

Assessment of the role of local parks in improving thermal comfort of outdoor spaces in arid and hot climates: A case study of Amirabad Park in Shahreza

Mohsen Ahmadi

Ph.D. Candidate, Faculty of Art and Architecture, Tarbiat Modares University, Tehran, Iran

Seyed Hassan Taghvaei

Associate Professor, Department of Landscape Architecture, Faculty of Architecture and Urban Planning, Shahid Beheshti University, Tehran, Iran (Corresponding Author)

E-mail: h-taghvaei@sbu.ac.ir

Mansure Tahbaz

Associate Professor, Department of Construction, Faculty of Architecture and Urban Planning, Shahid Beheshti University, Tehran, Iran

Abstract

Neighborhood parks serve as fundamental elements of urban spaces, offering extensive environmental, social, and cultural benefits. These green spaces significantly enhance urban life quality and contribute to thermal comfort improvement while mitigating the urban heat island effect, particularly in hot and arid climates. Despite their importance, the role of indigenous elements, such as native plant species and locally sourced materials, in regulating thermal conditions and assessing environmental comfort has not been thoroughly investigated. This research gap limits the effective integration of microclimate-responsive strategies into urban landscape planning and design. Addressing this issue is crucial for optimizing thermal conditions and enhancing human well-being in urban settings. This study aims to evaluate thermal comfort in small-scale open spaces and neighborhood parks to improve the microclimate of the Amirabad neighborhood in Shahreza, Iran, during summer and winter. The research focuses on identifying effective materials, vegetation, and water features that contribute to thermal regulation. The ultimate goal is to develop context-sensitive landscape design recommendations that enhance climate resilience and sustainability in urban environments, particularly in regions characterized by extreme temperatures. The study employs an interdisciplinary approach, incorporating literature review, field surveys, and computational simulations. The fieldwork involves measuring and recording key climatic variables, including air temperature, relative humidity, and wind speed. Additionally, structured questionnaires assess users' thermal preferences and satisfaction levels. Simultaneously with the collection of field data on site, based on Taghvaei's model of "Fundamental Values and Factors of Landscape" (FVFL), an assessment of the park's landscape and its boundaries was conducted. The research further utilizes ENVI-met software (version 5.0.3) to simulate optimal design scenarios for summer and winter, providing insights into how different landscape elements influence microclimatic conditions. The findings indicate that material selection and vegetation significantly impact thermal comfort in open spaces. High-albedo crushed granite was identified as the most effective ground cover material due to its ability to lower surface temperature and enhance thermal comfort indices. Additionally, native tree species with broad canopies, such as *Fraxinus excelsior* (ash) and *Ulmus minor* (elm), play a vital role in providing shade, reducing ambient temperatures, and improving user comfort levels. Furthermore, the integration of water bodies in park designs has a positive effect on microclimatic conditions, as it increases humidity and lowers temperatures, particularly during summer. The study underscores the necessity of integrating native vegetation, high-albedo materials, and water features into urban park designs to enhance thermal comfort, mitigate the urban heat island effect, and promote climate resilience in hot and arid regions. These strategies contribute to energy conservation and encourage the utilization of locally available resources, fostering sustainable urban development. By implementing these approaches, cities can achieve greater climatic adaptability and environmental sustainability. The research findings provide a scientific basis for developing climate-responsive landscape design guidelines and urban planning policies, ensuring long-term improvements in the quality and functionality of open urban spaces. Ultimately, this study contributes to the broader discourse on sustainable urban environments by emphasizing the role of nature-based solutions in addressing climate challenges and enhancing the livability of urban neighborhoods.

Keywords: Thermal comfort, outdoor space, albedo, neighborhood park, ENVI-met, FVFL model, Shahreza

فصلنامه علمی نامه معماری و شهرسازی، ۱۸ (۴۸)، ۸۴-۱۱۳

DOI: 10.30480/aup.2025.5754.2232

نوع مقاله: پژوهشی

ارزیابی نقش پارک‌های محلی بر بهبود آسایش حرارتی فضای باز در اقلیم گرم‌وخشک؛ بررسی موردی پارک امیرآباد شهرضا*

محسن احمدی

پژوهشگر دکتری معماری منظر، دانشکده هنر و معماری، دانشگاه تربیت مدرس، تهران، ایران

سید حسن تقوایی

دانشیار گروه معماری منظر، دانشکده معماری و شهرسازی، دانشگاه شهید بهشتی، تهران، ایران (نویسنده مسئول)

E-mail: h-taghvaei@sbu.ac.ir

منصوره طاهباز

دانشیار گروه معماری، دانشکده معماری و شهرسازی، دانشگاه شهید بهشتی، تهران، ایران

چکیده

پارک‌های محله‌ای به عنوان یکی از عناصر کلیدی فضای شهری، نقش مهمی در ارتقای کیفیت زندگی و بهبود آسایش حرارتی دارند. با این حال، تأثیر گونه‌های گیاهی بومی و مصالح محلی در تنظیم شرایط خرداقلیم شهری، به ویژه در مناطق گرم‌وخشک، به طور جامع بررسی نشده است. این پژوهش با هدف ارزیابی شرایط آسایش حرارتی در پارک‌های محلی و فضاهای باز کوچک مقیاس، با تأکید بر نقش گونه‌های گیاهی و مصالح بومی، در بهبود خرداقلیم محله امیرآباد شهرضا طی دو فصل تابستان و زمستان انجام شده است. روش تحقیق شامل مطالعات کتابخانه‌ای، پایش‌های میدانی و شبیه‌سازی رایانه‌ای با نرم‌افزار ENVI-met است. در بخش میدانی، داده‌های اقلیمی (دما، رطوبت نسبی و سرعت باد) جمع‌آوری و پرسشنامه‌های ترجیحات حرارتی کاربران تحلیل شد. همچنین، از مدل «ارزش‌ها و عوامل سازنده منظر» (FVFL) برای ارزیابی ویژگی‌های منظر استفاده شد. نتایج نشان داد که انتخاب مصالح و گونه‌های گیاهی مناسب تأثیر بسزایی در تعدیل شرایط حرارتی دارد. مصالحی مانند گرانیت خردشده با آلبدوی بالا موجب کاهش دمای سطح شده و گونه‌های درختی بومی مانند زبان‌گنجشک و نارون با ایجاد سایه مؤثر، آسایش حرارتی کاربران را بهبود می‌بخشند. همچنین، گنجاندن بدنه‌های آبی سبب کاهش دما و افزایش رطوبت در تابستان می‌شوند. این یافته‌ها می‌توانند به تدوین راهنماهای طراحی اقلیمی و برنامه‌ریزی منظر در مناطق گرم‌وخشک کمک کنند.

کلیدواژه‌ها: آسایش حرارتی، فضای باز، آلبدو، پارک محله‌ای، ENVI-met، مدل FVFL، شهرضا

* این مقاله برگرفته از پایان‌نامه کارشناسی ارشد محسن احمدی با عنوان «تأثیر پارک‌های محلی بر آسایش حرارتی محیط در اقلیم گرم‌وخشک مورد پژوهی شهرضا» است که با راهنمایی دکتر سید حسن تقوایی و مشاوره دکتر منصوره طاهباز در دانشکده معماری و شهرسازی دانشگاه شهید بهشتی انجام شده است.

مقدمه

براساس پیش‌بینی‌ها، تا سال ۲۰۵۰ حدود دو سوم جمعیت جهان در مناطق شهری زندگی خواهند کرد (Arranz-Paraíso & Arranz-Paraíso, 2023). این درحالی است که شهرها با اشغال تنها ۳٪ از سطح زمین، ۶۰ تا ۸۰ درصد انرژی مصرفی جهان را مصرف کرده و مسئول ۷۵ درصد انتشار کربن هستند (Gurney et al., 2022). این وضعیت، چالش‌های عمده‌ای در زمینه تغییرات آب‌وهوایی ایجاد کرده و موجب بروز پدیده‌هایی مانند جزایر گرمایی شهری^۱ (UHI) شده است که در اثر گسترش نامتوازن شهرها و تمرکز جمعیت، منجر به اختلال در خرداقلیم‌ها می‌شود (Huang et al., 2020; Niu et al., 2020).

جزایر گرمایی شهری، به‌ویژه در مناطق گرم‌و‌خشک، آسایش حرارتی را تهدید می‌کنند و سلامت عمومی را به خطر می‌اندازند (کریم‌زاده و همکاران، ۱۴۰۱). ارزیابی این پدیده پیچیده بوده و فاقد شاخصی واحد است (Gachkar et al., 2021). براساس استاندارد اشری^۲، آسایش حرارتی به رضایت ذهنی افراد از شرایط حرارتی اطراف خود اطلاق می‌شود که تحت تأثیر عوامل مختلفی نظیر دمای هوا، رطوبت نسبی، سرعت باد، تابش خورشیدی، متابولیسم بدن و عایق‌بندی لباس قرار دارد (Huang et al., 2019; Isinkaralar, 2024). بدین منظور، برای ارزیابی آسایش حرارتی در فضاهای باز، شاخص‌هایی همچون دمای معادل فیزیولوژیک^۳ (PET)، میانگین آرای پیش‌بینی‌شده^۴ (MVP) و غیره به کار می‌روند (Su et al., 2024).

درمیان راهکارهای مطرح‌شده برای بهبود آسایش حرارتی فضای باز، سه مؤلفه کلیدی شامل پوشش گیاهی، مصالح با آلودگی بالا، و بدنه‌های آبی از اهمیت ویژه‌ای برخوردارند (منتظری و همکاران، ۱۳۹۷). فضاهای سبز به‌واسطه تعرق تبخیری و ایجاد سایه، دمای محیط را کاهش داده و نقش مهمی در کاهش اثر جزایر گرمایی ایفا می‌کنند (Beele et al., 2024; Namazi et al., 2024). بدین صورت سین و همکاران (۲۰۲۱) به این نتیجه رسیدند که در روزهای آفتابی، پوشش درختی بیشترین تأثیر را بر بهبود آسایش حرارتی در فصول مختلف داشت. به‌طوری‌که افزایش پوشش گیاهان می‌تواند آسایش حرارتی را در هنگام بهبود ببخشد (Chan & Chau, 2021). به‌علاوه، گیاهان چندلایه با تراکم بالا به‌عنوان مؤثرترین روش‌ها برای کاهش دما در پارک‌های شهری گزارش شده‌اند (Li & Song, 2019). بااین‌حال، استفاده از گیاهان بومی با نیاز آبی و هزینه نگهداری پایین، به‌ویژه در اقلیم‌های گرم‌و‌خشک ایران، به‌صورت گسترده بررسی نشده است (یادگاری و سجاذاده، ۱۴۰۰). اگرچه تأثیر مثبت آن در نمونه‌هایی نظیر فضاهای دانشگاهی در هلند و فضاهای باز شهری در اصفهان به اثبات رسیده است (Behzad & Guilandoust, 2024; Wang et al., 2017).

افزایش آلودگی نیز یکی دیگر از روش‌های مؤثر در کاهش دمای سطح و بهبود آسایش حرارتی است. مصالح با آلودگی بالا، بازتاب بیشتری از تابش خورشید دارند و می‌توانند دمای هوای محیط، دمای سطح و شاخص دمای فیزیولوژیک را کاهش دهند (Gai et al., 2025; Necira et al., 2024; Ren et al., 2023). طبق پژوهشی که فن و همکاران با نرم‌افزار ENVI-met به‌منظور بررسی طراحی زیست‌اقلیمی در فضاهای باز شهری انجام داده‌اند، به این نتیجه رسیدند که تغییر مصالح سطحی با آلودگی بالا می‌تواند اثرات مثبتی بر دمای محیط داشته باشد. این تغییرات باعث کاهش دمای هوا تا ۳۳٪ درجه‌سانتی‌گراد در سواحل ژنگزو در چین شده است (Han et al., 2023). بااین‌حال، برخی مطالعات نتایج متفاوتی گزارش کرده‌اند، چنان‌که طالقانی (۲۰۱۸) و دیگر پژوهشگران اثرات منفی بالقوه افزایش آلودگی بر آسایش انسان را در فضاهای باز را گوشزد کرده‌اند (Imran et al., 2018; Taleghani, 2018).

عامل مهم دیگر در تنظیم حرارتی فضاهای باز، بدنه‌های آبی هستند. این عناصر به‌ویژه در اقلیم‌های گرم‌و‌خشک از طریق تبخیر آب، اثر خنک‌کنندگی دارند و می‌توانند دمای محیط را در طول روز کاهش

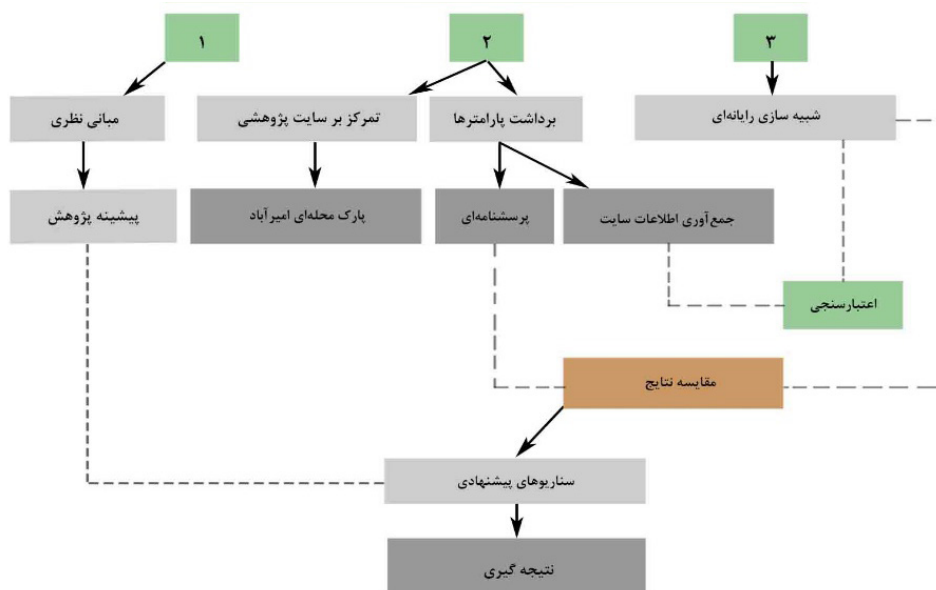
دهند (Cheng et al., 2022; Coccolo et al., 2018; Syafii et al., 2017; Teshnehdel et al., 2022). اگرچه در اقلیم‌های مرطوب، افزایش رطوبت ناشی از بدنه‌های آبی می‌تواند بر آسایش حرارتی اثر منفی داشته باشد (Hong et al., 2023)، ترکیب مناسب پوشش گیاهی و بدنه‌های آبی به‌طور خاص در اقلیم‌های گرم‌وخشک می‌تواند عملکرد مطلوبی در کاهش دما و افزایش آسایش حرارتی داشته باشد. اندازه و موقعیت بدنه‌های آبی، مانند قرارگیری موازی با باد غالب، نیز در این فرایند مؤثر است (Hamdy et al., 2023). با وجود مزایای هریک از این عوامل به‌صورت جداگانه، مطالعات اندکی به بررسی یکپارچه اثر ترکیبی پوشش گیاهی بومی، مصالح با آلدوی بالا و بدنه‌های آبی پرداخته‌اند، به‌ویژه در تحلیل‌های فصلی تابستان و زمستان در اقلیم‌های گرم‌وخشک. این درحالی است که چنین بررسی‌هایی می‌تواند در تدوین راهبردهای طراحی و سیاست‌گذاری برای توسعه پایدار فضاهای شهری مؤثر باشد. بدین منظور، هدف این پژوهش، بررسی جامع آسایش حرارتی فضای باز و ارزیابی سناریوهای مختلف طراحی بر مبنای سه مؤلفه فوق‌الذکر است. این پژوهش با استفاده از تحلیل پارامتریک و در نظر گرفتن شرایط فصلی، می‌تواند دستورالعمل‌های کارآمدی برای معماران منظر، برنامه‌ریزان شهری و سیاست‌گذاران فراهم کند تا در راستای بهبود کیفیت زندگی در شهرهای اقلیم گرم‌وخشک گام بردارند. این رویکرد به تصمیم‌گیری آگاهانه در انتخاب پوشش گیاهی و مصالح براساس اهداف خاص پروژه‌های شهری کمک خواهد کرد.

