

The Effect of the Geometrical Forms of Urban Blocks on the Outdoor Thermal Comfort in the Cold Climate of Iran

Yousef Gorji Mahlabani¹  | Amiraslan Darvish²  |

1. Full Professor, Faculty of Architecture and Urban Planning, Imam Khomeini International University, Qazvin, Iran. gorji@arc.ikiu.ac.ir

2. Master of Architecture, Faculty of Architecture and Urban Planning, Imam Khomeini International University, Qazvin, Iran. amiraslandarvish@gmail.com

Article Info:

Article type:
Research Article

history:
Received:

2025/03/13

Published:
2025/11/22

Keywords:

Thermal Comfort, Geometry,
Urban blocks, Cold Climate,
PMV

Abstract: The outdoor thermal comfort is one of the most important factors in creating the satisfaction and dynamics of a city's open spaces. Various factors affect the outdoor thermal comfort of urban microclimates, and one of the most important of these is the geometry and layout of urban blocks. The purpose of this study was to investigate the influence of the common geometrical forms of urban blocks on the outdoor thermal comfort in cold climates of Iran. In this research, five common geometrical forms of urban blocks were selected as five different urban microclimates, and the effect of geometry of each form on the outdoor thermal comfort was evaluated in the cold climate of Hamadan city in Iran. To simulate the microclimate conditions and to evaluate the outdoor thermal comfort, ENVI software (ENVI-met) has been used as one of the most comprehensive simulation software packages for urban microclimates. The Predicted Mean Vote (PMV) is also used as one of the most comprehensive methods for estimating outdoor thermal comfort. The results of this study show the significant effect of mean radiant temperature and wind speed on the outdoor thermal comfort in the cold climate of Hamadan. In the five examined geometries, the courtyard house forms have preferable conditions for outdoor thermal comfort and the PMV index.

Cite this article: Gorji Mahlabani, Y.; Darvish, A. (2025). The Effect of the Geometrical Forms of Urban Blocks on the Outdoor Thermal Comfort in the Cold Climate of Iran3(4), 24-43. <https://doi.org/10.30470/jaer.2025.2055822.1179>

© The Author(s).

Homepage: jaer.znu.ac.ir

Publisher: University of Zanjan





تأثیر هندسه بلوک‌های شهری در میزان آسایش حرارتی محیط خارج در اقلیم سرد ایران

یوسف گرجی مهبانی^۱ | امیر اصلان درویش^۲

۱. استاد گروه معماری، دانشکده معماری و شهرسازی، دانشگاه بین‌المللی امام خمینی (ع)، قزوین، ایران. رایانامه: gorji@arc.ikiu.ac.ir

۲. کارشناس ارشد معماری، دانشکده معماری و شهرسازی، دانشگاه بین‌المللی امام خمینی (ع)، قزوین، ایران. رایانامه: amiraslandarvish@gmail.com

چکیده: آسایش حرارتی محیط خارج از مهمترین عوامل تأثیرگذار در ایجاد مطلوبیت و پویایی فضاهای باز شهرها است. عوامل مختلفی در میزان آسایش حرارتی خرد اقلیم‌های شهری تأثیرگذار هستند که از مهمترین این عوامل، هندسه و چیدمان بلوک‌های شهری است. در این پژوهش با هدف بررسی تأثیر هندسه متداول بلوک‌های شهری در میزان آسایش حرارتی محیط خارج در اقلیم سرد ایران، پنج هندسه متداول از بلوک‌های شهری به عنوان پنج خرد اقلیم شهری متفاوت انتخاب شد و تأثیر هندسه هر یک از این اشکال در میزان آسایش حرارتی در شرایط اقلیم بسیار سرد و زمستانی شهر همدان مورد ارزیابی و مقایسه قرار گرفت. جهت شبیه‌سازی خرد اقلیم‌های مورد نظر و مقایسه و ارزیابی میزان آسایش حرارتی خارج، از نرم‌افزار انوی مت (ENVI-met) به عنوان یکی از کامل‌ترین نرم‌افزارهای شبیه‌سازی در حوزه خرد اقلیم‌های شهری استفاده شده است. از شاخص میانگین آرای پیش‌بینی شده (PMV) نیز به عنوان یکی از جامع‌ترین روش‌های تخمین آسایش حرارتی محیط خارج بهره گرفته شده است. نتایج حاصل شده در این پژوهش، تأثیر قابل توجه دمای متوسط تشعشعی و سرعت جریان باد را در میزان آسایش حرارتی محیط خارج در اقلیم سرد و زمستانی شهر همدان نشان می‌دهد. در مجموع از میان پنج هندسه بررسی شده، بلوک‌ها به صورت حیاط مرکزی، شرایط مناسب‌تری از نظر آسایش حرارتی محیط خارج و شاخص PMV را دارا هستند.

اطلاعات مقاله:

نوع مقاله: پژوهشی

تاریخ‌ها:

دریافت: ۱۴۰۲/۱۲/۲۳

انتشار: ۱۴۰۴/۰۹/۰۱

واژگان کلیدی:

آسایش حرارتی، هندسه، بلوک‌های شهری، اقلیم سرد، PMV

استاد: گرجی مهبانی، یوسف درویش، امیراصلان (۱۴۰۴). تأثیر هندسه بلوک‌های شهری در میزان آسایش حرارتی محیط خارج در اقلیم سرد ایران، ۳(۴)، ۳۳-۳۴.

<https://doi.org/10.30470/jaer.2025.2055822.1179>

© نویسندگان .

Homepage: jaer.znu.ac.ir

ناشر: دانشگاه زنجان.

DOI: <https://doi.org/10.30470/jaer.2025.2055822.1179>



مقدمه

عابرین پیاده به طور مستقیم تحت تأثیر عوامل اقلیمی محیط همچون تغییرات تابش خورشید، سایه‌اندازی‌ها، تغییر سرعت باد و غیره قرار می‌گیرند. بنابراین احساس آسایش حرارتی در محیط خارج تا حد بسیار زیادی تحت تأثیر خرد اقلیم‌های محلی است (Chen & Ng, 2012). خرد اقلیم‌های شهری علاوه بر موقعیت جغرافیایی و آب و هوای محلی خود، دارای رابطه متقابل و تنگاتنگی بین ساختمان‌ها و محیط خارج آن‌ها هستند (Chatzidimitriou & Yannas, 2016). هندسه بلوک‌های شهری یکی از مهم‌ترین عوامل طراحی شهری در زمینه ایجاد محیطی مطلوب برای حضور انسان در شهر است. لذا طراحی شهری سعی بر آن دارد تا با نزدیک کردن خرد اقلیم‌ها به منطقه آسایش، فضاهای شهری را برای حضور انسان و وقوع دامنه گسترده‌ای از رفتارهای شهری (اعم از فعالیت‌های ضروری، اختیاری و اجتماعی) در طیف وسیعی از زمان‌ها مناسب‌سازی کند (بحرینی و خسروی، ۱۳۹۴). از دهه ۱۹۸۰ میلادی مطالعات در زمینه آسایش حرارتی خارج به دلیل توجه به عابرین در خیابان‌ها، تنگه‌های شهری و میدان‌های شهر افزایش یافته است (Emmanuel, 2005). این امر منجر به پژوهش‌های زیادی در زمینه عوامل طراحی شهری در آسایش حرارتی عابرین پیاده شد که در ادامه به آنها می‌پردازیم. با این حال بیشتر این مطالعات در این زمینه در شهرهایی با اقلیم‌های گرم و خشک و گرم و مرطوب صورت گرفته است و بسیار کمتر به آسایش حرارتی محیط خارج در اقلیم‌های سرد زمستانی توجه شده است. با توجه به شرایط آب و هوایی بسیار سرد، بلوک‌های شهری واقع در این مناطق دارای شرایط خاصی هستند. فصل زمستان در این مناطق نسبت به فصل گرم طولانی‌تر است و بر زندگی روزمره مردم تأثیر می‌گذارد. برف سنگین، بارش‌های ناگهانی، طول روز کوتاه، پیاده‌روها و جاده‌های پوشیده از برف و یخ از اجزای اصلی زندگی

محیط خارجی ساختمان‌ها برای شهرهای پایدار از اهمیت زیادی برخوردار است و اکثر فعالیت‌های روزانه در فضای باز را در بر می‌گیرد و افزایش کیفیت آن به طور قابل توجهی بر پویایی شهرها تأثیرگذار است و باعث افزایش فعالیت در فضاهای باز شهری و در نتیجه بهبود شرایط جسمی، محیطی، اقتصادی و اجتماعی می‌شود (Hakim et al.; Hass-Klau, 1993; Jacobs, 1972; Whyte, 1988). بنابراین لزوم پرداختن به ایجاد محیط مطلوب برای کاربران و عابریان پیاده در محیط خارج اهمیتی دو چندان می‌یابد. کیفیت محیط خارج به جنبه‌های گوناگونی وابسته است که در میان آنها، آسایش حرارتی به عنوان عاملی بسیار مهم شناخته شده است (Eliasson, Knez, Westerberg, Thorsson, & Lindberg, 2007; Lenzholzer, 2012; Zacharias, Stathopoulos, & Wu, 2001). آسایش حرارتی شرایطی ذهنی است که رضایت‌مندی شخص را از شرایط حرارتی محیط خویش بیان می‌کند (ASHRAE55, 2010). آسایش حرارتی محیط خارج عمدتاً به ترمو- فیزیولوژی، یعنی فیزیولوژی و تعادل حرارتی بدن انسان وابسته است (Höppe, 2002). پیش‌بینی دامنه دما برای تخمین شرایط آسایش حرارتی پیچیده است و به استثنای تأثیرات فرهنگی، به عوامل محیطی و شخصی بستگی دارد (Taleghani, Tenpierik, Kurvers, & Dobbelsteen, 2013). بر این اساس عوامل تأثیرگذار بر آسایش حرارتی محیط خارج شامل عوامل زیست‌هواشناسی (تمرکز بیشتر بر عابر پیاده) و عوامل اقلیم‌شناسی (تمرکز بیشتر بر آب و هوا) است که باعث ارتباط با دو حوزه طراحی شهری و منظر می‌شوند (Matzarakis, Mayer, & Godwin, 1999).

