



Research Paper

Evaluating Physical Urban Components Affecting Climate Change Impact Reduction in Central Iranian Plateau Cities

Arash Aghakarimi¹ , Seyed Abdolhadi Daneshpour^{*2} 

¹ Ph.D. Candidate, School of Architecture and Environmental Design, Iran University of Science & Technology, Tehran, Iran.

² Professor, School of Architecture and Environmental Design, Iran University of Science & Technology, Tehran, Iran.



[10.22080/usfs.2026.29762.2538](https://doi.org/10.22080/usfs.2026.29762.2538)

Received:

August 12, 2025

Accepted:

November 4, 2025

Available online:

January 20, 2026

Abstract

Planning and designing cities that can effectively respond to climate change requires a thorough understanding of their physical characteristics across various spatial scales, from metropolitan to local urban blocks. This study aims to identify, classify, and analyze the physical indicators that influence climate adaptation and thermal comfort in urban areas. The research specifically focuses on the urban block scale, where four distinct urban blocks in the city of Meybod were selected as case studies. These blocks were chosen based on their varying physical characteristics, which were determined through an extensive review of relevant literature and expert analysis. To ensure accurate evaluation, the selected blocks were simulated and analyzed using Envi-met V5.5 software, which modeled microclimatic conditions, while Depthmap 10 software and the Shannon Entropy model were employed to assess the physical sub-indices. Additionally, considering the predicted climate conditions for the next fifty years (up to 1450 in the Persian calendar), the most comprehensive urban block design proposed in the detailed development plan of Meybod was also assessed for its climate responsiveness. The findings reveal a strong and significant relationship between physical characteristics—such as the orientation of passages toward prevailing winds, urban compactness, shading from buildings, and green space density—and improved thermal comfort. Moreover, the results indicate that urban blocks with higher interconnectedness, stronger connectivity, and lower spatial depth demonstrate superior adaptation to climate change. These findings suggest that urban planners should prioritize these physical characteristics to enhance climate resilience in future urban designs, especially in hot and arid regions like Meybod. This research provides a structured framework for understanding and applying physical indicators in urban design to improve resilience and thermal comfort in the face of climate change.

Keywords:

Urban Block, Hot and Dry Climate, Morphological Indicators, Meybod

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: Seyed Abdolhadi Daneshpour

Address: Iran University of Science & Technology,
Tehran, Iran

Tel: 09121263374

Email: Daneshpour@iust.ac.ir



1. Introduction

Cities play a pivotal role in mitigating or exacerbating the impacts of climate change, which has attracted the attention of researchers, especially architects and urban designers. This focus has led to the evolution of various new theories aimed at enhancing urban sustainability in different physical, economic, social, and environmental dimensions and at different scales, including urban areas, districts, and blocks. Among these dimensions, one of the most crucial aspects to be considered in how cities respond to climate change and thermal comfort is the form and shape of urban blocks, which are seen as the fundamental units of urban design. The physical characteristics of urban blocks not only affect the configuration of inner-city areas but can also directly affect the overall physical characteristics of cities and their urban climate conditions. This research aims to investigate the form of urban blocks in their response to climate change, concerning their physical characteristics.

2. Research Methodology

Regarding the role of urban blocks in creating thermal comfort and decreasing the effects of climate change, this research studies the literature on the impact and role of urban blocks in creating thermal comfort and climate change and, by reviewing the literature, tries to find physical indicators that are effective in determining thermal comfort and climate change at four scales: city, community, urban block, street, and lot. Content analysis was used to refine the indicators and qualitative, and quantitative methods were used to determine the importance of these indicators. Also, to validate the results, four city blocks with different physical characteristics were evaluated using the ENVI-MET climate simulator and

Depthmap modeling software, and the importance of each of their indicators was assessed. It is also necessary to mention that to verify the results and the importance of the indicators, the most frequent block of cities in the construction and development of a new city is considered, according to the climate change trend 50 years ahead, in the ENVI-MET simulation software, analyzed and the evaluation was carried out so that the results were checked

3. Research Findings

According to the Analytic Hierarchy Process, it was determined that at the city scale, the communication network pattern, spatial configuration, and green space network, respectively, and at the neighborhood unit scale, the communication network pattern and the construction pattern are the most important physical elements for planning or designing to respond to climate change in cities. At the urban block scale, the communication network and the design pattern are the main physical elements, and at the urban street and building plot scales, the street pattern, its orientation, and the location of the plot in the block, respectively, have the most impact on manipulation and design to reduce the effects of climate change. The average thermal comfort values of the four types of blocks differ according to their physical characteristics. The ranking of the average thermal comfort values from the largest to the smallest in Figure 2 shows that the range of changes in the average temperature of the organic structure/new texture block is 28.01-30.45 C, and the range of changes in the average temperature of the old structure/old texture block combined with green space is 25.59-31.45 C. Also, the range of changes in the average temperature of the new



structure/new texture block type is 24.4-27.97 C, and the range of changes in the average temperature of the old structure/old texture block type is 24.47-27.38 C. As can be seen in the figure above, the average outdoor temperature of the organic structure/new texture blocks and the organic structure/old texture with green space is higher than the other two blocks.

4. Conclusion

This study focuses on understanding the physical components that respond to climate change at the urban block scale. It was found that urban blocks can significantly influence temperature variations, depending on their physical characteristics. Blocks exhibiting compactness, shaded areas, and mixed-use environments tend to create more favorable climatic comfort conditions compared to others. Additionally, there is a noteworthy relationship between the interconnection, connectivity, and spatial depth of the communication network within urban blocks and temperature reduction. Specifically, a higher degree of interconnection, greater connectivity of passages, and reduced spatial depth facilitates the achievement of thermal comfort. Furthermore, analyses reveal

that the orientation of passages toward prevailing winds can effectively direct airflow within urban blocks. This not only helps in lowering temperatures but also promotes natural ventilation. The findings suggest that optimizing the orientation of passages to harness natural airflow, enhancing shading, and increasing green space within urban blocks can significantly lower internal temperatures. Moreover, it was observed that increased density and confinement of passages can lead to a marked reduction in the internal temperature of the block.

Funding

There is no funding support.

Authors' Contribution

This article is derived from the first author's doctoral dissertation titled "Understanding the Physical Structure of Climate-Responsive Urban Form in Mid-Sized Cities of Hot and Dry Climates" with the other authors serving as the dissertation supervisors.

Conflict of Interest

The authors declared no conflict of interest.

Acknowledgments

The authors appreciate all the scientific consultants in this paper.



علمی پژوهشی

فهم مؤلفه‌های کالبدی تأثیرگذار بر کاهش اثرات تغییر اقلیم در شهرهای مرکزی فلات ایران

آرش آقاقریمی^۱ سید عبدالهادی دانشپور^{۲*}

^۱ دانشجوی دکتری شهرسازی، گروه شهرسازی، دانشکده معماری و شهرسازی، دانشگاه علم و صنعت ایران، تهران، ایران.
^۲ گروه شهرسازی، دانشکده معماری و شهرسازی، دانشگاه علم و صنعت ایران، تهران، ایران.

[10.22080/usfs.2026.29762.2538](https://doi.org/10.22080/usfs.2026.29762.2538)

چکیده

تغییر اقلیم به‌عنوان یکی از چالش‌های اصلی قرن حاضر، برنامه‌ریزی شهری را به سمت طراحی شهرهای پاسخگو و انعطاف‌پذیر سوق داده است. در این راستا، شناخت دقیق ویژگی‌های کالبدی شهرها در مقیاس‌های مختلف فضایی (از مقیاس کلان‌شهری تا مقیاس خرد بلوک‌های شهری) برای کاهش اثرات منفی تغییر اقلیم و بهبود آسایش حرارتی شهروندان ضروری است. پژوهش حاضر باهدف شناسایی، دسته‌بندی، و تحلیل شاخص‌های کالبدی مؤثر بر تعدیل شرایط اقلیمی و آسایش حرارتی در مقیاس‌های گوناگون فضایی شهرها انجام شده است. این مطالعه با تمرکز بر مقیاس بلوک شهری، به بررسی ویژگی‌های کالبدی مؤثر بر پاسخگویی به تغییر اقلیم پرداخته و تلاش کرده است تا الگوها و ویژگی‌های طراحی شهری پاسخگو و بهینه به تغییر اقلیم را پیشنهاد دهد. برای دستیابی به نتایج دقیق‌تر، چهار بلوک شهری با ویژگی‌های کالبدی متمایز در شهر میبد به‌عنوان مورد مطالعه انتخاب شدند. این بلوک‌ها بر اساس شاخص‌ها و زیرشاخص‌های استخراج‌شده از مرور گسترده مقالات منتشر شده (۲۰۲۴-۱۹۸۰) و تحلیل‌های اولیه، با استفاده از نرم‌افزار Envi-met ۷5.5 شبیه‌سازی و ارزیابی شدند. همچنین، با در نظر گرفتن پیش‌بینی‌های اقلیمی برای پنجاه سال آینده (سال ۱۴۵۳)، بلوک شهری پیشنهادی در طرح تفصیلی شهر میبد که به‌عنوان الگوی غالب توسعه آینده این شهر معرفی شده است، از منظر پاسخگویی به تغییرات اقلیمی مورد تحلیل قرار گرفت. یافته‌های پژوهش نشان‌دهنده ارتباط معنادار و مستقیم میان ویژگی‌های کالبدی نظیر جهت‌گیری معابر به سمت باد مطلوب، فشردگی بافت شهری، سایه‌اندازی ناشی از فرم‌های ساختمانی، و تراکم فضای سبز با بهبود آسایش اقلیمی است. همچنین، نتایج حاکی از آن است که بلوک‌های شهری با هم‌پیوندی بالا، اتصال‌پذیری قوی‌تر، و عمق فضایی کمتر، توانایی بیشتری در تعدیل اثرات منفی اقلیمی و ارتقای آسایش محیطی دارند. این یافته‌ها می‌توانند به‌عنوان راهنمایی برای برنامه‌ریزان شهری در طراحی بلوک‌های شهری پاسخگو به تغییر اقلیم در شهرهای با اقلیم گرم و خشک مانند میبد مورد استفاده قرار گیرند.

تاریخ دریافت:

۲۱ مرداد ۱۴۰۴

تاریخ پذیرش:

۱۵ آبان ۱۴۰۴

تاریخ انتشار:

۳۰ دی ۱۴۰۴

کلیدواژه‌ها:

بلوک شهری، اقلیم گرم و خشک، شاخص‌های کالبدی، میبد

* نویسنده مسئول: سید عبدالهادی دانشپور

آدرس: دانشگاه علم و صنعت ایران، تهران، ایران.

تلفن: ۰۹۱۲۱۲۶۳۳۷۴

ایمیل: daneshpour@iust.ac.ir

۱ مقدمه

تغییر اقلیم به‌عنوان یکی از مهم‌ترین چالش‌های جهانی، شهرها را با تهدیدات زیست‌محیطی و اجتماعی متعددی مواجه کرده است. در این میان، شهرهای واقع در مناطق خشک و نیمه‌خشک، مانند حوزه مرکزی ایران، به دلیل شرایط اقلیمی سخت و محدودیت منابع، نیازمند راهکارهای برنامه‌ریزی شهری دقیق‌تر برای انطباق با این تغییرات هستند. پژوهش حاضر باهدف شناسایی، تدقیق و طبقه‌بندی شاخص‌های کالبدی مؤثر بر کاهش اثرات تغییرات اقلیمی، با توجه به مقیاس‌های فضایی گوناگون شهری، صورت‌گرفته است.

