

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

فرهاد احمدنژاد*، یاسر شهربازی**، سوما سلیمی***

تاریخ دریافت مقاله: ۱۴۰۲/۴/۲۰

تاریخ پذیرش مقاله: ۱۴۰۲/۱۱/۱۳

چکیده

پیاده‌محور شدن شهرها پیشنهادی جهت کاهش اثرات استفاده از وسائل نقلیه موتوری در محیط است. آسايش حرارتی عابران تأثیرگذار در تمایل افراد برای استفاده از محیط است. پژوهش حاضر باهدف بررسی کمی تأثیر محصوریت و اثر سایه اندازی درختان بر آسايش حرارتی عابران پیاده براساس شاخص اقلیم حرارتی جهانی (UTCI¹) ، به بررسی ۱۸ مقطع از ۶ پیاده راه شاخص ایران، در روز ۱ تیر (۲۲ زوئن) از ساعت ۲۰-۸ پرداخته است. هندسه خیابان‌ها با حفظ جهت گیری و جانمایی اینیه و درختان موجود مدل‌سازی، سپس وارد افزونه لیدی، باگ متصل به گرس‌هایپر در نرم‌افزار راینو شدند. در این پژوهش علاوه بر بررسی اثر تغییرات محصوریت و سایه‌اندازی درختان بر آسايش حرارتی میزان تأثیرگذاری دو متغیر جهت گیری و شرایط اقلیمی (دماهی خشک‌ها، رطوبت نسبی، سرعت باد، دمای تابشی)، محاسبه و با تحلیل و مقایسه حالت‌های مختلف آسايش حرارتی در هر پیاده‌راه به تحلیل کل داده‌ها پرداخته شد. نتایج نشان داد جهت گیری پیاده‌راه در فصل گرم سال بر میزان تابش و دما در ساعتی از روز مؤثر است و پیاده‌راه‌های شرقی - غربی در ساعت‌های ابتدایی و انتهایی روز گرم‌تر هستند، اما در میانگین روزانه دما تغییر قابل توجه مشاهده نمی‌شود. محصوریت اثر مستقیم بر میانگین دماهی روزانه دارد، در محصوریت‌های پایین‌تر از ۵.۰ دمای UTCI بالاتر از دمای خشک‌ها، و در محصوریت‌های بالاتر از ۵.۵ کمتر از دمای خشک‌ها است. همچنین در محصوریت بالاتر از ۵.۵، 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 ۰.۵ < H/W دمای تابشی میانگین را ۱۲.۵° و دمای احساسی را ۳۰.۸° کاهش می‌دهند، بیشترین کاهش در چهارباغ اصفهان است که دمای UTCI در طول روز ۶.۴۹ درجه کاهش می‌ابد. اما در محصوریت بالاتر ۵.۵ < H/W سایه‌اندازی ساختمان اثر سایه‌اندازی درختان را تحت تأثیر قرار می‌دهد به‌گونه‌ای که در مقاطع بلندتر اختلاف دما در حضور درختان حداقل یک سوم حالت قبل و میانگین دماهی روزانه را ۱۶° 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

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

F.ahmadnejad@tabriziau.ac.ir

* استادیار، معماری، دانشکده معماری و شهرسازی، دانشگاه هنر اسلامی تبریز، تبریز، ایران

y.shahbazi@tabriziau.ac.ir

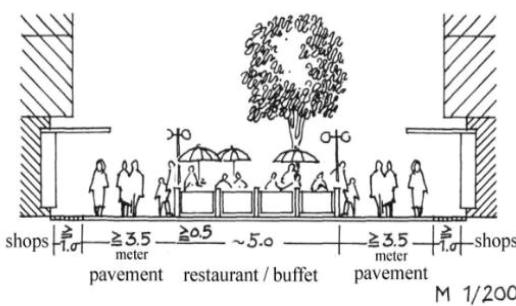
** دانشیار، عمران، دانشکده معماری و شهرسازی، دانشگاه هنر اسلامی تبریز، تبریز، ایران

soma.salimi.1395@gmail.com

*** دانشجوی کارشناسی ارشد، ارشد فناوری معماری گرافیک دیجیتال، دانشکده معماری و شهرسازی، دانشگاه هنر اسلامی تبریز، تبریز، ایران

مقدمه

بررسی آسایش حرارتی در فضای باز به دلیل تنوع فضا و کالبد می‌تواند زیر مجموعه‌های فراوانی را در بر گیرد. خیابان اصلی‌ترین گذر شهری است که عموماً برای استفاده افراد سواره طراحی می‌شود. در سال‌های اخیر اختصاص برخی از گذرها شهری به افراد پیاده به عنوان یکی از راه‌های پایدار جهت بهبود کیفیت فضای شهری مطرح شده است. از سوی تحقیقات جهانی نشان می‌دهد که هر محدوده شهری را نمی‌توان به عنوان پیاده‌راه در نظر گرفت و عوامل بسیاری بر موفقیت یا عدم موفقیت یک پیاده‌راه تأثیرگذار است که از جمله آن می‌توان به وجود آسایش حرارتی برای عابران اشاره کرد. مطالعات پیشین نشان می‌دهد که عوامل بسیاری بر آسایش حرارتی در فضای باز تأثیرگذار است که 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 گذرها شهری به صورت موردنی پرداخته‌اند؛ اما مطالعات جامعی در رابطه با آسایش حرارتی به صورت کمی در پیاده‌ها صورت نگرفته، در حالی که این فضای شهری به دلیل ماهیت متفاوت و خاص بودن در نظام شهری نیازمند توجه بیشتری هستند. از اواسط قرن ۲۰ میلادی مفهومی به نام پیاده‌راه (تصویر ۱) باهدف بهبود کیفیت زندگی در مراکز شهری به وجود آمد. پیاده‌راه به خیابانی اطلاق می‌شود که عبور وسائل نقلیه در آن محدود یا منع است، هر محدوده شهری را نمی‌توان به پیاده‌راه اختصاص داد چنان به سیاری از صاحب‌نظران با معرفی عواملی که به شکست پیاده‌راه می‌انجامد بر حساسیت تصمیم در رابطه با ایجاد پیاده‌راه تأکید می‌کنند (جیسی، حقی، ۱۳۹۵: ۷). اصلی‌ترین تفاوت پیاده‌راه با خیابان را استفاده عابران از کل عرض پیاده‌راه است که این وضعیت سبب می‌شود دستیابی به آسایش حرارتی در آن چالش بیشتری داشته باشد. در طراحی فضاهای شهری سه عامل بر آسایش حرارتی تأثیرگذار است: مورفولوژی فضای شهری، جهت‌گیری عناصر و فضاهای پوشش گیاهی (Yahia & Johansson, 2014). درختان به عنوان یکی از اجزای خیابان‌ها جهت ایجاد سایه، محیط سبز و کاهش آلودگی هوا و مواردی دیگری چون آلودگی‌های صوتی و بصری و اثر مثبت آن بر روان افراد استفاده می‌شوند.



