک و بزرگ متعددی وجود دارد. تهران، دارای آب‌وهوای نیمه‌خشک است. شمال شهر به دلیل ارتفاع زیاد نسبت به سایر نقاط شهر خنک‌تر است. همچنین کم‌بافت، وجود باغ‌های قدیمی، باغ‌ها، فضای سبز در حاشیه بزرگراه‌ها و نبود فعالیت‌های صنعتی در شمال شهر باعث شده تا هوای مناطق شمالی به‌طور میانگین ۲ تا ۳ درجه سانتی‌گراد خنک‌تر از مناطق جنوبی شهر باشد. جهت اصلی باد غالب در تهران، شمال غربی به جنوب شرقی است [۳۵]. این شهر، پیچیدگی بیشتری در کاربری اراضی، شکل شهر و پیچیدگی دمای سطح زمین دارد. شکل ۲ موقعیت جغرافیایی تهران را نشان می‌دهد.

باند‌های حرارتی MODIS11A2 006 Terra و اعتبارسنجی داده‌های دریافتی

پایش LST و مناطق تحت تأثیر جزایر حرارتی شهری در دوره ده‌ساله (اول ژانویه ۲۰۱۳ تا اول ژانویه ۲۰۲۳)، با کمک تصاویر ماهواره‌ای MODIS 11 و Terra در موتور Google Earth (GEE) انجام شد. اساس این کار مدل LinerFit و رابطه رگرسیون خطی است. مدل LinerFit برای یافتن بهترین برازش یا معادله رگرسیون با استفاده از رابطه بین متغیرهایی است که می‌توانند برای پیش‌بینی استفاده شوند.

باند‌های ۳۱ و ۳۳ است. اعتبارسنجی برای محصول دمای سطح زمین با استفاده از داده‌های حسگر MODIS MOD11 (Terra) از طریق یک سری کارزارهای میدانی انجام شده، در مکان‌ها و دوره‌های زمانی مختلف از طریق اعتبارسنجی مبتنی بر تشعشع تأیید شده است [۴۳]. دقت داده‌های دریافتی از سنجنده MODIS با فاصله یک کیلومتری خطای کمتری نسبت به سایر سنجنده‌ها و در نتیجه در فواصل نزدیک‌تر و بیشتر نشان داد. برای ماسک ابری MODIS، تشخیص تمام پیکسل‌های تحت تأثیر ابرها و ذرات معلق در هوا از پیکسل‌های آسمان صاف بسیار دشوار است، اما در MOD11، با استفاده از محدودیت‌های تجربی در تغییرات زمانی LST، این ذرات حذف می‌شوند و در نتیجه، آسمان صاف در نظر گرفته شده است.

تصاویر GEE

GEE یک سیستم محاسباتی مبتنی بر وب و ابری است که توسط گوگل برای ذخیره و تجزیه و تحلیل حجم عظیمی از داده‌ها در مقیاس پتابایت (شامل تصاویر ماهواره‌ای مختلف، مدل‌های دیجیتال ارتفاع، داده‌های آب‌وهوا، داده‌های برداری) توسعه یافته و راه‌اندازی شد [۲۵ و ۳۳ و ۴۴]. یکی از ویژگی‌های بسیار خوب این موتور، رایگان بودن، عدم نیاز به سخت‌افزار پیشرفته و گران‌قیمت و دسترسی رایگان و آنلاین به پایگاه‌های اطلاعاتی سازمان فضایی اروپا و آمریکا و بسیاری از پایگاه‌های داده دیگر است [۴۵ و ۴۶ و ۴۷].

سرعت در پردازش و در نتیجه دسترسی به داده‌های متنوع یکی از مسائل و مشکلات مطالعات مربوط به تغییرات کاربری اراضی است. این مشکلات توسط GEE حل شده است. این امر، امکان دسترسی به تصاویر ماهواره‌ای مختلف از جمله تصاویر راداری را بدون صرف هزینه و با زمان اندک ممکن می‌سازد [۴۸].

اگر بخواهیم روند افزایش یا کاهش LST مناطق ۲۲ گانه تهران و مناطق اطراف آن را در بازه زمانی ۲۰۱۳ تا ۲۰۲۳ بررسی کنیم، باید نقشه‌ای از تغییرات LST در این مناطق تهیه کنیم [۴۱]. برای این منظور، تصویر دمای شب را انتخاب می‌کنیم که خالص‌تر و دارای دقت بالاتری است. با در نظر گرفتن این دو پارامتر، ناهنجاری‌های حرارتی را می‌توان با دقت بیشتری بررسی کرد. نقشه تغییر دما، یک تصویر مقیاس شده از تغییرات LST در شب است که یک تصویر Gain است. این سیستم مختصات، سیستم اصلی GEE برای تعیین ابعاد و مختصات نقاط است که به دلیل سازگاری با مختصات منطقه مورد مطالعه، داده‌های قابل اعتمادی را در اختیار ما قرار می‌دهد. شکل ۳ تغییرات دمای LST در شب را برای شهر تهران و مناطق اطراف آن نشان می‌دهد. در شکل سمت راست محدوده شهر تهران با دایره مشخص شده است. در این شکل با توجه به درجه حرارت‌های مشخص شده، میزان تغییرات دمای LST در شب را برای شهر تهران و مناطق اطراف آن دارای درجه حرارت خیلی بالا در اکثر مناطق آن است که با رنگ قرمز مشخص شده است. در شکل چپ، نمودار این تغییرات که در نرم‌افزار Snap استخراج شده است، ارائه گردیده است.

[۳۸]. در این پژوهش، از باند حرارتی MOD11A2.006 Terra تابش دمای سطح Land-Day Global 1km که یک داده ترکیبی است، استفاده شده است. مزیت داده‌های ترکیبی (داده‌های ترکیبی در یک دوره زمانی) نسبت به داده‌های روزانه این است که داده‌های ترکیبی معمولاً ابرهای زیادی در خود ندارند و بنابراین، اطلاعات بسیار کمی را از دست می‌دهند. در نتیجه، می‌توانیم سری زمانی تغییرات LST را به خوبی به دست آوریم و آنالیز کنیم [۳۹]. جدول ۱ ویژگی‌های باند‌های ماهواره‌ای MODIS را برای LST روز و شب نشان می‌دهد [۴۰].

جدول ۱: باندهای ماهواره MODIS برای LST روز و شب

Table 1: MODIS satellite bands for day and night LST						
Name	Description	Min	Max	Units	scale	offset
LST_Day_1 km	Day land surface temperature	7500	65535	Kelvin	0.02	N/A
LST_Night_1km	Night land surface temperature	7500	65635	Kelvin	0.02	N/A

یکی از مهم‌ترین روش‌های قابل اعتماد در این زمینه استفاده از تصاویر GEE است [۴۱]. در پژوهش حاضر، به منظور اعتبارسنجی داده‌های دریافتی از ماهواره MODIS11A2 006 Terra، از روش تصویر موجود در GEE استفاده شد. تصاویر دریافتی از این موتور، دارای وضوح مکانی بسیار بالایی هستند. با توجه به این که این تصاویر دارای وضوح فضایی بسیار بالایی هستند، نتایج اعتبارسنجی بسیار قابل اعتماد خواهد بود [۴۱]. بر این اساس، نمونه‌گیری با استفاده از تفسیر بصری تصاویر GEE انجام شد. در موتور GEE تعداد فریم‌های عکس دریافتی بر اساس دوره زمانی و شرایط مکان مورد مطالعه متفاوت است. به منظور تحلیل و بررسی مناسب بر روی این تصاویر، این تصاویر باید توسط کاهنده‌ها به یک تصویر تبدیل شوند [۲۵ و ۳۳].

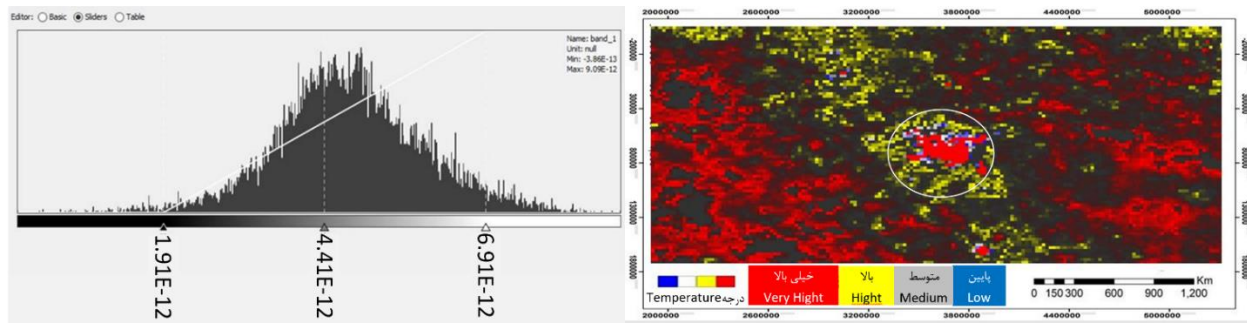
گروه خاصی از توابع به نام کاهنده بر مجموعه تصاویر تأثیر می‌گذارد به طوری که نتیجه یک کاهنده یک تصویر واحد است [۴۲]. روشی که دستور کاهش می‌دهد این است که بسیاری از تصاویر را بر اساس اطلاعات مورد نیاز به یک تصویر جامع تبدیل می‌کند. در نتیجه، خروجی از نظر پیکسلی محاسبه می‌شود، به طوری که هر پیکسل در خروجی از مقدار متوسط تمام تصاویر موجود در مجموعه در آن مکان تشکیل شده است [۴۲]. در این تحقیق ۴۶۰ تصویر دریافت شد که برای کاهش آن‌ها با استفاده از کاهنده موتور GEE از مدل linerFit بر اساس رگرسیون خطی استفاده شد که با کد دستوری زیر اجرا گردید:

```
reduce (ee.Reducer.linerFit)
```

برای به دست آوردن تصاویر ماهواره‌ای در GEE کدگذاری بر اساس آنچه گفته شد، انجام می‌شود. این کدنویسی در ۱۳۴ خط نوشته شد و اطلاعات مورد نیاز استخراج گردید.

دمای سطح زمین و انتشار (MOD11)

سنجنده MODIS در ماهواره Terra قرار دارد و داده‌ها را در ۳۶ باند طیفی در ناحیه ۴-۰/۴-۱۴ میکرون طیف الکترومغناطیسی از سطح زمین جمع‌آوری می‌کند. MODIS 11 شامل دمای سطح و انتشار در



شکل ۳: تغییر دمای LST در شب برای شهر تهران و مناطق اطراف آن (راست) و نمودار تغییر دمای LST در شب برای شهر تهران (سمت چپ)
 Fig. 3: Change of LST temperature at night for Tehran city and its surrounding areas (right) and chart of LST temperature change at night for Tehran city (left)

با استفاده از رگرسیون خطی و مدل linearFit می‌توان تغییرات جزایر حرارتی شهری را در یک دوره ۱۰ ساله برای تهران مشاهده کرد. خروجی رگرسیون خطی یا مدل linerFit دارای یک تصویر مقیاس و یک تصویر افست است. لازم به ذکر است که شدت تغییرات در بازه زمانی مورد نظر از طریق پارامتر مقیاس قابل بررسی است و افست عرض از مبدأ است. مشخصات این پارامترها به همراه کد EPSG به شرح زیر است:

0: "scale", double, EPSG: 4326, 3x2 px
 1: "offset", double, EPSG: 4326, 3x2 px
 بنابراین نقشه تغییر دما در واقع همان نقشه مقیاس است. تصویر مقیاس، تصویر Gain است که شدت تغییرات را به ما نشان می‌دهد. هر چه مقادیر عددی تصویر شیب خط به دست آمده بیشتر باشد، نشان‌دهنده این است که شدت تغییرات بیشتر بوده و روند افزایشی داشته است. مقادیر مثبت، یک روند افزایشی است، مقادیر منفی نشان‌دهنده روند کاهشی است.

