Karafan
Quarterly Scientific Journal of Technical and Vocational University
Winter 2023, Vol. 19, No. 4, p. 259-282
Journal Homepage: https://karafan.tvu.ac.ir/?lang=en
doi:10.48301/KSSA.2022.319059.1893
TVU

Comparative Comparison of the Effect of Green Roof Vegetation on the Reduction of Urban Heat Island (Case Study: Enghelab Square, City of Tehran)

Seyedhossein Neshatsafavi[1], Maliheh Babakhani[2], Maryam Azmoodeh[3*]

[1]MSc, Department of Architecture and Urbanism, Imam Khomeini International University, Qazvin, Iran.
[2]Assistant Professor, Department of architecture and urbanism, International University of Imam Khomeini, Qazvin, Iran.
[3]Assistant Professor, Department of architecture and urbanism, International University of Imam Khomeini, Qazvin, Iran.

ARTICLE INFO

Article Type:
Original Research

Received: 12.18.2021
Revised: 05.17.2022
Accepted: 05.22.2022

Keyword:
Urban Heat Island
Green Roof
Vegetation
Center of Tehran City

***Corresponding Author:**
Maryam Azmoodeh
Email: *azmoodeh@arc.ikiu.ac.ir*

ABSTRACT

The compact development of cities and the reduction of green spaces are the main reasons for the formation of thermal islands, a phenomenon that has become a major problem in cities. In addition, increased temperatures have led to environmental problems, reduced health of citizens, and risen energy consumption, particularly in buildings as it is used to create favorable temperature conditions to gain thermal comfort. One strategy for controlling and reducing this problem is the use of passive systems such as green roofs which can affect the thermal properties of a building due to their moisture content, absorption level, reflection and shading parameters. Furthermore, the presence of different vegetation will have different effects on the temperature changes of the roof surfaces. This paper investigates the performance of green roofs with different vegetation coverage on the roof surface temperatures of buildings. The surveys were conducted in hot and dry climates of Tehran city and simulations were carried out by Envi-Met software. The main environmental variables such as mean radiant temperature, air temperature, air flow and relative humidity were studied and compared as the main variables of the study. Finally, a comparison of the extent and role of the above on reducing the thermal island phenomenon shows that the use of Hedege, Grass and Soja vegetation in creating optimal conditions was very impressive in the order mentioned. The results show that green roof with Hedege vegetation (compact) had the greatest impact on climatic parameters compared to other green roofs.

©2023 the authors. Published by Technical and Vocational University, Tehran, Iran. This article is an open-access article distributed under the terms and conditions of the Creative Commons Attribution-Noncommercial 4.0 International (CC BY-NC License) (https://creativecommons.org/licenses/by-nc/4.0/)

E-ISSN: 2538-4430
ISSN: 2382-9796

EXTENDED ABSTRACT

Introduction

The development of cities in a compact way and the reduction of green spaces is one of the important and influential factors in the formation of thermal islands. A phenomenon that has become one of the major problems in cities. On the other hand, increasing the temperature in addition to causing environmental problems and reducing the health of citizens also increases energy consumption, particularly in buildings, as building energy is used to create favorable temperature conditions to gain thermal comfort. Several factors, such as the transformation of natural green areas into impervious surfaces as a result of rapid urban development, as well as the consequences of global climate change, contribute to the formation of this problem. Materials such as asphalt, brick, and concrete absorb heat more easily, but exude less efficiently compared to trees, grass, and water-covered surfaces. The heat island phenomenon is one of the main problems of the urban environment creating negative effects on urban spaces. One of the strategies that can help control and reduce this problem is the use of passive systems such as green roofs which can affect the thermal properties of the building due to their moisture content, absorption level, reflection and shading parameters. In addition, the presence of different vegetation will have different effects on the temperature changes of the roof surfaces. The present study investigated the performance of green roofs with different vegetation coverage on the roof surface temperatures of buildings. Several studies have been conducted to investigate the role of green roofs in reducing temperature. In general, the studies conducted in this field cover two categories of topics. The first topic is related to the cooling effect of the green roof on the indoor temperature and its role as thermal insulation, and the second topic is related to the effect of the green roof on the roof temperature, which is the subject of this research.

Methodology

This research was based on experimental and sampling methods. For this purpose, a part of the residential neighborhood of Enghelab Square, between Ravanmehr and Shahid Labafinejad streets in Tehran, was selected for modeling in order to investigate the effect of the type of vegetation on temperature reduction. The evaluation of this particular area was due to the high density of buildings and the report that introduced this area as one of the main centers of heat island in the city of Tehran. In this study, the calculation of the effects of green roofs and the influence on the interaction of plant types and surfaces in the climate changes of the climate were evaluated. In collecting the necessary data for simulation, the available documents, maps, detailed plan and meteorological data documents were used. Due to the possibility of the effect of roof details on the results, this parameter was considered constant, which is consistent with the field impressions of the area due to the similarity of the details. The survey also used simulations by Envi-Met software. The main environmental variables such as mean radiant temperature, air temperature, air flow and relative humidity as the main variables of the study were studied and compared. Furthermore, in order to confirm the validity of the desired software, in addition to referring to numerous previous studies, the results of field measurements and simulations were compared with each other. The data logger used in this step was TESTO 174 H, a device with the capability of recording temperature and humidity, storing relative humidity and ambient temperature based on time and date settings, and drawing the corresponding graphs through the software. The comparison of the data obtained from the experimental measurement and the output of the

same model in the Envi-mat program showed that the results obtained were reliable results with slight differences.

