Journal of Society and Environment

Research Paper

Investigating the effects of urban planning components on the thermal comfort of the citizens of Tabriz city using EnviMat software

DOI: 10.22080/JSN.2025.29750.1107

Niloufar Alinasab[1], Rahmat Mohammadzadeh*[2], Negar Mohammadzadeh[3], Tarlan Zarneshani Asl[4]

RECEIVE:
30 JUL 2025

ACCEPT:
16 DEC 2025

KEYWORDS:

THERMAL COMFORT ، MICROCLIMATE،PHYSICAL FACTORS،URBAN DESIGN،CLIMATIC CONDITIONS

ABSTRACT:

IN TODAY'S ERA, DUE TO THE EVER-INCREASING EXPANSION OF URBANIZATION, ATTENTION TO URBAN ENVIRONMENTS AND SPACES HAS GAINED SPECIAL IMPORTANCE. AFTER THE LACK OF ATTENTION TOWARDS URBAN SPACES IN THE PAST, WE ARE WITNESSING THE GROWING IMPORTANCE OF SUCH SPACES IN THE CONTEXT OF URBAN LIFE. ON THE OTHER HAND, THE POPULATION'S DESIRE FOR URBANIZATION HAS CAUSED POPULATION GROWTH, INCREASED DEMAND IN VARIOUS FIELDS, CREATED NUMEROUS POLLUTIONS, AND SUBSEQUENTLY CAUSED CLIMATE CHANGES AND REDUCED THERMAL COMFORT IN CITIES.IN THE SEVEN CONTEXTS UNDER STUDY (HISTORICAL, RURAL, TRADITIONAL, NEW-FOUNDATION TRADITIONAL, DESIGNED, MARGINAL, AND COMPLEX), MANY REASONS, INCLUDING PHYSICAL WEAR AND INEFFICIENT ROADS, MAKE PEOPLE'S DAILY ACTIVITIES DIFFICULT. ON THE OTHER HAND, THE OCCURRENCE OF THERMAL ISLANDS, LACK OF VEGETATION AND NUMEROUS CLIMATIC FACTORS HAVE GREATLY REDUCED THE THERMAL COMFORT OF USERS.THEREFORE, THE CURRENT RESEARCH HAS TRIED TO USE NEW TECHNIQUES, INCLUDING MICROCLIMATE MODELING AND ANALYSIS, WHILE EXAMINING THE THERMAL COMFORT AND THE PHYSICAL ELEMENTS THAT SHAPE THE ENVIRONMENT, TO PROVIDE SUGGESTIONS TO REDUCE THE MENTIONED PROBLEMS AND IMPROVE THE THERMAL COMFORT LEVEL IN THE STUDIED TISSUES OF TABRIZ CITY.BASED ON THE OUTPUT OF THE RESEARCH, WHICH IS BOTH IN THE FORM OF NUMERICAL DATA AND CLIMATE MAPS PROVIDED BY ENVI-MET SOFTWARE, THE ROLE OF PHYSICAL FACTORS AND URBAN DEVELOPMENT IN IMPROVING OR REDUCING THERMAL COMFORT IS NOTICEABLE. ACCORDING TO THESE FINDINGS, VEGETATION, HEIGHT-TO-WIDTH RATIO (ENCLOSURE) AND THE DIRECTION OF

[1] PhD student, Faculty of Geography and Earth Sciences, University of Szeged, Hungary
[2] Professor, Department of Urban Planning, Faculty of Architecture and Urban Planning, University of Tabriz, Tabriz, Iran. Responsible author
[3] Master's degree, Faculty of Art and Architecture, Tarbiat Modares Universit, Tehran, Iran
[4] PhD in Architecture, Faculty of Art and Architecture, Tabriz Azad University, Tabriz, Iran.

ROADS HAVE A DIRECT EFFECT ON THE IMPROVEMENT OF THERMAL CONDITIONS IN EACH OF THE STUDIED LOCALITIES.

Extended Abstract

Introduction

Since the beginning of the formation of cities and especially in current urban life, the level of thermal comfort in an environment has been one of the encouraging or deterrent factors for being in urban open spaces and performing various activities. In recent decades, with the importance of urban sustainability and energy consumption control, effective measures have been formed and attention to the issue of thermal comfort in indoor and urban spaces has been prioritized. However, it should be noted that despite the explanation of energy-saving policies, the importance of environmental design in the natural control of energy consumption and improving the level of climatic comfort has remained very low; while studies show that ignoring the need for people to be in urban spaces, perform various activities, and also create social interactions has adverse effects on their physical and mental health (Farrokhi et al., 2024) (Douglas, Lennon, & Scott, 2017) (Gibson et al., 2015). Especially today, with the rapid expansion of urbanization and lack of attention to urban issues, we are witnessing the phenomenon of "heat islands" all over the world. Therefore, it is necessary to pay attention to improving thermal comfort in contexts where a high level of activity takes place. In this study, in addition to evaluating the climatic problems resulting from the geometry of the environment, an attempt is made to present comprehensive solutions regarding the recovery of historical identity. Also, by emphasizing the importance of pedestrians as the main element shaping social spaces, it is possible for them to be present and benefit from these spaces. In general, the issue of thermal comfort is a multidimensional concept and depends on numerous factors that, in close connection with each other, affect different aspects of an individual's life. Factors such as temperature, wind, humidity, and radiation are four major climatic elements that, in effective connection with the physical form and geometry of space (building density, width and orientation of passages, height-to-width ratio, building height, type of vegetation, etc.), affect the level of thermal comfort (Zakhour, 2015). For example, the geometry of streets plays a decisive role in the formation of urban microclimate and thermal comfort by affecting surface temperature, air temperature around buildings, and wind flow. On the other hand, by using factors such as the orientation of passages and their degree of enclosure (height-to-width ratio), it is possible to control the amount of sunlight and also ventilation in passages (Bourbia & Boucheriba, 2010) and (Saber Sabouri & Alinasab, 2021). Studies in this field show that higher height-to-width ratios create more favorable conditions in tropical environments, and lower ratios are more efficient in cold environments (Emmanuel, Rosenlund, & Johansson, 2007). Therefore, by controlling the geometric factors affecting climatic factors, the microclimate of a region can be brought to a comfortable range to some extent.

Tabriz, one of the largest cities in Iran, in addition to its strong industrial and economic role, is well-known for its historical, social, and cultural influence. However, in the modern century, the widening of streets, excessive construction, and lack of green space in this city have caused heavy traffic and environmental pollution. On the other hand, the dominance of motorized vehicles has greatly reduced the role of pedestrians as a fundamental pillar of society and has reduced thermal comfort in various areas of Tabriz. In particular, the occurrence of heat islands and climate dissatisfaction are among the important problems that, in addition to creating undesirable conditions for residents, have caused dissatisfaction among pedestrians on hot days of the year. Since the orientation of streets in any geographical location has a significant impact on the climate conditions of that area, it seems that analyzing different orientations is necessary to examine the conditions of thermal comfort. On the other hand, the dimensions of the street network, including the degree of street enclosure (especially the ratio of building height to street width), the length of the streets in question, the amount of vegetation cover, and the number of openings to the main streets are another determining factor in the amount of solar energy received and ventilation flow, which, if unbalanced, causes heat islands on the streets.

Research Methodology

In the present study, first, by referring to documentary studies and examining previous works and then by generalizing them to the areas under study (historical, rural, traditional, newly established traditional, designed, marginal and complex textures of Tabriz city); the criteria requiring investigation were determined. After determining the desired variables, including enclosure (including the length and width of passages), the orientation of passages, vegetation and materials, the study entered the software stage. At this stage, by receiving weather information from the Meteorological Organization and physical information using GIS software, the targeted areas were modeled in the "Envi-met" software (Figure 1).

Envi-met software is a three-dimensional environmental design software that was introduced by Michael Bruce in 1997 (Bruse & Fleer, 1998). In this software, there are several environments for simulation, analysis, data management, etc., and it consists of longitudinal, transverse, and height patterns (x, y, z) that simulate and analyze different atmospheric states in accordance with the laws of thermodynamics of gases and fluid dynamics. Within this software, important environmental components such as buildings, materials, soil, vegetation, etc. can be modeled. Also, various climatic factors can be shown in a day-night cycle. Modeling in this software is done through the SPACES environment and the required data is entered in the ConfigWizard environment. After simulating the aforementioned blocks, the data and information analysis stage is performed in the Leonardo environment. This stage includes several analyses that, depending on the study needs, can examine temperature, average radiant temperature, wind speed, and humidity levels in the passages. Finally, for each of these components, various maps (2D and 3D) and tables can be prepared and presented.

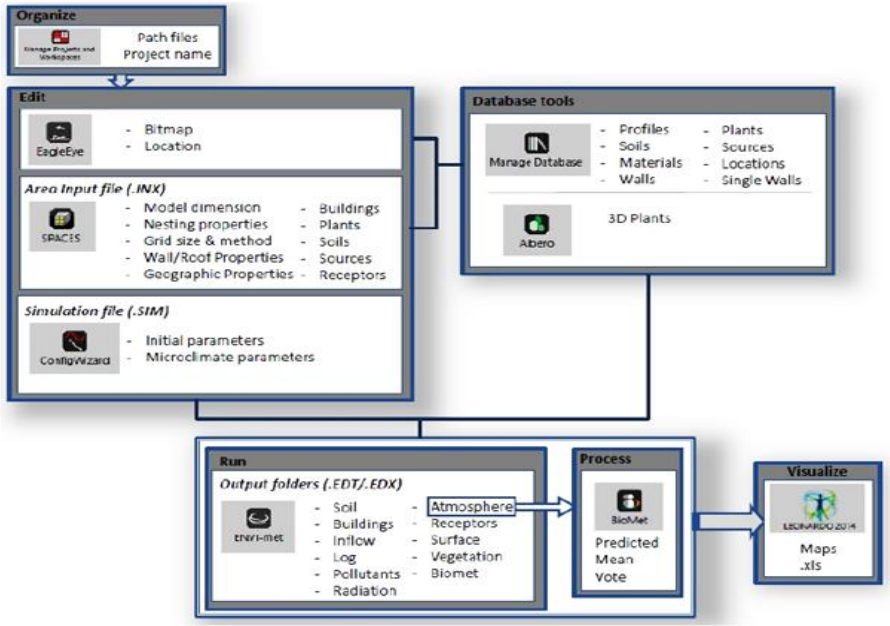


Figure 1. The mechanism of the EnviMat software. Taken from :(Chatzinikolaou, Chalkias, & Dimopoulou, 2018)

Research Findings

As mentioned earlier, the thermal comfort of users in the environment is a result of four climatic components, including air temperature, relative humidity, radiant energy, and wind speed, along with the effects of physiological, psychological, and physical factors. Accordingly, the PMV index was selected as an indicator of the level of thermal comfort, and according to Figure 1, which shows the comfort status of users at 2 p.m. in the most unfavorable state, this hour was selected as the selected time for investigation and analysis in all neighborhoods. According to the explanations in Table 2, the PMV index includes a range from negative to positive, and the thermal comfort range occurs near zero. The results of the study of the level of satisfaction and dissatisfaction of people when present in the areas under study in the summer season show that the PMV value varies in a range between 2.5 and 5. On the other hand, as mentioned, physical factors also play a significant role in increasing or decreasing the value of this indicator and, consequently, thermal comfort; therefore, the need to pay attention to physical factors, including the desired orientation, the degree of enclosure (ratio of height to width of passages), vegetation, and other physical components, is of high priority. In the following, we will examine the findings from the study of physical factors and their effect on the level of thermal comfort.

Vegetation

Based on extensive studies conducted on the effect of vegetation on improving the thermal comfort of users in various environments and climates, the level of influence of this component has been reported to be significantly higher and greater than that of many other factors. To examine this issue more closely in the studied contexts, the current status of each context (with any level of vegetation) was first modeled and analyzed. In the next step, to examine the exact impact of vegetation, the aforementioned textures were reanalyzed by removing any vegetation (including trees, grass, and any green cover). According to the results obtained, even the presence of a small amount of vegetation has a noticeable effect on reducing the PMV index. (Chart No. 2) and (Maps No. 1 to 7) show a comparison of the presence and absence of vegetation in the selected neighborhoods. According to the data obtained, the amount of change in the PMV index depends on the amount of vegetation in the existing state of each texture. In other words, the more vegetation there is in an area, the more significant the reduction in the PMV index. For example, in Shariati neighborhood, the difference in PMV in the two study cases with vegetation (existing state) and without vegetation is greater than in the others. The reason for this is the presence of a significant amount of green space in the streets of this neighborhood, which has improved the thermal comfort and reduced the PMV from 4.26 to 4. A similar situation can be observed in the Valiasr neighborhood, with a decrease from 4.4 to 4.3. In the neighborhoods of Rasteh Kocheh, Marzdaran, Akhmaqiyeh, and Abrsan, due to the lower proportion of vegetation in the current state, its impact on thermal comfort is less than in the Valiasr and Shariati blocks.

According to the results obtained, vegetation plays an important factor in improving thermal conditions, and even a small amount of plant structures causes a significant improvement in thermal comfort conditions. This finding is consistent with previous findings, including studies by Murakami et al. (1999), Shashua-Bar & Hoffman, 2003, Hashemi et al. (2023), and Ali-Toudert & Mayer, 2007. According to the findings, in the contexts under study, the lack of vegetation is clearly visible in most of the passages. However, with an appropriate combination of green surfaces, such as grass and deciduous and non-deciduous trees, a desirable level of thermal comfort can be achieved in different seasons of the year. Especially in wide passages or passages with low building heights where the degree of enclosure is low, by creating a balanced spectrum of trees and vegetation, in addition to creating humidity and temperature adjustment, a desirable level of shading can be provided to prevent direct sunlight in summer. This can be even more effective in the cold climate of Tabriz, because the presence of deciduous trees can provide a desirable level of sunlight even during the cold seasons.

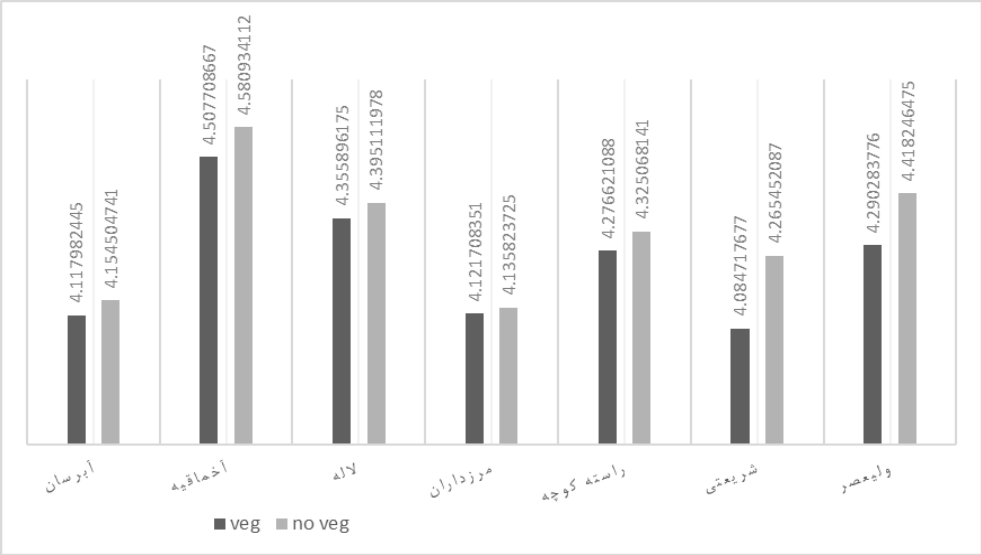
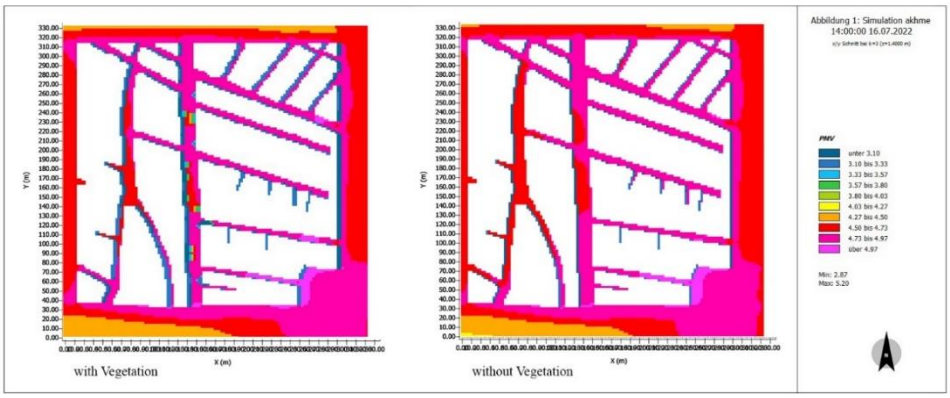


Figure 2. Comparison of the average PMV index in roads with vegetation (current state) and without vegetation

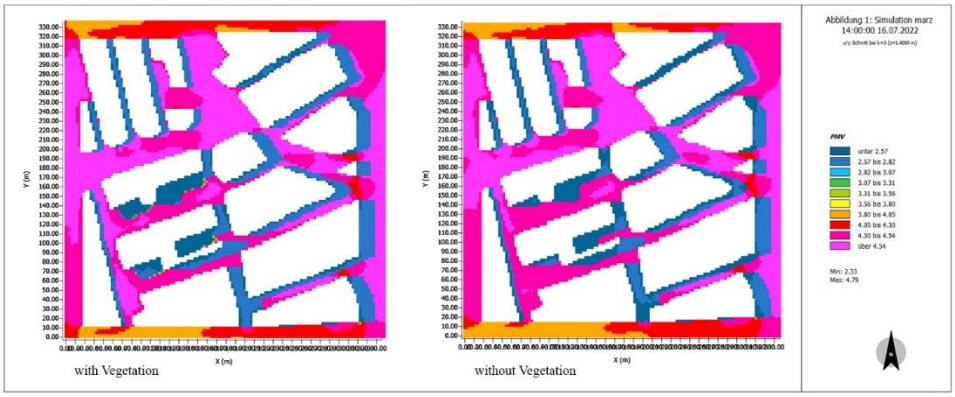
Map 1. Comparison of thermal comfort in the Abrsan neighborhood in two cases without vegetation (right) and the current state (left)

