



Assessing the Impact of Urban Morphology on Outdoor Thermal Comfort:

(A Case Study of the Kababian Neighborhood in Hamadan)

Pariya Faraji¹ Mansoureh Tahbaz² Seyedeh Faezeh Etemad Sheykholeslami^{*3}

Received 30/Jun/2025

Revised: 13/Sep/2025

Accepted: 06/Dec/2025

(PP.: 109-132)

Abstract

Introduction: Rapid urbanization and its consequences, such as climate change and the intensification of urban heat islands, have elevated the importance of urban climatology. This highlights the necessity of designing resilient cities and clarifying the complex interactions among urban microclimates, the physical urban environment, and thermal comfort conditions in residential spaces. Given the limited research on thermal comfort in cold climates, this study aims to identify the optimal urban morphological configurations for such climatic conditions.

Research Method: The organic configuration of the historical urban fabric of Hamedan was used as a baseline for evaluating outdoor thermal comfort. Subsequently, five alternative urban morphological configurations—a two-story linear block, a five-story linear block, a variable-height continuous linear block, a variable-height discontinuous linear block, and a variable-height perimeter block—were compared with the existing organic fabric. Microclimate simulations were conducted using ENVI-met to investigate the effect of urban morphology on the Physiological Equivalent Temperature (PET) during the winter and summer seasons. Furthermore, the impacts of wind velocity and shading duration on PET were examined across six selected zones within each alternative.

Results and Discussion: The data analysis revealed that urban morphological configurations significantly affect PET in both summer and winter. Moreover, the influence of wind velocity and shading duration on PET varied depending on the spatial orientation of the different zones.

Conclusion: The findings indicated that in winter, the organic fabric of the Kababian neighborhood and the variable-height perimeter block (among the proposed alternatives) recorded the highest PET values. Conversely, in summer, the five-story linear block registered the lowest PET values, providing the most favorable outdoor thermal comfort conditions. Detailed spatial analysis further demonstrated that in winter, alleys oriented northeast–southwest (NE–SW) at a 65° angle relative to true north experienced the lowest PET values. In summer, however, NE–SW oriented courtyards at a 30° angle relative to true north exhibited the highest PET values across all alternatives.

Keywords: Thermal comfort, urban outdoor space, urban morphology, Physiological Equivalent Temperature (PET), ENVI-met

¹ M.Sc. in Energy Architecture, Faculty of Architecture and Urban Planning, Shahid Beheshti Uni., Tehran. Iran.

² Prof., Architecture, Department of Building, Faculty of Architecture and Urban Planning, Shahid Beheshti Uni., Tehran, Iran.

³ Assistant Prof., Department of Architecture, Faculty of Civil Engineering and Architecture, Malayer. Iran. Corresponding Author (f_etemad@malayeru.ac.ir)

ارزیابی تأثیر مورفولوژی شهری بر آسایش حرارتی فضاهای باز

(مورد پژوهی: محله کبابیان شهر همدان)

بریا فرجی¹، منصوره طاهباز² و سیده فائزه اعتماد شیخ الاسلامی³

تاریخ پذیرش: 15/آذر/1404	تاریخ بازنگری: 22/شهریور/1404	تاریخ دریافت: 09/تیر/1404
(صفحات: 109-132)		

چکیده

مقدمه: رشد فزاینده شهرنشینی و پیامدهای آن نظیر تغییرات اقلیمی و تشدید جزایر حرارتی، اهمیت اقلیم‌شناسی شهری را افزایش داده است. این امر بر ضرورت طراحی شهرهای تاب‌آور و روشن ساختن تعاملات پیچیده بین اقلیم خرد، محیط کالبدی شهر و شرایط آسایش حرارتی در فضاهای مسکونی شهری تأکید می‌کند. با توجه به کمبود مطالعات آسایش حرارتی در اقلیم‌های سرد، این پژوهش با هدف شناسایی بهینه‌ترین فرم ساختاری شهری در این گونه اقلیم‌ها انجام شد.

روش تحقیق: در این تحقیق، پیکربندی‌های ارگانیک بافت بومی شهر همدان به عنوان مبنایی برای ارزیابی آسایش حرارتی در فضای باز به کار گرفته شد. سپس، پنج آلترناتیو مورفولوژی شهری (شامل بلوک‌بندی خطی دو طبقه، خطی پنج طبقه، خطی پیوسته متغیر، خطی گسسته متغیر و پیرامونی متغیر) با این بافت ارگانیک مقایسه شدند. این مقایسه‌ها با استفاده از نرم‌افزار ENVI-met و با هدف بررسی تأثیر مورفولوژی شهری بر دمای معادل فیزیولوژیکی (PET) در فصول زمستان و تابستان انجام گرفت. علاوه بر این، تأثیر سرعت باد و سایه‌اندازی بر PET در شش ناحیه از هر آلترناتیو مورد بررسی قرار گرفت.

نتایج و بحث: تحلیل داده‌ها نشان داد که چیدمان مورفولوژی شهری بر PET در فصول تابستان و زمستان مؤثر است. همچنین، تأثیر سرعت باد و سایه‌اندازی بر PET با توجه به جهت‌گیری نواحی مختلف، متفاوت بود.

نتیجه‌گیری: نتایج نشان داد که در فصل زمستان، بافت ارگانیک کبابیان و در میان آلترناتیوهای پیشنهادی، بلوک‌بندی پیرامونی متغیر، بالاترین مقدار شاخص PET را نشان دادند. در مقابل، در فصل تابستان، بلوک‌بندی خطی پنج طبقه با ثبت پایین‌ترین مقدار شاخص PET، مطلوب‌ترین شرایط آسایش حرارتی را فراهم کرد. همچنین، یافته‌های تفصیلی نشان داد که در فصل زمستان، کوچه‌های با جهت‌گیری شمال شرقی-جنوب غربی (زاویه 65 درجه نسبت به راستای شمالی) پایین‌ترین مقدار شاخص PET را داشتند، در حالی که در فصل تابستان، حیاط‌های با جهت‌گیری شمال شرقی-جنوب غربی (زاویه 30 درجه نسبت به راستای شمالی) در تمامی آلترناتیوها بالاترین مقدار شاخص PET را نشان دادند.

واژگان کلیدی: آسایش حرارتی، فضای باز شهری، مورفولوژی شهری، دمای معادل فیزیولوژیکی، ENVI-met

¹ کارشناسی ارشد معماری و انرژی دانشگاه شهید بهشتی تهران، ایران.

² استاد، معماری، گروه ساختمان، دانشکده معماری و شهرسازی، دانشگاه شهید بهشتی، تهران، ایران.

³ استادیار، گروه مهندسی معماری، دانشکده مهندسی عمران و معماری، دانشگاه ملایر، تهران، ایران. (f_etemad@malayeru.ac.ir)

1- مقدمه

یکی از شناخته‌شده‌ترین پیامدهای شهرنشینی، پدیده جزیره حرارتی شهری (UHI)^۱ است که موجب افزایش دمای مناطق شهری نسبت به نواحی پیرامونی می‌شود. این پدیده در کنار تغییرات اقلیمی، آسایش حرارتی، مصرف انرژی و کیفیت زندگی شهروندان را تحت تأثیر قرار داده و به یکی از مهم‌ترین چالش‌های برنامه‌ریزی و طراحی شهری تبدیل شده است. اگرچه بخش عمده پژوهش‌ها بر پیامدهای جزیره حرارتی شهری در اقلیم‌های گرم و گرمسیری، از جمله افزایش تنش گرمایی، کاهش کیفیت فضاهای باز و افزایش مصرف انرژی برای سرمایش متمرکز بوده‌اند (Montiel et al., 2020; Shah et al., 2022)، اما در اقلیم سرد و کوهستانی نیز مورفولوژی شهری نقش تعیین‌کننده‌ای در شکل‌گیری شرایط خرداقلیمی و آسایش حرارتی ایفا می‌کند. در اقلیم‌های سرد، هدف اصلی طراحی شهری تنها کاهش اتلاف حرارت نیست، بلکه ایجاد تعادل میان افزایش دریافت تابش خورشیدی در فصل زمستان، کاهش اثر سرمای ناشی از باد و جلوگیری از گرمایش بیش از حد در فصل تابستان نیز اهمیت دارد. ویژگی‌های کالبدی شهر، از جمله ارتفاع ساختمان‌ها، تراکم، نسبت ارتفاع به عرض معابر و نحوه استقرار بلوک‌های شهری، از طریق تأثیر بر تابش خورشیدی، تهویه طبیعی و الگوی جریان باد، شرایط آسایش حرارتی فضاهای باز را به طور مستقیم تحت تأثیر قرار می‌دهند.

با وجود افزایش توجه به توسعه پایدار و تاب‌آوری شهری، ملاحظات خرداقلیمی و آسایش حرارتی هنوز به طور کامل در دستورالعمل‌های طراحی شهری، ضوابط ساختمانی و طرح‌های توسعه شهری لحاظ نشده‌اند. همچنین، بسیاری از مطالعات تنها بر یک شاخص حرارتی یا یک دوره زمانی مشخص تمرکز داشته‌اند و بنابراین قادر به تبیین جامع اثر مورفولوژی شهری بر تغییرات مکانی شرایط خرداقلیمی در مقیاس محله نیستند (Carlucci & Pagliano, 2012). در مقابل، پژوهش‌های اخیر نشان داده‌اند که ادغام ملاحظات خرداقلیمی در فرآیند طراحی شهری می‌تواند علاوه بر کاهش مصرف انرژی و ارتقای تاب‌آوری، کیفیت محیط

و سلامت شهروندان را نیز بهبود بخشد (Crank et al., 2023; Ho & Wong, 2019). این موضوع با اهداف توسعه پایدار (SDGs)^۲ سازمان ملل، به‌ویژه در زمینه ایجاد شهرها و سکونتگاه‌های پایدار، نیز همسو است (Shah, et al., 2022). باوجود این پیشرفت‌ها، مطالعات اندکی به بررسی تأثیر الگوهای مختلف بلوک‌بندی شهری بر آسایش حرارتی در اقلیم‌های سرد و کوهستانی پرداخته‌اند و مقایسه نظام‌مند آرایش‌های مختلف بلوک‌های شهری در چنین اقلیم‌هایی همچنان با کمبود شواهد علمی مواجه است. ازاین‌رو، پژوهش حاضر با بهره‌گیری از شبیه‌سازی خرداقلیمی، تأثیر الگوهای مختلف بلوک‌بندی شهری بر شرایط آسایش حرارتی را در یک اقلیم سرد و کوهستانی ارزیابی کرده و در نهایت مناسب‌ترین چیدمان بلوک‌های شهری را از منظر آسایش حرارتی معرفی می‌کند.

1-1- پیشینه تحقیق و مبانی نظری پژوهش

آسایش حرارتی در فضاهای باز شهری، به عنوان یک حالت ذهنی تعریف می‌شود که نشان‌دهنده رضایت فرد از شرایط حرارتی محیط پیرامون خود است، اخیراً از نظر طراحی شهری، موردتوجه بسیاری قرار گرفته است (Abdollahzadeh & Bitoria, 2021). زیرا این امر یکی از مهم‌ترین عواملی است که به طور مستقیم بر ادراک ساکنان از کیفیت فضای شهری و در نتیجه، رفاه آن‌ها تأثیر می‌گذارد. بنابراین، طراحی محیط‌های با آسایش حرارتی مطلوب در فضاهای باز می‌تواند به بهبود سلامت عمومی، ارتقای کیفیت استفاده از این فضاها و افزایش سطوح تعامل اجتماعی منجر شود (Abdollahzadeh & Bitoria, 2021; Hassan & Megahed, 2021). حرارتی در فضای باز یک موضوع پیچیده است که ممکن است تحت تأثیر عوامل مختلف قرار گیرد. عوامل حرارتی شامل پارامترهای محیطی، خصوصیات شخصی، عناصر طراحی شهری و عوامل فردی و کمک‌کننده است (Hassan & Megahed, 2021). در میان پارامترهای ذهنی محیطی، دمای هوا و تابش خورشیدی به عنوان تعیین‌کننده‌ترین عوامل در احساس حرارتی ریزاقلیمی شناخته می‌شوند (Acero & Herranz-Pascual, 2015).

گذاشتند. آثار ابعاد، SVF، جهت گیری خیابان، و نوع شناسی ساختمان بر آسایش حرارتی فضای باز مورد مطالعه قرار گرفته است. (Abdollahzadeh & Bioria, 2021; Galal et al., 2020) هر دو شواهدی برای اهمیت نسبت ابعاد، جهت گیری خیابان، و گونه‌شناسی در آسایش حرارتی در فضای باز ارائه کردند. علاوه بر این، برای افزایش آسایش حرارتی، نحوه استفاده از قانون نسبت ابعاد، جهت گیری خیابان و فاکتور نمای آسمان را نشان دادند (Achour-Younsi & Kharrat, 2016; saad Shalaby & Mohamed Shafey, 2018). چگونه هندسه‌های شهری متنوع، مانند جهت‌گیری خیابان، نسبت ارتفاع ساختمان به عرض خیابان و فشردگی، بر رفتار حرارتی دره‌های شهری تأثیر می‌گذارد. مطالعات در تعیین تأثیرگذارترین عوامل متفاوت بود. بر اساس اکثر مطالعات مرتبط، نسبت ابعاد و جهت گیری خیابان مرتبط ترین پارامترهای شهری هستند که مسئول تغییرات میکرو اقلیم در مقیاس دره شهری هستند، زیرا آنها به طور مستقیم بر جذب و انتشار تشعشعات خورشیدی، تهویه شهری و در نتیجه آسایش حرارتی در سطح عابر پیاده (Abdollahzadeh & Bioria, 2021; Ali-Toudert & Mayer, 2006; Dissanayake, n.d.; Peng & Huang, 2022; Shishegar, 2013). علاوه بر این، پیکربندی مناسب ساختمان شهری می‌تواند به کاهش پیامدهای منفی آب و هوای شهری کمک کند (Dwiputra et al., 2021; Galal et al., 2020; Ibrahim et al., 2021). بنابراین، هدف از این پژوهش بررسی چگونگی تأثیر هندسه شهری (H/W و جهت‌گیری) و پیکربندی خیابان (pology) بر پارامترهای محیطی و آسایش حرارتی در فضای باز (RH و Va, Ta, Tmrt) در یک دره خیابان شهری است. در مقیاس دره شهری، ارتفاع ساختمان (H)، عرض خیابان (W) و نسبت ابعاد (H/W) که به عنوان نسبت بین ارتفاع ساختمان و عرض خیابان تعریف می‌شود، مدت‌هاست که بین محققان برای نشان دادن شهری مورد توافق قرار گرفته است (Ridha, 2018; Salal Rajan & Amirtham, 2021). عامل مهم دیگری که عملکرد دره و سطوح راحتی را شکل می‌دهد جهت گیری خیابان است (Ibrahim et al., 2021; limona et al., 2021).