این پژوهش با انجام یک مرور نظام‌مند جامع از ادبیات جهانی بین سال‌های ۱۹۸۰ تا ۲۰۲۴، شاخص‌های کالبدی مؤثر بر آسایش حرارتی و انطباق با تغییرات اقلیمی را شناسایی و استخراج کرده است. شاخص‌های به‌دست‌آمده در پنج مقیاس شهری (شهر، محله، بلوک شهری، خیابان و قطعه ساختمانی) دسته‌بندی شده‌اند. برای پالایش و اعتبارسنجی این شاخص‌ها از روش تحلیل محتوای نظام‌مند و رویکردهای ترکیبی کمی-کیفی استفاده شده است.

به‌منظور آزمون عملی این شاخص‌ها در مقیاس بلوک شهری، چهار بلوک با ویژگی‌های کالبدی متمایز در شهر میبد انتخاب و با استفاده از نرم‌افزارهای ENVI-met (شبیه‌سازی اقلیمی) و Depthmap (تحلیل فضایی) مدل‌سازی و تحلیل شدند. برای افزایش دقت نتایج، پرتکرارترین الگوی بلوک شهری پیشنهادی در طرح تفصیلی این شهر، با در نظرگیری سناریوهای تغییر اقلیم برای ۵۰ سال آینده، مجدداً در نرم‌افزار ENVI-met شبیه‌سازی و ارزیابی گردید. این رویکرد جامع، امکان ارائه توصیه‌های کاربردی و دقیق برای برنامه‌ریزی شهری پایدار در برابر تغییرات اقلیمی را فراهم کرده است.

۲ مبانی نظری

سیر تحول نظریه‌های طراحی شهری و ابزارهای پاسخگویی آن‌ها نشان‌دهنده آن است که تغییرات

همزمان با توسعه سریع اقتصاد جهانی، تسریع در روند بی‌سابقه شهرنشینی، مصرف سوخت‌های فسیلی و به تبع آن انتشار گازهای گلخانه‌ای چون دی‌اکسید کربن به بیشترین میزان خود رسیده است، به‌نظر می‌رسد انتشار بیش از حد دی‌اکسید کربن (CO₂) توسط شهرها، باعث شکل‌گیری پدیده‌ای به نام تغییر اقلیم شده است (Oliveira & Bhuiyan, 2024). طبق آمار، اگرچه شهرها حدود ۳ درصد از مساحت زمین را پوشش می‌دهند، اما بیش از ۵۰ درصد جمعیت جهان در شهرها زندگی می‌کنند (OECD, 2020)؛ بطوریکه این میزان تا سال ۲۰۳۰ به ۸۰ درصد خواهد رسید. شهرها ۷۵ درصد از منابع انرژی اولیه را مصرف و به تبع آن بیش از ۷۰ درصد دی‌اکسید کربن را در جو زمین منتشر و فرآیند گرمایش جهانی را شکل و تسریع داده‌اند (Gaoa, Fan, Yeh, & Liao, 2024).

باتوجه به نقش محوری شهرها در تعدیل یا تشدید اثرات تغییر اقلیم، ابعاد مختلف شهرنشینی موردتوجه پژوهشگران قرار گرفته و نظریه‌ها و رویکردهای نوینی باهدف کاهش پیامدهای تغییر اقلیم و ارتقای پایداری شهری در ابعاد اقتصادی، اجتماعی، زیست‌محیطی، و به‌ویژه کالبدی توسعه یافته‌اند. این رویکردها در مقیاس‌های فضایی متنوع، از جمله مقیاس منطقه شهری، ناحیه شهری، بلوک شهری و غیره مورد بررسی و صورت‌بندی قرار گرفته‌اند. (Baglivo, Albanese, & Congedo, 2024). با این حال، بخش قابل‌توجهی از پژوهش‌های انجام‌شده بر جنبه‌های کالبدی شهرها به‌عنوان ابزاری کلیدی برای انطباق با تغییرات اقلیمی و تعدیل اثرات آن متمرکز بوده‌اند (Sharifi, 2021).

به نظر می‌رسد بیشتر تحقیقاتی که در حوزه ارتباط میان فرم شهری و تغییرات اقلیمی انجام شده است بر روی مقیاس‌های مختلفی چون شهر، محله، بلوک شهری، خیابان و قطعه ساختمان تمرکز کرده است.



اثر می‌گذارند؛ بلکه حتی می‌تواند کیفیت هوا و اقلیم شهری را نیز تغییر دهد (Pattacini, 2012).

مرور ادبیات پژوهش نشان می‌دهد که جهت تحلیل میان آسایش حرارتی و فرم بلوک‌های شهری ابعاد و جنبه‌های گوناگونی چون جنبه‌های کالبدی (Qi, et al., 2023)، منظر، فرهنگی و تاریخی (Aktas, 2021)، جنبه‌های روانی (Xu, et al., 2019) مورد توجه بوده است. در این میان بسیاری از نظریه پردازان بر ماهیت کالبدی شهرسازانه تأکید داشته و بر این باورند که برنامه‌ریزی شهری همان طراحی فرم و کالبد شهر است، (Niklas & Sebastian, 2024).

مطالعات متعددی با تمرکز بر جنبه‌های کالبدی بلوک شهری و با بهره‌گیری از علوم میان‌رشته‌ای مانند ریاضی، پزشکی و کامپیوتر، به بررسی رابطه بین فرم شهری، آسایش اقلیمی و سازگاری با تغییر اقلیم پرداخته‌اند. به عنوان مثال، کوچی در مطالعه‌ای با اندازه‌گیری و مقایسه محیط حرارتی درون و بیرون بلوک‌های تجاری نشان داد که احساس حرارتی ذهنی ساکنان با شرایط محیط فیزیکی و حرارتی همخوانی دارد. (Xu, et al., 2019). نیلسن ویژگی‌های آب‌وهوایی را در مناطق گرم و خشک و مناطق گرم و مرطوب مطالعه نمود و رابطه بین آسایش حرارتی، محیط ساختمان و بلوک شهری را تجزیه و تحلیل کرد. یانس و همکاران خرداقلیم یک میدان شهری و یک بلوک شهری را در تابستان با مطالعه و اثرات هندسه، مصالح، رطوبت خاک و غیره را ارزیابی نمودند (Yannas & Chatzidimitriou, 2023). اولیوتی و همکاران با انجام اندازه‌گیری‌های مستمر میدانی حرکت تابش حرارتی به زمین و آسمان، مکانیسم تأثیر تابش حرارتی را در بلوک‌های شهری مختلف تعمیم داد (Oliveti, Arcuri, & Ruffolo, 2003).

ساروار و همکاران تأثیرات نسبت ارتفاع به عرض را (H/W) را با توجه به جهت‌گیری خیابان در بلوک‌های شهری مورد مطالعه قرار داده و نتایج نشان داد

اقلیمی به‌عنوان یکی از چالش‌های بنیادین عصر حاضر شناخته می‌شود. موضوع تغییر اقلیم از دهه ۱۹۷۰ مورد توجه متخصصان و از دهه ۱۹۸۰ به صورت ویژه در کانون توجه سیاست‌گذاران قرار گرفته است (Calthrope, 2016). از دهه ۱۹۸۰ به دلیل بحران انرژی و از دهه ۱۹۹۰ با توجه به پیشرفت مدل‌های رایانه‌ای و تایید نهایی نظریه تغییر اقلیم، توجه به رابطه میان آسایش اقلیمی، تغییر اقلیم و شکل شهرها بطور جدی در دستور کار معماران و طراحان شهری قرار گرفت؛ بطوریکه رابطه بین ساختمان‌ها و محیط اطراف آنها یک چالش بین رشته‌ای برای طراحان محیطی، برنامه‌ریزان، طراحان شهری و معماران تبدیل گشت (Sanaieian, Tenpierik, Linden, & Seraj, 2014). شهرها از سلسله‌مراتب فضایی گوناگونی چون منطقه، ناحیه، محله، بلوک-های شهری و قطعه تشکیل شده‌اند. بنظر می‌رسد برنامه‌ریزی جامع در تمامی این مقیاس‌ها برای پاسخ به آسایش اقلیمی و کاهش اثرات تغییر اقلیم جهت ایجاد شهرهای قابل زندگی به امری ضروری مبدل شده است (Aboagye & Sharifi, 2024). یکی از مورد توجه‌ترین این مقیاس‌ها در طراحی شهری، بلوک شهری است، به طوری که بسیاری از متخصصین، به نقش مشخصات کالبدی آن در ایجاد آسایش اقلیمی و کاهش اثرات تغییرات اقلیم تأکید بسیاری نموده‌اند (Geng, Xie, & Gou, 2024).

هر بلوک شهری با توجه به ویژگی‌های کالبدی-اش، در اطراف خود شرایط آب‌وهوایی مصنوع و خرد اقلیم جدیدی ایجاد می‌نماید. عوامل گوناگونی چون آرایش و نحوه چیدمان فضایی ساختمان‌ها (Shareef & Altan, 2022)، نظام توده‌گذاری بافت شهری، شکل و ارتفاع ساختمان‌ها (Zou & Fan, 2024)، جهت و الگوی خیابان‌ها، مصالح، الگو و وسعت فضاهای باز و تراکم پوشش گیاهی می‌توانند بر ایجاد و کیفیت آسایش اقلیمی تأثیر بسیاری بگذارند. به تعبیر دیگر فرم بلوک و عناصر تشکیل دهنده آن نه تنها بر کیفیت زیستی فضاهای شهری

بررسی نظریه‌های موجود نشان می‌دهد که برای ارتقای آسایش حرارتی در محیط‌های شهری، توجه به جنبه‌های کالبدی شهر از اهمیت بسزایی برخوردار است. در این راستا، به‌جای تمرکز صرف بر طراحی تک‌ساختمان‌ها، لازم است بر چیدمان و سازمان‌دهی گروه‌های ساختمانی و بلوک‌های شهری تأکید شود. نظریه‌ها حاکی از آن است که رفتار حرارتی ساختمان‌ها تحت تأثیر تعاملات پیکربندی فضایی، فرم خیابان‌ها، تراکم ساختمانی، الگوی پراکنش و مساحت فضاهای سبز به‌طور قابل‌توجهی تغییر می‌یابد (Zhu, et al., 2023)، (Deng, et al., 2023). علاوه بر این، یکی از جنبه‌های کلیدی در برنامه‌ریزی بلوک‌های شهری، تأثیر چیدمان و پیکربندی این بلوک‌ها بر مصرف انرژی و ایجاد آسایش حرارتی در فضاهای بیرونی است که نقش مهمی در بهبود کیفیت محیط شهری ایفا می‌کند (Xu, et al., 2024). مباحث مطرح‌شده بر نقش اساسی شهرها و به‌طور خاص بلوک‌های شهری در کاهش آثار تغییرات اقلیمی تأکید می‌کنند. شهرها با به‌کارگیری راهبردهایی همچون برنامه‌ریزی هوشمندانه، کنترل کاربری اراضی، جلوگیری از گسترش بی‌رویه شهری، توسعه فضاهای سبز، طراحی زیرساخت‌های پایدار و ترویج شهرهای پیاده‌محور می‌توانند به‌صورت فعال در مدیریت و کاهش اثرات تغییر اقلیم عمل کنند (Gabor & Reinwald, 2023). همچنین، ایجاد سیستم‌های پایش مستمر، افزایش مشارکت شهروندان و تدوین طرح‌های توسعه جامع و همه‌جانبه‌نگر در بخش‌هایی مانند حمل‌ونقل، از دیگر عوامل کلیدی در کنترل موفقیت‌آمیز تغییرات آب‌وهوایی هستند. این رویکردها نه‌تنها به مقابله با چالش‌های اقلیمی کمک می‌کنند، بلکه زمینه را برای توسعه پایدار شهری فراهم می‌سازند.