Journal of Society and Environment

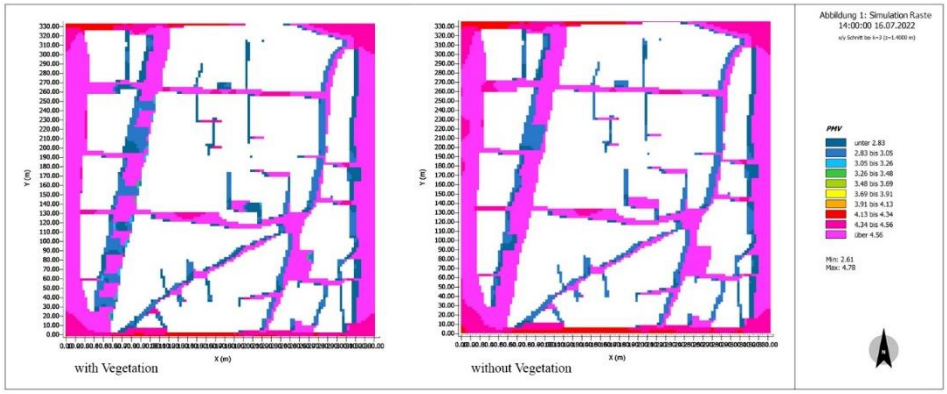


Map 2. Comparison of thermal comfort in the Akhmaqiyeh neighborhood in two cases without vegetation (right) and the current state (left)

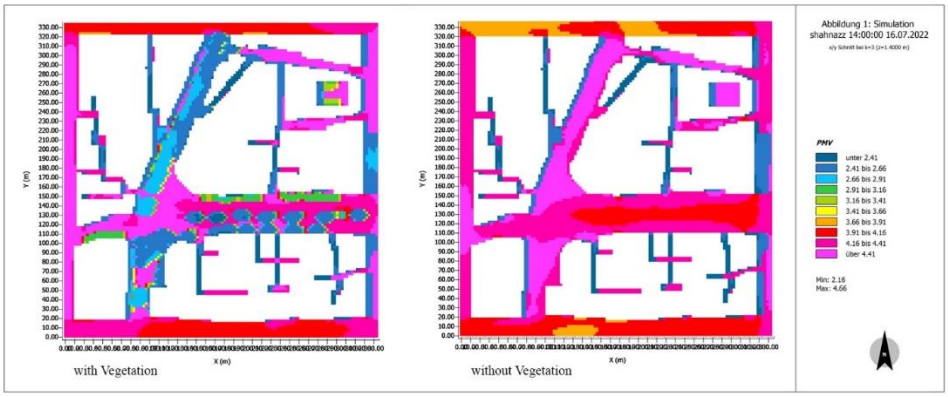
Map 3. Comparison of thermal comfort in the Laleh neighborhood in two cases without vegetation (right) and the current state (left)



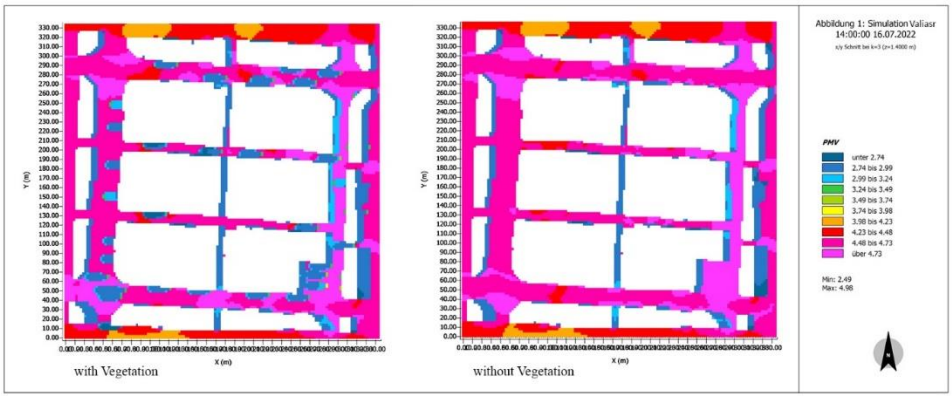
Map 4. Comparison of thermal comfort in the Marzdaran neighborhood in two cases without vegetation (right) and the current state (left)



Map 5. Comparison of thermal comfort in the Raste Kuche neighborhood in two cases without vegetation (right) and existing (left)



Map 6. Comparison of thermal comfort in the Shariati neighborhood in two cases without vegetation (right) and the current state (left)



Map 7. Comparison of thermal comfort in the Valiasr neighborhood in two cases without vegetation (right) And the current situation (left)

Enclosedness of passages (height to width ratio)

Another physical factor affecting the thermal comfort of residents is the degree of enclosure of an environment, or in other words, the height to width ratio of a passage or urban space. This component is closely related to the width of passages and the height of surrounding buildings. According to studies, narrow passages surrounded by tall buildings provide a significant improvement in the thermal comfort of that area in hot seasons; therefore, the greater the enclosure of a building, the greater the height to width ratio and, consequently, the better the thermal comfort. The results obtained from comparing the enclosure ratio with the PMV rate in the studied textures confirm that by increasing the height to width ratio of a passage, a significant improvement in the thermal comfort of that area occurs (Figure 3).

The results of the present study show that the ratio of height to width of passages is directly related to the level of thermal comfort in the hot seasons of the year. In other words, with increasing enclosure, the amount of radiant energy is reduced and therefore, through increasing shading, a significant improvement in the thermal conditions of passages occurs. This finding is consistent with the results of previous studies, including the research of Ahmad et al. (2005), Bourbia & Boucheriba (2010), Zakhour (2015), and Lin et al. (2012). Of course, it should be noted that most of the studies mentioned were conducted in tropical climates, and therefore, the warmer the climate, the higher the level of enclosure in passages is desirable. However, in climates such as Tabriz, which have relatively cold winters with gusty winds, this can also be useful. Because the surrounding buildings can block wind gusts and prevent wind from circulating in open environments by acting as a barrier. It should only be noted that excessive enclosure can reduce the amount of radiant energy received in winter. To improve this, it is suggested that in the climate of Tabriz, moderate enclosure (within the ratio of 0.6-1) be carried out in conjunction with deciduous vegetation, so that a desirable level of thermal comfort is provided both in summer and winter.

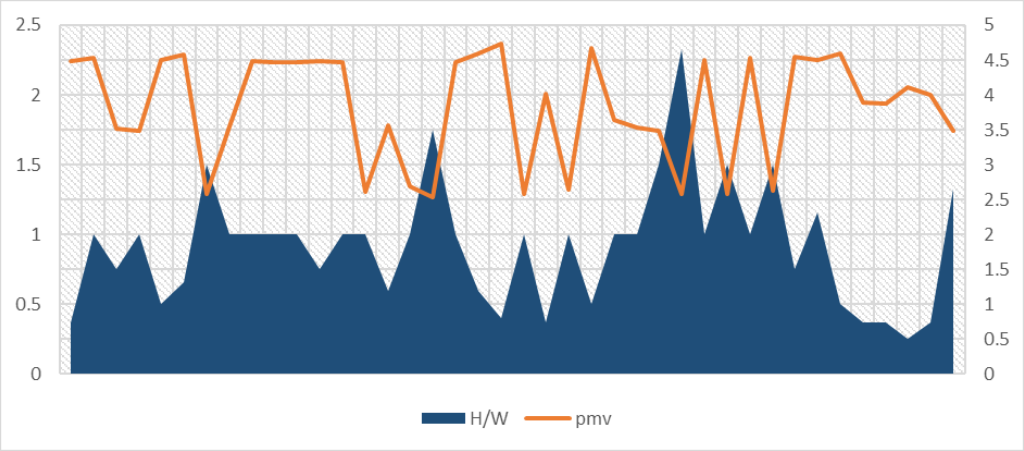


Figure 3. Comparison of the average PMV index with the height-to-width ratio in the studied neighborhoods

Orientation of passages

Another important physical factor that has a significant impact on the thermal comfort process of an environment is the orientation of the passages of a place. As mentioned earlier, the formation of a desirable state of thermal comfort is the result of physical, climatic, physiological, etc. factors that act in an intertwined manner; Therefore, it is not possible to introduce a single factor to increase or decrease the level of climatic comfort, but examining various factors, including important physical factors, can be useful in understanding common patterns and how each of these factors works. After examining basic factors such as vegetation cover and height-to-width ratio, it is necessary to also examine the orientation of the passages. To better understand this issue in the context of the studied neighborhoods, the mentioned passages were classified into six 45-degree intervals. This classification was done for each of the passages in the studied textures. (Chart No. 4) shows the average PMV index in passages with six orientations. Based on this chart, in the average case, north-south passages (90 degrees) show the lowest PMV and, as a result, the highest level of thermal comfort. After that, the passages with the orientation of 90-135, 45-90 and 45-0, respectively, show the most appropriate level of thermal comfort. The passages with the angle of 180 and 180-135 also have the lowest level of thermal comfort. In general, it seems that the smaller the angle of the passages with the horizon, the higher the PMV and vice versa. (Table 2) shows the separation of the passages of each of the studied neighborhoods based on various orientations and also the level of PMV in each of these ranges.

Based on the results obtained from the present study regarding the effect of orientation on the level of thermal comfort, it is found that in general, the east-west passages provide the lowest level of thermal comfort and the north-south passages provide the highest level in the hot seasons. This finding is consistent with the results of studies by Pearlmutter et al. (2007) and Mohammadzadeh & Sarafrouzeh (2010). For a more detailed analysis, it should be noted that in addition to improving thermal comfort conditions in hot seasons and climates, north-south passages also have positive applications in cold climates such as Tabriz, Ardabil, and Urmia, because due to the high radiation energy received, they prevent ice accumulation in seasons with high rainfall. Of course, it should be noted that in north-south passages there is a possibility of wind tunnel formation and reduced thermal comfort in winter, but by considering measures such as using vegetation as a windbreak or observing the appropriate height-to-width ratio, the conditions can be adjusted to some extent. Another solution is to deviate the passages to the east or west.

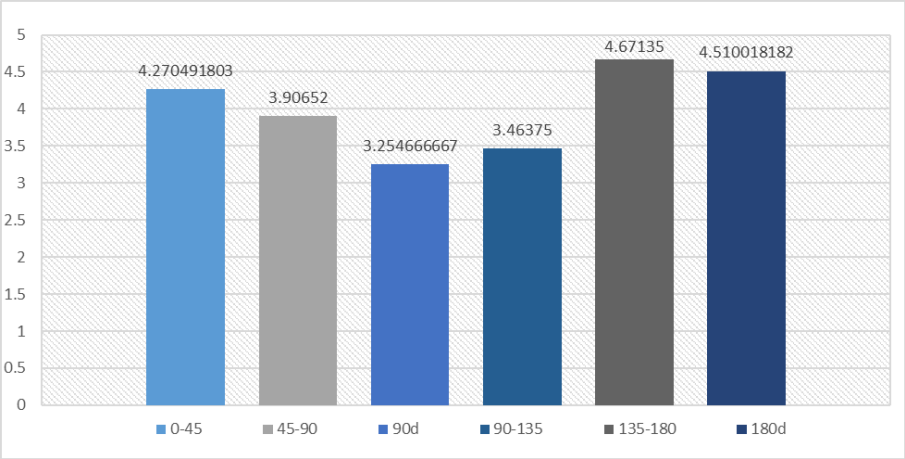


Figure 4. Average PMV index status in six-way streets

According to the results obtained, "Northeast-Southwest" and "Northwest-Southeast" streets provide more favorable conditions compared to east-west streets. This is because, in the warm seasons, these streets receive relatively less radiant energy compared to east-west streets, which improves comfort conditions. On the other hand, in the winter seasons, in addition to reducing wind chill that occurs in north-south streets, they can provide a favorable amount of radiant energy to reduce frost and increase thermal comfort.

Conclusion

In the previous section, the results obtained, the causes and the possibilities related to each of these results were discussed in detail. For a more precise summary and in other words, the application of these results to improve climatic conditions in the studied contexts, some suggestions are presented.

• Since vegetation plays a significant role in improving climatic conditions by increasing humidity, reducing temperature and creating appropriate shading, and also due to the lack of green structures in most areas of Tabriz city and particularly in the studied contexts, the need to pay attention to increasing the amount of vegetation and also their correct location is of significant importance.

• "Northwest-southeast" and "northeast-southwest" orientations with a deviation angle of less than 45 degrees from the north-south axis, while adjusting the amount of radiation in summer, can also prevent wind blinding in winter and provide an appropriate amount of sunlight to prevent freezing in passages.

• Improving the enclosure of passages and urban spaces by choosing an appropriate height-to-width ratio (0.6-1) can prevent wind blinding in winter and minimize the amount of sunlight in summer.

• Consideration of the materials used in passages and buildings is also of significant importance. Despite the impossibility of studying it in the present study, the role of this factor in the formation of thermal comfort cannot be ignored; therefore, it is suggested that future studies specifically address the role of materials in different parts of urban spaces.

Funding

The final word is that physical factors, in their effective combination and association, can significantly affect the microclimate conditions of a region; therefore, by considering a wide range of these factors and their effective combination, the thermal comfort of that region can be improved in a desirable way.

فصلنامه علمی جامعه و محیط زیست

۹۹ دوره دوم، سال دوم، تابستان ۱۴۰۴، صص ۸۲ – ۸۷

علمی پژوهشی

ارزیابی نقش عناصر کالبدی و طراحی شهری بر آسایش حرارتی شهروندان: مطالعهٔ موردی بافت‌های هفت‌گانهٔ تبریز

نیلوفر عالی نسب[۱]، رحمت محمدزاده،[۲*]، نگار محمدزاده[۳]، طرلان زرنشانی اصل[۴]

تاریخ دریافت:

۸ مردادماه ۱۴۰۴

تاریخ پذیرش:

۲۵ آذرماه ۱۴۰۴

کلید واژه‌ها:

آسایش حرارتی؛

عناصر کالبدی شهری؛

پوشش گیاهی؛ خرداقلیم؛

نسبت ارتفاع به عرض..

چکیده:

هدف پژوهش حاضر، ارزیابی نقش عناصر کالبدی و طراحی شهری بر آسایش حرارتی شهروندان در بافت‌های هفت‌گانهٔ شهر تبریز است. روش تحقیق از نوع کاربردی - تحلیلی بوده و داده‌ها با بهره‌گیری از مدل‌سازی خرداقلیم در نرم‌افزار ENVI-met گردآوری شد. جامعهٔ مورد مطالعه شامل هفت بافت شهری تبریز بوده و شاخص آسایش حرارتی براساس مدل PMV در ساعات اوج گرما (ساعت ۱۴) مورد تحلیل قرار گرفت. نتایج شبیه‌سازی‌ها نشان داد که پوشش گیاهی مؤثرترین متغیر بر آسایش حرارتی است. در محلات دارای پوشش سبز بیشتر، مانند ولیعصر و شریعتی، مقادیر PMV بین ۱ تا ۱.۵ کاهش یافت، درحالی‌که در محلات کم‌پوشش این کاهش به کم‌تر از ۰.۵ محدود شد. همچنین پوشش درختی سبب کاهش میانگین دمای هوا تا حدود ۲.۵ درجه سانتی‌گراد و افزایش رطوبت نسبی تا ۱۲ درصد گردید. عامل دوم، نسبت ارتفاع به عرض معابر (H/W) بود؛ به‌طوری‌که نسبت‌های متوسط ۰.۶ تا ۱ بهترین شرایط حرارتی را ایجاد کرده و PMV را حدود ۰.۸ واحد بهبود دادند. عامل سوم، جهت‌گیری معابر بود؛ نتایج نشان داد که خیابان‌های شمالی - جنوبی مناسب‌ترین وضعیت را با میانگین PMV کم‌تر از ۲ داشته‌اند، درحالی‌که خیابان‌های شرقی - غربی بدترین شرایط را با میانگین PMV بیش از ۳ تجربه کرده‌اند. به‌طورکلی، ترکیب هم‌زمان پوشش گیاهی، نسبت مناسب ارتفاع به عرض و جهت‌گیری مطلوب معابر می‌تواند شرایط خرداقلیم شهری را بهبود بخشیده و تا بیش از دو واحد PMV از شدت استرس حرارتی در ساعات اوج گرما بکاهد. این نتایج تأکید می‌کند که ملاحظات کالبدی و اقلیمی باید به‌صورت یکپارچه در طراحی شهری و بازآفرینی بافت‌های فرسوده تبریز مورد توجه قرار گیرند تا علاوه بر کاهش اثرات جزایر حرارتی، کیفیت زندگی و سلامت شهروندان ارتقا یابد.

[۱] دانشجوی دکتری، دانشکده جغرافیا و علوم زمین، دانشگاه سگد، مجارستان.

۲ استاد گروه معماری، دانشکده معماری و شهرسازی، دانشگاه تبریز، تبریز، ایران.(نویسنده مسئول).rahmat@tabrizu.ac.ir

[۳] کارشناسی ارشد، دانشکده هنر و معماری، دانشگاه تربیت مدرس، تهران، ایران.

[۴] دکتری معماری، دانشکده هنر و معماری،دانشگاه آزاد تبریز، تبریز، ایران.

