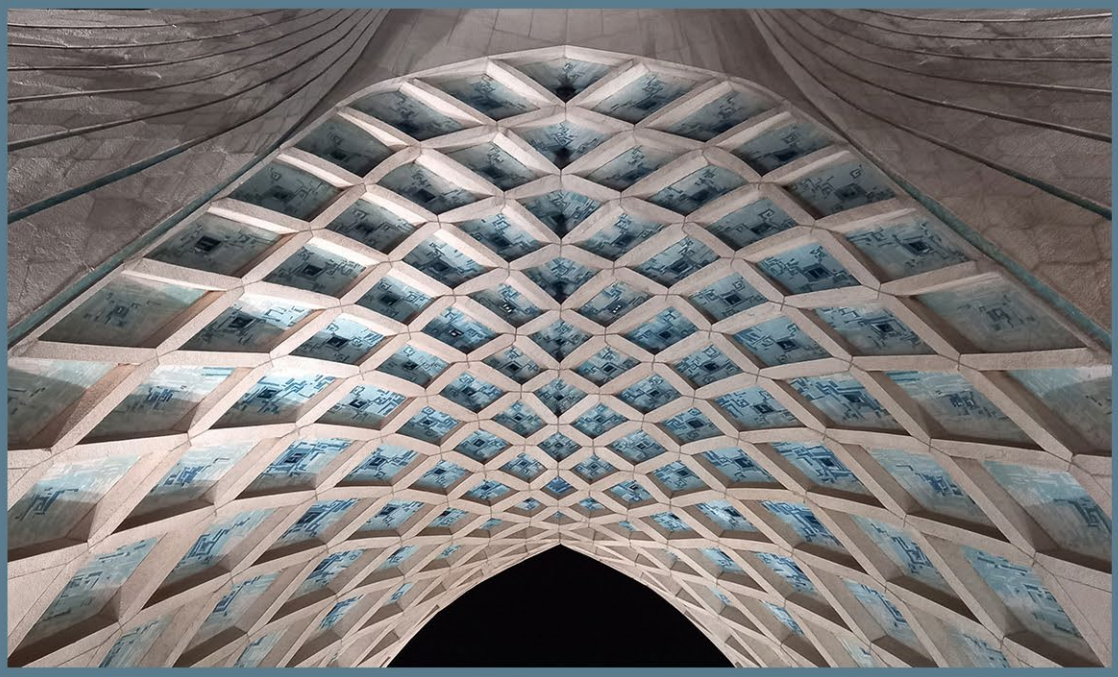
مطالعات معماری ایران ۲۹

دوفصلنامه علمی دانشکده معماری و هنر، دانشگاه کاشان

سال پانزدهم، شماره ۲۹، بهار و تابستان ۱۴۰۵



◆ تاریخ‌شناسی معماری مسجد جامع آمل و نسبت آن با شهر در سده‌های نخست هجری
● ذات‌الله نیک‌زاد

◆ بازتعریف محدودهٔ قیصریه در بازار کاشان و شکل‌گیری یک مرکز جدید شهری در نیمهٔ دوم دورهٔ قاجاریه
● یاسمن صفیان/ حمیدرضا جیحانی/ سید محمود سادات

◆ سنجش ارزش‌های قلعه‌رودخان به‌عنوان میراث جهانی از منظر منشور ایکوفورت و دستورالعمل اجرایی کنوانسیون میراث جهانی
● ابوذر جانعلی‌پور/ پیروز حناچی/ محمدحسن طالبیان

◆ بهبود حد نهایی پایداری جانبی سازهٔ یک دهانهٔ متشکل از طاق‌آهنگ بر روی پایه در صفحهٔ قوس
● فرزین ایزدپناه

◆ ارزیابی عملکرد پوستهٔ مشبک آجری در کنترل تابش و نور در اقلیم گرم و نیمه‌خشک دزفول
● کلثوم کامکار/ کورش مؤمنی/ اکبر موسی ئی جو

◆ از باغ به میدان: ظهور نرده و آشکار شدن فضای سلطنتی در شهر عصر ناصری
● کاوه رشیدزاده/ گلنار حکمت

◆ بررسی هندسی جلوه‌های گره‌چینی در نمونه‌های تاریخی ایران به روش الگوریتمی
● مهدی عزیزی همدانی/ مجتبی ثابت‌فرد

◆ ابعاد و ویژگی‌های مفهومی استدلال حدسی در عمل طراحی
● علی قریشوندی ابراکی/ علی علائی/ کیوان جورابچی/ سعید نوروزیان ملکی

◆ نقش پیکره‌بندی فضا در ایجاد اجتماع‌پذیری مراکز تجاری شهر اصفهان با مقیاس اجتماعی
● مریم گروهی/ نرگس دهقان/ منصوره کیان‌ارثی/ سمیه رفیعی

◆ ارزیابی پراگماتیک: فرصتی برای اصلاح سیاست‌ها و رویه‌های مداخله در محدوده‌های هدف (مورد انضمامی: سندملی بازآفرینی)
● مرتضی‌هادی جابری‌مقدم/ شیما سقندلی

◆ از رویدادسازی تا شخصیت‌پردازی موزه‌یادمان‌ها
● فائزه تفرشی/ منوچهر معظمی/ نیکلاس وایز

◆ اثر حذف درختان کهن‌سال در معماری معابر ایلام بر تغییر آسایش حرارتی عابران براساس دینامیک سیالات محاسباتی CFD
● کارن فتاحی/ نسرین سیاوش

مطالعات معماری ایران

دوفصلنامه علمی دانشکده معماری و هنر، دانشگاه کاشان

سال پانزدهم، شماره ۲۹، بهار و تابستان ۱۴۰۵
صاحب امتیاز: دانشگاه کاشان
مدیر مسئول: دکتر علی عمرانی‌پور
سردبیر: دکتر غلامحسین معماریان
مدیر داخلی: دکتر بابک عالمی

هیئت تحریریه (به‌ترتیب الفبا):
دکتر عباس اکبری. دانشیار دانشگاه کاشان
دکتر حمیدرضا جیحانی. دانشیار دانشگاه شهید بهشتی
دکتر پیروز حناچی. استاد دانشگاه تهران
دکتر شاهین حیدری. استاد دانشگاه تهران
دکتر مارکوس ریتر. استاد دانشگاه وین
دکتر محمدصادق طاهر طلوع دل. دانشیار دانشگاه تربیت دبیر شهید رجایی
دکتر بابک عالمی، دانشیار دانشگاه کاشان
دکتر علی عبد الرئوف. استاد دانشگاه حمد بن خلیفه قطر
دکتر علی عمرانی‌پور. دانشیار دانشگاه کاشان
دکتر فاطمه کاتب. استاد دانشگاه الزهرا (س)
دکتر حسین کلانتری. استاد جهاد دانشگاهی
دکتر اصغر محمد مرادی. استاد دانشگاه علم و صنعت ایران
دکتر غلامحسین معماریان. استاد دانشگاه علم و صنعت ایران
دکتر محسن نیازی. استاد دانشگاه کاشان

درجه علمی پژوهشی دوفصلنامه مطالعات معماری ایران طی نامه شماره ۱۶۱۶۷۶ مورخ ۱۳۹۰/۰۸/۲۱ دبیرخانه کمیسیون نشریات علمی کشور، وزارت علوم، تحقیقات و فناوری ابلاغ گردیده است.

پروانه انتشار این نشریه به شماره ۹۰/۲۳۰۳۰ مورخ ۹۱/۹/۷ از وزارت فرهنگ و ارشاد اسلامی صادر شده است.

این نشریه حاصل همکاری مشترک علمی دانشگاه کاشان با دانشکده معماری دانشگاه تهران، دانشگاه تربیت مدرس، دانشگاه الزهرا (س)، دانشگاه آزاد اسلامی واحد علوم و تحقیقات، دانشگاه شهید رجایی، پژوهشکده فرهنگ، هنر و معماری جهاد دانشگاهی و انجمن علمی انرژی ایران است.

نشریه مطالعات معماری ایران در پایگاه استنادی علوم کشورهای اسلامی (ISC)، پایگاه اطلاعات علمی جهاد دانشگاهی (SID)، پایگاه مجلات تخصصی نور (noormags.ir)، پرتال جامع علوم انسانی (ensani.ir) و بانک اطلاعات نشریات کشور (magiran.com) نمایه می‌شود.

تصاویر بدون استناد در هر مقاله، متعلق به نویسنده آن مقاله است.

(نسخه الکترونیکی مقاله‌های این مجله، با تصاویر رنگی در تارنمای نشریه قابل دریافت است.)

عکس روی جلد: علی عمرانی‌پور
(بنای میدان آزادی)

ویراستار ادبی فارسی: معصومه عدالت‌پور
همکار اجرایی: فائزه تفرشی

دورنگار: ۵۵۹۱۳۱۳۲-۰۳۱

نشانی دفتر نشریه: کاشان، بلوار قطب راوندی، دانشگاه کاشان، دانشکده معماری و هنر، کدپستی: ۵۳۱۵۳-۸۷۳۱۷

رایانامه: j.ir.arch.s@gmail.com
پایگاه اینترنتی: jias.kashanu.ac.ir

شاپای الکترونیکی: ۵۰۲۰-۲۶۷۶

فهرست

۵ **تاریخ‌شناسی معماری مسجد جامع آمل و نسبت آن با شهر در سده‌های نخست هجری**
ذات‌الله نیک‌زاد

۲۵ **بازتعریف محدودهٔ قیصریه در بازار کاشان و شکل‌گیری یک مرکز جدید شهری در نیمهٔ دوم دورهٔ قاجاریه**
یاسمن صفیان/ حمیدرضا جیحانی/ سید محمود سادات

۵۷ **سنجش ارزش‌های قلعه‌رودخان به‌عنوان میراث جهانی از منظر منشور ایکوفورت و دستورالعمل اجرایی کنوانسیون میراث جهانی**
ابوذر جانعلی‌پور/ پیروز حناچی/ محمدحسن طالبیان

۸۵ **بهبود حد نهایی پایداری جانبی سازهٔ یک دهانهٔ متشکل از طاق‌آهنگ بر روی پایه در صفحهٔ قوس**
فرزین ایزدپناه

۱۰۹ **ارزیابی عملکرد پوستهٔ مشبک آجری در کنترل تابش و نور در اقلیم گرم و نیمه‌خشک دزفول**
کلثوم کامکار/ کورش مؤمنی/ اکبر موسی ئی جو

۱۳۷ **از باغ به میدان: ظهور نرده و آشکار شدن فضای سلطنتی در شهر عصر ناصری**
کاوه رشیدزاده/ گلنار حکمت

۱۶۱ **بررسی هندسی جلوه‌های گره‌چینی در نمونه‌های تاریخی ایران به روش الگوریتمی**
مهدی عزیزی همدانی/ مجتبی ثابت‌فرد

۱۷۹ **ابعاد و ویژگی‌های مفهومی استدلال حدسی در عمل طراحی**
علی قریشوندی آبراکی/ علی علائی/ کیوان جورابچی/ سعید نوروزیان ملکی

۲۰۵ **نقش پیکره‌بندی فضا در ایجاد اجتماع‌پذیری مراکز تجاری شهر اصفهان با مقیاس اجتماعی**
مریم گروهی/ نرگس دهقان/ منصوره کیان‌ارثی/ سمیه رفیعی

۲۲۹ **ارزیابی پراگماتیک: فرصتی برای اصلاح سیاست‌ها و رویه‌های مداخله در محدوده‌های هدف (مورد انضمامی: سندملی بازآفرینی)**
مرتضی‌هادی جابری‌مقدم/ شیما سقندلی

۲۵۳ **از رویدادسازی تا شخصیت‌پردازی موزه‌یادمان‌ها**
فائزه تفرشی/ منوچهر معظمی/ نیکلاس وایز

۲۷۳ **اثر حذف درختان کهن‌سال در معماری معابر ایلام بر تغییر آسایش حرارتی عابران براساس دینامیک سیالات محاسباتی CFD**
کارن فتاحی/ نسرین سیاوش

۲۹۵ **بخش انگلیسی**

اثر حذف درختان کهن‌سال در معماری معابر ایلام بر تغییر آسایش حرارتی عابران براساس دینامیک سیالات محاسباتی CFD

کارن فتاحی*
نسرین سیاوش**

علمی‌پژوهشی

تاریخ دریافت: ۱۴۰۵/۲/۳۰ تاریخ پذیرش: ۱۴۰۵/۶/۱۸

چکیده

پوشش گیاهی، به‌ویژه درختان کهن‌سال، از عناصر کلیدی در تنظیم دمای محیط و بهبود آسایش حرارتی شهروندان محسوب می‌شود. در این راستا، شهرداری ایلام با هدف تعریض خیابان، اقدام به حذف ۱۶۰ اصله چنار کهن‌سال در خیابان خیام (شهدا) نمود که با واکنش گستردهٔ شهروندان و سازمان‌های مردم‌نهاد زیست‌محیطی مواجه شد. مطالعهٔ حاضر با تمرکز بر پیامدهای خرداقلیمی این اقدام، به تحلیل تأثیر آن بر آسایش حرارتی عابران (PMV) می‌پردازد. هدف اصلی پژوهش، ارزیابی کمی تغییرات خرداقلیم ناشی از قطع درختان، ازطریق ترکیب داده‌های میدانی و شبیه‌سازی دینامیک سیالات محاسباتی (CFD) است. در این پژوهش از ترکیب روش‌های میدانی و شبیه‌سازی عددی با نرم‌افزار ENVI-met استفاده شد. داده‌های اقلیمی شامل دما، رطوبت و سرعت باد طی بازهٔ زمانی دوازده‌ساعته از ساعت ۸ صبح تا ۷ شب با استفاده از دیتالاگر برداشت و برای مدل‌سازی با در نظر گرفتن ویژگی‌های فیزیکی و اقلیمی منطقه و سناریوهای حذف درختان انجام گرفت. برای اعتبارسنجی، نتایج شبیه‌سازی با داده‌های واقعی مقایسه شد و ضریب تعیین بالایی برای دما (۰/۹۵)، رطوبت (۰/۹۷) و سرعت باد (۰/۹۲) نشان داد که دقت مدل را تأیید می‌کند. یافته‌ها نشان داد قطع درختان موجب افزایش ۰/۶ واحدی شاخص PMV و کاهش ۲۳ درصدی آسایش حرارتی عابران شد. در محدودهٔ فاقد درخت، دمای سطح آسفالت تا ۸ درجهٔ سانتی‌گراد در ساعات اوج تابش افزایش یافت و سرعت باد سطحی ۲۰ تا ۳۰ درصد بیشتر از محدوده دارای درخت بود. همچنین، اثر جزیرهٔ گرمایی در ناحیهٔ قطع درختان منجر به افزایش ۱/۵ تا ۲ درجه‌ای دمای مؤثر شد. این تغییرات به‌ویژه در جبههٔ غربی معبر به طول ۳۵۰ متر محسوس بود و حتی بر آسایش حرارتی جبههٔ شرقی به طول ۳۸۰ متر نیز تأثیر منفی گذاشت. نتایج پژوهش نشان داد که حذف ۱۶۰ اصله چنار کهن‌سال در امتداد معبر، به‌طور میانگین موجب افزایش دمای متوسط تابشی (MRT) و دمای هوا در محدودهٔ مورد مطالعه شد و شاخص آسایش حرارتی عابران (PMV) را در مقایسه با محدودهٔ دارای درخت، به‌طور قابل توجهی به‌سمت شرایط نامطلوب (گرم‌تر) جابه‌جا کرد. این تغییرات در ساعات اوج گرمای روز (ظهر تا عصر) و در نقاط فاقد سایه‌انداز، شدیدتر بود؛ به‌گونه‌ای که شرایط آسایش حرارتی عابران در محدودهٔ بدون درخت از حد آستانهٔ قابل قبول فراتر رفت. این یافته‌ها بر ضرورت حفظ و توسعهٔ پوشش گیاهی کهن‌سال در برنامه‌ریزی شهری و مدیریت منابع طبیعی تأکید دارد.