در چنین مناطقی شهری است. از تأثیرات آب و هوای سرد در زندگی شهری می‌توان به کاهش فعالیت‌های کاربران در فضای باز، مصرف انرژی بیشتر، فعالیت‌های تفریحی محدود و محدودیت در انواع حمل و نقل اشاره کرد. بنابراین، شرایط آب و هوایی سرد، معماران و طراحان شهری را ملزم به رعایت اصول اقلیمی جهت افزایش میزان آسایش حرارتی محیط خارجی می‌کند (Dursun & Yavas, 2015). متعاقباً طراحی‌های ناکارآمد اقلیمی در فضای باز شهری، اثرات نامطلوبی بر سلامت انسان، آسایش فضای داخلی و حتی شرایط اجتماعی داشته است. امروزه شهرهایی با شرایط اقلیمی بسیار متفاوت به میزان قابل توجهی شبیه به یکدیگر ساخته می‌شوند (Chappells & Shove, 2004). بنابراین مطالعه در زمینه تدوین شیوه‌های طراحی کارآمد با هدف ارتقای کیفیت آسایش حرارتی محیط خارج ضروری به نظر می‌رسد. در این پژوهش پنج هندسه مختلف و متداول که توسط اشکال ساده شهری شکل گرفته‌اند، در شرایط اقلیم بسیار سرد و زمستانی شهر همدان، از نظر میزان آسایش حرارتی مورد بررسی قرار می‌گیرند. هدف مطالعه حاضر، بررسی هندسه‌های متداول بلوک‌های شهری جهت رسیدن به شرایط آسایش حرارتی مناسب در اقلیم سرد همدان است. شناخت رفتار حرارتی این خرد اقلیم‌ها به معماران و طراحان شهری کمک می‌کند تا در اقلیم‌های سرد، بهترین رویکرد ممکن را از نظر شرایط آسایش حرارتی خارج در طراحی خود لحاظ نمایند.

۱. پیشینه پژوهش

تحقیقات لوک هاوارد در لندن را می‌توان اولین گام در بررسی تأثیر متقابل معماری و خرد اقلیم دانست. او با بررسی مشاهدات هواشناسی، تأثیر نواحی شهری را در خرد اقلیم محلی مورد توجه قرار داد (Howard,)

هفت سایت مختلف با نسبت‌های متفاوت ارتفاع به عرض بین ۱ تا ۴.۸ و ضریب دید به آسمان بین ۰.۷۶ و ۰.۵۸ در کنستانتین الجزایر ارزیابی کردند آنها مشاهده کردند که نسبت ارتفاع به عرض بزرگتر، دمای هوا و دمای سطح پایین‌تری دارد. در مناطق با آب و هوای گرم عامل دید به آسمان بیشتر (SVF)، دمای هوای بیرونی بالاتری نیز دارد. کروگر و همکاران (Krüger, 2011) به مشاهده و برآورد رابطه بین شکل‌شناسی شهری و تغییرات محیطی و کیفیت هوا در یک منطقه از مرکز شهر پرداختند. در این تحقیق نتایج حاصل از دو رویکرد اندازه‌گیری‌های میدانی و شبیه‌سازی گروه ساختمان‌های شهر، ارائه شده است. دالمن و همکاران (Dalman et al., 2011) به بررسی عوامل اصلی مؤثر در خرد اقلیم را در دو گروه مختلف از بافت شهری در جنوب شرق بندرعباس، با استفاده از شاخص‌های آسایش حرارتی و ارزیابی خرد اقلیم پرداختند. یانگ و همکاران (Xinyan Yang, Li, & Yang, 2012) چهار عامل ارتفاع بلوک، جرم حرارتی، هدایت مواد و آلبدو سطح را مطالعه کردند که محیط گرمایی اطراف بلوک‌های شهری را در تابستان زمستان در آب و هوای پکن تحت تأثیر قرار می‌دهد. آنها نتیجه گرفتند که ارتفاع بلوک مهم‌ترین عامل است و آلبدو سطح کمترین اهمیت‌ترین عامل است. چن و همکاران (Chen et al., 2012) به تجزیه و تحلیل عامل دید به آسمان (SVF) به عنوان عاملی از هندسه شهری در تنگه‌های شهری و تأثیرات آن در اختلاف دمای هوای مناطق شهری بلند و پر جمعیت هنگ کنگ پرداختند. همچنین پوشش گیاهی و طراحی خرد اقلیم مناسب در اقلیم گرم و خشک به طور گسترده توسط ارل و همکاران (Erell, Pearlmutter, & Williamson, 2011) و طالقانی و همکاران (Taleghani, Sailor, Tenpierik, & van den

دید به آسمان (SVF) و معماری خیابان می‌توان از ایجاد دمای بالا در تنگه‌های شهری جلوگیری کرد و این عوامل تأثیر بیشتری در مقیاس محلی نسبت به مقیاس شهری دارند. طالقانی و همکاران (Taleghani, Tenpierik, van den Dobbeltstein, & de Dear, 2013) اهمیت نسبت سطح به حجم را در دستیابی به راحتی حرارتی و صرفه‌جویی در انرژی نشان داد. آنها نشان دادند که یک خانه منفرد بدون فضای باز مصرف انرژی بیشتری نسبت به یک خانه حیاط مرکزی، یک خانه آتریوم‌دار و یک ساختمان با یک فضای نورگیری در روتردام هلند دارد. علی تودرت و مایر (Toudert & Mayer, 2006) مدل خرد اقلیم انوی‌مت را برای شبیه‌سازی آسایش حرارتی بیرونی در اقلیم گرم و خشک الجزیره استفاده کرده و تأثیر جهت‌گیری‌های مختلف دالان‌های شهری را مورد بررسی قرار داده و به این نتیجه رسیدند که زمانی که نسبت ارتفاع ساختمان با خیابان به عرض آن (H/W) افزایش می‌یابد، دمای هوا به آرامی کاهش می‌یابد و شاخص آسایش حرارتی ارتقاء می‌یابد. تودرت و مایر (Toudert & Mayer, 2007) آسایش حرارتی را در یک خیابان شرقی غربی در فریبورگ (آلمان) در شرایط گرم تابستان اندازه‌گیری کردند. آنها دریافتند استرس حرارتی بیشتر مربوط به قرار گرفتن در معرض نور خورشید بود. بنابراین سایه‌اندازی در محل‌های پیاده‌روها و همچنین سطوح اطراف آن، اولین استراتژی برای کاهش استرس گرمایی در تابستان در شرایط گرم است. جانسون ارزیابی را در فرو موروکو انجام داد و به این نتیجه رسید که طراحی شهری فشرده با دالان‌های شهری عمیق برای تابستان مناسب است، در صورتی که در زمستان دالان‌های پهن‌تر برای گرمایش خورشیدی غیرفعال مناسب‌تر است. بوربیا و بوچریبا (Bourbia & Boucheriba, 2010) دمای سطح و هوای بیرون را در

و دمای هوا. یومنگ جین و همکاران (Jin, Kang, Jin, & Zhao, 2017) میزان آسایش حرارتی محیطی را در خیابان‌های عمومی شهری در زمستان و در اقلیم سرد شمال چین بررسی کرده‌اند. آن‌ها در این پژوهش به مطالعه تأثیر نسبت ابعاد خیابان‌ها بر آسایش حرارتی پرداختند و دریافتند که با افزایش نسبت ابعاد، دمای داخل تنگه و خیابان کاهش یافته و سرعت باد افزایش می‌یابد. همچنین آن‌ها دریافتند که حیاط‌های محصور شده نسبت به خیابان‌های باز از شرایط دمایی بهتری برخوردار هستند.

۲. روش پژوهش

جهت انجام این پژوهش با هدف بررسی تأثیر هندسه متداول بلوک‌های شهری در میزان آسایش حرارتی محیط خارج در اقلیم سرد ایران، به عنوان یکی از مهمترین عوامل طراحی شهری در زمینه ایجاد محیطی مطلوب از نظر آسایش حرارتی برای حضور انسان در شهر، پنج هندسه متداول از بلوک‌های شهری (تصویر ۱) به عنوان پنج خرد اقلیم شهری متفاوت انتخاب شد تا تأثیر هندسه هر یک از این اشکال در میزان آسایش حرارتی در شرایط اقلیم بسیار سرد و زمستانی شهر همدان مورد ارزیابی و مقایسه قرار بگیرند. این پنج هندسه بلوک شهری مطابق با نمونه‌های موجود در شهر همدان توسط اشکال ساده شهری شکل گرفته‌اند (تصویر ۲). مطابق تصویر ۲ مطالعه به منظور بررسی راحتی حرارتی یک عابر پیاده در مرکز هر یک از اشکال به عنوان نماینده‌ای از نقاط یک بافت شهری است.

Dobbelsteen, 2014; Taleghani, Tenpierik, & Dobbelsteen, 2012) مورد مطالعه قرار گرفت. شارمین و استیمرز (Sharmin, 2013) اثر هندسه تنگه‌های شهری را در آسایش حرارتی در محیط خارج مناطق شهری فشرده و در آب و هوا گرم و مرطوب مورد مطالعه قرار دادند. هاتزی دیمتریووا و همکاران (Chatzidimitriou & Yannas, 2016) در پژوهشی به رتبه‌بندی اثرات عوامل مختلف طراحی شهری در آسایش حرارتی عابر پیاده در تابستان پرداختند. آن‌ها در این پژوهش تأثیر شکل شهر و عوامل مختلف طراحی همچون شکل ساختمان و خیابان‌ها و عناصر محوطه شامل انواع گیاهان، سطوح آب، ویژگی مصالح را در آسایش حرارتی عابر پیاده در شهرها رارته‌بندی کردند. طالقانی و همکاران (Taleghani, Kleerekoper, Tenpierik, & van den Dobbelsteen, 2015) تأثیر عامل دید به آسمان (SVF) را در میزان آسایش حرارتی و در فصل گرم در هلند بررسی کرده‌اند. هونگ جین و همکاران (Jin, Liu, & Kang, 2017) در مطالعه‌ای عوامل اصلی تأثیرگذار بر راحتی حرارتی محیط خارج در مناطق شهری با اقلیم سرد شمال شرقی چین را یافتند و به این نتیجه رسیدند که در فصول سرد بیشترین تأثیر در راحتی حرارتی را دمای متوسط تشعشعی و بعد از آن سرعت باد دارد. در فصول معتدل بیشترین تأثیر در آسایش حرارتی را مقاومت حرارتی لباس داشته و بعد آن درجه حرارت متوسط تأثیرگذارترین است و همچنین در فصول گرم، متوسط دمای تشعشعی بیشترین تأثیر را در راحتی حرارتی دارد و بعد از آن سرعت باد



(۵)

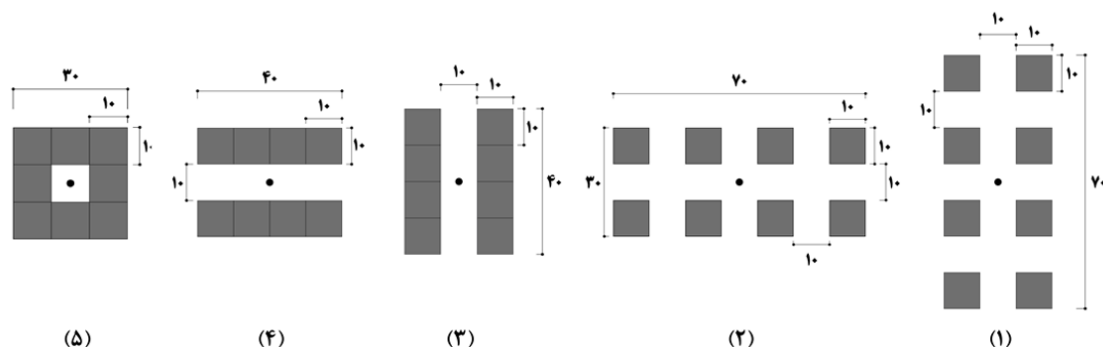
(۴)

(۳)

(۲)

(۱)

تصویر (۱): پنج هندسه متداول بلوک‌های شهری در شهر همدان. تدوین: نگارندگان.



