

# Evaluation of the Impact of Urban Geometric Transformation on Microclimatic Conditions and Thermal Comfort

(Case study: Sang-e Siah Historical Quarter, Shiraz)

**Kimia Haghnegahdar** - Department of Urban Planning and Design, Faculty of Art & Architecture, University of Shiraz, Shiraz, Iran.

**Mahsa Sholeh**<sup>1</sup> - Department of Urban Planning and Design, Faculty of Art & Architecture, University of Shiraz, Shiraz, Iran.

**Sahad Lotfi** - Department of Urban Planning and Design, Faculty of Art & Architecture, University of Shiraz, Shiraz, Iran.

**Alireza Sadeghi** - Department of Urban Planning and Design, Faculty of Art & Architecture, University of Shiraz, Shiraz, Iran.

Received: 06 March 2024      Accepted: 30 November 2024

## Highlights

- The historical design of the Sang-e Siah neighborhood passively harmonized with climatic conditions, ensuring high spatial quality and thermal comfort.
- Physical modifications in Shiraz's historical urban fabric have weakened the ability of urban geometry to regulate microclimatic conditions effectively.
- Neglecting the microclimatic effects of urban geometry leads to a decline in both thermal comfort and environmental quality in urban open spaces.
- The principles embedded in Shiraz's historical urban design provide valuable insights for sustainable and climate-responsive urban development.

## Extended abstract

### Introduction:

The rapid pace of urbanization and its associated environmental challenges, coupled with the rising demand for energy to regulate thermal conditions, have underscored the necessity of addressing the microclimatic consequences of urban development. Given the increasing global temperatures and the urgency of climate adaptation, it is essential to examine the impact of urban form on microclimatic conditions and thermal comfort.

The historical urban fabric of Shiraz, particularly in the Sang-e Siah neighborhood, represents an exemplary case of passive adaptation to climatic conditions. Through careful spatial planning, traditional urban layouts optimized thermal comfort by minimizing solar exposure and enhancing ventilation. However, recent modifications to the city's historical districts have undermined these adaptive strategies, leading to increased urban heat stress and a reduction in outdoor comfort levels.

Meteorological records from Shiraz indicate a persistent rise in average temperatures, aligning with global climate change trends. These data highlight the importance of incorporating climate-sensitive urban design strategies to improve thermal comfort. The traditional design of Shiraz's historic districts, characterized by narrow alleys, shaded pathways, and strategically oriented streets, exemplifies an effective response to the city's climatic challenges. This study aims to quantitatively assess the impact of geometric transformations in the Sang-e Siah neighborhood on microclimatic conditions and thermal comfort.

<sup>1</sup> Corresponding author: [msholeh@shirazu.ac.ir](mailto:msholeh@shirazu.ac.ir)

**Theoretical Framework:**

Urban geometry consists of key parameters such as the sky view factor (SVF), height-to-width (H/W) ratio, and street orientation, all of which play a critical role in influencing climatic factors such as solar radiation exposure, wind flow, temperature distribution, and humidity retention. These elements collectively determine the thermal comfort of outdoor urban spaces.

A reciprocal relationship exists between urban microclimates and broader climatic systems, with urban geometry serving as a crucial intermediary. By adopting climate-responsive urban design principles, planners and designers can mitigate unfavorable microclimatic effects, ensuring more livable and thermally comfortable urban environments. This study examines the extent to which changes in urban form influence these parameters and provides recommendations for sustainable urban planning practices.

**Methodology:**

This research employs a descriptive-analytical approach and falls within the category of applied studies. Data collection was carried out through a combination of historical document analysis, field surveys, and meteorological data evaluation. The ENVI-met software, a highly reliable microclimate simulation tool, was utilized to model the impact of physical alterations on thermal comfort in the Sang-e Siah neighborhood.

To ensure the accuracy of the findings, simulated results were compared against on-site temperature, humidity, and wind speed measurements. The study focused on the hottest day of the year—July 1, 2022—to capture extreme temperature conditions and their effects on urban microclimates. This methodological approach provides a robust basis for assessing the thermal performance of the historical urban geometry and its contemporary modifications.

**Discussion and Findings:**

The findings of this study underscore the significant impact of geometric transformations in the neighborhood on microclimatic conditions. Specifically, the increase in SVF and the reduction in H/W ratios have resulted in the following effects:

- Elevated ambient temperatures due to increased exposure to solar radiation.
- Enhanced radiant heat effects, leading to a measurable decline in thermal comfort.
- Increased wind speeds in specific areas, contributing to dust dispersion while simultaneously reducing humidity levels.
- Decreased humidity, which intensifies heat stress and exacerbates outdoor discomfort.

These combined effects have significantly reduced outdoor thermal comfort in the study area. The results emphasize the importance of maintaining traditional urban design principles to ensure microclimatic stability in historic districts.

**Conclusion:**

This study confirms that urban geometry variables such as SVF, H/W ratio, and street orientation play a fundamental role in shaping microclimatic conditions. The historical structures in Shiraz were designed in harmony with local climatic conditions, employing passive cooling strategies that enhanced thermal comfort in outdoor spaces. However, modern transformations—particularly the widening of streets and reductions in building heights—have disrupted this balance, exacerbating urban heat stress.

To promote sustainable urban development, urban planners and designers should integrate lessons from Shiraz's historical urban fabric. Strategies such as limiting SVF through shaded pathways, maintaining optimal H/W ratios for improved thermal regulation, and orienting streets to maximize natural ventilation can serve as effective guidelines for improving urban thermal comfort in Shiraz and other arid cities experiencing similar climatic challenges.

**Keywords:**

Thermal comfort, climate-responsive design, urban geometry, urban microclimate, Sang-e Siah Historical Quarter, Shiraz.

**Acknowledgment:**

This article is based on a Master's thesis titled Developing a Local Guide for Urban Morphology Design to Enhance Thermal Comfort: A Case Study of the Sang-e Siah Historical Quarter, Shiraz, conducted by the first author under the supervision of the second author, with advisory support from the third and fourth authors at Shiraz University.

**Citation:** Haghnegahdar, K., Sholeh, M., Lotfi, S., Sadeghi, A. (2025). Evaluation of the Impact of Urban Geometric Transformation on Microclimatic Conditions and Thermal Comfort (Case study: Sang-e Siah Historical Quarter, Shiraz), *Motaleate Shahri*, 14(53), 3–18. <https://doi.org/10.22034/urbs.2024.140859.5017>.

**Copyrights:**

Copyright for this article is retained by the author(s), with publication rights granted to Motaleate Shahri. This is an open-access article distributed under the terms of the Creative Commons Attribution License (<http://creativecommons.org/licenses/by/4.0>), which permits unrestricted use, distribution, and reproduction in any medium, provided the original work is properly cited.



# ارزیابی پیامدهای دگرگونی هندسه شهری بر شرایط خرد اقلیمی و آسایش حرارتی

## نمونه مورد مطالعه: محله تاریخی سنگ سیاه

کیما حق نهدار - دانش آموخته کارشناسی ارشد، بخش شهرسازی، دانشکده هنر و معماری، دانشگاه شیراز، شیراز، ایران.  
مهسا شعله<sup>۱</sup> - دانشیار، بخش شهرسازی، دانشکده هنر و معماری، دانشگاه شیراز، شیراز، ایران.  
سهند لطفی - دانشیار، بخش شهرسازی، دانشکده هنر و معماری، دانشگاه شیراز، شیراز، ایران.  
علیرضا صادقی - دانشیار، بخش شهرسازی، دانشکده هنر و معماری، دانشگاه شیراز، شیراز، ایران.

تاریخ دریافت: ۱۶ اسفند ۱۴۰۲ تاریخ پذیرش: ۱۰ آذر ۱۴۰۳

### چکیده

با افزایش نرخ شهرنشینی و پیدایش پیامدهای زیست محیطی، ضمن افزایش تقاضای انرژی برای تعدیل شرایط حرارتی، اهمیت پیامدهای خرد اقلیمی توسعه شهری نزد طراحان و برنامه ریزان شهری دوچندان شد. طراحی بهینه هندسه شهری می تواند به منظور تعدیل شرایط خرد اقلیمی و ارتقای کیفیت فضاهای شهری مفید واقع گردد. هندسه شهری همساز با اقلیم بافت تاریخی شهر شیراز گواهی است بر این مدعا که با به کارگیری سیاست های طراحانه توانسته بود شرایط آسایش حرارتی مناسبی را در فضاهای شهری به وجود آورد. با توجه به این که این ساختار ارزشمند تاریخی همچون سایر بافت های پویای شهری در معرض تحول و دگرگونی قرار دارد، پژوهش حاضر بر آن است تا به مقایسه تطبیقی عملکرد هندسه شهری تاریخی محدوده مطالعاتی و بررسی پیامدهای خرد اقلیمی منتج از تغییرات هندسه شهری صورت گرفته در آن بپردازد. در این راستا، با روشی توصیفی-تحلیلی با بهره مندی از مطالعه و تحلیل اسناد، تصاویر و نقشه های تاریخی و پیمایش میدانی، هندسه شهری تاریخی و معاصر محدوده مطالعاتی در محیط نرم افزار انویمت شبیه سازی شده و شرایط خرد اقلیمی و سطح آسایش حرارتی منتج از دو گونه بافت شهری مورد ارزیابی تطبیقی قرار گرفته است. اعتبارسنجی داده های حاصل از این شبیه سازی با برداشت میدانی شاخص خرد اقلیمی دما در تاریخ ۱۰ تیرماه و محاسبه ضریب همبستگی داده های اندازه گیری و شبیه سازی شده به اثبات رسید. نتایج حاصل از پژوهش حاضر نشان داده با تغییرات کالبدی صورت گرفته شاخص های هندسه شهری مطالعاتی نسبت ارتفاع به عرض و شاخص دید به آسمان به طور میانگین به ترتیب ۵۸٫۴۱ درصد کاهش و ۴۲٫۷۱ درصد افزایش یافته اند. در نتیجه این تغییرات، دمای هوا در محدوده به طور میانگین ۰٫۳ درجه سلسیوس افزایش یافته است. همچنین دمای تابشی افزایش چشمگیری داشته و با کاهش سطوح تحت پوشش سایه همراه بوده است. در ادامه به سبب تخریب موانع کالبدی هدایت کننده جریان هوا، سرعت باد افزایش یافته و سطح رطوبت را به حداقل رسانده است. برآیند تغییرات یاد شده کاهش سطح آسایش حرارتی را در محدوده مطالعاتی به دنبال داشته است. بدین ترتیب ضروری می نماید ضمن جلوگیری از تغییرات گسترده تر این بافت ارزشمند، از الگوهای هندسه شهری تاریخی برای بهبود شرایط خرد اقلیمی فضاهای شهری و توسعه همساز با اقلیم کلانشهر شیراز بهره گرفته شود.

**واژگان کلیدی:** آسایش حرارتی، طراحی همساز با اقلیم، هندسه شهری، خرد اقلیم شهری، محله تاریخی سنگ سیاه شیراز.

### نکات برجسته

- طراحی تاریخی محله سنگ سیاه، منفعلانه در تعامل با شرایط اقلیمی درآمد و کیفیت فضایی مطلوبی را فراهم آورده است.
- تغییرات کالبدی ساختارهای تاریخی شهر شیراز، منجر به کاهش توانمندی هندسه شهری در تعدیل شرایط خرد اقلیمی شده است.
- بی توجهی به پیامدهای خرد اقلیمی هندسه شهری، منجر به تنزل کیفیت خرد اقلیمی و سطح آسایش حرارتی در فضاهای باز شهری می شود.
- اصول تاریخی طراحی بافت قدیم شهر شیراز می تواند به عنوان الگوی توسعه پایدار همساز با اقلیم مدنظر طراحان قرار گیرد.

## ۱. مقدمه

رایج ارزیابی آسایش حرارتی در فضاهای باز است. این شاخص معادل دمایی تعریف می‌شود که در یک فضای بسته استاندارد از درون و پوست فرد مورد مطالعه، مشاهده می‌شود. این شاخص با در نظر داشتن جامع پارامترهای فیزیولوژیکی حقیقی و شارهای حرارتی از جامعیت قابل قبولی برخوردار است (Sözen & Oral, 2019).

## ۲.۲. خرداقلیم

خرداقلیم به عنوان الگوی آب‌وهوایی در مقیاس کوچک تعریف می‌شود. با تغییر در الگوی مناطق، اقلیم‌های محلی<sup>۳</sup> (LCZs) که توسط سطوح شهری بر مبنای گونه‌های ساختمانی و گیاهی پدید آمده‌اند، تنوعی از خرداقلیم‌ها شکل می‌گیرند (Sabrin et al, 2021). مقیاس خرداقلیم می‌تواند در سطح یک محله یا واحد همسایگی، بلوک ساختمانی، فضای سبز و حتی در حد فاصل میان ساختمان‌ها مانند دره‌های شهری باشد (Wong et al., 2016). دما، تابش، رطوبت نسبی و سرعت باد مؤلفه‌های توصیف شرایط خرداقلیمی حاکم بر فضای شهری هستند.