Results and discussion

Air Temperature: Vegetation cover of the green roof caused a decrease in air temperature in the environment. In this research, the air temperature was measured at a height of 1.5 meters which showed each of the green roof types to have different effects on the air temperature alternations. Reducing air temperature decreased the urban heat island phenomenon.

The mean radiant temperature: Vegetation cover of the green roof decreased the mean radiant temperature in the environment by preventing sun radiation on the roof surface and having different physical characteristics.

Relative humidity: Vegetation cover of the green roof had a positive impact on increasing the relative humidity of the environment. Therefore, based on the results, improving relative humidity decreased the urban heat island**.**

Wind speed: Vegetation cover of the green roof had a direct impact on the urban heat island reduction by changing wind speed. In this sense, changing wind speed changed air temperature by increasing evaporation of the green roof surfaces. The result of the simulations showed the effect of the different green roofs on the wind speed.

Conclusion

In this research, the effect of three types of green roof, Soja (Extensive vegetation), Grass (Semi-compact vegetation), and Hedege (Intensive vegetation) was investigated and evaluated based on four important parameters including air temperature reduction, mean radiant temperature, relative humidity, and wind speed as per Table 1.

Table 1. Effects of vegetation type on heat island factors.

Hedege (Intensive vegetation)	Grass (Semi-compact vegetation)	Soja (Extensive vegetation)	Heat island factors
Maximum air temperature reduction	Average air temperature reduction	Minimum air temperature reduction	Air Temperature reduction
Maximum mean radiant temperature	Average mean radiant temperature	Minimum mean radiant temperature	Mean radiant temperature
Maximum relative humidity	Average relative humidity	Minimum relative humidity	Relative humidity
Further reduction in wind speed	Reduction of average wind speed	Less reduction in wind speed	Wind speed

Hedege (Intensive vegetation), one of the green roof types investigated, had the most significant effect on the weather parameters compared to the other vegetation covers. Thus, selecting appropriate vegetation cover for the green roof based on the location is vital. Additionally, each of the vegetation covers had a different impact on the reduction of urban heat islands. The Hedege (Intensive vegetation) green roof had the best performance among all vegetation covers to reduce the urban heat island phenomenon. Choosing an appropriate green roof not only helps to decrease carbon emission and air pollution but reduces energy consumption in buildings as well.

کارفن
فصلنامه علمی دانشگاه فنی و حرفه‌ای
زمستان ۱۴۰۱، دوره ۱۹، شماره ٤، ۲۸۲-۲۵۹
آدرس نشریه: https://karafan.tvu.ac.ir/
doi:10.48301/KSSA.2022.319059.1893

مقایسه تطبیقی تأثیر انواع پوشش گیاهی بام سبز بر کاهش جزیره گرمایی شهری (مطالعه موردی: میدان انقلاب شهر تهران)

سیدحسین نشاط صفوی[۱]، ملیحه باباخانی[۲]، مریم آزموده[۳*]

۱- کارشناسی ارشد، دانشکده معماری و شهرسازی، دانشگاه بین‌المللی امام خمینی(ره)، قزوین، ایران.
۲- استادیار دانشکده معماری و شهرسازی، دانشگاه بین‌المللی امام خمینی(ره)، قزوین، ایران.
۳- استادیار، گروه معماری، دانشکده معماری و شهرسازی، دانشگاه بین‌المللی امام خمینی(ره)، قزوین، ایران.

