

Optimal Architectural Form Patterns with the Approach of Providing Comfortable Conditions in Open Spaces of Residential Complexes

ARTICLE INFO

Article Type
Original Research

Author

Teymour Heydari^{1*}
Mozhdeh Mokhtari²
Milad Karimian Shamsabadi³

How to cite this article

Heydari, Teymour, Mokhtari, Mozhdeh and Karimian Shamsabadi, Milad. Optimal Architectural Form Patterns with the Approach of Providing Comfortable Conditions in Open Spaces of Residential Complexes. Urban Design Discourse. 2026; 7(2): 33-48.

Doi:

10.48311/udd.2026.118137.82815

¹ Department of Architecture, Shahrekord Branch, Islamic Azad University, Shahrekord, Iran.

² Department of Architecture, Shahrekord Branch, Islamic Azad University, Shahrekord, Iran.

³ Department of Architecture, Shahrekord Branch, Islamic Azad University, Shahrekord, Iran.

* Correspondence

Address: Department of Architecture, Shahrekord Branch, Islamic Azad University, Shahrekord, Iran.
Email: tm_heydari@yahoo.com

Article History

Received: 14 December 2025
Accepted: 19 January 2026
Revised date: 20 June 2026

ABSTRACT

Research Problem: In today's world, along with the increase in population and the expansion of cities, the need for residential spaces and access roads has grown significantly. These changes in urban structure have caused a decrease in attention to open and social spaces, which play a key role in creating thermal comfort for individuals. The aim of this research is to investigate the factors affecting the design of open spaces in residential complexes and how to improve the thermal comfort of residents.

Methods: Initially, based on the research conducted, the main urban form factors that affect the thermal comfort of urban open spaces at different levels were identified. Then, using the ENVI-met software, simulations were conducted on residential blocks with different heights.

Results: The results of these simulations showed that cubic and separate forms provide more suitable thermal conditions in open spaces by preventing the creation of large, unshaded open spaces. The shadows that these blocks create, especially during the peak summer heat, effectively prevent temperature increases and contribute to greater comfort for residents. These results highlight the importance of thoughtful design of open spaces in residential complexes and show that considering cubic forms can be an effective solution to improve the quality of life in these spaces. Finally, this research emphasizes the importance of careful planning and design of open spaces as a key factor in improving the quality of urban life.

Keywords: Open spaces, ENVI-met software, thermal comfort, residential complexes.

الگوهای فرم معماری بهینه با رویکرد تأمین شرایط آسایشی در فضاهای باز مجموعه‌های مسکونی

اطلاعات مقاله:

چکیده

نوع مقاله: پژوهشی اصیل

نویسندگان:

تیمور حیدری^{۱*}

مژده مختاری^۲

میلاذ کریمیان شمس آبادی^۳

نحوه استناد به این مقاله:

حیدری، تیمور، مختاری مژده و کریمیان شمس آبادی. میلاذ، الگوهای فرم معماری بهینه با رویکرد تأمین شرایط آسایشی در فضاهای باز مجموعه‌های مسکونی. گفتمان طراحی شهری، ۷ (۲)، ۳۳-۴۸.

مسئله تحقیق: در دنیای امروز، همگام با افزایش جمعیت و گسترش شهرها، نیاز به فضاهای مسکونی و راه‌های دسترسی به‌شدت رشد کرده است. این تغییرات در ساختار شهری باعث شده است که توجه به فضاهای باز و اجتماعی که نقشی کلیدی در ایجاد آسایش حرارتی برای افراد دارند، کاهش یابد. هدف این پژوهش بررسی عوامل مؤثر بر طراحی فضاهای باز در مجتمع‌های مسکونی و چگونگی بهبود آسایش حرارتی ساکنان است.

روش‌ها: در ابتدا، با تکیه بر پژوهش‌های انجام شده، عوامل اصلی فرم شهری که بر آسایش حرارتی فضاهای باز شهری در سطوح مختلف تأثیر می‌گذارند، شناسایی شدند. سپس، با استفاده از نرم‌افزار ENVI-met، شبیه‌سازی‌هایی روی بلوک‌های مسکونی با ارتفاع‌های متفاوت انجام شد.

نتایج: نتایج این شبیه‌سازی‌ها نشان داد که فرم‌های مکعبی و جدا از یکدیگر، با جلوگیری از ایجاد فضاهای باز وسیع و بی‌سایه، شرایط حرارتی مناسب‌تری در فضاهای باز فراهم می‌کنند. سایه‌هایی که این بلوک‌ها به‌ویژه در زمان اوج گرمای تابستان ایجاد می‌کنند، به‌طور مؤثری از افزایش دما جلوگیری کرده و به آسایش بیشتر ساکنان کمک می‌کنند. این نتایج اهمیت طراحی مدبرانه فضاهای باز در مجتمع‌های مسکونی را برجسته می‌کند و نشان می‌دهد که در نظر گرفتن فرم‌های مکعبی می‌تواند راهکاری مؤثر برای ارتقای کیفیت زندگی در این فضاها باشد. در نهایت، این پژوهش بر اهمیت برنامه‌ریزی و طراحی دقیق فضاهای باز به‌عنوان عاملی کلیدی برای بهبود کیفیت زندگی شهری تأکید می‌کند.

واژه‌های کلیدی: فضاهای باز، نرم‌افزار tem-IVNE، آسایش حرارتی، مجتمع‌های مسکونی.

۱. گروه معماری، واحد شهرکرد، دانشگاه آزاد اسلامی، شهرکرد ایران.
۲. گروه معماری، واحد شهرکرد، دانشگاه آزاد اسلامی، شهرکرد ایران.
۳. گروه معماری، واحد شهرکرد، دانشگاه آزاد اسلامی، شهرکرد ایران.

* نویسنده مسئول:

دکتر تیمور حیدری

نشانی: گروه معماری، واحد شهرکرد، دانشگاه آزاد

اسلامی، شهرکرد ایران.

ایمیل: tm_heydari@yahoo.com

تاریخ مقاله

تاریخ دریافت: ۱۴۰۴/۹/۲۳

تاریخ پذیرش: ۱۴۰۴/۱۰/۲۹

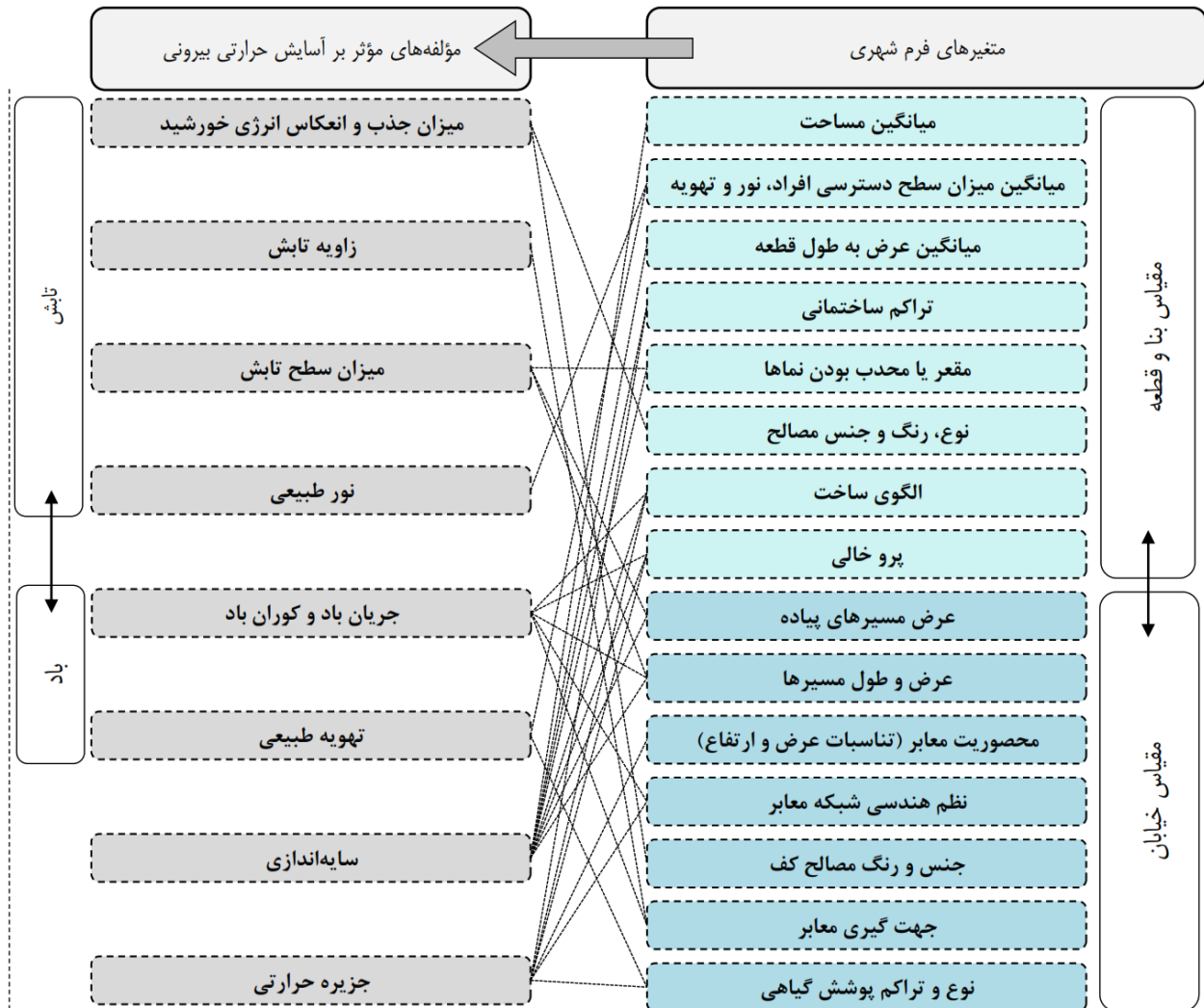
تاریخ انتشار: ۱۴۰۵/۳/۳۰

۱. مقدمه

با توجه به سرعت رشد شهرنشینی در دنیای امروز، نیاز روانی انسان‌ها به حضور در فضاهای باز به شکل چشمگیری افزایش یافته است. این فضاها به‌عنوان بستری برای زندگی جمعی عمل کرده و ارتباط بین فعالیت‌های مختلف را ممکن می‌سازند (پرهام و همکاران 1394). در دهه‌های اخیر هدف، ایجاد فضاهای باز مطلوب و دلپذیر بوده است. بسته به موقعیت مکانی، طراحی، و تجهیزات استفاده‌شده، این فضاها در مناطق شهری شکل‌های گوناگونی به خود می‌گیرند. با این حال، در میان همه ویژگی‌ها، آسایش حرارتی به‌عنوان یکی از عوامل کلیدی در جذب افراد به این فضاها و افزایش استفاده از آن‌ها شناخته می‌شود (Canan et al., 2019). افرادی که در فضاهای باز حضور دارند، به‌طور مستقیم با تغییرات ناگهانی محیطی مانند تابش خورشید، سایه و تغییرات سرعت باد مواجه می‌شوند و آسایش حرارتی آن‌ها به‌طور عمده تحت تأثیر شرایط خرد اقلیم محلی قرار می‌گیرد (Ali & Patnaik, 2018). بنابراین، یکی از اصول مهم در طراحی این فضاها، تأمین آسایش حرارتی است که به ارتقای کیفیت محیط و جلب رضایت بیشتر کاربران کمک می‌کند. (سید امیر سعید و همکاران 1389) فضاهای باز می‌توانند تأثیرات مثبتی بر جنبه‌های اجتماعی و اقتصادی رفتار شهروندان داشته باشند. امروزه برنامه‌ریزی شهری منجر به تراکم زیاد شهرها و افزایش ساخت‌وساز ساختمان‌های بلند و صنعتی شده است. این توسعه موجب تغییرات در خرد اقلیم شهری شده، به‌ویژه به دلیل کاهش پوشش گیاهی و تولید گرمای بیشتر، که در نهایت باعث کاهش آسایش حرارتی شهروندان در فضاهای شهری می‌شود. همچنین، کمبود فضاهای باز مناسب در محله‌های مسکونی، ارتباطات اجتماعی، تفریح، پیاده‌روی، گذران اوقات فراغت و تعاملات اجتماعی را محدود کرده است. در مقابل، فضاهای باز با شرایط مناسب و آسایش حرارتی می‌توانند نقش مهمی در افزایش مشارکت اجتماعی و تعاملات روزمره مردم ایفا کنند (شاهین و همکاران 1397). این فضاها بستر مناسبی برای تعاملات اجتماعی، تجمعات، بازی و گفت‌وگو فراهم می‌کنند. آسایش حرارتی به شرایطی اشاره دارد که در آن افراد از لحاظ حرارتی از محیط پیرامون خود رضایت دارند، و این عامل به‌طور مستقیم بر حضور و فعالیت‌های افراد در فضاهای باز تأثیرگذار است (ANSI/ASHRAE Standard 55-2017).