دما از فاکتورهای اصلی طبقه‌بندی‌های اقلیمی و مؤثر بر زندگی گیاهی و جانوری است. عواملی چون عرض جغرافیایی، توپوگرافی منطقه، نوع و جنس پوشش زمین و سیستم‌های جوی حاکم در تعیین دمای یک منطقه تأثیر دارند. تبادلات تابش و بدن انسان نیز در فضای باز به دلیل قرارگیری در معرض خورشید، اهمیت ویژه‌ای در شکل‌گیری طاق آسمانی و گرمایش و سرمایش سطوح شهری دارند (Johansson, 2006). از آنجایی که تابش دریافتی مکانیسمی مشابه با دمای هوا بر بدن انسان دارد (Andreou, 2013)، کنترل آن در فضاهای شهری به ویژه در مناطق گرمسیر، برای فراهم آوردن شرایط آسایشی امری ضروری است. رطوبت مقدار آبی است که به شکل بخار در هوا وجود دارد که به واسطه تبخیر آب اقیانوس‌ها، دریاها و گیاهان حاصل شده و به وسیله جریان باد و هوا به بقیه قسمت‌های سطح زمین منتقل می‌شود. باد نیز علاوه بر نقشی که در تداوم حیات بسیاری از موجودات زمین دارد، نقش‌های مهمی در تنظیم شرایط اقلیمی، انتقال آلودگی‌ها و تلقیح گیاهان دارد. همچنین باد در مقیاس کلان برای کاهش اثرات جزایر حرارتی شهری مؤثر واقع می‌شود (He et al., 2020). از دیدگاه اقلیمی، نیاز به باد در طول فصول مختلف متفاوت و متناقض است (Gaber et al., 2020).

## ۲.۳. هندسه شهری

هندسه شهری در دهه‌های اخیر توسط پیشگامان مطالعات پیامدهای زیست‌محیطی تبیین شده است. مراد از هندسه کالبدی، جهت‌گیری معابر و توده‌های ساختمانی، ضریب دید به آسمان<sup>۴</sup> (SVF) و نسبت ارتفاع به عرض<sup>۵</sup> (H/W) در معابر شهری است

گسترش شهر و شهرنشینی در جهان با ایجاد تغییر در ساختار طبیعی زمین، زمینه شکل‌گیری پدیده‌ای مخاطره‌انگیز با دامنه شمول وسیع به نام «تغییر اقلیم» را فراهم آورده است. به طوری که میانگین افزایش دمای جهانی از ۱٫۴ درجه سلسیوس تا سال ۲۱۰۰ به ۵٫۸ درجه سلسیوس خواهد رسید (Mansi et al, 2021). از آنجا که کیفیت زندگی در فضاهای شهری به شرایط خرداقلیمی فضا وابسته است، شرایط خرداقلیمی حاکم بر یک فضای شهری، ارتباط مستقیمی با عناصر و اجزای جداره شکل‌دهنده به آن دارد و به بیانی دیگر خرداقلیم حاکم بر فضای شهری که تعیین‌کننده میزان و نوع عملکرد یک فضای شهری است، معلول هندسه شهری آن است. شهرهای تاریخی ایران، به بهترین شکل با بستر اقلیمی و طبیعی خود آمیخته و بر ناملایمات آن فائق آمده و از پتانسیل‌های آن نهایت بهره‌وری را داشته‌اند. این شهرها که از زمانه بدون فناوری نوین تا به امروز پایداری خود را حفظ کرده و بستر همواری برای زندگی گذشتگان ما بوده‌اند، می‌توانند الگوی کارآمدی برای توسعه پایدار شهری در عصر ناپایداری اقلیمی باشند. این درحالیست که به واسطه گسترش تغییرات صورت گرفته در ساختار تاریخی ارزشمند شهر شیراز، داده‌های این شیوه از طراحی همساز با اقلیم، در حال نابودی است. در همین راستا هدف پژوهش حاضر آن است تا ضمن بازشناخت شاخص‌های هندسه شهری مؤثر بر شرایط خرداقلیمی فضاهای شهری، شرایط خرداقلیمی فضاهای شهری محدوده تاریخی سنگ سیاه را تحت تأثیر هندسه شهری تاریخی و معاصر آن مورد مقایسه قرار دهد. بدین ترتیب تحلیل تطبیقی اثرات هندسه شهری تاریخی و معاصر بر شرایط خرداقلیمی در فضاهای شهری می‌تواند محقق شود.

## ۲. مبانی نظری

## ۲.۱. آسایش حرارتی

آسایش حرارتی<sup>۱</sup> به عنوان شرایط ذهنی تعریف می‌شود که نمایانگر رضایت ذهن از گرمای محیطی است. آسایش حرارتی در فضاهای شهری، حاصل برهمکنش عوامل اقلیمی، فردی و طرح کالبدی به عنوان محصول طراحی شهری است (Sözen & Yin et al, 2021; Oral, 2019; Andreou, 2013; Brozovsky et al, 2021). طراحی شهری با کنترل بر شرایط کالبدی یک محیط شهری، قادر به کنترل شرایط خرداقلیمی حاکم بر فضاهای شهری است (Achor-Younsi, 2015; Kim & Brown, 2021). ارزیابی آسایش حرارتی نیازمند استفاده از روش‌ها و شاخص‌هایی است که متغیرهای هواشناسی را با پارامترهای حرارتی فیزیولوژیکی ترکیب نماید. در همین راستا متغیرهای زیست‌هواشناسی انسانی به منظور توصیف تنش حرارتی توسعه یافته‌اند (Acero & Herranz-Pascual, 2015). از این میان دمای معادل فیزیولوژیک (PET)<sup>۲</sup> یکی از شاخص‌های

3 Local Climate Zones

4 Sky View Factor

5 Height/width

1 Thermal Comfort

2 Physiological Equivalent Temperature

ویژگی‌های توسعه شهری محلی وابسته است (Acero & Herranz, 2015). بنابراین مناطق شهری با تنوعی از مورفولوژی، طیف وسیعی از خرداقلیم را با میزان تابش، دسترسی به نور و گردش هوای متفاوت را در دره‌های شهری شکل می‌دهند (Paolini et al, 2014). خرداقلیم شهری از دو عامل هندسه شهری و اقلیم کلان حاکم بر یک محدوده تأثیر می‌پذیرد. فرم شهری برای هر منطقه تأثیر مشخصی از شرایط آب‌وهوایی را نشان می‌دهد (Mahmoud et al, 2021). بدین ترتیب، خرداقلیم محلی و اقلیم کلان در رابطه‌ای دوسویه با یکدیگر قرار دارند که هندسه شهری به عنوان واسطه این ارتباط، نقش تعیین کننده‌ای در محصول تولید شده توسط این کنش متقابل دارد.

#### ۲.۴. طراحی شهری و خرداقلیم

با توجه به ضرورت بهبود کیفیت زندگی شهری، برنامه‌ریزان به مؤلفه‌های حرارتی اقلیمی در توسعه مناطق شهری اهمیت می‌دهند (Acero & Herranz-Pascual, 2015). تلاش طراحان شهری نیز بر آن است که به گونه‌ای اقلیم را در خرده اقلیم تعدیل کنند تا ویژگی‌های خرداقلیم در منطقه آسایش انسان قرار گیرد (Bahrainy & Khosravi, 2015). به این ترتیب سیستم‌های پاسخگو در برابر اقلیم، منجر به ایجاد فضاهای کاری متنوع‌تر و رضایت‌بخش‌تر می‌شود (Calthrope, 2015:141). در صورتی که شیوه توسعه، متناسب با محدودیت‌ها و پتانسیل‌های طبیعی و اقلیمی زمینه طراحی انتخاب گردد، محصول طراحی فضایی کارآمد و سرزنده خواهد بود که در فصول مختلف سال با فراهم آوردن حداکثر شرایط آسایش حرارتی، ضمن جذب جمعیت و تداوم سرزندگی محیط، به بهبود کیفیت زیست‌محیطی و اجتماعی کمک خواهد کرد. درحالی که بی‌توجهی به کیفیت آسایش حرارتی، فضاهای شهری تپه‌ای از فعالیت و افزایش تقاضای انرژی و سوخت‌های فسیلی را به دنبال خواهد داشت (جدول شماره ۱).

(Haghighat Naeini et al., 2019) که اغلب از آن با عنوان «هندسه دره شهری» یاد می‌شود (Kim & Brown, 2021). این شاخص‌ها که جملگی توصیف کننده ویژگی‌های کالبدی مؤثر بر شرایط خرداقلیمی و آسایش حرارتی فضاهای شهری است، به شرح زیر تعریف می‌شوند:

**جهت‌گیری معابر و توده‌های ساختمانی:** جهت‌گیری خیابان یکی از مهم‌ترین شاخصه‌های هندسه شهری است؛ چون جهت‌گیری معابر بر توانایی نفوذ تابش در یک مجموعه شهری اثرگذار بوده و از این طریق میزان آسایش حرارتی را تحت تأثیر قرار می‌دهد (Achour-Younsi & Kharrat, 2015). همچنین جهت‌گیری معبر بالاترین تأثیر را بر جهت و سرعت باد دارد (Andreou, 2013). جهت‌گیری خیابان نیز بر الگوهای جریان هوا در فضاهای شهری تأثیرگذار است (Gaber et al, 2020).

**ضریب دید به آسمان:** شاخص دید به آسمان، زاویه خالصی از آسمان است که از فضای شهری قابل رؤیت باشد. این شاخص با استفاده از متد تصویربرداری چشم ماهی محاسبه شده و نسبت میان آسمان و موانع محدودکننده را نمایان می‌کند (Achour-Younsi & Kharrat, 2015). این ضریب که مناسب‌ترین شاخص توصیف‌کننده هندسه شهری به شمار می‌رود، تعیین‌کننده سطح مبادله‌کننده تابش میان سطح صاف و محیط نیم‌کره است که با توجه به عناصر محدودکننده پیرامونی، همواره مقداری بین صفر و یک دارد (Wei et al, 2016).

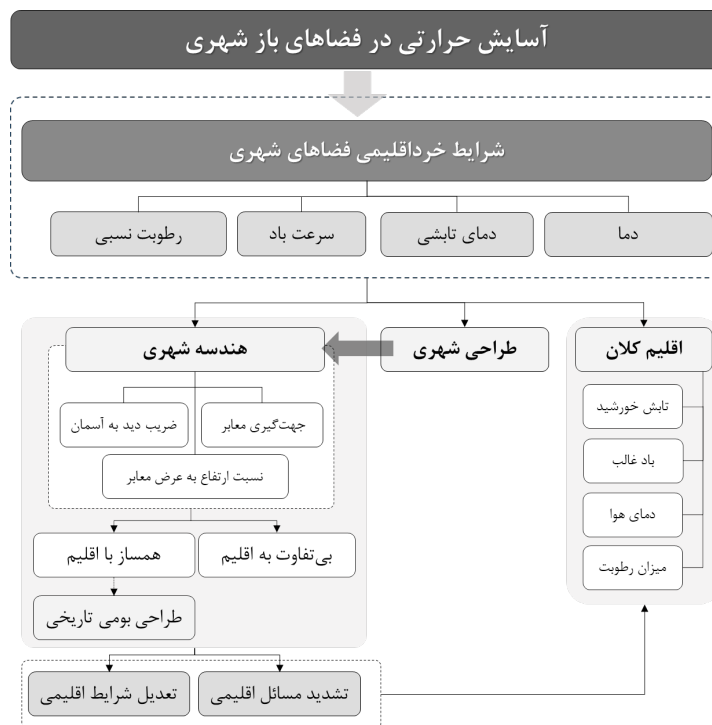
**نسبت ارتفاع به عرض:** این نسبت بر میزان تابش ورودی و خروجی و همچنین سرعت باد در معابر شهری تأثیرگذار است (Johansson, 2006). با توجه به این که آسایش حرارتی در فضای باز، عمدتاً تحت تأثیر مستقیم میزان قرارگیری در برابر تابش خورشید است، این فاکتور تا حد زیادی آسایش حرارتی را تحت تأثیر خود قرار می‌دهد (Andreou, 2013). شرایط خرداقلیمی در محدوده‌های شهری، به برآیند تعاملات میان اقلیم منطقه‌ای و محدوده شهری و همچنین

جدول شماره ۱: پیامد گونه‌های متفاوت برخورد طراحی شهری با اقلیم

پیامد	محصول	شیوه تعامل با اقلیم	طراحی شهری
<ul style="list-style-type: none"> <li>• بهبود کیفیت زیست‌محیطی</li> <li>• رونق اجتماعی</li> <li>• صرفه‌جویی اقتصادی</li> </ul>	شکل‌گیری خرداقلیم مطلوب تعدیل شرایط اقلیمی	طراحی متناسب با اقلیم	
<ul style="list-style-type: none"> <li>• تنزل کیفیت زیست‌محیطی</li> <li>• کاهش تعاملات اجتماعی</li> <li>• افزایش تقاضای انرژی</li> </ul>	شکل‌گیری خرداقلیم نامطلوب تشدید مسائل اقلیمی	طراحی بدون توجه به اقلیم	

طراحی مبتنی بر شرایط محلی و بومی که از درون جوامع رشد کرده و در گذر زمان خود را با شرایط اجتماعی، اقلیمی و فناوری سازگار ساخته و تکامل یافته، می‌تواند با ارزش‌ها، اقتصاد و شیوه‌های زندگی فرهنگی‌هایی که مولد آن هستند، سازگار باشد (Yin et al., 2019, 2019). الگوگیری از طراحی بومی در بازطراحی فضاهای شهری معاصر، می‌تواند نقش مؤثری در تعدیل شرایط خرداقلیمی و آسایش حرارتی و ارتقای کیفیت فضاهای شهری داشته باشد (تصویر شماره ۱).