تصویر ۱- مقطع پیشنهادی برای پیاده راه (Prinz, ۱۹۸۴)

افزایش ارتفاع ساختمان‌ها سبب افزایش ضربی محصوریت خیابان و سایه‌اندازی ساختمان بر خیابان و ساختمان‌های مجاور شده است و این پرسش را به موجب می‌شود که تأثیر درختان به عنوان سایه‌بان‌های طبیعی بر آسایش حرارتی در خیابان شهرهای امروزی تا چه میزان است؟ و اثر سایه‌اندازی کدام یک غالب است؟ در شرایط اقلیمی متفاوت چه تأثیری بر اثر سایه اندازی دارد؟ تغییرات در محصوریت خیابان چه تأثیری بر آسایش حرارتی داشته و در چه صورتی می‌تواند یکی از استراتژی‌های دستیابی به آسایش حرارتی محسوب شود؟

پیشینه پژوهش

با پیشرفت‌های سخت‌افزاری و نرم‌افزاری در قرن اخیر امکان بررسی‌های کمی و دقیق‌تر از شرایط ممکن شد. مطالعات بسیاری به بررسی رابطه محیط مصنوع و کیفیت آسایش حرارتی پرداخته‌اند. مجیدی و همکاران (۱۳۹۷) بیان می‌کنند که عمدۀ مطالعات صورت‌گرفته مربوط به بررسی آسایش حرارتی در فضای داخلی است و در رابطه با محیط‌های باز شهری به نسبت پژوهش‌های کمتری صورت‌گرفته است. دلیل آن را می‌توان پیچیدگی پارامترهای مؤثر بر آسایش فضای باز به دلیل تنوع فضایی و گستره وسیع فعالیت‌های افراد در سطح شهر می‌داند. با مرور مطالعات پیشین در این حوزه مشخص می‌شود که رویکردهای متعددی در برخورد با این موضوع وجود دارد، خان و همکاران در مقاله‌ای با عنوان آسایش حرارتی در فضای باز بر اساس تعاملات انسانی بهمروز و دسته‌بندی مطالعات انجام شده در این حوزه در طول سال‌های ۲۰۱۸-۲۰۰۰ میلادی در ۱۲ کشور از جمله ایران پرداخته‌اند و ۵ رویکرد کلی در تحقیقات را معرفی می‌کنند: (۱) آسایش حرارتی بیرونی با پارامترهای ذهنی (۲) آسایش حرارتی بیرونی با پارامترهای جسمی (۳) آسایش حرارتی بیرونی و استراتژی‌های طراحی؛ (۴) آسایش حرارتی بیرونی با استفاده از الگوریتم‌های محاسباتی (۵) آسایش حرارتی بیرونی و تعاملات انسانی. آن سپس به بررسی آماری و تشریح روش‌های به کاررفته شده در هر گروه می‌پردازند. سال ۲۰۱۷ میلادی و همکاران در تحقیقی به دنبال روشی برای مکان‌یابی درختان به منظور بهبود آسایش حرارتی در فضای باز در پارکینگ خیابانی و پیاده‌رو مرتبط به آن بودند، آن‌ها با تعیین هندسه خیابان و مشخص کردن مکان درختان موجود مدل ساخته شده را در نرم‌افزار لیدی باگ وارد کرده و برای دوره موج گرما آنالیز مربوط به آسایش

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 اضافه کردن 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 گرس‌هایپر^۲ مدل سازی شد، آن‌ها چینش ساختمان‌ها به فرم‌های مختلف و بهینه‌بایی وسیله‌گوریتم ژنتیک آسایش حرارتی محاسبه شد، "نتایج بدست‌آمده برای تابستان نشان داد، روش پیشنهادی می‌تواند میانگین دمای UTCI را از 31.17° به 31.07° کاهش دهد و میانگین دمای تابش^(۳) (MRT) را از 43.94° به 41.29° کاهش 2.65° کاهش دهد".

در سال ۲۰۱۸ در مطالعه دیگری که توسط Ridha (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 10.4° کاهش یابد، دما می‌تواند حدود 2.4° و PMV^۶ به 3° 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 به عنوان 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 تنشیبات 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 60° درجه سانتیگراد را نیز تجربه می‌کنند.

اوپرتی (Uperti) و دیگران، (۲۰۱۷) با استفاده از روش مونت‌کارلو در شبیه‌سازی اثر تابشی اشعة‌های 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 2° تا 9° درجه سانتی‌گراد و 1° تا 5° درجه سانتی‌گراد و افزایش رطوبت نسبی 10° تا 20° درصد در طول یک چرخه روزانه نشان داد و بیان کردن اثر درختان در شب نیز بر جسته است و دلیل آن را سایه اندختن 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... 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... 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 محدودیت مناسب خیابان نسبت 1 به 1 یا 1 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 اقیمی بر حسب شاخص PET محصوریت 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 $0.5 - 1 - 2$ موجب کاهش در دمای احساسی و دمای تششعشی خیابان می‌شود. در پژوهشی با عنوان بررسی دو عامل SVF(شاخص ضریب آسمان قابل رویت) و سرسیزی خیابان در آسایش حرارتی انسان و تنفس گرمایی در آب‌وهوای بیابانی توسط احمدی و نهری و همکاران (۲۰۱۹)، به بررسی موردي تعدادی از خیابان‌های اصفهان در ماه ژوئیه سال 2014° می‌پردازند آنها دو شیوه بررسی می‌دانی و کامپیوتوری را در 17° خیابان با جهات گیری در دو حالت شمالی جنوبی و شرقی غربی می‌پردازند بررسی کامپیوتوری با استفاده از نرم‌افزار انویمت و بر اساس شاخص PET و محصوریت SVF در برداشت می‌دانی با محاسبه 7° ریمان انجام شد. نتایج نشان داد که رابطه مستقیم بین SVF و دمای تابشی وجود دارد؛ اما رابطه مشخصی بین ضریب دید اسمن و دمای هوا رویت نشد، سایه‌اندازی درختانی که تاج آنها یکدیگر را می‌پوشاند، مؤثرترین حالت سبز برای کاهش SVF و در نتیجه PET است، محدود کردن دید آسمان در خیابان‌های شرقی غربی PET را بیشتر از خیابان‌های شمالی جنوبی کاهش داد. پس در خیابان‌های E-W، کنترل تابش مهم‌تر است.

با بررسی تحقیقات پیشین میتوان دریافت که در حوزه آسایش حرارتی در فضای باز عمدت مطالعات محدود به یک محدوده شهری خاص بوده و امکان قیاس نتایج در اقلیمهای متفاوت را فراهم نیاورده‌اند همچنین در رابطه با موضوع آسایش حرارتی به صورت 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- ابینه و درختان و تعامل و ارتباط عوامل با هم است. با توجه به این موضوع که عمدتاً در انتخاب یک خیابان به عنوان پیاده‌راه عوامل تاریخی فرهنگی و اقتصادی تأثیر بسیاری داشته و بحث آسایش حرارتی به عنوان 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 شده 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 پیاده‌رها از نظر آسایش حرارتی در طول روز و در فصل گرم سال و پس از آن با حذف عامل اثر درختان از این پیاده‌رها میزان اثر گذاری این عناصر را در وضعیت فعلی تحلیل و در نهایت با مقایسه حالت‌های موجود سعی در دستیابی به چارچوبی مشخص از تأثیرات 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 به عنوان شاخص اصلی در این حوزه توجه بیشتری شود.

چارچوب نظری

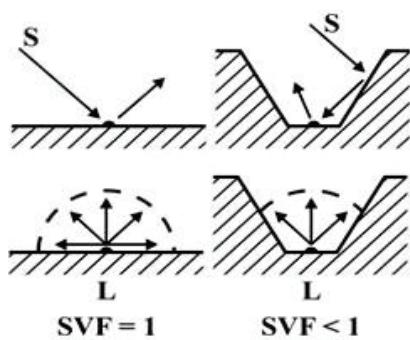
شاخص اقلیم حرارتی جهانی UTCI UTCI شاخص‌های زیادی جهت ارزیابی آسایش حرارتی در طول سالیان تعیین شده است. اما اعتبار ۵ دسته از این شاخص‌ها بیشتر بوده است. اگرچه شاخص UTCI فقط در ۱۴٪ مقالات مورد استفاده قرار گرفته است؛ اما محبوبیت آن در مقالات اخیر نشان‌دهنده تجزیه و تحلیل دقیق‌تر این شاخص است زیرا ۵۰٪ مقالات 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^{۱۱}، ET^{۱۲} و PT^{۱۳} یافت شد که ضرایب همبستگی بالایی را با شبی خطوط رگرسیون نزدیک به ۱ نشان دادند. همچنین همبستگی بالایی برای شاخص‌های PMV^{۱۴} و PhS^{۱۵} مشاهده شد. از سوی دیگر، UTCI شاخصی است که اثرات آب‌وهوا را مکان‌های مختلف را به خوبی نشان می‌دهد. علاوه بر این، UTCI نسبت به تغییرات حرکت‌های محیطی بسیار حساس است: دما، تابش خورشید، رطوبت و بهویژه سرعت باد. از این نظر، نشان‌دهنده واکنش بدن انسان است. در مقابل، شاخص‌های HI^{۱۶}، PET^{۱۷} و Humidex^{۱۸} ارتباط بیشتری با دمای هوا دارند، بهویژه اینکه مفروضات آنها در مورد لباس مربوط به پوشش امروزی افراد است که در این شاخص موردنوجه قرار گرفته است. ET، SET و PST به میزان قابل توجهی نسبت به اثر خنک‌کننده باد حساس هستند. از نظر مقیاس میکرو اقلیمی، UTCI نوع زمانی شرایط گرمایی را بهتر از سایر شاخص‌ها نشان می‌دهد. این حتی تفاوت‌های جزئی در شدت حرکت‌های هواشناسی را منعکس می‌کند (Blazejczyk et al., 2013). برای محاسبه UTCI شرایط فرضی زیر به عنوان مرجع تعریف می‌شود. فعالیت به صورت پیاده‌روی ۴ کیلومتر در ساعت 135 W/m^2 ، لباس ۰، ۵ Clo برای تابستان فرض می‌شود، UTCI به عنوان یک شاخص جامع شناخته می‌شود که راحتی حرارتی انسان در فضای باز را با درنظرگرفتن تأثیر عوامل مطرح شده به دست می‌آورد که شامل ۱۰ سطح است (جدول ۱). (Bröde et al., 2011)

