

Examining the Impact of Building Façade Material Reflection on the Increase of Ambient Temperature in Urban Heat Island (UHI) Phenomenon (Case Study: Tehran)

1. Seyed Gholamreza Razavi Amrei^{ID}: Department of Architecture, Sar.C., Islamic Azad University, Sari, Iran

2. Heydar Jahanbakhsh^{ID}*: Department of Architecture, Faculty of Technology and Engineering, Payam Noor University, Tehran, Iran.

3. Abdollah Ebrahimi^{ID}: Department of Architecture, Sar.C., Islamic Azad University, Sari, Iran

*Corresponding Author's Email Address: h_jahanbakhsh@pnu.ac.ir

How to Cite: Razavi Amrei, S. G., Jahanbakhsh, H., & Ebrahimi, A. (2025). Examining the Impact of Building Façade Material Reflection on the Increase of Ambient Temperature in Urban Heat Island (UHI) Phenomenon (Case Study: Tehran). *Manifestation of Art in Architecture and Urban Engineering*, 3(1), 1-22.

Abstract:

With the rise of urbanization and construction density in metropolitan areas, the phenomenon of Urban Heat Island (UHI) has become one of the major challenges in the field of urban climatology. Among the contributing factors, building materials, and particularly urban façades as vertical surfaces exposed to solar radiation, play a significant role in either intensifying or mitigating ambient temperature levels. The objective of this study is to evaluate the effect of different façade materials on ambient dry temperature in an urban case study. For this purpose, the southern section of Phase 1 of Ekbatan Town in Tehran was selected as the study area. Using Grasshopper software along with the Ladybug and Dragonfly plugins, three different scenarios were modeled and simulated: the current condition (concrete and stone façades), fully glazed façades, and a condition without anthropogenic elements (traffic, population, green spaces). The output data were analyzed through the UWG engine and compared with reference climatic data. The results indicated that highly reflective materials, particularly glass, cause a significant increase in ambient temperature during peak solar radiation hours (09:00–15:00). In the glazed façade scenario, the maximum temperature difference compared to the reference condition exceeded 5.5°C. These findings highlight the importance of considering appropriate material selection in urban façade design in order to reduce the negative impacts of UHI and to enhance outdoor thermal comfort.

Keywords: reflection, building façade materials, ambient temperature, urban heat island

Received: 22 January 2025

Revised: 30 April 2025

Accepted: 08 May 2025

Published: 20 June 2025



Copyright: © 2025 by the authors. Published under the terms and conditions of Creative Commons Attribution-NonCommercial 4.0 International (CC BY-NC 4.0) License.

بررسی میزان تأثیر انعکاس مصالح نماهای ساختمانی در افزایش دمای محیطی جزیره حرارتی شهری (نمونه موردی: شهر تهران)

۱. سید غلامرضا رضوی امرئی^{id}: گروه معماری، واحد ساری، دانشگاه آزاد اسلامی، ساری، ایران

۲. حیدر جهان‌بخش^{id*}: گروه معماری، دانشکده فنی و مهندسی، دانشگاه پیام‌نور، تهران، ایران. (نویسنده مسئول)

۳. عبدالله ابراهیمی^{id}: گروه معماری، واحد ساری، دانشگاه آزاد اسلامی، ساری، ایران

*پست الکترونیک نویسنده مسئول: h_jahanbakhsh@pnu.ac.ir

نحوه استناددهی: رضوی امرئی، سید غلامرضا، جهان‌بخش، حیدر، و ابراهیمی، عبدالله. (۱۴۰۴). بررسی میزان تأثیر انعکاس مصالح نماهای ساختمانی در افزایش دمای محیطی جزیره حرارتی شهری (نمونه موردی: شهر تهران). تجلی هنر در معماری و شهرسازی، ۳(۱)، ۱-۲۲.

چکیده

با افزایش شهرنشینی و تراکم ساخت‌وساز در کلان‌شهرها، پدیده جزیره حرارتی شهری (UHI) به یکی از چالش‌های اساسی در حوزه اقلیم شهری تبدیل شده است. در این میان، مصالح ساختمانی و به‌ویژه نماهای شهری، به‌عنوان سطوح قائم در معرض تابش خورشیدی، نقش قابل توجهی در تشدید یا کاهش دمای محیطی دارند. هدف این پژوهش، ارزیابی تأثیر مصالح مختلف نمای ساختمانی بر دمای خشک محیطی در یک نمونه موردی شهری است. برای این منظور، بخش جنوبی فاز یک شهرک اکباتان در تهران به‌عنوان منطقه مطالعه انتخاب شد. با استفاده از نرم‌افزار Grasshopper و پلاگین‌های Ladybug و Dragonfly، سه سناریوی متفاوت شامل وضعیت موجود (نماهای بتنی و سنگی)، نمای تمام‌شیشه‌ای و حالت بدون عوارض انسانی (ترافیک، جمعیت، فضای سبز) مدل‌سازی و شبیه‌سازی شدند. داده‌های خروجی با استفاده از موتور UWG تحلیل و با داده‌های اقلیمی مرجع مقایسه گردید. نتایج نشان داد که مصالح با بازتاب بالا، به‌ویژه شیشه، سبب افزایش قابل توجه دمای محیطی در ساعات اوج تابش (۹ تا ۱۵) می‌شوند. در سناریوی نمای شیشه‌ای، بیشینه اختلاف دما با حالت مرجع به بیش از ۵.۵ درجه سانتی‌گراد رسید. این یافته‌ها بر اهمیت توجه به انتخاب مصالح مناسب در طراحی نمای شهری، به‌منظور کاهش اثرات منفی UHI و بهبود آسایش حرارتی بیرونی تأکید دارند.

کلیدواژگان: انعکاس، مصالح نماهای ساختمانی، دمای محیطی، جزیره حرارتی شهری

تاریخ دریافت: ۳ بهمن ۱۴۰۳

تاریخ بازنگری: ۱۰ اردیبهشت ۱۴۰۴

تاریخ پذیرش: ۱۸ اردیبهشت ۱۴۰۴

تاریخ انتشار: ۳۰ خرداد ۱۴۰۴



مقدمه

در دهه‌های اخیر، رشد سریع شهرنشینی و گسترش ساخت‌وساز در نواحی شهری موجب بروز تغییرات چشمگیری در سامانه‌های اقلیمی محلی شده است (1-4). یکی از پدیده‌های نگران‌کننده در این زمینه، پدیده‌ی «جزیره حرارتی شهری (UHI)» است که به افزایش دمای هوای مناطق شهری نسبت به نواحی پیرامونی روستایی و طبیعی اشاره دارد (5, 6). این پدیده نه تنها موجب افزایش مصرف انرژی در شهرها می‌شود، بلکه اثرات منفی متعددی بر سلامت انسان، آسایش حرارتی، و حتی بهره‌وری اقتصادی شهروندان دارد (7).

جزایر حرارتی شهری معمولاً بر اساس لایه‌ای از جو شهری که در آن قرار دارند تعریف می‌شوند (8-10). لایه سایه‌انداز شهری (Urban Canopy Layer-UCL) بخشی از جو شهری است که از سطح زمین تا حدود میانگین ارتفاع ساختمان‌ها امتداد دارد. لایه مرزی شهری (Urban Boundary Layer-UBL) دقیقاً در بالای لایه سایه‌انداز قرار دارد و تا بالای ساختمان‌ها گسترش می‌یابد. علاوه بر این، پدیده‌ای به نام جزیره حرارتی سطحی شهری (Surface Urban Heat Island-SUHI) نیز وجود دارد که به تفاوت دمای سطح زمین در مناطق شهری اشاره دارد. جزایر حرارتی سطحی در تمام ساعات شبانه‌روز قابل مشاهده هستند، اما در طول روزهای تابستان شدت بیشتری دارند. بیشترین دماهای سطحی معمولاً در طول روز ثبت می‌شوند، زمانی که سطوح نفوذناپذیر مانند آسفالت و بتن بیشترین میزان تابش خورشید را دریافت می‌کنند. جزایر حرارتی سطحی شهری در طول روز بیشترین تغییرات مکانی و زمانی را دارند و در شب کمی پایدارتر می‌شوند. دمای سطح زمین در اقلیم شهری اهمیت زیادی دارد، چراکه دمای هوا در لایه‌های پایین‌تر جو را تنظیم می‌کند، که این لایه‌ها بیشترین تأثیر را بر ساکنان شهر دارند (11-13).

تشدید اثر جزیره حرارتی در مناطق پرجمعیت، به‌ویژه در اقلیم‌های خشک و نیمه‌خشک مانند ایران، به دلیل ویژگی‌های خاص اقلیمی، اهمیت دوچندان دارد (14-16). در کشورهایی نظیر ایران که روزهای آفتابی فراوان و میزان بارش سالانه محدود است، میزان تابش خورشیدی بالا و نرخ تبخیر پایین باعث می‌شود گرمای جذب‌شده توسط سطوح شهری به‌سرعت در محیط منتشر شده و سبب افزایش دمای کلی شود (17, 18). تهران، به‌عنوان بزرگ‌ترین شهر و پایتخت ایران، در سال‌های اخیر با چالش‌های فراوانی در حوزه‌ی گرمایش شهری مواجه بوده و نمونه‌ی بارزی از شهرهایی است که تحت تأثیر شدید UHI قرار دارند (19).

تحقیقات گسترده‌ای در حوزه‌ی ریشه‌یابی عوامل مؤثر بر جزیره حرارتی انجام شده است. در میان این عوامل، نوع و خصوصیات مصالح ساختمانی از اهمیت ویژه‌ای برخوردار است (20, 21). مصالح مورد استفاده در نما، کف، پشت‌بام و محوطه‌های شهری، از طریق ویژگی‌هایی مانند ظرفیت گرمایی، ضریب رسانش حرارتی، ضریب بازتاب (آلبدو) و توانایی در جذب و گسیل تابش خورشیدی، می‌توانند به‌صورت مستقیم در تعدیل یا تشدید دمای محیط مؤثر باشند (22).

