

Evaluation of Variation Geometry of Urban Texture on Outdoor Thermal Comfort Conditions Case Study: Old and Middle Residential Fabric of Shiraz City

Mahsa Sholeh^{1*}, Alireza Sadeghi², Maryam Ebadi³.

1- Assistant Professor of Urban Design, Shiraz University, Shiraz, Iran

2- Assistant Professor of Urban Design, Shiraz University, Shiraz, Iran

3- M.A. student of Urban Design, Shiraz University, Shiraz, Iran

Received: 24 March 2021

Accepted: 27 July 2021

Extended abstract

Introduction

Improving people's thermal comfort in outdoor spaces is one of the most important goals of achieving the desirable design in these spaces. Today, the issue of thermal comfort in the "manufactured environment" is considered as a vital factor that affects health and the level of mental comfort of urban residents. Special attention to the issue of thermal comfort of people in outdoor spaces is of fundamental importance due to its direct impact on cognitive function and efficiency and as an important principle, it should be considered in the process of designing open urban spaces. Because comfortable outdoor spaces within urban fabrics can provide opportunities for people to participate and increase their social participation. Residential textures, as the core of urban areas, require high energy to meet the cooling and comfort needs of their residents. Also, this challenge stems from the undesirable design of these textures in modern times. It is essential to control "local micro- climate" in order to achieve the thermal comfort of the residents. The aim of this study was to investigate the micro-climate conditions of old and middle textures of Shiraz city on a summer day with extreme heat stress, so that during the hottest hour of the day, the correlation between the geometry of old and middle textures with comfort index Thermal "PMV" was measured and the thermal comfort conditions in the old and middle textures were studied.

Methodology

In order to conduct the present research, descriptive-analytical research method has been used in the context of library studies and quantitative measurement using two software ENVI-met 4 basic and SPSS. The most important advantage of this software is that it is one of the first models that seeks to produce the main processes in the atmosphere and calculates all the important meteorological factors. "Envi-met" software has been used in various studies, but in this study, the research method of those studies that have provided a basis for conducting our research has been studied. The aim of this research is to measure the thermal comfort on a hot summer day with the maximum air temperature in different climates, all studies have been done using " Envi-met " software and have been mainly based on "simulation". In this study, a simulation for the date of 21 July in the "thirty-year period" was performed. For this purpose, the weather data entered into the " Envi-met " software based on the 30-year weather data taken

* . Corresponding Author (Email: msholeh@ut.ac.ir)

Copyright © 2021 Journal of Sustainable City. This is an open-access article distributed under the terms of the Creative Commons Attribution- noncommercial 4.0 International License which permits copy and redistribute the material just in noncommercial usages provided the original work is properly cited.

from the official sites of Shiraz city and using Autodesk Ecotect software for an average of 30 years, 21 July has been taken to simulate the hourly output that has been entered into the "Envi-met" software for date of "21 July". The "PMV" thermal comfort index for the selected areas located in the old and middle textures was extracted between 9 am and 16 pm and specifically at 15 pm with maximum temperature. Then, using "SPSS" statistical software to analyze the correlation between air temperature variables ($^{\circ}$ C), wind speed (m/s), relative humidity (%), Mean radiant temperature ($^{\circ}$ C) and urban geometry parameter "Sky view factor" with the "PMV" thermal comfort index at 15:00 pm in each of the "old and middle" textures.

Results and discussion

According to statistical analyzes and results obtained in both textures, it was found that in the middle texture, the correlation rate of "PMV" thermal comfort index with the variables of "Sky view factor" coefficient (0.885) and "Mean radiant temperature" (0.689) and in the old texture has a strong and positive correlation between "PMV" thermal comfort index and "wind speed" (0.935) and "Sky view factor" (0.762). It can be said that "Sky view factor" coefficient as one of the components of urban texture geometry in both textures, has a very positive and direct correlation with "PMV" thermal comfort index. Also, according to the obtained outputs related to the thermal comfort index "PMV", in the old and middle texture and according to the 7-degree ASHRAE standard (ASHRAE Standard 55,2004: 2) related to the "PMV" index was determined. The old texture feels less heat stress than the middle texture between 9 a.m. and 16 p.m., and especially at 15 p.m. And it is in the range of more thermal comfort, which is due to the special geometric features of the old texture, such as the street orientation, aspect ratio and sky view factor compared to the middle texture.

Conclusion

According to the results obtained related to the thermal comfort index "PMV", the selected points in both old and middle textures were determined that the old texture studied in time intervals and according to the Ashri standard, is in the range of low and medium heat stress and has more thermal comfort than the middle texture. Thus, the old and middle textures with their specific spatial layout, absorb different amounts of solar energy during the day and as a result, different levels of thermal comforts are created that organic urban layouts, such as old texture with higher levels of shading, are more efficient during the summer and provide more thermal comfort.

Keywords: Outdoor Thermal Comfort, Urban Geometry, Urban Fabric, "PMV" Index, ENVI-Met.

سنجش تغییرات هندسه بافت شهری بر شرایط آسایش حرارتی بیرونی مطالعه موردی: بافت مسکونی قدیمی و میانی شیراز

مهسا شعله^۱ - استادیار طراحی شهری، دانشگاه شیراز، شیراز، ایران
علی رضا صادقی - استادیار طراحی شهری، دانشگاه شیراز، شیراز، ایران
مریم عبادی - دانشجوی کارشناسی ارشد طراحی شهری، دانشگاه شیراز، شیراز، ایران

تاریخ پذیرش: ۱۴۰۰/۰۵/۰۵

تاریخ دریافت: ۱۴۰۰/۰۱/۰۴

چکیده

تأمین آسایش حرارتی شهروندان در فضاهای باز به عنوان اصلی مهم جهت حضور آن‌ها در فضاهای بیرونی بافت‌های مسکونی تلقی می‌شود. هدف پژوهش حاضر، سنجش تغییرات هندسه بافت شهری بر دمای محیط و آسایش حرارتی بیرونی در دو بافت مسکونی قدیمی و میانی شهر شیراز است تا با شناخت رابطه بین متغیرهای اقلیمی مؤثر بر آسایش حرارتی و خصوصیات هندسه بافت‌های مذکور، امکان ارائه راهکارهای مناسب جهت افزایش کیفیت فضاهای بیرونی در دو بافت ارائه گردد. جهت انجام پژوهش از روش تحقیق توصیفی - تحلیلی در بستری از مطالعات کتابخانه‌ای و سنجش کمی با استفاده از دو نرم‌افزار ENVI-met و SPSS بهره برده شده است. در مرحله اول با استفاده از منابع کتابخانه‌ای مؤلفه‌های هندسه شهری مؤثر بر آسایش حرارتی در فضاهای بیرونی شناسایی شد. سپس با بهره‌گیری از نرم‌افزار انویمت به شبیه‌سازی نقاط منتخب در این دو بافت پرداخته و شاخص آسایش حرارتی «PMV»، برای نقاط مشخص در گرم‌ترین ماه سال بر اساس اقلیم شیراز و داده‌های آب هوایی سی‌ساله استخراج گردید و توسط نرم‌افزار «SPSS» تحلیل شد. نتایج نشان می‌دهد که رابطه معناداری میان «ضریب دید به آسمان» به عنوان یکی از مؤلفه‌های هندسه بافت مسکونی منتخب با میزان آسایش حرارتی در بافت‌های قدیم و میانی وجود دارد و مقادیر عددی به دست آمده شاخص «PMV»، با استناد به استاندارد ۷ درجه‌ای اثری نشان داد که میزان آسایش حرارتی در بافت قدیم بیشتر از بافت میانی است و این موضوع ناشی از جهت‌گیری معابر و میزان محصوریت آن‌هاست.

واژگان کلیدی: آسایش حرارتی بیرونی، هندسه شهری، بافت شهری، شاخص آسایش حرارتی، ENVI-met.

مقدمه

به دلیل بالا رفتن دمای هوا ناشی از تغییرات اقلیمی در سطح جهانی، وقوع مکرر امواج گرما (Peng et al, 2019:460) و با طرح مباحث پایداری در دهه شصت، توجه به تأمین «آسایش حرارتی» از اهمیت به سزایی برخوردار می‌باشد (Biqaraz et al, 2019:212). اخیراً تعداد مطالعات مرتبط با آسایش حرارتی در فضاهای باز به طرز چشمگیری افزایش یافته است که با اهداف و روش‌های مختلفی انجام شده است (Barakat et al, 2017:533). زیرا فضاهای باز دارای آسایش، درون «بافت‌های شهری» می‌توانند فرصت‌های لازم را جهت حضور و افزایش مشارکت اجتماعی ایجاد کنند (Wheeler, 2004:41). وجود بخش عمده‌ای از فضاهای باز در بافت‌های شهری سبب گردیده است که تأمین آسایش حرارتی در این فضاها در راستای دستیابی به محیطی مطلوب برای کاربران فضا امری ضروری تلقی گردد. بدین‌سان، تحقیقات مرتبط با آسایش حرارتی در فضاهای باز در جهت طراحی شهری مطلوب برای کاربران فضا امری حیاتی محسوب می‌شود (Peng et al, 2019:460). امروزه بررسی موضوع آسایش حرارتی در «محیط مصنوع» به‌عنوان یک عامل حیاتی می‌باشد که بر روی میزان آسایش ذهنی و کارایی ساکنان شهری تأثیرگذار است (Nazarian et al, 2019:145). بافت‌های مسکونی به‌عنوان هسته اصلی نواحی شهر (Yang et al, 2019:2)، نیازمند انرژی بالایی برای تأمین نیازهای خنک‌سازی و آسایش ساکنین خود هستند و این چالش ناشی از طراحی غیر مطلوب بافت‌های مذکور در دوران معاصر است. بنابراین کنترل «خرده اقلیم‌های محلی» در راستای دستیابی به آسایش حرارتی ساکنان امری ضروری است (Barakat et al, 2017:534)؛ چرا که شرایط خرده اقلیمی فضاهای باز و بیرونی بافت‌های شهری بر ادراک حرارتی افراد تأثیرگذار است (Fang et al, 2017:2457). در ادبیات خارجی در دهه‌های اخیر و با افزایش موج گرما و توجه به اصول طراحی‌های اقلیمی، توجه بیشتری به مقوله آسایش حرارتی در فضاهای بیرونی معطوف گردیده است. اما در پژوهش‌های داخلی، به موضوع رویکرد آسایش حرارتی کاربران در فضاهای باز و بیرونی بافت‌های شهری کمتر پرداخته شده است، که در زیر به شرح تحقیقات خارجی و داخلی مرتبط به تفکیک پرداخته شده است:

بیغرض و همکاران در سال ۲۰۱۹، با استفاده از «نرم‌افزار انویمت» به محاسبه شاخص آسایش حرارتی «دمای معادل فیزیولوژیکی» در فضای بیرونی بافت‌های تاریخی و جدید شهر لار پرداختند، نتایج با توجه به هندسه شهری دو نوع بافت مختلف و میزان و پوشش گیاهی موجود در هر دو بافت، نشان داد که ساکنان از شرایط حرارتی بافت تاریخی شهری رضایت کمتری دارند که این امر ناشی از عدم توجه به فضای عمومی شهری در این بافت و کمبود پوشش سبز در معابر عمومی این بافت می‌باشد (Biqaraz et al, 2019:214). یحیی و همکاران در سال ۲۰۱۸، با بررسی شرایط آسایش حرارتی در فصول گرم و سرد و محاسبه «دمای معادل فیزیولوژیکی» با استفاده از انویمت، نقاط قوت و ضعف در طراحی شهری موجود در دارالسلام تانزانیا شبیه‌سازی نمودند. نتایج نشان داد که مناطق شهری با ساختمان‌های مرتفع دارای دمای تابشی کمتر و سرعت باد کمتری بودند (Yahia et al, 2018:373). ژانگ و همکاران در سال ۲۰۱۷، تأثیر عوامل طراحی را بر آسایش حرارتی عابران پیاده با شاخص «درجه حرارت مؤثر استاندارد» برای یک روز معمولی تابستانی در گوانگژو چین با استفاده از نرم‌افزار انویمت شبیه‌سازی کردند. نتایج نشان داد که خیابان‌هایی با جهت‌گیری

- 1 . Thermal comfort
- 2 . Urban Fabric
- 3 . Built environment
- 4 . Local Micro climate
- 5 . ENVI-met software
- 6 . Physiological Equivalent Temperature (PET)
- 7 . standard effective temperature (SET)