مقدمه

فضاهای باز شهری به‌عنوان عرصه‌های کلیدی برای تعاملات اجتماعی، فعالیت‌های روزمره و ارتقاء سلامت روانی و جسمی شهروندان، نقشی حیاتی در کیفیت زندگی شهری ایفا می‌کنند (Gehl, 2011) . حضور مستمر و فعال افراد در این فضاها تا حد زیادی به مطلوبیت شرایط محیطی بستگی دارد. در این میان، آسایش حرارتی، به‌عنوان یکی از مهم‌ترین مؤلفه‌های آسایش محیطی، عاملی تعیین‌کننده در تشویق یا ممانعت از حضور مردم در فضاهای عمومی است. آسایش حرارتی طبق استاندارد ایشرائه ۵۵[1]، به «آن حالت ذهنی اطلاق می‌شود که فرد از شرایط حرارتی محیط اطراف خود احساس رضایت می‌کند» (ASHRAE, 2017). این حس رضایت، نه‌تنها تحت تأثیر دمای هوا، بلکه مجموعه‌ای از متغیرهای اقلیمی مانند سرعت باد، رطوبت نسبی و میانگین دمای تابشی است (Emmanuel, 2005).

مفهوم آسایش حرارتی بیان‌گر حسی است که از ترکیب مناسب حرارت، انرژی‌های تابشی، رطوبت و سرعت باد ناشی می‌گردد و بدن انسان این وضعیت را از نظر جسمی مناسب ارزیابی می‌کند (Rupp, Vásquez, & Lamberts, 2015).

با گسترش سریع شهرنشینی و توسعهٔ کالبدی فشرده در دهه‌های اخیر، بسیاری از شهرها با چالش‌های اقلیمی جدیدی مواجه شده‌اند (Oke, 1982) . یکی از برجسته‌ترین این چالش‌ها، پدیدهٔ جزیرهٔ حرارتی شهری است، پدیده‌ای که در آن دمای مناطق شهری به دلیل جذب و نگهداری گرما توسط مصالح ساختمانی و کاهش پوشش گیاهی، به‌طور قابل توجهی بالاتر از مناطق روستایی اطراف است (Oke, 1982) . این پدیده نه‌تنها مصرف انرژی برای سرمایش ساختمان‌ها را افزایش، بلکه با ایجاد شرایط حرارتی نامطلوب، حضورپذیری فضاهای باز را به‌شدت کاهش می‌دهد (Santamouris, 2015) . در شهرهایی مانند تبریز، ایران که با اقلیم سرد و خشک مواجه هستند، شدت UHI در فصول گرم سال، دمای سطح زمین را تا ۶-۴ درجهٔ سلسیوس افزایش داده و بر الگوهای خرداقلیم – یعنی شرایط اقلیمی محلی در مقیاس کوچک مانند خیابان‌ها و میدان‌ها – تأثیر منفی می‌گذارد .(Abdi et al., 2023; Rahimi & Nobar, 2023) ، توجه به راهکارهای طراحی شهری که بتواند خرداقلیم را بهبود بخشد، به یک اولویت اساسی در برنامه‌ریزی پایدار تبدیل شده است (Teshnehdel et al., 2022). پژوهش‌های متعدد نشان داده‌اند که عوامل هندسی و کالبدی شهر، یعنی شکل، ابعاد و نحوهٔ چینش ساختمان‌ها و معابر، تأثیر مستقیمی بر خرداقلیم شهری و در نتیجه بر آسایش حرارتی دارند (Emmanuel, 2005) . دو متغیر کلیدی در این زمینه عبارت‌اند از:

جهت‌گیری معابر: به زاویهٔ قرارگیری یک معبر نسبت به جهات اصلی جغرافیایی (شمال-جنوب، شرق-غرب) گفته می‌شود. این عامل میزان و مدت زمان دریافت تابش مستقیم خورشید توسط سطوح مختلف معبر (کف، دیوارها) را کنترل

[1] ASHRAE 55

کرده و بر الگوهای سایه‌اندازی و دمای سطح تأثیر می‌گذارد .(Park et al., 2024) مطالعات نشان می‌دهد که معابر شمال-جنوب در اقلیم‌های گرم، سایهٔ بیشتری ایجاد کرده و آسایش حرارتی را تا ۲۰٪ بهبود می‌بخشد (Ali-Toudert & Mayer, 2006).

نسبت ارتفاع به عرض: این شاخص که از تقسیم ارتفاع متوسط ساختمان‌های دو طرف یک معبر بر عرض آن معبر به دست می‌آید، میزان محصوریت فضا را نشان می‌دهد. دره‌های شهری عمیق با نسبت H/W بالا (بیش از ۲)، سایهٔ بیشتری ایجاد کرده و از گرم‌شدن بیش از حد فضا در اقلیم‌های گرم جلوگیری می‌کنند، درحالی‌که معابر باز با نسبت H/W پایین، امکان دسترسی بیشتر به نور خورشید را در اقلیم‌های سرد فراهم می‌آورند (Bourbia & Boucheriba, 2010; Sun et al., 2022; Peng & Huang, 2022). برای مثال، در اقلیم‌های نیمه‌خشک، افزایش H/W از ۰.۵ به ۳ می‌تواند دمای هوا را تا ۲.۵ درجه سلسیوس کاهش دهد (Bourbia & Boucheriba, 2010) .

شهر تبریز، به‌عنوان یکی از کلان‌شهرهای تاریخی و صنعتی ایران، در دهه‌های گذشته تحولات کالبدی سریعی را تجربه کرده است .(Teshnehdel et al., 2020) توسعه‌های شهری غالباً بدون توجه به اصول طراحی اقلیمی، منجر به ایجاد بافت‌های متراکم با معابر نامناسب شده که شرایط آسایش حرارتی را به‌ویژه در فصول گرم سال برای عابران پیاده نامطلوب ساخته است .(Abdi et al., 2023; Rahimi & Nobar, 2023; Teshnehdel et al., 2022) با توجه به اهمیت حفظ سرزندگی در فضاهای شهری و نقش کلیدی عابران پیاده، تحلیل تأثیر طراحی کالبدی معابر بر شرایط اقلیمی امری ضروری به نظر می‌رسد(Gehl, 2011) . اگرچه تأثیر عوامل هندسی بر آسایش حرارتی به‌طورکلی شناخته شده است، اما ارزیابی کمی این تأثیرات در یک بافت شهری مشخص و تاریخی مانند تبریز، به‌ویژه در بافت‌های هفت‌گانهٔ آن، می‌تواند به ارائهٔ راهکارهای طراحی متناسب با زمینه کمک کند .(Abdi et al., 2023; Teshnehdel et al., 2020) از این رو، این پژوهش در پی پاسخ به سؤال زیر است:

نقش عناصر کالبدی و طراحی شهری، به‌طور مشخص جهت‌گیری معابر و نسبت ارتفاع به عرض[1]، بر آسایش حرارتی شهروندان در بافت‌های هفت‌گانهٔ تبریز چیست؟

مبانی نظری

در قرن بیست‌ویکم، گسترش سریع شهرنشینی و افزایش تراکم جمعیت، شهرها را با چالش‌های زیست‌محیطی بی‌سابقه‌ای روبه‌رو کرده است. پدیده‌هایی مانند جزیرهٔ حرارتی شهری[2] که در آن مناطق شهری به دلیل جذب و بازتابش

[1] H/W
[2] Urban Heat Island - UHI

حرارت توسط سطوح مصنوعی، دمای بالاتری نسبت به مناطق اطراف خود دارند و همچنین آلودگی هوا، کیفیت زندگی شهروندان را به‌شدت تحت تأثیر قرار داده‌اند (Oke, 1982) . فضاهای باز شهری - خیابان‌ها، میادین، پارک‌ها و پیاده‌روها - که زمانی کانون تعاملات اجتماعی، فعالیت‌های فرهنگی و گذران اوقات فراغت بودند، اکنون به دلیل شرایط نامطلوب اقلیمی، اغلب به فضاهایی ناخوشایند و حتی غیرقابل استفاده تبدیل شده‌اند.

این وضعیت پیامدهای گسترده‌ای دارد: از تهدید مستقیم سلامت جسمی (مانند گرمازدگی و بیماری‌های تنفسی) و سلامت روانی (افزایش استرس و کاهش تاب‌آوری) شهروندان گرفته تا کاهش حضور مردم در فضاهای عمومی و در نتیجه، تضعیف سرمایهٔ اجتماعی و انزوای اجتماعی (Gehl, 2011). در چنین بستری، مفهوم آسایش حرارتی[1] از یک نیاز اولیه فراتر رفته و به یکی از ارکان کلیدی در کیفیت زندگی شهری، پایداری شهری و حق شهروندی تبدیل شده است. طراحی شهری که بتواند با بهینه‌سازی عناصر کالبدی، آسایش حرارتی را فراهم آورد، نقشی محوری در تشویق حضور پویا و مداوم شهروندان در فضاهای باز ایفا می‌کند و به شهرهایی زنده‌تر، سالم‌تر و پویاتر منجر می‌شود (Emmanuel, 2005) .

مفهوم‌شناسی و ابعاد آسایش حرارتی

آسایش حرارتی یک مفهوم پیچیده و روان‌شناختی است، نه‌صرفاً یک حالت فیزیکی. از منظر علمی، آسایش حرارتی به شرایطی اطلاق می‌شود که فرد دمای محیط را مطلوب ارزیابی کرده و احساس نیاز به سردتر یا گرم‌تر کردن خود نمی‌کند. استاندارد این حالت را به‌صورت کمی تعریف می‌کند: شرایطی که حداقل ۸۰٪ از افراد از دمای محیط رضایت داشته باشند (ASHRAE, 2017). این مفهوم دارای دو بعد اصلی است:

بعد فیزیولوژیک: مربوط به تعادل گرمایی بدن انسان است. بدن انسان به‌طور مداوم در حال تولید حرارت (متابولیسم) و تبادل آن با محیط اطراف است. آسایش زمانی حاصل می‌شود که این تبادل به تعادل برسد و بدن برای تنظیم دمای خود نیازی به تلاش اضافی (مانند تعریق یا لرز) نداشته باشد.

بعد روان‌شناختی و انطباقی: این بعد نشان می‌دهد که ارزیابی افراد از آسایش، صرفاً به شرایط فیزیکی محیط بستگی ندارد. انتظارات، تجربیات گذشته، دسترسی به راهکارهای کنترلی (مانند حرکت به سایه یا کم‌تر کردن لباس) و اهمیت فعالیتی که انجام می‌دهند، بر درک آن‌ها از آسایش تأثیر می‌گذارد. به این رویکرد، مدل آسایش انطباقی[2] می‌گویند که در فضاهای باز اهمیت ویژه‌ای دارد.

[1] Thermal Comfort
[2] Adaptive Thermal Comfort Model

به‌طورکلی، شش متغیر اساسی، آسایش حرارتی خارجی را تحت تأثیر قرار می‌دهند که به دو دسته تقسیم می‌شوند: (Bosselmann et al., 1995)

جدول ۱. متغیرهای اساسی آسایش حرارتی

دسته عوامل	متغیر	توضیح
عوامل فردی	سطح فعالیت	میزان تولید حرارت بدن
عوامل فردی	میزان لباس	میزان مقاومت لباس در برابر تبادل حرارت
عوامل محیطی	دمای هوا	دمای محیط پیرامون فرد
عوامل محیطی	رطوبت نسبی	درصد رطوبت موجود در هوا
عوامل محیطی	سرعت باد	میزان جریان هوا و تهویهٔ محیط
عوامل محیطی	تابش خورشیدی	انرژی خورشید که به سطح محیط تابیده می‌شود.

تأثیرپذیری خرداقلیم از عناصر کالبدی و طراحی شهری

طراحی شهری ابزار اصلی شکل‌دهی به خرداقلیم[1] در مقیاس محلی (سایت) است. عناصر کالبدی می‌توانند متغیرهای اقلیمی مذکور را به‌طور قابل توجهی تعدیل کرده و آسایش حرارتی را بهبود بخشند. این عناصر عبارت‌اند از:

هندسهٔ فضایی[2]

نسبت ارتفاع به عرض معابر:[3] این نسبت در "دره‌های شهری" تعیین‌کنندهٔ میزان سایه‌اندازی، جذب و بازتابش تابش خورشیدی و الگوی جریان باد است. نسبت عرض به ارتفاع بالا در اقلیم‌های گرم و خشک، با ایجاد سایهٔ بیشتر در طول روز، دمای سطح را کاهش می‌دهد (Ali-Toudert & Mayer, 2006). در مقابل، در اقلیم‌های سرد، این نسبت می‌تواند با

[1] Microclimate
[2] Spatial Geometry
[3] H/W Ratio

کاهش تابش خورشیدی در زمستان و مهار بادهای سرد، به حفظ انرژی کمک کند، هرچند ممکن است منجر به به دام انداخته شدن هوای سرد در شب شود (Bourbia & Boucheriba, 2010).

جهت‌گیری معابر: جهت‌گیری معابر شمال-جنوب در اقلیم‌های گرم، سایهٔ متغیر و بهتری در طول روز ایجاد می‌کند، درحالی‌که معابر شرق-غرب باعث دریافت تابش مستقیم و شدید در ساعات اوج گرما می‌شوند.

پوشش سطوح و مصالح[1]

جنس و رنگ سطوح: مصالحی با آلبیدو[2] یا بازتابش بالا (مانند بتن‌های روشن و سنگ‌های رنگ‌پریده) تابش خورشیدی را منعکس کرده و از جذب حرارت جلوگیری می‌کنند. در مقابل، آسفالت و مصالح تیره، حرارت زیادی را جذب کرده و در شب به‌آرامی آزاد می‌کنند و به تشدید پدیدهٔ جزیرهٔ حرارتی کمک می‌کنند.

پوشش گیاهی و فضای سبز[3]

سایه‌اندازی: درختان با سایه‌ای که ایجاد می‌کنند، مستقیماً از تابش مستقیم خورشید جلوگیری کرده و مؤثرترین عامل خنک‌کننده در فضاهای باز هستند.

تبخیر و تعرق:[4] فرآیندی که در آن گیاهان آب را از خاک جذب و از برگ‌های خود به بخار تبدیل می‌کنند. این فرآیند، مشابه عملکرد یک سیستم سرمایشی طبیعی، رطوبت محیط را افزایش و دمای اطراف را کاهش می‌دهد.

عناصر آبی[5]

حوضچه‌ها، فواره‌ها و آب‌نماها از طریق فرآیند تبخیر[6]، حرارت را از محیط اطراف گرفته و باعث خنک‌شدن هوا می‌شوند. این امر به‌ویژه در اقلیم‌های خشک بسیار مؤثر است. شبکه‌های ارتباطی شهری – به‌ویژه خیابان‌ها - که بیش از ۳۰٪ سطح شهری را اشغال می‌کنند، نقش حیاتی در این فرآیندها ایفا می‌کنند (Eliasson, 2000). این فضاها بدون توجه به اصول طراحی اقلیمی، به‌راحتی به فضاهای نامطلوب و طردکننده تبدیل می‌شوند. بنابراین، ایجاد آسایش حرارتی در پیاده‌روها و خیابان‌ها که قلب تپندهٔ شهر هستند، یکی از اولویت‌های اصلی طراحی پایدار شهری محسوب می‌شود (Teshnehdel et al., 2020).

---

[1] Surface Materials
[2] Albedo
[3] Vegetation and Green Spaces
[4] Evapotranspiration
[5] Water Features
[6] Evaporation

شاخص‌های اندازه‌گیری کمی آسایش حرارتی

برای ارزیابی علمی و کمی آسایش حرارتی در فضاهای باز، از شاخص‌های تحلیلی براساس تعادل انرژی انسانی استفاده می‌شود. این شاخص‌ها با درنظرگرفتن ترکیبی از متغیرهای اقلیمی و فردی، یک عدد واحد ارائه می‌دهند که می‌توان از آن برای مقایسهٔ شرایط مختلف و شبیه‌سازی اثرات طراحی استفاده کرد. این شاخص‌ها به دو دستهٔ تجربی و تحلیلی تقسیم می‌شوند؛ در مطالعات شهری، شاخص‌های تحلیلی به دلیل قابلیت شبیه‌سازی خرداقلیم کاربرد بیشتری دارند (Höppe, 1999).

جدول زیر شاخص‌های کلیدی تحلیلی را براساس توسعه‌دهنده و کارکرد توصیف می‌کند:

جدول 1. شاخص‌های کلیدی تحلیلی

نوع شاخص	تاریخچه / توسعه‌دهنده	کارکرد
PMV (Predicted Mean Vote)	توسعه‌یافته توسط P.O. Fanger (1970)؛ بعداً برای فضاهای بازاقتباس‌شده توسط H. Mayer & P. Höppe (1987)	پیش‌بینی میانگین رأی رضایت حرارتی براساس متغیرهای اقلیمی (دما، رطوبت، تابش، باد) و ویژگی‌های فردی (فعالیت و پوشش)؛ مقیاس از -3 سرد تا +3گرم مرتبط با شاخص PPD (درصد ناراضیان)؛ مناسب برای تعادل انرژی در فعالیت‌های شهری.
PET Physiological Equivalent Temperature	توسعه‌یافته توسط Peter Höppe (1999)	معادل دمای داخل ساختمان با اثرات فیزیولوژیکی مشابه محیط باز؛ مبتنی بر مدل انرژی انسانی؛ ارزیابی آسایش حرارتی در فضاهای باز و داخلی با تأکید بر اثر سایه و باد؛ مناسب برای اقلیم‌های متنوع و طراحی شهری.
UTCI Universal Thermal Climate Index	توسعه‌یافته توسط G. Jendritzky et al. (2012)تحت COST Action 730	شاخص جهانی مبتنی بر مدل چندگره‌ای بدن انسان؛ برقراری ارتباط میان آسایش حرارتی فضای باز و سلامت انسانی؛ نشان‌دهندهٔ واکنش فیزیولوژیکی به دما، رطوبت، باد و تابش؛ کاربردی برای پیش‌بینی استرس حرارتی در شرایط شهری پیچیده (مانند پدیدهٔ جزیرهٔ حرارتی شهری).
SET Standard Effective Temperature	توسعه‌یافته توسط A.P. Gagge et al. (1986)	شاخص تعادل دمای انسانی در محیط استاندارد (دمای یکنواخت، رطوبت نسبی ۵۰٪ و دمای تابشی متوسط)؛ کاربردی در ارزیابی آسایش حرارتی در فضاهای باز و داخلی با تمرکز بر اثرات ترکیبی اقلیمی.
THI Temperature-Humidity Index	توسعه‌یافته توسط Robert W. Thom (1959)	شاخص ساده و عملی برای ترکیب دما و رطوبت؛ کاربردی در نظارت سریع و پیش‌بینی ناراحتی حرارتی در اقلیم‌های خشک و فضاهای باز.