که نسبت ارتفاع به عرض سه در خیابان‌ها را می‌توان به‌عنوان آستانه آسایش حرارتی خیابان در بلوک‌های شهری قرارگرفته در مرکز شهرهای پرتراکم در نظر گرفت (Surawar & Mohite, 2024). یوان معتقد است تأثیر فرم بلوک‌های شهری بر عملکرد آسایش حرارتی باتوجه‌به تنوع شاخص‌های کالبدی، پیچیده است. به گفته یاماگوچی و همکاران، چیدمان مناسب ساختمان‌ها می‌تواند باعث ایجاد آسایش حرارتی و به تبع آن کاهش مصرف انرژی و به‌طور بالقوه منجر به کاهش ۶۰ تا ۹۰ درصدی انتشار CO₂ فعلی تا اواسط قرن ۲۱ گردد (Zhu & Hu, 2023). چیدمان فضایی و مورفولوژی بلوک‌های شهری نه‌تنها به‌طور مستقیم بر دسترسی نور طبیعی به محیط‌های داخلی و بیرونی تأثیر می‌گذارد؛ بلکه جهت‌گیری (Shareef & Altan, 2022) و شکل بلوک شهری بر سرعت باد، الگوهای جریان و تهویه طبیعی هوا تأثیر بسیاری می‌گذارد. علاوه بر این، تأثیر الگوی آرایش و چیدمان ساختمان‌ها و الگوهای کاربری زمین به شدت بر کیفیت هوای محیط بیرونی و دمای تابشی خرده‌اقلیم ایجاد شده قابل توجه است.

پژوهش‌ها نشان می‌دهد بهینه‌سازی فرم شهری در مقیاس‌های مختلف می‌تواند آسایش حرارتی را بهبود داده و اثرات منفی تغییرات اقلیمی را کاهش دهد. در این زمینه، عواملی مانند الگوی شبکه ارتباطی، جهت‌گیری ساختمان‌ها، تراکم و چیدمان فضایی نقش مهمی دارند و فرم شهری همچنین می‌تواند به‌طور مستقیم بر میزان مصرف انرژی اثر بگذارد (Zhang, et al., 2024)، (Ding, et al., 2022). به‌طوری‌که الگوهای فرمی، چیدمان‌های متنوع بلوک‌های شهری و طرح‌های مورب یا منحنی خیابان در بلوک‌ها، از طریق بهینه‌سازی جریان هوا قادرند اثرات جزایر حرارتی را کاهش دهند (Zhang, et al., 2024)، آسایش حرارتی در فضاهای باز را بهبود بخشند و بهره‌وری انرژی را در بازه ۱۰ تا ۳۵ درصد افزایش دهند، (Li, et al., 2023).



جدول شماره ۱: ابزارها و خواستگاه‌های برخی از نظریات شهرسازی برای پاسخگویی به چالش تغییر اقلیم، مأخذ: نگارندگان

رویکردهای طراحی شهری	ابزارهای طراحی شهری	خواستگاه	مؤلفه‌های طراحی شهری	دهه
طراحی شهری رود - پیرامون (آبی)	افزایش تراکم شهری - رشد از درون - تراکم خطی پیوسته در کنار آب - تقویت نفوذپذیری فیزیکی و بصری شهر با رودخانه - طراحی لبه نرم باز پیوسته در کنار رودخانه - پیوند رودخانه با فضای باز	انگلستان	بصری - عملکردگرا	اواخر دهه ۱۹۹۰
زیرساخت سبز شهری	چند عملکردی کردن فضاها و عناصر، چند مقیاسی دیدن اقدامات، اتصال و ایجاد شبکه اکولوژیکی	اروپا	زیست-محیطی - بصری	اوایل دهه ۲۰۰۰
طراحی شهری آبی-سبز	فشرده‌گی شهری متوسط - ساختمان و کاربری زمین مختلط - برنامه‌ریزی خیابان‌های مشجر - سنگ‌فرش نفوذپذیر در پیاده‌روها - مهندسی بهره‌برداری از آب‌های سطحی (طراحی زهکش و حوضچه‌های باران‌گیر در معابر و سیستم جمع‌آوری آب باران)- بام، نما و دیوار سبز - طراحی پارک و فضاهای باز - تأکید بر برکه‌ها، آبرها و تالاب‌ها	هلند	زیست-محیطی - عملکردگرا	اواسط دهه ۲۰۰۰
بیوفیلیک شهر	طراحی پارک‌های شهری در شکل‌ها و مقیاس‌های گوناگون - راهبردهای انطباقی و کاهش تقاضا در بخش‌های انرژی، ساختمان و توسعه شهری، کاشت درختان و جنگل‌های شهری - ایجاد کمربندی سبز جهت محدودیت توسعه شهری - تأکید بر شبکه‌های پیوسته پیاده شهری	امریکا	زیست-محیطی - عملکردگرا	اواخر دهه ۲۰۰۰
انرژی‌داری شهر تجدیدپذیر	تأکید برای طراحی بومی و اقلیمی - استفاده از انرژی‌های تجدیدپذیر مثل انرژی خورشیدی، زمین گرمایی، باد، زیست‌توده - کنترل توسعه شهری - برنامه‌ریزی و پهنه‌بندی تراکم شهر -	اروپا/ایسلند	زیست-محیطی - عملکردگرا	دهه ۲۰۱۰
شهر اقلیم مثبت	استفاده گسترده از مصالح کم‌کربن و جذب‌کننده کربن، استاندارد ساختمان‌های صفر انرژی یا مثبت انرژی، تولید انرژی تجدیدپذیر در محل، شبکه‌های انرژی توزیع‌شده و هوشمند برای کاهش تلفات و ذخیره انرژی، افزایش توده زیستی گیاهی شهری، برنامه‌ریزی مترام و پیاده‌محور، زیرساخت کامل دوچرخه و حمل‌ونقل عمومی الکتریکی،	اروپا/کمیسیون سبز	زیست-محیطی - عملکردگرا	دهه ۲۰۱۰

۳ روش تحقیق

تاب‌آوری اقلیمی، آسایش حرارتی، تغییر اقلیم و جزیره حرارتی در پایگاه‌های علمی بین سال‌های ۱۹۸۰ تا ۲۰۲۴ جستجو شد که منجر به یافتن ۱۳۲۷ مقاله گردید.

جهت پالایش این مقالات، ۲۷۴ مقاله بر اساس معیارهای دقیقی از جمله دربرداشتن کلیدواژه‌های کلیدی، تمرکز بر رابطه بین تغییر اقلیم و فرم شهری و داشتن رویکردی تحلیلی - تجویزی برای ارائه شاخص‌ها، انتخاب گردیدند. پس از حذف ۴۳ مقاله به دلایلی مانند عدم همخوانی محتوایی یا تکرار، در نهایت ۲۳۱ مقاله برای تحلیل نهایی انتخاب شد.

در مرحله تحلیل، شاخص‌های کالبدی پرتکرار با استفاده از روش تحلیل محتوای کیفی (به کمک نرم‌افزار Maxqda) استخراج شدند. سپس این شاخص‌ها با به‌کارگیری روش تحلیل سلسله‌مراتبی (AHP) دسته‌بندی، رتبه‌بندی و میزان اهمیت هر یک تعیین گردید.

این پژوهش با هدف فهم مؤلفه‌های کالبدی پاسخگو به تغییر اقلیم در مقیاس‌های مختلف شهری (با تأکید بر مقیاس بلوک شهری) در چارچوب پارادایم تفسیری و با ماهیت کاربردی انجام پذیرفته است. هر چند رویکرد غالب آن کیفی است، اما از منظر روش‌شناختی در زمره پژوهش‌های آمیخته قرار می‌گیرد و با بهره‌گیری هم‌زمان از رویکردهای کیفی و کمی انجام شده است. فرایند پژوهش شامل سه مرحله: گردآوری داده‌ها از طریق مطالعات اسنادی و کتابخانه‌ای، تحلیل داده‌ها و یافته‌اندوزی است.

در این پژوهش، مهم‌ترین شاخص‌های کالبدی برای کاهش اثرات تغییر اقلیم و ایجاد آسایش حرارتی در پنج مقیاس (شهر، محله، بلوک شهری، خیابان و قطعه ساختمانی) استخراج، دسته‌بندی و رتبه‌بندی شدند. برای شناسایی این شاخص‌ها، کلیدواژه‌های مرتبط با مورفولوژی شهری، تهویه،

$$ENT: \left[\sum_{j=1}^K P_j \ln P_j \right] / \ln(k)$$

۴ مورد پژوهی

شهر میبد مرکز شهرستان میبد در شمال استان یزد است. میبد شهری تاریخی در شمال و دومین مرکز شهری و تجاری استان است که بخش‌های زیادی از آن در فهرست آثار تاریخی ایران ثبت شده‌اند. این شهر اقلیمی خشک دارد، میانگین بارندگی سالانه‌اش حدود ۵۰ تا ۶۰ میلی‌متر و بسیار کم، متغیر و نامنظم است. منابع آبی آن محدود بوده و از گذشته از آب‌های سطحی و زیرزمینی تأمین می‌شده است.

۵ یافته‌ها و بحث

مرور ادبیات بیانگر آن است که تحلیل رابطه خصوصیات کالبدی و تغییر اقلیم در تمامی مقیاس‌ها (ساختمان، خیابان، بلوک شهری، واحد همسایگی، شهر و منطقه شهری) مورد توجه اندیشمندان بوده است (جدول شماره ۲).

باتوجه به تحلیل سلسه‌مراتبی انجام شده مشخص گردید که در مقیاس شهر/ مناطق درون‌شهری به ترتیب الگوی شبکه ارتباطی، پیکره‌بندی فضایی و شبکه فضاهای سبز و در مقیاس محله/ واحد همسایگی الگوی شبکه ارتباطی و الگوی ساخت مهم‌ترین عناصر کالبدی جهت برنامه‌ریزی یا طراحی برای پاسخگویی شهرها به تغییر اقلیم هستند (جدول شماره ۳). در مقیاس بلوک شهری نیز، شبکه ارتباطی و الگوی طراحی از عناصر اصلی کالبدی بوده و در مقیاس‌های خیابان‌شهری و قطعه ساختمانی به ترتیب الگوی خیابان-جهت‌گیری آن و مکان قطعه در بلوک بیشترین تأثیر را جهت دستکاری و طراحی برای تقلیل اثرات تغییر اقلیم را دارند. جهت سنجش و اندازه‌گیری دقیق شاخص‌ها، نیاز به تدوین زیرشاخص‌های مرتبط بوده است، لذا باتوجه به اینکه مقیاس مورد تأکید در این پژوهش بلوک شهری است، در ادامه تلاش بر این بوده است

برای تحلیل شاخص‌ها، مقیاس بلوک شهری به دلایل زیر انتخاب شد: دقت بالاتر شبیه‌سازی، دسترسی بهتر به داده‌های پایه، عملی‌تر بودن مدل‌سازی به لحاظ حجم داده‌پردازی، و قابلیت دسته‌بندی بهتر و مقایسه‌پذیری معنادارتر الگوهای کالبدی. براین اساس، چهار بلوک شهری با ویژگی‌های کالبدی متفاوت در نرم‌افزارهای ENVI-met (برای تحلیل اقلیمی) و Depthmap (برای تحلیل چیدمان فضایی) در گرم‌ترین روز سال طی ۴۰ سال گذشته شبیه‌سازی و بررسی شدند.