شمال غربی - جنوب شرقی، آسایش حرارتی بهتری نسبت به خیابان‌های شرقی - غربی دارند. باراکات^۱ و همکاران در سال ۲۰۱۷، به محاسبه میزان شاخص آسایش حرارتی «میانگین رأی پیش‌بینی‌شده» در محله‌های موجود درالعرب در مصر پرداختند، در این راستا سناریوهایی با تأکید بر عناصر مختلفی در محله موجود ارزیابی شد، نتایج نشان داد که تغییرات در شبکه خیابانی، طراحی منظر و توجه به مصالح سبب افزایش سطح آسایش حرارتی در فضاهای باز محله می‌شود. یونسی و خراط^۲ در سال ۲۰۱۶، سه بافت موجود در شهر تونس را در راستای بررسی کارایی این بافت‌ها از منظر آسایش حرارتی «شاخص اقلیمی گرمایی جهانی»^۳، به کمک مدل انویمت شبیه‌سازی کرده‌اند. نتایج نشان داد که در شهر تونس، خیابان‌هایی با جهت‌گیری شمالی و با نسبت محصوریت آسایش حرارتی مطلوبی را برای عابران پیاده ایجاد می‌کند. لین^۴ و همکاران در سال ۲۰۱۰، با استفاده از مدل «ریمن»^۵ به تجزیه و تحلیل شرایط حرارتی در فضای باز در یک دانشگاه در مرکز تایوان پرداخته‌اند و از شاخص حرارتی «دمای معادل فیزیولوژیکی» استفاده کرده‌اند، نتایج نشان داده است که میزان آسایش حرارتی در طول تابستان در نقاط سایه‌دار حدود ۵۰ درصد و در نقاطی با میزان سایه کمتر حدود ۲۰ درصد می‌باشد و افزایش میزان ضریب دید به آسمان در تابستان باعث عدم آسایش حرارتی و در زمستان برعکس آن است. کرمی راد و همکاران در سال ۱۳۹۶، به بررسی سنجش تأثیر هندسه شهری بر شرایط آسایش حرارتی بیرونی در فضاهای باز مجتمع مسکونی گلدشت شهر شیراز با استفاده از روش شبیه‌سازی انویمت پرداختند و با انتخاب نه نقطه در سایت موردنظر به بررسی متغیرهای اقلیمی پرداخته و شاخص «میانگین رأی پیش‌بینی‌شده» را محاسبه کرده‌اند نتایج آن‌ها نشان داد که همبستگی معناداری مابین «دمای میانگین تابشی» با شاخص آسایش حرارتی «میانگین رأی پیش‌بینی‌شده» دارد. در این رابطه افزایش دمای میانگین تابشی منجر به افزایش استرس حرارتی محیط شده و بنابراین کاهش آسایش حرارتی را برای عابران پیاده در پی خواهد داشت. منتظری و همکاران در سال ۱۳۹۷، با به‌کارگیری روش شبیه‌سازی و با استفاده از نرم‌افزار انویمت به بررسی شرایط آسایش حرارتی با استفاده از شاخص «میانگین رأی پیش‌بینی‌شده»، برای گرم‌ترین ماه سال در شهر یزد پرداختند، سپس با مقایسه آسایش حرارتی و عوامل فیزیکی محیط، به شناسایی معیارهای فرم کالبدی مؤثر در تحقق آسایش حرارتی پرداختند. نتایج آن‌ها نشان داد که ابعاد کالبدی، فضایی و محیطی عناصر تشکیل‌دهنده فرم شهری، ازجمله عوامل مؤثر بر آسایش حرارتی در فضاهای باز هستند. ثناگردبانی و همکاران در سال ۱۳۹۷، به ارزیابی اثرات تغییرات اقلیمی بر تغییرات آسایش حرارتی بیرونی با استفاده از شاخص «دمای معادل فیزیولوژیکی» در شهر مشهد پرداختند روش گردآوری اطلاعات آن‌ها به‌صورت مطالعات کتابخانه‌ای و استفاده از داده‌های ایستگاه هواشناسی شهر مشهد در بازه زمانی ده‌ساله و با استفاده از نرم‌افزار ریمن و اکسل بوده است. نتایج نشان داد که تأثیرات موج گرما در شهر مشهد در ماه‌های تیر و مرداد بر روی آسایش حرارتی بیرونی تأثیر گذاشته است و سبب شده تا در این ماه‌ها، سلامت انسان‌ها بیشتر به خطر بیفتد. همچنین بررسی‌های تغییرات آسایش حرارتی بیرونی در فصل زمستان این شهر نشان می‌دهد که میزان گرم شدن این فصول روند سریعی را در پیش گرفته است.

همان‌گونه که در بخش مقدمه مطرح گردید و با جمع‌بندی از نتایج پژوهش‌های خارجی و داخلی، مشخص گردید که هندسه بافت‌های شهری ازجمله عوامل تأثیرگذار بر شرایط آسایش حرارتی در فضاهای باز و بیرونی می‌باشد در همین راستا هدف از پژوهش حاضر، بررسی شرایط آسایش حرارتی خرد اقلیم‌های بافت قدیمی و میانی شهر شیراز در گرم‌ترین

1 .Barakat

2 .Predicted Mean Vote (PMV)

3 .Younsi & Kharrat

4 .Universal Thermal Climate Index (UTCI)

5 .Lin

6 .Ray Man

ماه سال با استناد به داده‌های آب‌وهوایی سی‌ساله می‌باشد، به‌طوری‌که در طول گرم‌ترین ساعت روز، میزان همبستگی نوع هندسه بافت‌های قدیم و میانی با شاخص آسایش حرارتی «PMV» استخراج گردیده و شرایط آسایش حرارتی در بافت‌های قدیمی و میانی موردبررسی و سنجش قرار گرفت. بنابراین نوآوری تحقیق مذکور در بررسی تفاوت‌های فرمیک دو بافت قدیمی و میانی با هندسه مختص به خود و با استفاده از نرم‌افزارهای اقلیمی معتبر در سطح جهانی در پاسخ به نیازهای مرتبط با آسایش حرارتی کاربران این بافت‌ها می‌باشد که در تحقیقات داخلی کمتر به این رویکرد پرداخته‌شده است. بنابراین با توجه به هدف تحقیق، پژوهش مذکور به دنبال پاسخ به سؤالات زیر می‌باشد:

آیا هندسه شهری و مؤلفه‌های تشکیل‌دهنده آن تأثیر به‌سزایی بر شرایط آسایش حرارتی فضاهای بیرونی در بافت‌های مختلف شهری دارند؟ میزان همبستگی متغیرهای اقلیمی (دمای هوا، میانگین دمای تابشی، سرعت باد، رطوبت هوا) با متغیر هندسه شهری (ضریب دید به آسمان) چگونه است؟ آیا تفاوت‌های هندسه بافت‌های قدیمی و میانی دارای رابطه معناداری با شرایط آسایش حرارتی فضاهای بیرونی بافت‌ها است یا خیر؟

مبانی نظری

مورفولوژی یا ریخت‌شناسی شهری به معنای مطالعه فرم‌های شهری (Díaz-Negrillo & Hernández, 2008:24)، به بررسی پیچیدگی فضاهای شهری در گروه‌های مختلف ازجمله عناصر ساختمانی و کالبدی می‌پردازد (Suryawinata et al, 2018:1) و شامل تحلیل یکپارچه کالبدی بافت شهری است و با سه عنصر کالبدی ساختمان، خیابان، محله قابل بررسی است (Moudon, 1994:292). از نظر مقیاس، مورفولوژی شهری طیف گسترده‌ای از مقیاس‌های ساختمان تا کلان‌شهر را در برمی‌گیرد. بافت شهری به‌عنوان الگویی معمولی از ساختمان‌ها، قطعات و خیابان‌ها تعریف می‌شود که دربرگیرنده توصیف ساختار کالبدی شهر در یک زمینه تاریخی و فرهنگی معین در مقیاس‌های متفاوتی از شهر است (Araldi & Fusco, 2019:1244). افراد زیادی بر اساس دیدگاه‌های مختلف به بررسی شاخص‌های ریخت‌شناسی شهری، پرداخته‌اند (Conzen, 1960; Radberg, 1996; Dempsey et al, 2002; Haupt et al, 2002; Trache, 2001; kropf, 1998; 2008; ۱۳۹۲؛ دكاوت، ۱۳۸۸؛ همكاران، ۱۳۸۸؛ همكاران، ۱۳۹۴). اما با توجه به این‌که در مورفولوژی شهری، «فرم شهر» دارای ابعاد گوناگونی است که به‌طور مستقیم و غیرمستقیم بر تغییرات اقلیمی و میزان مصرف انرژی در بافت‌های شهری تأثیرگذار است (Azhdari et al, 2018:6)، در این مقاله تلاش بر این شد که با توجه به پژوهش‌های انجام‌شده، متغیرهای فرم شهری مؤثر بر آسایش حرارتی در مقیاس بافت شهری در سه بعد «کالبدی»، «حرکت و دسترسی»، «زیست‌محیطی» دسته‌بندی و استخراج گردند که در جدول ۱ بدان اشاره‌شده است.

جدول شماره ۱. بررسی مؤلفه‌های فرم شهری در مقیاس بافت‌های شهری در بعد کالبدی - حرکت و دسترسی - زیست‌محیطی

پارامترهای طراحی شهری	مستند	کالبدی
نحوه ترکیب توده و فضا	بیانگر نسبت میان فضاهای پر و خالی	مرتضایی و همکاران، ۱۳۹۶؛ Trache, 2001
مساحت توده و فضا	بیانگر میزان فشردگی و پراکندگی بافت و جریان هوا در بین توده و فضا	ذاکر حقیقی و همکاران، ۱۳۸۸
مساحت فضاهای باز	نشان‌دهنده تهویه طبیعی هوا	مرتضایی و همکاران، ۱۳۹۶؛ Haupt et al, 2002
نوع کاربری	بیانگر منابع تولید گازهای آلوده و ایجاد جزایر حرارتی در شهر	Conzen, 1960؛ Dempsey et al, 2008؛ دكاوت حقیقی و همكاران، ۱۳۸۸؛ شمسی‌پور و همكاران، ۱۳۹۴
تراکم ساختمانی	نشان‌دهنده آسایش حرارتی با ایجاد سایه‌اندازی	Radberg, 1996؛ Haupt et al, 2002

ذکر حقیقی و همکاران، ۱۳۸۸		مؤلفه‌های حرکت و دسترسی
جهت‌گیری بلوک‌ها	نشان‌دهنده آسایش حرارتی اطراف بلوک با توجه به میزان سطح تابش و سایه‌اندازی.	
فاصله مابین بلوک‌ها	نشان‌دهنده میزان فشردگی بافت و نحوه ترکیب توده و فضا در کنار یکدیگر، میزان تهویه طبیعی و بهره‌مندی از انرژی خورشید، میزان سایه‌اندازی	
ضریب دید به آسمان	نشان‌دهنده رابطه متناظر ارتفاع و هندسه ساختمان‌ها، نشان‌دهنده تابش به سطح زمین	
قابلیت نفوذپذیری	نشان‌دهنده تعداد معابر منشعب از معبر اصلی برای هدایت به سمت بلوک موردنظر در راستای قابلیت دسترسی، تأثیرگذاری بر جهت و سرعت باد	
نسبت ارتفاع به پهنا	نشان‌دهنده نسبت ارتفاع به عرض معابر، میزان سطح تابش، سایه‌اندازی، جریان باد	
جهت‌گیری معابر	نشان‌دهنده موقعیت معابر درون بافت نسبت به زاویه تابش خورشید و ایجاد سایه‌اندازی، کوران باد و تهویه	
نوع و تراکم پوشش گیاهی	نشان‌دهنده تهویه طبیعی هوا، سبزی‌نگی در شهر، جلوگیری از ایجاد جزیره حرارتی در شهر	
مؤلفه	شمسی‌پور و همکاران، ۱۳۹۴	
نسبت	۱۳۹۲	

به‌منظور تجزیه و تحلیل بافت شهری و تأثیرات آن بر میزان آسایش حرارتی در فضاهای باز، نیاز به درک و توصیف مفهوم آسایش حرارتی در فضاهای باز و بیرونی ویژگی‌های بافت شهری از نظر هندسه شهری هم چون «نسبت ابعاد»، «جهت‌گیری خیابان» و «ضریب دید به آسمان» که از جمع‌بندی مؤلفه‌ها در سه بعد کالبدی، حرکت و دسترسی، زیست‌محیطی در پژوهش‌های پیشین استخراج گردید، می‌باشد. مطالعات مرتبط با آسایش حرارتی در دهه‌های اولیه قرن بیستم، با مطالعات «گاگ» متولد شد و با مطالعات افرادی هم چون «فنگر» و سایر محققان به‌عنوان یک‌رشته واقعی شناخته شد (Nikolopoulou, 2001:228). آسایش حرارتی، شرایط ذهنی است که بیان‌کننده میزان رضایت فرد از محیط حرارتی بیرونی است و به‌صورت ذهنی توسط فرد ارزیابی می‌شود (ASHRAE Standard, 2004:2). به‌طور کلی چندین شاخص در سطح جهانی هم چون (UTCI, WBGT, PET, PMV, SET) برای پیش‌بینی میزان آسایش حرارتی بر مبنای تعادل انرژی انسان در فضاهای باز مورد استفاده قرار گرفته است (Tong et al, 2017:213). یکی از این شاخص‌ها، «PMV» تحت عنوان «میانگین رأی پیش‌بینی‌شده» است که توسط پروفسور فنگر به‌عنوان پدر آسایش حرارتی مدرن در سال ۱۹۷۰ مطرح شده است (de Dear & Kim, 2016:91) و بعدها توسط «نیلر و جندریزکی» در سال ۱۹۸۱، در محیط‌های بیرونی و باز استفاده شد (Berkovic et al, 2012:1175). این شاخص بر اساس تعادل گرمای بدن انسان ساخته شده است که برای پیش‌بینی میانگین آسایش احساس حرارتی افراد کاربرد دارد (Johansson et al, 2013:25). شاخص مذکور برآیندی از شش مؤلفه اصلی است که به دو صورت عوامل محیطی و عوامل انسانی هم چون، «میزان فعالیت»، «سطح پوشش»، «دمای هوا»، «رطوبت نسبی»، «سرعت باد»، «دمای

- 1 . Aspect ratio
- 2 . Street orientation
- 3 . Sky View Factor
- 4 . Gagge
- 5 . Fenger
- 6 . Wet Bulb Globe Temperature (WBGT)
- 7 . Nubler & Jendritzky, 1981
- 8 . metabolic rate
- 9 . clothing level
- 1 . Air temperature 0
- 1 . Relative Humidity 1