این شاخص‌ها، با تمرکز بر عناصر کالبدی مانند هندسهٔ معابر، امکان ارزیابی دقیق نقش طراحی شهری بر آسایش حرارتی را در بافت‌های تبریز فراهم می‌کنند.

انتخاب شاخص مناسب بستگی به هدف مطالعه دارد. PET به دلیل قابل فهم بودن برای عموم، در مطالعات طراحی شهری بسیار محبوب است UTCI .به‌عنوان یک استاندارد جهانی، برای ارزیابی استرس گرمایی و سلامت عمومی مناسب‌تر است. این شاخص‌ها که معمولاً با استفاده از نرم‌افزارهای شبیه‌سازی خرداقلیم مانند ENVI-metو RayMan محاسبه می‌شوند، امکان ارزیابی دقیق نقش طراحی شهری را بر آسایش حرارتی فراهم می‌کنند. مبانی نظری حاکی از آن است که آسایش حرارتی یک مفهوم چندبعدی است که تحت تأثیر متغیرهای فردی، اقلیمی و به‌ویژه عناصر کالبدی محیط ساخته‌شده قرار دارد. طراحی شهری پایدار با بهینه‌سازی هندسهٔ فضا، مصالح، پوشش گیاهی و عناصر آبی، می‌تواند به‌طور فعالانه خرداقلیم را تعدیل کرده و شرایطی را فراهم آورد که شهروندان ترغیب به حضور و فعالیت در فضاهای باز شوند که به طراحی راهکارهای محلی و مؤثری منجر خواهد شد که به ارتقاء کیفیت زندگی در شهر تبریز کمک می‌کند.

۲-۴-پیشینهٔ تحقیق

در چندین دههٔ اخیر مطالعات متنوعی در خصوص ارتباط مورفولوژی شهری با آسایش حرارتی افراد پیاده، در اقلیم‌های مختلف انجام شده است؛ از پیشگامان این حیطهٔ مطالعاتی، می‌توان به اولگی (Olgyay, 1963) و اوک (T.R. Oke, 1987) اشاره کرد که به ترتیب در کتاب‌های "طراحی با اقلیم" و "لایه‌های مرزی اقلیم‌ها" به ارتباط میان شهرها و نحوهٔ طراحی آن‌ها با اقلیم پرداخته‌اند. پس از آن‌ها گیونی نیز در دو کتاب خود (Givoni, 1991)، به بررسی محدودهٔ آسایش حرارتی انسان در اقلیم‌های مختلف و همچنین ارتباط بین عوامل اقلیمی و طراحی شهری پرداخته است. در قرن حاضر نیز مطالعات جدید در این راستا صورت پذیرفته است.

استراتژی مهمی که برای مواجهه با گرمای شدید هوا به‌خصوص در مناطق شهری شناخته می‌شود، استفاده از حد مطلوبی از پوشش گیاهی و فضاهای سبز است (Gill, Handley, Ennos, & Pauleit, 2007). پوشش گیاهی و سطوح سبز، براساس مقدار و نوعشان تأثیر متفاوتی بر دمای یک محیط ایجاد می‌کنند. در این راستا، به‌عنوان یکی از تأثیرات مثبت پوشش گیاهی، می‌توان به فرآیند خنک‌سازی محیط از طریق تبخیر و تعرق اشاره کرد. مکانیسم عمل گیاهان به این صورت است که از طریق جذب گرمای آفتاب و تبدیل رطوبت درون خود به بخار و ارسال آن به محیط اطراف، سبب خنک‌شدن خود گیاه و هوای اطرافشان می‌شوند (Grimmond & Oke, 1991). مطالعات انجام‌شده در این زمینه نشان می‌دهد که به‌کارگیری سطوح سبز سبب تغییر در پارامترهای محیطی خرداقلیم مانند رطوبت نسبی و دمای هوا می‌گردد. در نتیجه از این عامل مهم می‌توان به‌عنوان یکی از روش‌های کارآمد در زمینآ کنترل جزایر حرارتی و بهبود آسایش و سلامتی کاربران بهره برد (Byrne, Bruns, & Kim, 2008). در این راستا، موراکامی و همکاران در شهر توکیو، آسایش حرارتی معابر را با استفاده از شبیه‌سازی ترکیبی مورد تحلیل قرار دادند و نقشآ توزیع مکانی مقادیر دمای محسوس استاندارد (SET) را ترسیم نمودند. آن‌ها دریافتند که چتر پوشش گیاهی می‌تواند دمای سطح زمین را حدود ۲ تا ۴ درجه

و مقدار دمای محسوس استاندارد را بیش از ۷/۵ °C کاهش دهد (Murakami, Ooka, Mochida, Yoshida, & Kim, 1999). در یکی از جدیدترین مطالعاتی که در سال ۲۰۲۳ توسط هاشمی و همکاران (Hashemi, Poerschke, Iulo, & Chi, 2023) در خصوص بررسی آسایش حرارتی دو محله مختلف در فیلادلفیای آمریکا صورت‌گرفته، چنین به دست می‌آید که ارتباط معناداری بین پوشش گیاهی و دمای محیط وجود دارد.

جهت‌گیری کانال‌های شهری یکی دیگر از پارامترهای اصلی است که بر سرعت باد و میزان دریافت انرژی تابشی خورشید تأثیر می‌گذارد. در مطالعات گسترده‌ای که در این زمینه صورت‌گرفته، نشان داده شده که دره‌های شرقی - غربی به‌دلیل جذب زیاد نور خوشید، نامطلوب‌ترین شرایط حرارتی را تجربه می‌کنند. همچنین در تحقیقاتی که در اقلیم گرم‌وخشک انجام شد، نشان می‌دهد که در جهت‌گیری شمالی-جنوبی به‌خصوص در زمان صبح و ظهر شرایط حرارتی بسیار مناسب‌تر می‌باشند (Nunez & Oke, 1977). پیرلموترو همکاران نیز، برای پیش‌بینی اثرات شکل هندسی خیابان‌ها بر روی آسایش معابر تحت شرایط فصلی مختلف یک مدل تجربی را به کار بردند. نتایج نشان داد که خیابان‌های متراکم و فشرده با جهت شمالی ـ جنوبی می‌توانند فشارهای گرمایی را کاهش دهند(Pearlmutter, Berliner, & Shaviv, 2007) . لشکری و پورخادم (Lashkari, & Pour Khadem, 2017) نیز، وضعیت بیوکلیمایی شهر اردبیل را بررسی نموده و به این نتیجه دست یافتند که به منظور جلوگیری از ماندگاری یخ و برف در سطح خیابان‌ها و معابر با توجه به تداخل دو عامل درجه حرارت و تابش آفتاب و جلوگیری از ورود بادهای سرد جهت ۳۰ درجه انحراف از جنوب به سمت غرب مناسب ترین جهت می‌باشد. در مطالعهٔ دیگری که در بافت تاریخی شهر تبریز انجام گرفته، معابر شمال غربی-جنوب شرقی و معابر شمال شرقی- جنوب غربی، از طریق تعدیل تابش آفتاب در تابستان و کنترل کوران باد در زمستان، می‌توانند حالت بهینه‌ای از آسایش حرارتی را هم در فصول سرد سال و هم در فصول گرم، فراهم کنند(Saber Sabouri & Alinasab, 2021). یکی دیگر از پارامترهای اساسی تأثیرگذار بر میزان آسایش حرارتی، هندسهٔ معابر شهری و خصوصاً نسبت ارتفاع به عرض این معابر است (Tim R Oke, 1988). طبق تعاریف ارائه‌شده، اگر نسبت ارتفاع به عرض دره‌های شهری تا ۱ باشد به آن یکنواخت، اگر این نسبت کم‌تر از ۰/۵ باشد، به آن کم‌عمق می‌گویند و اگر بیشتر از ۲ باشد، آن را عمیق می‌نامند. احمد و همکاران طی مطالعاتی دریافتند که بیشینهٔ دمای هوا در اقلیم گرم و مرطوب با نسبت ارتفاع به عرض، رابطهٔ عکس دارد (Ahmad, Khare, & Chaudhry, 2005). جانسون نیز (Johansson, 2006) تأثیر محصوریت خیابان‌های شهری را بر آسایش حرارتی در شهر فاز مراکش بررسی کرده است. براساس این مطالعه، در روزهای گرم تابستان، خیابان‌های عمیق کارایی مناسب‌تری را دارا هستند و در روزهای سرد زمستان نیز خیابان‌های عریض با نسبت ارتفاع به عرض کم‌تر و یا ترکیبی از هردو، امکان دریافت انرژی تابشی را بهتر فراهم می‌کند. در بررسی دیگری که توسط نوری‌کاکون ومیشیما (Kakon & Mishima, 2012) صورت گرفت، به تأثیر شکل هندسی بناها بر آسایش حرارتی بیرونی پرداخته شد و گزینه‌های طراحی مختلف (اعم از تغییر در ارتفاع و شکل)، به جای طرح موجود ارائه گشت. نتیجه حاصل‌شده نشان داد

که ارتفاع و تراکم ساختمانی، در تغییر دمای آسایش تأثیر بسیاری دارد و هرچه تراکم و ارتفاع افزایش یابد، فضاها خنک‌تر و به معیار PET در آن اقلیم نزدیک‌تر می‌شوند. به‌صورت کلی، بیان شده است که خیابان‌های عمیق، شرایط حرارتی بهتری را در مقایسه با خیابان‌های عریض ایجاد می‌کنند (Lin, Tsai, Hwang, & Matzarakis, 2012). در مطالعهٔ دیگری که در زمینهٔ بررسی آسایش حرارتی دره‌های شهری با نسبت ارتفاع به عرض کم‌تر از ۰/۵ در یک مدل سه‌بعدی صورت گرفته است، نشان داد که وجود سایه‌اندازی در پیاده‌روها و نماهای شهری، در کنترل استرس حرارتی کمک شایانی می‌کند (Abreu-Harbich, Labaki, & Matzarakis, 2014).

با مرور پیشینهٔ علمی می‌توان دریافت که تاکنون بخش عمده‌ای از مطالعات مرتبط با آسایش حرارتی در فضاهای شهری بر سه محور اصلی متمرکز بوده‌اند: نخست، نقش پوشش گیاهی و فضاهای سبز به‌عنوان یکی از کارآمدترین ابزارهای کاهش دمای محیط و بهبود آسایش حرارتی؛ دوم، تأثیر جهت‌گیری معابر شهری بر نحوهٔ دریافت تابش خورشیدی و شکل‌گیری الگوهای تهویهٔ طبیعی و سوم، هندسه و محصوریت فضاهای شهری به‌ویژه نسبت ارتفاع به عرض که نقشی تعیین‌کننده در تعدیل شرایط خرداقلیمی ایفا می‌کند. یافته‌های این مطالعات به‌ویژه در ارتباط با اقلیم‌های گرم و مرطوب یا شهرهای معتدل، نشان داده است که طراحی کالبدی مناسب می‌تواند به‌طور مستقیم بر کیفیت محیط شهری و آسایش شهروندان تأثیرگذار باشد. با وجود این، بررسی دقیق‌تر ادبیات نشان می‌دهد که چندین ضعف و خلأ پژوهشی همچنان باقی است. نخست آنکه بسیاری از پژوهش‌ها به‌صورت تک‌عاملی انجام شده و تنها یک مؤلفه مانند پوشش گیاهی یا هندسه معابر را مدنظر قرار داده‌اند، درحالی‌که بررسی ترکیبی و هم‌زمان این عوامل می‌تواند تصویری جامع‌تر از تأثیرگذاری آن‌ها بر آسایش حرارتی ارائه دهد. دوم، تمرکز عمده مطالعات بر اقلیم‌های گرم و مرطوب یا مناطق معتدل بوده است و در نتیجه، داده‌ها و شواهد اندکی دربارهٔ شرایط اقلیمی سرد و خشک، به‌ویژه در بستر شهرهای ایران، در دسترس است. سوم، بیشتر تحقیقات پیشین معطوف به بافت‌های مدرن شهری بوده و در این میان، نقش بافت‌های تاریخی و سنتی که دارای ویژگی‌های منحصربه‌فرد در هندسهٔ فضایی و الگوهای کالبدی هستند، کم‌تر بررسی شده است. این در حالی است که چنین بافت‌هایی به دلیل تراکم بالای ساختمانی، ساختار ارگانیک و ارزش‌های اجتماعی و فرهنگی، می‌توانند شرایط خرداقلیمی و به تبع آن آسایش حرارتی متفاوتی را نسبت به بافت‌های جدید ایجاد کنند. بر مبنای این خلأها، پژوهش حاضر بر آن است تا با تمرکز بر بافت‌های هفت‌گانه شهر تبریز، سه مؤلفهٔ کلیدی یعنی جهت‌گیری معابر، محصوریت بناها نسبت ارتفاع به عرض و پوشش گیاهی را به‌صورت توأمان و در ارتباط با یکدیگر بررسی نماید. این رویکرد تلفیقی، امکان تحلیل دقیق‌تر تعامل میان عوامل کالبدی و اقلیمی را فراهم کرده و می‌تواند به ارائهٔ تصویری جامع‌تر از سازوکارهای مؤثر بر آسایش حرارتی عابران در فضاهای باز شهری منجر شود. از سوی دیگر، انتخاب تبریز به‌عنوان مطالعهٔ موردی نیز دارای اهمیت دوچندانی است؛ زیرا این شهر نه‌تنها یکی از بزرگ‌ترین و پرجمعیت‌ترین کلان‌شهرهای ایران با اقلیم سرد و خشک محسوب می‌شود،

بلکه به‌واسطهٔ دارا بودن بافت‌های متنوع تاریخی و مدرن، نمونه‌ای منحصربه‌فرد برای بررسی تعامل عوامل شهرسازی با شرایط اقلیمی است. بدین ترتیب، نتایج این پژوهش می‌تواند علاوه بر غنای ادبیات علمی در حوزهٔ آسایش حرارتی، راهکارهای کاربردی برای برنامه‌ریزی و طراحی شهری در مناطق مشابه ارائه دهد. به‌ویژه آنکه ارتقاء کیفیت حرارتی فضاهای باز نه‌تنها در افزایش کارآمدی و جذابیت فضاهای عمومی مؤثر است، بلکه می‌تواند به بهبود سلامت جسمی و روانی شهروندان، تقویت حضور اجتماعی و ارتقاء پایداری زیست‌محیطی شهرها نیز منجر گردد.

روش تحقیق

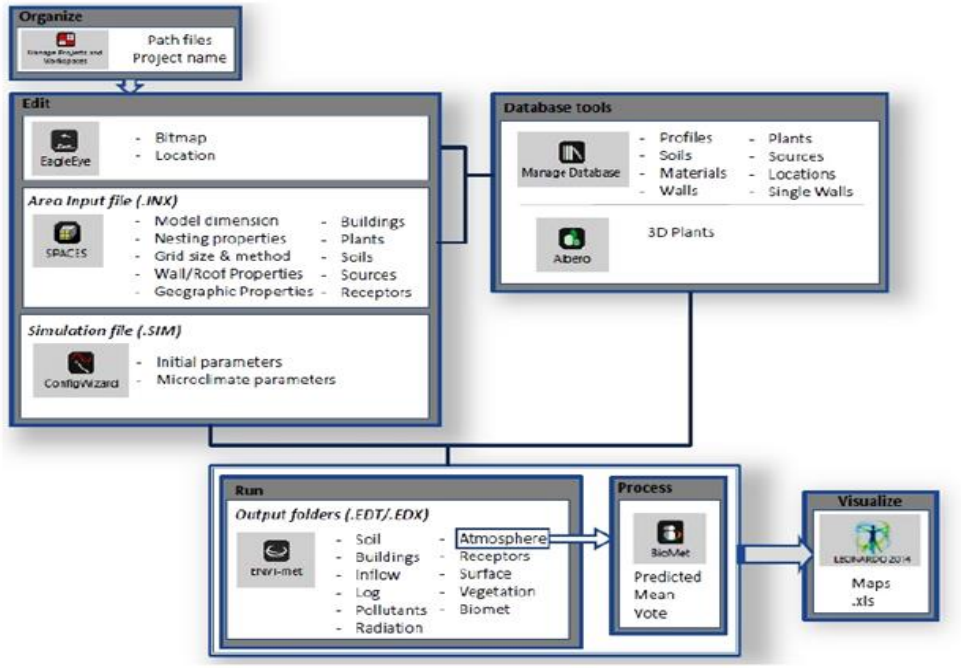
در پژوهش حاضر، ابتدا با استناد به مطالعات اسنادی و بررسی آثار پیشین و سپس با تعمیم آن‌ها به محدوده‌های مورد مطالعه (بافت‌های تاریخی، روستایی، سنتی، سنتی نوبنیاد، طراحی شده، حاشیه‌ای و مجموعه‌ای شهر تبریز)؛ معیارهای نیازمند بررسی مشخص گردید. پس از تعیین متغیرهای مورد نظر، ازجمله محصوریت (شامل طول و عرض معابر)، جهت‌گیری معابر، پوشش گیاهی و مصالح، مطالعه وارد مرحلهٔ نرم‌افزاری گردید.

