مطالعات محیطی هفت حصار شماره چهل‌ونهم/ سال دوازدهم/ پاییز ۱۴۰۳
صفحات ۸۰-۶۳

# ارزیابی تأثیر سایه‌اندازی درختان و محصوریت خیابان بر آسایش حرارتی عابران پیاده در شاخص اقلیم حرارتی جهانی (نمونه موردی: شش پیاده‌راه در کلانشهرهای ایران)

فرهاد احمدنژاد*، یاسر شهبازی**، سوما سلیمی***

تاریخ دریافت مقاله: ۱۴۰۲/۴/۲۰
تاریخ پذیرش مقاله: ۱۴۰۲/۱۱/۱۳

## چکیده

پیاده محور شدن شهرها پیشنهادی جهت کاهش اثرات استفاده از وسایل نقلیه موتوری در محیط است. آسایش حرارتی عابران تأثیرگذار در تمایل افراد برای استفاده از محیط است. پژوهش حاضر باهدف بررسی کمی تأثیر محصوریت و اثر سایه اندازی درختان بر آسایش حرارتی عابران پیاده براساس شاخص اقلیم حرارتی جهانی (UTCI[1]) ، به بررسی ۱۸ مقطع از ۶ پیاده راه شاخص ایران، در روز ۱ تیر (۲۲ ژوئن) از ساعت ۸-۲۰ پرداخته است. هندسه خیابان‌ها با حفظ جهت گیری و جانمایی ابنیه و درختان موجود مدل‌سازی، سپس وارد افزونه لیدی، باگ متصل به گرس‌هاپر در نرم‌افزار راینو شدند. در این پژوهش علاوه بر بررسی اثر تغییرات محصوریت و سایه‌اندازی درختان بر آسایش حرارتی میزان تأثیرگذاری دو متغیر جهت‌گیری و شرایط اقلیمی (دمای خشک هوا، رطوبت نسبی، سرعت باد، دمای تابشی)، محاسبه و با تحلیل و مقایسه حالت‌های مختلف آسایش حرارتی در هر پیاده‌راه به تحلیل کل داده‌ها پرداخته شد. نتایج نشان داد جهت‌گیری پیاده‌راه در فصل گرم سال بر میزان تابش و دما در ساعاتی از روز مؤثر است و پیاده‌راه‌های شرقی- غربی در ساعات ابتدایی و انتهایی روز گرم‌تر هستند، اما در میانگین روزانه دما تغییر قابل‌توجهی مشاهده نمی‌شود. محصوریت اثر مستقیم بر میانگین دمای روزانه دارد، در محصوریت‌های پایین‌تر از ۰.۵دمای UTCI بالاتر از دمای خشک هوا، و در محصوریت‌های بالاتر از ۰.۵ کمتر از دمای خشک هوا است. همچنین در محصوریت بالاتر از ۰.۵، دمای تابشی از مقدار بحرانی ۶۰° که موجب ایجاد استرس حرارتی بالا در افراد می‌شود تجاوز نمی‌کند. همچنین اثر سایه‌اندازی درختان به محصوریت خیابان وابسته است به صورتی که درختان موجود در بخشی از پیاده‌راه با محصوریت پایین H/W<۰.۵ دمای تابشی میانگین را ۱۲.۵۶° و دمای احساسی را ۳.۰۸° کاهش می‌دهند، بیشترین کاهش در چهارباغ اصفهان است که دمای UTCI در طول روز ۶.۴۹° درجه کاهش میابد. اما در محصوریت بالاتر H/W>۰.۵ سایه اندازی ساختمان اثر سایه‌اندازی درختان را تحت‌تأثیر قرار می‌دهد به‌گونه‌ای که در مقاطع بلندتر اختلاف دما در حضور درختان حداکثر یک‌سوم حالت قبل و میانگین دمای روزانه را ۱.۶° کاهش می‌دهد که نصف وضعیت قبل است؛ اما همچنان وجود درختان در حجم مناسب سبب ایجاد جریان همرفت در محدوده شده و اثر مناسبی در UTCI دارد.

## واژگان کلیدی

آسایش حرارتی عابران پیاده، UTCI، محصوریت خیابان، هندسه شهری، درختان، پیاده‌راه‌های ایران.

* استادیار، معماری، دانشکده معماری و شهرسازی، دانشگاه هنر اسلامی تبریز، تبریز، ایران F.ahmadnejad@tabriziau.ac.ir
** دانشیار، عمران، دانشکده معماری و شهرسازی، دانشگاه هنر اسلامی تبریز، ایران y.shahbazi@tabriziau.ac.ir
*** دانشجوی کارشناسی ارشد، ارشد فناوری معماری گرایش دیجیتال، دانشکده معماری و شهرسازی، دانشگاه هنر اسلامی تبریز، ایران soma.salimi.1395@gmail.com

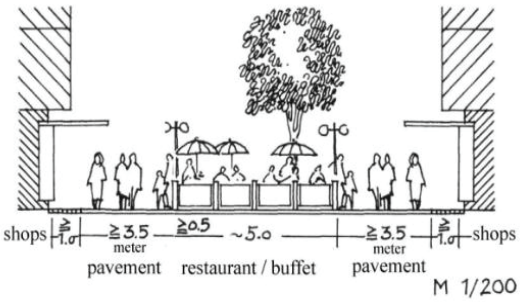
مقاله پژوهشی- مورد پژوهی
©: IAUH
ISSN: 2322-5602

[ Downloaded from hafthesar.iauh.ac.ir on 2025-01-21 ]

## مقدمه

بررسی آسایش حرارتی در فضای باز به دلیل تنوع فضا و کالبد می‌تواند زیر مجموعه‌های فراوانی را در بر گیرد. خیابان اصلی‌ترین گذر شـهری است که عموماً برای استفاده افراد سواره طراحی می‌شود. در سال‌های اخیر اختصاص برخی از گذرهای شهری به افراد پیاده به‌عنوان یکـی از راه‌های پایدار جهت بهبود کیفیت فضای شهری مطرح شده است. از سوی تحقیقات جهانی نشان می‌دهد که هر محدوده شهری را نمی‌تـوان به‌عنوان پیاده‌راه در نظر گرفت و عوامل بسیاری بر موفقیت یا عدم موفقیت یک پیاده‌راه تأثیرگذار است کـه از جملـه آن مـی‌تـوان بـه وجـود آسایش حرارتی برای عابران اشاره کرد. مطالعات پیشین نشان می‌دهد که عوامل بسیاری بر آسایش حرارتی در فضای باز تأثیرگذار اسـت کـه مهم‌ترین موارد آن، ساختمان‌های اطراف پوشش گیاهی و جهت‌گیری است. در سال‌های اخیر مطالعاتی در حوزه آسایش حرارتی در محیط باز به دو صورت کمی و ذهنی پرداخته‌اند، همچنین مطالعات بسیاری به محاسبه و تحلیل آسایش حرارتی در گذرهای شهری بـه‌صـورت مـوردی پرداخته‌اند؛ اما مطالعات جامعی دررابطه با آسایش حرارتی به‌صورت کمی در پیاده‌راه‌ها صورت نگرفته، درحالی‌که این فضای شهری بـه دلیـل ماهیت متفاوت و خاص بودن در نظام شهری نیازمند توجه بیشتری هستند. از اواسط قرن ۲۰ میلادی مفهـومی بـه نـام پیـاده‌راه (تصـویر ۱) باهدف بهبود کیفیت زندگی در مراکز شهری به وجود آمد. پیاده‌راه به خیابانی اطلاق می‌شود که عبور وسایل نقلیـه در آن محـدود یـا ممنـوع است، هر محدوده شهری را نمی‌توان به پیاده‌راه اختصاص داد چنان به بسیاری از صاحب‌نظران با معرفـی عـواملی کـه بـه شکسـت پیـاده‌راه می‌انجامد بر حساسیت تصمیم دررابطه با ایجاد پیاده‌راه تأکید می‌کنند (حبیبی، حقی، ۱۳۹۵: ۷). اصلی‌ترین تفاوت پیاده‌راه با خیابان را اسـتفاده عابران از کل عرض پیاده‌راه است که این وضعیت سبب می‌شود دستیابی به آسایش حرارتی در آن چالش بیشـتری داشـته باشـد. در طراحـی فضاهای شهری سه عامل بر آسایش حرارتی تـأثیر بیشـتری دارنـد: مورفولـوژی فضـای شـهری، جهـت‌گیـری عناصـر و فضـاها و پوشـش گیاهی(Yahia & Johansson,2014). درختان به‌عنوان یکی از اجزای خیابان‌ها جهت ایجـاد سـایه ، محـیط سـبز و کـاهش آلـودگی هـوا و مواردی دیگری چون آلودگی‌های صوتی و بصری و اثر مثبت آن بر روان افراد استفاده می‌شوند.

افزایش ارتفاع ساختمان‌ها سبب افزایش ضریب محصـوریت خیابـان و سایه‌اندازی ساختمان بر خیابان و ساختمان‌های مجاور شده است و این پرسش را به‌موجب می‌شود که تأثیر درختان به‌عنـوان سـایه‌بـان‌هـای طبیعی بر آسایش حرارتی در خیابان شهرهای امـروزی تـا چـه میـزان است؟ و اثر سایه‌اندازی کـدام یـک غالـب اسـت؟ در شـرایط اقلیمـی متفاوت چه تاثیری بر اثر سایه انـدازی دارد ؟ تغییـرات در محصـوریت خیابان چه تأثیری بر آسایش حرارتی داشته و در چه صورتی مـی‌توانـد یکی از استراتژی‌های دستیابی به آسایش حرارتی محسوب شود؟




تصویر۱- مقطع پیشنهادی برای پیاده راه ( Prinz,۱۹۸۴)

## پیشینه پژوهش

با پیشرفت‌های سخت‌افزاری و نرم‌افزاری در حوزه تکنولوژی در قرن اخیر امکان بررسی‌های کمی و دقیق‌تر از شرایط ممکـن شـد. مطالعـات بسیاری به بررسی رابطه محیط مصنوع و کیفیت آسایش حرارتی پرداخته‌اند. مجیدی و همکاران (۱۳۹۷) بیان مـی‌کننـد کـه عمـده مطالعـات صورت‌گرفته مربوط به بررسی آسایش حرارتی در فضا داخلی است و دررابطه‌بـا محـیط‌هـای بـاز شـهری بـه نسـبت پـژوهش‌هـای کمتـری صورت‌گرفته است. دلیل آن را می‌توان پیچیدگی پارامترهای مؤثر بر آسایش فضای باز به دلیل تنوع فضایی و گستره وسیع فعالیت‌هـای افـراد در سطح شهر می‌داند. با مرور مطالعات پیشین در این حوزه مشخص می‌شود که رویکردهای متعددی در برخورد بـا ایـن موضـوع وجـود دارد، خان و همکاران در مقاله‌ای با عنوان آسایش حرارتی در فضای باز بر اساس تعاملات انسانی به‌مرور و دسته‌بندی مطالعات انجام شـده در ایـن حوزه در طول سال‌های ۲۰۰۰–۲۰۱۸ میلادی در ۱۲ کشور از جمله ایران پرداخته‌اند و ۵ رویکرد کلـی در تحقیقـات را معرفـی مـی‌کننـد: (۱) آسایش حرارتی بیرونی با پارامترهای ذهنی (۲) آسایش حرارتی بیرونی با پارامترهای جسمی (۳) آسـایش حرارتـی بیرونـی و اسـتراتژی‌هـای طراحی؛ (۴) آسایش حرارتی بیرونی با استفاده از الگوریتم‌های محاسباتی (۵) آسایش حرارتی بیرونی و تعاملات انسانی. آن سپس بـه بررسـی آماری و تشریح روش‌های به‌کاررفته شده در هر گروه می‌پردازنـد.. سـال ۲۰۱۷ میلوسـویچ و همکـاران در تحقیقـی بـه دنبـال روشـی بـرای مکان‌یابی درختان به‌منظور بهبود آسایش حرارتی در فضای باز در پارکینگ خیابانی و پیاده‌رو مرتبط به آن بودند، آن‌ها با تعیین هندسه خیابان و مشخص‌کردن مکان درختان موجود مدل ساخته شده را در نرم‌افزار لیدی باگ وارد کرده و برای دوره موج گرمـا آنـالیز مربـوط بـه آسـایش



[ Downloaded from hafthesar.iauh.ac.ir on 2025-01-21 ]

حرارتی را در شاخص UTCI به دست آوردند. نتایج نشان داد تغییر مکان درختان موجود در سایت می‌تواند ۳.۳ آسایش حرارتی را بهبود بخشد همچنین اضافه‌کردن تعدادی درخت دمای احساسی را ۳.۷ °درجه بهبود داد. در مطالعه‌ای در شهر بیابانی Kashgar چین توسط خو (Xu) و دیگران برای یک بلوک شهری فرضی که با استفاده گرس‌هاپر[۲] مدل‌سازی شد، آن‌ها چینش ساختمان‌ها به فرم‌های مختلف و بهینه‌یابی وسیلهٔ الگوریتم ژنتیک آسایش حرارتی محاسبه شد، "نتایج به‌دست‌آمده برای تابستان نشان داد، روش پیشنهادی می‌تواند میانگین دمای UTCI را از ۳۱.۱۷ °به ۲۷.۴۳ °، در حدود ۳.۷۴ °کاهش دهد و میانگین دمای تابش (MRT[۳]) را از ۴۳.۹۴ °به ۴۱.۲۹ °، کاهش ۲.۶۵ °کاهش دهد.".

