



Journal of Environmental Studies

Vol. 46, No. 2, Summer 2020

Journal Homepage: www.Jes.ut.ac.ir

Print ISSN: 1025-8620 Online ISSN 2345-6922

Cooling the Urban Environments and its Impact on Climate Change in Informal Settlements Through Outdoor Thermal Comfort (Case Studies: Aa'melli, Ghaleh Sakhteman and Hojjat Neighborhoods of Mashhad)

Matin Bastanfard¹, Elham Sanagar Darbani^{2*}

1 Department of Architecture, Faculty of Architectural and Urban Engineering, Shahrood University of Technology, Shahrood, Iran.

2 Young and Elite Researchers Club, Mashhad Branch, Islamic Azad University, Mashhad, Iran.

DOI: [10.22059/JES.2021.303914.1008022](https://doi.org/10.22059/JES.2021.303914.1008022)

Document Type
Research Paper

Received
December 8, 2019

Accepted
April 7, 2020

Abstract

In recent decades, cities have faced two challenges: the impact of climate change, and the essential take note of urban growth. The research method is Envi-Met, Leonardo, and Rayman software. The findings show that the higher the height-to-width ratio decreases the solar radiation access to the environment, and leads to the reduction of the ambient temperature. The wind element also helps to decrease the ambient temperature in urban canyons. In addition, the reduction of impermeable surfaces of urban surfaces and the presence of materials with high albedo increases evaporation and transpiration, which provides conditions for cooling of urban environments and reduces the adverse effects of urban heat on outdoor thermal. The results also show that shading can be effective in reducing ambient temperature and surface by creating various variations in width-to-width (H/W) structures to increase shading and in some ways avoid the spread of ambient heat. Therefore, the use of permeable urban surfaces and the selection of wall materials of buildings with low reflection are effective in less absorption of solar radiation and affect to create cooling of urban environments.

Keywords: Climate change, Informal settlements, Outdoor thermal comfort

* Corresponding author

Email: Elham_Sanagar@yahoo.com

Expanded Abstract

Introduction

The climate becomes warmer than ever before, as evidenced by numerous observations and modeling that has in turn created a warming climate in cities. Therefore, various climate change projects and attention to heatwaves in recent centuries have been considered. Moreover, the increase in population and its activities in various fields have caused problems such as heatwaves around the world. In addition, changing the pattern of occurrence of these changes and their unpredictability have led to an increase in the number of them in cities and to reduce concerns and adapt to these risks in various aspects of urban life, especially human health, to create sustainable urban forms. This phenomenon has caused the death of thousands of people in the world. One of the important reasons is the flaw of the cities to deal with the increase in heatwaves. While different changes and global warming can affect urban areas, urban areas can also exacerbate these changes. Rising urbanization rates and people's desire to live in cities have led to higher urban temperatures than their surroundings. Studies show that a city with a population of one million people has experienced an increase in temperature between 1 and 12 degrees. This increase in temperature is due to the structure of cities, which has many negative effects and consequences for cities; So, urban environments should be planned and designed in such a way as to improve the health of individuals and thus the presence in public spaces of cities.

Urban forms such as urban canyons and vegetation at the pedestrian level are among the factors affecting the reduction of urban temperatures in urban areas and neighborhoods. The impact of these factors on the outdoor thermal comfort of humans by few research in Iran has been considered.

A review of the research background of the subject shows that no serious attention has been paid to the native urban forms of Iran as a factor for reducing urban heat and promoting human health; However, local urban planning helps architects and planners to address urban problems by identifying needs in indoor and outdoor environments to provide the most effective way to reduce the severity of outdoor environments using all design elements. Given that there is still, no place to pay attention to how urban forms change in order to reduce the effects of climate change and outdoor thermal comfort professionally.

The present study focuses on the impact of urban forms on informal settlements and old textures on outdoor thermal comfort. The ambient air temperature and the creation of outdoor thermal comfort in the city of Mashhad, which is one of the cities that experience the most urban forms of informal settlements. The present article, first, examines the research done in the thematic field of the article and then in the next part, the theoretical framework is extracted by using articles, dissertations, and books. In the third part of this framework, simulation in Envi-met software and PET index output in Rayman software were used analysing in Leonardo to identify the effects of urban forms on air the temperature in microclimate and outdoor thermal comfort using physiological equivalent temperature index (PET). Studies conducted in the summer and on August 26, 2019, have been selected due to the high heat of the sun and its effect on creating outdoor thermal comfort in open urban spaces.

Materials and Methods

Due to the nature of the subject, the research method is applied and based on two parts. In the first part, the documentary method is used to formulate the theoretical framework. Thus, by referring to articles, treatises, and books by taking notes, the information needed to understand the thematic literature as well as studies conducted in the field of research have been collected and then descriptive and analytical methods are used to prepare and compile the conceptual framework of research. In the next part of the research, the case study was studied and the maps were extracted using GIS. The method of survey and harvesting of climatic information from the Mashhad Climate Organization have been used to collect climatic data. In order to identify the effects of the influential components of

the urban form, the Envi-met 4 and Leonardo software collections as well as Rayman have been used. In this study, most simulations were performed in summer (August) and based on data from Mashhad Meteorological Station. This simulation was selected on August 17, 2019, and at sunrise and sunset between 6:00 AM and 8:00 PM local time due to the high temperature of the sun and its effect on ambient temperature and surfaces in open urban spaces. This simulation lasted for 156 hours for three urban forms.

Discussion of results

The present study investigates the outdoor thermal comfort in informal settlements in Mashhad. Various studies have shown that lowering the ambient temperature in summer can reduce environmental thermal stress and thus improve outdoor thermal comfort. The results in this paper suggest that as the height-to-width (H/W) ratio increases, the sun's access to the environment decreases, and the amount of shading on the surfaces increases resulting in a decrease in ambient temperature. Therefore, it can be said that the height-to-width (H/W) ratio is inversely related to the ambient temperature, and urban form factors such as the height-to-width ratio (H/W) and its shading play an important role in reducing the ambient temperature. On the other hand, the simulations performed to show the temperature difference, so that the difference between the mean indexes (PET) during the hours of thermal stress are 0.68°C, 2.53°C and 3.27°C.

The heat stress of the Hojjat fabric is greater than that of the other two fabric and there are more hours in the absence of outdoor thermal comfort, which indicates the temperature difference in all three fabric; but the same, the difference stems from different environmental parameters in the three urban forms. One of these parameters is the coverage of outdoor surfaces and materials used in the outer shell of buildings, which is indicated by the Tmrt average temperature index as an important parameter in creating thermal equilibrium in the environment. Studies show that the average temperature index of radiant temperature (Tmrt) is directly related to the PET index and the higher the average temperature index of radiant temperature, the higher the PET index, and vice versa; Therefore, the high average radiant temperature in the texture of Hojjat compared to the texture of the agent and the Ghale of the building in the peak hours of heat shows the high rate of heat reflection to the environment in the texture of Hojjat compared to the other two textures. Higher average radiant temperature (Tmrt) in the texture of Hojjat means reflecting more heat than urban levels and can be closely related to the materials used in this texture and the amount of sun access and thus the effect of height to width ratio (H/W) on the ambient temperature, in different levels. Due to the color and texture of the brick, it absorbs less heat and gradually releases the hidden heat and its heat exchange with the environment during the night hours when the air cools down. On the other hand, the temperature a difference of 0.68°C in the first and last hours of simulation in the operating tissue shows that the use of brick materials can reduce the heat exchange with the environment and thus reduce the ambient temperature.

Conclusions

By changing the urban forms, it is possible to reduce the temperature of surfaces and the environment in the city of Mashhad as a result of improving the outdoor thermal comfort. In this way, the heat of the urban environment is related to the temperature of the surfaces of the building walls, and the lower surface temperatures help to reduce the ambient air temperature. Therefore, covering roofs and walls with low-reflecting materials can significantly reduce urban temperatures. Microclimate surveys in three different textures show that the texture of informal settlements is different in terms of outdoor thermal comfort and this difference originates from urban forms elements, especially the materials used in buildings and roofs. Also, the presence of wind in these samples showed that the creation of wind tunnels in urban canyons against favorable urban winds can affect the ambient temperature. So,

it can be said that the ambient temperature has an inverse relationship with outdoor thermal comfort; in other words, the lower the ambient temperature in summer. People's health improves with the reduction of physical and mental problems, so the elements of the urban form depend on reducing the temperature of surfaces and the environment. Therefore, the study of urban form elements in three contexts shows that although the height to width ratio (H/W) is one of the most important elements of urban form and the higher this ratio, the shading and consequently the PET index improves, without any creating shading on this sufficient reduction. Studies show that wind can reduce temperatures. Although the high height-to-width ratio and the decrease in the sky's visibility cause shading, releasing the heat of the urban environment to the sky during the day reduces the temperature and enters the urban environment at night by lowering the ambient temperature and warming the urban environment. Therefore, it is recommended to use height-to-width ratios in different urban canyons to reduce the ambient temperature by shading and on the other hand increases access to the sky by opening access to the sky. It should be emphasized that the use of materials that have a little reflection on the environment will reduce the average radiant temperature of the surfaces.

Urban environment cooling strategies

Urban scales

H/W ratio:

The use of height-to-width ratios in future constructions, which in addition to creating shading in urban canyons, does not cause heat to be trapped during the day in urban canyons.

The $H/W \geq 2$ ratio is the most optimal ratio for shading and reducing the sky view factor in Mashhad; as this ratio decreases, the use of tree cover in urban canyons should increase.

Open space coverage:

Reducing the use of impermeable surfaces such as asphalt in open spaces to create evaporation and perspiration in the environment can lead to a decrease in heat intensity.

Dark materials trap heat inside, and using more albedo materials (bright colors) reduce the amount of heat trapped in open spaces and asphalts by creating a thermal balance in urban environments.

خنک‌سازی محیط‌های شهری و تأثیر آن بر تغییرات اقلیمی در محلات سنتی و سکونتگاه‌های غیررسمی از طریق آسایش حرارتی بیرونی (نمونه موردی: محلات عامل، قلعه ساختمان و شهرک حجت شهر مشهد)

متین باستان فرد^۱، الهام ثناگر دربانی^{۲*}

۱ دانشکده معماری و شهرسازی، دانشگاه صنعتی شاهرود، شاهرود، ایران.

۲ کارشناسی ارشد طراحی شهری، باشگاه پژوهشگران جوان و نخبگان واحد مشهد، دانشگاه آزاد اسلامی، مشهد، ایران.

تاریخ پذیرش مقاله: ۱۳۹۹/۰۱/۱۹

تاریخ وصول مقاله: ۱۳۹۸/۰۹/۱۷

چکیده

در دهه‌های اخیر شهرها با دو چالش تأثیر تغییرات اقلیمی و کاهش آن و لزوم توجه به رشد شهرنشینی دست‌به‌گریبان شده است. روش این تحقیق شبیه‌سازی مجموعه نرم‌افزار Leonardo، Envi-Met و همچنین Rayman است. یافته‌ها نشان می‌دهد که هرچه نسبت ارتفاع به عرض بیشتر شود، دسترسی نور خورشید به محیط کمتر می‌شود و دمای محیط کاهش می‌یابد. عنصر باد نیز به کاهش دمای محیط در دره‌های شهری کمک می‌کند. علاوه بر آن کاهش سطوح نفوذناپذیر پوشش‌های شهری و وجود مصالح با آلدوی بالا، باعث افزایش در تبخیر و تعرق می‌شود که شرایط خنک‌تر شدن محیط‌های شهری را مهیا می‌کند و سبب کاهش تأثیرات نامطلوب گرمای شهری بر آسایش حرارتی بیرونی می‌شود. همچنین نتایج نشان می‌دهد که ایجاد سایه‌اندازی از طریق ایجاد تغییرات متنوع در ساختارهای ارتفاع به عرض (H/W) که هم سایه‌اندازی را افزایش دهد و هم در بخش‌هایی راه را برای انتشار گرمای محیط باز نماید، می‌تواند در کاهش دمای محیط و سطوح، تأثیرگذار باشد. از این رو استفاده از سطوح شهری نفوذپذیر و انتخاب مصالح جداره‌های ساختمان‌ها با بازتابش کم در جذب کمتر نور خورشید تأثیرگذار است و می‌تواند بر خنک‌سازی محیط‌های شهری تأثیرگذار باشد.