اطلاعات مقاله

نوع مقاله: مقاله پژوهشی

دریافت مقاله: ۱۴۰۰/۰۹/۲۷
بازنگری مقاله: ۱۴۰۱/۰۲/۲۷
پذیرش مقاله: ۱۴۰۱/۰۳/۰۱

کلید واژگان:
جزیره گرمایی شهری
بام سبز
پوشش گیاهی
منطقه مرکزی تهران

***نویسنده مسئول:** مریم آزموده
پست الکترونیکی:
azmoodeh@arc.ikiu.ac.ir

چکیده

توسعه شهرها و کاهش فضاهای سبز یکی از عوامل مهم و تأثیرگذار بر شکل‌گیری جزایر حرارتی است. پدیده‌ای که به یکی از مشکلات مهم در شهرها تبدیل شده است. افزایش دما علاوه بر ایجاد مشکلات زیست‌محیطی و کاهش سلامت شهروندان، موجب افزایش مصرف انرژی به‌ویژه در ساختمان‌ها می‌شود؛ زیرا انرژی ساختمان صرف ایجاد شرایط مطلوب دمایی می‌شود. در این راستا استفاده از سیستم‌های غیرفعال همچون بام سبز به دلیل میزان رطوبت، جذب، انعکاس و سایه‌اندازی خود می‌تواند بر تغییر ویژگی‌های حرارتی ساختمان تأثیرگذار باشد. وجود پوشش‌های گیاهی مختلف نیز تأثیرات متفاوتی بر تغییرات دمایی سطوح بام خواهد داشت. این مقاله به بررسی عملکرد بام سبز براساس نوع پوشش‌های گیاهی بام و تأثیر آنها بر دمای سطوح بام ساختمان‌ها پرداخته است. بررسی‌ها در اقلیم شهر تهران و در محدوده میدان انقلاب با استفاده از نرم‌افزار Envi-met انجام گرفته است. همچنین عوامل تأثیرگذار محیطی شامل دمای تابشی متوسط، دمای هوا، جریان هوا و رطوبت نسبی بررسی شده است. در نهایت مقایسه میزان و چگونگی نقش موارد فوق بر کاهش پدیده جزیره حرارتی نشان می‌دهد که به‌ترتیب استفاده از پوشش‌های گیاهی Grass،Hedege و Soja در ایجاد شرایط بهینه از نظر دمای هوا، دمای متوسط تابشی، سرعت باد و رطوبت نسبی در سطح بام تأثیرگذار بوده است. نتایج نشان می‌دهد بام سبز با پوشش گیاهی Hedege (فشرده) بیشترین میزان تأثیرگذاری را بر متغیرهای آب‌وهوایی به نسبت سایر بام‌های سبز دارد.

شاپای الکترونیکی: ۲۵۳۸-۴۴۳۰
شاپای چاپی: ۲۳۸۲-۹۷۹۶

©2023 the authors. Published by Technical and Vocational University, Tehran, Iran. This article is an open-access article distributed under the terms and conditions of the Creative Commons Attribution-Noncommercial 4.0 International (CC BY-NC License) (https://creativecommons.org/licenses/by-nc/4.0/)

مقدمه

امروزه رشد جمعیت شهری و مشکلات متعدد شهرها، توجه به کیفیت زندگی و نیازهای شهروندان را حیاتی کرده است [۱]. شهرها بیش از نیمی از جمعیت جهان (۳/۴ میلیارد نفر) را در خود جای داده‌اند و انتظار می‌رود به موجب مهاجرت‌های گسترده از محیط‌های روستایی به نقاط شهری تا سال ۲۰۵۰ این تعداد به ۵ میلیارد نفر برسد [۲]. با توجه به گسترش روزافزون جمعیت جهان، افزایش شهرنشینی و سطح رفاه عمومی، نیازهای انسان روزبه‌روز در حال افزایش است [۳]. یکی از تبعات افزایش جمعیت و در نتیجه افزایش تراکم در مراکز شهری، بالا رفتن دمای آنها در مقایسه با دمای مناطق حومه‌ای و روستایی است [۴]. پدیده‌ای که از آن تحت عنوان جزیره حرارتی شهری (UHI[1]) یاد می‌شود [۵; ۶]. با توجه به تأثیرات منفی جزایر حرارتی شهری و به‌ویژه بالا بردن مصرف انرژی، بررسی راهکارهای کاهش آن اولویت پژوهشگران است. راهکارهای متعددی در پژوهش‌های انجام شده در این زمینه برای تقلیل آثار جزایر حرارتی ارائه شده است که یکی از این راهکارها ایجاد بام سبز[2] شهری است که در این پژوهش به‌طور خاص تأثیر نوع پوشش گیاهی بر عملکرد بام سبز برای تعدیل عوامل مربوط به کاهش جزایر حرارتی بررسی می‌شود.

پیشینه پژوهش

پژوهش‌های متعددی به بررسی نقش بام سبز در کاهش دما انجام شده است. به‌طور کلی مطالعات انجام‌شده در این حوزه دو دسته موضوع را پوشش می‌دهند. اولین موضوع، تأثیر سرمایشی بام سبز بر دمای داخل و نقشی که به‌عنوان عایق حرارتی ایفا می‌کند و دومین مبحث، تأثیر بام سبز بر دمای بام می‌باشد که موضوع این پژوهش است.

