



Research Paper

Spatiotemporal Analysis of the Urban Heat Island in Babolsar

Taher Safarrad^{*1} , Yadollah Yousefi² , Adeleh Gholizadeh Pasha³ 

¹ Associate Professor of Climatology, Department of Geography and Urban Planning, Faculty of Humanities and Social Sciences, University of Mazandaran, Iran.

² Associate Professor of Climatology, Department of Geography and Urban Planning, Faculty of Humanities and Social Sciences, University of Mazandaran, Iran.

³ MSc in Climatology, Department of Geography and Urban Planning, Faculty of Humanities and Social Sciences, University of Mazandaran, Iran.



[10.22080/usfs.2025.27956.2479](https://doi.org/10.22080/usfs.2025.27956.2479)

Received:

December 19, 2024

Accepted:

June 3, 2025

Available online:

October 22, 2025

Keywords:

Urban Heat Island, LST, NDVI, Babolsar

Abstract

This research investigated the spatiotemporal dynamics of the urban heat island (UHI) effect in Babolsar through the analysis of Landsat satellite imagery acquired between 1985 and 2020. The TM, OLI, and TIRS sensors were employed to capture sixteen images corresponding to the summer and winter seasons. The images underwent atmospheric and radiometric corrections, followed by the estimation of emissivity values using the Normalized Difference Vegetation Index (NDVI) to derive land surface temperature (LST) variations. The UHI intensity was calculated as the difference between the average temperature of suburban areas and the LST value of the city for each image. The findings revealed that the UHI effect in Babolsar was more pronounced during the summer than in the winter, likely due to factors such as increased daylight hours, higher demand for cooling systems, and reduced vegetation cover during the summer months. Furthermore, Pearson's correlation test indicated a significant inverse relationship between NDVI and the intensity of the UHI in both central and suburban areas of Babolsar at a 99% confidence level. This correlation suggests that urban green spaces may play a vital role in mitigating the UHI effect. Analysis of thermal maps over the 35-year period and the application of Pearson's correlation test highlighted elevated temperatures in Babolsar's central regions. Built-up and barren lands exhibited the highest temperatures, while green spaces exhibited the lowest temperatures. The decline in vegetation, coupled with an increase in population and subsequent urban expansion, have collectively contributed to the observed temperature rise in Babolsar.

Copyright © 2024 The Authors. Published by University of Mazandaran. This work is published as an open access article distributed under the terms of the Creative Commons Attribution 4.0 License (<http://creativecommons.org/licenses/by-nc/4>). Non-commercial uses of the work are permitted, provided the original work is properly cited.

*Corresponding Author: Taher Safarrad

Address: Department of Geography and Urban Planning, Faculty of Humanities and Social Sciences, University of Mazandaran, Iran.

Tel: 09370286321

Email: t.safarrad@umz.ac.ir

1. Introduction

Climate change, driven by anthropogenic and natural forces, poses significant threats to global ecosystems and the well-being of all living organisms (Li et al., 2014). Urbanization has exacerbated this issue, with cities now occupying a larger percentage of the Earth's surface area than in previous years (Grimm et al., 2000; Masek et al., 2000). One significant consequence of urbanization is the urban heat island effect, in which built-up urban areas experience higher temperatures compared to surrounding rural regions (Landsberg, 1981). This effect is of great concern due to its impacts on public health, energy consumption, and the environment (Yamamoto, 2006). Research indicates that the intensity of the heat island effect varies depending on factors such as temperature and time of day, with maximum intensity typically observed at night and minimum intensity during the daytime. Moreover, this phenomenon not only affects temperature but also leads to changes in urban precipitation patterns, the timing of plant flowering, and an extension of the summer season. These altered temperature patterns lead to the transfer of air pollution and suspended particles from urban centers to suburban areas, negatively affecting the comfort and health of urban residents. As a result, there is growing concern among the scientific community regarding the health impacts of heat islands.

2. Research Methodology

Landsat satellite data was collected using the TM, OLI, and TIRS sensors, providing the means to extract sixteen images of the city during the summer and winter seasons between 1985 and 2020. The images were corrected for atmospheric and radiometric effects, and emissivity was calculated through atmospheric

corrections and Normalized Difference Vegetation Index (NDVI) calculations. Subsequently, the resulting surface temperature data was used to quantify the urban heat island effect by comparing the average temperature of the suburbs to the land surface temperature (LST) value for each image.

3. Research Findings

The urban heat island (UHI) effect refers to the observation that cities are generally warmer than their rural surroundings. This phenomenon is primarily driven by urbanization, which replaces natural land cover, such as vegetation and barren land, with impermeable surfaces. These surfaces tend to retain less water, provide less shade, and possess different thermal properties than their natural counterparts, resulting in changes to the local energy balance and contributing to higher urban temperatures.

An analysis of Landsat data from 1985 to 2020 revealed that the extent of the UHI increased during both summer and winter, with the effect being more pronounced during the summer months. Additionally, the surface temperature of the city center was observed to increase during the summer and decrease during the winter, likely due to the urban environment's increased absorption of solar energy. The temperature differential between the city center and the surrounding area led to forming a small but significant urban heat island.

4. Conclusion

The analysis of the urban heat island (UHI) intensity in the study area revealed a higher UHI effect during the summer months compared to the winter months. The increased solar energy absorption in the urban environment contributed to higher temperatures in the city center,



forming a heat island during the summer. The temperature differential between the city center and the surrounding area resulted in a small but significant UHI effect.

Furthermore, the results of land surface temperature maps derived from satellite imagery over 35 years and Pearson's correlation test indicated that higher temperatures were generally observed in man-made areas of Babolsar. These areas are characterized by different land uses, such as high urban construction density, and are influenced by various land cover types. Proximity to barren lands increased urban land temperatures, while proximity to vegetation had a cooling effect.

One of the primary drivers of the Babolsar UHI effect is the decrease in vegetation cover and the increase in population and construction. These changes can have significant impacts on various aspects of urban life, including air

quality, greenhouse gas emissions, energy consumption, public health, and quality of life. The hottest areas in Babolsar, constituting the UHI, were identified in the summer season and areas with high population density, building density, and low vegetation cover in the suburbs and the city center.

Funding

There is no funding support.

Authors' Contribution

The authors contributed equally to the conceptualization and writing of the article. All of the authors approved the content of the manuscript and agreed on all aspects of the work.

Conflict of Interest

The authors declared no conflict of interest.

Acknowledgments

We are grateful to all the persons for scientific consulting in this paper.



علمی پژوهشی

واکاوی تغییرات زمانی-مکانی جزیره حرارتی شهر بابلسر

طاهر صفرراد^{۱*}، یداله یوسفی^۲، عادلہ قلیزاده پاشا^۳

^۱ دانشیار اقلیم‌شناسی، گروه جغرافیا و برنامه ریزی شهری، دانشکده علوم انسانی و اجتماعی، دانشگاه مازندران، بابلسر، ایران.
^۲ دانشیار اقلیم‌شناسی، گروه جغرافیا و برنامه ریزی شهری، دانشکده علوم انسانی و اجتماعی، دانشگاه مازندران، بابلسر، ایران.
^۳ کارشناسی ارشد اقلیم‌شناسی، گروه جغرافیا و برنامه ریزی شهری، دانشکده علوم انسانی و اجتماعی، دانشگاه مازندران، بابلسر، ایران.

doi: [10.22080/usfs.2025.27956.2479](https://doi.org/10.22080/usfs.2025.27956.2479)

چکیده

مطالع؛ پیش رو به بررسی جزیره حرارتی بابلسر پرداخته است. گسترش این پدیده در بعد مکان و زمان متغیر است. در این پژوهش از ماهواره لندست استفاده شده است. برای این منظور از سنجنده‌های TM و OLI و TIRS جهت استخراج شازنده تصویر مربوط به فصل تابستان و زمستان از سال ۱۹۸۵ تا ۲۰۲۰ استفاده شده است. در این راستا تصحیحات اتمسفری و رادیومتریکی اعمال شد و از طریق شاخص NDVI مقدار Emissivity مورد محاسبه قرار گرفت و تغییرات درجه حرارت سطح زمین به دست آمد. در مرحله بعد با اندازه‌گیری میانگین درجه حرارت حومه شهر و اختلاف آن با مقدار دمای سطح زمین (LST) جزیره حرارتی شهر برای هر یک از تصاویر به دست آمد. یافته‌ها نشان داد که اثر جزیره گرمایی شهری (UHI) در بابلسر در طول فصل تابستان بیشتر از فصل زمستان است که احتمالاً به دلیل عواملی مانند افزایش ساعات روز، تقاضای بیشتر برای سیستم‌های خنک‌کننده و کاهش پوشش گیاهی در طول ماه‌های تابستان است. همچنین آزمون همبستگی پیرسون نشان داد که بین NDVI و شدت UHI در هر دو نواحی مرکزی و حومه بابلسر در سطح اطمینان ۹۹ درصد رابطه معکوس وجود دارد. این همبستگی نشان می‌دهد که فضاهای سبز شهری ممکن است نقشی حیاتی در کاهش اثر UHI ایفا کنند. تجزیه و تحلیل نقشه‌های حرارتی در دوره ۳۵ ساله و استفاده از آزمون همبستگی پیرسون، دمای بالا را در مناطق مرکزی بابلسر برجسته کرد. زمین‌های ساخته‌شده و بایر بالاترین دما و فضاهای سبز کمترین دما را نشان دادند. کاهش پوشش گیاهی، همراه با افزایش جمعیت و متعاقب آن گسترش شهری، در مجموع به افزایش دمای مشاهده‌شده در بابلسر کمک کرده است.