جدول شماره ۲. مقدار آستانه شاخص «PMV» بر اساس استاندارد «اشری»

درجه تنش فیزیولوژیک	حساسیت حرارتی	شاخص PMV
تنش گرمایی شدید	بسیار گرم	+۳
تنش گرمایی متوسط	گرم	+۲
تنش گرمایی اندک	کمی گرم	+۱
بدون تنش	متعادل	۰
تنش سرمایی اندک	کمی سرد	-۱
تنش سرمایی متوسط	سرد	-۲
تنش سرمایی شدید	بسیار سرد	-۳

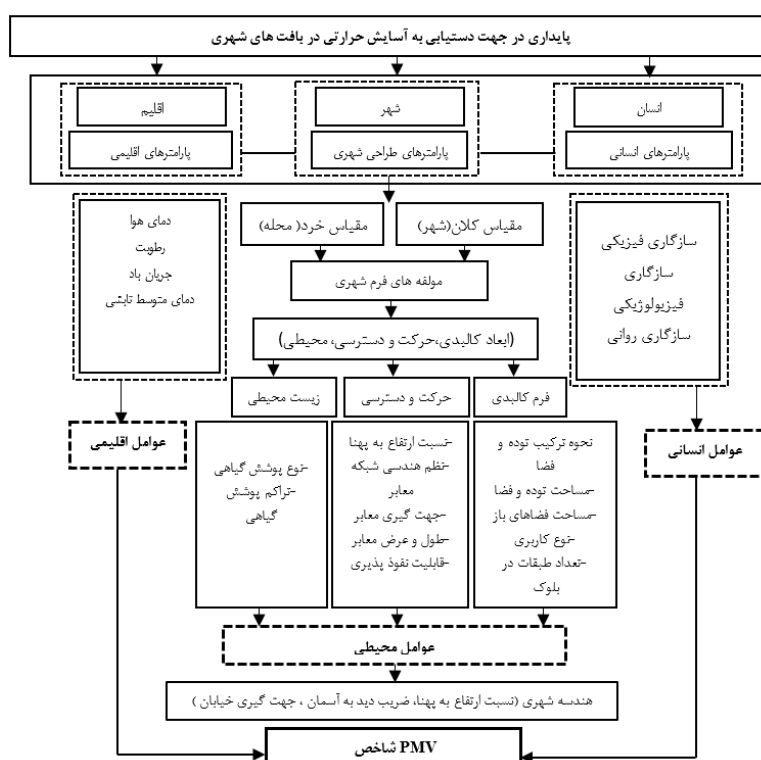
منبع : (ASHRAE Standard 55,2004:2)

همان‌گونه که قبلاً ذکر گردید، عوامل مؤثر بر آسایش حرارتی در فضاهای بیرونی به دودسته عوامل محیطی و عوامل انسانی دسته‌بندی می‌شوند. «هندسه شهری» به‌عنوان یکی از عوامل محیطی مؤثر بر آسایش حرارتی در فضاهای باز و بیرونی می‌باشد (Nikolopoulou, 2007: 3691). اصطلاح هندسه شهری «مورفومتری» به معنای رابطه کمی میان حجم ساختمان‌ها و فضاهای باز است (Chatzipoulka et al, 2017: 54). و به‌عنوان عامل مهمی در تغییرات خرده اقلیمی تلقی می‌گردد. هندسه شهری با سه مؤلفه اصلی نسبت ابعاد (ارتفاع ساختمان/عرض خیابان)، جهت‌گیری خیابان و ضریب دید به آسمان تعریف می‌گردد (Younsi & Kharrat, 2016: 692; Jihad & Tahiri, 2016: 25; Toudert & Mayer, 2006: 94; Thorsson et al, 2011: 327). یکی از پارامترهای کلیدی در تعیین هندسه شهری، «نسبت ابعاد» است که به‌عنوان نسبت بین میانگین ارتفاع ساختمان‌ها در محدوده موردنظر (H) به عرض آن خیابان (W) تعریف می‌شود (Oke, 1988: 105). مطالعات متعددی به بررسی شرایط خرده اقلیمی و آسایش حرارتی در فضای باز و بیرونی پرداخته‌اند و ارتباط مستقیمی را میان آسایش حرارتی عابران پیاده در فضاهای باز و «نسبت ابعاد» گزارش داده‌اند (Emmanuel & Johansson, 2006: 190; Johansson, 2006: 1326; Bourbia & Awbi, 2004: 291; Perini & Magliocco, 2014: 495; Boucheriba, 2010: 343; Georgakis & Santamouris, 2006: 367). «جهت‌گیری خیابان» یکی از پارامترهایی است که میزان دسترسی خورشیدی و سرعت باد در دره‌های شهری را تعیین می‌کند (Yang et al, 2013: 123). مطالعات متعددی به بررسی تأثیر جهت‌گیری خیابان به‌عنوان یکی از مؤلفه‌های اصلی هندسه شهری بر میزان آسایش حرارتی در فضاهای باز پرداخته‌اند (Toudert, 2005: 153; Abreu-Harbach et al, 2013: 2; Taleb & Taleb, 2014: 253).

1 .Mean radiant temperature

2 .Urban Geometry

جهت گیری «شرقی-غربی» بدترین شرایط حرارتی را در طول روز تجربه می کنند (Watkins et al,2007:86) و در مقایسه با خیابان هایی با جهت گیری «شمالی-جنوبی» مدت زمان بیشتری در معرض خورشید هستند (van Esch,2012:19; Krüger et al,2010:2068). بنابراین اهمیت موقعیت جغرافیایی شهرها در انتخاب بهترین جهت گیری در طراحی خیابان اهمیت فراوانی دارد (Toudert,2005:11). آخرین مؤلفه هندسه شهری «نمایی یا ضریب دید به آسمان» است (Oke,1991:343). در مناطق شهری، مقدار «ضریب دید به آسمان» در هر نقطه به دلیل موانع موجود در طاق آسمان شهری، کمتر از یک است. این شاخص، بیان کننده نسبت میزان تابش دریافتی سطحی صاف، از میزان تابش های نیم کره دربرگیرنده آن سطح است. بر اساس این ضریب، صفر به معنای عدم مشاهده کل آسمان و یک به معنی باز بودن کامل دید به آسمان است (Nikolopoulou,2001:228). مطالعات متعددی به بررسی تأثیر ضریب دید به آسمان بر میزان آسایش حرارتی در فضاهای باز پرداخته اند (Yan et al,2014:44; Bourbia & Awbi,2004:292; Yuan & Chen,2011:305; Correa & Ruiz,2012:219; Charalampopoulos et al,2013:220; Lin et al,2010:215; Yang et al,2013:125). با توجه مطالعات انجام گرفته در حیطه مبانی نظری پژوهش و جمع بندی مطالب مورد بررسی در حیطه دو متغیر «هندسه شهری» و «آسایش حرارتی»، چارچوب مفهومی پژوهش مطابق شکل ۱ تنظیم گردید.



شکل شماره ۱. چارچوب مفهومی پژوهش

روش پژوهش

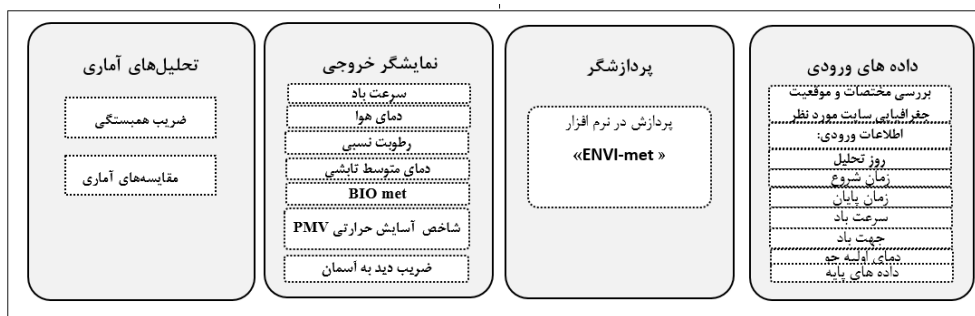
جهت انجام تحقیق حاضر از روش تحقیق توصیفی-تحلیلی، در بستری از مطالعات کتابخانه ای و سنجش کمی با استفاده از دو نرم افزار «ENVI-met 4 basic» و «SPSS» استفاده شده است. نرم افزار «انویمت» مدلی سه بعدی است که عناصر اتمسفری که بر روی خرده اقلیم تأثیر می گذارد را دنبال می کند و به نوعی شبیه سازی جریان باد، تابش،

رطوبت، حرارت و سایر پارامترهای دینامیکی و ترمودینامیکی در محیط‌های شهری را محقق می‌سازد و دارای وضوح فضایی بالایی است (Taleghani et al, 2015:69). مهم‌ترین مزیت این نرم‌افزار این است که یکی از اولین مدل‌هایی است که همه عوامل مهم هواشناسی را محاسبه می‌کند (Ahmadi Venharia et al, 2019:70). از نرم‌افزار «انویمت» در مطالعات مختلفی استفاده شده است. در جدول ۳ به بررسی روش تحقیق پژوهش‌های مرتبط با این پژوهش پرداخته شده است. هدف از انجام آن‌ها اندازه‌گیری میزان آسایش حرارتی در یک روز گرم تابستانی با حداکثر دمای هوا در اقلیم‌های متفاوت است که همگی مطالعات با استفاده از نرم‌افزار «انویمت» انجام گرفته است و عمدتاً مبتنی بر «شبیه‌سازی» بوده‌اند.

جدول شماره ۳. جمع‌بندی مطالعات انجام‌شده در رابطه با اندازه‌گیری میزان آسایش حرارتی در یک روز گرم تابستانی با حداکثر دمای هوا و عمدتاً مبتنی بر شبیه‌سازی

موقعیت جغرافیایی	روش	تاریخ شبیه سازی	شاخص آسایش حرارتی	متغیرهای مربوط به فرم شهری	تحلیل یافته‌ها	مستند
تهران	استفاده از نرم‌افزار سه‌بعدی انویمت و مبتنی بر شبیه‌سازی	۱ آگوست ۲۰۰۵	دمای معادل فیزیولوژیکی (PET)	نسبت ابعاد، جهت‌گیری خیابان	نتایج نشان می‌دهد که شاخص آسایش حرارتی به نسبت ابعاد و جهت‌گیری خیابان بستگی دارد. و این امر به‌طور مستقیم روی گزینه‌های طراحی در رابطه با استفاده از خیابان تأثیر می‌گذارد.	Toudert & Mayer, 2006
تهران	نرم‌افزار سه‌بعدی انویمت و مبتنی بر شبیه‌سازی و مطالعات میدانی	۲۲ و ۲۳ سپتامبر ۲۰۱۳	دمای معادل فیزیولوژیکی (PET)	نسبت ابعاد، جهت‌گیری خیابان	مدت‌زمان تابش مستقیم خورشید و میانگین دمای تابشی، تأثیر بسیار زیادی بر میزان آسایش حرارتی افراد دارد.	Taleghani et al, 2015
تهران	استفاده از نرم‌افزار سه‌بعدی انویمت و مبتنی بر شبیه‌سازی	۶ آگوست ۲۰۱۶	شاخص پیش‌بینی میانگین رأی (PMV)	پارامترهای منظر شهری	تغییر شبکه‌های خیابانی، طراحی منظر و مواد و مصالح به‌کاررفته می‌تواند سبب افزایش سطح آسایش حرارتی در فضاهای باز شهری شود.	Barakat et al, 2017
تهران	استفاده از نرم‌افزار سه‌بعدی انویمت و مبتنی بر شبیه‌سازی	۲ جولای ۲۰۱۴	دمای معادل فیزیولوژیکی (PET)	پارامترهای هندسه شهری	تغییرات شرایط آسایش حرارتی در فضای باز شهری تحت تأثیر ویژگی‌های شهری همچون هندسه شهری می‌باشد.	Zabeti Targhia & Dessel, 2015
تهران	استفاده از نرم‌افزار سه‌بعدی انویمت و مبتنی بر شبیه‌سازی	۱۹ دسامبر ۲۰۰۶	دمای معادل ادراکی (TEP)	پارامترهای هندسه شهری	درختان خیابانی آسایش حرارتی را در مناطق ساخته‌شده تا حد زیادی بهبود می‌بخشند. و با جانشینی درختان خیابانی تفاوت بین مناطق کم ارتفاع و مرتفع کاهش می‌یابد.	Johansson et al, 2013
تهران	استفاده از نرم‌افزار سه‌بعدی انویمت و مبتنی بر شبیه‌سازی	۲۶ آگوست ۲۰۱۴	شاخص جهانی اقلیم گرمایی (UTCI)	پارامترهای هندسه شهری	عمیق‌ترین خیابان‌ها دارای آسایش حرارتی بهتری هستند. این تحقیق همچنین نشان‌دهنده اهمیت چشم‌انداز خیابان و جهت‌گیری آن در ایجاد یک محیط راحت است.	Younsi & Kharrat, 2015
تهران	استفاده از نرم‌افزار سه‌بعدی انویمت و مبتنی بر شبیه‌سازی	۲۵ جولای ۲۰۰۶	شاخص پیش‌بینی میانگین رأی (PMV)	پارامترهای هندسه شهری	تحلیل شرایط آسایش حرارتی در مقیاس خرد اقلیمی کمک شایانی در راستای طراحی متناسب با اقلیم می‌باشد، همچنین با شبیه‌سازی می‌توان بازخوردهای قابل‌قبول در رابطه با شرایط آسایش حرارتی فضاهای باز اتخاذ کرد.	Fabbri et al, 2017
تهران	استفاده از نرم‌افزار سه‌بعدی انویمت و مبتنی بر شبیه‌سازی	۷ آگوست ۲۰۱۲	متغیرهای آسایش حرارتی همچون دمای هوا، سرعت باد، میانگین دمای تابشی	هندسه ساختمان (اندازه، شکل و جهت‌گیری)	الگوی میانگین دمای تابشی با چیدمان ساختمان در مقیاس محله در ارتباط است و چیدمان ساختمان‌ها نشان‌دهنده میزان فضای باز می‌شود	Paramita & Fukuda, 2013