همچنین، به منظور پالایش و تدقیق شاخص‌ها، پرتکرارترین نوع بلوک شهری پیشنهادی در طرح تفصیلی شهر میبد برای توسعه‌های آینده، با در نظرگیری روند تغییر اقلیم و شرایط آب‌وهوایی پیش‌بینی‌شده برای ۵۰ سال آینده، مورد شبیه‌سازی و تحلیل قرار گرفت. برای پیش‌بینی شرایط آب‌وهوایی، ابتدا میزان تغییر اقلیم شهر میبد تا سال ۱۴۵۰ با استفاده از نرم‌افزار LARS-WG5 برآورد گردید. سپس برای ریزنمایی و افزایش دقت مکانی متغیرهای اقلیمی (بارش، دمای حداقل و حداکثر) از مدل HADCM3 استفاده شد. داده‌های اقلیمی مورد نیاز از طریق روش میان‌یابی و با استفاده از نرم‌افزار Meteororm و داده‌های ایستگاه‌های هواشناسی اطراف استخراج گردید. علاوه بر این، برای سنجش زیرشاخص‌های فشردگی و اختلاط کاربری از روش آنتروپی شانون بهره گرفته شد.

روش محاسبه آنتروپی از طریق رابطه زیر است که در آن P_j فراوانی نسبی سهم هر نوع کاربری یا به عبارتی دیگر، مقدار وزن هر یک از لایه‌ها (کاربری-ها) است و $K \geq 2$ تعداد انواع کاربری‌ها را شامل می‌گردد. نتایج محاسبه شده در دامنه‌ای بین ۱-۰ قرار دارد به‌گونه‌ای که صفر گویای همگنی کامل (عدم اختلاط اراضی) و یک گویای تنوع و عدم تجانس کامل (اختلاط اراضی) در درون مرزهای محله/ منطقه است.



عمق فضایی، اتصال‌پذیری و هم‌پیوندی است، همچنین در شاخص الگوی طراحی، توسعه فشرده و اختلاط کاربری از مهم‌ترین زیرشاخص‌ها هستند. در شاخص فضای سبز نیز مهم‌ترین زیر شاخص میزان یا مساحت فضای تخصیص داده‌شده به فضای سبز شناسایی شده است (جدول شماره ۳).

زیرشاخص‌های کالبدی موردنظر باتوجه به مرور ادبیات استخراج، بررسی و دسته‌بندی گردند.

مرور ادبیات نشان‌دهنده این امر است که مهم‌ترین زیرشاخص‌ها جهت بررسی شاخص الگوی شبکه ارتباطی در بلوک‌های شهری زیرشاخص‌های

جدول شماره ۲: درصد پراکنش منابع باتوجه به بر نقش جنبه‌های فرم شهری بر تغییر اقلیم در مقیاس‌های گوناگون شهری

موضوع	حوزه	مقیاس	تعداد	درصد
فرم شهری و تأثیر آن بر روی آسایش حرارتی و تغییر اقلیم	جزایر حرارتی/شبکه ارتباطی/ پراکنش فضاهای باز شهری/الگوی توسعه/چندمرکزی و تک مرکزی شهرها	شهر/ مناطق شهری	۶۸	۲۹/۴۳%
	فشرده‌گی و اختلاط کاربری/ شبکه ارتباطی سواره و پیاده/فضاهای سبز/نفوذپذیری	محله/واحد همسایگی	۵۶	۲۴/۲۴%
	شبکه ارتباطی/ فضاهای سبز/ الگوی چیدمان و توده‌گذاری	بلوک شهری	۴۷	۲۰/۰۳%
	جهت‌گیری و محصوریت/ تناسب ابعاد خیابان/ فرم هندسی خیابان	خیابان شهری	۴۶	۱۹/۹۱%
	ابعاد و فرم قطعات/جهت‌گیری قطعات	قطعه ساختمانی	۱۴	۶/۰۶%

جدول شماره ۳: عناصر کالبدی پاسخگو به تغییر اقلیم و آسایش حرارتی باتوجه به مقیاس‌های فضایی گوناگون و درجه اهمیت آنها

مقیاس	منابع	
	شاخص‌ها	ردیف
شهر	شبکه ارتباطی	(Gülten & Öztop, ۲۰۲۰); (Tavassoli, ۲۰۱۶); (Hurlimann & March, ۲۰۱۴)
	پیکره‌بندی فضایی	(Deng, Guangxing, Chan, & Weiwei, ۲۰۱۶); (He, Ding, & Prasad, ۲۰۲۰)
	تراکم پوشش گیاهی	(Wong, Ma, Cheung, Lo, & Jim, ۲۰۲۴); (Cheng, et al., ۲۰۲۱)
محله/واحد همسایگی	۱ الگوی خیابان	(Yang, Jin, Xiao, Jin, & Xia, ۲۰۱۹)
	۲ الگوی ساخت	(He, Ding, & Prasad, ۲۰۲۰); (Vaisi & Taheri, ۲۰۲۳)
	۳ کاربری زمین	(Lin, Hang, Li, Luo, & Sandberg, ۲۰۱۴); (Gülten & Öztop, ۲۰۲۰)
	۴ فضای باز و فضای سبز	(Lin, Liu, Liang, Jin, & Shui, ۲۰۲۲); (Fang, Gu, Qian, Sun, & Wang, ۲۰۲۱)
	۵ پیوستگی فضایی	(Tavassoli, ۲۰۱۶); (Narimani, Karimi, & Brown, ۲۰۲۲)
	۶ طول خیابان	(Kubota, Miura, Tominaga, & Mochida, ۲۰۰۸)
	۷ شاخص دید به آسمان	(Luo, He, & Ni, ۲۰۱۷); (Wang B., ۲۰۱۹); (Privitera, Palermo, Martinico, Fichera, & Rosa, ۲۰۱۸)
بلوک شهری	۱ الگوی شبکه ارتباطی	(Niklas & Sebastian, ۲۰۲۴), (Narimani, Karimi, & Brown, ۲۰۲۲)
	۲ الگوی طراحی	(Yang, Jin, Xiao, Jin, & Xia, ۲۰۱۹), (Wu & Liu, ۲۰۲۴), (Khraiwesh & Genovese, ۲۰۲۳)
	۳ فضای باز و فضای سبز	(An, Cai, Xu, Qiao, & Han, ۲۰۲۲), (Ma, Wang, Zhou, & Zhu, ۲۰۲۲), (Zou & Fan, ۲۰۲۴)
خیابان شهری/محلی	۱ الگوی خیابان و جهت‌گیری	(Aghakarimi & Bahrainy, ۲۰۱۶); (Tavassoli, ۲۰۱۶); (Narimani, Karimi, & Brown, ۲۰۲۲)
	۲ طول خیابان	(Lin, Hang, Li, Luo, & Sandberg, ۲۰۱۴); (Luo, He, & Ni, ۲۰۱۷); (Gülten & Öztop, ۲۰۲۰)
	۳ تراکم ساختمانی	(Li, Zhao, Xia, & Xie, ۲۰۲۳); (Panagiotou, Neophytou, Hamlyn, & Britter, ۲۰۱۳);
	۴ محصوریت	(Fang, Gu, Qian, Sun, & Wang, ۲۰۲۱); (Curdes, ۲۰۱۳); (Tavassoli, ۲۰۱۶)
	۵ تناسب ابعاد خیابان	(Georgakis & Santamouris, ۲۰۰۶), (Yim, Fung, Lau, & Kot, ۲۰۰۹)
	۶ چیدمان ساختمان‌ها	(Zhou, Wang, & Feng, ۲۰۲۳); (Yang, Qian, & Lau, ۲۰۱۳); (Tavassoli, ۲۰۱۶)
قطعه ساختمانی	۱ مکان قطعه در بلوک	(Zhou, Wang, & Feng, ۲۰۲۳); (Xiong, Guo, Wu, Xiao, & Lu, ۲۰۲۳)
	۲ کاربری قطعه زمین	(Luo, He, & Ni, ۲۰۱۷); (Wang B., ۲۰۱۹); (Privitera, Palermo, Martinico, Fichera, & Rosa, ۲۰۱۸);
	۳ شکل قطعه زمین	(Zhou Y., ۲۰۲۳); (Scyphers, ۲۰۲۳) (Loeffler, Österreicher, & Stoeglehner, ۲۰۲۱)
	۴ ابعاد قطعه زمین	(Snaiki & Parida, ۲۰۲۳) (Boccalatte, Fossa, Gaillard, & Menezo, ۲۰۲۳)

از داده‌های دما و بارش ثبت شده توسط اداره هواشناسی میبد و یزد استفاده گردید. مقیاس زمانی

در این مطالعه جهت بررسی و شبیه‌سازی وضعیت کنونی دما و همچنین پیش‌بینی آن برای سال ۱۴۵۰

مصنوعی و مشاهداتی اجرا گردید تا اختلاف‌های قابل‌توجه آماری در آنها وجود نداشته باشد. توزیع‌های احتمالاتی داده‌های مصنوعی و مشاهداتی با استفاده تست مطلوبیت برازش (KD) و میانگین‌ها و انحراف معیارها با استفاده از آزمون‌های T و F، به‌منظور اعتبارسنجی نتایج مقایسه شد.

بعد از ورود داده‌ها به نرم‌افزار و اجرای مدل، آزمون کیفیت توسط نرم‌افزار به طور خودکار انجام شد. باتوجه‌به مقادیر p-value مربوط به آمارهای T و F در این مرحله به‌طورکلی می‌توان به نتایج خروجی مدل لارس اعتماد داشت؛ زیرا نتایج ایستگاه انتخاب شده، نشان داد شبیه‌سازی دمای حداقل، دمای حداکثر و بارندگی با میزان p-value و آماره-های T و F همراه بوده است و مقادیر p-value بالاتر از سطح اطمینان ۰/۰۱ و ۰/۰۵ درصد هستند؛ بنابراین صحت سنجی خروجی‌های مدل لارس نشان می‌دهد، این مدل برای منطقه موردنظر و پارامترهای دمای حداقل، دمای حداکثر و بارندگی از اعتبار بالای نتایج برخوردار است.

این داده‌ها، به‌صورت روزانه بوده و داده‌ها در یک دوره آماری ۴۳ساله از سال‌های ۱۳۵۹ تا ۱۴۰۲ مورد تجزیه‌وتحلیل و بررسی قرار گرفته‌اند. لازم به ذکر است در انتخاب ایستگاه اداره هواشناسی دو معیار کیفیت داده‌ها و موقعیت مکانی موردتوجه بوده است.