تاریخ دریافت:

۲۹ آذر ۱۴۰۳

تاریخ پذیرش:

۱۳ خرداد ۱۴۰۴

تاریخ انتشار:

۳۰ مهر ۱۴۰۴

کلیدواژه‌ها:

جزیره حرارتی؛ لندست؛ NDVI؛ بابلسر

* نویسنده مسئول: طاهر صفرراد

آدرس: گروه جغرافیا و برنامه ریزی شهری، دانشکده علوم انسانی و اجتماعی، دانشگاه مازندران، بابلسر، ایران.

تلفن: ۰۹۳۷۰۲۸۶۳۲۱

ایمیل: t.safarrad@umz.ac.ir



۱ مقدمه

رشد بی‌رویه و تراکم ساختمان‌ها به‌خصوص در مراکز شهری مشکلاتی برای ساکنین شهرها ایجاد کرده که تا آن زمان بی‌سابقه بود. یکی از مسائل که در نتیجه رشد بدون برنامه‌ریزی در شهرها به وجود آمد، پدیدهٔ جزیرهٔ حرارتی است. جزیرهٔ حرارتی مشخص‌ترین اثر شهر بر ویژگی‌های آب‌وهوایی هر مکانی است (کاویانی^۱، ۲۰۰۱). این پدیده به شکل افزایش دمای محیط شهری نسبت به مناطق اطراف خود پدیدار می‌شود (Solecki et al, 2004). در میان موضوعات محیطی مهم که با فعالیت‌های انسانی ارتباط دارد، اثر جزیرهٔ حرارتی شهری یکی از مهم‌ترین مشکلات جوامع شهری بوده است. اثر جزیرهٔ حرارتی را به‌عنوان آشکارترین و بهترین نمونهٔ مستند از دست‌کاری ناخواسته در اقلیم به‌شمار می‌آورند (علیجانی^۲ و همکاران، ۲۰۱۷). جزیرهٔ حرارتی هنگامی شکل می‌گیرد که درصد زیادی از پوشش‌های طبیعی جای خود را به ساختمان‌ها، جاده‌ها و سایر تأسیسات شهری می‌دهند. این تغییر باعث می‌شود تابش ورود طی روز در لابه‌لای ساختار شهری به دام بیفتد و در هنگام شب بازتابش شود؛ در نتیجه فرآیند سردشدن طبیعی سطح زمین طی شب با سرعت کمتری اتفاق می‌افتد. بنابراین، دمای هوای شهرها معمولاً از دمای هوا در مناطق حومه بیشتر خواهد بود (Oke, Wang et al, 2015; 1967). لوک هوارد در اواخر قرن ۱۹ میلادی متوجه شد که دمای هوای لندن به‌طور قابل توجهی بالاتر از دمای مناطق اطراف آن است. سال‌های زیادی گذشت تا این پدیده به نام جزیرهٔ حرارتی شهری (UHI^۳) شناخته شد. مطالعهٔ جزیرهٔ حرارتی شهری ابتدا با داده‌های ایستگاه‌های هواشناسی یا پیمایش‌های انجام‌شده به کمک وسایل نقلیه انجام می‌شد؛ اما به خاطر مشکلات این روش‌ها، امروزه از داده‌های ماهواره‌ای و سنجش از دور استفاده می‌شود. مزایای استفاده از داده‌های

سنجش از دور، قدرت تفکیک مکانی بالا، داده‌های پایدار و دارای همپوشانی و همچنین توانایی اندازه‌گیری پارامترهای سطح زمین می‌باشد (Streutker, 2002).

مطالعهٔ جزایر حرارتی شهری با سنجش از دور، ابتدا با بهره‌گیری از داده‌های ماهواره‌ای پرتاب‌شده در دههٔ ۱۹۳۱ (TIRS, NOAA, HCMM) که حاصل اولین سنجنده‌های مادون قرمز حرارتی غیرنظامی بودند، آغاز شد. این سنجنده‌ها جزء سنجنده‌های با قدرت تفکیک مکانی پایین محسوب می‌شوند؛ اما با پیشرفت فناوری سنجش از دور، تصاویر مادون قرمز حرارتی با قدرت تفکیک مکانی متوسط و بالا (TM, ETM+, ASTER) به‌طور گسترده‌ای جهت مطالعهٔ تغییرات فضایی و زمانی درجه حرارت سطحی شهرها و ارتباط آن با خصوصیات پوشش سطح زمین به کار گرفته شدند (Weng et al, 2004). روند تحولات الگوی فضایی جزیرهٔ حرارتی ناشی از تغییر سیاست‌های کالبدی عملکردی و فعالیت‌های انسانی است (رضایی راد و رفیعیان^۴، ۲۰۱۷).

براساس یافته‌ها، شدت جزیرهٔ گرمایی در دماهای کمینه نمود بارزتری دارد. بنابراین بیشینهٔ شدت جزیرهٔ گرمایی معمولاً در ساعات شبانه و کمینهٔ آن در ساعات روزانه رخ می‌دهد. وجود جزیرهٔ گرمایی اضافه بر تغییرات دمایی سبب تغییراتی در بارش محدودهٔ شهری، گل‌دهی زودتر گیاهان شهری و طولانی‌تر شدن فصل تابستان می‌شود. تغییر در الگوهای دمایی شهرها و پیرامون آن‌ها سبب انتقال آلودگی هوا و ذرات معلق سمی از شهرها به حومه‌ها و برهم زدن آسایش افراد درون شهر می‌شود. به همین دلیل جزایر گرمایی در حال حاضر به‌طور مستقیم و غیرمستقیم از عوامل ایجاد نگرانی در خصوص سلامت افراد به‌شمار می‌روند (Yamamoto, 2006).

^۳ Urban Heat Island

^۴ Rezaeirad & Rafieyan

^۱ Kaviyani

^۲ Alijani



مناطق شهری باعث ذخیره‌سازی گرمای بیشتر در سطح زمین می‌گردد (Safarrad et al, 2022). این تغییر منجر به تفاوت قابل اندازه‌گیری بین مناطق شهری و پیرامونی می‌شود.

عموماً یافته‌ها (Yamamoto, 2006) چهار عامل زیر را اصلی‌ترین دلایل ایجاد جزیرهٔ حرارتی شهری می‌دانند:

- افزایش انتشار حرارت ناشی از فعالیت‌های انسانی که غالباً ناشی از مصرف انرژی در مناطق شهری است.
- تغییرات پوشش سطح زمین که سبب کاهش ظرفیت تبخیر و تعرق سطحی به دلیل فضای سبز کمتر می‌شود و اثر نگهداشت حرارت به واسطهٔ مصالح ساختمانی مانند بتن و آسفالت.
- ساختار شهری، به واسطهٔ ساختمان‌های متراکم و گسترش مناطق شهری، ایستایی حرارت در محیط شهری را سبب می‌شود.
- سایر موارد مانند اثرات گلخانه‌ای، آلودگی هوای ریز ذرات در جو شهری.