یافته‌ها

تغییرات LST در شب

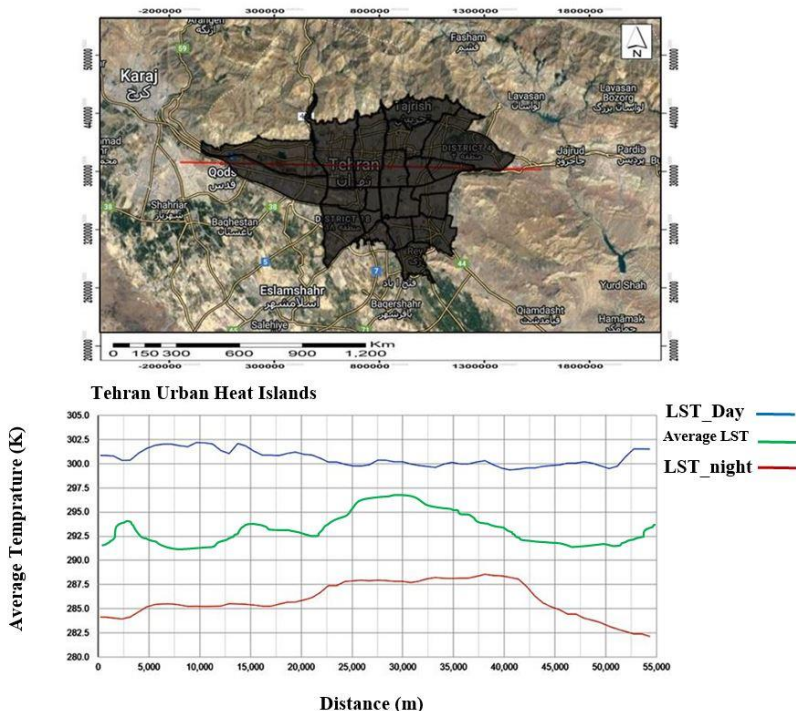
در شکل ۳، نمودار پایین شدت تغییرات را برای نقاط مختلف بر اساس باندهای حرارتی نشان می‌دهد. هر چه مقدار عددی شیب خط بیشتر باشد، نشان‌دهنده آن است که شدت تغییرات بیشتر بوده و روند افزایشی داشته است. در این نمودار، مقادیر مثبت نشان‌دهنده روند افزایشی و مقادیر منفی نشان‌دهنده روند کاهشی است. بر اساس آنچه در نمودار مشاهده می‌شود، کمترین مقادیر شیب خط در غرب و شرق تهران (در محدوده اطراف شهر) مشاهده می‌شود و مقادیر عددی برای شهر تهران بیشترین مقدار و مثبت‌ترین ارزش‌ها در مقایسه با محیط اطرافش را نشان می‌دهند؛ بنابراین اختلاف دمای شهر تهران با اطراف آن کاملاً مشخص است. این اختلاف دما باعث تشکیل و تشدید جزایر حرارتی شهری در تهران می‌شوند.

برش عرضی LST در شب

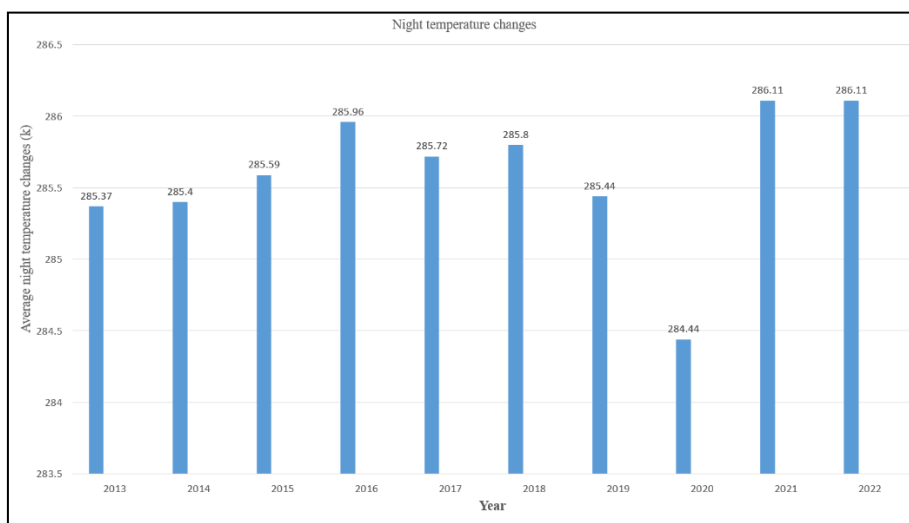
هدف از ایجاد برش عرضی LST نشان دادن روند تغییرات LST در شهر و مناطق اطراف آن است. در نتیجه برش عرضی از غرب به شرق شهر تهران با مختصات مشخص ترسیم شد. مختصات نقطه شروع در غرب تهران [51.043398, 35.736422] و مختصات نقطه پایان در شرق تهران

همان‌طور که در شکل ۴ مشاهده می‌شود، خط آبی مربوط به LST روز و خط قرمز مربوط به LST شب است. در خط برش عرضی روز تابش خورشید وجود دارد و انعکاس آن از سطوح مختلف، LST را بیش از واقعیت نشان می‌دهد، بنابراین جزایر حرارتی شهری در طول روز به خوبی دیده نمی‌شوند؛ اما در شب ما شاهد یک LST واقعی تری هستیم زیرا تابش خورشیدی وجود ندارد و انعکاس تابش خورشید از سطوح مختلف بسیار کم است. در نتیجه، در اینجا تغییرات برش عرضی LST در شب را نیز در نظر می‌گیریم. در این راستا، شکل ۵ میانگین تغییرات LST شبانه را نشان می‌دهد. اگر تغییرات را بررسی کنیم، تغییرات LST در سال ۲۰۲۰ کمترین مقدار (284/44 K) و بیشترین مقدار در سال ۲۰۲۲ (286/12 K) را دارند.

با توجه به هزینه‌های بسیار بالای خرید زمین در شهر تهران و همچنین مهاجرت بسیاری از ساکنان شمال تهران به مناطق جنوبی شهر و حتی شهرک‌های حاشیه‌ای تهران، روند توسعه زمین استفاده طی سال‌های ۲۰۰۰ تا ۲۰۲۲ رشد چشمگیری نداشته است [۳۴]. اختلاف دمای ۱/۶۸ درجه کلوین LST را می‌توان در گسترش هوای گرم و خشک در بسیاری از نقاط تهران به دلیل میانگین بالای مصرف انرژی، استفاده از سوخت‌های فسیلی ارزان، کاهش بارندگی سالانه و در نتیجه افزایش مشاهده کرد. در انتشار گازهای گلخانه‌ای در طول سال‌های ۲۰۲۱ و ۲۰۲۲، میانگین روند تغییر LST شبانه تقریباً برابر بود. این در حالی است که این مقدار بالاتر از مقادیر بین سال‌های ۲۰۱۳ تا ۲۰۲۰ است. اگر از سال ۲۰۲۰ چشم‌پوشی کنیم، افزایش میانگین تغییرات LST شبانه از سال ۲۰۱۳ تا ۲۰۲۳ روندی افزایشی داشته است و بر این اساس می‌توان انتظار داشت که این میزان در سال‌های آینده بیشتر افزایش یابد. در نتیجه پدیده جزایر حرارتی شهری در تهران در سال‌های آینده افزایش خواهد یافت.



شکل ۴: میانگین برش عرضی LST در روز و شب برای شهر تهران
 Fig. 4: Average cross-section of LST in day and night for Tehran city



شکل ۵: نمودار میانگین LST شبانه برای شهر تهران
 Fig. 5: Average night LST diagram for Tehran city

تهران ضروری است. در شب، هیچ تأثیری از تابش خورشیدی اضافی روی داده‌ها وجود ندارد. در شکل ۶ شدت تغییرات دما با طیف رنگ‌های آبی، سفید، زرد و قرمز نشان داده شده است که طیف رنگ آبی کمترین دما و طیف رنگ قرمز بالاترین دما را نشان می‌دهد. همان‌طور که در شکل ۶ مشخص است بخش قابل توجهی از محدوده شهری تهران دارای طیف رنگی قرمز و مناطق اطراف و پوشش‌های آن دارای طیف رنگی زرد و آبی می‌باشد. این نشان‌دهنده تفاوت حرارتی شهر تهران با اطراف آن است که باعث شکل‌گیری و تشدید پدیده جزایر حرارتی شهری می‌شود.

میانگین LST در شب و پوشش زمین در طول روز تفاوت دمایی زیادی بین دمای سطح شهر تهران و مناطق اطراف آن وجود ندارد. این مشکلی است که در بخش جزایر حرارتی شهری مناطق خشک وجود دارد. جزایر حرارتی شهری را نمی‌توان با استفاده از دمای سطح روز شناسایی کرد؛ زیرا در طول روز اثر تشعشعات خورشیدی اضافی وجود دارد و این باعث می‌شود که نتوانیم جزایر حرارتی شهری را دقیقاً بر اساس دما و شرایط حرارتی آن‌ها تشخیص دهیم [۳۳]. بر این اساس، استفاده از داده‌های دمای شبانه به تبع داده‌های دمای روز برای مناطق خشک و نیمه‌خشک مانند

به یکی از قدیمی‌ترین مناطق آسیب‌دیده از این پدیده تبدیل شده است. ترافیک سنگین جاده‌ای و هوایی، حجم زیاد وسایل نقلیه عمومی و شخصی و همچنین انواع آلاینده‌های ناشی از آن‌ها از مهم‌ترین جنبه‌های منفی گسترش جزایر حرارتی شهری در این مناطق است. علاوه بر این مناطق می‌توان به منطقه ۱۲ (بازار مرکزی و هسته قدیم تهران)، منطقه ۱۳ (زمین‌های بایر اطراف فرودگاه دوشان تپه سابق و محوطه‌های سنگفرش اطراف آن) و مناطق جنوبی که در آن کارگاه‌ها و فعالیت‌هایی وجود دارد اشاره کرد. در برخی حوزه‌ها مانند منطقه ۱۲ اعمال قوانین و مقررات جدید مانند اصلاح قوانین راهنمایی و رانندگی و توسعه معابر پیاده از جمله اقداماتی است که در سال‌های اخیر برای کاهش تأثیر و پیشرفت انجام شده است. برخلاف مناطق مذکور، برخی از نقاط و مناطق شهر تهران به دلیل استفاده از پوشش گیاهی و افزایش این روند در بازه زمانی ۲۰۱۳ تا ۲۰۲۳ دارای LST کمتری هستند که راه‌حل مناسبی برای کاهش اثرات نامطلوب جزایر حرارتی شهری می‌باشد.