در سال ۲۰۱۸ در مطالعه دیگری که توسط ریدا (Ridha) و همکارانش در منطقه‌ای بلندمرتبه از خیابان حیفای بغداد انجام شد، با بررسی استراتژی‌های مختلف جهت دستیابی به آسایش حرارتی را در سطح عابران پیاده را مورد سنجش قرار دادند. برای هر سناریو، میانگین دمای تابشی، رطوبت خاص، دمای هوا و توزیع سرعت باد با استفاده از نرم‌افزار ENVI-met[۴] تحلیل شده است. نتایج نشان می‌دهد که شاخص PET[۵] می‌تواند به ۱۰.۴ °کاهش یابد، دما می‌تواند حدود ۲.۴ °و PMV[۶] به ۳ کاهش یابد. عزیزی و دیگران (۱۳۹۹) در مقاله‌ای با ارزیابی عملکرد بافت‌های شهری در اقلیم شهر تهران به دنبال یافتن چارچوبی برای سنجش جامع اثرات فرم شهری بر عملکرد آسایش حرارتی در فصول گرم سال و تدوین الگوی فضایی زمانی آسایش حرارتی به‌عنوان ابزاری برای سنجش سناریو طراحی بافت مسکونی در راستای کاهش جزایر حرارتی معرفی بودند آن‌ها بیان می‌کنند: "محصوریت معابر و جهت آنها، میزان تابش خورشیدی را کنترل و الگوی بازتاب آن را مشخص می‌سازند. نرخ بالاتر محصوریت باعث گستردگی بیشتر سایه‌اندازی در عرض محور شده که باعث می‌شود الگوی یکنواخت‌تری از عملکرد آسایش حرارتی شکل گیرد." همچنین اشاره می‌کنند که الگوی چیدمان در بافت شهری و محلات و تناسبات فضایی تأثیر به سزایی در آسایش حرارتی در فصول گرم دارد و بافت‌های ارگانیک عملکرد بهتری در رسیدن به آسایش حرارتی داشته؛ اما در مقایسه بافت‌های منتظم و آپارتمانی چندان موفق نبوده و دمای تابشی بالاتر از ۶۰ °درجه سانتیگراد را نیز تجربه می‌کنند.

اوپرتی (Upreti) و دیگران، (۲۰۱۷) با استفاده از روش مونت‌کارلو در شبیه‌سازی اثر تابشی اشعه‌های خورشید در شهر فینیکس در آریزونا که یک منطقه گرم خشک محسوب می‌شود به تحلیل اثر درختان پرداختند. تحلیل‌ها بر اساس یک مدل فرضی خیابان شهری با دو ردیف درخت در نظر گرفته شد. نتایج شبیه‌سازی ظرفیت درختان شهری را در کاهش سطح شهری و دمای هوا به ترتیب در حدود ۲ تا ۹ درجه سانتی‌گراد و ۱ تا ۵ درجه سانتی‌گراد و افزایش رطوبت نسبی ۱۰ تا ۲۰ درصد در طول یک‌چرخه روزانه نشان داد و بیان کردند اثر درختان در شب نیز برجسته است و دلیل آن را سایه انداختن از درختان میزان گرمای جذب شده توسط جاده‌ها و دیوارها را در طول روز کاهش می‌دهد. همچنین علی‌آبادی و همکاران (۱۳۹۶) در مقاله‌ای به بررسی تأثیر فضای سبز بر آسایش حرارتی عابران پیاده در مجتمع مسکونی می‌پردازد. این پژوهش نشان تفاوت عمده بین اثر الگوهای مختلف پوشش گیاهی وجود دارد و با تغییر پارامترهای نوع درختان و چیدمان و تعداد و...به دست می‌آید و دلیل این تفاوت‌ها، به تفاوت الگوهای سایه‌اندازی و جذب تابش و نوع برگ و تاج درختان و به طبع آن تفاوت اثر بر جریان باد و رطوبت و... است. پوراحمد و همکاران (۱۳۹۸) به بررسی وضعیت آسایش حرارتی در منطقه ۲۲ تهران و ارائه رویکرد جدیدی نسبت به زیست‌پذیری با بررسی آسایش حرارتی در شاخص PET می‌پردازند و دو شاخص SVF[۷] یا ضریب آسمان قابل رویت و نسبت محصوریت مهم‌ترین شاخص‌های کالبدی معرفی می‌کنند در نهایت بیان می‌کنند محصوریت مناسب خیابان نسبت ۱ به ۱ یا ۱ به دو است که شرایط آسایش حرارتی بهتری را فراهم می‌کند.

خداکرمی و نوری (۱۳۹۹) به بررسی تأثیر مصالح نمای ساختمان بر آسایش حرارتی در خیابان‌های شهر اصفهان با استفاده از نرم‌افزار انویمت پرداخته و خروجی داده‌های اقلیمی بر حسب شاخص PET محاسبه کردند. نتایج این تحقیق در اقلیم بیابانی نشان داد که تغییر مصالح از آجر به گرانیت در نمای خیابان در هر دو حالت (شرقی- غربی) و (شمالی- جنوبی) با نسبت‌های محصوریت ۰.۵ - ۱ - ۲ موجب کاهش در دمای احساسی و دمای تشعشعی خیابان می‌شود. در پژوهشی با عنوان بررسی دو عامل SVF(شاخص ضریب آسمان قابل رویت) و سرسبزی خیابان در آسایش حرارتی انسان و تنش گرمایی در آب‌وهوای بیابانی توسط احمدی ونهری و همکاران (۲۰۱۹)، به بررسی موردی تعدادی از خیابان‌های اصفهان در ماه ژوئیه سال ۲۰۱۴ می‌پردازند آنها دو شیوه بررسی می‌دانی و کامپیوتری را در ۱۷ خیابان با جهات گیری در دو حالت شمالی جنوبی و شرقی غربی می‌پردازند بررسی کامپیوتری با استفاده از نرم‌افزار انویمت و بر اساس شاخص PET و محاسبه SVF در برداشت می‌دانی با محاسبه ۷ ری‌مان انجام شد. نتایج نشان داد که رابطه مستقیم بین SVF و دمای تابشی وجود دارد؛ اما رابطه مشخصی بین ضریب دید اسمان و دمای هوا رویت نشد، سایه‌اندازی درختانی که تاج آنها یکدیگر را می‌پوشاند، مؤثرترین حالت سبز برای کاهش SVF و در نتیجه PET است، محدودکردن دید آسمان در خیابان‌های شرقی غربی PET را بیشتر از خیابان‌های شمالی جنوبی کاهش داد. پس در خیابان‌های E-W، کنترل تابش مهم‌تر است.



[ Downloaded from hafthesar.iauh.ac.ir on 2025-01-21 ]

با بررسی تحقیقات پیشین میتوان دریافت که در حوزه آسایش حرارتی در فضای باز عمده مطالعات محدود به یک محدوده شهری خاص بوده و امکان قیاس نتایج در اقلیم‌های متفاوت را فراهم نیاورده‌اند همچنین دررابطه با موضوع آسایش حرارتی به‌صورت کمی در پیاده‌راه چه در داخل و چه در خارج از کشور تحقیقات مستقل و مشخصی صورت نگرفته است. مجموع تحقیقات سه فاکتور مهم و تأثیرگذار اثر سایه‌اندازی در خرد اقلیم شامل جهت‌گیری- ضریب محصوریت و شاخص دید آسمان معرفی می‌کنند که به طور خاص مربوط به سه عنصر خیابان- ابنیه و درختان و تعامل و ارتباط عوامل با هم است. باتوجه به این موضوع که عمدتاً در انتخاب یک خیابان به‌عنوان پیاده‌راه عوامل تاریخی فرهنگی و اقتصادی تأثیر بسیاری داشته و بحث آسایش حرارتی به‌عنوان یکی از چندین فاکتور دخیل است، این پژوهش تلاش دارد تا به تحلیل جامعی در پیاده‌راه‌های مطرح کشور متغیرهای دخیل را شناسایی و سپس با بررسی وضعیت‌های مختلف و متفاوت در ۱۸ نقطه از این ۶ پیاده‌راه به تحلیل نتایج و بررسی تأثیرات متقابل عوامل مطرح شدهٔ فوق را در جامعه آماری نسبتاً گسترده‌تری به نسبت تحقیقات پیشین در خصوص خیابان‌ها مورد بررسی قرار دهد. هدف نخست این تحقیق بررسی وضعیت فعلی این پیاده‌راه‌ها از نظر آسایش حرارتی در طول روز و در فصل گرم سال و پس از آن با حذف عامل اثر درختان از این پیاده‌راه‌ها میزان اثر گذاری این عناصر را در وضعیت فعلی تحلیل و در نهایت با مقایسه حالت های موجود سعی در دستیابی به چارچوبی مشخص از تاثیرات متقابل فاکتورهای اقلیم، ابینه، درختان و جهت‌گیری پیاده‌راه آسایش حرارتی هستیم. همچنین نیاز است که تحقیقات اتی به شاخص UTCI در محاسبه آسایش حرارتی در فضای باز که به طور جامع و دقیق به محاسبه عوامل دخیل در بررسی وضعیت آسایش حرارتی در فضای باز و برای افراد پیاده در سطح جهانی تعریف شده به‌عنوان شاخص اصلی در این حوزه توجه بیشتری شود.

جدول ۱- رده بندی استرس حرارتی در شاخص UTCI
( Bröde et al., 2011)

| UTCI (°C) | رده‌بندی تنش حرارتی احساسی |
|---|---|
| > ۴۶ | گرم بسیار شدید |
| ۳۸ تا ۴۶ | گرم خیلی قوی |
| ۳۲ تا ۳۸ | گرم قوی |
| ۲۶ تا ۳۲ | گرم متوسط |
| ۹ تا ۲۶ | بدون استرس حرارتی |
| ۰ تا ۹ | سرد جزئی |
| ۰ تا ۱۳- | سرد متوسط |
| ۱۳-تا ۲۷- | سرد قوی |
| ۲۷-تا ۴۰- | سرد خیلی قوی |
| < ۴۰- | سرد بسیار شدید |

## چارچوب نظری

**شاخص اقلیم حرارتی جهانی UTCI** شاخص‌های زیادی جهت ارزیابی آسایش حرارتی در طول سالیان تعیین شده است. اما اعتبار ۵ دسته از این شاخص‌ها بیشتر بوده است. اگرچه شاخص UTCI فقط در ۱۴٪ مقالات مورد استفاده قرار گرفته است؛ اما محبوبیت آن در مقالات اخیر نشان‌دهنده تجزیه و تحلیل دقیق‌تر این شاخص است زیرا ۵۰٪ مقالات اخیر از این شاخص استفاده کرده‌اند(Khan et al., 2021) این مدل با درنظرگرفتن خصوصیات آناتومیکی، حرارتی و فیزیولوژیکی بدن انسان، پدیده‌های انتقال حرارت انسان را در داخل بدن و سطح آن شبیه‌سازی می‌کند (Fiala et al., 2001).

لازم به ذکر است که بهترین رابطه با UTCI برای شاخص‌های SET[11]، ET[12] و PT[13] یافت شد که ضرایب همبستگی بالایی را با شیب خطوط رگرسیون نزدیک به ۱ نشان دادند. همچنین همبستگی بالایی برای شاخص‌های PMV[14] و PhS[15] مشاهده شد. از سوی دیگر، UTCI شاخصی است که اثرات آب‌وهوا را مکان‌های مختلف را به‌خوبی نشان می‌دهد. علاوه بر این، UTCI نسبت به تغییرات محرک‌های محیطی بسیار حساس است: دما، تابش خورشید، رطوبت و به‌ویژه سرعت باد. از این نظر، نشان‌دهنده واکنش بدن انسان است. در مقابل، شاخص‌های HI[16]، Humidex[17]، PET و PT ارتباط بیشتری با دمای هوا دارند، به‌ویژه اینکه مفروضات آنها در مورد لباس مربوط به پوشش امروزی افراد است که در این شاخص موردتوجه قرار گرفته است. ET، SET و PST به میزان قابل‌توجهی نسبت به اثر خنک‌کننده باد حساس هستند. از نظر مقیاس میکرو اقلیمی، UTCI تنوع زمانی شرایط گرمایی را بهتر از سایر شاخص‌ها نشان می‌دهد. این حتی تفاوت‌های جزئی در شدت محرک‌های هواشناسی را منعکس می‌کند(Blazejczyk et al.,_2013). برای محاسبه UTCI شرایط فرضی زیر به‌عنوان مرجع تعریف می‌شود. فعالیت به‌صورت پیاده‌روی ۴ کیلومتر در ساعت ۱۳۵ $W/m^2$، لباس ۰٫۰۵ Clo برای تابستان فرض می‌شود، UTCI به‌عنوان یک شاخص جامع شناخته می شود که راحتی حرارتی انسان در فضای باز را با درنظرگرفتن تأثیر عوامل مطرح شده به دست میاورد که شامل ۱۰ سطح است (جدول ۱). (Bröde et al., 2011)

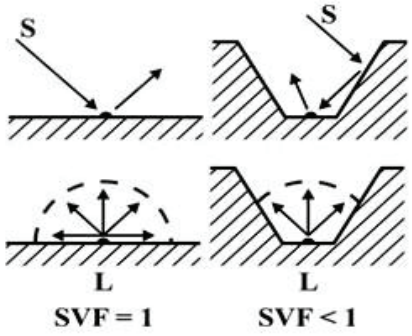


[ Downloaded from hafthesar.iauh.ac.ir on 2025-01-21 ]

**نسبت محصوریت** از دیگر موارد شایان ذکر در پژوهش حاضر دو فاکتور در حوزه شهرسازی به نام ضریب دید آسمان و محصوریت خیابان هستند که جهت تعیین وضعیت خیابان‌ها از نظر تراکم ساختمان و درختان مورداستفاده قرار می‌گیرند. ضریب دید آسمان یا Sky View Factor، شاخص اندازه‌گیری میزان وسعت دید آسمان است که مقدار عددی آن بین صفر و یک قرار دارد (تصویر ۲). زمانی که کاملاً آسمان دیده نمی‌شود و مانع وجود دارد مقدار صفر و زمانی که آسمان به‌صورت گسترده و باز بدون وجود هیچ مانعی مانند ساختمان‌ها و درختان است این ضریب عدد یک را به خود اختصاص می‌دهد (Krüger et al., 2011) همچنین محصوریت خیابان یا میانگین مجموع ارتفاع ساختمان‌ها به عرض از فاکتورهای تأثیرگذار بر آسایش حرارتی خیابان است. هر چه این نسبت بیشتر باشد نشان‌دهنده تنگی خیابان و تراکم بالای ساختمانی است. نسبت‌های بالای ۴ خیابان بسیار کم‌عمق و تنگ است. نسبت محصوریت مناسب یک خیابان ۱ به ۱ یا ۱ به ۲ است (پوراحمد و همکاران، ۱۳۹۸). مطالعاتی به بررسی اثر محصوریت بر دمای احساسی پرداخته‌اند نشان می‌دهد، در خیابان‌های با نسبت محصوریت بالا، تابش خورشید بامانع روبرو می‌شود و در نتیجه دمای هوا کاهش می‌یابد(Shishegar, 2013).