جدول ۱. علائم و اختصارات کاربردی

علائم و اختصارات		
TGLOBE	Global temperature [°C]	دمای تابشی
Ws	Wind speed [m/s]	سرعت باد
Ta	Air temperature [°C]	دمای هوا
Rh	Relative humidity [%]	رطوبت هوا
MRT	Mean radiant temperature [°C]	متوسط دمای تشعشعی
PET	Physiologically equivalent temperature [°C]	دمای معادل فیزیولوژیک
FVFL	Fundamental values and factors of landscape [-]	ارزش‌ها و عوامل سازنده منظر
OTC	Outdoor thermal comfort [-]	آسایش حرارتی فضای باز
TSV	Thermal sensation votes [-]	آرای حس حرارتی
LAD	Leaf Area Density [-]	سطح تراکم برگ
R2	Coefficient of determination [-]	ضریب تعیین
d	Willmott Agreement Index [-]	شاخص ویلموت
Ts	Surface temperature [°C]	دمای سطح

روش پژوهش

با توجه به شکل (۱)، علاوه بر مرور پیشینه و بررسی متون تخصصی پژوهش، کار مورد پژوهی سایت یعنی پارک محله امیرآباد شهرضا از توابع استان اصفهان به مساحتی معادل ۹,۱۰۰ متر مربع و دارا بودن آب و هوایی گرم و خشک انجام شده است. در این مورد البته مساحت پایش میدانی و شبیه سازی برابر با ۷۲,۰۰۰ متر مربع بوده است. همچنین، میانگین دمای سالانه در شهرضا ۱۵,۷ درجه سانتی گراد است که براساس داده ها، بهمن ماه با میانگین دمای ۲,۸ درجه سانتی گراد و مرداد ماه با میانگین ۲۸,۶ درجه سانتی گراد به ترتیب به عنوان سردترین و گرم ترین ماه های سال شناخته شده اند (Johari et al., 2016). از نظر تاریخی، این پارک در روند توسعه شهری دهه های قبل و در بستر باغ ها و اراضی کشاورزی تأسیس شد و کاربری زمین های اطراف آن نیز به فضاهای مسکونی تبدیل شده است. براین اساس، فرایند تغییر کاربری زمین تأثیر قابل توجهی بر اقلیم محلی داشته است. پارک امیرآباد که در حال حاضر از کیفیت فضایی مطلوبی برخوردار نیست می تواند به کمک برنامه بهسازی منظر و بهبود شرایط کالبدی و محیطی از شرایط مطلوب آسایش حرارتی محیط نیز برخوردار شود.



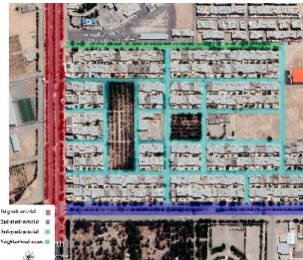
شکل ۱. خلاصه ای از روش پژوهش



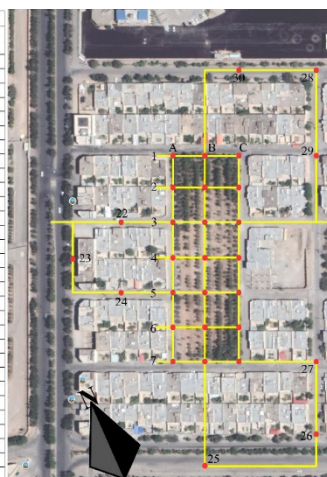
شکل ۲. موقعیت شهرستان شهرضا و محدوده پارک مورد مطالعه

براساس مطالعات و هدف پژوهش، برای سنجش وضعیت، ارزیابی منظر و شرایط محیطی پارک امیرآباد از مدل «ارزش‌ها و عوامل سازنده منظر» (FVFL) (Taghvaei, 2019) استفاده شده است. این مدل شامل سه مؤلفه اصلی با عناوین «عوامل انسان ساخت»، «عوامل طبیعی» و «فعالیت‌ها و عوامل رفتاری انسانی» است و هریک نیز از پنج عنصر و لایه کلیدی تشکیل شده‌اند. این مدل که بر نیازهای ذاتی انسان و فعالیت‌های حیاتی در تعامل با محیط فرهنگی و بومی تأکید دارد، به تدوین چارچوب کلی ارزیابی عوامل اثرگذار و متغیر در سایت در مقیاس‌های متفاوت فضای شهری کمک نموده است. برهمین اساس نیز در پایش میدانی، عوامل انسان ساخت و عوامل طبیعی به عنوان تأثیرگذارترین عوامل شناسایی و استخراج شدند (جدول ۲). سپس، محدوده مورد مطالعه پارک به ۲۱ نقطه از شبکه‌ای به ابعاد ۲۵*۲۵ متر (۱۲ محوطه فرعی) تقسیم شد. این شبکه هندسی نیز براساس تنوع در پوشش گیاهی و مصالح کف با هدف ارزیابی دقیق‌تر و مشخص کردن تأثیر عناصر تعیین شده است. به علاوه، ۹ نقطه دیگر در خارج از پارک با توجه به پوشش گیاهی، مصالح کف، و فاصله از پارک برای سنجش و ارزیابی انتخاب شدند تا تأثیر محیطی و وجودی پارک بر محدوده اصلی محله و دیگر نقاط به وضوح مشخص شود (شکل ۳).

جدول ۲. بررسی عوامل و عناصر سازنده منظر پارک محله امیرآباد براساس مدل FVFL

ارزش‌ها و عوامل سازنده منظر (FVFL)		
عوامل انسان ساخت	عوامل طبیعی	عوامل رفتاری و فعالیت‌های انسانی
فعالیت‌ها و کاربری زمین نمونه راه از شبکه دسترسی و چیدمان نامناسب تعدادی وسایل ورزشی که اغلب به تردد و استراحت برخی بازیکنان اختصاص دارد. 	اقلیم و محیط زیست شهرضا دارای آب‌وهوای گرم‌وخشک، فاقد عوارض طبیعی شاخص و شیب عمومی در خور توجه است. در روند توسعه شهرنشینی دهه‌های گذشته و متأثر از تغییرات اقلیمی نیز محله امیرآباد و دیگر فضاهای شهری دمای نسبی گرم‌تر از گذشته دارند. 	تاریخ شهرستان شهرضا قدمتی طولانی دارد. بااین حال، رشد شهری باعث ایجاد این پارک را در اوایل قرن بیست و یکم شد. 
حمل‌ونقل و شبکه‌های دسترسی راه‌های مستقیم در شبکه دسترسی منطبق با نظم هندسی نظیر باغ‌های ایرانی 	ارزش‌های محیطی و عناصر بومی در این محله، ۱۰۲۲ اصله درخت از ارتفاع ۲ تا ۱۰ متر با استفاده از انواع گونه‌های سنجد، کاج، توت و سرو شناسایی شد. بیشترین تعداد درخت کاج است. 	ارزش‌های اجتماعی-فرهنگی مردمی از فرهنگ‌های مختلف در این محله زندگی می‌کنند. همسایگان از طریق روابط اجتماعی قوی با یکدیگر تعامل دارند.
شخصیت ساخت و فرم فیزیکی ساختمان‌های این منطقه به صورت ویلا (خانه) و از یک تا سه طبقه هستند. حدود ۸۰ درصد ساختمان‌ها دو طبقه و مصالح به کار رفته نیز با آلبدو کم است. پوشش اغلب معابر آسفالت و بیشتر سطوح پارک و باغچه‌ها نیز خاک زراعی / رس و فاقد پوشش سطحی گیاهی خاص می‌باشد.	ساختار زمین و فرم بستر شیب عمومی زمین ۱٪ به سمت جنوب غربی است. اما شکل زمین صاف و بدون شیب است. جداول اجرا شده در کوچه‌ها و خیابان‌ها، آب‌های سطحی را مدیریت و آب باران را به خارج از محله منتقل می‌کنند.	قوانین و دستورالعمل‌ها ضوابط کلی فضاهای سبز و شهری تابع طرح جامع، ضوابط سازمان فضای سبز شهرداری برای توسعه؛ نگهداری است. بااین حال، شرایط اکولوژیکی پارک نیازمند رویکردهای نوین پایداری محیطی است.

position	Sunlight condition			Flooring cover					Vegetation		
	Shadow	medium	Sunny	Asphalt	Mosaic	Soil	grass	pine tree	Shrub	Deciduous trees	No vegetation
A1		*		*					*		
B1		*				*		*			
C1		*		*					*		
A2		*		*							
B2		*				*		*			
C2		*		*					*		
A3		*		*					*		
B3	*					*		*			
C3		*		*					*		
A4	*			*					*		
B4	*					*		*			
C4		*		*							
A5		*		*					*		
B5	*			*		*		*			
C5		*		*					*		
A6	*			*					*		
B6		*				*		*			
C6	*			*					*		
A7			*	*					*		
B7			*	*		*		*			
C7			*	*					*		
A8			*	*						*	
B8			*	*						*	
C8			*	*						*	
A9			*	*						*	
B9			*	*					*		
C9			*	*						*	
A10			*	*						*	
B10			*	*					*		
C10			*	*						*	
A11			*	*						*	
B11			*	*					*		
C11			*	*						*	
A12			*	*						*	
B12			*	*					*		
C12			*	*						*	
A13			*	*						*	
B13			*	*					*		
C13			*	*						*	
A14			*	*						*	
B14			*	*					*		
C14			*	*						*	
A15			*	*						*	
B15			*	*					*		
C15			*	*						*	
A16			*	*						*	
B16			*	*					*		
C16			*	*						*	
A17			*	*						*	
B17			*	*					*		
C17			*	*						*	
A18			*	*						*	
B18			*	*					*		
C18			*	*						*	
A19			*	*						*	
B19			*	*					*		
C19			*	*						*	
A20			*	*						*	
B20			*	*					*		
C20			*	*						*	
A21			*	*						*	
B21			*	*					*		
C21			*	*						*	
A22			*	*						*	
B22			*	*					*		
C22			*	*						*	
A23			*	*						*	
B23			*	*					*		
C23			*	*						*	
A24			*	*						*	
B24			*	*					*		
C24			*	*						*	
A25			*	*						*	
B25			*	*					*		
C25			*	*						*	
A26			*	*						*	
B26			*	*					*		
C26			*	*						*	
A27			*	*						*	
B27			*	*					*		
C27			*	*						*	
A28			*	*						*	
B28			*	*					*		
C28			*	*						*	
A29			*	*						*	
B29			*	*					*		
C29			*	*						*	
A30			*	*						*	
B30			*	*					*		
C30			*	*						*	



شکل ۳. شناسایی و موقعیت نقاط مورد بررسی و برداشت داده‌ها در سایت پژوهی محله امیرآباد

شبیه‌سازی

در این پژوهش از نرم‌افزار ENVI-met (نسخه ۵٫۰٫۳) برای شبیه‌سازی راهبردهای آسایش حرارتی استفاده می‌شود. این نرم‌افزار شامل یک مدل سه بعدی است که تمامی عناصر جوی، ساختمان، پوشش گیاهی و خاک را در بر می‌گیرد. همچنین، این مدل کامپیوتری شامل یک مدل مرزی تک بعدی است که براساس متغیرهای مختلف هواشناسی طراحی شده است (Gachkar et al., 2021; Simon, 2016). از طرفی، این نرم‌افزار یک مدل سه بعدی غیرهیدروستاتیک دارد که بر اصول ترمودینامیک، دینامیک سیالات و قوانین فیزیک جوی استوار است (Knaus & Haase, 2020). این پژوهش همچنین، تمامی عوامل مؤثر بر آسایش حرارتی مانند سرعت باد (Ws)، دمای متوسط تشعشعی (MRT)، دمای هوا (Ta)، و رطوبت نسبی (Rh) را در نظر گرفته است. اطلاعات اقلیم شهری از ایستگاه هواشناسی شهرضا جمع‌آوری شد تا بحرانی‌ترین روز شناسایی شود. داده‌های هواشناسی برای تابستان (ماه‌های تیر و مرداد) و زمستان (ماه‌های دی و اسفند) در بازه زمانی ۲۳ سال (از ۱۹۹۳ تا ۲۰۱۵) میانگین‌گیری شدند. میانگین دمای هوا (Ta) و سرعت باد (Ws) با داده‌های تاریخی هواشناسی در سال ۲۰۲۲ مقایسه شد تا یک روز برای پیمایش میدانی در تابستان و زمستان انتخاب شود. داده‌های هواشناسی جمع‌آوری شده و مقادیر میانگین ماهانه آن‌ها در جدول (۳) نمایش داده شده‌اند. براساس مطالعات، مناسب‌ترین زمان برای شروع شبیه‌سازی پیش از طلوع خورشید است تا ENVI-met بتواند به دقت جریان‌های خورشیدی را شبیه‌سازی کرده و نتایج دقیقی ارائه دهد (Wanget al., 2016). زمان شروع شبیه‌سازی برای فصل زمستان ساعت ۴:۰۰ صبح و زمان ثبت اطلاعات ساعت ۶:۰۰ صبح تعیین شده است. به دلیل ناپایداری شرایط جوی در دو ساعت اولیه پایش میدانی در فصل تابستان و با هماهنگی ایستگاه هواشناسی، ثبت اطلاعات در ساعت ۱۸:۰۰ و شبیه‌سازی در ساعت ۱۶:۰۰ آغاز می‌شود. براساس مطالعات پیشین، ناهماهنگی بین زمان پایش میدانی و شبیه‌سازی در دو فصل تأثیری بر تأیید نتایج ندارد (Carlucci & Pagliano, 2012). به علاوه، براساس پژوهش‌های صورت گرفته، مقدار آلودگی دیوارها و بام براساس پیش فرض نرم‌افزار تنظیم شده است (Banerjee et al., 2024; Gachkar et al., 2021). بدین ترتیب داده‌های ورودی ENVI-met در جدول (۳) ارائه شده‌اند.

جدول ۳. اطلاعات ورودی به نرم افزار ENVI-met

روزهای شبیه سازی	تابستان	زمستان
زمان شروع	۳ مرداد ۱۴۰۱، ۱۶:۰۰	۳ بهمن ۱۴۰۰، ۰۴:۰۰
دمای هوا	حداکثر: ۳۶٫۱ حداقل: ۲۰	حداکثر: ۱۰٫۳ حداقل: -۵٫۳
رطوبت هوا	حداکثر: ۲۲٫۴٪ حداقل: ۶٫۶٪	حداکثر: ۶۱٫۸٪ حداقل: ۸٫۷٪
مدت زمان شبیه سازی	۲۶ ساعت	۲۶ ساعت
جهت باد	۱۸۲ درجه شرقی	۲۰۰ درجه شرقی
آلبدو دیوارها	۰٫۵	۰٫۵
آلبدو بام	۰٫۵	۰٫۵
سرعت باد	۱٫۵ متر بر ثانیه	۲ متر بر ثانیه
ابعاد فضای مدلسازی طول، عرض و ارتفاع (X, Y & Z) به ترتیب ۳۰، ۴۳، ۳۲۰ است. مقدار طول و عرض هر مربع ۲٫۲ متر و برای ارتفاع ۲ متر طراحی شد.		