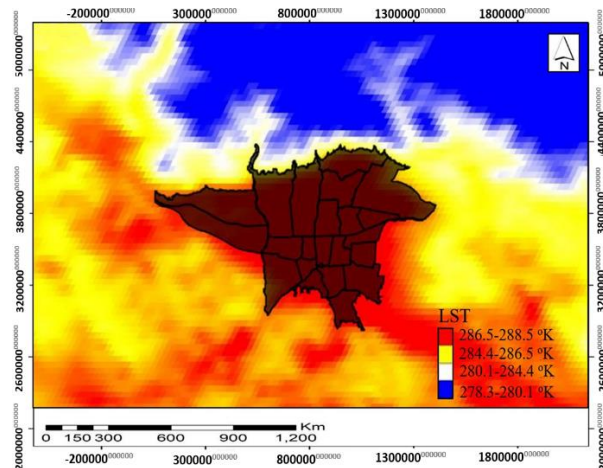
میانگین LST شبانه

پارامتر شبانه LST یکی از مهم‌ترین پارامترها برای شناسایی شرایط آب و هوایی و محیطی هر منطقه محسوب می‌شود. امروزه با استفاده از داده‌های مادون قرمز حرارتی می‌توان نقشه‌های LST را بدون تماس فیزیکی با اشیاء یا سطوح تهیه کرد [۴۹ و ۲۵ و ۳۳]. دانستن توزیع مکانی- زمانی LST برای تعیین تعادل انرژی زمین، مطالعات هواشناسی و تبخیر و تعرق ضروری است. LST به مقدار انرژی رسیده به سطح زمین، انتشار سطح، رطوبت و جریان اتمسفر بستگی دارد زیرا تابعی از انرژی خالص در سطح زمین است. در این مرحله با استفاده از نقشه فایل Shape مناطق ۲۲ گانه تهران، روند تغییرات دمایی هر منطقه در سال‌های موردنظر بر اساس LST شبانه تعیین شد.

همان‌طور که در نقشه شکل ۷ نشان داده شده است، منطقه ۱ دارای بیشترین میانگین تغییرات دمایی LST شبانه و مناطق ۱۰، ۱۱ و ۱۲ کمترین میانگین دما را دارند. این تغییرات دما به صورت گرافیکی در شکل‌های ۸ و ۹ برای مناطق مشخص شده بیان شده است.

بر اساس آنچه که در شکل ۸ ارائه شده است و همچنین نقشه و نمودارهای تغییرات میانگین LST شبانه، می‌توان گفت که شمال، شمال شرق، شمال غرب و بخش‌هایی از جنوب در معرض افزایش شکل‌گیری و تشدید جزایر حرارتی شهری و نواحی مرکزی شهرها کمتر تحت تأثیر جزایر حرارتی شهری قرار می‌گیرند. افزایش پدیده جزایر حرارتی شهری در مناطق اطراف مرکز تهران در حال گسترش است و این امر می‌تواند در آینده تغییرات زیادی را در مناطق مرکزی تهران ایجاد کند.

در شکل ۹، در نمودارهای مربوط به منطقه ۱، نقطه پرت بین سال‌های ۲۰۱۴ تا ۲۰۱۵، ۲۰۱۷ تا ۲۰۱۸ و ۲۰۲۰ تا ۲۰۲۱ رخ داده است. همچنین نقاط پرت در مناطق ۱۰، ۱۱ و ۱۲ بین سال‌های ۲۰۲۰ تا ۲۰۲۱ ایجاد شده است. در این مکان‌ها، کمترین دمایی شبانه مربوط به LST رخ داده است. بر اساس اطلاعات اعلام شده از سوی اداره کل



شکل ۶: شدت تغییرات LST شبانه برای ارزیابی UHI ها
Fig. 6: Intensity of nighttime LST changes to evaluate UHIs

با توجه به نقشه LST تهیه شده و همچنین نمودار برش عرضی نشان داده شده در شکل ۴، دمای شهر تهران در بازه زمانی ۲۰۱۳ تا ۲۰۲۳ روند افزایشی را طی کرده است، به طوری که تمامی مناطق شهری در معرض اثرات نامطلوب جزایر حرارتی شهری قرار دارند. بر اساس این نقشه، LST بین ۲۸۶.۵ تا ۲۸۸.۵ درجه کلوین متغیر بود. این اختلاف ۲ درجه میانگین دمایی است که در بازه زمانی در نظر گرفته شده برای شهر تهران رخ داده است. برای روشن شدن رابطه بین LST و پوشش زمین، می‌توان گفت که کمترین دما مربوط به بدنه‌های آبی و مناطق سرپوشیده طبیعی مانند فضاهای سبز، پارک‌های جنگلی و پارک‌های شهری است، در حالی که حداکثر دما در زمین‌های بایر، سطوح غیرقابل نفوذ مانند مناطق سنگفرش، پوشش‌های ساخته شده و همچنین کاربری‌های صنعتی، تجاری، مسکونی و حمل‌ونقل به ثبت رسیده است.

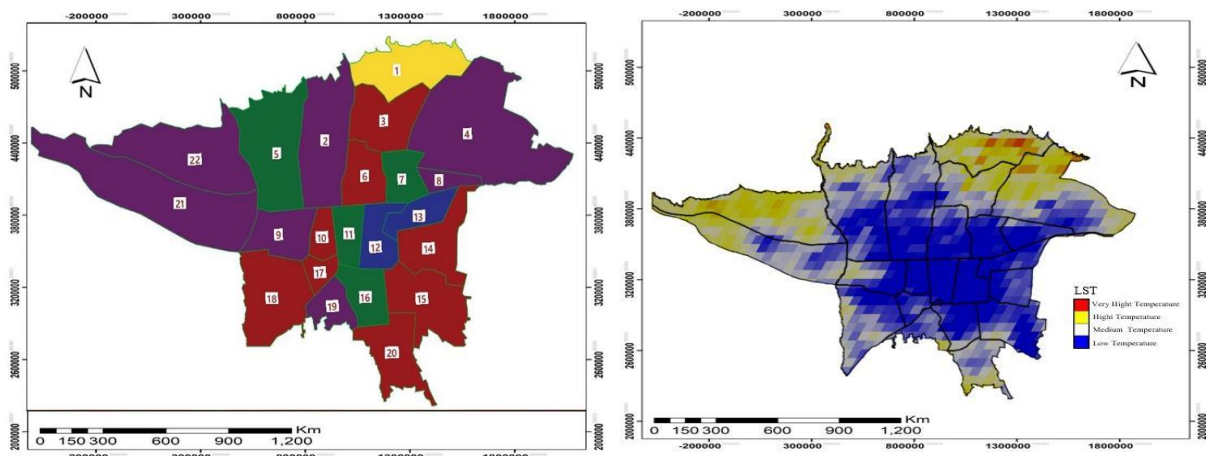
به طور کلی، مناطق عمدتاً تحت تأثیر جزایر حرارتی شهری عمدتاً در چهار مکان مختلف در منطقه مورد مطالعه از جمله کاربری‌های مختلف قرار دارند. یکی از مناطق آسیب‌دیده منطقه ۲۱ تهران است که اکثریت قریب به اتفاق کارخانه‌ها، کارگاه‌های صنعتی، انبارها و سایر کاربری‌های مرتبط با به عنوان زنجیره‌ای از فعالیت‌های صنعتی در خود جای داده است. به عبارت دیگر بیشتر منطقه را مصارف صنعتی و پوشش‌های دست‌ساز اشغال کرده‌اند. دومین منطقه‌ای که بیشتر تحت تأثیر جزایر حرارتی شهری قرار گرفته است، منطقه ۱ است. این عمدتاً به دلیل وجود بافته‌ای قدیمی و جدید در کنار یکدیگر با اختلاف ارتفاع ناهموار و همچنین استفاده بیش از حد از مواد غیرقابل نفوذ بدنه ساختمان‌ها و کف جاده‌ها است. سومین منطقه مهم متأثر از جزایر حرارتی شهری در شمال و شمال غرب منطقه ۲۲ و شمال منطقه ۱۹ به دلیل گسترش زمین‌های بایر در منطقه است. قسمت چهارم شهر که دستخوش تغییرات حرارتی شده و طبق روند ده‌ساله مورد مطالعه در آینده رو به افزایش است، مناطق ۹، ۱۸ و ۲۰ هستند. به دلیل نزدیکی این مناطق به فرودگاه بین‌المللی مهرآباد، پایانه‌های حمل‌ونقل مسافر و دروازه تهران از غرب،

از ترافیک و در نتیجه انتشار آلاینده‌های خطرناک زیست‌محیطی یکی از مهم‌ترین عواملی است که سلامت ساکنان شهری را تهدید می‌کند و خطر ابتلا به بیماری‌های قلبی - عروقی را افزایش می‌دهد. به دلیل گسترش سطوح غیرقابل نفوذ و مصنوعی بر اثر از بین رفتن پوشش طبیعی زمین، به‌ویژه پوشش گیاهی، مشکلات عمده‌ای در فرآیند تصفیه آلاینده‌ها در مناطق شهری ایجاد شده است [۵۰ و ۵۱]؛ بنابراین یکی از دلایل مهم افزایش LST در مناطق شهری در سال‌های اخیر استفاده بی‌رویه از سازه‌های مختلف، گسترش مواد غیرطبیعی و نفوذناپذیر برای توسعه ساختمان‌ها بوده است. این افزایش منجر به جذب بیشتر انرژی خورشیدی و در نتیجه افزایش دمای مناطق شهری شده است [۵۲ و ۴۱].

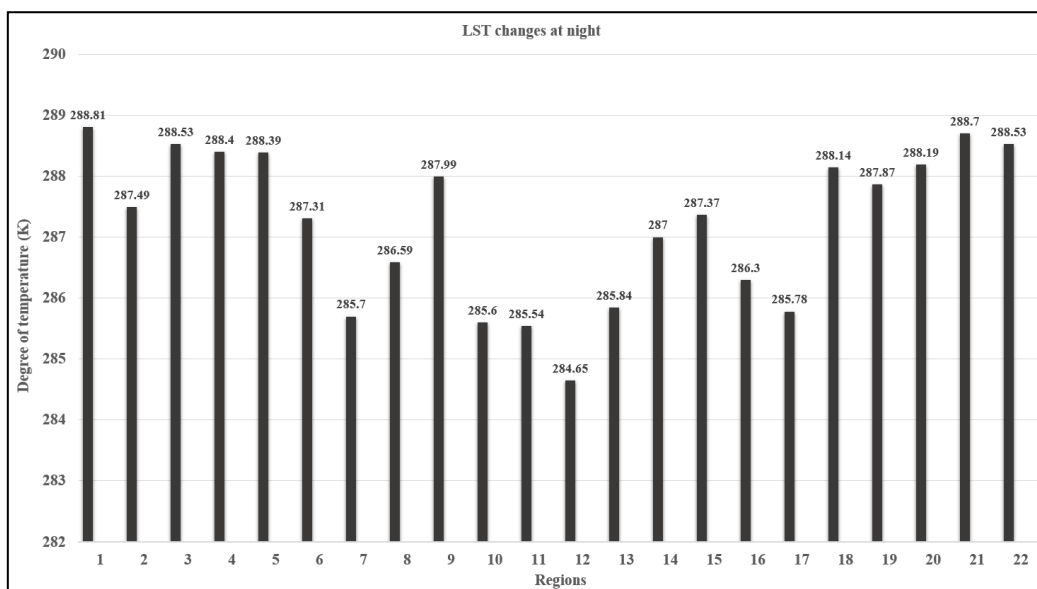
هواشناسی شهر تهران، طی سال‌های ۲۰۱۳ تا ۲۰۲۳ در شهر تهران در ماه‌های بهار نسبت به سایر ماه‌های سال روند افزایشی وزش باد وجود داشته است. بر این اساس افزایش باد باعث کاهش دمای شبانه LST شده است