در این مرحله، با دریافت اطلاعات آب‌وهوایی از سازمان هواشناسی و اطلاعات کالبدی توسط نرم‌افزار جی آی اس[1] مدل‌سازی محدوده‌های مورد نظر در نرم‌افزار انوی مت[2] انجام گرفت (تصویر شمارهٔ ۱).

نرم‌افزار انوی مت یک نرم‌افزار طراحی با محیطی سه‌بعدی است که توسط مایکل بروس در سال ۱۹۹۷ معرفی شد (Bruse & Fleer, 1998). در این نرم‌افزار، محیط‌های متعددی برای انجام عمل شبیه‌سازی، تحلیل، مدیریت داده‌ها و .. موجود می‌باشد و از الگوهای طولی، عرضی و ارتفاعی تشکیل یافته است که حالات مختلف جوی را مطابق با قوانین ترمودینامیک گازها و دینامیک سیالات، شبیه‌سازی و تحلیل می‌کند. درون این نرم‌افزار، مؤلفه‌های مهم محیطی ازجمله بناها، جنس مصالح، خاک، پوشش گیاهی و... قابل مدل‌سازی هستند. همچنین عوامل مختلف اقلیمی را در یک چرخهٔ شبانه‌روزی می‌توان در آن نشان داد. مدل‌سازی در این نرم‌افزار از طریق محیط [3]و ورود داده‌های مورد نیاز در محیط کانفیگ ویزارد[4] صورت می‌پذیرد. پس از شبیه‌سازی بلوک‌های مذکور نیز، مرحلهٔ تحلیل داده‌ها و اطلاعات در محیط لئوناردو[5] انجام می‌گیرد. این مرحله، شامل تحلیل‌های متعددی است که بنا بر نیاز مطالعه، می‌توان دما، میانگین دمای

[1] GIS
[2] Envi-met
[3] SPACES
[4] ConfigWizard
[5] Leonardo

تابشی، سرعت باد و میزان رطوبت در معابر را مورد بررسی قرار داد. در پایان، برای هریک از این مؤلفه‌ها، نقشه‌ها (دوبعدی و سه‌بعدی) و جداول مختلفی قابل تهیه و ارائه می‌باشد.



شکل ۱. سازوکار نرم‌افزار انوی مت. برگرفته از: (Chatzinikolaou, Chalkias, & Dimopoulou, 2018)

انتخاب محدوده‌های مورد مطالعه

شهر تبریز به‌عنوان مرکز استان آذربایجان شرقی و یکی از کلان‌شهرهای کلیدی ایران، در مختصات جغرافیایی ′۳۸°۰۱ تا ′۳۸°۰۸ عرض شمالی و ′۴۶°۰۵ تا ′۴۶°۲۲ طول شرقی موقعیت یافته است. این شهر با برخورداری از پیشینه‌ای تاریخی غنی و تحولات سریع اجتماعی-اقتصادی، موسوم به تنوع مورفولوژیک و کالبدی قابل توجهی است که بازتابی از فرآیندهای مختلف رشد و توسعهٔ شهری در دوره‌های گوناگون به‌شمار می‌رود (حبیبی و کیانمهر، ۲۰۱۹). براساس اسناد طرح‌های توسعه و عمران، بافت‌های شهری تبریز در هفت دستهٔ اصلی طبقه‌بندی می‌شوند: تاریخی، سنتی، روستایی الحاقی، سنتی نوبنیاد، طراحی‌شده، حاشیه‌ای و مجموعه‌ای.

پژوهش حاضر با هدف سنجش و مقایسهٔ آسایش حرارتی در مقیاس خرد (بلوک شهری)، رویکرد نمونه‌گیری هدفمند را اتخاذ نموده است. به همین منظور، از هریک از هفت بافت شناسایی‌شده، یک بلوک به‌عنوان نمونهٔ موردی (شاهد)

انتخاب گردیده است تا تصویری جامع از تأثیر ویژگی‌های کالبدی بر آسایش حرارتی در کلان‌شهر تبریز حاصل شود. در ادامه، مشخصات مورفولوژیک هریک از این بافت‌ها و دلایل انتخاب نمونه‌ها تشریح می‌شود (شکل ۲).

بافت تاریخی

این بافت که قلب تپنده و هستهٔ اولیهٔ شهر تبریز را تشکیل می‌دهد، محصول فرآیند رشد ارگانیک و تاریخی در طول قرن‌هاست. پارچهٔ شهری در این بخش، با تراکم بالای ساختمانی، شبکهٔ معابر باریک و پیچ در پیچ و فضاهای منفی محدود، دارای کالبدی فشرده و درهم‌تنیده است. الگوی توده-فضا در این بافت، با ایجاد سایه‌های طولانی و کانال‌های هوای خنک، پتانسیل بالایی برای ایجاد آسایش حرارتی طبیعی دارد. بااین‌حال، تمرکز شدید فعالیت‌های تجاری و خدماتی در اطراف بازار بزرگ تبریز، فشارهای عملکردی و کالبدی شدیدی را بر این بافت وارد آورده است. این فشارها منجر به تغییر کاربری، فرسودگی فیزیکی، کاهش کیفیت محیطی و ازبین‌رفتن سکونتگاهی آن شده است (صادقی زاده، ۲۰۱۷). در این پژوهش، یک بلوک در محله راسته‌کوچه به دلیل نمایندگی کامل از این ویژگی‌های کالبدی فشرده و عملکردی پیچیده، به‌عنوان نمونهٔ موردی انتخاب شد تا تأثیرات متضاد ساختار تاریخی بر میکروکلیمای شهری بررسی گردد.

بافت سنتی

این بافت به‌عنوان اولین حلقه از توسعهٔ شهر در پیرامون هستهٔ تاریخی شکل‌گیری یافته و بخش وسیعی از بافت میانی مرکز شهر را تشکیل می‌دهد. اگرچه این بافت از ارزش تاریخی و مادی بافت تاریخی برخوردار نیست، اما الگوهای فضایی و سیمای شهری آن بازتابی از هنجارهای سنتی ساخت‌وساز و مقیاس انسانی است. شبکهٔ معابر در این بخش نسبتاً منظم‌تر از بافت تاریخی است، اما همچنان بر پایهٔ حرکت پیاده طراحی شده است. مداخلات ناهماهنگی چون تعریض معابر و احداث گذرهای جدید برای تسهیل عبور و مرور خودرو، هماهنگی فضایی و سلسله‌مراتب فضایی این بخش را مختل کرده و مقیاس انسانی آن را تحت تأثیر قرار داده است (امانی، ۲۰۱۶). برای این دسته، بلوکی واقع در محلهٔ شریعتی به‌عنوان نمونه انتخاب گردید تا تأثیر تخریب ساختار سنتی بر شرایط اقلیمی محلی مورد ارزیابی قرار گیرد.

بافت روستایی الحاقی

فرآیند گسترش افقی و اسپرال شهری در تبریز در دهه‌های اخیر منجر به ادغام سکونتگاه‌های روستایی پیرامون در محدودهٔ قانونی شهر شده است. این بافت‌ها که اغلب فاقد برنامه‌ریزی شهری متمرکز هستند، با ویژگی‌هایی نظیر شبکه معابر باریک و نامنظم (که اغلب از مسیرهای کشاورزی یا مال‌روها نشأت گرفته‌اند)، قطعات ارضی با ابعاد مختلف و انطباق کامل با توپوگرافی طبیعی زمین شناخته می‌شوند (زارعی و پورمحمدی، ۲۰۲۰). این ساختار نامنظم، ترکیبی از فضاهای

ساخته‌شده و باغات باقی‌مانده را ایجاد می‌کند که می‌تواند تأثیرات متفاوتی بر تهویه و دمای سطح داشته باشد. به‌منظور بررسی این شرایط، یک بلوک در محدودهٔ لاله (غرب تبریز) که این ویژگی‌ها را به‌خوبی نمایش می‌دهد، انتخاب شد.

بافت سنتی نوبنیاد

این بافت، حاصل توسعهٔ شهر بر روی اراضی کشاورزی و باغات پیرامونی در دهه‌های اخیر است و می‌توان آن را یک پل میان الگوهای سنتی و مدرن دانست. با وجود قدمت کم، به دلیل تلاش توسعه‌دهندگان برای حفظ برخی الگوهای فضایی سنتی (مانند حیاط مرکزی و نسبت‌های معین)، در این دسته طبقه‌بندی می‌شود. در این بافت، نظم نسبی در شبکه معابر و فرم قطعات مشاهده می‌شود، اما سلسله‌مراتب فضایی و مقیاس‌بندی بناها همچنان الهام‌گرفته از الگوهای سنتی است. این بافت نماینده یک "تقلید مهندسی‌شده" از سنت است که می‌تواند عملکرد اقلیمی متفاوتی از بافت‌های کاملاً سنتی یا مدرن داشته باشد. بلوک منتخب در محلهٔ آبرسان نمایندهٔ این نوع بافت است.

بافت طراحی‌شده

این بافت که عمدتاً پس از انقلاب اسلامی در پاسخ به بحران مسکن و با رویکرد توسعهٔ کلان‌شهری شکل گرفته، نمونهٔ بارز معماری مدرنیستی در مقیاس وسیع است. الگوی رشد در این بخش کاملاً شطرنجی و براساس ابربلوک‌ها طراحی شده است. معابر عریض و مستقیم، حرکت خودرو را در اولویت قرار داده و مقیاس انسانی را به حاشیه رانده است. نظم هندسی و کالبدی این بافت، آن را از سایر بخش‌های شهر متمایز می‌سازد. سطوح وسیع آسفالت، فضاهای باز و عدم وجود سایه‌بان‌های طبیعی در این بافت، پتانسیل بالایی برای تشکیل جزایر حرارتی شهری دارد (شیخ‌الاسلامی، ۲۰۱۳). در این مطالعه، یک بلوک در محدودهٔ ولیعصر که نمونه بارز این نوع توسعه است، مورد بررسی قرار گرفت.

بافت حاشیه‌ای

تبریز، همچون بسیاری از کلان‌شهرهای ایران، با پدیدهٔ سکونتگاه‌های غیررسمی مواجه است. این بافت‌ها که عمدتاً در مناطق شمالی و جنوبی شهر بر روی اراضی نامناسب با توپوگرافی ناهموار و شیب‌های تند شکل گرفته‌اند، محصول ساخت‌وسازهای خودجوش و فاقد مجوز هستند. ویژگی‌هایی چون معابر تنگ و دسترسی‌های نامناسب، قطعات ارضی خرد و عدم انطباق با ضوابط شهرسازی، چهرهٔ کالبدی این مناطق را شکل داده است (علوی‌تبار، ۲۰۱۵). تراکم بالا و ساخت‌وساز در شیب، می‌تواند تأثیرات پیچیده‌ای بر الگوهای باد و دریافت تابش خورشید داشته باشد. بلوک واقع در منطقهٔ اخمقیه به‌عنوان نمایندهٔ این بافت برای مطالعه انتخاب گردید.

بافت مجموعه‌ای

مجموعه‌سازی یکی از الگوهای نوین و سرمایه‌محور توسعهٔ شهری در تبریز است که در قالب پروژه‌های آپارتمان‌سازی بلوک‌محور متجلی شده است. ویژگی اصلی این بافت، عقب‌نشینی بناها از خیابان و شکل‌گیری فضاهای مشترک و نیمه‌محصور (حیاط‌های مرکزی) است. این الگو، مرز مشخصی میان فضای عمومی خیابان و فضای نیمه‌خصوصی ساکنین ایجاد می‌کند. این حیاط‌های مشترک، به‌عنوان فضاهای کنترل‌شده، پتانسیل بالایی برای مدیریت میکروکلیمای داخلی و ایجاد آسایش حرارتی برای ساکنین دارند (خدابخشی و رضاییان، ۲۰۲۱). برای این پژوهش، یک بلوک در شهرک مرزداران به‌عنوان نمونهٔ موردی در نظر گرفته شد تا کارایی این الگوی نوین در مقایسه با بافت‌های دیگر سنجیده شود.

شکل ۲. نقشهٔ شهر تبریز و بافت‌های مورد بررسی در پژوهش حاضر

روش گردآوری داده‌ها

داده‌های موردنظر در مطالعهٔ حاضر در دسته داده‌های کمی قرار می‌گیرند. ازجمله اطلاعات مورد نیاز در خصوص قدمت، نوع مصالح و ارتفاع ابنیهٔ موجود در بافت تاریخی از طریق اطلاعات GIS ثبت شده برای شهر تبریز و از بخش Attribute Table و همچنین طول و عرض معابر نیز از طریق نقشه‌های ترسیمی در این نرم‌افزار گردآوری گردید. داده‌های مربوط به آب‌وهوا نیز از طریق ایستگاه آن‌لاین ثبت اطلاعات اقلیمی به دست آمد. برای به‌دست‌آوردن نوع و میزان پوشش گیاهی

نیز از قابلیت Open Street Map (OSM) در نرم‌افزار GIS و تطبیق آن با داده‌های ماهواره‌ای Google Earth بهره برده شده است. نظر به اینکه پژوهش موردنظر در مقیاس خرد (بلوک‌های شهری) مورد مطالعه قرار می‌گیرد، توجه به نوع خاک در دو دستهٔ بستر طبیعی و بستر مصنوع (آسفالت) از طریق تعریف در درون نرم‌افزار انوی مت و در بخش Soils Profile صورت گرفت.

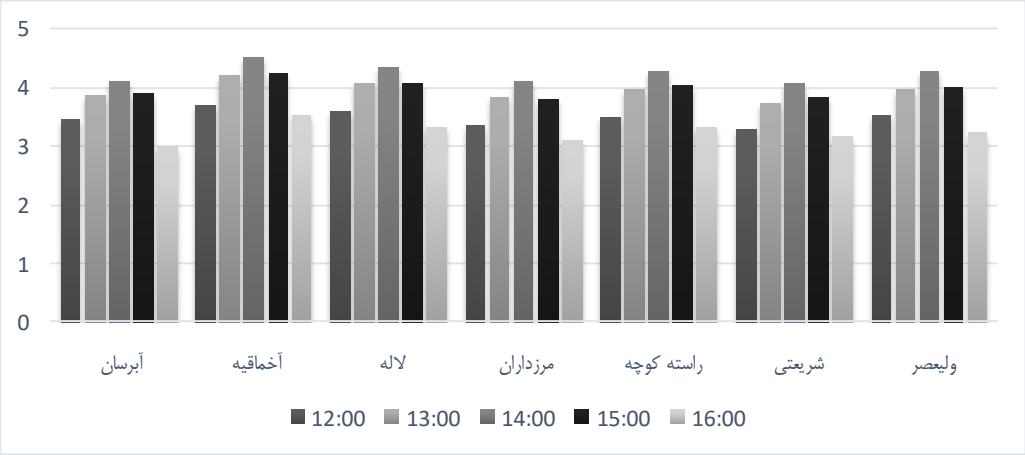
در ابتدای مدل‌سازی در نرم‌افزار Envi-met، اطلاعات اولیه از قبیل طول و عرض جغرافیایی، مساحت مورد بررسی، ارتفاع بناهای موجود، میزان پوشش گیاهی و مصالح بناها و خاک به‌عنوان ورودی در محیط SPACES وارد شدند. پس از اتمام مدل‌سازی برای هر بافت، داده‌های ساعتی آب‌وهوایی از قبیل دمای هوا، رطوبت نسبی، سرعت وزش باد و درصد ابر از طریق محیط ConfigWizard به هر بافت به شکل جداگانه تخصیص یافت تا آمادهٔ آنالیز و بررسی گردد. اطلاعات ورودی دقیق‌تر در (جدول شمارهٔ ۳) قابل‌مشاهده می‌باشد. پس از اتمام آنالیز بافت‌های مذکور، از طریق محیط BioMet، آسایش حرارتی ساکنان، با درنظرگیری شاخصهٔ PMV محاسبه گردید و در محیط LEONARDO بازخوانی و تبدیل به نقشه‌های تصویری شدند.

جدول ۲. اطلاعات ورودی برای انجام شبیه‌سازی

پارامترهای شبیه‌سازی	
ابعاد محیط شبیه‌سازی	۱۷ x ۱۶۵ x ۱۶۵
اندازهٔ شبکه‌بندی	۲ x ۲ x ۲
حاشیهٔ الحاقی به محیط شبیه‌سازی Nesting	۶ متر
محدودهٔ زمانی	Tehran ۳:۳۰+
تاریخ انجام شبیه‌سازی	۲۵ تیر ۱۴۰۱
زمان انجام شبیه‌سازی	۱۱ الی ۱۶
سرعت باد (متر بر ثانیه)	۳
جهت باد (درجه)	۹۰
دمای اولیه (سانتیگراد)	۳۲
ضریب سختی خاک	۰/۰۱
پوشش ابر	۰ – کاملاً صاف

زمان انجام مطالعه

برای تعیین زمان انجام مطالعه، تاریخ ۲۵ تیر ۱۴۰۱ به‌عنوان گرم‌ترین روز سال و منتخبی برای انجام آنالیز در بافت‌های مذکور انتخاب گردید. ساعت بررسی از ساعت ۱۱ صبح تا ۴ عصر که زمان اوج فعالیت کاربران و تابش جریان‌های حرارتی می‌باشد، انجام گرفت و طبق داده‌های به‌دست‌آمده، ساعت ۱۴ ظهر، بالاترین میزان PMV؛ لذا نامطلوب‌ترین وضعیت آسایش حرارتی در تمام بافت‌های مورد مطالعه را نشان می‌دهد (نمودار شمارهٔ ۱).