آسایش حرارتی به دو عامل اصلی بستگی دارد: عوامل اقلیمی و عوامل شخصی. از جمله عوامل اقلیمی می‌توان به دمای هوا، رطوبت نسبی، سرعت باد، و دمای تشعشعی محیط اشاره کرد. دمای تشعشعی، میزان انرژی تابشی است که بدن انسان از محیط دریافت می‌کند و نقش مهمی در تعیین آسایش حرارتی دارد. در مقابل، عوامل شخصی شامل میزان فعالیت‌های فیزیکی، پوشش لباس، و همچنین عوامل روانی و رفتاری هستند که بر احساس آسایش تأثیر می‌گذارند

(Chan et al., 2017). اگرچه طراحان نمی‌توانند عوامل شخصی را کنترل کنند، اما می‌توانند با طراحی مناسب، دمای تشعشعی را بهینه‌سازی کنند و شرایط بهتری فراهم آورند (نرگس احمدپور و همکاران 1396). یکی از بهترین راه‌ها برای کنترل دمای تشعشعی، ایجاد سایه است. با مسدود کردن تابش مستقیم خورشید، می‌توان از افزایش دمای محیط جلوگیری کرده و آسایش حرارتی بیشتری ایجاد کرد. پژوهش‌ها نشان داده‌اند که سایه‌اندازی توسط درختان یا ساختمان‌ها نقش مهمی در ایجاد آسایش حرارتی در فضاهای باز دارد (Lai et al., 2017). این سایه‌اندازی نه تنها به خنک‌تر شدن محیط کمک می‌کند، بلکه احساس راحتی افراد را نیز بهبود می‌بخشد (Lin et al., 2010). بنابراین، با برنامه‌ریزی دقیق و استفاده از منابع سایه مناسب، می‌توان فضاهای باز را به گونه‌ای طراحی کرد که هم راحتی بیشتر و هم بهره‌وری بالاتری برای کاربران به همراه داشته باشد. طراحی فضاهای باز در مجتمع‌های مسکونی تحت تأثیر مجموعه‌ای از عوامل مختلف قرار دارد، از جمله فرم، هندسه، تناسبات، مصالح، رنگ و پوشش گیاهی. به دلیل تنوع بالای این مؤلفه‌ها و نیاز به دقت در بررسی علمی و مهندسی، تمرکز روی تعداد محدودی از متغیرها ضروری است. در این پژوهش، تن‌ها تأثیر فرم فضاهای معماری بر آسایش حرارتی فضاهای بین ساختمان‌ها مورد مطالعه قرار گرفته است. برخی از متغیرهای فرم شامل بیرون‌زدگی، ارتفاع قسمت‌های مختلف ساختمان‌ها، فاصله بین بلوک‌ها و تناسبات طول، عرض و ارتفاع بلوک‌ها می‌باشند. این تحقیق، فرم‌های ساده و بدون انحنا را بررسی می‌کند. برای ارزیابی میزان آسایش حرارتی، ضروری است که شاخص‌های مناسب حرارتی تعریف شوند. آسایش حرارتی در فضاهای باز، علاوه بر شرایط اقلیمی، به عواملی مانند محیط ساخته‌شده اطراف، نوع پوشش زمین، تبخیر و تعرق گیاهان، سایه‌ای که عناصر طبیعی ایجاد می‌کنند، و جریان هوای اطراف ساختمان‌ها وابسته است. برای اینکه نتایج این پژوهش قابلیت تعمیم به محیط‌های مختلف را داشته باشند و چارچوبی عملی برای معماران ارائه شود، نیاز به یک مدل جامع داریم. این مدل باید بتواند پارامترهای گوناگونی مانند بیرون‌زدگی‌ها، اختلاف ارتفاع بخش‌های مختلف ساختمان، فاصله بین بلوک‌ها و نسبت‌های طول، عرض و ارتفاع آن‌ها را به‌صورت داده ورودی دریافت کند و از آن‌ها برای ارائه شاخص‌هایی جهت طراحی فرم استفاده کند. در اینجا، الگوهایی که مطرح شده‌اند صرفاً سبک یا نوع خاصی از معماری نیستند، بلکه به‌عنوان ابزارهای طراحی عمل می‌کنند. این الگوها ممکن است به‌صورت روابط ریاضی، فرمول‌های هندسی یا حتی الگوریتم‌هایی باشند که به دست معماران تبدیل به طرح‌های واقعی می‌شوند. مدل‌های مولد، ترکیبی از الگوریتم‌های پارامتریک و محاسباتی هستند که به معماران امکان می‌دهند تا الگوهای خاصی را بر اساس ویژگی‌های سایت، از جمله ابعاد، محدودیت‌های ارتفاع و اندازه محیط، ایجاد کنند. این مدل‌ها شرایطی فراهم می‌آورند تا طراحی



تصویر ۱. متغیرهای فرم شهری مؤثر بر آسایش حرارتی بیرونی

بسیاری از مطالعات پیشین همخوانی دارد. به‌عنوان نمونه، تحقیق سیمون و همکاران نشان داد که ENVI-met قابلیت شبیه‌سازی ریزاقلیم‌ها در محیط‌های شهری پیچیده را دارد. علاوه بر این، چندین مطالعه دیگر هم به وجود همبستگی قوی بین متغیرهای هواشناسی شبیه‌سازی‌شده و داده‌های مشاهداتی اشاره کرده‌اند (Simon et al., 2018). در این پژوهش، برای ایجاد سناریوهای مختلف، مجموعه‌ای از تنظیمات ثابت در تمامی مدل‌ها اعمال شده‌اند. این تنظیمات شامل پارامترهای کلیدی هستند که تأثیر قابل توجهی بر نتایج شبیه‌سازی دارند و به‌منظور حفظ همگنی و امکان مقایسه درست بین سناریوهای مختلف در نظر گرفته شده‌اند. جدول ۱ زیر این پارامترها و تنظیمات را به‌صورت دقیق نمایش می‌دهد. (جدول ۱)

این پژوهش در تهران، با مختصات جغرافیایی ۳۵/۶۲ درجه شمالی، ۵۱/۴۲ درجه شرقی و ارتفاع ۱۱۹۰/۸ متر از سطح دریا، که اقلیمی گرم و نیمه‌خشک دارد، انجام شده است. طبق

فضاهای مسکونی بهینه‌تری از نظر تأمین آسایش حرارتی به دست آید. به‌عبارت‌دیگر، این مدل‌ها نه تنها خود تولیدکننده الگوهای جدید هستند، بلکه می‌توانند از ترکیب الگوهای مختلف، مدل‌های تازه‌ای خلق کنند که به نیازهای خاص محیط و شرایط حرارتی پاسخ می‌دهند.

۲. روش تحقیق

این تحقیق به دنبال توسعه مدلی است که بتواند الگوهایی را برای افزایش آسایش حرارتی در فضاهای باز مجتمع‌های مسکونی از طریق بهینه‌سازی فرم‌ها ارائه دهد. در این راستا، تأثیر انواع ساختمان‌ها بر آسایش حرارتی مورد بررسی قرار گرفته است. به‌منظور ارزیابی این تأثیر، ۲۲ مدل مختلف بلوک ساختمانی با استفاده از نرم‌افزار شبیه‌سازی ENVI-met در ساعت‌های بعدازظهر روز ۳۱ خرداد در تهران تحلیل شده‌اند. نتایج به‌دست‌آمده از شبیه‌سازی ENVI-met با یافته‌های

یکسان در نظر گرفته شده است. این رویکرد به نویسندگان این امکان را می‌دهد که تأثیر طراحی فرم و ساختار بر آسایش حرارتی کاربران را به‌طور جامع و مؤثر مورد بررسی قرار دهند.

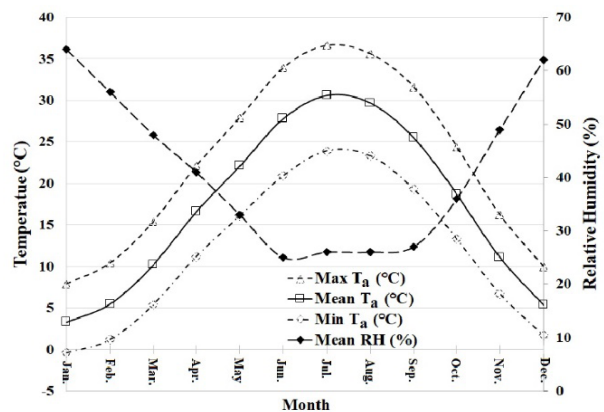
۳. مبانی نظری

۳-۱. پیشینه و مبانی نظری پژوهش

از دهه ۱۹۸۰، مطالعات مرتبط با آسایش حرارتی در فضاهای بیرونی به‌ویژه به‌دلیل افزایش توجه به عابران پیاده در معابر شهری، میدان‌ها و پلازاها روند رو به رشدی داشته است. این توجه بیشتر به سمت تحقیقات گوناگون در زمینه عوامل طراحی اقلیمی مؤثر بر آسایش حرارتی عابران پیاده سوق پیدا کرده است (Taleghani et al., 2015). در سال ۲۰۰۱، یکی از اولین پژوهش‌های مهم درباره آسایش حرارتی در فضاهای باز شهری انجام شد. این تحقیق به بررسی رفتار افراد در این محیط‌ها پرداخته و تأثیر عوامل اقلیمی مانند نور خورشید، دمای هوا و سرعت باد را بر تجربه حرارتی افراد مورد تحلیل قرار داده است. پژوهش نشان داد که این عوامل می‌توانند به‌طور مستقیم در ایجاد یا برهم زدن آسایش حرارتی نقش داشته باشند (Nikolopoulou et al., 2001). در مطالعه‌ای دیگر، تأثیرات فیزیکی، فیزیولوژیکی و روانی کاربران فضا مورد بررسی قرار گرفت و این تأثیرات بر اساس مدت زمان حضور و استراحت افراد در فضاهای باز ارزیابی شد. نتایج این پژوهش نشان داد که اقلیم نقش مهمی در شکل‌گیری الگوهای فعالیتی در فضاهای شهری ایفا می‌کند، زیرا انسان به‌شدت از نظر فیزیولوژیکی و روانی تحت تأثیر شرایط آب و هوایی قرار دارد (Thorsson et al., 2004).