## روش تحقیق

هدف این پژوهش بررسی کمی آسایش حرارتی در پیاده‌راه‌های ایران است. این تحقیق از نوع تحقیقات کاربردی و روش گردآوری اطلاعات آن از نوع شبیه‌سازی مدل خیابان‌ها به‌صورت کامپیوتری و تحلیل داده را به‌صورت آماری است.لازم به اشاره است که این پژوهش در سال ۱۳۹۹-۱۴۰۰ در بحبوبه شیوع همه‌گیری کوید ۱۹ صورت گرفته با توجه به محدودیت های اجتماعی و ارتباطی ناشی از بیماری، تیم نویسندگان تصمیم گرفتند تا شاخص‌ترین و شناخته‌شده‌ترین پیاده‌راه‌های کشور را به عنوان نمونه موردی بررسی کنند، این تصمیم از این جهت بوده که با وجود محدودیت‌های موجود در این زمان مکان هایی برای بررسی انتخاب شوند که منابع کتابخانه‌ای و تحلیلی و تصاویر و فراوانی از ان ها موجود است تا با جمع بندی نقشه‌ها، تصاویر، اطلاعات و مدل‌های یافت شده در اسناد و منابع به علاوه تصاویر ماهواره‌ای بتوان به شبیه‌سازی نسبتاً دقیقی از محیط دست یافت. خلاصه‌ای از این دسته از منابع در بخش تقدیر و تشکر همین تحقیق موجود است.




تصویر ۲- نقش سطوح هندسی در میزان باز تابش
(Hämmerle et al., 2011)

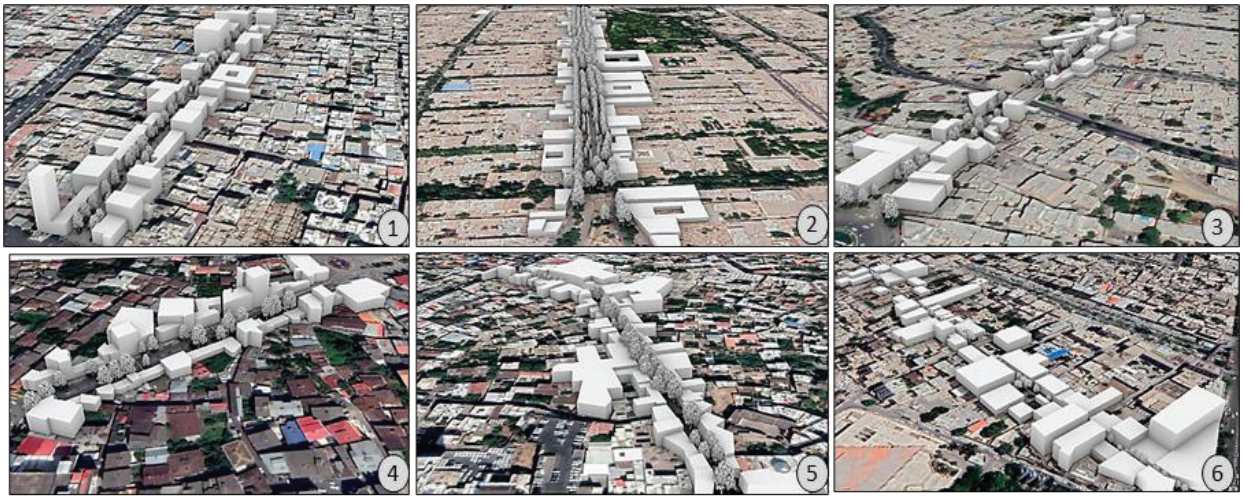
**نمونه مورد بررسی** مهم‌ترین پیاده‌راه‌های شش مرکز استان جهت بررسی و آنالیز انتخاب شدند (جدول ۲)- (تصویر ۳) که در زیر به طور خلاصه به شرح موقعیت این پیاده‌راه می‌پردازیم:

جدول ۲-شرح وضعیت کالبدی پیاده‌راه‌های مورد مطالعه به تفکیک

| پیاده راه | کاربری | جهت گیری | عرض پیاده‌راه (متر) | طول پیاده‌راه (متر) | موقعیت در شاخص اقلیمی کوپن | متوسط دمای خشک هوا از ساعت ۸-۲۰ روز یک تیر | متوسط سرعت جریان باد از ساعت ۸-۲۰ روز یک تیر | متوسط رطوبت نسبی از ساعت ۸-۲۰ روز یک تیر | حداکثر دمای خشک هوا در ساعت ۸-۲۰ روز یک تیر |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| سپهسالار- تهران | تجاری | / | ۱۵ | ۴۰۰ | BSk | ۳۳.۲ | ۲.۷ | ۱۷.۷ | ۳۵.۱ |
| چهارباغ- اصفهان | تجاری/ تفریحی | / | ۴۴ | ۱۱۰۰ | BWk | ۳۴.۰ | ۳.۳ | ۸.۸ | ۳۸.۰ |
| فردوسی- سنندج | تجاری/ تفریحی | / | ۲۳ | ۵۸۰ | Dsa | ۳۱.۵ | ۳.۹ | ۱۹.۰ | ۳۵.۰ |
| رشت- علم‌الهدی | تجاری/ فرهنگی | / | ۲۵ | ۲۷۰ | Cfa | ۲۸.۲ | ۲.۴ | ۴۸.۸ | ۳۰.۴ |
| تربیت- تبریز | تجاری/ تفریحی | \ | ۱۴ | ۴۷۰ | BSk | ۲۳.۳ | ۳.۱ | ۴۰.۵ | ۲۷.۰ |
| جنت- مشهد | تجاری | \ | ۱۰ | ۵۰۰ | BSk | ۳۱.۳ | ۵.۲ | ۱۹.۹ | ۳۴.۰ |



[ Downloaded from hafthesar.iauh.ac.ir on 2025-01-21 ]



تصویر ۳- شبیه سازی پیاده‌راه‌های مورد مطالعه در نرم افزار راینو جهت آنالیز آسایش حرارتی

۱) **پیاده‌راه سپهسالار در تهران:** این خیابان منطقه ۱۲ شهر تهران قرار گرفته که یک مرکز تجاری در مقیاس کشوری محسوب می‌شود که در دوران پهلوی اول بیشتر به‌عنوان یک خیابان تفریحی- گردشگری مطرح بوده است؛ اما به‌تدریج با افزایش تراکم شهر تهران و قرارگیری آن در مرکز شهر به‌عنوان یک مرکز خرید مطرح شد و از سال ۱۳۸۵ به دلیل کم‌عرض بودن خیابان به پیاده‌راه تبدیل شد (رنجبر و همکاران، ۱۳۸۹). طول این پیاده‌راه حدود ۴۰۰ متر و عرض آن ۱۸ متر و جهت‌گیری آن تقریباً شمالی جنوبی است و در شاخص کوپن در اقلیم نیمه‌خشک و سرد (BSk) تهران قرار گرفته است.

۲) **پیاده‌راه چهارباغ عباسی در اصفهان:** خیابانی عریض‌وطویل که در زمان شاه‌عباس اول دوره صفوی احداث شد و محور اصلی یک ناحیه شاهی در جبهه شمالی رودخانه زاینده‌رود و سی‌وسه‌پل بود (پور مختار،۱۳۹۱)، از دهه ۴۰ طرح پیاده‌راه‌سازی چهارباغ مطرح و در دوره‌های مختلف بررسی می‌شود؛ اما در سال ۱۳۹۸ این طرح اجرا می‌شود. این خیابان دارای طول ۱۱۰۰ متر و عرض ۴۲ متر که در اقلیم بیابانی جهت‌گیر شمالی جنوبی است.

۳) **پیاده‌راه فردوسی در سنندج:** یکی از اصلی‌ترین خیابان‌های شهر که دو میدان آزادی و انقلاب را به هم متصل می کندو دروازه ورود به بافت تاریخی شهر است که در سال ۱۳۹۷ طرح پیاده‌راه‌سازی این خیابان تصویب شد. این پیاده‌راه با طول ۵۹۰ متر و ۲۳ متر عرض با جهت‌گیری شمال شرقی جنوب غربی در اقلیم قاره‌ای شهر سنندج قرار گرفته است.

۴) **پیاده‌راه علم‌الهدی در رشت:** در مرکز شهر رشت قرار گرفته و در سال ۱۳۱۰ احداث شد و دو میدان شهدای ذهاب و سبزه‌میدان را به هم متصل می کندو یکی از محورهای اقتصادی مهم شهر است، این پیاده‌راه در شهر رشت که اقلیم نیمه‌گرمسیری مرطوب دارد طولی برابر با ۲۷۰ متر و عرض ۲۵ متری، جهت‌گیری شمال شرقی جنوب غربی دارد .

۵) **پیاده‌راه تربیت در تبریز:** در مرکز شهر تبریز در مجاورت بازار تارخی قرار گرفته و یک مسیر پیاده با عملکرد تجاری تفریحی است که طول ۴۷۰ متر و عرض ۱۴ متر است این خیابان در بخش جنوبی دارای جهت‌گیری شمال غربی جنوب شرقی و بخش شمالی به شمت غرب متمایل می‌شود.

۶) **پیاده‌راه جنت مشهد:** در دوره پهلوی دوم احداث شد، در مرکز شهر مشهد و نزدیک به برخی از مراکز قدیمی و مهم قرار دارد. یک مرکز تجاری پرازدحام است. با طول ۵۰۰ متر و عرض ۱۰ متر در اقلیم نیمه‌خشک و سرد مشهد قرار گرفته است و دارای جهت‌گیری شمال غربی جنوب شرقی است.

جهت تحلیل آسایش حرارتی ۳ مقطع از هر خیابان در یک‌چهارم اول، دوم و سوم انتخاب شد (تصویر ۵). این ۱۸ مقطع ویژگی‌های کالبدی متنوعی را شامل می‌شوند، از جمله محصوریت و ضریب دید آسمان متنوع در فضاها را در بر می‌گیرند.

**معرفی متغیرها** در طراحی فضاهای شهری سه عامل بر آسایش حرارتی تأثیر بیشتری دارند: مورفولوژی فضای شهری، جهت‌گیری عناصر و فضاها و پوشش گیاهی(Yahia & Johansson, 2014). همچنین برای محاسبه آسایش حرارتی در فضای باز از نظر کمی عوامل فیزیکی (آب‌وهوایی) و عوامل فیزیولوژیکی تعیین‌کننده و چارچوب برای ارزیابی آسایش حرارتی



[ Downloaded from hafthesar.iauh.ac.ir on 2025-01-21 ]

هستند(Coccolo et al., 2016). عوامل فیزیکی شامل متغیرهای اقلیمی: دمای خشک هوا، رطوبت نسبی، سرعت جریان باد، و متغیر کالبدی: محصوریت فضا یا نسبت ارتفاع به عرض، جهت‌گیری خیابان بوده است. برای محاسبه ضریب محصوریت پیاده‌راه میانگین ارتفاع ساختمان‌های دو طرف مقطع به عرض پیاده‌راه محاسبه شده است. محل و ابعاد درختان باتوجه‌به اندازه تاج آن‌ها در تصاویر ماهواره‌ای (تصویر ۵) و اطلاعات موجود در نظر گرفته شد در این تحقیق دو خروجی اصلی آسایش حرارتی در نظر گرفته شد که شامل: دمای متوسط تابشی (Tmrt) و دمای احساسی در شاخص UTCI است. اشاره شد که عوامل دیگری بر دمای احساسی افراد در محیط باز تأثیرگذار هستند که به علت محدودیت تحقیق یکسان فرض شده‌اند و از محدوده تحقیق کنار گذاشته شده‌اند از جمله: کاربری ابنیه، وضعیت خیابان‌های اطراف پیاده‌راه، وضعیت پوشش گیاهی، و محدوده، وجود آب‌نما یا سایه‌بان‌های فرعی، مصالح مورداستفاده و عوامل فردی دخیل و در احساس حرارتی مورد تحلیل قرار نگرفته‌اند.

