

## Effects of Plants on the Parameters Involved in Thermal Comfort in Urban Space: A Case Study of Urban Green Wall in Tehran City

Maryam Azmoodeh<sup>1\*</sup>

1- Assistant Professor and Faculty Member of the Department of Architecture, Faculty of Architecture and Urban Planning, Imam Khomeini International University, Qazvin, Iran

(\*Corresponding Author Email: azmoodeh@arc.ikiu.ac.ir)

### Abstract:

The relationship between man and nature and its importance in the urban environment is one of the issues considered by theorists and planners in the field of urban space for a long time. However, human beings as the basis for this relationship have jeopardizing this vital interaction by making changes in cities for some time now. One of the significant in human communication and the residence in cities is his satisfaction by climate conditions. The outdoor thermal comfort is affected by the built environment, land cover, plant evapotranspiration, and other factors present at the site. In this study, among the ways of promoting thermal comfort in urban space, the use of plants is focused on. In this article, the effects of plants on temperature and relative humidity were firstly analyzed in a case study. Then, using Envi-met software, an existing urban block was simulated by placing hypothetical trees and another hypothetical block was simulated as well. According to the results, the air temperature in the places, which were very close to the nearly 50-cm plants, was obtained to be almost 0.5°C lower than other places. In addition, the relative humidity within the studied limits was higher. Therefore, the effects of these two factors on improving the thermal comfort of urban microclimates, especially in hot seasons, could be well evidenced. The assessment of different types of plants also showed that the temperature adjustment could be achieved regardless of plant type.

**Keywords:** plant, thermal comfort, urban space, field study, simulation

### References:

- Alexandri E, Jones P. 2008, Temperature decrease in an urban canyon due to green walls and green roofs in diverse climates. *Building and Environment*; 43:480e93.
- Baghaei Daemei Abdollah, Maryam Azmoodeh, Zahra Zamani, Elham Mehrinejad Khotbehsara, 2018, Experimental and simulation studies on the thermal behavior of vertical greenery system for temperature mitigation in urban spaces, *Journal of Building Engineering* 20 (2018) 277–284
- Buccolieri, R.; Santiago, J.L.; Rivas, E.; Sanchez, B. Review on urban tree modelling in CFD simulations: Aerodynamic, deposition and thermal effects. *Urban Forest. Urban Green.* 2018, 31, 212–220
- Ca, V. T.; Asaede, T. & Abu. E. 1998. Reductions in air conditioning energy caused by a nearby park. *Energy and Building.* Vol. 29: 83-92.
- Chen, L.; Ng, E. (2012): Outdoor thermal comfort and outdoor activities: A review of research in the past decade. *Cities* 2012, 29, 118–125.
- Dunnett, N & Kingsbury, c. 2008, *Planting Green Roofs and Living Walls*, Revised and Updated Edition, Timber Press, Portland, Oregon.
- Daemeia, A, M Azmoodeh, Z Zamani, E Mehrinejad Khotbehsara, (2018) , "Experimental and simulation studies on the thermal behavior of vertical greenery system for temperature mitigation in urban spaces", *Journal of Building Engineering* 20 (2018) 277–284
- Elnabawi, M.H.; Hamza, N. A (2020), Behavioural Analysis of Outdoor Thermal Comfort: A Comparative Analysis between Formal and Informal Shading Practices in Urban Sites. *Sustainability*, 12, 9032.



جغرافیا و برنامه‌ریزی محیطی

سال ۳۲، پیاپی ۸۳، شماره ۳، پاییز ۱۴۰۰، صص ۸۰-۶۷

نوع مقاله: پژوهشی

وصول: ۱۴۰۰/۳/۱ پذیرش: ۱۴۰۰/۵/۴

## چگونگی عملکرد گیاهان در تعدیل پارامترهای مؤثر بر آسایش حرارتی در فضای شهری

### نمونه پژوهش: دیوار سبز شهری در تهران

مریم آزموده<sup>\*</sup>، استادیار گروه معماری، دانشکده معماری و شهرسازی، دانشگاه بین‌المللی امام خمینی، قزوین، ایران

azmoodeh@arc.ikiu.ac.ir

#### چکیده

ارتباط انسان و طبیعت و اهمیت بهره‌گیری از این ارتباط در محیط شهری، یکی از مسائلی است که همواره توجه برنامه‌ریزان حوزه فضای شهری را جلب کرده است؛ اما چندی است که انسان با ایجاد تغییرات در شهرها این تعامل حیاتی را به خطر انداخته است. یکی از عوامل مؤثر در این زمینه، احساس رضایتمندی انسان از شرایط حرارتی است. آسایش حرارتی در فضای باز علاوه بر شرایط اقلیمی، متأثر از محیط مصنوع پیرامون، پوشش‌های به‌کاررفته در زمین، تبخیر گیاهان و سایر عوامل موجود در سایت است. در این پژوهش از میان راههایی که برای ارتقای آسایش حرارتی شهری وجود دارد، بر بهره‌گیری از گیاهان از طریق تعدیل دما و رطوبت تأکید می‌شود. در این پژوهش نخست تأثیر حضور گیاهان در قالب یک نمونه دیوار سبز به صورت میدانی از نظر تأثیر بر دما و رطوبت نسبی تحلیل شد؛ سپس با استفاده از نرم‌افزار Envi-met یک بلوک شهری موجود با استقرار درختان فرضی و یک بلوک فرضی با اضافه‌کردن پوشش گیاهی شبیه‌سازی شد. براساس نتایج، دمای هوا در نقاط نزدیک به فضای استقرار گیاهان و در فاصله کمتر از ۰٫۵ متر، حدود ۰٫۵ درجه کمتر از سایر نقاط است؛ علاوه بر دما، رطوبت نسبی نیز در این محدوده بیشتر است که از برآیند تأثیر این دو عامل، آسایش حرارتی در میکرواقلیم‌های شهری اطراف گیاهان به‌ویژه در فصول گرم ارتقا خواهد یافت. بررسی انواع گیاهان نیز نشان داد تعدیل دما فارغ از نوع گیاه صورت خواهد گرفت.

واژه‌های کلیدی: گیاهان، آسایش حرارتی، فضای شهری، مطالعات میدانی، شبیه‌سازی

\*نویسنده مسئول



2252- 0910/ © 2021 The Authors. Published by University of Isfahan

This is an open access article under the CC-BY-NC-ND 4.0 License (<https://creativecommons.org/licenses/by-nc-nd/4.0/>)



Doi: [10.22108/GEP.2021.128810.1424](https://doi.org/10.22108/GEP.2021.128810.1424)



[10.1001.1.20085362.1400.32.3.4.9](https://doi.org/10.1001.1.20085362.1400.32.3.4.9)

## مقدمه

ارتباط انسان و طبیعت و اهمیت حفظ و بهره‌گیری از این ارتباط در محیط‌های ساخته‌شده، یکی از ابعاد مهمی است که همواره بسیاری از نظریه‌پردازان شهری بر آن تأکید داشته‌اند؛ اما چندی است که انسان به‌منزله یک رکن این ارتباط با ایجاد تغییرات در شهرها و مناظر شهری، این تعامل حیاتی را به خطر انداخته است. تأثیر انسان بر محیط‌زیست پیرامون خود عمری به قدمت حیات او دارد، اما تخریب و نابودی آن به‌دنبال انقلاب صنعتی و افزایش سریع جمعیت شدت یافت. رشد سریع شهرها و در پی آن کاهش حضور طبیعت در فضای شهری، یکی از بزرگ‌ترین چالش‌هایی بود که انسان معاصر را با پیامدهای منفی بسیاری مواجه کرد. در پی توسعه شهرنشینی و جایگزینی وسیع سازه‌های انسان‌ساز به جای پوشش‌های گیاهی و مناظر طبیعی، مشکل گرما در شهرها تشدید شد (Khalaim et al., 2021: 2). ظهور جزایر گرمایی شهری، یکی از مشکلاتی است که بر اثر کاهش حضور گیاهان به همراه دلایل دیگری همچون استفاده از مصالح با ضریب بازتاب کم و افزایش تراکم، مراکز شهری را با افزایش دما مواجه کرد (Razzaghmanesh et al., 2021: 1).