تصویر (۲): پنج هندسه متداول بلوک‌های شهری: (۱) بلوک‌ها به صورت منفرد با چیدمان شمالی-جنوبی؛ (۲) بلوک‌ها به صورت منفرد با چیدمان شرقی-غربی؛ (۳) بلوک‌ها به صورت خطی با چیدمان شمالی-جنوبی؛ (۴) بلوک‌ها به صورت خطی با چیدمان شرقی-غربی؛ (۵) بلوک‌ها به صورت حیاط مرکزی. تدوین: نگارندگان.

۲.۲. شبیه‌سازی با نرم‌افزار انوی‌مت (ENVI-MET V4)

نرم‌افزار انوی‌مت^۱ یک مدل خرد اقلیمی سه‌بعدی است که برای شبیه‌سازی تعامل بین سطوح شهری و ساختمان‌ها، گیاهان و آب و هوا در یک محیط شهری استفاده می‌شود. این نرم‌افزار برای مقیاس کوچک با دقت استاندارد از مدول‌های ۰.۵ تا ۵ متر افقی در فضا و شبیه‌سازی ۲۴ تا ۴۸ ساعت با دقت گام زمانی ۱ تا ۵ ثانیه طراحی شده است. که در این پژوهش اندازه هر یک از مدول‌ها ۲ متر در نظر گرفته شد. این دقت به نرم‌افزار اجازه می‌دهد تا به تجزیه و تحلیل فعل و انفعالات در مقیاس کوچک بین تک ساختمان‌ها، سطوح و گیاهان بپردازد. نرم‌افزار انوی‌مت تنها نرم‌افزاری است که تمامی فاکتورهای مؤثر در آسایش حرارتی مانند سرعت (m/s) و جهت (°) باد، دمای متوسط تابشی (°C)، دمای هوا (°C)، فشار بخار آب (hPa)، رطوبت نسبی (%) و غیره را به صورت یکپارچه با شاخص آسایش حرارتی میانگین آرای پیش‌بینی شده (PMV) شبیه‌سازی می‌نماید (Lenzholzer, 2012). در نسخه جدید انوی‌مت (ENVI-MET V4.4.1 winter 1819)

خروجی‌ها در نقاط مرکزی شکل‌ها و در ارتفاع ۱.۴ متری از سطح زمین اندازه‌گیری شد. مراحل زمانی به صورت ساعت به ساعت و برای دوره زمانی ۲۴ ساعت تنظیم شد. مصالح برای تمامی اشکال به صورت یکسان تعریف شده و در دیوارها، آجر توپر (با ظرفیت حرارتی 840 J/kg.K و ضریب هدایت حرارتی 0.3 w/mk و ضریب بازتاب 0.1)، در سقف، آسفالت (با ظرفیت حرارتی 920 J/kg.K و ضریب هدایت حرارتی 0.9 w/mk و ضریب بازتاب 0.05) و در محوطه اطراف بتن (ظرفیت حرارتی 1000 J/kg.K و ضریب هدایت حرارتی 0.51 w/mk و ضریب بازتاب 0.1) در نظر گرفته شده است.

۲.۱. هندسه بلوک‌های شهری

پنج هندسه متداول بلوک‌های شهری به عنوان پنج خرد اقلیم شهری متفاوت، با در نظر گرفتن ۸ مکعب با طول و عرض 10×10 متر به ارتفاع ۱۰ متر (سه طبقه) به صورت اشکال ساده شده بلوک‌های شهری و با مساحت سطح یکسان شکل گرفته‌اند که در هر یک از اشکال نحوه چیدمان و جهت‌گیری کاملاً متفاوت است (تصویر ۲).

^۱ ENVI-MET

شده وجود داشته که به دلیل عدم محاسبه کاهش تابش دریافتی در روزهای ابری توسط نرم‌افزار روی داده است. در مجموع ضریب همبستگی داده‌های برداشت شده و شبیه‌سازی شده ۰.۸۰ برآورد و نرم‌افزار به عنوان ابزاری مناسب برای مطالعات پژوهشی شناخته شده است (Acero & Herranz-Pascual, 2015; Lee, Mayer, & Chen, 2016; Müller, Kuttler, & Barlag, 2014; Skelhorn, Lindley, & Levermore, 2014; Srivani & Hokao, 2013; Taleghani et al., 2015; Tan, Lau, & Ng, 2015; Xiaoshan Yang, Zhao, Bruse, & Meng, 2013). شبیه‌سازی با این نرم‌افزار نیازمند وارد کردن مجموعه‌ای از داده‌ها و اطلاعات جوی شامل دمای هوا، رطوبت ویژه، رطوبت نسبی ساعت به ساعت، سرعت باد در ارتفاع ۱۰ متری سطح زمین و جهت باد است که همگی از داده‌های هواشناسی (EPW) قابل استخراج هستند.

۲.۳. محدودده مورد مطالعه

شهر همدان (E ۴۸°۵۱' و N ۳۵°۲۰') واقع در نیمه غربی فلات ایران و دارای آب و هوای سرد و کوهستانی است. زمستان‌های سرد و خشک به همراه وزش باد نسبتاً شدید و تابستان‌های نسبتاً خنک از ویژگی‌های اقلیمی این شهر است. در این پژوهش با استفاده از فایل اطلاعات آب و هوایی (EPW) شهر همدان که نمایش‌دهنده میانگین ۱۰ ساله آمار اطلاعات اقلیمی ایستگاه هواشناسی فرودگاه همدان است، سردترین روز سال در فصل زمستان مطابق با انقلاب زمستانی، برای شبیه‌سازی با استفاده از نرم‌افزار انوی‌مت انتخاب گردید. اطلاعات اقلیمی وارد شده در نرم‌افزار انوی‌مت موقعیت جغرافیایی، دمای هوا، رطوبت نسبی، سرعت و جهت باد و غیره، جهت شبیه‌سازی خرد اقلیم به طور کامل در جدول ۱ نمایش داده شده است.

قابلیت شبیه‌سازی آب و هوای سرد با دمای کمتر از صفر نیز افزوده شده است.

نرم‌افزار ENVI-met شامل پنج گروه نرم‌افزاری است:

۱- مدل جوی^۱ که جریان هوا، اغتشاش سه بعدی، دما و رطوبت نسبی، شار تابشی و پراکندگی آلاینده‌ها را محاسبه کرده و موانعی چون پوشش گیاهی و ساختمان‌ها را محاسبه می‌کند.

۲- مدل خاک^۲ که فرآیندهای حرارتی و ترمودینامیکی سطوح خاک و تأثیر میزان رطوبت خاک، همچنین ترکیب سطوح مصنوعی و طبیعی نواحی شهری و حوضچه‌های آب را محاسبه می‌کند.

۳- مدل محیط ساخته شده و سیستم‌های ساختمانی^۳ که امواج طول موج بلند جذب شده و امواج طول موج کوتاه بازتابش شده را از سطوح متفاوت محیط ساخته شده محاسبه کرده و تشعشع طول موج بلند و کوتاه را در مدل محاسبه می‌کند.

۴- مدل پوشش گیاهی^۴ که هندسه سه بعدی گیاه، دمای چمن، دمای شاخ و برگ و تعادل دمایی برگ‌ها را با محاسبه پارامترهای فیزیولوژیکی و هواشناسی محاسبه می‌کند.

۵- مدل زیستی- هواشناسی^۵ که شاخص PMV را از داده‌های هواشناسی محاسبه می‌کند (Bruse & Fleer, 1998; URL02, 2019).

نرم‌افزار انوی‌مت پیش‌تر در شرایط آب و هوایی مختلف و کشورهای گوناگون از جمله آلمان، هلند، چین، اسپانیا، ژاپن، مراکش، آمریکا و انگلیس اعتبارسنجی شده است. بر اساس نتایج به دست آمده الگوی افزایش دمای برداشت شده و نتایج حاصل از شبیه‌سازی تقریباً یکسان بوده‌اند و تنها اختلاف ۱.۲ درجه سانتی‌گراد در پیک دمایی محاسبه

⁴ Vegetation model

⁵ Biometeorological model

¹ Atmospheric model

² Soil model

³ Built environment & Building system URL model

دو دیدگاه کلی در رابطه با تهیه استانداردهای آسایش حرارتی برای انسان وجود دارد. اولین دیدگاه مدل کلاسیک حالت پایدار است. رویکرد تعادل حرارتی توسط فنگر در دهه ۱۹۷۰ میلادی و در شرایط آزمایشگاهی بوجود آمده است و بر محاسبه میزان تبادل حرارت بین بدن انسان و محیط پیرامونش استوار است (Fanger, 1970). دومین دیدگاه برای تعیین آسایش حرارتی سازگاری استفاده می‌شود، که بر مبنای اصل تطبیقی است. اساس رویکرد تطبیقی بر این است که در صورت بروز تغییر در آسایش، افراد به گونه‌ای رفتار می‌کنند که آسایش حرارتی خود را بازیابند. رویکرد تطبیقی بر اساس مطالعات میدانی در ساختمان‌هایی که به طور طبیعی تهویه شده‌اند توسط نیکول و هامفریز شکل گرفت (Humphreys, Rijal, & Nicol, 2013; Nicol & Humphreys, 1973, 2002, 2010). این دیدگاه بحث دیگری را مطرح کرده و به انسان به عنوان موجودی هوشمند و فعال در تنظیم آسایش گرمایی خود نگاه می‌کند. در این دیدگاه احساس آسایش گرمایی، متأثر از شرایط اقلیمی محیط خارج از ساختمان، عوامل فرهنگی، رفتاری و روانی، مزید بر عوامل فیزیولوژیکی بوده و می‌تواند این آستانه‌ها را تحت تأثیر قرار دهد. بر اساس این دو دیدگاه، دو مفهوم کلی آسایش گرمایی و احساس آسایش موضوع تحقیق قرار گرفته و برای اندازه‌گیری این مفاهیم مقیاس‌ها و ضرایبی به وجود آمده است (طاهباز، ۱۳۸۸). در ادامه به معرفی شاخص‌های پرکاربرد سنجش آسایش حرارتی می‌پردازیم.

