نشریهٔ علمی باغ نظر، ۲۳(۱۵۸)، ۱۹-۲۶ / مرداد ۱۴۰۵
DOI:10.22034/bagh.2026.507504.5769

ترجمهٔ انگلیسی این مقاله نیز با عنوان:
Investigating the Impact of Vegetation on Thermal Comfort in a Hot and Arid Climate
(A Micro-Scale Study of Kholdebarin Residential Neighborhood, Shiraz, Iran)
در همین شمارهٔ مجله به‌چاپ رسیده است.

مقالهٔ پژوهشی

بررسی تأثیر پوشش‌گیاهی بر آسایش حرارتی در اقلیم گرم و خشک
(در مقیاس خرد-محله مسکونی خلدبرین- شیراز)

فاطمه مینابیان[1*]، نازنین فخفوری[2]، محمدرضا مهربانی گلزار[3]

۱. گروه معماری، دانشکدهٔ مهندسی معماری و شهرسازی، دانشگاه تربیت دبیر شهید رجایی، تهران، ایران
۲. گروه برنامه‌ریزی و طراحی شهری و منطقه‌ای، دانشکدهٔ معماری و شهرسازی، دانشگاه شهید بهشتی، تهران، ایران
۳. دانشکدهٔ معماری و شهرسازی، دانشگاه بین المللی امام خمینی (ره)، قزوین، ایران

تاریخ دریافت: ۱۴۰۳/۱۲/۰۲ تاریخ پذیرش: ۱۴۰۵/۰۱/۲۴ تاریخ انتشار: ۱۴۰۵/۰۵/۰۱

چکیده
بیان مسئله: شهرنشینی و توسعهٔ کالبدی بی‌رویه شهرها بدون توجه به پیامدهای اقلیمی، سبب افزایش دمای محیط و به دنبال آن، کاهش میزان آسایش حرارتی و کیفیت زیستی شهروندان در فضاهای بیرونی در مناطق گرم و خشک شده است. اگرچه استفاده از پوشش‌گیاهی می‌تواند از طریق سایه‌اندازی و تعدیل تابش سبب آسایش حرارتی بیشترشود، اما اثربخشی این راهکار در مقیاس خرد (مانند گذرهای مسکونی) همچنان محل تردید و بررسی بیشتر است.
هدف پژوهش: این پژوهش به ارزیابی نقش پوشش‌گیاهی در تعدیل آسایش حرارتی در مقیاس خرد در فضای شهری در اقلیم گرم و خشک می‌پردازد.
روش پژوهش: دو کوچه با ویژگی‌های کالبدی مشابه ولی پوشش‌گیاهی متفاوت در محلهٔ خلدبرین شیراز انتخاب و داده‌های میدانی شامل دمای هوای و رطوبت نسبی در ساعات اوج گرما برداشت شد. این داده‌ها پس از شبیه‌سازی محیط مورد بررسی در نرم‌افزار انویمت لحاظ شده و با شاخص PMV در نرم‌افزار Bio-MET تحلیل شدند.
نتیجه‌گیری: نتایج نشان داد که اختلاف دما در بهترین حالت حدود دو درجه سانتی‌گراد بوده و شاخص آسایش حرارتی همچنان در وضعیت «خیلی گرم» باقی مانده است. به‌رغم اثر نسبی پوشش‌گیاهی، این میزان تغییر به‌تنهایی برای تأمین آسایش حرارتی کفایت نمی‌کند. یافته‌ها نشان دادند که نوع و فرم تاج درختان نقش مهمی در بهبود شرایط حرارتی دارند. این پژوهش تأکید می‌کند که طراحی مؤثر فضاهای سبز با درختان دارای تاج گسترده، مؤثرتر از کاشت صرف درختان کوتاه‌تاج خواهد بود.
واژگان کلیدی: *آسایش حرارتی، اقلیم گرم و خشک، پوشش‌گیاهی، شبیه‌سازی خرداقلیم.*

مقدمه و بیان مسئله
تغییرات اقلیمی جهانی و رشد شهرنشینی، دو عامل اساسی در کاهش کیفیت زندگی شهری، به‌ویژه در اقلیم‌های گرم و خشک، هستند. این پدیده‌ها با ایجاد شرایط نامطلوب حرارتی مانند جزایر حرارتی شهر[1]، موجب افزایش دمای محیط و کاهش آسایش حرارتی می‌شوند. برای مثال، موج گرمایی سال ۲۰۰۳ در اروپا منجر به مرگ بیش از ۷۰ هزار نفر شد (Robine et al., 2008). بیش از نیمی از جمعیت جهان در شهرها زندگی می‌کنند و از شرایط نامساعد حرارتی و جزایر گرمایی شهری رنج می‌برند. این وضعیت منجر به افزایش مصرف انرژی، خطر آتش‌سوزی و ناراحتی‌های حرارتی می‌شود (Wang et al., 2021). در محیط‌های شهری، استفاده از راهکارهای طبیعی و انسان‌ساخت می‌توانند تا حدی این مشکل را کاهش دهند (Sabrin et al., 2021). به‌طور دقیق‌تر، این عوامل می‌توانند به طراحان کمک کنند تا محیط‌های شهری ایمن و راحتی ایجاد کنند که سطح آسایش حرارتی در فضاهای بیرونی را بهبود بخشند (Narimani et al., 2022).
پژوهش دربارهٔ اینکه فضاهای بیرونی چگونه طراحی شوند تا از آسایش حرارتی بهتری برخوردار باشند به طراحان منظر و

*نویسندهٔ مسئول: ۰۹۹۳۹۶۸۷۰۲۳، Fatemeh.minabian@gmail.com

فضاهای شهری دربارهٔ نحوهٔ طراحی کمک می‌کند تا محیط‌های باز شهری برای مشارکت فعالانه‌تر مردم و حضور خوشایند آنها بهینه‌سازی شود. در این راستا نقش درختان خیابانی در آسایش حرارتی مناطق شهری اهمیت زیادی پیدا کرده است، زیرا این درختان می‌توانند آسایش حرارتی را برای افراد در این فضاها فراهم‌کنند (Liu et al., 2022).