به‌منظور تعدیل مسائل اشاره‌شده، یکی از راه‌حل‌های اجرایی در فضای شهری برای برقراری دوباره ارتباط انسان و طبیعت و بهره‌مندی از فواید آن، استفاده از فضاهای سبز شهری در شهرهاست. کاشت درختان شهری، یکی از راهبردهای مؤثر در کاهش گرما در شهرها محسوب می‌شود (Vo and Hu: 2020: 1). درختان و گیاهان با ایجاد سایه و تبخیر موجب کاهش دمای هوا و دمای سطوح ساختمان در عین حفظ رطوبت می‌شوند؛ علاوه بر این جذب آب ریشه گیاهان و انتشار آن از راه برگ‌ها و نیز تبخیر آب از خاک پیرامون گیاهان موجب کاهش گرما می‌شود. تعدیل دما و رطوبت گیاهان بر رضایتمندی افراد از شرایط حرارتی مؤثر است و موجب ارتقای آسایش حرارتی افراد در فضاهای شهری می‌شود؛ همچنین گیاهان در جذب آلاینده‌ها و کاهش آلودگی هوا مؤثرند (Gatto et al., 2020: 2) و از این راه به همراه سایر عوامل بیان‌شده در ارتقای کیفیت آب‌وهوا و آسایش افراد در فضای باز شهری نقش مهمی دارند.

گفتنی است با وجود ظرفیت زیاد فضای سبز برای ارتقای مسائل شهری، امکان ایجاد فضای سبز در همه مناطق شهری به دلیل تراکم زیاد وجود ندارد و سطوح سبز یکی از گزینه‌هایی است که می‌تواند در این زمینه مدنظر قرار گیرد. البته به دلیل هزینه‌های ناشی از نصب و نگهداری این سیستم‌ها، اولویت اصلی با کاشت گیاهان و درختان به‌صورت مجزاست، اما در صورت نبود فضای کافی می‌توان سطوح سبز را جایگزین کرد.

بدین ترتیب پژوهش حاضر با ارائه تعاریف و شاخص‌های مربوط به آسایش حرارتی در فضای باز، تأثیر گیاهان را بر این شاخص‌ها بررسی می‌کند. پرسش پژوهش این است که پوشش‌های گیاهی چگونه و تا چه میزان در ارتقای پارامترهای آسایش حرارتی از جمله دما و رطوبت در اقلیم تهران مؤثرند؛ به بیان دیگر پژوهش به‌دنبال شناخت رابطه تعاملی بین دو متغیر آسایش حرارتی در فضای باز و گیاهان است و به دلیل تغییرات پدیدآمده در شهرها و کمبود فضا برای حضور پوشش گیاهی، علاوه بر گیاهان، سطوح گیاه‌کاری‌شده در قالب یک دیوار سبز را نیز به‌مثابه گونه‌ای از حضور گیاه در سطح شهر انتخاب کرده است.

## مبانی نظری پژوهش

در سال‌های اخیر با تنزل کیفیت آب‌وهوای شهری و نیاز مردم به حضور هرچه بیشتر در محیط شهری، پژوهشگران در سراسر جهان به آسایش محیطی توجه بیشتری داشته‌اند و پژوهش‌ها در این زمینه در حال افزایش است. یکی از زیرشاخه‌های آسایش محیطی، آسایش حرارتی براساس شرایط آب‌وهوایی است. آسایش حرارتی در فضای باز، یکی از مهم‌ترین عوامل برای جذب افراد به فضاهای باز شهری است (Zhang et al., 2020: 2). زمانی که طراحی فضای شهری در مقیاس میکرواقليم‌ها بر مبنای فاکتورهای آسایش باشد، راحتی و رضایتمندی افراد پیاده ارتقا می‌یابد و ساکنان تمایل بیشتری به حضور در سطح شهر و فعالیت‌های بیرون از خانه پیدا می‌کنند. افزایش سلامت، کاهش مصرف انرژی در فضای داخلی و مشارکت در اقتصاد محلی از فواید این حضور است (Elnabawi and Hamza, 2020: 2).

تأثیر آسایش حرارتی بر فعالیت‌های فضای باز مبحثی پیچیده شامل هر دو جنبه اقلیمی و رفتاری است؛ به طوری که در پژوهشی از چن و نگ<sup>۱</sup> (2012) در بررسی جنبه‌های رفتاری آسایش حرارتی در فضای باز، بر نقش ادراک آسایش حرارتی در فضای باز و کاربری فضای خارجی تأکید شده است. درحقیقت در حالی که آسایش حرارتی داخلی مشخصاً متأثر از عوامل محیطی دما، رطوبت، جریان هوا و تابش، و عوامل انسانی میزان فعالیت و لباس است، درباره عوامل مؤثر بر آسایش حرارتی خارجی توافق روشنی وجود ندارد. یکی از دلایل این امر آن است که پژوهش‌های این حوزه قدمت کمتر و دشواری بیشتری در اندازه‌گیری‌های میدانی دارند.

آسایش حرارتی در فضای باز علاوه بر شرایط اقلیمی متأثر از محیط مصنوع پیرامون، پوشش‌های به‌کاررفته در زمین، تبخیر و تعرق گیاهان و سایه‌اندازی عوامل موجود در سایت است (محمودی و همکاران، ۱۳۸۹: ۶۰). پوشش گیاهی شهری به‌مثابه یک راهبرد کاهش گرما در شهرها توصیه می‌شود. براساس پژوهش‌های انجام‌شده این راهکار مؤثرتر از مصالح با ضریب آلبدوی زیاد در کف است (Taleghani, 2018: 5). پوشش‌های گیاهی علاوه بر کاهش گرما، با تبخیر، سایه‌اندازی، بازتاب امواج تابشی و تغییرات جریان باد موجب تعدیل عوامل اقلیمی می‌شوند. البته میزان تأثیرات گیاهان به عواملی چون تراکم سطح برگ (LAD) نیز بستگی دارد (Buccolier et al., 2018: 218). از میان عوامل یادشده، این مقاله به‌دنبال بررسی تأثیر گیاهان و سطوح گیاه‌کاری شده بر تعدیل دما و رطوبت و در نتیجه ارتقای آسایش حرارتی افراد در فضای باز شهری است.