۲٫۲ پیامدهای جزایر حرارتی شهری

جزایر حرارتی شهری به خاطر تأثیرگذاری روی زندگی بسیاری از انسان‌ها بسیار مورد توجه قرار می‌گیرند. جزایر حرارتی شرایط آب‌وهوایی تابستان را سخت‌تر و استفاده از دستگاه‌های تهویهٔ هوا را بیشتر می‌کنند. شرایط ازن تحت تأثیر گسیل، اختلاط و پراکندگی انعکاس‌های شیمیایی در اتمسفر قرار می‌گیرد و جزایر حرارتی شهری منجر به تشدید آن می‌شود. علاوه بر این با افزایش دما، تولید هیدروکربن گیاهان افزایش می‌یابد که خود از دلایل افزایش آلودگی هوا می‌باشد. از طرفی در پس‌زمینهٔ گرمایش جهانی، تعامل بین امواج گرما (HWS) و جزیرهٔ گرمایی شهری (UHI) منجر به روند افزایش شدت، فراوانی و مدت رویدادهای گرمای شدید در

لطفی و علیزاده^۱ (۲۰۲۴) ارتباط بین روند تغییرات کاربری و پوشش زمین و دمای سطح زمین، با استفاده از تصاویر ماهواره‌ای سنجندهٔ مادیس طی سال‌های ۲۰۱۲ تا ۲۰۲۲ در استان مازندران بررسی کردند و از طریق تحلیل لکه‌های داغ نشان دادند که به دنبال تغییرات پوشش زمین در منطقهٔ مورد مطالعه، دمای شبانهٔ استان در طول این دوره به میزان ۱/۰۲ درجهٔ سانتی‌گراد و دمای روزانهٔ آن به میزان ۱/۸۹ درجهٔ سانتی‌گراد افزایش یافته است.

منصوری^۲ و همکاران (۲۰۲۳) تأثیر گسترش شهری بر تغییرات مکانی جزیرهٔ حرارتی شهر ساری را با استفاده از تصاویر ماهوارهٔ لندست طی سال‌های ۱۹۹۰ تا ۲۰۲۰ بررسی و مشخص کردند که طی دورهٔ مورد مطالعه، دما در شهر ساری افزایش یافته است و این افزایش بیشتر ناشی از افزایش سطوح انسان‌ساخت و تغییر در کاربری زمین رخ داده است.

با توجه به اینکه تاکنون پژوهشی جامع در رابطه با جزیرهٔ حرارتی بابل‌سر انجام نشده است و شهر بابل‌سر به‌عنوان یکی از مکان‌های جاذب جمعیت در سال‌های اخیر تغییرات زیادی را تجربه کرده است، نیازمند واکاوی زمانی و مکانی این تغییرات در رابطه با خرد اقلیم است این پژوهش سعی دارد تا به بررسی تغییرات زمانی و مکانی جزیرهٔ حرارتی بابل‌سر طی دورهٔ ۱۹۸۵ تا ۲۰۲۰ طی دو فصل تابستان و زمستان بپردازد.

۲ مبانی نظری

۲٫۱ جزیرهٔ حرارتی شهری

سهم و نسبت زیادی از جمعیت جهان یا در حال حرکت به سمت شهرنشینی بوده و یا به این امر دچار شده‌اند. روند شهرنشینی و متراکم‌سازی شهری برای اقلیم و آب‌وهوای محلی مهم است؛ زیرا مسبب تغییرات در ساختار کالبدی و بافت‌های شهری می‌شود، در نتیجه تغییر تعادل انرژی در

^۲ Mansouri

^۱ Lotfi & Alizadeh



پیش‌بینی می‌شود، شهرهای جهان ۱۱ درصد از بازده اقتصادی خود را بر اثر پدیده‌ی جزایر حرارتی شهری از دست خواهند داد. مطالعه‌ای که روی بیش از ۱۶۹۰ شهر در سراسر جهان انجام شده است، نشان می‌دهد اگرچه روند گرم‌شدن زمین همه‌ی مردم را تحت تأثیر خود قرار می‌دهد، اما شهرها بیش از سایر نقاط جهان گرم خواهند شد. طبق یافته‌های این مطالعه تا پایان قرن حاضر شهرها به‌طور متوسط ۷ درجه‌ی سانتی‌گراد بیش از سایر نقاط گرم می‌شوند. بالا رفتن دما در اثر جزیره‌ی حرارتی تأثیراتی بر محیط زندگی و کیفیت جوامع می‌گذارد. جزایر گرمایی می‌توانند تأثیر فرعی بر آب‌وهوای محلی نیز داشته باشند که تغییر الگوی بادهای محلی، گسترش ایجاد ابر و مه و تغییر در رطوبت و اندازه‌ی بارش را در برمی‌گیرد (Akbari et al., 2005).

افزایش تقاضای برق، برای تهویه‌ی هوای داخل ساختمان‌ها، میزان غلظت هوا و افزایش انتشار آلودگی‌های نیروگاه برق از جمله، دی‌اکسید گوگرد، مونواکسید کربن، اکسید نیتروژن و ذرات معلق می‌شود. دمای سطح از مناطق شهری رابطه‌ی نزدیکی با ساختار کالبدی و بافت‌های سطوح شهری دارند. جزیره‌ی حرارتی شهر می‌تواند منجر به افزایش اوج تقاضای برق در مناطق شهری شود که به‌نوبه‌ی خود شبکه‌های برق را تحت فشار قرار دهد و خطر خاموشی را افزایش دهد (Shtepani, & Yunitsyna, 2017).

تغییر در دمای سطح زمین نه‌تنها به تغییر در نوع کاربری و پوشش زمین بستگی داشته، بلکه به شکل‌گیری و افزایش اثر گلخانه‌ای هم ارتباط پیدا می‌کند. دمای بالاتر در تابستان، افزایش تقاضای انرژی برای سرمایش را به همراه دارد و به فشار بر شبکه‌ی برق در مدت اوج مصرف برق می‌انجامد و اثر جزایر گرمایی ۵ الی ۱۰ درصد از اوج تقاضای برق برای سرمایش ساختمان‌ها را در شهرها بر عهده دارد (Pielke, 2011).

بررسی‌ها نشان می‌دهد سالانه دمای جزیره‌ی حرارتی شهری در شهرهای پاکستان به‌ویژه

مناطق شهری شده است که سلامت جمعیت شهری را به‌طور جدی تهدید می‌کند (Luo et al, 2023). امروزه برای کاهش اثرات جزیره‌ی حرارتی شهری راه‌حل‌های پیشنهادی مختلفی وجود دارد که بنیان بیشتر آن‌ها زیرساخت‌های سبز است (Abu Farrag, 2024).

اگرچه شکل‌گیری جزیره‌ی حرارتی در اکثر شهرها قابل انتظار است، اما ویژگی‌های جغرافیایی مکان در شکل‌گیری این پدیده نقش زیادی دارد. وضعیت آب‌وهوای محلی و بزرگ‌مقیاس، فصل، زمان روز، اندازه، جمعیت و موقعیت جغرافیایی شهر، مورفولوژی شهری گرمای انسان‌ساخت عوامل مؤثر در شکل‌گیری آن هستند (Kim & Baik, 2004).

این پدیده سبب بروز امواج گرمای شدید در طول تابستان می‌شود. شکل‌گیری موج گرما در شهرهای بزرگ سالانه به قربانی شدن هزاران نفر می‌انجامد. افزایش مصرف انرژی، افزایش سطح گازهای گلخانه‌ای و آلاینده‌ها و کاهش سطح کیفیت آب دیگر تبعات ایجاد جزایر حرارتی شهری هستند. مطالعات نشان می‌دهند در ازای افزایش دمایی برابر با یک درجه فارنهایت یا ۰/۶ سانتی‌گراد، مصرف انرژی برای خنک نگه‌داشتن محیط‌های داخلی ۱/۵ تا ۲ درصد افزایش می‌یابد (Akbari et al, 2005).

دمای آب باران به دلیل اثر خنک‌کنندگی تبخیر و آزاد شدن گرمای نهان در هنگام تراکم در جو فوقانی به‌طور کلی کمتر از دمای هوای محیط است (Dingman, 2002) و بسته به عواملی مانند ارتفاع پایه‌ی ابر، شدت بارندگی و دمای هوای اطراف می‌تواند متفاوت باشد. (Matthews, 2012) در مناطق شهری، دمای آب باران می‌تواند تحت تأثیر جزیره‌ی گرمایی شهری (UHI) قرار گیرد که منجر به دمای آب باران بالاتر در مقایسه با مناطق روستایی می‌شود (Shepherd and Burian, 2003). ورود این آب گرم به فاضلاب‌ها و مسیر سیلاب‌ها و نفوذ آن به دریاچه‌ها، رودخانه‌ها و برکه‌ها می‌تواند اکوسیستم‌های آبی را تحت تأثیر قرار دهد و حتی برخی گونه‌های آبی را با خطر مرگ روبه‌رو سازد.