**فرایند شبیه‌سازی آسایش حرارتی** در شروع فرایند شبیه‌سازی، ابتدا پیاده‌راه‌های موردمطالعه در نرم‌افزار راینو ۶ بر اساس تخمینی از شرایط واقعی استخراج شده از برداشت حضوری در خیابان تربیت و منابع کتابخانه در سایر پیاده‌راه‌ها شبیه‌سازی گردید. در فایل ورودی نرم‌افزار [9] راینو جهت آنالیز عملکرد حرارتی، از پلاگین لیدی‌باگ [10] ۰.۰.۶۷ که جهت محاسبه آسایش حرارتی در شاخص UTCI که با واحد سانتیگراد بوده جهت محاسبه تنش حرارتی افراد در حال پیاده‌روی در فضای بازتعریف شده است استفاده شد، لیدی باگ در افزونه گرس‌هاپر متصل به نرم‌افزار راینو اجرا می‌شود، بعدازاین مراحل فایل آب هوایی EPW[11] برای اعمال وضعیت اقلیمی از ایستگاه‌های آب هواشناسی واقع در مراکز استان‌ها دریافت شد که شامل داده‌های آب‌وهواشناسی از سال ۲۰۰۴-۲۰۱۸ میلادی بودند. جهت محاسبه دقیق وضعیت آسایش حرارتی افراد و عابران پیاده از تحلیل محدود به مقطعی ۲ متری از کف خیابان که محدوده حضور عابران است، تعیین شد.

**روند تحلیل آزمون** پس از واردکردن مدل‌های شبیه‌سازی‌شده به محیط گرس‌هاپر و دریافت داده‌های اقلیمی هر شهر و اعمال آن بر هر نمونه و دریافت دودسته نتایج به‌صورت عددی استخراج و وارد فایل اکسل شد. این خروجی‌ها شامل داده‌های اقلیمی دریافتی از فایل آب‌وهوایی (EPW)در روز ۲۲ ژوئن از ساعت ۸-۲۰ شب شامل دمای خشک- رطوبت نسبی- سرعت جریان باد به‌صورت تفکیک ساعتی و خروجی مربوط به دمای تابشی و دمای احساسی هستند در گام بعدی نخست اعتبار نتایج سنجیده شد. سپس اعداد و ارقام به‌دست‌آمده را مورد بررسی و تحلیل و قرار دادیم و با مقایسه داده‌های به‌دست‌آمده از مقاطع و پیاده‌راه‌های مختلف با هم دیگر و با تحقیقات پیشین نتایج به دست آمد.

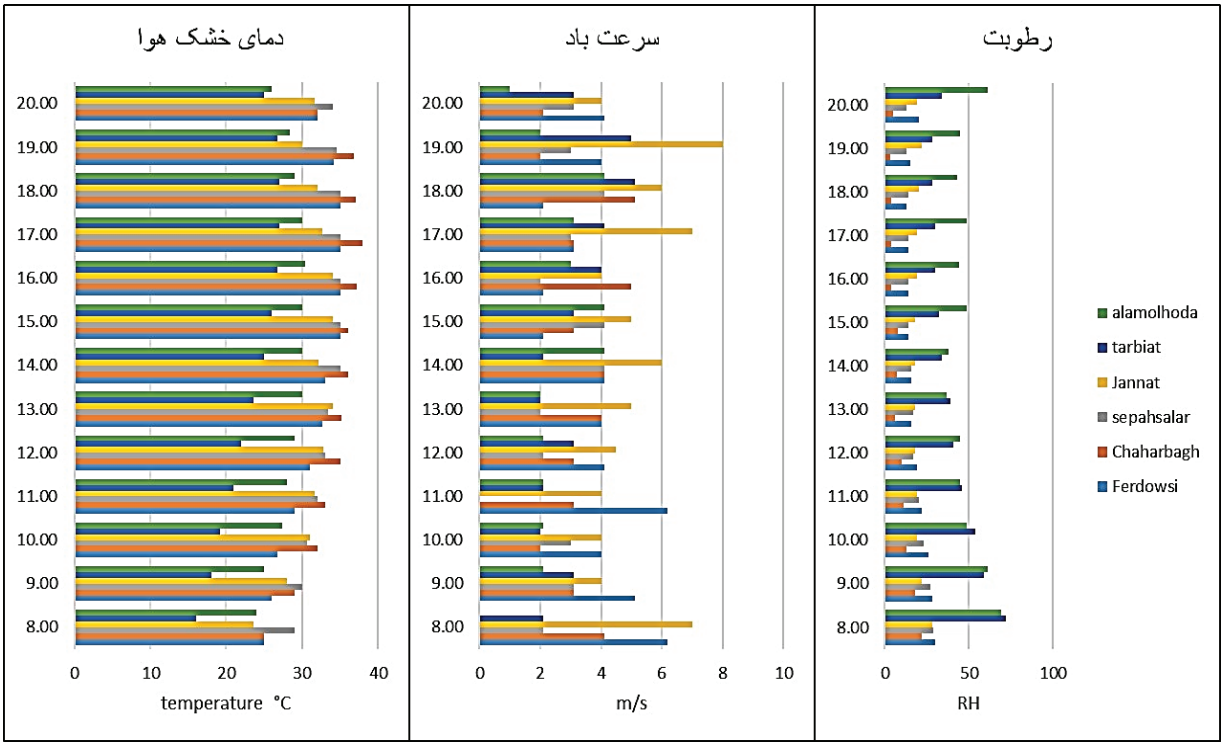
## یافته‌های تحقیق

**داده‌های اقلیمی** ابتدا تأثیر عوامل آب‌وهوایی را از داده‌های فایل آب‌وهوایی از سال ۲۰۰۴_۲۰۱۸ (EPW)استخراج شده‌اند. (تصویر۴) داده‌های دریافتی از فایل آب‌وهوایی برای روز ۲۲ ژوئن از ساعت ۸ -۲۰ نشان می‌دهد، در روز اول تابستان متوسط دمای خشک هوا در شهر اصفهان ۳۴.۰۱ درجه سانتی‌گراد و در گرم‌ترین ساعت روز به $^{\circ}C$ ۳۸ درجه می‌رسد که بالاترین وضعیت دمای خشک را در بین شهرهای مورد بررسی دارد. به ترتیب بعد از آن تهران با متوسط دمای خشک $^{\circ}C$ ۳۳.۲، سنندج با متوسط دمای خشک $^{\circ}C$ ۳۱.۵، در مشهد متوسط دمای $^{\circ}C$ ۳۱.۳۳ و رشت با متوسط $^{\circ}C$ ۲۸.۲۴ است و تبریز خنک‌ترین شهر با کمترین دمای خشک متوسط ۲۳.۳ درجه سانتی‌گراد که در گرم‌ترین ساعت به ۲۷ درجه سانتی‌گراد می‌رسد (تصویر ۴).

در مقایسه داده‌های مربوط به رطوبت نسبی روز اول تابستان، شهر رشت با رطوبت نسبی متوسط $^{\circ}C$ ۴۸.۸۴ که در ساعت ۸ صبح بیشترین مقدار $^{\circ}C$ ۶۹ و در میانه روز کمترین حد خود به $^{\circ}C$ ۳۷ می‌رسد و به ترتیب پس از رطوبت نسبی شهرها، تبریز با رطوبت میانگین $^{\circ}C$ ۴۰.۵۳ دارای رطوبت نسبی بالا است. شهرهای مشهد سنندج و تهران میانگین رطوبت نسبی نزدیکی داشته و به ترتیب ۱۹.۹۲-۱۹-۱۷.۷۶ را داشته و اصفهان با رطوبت نسبی ۸.۸۴ خشک‌ترین شهر است در بررسی روزانه داده‌ها می‌توان مشاهده کرد رطوبت نسبی هوا با دمای خشک رابطه عکس داشته و بالارفتن دمای خشک هوا در ساعات میانی روز نمودار رطوبت نسبی کاهش محسوسی را تجربه می‌کند که با نزدیک‌شدن به ساعات پایانی روز و کاهش دمای هوا به‌مرور افزایش می‌یابد. سرعت باد در این بازه زمانی مورد مطالعه از تغییرات کمی برخوردار است در تهران بیشترین مقدار میانگین را دارد که به ۵.۲۶ متر بر ثانیه می‌رسد و مشخص می‌شود در این روز شرایط در شهرهای مختلف چندان متفاوت نیست (تصویر ۴).



[ Downloaded from hafthesar.iauh.ac.ir on 2025-01-21 ]




تصویر ۴- خروجی داده‌های اقلیمی از فایل EPW در روز ۱ تیر( ۲۲ ژوئن)

در ادامه از مقایسه دمای احساسی و دمای تابشی در نمودار مربوط به مقاطع پیاده راه های مختلف دریافت می‌شود:

**پیاده‌راه سپهسالار تهران** نیز تقریباً وضعیتی کالبدی مشابه با خیابان جنت را دارد و ضریب محصوریت در سه مقطع آن به ترتیب ۰.۵۳– ۰.۷۶–۱.۴۳ است که میانگین دمای تابشی در طول روز بدون درختان به ترتیب ۴۲.۳۵– ۴۴.۳۷– ۴۱.۵۷ درجه سانتی‌گراد بوده که با اعمال اثر درختان به ۳۴.۲– ۳۵.۳۷– ۴۱.۱۹ می‌رسد و دمای UTCI در حالت بدون درخت به ترتیب برابر ۳۳.۳۲– ۳۳.۶۲– ۳۳.۱۲ بوده که با اعمال تأثیر درختان بر این فاکتور به ۳۱.۲۲– ۳۱.۴۹– ۳۳.۰۱ می‌رسد. (تصویر ۵)

**پیاده‌راه چهارباغ** با ۴۴ متر بیشترین عرض و کمترین نسبت محصوریت را نیز در مجموع داراست به صورتی که سه مقطع بررسی شده نسبت H/W به ترتیب ۰.۱۱– ۰.۱۸– ۰.۱۸ بود که میانگین دمای تابشی روزانه به ترتیب ۶۱.۱– ۵۱.۹– ۶۱.۸ و دمای UTCI، ۳۷.۶- ۳۵.۱-۳۷.۷ درجه سانتی‌گراد است. این خیابان پوشش درختی متراکمی را نیز داراست. با اعمال تأثیر درختان دمای تابشی میانگین به ترتیب به ۴۰.۴۷– ۳۳.۷۶–۳۴.۵ درجه سانتی‌گراد و دمای احساسی به ۳۲.۷– ۳۱– ۳۱.۲ درجه سانتی‌گراد می‌رسد. بیشترین میزان تابش در کل پیاده‌راه‌های مطالعه شده مربوط به ساعت ۱۴ بعدازظهر است که دمای تابشی میانگین در این پیاده‌راه بدون درنظرگرفتن درختان $^{\circ}C$ ۷۸.۸ بوده و فرض وجود درختان این میانگین به $^{\circ}C$ ۳۹.۰۳ می‌رسد، و دمای احساسی در این ساعت از $^{\circ}C$ ۴۲.۵۲ به $^{\circ}C$ ۳۳.۹۳ می‌رسد. نمودار دمای تابشی و احساسی به‌صورت سینوسی در ساعات میانی روز افزایش و از ساعت ۱۸ به بعد دمای احساسی به‌صورت کلی به زیر $^{\circ}C$ ۴۰ می‌رسد، همچنین مقطع دوم که در بخش متراکم‌تر خیابان روبه‌روی مدرسه چهارباغ قرار گرفته است در ساعات ابتدایی روز تابش کمتری را دریافت می‌کند و دمای احساسی خنک‌تری به نسبت دو مقطع دیگر دارد (تصویر ۵).

**پیاده‌راه فردوسی** نیز وضعیتی میانه را از نظر اقلیمی و کالبدی دارد می‌توان مشاهده کرد که با تعامل دو عامل ساختمان و درختان می‌توان تأثیر مناسب بری در آسایش حرارتی ایجاد کند به صورتی که داده‌ها نشان می‌دهند در سه مقطع بررسی شده که نسبت H/W به ترتیب ۰.۲۶–۰.۱۳–۰.۵۲ است که دمای تابشی در حالت بدون درخت به ترتیب ۴۴.۱۷– ۵۶.۳۹– ۵۱.۸۸ درجه سانتی‌گراد و دمای UTCI ، ۳۰.۹۹- ۳۴.۰۷- ۳۳.۰۵ درجه سانتی‌گراد است. وضعیت آسایش حرارتی با اعمال درختان نیز مقاطع به ترتیب دمای UTCI به ترتیب به ۲۸.۱۴– ۳۲.۹۳– ۲۹.۰۵ درجه سانتی‌گراد است(تصویر ۵).



[ Downloaded from hafthesar.iauh.ac.ir on 2025-01-21 ]

تصویر ۵- نمودار داده‌های به دست اماده از شبیه‌سازی آسایش حرارتی در محیط لیدی باگ به تفکیک پیاده‌راه و دمای تابشی و دمای UTCI روز ۱ تیر( ۲۲ ژوئن)



[ Downloaded from hafthesar.iauh.ac.ir on 2025-01-21 ]

**پیاده‌راه علم‌الهدی** که از نظر اقلیمی در محدوده گرم و مرطوب است، وضعیت در سه مقطع بررسی شده به این شرح است، نسبت H/W به ترتیب ۰.۳۸- ۰.۲۶- ۰.۶۴ و دمای UTCI در حالت بدون درختان برابر ۳۰.۳۴- ۳۰.۳۶- ۲۹.۳۴ درجه سانتی‌گراد است کـه بـا درنظرگـرفتن درختان موجود برابر ۲۸.۵۲- ۳۰.۱۶- ۲۷.۷۸ درجه سانتی‌گراد است(تصویر ۵).