بیشتر پژوهش‌های گذشته تمرکز خود را بر روی مصالح افقی نظیر آسفالت خیابان‌ها، بام‌های تیره‌رنگ و سطوح کف شهری قرار داده‌اند (11, 23, 24). این در حالی است که نقش سطوح قائم، به‌ویژه نماهای ساختمانی، در افزایش دمای محیطی کمتر مورد توجه قرار گرفته است (25, 26). نماها معمولاً بخش زیادی

از سطوح در معرض تابش مستقیم را در مناطق پرتراکم شهری تشکیل می‌دهند و بسته به جنس، رنگ، زبری و میزان بازتاب، می‌توانند نقش عمده‌ای در بازپخش یا جذب گرمای خورشید ایفا کنند (27, 28).

پژوهشگران راهبردهای متعددی را برای کاهش پدیده جزیره حرارتی شهری پیشنهاد کرده‌اند. این راهبردها را می‌توان به سه دسته اصلی تقسیم کرد: راهبردهای سبز، راهبردهای آبی و راهبردهای سفید. راهبردهای سبز شامل استفاده از درختان و سطوح سبز افقی و عمودی می‌شود (29-32). راهبردهای آبی شامل استفاده از کف‌پوش‌های تبخیری و مرطوب‌سازی خیابان‌هاست (33, 34). و راهبردهای سفید شامل به‌کارگیری مصالحی با آلودگی (بازتابش) بالا در پوشش‌های شهری می‌باشد (35-37). راهکارهای کاهش جزیره حرارتی شهری از طریق پوسته خارجی ساختمان‌ها به دو دسته اصلی تقسیم می‌شوند: افزایش بازتابش خورشیدی و افزایش تبخیر و تعرق (38, 39). آلودگی سطح خارجی ساختمان‌ها و کف‌پوش‌های شهری، پارامتری مهم در تعیین عملکرد انرژی ساختمان در جهت سرمایش و کاهش اثر جزیره حرارتی شهری به‌شمار می‌رود. این هدف از طریق استفاده از پوشش‌های رنگی سرد و پوشش‌های بازتابنده مانند مصالح بازتابنده برگشتی (retro-reflective materials) قابل دستیابی است (40, 41). از سوی دیگر، تبخیر و تعرق با استفاده از سطوح سبز و درختان، همچنین فضای سبز عمودی مانند نماهای سبز و بام‌های سبز افزایش می‌یابد (42, 43).

استفاده‌ی روزافزون از نماهای شیشه‌ای، فلزی و مصالح با بازتاب بالا، اگرچه ممکن است به بهبود عملکرد انرژی در داخل ساختمان کمک کند، اما می‌تواند سبب بازتاب شدید نور و گرما به فضای بیرونی شده و باعث افزایش دمای هوا در اطراف ساختمان‌ها شود (44, 45). این مسئله به‌ویژه در خیابان‌های باریک یا فضاهای نیمه‌باز که تهویه طبیعی به‌سختی صورت می‌گیرد، می‌تواند منجر به ایجاد ریزاقلیم‌های داغ و ناسالم شود (46).

از سوی دیگر، ترکیب پیچیده‌ای از عوامل دیگر نظیر تراکم ساختمانی، ارتفاع ساختمان‌ها، میزان فضای سبز، جهت‌گیری معابر، مواد پوششی زمین و جریان هوا نیز بر شدت UHI مؤثر هستند (47, 48). اما در این میان، نقش مصالح ساختمانی نما به‌دلیل قرارگیری گسترده در سطح شهری و تماس مستقیم با تابش خورشید، به‌ویژه در ساعات اوج تابش (۹ تا ۱۵)، نیازمند بررسی دقیق‌تری است (49).

در شرایط فعلی شهر تهران که با افزایش تراکم، کاهش فضای سبز، و گرمایش روزافزون روبه‌رو است، توجه به مصالح ساختمانی از منظر تأثیر بر اقلیم شهری نه‌تنها یک ضرورت زیست‌محیطی، بلکه گامی در جهت ارتقاء کیفیت زندگی شهری و بهینه‌سازی مصرف انرژی تلقی می‌شود. این ضرورت به‌ویژه در نواحی با ساختار شهرسازی متراکم مانند شهرک اکباتان که دارای بلوک‌های بلندمرتبه و نماهای گسترده است، پررنگ‌تر می‌شود.

شهرک اکباتان به‌عنوان یکی از نخستین پروژه‌های بلندمرتبه‌سازی در ایران، نمونه‌ای مناسب برای بررسی تأثیر مصالح نما بر دمای محیطی است. ویژگی‌هایی چون تراکم ساختمانی بالا، استفاده از مصالح گوناگون در نما، فاصله کم میان ساختمان‌ها، و نزدیکی به منابع داده‌های هواشناسی (مانند ایستگاه مهرآباد) باعث می‌شود تا این شهرک به‌عنوان یک نمونه‌ی قابل تعمیم در مطالعات شهری مدنظر قرار گیرد.

در این پژوهش، تلاش شده تا تأثیر سه نوع مختلف از نماهای ساختمانی (شیشه، آلومینیوم و سنگ تراورتن) بر دمای محیطی بررسی شود. سناریوهای مدل‌سازی در سه حالت مختلف (وضع موجود، نمای شیشه‌ای کامل، و شرایط بدون عوارض انسانی نظیر فضای سبز و ترافیک) با استفاده از نرم‌افزار Grasshopper و پلاگین Dragonfly در محیط Ladybug Tools طراحی شده‌اند. نتایج حاصل، با داده‌های مبنای هواشناسی مقایسه شده تا اثرات دقیق‌تر مصالح بر افزایش دمای محیطی تحلیل گردد.

تحلیل‌های آماری انجام‌شده، شامل مقایسه داده‌های دمایی به‌صورت ساعت-ماهانه، سالیانه و همچنین بررسی میزان اختلاف دما در شرایط مختلف، نشان می‌دهد که جنس مصالح نما تأثیر معنی‌داری بر شدت UHI دارد. به‌ویژه نماهای شیشه‌ای به دلیل بازتاب زیاد و نفوذپذیری بالا در برابر انرژی خورشیدی، بیشترین تأثیر را بر افزایش دمای خشک محیطی داشته‌اند. همچنین در ساعاتی از روز که تابش خورشید شدیدتر است، تفاوت دمای محیط در سناریوهای مختلف بیشتر آشکار شده است.

با استناد به نتایج به‌دست‌آمده، می‌توان چنین نتیجه گرفت که طراحی نماهای شهری باید فراتر از ملاحظات زیبایی‌شناسانه و عملکرد درون‌ساختمانی، به تأثیر آن‌ها بر اقلیم شهری نیز توجه نماید. استفاده از مصالح با آلودگی مناسب، جذب گرمای کم، و بازتاب کنترل‌شده می‌تواند به کاهش دمای محیط و تعدیل اثرات جزیره‌ی حرارتی شهری کمک کند.

این پژوهش در تلاش است تا به یکی از شکاف‌های تحقیقاتی در ادبیات جزایر حرارتی پاسخ دهد، یعنی بررسی نقش سطوح قائم در کنار سطوح افقی در تشدید گرمای شهری. انتظار می‌رود یافته‌های این تحقیق بتواند به بهینه‌سازی سیاست‌های طراحی شهری، اصلاح مقررات ساختمانی، و توسعه‌ی مصالح ساختمانی سازگار با اقلیم منجر شود.

روش‌شناسی پژوهش

در این پژوهش از روش توصیفی کمی و به صورت مقایسه‌ای برای تحلیل داده‌های آماری استفاده شده است. در این نوع تجزیه و تحلیل، با توجه به اینکه تجزیه و تحلیل به صورت کمی است، داده‌های جمع‌آوری شده با استفاده از شاخص‌های آماری-توصیفی، خلاصه و طبقه‌بندی گردید. به عبارت دیگر، در تجزیه و تحلیل توصیفی ابتدا داده‌های جمع‌آوری شده را با تهیه و تنظیم جدول توزیع فراوانی خلاصه کرده و سپس به کمک نمودار نمایش داده شد و سرانجام، با استفاده از سایر شاخص‌های آمار توصیفی خلاصه‌سازی انجام گرفت. مهم‌ترین شاخص‌های آمار توصیفی که کاربرد زیادی دارند عبارتند از: میانگین، میانه و انحراف استاندارد.

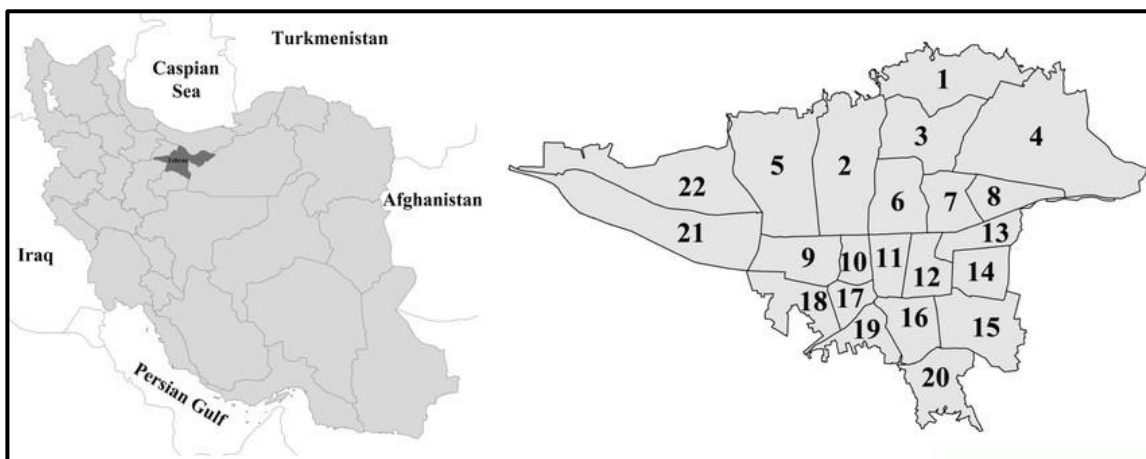
پس از خلاصه‌سازی آمار با استفاده از تجزیه و تحلیل مقایسه‌ای علاوه بر اینکه اطلاعات جمع‌آوری شده به صورت توصیفی مورد تجزیه و تحلیل قرار گرفتند، با یکدیگر نیز مقایسه می‌شوند. سؤالی که در این تجزیه و تحلیل مطرح است، این است که؛ آیا شاخص آماری محاسبه‌شده بزرگ‌تر یا کوچک‌تر از شاخص آماری دیگر است؟