طراحی مبتنی بر شرایط محلی و بومی که از درون جوامع رشد کرده و در گذر زمان خود را با شرایط اجتماعی، اقلیمی و فناوری سازگار ساخته و تکامل یافته، می‌تواند با ارزش‌ها، اقتصاد و شیوه‌های زندگی فرهنگی‌هایی که مولد آن هستند، سازگار باشد (Yin et al., 2019, 2019).



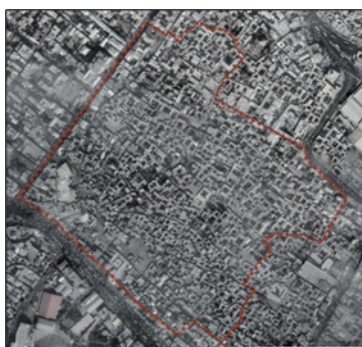
تصویر شماره ۱: مدل مفهومی پژوهش

### ۳. روش تحقیق

پژوهش حاضر کاربردی و با روش توصیفی-تحلیلی با بهره‌مندی از مطالعات اسنادی و کتابخانه‌ای و همچنین سنجش کمی صورت گرفته است. مطالعه اسنادی و کتابخانه‌ای طی این پژوهش به منظور شناسایی و شبیه‌سازی دقیق شرایط بومی بافت مطالعاتی در پیش گرفته شده است. در ادامه از نرم‌افزار ENVI-met برای مقایسه کمی شرایط خرد اقلیمی منتج از طراحی تاریخی همساز با اقلیم و شرایط معاصر بافت مطالعاتی استفاده شده است. طی فرآیند انجام پژوهش، برای گزینش داده‌های کالبدی شبیه‌سازی شده در نرم‌افزار انویمت و تولید نقشه‌های پایه مورد استفاده، از امکانات محیط GIS بهره گرفته شد. اعتبارسنجی داده‌های حاصل از شبیه‌سازی نیز، ضمن برداشت میدانی دمای هوا در محدوده‌های مطالعاتی در تاریخ شبیه‌سازی پژوهش، با بهره‌مندی از نرم‌افزار SPSS صورت گرفت. در پایان نیز برای درک بهتری از داده‌های ثبت شده توسط گیرنده‌های مجازی مستقر در محدوده شبیه‌سازی شده از نرم‌افزار اکسل به منظور تولید نمودارها و جداول استفاده شد.

### ۳.۱. معرفی محدوده مطالعاتی

شهر شیراز در بخش شمال غربی استان فارس واقع شده و تحت تأثیر بادهای شمالی (سرد و خشک که از جانب سیبری می‌وزند)، غربی (باران‌زا که از جانب اقیانوس اطلس می‌وزند) و جنوبی (گرم و خشک که از جانب عربستان می‌وزند) قرار دارد. بنابر تقسیم‌بندی اقلیمی دومارتین، نیمی از شهرستان شیراز در سیطره اقلیم نیمه‌خشک معتدل و نیمی دیگر از آن در اقلیم نیمه‌خشک سرد واقع است. مروری بر گزارشات به ثبت رسیده توسط اداره کل هواشناسی استان فارس نشان می‌دهد، متوسط دمای سالانه شهر شیراز طی بازه زمانی ۵۰ ساله تا ۱۴۰۰، از ۱۶٫۴ درجه سلسیوس به ۱۹٫۶ درجه سلسیوس رسیده است. همچنین میانگین سطح رطوبت حدود ۱۰ درصد کاهش یافته و در سال ۱۴۰۰ به ۳۴ درصد رسیده است که این امر بر مصائب اقلیمی حاکم بر این محدوده می‌افزاید. بدین ترتیب ضرورت تعدیل گرمایش شهری و برقراری شرایط خرد اقلیمی مطلوب در فضاهای باز با طراحی هندسی شهری بهینه امری ضروری است.



تصویر شماره ۲: از راست به چپ به ترتیب نقشه منطقه تاریخی شیراز- محله سنگ سیاه (ماخذ: نگارندگان با برداشت از فرجام، ۱۳۹۵) - بافت تاریخی شیراز در سال ۱۳۴۳

با درخواست از سامانه سازمان هواشناسی کشور، اقدام به دریافت داده‌های سینوپ روزانه، سینوپ سه ساعته و متار شهر شیراز در بازه زمانی ۱ فروردین ۱۴۰۰ تا ۳۰ آذر ۱۴۰۱ شد. نتایج حاصل از ارزیابی داده‌های آب‌وهوایی ماهانه شهر شیراز حاکی از آن بود که میانگین دمای شهر شیراز در طول سال ۱۴۰۰ از حداقل ۷٫۶ درجه سلسیوس در دی ماه ۱۴۰۰ تا حداکثر ۲۹٫۹ درجه سلسیوس در تیرماه متغیر بوده است (نمودار شماره ۱). بدین ترتیب روزهای شبیه‌سازی می‌بایست از تیرماه گزینش گردد. به منظور انتخاب روز شبیه‌سازی، داده‌های روزانه تیر مورد بررسی قرار گرفتند.

داده‌های میانگین دمای روزانه تیرماه سال ۱۴۰۰ شهر شیراز، حاکی از آن بود که حداقل میانگین دما در ماه یاد شده برابر ۲۹٫۶ درجه سلسیوس در روزهای دوم و ۲۳ تیرماه بوده و حداکثر میانگین دما در این ماه برابر با ۳۴٫۴ درجه سلسیوس در روز دهم تیرماه بوده است (نمودار شماره ۲). بدین ترتیب داده‌های آب‌وهوایی روز ۱۰ تیرماه به‌عنوان گرم‌ترین روز سال در شهر شیراز برای شبیه‌سازی گزینش شد. گرم‌ترین ساعات گرم‌ترین روز سال "ساعت ۱۲ بعد از ظهر روز ۱۰ تیرماه

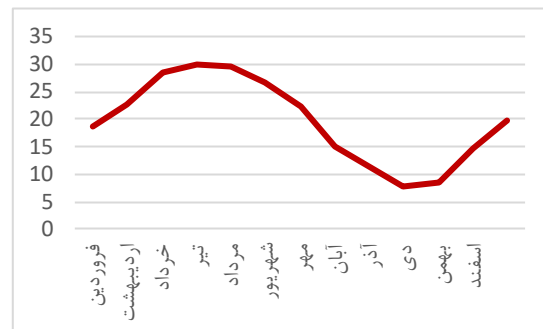
محل سنگ سیاه که محدوده مطالعاتی پژوهش حاضر است، در بخش جنوب غربی بافت تاریخی شیراز واقع شده است. با وجود تخریب‌های گسترده‌ای که این محل تجربه کرده است، به واسطه اقدامات دهه‌های اخیر شهرداری، موفق به حفظ تمامیت خود به‌عنوان یک محل تاریخی شده است. نتایج حاصل از بررسی به‌عمل آمده از اسناد تاریخی حاکی از آن بود که نقشه سال ۱۳۴۳ شیراز (که به منظور تدوین طرح جامع شهر شیراز تهیه و ترسیم شده بود) به سبب جامعیتی که در ارائه داده‌های کالبدی تاریخی دارد، نسبت به اسناد پیشین خود دقت بالاتری در توصیف طراحی تاریخی همساز با اقلیم محدوده مطالعاتی داراست و بر این اساس به‌عنوان سند تاریخی مبنای پژوهش انتخاب شده است (تصویر شماره ۲).

#### ۴. بحث و یافته‌ها

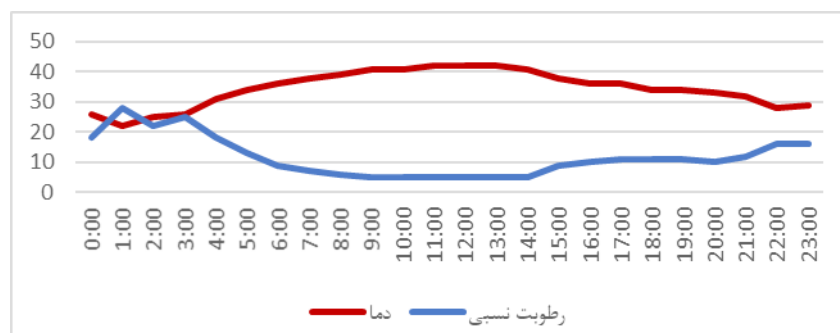
با توجه به اهمیت تعدیل شرایط حرارتی در روزهایی با شرایط اقلیمی نامطلوب، در پژوهش حاضر تلاش بر آن بوده است تا گرم‌ترین روز سال مبنای شبیه‌سازی شرایط خرداقلیمی قرار گیرد. بدین منظور



نمودار شماره ۲: میانگین دمای روزانه شهر شیراز در تیرماه ۱۴۰۰



نمودار شماره ۱: میانگین دمای ماهانه شهر شیراز در سال ۱۴۰۰

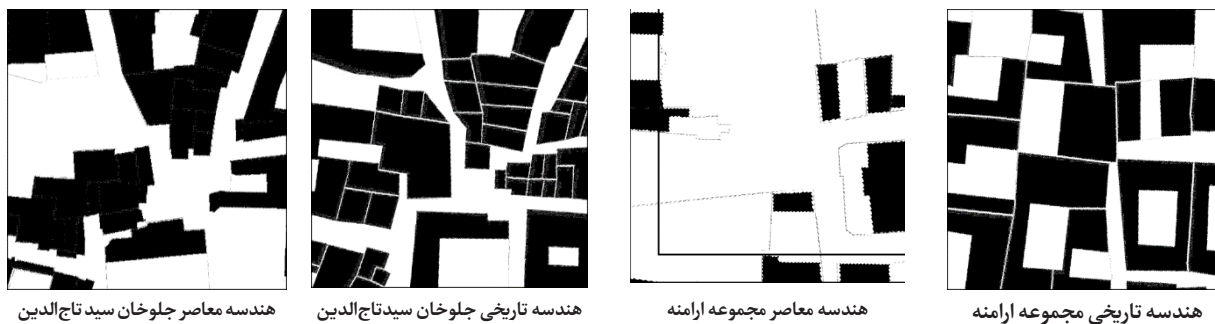


نمودار شماره ۳: نمودار تغییرات دما و رطوبت روزانه شیراز در گرم‌ترین روز سال (۱۰ تیرماه ۱۴۰۱)

شبیه‌سازی (30×50×50) و لزوم در نظر گرفتن ابعاد شبکه‌ای 1×1×2 m به منظور اطمینان از اعتبار نتایج خرداقلیمی شبیه‌سازی شده، دو برش از بخش‌های متفاوت شاهراه محدوده مطالعاتی (گذر سنگ سیاه) در محیط نرم‌افزار شبیه‌سازی شده است که شامل بخش جنوبی (جلوخان سید تاج‌الدین) و شمالی (بخشی از گذر سنگ سیاه، ساباط نرسیده به بازارچه آرامنه) برای شبیه‌سازی در محیط نرم‌افزار ENVI-met است (تصویر شماره ۳).

۱۴۰۱، مبنای شبیه‌سازی پژوهش قرار گرفت تا نتایج حاصل از شبیه‌سازی، بازتاب کاملی از شرایط خرداقلیمی فضاهای شهری در ساعات اوج حرارتی استفاده از فضا باشد. به منظور مقایسه تطبیقی وضعیت تاریخی و معاصر محدوده، نقشه دو بعدی وضع موجود و شرایط تاریخی مبدأ پژوهش (سال ۱۳۴۳)، در محیط نرم‌افزار GIS برهم‌اندازی شده تا بخش‌های تغییر یافته بافت مشخص گردد. باتوجه به محدودیت فضایی نرم‌افزار در مساحت محدوده



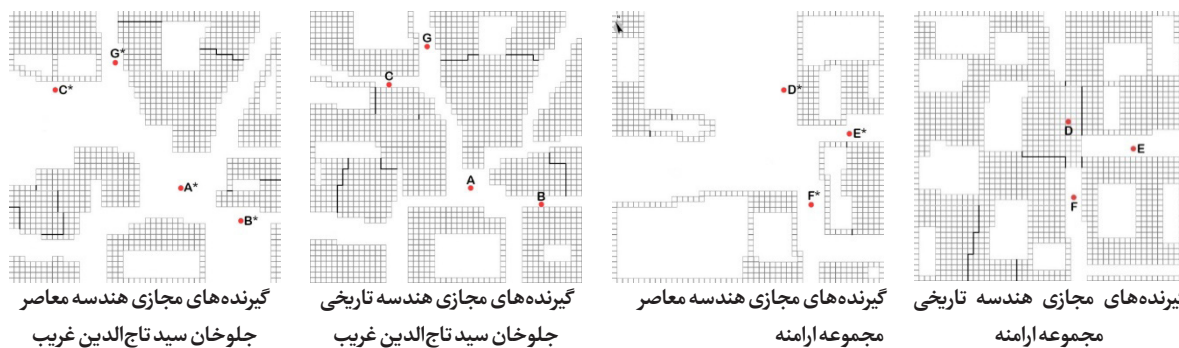


تصویر شماره ۳: برش های منتخب مورد مطالعه برای شبیه سازی در محیط نرم افزار ENVI-met

تا ضمن برخورداری از توزیع فضایی مناسب در سطح محدوده منتخب مطالعاتی، امکان مقایسه تطبیقی داده های کالبدی، خرداقلیمی و آسایش حرارتی به دست آمده را فراهم آورند (تصویر شماره ۴).

