

Correlation analysis of macro-scale natural and built environment factors with urban heat islands intensity (Case study: Isfahan city)

Elham Ghasemi - Academic Center for Education, Culture and Research, Isfahan, Iran.

Zahra Nazemi¹ - Department of Urbanism, Faculty of Architecture and Urbanism, Art University of Isfahan, Isfahan, Iran.

Safoora Mokhtarzadeh - Department of Urbanism, Faculty of Architecture and Urbanism, Daneshpajooan Pishro Higher Education Institute, Isfahan, Iran.

Mahdi Suleimany - Department of Urban Planning and Management, Faculty of Urbanism, University of Tehran, Tehran, Iran.

Received: 27 October 2022 Accepted: 13 July 2023

Highlights

- Investigates the correlation between environmental factors and UHI intensity in the Isfahan metropolitan area over 10 years.
- Utilizes MODIS Aqua & Terra data alongside Landsat 8 imagery for comprehensive UHI analysis.
- Establishes a significant relationship between UHI and urban built density, vegetation, and water features.
- Determines vegetation as the most influential factor in mitigating UHI compared to other elements.
- Highlights the vital role of natural infrastructure in urban planning for UHI mitigation.

Extended abstract

Introduction

The Urban Heat Island (UHI) effect, characterized by a temperature increase in urban areas compared to their rural counterparts, presents considerable environmental challenges, impacting public health, urban energy systems, and city sustainability. This phenomenon, fueled by rapid urbanization and industrialization, exacerbates heatwaves, posing risks to public health. Understanding the UHI effect is essential for developing responsive urban planning strategies both spatially and institutionally. This study, centered on Isfahan, Iran, explores the correlation between UHI intensity and environmental factors, encompassing both built and natural attributes across five scenarios, including four seasons and one analyzing the ambient effect of the ZayandehRud river.

Theoretical Framework:

The UHI phenomenon involves complex interactions among various urban and environmental factors. The density of the built environment contributes to UHI exacerbation through heat storage and anthropogenic heat discharge. Air pollution, especially with greenhouse effects, directly influences heat-trapping and UHI formation. Conversely, green infrastructure and water bodies offer UHI mitigation through cooling effects. This study integrates theoretical basics from urban planning, climatology, and sustainable development for an analysis of how both natural and built elements correlate with UHI intensity in the Isfahan metropolitan area.

Methodology:

A mixed-method approach is adopted to address the multifaceted nature of Urban Heat Island (UHI) and its potentially correlated environmental factors. Land Surface Temperature (LST) data, crucial for delineating UHI, were extracted

¹ Responsible author: z.nazemi90@gmail.com

from the Moderate Resolution Imaging Spectroradiometer (MODIS) sensors onboard NASA's Aqua and Terra satellites, covering a decade from 2011 to 2021. This extended timeframe facilitates the exploration of UHI patterns across various seasons, examining specific impacts during both the flow and dry periods of the ZayandehRud river, as well as distinguishing LST differences between daytime and nighttime periods—unlike Landsat Satellite Images.

Additionally, Landsat 8 images are utilized to process the Normalized Difference Vegetation Index (NDVI) and Normalized Difference Water Index (NDWI) for mapping green infrastructures and water bodies. Air Quality Index (AQI) data from the year 2020 supplements the study, allowing for an investigation into the relationship between air pollution and UHI. The analysis of all datasets employs the Pearson correlation coefficient to ascertain the nature and extent of correlation among UHI and the identified environmental variables.

Results and Discussion:

The findings reveal the persistent prevalence of Urban Heat Island (UHI) during nighttime across all scenarios in Isfahan. However, during daytime hours, the trend shifts, giving rise to cooler zones within the city borders, indicating the emergence of urban cold islands. A noteworthy revelation from the study is the significant exacerbation of UHI attributed to the density of the urban built environment. Intriguingly, air pollution, though exerting a lesser impact on Land Surface Temperature (LST) compared to built density, still plays a role in elevating LST during daylight.

The study underscores the pivotal role of urban green infrastructure and water bodies in mitigating heat islands. Among these elements, green spaces, particularly vegetation, emerge as highly influential, surpassing the cooling effects of both water bodies and polluted air. The seasonal variation in vegetation cover also influences UHI intensity, with reduced vegetative cover in colder, drier seasons contributing to heightened UHI effects. These spatial and temporal dynamics emphasize the intricate balance between UHI and environmental factors, offering valuable insights for decision-makers. Such insights can guide targeted strategies in urban planning and design to address the challenges posed by UHI.

Conclusion:

The study emphasizes the importance of considering UHI in urban planning, design, and sustainability discussions. Strategies include reducing built density and integrating green and blue infrastructures. Addressing air quality and vegetation cover in shaping urban thermal landscapes suggests comprehensive policies. Guarding against UHI through natural space preservation and innovative design solutions tailored to Isfahan's climate can enhance urban livability. Future work should quantify contributions of different elements for comprehensive UHI mitigation models. This Isfahan case study serves as a cornerstone for wider applications across similar cities, aiding in combatting global warming and UHI effectively.

Key Words:

Urban Heat Island, Green Space, Blue Space, Building Compactness, Air Pollution.

Citation: Ghasemi, E., Nazemi, Z., Mokhtarzadeh, S., and Suleimany, M. (2024). Correlation analysis of macro-scale natural and built environment factors with urban heat islands intensity (Case Study: Isfahan city), Motaleate Shahri, 13(49), 17–32. <https://doi.org/10.22034/urbs.2023.62764.90>.

Copyrights:

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



تحلیل همبستگی عوامل کلان‌مقیاس محیط طبیعی و مصنوع با شدت جزایر

گرمایی شهری

نمونه مورد مطالعه: کلانشهر اصفهان

الهام قاسمی - دانش‌آموخته دکتری و پژوهشگر، جهاد دانشگاهی، اصفهان، ایران.
زهرا ناظمی ۱ - دانش‌آموخته کارشناسی ارشد، گروه شهرسازی، دانشکده معماری و شهرسازی، دانشگاه هنر اصفهان؛ اصفهان، ایران.
صفورا مختارزاده - استادیار، گروه شهرسازی، دانشکده معماری و شهرسازی، موسسه آموزش عالی دانش پژوهان پیشرو، اصفهان، ایران.
مهدی سلیمانی - دانش‌آموخته کارشناسی ارشد، گروه مدیریت و برنامه‌ریزی شهری، دانشکده شهرسازی، دانشکده‌گان هنرهای زیبا، دانشگاه تهران؛ تهران، ایران.

تاریخ دریافت: ۱۴۰۱/۰۵/۰۵ تاریخ پذیرش: ۱۴۰۲/۰۲/۲۲

چکیده

جزیره گرمایی شهری (UHI) یکی از مهمترین مشکلات شهرها در قرن جدید است که در نتیجه شهرنشینی و صنعتی شدن ایجاد شده است. شکل‌گیری جزایر گرمایی تحت تأثیر عوامل مختلف محیط طبیعی و مصنوع شهر است که باعث افزایش درجه دمای یک منطقه شهری در مقایسه با محیط اطراف می‌شود. مهم‌ترین عوامل شامل پوشش سبز، پوشش آبی، فشردگی ساخت، نوع کاربری زمین و... است. از این رو این مطالعه با هدف یافتن رابطه بین شدت جزایر گرمایی و عوامل کلان‌مقیاس محیط طبیعی و مصنوع در کلانشهر اصفهان انجام شده است. سئوالات تحقیق در پنج سناریو برای شهر اصفهان مطرح شده‌اند. این سناریوها بر مبنای دمای سطح زمین در «چهار فصل سال» و یک سناریو برای بررسی «تفاوت دمای سطح زمین در هنگام جاری بودن رودخانه زاینده‌رود» در بازه زمانی ۲۰۱۱ تا ۲۰۲۰ بوده و همبستگی آنها با متغیرهای «فشردگی ساخت»، «پوشش سبز»، «پوشش آبی» و «آلودگی هوا» ارزیابی شده است. روش تحقیق در بررسی ادبیات موضوع، روش مروری ساده بوده و در راستای ارزیابی متغیرها و بررسی رابطه میان جزایر گرمایی با متغیرهای مستقل پژوهش از روش ضریب همبستگی پیرسون، در محیط نرم‌افزار SPSS استفاده شده و نوع و میزان ارتباط هر عامل با شکل‌گیری جزایر گرمایی شهر اصفهان شناسایی گردیده است. نقشه‌های جزایر گرمایی، بر مبنای نقشه‌های دمای سطح زمین (LST) بر اساس تصاویر ماهواره‌ای سنجنده MODIS، نقشه ساختار سبز بر اساس پراکندگی پوشش گیاهی (NDVI) و نقشه پوشش آبی بر اساس شاخص نرمال شده پراکندگی آبی (NDWI)، بر مبنای تصاویر ماهواره‌ای Landsat 8 با پردازش در محیط نرم‌افزار ENVI 5.3 تهیه شده است. نتایج نشان می‌دهد در هنگام شب در محدوده شهر اصفهان در تمامی سناریوها، جزایر گرمایی و در هنگام روز، جزایر سرمایی پدید می‌آید. اصلی‌ترین عامل تشدیدکننده جزایر گرمایی در شهر اصفهان، فشردگی ساخت (نسبت توده به فضا) است؛ آلودگی هوا نیز ارتباط اندکی با افزایش دمای سطح در هنگام روز و تابش خورشید دارد. آنچه مشهود است، پوشش گیاهی در شهر اصفهان با توجه به شرایط اقلیمی نقش مؤثرتری به نسبت عوامل دیگر در تعدیل جزایر گرمایی شهر دارد.

واژگان کلیدی: جزایر گرمایی شهری، پوشش سبز، پوشش آبی، فشردگی ساخت، آلودگی هوا.

نکات برجسته

- تحقیق درباره ارتباط بین عوامل زیست‌محیطی و شدت اثر جزیره گرمایی شهری (IHU) در منطقه کلانشهر اصفهان.
- از داده‌های مودیس آکوا و ترا در کنار تصاویر ماهواره‌ای لندست ۸ برای تحلیل جامع UHI.
- وجود ارتباط معنادار بین UHI و فشردگی کالبدی شهری، پوشش گیاهی و ویژگی‌های آبی بر اساس نتایج.
- تأکید بر نقش حیاتی زیرساخت‌های طبیعی در برنامه‌ریزی شهری برای کاهش UHI.

۱. مقدمه

حدود ۵۶ درصد از جمعیت جهان در مناطق شهری زندگی می‌کنند و انتظار می‌رود که جمعیت شهری تا سال ۲۰۵۰ به ۶۸ درصد برسد (United Nations, 2022). شهرنشینی منجر به تغییرات کاربری زمین مانند جایگزینی پوشش طبیعی زمین با مصالح حرارتی بالا شده؛ به این معنی که دمای هوای سطح زمین در شهرها از مناطق روستایی بالاتر است. علاوه بر این، هندسه شهرها - ساختمان‌ها و خیابان‌ها - تهویه باد را کاهش می‌دهد و منجر به گیر افتادن اشعه خورشید در نزدیکی سطح زمین در شهرها می‌شود. فعالیت‌های انسانی و وسایل نقلیه همچنین می‌توانند به محیط اطراف خود گرما اضافه کنند. همه این عوامل باعث می‌شوند که دمای هوا در مناطق شهری بالاتر باشد و این به عنوان پدیده جزیره گرمایی شهری (UHI) شناخته می‌شود (Oke, et al., 2017; Chapman, et al., 2017). در طی یک موج گرمایی، جزیره گرمایی شهری خطر مشکلات سلامتی مرتبط با گرما را افزایش می‌دهد و شرایط گرمایی را تشدید می‌کند (Zhao, et al., 2018). به همین دلیل نگرانی‌های فزاینده‌ای در رابطه با آسیب‌پذیری مناطق شهری در مواجهه با این حوادث وجود دارد.