محدوده مورد مطالعه

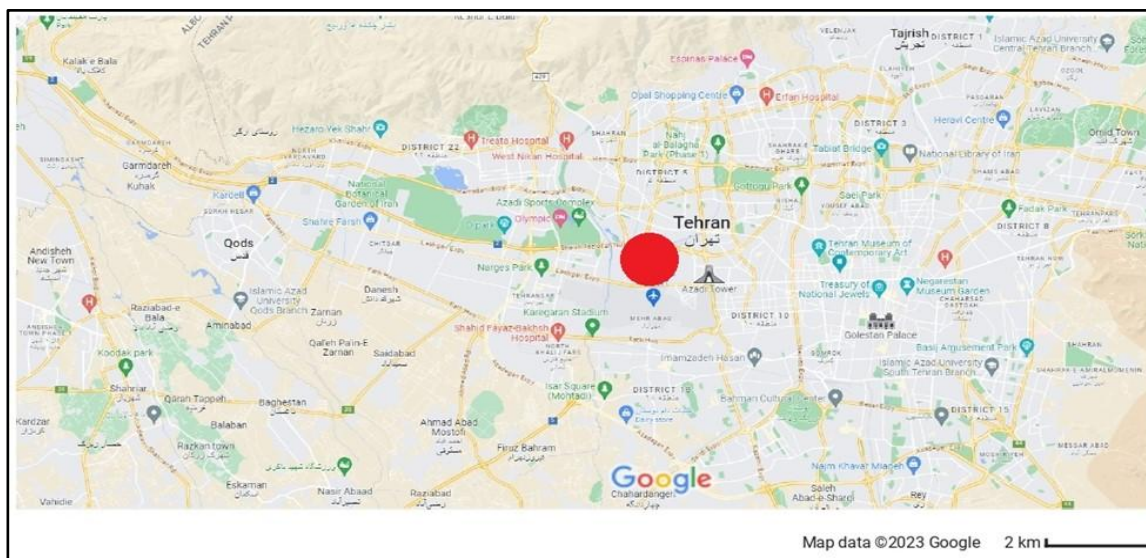
مطالعه موردی این تحقیق، بخش جنوبی فاز یک شهرک اکباتان در شهر تهران است که به دلیل ویژگی‌های کالبدی خاص، تراکم بالای ساختمان‌ها، تنوع مصالح نمای موجود و نزدیکی به ایستگاه هواشناسی مهرآباد، به عنوان محدوده‌ای مناسب برای ارزیابی رفتار حرارتی انتخاب شده است. این منطقه شامل ۱۰ بلوک ساختمانی در بافتی متراکم و در امتداد محور شمالی-جنوبی است و دارای کاربری‌های مسکونی، آموزشی و تجاری می‌باشد.

شهرک اکباتان به عنوان یکی از بزرگترین شهرک‌های خاورمیانه در شمال جاده مخصوص کرج و در ۵ کیلومتری میدان آزادی تهران واقع است و بر اساس نظام تقسیمات کالبدی شهرداری تهران، بخشی از ناحیه ۶ منطقه ۵ تهران محسوب می‌شود. ناحیه‌ای به نسبت گسسته از ساختار کل منطقه که تنها، موقعیت

جغرافیایی آن سبب تجمع آن با سایر نواحی شده است. شهرک اکباتان به عنوان یکی از نخستین تجربیات نظام شهرسازی ایران در زمینه بلندمرتبه سازی و به واسطه موقعیت مکانی آن که در یکی از مبادی ورودی تهران واقع شده، نه تنها در سطح منطقه، بلکه در سطح شهر نیز واجد جایگاه و اهمیت خاصی است. این شهرک که از شمال به کوی فردوس، از جنوب به فرودگاه مهرآباد، از غرب به صنایع هواپیماسازی و از شرق به شهرک آپادانا محدود می شود، از سه فاز و ۳۳ بلوک ساختمانی تشکیل گردیده و جمعیتی حدود ۷۰۰۰۰ نفر را شامل می گردد که در ۱۵۵۹۳ واحد مسکونی سکونت داراست.

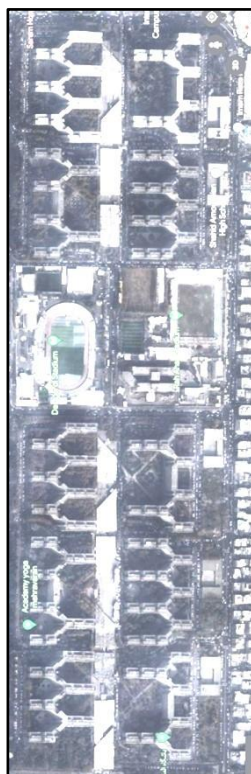


شکل ۱: محدوده مورد مطالعه- نقشه موقعیت مکانی شهر تهران در کشور ایران (<https://ostan-th.ir>)



شکل ۲: محدوده مورد مطالعه- نقشه موقعیت مکانی شهرک اکباتان در سطح شهر تهران (<https://ostan-th.ir>)

فاز یک؛ شامل: ۱۰ بلوک که توسط ورزشگاه پاس و راه آهن به دو قسمت تقسیم شده اند. در شمال ورزشگاه ۴ بلوک و در جنوب آن ۶ بلوک قرار دارد که قسمت جنوبی منطقه مورد مطالعه می باشد.



شکل ۳: شکل هوایی فاز یک اکباتان (<https://ostan-th.ir>)



شکل ۴: نقشه سایت منطقه جنوبی ورزشگاه فاز یک اکباتان (<https://ostan-th.ir>)

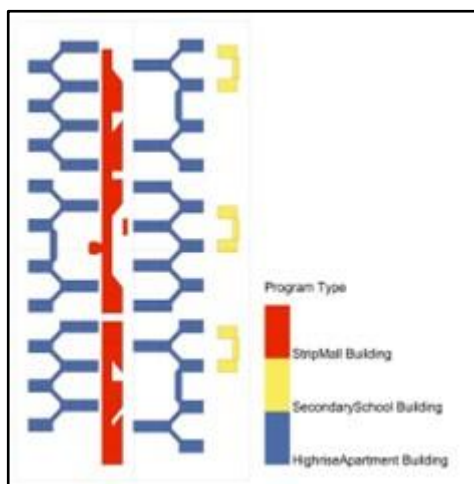
بلوک‌های این بخش از فاز یک اکباتان بصورت پلکانی طراحی شده و تعداد هفت، نه و سیزده طبقه دارند. مجموع تعداد واحدهای مسکونی ۳۳۲۰ عدد می‌باشد. در این محدوده راسته تجاری در امتداد شمالی-جنوبی و همچنین سه باب مدرسه در سمت شرق مجموعه قرار دارند. سایت دارای کشیدگی شمالی-جنوبی بوده و مساحت آن ۱۸۵۶۰۰ مترمربع به ابعاد ۵۸۰*۳۲۰ مترمربع می‌باشد.

جدول ۱: ساختمان‌های محدوده مورد مطالعه.

کاربری‌ها	تعداد واحد	سطح اشغال (مترمربع)	توضیحات
بلوک A۱	۵۱۷	۵۰۱۰	
بلوک A۲	۵۳۳	۵۰۱۰	
بلوک A۳	۵۳۰	۵۰۱۰	
بلوک B۱	۶۱۳	۵۹۱۴	
بلوک B۲	۶۱۳	۵۹۱۴	
بلوک B۳	۵۱۴	۴۹۵۰	
راسته تجاری	-	۱۳۵۳۷	
مدرسه	-	۳*۱۲۰۳	

ابزارهای مورد پژوهش

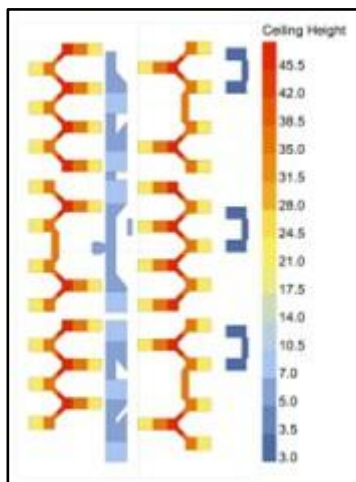
برای تعیین شرایط حرارتی فضای باز از الگوریتم شبیه‌سازی گرس‌هاپر استفاده شده است. ابتدا خصوصیات منطقه، شامل: ریخت‌شناسی احجام و سطوح، ارتفاع، تعداد طبقات، بار ترافیکی، ویژگی‌های زمین، درصد پوشش گیاهی و مصالح پوسته حرارتی ساختمان و محوطه با استفاده از ابزارهای هانی‌پی و دراگون‌فلای اعمال شد. سپس با استفاده از داده‌های آب‌وهوایی نزدیک‌ترین ایستگاه هواشناسی محاسبات شبیه‌سازی انجام گردید.^۱ نزدیکی سایت به فرودگاه مهرآباد سبب شد داده‌های آب‌وهوایی منطبق بر شرایط وضع موجود باشد. در این مرحله با اعمال مصالح نما در چهار وضعیت (وضع موجود، شیشه، سنگ تراورتن و آلومینیوم)، عملیات شبیه‌سازی با موتور پردازشگر UWG^2 اجرا شده و خروجی‌های نرم‌افزار در قالب داده‌های آب‌وهوایی جدید دریافت شد.



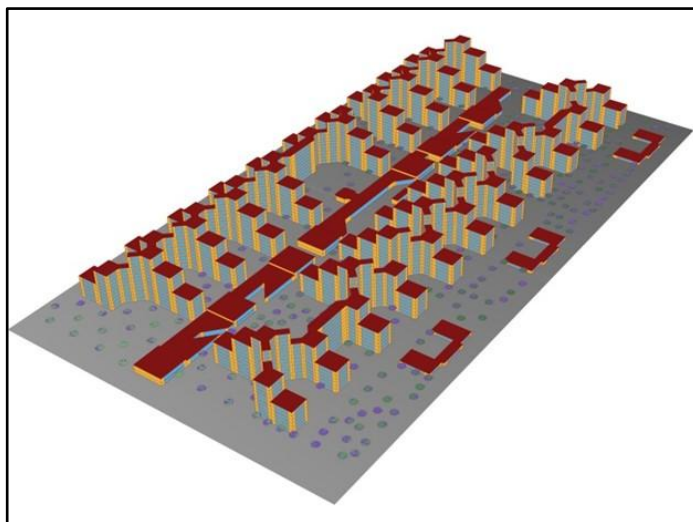
شکل ۵: عملکردهای موجود در سایت

^۱ در این پژوهش از فایل EPW ایستگاه فرودگاه مهرآباد استفاده شد. (IRN_Tehranmehrabad.407540_ITMY.epw) نرم‌افزار شکل‌گیری آب و هوای شهری که می‌تواند اثر جزیره گرمایی شهری را در یک سیستم مقیاس همسایگی ثبت کند.