وانشنگ یانگ و همکاران در سال ۲۰۱۵ با مقایسه تطبیقی داده‌های آزمایشگاهی بام‌های موجود با بام سبز، به این نتیجه رسیدند که بام سبز، عملکرد حرارتی بهتری دارد و در کاهش دمای محیط مؤثر است [۷]. نتایج این پژوهش نشان می‌دهد بام سبز در پیک زمانی ۹ صبح تا ۵ عصر سبب کاهش جذب گرما و تابش تا ۳۱ درصد در نمونه موردبررسی می‌شود [۸]. شیشه گر در سال ۲۰۱۴ به بررسی تأثیر فضا و بام سبز پرداخت و اظهار داشت که بام سبز با برودت تبخیری گیاهان، افزایش سایه‌اندازی بر سطوح شهری، تأثیر بر جابه‌جایی هوا و تبادل گرما بر کاهش جزیره حرارتی شهری مؤثر است [۹]. مقیمی و همکاران با ارزیابی روند تغییرات دما در شهر تهران نشان دادند که وجود فضای سبز به کاهش جزیره حرارتی کمک می‌کند [۱۰]. همچنین زنگنه و همکاران در پژوهش خود نشان دادند استفاده از بام سبز در ساختمان‌های شهر مشهد سبب کاهش پدیده جزیره حرارتی این شهر می‌شود [۱۱]. رضایی‌راد و همکاران با بررسی رابطه سبزینگی و انرژی حرارتی سطوح کلانشهر تهران از طریق سنجش از راه دور به این نتیجه رسیدند که برای کاهش مصرف انرژی شهری در راستای به تعادل رساندن انرژی سطح شهر، استفاده بیشتر از پوشش گیاهی مناسب با اقلیم تأثیرگذار است [۱۲]. آزموده و حیدری در پژوهشی در سال ۱۳۹۵ به بررسی تأثیر پوشش عمودی سبز بر کاهش جزیره حرارتی پرداختند و مشخص شد که استفاده از پوشش‌های سبز سبب کاهش دمای محیط می‌شود [۱۳]. سوسکا و همکاران نیز در سال ۲۰۱۱ با بررسی آزمایشگاهی بام سبز در منطقه‌ای از شهر نیویورک به نتیجه رسیدند که به دلیل کاهش دمای نهان سطوح دارای پوشش سبز، دمای بام کاهش می‌یابد و این عامل تأثیر مثبتی بر کاهش پدیده جزیره حرارتی شهری خواهد داشت [۱۴]. به‌طور کلی نتایج مطالعات پیشین نشان

[1] Urban heat island
[2] International Green Roof Association

می‌دهد که استفاده از بام سبز سبب کاهش دمای بام و در نتیجه آن سبب کاهش دمای محیط و دمای داخل ساختمان می‌شود [۱۵-۱۷] و استفاده از بام سبز در مقیاس وسیع، سبب کاهش قابل‌توجه دمای سطوح در منطقه شهری نمونه موردمطالعه شده است که بیانگر تأثیرگذاری این سیستم در کاهش پدیده جزیره حرارتی است [۱۸].

علاوه بر مطالعات مذکور، پژوهش‌های متعددی موضوع تأثیرگذاری بام سبز بر کاهش مؤلفه‌های مربوط به جزیره گرمایی را از طریق شبیه‌سازی با نرم‌افزار انویمت بررسی کرده‌اند. هرس و همکاران در سال ۲۰۱۸ [۱۹] با استفاده از نرم‌افزار انویمت تأثیرگذاری چند نوع بام سبز را در ماه آگوست در کلوبو سریلانکا بر کاهش پدیده جزیره حرارتی بررسی کردند. این پژوهش بیانگر کاهش جزیره حرارتی با استفاده از سطوح سبز بر بام ساختمان است. ابراهیم‌نژاد و همکاران نیز [۲۰] با استفاده از نرم‌افزار انویمت تأثیر پوشش گیاهی سبز را در کاهش جزیره حرارتی در یک روز گرم ماه جولای بررسی کردند. این ارزیابی نشان می‌دهد که این نرم‌افزار داده‌هایی معتبر در شبیه‌سازی تأثیر تغییرات پارامترهای محیطی مانند دما و رطوبت نسبی را ارائه می‌کند. همچنین نتایج این شبیه‌سازی نشان‌دهنده بهبود دما و رطوبت نسبی و باد است که موجب کاهش پدیده جزیره حرارتی شده است. در پژوهشی دیگر ملکی و مهدوی [۲۱] با استفاده از نرم‌افزار انویمت رفتار دمایی جزیره حرارتی را مدل‌سازی و تأثیر بام‌های سبز بر کاهش جزیره حرارتی را تأثیرگذار یافتند.

بنابر کلیه مطالعات بررسی‌شده به‌صورت میدانی و شبیه‌سازی می‌توان این‌طور بیان کرد که بهره‌گیری از پوشش‌های گیاهی در قالب سطوح افقی سبز می‌تواند بر پارامترهای مؤثر بر جزایر حرارتی مانند کاهش دما، تعدیل رطوبت، میزان بازتاب سطوح تأثیرگذار باشد و از این طریق کاهش جزایر حرارتی را به دنبال داشته باشد. وسعت بام سبز و نوع گیاه از جمله عواملی است که بر این مسئله مؤثر است.

هدف و پرسش پژوهش

از آن‌جایی که هر گیاه با توجه به ویژگی‌های سایه‌اندازی، ارتفاع، سبزینگی و میزان حفظ رطوبت تأثیر متفاوتی بر کاهش دما دارد که همگی بر کاهش دمای سطوح و در نتیجه آن کاهش جزیره حرارتی مؤثر هستند [۲۲]، پژوهش حاضر با هدف بررسی تأثیر نوع پوشش گیاهی بام سبز بر کاهش دمای سطح و محیط اطراف، با استفاده از مطالعات کتابخانه ای و نیز انجام شبیه‌سازی‌ها در نرم‌افزار انویمت (Envi-met) در محدوده میدان انقلاب شهر تهران شکل گرفته است تا ضمن اندازه‌گیری دقیق دما تعیین کند که چه نوع پوشش گیاهی بر کاهش دمای سطوح بام ساختمان‌های شهر مؤثرتر است. به عبارت دیگر پرسشی که در این پژوهش مطرح می‌شود این است که بام‌های سبز چگونه و تا چه میزان در کاهش دما و در نتیجه کاهش جزیره حرارتی مراکز شهری در اقلیم تهران مؤثرند. به بیان دیگر تحقیق به دنبال رابطه تعاملی بین دو متغیر جزایر حرارتی شهری و نوع گیاهان است و به دلیل تغییرات پدیدآمده در شهرها و کمبود فضا برای حضور پوشش گیاهی، سطوح گیاه‌کاری شده افقی در قالب بام سبز را انتخاب کرده است. علاوه بر سؤال مذکور همچنین سه نوع پوشش گیاهی بام سبز از نظر پاسخ‌دهی به سؤال گفته‌شده، انتخاب و از نظر تأثیر بر کاهش جزیره حرارتی با یکدیگر مقایسه شده‌اند.