کلیدواژه‌ها:

آسایش حرارتی عابران، درختان کهن‌سال، خرداقلیم، معابر شهری، دینامیک سیالات محاسباتی(CFD).

* گروه معماری، واحد ایلام، دانشگاه آزاد اسلامی، ایلام، ایران، نویسنده مسئول، karen.fatahi@iau.ac.ir
** گروه معماری، واحد ایلام، دانشگاه آزاد اسلامی، ایلام، ایران

مطالعات معماری ایران
دو فصلنامه معماری ایرانی
شماره ۲۹ ـ بهار و تابستان ۱۴۰۵
صفحات ۲۹۴-۲۷۳ ۲۷۳

پرسش‌های پژوهش

۱. حذف درختان کهن‌سال چنار در معابر شهر ایلام، چه تغییری در پارامترهای خرداقلیمی (دمای هوا، دمای متوسط تابشی و سرعت باد) در محدودهٔ مورد مطالعه ایجاد کرده است؟

۲. این تغییرات خرداقلیمی، چه اثری بر شاخص آسایش حرارتی عابران (PMV) در معابر فاقد درخت در مقایسه با معابر دارای درخت داشته است؟

۳. شبیه‌سازی دینامیک سیالات محاسباتی (CFD) چگونه می‌تواند تأثیر حذف پوشش گیاهی کهن‌سال را بر الگوی توزیع دما و آسایش حرارتی عابران در معابر شهری ایلام کمی‌سازی کند؟

مقدمه

امروزه، در کلان‌شهرهای دارای تنگه‌های عمیق، فعالیت‌های انسانی در سطح عابر پیاده به‌دلیل تنش‌های حرارتی و افزایش سطح آلودگی به‌طور چشمگیری کاهش یافته‌اند (Koulivand and Nasrollahi 2022, 8). افزایش دما به‌دلیل گرمایش زمین در مناطق مختلف پیش‌بینی می‌شود و به‌طور قابل توجهی بر آسایش حرارتی بیرون و داخل ساختمان تأثیر می‌گذارد. این امر سلامت انسان را در دهه‌های آینده تهدید می‌کند. شهرهای کنونی علاوه‌بر مشکلات، با مسائل مربوط به تغییرات اقلیمی مانند پدیدهٔ جزیرهٔ گرمای شهری نیز مواجه‌اند (Nuruzzaman 2015,6). موضوع تغییر اقلیم به‌دلیل پیامدهای زیست‌محیطی، اقتصادی، اجتماعی و حتی سیاسی، امروزه به یکی از مباحث مهم تبدیل شده است. یکی از چالش‌های اصلی شهرها در این زمینه، افزایش منابع حرارتی است که به پدیدهٔ جزایر گرمایی معروف است. جزایر حرارتی شهرها نتیجهٔ تأثیرات پیچیدهٔ فرایندهای شهری و جزء خرداقلیم آن‌ها بوده و این پدیده باعث می‌شود که شهرها تحت‌تأثیر هوای گرم قرار گیرند. شرایط گرمایی جدید در شهرها تأثیرات قابل توجهی بر مصرف انرژی و آسایش حرارتی در مقیاس کلان دارد و خسارات سنگینی را به بار می‌آورد (Heidari, Taghipour, and Ghahramanizadi 2022, 3). تحقیقات گسترده‌ای برای کاهش جزایر گرمایی شهری، شناسایی و عوامل کلیدی کمک‌کننده انجام شده است (فتاحی و دیگران ۱۴۰۰الف، ۲). شکل‌گیری جزایر گرمایی شهری به‌طور قابل توجهی تحت‌تأثیر شکل، هندسه، زمین و جهت ساختمان‌هاست. علاوه‌بر این، هندسهٔ خیابان‌های شهری تأثیر عمیقی بر تغییر شرایط حرارتی خرد اقلیم‌های شهری دارد (Brown et al. 1986, 2). پدیدهٔ جزیرهٔ گرمایی توسط عوامل متعددی مانند استفاده از مواد با ضریب جذب و ظرفیت حرارتی بالا، تهویهٔ ناکافی و به دام افتادن تشعشعات امواج بلند و نبود پوشش گیاهی در مناطق شهری تشدید می‌شود (Mazhar et al. 2015, 12). عوامل متعددی بر احساس سازگاری حرارتی در فضاهای باز تأثیر می‌گذارد؛ ازجمله: دمای هوا، رطوبت، سرعت جریان هوا، شدت تابش، میزان متابولیک، با تابش نور و عایق لباس (Brown and Gillespie 1986, 2; Mazhar et al. 2015, 2) تأثیر طراحی عناصر شهری بر کیفیت آسایش حرارتی و نقش آسایش حرارتی در جذب مردم به فضاهای عمومی شهری، موضوعی بسیار مهم و اساسی است (فتاحی و دیگران ۱۴۰۰ب، ۳). برای کاهش گرمای شهری و بهبود کیفیت زندگی ساکنان شهر، افزایش پوشش گیاهی شهری یک راهبرد پیشنهادی است (Wang et al. 2016, 1; Manoli et al. 2019, 4) استفاده از پوشش گیاهی اضافی می‌تواند اوج دمای هوای محیط در تابستان را در فضاهای باز شهری کاهش دهد (بیگدلی و همکاران ۱۴۰۳، ۴). برای افزایش آسایش حرارتی در فضای باز در هاربین، چین، سناریوی بهینه شامل موارد زیر تعیین شد: «درختکاری» پوشش ۵۰ درصد جهت شمال شرقی ـ جنوب غربی با نسبت ابعاد ۰/۵ استقرار درخت منتهی به یک سایبان تقریباً بسته (Sabrin et al. 2021, 1; Aboelata and Sodoudi 2020, 3). پژوهش اخیر در شیان، چین نشان داد که فضای سبز با کاهش دمای هوا رابطهٔ معناداری دارد، سناریوهای بهینه برای به کاهش میزان دمای هوا شناسایی شده است (Zhang et al. 2022, 1). نقش پوشش گیاهی به‌ویژه درختان سوزنی‌برگ و برگ‌ریز در احساس آسایش حرارتی افراد در محیط نقش مهمی دارند (2020, 1

(Teshnedel et all. برای مثال، درختان سوزنی با برگ‌های سوزنی مانند به‌دلیل سازگاری با آب‌وهوای مختلف و همچنین درختان برگ‌ریز به‌دلیل شکل‌ها و اندازه‌های متنوع خود شناخته می‌شوند می‌توانند دامنهٔ احساس آسایش حرارتی افراد را افزایش دهند (Ghaffarianhoseini et al. 2019, 1). در پژوهشی، لیو[1] و همکاران در سنگاپور دریافتند که کاشت درختان برگ‌ریز با تاج‌های بزرگ‌تر در جهت وزش باد، آسایش حرارتی را افزایش می‌دهد و غلظت آلاینده‌های موجود در هوا را کاهش می‌دهد. (Liu 2022, 1) یکی از مزایای گرمایش فضای باز در شهرهای گرم این است که استفاده از پوشش گیاهی می‌تواند با ایجاد سایه در ساعات خاصی از روز، دمای هوا و میانگین دمای تابشی را کاهش دهد (Chow et al. 2016, 3). پژوهش‌های قبلی با استفاده از مدل ENVI-met به‌طور مداوم پتانسیل خنک‌کنندگی درختان را تأیید کرده است. (Ouyang et al. 2022, 1; Liu et al. 2021, 6) بررسی اثرات خنک‌کنندهٔ پوشش گیاهی اغلب به نرم‌افزارهای شبیه‌سازی استاندارد متکی است. ENVI-met یکی از مدل‌های اولیه است که برای پیش‌بینی وضعیت آسایش حرارتی خرداقلیم شهری استفاده می‌شود. ENVI-met برای شبیه‌سازی فعل‌وانفعالات پیچیده بین هوا، پوشش گیاهی و سطح طراحی شده است و امکان تجزیه‌وتحلیل کمی تغییرات در مقیاس کوچک در طراحی شهری را فراهم می‌کند (Bruse and Fleer, 1998). ساختمان‌ها، سطوح بتنی و آسفالتی در کنار کمبود پوشش گیاهی باعث افزایش دمای هوا و سطح در مراکز شهری نسبت به مناطق برون‌شهری یا روستایی می‌شود. مناطق روستایی اطراف درختان می‌توانند تا ۸۵ درصد از تابش خورشیدی را کنترل کنند و بنابراین سایهٔ آن‌ها می‌تواند دمای بتن را تا ۱۹ درجهٔ سانتی‌گراد کاهش دهد (Armson, Stringer, and Ennos 2012, 8 ; Gill et al. 2007, 12). در مناطق معتدل و گرم با فصول مشخص، کاشت درختان برگ‌ریز توصیه می‌شود. این درختان در تابستان با ایجاد سایه، نور خورشید را کنترل می‌کنند، اما در زمستان با ریزش برگ‌هایشان اجازه می‌دهند نور بیشتری عبور کند. بااین‌حال، مطالعات نشان می‌دهند که درختان می‌توانند با جذب تابش امواج بلند، باعث افزایش دمای شبانه در دره‌های شهری شوند (Wang, Wang, and Ryu 2021, 5). پژوهش‌های قبلی تأثیر گونه‌های مختلف درختی را بر افزایش آسایش حرارتی در هوای آزاد در اقلیم‌های مختلف ازجمله مناطق گرمسیری بررسی کرده‌اند. آن‌ها به این نتیجه رسیدند که افزایش تراکم کاشت درختان تاج کوچک راندمان سرمایش را بهبود می‌بخشد که منجر به جزایر خنک شهری می‌شود (Morakinyo et al. 2020, 9; Ghaffarianhoseini et al. 2019, 1). با بررسی‌های انجام‌شده بر روی درختان شهری در یک منطقهٔ نیمه‌گرمسیری، دریافتند که درخت با ارتفاع و تنهٔ کمتر که به سطح نزدیک‌تر است، منجر به اثر خنک‌کنندگی بیشتر می‌شود. آرایش راهبردی گونه‌های درختی برای مقابلهٔ بهینه با بار حرارتی در محیط‌های شهری، با ایجاد سایه و افزایش تبخیر و انتقال پیشنهاد شده است (Liu et al. 2021, 5; Xi, Wang, and Cao 2023).

پوشش گیاهی به‌واسطهٔ ایجاد سایه، کاهش دمای سطح و افزایش رطوبت نسبی، نقشی تعیین‌کننده در بهبود آسایش حرارتی محیط ایفا می‌کند؛ بااین‌حال، بسیاری از شهرداری‌ها به بهانهٔ توسعهٔ معابر و افزایش ظرفیت حمل‌ونقل، اقدام به حذف درختان کهن‌سال می‌کنند. نمونه‌ای بارز از این اقدام، قطع حدود ۱۶۰ اصله چنار کهن‌سال در طول ۳۵۰ متر از جبههٔ غربی خیابان خیام ایلام توسط شهرداری در سال ۲۰۱۵ است که کاهش پوشش سبز، افزایش دمای محیط و افت آسایش حرارتی عابران پیاده را در پی داشت. هدف این پژوهش، ارزیابی کمی پیامدهای خرداقلیمی این حذف بر آسایش حرارتی عابران با تلفیق داده‌های میدانی و شبیه‌سازی CFD است. ضرورت و اهمیت آن از آنجاست که تاکنون مطالعه‌ای مستند و کمی دربارهٔ اثر این اقدام در ایلام انجام نشده و خلأ پژوهشی درزمینهٔ ارزیابی پس‌ازواقع (post-hoc) حذف پوشش گیاهی کهن‌سال در معابر این شهر وجود دارد. نوآوری پژوهش نیز در ترکیب داده‌های میدانی با مدل‌سازی CFD، کمی‌سازی شاخص PMV در مقیاس معبر، و ارائهٔ شواهد عددی از تأثیر مخرب قطع درختان کهن‌سال بر آسایش حرارتی عابران در اقلیم نیمه‌خشک ایلام است که می‌تواند مبنای تصمیم‌گیری‌های آیندهٔ مدیریت شهری قرار گیرد.