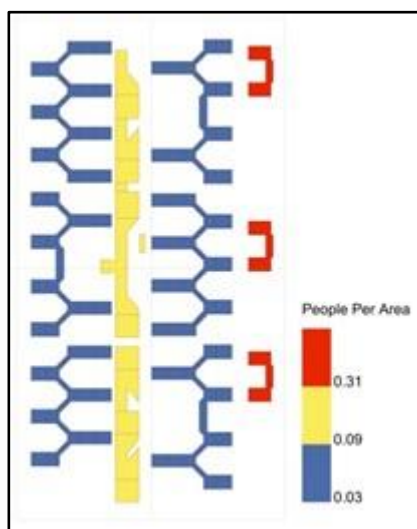
² Urban Weather Generator



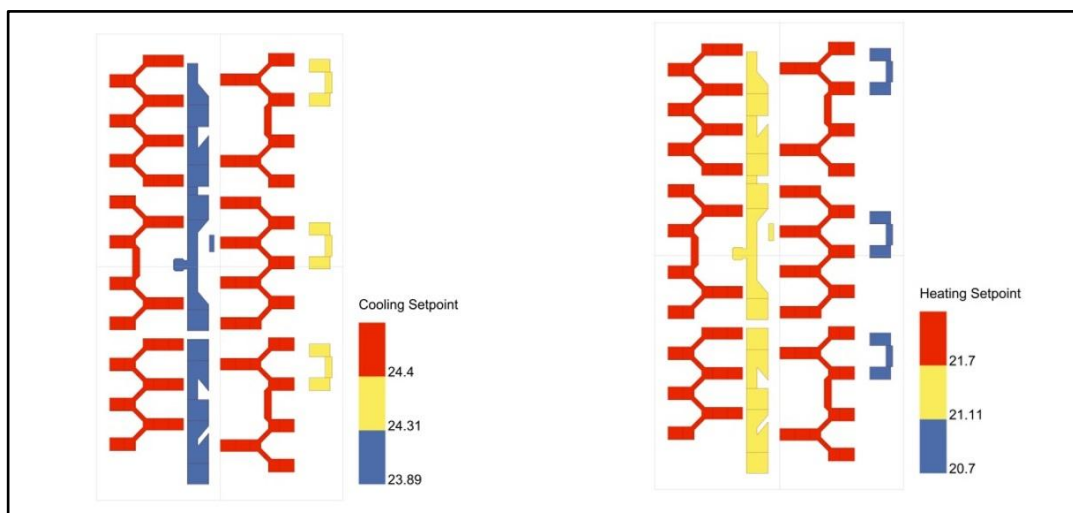
شکل ۶: ارتفاع احجام ساختمانی در سایت



شکل ۷: مدلسازی حجمی در نرم افزار



شکل ۸: توزیع جمعیتی در سطح



شکل ۹: محدوده آسایش در زمستان و تابستان

داده‌های ورودی

داده‌های ورودی مورد نیاز شامل:

- اطلاعات هندسی ساختمان‌ها (ارتفاع، سطح اشغال، تعداد طبقات، جهت‌گیری)؛
- ویژگی‌های فیزیکی مصالح نمای مورد استفاده (ضریب هدایت، ظرفیت گرمایی، آلبدو، ضریب گسیل)؛
- داده‌های هواشناسی سالانه، برگرفته از ایستگاه هواشناسی فرودگاه مهرآباد در نزدیکی سایت؛
- اطلاعات مربوط به پوشش گیاهی، تراکم جمعیت، ترافیک و کاربری اراضی.

طراحی سناریوهای شبیه‌سازی

جهت تحلیل تأثیر مصالح نما، سه سناریوی اصلی مدل‌سازی تعریف شد:

- وضع موجود (با مصالح نما از نوع بتن و سنگ تراورتن)
 - نماهای تمام شیشه‌ای (با فرض بازتاب بالا)
 - حالت بدون عوارض انسانی (حذف فضای سبز، جمعیت و ترافیک برای تمرکز بر تأثیر مصالح)
- در هر سناریو، مدل سه‌بعدی ساختمان‌ها و فضاهای باز محدوده با دقت بالا ساخته شد و به آن مصالح مورد نظر نسبت داده شد.

فرآیند شبیه‌سازی

شبیه‌سازی حرارتی برای کل سال در بازه زمانی ساعتی انجام گرفت. با استفاده از موتور پردازش UWG، داده‌های اقلیمی اصلاح‌شده با در نظر گرفتن اثرات شهری (Urban Canopy Layer) تولید شد. سپس خروجی‌های دمایی برای هر سناریو استخراج و با داده‌های مرجع مقایسه گردید.

شاخص‌ها و معیارهای ارزیابی

برای تحلیل نتایج، از شاخص‌های آماری-اقلیمی زیر استفاده شد:

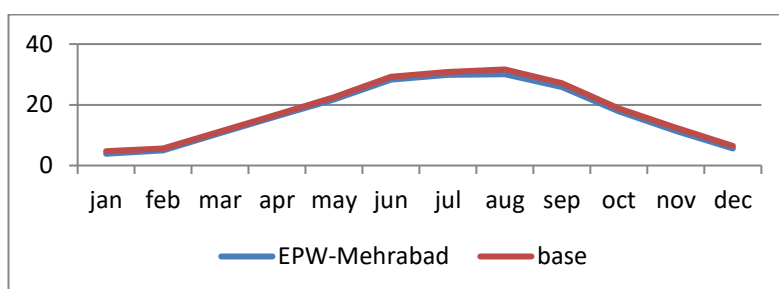
- دمای هوای خشک (Dry Bulb Temperature) در مقیاس ساعتی، ماهیانه و سالانه؛
- اختلاف دمای محیطی بین حالت مبنا و سناریوهای شبیه‌سازی شده؛
- میانگین، انحراف معیار، حداکثر و حداقل دما در بازه‌های زمانی مختلف؛
- نمودارهای ساعت- ماهیانه و ساعت- سالانه برای بررسی الگوهای گرمایشی.

روش تحلیل داده‌ها

پس از استخراج داده‌های حرارتی، تحلیل آماری به صورت توصیفی و مقایسه‌ای انجام شد. نمودارهای توزیع دما برای هر سناریو ترسیم شده و اختلاف دمایی با شرایط مرجع (EPW) بررسی گردید. تمرکز اصلی تحلیل‌ها بر بازه زمانی ساعت ۹:۰۰ تا ۱۵:۰۰ بوده که اوج تابش خورشیدی در تهران است. در نهایت، مصالح بر اساس بیشترین تأثیر در افزایش دما، رده‌بندی و اولویت‌بندی شدند.

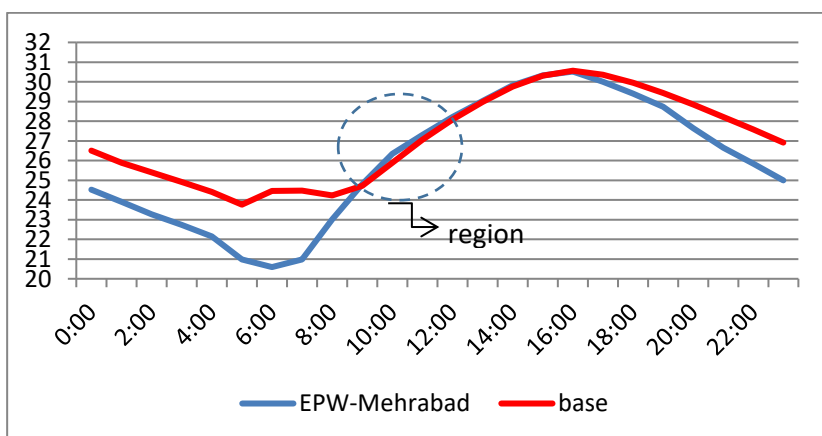
یافته‌های پژوهش

در مقایسه نمودار دمای میانگین ماهیانه وضع موجود با دمای میانگین ماهیانه مرجع، مشاهده می‌شود که دمای وضع موجود محدوده مورد مطالعه همواره بیشتر از دمای مرجع می‌باشد که قابل پیش‌بینی است. (شکل ۱۰)

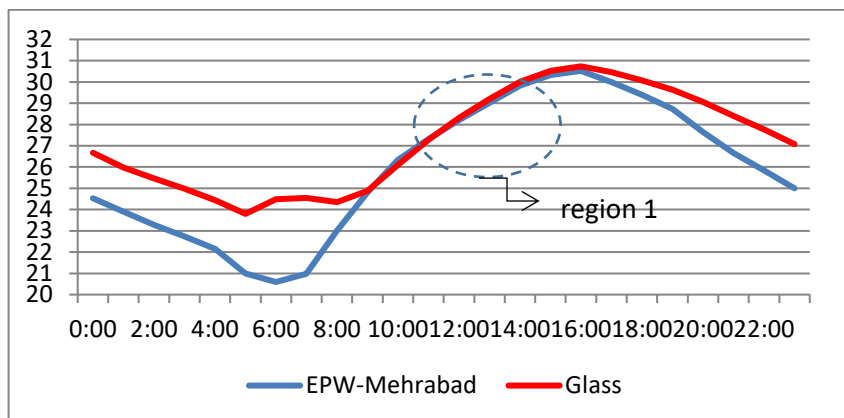


شکل ۱۰: نمودار متوسط دمای ساعتی- ماهانه برای ماه‌های مختلف

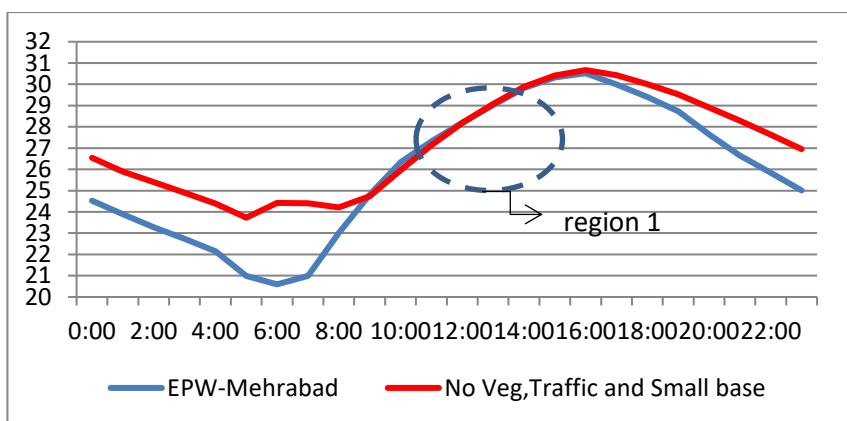
اما با بررسی نمودار ساعت- ماهیانه مبنا و محدوده مورد مطالعه با نماهای متفاوت مشاهده می‌شود در بازه زمانی ساعت ۹:۰۰ تا ۱۵:۰۰ روند، معکوس گشته و دمای محیطی محدوده کمتر از دمای مبنا می‌باشد. نمودارها در شکل ۱۱ تا ۱۵، این روند را برای مصالح مختلف نشان می‌دهند.