(Achour-Younsi & Kharrat, 2016; Lai et al., 2019) سایر پارامترهای محیطی مانند سرعت باد (Krüger & Rossi, 2011) و رطوبت نسبی بر آسایش حرارتی (Ayyad & Sharples, 2019) تأثیر می‌گذارند. مطالعات تأثیر قابل توجه عوامل طراحی شهری، مانند فرم و هندسه شهری، توپوگرافی، پوشش گیاهی، حضور آب و ویژگی‌های سطحی را در اصلاح پارامترهای محیطی و آسایش حرارتی در فضای باز بر این اساس نشان داده‌اند (Salal Rajan & Amirtham, 2021; Tapias & Schmitt, 2014). همبستگی قابل توجهی بین هندسه شهری و افزایش تجربه فرد از ناراحتی در فضاهای باز مشاهده شده است (Mahmoud, 2019). بنابراین، ارزش درک اهمیت هندسه شهری در کاهش استرس شهری از نظر حرارتی را برجسته می‌کند. در میان مؤلفه‌های هندسی شهری، دره خیابان نقش اصلی را در کنترل میزان تابش خورشیدی دریافتی و تابش مجدد سازه‌های شهری ایفا می‌کند (Shishegar, 2013). همچنین به طور مستقیم با فعالیت‌های مردم در فضای باز ارتباط دارد و یک عنصر کلیدی در مفاهیم طراحی شهری است (saad Shalaby & Mohamed Shafey, 2018). دره خیابان با کاربری‌ها، عملکردها و عناصر، مواد و هندسه‌های مختلف تأثیر قابل توجهی بر خرد اقلیم و آسایش حرارتی دارد. این عوامل طبق مطالعات متعدد عبارتند از: نسبت ابعاد (H/W)، جهت‌گیری خیابان، پیکربندی و ساختار ساختمان، ضریب نمای آسمان (SVF)³، فشردگی، مصالح و پوشش سطح (Dissanayake, n.d.; Mahmoud & Ghanem, 2019). دیسانایاک و همکاران پارامترهای کلیدی عوامل طراحی شهری را در دره خیابان کشف کردند که بر آسایش حرارتی فضای باز تأثیر می‌گذارد. این پارامترها نسبت ابعاد (H/W)⁴، ضریب نمای آسمان (SVF) و جهت خیابان بودند. همچنین پارامترهای پوشش گیاهی که به هندسه، تراکم، پیکربندی و ویژگی‌های فیزیکی گیاهان دسته‌بندی می‌شوند، آسایش حرارتی را تحت تأثیر قرار دادند.

علاوه بر این، آلبدو سطح، رنگ و بازتاب برخی از پارامترهای کلیدی بودند که بر راحتی حرارتی تأثیر

خنک تا سرد مانند (Csa و Cfb). هسته اصلی تمامی این تحقیقات، بررسی تأثیر ویژگی‌های کالبدی محیط شهری بر شرایط حرارتی و آسایش حرارتی ساکنان است. در فصل سرد، افزایش دریافت تابش خورشیدی نقش مهمی در بهبود آسایش حرارتی دارد؛ از این رو، پارامترهایی مانند ضریب دید آسمان، جهت‌گیری معابر و ساختمان‌ها و ارتفاع ساختمان‌ها که میزان دسترسی به تابش خورشید را کنترل می‌کنند، تأثیر قابل توجهی بر شرایط حرارتی محیط دارند (Zhao & Ma, 2025) در مقابل، در فصل گرم، کاهش ضریب دید آسمان و افزایش نسبت ارتفاع به عرض معبر با ایجاد سایه بیشتر و محدود کردن تابش مستقیم خورشید، موجب کاهش دمای تابشی و بهبود آسایش حرارتی در سطح خیابان می‌شود (Sun et al., 2022). همچنین، جهت‌گیری ساختمان‌ها و خیابان‌ها از طریق کنترل میزان دریافت تابش خورشیدی و الگوی جریان باد، نقش تعیین‌کننده‌ای در عملکرد حرارتی محیط دارد و جهت‌گیری بهینه آن بسته به فصل و شرایط اقلیمی متفاوت است (Luo et al., 2025). شاخص‌های ارزیابی: برای ارزیابی کمی آسایش، از معیارهایی مانند PMV (رأی میانگین پیش‌بینی‌شده)، MRT (دمای تابشی میانگین) و PET (دمای معادل فیزیولوژیکی) استفاده شده است.

پیکره‌بندی خیابانی نوع‌شناسی ساختمان، که به مجموعه‌ای از ساختمان‌ها با شباهت در نوع فرم اشاره دارد، تأثیر چند بعدی بر پارامترهای ذهنی محیط و آسایش حرارتی دارد (Dwiputra et al., 2021; Ibrahim et al., 2021; Mahmoud & Ghanem, 2019; Yin & Xiao, 2018).

2-1- مروری بر مطالعات خرد اقلیم شهری و راهبردهای کاهش آثار آن

به‌منظور تعیین بستر علمی پژوهش حاضر، درک عمیق از یافته‌های موجود و شناسایی متغیرهای کلیدی تأثیرگذار، مطالعات مهم انجام شده در زمینه ارتباط بین ریخت‌شناسی (مورفولوژی) شهری و خرد اقلیم مرور می‌شود. تمرکز این مرور بر ارزیابی روش‌های شبیه‌سازی و اندازه‌گیری، و همچنین استخراج راهبردهای طراحی مورفولوژیکی مؤثر نظیر کنترل SVF و H/W برای کاهش آثار منفی اقلیمی در دو گروه اصلی اقلیمی شامل اقلیم‌های قاره‌ای با زمستان‌های شدید (مانند : Dwa) این مطالعات در مناطق دارای نوسانات دمایی فصلی بسیار بالا و زمستان‌های سخت و سرد انجام شده‌اند و اقلیم‌های معتدل اقیانوسی یا مدیترانه‌ای با زمستان‌های

جدول 1- مرور ادبیات مطالعات خرد اقلیم شهری با تمرکز بر آثار مورفولوژی و هندسه ساختمان‌ها

Tab. 1- Literature review of urban microclimate studies focusing on the effects of morphology and building geometry

موقعیت	اقلیم (کوین)	حوزه مطالعه	ارزیابی‌ها	رویکرد	یافته‌های اصلی	منبع
پکن	Dwa	سه بلوک شهری با مورفولوژی متفاوت: 1) منطقه تجاری 2) منطقه مسکونی، 3) منطقه تاریخی	بررسی تفاوت‌های آسایش حرارتی بین بلوک‌ها، تحلیل تأثیر عوامل فیزیکی مانند ضریب دید آسمان، نسبت پوشش ساختمان، ارتفاع ساختمان، جهت خیابان و شرایط نور خورشید	تحقیقات میدانی با روش «پیاپی» حرارتی؛ ترکیب اندازه‌گیری‌های میکرو اقلیمی و پرسشنامه‌های ادراک حرارتی	تابستان: بهترین عملکرد آسایش حرارتی را بلوک تجاری داشته است. در حالی که محله تاریخی بدترین عملکرد را داشته است. زمستان: بهترین عملکرد آسایش حرارتی متعلق به محله تاریخی و منطقه مسکونی بود، در حالی که بلوک تجاری ضعیف‌ترین عملکرد را داشت. ضریب دید آسمان بیشترین تأثیر را دارد خیابان‌های شمال-جنوب عملکرد بهتری نسبت به شرق-غرب دارند.	(Zhao & Ma, 2025)

موقعیت	اقلیم (کوپن)	حوزه مطالعه	ارزیابی‌ها	رویکرد	یافته‌های اصلی	منبع
دالیان چین	Dwa	چهار میدان عمومی نماینده در شهر ساحلی سرد دالیان، چین	تأثیر فرم هندسی و جهت‌گیری میدان‌ها	اندازه‌گیری‌های میدانی، فیزیولوژیکی و ارزیابی‌های ذهنی افراد تا	فرم‌های نیمه‌بسته بهترین طراحی برای میدان‌های عمومی در شهرهای ساحلی سرد هستند و جهت‌گیری ایده‌آل ورودی‌ها بر اساس فصل متفاوت است. میدان‌های نیمه‌بسته جهت شمالی در بهار و جهت جنوبی در پاییز بهترین عملکرد را دارند.	Luo et al.,) (2025
بیجینگ چین	Dwa	30 سناریوی مختلف مورفولوژی ساختمان‌ها از قطعات نمونه شهری	شاخص شکل سه‌بعدی (3DSI) عدد فرکتالی سه‌بعدی (3DF) ضریب شکل (SC) میانگین متوسط ارتفاع (WAH) نسبت سطح پوشش ساختمان (BSCR) ضریب نمای آسمان (SVF)	اندازه‌گیری میدانی پارامترهای اقلیمی و آسایش حرارتی شبیه‌سازی نرم‌افزاری ENVI-met آثار مورفولوژی بر خرد اقلیم و آسایش حرارتی	از بین ۶ شاخص BSCR بیشترین ارتباط را با دمای هوا، رطوبت نسبی، MRT و PMV دارد. WAH بیشترین تأثیر را بر سرعت باد دارد. باد بیشتر از دما و رطوبت تحت تأثیر مورفولوژی ساختمان‌ها قرار می‌گیرد.	Zhang et al.,) (2022
شیجیاژوانگ، ژنگژو، شی‌آن چین	Dwa	سه شهر بزرگ دشت‌نشین چین: شیجیاژوانگ، ژنگژو، شی‌آن	تناسبات بلوک، تراکم، سیمای ساختمان‌ها، شکل و فرم کلی بافت	جمع‌آوری داده‌های فضایی و خرد اقلیمی و شبیه‌سازی عددی-ENVI-met برای بررسی رابطه بین شکل بلوک و خرد اقلیم شهری	نسبت سطح زیربنا به زمین و سطحی از نمای ساختمان‌ها که روبه‌روی جهت باد قرار می‌گیرد با سرعت باد رابطه مثبت دارند عامل دید آسمان (SVF) مهم‌ترین عامل تأثیرگذار بر دمای هوا و MRT است. SVF نسبت فضای سبز هر دو MRT را افزایش می‌دهند؛ شاخص فرم خیابان با MRT و PET رابطه منفی دارد.	Zhang et al.,) (2022
هاربین چین	Dwa	بافت شهری با تراکم و ارتفاع متفاوت ساختمان‌ها	H/W (SVF) تأثیر جهت خیابان‌ها	اندازه‌گیری میدانی نظرسنجی آسایش حرارتی شبیه‌سازی عددی با ENVI-met برای بررسی اثر مورفولوژی شهری	نتایج شبیه‌سازی نشان داد که ارتفاع متوسط ساختمان‌ها به‌طور قابل توجهی بر دمای هوا و توزیع PET اثرگذار است. در تابستان، دمای تشعشعی میانگین و PET ارتباط قوی با ضریب دید آسمان (SVF) دارند، در حالی که در زمستان این ارتباط تنها در نواحی کم‌ارتفاع مشاهده شد. بر اساس تقویم آسایش حرارتی در فصول گرم و سرد، خیابان‌های کم‌عمق و متوسط برای اقلیم بسیار سرد مناسب‌تر هستند و بهترین جهت خیابان‌ها، جهت شمال-جنوب بوده و پس از آن جهات میانی قرار می‌گیرند. خیابان‌های عمیق‌تر به دلیل کمبود جذب خورشید توصیه نمی‌شوند.	Sun et al.,) (2022
کانین‌های شهری با	Cfb		H/W SVF	شبیه‌سازی آسایش حرارتی با	این تحقیق بر سه نوع خیابان شهری با نسبت ارتفاع به عرض (H/W) متفاوت	(Al Haddid & Al-Obaidi, 2022)

موقعیت	اقلیم (کوپن)	حوزه مطالعه	ارزیابی ها	رویکرد	یافته های اصلی	منبع
کاردیف و بریستول، بریتانیا		مورفولوژی مختلف		RayMan و IESVE	تمرکز داشت عمیق، کم عمق و یکنواخت نتایج نشان داد که مقادیر PET در تابستان در تنظیمات مشخص H/W و SVF پایین تر هستند. در زمستان، بین H/W و SVF رابطه معکوس مشاهده شد که نشان دهنده تنش سرمایی قابل توجه بود.	
سالونیک، شمال یونان	Csa	18 دره خیابانی در بافت متراکم مرکزی شهر	مورفولوژی شهری (هندسه خیابان) ویژگی های مصالح	اندازه گیری های محیطی در زمستان و تابستان شبیه سازی	به دلیل اینکه محور آن ها مورب نسبت به جهت غالب بادها است، خیابان شمالی-جنوبی و شرقی- غربی محافظت در برابر تابش خورشید در تابستان و محافظت در برابر باد در زمستان مناسب تر هستند.	(Chatzidimitriou & Yannas, 2017a)
هاینینگ چین	Cfa	دو منطقه کارخانه در هاینینگ، چین	ارزیابی احساس حرارتی در 12 سایت (نحوه ی تأثیر شکل و ساختار محیط)	اندازه گیری های میدانی هواشناسی و پرسشنامه	دمای هوا (Ta) و دمای کره (Tg) اصلی ترین عوامل مؤثر بر بودند؛ باد و رطوبت نسبی رابطه منفی با احساس حرارتی داشتند. بهترین عملکرد حرارتی مربوط به ناحیه ای بود که با سایه ساختمان ها و درختان کمتر است و بادهای شمال غربی مسدود شدن. دسته هایی که بیشترین ناراحتی را داشتند به دلیل مسدود شدن تابش خورشید، اثر تونل باد و گرمای تجهیزات مکانیکی بوده است.	(He et al., 2023)

گرفت، که هدف آن ایجاد فضاهای شهری سالم، قابل زندگی و راحت برای شهرهای پایدار است.