نمودار ۱. بررسی میزان PMV در ساعات مختلف و در بافت‌های مورد مطالعه

یافته‌ها و بحث

همان‌گونه که پیش‌تر ذکر شد، آسایش حرارتی کاربران در محیط، برآیندی از چهار مؤلفه اقلیمی ازجمله دمای هوا، رطوبت نسبی، انرژی تابشی و سرعت باد، همراه با تأثیرات عوامل فیزیولوژیکی، روانی و کالبدی می‌باشد. بر اساس این، شاخصهٔ PMV به‌عنوان نشانگر میزان آسایش حرارتی انتخاب گشت و طبق نمودار ۱ که وضعیت آسایش کاربران در ساعت ۱۴ را در نامطلوب‌ترین حالت نشان می‌دهد، این ساعت به‌عنوان زمان برگزیده برای بررسی و تحلیل در تمام محلات انتخاب گردید.

طبق توضیحات جدول ۲، شاخصهٔ PMV شامل طیفی بین منفی تا مثبت است و محدودهٔ آسایش حرارتی، در نزدیکی عدد صفر رخ می‌دهد. نتایج بررسی میزان رضایت و نارضایتی افراد در هنگام حضور در محدوده‌های مورد مطالعه در فصل تابستان، نشان می‌دهد که مقدار PMV در طیفی بین ۲.۵ تا ۵ متغیر می‌باشد. از سوی دیگر، همان‌گونه که مطرح شد،

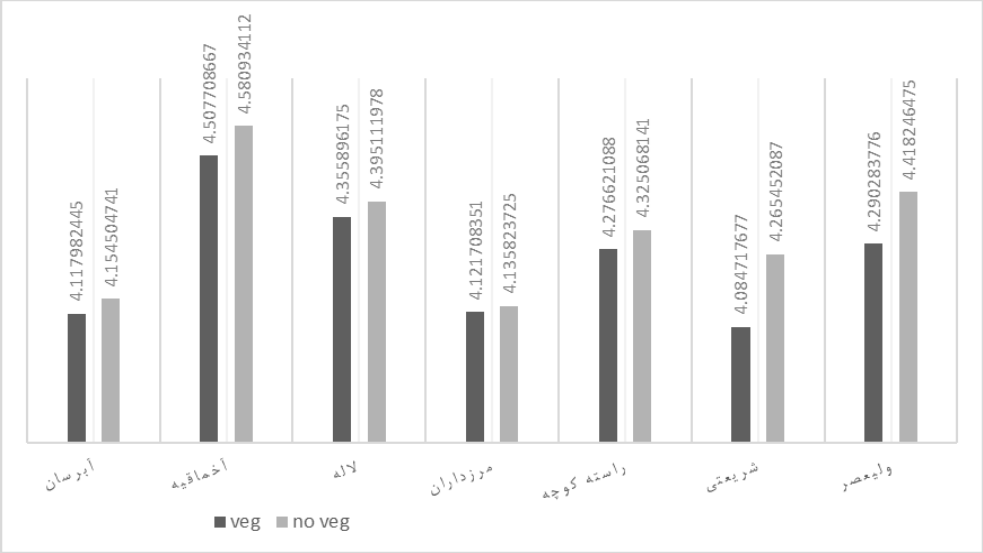
عوامل کالبدی نیز تأثیر بسزایی در افزایش یا کاهش مقدار این شاخصه و در نتیجه آسایش حرارتی ایفا می‌کنند؛ لذا، لزوم توجه به عوامل کالبدی ازجمله جهت‌گیری مطلوب، میزان محصوریت (نسبت ارتفاع به عرض معابر) و پوشش گیاهی و سایر مؤلفه‌های کالبدی، از اولویت بالایی برخوردار است. در ادامه به بررسی یافته‌های حاصل از مطالعه عوامل کالبدی و تأثیر آن‌ها بر میزان آسایش حرارتی می‌پردازیم.

پوشش گیاهی

براساس مطالعات گسترده‌ای که در خصوص تأثیر پوشش گیاهی بر بهبود آسایش حرارتی کاربران در محیط‌ها و اقلیم‌های متعدد صورت‌گرفته است، میزان تأثیرگذاری این مؤلفه در مقایسه با عوامل متعدد دیگر، به شکل قابل توجهی بالاتر و بیشتر گزارش شده است. برای بررسی دقیق‌تر این موضوع در بافت‌های مورد مطالعه، ابتدا وضعیت موجود هر بافت (با هر میزان از پوشش گیاهی) مدل‌سازی و مورد تحلیل قرار گرفت. در مرحلهٔ بعد، برای بررسی میزان تأثیر دقیق پوشش گیاهی، آنالیز مجدد بافت‌های مذکور، با حذف هرگونه پوشش گیاهی (اعم از درختان، چمن و هرگونه پوشش سبز) صورت پذیرفت. طبق نتایج به‌دست‌آمده، حتی وجود میزان کمی از پوشش گیاهی نیز، تأثیر محسوسی در کاهش شاخصهٔ PMV دارد. (نمودار شمارهٔ ۲) و (نقشهٔ شمارهٔ ۱ تا ۷)، مقایسهٔ وجود و عدم پوشش گیاهی را در محلات انتخابی نشان می‌دهد. بر طبق داده‌های به‌دست‌آمده، میزان تغییر در شاخصهٔ PMV وابسته به میزان وجود پوشش گیاهی در وضعیت موجود هریک از بافت‌ها می‌باشد. به عبارتی، هرچه میزان پوشش گیاهی بیشتری در یک محدوده وجود داشته باشد، به همان میزان باعث کاهش چشم‌گیرتری در شاخصهٔ PMV می‌گردد. برای مثال، در محلهٔ شریعتی، تفاوت PMV در دو حالت بررسی با پوشش گیاهی (وضع موجود) و بدون پوشش گیاهی نسبت به بقیه بیشتر است. علت این امر، وجود میزان قابل توجهی از فضای سبز در معابر این محله می‌باشد که باعث بهبود وضعیت آسایش حرارتی و کاهش PMV از مقدار ۴.۲۶ به ۴ گردیده است. مشابه این امر در محلهٔ ولیعصر با کاهش از ۴.۴ به ۴.۳ قابل مشاهده است. در محلات راسته کوچه، مرزداران، آخماقیه و آبرسان به دلیل وجود نسبت پایین‌تری از پوشش گیاهی در حالت وضع موجود، تأثیر آن بر آسایش حرارتی، نسبت به بلوک‌های ولیعصر و شریعتی کم‌تر می‌باشد.

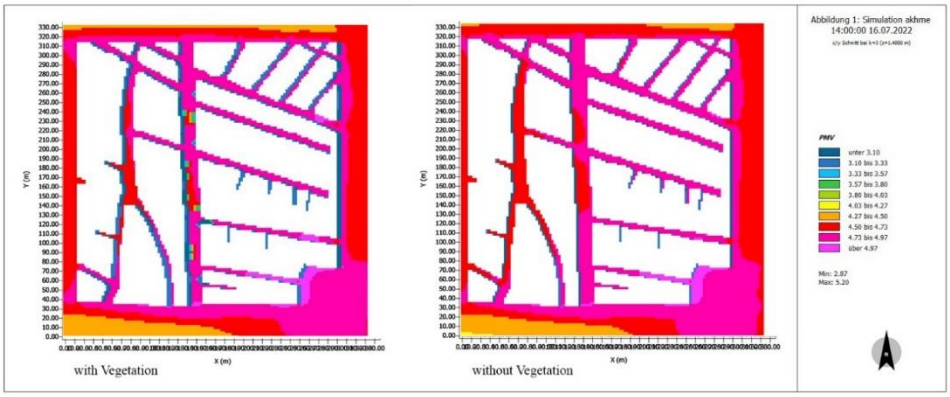
براساس نتایج به‌دست‌آمده، پوشش گیاهی، عامل مهمی در بهبود شرایط حرارتی ایفا می‌کند و حتی میزان کمی از ساختارهای گیاهی، سبب بهبود قابل توجهی در شرایط آسایش حرارتی می گردند. این یافته با یافته‌های پیشین ازجمله مطالعات موراکامی و همکاران (Murakami et al., 1999)، شاشوآ و هافمن (Shashua-Bar & Hoffman, 2003)، هاشمی (Hashemi et al., 2023)و علی تودرت و مایر (Ali-Toudert & Mayer, 2007) هم‌راستاست. طبق یافته‌ها در بافت‌های مورد مطالعهٔ حاضر، کمبود پوشش گیاهی در اغلب معابر به‌وضوح به چشم می‌خورد. حال آنکه با ترکیب مناسبی از سطوح سبز، همچون چمن‌ها و درختان خزان‌پذیر و غیر خزان‌پذیر، می‌توان به حد مطلوبی از آسایش حرارتی در فصول

مختلفی از سال دست یافت. خصوصاً در معابر عریض یا معابری با ارتفاع کم بناها که میزان محصوریت پایین است، می‌توان با ایجاد طیف متعادلی از درختان و پوشش گیاهی، علاوه بر ایجاد رطوبت و تعدیل دما، حد مطلوبی از سایه‌اندازی را برای جلوگیری از تابش مستقیم خورشید در تابستان فراهم کرد. این امر در اقلیم سردسیر تبریز، حتی می‌تواند بسیار کارآمدتر باشد؛ زیرا وجود درختان خزان پذیر در فصول سرد سال نیز، می‌تواند حد مطلوبی از تابش آفتاب را فراهم کند.



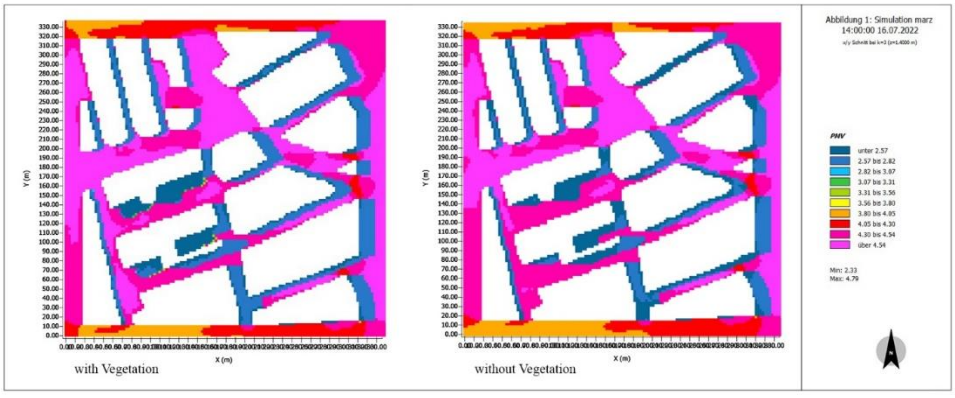
نمودار ۲. مقایسهٔ میانگین شاخصهٔ PMV در معابر دارای پوشش گیاهی (وضع موجود) و بدون پوشش گیاهی

نقشهٔ ۱. مقایسهٔ آسایش حرارتی در محلهٔ آبرسان در دو حالت بدون پوشش گیاهی (راست) و وضع موجود (چپ)

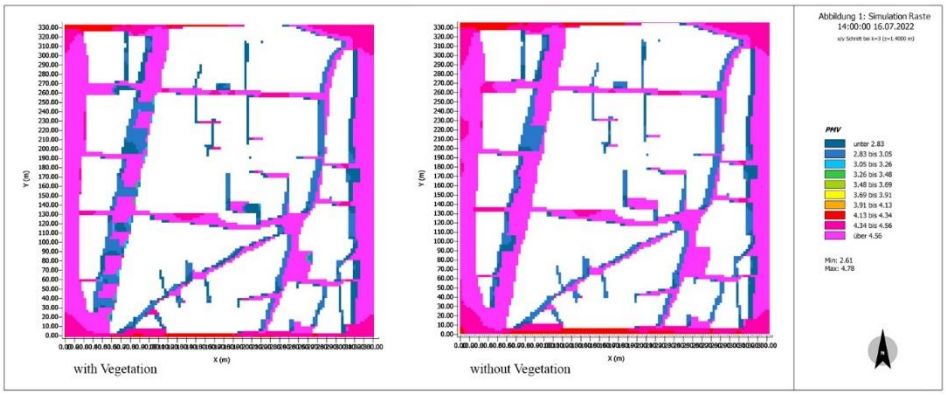


نقشهٔ ۲. مقایسهٔ آسایش حرارتی در محلهٔ آخماقیه در دو حالت بدون پوشش گیاهی (راست) و وضع موجود (چپ)

نقشهٔ ۳. مقایسهٔ آسایش حرارتی در محلهٔ لاله در دو حالت بدون پوشش گیاهی (راست) و وضع موجود (چپ)

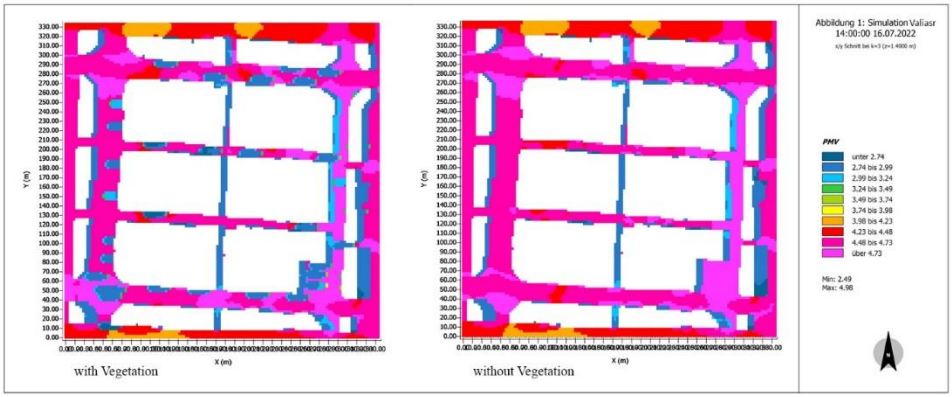


نقشهٔ ۴. مقایسهٔ آسایش حرارتی در محلهٔ مرزداران در دو حالت بدون پوشش گیاهی (راست) و وضع موجود (چپ)



نقشهٔ ۵. مقایسهٔ آسایش حرارتی در محلهٔ راسته کوچه در دو حالت بدون پوشش گیاهی (راست) و موجود (چپ)

نقشهٔ ۶. مقایسهٔ آسایش حرارتی در محلهٔ شریعتی در دو حالت بدون پوشش گیاهی (راست) و وضع موجود (چپ)

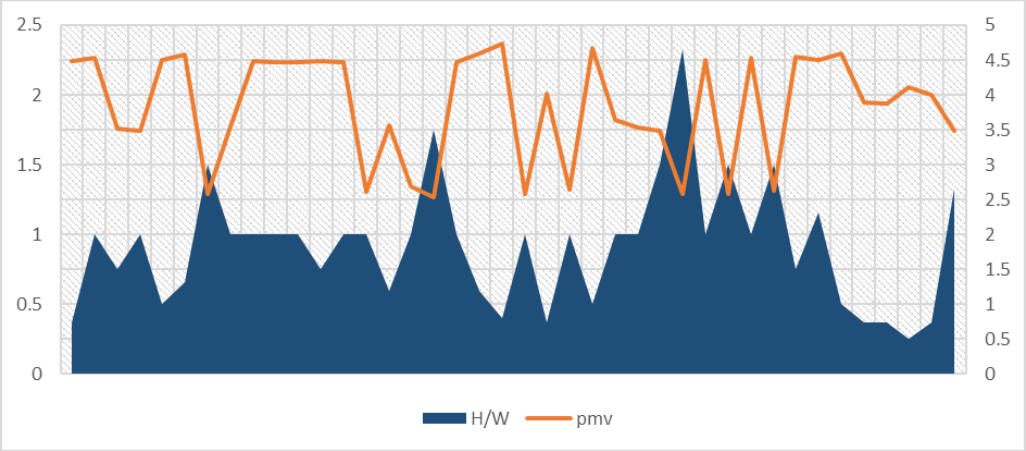


نقشهٔ ۷. مقایسهٔ آسایش حرارتی در محلهٔ ولیعصر در دو حالت بدون پوشش گیاهی (راست) و وضع موجود (چپ)

محصوریت معابر

یکی دیگر از عوامل کالبدی تأثیرگذار بر آسایش حرارتی ساکنان، میزان محصوریت یک محیط یا به‌عبارت‌دیگر، نسبت ارتفاع به عرض یک معبر یا فضای شهری می‌باشد. این مؤلفه ارتباط تنگاتنگی با عرض معابر و ارتفاع بناهای اطراف دارد. براساس مطالعات انجام‌شده، معابری با عرض کم‌تر که با بناهای مرتفع احاطه شده باشد، در فصول گرم بهبود قابل‌توجهی در وضعیت آسایش حرارتی آن محدوده ایجاد می‌کنند؛ بنابراین هرچه محصوریت یک بنا بیشتر، نسبت ارتفاع به عرض نیز بیشتر و به‌تبع آن، آسایش حرارتی نیز بهتر می‌گردد. نتایج به‌دست‌آمده از مقایسه نسبت محصوریت با میزان PMV در بافت‌های مورد مطالعه، این امر را تصدیق می‌کند که با افزایش نسبت ارتفاع به عرض یک معبر، بهبود قابل توجهی در میزان آسایش حرارتی آن محدوده اتفاق می‌افتد (نمودار شمارهٔ ۳).