۱. پیشینهٔ پژوهش

مطالعات متعددی به بررسی تأثیر پوشش گیاهی بر آسایش حرارتی پرداخته‌اند. در مطالعه‌ای که در همدان پیرامون تأثیر الگوی پوشش گیاهی و الگوی هندسی بر آسایش حرارتی فضاهای باز در اقلیم سرد و کوهستانی و با استفاده از نرم‌افزار ENVI-met و با تمرکز بر فصل زمستان انجام شد. نتایج نشان داد که در نظر گرفتن الگوی پوشش گیاهی و الگوی هندسی در کنار هم برای آسایش حرارتی در این اقلیم بسیار مهم است. سرعت باد بیشترین تأثیر را بر آسایش حرارتی در زمستان دارد و پوشش گیاهی برگ‌دار با سایه‌اندازی می‌تواند محیطی راحت را برای کاربران فراهم کند؛ به‌ویژه در زمستان که نور خورشید به‌دلیل بادهای سرد و رطوبت کم مطلوب نیست (Yadegari and Sajadzadeh 2021, 1). در مطالعهٔ دیگری افزایش پوشش گیاهی شهری را در کاهش گرمای شهری و بهبود آسایش حرارتی در فضای باز در سنگاپور را مطالعه کردند. نوع پوشش گیاهی و افزایش پوشش گیاهی می‌تواند آسایش حرارتی را در روز بهبود بخشد. انتخاب پوشش‌های گیاهی که باعث افزایش تعرق درختان می‌شود، می‌تواند به کاهش گرمای شهری در دوره‌های گرم کمک کند. انتخاب مقدار و نوع پوشش گیاهی مناسب می‌تواند به بهبود آسایش حرارتی در فضای باز در شهرهای گرمسیری کمک کند (Meili et al. 2021, 1). مطالعات انجام‌شده در ارومیه به ارزیابی آسایش حرارتی یک باغ شهری تاریخی در تابستان و زمستان پرداخت و نشان داد که در تابستان استفاده از بتن با بازتابش بالا و درختان با تاج پهن (مانند پلاتانوس و کاج) و در زمستان آسفالت با درختان پر بازتابش (مانند سرو و پوپولوس) راه‌حل‌های بهینه برای بهبود آسایش حرارتی هستند. این مطالعه چارچوبی عملی برای بهبود فضاهای باز شهری ارائه می‌دهد (Gachkar, Taghvaei, and Norouzian-Maleki 2021). در مطالعهٔ دیگری نشان داد که پوشش گیاهی در تابستان آسایش حرارتی را حدود ۲ درجهٔ سانتی‌گراد در دو شهر لچه (ایتالیا) و لاهتی (فنلاند) بهبود می‌بخشد، اما در زمستان باعث ناراحتی حرارتی می‌شود. بااین‌حال، پوشش سبز پتانسیل کاهش تنش‌های حرارتی و خنثی‌سازی اثرات تغییرات آب‌وهوایی را دارد (Gatto et al. 2020, 1). مطالعه‌ای دیگر تأثیر اشکال مختلف سبز کردن (درختکاری، نماهای سبز، بام‌های سبز) بر آسایش حرارتی را بررسی کرد و نشان داد که کاشت درختان نسبت به سایر روش‌ها تأثیر بیشتری در بهبود محیط‌های حرارتی فضای باز دارد. همچنین، افزایش عرض تاج درختان باعث افزایش تأثیر خنک‌کنندگی آن‌ها می‌شود (Lin et al. 2024, 1). این مطالعه به بررسی تأثیر پوشش گیاهی بر آسایش حرارتی در بلوار گوئلما (الجزایر) پرداخت و نشان داد که درختان فیکوس نیتیدا بیشترین کاهش دما (۰/۳ درجهٔ سانتی‌گراد) و بهبود شاخص UTCI (۲/۵ درجهٔ سانتی‌گراد) را ایجاد کردند. همچنین، کاشت درختان نخل واشنگتن در مرکز بلوار مؤثرترین روش برای کاهش تابش خورشید و ایجاد سایه در طول روز بود (Sayad et al. 2021, 1). این مطالعه با استفاده از شبیه‌سازی‌های کامپیوتری نشان داد که ترکیب ۷۵ درصد درختان و ۵۰ درصد چمن بیشترین تأثیر را در کاهش دمای هوا و بهبود آسایش حرارتی در مناطق گرم و خشک دارد. همچنین، راهبردهای پوشش گیاهی متناسب با الگوهای باد می‌توانند خنک‌سازی و آسایش حرارتی را افزایش دهند (Gomaa et al. 2024, 1). این مطالعه به بررسی تأثیر کاشت درختان برگ‌ریز و سوزنی‌برگ بر آسایش حرارتی و متغیرهای هواشناسی در تهران را بررسی کرد و نشان داد که پوشش درختی ۳۵ و ۷۵ درصد به‌ترتیب دمای هوا را ۱/۲ و ۲/۴ درجهٔ سانتی‌گراد کاهش می‌دهد. درختان برگ‌ریز نسبت به سوزنی‌برگ اثر خنک‌کنندگی بیشتری داشتند و نوع و وسعت درختان به‌طور قابل توجهی بر آسایش حرارتی عابران پیاده تأثیرگذار است (Vatani et al. 2024, 2).

مطالعات پیشین به‌طور متقاعدکننده‌ای نشان داده‌اند که پوشش گیاهی، به‌ویژه درختان با تاج پهن، ازطریق سایه‌اندازی، کاهش دمای سطح و افزایش تعرق، آسایش حرارتی فضای باز شهری را بهبود می‌بخشد. این پژوهش‌ها عمدتاً براثر افزودن یا بهینه‌سازی پوشش گیاهی در اقلیم‌های مختلف متمرکز بوده‌اند و کمتر به پیامدهای حذف پوشش گیاهی کهن‌سال موجود بر آسایش حرارتی عابران پرداخته‌اند. همچنین، بیشتر مطالعات از نرم‌افزارهایی مانند ENVI-met استفاده کرده‌اند و کاربرد CFD در ارزیابی کمی تغییرات آسایش حرارتی ناشی از قطع درختان در معابر شهری ایران، به‌ویژه در اقلیم نیمه‌خشک ایلام، کمتر مورد توجه قرار گرفته است. بر این اساس، شکاف علمی اصلی

این پژوهش، نبود مطالعه‌ای مستند و کمی دربارهٔ اثر حذف ۱۶۰ اصله چنار کهن‌سال بر خرداقلیم معبر و شاخص آسایش حرارتی عابران (PMV) در خیابان خیام ایلام است. نوآوری این مقاله در سه محور قابل توجیه است: نخست، ارزیابی پس‌ازواقع یک اقدام مدیریت شهری واقعی (قطع درختان) به‌جای سناریوسازی فرضی؛ دوم، تلفیق داده‌های میدانی با شبیه‌سازی CFD برای کمی‌سازی دقیق تغییرات دما و آسایش حرارتی در مقیاس معبر؛ و سوم، ارائه شواهد عددی از پیامدهای منفی حذف پوشش گیاهی کهن‌سال در اقلیم نیمه‌خشک که می‌تواند مبنای بازنگری سیاست‌های مدیریت شهری قرار گیرد.

۲. مبانی نظری پژوهش

۲. ۱. خرداقلیم شهری و شکل‌گیری جزیرهٔ گرمایی

شهرها به‌دلیل جایگزینی سطوح طبیعی با مصالح صنعتی و کاهش پوشش گیاهی، تعادل انرژی سطحی را تغییر می‌دهند (Oke 1982, 2). او که در چارچوب نظریهٔ تعادل انرژی نشان داد انرژی خورشیدی ورودی به سطح شهری از چهار مسیر توزیع می‌شود، گرمای محسوس، گرمای نهفته (تبخیر و تعرق)، ذخیرهٔ حرارتی در مصالح، و تابش موج بلند بازگشتی. کاهش پوشش گیاهی، سهم گرمای نهفته را کم و درمقابل، گرمای محسوس و ذخیرهٔ حرارتی را افزایش می‌دهد و بدین‌ترتیب جزیرهٔ گرمایی شهری شکل می‌گیرد (Idem 1988, 4). این فرایند نه‌تنها مصرف انرژی ساختمان‌ها را تشدید می‌کند، بلکه آسایش حرارتی عابران در فضاهای باز را نیز تهدید می‌کند (Jamei and Rajagopalan 2017, 3). ازاین‌رو، شناخت سازوکارهای تعدیل‌کنندهٔ خرداقلیم به‌ویژه اثر پوشش گیاهی در معابر به‌عنوان پرترددترین فضاهای باز شهری ضرورتی بنیادین دارد (Ibid, 2).

۲. ۲. معماری معابر و نظریهٔ دره‌شهری

معابر شهری عرصه‌های اصلی زندگی جمعی و پیاده‌روی هستند و ایجاد آسایش حرارتی در آن‌ها، به‌ویژه در اقلیم‌های گرم، اهمیت ویژه‌ای دارد (اسلامی، نوذری فردوسیه، و طاهباز ۱۳۹۵). اوکه (Oke 1981, 3) نظریهٔ دره‌شهری را برای توضیح رفتار خرداقلیمی معابر توسعه داد. براساس این نظریه، معبر به‌عنوان یک درهٔ مصنوعی با دو دیوار جداره‌های ساختمان و یک کف سطح معبر در نظر گرفته می‌شود که الگوی تبادل انرژی و جریان هوا را تعیین می‌کند. نسبت ارتفاع به عرض (H/W) پارامتر کلیدی این نظریه است. افزایش این نسبت، دید به آسمان (SVF) را کاهش می‌دهد و تبادل تابشی با آسمان را محدود می‌کند (Idem 1982, 2). پژوهش‌ها نشان می‌دهند نسبت بهینهٔ H/W وابسته به بستر اقلیمی است، در اقلیم‌های گرم و خشک، سایه‌اندازی ناشی از فرم فشرده بر تهویه غلبه می‌کند و فرم‌های فشرده‌تر آسایش بهتری فراهم می‌کنند(Oke 1988, 3; Ali Toudert and Mayer 2006, 4) . همچنین جهت‌گیری معبر و جنس مصالح سطح بر خرداقلیم مؤثرند؛ معابر با جهت‌گیری شرقی ـ غربی در ساعات میانی روز تابش مستقیم بیشتری دریافت می‌کنند (Ali-Toudert and Mayer 2006, 4). این یافته برای پژوهش حاضر اهمیت بنیادین دارد، زیرا نشان می‌دهد اثر پوشش گیاهی بر خرداقلیم معابر را نمی‌توان مستقل از هندسهٔ معبر و بستر اقلیمی تحلیل کرد.

۲. ۳. آسایش حرارتی عابران و شاخص PMV

آسایش حرارتی به رضایت فرد از محیط حرارتی اطراف اشاره دارد که تحت‌تأثیر عوامل مختلف است (Chun and Tamura 2005, 3). آسایش حرارتی در فضای باز پیچیدگی‌های بیشتری نسبت به فضای بسته دارد و استانداردهای فضای بسته را نمی‌توان به فضای باز تطبیق داد (داوطلب و دیگران ۱۳۹۸، ۱۵۵). این تفاوت‌ها ناشی از سه دلیل عمدهٔ روان‌شناختی، فیزیولوژیک و انرژی است که به فاصله گرفتن دمای متوسط تابشی از دمای هوا و افزایش سرعت وزش باد در فضای باز مربوط می‌شود (Höppe 2002, 5; Givoni et al. 2003, 3). شاخص میانگین رأی پیش‌بینی‌شده (PMV) که بر پایهٔ نظریهٔ تعادل حرارتی بدن (Fanger 1970, 4) بنا شده است، شش پارامتر را در نظر می‌گیرد: دمای هوا، دمای متوسط تابشی، سرعت باد، رطوبت نسبی، نرخ متابولیسم و عایق‌بندی لباس PMV. بر مقیاس

هفت‌گانه از ۳ –(سرد) تا ۳+ (گرم) تعریف می‌شود و محدودهٔ آسایش معمولاً بین ۰/۵ – تا ۰/۵ + در نظر گرفته می‌شود (ASHRAE 2017, 6). استاندارد ISO 7730 نیز همین محدوده را توصیه کرده است .(ISO 2005, 4)

۲. ۳. پوشش گیاهی، سایه‌اندازی و اثر برودتی

پوشش گیاهی از دو مسیر مکمل خرداقلیم را تعدیل می‌کند، سایه‌اندازی که دمای متوسط تابشی (MRT) را کاهش می‌دهد، و تبخیر و تعرق که با تبدیل انرژی به گرمای نهان، دمای هوا را پایین می‌آورد (Shashua-Bar, Pearlmutter, and Erell 2009, 5). اثر برودتی درختان به مشخصات هندسی و بیوفیزیکی آن‌ها ازجمله تراکم تاج، ارتفاع تنه، شاخص سطح برگ (LAI) و نسبت شعاع تاج به ارتفاع تنه (R/TH) وابسته است (Zheng, Zhao, and Li 2016, 3). پژوهش‌ها نشان داده‌اند افزایش یک واحد در نسبت R/TH می‌تواند شاخص PET را تا ۵/۲ درجهٔ سانتی‌گراد کاهش دهد (Wang et al. 2021, 6) و سایه‌اندازی درختان MRT را تا حدود ۳۰ درجهٔ سانتی‌گراد در یک روز تابستانی کاهش می‌دهد (Brown and Gillespie 1995, 2). کاشت گروهی درختان نیز می‌تواند مانند یک تعدیل‌کنندهٔ خرداقلیمی عمل کند و شاخص PET را ازطریق اثر چتری کاهش دهد .(Emmanuel 2005, 4) اثر حذف درختان کهن‌سال، درختان کهن‌سال به‌دلیل ابعاد تاج، عمق ریشه و ذخیرهٔ کربن، نقشی متمایز در تنظیم خرداقلیم دارند (Lotfi et al. 2021, 3).

۲. ٤. شبیه‌سازی خرداقلیم با ENVI-met

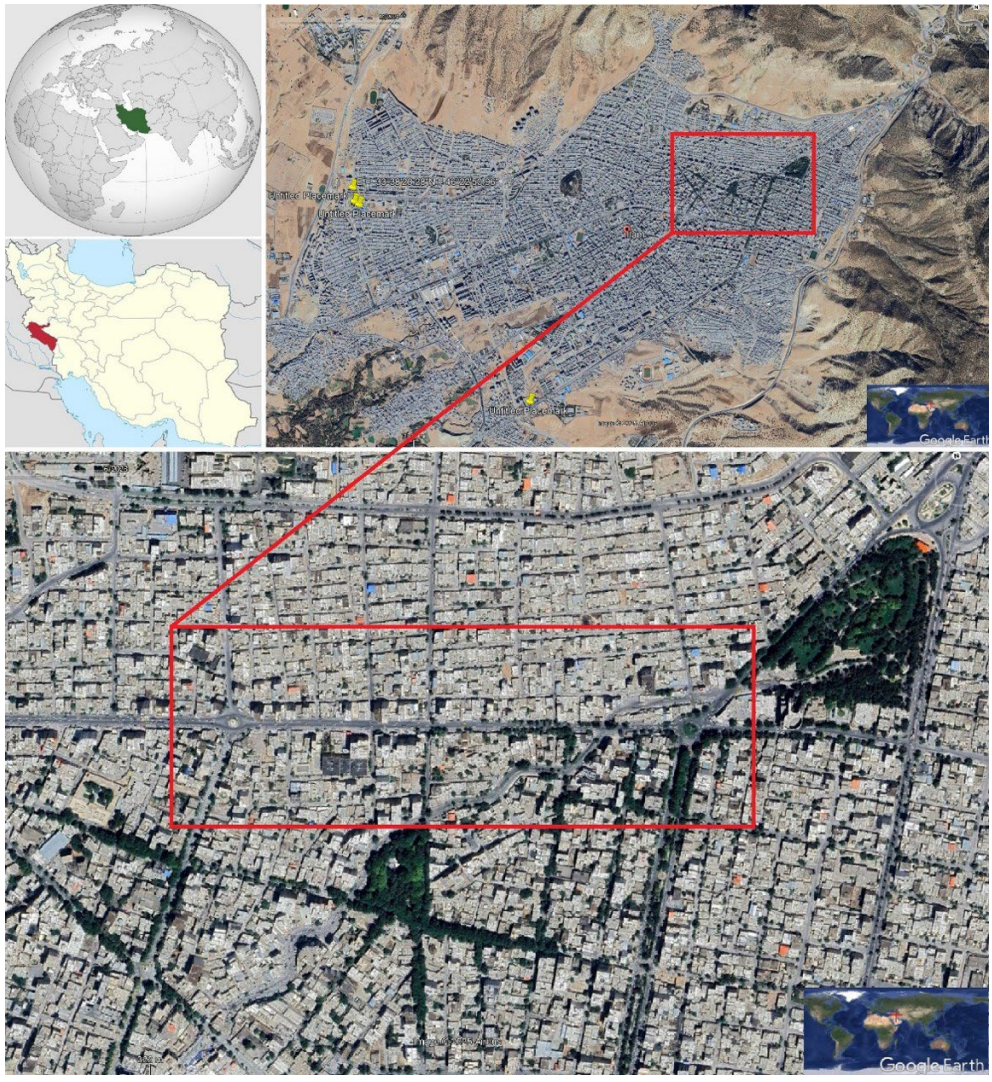
روش دینامیک سیالات محاسباتی (CFD) در مطالعات خرداقلیم شهری بر حل عددی معادلات بنیادین حاکم بر جریان سیال استوار است، معادلهٔ پیوستگی (حفظ جرم) و معادلهٔ انرژی (حفظ حرارت) مدل‌های CFD شهری معمولاً از رویکرد RANS بهره می‌گیرند که در آن اثرات آشفتگی جریان با مدل‌های توربولانس تقریب زده می‌شود (Aghamolaei, Fallahpour, and Mirzaei 2021, 2). بروسه و فلر این مدل را برای شبیه‌سازی تعاملات پیچیدهٔ میان جو، سطوح مصنوعی، پوشش گیاهی و ساختمان‌ها در مقیاس میکرو توسعه دادند (Bruse and Fleer 1998, 6). همچنین، اعتبارسنجی نتایج شبیه‌سازی با داده‌های میدانی، به‌ویژه برای دمای هوا، رطوبت نسبی و سرعت باد، از عوامل مهم در ارزیابی دقت مدل ENVI-met محسوب می‌شود (Samadpour Shahrak and Karimimoshaver 2023, 4).