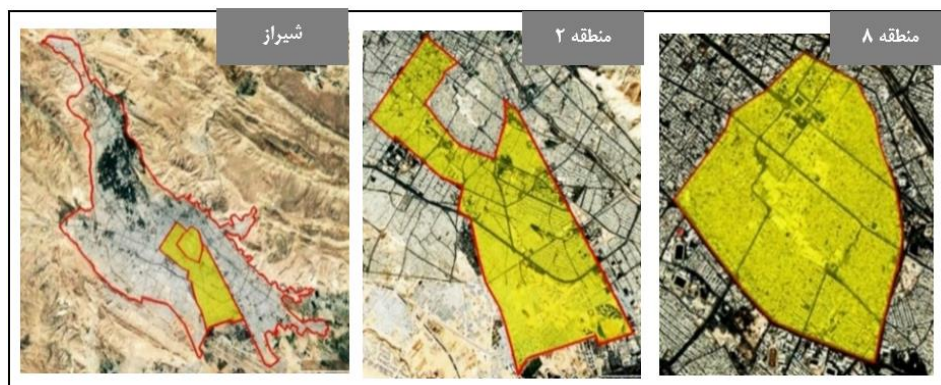
Zakhour, 2015	خیابان‌هایی با نسبت ابعاد بالا و ضریب دید به آسمان کم آسمان دریافت قدیمی حلب قادر به کاهش استرس گرما در روز هستند، در نتیجه، شرایط حرارتی فضاهای باز در شهر حلب تا حد زیادی تحت تأثیر فرم‌های مختلف شهری قرار گرفته و نشان می‌دهد که فرم‌های شهری فشرده از نظر حرارتی شرایط حرارتی بهتری نسبت به فرم‌های پراکنده دارند.	پارامترهای مورفولوژی و هندسه شهری	شاخص پیش‌بینی میانگین رأی (PMV) دمای معادل فیزیولوژیکی (PET)	۲۰ جولای ۲۰۱۲	استفاده از نرم‌افزار سه‌بعدی انویمت و مبتنی بر شبیه‌سازی و مطالعات میدانی	ع. ا. شعله
---------------	---	-----------------------------------	--	---------------	---	------------



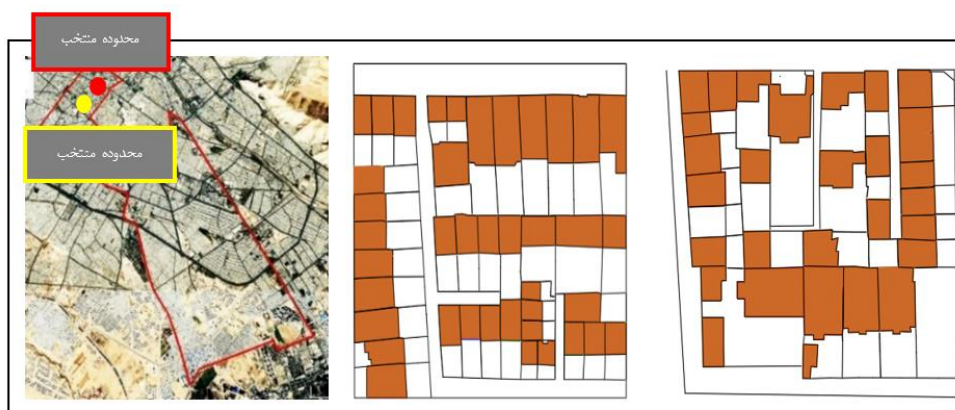
شکل شماره ۲. بررسی روش فرآیندی پژوهش در نرم‌افزار انویمت و خروجی‌های آن

محدوده مورد مطالعه

شهر شیراز (29°60'N 52°53'E) با ارتفاع ۱۵۴۰ متر از سطح دریا به‌عنوان مرکز استان فارس با آب‌وهوای نیمه‌خشک سرد «بر اساس سیستم طبقه‌بندی کوپن» است. ارزیابی شیراز به‌وسیله مهم‌ترین شاخص‌های اقلیمی هم چون بیکر، ترجونگ، سایکرومتریک، نشان داده است که طی ماه‌های دی، بهمن، تیر و مرداد با داشتن رتبه توصیفی قابل‌قبول از شرایط مناسبی برای آسایش انسانی برخوردار نیست، بنابراین شیراز در طی دو ماه از سال یعنی تیر و مرداد خارج از محدوده آسایش قرار دارد (صفایی پور و همکاران، ۱۳۹۲:۱۹۸). آمارهای هواشناسی میانگین دمای سی‌ساله شیراز، حاکی از آن است که حداکثر دما در تابستان به ۴۱°C و حداقل به ۱۷,۴ °C درجه می‌رسد. در تقسیم‌بندی کلی می‌توان بافت‌های مسکونی شهر شیراز را به بافت قدیمی، میانی و جدید تقسیم‌بندی کرد. بافت قدیمی همان قسمت تاریخی شهر است. بافت میانی مرحله توسعه شهر شیراز را از سال ۱۳۰۰ تا ۱۳۴۵ هجری شمسی را شامل می‌شود. هرکدام از بافت‌ها دارای ویژگی‌های خاصی از لحاظ الگو، تراکم، عناصر حجمی - فضائی و دسترسی هستند. بافت قدیمی دارای تراکم جمعیتی بالا و تراکم ساختمانی پایین بوده و بناها به شکل طبیعی در کنار یکدیگر شکل گرفته و بافتی ارگانیک را به وجود آورده‌اند. بافت میانی در مجاورت بافت قدیمی شهرداری الگویی نیمه ارگانیک و تقریباً شطرنجی است. فرم ساختمان‌ها به‌صورت خانه باغی و یا خانه‌های حیاط دار یک‌طرفه نسبت به بافت تاریخی تغییر می‌یابد (بهرامی نژاد، ۱۳۸۳:۱۳۴). به دلیل ویژگی‌های ساختاری متفاوت دو بافت قدیم و میانی و مجاورت این دو بافت با یکدیگر، محدوده مورد مطالعه در بافت قدیم و میانی با الگوهای ساختاری متفاوت انتخاب گردید. محدوده منتخب واقع در بافت قدیمی، در منطقه ۸ شهرداری شیراز است که به‌صورت دو قسمت جداگانه در محله سنگ سیاه انتخاب گردید و محدوده منتخب در بافت میانی، در منطقه ۲ شهرداری شیراز در حدفاصل خیابان حائری و منوچهری با الگوهای ریخت‌شناسی متفاوت و در مجاورت محدوده منتخب در بافت قدیمی است تا با استفاده از شبیه‌سازی به سنجش تغییرات هندسه شهری و تأثیرات آن بر میزان آسایش حرارتی در دو بافت منتخب پی برده شود.



شکل شماره ۳. موقعیت قرارگیری منطقه ۸ و ۲ شهرداری شیراز به عنوان بافت قدیم و میانی



شکل شماره ۴. موقعیت قرارگیری محدوده‌های منتخب (۱) و (۲) در بافت میانی جهت شبیه‌سازی



شکل شماره ۵. موقعیت قرارگیری محدوده‌های منتخب (۱) و (۲) در بافت قدیم جهت شبیه‌سازی

فرایند شبیه‌سازی

این مطالعه باهدف بررسی سنجش تغییرات هندسه بافت شهری بر شرایط آسایش حرارتی بیرونی واقع در بافت قدیمی و میانی شهر شیراز انجام شده است، در همین راستا و با استناد به اداره کل هواشناسی استان فارس (farsmet.ir) و استخراج داده‌های آب‌وهوایی سی‌ساله شهر شیراز و میانگین متوسط دمای ماهیانه، گرم‌ترین مال سال، تیرماه با متوسط دمای 29.78°C مشخص شد، بدین ترتیب با استفاده از این داده‌های آب‌وهوایی و پژوهش‌های بررسی‌شده در بخش روش تحقیق (جدول ۳)، شبیه‌سازی برای تاریخ یک تیره ماه در «بازه زمانی سی‌ساله» انجام شده است. بدین منظور داده‌های آب‌وهوایی واردشده به نرم‌افزار انویمت بر اساس داده‌های آب‌وهوایی سی‌ساله برگرفته از سایت‌های رسمی

(<https://www.ladybug.tools/epwmap>؛ <https://energyplus.net/weather>) برای شهر شیراز و با استفاده از نرم افزار Autodesk Ecotect برای میانگین سی ساله یک تیرماه جهت شبیه سازی خروجی ساعتی گرفته شده که برای تاریخ موردنظر «یک تیرماه» وارد نرم افزار انویمت گردیده است، سپس شاخص آسایش حرارتی «PMV» برای محدوده های منتخب واقع در بافت قدیم و میانی استخراج گردیده است.

جدول شماره ۴. پردازش و اطلاعات ورودی مرتبط با پارامترهای هواشناسی یک تیرماه «بر اساس داده های آب و هوایی سی ساله» (farsmet.ir)

محاسبات کمی	پارامترهای هواشناسی
موقعیت جغرافیایی Location	29°60'N 52°53'E فارس، شیراز
نوع اقلیم Climate type	نیمه خشک سرد (BSK)
روز موردنظر برای شبیه سازی Analysis Day	یک تیرماه (روز معمول تابستانی با حداکثر دما)
زمان شروع و پایان شبیه سازی Start and end times of the simulation	۶ صبح الی ۱۷ عصر (۱۱ ساعت)
سرعت باد در ارتفاع ۱۰ متری زمین Wind speed measured in 10 m height (m/s)	۳ متر بر ثانیه
جهت باد Wind direction (deg)	۳۱۵ درجه شمال غربی
میزان زبری سطح سایت Roughness length at measurement sit	۰,۰۱
دمای اولیه جو Initial temperature of atmosphere (k)	۲۹,۷ کلون معادل ۳۰,۲,۷
رطوبت نسبی در ارتفاع ۲ متری Relative humidity in 2m (%)	۱۹,۷۵

«گیرنده های مجازی» داده های محیطی در ۹ نقطه مختلف در بافت قدیم و میانی، از جمله محورهای دسترسی، پارکینگ و حیاط مرکزی قرار گرفته اند، تا تمام جهت گیری ها را پوشش دهند. اندازه شبکه ای که هر یک از نقاط مذکور بر روی آن قرار گرفته و شبیه سازی شده، $2 \times 2 \times 2 \text{ m}^3$ (x × y *z) است. سپس برای محاسبه میزان شاخص آسایش حرارتی «PMV»، از نرم افزار «Bio met» استفاده شده و خروجی های موردنظر به دست آمده است.

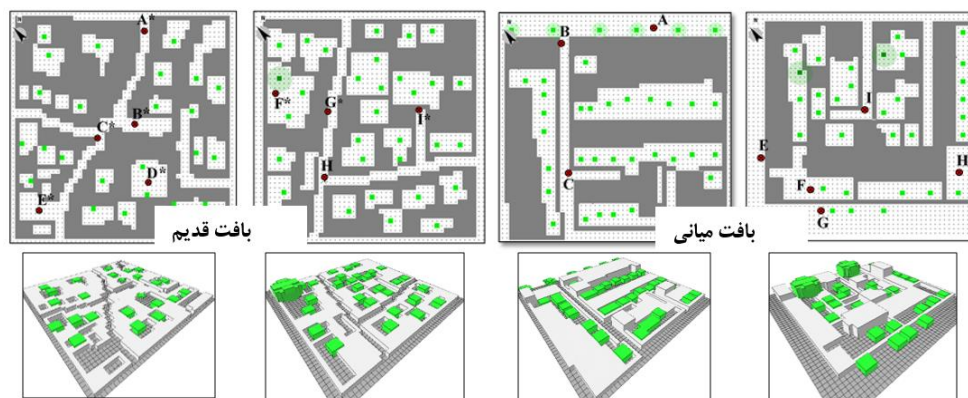
جدول شماره ۵. مشخصات کالبدی محل استقرار گیرنده های مجازی در محدوده های منتخب (۱) و (۲) در بافت قدیم و میانی

بافت میانی						
نقاط منتخب	کاربری	نسبت ابعاد	ضریب دید به آسمان	جهت گیری	مصالح	پوشش گیاهی
A	معبّر	۰/۵۸	۰/۵۱	شرقی-غربی	موزاییک	دارد
B	معبّر	۱/۷۵	۰/۴۱	شمالی-جنوبی	آسفالت	ندارد
C	معبّر	۰/۸۷	۰/۶۳	شرقی-غربی	آسفالت	ندارد
D	معبّر	۰/۲۵	۰/۷۴	شرقی-غربی	آسفالت	ندارد
E	معبّر	۰/۵۸	۰/۶۸	شمالی-جنوبی	آسفالت	ندارد
F	مسکونی	۰/۲۵	۰/۷۱	شمالی-جنوبی	آسفالت	دارد
G	معبّر	۰/۲۵	۰/۸۲	شرقی-غربی	موزاییک	دارد
H	بایر	۰/۲۵	۰/۷۸	-	خاک	دارد
I	معبّر	۰/۸۷	۰/۴۶	شمالی-جنوبی	آسفالت	ندارد
بافت قدیم						
نقاط منتخب	کاربری	محصولیت	ضریب دید به آسمان	جهت گیری	مصالح	پوشش گیاهی
A*	معبّر	۱	۰/۵۷	شمالی-جنوبی	آسفالت	ندارد
B*	گشودگی فضایی	۰/۵	۰/۷۴	شرقی-غربی	آسفالت	ندارد
C*	معبّر	۱	۰/۶۱	شمالی-جنوبی	آسفالت	ندارد
D*	حیاط مرکزی	۰/۲۵	۰/۷۰	شمالی-جنوبی	موزاییک	دارد
E*	پارکینگ	۰/۲۰	۰/۷۸	-	آسفالت	ندارد
F*	حیاط مرکزی	۰/۲۰	۰/۵۴	شمالی-جنوبی	موزاییک	دارد

1. Receptor

۲. یک ابزار محاسبه کننده است، که بر اساس داده های خروجی نرم افزار انویمت و تنظیمات پارامترهای افراد، شاخص آسایش حرارتی انسان را محاسبه می کند.