آسایش حرارتی با توجه به نوع محیط به سه دسته تقسیم می‌شود: آسایش حرارتی در فضای باز (محیط خارج)، آسایش حرارتی در فضای نیمه باز، آسایش حرارتی در فضای سر پوشیده (محیط داخلی) (Rupp, Vásquez, & Lamberts, 2015). ارزیابی آسایش حرارتی محیط

بیشترین دمای هوا با میزان 3.9°C در ساعت ۱۵:۰۰ و کمترین دمای هوا با میزان 10.1°C در ساعت ۶:۰۰ ثبت شده است. سرعت باد به صورت ثابت و با مقدار 2.1 m/s در ارتفاع ۱۰ متری از سطح زمین و جهت باد غالب با زاویه 270° درجه و از سمت غرب در نظر گرفته شده است.

۳. مبانی نظری

۳.۱. آسایش حرارتی

استفاده روز افزون از وسایل مکانیکی برای ایجاد محیط حرارتی مطلوب برای کاربران ساختمان موجب افزایش میزان مصرف انرژی در ساختمان‌ها شده است. به طوری امروزه حدود یک سوم مصرف انرژی در این بخش است (Solomon et al., 2007). در این راستا، تعریف آسایش حرارتی کمک می‌کند تا پیش‌بینی شود که ساختمان‌ها باید گرم‌تر یا خنک‌تر شوند (ISO, 1994). آسایش حرارتی در تعریف اولیه آن، واکنش انسان به شرایط حرارتی محیط داخلی یا خارجی فضا است. تعریف دقیق‌تری از این عامل در سه گروه تقسیم‌بندی می‌شود. تعریف روانشناختی، مربوط به بیان رضایت ذهن از شرایط حرارتی محیط است (ASHRAE55, 2010). تعریف ترمو-فیزیولوژیکی که به عکس‌العمل بیولوژیکی بدن و سیستم عصبی به تأثیرات خارجی بر گیرنده‌های حرارتی پوست مرتبط است و تعریف سوم که به تعادل میان جریان حرارت به داخل و خارج از بدن باز می‌گردد. بنابراین تعاریف، آسایش حرارتی و ارزیابی کیفیت محیطی فضا تنها به پارامترهای فیزیکی بستگی ندارد، بلکه پارامترهای فیزیولوژیکی و روانی بدن انسان نیز به طور پویا به پدیده‌های فیزیکی در ارتباط با فضا (نور، سر و صدا، ارتعاش، درجه حرارت، رطوبت، و ...) وابسته هستند (Parsons, 2000).

جدارهای داخلی فضا (دمای متوسط تشعشی) به عنوان متغیرهایی که تحت تأثیر فرم کالبدی قرار دارند، ابزار طراحان برای کنترل کیفیت آسایش حرارتی عابر پیاده در مجاورت بلوک‌های شهری محسوب می‌شوند (کله‌رودی و همکاران، ۱۳۹۶).

۳.۲. شاخص‌های آسایش حرارتی در محیط خارج

با توجه به تأثیر زیاد آب و هوا بر انسان و کاربرد آن در علوم مختلفی همچون معماری و شهرسازی، گردشگری، پزشکی، محیط زیست و... نیاز به ارزیابی اثرات حرارتی محیط بر شرایط آسایشی انسان در اقلیم‌های مختلف است. سنجش میزان آسایش حرارتی نیازمند شاخصه‌هایی برای در نظر مجموع شرایط اقلیمی تأثیرگذار بر فرد است. در گذشته شاخص‌های حرارتی متعددی مانند دمای مؤثر، دما معادل، شاخص استرس گرما یا شاخص آسایش انسان، که بر اساس پارامترهای هواشناسی برای ارزیابی سطح آسایش حرارتی انسان مورد استفاده قرار گرفته‌اند (Ayoade, 1978; Gonzalez, Nishi, & Gagge, 1974; Veleva, Pérez, & Acosta, 1997; Yan & Oliver, 1996). مجموعه شاخص‌های آسایش حرارتی به دو گروه تجربی، بر اساس رویکرد تطبیقی (ET, RT, HOP, OP, WCI) و تحلیلی، بر اساس رویکرد تعادل حرارتی (PT, PMV, SET*, HIS, ITS) تقسیم‌بندی می‌شوند. از این میان مبنای شاخصه‌های تحلیلی بر اساس تعادل انرژی (انرژی اتلافی و تولیدی در انسان) است (حیدری و جباری، ۱۳۸۹). یک گروه عمده از شاخص‌های تحلیلی اصطلاحاً مدل‌های حالت پایدار می‌باشند. این مدل‌ها بر این فرض که افراد با قرار گرفتن در محیط به مرور زمان به تعادل حرارتی با آب و هوای آن محیط می‌رسند، استوار است و برای ایجاد تنظیم حرارت، راه‌حل‌های عددی را برای معادلات تعادل انرژی برقرار می‌کنند (Chen & Ng, 2012). یکی از مهم‌ترین

خارج به دلیل عوامل پیچیده‌ی محیطی و روانشناختی بسیاری که در آن دخیل هستند با چالش بیشتری روبرو است. از سوی دیگر به دلیل صرف زمان کم‌تر افراد در محیط خارج دستیابی به شرایط پایدار برای رسیدن به آسایش حرارتی دشوار است (Höppe, 2002). بنابراین پژوهش در خصوص فضای باز شهری نسبت به مطالعات فضای داخلی که شرایط قابل کنترل‌تری دارند، با موانع بیشتری مواجه است (Taleb & Taleb, 2014).

فضاهای بیرونی را می‌توان با استفاده از جزئیات طراحی مانند استفاده از سایه‌اندازها، انتخاب مصالح سطوح، پوشش گیاهی و آب در سایت تغییر داده و بهبود بخشید. این جزئیات طراحی می‌توانند برای افزایش کیفیت محیط در فضای باز و به همین ترتیب ارتقاء میزان راحتی حرارتی فردی مورد استفاده قرار گیرند. اما با این وجود، پیدا کردن عوامل مؤثر برای پیش‌بینی تأثیر تغییر پارامترهای اقلیمی خاص هر منطقه و تأثیر آن بر سطح راحتی حرارتی در فضای باز در شروع فرآیند طراحی اهمیت دارد (Baruch, 2003). به طور کلی کیفیت آسایش حرارتی به هشت عامل به شرح زیر وابسته است که به ترتیب اهمیت عبارتند از: دمای هوا، رطوبت، فشار بخار آب، سرعت جریان هوا، تابش از جدارهای داخلی فضا (دمای متوسط تشعشی)، انسان (سن، جنس)، نوع فعالیت انسان و نوع پوشش انسان. از میان عوامل مؤثر در محدوده آسایش حرارتی، سه عامل انسان (سن و جنس)، نوع فعالیت و نوع پوشش به علت اینکه توسط طراحان قابل کنترل نیستند در محدوده‌های مختلف آسایش حرارتی، ثابت فرض شده‌اند. به این معنی که برای پنج عامل اول مقادیر خاصی تعیین شده و دامنه تغییرات پیشنهاد شده، حال آنکه برای سه عامل آخر مقادیر ثابت ارائه گردیده است (قیابکلو، ۱۳۸۰). بنابراین پنج عامل دمای هوا، رطوبت، فشار بخار آب، سرعت جریان هوا، تابش از

داخل، در مطالعات بسیاری نیز به عنوان شاخص ارزیابی آسایش حرارتی خارج مورد استفاده قرار گرفته است (Cheng, Ng E Fau - Chan, Chan C Fau - Givoni,) & Givoni, 2010; Nikolopoulou, Baker, & Steemers, 2001; Thorsson, Lindqvist M Fau - Lindqvist, & Lindqvist, 2004). PMV معمولاً توسط شاخص پیش‌بینی درصد نارضایتی (PPD) تفسیر می‌شود که به عنوان پیش‌بینی کمی از درصد افراد ناراضی در هر مقدار از PMV تعریف می‌شود (ISO, 1994) در بهترین حالت که مقدار PMV برابر صفر است، میزان PPD برابر ۵ درصد است. یعنی در بهترین حالت شرایط آسایش از نظر ۹۵ درصد افراد، هنوز ۵ درصد احساس نارضایتی می‌کنند. بنابراین با توجه به میزان رضایت‌مندی پیش‌بینی شده، درصد نارضایتی (PPD) پیش‌بینی می‌شود (قیابکلو، ۱۳۸۰). در این پژوهش نیز از شاخص میانگین آرای پیش‌بینی شده (PMV) جهت سنجش میزان آسایش حرارتی خارج استفاده شده است.

شاخص‌های ارزیابی میزان آسایش حرارتی در حالت پایدار، شاخص متوسط آرای پیش‌بینی شده (PMV) فنجر (Fanger, 1970) است. مدل فنجر با هدف پیش‌بینی میانگین حس گرمای حرارتی گروهی از مردم و درصد مربوط به عدم رضایت از محیط حرارتی توسط شاخص‌های میانگین آرای پیش‌بینی شده (PMV) و پیش‌بینی درصد نارضایتی (PPD) ایجاد شد. شاخص PMV اغلب در هفت نقطه اندازه‌گیری می‌شود (+۳ = گرم، +۲ = گرم، +۱ = کمی گرم، ۰ = خنثی، -۱ = کمی سرد، -۲ = سرد، -۳ = سرد) (ISO, 1994). در شاخص PMV بسیاری از معیارهای آسایش از قبیل: متغیرهای اقلیمی شامل دمای هوا (Ta)، دمای متوسط تابشی (Tmrt) رطوبت نسبی (RH) و جریان هوا (Va)، نوع پوشاک و فعالیت مورد استفاده قرار می‌گیرند و به همین دلیل یکی از کامل‌ترین و دقیق‌ترین روش‌های تخمین محدوده آسایش حرارتی شناخته شده است (قیابکلو، ۱۳۸۰). این مدل علاوه بر مطالعات مربوط به آسایش حرارتی محیط

جدول (۱): اطلاعات اقلیمی مورد استفاده در شبیه‌سازی. تدوین: نگارندگان.

روز	ساعت	دمای هوا °C	رطوبت نسبی (%)	میانگین سرعت باد (m/s)	میانگین جهت باد (N = 0, E = 90)
۲۰۱۰/۱۲/۲۲	Min	-۱۰.۱	۹۹	۲/۱	۲۷۰
		-۵.۹	۷۰	۲/۱	۲۷۰
		۳.۱	۴۰	۲/۱	۲۷۰
Max		۳.۹	۴۱	۲/۱	۲۷۰
		-۳.۵	۷۲	۲/۱	۲۷۰

۴. یافته‌های پژوهش

این ساعات فعالیت می‌کنند انتخاب شدند تا در هر پنج خرد اقلیم مورد بررسی قرار بگیرند. دمای متوسط تشعشعی، دمای هوا، رطوبت نسبی و سرعت باد به عنوان چهار عامل مهم و تأثیرگذار در آسایش حرارتی خارج، برای هر پنج خرد اقلیم در نمودار ۱ با یکدیگر مقایسه شدند.