کلیدواژه‌ها: آسایش حرارتی بیرونی، تغییرات اقلیمی، سکونتگاه‌های غیررسمی

سرآغاز

قرن اخیر مورد توجه بسیاری بوده است و افزایش جمعیت و فعالیت‌های ناشی از آن در زمینه‌های مختلف سبب شده تا مشکلاتی چون موج گرما در سرتاسر جهان روند افزایشی را در پیش گیرد. علاوه بر آن تغییر الگوی رخدادهای این تغییرات و غیرقابل پیش‌بینی بودن آن‌ها سبب شده تا تعداد آن‌ها در شهرها سیر افزایشی داشته باشد و باعث

اقلیم زمین نسبت به گذشته گرم‌تر شده است که این امر توسط مشاهدات متعدد و مدل‌سازی‌های مختلف تأیید شده است که به نوبه خود بستر افزایش موج گرما در شهرها را به وجود آورده است (IPCC, 2007). لذا پروژه‌های مختلف تغییرات اقلیمی و توجه به موج گرما در

بیرونی به صورت حرفه‌ای شکل نگرفته است؛ بر این مبنا مطالعه حاضر متمرکز بر تأثیر فرم‌های شهری سکونتگاه‌های غیررسمی و سنتی بر کاهش دمای هوای محیط و ایجاد آسایش حرارتی بیرونی در شهر مشهد است. شهر مشهد از جمله شهرهایی است که دارای تنوع فرمی است که در سالیان مختلف شکل گرفته‌اند. آنچه این پژوهش در نظر دارد، بررسی فرم‌های شهری در سکونتگاه‌های غیررسمی و محلات سنتی است. هرچند در سال‌های اخیر در بافت قدیمی مداخلات زیادی صورت گرفته است و بخش کمی از آن باقی‌مانده است.

تغییرات اقلیمی

اقلیم وضعیت جوی یک منطقه در دوره‌هایی از حداقل سه دهه تا هزار سال است به عبارت دیگر اقلیم میانگین وضعیت آب‌وهوا در طول زمان است. تغییرات اقلیمی به‌طور چشمگیری به بارندگی در سراسر جهان کمک می‌کند، که به افزایش قابل‌توجهی در یک منطقه و کاهش جدی در مناطق دیگر می‌انجامد که احتمالاً می‌تواند به طغیان و خشک‌سالی منجر شود (Gambo Hamza et al., 2020). از دهه ۱۹۵۰ اندازه‌گیری‌های جهانی نشان می‌دهد انتشار گاز CO₂ سالانه ۱۸ درصد افزایش می‌یابد. لذا نخستین برنامه برای بحث تغییرات اقلیمی در سال ۱۹۷۲ در اجلاس ملی تغییرات اقلیمی مطرح شد (Roaf et al., 2018; IPCC., 2009). تغییرات اقلیمی پدیده‌ای غیرقابل‌انکار است به طوری که شهرها به‌طور فزاینده‌ای با انتشار گازهای گلخانه‌ای روبه‌رو هستند و عواقب ناشی از تغییرات اقلیمی را به صورت افزایش سطح حرارت در جو مشاهده می‌کنند (Prasad et al., 2009). از سویی دیگر محیط‌های شهری به شدت تحت تأثیر نواحی مختلف اقلیمی هستند، تأثیر می‌گیرند و تأثیر می‌گذارند. تغییرات سطوح شهری، مصالح ساختمانی بتن، آسفالت و غیره که نور خورشید را زیاد جذب می‌کنند بر محیط حرارتی شهرها در تمام مقیاس‌های اقلیمی تأثیر می‌گذارند

شوند دغدغه‌های کاهش و انطباق با این مخاطرات در ابعاد مختلف زندگی شهری به‌ویژه سلامت انسان‌ها، معطوف به ایجاد فرم‌های شهری پایدار شود. موج گرما سبب مرگ هزاران نفر در جهان شده است و یکی از دلایل مهم آن نیز ضعف شهرهای امروزی برای مقابله با افزایش گرما و پدیده‌های ناشی از آن است. درحالی‌که تغییرات مختلف و گرمای جهانی می‌تواند بر مناطق شهری اثر بگذارد و مناطق شهری نیز می‌توانند سبب تشدید این تغییرات شوند، افزایش نرخ شهرنشینی و تمایل افراد برای زندگی در شهرها سبب شده تا دمای شهرها نسبت به محیط‌های پیرامون خود بیشتر شود. بررسی‌ها نشان می‌دهد یک شهر با جمعیت یک‌میلیون نفر افزایش دمایی بین ۱ تا ۱۲ درجه سانتی‌گراد را تجربه کرده است (Akbari, 2005) این افزایش دما ناشی از فرم‌های شهری است که تأثیرات و تبعات منفی بسیاری برای سلامت انسان در بردارد. لذا بایستی محیط‌های شهری طوری برنامه‌ریزی و طراحی شود که ارتقاء سلامت افراد و در نتیجه حضور را در فضاهای عمومی در پی داشته باشد. فرم شهری همچون دره‌های شهری در سطح عابران پیاده از جمله عوامل تأثیرگذار بر کاهش دمای محیط‌های شهری در بافت‌ها و محلات شهری هستند که تأثیرگذاری این فاکتورها بر آسایش حرارتی بیرونی در ایران کمتر مورد توجه بوده است. با مروری بر پیشینه پژوهشی موضوع می‌توان دریافت که به فرم‌های شهری بومی ایران به‌عنوان عاملی برای کاهش گرمای شهری و ارتقاء سلامت انسان‌ها توجه جدی صورت نگرفته است؛ حال آنکه برنامه‌ریزی محیط‌های شهری به صورت بومی، سبب می‌شود تا با تشخیص نیازها در محیط‌های داخلی و خارجی به معماران و برنامه‌ریزان برای مقابله با مشکلات شهری کمک شود تا با استفاده از تمام عناصر طراحی، مؤثرترین راه برای کاهش شدت درجه محیط در فضاهای باز مهیا شود. با توجه به اینکه هنوز جایگاه توجه به چگونگی تغییرات فرم شهری به‌منظور کاهش تأثیرات تغییرات اقلیمی و آسایش حرارتی

باشد. نکته مهم برای این مقیاس این است که عوامل زمینی و اقدامات انسانی روی آن تأثیر می‌گذارد و اقلیم شهری در این مقیاس قرار می‌گیرد (Erell et al., 2011).

لایه‌های افقی: لایه افقی شامل سه مقیاس لایه میانه، محلی و خرد اقلیم است. مقیاس میانه تحت تأثیر شهر و محدوده‌های اطراف شهر است و برای اندازه‌گیری آن باید از وسایل کنترل از راه دور یا بالون استفاده کرد. مطالعات مقیاس میانه در بررسی‌های کاهش جزایر حرارتی ناشی از موج گرما، مهار طوفان‌ها و لایه‌های برنامه‌ریزی شهری مناسب است. لایه پایین مقیاس میانی، اقلیم محلی است که محله‌های شهری و شهرک‌های توسعه‌یافته (پوشش سطح، اندازه و فاصله از ساختمان، فعالیت‌ها و غیره) را بررسی می‌کند. با تعریف مقیاس محلی ابعاد فضایی تا چندین کیلومتر ادامه می‌یابد و اگر از سطح محله به کل شهر برویم، با ابعاد فضایی مواجه هستیم که معمولاً ده‌ها کیلومتر را پوشش می‌دهد (Dai, 2014). Oke (1987) محدوده این مقیاس را ۱۰۰ متر تا ۵۰ کیلومتر عنوان می‌کند. در مطالعات مقیاس محلی بایستی شار حرارتی سقف‌ها، دودکش‌ها و میانگین فضایی حجم هوای سطحی بررسی شود. آب‌وهوا و زمان روز یا سال نقش مهمی را دارد. این مقیاس نقش مهمی را در مقیاس اقلیم همسایگی و طراحی شهری پایدار دارد و در واقع نقش مهمی را در اتصال دو مقیاس خرد اقلیم و میانه بازی می‌کند و این دو را به هم متصل می‌کند (Dai, 2014).

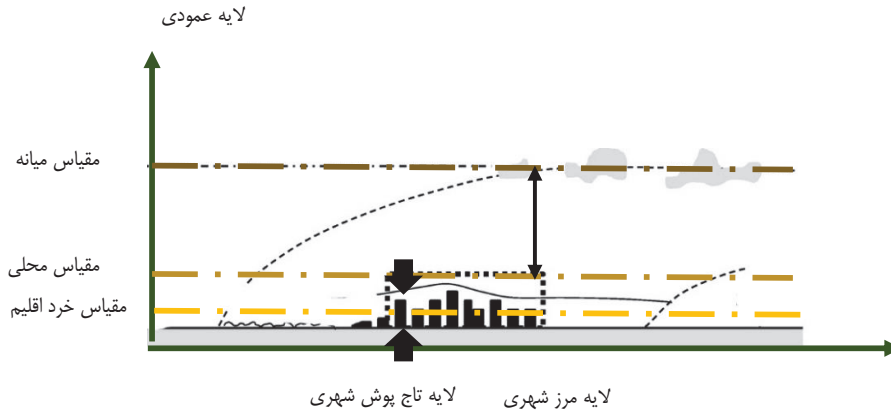
آنچه در این پژوهش بررسی می‌شود، مقیاس خرد اقلیم است که بیشترین مطالعات اقلیمی را که تأثیرگذار بر ساکنان شهری است به خود اختصاص داده است (Galal et al., 2020; Muniz-Gaal et al., 2020; Xiong et al., 2020). این لایه منعکس‌کننده تأثیرات فرم‌های شهری همچون ساختمان‌ها، دره‌های شهری، جهات دره‌های شهری و غیره است که در چارچوب یک شهر شکل گرفته‌اند. این چارچوب تحت عنوان فرم شهری شناخته می‌شود که در مطالعات اقلیم‌شناسی بیشتر به آن پرداخته می‌شود

(Amirtham, 2010). Oke (2006) دو مقیاس را برای اندازه‌گیری داده‌های هواشناسی در لایه‌های اقلیمی به صورت عمودی و افقی معرفی کرده است که با توجه به اطلاعات موردنیاز و مقیاس بررسی موضوعی می‌توان نسبت به انتخاب مقیاس اقلیمی محدوده مورد مطالعه اقدام کرد.

لایه‌های عمودی: در مناطق شهری پایین‌ترین بخش از جو زمین که تحت تأثیر تغییرات شهری قرار می‌گیرد را لایه‌مرزی شهری^۱ می‌گویند. قسمت بالای UBL، لایه مخلوط^۲ به‌عنوان بزرگ‌ترین حجم قرار دارد که در این لایه اتمسفر تحت تأثیر سطوح شهری است اما به‌طور کامل با آن سازگار نیست به‌عبارت‌دیگر تأثیر عوامل غیرشهری نیز در آن احساس می‌شود. ارتفاع این لایه مخلوط، با توجه به ثبات جوی و مقدار آن و همچنین تأثیرات عناصر شهری متفاوت است (Erell et al., 2011). درون لایه UBL^۳ سطح قرار دارد که ارتفاع آن چهارتا پنج برابر یک ساختمان متوسط است، لایه‌ای شامل هندسه سه‌بعدی و سایر خصوصیات ساختمان‌ها و پوشش زمین را شامل می‌شود. این لایه سطحی زمانی شکل می‌گیرد که هوا از یک‌بخشی از زمین که ویژگی‌های شهری دارد عبور کند این ویژگی‌ها شامل سازه‌های ساختمانی و گرمایی است که توسط شهر تولید می‌شود. به‌طورکلی می‌توان گفت این بخش تحت تأثیر بافت شهری است. در زیر لایه UBL، لایه تاج‌پوش شهری^۳ قرار دارد که تحت تأثیر فرم‌های شهری و شرایط حرارتی سطوح محیط اطرافش است (Saud Alznafer, 2014). ارتفاع UCL تقریباً برابر با میانگین ارتفاع ساختمان‌ها از سطح زمین است (Amirtham, 2010). محدوده لایه UCL با پدیده‌های اقلیمی چون بادهای محلی، طوفان‌ها و ابرهای بزرگ کولوموس تغییر می‌کند (Oke, 1987) و از عوامل تغییرات جهانی تأثیر می‌پذیرد و محدوده جغرافیایی نسبتاً گسترده‌ای است. به عقیده Erell و همکاران (2011) نمی‌توان محدودیت و واحد مشخصی برای این مقیاس قائل شد و بر اساس وضعیت جغرافیایی و انسانی ممکن است متفاوت

گیرد. لایه‌های عمودی و افقی اقلیمی در شکل ۱ نشان داده شده است.