لازم به ذکر است از نرم‌افزار کوچک‌مقیاس سازی LARS-WG5 برای شبیه‌سازی غیرقطعی آب‌وهوا بر اساس شرایط موجود استفاده گردید. همچنین در این پژوهش، از داده‌های بارندگی به همراه متغیرهای دمای حداقل و دمای حداکثر به‌عنوان داده‌های ورودی نرم‌افزار استفاده گردید. برای تخمین وضعیت آب‌وهوا باتوجه‌به روند تغییر اقلیم، از بین مدل‌های گزارش ارزیابی چهارم و سناریوهای انتشار، از مدل (HadCM3) و سناریو انتشار A2 استفاده شد. نتایج این مدل برای سناریوی در نظر گرفته شده توسط مدل لارس کوچک‌مقیاس شدند. آزمون Q (آزمون کیفیت) نیز به‌منظور بررسی خصوصیات آماری داده‌های

جدول شماره ۴: زیر شاخص‌های کالبدی در مقیاس بلوک شهری جهت سنجش نمونه‌های موردی

شاخص	زیرشاخص	تعریف
الگوی شبکه ارتباطی	عمق فضایی	کاهش عمق فضایی و به‌تبع آن افزایش نفوذپذیری در بلوک‌های شهری باعث کاهش سفرهای طولانی و افزایش امکان دسترسی به یک نقطه از طریق مسیرهای گوناگون می‌گردد.
	اتصال‌پذیری	اتصال‌پذیری باعث افزایش نفوذپذیری و به‌تبع آن کاهش سفرها و همچنین افزایش هم‌پیوندی می‌گردد.
	هم‌پیوندی	هم‌پیوندی باعث متعادل‌سازی پخشایش ترافیک شهری و از طرف دیگر تعادل عملکردی متناسب خیابان‌ها در مقیاس‌های شهر و بلوک شهری خواهد شد.
الگوی طراحی	الگوی توسعه	الگوی توسعه فشرده در بلوک و بافت شهری نسبت به سایر الگوها دارای ارجحیت بیشتری برای ایجاد شهرهای پایدار و پاسخگو است.
	الگوی کاربری زمین	کاربری‌های مختلط شهری تأثیر بسیاری در کاهش حجم سفرها و ترغیب به پیاده‌مداری در بلوک و بافت‌های شهری خواهند داشت.
فضاهای باز و سبز	مساحت	تراکم و وسعت فضاهای سبز سایه‌دار باعث خنک‌شدن درون‌مرکز محلات و بلوک‌های شهری می‌گردد.

به‌منظور کوچک‌مقیاس سازی داده‌های دما و بارش منطقه مورد مطالعه از مدل LARS-WG که از توانایی خوبی برای شبیه‌سازی دما و بارش در منطقه برخوردار است، استفاده شد. از این‌رو

متوسط بلندمدت دما و بارش هر ماه در دوره‌های آتی باتوجه‌به نتایج مدل HadCM3 محاسبه گردید. بر اساس بررسی‌ها، بالاترین میزان افزایش دمای حداقل در فصل تابستان به میزان ۲/۹ درجه سانتی‌گراد است. همچنین فصل‌های بهار و پاییز



باتوجه به کاهش فواصل ساختمان‌ها و ایجاد محصوریت نسبی در معابر فرعی (نسبت عرض به ارتفاع ۳/۵ به ۱) مقادیر دمایی کاهش یافته است. محصوریت نسبی و سایه‌اندازی برخی نقاط این بافت باعث گردیده است حدود ۵/۵ درجه سانتی-گراد این بافت نسبت به بافت فضای اطراف خنک‌تر باشد. از طرف دیگر فشردگی و مساحت فضای سبز پایین این بافت نسبت به سایر بلوک‌ها باعث گردیده است این بلوک نسبت به سایر بلوک‌ها به لحاظ پاسخگویی پایین‌ترین رتبه را داشته باشد.

ساختار جدید/بافت جدید (NSNF^۲): بررسی دمایی مدل دوم نشان می‌دهد این بافت نسبت به بافت‌های شماره سه و چهار دارای میانگین دمایی بالاتری است؛ بطوریکه در گرم‌ترین روز دما مابین ۴۸.۱۰ تا ۵۳.۱۳ درجه سانتی‌گراد است. تراکم مصالح ساختمانی، استفاده از مصالح تیره، ناماسازی با مصالح ناهمخوان با اقلیم منطقه و محصوریت نسبتاً کم خیابان‌ها به دلیل فاصله بلوک‌ها از یکدیگر سبب شده است میزان گرمای محیطی بین بلوک‌ها افزایش یابد. در بررسی میانگین دمایی تابستان شرایط محیطی حاکم بر فضای شهری تقریباً ثابت است و به دلیل میزان زیاد فاصله بلوک‌ها تفاوت دمایی کمتری بین محیط‌های مختلف این بافت وجود دارد و دامنه دمایی کل محیط ۱۵.۰۶ تا ۱۷.۱۲ درجه سانتی‌گراد بوده است. در برخی از نقاط که خیابان‌ها وجود دارد دما کمی از سایر نقاط بالاتر است و این نشان می‌دهد در بافت جدید به دلیل گشودگی بین بلوک‌ها، کمبود کاشت در کناره خیابان و استفاده از مصالح تیره‌رنگ نمی‌توان تأثیر چندانی بر دمای محیطی بلوک گذاشت. مهم‌ترین نکته بسیار پر اهمیتی که در این بلوک وجود دارد الگو و جهت‌گیری خیابان‌ها به سمت باد مطلوب است به طوری که این امر سبب گردیده گرمای هوا با وزش بادهای بسیار کاهش و تهویه طبیعی شکل گیرد. از طرف دیگر این بلوک باتوجه به زیرشاخص-های دسترسی از مطلوبیت مناسبی و به جهت

نسبت به دیگر فصول افزایش دمای حداکثر بیشتری را نشان می‌دهند. نتایج نشان می‌دهد که بارندگی در فصل زمستان و پاییز کاهش و در فصل بهار و تابستان افزایش می‌یابد.

تخمین آب‌وهوا در سال ۱۴۵۰ در شهر میبد نشان می‌دهد تابستان‌ها و زمستان‌های گرم‌تری در این شهر پیشرو است؛ بطوریکه میانگین تابستان‌ها و زمستان‌ها ۲ درجه سانتی‌گراد گرم‌تر از زمان حال خواهند بود که این امر می‌تواند باعث کاهش بارندگی و در نتیجه کاهش ذخایر آب زیرزمینی گردد.

۶ تحلیل مبتنی بر شبیه‌سازی

شرایط آسایش حرارتی انسان از نظر دمایی بین ۲۳ تا ۱۸ درجه سانتی‌گراد است (Cheung & Jim, 2019)؛ لذا تحلیل‌های صورت‌گرفته بر اساس این بازه دمایی و باتوجه به شرایط آسایش حرارتی انسان صورت پذیرفته است. بررسی و تحلیل کلی نقشه‌ها نشان می‌دهد در گرم‌ترین روز میبد، هیچ‌کدام از انواع بلوک‌های شهری چهارگانه، توان پاسخگویی لازم به ایجاد شرایط آسایش حرارتی را ندارند؛ بطوریکه استفاده‌کنندگان از فضا، در هیچ‌کدام از این بلوک‌ها احساس آسایش حرارتی را تجربه نخواهد نمود. رفتار بلوک‌ها در برابر دمای میانگین تابستان نشان‌دهنده آن است که به ترتیب بلوک-های "ساختار ارگانیک/بافت قدیم"، "ساختار جدید/بافت قدیم"، "ساختار قدیم/بافت قدیم" به همراه فضای سبز و "ساختار قدیم/بافت جدید" با اولویت اول به آخر، از پاسخگویی و ایجاد شرایط آسایش دمایی بهتری برخوردار هستند.

ساختار ارگانیک/بافت جدید (OSNF^۱): بررسی دمایی درون بلوک نشان می‌دهد میزان دما در داخل محدوده ساخت در گرم‌ترین روز سال به طور میانگین ما بین ۵۱.۱۸ درجه سانتی‌گراد و تا حدی ۵۳.۵۷ درجه سانتی‌گراد بوده است (گرم‌ترین بلوک). همچنین در برخی از مناطق این بلوک

2. New Structure/New Fabric

1. Organic Structure/New Fabric

نشان‌دهنده افزایش دما در تمامی بخش‌ها است (جهت‌گیری ۲۷/۳۶ - ۳۲/۴۱ درجه سانتی‌گراد). جهت‌گیری مناسب معابر (شمال غربی) باتوجه‌به باد مطلوب همچنان تأثیر خود را به‌عنوان یک عامل بر کاهش دما و تهویه طبیعی خیابان بطوریکه دما را در حدود ۵ درجه سانتی‌گراد نسبت به دمای بام‌ها کاهش داده است، نشان می‌دهد. از طرف دیگر فضاهای سایه‌دار در حدود ۲ درجه سانتی‌گراد و سایه‌دار مشجر در حدود ۲.۵ الی ۳ درجه سانتی‌گراد باتوجه‌به تراکمشان از فضای خیابان خنک‌تر مشاهده گردیدند. نتایج شبیه‌سازی نشان‌دهنده آن است که استفاده از مصالح تیره در بام و کف خیابان باعث تمرکز و افزایش دما در این نقاط شده است، همچنین در مکان‌هایی که محصوریت با تغییر جهت خیابان تا حدودی افزایش نموده است، به طور معناداری دما در حدود ۲ تا ۳ درجه سانتی‌گراد کاهش نموده است.

فشرده‌گی بعد از بلوک ساختار قدیم/بافت قدیم در رتبه دوم قرار دارد. بررسی آسایش حرارتی با استفاده از شاخص pmv شاهد گرمای بیش از حد در محیط هستیم و این بدان معناست که در دماهای بالا نمی‌توان این الگو را به‌عنوان بافت پاسخگو در نظر گرفت؛ اما اگر مقادیر را به‌دقت مطالعه کنیم می‌توان دید که میزان آسایش حرارتی در این مدل به دلیل جهت‌گیری خیابان‌ها به‌طرف باد مطلوب نسبت به دو مدل قبلی شرایط بهتری دارد به‌طوری‌که در حالت کلی شاخص pmv ما بین ۳.۳۰ تا ۷.۸۸ قرار گرفته است. باتوجه‌به اینکه در طرح تفصیلی جدید شهر میبد اساس توسعه شهر هندسی - شطرنجی منظم برنامه‌ریزی شده است، لذا در ادامه بلوک ساختار جدید/بافت جدید بر اساس شرایط اقلیمی سال ۱۴۵۰ شبیه‌سازی گردید. بررسی شرایط دمایی بلوک در سال ۱۴۵۰

نمونه موردی	مشخصات کالبدی	گرم‌ترین روز سال شده	PMV گرم‌ترین روز	دمای میانگین تابستان	PMV دمای میانگین تابستان	عقب فضای	اتصال پذیری	همبستگی	فشرده‌گی کاربری	اختلاط فضای سبز (%)
بافت جدید ساختار تراکم									۰/۵۸	۰/۲۱ درصد
بافت جدید ساختار جدید									۰/۷۳	۰/۱۱ درصد
ترکب بافت قدیم و فضای سبز ساختار تراکم									۰/۶۹	۰/۳۱ درصد
بافت قدیم، ساختار تراکم									۰/۸۹	۰/۲۳ درصد
بافت جدید، ساختار جدید در سال ۱۴۰۷									۰/۷۳	۰/۱۱ درصد

تصویر شماره ۱: مقایسه و بررسی بلوک‌های شهری باتوجه‌به مشخصات کالبدی در گرم‌ترین روز سال و میانگین دمای سال

۱۴۵۰ شبیه‌سازی گردید. بررسی شرایط دمایی بلوک در سال ۱۴۵۰ نشان‌دهنده افزایش دما در تمامی بخش‌ها است (جهت‌گیری ۲۷/۳۶ - ۳۲/۴۱ درجه سانتی‌گراد). جهت‌گیری مناسب معابر (شمال غربی) باتوجه‌به باد مطلوب همچنان تأثیر خود را به‌عنوان

باتوجه‌به اینکه در طرح تفصیلی جدید شهر میبد اساس توسعه شهر و حتی متأسفانه اصلاح بافت قدیمی بر مبنای بافت هندسی - شطرنجی منظم برنامه‌ریزی شده است، لذا در ادامه بلوک ساختار جدید/بافت جدید بر اساس شرایط اقلیمی سال



کاهش و همچنین میزان تابش بر سطوح در دماهای بالا باعث بهبود شرایط خواهد شد.