2 روش تحقیق

این پژوهش با هدف مقایسه آسایش حرارتی بر اساس دمای معادل فیزیولوژیکی (PET) (Mahmoud & Ghanem, 2019) در سطح عابر پیاده (ارتفاع 1.5 متر) با استفاده از نرم افزار ENVI-met 5.5.2، در بافت ارگانیک شهر همدان در مقایسه با پنج آلترناتیو طراحی شده است. این آلترناتیوها با اقتباس از پیچیدگی محله ها و جوامع قدیمی و با در نظر گرفتن پیکربندی های فرم شهری معاصر و پیکربندی موجود (که تفاوت چشمگیری با بافت ارگانیک قدیمی دارند) انتخاب شده اند. محدوده زمانی این مطالعه از ساعت 08:00 تا 18:00 بوده و از این رو، مقادیر PET ارائه شده در ادامه، میانگین PET در

نتایج حاصل از بررسی ادبیات نشان می دهد تنها تعداد محدودی از مطالعات، تأثیر هندسه شهری بر آسایش حرارتی، به ویژه در شرایط آب و هوایی سرد و کوهستانی را مورد بررسی قرار داده اند. از این رو، تحقیقات برای پر کردن شکاف بین آسایش حرارتی، پارامترهای محیطی و هندسه شهری ضروری است. هدف این تحقیق بررسی چگونگی طراحی هندسه شهری برای افزایش آسایش حرارتی در فضای باز در یک دره خیابان شهری در روزهای گرم تابستان و سرد زمستان در شهر همدان است. دامنه این مطالعه سه عامل اصلی - جهت گیری خیابان، نسبت ارتفاع ساختمان به عرض خیابان و نوع شناسی ساختمان - را در بر می گیرد. با توجه به تحقیقات پیشین، تأثیر مورفولوژی بر روی متغیرهای کلیدی خرد اقلیمی مانند سرعت باد و مدت زمان سایه اندازی نیز در این پژوهش مورد بررسی قرار خواهد

این بازه زمانی را نشان می‌دهند. در این مطالعه از پارامترهای هندسی ساده استفاده شده است که درک و کاربرد نتایج و توصیه‌های این مقاله را برای برنامه‌ریزان شهری تسهیل می‌نماید.

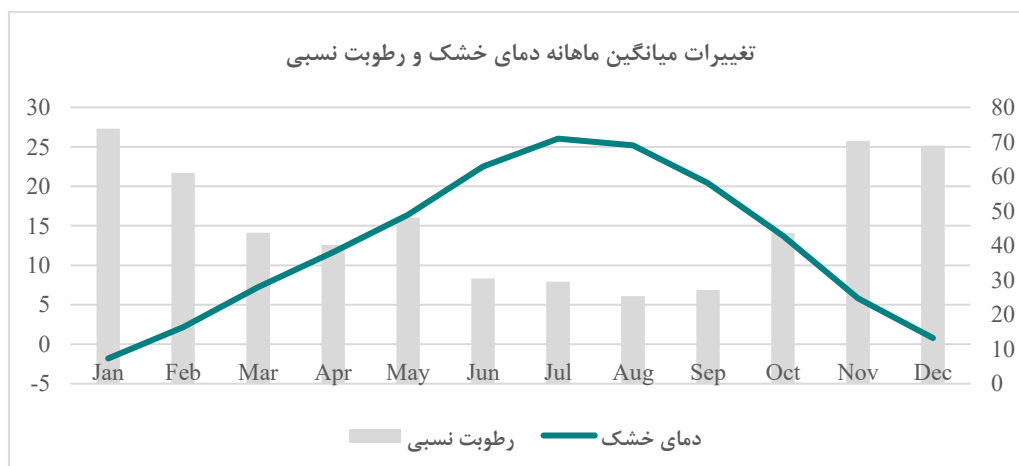
2-1- دامنه مطالعه

شهر همدان در ناحیه کوهستانی الوند واقع است که، بر طبق پهنه بندی منصوره طاهباز و شهربانو جلیلیان در اقلیم کوهپایه‌های مرتفع قرار گرفته‌است. این شهر 1741.5 متر از سطح دریا ارتفاع دارد. عرض جغرافیایی همدان 52.34 شمالی و طول جغرافیایی آن 48.32 شرقی است. بر اساس سیستم طبقه بندی آب‌وهوای کوپن - گایگر، آب و هوای همدان (Dsa) است همدان به طور کلی این شرایط اقلیمی را دارد: سرمای شدید در زمستان و هوای معتدل در تابستان، تابش شدید آفتاب، اختلاف بسیار زیاد درجه حرارت بین شب و روز و بین زمستان و تابستان، رطوبت در حد معمول، وزش بادهای سرد غربی در زمستان، بارش برف سنگین و یخ‌بندان‌های طولانی مدت است.

بیشترین متوسط حداکثر دما 35.03 و کمترین متوسط حداقل دما 6.5- در بازه زمانی 2007-2021، (شکل 1). میانگین ماهانه رطوبت نسبی (2007-2021) در ماه ژانویه با 78.2 درصد بالاترین و در آگوست با 25.3 درصد کمترین میزان رطوبت نسبی ماهانه است.

2-2- هندسه حوزه محاسباتی

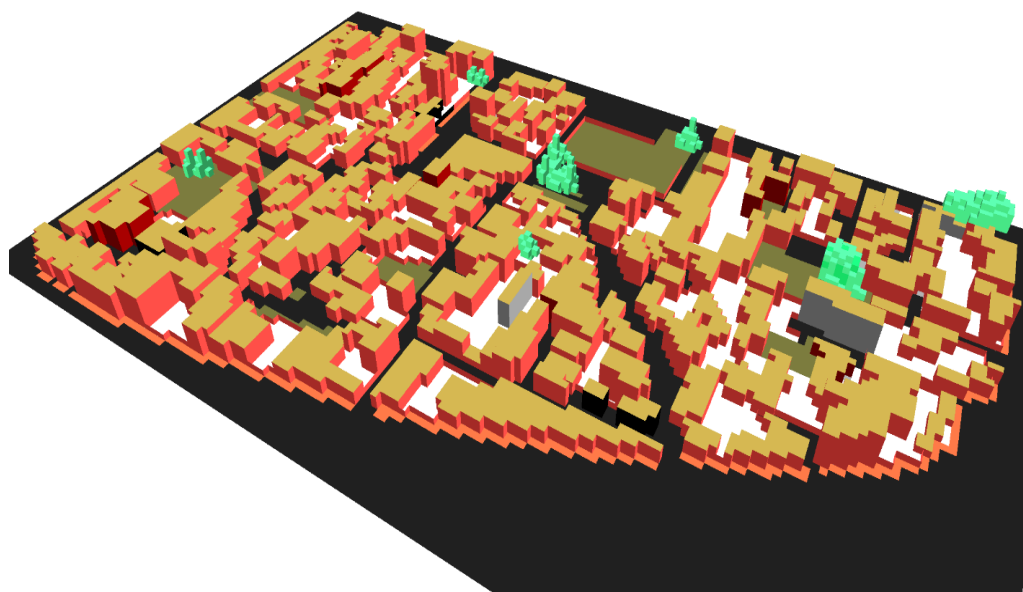
این مطالعه در محله کبابیان با وسعت حدود 98 هزار متر مربع، به‌عنوان یکی از محلات قدیمی شهر همدان انجام شده است که به‌واسطه‌ی حفظ هویت تاریخی خود، دارای مرکز محله‌ای با مساحت تقریبی 1280 متر مربع و امتداد شمال غربی-جنوب شرقی است؛ این محله با برخورداری از بافتی متراکم، ارگانیک و سنتی در مرکز شهر، نمونه‌ای شاخص برای بررسی شرایط خرداقلیمی و آسایش حرارتی در بافت‌های تاریخی محسوب می‌شود. برای تعیین موقعیت انواع مختلف پوشش سطحی و گیاهی در مدل سه بعدی از نقشه‌های طرح تفصیلی و عکس‌های هوایی استفاده شده است و همچنین با بازرسی در محل ویژگی‌های خاصی از ساختمان‌ها، مصالح و پوشش گیاهی، از جمله اندازه و گونه‌ها ارائه شده است. با در نظر گرفتن گرفتن ابعاد هر گرید برابر با (3*3*3) بر حسب واحد متر انجام گرفته است که تعداد شبکه‌های محله کبابیان 15*92*148 در نظر گرفته شده است. این اندازه با توجه به مقیاس محدوده مورد مطالعه و به‌منظور ایجاد تعادل بین دقت شبیه‌سازی و زمان محاسبات انتخاب شد. همچنین، مطابق دستورالعمل ENVI-met، ارتفاع دامنه محاسباتی بیش از دو برابر ارتفاع بلندترین ساختمان در نظر گرفته شد.



شکل 1 - میانگین ماهانه دما، رطوبت نسبی برای ایستگاه هواشناسی فرودگاه همدان بر اساس فایل EPW برای هر ماه
Fig. 1- Monthly average dry-bulb temperature and relative humidity for Hamadan Airport Meteorological Station derived from the EPW weather file



شکل 2- تصویر سمت راست عکس هوایی از شهر همدان تصویر سمت چپ محله کبابیان - مآخذ: Google Earth
Fig. 2- Right image: Aerial view of Hamadan city. Left image: Kababian neighborhood - Source: Google Earth



شکل 1- سه بعدی بافت موجود محله کبابیان
Fig. 3- 3D view of the existing urban fabric of Kababian neighborhood

بسیاری از مطالعات به دلیل توانایی آن در شبیه سازی شرایط حرارتی در مقیاس خرد اقلیم (Taleghani et al., 2016) تایید شده است. ENVI-met همچنین به دلیل توانایی آن در محاسبه تابش مستقیم، پراکنده و منعکس شده خورشیدی مورد تایید قرار گرفته است که همه آنها به طور قابل توجهی بر PET تأثیر می گذارند (Liu et

2-3- تنظیمات شبیه سازی

در این مطالعه، از برنامه ENVI-met 5.5.2 در یک شبیه سازی سه بعدی بر همکنش های سطح - گیاه - هوا که آلترناتیوهای پیشنهادی را در بر می گیرد، استفاده شده است. این تکنیک اغلب برای شبیه سازی محیط های ساخته شده شهری استفاده می شود و در

al., 2020). شرایط مرزی و ویژگی‌های مصالح مورد استفاده در شبیه‌سازی به‌ترتیب در جداول 2 و 3 ارائه شده‌اند. شرایط مرزی مدل بر اساس داده‌های هواشناسی استخراج‌شده از فایل EPW⁵ شامل دمای هوا، رطوبت نسبی، سرعت و جهت باد و میزان پوشش ابر تعریف شد. بر این اساس، روزهای 15 ژانویه و 15 ژوئیه به‌ترتیب به‌عنوان سردترین و گرم‌ترین روزهای سال برای ارزیابی آسایش حرارتی انتخاب شدند. مدت زمان هر شبیه‌سازی 12 ساعت در نظر گرفته شد و ارزیابی خروجی‌های مدل بر بازه زمانی 8:00 تا 18:00 متمرکز بود.

4-2- اعتبار سنجی

به‌منظور اعتبارسنجی مدل ENVI-met، از داده‌های اندازه‌گیری میدانی منتشرشده توسط مفیدی شمیرانی و

همکاران (1403) استفاده شد. از آنجا که شبیه‌سازی‌های اصلی این پژوهش بر اساس فایل EPW و داده‌های اقلیمی بلندمدت انجام شده‌اند، در مرحله اعتبارسنجی از فایل EPW استفاده نشد؛ زیرا این فایل شرایط واقعی روزهای انجام اندازه‌گیری‌های میدانی را بازنمایی نمی‌کند. بنابراین، به‌منظور ایجاد انطباق زمانی بین شبیه‌سازی و اندازه‌گیری‌های میدانی، داده‌های هواشناسی مربوط به 12 اوت 2014 و 9 فوریه 2015 از اداره کل هواشناسی استان همدان دریافت و بر اساس آن، شرایط مرزی مدل شامل دمای هوا، رطوبت نسبی، سرعت و جهت باد و سایر پارامترهای موردنیاز در نرم‌افزار ENVI-met تعریف شد (اداره کل هواشناسی استان همدان، 1403).