همان‌طور که گفته شد پنج هندسه متداول بلوک‌های شهری به عنوان پنج خرد اقلیم متفاوت برای سردترین روز سال مطابق با انقلاب زمستانی، شبیه‌سازی شده است تا از نظر میزان آسایش حرارتی محیط خارج با یکدیگر مقایسه شوند. سه ساعت (۰۹:۰۰، ۱۳:۰۰ و ۲۱:۰۰) به عنوان نماینده ساعات مختلف شبانه روز که شهروندان بیشتر در

تشعشی است. در بلوک‌ها به صورت خطی و با چیدمان شرقی- غربی دمای متوسط تشعشی به دلیل نزدیکی سطوح رو به شمال و رو به جنوب، دارای شرایط مناسب‌تری نسبت به بلوک‌ها به صورت منفرد با چیدمان شرقی- غربی و بلوک‌ها به صورت منفرد با چیدمان شمالی- جنوبی است.

دمای هوا در این ساعت در نقطه مرکزی همه اشکال دارای میزانی نزدیک به هم است و تنها در بلوک‌ها به صورت حیاط مرکزی و بلوک‌ها به صورت خطی و با چیدمان شمالی- جنوبی، دمای هوا نسبت به دیگر اشکال به میزان بسیار کمی پایین‌تر است که این موضوع به دلیل سایه‌اندازی سطوح شرقی و زمان کمتر تابش خورشید در نقطه مرکزی این فرم‌ها نسبت به دیگر فرم‌ها است.

میزان رطوبت نسبی نیز در این ساعت متناسب با دمای هوا در همه اشکال تقریباً دارای مقدار برابری است و اشکالی که میزان دمای هوای پایین‌تری دارند از میزان رطوبت بالاتری برخوردار هستند.

دمای متوسط تشعشی در ساعت ۱۳:۰۰ دارای بالاترین میزان خود در طول روز است. دریافت بیشترین تابش در جداره‌ها و سطوح رو به جنوب در طول روز موجب افزایش دمای متوسط تشعشی در این ساعت است. این عامل در بلوک‌ها به صورت حیاط مرکزی نسبت به دیگر اشکال دارای بیشترین مقدار است و دلیل عمده آن علاوه بر تأثیر زیاد جداره‌های جنوبی، جداره‌ها و سطوح شرقی و غربی هستند که با دریافت تابش خورشید موجب افزایش بیشتر دمای متوسط تشعشی در مرکز می‌شوند.

دمای متوسط تشعشی توسط نرم‌افزار انوی مت محاسبه می‌شود و تمام شار تابشی با طول موج کوتاه و بلند (مستقیم و بازتاب شده) را در هر نقطه در نظر می‌گیرد. این پارامتر با معادله زیر محاسبه می‌شود.

$$T_{mrt} = \left[\frac{1}{\sigma} \left(\sum_{i=0}^n E_i F_i + \frac{\alpha_k}{\epsilon_p} \sum_{i=0}^n D_i F_i + \frac{\alpha_k}{\epsilon_p} f_p I \right) \right]^{0.25}$$

که در این معادله:

T_{mrt} دمای متوسط تشعشی (W)

E_i شار تابشی با طول موج بالا (W)

D_i شار تابشی با طول موج کوتاه (مستقیم و بازتاب شده) (W)

F_i عامل میزان زاویه تابش

I تابش مستقیم خورشید (W)

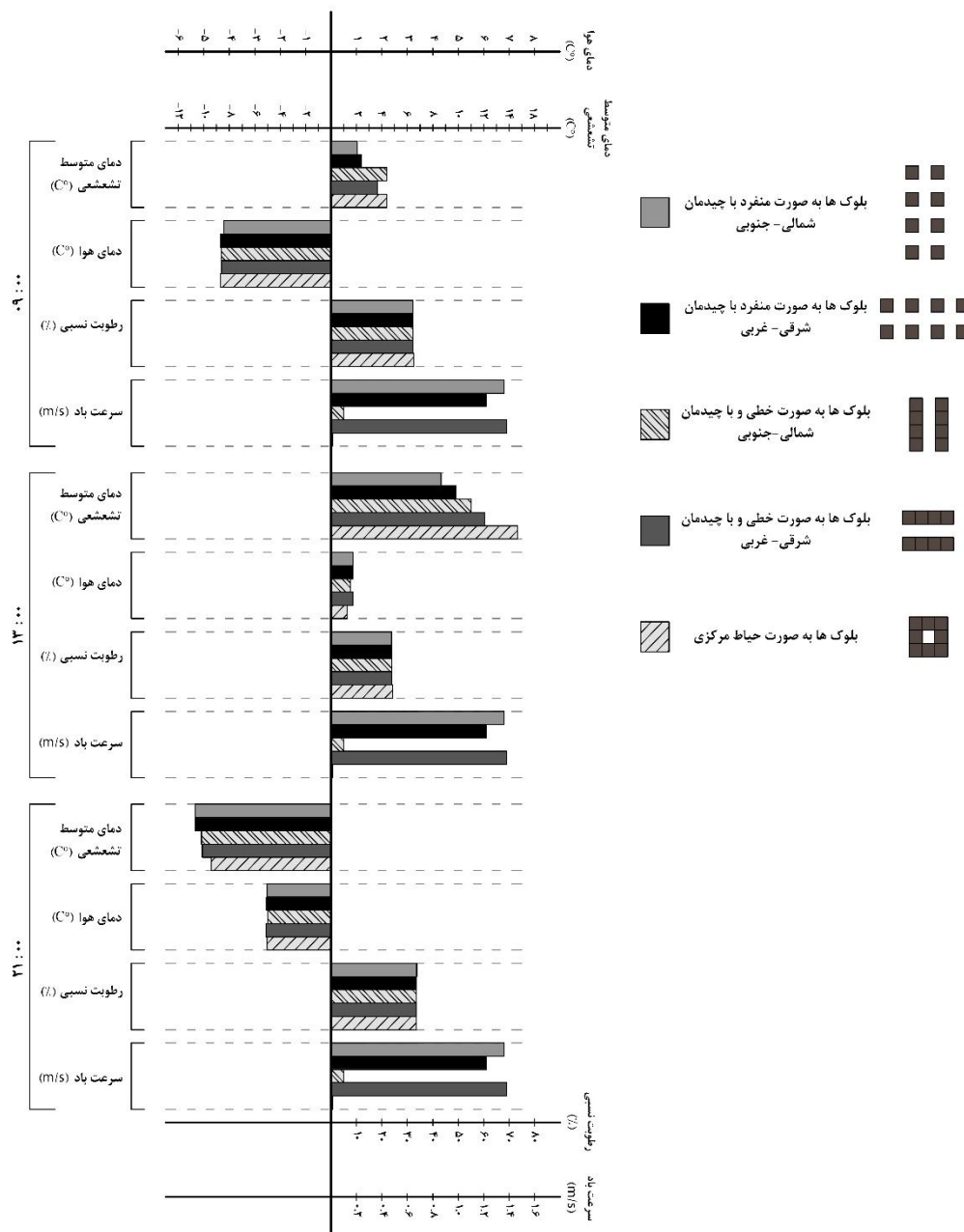
f_i عامل طرح ریزی سطوح

α_k ضریب جذب سطوح جداره‌های تابش کننده طول موج کوتاه (مستقیم و بازتاب شده)

ϵ_p تابش حاصل از بدن انسان

σ ثابت استفان بولتزمن (Stefane-Boltzmann) . 5.67 . (10^{-8})

مطابق با نتایج حاصل از شبیه‌سازی در نمودار ۱، در ساعت ۰۹:۰۰ صبح دمای متوسط تشعشی در بلوک‌ها به صورت حیاط مرکزی و بلوک‌ها به صورت خطی و با چیدمان شمالی- جنوبی نسبت به دیگر بلوک‌ها بالاتر است، دلیل این امر تابش صبح‌گاهی خورشید به سطوح روبه شرق و تأثیرگذاری این سطوح در افزایش میزان دمای متوسط



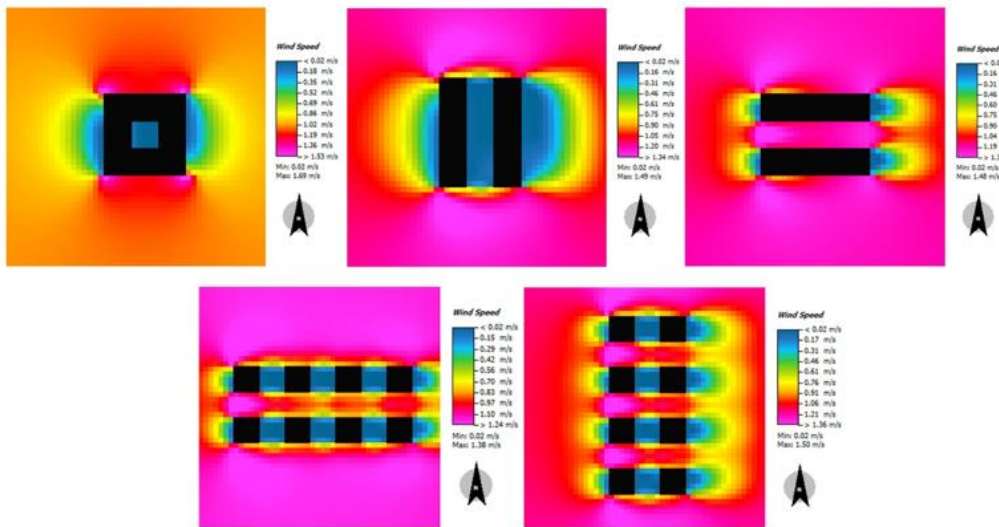
نمودار (۱): مقایسه میزان (الف) دمای متوسط تشعشعی (Tmrt)، (ب) دمای هوا (Ta)، (ج) رطوبت نسبی (RH)، (د) سرعت باد (Va) در نقطه مرکزی اشکال در ارتفاع ۱.۴ متری از سطح زمین. تدوین: نگارندگان.