ساختار ارگانیک/بافت ارگانیک (OSOF^۳): در بررسی دامنه دمایی تابستانه، دمای فضای داخلی بلوک بین ۱۵.۵۲ تا ۱۷.۲۴ درجه سانتی‌گراد است که نشان می‌دهد دمای آسایش را تأمین می‌نماید. نقشه‌های حرارتی نشانگر آن است که فشردگی (۰/۸۹)، محصوریت فضایی (نسبت ارتفاع به عرض یک به دو) و سایه‌اندازی مناسب سبب شده است که آثار گرما در روزها تقلیل یابد؛ همچنین کوچه‌های پیچ در پیچ مانع نفوذ بادهای گرم در روزها و بادهای سرد در شب‌ها شده است. اختلاط کاربری این بلوک نسبت به میانگین، بالاتر و زیرشاخص‌های شبکه ارتباطی آن چون هم‌پیوندی (۲/۱۱)، اتصال‌پذیری (۲۴۱) و عمق فضایی (۲/۱۱) از میانگین سایر بلوک‌ها پایین‌تر است. باید اذعان نمود باتوجه‌به ویژگی کالبدی بلوک، اگرچه به لحاظ دمایی این‌گونه، پاسخگویی نسبتاً مناسبی را به شرایط دمایی دارد، اما باتوجه به آماره‌های دسترسی، از وضعیت مطلوبی جهت ترافیک و نفوذپذیری برخوردار نیست.

در حالت کلی می‌توان گفت در شهرهای اقلیم گرم و خشک زمان‌هایی از شبانه‌روز دمای هوا بسیار بالاتر از حد آسایش انسان و در برخی ساعات هوا بسیار سرد است و می‌توان با طراحی سایه‌دار و فشرده‌تر این اختلاف دمایی را تا حدودی کاهش داد. اما این بدان معنا نیست که بتوان شرایط را طوری کنترل کرد که بتوان تا حدودی آسایش حرارتی را در تمام ساعات به حالت ایدئال نزدیک کرد.

ساختار جدید/بافت جدید در سال ۱۴۵۳ با توجه به روند تغییر اقلیم (FNUF^۳):

بررسی نقشه‌های شبیه‌سازی پنجاه سال آینده نشان‌دهنده افزایش ۲ درجه سانتی‌گراد دما در آن سال است. نتایج حاصل از پایش شرایط حرارتی

یک عامل بر کاهش دما و تهویه طبیعی خیابان بطوریکه دما را در حدود ۵ درجه سانتی‌گراد نسبت به دمای بام‌ها کاهش داده است، نشان می‌دهد. از طرف دیگر فضاهای سایه‌دار در حدود ۲ درجه سانتی‌گراد و سایه‌دار مشجر در حدود ۲.۵ الی ۳ درجه سانتی‌گراد باتوجه‌به تراکمشان از فضای خیابان خنک‌تر مشاهده گردیدند.

نتایج شبیه‌سازی نشان‌دهنده آن است که استفاده از مصالح تیره در بام و کف خیابان باعث تمرکز و افزایش دما در این نقاط شده است، همچنین در مکان‌هایی که محصوریت با تغییر جهت خیابان تا حدودی افزایش نموده است، به طور معناداری دما در حدود ۲ تا ۳ درجه سانتی‌گراد کاهش نموده است.

ساختار ارگانیک/بافت قدیم دارای فضای سبز (OSOGF^۱): بررسی شرایط این مدل در گرم‌ترین روز حاکی از آن است که دمای کل بلوک بین ۵۰.۶ تا ۵۳.۰۸ درجه سانتی‌گراد بوده و بیش از حد معمول گرم است. وجود و وسعت مزارع و کمبود درختان سایه‌دار در این بلوک باعث کاهش محصوریت و فشردگی بافت شده است، از طرفی ایجاد دسترسی‌های مختلف به این مزارع با جاده‌های نسبتاً پهن و مصالحی تیره چون آسفالت سبب گردیده است، دما در این منطقه بالا رود. در مقابل قسمت‌هایی از بلوک شهری که دارای کوچه‌های باریک و محصور است کمترین دما را ثبت کرده است. در بخش‌هایی که میزان پوشش گیاهی سایه‌دار وجود دارد سایه‌اندازی و افزایش رطوبت هوا سبب گردیده است دما تا حدود ۲ درجه سانتی‌گراد خنک‌تر شود و این بدان معناست که در صورت استفاده از این دو شاخص می‌توان شاهد بهبود شرایط آسایش اقلیمی بود. همان‌طور که مشخص است در این مدل دامنه دمایی محیط بین ۱۵.۵۶ تا ۱۷.۱۵ درجه سانتی‌گراد بوده است. به نظر می‌رسد طراحی فشرده میزان نفوذ باد سرد در دماهای پایین

Future New Urban Fabric³

1. Organic Structure/Old Green Fabric

2. Organic Structure/Organic Fabric

باز بلوک‌های **OSNF** و **OSOGF** از دو بلوک دیگر بیشتر است.

بررسی دمای ثبت‌شده در چهارترکیب از ساختار و بافت شهری در ساعات مختلف شبانه‌روز نشان می‌دهد که کمترین میانگین دما مربوط به نواحی دارای **OSOF** بوده و پس از آن، با فاصله‌ای نسبتاً کم، نواحی دارای «بافت جدید با ساختار بلوک شهری جدید» قرار دارند. این الگو بیانگر آن است که بافت‌های سنتی، به دلیل بهره‌مندی از کوچه‌های باریک، سایه‌اندازی مناسب، استفاده از مصالح با ظرفیت حرارتی بالا و انسجام فضایی، توانسته‌اند عملکرد حرارتی مناسبی در اقلیم گرم و خشک ارائه دهند. از سوی دیگر، ترکیب **NSNF** نیز به واسطه‌ی جهت‌گیری مطلوب معابر در راستای باد غالب، طراحی مؤثر سایه‌اندازی ساختمان‌ها، حضور قابل‌توجه فضای سبز، و همچنین برخورداری از اتصال‌پذیری بالا، عمق فضایی اندک، و هم‌پیوندی مناسب در شبکه معابر، موفق به دستیابی به دمای میانگین مطلوب شده است.

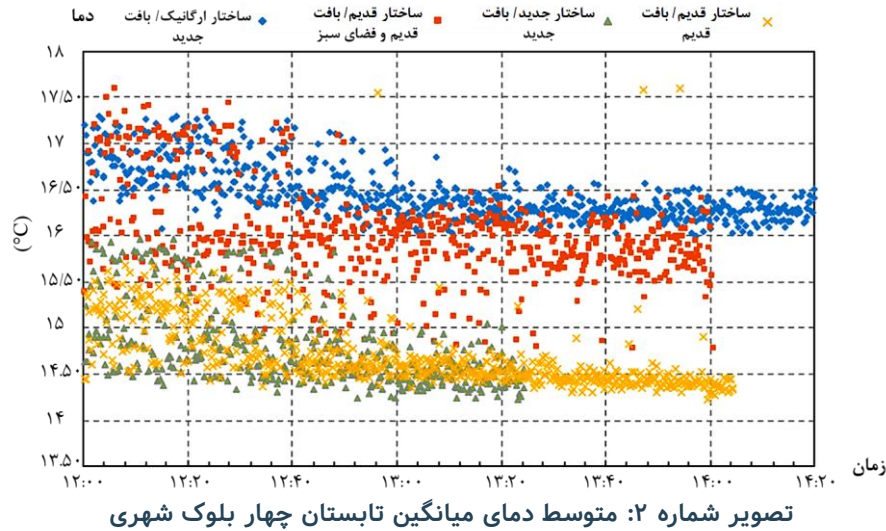
در مقابل، در بلوک **OSOGF** که دارای فضای سبز موضعی بود، دمای بالاتری نسبت به سایر بلوک‌های هم‌رده ثبت شد. به دلیل عدم برخورداری از پوشش گیاهی سایه‌انداز، کاهش محصوریت فضایی و همچنین کاهش هم‌پیوندی فضایی با بافت اطراف، تأثیری منفی بر عملکرد حرارتی کلی بلوک داشته است. این فضای سبز بر پایه تخریب یکی از پلاک‌های مسکونی احداث شده و در نتیجه، نه تنها به انسجام ساختاری آسیب رسانده، بلکه به‌عنوان یک فضای منفصل، ارتباط فضایی میان عناصر بافت را تضعیف کرده است. این یافته حاکی از آن است که گرچه فضای سبز تا ۷ درجه سانتی‌گراد می‌تواند هوا را خنک‌تر نماید. همچنین، در بلوک دارای **OSNF** نیز میانگین دمایی بالا ثبت شد. این امر ناشی از ناهماهنگی میان ساختار و بافت، ایجاد فضاهای باز آفتاب‌گیر، و نبود یکپارچگی فضایی است. در این تیپ بلوک، اگرچه هم‌پیوندی و اتصال‌پذیری نسبی وجود دارد، اما استفاده از مصالح