منتخب (۲)	G*	معبّر	۱	۰/۵۶	شمالی-جنوبی	آسفالت	ندارد
	H*	معبّر	۱	۰/۶۸	شرقی-غربی	آسفالت	ندارد
	I*	معبّر	۱	۰/۴۱	شمالی-جنوبی	آسفالت	ندارد



شکل شماره ۶. موقعیت استقرار گیرنده‌های مجازی در محدوده‌های منتخب (۱) و (۲) در بافت قدیم و میانی

بحث و یافته‌ها

پس از اجرای مدل‌سازی، خروجی‌های مدل اقلیمی توسط نرم‌افزار «ENVI-met»، برای مقطع زمانی ۱۵ عصر «بدین علت که بیشینه دمای روزانه در تیرماه به‌عنوان گرم‌ترین ماه سال در ساعت ۱۵ عصر با دمای 37.3°C رخ می‌دهد» و بر اساس داده‌های آب‌وهوایی سی‌ساله و خروجی‌های ساعتی توسط نرم‌افزار Autodesk Ecotect (Toudert & Mayer, 2006:96) و داده‌های عددی توسط نرم‌افزار اکسل و برای نمایش گرافیکی خروجی‌ها از نرم‌افزار «Leonard» استفاده شده است. هدف از پژوهش مذکور، سنجش تغییرات هندسه شهری بر شرایط آسایش حرارتی بافت‌های قدیم و میانی شیراز می‌باشد در همین راستا به بررسی شرایط آسایش خرد اقلیم‌های بافت مسکونی قدیمی و میانی شهر شیراز در یک روز تابستانی با استرس گرمایی شدید بر اساس داده‌های آب‌وهوایی سی‌ساله پرداخته شد سپس با استفاده از نرم‌افزار آماری «SPSS» به تحلیل میزان همبستگی متغیرهای دمای هوا ($^{\circ}\text{C}$)، سرعت باد (m/s)، رطوبت نسبی (%، میانگین دمای تابشی ($^{\circ}\text{C}$) و پارامتر هندسه شهری «ضریب دید به آسمان» با شاخص آسایش حرارتی «PMV» در ساعت ۱۵ عصر به تفکیک در هر یک از بافت‌های «قدیمی و میانی» پرداخته شد و به بررسی نتایج شاخص آسایش حرارتی «PMV» در بازه‌های زمانی ۹ صبح الی ۱۶ عصر و به‌طور خاص در ساعت ۱۵ عصر با بیشینه دمایی پرداخته شد.

تحلیل میزان همبستگی متغیرهای دمای هوا، سرعت باد، رطوبت نسبی و پارامتر هندسه شهری «ضریب دید به آسمان» با شاخص آسایش حرارتی «PMV»

در این راستا، با استفاده از نرم‌افزار آماری «SPSS» به تحلیل میزان همبستگی متغیرهای دمای هوا ($^{\circ}\text{C}$)، سرعت باد (m/s)، رطوبت نسبی (%، میانگین دمای تابشی ($^{\circ}\text{C}$) و پارامتر «ضریب دید به آسمان» به‌عنوان یکی از مؤلفه‌های هندسه بافت‌های شهری با شاخص آسایش حرارتی «PMV» در ساعت ۱۵ عصر در کل نقاط منتخب (۱۸ نقطه در هر دو بافت قدیم و میانی) و به تفکیک در نه نقطه منتخب در هر یک از بافت‌های قدیم و میانی پرداخته شده است. بدین منظور با توجه به آزمون کولموگرووف-اسمیرنوف، مشخص گردید که برای هر یک از متغیرها، ضریب معناداری «Sig»

۱. بدین علت که میانگین قد انسان در حالت ایستاده و نشسته بین $1.50-1.40$ می‌باشد، بنابراین سنجش شبیه‌سازی در این ارتفاع انجام شده است.

۲. ابزاری برای نمایش انواع نمودارهای خروجی، از داده‌های شبیه‌سازی شده انویمت می‌باشد.

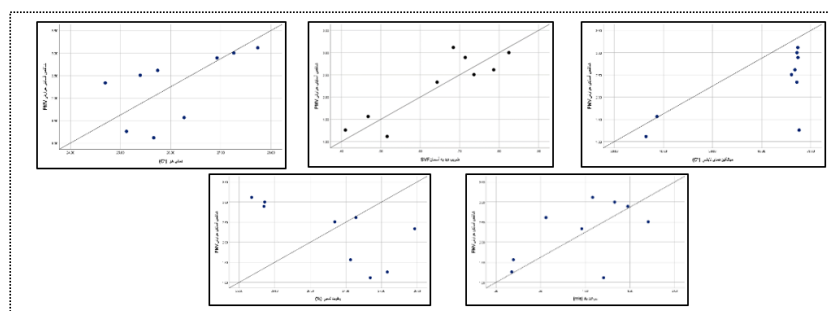
بیشتر از ۰/۰۵ و معادل ۰/۲ می‌باشد. پس می‌توان داده‌ها را نرمال فرض کرد، بدین علت آزمون پارامتریک همبستگی پیرسون استفاده شده است. بر طبق جدول شماره ۶، تحلیل یافته‌ها در رابطه با بررسی شاخص آسایش حرارتی «PMV» با متغیرهای دمای هوا ($^{\circ}\text{C}$)، سرعت باد (m/s)، رطوبت نسبی (%)، میانگین دمای تابشی ($^{\circ}\text{C}$) و «ضریب دید به آسمان» نشان می‌دهد که در بافت میانی، ضریب همبستگی در کل مثبت و مستقیم است و دامنه ضریب همبستگی (۰/۸۸۵ - ۰/۵۳۳) بدین صورت است و تنها ضریب همبستگی شاخص آسایش حرارتی «PMV» با متغیر رطوبت نسبی (۰/۷۱۶ -) دارای همبستگی قوی منفی و معکوس می‌باشد، لازم به ذکر است که میزان همبستگی متغیر «ضریب دید به آسمان» دارای همبستگی قوی و مثبت (۰/۸۸۵) با شاخص آسایش حرارتی «PMV» می‌باشد و در درجه دوم متغیرهای میانگین دمای تابشی (۰/۶۸۹)، دمای هوا (۰/۵۹۴)، سرعت باد (۰/۵۳۳) به ترتیب دارای همبستگی قوی مثبت و مستقیم به سمت همبستگی ضعیف با شاخص آسایش حرارتی «PMV» می‌باشند، در بافت قدیم، مشخص گردید که معناداری شاخص آسایش حرارتی «PMV» با متغیرهای مربوطه تنها در رابطه با متغیر سرعت باد با ضریب همبستگی (۰/۹۳۵)، ضریب دید به آسمان (۰/۷۶۲) و میانگین دمای تابشی (۰/۲۷۵) مثبت و مستقیم می‌باشد و متغیرهای سرعت باد و ضریب دید به آسمان (۰/۹۳۵ و ۰/۷۶۲) دارای همبستگی قوی و مثبتی با شاخص آسایش حرارتی «PMV» می‌باشند و در رابطه با میانگین دمای تابشی (۰/۲۷۵)، ضریب همبستگی با شاخص آسایش حرارتی «PMV» مثبت و ضعیف می‌باشد. همچنین متغیرهای رطوبت نسبی (۰/۰۶۷ -) و دمای هوا (۰/۱۲۷ -) دارای همبستگی منفی و ضعیف با شاخص آسایش حرارتی می‌باشند. بنابراین در هر دو بافت قدیم و میانی و با توجه به جدول شماره ۶، با توجه به این که ضریب معناداری برای هریک از متغیرها کمتر از ۰/۰۵ می‌باشد می‌توان گفت که روابط بین متغیرها معنادار است.

جدول شماره ۶. نتایج به دست آمده از میزان همبستگی متغیرهای دمای هوا، سرعت باد، رطوبت نسبی، میانگین دمای تابشی و پارامتر «ضریب دید به آسمان» با شاخص آسایش حرارتی «PMV» در ساعت ۱۵ عصر

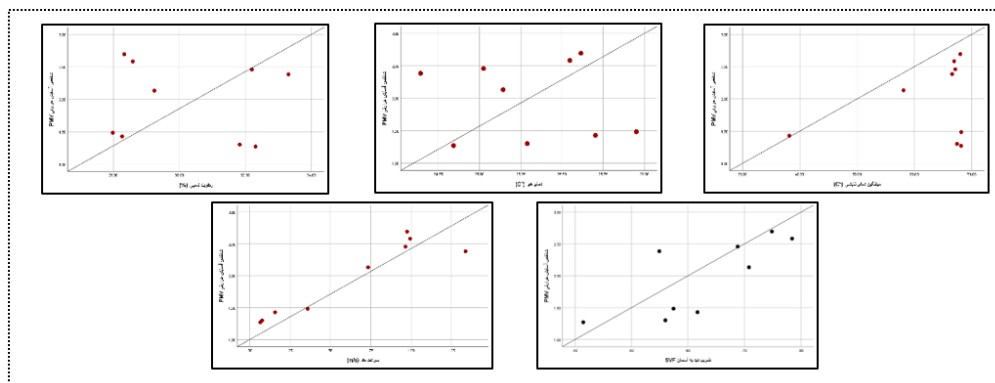
مؤلفه	نقاط کل در هر دو بافت منتخب				
	ضریب دید به آسمان SVF	میانگین دمای تابشی ($^{\circ}\text{C}$)	رطوبت نسبی (%)	دمای هوا ($^{\circ}\text{C}$)	سرعت باد m/s
Pearson Correlation	۰/۸۲۹	۰/۴۹۳	-۰/۳۲۴	۰/۴۵۱	۰/۷۱۱
Correlation Coefficient	۰/۸۲۹	۰/۴۹۳	-۰/۳۲۴	۰/۴۵۱	۰/۷۱۱
Sig (2-tailed)	۰/۰۰۰	۰/۰۳۸	۰/۰۱۹	۰/۰۰۶	۰/۰۰۱
N	۱۸	۱۸	۱۸	۱۸	۱۸
بافت میانی					
Pearson Correlation	ضریب دید به آسمان SVF	میانگین دمای تابشی ($^{\circ}\text{C}$)	رطوبت نسبی (%)	دمای هوا ($^{\circ}\text{C}$)	سرعت باد m/s
Correlation Coefficient	۰/۸۸۵	۰/۶۸۹	-۰/۷۱۶	۰/۵۹۴	۰/۵۳۳
Sig (2-tailed)	۰/۰۰۲	۰/۰۴	۰/۰۳	۰/۰۱	۰/۰۱
N	۹	۹	۹	۹	۹
بافت قدیم					
Pearson Correlation	ضریب دید به آسمان SVF	میانگین دمای تابشی ($^{\circ}\text{C}$)	رطوبت نسبی (%)	دمای هوا ($^{\circ}\text{C}$)	سرعت باد m/s
Correlation Coefficient	۰/۷۶۲	۰/۲۷۵	-۰/۰۶۷	-۰/۱۲۷	۰/۹۳۵
Sig (2-tailed)	۰/۰۱۷	۰/۰۰۰	۰/۰۰۰	۰/۰۱	۰/۰۱
N	۹	۹	۹	۹	۹

شاخص آسایش حرارتی «PMV»