به سایر اشکال برخوردار است. رطوبت نسبی نیز همچنان دارای مقدار نزدیک به هم و حفظ رابطه عکس با دمای هوا در تمامی اشکال است. در ساعت ۲۱:۰۰ به دلیل عدم تابش خورشید، دمای متوسط تشعشعی تماماً ناشی از دمای جداره‌ها و تابش از سطوح است. بنابراین در این ساعت دمای متوسط تشعشعی در بلوک‌ها به صورت حیاط مرکزی دارای

دمای هوا نیز در این ساعت متأثر از میزان تابش مستقیم خورشید به نقطه مرکزی است. دمای هوا در اشکالی که دارای سایه‌اندازی بیشتری در نقطه مرکزی اشکال هستند پایین‌تر بوده و در نتیجه میزان این عامل در بلوک‌ها به صورت حیاط مرکزی، بلوک‌ها به صورت خطی و با چیدمان شمالی-جنوبی و همچنین بلوک‌ها به صورت خطی و با چیدمان شرقی-غربی از کمترین میزان نسبت

جلوگیری از نفوذ باد در مرکز شکل نسبت به دیگر اشکال به شدت کمتر است. سرعت باد در بلوک‌ها به صورت منفرد و با چیدمان شرقی-غربی به دلیل ایجاد اغتشاش بیشتر نسبت به بلوک‌ها به صورت خطی و با چیدمان شرقی-غربی و همچنین بلوک‌ها به صورت منفرد و با چیدمان شمالی-جنوبی نسبتاً کم‌تر است. بنابراین هرچه شکل دارای پراکندگی بیشتری باشد و اغتشاش کمتری در جریان باد ایجاد کند سرعت باد نیز در آن بیشتر می‌شود (تصویر ۳).

بیشترین مقدار است. بلوک‌ها به صورت خطی با چیدمان شمالی-جنوبی و همچنین بلوک‌ها به صورت خطی با چیدمان شرقی-غربی نیز از میزان بیشتری نسبت به سایر اشکال برخوردار هستند. دمای هوا و رطوبت نسبی نیز در ساعت ۲۱:۰۰ و در نقطه مرکزی همه اشکال، همچون ساعات قبل دارای میزانی نزدیک به هم است. سرعت جریان باد در هر سه ساعت و در نقطه مرکزی بلوک‌ها به صورت حیاط مرکزی دارای کمترین مقدار و نزدیک به صفر است. همچنین این عامل در بلوک‌ها به صورت خطی و با چیدمان شمالی-جنوبی نیز به دلیل



تصویر (۳): میزان سرعت و نحوه جریان باد در هر یک از فرم‌ها. تدوین: نگارندگان.

آسایش حرارتی محیط خارج در مرکز هر یک از اشکال با استفاده از شاخص PMV برای فردی با مشخصاتی مطابق با جدول ۲ در هر یک از مدل‌ها با استفاده از نرم‌افزار ریمن^۷ محاسبه شده است.

۴.۱. شاخص میانگین آرای پیش‌بینی شده (PMV) همان‌گونه که گفته شد شاخص میانگین آرای پیش‌بینی شده (PMV) را می‌توان یکی از کامل‌ترین و دقیق‌ترین شاخص آسایش حرارتی در فضای باز دانست. بنابراین

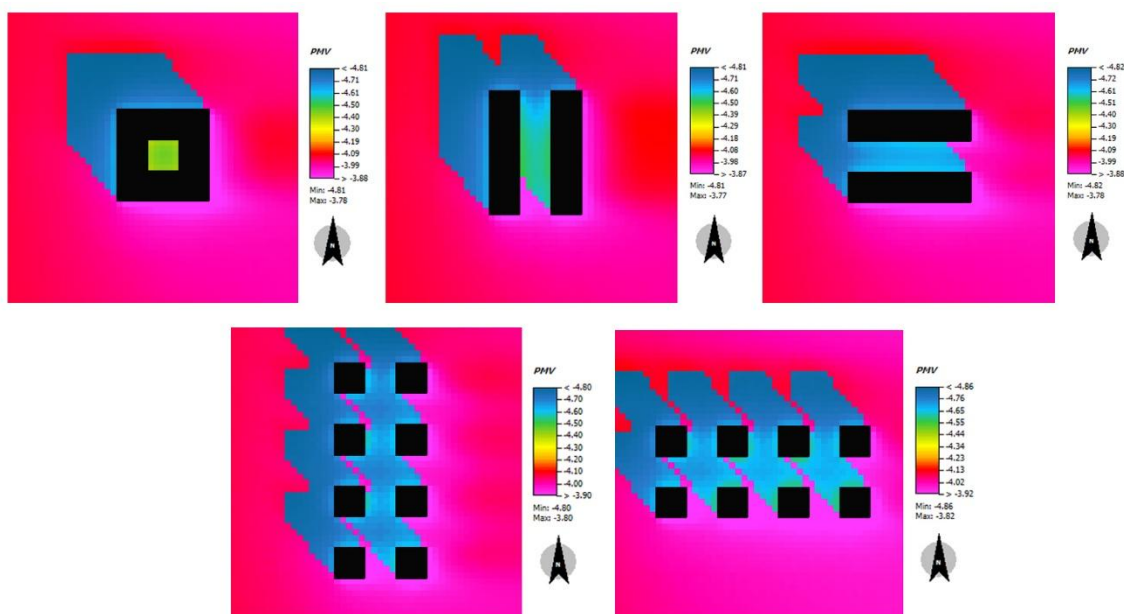
جدول (۲): شرایط در نظر گرفته شده برای محاسبه شاخص آسایش حرارتی PMV

جنسیت	سن	ارتفاع قد (m)	وزن (kg)	میزان فعالیت (W)	میزان پوشش لباس (clo)	میزان پوشش ابر (Octa)
مرد	۳۵	۱.۷۵	۷۵	۸۰	۱.۲	۰

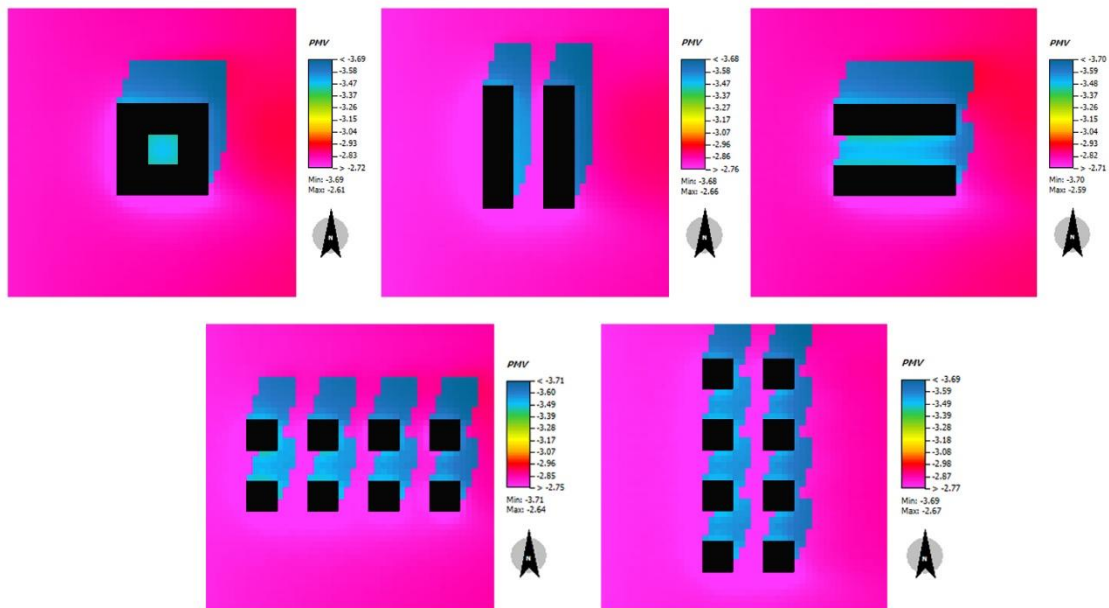
⁷ Rayman

شرقی- غربی و در نهایت بلوک‌ها به صورت منفرد با چیدمان شمالی- جنوبی به ترتیب دارای بیشترین میزان شاخص میانگین آرای پیش‌بینی شده (PMV) هستند. با در نظر گرفتن نتایج حاصل شده از نمودار ۱ و نتایج کسب شده از تصاویر ۴، ۵ و ۶ می‌توان میزان دمایی متوسط تشعشعی بیشتر و عدم وجود جریان باد در داخل حیاط مرکزی را از مهمترین عوامل ایجاد شرایط مطلوب آسایشی در این اقلیم دانست.

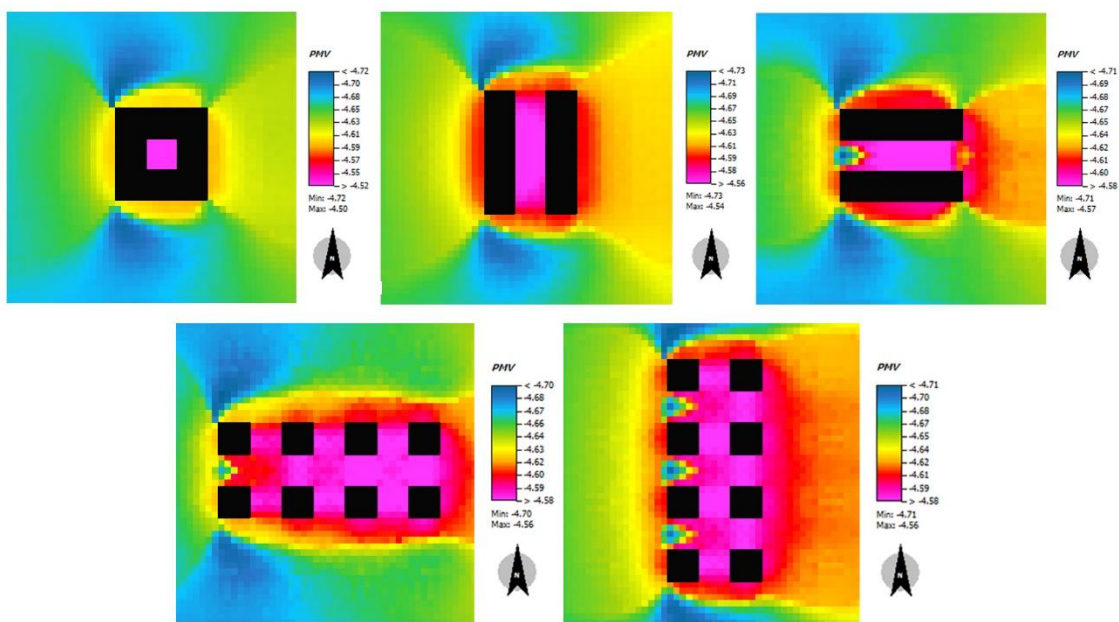
با توجه تصاویر ۴، ۵ و ۶ که شاخص میانگین آرای پیش‌بینی شده (PMV) را در ساعات مختلف شبانه روز نمایش می‌دهد، بیشترین میزان آسایش حرارتی در بلوک‌ها به صورت حیاط مرکزی اتفاق می‌افتد. بلوک‌ها به صورت حیاط مرکزی در تمامی ساعات دارای شرایط مناسب‌تری از نظر میزان آسایش حرارتی محیط خارج است. پس از آن بلوک‌ها به صورت خطی با چیدمان شمالی- جنوبی، بلوک‌ها به صورت خطی با چیدمان شرقی- غربی، بلوک‌ها به صورت منفرد با چیدمان



تصویر (۴): شاخص میانگین آرای پیش‌بینی شده (PMV) در ساعت ۰۹:۰۰. تدوین: نگارندگان.