هدف پژوهش

هدف این پژوهش به‌طور ویژه بررسی نقش درختان در تعدیل گرما و تأمین آسایش حرارتی در معابر شهری در اقلیم گرم و خشک است. چنانچه سهم آن در خرده اقلیم قابل‌توجه باشد راهکاری برای بهبود دمای محیط خواهد بود و در مقابل چنانچه اثرگذاری آن محسوس یا قابل‌توجه نباشد این فرضیه که وجود درختان به آسایش محیط کمک می‌کند مورد تردید واقع خواهد شد.

سؤال و فرضیهٔ پژوهش

آیا فضای سبز در تأمین آسایش حرارتی در یک فضای شهری مؤثر است؟

آیا به صرف وجود فضای سبز در یک مکان، می‌توان انتظار بهبود شرایط آسایش را داشت؟

پیشینهٔ تحقیق

مطالعات متعددی به بررسی نقش پوشش‌گیاهی بر آسایش حرارتی محیطی در اقلیم‌های گرم و خشک پرداخته‌اند. در این پژوهش‌ها استفاده از نرم‌افزارهای شبیه‌ساز در کنار ابزارهای سنجش دقیق و برداشت‌های میدانی به برخی نتایج تأییدکننده در این موضوع منجر شده است. برخی از این پژوهش‌ها نشان می‌دهند که درختان نقش اساسی در بهبود آسایش حرارتی در فضای باز شهری ایفا می‌کنند (ibid., 2022).

در اکثر تحقیقات بررسی شده طی ۱۰ سال اخیر به کمک نرم‌افزار انویمت، شامل موضوعاتی چون: دستیابی به معیارهای طراحی کالبد معماری و آسایش حرارتی (Lenzholzer, 2012)، شبیه‌سازی فرم‌های معماری ساخته شده و منظر آنها (Middel et al., 2014) شبیه‌سازی آلترناتیوهای مختلف طراحی و بررسی میزان تأثیر عوامل معماری مانند نسبت ارتفاع و عرض، مکانیابی ساختمان، میزان سایه در کاهش تأثیر جزیرهٔ گرمایی و راحتی عابران، پیشنهاد پوشش‌گیاهی مناسب بوده است (Al-Kurdi & Awadallah, 2015). نتایج پژوهش عبداللهزاده و بلوریا نیز نشان می‌دهد استفاده از فضای سبز و کاشت درختان می‌تواند رطوبت ویژه را افزایش دهد و آسایش حرارتی مرتبط را در خیابان‌ها بهبود بخشد (Abdollahzadeh & Biloria, 2021). درخصوص ابعاد و نوع درختان، پژوهش آنانیوا و امانوئل (Ananyeva & Emmanuel, 2023) حاکی از این است که پوشش‌گیاهی یک عامل کلیدی در کاهش دمای سطح در ۷۵ درصد از مناطق شهری است، و درختان بیشترین تأثیر را در این میان دارند. سابرین و همکاران نیز پتانسیل درخت در کاهش دما را وابسته به ویژگی‌های محیط شامل تراکم و ارتفاع ساختمان‌ها، متریال سطح و آب و هوای محلی می‌داند (Sabrin et al., 2021). پارک و همکاران در پژوهشی که روی جزایر گرمایی در شهر و تأثیر پوشش‌گیاهی انجام دادند به این نتیجه رسیدند که کاهش دما بین یک الی دو درجه با کاشت درختان امکان‌پذیر است (Park et al., 2024). ترانی و همکاران نیز در پژوهش‌شان دریافتند که تأثیر درختان در پیاده‌روها بیشتر از آنکه اثر فیزیکی داشته باشد، اثر ادراکی و روانی بر مخاطب دارد یعنی اثر کاهش دما اندک است اما به لحاظ ادراکی، مخاطب بیش از اثر فیزیکی واقعی، احساس آسایش می‌کند (Terrani et al., 2024). پژوهش دیگری نشان می‌دهد که افزودن درختان بیشتر می‌تواند دمای هوا را به‌طور متوسط ۰/۲ درجه سانتیگراد کاهش دهد (Cortes et al., 2022).

لی و همکاران نیز در پژوهش‌شان دریافتند که قطر تاج درختانی که امکان سایهٔ گسترده‌تری دارند را عامل اصلی بهبود شرایط آسایش حرارتی می‌دانند. همچنین نتایج پژوهش‌شان حاکی از این است که به لحاظ ادراکی، عابران در زیر سایهٔ درختان- در دمای یکسان با محیط غیرسایه- احساس بهتری را تجربه می‌کردند (Lai et al., 2024). به نظر می‌رسد اثر خنک‌کنندگی پوشش‌گیاهی عمدتاً ناشی از سایه است که بازتاب امواج را کاهش می‌دهد (Li et al., 2019). درک گرما در افراد بیشتر به تابش و دمای اجسام اطراف (میانگین دمای تابشی) بستگی دارد تا به دمای خود هوا. بنابراین هرچه بازتاب نور محیط بیشتر کنترل شود به احساس آسایش در فرد منجر می‌شود. ترانی و همکاران دریافتند که درختان می‌توانند تا ۸۵ درصد انتشار امواج بلند تابش خورشید را کنترل کنند و از بازتاب آن به وسیلهٔ کفسازی جلوگیری کنند که نهایتاً دمای تابشی را کاهش می‌دهد (Terrani et al., 2024). اگرچه تراکم برگ در تاج درختان برای ایجاد سایه مطلوب‌تر است، اما به‌دلیل کاهش جریان هوا یک عامل منفی محسوب می‌شود (Nicholson et al., 2024). چو و همکاران پیشنهاد می‌کنند که برای یک فضای باز، طرح سبز پراکنده‌تری در نظر گرفته شود تا اثر سایه‌اندازی سطح سنگ‌فرش به حداکثر برسد و تابش خورشیدی در داخل فضا کاهش یابد. با این حال در میزان کاهش دما به عددی بین یک الی دو درجه سانتیگراد رسیده‌اند (Chu et al., 2024). در این بخش، به ترتیب به مرور و تحلیل انتقادی مطالعات بین‌المللی و داخلی پرداخته می‌شود. الوی و همکاران در اقلیم گرم و خشک قاهره، مصر، با استفاده از شبیه‌سازی انویمت و داده‌های میدانی، نشان دادند که پوشش‌گیاهی دمای هوا و میانگین تابش حرارتی (MRT)