۳. روش پژوهش

۳. ۱. مشخصات محدودهٔ مورد مطالعه

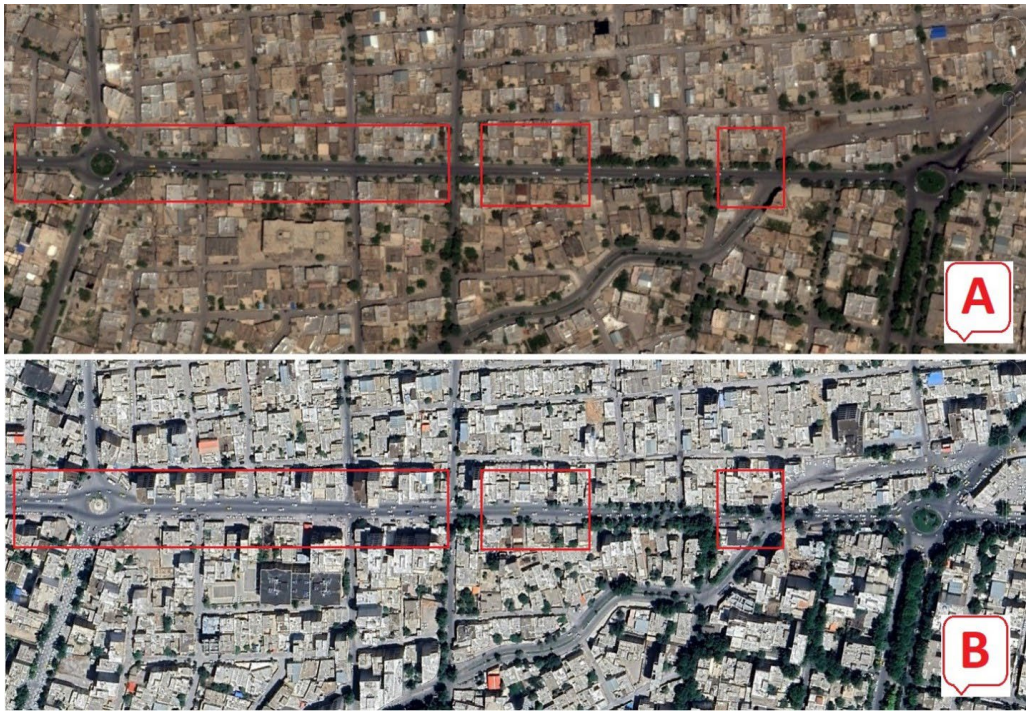
محدودهٔ مورد مطالعه در این پژوهش، شهر ایلام در عرض جغرافیایی ۳۳ درجه و ۳۸ دقیقهٔ شمالی و طول جغرافیایی ۴۶ درجه و ۲۶ دقیقهٔ شرقی و با ارتفاع ۱۴۱۷ متر از سطح دریا انتخاب شد (Rostami, Nasrollahi, and Khodakarami 2024, 2). داده‌های اقلیمی این پژوهش از ایستگاه هواشناسی سینوپتیک ایلام واقع در ۳۳ دقیقه و ۳۸ درجهٔ شمالی و ۴۶ دقیقه و ۲۶ درجهٔ شرقی دریافت شده است. این ایستگاه که در ارتفاع ۱۴۱۷ متری از سطح دریا قرار دارد، نزدیک‌ترین ایستگاه رسمی به محدودهٔ مطالعاتی فاصلهٔ ۱/۵ کیلومتری بوده و داده‌های آن توسط سازمان هواشناسی ایران با ابزارهای استاندارد اندازه‌گیری شده‌اند. براساس داده‌های هواشناسی ۳۵ سال گذشته دمای هوای ایلام خرداد تا شهریور از ۲۰ درجهٔ سانتی‌گراد فراتر رفته است (تصویر ۱)(IRIMO 2021, 1).

با توجه به روند صنعتی شدن شهرها و افزایش روزافزون خودروها، معضلاتی مانند ترافیک سنگین و آلودگی زیست‌محیطی به چالشی جدی تبدیل شده‌اند. پیش از اجرای پروژهٔ توسعه، خیابان خیام ایلام به‌عنوان یکی از شریان‌های حیاتی شهر، دارای پوشش گیاهی گسترده و ۱۶۰ اصله چنار کهن‌سال در حاشیهٔ معبر بود که نقش مهمی در سایه‌اندازی و تعدیل دمای محیط ایفا می‌کرد (تصویر ۲– بخشA). در سال ۱۳۹۴، شهرداری ایلام با هدف ارتقای کیفیت زیرساخت‌های حمل‌ونقل و افزایش ظرفیت معبر، پروژهٔ توسعهٔ این خیابان را اجرا کرد. این اقدام منجر به حذف ۳۵۰ متر مربع از پوشش گیاهی و قطع ۱۶۰ اصله چنار کهن‌سال در حاشیهٔ معبر شد (تصویر



تصویر ۱: محدودهٔ پژوهش، حدفاصل خیابان شهدا تا خیابان خیام در شهر ایلام

۲- بخش B). هدف اصلی پروژه بهبود وضعیت حمل‌ونقل بود، اما مطالعات میدانی و تحلیل‌های علمی این پژوهش نشان می‌دهد که اجرای آن پیامدهای ناخواستهٔ گسترده‌ای به همراه داشته است. مهم‌ترین این تأثیرات شامل تشدید اثر جزیرهٔ گرمایی شهری (UHI) با افزایش محسوس دمای محیط، کاهش قابل توجه آسایش حرارتی عابران پیاده و ساکنان محلی، افزایش سطح آلودگی هوا ناشی از حذف عملکرد تصفیه‌کنندگی درختان، و تغییر الگوی جریان باد و اختلال در سیستم تهویهٔ طبیعی منطقه بوده است. این تغییرات نه‌تنها باعث کاهش چشمگیر کیفیت محیطی شده، بلکه تأثیرات مضاعفی بر سلامت شهروندان و کیفیت زندگی عابران پیاده داشته است. علاوه‌بر این، نارضایتی ضوابط شهرسازی در بخش‌های شمالی و جنوبی این محور منجر به تغییرات ساختاری در هندسهٔ ساختمان‌های مجاور شده که این عامل نیز به‌نوبهٔ خود بر شرایط خرداقلیم منطقه تأثیرگذار بوده و پیچیدگی‌های الگوی جریان هوا و توزیع دمایی را افزایش داده است.



تصویر ۲: بخش A معبر مورد مطالعه با پوشش گیاهی و درختان کهن‌سال در سال ۱۳۹۴؛
بخش B معبر مورد مطالعه بدون پوشش گیاهی و درختان کهن‌سال در وضعیت حاضر

تصویر ۳ یک عکس هوایی از سایت را نشان می‌دهد که قرارگیری راهبردی دستگاه‌های دیتالاگر در نقاط مختلف معبر را به‌وضوح مشخص می‌کند. مشخصات دستگاه‌های داده بردار اقلیمی، همراه با موقعیت قرارگیری آن‌ها در محدودهٔ معبر، برای ثبت داده‌های اقلیمی (دما، رطوبت، سرعت جریان هوا) از دستگاه‌های Fluke AirMeter، که به‌عنوان ثبت‌کنندهٔ داده‌بردار اقلیمی عمل می‌کنند، ارائه شده است. این دستگاه‌ها در مکان‌های مختلف محدودهٔ معبر قرار گرفته‌اند. تصویر ۳ نشان می‌دهد که محل قرارگیری رسپتورها از H تا A شناسایی شده است. داده‌ها در بازهٔ زمانی دوازده‌ساعته از ۸ صبح تا ۷ شب ثبت شده‌اند. تحلیل توجیهی برای دقیق بودن وضعیت معبر انجام شده است، با تقسیم کل معبر به چند قسمت. هر دو سمت معبر نیز بررسی شده‌اند.

۳. ۲. شرح برداشت میدانی و انجام مطالعات شبیه‌سازی

مطالعات میدانی و حضور فیزیکی در منطقه نشان داد که بیشترین تراکم جمعیت و ازدحام وسایل نقلیه به‌ویژه در بازهٔ زمانی ابتدای ساعات صبح تا ۷ بعدازظهر رخ می‌دهد. این مشاهدات، بینشی جامع از پویایی شهری فعلی و چالش‌های زیست‌محیطی موجود در این منطقه فراهم آورده است. بر همین اساس، به‌منظور بررسی دقیق‌تر وضعیت آسایش حرارتی، داده‌برداری در بازهٔ زمانی ۸ صبح تا ۷ بعدازظهر انجام شد که مطابق با اوج بحران حرارتی، حضور افراد و ترافیک در سایت است. این داده‌ها به‌عنوان ورودی برای شبیه‌سازی محیط حرارتی در نرم‌افزار ENVI-met استفاده شدند تا شرایط حرارتی منطقه با دقت بالاتری مدل‌سازی و تحلیل شوند. این رویکرد، امکان درک بهترین شرایط آسایش حرارتی و ارزیابی اثرات عوامل مختلف شهری را فراهم می‌کند و می‌تواند به‌عنوان پایه‌ای برای ارائهٔ راهکارهای بهینه‌سازی محیط‌زیست شهری مورد استفاده قرار گیرد.

مطالعات شبیه‌سازی براساس تعریف دو سناریو با پوشش گیاهی و بدون پوشش گیاهی صورت پذیرفت. شبیه‌سازی وضعیت موجود و یک طراحی مجدد پیشنهادی با استفاده از پوشش گیاهی در نرم‌افزار ENVI-met 5 اجرا شد.



تصویر ۳: تصاویر نقاط مختلف معبر مورد مطالعه و محل قرارگیری دیتالاگر در سایت

خروجی‌های حاصل از این شبیه‌سازی‌ها در نرم‌افزار لئوناردو برای تجزیه‌وتحلیل دقیق‌تر محیط حرارتی پردازش شدند. برای ارزیابی سطوح آسایش حرارتی، از شاخص میانگین رأی پیش‌بینی‌شده PMV در نرم‌افزار Bio-Met استفاده شد. این مقایسه، امکان ارزیابی تأثیر طرح‌های پیشنهادی بر تغییر شرایط خرداقلیمی را فراهم کرد. این رویکرد جامع نه‌تنها به درک بهتر پویایی‌های حرارتی فضاهای شهری کمک می‌کند، بلکه ابزاری مؤثر برای برنامه‌ریزی شهری و تدوین راهبردهای طراحی آینده با هدف کاهش تنش‌های حرارتی در مناطق پرجمعیت ارائه می‌دهد. با قرار دادن دستگاه دیتالاگر داده‌های دستگاه‌های داده بردار برای اعتبارسنجی ثبت شده است. برای اعتبارسنجی نتایج شبیه‌سازی، اندازه‌گیری‌های میدانی به‌طور هم‌زمان در همان تاریخ و در یک بازهٔ زمانی دوازده‌ساعته انجام شد. سپس این نقاط دادهٔ واقعی با خروجی‌های تولیدشده توسط نرم‌افزار ENVI-met مقایسه شدند. این مقایسه برای ارزیابی دقت و قابلیت اطمینان ENVI-met در پیش‌بینی شرایط حرارتی بسیار مهم است. فرایند تحقیق، ازجمله این مراحل اعتبارسنجی، در تصویر دوم اسناد مطالعه نشان داده شده است.

۳. ۳. ابزارهای شبیه‌سازی

برای دستیابی به اهداف این تحقیق از نرم‌افزار ENVI-met برای شبیه‌سازی شرایط موجود و ارزیابی آسایش حرارتی فضاهای باز شهری استفاده شده است. ابتدا پارامترهای طراحی شهری سایت انتخاب‌شده مانند ارتفاع ساختمان، نوع درختان و تعداد و ارتفاع درختان ازطریق مشاهدات میدانی استخراج شد. سپس این اطلاعات برای شبیه‌سازی محیط حرارتی وارد نرم‌افزار شد. این تحقیق عوامل اقلیمی کلیدی مؤثر بر آسایش حرارتی، ازجمله دمای هوا، سرعت باد و رطوبت نسبی را که با استفاده از نرم‌افزار ENVI-met در طول فصل بهار اندازه‌گیری شد، تجزیه‌وتحلیل کرد.