**پیاده‌راه تربیت** که کمترین دمای احساسی را در مجموع دارا است و دارای پوشش درختـی نسـبتاً خـوبی اسـت کـه ضـریب محصـوریت آن وضعیتی میانه را دارد و به ترتیب ۰.۵۷- ۰.۶۰- ۰.۷۸ است. میانگین دمای تابشی و دمای UTCI بدون درختان به ترتیب ۳۶.۸- ۳۸.۹-۳۰.۲ درجه سانتی‌گراد و ۲۳.۵- ۲۴.۰۸- ۲۱.۹ درجه سانتی‌گراد و در وضعیت موجـود بـه ترتیـب ۲۳.۲- ۳۳.۴- ۳۰.۱ و ۱۹.۸- ۲۲.۵- ۲۱.۹ درجـه سانتی‌گراد است. همچنین مقطع سوم به سمت غرب چرخش دارد(تصویر ۵).

**پیاده‌راه جنت** بیشترین مقدار نسبت محصوریت مربوط به مقطع اول این خیابان با نسبت H/W برابر بـا ۱.۷۵ و دو مقطـع دیگـر بـه ترتیـب ۰.۷۰-۰.۷۵ است. دمای تابشی در وضعیت فعلی این مورد به ترتیب ۳۶.۴۰- ۳۴.۷۵- ۳۸.۸ درجه سانتی‌گراد است و با حذف عامل درختان به ترتیب ۳۶.۴- ۳۶.۴- ۳۸.۸ درجه سانتی‌گراد و دمای UTCI به ۲۸.۷۰- ۲۸.۲۳- ۲۹.۳ درجه سانتی‌گراد و در حذف درختان به ترتیـب ۲۸.۷- ۲۸.۷- ۲۹.۳ درجه بود و کاهش دمای تابشی محسوس از ساعت ۱۱ صبح در این پیاده‌راه مشاهده می‌شود (تصویر ۵).

## تحلیل یافته

**تأثیر شرایط اقلیمی در آسایش حرارتی:** در این بخش به تحلیل داده‌های به‌دست‌آمده از محیط شبیه‌سازی شـده بـه دو صـورت کلـی و جزئی پرداخته می‌شود از بررسی متغیر دمای خشک هوا - رطوبت نسبی - سرعت باد و مقایسه آن با داده‌های مربـوط بـه دمـای احساسـی و دمای تابشی مقاطع (تصویر ۴) در روز ۲۲ ژوئن همان گونه که بر اساس طبقه‌بندی اقلیمی کوپن- گایگر پیش‌بینی می‌شد، پیـاده‌راه چهاربـاغ اصفهان بیشترین دمای خشک و کمترین رطوبت نسبی گرم‌ترین شهر از نظر دمای احساسی و شهر تبریز با کمترین میانگین دمای خشـک و رطوبت نسبی متوسط بهترین وضعیت آسایش حرارتی را در تابستان دارد. شهر رشت با وجود دمای خشک متوسط آن $28.24^{\circ}C$ است، امـا بـه دلیل رطوبت نسبی بالا (۴۸.۸۴) در نهایت افراد دمایی بیشتر از دمای خشک هوا (نزدیک به ۳۰ درجه سانتی‌گراد) احساس می‌کنند. همچنـین ترتیب دمای احساسی بر اساس شرایط اقلیمی در شهرهای تهران- سنندج- مشهد باتوجه‌به نزدیکی وضعیت رطوبت نسبی و سـرعت بـاد بـه دلیل بالاتر بودن دمای خشک هوا در تهران بیشتر و پس از آن سنندج و مشهد است باشد. دمای خشک هـوا و رطوبـت نسـبی در طـول روز عموماً رابطه عکس داشته و افزایش دما در ساعات میانی روز شاهد کاهش رطوبت نسبی هستیم که این موضوع در شهرهای با رطوبت نسبی بالا می‌تواند تأثیر مثبتی در دمای احساسی دارد و در وضعیت شرجی اندکی بهبود دمـا را بهبـود مـی‌بخشـد. یکـی از دلایـل بـالارفتن دمـای احساسی در روزهای گرم سال نبود جریان هوای قابل‌ملاحظه است که در تمام اقلیم‌های مطالعه شده حد بسیار پایینی را نشان می‌دهد.

**تأثیر جهت‌گیری در آسایش حرارتی:** در بررسی بافت پیاده‌راه و سنجش اثرگذاری آن بر دمای خرد اقلیم پیاده‌راه، فاکتورهای مطرح شامل، جهت‌گیری، نسبت ارتفاع ساختمان به عرض پیاده‌راه است. در بررسی جامعی بیان شده، خیابان‌های گسترده (H/W =۱) برای هر دو جهت‌گیری بسیار ناراحت‌کننده است بااین‌حال، خیابان‌های N-S نسبت به خیابان‌های E-W دارای مزیت‌هایی هستند؛ زیرا شرایط حرارتی در لبه‌های آنها در امتداد دیوارها از نظر حرارتی برای افراد کمتر استرس‌زا است. این مزیت همچنین با دوره کوتاه‌تر تنش گرمایی و حداکثر PET کمتر منعکس می‌شود. افزایش نسبت ابعاد، راحتی حرارتی را برای هر دو جهت E-W و N-S بهبود می‌بخشد، اما جهت‌گیری N-S هنوز وضعیت حرارتی بهتری را برای مردم ارائه می‌دهد. برای خیابان‌های کم‌ارتفاع، اجرای استراتژی‌های سایه‌زنی در سطح خیابان تنها راه برای بهبود قابل‌توجه آسایش حرارتی انسان است (Ali Toudert & Mayer. 2006). این در حالی است که بهبود وضعیت حرارتی صرفاً در لبه برای پیاده‌راه کفایت نمی‌کند و کل مقطع می‌بایست شرایط مطلوبی را داشته باشد. اما در تحقیق دیگری که به بررسی خیابان‌های ایران پرداخته موردی در شهر همدان بر اساس این یافته‌ها، خیابان‌های شمالی- جنوبی در همدان در مقایسه با سایر جهت‌های شبیه‌سازی شده در طول زمستان دمای تابشی بیشتری دریافت می‌کنند و راحتی حرارتی مطلوب‌تری را فراهم می‌کنند. میانگین مقدار PET در یک روز زمستانی در نقطه‌ای از گذرگاه شمال به جنوب ۴.۵-۸ درجه سانتی‌گراد گرم‌تر از سایر جهت‌ها بود. در تابستان، خیابان‌هایی با جهت شمال شرقی- جنوب غربی و شمال غربی- جنوب شرقی کمترین PET حدود ۲ درجه سانتی‌گراد سردتر از جهت‌های دیگر و راحتی حرارتی بهتر را ارائه می‌دهند (Delpak et al., 2021) .

باتوجه به این موضوع که پیاده‌راه‌های انتخاب شده دارای جهت‌گیری شمالی جنوبی، جهت شمال شرقی- جنوب غربی و شمال غربی- جنوب شرقی بوده و بررسی صورت‌گرفته بازه صبح تا غروب را در جهت‌گیری کل یا بخشی از آن به حالت شرقی غربی نزدیک‌تر است، دمای تابشی



[ Downloaded from hafthesar.iauh.ac.ir on 2025-01-21 ]

و به‌تبع آن دمای احساسی بالاتری را در بر می‌گیرد تحلیل داده‌ها نشان می‌دهد. برای مثال در مقطع شماره ۳ از پیاده‌راه تربیت تبریز که جهت‌گیری آن نسبت به دو مقطع دیگر به سمت شرقی غربی نزدیک‌تر شده، وضعیت محصوریت در مقطع اول، دوم، سوم به ترتیب ۰.۵۷– ۰.۶۰– ۰.۷۸–، در مقطع سوم که به جهت شرق چرخش داشته دمای تابشی در ساعت ۸ صبح $^{\circ}C$ ۳۰،۷ و دمای UTCI $^{\circ}C$ ۱۹.۳ است؛ اما در مقطع شماره ۱ و ۲ دمای تابشی $^{\circ}C$ ۱۴.۹ و $^{\circ}C$ ۱۴.۸ و دمای UTCI، $^{\circ}C$ ۱۳.۹ و $^{\circ}C$ ۱۳.۸۸ بود. درحالی‌که میانگین دمای احساسی در کل روز در مقطع سوم $^{\circ}C$ ۲۱.۹۸ و در دو مقطع دیگر $^{\circ}C$ ۲۳.۲۵ و $^{\circ}C$ ۲۴.۰۸ است. البته می‌توان این کاهش چنددرجه‌ای میانگین را به نسبت بالاتر محصوریت ارتباط داد. همچنین در پیاده‌راه جنت و علم‌الهدی نیز این موضوع مشخص‌تر است که در ساعات اولیه مطالعه این دو پیاده‌راه به‌طورکلی دمای احساسی و دمای تابشی از محدوده بالاتری آغاز می‌شوند و در پیاده‌راه جنت که به سمت غربی تمایل دارد و مقاطع مورد بررسی در این جبهه مرتفع‌تر هستند کاهش شدیدی در دمای تابشی را در ساعات میانی روز شاهد هستیم؛ اما در پیاده‌راه علم‌الهدی که به سمت شرقی چرخش دارد در ساعات میانی روز روند افزایش تابش همچنان مشاهده می‌شود. می‌توان گفت که جهت‌گیری خیابان در ساعات ابتدایی و انتهایی روز اثر بیشتری بر دمایی احساسی دارد؛ اما در میانگین دمای روز اثر قابل‌توجهی ندارد.

**تأثیر محصوریت در آسایش حرارتی:** مطالعاتی به بررسی اثر محصوریت بر دمای احساسی پرداخته‌اند نشان می‌دهد، در خیابان‌های با نسبت محصوریت بالا، تابش خورشید با مانع روبرو می‌شود و در نتیجه دمای هوا کاهش می‌یابد (Shishegar, 2013). با مقایسه داده‌های مربوط به پیاده‌راه‌ها و بررسی آسایش حرارتی نتایج به‌دست‌آمده از پیاده‌راه چهارباغ همان گونه که اشاره شد، عریض‌ترین موردمطالعه شده در این تحقیق بود. نتایج به‌دست‌آمده از سه مقطع بررسی شده در این خیابان با نسبت H/W به ترتیب ۰.۱۸– ۰.۱۸– ۰.۱۱ بوده که کم‌ترین میزان محصوریت را دارا بود حداکثر تابش در ساعت ۱۴ بعدازظهر است که دمای تابشی میانگین در این پیاده‌راه بدون درنظرگرفتن درختان $^{\circ}C$ ۷۸.۸ است و از ساعت ۹ تا ۱۷ تابش دریافتی کل مقاطع حدی بالاتر از $^{\circ}C$ ۶۰ را تجربه می‌کنند. از سویی ما می‌دانیم که دمای تابشی بالای $^{\circ}C$ ۶۰ مرز بحرانی برای استرس‌های حرارتی است (Thorsson et al., 2007). علاوه بر سه مقطع بررسی شده در چهارباغ، مقطع دوم از پیاده‌راه سپهسالار با محصوریت ۰.۷۶ که ساختمان جبهه غربی کوتاه‌تر است در ساعات میانی روز تابش بیشتری دریافت کرده و از حد ۶۰ درجه گذر می‌کند، در پیاده‌راه علم‌الهدی که جهت‌گیری به سمت شرقی غربی می‌شود و محصوریت به ترتیب ۰.۶۴– ۰.۲۶– ۰.۳۸ را دارند، در ساعت ۱۵ و ۱۶ دمای تابشی به بالای $^{\circ}C$ ۶۰ می‌رسد. در پیاده‌راه فردوسی که سه مقطع که محصوریت ۰.۲۶– ۰.۱۳– ۰.۵۲ را دارند از ساعت ۱۲–۱۷ تابش بالای $^{\circ}C$ ۶۰ را تجربه می‌کنند. از مجموع داده‌ها مشاهده می‌شود که در نسبت محصوریت بالای ۰.۷ دمای تابشی بیشتر از $^{\circ}C$ ۶۰ مشاهده نمی‌شود. مطالعات پیشین نشان داد که در طول روز تنش شدید حرارتی و همچنین توزیع فضایی آسایش حرارتی در سراسر خیابان به‌شدت به نسبت ابعاد H/W و جهت خیابان بستگی دارد. خیابان‌های گسترده (H/W=۱) برای هر دو جهت بسیار ناراحت‌کننده است (Ali Toudert & Mayer, 2006) .

همچنین مطالعه‌ای در اقلیم گرم و خشک اصفهان با استرس بالای حرارتی معابر اصفهان و اثر ضریب آسمان قابل رویت در تعدیل آن به اثبات رسید. اثر خنک‌کنندگی حداکثر ۳ درجه‌ای در دمای هوا در برداشت‌های میدانی و حداکثر ۷ درجه‌ای در دمای تابشی در شبیه‌سازی به دست آمد(Ahmadi Venhari et al., 2019). با مقایسه میانگین داده‌های به‌دست‌آمده از مقاطع (شکل ۴) مشخص می‌شود که رابطه عکس بین دو مؤلفه دمای احساسی و دمای تابشی با نسبت ارتفاع به عرض پیاده‌راه (محصوریت) وجود دارد. در شرایطی که سه پارامتر از ۴ پارامتر دخیل در آسایش حرارتی یکسان هستند با تغییر ارتفاع ساختمان‌ها تابش دریافتی تغییر داشته و در دمای احساسی تفاوت‌هایی را شاهد هستیم به صورتی که میانگین دمای خشک هوا و دمای UTCI درمجموع مقاطع با نسبت H/W<۰،۵ به ترتیب برابر با $^{\circ}C$ ۳۳.۷۷– $^{\circ}C$ ۳۱.۶۵ است که این مسئله این موضوع مهم را نشان می‌دهد که در مقاطع کوتاه‌تر از این حد همواره دمای احساسی حدی بالاتر از دمای خشک هوا را شامل می‌شود.