(Erell et al., 2011). اندازه‌گیری دمای هوا برای آسایش حرارتی بیرونی معمولاً در این مقیاس باید توسط ایستگاه‌های هواشناسی یا اندازه‌گیری در سایت صورت

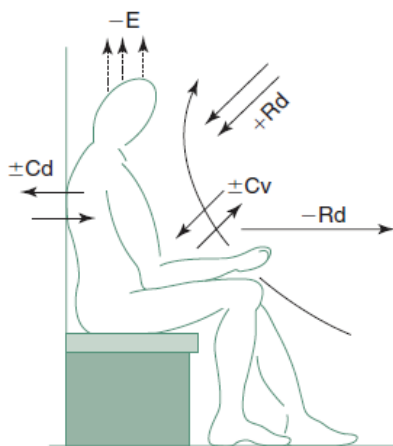


شکل ۱. لایه‌های عمودی و افقی اقلیمی

حداقل است. برای اینکه بدن انسان به تعادل حرارتی برسد؛ باید تبادل گرمایی بین بدن با محیط اطراف به وجود آید. آسایش حرارتی از ترکیب چند متغیر جوی به دست می‌آید. برای تعیین راحتی و ناراحتی، شناخت شاخص‌های زیستی هواشناسی و پیش‌بینی پاسخ دهنده‌گی انسان به فشارهای فیزیولوژیکی لازم است (Oliver, 2005).

آسایش حرارتی بیرونی

تاریخچه آسایش حرارتی به استفاده از آن برای انگیزه‌های نظامی و لزوم نیاز به کار نظامیان در کشتی و هواپیماها در شرایطی که دمای هوا بالا است، برمی‌گردد (Fabri, 2015). آسایش حرارتی در ارتباط با چگونگی پاسخ انسان به محیط حرارتی است و شامل پارامترهای فیزیولوژیکی همچون میزان عرق، ضربان قلب، دمای داخلی بدن و دمای پوست است (Dai, 2014) که بدن از چهار طریق تبخیر، همرفت، تابش و هدایت حرارت خود از دست می‌دهد (Roaf et al., 2009). لذا اقلیم تأثیر عمیقی بر آسایش انسان دارد و برای اینکه بدن انسان به یک آسایش و راحتی برسد باید به تعادل انرژی با محیطی که از اقلیم تأثیر می‌گیرد، دست یابد (رابطه ۱).



شکل ۲. مبادله گرمای بدن انسان

منبع: (Szokolay, 2008)

$$M \pm Rd \pm Cv - Ev = \pm S \quad (1)$$

همان‌طور که در شکل ۲ مشخص شده است، M ، میزان سوخت‌وساز؛ R و Cv ، تبادل گرما از طریق تابش و همرفت؛ Ev ، از دست دادن حرارت از طریق تبخیر و S ، ذخیره‌سازی گرما در بدن است. مثبت بودن S نشان‌دهنده به دست آوردن انرژی برای بدن و منفی بودن آن از دست دادن انرژی است. چنانچه S برابر صفر شود تنش حرارتی

برخی از شاخص‌های حرارتی از بالانس انرژی بدن انسان به دست می‌آیند. پرکاربردترین شاخص‌های سنجش

حرارتی^۶ برای سنجش آسایش حرارتی انسان استفاده می‌شوند که در جدول (۱) مزایا و معایب هر یک از این شاخص‌ها ذکر شده است.

آسایش حرارتی بیرونی عبارت‌اند از: نرخ پیش‌بینی میانگین^۴ (Fanger, 1970)، دمای معادل فیزیولوژیکی^۵ (Höppe, 1999; Matzarakis et al., 1999) و دمای جهانی

جدول ۱. ویژگی‌های شاخص‌های سنجش آسایش حرارتی بیرونی

شاخص دمای جهانی حرارتی	شاخص نرخ پیش‌بینی میانگین	شاخص دمای معادل فیزیولوژیکی
- از معایب این شاخص داشتن علم تخصصی در زمینه نرم‌افزارها و شبیه‌سازی پیچیده این نرم‌افزار است که باعث تلف شدن وقت می‌شود و برای طراحان شهری و معماران بسیار سخت است؛ علاوه بر آن پیش‌بینی این شاخص نیاز به کالیبره شدن در اقلیم‌های مختلف را دارد.	- نبود اطلاعات دقیق لباس و فعالیت‌ها است لذا شاخص مناسبی نیست و نمی‌تواند آسایش حرارتی را دقیق پیش‌بینی کند. از سویی دیگر این مدل دارای یک وجه فیزیکی و یک وجه دما-فیزیولوژیک است که بر اساس پارامترهای هواشناسی شکل گرفته ولیکن نمی‌تواند برای تعیین مقادیر واقعی شارهای حرارتی یا دماهای بدن انسان در یک محیط معین استفاده شود.	- وجود واحد سانتی‌گراد آن است که نتایج را قابل‌مقایسه در محیط‌های شهری می‌کند و برای افرادی که با اصطلاحات بیوترمو انسانی آگاه نیستند مناسب‌تر است.
شاخص PET پاسخ قوی‌تری به کاهش سرعت باد نشان می‌دهد درحالی‌که UCI با افزایش سرعت باد، قوی‌تر شده است.	- از معایب این شاخص داشتن علم تخصصی در زمینه نرم‌افزارها و شبیه‌سازی پیچیده این نرم‌افزار است که باعث تلف شدن وقت می‌شود و برای طراحان شهری و معماران بسیار سخت است؛ علاوه بر آن پیش‌بینی این شاخص نیاز به کالیبره شدن در اقلیم‌های مختلف را دارد.	- قابلیت نشان دادن به‌صورت نموداری و گرافیکی را داراست که فهم و درک از تغییرات حرارتی را راحت‌تر مهیا می‌کند.
		- این شاخص می‌تواند برای اقلیم‌های مختلف مورد محاسبه و استفاده برنامه‌ریزان قرار گیرد.
		از مزیت‌های این شاخص این است که مستقل از پوشش لباس و فعالیت و بر مبنای فرض عدد ۰/۹ برای سطح پوشش و سطح فعالیتی ۸۰ وات برای افراد مختلف حساب می‌شود.

منبع: نگارندگان با اقتباس از (Mayer and Höppe, 1987; Höppe, 1999; Matzarakis et al., 1999; Fröhlich and Matzarakis, 2013، ذوالفقاری، ۱۳۸۶)

شاخص PET به‌صورت دقیق برای شرایط آسایش ایران در اقلیم‌های مختلف بررسی نشده است و تنها بررسی‌های حیدری و منعم (۱۳۹۲) در تهران، این جدول را برای شهر تهران تدقیق کرده است. در جدول ۲ ارزش PET که ماتراکیس و مایر (۱۹۹۶) تهیه کرده‌اند بازه $23^{\circ}C < PET < 18^{\circ}C$ به‌عنوان محدوده آسایش شناخته شده است و حیدری و منعم این عدد را برای شهر تهران بازه بین $24/4 < PET < 24/8$ سنجش کرده‌اند، لذا این بازه در این پژوهش مورد استناد قرار می‌گیرد.

فرم‌های شهری

فرم‌های شهری تحت تأثیر محیط، توسعه اقتصادی، زندگی اجتماعی و سیاسی است (Bramley and Kirk, 2005). لذا این امر سبب شده تا رویکردهای چند رشته‌ای در زمینه فرم شهری، شکل گیرد. فرم شهری تعاریف و

با بررسی معایب و مزایای شاخص‌های اندازه‌گیری آسایش حرارتی بیرونی در جدول ۱، می‌توان نتیجه گرفت که شاخص PET بهترین شاخص سنجش آسایش حرارتی است. شاخص PET، به‌عنوان دمای هوایی که در شرایط درونی بدون باد و تابش خورشید تعریف می‌شود و بر مبنای مدل بالانس گرمایی فیزیولوژیکی مونیخ^۴ (MEMI) مطرح شده است و خروجی‌های این مدل و حل معادلات ترکیبی پارامترهای اقلیمی، فعالیت فیزیکی و نوع پوشش لباس در مدل MEMI می‌تواند PET را به دست آورد. برای محاسبه این شاخص تمامی عناصر هواشناسی در تعادل گرمایی بدن انسان در ارتفاع مناسب زیست اقلیم مانند ۱/۵ متری از سطح زمین اندازه‌گیری می‌شود. با توجه به بررسی‌ها انجام‌گرفته و جمع مزایا و معایب از شاخص دمای معادل فیزیولوژیکی (PET) در این پژوهش برای سنجش آسایش حرارتی بیرونی استفاده خواهد شد. این

جدول ۲. دمای معادل فیزیولوژیکی PET، احساس حرارتی و درجه استرس فیزیولوژیکی

درجه استرس فیزیولوژیکی	میزان احساس حرارتی	درجه PET C°	درجه PET C° شهر تهران
استرس سرمای زیاد	خیلی سرد	کمتر از ۴	کمتر از ۱۳/۸
استرس سرمای قوی	سرد	۴-۸	۱۳/۸-۱۷/۵
استرس سرمای معتدل	سرد	۸-۱۳	۱۷/۵-۲۱/۱
استرس سرمای ملایم	کمی سرد	۱۳-۱۸	۲۱/۱-۲۴/۸
عدم وجود استرس حرارتی	آسایش	۱۸-۲۳	۲۴/۸-۲۸/۴
استرس گرمای ملایم	کمی گرم	۲۳-۲۹	۲۸/۴-۳۲/۱
استرس گرمایی متوسط	گرم	۲۹-۳۵	۳۲/۱-۳۵/۷
استرس گرمایی قوی	داغ	۳۵-۴۱	۳۵/۷-۳۹/۴
استرس گرمایی زیاد	بسیار داغ	بیشتر از ۴۱	بیشتر از ۳۹/۴

منبع: (Matzarakis and Mayer, 1996، حیدری و منعم، ۱۳۹۲)

(Baruti et al., 2019). نوع مصالح مورد استفاده در محیط‌های شهری (Lee and Mayer, 2018) چهار راه افزایش شاخص PET هستند. در کنار این عوامل استفاده از آب به عنوان عنصری طبیعی در محیط‌های شهری تأثیر بسزایی در آسایش حرارتی بیرونی دارد (Peng et al., 2019). هندسه دره‌های شهری با توجه به تغییرات پیچیده میان ساختمان‌ها و خط آسمان سبب کاهش یا افزایش تابش موج بلند می‌شود. اشعه مادون قرمز از سطوح ساختمان‌ها و خیابان‌های واقع در دره‌ها ساطع می‌شود و جرم حرارتی مصالح باعث افزایش ذخیره گرمای محسوس در بافت شهری در طول روز شده و آن را پس از غروب آفتاب در محیط شهری رها می‌کند. علاوه بر آن در این بین گرمای انسانی باعث افزایش مصرف سوخت‌های فسیلی از طریق منابع حرکتی یا متابولیسم می‌شود. نفوذناپذیر بودن مصالح و سطوح شهری باعث کاهش تبخیر سطوح در شهر می‌شود که می‌تواند افزایش انرژی و کاهش گرمای نهان به همراه داشته باشد. تمامی این تغییرات می‌تواند همگی تحت تأثیر فرم شهری و مصالح مورد استفاده در آن باشد (Santamouris et al., 2004). درباره مصالح مورد استفاده در فرم شهری، ویژگی آلودگی آن مطرح می‌شود. آلودگی