شکل ۱۱: نمودار مقایسه دمای ساعت- ماهیانه مبنا و وضع موجود

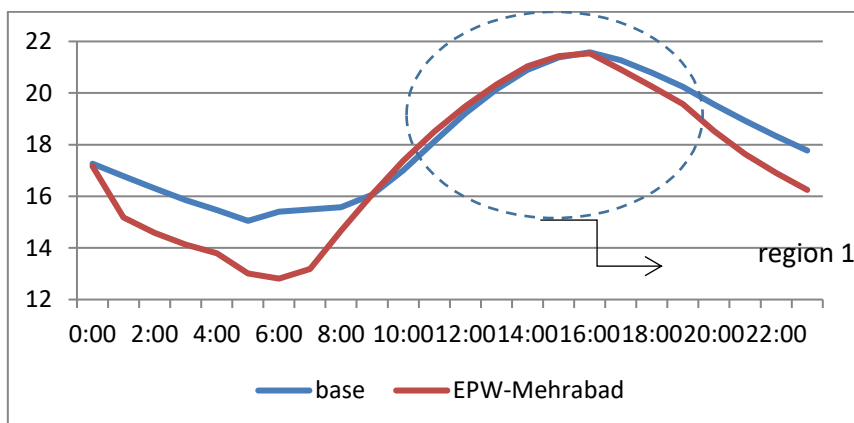


شکل ۱۲: نمودار مقایسه دمای ساعت-ماهانه مبنا و نمای شیشه

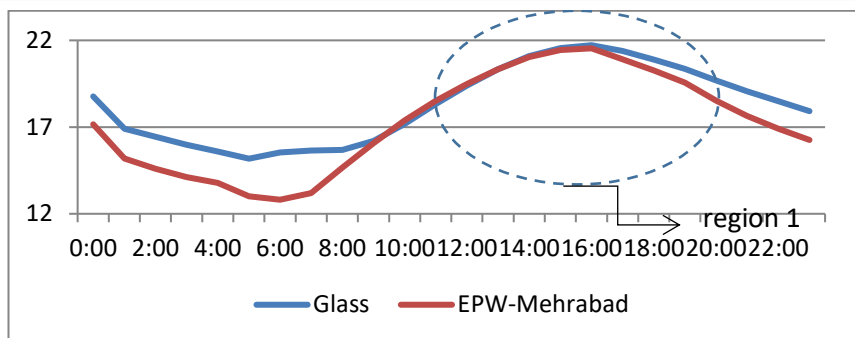


شکل ۱۳: نمودار مقایسه دمای ساعت-ماهانه مبنا و حالت بدون عوارض محیطی

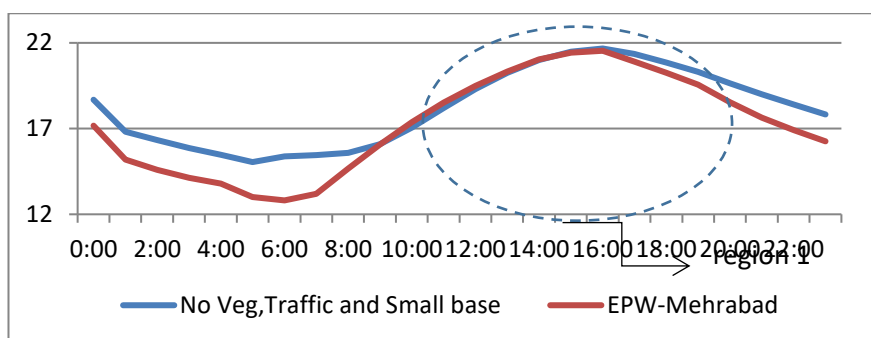
مقایسه نمودارهای میانگین ساعتی - سالانه نیز همان نتایج را نشان می‌دهد.



شکل ۱۴: نمودار مقایسه دمای ساعت-سالانه مبنا و وضع موجود

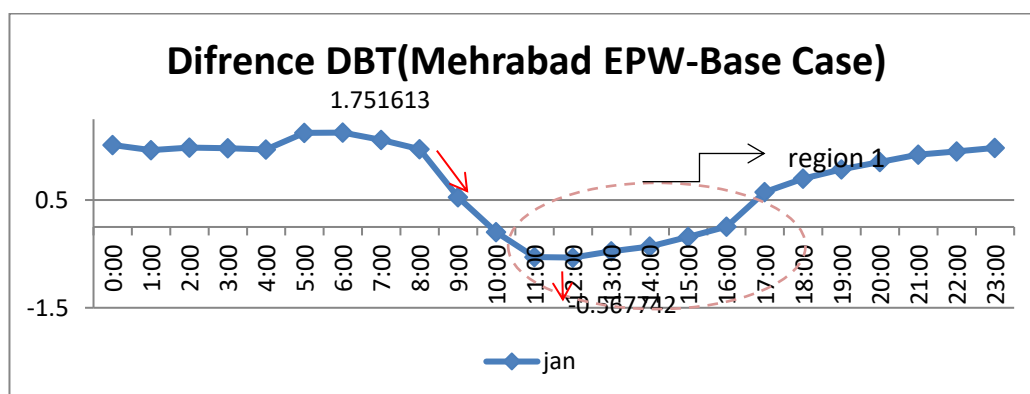


شکل ۱۵: نمودار مقایسه دمای ساعت-سالانه مبنا و نمای شیشه



شکل ۱۶: نمودار مقایسه دمای ساعت-سالانه مبنا و حالت بدون عوارض محیطی

با بررسی نمودارها در شکل‌های ۱۱ تا ۱۶، که اختلاف دمای وضع موجود محدوده مورد مطالعه و مبنا را در حالت‌های مختلف نشان می‌دهد، درمی‌یابیم که؛ در بازه زمانی ۹:۰۰ الی ۱۶:۰۰ اختلاف دما منفی می‌باشد که نشانگر دمای کمتر محدوده مورد مطالعه نسبت به مبنا می‌باشد. نکته قابل توجه دیگر شیب تند تغییرات اختلاف دماست، از حداکثر (ساعت ۶:۰۰) به هم دمایی (ساعت ۹:۰۰) و در طول سه ساعت اتفاق می‌افتد. بررسی نمودارها تا ساعات بعدازظهر نشان می‌دهد که دمای هوای محدوده مورد مطالعه از آمار هواشناسی مرجع پایین‌تر است. بنابراین با توجه به وضعیت الگوهای نموداری بررسی عواملی همچون: سایه‌اندازی احجام، نمایانی آسمان و تاثیر جریان هوا بر این الگوها جهت پژوهش‌های آتی پیشنهاد می‌گردد. از میان ماه‌های سال بیشترین اختلاف دما در ماه آگوست اتفاق افتاده که به میزان ۵.۴ سانتی‌گراد و در وضعیت کاهشی در ماه نوامبر به میزان ۰.۸۳- درجه سانتی‌گراد است.



شکل ۱۷: نمودار مقایسه اختلاف دمای ساعت-ماهانه مبنا و وضع موجود

دسته‌بندی مصالح نما بر اساس میزان تأثیر بر افزایش دمای محیطی

جدول ۲: حداکثر و حداقل اختلاف دمای ساعت-ماه‌یانه

مصالح	بدون عوارض محیطی	شیشه	وضع موجود (بتن)
حداکثر	۵.۳۷۱	۵.۵۰۳	۵.۴۱۶
حداقل	-۰.۷۸۷	-۰.۶۴۷	-۰.۸۳۳

جدول ۳: حداکثر و حداقل اختلاف دمای ماه‌یانه

مصالح	بدون عوارض محیطی	شیشه	وضع موجود (بتن)
حداکثر	۱.۶۹۱	۱.۷۹۴	۱.۵۹۳
حداقل	۰.۵۴۹	۰.۵۴۶	۰.۴۴۸

جدول ۴: حداکثر و حداقل اختلاف دمای روزانه

مصالح	بدون عوارض محیطی	شیشه	وضع موجود (بتن)
حداکثر	۲.۸۲۵	۲.۸۶۷	۲.۷۹۶
حداقل	-۰.۴۹۲	-۰.۳۳۷	-۰.۴۶۲

با توجه به بررسی‌های انجام شده، میزان تأثیر بر افزایش دمای محیطی بسته به ویژگی‌های فیزیکی مصالح متغیر است.

جدول ۵: دسته‌بندی مصالح بر مبنای بیشترین تأثیر بر افزایش دمای خشک محیطی حداکثر

ردیف	مصالح	دمای محیطی حداکثر (DBT) °C	دمای محیطی حداقل (DBT) °C
۱	شیشه	۵.۵۰۳۲۳	-۰.۶۴۶۷
۲	آلومینیوم	۵.۴۰۹۶۸	-۰.۷۹۶۷
۳	بدون عوارض محیطی	۵.۳۷۰۹۷	-۰.۷۸۶۷

جدول ۶: دسته‌بندی مصالح بر مبنای بیشترین تأثیر بر افزایش دمای خشک محیطی

ردیف	مصالح	دمای محیطی حداکثر (DBT) °C	دمای محیطی حداقل (DBT) °C	دمای محیطی متوسط (DBT) °C
۱	شیشه	۵.۵۰۳۲۳	-۰.۶۴۶۶۶۷	۱.۰۴۴۵۲۴۵۱
۲	بدون عوارض محیطی	۵.۳۷۰۹۷	-۰.۷۸۶۶۶۷	۰.۹۴۸۶۱۹۰۴
۳	وضع موجود (بتن)	۵.۴۱۶۱۳	-۰.۸۳۳۳۳۴	۰.۸۹۸۴۵۸۷۷

نتایج حاصل از شبیه‌سازی‌ها و تحلیل داده‌ها نشان داد که نوع مصالح نمای ساختمانی تأثیر قابل توجهی بر دمای خشک محیطی (DBT) در محدوده مورد مطالعه دارد. بررسی داده‌ها در سه سناریوی «وضع موجود»، «نمای تمام‌شیشه‌ای» و «حالت بدون عوارض انسانی» بیانگر آن است که مصالح با بازتاب بالا، به‌ویژه شیشه، بیشترین افزایش دما را در ساعات اوج تابش خورشیدی (۹:۰۰ تا ۱۵:۰۰) ایجاد می‌کنند.