برای تعیین مقدار PET از نرم افزار ENVI-met استفاده شده است. شاخص PET مقاومت انتقال حرارت لباس و فعالیت افراد را در نظر می گیرد (Maleki & Mahdavi, 2016). مطابق با استانداردهای بین المللی مانند ISO 7730^۵ و ASHRAE 55^۶، مقدار نرخ لباس برای فصول مختلف به طور معمول برابر با ۰٫۵ برای تابستان (مانند پیراهن آستین کوتاه و شلوار نازک) و ۱ برای زمستان (مانند کت گرم، شلوار ضخیم و لایه های بیشتر لباس) است که در تنظیمات موجود در دفترچه راهنمای Biomet نیز بدان اشاره شده است (De Dear & Brager, 2002; Zare et al., 2018). همچنین، براساس استانداردهای نرم افزار Biomet در ENVI-met، نرخ اولیه فعالیت برابر با ۸۴٫۵ وات و نرخ کار متابولیکی براساس فردی که با سرعت ۱٫۲ متر بر ثانیه و در سن ۳۵ سالگی راه می رود، برابر با ۸۰ وات در نظر گرفته شده است (احمدپورکلهرودی و همکاران، ۱۳۹۶). همان طور که در تصویر (۴) مشخص است.

Set personal human parameters	
Body parameters	
Age of person (y):	35
Gender:	Male
Weight (kg):	75.00
Height (m):	1.75
Clothing parameters	
Static Clothing Insulation (clo):	0.90
Body metabolism	
Basal Rate (W):	84.49
Work Metabolism (W):	80.00
Calculate	
Calculate from walking speed (m/s): 1.21	
Sum metabolic work (W): 164.49	

شکل ۴. اطلاعات نرم افزار Biomet در Envi-met

پایش میدانی

برای اعتبارسنجی شبیه سازی انجام شده از طریق ENVI-met و تعیین نواحی آسایش حرارتی با استفاده از دستگاه Kestrel 4500 در ارتفاع مشخصی از سطح زمین (۱٫۲ متر)، فاصله از هر دیوار حداقل ۴ متر در نظر گرفته شد (Huang et al., 2017). در شکل (۵) یکی از محل های قرارگیری دستگاه ها نشان شده است (در بازه های زمانی مختلف در روز، نقاط هم در سایه بودند و هم زیر نور مستقیم آفتاب قرار داشتند). اندازه گیری های میدانی ۲۴ ساعته در هر دو فصل انجام شد: در تابستان، ۳ مرداد ۱۴۰۱، و در زمستان، ۳ بهمن ۱۴۰۰. داده های آب و هوایی مانند دمای هوا (T_a)، دمای تابشی (TGLOBE)، سرعت باد (W_s)، و رطوبت نسبی (R_h) در هر دقیقه در ارتفاع ۱٫۲ متر ثبت شدند (Middel et al., 2017; Salata et al., 2016). دمای میانگین تابشی (MRT) با استفاده از T_a ، TGLOBE و داده های سرعت باد (v) طبق معادله (۱) تعریف شد که در آن D قطر کره و ε انتشار جهانی است (Salata et al., 2016).



شکل ۵. محل قرارگیری دستگاه های اندازه گیری. شکل سمت راست نقطه A3 و شکل سمت چپ مربوط به نقطه ۲۵

$$(۱) \quad T_{MRT} = [(T_{GLOBE} + 27315)^4 + \frac{11 \times 10^8 \times W_s^{06}}{\epsilon \times D^{04}} \times (T_{GLOBE} - T_A)]^{0.25} - 27315$$

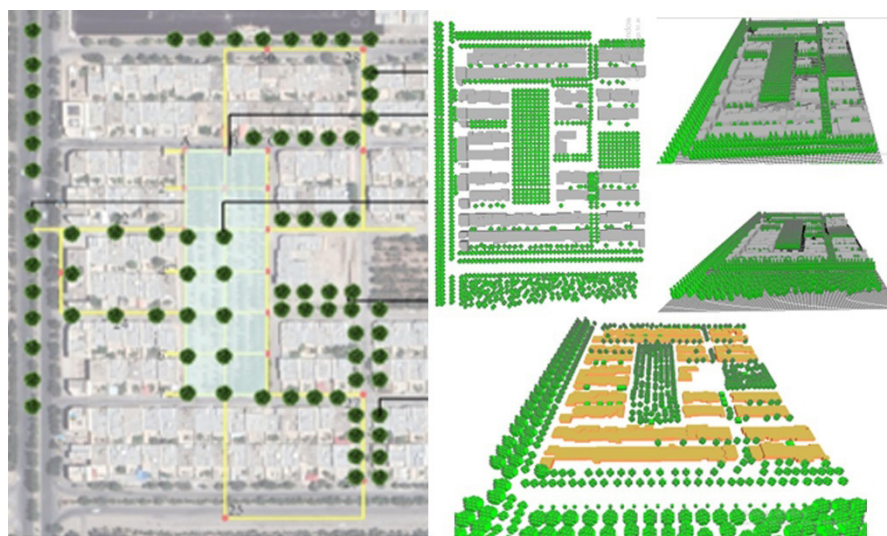
پرسشنامه

آگاهیم که شرایط آب و هوایی همواره تأثیر مستقیمی بر آسایش حرارتی افراد در محیط‌های شهری می‌گذارد. همچنین براساس مطالعات و پیشینه پژوهش معلوم شد که در این پژوهش نیز متغیرهای اقلیمی مانند دمای هوا، رطوبت نسبی، سرعت باد، و دمای جهانی از طریق تکمیل پرسشنامه ارزیابی می‌شود (Battisti et al., 2018; Chen & He, 2024; He et al., 2020). بدین ترتیب ساختار پرسشنامه به دو بخش تقسیم شده است. بخش اول شامل اطلاعات مربوط به ویژگی‌های بازدیدکنندگان از جمله سن، قد، وزن و جنسیت آن‌ها است. بخش دوم بر رضایت حرارتی، ترجیحات، ادراک گرمایی، مدت زمان حضور در پارک، نوع فعالیت، و دیگر سؤالات مربوط به برداشت بازدیدکنندگان از آسایش حرارتی تمرکز دارد (طالب صفا و همکاران، ۱۴۰۲). بنابراین، در این پژوهش از یک مقیاس ۹ درجه‌ای برای ارزیابی درک گرما استفاده شده است. مقیاس ۹ درجه‌ای شامل دسته‌های زیر است: بسیار سرد (-۴)، سرد (-۳)، نسبتاً سرد (-۲)، کمی سرد (-۱)، خنثی (۰)، کمی گرم (۱)، گرم (۲)، داغ (۳)، و بسیار داغ (۴).

در زمان تکمیل پرسشنامه (به پیوست ۱) پاسخ‌دهندگان اغلب در مناطق سایه‌دار قرار می‌گرفتند. در زمستان، پوشش غالب شامل کت‌های ضخیم و شال گردن بود، درحالی‌که در تابستان از لباس‌های نخی آستین کوتاه استفاده می‌شد (تعیین زمان برداشت با ایستگاه ثابت هواشناسی هماهنگی شد تا روز مناسب انتخاب گردد). میانگین شرایط جوی در زمستان ۶ درجه سانتی‌گراد (۸۰ درصد اوقات ابری تا نیمه‌ابری) باد با سرعت ۱ تا ۲ متر بر ثانیه و رطوبت ۷۰ درصد و در تابستان ۳۴ درجه سانتی‌گراد (۸۵ درصد آفتابی) با باد ۱٫۵ متر بر ثانیه و رطوبت ۳۰ درصد بود.

سناریوهای پیشنهادی

برای بهبود آسایش حرارتی فضای باز در پارک محله‌ای امیرآباد، تحلیل موجود شامل شبیه‌سازی ۵ سناریوی کلیدی برای ارزیابی تأثیر پارامترهای مختلف بر محیط پارک است. شرایط سایت شامل اطلاعات واقعی درباره ساختمان‌ها، جاده‌ها، مصالح، پوشش سطوح و درختان می‌باشد. این داده‌ها از طریق تصاویر ماهواره‌ای، نقشه‌های موجود، بازدیدها و اندازه‌گیری‌های میدانی جمع‌آوری شده‌اند (شکل ۶). پوشش گیاهی متنوع سایت به صورت دقیق مدلسازی شده و عواملی مانند اندازه و نوع آن‌ها در نظر گرفته شد. این مدلسازی امکان بررسی دقیق‌تر تأثیر ویژگی‌های فیزیکی دیگر گیاهان مانند عرض تاج و ارتفاع را فراهم می‌کند (مرئی و همکاران، ۱۳۹۹). گونه‌های گیاهی انتخاب شده نیز دارای مقادیر مشابهی از چگالی سطح برگ^۷ هستند که امکان تحلیل دقیق‌تر تأثیر سایر ویژگی‌های فیزیکی را فراهم می‌کند. به طور پیش فرض، ENVI-met سه مقدار متفاوت برای LAD ارزیابی می‌کند، اما در این پژوهش تمام گیاهان با مقدار LAD برابر با ۱ شبیه‌سازی شدند. مصالح بتن و آسفالت نیز با مقادیر آلودگی ۳۵٪ و ۱٪ انتخاب شدند (Santamouris, 2013). بدین ترتیب، دو سناریو برای زمستان و سه سناریو برای تابستان پیشنهاد شده است که هدف آن‌ها بهبود آسایش حرارتی است. به علاوه از آنجاکه در اقلیم‌های گرم و خشک، آب یک عنصر حیاتی و کلیدی است و نقش مهمی در کاهش دمای هوا در تابستان دارد؛ سناریوی پیشنهادی تابستانی نیز شامل ویژگی مضاعف، با گنجاندن بدنه‌های آبی است که ۵ درصد از مساحت داخلی پارک را اشغال می‌کند. در نهایت، شکل (۱) چارچوب روش‌شناسی پژوهش را به صورت شماتیک نمایش می‌دهد.



شکل ۶. طرح شماتیک و مدل سه بعدی و دو بعدی سناریوهای پیشنهادی در نرم افزار ENVI-met

اعتبارسنجی

نرم افزار ENVI-met در مطالعات متعددی مورد اعتبارسنجی قرار گرفته است. در این پژوهش نیز برای بررسی عملکرد نرم افزار معیارهایی که معمولاً برای ارزیابی مدل ها استفاده می شوند ارائه شده است (Eingrüber et al., 2023). این معیارها شامل ضریب تعیین (R^2)، شاخص توافق ویلمات (d)، (معادله (۲)) و ریشه میانگین مربعات خطا (RMSE) (معادله (۳)) هستند (Barnstorf et al., 2023). نزدیکی مقادیر (R^2) و (d) به یک و (RMSE) به صفر نشان دهنده اطمینان بیشتر به مدل است (Hedquist & Brazel, 2014). در معادلات زیر، O_i و P_i به ترتیب مقادیر پیش بینی شده و مشاهده شده، n تعداد کل مشاهدات، O_i میانگین مقادیر مشاهده شده هستند. به طور کلی، این مطالعات اطمینان می دهند که مدل ENVI-met می تواند به طور قابل اعتمادی در تحلیل های پژوهشی استفاده شود (Gachkar et al., 2021; Sinsel et al., 2022; Yang et al., 2021).

$$(2) \quad d = 1 - \frac{\sum_{i=1}^n (P_i - O_i)^2}{\sum (|P_i - \bar{O}_i|) + (|O_i - \bar{O}_i|)^2}$$

$$(3) \quad RMSE = \left[\sum_{i=1}^n \frac{(P_i - O_i)^2}{n} \right]^{0.5}$$

طبق جدول (۴)، سه پارامتر مؤثر بر ادراک حرارتی افراد شامل دمای هوا، دمای متوسط تابشی و سرعت باد مورد بررسی قرار گرفت. برای ارزیابی نتایج در چهار نقطه اندازه گیری، میانگین مقادیر R^2 ، d و RMSE محاسبه شد. براساس نتایج به دست آمده در فصل تابستان، ضریب همبستگی برای پارامترهای Ta، MRT و Ws به ترتیب ۰.۷۹، ۰.۷۹ و ۰.۷۱ بود. این مقادیر نشان دهنده همبستگی قابل قبولی بین داده های شبیه سازی شده و مشاهدات میدانی هستند. نتایج همچنین با مقادیر RMSE و d به دست آمده تأیید شدند؛ به طوری که مقدار RMSE در بازه ۱.۱۹ تا ۱.۷۹ و مقدار d بین ۰.۶ تا ۰.۸۳ قرار داشت. در فصل زمستان، ضرایب تعیین برای پارامترهای Ta، MRT و Ws به ترتیب برابر با ۰.۸۱، ۰.۷۹ و ۰.۶۹ محاسبه شد. شاخص RMSE در این فصل بین ۱.۲ تا ۱.۸۲ و شاخص d بین ۰.۷ تا ۰.۷۵ بود. بنابراین، براساس پژوهش روبیتو و

همکاران (Robitu et al., 2006)، بازه ۱.۲ تا ۲.۵ کلوین برای اعتبارسنجی نتایج نرم افزار ENVI-met مناسب در نظر گرفته شده است. همچنین گزارش زنگو و همکاران نشان می دهد که مقدار RMSE بین ۱.۴۶ و ۲.۶ برای ارزیابی شرایط حرارتی فضای باز شهری قابل قبول است (Zango et al., 2018).

جدول ۴. ارزیابی کمی عملکرد ENVI-met براساس ارزیابی RMSE، R² و d

عنوان	R ²	RMSE (K)	d
Ta تابستان	۰٫۷۹	۱٫۱۹	۰٫۸۳
T _{MRT} تابستان	۰٫۷۹	۱٫۴۶	۰٫۸
W _s تابستان	۰٫۷۱	۱٫۷۹	۰٫۶
Ta زمستان	۰٫۷۹	۱٫۲	۰٫۷
T _{MRT} زمستان	۰٫۸۱	۱٫۸۲	۰٫۸۱
W _s زمستان	۰٫۶۹	۱٫۶۸	۰٫۷۵

یافته های پژوهش

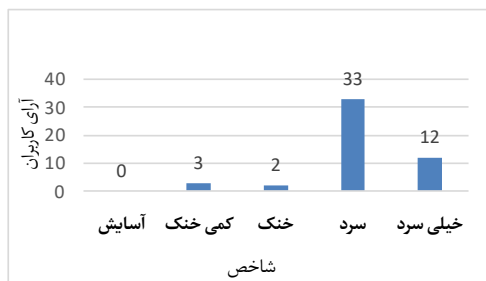
نتایج پرسشنامه

ابتدا داده ها از طریق یک نظرسنجی پرسشنامه ای که در هر فصل بین ۱۸۲ پاسخ دهنده در پارک محله امیرآباد و مناطق اطراف آن توزیع شده بود، جمع آوری شد. هدف از این نظرسنجی ارزیابی سطح آسایش حرارتی تجربه شده در فضای باز بود. پایش در تاریخ ۳ مرداد ۱۴۰۱، در طول تابستان و در تاریخ ۳ بهمن ۱۴۰۰، در طول زمستان انجام شد. پس از ارزیابی اولیه، حدود ۵٪ از شرکت کنندگان به دلیل حضور کمتر از ۱۰ دقیقه در محل، از تحلیل حذف شدند. در نظرسنجی تابستان، ۶۰٫۲۵٪ از شرکت کنندگان زن و ۴۰٫۷۵٪ مرد بودند. برعکس، در نظرسنجی زمستان، ۵۷٫۴۳٪ مرد و ۴۳٫۵۷٪ زن بودند. میانگین گروه سنی در فصل تابستان بین ۱۸ تا ۳۰ سال بود که ۵۰٪ از شرکت کنندگان را شامل می شد. از سوی دیگر، بیشتر شرکت کنندگان در نظرسنجی زمستان بین ۲۰ تا ۶۰ سال سن داشتند و ۳۲٪ از کل را تشکیل می دادند. همچنین، در مورد ویژگی های فیزیکی، میانگین قد و وزن مردان به ترتیب ۱۷۰ سانتی متر و ۷۰ کیلوگرم بودند. میانگین قد و وزن زنان نیز به ترتیب ۱۶۰ سانتی متر و ۵۰ کیلوگرم بودند.