تصویر (۵): شاخص میانگین آرای پیش‌بینی شده (PMV) در ساعت ۱۳:۰۰. تدوین: نگارندگان.



تصویر (۶): شاخص میانگین آرای پیش‌بینی شده (PMV) در ساعت ۲۱:۰۰. تدوین: نگارندگان.

۵. نتیجه پژوهش

در این پژوهش با شبیه‌سازی و مقایسه خرد اقلیم حاصل از پنج هندسه مختلف از بلوک‌های شهری در اقلیم سرد و زمستانی شهر همدان به بررسی چگونگی میزان آسایش حرارتی در محیط خارج پرداختیم. نتایج بدست آمده از شبیه‌سازی نشان می‌دهد شرایط آسایش حرارتی

در محیط خارج در این اقلیم بیشتر تحت تأثیر دمای متوسط تشعشعی و میزان سرعت باد در محل است و فرمی که دارای دمای متوسط تشعشعی بیشتر و سرعت جریان باد کمتری است دارای شرایط بهتری از نظر آسایش حرارتی است. فرم حیاط مرکزی به دلیل نزدیکی و همجواری سطوح در تمامی ساعات دارای دمای متوسط تشعشعی بالاتری نسبت به دیگر فرم‌هاست

ملاحظات اخلاقی:

حامی مالی: -----

تعارض منافع: طبق اظهار نویسندگان، این مقاله تعارض منافع ندارد.

برگرفته از پایان نامه/رساله: این مقاله مستخرج از پایان‌نامه/رساله نمی‌باشد.

منابع

بحرینی، سیدحسن و خسروی، حسین (۱۳۹۴). بررسی تطبیقی تأثیر ویژگی‌های خرد اقلیم در الگوی رفتارهای شهری نمونه موردی: فضای شهری یزد (اقلیم گرم و خشک) و فومن (اقلیم معتدل و مرطوب، محیط‌شناسی، دوره ۴۱ شماره ۲ ۴۵۶-۴۸۲.

حیدری، شاهین و جباری، شهلا (۱۳۸۹). منطقه راحتی حرارتی در اقلیم سرد و خشک ایران نشریه هنرهای زیبا - معماری و شهرسازی، شماره ۴۴.

طاهباز، منصوره (۱۳۸۸). روش تحلیل آمار هواشناسی برای طراحی معماری همساز با اقلیم، نشریه هنرهای زیبا، دانشکده هنرهای زیبا دانشگاه تهران، شماره ۳۸، ۶۱-۷۲.

قیابکلو، زهرا (۱۳۸۰). روش‌های تخمین محدوده آسایش حرارتی نشریه هنرهای زیبا، شماره ۱۰.

کله‌رودی، نرگس؛ پورجعفر، محمدرضا؛ مهدوی‌نژاد، محمدجواد و یوسفیان، سمیرا (۱۳۹۶). نقش و تأثیر عناصر طراحی در کیفیت آسایش حرارتی فضاهای باز شهری، بررسی موردی: طراحی پیاده‌راه طمقچی‌ها در کاشان، نامه معماری و شهرسازی، دوفصلنامه دانشگاه هنر، شماره ۱۸.

Acero, Juan A., & Herranz-Pascual, Karmele (2015). A comparison of thermal comfort conditions in four urban spaces by means of measurements and modelling techniques. *Building and Environment*, 93, 245-257. doi: <https://doi.org/10.1016/j.buildenv.2015.06.0>

Ali-Toudert, Fazia, & Mayer, Helmut (2006). Numerical study on the effects of aspect ratio and orientation of an urban street canyon on outdoor thermal comfort in hot and dry climate. *Building and Environment*, 41(2), 94-108. doi: <https://doi.org/10.1016/j.buildenv.2005.01.013>

Ali-Toudert, Fazia, & Mayer, Helmut (2007). Thermal comfort in an east-west oriented street

و از سوی دیگر سرعت جریان باد در آن نزدیک به صفر است. به طور کلی هرچه فرم بلوک‌ها به فرم و هندسه محصور و فشرده نزدیک‌تر باشد دارای شرایط آسایشی بهتری است. بلوک‌ها به صورت خطی با چیدمان شمالی-جنوبی نیز به دلیل میزان بالای دمای متوسط تشعشعی و میزان بسیار کم سرعت جریان باد از شرایط مناسب آسایشی برخوردار است. پس از آن، بلوک‌ها به صورت خطی با چیدمان شرقی-غربی دارای میزان بالای دمای متوسط تشعشعی است اما دارای جریان بادی با سرعت بالا است که باعث کاهش شرایط آسایشی می‌شود. بدترین شرایط آسایشی مربوط به بلوک‌های منفرد با چیدمان شرقی-غربی و سپس بلوک‌های منفرد با چیدمان شمالی-جنوبی است که دمای متوسط تشعشعی در آنها از پایین‌ترین میزان برخوردار است و جریان باد نیز در آنها بالا است. در نهایت از میان پنج هندسه متداول از بلوک‌های شهری در اقلیم سرد و زمستانی شهر همدان، بلوک‌ها به صورت حیاط مرکزی را می‌توان به عنوان بهترین فرم از نظر ایجاد شرایط آسایش حرارتی مطلوب‌تر نسبت به دیگر فرم‌ها دانست. شبیه‌سازی و تحلیل هندسه‌های متفاوت بلوک‌های شهری از سوی طراحان، معماران و شهرسازان و کاربست نتایج آن می‌تواند تأثیر مثبتی در بهبود شرایط آسایشی و پویایی محیط‌های شهری داشته باشد. نکته کلیدی استفاده از شبیه‌سازی این است که تنها حالت مورد نظر را بررسی می‌نماید و پس از این وظیفه طراح است که با توجه به تمام نقاط بحرانی نتایج، امکانات وضع موجود و هزینه‌های ساخت مناسب‌ترین حالت را انتخاب کند.

- D Solomon, S., Qin, Dawei, Manning, Martin, Chen, ZeNa, Marquis, Melinda, B Avery, K., L. & Miller, H. (2007). *Climate Change 2007: The Physical Science Basis. Working Group I Contribution to the Fourth Assessment Report of the IPCC (Vol. 1)*.
- Dalman, Masoud, Salleh, Elias, Sopian, Abdul, Mohd tahir, Osman, Dola, Kamariah, & Saadatian, Omid (2011). *Microclimate and Thermal Comfort of Urban Forms and Canyons in Traditional and Modern Residential Fabrics in Bandar Abbas, Iran (Vol. 5)*.
- Dursun, Dogan, & Yavas, Merve (2015). *Climate-Sensitive Urban Design in Cold Climate Zone: The City of Erzurum, Turkey (Vol. 3)*.
- Eliasson, Ingegärd, Knez, Igor, Westerberg, Ulla, Thorsson, Sofia, & Lindberg, Fredrik (2007). *Climate and behaviour in a Nordic city. Landscape and Urban Planning, 82(1), 72-84. doi: https://doi.org/10.1016/j.landurbplan.2007.01.020*
- Emmanuel, R. (2005). *Thermal comfort implications of urbanization in a warm-humid city: the Colombo Metropolitan Region (CMR), Sri Lanka. Building and Environment, 40(12), 1591-1601. doi: https://doi.org/10.1016/j.buildenv.2004.12.004*
- Erell, Evyatar, Pearlmutter, D., & Williamson, T. (2011). *Urban Microclimate – Designing the Spaces Between Buildings*.
- Givoni, B. (1998). *Climate Considerations in Building and Urban Design: Van Nostrand Reinhold: John Wiley*.
- Givoni, Baruch, Noguchi, Mikiko, Saaroni, Hadas, Pochter, Oded, Yaacov, Yaron, Feller, Noa, & Becker, Stefan (2003). *Outdoor comfort research issues. Energy and Buildings, 35(1), 77-86. doi: https://doi.org/10.1016/S0378-7788(02)00082-8*
- Gonzalez, R. R., Nishi, Y., & Gagge, A. P. (1974). *Experimental evaluation of standard effective temperature a new biometeorological index of man's thermal discomfort. International Journal of Biometeorology, 18(1), 1-15. doi: 10.1007/BF01450660*
- Hakim, A. A., Petrovitch H Fau - Burchfiel, C. M., Burchfiel Cm Fau - Ross, G. W., Ross Gw Fau - Rodriguez, B. L., Rodriguez Bl Fau - White, L. R., White Lr Fau - Yano, K., Abbott, R. D. *Effects of walking on mortality among nonsmoking retired men. (0028-4793 (Print))*.
- Hass-Klau, Carmen (1993). *A review of the evidence from Germany and the UK. Transport Policy, 1(1), 21-31. doi: https://doi.org/10.1016/0967-070X(93)90004-7*
- canyon in Freiburg (Germany) under hot summer conditions (Vol. 87).
- ASHRAE55 (2010). *ANSI/ASHRAE standard 55-2010 : thermal environmental conditions for human occupancy*.
- Ayoade, J. O. (1978). *Spatial and seasonal patterns of physiologic comfort in Nigeria. Archiv für Meteorologie, Geophysik und Bioklimatologie, Serie B, 26(4), 319-337. doi: 10.1007/BF02243235*
- Bourbia, F., & Boucheriba, F. (2010). *Impact of street design on urban microclimate for semi arid climate (Constantine). Renewable Energy, 35(2), 343-347. doi: https://doi.org/10.1016/j.renene.2009.07.017*
- Bourbia, Fatiha, & Awbi, H. B. (2004). *Building cluster and shading in urban canyon for hot dry climate Part 1: Air and surface temperature measurements (Vol. 29)*.
- Brown, G. Z. (1985). *Sun, wind, and light. Architectural design strategies. United States: John Wiley and Sons Inc., New York, NY*.
- Bruse, Michael, & Fleer, Heribert (1998). *Simulating surface-plant-air interactions inside urban environments with a three dimensional numerical model. Environmental Modelling & Software, 13(3), 373-384. doi: https://doi.org/10.1016/S1364-8152(98)00042-5*
- Chappells, Heather, & Shove, Elizabeth (2004). *Comfort: A review of philosophies and paradigms. Conference Proceedings*.
- Chatzidimitriou, Angeliki, & Yannas, Simos (2016). *Microclimate design for open spaces: Ranking urban design effects on pedestrian thermal comfort in summer. Sustainable Cities and Society, 26, 27-47. doi: https://doi.org/10.1016/j.scs.2016.05.004*
- Chen, Liang, & Ng, Edward (2012). *Outdoor thermal comfort and outdoor activities: A review of research in the past decade. Cities, 29(2), 118-125. doi: https://doi.org/10.1016/j.cities.2011.08.006*
- Chen, Liang, Ng, Edward, An, Xipo, Ren, Chao, Lee, Max, Wang, Una, & He, Zhengjun (2012). *Sky view factor analysis of street canyons and its implications for daytime intra-urban air temperature differentials in high-rise, high-density urban areas of Hong Kong: a GIS-based simulation approach. 32(1), 121-136. doi: 10.1002/joc.2243*
- Cheng, V., Ng E. Fau - Chan, Cecilia, Chan C Fau - Givoni, Baruch, & Givoni, B. (2010). *Outdoor thermal comfort study in a sub-tropical climate: a longitudinal study based in Hong Kong. (1432-1254 (Electronic))*.