جدول 1- پارامترهای ورودی آب هوایی Envi-met برای اجرای شبیه‌سازی ها

Tab. 2-Input climatic parameters for ENVI-met simulations

مکان	محله کباییان	مکان
روزهای مورد بررسی	15 ژانویه	15 ژوئیه
مدت زمان شبیه‌سازی	13 ساعت (5 تا 18)	13 ساعت (5 تا 18)
دما	حد اقل: 10- (ساعت 4)	حد اقل: 14- (ساعت 14)
	حداکثر: 1- (ساعت 15)	حداکثر: 34 (ساعت 16)
رطوبت نسبی	حد اقل: 61 (ساعت 4)	حد اقل: 14 (ساعت 13)
	حداکثر: 90 (ساعت 10)	حداکثر: 63 (ساعت 6)
سرعت باد	2	2
جهت باد	210	120
پوشش ابر	0	0

جدول 3 - خواص فیزیکی انتخابی مصالح نمای ساختمان

Tab. 3-Selected physical properties of building facade materials

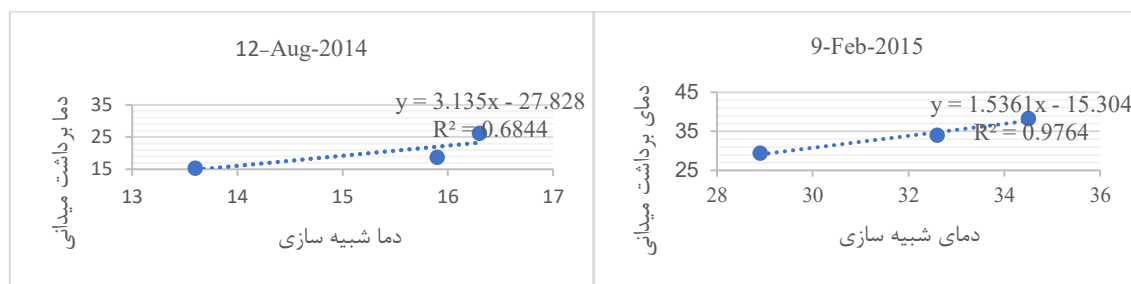
مصالح	نوع	ضریب بازتاب	ضریب تشعشع
آجر	نما	0.3	0.93
آسفالت	کف سازی خیابان	0.12	0.9
آجر قرمز	کف سازی پیاده رو	0.3	0.9
موزاییک بتنی	کف سازی حیاط	0.3	0.9

شده‌اند. در این راستا، ساختمان‌هایی با چیدمان خطی جایگزین بافت ارگانیک کبابیان فرض شده و برای تعریف آلترناتیو بلوک‌های خطی، سه ارتفاع متفاوت در نظر گرفته شده است. علاوه بر این، بر اساس جدول 3، دو مدل چیدمان غیر خطی برای بلوک‌ها پیشنهاد شده است که منجر به تغییر در ساختار معابر می‌شود و آسایش حرارتی در این آرایش بلوک‌ها نیز مورد ارزیابی قرار گرفته است. در تعریف آلترناتیوها و ارزیابی آسایش حرارتی در طراحی بافت، پارامتر سطح اشغال (که بر اساس ساختمان‌های متداول شهری بین 60 تا 70 درصد در نظر گرفته شده است) و عرض خیابان در تمامی آلترناتیوها ثابت فرض شده‌اند. همچنین، خیابان اصلی بافت ارگانیک به عنوان خیابان‌های اصلی آلترناتیوها تعریف شده است.

این دو روز به صورت جداگانه شبیه‌سازی شدند و مقادیر دمای هوا و رطوبت نسبی استخراج شده از خروجی‌های نرم‌افزار ENVI-met در ساعات متناظر، با داده‌های میدانی گزارش شده توسط مفیدی شمیرانی و همکاران (1403) مقایسه شد. نتایج نشان داد که در تاریخ 9 فوریه، ضریب تعیین (R^2) برای دمای هوا و رطوبت نسبی به ترتیب برابر با 0.97 و 0.78 و در تاریخ 12 اوت به ترتیب برابر با 0.68 و 0.99 بود که بیانگر دقت قابل قبول مدل در بازنمایی شرایط خرداقليمی محدوده مورد مطالعه است.

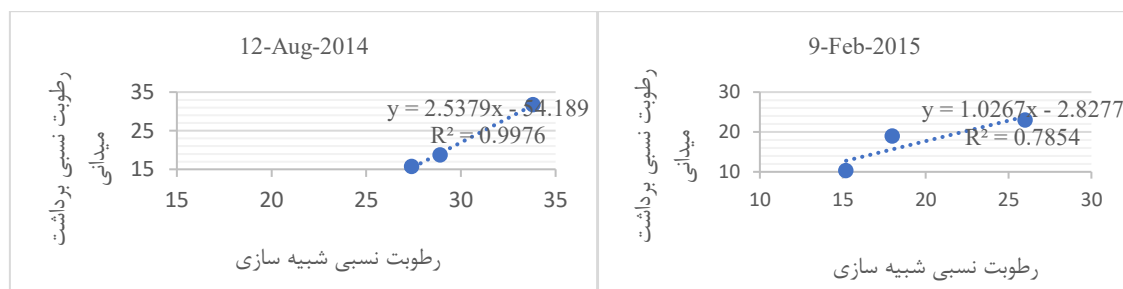
2-5- مدل سازی هندسه شهری

آلترناتیوهای مورد بررسی، با در نظر گرفتن مورفولوژی رایج شهر همدان و نمونه بلوک‌های متداول آن انتخاب



شکل 2 - نمودار همبستگی بین دما اندازه گیری شده و دما حاصل از شبیه سازی در نرم افزار ENVI-met؛ نمودار سمت راست همبستگی در فصل زمستان و نمودار سمت چپ همبستگی در فصل تابستان

Fig. 4- Correlation Plot between Measured Temperature and Simulated Temperature in ENVI-met Software; the plot on the right shows the correlation in winter, and the plot on the left shows the correlation in summer



شکل 3 - نمودار همبستگی بین رطوبت نسبی اندازه گیری شده و رطوبت نسبی حاصل از شبیه سازی در نرم افزار ENVI-met؛ نمودار سمت راست همبستگی در فصل زمستان و نمودار سمت چپ همبستگی در فصل تابستان

Fig. 5- Correlation Plot between Measured Relative Humidity and Simulated Relative Humidity in ENVI-met Software; the plot on the right shows the correlation in winter, and the plot on the left shows the correlation in summer

- بلوک بندی خطی دو طبقه: توجه به شکل بلوک بندی ساختمان ها و بافت های موجود در شهر همدان، بافت با بلوک بندی خطی برای ارزیابی آسایش حرارتی انتخاب شد. در آلترناتیو اول، ساختمان های دو طبقه ویلایی با ارتفاع 9 متر (بر اساس حداکثر ارتفاع موجود در بافت قدیم شهر) در نظر گرفته شدند. با استناد به محاسبات فلیکس ماربوتین⁶ در خصوص شدت تابش آفتاب در فصول و جهات مختلف و نتیجه گیری وی مبنی بر لزوم جهت گیری نمای اصلی ساختمان به سمت جنوب برای دستیابی به بهترین شرایط حرارتی در داخل، جهت گیری ساختمان ها در بازه مناسب جهت گیری اقلیم سردسیر انتخاب شد. در این آلترناتیو، ارتفاع ساختمان ها به عنوان پارامتر ثابت و مصالح ساختمانی آجر در نظر گرفته شد. به منظور مقایسه با بافت ارگانیک که مصالح غالب آن آجر است، نماهای تمامی آلترناتیوها از آجر انتخاب شده اند. - بلوک بندی خطی پنج طبقه: در این آلترناتیو، تعداد طبقات بلوک های خطی به پنج طبقه با ارتفاع 18 متر افزایش یافته است (بر اساس ارتفاع ساختمان های نوساز در شهر همدان). هدف از این تغییر، ارزیابی تأثیر تعداد طبقات بر آسایش حرارتی است.

- بلوک بندی خطی پیوسته متغیر (ارتفاع طبقات دو تا شش طبقه در نظر گرفته شده است): با توجه به اثر سایه اندازی ساختمان های پنج طبقه بر روی یکدیگر، در این آلترناتیو ساختمان هایی با ارتفاع متغیر از یک تا پنج طبقه در نظر گرفته شده اند. تعداد طبقات به گونه ای تعیین شده است که اغلب ساختمان ها تابش مناسب را دریافت نمایند. به منظور ارزیابی این امر، حفظ دسترسی به تابش خورشیدی برای تاریخ 15 ژانویه مورد بررسی قرار گرفت. بیشترین ارتفاع طبقات در بخش های مرکزی بافت 6 متر در نظر گرفته شد. در این آلترناتیو، عرض خیابان مشابه آلترناتیو پیشین تعریف شده است تا تأثیر تغییر ارتفاع طبقات بر آسایش حرارتی قابل ارزیابی شود.

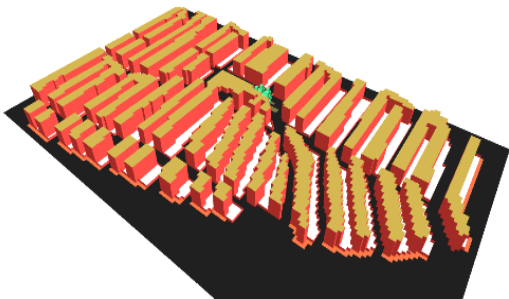
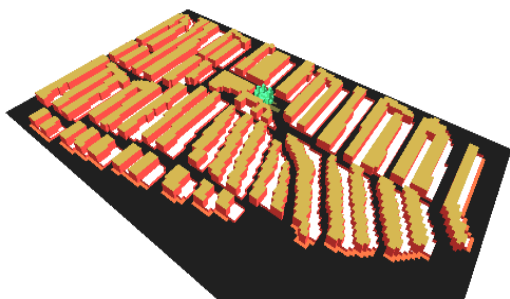
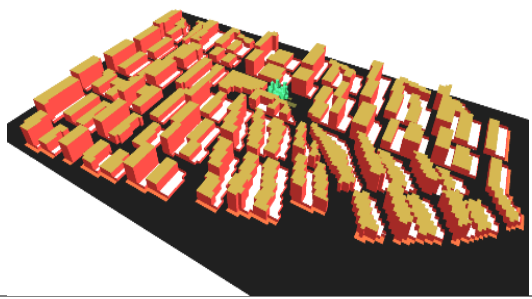
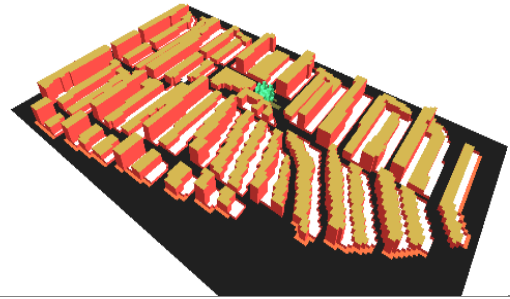
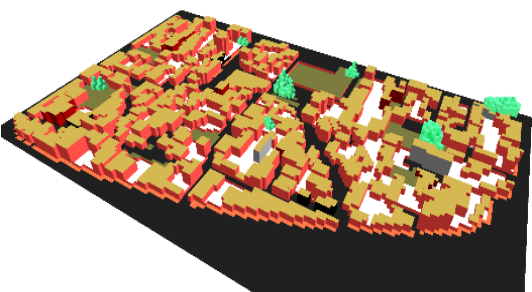
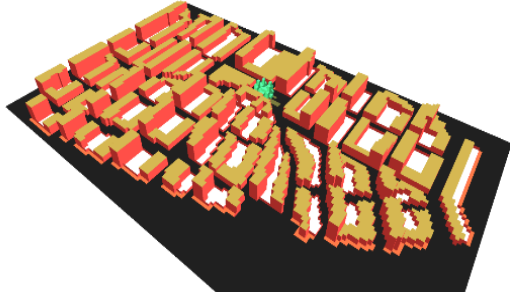
- بلوک بندی خطی گسسته متغیر: با توجه به ارزیابی آسایش حرارتی در بلوک بندی خطی پنج طبقه، کاهش سرعت باد در نواحی کوچه ها منجر به افزایش دمای معادل فیزیولوژیکی در فصل زمستان شده است. از این رو، به منظور کاهش سرعت باد، شکستگی هایی در سایت ایجاد شده و کوچه های فرعی در یک راستا قرار نگرفته اند.

- بلوک بندی پیرامونی متغیر: در این آلترناتیو، ساختمان ها در مجاورت یکدیگر و با یک محوطه خصوصی در کنار هم قرار می گیرند. با توجه به آلترناتیوهای پیشین، تلاش شد تا حیاط های ساختمان های جنوبی به پشت ساختمان منتقل و با حیاط های ساختمان های شمالی ادغام شوند. این آرایش، ضمن حفظ جهت گیری و میزان تابش آلترناتیوهای قبلی، مورد ارزیابی قرار گرفته است.

3 - نتایج و بحث

با توجه به شکل 6، که میانگین دمای معادل فیزیولوژیکی محاسبه شده از تمامی نقاط نمونه برداری در سطح سایت را برای آلترناتیوهای مختلف نشان می دهد، نتایج بیانگر عملکرد کلی هر آلترناتیو در مقیاس کل سایت است. در تمامی آلترناتیوها، PET از ساعات ابتدایی صبح روندی افزایشی داشته و در ساعات میانی روز به بیشترین مقدار خود رسیده و سپس تا پایان روز به تدریج کاهش یافته است. در فصل زمستان، بافت ارگانیک بالاترین مقادیر PET را نشان می دهد این یافته ها با نتایج پیشین همخوانی دارد که گزارش کردند محله های تاریخی در فصل زمستان عملکرد حرارتی بهتری دارند. (Zhao & Ma, 2025) شباهت رفتار این دو نوع بافت را می توان به ویژگی های مشترک مورفولوژیکی، از جمله تراکم بالاتر و کاهش نفوذ باد، نسبت داد.