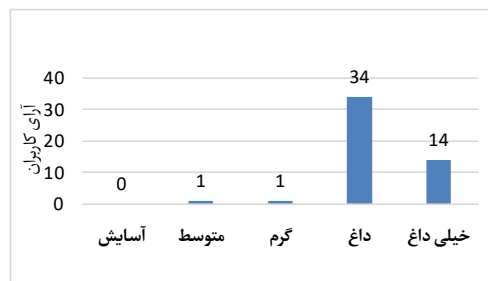
آرای کاربران و ادراک آسایش حرارتی

داده های این نظرسنجی به طور مداوم در دو فصل تحلیل و بررسی شد. براساس نتایج به دست آمده، بیشتر بازدیدکنندگان در حال پیاده روی بودند (۵۰٪)، در حالی که باقی مانده افراد نشسته (۱۰٪) یا ایستاده (۴۰٪) بودند. در تابستان، ۷۰٪ از شرکت کنندگان شرایط گرم و ۳۰٪ شرایط بسیار گرم را تجربه کردند (شکل ۷). با

افزایش مدت زمان حضور در پارک، کاربران به دلیل کمبود پوشش گیاهی و نبود سایه کافی احساس گرما می کردند. در نتیجه، افراد با افزایش دما تمایل بیشتری به استفاده از مناطق سایه دار داشتند. همچنین، ۶۵٪ از پاسخ دهندگان در زمستان احساس سرما و ۳۵٪ شرایط سرمای شدید را تجربه کردند. بنابراین، یک همبستگی واضح بین شاخص حرارتی ذهنی (TSV) و دمای هوای اندازه گیری شده در محل نشان دهنده رابطه مستقیم بین این عوامل است (شکل ۸).



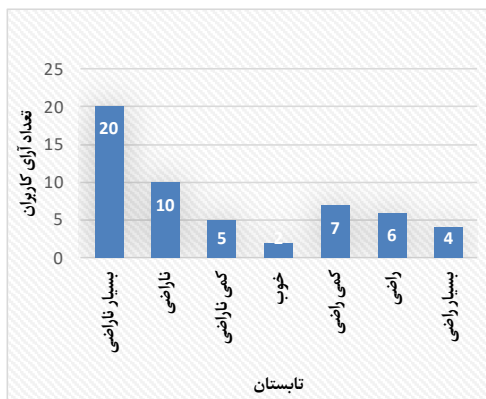
شکل ۸. سنجش میزان آرای آسایش حرارتی افراد در فضای باز در فصل تابستان



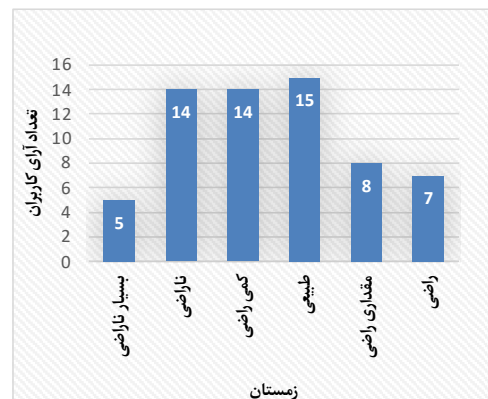
شکل ۷. سنجش میزان آرای آسایش حرارتی افراد در فضای باز در فصل تابستان

میزان رضایت آسایش حرارتی کاربران در فضای باز

در پارک محله ای امیرآباد، کمبود سایه در تابستان باعث شده است که افراد برای فرار از گرمای خورشید به دنبال فضاهای سایه دار باشند. در نتیجه، افرادی که در نزدیکی ساختمان ها یا پارک قرار دارند، به دلیل سایه مناسب ایجاد شده، سطح رضایت بیشتری را تجربه می کنند. برعکس، در زمستان، با کاهش سرعت باد باعث افزایش حضور افراد و سطح رضایت آن ها می شود. این پدیده عمدتاً در مناطقی که بیشترین تابش آفتاب را دارند، مشاهده می شود. بنابراین، نتایج نظرسنجی نشان می دهد که تقریباً ۱۳٪ از پاسخ دهندگان در تابستان کمی راضی، ۱۳٫۳٪ راضی و ۷٪ بسیار راضی از محیط حرارتی فضای باز بودند. باین حال، در زمستان حدود ۱۵٫۷٪ از کاربران کمی راضی، ۱۲٫۴٪ راضی و ۴٫۳٪ بسیار راضی از شرایط حرارتی فضای باز بودند. شکل های (۹ و ۱۰) نمایش تصویری از سطح رضایت کاربران را ارائه می دهند.



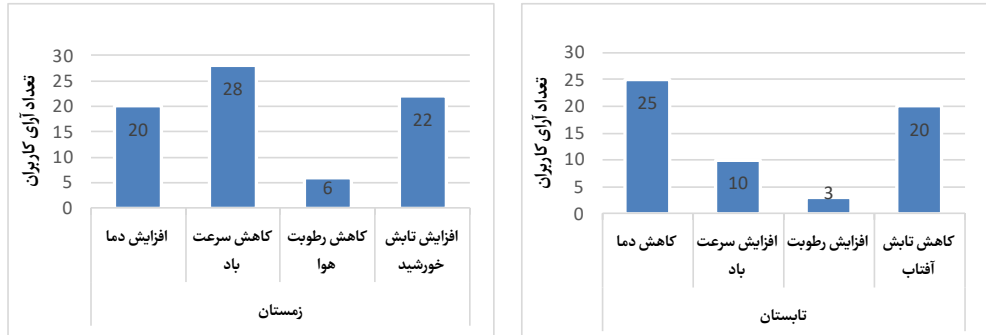
شکل ۱۰. میزان احساس رضایت از آسایش حرارتی پارک و محوطه آن در فصل تابستان



شکل ۹. میزان احساس رضایت از آسایش حرارتی پارک و محوطه آن در فصل زمستان

ترجیحات کاربران درباره ویژگی های اقلیمی

از شرکت کنندگان خواسته شد که ترجیحات خود را برای دمای هوا، سرعت باد، تابش آفتاب و رطوبت نسبی، با استفاده از سه مقیاس مختلف ارزیابی کنند: کمتر/کاهش (۱-)، بدون تغییر (۰) و بیشتر/افزایش (۱+). براساس نتایج تابستان، بیش از ۴۳٪ از شرکت کنندگان دمای هوای کمتر، ۳۵٪ تابش آفتاب بیشتر، ۱۷٪ سرعت باد بیشتر و ۵٪ رطوبت نسبی کمتر را ترجیح دادند. درمقابل، نتایج زمستان روندهای متفاوتی را نشان داد. تقریباً ۲۶٪ از پاسخ دهندگان دمای هوای بیشتر، ۳۰٪ تابش آفتاب بیشتر، ۳۷٪ سرعت باد کمتر و ۸٪ رطوبت نسبی کمتر را ترجیح دادند (شکل های ۱۱ و ۱۲).

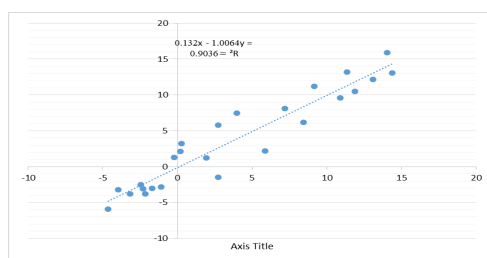


شکل ۱۱. ترجیحات کاربران برای ویژگی های اقلیمی در فصل تابستان

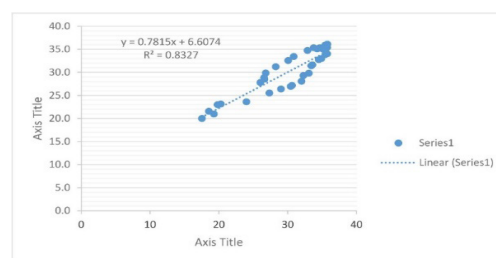
شکل ۱۲. ترجیحات کاربران برای ویژگی های اقلیمی در فصل زمستان

محدوده آسایش حرارتی فضای باز در پارک محله ای امیرآباد

طبق آرای شرکت کنندگان، شرایط آب و هوایی در پارک، در مقایسه با محله های اطراف که فاقد درختان سایه دار هستند رضایت بیشتری را نشان دادند. علاوه براین، دمای هوای داخل پارک درمقایسه با مناطق ترجیحی کاربران در زمستان و تابستان مورد پذیرش بود. این موضوع به دلیل ویژگی پارک در کاهش اثرات باد در زمستان و فراهم کردن سایه مناسب در تابستان بود که محیطی مطلوب برای مردم ایجاد می کرد. بنابراین، براساس یافته های نظرسنجی، میانگین آسایش حرارتی کاربران در فصل تابستان بین ۲۵ تا ۳۴ درجه سانتی گراد و در فصل زمستان بین ۱۳ تا ۳۲ درجه سانتی گراد متغیر است. برای شبیه سازی با نرم افزار ENVI-met، داده های ایستگاه هواشناسی در بازه های زمانی ۳۰ دقیقه ای مورد نیاز است. بااین حال، به دلیل فاصله ۴ کیلومتری بین ایستگاه هواشناسی و سایت، وجود جزایر حرارتی، و تردد وسایل نقلیه سبک و سنگین، اختلافی بین داده های میدانی و نتایج شبیه سازی وجود دارد. بنابراین، اعتبارسنجی این نقاط برای ایجاد همبستگی قوی بین داده های میدانی و نتایج شبیه سازی ضروری است. تحلیل ها نشان می دهند که همبستگی معناداری (۰.۸۳) برای فصل تابستان وجود دارد (شکل های ۱۳ و ۱۴). به همین ترتیب، برای فصل زمستان نیز نمودار همبستگی بالایی را نشان می دهد (۰.۹۰).



شکل ۱۴. همبستگی دمای هوا بین ایستگاه هواشناسی و شبیه‌سازی برای فصل زمستان، نقاط بالا خط دمای ایستگاه ثابت و نقاط پایین خط دمای خروجی از شبیه‌سازی

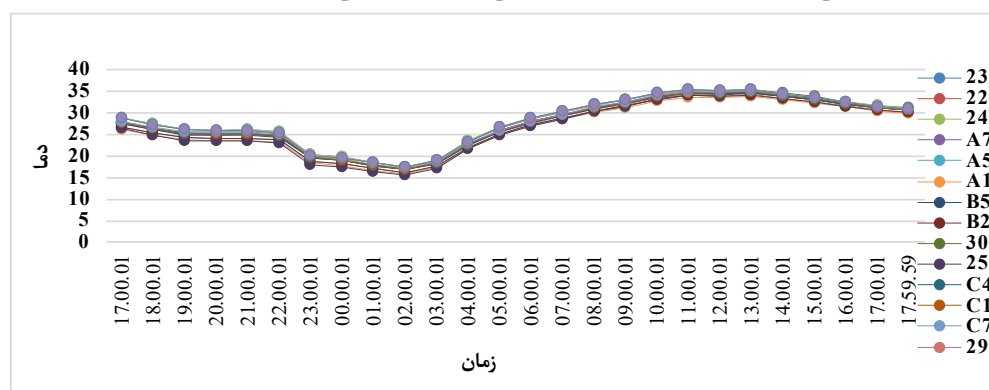


شکل ۱۳. همبستگی دمای هوا بین ایستگاه هواشناسی و شبیه‌سازی برای فصل تابستان، نقاط بالا خط دمای ایستگاه ثابت و نقاط پایین خط دمای خروجی از شبیه‌سازی

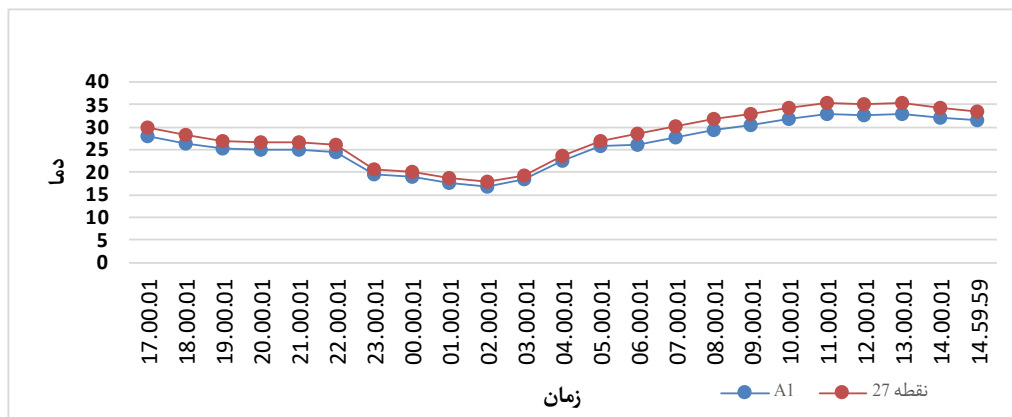
نتایج شبیه‌سازی

شرایط وضع موجود برای فصل تابستان

برای ارزیابی نتایج شبیه‌سازی، تعدادی نقطه در داخل و خارج پارک با توجه به نوع پوشش گیاهی، جنس کف، میزان سایه و تابش آفتاب و فعالیت‌های انسانی انتخاب شدند. نتایج شبیه‌سازی فصل تابستان (شکل ۱۵) نشان داد که دمای هوای داخل پارک کمتر از خارج آن است. در این میان، محور A خنک‌ترین شرایط و محور C بالاترین دما را داشت. به‌طور میانگین، دمای نقاط خارج از پارک (۲۷، ۲۹ و ۳۰) حدود ۱.۶ درجه سانتی‌گراد بالاتر از دمای داخل پارک بود که نشان‌دهنده تأثیر پارک بر تعدیل دما است. به‌علاوه، بررسی‌های جداگانه بر نقاط A1 و ۲۷ (شکل ۱۶) طی ۲۴ ساعت نشان داد که بیشترین دمای ثبت شده (۳۵.۵ درجه سانتی‌گراد) در نقطه ۲۷ و کمترین دما (۱۵.۸ درجه سانتی‌گراد) در نقطه A1 مشاهده شد. در هر دو بازه، اختلاف دمای ۱.۶ درجه سانتی‌گراد است. بنابراین، نتایج حاکی از آن است که جبهه غربی پارک تا شعاع ۱۰۰ متر آسایش حرارتی بهتری نسبت به جبهه شرقی دارد. وزش باد از شرق به غرب و برخورد آن با هوای خنک پارک، موجب انتقال سرمایش به بخش‌های غربی شده است. همچنین، حضور درختان نارون (Ulmus) با سایه‌اندازی گسترده، نقش مؤثری در بهبود آسایش حرارتی دارد. درمقابل، نقاط خارج از پارک به دلیل کاهش رطوبت نسبی و افزایش دمای متوسط تشعشعی، آسایش حرارتی کمتری را تجربه کرده‌اند.