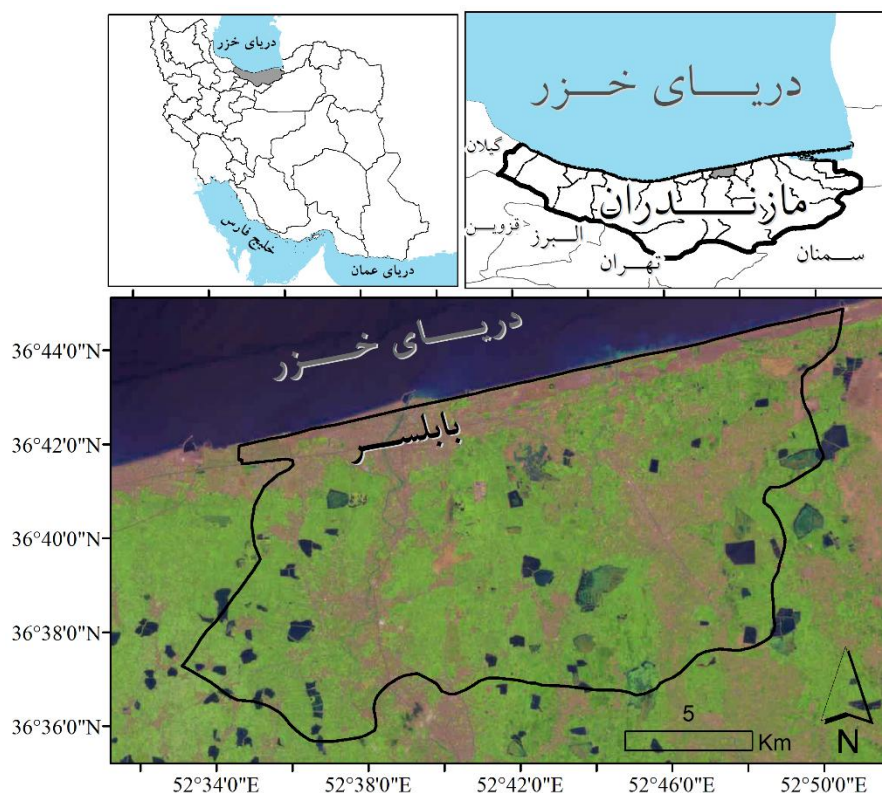


نفر جمعیت دارد که معادل ۴/۴ درصد جمعیت کل استان است. بابلسر با پهنه ۱۳۵۰ هکتار در مصب رودخانه بابل رود و در کرانه جنوبی دریای خزر و ۵۲ درجه و ۳۹ دقیقه و ۳۰ ثانیه طول جغرافیایی و ۳۶ درجه و ۴۳ دقیقه عرض جغرافیایی قرار دارد. بخش شمالی بابلسر ۲۷ - متر و بخش جنوبی آن ۱۵- متر ارتفاع از سطح دریا دارد و دارای یک شیب عمومی از جنوب به شمال (کمتر از ۰/۵ و یا ۵ در هزار) است.

اسلام‌آباد ۰/۱۸ و پیشاور ۰/۱۹ درجه سانتی‌گراد افزایش می‌یابد و این نرخ افزایش در ارتباط مستقیم با افزایش وسعت این شهرهاست (Ahmad et al, 2025)

۳ روش تحقیق

موقعیت جغرافیایی منطقه مورد مطالعه: بابلسر یکی از شهرهای ساحلی استان مازندران در شمال ایران قرار دارد (شکل ۱). شهرستان بابلسر ۱۲۴۳۲۳



شکل ۱. موقعیت جغرافیایی شهرستان بابلسر، تصویر ماهواره‌ای لندست ۲۰/۲۰۰۷/۲۰ ترکیب رنگی ۳۲۱

زمستان و تابستان استفاده شد (جدول ۱). وضعیت پارامترهای جوی در روزهای تصویربرداری از ایستگاه همدیدی بابلسر دریافت شد (جدول ۲).

داده‌های مورد استفاده: در این پژوهش جهت دستیابی به نتایج صحیح، از نمونه‌برداری منطقه مورد مطالعه برای نمایش نقاط مرجع، استفاده شد و نیز از تصاویر ماهواره‌ای لندست در دو فصل



جدول ۱. تاریخ و نوع ماهواره‌ها برای تصاویر استفاده‌شده در فصل زمستان و تابستان

ردیف	تاریخ تصویربرداری	ماهواره	ردیف	تاریخ تصویربرداری	ماهواره
۱	۱۹۸۵/۰۶/۰۲	لندست ۵	۹	۱۹۸۵/۱۲/۰۸	لندست ۴
۲	۱۹۹۰/۰۷/۱۸	لندست ۵	۱۰	۱۹۹۰/۰۱/۰۱	لندست ۵
۳	۱۹۹۵/۰۷/۱۳	لندست ۵	۱۱	۱۹۹۵/۰۲/۰۶	لندست ۵
۴	۲۰۰۰/۰۸/۱۴	لندست ۵	۱۲	۲۰۰۰/۰۲/۰۳	لندست ۵
۵	۲۰۰۵/۰۸/۱۷	لندست ۷	۱۳	۲۰۰۵/۰۱/۰۵	لندست ۷
۶	۲۰۱۰/۰۸/۰۷	لندست ۵	۱۴	۲۰۱۰/۰۱/۲۴	لندست ۵
۷	۲۰۱۵/۰۸/۰۵	لندست ۸	۱۵	۲۰۱۵/۰۱/۲۵	لندست ۸
۸	۲۰۲۰/۰۷/۲۰	لندست ۸	۱۶	۲۰۲۰/۰۱/۰۷	لندست ۸

منبع: یافته‌های پژوهش

(جدول ۲) و همان‌طور که مشاهده می‌شود تقریباً در تمام روزهای مورد مطالعه، سرعت باد در روزهای مورد نظر بین صفر تا ۳ نات است. این امر شناسایی بهتر جزیره حرارتی را مهیا می‌کند و محقق می‌تواند اختلاف دمای شهر و حومه را بهتر درک کند. بنابراین به‌عنوان یکی از پیش‌شرط‌های انتخاب روزهای مورد نظر اعمال گردید. همچنین مقدار ابرناکی هم طوری انتخاب شد که منطقه مورد نظر در روز انتخابی کمترین پوشش ابر را داشته باشد.

سرعت و جهت باد نقش زیادی در تغییرات مکانی هسته جزیره حرارتی دارد و از لحاظ الگوهای همدیدی جوی نیز جزیره حرارتی تهران در زمان حاکمیت شرایط پُرفشاری به علت سکون هوا افزایش می‌یابد و در شرایط کم‌فشاری عکس این حالت رخ می‌دهد (شمسی‌پور و همکاران، ۲۰۱۲؛ عزیزی و همکاران، ۲۰۱۳). به همین جهت برای اینکه روزهای مورد مطالعه قابل مقایسه شوند و بتوان اثر جزیره حرارتی را مشاهده نمود، برای روزهای مورد مطالعه سرعت باد در ایستگاه بابلسر استخراج شد



جدول ۲. پارامترهای جوی ایستگاه هواشناسی بابلسر در روزهای تصویربرداری، دما برحسب درجه سانتی گراد، باد برحسب نات و بارندگی برحسب میلی متر

