

آثار زیست‌محیطی تغییرات هندسه بافت شهری بر دمای محیط و آسایش حرارتی

بیرونی در اقلیم خشک شهر مشهد

(نمونه موردی: بافت قدیمی پاچنار و بافت جدید شاهد)

الهام ثناگردرانی^۱، مجتبی رفیعیان^{۲*}، تکتیم حنایی^۳ و دانیال منصفی‌پراپری^۴

Elham_Sanagar@yahoo.com

۱. گروه شهرسازی، واحد مشهد، دانشگاه آزاد اسلامی، مشهد، ایران

۲. دانشیار دانشکده هنر و معماری، دانشگاه تربیت مدرس، تهران، ایران.

Toktamhanaee@yahoo.com

۳. استادیار گروه شهرسازی، واحد مشهد، دانشگاه آزاد اسلامی، مشهد، ایران

Parapari@shahroodut.ac.ir

۴. استادیار دانشکده مهندسی معماری و شهرسازی، دانشگاه صنعتی شاهرود، شاهرود، ایران

تاریخ پذیرش مقاله: ۱۳۹۶/۱۱/۱۵

تاریخ وصول مقاله: ۱۳۹۶/۰۶/۱۹

چکیده

کاهش مشکلات زیست‌محیطی از طریق تقلیل دمای هوا و در نتیجه ارتقاء سلامت انسان‌ها از مهم‌ترین دغدغه‌ها در عصر حاضر است که می‌توان به‌وسیله آسایش حرارتی بیرونی، یکی از مهم‌ترین شاخص‌های محیطی فضاهای باز شهری مطرح کرد. فاکتورهایی چون ارتفاع و عرض معابر، پوشش سطوح فضاهای باز و مصالح به‌کاررفته در نمای ساختمان‌ها از جمله عناصر محیط شهری هستند که تغییرات در آن‌ها بر محیط‌زیست تأثیرگذار است. هدف این پژوهش سنجش تأثیر تغییرات هندسه بافت شهری بر دمای محیط و آسایش حرارتی بیرونی در خیابان‌های شهری دو بافت قدیمی پاچنار و بافت جدید شاهد در شهر مشهد است. روش گردآوری اطلاعات به‌صورت مطالعات کتابخانه‌ای، میدانی و استفاده از داده‌های ایستگاه هواشناسی شهر مشهد بوده است. روش تحلیل، استفاده از تکنیک شبیه‌سازی رایانه‌ای و نرم‌افزارهای Envi-met و Rayman در شهر مشهد است. شاخص مورد استفاده، دمای معادل فیزیولوژیکی PET به‌عنوان پراستفاده‌ترین شاخص سنجش آسایش حرارتی بیرونی است. یافته‌ها نشان می‌دهد که تغییر در هندسه پیکره‌بندی خیابان از طریق بالا بردن نسبت H/W تأثیر زیادی بر خرد اقلیم شهری و آسایش حرارتی بیرونی عابران پیاده دارد؛ همچنین، استفاده از پوشش گیاهی و جریان باد در معابر می‌تواند بر کاهش دمای محیط در شهر مشهد تأثیرگذار باشد.

کلیدواژه

آسایش حرارتی بیرونی، شاخص PET، هندسه شهری، Envi-met، Rayman.

۱. سرآغاز

ره‌آورد با کاهش دمای محیط‌های شهری، سلامت انسان‌ها نیز ارتقاء یابد؛ از این رو می‌توان گفت برنامه‌ریزی و طراحی صحیح فضاهای مصنوعی و طبیعی در شهرها می‌تواند سبب کاهش این تأثیرات و از طرفی دیگر ایجادکننده محیط‌های راحت و دارای آسایش باشند. ما اغلب به آسایش و راحتی مردمی که در درون ساختمان‌ها زندگی می‌کنند فکر می‌کنیم، حال آن که ممکن است بنا به دلایلی افراد قسمتی

در سال‌های اخیر با بالا گرفتن حوادث طبیعی چون موج گرما، آمار مرگ‌ومیر ناشی از بالا رفتن دمای هوا و مشکلات زیست‌محیطی چون آلودگی هوا به علت تجمع گرما در شهرها افزایش یافته است. این امر توجه حرفه‌مندان را به کاهش این مشکلات، از طریق ایجاد آسایش حرارتی بیرونی در شهرها به خود معطوف کرده است، تا از این

نخست با بررسی پژوهش‌های انجام‌گرفته در حوزه موضوعی مقاله پرداخته می‌شود و سپس در بخش بعدی چارچوب نظری با استفاده از مقاله‌ها، رساله‌ها و کتاب‌ها استخراج شده است. در بخش سوم این چارچوب، با استفاده از شبیه‌سازی در نرم‌افزار Envi-met4 و تحلیل داده‌ها در نرم‌افزار Rayman به شناسایی تأثیرات هندسه شهری بر دمای هوا در خرد اقلیم و آسایش حرارتی بیرونی با استفاده از شاخص دمای معادل فیزیولوژیکی (PET) پرداخته است. بررسی‌های انجام‌گرفته در فصل تابستان و روز ۲۸ مرداد به دلیل حرارت بالای خورشید و تأثیر آن بر ایجاد آسایش حرارتی بیرونی در فضاهای باز شهری انتخاب شده است.

۲. پیشینه نظری تحقیق

در حوزه آسایش حرارتی بیرونی مطالعات انجام‌گرفته را می‌توان به دودسته طبقه‌بندی کرد. بخش نخست مطالعات سنجش میزان آسایش حرارتی در محیط‌های شهری است که با استفاده از پرسش‌نامه انجام‌گرفته است و بیشتر به جنبه‌های فردی و روانی آسایش حرارتی پرداخته است و بخش دوم از این مطالعات بر سنجش آسایش حرارتی از طریق تأثیرات هندسه شهری، سایه‌اندازی اجزای مختلف شهری همچون دره‌های شهری، درختان و خرد اقلیم در سطح عابر پیاده متمرکز است که این بخش برای بررسی در این پژوهش انتخاب شده است. پژوهش‌های حوزه آسایش حرارتی بیرونی با پژوهش فازی علی تودرت (۲۰۰۵)^۴ در حوزه ارتباط میان آسایش حرارتی بیرونی و خرد اقلیم مطرح می‌شود و پس از آن توجه به ارتباطات آسایش حرارتی با هندسه شهری، فرم شهری، جزایر حرارتی و فضای سبز شکل می‌گیرد. از مطالعات انجام‌شده در ادبیات جهانی در ارتباط با هندسه شهری و آسایش حرارتی می‌توان به پژوهش جوهانسون (۲۰۰۶)^۵ اشاره کرد که در مقاله‌ای تحت عنوان «تأثیر هندسه شهری بر آسایش حرارتی در اقلیم گرم در منطقه فز، مراکش»، با مقایسه عمق‌های مختلف خیابان و اندازه‌گیری آن در طی ۱/۵ سال در فصل

از زمان خود را در بیرون از خانه و در میان ساختمان‌ها و فضاهای باز سپری کنند. فضاهایی که بیشترین تعاملات اجتماعی در آن رخ می‌دهد و دارای اجتماع و فرهنگ خاص یا حتی اهمیت اقتصادی است (Erell et al., 2011). پس بایستی به ارتقاء سطح سلامت افراد در فضاهای باز که سبب ارتقاء سطح تعاملات اجتماعی می‌شود توجه ویژه‌ای صورت پذیرد. از این رو می‌توان موقعیتی را فراهم کرد تا با کاهش دمای محیط و کم‌کردن آلاینده‌های هوا، حضورپذیری افراد را در فضاهای باز شهری ارتقاء بخشید. هندسه شهری^۱ همچون دره‌های شهری^۲ و پوشش گیاهی در سطح عابران پیاده از جمله عوامل تأثیرگذار بر ایجاد آسایش حرارتی بیرونی^۳ و کاهش دهنده دمای محیط‌های شهری در بافت‌ها و محلات شهری هستند که تأثیرگذاری این فاکتورها بر آسایش حرارتی توسط افراد اندکی در ایران مورد توجه بوده است. با مروری بر پیشینه پژوهشی موضوع می‌توان دریافت که به انواع بافت‌های شهری بومی ایران که هندسه شهری مختلفی را در خود جای داده‌اند، توجه جدی صورت نگرفته است؛ حال آنکه برنامه‌ریزی محیط‌های شهری به صورت بومی، سبب می‌شود تا با تشخیص نیازهای محیط‌های داخلی و خارجی به معماران و برنامه‌ریزان برای مقابله با مشکلات زیست‌محیطی شهری کمک شود تا با استفاده از تمام عناصر طراحی مؤثرترین راه برای کاهش شدت درجه هوا در فضاهای باز مهیا کنند. در ایران این مباحث در بخش دانشگاهی بیشتر معطوف بر ابنیه معماری و فضاهای داخلی بوده است و در سال‌های اخیر رویکردهای توجه به آسایش حرارتی بیرونی در پژوهش‌ها بیشتر شده است. با این حال هنوز جایگاه توجه به چگونگی تغییرات هندسه شهری بر آسایش حرارتی بیرونی به عنوان عاملی برای کاهش دمای هوا و آلاینده‌های هوا شکل نگرفته است. بر این مبنا مطالعه حاضر متمرکز بر تأثیر هندسه شهری بر کاهش دمای هوای محیط و ایجاد آسایش حرارتی بیرونی در دو بافت شهری قدیمی پاچنار و بافت جدید شاهد در شهر مشهد است که در بخش

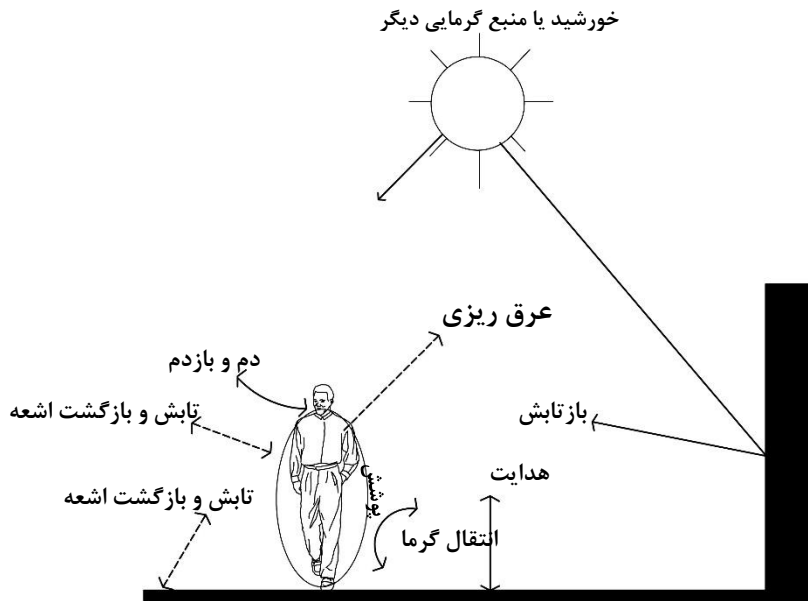
۳. آسایش حرارتی

مطالعات مختلفی در ارتباط با شاخص‌های حرارتی اقلیم و ارتباط میان بدن انسان و محیط پیرامون صحبت شده است و پژوهش‌های مختلفی نیز به ارزیابی احساس و آسایش حرارتی در محیط‌های مختلف سکونتی پرداخته است. این تحقیقات در محیط‌های مختلف فضاهای درونی^{۱۰} و فضاهای بیرونی^{۱۱} انجام پذیرفته است؛ که از این‌بین بررسی‌های فضاهای داخلی بیشترین ارزیابی را به خود اختصاص داده است درحالی‌که به فضاهای بیرونی به نسبت کمتر توجه شده است (Hoppe, 2002).