به منظور محاسبه سطح آسایش حرارتی و استخراج دقیق تر داده های خرداقلیمی و شاخص SVF، مجموعاً ۱۴ گیرنده مجازی<sup>۱</sup> در بخش های متفاوت محدوده های مطالعاتی با توزیع فضایی متناسب مکانیابی شده اند. در گزینش محل استقرار این گیرنده ها، تلاش بر آن بوده است

### 1 Receptors



تصویر شماره ۴: توزیع فضایی گیرنده های مجازی برش های منتخب مورد مطالعه

شبیه سازی شد. چکیده ای از داده های ورودی در جدول شماره ۲ آورده شده است.

۴.۱ فرایند ورود داده، شبیه سازی و سنجش اعتبار داده به منظور برآورد شرایط خرداقلیمی، وضعیت تاریخی و معاصر برش های مطالعاتی به صورت جداگانه در محیط نرم افزار Spaces ENVI-met

جدول شماره ۲: مروری بر پارامترهای اقلیمی ورودی به نرم افزار ENVI-met

موقعیت جغرافیایی	60°N, 52°53'E 29 شیراز
تعداد شبکه	۵۰×۵۰×۲۰
ابعاد شبکه	۱×۱×۱
روز شبیه سازی	۷ ژوئیه ۲۰۲۲
زمان شبیه سازی	۱۰ صبح الی ۱ بعد از ظهر
مدت شبیه سازی	۳ ساعت
جهت باد	۱۱۰ درجه
سرعت باد	۲ متر بر ثانیه
میزان زبری سطح	۰٫۱

مستقر در فضا، در نرم افزار اکسل برای نمایش کمی و امکان مقایسه تطبیقی کمی وارد شد. در ادامه این بخش داده های به دست آمده از فرایند فوق، در قالب بررسی تطبیقی "شاخص های هندسه شهری" و "شاخص های خرداقلیمی" برش های مطالعاتی آمده است. پیش از انجام فرایند شبیه سازی شرایط خرداقلیمی در محیط نرم افزار،

پس از مدل سازی هندسه شهری تاریخی و معاصر برش های منتخب مطالعاتی در نرم افزار ENVI-met، داده های به دست آمده برای مقطع زمانی ۱۲ ظهر روز ۱۰ تیرماه با دمای ۴۲ درجه سلسیوس و رطوبت نسبی پنج درصد، در ارتفاع ۱٫۵ متر از سطح زمین در نرم افزار Leonardo برای نمایش گرافیکی و داده های به ثبت رسیده توسط گیرنده های مجازی

برآورد شد. پس از آن مقادیر شاخص های MSE، RMSE و MAE با استفاده از نرم افزار اکسل برای داده های برآورد شده و اندازه گیری شده در هر نقطه محاسبه شد. نتایج نشان داد همبستگی بالا میان مقدار دمای اندازه گیری شده در محیط و مقادیر برآورد شده توسط نرم افزار وجود دارد و با خطای قابل قبول، اعتبار داده های حاصل از شبیه سازی را تأیید می نماید (جدول شماره ۳).

به منظور اعتبارسنجی داده های حاصل از شبیه سازی در پژوهش، دمای هوا در محل استقرار گیرنده های مجازی یاد شده با استفاده از دستگاه Lutron HT-30075SD در تاریخ ۱۰ تیرماه ۱۴۰۱، در بازه زمانی ۱۱ تا ۱۳ بعد از ظهر ۳۰ دقیقه یک بار (در ارتفاع ۱/۵ متری از سطح زمین) اندازه گیری شد. سپس با استفاده از امکانات نرم افزار SPSS، مقدار همبستگی داده های اندازه گیری و داده های حاصل از شبیه سازی

جدول شماره ۳: اعتبارسنجی داده های برآورد شده توسط نرم افزار ENVI-met

C*		B*		A*	
					
R	0.944	R	0.838	R	0.949
R <sup>2</sup>	0.892	R <sup>2</sup>	0.703	R <sup>2</sup>	0.9
Adjusted R <sup>2</sup>	0.838	Adjusted R <sup>2</sup>	0.554	Adjusted R <sup>2</sup>	0.85
MSE	1.06336705	MSE	0.3579712	MSE	0/597501557
RMSE	1.0311969	RMSE	0.59830694	RMSE	0/772982249
MAE	1.011218	MAE	0.567768	MAE	0/755015
F*		E*		D*	
					
R	0.933	R	0.881	R	0.912
R <sup>2</sup>	0.87	R <sup>2</sup>	0.777	R <sup>2</sup>	0.832
Adjusted R <sup>2</sup>	0.804	Adjusted R <sup>2</sup>	0.665	Adjusted R <sup>2</sup>	0.748
MSE	1.19527292	MSE	0.53269734	MSE	0.80020851
RMSE	1.09328538	RMSE	0.72986118	RMSE	0.89454374
MAE	1.08361	MAE	0.66636	MAE	0.015642

گیرنده های مجازی جلودان سید تاج الدین غریب

گیرنده های مجازی مجموعه آرامنه

جهت گیری کلی فضا را نسبت به تابش و وزش باد تغییر نداده است. تغییرات نسبت ارتفاع به عرض: میزان این شاخص در محدوده عموماً بین ۸٫۶ درصد تا ۹۷٫۳ درصد کاهش یافته است (جدول شماره ۴)؛ چرا که با تخریب جداره و تعریض معابر محدوده مطالعاتی مقدار W (عرض معبر) افزایش یافته و به واسطه تغییر نه چندان چشمگیر مقدار H (ارتفاع جداره)، نسبت ارتفاع به عرض کاهش یافته است. تنها در نقطه استقرار گیرنده مجازی G و G\*، به دلیل عدم تغییر جداره مجاور، مقدار این شاخص ثابت مانده است.

#### ۴٫۲. شاخص های هندسه شهری

تغییرات هندسه شهری در قالب بررسی شاخص های جهت گیری معبر و ساختمان ها، شاخص نسبت ارتفاع به عرض و شاخص دید به آسمان صورت گرفته است. تغییرات جهت گیری معبر و ساختمان ها: بررسی تطبیقی شرایط تاریخی و معاصر هندسه شهری نشان می دهد جهت گیری معابر و ساختمان ها در دو بازه زمانی مورد مطالعه تفاوتی نداشته است؛ چرا که بیشتر اقدامات کالبدی صورت گرفته در این محدوده، از نوع تخریب بوده و

جدول شماره ۴: مقایسه تطبیقی نسبت ارتفاع به عرض در محل استقرار گیرنده های مجازی برش های مطالعاتی

درصد تغییرات	نسبت H/W	گیرنده مجازی	نسبت H/W	گیرنده مجازی	محل استقرار
-۳۲٫۸	۰٫۵۱	A*	۰٫۷۶	A	جلودان سید تاج الدین غریب
-۸۹٫۹	۰٫۲۷	B*	۲٫۶۹	B	
-۸۸٫۷	۰٫۴۶	C*	۴٫۰۸	C	
۰	۱٫۵۸	G*	۱٫۵۸	G	
-۹۱٫۶	۰٫۳۲	D*	۳٫۸۲	D	مجموعه آرامنه
-۸٫۶	۱٫۲۶	E*	۱٫۳۸	E	
-۹۷٫۳	۰٫۰۷	F*	۲٫۹۶	F	

تا ۵۲۷٫۰، و در وضعیت معاصر از ۵۶۹٫۰ تا ۹۰۲٫۰ نوسان داشته است. مقایسه تطبیقی داده‌های ثبت شده توسط گیرنده‌های مجازی مستقر شده در مکان‌های یکسان در شرایط قبل و بعد نیز گزاره فوق را پشتیبانی می‌کند (جدول ۵).

**تغییرات شاخص دید به آسمان:** مقدار شاخص دید به آسمان در وضعیت تاریخی جلوخان سید تاج‌الدین غریب از ۴۰۵٫۰ تا ۶۹۳٫۰ متغیر بوده است. این درحالیست که مقدار این شاخص در وضعیت معاصر فضای یاد شده از ۶۳۷٫۰ تا ۸۸۲٫۰ نوسان داشته است. به موازات آن نیز مقدار شاخص دید به آسمان وضعیت بومی مجموعه آرامنه از ۰٫۲

جدول ۵: مقایسه تطبیقی ضریب دید به آسمان در محل استقرار گیرنده‌های مجازی برش‌های مطالعاتی

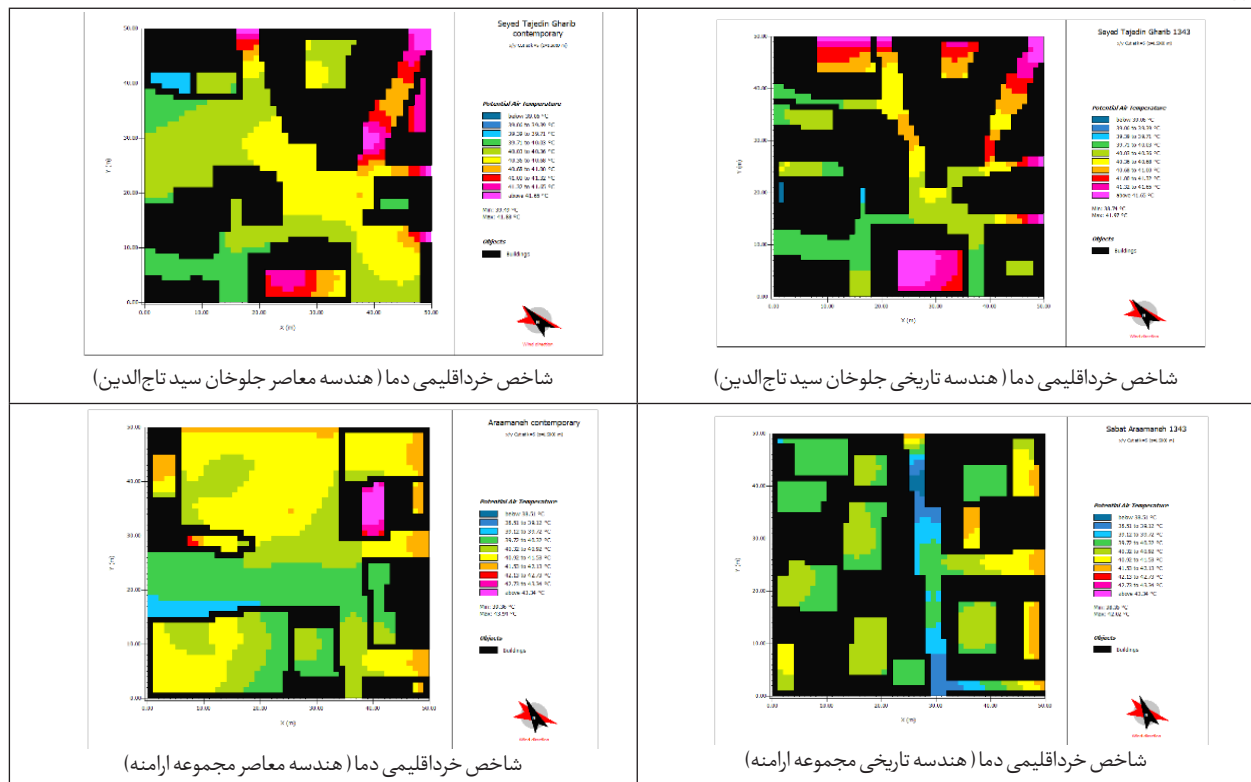
محل استقرار	گیرنده مجازی	ضریب دید به آسمان	گیرنده مجازی	ضریب دید به آسمان	درصد تغییرات
جلوخان سید تاج‌الدین غریب	A	۶۹۳٫۰	A*	۸۱۶٫۰	۱۷٫۷
	B	۴۳۶٫۰	B*	۷۵۳٫۰	۷۲٫۷
	C	۴۰۵٫۰	C*	۷۲۸٫۰	۷۹٫۹
	G	۵۲۱٫۰	G*	۶۷۹٫۰	۳۰٫۳
مجموعه آرامنه	D	۰٫۲	D*	۷۶٫۰	۳۷۰۰
	E	۵۲۷٫۰	E*	۵۶۹٫۰	۷٫۹
	F	۴۶۴٫۰	F*	۶۸۶٫۰	۴۷٫۸

**تغییرات شاخص خرد اقلیمی دما:** نتایج حاصل از شبیه‌سازی نشان می‌دهد، در وضعیت معاصر مساحت پهنه‌های با دمای بالاتر در هر دو فضای مورد مطالعه، نسبت به طراحی تاریخی آن افزایش یافته است (تصویر شماره ۵). تا حدی که در مجموعه آرامنه، به واسطه حضور عنصر ساباط، اقلیم کلان حاکم بر محدوده با دمای ۴۲ درجه، تا کمتر از ۳۸٫۵ درجه سلسیوس در بخش‌هایی از معبر تقلیل یافته است. درحالی که دمای بخش‌های گفته شده، تحت تأثیر هندسه معاصر آن به حدود ۴۱ درجه سلسیوس می‌رسد. به‌عنوان مثالی مشابه، می‌توان به گسترش پهنه‌های با دمای ۴۰٫۳۶ تا ۴۰٫۶۸ درجه سلسیوس و کاهش پهنه‌های با بازه دمایی ۳۹٫۷۱ تا ۴۰٫۰۳ درجه سلسیوس در وضعیت معاصر جلوخان سید تاج‌الدین غریب، نسبت به شرایط تاریخی آن اشاره داشت.