در حوزه آسایش حرارتی در فضاهای باز، مطالعات متعددی در مقیاس شهری انجام شده است که به بررسی ارتباط میان شکل‌گیری فرم شهری و کیفیت آسایش حرارتی پرداخته‌اند. در میان این تحقیقات، تعدادی به‌طور خاص به نقش دره‌های شهری و تأثیر جهت‌گیری خیابان‌ها بر خرداقلیم معابر توجه داشته‌اند. در ادامه، چند نمونه از این پژوهش‌ها مرور خواهند شد. یک پژوهش در کشور هلند به بررسی آسایش حرارتی فضاهای باز در پنج نوع فرم شهری متفاوت پرداخت. این مطالعه تأثیر فرم‌های گوناگون شهری را بر شرایط حرارتی و راحتی کاربران در این فضاها تحلیل کرد. پژوهشگران با استفاده از داده‌های جمع‌آوری‌شده از شرایط جوی و رفتار کاربران، به این نتیجه رسیدند که هر نوع فرم شهری ویژگی‌های منحصر به فردی در زمینه آسایش حرارتی دارد (Taleghani et al., 2015). در پژوهش دیگری، شرایط محیطی خیابان‌های شهری در بافت قدیم و جدید شهر آلیو در سوریه مقایسه شده و تأثیر مورفولوژی و هندسه شهری بر خرد اقلیم و آسایش حرارتی فضاهای خارجی در اقلیم گرم و خشک بررسی شده است. این مطالعه به‌ویژه بر نقش ساختارهای شهری در بهبود یا کاهش آسایش حرارتی در فضاهای باز تأکید

طبقه‌بندی اقلیمی کوپن-گیگر، تهران در مرز مناطق شمالی و جنوبی قرار گرفته و دارای تنوع دمایی قابل توجهی است. همان‌طور که در تحلیل‌های آب‌وهوایی نشان داده شده، گرم‌ترین ماه سال در تهران، جولای (تیرماه) است که میانگین دمای هوا به ۳۰٫۶ درجه سانتی‌گراد می‌رسد. در مقابل، ژانویه (دی‌ماه) با میانگین دمای ۳٫۳ درجه سانتی‌گراد، سردترین ماه سال محسوب می‌شود. در ماه جولای، دمای هوا ممکن است به بیش از ۳۶٫۶ درجه سانتی‌گراد افزایش یابد، در حالی که در ژانویه ممکن است تا ۰٫۴- درجه سانتی‌گراد کاهش پیدا کند. میانگین رطوبت نسبی در ژانویه ۶۴ درصد است، در حالی که در ماه ژوئن این مقدار به حداقل ۲۵ درصد می‌رسد. این ویژگی‌های اقلیمی، نیاز به توجه ویژه به طراحی فضاهای باز و کنترل شرایط خرد اقلیمی برای تأمین آسایش حرارتی ساکنان را در تهران نشان می‌دهد. (تصویر ۲)



تصویر ۲. مشخصات دمای سالیانه شهر تهران

در این پژوهش، سناریوهای شبیه‌سازی به شش گروه اصلی تقسیم شده‌اند که هدف هر یک از آن‌ها بررسی تأثیر فرم و طراحی بر آسایش حرارتی ساکنان است. این گروه‌ها عبارتند از: الف) نه مکعب مجزا: در این گروه، تأثیر فرم‌های مستقل و جدا از هم بررسی می‌شود و تأثیر فضاهای بین این مکعب‌ها بر آسایش حرارتی تحلیل می‌گردد. ب) چهار بلوک L شکل درون‌گرا: این سناریو به تأثیر طراحی L شکل بر شرایط حرارتی و ایجاد سایه در فضاهای باز می‌پردازد. ج) U شکل: در این گروه، تأثیر فرم U شکل بر روی جریان هوا و سایه‌اندازی مورد بررسی قرار می‌گیرد. د) سه نوار افقی/عمودی: این سناریو به چیدمان نوارهای افقی و عمودی و تأثیر آن‌ها بر آسایش حرارتی و توزیع دما اختصاص دارد. ه) حیاط مرکزی: این گروه به ارزیابی تأثیر وجود حیاط مرکزی و نحوه تعامل آن با ساختمان‌ها و فضاهای باز می‌پردازد. و در نهایت و) F شکل می‌باشد. متغیرهای مستقل این تحقیق شامل فرم، ارتفاع، جهت ساختمان‌ها و درصد دیوارهای خارجی پوشیده‌شده با انواع مختلف مواد (مانند دیوار بتنی و دیوار سبز) هستند. در مقابل، متغیرهای وابسته شامل شاخص‌هایی همچون PMV، PET، PPD و SET می‌باشند. همچنین، برای به‌دست آوردن نتایج دقیق‌تر، انواع مواد در تمام سناریوها به‌صورت

دارد (Zakhour, 2015). در پژوهشی به‌طور خاص بر اهمیت ساختارهای شهری تأکید می‌کند و نشان می‌دهد که چطور این ویژگی‌ها می‌توانند در بهبود یا کاهش آسایش حرارتی در فضاهای باز تأثیرگذار باشند (Tumini et al., 2016). در یکی از مطالعات، تأثیر خیابان‌های نامتقارن بر آسایش حرارتی عابران پیاده در اقلیم گرم و مرطوب کوبا مورد تجزیه و تحلیل قرار گرفت. این تحقیق با بررسی پنج نسبت ارتفاع به عرض و چهار جهت‌گیری متفاوت خیابان‌ها انجام شد (Rodríguez-Algeciras et al., 2018). همچنین، تحقیقی دیگر به بررسی رفتار حرارتی در اقلیم‌های متنوع نانبینگ چین پرداخت که شامل ۱۴ زون مختلف بود و بر اساس ویژگی‌های ساختمانی و نوع پوشش زمین تعریف شده بودند (Yang et al., 2018). در پژوهشی دیگر، آسایش حرارتی فضاهای باز در بافت قدیم و جدید شهر لار در فارس با استفاده از شبیه‌سازی مورد مقایسه قرار گرفت و نتایج نشان داد که ساکنان بافت تاریخی به دلیل کمبود عرصه‌های عمومی و گیاهان در گذرگاه‌ها احساس رضایت کمتری دارند (Biqaraz et al., 2019). در کنار تحقیقات در مقیاس شهری، مطالعات بسیاری نیز در مقیاس‌های کوچکتر به بررسی تأثیر پارامترهای مختلف بر

آسایش حرارتی فضاهای باز پرداخته‌اند. به‌عنوان مثال، در یکی از این تحقیقات، رفتار حرارتی مصالح مختلف مورد استفاده در کفسازی‌های دانشگاه گوانژو چین با بهره‌گیری از شبیه‌سازی مورد مقایسه قرار گرفت (Yang et al., 2013). تحقیقی که در یک پارک شهری در مالزی با اقلیم گرم و مرطوب انجام شد، به بررسی ارتباط میان آسایش حرارتی و فعالیت‌های فیزیکی افراد پرداخته است. نتایج این مطالعه نشان می‌دهد که بین آسایش حرارتی و نوع فعالیت‌های فیزیکی انتخاب شده در شرایط خاص، رابطه‌ای معنادار و قابل توجه وجود دارد (Nasir et al., 2013). در یک تحقیق، پژوهشگران به بررسی عواملی که بر احساس حرارتی در پارک‌های شهری در فصول تابستان و زمستان تأثیر می‌گذارند، پرداخته‌اند. این مطالعه به‌طور جامع نه تنها عوامل خرد اقلیم و فیزیولوژیکی را مدنظر قرار داد، بلکه تأثیرات روانی ناشی از درک ویژگی‌های محیطی و برداشت بصری از پارک‌ها را بر آسایش حرارتی و توانایی تحمل گرما نیز تحلیل کرد (Chan et al., 2017). در پژوهش دیگری، طراحی میدان‌های عمومی با زیرساخت سبز به‌عنوان راهکاری برای بهبود آسایش حرارتی افراد مورد بررسی قرار گرفت. محققان با استفاده از شبیه‌سازی، تأثیر طراحی‌های

جدول ۱. تنظیمات در نظر گرفته شده برای شبیه‌سازی

۲۱.۰۶.۲۰۲۰	تاریخ								
۱۳:۰۰	ساعت شروع								تنظیمات زمانی
۱۷:۰۰	ساعت اتمام								
۶	طول مدت شبیه‌سازی (ساعت)								
۵/۵	سرعت باد در ارتفاع ۱۰ متری (m/s)								
۲۷۰ درجه	جهت باد								
۰/۰۱	طول زبری در سایت اندازه گیری								شرایط اقلیمی درونی
حداکثر: ۳۷/۳	حداقل: ۲۵/۳								دما (برحسب سانتی گراد)
حداکثر: ۲۳	حداقل: ۹								رطوبت (برحسب سانتی گراد)
Simple forcing (standard)	نوع								
۶:۰۰	در ساعت	۲۵/۳	حداقل						دما (c)
		۳۷/۳	حداکثر						شرایط مرزی (boundary condition)
۱۶:۰۰	در ساعت	۹	حداقل						رطوبت نسبی (%)
		۲۳	حداکثر						
	چند آلاینده								حالت کاربری
	فقط رسوب								تنظیمات آلودگی
	Pm								فرایند شیمیایی
									نوع آلاینده
۲/۵	قطر آلاینده μm								تراکم ذره (g/cm^3)

نوآوری اصلی این پژوهش در توانایی آن برای تعمیم، پیش‌بینی و انطباق با شرایط جدید به‌منظور طراحی بهینه مجتمع‌های مسکونی به‌خاطر تأمین آسایش حرارتی است. با معرفی یک مدل مولد برای الگوهای فرمیابی، این تحقیق به‌عنوان یک کار جدید و ابتکاری در این حوزه شناسایی می‌شود. این مدل می‌تواند به معماران و طراحان کمک کند تا با بهره‌گیری از روش‌های نوین، طراحی فضاهای مسکونی و باز را به‌گونه‌ای انجام دهند که نه‌تن‌ها به بهبود آسایش حرارتی ساکنان یاری رساند، بلکه با ایجاد انعطاف‌پذیری در طراحی، پاسخ‌گوی نیازهای متنوع کاربران نیز باشد. متغیرهای فرم شهری مؤثر بر آسایش حرارتی بیرونی در تصویر ۱-۱ به نمایش درآمده است.

۴. بحث و یافته‌های پژوهش

در این قسمت، به ارزیابی عملکرد هر مدل از دیدگاه پارامترهای مختلفی مانند: دمای هوا، SET، PET، PMV و PPD که از طریق شبیه‌سازی به‌دست آمده‌اند، خواهیم پرداخت. برای تسهیل در این ارزیابی، فرم "ته مکعب مجزا" با حرف "A" شناخته می‌شود و زیرمجموعه‌های آن به‌صورت A1، A2، A3 و غیره نام‌گذاری شده‌اند. به همین ترتیب، فرم "چهار بلوک L شکل درون‌گرا" با حرف "B" مشخص شده و زیرمجموعه‌های آن با عناوین B1، B2، B3، B4، B5، B6 نام‌گذاری شده‌اند. در مورد فرم "U شکل"، حرف "C" به‌کار رفته و زیرمجموعه‌های آن به‌صورت C1، C2، C3، C4 و غیره تعیین شده‌اند. همچنین، برای فرم "سه نوار افقی/عمودی" از حرف "D" استفاده شده و زیرمجموعه‌های آن با D1، D2، D3، D4، D5 و D6 شناسایی می‌شوند. در نهایت، فرم "حیاط مرکزی" با حرف "E" و زیرمجموعه‌های آن به‌صورت E1، E2، E3 معرفی شده است. برای فرم "F" نیز به همین ترتیب از حرف "F" بهره گرفته شده است.

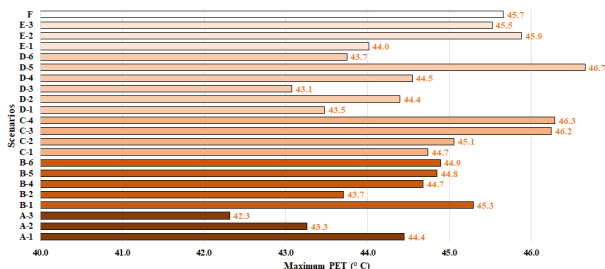
۴-۱. دمای هوا

میانگین حداکثر دمای مناطق مختلف سایت در ساعات مختلف به‌دراظهر روز ۲۱ ژوئن در تصویر ۳ ارائه شده است. نتایج نشان می‌دهند که در سناریوهای A-2 و A-3، میانگین حداکثر دما به کمترین میزان خود رسیده است. در این سناریوها، مکعب‌های جداگانه با ارتفاع‌های بین ۱۲ تا ۱۴ متر در بخش‌های جنوبی و شرقی و ۱۰ تا ۱۲ متر در سایر نقاط قرار دارند که این طراحی موجب کاهش نارضایتی حرارتی در این دو حالت می‌شود. در سایر گروه‌ها، اختلاف دما بین سناریوها کم و کمتر از یک درجه است و تفاوت قابل توجهی مشاهده نمی‌شود. به‌عنوان مثال، در گروه B، سناریو B-2 کمترین میانگین حداکثر دما را دارد. همچنین در گروه C، سناریو C-2 کمترین دما را به خود اختصاص داده است. در گروه D، سناریو D-6 کمترین میانگین حداکثر دما را دارد و در نهایت در گروه E، سناریو E-1 به‌عنوان سناریو با کمترین میانگین حداکثر دما شناسایی شده است تصویر ۴.