تحلیل نمودارهای ساعت-ماهانه نشان داد که در حالت نمای شیشه‌ای، بیشینه اختلاف دمای محیطی نسبت به داده‌های مرجع به ۵٫۵۰۳ درجه سانتی‌گراد رسید. این در حالی است که در حالت موجود (بتن) و حالت بدون عوارض انسانی، این اختلاف به‌ترتیب ۵٫۴۱۶ و ۵٫۳۷۱ درجه سانتی‌گراد بود.

یافته‌ها حاکی از آن است که در بخش قابل توجهی از روز، به‌ویژه از ساعت ۹ تا ۱۶، اختلاف دما نسبت به مرجع منفی شده و محدوده مطالعه خنک‌تر از شرایط مرجع بوده است. این امر می‌تواند ناشی از اثر سایه‌اندازی و کاهش تابش مستقیم در برخی ساعات باشد. با این حال، در بازه‌های اوج تابش، بازتاب شدید از سطوح شیشه‌ای باعث افزایش محسوس دما شده است.

مقایسه فصلی نتایج نشان داد که بیشترین اختلاف دمای مثبت در ماه آگوست (۵٫۴ درجه سانتی‌گراد) و کمترین اختلاف دمای منفی در ماه نوامبر (۰٫۸۳- درجه سانتی‌گراد) رخ داده است. این نتایج بر اهمیت انتخاب مصالح نما با آلودگی کنترل‌شده و ضریب گسیل مناسب در اقلیم گرم و خشک تهران تأکید می‌کند.

بحث و نتیجه‌گیری

یافته‌های این تحقیق به‌روشنی نشان می‌دهند که مصالح نمای ساختمانی نقش چشم‌گیری در افزایش یا کاهش دمای محیطی و تشدید اثر پدیده‌ی جزیره حرارتی شهری (UHI) دارند. سنجش دمای هوای خشک (DBT) در سناریوهای مختلف نشان داد که استفاده از مصالحی با بازتاب بالا، به‌ویژه شیشه، سبب افزایش دمای محیطی در بازه زمانی تابش مستقیم خورشید می‌شود. این یافته با نتایج بسیاری از مطالعات بین‌المللی همچون (50) و (51) هم‌راستا است که بر نقش بازتاب شدید سطوح شیشه‌ای در افزایش دمای خیابان‌ها تأکید دارند.

در این مطالعه، مشخص شد که در ساعات میانی روز (۹ تا ۱۵)، دمای محیطی در سناریوی نمای شیشه‌ای تا حدود ۵٫۵ درجه سانتی‌گراد نسبت به حالت مرجع افزایش داشته است. همچنین در شرایط بدون عوارض انسانی نیز اثر مصالح همچنان محسوس بوده که نشان می‌دهد نقش مصالح مستقل از ترافیک و جمعیت نیز برجسته است. این موضوع بر اهمیت توجه به جنس و رفتار حرارتی مصالح در طراحی نمای ساختمان‌ها در اقلیم‌های گرم و خشک مانند تهران تأکید می‌گذارد.

یکی از یافته‌های جالب در تحلیل نمودارها، اختلاف معکوس دما در برخی ساعات صبح (مثلاً ساعت ۶:۰۰ تا ۹:۰۰) بود که ممکن است ناشی از پدیده سرمایش شبانه در مصالح با ظرفیت حرارتی بالا باشد. درواقع، مصالحی مانند بتن ممکن است در شب گرمای جذب‌شده را آزاد کنند و در ابتدای صبح سبب گرم‌تر شدن محیط نسبت به مرجع شوند. اما این اختلاف تا میانه روز با تابش مستقیم جای خود را به افزایش محسوس دمای ناشی از بازتاب می‌دهد.

از دیگر نتایج قابل تأمل، تأثیر چشم‌گیر شیشه و آلومینیوم در افزایش دمای خشک محیطی بود. اگرچه آلومینیوم در این تحقیق جایگاه دوم را از نظر افزایش دمای حداکثری داشت، اما به دلیل بازتاب بالا، در بسیاری از مطالعات به‌عنوان عاملی مؤثر در بروز نقاط داغ در فضاهای باز شناسایی شده است. در مقابل،

مصلحی با رنگ روشن اما با قابلیت جذب بالا (مانند تراورتن) گرمای بیشتری ذخیره کرده ولی بازتاب کمتری ایجاد می کنند که این نیز خود مسئله ای دوگانه در طراحی است.

تحلیل داده ها همچنین نشان داد که در فصل تابستان، اختلاف دمای بین سناریوهای مختلف بیشتر از سایر فصول است. به طور خاص در ماه آگوست، بیشینه اختلاف دما بین نمای شیشه ای و حالت مرجع به بیش از ۵.۴ درجه سانتی گراد رسید که با نتایج (52) در خصوص شدت UHI در فصول گرم مطابقت دارد. این موضوع نشان می دهد که انتخاب مصالح باید با در نظر گرفتن الگوی تابش فصلی و شدت خورشیدی در هر منطقه انجام شود.

از نظر کالبدی، طراحی پلکانی ساختمان های اکباتان، اگرچه در سطوح افقی فرصت سایه اندازی را فراهم می کند، اما در سطوح قائم به ویژه در نماهای جنوبی، امکان برخورد مستقیم نور خورشید را فراهم می سازد. این ساختار کالبدی در ترکیب با مصالح شیشه ای می تواند شدت بازتاب و دمای موضعی را افزایش دهد. بنابراین، حتی فرم معماری نیز به صورت هم افزا با نوع مصالح در ایجاد ریزاقلیم ها نقش دارد.

نکته ی مهم دیگر، عدم تطابق کامل داده های آماری مرجع با داده های شبیه سازی در برخی سناریوهاست. در بسیاری از ساعات، محدوده مورد مطالعه دمایی بالاتر از میانگین سالانه مرجع نشان داد که می تواند ناشی از وجود فضای باز کمتر، سطح نفوذناپذیر بیشتر و تهویه ناکافی باشد. به عبارت دیگر، شرایط فیزیکی شهر نیز در کنار مصالح می تواند سبب تشدید اثر مصالح شود.

با توجه به نتایج این پژوهش، استفاده از نماهای تمام شیشه ای در اقلیم تهران به ویژه در مناطق پرتراکم باید با احتیاط بسیار صورت گیرد. در عوض، پیشنهاد می شود مصالحی با آلودگی کنترل شده، ضریب گسیل مناسب و ظرفیت حرارتی متعادل مورد استفاده قرار گیرد. همچنین ترکیب این مصالح با سیستم های سایه انداز متحرک، نمای سبز و عناصر غیرفعال اقلیمی می تواند اثرات منفی آن ها را کاهش دهد.

در نهایت باید به این نکته توجه داشت که اگرچه در این پژوهش تمرکز بر مصالح بوده است، اما تعامل مصالح با دیگر عوامل مانند پوشش گیاهی، الگوهای باد، جهت گیری معابر، و تراکم جمعیت نیز باید در مطالعات آینده به صورت چندعاملی بررسی شود تا تحلیل دقیق تری از پدیده جزیره حرارتی شهری حاصل گردد.

نتایج این پژوهش بیانگر آن است که مصالح نمای ساختمانی، نقش تعیین کننده ای در میزان افزایش دمای محیطی و شدت پدیده جزیره حرارتی شهری دارند. مقایسه سناریوهای مختلف شبیه سازی نشان داد که نماهای شیشه ای با بازتاب بالا، بیشترین تأثیر را در افزایش دمای خشک محیطی دارند. به ویژه در بازه زمانی ساعت ۹ تا ۱۵ که اوج تابش خورشیدی رخ می دهد، اختلاف دمای محسوس تری بین نماهای مختلف مشاهده شد.

سنجش شاخص های آماری مانند حداکثر و حداقل دما در طول روز، ماه و سال نشان داد که مصالح شیشه ای، آلومینیوم و سپس مصالح موجود (بتن و تراورتن) به ترتیب بیشترین تأثیر را در افزایش دمای محیطی داشته اند. این یافته ها ضرورت توجه به ویژگی های حرارتی مصالح در طراحی نماهای شهری را برجسته می سازد.

همچنین مشخص شد که حتی در صورت حذف عوارض انسانی مانند ترافیک و جمعیت، باز هم نوع مصالح نمای ساختمان تأثیر مستقیمی بر دمای محیطی دارد. این نکته تأکیدی است بر استقلال نقش مصالح در شکل دهی ریزاقلیم و تقویت یا تضعیف اثر جزیره حرارتی.

با توجه به شرایط اقلیمی شهر تهران و تعداد بالای روزهای آفتابی، استفاده از مصالح بازتابنده بدون در نظر گرفتن اثرات آن‌ها بر دمای بیرونی می‌تواند به تشدید گرمایش محیطی و کاهش آسایش حرارتی منجر شود. لذا استفاده از نماهای تمام‌شیشه‌ای، به‌ویژه در فضاهای متراکم و فاقد تهویه طبیعی، باید محدود شده یا با مداخلات طراحی همراه شود.

در سطح سیاست‌گذاری و مقررات شهری، نتایج این تحقیق می‌تواند به‌عنوان مبنایی برای بازنگری در ضوابط طراحی نمای ساختمان‌ها، به‌ویژه در مناطق پرتراکم شهری مورد استفاده قرار گیرد. در کنار ملاحظات زیبایی‌شناسانه و انرژی داخلی، لازم است ارزیابی تأثیر مصالح بر دمای محیط نیز در فرآیندهای طراحی لحاظ شود.