ایجاد جزایر گرمایی شهری به شدت تحت تأثیر هر دو ویژگی محیط طبیعی و مصنوعی شهر است (Memon, et al., 2008). در پژوهش‌های بسیاری بر اثرگذاری پوشش سبز و آبی بر کاهش شدت جزایر گرمایی شهری و دمای لایه مرزی تأکید شده و این موضوع از منظر برنامه‌ریزی شهری، اقلیم‌شناسی شهری و علوم اقلیمی بررسی شده است (Bao, et al., 2016; Gunawardena, et al., 2017; Park, et al., 2017; Susca, et al., 2018; Xiao, et al., 2011). علاوه بر این، تغییر دمای سطح زمین (LST) تحت تأثیر ویژگی‌های ساختاری شهر مانند اندازه و شکل یا ترکیب و چیدمان محلات و ساختمان‌ها در آن است (Memon, et al., 2008; Haishan & Lexiang, 2010; Babalola & Akinsanola, 2016; Kuang, et al., 2015; Odindi, et al., 2015; Pramanik & Punia, 2020; Zhou, et al., 2017; Li, et al., 2020). مناطق ساخته شده پرتراکم (ساخت فشرده) در مقایسه با مناطق با تراکم کمتر، بیشتر در معرض جزایر گرمایی قرار دارند و جذب تابش‌های خورشیدی توسط سازه‌های انبوه ساختمانی، جاده‌ها و سایر سطوح سخت در طول روز به عنوان علت اصلی ایجاد جزیره گرمایی در مناطق شهری متراکم در نظر گرفته می‌شود (Wong & Yu, 2005; Pramanik & Punia, 2020). در این بین، آلودگی هوا نیز به عنوان یک مشکل چالش‌برانگیز در محیط‌های شهری ماهیت موازی با جزایر گرمایی دارد اما این دو با تعاملات هم‌افزایی بالقوه‌ای همراه هستند (Ngarambe, et al., 2021; Ulpiani, 2021) که بررسی آن در شناخت عوامل ایجاد کننده این نوع جزایر اهمیت دارد.

براین اساس در این پژوهش، ما به دنبال یافتن رابطه بین شدت جزایر گرمایی و عوامل کلان‌مقیاس محیط طبیعی و مصنوعی در شهر اصفهان هستیم. با توجه به ادبیات موجود، تاکنون اتفاق نظر روشنی درباره چگونگی تأثیر فشرده‌سازی^۳ بر جزیره گرمایی شهری وجود ندارد. بنابراین یکی از سئوالات این پژوهش این است که آیا فشرده‌سازی ساخت

می‌تواند تأثیر مثبت یا منفی بر جزایر گرمایی و خطر موج گرما در شهر اصفهان داشته باشد؟ تأثیر پوشش سبز و آبی بر پراکنش جزایر گرمایی چگونه است؟ و جاری بودن یا نبودن رودخانه زاینده رود به عنوان یک پوشش آبی به چه میزان بر دمای شهر اصفهان و موج‌های گرمایی تأثیرگذار است؟

از طرف دیگر، با وجود بحث‌های اخیر پیرامون افزایش گرم شدن هوا و آلودگی شدید هوای شهر اصفهان، تاکنون تلاش اندکی برای کشف تعاملات بالقوه بین پدیده جزایر گرمایی و کیفیت هوا در شهر اصفهان صورت گرفته است. به علاوه، برخی از عوامل بر شدت جزایر گرمایی و کیفیت هوا تأثیرگذارند؛ مانند جریان رودخانه زاینده رود که در طول زمان تغییر می‌کند و رابطه بین جزایر گرمایی و کیفیت هوا باید بر اساس به‌روزرترین اطلاعات باشد. بر این اساس، بررسی رابطه بین شکل‌گیری جزایر گرمایی با آلوده‌کننده‌های هوا در شهر اصفهان از دیگر سئوالات این پژوهش است. بررسی ارتباط بین جزایر گرمایی و آلودگی هوا از اهمیت زیادی برخوردار است زیرا می‌تواند منجر به راهبردهای منسجم کاهش هم برای جزایر گرمایی و هم برای آلودگی هوا شود که چالش برانگیزترین موضوع حال حاضر در شهر اصفهان و همچنین موضوع غالب مطالعات شهری است. علاوه بر این، به نظر می‌رسد که چنین همبستگی‌هایی خاص منطقه باشد و نتایج ما مبنایی برای مطالعات آینده در رابطه با وابستگی متقابل بین گرمایش شهری و کیفیت هوا در اصفهان و بحث‌هایی در مورد راهبردهای کاهش یکپارچه برای گرمایش شهری و کیفیت هوا در اصفهان باشد.

سئوالات تحقیق در پنج سناریو (شامل دمای سطح زمین در چهار فصل سال و یک سناریو برای بررسی تفاوت دمای سطح زمین در هنگام جاری بودن رودخانه زاینده رود) برای شهر اصفهان بررسی و در ارتباط با متغیرهای فشرده‌سازی، پوشش سبز و آبی و آلودگی هوا پاسخ داده شده‌اند. در ابتدا مبانی نظری به تبیین جزایر گرمایی و عوامل ایجاد کننده آن می‌پردازد. بخش بعد روش‌شناسی تحقیق را توضیح داده و به صورت دقیق تر ابزارها و فرمول‌های استفاده شده برای شبیه‌سازی جزایر گرمایی، تهیه نقشه‌های ساختارهای سبز (NDVI) و آبی (NDWI) و فضاهای ساخته شده و همچنین مدل‌سازی و تهیه نقشه آلودگی هوا را شرح می‌دهد. بخش سوم به تحلیل و مقایسه رفتار زمانی - مکانی جزایر گرمایی در شهر اصفهان در رابطه با متغیرهای تحقیق اختصاص داده شده و در نهایت، در بخش چهارم بحث و نتیجه‌گیری پیرامون موضوع ارائه می‌شود.

۲. چارچوب نظری

پدیده اختلاف درجه حرارت محیطی میان شهر و محیط اطراف آن، جزیره گرمایی شهری تعریف شده است. این پدیده به سه نوع و مقیاس کلی دسته‌بندی می‌شود: جزیره گرمایی لایه تاج پوشش که لایه هوایی است که از سطح زمین تا سطح بالایی درختان و ساختمان‌ها وجود دارد؛ جزیره گرمایی لایه مرزی که در بالای لایه تاج پوشش (در ارتفاع ۲۰۰ متر) قرار گرفته و جزیره گرمایی لایه سطح که به لایه سطح و زیر سطح زمین مربوط می‌شود.

- 1 Urban Heat Island
- 2 Land Surface Temperature
- 3 Building Compactness

- 4 Normalized Difference Vegetation Index
- 5 Normalized Difference Water Index

طبقه‌بندی ویژگی‌ها و خصوصیات انواع جزیره گرمایی شهری در جدول شماره ۱ ارائه شده است.

جزیره گرمایی لایه تاج پوشش و جزیره گرمایی لایه مرزی به افزایش دمای هوا منجر می‌شود و جزیره گرمایی لایه سطح می‌تواند مربوط به گرمای نسبی سطح زمین و زیر سطح هم باشد (Voogt, et al., 2003).

جدول شماره ۱: انواع جزایر گرمایی شهری (منبع: Fernando, 2012)

نوع جزیره گرمایی	مقیاس فضایی	زمان بندی / مقیاس	اوج شدت
سطح شهر	کوچک	روز: شدت بسیار بالای جزیره گرمایی شب: شدت بالای جزیره گرمایی	بیشترین شدت در طول روز فصل تابستان
لایه تاج پوشش شهر	محلی	روز: شدت پایین جزیره گرمایی؛ در صورت وجود سایه درختان و ساختمان‌ها می‌تواند منفی باشد (جزیره سرمایی) شب: شدت بالای جزیره گرمایی؛ از غروب خورشید تا چند ساعت بعد افزایش می‌یابد	بیشترین شدت قبل از طلوع آفتاب در فصل زمستان
لایه مرزی شهر	محلی - بزرگ	روز و شب: شدت پایین جزیره گرمایی	با افزایش ارتفاع در لایه مرزی افزایش می‌یابد

بیشترین تأثیر را بر جزیره گرمایی فصل تابستان دارد (Pouramin, et al., 2020).

عوامل مصنوعی. از طرف دیگر عوامل محیط مصنوعی از جمله فرم پراکنده و فشرده شهرها، فشردگی ساخت، ارتفاع ساختمان‌ها، عرض و جهت‌گیری خیابان‌ها و دید به آسمان از جمله عوامل قابل کنترل جزایر گرمایی هستند (Lemonsu, 2002). تغییر دمای سطح زمین (LST) به شدت تحت تأثیر ویژگی‌های محیط مصنوعی شهر است (Memon, et al., 2008; Haishan & Lexiang, 2010; Babalola & Akinsanola, 2016; Kuang, et al., 2015; Odindi, et al., 2015; Pramanik & Punia, 2020; Zhou, et al., 2017; Li, et al., 2020). به عبارت دیگر، مناطق با فشردگی ساخت بیشتر در مقایسه با مناطق با ساخت کمتر، بیشتر در معرض جزایر گرمایی قرار دارند (Alijani, et al., 2016) و جذب تابش‌های خورشیدی توسط سازه‌های انبوه ساختمانی، جاده‌ها و سایر سطوح سخت در طول روز به عنوان علت اصلی ایجاد جزیره گرمایی در مناطق شهری متراکم در نظر گرفته می‌شود (Wong & Yu, 2005; Pramanik & Punia, 2020).

آلودگی هوا در محیط‌های شهری نیز اثر مخربی بر جزایر گرمایی دارد (Ngarambe, et al., 2021; Ulpiani, 2021) به طوری که گرمای مربوط به جزایر گرمایی می‌تواند با افزایش آشفستگی باعث پراکندگی ذرات آئروسول در مرز جو بالاتر شود و کاهش دما در مناطق شهری می‌تواند میزان آشفستگی و ارتفاع لایه اختلاط را کاهش دهد (Fallmann, et al., 2019; Wu, et al., 2018; Li, et al., 2016) که منجر به غلظت بالاتر PM10 در نزدیکی سطح زمین می‌شود (Fallmann, 2014). به نوبه خود، افزایش آئروسول‌های مربوط به UHI در جو شهری می‌تواند تشعشعات بیشتری ایجاد کند. از یک طرف، افزایش میزان آئروسول می‌تواند تابش خورشید بیشتری را به فضا پراکنده کند و تابش خورشید را که به سطح شهر می‌رسد، کاهش دهد (Wang, et al., 2015; Li, et al., 2018). از طرف دیگر، افزایش میزان آئروسول می‌تواند تابش مادون قرمز بیشتری را که در زمین ساطع می‌شود به دام بیندازد و تابش موج بلند بیشتری را دوباره به سطح شهر ساطع کند (Lubin & Simpson, 2018; Cao, et al., 2016; Li, et al., 2016; Cao, et al., 1994). نیروی تابشی بزرگتر ناشی از

جزایر گرمایی شهری به شدت تحت تأثیر هر دو ویژگی محیط طبیعی و محیط مصنوعی شهر است (Memon, et al., 2008). از این رو بررسی مؤلفه‌های تأثیرگذار محیط طبیعی و مصنوعی بر شدت جزایر گرمایی از اهمیت ویژه‌ای برخوردار است.