مفهوم آسایش حرارتی در ۱۹۷۴ توسط فانگر^{۱۲} مطرح می‌شود و از آن زمان تاکنون در فضاهای داخلی ساختمان‌های مختلف مسکونی، اداری، درمانی و غیره مورد پژوهش بوده است. این کلیدواژه در سال ۲۰۰۳ با مطالعات اسپانگلو دی دیر^{۱۳} با تعمیم شاخص‌های آسایش حرارتی داخلی به آسایش حرارتی بیرونی، وارد مقیاس فضاهای بیرونی شد و از آن به بعد پژوهش‌های مختلف در فضاهای باز و اقلیم‌های مختلف متمرکز شده‌اند.

جامعه مهندسان گرمایش، سرمایش و تهویه مطبوع آمریکا احساس آسایش حرارتی انسان را موقعیت استخراج ابراز رضایت از آسایش محیطی تعریف می‌کنند که توسط ارزیابی ذهنی به دست می‌آید. احساس و ادراک از آسایش با وضعیت جسمی فرد، تبادل حرارتی بدن با محیط اطراف و خصوصیات فیزیولوژیکی ارتباط دارد که تبادل حرارت بین فرد و محیط اطرافش متأثر از پارامترهایی نظیر دمای هوا، رطوبت نسبی، تابش حرارتی (خورشیدی و تابشی)، جریان هوا، میزان لباس، سطح فعالیت، تماس مستقیم با سطوح است (ASHRAE, 2009c). بدن انسان از طریق سوخت‌وساز، تبادل حرارتی با محیط (عمدتاً توسط تابش و همرفت) و از دست دادن حرارت به وسیله تبخیر مایعات بدن، حرارت تولید می‌کند.

تابستان و زمستان و با استفاده از شاخص PET به این نتیجه رسیده است که دره‌های عمیق و باریک به‌طور چشمگیری خنک‌تر از دره‌های کم‌عمق هستند و در شب‌های زمستان نیز دره‌های باریک و کم‌عمق گرم‌تر هستند. لذا در اقلیم گرم و خشک بایستی دره‌های خیلی عمیق در طراحی شهری موردنظر قرار گیرد. جیهاد و تحیری (۲۰۱۶)^۶ در مقاله‌ای تحت عنوان «مدل‌سازی تأثیر هندسه شهری بر آسایش حرارتی نمونه موردی اقلیم مراکش»، به بررسی اثر نسبت ابعاد در شار حرارتی دره‌ها و آسایش حرارتی عابران پیاده در سه منطقه اقلیمی مراکش پرداخته است و از شاخص PMV به‌عنوان مدلی برای تعیین میزان تأثیر شار گرمایی بر سطح دره‌ها برای سنجش آسایش حرارتی استفاده کرده است. یافته‌های این مقاله نشان داده است که نسبت ۱/۲ در شهر اراچیدیا، ۲/۵-۳/۴ برای اقلیم شهر آگادیر و بین ۱/۲ تا ۹ برای شهر فاس مناسب است. در پژوهش دیگر کروگر و همکاران^۷ (۲۰۱۱) در مقاله «تأثیر هندسه شهری بر آسایش حرارتی و کیفیت هوا در برزیل» با استفاده از نرم‌افزار Envi-met4 و SVF به این نتیجه رسیده است که هندسه شهری بر آسایش حرارتی بیرونی عابران پیاده در خیابان‌ها تأثیرگذار است؛ دسل و ضابطی^۸ در سال ۲۰۱۵، در مقاله‌ای با عنوان «سهم تحولات شهری فضای باز در آسایش حرارتی: تأثیر هندسه شهری و فرم شهری در آمریکا» سعی در اثبات تأثیر هندسه شهری بر آسایش حرارتی داشته‌اند. در مطالعات جدیدتر نیز، آلزافر^۹ در سال ۲۰۱۶ در رساله خود به ارتباط بین آسایش حرارتی، هندسه شهری و جزایر حرارتی پرداخته است و نشان داده است که هندسه شهری معابر و جهت‌های آن بر آسایش حرارتی بیرونی تأثیر دارد. در ایران نیز رساله‌های دکتری چون انصاری (۱۳۹۳) در حوزه معماری به تحلیل شرایط حرارتی مسکن سنتی ایران پرداخته است و کریمیان (۱۳۹۲) در رساله دکتری خود با بررسی گونه‌های مختلف فضای سبز به ارائه ضوابطی در زمینه فضاهای سبز پاسخگو به نیاز آسایش حرارتی بیرونی در شهر مشهد متمرکز شده است.



منبع: (Havenith, 1999, 290)

شکل ۱. اجزای تعادل گرمایی بدن انسان در محیط

هنگامی که اختلالات حرارتی رخ می‌دهد، این دما را حفظ کند (Djongyang et al., 2010).

۱.۳. فاکتورهای تأثیرگذار بر آسایش حرارتی

منابع مختلف، عوامل تأثیرگذار بر آسایش حرارتی را دسته‌بندی‌های مختلفی داشته‌اند. بررسی‌های نخستین فانگر (۱۹۷۲) در حیطه آسایش حرارتی فاکتورهای تغییرات روزبه‌روز، سن، ساختار بدن، تفاوت‌های جغرافیایی و همسانی حرارتی را تأثیرگذار بر آسایش حرارتی تعیین کرد است. در تقسیم‌بندی استاندارد آشرایی^{۱۴} (۲۰۰۴) فاکتورهای تأثیرگذار بر آسایش حرارتی به دودسته پارامترهای محیطی تقسیم می‌شود که شامل: دمای هوای محیط (Ta)، رطوبت نسبی (RH)، جریان باد (V) و متوسط دمای تابشی (Tmrt) و دسته‌بندی عوامل فیزیولوژیکی شامل لباس (CLO) و نرخ سوخت‌وساز (MET) تقسیم‌بندی می‌شود که فاکتورهای اقلیمی چون دمای هوا و جریان باد تأثیر مستقیمی بر روی دمای محیط و جابه‌جایی هوا دارد. این امر به‌خصوص در شهرهایی که با مشکلات ناشی از تجمع آلاینده‌های هوا مواجه هستند تأثیری زیادی

در طول استراحت طبیعی و ورزش، فرآیندهای انتقال حرارت منجر به تغییر درجه حرارت ارگان‌های حیاتی بدن می‌شود (Djongyang et al., 2010). آسایش حرارتی با چگونگی پاسخ انسان به این محیط حرارتی در ارتباط است و شامل پارامترهای فیزیولوژیکی همچون میزان عرق، ضربان قلب، دمای داخلی بدن، دمای پوست و غیره است (Dai, 2014).

فانگر (۱۹۷۰) سه پارامتر بدن انسان را برای رضایت از آسایش معرفی می‌کند:

الف. بدن در تعادل گرمایی است که در آن ورود و خروج گرما از بدن در حالت تعادل قرار گیرد؛

ب) درجه حرارت پوست و

ج) میزان عرق‌ریزی بدن انسان که در محدوده آسایش قرار دارد.

که این عددی است بین ۳۶/۵ تا ۳۷/۵ درجه، دمای پوست ۳۰ درجه سلسیوس، در سر و بدن بین ۳۴-۳۵ و بدون عرق‌ریزی است (Hensel, 1981). در این شرایط است که سیستم کنترل حرارت بدن تلاش می‌کند،

انرژی تولیدی داخل بدن M؛ جریان گرمای نهان تبخیر از طریق پوست بدن تعریق نامحسوس ED، جریان گرمای انتقالی C، انرژی بدن، ERC، مجموع جریان گرما برای گرمایش و رطوبت دهی هوا، ESW جریان انرژی ناشی از تعریق و تبخیر، S ذخیره جریان گرما برای گرمایش و سرمایش توده و جرم بدن است. شاخص PET به‌عنوان شاخصی که تعادل گرمایی بدن انسان را در نظر می‌گیرد در این پژوهش استفاده شده است. مزیت اصلی PET نسبت به سایر شاخص‌ها به دلیل ارائه آن برحسب سلسیوس است و می‌تواند به صورت روزانه و حتی ساعتی ارزیابی شود. از سویی دیگر در سنجش آسایش حرارتی بیرونی در مطالعات بسیار زیادی استفاده شده است. شاخص PET بر مبنای مدل تعادل انرژی مطرح می‌شود. با تحقیقات مایر و هوپ (۱۹۸۷)^{۲۵} و هوپ (۱۹۹۹) این شاخص تراز گرمایی در شرایطی معمول محیط داخلی شکل می‌گیرد که قابلیت تعمیم به محیط‌های بیرونی را در شرایط پیچیده مختلفی داراست. در جدول (۱) ارزش PET با دمای ۲۳ درجه سلسیوس، به‌عنوان محدوده آسایش شناخته شده است. این شاخص چهار پارامتر محیطی تأثیرگذار بر آسایش حرارتی از قبیل دمای هوا، میانگین دمای تابشی، رطوبت و جریان هوا را در نظر می‌گیرد.