را کاهش می‌دهد. این پژوهش با ترکیب داده‌های میدانی و شبیه‌سازی عددی، اعتبار بالایی دارد، اما به تفاوت‌های گونه‌های گیاهی نپرداخته است (Elwy et al., 2018). ژائو همکاران در فونیکس، آمریکا، به بررسی تأثیر گونه‌های مختلف درختان و موقعیت آنها بر جریان هوا و آسایش حرارتی پرداختند. آنها با تأکید بر جهت‌گیری خیابان‌ها و فرم تاج درختان، نشان دادند که درختان با تاج عریض و جهت‌گیری مناسب می‌توانند شرایط آسایش حرارتی را بهبود بخشند. این مطالعه تنها به شبیه‌سازی پرداخته و فاقد اعتبارسنجی میدانی است (Zhao et al., 2018). الکردی و عوض الله در عمان، اردن، با استفاده از شبیه‌سازی عددی، نشان دادند که طراحی خیابان‌های همراه با پوشش‌گیاهی می‌تواند تأثیر جزایر حرارتی شهری را کاهش داده و آسایش حرارتی را افزایش دهد. این مطالعه به خوبی نقش طراحی شهری و پوشش‌گیاهی را بررسی کرده اما فاقد داده‌های میدانی است (Al-Kurdi & Awadallah, 2015). کوتس و همکاران به نقش خنک کردن محیط از طریق گیاه و بهبود شرایط آسایش حرارتی انسان از طریق سایه اندازی و تعرق اشاره می کند وی همچنین توجه به اهمیت حفظ آب کافی برای درخت برای برخورداری از سلامت کامل و پوشش گسترده تاج برای سایه اندازی و تعرق و رطوبت خاک را امری ضروری می‌داند (Coutts et al., 2015). نریمانی و همکاران در ایران، با تمرکز بر فرم درخت و جهت خیابان، نشان دادند که گونه‌های مختلف درختی اثرات متفاوتی بر آسایش حرارتی کاربران دارند. درختان با تاج عریض و ارتفاع بلندتر، به دلیل بهبود جریان هوا و سایه‌اندازی مؤثرتر، شرایط بهتری ایجاد می‌کنند. این پژوهش از شبیه‌سازی انویمت استفاده کرده اما به تجربیات کاربران (احساس آسایش) نپرداخته است (Nariman et al., 2022). پژوهش های مذکور در جدول ۱ مورد قیاس گرفته است.

مطالعات پیشین به‌طور کلی تأیید می‌کنند که پوشش‌گیاهی در بهبود آسایش حرارتی در اقلیم گرم و خشک مؤثر است. با این حال، این پژوهش‌ها با دو محدودیت اساسی مواجه‌اند.

اول آنکه میزان این اثرگذاری به نحوی که برای انسان ملموس باشد و یک فضای شهری نامطلوب را به محیطی مطلوب بدل کند در پژوهش‌ها پیشین مسکوت مانده است. به‌عنوان مثال کاهش یک یا دو درجه‌ای دما به‌دلیل پوشش‌گیاهی آیا به مطلوبیت و آسایش محیطی منجر می‌شود یا خیر؟ نکته مغفول مانده دوم این است که چنانچه پوشش‌گیاهی نقش اساسی در آسایش محیطی دارد این تأثیر ناشی از چیست؟ آیا به صرف وجود سبزینگی در محیط؛ آسایش تأمین می‌شود؟ این پژوهش با مدل‌سازی دو کوچه مسکونی موجود در بافت مسکونی شهر شیراز (با و بدون پوشش‌گیاهی)، به بررسی اثرگذاری پوشش‌گیاهی بر آسایش حرارتی و اعتبارسنجی تحقیقات پیشین کاربران می‌پردازد. استفاده از ترکیب شبیه‌سازی عددی انویمت و داده‌های میدانی به درک بهتر نقش درختان در بهبود شرایط حرارتی کمک می‌کند.

مبانی نظری

با توجه به هدف پژوهش، لازم است تعاریف کاملی از آسایش حرارتی و شاخص‌های اندازه‌گیری آن ارائه شود. همچنین مروری بر نظریاتی صورت گیرد که دربارهٔ تأثیر پوشش‌گیاهی بر آسایش حرارتی مطرح شده‌اند. در مناطق شهری، جزایر حرارتی شهری به‌دلیل وجود سطوح نفوذناپذیر (مانند آسفالت و بتن)، کاهش پوشش‌گیاهی، گرمای ناشی از فعالیت‌های انسانی و انتشار آلاینده‌ها شکل می‌گیرند این شرایط باعث می‌شود که مناطق شهری گرم‌تر از مناطق روستایی اطراف باشند (Sabrin et al., 2021). آسایش حرارتی به‌عنوان حالتی ذهنی تعریف می‌شود که در آن افراد از دمای محیطی رضایت دارند. این مفهوم به ویژه در فضاهای باز شهری و به‌دلیل روند سریع شهرنشینی و تغییرات اقلیمی، اهمیت ویژه‌ای یافته است (Liu et al., 2022). تابش خورشید، مهم‌ترین عامل تأثیرگذار بر آسایش حرارتی در فضاهای بیرونی است (Yang et al., 2013). برای کاهش تأثیر تابش خورشید، یکی از راهکارهای رایج، استفاده از پوشش‌گیاهی است (Liu et al., 2022). پوشش‌گیاهی، به‌ویژه درختان، با ایجاد سایه و کاهش تابش مستقیم خورشید، شرایط آسایش حرارتی را بهبود می‌بخشند .درختان با تاج گسترده می‌توانند از طریق سایه‌اندازی

جدول ۱.خلاصهٔ مطالعات پیشین در اقلیم گرم و خشک. مأخذ: نگارندگان.