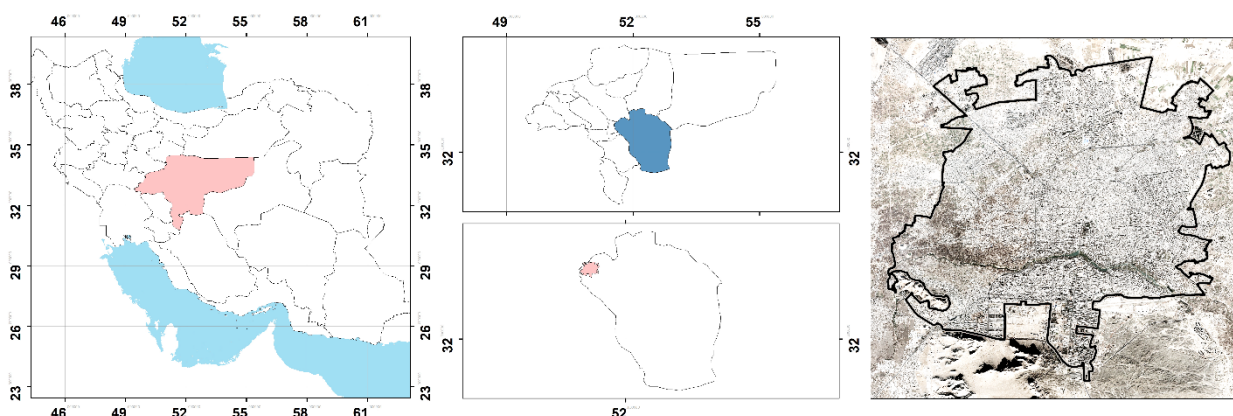
عوامل طبیعی. پوشش سبز از جمله درختان و پوشش گیاهی از طریق سایه‌اندازی به کاهش دمای سطح و از طریق فرآیند تبخیر به کاهش دمای هوا کمک می‌کنند. کاهش پوشش گیاهی در مناطق شهری نسبت به مناطق روستایی و در مقابل، گسترش شهرها با سطوح غیر قابل نفوذ همچون جاده‌ها، پیاده‌روها و پارکینگ‌ها سبب کاهش رطوبت و تبخیر و در نهایت موجب افزایش دمای هوا در شهرها می‌شود (Pouramin, et al., 2020). تبخیر و تعرق از هر دو فضای سبز و فضای آبی در درجه نخست برای خنک کردن محیط‌های شهری مهم است و علاوه بر آن فضای سبز با بیشترین میزان پوشش گیاهی درخت، بیشترین درصد اثرگذاری در کاهش شدت گرما را فراهم می‌کند. وجود فضاهای سبز در مناطق شهری می‌تواند با ایجاد مناطق حائل خنک‌کننده، تأثیرات منفی جزایر گرمایی را کاهش دهد؛ به طوری که مناطقی که توسط فضای سبز تحت پوشش قرار گرفته‌اند از مناطق دیگر خنک‌تر هستند. علاوه بر فضاهای سبز، پوشش آبی نیز مزایای متعددی برای زیست‌بوم از نظر هم‌افزایی اثر خنک‌کنندگی در محیط‌های شهری دارد و روش‌های استفاده از زیرساخت‌های سبز و آبی در راهبردهای توسعه‌های شهری آبی، توجه بیشتری را در سیاست‌های برنامه‌ریزی شهری برای کاهش اثرات سوء جزایر گرمایی و افزایش تاب‌آوری اقلیمی می‌طلبد (Gunawardena, et al., 2017). پژوهش‌های پیشین نشان می‌دهد، افزایش پوشش گیاهی و شاخص نرمال شده تفاوت پوشش گیاهی (NDVI) سبب کاهش شدت جزیره گرمایی شهری می‌شوند (Taha, 1997; Giridharan et al., 2004; Chen et al., 2006; Klok, 2012; Shoshtari, et al., 2018). همچنین پوشش سبز مهمترین عامل کنترل‌کننده فیزیکی جزیره گرمایی شهری بوده (Stone et al., 2014; Perini et al., 2001) و بر کاهش دمای جزیره گرمایی بعد از ظهر و شب مؤثرتر است (Yang et al., 2012; Yang et al., 2016). همچنین تأثیر پوشش گیاهی بر جزیره گرمایی شهری وابسته به فصل است و

حدود ۲۶ مترمربع به ازای هر نفر است که توزیع یک نواحی در سطح شهر نداشته و بیشتر در حاشیه رودخانه زاینده رود متمرکز شده است (Shirani-bidabadi et al, 2019; Mirzaei et al, 2020).

به لحاظ تقسیمات سیاسی و اجتماعی، شهر اصفهان مرکز استان و شهرستان اصفهان است و جمعیتی در حدود ۱,۹۶۱ میلیون نفر (بر مبنای سرشماری ۱۳۹۵) دارد که بر این اساس به عنوان سومین کلانشهر پرجمعیت ایران شناخته می‌شود. استقرار صنایع سنگین در پیرامون شهر منجر به مهاجرت گسترده به این شهر در چند دهه اخیر شده است (Madanian et al, 2018; Mirzaei et al, 2020). موقعیت خاص شهر از نظر جغرافیایی و اهمیت سیاسی و اجتماعی آن، دلیل اصلی انتخاب این شهر به عنوان نمونه پژوهی در مطالعه حاضر است.

۳.۲ روش شناسی

پژوهش حاضر در سه مرحله اساسی انجام شده است: الف- بررسی ادبیات موضوع و استخراج عوامل، ب- جمع‌آوری داده و شبیه‌سازی جزایر گرمایی و ۳- تحلیل همبستگی و نتیجه‌گیری. مرحله نخست به تفصیل در بخش مقدمه و مبانی نظری شرح داده شد. در ادامه به بررسی و تشریح مراحل دوم و سوم پرداخته می‌شود.



تصویر شماره ۱: موقعیت جغرافیایی و سیاسی شهر اصفهان

لندست دقت بالاتر و پیکسل‌هایی با ابعاد کمتر دارد، آن است که بر اساس مطالعات علمی در اقلیم‌های گرم و خشک مانند شهر اصفهان، جزایر گرمایی بیشتر در شب‌ها تشکیل می‌شوند (Imhoff et al, 2010). با توجه به آن که تصاویر لندست برداشت شب‌هنگام از محدوده مورد مطالعه ندارد، از تصاویر مودیس در بررسی دمای سطح زمین استفاده شد.

مودیس سنجنده‌ای است که بر روی دو ماهواره Aqua و Terra سوار شده است. ماهواره‌ی ترا که در سال ۱۹۹۹ پرتاب شد، در دو بازه ۱۰:۰۰ تا ۱۲:۰۰ و ۲۱:۰۰ تا ۲۳:۰۰ از سطح ایران تصویربرداری می‌کند. ماهواره‌ی آکوا نیز که در سال ۲۰۰۲ بر روی مدار قرار گرفت، در دو بازه ۱۲:۰۰ تا ۱۴:۰۰ و ۰۱:۰۰ تا ۰۳:۰۰ به برداشت اطلاعات از سطح ایران می‌پردازد. پایگاه اطلاعاتی این سنجنده تصاویر دمای سطح زمین را به صورت از پیش پردازش شده (بر اساس اعداد رقومی) در اختیار کاربران قرار می‌دهد (Montaner-Fernández et al, 2020).

UHI در مناطق شهری بر محیط گرمایی شهری تأثیر می‌گذارد و پاسخ سطح به تغییر تابش جذب شده در شب شدید و در روز ضعیف است (Li, et al., 2018).

۳. روش

۳.۱. محدوده مورد مطالعه

محدوده مورد مطالعه در این پژوهش، کلانشهر اصفهان است. اصفهان بر اساس تقسیمات جغرافیایی، محدود به عرض «۳۲ درجه و ۳۰ دقیقه» تا «۳۲ درجه و ۵۰ دقیقه» شمالی و طول «۵۱ درجه و ۳۲ دقیقه و ۳۰ ثانیه» تا «۵۱ درجه و ۵۲ دقیقه» شرقی با وسعت ۵۵۱ کیلومتر مربع است (تصویر شماره ۱). بر این اساس شهر اصفهان تحت تأثیر مدار راس السرطان قرار دارد و به لحاظ اقلیمی در ناحیه‌ای گرم و خشک با تابستان‌های گرم (با حداکثر دمای ۴۰,۶ درجه سانتیگراد) و زمستان‌های سرد (با حداقل دمای ۱۰,۶- درجه سانتیگراد) و بارش اندک (با متوسط حدود ۱۱۶,۹ میلی‌متر در سال) که بیشتر در پاییز و زمستان اتفاق می‌افتد، قرار گرفته است. مهم‌ترین عناصر جغرافیایی شهر رودخانه زاینده رود، کوه صفا و پارک جنگلی نازوان است که خشک شدن بخش‌هایی از حوزه آبریز زاینده رود و جریان فصلی رودخانه در یک دهه اخیر، گواهی بر تأثیرپذیری آن از تحولات اقلیمی است. سرانه فضای سبز در این شهر،

۳.۲.۱. جمع‌آوری داده و شبیه‌سازی جزایر گرمایی

در این مرحله نقشه پراکنش و شدت جزایر گرمایی در شهر اصفهان، در کنار نقشه شاخص پراکنش گیاهی، نقشه شاخص پراکنش گیاهی، نقشه فشرده‌گی کالبدی و نقشه آلودگی هوا به تفکیک آلاینده‌ها مدل‌سازی و تهیه شد. فرایند تهیه هر کدام از آنها در ادامه شرح داده شده است. البته در تشریح فرایند این مرحله نخست باید اشاره نمود که در این مطالعه، تحلیل‌ها بر روی یک شبکه شطرنجی، با سلول‌های ۱۰۰۰ متر در ۱۰۰۰ متر به عنوان سلول اطلاعاتی، صورت گرفت و اطلاعات نقشه‌ها به وسیله اتصال فضایی^۱ به آنها انتقال داده شد.

- تهیه نقشه‌های پراکنش و شدت جزایر گرمایی

نقشه‌های جزایر گرمایی در شهر اصفهان، بر مبنای نقشه‌های دمای سطح زمین بر اساس تصاویر ماهواره‌ای سنجنده MODIS تهیه شد. دلیل انتخاب تصاویر ماهواره‌ای مودیس، با آگاهی از این که تصاویر

1 Spatial Join

- تهیه نقشه پوشش آبی

این نقشه بر اساس شاخص نرمال شده پراکندگی آبی (NDWI) بر مبنای تصاویر ماهواره‌ای Landsat 8 با پردازش در محیط نرم افزار ENVI 5.3 برای شهر اصفهان تهیه شد. برای محاسبه شاخص پوشش آبی (NDWI) از تابع زیر بر روی تصاویر ماهواره‌ای کالیبره شده استفاده گردید (Erden, et al., 2020):

$$NDWI = (NIR - SWIR) / (NIR + SWIR)$$

همانند فرمول قبل، در این تابع NIR باند پنجم تصاویر ماهواره‌ای لندست یا همان باند رادیومتری سنجش نزدیک مادون قرمز است. SWIR^۲ یکی از دو باند ششم و هفتم تصاویر بوده که باند رادیومتری سنجش مادون قرمز با طول موج کوتاه است. در این پژوهش از باند ششم به عنوان SWIR استفاده شد.

- مدل سازی و تهیه نقشه فشردگی ساخت

فشردگی ساخت در شهر اصفهان بر اساس اطلاعات توده و فضای مستخرج از نقشه‌های طرح تفصیلی شهر (سال ۲۰۱۹ میلادی) و پایگاه اطلاعاتی شهرداری مدل سازی و در محیط نرم افزار GIS تهیه شد. به این صورت که سطح ساخته شده در هر یک از سلول‌های مطالعاتی بر کل سطح آن سلول تقسیم و عددی بین ۰ (فضای باز) تا ۱ (سطح کاملاً ساخته شده) پدید آمد (Erden et al., 2020).

- مدل سازی و تهیه نقشه آلودگی هوا

اطلاعات آلودگی هوا از سنجنده‌های سطح شهر برای بازه مورد مطالعه استخراج و به روش درون یابی^۴ IDW در محیط نرم افزار GIS، نقشه‌های آلودگی هوای شهر اصفهان به تفکیک غلظت آلاینده‌های کربن مونوکسید (CO) و ذرات معلق (PM_{2.5}) و متوسط شاخص کیفی هوای شهر (AQI^۵) تهیه شد (Jamal Jumeh et al., 2019).

۳.۲.۲. اجرای تحلیل همبستگی

در راستای تحلیل همبستگی میان عوامل کلان مقیاس محیط طبیعی و مصنوعی با شدت جزایر گرمایی شهر اصفهان، از روش ضریب همبستگی پیرسون^۶، در محیط نرم افزار SPSS استفاده شد (Xu et al., 2019) و نوع و میزان ارتباط هر عامل با شکل‌گیری جزایر گرمایی شهر اصفهان مطالعه گردید. جدول شماره ۲ متغیرهای مورد بررسی در این تحلیل را نشان می‌دهد.