دارد. در دسته‌بندی که از کلاسی^{۱۵} (۲۰۰۸) داشته است عوامل تأثیرگذار بر آسایش حرارتی به سه دسته محیطی، انسانی و عوامل مشارکتی طبقه‌بندی شده است. از مطالعات انجام گرفته می‌توان دریافت که به‌طور کلی سه رویکرد مختلف با توجه به فاکتورهای تأثیرگذار در مواجهه با آسایش حرارتی وجود دارد: بررسی آسایش حرارتی از لحاظ بار روانی، حرارت فیزیولوژیکی و دیگری بر اساس تعادل گرمایی بدن انسان است (Hoppe, 2002). که در این بین فاکتور تعادل گرمایی بدن انسان بیشتر تحت تأثیر پارامترهای محیطی و اقلیمی قرار دارد.

شاخص‌های اندازه‌گیری آسایش حرارتی را می‌توان در دودسته طبقه‌بندی کرد. شاخص‌های ساده و تجربی که شامل چندین عنصر اقلیمی است، همانند (WCI،^{۱۹}OP،^{۱۸}HOP،^{۱۷}RT،^{۱۶}ET) که در طبقه‌بندی نخستین قرار می‌گیرند. دسته دوم دسته‌بندی‌های پیچیده تحلیلی شامل (PMV^{۲۱}، SET^{۲۲}، هستند (Ali- Toudert, 2005, Oliver, 2005, Yilmaz et al., 2013). مدل‌های دسته دوم بر اساس تعادل انرژی (MEMI^{۲۴}) به کار گرفته می‌شود که معادله این تعادل انرژی برای بدن انسان عبارت است از:

$$M + W + R + C + ED + ERC + ESW + S = O$$

تابش خالص R، کار فیزیکی W، میزان سوخت‌وساز یا

جدول ۱. دمای معادل فیزیولوژیکی PET، احساس حرارتی و درجه استرس فیزیولوژیکی منبع (Matzarakis and Mayer, 1996, 8)

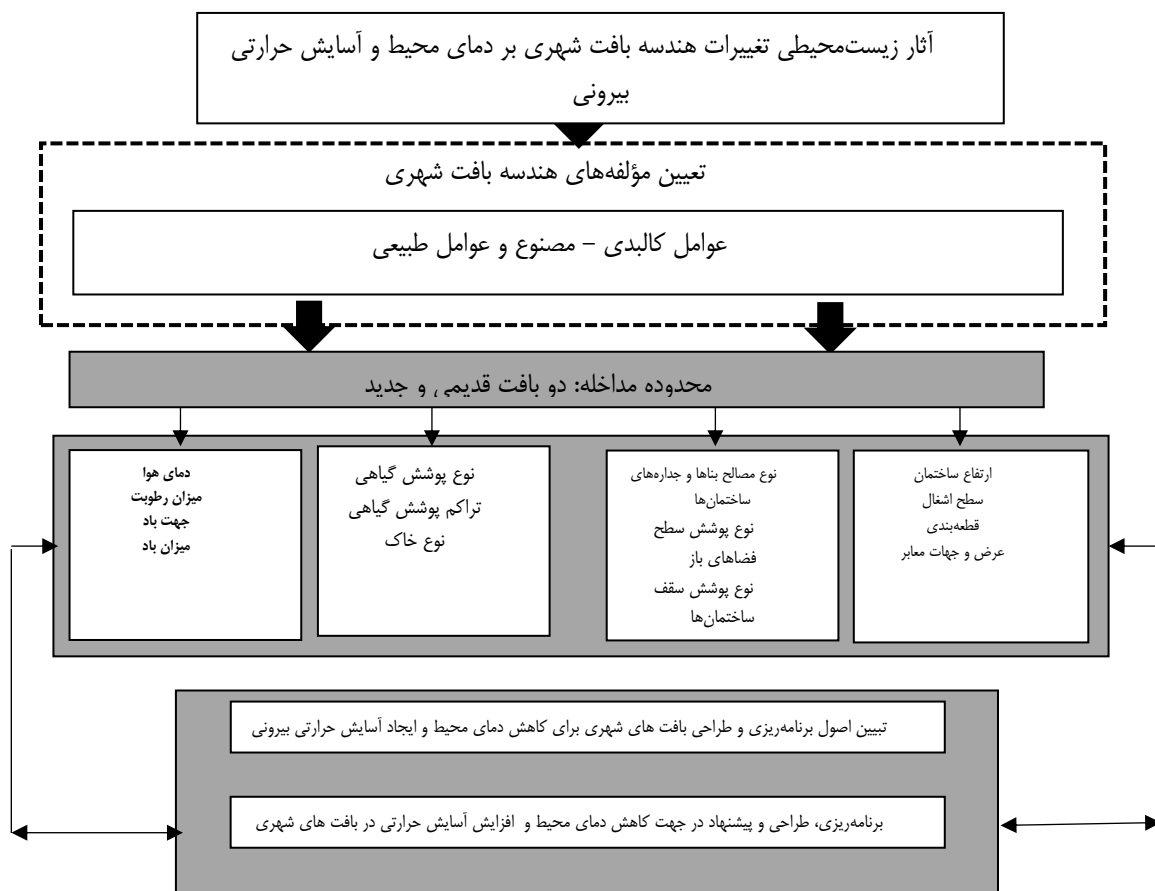
درجه PET	میزان احساس حرارتی	درجه استرس فیزیولوژیکی
۴	خیلی سرد	استرس سرمای زیاد
۸	سرد	استرس سرمای قوی
۱۳	سرد	استرس سرمای معتدل
۱۸	کمی سرد	استرس سرمای ملایم
۲۳	آسایش	عدم وجود استرس حرارتی
۲۹	کمی گرم	استرس گرمای ملایم
۳۵	گرم	استرس گرمایی متوسط
۳۵	داغ	استرس گرمایی قوی
۴۱	بسیار داغ	استرس گرمایی زیاد

(H/w)، فاکتور نمایانی آسمان (SVF) و جهت‌گیری خورشید تعریف می‌شود (Saud Alznafer, 2014). هندسه شهری عاملی است که در تعیین خرد اقلیم شهری نقش بسزایی دارد (Jamei et al., 2016) و می‌تواند بر روی آسایش حرارتی بیرونی تأثیرگذار باشد. این امر به دلیل سطح دسترسی این عناصر به نور خورشید و جریان باد است که بر روی آسایش حرارتی افراد در پیاده‌روه‌های شهری تأثیر بسزایی دارد (Kriiger, et al., 2011, 621,) (Saud Alznafer, 2014) علاوه بر این، پارامترهای طراحی از قبیل مصالح ساختمانی، تأثیر توده حرارتی، گیاهان، آب، انواع سایه‌بان و یا کنترل آفتاب نیز بر ایجاد آسایش حرارتی در محیط‌های شهری تأثیرگذار است (Abreu-Harbich et al., 2014).

همان‌طور که گفته شد آسایش حرارتی اغلب به شرایط ذهنی فرد ارتباط دارد و می‌تواند بیانگر رضایت و یا نارضایتی از محیط باشد؛ اما علاوه بر ویژگی‌های فردی، عوامل محیطی و عناصر مصنوع ساخته‌شده در شهرها نیز، بر آسایش مؤثر است و انسان‌ها همواره برای ایجاد محیطی دارای آسایش تلاش کرده‌اند که این امر از تاریخ باستان تاکنون در ساخت‌وسازهای سستی در سراسر جهان منعکس شده است (Esther & Sagada, 2014).

۴. هندسه شهری

عناصر مرفولوژی شهری نظیر ارتفاع ساختمان، نوع ساختمان، سطح اشغال، قطعه بندی، اندازه بلوک، شکل بلوک، تراکم ساختمانی هستند (Ünlü, 2011) که هندسه شهری به‌عنوان بخشی از ریخت‌شناسی شهری که مؤثر بر آسایش حرارتی است؛ با سه متغیر نسبت ارتفاع به عرض