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 به صورت گسترشده باز دون وجود هیچ مانع 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 کم عمق 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 روی رو 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 به صورت کامپیوترا و تحلیل داده را به صورت آماری است. لازم به اشاره است که این پژوهش در سال ۱۴۰۰-۱۳۹۹ در بحبوه شیوع همه‌گیری کوید ۱۹ صورت گرفته با توجه به



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

محدودیت‌های اجتماعی و ارتباطی ناشی از بیماری، تیم نویسنده‌گان 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 مکان‌هایی برای بررسی انتخاب شوند که منابع کتابخانه‌ای و تحلیلی و تصاویر و فراوانی از آن‌ها موجود است تا با جمع بندی نقشه‌ها، تصاویر، اطلاعات و مدل‌های یافته 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.

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	پیاده راه	عرض (مترا)	طول (مترا)	در	شاخص	دما	سرعت	متوسط	متوسط	متوسط	موقعیت	حداکثر
سپهسالار- تهران	تجاری	(/)	تجاری / تفریحی	۱۵	۴۰۰		BSk	۳۳.۲	۲.۷	۱۷.۷	۳۵.۱		دما	
چهارباغ- اصفهان	تجاری / تفریحی	(/)	تجاری / تفریحی	۴۴	۱۱۰۰		BWk	۳۶.۰	۳.۳	۸.۸	۳۸.۰		خشک هوا	
فردوسی- سمندج	تجاری / تفریحی	(/)	تجاری / تفریحی	۲۳	۵۸۰		Dsa	۳۱.۵	۳.۹	۱۹.۰	۳۵.۰		خشک هوا	
رشت- علم‌الهدی	تجاری / فرهنگی	(/)	تجاری / فرهنگی	۲۵	۲۷۰		Cfa	۲۸.۲	۲.۴	۴۸.۸	۳۰.۴		خشک هوا	
تربیت- تبریز	تجاری / تفریحی	(/)	تجاری / تفریحی	۱۴	۴۷۰		BSk	۲۳.۳	۳.۱	۴۰.۵	۲۷.۰		خشک هوا	
جنت- مشهد	تجاری	(/)	تجاری	۱۰	۵۰۰		BSk	۳۱.۳	۵.۲	۱۹.۹	۳۴.۰		خشک هوا	



تصویر ۳- شبیه سازی پیاده راه های مورد مطالعه در نرم افزار راینو جهت آنالیز آسایش حرارتی

- (۱) **پیاده راه سپهسالار در تهران:** این خیابان منطقه ۱۲ شهر تهران قرار گرفته که یک مرکز تجاری در مقیاس کشوری محسوب می شود که در دوران پهلوی اول بیشتر به عنوان یک خیابان تفریحی - گردشگری مطرح بوده است؛ اما به تدریج با افزایش تراکم شهر تهران و قرار گیری آن در مرکز شهر به عنوان یک مرکز خرید مطرح شد و از سال ۱۳۸۵ به دلیل کم عرض بودن خیابان به پیاده راه تبدیل شد (رنجبر و همکاران، ۱۳۸۹). طول این پیاده راه حدود ۴۰۰ متر و عرض آن ۱۸ متر و جهت گیری آن تقریباً شمالی جنوبی است و در شاخص کوپن در اقلیم نیمه خشک و سرد (BSk) تهران قرار گرفته است.
 - (۲) **پیاده راه چهارباغ عباسی در اصفهان:** خیابانی عریض و طویل که در زمان شاه عباس اول دوره صفوی احداث شد و محور اصلی یک ناحیه شاهی در جبهه شمالی رودخانه زاینده رود و سو سپل بود (بور مختار، ۱۳۹۱)، از دهه ۴۰ طرح پیاده راه سازی چهارباغ مطرح و در دوره های مختلف بررسی می شود؛ اما در سال ۱۳۹۸ این طرح اجرا می شود. این خیابان دارای طول ۱۱۰۰ متر و عرض ۴۲ متر که در اقلیم بیابانی جهت گیر شمالی جنوبی است.
 - (۳) **پیاده راه فردوسی در سنتنچ:** یکی از اصلی ترین خیابان های شهر که دو میدان آزادی و انقلاب را به هم متصل می کند و دروازه ورود به بافت تاریخی شهر است که در سال ۱۳۹۷ طرح پیاده راه سازی این خیابان تصویب شد. این پیاده راه با طول ۵۹۰ متر و ۲۳ متر عرض با جهت گیری شمال شرقی جنوب غربی در اقلیم قاره ای شهر سنتنچ قرار گرفته است.
 - (۴) **پیاده راه علم الهدی در رشت:** در مرکز شهر رشت قرار گرفته و در سال ۱۳۱۰ احداث شد و دو میدان شهدای ذهاب و سبزه میدان را به هم متصل می کند و یکی از محورهای اقتصادی مهم شهر است، این پیاده راه در شهر رشت که اقلیم نیمه گرمسیری مرتبط دارد طولی برابر با ۲۷۰ متر و عرض ۲۵ متری، جهت گیری شمال شرقی جنوب غربی دارد.
 - (۵) **پیاده راه تربیت در تبریز:** در مرکز شهر تبریز در مجاورت بازار تاریخی 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 جهت گیری شمال غربی جنوب شرقی و بخش شمالی به شمیت غرب متمایل می شود.
 - (۶) **پیاده راه 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 نیمه خشک و سرد مشهد قرار گرفته است و دارای جهت گیری شمال غربی جنوب شرقی است. جهت تحلیل آسایش حرارتی ۳ مقطع از هر خیابان در یک چهارم اول، دوم و سوم انتخاب شد (تصویر ۵). این ۱۸ مقطع ویژگی های کالبدی متنوعی را شامل می شوند، از جمله مخصوصیت و ضریب دید آسمان متنوع در فضاهای را در بر می گیرند.
- معرفی متغیرها** در طراحی فضاهای شهری سه عامل بر آسایش حرارتی تأثیر بیشتری دارند: مورفولوژی فضای شهری، جهت گیری عناصر و فضاهای پوشش گیاهی (Yahia & Johansson, 2014). همچنین برای محاسبه آسایش حرارتی در فضای باز از نظر کمی عوامل فیزیکی (آب و هوایی) و عوامل فیزیولوژیکی تعیین کننده و چارچوب برای ارزیابی آسایش حرارتی

هستند(Coccolo et al., 2016). عوامل فیزیکی شامل متغیرهای اقلیمی: دمای خشک هوا، رطوبت نسبی، سرعت جریان باد، و متغیر کالبدی: محصوریت فضای ارتفاع به عرض، جهت گیری خیابان بوده است. برای محاسبه ضریب محصوریت پیاده‌راه میانگین ارتفاع ساختمان‌های دو طرف مقطع به عرض پیاده‌راه محاسبه شده است. محل و ابعاد درختان با توجه به 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 (T_{mrt}) 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 اینبه، 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.