همان طور که اشاره شد، تحلیل همبستگی پیرسون میان متغیرهای تشریح شده در جدول شماره ۲، در واحد ۲۲۲ سلول فضایی با ابعاد ۱۰۰۰ متر در ۱۰۰۰ متر برای انجام این مطالعه بر روی شهر اصفهان اجرا شد. این تحلیل با توجه به پنج سناریو، شامل چهار فصل سال و یک سناریو برای بررسی ارتباط خشکی و جریان رودخانه با شدت جزایر گرمایی انجام گرفت که فرایند آن در تصویر شماره ۲ و خروجی آن در بخش‌های بعد ارائه شده است.

در پژوهش حاضر از تصاویر MOD11A1 ماهواره ترا و MYD11A1 ماهواره آکوا، با دقت حدود یک کیلومتری (۹۲۶/۶۲ متر) استفاده شد. این تصاویر، سیستم تصویر سینوسی داشته و با فرمت hdf. در پایگاه هوانوردی ناسا (<https://modis.gsfc.nasa.gov>, 2021) ارائه می‌شود. داده ارائه شده به صورت موزاییک‌های تصویری با ده درجه جغرافیایی (۱۲۰۰ پیکسل در ۱۲۰۰ پیکسل) است. از این میان، شش موزاییک h21v05، h22v05، h23v05، h21v06، h22v06 و h23v06 سطح کشور ایران را پوشش می‌دهد و شهر اصفهان در موزاییک h22v05 قرار دارد (Montazeri, & Masoodian, 2019).

برای تهیه نقشه دمای سطح زمین محدوده مورد مطالعه، ابتدا تصاویر دمای سطح زمین برای پنج وضعیت (شامل چهار فصل سال و یک سناریو برای بررسی تفاوت دمای سطح زمین در هنگام جاری بودن رودخانه زاینده‌رود) در بازه زمانی ۲۰۱۱ تا ۲۰۲۱ تهیه شد. سپس تصاویری که به دلیل ابرینگی هوا دارای پیکسل‌های بدون اطلاعات در محدوده مورد مطالعه بودند، حذف شدند. از تصاویر باقی‌مانده برای هر سناریو (بر مبنای پیکسل‌ها) میانگین گرفته شد و در نهایت تصاویر حاصل، به عنوان داده پایه در تهیه نقشه دمای سطح زمین شهر اصفهان استفاده گردید.

همان‌طور که اشاره شد، تصاویر تهیه شده بر مبنای اعداد رقومی^۱ است که با استفاده از تابع زیر به نقشه دمایی بر حسب سلسیوس تبدیل شد:

$$LST (^{\circ}C) = (0.02 * DN) - 273.15$$

در فرمول بالا، LST دمای سطح زمین بر حسب درجه سلسیوس و DN اعداد رقومی تصاویر ماهواره‌ای است (Bala, Prasad, and Yadav, 2020).

- تهیه نقشه پوشش سبز

این نقشه بر اساس شاخص نرمال شده پراکندگی پوشش گیاهی (NDVI) بر مبنای تصاویر ماهواره‌ای Landsat 8 با پردازش در محیط نرم افزار ENVI 5.3 (G.Su et al., 2019) برای شهر اصفهان تهیه شد. تصاویر ماهواره‌ای لندست، به دلیل دقت بالا و رزولوشن مناسب (۳۰ متر در ۳۰ متر)، توانایی بهتری در نمایش سبزیگی و پوشش گیاهی دارند. در این بخش از تصاویر 1 Level-1 Collection 8 Landsat که از پایگاه اطلاعاتی سازمان شناسی ایالات متحده آمریکا (<https://earthexplorer.usgs.gov/>, 2021) تهیه شد، استفاده گردید و برای محاسبه شاخص پوشش گیاهی (NDVI) تابع زیر بر روی تصاویر ماهواره‌ای کالیبره شده، به کار گرفته شد (Erden et al., 2020):

$$NDVI = (NIR - RED) / (NIR + RED)$$

در این تابع NIR^۳ باند پنجم تصاویر ماهواره‌ای لندست یا همان باند رادیومتری سنجش نزدیک مادون قرمز است و RED باند چهارم این تصاویر ماهواره‌ایست. مقدار این شاخص بین -۱ و ۱ قرار دارد که در آن، مقادیر بالاتر از ۰٫۲ به عنوان پوشش گیاهی و مقادیر کمتر از ۰٫۲ به عنوان پوشش خاکی شناخته می‌شود (Yu, et al., 2014).

3 Short Wavelength Infrared Radiometer

4 Inverse Distance Weighted

5 Air Quality Index

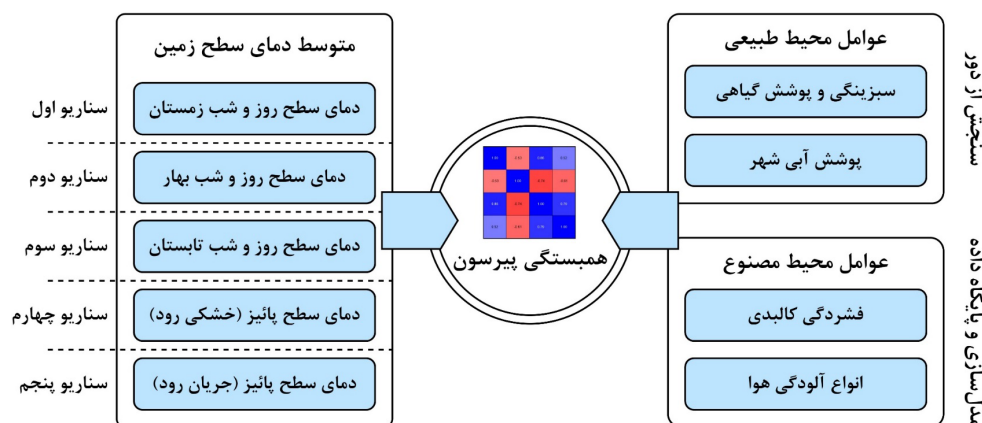
6 Pearson Correlation Coefficient

1 Digital Number

2 Near-Infrared Radiometer

جدول شماره ۲: متغیرهای مورد استفاده در تحلیل همبستگی

نوع	متغیر	توضیحات
شدت جزایر گرمایی شهری	دمای روز هنگام زمستان	متوسط دمای روز هنگام زمستان هر سلول در بازه ۲۰۱۱ تا ۲۰۲۱ (درجه سلسیوس)
	دمای روز هنگام بهار	متوسط دمای روز هنگام بهار هر سلول در بازه ۲۰۱۱ تا ۲۰۲۱ (درجه سلسیوس)
	دمای روز هنگام تابستان	متوسط دمای روز هنگام تابستان هر سلول در بازه ۲۰۱۱ تا ۲۰۲۱ (درجه سلسیوس)
	دمای روز هنگام پائیز (هنگام خشکی رود)	متوسط دمای روز هنگام پائیز هر سلول در بازه ۲۰۱۱ تا ۲۰۲۱ (هنگام خشکی رود)
	دمای روز هنگام پائیز (هنگام جریان رود)	متوسط دمای روز هنگام پائیز هر سلول در بازه ۲۰۱۱ تا ۲۰۲۱ (هنگام جریان رود)
	دمای شب هنگام زمستان	متوسط دمای شب هنگام زمستان هر سلول در بازه ۲۰۱۱ تا ۲۰۲۱ (درجه سلسیوس)
	دمای شب هنگام بهار	متوسط دمای شب هنگام بهار هر سلول در بازه ۲۰۱۱ تا ۲۰۲۱ (درجه سلسیوس)
	دمای شب هنگام تابستان	متوسط دمای شب هنگام تابستان هر سلول در بازه ۲۰۱۱ تا ۲۰۲۱ (درجه سلسیوس)
	دمای شب هنگام پائیز (هنگام خشکی رود)	متوسط دمای شب هنگام پائیز هر سلول در بازه ۲۰۱۱ تا ۲۰۲۱ (هنگام خشکی رود)
	دمای شب هنگام پائیز (هنگام جریان رود)	متوسط دمای شب هنگام پائیز هر سلول در بازه ۲۰۱۱ تا ۲۰۲۱ (هنگام جریان رود)
عوامل کلان مقیاس محیطی	پوشش سبز	متوسط شاخص NDVI هر سلول در بازه ۲۰۱۱ تا ۲۰۲۱ (بین ۱- تا ۱+)
	پوشش آبی (هنگام جریان رودخانه)	متوسط شاخص NDWI هر سلول در بازه ۲۰۱۱ تا ۲۰۲۱ (بین ۱- تا ۱+)
	پوشش آبی (هنگام خشک بودن رودخانه)	متوسط شاخص NDWI هر سلول در بازه ۲۰۱۱ تا ۲۰۲۱ (بین ۱- تا ۱+)
	فشردگی کالبدی	متوسط فشردگی کالبدی هر سلول در سال ۲۰۱۹ (بین ۰ تا ۱)
	آلودگی هوا - شاخص کیفی AQI	متوسط شاخص کیفی هوا در هر سلول در سال ۲۰۱۹ (عدد)
	آلودگی هوا - غلظت CO	متوسط غلظت CO هر سلول در سال ۲۰۱۹ (عدد)
	آلودگی هوا - غلظت PM2.5	متوسط غلظت PM2.5 هر سلول در سال ۲۰۱۹ (عدد)



تصویر شماره ۲: روندنمای محتوایی و فرایندی انجام پژوهش حاضر

۴. بحث و یافته‌ها

۴.۱. بررسی رفتار زمانی-مکانی جزایر گرمایی در شهر اصفهان

رفتار زمانی-مکانی جزایر گرمایی در شهر اصفهان، تصویر شماره ۳، نشان دهنده آن است که به دلیل اقلیم گرم و خشک شهر و بیابانی بودن نواحی اطراف آن، در هنگام روز دمای اطراف شهر با سرعت بیشتری افزایش یافته و جزایر گرمایی در داخل شهر تشکیل می‌شود. اما در هنگام شب به دلیل رطوبت هوای داخل شهر نسبت به محیط پیراشهر و گرمای ویژه بیشتر هوای مرطوب نسبت به هوای خشک، هوای درون شهر با سرعت کمتری گرمای خود را از دست داده و در سطح شهر جزایر گرمایی شکل می‌گیرد. جدول شماره ۳ دمای فصلی سطح شهر اصفهان و حومه در شب و روز را نشان می‌دهد.

رفتار زمانی و مکانی جزایر گرمایی هم به روش محاسبه نمایه جزایر گرمایی و هم به شرایط جغرافیایی و اقلیمی شهر مورد بررسی، بستگی دارد. در شهرهای واقع در مناطق بیابانی، هرچه از هسته شهر به لبه شهر نزدیک می‌شویم، دمای رویه زمین کاهش می‌یابد و با بیرون رفتن از شهر دوباره افزایش می‌یابد. در آب و هوای خشک و نیمه خشک حتی در شهرهای پرتراکم ممکن است شدت جزیره گرمایی اندک باشد یا حتی شاهد چاهک جزیره گرمایی شهری باشیم. زیرا پیرامون شهر را بوته‌زارهای بیابانی پوشانده‌اند (Imhoff, et al., 2010). بررسی

جدول شماره ۲: دمای فصلی سطح شهر اصفهان و حومه در شب و روز (بر اساس پردازش نتایج سنجش از دور)