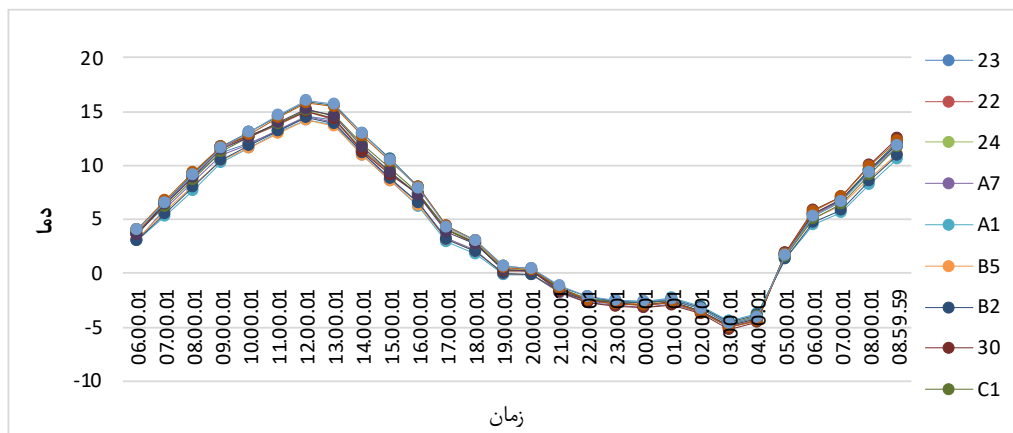
شکل ۱۵. مقایسه دمای نقاط منتخب سایت حاصل از شبیه‌سازی برای فصل تابستان



شکل ۱۶. مقدار تغییرات دما در فضای داخل پارک در مقایسه با نقطه ۲۷ خارج از محدوده پارک

شرایط وضع موجود در فصل زمستان

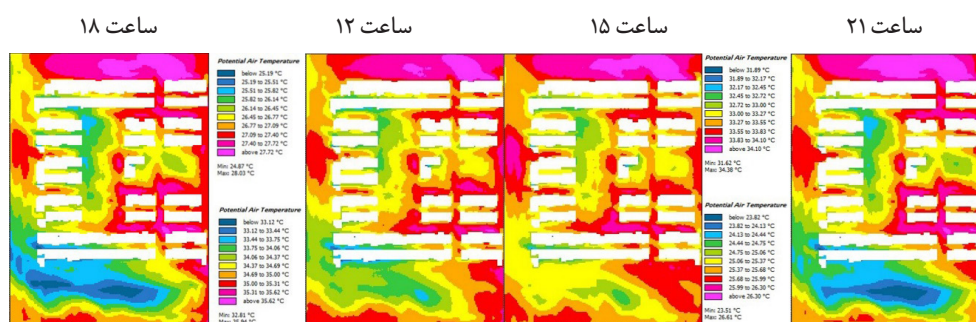
نتایج شبیه‌سازی زمستانی نشان داد که بالاترین میانگین دمای هوا در نقطه ۲۹ (۵.۱ درجه سانتی‌گراد) و پایین‌ترین در نقطه ۲۵ (۳.۶ درجه سانتی‌گراد) ثبت شده است. بیشینه و کمینه دمای لحظه‌ای به ترتیب ۱۶ درجه سانتی‌گراد (نقطه ۲۷، ظهر) و -۵.۲ درجه سانتی‌گراد (نقطه ۳۰، ساعت ۳ بامداد) گزارش شد. در محور B، فضای حضور درختان کاج با کاهش دمای هوا به میزان ۱ درجه سانتی‌گراد نسبت به خارج از پارک مشاهده شد. همچنین در محور C، فضای درختان نارون با ثبت بیشینه دمای ۱.۱ درجه سانتی‌گراد در ظهر بود. همچنین با افزایش فاصله از پارک، به‌ویژه در ساعات صبح، دمای هوا کاهش بیشتری داشته است. درعین حال، درختان با ایجاد لایه‌های حرارتی، به حفظ دما کمک کرده‌اند. درختان خزان‌پذیر در پارک، با عبور دادن تابش خورشید به سطح زمین و ذخیره انرژی گرمایی در کف، موجب افزایش دمای شبانه در برخی نقاط (C1، C5 و C7) نسبت به نقاط بیرونی (۳۰، ۲۵، ۲۲ و ۲۴) شدند. در خارج از پارک، وزش باد موجب افت شدید دما (سوزباد) شده، درحالی‌که درختان پارک با کاهش سرعت باد از افت ناگهانی دما جلوگیری کرده‌اند. در مناطق تحت پوشش درختان کاج، به دلیل محدود شدن تابش خورشیدی، دمای سطح زمین نسبت به سایر نواحی پایین‌تر باقی مانده است. شکل (۱۷) مقایسه میزان تغییرات دما در نقاط منتخب را نشان می‌دهد.



شکل ۱۷. مقایسه نرخ تغییرات دما در شبیه‌سازی برای فصل زمستان

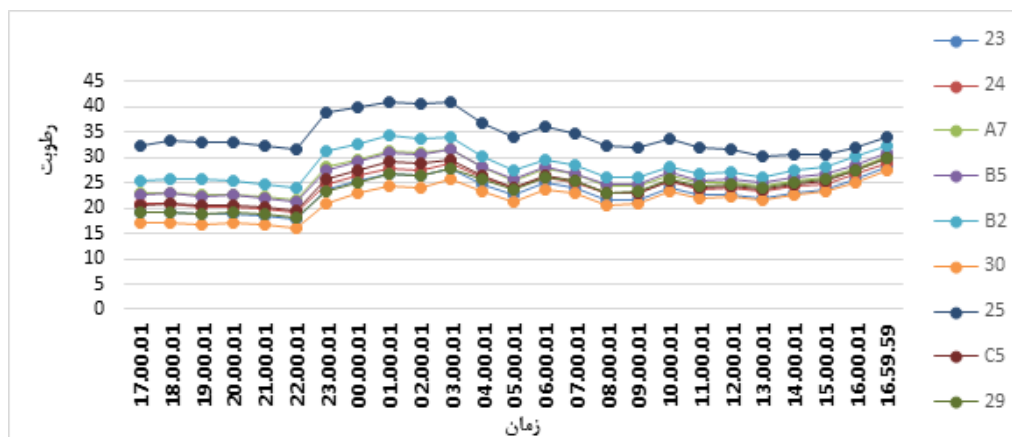
ارزیابی سناریوهای پیشنهادی برای فصل تابستان

تأثیر پوشش گیاهی بومی: در این سناریو، به جای درختان کاج غالب، از درختان بومی نارون و زبان گنجشک استفاده شد. شبیه‌سازی‌های انجام‌شده (شکل ۱۸) نشان داد که حداکثر اختلاف متوسط Ta در ساعت ۱۸:۰۰ به میزان ۰.۵ درجه سانتی‌گراد کاهش یافته و حداقل اختلاف متوسط دما ۱.۱ درجه سانتی‌گراد ثبت شد. به‌طور کلی، افزودن پوشش گیاهی موجب کاهش ۰.۶ درجه سانتی‌گراد دمای هوا در منطقه شد (شکل ۱۹). در زمینه رطوبت نسبی (Rh)، افزایش ۴۶٪ نسبت به وضعیت موجود مشاهده شد که به دلیل افزایش سطح برگ درختان بود. بیشترین مقدار رطوبت نسبی در نقطه ۲۵ ثبت شد و رطوبت به کمک باد به نواحی غربی و شمال‌غربی سایت منتقل شده و باعث بهبود شرایط آسایش حرارتی در نقاط ۲۴، ۲۵ و ۲۳ شد.

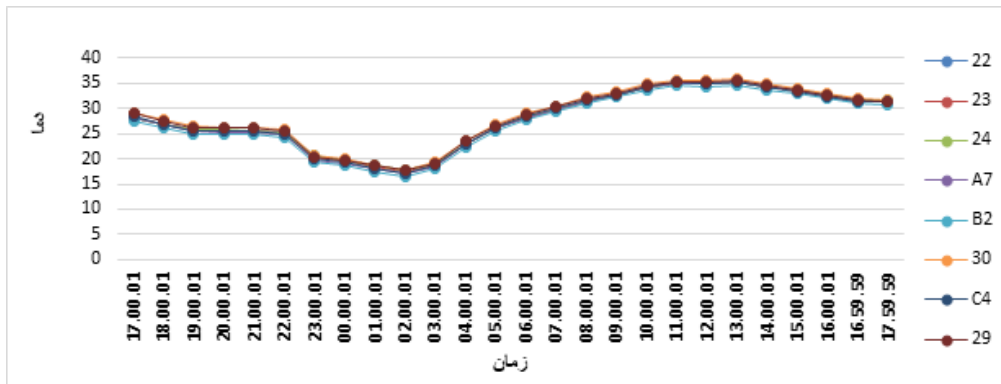


شکل ۱۸. نقش پوشش گیاهی بر آسایش حرارتی محیط، زمان بررسی از ساعت ۱۸ تا ۱۵ روز بعد برای فصل تابستان

متوسط دمای تشعشعی (MRT) به‌طور میانگین به ۲۱.۸ درجه سانتی‌گراد رسید که درمقایسه با وضعیت موجود، ۰.۵ درجه سانتی‌گراد افزایش داشت. نقاط A1، C1 و B2 بیشترین مقدار MRT و نقاط ۲۹ و ۲۷ کمترین مقدار را نشان دادند. با این حال، حضور پوشش گیاهی بومی باعث کاهش MRT در نقاط بحرانی شد. همچنین شاخص دمای معادل فیزیولوژیکی (PET)، کاهش ۴.۱ درجه سانتی‌گراد مشاهده شد و میانگین PET به ۲۰.۲ درجه سانتی‌گراد رسید (شکل ۲۰)، که این مقدار به بازه مطلوب آسایش حرارتی نزدیک است. این تغییرات در نقاط بحران ۱۷، ۲۹، ۳۰، ۲۳ و ۲۲ محسوس بود.



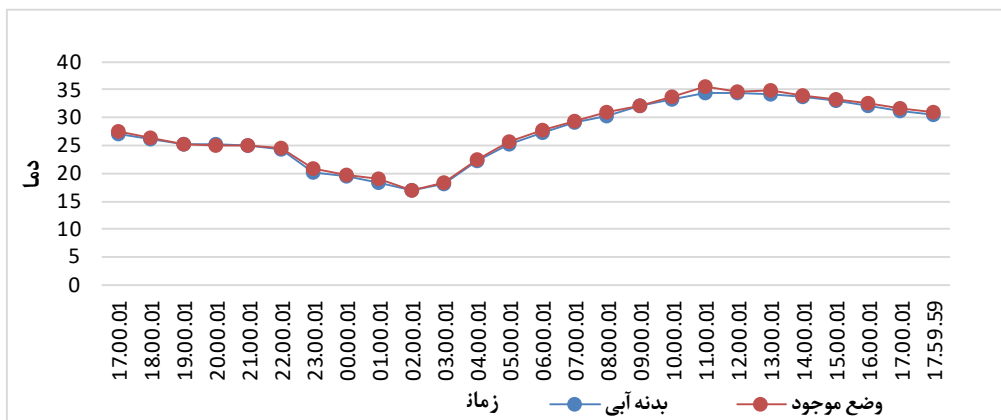
شکل ۱۹. میزان تغییرات رطوبت در نقاط منتخب. زمان شروع از ساعت ۱۷ تا ۱۸ روز بعد



شکل ۲۰. مقایسه میزان تغییرات PET در نقاط بحرانی و نقاط منتخب در شبیه سازی رایانه ای

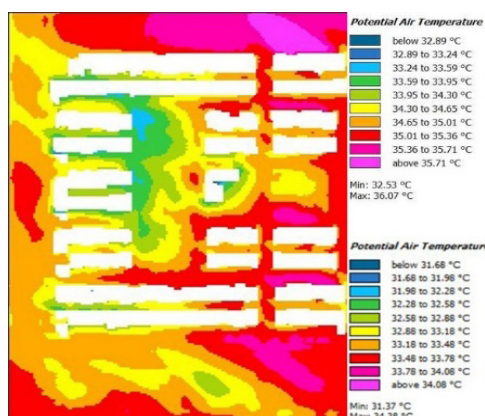
نقش بدنه های آبی: با افزودن بدنه های آبی به مساحت ۵۰ مترمربع و بدون فواره، تأثیر مثبتی بر تعدیل دمای هوا مشاهده شد. میانگین کاهش دما در پارک و ناحیه غربی سایت حدود ۰.۳ درجه سانتی گراد بود (شکل ۲۲). در نقطه A1، دما در ساعات ابتدایی روز نسبتاً ثابت ماند، اما از ساعت ۲۳:۰۰ تا ۳:۰۰ به دلیل آزادسازی گرمای ذخیره شده، افزایش ۰.۴ درجه سانتی گراد ثبت شد (شکل ۲۱). باد شرقی موجب انتقال هوای خنک از فضای پارک به سمت غرب شد و در نتیجه آسایش حرارتی در این نواحی تا ۰.۵ درجه سانتی گراد بهبود یافت.

نقش مصالح با آلودگی بالا: در این سناریو، مصالح کف پارک به مصالح با آلودگی بالا (۰.۷) تغییر یافت. نتایج نشان داد که در طول روز، میانگین Ta حدود ۰.۳ درجه سانتی گراد افزایش یافته و در شب، به میزان ۰.۷ درجه سانتی گراد کاهش یافته است (شکل های ۲۳ و ۲۴). در نقاطی با پوشش گیاهی مناسب (A1، B1، A2، B2، A3، B3، ۲۲، ۲۳، ۲۴)، کاهش دما نسبت به وضعیت موجود ثبت شد. اما در نقاطی با درختان کاج و نبود سایه (A5، A6، A7، B5، B6، C5، C6، C7)، افزایش دما مشاهده گردید. به علاوه، شاخص PET، میانگین آن به ۲۴ درجه سانتی گراد رسید که نشان دهنده تنش حرارتی کم در روز و بهبود شرایط آسایش در شب است (شکل های ۲۵ و ۲۶). در نقاطی مانند C4 که پوشش گیاهی ضعیف تر بود، افزایش یک درجه ای PET ثبت شد، اما با غروب خورشید شرایط بهبود یافت.