هدف این پژوهش بررسی و انتخاب پوشش گیاهی مناسب بام سبز با مقایسه تطبیقی میان پوشش گیاهی رایج در منطقه موردارزیابی با روش معتبر شبیه‌سازی با نرم‌افزار انویمت و بررسی داده‌های تجربی پژوهش پیشین است؛ زیرا

این نوع پژوهش در ارتباط با جزیره حرارتی در شهر تهران انجام نشده که می‌تواند کمک بزرگی در حفظ و نگهداری و توسعه بام‌های سبز موجود یا آتی در انتخاب درست پوشش گیاهی کند.

مبانی نظری

- پدیده جزیره حرارتی

با توسعه شهرنشینی و پیدایش شهرها بزرگ، یکی از مشکلاتی که شهرها با آن روبه‌رو هستند پدیده جزیره حرارتی می‌باشد. جزایر حرارتی زمانی ایجاد می‌شوند که مناطقی از شهر درجه حرارت بیشتری نسبت به سایر نواحی داشته باشند. عوامل متعددی مانند تبدیل قابل توجه مناطق سبز طبیعی به سطوح غیرقابل‌نفوذ در نتیجه توسعه سریع شهری و همچنین پیامدهای تغییرات آب‌وهوایی جهانی در شکل‌گیری این مشکل نقش دارند [۵]. مصالحی مانند آسفالت، آجر و بتن در مقایسه با درختان، چمن و سطوحی که با آب پوشیده شده‌اند گرما را ساده‌تر جذب می‌کنند اما با کارایی کمتری بازپس می‌دهند [۲۳]. پدیده جزیره حرارتی یکی از معضلات روز محیط‌زیست شهری است که تأثیرات منفی بر فضاهای شهری و حضور در آن‌ها ایجاد می‌کند [۲۴]. در این میان راهکارهای متنوعی برای حل این معضل ارائه شده است، برای مثال: (۱) اصلاح ساختمان و مصالح سطحی [۲۵; ۲۶]، (۲) تغییر مورفولوژی شهری [۲۷; ۲۸]، (۳) نصب سیستم‌های آبیاری [۲۹] و (۵) گنجاندن زیرساخت‌های سبز[1] در برنامه‌ریزی شهرها [۳۰-۳۲].

- بام سبز

زیرساخت‌های سبز شهری، شبکه متصل به‌هم از فضاهای سبز برای حفظ سیستم‌های طبیعی است که مزایای متنوعی را برای جمعیت انسانی فراهم می‌کند [۳۳]. زیرساخت سبز شهری شامل فضاهای سبز طبیعی و طراحی‌شده، از پارک‌ها و درختان خیابان گرفته تا پشت‌بام‌های سبز، باغ‌ها و کوچه‌های سبز است [۶]. افزایش روزافزون جمعیت شهری و فشرده‌شده بافت‌های شهری منجر به اختصاص کمتر فضاهای شهری به فضای سبز و پوشش گیاهی همچون پارک‌ها و درختان شده است. از این رو در سال‌های اخیر توجه به بام ساختمان‌ها برای گسترش عرصه‌های سبز شهری به میزان زیادی مورد اقبال متخصصان شهری قرار گرفته است. از آنجایی که بیشترین و عمده‌ترین بخش بازتاب، جذب و تابش تشعشعات شهری در مقیاس خردااقلیم بر بام‌ها است، این موضوع اهمیت استفاده و گسترش بام سبز را دوچندان می‌کند [۲۳; ۳۴].

بام سبز، بام ساختمان‌هایی است که با یک بستر رشد و گیاهان پوشیده شده‌اند که به‌عنوان باغ‌های پشت‌بام، بام‌های زندگی و بام‌های بوم‌گردی نیز شناخته می‌شوند [۳۵]. ایجاد بام‌های سبز مزایای گوناگونی دارد که محیط‌زیست شهری و زندگی اکولوژیک شهرنشینان و سلامت روحی، اجتماعی و اقتصادی آنان را تحت تأثیر قرار می‌دهد [۳۶]. بام سبز راهکار خوبی برای ارتقای ساختمان‌ها در مناطق شهری از طریق طراحی منظر است. طبق مطالعات انجام شده در این زمینه تبدیل سطوح رایج بام به بام سبز دارای فواید بسیاری در مقیاس شهری است و علاوه بر کاهش جزایر حرارتی، به ارتقای کیفیت هوا، کنترل آب جاری باران و بهبود تنوع زیستی کمک شایانی می‌کند [۳۷]. بام‌های سبز به‌طور غیرمستقیم به‌وسیله کاهش درجه حرارت سطح از طریق برودت تبخیری و سایه انداختن،