اختلاف دما (شدت UHI)	دمای ناحیه پیراشهری				دمای ناحیه شهری				فصل	C _د
	StDv	Mean	Max	Min	StDv	Mean	Max	Min		
۳,۴۰	۲,۶	۳,۰۸	۹,۶	-۳	۱,۵۳	۶,۴۸	۸,۷۲	۲,۵۶	زمستان	۱
۳,۵۰	۱,۹۶	۱۴	۱۹,۱۱	۸,۶۹	۱,۲۸	۱۷,۴۶	۱۹,۴	۱۳,۷۹	بهار	
۲,۴۸	۲,۰۲	۲۵,۳	۲۹,۷۷	۱۹,۹	۱,۴۵	۲۷,۷۶	۲۹,۹	۲۳,۲۱	تابستان	
۳,۶۷	۲,۵۴	۱۲,۸	۱۹,۴۹	۶,۶۹	۱,۴	۱۶,۴۹	۱۸,۵	۱۲,۰۹	پاییز (رودخانه خشک)	
۳,۴۰	۲,۳۲	۱۶,۵	۲۲,۷۷	۱۱,۳	۱,۲۸	۱۹,۸۷	۲۱,۵	۱۶,۱۱	پاییز (رودخانه جاری)	
-۳,۹۴	۳,۹۹	۲۳,۲	۳۳,۰۲	۱۴	۱,۶۷	۱۹,۲۶	۲۴	۱۵,۸	زمستان	۲
-۱,۴۲	۳,۷۴	۳۴	۴۵,۷۱	۲۵,۶	۰,۹۶	۳۲,۵۵	۳۵,۸	۳۰,۴۹	بهار	
-۱,۴۶	۳,۹۷	۴۶,۷	۵۶,۴۷	۳۳,۴	۱,۵۴	۴۵,۱۹	۴۹,۱	۴۱,۶۳	تابستان	
-۴,۱۷	۳,۳۹	۳۶,۱	۴۴,۲۵	۲۷,۳	۱,۵۸	۳۱,۹۴	۳۶,۵	۲۸,۶۷	پاییز (رودخانه خشک)	
-۴,۱۹	۲,۸	۲۹,۱	۳۶,۶۷	۱۸,۸	۱,۱۹	۲۴,۹۱	۲۸,۴	۲۲,۵۹	پاییز (رودخانه جاری)	

روزانه مختلف، رابطه معنادار و معکوس برقرار است (جدول شماره ۴). این ارتباط در فصل تابستان قوی تر و شدت این معناداری در طول روز افزایش می یابد. به بیانی دیگر در تابستان ها با توجه به بالا بودن دمای سطح زمین، رطوبت نقش بسزایی در کاهش دما دارد. این ارتباط در طول شب که جزایر گرمایی شدت بیشتری پیدا می کنند، همچنان در تابستان ها قوی تر از فصول دیگر است اما به طور کلی رطوبت هوا به اندازه پوشش گیاهی و تراکم بافت در شکل گیری جزایر گرمایی اصفهان در طول شب مؤثر نیست.

۴,۲,۱. بررسی اثر خشک شدن رودخانه در تغییر شرایط شکل گیری جزایر گرمایی

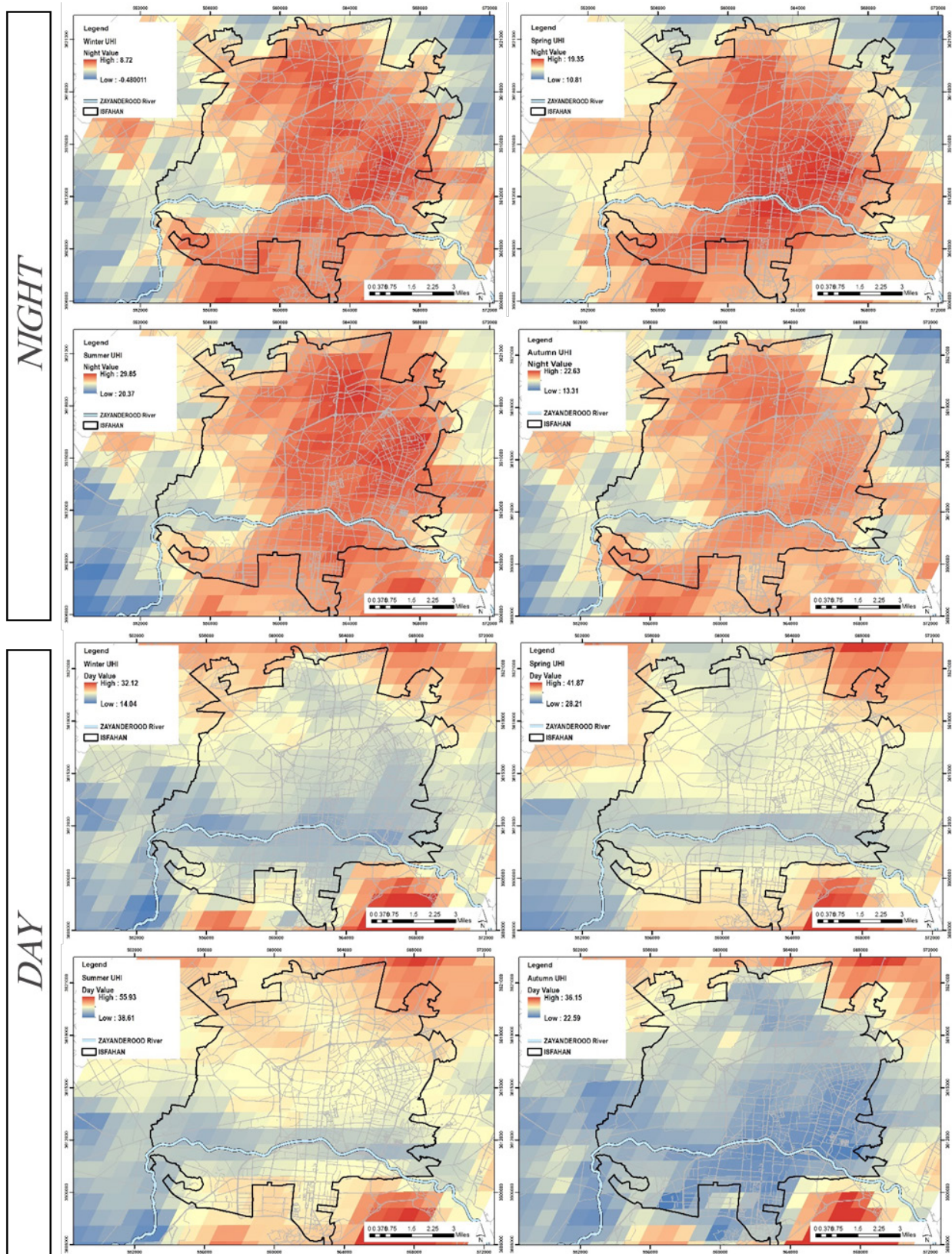
جاری بودن رودخانه زاینده رود تأثیر بسزایی در رطوبت کلی هوای شهر می گذارد. افزایش رطوبت هوا، گرمای ویژه آن را افزایش می دهد و این گرمای ویژه منجر به محدود شدن دامنه نوسانات دمایی می شود. به عبارت دیگر، رطوبت مانع از آن می گردد که دما در طول روز به شدت افزایش یابد و در شب هنگام افت شدید دما اتفاق بیفتد. به طور کلی رطوبت هوا تأثیر معکوسی بر دمای سطح شهر دارد و افزایش سطح رطوبت به واسطه جاری بودن رودخانه، منجر به تشدید این تأثیر می شود. نکته حائز اهمیت دیگر آن است که محدود شدن دامنه نوسانات دمایی به واسطه رطوبت، هم شدت جزایر گرمایی در شب و هم شدت جزایر سرمایی در روز را تعدیل کرده و افزایش رطوبت هوا با توجه به خشکی هوای شهر، می تواند باعث کاهش استرس های گرمایی^۱ و افزایش آسایش اقلیمی شود. جدول شماره ۴ همبستگی پهنه های آبی (جاری بودن و خشک بودن رودخانه) و دمای شهر اصفهان و حومه را نمایش می دهد.

حبس گرما در محیط های ساخته شده و پرتراکم شهری و نبود جریان هوا توسط باد، دلیل دیگر شکل گیری جزایر گرمایی در سطح شهر اصفهان است. به عنوان یک نتیجه گیری اولیه، بر اساس نقشه های پراکنش و شدت جزایر گرمایی در سطح شهر اصفهان، نواحی شرقی، شمالی و مرکزی شهر که بافت فشرده تری نسبت به سایر نواحی دارند، پتانسیل بالاتری برای شکل گیری جزایر گرمایی دارند. در نقطه مقابل، تشکیل جزایر سرمایی در هنگام روز در حاشیه بستر رودخانه زاینده رود به مراتب بیشتر از سایر نقاط شهر است. اگرچه رودخانه زاینده رود بسیاری از روزهای سال خشک است اما بستر آن یک کانال مناسب برای جریان هوا ایجاد کرده و با کانالیزه کردن باد، دمای محیط را نسبت به پیرامونش کاهش می دهد. همچنین تمرکز زیرساخت های سبز شهر اصفهان در نواحی حاشیه رودخانه دلیل دیگری بر کاهش دمای سطح زمین در این نواحی است. مطابق جدول شماره ۳ شدت جزایر گرمایی در فصل تابستان، در هر دو حالت روز و شب، کمتر از فصول دیگر است. این امر نشان می دهد که وجود پوشش های فصلی به ویژه پوشش گیاهی سبز انبوه در تابستان نقش بسزایی در تعدیل جزایر گرمایی شهر اصفهان دارد و با کاهش این پوشش در فصول سرد و خشک همچون پاییز، شدت جزایر گرمایی افزایش می یابد. بنابراین تغییرات روزانه جزایر گرمایی در اصفهان از الگوهای اقلیمی گرم و خشک و بیابانی و رفتارهای فصلی آن از اندرکنش پوشش زمین-هواسپهر اثر می پذیرد.

۴,۲. تحلیل ارتباط میان پوشش آبی و جزایر گرمایی در شهر اصفهان

بررسی ارتباط میان شدت تغییرات جزایر گرمایی و پوشش آبی در سطح زمین بر اساس شاخص NDWI (تصویر شماره ۴) در شهر اصفهان نشان می دهد، همواره میان افزایش دما و افزایش رطوبت در شرایط فصلی و

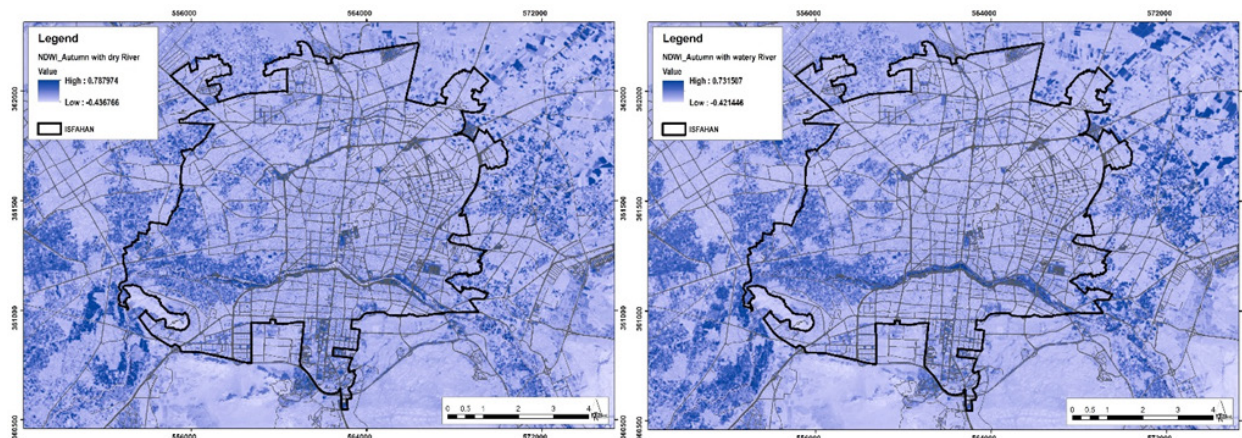
1 Thermal Stress



تصویر شماره ۳: پهنه‌های دمایی شهر اصفهان بر پایه داده‌های مودیس در شب و روز

جدول شماره ۴: همبستگی پهنه‌های آبی (جاری بودن و خشک بودن رودخانه) و دمای شهر اصفهان و حومه

دمای سطح در طول روز					دمای سطح در طول شب					متغیر	پوشش آبی
پاییز (خشکی)	پاییز (جریان)	تابستان	بهار	زمستان	پاییز (خشکی)	پاییز (جریان)	تابستان	بهار	زمستان		
-0.56**	-0.51**	-0.70**	-0.50**	-0.63**	-0.06	-0.27**	-0.34**	0.03	-0.20**	Correlation	NDWI (River Flow)
0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.410	0.000	0.000	0.613	0.003	Sig	
-0.53**	-0.52**	-0.64**	-0.46**	-0.61**	0.001	-0.21**	-0.30**	0.08	-0.14*	Correlation	NDWI (River Dry)
0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.989	0.002	0.000	0.235	0.033	Sig	
222	222	222	222	222	222	222	222	222	222	Number	