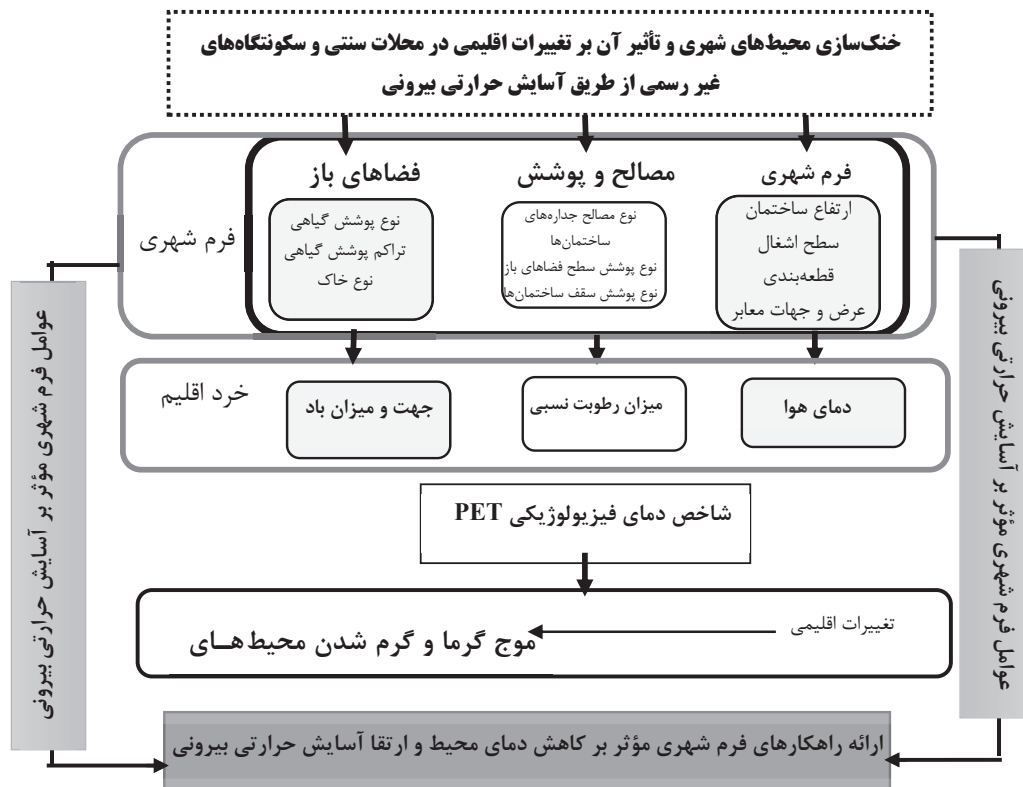
جنبه‌های مختلفی دارد. فرم شهری از دیدگاه برنامه‌ریزی شهری (Oliveira, 2016) فرم شهری از دیدگاه کالبدی (Dai, 2014, Irger, 2014)، فرم‌های شهری با تأکید بر الگوهای اجتماعی (Cuthbert and Anderson, 2002) الگوی کالبدی و اقلیمی (Dempsey et al., 2010) و کالبدی و اقتصادی (Clifton et al., 2008) از جمله جنبه‌های مختلف تعاریف در زمینه فرم‌های شهری است. در این میان جنبه اقلیمی و کالبدی شهری و تأثیرات متقابل این دو بر یکدیگر است که سبب ایجاد یا عدم ایجاد آسایش حرارتی بیرونی می‌شود. لذا اقلیم در مقیاس خرد، تحت تأثیر ساخت‌وسازهای انجام شده است و فرم محیط ساخته شده یکی از مهم‌ترین پارامتر تأثیرگذار بر دمای محیط است (Horrison and Amirtham, 2016). رویکردهای مختلف به فرم شهری به منظور ارتقاء آسایش حرارتی بیرونی در مطالعات مختلف پیشنهاد شده است.

انواع فرم‌های شهری مؤثر بر آسایش حرارتی بیرونی

ایجاد سایه‌اندازی از طریق افزایش نسبت ارتفاع به عرض (Yildirim, 2020) استفاده از پوشش گیاهی همچون درختان (Lee and Jim, 2019)، جهات مختلف معبر

تا ۷ درجهٔ سلسیوس بیشتر می‌کند درحالی‌که رنگ‌های روشن‌تر این دما را بین ۲ تا ۳ درجه سلسیوس تغییر داده است. (Shahmohamadi et al., 2011).

سطوح به میزان جذب تابش خورشید تأثیرگذار است و می‌توان گفت آبدوی سطوح شهری به‌عنوان پارامتری برای کاهش دمای شهری اثبات‌شده است (Akbari et al., 1997) به‌طوری‌که گرمای ناشی از رنگ‌های تیره، دمای محیط را



نمودار ۱. مدل مفهومی و چارچوب نظری تحقیق

استفاده از GIS صورت گرفته است. از روش پیمایشی برای دریافت اطلاعات فرم شهری و همچنین برداشت اطلاعات اقلیمی از سازمان اقلیم‌شناسی شهر مشهد برای گردآوری داده‌های اقلیمی استفاده شده است. در راستای شناسایی تأثیرات مؤلفه‌های تأثیرگذار فرم شهری از مجموعه نرم‌افزار 4 Envi-met و Leonardo و همچنین Rayman استفاده شده است. نرم‌افزار Envi-met به بررسی تأثیرات تغییرات فرم شهری بر آسایش حرارتی فضاهای بیرونی استفاده می‌شود (Bruse, 1999). شاخص PET به‌عنوان شاخص اصلی سنجش آسایش حرارتی بیرونی استفاده می‌شود که این شاخص توسط نرم‌افزار Rayman

مواد و روش‌ها

روش تحقیق پژوهش با توجه به ماهیت موضوع، از نوع کاربردی و مبتنی بر دو بخش است. در بخش نخست برای تدوین چارچوب نظری از روش اسنادی استفاده شده است. به این ترتیب که با رجوع به مقالات، رساله‌ها و کتاب‌ها با یادداشت‌برداری، اطلاعات موردنیاز برای فهم ادبیات موضوعی و همچنین مطالعات انجام‌گرفته در حوزه موضوع پژوهش گردآوری شده است و سپس با استفاده از روش‌های توصیفی و تحلیلی نسبت به تهیه و تدوین چارچوب مفهومی پژوهش اقدام شده است. در بخش بعدی پژوهش، مطالعه نمونه موردی و استخراج نقشه‌ها با

خروجی گرفته می‌شود (Matzarakis et al., 2007). محاسبه آسایش حرارتی بیرونی در سه مرحله انجام می‌گیرد. در مرحله نخست، پارامترهای فرم شهری در نرم‌افزار مدل و تعریف می‌شود. مرحله دوم، داده‌های هواشناسی از قبیل دمای هوا، رطوبت نسبی، سرعت و جهت باد در نرم‌افزار تعریف می‌شود. مرحله سوم، خروجی نرم‌افزار است که داده‌ها به نرم‌افزار Rayman برای محاسبه شاخص PET منتقل می‌شود. تنظیمات در نرم‌افزار Rayman برای یک فرد عادی با وزن ۷۵ کیلو متر، قد ۱۷۵/۷۵ متر، عایق لباس ۰/۹ Clo و میزان متابولیسم با فعالیت سبک 80 W/m^2 در نظر گرفته می‌شود که قابل تعمیم به اکثریت جامعه است. دمای میانگین تابشی نیز بر اساس ترکیبی از دمای هوا، سرعت باد و دمای جهانی استخراج می‌شود و مورد تحلیل قرار می‌گیرد در این پژوهش بیشتر شبیه‌سازی در تابستان (ماه مرداد) و بر اساس داده‌های ایستگاه هواشناسی شهر مشهد انجام شده است. این شبیه‌سازی در روز ۲۶ مرداد ۱۳۹۸ و در بازه زمانی طلوع و غروب خورشید بین ساعت‌های ۶ صبح تا ۲۰ به وقت محلی به دلیل حرارت بالای خورشید و تأثیر آن بر دمای محیط و سطوح در فضاهای باز شهری انتخاب شده است. این شبیه‌سازی برای سه فرم شهری به مدت ۱۵۶ ساعت به طول انجامیده است.

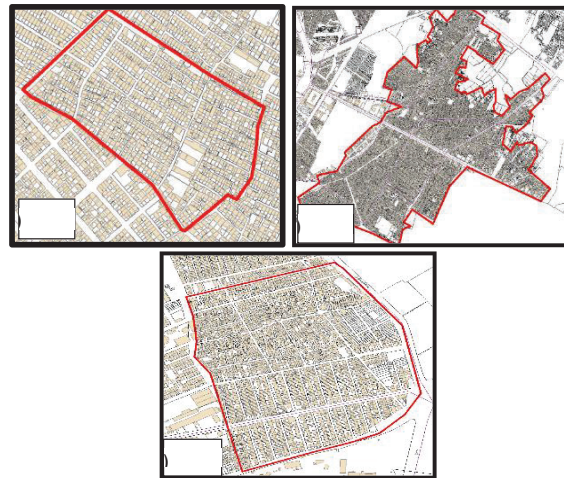
منطقه مورد مطالعه

شهر مشهد در مختصات جغرافیایی $36^{\circ}09' \text{ N}$, $59^{\circ}35' \text{ E}$ ، واقع شده است و بر اساس سیستم طبقه‌بندی کوپن، در آب‌وهوای منطقه خشک قرار دارد و از تابستان‌های گرم و خشک برخوردار است. آمارهای هواشناسی در سال ۲۰۱۶ نشان می‌دهد که میانگین گرما در ماه خرداد $26/74$ و در ماه تیر $28/81$ است. دمای هوا در تابستان به حداکثر $40/4$ و در فصل زمستان به حداقل $4/8-$ می‌رسد. میزان بارندگی بیشتر در فصول بهار است حال آنکه در تابستان هوا کاملاً خشک است و میزان تابش

خورشید در تابستان حداکثر $13/6$ ساعت است (ثناگر دربنای و همکاران، ۱۳۹۶). شهر مشهد تا ابتدای قرن چهاردهم هجری شمسی در حصار محافظتی خود محصور بود و روستاهای متعددی در اطراف آن قرار داشتند. با آغاز فرایند نوسازی در کشور در دوران حکومت پهلوی، باروی اولیه شهر برجیده می‌شود و شهر شروع به رشد در بستر رودخانه کشف- در ابتدا بیشتر در جهت شمال غربی- می‌کند. در نخستین دهه‌های قرن چهاردهم، فقیران شهری بیشتر در روستاهای پیرامون شهر ساکن می‌شدند و هنوز مسئله‌ای به نام اسکان غیررسمی مطرح نبود. تا نیمه دهه ۳۰، جلالیه و محدود پنج راه هم به سکونتگاه‌های فقیر شهر اضافه شده است. برای نخستین بار در این دوره یک سکونتگاه غیررسمی فاقد هسته روستایی، در پیوستگی کالبدی با آن شروع به رشد کرده است که خصوصیت اسکان غیررسمی را از خود نشان می‌دهد. در فاصله ۸ سال از سال ۱۳۳۵ تا ۱۳۴۳، دو سکونتگاه گل خطمی و سمرقند به سکونتگاه‌های غیررسمی شهر افزوده می‌شوند و همگی در حال رشد هستند. بیشتر سکونتگاه‌های غیررسمی شهر در جهت مخالف رشد شهر و به سمت بستر کشف رود در حال شکل‌گیری هستند. از آن سال به بعد، آغاز اصلاحات ارضی بر سرعت مهاجرت روستاییان به شهرها و رشد اسکان غیررسمی می‌افزاید و برخی محدوده‌های اسکان غیررسمی شامل؛ آبکوه و گل خطمی، ظرف پنج سال تا سال ۱۳۴۸ به کالبد شهر پیوند می‌خورند (مهندسین مشاور فرهاد، ۱۳۸۸). همان‌طور که در شکل ۱ مشخص است، دلیل انتخاب شهر مشهد با توجه به بافت‌های شهری متفاوت از دوره‌های مختلف زمانی است. شهر مشهد با ۸ پهنه عمده، شامل ۴۲ محله حاشیه‌نشین، بر اساس آمار ۱۳۸۵ دارای 804000 نفر جمعیت و 6354 هکتار وسعت است که به ترتیب ۲۳ و ۲۲ درصد از جمعیت وسعت شهر مشهد را در بردارد (امیرفخریان و همکاران، ۱۳۹۱). دو محله قلعه ساختمان و شهرک حجت از سکونتگاه غیررسمی در این بخش انتخاب شده‌اند. محله قلعه

است که مصالح ساختمانی بیشتر ساختمان‌ها ترکیبی از سیمان و آجر است. به دلیل عرض کم دره‌ها، پوشش گیاهی در این بافت در معابر آن وجود ندارد. در انتخاب محله واقع در بافت قدیمی سعی شد محله‌ای انتخاب شود که واقع در بافت تاریخی و قدیمی شهر مشهد است و ساختار کالبدی آن تا حدودی حفظ شده باشد؛ که محله عامل واقع در منطقه ثامن شهرداری مشهد تا حدودی این ساختار را داراست؛ و محلات شهرک حجت و قلعه ساختمان از جمله بافت‌های غیررسمی هستند که وارد محدوده شهر مشهد شده‌اند اما همچنان ساختار بافت غیررسمی خود را حفظ کرده است (شکل ۳).