بنابراین به واسطه تخریبات صورت گرفته در فضاهای گفته شده، میزان نمایانی آسمان در فضاهای یاد شده به‌طور کلی افزایش یافته است. لازم به تأکید است که در محل استقرار گیرنده مجازی G و G\*، با وجود عدم تغییر جداره و به دنبال آن ثبات مقدار H/W، به واسطه تخریب جداره محور در امتداد جنوبی، ضریب دید به آسمان افزایش یافته است.

### ۴٫۳. شاخص‌های خرد اقلیمی

بررسی تغییرات خرد اقلیمی فضاهای شهری مطالعاتی در قالب بررسی چهار شاخص خرد اقلیمی «دما»، «دمای تابشی»، «رطوبت نسبی» و «سرعت باد»، به دو صورت نقشه و داده‌های به ثبت رسیده توسط گیرنده‌های مجازی مستقر در فضا صورت می‌پذیرد که به شرح ذیل آورده شده است.



تصویر شماره ۵: وضعیت شاخص خرد اقلیمی دما تحت تأثیر هندسه تاریخی و هندسه وضع موجود در برش‌های منتخب

حدود ۱٫۵ درجه اختلاف دما در نقطه استقرار گیرنده مجازی F\* و F شده است. گزاره فوق برای تمامی داده‌های پژوهش صدق کرده و تنها در مواردی جزئی و در بازه زمانی کوتاهی توسط گیرنده‌های B و C پشتیبانی نمی‌شود که می‌تواند ناشی از خطای محاسبات نرم‌افزار در ساعات و پهنه‌های ابتدایی شبیه‌سازی ناشی گردد.

مقایسه تطبیقی دماهای ثبت شده توسط گیرنده‌های مجازی مستقر در برش‌های مطالعاتی نتایج را تأیید می‌کند. بنابر مقایسه این داده‌ها تغییرات دمای فضاها مطالعاتی تحت تأثیر هندسه معاصر در بازه گرم‌تری در ساعات متفاوت روز نسبت به طراحی گذشته خود تغییر می‌کنند (نمودار شماره ۴). بیشترین اختلاف پدید آمده نیز به واسطه تخریب ساباط آرامنه است. به طوری که تخریب ساباط منجر به ایجاد



نمودار شماره ۴: مقایسه تطبیقی تغییرات دمایی گیرنده‌های مجازی در بازه زمانی ۱۱ تا ۱۳

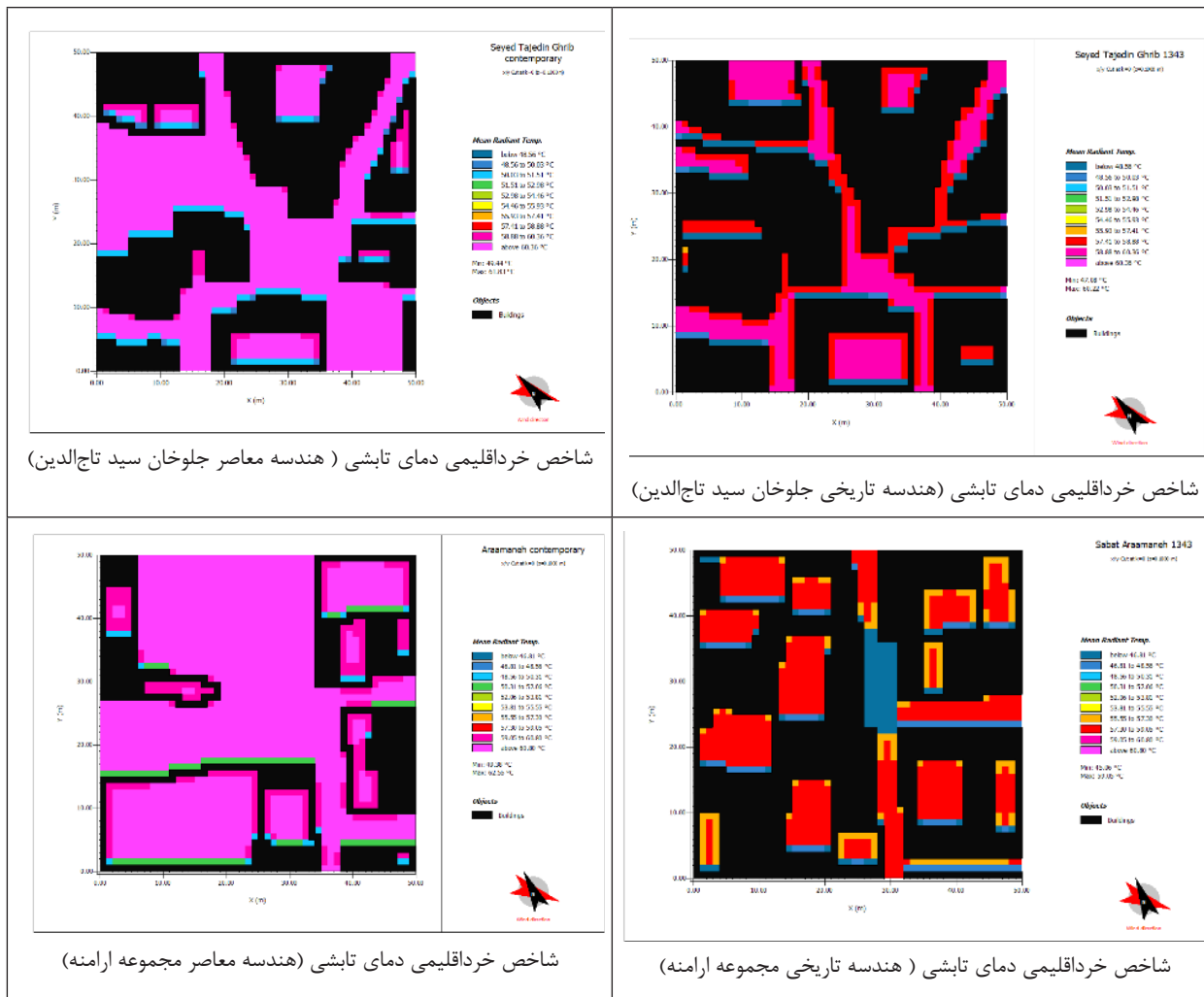
درجه سلسیوس نسبت به وضعیت تاریخی آن بالاتر است (نمودار شماره ۵). چرا که شرایط کالبدی تاریخی محدوده‌های مطالعاتی توانایی چشمگیری در سایه‌اندازی بر فضاها میانه خود داشته‌اند؛ در حالی که میزان سایه‌اندازی در شرایط معاصر به شدت کاهش یافته است. بیشترین تغییر نیز به واسطه تخریب ساباط آرامنه توسط گیرنده‌های مجازی D و D\* به ثبت رسیده است.

**تغییرات شاخص خرداقلیمی رطوبت نسبی:** نتایج حاکی از آن است که تغییرات این شاخص خرداقلیمی برخلاف شاخص‌های پیشین چندان محسوس نیست (تصویر شماره ۷). هرچند این عدم اختلاف را می‌توان با عدم شبیه‌سازی عناصر الحاق شده به فضا از جمله پوشش گیاهی و آب توجیه کرد؛ با این حال داده‌های ثبت شده توسط گیرنده‌های مجازی مستقر در فضاها مطالعاتی، کاهش جزئی سطح رطوبت تحت تأثیر مورفولوژی معاصر را نشان می‌دهند (نمودار شماره ۶).

بنابر داده‌های کمی ثبت شده توسط این گیرنده‌ها، میزان رطوبت نسبی برش‌های مطالعاتی بین ۲٪ تا ۵ درصد تحت هندسه معاصر نسبت به هندسه تاریخی خود کاهش یافته‌اند. عموم داده‌های حاصل از گزاره فوق پیروی می‌کنند به جز در مواردی با بازه زمانی محدود که می‌تواند ناشی از خطای نرم‌افزار در محاسبات شبیه‌سازی خرداقلیمی در اقلیم خشک آسیایی باشد.

**تغییرات شاخص خرداقلیمی دمای تابشی:** بررسی تطبیقی میزان دمای تابشی تحت تأثیر هندسه تاریخی و معاصر نشان می‌دهد مقدار شاخص یاد شده تحت تأثیر هندسه معاصر به شدت نسبت به پیشینه خود افزایش یافته و سطوح تحت پوشش سایه در هر دو فضای مورد مطالعه، به شدت کاهش یافته است. برای مثال، بخش‌های تحت پوشش سایه هندسه تاریخی جلوخان سید تاج‌الدین غریب دارای دمای تابشی کمتر از ۴۸٫۵ درجه سلسیوس را تجربه می‌کرده‌اند. این درحالیست که نقاط تحت پوشش سایه هندسه معاصر این فضا دمای تابشی حدود ۵۰٫۵ درجه سلسیوس را رقم زده‌اند. دمای تابشی بخش‌های میانی فضای یاد شده نیز، از حدود ۵۸ درجه سلسیوس تحت تأثیر هندسه تاریخی، به بیش از ۶۰٫۳۶ درجه سلسیوس در وضعیت معاصر رسیده است. به موازات آن در مجموعه آرامنه نیز نقاط گسترده تحت پوشش سایه با دمای تابشی کمتر از ۴۶٫۸ درجه سلسیوس در وضعیت بومی از بین رفته و پهنه‌های جزئی تحت پوشش سایه با دمای تابشی بیش از ۵۲ درجه سلسیوس جایگزین آن شده‌اند (تصویر شماره ۶). بخش‌های میانی فضای آرامنه نیز در وضعیت تاریخی دمای تابشی حدود ۵۷٫۳ تا ۵۹٫۰۵ درجه سلسیوس را تجربه می‌کرده است؛ درحالی که در وضعیت معاصر به بیش از ۶۰٫۸۰ درجه سلسیوس رسیده است.

داده‌های ثبت شده توسط گیرنده‌های مجازی نیز از نتایج فوق پشتیبانی می‌کنند. میزان دمای تابشی وضعیت معاصر بین ۲ تا ۱۵



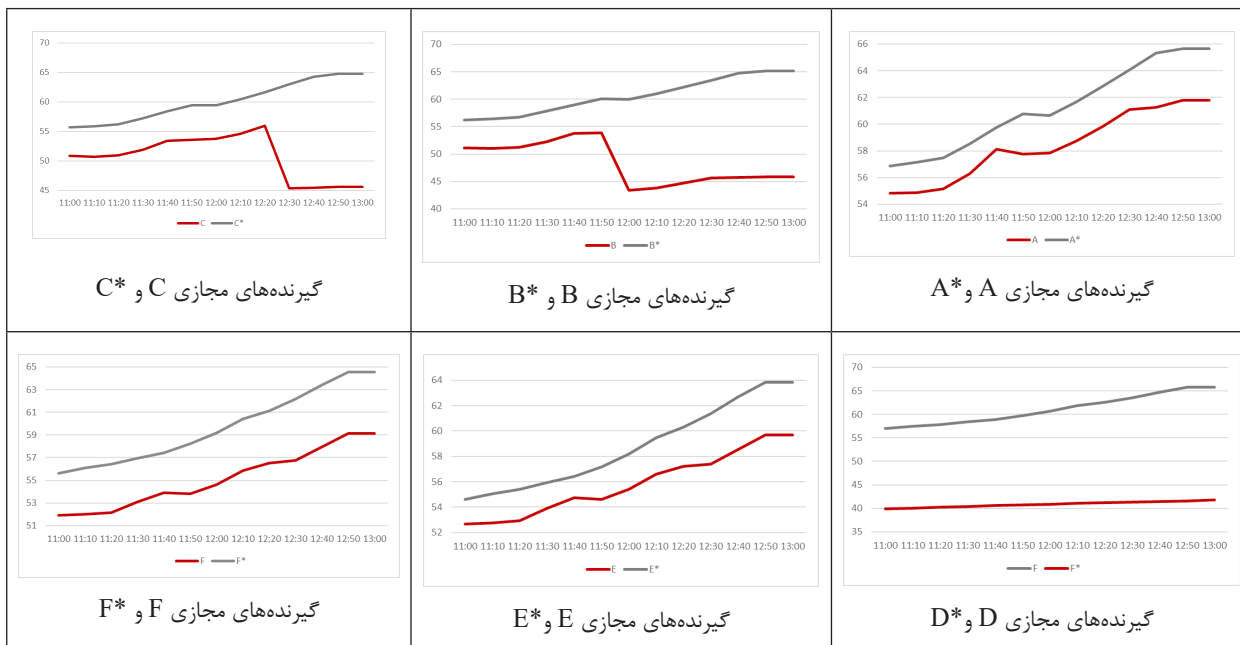
شاخص خرداقلیمی دمای تابشی (هندسه معاصر جلوخان سید تاج‌الدین)

شاخص خرداقلیمی دمای تابشی (هندسه تاریخی جلوخان سید تاج‌الدین)