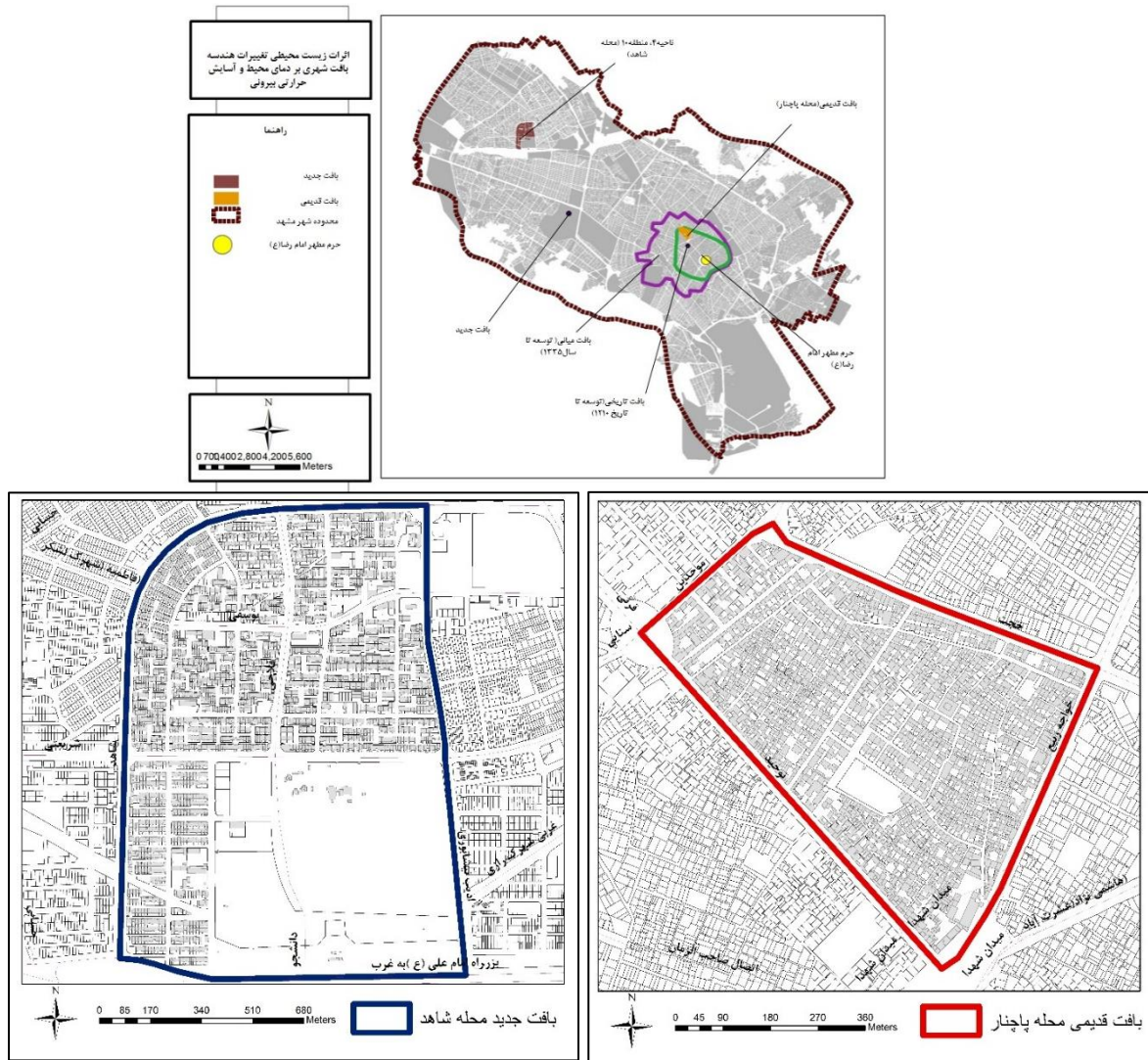


نمودار ۱. مدل مفهومی چارچوب نظری مقاله

۵. معرفی محدوده مورد مطالعه

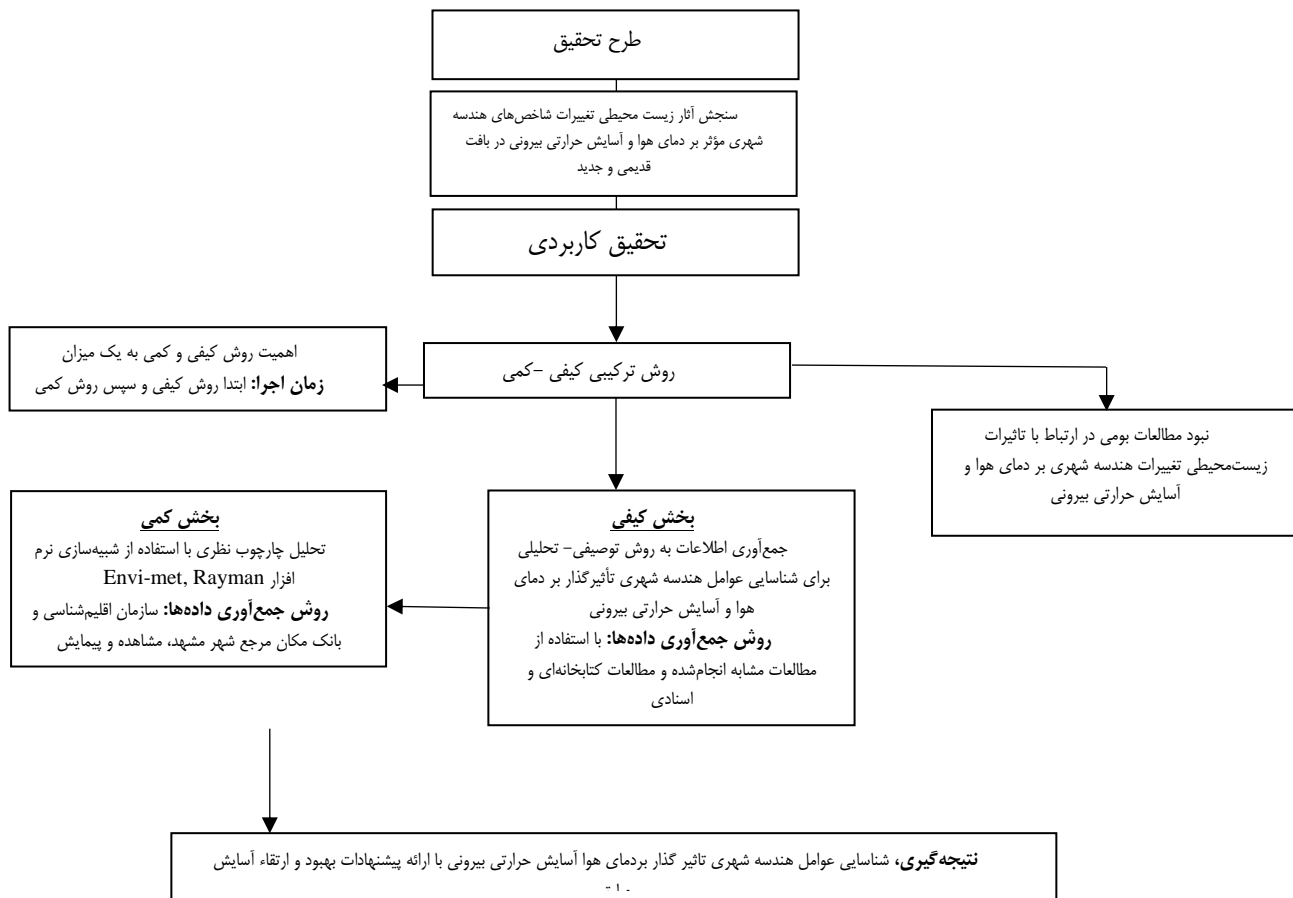
شهر مشهد در مختصات جغرافیایی $36^{\circ}20'N$, $59^{\circ}53'E$ واقع شده است و بر اساس سیستم طبقه‌بندی کوپن، در آب‌وهوای منطقه خشک قرار دارد و از تابستان‌های گرم و خشک برخوردار است. آمارهای هواشناسی در سال ۲۰۱۶ نشان می‌دهد که میانگین گرما در ماه خرداد ۲۶/۷۴ و در ماه تیر ۲۸/۸۱ است. دمای هوا در تابستان به حداکثر ۴۰/۴ و در فصل زمستان به حداقل ۴/۸- می‌رسد.

در میان پارامترهای طراحی شهری نسبت ارتفاع به عرض H/W و جهت‌گیری معابر بر شدت شرایط محیطی در شهرها تأثیرگذار است و سبب اصلاح شرایط خرد اقلیمی در جهت‌های مختلف خیابان‌های شهری می‌شود (Abreu-Harbich et al., 2014, Rodríguez Algeciras et al., 2016). لذا شهرها برای تفاوتی که در متغیرهای اقلیمی شهر (دمای هوا، رطوبت، سرعت و جهت باد، مقدار بارش) با نواحی کم‌تراکم‌تر اطراف دارند (در پارامترهای مختلف شهری)، شرایط اقلیمی خاصی را تجربه می‌کنند (Lilly Rose and Devadas, 2009)



شکل ۲. محدوده‌های مورد مطالعه

منبع: نگارندگان با اقتباس از اطلاعات بانک مکان مرجع مشهد GIS



نمودار ۲. طرح تحقیق

منبع: نگارندگان

تا حدودی این ساختار را داراست؛ انتخاب شد و محله جدید، محله شاهد از بافت جدید واقع در منطقه ده شهرداری مشهد، از محله‌های طرح‌های آماده‌سازی زمین در شهر مشهد است. خیابان‌های ادیب نیشابوری، شاهد و بزرگراه امام علی (ع) از اطراف این محله عبور می‌کنند. جهت‌گیری خیابان‌ها در این دو بافت به صورت شمالی-جنوبی و شرقی-غربی است.

۶. مواد و روش‌ها

روش تحقیق پژوهش با توجه به ماهیت موضوع، از نوع کاربردی و مبتنی بر دو بخش است. در بخش نخست برای تدوین چارچوب نظری از روش اسنادی استفاده شده است. به این ترتیب که با رجوع به مقاله‌ها، رساله‌ها و کتاب‌ها به وسیله یادداشت‌برداری، اطلاعات موردنیاز برای فهم

میزان بارندگی بیشتر در فصول بهار است حال آنکه در تابستان هوا کاملاً خشک است و میزان تابش خورشید در تابستان حداکثر ۱۳/۶ ساعت است.^۱ دلیل انتخاب شهر مشهد با توجه به بافت‌های شهری متفاوت از دوره‌های مختلف زمانی است. در تقسیم‌بندی کلی می‌توان بافت‌های مسکونی شهر مشهد را به بافت درونی (قدیمی) و بافت جدید تقسیم‌بندی کرد. برای انجام تحقیق دو بافت محله براساس محله‌بندی شهرداری مشهد انتخاب شد. در انتخاب محله واقع در بافت قدیمی سعی شد محله‌ای انتخاب شود که واقع در بافت تاریخی و قدیمی شهر مشهد است و ساختار کالبدی آن تا حدودی حفظ شده باشد؛ که محله پانچار واقع در منطقه ثامن شهرداری مشهد

۱. هواشناسی خراسان رضوی

نرم‌افزار شامل: دمای هوا، جریان هوا در اطراف ساختمان، گرما و جریان در سطح زمین و سطوح دیوار و انتقال حرارت در پوشش گیاهی است و از جمله ایرادات این نرم‌افزار عدم در نظرگیری توده حرارتی داخلی ساختمان است (Emmanuel et al., 2007) در این پژوهش بیشتر شبیه‌سازی در تابستان (ماه مرداد) و بر اساس داده‌های ایستگاه هواشناسی شهر مشهد انجام شده است. این شبیه‌سازی در روز ۲۸ مرداد ۱۳۹۶ و در بازه زمانی طلوع و غروب خورشید بین ساعات ۶ صبح تا ۲۰ به وقت محلی که بیشترین دمای هوا را شامل می‌شود، انتخاب شده است.

۲.۶. معرفی نرم‌افزار Rayman و روش محاسبه دمای فیزیولوژیکی PET

ریمن نخست توسط ماتزاراکیس^{۲۶} ابداع شد و سپس توسط انجمن مهندسان آلمان (VDI) در سال ۱۹۹۸ توسعه یافته است. هدف از این مدل، محاسبه تراکم شار تابشی، مدت زمان تابش آفتاب و سایه فضاها با استفاده از یکسری داده‌های ورودی منتج شده از اطلاعات هواشناسی محدود است.