ساختمان دارای فرمی ارگانیک و با مصالح ساختمانی آجر است که دارای جهت خیابان متفاوت است. عرض دره‌ها کم است و ترافیک اتومبیل در دره‌های وسیع‌تری اتفاق می‌افتد. تراکم با ساختمان‌های کم ارتفاع و کاربری زمین مسکونی است. پوشش معابر آسفالت است و به دلیل پهنای کم دارای پوشش گیاهی کم در دره‌ها است. محله شهرک حجت نیز دارای بافت ارگانیک و مصالح ساختمانی سیمان است. عرض دره‌ها کم است و ترافیک اتومبیل در دره‌های وسیع‌تری اتفاق می‌افتد. تفاوت عمده دو بافت قلعه ساختمان و شهرک حجت بیشتر در زمینه مصالح بدنه ساختمان‌ها است. محله عامل نیز دارای بافتی ارگانیک



شکل ۳. بافت‌های حاشیه شهر مشهد و نمونه‌های مورد تحقیق

منبع نگارندگان با اقتباس از اطلاعات بانک مکان مرجع مشهد GIS

حجت برابر با $0/4$ و $0/33$ است. تغییرات میانگین دمای هوا از ساعت ۸ الی ۱۶:۰۰ (بیشترین استرس گرمایی و خارج از محدوده آسایش حرارتی بیرونی) در خیابان‌های محلات در جدول ۳ آمده است. واضح است که دمای هوا در خیابان‌های عمیق در تمام پروفایل‌های خیابانی کمتر از خیابان‌های کم عمق هستند. حداکثر اختلاف دمای هوا بین محله‌های گرم‌تر (شهرک حجت) با میانگین دمای هوای $26/09^{\circ}\text{C}$ و محله خنک‌تر (محله عامل) با دمای هوا $20/69^{\circ}\text{C}$ است. لذا اختلاف میانگین دمای گرم‌ترین و

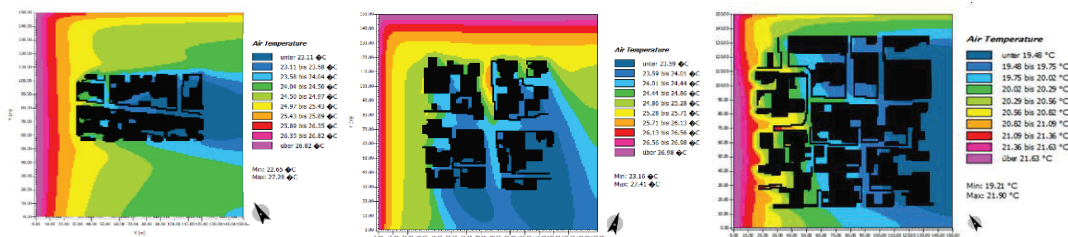
نتایج

بررسی تأثیر عناصر فرم شهری بر دمای هوا (Ta) و سرعت باد

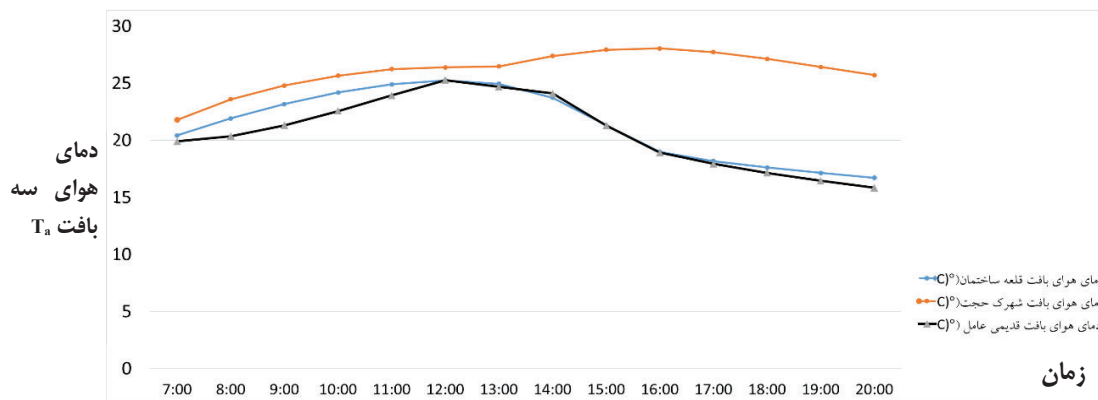
یکی از عناصر فرم شهری مؤثر بر دمای هوا نسبت ارتفاع به عرض (H/W) است که این نسبت در بافت سنتی عامل به میزان $1/5$ و 2 است. پوشش درختان در دره‌های شهری این بافت به دلیل عرض کم معابر وجود ندارد. بافت سکونتگاه غیررسمی قلعه ساختمان نیز دارای نسبت ارتفاع به عرض 1 و $0/88$ است و این نسبت در شهرک

است. در ضلع شمال معبر شرقی-غربی دمای هوا $^{\circ}\text{C}$ $0/14$ تا $0/16$ بیشتر از ضلع جنوبی است. همچنین یافته‌ها نشان می‌دهد که در هر سه محله ضلع شمال معابر شرقی-غربی با چرخش 20 درجه نسبت به شمال، دمای هوای بیشتری را نسبت به ضلع جنوب تجربه می‌کند که نشان‌دهنده آن است که جهت شرقی-غربی بیشتر در معرض نور خورشید قرار دارد به‌ویژه در اواسط روز و بازه بین ساعات 10 صبح تا 3 بعدازظهر بیشترین درجه دما را تجربه می‌کند. جدول ۳ همچنین میزان رطوبت نسبی را نشان می‌دهد که این تغییرات این اعداد در سه محله در ساعت 8 صبح به ترتیب 53 درصد، $55/45$ درصد و $51/16$ درصد برای محلات عامل، شهرک حجت و قلعه ساختمان بوده است که نشان می‌دهد میزان تغییرات رطوبت هوا در این سه محله نزدیک به یکدیگر است و می‌توان از آن چشم‌پوشی کرد.

سردترین فرم شهری حدود $5/5^{\circ}\text{C}$ است. دومین رتبه در دمای هوای گرم در محله قلعه ساختمان با بیشترین میزان ارتفاع به عرض است بی‌صورتی که تغییرات دمای هوا (Ta) بین ساعات 8 تا 16 حدود 3°C است. این عدد در شهرک حجت حدود 5°C می‌رسد و در محله عامل به عدد $1/44^{\circ}\text{C}$ رسیده است. لذا بررسی‌ها نشان می‌دهد که هرچقدر نسبت طول به عرض در محلات افزایش یافته است و سایه‌اندازی بیشتر و دسترسی خورشید به فضاهای باز کمتر بوده است دمای هوا نیز کاهش یافته است. شکل ۴ و نمودار ۲ دمای هوا را در ساعات مختلف و همچنین جهات مختلف معابر نشان می‌دهد. یافته‌های این بخش حاکی از آن است که دمای هوا رستپورهای^۱ واقع در معابر با جهات معبر شمالی شرقی- جنوب غربی در بافت عامل با افزایش نسبت ارتفاع به عرض کاهش یافته است. به‌صورت کلی معبر شرقی-غربی بدترین حالت گرمایی را داراست و دمای آن نسبت به جهت شمالی-جنوبی بیشتر



شکل ۴. دمای هوا در جهات مختلف خیابان در ساعت ۱۲ روز در محلات عامل، شهرک حجت و قلعه ساختمان



نمودار ۲. دمای هوای ساعتی در مرکز دره‌های شهری در فاصله $1/5$ متری از زمین در سه بافت

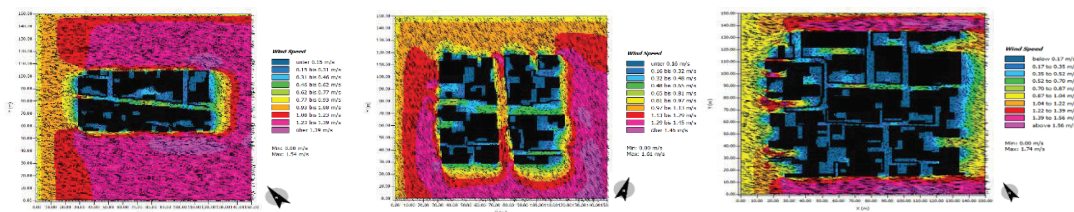
جدول ۳. میانگین مقادیر ریزسنجی در سطح پیاده، ۱/۵ متر از دمای هوا (Ta)، رطوبت نسبی (RH)، سرعت باد (Ws) و میانگین درجه حرارت تابشی (MRT)

محلات	Time (h)	Ta (°C)	RH (%)	Ws (ms ⁻¹)	MRT (°C)
عامل	۸:۰۰	۲۱/۰۷	۵۳	۰/۱۶	۴۲/۵۵
	۱۰:۰۰	۲۲/۹۲	۵۰/۹	۰/۱۵	۵۱/۵
	۱۲:۰۰	۲۵/۲۸	۴۵/۳	۰/۱۴	۴۲/۸
	۱۴:۰۰	۲۴/۱	۴۳/۹	۰/۱۳	۲۵/۵
	۱۶:۰۰	۱۸/۹۲	۴۹/۸	۰/۱۴	۲۱/۹
شهرک حجت	۸:۰۰	۲۳/۵	۵۵/۴	۰/۸	۵۷/۸۷
	۱۰:۰۰	۲۵/۶۶۱	۵۲/۰۷	۰/۷	۶۱/۲۵
	۱۲:۰۰	۲۶/۳۹۶	۴۵/۳	۰/۷۴	۶۲/۸۳
	۱۴:۰۰	۲۷/۳۸۳	۴۳/۷	۰/۷۱	۴۳/۳۸
	۱۶:۰۰	۲۸/۰۴۴	۴۹/۲	۱/۷	۳۵/۰۳
قلعه ساختمان	۸:۰۰	۲۱/۹	۵۱/۱	۰/۵۳	۵۷/۱۳
	۱۰:۰۰	۲۴/۱	۴۷/۸	۰/۴	۶۰/۹۳
	۱۲:۰۰	۲۵/۲	۴۲/۸	۰/۴	۵۹/۴۷
	۱۴:۰۰	۲۳/۷	۴۲/۰۹	۰/۴۲	۲۸/۵۳
	۱۶:۰۰	۱۸/۹	۴۶/۶	۰/۴۲	۲۵/۲۳

۱/۶۱ متر بر ثانیه نیز می‌رسد که نشان می‌دهد تأثیرات باد در معابر دارای محصوریت کمتر، قابل‌ملاحظه است. بررسی‌ها نشان می‌دهد جریان باد در معبر شمالی-جنوبی و معبر شرقی-غربی با محصوریت کمتر بیشتر در جریان بوده است و در معابر شرقی-غربی که محصوریت افزایش یافته است جریان باد نیز کاهش داشته است. لذا نسبت ارتفاع به عرض کمتر و جهات معابر سبب شده تا نسبت ارتفاع به عرض بیشتر در معرض جریان باد قرار گیرد؛ درحالی‌که معابر بافت با نسبت ارتفاع به عرض کمتر (محل عامل و محله قلعه ساختمان) جریان باد در آن ضعیف است؛ بنابراین تجزیه و تحلیل‌ها در این بخش حاکی از آن است که وجود جریان باد در معابر با نسبت ارتفاع به عرض بیشتر نسبت به دو بافت دیگر بیشتر است.