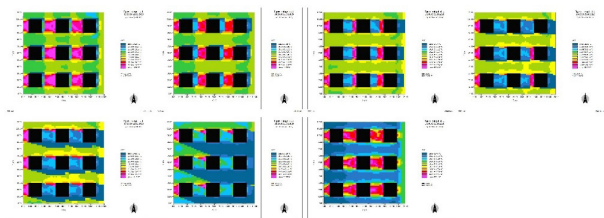
سبز رایج در میدان‌های عمومی و تغییرات خرد اقلیم ناشی از این طراحی‌ها را در یک روز گرم تابستانی، هم در طول روز و هم در شب، ارزیابی کردند (Zölch et al., 2019).

با توجه به نقش حیاتی سایه در ایجاد شرایط آسایش در فضاهای باز، تحقیقاتی به تحلیل تأثیر سایه بر آسایش حرارتی این فضاها پرداخته‌اند. این پژوهش‌ها به بررسی چگونگی ارتباط سایه با آسایش حرارتی و نحوه تأثیرگذاری آن در محیط‌های باز اختصاص یافته‌اند. تحقیقی که به بررسی معیارهای طراحی مؤثر بر آسایش حرارتی فضاهای باز عمومی در بخشی از مجتمع مسکونی اکباتان پرداخته، از روش شبیه‌سازی استفاده کرده است. در این مطالعه، پژوهشگران دمای معادل فیزیولوژیکی را با عوامل فیزیکی محیطی، از جمله ضریب دید به آسمان، میزان سایه و فاصله از ساختمان مقایسه کردند. نتایج این تحقیق به شناسایی معیارهای کلیدی برای دستیابی به آسایش حرارتی کمک کرده و پیشنهاداتی برای بهبود طراحی فضاهای باز با رویکرد اقلیمی ارائه می‌دهد (سید امیر سعید و همکاران 1389). تأثیر عوامل خرد اقلیم بر آسایش حرارتی در فضاهای شهری و ارتباط آن با ارتفاع ساختمان‌ها به‌عنوان جدارهای مؤثر بر خرد اقلیم مورد پژوهش قرار گرفته است. در این مطالعه، پس از شناسایی محدوده‌های بحرانی در خیابان شهرداری تهران، شامل سطوحی که همواره در سایه قرار دارند و سطوحی که در معرض تابش آفتاب هستند، تغییراتی در ارتفاع ساختمان‌ها به‌منظور ایجاد مناطق آفتاب‌گیر و سایه‌دار در این محدوده‌ها انجام شده است. تأثیر عوامل خرد اقلیم بر آسایش حرارتی در فضاهای شهری و ارتباط آن با ارتفاع ساختمان‌ها به‌عنوان جدارهای مؤثر بر خرد اقلیم مورد پژوهش قرار گرفته است (رحمت اله منشی و همکاران 1392). در یک تحقیق، ارتباط میان الگوهای سایه‌اندازی روزانه و حضور افراد در تابستان به همراه آسایش حرارتی آن‌ها در یک میدان در رم، ایتالیا مورد ارزیابی قرار گرفت. یافته‌ها نشان داد که بیشتر افراد حاضر در میدان، مکان‌های سایه‌دار را برای نشستن ترجیح می‌دهند. پژوهشگران بر لزوم توجه به الگوهای سایه‌اندازی روزانه در بازسازی فضاهای باز در اقلیم مدیترانه‌ای تأکید کردند (Martinelli et al., 2015). تحقیق میدل و همکارانش به بررسی تأثیر سایه بر آسایش حرارتی فضاهای باز در شرایط اقلیمی گرم و خشک آریزونا پرداخته است. این مطالعه با استفاده از داده‌های هواشناسی و مشاهدات میدانی در دانشگاه انجام شد. نتایج به دست آمده حاکی از آن است که سایه می‌تواند احساس حرارتی را به میزان تقریبی ۱ درجه کاهش دهد و در تمامی فصل‌ها به جز زمستان، آسایش حرارتی را ارتقا بخشد. همچنین، تأثیر سایه‌ای که توسط درختان یا سایه‌بان‌های مصنوعی ایجاد می‌شود، بر سطح آسایش افراد تفاوت قابل توجهی ندارد. در پایان، با بهره‌گیری از روش‌های آماری، محدوده آسایش و PET خنثی و ترجیحی محاسبه گردید (Middel et al., 2016).

ساعات مختلف بعد از ظهر روز ۲۱ ژوئن به تصویر کشیده شده است. نتایج نشان می‌دهد که سناریوی A-3، که شامل نه مکعب جداگانه است، کمترین مقدار میانگین حداکثر PET را دارد. در این سناریو، ارتفاع مکعب‌های شمالی و غربی ۱۴ متر و ارتفاع سایر مکعب‌ها ۱۲ متر است. این یافته نشان‌دهنده کمترین ناراضی‌تی حرارتی و بالاترین سطح آسایش حرارتی در بین سناریوهای مختلف است و با نتایج بررسی دما نیز همخوانی دارد. در گروه‌های دیگر، اختلاف بین سناریوها ممکن است به ۳ درجه برسد. به‌عنوان مثال، در گروه B، سناریو B-2 که شامل چهار بلوک L شکل درون‌گراست، کمترین میانگین حداکثر PET را به خود اختصاص می‌دهد. در گروه C، سناریوهای C-1 و C-2، که هر دو فرم U شکل و به ارتفاع ۱۲ متر هستند، دما و PET کمتری را نشان می‌دهند. همچنین، در گروه D، سناریو D-3 کمترین میانگین حداکثر PET را دارد، در حالی که سناریو D-6 کمترین دما را به ثبت می‌رساند. در گروه E، سناریو E-1 که دارای حیاط مرکزی با عرض بیشتر است، به‌طور مشابه کمترین میانگین حداکثر PET را از نظر دما به ثبت می‌آورد. به‌طور کلی، تن‌ها در گروه D است که نتایج دما و PET با یکدیگر متفاوت هستند. در سناریوی D-6، نوارهای افقی و عمودی به گونه‌ای طراحی شده‌اند که نوار میانی به ارتفاع ۱۶ متر و نوارهای شمالی و جنوبی به ارتفاع ۱۴ متر هستند. این در حالی است که در PET، نوارهای غربی و شرقی به همراه نوار میانی با ارتفاع ۱۶ متر و نوارهای شمالی و جنوبی با ارتفاع ۱۴ متر نمایش داده می‌شوند.

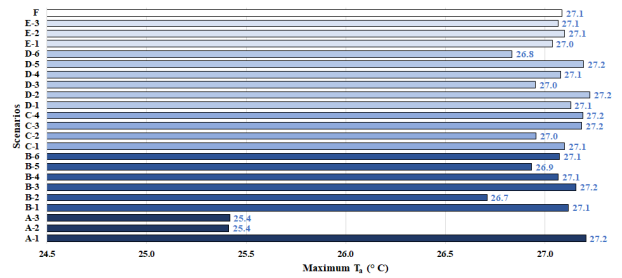


تصویر ۶. میانگین حداکثر PET مناطق سایت از ساعت ۱۳:۰۰ تا ۱۹:۰۰ در ۲۱ ژوئن

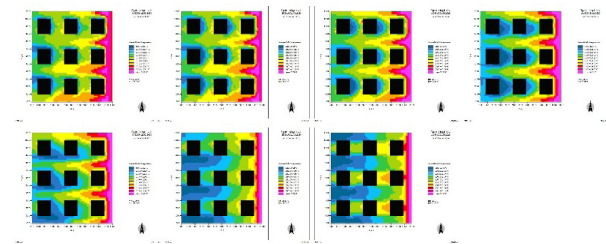


تصویر ۷. نتایج ENVI-met سناریوی A-3 که مقادیر PET را بین ساعت ۱۳:۰۰ تا ۱۹:۰۰ در ۲۱ ژوئن ارائه می‌کند.

در این بخش، نتایج شبیه‌سازی ENVI-met برای سناریوی A-3، که مقادیر PET را در فاصله زمانی ۱۳:۰۰ تا ۱۹:۰۰ روز

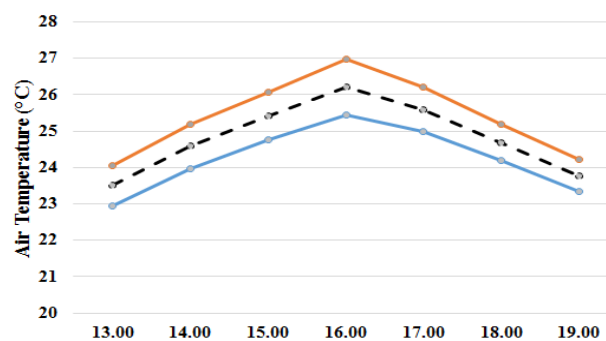


تصویر ۳. میانگین حداکثر دمای هوای مناطق سایت از ساعت ۱۳:۰۰ تا ۱۹:۰۰ روز ۳۱ خرداد



تصویر ۴. نتایج ENVI-met سناریوی A-3 که دمای هوا را در ارتفاع ۱ متری، بین ساعت ۱۳:۰۰ تا ۱۹:۰۰ روز ۲۱ ژوئن نشان می‌دهد.

علاوه بر این، شبیه‌سازی سناریوی A-3 بین ساعت ۱۳:۰۰ تا ۱۹:۰۰ روز ۲۱ ژوئن نشان می‌دهد که حداکثر و حداقل دما در این بازه زمانی در محدوده آسایش (۲۰٫۷ تا ۲۹٫۱ درجه سانتی‌گراد) قرار دارد. با این حال، مهم است که توجه داشته باشیم این محدوده دما تن‌ها در شرایط «سایه کامل» قابل تحمل و راحت است. از آنجا که بسیاری از نواحی محوطه در این مدت در معرض تابش مستقیم نور خورشید قرار داشتند، ارزیابی شرایط آسایش حرارتی صرفاً با بررسی دمای هوا ناکافی است. به همین دلیل، انجام تجزیه و تحلیل دقیق بر روی شاخص‌های حرارتی ضروری به نظر می‌رسد تصویر ۵.

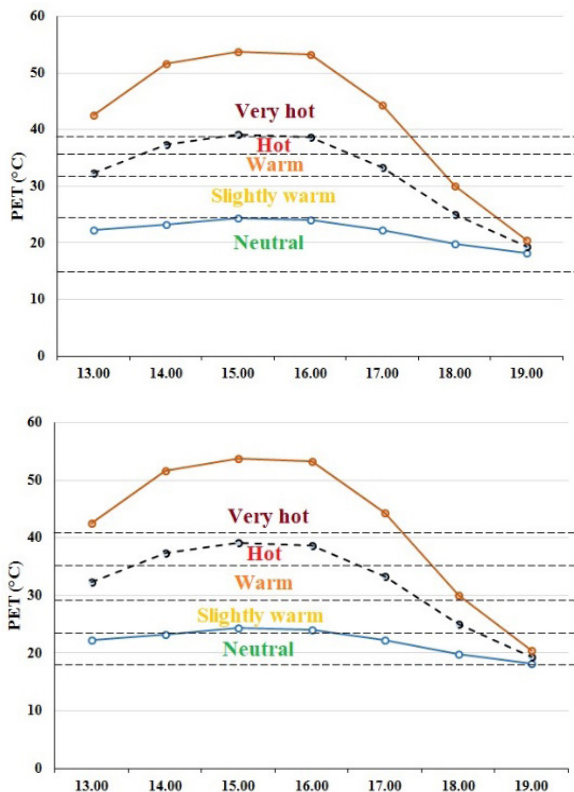


تصویر ۵. حداکثر، حداقل و میانگین دمای هوا سناریوی A-3 بین ساعت ۱۳:۰۰ تا ۱۹:۰۰ روز ۲۱ ژوئن

۲-۴. شاخص PET

در تصویر ۶، میانگین حداکثر PET در مناطق مختلف سایت در

خورشید، حداکثر مقدار PET در ساعت ۱۸:۰۰ وارد رده «کمی گرم» شده و در ساعت ۱۹:۰۰ به محدوده خنثی تغییر می‌کند.