۱.۲.۶. ورودی داده‌های Rayman

این مدل، شار تابش را در محیط‌های ساده و پیچیده و بر مبنای چند پارامتر مختلف محاسبه می‌کند:

داده‌های توپوگرافی شامل طول و عرض جغرافیایی و ارتفاع محل ایستگاه هواشناسی.

داده‌های هواشناسی مانند دمای هوا، فشار بخار، رطوبت هوا، سرعت نسبی، میزان ابرناکی آسمان.

داده‌های انسانی: قد، وزن، سن، جنسیت.

داده‌های مربوط به پوشش، فعالیت.

داده‌های مرفولوژیکی محیطی شامل ساختمان‌ها، درختان همیشه‌سبز و خزان‌پذیر.

امکان واردکردن طراحی‌های دستی و عکس‌هایی با فرمت چشم ماهی برای محاسبه عامل چشم‌انداز آسمان. (Matzarakis et al., 2007).

ادبیات موضوعی و همچنین مطالعات انجام گرفته در حوزه سؤال پژوهش گردآوری شده است و سپس با استفاده از روش‌های توصیفی و تحلیلی نسبت به تهیه و تدوین چارچوب مفهومی پژوهش اقدام شده است. در بخش بعدی پژوهش، مطالعه نمونه موردی و استخراج نقشه‌ها با استفاده از GIS صورت گرفته است. از روش پیمایشی و برداشت اطلاعات اقلیمی از سازمان اقلیم‌شناسی شهر مشهد برای گردآوری داده‌های اقلیمی استفاده شده است. در راستای شناسایی تأثیرات مؤلفه‌های تأثیرگذار هندسه شهری بر آسایش حرارتی از نرم‌افزار Envi-met 4 استفاده شده است که نتایج حاصل از این نرم‌افزار، برای تحلیل میزان آسایش حرارتی بیرونی در نرم‌افزار Rayman تحلیل شده است.

۱.۶. معرفی نرم‌افزار ENVI-MET و روش انجام شبیه‌سازی

برای سنجش تأثیر تغییرات هندسه‌های شهری مختلف بر دمای هوا، خرد اقلیم و آسایش حرارتی بیرونی از نرم‌افزار ENVI-Met استفاده می‌شود (Bruse, 2015). این نرم‌افزار وسیله مناسبی برای برنامه‌ریزان دپرر در آنالیز و پیش‌بینی تأثیر فاکتورهای مختلف بر آسایش حرارتی است (Mahdavinjad et al., 2013). آن وی مت، مدلی سه‌بعدی است که عناصر اتمسفری که بر روی خرد اقلیم تأثیر می‌گذارد، را دنبال می‌کند؛ و به نوعی شبیه‌ساز جریان باد، تابش، رطوبت، درجه حرارت و سایر پارامترهای دینامیکی و ترمودینامیکی محیط‌های شهری است (Monsefi Parapari, 2015) و قادر به شبیه‌سازی ارتباط میان سطوح مختلف شهری، پوشش گیاهی و اتمسفر است، همچنین برای سنجش میزان تأثیرات تغییرات مقیاس کوچک در طراحی شهری در خرد اقلیم‌های شهری نیز استفاده می‌شود (Bruse, 1999). این نرم‌افزار مبتنی بر توده‌های ساختمانی و مصالح بکار رفته در فضاها و باز و همچنین پوشش گیاهی است. مراحل شبیه‌سازی این

۴.۶. کالیبره کردن مدل

برای قابل اعتماد بودن نتایج شبیه‌سازی، بایستی مدل را کالیبره کرد. برای این امر براساس مدلی واقعی که اطلاعات اقلیمی آن در دسترس است مدل‌سازی انجام شده است. اطلاعات واقعی از ایستگاه هواشناسی شهر مشهد بر مبنای ۲۴ ساعت گرفته شد و هر دو ساعت یکبار این اطلاعات در شهر بررسی شدند. نمونه مشابه در نرم‌افزار Envi met 4 مدل شده و شبیه‌سازی برای ۱۴ ساعت (۶ صبح تا ۸ شب) انجام گرفت و اطلاعاتی همچون رطوبت خاک، به‌عنوان پیش‌فرض نرم‌افزار وارد مدل‌سازی شد. مدت‌زمان شبیه‌سازی ۱۴۴ ساعت به طول انجامید و خروجی‌های داده شده به نرم‌افزار هر ۳۰ دقیقه یکبار انجام گرفت. در هر مدل چهار رسپتور^۱ برای محاسبه آسایش حرارتی در نرم‌افزار انتخاب شد و اطلاعات اقلیمی بر اساس دمای هوا (Ta)، رطوبت نسبی (RH)، سرعت باد (Ws) و جهت باد (Wd) برای ۶ ساعت صبح وارد نرم‌افزار شد و پس‌از آن خروجی شبیه‌سازی خرد اقلیم به نرم‌افزار Rayman وارد شد تا میزان دمای معادل فیزیولوژیکی PET به دست آید.

۳.۶. ارزیابی خرد اقلیم و آسایش حرارتی بیرونی

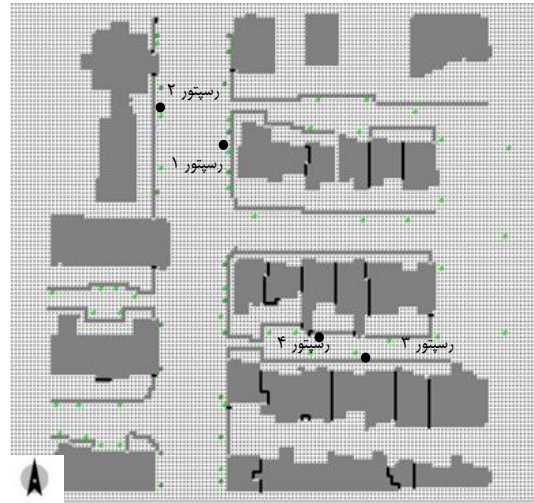
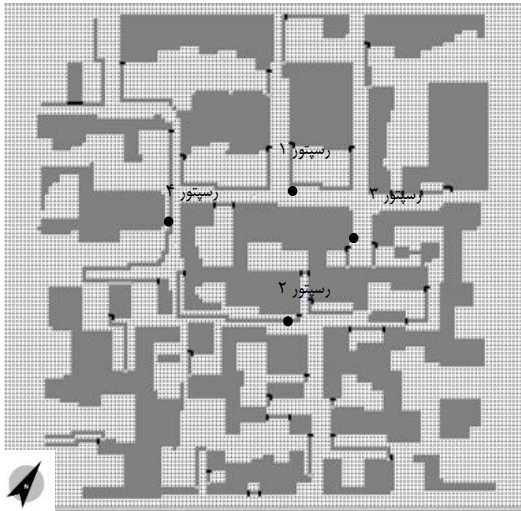
به دلیل وسعت استفاده زیاد از شاخص PET در مطالعات مختلف اقلیمی و راحتی بیان برای میزان آسایش حرارتی بیرونی افراد، در این مقاله شاخص PET محاسبه شده است (Höppe, 1999). از آنجایی که این اعداد برای ایران و به‌خصوص شهر مشهد بومی نشده‌اند. محدوده عدد ۲۳ براساس مطالعات ماترازیکیس و مایر (۱۹۹۶)^{۲۷} به‌عنوان محدوده آسایش حرارتی معرفی می‌شود. از سویی دیگر درختان نقش مهمی را در این مطالعه به خود اختصاص داده‌اند. در این مقاله پوشش سبز با میزان درصد پوشش چتر درختان سنجش شده است. مشاهدات میدانی در بافت‌های مورد مطالعه نشان می‌دهد که پوشش درختان در بافت قدیمی پانچار وجود ندارد و بافت جدید شاهد پوشش درختان بیشتری را داراست. شبیه‌سازی انجام گرفته در Envi-met نیز بر اساس مشاهدات میدانی از میزان تراکم این درختان صورت گرفته است که به آن شاخص سطح برگ (LAI)^{۲۸} گفته می‌شود (Meir et al., 2000). بر این مبنای درختان با تراکم با طول ۱۵ متر (LAI=9.53) به‌عنوان درختان با چتر بزرگ و بسیار متراکم، درختان با طول ۱۰ متر و (LAI=4.73) به‌عنوان درختان با تراکم و فضای سبز با ارتفاع کمتر از ۰/۱ متر (LAI=0.03) فضای سبز کم تراکم استفاده شده است (Yahia et al., 2017).

جدول ۲. اطلاعات کالبدی محل استقرار رسپتورها^۱

بافت	جهت معابر	شماره رسپتور	میانگین ارتفاع ساختمان‌ها	متوسط فاصله بین ساختمان‌ها	H/W
قدیمی	شرقی-غربی	۱	۶	۳	۳
	شرقی-غربی	۲		۴	۱/۵
	شمالی-جنوبی	۳		۴	۱/۵
	شمالی-جنوبی	۴		۳	۲
جدید	شمالی-جنوبی	۱	۱۲ و ۱۵	۲۰	۰/۶
	شمالی-جنوبی	۲		۲۰	۰/۶
	شرقی-غربی	۳		۶/۵	۱/۸۷
	شرقی-غربی	۴		۶/۵	۱/۸۷

منبع: نگارندگان

1. Receptor: نقاط انتخابی در داخل محدوده مدل که بر مبنای این نقاط عوامل جوی و خاک با جزییات کنترل می‌شوند.



شکل ۳. محل قرارگیری رستپورها قبل از شبیه‌سازی (بافت جدید شاهد در سمت راست، بافت قدیمی پاچنار در سمت چپ)

منبع: نگارندگان

توزیع MRTs را در بین 40°C و $8/9^{\circ}\text{C}$ و بافت قدیمی پاچنار بین 44°C و $8/7^{\circ}\text{C}$ داشته است در واقع Δ MRTs در بافت جدید $31/1^{\circ}\text{C}$ و در بافت قدیمی پاچنار برابر $35/3^{\circ}\text{C}$ است که نشان می‌دهد میزان تابش سطوح در بافت قدیمی بیشتر از بافت جدید است.