این تحقیق همچنین می‌تواند زمینه‌ساز توسعه مصالح نوین با ویژگی‌های حرارتی کنترل‌شده باشد که ضمن کاهش بار حرارتی ساختمان، تأثیر منفی بر اقلیم شهری نداشته باشند. نمونه‌هایی مانند مصالح با پوشش نانو، نماهای دوجداره هوشمند، و مواد با آلوده‌های تعدیل‌شده می‌توانند جایگزین‌های مناسبی برای مصالح رایج فعلی باشند.

در نهایت، این پژوهش با بهره‌گیری از مدل‌سازی عددی، گامی در جهت پر کردن شکاف موجود در ادبیات داخلی درباره تأثیر مصالح نمای ساختمان بر جزیره حرارتی شهری برداشته است. با این حال، برای رسیدن به درک جامع‌تر، پیشنهاد می‌شود مطالعات آتی با در نظر گرفتن تأثیرات ترکیبی مصالح، فضای سبز، هندسه معابر، و جریان باد انجام شود تا به الگوهای دقیق‌تری در طراحی اقلیم‌محور شهری دست یابیم.

مشارکت نویسندگان

در نگارش این مقاله تمامی نویسندگان نقش یکسانی ایفا کردند.

تشکر و قدردانی

از تمامی کسانی که در طی مراحل این پژوهش به ما یاری رساندند تشکر و قدردانی می‌گردد.

تعارض منافع

در انجام مطالعه حاضر، هیچ‌گونه تضاد منافی وجود ندارد.

حمایت مالی

این پژوهش حامی مالی نداشته است.

موازین اخلاقی

در انجام این پژوهش تمامی موازین و اصول اخلاقی رعایت گردیده است.

Extended Abstract

Introduction

In recent decades, rapid urbanization and increasing construction density in metropolitan areas have profoundly transformed local climatic systems (1-4). One of the most concerning consequences of these changes is the Urban Heat Island (UHI) phenomenon, which refers to the rise in air temperature in urban environments compared to surrounding rural or natural areas (5, 6). The UHI effect not only elevates energy consumption in cities but also imposes negative impacts on human health, outdoor thermal comfort, and even the economic productivity of residents (7).

Urban heat islands are typically categorized based on the atmospheric layer in which they occur. The Urban Canopy Layer (UCL) extends from the ground to the mean height of buildings, while the Urban Boundary Layer (UBL) lies above and influences air circulation over urban areas (8-10). In addition, the Surface Urban Heat Island (SUHI) refers to differences in land surface temperature, which are especially pronounced during daytime in summer when impervious surfaces such as asphalt and concrete absorb the most solar radiation (11-13).

The intensification of UHI is particularly critical in densely populated regions with arid and semi-arid climates such as Iran, where high solar radiation combined with low precipitation accelerates heat retention in urban surfaces (14-16). In this context, Tehran, the capital and largest city of Iran, represents a prominent case where UHI effects have become severe (19). Among the many contributing factors, building materials play a decisive role. Façade, roof, and pavement materials influence UHI through thermal conductivity, heat capacity, reflectance (albedo), and emissivity (20-22).

While earlier studies focused mostly on horizontal surfaces such as asphalt streets and dark roofs (11, 23, 24), vertical surfaces—particularly façades—remain relatively understudied (25, 26). In dense urban fabrics, façades constitute a significant portion of solar-exposed surfaces and strongly influence microclimatic conditions depending on their material and reflectance properties (27, 28). Strategies to mitigate UHI generally fall into three categories: green strategies involving vegetation and green infrastructure (29-32), blue strategies involving evaporative surfaces and water-based cooling (33, 34), and white strategies based on high-albedo and reflective materials (35-37). In façade design, high-albedo and retro-reflective materials (40, 41) and vegetated façades (42, 43) are considered promising approaches.

However, growing trends of using glass and metal façades have introduced new challenges. Although such materials may enhance indoor energy efficiency, they often reflect excessive heat and light into outdoor urban environments (44, 45), exacerbating thermal discomfort in narrow streets and semi-enclosed spaces (46). Additionally, other factors such as building density, height, street orientation, and air flow interact with façade material performance (47-49).

This study addresses the research gap by examining the role of building façade materials in intensifying or mitigating UHI in Tehran. Using Ekbatan Town as a case study, the research models and compares the thermal impacts of different façade materials, specifically glass, aluminum, and stone, to assess their contributions to urban temperature variations.

Methods and Materials

The study employed a quantitative descriptive-comparative research design to analyze the thermal impacts of façade materials on the urban microclimate. The case study area was the southern section of Phase 1 of Ekbatan Town in Tehran, selected due to its high building density, façade material diversity, and proximity to Mehrabad meteorological station. The site

includes 10 high-rise residential blocks with step-like forms ranging between seven and thirteen stories, complemented by commercial and educational facilities.

Data inputs consisted of geometric attributes of buildings (height, orientation, and floor numbers), physical characteristics of façade materials (thermal conductivity, heat capacity, albedo, emissivity), annual meteorological data from Mehrabad station, and contextual features such as vegetation cover, traffic density, and land use distribution.

Modeling was conducted using Grasshopper software with Ladybug and Dragonfly plugins. Three primary simulation scenarios were defined: (1) the current condition with existing concrete and travertine façades, (2) a fully glazed façade scenario, and (3) a condition without anthropogenic elements (excluding vegetation, population, and traffic). Thermal simulations were carried out on an hourly basis for an entire year using the UWG (Urban Weather Generator) engine, which accounts for the urban canopy layer.

Outputs were processed into dry bulb temperature (DBT) datasets and analyzed statistically through descriptive and comparative methods. Indicators included maximum, minimum, and mean DBT differences relative to reference meteorological conditions, as well as seasonal and diurnal variations. Hourly, monthly, and annual temperature distribution charts were plotted to capture temporal dynamics.

Findings

Analysis revealed significant differences in ambient temperature patterns across the modeled scenarios. In comparison with reference meteorological data, the current condition consistently exhibited higher monthly average temperatures, confirming the presence of UHI. However, during peak solar radiation hours (09:00–15:00), a reverse trend appeared in some cases where localized shading effects reduced observed temperatures relative to the reference condition.

The fully glazed façade scenario displayed the highest increase in DBT during midday hours, with maximum differences exceeding 5.5°C relative to baseline conditions. In contrast, the current condition with concrete façades reached a maximum DBT difference of approximately 5.4°C, while the no-anthropogenic scenario recorded about 5.37°C. These results placed glass façades at the top of the ranking in terms of UHI intensification, followed by aluminum, while existing concrete façades exhibited a slightly lower but still significant effect.

Seasonal comparisons demonstrated that temperature discrepancies were most pronounced in summer months, especially August, when the maximum positive difference reached 5.4°C. Conversely, the lowest negative difference occurred in November at -0.83°C, suggesting cooling effects in certain months due to shading and radiative exchanges.

Hourly variation analysis indicated steep temperature transitions between early morning (06:00) and mid-morning (09:00), highlighting the role of façade material properties in modulating diurnal heating. While glass façades strongly amplified midday heat, materials such as concrete released stored heat more gradually, contributing to elevated morning temperatures.

Overall, the statistical categorization confirmed that glass façades exhibited the highest mean DBT increase (1.04°C above baseline), followed by aluminum and concrete. These results underscore the importance of façade material selection in shaping microclimates within dense urban neighborhoods like Ekbatan Town.

Discussion and Conclusion

The results of this study clearly demonstrate that façade materials are critical determinants of ambient temperature in urban environments. High-reflectance materials, particularly glass, exacerbate the UHI effect by significantly increasing daytime dry bulb temperatures during hours of maximum solar radiation. The findings support international evidence highlighting glass façades as major contributors to localized heat intensification in urban streetscapes.

The study also reveals interesting temporal dynamics. While certain materials like concrete exhibit delayed heat release during morning hours, glass and aluminum amplify direct solar gain and reflection during midday. This duality illustrates that façade materials can influence both early morning cooling and midday heating, making their role more complex than previously assumed.

Importantly, the study indicates that even in the absence of anthropogenic influences such as traffic and population, façade materials alone exert strong thermal effects. This independence highlights that material selection should be prioritized in urban design regulations as a direct lever for mitigating UHI.

The seasonal analysis further demonstrates that thermal impacts peak in summer, particularly in August, aligning with regional solar radiation maxima. In Tehran's arid climate, this effect is particularly severe, suggesting that façade materials with unregulated reflectivity may substantially worsen outdoor discomfort and energy demand for cooling.

From an architectural perspective, the stepped building forms of Ekbatan Town partially mitigate horizontal solar exposure through shading but simultaneously intensify vertical solar exposure on façades. This structural characteristic amplifies the role of material reflectivity in shaping localized microclimates, underscoring the need for integrative design approaches that consider both form and material.

These findings emphasize the necessity of adopting façade design strategies that move beyond aesthetics and indoor performance toward holistic climatic responsiveness. Façade materials with controlled albedo, balanced emissivity, and moderate thermal capacity should be prioritized. Complementary measures such as shading devices, green façades, and passive climatic design elements can further mitigate undesirable heating effects.

At the policy level, the results highlight the need for revising building codes and urban design guidelines in Tehran and other arid cities to account for the external climatic impacts of façade materials. This includes limiting the unregulated use of glass façades in dense districts and promoting materials with favorable thermal properties that align with both energy efficiency and outdoor comfort.

Finally, while this study addressed the independent role of façade materials, future research should adopt multi-factorial approaches integrating vegetation, wind patterns, urban geometry, and social behavior to comprehensively understand and mitigate the UHI phenomenon. Developing advanced materials such as nanocoated façades and adaptive smart surfaces may provide innovative pathways to reconcile energy performance with sustainable urban microclimates.