در مطالعه‌ای که بر روی بافت شهر تهران انجام شد بیان می‌شود در ارزیابی شکل شهر، خیابان‌هایی که از نسبت محصوریت بالا و ضریب دید آسمان کم‌برخوردار هستند شرایط آسایش حرارتی مطلوب‌تری را از سایر نقاط برخوردار هستند که دلیل آن سایه‌اندازی ساختمان‌ها بر سطح زمین در طول روز بوده است (پوراحمد، ۱۳۹۸). از بررسی میانگین داده‌های مقاطع با H/W >۰.۵ دمای خشک و دمای UTCI به ترتیب برابر با $^{\circ}C$ ۲۹.۴۰– $^{\circ}C$ ۲۸.۹۳ این اعداد نشان می‌دهند که در مقاطع بلندتر عموماً دمای خشک هوا بیشتر از دمای احساسی است و تأیید می‌کند که در فصول گرم سال محدوده بافت متراکم‌تر آسایش حرارتی مطلوب‌تری را به نسبت دارند. سایه زنی نه‌تنها قرارگرفتن عابران پیاده در معرض نور مستقیم خورشید را کاهش می‌دهد، بلکه میزان نوری را که به سطوح ساختمان و کف‌سازی می‌رسد نیز کاهش می‌دهد: این نورها به نوبه خود



[ Downloaded from hafthesar.iauh.ac.ir on 2025-01-21 ]

نور کمتری را منعکس می‌کنند و چون از سطوح نمایان سردتر هستند، گرمای تابشی کمتری نیز از خود ساطع می‌کنند (Erell et al., 2011) از همین روی هر میزان سایه ایجاد شد از ساختمان‌ها بیشتر باشد تابش دریافتی و به‌تبع آن دمای محیط نیز کمتر حس می‌شود.

با مقایسه داده‌های مربوط به پیاده‌راه‌ها و بررسی میزان اثرگذاری درختان بر آسایش حرارتی نتایج به‌دست‌آمده از پیاده‌راه چهارباغ همان گونه که اشاره شد، عریض‌ترین موردمطالعه شده در این تحقیق بود. نتایج به‌دست‌آمده از سه مقطع بررسی شده در این خیابان با نسبت H/W به ترتیب ۰.۱۸- ۰.۱۸- ۰.۱۱- بوده که کمترین میزان محصوریت را در را نیز دارا بود حداکثر تابش در ساعت ۱۴ بعدازظهر است که دمای تابشی میانگین در این پیاده‌راه بدون درنظرگرفتن درختان ۷۶.۴۵ درجه سانتی‌گراد بوده حد بسیار بالایی را تجربه می‌کند و فرض وجود درختان این میانگین به ۳۹.۰۳ می‌رسد که کاهش ۳۷.۴ در دمای تابشی را نشان می‌دهد که بسیار قابل‌توجه است و دمای احساسی کاهش ۸.۵۹ درجه‌ای را موجب می‌شود. این میزان از کاهش دما در گرم‌ترین ساعت روز در اقلیم بیابانی اصفهان اثر نشان می‌دهد که وجود درختان مرتفع با تاج بزرگ به‌صورت متراکم در این خیابان تا حد زیادی مؤثر واقع شده است. این کاهش دما شاهدی این مدعا است که بر اثر سایه زدن درختان می‌توانند دمای سطح شهر (پوست) را حداکثر تا ۱۰ درجه سانتی‌گراد به طور متوسط در ماه‌های تابستان (ژوئن- آگوست) کاهش دهد. (Upreti et al., 2017: 24)در بررسی داده‌های مربوط به پیاده‌راه جنت مشهد که دارای نسبت ارتفاع به عرض بالاتر از یک‌دوم و تعداد درختان ناچیز در سه مقطع است مقایسه داده‌های مربوط به مقطع اول و دوم جالب‌توجه است در مقطع اول که بالاترین نسبت ارتفاع به عرض را در جامعه آماری دارد (H/W= ۱.۷۵) و مقطع دوم (H/W= ۰.۷)، مقطع اول فاقد درخت و مقطع دوم دارای تعدادی درخت با ارتفاع متوسط است، مشاهده می‌شود که دمای تابشی در وضعیت فعلی این دونقطه به ترتیب ۳۶.۴۰ و ۳۴.۷۵ است و دمای UTCI به ۲۸.۷۰ و ۲۸.۲۳ که حاکی از این مسئله است که با وجود این که مقطع دوم کمتر از نصف مقطع اول بوده؛ اما با وجود پوشش درختان متوسط توانسته از نظر آسایش حرارتی وضعیتی مشابه و حتی اندکی خنک‌تر از مقطع اول را ایجاد کند که می‌تواند نشان دهد در حالتی که محصوریت پیاده‌راه کم است کاشت درخت می‌تواند اثر کاهش‌دهنده دما را داشته باشد.

در داده های مربوط به سپهسالار تهران این نکته حایز اهمیت است که کل مقاطع مورد بررسی دارای درختان اندک با ارتفاع کم هستند. سه مقطع بررسی شده دارای نسبت‌های H/W به ترتیب ۰.۵۳- ۰.۷۶- ۱.۴۳ است. از مجموع داده‌های نشان‌داده‌شده می‌توان نتیجه گرفت که با وجود کوتاه و محدود بودن درختان در این خیابان می‌توان مشاهده کرد که در مقطع اول که کوتاه‌ترین مقطع بوده وجود درخت توانسته ۲.۱ درجه دمای احساسی را بهبود بخشد؛ اما در مقطع سوم با نسبت H/W= ۱.۴۳ این تأثیر به‌اندازه ۰.۱۱ درجه بوده که می‌توان گفت عملاً تأثیری نداشته است. در خیابان علم‌الهدی که از نظر اقلیمی در محدوده گرم و مرطوب است، وضعیت در سه مقطع بررسی شده با نسبت H/W به ترتیب ۰.۳۸- ۰.۲۶- ۰.۶۴ مشاهده می‌شود وجود درخت با ارتفاع متوسط در مقطع ۱ و ۳ سبب کاهش دمای حدود ۲ درجه شده؛ اما کوچک‌تر بدون درخت نسبت به محدوده در مقطع دوم نسبت سبب شده تا تأثیر چندانی بر آسایش حرارتی نداشته باشد.

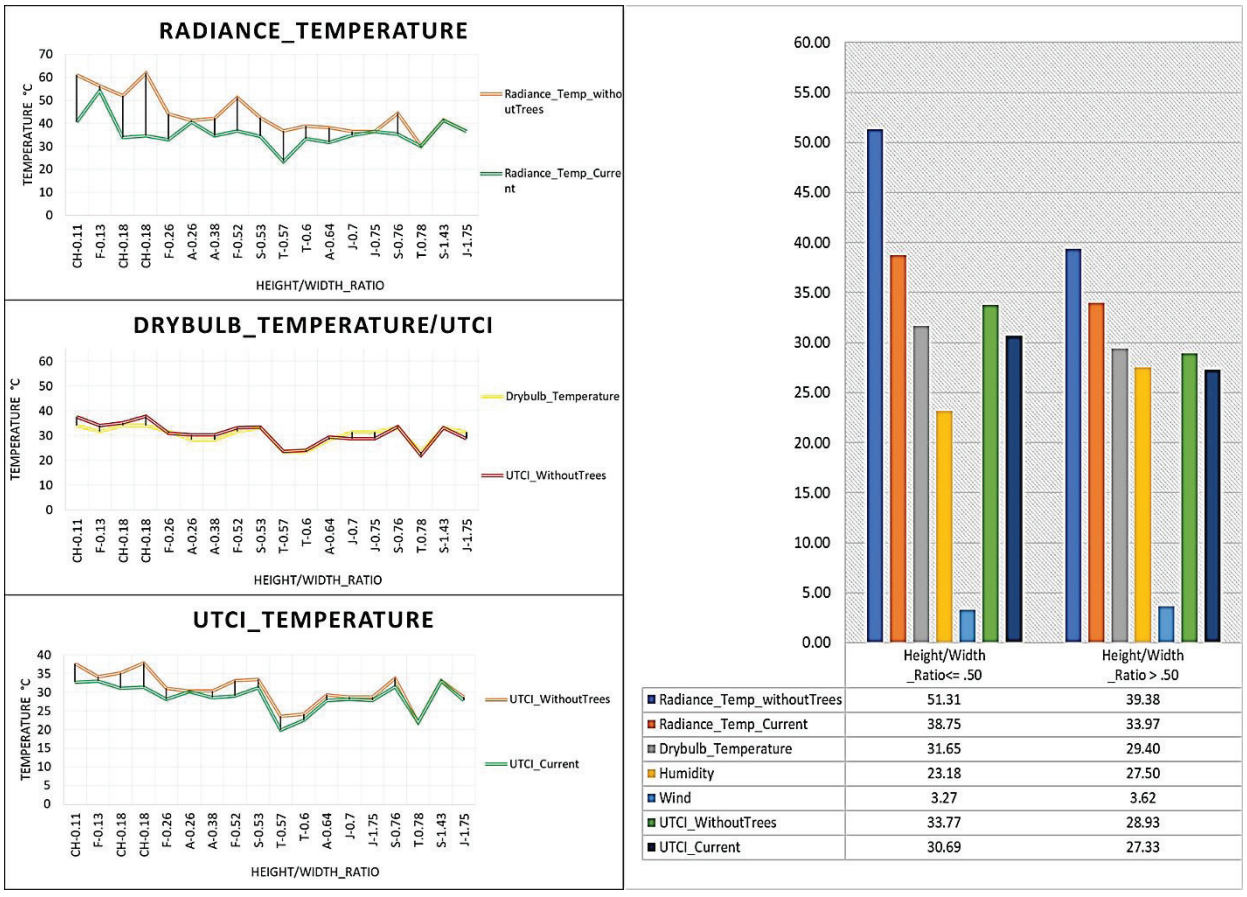
در پیاده‌راه فردوسی که وضعیتی میانه را از نظر اقلیمی و کالبدی دارد می‌توان مشاهده کرد که با تعامل دو عامل ساختمان و درختان می توان تأثیر مناسب بری در آسایش حرارتی ایجاد کر به صورتی که داده‌ها نشان می‌دهند در سه مقطع بررسی شده که نسبت H/W به ترتیب ۰.۲۶- ۰.۱۳- ۰.۵۲ است. در بررسی وضعیت آسایش حرارتی با اعمال درختان نیز مقاطع به ترتیب دمای UTCI به ترتیب ۲۸.۱۴- ۳۲.۹۳- ۲۹.۰۵ درجه سانتی‌گراد است که بهترین نتیجه مربوط به مقطع اول بوده که به نسبت دارای تعداد و حجم بیشتری از درختان است و اما تأثیر مث بت این اجزا بر آسایش حرارتی کل پیاده‌راه قابل توجه و در مجموع سه مقطع پیاده‌راه ۳.۶۶ درجه دمای میانگین روزانه را کاهش داده‌اند.

جهت تحلیل روشن‌تر رابطه محصوریت و دمای UTCI، دمای خشک هوا- دمای تابشی دریافتی دمای UTCI را بر اساس ضریب محصوریت مورد بررسی قرار دادیم (تصویر ۶) .در تحلیل رابطه محصوریت فضا (H/W) با اثر سایه‌اندازی درختان مطالعات پیشین نشان داد که در طول روز تنش شدید حرارتی و همچنین توزیع فضایی آسایش حرارتی در سراسر خیابان به‌شدت به نسبت ابعاد H/W و جهت خیابان بستگی دارد. خیابان‌های گسترده H/W=۱ برای هر دو جهت بسیار ناراحت‌کننده است(Ali Toudert & Mayer, 2006). با مقایسه میانگین داده‌های به‌دست‌آمده از ۱۸ مقطع مورد مطالعه داده‌ها (تصویر ۶) مشخص می شود که رابطه عکس بین دو مؤلفه دمای احساسی و دمای تابشی با نسبت ارتفاع به عرض پیاده‌راه (محصوریت)



[ Downloaded from hafthesar.iauh.ac.ir on 2025-01-21 ]

وجود دارد. به صورتی میانگین دمای خشک هوا و دمای UTCI در مجموع مقاطع با نسبت H/W<۰.۵ برابر با ۳۳.۷۷°C – ۳۱.۶۵°C است که این مسئله این موضوع مهم را نشان می‌دهد که در مقاطع کوتاه‌تر از این حد همواره دمای احساسی حدی بالاتر از دمای خشک هوا را شامل می‌شود. اما بعد که با اعمال اثر سایه‌اندازی درختان دمای احساسی به ۳۰.۶۹°C می‌رسد که اختلاف ۳.۰۸°C درجه‌ای را ایجاد می‌کند که کمتر از دمای خشک هوا است که تأثیری قابل‌توجه است. بهترین نتیجه اختلاف دمای احساسی قبل و بعد از اثر سایه درختان در خیابان چهارباغ از ۳۷.۷۶ به ۳۱.۲۷ می‌رسد که اختلاف ۶.۴۹ را در دمای احساسی متوسط ایجاد می‌کند. در مطالعه‌ای که بر روی بافت شهر تهران انجام شد بیان می‌شود در ارزیابی شکل شهر، خیابان‌هایی که از نسبت محصوریت بالا و ضریب دید آسمان کم‌برخوردار هستند شرایط آسایش حرارتی مطلوب‌تری را از سایر نقاط برخوردار هستند که دلیل این سایه‌اندازی ساختمان‌ها بر سطح زمین در طول روز بوده است (پوراحمد، ۱۳۹۸). از بررسی مجموع داده‌های مقاطع با H/W >۰.۵ دمای خشک و دمای UTCI به ترتیب برابر با ۲۹.۴۰°C– ۲۸.۹۳ °C و با اعمال اثر سایه‌اندازی درختان به ۲۷.۳۳ °C می‌رسد و اختلاف دمای ۱.۶ °C درجه‌ای را ایجاد می‌کند که تقریباً نصف اثر سایه‌اندازی درختان در مقاطع کوتاه‌تر است همچنین این اعداد نشان می‌دهند که در مقاطع بلندتر عموماً دمای خشک هوا بیشتر از دمای احساسی است و تأیید می‌کند که در فصول گرم سال محدوده بافت متراکم‌تر آسایش حرارتی مطلوب‌تری را به نسبت دارند. حداکثر اثرگذاری درختان در این محدوده مربوط به خیابان سپهسالار است که از دمای ۳۳.۶۲ °C به ۳۱.۴۹ °C می‌رسد و اختلاف ۲.۱۳ °C را در دمای احساسی موجب می‌شود که این اختلاف ۱/۳ وضعیت قبل است.