LST شب و تراکم جمعیت

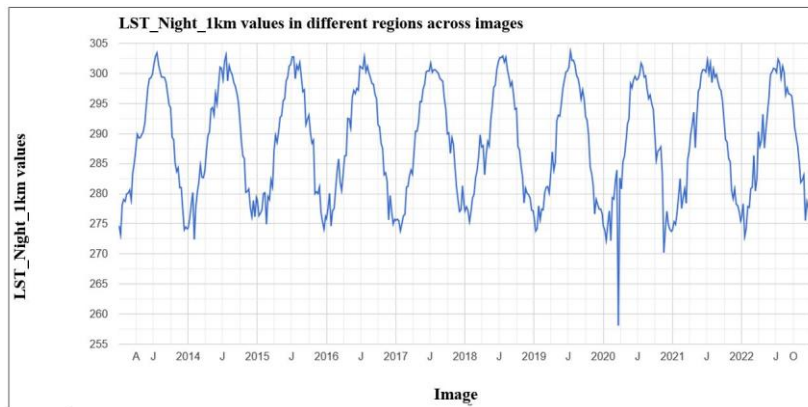
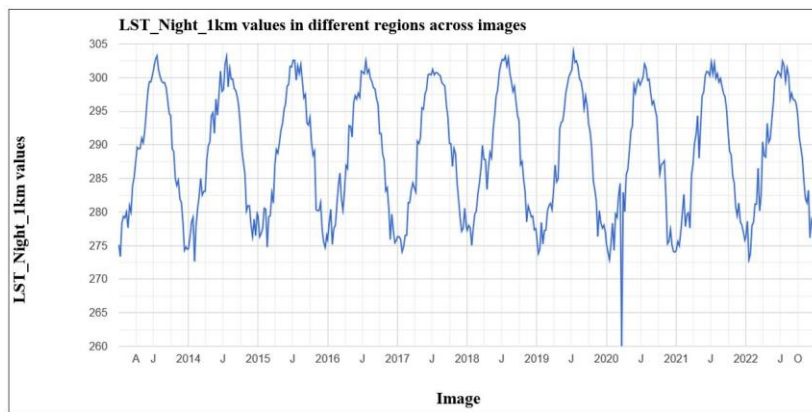
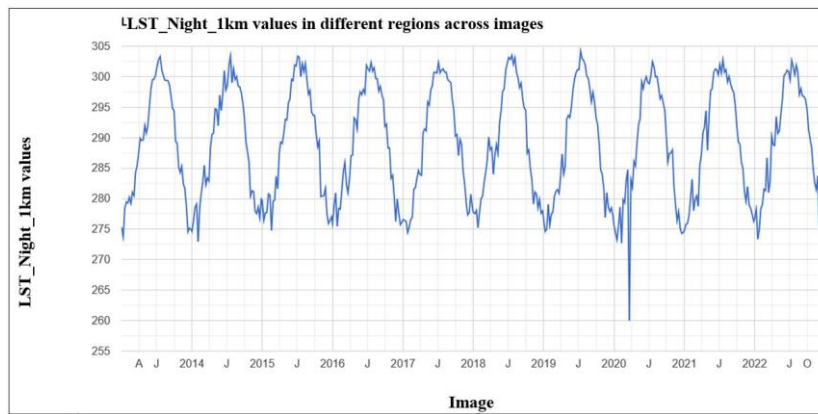
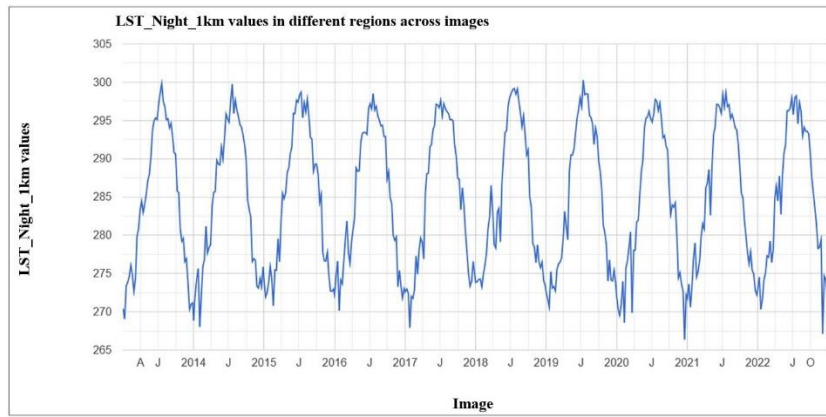
بر اساس نقشه‌های شبانه LST در مناطق ۲۲ گانه شهر تهران، الگوی دمایی در این مناطق، ماهیت متفاوتی را برای شکل‌گیری و تشدید جزایر حرارتی شهری نشان می‌دهند [۴۱ و ۵۰]. شکل‌گیری این پدیده در مجاورت مناطق متراکم مسکونی و تجاری همراه با آلودگی هوا ناشی



شکل ۷: موقعیت جغرافیایی مناطق ۲۲ گانه شهر تهران (چپ) و میانگین LST شبانه (راست) در آن‌ها
 Fig. 7: Geographical location of 22 districts of Tehran (left) and average night LST (right) in them



شکل ۸: نمودار تغییرات میانگین LST شبانه در مناطق ۲۲ گانه شهر تهران
 Fig. 8: Chart of changes in the average night LST in 22 regions of Tehran

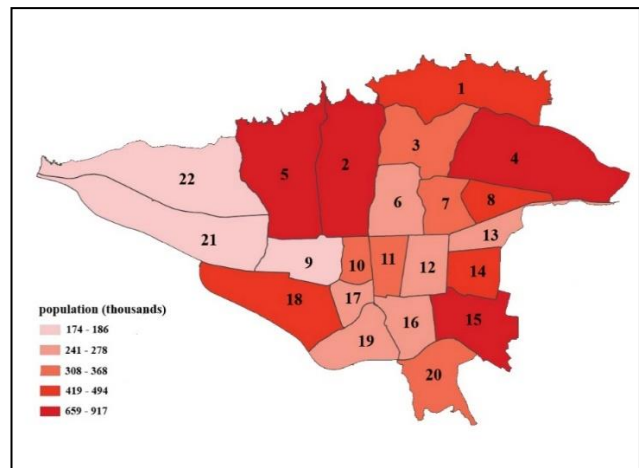


شکل ۹: میانگین تغییرات شبانه LST در مناطق ۱، ۱۰، ۱۱ و ۱۲ تهران
Fig. 9: Average changes of night LST in areas 1, 10, 11 and 12 of Tehran

[۵۳ و ۵۴]. پوشش گیاهی می‌تواند دمای سطح زمین را از طریق فرآیند تبخیر و تعرق کاهش داده و تنظیم کند [۵۵ و ۵۶]. فرآیند تبخیر و تعرق می‌تواند دمای هوا را بین ۱ تا ۵ درجه سانتی‌گراد کاهش دهد [۵۷ و ۵۸]. به‌طور کلی مناطق با پوشش گیاهی مناسب و پوشش گیاهی بالا باید دمای سطحی بسیار پایین‌تری نسبت به مناطق با پوشش گیاهی کمتر داشته باشند.

برعکس، LST در مناطقی با پوشش گیاهی کم افزایش می‌یابد. باین‌حال، همبستگی منفی بین سطح پوشش گیاهی و LST ممکن است تحت تأثیر عواملی مانند رطوبت خاک و وضعیت تبخیر و تعرق باشد. باین‌حال نقش پوشش گیاهی و تأثیر آن بر کاهش دمای هوا و سطح اغلب غیرقابل‌انکار است [۵۹ و ۶۰]. نقشه‌های LST به‌دست‌آمده با استفاده از فناوری سنجش‌از‌دور و تصاویر ماهواره‌ای می‌توانند علاوه بر نمایش دما در کلاس‌های مختلف، توزیع فضایی جزایر حرارتی شهری را در مناطق مختلف نشان دهند. در شکل ۱۲، منطقه تحت پوشش فضای سبز در مناطق ۲۲ گانه شهر تهران به‌صورت آماری نشان داده‌شده است. همچنین در شکل ۱۳ مساحت و تعداد فضاهای سبز شهر تهران نشان داده‌شده‌اند. همان‌طور که در این شکل مشخص است، مناطق ۲ و ۵ دارای مساحت درختان و جنگل‌کاری معیار بیشتر نسبت به سایر مناطق شهر تهران هستند. همچنین مناطق ۱، ۴ و ۲۲ دارای تعداد و مساحت پارک‌ها و فضای سبز بیشتری نسبت به مناطق دیگر شهر تهران هستند. بر اساس یافته‌های پژوهش، وجود فضای سبز و پوشش گیاهی در کاهش تشکیل و تشدید جزایر حرارتی شهری نقش بسزایی دارند که نتیجه آن کاهش LST در این مناطق است. از سویی دیگر بر اساس یافته‌های پژوهش در برخی از مناطق ۲، ۵، ۴، ۱ و ۲۲ که دارای بیشترین پوشش گیاهی و فضای سبز بین مناطق ۲۲ گانه شهر تهران هستند، بالاتری نسبت به سایر مناطق گزارش شده است و در نتیجه پدیده جزایر حرارتی شهری در این مناطق بیشتر رخ می‌دهد. علت این امر را باید در عواملی به‌غیر از پوشش گیاهی و فضای سبز دانست. به‌طور کلی بر اساس یافته‌های پژوهش و همچنین شکل ۱۳، مناطق با کمترین پوشش گیاهی عمدتاً در قسمت مرکزی و مناطق ۶، ۷، ۸، ۹، ۱۰، ۱۱ و ۱۲ و مناطق با پوشش گیاهی فراوان در مناطق ۱، ۴، ۵، ۱۳، ۱۵، ۲۱ و ۲۲ قرار گرفته‌اند.

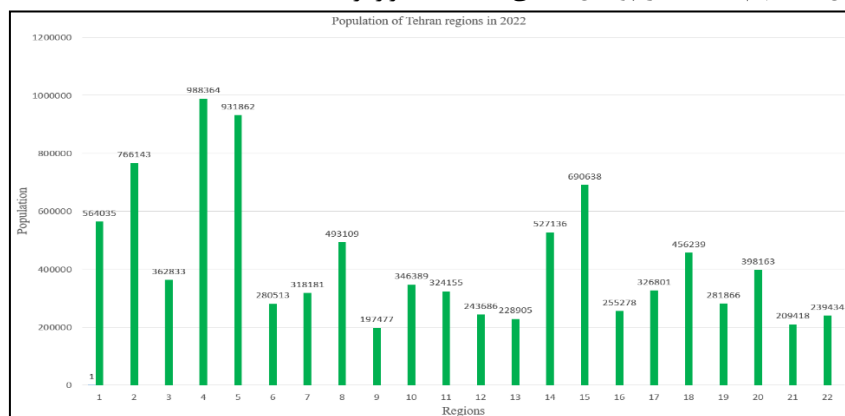
بر اساس سرشماری نفوس مناطق مختلف تهران در سال ۱۳۹۱، همان‌طور که در نمودارهای ۱۰ و ۱۱ مشاهده می‌شود، مناطق ۱۰، ۱۱ و ۱۲ که کمترین تغییرات LST در آن‌ها رخ داده است، کمترین تراکم جمعیت را در بین مناطق ۲۲ گانه تهران دارند. با توجه به شرایط طبقات مختلف پوشش زمین و تراکم پایین جمعیت در این مناطق طبیعی، به نظر می‌رسد شکل‌گیری پدیده جزایر حرارتی شهری در این مناطق عمدتاً ناشی از کاربری‌های صنعتی، حمل‌ونقلی، تجاری و همچنین وجود زمین‌های بایر است. نقشه LST شبانه و پراکندگی تراکم جمعیت در مناطق مختلف تهران، مناطقی با دمای بالا در مناطق ۱، ۳، ۴، ۲۱ و ۲۲ را نشان می‌دهد که با تراکم جمعیتی بالایی مواجه هستند. مناطق ۲، ۵، ۱۸، ۱۹ و ۲۰ تهران به دلیل تراکم نسبتاً بالای تراکم جمعیت و ساختمان‌ها، حجم بالای ترافیک، آلودگی‌های ناشی از حمل‌ونقل و نزدیکی به فرودگاه‌ها، این مناطق را در معرض خطر ظهور و گسترش جزایر حرارتی شهری قرار داده است.