تصویر ۸. حداکثر، حداقل و میانگین PET سناریوی A-3 بین ساعت ۱۳:۰۰ تا ۱۹:۰۰ روز ۲۱ ژوئن در مقایسه با تنش حرارتی بین‌المللی (سمت چپ) و مقیاس اصلاح شده برای تهران (راست)

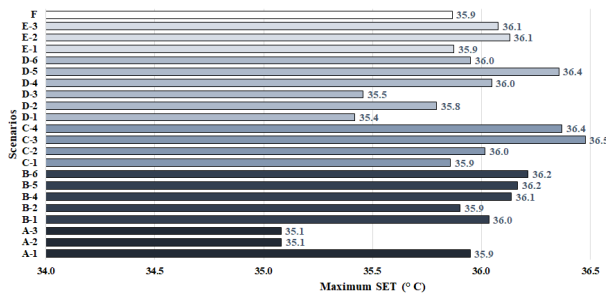
۳-۴. شاخص PPD

در تصویر ۹ میانگین بیشینه PPD (احتمال ناراضی‌تای حرارتی) در بخش‌های مختلف سایت بین ساعت ۱۳:۰۰ تا ۱۹:۰۰ روز ۲۱ ژوئن نمایش داده شده است. بر اساس این داده‌ها، سناریوی A-3 پایین‌ترین میزان PPD را داراست که نشان‌دهنده شرایط مطلوب‌تر آسایش حرارتی در این مدل است. این نتایج با تحلیل‌های قبلی همخوانی دارد و آن‌ها را تأیید می‌کند. در گروه B، سناریوی B-2 (شامل چهار بلوک L شکل درون‌گرا که ارتفاع بلوک‌های شمالی ۱۶ متر و ارتفاع بلوک‌های جنوبی ۱۲ متر است) بیشترین میزان PPD را در میان سایر سناریوهای این گروه دارد. اگرچه این نتایج با مقادیر PET و دمای حداکثر همخوانی ندارد، اما با توجه به تفاوت اندک درصد PPD بین سناریوهای گروه B، می‌توان این اختلاف را ناچیز شمرد. با این وجود، در مقایسه با سایر گروه‌ها این تفاوت بیشتر مشهود است. بعد از سناریوی B-2، سناریوی D-1 بیشترین درصد PPD را به خود اختصاص داده است.

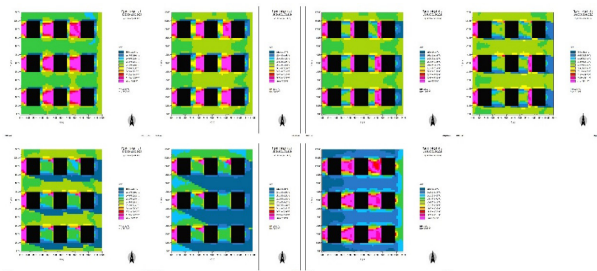
۲۱ ژوئن بررسی می‌کند، مورد توجه قرار می‌گیرد. در ساعت ۱۳:۰۰، مقادیر PET حداقل و حداکثر به ترتیب ۲۲/۲ و ۴۲/۶ درجه سانتی‌گراد بودند. در این زمان، بیشتر نواحی سایت در محدوده PET بین ۲۸/۳ تا ۳۲/۴ درجه سانتی‌گراد قرار داشتند. ساعت ۱۴:۰۰ تغییراتی در دما مشاهده شد و حداقل و حداکثر PET به ۲۳/۲ و ۵۱/۶ درجه سانتی‌گراد رسیدند. در این ساعت، بیشتر نواحی سایت در دامنه PET بین ۳۴/۶ تا ۳۷/۴ درجه سانتی‌گراد قرار داشتند. در ساعت ۱۵:۰۰، دما به اوج خود رسید و PET به ۲۴/۴ درجه سانتی‌گراد به‌عنوان حداقل و ۵۳/۸ درجه سانتی‌گراد به‌عنوان حداکثر افزایش یافت. در این زمان، نواحی مختلف سایت دماهایی در بازه ۳۶/۲ تا ۳۹/۸ درجه سانتی‌گراد را تجربه کردند. پس از ساعت ۱۶:۰۰، دما به تدریج کاهش یافت و تا ساعت ۱۹:۰۰ حداقل و حداکثر PET به ترتیب به ۱۸/۲ و ۲۰/۵ درجه سانتی‌گراد رسیدند. در این ساعت، اکثر نواحی سایت در دامنه PET بین ۱۸/۴ تا ۱۸/۷ درجه سانتی‌گراد قرار داشتند و این بازه بالاترین فراوانی را نشان داد (تصویر ۷).

بررسی مقایسه‌ای میان حداقل، حداکثر و میانگین PET در سناریوی A-3 در کنار طبقه‌بندی تنش حرارتی نشان می‌دهد که به جز ساعت‌های ۱۵:۰۰ و ۱۶:۰۰، در سایر ساعات بعدازظهر ۲۱ ژوئن، حداقل مقادیر PET در دامنه خنثی قرار داشته‌اند. (تصویر ۸ سمت چپ) این به این معناست که در اکثر ساعات روز، در سایت حداقل یک نقطه وجود دارد که شرایط حرارتی خنثی را فراهم می‌آورد. با این حال، در بیشتر نواحی سایت در ساعات بعدازظهر، به‌ویژه در ۱۳:۰۰ و ۱۷:۰۰، وضعیت به گونه‌ای است که در رده «گرم» قرار می‌گیرد و در ساعت‌های ۱۴:۰۰ تا ۱۶:۰۰ در رده «بسیار گرم» قرار دارد که این وضعیت به‌عنوان شرایط ناخوشایند حرارتی شناخته می‌شود. حداکثر مقدار PET نیز در ساعات ۱۴:۰۰ تا ۱۶:۰۰ به رده «بسیار گرم» وارد می‌شود که این نیز نمایانگر شرایط ناخوشایند است. در تصویر ۸ (سمت راست)، مقادیر میانگین، حداقل و حداکثر PET سناریوی A-3 با طبقه‌بندی تنش حرارتی اصلاح شده برای تهران مقایسه شده است. براساس این تصویر، حداقل مقادیر PET در تمام ساعات بعدازظهر ۲۱ ژوئن در حالت خنثی بودند. بنابراین، افرادی که قادر به جابه‌جایی هستند، می‌توانند در تمامی ساعات روز حداقل یک مکان راحت در سایت پیدا کنند. تحلیل‌های مشابهی که با استفاده از مقیاس بین‌المللی انجام شده، نشان می‌دهد که دسته‌های «گرم» (در ساعت‌های ۱۳:۰۰ و ۱۷:۰۰) و «بسیار گرم» (در ساعت‌های ۱۴:۰۰، ۱۵:۰۰ و ۱۶:۰۰) بیشترین فراوانی را در سایت دارند. همچنین، حداکثر مقدار PET نیز در ساعت‌های ۱۴:۰۰ تا ۱۶:۰۰ در رده «بسیار گرم» قرار دارد. اما پس از غروب

باعث کاهش محسوس دما و ایجاد شرایط مطلوب‌تری برای آسایش حرارتی در فضاهای باز شده است. نتایج به‌دست‌آمده با یافته‌های قبلی پژوهش همخوانی داشته و تأیید می‌کند که فرم و نحوه قرارگیری ساختمان‌ها در سناریوهای A-2 و A-3 به شکل مؤثری شرایط حرارتی را بهبود بخشیده و راحتی ساکنان را افزایش داده است. بنابراین، این دو سناریو به‌عنوان بهترین گزینه‌ها برای دستیابی به آسایش حرارتی در ساعات مورد بررسی معرفی می‌شوند.

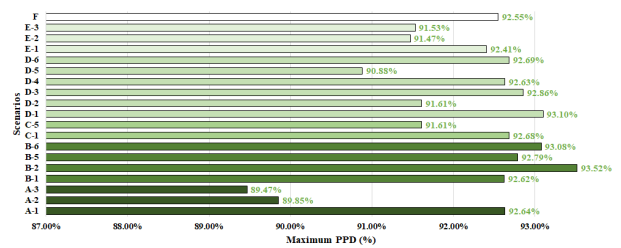


تصویر ۱۰. میانگین حداکثر SET مناطق سایت بین ساعت ۱۳:۰۰ تا ۱۹:۰۰ در ۲۱ ژوئن



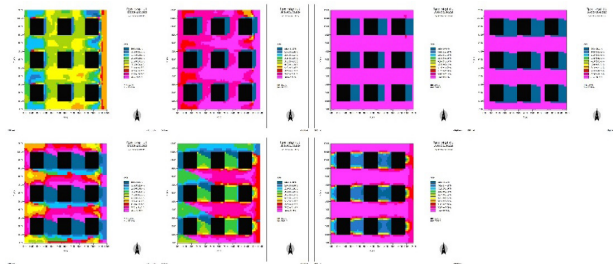
تصویر ۱۱. نتایج ENVI-met سناریوی A-3 که مقادیر SET را بین ساعت ۱۳:۰۰ تا ۱۹:۰۰ در ۲۱ ژوئن

مقادیر شاخص SET برای سناریوی A-3، که در بازه زمانی بین ساعت ۱۳:۰۰ تا ۱۹:۰۰ در تاریخ ۲۱ ژوئن به‌دست آمده، در تصویر ۱۲ نشان داده شده است. در ساعت ۱۳:۰۰، مقادیر حداقل و حداکثر SET به ترتیب برابر با ۲۱/۱ و ۳۷/۷ درجه سانتی‌گراد بود، در حالی که در اکثر نواحی سایت، مقادیر SET در بازه ۲۶/۱ تا ۲۷/۷ درجه سانتی‌گراد مشاهده گردید. در ساعت ۱۴:۰۰، مقادیر حداقل و حداکثر SET به ترتیب به ۲۲/۱ و ۳۹ درجه سانتی‌گراد افزایش یافت و در این زمان، بیشترین فراوانی مقادیر SET بین ۲۸/۹ تا ۳۰/۵ درجه سانتی‌گراد در نواحی مختلف سایت ثبت شد. ساعت ۱۵:۰۰، گرم‌ترین شرایط حرارتی روز به وقوع پیوست، با مقادیر حداقل و حداکثر SET به ترتیب ۲۳/۱ و ۴۰/۴ درجه سانتی‌گراد، و در این زمان، مقادیر SET در بیشتر نواحی سایت بین ۳۰ تا ۳۱/۸ درجه سانتی‌گراد قرار داشت. در ساعت ۱۶:۰۰، شرایط حرارتی همچنان گرم بود،



تصویر ۹. میانگین حداکثر PPD مناطق سایت بین ساعت ۱۳:۰۰ تا ۱۹:۰۰ در ۲۱ ژوئن

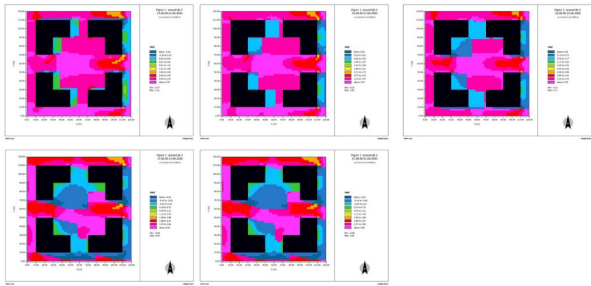
نتایج شبیه‌سازی PPD برای سناریوی A-3 در بازه زمانی ۱۳:۰۰ تا ۱۹:۰۰ در ۲۱ ژوئن، همان‌طور که در تصویر ۱۰ نمایش داده شده است، نشان می‌دهد که در ساعت ۱۳:۰۰، مقدار کمینه PPD برابر با ۵/۹٪ و بیشینه آن ۵۵/۱٪ بوده است، در حالی که بخش عمده‌ای از سایت در بازه ۲۵/۶٪ تا ۳۰/۵٪ قرار داشته است. در ساعت ۱۴:۰۰، کمترین مقدار PPD تغییر چندانی نکرد و همچنان حدود ۵٪ بود، اما بیشترین مقدار آن به ۹۲/۳٪ افزایش یافت، به‌طوری‌که بیشتر مناطق سایت در بازه ۷۴/۸٪ تا ۸۳/۵٪ قرار گرفتند. در ساعت‌های ۱۵:۰۰ و ۱۶:۰۰، شرایط محیطی به اوج گرمای خود رسید و حداکثر مقدار PPD به ۹۹/۶٪ و ۹۹/۹٪ رسید. هرچند که حداقل مقدار PPD همچنان در حدود ۵٪ ثابت بود، ولی بیشتر نواحی سایت با PPD بالای ۹۰٪ روبرو شدند. پس از ساعت ۱۷:۰۰ و با خنک‌تر شدن هوا، مقدار PPD نیز کاهش یافت و به حداقل ۵/۱٪ و حداکثر ۹۰/۴٪ رسید. در این ساعت، بیشترین مناطق سایت در بازه ۱۳/۶٪ تا ۲۲/۱٪ قرار داشتند.