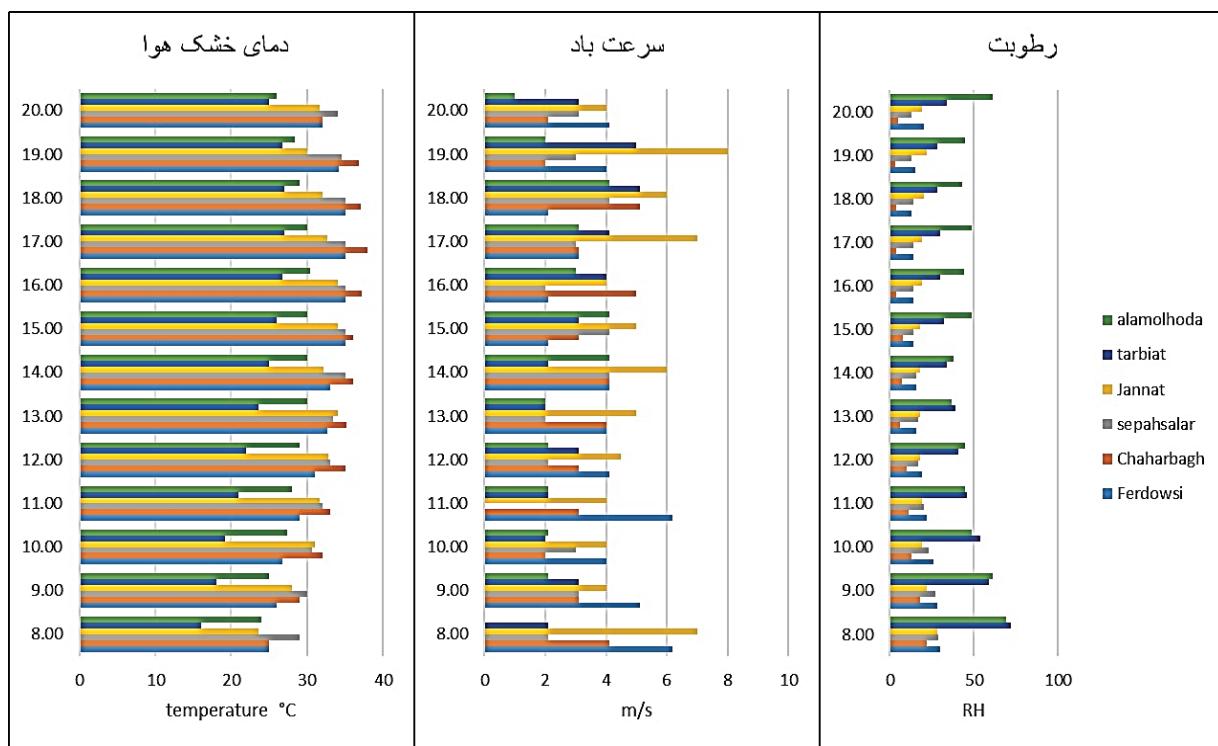
فرایند شبیه‌سازی آسایش حرارتی در شروع فرایند شبیه‌سازی، ابتدا پیاده‌راه‌های موردمطالعه در نرم‌افزار راینو ۶ بر اساس تخمینی از شرایط واقعی استخراج شده از برداشت حضوری در خیابان تربیت و منابع کتابخانه در سایر پیاده‌راه‌ها شبیه‌سازی گردید. در فایل ورودی نرم‌افزار^۹ راینو جهت آنالیز عملکرد حرارتی، از پلاگین لیدی‌باغ^{۱۰} که جهت محاسبه آسایش حرارتی در شاخص UTCI که با واحد سانتیگراد بوده جهت محاسبه تنش حرارتی افراد در حال پیاده‌روی در فضای باز تعريف شده است استفاده شد، لیدی‌باغ در افزونه گرس‌هاپر متصل به نرم‌افزار راینو اجرا می‌شود، بعدازین مراحل فایل آب هوایی EPW^{۱۱} برای اعمال وضعیت اقلیمی از ایستگاه‌های آب هواشناسی واقع در مراکز استان‌ها دریافت شد که شامل داده‌های آب هواشناسی از سال ۲۰۱۸-۲۰۰۴ 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 وارد کردن مدل‌های شبیه‌سازی شده به محیط گرس‌هاپر و دریافت داده‌های اقلیمی هر شهر و اعمال آن بر هر نمونه و دریافت دودسته نتایج به صورت عددی استخراج و وارد فایل اکسل شد. این خروجی‌ها شامل داده‌های اقلیمی دریافتی از فایل آب هوایی (EPW) در روز ۲۲ ژوئن از ساعت ۲۰-۸ شب شامل دمای خشک- رطوبت نسبی- سرعت جریان باد به صورت تفکیک ساعتی و خروجی مربوط به دمای تابشی و دمای احساسی هستند در گام بعدی نخست اعتبار نتایج سنجیده شد. سپس اعداد و ارقام به دست آمده را مورد بررسی و تحلیل و قرار دادیم و با مقایسه داده‌های به دست آمده از مقاطع و پیاده‌راه‌های مختلف با هم دیگر و با تحقیقات پیشین نتایج به دست آمد.

یافته‌های تحقیق

داده‌های اقلیمی ابتدا تأثیر عوامل آب هوایی را از داده‌های فایل آب هوایی از سال ۲۰۱۸-۲۰۰۴ (EPW) استخراج شده‌اند. (تصویر ۴) داده‌های دریافتی از فایل آب هوایی برای روز ۲۲ ژوئن از ساعت ۲۰-۸ نشان می‌دهد، در روز اول تابستان متوسط دمای خشک هوا در شهر اصفهان ۳۴.۰۱ درجه سانتی‌گراد و در گرم‌ترین ساعت روز به ۳۸°C درجه می‌رسد که بالاترین وضعیت دمای خشک را در بین شهرهای موردنظری دارد. به ترتیب بعد از آن تهران با متوسط دمای خشک ۳۳.۲°C، سنترج با متوسط دمای خشک ۳۱.۵°C، در مشهد متوسط دمای ۳۱.۳۳°C و رشت با متوسط ۲۸.۲۴°C 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 ۴۸.۸۴°C که در ساعت ۸ صبح بیشترین مقدار ۶۹°C و در میانه روز کمترین حد خود به ۳۷°C می‌رسد و به ترتیب پس از رطوبت نسبی شهرها، تبریز با رطوبت میانگین ۴۰.۵۳°C دارای رطوبت نسبی بالا است. شهرهای مشهد سنترج و تهران میانگین رطوبت نسبی نزدیکی داشته و به ترتیب ۱۹.۹۲-۱۹.۷۶-۱۷.۷۶ 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 نزدیک شدن به ساعت پایانی روز و کاهش دمای هوا به مرور 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).