پژوهش	مکان	ابزار	روش	نقاط قوت	نقاط ضعف
Elwy et al. (2018)	قاهره، مصر	انویمت + سنجش میدانی	شبیه‌سازی عددی + میدانی	اعتبار بالا به‌دلیل ترکیب میدانی و شبیه‌سازی	تحلیل محدودی از گونه‌های گیاهی دارد.
Zhao et al. (2018)	فونیکس، آمریکا	انویمت	شبیه‌سازی عددی	تأکید بر گونه‌ها و جهت‌گیری درختان	بدون اعتبارسنجی میدانی
Narimani et al. (2022)	ایران	انویمت	شبیه‌سازی عددی	تحلیل تأثیر گونه‌ها و جهت خیابان	فاقد بررسی تجربیات کاربر
Al-Kurdi & Awadallah (2015)	عمان، اردن	-	شبیه‌سازی عددی	تأکید بر طراحی شهری و پوشش‌گیاهی	ابزارهای سنجش دقیق استفاده نشده است.

و کاهش دمای سطح، شرایط مناسبی برای کاربران ایجاد کنند (Picot, 2004). مطالعات لیو و همکاران در بررسی آب‌وهواهای متفاوت نشان می‌دهد که تأثیر سایه درخت تحت تأثیر عواملی چون طرح کاشت و مورفولوژی درخت است (Liu et al., 2022).

روش پژوهش

این پژوهش از روش تحقیق ترکیبی (شبیه‌سازی کمی با داده میدانی) برای بررسی تأثیر پوشش‌گیاهی بر آسایش حرارتی محیطی در اقلیم گرم و خشک شیراز استفاده کرده است. این تحقیق در چهار مرحله اصلی انجام شده است.

• انتخاب محدودهٔ پژوهش

شهر شیراز، واقع در جنوب غربی ایران با اقلیم گرم و خشک، مختصات جغرافیایی ۲۹ درجه شمالی و ۵۲ درجه شرقی و ارتفاع ۱۴۸۶ متر از سطح دریا است. دو کوچه در محلهٔ مسکونی خلدبرین (تصویر ۱) در این شهر با شباهت‌های ساختاری انتخاب شدند. کوچهٔA، دارای دو درخت نارنج و کوچهٔ B دارای ۲۵ درخت نارنج و یک درخت افرای شبه چناری است (تصویر ۲). هر دو کوچه از نظر تراکم ساختمان‌ها (۲- ۴ طبقه)، مصالح (آجر و سنگ)، عرض (۳/ ۸ متر) و جهت (۵۴ درجه جنوب‌غربی) مشابه هستند.

• جمع‌آوری داده‌های میدانی

در تاریخ ۲۲ جولای ۲۰۲۲(یکی از گرم‌ترین روزهای سال در شیراز)

تصویر ۱. محدودهٔ پژوهش. مأخذ: Google Earth

تصویر ۲. از سمت راست به چپ به ترتیب، معبر A ، معبر B. مأخذ: آرشیو نگارندگان.

در بازهٔ زمانی ساعت شش صبح تا شش بعدازظهر، در پنج نقطه از هر کوچه، با فاصله ۲۰ متر به ترتیب دما، رطوبت نسبی و سرعت باد در ارتفاع انسانی با استفاده از Thermos-hygro-barometers مدل TES 1161 و Pen type Thermo-hygro-anemometers در ساعات ۱۰ صبح، ۱۴ ظهر، و ۱۸ عصر اندازه‌گیری شد. همچنین طول و عرض کوچه‌ها و هر یک از پلاک‌های مسکونی به همراه ارتفاع هر پلاک در محدودهٔ مورد پژوهش، به‌صورت میدانی برداشت شد (جدول ۲).

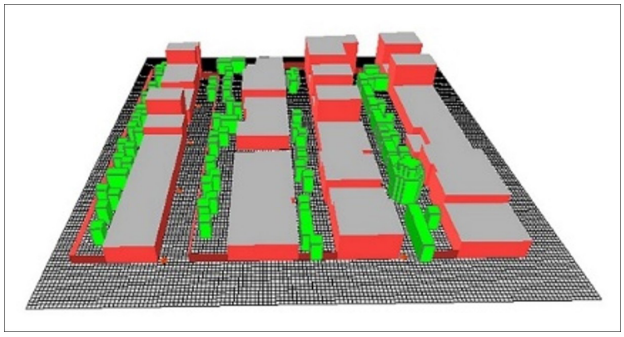
• شبیه‌سازی با نرم‌افزار انویمت

نرم‌افزارانویمت به‌عنوان یک مدل سه‌بعدی دینامیکی برای شبیه‌سازی تأثیر پوشش‌گیاهی بر آسایش حرارتی در محیط‌های شهری به کار می‌رود (Lenzholzer, 2012). فرایند شبیه‌سازی این پژوهش با استفاده از نسخهٔ 5.0.3. انویمت در دو بخش اصلی مدل‌سازی محیط پژوهش و تحلیل شرایط آسایش حرارتی در بازهٔ زمانی شش صبح تا شش بعدازظهر در روز ۲۲ جولای ۲۰۲۲ انجام شده است. در تنظیمات اولیهٔ مدلسازی عرض جغرافیایی ۲۹/۶۲، طول جغرافیایی ۵۲/۵۱ و ارتفاع ۱۴۸۶متر ازسطح دریا شهر شیراز لحاظ شد. با توجه به مشخصات فیزیکی محدودهٔ پژوهش، ابعاد گریدهای مدل در انویمت به‌صورت x-grids=135 y-grids=135، z-grids= 14، با سایز هر گرید در راستای x و y برابر یک متر و در راستای z برابر با ۳ متر در نظر گرفته شد. همچنین جهت افزایش دقت مدل‌سازی و با توجه به راستای کوچه‌های مورد مطالعه، مدل مورد نظر ۵۴ درجه از راستای شمالی چرخش داده شد. تعداد nesting grid در تنظیمات مدل‌سازی انویمت به تعداد چهار تعیین شد. سپس محدوده به ابعاد ۱۱۹ متر در ضلع شمالی، ۱۱۵ متر ضلع شرقی، ۱۱۸ متر ضلع جنوبی و ۱۰۶ متر ضلع غربی با ارتفاع ساختمان‌ها: بین دو تا چهار طبقه (۶-۱۲ متر)مدلسازی شد. در گام بعد درختان نارنج (Citrus x aurantium) (در هر دو کوچه) و یک درخت افرای شبه چناری (Acer Pseudoplatanus) در کوچهٔ B طبق مکانیابی با استفاده از تصاویر ماهواره‌ای Google Earth و برداشت‌های میدانی در مدل قرار داده شد (تصویر ۳). اطلاعات هواشناسی محدودهٔ مورد مطالعه با فرمت EPW، برای استفاده در نرم افزار به فرمت FOX تبدیل شد و با روش Full Forcing در نرم‌افزار جهت آنالیز مورد استفاده قرار گرفت. لازم به ذکر است به‌دلیل خطای پیچیدگی حجم و عدم شبیه‌سازی گردش باد ، سرعت و جهت باد به‌صورت ثابت در نظر گرفته شد. بر مبنای اطلاعات دریافتی از پایگاه هواشناسی شهر شیراز، میانگین سرعت باد در روز ۲۲ جولای ۲۰۲۲ معادل ۱/۸۷ متر بر ثانیه و جهت باد ماکسیمم معادل ۳۰۰ بوده که به‌صورت دستی در نرم افزار وارد شد.