بررسی تأثیر عناصر فرم شهری بر جریان باد در محلات عامل، شهرک حجت و قلعه ساختمان

شبیه‌سازی‌ها حداکثر جریان باد در بافت عامل به میزان ۰/۸۷ متر بر ثانیه را نشان می‌دهد. باوجود تفاوت بین ارتفاع ساختمان‌ها و فاصله بین ساختمان‌ها و جهات معابر در بافت عامل، میانگین سرعت باد در این محدوده تغییرات قابل‌توجهی ندارد این امر به‌ویژه در معابر دارای نرخ بالای ارتفاع به عرض (H/W) که محصوریت زیادی را داراست، تأثیر چندانی در بافت عامل نداشته است. از سویی دیگر در بافت شهرک حجت به دلیل نرخ پایین‌تر ارتفاع به عرض (H/W) تأثیرات باد بر دمای هوا تأثیرگذار بوده است و همان‌طور که در شکل ۵ نشان داده شده است در معابر دارای محصوریت کمتر نرخ جریان باد به حداکثر



شکل ۵. میزان سرعت باد در ساعت ۱۲ روز در محلات عامل، شهرک حجت و قلعه ساختمان

بررسی تغییرات مصالح بر میانگین دمای تابشی (T_{mrt}) و دمای سطوح شهری

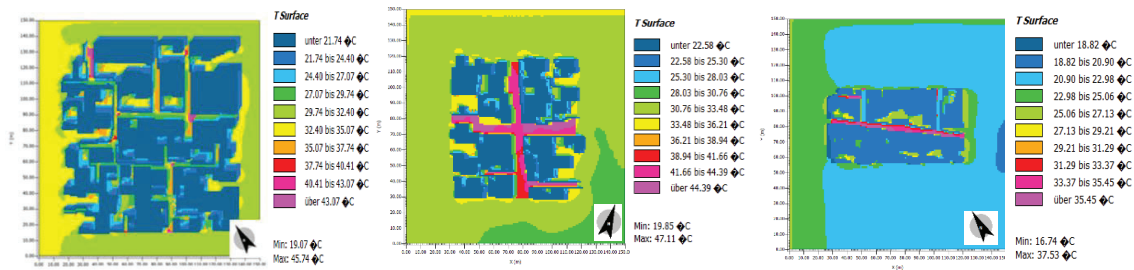
بافت قدیمی عامل دارای فرم شهری فشرده و با میانگین ارتفاع ساختمان‌های ۸ متر است که معابر در این بافت به صورت ارگانیک با عرض‌های مختلف ۱ تا ۷ متر شکل گرفته است. از سویی دیگر، بافت قلعه ساختمان نیز مشابه بافت عامل دارای بافت شهری فشرده است که میانگین ارتفاع ساختمان‌های آن نزدیک به عدد ۶ است؛ اما این وضعیت در بافت شهرک حجت اندکی متفاوت است و علی‌رغمی که دارای بافت فشرده و ارگانیک است اما دارای خیابان‌های بازتر و به عبارتی دیگر نسبت ارتفاع به عرض بیشتری نسبت به دو بافت محله عامل و قلعه ساختمان دارد. معابر در بافت شهرک حجت دارای فرم شهری معابر شرقی-غربی و شمالی-جنوبی با عرض‌های بین ۴ تا ۱۶ متر است و سطح اشغال ساختمان‌های آن نیز مانند دو بافت دیگر متغیر است (۶۰ درصد تا ۹۰ درصد). مصالحی که در بافت قدیمی و سنتی عامل استفاده شده است بعضاً بیشتر به صورت آجر و خشت‌های قدیمی است و در بافت‌های شهرک حجت و به خصوص شهرک حجت به سمت استفاده از مصالحی چون سنگ پیش رفته است. همان‌طور که گفته شد نوع پوشش سقف ساختمان‌ها نیز در میزان دمای سطوح و میانگین دمای تابشی تأثیرگذار است که مشاهدات نشان می‌دهد در بافت عامل بیشتر از ایزوگام استفاده شده است و در دو بافت شهرک حجت و قلعه ساختمان به صورت قیر است. وجه مشترک این سه بافت، پوشش فضاهای باز آن است که پوشش تمامی معابر در این سه بافت به صورت آسفالت است. مهم‌ترین فاکتور در سنجش میزان بازتابش مصالح سطوح ساختمانی و فضای باز به محیط، میانگین دمای تابشی (T_{mrt}) است و خیابان‌ها با نسبت ارتفاع به عرض (H/W) بالاتر بیشتر در معرض تابش آفتاب قرار می‌گیرند و دمای محیط را افزایش می‌دهند، لذا هرچه قدر میزان بازتابش مصالح و سطوح شهری کم باشد برای محیط‌های شهری مطلوب‌تر

است. نمودار ۳ نرخ دمای تابشی (T_{mrt}) در تابستان در سه بافت عامل، قلعه ساختمان و شهرک حجت در فصل تابستان و از ساعت ۶:۳۰ تا ۲۰ نشان داده شده است. این نمودار نشان می‌دهد که بافت عامل و قلعه ساختمان با نرخ بالاتر نسبت ارتفاع به عرض (H/W) و جهات معابر و دره‌های محصور نرخ کمتری از دمای تابشی (T_{mrt}) را در ساعت‌های دارای استرس گرمایی (ساعت ۱۱ تا ۱۴) داراست در حالی که در بافت شهرک حجت با نرخ نسبت ارتفاع به عرض (H/W) کمتر و معابر بازتر این نرخ در این ساعات به دلیل قرارگیری در معرض نور آفتاب بیشتر افزایش داشته است. دمای تابشی (T_{mrt}) در بافت قلعه ساختمان در ساعت اولیه (۶:۰۰) و انتهای شبیه‌سازی (۲۰:۰۰) بین $48/97^{\circ}\text{C}$ و $6/17^{\circ}\text{C}$ بافت شهرک حجت بین $54/47^{\circ}\text{C}$ و $6/62^{\circ}\text{C}$ بافت عامل بین $41/12^{\circ}\text{C}$ و $7/65^{\circ}\text{C}$ است. به عبارتی دیگر در واقع ΔT_{mrt} در بافت شهرک حجت $47/85^{\circ}\text{C}$ در بافت قلعه ساختمان $42/80^{\circ}\text{C}$ و در بافت عامل برابر $33/47^{\circ}\text{C}$ است که نشان می‌دهد میزان بازتابش موج‌های نور خورشید از سطوح مصالح آجر واقع در بافت عامل کمتر از بافت‌های دیگر با مصالح سنگ است؛ در نتیجه میزان بازتابش کم گرمای محیط در بافت عامل به دلیل بازتابش کم تبادل حرارتی با محیط را کاهش داده و سبب می‌شود تشدید گرما و استرس گرمایی کمتر شود و آسایش حرارتی بیرونی ارتقا یابد.

همچنین شکل ۶ و نمودار ۳ نشان می‌دهند که بیشترین دمای سطوح دره‌های شهری در سه بافت بازه بین ساعت ۱۰:۳۰ تا ۱۱:۰۰ اتفاق افتاده است به طوری که در بافت عامل در ساعت ۱۰:۳۰ برابر $48/9^{\circ}\text{C}$ ، در بافت شهرک حجت برابر $63/37^{\circ}\text{C}$ و قلعه ساختمان در ساعت ۱۱:۰۰ برابر با $63/33^{\circ}\text{C}$ است (هرچند که اختلاف بین دو بافت شهرک حجت و قلعه ساختمان قابل چشم‌پوشی است). همچنین میانگین دمای تابشی (T_{mrt}) و در الگوی بافت عامل برابر $28/16^{\circ}\text{C}$ در بافت شهرک حجت برابر $33/67^{\circ}\text{C}$ است که این اختلاف ΔT_{mrt} بین بیشترین و کمترین آن (عامل و

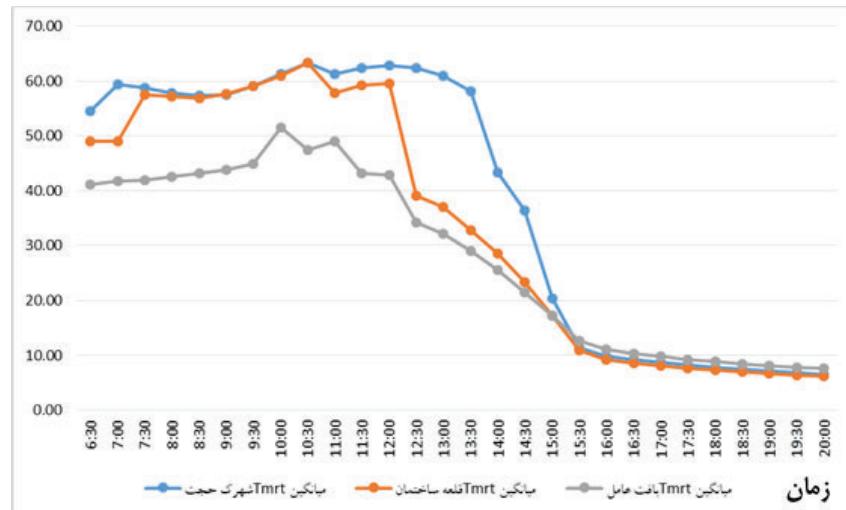
ساعات بیشتر در معرض نور خورشید و نوع مصالح مهم‌ترین نقش را در گرمای سطوح ایفا می‌کند به طوری که هرچقدر به ساعات شب نزدیک‌تر می‌شود دمای سطوح در هر دو بافت کاهش می‌یابد اما به دلیل استفاده از مصالح آجر در جداره‌های ساختمان بافت عامل میزان گرمای سطوح از ساعت ۱۴ به بعد کاهش بیشتری نسبت به دیگر بافت‌ها داشته است. از سویی دیگر در بافت عامل دمای سطوح از ساعات اولیه روز ۷ صبح با دمای $22/22^{\circ}\text{C}$ شروع به افزایش می‌کند و تا حداکثر $31/25^{\circ}\text{C}$ در ساعت ۱۲ می‌رسد و از این ساعت به بعد دمای سطوح تا $14/39^{\circ}\text{C}$ کاهش می‌یابد. این روند با اندکی اختلاف دما در سایر بافت‌ها ادامه می‌یابد.

شهرک حجت) برابر $5/56^{\circ}\text{C}$ است. لذا یافته‌ها حاکی از آن است که دمای سطوح باز و جداره‌های بیرونی ساختمان‌های بافت عامل خنک‌تر از دو بافت دیگر است. لذا هرچقدر دره‌های شهری عریض‌تر و بازتر باشند؛ بیشتر در معرض نور خورشید قرار می‌گیرد و دمای سطوح آن بالاتر می‌رود و همچنین هرچقدر میزان آلوده مصالح کمتر باشد، بازتابش گرما به سمت آسمان کمتر شود و باعث می‌شود که محیط گرم‌تر شود؛ لذا گرم‌تر بودن بافت‌های شهرک حجت در مقایسه با بافت عامل را می‌توان به دلیل بیشتر بودن ضریب نمایانی آسمان، وجود مصالح سنگ و استفاده از پوشش آسفالت در فضاهای باز آن ذکر کرد که این اختلاف نیز قابل ملاحظه است. همچنین یافته‌ها نشان می‌دهد که دسترسی به نور خورشید و قرارگیری در



شکل ۶. مقایسه دمای سطوح در سه فرم شهری عمل، شهرک حجت و قلعه ساختمان

متوسط
میانگین دمای
تابشی T_{mrt}

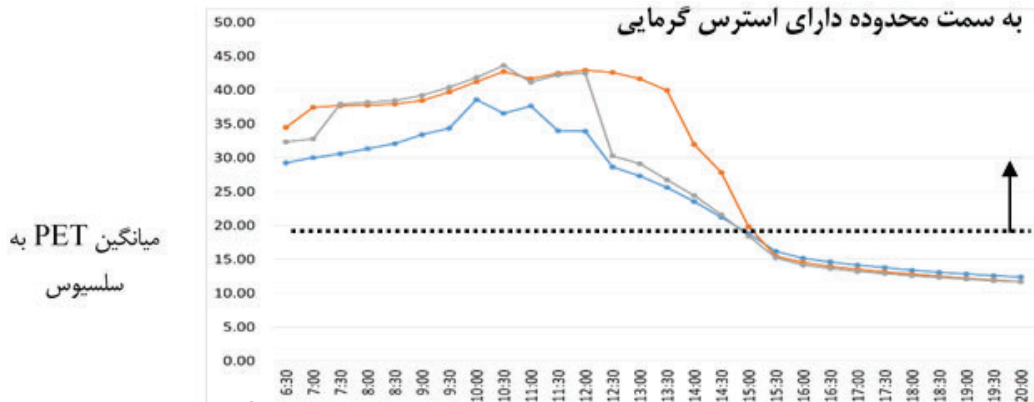


نمودار ۳. متوسط میانگین دمای تابشی T_{mrt} در سه بافت عامل، شهرک حجت و قلعه ساختمان