[1] Green Infrastructure

آلودگی هوا را به سبب کاهش واکنش‌های فتوشیمیایی آلاینده‌های معلق در جو نیز کاهش می‌دهند. بام سبز از طریق برودت تبخیری ضمن تنظیم آب‌وهوای شهرها، به دلیل اثرات عایق‌بندی آن، منجر به کاهش تقاضای انرژی در تابستان و زمستان نیز می‌شود. بام سبز در مقیاس ساختمانی نیز افزایش طول عمر مصالح، کاهش سروصدا با توجه به خاصیت عایق حرارتی بام سبز و کاهش مصرف انرژی به‌ویژه در تابستان را موجب خواهد شد [۴; ۳۸; ۳۹].

- **پوشش گیاهی بام سبز**

یکی از مسائل مهم در عملکرد یک بام سبز، توجه به نوع پوشش گیاهی، سلامت گیاه و بقای آن در طول زمان است. انتخاب گیاهان باید براساس اقلیم و بستر موردنظر و پارامترهای میزان بارش منطقه، شدت تابش، باد و رطوبت مکان صورت گیرد [۴۰]. البته این بدین معنا نیست که الزاماً از گونه‌های بومی استفاده شود چون بحث بام سبز و نیازهای آن با باغبانی سنتی بسیار متفاوت است [۴۱]. یکی از نکات دیگر، توجه به دامنه مقاومتی پوشش گیاهی آن است. گیاهان شاداب، گیاهانی هستند که در بافت‌های خود به مدت طولانی آب را ذخیره می‌کنند. در این زمینه، سدوم یک گیاه بسیار مناسب و رایج برای استفاده در بام سبز است. این گیاهان کوچک به‌صورت افقی رشد می‌کنند و با پوشش‌دهی مناسب از غشای سقف نیز در برابر نور خورشید محافظت می‌کنند.

بهره‌گیری از گونه‌هایی با نیاز آبی پایین مسئله دیگری است که می‌تواند هزینه‌ها و مصرف آب این سیستم‌ها را کاهش دهد و بر کارایی آنها به‌ویژه در کشورهایی مانند ایران بیافزاید. شایان ذکر است همان‌طور که آب یک عنصر ضروری است برای زندگی گیاهان، تنش خشکی عاملی ضروری برای بقای گیاهان است. گیاهان ساکولنت از طریق استراتژی‌هایی مانند کوتیکول‌های سطحی در برابر تنش خشکی مقاومت می‌کنند [۴۲].

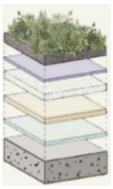
موارد زیر از مسائلی است که باید در انتخاب پوشش گیاهی یک بام سبز به آنها توجه کرد:

- نیازهای آبی گیاه و زمان‌بندی موردنیاز
- اقلیم محل پروژه
- ریشه‌دوانی گیاه
- عمق خاک مورد نیاز هر گیاه
- دوام گیاه در دماهای مختلف
- نیاز گیاه به نگهداری و هرس کردن
- میزان حساسیت به باد

طبق دیدگاه انجمن بین‌المللی بام سبز سه نوع بام سبز گسترده، نیمه‌فشرده و فشرده وجود دارد [۴۰; ۴۳]. در جدول ۱ ویژگی‌های هریک به اختصار آمده است.

از آنجایی که هر گیاه با توجه به ویژگی‌های سایه‌اندازی، ارتفاع، سبزینگی و میزان حفظ رطوبت، تأثیر متفاوتی بر کاهش دما دارد که همگی بر کاهش دمای سطوح و در نتیجه آن کاهش جزیره حرارتی مؤثر هستند [۲۲]. در ادامه به بررسی نقش نوع پوشش گیاهی بام سبز بر کاهش دما در نمونه مطالعاتی میدان انقلاب شهر تهران پرداخته شده است.

جدول ۱. ویژگی‌های انواع بام سبز، منبع: برگرفته از [۴۰; ۴۳].

ویژگی‌ها	بام سبز گسترده	بام سبز نیمه‌فشرده	بام سبز فشرده
محافظت	کم	دوره ای	بالا
آبیاری	کم	دوره ای	منظم
جامعه گیاهی	خزه، گل ناز، گیاهان دارویی، چمن	چمن- گیاهان دارویی و درختچه‌ها	درختان و درختچه‌ها
وزن	۶۰ تا ۱۵۰ کیلوگرم	۱۲۰ تا ۲۰۰ کیلوگرم	۱۸۰ تا ۵۰۰ کیلوگرم
هزینه	پایین	متوسط	بالا
موارد استفاده	لایه حفاظتی و اکولوژیک	بام سبز طراحی شده	پارک شبیه باغ
شکل			