جهت تحلیل شرایط با استفاده از ابزار لئوناردو Leonardo در انویمت خروجی‌های اولیه شامل دمای هوای بالقوه و رطوبت

جدول ۲. پارامترهای بررسی شده در ایستگاه‌ها، ساعات ۱۰ ، ۱۴ و ۱۸. مأخذ: نگارندگان.

ایستگاه	ساعت۱۰			ساعت۱۴			ساعت۱۸		
	دمای هوا (C°)	رطوبت نسبی (%)	سرعت باد (m/s)	دمای هوا (C°)	رطوبت نسبی (%)	سرعت باد (m/s)	دمای هوا (C°)	رطوبت نسبی (%)	سرعت باد (m/s)
A1	۳۶/۸	۲۳/۰	۰/۰	۴۳/۶	۱۱/۵	۰/۰	۳۵/۸	۱۹/۶	۰/۳
A2	۳۶/۳	۲۲/۱	۰/۵	۴۳/۰	۱۱/۰	۰/۴	۳۵/۸	۲۰/۰	۰/۰
A3	۳۷/۳	۲۰/۹	۰/۶	۴۰/۵	۱۲/۶	۰/۶	۳۶/۰	۲۰/۱	۰/۰
A4	۳۵/۷	۲۲/۸	۰/۲	۴۳/۸	۱۱/۲	۰/۰	۳۵/۹	۱۹/۵	۰/۳
A5	۳۵/۱	۲۴/۴	۰/۰	۴۳/۱	۱۱/۳	۰/۰	۳۵/۵	۱۹/۴	۰/۰
B1	۳۳/۳	۲۷/۰	۰/۰	۴۳/۲	۱۲/۹	۰/۰	۳۵/۷	۲۰/۷	۰/۰
B2	۳۴/۰	۲۶/۱	۰/۰	۴۲/۰	۱۳/۰	۰/۰	۳۶/۰	۱۵/۹	۰/۰
B3	۳۴/۲	۲۵/۱	۰/۰	۴۰/۵	۱۳/۲	۱/۲	۳۶/۱	۱۹/۷	۰/۰
B4	۳۴/۴	۲۷/۲	۰/۰	۴۱/۳	۱۲/۴	۰/۰	۳۶/۱	۲۰/۸	۰/۰
B5	۳۴/۳	۲۴/۲	۰/۰	-	-	-	۳۶/۱	۱۹/۳	۰/۳



تصویر ۳. مدل‌سازی محدودهٔ پژوهش در نرم افزار انویمت نسخهٔ 5.0.3. مأخذ: نگارندگان.

نسبی که از پارامترهای تأثیرگذار در آسایش حرارتی هستند به دست آمد. پارامترهای ذکر شده در ساعات ۱۲، ۱۴ و ۱۶ به‌عنوان ساعات اوج گرما در شهر شیراز جهت تحلیل و بررسی انتخاب شده است.

یافته‌ها

• دمای هوای بالقوه[۲]

نتایج حاصل از شبیه‌سازی در نرم‌افزار انویمت نشان می‌دهد که میانگین دمای هوای کوچهٔ B (با پوشش‌گیاهی گسترده) نسبت به کوچهٔ A (فاقد پوشش‌گیاهی مؤثر) به‌طور میانگین کمتر است. بیشترین اختلاف دما میان دو کوچه در ساعت ۱۴، برابر با ۲/۱۳ درجه سانتی‌گراد گزارش شده است، به‌طوری که در ساعات اوج تابش خورشید، کوچهٔ B دمای پایین‌تری را نسبت به کوچهٔ A ثبت کرده است. علاوه‌بر این، در کوچهٔ B نیز یک اختلاف حرارتی محسوس در اطراف درخت افرای شبه‌چناری مشاهده شده است؛ به‌طوری که دمای محدودهٔ اطراف این درخت به‌طور متوسط ۰/۶۱درجه سانتی‌گراد خنک‌تر از سایر بخش‌های کوچه با درختان نارنج است. این موضوع بیانگر نقش قابل توجه نوع گونهٔ گیاهی و فرم تاج درختان در تعدیل دمای موضعی است.

• رطوبت نسبی[۳]

نقشه‌های به‌دست‌آمده از خروجی نرم‌افزار برای رطوبت نسبی نشان می‌دهد که تفاوت محسوسی میان دو کوچه از نظر رطوبت نسبی مشاهده نمی‌شود.