۳. ٤. مدل‌سازی با نرم‌افزار ENVI-met

ابزارهای مختلفی برای شبیه‌سازی شرایط آسایش حرارتی موجود است که دو مورد از شناخته‌شده‌ترین آن‌ها ENVI-met و Biomet هستند. ENVI-met یک مدل سه‌بعدی است که برای تجزیه‌وتحلیل اثرات خرداقلیم شهری، محیط‌های داخلی و سطوح آلودگی طراحی شده است. آسایش حرارتی فضاهای بیرونی را در روزهای خاص ارزیابی می‌کند و تأثیر عناصر سبز را بر پارامترهای مختلف هواشناسی ارزیابی می‌کند. پس از تکمیل شبیه‌سازی، می‌توان از ابزار Biomet برای محاسبهٔ شاخص‌های آسایش حرارتی مختلف مانند شاخص آسایش حرارتی جهانی و دمای معادل فیزیولوژیکی استفاده کرد (یادگاری و دیگران ۱۴۰۰). شاخص‌های مختلفی مانند دمای معادل فیزیولوژیکی،[۲] دمای مؤثر استاندارد[۳] و شاخص آب‌وهوای گرمایی جهانی،[۴] به‌طور خاص برای ارزیابی آسایش حرارتی در فضای باز استفاده می‌شوند (Noro & Lazzarin, 2015). جانسون و همکاران در بررسی‌های خود تأکید کردند که در میان شاخص‌های مختلف مورد استفاده در مطالعات آسایش حرارتی در محیط‌های باز، شاخص میانگین رأی پیش‌بینی‌شده (PMV) به‌عنوان یکی از پرکاربردترین شاخص‌ها برجسته است. این شاخص اغلب با سایر شاخص‌ها مقایسه می‌شود. دمای مؤثر استاندارد (SET) و شاخص جهانی آب‌وهوای گرمایی (UTCI) ازجمله موارد دیگر است (Johansson et al, 2013). این مدل به‌طور گسترده توسط محققان متعدد مورد مطالعه و تأیید قرار گرفته است. برای استفاده در مطالعات مرتبط برای محاسبهٔ جزایر حرارتی شهری، گرمایش شهری و آسایش حرارتی تأیید شده است. این مدل ثابت کرده است که این برنامه‌ها بسیار مؤثر و پاسخ‌گوست (Karimimoshaver et al. 2023, 5). در این پژوهش از نرم‌افزار Envi-met نسخهٔ ۵٫۶٫۱ برای شبیه‌سازی شرایط محیطی سایت استفاده شده است. گونه‌های درختی انتخاب شده برای شبیه‌سازی براساس درختان موجود در سایت و پرکاربردترین درختان شهر ایلام، به‌ویژه درخت چنار تعیین شده‌اند. تعداد درختان در الگوها برای به حداکثر رساندن ظرفیت سایت و درعین‌حال به حداقل رساندن تأثیر بر محیط‌زیست و اطمینان از عدم تداخل بین تاج درختان تعیین شده‌اند.

۳. ۵. پارامترهای فیزیولوژیکی عابران

مشخصات فیزیولوژیکی عابران پیاده که در بخش Biomet نرم‌افزار ENVI-met وارد و در تصویر ۴ نشان داده شده است، شامل قد ۱۷۵ سانتی‌متر، وزن ۷۵ کیلوگرم، سن ۳۵ سال، جنسیت مرد، سطح فعالیت ۲/۸۶ وات بر متر مربع

و میزان عایق حرارتی لباس ۰/۹ clo می‌باشد. این مقادیر براساس استاندارد ASHRAE آمریکا انتخاب شده‌اند تا نمایندهٔ یک فرد بالغ متوسط با فعالیت معمول در فضای شهری باشند. تعیین دقیق این پارامترها اهمیت زیادی دارد، زیرا شاخص‌های آسایش حرارتی PMV به ویژگی‌های فیزیولوژیکی، سطح فعالیت و نوع پوشش افراد وابسته است. سطح فعالیت انتخاب‌شده معادل راه رفتن آرام در فضای باز بوده و میزان عایق لباس نیز نشان‌دهندهٔ پوشش معمول تابستانی است که بر انتقال حرارت بدن و احساس آسایش حرارتی تأثیرگذار است. در این پژوهش، به‌منظور کنترل سایر متغیرهای مؤثر و تمرکز بر بررسی تأثیر حذف پوشش گیاهی بر آسایش حرارتی، ویژگی‌های فیزیولوژیکی عابران شامل سن، جنسیت، نرخ متابولیسم و نوع پوشش به‌صورت ثابت و براساس مقادیر استاندارد نرم‌افزار ENVI-met و مطابق با استاندارد ISO 7730 در نظر گرفته شده است. این رویکرد که با هدف حذف تأثیرات متغیرهای فردی و تمرکز بر عوامل محیطی به کار گرفته شده، روشی رایج در مطالعات شبیه‌سازی آسایش حرارتی است;ISO 7730, 2005). (Bruse and Fleer, 1998 بدیهی است که در تحقیقات آتی، با لحاظ کردن تنوع ویژگی‌های فردی عابران می‌توان به نتایج دقیق‌تر و جامع‌تری درزمینهٔ آسایش حرارتی دست یافت.

جدول ۱، مشخصات فنی و داده‌های ورودی به نرم‌افزار ENVI-met را برای انجام شبیه‌سازی دینامیک سیالات محاسباتی (CFD) در منطقهٔ ایلام ارائه می‌دهد. این جدول شامل موقعیت جغرافیایی دقیق منطقهٔ ۱۷ درجه و ۳۳ دقیقه شمالی و صفر درجه و ۴۷ دقیقه شرقی، تاریخ و زمان شبیه‌سازی ۱۵ اردیبهشت، از ساعت ۸ صبح تا ۷ عصر به‌مدت ۱۲ ساعت است که چارچوب زمانی مناسبی برای تحلیل شرایط خرداقلیمی روزانه فراهم می‌کند. اندازهٔ مدل به‌صورت شبکه‌ای با ابعاد ۱۲۵ در ۵۰ در ۲۵ گرید و اندازهٔ هر سلول ۶ در ۶ در ۲ متر تعیین شده که دقت فضایی مناسبی برای تحلیل تعاملات خرداقلیمی و جریان هوا فراهم می‌آورد. همچنین، استفاده از ۵ لایهٔ تودرتو (Nesting grids) به بهبود دقت مدل در مناطق حساس کمک می‌کند. نسخهٔ نرم‌افزار ENVI-met مورد استفاده، نسخهٔ ۵٫۶٫۱ است که از آخرین قابلیت‌های مدل‌سازی برخوردار است. نوع پوشش گیاهی شامل درختان پهن‌برگ و درختان چنار با ابعاد طول و عرض ۷ متر و ارتفاع ۱۱ متر و تعداد ۱۶۰ اصله در مدل لحاظ شده است که نقش مهمی در تعدیل شرایط اقلیمی و آسایش حرارتی دارد. این داده‌ها و تنظیمات ورودی، چارچوب مناسبی برای شبیه‌سازی دقیق ریزاقلیم شهری و تحلیل تأثیر پوشش گیاهی بر پارامترهای محیطی مانند دما، باد و آسایش حرارتی فراهم می‌کنند و با توجه به دقت بالا و جزئیات مناسب، نتایج قابل اعتمادی برای مطالعات طراحی شهری و معماری منظر ارائه خواهند داد.

جدول ۱: اطلاعات و داده‌های واردشده در نرم‌افزار ENVI-met

نام منطقه	Ilam, Iran
موقعیت جغرافیایی	47.00°E ، °N33.17
تاریخ شبیه‌سازی	۲۰۲۴/۰۵/۰۴
زمان شبیه‌سازی	۸ صبح تا ۱۹، ۱۲ ساعت
نتیجهٔ داده‌ها	Leonardo plug-in
اندازهٔ مدل	x-Grids=125, y-Grids=50, z-Grids=25
اندازهٔ هر سلول به متر	dx=6,dy=6,dz=2
Nesting grids	۵
نسخهٔ نرم‌افزار	Envi-met V5.6.1
نوع درخت	درخت پهن‌برگ، درخت چنار
اندازهٔ درخت	طول و عرض ۷ متر، ارتفاع ۱۱ متر
تعداد درخت	۱۶۰ اصله



تصویر ۴: مشخصات فیزیولوژیکی عابران پیاده مورد استفاده در شبیه‌سازی ENVI-met مقادیر براساس استاندارد اشری آمریکا

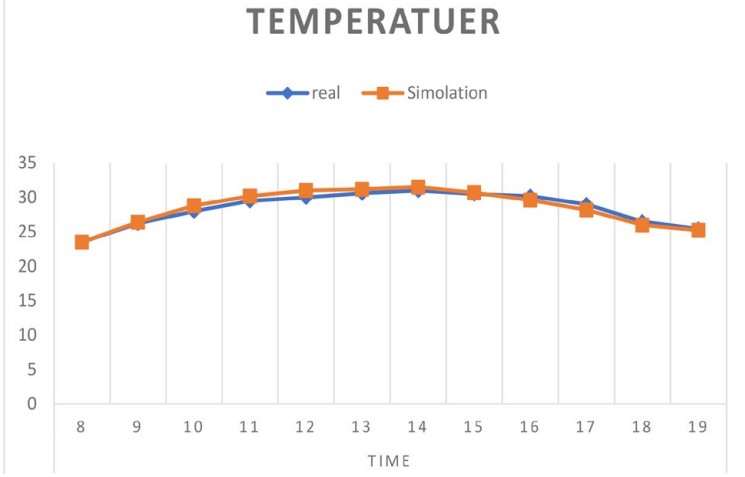
٤. یافته‌ها

٤. ١. مقایسهٔ داده‌های واقعی و شبیه‌سازی‌شدهٔ دما، رطوبت نسبی و سرعت باد در محدودهٔ مطالعه

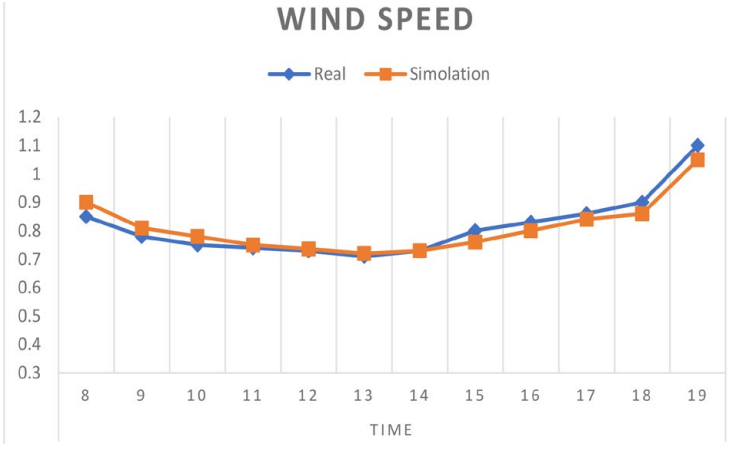
نمودارهای مقایسه‌ای بین اندازه‌گیری‌های واقعی (با استفاده از دستگاه دیتالاگر) و داده‌های شبیه‌سازی‌شده، در جدول ۲ نشان داده شده‌اند، و داده‌های شبیه‌سازی‌شده برای سه متغیر اصلی دما، رطوبت نسبی، و سرعت باد را نشان می‌دهند. این داده‌ها در بازهٔ زمانی از ساعت ۸ صبح تا ۷ شب جمع‌آوری شده‌اند و تطابق بین مقادیر واقعی و شبیه‌سازی‌شده را به‌وضوح نمایش می‌دهند. این مقایسه به‌منظور ارزیابی دقت مدل‌های شبیه‌سازی و عملکرد دستگاه دیتالاگر انجام شده است. نمودار ۱ تغییرات دما را نشان می‌دهد که روندی افزایشی از ساعات اولیهٔ صبح دارد و در حدود ساعت ۱۴ به اوج خود می‌رسد. پس از آن، دما به‌تدریج کاهش یافته و تا پایان بازهٔ زمانی به سطح اولیه نزدیک می‌شود. این الگو با اوج تابش خورشید در ساعات میانی روز هماهنگ است و نشان‌دهندهٔ تأثیر مستقیم انرژی خورشیدی بر دمای محیط است. داده‌های شبیه‌سازی‌شده و واقعی تطابق قابل توجهی دارند که بیانگر دقت مدل در پیش‌بینی تغییرات دمایی است. در نمودار ۲، تغییرات سرعت باد بررسی شده است. سرعت باد در ساعات اولیه صبح (حدود ۰/۸ تا ۰/۹ متر بر ثانیه) نسبتاً بالاست، اما در ساعات میانی روز (۱۰ تا ۱۴) به کمترین مقدار خود (حدود ۰/۷ متر بر ثانیه) می‌رسد. پس از آن، روندی افزایشی آغاز شده و در ساعت ۷ به اوج خود (حدود ۱/۱ متر بر ثانیه) می‌رسد. این نوسانات می‌تواند ناشی از تغییرات دمایی و جوی باشد. داده‌های شبیه‌سازی‌شده نیز با داده‌های واقعی هم‌خوانی خوبی دارند، که نشان‌دهندهٔ قابلیت اعتماد مدل در تحلیل رفتار باد است. نمودار ۳، تغییرات رطوبت نسبی واقعی و شبیه‌سازی‌شده را نمایش می‌دهد که در ساعات اولیهٔ صبح (۵۳ تا ۵۵ درصد) به حداکثر خود می‌رسد و با گرم‌تر شدن هوا در ساعات میانی روز (۱۳ تا ۱۵) به حداقل حدود ۳۵ درصد کاهش می‌یابد. سپس با کاهش دما در ساعات عصر، رطوبت مجدداً افزایش می‌یابد و به حدود ۵۰ درصد بازمی‌گردد. این الگو با اصول فیزیکی تبخیر و جذب رطوبت سازگار است. مدل شبیه‌سازی نیز با دقت مناسبی این تغییرات را پیش‌بینی کرده، که نشان‌دهندهٔ اعتبار آن در بررسی شرایط رطوبتی است. براساس نتایج و تحلیل داده‌های واقعی و شبیه‌سازی، می‌توان نتیجه گرفت که نرم‌افزار Envi-Met قابل اعتماد است. اعداد به‌دست‌آمده در این تحقیق نشان‌دهندهٔ دقت و کارایی نرم‌افزار در شبیه‌سازی روند دما، سرعت باد و رطوبت نسبی است. بنابراین می‌توان ثابت کرد که نرم‌افزار Envi-Met ابزاری قابل اعتماد برای تحلیل و شبیه‌سازی داده‌هاست.