## پیشینه پژوهش

فضای سبز شهری نوعی از سطوح کاربری زمین شهری با پوشش گیاهی انسان ساخت است که واجد بازدهی اجتماعی و بازدهی اکولوژیک باشد. فضای سبز شهری از دیدگاه شهرسازی دربرگیرنده بخشی از سیمای شهر با انواع پوشش‌های گیاهی است و به‌مثابه یک عامل زنده و حیاتی در کنار کالبد بی‌جان شهر نقشی تعیین‌کننده در ساختار مورفولوژیک شهر دارد (Schrader and Boning, 2006: 349).

یکی از روش‌های مؤثر برای کنترل دمای شهری، استفاده از فضاهای سبز است (Hwang, 2007: 34). فضاهای سبز سبب بهبود مناظر شهری می‌شوند و اقلیم محیط شهری را با افزایش رطوبت نسبی و کاهش دمای هوای شهری تنظیم می‌کنند. گیاهان دما را مستقیماً با سایه‌اندازی روی سطوح جاذب گرما و همچنین خنک‌کنندگی تبخیری کاهش می‌دهند (Heisler et al., 2007:3). آنها با این قابلیت، توانایی کاهش دمای حداکثری ساختمان را با ایجاد سایه تا بیش از ۵۳ درصد دارند (Dunnett and Kingsbury, 2008: 218)؛ علاوه بر این از راه تبخیر، حجم وسیعی از تشعشعات خورشیدی به گرمای نهان تبدیل می‌شود که دما را افزایش نمی‌دهد. نمایی که کاملاً با گیاهان پوشیده شده باشد، از تشعشعات مترکم خورشیدی در تابستان محافظت می‌شود و گیاهان با پوشش برگ‌های خود ۴۰ تا ۸۰ درصد تابش دریافتی را بازتاب می‌دهند یا جذب می‌کنند؛ بنابراین می‌توان اذعان داشت که فضای سبز تأثیر زیادی بر کاهش دما و افزایش رطوبت نسبی محیط پیرامونی دارد.

پژوهش‌های زیادی اهمیت انواع پوشش‌های شهری از جمله درختان کنار خیابان، باغ‌های شخصی و عمومی، پارک‌ها و جنگل‌های شهری را بررسی و از نتایج آن در طراحی و مدیریت شهری استفاده کرده‌اند. از جمله ایفاتیمهین<sup>۱</sup> (2007) در مطالعه‌ای نقش پوشش گیاهی را در داخل شهر، خنک‌کننده و کاهش‌دهنده درجه حرارت در اکوسیستم گزارش کرده است.

برنامه‌ریزان شهری در کره جنوبی با کاشت درختان و توسعه پارک‌های شهری موجب کنترل دما در شهر شده‌اند؛ به طوری که مقایسه بین داده‌های دمایی در بازه زمانی ۳۰ سال در تایگو، کاهش برابر با ۱/۲ درجه سانتی‌گراد را نشان داده است، در حالی که دما در دیگر شهرها ۱ تا ۲ درجه افزایش داشته است (Hwang, 2007: 36). مطالعه دیگری در هنگ کونگ نشان می‌دهد به دلیل وجود گیاهان در حاشیه بزرگراه‌ها دمای حداکثر ۴/۸ درجه کاهش دارد (Alexandri and Jones, 2008: 43).

در پژوهشی در ژاپن نیز آزمایش‌ها نشان داد گیاه مو دمای یک تراس را در جهت جنوب غربی ساختمان به میزان چشمگیری کاهش می‌دهد (Hoyano, 1988: 11). کوبایاشی و کای<sup>۲</sup> (2005) در مطالعه‌ای استفاده از فضای سبز شهری را برای بهبود دمای محیط پیرامونی با هدف سنجش استفاده از هوای خنک و چگونگی بسط آن در محیط شهری بررسی کردند. نتایج مطالعه نشان داد در فاصله حدود ۸۰ تا ۹۰ متر از مرز محدوده فضای سبز بسیار وسیع بررسی شده، دما تا حدود ۲/۵ درجه سانتی‌گراد کاهش یافته است.

در آفریقا هم دمای مجاور پانل‌های گیاه‌کاری شده ۲/۶ درجه کمتر گزارش شد (Holm, 1989: 31). علاوه بر تأثیرات بیان شده، سطوح پوشیده از گیاهان با کاهش دمای محیطی از راه تغییر میزان بازتابش سطوح و خنک‌کنندگی ناشی از تبخیر سطحی، روند واکنش‌های شیمیایی را آرام تر می‌کند و حضور آلاینده‌های ثانویه‌ای مانند ازن را کاهش می‌دهد (Akbari, 2002: 119).

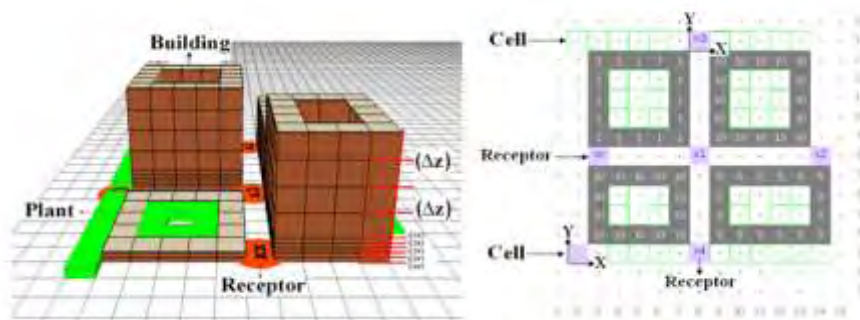
1. Ifatimehin  
2. Kobayashi and Kai

## روش پژوهش

روش پژوهش در این مقاله مبتنی بر روش تجربی است. نخست با استفاده از مطالعات میدانی با دستگاه دیتالاگر در یک سایت شهری، تغییرات دما پیرامون یک پانل گیاه‌کاری شده با تغییرات در فواصل مختلف از آن بررسی شد. محدوده پژوهش در بررسی این نمونه موردی، قسمتی از خیابان سی تیر در شهر تهران است. دستگاه دیتالاگر به شکل خودکار اطلاعات مربوط به دمای هوا و رطوبت نسبی را منظم و با فاصله ۳۰ ثانیه ضبط می‌کرد. برداشت داده‌ها در دو فصل سرد و گرم انجام شد. در هر یک از این دوره‌ها در دو ماه متوالی داده‌ها برداشت شد. روش اندازه‌گیری بدین ترتیب بود که چهار دستگاه دیتالاگر از ساعت ۹ تا ۱۵ روی سه پایه دوربین در ارتفاع ۱/۵ متر در هر یک از نقاط قرار گرفت؛ سپس با اتصال به رایانه، دما و رطوبت نسبی ثبت شده در آن بازه زمانی به فاصله هر ۳۰ ثانیه به دست آمد. برای فصل گرم، ماههای خرداد و تیر و برای فصل سرد ماههای دی و بهمن انتخاب شد. گفتنی است این بخش از پژوهش یک بار با استفاده از یک دستگاه دیتالاگر نیز انجام شده بود؛ بدین ترتیب که دستگاه بین نقاط جابه‌جا می‌شد (آزموده و حیدری، ۱۳۹۶: ۶۰۱) که به دلیل همزمان نبودن اندازه‌گیری‌ها در این پژوهش، این بار روند دقیق‌تری در پیش گرفته شد.