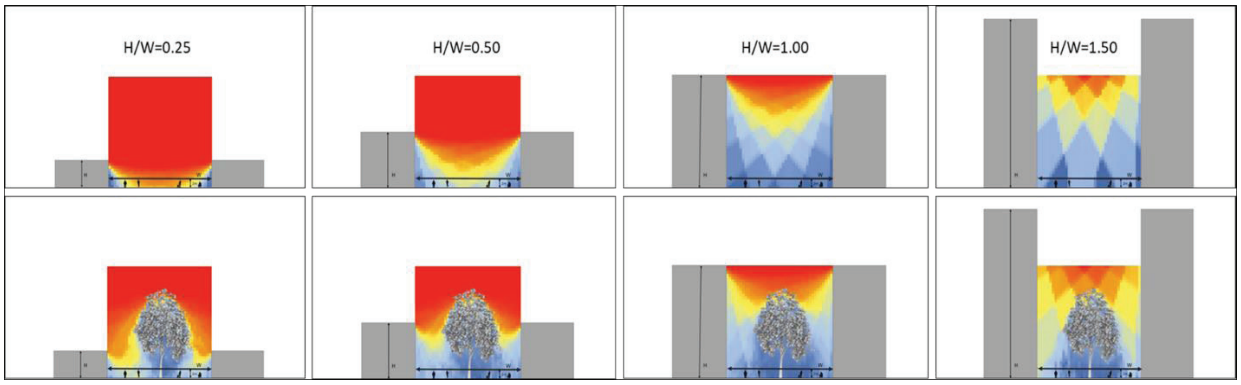

تصویر۶- مقایسه دمای خشک هوا- دمای تابشی- دمای UTCI بر حسب ضریب محصوریت

در تحقیقات سابق بیان کرده‌اند: میزان سایه زنی درختان با توجه به ویژگی‌های مورفولوژی آن‌ها متفاوت است که شامل شاخص سطح برگ، ارتفاع درخت، ارتفاع تنه، ارتفاع تاج و عرض تاج هست (آقاپور و تابان، ۱۳۹۹). همچنین سایه زنی نه‌تنها قرارگرفتن عابران پیاده در معرض نور مستقیم خورشید را کاهش می‌دهد، بلکه میزان نوری را که به سطوح ساختمان و



[ Downloaded from hafthesar.iauh.ac.ir on 2025-01-21 ]

کف‌سازی می‌رسد نیز کاهش می‌دهد: این نورها به نوبه خود نور کمتری را منعکس می‌کنند و چون از سطوح نمایان سردتر هستند، گرمای تابشی کمتری نیز از خود ساطع می‌کنند(Erell et al., 2011). برای بررسی بیشتر یک مدل فرضی پیاده‌راه با جهت شمالی جنوبی در اقلیم شهر تهران مدل کردیم. ۴ حد از محصوریت شامل ۰.۲۵- ۰.۵۰- ۱.۰۰- ۱.۵۰ به‌عنوان نمونه انتخاب ۲ حالت بدون درخت و با درخت وارد محیط لیدی باگ شد تا با بررسی‌های بصری به تحلیل جامع‌تری دست یابیم (تصویر ۷) از تصاویر دریافتی از این آنالیز که در بازه و روز تعیین شده برای همین پژوهش بود نتیجه نشان می‌دهد در دو مقطع ۰.۲۵ و ۰.۵۰ به دلیل کوتاه‌بودن ابنیه و کم‌بودن اثر سایه‌اندازی ساختمان‌ها محدوده بسیار گرم مقطع تا حد ارتفاع دو متری از سطح زمین که حدود حضور عابران پیاده است پایین میاید و این سبب ایجاد تنش حرارتی نامطلوب در عابران می‌شود؛ اما وجود درخت می‌تواند تأثیر بسزایی در کاهش دمای این محدوده داشته باشد؛ اما در دو مقطع بلندتر اثر سایه‌اندازی ساختمان‌ها تا حد زیادی محدوده حضور عابران را پوشش می‌دهد ؛ اما تصاویر نشان می‌دهد همچنان استفاده از درختان تأثیری مشخص و البته تا حدی متفاوت بر آسایش حرارتی دارد به صورتی که در این دو مقطع اضافه‌شدن درخت سبب ایجاد جریان همرفت و حرکت هوا شده که می‌تواند اثرگذاری متفاوت‌تر اما همچنان مثبتی در این محدوده باشد، زیرا می‌توان مشاهده کرد که از تفاوت‌های اصلی نوع اثر سایه‌اندازی ساختمان و درختان در وجود خلل و فرج در حجم درختان بر خلاف توده‌های ساختمانی است که می‌تواند باعث ایجاد جریان هوا شده که این موضوع می‌تواند باعث ایجاد نسیم در فصول گرم سال شود.




تصویر ۷–نمونه بصری فرضی تحلیل آسایش حرارتی با جهت‌گیری شمالی در اقلیم تهران در روز ۱ تیر( ۲۲ ژوئن)

## بحث و نتیجه‌گیری

این پژوهش تلاش داشت تا با نگاهی جامع به بررسی نقش محصوریت و جهت‌گیری در آسایش حرارتی پیاده‌راه‌های ایران بپردازد دستاوردهای حاصل از این پژوهش حاکی از آن است که در محیط باز پیاده‌راه‌ها: اصلی‌ترین فاکتورهای تعیین‌کننده دمای احساسی فاکتورهای اقلیمی شامل دمای خشک هوا، رطوبت نسبی، سرعت باد به‌علاوه دمای تابشی می‌باشند که در فصل تابستان عموماً اثر باد به دلیل ناچیز بودن آن چندان نیست. استفاده از شیوه‌های مختلف سایه‌اندازی به‌عنوان یکی از اصلی‌ترین راه های کاهش دمای احساسی همواره مطرح بوده که تأثیر مستقیم آن بر دمای تابشی سبب کاهش دمای احساسی در محیط می‌شود که آثاری بر رطوبت نسبی و سرعت باد نیز خواهد داشت. جهت‌گیری خیابان با وجود اثرگذاری در ساعات خاصی از روز، در متوسط دمای روزانه در فصل گرم سال اثر چندانی بر جای نمی‌گذارد اما می‌توان گفت هر چه خیابان به سمت شرقی غربی تمایل بیشتری داشته باشد دما احساسی و تابش دریافتی سطوح در ابتدا و انتهای روز بالاتر از پیاده‌راه‌هایی با جهت‌گیری کلی شمالی جنوبی بیشتر است. در وضعیتی که محصوریت فضا H/W<۰.۵ است ، دمای UTCI بیشتر از دمای خشک هوا احساس می‌شود، همچنین اثر سایه‌اندازی درختان بر کاهش دمای هوا می‌تواند دمای هوا را به طور قابل‌ملاحظه‌ای کاهش دهد. اما در حالتی که H/W >۰.۵ است دمای احساسی عموماً حدی کمتر از دمای خشک هوا را داشته و اثر سایه‌اندازی درختان بر کاهش دمای احساسی به‌صورت نزولی با افزایش محصوریت فضا کاهش می‌یابد. در مقاطع با نسبت محصوریت بالای ۰.۷۰ تابش دریافتی مقاطع بررسی شده در تمام ساعات روز همواره کمتر از حد بحرانی ۶۰ درجه سانتی‌گراد است که وضعیتی مطلوب محسوب می‌شود.



[ Downloaded from hafthesar.iauh.ac.ir on 2025-01-21 ]

در مقاطعی از پیاده‌راه که نسبت H/W<۰.۵ است، دریافت تابش مستقیم بیشتر سبب می‌شود دمای احساسی بیشتر از دمای خشک هوا شود. در این مقاطع استفاده از سایه‌اندازی درختان روشی مؤثر جهت کاهش دما است. در نمونه بررسی شده در چهارباغ اصفهان دمای احساسی از ۳۷.۷۶°C به ۳۱.۲۷°C می‌رسد که اختلاف ۶.۴۹°C را ایجاد می‌کند. دمای میانگین روزانه مجموع پیاده‌راه‌های بررسی شده ۳.۰۸°C درجه پایین می‌آورد. در مقاطع بلندتر با H/W >۰.۵ اثر سایه‌اندازی درختان کمتر می‌شود به‌گونه‌ای که حداکثر اثرگذاری اثر سایه درختان در خیابان سپهسالار است که از دمای ۳۳.۶۲°C به ۳۱.۴۹°C رسیده که ۱/۳ وضعیت حداکثری قبل است و میانگین کل دمای احساسی مقاطع این محدوده را ۱.۶°C کاهش داده که تقریباً نصف حالت قبل است. از همین رو می‌توان نتیجه گرفت که اثر سایه‌اندازی درختان در H/W<۰.۵ یک استراتژی کارآمد جهت بهبود وضعیت آسایش حرارتی است. اما H/W >۰.۵ وجود توده‌های ساختمانی مرتفع‌تر سبب شده تا دمای تابشی میانگین ۱۱.۹۳°C درجه کمتر از حالت قبل باشد و این به معنی کاهش دمای احساسی است در حالی که اثربخشی سایه‌اندازی درختان بر دمای تابشی به طور میانگین ۵.۴۱°C کم می‌شود که دمای احساسی را کمتر از نصف حالت قبل کاهش می‌بخشد.

در پایان لازم به ذکر است که این پژوهش محدود به بررسی کمی آسایش حرارتی در روزهای گرم سال قالب تعریف متغیرهای محدود در چندین اقلیم و کالبد بوده و امید است در مطالعات آتی به سایر پارامترهای اصلی و فرعی در حوزه آسایش حرارتی عابران پیاده بیشتر توجه گردد.

## قدردانی

جهت دستیابی به مدل‌های شبیه‌سازی‌شده در این تحقیق به علت محدودیت‌های ناشی از همه‌گیری کرونا در زمان نگارش نویسندگان صرفاً امکان برداشت حضوری از پیاده‌راه تربیت تبریز داشتند از همین‌رو جهت مقایسه تطبیقی تصمیم بر آن شد تا از منابع کتابخانه‌ای موجود و برداشت‌های انجام شده در سایر تحقیقات و سایت‌های معتبر استفاده شود. در روند تکمیل این پژوهش علاوه از تصاویر ماهواره‌ای از منابع و اسناد زیر بهره‌مند بودیم:

- اسناد و نقشه‌های منتشر شده جهت مسابقه طراحی شهری پیاده‌راه فردوسی سنندج (memarnews.com).
- تجزیه و تحلیل پیاده‌راه جنت مشهد به همراه پرسشنامه- نوین شهر (novinshahr.com).
- پیاده‌راه علم‌الهدی رشت عکس + موقعیت جغرافیایی (irantourismonline.com).
- پایان‌نامه دوره کارشناسی ارشد هادی، سروش عنوان: طراحی محور پیاده جنت (مشهد) رشته تحصیلی: طراحی شهری محل تحصیل: دانشکده هنرهای زیبا دانشگاه تهران، ۱۳۸۲ کتابخانه دانشگاه هنر اصفهان.
- پایان‌نامه دوره کارشناسی رشته شهرسازی منصوره جمالی عنوان: مقایسه تطبیقی کیفیت پیاده‌راه‌ها نمونه موردی: پیاده‌راه چهارباغ اصفهان و محور پیاده صف (سپهسالار) در تهران- دانشکده معماری و شهرسازی دانشگاه هنر اصفهان، ۱۳۹۸ کتابخانه دانشگاه هنر اصفهان.
- ارزیابی مطلوبیت پیاده‌راه‌های شهری براساس مؤلفه‌های کیفی؛ مطالعه موردی: پیاده‌راه علم‌الهدی شهر رشت. فصلنامه علمی و پژوهشی پژوهش و برنامه‌ریزی شهری، نوشته اکبرزاده مقدم لنگرودی، ا.، احمدی، ح.، آزاده، س. (۲۰۱۶).
- جنبش پیاده‌مداری، رویکردی نو در احیاء و پایداری مراکز شهرهای اسلامی؛ مورد مطالعه پیاده‌راه جنت مشهد ششمین کنفرانس ملی برنامه‌ریزی و مدیریت شهری با تأکید بر مؤلفه‌های شهر اسلامی نوشته امید توزنده، ج.، سیده فرزانه، ط.، شریفه، س. (۱۳۹۳).
- مقایسه تطبیقی کیفیت پیاده‌راه‌ها در ایران و خارج کشور با مدل ANP معماری و شهرسازی ایران نوشته حبیبی، ک.، حقی، م. (۲۰۱۸).
- تحلیل شاخص‌های پیاده‌مداری در بخش مرکزی شهرها مورد مطالعه: پیاده‌راه صف (سپهسالار) و خیابان سی تیر شهر تهران. پژوهش‌های جغرافیای برنامه‌ریزی شهری، نوشته حسینی، ع. ، عباس نژاد جلوگیر، م. ، اخوان انوری، ا.، سجادی، س. ا. (۲۰۲۱).
- ساماندهی جداره پیاده‌راه علم‌الهدی رشت با نیم‌نگاهی زیبایی‌شناسانه به عناصر شاخص بصری، فرهنگی و اقلیمی موجود اولین کنفرانس ملی شهرسازی، مدیریت شهری و توسعه پایدار، نوشته مقدم لیموئی، م.، عموزاده لیچائی، ا. (۱۳۹۳).
- سنجش کیفیت پیاده‌راه‌های شهری در ایران نمونه موردی: پیاده‌راه صف (سپهسالار) تهران. نشریه هنرهای زیبا: معماری و شهرسازی، نوشته رنجبر، ا.، رئیس اسماعیلی، ف. (۲۰۱۰).