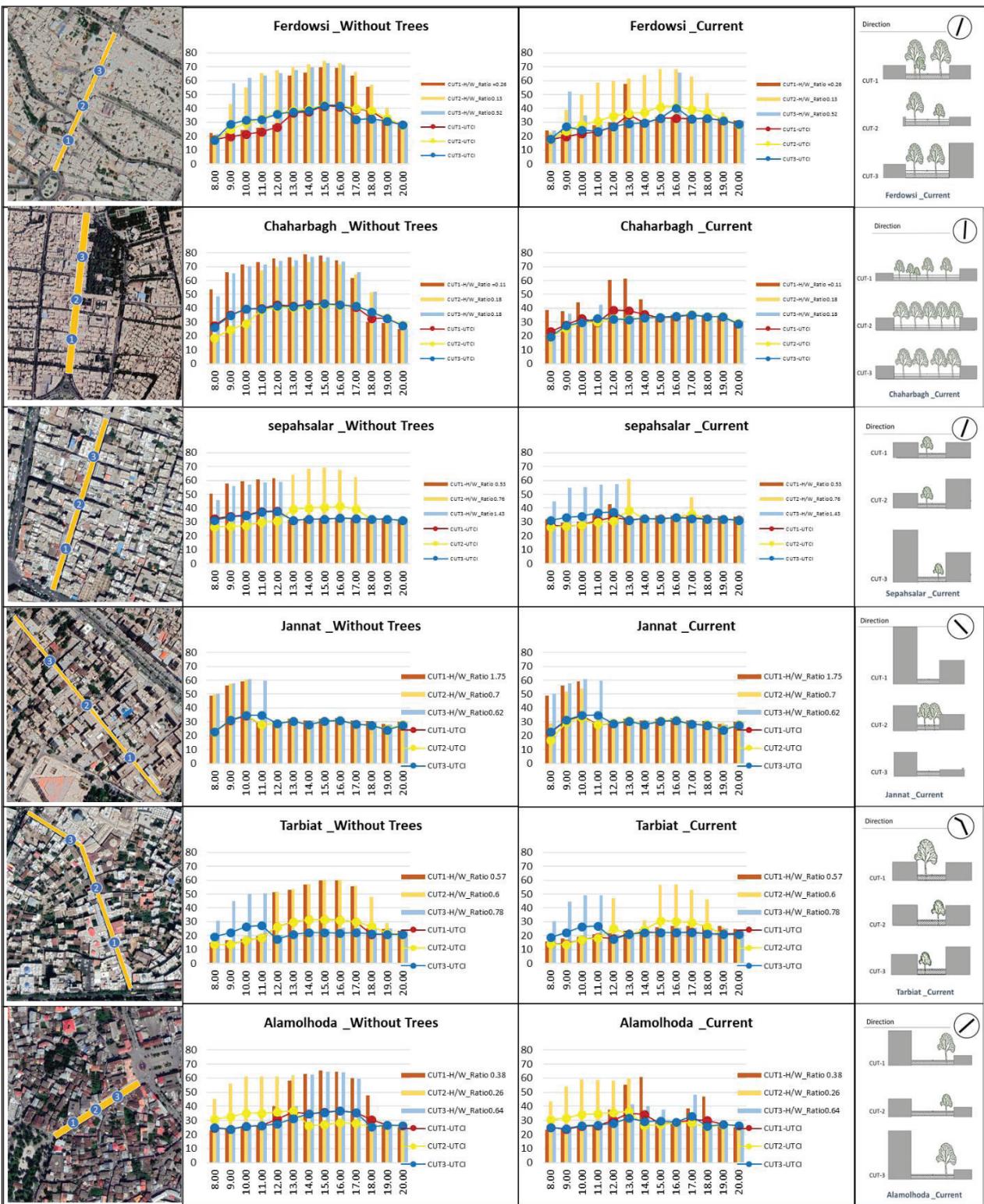
تصویر ۴- خروجی داده‌های اقلیمی از فایل EPW در روز ۱ تیر (۲۲ ژوئن)

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

پیاده راه سپهسالار تهران نیز تقریباً وضعیتی کالبدی مشابه با خیابان جنت را دارد و ضریب مخصوصیت در سه مقطع آن به ترتیب -0.53 ، -0.76 و -1.43 است که میانگین دمای تابشی در طول روز بدون درختان به ترتیب 41.57 ، 42.35 و 44.37 درجه سانتی گراد بوده که با اعمال اثر درختان به 34.2 ، 35.37 و 41.19 درجه سانتی UTCI در حالت بدون درخت به ترتیب برابر 33.32 ، 33.62 و 33.12 بوده که با اعمال تأثیر درختان بر این فاکتور به 31.22 ، 31.49 و 33.01 درجه سانتی UTCI تغییر می رسد. (تصویر ۵)

پیاده راه چهارباغ با 44 متر بیشترین عرض و کمترین نسبت مخصوصیت را نیز در مجموع داراست به صورتی که سه مقطع بررسی شده نسبت W/H به ترتیب -0.11 ، -0.18 و -0.10 بود که میانگین دمای تابشی روزانه به ترتیب 41.1 ، 41.9 و 41.8 درجه سانتی UTCI، 37.6 ، 37.7 و 35.1 درجه سانتی گراد است. این خیابان پوشش درختی متراکمی را نیز دارد. با اعمال تأثیر درختان دمای تابشی میانگین به ترتیب به 40.47 ، 34.5 و 33.76 درجه سانتی گراد و دمای احساسی به 31.2 ، 31 و 32.7 درجه سانتی گراد می رسد. بیشترین میزان تابش در کل پیاده راه های مطالعه شده مربوط به ساعت 14 بعداز ظهر است که دمای تابشی میانگین در این پیاده راه بدون درنظر گرفتن درختان 78.8°C بوده و فرض وجود درختان این میانگین به 39.0°C می رسد، و دمای احساسی در این ساعت از 42.52°C به 33.93°C می رسد. نمودار دمای تابشی و احساسی به صورت سینوسی در ساعات میانی روز افزایش و از ساعت 18 به بعد دمای احساسی به صورت کلی به زیر 40°C می رسد، همچنین مقطع دوم که در بخش متراتکم تر خیابان روبروی مدرسه چهارباغ قرار گرفته است در ساعت ابتدایی روز تابش کمتری را دریافت می کند و دمای احساسی خنک تری به نسبت دو مقطع دیگر دارد (تصویر ۵).

پیاده راه فردوسی نیز وضعیتی میانه را از نظر اقلیمی و کالبدی دارد می توان مشاهده کرد که با تعامل دو عامل ساختمان و درختان می توان تأثیر مناسب بری در آسایش حرارتی ایجاد کند به صورتی که داده ها نشان می دهند در سه مقطع بررسی شده که نسبت W/H به ترتیب -0.26 ، -0.13 و -0.05 است که دمای تابشی در حالت بدون درخت به ترتیب 51.88 ، 56.39 و 44.17 درجه سانتی گراد و دمای UTCI به ترتیب -30.99 ، -33.05 و -34.07 درجه سانتی گراد است. وضعیت آسایش حرارتی با اعمال درختان نیز مقاطع به ترتیب دمای UTCI به ترتیب به 28.14 ، 29.05 و 32.93 درجه سانتی گراد است (تصویر ۵).



تصویر ۵- نمودار داده‌های به دست امده از شبیه‌سازی آسایش حرارتی در محیط لیدی باگ به تفکیک پیاده راه و دمای تابشی و دمای UTCI روز ۱ تیر (۲۲ زوئن)

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 $-0.26 - 0.26 - 0.26$ و دمای $UTCI$ در حالت بدون درختان برابر $-30.34 - 30.36 - 30.36$ درجه سانتی‌گراد است که با درنظرگرفتن درختان موجود برابر $-28.52 - 30.16 - 27.78$ درجه سانتی‌گراد است (تصویر ۵).

پیادهراه تربیت که کمترین دمای احساسی را در مجموع دارا است و دارای پوشش درختی نسبتاً خوبی است که ضریب محصوریت آن وضعیتی میانه را دارد و به ترتیب $-0.57 - 0.57 - 0.57$ دارد. میانگین دمای تابشی و دمای $UTCI$ بدون درختان به ترتیب $30.2 - 30.2 - 30.2$ درجه سانتی‌گراد و $-23.5 - 21.9 - 24.0$ درجه سانتی‌گراد و در وضعیت موجود به ترتیب $-33.4 - 23.2 - 30.1$ درجه سانتی‌گراد و $-22.5 - 21.9 - 19.8$ درجه سانتی‌گراد است. همچنین مقطع سوم به سمت غرب چرخش دارد (تصویر ۵).