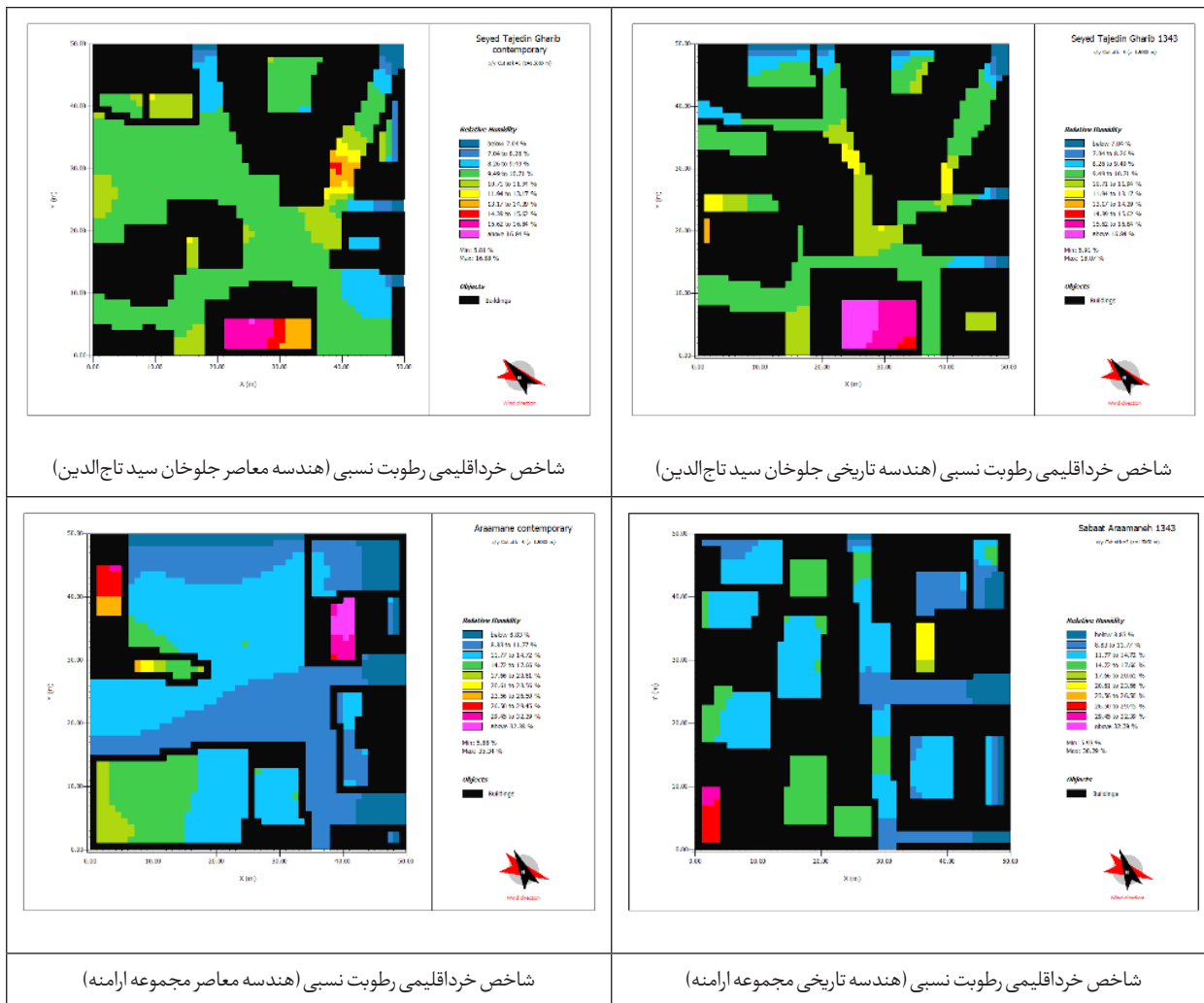
شاخص خرداقلیمی دمای تابشی (هندسه معاصر مجموعه آرامنه)

شاخص خرداقلیمی دمای تابشی (هندسه تاریخی مجموعه آرامنه)

تصویر شماره ۶: وضعیت شاخص خرداقلیمی دمای تابشی تحت تأثیر هندسه تاریخی و هندسه وضع موجود در برش های منتخب



نمودار شماره ۵: مقایسه تطبیقی تغییرات دمای تابشی گیرنده‌های مجازی در بازه زمانی ۱۱ تا ۱۳



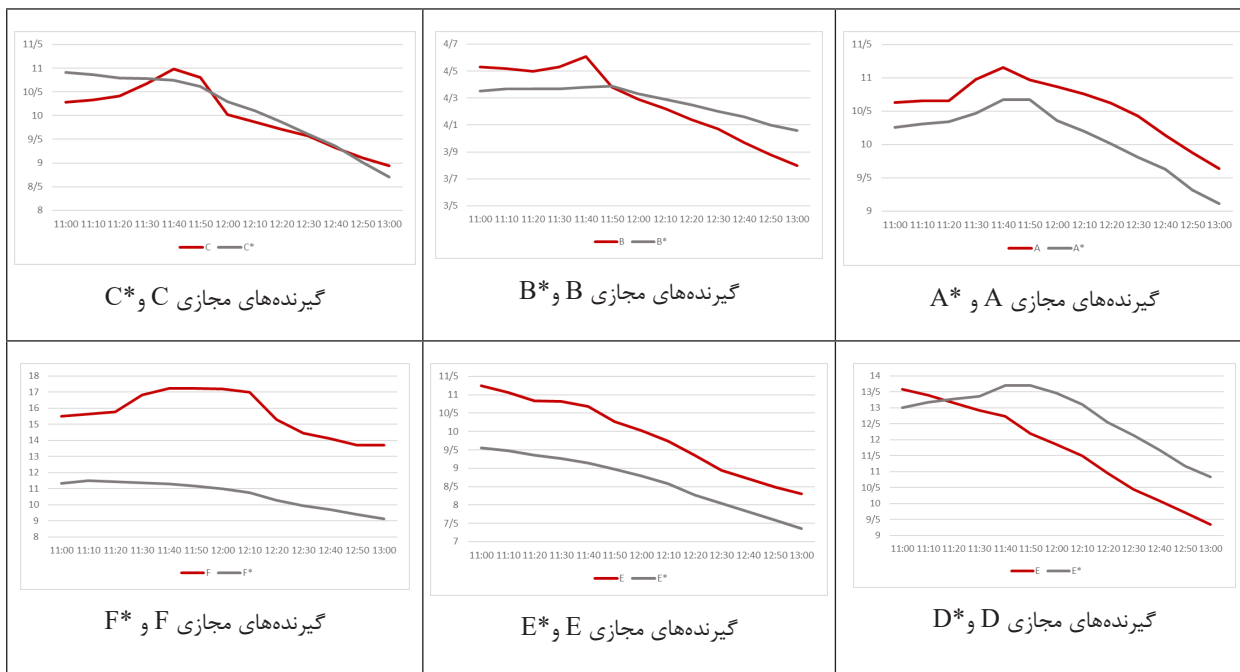
شاخص خرداقلیمی رطوبت نسبی (هندسۀ معاصر جلوخان سید تاج‌الدین)

شاخص خرداقلیمی رطوبت نسبی (هندسۀ تاریخی جلوخان سید تاج‌الدین)

شاخص خرداقلیمی رطوبت نسبی (هندسۀ معاصر مجموعه ارامنه)

شاخص خرداقلیمی رطوبت نسبی (هندسۀ تاریخی مجموعه ارامنه)

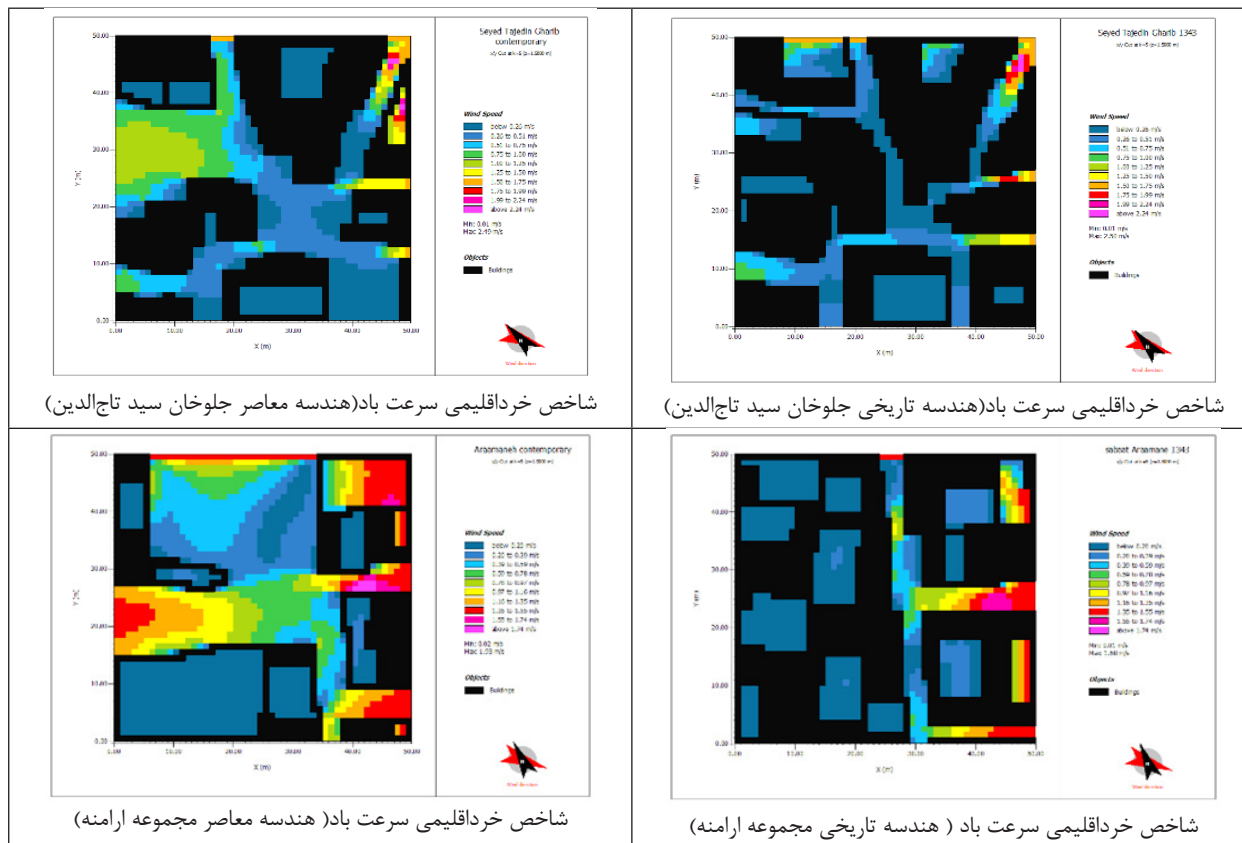
تصویر شماره ۷: وضعیت شاخص خرداقلیمی رطوبت نسبی تحت تأثیر هندسه تاریخی و هندسه وضع موجود در برش های منتخب



نمودار شماره ۶: مقایسه تطبیقی تغییرات رطوبت نسبی گیرنده‌های مجازی در بازه زمانی ۱۱ تا ۱۳

مطالعاتی نیز پشتیبانی می‌شود (نمودار شماره ۷)، در محدوده مطالعاتی حاضر، باز میان رفتن شمار نسبتاً بالایی از قطعات، سرعت باد به طور کلی در اکثر نقاط افزایش یافته است. این تغییر سرعت باد عموماً بین ۸ تا نهایتاً ۷٪ متر بر ثانیه بوده است. تنها در داده‌های ثبت شده توسط گیرنده‌های مجازی D و D\*، سرعت باد در وضعیت تاریخی نسبت به شرایط معاصر آن بیشتر بوده است. این امر حاکی از آن است که وجود ساباط در میانه معابر تاریخی، منجر به افزایش جریان هوا در مجموعه می‌شود که امروزه با از بین رفتن ساباط آرامنه، سرعت باد نسبت به وضعیت پیشین خود کاهش یافته است.