تصویر ۱۲. نتایج ENVI-met سناریوی A-3 که مقادیر PPD را بین ساعت ۱۳:۰۰ تا ۱۹:۰۰ در ۲۱ ژوئن ارائه می‌کند.

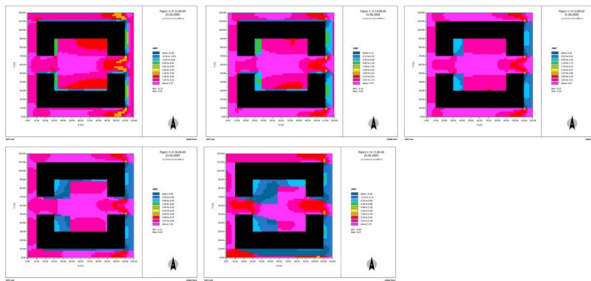
۴-۴. شاخص SET

نتایج به‌دست‌آمده از شاخص میانگین بیشینه SET در بازه زمانی ۱۳:۰۰ تا ۱۹:۰۰ در ۲۱ ژوئن که در تصویر ۱۱ نشان داده شده است، بیانگر آن است که سناریوهای A-2 و A-3 کمترین مقدار این شاخص را دارند. این کاهش نشان‌دهنده بهبود قابل‌توجه آسایش حرارتی در این دو سناریو است. به عبارت دیگر، طراحی و چیدمان ساختمان‌ها در این دو سناریو



تصویر ۱۴. نتایج ENVI-met سناریوی B-2 که مقادیر PMV را بین ساعت ۱۳:۰۰ تا ۱۷:۰۰ در ۲۱ ژوئن

در تصویر ۱۵، نتایج شبیه‌سازی ENVI-met مربوط به سناریوی C-1، مقادیر PMV را در بازه زمانی ۱۳:۰۰ تا ۱۷:۰۰ روز ۲۱ ژوئن نشان می‌دهد. در این سناریو، به دلیل وجود دو فرم U شکل با ارتفاع ۱۲ متر، سایه‌اندازی بیشتری نسبت به سایر الگوهای این گروه که تن‌ها یک فرم U شکل دارند، ایجاد شده است. این شرایط منجر به کاهش ناچیز مقدار PMV گردیده است. با این حال، از آنجا که بخش عمده‌ای از فضای داخلی بلوک در این سناریو نیز مانند دیگر الگوها سایه کافی ندارد، تغییرات PMV نسبت به سایر الگوها چندان بارز نیست. این یافته‌ها به وضوح تأثیر فرم‌های معماری و چیدمان آن‌ها بر شرایط آسایش حرارتی در محیط‌های شهری را نمایان می‌سازد.



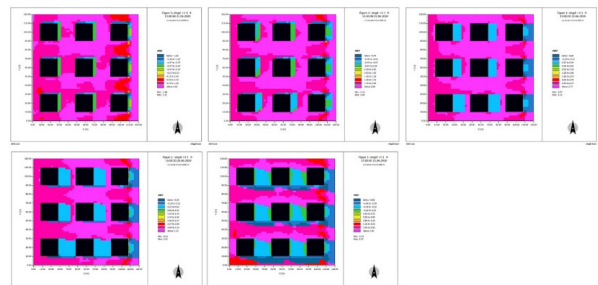
تصویر ۱۵. نتایج ENVI-met سناریوی C-1 که مقادیر PMV را بین ساعت ۱۳:۰۰ تا ۱۷:۰۰ در ۲۱ ژوئن

در تصویر ۱۶ نتایج شبیه‌سازی ENVI-met مربوط به سناریوی D-6 که شامل سه بلوک با امتداد شمالی-جنوبی و دو نوار شرقی و غربی به ارتفاع ۱۴ متر و نوار میانی با ارتفاع ۱۶ متر است، مقادیر PMV را در بازه زمانی ۱۳:۰۰ تا ۱۷:۰۰ در تاریخ ۲۱ ژوئن نشان می‌دهد. در این الگو، به دلیل ارتفاع بیشتر نوارها نسبت به سایر طرح‌ها، سایه‌اندازی گسترده‌تر بوده و بنابراین، مقدار PMV کاهش یافته است. به همین ترتیب، سناریوهای D-4 و D-5 نیز مقادیر کمتری از PMV را نشان می‌دهند. هر سه این الگوها با جهت‌گیری شمالی-جنوبی طراحی شده‌اند و در این بازه زمانی، جهت‌گیری نقش مؤثرتری نسبت به ارتفاع در کاهش PMV ایفا کرده است. لازم به ذکر است که تحلیل‌ها بر اساس بازه زمانی

به طوری که حداقل و حداکثر SET به $۲۲/۶$ و $۴۰/۲$ درجه سانتی‌گراد رسید و بیشتر نواحی سایت دماهایی بین $۲۹/۷$ تا $۳۱/۴$ درجه سانتی‌گراد را تجربه کردند. پس از ساعت ۱۷:۰۰، روند کاهش دما آغاز شد و تا ساعت ۱۹:۰۰، مقادیر حداقل و حداکثر SET به ترتیب به $۱۶/۱$ و $۱۹/۵$ درجه سانتی‌گراد کاهش یافت. در این ساعت، بیشترین فراوانی مقادیر SET نواحی سایت بین $۱۶/۴$ تا $۱۶/۷$ درجه سانتی‌گراد ثبت گردید، که نشان‌دهنده کاهش محسوس دما در انتهای روز است.

۴-۵. شاخص PMV

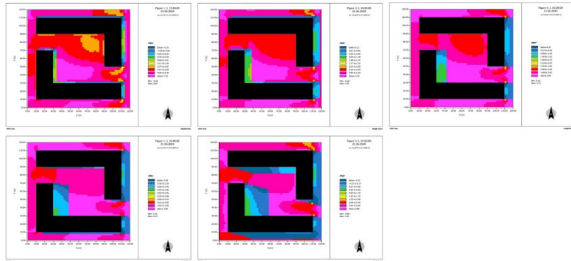
در تصویر ۱۳، مقادیر PMV مربوط به سناریوی A-2 نشان داده شده است. نتایج به‌دست آمده نشان می‌دهد که این سناریو مقادیر PMV کمتری نسبت به دو سناریوی دیگر در گروه A دارد. همچنین، نواحی سایه‌دار به‌طور قابل توجهی PMV کمتری را تجربه می‌کنند. در ساعت ۱۳:۰۰، به دلیل موقعیت خورشید که در ارتفاع بالایی قرار دارد، سایه‌ها به حداقل می‌رسند و تابش نور از سمت جنوب‌غرب به مناطق مختلف سایت تابیده می‌شود. با نزدیک شدن به غروب آفتاب، تابش خورشید کاهش یافته و سایه‌ها گسترش می‌یابند که این امر منجر به کاهش مقادیر PMV در ساعات بعدی می‌شود. این الگو تأثیر قابل توجه موقعیت خورشید و شرایط سایه بر آسایش حرارتی در محیط‌های طراحی شده را نشان می‌دهد.



تصویر ۱۳. نتایج ENVI-met سناریوی A-2 که مقادیر PMV را بین ساعت ۱۳:۰۰ تا ۱۷:۰۰ در ۲۱ ژوئن

در تصویر ۱۴، نتایج حاصل از شبیه‌سازی ENVI-met برای سناریوی B-2، مقادیر PMV را در بازه زمانی ۱۳:۰۰ تا ۱۷:۰۰ روز ۲۱ ژوئن نمایش می‌دهد. این داده‌ها نشان‌دهنده کاهش قابل توجه مقادیر PMV در نواحی سایه‌دار نسبت به نواحی آفتابی هستند. در ساعت ۱۳:۰۰، به دلیل موقعیت خورشید در ارتفاع بالا، سایه‌ها در کمترین مقدار خود قرار دارند و تابش نور عمدتاً از سمت جنوب‌غرب صورت می‌گیرد. با نزدیک شدن به غروب آفتاب و کاهش تابش خورشید، سایه‌ها به تدریج گسترش یافته و منجر به کاهش مقادیر PMV می‌شوند. این پدیده تأکید بر تأثیر شرایط سایه و تابش خورشید بر آسایش حرارتی محیط را به‌خوبی نمایان می‌سازد.

است. این کاهش PMV در نواحی شرقی احتمالاً به دلیل سایه‌افکنی مؤثر یا نحوه قرارگیری بلوک‌ها نسبت به تابش خورشید است. بنابراین، طراحی و چیدمان مناسب می‌تواند به کاهش اثرات منفی تابش مستقیم خورشید و بهبود شرایط آسایش حرارتی در فضاهای باز کمک کند.



تصویر ۱۸: نتایج ENVI-met سناریوی F که مقادیر PMV را بین ساعت ۱۳:۰۰ تا ۱۷:۰۰ در ۲۱ ژوئن

نتیجه‌گیری و پیشنهادات

۱-۵. مدل مولد الگوهای فرمی مجموعه‌های مسکونی الگوهای فرمی در مجموعه‌های مسکونی، نقش حیاتی در ارتقای شرایط آسایش حرارتی در فضاهای باز این مجموعه‌ها ایفا می‌کنند. طراحی بهینه این فرم‌ها نه تنها کیفیت زندگی ساکنان را افزایش می‌دهد، بلکه تأثیر مهمی در کاهش مصرف انرژی نیز دارد. هدف اصلی این پژوهش، دستیابی به مدلی است که بتواند الگوهای برای بهبود آسایش حرارتی در فضاهای باز مجموعه‌های مسکونی از طریق بهینه‌سازی فرم‌ها تولید کند. مدل‌سازی‌های متنوعی بر اساس داده‌های شهر تهران انجام شده است که در آن، تغییراتی در فرم بلوک‌ها، جهت چیدمان و ارتفاع ساختمان‌ها اعمال شده است. برای ایجاد یک الگوی بهینه، می‌توان یک معادله ریاضی ساده ارائه کرد که تأثیر متغیرهای مستقل مانند ارتفاع، جهت، سبزیگی، نسبت فضای بسته به کل سایت و عرض ساختمان را بر شاخص آسایش حرارتی نشان دهد. با در نظر گرفتن ضرایب تأثیر برای هر یک از این متغیرها، معادله‌ای که رابطه این متغیرها را با شاخص آسایش ترسیم می‌کند به شکل زیر خواهد بود:

در این معادله:

C = شاخص آسایش

H = ارتفاع

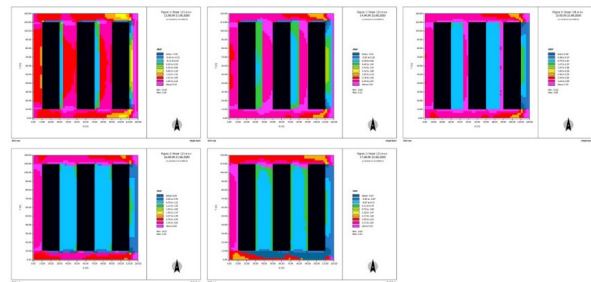
W = عرض

F = نسبت سبزیگی + نسبت فضای بسته به کل سایت

D = فاصله بین بلوک‌ها

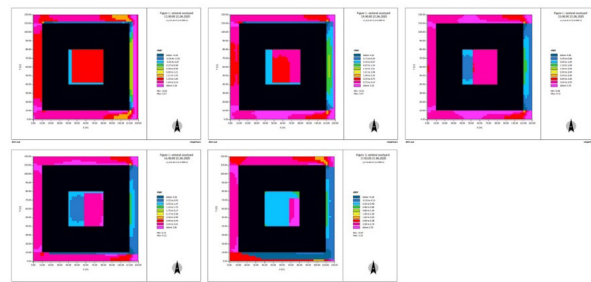
to h = ضریب تأثیر هر متغیر

۱۳:۰۰ تا ۱۷:۰۰ بوده و تابش خورشید از سمت جنوب‌غربی به غرب متمایل می‌شود. به همین دلیل، الگوهای با جهت شمالی-جنوبی، سایه‌اندازی بیشتری نسبت به الگوهای شرقی-غربی دارند. علاوه بر این، در ساعات ابتدایی روز تا ۱۲:۰۰ نیز، جهت‌گیری شمالی-جنوبی باعث ایجاد سایه قابل ملاحظه‌ای در محوطه می‌شود و تن‌ها در ساعات ظهر (۱۱:۰۰ تا ۱۳:۰۰) تابش خورشید از جنوب است که باعث افزایش حداکثری مقدار PMV می‌شود.