تصویر شماره ۴: پراکندگی آبی (NDWI) بر مبنای تصاویر ماهواره‌ای Landsat 8 در شهر اصفهان و حومه در هنگام جاری و خشک بودن رودخانه

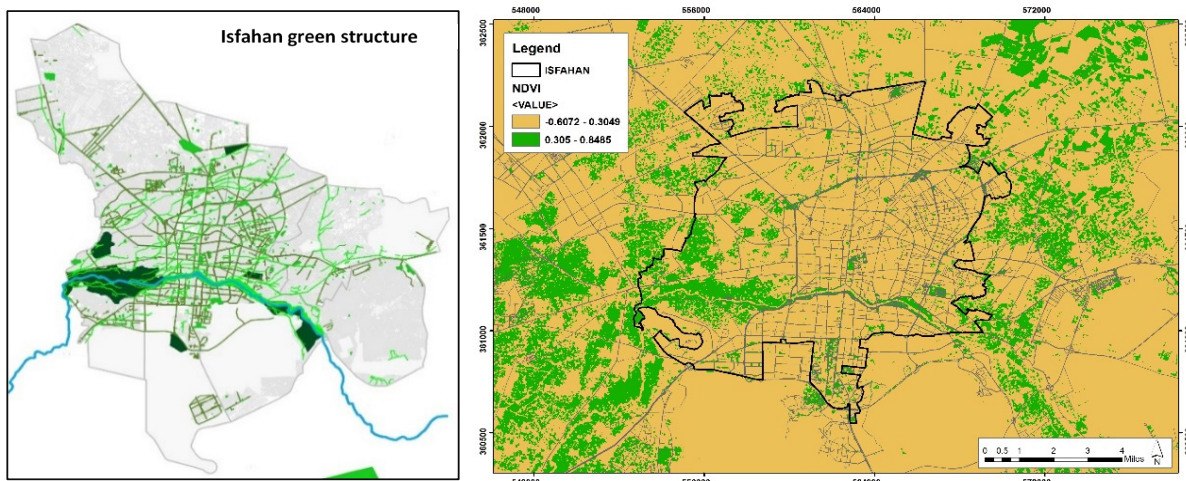
هر جا که پوشش گیاهی متراکم‌تر باشد، به دلیل افزایش رطوبت خاک و هوا به طور همزمان مانع از افزایش یا کاهش بیش از حد دمای سطح زمین و هوا شده و منجر به تعدیل جزایر گرمایی و یا گرمایی می‌گردد. همچنین ساختار سبز شهر اصفهان (تصویر شماره ۵) نیز نشان می‌دهد، تمرکز پهنه‌ها و محورهای گسترده سبز در اطراف رودخانه به ویژه در بخش‌های غربی شهر علاوه بر نقش مستقیم بر تعدیل دمای این مناطق، موجب کاهش فشردگی ساخت نیز شده است که این مهم، نقش فزاینده‌ای در تعدیل دمای سطح زمین در طول شب و روز دارد. به طور کلی پوشش گیاهی در شهر اصفهان با توجه به شرایط اقلیمی نقش مؤثرتری از عوامل طبیعی دیگر از جمله پوشش آبی بر تعدیل جزایر گرمایی در شهر دارد.

۴.۳. تحلیل ارتباط میان پوشش سبز و جزایر گرمایی در شهر اصفهان

در بررسی میزان همبستگی پوشش سبز (NDVI) و جزایر گرمایی در شهر اصفهان، نتایج نشان دهنده ارتباط معنادار میان دو متغیر است. مطابق با جدول شماره ۵، همبستگی منفی قوی دو متغیر در فصل تابستان و موقع روز نشان می‌دهد، پوشش سبز در این فصل و در روز بیشتر از دیگر فصول بر تعدیل اثر جزایر گرمایی مؤثر است. از طرف دیگر در زمان شب که شدت تنش گرمایی در شهر بیشتر است، در فصول سرد نظیر پاییز و زمستان، نسبت به روز، پوشش سبز اثر قوی‌تری بر کاهش جزایر گرمایی دارد. به صورت کلی، تأثیر پوشش گیاهی نسبت به پوشش آبی در شهر اصفهان، در کاهش تنش گرمایی بیشتر است. پوشش گیاهی عامل دیگری در افزایش رطوبت است و به طور کلی

جدول شماره ۵: همبستگی پوشش سبز و دمای فصلی شهر اصفهان و حومه در شب و روز

دمای سطح در طول روز					دمای سطح در طول شب					متغیر	پوشش گیاهی
پاییز (خشکی)	پاییز (جریان)	تابستان	بهار	زمستان	پاییز (خشکی)	پاییز (جریان)	تابستان	بهار	زمستان		
-0.35**	-0.26**	-0.61**	-0.44**	-0.44**	-0.33**	-0.51**	-0.57**	-0.23**	-0.47**	Correlation	NDVI
0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.001	0.000	Sig	
222	222	222	222	222	222	222	222	222	222	Number	



تصویر شماره ۵: پراکندگی پوشش سبز (NDVI) بر مبنای تصاویر ماهواره‌ای Landsat 8 در شهر اصفهان (راست) و حومه و ساختار سبز شهر اصفهان در چپ

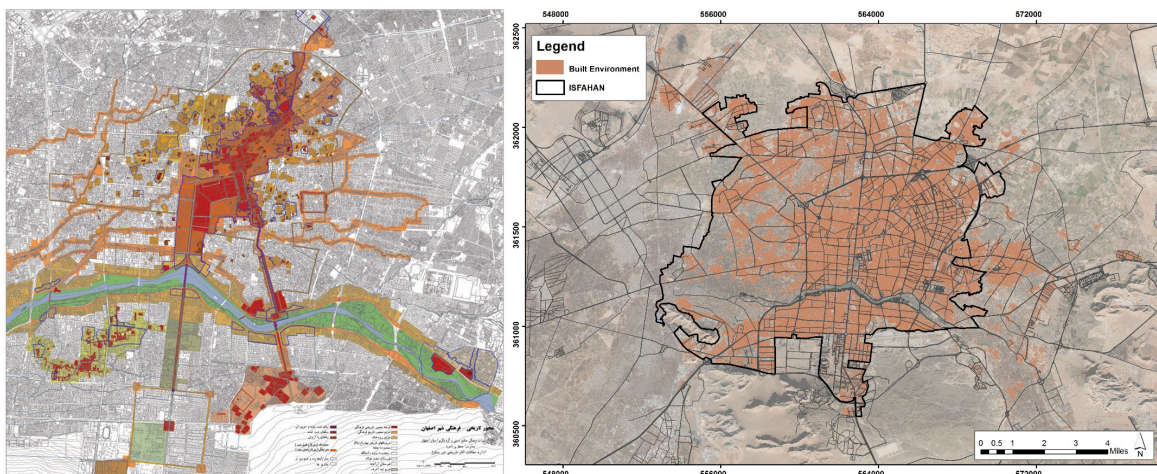
اقلیمی در نواحی فشرده‌تر می‌شود. از آنجا که در شهر اصفهان به دلیل شرایط اقلیمی اشاره شده، جزایر گرمایی در شب شدت بیشتری دارد، ارتباط میان فشردگی ساخت و دمای سطح زمین قوی‌تر و مستقیم است. به بیانی دیگر در مناطق دارای فضای ساخته شده بیشتر در شهر اصفهان، دمای سطح زمین (در طول شب) بیشتر است. نقشه محدوده تاریخی شهر اصفهان، تصویر شماره ۶- چپ نیز نشان می‌دهد، علاوه بر تمرکز ساخت در بخش‌های مرکزی و شرقی شهر، به دلیل محدودیت توسعه مناطق تاریخی، معابر عرضی از جمله بزرگراه‌ها در این مناطق کمتر دیده می‌شود، در حالی که وجود این شریان‌ها در بخش‌های غربی شهر علاوه بر پراکنش ساخت موجب ایجاد کریدورهای جریان هوا شده و اجازه نمی‌دهد گرما در فضاهای ساخته شده محبوس گردد. به همین علت در طول شب، دمای سطح زمین در این مناطق کمتر است.

۴.۴. تحلیل همبستگی میان فشردگی ساخت و جزایر گرمایی در شهر اصفهان

نتایج در بررسی ارتباط میان فشردگی ساخت (معیار تراکم ساختمانی نبوده، بلکه نزدیکی و همجواری توده‌های ساختمانی) و شکل‌گیری جزایر گرمایی در شهر اصفهان (جدول شماره ۶) نشان می‌دهد که این عامل همبستگی بیش از ۰٫۶ در تمام فصول با شکل‌گیری جزایر گرمایی (که در شهر اصفهان در طول شب شدت می‌یابد) داشته و بیش از عوامل طبیعی در افزایش دما مؤثر بوده است. در محیط‌های با فشردگی ساخت بالا با توجه به این که اغلب ساختمان‌ها با مصالحی ساخته شده‌اند که بیشتر نور خورشید را جذب می‌کنند، دما در طول روز با تابش خورشید افزایش یافته، اما به دلیل وزش ناهمگون باد و نبود جریان مناسب هوا، تهویه مناسب صورت نمی‌گیرد و گرما به دام می‌افتد. همین امر منجر به شکل‌گیری جزایر گرمایی و کاهش آسایش

جدول شماره ۶: همبستگی فشردگی ساخت و دمای فصلی شهر اصفهان و حومه در شب و روز

دمای سطح در طول روز					دمای سطح در طول شب					متغیر	فشردگی ساخت
تابستان	بهار	پاییز	زمستان	تابستان	بهار	پاییز	زمستان	Correlation	Built Compactness		
0.12	0.01	-0.19**	-0.27**	-0.14*	0.62**	0.66**	0.66**	0.61**	0.68**	Sig	Number
0.070	0.849	0.005	0.000	0.038	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000		
222	222	222	222	222	222	222	222	222	222		



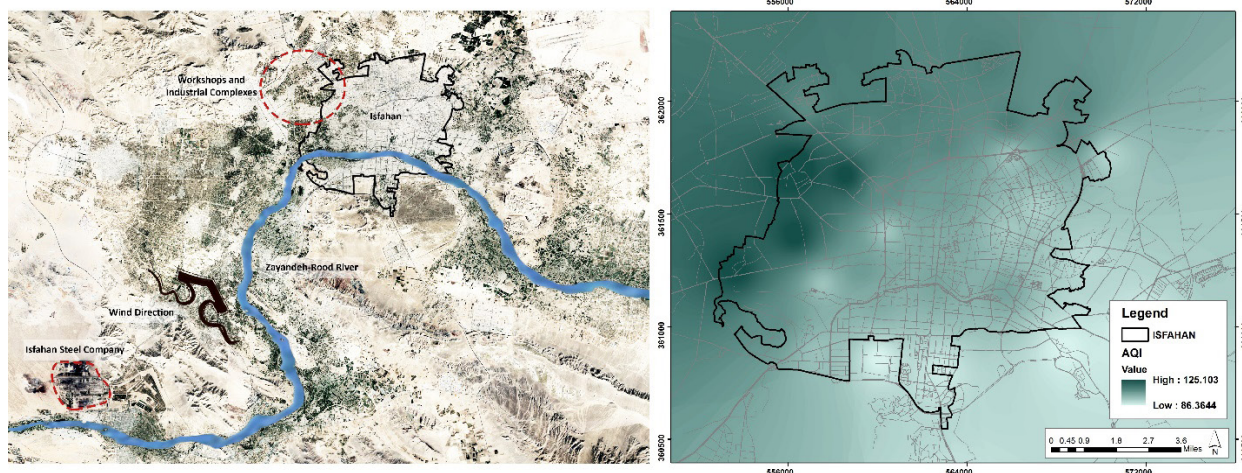
تصویر شماره ۶: فشردگی ساخت شهر اصفهان بر مبنای نقشه‌های پایه طرح تفصیلی شهر (راست) و محدوده تاریخی شهر اصفهان در چپ

۴٫۵. تحلیل همبستگی آلودگی هوا با جزایر گرمایی در شهر اصفهان
 در تحلیل همبستگی انواع آلودگی هوا با شکل‌گیری جزایر گرمایی در شهر اصفهان باید گفت که میان شاخص‌های آلودگی هوا و دمای سطح زمین ارتباط معناداری وجود دارد، اما با توجه به شرایط و منابع ایجاد آلودگی این ارتباط یکسان و هم‌راستا نیست (جدول شماره ۷). بر اساس شاخص AQI که ترکیبی از انواع آلودگی است، به علت تمرکز بیشتر آلاینده‌ها (به ویژه PM2.5) در بخش‌های غربی شهر، آلودگی گرایش به سمت غرب دارد (تصویر شماره ۷- راست). این مناطق علاوه بر نزدیکی به محل صنایع آلاینده پیرامونی، در جهت باد غالب جنوب غربی قرار دارند. بنابراین در طول روز در فصول سردتر (پاییز و زمستان) به علت تشدید وارونگی هوا، همبستگی قوی و مستقیمی میان افزایش

آلودگی با دمای سطح مشاهده می‌شود. در مقابل، شدت آلودگی نزدیک به سطح زمین رابطه‌ای معکوس با شدت جزایر گرمایی در شب دارد. افزایش آتروسول‌ها در جو باعث کاهش تابش خورشیدی و افزایش تابش موج بلند عصرهنگام در مناطق شهری می‌شود. این در حالی است که پاسخ سطح به تغییر تابش جذب شده در شب شدید و در روز ضعیف است. به طور کلی آلودگی هوا، نوسانات اقلیمی و دمایی شهر و به تبع، احتمال پیدایش جزایر گرمایی و سرمایایی را به طور معناداری تشدید می‌کند و این ارتباط معنادار، در نمونه‌های شهری دیگری چون تهران به اثبات رسیده است (Fuladlu & Altan, 2021; Nasehi et al, 2023).