• شاخص آسایش حرارتی PMV[۴]

برای ارزیابی آسایش حرارتی کاربران در این پژوهش از شاخص PMV که به‌عنوان یکی از معتبرترین روش‌های ارزیابی آسایش حرارتی در محیط‌های داخلی و خارجی شناخته می‌شود (Yilmaz et al., 2018) استفاده شده است. مدل PMV براساس تنظیم دمای بدن و نظریهٔ تعادل دما ساخته شده است. طبق این نظریه، بدن انسان از فرایندهای فیزیولوژیکی مانند تعریق، لرزیدن و تنظیم جریان خون به پوست برای متعادل‌کردن دمای تولید شده بخاطر متابولیسم و از دست‌دادن گرما استفاده می‌کند. در عمل، PMVمعمولاً با استفاده از شاخص پیش‌بینی درصد نارضایتی تفسیر می‌شود که درصد نارضایتی حرارتی در هر مقدار PMV را پیش‌بینی می‌کند (Javadi & Nasrollahi, 2021). درک حرارتی و درجه استرس فیزیولوژیکی انسان برحسب میزان شاخص PMV در جدول ۳ آورده شده است.

خروجی‌های مدل (دمای هوا و رطوبت نسبی) در نرم‌افزار Bio-MET وارد شد تا شاخص PMV محاسبه شود. این شاخص، براساس شرایط ساعت ۱۴ (زمان اوج گرما)، محاسبه و مقایسه شد. با توجه به این که شاخص PMV در هر دو کوچه بالاتر از ۷/۲۵ به دست آمده، هر دو کوچه در ردهٔ بسیار گرم قرار گرفته

و فاقد آسایش حرارتی هستند. با این حال کوچهٔ B با شاخص ۷/۲۵ الی ۹/۳ در وضعیت مطلوب‌تری نسبت به کوچهٔ A که شاخص PMV در آن به ۱۰/۶۷ (شرایط بسیار نامطلوب) نیز می‌رسد، قرار دارد (تصویر۴).

بحث

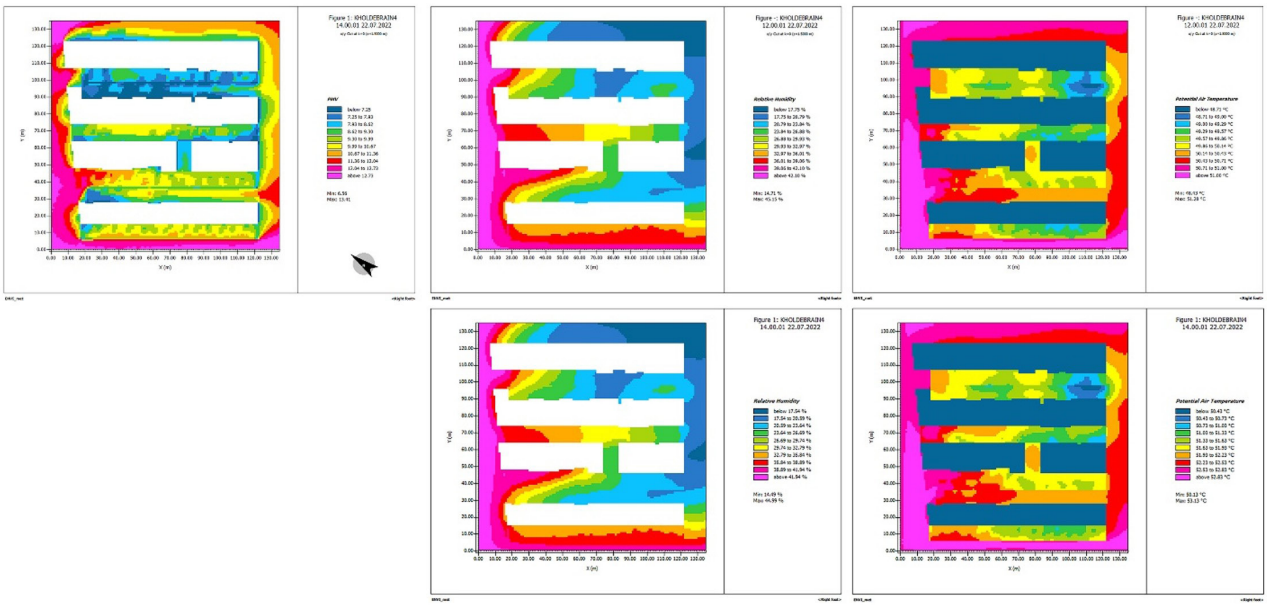
بررسی داده‌های میدانی و نتایج حاصل از مدل‌سازی انجام‌شده در این پژوهش، سؤالات پژوهش دربارهٔ اثرگذاری پوشش‌گیاهی در بهبود آسایش حرارتی در مقیاس خرد را به چالش می‌کشد. هر دو نشان می‌دهند که میزان بهبود شرایط آسایش بسیار اندک است. در واقع پوشش‌گیاهی حتی به‌صورت محدود در یک طرف کوچه، می‌تواند شرایط آسایش حرارتی شاخص، دما و رطوبت نسبی در نردیکی تاج درختان به ترتیب کاهش،کاهش و افزایش دهد. با این حال، این اثرات موضعی هستند و کل عرض گذر از شرایط گرم و خشک محافظت نمی‌شود (جدول۴).

نتیجه‌گیری

این پژوهش به ارزیابی تأثیر پوشش‌گیاهی بر آسایش حرارتی محیط‌های شهری در اقلیم گرم و خشک پرداخته است. از طریق داده‌های میدانی که با ابزار سنجش دقیق برداشت شده و مقایسهٔ آن با نتایج شبیه‌سازی، شاخص‌های حرارتی هوا نظیر دمای هوای بالقوه، متوسط دمای تابشی و رطوبت نسبی در مقیاس PMV ارزیابی شد. بهره‌گیری از شاخص ترکیبی PMV امکان سنجش همزمان دمای هوا، رطوبت نسبی و میانگین

جدول ۳. ادراک حرارتی انسان براساس میزان شاخص PMV . مأخذ: Yilmaz et al., 2018.