در بافت میانی میزان همبستگی شاخص آسایش حرارتی «PMV» با متغیرهای میانگین دمای تابشی (C°) و ضریب دید به آسمان قوی و بسیار مثبت است که همسو با تحقیقات طالقانی و همکاران (۲۰۱۵)، فابری و همکاران (۲۰۱۷)، پرینی و مگلیکو (۲۰۱۴)، پارامیتا و فوکادا (۲۰۱۳) و لین و همکاران (۲۰۱۰) می‌باشد، زیرا مدت‌زمان قرار گرفتن در معرض آفتاب مستقیم و میانگین درجه حرارت تابش از عوامل تعیین کننده سطح آسایش است به گونه‌ای که افزایش مقدار دمای متوسط تابشی در فضاهای باز و بیرونی بافت‌های شهری باعث افزایش استرس حرارتی عابران پیاده شده و کاهش آسایش حرارتی را در پی خواهد داشت. ولی در بافت قدیم میزان همبستگی شاخص آسایش حرارتی «PMV» با سرعت باد (m/s)، و ضریب دید به آسمان قوی و مثبت می‌باشد که همسو با تحقیقات یانگ و لی (۲۰۱۳)، ارل و همکاران (۲۰۱۱)، جورجیاکیس و سانتاموریس (۲۰۰۶)، طالب و طالب (۲۰۱۴) است، بدین علت که خیابان‌های شهری در بافت تمایل دارند باد را شبیه به طوفان‌های طبیعی هدایت کنند و در تقویت سرعت باد و پخش گرمای اضافی از مناطق شهری نقش اساسی دارند. سرعت و جهت باد یک پارامتر مهم در فضاهای باز و بیرونی است، زیرا بر میزان آسایش حرارتی عابران پیاده تأثیرگذار است. به گونه‌ای که سرعت باد ۱ تا ۱/۵ متر بر ثانیه برای کاهش دمای هوا تقریباً تا ۲ درجه سانتی‌گراد مشاهده می‌شود. بدین‌سان الگوی باد و نحوه جهت‌گیری و سرعت آن با هندسه و فرم مناطق ساخته‌شده ارتباط زیادی دارد. به گونه‌ای که مطالعات متعددی زاویه بهینه میان جهت باد و محور معابر را مورد بررسی قرار داده‌اند که تحقیقات نشان داده‌اند زاویه ۴۵۱ بهترین زاویه برای دستیابی به بهترین تهویه در خیابان‌های شهری است (Sandberg et al, 2003:1)، به‌خصوص در آب‌وهوایی که در آن نیاز به تقابل میان عملکرد فصل گرم و سرد از اهمیت به سزایی برخوردار است، جهت‌گیری و سرعت مطلوب باد می‌تواند تأثیر بسیار زیادی بر روی آسایش حرارتی فضاهای بیرونی در بافت داشته باشد. بنابراین با بررسی‌های حاصل‌شده می‌توان گفت که «ضریب دید به آسمان» به‌عنوان یکی از مؤلفه‌های هندسه بافت شهری در هر دو بافت قدیم و میانی همبستگی بسیار مثبت و مستقیمی با شاخص آسایش حرارتی «PMV» دارد که همسو با تحقیقات بوریا و عوبی (۲۰۰۴)، کارلامپاپولوس و همکاران (۲۰۱۳)، لین و همکاران (۲۰۱۰)، یانگ و همکاران (۲۰۱۳) زاکور (۲۰۱۵) و دیمودی و همکاران (۲۰۰۳) است. همگی مطالعات نتیجه گرفته‌اند که افزایش «ضریب دید به آسمان» در طول روز سبب کاهش آسایش حرارتی عابران پیاده می‌گردد. بنابراین «ضریب دید به آسمان» پایین‌تر در طراحی مناسب‌تر است، زیرا مقادیر کم‌تری از میزان تابش خورشید با ترکیب درصد بالایی از پوشش سبز شرایط بیولوژیکی را بهبود می‌بخشد. بنابراین بافت‌های قدیم و میانی هریک با چیدمان خاص فضایی خود در طول روز مقادیر مختلفی از انرژی خورشیدی را جذب کرده و در نتیجه سطوح مختلف آسایش حرارتی متفاوتی را ایجاد می‌کنند که چیدمان‌های شهری ارگانیک بافت قدیم با سطح بالاتری از میزان سایه‌اندازی کارایی بیشتری در طول تابستان دارند و آسایش حرارتی بیشتری را فراهم می‌کنند.



شکل شماره ۷. ارزیابی میزان همبستگی متغیرهای دمای هوا، سرعت باد، رطوبت نسبی، میانگین دمای تابشی و پارامتر «ضریب دید به آسمان» با شاخص آسایش حرارتی «PMV» در ساعت ۱۵ عصر در بافت میانی



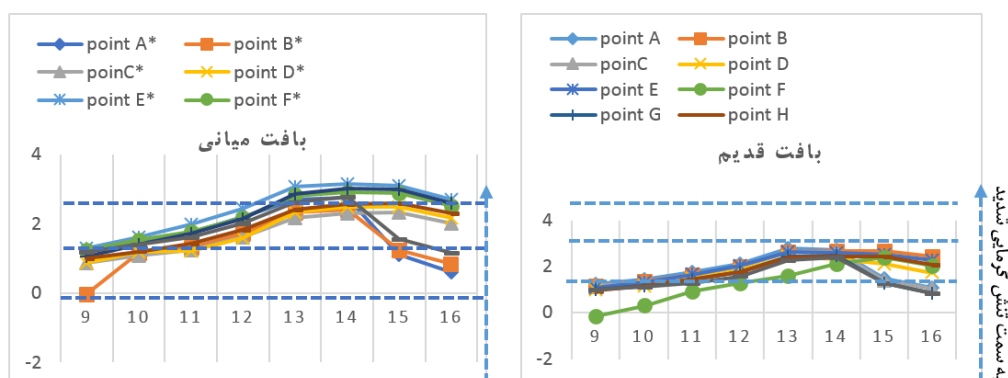
شکل شماره ۸. ارزیابی میزان همبستگی متغیرهای دمای هوا، سرعت باد، رطوبت نسبی، میانگین دمای تابشی و پارامتر «ضریب دید به آسمان» با شاخص آسایش حرارتی «PMV» در ساعت ۱۵ عصر در بافت قدیم

سنجش شاخص آسایش حرارتی «PMV» در دو بافت میانی و قدیم

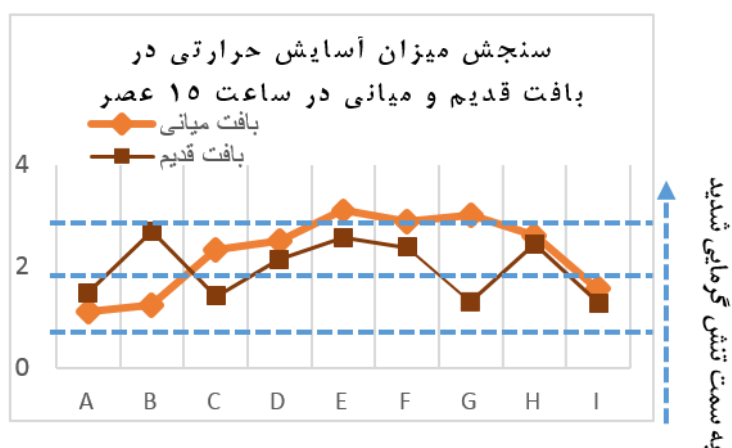
آسایش حرارتی در سطح عابران پیاده در ارتفاع ۱:۵۰ متری از سطح زمین در فصل تابستان و برای تیرماه به عنوان گرم‌ترین ماه سال با استفاده از داده‌های آب‌وهوایی سی‌ساله با استفاده از نرم‌افزار «ENVI-met» و در تاریخ ۲۱ جولای ۲۰۱۷ استخراج گردید. شبیه‌سازی‌های انجام‌شده بین ساعات ۹ صبح الی ۱۶ عصر در نه نقطه منتخب واقع در بافت قدیمی و میانی نشان می‌دهد که بر طبق استاندارد ۷ درجه‌ای اشری مربوط به شاخص «PMV»، و با توجه به استخراج داده‌های عددی با توجه به شکل شماره ۱۱، بافت قدیم در این بازه زمانی تنش گرمایی اندکی را تجربه می‌کند که با نزدیک شدن به ساعت ۱۵ عصر که بیشینه دمای روزانه در آن رخ می‌دهد میانگین شاخص آسایش حرارتی «PMV»، در نقاط منتخب به حدود ۱/۹۷ می‌رسد که از بازه تنش گرمایی اندک خارج‌شده در بازه تنش گرمایی متوسط قرار می‌گیرد که در این ساعت از روز محدوده بافت میانی خارج از شرایط آسایش قرار دارد، اما با نزدیک شدن به غروب خورشید این استرس گرمایی کمتر شده و به سمت محدوده آسایش پیش می‌رود.

در بافت میانی در اکثر نقاط منتخب، شاخص آسایش حرارتی «PMV»، در بازه زمانی ۹ صبح الی ۱۶ عصر (با توجه به شکل شماره ۱۱، مرتبط با بافت میانی) در محدوده تنش گرمایی متوسط و زیاد قرار دارد که با نزدیک شدن به ساعت ۱۵ عصر، میانگین شاخص آسایش حرارتی «PMV»، حدود ۲/۲۷ نزدیک می‌شود که خارج از محدوده آسایش قرار دارد. بدین ترتیب با توجه به خروجی‌های به‌دست‌آمده در بافت قدیم و میانی و با استناد به استاندارد ۷ درجه‌ای اشری مربوط به شاخص «PMV» مشخص گردید که بافت قدیم در بازه زمانی ۹ صبح الی ۴ عصر، و خصوصاً ساعت ۱۵ عصر تنش گرمایی کمتری نسبت به بافت میانی را احساس می‌کند و در محدوده آسایش حرارتی بیشتری قرار دارد که این موضوع ناشی از ویژگی‌های خاص هندسی بافت قدیم نسبت به بافت میانی می‌باشد. یکی از این ویژگی‌های هندسی، جهت‌گیری معابر می‌باشد که به عنوان یکی از پارامترهای تعیین‌کننده در سرعت باد و جهت آن می‌باشد (Yang et al, 2013:128). عمده جهت‌گیری‌های معابر در بافت قدیم به صورت شمالی-جنوبی می‌باشد. اکثر مطالعات بدین نتیجه رسیده‌اند که خیابان‌هایی با جهت‌گیری شرقی-غربی در بافت در طول روز ساعات طولانی‌تری در معرض مستقیم خورشید در طول تابستان در مقایسه با خیابان‌هایی با جهت‌گیری شمالی-جنوبی قرار می‌گیرند و بیشتر از تابش آفتاب رنج می‌برند (Watkins et al, 2007:85; Elnahas, 2003:35; Krüger et al, 2010:2068). نسبت ابعاد که به عنوان نسبت بین میانگین ارتفاع (H) به عرض خیابان (W) تعریف می‌شود (Oke, 1988:103) به عنوان یکی از مؤلفه‌های تأثیرگذار بر میزان حرارت اطراف ساختمان‌ها و سایه‌اندازی آن‌ها در طول روز است. با توجه به نتایج به‌دست‌آمده در نه نقطه منتخب مورد سنجش در بافت‌های قدیم و میانی، مشخص گردید که عمده نقاط منتخب در بافت

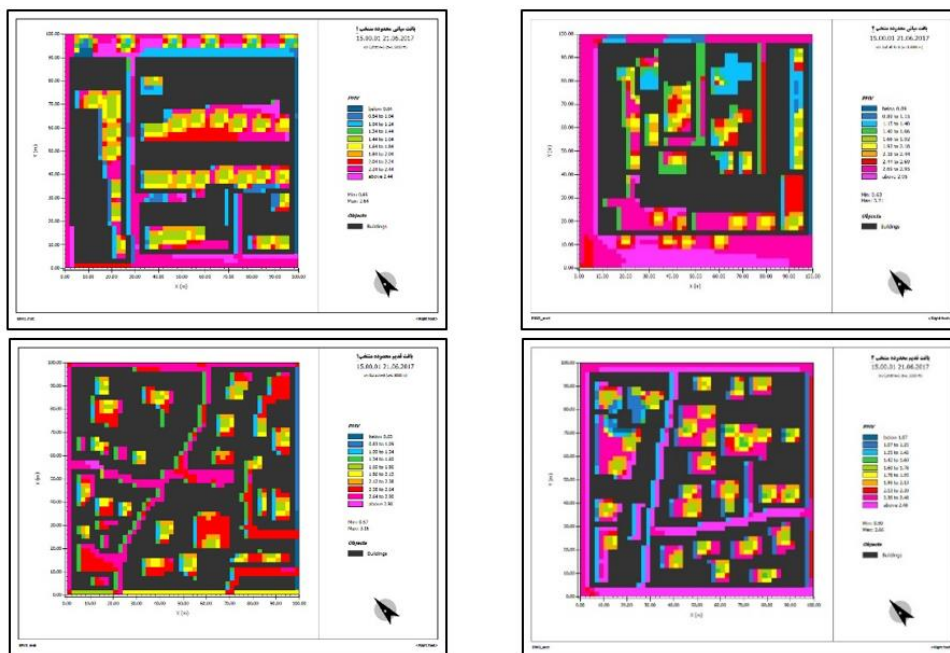
قدیم (۵ نقطه منتخب)، نسبت ابعاد آن‌ها برابر با ۱، است، در صورتی که در بافت میانی نسبت ابعاد در (۸ نقطه منتخب)، کمتر از ۱ می‌باشد و این خصوصیت گویای این است که دریافت قدیم به دلیل وجود معابری با محصوریت بالا و نسبت ابعاد ۱، در طول روز آسایش بیشتری نسبت به بافت میانی تجربه می‌کند. هم‌چنین با توجه به مطالعات انجام‌شده خیابان‌های باریک باعث ایجاد سایه بهتر ساختمان‌ها برای عابران پیاده در پیاده‌روها نسبت به خیابان‌های گسترده می‌شود و پتانسیل بیشتری در بهبود آسایش حرارتی در فضای باز را نشان می‌دهد (Matzarakis et al, 2007:323). با توجه به خروجی‌های عددی به دست آمده توسط نرم‌افزار «Bio met» در رابطه با شاخص آسایش حرارتی «PMV»، در ساعت ۱۵ عصر با بیشینه دمایی، می‌توان نتیجه گرفت که شاخص آسایش حرارتی «PMV» نقاط منتخب مورد سنجش در بافت قدیم در این بازه زمانی در محدوده تنش گرمایی کم و رو به متوسط قرار می‌گیرند و دارای آسایش حرارتی بیشتری نسبت به بافت میانی می‌باشند که این موضوع ناشی از ویژگی‌های هندسی بافت قدیم هم چون جهت‌گیری معابر، نسبت ابعاد و ضریب دید به آسمان در بافت است.