**تغییرات شاخص خرداقليمی سرعت باد:** بدیهی به نظر می‌رسد که با تخریب ابنیه و گسترش سطوح باز شهری، گردش باد در فضا تسهیل شده و سرعت باد نیز به دنبال آن در پهنه‌های شهری افزایش یابد. با افزایش سرعت حرکت باد، تبادل حرارت از طریق جریان همرفتی، سرعت گرفته و دمای محیط کاهش می‌یابد. اما باید به این نکته توجه داشت که اقلیم مطالعاتی حاضر، در برخی از روزهای سال تحت تأثیر وزش بادهای گرم و خشک و همچنین حاوی ریزگرد قرار می‌گیرد. بدین ترتیب افزایش سرعت باد در اقلیم خاص مطالعاتی چندان مطلوب نمی‌نماید. همان طور که از نقشه‌های ذیل نیز برآمده و توسط داده‌های به دست آمده از گیرنده‌های مجازی مستقر در کراپ‌های



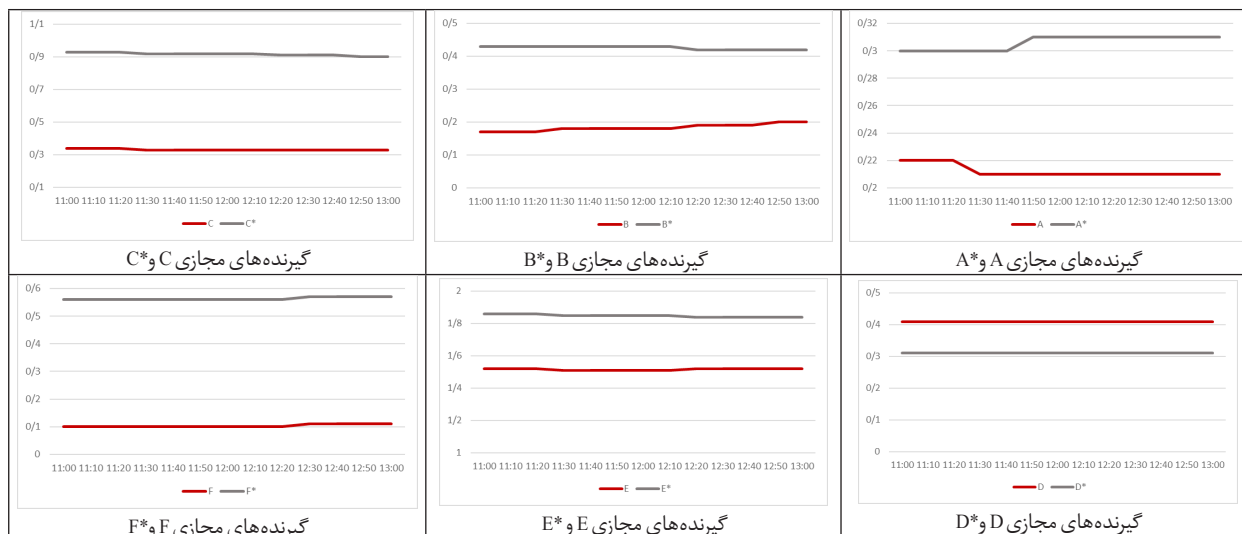
شاخص خرداقليمی سرعت باد (هندسه معاصر جلوخان سيد تاج‌الدین)

شاخص خرداقليمی سرعت باد (هندسه تاریخی جلوخان سيد تاج‌الدین)

شاخص خرداقليمی سرعت باد (هندسه معاصر مجموعه آرامنه)

شاخص خرداقليمی سرعت باد (هندسه تاریخی مجموعه آرامنه)

تصویر شماره ۸: وضعیت شاخص خرداقليمی سرعت باد تحت تأثیر هندسه تاریخی و هندسه وضع موجود در برش‌های منتخب



نمودار شماره ۷: مقایسه تطبیقی تغییرات سرعت باد گیرنده‌های مجازی در بازه زمانی ۱۱ تا ۱۳

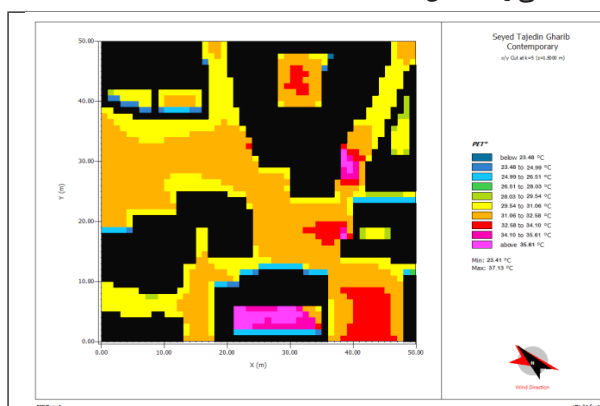
مقابل مقبره، پهنه‌های تحت پوشش سایه و با سطح PET حدود ۲۶ درجه سلسیوس از بین رفته و با پهنه‌های دارای تنش گرمایی بالا جایگزین شده‌اند.

داده‌های کمی ثبت شده توسط گیرنده‌های مجازی مستقر در فضا نیز از گزاره فوق پیروی کرده و نشان می‌دهد در نقاط یکسان، با تغییرات صورت گرفته در ساختار هندسه شهری، قدر مطلق شاخص آسایش حرارتی در محدوده افزایش یافته و تنش گرمایی در محدوده‌های مطالعاتی تشدید شده است (نمودار شماره ۸).

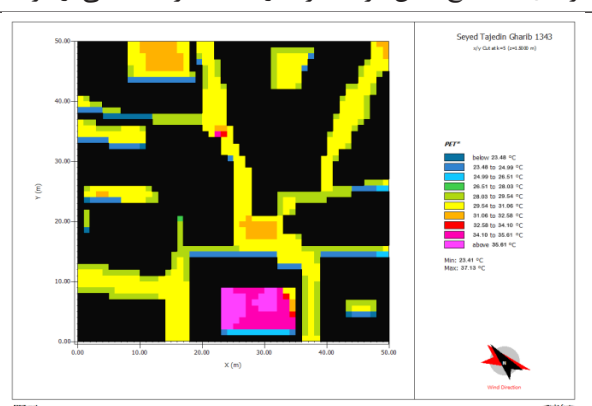
شرایط خرداقليمی برش‌های مطالعاتی، با تغییر در نظام هندسه شهری محدوده، نسبت به شرایط تاریخی خود متفاوت شده‌اند. این تغییرات که شامل کاهش نسبت ارتفاع به عرض و افزایش ضریب دید به آسمان است، افزایش دما، افزایش دمای تابشی، کاهش سطح رطوبت نسبی، افزایش سرعت باد و نهایتاً کاهش سطح آسایش حرارتی در فضاهای مطالعاتی را به دنبال داشته است.

#### ۴.۶. شاخص آسایش حرارتی

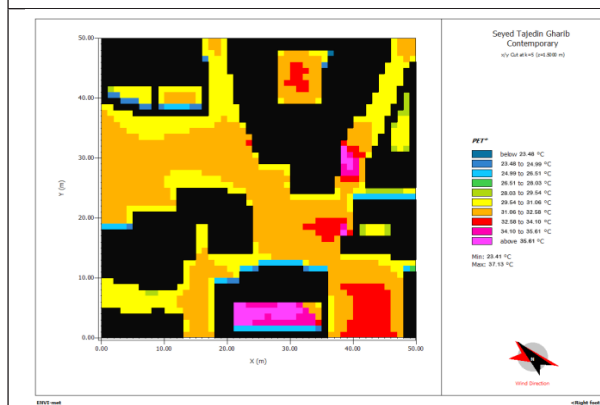
باتوجه به این که شرایط خرداقليمی فضاهای مطالعاتی، تحت تأثیر هندسه شهری معاصر نسبت به شرایط تاریخی خود به کلی دگرگون شده‌اند، بدیهی است که سطح آسایش حرارتی آن نیز تحت الشعاع این تغییرات قرار گیرند. نتایج پژوهش حاکی است که تغییرات خرداقليمی محدوده، منجر به کاهش سطح آسایش حرارتی شده است. همچنین نقشه‌های تصویر شماره ۹ نشان می‌دهد که آسایش حرارتی در محدوده، همبستگی مکانی بالایی با سطوح تحت پوشش سایه از جمله حاشیه معابر و فضای نیمه‌باز ساباط دارد. بدین ترتیب با افزایش سطح ضریب دید به آسمان در شرایط حاضر و کاهش سطوح سایه، آسایش حرارتی در محدوده متزلزل شده است. این تغییرات به ویژه در جلوخان کلیسای آرامنه به واسطه تغییرات چشمگیر سطح ضریب دید به آسمان، به شدت مشهود است. به موازات آن، در فضای جلوخان سید تاج‌الدین غریب نیز به واسطه تخریب بخشی از بلوک



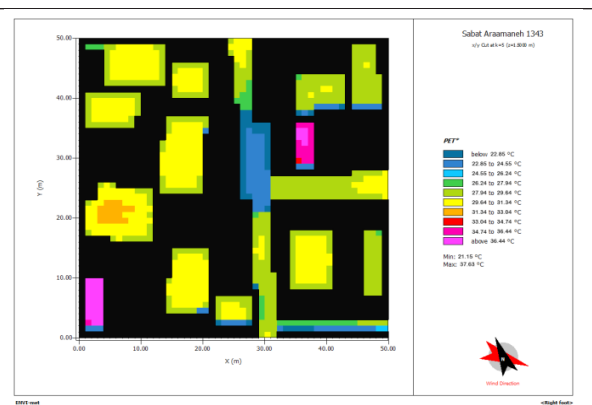
شاخص آسایش حرارتی PET (هندسه معاصر جلوخان سید تاج‌الدین)



شاخص آسایش حرارتی PET (هندسه تاریخی جلوخان سید تاج‌الدین)

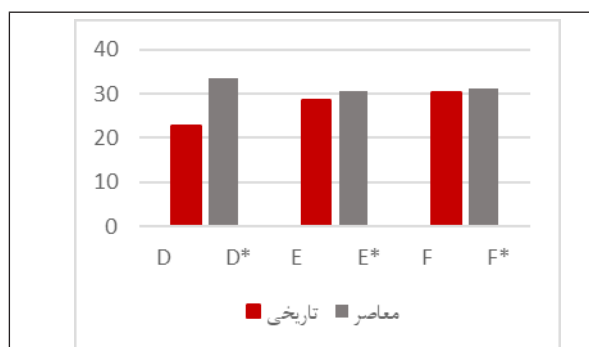


شاخص آسایش حرارتی PET (هندسه معاصر مجموعه آرامنه)

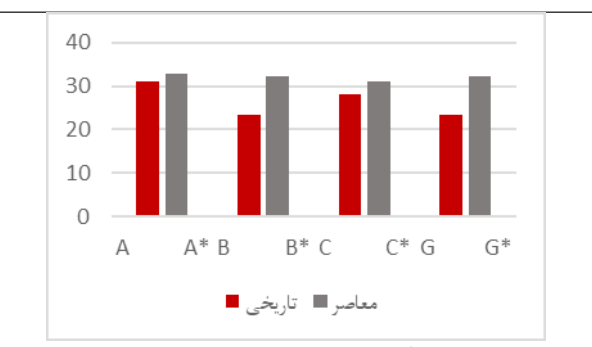


شاخص آسایش حرارتی PET (هندسه تاریخی مجموعه آرامنه)

تصویر شماره ۹: وضعیت شاخص آسایش حرارتی PET تحت تأثیر هندسه تاریخی و هندسه وضع موجود در برش‌های منتخب



مقایسه تطبیقی سطح آسایش حرارتی گیرنده‌های مجازی مجموعه آرامنه



مقایسه تطبیقی سطح آسایش حرارتی گیرنده‌های مجازی فضای جلوخان سید تاج‌الدین غریب

نمودار شماره ۸: مقایسه تطبیقی تغییرات شاخص آسایش حرارتی PET گیرنده‌های مجازی در ساعت ۱۲ ظهر



۵. نتیجه‌گیری

با پیدایش پیامدهای زیست‌محیطی ناشی از توسعه‌های شهری، پژوهش‌های گسترده‌ای در راستای تبیین ارتباط هندسه شهری، شرایط خرداقليمی فضاهای شهری و سطح آسایش حرارتی کاربران فضاهای شهری صورت گرفت. بیشتر این پژوهش‌ها که بر مبنای مقایسه تطبیقی بخش‌های متفاوتی از شهر صورت گرفته، نشان داده‌اند ارتباط متقابلی میان هندسه شهری، شرایط خرداقليمی فضاهای شهری و آسایش حرارتی کاربران فضا برقرار است. بدین ترتیب که هندسه شهری با کنترل دامنه نفوذ عناصر تشکیل دهنده اقليم کلان (دما، تابش، رطوبت نسبی و تابش) تعیین‌کننده شرایط خرداقليمی فضای شهری و سطح آسایش حرارتی فرد حاضر در فضا است. بنابراین هرگونه تغییر در ساختار هندسه شهری، تغییر شرایط خرداقليمی و وضعیت حرارتی فضاهای باز آن محدود را به دنبال خواهد داشت. حال با توجه به این که تغییر، خاصیت انکارناپذیر هر بافت پویای شهری بوده و بافت تاریخی شهر شیراز نیز از قاعده یاد شده مستثنی نیست، در پژوهش حاضر تلاش بر ارزیابی پیامدهای خرداقليمی و حرارتی شرایط تاریخی و معاصر هندسه شهری بوده است. بررسی تطبیقی شرایط خرداقليمی حاکم بر محدوده مطالعاتی قبل و بعد از تغییرات صورت گرفته در محدوده تاریخی سنگ سیاه حاکی از آن بود که هندسه شهری تاریخی محدوده مطالعاتی ضمن صرفه‌جویی در مصرف انرژی، با برخورداری از درک درستی نسبت به شرایط اقليمی کلان، توانایی بالاتری نسبت به هندسه معاصر تصادفی پدید آمده در تعدیل شرایط خرداقليمی فضاهای شهری و فراهم آوردن شرایط آسایش اقليمی کاربر خود دارند. نتیجه یاد شده همسو با نتایج به دست آمده در پژوهش‌های Andreou (2013) و Achour-Younsi (2015) و Kharrat et al (2015) و Azizi et al (2020) بوده است.