دیتالاگر استفاده شده در این پژوهش از نوع تستو مدل TESTO 174 H، دستگاهی با قابلیت ثبت دما و رطوبت است که براساس تنظیمات زمانی و تاریخی می‌توان با آن میزان رطوبت نسبی و دمای محیط را ذخیره و با نرم‌افزار گراف‌های مرتبط ترسیم کرد.

در ادامه روند انجام کار مؤلف را به سمت استفاده از بسته‌های نرم‌افزاری و مدل‌سازی رایانه‌ای سوق داد. شبیه‌سازی رایانه‌ای با استفاده از برنامه Envi-met نسخه ۴٫۱ انجام شد. انتخاب این نرم‌افزار به دلیل تأیید شدن روایی آن در پژوهش‌های بین‌المللی و قابلیت استفاده از آن برای محاسبات در فضای باز است؛ این در حالی است که بیشتر نرم‌افزارها قابلیت انجام محاسبات را در فضای خارجی به‌طور دقیق ندارند. نرم‌افزار Envi-met را از سال ۱۹۹۸ به‌طور رسمی دکتر بروس<sup>۱</sup> منتشر کرد و بسیاری از متخصصان در حوزه‌های مختلف از جمله اقلیم‌شناسی، معماری و طراحی شهری برای محاسبات و شبیه‌سازی خرداقلیم‌ها از این نرم‌افزار بهره بردند. پایه و اساس الگوی Envi-met بر قوانین بنیادی دینامیک سیالات، ترمودینامیک گازها و قواعد اولری با هدف محاسبات جرم، حرکات جنبشی و تبادلات انرژی است. طرح کلی الگوی Envi-met، یک الگوی سه‌بعدی بسته و شامل یک الگوی تک بعدی است که حدود مرزهای جوئی در فرایند شبیه‌سازی را مشخص می‌کند (شکل ۱). در این پژوهش برای شبیه‌سازی از ردیفی از گیاهان (Simple Plant) در مجاورت ساختمان استفاده شده است که در یک نمونه از درختان ۱۰متری با پوشش متراکم و تنه بدون برگ و در یک فاز از گیاه سوچا استفاده شد.



شکل ۱. ساختار و پیکربندی ایستگاههای گیرنده در مدل ENVI-MET

Figure 1. Structure and configuration of receptors in the model

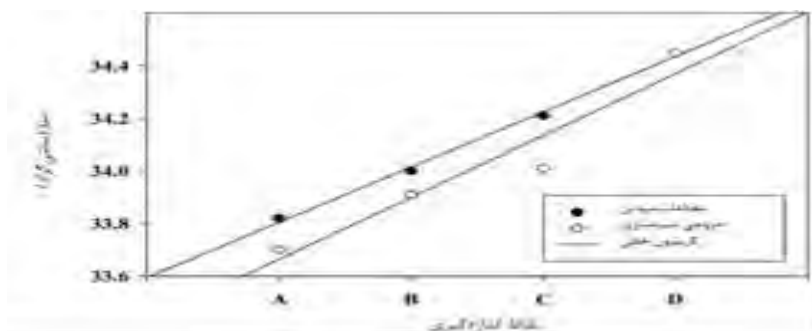
کاربردی بودن این پژوهش و ماهیت تعاریف عملیاتی ایجاب می‌کند مفهوم به متغیر تبدیل شود. متغیرهای این پژوهش در جدول زیر ارائه شده است (جدول ۱):

جدول ۱. متغیرهای پژوهش (منبع: نگارنده)

Table 1. Research variables (Author, 2021)

مقیاس	تعریف		نوع		عنوان متغیر
	وابسته	مستقل	کیفی	کمی	
درجه سانتی‌گراد (C)	*			*	تغییرات دما
-	*			*	تغییرات رطوبت
متر (m)		*		*	فاصله از گیاه

در این پژوهش برای تأیید روایی نرم‌افزار مدنظر، علاوه بر ارجاع به مطالعات پیشین از سایر نویسندگان و نویسنده، نتایج حاصل از اندازه‌گیری‌های میدانی و شبیه‌سازی با یکدیگر مقایسه شده‌اند ( Taleghani et al., 2014; Rajabi et al., 2012; Baghaei Daemei et al., 2018) مقایسه دوباره اطلاعات حاصل از دیتالاگر و فرایند شبیه‌سازی انجام شد (شکل ۲).



شکل ۲. مقایسه برداشت میدانی و شبیه‌سازی (منبع: نگارنده)

Figure 2. Field study and simulation output comparison

## یافته‌های پژوهش

## تغییرات دما

همان‌گونه که پیش‌تر بیان شد، در فاز اول این پژوهش یک نمونه شهری موجود بررسی شد. سایت بررسی شده در محدوده خیابان سی‌ام تیر پس از تقاطع این خیابان با خیابان امام خمینی است که در آن پانل‌های گیاه‌کاری شده‌ای در طول زیاد در کنار خیابان نصب شده‌اند (شکل ۳). گیاه به کار رفته در این دیوار از نوع ناز ژاپنی است. دلیل انتخاب این سایت، واقع شدن آن در قسمت مرکزی تهران با دمای هوای زیاد و حجم زیاد گیاه‌کاری است؛ علاوه بر اینها، پشت این پانل گیاه‌کاری شده فضا خالی است؛ بنابراین تغییرات دما صرفاً مربوط به گیاه‌کاری است. اندازه‌گیری‌ها در ماه دی به نمایندگی فصل سرد و ماه خرداد به نمایندگی فصل گرم در بین ساعات ۹ تا ۱۵ انجام شد. روش بررسی بدین ترتیب بود که فواصل مشخصی از دیوار به فواصل صفر، نیم، یک و نیم و دو متر با دستگاه‌های بیان‌شده اندازه‌گیری و دمای آنها مقایسه شد.



شکل ۳. موقعیت و تصاویر مربوط به خیابان سی تیر

Figure 3. Location and near views of the VGS of 30<sup>th</sup> Tir street

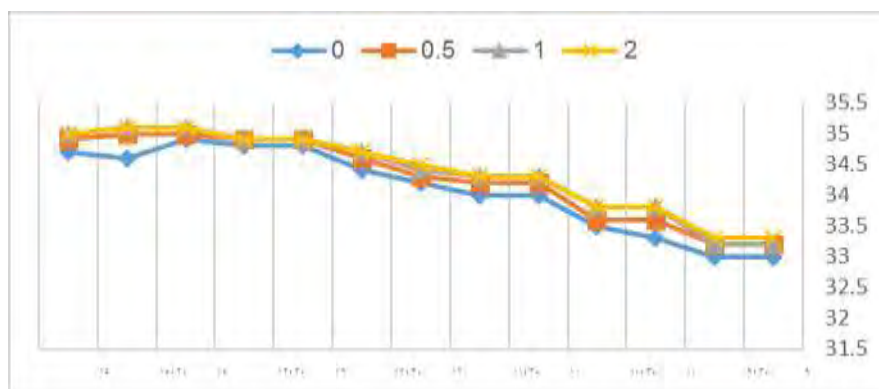
در نمودارهای زیر دمای گزارش شده با دیاگرام‌هایی در هر دو فصل سرد (شکل ۴) و گرم (شکل ۵) مشاهده می‌شود:



شکل ۴. تغییرات دمایی با فاصله از دیوار سبز در دی ۱۳۹۷

Figure 4. Temperature changes with distance from the green wall in January 2019



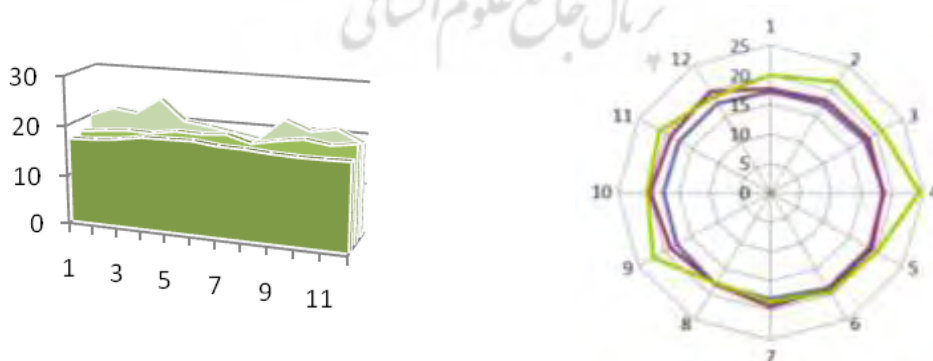


شکل ۵. تغییرات دمایی با فاصله از دیوار سبز در تیر ۱۳۹۷

Figure 5. Temperature changes with distance from the green wall in July 2018

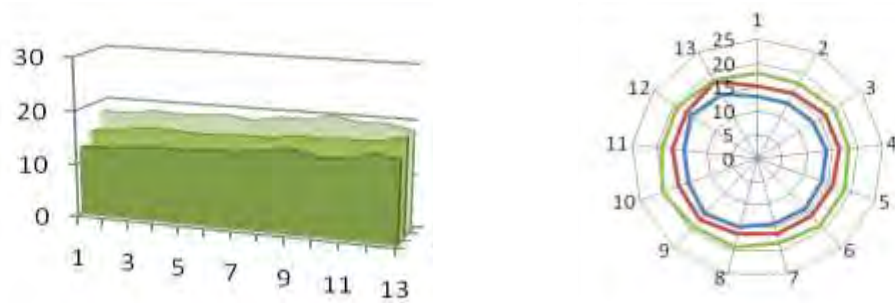
### تغییرات رطوبت

علاوه بر بررسی تغییرات دما، تغییرات رطوبت نیز به‌مثابه عاملی اساسی و تأثیرگذار در آسایش حرارتی در فضای باز تحلیل شد. دیتالاگر استفاده‌شده درصد رطوبت نسبی را نیز ضبط کرده است. براساس نمودار، تغییرات رطوبت در مجاورت دیوار مقادیر رطوبت نسبی اندکی بیشتر از سایر نقاط است (شکل ۶). نمودار زیر تفاوت میزان رطوبت را گویاتر نشان می‌دهد. تغییرات رطوبت علاوه بر این در فصل سرد نیز بررسی شد. همان‌گونه که انتظار می‌رفت، تغییرات رطوبت در هر دو فصل سرد و گرم رفتار مشابهی دارند و در هر دو فصل، رطوبت نسبی در مجاورت دیوار و پوشش گیاهی بیشتر است. البته میزان این تفاوت یکسان نیست و براساس مقادیر اندازه‌گیری‌شده با دستگاه دیتالاگر، افت رطوبت با فاصله گرفتن از دیوار سبز و پوشش گیاهی در فصل سرد بیش از فصل گرم است. نمودارهای زیر روند تغییر رطوبت را در فصل گرم در دیوار سبز مدنظر نشان می‌دهد. در ادامه بررسی‌ها، با استفاده از نمودارهای سایکرومتریک و در دست داشتن مقادیر دمای خشک و رطوبت نسبی، دمای تر نیز استخراج شد؛ بر این اساس در نمونه مطالعه‌شده، دمای تر در مجاورت جداره ۲۳/۵ و با فاصله گرفتن از دیوار در فاصله دو متری به ۲۴/۵ درجه سانتی‌گراد در فصل گرم می‌رسد.



شکل ۶. نمودار تغییرات رطوبت با فاصله گرفتن از دیوار سبز در تابستان

Figure 6. Temperature changes with distance from the green wall in summer



شکل ۷. نمودار تغییرات رطوبت با فاصله گرفتن از دیوار سبز در زمستان

Figure 7. Temperature changes with distance from the green wall in winter

### شبیه‌سازی

در این پژوهش برای دستیابی به نتیجه‌ای قابل اتکا در اقلیم ایران و شهر تهران، با استفاده از برنامه شبیه‌سازی میکرواقلیم‌های شهری، Envi-met، در مرحله اول نتایج حاصل از مطالعات میدانی با نتایج شبیه‌سازی همان نمونه مقایسه شد تا روایی نرم‌افزار امتحان شود. همان‌گونه که در شکل ۲ مشاهده می‌شود، نتایج حاصل از دو مرحله تا حد زیادی با یکدیگر همخوانی دارد (شکل ۲).

در ادامه یک بلوک شهری در تهران شبیه‌سازی و نتیجه تأثیر استفاده از ردیفی از درختان فرضی (درخت با ارتفاع ۱۰ متر و پوشش مترامک از نوع simple plant) در بدنه‌های خیابان در آن مورد و تأثیر آن بر تعدیل دما واکاوی شد. در این مرحله وضعیت موجود یک بلوک شهری با حالت فرضی کاشت گیاهان ردیفی در دو طرف خیابان بررسی شد. محدوده این نمونه در فضای شهری، قسمتی از خیابان سپهبد قرنی در ضلع شمال میدان فردوسی، به‌منزله محدوده مدل‌سازی انتخاب شد. دلیل انتخاب این مکان، نزدیکی آن با دیوار مطالعه‌شده و نیز بروز پدیده جزیره گرمایی و دمای زیاد در محدوده میدان فردوسی است (شکل ۸). پلان شهری از طرح تفصیلی منطقه استخراج و در برنامه Envi-met مدل‌سازی شد.