شکل شماره ۹. سنجش میزان آسایش حرارتی در نقاط منتخب (۱) و (۲) بافت میانی و قدیم در بازه‌های زمانی ۹-۱۶ عصر بر اساس استاندارد «ASHRAE»



شکل شماره ۱۰. سنجش میزان آسایش حرارتی در نقاط منتخب (۱) و (۲) بافت میانی و قدیم در بازه زمانی ۱۵ عصر با بیشینه دمایی بر اساس استاندارد «ASHRAE»



شکل شماره ۱۱. شبیه‌سازی میزان آسایش حرارتی در نقاط منتخب (۱) و (۲) بافت میانی و قدیم به صورت گراف، ساعت ۱۵ عصر

نتیجه‌گیری

هدف از پژوهش، سنجش تغییرات هندسه شهری بر شرایط آسایش حرارتی بافت‌های قدیم و میانی شیراز است. در این راستا شرایط آسایش خرد اقلیم‌های بافت مسکونی قدیمی و میانی شهر شیراز در یک روز تابستانی با استرس گرمایی شدید بر اساس داده‌های آب‌وهوایی سی‌ساله با استفاده از نرم‌افزار «ENVI-met»، مورد بررسی قرار گرفت. سپس با استفاده از نرم‌افزار آماری «SPSS» به تحلیل میزان همبستگی متغیرهای دمای هوا ($^{\circ}\text{C}$)، سرعت باد (m/s)، رطوبت نسبی (%، میانگین دمای تابشی ($^{\circ}\text{C}$) و پارامتر هندسه شهری «ضریب دید به آسمان» با شاخص آسایش حرارتی «PMV» در ساعت ۱۵ عصر به تفکیک در هر یک از بافت‌های قدیم و میانی و در آخر به بررسی شاخص آسایش حرارتی «PMV» در بازه‌های زمانی ۹ صبح الی ۱۶ عصر و به‌طور خاص در ساعت ۱۵ عصر با پیشینه دمایی پرداخته شد. با توجه به یافته‌های تحقیق و جدول شماره ۷ و اشکال شماره ۷ الی ۱۳ می‌توان اثبات کرد که در بافت میانی، میزان همبستگی شاخص آسایش حرارتی «PMV» با متغیرهای میانگین دمای تابشی و ضریب دید به آسمان و در بافت قدیم میزان همبستگی شاخص آسایش حرارتی «PMV» با سرعت باد و ضریب دید به آسمان قوی و مثبت است. همچنین شاخص ضریب دید به آسمان به‌عنوان یکی از مؤلفه‌های هندسه شهری، تأثیر به‌سزایی در میزان آسایش حرارتی در هر دو بافت دارد. با توجه به خروجی‌های به‌دست‌آمده مرتبط با شاخص آسایش حرارتی «PMV»، در بافت قدیم و میانی و با استناد به استاندارد ۷ درجه‌ای اشری مربوط به شاخص «PMV» در ساعت ۱۵ عصر با پیشینه دمایی، می‌توان نتیجه گرفت که شاخص آسایش حرارتی «PMV» نقاط منتخب مورد سنجش در بافت قدیم در این بازه زمانی در محدوده تنش گرمایی کم و رو به متوسط قرار می‌گیرند و دارای آسایش حرارتی بیشتری نسبت به بافت میانی هستند که این موضوع ناشی از ویژگی‌های هندسی بافت قدیم همچون جهت‌گیری معابر، نسبت ابعاد و ضریب دید به آسمان در بافت است. بنابراین بافت‌های قدیم و میانی هریک با چیدمان خاص فضایی خود در طول روز مقادیر مختلفی از انرژی خورشیدی را جذب کرده و در سطوح مختلف، آسایش حرارتی متفاوتی را ایجاد می‌کنند که چیدمان‌های شهری ارگانیک هم چون بافت قدیم با سطح بالاتری از میزان سایه‌اندازی کارایی بیشتری در طول تابستان دارد و آسایش حرارتی

بیشتری را فراهم می‌کنند. از این رو توجه به این الگوها در طراحی‌های معاصر که بر روی سلامتی، میزان آسایش ذهنی و کارایی ساکنان شهری تأثیرگذار است، می‌تواند موجب بهبود آسایش حرارتی افراد در فضاهای بیرونی به‌عنوان یکی از مهم‌ترین اهداف دستیابی به طراحی مطلوب در این فضاها گردد.

تقدیر و تشکر

بنا به اظهار نویسنده مسئول حامی مالی نداشته است.

منابع

- (۱) بهرامی نژاد، دهقان (۱۳۸۳) شناخت و ارزیابی کیفیت محیط شهری در بافت میانی شهرها (مطالعه موردی: بافت میانی شهر شیراز)، کارشناسی ارشد شهرسازی، دانشکده هنر و معماری، دانشگاه شیراز.
- (۲) ثناگر دربانی، الهام؛ رفیعیان، مجتبی؛ حنایی، تکتیم؛ منصفی پراپری، دانیال (۱۳۹۷) ارزیابی اثرات تغییرات اقلیمی بر تغییرات آسایش حرارتی بیرونی با استفاده از شاخص دمای معادل فیزیولوژیکی (PET) در شهر مشهد، تحقیقات جغرافیایی، دوره ۳۳، شماره ۳، صص. ۵۷-۳۹.
- (۳) ذاکر حقیقی، کیانوش؛ ماجدی، حمید؛ حبیب، فرح (۱۳۸۸) تدوین شاخص‌های مؤثر بر گونه شناسی بافت شهری. نشریه هویت شهر، سال ۴، شماره ۷، صص. ۱۱۲-۱۰۵.
- (۴) ذکاوت، کامران (۱۳۹۲) جایگاه سازمان کالبدی در طراحی شهری، نشریه صفه، شماره ۶۰، صص. ۹۰-۶۵.
- (۵) شمسی‌پور، علی‌اکبر؛ یاراحمدی، داریوش؛ سلمانیان فرزاد (۱۳۹۴) کاربرد اصول دانش طراحی اقلیمی در طراحی فضاهای شهری با تأکید بر آسایش حرارتی - تحقق طراحی و نتایج از پروژه سهیل، پژوهش‌های جغرافیای طبیعی، دوره ۴۷، شماره ۱، صص. ۱۵۹-۱۴۳.
- (۶) صفایی پور، مسعود؛ شبانکاری، مهران؛ تقوی، طیبه (۱۳۹۲) شاخص‌های زیست‌اقلیمی مؤثر بر ارزیابی آسایش انسان (مطالعه موردی: شهر شیراز)، جغرافیا و برنامه‌ریزی محیطی، سال ۲۴، شماره ۵۰، صص. ۲۱۰-۱۹۳.
- (۷) کرمی‌راد، سینا؛ علی‌آبادی، محمد؛ حبیبی، امین (۱۳۹۷) سنجش تأثیر هندسه شهری بر شرایط آسایش حرارتی بیرونی در مقیاس خرد اقلیم؛ (مورد پژوهی: فضای باز مجتمع مسکونی گلدشت شیراز)، مجله برنامه‌ریزی منطقه‌ای، دوره ۸، شماره ۲۹، صص ۱۶۱-۱۷۲.
- (۸) مرتضایی، گلناز؛ محمدی، محمود؛ نصراللهی، فرشاد؛ قلعه‌نویی، محمود (۱۳۹۶) بررسی ریخت-گونه شناسانه بافت‌های مسکونی جدید در راستای بهینه‌سازی مصرف انرژی اولیه (مطالعه موردی: سپاهان شهر)، فصلنامه مطالعات شهری، سال ۶، شماره ۲۴، صص. ۵۴-۴۱.
- (۹) منتظری، مرجان؛ جهان‌شاه لو، لعل؛ ماجدی، حمید (۱۳۹۷) تأثیر مؤلفه‌های فرم کالبدی شهری بر آسایش حرارتی فضاهای باز شهری، (مطالعه موردی، اراضی پشت سیلو، شهر یزد)، مطالعات محیطی هفت حصار، سال ۶، شماره ۲۲، صص. ۸۴-۶۳.
- 10) Araldi, Alessandro. & Fusco, Giovanni. (2019) From the street to the metropolitan region: Pedestrian perspective in urban fabric analysis: Environment and Planning B, Urban Analytics and City Science, Vol.46, No.7, pp.1243-1263.
- 11) ASHRAE. (2004) ASHRAE standard 55-2004, thermal environmental conditions for human occupancy. American Society of Heating, Refrigerating and Air-Conditioning Engineers, Inc, Atlanta, pp.1-30.
- 12) Azhdari, Abolghasem. & Soltani, Ali. & Alidadi, Mehdi. (2018) Urban morphology and landscape structure effect on land surface temperature: Evidence from Shiraz, a semi-arid city, Sustainable Cities and Society, Vol.41, pp.853-864.
- 13) Ali-Toudert, Fazia. & Mayer, Helmut. (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, Vol.41, No.2, pp. 94-108.
- 14) Ahmadi Venhari, Armaghan. & Tenpierik, Martin. & Taleghani, Mohammad. (2019) The role of sky view factor and urban street greenery in human thermal comfort and heat stress in a desert climate, Journal of Arid Environments, Vol.166, pp.68-76

- 15) Abreu-Harbach, Loyde V. & Labaki, Lucila C. & Matzarakis, Andreas. (2013) Thermal bioclimate in idealized urban street canyons in Campinas, Brazil, Theoretical and Applied Climatology, Vol.115, No.1, pp. 333-340.
- 16) Barakat, Asmaa. & Ayad, Hany. & El-Sayed, Zeyad. (2017) Urban design in favor of human thermal comfort for hot arid climate using advanced simulation methods, Alexandria Engineering, Vol.56, No.4, pp.533-543.
- 17) Biqaraz, Behrooz. & Fayaz, Rima. & Haghighaat Naeeni, Gholamreza. (2019) A comparison of outdoor thermal comfort in historical and contemporary urban fabrics of Lar City, Journal of Urban Climate, Vol.27, pp.212-226.
- 18) Berkovic, Sigalit. & Yezioro, Abraham. & Bitan, Arie. (2012) Study of thermal comfort in courtyards in a hot arid climate, Solar Energy, Vol.86, No.5, pp.1173-1186.
- 19) Bourbia, Fatiha. & Awbi, H.B (2004) Building cluster and shading in urban canyon for hot dry climate: part 2: shading simulations, Renew Energy, Vol.29, pp.291-301.
- 20) Bourbia, Fatiha. & Boucheriba, Fouzia. (2010) Impact of street design on urban microclimate for semi arid climate (Constantine), Renewable Energy, Vol.35, No.2, pp. 343-347.
- 21) Chatzipoulka, Christina. & Compagnon, Raphaël. & Nikolopoulou, Marialena. (2017) Urban geometry and solar availability on facades and ground of real urban forms: using London as a case study, Journal of Solar Energy, Vol.138, pp.53-66
- 22) Conzen, Michael. & Robert, Günter. (1960) Alnwick: A Study in Town Plan Analysis, Transactions, Institute of British Geographers, Vol.27, pp. 1-12
- 23) Carfan, Ana Claudia. & Galvani, Emerson. & Teixeira Nery, Jonas. (2010) Study of thermal comfort in the City of São Paulo using ENVI-met model, Investigaciones Geográficas (Mx), Vol.78, pp.34-47
- 24) Correa, Erica. & Ruiz, María Angélica. & Canton, Alicia. & Lesino, Graciela. (2012) Thermal comfort in forested urban canyons of low building density. An assessment for the city of Mendoza, Argentina, Build Environment, Vol.58, pp.219-230.
- 25) Charalampopoulos, Ioannis. & Tsiros, Ioannis. & Chronopoulou-Sereli, Aikaterini. & Matzarakis, Andreas. (2013) Analysis of thermal bioclimate in various urban configurations in Athens, Greece, Urban Ecosyst, Vol.16, pp.217-233.
- 26) Chatzidimitriou, Angeliki. & Yannas, Simos. (2016) Microclimate design for open spaces: Ranking urban design effects on pedestrian thermal comfort in summer, Sustainable Cities and Society, Vol.26, pp.27-47
- 27) de Dear, Richard. & Kim, Jungsoo. (2016) Thermal Comfort Inside and Outside Buildings, Advanced Environmental Wind Engineering, Springer Japan.
- 28) Dempsey, Nicola. & Brown, Caroline. & Raman, Shibu. & Porta, Sergio. & Jenks, Mike. Jones, Colin. & Bramley, Glen. (2008) Elements of Urban Form, Future City: Springer Netherlands.
- 29) Díaz-Negrillo, Ana. & Hernández, Salvador Valera. (2008) Geert Booij, The grammar of words: An introduction to linguistic morphology, 2nd edition (Oxford Textbooks in Linguistics). Oxford: Oxford University Press, 2007. xiv + 345 pp, English Language and Linguistics, Vol.12, No.1, pp.187-193
- 30) Emmanuel, R. & Johansson, Erik. (2006) Influence of urban morphology and sea breeze on hot humid microclimate: the case of Colombo, Sri Lanka, Climate Research, Vol.30, pp. 189-200.
- 31) Elnahas, Mohamed. (2003) The effects of urban configuration on urban air temperatures, Architectural Science Review, Vol.46, pp.135-138.
- 32) Fabbri, Kristian. & Di Nunzio, Antonello. & Gaspari, Jacopo. & Antonini, Ernesto. & Boeri, Andrea. (2017) Outdoor Comfort: The ENVI-BUG tool to Evaluate PMV Values Output Comfort Point by Point, Energy Procedia, Vol.111, pp.510-519.
- 33) Fang, Zhaosong. & Feng, Xiwen. & Lin, Zhang. (2017) Investigation of PMV Model for Evaluation of the Outdoor Thermal Comfort, Procedia Engineering, Vol.205, pp.2457-2462.