ردیف	تاریخ	کمینه دما	بیشینه دما	میانگین دما	میانگین سرعت باد	بارندگی
۱	۱۹۸۵/۶/۲	۱۶،۴	۲۹،۵	۲۲،۹	۲	۰
۲	۱۹۸۵/۱۲/۸	۱۱،۲	۱۶	۱۳،۶	۰	۰
۳	۱۹۹۰/۱/۱	۱	۱۷،۲	۹،۱	۰	۰
۴	۱۹۹۰/۷/۱۸	۲۰،۵	۳۰،۴	۲۵،۴	۲	۲
۵	۱۹۹۵/۲/۶	۳،۶	۱۳	۸،۳	۶،۸	۱
۶	۱۹۹۵/۷/۱۳	۲۳	۳۲،۶	۲۷،۸	۱	۰
۷	۲۰۰۰/۲/۳	۵	۱۶	۱۰،۵	۰	۲
۸	۲۰۰۰/۸/۱۴	۲۱،۴	۳۲،۵	۲۶،۹	۲	۰
۹	۲۰۰۵/۱/۵	۵	۱۴،۲	۹،۶	۱،۱	۳
۱۰	۲۰۰۵/۸/۱۷	۲۳،۲	۳۳،۶	۲۸،۴	۱	۰
۱۱	۲۰۱۰/۱/۲۴	۵،۲	۱۰،۸	۸	۰	۱
۱۲	۲۰۱۰/۸/۷	۲۴،۲	۳۴،۲	۲۹،۲	۱	۰
۱۳	۲۰۱۵/۱/۲۵	۳،۴	۹،۸	۶،۶	۰	۱
۱۴	۲۰۱۵/۸/۵	۲۳،۴	۳۳	۲۸،۲	۱	۰
۱۵	۲۰۲۰/۱/۷	۵،۸	۱۴،۵	۱۰،۲	۰	۱
۱۶	۲۰۲۱/۷/۲۰	۲۶	۳۴،۲	۳۰،۱	۱	۰

مراحل استخراج جزیره حرارتی شهر:

فرآیند استخراج جزیره حرارتی شهر طی چهار مرحله (شکل ۲) انجام شد:



شکل ۲. مراحل انجام فرآیند استخراج جزیره حرارتی شهر

الف: **دانلود تصاویر** از منطقه مورد نظر که کمترین میزان ابرناکی را داشتند و در روزهای تعیین شده

ب: **پیش پردازش داده ها** که شامل تصحیح اتمسفریک (استفاده از الگوریتم QUAC^۱)، تصحیح رادیومتریک (تبدیل مقادیر روشنایی (DN^۲) به رادیانس و بازتاب طیفی - (رابطه ۱ و ۲) و تصحیح حرارتی (تبدیل داده های

$$L_{\lambda} = Gain \times DN + Bias \quad \text{رابطه ۱}$$

$$\rho_{\lambda} = \pi \times L_{\lambda} \times d^2 / ESUN_{\lambda} \times \cos \theta \quad \text{رابطه ۲}$$

$$BT = \frac{K2}{\ln\left[\left(\frac{K1}{L_{\lambda}}\right) + 1\right]} - 273.15 \quad \text{رابطه ۳}$$

رادیانس به دمای درخشندگی (BT^۳) - رابطه شماره ۳) بود.

Gain و Bias و K1 و K2 ضرایب کالیبراسیون سنجنده هستند که برای هر تصویر از روی فایل

^۳ Brightness Temperature

^۱ Quick Atmospheric Correction

^۲ Digital Number



د: جزیره حرارتی شهری^۵، UHI مناطق شهری معمولاً گرم‌تر از محیط روستایی خود هستند، پدیده‌ای که تحت عنوان جزیره حرارتی شهر شناخته می‌شود. با توسعه شهرها، پوشش طبیعی زمین اعم از پوشش گیاهی و زمین بایر از بین می‌رود، زیرساخت‌های شهری جایگزین آن می‌شوند. تغییر در پوشش زمین منجر به ایجاد سطوح نفوذناپذیر خواهد شد که سایه و رطوبت کمتر برای خنک نگه داشتن مناطق شهری دارد. سطوح نفوذناپذیر هم‌زمان که آب کمتری را در خود نگه می‌دارند از لحاظ ظرفیت حرارتی، زبری و آلبیدو تفاوت معناداری با محیط خارج از شهر دارند که می‌تواند بودجه انرژی سطح زمین را به میزان قابل توجهی تغییر دهد (صفرآد، ۲۰۲۱). در این پژوهش به بررسی جزیره حرارتی مربوط به منطقه مورد مطالعه برای سال‌های ۱۹۸۵ تا ۲۰۲۰ با استفاده از رابطه ۸ پرداخته شد که اختلاف درجه حرارت (ΔT) شهر و روستا را بیان می‌دارد (Oke, 1967):

$$UHI = \Delta T_{u-r} \quad \text{رابطه ۸}$$

در این پژوهش برای تفکیک شهر و حومه شهر از روش صفرآد ۱۴۰۰ استفاده شد، بدین صورت که تمامی مناطق حدفاصل ۳ تا ۶ کیلومتری شهر بابلسر که کاربری آن‌ها جزء سطوح طبیعی (سطوح نفوذپذیر مانند زمین بایر، فضای سبز، زمین کشاورزی) بود، به‌عنوان حومه شهر در نظر گرفته شدند برای تشخیص سطوح نفوذپذیر از گوگل ارث و مشاهدات میدانی کمک گرفته شد. برای تشخیص مناطق شهر نیز از تصاویر ماهواره‌ای CGLS-100 (Buchhorn et al, 2020) و مشاهدات گوگل ارث بهره گرفته شد.

MTL استخراج شدند. L_{λ} مقادیر رادیانس هر باند برحسب $W \cdot sr^{-1} \cdot m^{-2}$ ، π عدد ثابت ۳/۱۴، فاصله نجومی زمین تا خورشید در روز تصویربرداری، $ESUN_{\lambda}$ میانگین بازتابش برون جوی خورشید^۱ (از طریق مقادیر داده‌های فایل MTL قابل محاسبه است)، θ زاویه زنیت خورشیدی^۲ و BT دمای درخشندگی برحسب درجه کلون است.

ج: محاسبه LST^3 با استفاده از رابطه ۴ و بهره‌گیری از ویژگی‌های دمای درخشندگی (BT) و گسیلمندی (ϵ) صورت گرفت به‌طورکلی دمای سطح زمین پارامتر کلیدی در فیزیک رفتارهای سطح زمین است؛ چراکه بیانگر توازن انرژی و عوامل مؤثر بر آن است (et al, 2004 Sobrino):

$$\text{رابطه ۴} \quad LST = BT / \{1 + \lambda (BT/\rho) \ln \epsilon\}$$

در رابطه ۴، λ طول موج باند حرارتی (۱۱/۵ میکرومتر)، BT دمای درخشندگی برحسب درجه کلون، ρ برابر با حاصل ضرب ثابت پلانک در سرعت نور تقسیم بر ثابت بولتزمن است که برابر با ۱،۴۳۸ $\times 10^{-2}$ mK می‌باشد و $\epsilon\lambda$ گسیلمندی باند مورد نظر است که از طریق رابطه ۵ قابل محاسبه است:

$$\text{رابطه ۵} \quad e = 0.004P_v + 0.986$$

$$\text{رابطه ۶} \quad P_v = \frac{(NDVI - NDVI_s)^2}{(NDVI_v - NDVI_s)}$$

$$\text{رابطه ۷} \quad NDVI = \frac{(NIR - Red)}{(NIR + Red)}$$

P_v نسبت پوشش گیاهی موجود در منطقه مورد مطالعه است که از طریق رابطه ۶ محاسبه می‌گردد در این رابطه مقادیر $NDVI_v = 0.5$ و $NDVI_s = 0.2$ در نظر گرفته شدند. شاخص تفاضل نرمال شده پوشش گیاهی^۴ برحسب دو محدوده طیفی قرمز (Red) و مادون قرمز نزدیک (NIR) تعریف می‌شود (Mather, 1999) که وجود پوشش گیاهی در تصویر ماهواره‌ای را آشکار می‌سازد (رابطه ۷) و برای محاسبه گسیلمندی از آن استفاده خواهد شد.