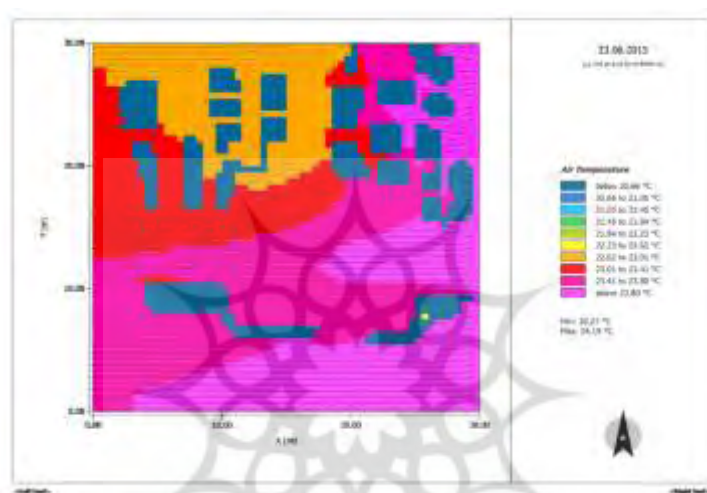


شکل ۸. موقعیت شهری نمونه شبیه‌سازی شده

Figure 8. Urban location of simulation

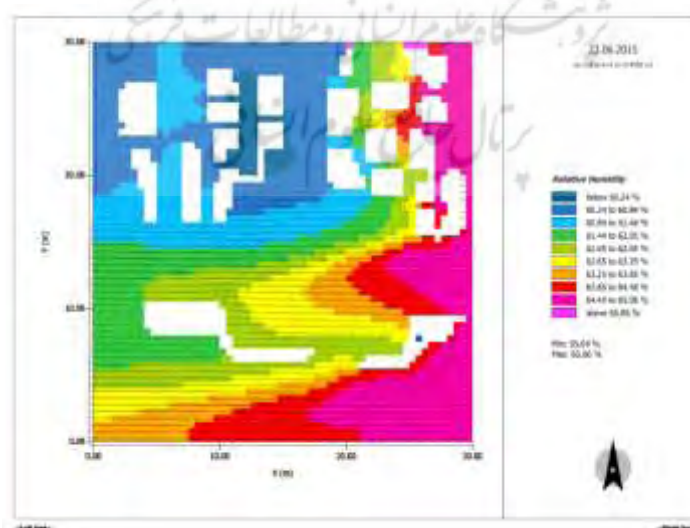
خروجی‌های زیر از برنامه Leonardo استخراج شده است که دمای هوا، تغییرات دمای هوا و رطوبت نسبی را در فصل تابستان نشان می‌دهد. براساس خروجی‌های به‌دست‌آمده از برنامه، دمای هوا در فصل گرم در محدوده‌ای از خیابان که گیاه‌کاری فرضی دارد، کمتر از سایر فضاهاست (شکل ۹).

براساس یافته‌های شبیه‌سازی، دما در کریدور شهری‌ای که دو ردیف درختان فرضی در دو طرف خیابان برای آن در نظر گرفته شد، به میزان حدود ۰/۴ درجه کمتر (رنگ نارنجی) است. این کاهش دمای هوا در ضلع شمال غربی سایت نیز دیده می‌شود که به نسبت پوشش گیاهی زیادی دارد. در تصاویر زیر اطلاعات مربوط به رطوبت نسبی و تغییرات دمای هوا نیز دیده می‌شود (شکل ۹). گفتنی است شبیه‌سازی‌های این مرحله در ساعت ۱۲ ظهر انجام گرفته است.



شکل ۹. تغییرات دما در محدوده شبیه‌سازی شده

Figure 9. Temperature changes in simulated case study



شکل ۱۰. تغییرات رطوبت نسبی در محدوده شبیه‌سازی شده

Figure 10. Humidity changes in simulated case study

علاوه بر شبیه‌سازی اشاره‌شده، برای اطمینان از کاهش دما فارغ از نوع گونه‌های گیاهی، گزینه متفاوتی از گیاه فرضی نیز در نرم‌افزار در این بخش مدل‌سازی شد. در اینجا نیز از ردیف Simple plant و زیرشاخه گیاه Soja استفاده شد.



شکل ۱۱. شبیه‌سازی محدوده شهری فرضی

Figure 11. Simulation of Hypothetical urban area

براساس تصویر بالا، یک منطقه شهری فرضی با استفاده از نرم‌افزار مدل‌سازی و گیرنده‌های مختلفی در موقعیت‌های مختلف قرار داده شد. در نظر گرفتن پهنای بزرگ خیابان فرضی برای از بین بردن تأثیر سایه‌اندازی بر نتایج بود. نمودار زیر از مقایسه دما در دو گیرنده ۱ و ۲ در ۲۱ تیر ۱۳۹۸ به دست آمده است (شکل ۱۲). کاهش دما در مجاورت پوشش گیاهی این‌بار نیز در فصل گرم مشاهده می‌شود که در گستره ۰,۳۳ درجه و کمتر از آن است.



شکل ۱۲. مقایسه دما در دو گیرنده ۱ و ۲

Figure 12. temperature comparison in 1 and 2 receptors

### نتیجه‌گیری

هدف اصلی پژوهش حاضر، دستیابی به درکی بهتر از چگونگی تأثیر گیاهان برای ارتقای کیفیت هوای شهری از راه تعدیل دمای محیط و نیز رطوبت نسبی موجود در هوا بود؛ بنا بر این پژوهش، بهره‌گیری از گیاهان در فضای شهری تهران موجب کاهش دمای هوا و افزایش رطوبت نسبی در فصول گرم در مقیاس خرد می‌شود. نتایج حاصل از هر دو فاز پژوهش یعنی مطالعات میدانی و شبیه‌سازی نشان داد میزان این کاهش در صورت استفاده گسترده زیاد است و می‌تواند راه‌حلی برای تعدیل دما و پیرو آن کاهش جزیره گرمایی شهری باشد.

نتایج به دست آمده از بررسی مطالعات میدانی نشان می‌دهد بهره‌گیری از گیاهان موجب ارتقای آسایش حرارتی در فضای شهری از راه تعدیل دما و رطوبت می‌شود. همان‌گونه که در اندازه‌گیری‌ها به دست آمده است پانل‌های گیاه‌کاری شده حاشیه نمونه بررسی شده، دمای هوا را در نقاط مدنظر به‌طور متوسط حدود ۰,۵ درجه کاهش می‌دهند. این کاهش دما در نقاط چسبیده به دیوار و حداکثر تا فاصله نیم‌متری از آن محسوس است و پانل‌های گیاه‌کاری شده با وجود وسعت زیاد بر دمای نقاط دورتر از یک متر تأثیر چندانی ندارند. این امر نشان‌دهنده تأثیر گیاهان صرفاً در مقیاس‌های بسیار خرد است. نتیجه مهمی که از این بخش از پژوهش حاصل می‌شود، تأثیر فاصله پوشش گیاهی با فضای مدنظر است. اندازه‌گیری‌ها نشان داد در فواصل بیش از ۵۰ سانتی‌متر، حضور گیاه چه در حالت دیوار سبز و چه در قالب درختان ردیفی، تأثیر محسوسی بر دمای هوا و رطوبت ندارد؛ بنابراین برای فراهم کردن آسایش افراد پیاده در معابر شهری، استقرار گیاه دقیقاً در مجاورت معبر و در صورت امکان در دو طرف معبر مؤثر است.

آنچه مشخصاً پژوهش حاضر به آن دست یافته است، کاهش دمای بسیار جزئی است که پیرامون گیاه رخ می‌دهد. بعضی مقالات پیشین به کاهش چند درجه‌ای دما با استفاده از حضور گیاهان اشاره داشته‌اند، اما مطالعه نمونه موردی دیوار سبز در اقلیم تهران نشان داد این کاهش دما بسیار کم و در حد متوسط نیم‌درجه است که با توجه به هزینه زیاد نصب، اجرا و نگهداری دیوارهای سبز چندان منطقی نخواهد بود؛ اما کاشت گیاهان به صورت ردیفی بدون داشتن هزینه‌های مربوط به دیوارهای سبز همان میزان کاهش دما را به همراه دارد و منطقی‌تر است.