سنجش آسایش حرارتی بیرونی (دمای معادل فیزیولوژیکی PET) در سه بافت عامل، قلعه ساختمان و شهرک حجت

آسایش حرارتی بیرونی در سطح عابران پیاده (۱/۵ متر) در فصل تابستان در نمودار ۴ ارزیابی شده است. نمودار ۴ میانگین دمای PET را در سه بافت مورد مقایسه قرار داده است. میانگین آسایش حرارتی بیرونی (کل زمان شبیه‌سازی از ساعت ۶:۰۰ تا ۲۰:۰۰) در سه بافت عامل، قلعه ساختمان و شهرک حجت به ترتیب برابر با $24/46^{\circ}\text{C}$ ، $26/81^{\circ}\text{C}$ و $28/93^{\circ}\text{C}$ است که شهرک حجت بالاترین میانگین دمای آسایش حرارتی بیرونی را داراست. با توجه به اینکه در جدول ۲ گفته شد آسایش حرارتی در اقلیم ایران بین بازه $24/4 < \text{PET} < 24/8$ است لذا شبیه‌سازی انجام‌گرفته در این سه بافت نشان می‌دهد که بافت عامل

بین ساعات ۶:۳۰ تا ۱۲:۳۰ (شاخص PET به میزان $29/28^{\circ}\text{C}$ تا $28/6^{\circ}\text{C}$) به مدت ۶ ساعت دارای استرس گرمایی است این شاخص در ساعت ۱۰ ($38/55^{\circ}\text{C}$) به اوج خود نزدیک شده و به سمت استرس گرمایی قوی پیش می‌رود که با نزدیک شدن به غروب خورشید این استرس گرمایی کمتر شده و به سمت محدوده دارای آسایش حرارتی پیش می‌رود. در بافت قلعه ساختمان بین ساعات ۶:۳۰ تا ۱۳ (شاخص PET به میزان $32/37^{\circ}\text{C}$ تا $29/1^{\circ}\text{C}$) به مدت ۶:۳۰ ساعت دارای استرس گرمایی است و این امر در بافت شهرک حجت بین ساعات ۶:۳۰ تا ۱۴ (شاخص PET به میزان $34/47^{\circ}\text{C}$ تا $31/93^{\circ}\text{C}$) به مدت ۷:۳۰ ساعت اتفاق می‌افتد که با استرس گرمایی بیشتری روبه‌رو است و تعداد ساعات بیشتری در عدم آسایش حرارتی بیرونی را تجربه می‌کند.



نمودار ۴. میانگین دمای شاخص PET در بافت عامل، قلعه ساختمان و شهرک حجت

بحث و نتیجه‌گیری

پژوهش حاضر به بررسی آسایش حرارتی بیرونی در بافت‌های قدیمی و سکونتگاه‌های غیررسمی در شهر مشهد پرداخته است. با توجه به ماهیت بافت‌ها، شکل‌گیری فرم‌های شهری آن‌ها به صورت ارگانیک بوده است اما تفاوت‌هایی در فرم‌های شهری این سه بافت، سبب شده تا از لحاظ آسایش حرارتی بیرونی با یکدیگر متفاوت باشند. مطالعات مختلف نشان داده است کاهش دمای

محیط در فصل تابستان می‌تواند تنش حرارتی محیطی را کاهش دهد و در نتیجه آسایش حرارتی بیرونی ارتقا پیدا نماید. نتایج در این مقاله حاکی از آن است که هرچقدر نسبت ارتفاع به عرض (H/W) افزایش یابد، دسترسی نور خورشید به محیط کمتر شده و میزان سایه‌اندازی بر سطوح بیشتر می‌شود و به دنبال آن دمای محیط کاهش می‌یابد. لذا می‌توان گفت نسبت ارتفاع به عرض (H/W) با دمای محیط نسبت عکس دارد و عوامل فرم شهری همچون نسبت

جذب گرمای کمتری را دارد و رهاسازی گرمای نهان و تبادل گرمای آن با محیط در ساعات شب که هوا رو به خنکی می‌رود به‌کندی صورت می‌گیرد. از سویی دیگر اختلاف دمای هوا $0/68^{\circ}\text{C}$ ساعات اولیه و پایانی شبیه‌سازی در بافت عامل نشان می‌دهد که استفاده از مصالح آجر می‌تواند تبادل حرارتی با محیط را کاهش دهد و در نتیجه سبب کاهش دمای محیط شود. در این مقاله نشان داده شد که با تغییر در فرم‌های شهری می‌توان کاهش دمای سطوح و محیط در شهر مشهود و در نتیجه ارتقاء آسایش حرارتی بیرونی را تجربه کرد. بدین‌صورت که گرمای محیط شهری مرتبط با دمای سطوح جدا شده‌های ساختمانی دارد و دمای سطوح کمتر کمک به کاهش دمای هوای محیط می‌کند. لذا پوشش سقف‌ها و دیوارها با مصالح با بازتابش کم و سطوح تبخیرپذیر می‌تواند دماهای شهری را به‌صورت قابل‌توجهی کاهش دهد. لذا به‌منظور پاسخ به سؤال نخست تحقیق می‌توان گفت نتایج و بررسی‌های خرد اقلیم در سه بافت مختلف نشان می‌دهد بافت سکونتگاه‌های غیررسمی و بافت قدیمی از لحاظ آسایش حرارتی بیرونی با یکدیگر متفاوت است و این تفاوت نشأت گرفته از عناصر فرم شهری به‌ویژه مصالح به کار گرفته‌شده در ساختمان و پوشش سقف ساختمان‌ها است. همچنین وجود باد در این نمونه‌ها نشان داد که ایجاد تونل باد در دره‌های شهری در مقابل بادهای مطلوب شهری می‌تواند بر درجه حرارت محیط تأثیرگذار باشد، بنابراین می‌توان گفت دمای محیط با آسایش حرارتی بیرونی نسبتی معکوس دارد. به‌عبارت‌دیگر هرچه قدر دمای محیط در فصل تابستان کاهش یابد میزان سلامت افراد با کاهش مشکلات جسمی و روحی، ارتقا می‌یابد لذا عناصر فرم شهری بر کاهش دمای سطوح و محیط دارد. این نتایج با بررسی‌های (Abreu-Harbach et al., 2014; Sen and Roesler, 2020) همخوانی داشته و تأثیرات باد را در دره‌های شهری در جهت ارتقا آسایش حرارتی بیرونی مورد تأیید قرار می‌دهد. بنابراین بررسی عناصر فرم شهری

ارتفاع به عرض (H/W) و سایه‌اندازی حاصل از آن نقش مهمی را در کاهش دمای محیط ایفا می‌کند این نتیجه با مطالعات گذشته (Yang et al., 2015; Yang et al., 2016) هم‌خوانی داشته و مورد تأیید است. از سویی دیگر شبیه‌سازی‌های انجام‌گرفته اختلاف دمایی سه بافت را نشان می‌دهد به‌طوری‌که اختلاف میانگین شاخص (ΔPET) در ساعات استرس گرمایی در بافت عامل برابر با $0/68^{\circ}\text{C}$ در بافت قلعه ساختمان برابر $2/53^{\circ}\text{C}$ و در شهرک حجت برابر $3/27^{\circ}\text{C}$ است که استرس گرمایی بافت شهرک حجت نسبت به دو بافت دیگر بیشتر است و ساعات بیشتری در عدم آسایش حرارتی بیرونی به سر می‌برد که این امر حاکی از اختلاف دمایی در هر سه بافت است؛ اما همین اختلاف، نشأت گرفته از پارامترهای مختلف محیطی در سه فرم شهری است. یکی از این پارامترها، پوشش سطوح فضای باز و مصالح مورداستفاده در پوسته خارجی ساختمان‌ها است که توسط شاخص میانگین دمای تابشی (T_{mrt}) نشان داده می‌شود که پارامتری مهم در ایجاد تعادل گرمایی در محیط است. بررسی‌ها نشان می‌دهد که شاخص میانگین دمای تابشی (T_{mrt}) با شاخص PET رابطه مستقیمی دارد و هرچه قدر میزان شاخص میانگین دمای تابشی افزایش یابد بالطبع آن شاخص PET نیز افزایش می‌یابد و بالعکس این نتایج با مطالعات (Jamei and Rajagopalan, 2018) همخوانی دارد و تأثیر این پارامتر را در تغییرات شاخص PET مورد تأکید قرار می‌دهد. لذا بالا بودن میانگین دمای تابشی در بافت شهرک حجت نسبت به بافت عامل و قلعه ساختمان در ساعات اوج گرما، نشان از بالا بودن میزان بازتابش گرما به محیط در بافت شهرک حجت نسبت به دو بافت دیگر است. بالاتر بودن میانگین دمای تابشی (T_{mrt}) در بافت شهرک حجت به معنای بازتابش گرمای بیشتر از سطوح شهری است و می‌تواند ارتباط تنگاتنگی با مصالح به‌کاررفته در این بافت و میزان دسترسی خورشید و در نتیجه تأثیر نسبت ارتفاع به عرض (H/W) بر دمای محیط و سطوح داشته باشد. آجر به دلیل رنگ و بافت،

نماید. همچنین با بازتر شدن دسترسی به آسمان افزایش رهاسازی گرمای نهان به آسمان را فراهم سازد، پیشنهاد می‌شود. از دیگر دستاوردهای این تحقیق توجه به استفاده از مصالح بومی در طراحی و برنامه‌ریزی شهری است که درباره شهر مشهد که موضوع این تحقیق است، استفاده از مصالح آجر پیشنهاد می‌شود. در جدول ۴ استراتژی‌های خنک‌سازی محیط‌های شهری پیشنهاد شده است. علاوه بر این بایستی تأکید کرد استفاده از مصالح که بازتابش کمی را به محیط دارند سبب می‌شود تا میانگین دمای تابشی سطوح کاهش یابد. این امر به‌ویژه در بافت عامل با مصالح آجر نسبت به مصالح سنگ کاملاً محسوس است. پیشنهاد می‌شود در پژوهش‌های آتی نسبت به بررسی هندسه‌های شهری مشابه در الگوهای بافت‌های پیچیده و مختلف در اقلیم‌های مختلف برای ارائه راهکارهای کاربردی مؤثر بر آسایش حرارتی بیرونی مدنظر قرار گیرد.