^۴ Normalized Difference Vegetation Index (NDVI)

^۵ Urban Heat Island

^۶ Safarrad

^۱ mean solar exoatmospheric irradiances

^۲ solar zenith angle

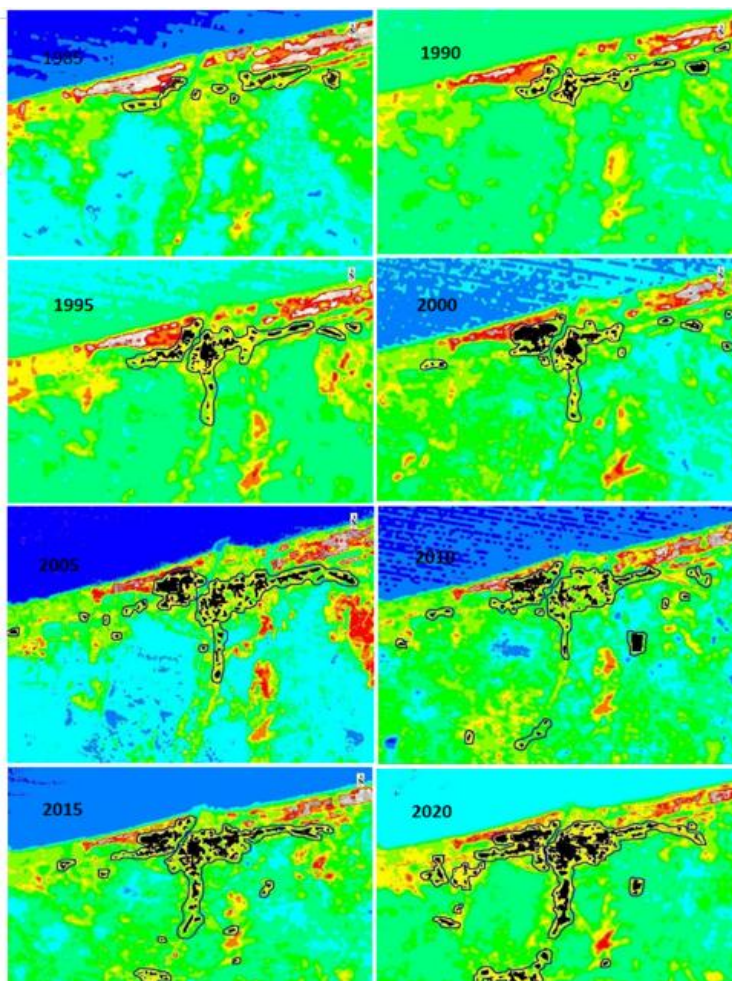
^۳ Land Surface Temperature

۴ یافته‌ها و بحث

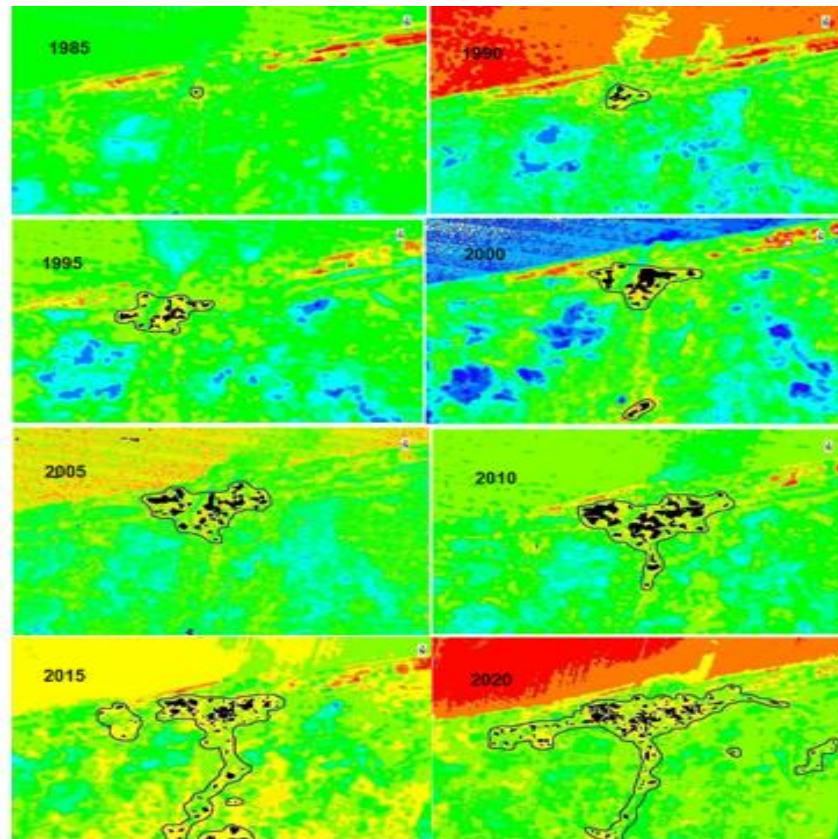
۴/۱ تحلیل فضایی جزیره حرارتی

برای آگاهی از تغییرات رخ داده، جزیره حرارتی بابلسر طی سال‌های ۱۹۸۵ تا ۲۰۲۰ محاسبه شد. افزایش مساحت جزیره حرارتی بابلسر از ۱۹۸۵ تا ۲۰۲۰ در شکل‌های ۳ تا ۵ و جدول ۳ ارائه شده است. از سال

۱۹۸۵ تا ۲۰۲۰، مساحت جزیره حرارتی در فصل تابستان و زمستان روند افزایشی دارد، با این تفاوت که روند افزایش آن در تابستان (با شیب خط ۰/۷۵) بیشتر از زمستان (با شیب خط ۰/۵۱) است. با توجه به مقدار R^2 می‌توان بیان داشت که مساحت جزیره حرارتی در بابلسر به صورت معناداری در دو فصل تابستان و زمستان افزایش داشته است.



شکل ۳. الگوی تغییرات جزیره حرارتی تابستان در بابلسر با گام زمانی ۵ ساله از سال ۱۹۸۵ تا ۲۰۲۰



شکل ۴. الگوی تغییرات جزیره حرارتی زمستان در بابلسر با گام زمانی ۵ ساله از سال ۱۹۸۵ تا ۲۰۲۰

مرکزی شهر منجر به تشکیل جزیره گرمایی شده است.

پس از محاسبه LST و NDVI، مربوط به فصل تابستان و زمستان دریافتیم که شاخص پوشش گیاهی در بخش حومه شهر در فصل تابستان روند افزایشی و در فصل زمستان روند کاهشی داشته است (شکل ۶). افزایش شدت جزیره حرارتی در فصل تابستان ناشی از افزایش پوشش گیاهی در حومه شهر است که منجر به اختلاف دمای بیشتر بین شهر و روستا می‌گردد. همچنین در فصل زمستان با کاهش مقدار پوشش گیاهی تفاوت مقدار پوشش گیاهی در شهر و روستا کاهش پیدا می‌کند که این امر منجر به کاهش شدت جزیره حرارتی خواهد شد (شکل ۵ و ۶).

در بررسی تغییرات زمانی، از آزمون همبستگی پیرسون استفاده شد. در این آزمون، ارتباط بین متغیرهای UHI و NDVI بررسی شد نتایج حاصل از

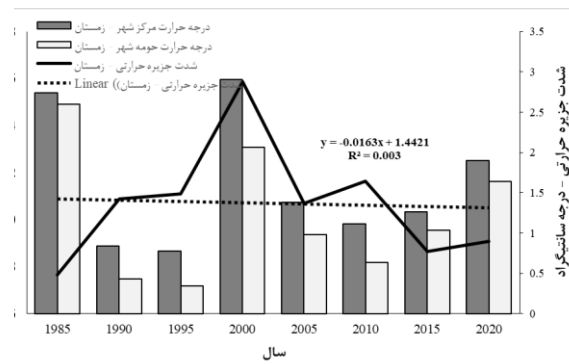
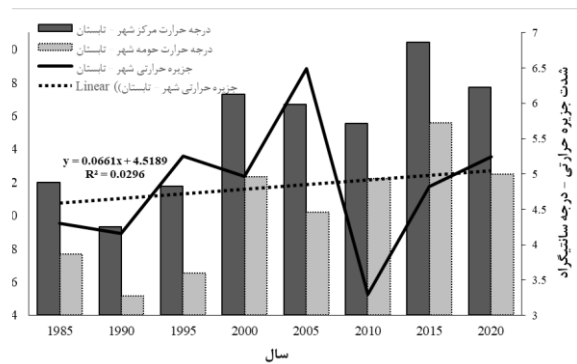
برای بررسی تغییرات زمانی هشت تصویر مربوط به فصل زمستان و هشت تصویر مربوط به فصل تابستان مورد پردازش قرار گرفت.