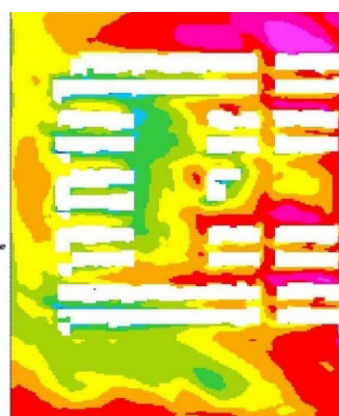


شکل ۲۱. نرخ تغییرات دمای هوا با افزودن بدنه های آبی برای فصل تابستان

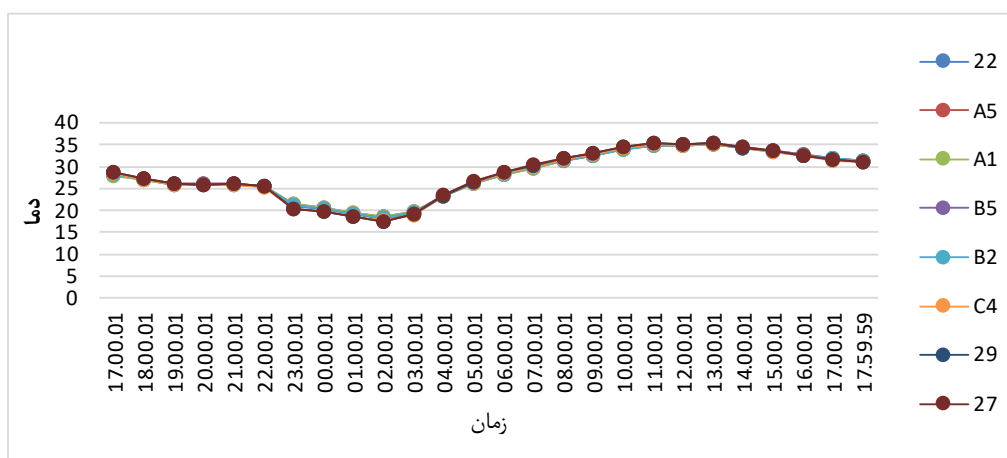
ساعت ۱۵



ساعت ۱۲

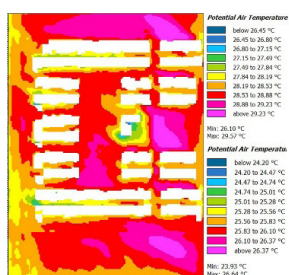


شکل ۲۲. نقش بدنه‌های آبی بر آسایش حرارتی محیط، زمان از ساعت ۱۸ تا ۱۸ روز بعد

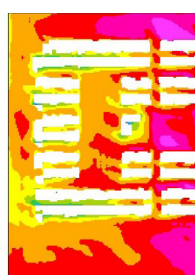


شکل ۲۳. ارزیابی نقش مصالح کف با آلودگی بالا بر آسایش حرارتی محیط در فصل تابستان

ساعت ۲۱



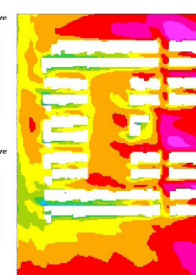
ساعت ۱۲



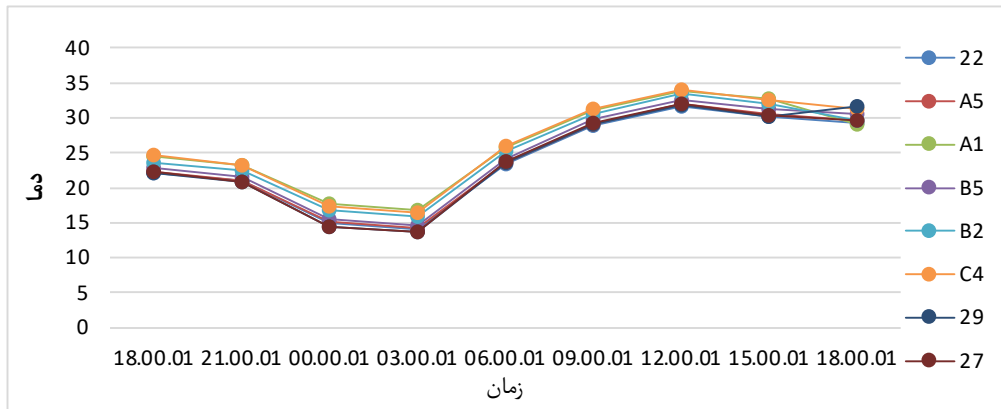
ساعت ۱۶



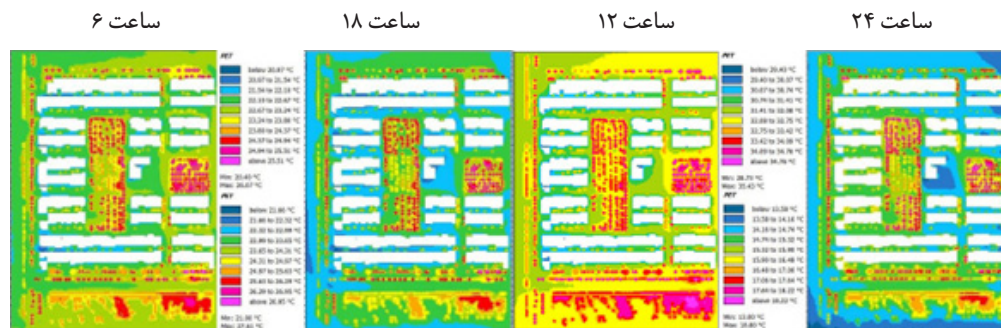
ساعت ۶



شکل ۲۴. بررسی نقش مصالح بر آسایش حرارتی محیط در گراف‌های شبیه‌سازی شده



شکل ۲۵. ارزیابی میزان تغییرات نقش مصالح با آلودگی بالا بر PET برای فصل تابستان در شبیه‌سازی رایانه‌ای

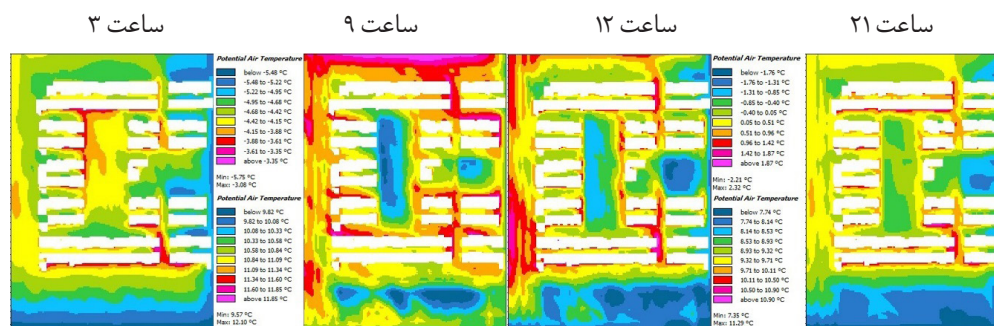


شکل ۲۶. بررسی نقش مصالح کف بر میزان آسایش حرارتی محیط در گراف‌های ENVI-met

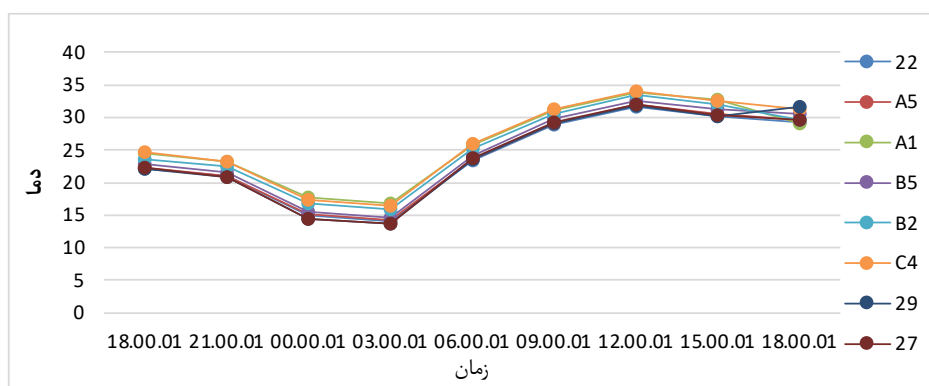
ارزیابی سناریوهای پیشنهادی برای فصل زمستان

تأثیر پوشش گیاهی: براساس نتایج شبیه‌سازی (شکل ۲۷)، افزایش میانگین دمای هوا (Ta) به میزان ۰.۲ درجه سانتی‌گراد نسبت به وضعیت موجود ثبت شد. کمینه دما در نقطه ۳۰ در ساعت ۳:۰۰ بامداد برابر با ۴.۸ درجه سانتی‌گراد بود، درحالی‌که در شرایط فعلی ۵.۲- درجه سانتی‌گراد بود؛ بهبود ۰.۴ درجه سانتی‌گراد در سردترین نقطه نشان داده شد. بیشینه دما نیز در ظهر و در نقطه ۲۷ با مقدار ۱۵.۵ درجه سانتی‌گراد ثبت شد که ۰.۵ درجه سانتی‌گراد کمتر از وضعیت موجود است (شکل ۲۸).

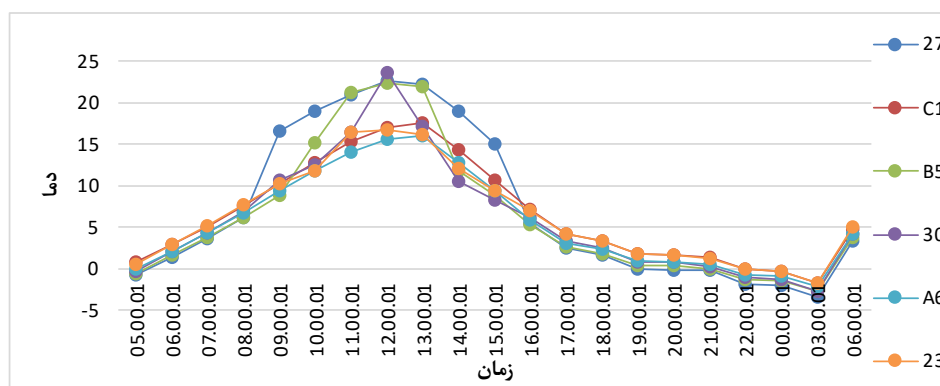
اگرچه به‌طورکلی کاهش دمای روزانه در برخی ساعات مشاهده شد، اما در سردترین ساعات شب، دمای هوا در بسیاری از نقاط بهبود یافت. بررسی نقطه B5 نشان داد که در طول شب، دمای هوا به تدریج افزایش یافته و از ساعت ۲۰:۰۰ به بعد تا ۱.۵ درجه سانتی‌گراد گرم‌تر از وضعیت موجود شد. این روند تا روز بعد نیز ادامه داشت. به‌علاوه، تحلیل شاخص PET نشان داد که در ساعات گرم‌تر بعد از ظهر، کاهش Ta باعث نزدیک‌تر شدن PET به محدوده آسایش انسانی شد (شکل ۲۹). همچنین، در فضای پارک طی ساعات ۶ تا ۸ صبح و بعد از ۱۶:۰۰ بهبود PET نسبت به نقاط بیرونی مشهود بود. مقایسه PET در نقطه B5 نیز حاکی از کاهش آن از ساعت ۷:۰۰ تا ۱۵:۰۰ و افزایش تدریجی از ساعت ۱۶:۰۰ به بعد بود (شکل ۳۰).



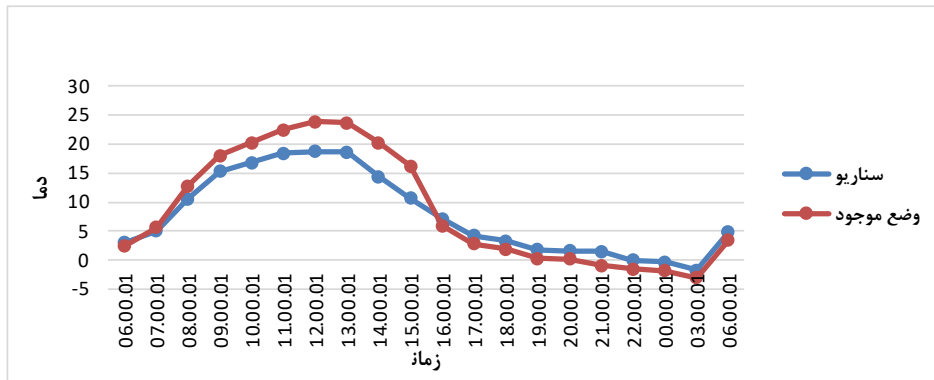
شکل ۲۷. نرخ تغییرات سناریوی پوشش گیاهی بر آسایش حرارتی محیط در فصل زمستان



شکل ۲۸. نرخ تغییرات دمای هوا در سناریوی پوشش گیاهی بر آسایش حرارتی در فصل زمستان

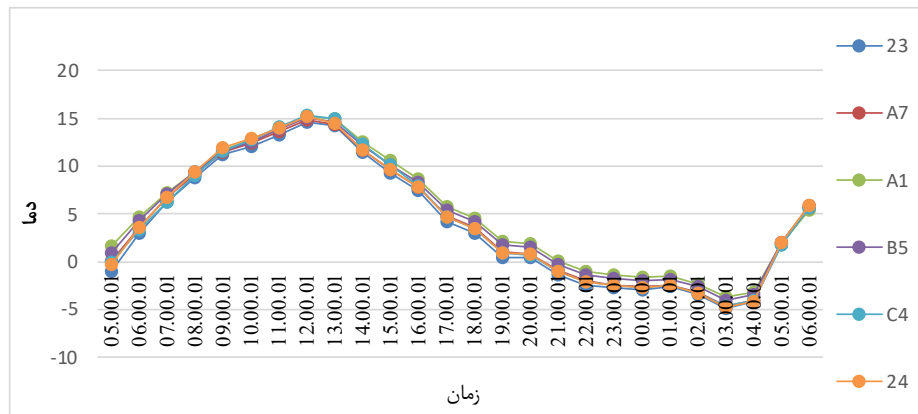


شکل ۲۹. میزان اثرگذاری پوشش گیاهی بر نرخ تغییرات PET در فصل زمستان

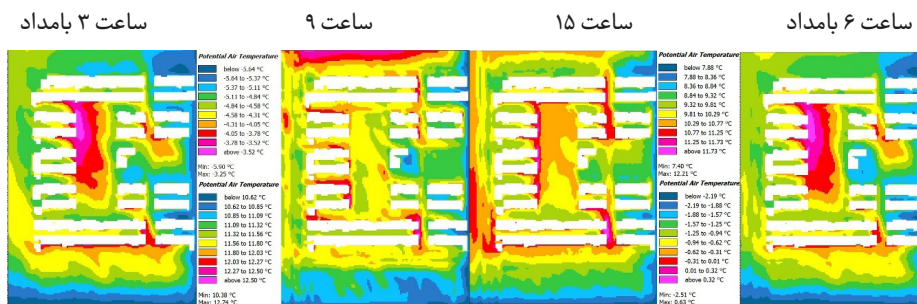


شکل ۳۰. مقایسه میزان اثرگذاری پوشش گیاهی بر نرخ تغییرات PET با وضع موجود در فصل زمستان

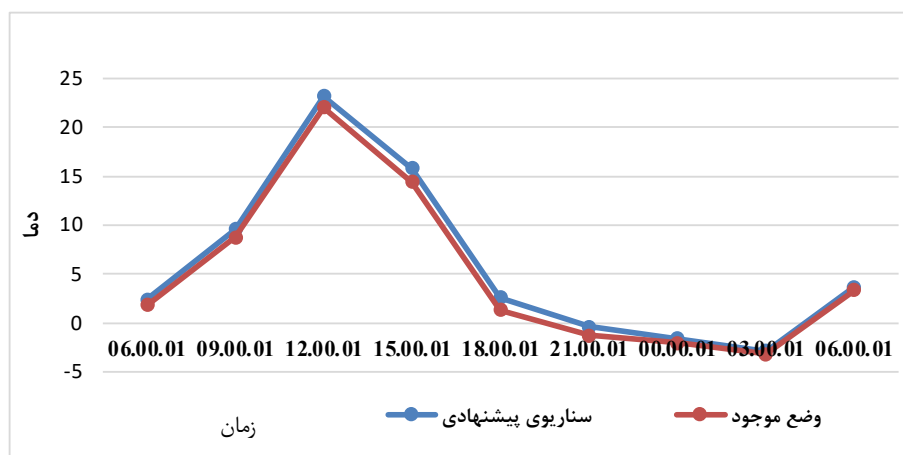
تأثیر مصالح با آلبدو بالا: استفاده از کفپوش‌ها با آلبدوی بالا موجب افزایش میانگین T_a به میزان ۱.۱ درجه سانتی‌گراد در ساعات اولیه تحلیل شد (شکل ۳۱). این روند افزایشی در تمام ساعات روز حفظ شده و در ساعت ۱۷:۰۰ با بیشینه افزایش ۲.۲ درجه سانتی‌گراد ثبت گردید (شکل ۳۲). افزایش دما علاوه بر محدوده پارک، در نواحی اطراف نیز با افزایش ۰.۳ درجه سانتی‌گراد در طول روز همراه بود. از ساعت ۱۵:۰۰ تا ۰۲:۰۰ نیز افزایش تدریجی T_a به میزان ۰.۵ درجه سانتی‌گراد ادامه یافت. از منظر شاخص PET، نتایج نشان داد که افزایش دما موجب بهبود شرایط آسایش حرارتی شد. حداکثر PET در ظهر به ۲۳.۲ درجه سانتی‌گراد رسید که در محدوده مطلوب انسانی قرار دارد (شکل ۳۳). همچنین در نقاط خارج از پارک (نقطه ۲۷)، مصالح با آلبدوی بالا موجب افزایش PET شده و در ظهر به مقدار ۱۸ درجه سانتی‌گراد رسید که نشان‌دهنده بهبود محسوس نسبت به شرایط موجود است.