پیادهراه جنت بیشترین مقدار نسبت محصوریت مرطوب به مقطع اول این خیابان با نسبت H/W برابر با 1.75 و دو مقطع دیگر به ترتیب $0.70 - 0.75 - 0.75$ دارد. دمای تابشی در وضعیت فعلی این مورد به ترتیب $-36.40 - 36.40 - 36.40$ درجه سانتی‌گراد است و با حذف عامل درختان به ترتیب $-38.8 - 38.8 - 36.4$ درجه سانتی‌گراد و دمای $UTCI$ به $-28.70 - 28.70 - 29.3$ درجه سانتی‌گراد و در حذف درختان به ترتیب $-28.7 - 28.7 - 29.3$ 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 به دست آمده از محیط شبیه‌سازی شده به دو صورت کلی و جزئی پرداخته می‌شود از بررسی متغیر دمای خشک هوا - رطوبت نسبی - سرعت باد و مقایسه آن با داده‌های مرطوب به دمای احساسی و دمای تابشی مقاطع (تصویر ۴) در روز ۲۲ زوئن همان گونه که بر اساس طبقه‌بندی اقلیمی کوپن - گایگر پیش‌بینی می‌شود، پیادهراه چهارباغ اصفهان بیشترین دمای خشک و کمترین رطوبت نسبی گرم‌ترین شهر از نظر دمای احساسی و شهر تبریز با کمترین میانگین دمای خشک و رطوبت نسبی متوسط بهترین وضعیت آسایش حرارتی را در تابستان دارد. شهر رشت با وجود دمای خشک متوسط آن 28.24°C است، اما به دلیل رطوبت نسبی بالا (48.84%) در نهایت افراد دمایی بیشتر از دمای خشک هوا (نژدیک به 30 درجه سانتی‌گراد) احساس می‌کنند. همچنین ترتیب دمای احساسی بر اساس شرایط اقلیمی در شهرهای تهران - سنندج - مشهد با توجه به نزدیکی وضعیت رطوبت نسبی و سرعت باد به دلیل بالاتر بودن دمای خشک هوا در تهران بیشتر و پس از آن سنندج و مشهد است باشد. دمای خشک هوا و رطوبت نسبی در طول 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 دما را بهبود می‌بخشد. یکی از دلایل بالارفتن دمای احساسی در روزهای گرم سال نبود جریان هوای قابل ملاحظه 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 و سنجش اثرگذاری آن بر دمای خرد $\text{H}/W = 1$ (برای هر دو جهت‌گیری بسیار ناراحت‌کننده است با این حال، 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 تنفس 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 کم ارتفاع، اجرای استراتژی‌های سایه‌زنی در سطح خیابان تنها راه برای بهبود قابل توجه 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 می‌باشد. اما در تحقیق دیگری که به بررسی خیابان‌های ایران پرداخته موردي 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 $8 - 4.5$ درجه سانتی‌گراد گرم‌تر از سایر جهت‌ها بود. در تابستان، خیابان‌هایی با جهت شمال شرقی - جنوب غربی و شمال غربی - جنوب شرقی کمترین PET حدود 2 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 صورت گرفته بازه صبح تا غروب را در جهت‌گیری کل یا بخشی از آن به حالت شرقی غربی نزدیک‌تر است، دمای تابشی

و به تبع آن دمای احساسی بالاتری را در بر می‌گیرد تحلیل داده‌ها نشان می‌دهد. برای مثال در مقطع شماره ۳ از پیاده‌راه تبریز که جهت‌گیری آن نسبت به دو مقطع دیگر به سمت شرقی غربی نزدیک‌تر شده، وضعیت محصوریت در مقطع اول، دوم، سوم به ترتیب -0.57° ، -0.78° ، در مقطع سوم که به جهت شرق چرخش داشته دمای تابشی در ساعت ۸ صبح 30.7° و دمای UTCI 19.3° است؛ اما در مقطع شماره ۱ و ۲ دمای تابشی 14.9° و 14.8° و دمای UTCI 13.9° و 13.8° بود. در حالی که میانگین دمای احساسی در کل روز در مقطع سوم 21.98° و در دو مقطع دیگر 23.25° و 24.08° است. البته می‌توان این کاهش چندوجهی‌ای 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 به طور کلی 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 مرتفع تر 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 دمای احساسی دارد؛ اما در میانگین دمای روز اثر قابل توجهی 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 روپرتو می‌شود و در نتیجه دمای هوا کاهش می‌یابد (Shishegar, 2013). با مقایسه داده‌های مربوط به پیاده‌ها و بررسی آسایش حرارتی نتایج به دست آمده از پیاده‌راه چهارباغ همان گونه که اشاره شد، عریض‌ترین موردمطالعه شده در این تحقیق بود. نتایج به دست آمده از سه مقطع بررسی شده در این خیابان با نسبت W/H به ترتیب $0.11 - 0.18 - 0.18$ بوده که کمترین میزان محصوریت را دارا بود حداکثر تابش در ساعت 14° بعد از ظهر است که دمای تابشی میانگین در این پیاده‌راه بدون درنظر گرفتن درختان 78.8° است و از ساعت 9 تا 17 تابش دریافتی کل مقاطع حدی بالاتر از 60° را تجربه می‌کنند. از سویی ما می‌دانیم که دمای تابشی بالای 60° 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 0.76 . که ساختمان جبهه غربی کوتاه‌تر است در ساعات میانی روز تابش بیشتری دریافت کرده و از حد 60° درجه گذر می‌کند، در پیاده‌راه علم‌الهدی که جهت‌گیری به سمت شرقی غربی می‌شود و محصوریت به ترتیب $0.26 - 0.26 - 0.26$ را دارند، در ساعت 15 و 16 دمای تابشی به بالای 60° می‌رسد. در پیاده‌راه فردوسی که سه مقطع که محصوریت $0.13 - 0.13 - 0.13$ را دارند از ساعت $12 - 17$ تابش بالای 60° را تجربه می‌کنند. از مجموع داده‌ها مشاهده می‌شود که در نسبت محصوریت بالای 0.7 دمای تابشی بیشتر از 60° مشاهده نمی‌شود. مطالعات پیشین نشان داد که در طول روز تنفس شدید حرارتی و همچنین توزیع فضایی آسایش حرارتی در سراسر خیابان به شدت به نسبت ابعاد W/H و جهت خیابان بستگی دارد. خیابان‌های گسترده ($W/H = 1$) برای هر دو جهت بسیار ناراحت کننده 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 تعديل آن به اثبات رسید. اثر خنک‌کنندگی حداکثر 3 درجه‌ای در دمای هوا در برداشت‌های میدانی و حداکثر 7 درجه‌ای در دمای تابشی در شبیه‌سازی به دست آمد (Ahmadi Venhari et al., 2019). با مقایسه میانگین داده‌های به دست آمده 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 4° 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 $0.05 < W/H < 0.06$ به ترتیب برابر با $33.77^{\circ} - 31.65^{\circ}$ 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 $W/H > 0.5$ دمای خشک و دمای UTCI به ترتیب برابر با $28.93^{\circ} - 29.40^{\circ}$ 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 نه تنها 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