روش‌شناسی

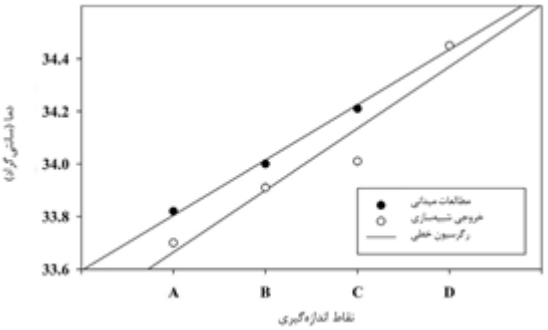
این پژوهش مبتنی بر روش تجربی و نمونه‌کاوی انجام شده است. بدین منظور مطابق شکل ۱ بخشی از محله مسکونی میدان انقلاب تهران حدواسط خیابان‌های روانمهر و شهید لبافی‌نژاد به‌منظور بررسی تأثیر نوع پوشش گیاهی بر کاهش دما برای مدلسازی انتخاب شد. ارزیابی این منطقه خاص به دلیل تراکم بالا ساختمانی است و گزارشی که این منطقه را یکی از کانون‌های اصلی جزیره حرارتی در شهر تهران معرفی کرده است [۱۰]. این پژوهش بنا دارد تا به‌صورت علمی استفاده از بام سبز بر کاهش جزیره حرارتی را در این منطقه که جزو مناطق پرتردد و اصلی شهر تهران است بررسی و تحلیل کند.

شکل ۱. نمونه موردمطالعه و جزایر حرارتی تهران (مأخذ: Google map).

در این پژوهش همچنین محاسبه تأثیرات بام‌های سبز و میزان تأثیرگذاری برهم‌کنش انواع گیاه و سطوح در تغییرات آب‌وهوایی خورد اقلیم ارزیابی شده است. در گردآوری داده‌های لازم برای شبیه‌سازی از اسناد و مدارک

موجود، نقشه‌های فرادست، طرح تفضیلی و هم‌چنین اسناد و مدارک مرتبط با داده‌های هواشناسی بهره برده شده است. با توجه به احتمال تأثیر جزییات سقف بر نتایج، این پارامتر، ثابت در نظر گرفته شد که با برداشت‌های میدانی از منطقه نیز به دلیل مشابهت جزئیات هم‌خوانی دارد.

نرم‌افزار مورداستفاده در این پژوهش Envi-met است که یک نرم‌افزار غیرهیدرواستاتیک سه‌بعدی است که می‌تواند تعاملات میان ساختمان هوا و گیاهان در مقیاس شهر را محاسبه کند [۴۴; ۴۵]. انتخاب این نرم‌افزار به دلیل تأیید شدن روایی آن در تحقیقات بین‌المللی و قابلیت استفاده از آنها برای محاسبات در فضای باز است. مدل‌سازی در نرم‌افزار انویمت بهترین محیط برای شبیه‌سازی و محاسبه خروجی‌های دمای هوا، میانگین دمای تابشی، سرعت باد، رطوبت نسبی و آسایش حرارتی افراد است [۴۶]. در این پژوهش برای تأیید روایی نرم‌افزار موردنظر به مطالعات علاوه بر ارجاع به پژوهش‌های متعدد پیشین که در آنها نتایج حاصل از اندازه‌گیری‌های میدانی و شبیه‌سازی با یکدیگر مقایسه شده‌اند ارجاع می‌شود [۱۳; ۴۶; ۴۷] برای اطمینان از خروجی‌های نرم‌افزار در اقلیم مذکور، نتایج حاصل از برداشت‌های میدانی و خروجی‌های نرم‌افزار نیز مقایسه شد. دیتالاگر مورداستفاده در این مرحله از نوع تستو مدل TESTO ۱۷۴ H ، دستگاهی با قابلیت ثبت دما و رطوبت است که براساس تنظیمات زمانی و تاریخی می‌توان میزان رطوبت نسبی و دمای محیط را ذخیره و از طریق نرم‌افزار گراف‌های مربوطه را ترسیم کرد. در این مرحله با استفاده از مطالعات میدانی از طریق دستگاه دیتالاگر مذکور، تغییرات دما در اطراف یک سطح گیاه‌کاری‌شده از آن بررسی شد. محدوده انتخاب‌شده در این مرحله در یکی از مناطق مرکزی تهران است که با نمونه‌های شبیه‌سازی‌شده قرابت مکانی دارد. نمودار شکل ۲ که حاصل مقایسه اطلاعات برداشت‌شده از اندازه‌گیری تجربی و خروجی همان مدل در برنامه انوی- مت است که با اختلاف اندکی، نتایج قابل‌اتکایی حاصل شده است.

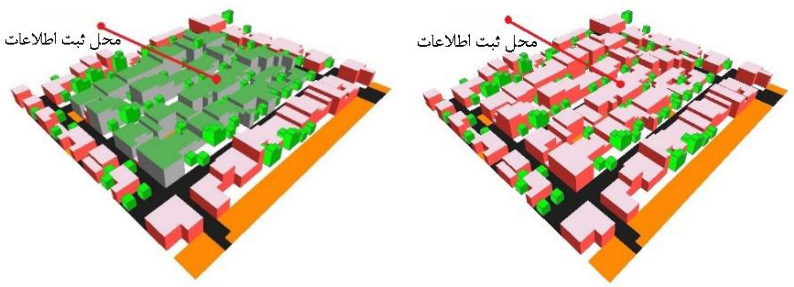


شکل ۲. مقایسه برداشت میدانی و شبیه‌سازی (مأخذ: نگارندگان).