جریان باد یکی از پارامترهای اقلیمی تأثیرگذار بر کم شدن دمای هوا و به تبع آن کاهش تجمع آلاینده‌های هوا است با وجود تفاوت بین ارتفاع ساختمان‌ها و فاصله بین ساختمان‌ها و جهات معابر در بافت قدیمی پاچنار، میانگین سرعت باد در این محدوده تغییرات چشمگیری را ندارد. این امر به خصوص در معابر دارای نرخ بالای H/W که محصوریت زیادی را داراست، با بالاترین میزان سرعت $0/57$ متر بر ثانیه تأثیر چندانی نداشته است؛ اما در بافت جدید شاهد به دلیل نرخ پایین‌تر H/W تأثیرات باد تا حدودی بر آسایش تأثیرگذار بوده است و همان‌طور که در تصویر ۴ نشان داده شده است در معابر دارای محصوریت کمتر نرخ جریان باد حداکثر ۲ متر بر ثانیه نیز وجود دارد که تأثیرات باد در بافت جدید و در معابر دارای محصوریت کمتر قابل ملاحظه است.

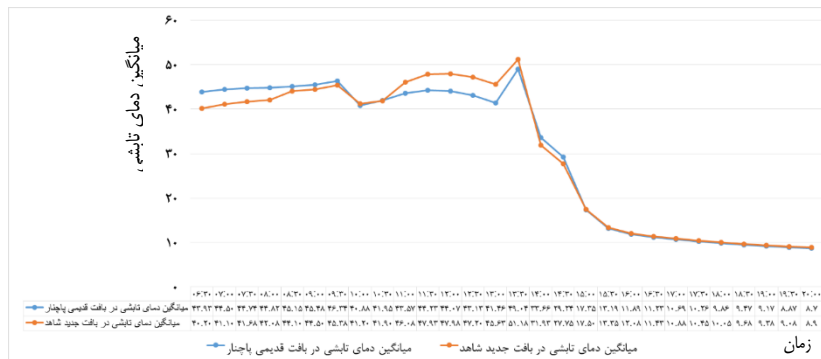
۷. نتایج

۱.۷. تجزیه و تحلیل تأثیرات عوامل کالبدی-مصنوع

و عوامل طبیعی بر آسایش حرارتی بیرونی

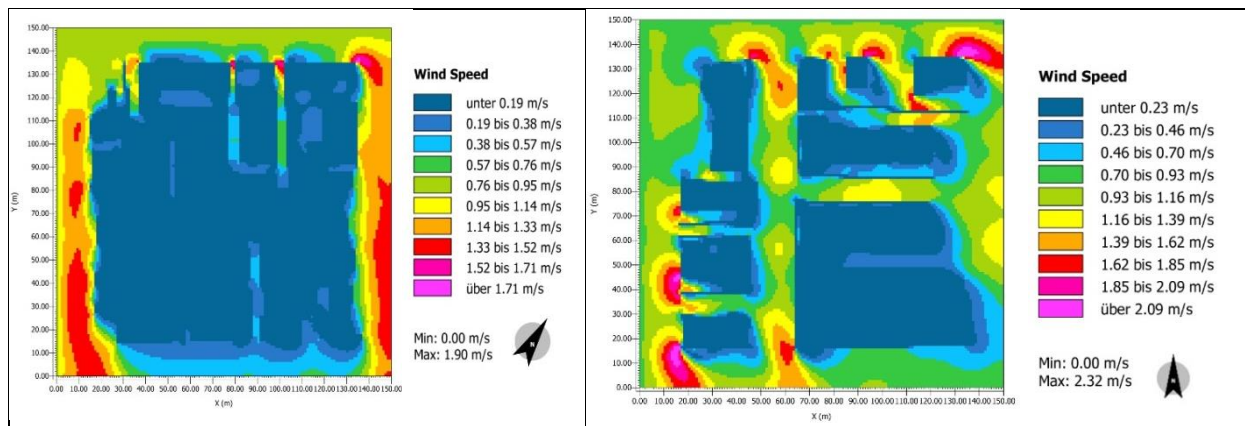
۱.۱.۷. آنالیز تأثیر میانگین دمای تابشی و باد بردمای هوا و آسایش حرارتی بیرونی

بافت قدیمی پاچنار دارای بافت و هندسه شهری فشرده و با میانگین ارتفاع ساختمان‌های ۶ متر است که معابر در این بافت به صورت ارگانیک و عرض‌های مختلف ۱ تا ۷ متر شکل گرفته است. از سویی دیگر، بافت جدید شاهد دارای بافت شهری شطرنجی و هندسه شهری معابر شرقی-غربی و شمالی-جنوبی با عرض‌های ۴ تا ۲۰ متر است و طبق ضوابط سطح اشغال ۶۰ درصد در این محدوده است. در نمودار ۳ نرخ میانگین دمای تابشی در تابستان در دو بافت قدیمی پاچنار و بافت جدید شاهد در فصل تابستان و از ساعت ۶:۳۰ تا ۲۰ نشان داده شده است. این نمودار نشان می‌دهد که بافت قدیمی با نرخ نسبت H/W و جهات معابر و دره‌های محصور نرخ کمتری از MRTs را در ساعات‌هایی از ظهر تابستان (ساعت ۱۱ تا ۱۴) داراست در حالی که در بافت جدید با نرخ نسبت H/W کمتر و معابر بازتر این نرخ در این ساعات افزایش داشته است. بافت جدید شاهد میانگین



نمودار ۳. متوسط میانگین دمای تابشی MRTs در بافت قدیمی پاچنار و بافت جدید شاهد

منبع: نگارندگان



بافت قدیم

بافت جدید

شکل ۴. بررسی جریان باد در فصل تابستان در بافت قدیمی پاچنار و بافت جدید شاهد

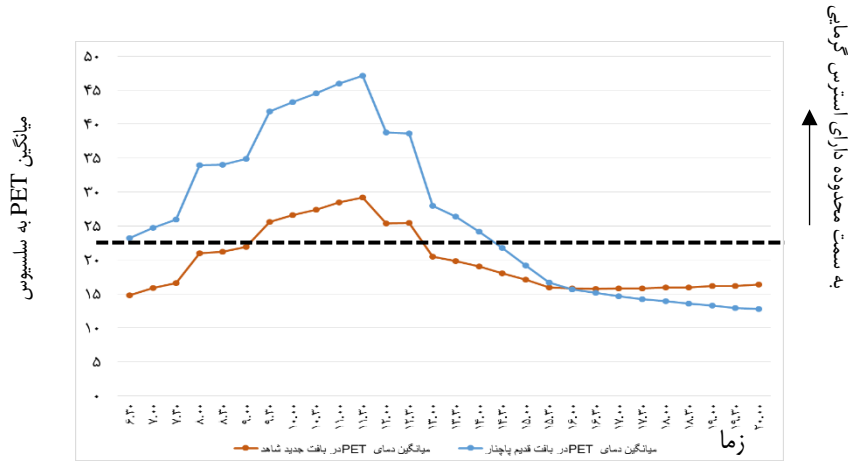
منبع: نگارندگان

می‌رود. در بافت جدید شاهد این استرس گرمایی به نسبت بافت قدیمی کمتر است به طوری که دامنه این شاخص در بین ساعات ۹:۳۰ تا ۱۳ (شاخص PET به میزان ۲۵ °C تا ۲۹ °C) عدم آسایش بیشتری را داشته و در محدوده استرس گرمایی ملایم حرکت می‌کند. به طور کلی با نگاهی به اختلاف میانگین شاخص Δ PET در ساعات ۸:۳۰ تا ۱۴ در بافت قدیمی پاچنار برابر با ۹/۹ و در بافت جدید شاهد برابر ۰/۰۵ است که حاکی از استرس گرمایی بالا در این بازه زمانی در بافت قدیمی پاچنار نسبت به بافت جدید شاهد است.

۲.۱.۷. سنجش دمای معادل فیزیولوژیکی PET در دو

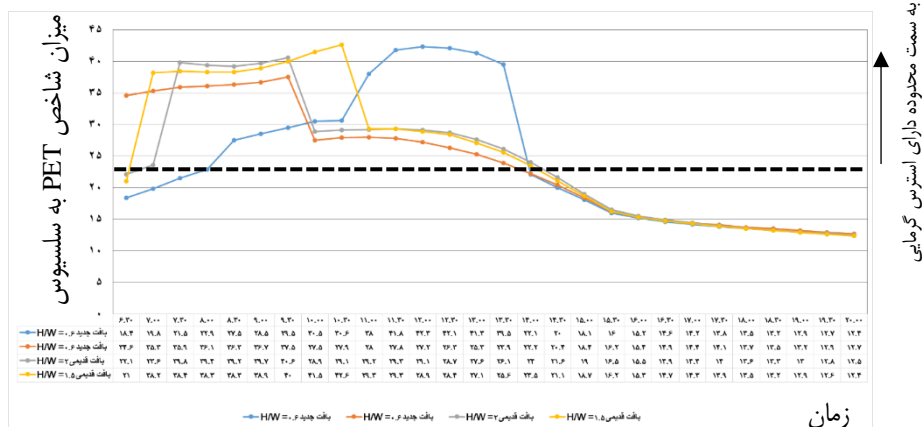
بافت قدیمی پاچنار و بافت جدید شاهد

آسایش حرارتی بیرونی در سطح عابران پیاده (۱/۵ متر) در فصل تابستان ارزیابی شده است. نمودار ۴ میانگین دمای PET در دو بافت را مقایسه کرده است. شبیه‌سازی انجام گرفته در این دو بافت نشان می‌دهد که بافت قدیمی پاچنار بین ساعات ۸ تا ۱۳:۳۰ (شاخص PET به میزان ۲۷ °C تا ۴۸ °C) و دارای استرس گرمایی است این شاخص در ساعت ۱۲ ظهر (۴۸ °C) به اوج خود نزدیک شده و به سمت استرس گرمایی قوی پیش می‌رود که با نزدیک شدن به غروب خورشید این استرس گرمایی کمتر شده و به سمت محدوده دارای آسایش حرارتی پیش



نمودار ۴. میانگین دمای شاخص PET در بافت قدیمی پاچنار و بافت جدید شاهد

منبع: نگارندگان



نمودار ۵. مقدار PET در نرخ‌های متفاوت طول به عرض در طول روز در خیابان شمالی-جنوبی واقع در بافت قدیمی پاچنار و بافت جدید شاهد

منبع: نگارندگان

میزان استرس گرمایی (حداکثر شاخص PET در ساعت ۱۰:۳۰ به میزان $42/6^{\circ}\text{C}$) در جهت شمالی-جنوبی در بافت قدیمی نسبت به دیگر رسیپتور واقع در این بافت با نرخ $H/W = 2$ بیشتر است و لذا با افزایش نسبت ارتفاع به عرض و سایه‌اندازی بیشتر آسایش حرارتی بیرونی به سمت محدوده آسایش پیش می‌رود.