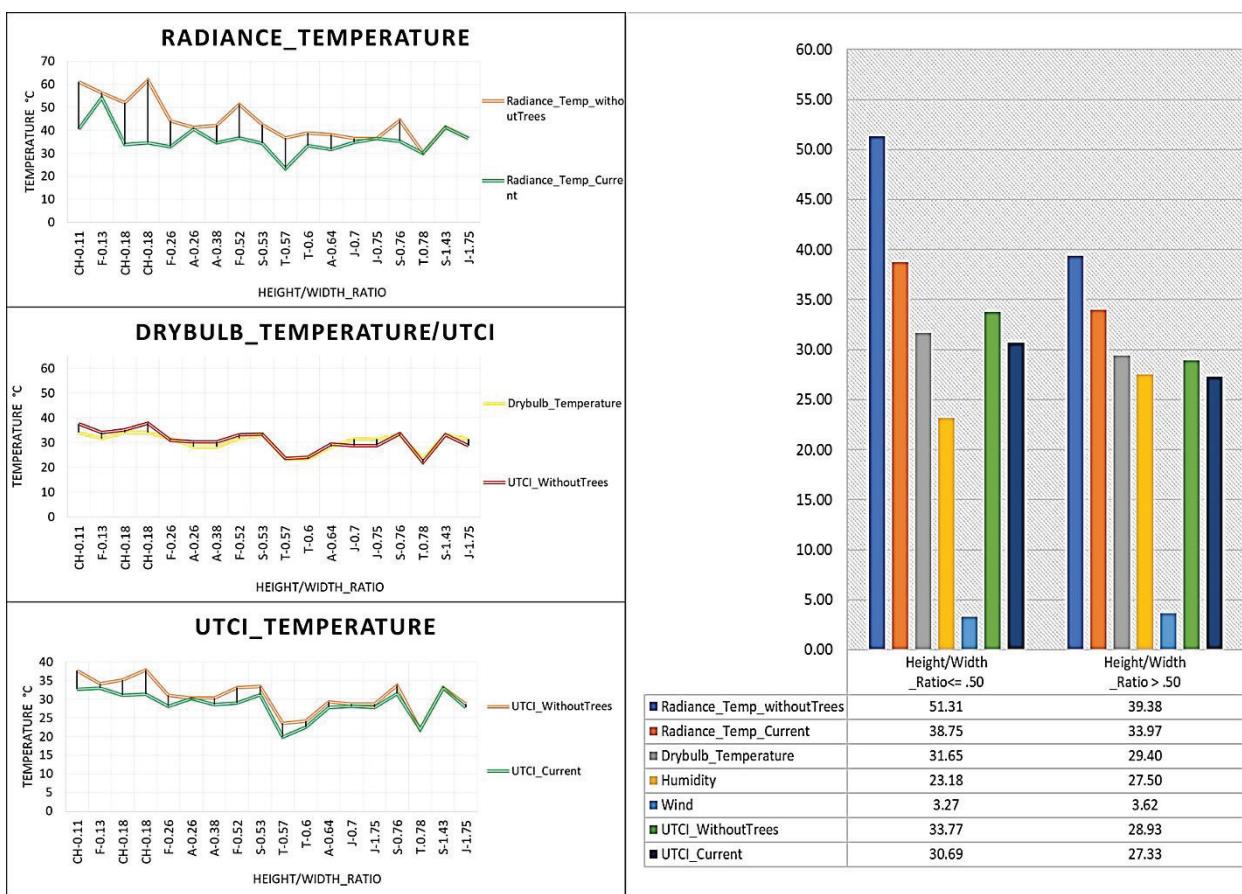
نور کمتری را منعکس می‌کنند و چون از سطوح نمایان سردرت هستند، گرمای تابشی کمتری نیز از خود ساطع می‌کنند (Erell et al., 2011) از همین روی هر میزان سایه ایجاد شد از ساختمان‌ها بیشتر باشد تابش دریافتی و به تبع آن دمای محیط نیز کمتر خس می‌شود. با مقایسه داده‌های مربوط به پیاده‌راه‌ها و بررسی میزان اثرگذاری درختان بر آسایش حرارتی نتایج به دست آمده از پیاده‌راه چهارباغ همان گونه که اشاره شد، عریض‌ترین مورد مطالعه شده در این تحقیق بود. نتایج به دست آمده از سه مقطع بررسی شده در این خیابان با نسبت $W/H = 0.18 - 0.11$ بوده که کمترین میزان مخصوصیت را در را نیز دارا بود. حداکثر تابش در ساعت ۱۴ بعدازظهر است که دمای تابشی میانگین در این پیاده‌راه بدون درنظر گرفتن درختان درجه سانتی‌گراد ۷۶.۴۵ 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 قابل توجه 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 به صورت متراکم در این خیابان تا حد زیادی مؤثر واقع شده است. این کاهش دما شاهدی این مدعای است که بر اثر سایه زدن درختان می‌تواند 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 جالب توجه است در مقطع اول که بالاترین نسبت ارتفاع به عرض را در جامعه آماری دارد ($H/W = 1.75$) و مقطع دوم ($H/W = 0.7$)، 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 توائنسه از نظر آسایش حرارتی وضعیت مشابه و حتی اندکی خنک‌تر از مقطع اول را ایجاد کند که می‌تواند نشان دهد در حالتی که مخصوصیت پیاده‌راه کم است کاشت درخت می‌تواند اثر کاهش‌دهنده دما را داشته باشد.

در داده‌های مربوط به سپهسالار تهران این نکته حائز اهمیت است که کل مقاطع مورد بررسی دارای درختان اندک با ارتفاع کم هستند. سه مقطع بررسی شده دارای نسبت‌های W/H به ترتیب $0.53 - 0.76 - 1.43$ است. از مجموع داده‌های نشان داده شده 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 توائسه از نظر آسایش حرارتی وضعیت مشابه و حتی اندکی خنک‌تر از مقطع اول که این تأثیر به اندازه 11.0 درجه بوده که می‌توان گفت عملاً تأثیری نداشته است. در خیابان علم‌الهی که از نظر اقلیمی در محدوده گرم و مرطوب است، وضعیت در سه مقطع بررسی شده با نسبت $W/H = 0.38 - 0.26 - 0.26$ مشاهده می‌شود وجود درخت با ارتفاع متوسط در مقطع ۱ و ۳ سبب کاهش دمای حدود 2 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 وضعیت 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 کر به صورتی که داده‌ها نشان می‌دهند در سه مقطع بررسی شده که نسبت W/H به ترتیب $0.13 - 0.26 - 0.52$ است. در بررسی وضعیت آسایش حرارتی با اعمال درختان نیز مقاطع به ترتیب دمای UTCI به ترتیب $28.14 - 28.93 - 32.93$ 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 مثبت این اجزا بر آسایش حرارتی کل پیاده‌راه قابل توجه و در مجموع سه مقطع پیاده‌راه 36.6 درجه دمای میانگین روزانه را کاهش داده‌اند.

جهت تحلیل روش‌تر رابطه مخصوصیت و دمای تابشی دریافتی دمای UTCI را بر اساس ضریب مخصوصیت مورد بررسی قرار دادیم (تصویر ۶). در تحلیل رابطه مخصوصیت فضا (H/W) با اثر سایه‌اندازی درختان مطالعات پیشین نشان داد که در طول روز تنفس شدید حرارتی و همچنین توزیع فضایی آسایش حرارتی در سراسر خیابان بهشتد به نسبت ابعاد H/W و جهت خیابان بستگی دارد. خیابان‌های گسترده $H/W = 1$ برای هر دو جهت بسیار ناراحت‌کننده است (Ali Toudert & Mayer, 2006). با مقایسه میانگین داده‌های به دست آمده از 18 مقطع مورد مطالعه داده‌ها (تصویر ۶) مشخص می‌شود که رابطه عکس بین دو مؤلفه دمای احساسی و دمای تابشی با نسبت ارتفاع به عرض پیاده‌راه (مخصوصیت)

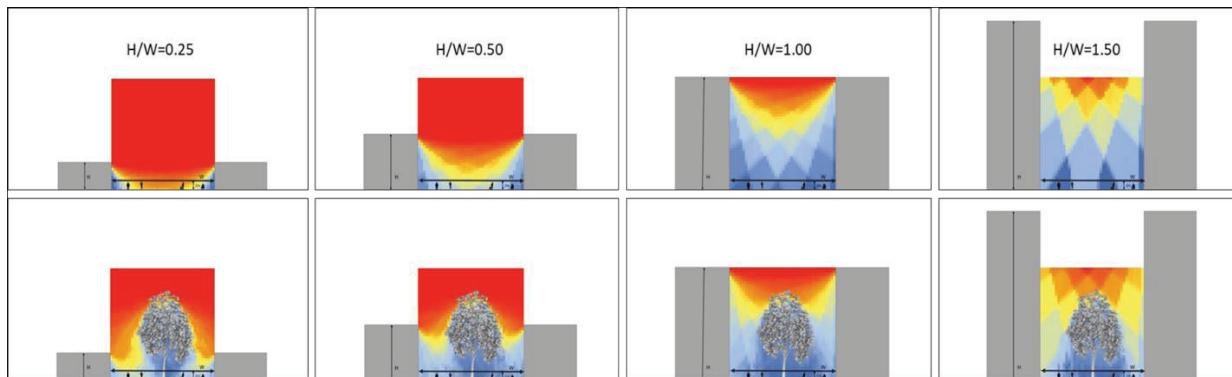
وجود دارد. به صورتی میانگین دمای خشک هوا و دمای UTCI در مجموع مقاطع با نسبت $<0.5 H/W$ برابر با 33.77°C است که این مسئله این موضوع مهم را نشان می‌دهد که در مقاطع کوتاه‌تر از این حد همواره دمای احساسی حدی بالاتر از دمای خشک هوا را شامل می‌شود. اما بعد که با اعمال اثر سایه‌اندازی درختان دمای احساسی به 30.69°C می‌رسد که اختلاف 3.08°C درجه‌ای را ایجاد می‌کند که کمتر از دمای خشک هوا است که تأثیری قابل توجه است. بهترین نتیجه اختلاف دمای احساسی قبل و بعد از اثر سایه درختان در خیابان چهارباغ از 37.76°C به 31.27°C می‌رسد که اختلاف 6.49°C 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 کم برخوردار 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 $>0.5 H/W$ دمای خشک و دمای UTCI به ترتیب برابر با 28.93°C - 29.40°C و با اعمال اثر سایه‌اندازی درختان به 27.33°C می‌رسد و اختلاف دمای 1.6°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 دارد. حداقل اثرگذاری درختان در این محدوده مربوط به خیابان سپهسالار است که از دمای 33.62°C به 31.49°C می‌رسد و اختلاف 2.13°C را در دمای احساسی موجب می‌شود که این اختلاف $1/3$ وضعیت قبل است.