حاکی از ثبت دامنه‌ای از دماهای بسیار با کمینه و بیشینه‌ی به ترتیب ۴۸.۵۹ و ۵۳.۲۱ درجه سانتی‌گراد است. پیش‌بینی‌ها نشان می‌دهد که تحت تأثیر تغییرات اقلیمی، نارضایتی حرارتی نه تنها تداوم خواهد یافت، بلکه تأثیر این تغییرات بر شرایط آسایش حرارتی در گرم‌ترین روز سال، فضا را غیرقابل زندگی می‌نماید. این پدیده به‌گونه‌ای است که دامنه‌ی شاخص قضاوت حرارتی متوسط (PMV) از ۳.۱۶ تا ۸.۳۰ در نوسان خواهد بود که بیانگر شرایط حرارتی به‌مراتب دشوارتر در قسمت‌هایی از منطقه‌ی مورد مطالعه است. در مقابل، و در تضادی جالب‌توجه، تحلیل‌ها حاکی از آن است که درون بافت شهری، به‌واسطه‌ی دو عامل کلیدی هم‌جهتی محورهای ارتباطی با مسیر وزش باد مطلوب و همچنین نفوذپذیری مؤثر بافت، شرایط آسایش حرارتی بهبود یافته است. به نظر می‌رسد با رعایت ملاحظات در طراحی، نظیر توجه به جهت‌گیری خیابان‌ها به منظور افزایش نفوذپذیری باد در میان توده‌های ساختمانی، افزایش مقدار سایه‌اندازی توسط فضای سبز، کاهش عرض معابر و افزایش محصوریت فضاها، بتوان شرایط زیستی را حتی در این چارچوب اقلیمی، مساعدتر نمود. این مطالعه روند تغییرات میانگین دمای آسایش حرارتی بلوک‌های موردپژوهی را در تصویر شماره چهار نشان می‌دهد. همان‌طور که از تصویر بالا می‌توان استنباط نمود، مقادیر متوسط آسایش حرارتی چهار گونه بلوک با توجه به ویژگی‌های کالبدی‌شان متفاوت است. رتبه‌بندی میانگین مقادیر آسایش حرارتی از بزرگ‌ترین تا کوچک‌ترین در تصویر ۱ نشان‌دهنده آن است که محدوده تغییرات میانگین دمای بلوک ساختار **OSNF** ۱۶٫۵-۱۷٫۵ درجه سانتی‌گراد و محدوده تغییرات میانگین دمای بلوک **OSOGF** ۱۶٫۴۶-۱۶٫۰۶ درجه سانتی‌گراد است. همچنین محدوده تغییرات میانگین دمای بلوک نوع **NSNF** ۱۴٫۵۰-۱۵٫۰۳ درجه سانتی‌گراد است و دامنه تغییرات میانگین دمای بلوک نوع **OSOF** ۱۴٫۵۰-۱۵٫۰۱ درجه سانتی‌گراد است. همان‌طور که در تصویر ۱ مشخص می‌شود، میانگین دمای در فضای



نشان می‌دهد که صرف وجود فضای باز یا ساختار ارگانیک، بدون توجه به هماهنگی کالبدی و اقلیمی، نمی‌تواند منجر به ارتقای کیفیت حرارتی در بافت شهری گردد.

غیربومی مانند آسفالت و ایزوگام، بی‌توجهی به جهت‌گیری اقلیمی در جانمایی قطعات، و همچنین تراکم بسیار پایین پوشش گیاهی موجب تضعیف عملکرد حرارتی شده است. در مجموع، یافته‌ها



تصویر شماره ۲: متوسط دمای میانگین تابستان چهار بلوک شهری

معايير بیشتر باشد دستیابی به آسایش حرارتی تسهیل تر خواهد شد. از طرف دیگر، جهت‌گیری معابر به سمت باد مطلوب می‌تواند تا حد بسیاری باد را به درون بلوک‌های شهری هدایت نماید تا علاوه بر کاهش دما، زمینه‌ساز تهویه طبیعی بلوک‌های شهری می‌گردد. همین‌طور جهت‌گیری مناسب معابر جهت بهره‌مندی از جریان طبیعی هوا، سایه‌اندازی و افزایش مساحت فضای سبز در بلوک‌های شهری خود به‌تنهایی می‌تواند زمینه‌ساز کاهش قابل‌توجه دمای داخلی بلوک‌ها گردد؛ و با افزایش فشردگی و محصوریت معابر به طور معناداری دما درونی بلوک کاهش می‌یابد.

تأثیر کالبد شهری بر ایجاد آسایش اقلیمی و پاسخگویی به تغییر اقلیم، امری مسلم است. به نظر می‌رسد شهرها می‌توانند با درک اثرات تغییر اقلیم، برنامه‌ریزی برای مقابله با آن، راه‌اندازی سیستم پایش مستمر شهری، افزایش مشارکت مردم و در نهایت تصور رشد و توسعه فیزیکی آینده، تغییر اقلیم را کنترل یا کاهش دهند. شهرها نه‌تنها می‌توانند تغییرات آب‌وهوایی را با ابزارهای مختلفی مانند کنترل کاربری زمین، پیشگیری از گسترش

۷ جمع‌بندی و نتیجه‌گیری

جهت برنامه‌ریزی شهرهای پاسخگو به تغییر اقلیم، بازشناسی ویژگی‌های کالبدی شهرها در تمامی مقیاس‌های فضایی شهر ضرورت دارد. به نظر می‌رسد، در فرایند برنامه‌ریزی و طراحی شهری، مواجهه با تغییر اقلیم سرنوشت همه شهرها است؛ لذا در این خصوص راهبری و اتخاذ تصمیم درست و بر پایه مطالعات در سطوح مختلف از راهبرد تا برنامه‌های اجرایی در زمینه کالبدی شهرها تبدیل به امر ضروری شده است.

در پژوهش حاضر مشخص گردید بلوک‌های شهری باتوجه به ویژگی‌های کالبدی‌شان می‌توانند اثر قابل‌توجهی بر افزایش یا کاهش دما داشته باشند. بلوک‌های که دارای فشردگی، سایه‌اندازی و اختلاط کاربری بیشتری هستند، نسبت به سایر بلوک‌ها شرایط مناسب‌تری جهت ایجاد شرایط آسایش اقلیمی را دارند. همچنین رابطه معناداری مابین هم‌پیوندی، اتصال‌پذیری و عمق فضایی شبکه ارتباطی بلوک‌های شهری با کاهش دما برقرار است، بطوریکه هر چه هم‌پیوندی بالاتر و اتصال‌پذیری

و تهیه طرح‌های توسعه همه‌جانبه‌نگر این اثرات را متوقف نمایند.

شهری، توسعه فضای سبز، طراحی زیرساخت هوشمند و شهرهای پیاده‌محور مدیریت کنند؛ بلکه با انجام برنامه‌ریزی‌های جامع در بخش حمل‌ونقل

منابع

- Aboagye, P. & Sharifi, A. (2024). Urban climate adaptation and mitigation action plans: A critical review. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 1-17. doi:10.1016/j.rser.2023.113886
- Aktas, Y. (2021). *Assessing the Impact of Climate Change on Urban Cultural Heritage*. Basel: Atmosphere. doi:10.3390/books978-3-0365-1831-2
- An, H., Cai, H., Xu, X., Qiao, Z., & Han, D. (2022). Impacts of Urban Green Space on Land Surface Temperature from Urban Block Perspectives. *Remote Sens*, 14(18), 2-17. doi:10.3390/rs14184580
- Badach, J., Voordeckers, D., Nyka, J. & Acker, M. (2020). A framework for Air Quality Management Zones - Useful GIS-based tool for urban planning: Case studies in Antwerp and Gdańsk. *Building and Environment*. doi:https://doi.org/10.1016/j.buildenv.2020.106743
- Baglivo, C., Albanese, M. P., & Congedo, M. P. (2024). Relationship between shape and energy performance of buildings under long-term climate change. *Journal of Building Engineering*, 84, 2-18. doi:https://doi.org/10.1016/j.jobee.2024.108544
- Boccalatt, A., Fossa, M., Gaillard, C. & Menezo. (2023). Microclimate and urban morphology effects on building energy demand in different European cities. *Energy and Buildings*. doi:https://doi.org/10.1016/j.enbuild.2020.110076
- Boeing, G., Pilgram, C., Lu, Y. (2024). Urban street network design and transport-related greenhouse gas emissions around the world. *Transportation Research Part D: Transport and Environment*, 127, 115-30. doi:https://doi.org/10.1016/j.trd.2023.103961
- Cheng, Y., Farmer, J., Dickinson, S., Robeson, S., Fischer, B. & Reynolds, H. (2021). Climate change impacts and urban green space adaptation efforts: Evidence from U.S. municipal parks and recreation departments. *Urban Climate*, 39, 1-14. doi:https://doi.org/10.1016/j.uclim.2021.100962
- Cheung, Pui Kwan. & Ji, C. Y. (2019). Improved assessment of outdoor thermal comfort: 1-hour acceptable temperature range. *Building and Environment*. doi:https://doi.org/10.1016/j.buildenv.2019.02.016
- Curde, G. (2013). Urban morphology and climate change. Which morphology can survive? 17th CONFERENCE INTERNATIONAL SEMINAR ON URBAN FORM. Hamburg: ISUF.
- Deng, Q., He Guangxing, Lu, C. & Weiwei, W. (2016). Urban Ventilation - A New Concept and Lumped Model. *International Journal of Ventilation*, 131-140. doi:https://doi.org/10.1080/14733315.2012.11683976
- Deng, X., Nie, W., Li, X., Wu, J., Yin, Z., & Han, J. (2023). Influence of built environment on outdoor thermal comfort: A comparative study of new and old urban blocks in Guangzhou. *Building and Environment*. doi:https://doi.org/10.1016/j.buildenv.2023.110529
- Fang, Y., Gu, K., Qian, Z., Sun, Z., & Wang, Y. (2021). Performance evaluation on multi-scenario urban ventilation corridors based on least cost path. *Journal of Urban Management*, 3-15. doi:https://doi.org/10.1016/j.jum.2020.06.006
- Gabor, A., & Reinwald, F. (2023). Methodological Framework for Fostering the Implementation of Climate-Responsive Public Spaces and Streetscapes to Support Multifunctional Design. *Sustainability*. doi:10.3390/su15043775
- Gao, A. M.-Z., Fan, C., Yeh, T. K., & Liao, C. N. (2024). Critical review of the effects and role of the Climate Change Response Act of 2023 in Taiwan's net-zero ambition of 2050. *Carbon Management*, 1-9. doi:https://doi.org/10.1080/17583004.2024.2306319
- Geng, X., Xie, D., Gou, Z. (2024). Optimizing urban block morphologies for net-zero energy cities: Exploring photovoltaic potential and urban design. *Building Simulation*, 17, 607-624. doi:https://doi.org/10.1007/s12273-024-1104-y
- Georgakis, C., & Santamouris, M. (2006). Experimental investigation of air flow and temperature distribution in deep urban