تأثیر هندسه شهری بافت جدید شاهد با جهات معابر شمالی-جنوبی: تحلیل داده‌های رسیپتورهای واقع در

مقایسه آسایش حرارتی در دو بافت به صورت جداگانه و به صورت مقایسه‌ای نیز با توجه به نسبت نرخ H/W انجام شده است. یافته‌های این بخش به شرح زیر است:

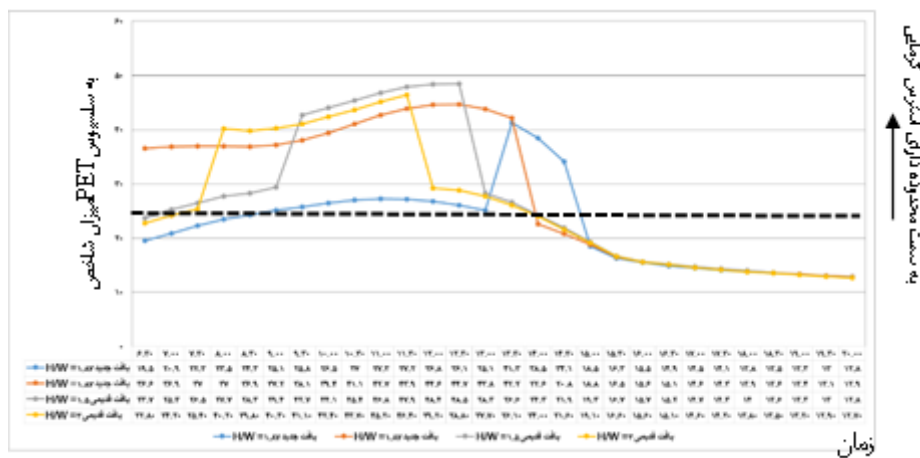
تأثیر هندسه شهری بافت قدیمی پاچنار با جهات معابر شمالی-جنوبی: تحلیل داده‌های رسیپتورهای واقع در خیابان شمالی-جنوبی بافت قدیمی (نمودار ۵) نشان می‌دهد که نرخ H/W در این بخش به‌طور متوسط $1/5$ است. یافته‌های حاصل از شبیه‌سازی حاکی از آن است که

در مقایسه با دیگر رسیپتور با نرخ $H/W=3$ بیشتر است. لذا مشاهده می‌شود که با افزایش نرخ H/W و سایه‌اندازی بیشتر آسایش حرارتی بیرونی به سمت محدوده آسایش پیش می‌رود.

تأثیر هندسه شهری بافت جدید شاهد با جهات معابر شرقی-غربی: تحلیل داده‌های رسیپتورهای واقع در خیابان شرقی-غربی بافت جدید شاهد (نمودار ۶) نشان می‌دهد نرخ نسبت H/W در این معابر یکسان بوده است (نسبت ارتفاع به عرض $1/87$) اما ضلع شمالی این معابر به دلیل قرارگیری در جهت آفتاب با حداکثر شاخص PET به میزان $42/7^{\circ}C$ آسایش حرارتی کمتری را نسبت به جهت ضلع جنوبی معبر با حداکثر شاخص PET به میزان $41/3^{\circ}C$ را داراست (هرچند این اختلاف ناچیز و قابل چشم‌پوشی است).

خیابان شمالی-جنوبی بافت جدید شاهد (نمودار ۵) نشان می‌دهد نرخ نسبت H/W در این معابر یکسان بوده است اما قسمت غربی این معابر به دلیل قرارگیری در جهت نور خورشید (ضلع غربی) با حداکثر شاخص PET به میزان $37/5^{\circ}C$ آسایش حرارتی کمتری را نسبت به جهت دیگر (ضلع شرقی) با حداکثر شاخص PET به میزان $42/3^{\circ}C$ را داراست به طوری که استرس گرمایی آن نزدیک به معابر مشابه بافت قدیمی پاچنار شده است و لذا آسایش حرارتی در ضلع غربی آفتاب‌گیر کم‌تر از ضلع شرقی است.

تأثیر هندسه شهری بافت قدیمی پاچنار با جهات معابر شرقی-غربی: تحلیل داده‌های رسیپتورهای واقع در خیابان شرقی-غربی بافت قدیمی (نمودار ۶) نشان می‌دهد که نرخ $H/W=1.5$ دارای میزان استرس گرمایی با حداکثر شاخص PET در ساعت $12:30$ به میزان $48/5^{\circ}C$ است که



نمودار ۶. مقدار PET در نرخ‌های متفاوت طول به عرض در طول روز در خیابان شرقی-غربی واقع بافت قدیمی پاچنار و بافت جدید شاهد
منبع: نگارندگان

- وجود جریان باد به‌عنوان یکی از پارامترهای تأثیرگذار بر آسایش حرارتی نشان داد که در معابر علاوه بر سایه‌اندازی، حرکت باد می‌تواند سبب ارتقاء سطح آسایش شود.
- اگر درجه محصوریت معبر پایین باشد، نیاز به پوشش گیاهی مناسب برای تأمین آسایش حرارتی بیرونی است.

- به‌طورکلی بررسی‌های پارامترهای هندسه شهری مؤثر بر آسایش حرارتی بیرونی در دو بافت نشان می‌دهد که:
- علی‌رغم محصوریت بالا و نسبت بالای نرخ H/W در بافت قدیمی پاچنار، وجود پوشش گیاهی و توجه به مصالح به کار گرفته‌شده در ساختمان‌ها و سطح معابر اهمیت زیادی در ایجاد آسایش حرارتی بیرونی دارد.

می‌تواند در حرکت آلاینده‌های هوا و جلوگیری از تجمع آن‌ها نقش بسزایی را ایفا کند. شاخص مورد بررسی دیگر میانگین دمای تابشی (MRT) است که فاکتور مهمی در ایجاد تعادل گرمایی انسان است. نتایج نشان می‌دهد که میانگین دمای تابشی در بافت جدید نسبت به بافت قدیمی در ساعات اوج گرما بیشتر بوده است که نشان‌دهنده بالا بودن میزان بازتابش گرما به بدن انسان در بافت جدید نسبت به بافت قدیمی است. مناطق سبز و درختان پارامتر دیگری است که بر آسایش حرارتی بیرونی تأثیر دارد. در بافت قدیمی پاچنار به دلیل دره‌های باریک و عمیق، فضای سبز و درختی وجود نداشته است حال‌آنکه در بافت جدید، رنج وسیعی از درختان با چترهای مختلف مورد شبیه‌سازی قرار گرفتند. نتایج مشابه نقاط دارای فضای سبز در بافت قدیمی و جدید نشان می‌دهد که وجود فضای سبز باعث کاهش دمای هوا و ایجاد آسایش حرارتی شده است. با توجه به بررسی‌ها و خروجی‌های نرم‌افزاری نشان می‌دهد که میزان شاخص دمای معادل فیزیولوژیکی PET در بافت جدید در محدوده آسایش حرارتی بیشتری بوده است که عمده دلیل آن به لحاظ وجود باد در معابر و همچنین وجود درختان و گیاهان است. بر اساس یافته‌های پژوهش، به‌طور کلی می‌توان گفت تأثیرگذاری قابل‌توجه هندسه معابر از قبیل نسبت ارتفاع به عرض و همچنین وجود پوشش گیاهی بر آسایش حرارتی بیرونی اثبات شده است و باعث کاهش تنش حرارتی در بافت‌های نمونه می‌شود. لذا پیشنهادها در این بخش حاکی از آن است که همواره ترکیب فضاهای سبز و نسبت ارتفاع به عرض سبب ارتقاء احساس حرارتی بیرونی می‌شود. این نتایج با بررسی‌های هاربیچ و همکاران (۲۰۱۴)^{۳۱} همخوانی داشته است. برنامه‌ریزی، طراحی و پیشنهاد براساس افزایش آسایش حرارتی در بافت‌های شهری نمونه به شرح زیر است:

- استفاده از پوشش گیاهی در بافت قدیم پاچنار.
- استفاده از درختان با چتر متراکم در ضلع غربی معابر شمالی-جنوبی بافت شاهد جهت ایجاد سایه‌اندازی.

۱. بحث و نتیجه‌گیری

مطالعات در این پژوهش نشان می‌دهد که مقدار PET با نرخ H/W نسبت عکس دارد و عوامل هندسه شهری همچون نرخ H/W و سایه‌اندازی حاصل از آن نقش مهمی را در ایجاد آسایش حرارتی بیرونی ایفا می‌کند. شبیه‌سازی‌های انجام‌گرفته در بافت پاچنار حاکی از آن است که هرچه قدر نسبت ارتفاع به عرض بالاتر می‌رود میزان شاخص PET بهبود یافته و عابران پیاده در محدوده نزدیک به آسایش حرارتی بیرونی قرار می‌گیرند که این امر به دلیل وجود دره‌های عمیق و باریک در بافت قدیمی حاصل شده است. بررسی‌ها در بافت جدید شاهد نیز مؤید این موضوع است که هرچه قدر نسبت هندسه ارتفاع به عرض بیشتر شود، میزان آسایش حرارتی بیرونی و شاخص PET نیز بهبود می‌یابد. به‌طوری‌که این اختلاف دمایی شاخص PET تا ۱۵ درجه سانتی‌گراد تغییرات داشته است؛ بنابراین اهمیت نسبت هندسه شهری ارتفاع به عرض در معابر هرچه قدر بالاتر رود دمای هوا کمتر شده و آسایش حرارتی نیز ارتقاء می‌یابد که این نتیجه با مطالعات گذشته امانوئل و همکاران (۲۰۰۷)^{۲۹}، سعود آلزافر (۲۰۱۴) یانگ و همکاران (۲۰۱۵)^{۳۰} و رودریگز و همکاران (۲۰۱۶) هم‌خوانی دارد. از سویی دیگر تأثیرات تغییرات جهات معابر به‌عنوان پارامتر مهم هندسه شهری بر کاهش دما و ارتقاء آسایش حرارتی بیرونی نشان می‌دهد که معابر به دلیل تفاوت بافت‌ها و هندسه‌ای که دارد در این نمونه قابلیت شناسایی جهت مناسب را ندارد و تأثیر جهت معابر بر PET با افزایش سایه‌اندازی در این بررسی کمتر شده یعنی اگر سایه‌اندازی بیشتر شود؛ جهت خیابان تأثیر زیادی بر دمای هوا و آسایش حرارتی ندارد. در ارتباط با نقش باد در این پژوهش، به دلیل هندسه دره‌های عمیق و باریک واقع در بافت قدیمی این پارامتر قابل‌چشم‌پوشی است درحالی‌که در بافت جدید به دلیل هندسه دره‌های باز و کم‌عمق جریان باد نقش قابل‌توجهی را در کاهش دمای هوا و ایجاد آسایش حرارتی بیرونی داشته است این امر