شکل ۳۱. مقایسه میزان تغییرات دما با تغییر مصالح نسبت به وضع موجود برای فصل زمستان



شکل ۳۲. مقایسه میزان اثرگذاری نقش مصالح کف نسبت به وضع موجود در فصل زمستان



شکل ۳۳. مقایسه نرخ اثرگذاری مصالح کف بر میزان PET با وضع موجود در فصل زمستان

بحث

پدیده جزیره گرمایی شهری (UHI) که از پیامدهای توسعه سریع شهرنشینی و افزایش جمعیت است، تأثیرات منفی قابل توجهی بر کیفیت زندگی ساکنان شهرها داشته است (Almulhim et al., 2024). این پدیده با افزایش دمای شهری نسبت به مناطق روستایی، مشکلات زیست محیطی، تغییرات اقلیمی و افزایش مصرف انرژی را به همراه داشته است. بهبود زیرساخت‌های سبز، توسعه پوشش گیاهی، استقرار بدنه‌های آبی و انتخاب مصالح با آلوده مناسب از جمله راهکارهای مؤثر در کاهش شدت UHI به شمار می‌روند (Liu et al., 2024).

با وجود تحقیقات گسترده، کمتر مطالعه‌ای به بررسی هم‌زمان و یکپارچه اثر پوشش گیاهی، مصالح سطحی و عناصر آبی بر شرایط خرد اقلیمی در فصول مختلف پرداخته است. پژوهش حاضر با تمرکز بر پارک محله‌ای امیرآباد در اقلیم گرم و خشک، تغییرات دمایی و آسایش حرارتی را در تابستان و زمستان تحلیل کرد. نتایج پرسشنامه‌ها نشان داد که تنها ۳۰٪ از کاربران در تابستان از شرایط حرارتی رضایت داشتند، در حالی که در زمستان این میزان به ۶۵٪ افزایش یافت؛ که نشان‌دهنده وابستگی شدید رضایت حرارتی به تغییرات فصلی است.

شبیه‌سازی‌ها نشان دادند که پوشش گیاهی نقش مهمی در کاهش دمای هوا در تابستان و بهبود PET در زمستان دارد. استفاده از گونه‌های خزان‌پذیر نظیر نارون و زبان گنجشک با ایجاد سایه در تابستان و حفظ گرما در زمستان، به بهبود شرایط آسایش حرارتی کمک کرد. در برخی نقاط پارک (B3، B5 و A5)، به دلیل کمبود تراکم گیاهی و ضعف نگهداری، دمای بالاتری ثبت شد که لزوم برنامه‌ریزی مجدد کاشت را نشان می‌دهد.

در نواحی خارج از پارک نیز افزایش پوشش گیاهی موجب کاهش دمای محیط در تابستان تا ۰.۷ درجه سانتی‌گراد شد که اهمیت گسترش استراتژیک فضای سبز را تأیید می‌کند. ازسوی دیگر، اگرچه حضور بدنه‌های آبی در این اقلیم به دلیل محدودیت‌های منابع آب چالش‌برانگیز است، اما شبیه‌سازی حضور فواره‌هایی با مساحت ۵۰ مترمربع نشان داد که می‌تواند دمای محیط را تا ۱ درجه سانتی‌گراد کاهش دهد و رطوبت نسبی فضا را بهبود بخشد.

تحلیل مصالح کف‌سازی نیز نشان داد که جایگزینی خاک رس با گرانیت خردشده منجر به افزایش دمای محیط در زمستان (تا ۱.۸ درجه سانتی‌گراد) شد، اما در تابستان به دلیل بازتاب بالاتر، افزایش دمای ناچیزی (۰.۳ درجه سانتی‌گراد) مشاهده شد. برای مقابله با اثرات منفی تابستان، افزایش سایه‌اندازی درختان در کنار استفاده از مصالح با آلودی بالا پیشنهاد می‌شود. در مجموع، یافته‌های این پژوهش نشان می‌دهد که استفاده ترکیبی از پوشش گیاهی بومی، بدنه‌های آبی کوچک مقیاس و مصالح سطحی مناسب، همراه با طراحی دقیق کاشت، می‌تواند نقش مؤثری در بهبود پایدار شرایط آسایش حرارتی فضاهای باز شهری، به‌ویژه در اقلیم‌های گرم‌وخشک ایفا کند.

نتیجه‌گیری

به‌طورکلی در این پژوهش بر اهمیت و نقش پارک‌های محله‌ای در ارتقای کیفیت محیطی شهری، به‌ویژه ارتقای شرایط آسایش حرارتی در شهرهای اقلیم‌های گرم‌وخشک تأکید شده است. همچنین تأثیر فضاهای باز و سبز اعم از اشکال باغ یا پارک بر کاهش جزایر حرارتی ناشی از گرمایش جهانی بررسی و مطالعه شد و به کمک مورد پژوهی پارک محله امیرآباد شهرضا شرایط کالبدی و ساختار منظر و نقش آن در این زمینه مورد ارزیابی و سنجش قرار گرفت. در این مورد هدف اصلی سنجش وضعیت شرایط محیطی و منظر موجود به منظور بررسی چگونگی ارتقای آسایش حرارتی در فضاهای باز شهری در مقیاس محله به کمک فضای پارک با بهره‌گیری از گونه‌های گیاهی بومی و مصالح محلی بوده است.

به‌طور خاص در این پژوهش، عوامل مؤثر بر آسایش حرارتی در مقیاس پارک محله‌ای امیرآباد بررسی شدند و نقش پوشش گیاهی، مصالح و حضور بدنه‌های آبی را در تعدیل شرایط محیطی طی فصول تابستان و زمستان ارزیابی گردید. در این مورد برای تعیین دامنه قابل قبول آسایش حرارتی کاربران پارک، مجموعه‌ای از مطالعات میدانی، پرسشنامه‌ها و تحلیل‌های رایانه‌ای انجام شد. نتایج این بررسی‌ها نشان داد که محدوده آسایش حرارتی در فصل تابستان بین ۱۷.۵ تا ۲۵.۲ درجه سانتی‌گراد و در فصل زمستان بین ۱۵.۵ تا ۲۰.۴ درجه سانتی‌گراد متغیر است.

براساس شبیه‌سازی‌های انجام‌شده با استفاده از نرم‌افزار ENVI-met، برای آسایش بهتر در فصل تابستان، کاشت درختان بلند با تاج گسترده به‌عنوان راهکاری مؤثر برای کاهش دما و بهبود شاخص آسایش حرارتی (PET) توصیه می‌شود. گونه‌هایی مانند نارون و زبان‌گنجشک به دلیل ایجاد سایه گسترده و کاهش دمای هوا، تأثیر مطلوبی در ارتقای آسایش حرارتی داشتند. علاوه بر این، انتخاب مصالح کف‌پوش با آلودی بالا، نظیر گرانیت خردشده، در مقایسه با مصالح کم‌آلود مانند خاک، عملکرد بهتری در کاهش دمای سطح از خود نشان داد. این نوع مصالح، در ترکیب با سایه‌اندازی درختان، از برخورد مستقیم تابش خورشید به سطح زمین جلوگیری کرده و شرایط حرارتی را بهبود می‌بخشند. همچنین، افزودن سطوح آبی به محیط پارک، از طریق فرایند تبخیر، موجب کاهش دامنه دمای معادل فیزیولوژیکی شده و شرایط آسایش حرارتی را بهبود می‌دهد. براین اساس، در این پژوهش پیشنهاد می‌شود که از پوشش‌های گیاهی بومی و مقاوم استفاده

شود و درعین حال، عناصر آبی همچون فواره‌ها و آب‌نماها در طراحی پارک مدنظر قرار گیرند. سومین راهکار مؤثر، بهره‌گیری از مصالح با آلودگی بالا است، البته مشروط بر اینکه درختان خزان‌پذیر برای تابستان انتخاب شوند تا امکان نفوذ نور خورشید در زمستان فراهم آید.

برای فصل زمستان، درختان بلند و خزان‌پذیر با عبور دادن جریان‌های خورشیدی به فضای پارک، موجب افزایش دمای محیط و بهبود شرایط آسایش حرارتی می‌شوند. به عنوان مثال، درختان نارون به دلیل ساختار شاخه‌بندی خود، می‌توانند گرما را در لایه‌های میانی به دام انداخته و جذب انرژی خورشیدی توسط سطح زمین را در ساعات روز افزایش دهند. سناریوی دوم پیشنهادی برای فصل زمستان، افزایش آلودگی سطوح بود که نسبت به مصالح کم‌آلود، تأثیر مطلوب‌تری در تنظیم دمای محیط داشت. بررسی‌ها نشان داد که استفاده از مصالح کف‌پوش با آلودگی بالا، دامنه PET را در پارک بهبود بخشیده و منجر به ایجاد شرایط آسایش حرارتی مطلوب‌تری می‌شود.

بنابراین، پژوهش حاضر نشان داد که بهره‌گیری از پوشش گیاهی مناسب و انتخاب مصالح با آلودگی بالا، دو راهکار کلیدی برای ارتقای آسایش حرارتی در فصول گرم و سرد هستند. به کارگیری این یافته‌ها که در مقیاس کوچک پارک محله امیرآباد انجام شد می‌تواند به تدوین دستورالعمل‌هایی برای طراحی بهینه فضاهای باز در اقلیم‌های گرم و خشک کمک کند. از دیدگاه معماری منظر بررسی‌های اولیه نیز نشان می‌دهد که نتایج این پژوهش در مقیاس منظر شهری می‌تواند ضمن تقویت جنبه‌های کاربردی برای ارتقای کیفی ساختار منظر و محله، به بهبود کیفیت محیطی، ایجاد شرایط مطلوب برای ساکنان، و کاهش مصرف انرژی در فصول گرم و سرد سال نیز کمک کند. براساس نتایج پژوهش؛ بهبود کیفیت زیست محیطی پارک‌های شهری، فضاهای سبز و زیرساخت‌های اکولوژیکی در مقیاس بزرگ‌تر، می‌تواند زمینه‌ساز توسعه شهری پایدار و ارتقای منظر شهری شود و در این زمینه نیز پیشنهادات به شرح زیر می‌تواند راهگشا و مورد استفاده قرار گیرد:

- گسترش پوشش گیاهی با تأکید بر گونه‌های بومی مقاوم به خشکی، مانند درختان با تاج متراکم و گیاهان خزان‌پذیر، علاوه بر کاهش دمای محیط از طریق تعریق و تبخیر، موجب کاهش اثرات تابش خورشیدی و بهبود کیفیت جریان هوا در فضاهای شهری می‌شود.
- جانمایی اصولی درختان با توجه به الگوی تابش خورشیدی در فصول مختلف، موجب کاهش مؤثر دمای سطحی، تعدیل اثر جزیره حرارتی شهری و افزایش مدت زمان بهره‌برداری مطلوب از فضاهای باز می‌شود.
- طراحی و استقرار بدنه‌های آبی نظیر فواره‌ها، حوضچه‌های کم‌عمق و آب‌نماهای خطی، با در نظر گرفتن موقعیت و ابعاد بهینه، منجر به افزایش رطوبت نسبی، کاهش دمای مؤثر محیط و بهبود آسایش حرارتی از طریق سرمایش تبخیری خواهد شد.
- استفاده از مصالح با ضریب آلودگی بالا و ظرفیت حرارتی پایین، نظیر سنگ‌های روشن، بتن متخلخل و پوشش‌های بازتابنده، به کاهش جذب و ذخیره‌سازی گرمای خورشیدی کمک کرده و منجر به کاهش دمای سطحی و بهبود شرایط آسایش حرارتی در ساعات گرم روز می‌شود.
- ایجاد کریدورهای فضایی در جهت مسیر بادهای غالب، به همراه بهره‌گیری از عناصر هدایت‌کننده جریان هوا مانند پوشش‌های گیاهی متخلخل، موجب افزایش نرخ تهویه، کاهش دمای محیط و بهبود آسایش حرارتی کاربران در فضاهای باز شهری خواهد شد.