جدول شماره ۷: همبستگی آلودگی هوا و دمای فصلی شهر اصفهان و حومه در شب و روز

دمای سطح در طول روز					دمای سطح در طول شب					متغیر	آلودگی هوا
پاییز (خشتکی)	پاییز (چربان)	تابستان	بهار	زمستان	پاییز (خشتکی)	پاییز (چربان)	تابستان	بهار	زمستان		
.44**	.55**	0.11	-0.01	.37**	-.45**	-.28**	-.45**	-.43**	-.50**	Correlation	AQI
0.000	0.000	0.116	0.907	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	Sig	
222	222	222	222	222	222	222	222	222	222	Number	

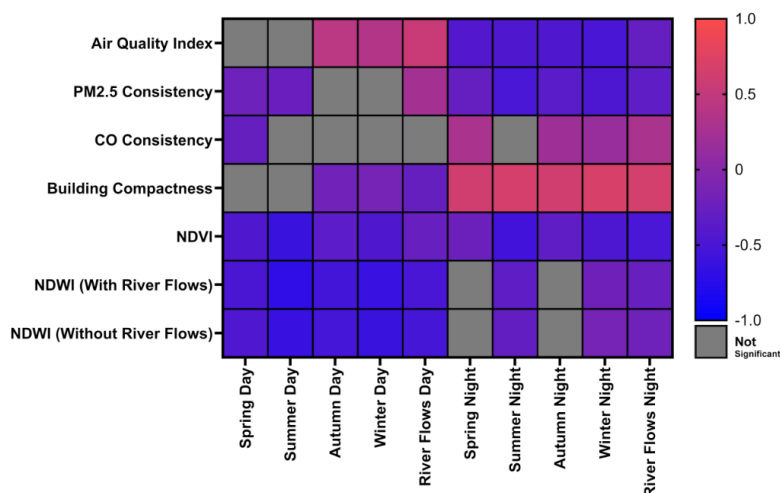


تصویر شماره ۷: نقشه‌های آلودگی هوای شهر اصفهان با متوسط شاخص کیفی هوای شهر (AQI) (راست) و موقعیت شهر نسبت به صنایع آلاینده در چپ

آلودگی‌های ناشی از تجمع فعالیت و ترافیک همبستگی بسیار بالایی با دمای سطح زمین داشته و در طول شب دارند. آنچه بیش از عوامل دیگر در افزایش دمای سطح زمین و همچنین شکل‌گیری جزایر گرمایی در شب‌های اصفهان در تمام فصول مؤثر است، عامل فشردگی ساخت است. شهرسازی با طراحی خلق فضاهای باز و کریدورهای سبز در مناطق فشرده شهری می‌تواند از حبس گرما در محیط‌های ساخته‌شده جلوگیری کرده و با ایجاد جریان هوا نقش قابل ملاحظه‌ای در تعدیل این پدیده در شهر اصفهان داشته باشد.

۴٫۶. تحلیل کلی همبستگی‌ها

نتایج نشان داد شهر اصفهان به عنوان یک شهر بیابانی در اقلیم گرم‌وخشک، با پدیده جزایر گرمایی در طول شب مواجه است. زاینده‌رود پر آب و پهنه‌های سبز پیرامون آن مطابق با تصویر شماره ۸، همبستگی منفی با دمای فصلی سطح زمین داشته که برای پوشش سبز همبستگی منفی قوی‌تر نیز هست و وجود این دو عامل منجر به کاهش دمای سطح زمین در طول روز و شب شده است. بنابراین جریان دائمی رودخانه و همچنین افزایش پوشش سبز در سطح شهر اثر جزایر گرمایی را تعدیل می‌کند. از طرفی فشردگی توده‌های ساختمانی



تصویر شماره ۸: نمودار رابطه شاخص‌های پژوهش با دمای فصلی سطح زمین در شب و روز

۵. نتیجه‌گیری

اگرچه در این مطالعه سعی شد تا همبستگی عوامل کلان مقیاس محیط طبیعی و مصنوع با شدت جزایر گرمایی در شهر اصفهان به دقت بررسی شود، اما پژوهش حاضر با محدودیت‌هایی مواجه بود. در این میان، مهم‌ترین محدودیت عدم دسترسی به اطلاعات محیطی شهر اصفهان، به ویژه داده دمای هوا و رطوبت نسبی بود که می‌توانست تحلیل‌های پژوهش حاضر را تکمیل کند. همچنین در دسترس نبودن داده لایه ارتفاع ساختمانی به روز برای شهر اصفهان، باعث شد تا این مطالعه برای تحلیل ارتباط عامل کالبد، به فشردگی ساخت در سطح اکتفا کند و تراکم ساختمانی را نادیده بگیرد. مطالعات آتی می‌توانند در صورت دسترسی به اطلاعات مزبور، آنها را در تکمیل این مطالعه لحاظ کنند. چرا که اگرچه نتایج پژوهش حاضر مکان مند و مبتنی بر زمینه است، اما فرایند آن را می‌توان بر نمونه‌های دیگر اعمال کرد. همچنین این مطالعه، بر اساس هدف و مقیاس، به تحلیل ارتباط معطوف است. بدیهی‌ست که مطالعات آتی می‌توانند با تمرکز بر راهبردها و راهکارهای کاهش و سازگاری برای ارتقای تاب‌آوری اقلیمی در برابر جزایر گرمایی (از جمله در کلانشهر اصفهان) فرایند این مطالعه را تکمیل نمایند.

در این پژوهش بررسی نقشه‌های پراکنش و شدت جزایر گرمایی در شهر اصفهان، بر مبنای نقشه‌های دمای سطح زمین بر اساس تصاویر ماهواره‌ای سنجنده MODIS تهیه شد. با این که تصاویر لندست دقیقتر هستند اما بر اساس مطالعات علمی در اقلیم‌های گرم و خشک مانند شهر اصفهان، جزایر گرمایی بیشتر در شب‌ها تشکیل می‌شود و از آنجا که تصاویر لندست برداشت شب‌هنگام از محدوده مورد مطالعه ندارد، از تصاویر مودیس استفاده شد.

این تصاویر بر اساس پنج سناریو تحلیل گردید. سناریوها متناسب با زمینه اصفهان تدوین شدند. این سناریوها شامل چهار فصل سال و یک سناریو بر اساس جاری بودن رودخانه زاینده‌رود و تأثیر آن بر شدت جزایر گرمایی با استفاده از سنجش از دور، تحلیل فضایی و آزمون همبستگی مورد بررسی قرار گرفت. نتایج نشان می‌دهد شهر اصفهان با اقلیم گرم و خشک، با پدیده جزایر گرمایی در طول شب در تمام سناریوها مواجه است. حال آن‌که در هنگام روز، جزایر گرمایی در تمام سناریوها پدید می‌آید. رودخانه زاینده‌رود در زمان پربابی و پوشش گیاهی سطح شهر منجر به کاهش دمای سطح زمین در طول روز و شب می‌شود. بنابراین جریان دائمی رودخانه و همچنین افزایش پوشش سبزران جزایر گرمایی را تعدیل می‌کند. اصلی‌ترین عامل تشدیدکننده جزایر گرمایی در شهر اصفهان، فشردگی ساخت (نسبت توده به فضا) به عنوان یکی از پارامترهای کلان فرمی است؛ به طوری که فشردگی توده‌های ساختمانی همبستگی بسیار بالایی با دمای سطح زمین در طول شب دارند. آلودگی هوا نیز ارتباط اندک اما معناداری با افزایش دمای سطح زمین در هنگام روز و با تابش خورشید دارد. در بین عوامل مورد بررسی پوشش سبز و آبی شهر مهمترین عامل در تعدیل اثر جزایر گرمایی و پیشگیری از پیدایش آن در بستر شهر اصفهان به شمار می‌آیند. بنابراین شهرسازی با طراحی و خلق فضاهای باز و کریدورهای سبز در مناطق فشرده شهری می‌تواند از حبس گرما در محیط‌های ساخته شده جلوگیری کرده و با ایجاد جریان هوا نقش قابل ملاحظه‌ای در تعدیل این پدیده در شهر اصفهان داشته باشد.

References:

- Alijani, B, Toulabi nejad, M & Sayadi, F. (2017). Calculating of Heat Island Intensity Based on Urban Geometry (Case Study: District of Kucheh bagh in Tabriz), *Journal of Spatial Analysis Environmental Hazards*, 4 (3), 99-112. URL: <http://jsaeh.khu.ac.ir/article-1-2752-fa.html>. [in Persian]
- Babalola, O. S. & Akinsanola, A. A. (2016). Change detection in land surface temperature and land use land cover over lagos metropolis, Nigeria. *Journal of Remote Sensing & GIS*. DOI: 10.4172/2469-4134.1000171
- Bala, R., Prasad, R. & Yadav, V. P. (2020). Thermal sharpening of MODIS land surface temperature using statistical downscaling technique in urban areas. *Theoretical and Applied Climatology*, Volume 141, 935–946. <https://doi.org/10.1007/s00704-020-03253-w>
- Bao, T. et al. (2016). Assessing the distribution of urban green spaces and its anisotropic cooling distance on urban heat island pattern in Baotou, China. *ISPRS International Journal of Geo-Information*. <https://doi.org/10.3390/ijgi5020012>
- Cao, C. et al. (2016). Urban heat islands in China enhanced by haze pollution. *Nature Communications*. <https://doi.org/10.1038/ncomms12509>
- Chaka, D. S. & Oda, T. K., 2019. Understanding land surface temperature on rift areas to examine the spatial variation of urban heat island: the case of Hawassa, southern Ethiopia. *GeoJournal*. <https://doi.org/10.1007/s10708-019-10110-5>
- Chapman, S. et al. (2017). The impact of urbanization and climate change on urban temperatures: a systematic review. *Landscape Ecology*. <https://doi.org/10.1007/s10980-017-0561-4>
- Chen XL, Zhao HM, Li PX, Yin ZY. (2006). Remote sensing image-based analysis of the relationship between urban developments in Hong Kong. *Energy Build.*6(36;2004), 525-34. DOI: 10.1016/j.rse.2005.11.016
- Erdem, U., Cubukcu, M. & Sharifi, A. (2020). An analysis of urban form factors driving Urban Heat Island: the case of Izmir. *Environment, Development and Sustainability*. <https://doi.org/10.1007/s10668-020-00950-4>
- Fallmann, J. (2014). Numerical simulations to assess the effect of urban heat island mitigation strategies on regional air quality, s.l.: PhD thesis, University of Cologne. <http://kups.ub.uni-koeln.de/id/eprint/5913>
- Fallmann, J., Forkel, R. & Emeis, S. (2016). Secondary effects of urban heat island mitigation measures on air quality. *Atmospheric Environment*, 125(A), 199-211. <https://doi.org/10.1016/j.atmosenv.2015.10.094>
- Fernando HJ. (2012). *Handbook of environmental fluid dynamics, overview and fundamentals*. 1st Volume. Boca Raton: CRC Press. ISBN 9780367445874
- Fuladlu, K., & Altan, H. (2021). Examining land surface temperature and relations with the major air pollutants: A remote sensing research in case of Tehran. *Urban Climate*. <https://doi.org/10.1016/j.uclim.2021.100958>
- Giridharan R, Ganesan S, Lau SS. (2004). Daytime urban heat island effect in high-rise and high-density residential. <https://doi.org/10.1016/j.enbuild.2003.12.016>
- Gunawardena, K. R., Wells, M. J. & Kershaw, T. (2017). Utilising green and bluespace to mitigate urban heat island intensity. *Science of the Total Environment*. *Science of The Total Environment*, Volume 584-585, 1040-1055. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2017.01.158>
- Haishan, C. & Lexiang, Q. (2010). A Study of the Relation between the Land Use Types and Urban Heat Island Effect in Guangzhou City Based on Remote Sensing. *International Conference on Image Analysis and Signal Processing heat island and land use/cover changes*. *Remote Sens Environ*. 2006;104(2), 133-46. doi: 10.1109/IASP.2010.5476074.
- Imhoff, M. L., Zhang, P., Wolfe, R. E. & Bounoua, L. (2010). Remote sensing of the urban heat island effect across biomes in the continental USA. *Remote Sensing of Environment*, Volume 114, 504–513. <https://doi.org/10.1016/j.rse.2009.10.008>
- Jamal Jumaah, H. et al. (2019). Air quality index prediction using IDW geostatistical technique and OLS-based GIS technique in Kuala Lumpur, Malaysia. *Geomatics, Natural Hazards and Risk*, 10(1), 2185–2199. <https://doi.org/10.1080/19475705.2019.1683084>
- Klok L, Zwart S, Verhagen H, Mauri E. (2012). The surface heat island of Rotterdam and its relationship with urban, *Resources, Conservation and Recycling*, 64, 23-29. <https://doi.org/10.1016/j.resconrec.2012.01.009>
- Kuang, W. et al. (2015). What are hot and what are