جدول ۲: مقایسهٔ آماری بین داده‌های واقعی و شبیه‌سازی‌شده را برای سه پارامتر کلیدی دما، رطوبت نسبی و سرعت باد

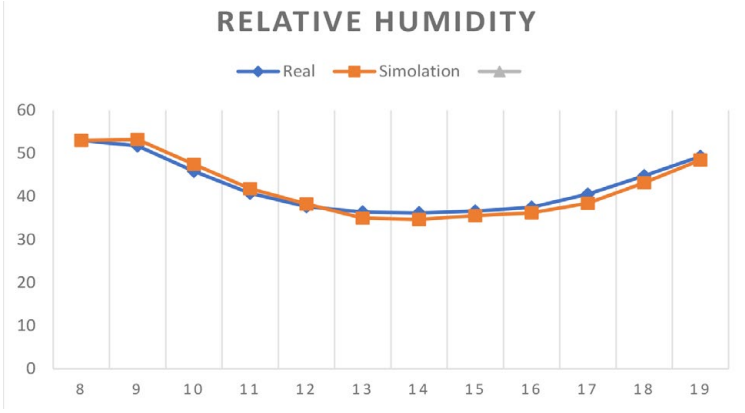
پارامتر	میانگین مقادیر واقعی	میانگین مقادیر شبیه‌سازی‌شده	انحراف‌معیار (واقعی)	انحراف‌معیار (شبیه‌سازی)	ضریب تعیین(R^2)	معادلهٔ رگرسیون
دمای هوا(°C)	29.5	28.7	±1.2	±0.9	0.956	y = 2.95 + 0.89x
رطوبت نسبی(%)	45	43	±5.8	±4.2	0.971	y = 5.13 + 0.89x
سرعت باد(m/s)	1.0	1.1	±0.3	±0.2	0.921	y = -0.09 + 1.11x



نمودار ۱: مقایسهٔ میانگین مقادیر تجربی برداشت‌شدهٔ دما با مقادیر شبیه‌سازی نرم‌افزار Envi-Met



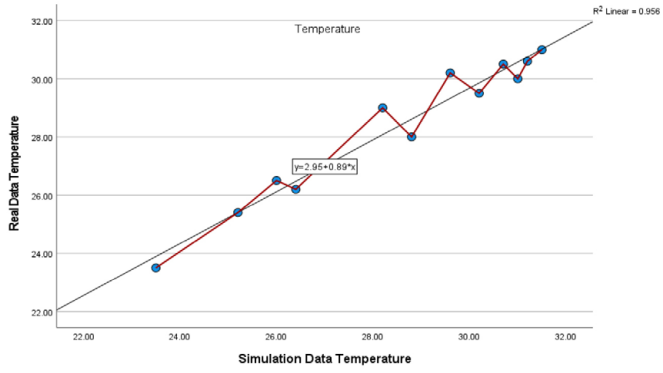
نمودار ۲: مقایسهٔ میانگین مقادیر تجربی برداشت‌شدهٔ سرعت جریان هوا با مقادیر شبیه‌سازی نرم‌افزار Envi-Met



نمودار ۳: مقایسهٔ میانگین مقادیر تجربی برداشت‌شدهٔ رطوبت نسبی هوا با مقادیر شبیه‌سازی نرم‌افزار Envi-Met

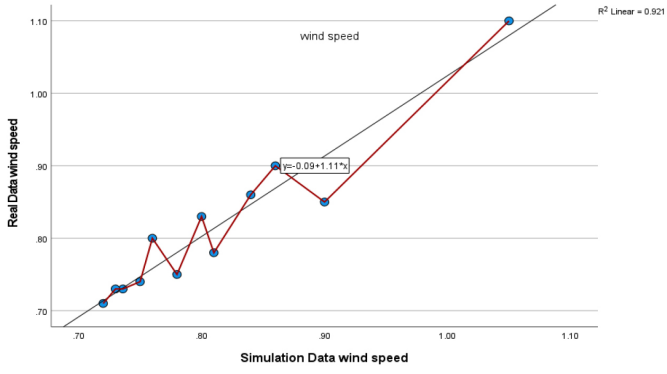
٤. ٢. اعتبارسنجی یافته‌ها براساس نتایج مدل رگرسیون خطی

نمودار ۴ مدل رگرسیون ارائه‌شدهٔ رابطهٔ بین «دمای دادهٔ شبیه‌سازی‌شده» (متغیر مستقل) و «دمای دادهٔ واقعی» (متغیر وابسته) را نشان می‌دهد. معادلهٔ رگرسیون خطی به‌دست‌آمده y= 2.95 + 0.89 * x است که نشان می‌دهد به‌ازای هریک واحد افزایش در دمای دادهٔ شبیه‌سازی‌شده، دمای دادهٔ واقعی به‌طور میانگین ۰/۸۹ واحد افزایش می‌یابد و مقدار ثابت ۲/۹۵ نشان‌دهندهٔ مقدار دمای دادهٔ واقعی زمانی است که دمای دادهٔ شبیه‌سازی‌شده برابر با صفر باشد. ضریب تعیین (R^2) برابر با ۰/۹۵۶ است، که نشان می‌دهد ۹۵/۶ درصد از تغییرات در دمای دادهٔ واقعی توسط تغییرات در دمای دادهٔ شبیه‌سازی‌شده قابل توضیح است. به‌طور کلی، نمودار نشان‌دهندهٔ یک رابطهٔ خطی قوی و مثبت بین دو متغیر است و دقت بالای مدل شبیه‌سازی‌شده در پیش‌بینی دمای واقعی را نشان می‌دهد.



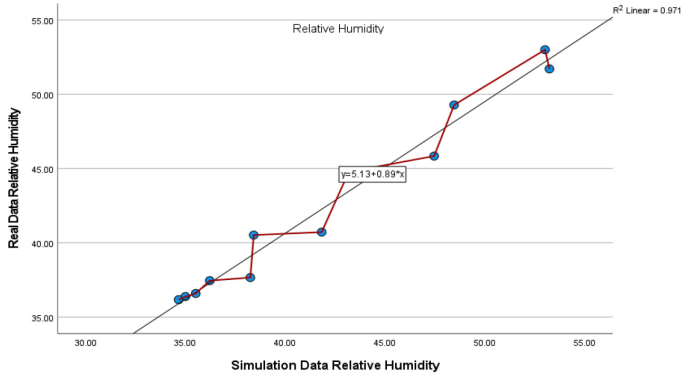
نمودار ۴: انطباق میانگین مدل رگرسیون خطی مقادیر تجربی برداشت‌شدهٔ دمای هوا با مقادیر شبیه‌سازی نرم‌افزار Envi-Met

نمودار ۵ مدل رگرسیون ارائه‌شدهٔ رابطهٔ بین سرعت باد دادهٔ شبیه‌سازی‌شده و سرعت باد دادهٔ واقعی را نشان می‌دهد. معادلهٔ رگرسیون خطی به‌دست‌آمده y = -0.09 + 1.11 * x است، که نشان می‌دهد به‌ازای هریک واحد افزایش در سرعت باد دادهٔ شبیه‌سازی‌شده، سرعت باد دادهٔ واقعی به‌طور میانگین ۱/۱۱ واحد افزایش می‌یابد و مقدار ثابت ۰/۰۹ – نشان‌دهندهٔ مقدار سرعت باد دادهٔ واقعی زمانی است که سرعت باد دادهٔ شبیه‌سازی‌شده برابر با صفر باشد. ضریب تعیین (R^2) برابر با ۰/۹۲۱ است، که نشان می‌دهد ۹۲/۱ درصد از تغییرات در سرعت باد دادهٔ واقعی توسط تغییرات در سرعت باد دادهٔ شبیه‌سازی‌شده قابل توضیح است. به‌طور کلی، نمودار نشان‌دهندهٔ یک رابطهٔ خطی قوی و مثبت بین دو متغیر است و مدل شبیه‌سازی‌شده در پیش‌بینی سرعت باد واقعی از دقت بالایی برخوردار است.



نمودار ۵: انطباق میانگین مدل رگرسیون خطی مقادیر تجربی برداشت‌شدهٔ سرعت جریان هوا با مقادیر شبیه‌سازی نرم‌افزار Envi-Met

نمودار ۶ مدل رگرسیون ارائه‌شدهٔ رابطهٔ بین رطوبت نسبی دادهٔ شبیه‌سازی‌شده و رطوبت نسبی دادهٔ واقعی را نشان می‌دهد. معادلهٔ رگرسیون خطی به‌دست‌آمده y = 5.13 + 0.89 * x است، که نشان می‌دهد به‌ازای هریک واحد افزایش در رطوبت نسبی دادهٔ شبیه‌سازی‌شده، رطوبت نسبی دادهٔ واقعی به‌طور میانگین ۰/۸۹ واحد افزایش می‌یابد و مقدار ثابت ۵/۱۳ نشان‌دهندهٔ مقدار رطوبت نسبی دادهٔ واقعی زمانی است که رطوبت نسبی دادهٔ شبیه‌سازی‌شده برابر با صفر باشد. ضریب تعیین (R^2) برابر با ۰/۹۷۱ است، که نشان می‌دهد ۹۷/۱ درصد از تغییرات در رطوبت نسبی دادهٔ واقعی توسط تغییرات در رطوبت نسبی دادهٔ شبیه‌سازی‌شده قابل توضیح است. به‌طور کلی، نمودار نشان‌دهندهٔ یک رابطهٔ خطی بسیار قوی و مثبت بین دو متغیر است و مدل شبیه‌سازی‌شده در پیش‌بینی رطوبت نسبی واقعی از دقت بسیار بالایی برخوردار است.



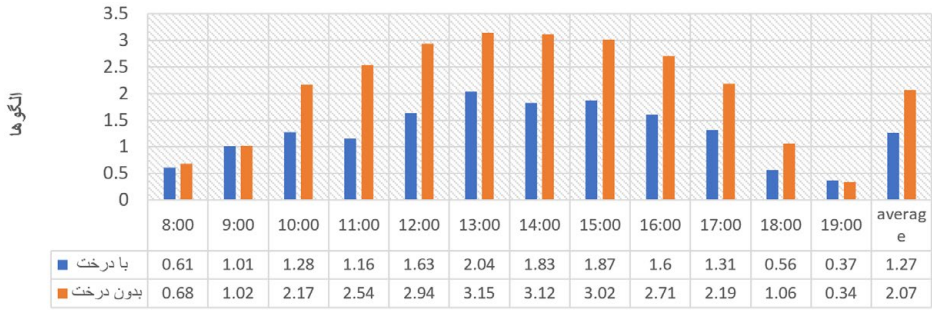
نمودار ۶: انطباق میانگین مدل رگرسیون خطی مقادیرتجربی برداشت‌شدهٔ رطوبت نسبی هوا با مقادیر شبیه‌سازی نرم‌افزار Envi-Met

٤. ۳. تحلیل یافته‌ها

در این مطالعه، به‌منظور ارزیابی تأثیر درختان بر شرایط محیطی، شاخص PMV در ساعات مختلف روز و در شرایط با پوشش گیاهی و بدون پوشش گیاهی مورد بررسی قرار گرفت. برای این منظور، داده‌ها از هشت رسپتور A تا H جمع‌آوری شدند (تصویر ۵). این رسپتورها به‌گونه‌ای مکان‌یابی شدند که بتوانند شرایط محیطی را در نقاط مختلف سایت به‌طور جامع پوشش دهند. داده‌ها از ساعت ۸ صبح تا ۷ شب جمع‌آوری و میانگین آن‌ها برای تحلیل شاخص PMV محاسبه شد. ارتفاع نصب رسپتورها نیز براساس میانگین قد انسان در حالت نشسته و ایستاده ۱/۵ متر تعیین شد.

آسایش حرارتی، طبق استاندارد ASHRAE آمریکا، براساس مقیاس هفت‌گانه از سرد تا گرم است. این استاندارد محدودهٔ آسایش حرارتی را به‌صورت داشتن مقادیر PMV (میانگین رأی پیش‌بینی‌شده) بین ۰/۵− و ۰/۵+ تعریف می‌کند. بااین‌حال، بسیاری از مطالعات این محدوده را گسترش می‌دهند و آسایش حرارتی را به‌عنوان مقادیر PMV بین ۱− و ۱+ تعریف می‌کنند. مقایسهٔ اعداد استخراج‌شده از تصویر ۴ نشان می‌دهد که این مطالعه به بررسی دقیق تأثیر پوشش گیاهی بر دمای محیط در یک بازهٔ زمانی دوازده‌ساعته (از ساعت ۸ صبح تا ۷ شب) پرداخته است. نتایج مطالعه نشان می‌دهد که حذف پوشش گیاهی به‌دلیل شدت تابش آفتاب، وضعیت آسایش حرارتی را تغییر داده و باعث کاهش آسایش حرارتی درسایر معبر شده است. نتایج نشان داد وجود درختان تأثیر قابل توجهی در کاهش و تعدیل دمای محیط داشته و پوشش گیاهی احساس آسایش حرارتی را برای افراد ایجاد می‌کند. تحلیل داده‌ها نشان می‌دهد که میانگین دما در محیط با پوشش درختی ۱/۲۷ درجه و در محیط بدون درخت ۲/۰۷ درجه است که اختلاف معناداری را نشان می‌دهد. بیشترین تفاوت دمایی در ساعات میانی روز ۱۲ تا ۱۵ مشاهده می‌شود که به ۱/۲۹ درجه می‌رسد. این امر تأثیر چشمگیر سایه‌اندازی درختان در کاهش دمای محیط را نشان می‌دهد. در ساعات اولیهٔ صبح ۸ تا ۱۱، تفاوت دمایی بین دو محیط کمتر است، اما با افزایش دمای محیط، تأثیر پوشش درختی محسوس‌تر می‌شود. در ساعات عصر و نزدیک به

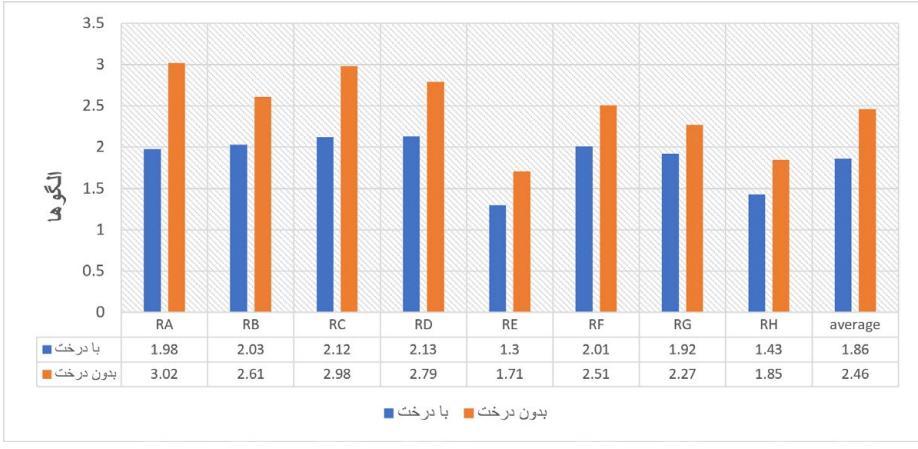
غروب ۱۶ تا ۱۹، دمای هر دو محیط به‌تدریج کاهش یافته و اختلاف دمایی کمتر می‌شود. این مطالعه نشان می‌دهد که محیط‌های با پوشش گیاهی از ثبات دمایی بیشتری برخوردارند و نوسانات دمایی در آن‌ها کمتر است. همچنین، احساس آسایش حرارتی افراد در محیط‌های دارای پوشش گیاهی مطلوب‌تر است. این ویژگی می‌تواند به کاهش مصرف انرژی ساختمان‌های مجاور و بهبود آسایش حرارتی ساکنان کمک کند.