پی‌نوشت‌ها

1. UHI= Urban Heat Island
2. ASHRAE= American Society of Heating, Refrigerating and Air-Conditioning Engineers
3. PET= Physiological equivalent temperature
4. MVP= Predicted Mean Vote
5. استاندارد ISO 7730، تحت عنوان «ارزیابی آسایش حرارتی با استفاده از شاخص‌های PMV و PPD و شرایط محتوای حرارتی»، چارچوبی برای ارزیابی آسایش حرارتی در فضاهای داخلی فراهم می‌کند. این استاندارد از مدل فیزیولوژیکی انرژی حرارتی بدن استفاده می‌کند و عوامل تأثیرگذار مانند دما، رطوبت، سرعت هوا، تابش، نوع لباس (clo) و فعالیت بدنی (met) را در نظر می‌گیرد.
6. استاندارد ASHRAE 55، به تعیین شرایط محیطی قابل قبول برای آسایش حرارتی انسان در فضاهای داخلی می‌پردازد. این استاندارد نیز پارامترهای مشابهی چون دمای هوا، رطوبت نسبی، جریان هوا، نوع پوشش و سطح فعالیت فیزیکی را در مدلسازی شرایط آسایش لحاظ می‌کند و معیارهایی برای طراحی فضاهای قابل قبول از نظر حرارتی ارائه می‌دهد.
7. Leaf area density

فهرست منابع

- کریم‌زاده، جمشید، مهدی‌نژاددرزی، جمال‌الدین و کریمی، باقر (۱۴۰۱). تأثیر تناسبات کالبدی بر عملکرد حرارتی ایوان‌ها در بافت تاریخی شیراز مبتنی بر بهبود شاخص آسایش حرارتی. نامه معماری و شهرسازی، ۳۶ (۱۵)، ۲۷-۵۲.
- منتظری، مرجان، جهان‌شاه‌لو، لعل و ماجدی، حمید (۱۳۹۷). تأثیر مؤلفه‌های فرم کالبدی شهری بر آسایش حرارتی فضاهای باز شهری. نشریه مطالعات محیطی هفت حصار، ۶ (۲۳)، ۴۹-۶۶.
- یادگاری، پگاه و سجاذزاده، حسن (۱۴۰۰). نقش الگوی فضایی و پوشش گیاهی فضاهای باز محلی بر میزان آسایش حرارتی در اقلیم سرد. نشریه مطالعات شهری، ۱۰ (۴۰)، ۱۵-۲۶.
- احمدپور کلهرودی، نرگس، پورجعفر، محمدرضا، مهدوی‌نژاد، محمدجواد و یوسفیان، سمیرا (۱۳۹۶). نقش و تأثیر عناصر طراحی در کیفیت آسایش حرارتی فضاهای باز شهری بررسی موردی: طراحی پیاده راه طمق‌چی‌ها در کاشان. نامه معماری و شهرسازی، ۹ (۱۸)، ۵۹-۸۰.
- طالب صفا، شهرزاد، طاهری شهرآئینی، مسعود، یانگ، شیائوشان و ربیعی، محمدرضا (۱۴۰۲). ارزیابی تأثیر سایه بر آسایش حرارتی فضای باز و تعیین محدوده آسایش حرارتی. صفا، ۳۳ (۳)، ۴۳-۵۹.
- مرئی، الهه، فیاض، ریما، معماریان، سینا و محمدکاری، بهروز (۱۳۹۹). تأثیر ویژگی مصالح مختلف مورد استفاده در سطوح شهری بر ایجاد جزیره حرارتی در اقلیم گرم‌و‌خشک. نامه معماری و شهرسازی، ۳۲ (۱۴)، ۳۱-۴۸.
- Almulhim, A. I., Al Kafy, A., Ferdous, M. N., Fattah, M. A., & Morshed, S. R. (2024). Harnessing urban analytics and machine learning for sustainable urban development: A multidimensional framework for modeling environmental impacts of urbanization in Saudi Arabia. *Journal of Environmental Management*, 357, 120705.
- Arranz-Paraíso, S., & Arranz-Paraíso, D. (2023). The Extent of New Technologies in Urban Environments: Virtual Reality, Lighting, and Accessibility. In *Intersecting Health, Livability, and Human Behavior in Urban Environments* (pp. 251-272). Igi Global.
- Banerjee, S., Pek, R.X.Y., Yik, S.K., Ching, G.N., Ho, X.T., Dzyuban, Y., Crank, P.J., Acero, J.A., & Chow, W.T. (2024). Assessing impact of urban densification on outdoor microclimate and thermal comfort using ENVI-met simulations for Combined Spatial-Climatic Design (CSCD) approach. *Sustainable cities and society*, 105, 105302.
- Barnstorf, P., Alves, F.B., & do Vale, C.P. (2023). Reflexions on an ENVI-met operation-methodology case study. *U. Porto Journal of Engineering*, 9(2), 16-99.
- Battisti, A., Laureti, F., Zinzi, M., & Volpicelli, G. (2018). Climate mitigation and adaptation strategies for roofs and pavements: A case study at Sapienza University Campus. *Sustainability*, 10(10), 3788.

- Beele, E., Aerts, R., Reyniers, M., & Somers, B. (2024). Spatial configuration of green space matters: Associations between urban land cover and air temperature. *Landscape and Urban Planning*, 249, 105121.
- Behzad, Z., & Guilandoust, A. (2024). Enhancing outdoor thermal comfort in a historic site in a hot dry climate (Case study: Naghsh-e-Jahan Square, Isfahan). *Sustainable cities and society*, 102, 105209.
- Carlucci, S., & Pagliano, L. (2012). A review of indices for the long-term evaluation of the general thermal comfort conditions in buildings. *Energy and Buildings*, 53, 194-205.
- Chan, S.Y., & Chau, C.K. (2021). On the study of the effects of microclimate and park and surrounding building configuration on thermal comfort in urban parks. *Sustainable cities and society*, 64, 102512.
- Chen, X., & He, B.J. (2024). Planning for heat-resilient 15 min-cities: Opportunities, measurement, mechanism, and pathways. *Environmental Impact Assessment Review*, 105, 107406.
- Cheng, Y., Liu, X., Zeng, Z., Liu, S., Wang, Z., Tang, X., & He, B.J. (2022). Impacts of water bodies on microclimates and outdoor thermal comfort: Implications for sustainable rural revitalization. *Frontiers in Environmental Science*, 10, 940482.
- Cocco, S., Pearlmutter, D., Kaempf, J., & Scartezzini, J.L. (2018). Thermal Comfort Maps to estimate the impact of urban greening on the outdoor human comfort. *Urban Forestry & Urban Greening*, 35, 91-105.
- De Dear, R.J., & Brager, G.S. (2002). Thermal comfort in naturally ventilated buildings: revisions to ASHRAE Standard 55. *Energy and Buildings*, 34(6), 549-561.
- Eingrüber, N., Korres, W., Löhnert, U., & Schneider, K. (2023). Investigation of the ENVI-met model sensitivity to different wind direction forcing data in a heterogeneous urban environment. *Advances in Science and Research*, 20, 65-71.
- Gachkar, D., Taghvaei, S.H., & Norouzian-Maleki, S. (2021). Outdoor thermal comfort enhancement using various vegetation species and materials (case study: Delgosha Garden, Iran). *Sustainable cities and society*, 75, 103309.
- Gai, Z., Yin, H., Kong, F., Su, J., Shen, Z., Sun, H., Yang, S., Liu, H., & Middel, A. (2025). How does shade infrastructure affect outdoor thermal comfort during hot, humid summers? Evidence from Nanjing, China. *Building and environment*, 267, 112320.
- Gurney, K.R., Kılıç, Ş., Seto, K.C., Lwasa, S., Moran, D., Riahi, K., Keller, M., Rayner, P., & Luqman, M. (2022). Greenhouse gas emissions from global cities under SSP/RCP scenarios, 1990 to 2100. *Global Environmental Change*, 73, 102478.
- Hamdy, M.A., Hamzah, B., Wikantari, R., & Mulyadi, R. (2023). The effect of water and vegetation elements as microclimate modifiers in buildings in hot and humid tropical climates. *ARTEKS: Jurnal Teknik Arsitektur*, 8(2), 255-270.
- Han, D., Zhang, T., Qin, Y., Tan, Y., & Liu, J. (2023). A comparative review on the mitigation strategies of urban heat island (UHI): a pathway for sustainable urban development. *Climate and Development*, 15(5), 379-403.
- He, X., An, L., Hong, B., Huang, B., & Cui, X. (2020). Cross-cultural differences in thermal comfort in campus open spaces: a longitudinal field survey in China's cold region. *Building and environment*, 172, 106739.
- Hedquist, B.C., & Brazel, A.J. (2014). Seasonal variability of temperatures and outdoor human comfort in Phoenix, Arizona, USA. *Building and environment*, 72, 377-388.
- Hong, C., Qu, Z., Xu, W., & Gu, Z. (2023). Study on water cooling island effects under different climatic conditions. *City and Built Environment*, 1(1), 4.
- Huang, T., Li, J., Xie, Y., Niu, J., & Mak, C. (2017). Outdoor thermal comfort study in the

- underneath-elevated-building (UEB) area: on-site measurements and surveys in Hong Kong. *Build. Environ.*, 125, 502-514.
- Huang, Z., Cheng, B., Gou, Z., & Zhang, F. (2019). Outdoor thermal comfort and adaptive behaviors in a university campus in China's hot summer-cold winter climate region. *Building and environment*, 165, 106414.
 - Huang, Z., Gou, Z., & Cheng, B. (2020). An investigation of outdoor thermal environments with different ground surfaces in the hot summer-cold winter climate region. *Journal of Building Engineering*, 27, 100994.
 - Imran, H.M., Kala, J., Ng, A., & Muthukumaran, S. (2018). Effectiveness of green and cool roofs in mitigating urban heat island effects during a heatwave event in the city of Melbourne in southeast Australia. *Journal of Cleaner Production*, 197, 393-405.
 - Isinkaralar, O. (2024). Discovery of spatial climate parameters and bioclimatic comfort change simulation in Türkiye under socioeconomic pathway scenarios: A basin-scale case study for urban environments. *Natural Hazards*, 120(2), 1809-1819.
 - Johari, M., Seydayi, S.E., Nouri, S.H., & Taghdisi, A. (2016). Enhancing Rural-urban Linkages Based on Islamic-Iranian Developmental Pattern in Reaching Social Justice: A Case Study of Shahreza County, Isfahan, Iran. *Environmental Management and Sustainable Development*, 5(1), 158-178.
 - Knaus, M., & Haase, D. (2020). Green roof effects on daytime heat in a prefabricated residential neighbourhood in Berlin, Germany. *Urban Forestry & Urban Greening*, 53, 126738.
 - Li, Y., & Song, Y. (2019). Optimization of vegetation arrangement to improve microclimate and thermal comfort in an urban park. *International Review for Spatial Planning and Sustainable Development*, 7(1), 18-30.
 - Liu, Y., Chen, H., Wu, J., Wang, Y., Ni, Z., & Chen, S. (2024). Impact of urban spatial dynamics and blue-green infrastructure on urban heat islands: A case study of Guangzhou using Local Climate Zones and predictive modeling. *Sustainable cities and society*, 115, 105819.
 - Maleki, A., & Mahdavi, A. (2016). Evaluation of urban heat islands mitigation strategies using 3dimensional urban micro-climate model ENVI-met. *Asian Journal of Civil Engineering (BHRC)*, 17(3), 357-371.
 - Middel, A., Lukasczyk, J., & Maciejewski, R. (2017). Sky view factors from synthetic fisheye photos for thermal comfort routing-a case study in Phoenix, Arizona. *Urban Plan*, 2(1), 19-30.
 - Namazi, Y., Charlesworth, S., Montazami, A., & Taleghani, M. (2024). The impact of local microclimates and Urban Greening Factor on schools' thermal conditions during summer: A study in Coventry, UK. *Building and environment*, 262, 111793.
 - Necira, H., Matallah, M.E., Bouzaher, S., Mahar, W.A., & Ahriz, A. (2024). Effect of Street Asymmetry, Albedo, and Shading on Pedestrian Outdoor Thermal Comfort in Hot Desert Climates. *Sustainability*, 16(3), 1291.
 - Niu, J., Hong, B., Geng, Y., Mi, J., & He, J. (2020). Summertime physiological and thermal responses among activity levels in campus outdoor spaces in a humid subtropical city. *Science of the Total Environment*, 728, 138757.
 - Ren, J., Shi, K., Li, Z., Kong, X., & Zhou, H. (2023). A review on the impacts of urban heat islands on outdoor thermal comfort. *Buildings*, 13(6), 1368.
 - Robitu, M., Musy, M., Inard, C., & Groleau, D. (2006). Modeling the influence of vegetation and water pond on urban microclimate. *Solar energy*, 80(4), 435-447.
 - Salata, F., Golasi, I., de Lieto Vollaro, R., & de Lieto Vollaro, A. (2016). Outdoor thermal comfort in the Mediterranean area. A transversal study in Rome, Italy. *Building and environment*, 96, 46-61.
 - Santamouris, M. (2013). Using cool pavements as a mitigation strategy to fight urban heat island—A review of the actual developments. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 26, 224-240.

- Simon, H. (2016). Modeling urban microclimate: development, implementation and evaluation of new and improved calculation methods for the urban microclimate model ENVI-met. Doctoral dissertation, Universitätsbibliothek Mainz.
- Sinsel, T., Simon, H., Ouyang, W., dos Santos Gusson, C., Shinzato, P., & Bruse, M. (2022). Implementation and evaluation of mean radiant temperature schemes in the microclimate model ENVI-met. *Urban Climate*, 45, 101279.
- Su, Y., Wang, C., Li, Z., Meng, Q., Gong, A., Wu, Z., & Zhao, Q. (2024). Summer outdoor thermal comfort assessment in city squares—A case study of cold dry winter, hot summer climate zone. *Sustainable cities and society*, 101, 105062.
- Syafii, N.I., Ichinose, M., Kumakura, E., Jusuf, S.K., Chigusa, K., & Wong, N.H. (2017). Thermal environment assessment around bodies of water in urban canyons: A scale model study. *Sustainable cities and society*, 34, 79-89.
- Taghvaei, S.H. (2019). The model of “Fundamental Values and Factors of Landscape” proposed for education and practice of landscape architecture. Conference Proceedings. *Ninth Edition (2019) of the International Conference The Future of Education with a Virtual Presentation*, Florence, Italy.
- Taleghani, M. (2018). The impact of increasing urban surface albedo on outdoor summer thermal comfort within a university campus. *Urban Clim.*, 24, 175–184.
- Teshnehdel, S., Gatto, E., Li, D., & Brown, R.D. (2022). Improving outdoor thermal comfort in a steppe climate: Effect of water and trees in an urban park. *Land*, 11(3), 431.
- Wang, Y., Berardi, U., & Akbari, H. (2016). Comparing the effects of urban heat island mitigation strategies for Toronto, Canada. *Energy and Buildings*, 114, 2-19.
- Wang, Y., de Groot, R., Bakker, F., Wörtche, H., & Leemans, R. (2017). Thermal comfort in urban green spaces: a survey on a Dutch university campus. *International journal of biometeorology*, 61, 87-101.
- Yang, J., Hu, X., Feng, H., & Marvin, S. (2021). Verifying an ENVI-met simulation of the thermal environment of Yanzhong Square Park in Shanghai. *Urban Forestry & Urban Greening*, 66, 127384.
- Zango, M.S., Wah, L.Y., Chyee, D.H., & Dalandi, A. (2018). Validation of ENVI-met software using measured and predicted air temperatures in the Courtyard of Chinese Shophouse Malacca. *J Appl Sci Environ Sustain*, 4(9), 28-36.
- Zare, S., Hasheminezhad, N., Sarebanzadeh, K., Zolala, F., Hemmatjo, R., & Hassanvand, D. (2018). Assessing thermal comfort in tourist attractions through objective and subjective procedures based on ISO 7730 standard: A field study. *Urban Climate*, 26, 1-9.

COPYRIGHTS

Copyright for this article is retained by the author(s), with publication rights granted to Journal of Architecture and Urban Planning. 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/>).



نحوه ارجاع به این مقاله
احمدی، محسن؛ تقوایی، سید حسن و طاهباز، منصوره (۱۴۰۴). ارزیابی نقش پارک‌های محلی بر بهبود آسایش حرارتی فضای باز در اقلیم گرم و خشک؛ بررسی موردی پارک امیرآباد شهرضا. فصلنامه علمی نامه معماری و شهرسازی، ۱۸(۴۸)، ۸۴-۱۱۳.

DOI: 10.30480/aup.2025.5754.2232

URL: https://aup.journal.art.ac.ir/article_1433.html