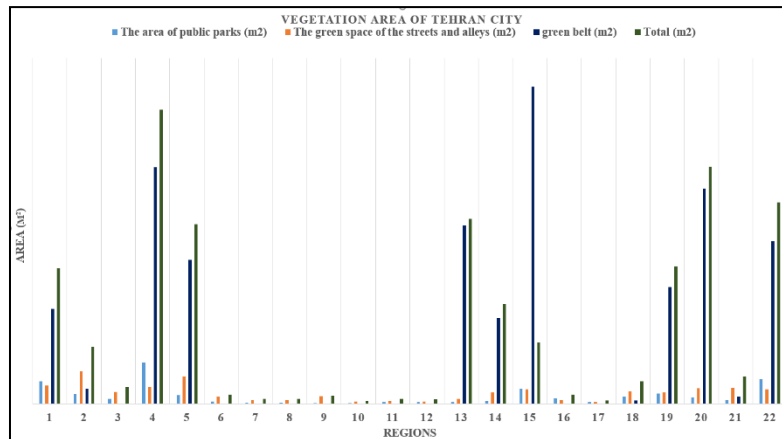
شکل ۱۰: توزیع فضایی تراکم جمعیت در شهر تهران منبع: [۳۵]
Fig. 10: Spatial distribution of population density in Tehran. Source: [35]

LST شب و سطح پوشش گیاهی

در بسیاری از مطالعات انجام‌شده بر روی پدیده جزایر حرارتی شهری، راهکارهایی برای کاهش اثرات نامطلوب این پدیده بیان شده است. به‌عنوان مثال، یکی از راه‌حل‌های مهم استفاده از پوشش گیاهی است

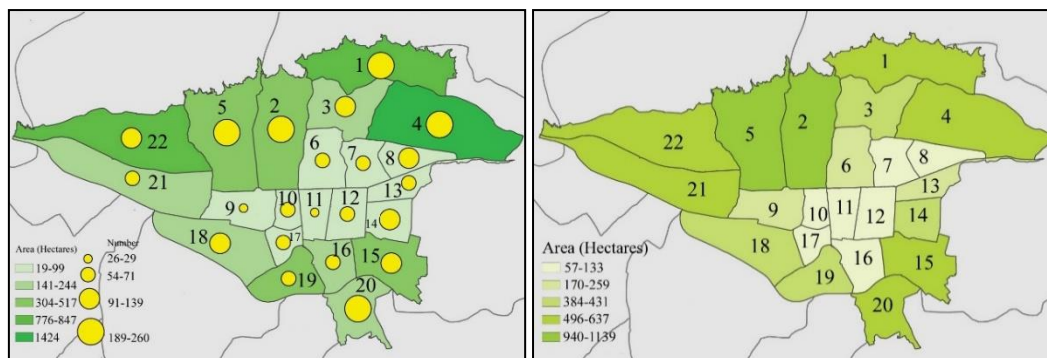


شکل ۱۱: تراکم جمعیت مناطق ۲۲ گانه تهران منبع: [۳۵]
Fig. 11: Population density of 22 districts of Tehran Source: [35]



شکل ۱۲: سطح پوشش گیاهی در مناطق ۲۲ گانه تهران منبع: [۳۵]

Fig. 12: Vegetation level in 22 districts of Tehran Source: [35]



شکل ۱۳: مساحت درختان و جنگل‌کاری معابر به تفکیک مناطق تهران (سمت راست) و تعداد و مساحت پارک‌ها و فضای سبز به تفکیک مناطق تهران (سمت چپ) منبع: [۳۵]

Fig. 13: The area of trees and afforestation of roads by the regions of Tehran (right) and the number and area of parks and green spaces by the regions of Tehran (left) Source: [35]

وسعت شهر تهران و شدت جزایر حرارتی شهری رابطه معقوبلی وجود دارد، همچنین آن‌ها نشان دادند که پایداری مناطق تهران به دلیل توزیع نامناسب کاربری‌ها و در نتیجه افزایش LST به شدت کاهش می‌یابد. بر اساس یافته‌های پژوهش، کاربردهایی که در افزایش LST و در نتیجه تشکیل و تشدید جزایر حرارتی شهری شهر تهران بسیار مؤثر هستند به چهار دسته تقسیم می‌شوند. این کاربری‌ها شامل اراضی صنعتی، مسکونی، فرودگاهی و بایر هستند. بوکای و همکاران (۲۰۱۸)، در پژوهش خود دریافتند که افزایش کاربری‌ها و توزیع نامتناسب آن‌ها در شهر، دمای هوا را به‌طور متوسط ۹/۴ درجه سانتی‌گراد در هر منطقه شهری افزایش می‌دهد. آن‌ها دریافتند که فضاهای مسکونی متراکم بیشترین تأثیر را در بین کاربری‌های ذکر شده دارند، به‌طوری‌که فشردگی فضاهای مسکونی باعث کاهش حرکت باد در فضای شهری و در نتیجه افزایش LST و جزایر حرارتی شهری می‌شود.

طبق آمار شهر تهران در سال ۱۴۰۱، کاربری‌های مناطق ۲۲ گانه شهر تهران شامل فضاهای مسکونی، آموزشی، صنعتی، فرهنگی و خدماتی است. همان‌طور که در شکل ۱۴ نشان داده شده است، هر منطقه با بیشترین درصد کاربری صنعتی، مسکونی، فرودگاهی و زمین بایر شناسایی شده است.

این آمار نشان می‌دهد که جزایر حرارتی شهری باید در مناطق ۶، ۷، ۸، ۹، ۱۰، ۱۱ و ۱۲، بیشتر از مناطق ۱، ۳، ۵، ۱۳، ۲۱ و ۲۲ رخ دهند، اما طبق نقشه‌های LST در دست این نیست. برای حل چنین تناقضی، دلایل تشکیل و تشدید جزایر حرارتی شهری را باید در شاخصی غیر از سطح پوشش گیاهی جستجو کرد. اگر بخواهیم یک رابطه متناسب با LST بر اساس سطح پوشش گیاهی برقرار کنیم، می‌توانیم مناطق ۱، ۴، ۵، ۱۳، ۱۵، ۲۱ و ۲۲ را با یکدیگر اندازه‌گیری کنیم زیرا سطح پوشش گیاهی تقریباً برابری دارند. در این پژوهش منطقه ۱ به دلیل اینکه پوشش گیاهی کمتری نسبت به سایر مناطق دارد، دارای LST بالاتری بوده و پدیده جزایر حرارتی شهری در آن بیشتر رخ می‌دهد. در بین مناطق ۶، ۷، ۸، ۹، ۱۰، ۱۱ و ۱۲، مناطق ۱۰، ۱۱ و ۱۲ دارای LST کمتر با پوشش تقریباً برابر و کمتر نسبت به اکثر مناطق دیگر هستند و پدیده جزایر حرارتی شهری در آن‌ها کمتر اتفاق می‌افتد.

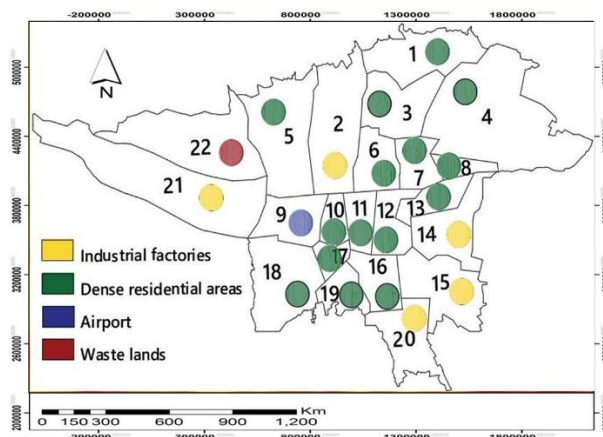
LST شب و کاربری زمین

مرتضوی عسل و همکاران (۲۰۲۲)، در تحقیقات خود دریافتند که تنوع کاربری‌ها و توسعه صحیح و بدون برنامه‌ریزی شهر تهران، در شکل‌گیری و تشدید جزایر حرارتی شهری مؤثر است. آن‌ها بیان کردند که تراکم فضایی مرکز شهر با افزایش وسعت شهر افزایش یافته است؛ بنابراین بین

و غرب منطقه مورد مطالعه است. بر اساس جزایر حرارتی شهری شهر تهران در سال ۱۴۰۱، این شهر با جمعیتی بالغ بر ۹ میلیون و ۴۳۰ هزار و ۶۲۵ نفر، با اختلاف جمعیتی جدی نسبت به سایر شهرها، رتبه اول پرجمعیت‌ترین شهر ایران را به خود اختصاص داده است. این شهر مانند دهه‌های گذشته به دلیل گسترش و تمرکز امکانات، نرخ درآمد چشمگیر و همچنین تمرکز فرصت‌های شغلی و سایر خدمات شهری همچنان انتخاب اول بسیاری از مهاجران است. این نتایج با نتایج پژوهش‌های شمس‌الدینی و مددی ورزخانی (۱۳۹۸)، نادری زاده شورابه و همکاران (۱۳۹۸)، ثناگر دربانی و همکاران (۱۴۰۰) و افشارمنش و همکاران (۱۴۰۰) مطابقت دارند.

منطقه ۲۲ در شمال غرب تهران که میزبان یکی از مهم‌ترین پارک‌های گیاه‌شناسی و پارک‌های جنگلی منطقه مورد مطالعه است به همراه منطقه ۲۱ همواره مورد توجه مدیران شهری به‌عنوان مناطق خوش آب‌وهوای تهران بوده است به طوری که در به دنبال رشد سریع جمعیت شهر به دلیل مهاجرت‌های بی‌رویه، این مناطق به‌عنوان یکی از گزینه‌های ممکن برای ساخت‌وسازهای جدید در شهر به‌منظور تأمین و گسترش مسکن برای ساکنین جدید مطرح شدند. بر این اساس شهرک‌های مسکونی بسیاری ایجاد شده و یا در شرف تکمیل است. با توجه به نقشه‌های روند برش عرضی LST و میانگین روند تغییرات LST و همچنین تحلیل وضعیت جمعیت این مناطق و گستردگی آن‌ها نسبت به سایر مناطق تهران، حاکی از آن است که مناطق تحت تأثیر جزایر حرارتی شهری عمدتاً زمین‌های بایر هستند. برخلاف هسته‌های حرارتی مورد بحث در مجاورت مناطق صنعتی، پایانه‌های حمل‌ونقل و مناطق مسکونی و تجاری متراکم، ظهور و توسعه جزایر حرارتی شهری شهر تهران در مناطق ۲۱ و به‌ویژه ۲۲ تحت تأثیر تغییرات متفاوت دمای خاک زمین‌های بایر نسبت به محیط اطراف است. این نتیجه با نتایج پژوهش‌های نصرالله و همکاران (۱۳۹۷) و هاوکینز و همکاران (۲۰۰۴) مطابقت داشت اما با پژوهش وانگ و یو (۲۰۰۵) مطابقت نداشت. این پژوهشگران بیشترین عامل تشکیل و تشدید جزایر حرارتی شهری را در کلان‌شهرها افزایش تراکم جمعیت و حمل و نقل می‌دانند.