PMV (°C)	درک حرارتی	درجهٔ استرس فیزیولوژیکی
<-۳/۵	بسیار سرد	استرس سرمای شدید
-۳/۵ / -۲/۵	سرد	استرس سرمای قوی
-۲/۵ / -۱/۵	خنک	استرس سرمای متوسط
-۱/۵ / -۰/۵	کمی خنک	استرس سرمای کم
۰/۵ / -۰/۵	راحت	بدون استرس حرارتی
۱/۵ / ۰/۵	کمی گرم	استرس گرمای کم
۲/۵ / ۱/۵	گرم	استرس گرمای متوسط
۳/۵ / ۲/۵	داغ	استرس گرمای قوی
>۲/۵	بسیار داغ	استرس گرمای شدید



تصویر ۴. ستون اول، دوم و سوم به ترتیب خروجی شبیه‌سازی شرایط دمای هوای بالقوه، رطوبت از بالا به پایین در ساعات ۱۲ و ۱۴و شرایط شاخص PMV در ساعت ۱۴ روز ۲۲ جولای در محدودهٔ مورد بررسی. مأخذ: نگارندگان.

جدول ۴. بررسی خروجی‌های انویمت در ایستگاه‌ها، ساعات ۱۲ و۱۴. مأخذ: نگارندگان.

–	زمان	کوچهٔ A	کوچهٔ B
PMV	۱۴:۰۰	بسیار گرم و ناسازگار با آسایش	PMV در نواحی نزدیک به درختان در بازهٔ بین ۶/۵ تا ۸/۵ قرار دارند. این مقدار، در مرز گرمای قابل تحمل است و نسبت به سایر نقاط، وضعیت آسایش بهتری دارد.
دمای هوا	۱۲:۰۰	دمای یکنواخت و گرم به علت تابش مستقیم	مناطق سایه‌دار خنک‌تر از سایر نقاط
	۱۴:۰۰	بسیار گرم و بحرانی	مناطق سایه‌دار همچنان خنک‌تر از نقاط بدون سایه در ساعت اوج گرما، اثر خنک‌کنندگی درختان بیش از پیش نمایان شده. حدود دو درجه کاهش دما تنها در شعاع نزدیک درختان ثبت شده است، هرچند هنوز برای دستیابی به آسایش کافی نیست.
رطوبت نسبی	۱۲:۰۰	خشک، رطوبت پایین	رطوبت در مناطق سایه‌دار بالاتر از نقاط بدون پوشش
	۱۴:۰۰	خشک، رطوبت پایین	رطوبت در سایه درختان به طور قابل توجهی بالاتر است.

دمای تابشی را فراهم آورد و تحلیل جامعی از شرایط آسایش در مقیاس خرد ارائه داد.

طبق نتایج اگرچه وجود پوشش‌گیاهی بر آسایش محیطی تأثیر گذار بوده است اما شاخص PMV در هر دو کوچه همچنان در محدودهٔ بسیار گرم قرار داشت، و دامنهٔ این اثرگذاری به فضای نزدیک درختان محدود است و برای تأمین آسایش حرارتی کافی نیست.

درختانی با تاج کم‌پوشش یا سایه محدود، نظیر درختان نارنج، قادر به کاهش معنادار میانگین دمای تابشی نیستند. در مقابل، درخت افرا با تاج گسترده‌تر، کاهش موضعی دمای بیشتری ایجاد کرد. یافته‌های تحقیق نشان دادند که کاهش دمای هوا به‌تنهایی کافی نیست و تا زمانی که تابش و سایر پارامترهای مؤثر در PMV کنترل نشوند، دستیابی به شرایط واقعی آسایش میسر نخواهد بود. بنابراین تصور رایج دربارهٔ اینکه به صرف حضور درختان در یک محیط شهری، آسایش حرارتی بهبود می‌یابد به چالش کشیده می‌شود.

این پژوهش نشان می‌دهد که برای دستیابی به آسایش حرارتی گسترده‌تر و پایدارتر، ممکن است نیاز به افزودن درختان در طول گذر، افزایش تراکم و انتخاب گونه‌هایی با تاج گسترده‌تر باشد.

مقایسهٔ تطبیقی با سایر پژوهش‌ها نیز تأیید می‌کند که تأثیر پوشش‌گیاهی، تنها در صورت طراحی اصولی و استفاده از درختانی با تاج گسترده و ارتفاع مناسب، قابل توجه خواهد بود.

ابعاد انتقادی پژوهش در چند محور قابل خلاصه است.

- ناکافی بودن صرف کاهش دما در ایجاد شرایط آسایش
- صرف حضور درختان در یک محیط شهری، آسایش حرارتی بهبودنمی‌یابد
- نبود ارزیابی تجربی از ادراک حرارتی کاربران در این تحقیق، که می‌تواند در آینده پیگیری شود.

پی‌نوشت‌ها

1. Urban Heat Islands – UHI

2. Potential Air Temperature

3. Relative Humidity

4. Predicted Mean Vote

فهرست منابع

- Abdollahzadeh, N., & Biloria, N. (2021). Outdoor thermal comfort: Analyzing the impact of urban configurations on the thermal performance of street canyons in the humid subtropical climate of Sydney. *Frontiers of Architectural Research, 10*(2), 394-409. https://doi.org/10.1016/j.foar.2020.11.006
- Al-Kurdi, N., & Awadallah , T. (2015). Role of street-level outdoor thermal comfort in minimizing urban heat island effect by using simulation program, Envi-Met: Case of Amman, Jordan. *Environmental and Earth Sciences, 7*(3), 42-49. https://www.napopen.com/article/rjees.7.1694
- Ananyeva, O., & Emmanuel, R. (2023). Street trees and urban heat island in Glasgow: mitigation through the 'Avenues Programme'. *Urban Forestry & Urban Greening, 86*, 128041. https://doi.org/10.1016/j.ufug.2023.128041
- Chu, Z., Li, S., Li, T., Qian, H., Liu, C., & Yan, Z. (2024). Numerical simulation of layout and landscape elements on the thermal environment of urban squares. *Ecological Informatics, 82*, 102770. https://doi.org/10.1016/j.ecoinf.2024.102770
- Cortes, A., Rejuso, A. J., Santos, J. A., & Blanco, A. (2022). Evaluating mitigation strategies for urban heat island in Mandaue City using ENVI-met. J. *Urban Manag. 11*, 97–106. https://doi.org/10.1016/j.jum.2022.01.002
- Coutts, A. M., White, E. C., Tapper, N. J., Beringer, J., & Livesley, S. J. (2015). Temperature and human thermal comfort effects of street trees across three contrasting street canyon environments. *Theoretical and Applied Climatology, 124*, 55-68. https://doi.org/10.1007/s00704-016-1832-8
- Elwy, I., Ibrahim, Y., Fahmy, M., & Mahdy, M. (2018). Outdoor microclimatic validation for hybrid simulation workflow in hot

arid climates against ENVI-met and field measurements. *Energy Procedia, 153*, 29-34. https://doi.org/10.1016/j.egypro.2018.10.009