- 34) Grifoni, Roberta Cocci. & Passerini, Giorgio. & Pierantozzi, Mariano. (2013) Assessment of outdoor thermal comfort and its relation to urban geometry. *Sustainable Development and Planning VI*, WIT Press, Vol.172, pp.1-14
- 35) Georgakis, C. & Santamouris, Mat. (2006) Experimental investigation of air flow and temperature distribution in deep urban canyons for natural ventilation purposes, *Energy Build*, Vol.38, pp.367-376.
- 36) Haupt, Per. & Berghauser, Meta. (2002) *Spacemate: the Spatial Logic of Urban Density*, Delft University Press: The Netherlands.
- 37) Johansson, Erik. & Spangenberg, Jörg. & Gouvêa, Mariana Lino. & Freitas, Edmilson D. (2013) Scale-integrated atmospheric simulations to assess thermal comfort in different urban tissues in the warm humid summer of São Paulo, Brazil, *Urban Climate*, Vol.6, pp. 24-43.
- 38) Johansson, Erik. (2006) Influence of urban geometry on outdoor thermal comfort in a hot dry climate: A study in Fez, Morocco, *Building and Environment*, Vol.41, No.10, pp. 1326-1338.
- 39) Jihad, Alaoui Sosse. & Tahiri, Mohamed. (2016) Modeling the urban geometry influence on outdoor thermal comfort in the case of Moroccan microclimate, *Urban Climate*, Vol.16, pp.25-42.
- 40) Kropf, Karl S. (1998) *Typological Zoning*, in Petruccioli, Attilio (1998) *Rethinking XIXTh Century cities*, Proceedings of the international symposium sponsored by the Aga Khan Program for Islamic Architecture at Harvard University and the Massachusetts Institute of Technology.
- 41) Krüger, Eduardo. & Pearlmutter, David. & Rasia, F. (2010) Evaluating the impact of canyon geometry and orientation on cooling loads in a high-mass building in a hot dry environment, *Applied Energy*, Vol.87, pp.2068-2078.
- 42) Lin, Tzu-Ping. & Matzarakis, Andreas. & Hwang, Ruey-Lung. (2010) Shading effect on long-term outdoor thermal comfort, *Building and Environment*, Vol.45, No.1, pp.213-221
- 43) Matzarakis, Andreas. & Rutz, Frank. & Mayer, Helmut. (2007) Modelling radiation fluxes in simple and complex environments-application of the RayMan model, *International Journal of Biometeorology*, Vol.51, No.4, pp.323-334.
- 44) Monteiro, Leonardo Marques. & Alucci, Marcia Peinado. (2009) Thermal comfort index for the assessment of outdoor urban spaces in subtropical climates; The seventh International Conference on Urban Climate, Yokohama, Japan.
- 45) Moudon, Anne Vernez. (1994) *Getting to know the built landscape: Typomorphology*. In *Ordering Space: Types in architecture and design*. Franck, Karen A.; Schneekloth, Lynda H. (eds.). New York, Van Nostrand Reinhold.
- 46) Nazarian, Negin. & Acero, Juan A. & Norford, Leslie. (2019) Outdoor thermal comfort autonomy: Performance metrics for climate-conscious urban design, *Building and Environment*, Vol.155, pp.145-160.
- 47) Nikolopoulou, Marialena. & Baker, Nick. & Steemers, Koen. (2001) Thermal comfort in outdoor urban spaces: understanding the human parameter, *Solar Energy*, Vol.70, pp.227-235.
- 48) Nikolopoulou, Marialena. & Lykoudis, Spyros. (2007) Use of outdoor spaces and microclimate in a Mediterranean urban area, *Building and Environment*, Vol.42, No.10, pp.3691-3707.
- 49) Oke, T.R. (1988) Street design and urban canopy layer climate, *Energy and Buildings*, No.1, pp.103-113.
- 50) Peng, You. & Feng, Tao. & Timmermansa, Harry. (2019) A path analysis of outdoor comfort in urban public spaces, *Building and Environment*, Vol.148, pp.459-467.
- 51) Perini, Katia. & Magliocco, Adriano. (2014) Effects of vegetation, urban density, building height, and atmospheric conditions on local temperatures and thermal comfort, *Urban For Urban Green*, Vol.13, pp.495-506.
- 52) Paramita, Beta. & Fukuda, Hiroatsu. (2013) Study on the Affect of Aspect Building Form and Layout Case Study: Honjo Nishi Danchi, Yahatanishi, Kitakyushu-Fukuoka, *Procedia Environmental Sciences*, Vol.17, pp.767-774.

- 53) Radberg Johan. (1996) Towards a Theory of Sustainability and Urban Quality: A New Method for Typological Urban Classification, in Gray M., (ed.), *Evolving Environmental Ideals: Changing Ways of Life, Values and Design Practice*, Book of Proceedings for the 14th Conference of the International Association for People- Environment Studies, Stockholm, pp.384-392.
- 54) Suryawinata, Bonny. & Mariana, Yosica. & Wijaksono, Sigit. (2018) Sustainability and urban morphology. IOP Conference Series: Earth and Environmental Science, Vol.195, No.1, pp.1-6.
- 55) Sandberg, Mats. & Westerberg, Ulla. & Claesson, Leif. (2003) Catchment area-a new approach to urban windiness, In: *Proceedings of the Fifth International Conference on Urban Climate*, pp. 1–5.
- 56) Tong, Shanshan. & Wong, Nyuk Hien. & Tan, Chun Liang. & Jusuf, Steve Kardinal. & Ignatius, Marcel. & Tan, Erna. (2017).= Impact of urban morphology on microclimate and thermal comfort in northern China, *Solar Energy*, Vol.155, pp.212-223.
- 57) Trache, Hichem. (2001) Promoting Urban Design in Development Plans: Typomorphological Approaches in Montreuil, France, *Urban Design International*, Vol.6; pp.157-172.
- 58) Thorsson, Sofia. & Lindberg, Fredrik. & Björklund, Jesper. & Holmer, Björn. & Rayner, David. (2010) Potential changes in outdoor thermal comfort conditions in Gothenburg, Sweden due to climate change: the influence of urban geometry, *International Journal of Climatology*, Vol.31, No.2, pp.324-335
- 59) Ali-Toudert, Fazia. (2005) Dependence of outdoor thermal comfort on street design in hot and dry climate, Germany: Universitätsbibliothek Freiburg.
- 60) Taleghani, Mohammad. & Kleerekoper, Laura. & Tenpierik, Martin. & van den Dobbelsteen, Andy. (2015) Outdoor thermal comfort within five different urban forms in the Netherlands, *Building and Environment*, Vol.83, pp.65-78.
- 61) Taleb, Hanan. & Taleb, Dana. (2014) Enhancing the thermal comfort on urban level in a desert area: case study of Dubai, *Urban for Urban Green*, Vol.13, pp.253–60.
- 62) Watkins, Richard. & Palmer, John. & Kolokotroni, Maria. (2007) Increased temperature and intensification of the urban heat island: implications for human comfort and urban design, *Built Environment*, Vol.33, No.1, pp.85–96.
- 63) Wheeler, Stephen M. (2004) *Planning for Sustainability*. Simultaneously published in the USA and Canada by Routledge, This edition published in the Taylor & Francis e-Library.
- 64) Yahia, Moohammed Wasim. & Johansson, Erik. & Thorsson, Sofia. & Lindberg, Fredrik. & Rasmussen, Maria Isabel. (2018) Effect of urban design on microclimate and thermal comfort outdoors in warm-humid Dar es Salaam, Tanzania, *International Journal of Biometeorology*, Vol.62, No.3, pp.373-385.
- 65) Yang, Yujun. & Zhou, Dian. & Wang, Yupeng. & Ma, Dixuan. & Chen, Wei. & Xu, Duo. & Zhu, ZongZhou. (2019) Economical and outdoor thermal comfort analysis of greening in multistory residential areas in Xi'an, *Sustainable Cities and Society*, Vol.51, pp.1-13
- 66) Younsi, Safa Achour. & Kharrat, Fakher. (2015) Outdoor Thermal Comfort: Impact of the Geometry of an Urban Street Canyon in a Mediterranean Subtropical Climate–Case Study Tunis, Tunisia, *Procedia-Social and Behavioral Sciences*, Vol.216, pp.689-700.
- 67) Yang, Feng. & Qian, Feng. & Lau, Stephen S.Y. (2013) Urban form and density as indicators for summertime outdoor ventilation potential: a case study on high-rise housing in Shanghai, *Building and Environment*, Vol.70, pp.122–137.
- 68) Yan, Hai. & Fan, Shuxin. & Guo, Chenxiao. & Wu, Fan. & Zhang, Nan. & Dong, Li. (2014) Assessing the effects of landscape design parameters on intra-urban air temperature variability: the case of Beijing, China, *Build Environment*, Vol.76, pp.44–53.
- 69) Yuan, Chao. & Chen, Liang. (2011) Mitigating urban heat island effects in high-density citiesbased on sky view factor and urban morphological understanding: a study of Hong Kong, *Architectural Science Review*, Vol.54, pp.305–315.
- 70) Zakhour, Suhil. (2015) The Impact of Urban Geometry on Outdoor Thermal Comfort Conditions in Hot-arid Region, *Civil Engineering and Architecture Research*, Vol.2, No.8, pp.862-875.

- 71) Zhang, Yufeng. & Du, Xiaohan. & Shi, Yurong. (2017) Effects of street canyon design on pedestrian thermal comfort in the hot-humid area of China, *International Journal of Biometeorology*, Vol.61, No.8, pp.1421-1432.
- 72) Zhou, Bin. & Rybski, Diego. & Kropp, Jürgen. (2017) The role of city size and urban form in the surface urban heat island, *Scientific Reports*, Vol.7, No.1, pp.1-12.
- 73) Zabeti Targhi, Milad. & Van Dessel, Steven. (2015) Potential Contribution of Urban Developments to Outdoor Thermal Comfort Conditions: The Influence of Urban Geometry and Form in Worcester, Massachusetts, USA, *Procedia Engineering*, Vol.118, p.1153-1161
- 74) farsmet.ir, <https://www.ladybug.tools/epwmap>, <https://energyplus.net/weather>
- 75) Bahrami-nejad, Dehghan. (2004) Survey and Assessment of The Urban Environment Quality in The Inner City: Case study: Shiraz. (Segment of The District Developed Between 1921-1941). (Unpublished master's dissertation). Shiraz University, shiraz, MA. [in Persian].
- 76) Karamirad, Sina. & Aliabadi, Mohammad. & Habibi, Amin. (2018) Assessing the Impact of Urban Geometry on Outdoor Thermal Comfort in Microclimate Scale: A Case Study of the Open Space of Goldasht Residential Complex in Shiraz, *Journal of Regional Planning*, Vol.8, No.29, pp.161-172. [in Persian].
- 77) Montazeri, Marjan. & Jahanshahloo, Lala. & majedi, Hamid. (2017) Effect Components of Urban Physical Form on Outdoor Thermal Comfort: Case study: Yazd. Haft Hesar, *Journal of Environmental Studies*, Vol.6, No.22, pp.63-84. [in Persian].
- 78) Mortezaei, Golnaz. & Mohammadi, Mahmoud. & Nasrollahi, Farshad. & Ghalehnoee, Mahmoud. (2017) Typo-Morphological Evaluation of New Residential Urban Texture in Order to Optimize Primary Energy Consumption: Case Study: Sepahanshahr, *Motaleate shahri*, Vol.6, No.24, pp.41-54. [in Persian].
- 79) Safaeipoor, Masoud. & Shabankari, Mehran. & Taghavi, Tayyaba. (2013) The Effective Bioclimatic Indices on evaluating Human Comfort: Case study: Shiraz City, *Geography and Environmental Planning*, Vol.50, No.2, pp.193-210. [in Persian].
- 80) Sanagar Darbani, Elham. & Rafieian, Mojtaba. & Hanaee, Toktam. & Monsefi Parapari, Danial. (2018) Climate Change Impact Assessment on Outdoor Thermal Comfort Changes Using Physiological Equivalent Temperature (PET) Index in Mashhad, *Geographical Researches Journal*, Vol.33, No.3, pp.38-57. [in Persian].
- 81) Shamsipour, AliAkbar. & Yarahmadi, Dariush. & Salmanian, Farzad. (2015) The Use of Climate Desing Knowledge in Urban Spaces Design Emphasizing on Thermal Comfort - Design Realization and Results of Soheil Project, *Physical Geography Research*, Vol.47, No.1, pp.143-159. [in Persian].
- 82) Zakerhaghighi, Kianoosh. & Majedi, Hamid. & Habibi, Farah. (2011) Identifying Effective Indicators for Typology Urban Fabrics. *Hoviatshahr*, Vol.4, No.7, pp.105-112. [in Persian].
- 83) Zekavat, Kamran. (2013) Physical organization in urban design, *Soffeh*, Vol.23, No.60, pp.65-90. [in Persian].