این امر می‌تواند نشان‌دهنده این واقعیت باشد که عدم وجود پوشش‌های طبیعی یا حتی خاص در یک منطقه می‌تواند به پیدایش و توسعه جزایر حرارتی شهری کمک کند. توسعه روزافزون فرآیندهای ساخت‌وساز در مناطق ۲۱ و ۲۲ شمال غرب تهران و استفاده از مصالح ساختمانی مختلف از جمله سیمان، بتن و آجر سفالی بر شدت و گستردگی مناطق آسیب‌دیده از پدیده جزایر حرارتی شهری افزوده است. همچنین در مناطق ۱ و ۴ شمال شرق تهران با توجه به قدمت تاریخی و وجود سازه‌های قدیمی و جدید در کنار هم و همچنین امکانات اجتماعی و فرهنگی این مناطق از نظر توسعه اراضی مسکونی، روند جزایر حرارتی شهری در سال‌های اخیر رو به افزایش بوده است. علاوه بر دلایل بیان شده برای مناطق ۲۱ و ۲۲، تراکم ساختمانی و جمعیت را نیز می‌توان به عوامل تشکیل و تشدید جزایر حرارتی شهری در این مناطق می‌توان اضافه کرد.



شکل ۱۴: بیشترین توزیع کاربری‌ها در مناطق ۲۲ گانه تهران منبع: [۳۵]

Fig. 14: The most distribution of uses in the 22 districts of Tehran Source: [35]

البته باید گفت مناطقی مانند ۲۲ و ۴ نیز دارای کارگاه‌های صنعتی و زمین‌های بایر زیادی هستند. همچنین مناطق ۹، ۱۴ و ۱۵ نیز دارای تراکم ساختمان‌های مسکونی هستند [۳۵].

بحث

یکی از مهم‌ترین عوامل در شکل‌گیری و تشدید جزایر حرارتی شهری تهران، چگونگی نحوه توسعه زمین است. اگر این توسعه با الگوهای برنامه‌ریزی مناسب انجام نشود، منجر به شکل‌گیری اشکال مختلف جزایر حرارتی شهری تهران می‌شود. با توجه به اینکه مناطق متراکم ساخته‌شده معمولاً گرم‌تر از محیط اطراف هستند، مراکز جمعیتی چندهسته‌ای در شهرها می‌توانند منجر به جزایر حرارتی شهری متعدد در تهران شوند یا می‌توانند جزایر حرارتی شهری تهران را به‌عنوان جزایر چندهسته‌ای نشان دهند. همان‌طور که در شکل ۷ و ۸ نشان داده شده است، منطقه مورد مطالعه از نظر عوامل ایجادکننده با انواع جزایر حرارتی شهری شهر تهران مواجه است. تنها علت مشترک همه آن‌ها دمای بسیار بالای این زمین‌ها نسبت به محیط اطرافشان می‌باشد. بررسی و مقایسه نقشه‌های LST در شب و روز برای بازه زمانی ۲۰۱۳ تا ۲۰۲۳ در شکل ۴ تفاوت معنی‌داری را در ماهیت مناطق تحت تأثیر جزایر حرارتی شهری شهر تهران نشان داد. این نتیجه با نتایج تحقیق ژانگ و هی (۲۰۱۹)، المرکبایی و همکاران (۲۰۲۰)، اسدی و همکاران (۲۰۲۱)، روشن و همکاران (۲۰۲۱)، عابدینی و همکاران (۲۰۲۲) و عربی علی آباد (۲۰۲۲) مطابقت دارند.

مهم‌ترین مناطق شهر تهران که به‌عنوان هسته‌های حرارتی و مناطق متأثر از جزایر حرارتی شهری شهر تهران شناخته می‌شوند، مناطق مجاور شهرک‌ها و کارخانه‌های صنعتی (منطقه ۲۱ و ۲۲)، سازه‌های مسکونی و تجاری متراکم با بافت پیچیده قدیمی و جدید (منطقه ۱ و ۴) یا مناطق اطراف فرودگاه و پایانه‌های اصلی حمل‌ونقل (منطقه‌های ۹، ۱۸ و ۱۹) هستند. نقشه‌های میانگین تغییرات LST در شب در مناطق ۲۲ گانه شهر تهران حاکی از استقرار هسته‌های جزایر حرارتی شهری شهر تهران در مناطق با طبقه کاربری اراضی بایر به‌ویژه در شمال شرق

پژوهش، بین میانگین LST و میانگین سطح گیاهی رابطه معکوس وجود دارد. به عنوان مثال در پژوهشی که طیبی و جنرت (۲۰۱۶) برای شهر لس آنجلس کالیفرنیا انجام دادند، این رابطه را ثابت کردند. آن‌ها این مطالعه را همراه با در نظر گرفتن بیابان اطراف شهر لس آنجلس، کالیفرنیا انجام دادند. ما در این پژوهش منطقه خارج از شهر را در نظر نگرفتیم. چنین تحلیلی نشان می‌دهد که سطح گیاهی در کلان شهر تهران در کاهش میانگین LST در فضا مؤثرتر از منطقه شهری لس آنجلس، کالیفرنیا است؛ بنابراین الگوی LST از نظر مکانی و زمانی با توزیع پوشش زمین همبستگی دارد. این نتیجه با نتایج پژوهش‌های طیبی و همکاران (۱۳۹۷) و شفیع زاده مقدم و همکاران (۱۳۹۹) همسو بود.

نتیجه‌گیری

شکل‌گیری و گسترش جزایر حرارتی شهری تحت تأثیر عوامل مختلف رخ می‌دهد. بسته به شرایط و عواملی که جزایر حرارتی شهری در آن شکل گرفته و گسترش می‌یابند، می‌توان راهکارهایی برای کاهش ابعاد آن‌ها و در نهایت حذف آن‌ها ارائه نمود. بر اساس نتایج، عوامل متعددی در توسعه جزایر حرارتی شهری در منطقه مورد مطالعه نقش دارند. کارخانه‌های صنعتی، فرودگاه‌ها، زمین‌های بایر و مناطق مسکونی متراکم بیشترین کاربری‌هایی هستند که تحت تأثیر جزایر حرارتی شهری قرار می‌گیرند. علاوه بر این، تراکم جمعیت در نقاط مختلف منطقه مورد مطالعه بیانگر تأثیر فعالیت‌های انسانی بر مصرف انرژی و تشدید جزایر حرارتی شهری است. LST شبانه در بازه زمانی مورد نظر برای مناطق ۲۲ گانه شهر تهران نشان داد که رابطه کاربری اراضی و توسعه آن با گسترش جزایر حرارتی شهری مطابقت کامل دارد، به‌گونه‌ای که در مناطقی که LST رو به افزایش بوده است، پدیده جزایر حرارتی شهری ناشی از وجود زمین‌های بایر و تراکم جمعیت و تراکم ساختمانی بالا با کاربری‌های متنوع، شدت بیشتری یافته است. این مناطق با میانگین LST، ۱۴/۵ درجه سانتی‌گراد گرم‌ترین مکان‌ها هستند. این امر نشان‌دهنده تأثیر پوشش مصنوعی و عدم برنامه‌ریزی صحیح در توسعه کاربری اراضی است.

بر اساس یافته‌های تحقیق، بین میانگین LST و میانگین سطح گیاهی رابطه معکوس وجود دارد؛ بنابراین الگوی LST از نظر مکانی و زمانی با توزیع پوشش زمین همبستگی دارد. مهاجرت جمعیت از سایر شهرها به مناطق شهری تهران که به سرعت در حال رشد است، افزایش تراکم جمعیت شهر را در پی داشته است. همچنین تغییرات موادی که سطح زمین را می‌پوشاند بر جذب انرژی خورشیدی تأثیر می‌گذارد. همچنین اختلاف ارتفاع عمده‌ای بین قسمت‌های شمالی و جنوبی تهران وجود دارد که تأثیر بسزایی در ویژگی‌های فضاهای شهری تهران دارد. سرعت باد نیز نقش مهمی در کنترل تشکیل LST ایفا می‌کند. در تهران، بادهای محلی اغلب به‌اندازه کافی قوی نیستند که هوا را در مناطق بزرگ ساخته‌شده به گردش درآورند، اما مشکل اینجاست که بادهای اصلی از

در نقشه تغییرات میانگین شبانه LST، منطقه ۵ در شمال تهران نیز در سال‌های اخیر تغییرات حرارتی عمده‌ای را تجربه کرده است به طوری که پس از مناطق ۱، ۲، ۳، ۲۱ و ۲۲ شاهد جزایر حرارتی شهری بوده است. اگرچه این منطقه سردسیر و کوهستانی قرار گرفته است و به دلیل وجود رشته کوه البرز دارای پوشش گیاهی متنوع است، اما افزایش پدیده جزایر حرارتی شهری در این منطقه را می‌توان به توسعه بی‌رویه کاربری‌های زمین و همچنین تفاوت ارتفاع بین ساختارهای فیزیکی معماری ساختمان‌ها برای جلوگیری از گردش باد در این منطقه نسبت داد. از سویی دیگر با توجه به نقشه‌های میانگین تغییرات LST در شب در مناطق ۲۲ گانه شهر تهران، مناطق ۱۰، ۱۱ و ۱۲ در مرکز تهران نسبت به سایر مناطق در بازه زمانی در نظر گرفته شده تغییرات حرارتی کمتری داشته‌اند. اگرچه ساخت‌وساز و تراکم جمعیت به همراه آلودگی در شهر باعث افزایش شکل‌گیری و تشدید پدیده جزایر حرارتی شهری در این مناطق می‌شود، اما به دلیل ساختار تقریباً ثابت کاربری اراضی در این مناطق، تغییرات حرارتی کمتری را شاهد هستیم.

رابطه منفی بین وضعیت پوشش گیاهی و تغییرات LST در منطقه مورد مطالعه نیز بر گسترش پوشش گیاهی به‌عنوان راهی برای مقابله با ظهور و تشدید جزایر حرارتی شهری می‌باشد. با مقایسه مساحت پوشش گیاهی، تراکم جمعیت و میانگین تغییرات LST در شب می‌توان ادعا کرد که برخی از مناطق مانند مناطق ۱۳، ۱۰، ۱۱، ۷ و ۸ به دلیل تراکم بالای مناطق مسکونی، تجاری و کمبود پوشش گیاهی کافی در آن‌ها در خطر تبدیل شدن به هسته‌های جدید جزایر حرارتی شهری در آینده هستند.