- thermal comfort. *Theoretical and Applied Climatology*, 115(1), 243-257. doi: 10.1007/s00704-013-0890-4
- Nicol, Fergus, & Humphreys, Michael (1973). *Thermal comfort as part of a self-regulating system* (Vol. 1).
- Nicol, Fergus, & Humphreys, Michael (2002). Adaptive thermal comfort and sustainable thermal standards for buildings. *Energy and Buildings*, 34(6), 563-572. doi: [https://doi.org/10.1016/S0378-7788\(02\)00006-3](https://doi.org/10.1016/S0378-7788(02)00006-3)
- Nicol, Fergus, & Humphreys, Michael (2010). Derivation of the adaptive equations for thermal comfort in free-running buildings in European standard EN15251. *Building and Environment*, 45(1), 11-17. doi: <https://doi.org/10.1016/j.buildenv.2008.12.013>
- Nikolopoulou, Marialena, Baker, Nick, & Steemers, Koen (2001). Thermal comfort in outdoor urban spaces: understanding the human parameter. *Solar Energy*, 70(3), 227-235. doi: [https://doi.org/10.1016/S0038-092X\(00\)00093-1](https://doi.org/10.1016/S0038-092X(00)00093-1)
- O. Fanger, P. (1970). *Thermal Comfort Analysis and Applications in Environment Engineering*.
- Oke, T.R. (1978). *Boundary layer climates: Methuen*.
- Olgyay, V., & Olgyay, A. (1963). *Design With Climate: Bioclimatic Approach to Architectural Regionalism*: Princeton University Press.
- Parsons, K. C. (2000). Environmental ergonomics: a review of principles, methods and models. *Applied Ergonomics*, 31(6), 581-594. doi: [https://doi.org/10.1016/S0003-6870\(00\)00044-2](https://doi.org/10.1016/S0003-6870(00)00044-2)
- Ratti, Carlo, Raydan, Dana, & Steemers, Koen (2003). Building form and environmental performance: archetypes, analysis and an arid climate. *Energy and Buildings*, 35(1), .doi: [https://doi.org/10.1016/S0378-7788\(02\)00079-8](https://doi.org/10.1016/S0378-7788(02)00079-8)
- Rupp, Ricardo Forgiarini, Vásquez, Natalia Giraldo, & Lamberts, Roberto (2015). A review of human thermal comfort in the built environment. *Energy and Buildings*, 105, 178-205. doi: <https://doi.org/10.1016/j.enbuild.2015.07.047>
- Sharmin, T., & Steemers, K. (2013). Effect of Canyon Geometry on Outdoor Thermal Comfort: A case-study of high-density, warm-humid climate. PLEA2013 - 29th International Conference Proceedings: Sustainable Architecture for a Renewable Future. doi: <https://doi.org/10.17863/CAM.35210>
- Skelhorn, Cynthia, Lindley, Sarah, & Levermore, Geoff (2014). The impact of vegetation types on air Höpfe, Peter (2002). Different aspects of assessing indoor and outdoor thermal comfort. *Energy and Buildings*, 34(6), 661-665. doi: [https://doi.org/10.1016/S0378-7788\(02\)00017-8](https://doi.org/10.1016/S0378-7788(02)00017-8)
- Howard, L. (1818). *The Climate of London: Deduced from Meteorological Observations, Made at Different Places in the Neighbourhood of the Metropolis*: W. Phillips, sold also by J. and A. Arch.
- Humphreys, Michael, Rijal, Hom, & Nicol, Fergus (2013). *Updating the adaptive relation between climate and comfort indoors; new insights and an extended database* (Vol. 63).
- ISO (1994). *Moderate thermal environments – Determination of the PMV and PPD indices and the specification of conditions for thermal comfort*. Geneva: International Standard 7730.
- Jacobs, J. (1972). *The Death and Life of Great American Cities*: Penguin Books.
- Jin, Hong, Liu, Siqi, & Kang, Jian. (2017). The Thermal Comfort of Urban Pedestrian Street in the Severe Cold Area of Northeast China. *Energy Procedia*, 134, 741-748. doi: <https://doi.org/10.1016/j.egypro.2017.09.571>
- Jin, Yumeng, Kang, Jian, Jin, Hong, & Zhao, Jing (2017). Analysis of Thermal Environment of Open Community Streets in Winter in Northern China. *Energy Procedia*, 134, 423-431. doi: <https://doi.org/10.1016/j.egypro.2017.09.595>
- Krüger, E. L., Minella, F. O., & Rasia, F. (2011). Impact of urban geometry on outdoor thermal comfort and air quality from field measurements in Curitiba, Brazil. *Building and Environment*, 46(3), 621-634. doi: <https://doi.org/10.1016/j.buildenv.2010.09.006>
- Lee, Hyunjung, Mayer, Helmut, & Chen, Liang (2016). Contribution of trees and grasslands to the mitigation of human heat stress in a residential district of Freiburg, Southwest Germany (Vol. 148).
- Lenzholzer, Sanda (2012). Research and design for thermal comfort in Dutch urban squares. *Resources, Conservation and Recycling*, 64, 39-48. doi: <https://doi.org/10.1016/j.resconrec.2011.06.015>
- Martin, Leslie, Leslie, Martin, & March, Lionel (1972). *Urban space and structures*: Cambridge University Press.
- Matzarakis, Andreas, Mayer, Helmut, & Godwin Iziomon, Moses (1999). *Applications of a universal thermal index: Physiological equivalent temperature* (Vol. 43).
- Müller, Nicole, Kuttler, Wilhelm, & Barlag, Andreas-Bent (2014). Counteracting urban climate change: adaptation measures and their effect on

- URL02 (2019). doi: <https://www.envi-met.com/intro>
- Veleva, L., Pérez, G., & Acosta, M. (1997). Statistical analysis of the temperature-humidity complex and time of wetness of a tropical climate in the Yucatán Peninsula in Mexico. *Atmospheric Environment*, 31(5), 773-776. doi: [https://doi.org/10.1016/S1352-2310\(96\)00232-4](https://doi.org/10.1016/S1352-2310(96)00232-4)
- Whyte, William (1988). *City: Rediscovering the Center*. New York: Doubleday.
- Yan, Yuk Yee, & Oliver, John E. (1996). The Clo: A Utilitarian Unit to Measure Weather/Climate Comfort. *International Journal of Climatology*, 16(9), 1045-1056. doi: 10.1002/(SICI)1097-0088
- Yang, Xiaoshan, Zhao, Lihua, Bruse, Michael, & Meng, Qinglin (2013). Evaluation of a microclimate model for predicting the thermal behavior of different ground surfaces. *Building and Environment*, 60, 93-104. doi: <https://doi.org/10.1016/j.buildenv.2012.11.008>
- Yang, Xinyan, Li, Yuguo, & Yang, Lina (2012). Predicting and understanding temporal 3D exterior surface temperature distribution in an ideal courtyard. *Building and Environment*, 57, 38-48. doi: <https://doi.org/10.1016/j.buildenv.2012.03.022>
- Zacharias, John, Stathopoulos, Ted, & Wu, Hanqing (2001). Microclimate and Downtown Open Space Activity. *Environment and Behavior*, 33(2), 296-315. doi: 10.1177/0013916501332008.
- and surface temperatures in a temperate city: A fine scale assessment in Manchester, UK. *Landscape and Urban Planning*, 121, 129-140. doi: <https://doi.org/10.1016/j.landurbplan.2013.09.012>
- Srivanit, Manat, & Hokao, Kazunori (2013). Evaluating the cooling effects of greening for improving the outdoor thermal environment at an institutional campus in the summer. *Building and Environment*, 66, 158-172. doi: <https://doi.org/10.1016/j.buildenv.2013.04.012>
- Steenackers, Baker, Crowther, Ratti, Dubiel, & Nikolopoulou (1997). *City texture and microclimate*.
- Taleb, Hanan, & Taleb, Dana. (2014). Enhancing the thermal comfort on urban level in a desert area: Case study of Dubai, United Arab Emirates. *Urban Forestry & Urban Greening*, 13(2), 253-260. doi: <https://doi.org/10.1016/j.ufug.2014.01.003>
- Taleghani, Mohammad, Kleerekoper, Laura, Tenpierik, Martin, & van den Dobbelsteen, Andy (2015). Outdoor thermal comfort within five different urban forms in the Netherlands. *Building and Environment*, 83, 65-78. doi: <https://doi.org/10.1016/j.buildenv.2014.03.014>
- Taleghani, Mohammad, Sailor, David J., Tenpierik, Martin, & van den Dobbelsteen, Andy (2014). Thermal assessment of heat mitigation strategies: The case of Portland State University, Oregon, USA. *Building and Environment*, 73, 138-150. doi: <https://doi.org/10.1016/j.buildenv.2013.12.006>
- Taleghani, Mohammad, Tenpierik, Martin, & Dobbelsteen, Andy (2012). *Environmental impact of courtyards-a review and comparison of residential courtyard buildings in different climates (Vol. 7)*.
- Taleghani, Mohammad, Tenpierik, Martin, Kurvers, Stanley, & Dobbelsteen, Andy (2013). *A review into thermal comfort in buildings (Vol. 26)*.
- Taleghani, Mohammad, Tenpierik, Martin, van den Dobbelsteen, Andy, & de Dear, Richard (2013). Energy use impact of and thermal comfort in different urban block types in the Netherlands. *Energy and Buildings*, 67, 166-175. doi: <https://doi.org/10.1016/j.enbuild.2013.08.024>
- Tan, Zheng, Lau, Kevin, & Ng, Edward (2015). Urban tree design approaches for mitigating daytime urban heat island effects in a high-density urban environment.
- Thorsson, S., Lindqvist M Fau - Lindqvist, Sven, & Lindqvist, S. (2004). Thermal bioclimatic conditions and patterns of behaviour in an urban park in Goteborg, Sweden. (0020-7128 (Print)).