5. Johansson
6. Jihad & jihad
7. Krüger, Minella, & Rasia
8. Zabeti Targhia & Dessel
9. Saud Alznafer
10. Indoor
11. Outdoor
12. Fonger
13. Spagnolo and de Dear
14. Ashrae
15. Szokolay
16. Effective Temp
17. Resultant Temp
18. Humid Operative Temp
19. Operative Temp
20. Wind Chill Index
21. Predicted Mean Vote
22. Physiol. Equiv.Temp
23. Stand.Eff.Temp
24. Munich Energy Balance Model For Individuals
25. Mayer & Höppe
26. Matzarakis
27. Matzarakis & Mayer
28. Leaf Area Index
29. Emmanuel, R., Rosenlund, H., & Johansson, E
30. Yang, W., Wong, N.H. and Lin, Y
31. Abreu-Harbich et al

- جهت‌گیری مطلوب ساختمان‌ها نسبت به باد مطلوب (زاویه برخورد ۳۰ درجه به ساختمان) در بافت پانچنار در ساخت‌وسازهای آتی.
- استفاده تلفیقی از هندسه معابر دارای نرخ ارتفاع به عرض مختلف در بافت‌ها در ایجاد سایه‌اندازی و عبور باد در معابر
- پیشنهاد می‌شود در پژوهش‌های آتی نسبت به بررسی هندسه‌های شهری مشابه در بافت‌های میانی توسعه و مقایسه آن با بافت‌های جدید و قدیمی در اقلیم‌های مختلف برای ارائه راهکارهای کاربردی و همچنین بررسی و اندازه‌گیری دقیق‌تر میزان تغییرات آلاینده‌ها در این بافت‌ها در راستای کمک به طراحان و برنامه‌ریزان صورت گیرد.

یادداشت‌ها

1. Urban Geometry
2. Urban Canyon
3. Outdoor Thermal Comfort
4. Fazia Ali Toudert

منابع

- انصاری، م. ۱۳۹۳. برهم‌کنش عوامل منظر پرداز در تحلیل شرایط حرارتی مسکن سنتی ایران (نمونه مورد بررسی خانه‌های سنتی یزد)، پایان‌نامه دکتری رشته معماری، دانشگاه تربیت مدرس، تهران.
- کریمیان، ز. ۱۳۹۲. بهینه‌سازی فضای سبز شهری به منظور آسایش دمایی گرم‌ترین دوره سال با استفاده از روش‌های مدل‌سازی، پایان‌نامه دکتری رشته علوم باغبانی - گیاهان زینتی، دانشگاه فردوسی، مشهد.
- Abreu-Harbich, L. V., Labaki, L. C. and Matzarakis, A. 2014. Thermal bioclimate in idealized urban street canyons in Campinas, Brazil, *Theoretical and Applied Climatology*, 115(1-2): 115-223.
- Ali-Toudert, F. 2005. Dependence of Outdoor Thermal Comfort on Street Design in Hot and Dry Climate", institute of meteorology. PhD Thesis.
- Ashrae 2004. Thermal Environmental Conditions for Human Occupancy. ASHRAE Standard 2004-55. Atlanta, USA, American Society of Heating, Refrigerating and Air-Conditioning Engineers.
- ASHRAE 2009c. "Handbook - Fundamentals. American Society of Heating, Refrigerating and Air-Conditioning Engineers, Inc.
- Bruse, M. 1999. Simulating microscale climate interactions in complex terrain with a high- resolution numerical model: A case study for the Sydney CBD Area (Model Description). International Conference on Urban Climatology & international congress of biometeorology. Sydney.
- Bruse, M. 2015. ENVI-metModel Homepage. Accessed 27Apr. 2015.

- Dai, Q. 2014. The Impact of Urban Form on Thermal Comfort across Street Zones. Doctor of Philosophy, The Chinese University of Hong Kong.
- Djongyang, N. I., Tchinda, R. and Njomo, D. 2010. Thermal comfort: A review paper. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 14(9): 2626-2640.
- Emmanuel, R., Rosenlund, H. and Johansson, E. 2007. Urban shading—a design option for the tropics? A study in Colombo, Sri Lanka. *International Journal of Climatology*, 27(14): 1995-2004. . doi:10, 1002/joc.1609.
- Erell, E., Pearlmutter, D. and Williamson, T.J. 2011. *Urban Microclimate: Designing the Spaces Between Buildings*: Taylor & Francis.
- Esther, M. M. and M. L. Sagada 2014. An Evaluation Of Thermal Comfort Conditions In An Urban Entertainment Centre In Hot-Dry Climate Of Nigeria. *International Journal of Energy and Environmental Research*, 2(1): 55-74.
- Fanger, P. 1970. *Thermal comfort*. Danish Technical Press, Copenhagen.
- Fanger, P. 1972. *Thermal comfort: analysis and applications in environmental engineering*. New York: McGraw-Hill.
- Fanger, P. O. 1974. *Thermal Comfort*. McGraw Hill Inc.. New York, USA.
- Havenith, G. 1999. Heat balance when wearing protective clothing. *The Annals of Occupational Hygiene* 43 (5): 289-296.
- Hensel, H. 1981. *Thermoreception and Temperature Regulation* London, New York Academic Press.
- Hoppe, P. 2002. Different aspects of assessing indoor and outdoor thermal comfort. *energy and bulidings* 34
- Höppe, P. 1999. The physiological equivalent temperature—a universal index for the assessment of the thermal environment. *International Journal of Biometeorol* 43: 71-75
- Jamei, E., Rajagopalan ,P., Seyedmahmoudian, M., & Jamei, Y. 2016. Review On The Impact Of Urban Geometry And Pedestrian Level Greening On Outdoor Thermal Comfort. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 54, 1002-1017.
- Jihad , A.S. and Tahiri , M. 2016. Modeling the urban geometry influence on outdoor thermal comfort in the case of Moroccan microclimate. *Urban Climate*, 16: 25-42.
- Johansson, E. 2006. Influence of urban geometry on outdoor thermal comfort in a hot dry climate: A study in Fez, Morocco. *Building and Environment* 41(10):1326-1338.
- 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.
- Lilly Rose, A. and M. D. Devadas 2009. Analysis of Land Surface Temperature and Land Use/Land Cover Types Using Remote Sensing Imagery - A Case In Chennai City, India". The seventh International Conference on Urban Clim. Yokohama, Japan.
- Mahdavinejad, M., Sadeghnejad, G. and khademi, M. 2013. "Enhancement of Outdoor Thermal Comfort through Adoption of Environmental Design Strategies". *Energy and Environmental Engineering*, 1: 81-89.
- Matzarakis, A., & Mayer, H. 1996. Another kind of environmental stress: thermal stress. *WHO Collaborating Centre for Air Quality Management and Air Pollution Control Newsletter*, 18:7-10
- Matzarakis, A., F. Rutz, and H. Mayer. 2007. Modelling radiation fluxes in simple and complex environments: basics of the RayMan model. *International Journal of Biometeorology* 54, no. 2, p131-139.
- Mayer, H., & Höppe, P. 1987. Thermal comfort of man in different urban environments". *Theor Appl Climatol*, 43-49.
- Meir, P., Grace, J. and Miranda, A. 2000. Photographic method to measure the vertical distribution of leaf area density in forests. *Agricultural and Forest Meteorology*, 102(2-3): 105-111.
- Monsefi Parapari, D. 2015. *Adaptation to Climate Change and Thermal Comfort*, Dortmund University of Technology. phd Thesis.

Oliver, J. E. 2005. Encyclopedia Of World Climatology", Springer Netherlands.

Rodríguez Algeciras, J. A., Consuegra, L. G. a., & Matzarakis, A. 2016. Spatial-temporal study on the effects of urban street configurations on human thermal comfort in the world heritage city of Camagüey-Cuba. Building and Environment, 101: 85-101.

Saud Alznafer, B. M. 2014. the impact of neighbourhood geometries on outdoor thermal comfort and energy consumption from urban dwellings a case study of the riyadh city, the kingdom of saudi arabia, Cardiff University. Doctor Of Philosophy .

Spagnolo, J. and de Dear, R. 2003. A field study of thermal comfort in outdoor and semi-outdoor environments in subtropical Sydney Australia. Building and Environment, 38(5): 721-738.

Szokolay, S. V. 2008. Architectural Science The Basis Of Sustainable Design, Elsevier .

Ünlü, T. 2011. Towards the Conceptualization of Piecemeal Urban Transformation: The Case of Mersin, Turkey. Built Environment 37(4):445-461.

Yahia, M.W., Johansson, E., Thorsson, S., Lindberg, F. and Rasmussen, M.I. 2017. Effect of urban design on microclimate and thermal comfort outdoors in warm-humid Dar es Salaam, Tanzania. International Journal of Biometeorology.

Yang, W., Wong, N.H. and Lin, Y. 2015. Thermal Comfort in High-rise Urban Environments in Singapore. Procedia Engineering, 121: 2125-2131.

Yilmaz, S., Akif Irmak, M., & Matzarakis, A. 2013. The importance of thermal comfort in different elevation for city planning. global nest journal, 15(3): 408-420..

Zabeti Targhi, M. and Van Dessel, S. 2015. Potential Contribution of Urban Developments to Outdoor Thermal Comfort Conditions: The Influence of Urban Geometry and Form in Worcester, Massachusetts, USA. Procedia Engineering, 118: 1153-1161.