تأثیر تغییر کاربری اراضی بر تغییرات LST در منطقه ۲۰ جنوب تهران نیز مشهود است اما عوامل مؤثر بر پیدایش و توسعه جزایر حرارتی شهری در این منطقه صنعتی با دیگر هسته‌های حرارتی شهر متفاوت است. برخلاف مناطق ۱۹ و ۲۱ که پیدایش جزایر حرارتی شهری به دلیل وجود زمین‌های بایر یا برخی از نقاط مرکزی شهر تهران است، پیدایش جزایر حرارتی شهری در منطقه ۲۰ را به تراکم بالا و سطوح غیرقابل نفوذ مصالح ساختمانی مصنوعی، وجود زنجیره طولانی کاربری‌های صنعتی، کارگاهی و انبار، وضعیت نامناسب کاربری اراضی و پوشش گیاهی نسبت داد. به‌عبارت‌دیگر، احداث شهرک‌های صنعتی، کارخانه‌ها و کارگاه‌های کوچک و همچنین تبدیل بخش زیادی از پوشش گیاهی طبیعی، زمینه پیدایش و گسترش جزایر حرارتی شهری را در این منطقه فراهم کرده است. امروزه انتشار گازهای گلخانه‌ای از این مصارف صنعتی یکی از عوامل مؤثر بر اختلاف دمای زنجیره صنعتی و محیط اطراف و همچنین دوام جزایر حرارتی شهری می‌باشد.

این مطالعه، با مقایسه تغییرات دما طی یک دوره ده ساله در مقیاس کل شهر و تحلیل عوامل مؤثر بر آن تحقیق جامعی را ارائه می‌کند. تحلیل مکانی و زمانی بلندمدت گرمای شهری در کلان شهرها می‌تواند به عنوان مرجعی برای اطلاع تصمیم‌گیرندگان برای برنامه‌ریزی بهتر برای کاهش و کنترل تغییرات گرمای شهری باشد. بر اساس یافته‌های

[4] Oke T.R. *Boundary Layer Climates*; Routledge: London, UK; (1987).

[5] Rose A, Devadas M. D. Analysis of land surface temperature and land use/land cover types using remote sensing imagery-a case in Chennai city, India. In *The seventh international conference on urban climate*. 2009 July 11-14: Dehli, India.

[6] Pour Amin K, Khatami M, Shamsaldini A . [Factors affecting the formation of urban heat islands; Emphasizing the characteristics and challenges of urban design]. *Urban Design Discourse*. 2008; 1(1). 1-25. [In Persian]

[7] Wong M. S, Nichol J. E. Spatial variability of frontal area index and its relationship with urban heat island intensity. *International journal of remote sensing*. 2013; 34(3). 885-896. <https://doi.org/10.1080/01431161.2012.714509>

[8] Mirzaei P. A. Recent Challenges in Modelling of Urban Heat Island. *Sustainable Cities and Society*. 2015. 19, 200-206. <https://doi.org/10.1016/j.scs.2015.04.001>

[9] Zaynar A, Alizadeh H, Mohammadi S, Sabouri S. Analysis of urban form typology using urban heat island indicators: Case study of Ferdous neighborhood of Tabriz. *Frontiers in Ecology and Evolution*. 2023; Volume 10. 2022. <https://doi.org/10.3389/fevo.2022.1065538>

[10] Mirzaei P. A., Haghghat F, Nakhaie A. A., Yagouti A, Giguère M, Keusseyan R, Coman A. Indoor thermal condition in urban heat Island-Development of a predictive tool. *Building and environment*. 2012; 57. 7-17. DOI:10.1016/j.buildenv.2012.03.018

[11] Bakhshi A, Rasouli H, Rahimi N. [Investigating the role of urban growth pattern in creating thermal islands in cities (case example: Sari city)]. *Urban Environment Planning and Development*. 2022; 2(6). 77-94. [In Persian] DOI: 10.30495/juepd.2022.689336

[12] Hoverter S. P. Adapting to urban heat: a tool kit for local governments. *Georgetown Climate Center*. 2012; 2(8).

[13] Zinzi M, Agnoli S. Cool and green roofs: An energy and comfort comparison between passive cooling and mitigation urban heat island techniques for residential buildings in the Mediterranean region. *Energy and Buildings*. 2012; 55 66-76. DOI:10.1016/j.enbuild.2011.09.024

[14] Giannopoulou K, Livada I, Santamouris M, Saliari M, Assimakopoulos M, Caouris Y. G. On the characteristics of the summer urban heat island in Athens, Greece. *Sustainable Cities and Society*. 2011; 1(1). 16-28. DOI:10.1016/j.scs.2010.08.003

[15] Dimoudi A, Zoras S, Kantzioura A, Stogiannou X, Kosmopoulos P, Pallas C. Use of cool materials and other bioclimatic interventions in outdoor places in order to mitigate the urban heat island in a medium size city in Greece. *Sustainable Cities and Society*. 2014; 13. 89-96. DOI:10.1016/j.scs.2014.04.003

[16] Taha, H. Meteorological, air-quality, and emission-equivalence impacts of urban heat island control in California.

سمت غرب، جنوب و جنوب شرقی که بیشتر صنایع در آن قرار دارند می‌وزند. آن‌ها به‌جای تمیز کردن هوا، هوا را بیشتر آلوده می‌کنند. تنها باد مساعد از سمت کوه‌های شمالی می‌وزد؛ اما به دلیل وجود کوه البرز واقع در شمال تهران که مانند دیوارهای پیوسته عمل می‌کنند از نفوذ باد به سطح شهر جلوگیری می‌کنند. تغییرات LST همچنین به تغییرات رطوبت نسبی و فشار بخار مربوط می‌شود. تهران در آب‌وهوای نیمه‌خشک با تابستان‌های گرم و خشک و زمستان‌های سرد واقع شده است. بررسی ما نشان داد که اگرچه مناطق شمالی شهر تهران به دلیل سیاست پوشش گیاهی شهری دارای فضای سبز بیشتری نسبت به سایر مناطق است، اما توزیع نامناسب کاربری‌ها و طرح نادرست توسعه شهر، این مناطق را در معرض افزایش شدید دما قرار داده است. از سوی دیگر دلیل گرمای هوا در مناطق مرکزی، غربی و جنوبی تهران به علت وجود مناطق تجاری، مناطق صنعتی و فرودگاهی است. همچنین نقاط داغ بر روی سطوح سخت در بافته‌ای شهری مشاهده می‌شود زیرا سطوح سخت تابش خورشیدی زیادی را جذب می‌کنند و باعث دمای بالای سطح می‌شوند که به افزایش LST کمک می‌کند. این مطالعه، با مقایسه تغییرات دما طی یک دوره ده‌ساله در مقیاس کل شهر و تحلیل عوامل مؤثر بر آن تحقیق جامعی را ارائه کرد. تحلیل مکانی و زمانی بلندمدت گرمای شهری در کلان‌شهرها می‌تواند به‌عنوان مرجعی برای اطلاع تصمیم‌گیرندگان برای برنامه‌ریزی بهتر برای کاهش و کنترل تغییرات گرمای شهری باشد.

مشارکت نویسندگان

در این مقاله، نویسندگان به نسبت برابر مشارکت داشته‌اند.

تشکر و قدردانی

نویسندگان مقاله از کلیه عزیزانی که در این پژوهش همکاری لازم را داشته‌اند، تشکر می‌کنند.

تعارض منافع

«هیچ‌گونه تعارض منافع توسط نویسندگان بیان نشده است.»

منابع و مآخذ

- [1] Oke T.R. City size and the urban heat island. *Atmos. Environ*. 1973; 7, 769-779. [https://doi.org/10.1016/0004-6981\(73\)90140-6](https://doi.org/10.1016/0004-6981(73)90140-6)
- [2] Streutker, D. R. A remote sensing study of the urban heat island of Houston, Texas. *Sensing*. 2002; 23(13). 2595-2608. <https://doi.org/10.1080/01431160110115023>
- [3] Li X, Stringer Lindsay C, Dallimer M. The Impacts of Urbanisation and Climate Change on the Urban Thermal Environment in Africa. *Climate* 2022. 2022. 10(11). 164. <https://doi.org/10.3390/cli10110164>

- [28] Li Z, Duan S, Tang B, Wu H, Ren H, Yan G. Review of methods for land surface temperature derived from thermal infrared remotely sensed data [Research progress on thermal infrared surface temperature remote sensing inversion methods]. *Remote Sensing*. 2016; 20(5), 899–920. <https://doi.org/10.3390/rs13142838>
- [29] Wan Z, Zhang Y, Zhang Q, Li Z. L. Quality assessment and validation of the MODIS global land surface temperature. *International Journal of Remote Sensing*. 2004; 25(1). 261–274. <https://doi.org/10.1080/0143116031000116417>
- [30] El Masri B, Rahman A. F, Dragoni D. Evaluating a new algorithm for satellite-based evapotranspiration for North American ecosystems: Model development and validation. *Agricultural and Forest Meteorology*. 2019; 268. 234–248. <https://doi.org/10.1016/j.agrformet.2019.01.025>
- [31] Liu T, Yu L, Zhang S. Land surface temperature response to irrigated paddy field expansion: A case study of semi-arid western Jilin Province, China. *Scientific Reports*. 2019; 9(1). 5278. <https://doi.org/10.1038/s41598-019-41745-6>
- [32] Yang M, Zhao W, Cai J, Yang Y, Fu H. Evaluation of consistency among MODIS land surface temperature products for monitoring surface warming trend over the Tibetan Plateau. *Earth and Space Science*. 2023; 10. e2022EA002611. <https://doi.org/10.1029/2022EA002611>.
- [33] Sharifi P. *Investigating the phenomenon of urban heat island and its relation with temporal changes of land cover in the last twenty years using Google Earth Engine system (case study: cities of Tehran, Isfahan, Mashhad, Kermanshah and Rasht)*. [dissertation]. Thesis of master's degree in mapping engineering, remote sensing. The University of Kordestan. 2021.
- [34] *Meteorological Department of Tehran*. [In Persian]
- [35] *[Statistics of Tehran city]. 1401; Municipality of Tehran* [In Persian]
- [36] Gorelick N, Hancher M, Dixon M, Ilyushchenko S, Thau D, Moore R. Google Earth Engine: Planetary-scale geospatial analysis for everyone. *Remote Sensing of Environment*. 2017; Volume 202, Pages 18-27. <https://doi.org/10.1016/j.rse.2017.06.031>
- [37] Huntington J. L, Hegewisch K. C, Daudert B, Morton C. G, Abatzoglou J. T, McEvoy D. J, Erickson T. 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*. 2017; 98(11). 2397–2410. <https://doi.org/10.1175/BAMS-D-15-00324.1>
- [38] Ravanelli R, Nascetti A, Cirigliano R. V, Di Rico C, Monti P, Crespi M. MONITORING URBAN HEAT ISLAND THROUGH GOOGLE EARTH ENGINE: POTENTIALITIES AND DIFFICULTIES IN DIFFERENT CITIES OF THE UNITED STATES. *International Archives of the Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences*. 2018. <https://doi.org/10.5194/isprs-archives-XLII-3-1467-2018>
- Sustainable Cities and Society*. 2015; 19, 207-221. DOI:10.1016/j.scs.2015.03.009
- [17] Cai G, Du M, Xue Y. Monitoring of urban heat island effect in Beijing combining ASTER and TM data. *International journal of remote sensing*. 2011; 32(5). 1213-1232. <https://doi.org/10.1080/01431160903469079>
- [18] Karmirad S, Aliabadi M, Habibi A, Vakilinejad R. *[Measuring the effect of vegetation on the external thermal comfort conditions of pedestrians (case study: Goldasht residential complex, Shiraz)]*. *Architecture and Urban Planning of Iran (JIAU)*. 2018; 8(2), 185-196. doi: 10.30475/isau.2018.62074 [In Persian]
- [19] Liu L, Zhang, Y. Urban heat island analysis using the Landsat TM data and ASTER data: A case study in Hong Kong. *Remote Sensing*. 2011; 3(7), 1535-1552. <https://doi.org/10.3390/rs3071535>
- [20] Boehme P, Berger M, Massier T. Estimating the building based energy consumption as an anthropogenic contribution to Urban Heat Islands. *Sustainable Cities and Society*. 2015; 373-384. DOI:10.1016/j.scs.2015.05.006
- [21] Radhi H, Sharples S, Assem E. Impact of urban heat islands on the thermal comfort and cooling energy demand of artificial islands: A case study of AMWAJ Islands in Bahrain. *Sustainable Cities and Society*. 2015; 19. <https://doi.org/10.1016/j.scs.2015.07.017>
- [22] Voogt J.A, Oke T.R. Thermal remote sensing of urban climates. *Remote Sens. Environ*. 2003; 86, 370-384. [https://doi.org/10.1016/S0034-4257\(03\)00079-8](https://doi.org/10.1016/S0034-4257(03)00079-8)
- [23] Mather A. S. Land use. London; New York: Longman. 1986; 286.
- [24] Malekpour P, Taleai M, ASSIST P. Modeling of Relationship between Land use/Cover and land Surface Temperature Using ASTER datasets. *Environmental Studies*. 2011; 18 (5). <https://doi.org/10.1016/j.scs.2016.03.009>
- [25] Pahlavanzadeh N, Janalipour M, Abbaszadeh T, Farhanj F. *[Improving the accuracy of land surface temperature extraction from Landsat satellite thermal bands using linear regression and ground observations]*. *Geography and Environmental Planning*. 2018; 30(3). 59-78. doi: 10.22108/gep.2019.118336.1179. [In Persian]
- [26] Soltani N, Mohammadnejad V. [Effectiveness of Google Earth Engine (GEE) system in evaluating land use changes and predicting it with Markov model (case study of Urmia Plain)]. Remote sensing and geographic information system in natural resources. 2021; 12(3). 114-101. [In Persian] <http://dorl.net/dor/20.1001.1.26767082.1400.12.3.6.1>.
- [27] Dash P, Gottsche F. M, Olesen F. S, Fischer H. Land surface temperature and emissivity estimation from passive sensor data: Theory and practice-current trends. *International Journal of Remote Sensing*. 2002; 23(13). 2563–2594. <https://doi.org/10.1080/01431160110115041>