• Javadi, R., & Nasrollahi, N. (2021). Urban green space and health: The role of thermal comfort on the health benefits from the urban green space; a review study. *Building and Environment, 202*, 108039. https://doi.org/10.1016/j.buildenv.2021.108039

• Lai, Y., Liang, S., Zhang, J., Zeng, F., Huo, X., Zhang, X., Yuping, C., Wen, L., tIANRU, Z., & Liu, F. (2024). *A study of street trees and their effects on pedestrians' perceptions during summer*. Journal of Engi0neering Research. https://doi.org/10.1016/j.jer.2024.06.003

• Lenzholzer, S. (2012). Research and design for thermal comfort in Dutch urban squares. *Resources, Conservation and Recycling, 64*, 39-48. https://doi.org/10.1016/j.resconrec.2011.06.015

• Liu, H., Lim, J. Y., Thet, B. W. H., Lai, P. Y., & Koh, W. S. (2022). Evaluating the impact of tree morphologies and planting densities on outdoor thermal comfort in tropical residential precincts in Singapore. *Building and Environment, 221*, 109268. https://doi.org/10.1016/j.buildenv.2022.109268

• Narimani, N., Karimi, A., & Brown, R. D. (2022). Effects of street orientation and tree species thermal comfort within urban canyons in a hot, dry climate. *Ecological Informatics, 69*,101671. https://doi.org/10.1016/j.ecoinf.2022.101671

• Nicholson, S., Nikolopoulou, M., Watkins, R., Löve, M., & Ratti, C. (2024). Data driven design for urban street shading: Validation and application of ladybug tools as a design tool for outdoor thermal comfort. *Urban Climate, 56*, 102041. https://doi.org/10.1016/j.uclim.2024.102041

• Park, S., Kim, E. S., Yun, S. H., & Lee, D. K. (2024). Efficiency of urban greening systems with maximized latent heat effect in urban heat island and climate change mitigation. *Environmental Challenges, 15*, 100956. https://doi.org/10.1016/j.envc.2024.100956

• Picot, X. (2004). Thermal comfort in urban spaces: impact of vegetation growth: Case study: Piazza della Scienza, Milan, Italy. *Energy and buildings, 36*(4), 329-334. https://doi.org/10.1016/j.enbuild.2004.01.044

• Robine, J. M., Cheung, S. L. K., Le Roy, S., Van Oyen, H., Griffiths, C., Michel, J. P., & Herrmann, F. R. (2008). Death toll exceeded 70,000 in Europe during the summer of 2003. *Comptes Rendus. Biologies, 331*(2), 171-178. https://doi.org/10.1016/j.crvi.2007.12.001

• Sabrin, S., Karimi, M., Nazari, R., Pratt, J., & Bryk, J. (2021). Effects of different urban-vegetation morphology on the canopy-level thermal comfort and the cooling benefits of shade trees: case-study in Philadelphia. *Sustainable Cities and Society, 66*, 102684. https://doi.org/10.1016/j.scs.2020.102684

• Terrani, E., Picción, A., Bentancur, O., & Cruz, G. (2024). Effect of street trees shade on perceived thermal comfort in a south temperate climate: The sidewalks of Montevideo (Uruguay). *Heliyon, 10*(12), e32762. https://doi.org/10.1016/j.heliyon.2024.e32762

• Wang, J., Guo, W., Wang, C., Yao, Y., Kou, K., Xian, D., & Zhang, Y. (2021). Tree crown geometry and its performances on human thermal comfort adjustment. *Journal of Urban Management, 10*(1), 16-26. https://doi.org/10.1016/j.jum.2021.02.001

• Yang, W., Wong, N. H., & Jusuf, S. K. (2013). Thermal comfort in outdoor urban spaces in Singapore. *Building and environment, 59*, 426-435.10.1016 /j.buildenv.2012.09.008

• Yilmaz, S., Mutlu, E., & Yilmaz, H. (2018). Alternative scenarios for ecological urbanizations using ENVI-met model. *Environmental Science and Pollution Research, 25*(1), 26307-26321. https://doi.org/10.1007/s11356-018-2590-1

• Zhao, Q., Sailor, D. J., & Wentz, E. A. (2018). Impact of Tree Locations and arrangements on outdoor microclimates and human thermal comfort in an urban residential environment. *Urban Forestry & Urban Greening, 23*, 81-91. https://doi.org/10.1016/j.ufug.2018.03.022

• Middel, A., Häb, K., Brazel, A. J., Martin, C. A., & Guhathakurta, S. (2014). Impact of urban form and design on mid-afternoon microclimate in Phoenix Local Climate Zones. *Landscape and urban planning, 122*, 16-28. https://doi.org/10.1016/j.landurbplan.2013.11.004

COPYRIGHTS
Copyright for this article is retained by the author(s), with publication rights granted to the Bagh-e Nazar Journal. This is an open-access article distributed under the terms and conditions of the Creative Commons Attribution License (https://creativecommons.org/licenses/by/4.0/).

نحوهٔ ارجاع به این مقاله:

مینابیان، فاطمه؛ فخوری، نازنین و مهربانی گلزار، محمدرضا. (۱۴۰۵). بررسی تأثیر پوشش‌گیاهی بر آسایش حرارتی در اقلیم گرم و خشک (در مقیاس خرد-محله مسکونی خلدبرین- شیراز). *باغ نظر*، ۲۳(۱۵۸)، ۱۹-۲۶.

DOI: 10.22034/bagh.2026.507504.5769
URL: https://www.bagh-sj.com/article_243397.html