گفتنی است اگرچه میزان کاهش دما در این نمونه بسیار ناچیز به نظر می‌رسد، باید این مسئله را در نظر گرفت که وقتی این کاهش کم دما در مقیاس وسیع رخ دهد، تأثیرات زیادی در مقیاس شهری خواهد داشت. این کاهش دما به کاهش مصرف انرژی و همچنین بهبود شرایط حرارتی در فصول گرم منجر می‌شود. بررسی سه نوع متفاوت از گیاهان در نمونه موردی میدانی و دو نمونه شبیه‌سازی نیز نشان داد تعدیل دما فارغ از نوع گیاه خواهد بود. بررسی دقیق‌تر این مطلب که کدام گونه‌های گیاهی در این موضوع مؤثرترند، مسئله‌ای است که در پژوهش‌های آتی قابل انجام است. مسئله دیگر در این پژوهش، توجه همزمان به دو عامل دما و رطوبت نسبی در کنار یکدیگر بود. نتایج حاصل از برداشت‌های میدانی نشان می‌دهد فضاهای گیاه‌کاری شده شرایط مناسبی را با افزایش اندک رطوبت نسبی در فصل گرم به وجود می‌آورند که در کنار کاهش دما، محیط مطلوب‌تری را برای انسان‌ها در مقیاس خرد اطراف ایجاد می‌کند و موجب ارتقای شرایط آسایش حرارتی در فضای باز شهری می‌شود؛ همچنین با کاهش دمای ایجادشده، محافظت پوسته ساختمان از جذب گرما و نیز کاهش تابش از سطوح سبز، گیاهان تأثیر مثبتی بر کاهش جزیره گرمایی شهری خواهند داشت؛ علاوه بر کاهش دما در فصول گرم، در فصول سرد نیز دقیقاً در مجاورت سطوح گیاه‌کاری شده، دما به میزان کمی بیشتر ثبت شده است. نتایج حاصل از بخش شبیه‌سازی نیز در همه فازهای خود مؤید نتایج اطلاعات میدانی است که در آن دمای اطراف درختان ردیفی به میزان ۰/۴ درجه کمتر از مرکز خیابان است. علاوه بر دما، دمای تابشی نیز در این محدوده کاهش زیادی داشته است. از برآیند تأثیر این دو عامل (دما و دمای تابشی)، آسایش حرارتی در میکرواقلیم‌های شهری گیاهان نیز ارتقا خواهد یافت.

پژوهش حاضر در بستر اقلیمی مناطق مرکزی تهران انجام شده است و پژوهش‌های آتی در سایر اقلیم‌ها می‌توانند

نتایج گسترده‌تری را حاصل کنند؛ اما آنچه مسلم است بهره‌گیری از گیاهان به‌مثابه یک عنصر طراحی، یکی از راه‌حل‌هایی است که پیامدهای مثبتی از جمله کاهش دما، کاهش مصرف انرژی، کاهش اثر جزیره گرمایی و ارتقای آسایش حرارتی در فضای باز را در پی دارد. زمانی که طراحی فضای شهری در مقیاس خرد و کلان منطبق بر ملاحظات زیست محیطی باشد، آسایش افراد به‌ویژه افراد پیاده ارتقا می‌یابد و ساکنان تمایل بیشتری به حضور در سطح شهر و فعالیت‌های بیرون از خانه پیدا می‌کنند. این مسئله علاوه بر ابعاد اجتماعی از جمله ایجاد سرزندگی، امنیت و رونق اقتصادی، از دیدگاه انرژی نیز موجب کاهش ساعات حضور افراد در خانه‌ها و پیرو آن کاهش مصرف انرژی و همچنین کاهش استفاده از وسایل نقلیه شخصی می‌شود؛ علاوه بر این با بهره‌گیری از گیاهان در مقیاس‌های وسیع و در نقاط متعدد شهر می‌توان این امید را داشت که تأثیرات اشاره‌شده در مقیاس‌های کلان نیز مطرح شوند.

## منابع

- آزموده، مریم، حیدری، شاهین، (۱۳۹۶). تأثیر دیوارهای سبز شهری بر کاهش دمای خرداقلیم‌ها و اثر جزیره گرمایی شهری، فصلنامه علوم و تکنولوژی محیط‌زیست، دوره ۱۹، ویژه‌نامه شماره ۵، ۵۹۹-۶۰۶.
- محمودی، امیرسعید، قاضی‌زاده، سیده‌ندا، منعم، علیرضا، (۱۳۸۹). تأثیر طراحی در آسایش حرارتی فضای باز مجتمع‌های مسکونی؛ نمونه مطالعه: فاز سه مجتمع مسکونی اکباتان، دوره ۲، شماره ۴۲، ۵۹-۷۰.
- Akbari, H., (2002). **Shade trees reduce building energy use and CO2 emissions from power plants**, Environmental Pollution, 116, 119-126.
- Alexandri, E., Jones, P., (2008). **Temperature decrease in an urban canyon due to green walls and green roofs in diverse climates**, Building and Environment; 43, 480-493.
- Azmoodeh, Maryam, Shahin Heidari, 2017, **Effect of Urban Green Walls on Reduction of Temperature in Microclimates and Urban Heat Island**, J.Env. Sci. Tech., Vol 19, Special No.5, Summer 2017
- Baghaei Daemei Abdollah, Maryam Azmoodeh, Zahra Zamani, Elham Mehrinejad Khotbehsara, (2018). **Experimental and simulation studies on the thermal behavior of vertical greenery system for temperature mitigation in urban spaces**, Journal of Building Engineering, 20 (2018), 277-284.
- Buccolieri, R., Santiago, J.L., Rivas, E., Sanchez, B., (2018). **Review on urban tree modelling in CFD simulations: Aerodynamic, deposition and thermal effects**, Urban Forest. Urban Green, 31, 212-220.
- Ca, V.T., Asaede, T., Abu, E., (1998). **Reductions in air conditioning energy caused by a nearby park**, Energy and Building, Vol. 29, 83-92.
- Chen, L., Ng, E., (2012). **Outdoor thermal comfort and outdoor activities: A review of research in the past decade**, Cities 2012, 29, 118-125.
- Dunnett, N., Kingsbury, C., (2008). **Planting Green Roofs and Living Walls, Revised and Updated Edition**, Timber Press, Portland, Oregon.
- Daemeia, A., Azmoodeh, M., Zamani, Z., Mehrinejad Khotbehsara, E., (2018). **"Experimental and simulation studies on the thermal behavior of vertical greenery system for temperature mitigation in urban spaces"**, Journal of Building Engineering, 20 (2018), 277-284.
- Elnabawi, M.H., Hamza, N.A., (2020). **Behavioural Analysis of Outdoor Thermal Comfort: A Comparative Analysis between Formal and Informal Shading Practices in Urban Sites**, Sustainability, 12, 9032.
- Kobayashi, H., Kai, T., (2005). **The use of urban green space to improve the thermal environment**, The 2005 world Sustainable Building Conference, 27-29 september 2005, Tokyo.