تصویر ۱۶: نتایج ENVI-met سناریوی D-۶ که مقادیر PMV را بین ساعت ۱۳:۰۰ تا ۱۷:۰۰ در ۲۱ ژوئن

مقادیر PMV شبیه‌سازی شده برای سناریوی E-1 (با حیاط مرکزی و عرض ۱۱ متر) در بازه زمانی ۱۳:۰۰ تا ۱۷:۰۰ روز ۲۱ ژوئن، در تصویر ۱۷ ارائه شده است. این نتایج نشان می‌دهد که به دلیل عرض بیشتر حیاط در مقایسه با سایر سناریوها، سایه بیشتری در این فضا ایجاد شده و در نتیجه، مقدار PMV کمتر است. با وجود این، تن‌ها بخش کوچکی از محوطه خارج از سایه قرار گرفته است. همچنین، جداره غربی محوطه بیرونی، به دلیل عدم وجود سایه، بالاترین میزان PMV را ثبت کرده است.

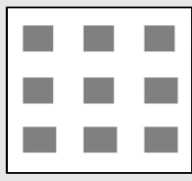


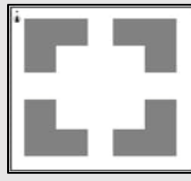
تصویر ۱۷: نتایج ENVI-met سناریوی E-1 که مقادیر PMV را بین ساعت ۱۳:۰۰ تا ۱۷:۰۰ در ۲۱ ژوئن

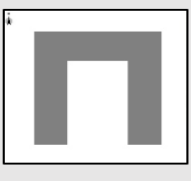
در سناریو مورد بررسی، طبق تصویر ۱۸، بخش زیادی از محوطه به دلیل افزایش فاصله بین دو بلوک، در معرض تابش مستقیم نور خورشید قرار دارد. این وضعیت منجر به افزایش دما در این نواحی و در نتیجه کاهش آسایش حرارتی می‌شود. در مقابل، در بخش‌های شرقی بلوک‌ها، کاهش قابل توجهی در مقدار PMV (شاخص راحتی حرارتی) مشاهده می‌شود که نشان‌دهنده شرایط بهتری از نظر آسایش حرارتی در این ناحیه


فرمولی که در اینجا مطرح شده، تأثیر هر یک از متغیرها بر شاخص آسایش را به وضوح نشان می‌دهد و به‌عنوان ابزاری کارآمد در بهینه‌سازی طراحی فرم‌های ساختمانی می‌تواند به کار گرفته شود. ضرایب تأثیر تعیین شده برای هر متغیر، نشان‌دهنده اهمیت و وزن نسبی آن‌ها در معادله کلی هستند. به‌عنوان مثال، اگر ضریب "a" بیشتر از سایر ضرایب باشد، این موضوع حاکی از این است که ارتفاع ساختمان‌ها نقش بیشتری در تأثیر بر شاخص آسایش نسبت به سایر متغیرها ایفا می‌کند. در این معادله، بازه مطلوب برای شاخص آسایش بین ۱۰ تا ۱۳ تعریف شده است. این تحقیق تمامی سناریوهای معرفی شده را با استفاده از فرمول

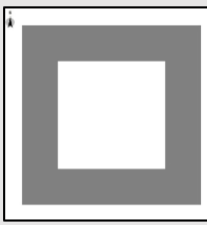
و ضرایب تأثیر به‌دست‌آمده تحلیل کرده و شاخص آسایش هر سناریو به‌عنوان معیار عملکرد آن‌ها در نظر گرفته شده است. با توجه به نتایج به‌دست‌آمده، پیشنهاد می‌شود که در مطالعات آینده، گونه‌های مختلف ساختمانی با نسبت‌های متنوع عرض به ارتفاع به‌دقت بررسی شوند و تأثیر دیگر متغیرها نیز مورد توجه قرار گیرد. همچنین، بررسی تأثیر نوع گیاهان و مصالح مختلف در شبیه‌سازی‌ها در شهرهای مختلف و مقایسه نتایج آن‌ها می‌تواند به بهبود فرایندهای شبیه‌سازی و افزایش دقت مدل‌سازی کمک کند و درک بهتری از تأثیر عوامل مختلف بر آسایش حرارتی و دیگر جنبه‌های محیطی فراهم آورد.

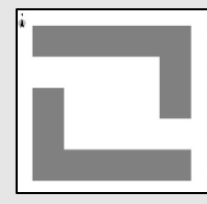
متغیرها	مقدار	ضریب تأثیر	الگوی تولید فرم برای سناریو A	متغیرها	مقدار	ضریب تأثیر
نسبت مساحت فضای بسته به کل سایت $(\frac{B}{S})$	۴	۰٫۰۶ (d)		ارتفاع میانگین (H_{min})	۱۲	۰٫۲۱ (a)
میانگین ارتفاع $(\frac{H}{W})$ عرض بلوک	۰٫۶	۰٫۱۱۵ (c)		عرض بلوک (W)	۲۰	۰٫۱۴۷ (b)
میانگین ارتفاع $(\frac{H}{F})$ نسبت سبزیگی به دیوار + نسبت مساحت فضای بسته به کل سایت	۲٫۶۰	۰٫۰۹۸ (f)		فاصله بلوک‌ها (D)	۲۰	۰٫۱۷۸ (e)
میانگین ارتفاع $(\frac{H}{D})$ فاصله بلوک	۰٫۶	۰٫۰۴۹ (g)		نسبت سبزیگی به دیوار $(\frac{C}{W_a})$	۰٫۶	۰٫۰۵ (d)
نسبت سبزیگی به دیوار + نسبت مساحت فضای بسته به کل سایت فاصله بلوک $(\frac{H}{D})$	۰٫۲۳	۰٫۱ (h)				
$C = aH + bW + c(\frac{H}{W}) + dF + eD + f(\frac{H}{F}) + g(\frac{H}{D}) + h(\frac{F}{D})$						
فرمول مولد فرم						
شاخص آسایش						

متغیرها	مقدار	ضریب تأثیر	الگوی تولید فرم برای سناریو B	متغیرها	مقدار	ضریب تأثیر
نسبت مساحت فضای بسته به کل سایت $(\frac{B}{S})$	۳	۰٫۰۶ (d)		ارتفاع میانگین (H_{min})	۱۴	۰٫۲۹ (a)
میانگین ارتفاع $(\frac{H}{W})$ عرض بلوک	۰٫۷	۰٫۱۴۵ (c)		عرض بلوک (W)	۲۰	۰٫۱۶ (b)
میانگین ارتفاع $(\frac{H}{F})$ نسبت سبزیگی به دیوار + نسبت مساحت فضای بسته به کل سایت	۱٫۶۶	۰٫۰۶۵ (f)		فاصله بلوک‌ها (D)	۰	۰٫۰۸۶ (e)
میانگین ارتفاع $(\frac{H}{D})$ فاصله بلوک	۰	۰٫۰۹ (g)		نسبت سبزیگی به دیوار $(\frac{C}{W_a})$	۵٫۳۹	۰٫۰۶ (d)
نسبت سبزیگی به دیوار + نسبت مساحت فضای بسته به کل سایت فاصله بلوک $(\frac{H}{D})$	۰	۰٫۰۴۴ (h)				
$C = aH + bW + c(\frac{H}{W}) + dF + eD + f(\frac{H}{F}) + g(\frac{H}{D}) + h(\frac{F}{D})$						
فرمول مولد فرم						
شاخص آسایش						

متغیرها	مقدار	ضریب تأثیر	الگوی تولید فرم برای سناریو C	متغیرها	مقدار	ضریب تأثیر
نسبت مساحت فضای بسته به کل سایت $(\frac{B}{S})$	۲٫۷۵	۰٫۱۶ (d)		ارتفاع میانگین (H_{min})	۱۲	۰٫۲۰ (a)
میانگین ارتفاع $(\frac{H}{W})$ عرض بلوک	۰٫۶	۰٫۱ (c)		عرض بلوک (W)	۲۰	۰٫۱۵ (b)
میانگین ارتفاع $(\frac{H}{F})$ نسبت سبزیگی به دیوار + نسبت مساحت فضای بسته به کل سایت	۳٫۰۷	۰٫۰۹۵ (f)		فاصله بلوک‌ها (D)	۰	۰٫۱ (e)
میانگین ارتفاع $(\frac{H}{D})$ فاصله بلوک	۰	۰٫۱۰۲ (g)		نسبت سبزیگی به دیوار $(\frac{C}{W_a})$	۱٫۲	۰٫۱ (d)
نسبت سبزیگی به دیوار + نسبت مساحت فضای بسته به کل سایت فاصله بلوک $(\frac{H}{D})$	۰	۰٫۱۳۷ (h)				
$C = aH + bW + c(\frac{H}{W}) + dF + eD + f(\frac{H}{F}) + g(\frac{H}{D}) + h(\frac{F}{D})$						
فرمول مولد فرم						
شاخص آسایش						

متغیرها	مقدار	ضریب تأثیر	الگوی تولید فرم برای سناریو D	متغیرها	مقدار	ضریب تأثیر	
نسبت مساحت فضای بسته به کل سایت $(\frac{B}{S})$				ارتفاع میانگین (H_{min})			
میانگین ارتفاع عرض بلوک $(\frac{H}{W})$				عرض بلوک (W)			
میانگین ارتفاع نسبت سبزیگی به دیوار + نسبت مساحت فضای بسته به کل سایت $(\frac{H}{F})$				فاصله بلوک ها (D)			
میانگین ارتفاع فاصله بلوک $(\frac{H}{D})$				نسبت سبزیگی به دیوار $(\frac{G}{W_a})$			
نسبت سبزیگی به دیوار + نسبت مساحت فضای بسته به کل سایت فاصله بلوک $(\frac{H}{D})$							
فرمول مولد فرم						$C = aH + bW + c\left(\frac{H}{W}\right) + dF + eD + f\left(\frac{H}{F}\right) + g\left(\frac{H}{D}\right) + h\left(\frac{F}{D}\right)$	
شاخص اسایش						۹٫۳۴	

متغیرها	مقدار	ضریب تأثیر	الگوی تولید فرم برای سناریو E	متغیرها	مقدار	ضریب تأثیر	
نسبت مساحت فضای بسته به کل سایت $(\frac{B}{S})$	۲٫۳۶	۰٫۸۱ (d)		ارتفاع میانگین (H_{min})	۱۲	۰٫۱۲ (a)	
میانگین ارتفاع عرض بلوک $(\frac{H}{W})$	۰٫۶۵	۰٫۱۸ (c)		عرض بلوک (W)	۱۰	۰٫۱۷ (b)	
میانگین ارتفاع نسبت سبزیگی به دیوار + نسبت مساحت فضای بسته به کل سایت $(\frac{H}{F})$	۲٫۴۹	۰٫۱۱ (f)		فاصله بلوک ها (D)	۰	۰٫۰۹ (e)	
میانگین ارتفاع فاصله بلوک $(\frac{H}{D})$	۰	۰٫۱۰ (g)		نسبت سبزیگی به دیوار $(\frac{G}{W_a})$	۲٫۴۵	۰٫۳۰ (d)	
نسبت سبزیگی به دیوار + نسبت مساحت فضای بسته به کل سایت فاصله بلوک $(\frac{H}{D})$	۰	۰٫۱۱ (h)					
فرمول مولد فرم						$C = aH + bW + c\left(\frac{H}{W}\right) + dF + eD + f\left(\frac{H}{F}\right) + g\left(\frac{H}{D}\right) + h\left(\frac{F}{D}\right)$	
شاخص اسایش						۹٫۵۰	