	8:00	9:00	10:00	11:00	12:00	13:00	14:00	15:00	16:00	17:00	18:00	19:00	average
با درخت	0.61	1.01	1.28	1.16	1.63	2.04	1.83	1.87	1.6	1.31	0.56	0.37	1.27
بدون درخت	0.68	1.02	2.17	2.54	2.94	3.15	3.12	3.02	2.71	2.19	1.06	0.34	2.07

تصویر ۵: میانگین شاخص PMV با درخت و بدون درخت، از ساعت ۸ صبح تا ۷ شب

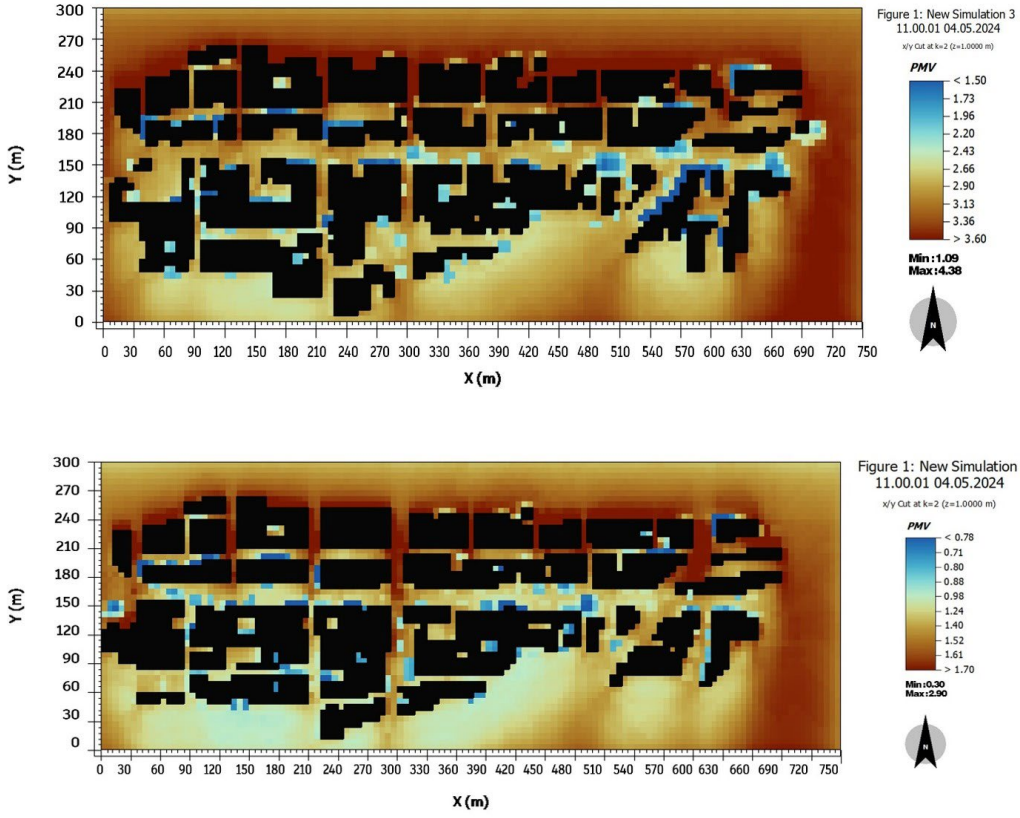
تصویر ۶، میانگین شاخص PMV در ۸ رسپتور از رسپتور A تا H با دو سناریو با پوشش گیاهی و بدون پوشش گیاهی محاسبه شده است. نتایج به‌دست‌آمده از مقایسهٔ مقادیر با درخت و بدون درخت در نمودار نشان‌دهندهٔ تأثیر معنادار درخت بر ویژگی‌های مورد مطالعه است. میانگین کلی مقادیر با درخت برابر با ۱/۸۶ و بدون درخت معادل ۲/۴۶ است. در تحلیل نمونه‌ها، نمونهٔ A با مقادیر ۱/۹۸ و ۳/۰۲ به‌ترتیب در حالت‌های با درخت و بدون درخت کاهش قابل توجهی را در حالت با درخت نشان می‌دهد. نمونهٔ B نیز با مقادیر ۲/۰۳ و ۲/۶۱ به‌طور مشابه به تأثیر مثبت درخت اشاره دارد. به‌ویژه، نمونهٔ E با مقدار ۱/۳ در حالت با درخت و ۱/۷۱ در حالت بدون درخت کمترین مقادیر را در بین نمونه‌ها دارد، اما همچنان بیانگر تأثیر مثبت درخت است. به‌طور کلی، نتایج این داده‌ها نشان‌دهندهٔ آن است که وجود درخت به‌طور معناداری باعث بهبود مقادیر می‌شود و در تمامی نمونه‌ها، مقادیر بدون درخت به‌طور متوسط بالاتر از با درخت هستند. این یافته‌ها می‌توانند به درک بهتر تأثیرات درخت بر ویژگی‌های مورد مطالعه کمک کنند و اهمیت توجه به این عامل را در تحقیقات مرتبط نمایان سازند.



	RA	RB	RC	RD	RE	RF	RG	RH	average
با درخت	1.98	2.03	2.12	2.13	1.3	2.01	1.92	1.43	1.86
بدون درخت	3.02	2.61	2.98	2.79	1.71	2.51	2.27	1.85	2.46

تصویر ۶: میانگین شاخص pmv از ساعت ۸ صبح تا ۷ شب، در ۸ رسپتور معین‌شده

براساس خروجی‌های شبیه‌سازی ENVI-met در ساعت ۱۱ صبح تصویر ۷، توزیع مکانی شاخص میانگین رأی پیش‌بینی‌شده (PMV) در دو سناریوی بدون پوشش گیاهی و دارای پوشش گیاهی، تفاوت چشمگیری را نشان می‌دهد. در سناریوی بدون درخت، دامنهٔ تغییرات PMV از ۱/۰۹− تا ۴/۳۸+ گسترده شده و بخش عمده‌ای از سطح معبر با رنگ‌های نارنجی و قرمز پوشیده شده است؛ وضعیتی که حاکمیت شرایط گرم و خارج از محدودهٔ آسایش حرارتی را در بیشتر نقاط معبر تأیید می‌کند. درمقابل، در سناریوی دارای درخت ، دامنهٔ PMV به ۰/۳۰− تا ۲/۹۰+ محدود شده و نواحی گسترده‌ای از معبر، به‌ویژه حاشیه‌های سایه‌انداز، در محدودهٔ آسایش حرارتی نسبی (رنگ‌های آبی و سبز) جای گرفته‌اند. این تفاوت در ساعت ۱۱ صبح، که هم‌زمان با اوج تابش مستقیم خورشید و شدت‌گیری جزیرهٔ گرمایی شهری است، به‌روشنی نشان می‌دهد که حضور درختان کهن‌سال چنار، شاخص PMV را به‌طور محسوس کاهش داده و شرایط آسایش حرارتی را به‌سمت محدودهٔ مطلوب‌تر هدایت کرده است. از منظر کمی، دامنهٔ PMV در سناریوی دارای درخت حدود ۱/۴۸ واحد کمتر از سناریوی بدون درخت است؛ یافته‌ای که تأییدی بر نتیجهٔ کلی پژوهش مبنی‌بر افزایش ۰/۶ واحدی شاخص PMV و کاهش ۲۳ درصدی آسایش حرارتی عابران در محدودهٔ فاقد درخت به شمار می‌رود و نقش تعیین‌کنندهٔ پوشش گیاهی کهن‌سال را در تعدیل خرداقلیم معبر شهری برجسته می‌سازد.



تصویر ۷: تصاویر مستخرج از نرم‌افزار Envi-met در ساعت ۱۱

نتیجه

تحلیل نتایج حاکی از آن است که حذف ۱۶۰ اصله چنار کهن‌سال در طول ۳۵۰ متر از خیابان خیام ایلام، پیامدهای نامطلوبی بر آسایش حرارتی عابران به‌جای گذاشته است. در واقع، نقشی که این درختان در تلطیف گرمای ظهر و تعدیل جریان هوا در ارتفاع بدن عابر ایفا می‌کردند، پس از حذف آن‌ها به‌طور محسوسی از میان رفته و معبر در ساعات اوج گرما (۱۲ تا ۱۵) به فضایی گرم‌تر و ناراحت‌کننده‌تر تبدیل شده است. شاخص PMV نشان می‌دهد که در محدودهٔ فاقد درختان، این شاخص ۰/۶ واحد افزایش و سطح آسایش حرارتی ۲۳ درصد کاهش یافته است؛ به این معنا که عابران در همان شرایط اقلیمی، گرمای بیشتری را احساس می‌کنند. سه عامل کلیدی در این تغییر نقش داشته‌اند: کاهش ۴۲ درصدی سایه‌اندازی، تغییر الگوی جریان هوا با افزایش ۲۰ تا ۳۰ درصدی سرعت باد سطحی، و تشدید اثر جزیرهٔ گرمایی با افزایش ۱/۵ تا ۲ درجه‌ای دمای مؤثر در ساعات اوج گرما. این نتایج با سطح اطمینان ۹۵ درصد معنادار بوده و بر پایهٔ داده‌های ایستگاه سینوپتیک ایلام و با کنترل متغیرهای مداخله‌گر مانند ترافیک و مصالح سطحی به دست آمده است. مقایسهٔ مقادیر شبیه‌سازی‌شده با اندازه‌گیری‌های میدانی نیز نشان داد که ENVI-met با دقت قابل قبول ($R^2 > 0.92$) شرایط واقعی را مدل‌سازی کرده است. از دیدگاه نظری، این پژوهش گواهی است بر اینکه پوشش گیاهی کهن‌سال، به‌عنوان یک عنصر طراحی شهری، نقشی تعیین‌کننده در تعدیل خرداقلیم و آسایش حرارتی شهروندان دارد و حذف آن، معبر را از فضایی قابل تحمل به فضایی گرم و ناراحت‌کننده بدل می‌کند.

محدودیت‌های مطالعه شامل ثابت در نظر گرفتن پارامترهای فردی و تمرکز بر یک فصل خاص است که در پژوهش‌های آتی می‌تواند بهبود یابد. این تحقیق چارچوبی علمی برای ارزیابی تأثیر تغییرات پوشش گیاهی بر کیفیت محیط‌های شهری ارائه می‌دهد. در پایان، یافته‌های این پژوهش هشداری است برای مدیریت شهری: اقداماتی از جنس آنچه در سال ۱۳۹۴ در خیابان خیام ایلام انجام شد، نه‌تنها پوشش گیاهی کهن‌سال را حذف می‌کند، بلکه به‌طور مستقیم آسایش حرارتی عابران را کاهش می‌دهد و معبر را در ساعات اوج گرما به فضایی ناراحت‌کننده تبدیل می‌کند. بنابراین، تصمیم‌گیری دربارهٔ حذف یا حفظ درختان کهن‌سال شهری باید مبتنی‌بر ارزیابی‌های کمی خرداقلیمی باشد، نه صرفاً ملاحظات ترافیکی و عمرانی؛ زیرا هزینهٔ اقلیمی چنین اقداماتی، دیر یا زود بر کیفیت زندگی شهروندان و سلامت محیط شهری تحمیل می‌شود.

پی‌نوشت‌ها

1. Liu
2. PET - Physiological Equivalent Temperature (دمای معادل فیزیولوژیکی)
3. SET - Standard Effective Temperature (دمای مؤثر استاندارد)
4. UTCI - Universal Thermal Climate Index (شاخص جهانی اقلیم حرارتی)

منابع

ـ اسلامی، محمدامین، احمد نوذری فردوسیه، و منصوره طاهباز. ۱۳۹۵. راهکارهای طراحی اقلیمی معابر فضای باز، مطالعهٔ موردی: پیاده‌راه‌های دانشگاه کاشان. *هویت شهر* ۲۶ (۱۰): ۲۶ـ۳۳.

– بیگدلی، محمدباقر، سیده صدیقه میرگذار لنگرودی، و احمدرضا کابلی. ۱۴۰۳. ارزیابی تأثیر پوشش گیاهی بر آسایش حرارتی در فضای عمومی (مطالعهٔ موردی: مجتمع مسکونی جبل‌الدراک شیراز). *هویت شهر* ۱۸ (۶۰): ۵–۲۰.

ـ داوطلب، جمشید، شهرام پوردیهیمی، محمدرضا حافظی، و مرتضی ادیب. ۱۳۹۸. اثر پوشش گیاهی بر تعدیل احساس گرمایی فضای باز منطقهٔ سیستان. *مطالعات معماری ایران* ۸ (۱۵): ۱۵۵ـ۱۷۱.

ـ فتاحی، کارن، نازنین نصراللهی، مریم انصاری‌منش، جمال خداکرمی، و علی عمرانی‌پور. ۱۴۰۰الف. بررسی نقش هندسه و نوع

فضای باز شهری بر آسایش حرارتی و کیفیت محیطی (مطالعهٔ موردی: بافت تاریخی کاشان). فصلنامهٔ *مطالعات شهری* ۱۰ (۳۹): ۶۹ـ۸۲.

ـ فتاحی، کارن، نازنین نصراللهی، مریم انصاری‌منش، جمال خداکرمی، و علی عمرانی‌پور. ۱۴۰۰ب. مقایسهٔ محدودهٔ آسایش حرارتی باغ فین و بافت تاریخی کاشان. *نقش‌جهان – مطالعات پایه و فناوری‌های نوین معماری و شهرسازی* ۱۱ (۱): ۵۳ـ۶۳.

– یادگاری، پگاه، و حسن سجادزاده. ۱۴۰۰. نقش الگوی فضایی و پوشش گیاهی فضاهای باز محلی بر میزان آسایش حرارتی در اقلیم سرد. *مطالعات شهری* ۱۰ (۴۰): ۱۵ـ۲۶.

- Aboelata, A., and S. Sodoudi. 2020. Evaluating the effect of trees on UHI mitigation and reduction of energy usage in different built up areas in Cairo. *Building and Environment*, no. 168: 106490.

- Aghamolaei, R., M. Fallahpour, and P. A. Mirzaei. 2021. Tempo-spatial thermal comfort analysis of urban heat island with coupling of CFD and building energy simulation. *Energy and Buildings*, no. 251: 111317.

- Ali-Toudert, F., and H. Mayer. 2006. Numerical study on the effects of aspect ratio and orientation of an urban street canyon on outdoor thermal comfort in hot and dry climate. *Building and Environment* 41 (2): 94-108.

- Armson, D., P. Stringer, and A. R. Ennos. 2012. The effect of tree shade and grass on surface and globe temperatures in an urban area. *Urban Forestry & Urban Greening* 11 (3): 245-255.

- ASHRAE. 2017. ANSI/ASHRAE Standard 55-2017: *Thermal environmental conditions for human occupancy*. Atlanta: American Society of Heating, Refrigerating and Air-Conditioning Engineers.

- Brown, R. D., and T. J. Gillespie. 1995. *Microclimatic landscape design: Creating thermal comfort and energy efficiency*. New York: John Wiley & Sons.

- Brown, R. D., and T. J. Gillespie. 1986. Estimating outdoor thermal comfort using a cylindrical radiation thermometer and an energy budget model. *International Journal of Biometeorology* 30 (1): 43-52.

- Bruse, M., and H. Fleer. 1998. Simulating surface–plant–air interactions inside urban environments with a three dimensional numerical model. *Environmental Modelling & Software* 13 (3-4): 373-384.