جدول 2- آلترناتیوهای مدل‌های هندسی شهری
Tab. 4- Urban geometric model alternatives

(2) بلوک‌بندی خطی پنج طبقه	(1) بلوک‌بندی خطی دو طبقه
	
(4) بلوک‌بندی خطی گسسته متغیر	(3) بلوک‌بندی خطی پیوسته متغیر
	
(6) بافت موجود (بافت ارگانیک)	(5) بلوک‌بندی پیرامونی متغیر
	

آلترناتیوها در ساعات میانی روز بیشتر بوده و در ساعات ابتدایی صبح و اواخر بعدازظهر کاهش یافته است که نشان می‌دهد تأثیر ویژگی‌های کالبدی بافت بر شرایط حرارتی در زمان بیشترین دریافت تابش خورشیدی محسوس‌تر است.

بر اساس طبقه‌بندی (Lin et al. (2010)، مقادیر PET در آلترناتیو بلوک‌بندی خطی پنج طبقه در تمامی ساعات شبیه‌سازی در محدوده «خیلی سرد» قرار داشته است، در حالی که مقادیر PET در بافت ارگانیک در ساعات میانی روز وارد محدوده «سرد» شده است. این نتایج نشان می‌دهد که بافت ارگانیک در مقایسه با سایر

بیشترین اختلاف نیز با آلترناتیو بلوک‌بندی خطی پنج طبقه مشاهده شد؛ به طوری که میانگین PET در بافت ارگانیک طی دوره شبیه‌سازی 0.95 درجه سانتی‌گراد بیشتر از این آلترناتیو بوده و حداکثر اختلاف بین آن‌ها در ساعت 12 به 2.3 درجه سانتی‌گراد رسیده است. بافت‌های دارای بلوک‌بندی پیرامونی و بلوک‌بندی خطی گسسته عملکردی تقریباً مشابه داشته‌اند و اختلاف آن‌ها با بافت ارگانیک حدود 0.39 درجه سانتی‌گراد بوده است. همچنین، بیشترین اختلاف بین بافت ارگانیک و بلوک‌بندی پیرامونی در ساعت 10 صبح و به میزان 0.8 درجه سانتی‌گراد مشاهده شد. به طور کلی، اختلاف میان

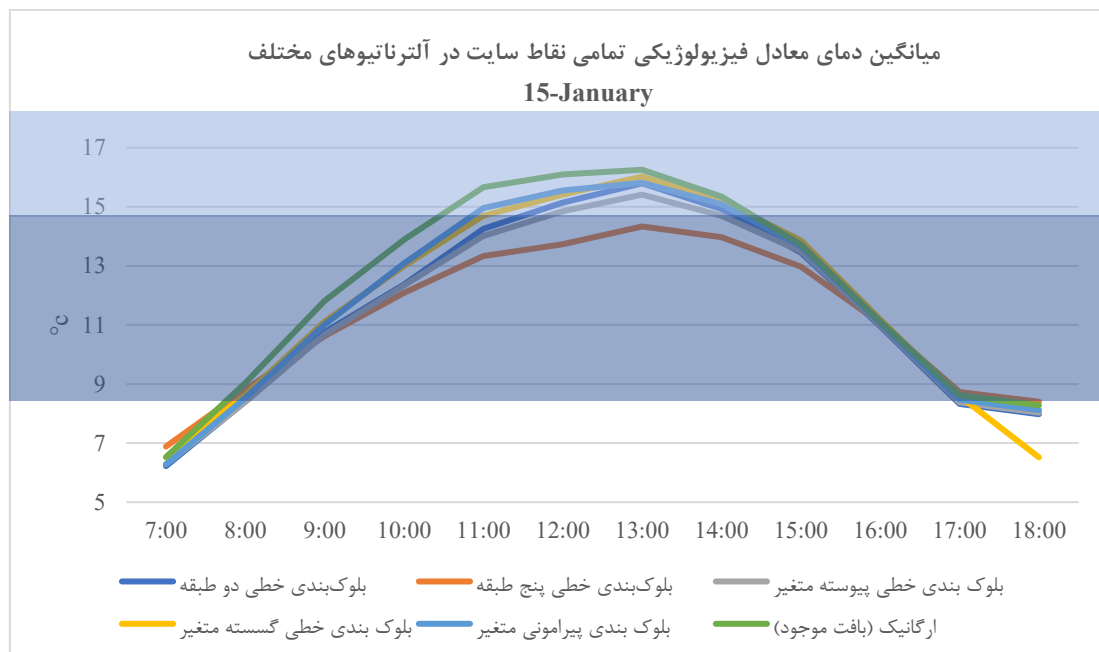
آلترناتیوها، به‌ویژه بلوک‌بندی خطی پنج‌طبقه، عملکرد بهتری در کاهش شدت تنش سرمایی داشته است. این یافته با نتایج پیشین همخوانی دارد که نشان دادند در اقلیم‌های سرد، بافت‌هایی که نسبت به فرم‌های متراکم و بلندمرتبه، دریافت تابش خورشیدی بیشتری را در فضاهای باز فراهم می‌کنند، می‌توانند شدت تنش سرمایی را کاهش داده و شرایط آسایش حرارتی بهتری نسبت به بافت‌های دارای ساختمان‌های بلند ایجاد کنند (Sun et al., 2022). در ارزیابی میانگین دمای معادل فیزیولوژیکی در فصل تابستان، شکل 7 که میانگین PET محاسبه‌شده از تمامی نقاط نمونه‌برداری در سطح سایت را برای آلترناتیوهای مختلف نشان می‌دهد، بیانگر عملکرد کلی هر آلترناتیو در مقیاس کل سایت است. در تمامی آلترناتیوها، PET از ساعات ابتدایی صبح روندی افزایشی داشته، در ساعت 14 به بیشترین مقدار خود رسیده و سپس تا پایان روز به تدریج کاهش یافته است. در میان آلترناتیوهای مورد بررسی، بلوک‌بندی خطی پنج‌طبقه کمترین مقادیر PET را در بیشتر ساعات روز نشان داده و در نتیجه از نظر کاهش تنش گرمایی عملکرد مناسب‌تری نسبت به سایر آلترناتیوها داشته است. میانگین PET در این آلترناتیو طی دوره شبیه‌سازی 1.86 درجه سانتی‌گراد کمتر از بافت ارگانیک بوده و بیشترین اختلاف بین این دو آلترناتیو در ساعت 8 صبح و به میزان 2.84 درجه سانتی‌گراد مشاهده شده است.

در بافت با بلوک‌بندی خطی متغیر، میانگین PET نسبت به بافت ارگانیک 0.4 درجه سانتی‌گراد کاهش یافته و بیشترین اختلاف بین این دو آلترناتیو در ساعت 11 حدود 1 درجه سانتی‌گراد بوده است. همچنین، بلوک‌بندی خطی گسسته متغیر و بلوک‌بندی خطی متغیر عملکردی بسیار نزدیک به یکدیگر داشته‌اند و اختلاف میانگین PET آن‌ها تنها حدود 0.1 درجه سانتی‌گراد بوده است. در مقابل، بافت ارگانیک در بیشتر

ساعات روز بیشترین مقادیر PET را ثبت کرده که نشان‌دهنده شدت بیشتر تنش گرمایی در این الگوی بافتی است. به طور کلی، اختلاف میان آلترناتیوها در ساعات ابتدایی روز بیشتر بوده و با نزدیک شدن به ساعات اوج گرما، منحنی‌ها به یکدیگر نزدیک می‌شوند؛ به‌طوری که در حوالی ساعت 14 تقریباً تمامی آلترناتیوها مقادیر PET مشابهی را تجربه می‌کنند. این موضوع نشان می‌دهد که در ساعات اوج گرما، شدت شرایط اقلیمی اثر غالب را داشته و نقش ویژگی‌های کالبدی بافت در کاهش PET محدودتر می‌شود. بر اساس طبقه‌بندی (Lin et al. 2010)، تمامی آلترناتیوها از ساعت 11 تا 17 در محدوده «خیلی داغ» قرار گرفته‌اند و در ساعت 18 نیز وارد محدوده «داغ» می‌شوند. بنابراین، اگرچه بلوک‌بندی خطی پنج‌طبقه در مقایسه با سایر آلترناتیوها عملکرد بهتری در کاهش تنش گرمایی داشته است. در ادامه، به‌منظور بررسی دقیق‌تر تأثیر آسایش حرارتی در نواحی مختلف هر آلترناتیو، چند ناحیه منتخب در هر آلترناتیو انتخاب شده و مقادیر PET در این نواحی با یکدیگر مقایسه می‌شوند.

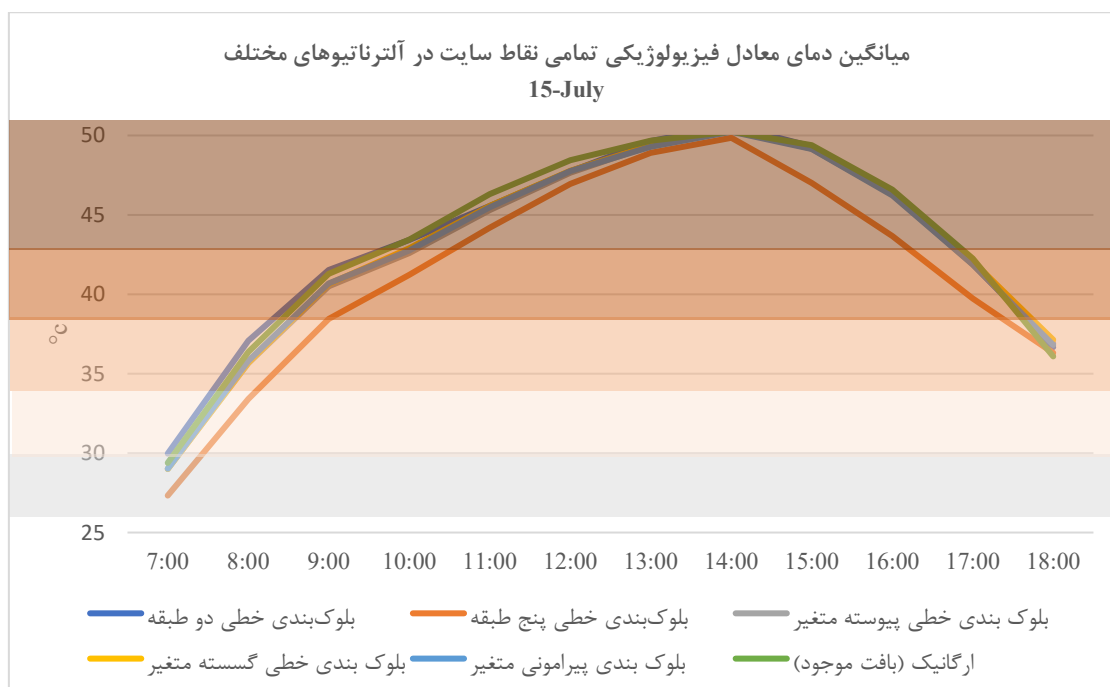
1-3- مشخصات نواحی مورد بررسی در آلترناتیوها

در پنج بافت مورد ارزیابی 6 ناحیه انتخاب شده است تا تأثیر آسایش حرارتی در ناحیه‌های مختلف با شرایط یکسان در 5 آلترناتیو مورد ارزیابی قرار گیرد. در انتخاب نواحی با توجه به جهت‌گیری ساختمان‌ها کوچه فرعی شمال شرقی - جنوب غربی و کوچه فرعی شمالی - جنوب و شمال غربی - جنوب شرقی انتخاب شد و به دلیل اینکه بیشترین درصد فضای باز را حیاط‌های ساختمان‌ها به خود اختصاص داده‌اند حیاط‌ها با جهت‌گیری شمالی - جنوبی و شمال غربی - جنوب شرقی مورد ارزیابی قرار می‌گیرد. در شکل 8 هر یک از ناحیه‌ها مشخص شده است.



شکل 6- مقایسه میانگین دمای معادل فیزیولوژیکی در 6 بافت مورد ارزیابی فصل زمستان

Fig. 6- Comparison of mean Physiological Equivalent Temperature in the 6 evaluated urban fabrics during winter



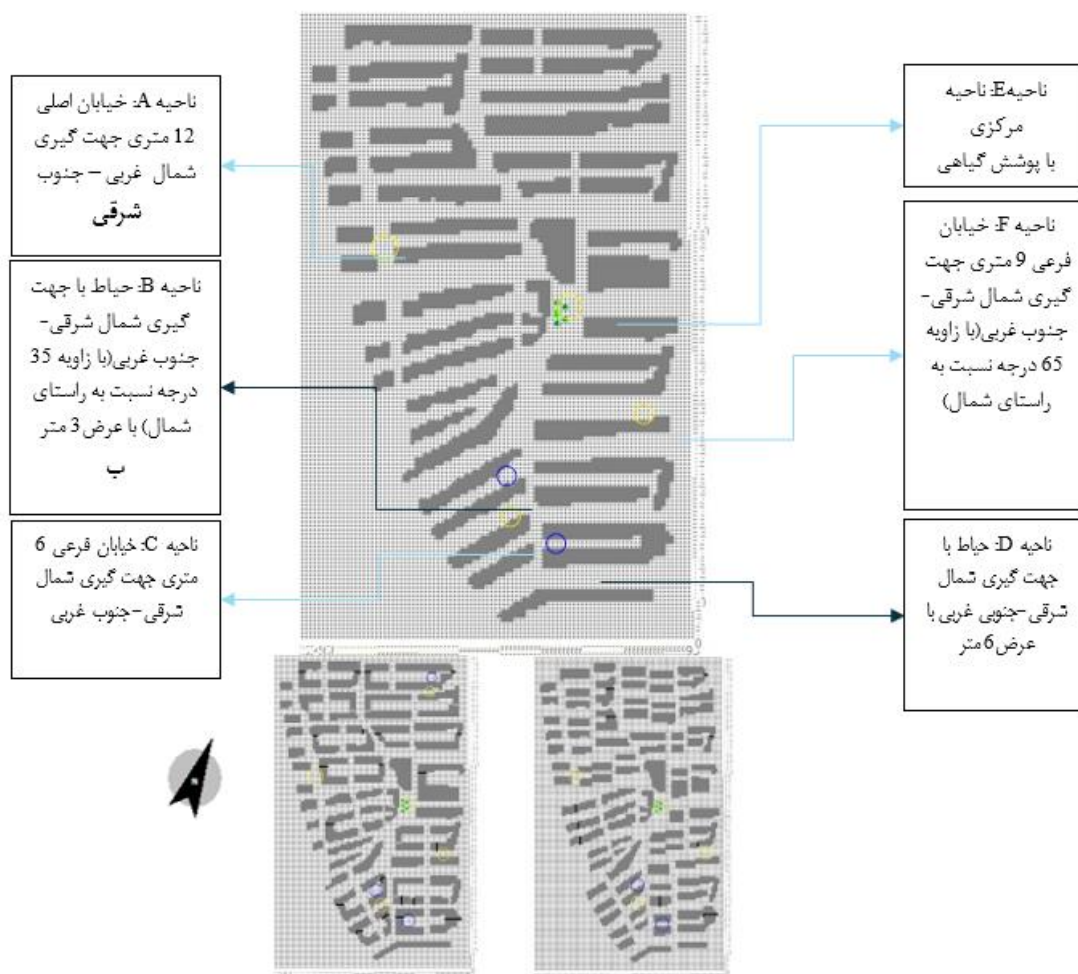
شکل 7- مقایسه میانگین دمای معادل فیزیولوژیکی در 6 بافت مورد ارزیابی فصل تابستان