در این تحقیق از معیار درجه حرارت سطح زمین برای شناسایی مرکز شهر استفاده شد. برای این منظور از ۱۰ نقطه مربوط به مناطقی که دارای سکونت‌گاه بودند، نمونه‌گیری شد و مناطقی که در بخش مرکزی شهر واقع شده بودند، انتخاب شد. همان‌طور که از نمودار نمایان است، دمای سطح زمین طی سال‌های ۱۹۸۵ تا ۲۰۲۰ به ترتیب در فصل تابستان روند افزایشی و در فصل زمستان روند معناداری مشاهده نشد، بالا بودن دمای شهر بابلسر ناشی از ویژگی محیط شهری به علت ذخیره انرژی خورشید و تولید گرما در داخل شهر و تغییراتی که انسان در فضای شهرها به وجود می‌آورد، است (شکل ۵). ظهور درجه حرارت‌های بالاتر در بخش

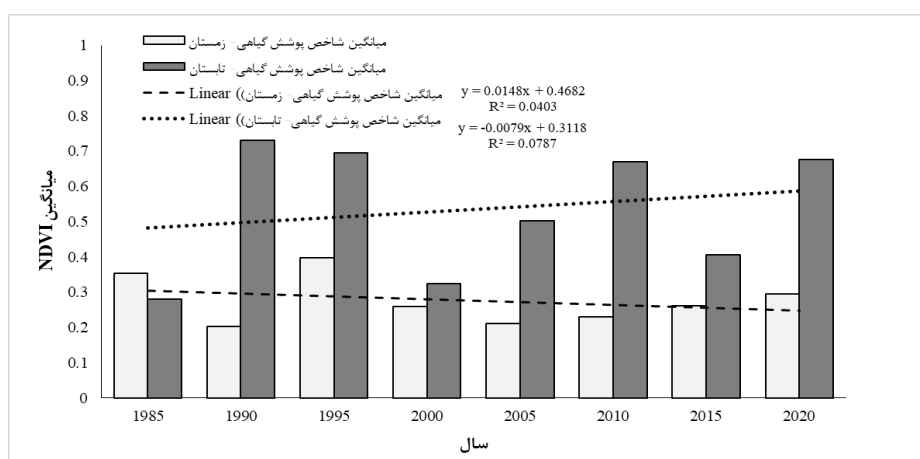


معنی‌داری وجود دارد بررسی رابطه متغیرها گویای این است که بین دو متغیر، همبستگی معکوس و منفی وجود دارد، در ضمن میزان ارتباط بین دو متغیر در تابستان در حد قوی می‌باشد.

آزمون همبستگی پیرسون نشان داد که بین متغیرهای UHI و NDVI، در سال‌های ۱۹۹۰ و ۱۹۹۵ و ۲۰۱۰ و ۲۰۱۵ و ۲۰۲۰ مربوط به حومه شهر در فصل تابستان با سطح اطمینان ۹۹ درصد رابطه



شکل ۵. میانگین دمای سطح زمین در فصل تابستان و زمستان در بخش مرکزی شهر بابلسر از سال ۱۹۸۵ تا ۲۰۲۰



شکل ۶. شاخص پوشش گیاهی در دو فصل تابستان و زمستان در حومه شهر بابلسر از سال ۱۹۸۵ تا ۲۰۲۰



جدول ۳. ضریب همبستگی پیرسون میان شاخص پوشش گیاهی و جزیره حرارتی فصل تابستان

تابستان	سال	شرح	NDVI	P-Valu
UHI	۱۹۸۵	همبستگی پیرسون	-۰/۴۳۷	۰/۰۵
		سطح معناداری	۰/۰۱۶	
	۱۹۹۰	همبستگی پیرسون	-۰/۷	۰/۰۱
		سطح معناداری	۰/۰۰۰	
	۱۹۹۵	همبستگی پیرسون	-۰/۶۴۳	۰/۰۱
		سطح معناداری	۰/۰۰۰	
	۲۰۰۰	همبستگی پیرسون	-۰/۴۴۵	۰/۰۵
		سطح معناداری	۰/۰۱۴	
	۲۰۰۵	همبستگی پیرسون	-۰/۴۱۰	۰/۰۵
		سطح معناداری	۰/۰۲۴	
	۲۰۱۰	همبستگی پیرسون	-۰/۷۹۰	۰/۰۱
		سطح معناداری	۰/۰۰۰	
	۲۰۱۵	همبستگی پیرسون	-۰/۶۶۴	۰/۰۱
		سطح معناداری	۰/۰۰۰	
	۲۰۲۰	همبستگی پیرسون	-۰/۹۶۲	۰/۰۱
		سطح معناداری	۰/۰۰۰	

۵ جمع‌بندی و نتیجه‌گیری

نتایج حاصل از نقشه‌های حرارتی استخراج‌شده از تصاویر مورد استفاده در مقاطع زمانی سی‌وپنج ساله و آزمون همبستگی پیرسون، نشان داد که به‌طور کلی حرارت‌های بالاتر در نواحی انسان‌ساخت در شهر بابل سر رخ داده و این نواحی بیشتر با کاربری‌های مختلف از قبیل تراکم ساختمانی شهری همراه بوده است و متأثر از انواع مختلف پوشش‌های اراضی می‌باشند، به‌طوری‌که مجاورت با زمین‌های بایر موجب گرم‌تر شدن زمین‌های شهری و مجاورت با پوشش گیاهی موجب خنک‌تر شدن آن شده است. از عوامل مهم ایجاد جزیره حرارتی بابل سر کاهش پوشش گیاهی- افزایش جمعیت - افزایش ساخت‌وساز می‌باشد که اثرات این پدیده می‌تواند منجر به افزایش گازهای گلخانه‌ای و آلودگی هوا و افزایش مصرف سرانه انرژی، تهدید سلامتی و کاهش کیفیت آب شود. در کار انجام‌شده بر روی

شهرهای پاکستان نیز به ارتباط معکوس میان شاخص‌های پوشش گیاهی و جزیره حرارتی دست یافتند (Ahmad et al. 2025)

نتایج تحقیق نشان داد متوسط درجه حرارت سطح زمین در مرکز شهر طی فصل تابستان ۳۵/۰۹ درجه سانتی‌گراد و در فصل زمستان ۱۱/۵۳ درجه سانتی‌گراد بوده است که منجر به اختلاف درجه حرارت ۴/۸۲ درجه سانتی‌گراد بین مرکز شهر و حومه آن طی فصل تابستان شده است. این اختلاف برای فصل زمستان ۱/۳۷ درجه سانتی‌گراد بوده است؛ همچنین از نظر زمانی روند افزایشی در مقادیر UHI طی دوره زمانی مورد مطالعه در فصل تابستان مشاهده شده است. لازم به ذکر است طی فصل زمستان روند ملموس و معناداری مشاهده نشده است. افزایش UHI طی فصل تابستان می‌تواند به‌منزله افزایش ساخت‌وساز و از بین رفتن پوشش گیاهی و تغییر کاربری اراضی کشاورزی در شهر بابل سر باشد.



اتلاف بیشتری تولید می‌کند که به اثر UHI کمک می‌کند.

کاهش پوشش گیاهی: پوشش گیاهی اثر خنک‌کننده تبخیری را فراهم می‌کنند، اما در مناطق شهری، به‌طور کلی پوشش گیاهی کمتری وجود دارد که باعث تشدید اثر UHI می‌شود.

شرایط خشکسالی: در برخی مناطق، ماه‌های تابستان با شرایط خشکی همراه است که می‌تواند باعث کاهش بیشتر سرمایش تبخیری و افزایش اثر UHI شود.

رفتار انسانی: مردم تمایل دارند در تابستان زمان بیشتری را در خارج از منزل سپری کنند که می‌تواند گرمای تولیدشده توسط فعالیت‌های انسانی مانند آگروز وسایل نقلیه و فرآیندهای صنعتی را افزایش دهد.

مساحت جزیره حرارتی دارای نوسان مکانی و فصلی بود به‌طوری‌که از سال ۱۹۸۵ در تابستان، از ۰/۷۸ به مساحت ۶/۵۸ کیلومترمربع و در زمستان از ۰/۰۱ به ۳/۲۷ کیلومترمربع رسید.

ارتباط بین UHI و پوشش گیاهی از طریق آزمون پیرسون در سطح اطمینان ۹۹ درصد نشان داد که در فصل تابستان ارتباط معکوس و معناداری بین این دو متغیر وجود دارد. به بیان دیگر هرگونه کاهش در مقدار پوشش گیاهی منجر به افزایش جزیره حرارتی شهر خواهد شد. نتایج این پژوهش با نتایج لطفی و علیزاده (۲۰۲۴) مبنی بر افزایش دمای سطح شهر طی سال‌های گذشته هماهنگ است، همچنین با نتایج منصوری و همکاران (۲۰۲۳) که افزایش جزیره حرارتی شهر را با افزایش ساخت‌وساز و کاهش پوشش گیاهی مرتبط می‌دانستند، هم‌راستا است.

افزایش تابش خورشیدی: ماه‌های تابستان معمولاً ساعات روز طولانی‌تر و تابش خورشیدی بالاتری دارند که منجر به افزایش جذب گرما توسط سطوح شهری و دماهای بالاتر می‌شود.