- Chow, W. T., S. N. A. B. A. Akbar, S. L. Heng, and M. Roth. 2016. Assessment of measured and perceived microclimates within a tropical urban forest. *Urban Forestry & Urban Greening*, no. 16: 62-75.

- Chun, C., and A. Tamura. 2005. Thermal comfort in urban transitional spaces. *Building and Environment* 40 (5): 633-639.

- Emmanuel, M. R. 2005. *An urban approach to climate-sensitive design: Strategies for the tropics*. London: E & FN Spon Press.

- Fanger, P. O. 1970. *Thermal comfort: Analysis and applications in environmental engineering*. Copenhagen: Danish Technical Press.

- Gachkar, D., S. H. Taghvaei, and S. Norouzian-Maleki. 2021. Outdoor thermal comfort enhancement using various vegetation species and materials (case study: Delgosha Garden, Iran). *Sustainable Cities and Society*, no. 75: 103309.

- Gatto, E., R. Buccolieri, E. Aarrevaara, F. Ippolito, R. Emmanuel, and J. L. Santiago. 2020. Impact of urban vegetation on outdoor thermal comfort: Comparison between a Mediterranean city (Lecce, Italy) and a Northern European city (Lahti, Finland). *Sustainability* 12 (15): 6018.

- Ghaffarianhoseini, A., U. Berardi, A. Ghaffarianhoseini, and K. Al-Obaidi. 2019. Analyzing the thermal comfort conditions of outdoor spaces in a university campus in Kuala Lumpur, Malaysia. *Science of the Total Environment*, no. 666: 1327-1345.
- Gill, S. E., J. F. Handley, A. R. Ennos, and S. Pauleit. 2007. Adapting cities for climate change: The role of the green infrastructure. *Built Environment* 33 (1): 115-132.
- Givoni, B., M. Noguchi, H. Saaroni, O. Pochter, Y. Yaacov, N. Feller, and S. Becker. 2003. Outdoor comfort research issues. *Energy and Buildings*, no. 35: 77-86.
- Gomaa, M. M., A. El Menshawy, J. Nabil, and A. Ragab. 2024. Investigating the impact of various vegetation scenarios on outdoor thermal comfort in low-density residential areas of hot arid regions. *Sustainability* 16 (10): 3995.
- Heidari, A., M. Taghipour, and N. Ghahramanizadi. 2022. Presenting the optimal pattern of residential complexes with an emphasis on reducing heat island. Case example: Mid-rise residential complexes in Shiraz city. *Journal of Research and Urban Planning* 13 (50): 224-239.
- Höppe, P. 2002. Different aspects of assessing indoor and outdoor thermal comfort. *Energy and Buildings* 34 (6): 661–665.
- IRIMO. 2021. *Products & Services*. Retrieved July 15, 2021, from http://irimo.ir/eng/wd/720-ProductsServices.html
- ISO. 2005. ISO 7730:2005: Ergonomics of the thermal environment — Analytical determination and interpretation of thermal comfort using calculation of the PMV and PPD indices and local thermal comfort criteria. Geneva: International Organization for Standardization.
- Jamei, E., and P. Rajagopalan. 2017. Urban development and pedestrian thermal comfort in Melbourne. *Solar Energy*, no. 144: 681-698.
- Johansson, E., J. Spangenberg, M. L. Gouvêa, and E. D. Freitas. 2013. Scale-integrated atmospheric simulations to assess thermal comfort in different urban tissues in the warm humid summer of São Paulo, Brazil. *Urban Climate*, no. 6: 24-43.
- Koulivand, T., and N. Nasrollahi. 2022. The effect of different types of vegetation on thermal comfort in urban gorges in hot and dry climates. *Journal of Environmental Science and Technology* 24 (8).
- Lin, C., Z. Wu, H. Li, J. Huang, and Q. Huang. 2022. Comprehensive analysis on the thermal comfort of various greening forms: A study in hot-humid areas. [*Journal name and volume needed*].
- Liu, H., J. Y. Lim, B. Wint Hnin Thet, P.-Y. Lai, and W. S. Koh. 2022. Evaluating the impact of tree morphologies and planting densities on outdoor thermal comfort in tropical residential precincts in Singapore. *Building and Environment*, no. 221: 109268.
- Liu, Z., W. Cheng, C. Y. Jim, T. E. Morakinyo, Y. Shi, and E. Ng. 2021. Heat mitigation benefits of urban green and blue infrastructures: A systematic review of modeling techniques, validation and scenario simulation in ENVI-met V4. *Building and Environment*, no. 200: 107939.
- Lotfi, S., M. A. Saadatnia, M. H. Moradian, and L. Poursartip. 2021. Investigation of biomechanical properties of black pine using stress wave and resistography techniques. *Iranian Journal of Wood and Paper Science Research* 36 (2): 144–156. [In Persian]

- Manoli, G., S. Fatichi, M. Schläpfer, K. Yu, T. W. Crowther, N. Meili, and E. Bou-Zeid. 2019. Magnitude of urban heat islands largely explained by climate and population. *Nature* 573 (7772): 55-60.
- Mazhar, N., R. D. Brown, N. Kenny, and S. Lenzholzer. 2015. Thermal comfort of outdoor spaces in Lahore, Pakistan: Lessons for bioclimatic urban design in the context of global climate change. *Landscape and Urban Planning*, no. 138: 110–117.
- Meili, N., J. A. Acero, N. Peleg, G. Manoli, P. Burlando, and S. Fatichi. 2021. Vegetation cover and plant-trait effects on outdoor thermal comfort in a tropical city. *Building and Environment*, no. 195: 107733.
- Middel, A., N. Selover, B. Hagen, and N. Chhetri. 2016. Impact of shade on outdoor thermal comfort—A seasonal field study in Tempe, Arizona. *International Journal of Biometeorology* 60 (12): 1849-1861.
- Morakinyo, T. E., L. Kong, K. K.-L. Lau, C. Yuan, and E. Ng. 2019. A study on the impact of shadow-cast and tree species on in-canyon and neighborhood's thermal comfort. *Building and Environment*, no. 158: 356-371.
- Morakinyo, T. E., K. K.-L. Lau, C. Ren, and E. Ng. 2020. Performance of Hong Kong's common trees species for outdoor thermal comfort optimization. *Building and Environment*, no. 177: 106875.
- Noro, M., and R. Lazzarin. 2015. Urban heat island in Padua, Italy: Simulation analysis and mitigation strategies. *Urban Climate*, no. 14: 187-196.
- Nuruzzaman, M. 2015. Urban heat island: Causes, effects and mitigation measures—A review. *International Journal of Environmental Monitoring and Analysis* 3 (2): 67-73.
- Oke, T. R. 1981. Canyon geometry and the nocturnal urban heat island: Comparison of scale model and field observations. *Journal of Climatology* 1 (3): 237-254.
- Oke, T. R. 1982. The energetic basis of the urban heat island. *Quarterly Journal of the Royal Meteorological Society* 108 (455): 1-24.
- Oke, T. R. 1988. The urban energy balance. *Progress in Physical Geography* 12 (4): 471-508.
- Ouyang, Wanlu, Tim Sinsel, Helge Simon, Tobi Eniolu Morakinyo, Huimin Liu, and Edward Ng. 2022. Evaluating the thermal-radiative performance of ENVI-met model for green infrastructure typologies: Experience from a subtropical climate .*Building and Environment*, no. 207: 108427.
- Rostami, E., N. Nasrollahi, and J. Khodakarami. 2024. A comprehensive study of how urban morphological parameters impact the solar potential, energy consumption and daylight autonomy in canyons and buildings. *Energy & Buildings*, no. 305: 113904.
- Sabrin, S., M. Karimi, R. Nazari, J. Pratt, and J. Bryk. 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*, no. 66: 102684.
- Samadpour Shahrak, M., and M. Karimimoshaver. 2023. Evaluation of the effect of tree planting pattern on thermal comfort around residential blocks. *Motaleate Shahri* 12 (47): 105-114.
- Sayad, B., D. Alkama, R. Rebhi, Y. Menni, H. Ahmad, and A. Y. Elnaggar. 2021. Outdoor thermal comfort optimization through vegetation parameterization: Species and tree layout. *Sustainability* 13 (21): 11791.
- Shashua-Bar, L., D. Pearlmutter, and E. Erell. 2009. The cooling efficiency of urban landscape strategies

in a hot dry climate. *Landscape and Urban Planning* 92 (3-4): 179-186.
- Teshnehdel, S., H. Akbari, E. Di Giuseppe, and R. D. Brown. 2020. Effect of tree cover and tree species on microclimate and pedestrian comfort in a residential district in Iran. *Building and Environment*, no. 178: 106899.
- Vatani, M., K. Kiani, M. Mahdavinejad, and M. Georgescu. 2024. Evaluating the effects of different tree species on enhancing outdoor thermal comfort in a post-industrial landscape. [*Journal name and volume needed*].
- Wang, C., Z. H. Wang, and Y. H. Ryu. 2021. A single-layer urban canopy model with transmissive radiation exchange between trees and street canyons. *Building and Environment*, no. 191: 107593.
- Wang, J., W. Guo, C. Wang, Y. Yao, K. Kou, D. Xian, and Y. Zhang. 2021. Tree crown geometry and its performances on human thermal comfort adjustment. *Journal of Urban Management* 10 (1): 16-26.
- Xi, C., D. Wang, and S.-J. Cao. 2022. Impacts of trees-grass area ratio on thermal environment, energy saving, and carbon benefits. *Urban Climate*, no. 47: 101393.
- Yadegari, P., and H. Sajadzadeh. 2021. The impact of spatial pattern and local urban space vegetation on the thermal comfort in cold climate. *Motaleate Shahri* 10 (40): 15-26.
- Zhang, Q., et al. 2022. Influencing factors of the thermal environment of urban green space. *Heliyon*, no. 8: e11559.
- Zheng, S., L. Zhao, and Q. Li. 2016. Numerical simulation of the impact of different vegetation species on the outdoor thermal environment. *Urban Forestry & Urban Greening*, no. 18: 138-150.

The Effect of Removing Old-Growth Trees in the Architecture of Ilam's Streets on Pedestrian Thermal Comfort Changes Based on Computational Fluid Dynamics (CFD)

Karen Fatahi
Department of Architecture, II.c., Islamic Azad University, Ilam, Iran.

Nasrin Siavash
Department of Architecture, II.c., Islamic Azad University, Ilam, Iran.

Vegetation, particularly old-growth trees, is a key element in regulating ambient temperature and improving citizens' thermal comfort. In this regard, the municipality of Ilam removed 160 old-growth plane trees on Khayyam (Shohada) Street to widen the street, provoking widespread reactions from citizens and environmental non-governmental organizations. The present study focuses on the microclimatic consequences of this action and analyzes its impact on pedestrian thermal comfort (PMV). The main objective of the research is to quantitatively evaluate the microclimatic changes resulting from tree removal by combining field data and Computational Fluid Dynamics (CFD) simulation. In this study, a combination of field methods and numerical simulation using ENVI-met software was employed. We collected Climatic data, including temperature, humidity, and wind speed, over 12 hours (8 AM to 7 PM) using a data logger, and modeled the area's physical and climatic characteristics under different tree-removal scenarios. For validation, the simulation results were compared with actual data, delivering high coefficients of determination for temperature (0.95), humidity (0.97), and wind speed (0.92), confirming the model's accuracy. The findings revealed that tree removal caused a 0.6-unit increase in the PMV index and a 23% decrease in pedestrian thermal comfort. In the tree-free area, asphalt surface temperature increased by up to 8°C during peak radiation hours, and surface wind speed was 20–30% higher than in the tree-covered area. Additionally, the urban heat island effect in the tree-removed zone increased effective temperature by 1.5–2 °C. These changes were especially noticeable on the western front of the street (350 m) and even negatively affected thermal comfort on the eastern front (380 m). The results indicated that removing 160 old-growth plane trees along the street generally increased the mean radiant temperature (MRT) and air temperature in the study area and shifted the pedestrian thermal comfort index (PMV) significantly toward unfavorable (warmer) conditions compared with the tree-covered area. These changes were more severe during peak heat hours (noon to afternoon) and in shaded areas, and pedestrian thermal comfort in the tree-free area exceeded the acceptable threshold. These findings emphasize the need to preserve and develop old-growth vegetation in urban planning and natural resource management.

Keywords: Thermal Comfort of Pedestrians, Old Trees, Microclimate, Urban Streets, Computational Fluid Dynamics (CFD).

JIAS

Journal of Iranian Architecture Studies

University of Kashan
School of Architecture and Art

29

Vol. 29, Spring and Summer 2026
E-ISSN: 2676-5020

- **Historiography of the Architecture of Masjed-e Jāme' (Grand Mosque) of Amol and Its Relationship with the City in the Early Centuries after the Hijrah**
  Zatollah Nikzad
- **Redefinition of the Qaysariyyah Area in the Bazaar of Kashan and the Formation of a New Urban Center in the Second Half of the Qajar Period**
  Yasaman Safian, Hamidreza Jayhani, Seyed Mahmood Sadat Bidgoli
- **Assessing the Values of Rudkhan Castle as World Heritage from the Perspective of the ICOFORT Charter and the Operational Guidelines for the Implementation of the World Heritage Convention**
  Aboozar Janalipoor, Pirouz Hanachi, Mohammad-Hassan Talebian
- **Enhancement of Lateral Stability Threshold of Barrel Vault Supported by Walls**
  Farzin Izadpanah
- **Evaluation of the Performance of Brick Lattice Screens in Controlling Solar Radiation and Daylight in the Hot and Semi-Arid Climate of Dezful**
  Kolsoom Kamkar, Kourosh Momeni, Akbar Mousaeijoo
- **From Royal Garden to Urban Square: The Emergence of the Mahjar and the Reconfiguration of the Iranian Cityscape in the Late Naseri Era**
  Kaveh Rashidzadeh, Golnar Hekmat
- **Classification and Algorithmic Analysis of Articulation Types in Historical Iranian Girih Patterns**
  Mahdi Azizi Hamedani, Mojtaba Sabetfard
- **Conceptual Dimensions and Characteristics of Abductive Reasoning in Design Practice**
  Ali Qoreishvandi Abraki, Ali Alai, Keivan Jourabchi, Saeid Norouzian Maleki
- **The Role of Spatial Configuration in Creating Sociability in Social-Scale Shopping Centers in Isfahan**
  Maryam Gorouhi, Narges Dehghan, Mansoureh Kianersi, Somayeh Rafiei
- **Pragmatic Evaluation: An Opportunity to Reform Policies and Practices in Targeted Areas (Concrete Case: National Regeneration Policy in Iran)**
  Morteza Hadi Jaberi Moghaddam, Shima Saghandali
- **From Eventification to Characterization of Memorial Museums**
  Faezeh Tafreshi, Manoochehr Moazzami, Nicholas Wise
- **The Effect of Removing Old-Growth Trees in the Architecture of Ilam's Streets on Pedestrian Thermal Comfort Changes Based on Computational Fluid Dynamics (CFD)**
  Karen Fatahi, Nasrin Siavash