Fig. 7- Comparison of mean Physiological Equivalent Temperature in the 6 evaluated urban fabrics during summer

2-3- ارزیابی دمای معادل فیزیولوژیکی نواحی مورد بررسی در هر یک از آلترناتیو

به منظور تحلیل عوامل مؤثر بر تغییرات PET، شش ناحیه منتخب (A تا F) که موقعیت آن‌ها در شکل 8 نشان داده شده است، در پنج آلترناتیو مورد مطالعه و برای فصل‌های زمستان و تابستان مورد بررسی قرار گرفتند. در نمودارهای این بخش، کدهای 1 تا 5 به

ترتیب بیانگر پنج آلترناتیو معرفی شده در جدول 4 هستند. سپس، با استفاده از نمودارهای سرعت باد و مدت زمان سایه‌اندازی (شکل‌های 9 و 10)، مقادیر PET هر ناحیه در کنار این دو پارامتر خرداقلیمی تحلیل شد تا نقش آن‌ها در تفاوت عملکرد حرارتی نواحی و آلترناتیوهای مختلف تبیین شود. در ادامه، نتایج هر ناحیه به صورت جداگانه ارائه و تفسیر می‌شود.



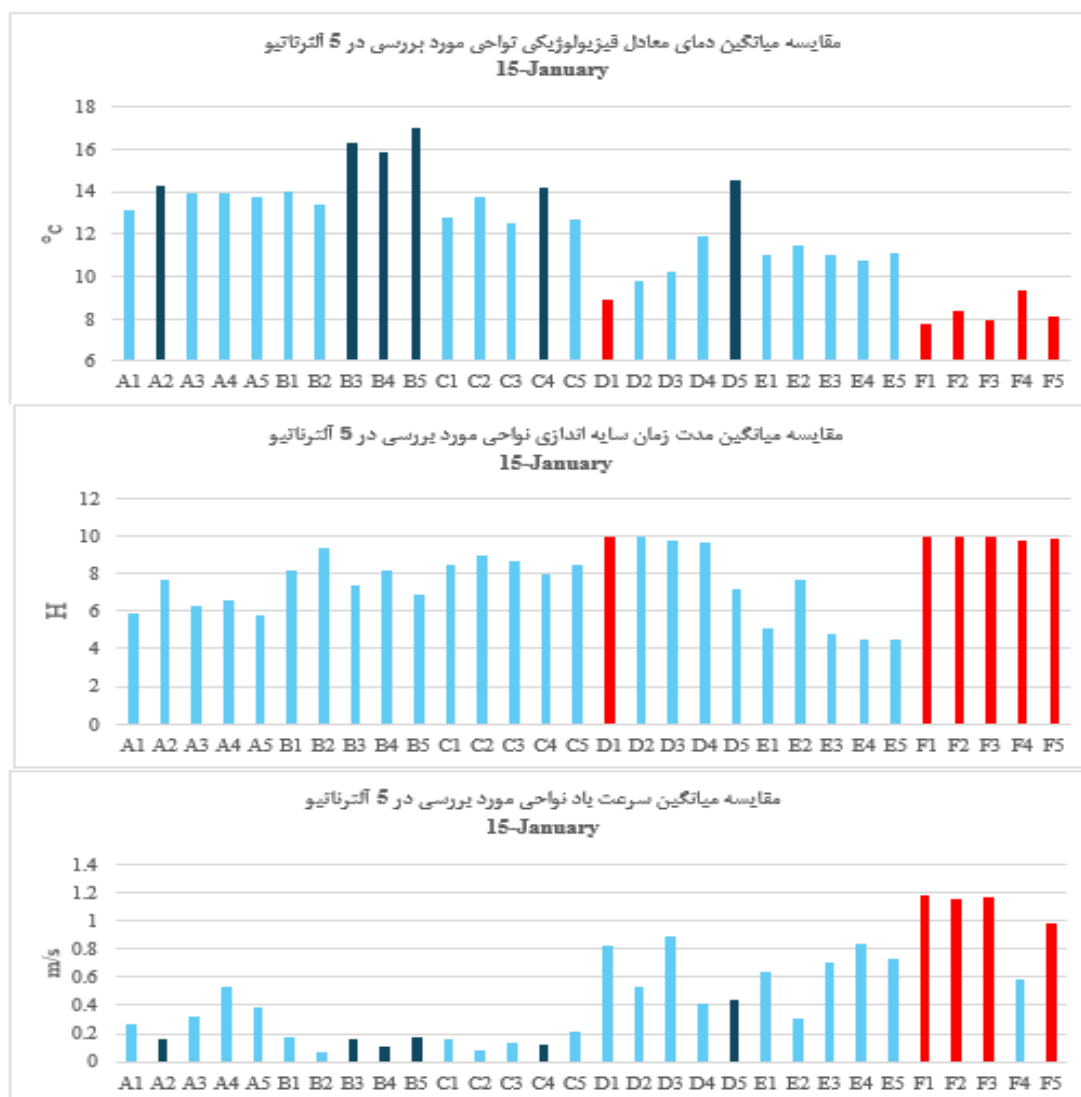
شکل 8- مشخصات نواحی مورد ارزیابی تصویر بالا: بافت با بلوک بندی خطی دو، بلوک بندی خطی پنج طبقه و بلوک بندی خطی متغیر تصویر پایین سمت راست: بافت با بلوک بندی خطی گسسته متغیر - تصویر پایین سمت چپ: بافت با بلوک بندی پیرامونی متغیر

Fig. 8- Characteristics of the Evaluated Areas Top image: Fabric with two-story linear block arrangement, fabric with five-story linear block arrangement, and fabric with variable linear block arrangement. Bottom right image: Fabric with discontinuous variable linear block arrangement. Bottom left image: Fabric with variable perimeter block arrangement

افزایش دما می‌شود. همچنین، ساختمان‌های پیرامونی و بلند نیز به دلیل جهت‌گیری خاص و ارتفاع زیاد، هوا در آن‌ها محبوس می‌شود و موجب بالا رفتن دمای متوسط تشعشعی در این ناحیه می‌شود. در مقابل، آلترناتیو 4 به دلیل ایجاد گسستگی بین ساختمان‌ها، مدت زمان سایه اندازی در کوچه‌های شمال غربی - جنوب شرقی افزایش یافته که در نتیجه باعث کاهش دمای معادل فیزیولوژیکی می‌شود.

الف: فصل زمستان

ناحیه A خیابان با جهت‌گیری شمال غربی - جنوب شرقی: با توجه به شکل 9، پنج آلترناتیو در ناحیه A مقادیر PET نسبتاً مشابهی را نشان می‌دهند و بازه تغییرات چندانی دارا نیستند. اما به صورت میانگین، در ناحیه A ساختمان‌های دوطبقه دمای آسایش حرارتی بالاتری دارا می‌باشند؛ گویا دریافت تابش بیشتر سبب



شکل 4- مقایسه میانگین PET در سطح عابر پیاده (1.5 متری) و میانگین مدت زمان سایه‌اندازی و میانگین سرعت باد برای نواحی انتخاب شده مکان‌های آبی و قرمز مکان‌هایی هستند که بیشترین و کمترین آسایش حرارتی را دارند. (فصل زمستان)

Fig. 9- Comparison of mean PET at pedestrian level (1.5 m height), mean shading duration and mean wind speed for selected areas. Blue and red locations represent areas with the highest and lowest thermal comfort, respectively (Winter season)

ناحیه B حیاط با جهت‌گیری شمال شرقی - جنوب غربی (زاویه 30 درجه نسبت به راستای شمالی): همان‌طور که در شکل مشاهده می‌شود، بافت پنجم با آرایش پیرامونی ساختمان‌ها بیشترین مقادیر PET را در این ناحیه نشان می‌دهد. بیشترین اختلاف بین آلترناتیوها در ساعت 12:00 و به میزان 13.53 درجه سانتی‌گراد مشاهده شد که احتمالاً به وسعت بیشتر حیاط مشترک میان ساختمان‌ها و در نتیجه افزایش دریافت تابش خورشیدی مربوط است. در مقابل، در آلترناتیو بلوک‌بندی خطی متغیر نیز به دلیل محدود بودن سایه‌اندازی در جبهه شمالی، جایی که این حیاط‌ها قرار دارند، میزان تابش دریافتی افزایش یافته و در نتیجه مقادیر PET در این ناحیه بیشتر شده است.

ناحیه C خیابان با جهت‌گیری شمال شرقی - جنوب غربی (زاویه 30 درجه نسبت به راستای شمالی): در این ناحیه، آلترناتیو با بلوک‌بندی خطی گسسته متغیر در فصل زمستان بیشترین مقدار PET را نشان می‌دهد. در این آرایش، ایجاد گسستگی در بافت احتمالاً موجب کاهش سرعت باد شده و در نتیجه اتلاف گرما از طریق جابه‌جایی کاهش یافته است. از سوی دیگر، کوچه با جهت‌گیری شمال شرقی-جنوب غربی در بخش جنوبی فضای بین دو ساختمان قرار دارد؛ بنابراین، دریافت تابش خورشیدی در این بخش تأثیر محدودی بر افزایش PET دارد، در حالی که این اثر در بخش شمالی فضای بین ساختمان‌ها، محل استقرار حیاط‌ها، بارزتر است. همچنین، در آلترناتیو بلوک‌بندی خطی پنج‌طبقه، ارتفاع بیشتر ساختمان‌ها و فاصله کم میان آن‌ها می‌تواند موجب تشدید اثر دره شهری، کاهش تهویه طبیعی و افزایش دمای متوسط تشعشعی شود که در نهایت به افزایش PET می‌انجامد. این پدیده در معابر رو به جنوب، به دلیل قرارگیری بیشتر در معرض تابش مستقیم خورشید، محسوس‌تر است. ناحیه D حیاط با جهت‌گیری شمال شرقی - جنوب غربی (زاویه 65 درجه نسبت به راستای شمالی): در این ناحیه، بلوک‌بندی پیرامونی بیشترین مقدار PET را نشان داد، در حالی که بلوک‌بندی خطی دو طبقه کمترین مقدار PET را ثبت کرد. بیشترین اختلاف بین این دو آلترناتیو در ساعت

11:00 و به میزان 11.5 درجه سانتی‌گراد مشاهده شد. به نظر می‌رسد عرض محدود حیاط باعث شده است که مدت‌زمان سایه‌اندازی در بلوک‌بندی‌های خطی دو و پنج طبقه تقریباً مشابه باشد؛ از این رو، تفاوت ارتفاع ساختمان‌ها تأثیر قابل‌توجهی بر الگوی سایه‌اندازی این ناحیه نداشته است.

ناحیه E مرکز بافت. با توجه به شکل 9، کمترین میزان تغییرات دمای معادل فیزیولوژیکی در ناحیه E مشاهده می‌شود و تمامی آلترناتیوها عملکردی تقریباً مشابه از خود نشان داده‌اند. بافت با بلوک‌بندی خطی پنج طبقه، بیشترین دمای معادل فیزیولوژیکی را در فصل زمستان دارا است؛ این امر احتمالاً به دلیل کاهش سرعت باد ناشی از وجود ساختمان‌های بلند در این ناحیه است (بیشینه سرعت باد ثبت شده در این ناحیه 0.3 متر بر ثانیه است). در مقابل، کمترین دمای معادل فیزیولوژیکی مربوط به بافت با بلوک‌بندی خطی گسسته است که به دلیل افزایش سرعت باد در این ناحیه (بیشینه سرعت باد ثبت شده 0.84 متر بر ثانیه). ناحیه F کوچه با جهت‌گیری شمال شرقی - جنوب غربی (زاویه 65 درجه نسبت به راستای شمالی): این کاهش سرعت باد در بافت گسسته احتمالاً ناشی از ایجاد شکستگی در بافت و عدم امتداد مستقیم خیابان‌ها است. در تمامی آلترناتیوها کمترین مقادیر PET را در مقایسه با سایر نواحی نشان می‌دهد. این وضعیت را می‌توان به سرعت باد بیشتر و مدت‌زمان طولانی‌تر سایه‌اندازی در این ناحیه نسبت داد که موجب کاهش تنش گرمایی شده است. با این حال، در مقایسه آلترناتیوهای مختلف در همین ناحیه، بافت با بلوک‌بندی خطی گسسته بیشترین مقدار PET را ثبت کرده است. سرعت باد در این آلترناتیو 0.58 متر بر ثانیه اندازه‌گیری شد، در حالی که در سایر آلترناتیوها با آرایش خطی ساختمان‌ها، سرعت باد حدود 1.1 متر بر ثانیه بود. این کاهش سرعت باد احتمالاً ناشی از شکستگی در آرایش ساختمان‌ها و عدم امتداد مستقیم معابر است که نفوذ جریان هوا را محدود کرده و در نتیجه موجب افزایش PET در این آلترناتیو شده است. این نتایج با یافته‌های پیشین همخوانی دارد که نشان داده‌اند آرایش و پیوستگی ساختمان‌ها و شبکه معابر نقش مهمی در

الگوی جریان هوا و در نتیجه شرایط آسایش حرارتی فضاهای شهری ایفا می‌کنند؛ به‌طوری‌که کاهش تهویه طبیعی می‌تواند موجب افزایش دمای معادل فیزیولوژیکی و تشدید تنش گرمایی شود (Chatzidimitriou & Yannas, 2017a).