References

- Hajian Zeidy M, Ghadarjani R, Zaheri M. Sustainable Urban Reconstruction in Historical Texture: Academic Center for Education, Culture and Research (Jahade Daneshgahi); 2021.
- Gholami H, Kamelnia H, Mahdavinejad MJ, Sangin H. Optimizing Building Configuration and Orientation for Social Housing Projects in Iran. *Iranica Journal of Energy & Environment*. 2025;16(2):289-308.
- Jafri A, Villeneuve E, Agelin-Chaab M, Hangan H. Experimental investigation of building mock-ups and air source heat pumps in cold climates. *Energy and Built Environment*. 2025.
- Jahanbakhsh H, Daneshjoo F, Sheibani N, Sheibani H. Analyzing the Characteristics of Architecture and the Structure of 'Urban' Design in 'Arsen-e Zandieh', Shiraz. *Iranian Urban Design Studies*. 2025;1(2):321-44.
- Zaina SM, Fadli F, Hosseini SM. Evaluation of smart irrigation systems in hot-arid climates for green roofs and walls: case of Doha, Qatar. *Smart and Sustainable Built Environment*. 2022;11(2):346-67.
- Sterkel M, Kider Jr JT. A comparative study of infrared thermography for improving defect detection for Radio Frequency equipment on communication towers. *Measurement*. 2025;253:117254.
- Sharmin T, Chappell A. Detecting the changing impact of urbanisation on urban heat islands in a tropical megacity using local climate zones. *Energy and Built Environment*. 2025.
- Sadeghe Sabery MJ, Zahedi Yegane A, Hajian Zeidy M, Ghadarjani R. Evaluation of quality of life in the Paradise neighborhood Mehr Housing Case with emphasis on sustainable development in Hamedan. *Journal of Geography and Environmental Studies*. 2018;7(27):1-24.

9. Zaheri M, Saremi HR, Hajian Zeidy M. Measuring the Impact of Technology Components on Islamic-Iranian Culture to Build New Sustainable Urban Settlements in Dorud. *Geography (Regional Planning)*. 2022;13(1):359-73.
10. Talaei M, Sangin H. Thermal comfort, daylight, and energy performance of envelope-integrated algae-based bioshading and static shading systems through multi-objective optimization. *Journal of Building Engineering*. 2024;90:109435.
11. Hajian Zeidy M, Sufinejad A. Sustainable Architecture Indicators in Iranian Buildings: Academic Center for Education, Culture and Research (Jahade Daneshgahi); 2023.
12. Voogt JA, Oke TR. Thermal remote sensing of urban climates. *Remote sensing of environment*. 2003;86(3):370-84.
13. Tabatabaei SS, Fayaz R. The effect of facade materials and coatings on urban heat island mitigation and outdoor thermal comfort in hot semi-arid climate. *Building and Environment*. 2023;243:110701.
14. Jahanbakhsh H. Study about realizability situation and utilization contexts of water sensitive urban design. *International Journal of Architecture and Urban Development*. 2017;7(4):41-8.
15. Hajian Zeidy M, Rouhi M, Razavi Amrei SG. Effect of Passive Solar Cooling Systems Performance on Indoor Air Quality in Buildings. *Development Engineering Conferences Center Articles Database*. 2024;1(1).
16. Tabassum A, Park K, Hong SH, Baik JJ, Han BS. Impacts of cool roofs on urban heat island and air quality in Dhaka, Bangladesh: A case modeling study during a heat wave. *Atmospheric Pollution Research*. 2025:102549.
17. Hosseini SM, Heidari S. General morphological analysis of Orosi windows and morpho butterfly wing's principles for improving occupant's daylight performance through interactive kinetic façade. *Journal of Building Engineering*. 2022;59:105027.
18. Siddiqui A, Maske AB, Khan A, Kar A, Bhatt M, Bharadwaj V, et al. An Urban Climate Paradox of Anthropogenic Heat Flux and Urban Cool Island in a Semi-Arid Urban Environment. *Atmosphere*. 2025;16(2).
19. El Kenawy AM, Abdelaal MM, Aboelkhair H, Mohamed EK. Urban comfort dynamics in major megacities in the middle East: A Spatiotemporal assessment and linkage to weather types. *Urban Climate*. 2025;59:102309.
20. Heidari S. Thermal comfort in Iranian courtyard housing: University of Sheffield; 2000.
21. Amani MJ, Tanzadeh R, Moghadas Nejad F, Kabiri Nasrabad MM, Chalabii J, Movahedi Rad M. Urban Sustainability Through Pavement Technologies: Reducing Urban Heat Islands with Cool Pavements. *Buildings*. 2025;15(3):504.
22. Sharston R, Singh M. Urban morphology, urban heat island (UHI) and building energy consumption: A critical review of methods and relationships among influential parameters. *Building Services Engineering Research & Technology*. 2025:01436244251339727.
23. Jahanbakhsh H, Koumleh MH, Alambaz FS. Methods and techniques in using collective memory in urban design: achieving social sustainability in urban environments. *Cumhur Univ Fac Sci J(CSJ)*. 2015;36:13.
24. Li H, Cai Y, Yang Y, Cai X. Assessing the influence of urban scene characteristics on urban heat island: An interpretable machine learning approach in New York City. *Urban Climate*. 2025;62:102542.
25. Zamani Z, Heidari S, Hanachi P. Reviewing the thermal and microclimatic function of courtyards. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*. 2018;93:580-95.
26. Chen Y, Ma W, Shao Y, Wang N, Yu Z, Li H, et al. The impacts and thresholds detection of 2D/3D urban morphology on the heat island effects at the functional zone in megacity during heatwave event. *Sustainable Cities and Society*. 2025;118:106002.
27. Heidari S, Sharples S. A comparative analysis of short-term and long-term thermal comfort surveys in Iran. *Energy and Buildings*. 2002;34(6):607-14.
28. Wang M, Wang X, Luan Q, Xu X. A new perspective to assess urban heat islands by incorporating both canopy and boundary layer air temperature from the view of satellite remote sensing. *Sustainable Cities and Society*. 2025;125:106315.
29. Wang X, Li H, Sodoudi S. The effectiveness of cool and green roofs in mitigating urban heat island and improving human thermal comfort. *Building and Environment*. 2022;217:109082.
30. Xiao XD, Dong L, Yan H, Yang N, Xiong Y. The influence of the spatial characteristics of urban green space on the urban heat island effect in Suzhou Industrial Park. *Sustainable Cities and Society*. 2018;40:428-39.
31. Shafiee E, Faizi M, Yazdanfar SA, Khanmohammadi MA. Assessment of the effect of living wall systems on the improvement of the urban heat island phenomenon. *Building and environment*. 2020;181:106923.
32. Chen J, Jin S, Du P. Roles of horizontal and vertical tree canopy structure in mitigating daytime and nighttime urban heat island effects. *International Journal of Applied Earth Observation and Geoinformation*. 2020;89:102060.
33. Zhao TF, Fong KF. Characterization of different heat mitigation strategies in landscape to fight against heat island and improve thermal comfort in hot-humid climate (Part I): Measurement and modelling. *Sustainable cities and society*. 2017;32:523-31.
34. Schibuola L, Tambani C. Performance assessment of seawater cooled chillers to mitigate urban heat island. *Applied Thermal Engineering*. 2020;175:115390.
35. Xie N, Li H, Abdelhady A, Harvey J. Laboratorial investigation on optical and thermal properties of cool pavement nano-coatings for urban heat island mitigation. *Building and Environment*. 2019;147:231-40.
36. Fabiani C, Pisello AL, Bou-Zeid E, Yang J, Cotana F. Adaptive measures for mitigating urban heat islands: The potential of thermochromic materials to control roofing energy balance. *Applied Energy*. 2019;247:155-70.
37. Yang YK, Kim MY, Chung MH, Park JC. PCM cool roof systems for mitigating urban heat island-an experimental and numerical analysis. *Energy and Buildings*. 2019;205:109537.
38. Akbari H, Kolokotsa D. Three decades of urban heat islands and mitigation technologies research. *Energy and buildings*. 2016;133:834-42.
39. Santamouris M. Cooling the cities-a review of reflective and green roof mitigation technologies to fight heat island and improve comfort in urban environments. *Solar energy*. 2014;103:682-703.

40. Yuan J, Masuko S, Shimazaki Y, Chai J. Researching the design of a glass-bead retro-reflective material to reduce downward reflection for urban heat island mitigation. *Materials Today Sustainability*. 2022;18:100147.
41. Rossi F, Pisello AL, Nicolini A, Filipponi M, Palombo M. Analysis of retro-reflective surfaces for urban heat island mitigation: A new analytical model. *Applied energy*. 2014;114:621-31.
42. Susca T, Zanghirella F, Colasuonno L, Del Fatto V. Effect of green wall installation on urban heat island and building energy use: A climate-informed systematic literature review. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*. 2022;159:112100.
43. Asadi A, Arefi H, Fathipoor H. Simulation of green roofs and their potential mitigating effects on the urban heat island using an artificial neural network: A case study in Austin, Texas. *Advances in Space Research*. 2020;66(8):1846-62.
44. Han T, Du C, Xie Y, Xian X, Zhang X, Yang B, et al. A 3D perspective for understanding the mechanisms of urban heat island and urban morphology using multi-modal geospatial data and interpretable machine learning. *Building and Environment*. 2025:113184.
45. Wang W, Yao X, Shu J. Monitoring Diurnal Variations and Displacement of Surface Urban Heat Islands Using 10-minute Himawari-8 Data for Urban Climate Adaptation. *Sustainable Cities and Society*. 2025:106586.
46. Tabassum A, Hong SH, Park K, Baik JJ. Simulating urban heat islands and local winds in the Dhaka metropolitan area, Bangladesh. *Urban Climate*. 2025;59:102284.
47. Jato-Espino D, Lierow S, Rodríguez-Sánchez MÁ. Using classification algorithms to model nighttime Surface Urban Heat Island (SUHI), with an emphasis on the role of urban trees. *Building and Environment*. 2025;270:112572.
48. Wu T, Chen Z, Zhou S, Huang R, Xing P, Li S, et al. Joint evaluation of urban built environment's driving patterns on urban heat island (UHI) and urban moisture island (UMI). *Sustainable Cities and Society*. 2025:106450.
49. An Z, Ming Y, Liu Y, Zhang G. Investigating 2D/3D factors influencing surface urban heat islands in mountainous cities using explainable machine learning. *Urban Climate*. 2025;59:102325.
50. Najjar M, Indraganti M, Furlan R. The Role of Building Geometry in Urban Heat Islands: Case of Doha, Qatar. *Designs*. 2025;9(3):77.
51. Martinelli A, Carlucci F, Fiorito F. On the role of the building envelope on the urban heat island mitigation and building energy performance in Mediterranean cities: A case study in southern Italy. *Climate*. 2024;12(8):113.
52. De Masi RF, Festa V, Gigante A, Ruggiero S, Vanoli GP. Comprehensive analysis of the incidence of glazed components and PV system degradation on the achievement of nearly zero energy balance under extreme events and climate changes. *Energy Reports*. 2024;11:4397-411.