متغیرها	مقدار	ضریب تأثیر	الگوی تولید فرم برای سناریو F	متغیرها	مقدار	ضریب تأثیر	
نسبت مساحت فضای بسته به کل سایت $(\frac{B}{S})$	۲٫۵	۰٫۷۰ (d)		ارتفاع میانگین (H_{min})	۱۲	۰٫۱۷ (a)	
میانگین ارتفاع عرض بلوک $(\frac{H}{W})$	۰٫۶	۰٫۱۳ (c)		عرض بلوک (W)	۲۰	۰٫۱۰ (b)	
میانگین ارتفاع نسبت سبزیگی به دیوار + نسبت مساحت فضای بسته به کل سایت $(\frac{H}{F})$	۲٫۷۲	۰٫۰۷ (f)		فاصله بلوک ها (D)	۰	۰٫۱۱ (e)	
میانگین ارتفاع فاصله بلوک $(\frac{H}{D})$	۰	۰٫۰۹ (g)		نسبت سبزیگی به دیوار $(\frac{G}{W_a})$	۱٫۹۰	۰٫۴۰ (d)	
نسبت سبزیگی به دیوار + نسبت مساحت فضای بسته به کل سایت فاصله بلوک $(\frac{H}{D})$	۰	۰٫۲۰ (h)					
فرمول مولد فرم						$C = aH + bW + c\left(\frac{H}{W}\right) + dF + eD + f\left(\frac{H}{F}\right) + g\left(\frac{H}{D}\right) + h\left(\frac{F}{D}\right)$	
شاخص اسایش						۷٫۶۸	

۲-۵. نتیجه گیری

در این پژوهش، تأثیر الگوهای مختلف ساختمانی بر آسایش حرارتی فضاهای باز مورد بررسی قرار گرفت. برای انجام شبیه‌سازی‌ها، ۲۲ سناریوی متفاوت در شش گروه طراحی شدند که شامل مدل‌های «نه مکعب جداگانه»، «چهار بلوک L شکل درون‌گرا»، «U شکل»، «سه نوار افقی/عمودی»، «حیات مرکزی» و «L شکل» بود. این شبیه‌سازی‌ها با استفاده از نرم‌افزار

ENVI-met انجام شد و نتایج نشان داد که سناریوی «نه مکعب جداگانه»، به‌ویژه سناریوی A-3 که شامل مکعب‌های ۱۴ متری در بخش‌های شمالی و غربی و مکعب‌های ۱۲ متری در سایر نقاط بود، بهترین عملکرد را از نظر تأمین آسایش حرارتی فضاهای باز داشت. این طراحی به‌خوبی مانع از ایجاد نواحی بزرگ بدون سایه شده و از افزایش دمای بیش از حد در ساعات گرم بعدازظهر تابستان جلوگیری کرد. با وجود برتری سناریوی A-3، سایر

- http://arco-hvac.ir/wp-content/uploads/2015/11/ASHRAE_Thermal_Comfort_Standard.pdf (accessed on 20 November 2021).
5. Biqaraz, B., Fayaz, R., & Naeeni, G. H. (2019). A comparison of outdoor thermal comfort in historical and contemporary urban fabrics of Lar City. *Urban climate*, 27, 212–226.
 6. Canan, F., Golasi, I., Ciancio, V., Coppi, M., & Salata, F. (2019). Outdoor thermal comfort conditions during summer in a cold semi-arid climate. A transversal field survey in Central Anatolia (Turkey). *Building and environment*, 148, 212–224.
 7. Chan, S., Chau, C. K., & Leung, T. (2017). On the study of thermal comfort and perceptions of environmental features in urban parks: A structural equation modeling approach. *Building and environment*, 122, 171–183.
 8. Lai, A., Maing, M., & Ng, E. (2017). Observational studies of mean radiant temperature across different outdoor spaces under shaded conditions in densely built environment. *Building and environment*, 114, 397–409.
 9. Lin, T.-P., Matzarakis, A., & Hwang, R.-L. (2010). Shading effect on long-term outdoor thermal comfort. *Building and environment*, 45(1), 213–221.
 10. Martinelli, L., Lin, T.-P., & Matzarakis, A. (2015). Assessment of the influence of daily shadings pattern on human thermal comfort and attendance in Rome during summer period. *Building and environment*, 92, 30–38.
 11. Middel, A., Selover, N., Hagen, B., & Chhetri, N. (2016). Impact of shade on outdoor thermal comfort—a seasonal field study in Tempe, Arizona. *International journal of biometeorology*, 60, 1849–1861.
 12. Nasir, R. A., Ahmad, S. S., & Ahmed, A. Z. (2013). Physical activity and human comfort correlation in an urban park in hot and humid conditions. *Procedia-Social and Behavioral Sciences*, 105, 598–609.
 13. Nikolopoulou, M., Baker, N., & Steemers, K.

سناریوها نیز به دلیل ویژگی‌های خاص خود نیاز به بررسی‌های بیشتر دارند، زیرا هر کدام در شرایط خاص نقاط قوت و ضعفی دارند. بررسی دقیق‌تر این سناریوها می‌تواند به بهبود طراحی و چیدمان فضاهای باز کمک کند.

نتایج نشان داد که مساحت سایه‌اندازی بیشترین تأثیر را بر بهبود شرایط آسایش حرارتی دارد. پس از آن، ارتفاع و عرض بلوک‌ها نیز نقش مهمی در تغییر شرایط حرارتی ایفا می‌کنند. در چیدمان‌هایی که سایه‌اندازی محدود است، افزایش ارتفاع و عرض بلوک‌ها می‌تواند به بهبود وضعیت حرارتی کمک کند. اما در چیدمان‌هایی که سایه‌اندازی بهینه است، تأثیر این عوامل نیاز به تحلیل دقیق‌تری دارد. در مقایسه شاخص‌های حرارتی سناریو A-3 با شاخص‌های اصلی و اصلاح‌شده آسایش حرارتی، مشخص شد که در تمامی ساعات بعدازظهر ۲۱ ژوئن، حداقل یک نقطه با شرایط حرارتی خنثی در سایت وجود دارد. این طراحی به کاربران این امکان را می‌دهد که در فضاهای باز جابه‌جا شوند و در ساعات گرم روز به تقاطی با دمای مناسب‌تر دسترسی پیدا کنند. با این حال، برخی نواحی سایت در ساعات بعدازظهر ۲۱ ژوئن هنوز شرایط حرارتی نامطلوبی داشتند. برای بهبود این وضعیت، پیشنهاد می‌شود از راهکارهایی نظیر افزایش پوشش گیاهی، اصلاح بازتابش مصالح، استفاده از مواد نفوذپذیر در جاده‌ها و تنظیم مناسب ارتفاع بلوک‌ها استفاده شود.

۳-۵. محدودیت‌های پژوهش

این تحقیق با هدف طراحی مدلی برای بهبود آسایش حرارتی در فضاهای باز مجموعه‌های مسکونی از طریق بهینه‌سازی فرم انجام شده و داده‌های مربوط به شهر تهران در این فرآیند مورد استفاده قرار گرفته‌اند. علاوه بر سناریوهای فعلی، گزینه‌های دیگری نیز با نسبت‌های متنوع عرض به ارتفاع و الگوهای مختلف ساختمانی، مانند حیاط‌ها در شهر تهران، می‌توانند تأثیرگذار باشند. بنابراین، پیشنهاد می‌شود در مطالعات آینده به بررسی نوع‌شناسی‌های ساختمانی مختلف با نسبت‌های گوناگون عرض به ارتفاع پرداخته شود تا بهترین شیوه‌های طراحی شناسایی و مشخص گردد.

References

1. Ali, S. B., & Patnaik, S. (2018). Thermal comfort in urban open spaces: Objective assessment and subjective perception study in tropical city of Bhopal, India. *Urban climate*, 24, 954–967.
2. ANSI/ASHRAE Standard 55-2017; Thermal Environmental Conditions for Human Occupancy. American Society of Heating,
3. Refrigerating and Air-Conditioning Engineers, Inc.: Atlanta, GA, USA, 2004. Available online:

- arid region. *Journal of Civil Engineering and Architecture Research*, 2(8), 862-875.
22. Zölch, T., Rahman, M. A., Pfliederer, E., Wagner, G., & Pauleit, S. (2019). Designing public squares with green infrastructure to optimize human thermal comfort. *Building and environment*, 149, 640-654.
 23. Pour-Esmaeil, P., Ansari, M., & Rima, F. (2015). Thermal comfort range in traditional residential open spaces of Yazd city. *Hoviyat-e Shahr (City Identity)*, 9(23), 59-72.
 24. Monashi, R., Hosseini, S. E., Aghil, E., & Seyyedeh Hamideh, S. (2013). Thermal comfort and the effect of building height on the microclimate of urban spaces, case study: Shahr-dari Street, Tehran (between Tajrish Square and Qods Square). *Geographical Journal of Environmental Planning*, 6(20), 100-109.
 25. Mirzadeh, S. A. S., Ghazi Zadeh, S. N., & Mahdavi, A. (2010). The effect of design on thermal comfort in open spaces of residential complexes / Case study: Phase 3 of Ekbatan Residential Complex. *Honar-Ha-Ye-Ziba: Architecture and Urbanism*, (42), 50-59.
 26. Heidari, S., Ghalenoei, M., S. M. Ghasemi, & S. M. Fatemeh. (2018). Seasonal differences in thermal comfort ranges in old and new districts of Isfahan (Case study: Jolfa and Mardavij neighborhoods). *Honar-Ha-Ye-Ziba: Architecture and Urbanism*, 31-42.
 27. Ahmadpour Kermani, N., Pourjafar, M. R., Mahdavi Nejad, M. J., & Yaghoubi, S. (2017). The role and impact of design elements on the quality of thermal comfort in urban open spaces; Case study: Design of Tamqachi pedestrian walkway in Kashan. *Scientific Journal of Architecture and Urban Planning (Name-ye Memari va Shahrsazi)*, 59-80.
 - (2001). Thermal comfort in outdoor urban spaces: understanding the human parameter. *Solar Energy*, 70(3), 227-235.
 14. Rodríguez-Algeciras, J., Tablada, A., & Matzarakis, A. (2018). Effect of asymmetrical street canyons on pedestrian thermal comfort in warm-humid climate of Cuba. *Theoretical and Applied Climatology*, 133, 663-679.
 15. Simon, H., Kropp, T., Sohni, F., & Bruse, M. (2018). Downscaling climate models: Running nested simulations in the microclimate model ENVI-MET. *Passive and Low Energy Architecture*, Hong Kong.
 16. Taleghani, M., Kleerekoper, L., Tenpierik, M., & Van Den Dobbelsteen, A. (2015). Outdoor thermal comfort within five different urban forms in the Netherlands. *Building and environment*, 83, 65-78.
 17. Thorsson, S., Lindqvist, M., & Lindqvist, S. (2004). Thermal bioclimatic conditions and patterns of behaviour in an urban park in Göteborg, Sweden. *International journal of biometeorology*, 48, 149-156.
 18. Tumini, I., Higuera García, E., & Baereswyl Rada, S. (2016). Urban microclimate and thermal comfort modelling: strategies for urban renovation. *International Journal of Sustainable Building Technology and Urban Development*, 7(1), 22-37.
 19. Yang, X., Yao, L., Jin, T., Peng, L. L., Jiang, Z., Hu, Z., & Ye, Y. (2018). Assessing the thermal behavior of different local climate zones in the Nanjing metropolis, China. *Building and environment*, 137, 171-184.
 20. Yang, X., Zhao, L., Bruse, M., & Meng, Q. (2013). Evaluation of a microclimate model for predicting the thermal behavior of different ground surfaces. *Building and environment*, 60, 93-104.
 21. Zakhour, S. (2015). The impact of urban geometry on outdoor thermal comfort conditions in hot-