در سه بافت نشان می‌دهد که هرچند نسبت ارتفاع به عرض (H/W) یکی از مهم‌ترین عناصر فرم شهری است و هرچقدر این نسبت بیشتر شود سایه‌اندازی و به تبع آن شاخص PET بهبود می‌یابد اما تنها ایجاد سایه‌اندازی بر این کاهش کافی نیست. بررسی‌ها نشان می‌دهد که باد می‌تواند بر کاهش دما تأثیرگذار باشد. هرچند بالا بودن نسبت ارتفاع به عرض و کاهش ضریب نمایانی آسمان ایجاد سایه‌اندازی کرده اما رهاسازی گرمای محیط شهری به آسمان را در طول روز کاهش می‌دهد و در هنگام شب با کاهش دمای محیط این گرما وارد محیط‌های شهری می‌شود و سبب گرم شدن محیط‌های شهری می‌شود. از این رو از جمله دستاوردهایی که این پژوهش می‌تواند به برنامه‌ریزان و مدیران کمک کند در نظریه‌گیری این موضوع است که در برنامه‌ریزی‌های آتی پیشنهاد می‌شود تا از نسبت‌های مختلف ارتفاع به عرض در دره‌های شهری که بتواند با سایه‌اندازی دمای محیط را کاهش دهد، استفاده

جدول ۴. استراتژی‌های خنک‌سازی محیط شهری

مقیاس استراتژی	چگونگی اندازه‌گیری	روش‌های اجرایی آن
فضاهای باز شهری	دره‌های شهری و نسبت‌های H/W	استفاده از نسبت‌های ارتفاع به عرض متفاوت در ساخت‌وسازهای آتی که علاوه بر ایجاد سایه‌اندازی در دره‌های شهری، سبب محبوس نشدن گرما در طول روز در دره‌های شهری می‌شود. نسبت $2 \leq H/W$ بهینه‌ترین نسبت برای ایجاد سایه‌اندازی و کاهش ضریب نمایانی آسمان در شهر مشهد است؛ هرچقدر که این نسبت کاهش یابد، می‌باید استفاده از پوشش درختان در دره‌های شهری افزایش یابد.
پوشش فضاهای باز		کاهش استفاده از سطوح نفوذناپذیر همچون آسفالت در فضاهای باز به منظور ایجاد تبخیر و تعریق در محیط می‌تواند کاهش شدت گرما را در پی داشته باشد.
	پوشش فضاهای باز	مصالح تیره‌رنگ باعث محبوس شدن گرما در درون خود می‌شود و استفاده از مصالح با آلبدوی بیشتر (رنگ‌های روشن) می‌تواند با ایجاد تعادل گرمایی در محیط‌های شهری، میزان گرمای محبوس شده را فضاهای باز و آسفالت‌ها کاهش دهد.

5. Physiologically Equivalent Temperature (PET)
6. Universal Thermal Climate Index (UTCI)
7. Munich Energy Balance Model for Individuals
8. Receptors

یادداشت‌ها

1. Urban boundary-layer
2. Mix layer
3. Urban canopy layer
4. Predicted Mean Vote (PMV)⁴

منابع

امیر فخریان، م. رهنما، م.م. آقاجانی، ح. (۱۳۹۱). اولویت‌بندی نیاز به خدمات بهداشتی درمانی محلات حاشیه‌نشین شهر مشهد

بر اساس سیستم پشتیبانی فضایی چند معیاره. مجله آمایش جغرافیایی فضا، ۲(۶)، صص ۳۶-۱۷.

ثناگر دربارنی، ا. رفیع‌ان. م. حنایی، ت. منصفی پراپری، د. (۱۳۹۶). اثرات زیست‌محیطی تغییرات هندسه بافت شهری بر دمای محیط و آسایش حرارتی بیرونی در اقلیم خشک شهر مشهد (نمونه موردی بافت قدیمی پاچنار و بافت جدید شاهد). محیط شناسی، ۴۳ (۴)، صص ۵۶۱-۵۷۸.

حیدری، ش. و منعم، ع. (۱۳۹۲). ارزیابی شاخصه‌های آسایش حرارتی در فضای باز. جغرافیا و توسعه ناحیه‌ای، ۱۱(۲۰)، صص ۲۱۶-۱۹۷.

ذوالفقاری، ح. (۱۳۸۶). تعیین تقویم زمانی مناسب برای گردش در تبریز با استفاده از شاخص و متوسط نظرسنجی پیش بینی شده PMV و دمای معادل فیزیولوژی (PET). پژوهش‌های جغرافیایی، ۳۹ (۶۲)، صص ۱۴۱-۱۲۹.

مهندسین مشاور فرهاد، (۱۳۸۸). گزارش مطالعات پایه محیط انسان‌ساخت جلد مسکن و نحوه سکونت، جلد اول.

Abreu-Harbach, L. V., Labaki, L. C., & Matzarakis, A. (2014). Thermal bioclimate in idealized urban street canyons in Campinas, Brazil. *Theoretical and Applied Climatology*, 115(2-1), 115-223.

Akbari, H. (2005). *Energy Saving Potentials and Air Quality Benefits of Urban Heat Island Mitigation*, Lawrence Berkeley National Laboratory: Lawrence Berkeley National Laboratory.

Akbari, H., Bretz, S., Kurn, D. M. and Hanford, J. (1997). Peak power and cooling energy savings of high-albedo roofs. *Energy and Buildings*, 25(2), 117-126.

Amirtham, L. R. (2010). *Effect of urbanization on urban heat island and thermal comfort in chennai metropolitan area* (PHD Thesis), Anna University.

Baruti, M. M., Johansson, E., & Åstrand, J. (2019). Review of studies on outdoor thermal comfort in warm humid climates: challenges of informal urban fabric. *International Journal of Biometeorology*, 63(10), 1449-1462.

Bramley, G., & Kirk, K. (2005). Does Planning Make a Difference to Urban Form? Recent Evidence from Central Scotland. *Environment and Planning*, 37(2), 355-378

Bruse, M. (1999). *The Influences of Local Environmental Design on Microclimate Development of a Prognostic Numerical Model ENVI-Met for the Simulation of Wind, Temperature and Humidity Distribution in Urban Structures* (PHD Thesis). University of Bochum.

Clifton, K., Ewing, R., Knaap, G. J., & Song, Y. (2008). Quantitative analysis of urban form: a multidisciplinary review. *Journal of Urbanism: International Research on Placemaking and Urban Sustainability*, 1(1), 17-45.

Cuthbert, A. L., & Anderson, W. P. (2002). An examination of urban form in Halifax-Dartmouth: Alternative approaches in data. *Canadian Journal of Urban Research*, 11(2), 213-237.

Dai, Q. (2014). *The Impact of Urban Form on Thermal Comfort across Street Zones* (PHD Thesis), The Chinese University of Hong Kong.

Dempsey, N., Brown, C., Raman, S., Porta, S., Jenks, M., Jones, C., & Bramley, G. (2010). *Elements of Urban Form*. Dordrecht, Springer Netherlands.

Erell, E., Pearlmutter, D., & Williamson, T. J. (2011). *Urban Microclimate: Designing the Spaces Between Buildings*. Taylor & Francis.

Fabbri, K. (2015). *Indoor Thermal Comfort Perception: A Questionnaire Approach Focusing on Children*. Switzerland, Springer International Publishing.

Fanger, P. (1970). *Thermal comfort. Analysis and applications in environmental engineering*. Danish Technical Press, Copenhagen, Denmark

- Fröhlich, D. , &Matzarakis, A.(2013). Modeling of Changes in Human Thermal Bioclimate Resulting from Changes in Urban Design: Example Based on a Popular Place in Freiburg, Southwest Germany. *Theoretical and Applied Climatolog*,443-449.
- Galal, O. M., Mahmoud, H., & Sailor, D.(2020).Impact of evolving building morphology on microclimate in a hot arid climate. *Sustainable Cities and Society*,54,102011 .
- Gambo Hamza ,Y., Ameta, S., Tukur, A. , & Usman, A.(2020). Overview on Evidence and Reality of Climate Change. *Journal of Environmental Science Toxicology and Food Technology*, 14,17-26.
- Höppe, P.(1999). The physiological equivalent temperature—a universal index for the assessment of the thermal environment. *International Journal of Biometeorol*, 43,71-75.
- Horrison, E. , &Amirtham, L.(2016). Role of Built Environment on Factors Affecting Outdoor Thermal Comfort - A Case of T. Nagar, Chennai, India. *Indian Journal of Science and Technology*, 9(5),1-4.
- IPCC.(2007).*Climate Change Synthesis Report – Summary for Policymakers. Cambridge University Press, Assessment of Working roups I, II, and III. the Third Assessment Report of the International Panel on Climate Change.*
- IPCC.(2018).*Global Warming of 1.5°C. Intergovernmental Panel on Climate Change Special Report. Geneva, Switzerland.*
- Irger, M.(2014).*The Effect Of Urban Form On Urban Microclimate*(PHD Thesis). The University of New South Wales
- Jamei, E. , & Rajagopalan, P.(2018). Effect of street design on pedestrian thermal comfort. *Architectural Science Review*, 11(2),62-92.
- Lee, H. , &Mayer, H.(2018). Thermal comfort of pedestrians in an urban street canyon is affected by increasing albedo of building walls. *International Journal of Biometeorology*, 62.
- Lee, L. S. H. , & Jim, C. Y.(2019).Urban woodland on intensive green roof improved outdoor thermal comfort in subtropical summer. *International Journal of Biometeorology*, 63(7),895-909.
- Matzarakis, A., & Mayer, H.(1996). Another kind of environmental stress: thermal stress. *WHO Colloborating Centre for Air Quality Management and Air Pollution Control Newsletter*,18,7-10.
- Matzarakis, A., Mayer, H., &Iziomon, M.(1999). Applications of a universal thermal index: physiological equivalent temperature. *International Journal of Biometeorology*,43(2),76-84.
- Matzarakis, A., Rutz, F., & Mayer, H.(2007). Modelling radiation fluxes in simple and complex environments: basics of the RayMan model. *International Journal of Biometeorology*, 54(2), 131-139
- Mayer, H., &Höppe, P.(1987). Thermal comfort of man in different urban environments. *Theor Appl Climatol*,38, 43-49.
- Muniz-Gäal, L. P., Pezzuto, C. C., Carvalho, M. F. H. d., &Mota, L. T. M.(2020). Urban geometry and the microclimate of street canyons in tropical climate. *Building and Environment*,169, 106547
- Oke, T.R. (1987). *Boundary Layer Climates*. 2nd Edition, Methuen Co., London, New York,
- Oke, T. R. (2006).*Initial guidance to obtain representative meteorological observations at urban sites*. WHO/TD.
- Oliver, J. E.(2005).*Encyclopedia Of World Climatology* .Springer Netherlands.
- Oliveira, V.(2016). *Urban Morphology an Introduction to the Study of the Physical Form of Cities*. Springer International Publishing
- Peng ,Y., Feng, T., &Timmermans, H.(2019). A path analysis of outdoor comfort in urban public spaces.*Building and Environment*, 148,459-467.
- Prasad, N., Ranghieri, F., Shah, F., &Trohanis, Z.(2009). *Climate Resilient Cities : A Primer on Reducing Vulnerabilities to Disasters*. Washington, DC, World Bank.

- Roaf, S., Crichton, D., & Nicol, F.(2009). *Adapting Buildings and Cities for Climate Change: A 21st Century Survival Guide*. Oxford, United Kingdom, Taylor & Francis Ltd.
- Santamouris, M., Adnot, J., Klitsikas, N., Orphelin, M., Lopes, C., & Sanchez, F.(2004). *Cooling the cities: Energy Efficient Cooling systems and techniques for urban buildings*. Greece, university of Paris.
- Saud Alzinafer, B. M.(2014). *The impact of neighbourhood geometries on outdoor thermal comfort and energy consumption from urban dwellings a case study of the riyadh city, the kingdom of saudi arabia*(PHD Thesis), Cardiff University.
- Sen, S. and Roesler, J.(2020). Wind direction and cool surface strategies on microscale urban heat island. *Urban Climate*, 31,100548.
- Shahmohamadi, P., Che-Ani, A. I., Etesam, I., Maulud, K. N. A., & Tawil, N. M.(2011). Healthy Environment: The Need to Mitigate Urban Heat Island Effects on Human Health. *Procedia Engineering*, 20(Supplement C),61-70.
- Szokolay S. V.2008. *Architectural Science The Basis Of Sustainable Design*, Elsevier.
- Xiong, Y., Zhang, J., Xu, X., Yan, Y., Sun, S., & Liu, S.(2020). Strategies for improving the microclimate and thermal comfort of a classical Chinese garden in the hot-summer and cold-winter zone. *Energy and Buildings*, 215.109914.
- Yang W., Wong, N. H., & Lin, Y.(2015). Thermal Comfort in High-rise Urban Environments in Singapore. *Procedia Engineering*, 121(Supplement C),2125-2131
- Yıldırım ,M.(2020). Shading in the outdoor environments of climate-friendly hot and dry historical streets: The passageways of Sanliurfa, Turkey. *Environmental Impact Assessment Review*, 80,1-11.
- Yang, W., Wong, N. H., & Li, C.-Q.(2016). Effect of Street Design on Outdoor Thermal Comfort in an Urban Street in Singapore. *Journal of Urban Planning and Development*, 142(1),1-19.