- Implications. *Photogrammetric Engineering & Remote Sensing*. 2023. 69(9). DOI: 1053-1063. DOI:10.14358/PERS.69.9.1053
- [52] Priyadarsini R. Urban Heat Island and its impact on building energy consumption. *Advances in building energy research*. 2009. 3(1) 261-270. <https://doi.org/10.3763/aber.2009.0310>
- [53] Rizwan A. M, Dennis L. Y, Chunho L. I. U. A review on the generation, determination and mitigation of Urban Heat Island. *Environmental Sciences*. 2008; 20(1), 120-128. [https://doi.org/10.1016/S1001-0742\(08\)60019-4](https://doi.org/10.1016/S1001-0742(08)60019-4) Get rights and content
- [54] Corburn J. Cities, climate change and urban heat island mitigation: Localising global environmental science. *Urban Studies*. 2009; 46(2), 413-427. DOI:10.1177/0042098008099361
- [55] Yuan F, Bauer M. E. Comparison of impervious surface area and normalized difference vegetation index as indicators of surface urban heat island effects in Landsat imagery. *Remote Sensing of Environment*. 2007; 106(3). 375-386. DOI:10.1016/j.rse.2006.09.003
- [56] Pourdihimi Sh, Tahsildoost M, Ameri P. The effect of vegetation on reducing the intensity of urban heat islands: a case study of Tehran metropolis. *Energy Planning and Policy Research*. 2018; 5 (3). 97-122.
- [57] Farina A. *Exploring the relationship between land surface temperature and vegetation abundance for urban heat island mitigation in Seville, Spain*. [dissertation]. LUMA-GIS Thesis. 2011
- [58] Shabahang S. Comparative Study of Urban Residential Neighbourhoods for Assessing Urban Heat Island Effects Using ENVI-met Simulation. [dissertation]. PhD dissertation in architecture. Victoria University of Wellington. 2022.
- [59] Su W, Gu C, Yang G. Assessing the impact of land use/land cover on urban heat island pattern in Nanjing City, China. *Urban Planning and Development*. 2010; Volume 136, Issue 4. DOI:10.1061/(ASCE)UP.1943-5444.0000033
- [60] Nilieh Borojni M, Ahmadi Nadushan M. [Investigating the relationship between urban vegetation and land surface temperature using Landsat TM and OLI satellite images and LST measurement in Isfahan city]. *Environmental Science Quarterly*. 2018; 17(4). 163-178. [In Persian] DOI: 10.29252/envs.17.4.163
- [39] Khalidi Sh, Ki Khosravi Q, Ahmadi Barati F. [Investigating the effect of land cover changes on the surface temperature of the earth using MODIS satellite images - case study: Northeast Iran]. *Sepehr Scientific-Research Quarterly of Geographical Information*. 2023; 31(123). 179-197. [In Persian] DOI: 10.22131/sepehr.2022.699921
- [40] Madis Land website .
- [41] Farhadi H, Manaqbi T, Ebadi H. [Extraction of buildings in urban areas based on radar and optical time series data using Google Earth Engine system]. *Sepehr Scientific-Research Quarterly of Geographical Information*. 2022; 30(120). 43-63. [In Persian] DOI: 10.22131/sepehr.2022.251053
- [42] Gianluca F, Mehresh A. Introductory course to Google Earth Engine. *Food and Agriculture Organization of the United Nations*. 2022; 35.
- [43] Madis Land website.
- [44] Seto KC, Fragkias M, Güneralp B, Reilly MK. A meta-analysis of global urban land expansion. *PloS one*. 2011; 6(8). e23777. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0023777>.
- [45] Patel NN, Angiuli E, Gamba P, Gaughan A, Lisini G, Stevens FR, Tatem AJ, Trianni G. Multitemporal settlement and population mapping from Landsat using Google Earth Engine. *International Journal of Applied Earth Observation and Geoinformation*. 2015; 35. 199-208. <https://doi.org/10.1016/j.jag.2014.09.005>.
- [46] Goldblatt R, You W, Hanson G, Khandelwal AK. Detecting the boundaries of urban areas in india: A dataset for pixel-based image classification in google earth engine. *Remote Sensing*. 2016; 8(8). 634. <https://doi.org/10.3390/rs8080634>.
- [47] Shelestov A, Lavreniuk M, Kussul N, Novikov A, Skakun S. Exploring Google Earth Engine platform for big data processing: Classification of multi-temporal satellite imagery for crop mapping. *Frontiers in Earth Science*. 2017; 5(7): 1-17. <https://doi.org/10.3389/feart.2017.00017>
- [48] Soltani N, Mohammadnejad V. Effectiveness of Google Earth Engine (GEE) system in evaluating land use changes and predicting it with Markov model (case study of Urmia plain). *Remote Sensing and Geographic Information System in Natural Resources*. 2022. 12(3). 101-114. DOI: 10.22069/jwsc.2022.20196.3551
- [49] Alavipanah K. *The Principles of Remote Sensing and Interpretation of Satellite Imagery and Aerial Photographs*. Tehran University Press, Tehran, Iran. 2011 [In Persian]
- [50] Servati Z, Latifi Gh, Soltani A, Sanyeyan H. [Spatial distribution pattern of thermal islands in the context of social and economic characteristics (the case of mining in Tehran)]. *Urban and Regional Development Planning Quarterly*. 2022; 6(16). 1-23. [In Persian] DOI: 10.22054/urdp.2021.62607.1367
- [51] Lo C. P, Lo C. P, Quattrochi D. A. Land-Use and Land-Cover Change, Urban Heat Island Phenomenon, and Health

معرفی نویسندگان

AUTHORS BIOSKETCHES



اسماعیل زرغامی دکتری تخصصی معماری و استاد تمام گروه معماری دانشکده مهندسی معماری و شهرسازی دانشگاه تربیت دبیر شهید رجایی هستند. فعالیت‌های پژوهش‌های اخیر ایشان در حوزه پایداری و ساختمان‌های مسکونی، سیستم‌های ارزیابی ساختمان‌های پایدار،



که سه کتاب تألیفی از منابع دروس مقطع کارشناسی ارشد مهندسی معماری و دکتری ارتباط تصویری است. کتاب ترجمه‌شده ایشان نیز از کتاب‌های مرجع در حوزه مبانی نظری طراحی معماری، منظر و شهری می‌باشد. فعالیت‌های پژوهشی اخیر ایشان در حوزه

انرژی و طراحی ساختمان‌های بلندمرتبه است. در حال حاضر، ایشان بیش از ۱۰۰ مقاله علمی در مجلات و کنفرانس‌های علمی ارائه نموده‌اند و همچنین در کمیته علمی و داوری مجلات و اجلاس علمی ملی و بین‌المللی فعالیت دارند. وی به‌عنوان پژوهشگر برتر مقطع دکتری در سال ۱۴۰۲ انتخاب گردیدند. زمینه‌های تخصصی ایشان عبارت‌اند از: معماری پایدار، انرژی و توسعه کاربردهای سنجش‌ازدور.

Mansouri, S. T. Ph.D. student at the Department of Architecture, Faculty of Architectural Engineering and Urban Planning, Shahid Rajaei Teacher Training University of Tehran, Iran.

t.mansoori@gmail.com

فناوری معماری و انرژی می‌باشد. در حال حاضر ایشان بیش از ۱۰۰ مقاله علمی در مجلات و کنفرانس‌های علمی ارائه نموده‌اند و همچنین در کمیته علمی و داوری مجلات و اجلاس علمی ملی و بین‌المللی متعددی فعالیت دارند. وی به‌عنوان پژوهشگر برتر در سال‌های متمادی انتخاب گردیده‌اند و کتاب *نظریه پایداری اجتماعی و مجتمع‌های مسکونی* به‌عنوان کتاب برتر سال ۱۳۹۷ معرفی گردیده است. ایشان به‌عنوان استاد راهنما و مشاور در پایان‌نامه‌ها و رساله‌های متعددی فعالیت داشته‌اند که باعث گردیده است که محصولات علمی و پژوهشی بی‌شمار و بسیار مفیدی در حوزه مهندسی معماری و شهرسازی تألیف گردد.

Zarghami, E. Full Professor at the Department of Architecture, Faculty of Architectural Engineering and Urban Planning, Shahid Rajaei Teacher Training University of Tehran, Iran.

zarghami@sru.ac.ir

سید تاج‌الدین منصور دانشجوی دکتری معماری دانشگاه تربیت دبیر شهید رجائی می‌باشند. ایشان دارای چهار جلد کتاب (شامل سه جلد تألیف و یک جلد ترجمه) در حوزه معماری و طراحی شهری است

Citation (Vancouver): Mansouri S. T, Zarghami E. [Dynamic Analysis of Urban Heat Islands in Tehran (2013-2023) Based on MODIS Images and Google Earth Engine]. *J. RS. GEOINF. RES.* 2024; 2(1): 45-64

<https://doi.org/10.22061/jrsgr.2024.10762.1057>



COPYRIGHTS

© 2024 The Author(s). This is an open-access article distributed under the terms and conditions of the Creative Attribution-NonCommercial 4.0 International (CC BY-NC 4.0) (<https://creativecommons.org/licenses/by-nc/4.0/>)