- Hart, M.A., Sailor, D.J., (2008). **Quantifying the influence of land-use and surface characteristics on spatial variability in the urban heat island**, *Theor Appl climatol*, Vol. 94, 397-406.
- Heisler, G., Walton, J., Yasilonis, J., Nowak, D., Pouyat, R., Grant, R., Grammond, S., Hayde, k., Bacon, G., (2007). **Empirical modeling and mapping of below-canopy air temperatures in Baltimore, MD and vicinity**, paper presented at the proceedings of 7th urban environment symposium, 10-13 September 2007, Sun Diego.
- Hoyano, A., (1988). **Climatological uses of plants for solar control on the effects on the thermal environment of a building**, *Energy and Buildings*, 11, 181-9.
- Holm, D., (1989). **Thermal improvement by means of leaf cover on external walls – a simulation model**, *Energy and Buildings*, 14, 19-30.
- Hwang, W.H., (2007). **Estimation of the Effects of Vegetation on Local Climate Using GIS and Remote Sensing Data**, Master of Science Thesis, Marshall university.
- Khalaim, O., Zabarna, O., Kazantsev, T., Panas, I., Polishchuk, O., (2021). **Urban Green Infrastructure Inventory as a Key Prerequisite to Sustainable Cities in Ukraine under Extreme Heat Events**, *Sustainability*, 13, 2470.
- Gatto, E., Buccolieri, R., Aarrevaara, E., Ippolito, F., Emmanuel, R., Perronace, L., Santiago, J.L., (2020) **Impact of Urban Vegetation on Outdoor Thermal Comfort: Comparison between a Mediterranean City (Lecce, Italy) and a Northern European City (Lahti, Finland)**, *Forests* **2020**, 11, 228.
- Ifatimehin, O.O., (2007). **An assessment of urban heat island of Lokoja town and surroundings using Landsat ETM data**, viewed at February 2011, <http://www.works.bepress.com/olarewaja-ifatimehin/13>.
- Mahmoodi Amir Saeid, Seyedeh Neda Ghazizadeh, Alireza Monam, (2010) **The Impact of the Architectural Design on the Thermal Comfort of the Outdoor Spaces in Residential Complexes\*** Case Study: Ekbatan Complex, Phase III, 2010, *Journal of Fine Arts, University of Tehran*, No.42, Summer 2010
- Rajabi, T., Abu-Hijleh, B., (2014). **The Study of Vegetation Effects on Reduction of Urban Heat Island in Dubai**, *World Sustainable Building 2014 Barcelona Conference - Conference Proceedings - Volume 7, Madrid (Spain)*
- Razzaghmanesh, M., Borst, M., Liu, J., Ahmed, F., O'Connor, T., Selvakumar, A., (2021). **Air temperature reduction at the base of tree canopies**, *J. Sustain. Water Built Environ.* 2021, 7, 04021010.
- Schrader, S., Boning, M., (2006). **soil formation on green roofs and its contribution to urban biodiversity with emphasis on column balans**, *Pedobiologia*, Vol 50, Issue 4, 347-356.
- Taleghani M., Sailor, DJ., Tenpierik, M., van den Dobbelssteen, A., (2014). **Thermal assessment of heat mitigation strategies: The case of Portland State University, Oregon, USA**, *Building and Environment*, 73, 138-150.
- Taleghani, M., (2018). **Outdoor thermal comfort by different heat mitigation strategies- A review**, *Renew. Sustain. Energy Rev.* 2018, 81, 2011-2018.
- T.U.N., Kaluarachichi, Tjoelker M.G., Pfautsch S., (2020). **Temperature Reduction in Urban Surface Materials through Tree Shading Depends on Surface Type Not Tree Species"**, *Forests* 11, No 11, 1141.
- Vo, T.T., Hu, L., (2020), **Diurnal evolution of urban tree temperature at a city scale**, *Sci Rep* 11, 10491
- Zhang, L., Wei, D., Hou, Y., Du, J., Liu, Z., Zhang, G., Shi, L., (2020). **Outdoor Thermal Comfort of Urban Park—A Case Study**, *Sustainability* 12, 1961.

- Kobayashi, H. & Kai, T. 2005. The use of urban green space to improve the thermal environment. The 2005 world Sustainable Building Conference. 27-29 september 2005, Tokyo.
- Hart, M. A. & Sailor, D. J. 2008. Quantifying the influence of land-use and surface characteristics on spatial variability in the urban heat island. *Theor Appl climatol*, Vol. 94: 397-406.
- Heisler, G.; Walton, J.; Yasilonis, J.; Nowak, D.; Pouyat, R.; Grant, R.; Grammond, S.; Hayde, k. & Bacon, G. 2007. Empirical modeling and mapping of below-canopy air temperatures in Baltimore, MD and vicinity. paper presented at the proceedings of 7th urban environment symposium, 10-13 September 2007, Sun Diego.
- Hoyano A (1988) Climatological uses of plants for solar control on the effects on the thermal environment of a building. *Energy and Buildings*, 11: 181–9
- Holm D (1989) Thermal improvement by means of leaf cover on external walls – a simulation model, *Energy and Buildings*, 14: 19–30
- Hwang, W. H. 2007. Estimation of the Effects of Vegetation on Local Climate Using GIS and Remote Sensing Data. Master of Science Thesis. Marshall university
- Khalaim, O.; Zabarna, O.; Kazantsev, T.; Panas, I.; Polishchuk, O. (2021): Urban Green Infrastructure Inventory as a Key Prerequisite to Sustainable Cities in Ukraine under Extreme Heat Events. *Sustainability*, 13, 2470
- Gatto, E.; Buccolieri, R.; Aarrevaara, E.; Ippolito, F.; Emmanuel, R.; Perronace, L.; Santiago, J.L.(2020) Impact of Urban Vegetation on Outdoor Thermal Comfort: Comparison between a Mediterranean City (Lecce, Italy) and a Northern European City (Lahti, Finland). *Forests* 2020, 11, 228
- Ifatimehin, O. O. 2007. An assessment of urban heat island of Lokoja town and surroundings using Landsat ETM data. viewed at February 2011, <<http://www.works.bepress.com/olarewaja-ifatimehin/13>>
- Schrader, S and Boning, M. (2006) soil formation on green roofs and its contribution to urban biodiversity with emphasis on column balans, *Pedobiologia*, Vol 50, Issue 4, pp. 347-356
- Taleghani M, Sailor DJ, Tenpierik M, van den Dobbelen A (2014) Thermal assessment of heat mitigation strategies: The case of Portland State University, Oregon, USA, *Building and Environment*, 73: 138-150
- Taleghani, M. (2018). Outdoor thermal comfort by different heat mitigation strategies- A review. *Renew. Sustain. Energy Rev.* 2018, 81, 2011–2018.
- T.U.N., Kaluarachichi, Tjoelker M.G., and Pfautsch S.. (2020) :Temperature Reduction in Urban Surface Materials through Tree Shading Depends on Surface Type Not Tree Species" *Forests* 11, no. 11: 1141.
- Vo, T.T., Hu, L.(2020), Diurnal evolution of urban tree temperature at a city scale. *Sci Rep* 11, 10491
- Zhang, L.; Wei, D.; Hou, Y.; Du, J.; Liu, Z.; Zhang, G.; Shi, L.(2020), Outdoor Thermal Comfort of Urban Park—A Case Study. *Sustainability* 12, 1961.