تصویر ۶- مقایسه دمای خشک هوا- دمای تابشی- دمای UTCI بر حسب ضریب محصوریت

در تحقیقات سابق بیان کردند: 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 (آقابور و تابان، ۱۳۹۹). همچنین سایه زنی نه تنها 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 نور کمتری را متعکس می‌کنند و چون از سطوح نمایان سردرتر 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. حد از مخصوصیت شامل $-0.25 < H/W < 0.50$ به عنوان 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 $0.25 < H/W < 0.50$ به دلیل کوتاه‌بودن اینیه 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 تنفس 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 برخلاف 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 مخصوصیت و جهت‌گیری در آسایش حرارتی پیاده‌راه‌های ایران پردازد 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 به علاوه دمای تابشی می‌باشند که در فصل تابستان عموماً اثر باد به دلیل ناچیز بودن آن چندان نیست. استفاده از شیوه‌های مختلف سایه‌اندازی به عنوان یکی از اصلی‌ترین راه‌های 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 ساعت‌های 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 مخصوصیت فضا $H/W < 0.5$ است، دمای UTCI بیشتر از دمای خشک هوا احساس می‌شود، همچنین اثر سایه‌اندازی درختان بر کاهش دمای هوا می‌تواند دمای هوا را به طور قابل ملاحظه‌ای کاهش دهد. اما در حالتی که $H/W > 0.5$ است دمای احساسی عموماً کمتر از دمای خشک هوا را داشته و اثر سایه‌اندازی درختان بر کاهش دمای احساسی به صورت نزولی با افزایش مخصوصیت فضا کاهش می‌باید. در مقاطع با نسبت مخصوصیت بالای ۰.۷۰ تابش دریافتی مقاطع بررسی شده در تمام ساعت‌های روز همواره کمتر از حد بحرانی ۶۰ درجه سانتی‌گراد است که وضعیتی مطلوب محسوب می‌شود.

در مقاطعی از پیادهراه که نسبت $<H/W>$ 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 37.76°C به 31.27°C می‌رسد که اختلاف 6.49°C را ایجاد می‌کند. دمای میانگین روزانه مجموع پیادهراه‌های بررسی شده 30.8°C درجه پایین می‌آورد. در مقاطع بلندتر با $>0.5 <H/W>$ اثر سایه‌اندازی درختان کمتر می‌شود به‌گونه‌ای که حداقل اثرگذاری اثر سایه درختان در خیابان سپهسالار است که از دمای 33.62°C به 31.49°C رسیده که $1/3$ وضعیت حداقل قبل است و میانگین کل دمای احساسی مقاطع این محدوده را 16°C کاهش داده که تقریباً نصف حالت قبل است. از همین رو می‌توان نتیجه گرفت که اثر سایه‌اندازی درختان در $<0.5 <H/W>$ یک استراتژی کارآمد جهت بهبود وضعیت آسایش حرارتی است. اما $>0.5 <H/W>$ وجود توده‌های ساختمانی مرتفع تر سبب شده تا دمای تابشی میانگین 11.93°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 5.41°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 تعريف 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.

قدرتانی

جهت دستیابی به مدل‌های شبیه‌سازی شده در این تحقیق به علت محدودیت‌های ناشی از همه‌گیری کرونا در زمان نگارش نویسنده‌گان صرفاً امکان برداشت حضوری از پیادهراه تبریز داشتند از همین رو جهت مقایسه تطبیقی تصمیم بر آن شد تا از منابع کتابخانه‌ای موجود و برداشت‌های انجام شده در سایر تحقیقات و سایتها 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 سنترج (memarnews.com).
- تجزیه و تحلیل پیادهراه جنت مشهد به همراه پرسشنامه - نوین شهر (novinshahr.com).
- پیادهراه علم‌الهی رشت عکس + موقعیت جغرافیایی (irantourismonline.com).
- پایان نامه دوره کارشناسی ارشد هادی، سروش عنوان: طراحی محور پیاده جنت (مشهد) رشت تحصیلی: طراحی شهری محل تحصیل: دانشکده هنرهای زیبای دانشگاه تهران، ۱۳۸۲ کتابخانه دانشگاه هنر اصفهان.
- پایان نامه دوره کارشناسی رشت 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 موردي: پیادهراه علم‌الهی شهر رشت. فصلنامه علمی و پژوهشی پژوهش و برنامه‌ریزی شهری، نوشه 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 جغرافیایی برنامه‌ریزی شهری، نوشه حسینی، ع، عباس نژاد جلوگیر، م، اخوان انوری، ا، سجادی، س. ا. (۲۰۲۱).
- ساماندهی جداره پیادهراه علم‌الهی رشت با نیم‌نگاهی زیبایی‌شناسانه به عناصر شاخص بصری، فرهنگی و اقلیمی موجود اولین کنفرانس ملی شهرسازی، مدیریت شهری و توسعه پایدار، نوشه مقدم لیموئی، م، عموزاده لیچائی، ا. (۱۳۹۳).
- سنجش کیفیت پیادهراه‌های شهری در ایران نمونه موردي: پیادهراه صف (سپهسالار) تهران. نشریه هنرهای زیبایی: معماری و شهرسازی، نوشه رنجبر، ا، رئیس اسماعیلی، ف. (۲۰۱۰).

- منظر شهری پیاده‌راه و شاخصه‌های آن (نمونه موردی محور پیاده جنت مشهد) کنفرانس بین‌الملی عمران، معماری و زیرساخت‌های شهری، نوشه 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، نوشه 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 نوشه‌های سیاحان. باغ نظر، ۱۱(۲۹).
- از پژوهشگران دست‌اندرکاران این تحقیقات و منابع ارزشمند نهایت تشکر را داریم.

پی‌نوشت‌ها

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

منابع

- آقاضور، 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، 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 شهر وندان، مطالعات شهر ایرانی اسلامی، 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، ۱۹(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، ۲۸(۲)، ۲۲۴-۲۰۱.
- رضیئی، ط. (۱۳۹۶). منطقه‌بندی اقلیمی ایران به روش کوپن - گایگر و بررسی جابه‌جایی مناطق اقلیمی کشور در سده بیستم. فیزیک زمین و فضا، ۴۳(۲)، ۴۱۹-۴۳۹. doi: 10.22059/jesphys.2017.58916

- رنجبر، ا. و رئیس اسماعیلی، ف. (۲۰۱۰). سنجش کیفیت پیاده‌راه‌های شهری در ایران نمونه موردنی: پیاده‌راه صف (سپهسالار) تهران. نشریه هنرهای زیبا - معماری و شهرسازی، ۴۲(۲)، ۸۳-۹۳.
- مجیدی، ف.، حیدری، ش.، قلعه‌نوبی، م. و قاسمی سیچانی، م. (۲۰۱۸). تفاوت فصلی حدود آسایش حرارتی در محلات قدیم و جدید شهر اصفهان (مطالعه موردنی: محلات جلفا و مرداویج). نشریه هنرهای زیبا - معماری و شهرسازی، ۲۳(۲)، ۳۱-۴۲.
- عزیزی، م.، امین‌زاده، ب.، آقامالایی، 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., Cocco, 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., Pearlmuter, 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.
 - Häammerle, 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.

- 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.

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°C, 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 °C and the emotional temperature by 3,08 °C, 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.