استفاده بیشتر از تهویه مطبوع: در تابستان، استفاده از تهویه مطبوع به دلیل دمای بالاتر در فضای باز افزایش می‌یابد که به‌نوبه خود گرمای



منابع

- Abu-Farrag, Basant Elsayed., Mehanna, Walaa Abou El-Haggag & Azmy, Neveen Youssef. (2024). The Impact of Green Infrastructure on Urban Heat Island Phenomenon in Existing Cities. *Journal of Engineering Research*. 8(2), 1-17.
<https://digitalcommons.aaru.edu.jo/er-jeng/vol8/iss2/35>
- Ahmad, S. A., Mehmood, K., Raza, S. I. H. Pfautsch, S., Shah, M., Jamjareegulgarn, P., Shahzad, F., Alarfaj, A. A., Alharbi, S. A., Khan, W. R. & Dube, T. (2025). Spatiotemporal analysis of surface Urban Heat Island intensity and the role of vegetation in six major Pakistani cities. *Ecological Informatics*, 85, 102986.
<https://doi.org/10.1016/j.ecoinf.2024.102986>
- Akbari, H. & Konopacki, S. (2005). Calculating energy-saving potentials of heat-island reduction strategies. *Energy Policy*. 33. 721-756.
10.1016/j.enpol.2003.10.001.
- Alijani, B., Toulabinejad, 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. (In Persian)
<https://www.sid.ir/paper/264738/fa>
- Azizi, G., Shamsipour, A., Mahdian Mahforouzi, M. & Miri, M. (2014). Intensities of the Urban Heat Island of Tehran under the Influence of Atmospheric Synoptic Patterns. *Journal of Environmental Studies*, 39(4), 55-66. (In Persian)
<https://doi.org/10.22059/jes.2014.36462>
- Buchhorn, M., Lesiv, M., Tsendbazar, N. E., Herold, M., Bertels, L. & Smets, B. (2020). Copernicus Global Land Cover Layers — Collection 2. Remote Sensing 2020, 12, Volume 108, 1044.
<https://doi.org/10.3390/rs12061044>
- Dingman, S. L. (2002). Physical hydrology (2nd ed). Prentice Hall.
<https://www.amazon.com/Physical-Hydrology-Second-Lawrence-Dingman/dp/1577665619>
- Kaviyani, M. (2000) Microclimatology. Tehran: Samt, first edition, 337 pages. (In Persian)
<https://samta.samt.ac.ir/product/13634/>
- Kim, Y. H. & Baik, J. J. (2004). Daily maximum urban heat island intensity in large cities of Korea. *Theoretical and Applied Climatology*, 79(3-4): 151-164.
<https://doi.org/10.1007/s00704-004-0070-7>



- Lotfi, S. and Alizadeh, T. (2024). Detecting and investigating the relationship between land cover changes and land surface temperature in urban and non-urban areas of Mazandaran province. *Geography*, 22(81), 95-111. (In Persian)
<https://doi.org/10.22034/iga.2024.2025957.1297>.
- Luo, Fu & Yang, Yuanjian & Zong, Lian & Bi, Xueyan. (2023). The interactions between urban heat island and heat waves amplify urban warming in Guangzhou, China: Roles of urban ventilation and local climate zones. *Frontiers in Environmental Science*.
<https://doi.org/11.10.3389/fenvs.2023.1084473>.
- Mansouri, M., Roradeh, H., & Safarrad, T. (2023). Analyzing the Impact of Urban Development on the Spatial Changes of the Thermal Island of Sari City. *Urban Structure and Function Studies*, 11(38), 215-240. (In Persian)
<https://doi.org/10.22080/usfs.2023.25957.2383>.
- Mather, P.M. (1999). Computer processing of remotely-sensed images—An Introduction. 2nd edition. John Wiley & Sons, Chichester.
<https://doi.org/10.1002/9780470666517>
- Matthews, T. (2012). Heat islands, understanding and mitigating heat in urban areas. *Australian Planner* 49(4):363-364.
<https://doi.org/10.1080/07293682.2011.591742>
- Oke, T. R. (1967). City size and the urban heat island. *Atmospheric Environment* (1967), 7(8), 769-779.
[https://doi.org/10.1016/0004-6981\(73\)90140-6](https://doi.org/10.1016/0004-6981(73)90140-6)
- Pielke Sr, Roger & Pitman, Andy & Niyogi, Dev & Mahmood, Rezaul & Mcalpine, Clive & Hossain, Faisal & Klein Goldewijk, Kees & Nair, Udaysankar & Betts, Richard & Fall, Souleymane & Reichstein, Markus & Kabat, Pavel & de NOBLET, Nathalie. (2011). Land Use/Land Cover Changes and Climate: Modeling Analysis and Observational Evidence. *Wiley Interdisciplinary Reviews: Climate Change*. 2. 828-850.
<https://doi.org/10.1002/wcc.144>.
- Rezaeirad, H. & Rafieyan, M. (2017). Estimating the spatial-temporal Changes in intensity of the heat island in Tehran Metropolitan by Using ASTER and Landsat8 Satellite Images. *Regional Planning*, 7(27), 47-60. Tehran. (In Persian)
<https://doi.org/20.1001.1.22516735.1396.7.27.4.1>
- Safarrad, T., Ghadami, M., & Dittmann, A. (2022), Effects of COVID-19 Restriction Policies on Urban Heat Islands in Some European Cities: Berlin, London, Paris, Madrid, and Frankfurt. *Int J Environ Res Public Health*. May 28;19(11):6579.



- <https://doi.org/10.3390/ijerph1916579>
- Safarrad, T. (2021). Temporal analysis of nighttime surface urban heat island intensity in Tehran. *Climate Change Research*, 2(8), 55-65. (In Persian).
- <https://doi.org/10.30488/ccr.2021.319317.1063>.
- Shamsipour, A. Mahdian Mahforouzi, M. Akhavan, H. & Hoseinpour, Z. (2013). An Analysis on Diurnal Actions of the Urban Heat Island of Tehran. *Journal of Environmental Studies*, 38(4), (In Persian).
- <https://doi.org/10.22059/jes.2013.29862>.
- Shepherd, J. M. & Burian, S. J. (2003). Detection of urban-induced rainfall anomalies in a major coastal city. *Earth Interactions*, 7(3), 1-17. 10.1175
- [https://doi.org/10.1175/1087-1209\(2003\)3:562:DOUIRA>2.0.CO;2](https://doi.org/10.1175/1087-1209(2003)3:562:DOUIRA>2.0.CO;2)
- Shtepani, E. & Yunitsyna, A. (2017). Energy Efficiency in the Urban Scale: Case Study - Prague, Czech Republic. Conference: 24th ISUF 2017 - City and Territory in the Globalization Age.
- <https://doi.org/10.4995/ISUF2017.2017.5212>
- Sobrino, J. A. Jiménez-Muñoz, J. C. & Paolini, L. (2004). Land surface temperature retrieval from LANDSAT TM
5. Remote Sensing of environment, 90(4), 434-440.
- <https://doi.org/10.1016/j.rse.2004.02.003>
- Solecki, W. D. Rosenzweig, C. Pope, G. Chopping, M. & Goldberg, R. (2004). Environmental Assessment and Risk Analysis Element Research Project Summary Urban Heat Island and Climate Change: An Assessment of Interacting and Possible Adaptations in the Camden, New Jersey Region.
- <https://hdl.handle.net/10929/68635>
- Streutker, D.R. (2002), A Remote Sensing Study of Urban Heat Island of Houston, TX. *Int. J. Remote Sensing*, 23: 2595- 2608.
- <https://doi.org/10.1080/01431160110115023>
- Wang, Y., Berardi, U. & Akbari, H. (2015). The Urban Heat Island Effect in the City of Toronto, *Procedia Engineering*, 118: 137-144.
- <https://doi.org/10.1016/j.pro-eng.2015.08.412>
- Weng, Q. and Yang, S, (2004). Managing the adverse thermal effects of urban development in a densely populated Chinese city. *Journal of Environmental Management*. 70, 145-156. <https://doi.org/10.1016/j.jenvman.2003.11.006>
- Yamamoto, Y. (2006). Measures to Mitigate Urban Heat Islands,



Environmental and Energy Research Unit, Quarterly Review, 18: 65-83.

<https://www.coolroof-toolkit.org/wp-content/uploads/2012/04>