- canyons for natural ventilation purposes. *Energy and Buildings*, 367-376.
doi:<https://doi.org/10.1016/j.enbuild.2005.07.009>
- Guanqiao, D., Guo, J., Pueppke, S., Yi, J., Ou, M. & Ou, W. (2022). The influence of urban form compactness on CO2 emissions and its threshold effect: Evidence from cities in China. *Journal of Environmental Management*.
doi:<https://doi.org/10.1016/j.jenvman.2022.116032>
- Gülten, A. & Öztop, H. (2020). Analysis of the natural ventilation performance of residential areas considering different urban configurations in Elazığ, Turkey. *Urban Climate*.
doi:<https://doi.org/10.1016/j.uclim.2020.100674>
- He, B., Ding, L. & Prasad, D. (2020). Relationships among local-scale urban morphology, urban ventilation, urban heat island and outdoor thermal comfort under sea breeze influence. *Sustainable Cities and Society*, 50-62.
doi:<https://doi.org/10.1016/j.jenvman.2022.116032>
- Hurlimann, N. & March, A. (2024). The role of spatial planning in adapting to climate change. *Wires Climate Change*.
doi:<https://doi.org/10.1002/wcc.183>
- Khraiweh, M. & Genovese, P. (2023). Outdoor Thermal Comfort Integrated with Energy Consumption for Urban Block Design Optimization: A Study of the Hot-Summer Mediterranean City of Irbid, Jordan. *Sustainability*, 1-21.
doi:<https://doi.org/10.3390/su15108412>
- Kubota, T., Miura, M., Tominaga, U., & Mochida, A. (2008). Wind tunnel tests on the relationship between building density and pedestrian-level wind velocity: Development of guidelines for realizing acceptable wind environment in residential neighborhoods. *Building and Environment*, 1699-1708.
doi:<https://doi.org/10.1016/j.buildenv.2007.10.015>
- Li, S., Xiao, Q., Teng, M., Qiu, X., Xu, W., Liu, H., . . . Wu, C. (2023). A comprehensive morphological classification scheme for local ventilation performance zones in spatially heterogeneous urban areas. *Developments in the Built Environment*, 1-17.
doi:<https://doi.org/10.1016/j.dibe.2023.100202>
- Li, Z., Zhao, Y., Xia, H., Xie, S. (2023). A multi-objective optimization framework for building performance under climate change. *Journal of Building Engineering*, 80, 1-15.
doi:[10.1016/j.jobe.2023.107978](https://doi.org/10.1016/j.jobe.2023.107978)
- Lin, L., Liu, J., Liang, Z., Jin, L., & Shui, T. (2022). Developing practical techniques for rapid quantitative assessment of time-varying block-scale urban climate under varied landscape patterns. *Urban Climate*, Volume 43, May 2022, 101-156.
doi:<https://doi.org/10.1016/j.csite.2023.103875>
- Lin, M., Hang, J., Li, Y., Luo, Z. & Sandberg, M. (2014). Quantitative ventilation assessments of idealized urban canopy layers with various urban layouts and the same building packing density. *Building and Environment*, 152-167.
doi:[DOI: 10.1016/j.buildenv.2014.05.008](https://doi.org/10.1016/j.buildenv.2014.05.008)
- Loeffler, R., Österreicher, D., & Stoeglehner, G. (2021). The energy implications of urban morphology from an urban planning perspective - A case study for a new urban development area in the city of Vienna. *Energy and Buildings*.
doi:<https://doi.org/10.1016/j.enbuild.2021.111453>
- Luo, Y., He, J., Ni, Y. (2017). Analysis of urban ventilation potential using rule-based modeling. *Computers, Environment and Urban Systems*, 13-22.
doi:<https://doi.org/10.1016/j.compenvurbsys.2017.07.005>
- Ma, Dixuan., Yupeng Wang., Dian Zhou., Zongzhou Zhu (2022). Cooling effect of the pocket park in the built-up block of a city: a case study in Xi'an, China. *Environmental Science and Pollution Research*, 1.
doi:<https://doi.org/10.1007/s11356-022-23809-9>
- Martilli, A. (2014). An idealized study of city structure, urban climate, energy consumption, and air quality. *Urban Climate*, (2)10 doi:[10.1016/j.uclim.2014.03.003](https://doi.org/10.1016/j.uclim.2014.03.003)
- Narimani, N., Karimi, A. & Brown, R. (2022). Effects of street orientation and tree species thermal comfort within urban canyons in a hot, dry climate. *Ecological Informatics*, 69, 1-14.
doi:<https://doi.org/10.1016/j.ecoinf.2022.101671>
- Ng, E., Chen, L., An's, X., Ren, C., Lee, M. & Ho, J. (2011). Sky view factor analysis of street canyons and its implications for daytime intra-urban air temperature differentials in high-rise, high-density urban areas of Hong Kong: A GIS-based simulation approach. *International Journal of Climatology*, 121-136. doi:[DOI:10.1002/joc.2243](https://doi.org/10.1002/joc.2243)

- Niklas, H., & Sebastian, K. (2024). Systematic literature review of urban charging infrastructure planning over time. *Cleaner Energy Systems*, 8. doi:10.1016/j.cesys.2024.100123
35. OECD. (2020). *Cities in the World: A New Perspective on Urbanisation*. Paris: OECD.
36. Oliveira, J. P., & Bhuiyan, S. (2024). Cities and climate change in developing countries. *Urban Climate*, 1-4. doi:https://doi.org/10.1016/j.uclim.2024.102169
- Oliveti, G., Arcuri, N., & Ruffolo, S. (2003). Experimental investigation on thermal radiation exchange of horizontal outdoor surfaces. *Building and Environment*, 38-47. doi:https://doi.org/10.1016/S0360-1323(02)00010-0
- Panagiotou, I., Neophytou, M., Hamlyn, D. & Britter, R. (2013). City breathability as quantified by the exchange velocity and its spatial variation in real inhomogeneous urban geometries: An example from central London urban area. *Science of The Total Environment*, 466-477. doi:https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2012.09.001
- Privitera, R., Palermo, V., Martinico, F., Fichera, A. & Rosa, D. (2018). Towards lower carbon cities: urban morphology contribution in climate change adaptation strategies. *European Planning Studies*, 812-837. doi:10.1016/j.scitotenv.2024.176735
- Qi, Y., Li, X., Liu, Y., He, X., Gao, W., & Miao, S. (2023). The Influence of Block Morphology on Urban Thermal Environment Analysis Based on a Feed-Forward Neural Network Model. *Building*, 13(2). doi:https://doi.org/10.3390/buildings13020528
- Scyphers, S. (2023). Residential Landscapes, Environmental Sustainability and Climate Change. *Sustainable to Resilient Cities: Global Concerns and Urban Efforts*. doi:10.1108/S1047-004220140000014004
- Shareef, S., Altan, H. (2022). Urban block configuration and the impact on energy consumption: A case study of sinuous morphology. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 21-40. doi:https://doi.org/10.1016/j.rser.2022.112507
- Sharifi, A. (2021) Resilient urban forms: A review of literature on streets and street networks. *Building and Environment*, 171-187. doi:10.1016/j.buildenv.2018.09.040
- Snaiki, R. & Parida, S. (2023). Climate change effects on loss assessment and mitigation of residential buildings due to hurricane wind. *Journal of Building Engineering*. doi:https://doi.org/10.1016/j.jobe.2023.106256
- Surawar, M., & Mohite, S. (2024). Impact of urban street geometry on outdoor pedestrian thermal comfort during heatwave in Nagpur city. *Sustainable Cities and Society*, 1-16. doi:https://doi.org/10.1016/j.scs.2024.105450
- Tavassoli, M. (2016). *Urban Structure in Hot Arid Environments*. Springer.
- Vaisi S. & Taheri, H. (2023). Developing the water-energy nexus performance of direct evaporative coolers in a hot and dry climate: Toward a green space cooling. *Water-Energy Nexus*, 6, 244-254. doi:https://doi.org/10.1016/j.wen.2023.11.002
- Wang, B. (2019). *Urban Wind Energy Evaluation with Urban Morphology. Modeling, Simulation and Optimization of Wind Farms and Hybrid Systems*. doi:https://doi.org/10.5772/intechopen.89786
- Wong, G., Ma, A. T., Cheung, L., Lo, A., & Jim, C. (2024). Visiting urban green space as a climate-change adaptation strategy: Exploring push factors in a push-pull framework. *Climate Risk Management*, 43, 1-14. doi:https://doi.org/10.1016/j.crm.2024.100589
- Wu, P. & Liu, Y. (2024). Impact of Urban Form at the Block Scale on Renewable Energy Application and Building Energy Efficiency. *Sustainability*, 1-18. doi:https://doi.org/10.3390/su151411062
- Xiong, J., Guo, S., Wu, U., Xiao, C. & Lu, X. (2023). Predicting the response of heating and cooling demands of residential buildings with various thermal performances in China to climate change. *Energy*. doi:https://doi.org/10.1016/j.energy.2023.126358
- Xu, N., Hong, T., Wang, W., Wu, Y., & Xiaodong, X. (2019). Performance-driven optimization of urban open space configuration in the cold-winter and hot-summer region of China. *Building Simulation*, 411-424. doi:https://doi.org/10.1007/s12273-019-0510-z
- Xu, S., Siyao Wang, Gaomei Li, Haizhu Zhou, Chong Meng & Qin Yuchen. (2024). Performance-based design of residential blocks for the co-benefits of building energy efficiency and outdoor thermal comfort improvement. *Building and Environment*.



doi:<https://doi.org/10.1016/j.buildenv.2023.110023>

Xu, X., Yin, C., Wang, W., Xu, N., Hong, T., & Li, Q. (2019). Revealing Urban Morphology and Outdoor Comfort through Genetic Algorithm Driven Urban Block Design in Dry and Hot Regions of China. *Sustainability*, 2-19. doi:<https://doi.org/10.3390/su11133683>

Yang, F., Qian, F. & Lau, S. (2013). Urban form and density as indicators for summertime outdoor ventilation potential: A case study on high-rise housing in Shanghai. *Building and Environment*, 122-137.

doi:<https://doi.org/10.1016/j.buildenv.2013.03.004>

Yang, J., Jin, S., Xiao, X., Jin, C. & Xia, J. (2019). Local climate zone ventilation and urban land surface temperatures: Towards a performance-based and wind-sensitive planning proposal in megacities. *Sustainable Cities and Society*. doi:<https://doi.org/10.1016/j.scs.2019.101487>

57. Yannas, S., & Chatzidimitriou, A. (2023). Microclimate design for open spaces: Ranking urban design effects on. *Sustain*, 27-47.

doi:<https://doi.org/10.1016/j.scs.2016.05.003>

Yim, S.H.L., Fung, J., Lau, A. & Kot, S (2009). Air ventilation impacts of the "wall effect" resulting from the alignment of high-rise buildings. *Atmospheric Environment*, 4982-4994.

doi:<https://doi.org/10.1016/j.atmosenv.2009.07.002>

Zhang, X., Wang, X., Shuai, S., Jiu, T. & Ye, Y (2024). A systematic review of urban form generation and optimization for performance-driven urban design. *Building and Environment*. doi:<https://doi.org/10.1016/j.buildenv.2024.110111>

Zhou, k., Wang, S., Feng, Y. (2023). How Is Spatial Planning Adapting to Climate Change? A Textual Analysis Based on the Territorial and Spatial Plans of 368 Chinese Cities. *Land*, 12, 1-15. doi:<https://doi.org/10.3390/land12010015>

Zhou, Y. (2023). Climate change adaptation with energy resilience in energy districts—A state-of-the-art review. *Energy and Buildings*. doi:<https://doi.org/10.1016/j.enbuild.2022.112649>

Zhu, R., Liu, Y., Yan, B., Zhang, X., et al (2023). Effects of district parameters, green space and building density on thermal comfort- a case study of Badaguan District in Qingdao. doi:<https://doi.org/10.1016/j.csite.2023.102705>

Zhu, Y., & Hu, Y. (2023). The Correlation between Urban Form and Carbon Emissions: A Bibliometric and Literature Review. *Sustainability*, 15(18), 2-28.

doi:<https://doi.org/10.3390/su151813439>

Zou, B. & Fan, C. (2024). Quantifying the Influence of Different Block Types on the Urban Heat Risk in High-Density Cities. *Buildings*. doi:<https://doi.org/10.3390/buildings14072131>

1