ب: فصل تابستان

ناحیه A خیابان با جهت‌گیری شمال غربی - جنوب شرقی: در فصل تابستان، به دلیل تأثیر سایه‌اندازی ساختمان‌های بلند، راهبرد افزایش ارتفاع ساختمان عملکرد بهتری را از منظر آسایش حرارتی نشان داده است. از طرفی، جریان هوای غالب در این فصل از این ناحیه عبور می‌کند و بلوک‌بندی پیرامونی متغیر نیز به واسطه سایه‌اندازی در این فصل، سبب کاهش دمای معادل فیزیولوژیکی شده است.

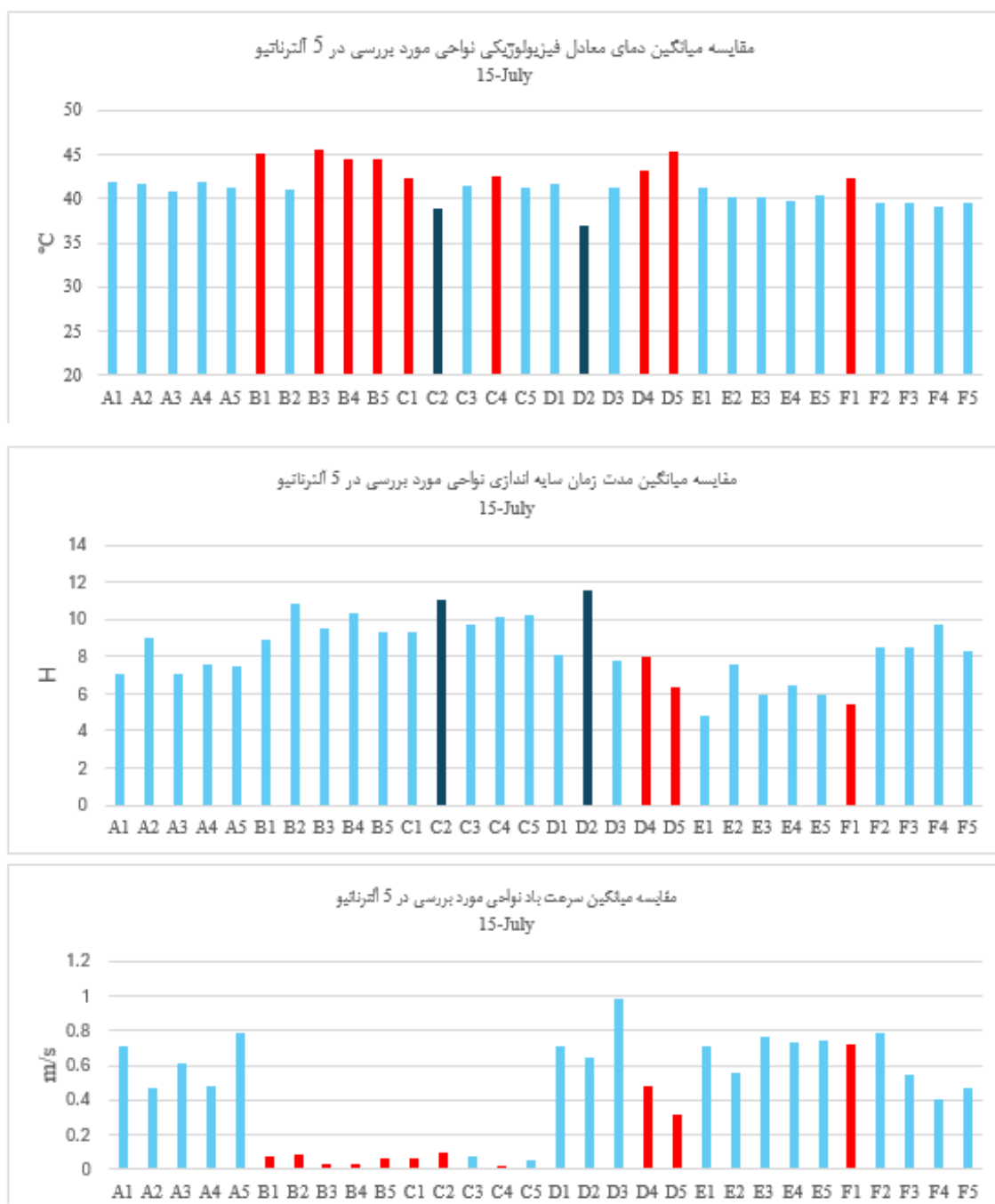
ناحیه B حیاط با جهت‌گیری شمال شرقی - جنوب غربی (زاویه 30 درجه نسبت به راستای شمالی): در فصل تابستان، ساختمان‌های بلند به دلیل ایجاد سایه‌اندازی بیشتر، مقادیر پایین‌تر PET و در نتیجه عملکرد حرارتی مطلوب‌تری را نشان دادند. همچنین، مطابق نمودارهای سرعت باد، در این ناحیه سرعت باد نسبتاً پایین است که می‌تواند ناشی از جهت‌گیری آن نسبت به باد غالب باشد. این شرایط موجب کاهش نفوذ و گردش هوا شده و در نتیجه اثر سرمایش ناشی از تهویه طبیعی را محدود می‌کند. این یافته با نتایج پیشین همسو است که در بررسی یک دره خیابانی در بافت متراکم مرکز شهر نشان دادند جهت‌گیری بافت نسبت به جهت باد غالب می‌تواند با تغییر میزان نفوذ جریان هوا، شرایط خرداقلیمی و آسایش حرارتی فضاهای باز شهری را تحت تأثیر قرار دهد. (Chatzidimitriou & Yannas, 2017a)

ناحیه C خیابان با جهت‌گیری شمال شرقی - جنوب غربی (زاویه 30 درجه نسبت به راستای شمالی): در کوچه‌های جنوبی آلترناتیو سوم و چهارم (بلوک‌بندی خطی دو طبقه و بلوک‌بندی خطی گسسته متغیر)، آسایش حرارتی مشابهی مشاهده شده و دمای معادل فیزیولوژیکی بالاتری نسبت به سایر بافت‌ها نشان داده‌اند. در بلوک‌بندی خطی گسسته متغیر در ناحیه C، ابتدای کوچه به دلیل دریافت تابش مستقیم، افزایش دمای متوسط تشعشعی را تجربه کرده است. در مقابل،

بلوک‌بندی پیرامونی به دلیل قرارگیری حیاط در پشت ساختمان و کاهش طول کوچه، سایه‌اندازی بیشتری را فراهم آورده و سبب کاهش دمای معادل فیزیولوژیکی در این ناحیه شده است. ناحیه D حیاط با جهت‌گیری شمال شرقی - جنوب غربی (زاویه 65 درجه نسبت به راستای شمالی): در فصل تابستان در ناحیه D، بلوک‌بندی خطی پنج طبقه کمترین دمای معادل فیزیولوژیکی را نشان می‌دهد و بلوک‌بندی خطی متغیر نیز میانگین دمای معادل فیزیولوژیکی پایین‌تری دارا است. در مقابل، بلوک‌بندی پیرامونی در کوچه‌های با جهت‌گیری شمال شرقی - جنوب غربی، سبب افزایش دمای معادل فیزیولوژیکی به میزان 8.54 درجه سانتیگراد نسبت به ساختمان‌های بلند شده است. این افزایش دما احتمالاً به دلیل عرض بیشتر حیاط در چیدمان بلوک‌های پیرامونی متغیر و کاهش متعاقب آن در مدت زمان سایه‌اندازی است.

ناحیه E مرکز بافت: در این ناحیه، آلترناتیوها عملکردی تقریباً مشابه از خود نشان داده‌اند. با این حال، ناحیه مرکزی در بافت با بلوک‌بندی خطی گسسته متغیر، دمای آسایش حرارتی پایین‌تری را تجربه کرده است، در حالی که بافت شامل بلوک‌بندی خطی دوطبقه به دلیل دریافت بیشتر تابش خورشیدی، دمای معادل فیزیولوژیکی بالاتری را دارا بوده است.

ناحیه F کوچه با جهت‌گیری شمال شرقی - جنوب غربی (زاویه 65 درجه نسبت به راستای شمالی): در فصل تابستان، بافت با بلوک‌بندی خطی پنج طبقه و بافت با بلوک‌بندی خطی گسسته متغیر، PET تقریباً یکسانی را در طول دوره شبیه‌سازی نشان دادند. این موضوع احتمالاً به دلیل قرارگیری ناحیه مورد بررسی در بخش جنوبی فضای بین ساختمان‌ها و تداوم سایه‌اندازی ناشی از ساختمان‌های مجاور است که موجب کاهش دریافت تابش خورشیدی و در نتیجه کاهش دمای متوسط تشعشعی شده است. در مقابل، بافت با بلوک‌بندی خطی دوطبقه بیشترین میانگین PET را 42.39 درجه سانتیگراد ثبت کرد که 3.31 درجه سانتیگراد بیشتر از بلوک‌بندی خطی گسسته متغیر بود. این اختلاف را می‌توان به کاهش سایه‌اندازی در اثر ارتفاع کمتر



شکل 5- مقایسه میانگین PET در سطح عابر پیاده (1.5 متری) و میانگین مدت زمان سایه اندازی و میانگین سرعت باد برای نواحی انتخاب شده مکان‌های آبی و قرمز مکان‌هایی هستند که بیشترین و کمترین آسایش حرارتی را دارند. (فصل تابستان)
Fig. 10- Comparison of mean PET at pedestrian level (1.5 m height), mean shading duration and mean wind speed for selected areas. Blue and red locations represent areas with the highest and lowest thermal comfort, respectively. (Summer season)

4 - نتیجه گیری

در فصل زمستان، بافت ارگانیک دمای معادل فیزیولوژیکی بالاتری را نشان داده است؛ میانگین دمای معادل فیزیولوژیکی در طول مدت زمان شبیه سازی، 0.95 درجه سانتیگراد بیشتر از بلوک بندی خطی پنج طبقه بوده است. در میان آلترناتیوها، بافت با بلوک بندی پیرامونی متغیر، بیشترین دمای معادل فیزیولوژیکی را دارا بوده است که این اختلاف با بافت ارگانیک حدود 0.39 درجه سانتیگراد است. در فصل تابستان، بلوک بندی خطی پنج طبقه از نظر آسایش حرارتی عملکرد مناسب تری را ارائه کرده و میانگین دمای معادل فیزیولوژیکی در طول مدت شبیه سازی، 1.86 درجه سانتیگراد کمتر از بافت ارگانیک بوده است.

در فصل زمستان، در اغلب نواحی با دمای معادل فیزیولوژیکی کمتر، افزایش سرعت باد مشاهده می شود؛ به عنوان مثال، ناحیه F (کوچه با جهت گیری شمال شرقی - جنوب غربی و زاویه 65 درجه نسبت به راستای شمالی) کمترین دمای معادل فیزیولوژیکی (7.7 درجه سانتیگراد) را دارا است که در آن سرعت باد به 1.18 متر بر ثانیه می رسد. در مقایسه نواحی مورد ارزیابی، ناحیه F که کوچه های با جهت گیری شمال شرقی - جنوب غربی در آن واقع شده اند، در تمامی آلترناتیوها نسبت به سایر نواحی، آسایش حرارتی کمتری را نشان می دهد؛ در این ناحیه، سرعت باد و میزان سایه اندازی بیشتر از سایر نواحی است. در نواحی E که مرکز بافت را تشکیل می دهند، تأثیر سرعت باد بر دمای معادل فیزیولوژیکی غالب تر از تأثیر مدت زمان سایه اندازی است. در فصل زمستان در نواحی که دمای معادل فیزیولوژیکی افزایش یافته است، تأثیر سرعت باد بارزتر است، اما در نواحی که دمای معادل فیزیولوژیکی کاهش یافته، مدت زمان سایه اندازی و سرعت باد هر دو در کاهش آن نقش دارند. در مقایسه نواحی مختلف، ناحیه E (مرکز بافت) کمترین مدت زمان سایه اندازی و ناحیه F به دلیل جهت گیری خیابان، بیشترین مدت زمان سایه اندازی را در مقایسه با سایر نواحی دارا است. سرعت باد در کوچه ها و حیاط های B و C با جهت گیری شمال شرقی - جنوب غربی و زاویه 30 درجه نسبت به شمال، کمتر از سایر

نواحی اندازه گیری شده است. در مجموع، در فصل زمستان، سرعت باد تأثیر بسزایی بر آسایش حرارتی داشته است.