بررسی معابر تاریخی مطالعاتی نشان داد، نسبت ارتفاع به عرض بیش از ۲، بانی سایه‌اندازی مطلوب جداره بر مسیر پیاده و تأمین آسایش حرارتی وی بوده است. گزاره فوق، در راستای نتایج Andreou (2013)، Haghghat Naeini (2021) و Thravalou, Tsoka (2017) و Philokyprou (2021) است. همچنین با از بین رفتن بخش‌هایی از بافت مطالعاتی در شرایط معاصر و افزایش ضریب دید به آسمان، شاخص خرداقليمی دمای

تابشی افزایش یافته است. این گزاره نیز همسو با نتایج به دست آمده از پژوهش‌های Achour Younsi و Kharrat (2015) و Wei et al (2016)، Oral و Sözen (2019)، Brozovsky et al (2021) و Heidari, Ghaedi (2020) بوده است. این معابر با برخورداری از فضاهای نیمه‌باز چون سازه‌های سبک، ساباط و طاق، توانایی چشمگیری در تعدیل شرایط خرداقليمی و بهبود سطح آسایش حرارتی به واسطه کنترل نفوذ تابش و هدایت جریان هوا دارند. دیدگاه فوق از نتایج پژوهش‌های Andreou (2013)، Paolini (2014)، Thravalou و Philokyprou (2021) پیروی می‌کند.

برآیند نتایج پژوهش حاضر نشان داد، هندسه شهری تاریخی محدوده مطالعاتی دارای نسبت ارتفاع به عرض بالا و ضریب دید به آسمان محدود بوده است. درحالی که با تغییرات صورت گرفته در ساختار کالبدی مقدار ارتفاع به عرض کاهش و شاخص دید به آسمان افزایش یافته است. افزایش دما، دمای تابشی، سرعت باد و کاهش درصد رطوبت نسبی از پیامدهای خرداقليمی این تغییر کالبدی بوده‌اند که این مجموعه تغییرات منجر به کاهش سطح آسایش حرارتی در محدوده مطالعاتی شده‌اند. بنابراین برای غلبه بر شرایط اقليمی کلان حاکم بر شهر شیراز و ارتقای سطح آسایش حرارتی کاربران فضاهای شهری، می‌بایست الگوی طراحی گره‌برداری شده از هندسه تاریخی همساز با اقليم با جهت‌گیری مناسب معابر و ساختمان‌ها نسبت به تابش، ضریب دید به آسمان محدودتر و نسبت ارتفاع به عرض بالاتر توسعه یابد تا با کاهش دامنه نفوذ تابش و افزایش سطوح تحت پوشش سایه، دما و دمای تابشی مطلوبی را در محیط ایجاد کند. همچنین جهت‌گیری متناسب معابر نسبت به جهت وزش باد، ضمن جلوگیری از ورود بادهای نامطلوب حاوی گرما و یا ریزگرد قادر به هدایت جریان بادهای مطلوب و تهویه مطلوب محیط را به ارمغان می‌آورد. بدین ترتیب شرایط نه‌چندان مساعد اقليمی حاکم بر شهر شیراز در مقیاس خرداقليمی تعدیل شده و شرایط حرارتی مطلوبی در فضاهای شهری رقم می‌خورد (تصویر شماره ۱۰). تعدیل شرایط خرداقليمی فضاهای شهری ضمن جلوگیری از گسترش دامنه پدیده‌های مرتبط با تغییر اقليم و گرمایش شهری، کاهش تقاضای انرژی و افزایش حضورپذیری فضاهای شهری را با ارتقای سطح آسایش حرارتی کاربران به دنبال خواهد داشت.



تصویر شماره ۱۰: اثرات هندسه شهری بر شرایط خرداقليمی در فضاهای شهری

و کاهش دمای تابشی را به دنبال دارد. همچنین جهت‌گیری مطلوب معابر و ساختمان‌ها نسبت به تابش و وزش باد غالب شیراز، منجر به سایه‌اندازی و تهویه مطبوع فضاهای باز شهری می‌گردد. بدین ترتیب به منظور توسعه همساز با اقلیم و دستیابی به پایداری زیست محیطی، باید از سیاست‌های طراحی شهری تاریخی برای احیای بافت مطالعاتی الگوبرداری شود. خلاصه‌ای از راهکارهای توسعه همساز با اقلیم شهر شیراز، با توجه به نتایج پژوهش حاضر، در جدول شماره ۶ ارائه می‌گردد.

جدول شماره ۶: تبیین سیاست‌های تحقق الزامات توسعه هندسه شهری همساز با اقلیم شهر شیراز

راهکارها	الزامات هندسه شهری
جلوگیری از گسترش معابر با طول زیاد و جداره کم ارتفاع	محدود ساختن دامنه ضریب دید به آسمان
در نظر گرفتن فضاهای نیمه‌باز با الگوبرداری از عناصر تاریخی ساباط و طاق	
طراحی فضاهای عمومی مانند بازارچه‌های محلی به صورت سرپوشیده	
ایجاد فضاهای نیمه‌باز در مقابل عناصر شاخص همچون مراکز خدماتی، رفاهی و مذهبی	
در نظر گرفتن پوشش گیاهی بلند به ویژه در معابر با عرض بالا	
ایجاد پیش‌آمدگی در جداره‌های با کاربری مسکونی	افزایش نسبت ارتفاع به عرض
افزایش ایمن ارتفاع جداره معابر اصلی شهر	
تشدید نسبت ارتفاع به عرض در فضاهای عمومی و میدان‌های شهری با گرت‌برداری از الگوی گودال‌باغچه‌های ایرانی	
حفظ عرض محدود برای معابر محلی	جهت‌گیری مطلوب (۶۰ تا ۱۲۰ درجه شمال شرقی)
گسترش معابر اصلی در جهت باد غالب شهر، به منظور تهویه مطبوع محیط	
عنصر آب در ورودی فضاهایی که در جهت غرب به شرق گسترش یافته‌اند، به منظور تصفیه بادهای حاوی ریزگرد	
ایجاد عناصر ساباط یا طاق به منظور سایه‌اندازی و تقویت جریان هوا به ویژه در معابری با جهت‌گیری نامطلوب	

## References:

- Acero, J. A., & Herranz-Pascual, K. (2015). A comparison of thermal comfort conditions in four urban spaces by means of measurements and modelling techniques. *Building and Environment*, 93, 245-257. <https://doi.org/10.1016/j.buildenv.2015.06.028>
- Achour-Younsi, S., & Kharrat, F. (2016). 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*, 216, 689-700. <https://doi.org/10.1016/j.sbspro.2015.12.062>
- Andreou, E. (2013). Thermal comfort in outdoor spaces and urban canyon microclimate. *Renewable energy*, 55, 182-188. <https://doi.org/10.1016/j.renene.2012.12.040>
- Azizi, M. M., Aminzadeh, B., & Aghamolaei, R. (2020). An Evaluation of Thermal Performance of Urban Fabrics in Tehran Climate: Implications for Micro Climate-Sensitive Urban Design. *Journal of Fine Arts: Architecture & Urban Planning*, 25(1), 5-15. 10.22059/jfaup.2020.296175.672397 [In Persian]
- Bahrainy, H., & Khosravi, H. (2015). Comparative study of the impact of micro-climate features on urban behaviour patterns, the case of urban spaces of Yazd (warm and dry climate) and Fuman (moderate and humid climate). *Journal of Environmental Studies*, 41(2), 465-482. 10.22059/jes.2015.54994 [In Persian]
- Brozovsky, J., Corio, S., Gaitani, N., & Gustavsen, A. (2021). Evaluation of sustainable strategies and design solutions at high-latitude urban settlements to enhance outdoor thermal comfort. *Energy and Buildings*, 244, 111037. <https://doi.org/10.1016/j.enbuild.2021.111037>
- Calthrope, P. (2015). *Urbanism in the age of Climate Change*. (Translated by Bahrainy, H., Hemati, M., Mehrnezhadboora, P.), Tehran: University of Tehran Press.
- Delfanian, H., Khakzand, M., Kamyabi, S. (2019). Identifying the Relationship between Vernacular Architecture & Climate through Studying Thermal Comfort Indicators in Nowshahr City. *Armanshahr*, 11(25), 69-79. SID. <https://sid.ir/paper/202480/en> [In Persian]
- Gaber, N., Ibrahim, A., Rashad, A. B., Wahba, E., El-Sayad, Z., & Bakr, A. F. (2020). Improving pedestrian micro-climate in urban canyons: City Center of Alexandria, Egypt. *Urban Climate*, 34, 100670. <https://doi.org/10.1016/j.uclim.2020.100670>
- Haghighat Naeini, G., Fayaz, R., Bigharaz, B., (2019). Achieving Thermal Comfort in Public Spaces Using a Step-by-step Simulation Process Case Study: A

- Neighborhood Unit in Imam Khomeini Town, Lar. Naame Memari va Shahrsazi, 11(21), 77-100 SID. <https://sid.ir/paper/215899/en> [In Persian]
- He, B. J., Ding, L., & Prasad, D. (2020). Relationships among local-scale urban morphology, urban ventilation, urban heat island and outdoor thermal comfort under sea breeze influence. *Sustainable Cities and Society*, 60, 102289. <https://doi.org/10.1016/j.scs.2020.102289>
  - Heidari, S., Ghaedi, H. (2020). Impact of Coastal Fabric Variables on Climatic Variables in Hot and Humid Regions (Case Study: Bandar Abbas). *Olom va Tecnology Mohit Zist*. 22(6), 267-278. <https://civilica.com/doc/1287363/> [In Persian]
  - Johansson, E. (2006). Influence of urban geometry on outdoor thermal comfort in a hot dry climate: A study in Fez, Morocco. *Building and environment*, 41(10), 1326-1338. <https://doi.org/10.1016/j.buildenv.2005.05.022>
  - Kim, Y.J., & Brown, R. D. (2021). A multilevel approach for assessing the effects of microclimatic urban design on pedestrian thermal comfort: The High Line in New York. *Building and Environment*, 205, 108244. <https://doi.org/10.1016/j.buildenv.2021.108244>
  - Mahmoud, H., Ghanem, H., & Sodoudi, S. (2021). Urban geometry as an adaptation strategy to improve the outdoor thermal performance in hot arid regions: Aswan University as a case study. *Sustainable Cities and Society*, 71, 102965. <https://doi.org/10.1016/j.scs.2021.102965>
  - Mansi, S. A., Barone, G., Forzano, C., Pigliautile, I., Ferrara, M., Pisello, A. L., Arnesano, M. (2021). Measuring human physiological indices for thermal comfort assessment through wearable devices: a review. *Measurement*, 109872. <https://doi.org/10.1016/j.measurement.2021.109872>
  - Paolini, R., Mainini, A. G., Poli, T., & Vercesi, L. (2014). Assessment of thermal stress in a street canyon in pedestrian area with or without canopy shading. *Energy Procedia*, 48, 1570-1575. <https://doi.org/10.1016/j.egypro.2014.02.177>
  - Sabrin, S., Karimi, M., Nazari, R., Pratt, J., & Bryk, J. (2021). Effects of different urban-vegetation morphology on the canopy-level thermal comfort and the cooling benefits of shade trees: Case-study in Philadelphia. *Sustainable Cities and Society*, 66, 102684. <https://doi.org/10.1016/j.scs.2020.102684>
  - Thravalou, S., & Philokyprou, M. (2021). Urban design considerations in the environmental assessment of vernacular buildings with timber projections (sachnisi): The case of Nicosia's historic center. *Frontiers of Architectural Research*, 10(1), 176-189. <https://doi.org/10.1016/j.foar.2020.11.001>
  - Tsoka, S. (2017). Investigating the relationship between urban spaces morphology and local microclimate: a study for Thessaloniki. *Procedia environmental sciences*, 38, 674-681. <https://doi.org/10.1016/j.proenv.2017.03.148>
  - Wei, R., Song, D., Wong, N. H., & Martin, M. (2016). Impact of urban morphology parameters on microclimate. *Procedia Engineering*, 169, 142-149. <https://doi.org/10.1016/j.proeng.2016.10.017>
  - Wong, P. P. Y., Lai, P. C., Low, C. T., Chen, S., & Hart, M. (2016). The impact of environmental and human factors on urban heat and microclimate variability. *Building and Environment*, 95, 199-208. <https://doi.org/10.1016/j.buildenv.2015.09.024>
  - Yin, Q., Cao, Y., & Sun, C. (2021). Research on outdoor thermal comfort of high-density urban center in severe cold area. *Building and Environment*, 200, 107938. <https://doi.org/10.1016/j.buildenv.2021.107938>

نحوه ارجاع به مقاله:

حق نگهدار، كيميا؛ شعله، مهسا؛ لطفی، سهند؛ صادقی، علیرضا (۱۴۰۳)، ارزیابی پیامدهای دگرگونی هندسه شهری بر شرایط خرد اقلیمی و آسایش حرارتی؛ نمونه مورد مطالعه: محله تاریخی سنگ سیاه، مطالعات شهری، 14 (53)، 18-3. <https://doi.org/10.22034/urbs.2024.140859.5017>

### Copyrights:

Copyright for this article is retained by the author(s), with publication rights granted to Motaleate Shahri. This is an open-access article distributed under the terms of the Creative Commons Attribution License (<http://creativecommons.org/licenses/by/4.0>), which permits unrestricted use, distribution, and reproduction in any medium, provided the original work is properly cited.