نتایج حاصل از پژوهش حاضر، چنین نشان می‌دهد که نسبت ارتفاع به عرض معابر، ارتباط مستقیمی با میزان آسایش حرارتی در فصول گرم سال دارد. به عبارتی با افزایش محصوریت، از میزان انرژی تابشی کاسته شده؛ لذا از طریق افزایش سایه‌اندازی، بهبود چشم‌گیری در شرایط حرارتی معابر اتفاق می‌افتد. این یافته، با نتایج مطالعات پیشین ازجمله تحقیقات احمد و همکاران (Ahmad et al., 2005)، بوربیا و بوچربیا (Bourbia & Boucheriba, 2010)، زاکور (Zakhour, 2015) و لین و همکاران (Lin et al., 2012) هم راستا می‌باشد. البته لازم به ذکر است که اکثر مطالعات ذکرشده، در اقلیم گرمسیری انجام شده‌اند؛ لذا هرچه اقلیم گرم‌تر باشد، میزان محصوریت بالاتر در معابر مطلوب‌تر است، اما در اقلیم‌هایی مثل تبریز که زمستان‌هایی نسبتاً سرد، همراه با کوران باد دارند نیز، این امر می‌تواند مفید واقع گردد؛ زیرا بناهای اطراف می‌توانند از طریق ایفای نقش حایل، جلوی کوران باد را گرفته و از چرخش باد در محیط‌های گشوده جلوگیری کنند. فقط باید دقت شود که افزایش بیش از اندازه محصوریت می‌تواند میزان دریافت انرژی تابشی را در زمستان کم کند. برای بهبود این امر، پیشنهاد می‌شود که در اقلیم تبریز، محصوریت متوسط (در حد نسبت ۰.۶-۱) در همراهی با پوشش گیاهی خزان پذیر صورت گیرد، تا هم در تابستان و هم در زمستان، حد مطلوبی از آسایش حرارتی فراهم گردد.



نمودار ۳. مقایسهٔ میانگین شاخصهٔ PMV با نسبت ارتفاع به عرض در محلات مورد مطالعه

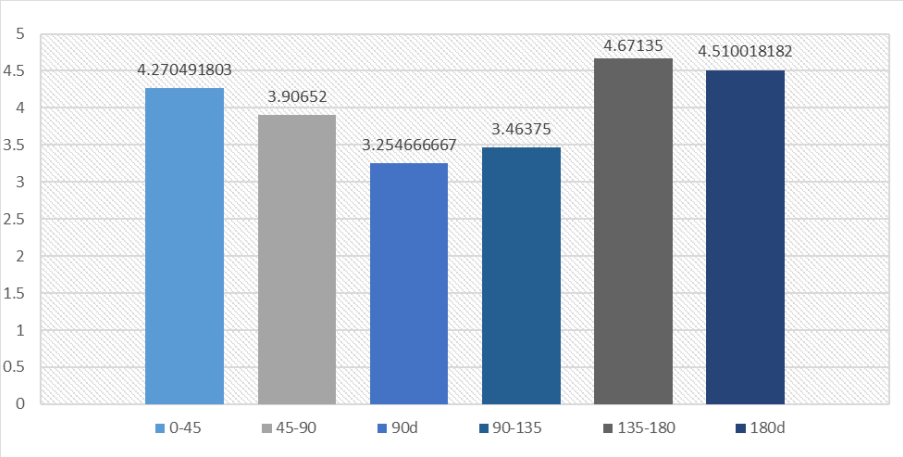
جهت‌گیری معابر

عامل کالبدی مهم دیگری که تأثیر بسزایی در روند آسایش حرارتی یک محیط ایفا می‌کند، نحوهٔ جهت‌گیری معابر یک محل می‌باشد. همانطورکه پیش‌تر مطرح شد، شکل‌گیری حالت مطلوبی از آسایش حرارتی، برآیندی از عوامل کالبدی، اقلیمی، فیزیولوژیکی و... می‌باشد که به شکل درهم‌تنیده‌ای با یکدیگر عمل می‌کنند؛ لذا نمی‌توان عامل یکتایی برای افزایش یا کاهش میزان آسایش اقلیمی معرفی کرد، ولی بررسی عوامل مختلف، ازجمله عوامل مهم کالبدی می‌تواند در شناخت الگوهای رایج و نحوهٔ عملکرد هریک از این عوامل، مفید واقع گردد. پس از بررسی عوامل اساسی همچون پوشش گیاهی و نسبت ارتفاع به عرض، لازم است تا جهت‌گیری معابر نیز مورد بررسی قرار گیرد.

برای درک بهتر این موضوع در بستر محلات مورد مطالعه، معابر مذکور در شش بازهٔ ۴۵ درجه‌ای، طبقه‌بندی گردیدند. این دسته‌بندی برای هریک از معابر موجود در بافت‌های مورد مطالعه انجام گرفت. (نمودار شمارهٔ ۴)، میانگین شاخصهٔ PMV را در معابری با جهت‌گیری‌های شش‌گانه نشان می‌دهد. براساس این نمودار، در حالت میانگین، معابر شمالی-جنوبی (۹۰درجه) کم‌ترین میزان PMV و در نتیجه بالاترین میزان آسایش حرارتی را نشان می‌دهند. پس از آن، معابری با جهت‌گیری ۹۰-۱۳۵، ۴۵-۹۰و ۰-۴۵، به ترتیب متناسب‌ترین میزان آسایش حرارتی را بروز می‌دهند. معابر با زاویهٔ ۱۸۰ و ۱۳۵-۱۸۰ نیز کم‌ترین میزان آسایش حرارتی را دارا می‌باشند. در حالت کلی، چنین به نظر می‌رسد که هرچه زاویهٔ معابر با خط افق، کم‌تر باشد، میزان PMV افزایش می‌یابد و برعکس. (جدول شمارهٔ ۲) تفکیک معابر هریک از محلات مورد بررسی را براساس جهت‌گیری‌های متعدد و همچنین میزان PMV را در هریک از این محدوده‌ها نشان می‌دهد.

براساس نتایج به‌دست‌آمده از مطالعهٔ حاضر در خصوص تأثیر جهت‌گیری بر میزان آسایش حرارتی، چنین دریافت می‌شود که به‌طورکلی، معابر شرقی - غربی کم‌ترین میزان آسایش حرارتی و معابر شمالی-جنوبی، بیشترین میزان را در

فصول گرم فراهم می‌کنند. این یافته با نتایج مطالعات پیرلموترو همکاران (Pearlmutter et al., 2007) و محمدزاده و سرافروزه (Mohammadzadeh & Sarafrouzeh, 2010) هم‌راستا است. برای تحلیل دقیق‌تر، لازم به ذکر است که معابر شمالی-جنوبی علاوه بر بهبود شرایط آسایش حرارتی در فصول و اقلیم‌های گرم، در اقلیم‌های سردسیری مانند تبریز، اردبیل و ارومیه نیز کاربرد مثبت دارند؛ زیرا به دلیل دریافت انرژی بالای تابشی، از تجمیع یخ در فصولی که بارندگی زیاد است جلوگیری می‌کنند. البته لازم به ذکر است که در معابر شمالی-جنوبی احتمال شکل‌گیری تونل باد و کاهش آسایش حرارتی در فصل زمستان وجود دارد، ولی با درنظرگرفتن تمهیداتی همچون به‌کارگیری پوشش گیاهی به‌عنوان بادشکن و یا رعایت نسبت ارتفاع به عرض مناسب، تا حدودی می‌توان شرایط را تعدیل کرد. راهکار دیگر نیز، انحراف معابر به سمت شرق یا غرب می‌باشد.



نمودار ۴. وضعیت میانگین شاخصۀ PMV در معابر با جهت‌گیری‌های شش‌گانه

طبق نتایج به‌دست‌آمده، معابر "شمال شرقی-جنوب غربی" و معابر "شمال غربی-جنوب شرقی" شرایط مطلوب‌تری در مقایسه با معابر شرقی- غربی ایفا می‌کنند؛ زیرا، این معابر در فصول گرم، انرژی تابشی نسبتاً کم‌تری در مقایسه با معابر شرقی - غربی دریافت می‌کنند که شرایط آسایش را بهبود می‌بخشد. از طرفی در فصول زمستان نیز، علاوه بر کاهش کوران باد که در معابر شمالی-جنوبی رخ می‌دهد، می‌توانند میزان مطلوبی از انرژی تابشی را برای کاهش یخبندان و افزایش آسایش حرارتی فراهم کنند.

جدول ۳. مقدار شاخصهٔ PMV در معابر با جهت‌گیری‌های مختلف در محلات مورد مطالعه

درجه / PMV	۱۸۰	۱۳۵-۱۸۰	۹۰-۱۳۵	۹۰	۴۵-۹۰	۰-۴۵
آبرسان	-	-	۳.۴۳	-	-	۴.۳۰
آخماقیه	-	۴.۸۲	-	۳.۸۹	۴.۶۵	-
لاله	۴.۶۰	۴.۱۱	۳.۴۰	۲.۹۷	-	۴.۵۲
مرزداران	۴.۴۳	۴.۱۳	۳.۶۱	-	-	۳.۸۰
راسته‌کوچه	۴.۵۸	-	۲.۹۳	۲.۹۲	۳.۷۰	۳.۹۴
شریعتی	۴.۲۷	۴.۶۹	-	۲.۸۱	۳.۷۸	۴.۴۵
ولیعصر	۴.۶۲	-	-	۳.۷۳	-	-

این یافته نیز هم‌سو با مطالعهٔ صبوری و علی نسب (S Sabouri & Alinasab, 2021) در اقلیم شهر تبریز و علی تودرت و مایر (Ali-Toudert & Mayer, 2006) می‌باشد. یافتهٔ دیگری که از پژوهش حاضر به دست می‌آید، چنین نشان می‌دهد که زمانی که زاویهٔ معابر شمال شرقی-جنوب غربی و معابر شمال غربی-جنوب شرقی با محور شمالی-جنوبی کم‌تر باشد (۹۰-۴۵ درجه و ۱۳۵-۹۰ درجه) در مقایسه با زمانی که این زاویه بیشتر است (۴۵-۰ درجه و ۱۸۰-۱۳۵ درجه)، وضعیت مطلوب‌تری را نشان می‌دهند. در حالت کلی، هرچه انحراف معابر به سمت زاویهٔ ۹۰ درجه بیشتر باشد، شرایط مطلوب‌تری را از خود بروز می‌دهد.

در پایان لازم به ذکر است که هر منطقه، خرد اقلیم خاص خود را داراست که تحت تأثیر عوامل متعدد عمل می‌کند. در این بین، عواملی همچون طراحی کالبدی و عوامل فیزیکی، نقش مهمی را ایفا می‌کنند. شهر تبریز نیز این شرایط مستثنی نیست؛ لذا با شناخت بیشتر از خرداقلیم منطقه و عوامل متعدد اثرگذار، می‌توان تا حد زیادی از شرایط نامطلوب اقلیمی و عواقب آن‌ها کاست.

بحث

مطالعهٔ حاضر نشان داد که آسایش حرارتی عابران پیاده در بافت‌های هفت‌گانهٔ تبریز تحت تأثیر سه عامل کلیدی کالبدی شامل پوشش گیاهی، جهت‌گیری معابر و محصوریت فضا (نسبت ارتفاع به عرض) قرار دارد. این یافته‌ها با نتایج مطالعات پیشین در اقلیم‌ها و شهرهای مختلف هم‌سو است و برخی از خلأهای پژوهشی موجود را پر می‌کند.

پوشش گیاهی به‌عنوان یکی از مؤثرترین عوامل، توانست به‌طور چشم‌گیری شاخص PMV را کاهش دهد و شرایط آسایش حرارتی را بهبود بخشد. این یافته با نتایج موراکامی و همکاران (۱۹۹۹) در توکیو و هاشمی و همکاران (۲۰۲۳) در فیلادلفیا همخوانی دارد که نشان می‌دهد حتی میزان محدود پوشش گیاهی می‌تواند کاهش قابل توجهی در دمای محسوس ایجاد کند. مطالعات شاشوآ و هافمن (۲۰۰۳) و علی‌تودرت و مایر (۲۰۰۷) نیز بر اثر مثبت پوشش گیاهی در خنک‌سازی محیط و تعدیل تابش مستقیم خورشید تأکید کرده‌اند. یافته‌های حاضر نشان می‌دهد که در بافت‌هایی با ارتفاع کم بناها یا معابر عریض، ایجاد پوشش گیاهی، علاوه بر کاهش دما و افزایش رطوبت نسبی، سایه‌اندازی مؤثر برای کاهش تابش مستقیم خورشید فراهم می‌آورد و در فصول سرد سال، استفاده از درختان خزان‌پذیر امکان بهره‌گیری از تابش خورشید را فراهم می‌کند.

جهت‌گیری معابر نیز نقش تعیین‌کننده‌ای در آسایش حرارتی دارد. یافته‌ها نشان داد که معابر شمالی–جنوبی بیشترین میزان آسایش حرارتی را فراهم می‌کنند، درحالی‌که معابر شرقی – غربی کمترین میزان آسایش را دارند. معابر شمال غربی–جنوب شرقی و شمال شرقی–جنوب غربی با انحراف کم‌تر از ۴۵ درجه از محور شمالی–جنوبی، در تابستان تابش مستقیم را کاهش داده و در زمستان از کوران باد جلوگیری می‌کنند. این نتایج با مطالعات Nunez & Oke (1977) ، پیرلموترو و همکاران (۲۰۰۷)، محمدزاده و سرافروزه (۲۰۱۰) و صبوری و علی‌نسب (۲۰۲۱) هم‌سو است و تأکید دارد که جهت‌گیری معابر، حتی در اقلیم سرد و خشک، نقش مهمی در مدیریت شرایط خرداقلیم و بهبود آسایش حرارتی دارد.

محصوریت فضا (نسبت ارتفاع به عرض) نیز تأثیر قابل توجهی بر آسایش حرارتی دارد. افزایش نسبت H/W باعث کاهش تابش مستقیم خورشید در تابستان و کنترل کوران باد در زمستان می‌شود. نتایج نشان داد که نسبت محصوریت متوسط بین ۰.۶ تا ۱، بهترین شرایط آسایش حرارتی را در بافت‌های مورد مطالعه ایجاد می‌کند. این یافته با مطالعات Ahmad et al. (2005)، Bourbia & Boucheriba (2010)، Zakhour (2015) و Lin et al. (2012) هم‌سو است و تأکید دارد که محصوریت مناسب، حتی در اقلیم سرد و خشک، نقش مهمی در تعدیل اثرات باد و بهبود آسایش حرارتی ایفا می‌کند. استفاده از سایه‌اندازی در پیاده‌روها و نماهای شهری، همانند یافته‌های Abreu-Harbich et al. (2014) ، می‌تواند اثر محصوریت را تقویت کرده و استرس حرارتی کاربران را کاهش دهد.

در مجموع، بررسی سه عامل پوشش گیاهی، جهت‌گیری معابر و محصوریت نشان می‌دهد که ترکیب مؤثر این عوامل کالبدی می‌تواند شرایط خرداقلیم شهری را به‌طور قابل توجهی بهبود بخشد و آسایش حرارتی عابران را افزایش دهد. این

یافته‌ها، ضمن هم‌سویی با مطالعات پیشین، بر اهمیت طراحی شهری حساس به اقلیم و برنامه‌ریزی فضاهای باز تأکید دارند و نشان می‌دهد که توجه هم‌زمان به چند مؤلفهٔ کالبدی، کلید ارتقاء کیفیت زندگی شهری و کاهش اثرات جزایر حرارتی است.

جمع‌بندی و نتیجه‌گیری

پژوهش حاضر با هدف بررسی تأثیر سه مؤلفهٔ کلیدی شهرسازی و طراحی شهری شامل پوشش گیاهی، جهت‌گیری معابر و محصوریت فضا (نسبت ارتفاع به عرض) بر آسایش حرارتی عابران پیاده در بافت‌های هفت‌گانهٔ شهر تبریز انجام شد. تحلیل خرداقلیم شهری با استفاده از شاخص PMV و شبیه‌سازی با نرم‌افزار ENVI-met در ساعت پیک گرمای تابستان (ساعت ۱۴) نشان داد که این سه عامل به‌صورت مستقل و توأمان نقش تعیین‌کننده‌ای در بهبود شرایط آسایش حرارتی ایفا می‌کنند و ترکیب مناسب آن‌ها می‌تواند اثرات متقابل مثبت ایجاد کند. پوشش گیاهی به‌عنوان مؤلفه‌ای با بیشترین تأثیر، حتی در مقیاس محدود نیز موجب کاهش شاخص PMV و ارتقاء محسوس آسایش حرارتی می‌شود. یافته‌های این پژوهش نشان داد که محله‌هایی با تراکم پوشش گیاهی بالاتر، مانند شریعتی و ولیعصر، کاهش چشم‌گیری در مقدار PMV تجربه کرده‌اند، درحالی‌که محلاتی با پوشش گیاهی کم، اثر محدودتری بر آسایش حرارتی نشان داده‌اند. این نتایج اهمیت ایجاد و نگهداری سطوح سبز شهری، ازجمله درختان خزان‌پذیر و غیرخزان‌پذیر و پوشش‌های چمنی را برجسته می‌کند. ترکیب مناسب پوشش گیاهی در معابر با ارتفاع کم بناها یا عرض زیاد می‌تواند علاوه بر افزایش رطوبت و کاهش دما، سایه‌اندازی مؤثر برای کاهش تابش مستقیم خورشید فراهم کند و در اقلیم سردسیر تبریز، بهره‌گیری از درختان خزان‌پذیر در زمستان نیز امکان استفاده از تابش خورشید برای گرمادهی محیط را فراهم می‌آورد.