در فصل تابستان، در نواحی با افزایش دمای معادل فیزیولوژیکی، کاهش سرعت باد مشاهده می شود. در مقایسه نواحی مختلف، ناحیه F (کوچه با جهت گیری شمال شرقی - جنوب غربی و زاویه 65 درجه نسبت به راستای شمالی) کمترین دمای معادل فیزیولوژیکی را دارا بوده است، در حالی که بیشترین دمای معادل فیزیولوژیکی در ناحیه B (حیاط با جهت گیری شمال شرقی - جنوب غربی و زاویه 30 درجه نسبت به راستای شمالی) ثبت شده است. در این ناحیه، اگرچه مدت زمان سایه اندازی مناسب است، اما سرعت باد در فصل تابستان کاهش یافته است. به طور کلی، در فصل تابستان، پارامتر سرعت باد در آسایش حرارتی مؤثر بوده و پارامتر مدت زمان سایه اندازی نیز در نواحی با بیشترین کاهش دمای معادل فیزیولوژیکی، تأثیرگذار بوده است. در مجموع، یافته ها نشان می دهند که میانگین PET در مقیاس بلوک، مبنای مناسبی برای مقایسه عملکرد حرارتی پیکربندی های مختلف فرم شهری فراهم می کند؛ با این حال، تحلیل ویژگی های فضایی موضعی نشان می دهد که شرایط حرارتی درون هر پیکربندی نیز تحت تأثیر عواملی مانند جهت گیری، مدت زمان سایه اندازی و سرعت باد قرار دارد. شایان ذکر است که این مطالعه دارای برخی محدودیت ها بوده است. در این پژوهش، آسایش حرارتی محیط بیرونی تنها در فصل های تابستان و زمستان مورد بررسی قرار گرفت؛ از این رو، در مطالعات آینده می توان دامنه زمانی پژوهش را به فصل های انتقالی نیز گسترش داد. همچنین، شبیه سازی ها صرفاً در بازه زمانی 07:00 تا 18:00 انجام شدند و بررسی شرایط خرد اقلیمی در ساعات شبانه نیز می تواند در پژوهش های آتی مدنظر قرار گیرد. علاوه بر این، مطابق توصیه منابع مشابه (Nasrollahi et al., 2017)، به دلیل بروز تغییرات غیرمنطقی دما و تابش ناشی از تغییرات جریان باد در نرم افزار ENVI-met، سرعت و جهت باد در تحلیل های حرارتی به صورت ثابت در نظر گرفته شد؛ بنابراین، سرعت باد در فرآیند اعتبارسنجی این پژوهش مورد

in city centres with a temperate climate. *Energy Nexus*, 8.

<https://doi.org/10.1016/j.nexus.2022.100159>

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

<https://doi.org/10.1016/j.buildenv.2005.01.013>

Ayyad, Y. N., & Sharples, S. (2019). Envi-MET validation and sensitivity analysis using field measurements in a hot arid climate. *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science*, 329(1).

<https://doi.org/10.1088/1755-1315/329/1/012040>

Banerjee, S., Yan CHING, N., Kang YIK, S., Yan, N., & Kang, S. (n.d.). Reviewing the relationships between urban Technical Report: Reviewing the relationships between urban morphological variables and Outdoor Thermal Comfort (OTC) to morphological variables and Outdoor Thermal Comfort (OTC) to assess comfort implication of densification for Singapore assess comfort implication of densification for Singapore Citation Citation.

https://ink.library.smu.edu.sg/cis_research/120

Carlucci, S., & Pagliano, L. (2012). A review of indices for the long-term evaluation of the general thermal comfort conditions in buildings. In *Energy and Buildings* (Vol. 53, pp. 194–205). <https://doi.org/10.1016/j.enbuild.2012.06.015>

Chatzidimitriou, A., & Yannas, S. (2017). Street canyon design and improvement potential for urban open spaces; the influence of canyon aspect ratio and orientation on microclimate and outdoor comfort. *Sustainable Cities and Society*, 33, 85–101. <https://doi.org/10.1016/j.scs.2017.05.019>

Crank, P. J., Hondula, D. M., & Sailor, D. J. (2023). Mental health and air temperature: Attributable risk analysis for schizophrenia hospital admissions in arid urban climates. *Science of the Total Environment*, 862. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2022.160599>

Dissanayake, C. (n.d.). Assessment of Thermal Comfort and Microclimate in Urban Street Canyons-A Review of Recent Research. www.iafor.org

Dwiputra, I. D., Mt, I. W. K., & Winarso, H. (2021). Impact of Urban Block Typology on

ارزیابی قرار نگرفت و بررسی آن می‌تواند در مطالعات آینده انجام شود. همچنین، فرآیند اعتبارسنجی این پژوهش به داده‌های میدانی موجود و تعداد محدودی از ساعات اندازه‌گیری محدود بود. با این حال، هدف اصلی این پژوهش پیش‌بینی دقیق مقادیر مطلق پارامترهای خرداقلیمی نبوده، بلکه مقایسه نسبی عملکرد الگوهای مختلف بافت شهری تحت شرایط مرزی یکسان بوده است؛ از این رو، اعتبارسنجی انجام‌شده برای دستیابی به اهداف این پژوهش کافی ارزیابی می‌شود. با این وجود، استفاده از داده‌های میدانی در بازه‌های زمانی طولانی‌تر و تعداد بیشتری از ساعات اندازه‌گیری، می‌تواند به اعتبارسنجی دقیق‌تر مدل در مطالعات آینده منجر شود.

پی‌نوشت

¹ Urban Heat Island

² Sustainable Development Goals

³ Sky View Factor

⁴ Height to Width Ratio

⁵ IRN—HD_Hamedan.AP.407680_TMYx.epw

⁶ Felix Marboutin

References

Abdollahzadeh, N., & Bioria, N. (2021). Outdoor thermal comfort: Analyzing the impact of urban configurations on the thermal performance of street canyons in the humid subtropical climate of Sydney. *Frontiers of Architectural Research*, 10(2), 394–409. <https://doi.org/10.1016/j.foar.2020.11.006>

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(P2), 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>

Al Haddid, H., & Al-Obaidi, K. M. (2022). Examining the impact of urban canyons morphology on outdoor environmental conditions



study: Coast of Baltim, North Coast, Egypt. Alexandria Engineering Journal, 58(1), 273–282. <https://doi.org/10.1016/j.aej.2019.02.002>

Lin, Tzu-Ping, Matzarakis, Andreas & Hwang, Ruey -Lung (2010). Shading effect on long-term outdoor thermal comfort; Building and Environment, 45.pp 213–221.

Liu, D., Hu, S., & Liu, J. (2020). Contrasting the performance capabilities of urban radiation field between three microclimate simulation tools. Building and Environment, 175. <https://doi.org/10.1016/j.buildenv.2020.106789>

Luo, M., Tang, H., Guo, F., Liu, Y., Zhang, H., Dong, J., Zhao, J., & Miao, S. (2025). How do geometric forms of public squares affect year-round thermal comfort? A field study in a cold coastal city. Urban Climate, 60. <https://doi.org/10.1016/j.uclim.2025.102352>

Mahmoud, H. (2019). EFFECT OF URBAN FORM ON OUTDOOR THERMAL COMFORT OF GOVERNMENTAL RESIDENTIAL BUILDINGS: NEW ASWAN AS A CASE STUDY, EGYPT (Vol. 47, Issue 3). Mofidi Shemirani, S. M., Etemad Sheikh al-Islami, S. F., & Seif, A. (2024). Analysis of the effect of native community center's structure on thermal comfort of its users, case study: Hamadan native open space community. Journal of Urban Ecology Researches, 15(3), 71–90. (In Persian)

Mahmoud, H., & Ghanem, H. (2019). URBAN GEOMETRY MITIGATION GUIDELINES TO IMPROVE OUTDOOR THERMAL PERFORMANCE IN EGYPTIAN HOT ARID NEW CITIES (Vol. 47, Issue 2).

Montiel, I., Mayoral, A. M., Pedreño, J. N., Maiques, S., & Santos, G. M. Dos. (2020). Linking sustainable development goals with thermal comfort and lighting conditions in educational environments. Education Sciences, 10(3). <https://doi.org/10.3390/educsci10030065>

Nasrollahi, N., Hatami, Z., & Taleghani, M. (2017). Development of outdoor thermal comfort model for tourists in urban historical areas; A case study in Isfahan. Building and Environment, 125, 356–372. <https://doi.org/10.1016/j.buildenv.2017.09.006>

Peng, M., & Huang, H. (2022). The Synergistic Effect of Urban Canyon Geometries and Greenery on Outdoor Thermal Comfort in Humid Subtropical Climates. Frontiers in Environmental

Microclimate Performance in a Hot-Humid High-Density City. IOP Conference Series: Earth and Environmental Science, 738(1). <https://doi.org/10.1088/1755-1315/738/1/012067>

Galal, O. M., Sailor, D. J., & Mahmoud, H. (2020). The impact of urban form on outdoor thermal comfort in hot arid environments during daylight hours, case study: New Aswan. Building and Environment, 184. <https://doi.org/10.1016/j.buildenv.2020.107222>

Hassan, A. M., & Megahed, N. A. (2021). COVID-19 and urban spaces: A new integrated CFD approach for public health opportunities. Building and Environment, 204. <https://doi.org/10.1016/j.buildenv.2021.108131>

He, X., Gao, W., Wang, R., & Yan, D. (2023). Study on outdoor thermal comfort of factory areas during winter in hot summer and cold winter zone of China. Building and Environment, 228. <https://doi.org/10.1016/j.buildenv.2022.109883>

Ho, H. C., & Wong, M. S. (2019). Urban environmental influences on the temperature–mortality relationship associated mental disorders and cardiorespiratory diseases during normal summer days in a subtropical city. Environmental Science and Pollution Research, 26(23), 24272–24285. <https://doi.org/10.1007/s11356-019-05594-0>

Ibrahim, Y., Kershaw, T., Shepherd, P., & Coley, D. (2021). On the optimisation of urban form design, energy consumption and outdoor thermal comfort using a parametric workflow in a hot arid zone. Energies, 14(13). <https://doi.org/10.3390/en14134026>

Krüger, E. L., & Rossi, F. A. (2011). Effect of personal and microclimatic variables on observed thermal sensation from a field study in southern Brazil. Building and Environment, 46(3), 690–697. <https://doi.org/10.1016/j.buildenv.2010.09.013>

Lai, D., Liu, W., Gan, T., Liu, K., & Chen, Q. (2019). A review of mitigating strategies to improve the thermal environment and thermal comfort in urban outdoor spaces. In Science of the Total Environment (Vol. 661, pp. 337–353). Elsevier B.V. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2019.01.062>

limona, S. S., Al-hagla, K. S., & El-sayad, Z. T. (2019). Using simulation methods to investigate the impact of urban form on human comfort. Case



Shishegar, N. (2013). Street Design and Urban Microclimate: Analyzing the Effects of Street Geometry and Orientation on Airflow and Solar Access in Urban Canyons. *Journal of Clean Energy Technologies*, 52–56. <https://doi.org/10.7763/jocet.2013.v1.13>

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

Taleghani, M., Sailor, D., & Ban-Weiss, G. A. (2016). Micrometeorological simulations to predict the impacts of heat mitigation strategies on pedestrian thermal comfort in a Los Angeles neighborhood. *Environmental Research Letters*, 11(2). <https://doi.org/10.1088/1748-9326/11/2/024003>

Tapias, E., & Schmitt, G. (2014). Climate-sensitive urban growth: Outdoor thermal comfort as an indicator for the design of urban spaces. *WIT Transactions on Ecology and the Environment*, 191, 623–634. <https://doi.org/10.2495/SC140521>

Yin, S., & Xiao, Y. (2018). RESEARCH ON THE IMPACT OF TRADITIONAL URBAN GEOMETRY ON OUTDOOR THERMAL ENVIRONMENT Case Study of Neighbourhoods with Arcade Street in South China.

Zhang, J., Li, Z., Wei, Y., & Hu, D. (2022). The impact of the building morphology on microclimate and thermal comfort—a case study in Beijing. *Building and Environment*, 223. <https://doi.org/10.1016/j.buildenv.2022.109469>

Zhao, T., & Ma, T. (2025). Temporal-Spatial Thermal Comfort Across Urban Blocks with Distinct Morphologies in a Hot Summer and Cold Winter Climate: On-Site Investigations in Beijing. *Atmosphere*, 16(7). <https://doi.org/10.3390/atmos16070855>.

Science, 10. <https://doi.org/10.3389/fenvs.2022.851810>

Ren, C., Yang, R., Cheng, C., Xing, P., Fang, X., Zhang, S., Wang, H., Shi, Y., Zhang, X., Kwok, Y. T., & Ng, E. (2018). Creating breathing cities by adopting urban ventilation assessment and wind corridor plan – The implementation in Chinese cities. *Journal of Wind Engineering and Industrial Aerodynamics*, 182, 170–188. <https://doi.org/10.1016/j.jweia.2018.09.023>

Ridha, S. J. (2018). Effect of Aspect Ratio and Symmetrical Distribution on Urban Design in Baghdad City, and the Impact of Greenery Strategies on improving Outdoor Thermal Comfort. *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science*, 151(1). <https://doi.org/10.1088/1755-1315/151/1/012035>

Saad Shalaby, A., & Mohamed Shafey, A. (2018). Optimizing the Thermal Performance of Street Canyons in New Cairo, Egypt Optimizing the Thermal Performance of Street Canyons in New Cairo, Egypt, Using ENVI-met. *International Journal of Advanced Research in Science, Engineering and Technology*, 5. <https://www.researchgate.net/publication/326973081>

Salal Rajan, E. H., & Amirtham, L. R. (2021). Impact of building regulations on the perceived outdoor thermal comfort in the mixed-use neighbourhood of Chennai. *Frontiers of Architectural Research*, 10(1), 148–163. <https://doi.org/10.1016/j.foar.2020.09.002>

Shah, R., Pandit, R. K., & Gaur, M. K. (2022). Urban physics and outdoor thermal comfort for sustainable street canyons using ANN models for composite climate. *Alexandria Engineering Journal*, 61(12), 10871–10896. <https://doi.org/10.1016/j.aej.2022.04.024>