[ Downloaded from hafthesar.iauh.ac.ir on 2025-01-21 ]

- منظر شهری پیاده‌راه و شاخصه‌های آن(نمونه موردی محور پیاده جنت مشهد) کنفرانس بین‌المللی عمران، معماری و زیرساخت‌های شهری، نوشته طباطبایی، س. ف.، امیدتوزنده جانی، ا. (۱۳۹۴).
- ارزیابی مؤلفه‌های مؤثر بر تقویت سرزندگی در مسیرهای پیاده شهری (مطالعه موردی: پیاده‌راه علم‌الهدی شهر رشت). مطالعات برنامه‌ریزی سکونتگاه‌های انسانی، نوشته قربان‌پور، م.، زالی، ن.، یوردخانی، م.، آزاده، س. (۲۰۱۸).
- قلی‌پور، س. (۲۰۱۴). بازآفرینی خیابان چهارباغ عباسی اصفهان در دوره‌های صفویه و قاجار با تأکید بر بیان تصویری از نوشته‌های سیاحان. باغ نظر، ۱۱(۲۹).

از پژوهشگران دست‌اندرکاران این تحقیقات و منابع ارزشمند نهایت تشکر را داریم.

## پی‌نوشت‌ها

۱. Universal Thermal Climate Index (UTCI)
۲. Grasshopper
۳. mean radiant temperature (MRT)
۴. ENVI-met
۵. Physical Equivalent Temperature
۶. Predicted Mean Vote Index (PMV)
۷. Sky View Factor
۸. RayMan
۹. Rhinoceros 6
۱۰. Ladybug 0.0.67
۱۱. Energyplus Weather Data File
۱۲. Standard Effective Temperature (SET)
۱۳. effective temperature (ET)
۱۴. Perceived Temperature (PT)
۱۵. PhS index
۱۶. heat index (HI)
۱۷. PhS index
۱۸. humidex index

## منابع

- آقاپور, ا., تابان, م. (۱۳۹۹). بررسی تاثیر پوشش گیاهی در بهبود شرایط آسایش حرارتی در فضای باز کنفرانس ملی ساختمان، محیط زیست و مدیریت مصرف انرژی.
- پوراحمد، ا ، حاتمی نژاد،ح، زیاری، ک و علیجانی ع. (۲۰۱۹). نگرشی جدید بر زیست‌پذیری شهری تهران: آسایش حرارتی شرط اولیه برای ارتقای کیفیت. نمونه موردی منطقه ۲۲. *تحلیل فضایی مخاطرات محیطی*، ۶(۲)، ۸۹-۱۱۰.
- پور مختار، ا. (۱۳۹۲)، بررسی میزان پیاده مداری در خیابان چهارباغ اصفهان و تأثیر آن بر تعامل اجتماعی شهروندان، مطالعات شهر ایرانی‌اسلامی، شماره ۱۱، ص ۹۱
- حبیبی، ک. و حقی، م. (۱۳۹۷). مقایسه تطبیقی کیفیت پیاده‌راه‌ها در ایران و خارج کشور با مدل ANP . *معماری و شهرسازی ایران*، ۹(۱۵)، ۱۹-۵.
- خداکرمی، ج، نوری. (۲۰۲۰). تأثیر عملکرد حرارتی مصالح غالب مورداستفاده در نمای ساختمان بر شرایط آسایش حرارتی در معابر شهری اقلیم گرم خشک. معماری و شهرسازی پایدار، ۸(۲)، ۲۲۴-۲۰۱.
- رضیئی، ط. (۱۳۹۶). منطقه‌بندی اقلیمی ایران به روش کوپن - گایگر و بررسی جابه‌جایی مناطق اقلیمی کشور در سدهٔ بیستم. فیزیک زمین و فضا، ۴۳(۲)، ۴۱۹-۴۳۹. doi: 10.22059/jesphys.2017.58916



[ Downloaded from hafthesar.iauh.ac.ir on 2025-01-21 ]

- رنجبر، ا. و رئیس اسماعیلی، ف. (۲۰۱۰). سنجش کیفیت پیاده‌راه‌های شهری در ایران نمونه موردی: پیاده‌راه صف (سپهسالار) تهران. *نشریه هنرهای زیبا – معماری و شهرسازی*، ۲(۴۲)، ۸۳-۹۳.
- مجیدی، ف.، حیدری، ش، قلعه‌نویی،م و قاسمی سیچانی، م. (۲۰۱۸). تفاوت فصلی حدود آسایش حرارتی در محلات قدیم و جدید شهر اصفهان (مطالعه موردی: محلات جلفا و مرداویج). *نشریه هنرهای زیبا- معماری و شهرسازی*، ۲۳(۲)، ۳۱-۴۲.
- عزیزی، م.، امین‌زاده، ب، آقاملایی، ر. (۲۰۲۰). ارزیابی عملکرد حرارتی بافت‌های شهری در اقلیم شهر تهران: آموزه‌هایی برای طراحی شهری حساس به شرایط خرداقلیم. *نشریه هنرهای زیبا-معماری و شهرسازی*، ۲۵(۱)، ۵-۱۵.
- Ahmadi Venhari, A., Tenpierik, M., & Taleghani, M. (2019). The role of sky view factor and urban street greenery in human thermal comfort and heat stress in a desert climate. Journal of Arid Environments, 166, 68-76.
- Ali Toudert, F., & Mayer, H. (2006). Effects of Street Design on Outdoor Thermal Comfort.
- Blazejczyk, K., Jendritzky, G., Bröde, P., Baranowski, J., Fiala, D., bullet, G., Havenith, G., bullet, Y., Epstein, Y., Psikuta, b., & Kampmann, B. (2013). An introduction to the Universal Thermal Climate Index (UTCI). Geographia Polonica, 86, 5-10.
- Bröde, P., Krüger, E., & Rossi, F. (2011, July). Assessment of urban outdoor thermal comfort by the Universal Thermal Climate Index UTCI. In 14th International Conference on Environmental Ergonomics, Greece.
- Mauree, D., Coccolo, S., Kämpf, J., & Scartezzini, J. L. (2016). Multi-scale modelling to assess human comfort in urban canyons. In Expanding Boundaries-Systems Thinking in the Built Environment-Proceedings of the Sustainable Built Environment (SBE) Regional Conference Zurich 2016. vdf Hochschulverlag AG ETH Zurich.
- Delpak, N., Sajadzadeh, H., Hasanpourfard, S., & Aram, F. (2021). The Effect of Street Orientation on Outdoor Thermal Comfort in a Cold Mountainous Climate.
- Erell, E., Pearlmutter, D., & Williamson, T. (2011). Urban Microclimate – Designing the Spaces Between Buildings.
- Fiala, D., Lomas, K. J., & Stohrer, M. (2001). Computer prediction of human thermoregulatory and temperature responses to a wide range of environmental conditions. International journal of biometeorology, 45(3), 143-159.
- Hämmerle, M., Gál, T., Unger, J., & Matzarakis, A. (2011). Introducing a script for calculating the sky view factor used for urban climate investigations. ACTA CLIMATOLOGICA ET CHOROLOGICA, 44-45, 83-92.
- Ismael, K., & Qadir Rasul, H. (2020). Potentiality in Creating Pedestrian Malls.
- Khan, Z., Azari, R., & Stephens, B. (2021). Outdoor Thermal Comfort (OTC) In Human Interaction-Based Studies: An Overview of Reviews.
- Krüger, E., Minella, F., & Rasia, F. (2011). Impact of urban geometry on outdoor thermal comfort and air quality from field measurements in Curitiba, Brazil. Building and Environment, 46, 621-634.
- Lai, D., Lian, Z., Liu, W., Guo, C., Liu, W., Liu, K., & Chen, Q. (2020). A Comprehensive Review of Thermal Comfort Studies in Urban Open Spaces. Science of The Total Environment, 742.
- McKnight, Tom. L., & Hess, Darrel. (2000). Physical geography: A landscape appreciation (6th ed.) . Upper Saddle River, NJ: Prentice-Hall
- Milošević, D. D., Bajšanski, I. V., & Savić, S. M. (2017). Influence of changing trees locations on thermal comfort on street parking lot and footways. Urban Forestry & Urban Greening, 23, 113-124.
- Perini, K., Chokhachian, A., Dong, S., & Auer, T. (2017). Modeling and simulating urban outdoor comfort: Coupling ENVI-Met and TRNSYS by grasshopper. Energy and Buildings, 152, 373-384.
- Ridha, S., Ginestet, S., & Lorente, S. (2018). Effect of the Shadings Pattern and Greenery Strategies on the Outdoor Thermal Comfort. International Journal of Engineering and Technology, 10, 108-114.




[ Downloaded from hafthesar.iauh.ac.ir on 2025-01-21 ]

- Shishegar, N. (2013). Street Design and Urban Microclimate: Analyzing the Effects of Street Geometry and Orientation on Airflow and Solar Access in Urban Canyons. Journal of Clean Energy Technologies, 1, 52.
- Thorsson, S., Lindberg, F., Eliasson, I., & Holmer, B. (2007). Different methods for estimating the mean radiant temperature in an outdoor setting. International Journal of Climatology, 27, 1983-1993.
- Upreti, R., Wang, Z.-H., & Yang, J. (2017). Radiative shading effect of urban trees on cooling the regional built environment. Urban Forestry & Urban Greening, 26.
- Xu, X., Yin, C., Wang, W., Xu, N., Hong, T., & Li, Q. (2019). Revealing Urban Morphology and Outdoor Comfort through Genetic Algorithm-Driven Urban Block Design in Dry and Hot Regions of China. Sustainability.
- Yahia, M., & Johansson, E. (2014). Landscape interventions in improving thermal comfort in the hot dry city of Damascus, Syria–The example of residential spaces with detached buildings. Landscape and Urban Planning, 125.




[ Downloaded from hafthesar.iauh.ac.ir on 2025-01-21 ]

# Evaluating the effect of tree shading and street enclosure on the thermal comfort of pedestrians in the UTCI index (Case study six pedestrian streets in Iran)

**Farhad Ahmadnejad**[*], *Assistant Professor, Faculty of Architecture and Urbanism, Tabriz Islamic Art University Tabriz, Iran*
**Yaser Shahbazi,** *Assistant Professor, Faculty of Architecture and Urbanism, Tabriz Islamic Art University Tabriz, Iran*
**Soma Salimi,** *M.A student, Faculty of Architecture and Urbanism, Tabriz Islamic Art University*.

*Received: 2023/7/11* *Accepted: 2024/2/2*

## Extended abstract

**Introduction:** Designing cities with priority for pedestrians is one of the proposed solutions to reduce the problems caused by the use of motorized transportation. Thermal comfort is influential in people's willingness to walk in the environment. This research quantitatively examines the effect of street enclosure and the effect of trees on the thermal comfort of pedestrians on UTCI index.

**Methodology:** This research has examined 18 sections of 6 " famous pedestrians of Iran", on June 22 from 8:00-20:00. The geometry of the streets, the placement of buildings and trees were modeled based on the existing situation, then they were entered into the Lady Bug plugin connected to Grasshopper in Rhino software. In this research, in addition to examining the effect of changes in the street enclosure and shading of trees on thermal comfort, the influence of two variables of orientation and climatic conditions (air dry temperature, relative humidity, wind speed, radiant temperature) was calculated and by analyzing and comparing different states of thermal comfort in each We have analyzed all the data.

**Results:** Investigations showed that the orientation of the sidewalk in the hot season of the year is effective on the amount of radiation and air temperature in certain hours of the day, and the east-west sidewalks are hotter in the beginning and end hours of the day, but no significant change is observed in the average daily temperature. The street enclosure has a direct effect on the average daily temperature, in the street enclosure lower than 0،5 the UTCI temperature is higher than the dry air temperature, and in the street enclosure higher than 0،5 it is lower than the dry air temperature. Also, in street enclosure higher than 0،5, the radiation temperature does not exceed the critical value of 60℃, which is the thermal stress limit. The shading effect of trees is dependent on the street enclosure, as the trees in the part of the sidewalk with low enclosure (H/W< 0،5) reduce the average radiant temperature by 12،56 ℃ and the emotional temperature by 3،08 ℃, the greatest reduction in Chaharbagh is Isfahan, where the UTCI temperature decreases by 6،49 degrees during the day. But in a higher enclosure (H/W>0،5), the shading of the building affects the shading effect of the trees in such a way that the temperature difference in the presence of trees at higher altitudes is at most one-third of the previous state.

**Conclusion:** We found that the effect of shading trees on thermal comfort is dependent on the condition of the street enclosure. In streets with a low enclosure ratio, the presence of trees as a canopy has a significant effect on lowering the temperature and better thermal comfort of humans, and this effect decreases with the increase of the enclosure of the street. It should be seen whether the effect of the shadows of the trees is greater or the shadows of the buildings on the street

**Keywords:** Pedestrian thermal comfort, UTCI, street enclosure, urban geometry, trees, Iran's sidewalks.

* Corresponding Author's E-mail: F.ahmadnejad@tabriziau.ac.ir



[ Downloaded from hafthesar.iauh.ac.ir on 2025-01-21 ]