محصوریت معابر، به‌ویژه نسبت ارتفاع به عرض، عامل دیگری است که نقش مهمی در تعدیل شرایط خرداقلیم ایفا می‌کند. افزایش نسبت H/W موجب کاهش تابش مستقیم خورشید در تابستان و کنترل کوران باد در زمستان می‌شود. نتایج نشان داد که محصوریت متوسط با نسبت ۰.۶ تا ۱، بهترین شرایط آسایش حرارتی را در بافت‌های مورد مطالعه ایجاد می‌کند و از شدت تابش و جریان بادهای نامطلوب می‌کاهد. این یافته‌ها نشان می‌دهد که محصوریت مناسب، حتی در اقلیم سرد و خشک، می‌تواند اثر قابل توجهی در کاهش اثرات نامطلوب بادهای زمستانی و بهبود آسایش حرارتی داشته باشد. جهت‌گیری معابر نیز به‌عنوان سومین عامل کالبدی مورد بررسی، نشان داد که معابر شمالی-جنوبی بیشترین میزان آسایش حرارتی را ایجاد می‌کنند، درحالی‌که معابر شرقی - غربی کم‌ترین آسایش را فراهم می‌کنند. معابر شمال غربی-جنوب شرقی و شمال شرقی-جنوب غربی با انحراف کم‌تر از ۴۵ درجه از محور شمالی-جنوبی، شرایط مناسبی برای تعدیل تابش مستقیم خورشید در تابستان و کاهش کوران باد در زمستان فراهم می‌کنند. این یافته‌ها نشان می‌دهد که جهت‌گیری

هوشمندانهٔ معابر می‌تواند اثرات نامطلوب اقلیمی را به حداقل برساند و با استفاده از سازوکارهای طبیعی مانند تابش خورشید و جریان باد، آسایش حرارتی را بهینه کند.

ترکیب مؤثر پوشش گیاهی، جهت‌گیری بهینهٔ معابر و محصوریت مناسب فضاها می‌تواند به‌طور چشم‌گیری شرایط خرداقلیم شهری را بهبود دهد و آسایش حرارتی عابران پیاده را ارتقا بخشد. این نتایج اهمیت بالایی برای برنامه‌ریزی شهری، طراحی فضاهای باز و ارتقاء کیفیت محیطی دارد؛ زیرا فراهم‌کردن شرایط آسایش حرارتی مناسب علاوه بر ارتقاء سلامت جسمی و روانی شهروندان، می‌تواند موجب افزایش استفاده از فضاهای عمومی، بهبود تعاملات اجتماعی و کاهش اثرات جزایر حرارتی شهری شود. از منظر کاربردی، این پژوهش نشان می‌دهد که شناخت دقیق خرداقلیم و عوامل کالبدی مؤثر، همراه با برنامه‌ریزی هوشمندانه پوشش گیاهی، جهت‌گیری و محصوریت معابر، ابزار قدرتمندی برای افزایش کیفیت زندگی شهری است. نتایج به‌دست‌آمده می‌تواند راهنمای عملی برای طراحان شهری، معماران و برنامه‌ریزان شهری در شهرهای با اقلیم سرد و خشک، به‌ویژه تبریز، باشد. به این ترتیب، این تحقیق علاوه بر جنبهٔ علمی، ارتباط مستقیم و ملموسی با جامعه و محیط زیست شهری دارد و می‌تواند به تصمیم‌گیری‌های بهینه در حوزهٔ مدیریت شهری، توسعهٔ فضاهای سبز و بهبود آسایش حرارتی شهروندان کمک کند. درک و مدیریت هوشمندانه عناصر کالبدی و پوشش گیاهی، همراه با توجه به جهت‌گیری و محصوریت معابر، ابزاری مؤثر برای ارتقاء آسایش حرارتی و کیفیت زندگی در بافت‌های شهری است و می‌تواند به‌عنوان یک چارچوب کاربردی برای طراحی فضاهای باز و برنامه‌ریزی شهری پایدار مورد استفاده قرار گیرد.

راهکارها

براساس نتایج به‌دست‌آمده از این پژوهش، سه عامل کلیدی کالبدی - پوشش گیاهی، محصوریت معابر (نسبت ارتفاع به عرض) و جهت‌گیری معابر - تأثیر مستقیمی بر آسایش حرارتی عابران پیاده در بافت‌های شهری تبریز دارند. به منظور بهبود شرایط خرداقلیمی و ارتقاء آسایش حرارتی، پیشنهادات زیر ارائه می‌شود:

توسعه و بهینه‌سازی پوشش گیاهی: با توجه به نقش مؤثر پوشش گیاهی در کاهش دما، افزایش رطوبت و ایجاد سایه‌اندازی، توصیه می‌شود که در معابر با ارتفاع کم بناها یا عرض زیاد، ترکیب مناسبی از گونه‌های خزان‌پذیر و غیرخزان‌پذیر به‌کار گرفته شود. این اقدام علاوه بر بهبود شرایط تابستانی، امکان بهره‌گیری از تابش خورشید در زمستان را نیز فراهم می‌کند و با نتایج مطالعات موراکامی و همکاران (۱۹۹۹) و هاشمی و همکاران (۲۰۲۳) هم‌سو است.

کنترل محصوریت معابر: طراحی نسبت ارتفاع به عرض معابر در محدوده متوسط ۰.۶ تا ۱ توصیه می‌شود. این محدوده باعث کاهش تابش مستقیم خورشید در تابستان و کنترل کوران باد در زمستان می‌شود و شرایط آسایش حرارتی را بهینه

می‌کند. این راهکار با یافته‌های احمد و همکاران (۲۰۰۵) و لین و همکاران (۲۰۱۲) هم‌راستا بوده و به ویژه در اقلیم سرد و خشک تبریز کاربرد عملی دارد.

جهت‌گیری بهینه معابر: معابر با جهت شمالی-جنوبی و انحراف محدود (کم‌تر از ۴۵ درجه) از محور شمالی-جنوبی، بیشترین میزان آسایش حرارتی را فراهم می‌کنند. این جهت‌گیری، در تابستان میزان تابش مستقیم را کاهش داده و در زمستان از کوران باد جلوگیری می‌کند. در معابر حساس، استفادهٔ هم‌زمان از پوشش گیاهی به‌عنوان بادشکن، می‌تواند کارآمدی این راهکار را افزایش دهد.

یکپارچه‌سازی مؤلفه‌ها در طراحی شهری: بررسی یافته‌ها نشان داد که ترکیب هم‌زمان پوشش گیاهی، نسبت محصوریت و جهت‌گیری مناسب معابر، بیشترین تأثیر را بر کاهش شاخص PMV و ارتقاء آسایش حرارتی دارد. بنابراین، پیشنهاد می‌شود این عوامل در برنامه‌ریزی شهری، طراحی بلوک‌های ساختمانی و بازطراحی معابر به صورت هم‌افزا مورد توجه قرار گیرند.

اجرای این راهکارها نه‌تنها می‌تواند آسایش حرارتی کاربران فضاهای باز را بهبود بخشد، بلکه به ارتقاء سلامت جسمی و روانی شهروندان، افزایش استفاده از فضاهای عمومی و بهبود تعاملات اجتماعی کمک می‌کند. همچنین، این اقدامات در کاهش اثرات جزایر حرارتی شهری و تقویت پایداری محیطی مؤثر هستند. در نتیجه، این پژوهش ضمن ارائهٔ راهکارهای عملی و علمی، ارتباط مستقیمی با برنامه‌ریزی محیط شهری و حفاظت از کیفیت زندگی در شهرهای با اقلیم سرد و خشک، به‌ویژه تبریز دارد.

حامی مالی

بنا به اظهار نویسندهٔ مسؤول، این مقاله حامی مالی نداشته است.

تضاد منافع

نویسنده (نویسندگان) اعلام می‌کنند که هیچ تضاد منافعی در رابطه با نویسندگی و یا انتشار این مقاله ندارند.

تقدیر و تشکر

نویسنده (نویسندگان)، از همهٔ افراد، به دلیل مشاوره و راهنمایی علمی و مشارکتشان در این مقاله تشکر و قدردانی می‌کند (می‌کنند).

پژوهش حاضر بخشی از پروژهٔ پژوهشی انجام‌شده برای مرکز پژوهش‌های شورای اسلامی کلان‌شهر تبریز می‌باشد و بدین وسیله از شهرداری کلان‌شهر تبریز و مرکز پژوهش‌های شورای اسلامی این شهر بابت حمایت مالی این پروژه، تقدیر و تشکر ویژه به عمل می‌آید.

منابع

Abdi, Z., Alizadeh, H., Mohammadi, S., & Sabouri, S. (2023). Analysis of urban form typology using urban heat island indicators: Case study of Ferdous neighborhood of Tabriz. Frontiers in Ecology and Evolution, 10, Article 1065538. https://doi.org/10.3389/fevo.2022.1065538

Abreu-Harbich, L. V., Labaki, L. C., & Matzarakis, A. (2014). Thermal bioclimate in idealized urban street canyons in Campinas, Brazil. Theoretical and Applied Climatology, 115, 333–340. https://doi.org/10.1007/s00704-013-0886-0

Ahmad, K., Khare, M., & Chaudhry, K. K. (2005). Wind tunnel simulation studies on dispersion at urban street canyons and intersections—a review. Journal of Wind Engineering and Industrial Aerodynamics, 93(9), 697–717. https://doi.org/10.1016/j.jweia.2005.04.002

Ali-Toudert, F., & Mayer, H. (2006). Numerical study on the effects of aspect ratio and orientation of an urban street canyon on outdoor thermal comfort in hot and dry climate. Building and Environment, 41(2), 94–108. https://doi.org/10.1016/j.buildenv.2005.01.013

Ali-Toudert, F., & Mayer, H. (2007). Effects of asymmetry, galleries, overhanging facades and vegetation on thermal comfort in urban street canyons. Solar Energy, 81(6), 742–754. https://doi.org/10.1016/j.solener.2006.10.007

American Society of Heating, Refrigerating and Air-Conditioning Engineers. (2017). ANSI/ASHRAE standard 55-2017: Thermal environmental conditions for human occupancy. https://www.ashrae.org/technical-resources/bookstore/standard-55-thermal-environmental-conditions-for-human-occupancy

Bosselmann, P., Arens, E., Dunker, K., & Wright, R. (1995). Urban form and climate: Case study, Toronto. Journal of the American Planning Association, 61(2), 226–239. https://doi.org/10.1080/01944369508975635

Bourbia, F., & Boucheriba, F. (2010). Impact of street design on urban microclimate for semi arid climate (Constantine). Renewable Energy, 35(2), 343–347. https://doi.org/10.1016/j.renene.2009.03.019

Bruse, M., & Fleer, H. (1998). Simulating surface-plant-air interactions inside urban environments with a three dimensional numerical model. Environmental Modelling & Software, 13, 373–384. https://doi.org/10.1016/S1364-8152(98)00042-5

Byrne, L. B., Bruns, M. A., & Kim, K. C. (2008). Ecosystem properties of urban land covers at the aboveground–belowground interface. Ecosystems, 11, 1065–1077. https://doi.org/10.1007/s10021-008-9179-3

Chatzinikolaou, E., Chalkias, C., & Dimopoulou, E. (2018). Urban microclimate improvement using ENVI-met climate model. International Archives of the Photogrammetry, Remote Sensing & Spatial Information Sciences, 42(4), 69–76. https://doi.org/10.5194/isprs-archives-XLII-4-69-2018

Eliasson, I. (2000). The use of climate knowledge in urban planning. Landscape and Urban Planning, 48(1-2), 31–44. https://doi.org/10.1016/S0169-2046(00)00034-7

Emmanuel, R. (2005). An urban approach to climate-sensitive design: Strategies for the tropics. Taylor & Francis. https://doi.org/10.4324/9780203021386

Gill, S. E., Handley, J. F., Ennos, A. R., & Pauleit, S. (2007). Adapting cities for climate change: The role of the green infrastructure. Built Environment, 33(1), 115–133. https://doi.org/10.2148/benv.33.1.115

Givoni, B. (1991). Urban design in different climates. In Atmospheric Environment. Part B. Urban Atmosphere (Vol. 25). https://doi.org/10.1016/0957-1272(91)90049-k

Grimmond, C. S. B., & Oke, T. R. (1991). An evapotranspiration-interception model for urban areas. Water Resources Research, 27(7), 1739–1755. https://doi.org/10.1029/91WR00557

Hashemi, F., Poerschke, U., Iulo, L. D., & Chi, G. (2023). Urban microclimate, outdoor thermal comfort, and socio-economic mapping: A case study of Philadelphia, PA. Buildings, 13(4). https://doi.org/10.3390/buildings13041040

Höppe, P. (1999). The physiological equivalent temperature – a universal index for the biometeorological assessment of the thermal environment. International Journal of Biometeorology, 43(2), 71–75. https://doi.org/10.1007/s004840050118

Johansson, E. (2006). Influence of urban geometry on outdoor thermal comfort in a hot dry climate: A study in Fez, Morocco. Building and Environment, 41(10), 1326–1338. https://doi.org/10.1016/j.buildenv.2005.05.022

Kakon, A. N., & Mishima, N. (2012). The effects of building form on microclimate and outdoor thermal comfort in a tropical city. Journal of Civil Engineering and Architecture, 6(11), 1492. https://doi.org/10.1007/s12273-009-91-c

Lashkari, H., & Pour Khadem, Z. (2017). Optimizing the orientation of open spaces in Ardabil based on climatic conditions. Journal of Geographical Research, 79, 19-36. https://doi.org/10.5531-3840406/sd

Lin, T., Tsai, K., Hwang, R., & Matzarakis, A. (2012). Quantification of the effect of thermal indices and sky view factor on park attendance. Landscape and Urban Planning, 107(2), 137–146. https://doi.org/10.1016/j.landurbplan.2012.05.011

Mohammadzadeh, R., & Sarafrouzeh, F. (2010). Investigating the degree of adaptation of the communication network to climatic factors: The case of Urmia. Journal of Geography and Urban Planning, 23(1), 15. https://sid.ir/paper/203672/fa

Murakami, S., Ooka, R., Mochida, A., Yoshida, S., & Kim, S. (1999). CFD analysis of wind climate from human scale to urban scale. Journal of Wind Engineering and Industrial Aerodynamics, 81(1–3), 57–81. https://doi.org/10.1016/S0167-6105(99)00009-4

Olgyay, V. (1963). Design with climate: Bioclimatic approach to architectural regionalism. Princeton University Press. https://doi.org/10.1515/9781400873685

Oke, T. R. (1982). The energetic basis of the urban heat island. Quarterly Journal of the Royal Meteorological Society, 108(455), 1–24. https://doi.org/10.1002/qj.49710845502

Oke, T. R. (1988). Street design and urban canopy layer climate. Energy and Buildings, 11(1–3), 103–113. https://doi.org/10.1016/0378-7788(88)90026-6

Park, K., Jun, C., Baik, J., & Kim, H.-J. (2024). Urban canyon design with aspect ratio and street tree placement for enhanced thermal comfort: A comprehensive thermal comfort assessment accounting

for gender and age in Seoul, Republic of Korea. Buildings, 14(8), Article 2517. https://doi.org/10.3390/buildings14082517

Pearlmutter, D., Berliner, P., & Shaviv, E. (2007). Integrated modeling of pedestrian energy exchange and thermal comfort in urban street canyons. Building and Environment, 42(6), 2396–2409. https://doi.org/10.1016/j.buildenv.2006.06.006

Peng, M., & Huang, H. (2022). The synergistic effect of urban canyon geometries and greenery on outdoor thermal comfort in humid subtropical climates. Frontiers in Environmental Science, 10, Article 851810. https://doi.org/10.3389/fenvs.2022.851810

Rahimi, A., & Nobar, Z. (2023). The impact of planting scenarios on agricultural productivity and thermal comfort in urban agriculture land (case study: Tabriz, Iran). Frontiers in Ecology and Evolution, 11, Article 1048092. https://doi.org/10.3389/fevo.2023.1048092

Rupp, R. F., Vásquez, N. G., & Lamberts, R. (2015). A review of human thermal comfort in the built environment. Energy and Buildings, 105, 178–205. https://doi.org/10.1016/j.enbuild.2015.07.047

Sabouri, S., & Alinasab, N. (2021). Investigating outdoor thermal comfort in various street patterns (Case study: A neighborhood in the historical context of Tabriz). International Journal of Architectural Engineering & Urban Planning, 31(4). https://doi.org/10.22068/ijaup.31.4.533

Santamouris, M. (2015). Analyzing the thermal performance of the urban environment: The role of the new generation of advanced cool materials. Energy and Buildings, 98, 3–10. https://doi.org/10.1016/j.enbuild.2014.11.070

Shashua-Bar, L., & Hoffman, M. E. (2003). Geometry and orientation aspects in passive cooling of canyon streets with trees. Energy and Buildings, 35(1), 61–68. https://doi.org/10.1016/S0378-7788(02)00080-4

Sun, C., Lian, W., Liu, L., Dong, Q., & Han, Y. (2022). The impact of street geometry on outdoor thermal comfort within three different urban forms in severe cold region of China. Building and Environment, 222, Article 109342. https://doi.org/10.1016/j.buildenv.2022.109342

Teshnehdel, S., Akbari, H., Di Giuseppe, E., & Brown, R. D. (2020). Effect of tree cover and tree species on microclimate and pedestrian comfort in a residential district in Iran. Building and Environment, 178, Article 106899. https://doi.org/10.1016/j.buildenv.2020.106899

Teshnehdel, S., Gatto, E., Li, D., & Brown, R. D. (2022). Improving outdoor thermal comfort in a steppe climate: Effect of water and trees in an urban park. Land, 11(3), Article 431. https://doi.org/10.3390/land11030431

Zakhour, S. (2015). The impact of urban geometry on outdoor thermal comfort conditions in hot-arid region. Journal of Civil Engineering and Architecture Research, 2(8), 862–875. https://doi.org/10.1814/links/5ad6f2b8458515c60f56aa6c