- not in an urban landscape: quantifying and explaining the land surface temperature pattern in Beijing, China. *Landscape Ecology*, 30, 357-373. <https://doi.org/10.1007/s10980-014-0128-6>
- Lemonsu A, Masson V. (2002). Simulation of a summer urban breeze over Paris. *Bound Layer Meteorol*, 104(3), 463-90. <https://doi.org/10.1023/A:1016509614936>
 - Li, H. et al. (2018). Interaction between urban heat island and urban pollution island during summer in Berlin. *Science of the Total Environment*, Volume 636, 818-828. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2018.04.254>
 - Li, Y., Schubert, S., Kropp, J. P. & Rybski, D. (2020). On the influence of density and morphology on the Urban Heat Island intensity. *Nature Communications*, 11. <https://doi.org/10.1038/s41467-020-16461-9>
 - Lubin, D. & Simpson, S. A. (1994). The longwave emission signature of urban pollution: Radiometric FTIR measurement. *Geophysical Research Letters*, 21(1), 37-40. <https://doi.org/10.1029/93GL03374>
 - Madanian, M. et al. (2018). The study of thermal pattern changes using Landsat-derived land surface temperature in the central part of Isfahan province. *Sustainable Cities and Society*, Volume 39, 650-661. <https://doi.org/10.1016/j.scs.2018.03.018>
 - Memon, R. A., Leung, Y. D. & Chunho, L. (2008). A review on the generation, determination and mitigation of Urban Heat Island. *Journal of Environmental Sciences*, 120-128. [https://doi.org/10.1016/S1001-0742\(08\)60019-4](https://doi.org/10.1016/S1001-0742(08)60019-4)
 - Mirzaei, M. et al. (2020). Urban Heat Island Monitoring and Impacts on Citizen's General Health Status in Isfahan Metropolis: A Remote Sensing and Field Survey Approach. *Remote Sensing*, 12. <https://doi.org/10.3390/rs12081350>
 - MODIS. (2021). Moderate Resolution Imaging Spectroradiometer (MODIS). [Online] Available at: <https://modis.gsfc.nasa.gov>.
 - Montaner-Fernández, D. et al. (2020). Spatio-Temporal Variation of the Urban Heat Island in Santiago, Chile during Summers 2005–2017. *Remote Sensing*, 12. <https://doi.org/10.3390/rs12203345>
 - Montazeri, M. & Masoodian, S. A. (2020). Tempo-Spatial Behavior of Surface Urban Heat Island of Isfahan Metropolitan Area. *Journal of the Indian Society of Remote Sensing*, Volume 48, 263–270. <https://doi.org/10.1007/s12524-019-01059-6>
 - Nasehi, S., Yavari, A., & Salehi, E. (2023). Investigating the spatial distribution of land surface temperature as related to air pollution level in Tehran metropolis. *Pollution*, 9(1), 1-14. 10.22059/POLL.2022.330381.1181
 - Ngarambe, J., Joen, S. J., Han, C.-H. & Yun, G. Y. (2021). Exploring the relationship between particulate matter, CO, SO2, NO2, O3 and urban heat island in Seoul, Korea. *Journal of Hazardous Materials*, 403. <https://doi.org/10.1016/j.jhazmat.2020.123615>
 - Odindi, J. O., Bangamwabo, V. & Mutanga, O. (2015). Assessing the value of urban green spaces in mitigating multi-seasonal urban heat using MODIS land surface temperature (LST) and Landsat 8 data *International Journal of Environmental Research*, 9(1), 9-18. <https://api.semanticscholar.org/CorpusID:55733734>
 - Oke, T. R., Mills, G., Christen, A. & Voogt, J. A. (2017). *Urban Climates*. s.l.:Cambridge University Press. <https://doi.org/10.1017/9781139016476>
 - Park, J. et al. (2017). The influence of small green space type and structure at the street level on urban heat island mitigation. *Urban Forestry & Urban Greening*, Volume 21, 203-212. <https://doi.org/10.1016/j.ufug.2016.12.005>
 - Pouramin, K., Khatami, S & Shamsodini A. (2020) Effective Factors of Forming Urban Heat Islands; With an Emphasis on Urban Design Challenges and Features. *Urban Design Discourse a Review of Contemporary Litreatures and Theories*, 1(1), 69-83. URL: <http://udd.modares.ac.ir/article-40-35601-fa.html>. [in Persian]
 - Pramanik, S. & Punia, M. (2020). Land use/land cover change and surface urban heat island intensity: source–sink landscape-based study in Delhi, India. *Environment, Development and Sustainability*, 22, 7331–7356. <https://doi.org/10.1007/s10668-019-00515-0>
 - Shirani-bidabadi, N. et al. (2019). Evaluating the spatial distribution and the Intensity of urban heat island using remote sensing, Case study of Isfahan city in Iran. *Sustainable Cities and Society*, 45, 686-69. <https://doi.org/10.1016/j.scs.2018.12.005>
 - Shoshtari, S, Ghalehnoee, M, Ezzatian, V, Maleki, A, Paknejad, M & rahpou, R. (2018) Studying the combined method in identifying Urban Heat Islands and their Mitigation via Urban Green Spaces (case study: Isfahan City), *Motaleate Shahri*, 7(28), 41-54. doi: 10.34785/J011.2018.015. [in Persian]

- Stone Jr B, Rodgers MO. (2001). Urban Form and Thermal Efficiency: How the Design of Cities Influences the Urban Heat Island Effect, 67 (2), 186-198. doi.org/10.1080/01944360108976228.
- Su, J. G. et al. (2019). Associations of green space metrics with health and behavior outcomes at different buffer sizes and remote sensing sensor resolutions. *Environment International*, 126, 162-170. https://doi.org/10.1016/j.envint.2019.02.008
- Sultana, S. & Satyanarayana, A. N. (2018). Urban heat island intensity during winter over metropolitan cities of India using remote-sensing techniques: impact of urbanization. *International Journal of Remote Sensing*, 39(20), 6692-6730. https://doi.org/10.1080/01431161.2018.1466072
- Susca, T., Gaffin, S. R. & Dell'Osso, G. R. (2011). Positive effects of vegetation: Urban heat island and green roofs. *Environmental Pollution*, 159(8-9), 2119-212. https://doi.org/10.1016/j.envpol.2011.03.007
- Taha H. (1997). Urban climates and heat islands: Albedo, evapotranspiration, and anthropogenic heat. *Energy Build*, 25(2), 99-103. https://doi.org/10.1016/S0378-7788(96)00999-1
- Ulpiani, G. (2021). On the linkage between urban heat island and urban pollution island: Three-decade literature review towards a conceptual framework. *Science of the Total Environment*, Volume 751. https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2020.141727
- United Nations, Department of Economic and Social Affairs. (2022). *Envisaging the Future of Cities*, New York: United Nations.
- Voogt JA, Oke TR. (2003). Thermal remote sensing of urban climates. *Remote Sens Environ*, 86(3):370-84. https://doi.org/10.1016/S0034-4257(03)00079-8
- Wang, J., Huang, B., Fu, D. & Atkinson, P. M. (2015). Spatiotemporal Variation in Surface Urban Heat Island Intensity and Associated Determinants across Major Chinese Cities. *remote sensing*, Volume 7, 3670-3689. https://doi.org/10.3390/rs70403670
- Wong, N. H. & Yu, C. (2005). Study of green areas and urban heat island in a tropical city. *Habitat International*, 29(3), 547-558. https://doi.org/10.1016/j.habitatint.2004.04.008
- Wu, H. et al. (2019). Relieved Air Pollution Enhanced Urban Heat Island Intensity in the Yangtze River Delta, China. *Aerosol and Air Quality Research*, Volume 19, 2683-2696. https://doi.org/10.4209/aaqr.2019.02.0100
- Xiao, X. D. et al. (2018). The influence of the spatial characteristics of urban green space on the urban heat island effect in Suzhou Industrial Park. *Sustainable Cities and Society*, Volume 40, 428-439. https://doi.org/10.1016/j.scs.2018.04.002
- Xu, L. et al. (2019). Assessing the adaptive capacity of urban form to climate stress: a case study on an urban heat island. *Environmental Research Letters*, 14. 10.1088/1748-9326/aafe27
- Yang F, Lau SS, Qian F. (2010). Summertime heat island intensities in three high-rise housing quarters in inner-city Shanghai China: Building layout, density and greenery. *Building and Environment*, 45, 115-134. https://doi.org/10.1016/j.buildenv.2009.05.010
- Yang L, Qian F, Song DX, Zheng KJ. (2016). Research on urban heat-island effect. *Procedia Eng*. 169:11-8. https://doi.org/10.1016/j.proeng.2016.10.002
- Yu, X., Guo, X. & Wu, Z. (2014). Land Surface Temperature Retrieval from Landsat 8 TIRS—Comparison between Radiative Transfer Equation-Based Method, Split Window Algorithm and Single Channel Method. *Remote Sensing*, Volume 6, 9829-9852. https://doi.org/10.3390/rs6109829
- Zhao, L. et al. (2018). Interactions between urban heat islands and heat waves. *Environmental Research Letters*, 13. 10.1088/1748-9326/aa9f73
- Zhou, B., Rybski, D. & Kropp, J. R. (2017). The role of city size and urban form in the surface urban heat island. *Scientific Reports*, 7. https://doi.org/10.1038/s41598-017-04242-2

نحوه ارجاع به مقاله:

قاسمی، الهام؛ ناظمی، زهرا؛ مختارزاده، صفورا و سلیمانی، مهدی (۱۴۰۲) تحلیل همبستگی عوامل کلان‌مقیاس محیط طبیعی و مصنوع با شدت جزایر گرمایی شهری (نمونه مورد مطالعه: کلانشهر اصفهان)، مطالعات شهری، 13 (49)، 17-32. <https://doi.org/10.22034/urbs.2023.62764.90>

Copyrights:

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