مطابق جدول ۲ نیز اطلاعات آب‌وهوایی موردنیاز از ایستگاه هواشناسی مهرآباد تهیه شده است. همچنین طبق شکل ۱ ساختمان‌های موجود و نیز ساختمان‌ها با وجود سه نوع متفاوت از بام سبز مدل‌سازی شده است. پوشش گیاهی انتخابی، همیشه سبز است تا ساختمان از ویژگی‌های سبزینگی بام سبز بهره‌مند شود. در بررسی نتایج به‌دست‌آمده، بام، یک ساختمان سه طبقه آفتابگیر در مرکز محدوده موردنظر ارزیابی شده است. در این پژوهش برای تحلیل عمیق‌تر، موضوع تأثیر بام‌های سبز بر کاهش اثر جزیره گرمایی شهری، سه نوع گیاه متفاوت در شبیه‌سازی‌ها

استفاده شده است. گیاهان انتخابی براساس سه سیستم موجود در بام‌های سبز که در جدول ۱ به آنها اشاره شد برگزیده شدند تا از هر سیستم، یک نوع گیاه انتخاب شود. در نتیجه انتخاب سه گیاه متفاوت، منجر به اختلاف در سایه‌اندازی، جذب آب و ویژگی‌های حرارتی و فیزیکی بام می‌شود. در جدول ۲ و ۳ ویژگی‌های این سه نوع بام سبز که داده‌های ورودی مدل اصلی و مشخصات تیپ‌های بام سبز است قابل مشاهده است. بام سبز با پوشش گیاهی چمن نوعی پوشش انبوه، متراکم و کم‌ارتفاع است که روی سطح گسترش می‌یابد که رطوبت بالایی را در محیط ایجاد می‌کند. دومین پوشش گیاهی شامل بام سبز با پوشش گیاهی سویا نوعی گیاه مثمر است با بوته‌ای استوار و با شاخ و برگ زیادکه در مناطق نیمه‌گرم و گرم رشد می‌کند که نیازمند آب‌یاری منظم است. پوشش گیاهی سوم، بام سبز با پوشش گیاهی شمشاد که یک درختچه همیشه سبز است و در مناطق خشک کاشته می‌شود که می‌تواند از آب باران برای رشد تغذیه کند.

همچنین اطلاعات آب‌وهوایی مورداستفاده در نرم‌افزار، بیان شده است. برای تعیین میزان تغییرات شرایط محیطی در هر سناریو، نتایج حاصل از مدل‌سازی چهار سناریو پیش‌گفته نیز با یکدیگر مقایسه شده است. شبیه‌سازی‌ها برای روز ۲۶ جولای تابستان ۲۰۱۸ در مدت ۱۵ ساعت انجام شده است. همچنین دمای سطوح بام‌ها و اطراف ساختمان در ساعت ۲ ظهر بررسی شده است. با توجه به اینکه تأثیرات بام سبز در ارزیابی‌های فصل گرم سال که پدیده جزیره گرمایی شدت بیشتری دارد بررسی شده است درصورت مشاهده نتایج مؤثر در این زمان، در سایر روزهای سال نیز قطعاً سبب کاهش تأثیر پدیده جزیره حرارتی می‌شود.



شکل ۳. مشخصات نمونه مطالعاتی بدون بام سبز (سمت راست) با وجود بام سبز (سمت چپ) (نگارندگان).

جدول۲. اطلاعات پایه ورودی پوشش گیاهی بام سبز در نرم‌افزار (نگارندگان).

نوع بام	مشخصات بام
بام موجود: دال بتنی	Specific Heat (J/kg.K) = ۷۸۰
بام سبز:Grass	ارتفاع گیاهان: ۵۰ سانتی‌متر
	Leaf reflectivity = ۰.۶۵
	LAI = ۲
بام سبز: Soja	ارتفاع گیاهان: ۹۰ سانتی‌متر
	Leaf reflectivity = ۰.۹۵

نوع بام	مشخصات بام
بام سبز:Hedege	LAI = ۲
	ارتفاع گیاهان: ۲۰۰ سانتی‌متر
	Leaf reflectivity = ۰.۷۶
	LAI = ۲

جدول ۳. اطلاعات ورودی آب‌وهوایی در نرم‌افزار (نگارندگان).

اطلاعات ورودی به نرم افزار	
روز تحلیل	۱ تیر مصادف با ۲۶ June
زمان شروع	۴:۰۰ صبح
زمان اتمام	۱۹ شب
مدت‌زمان تحلیل	۱۵ ساعت
میزان زبری سطوح	۰/۰۱
حداکثر و حداقل دما	۲۶/۱۱ – ۳۶/۲۱ سانتی‌گراد
حداکثر و حداقل رطوبت نسبی	۱۸ – ۳۸ درصد
سرعت و جهت باد	۲۹۰درجه - ۲/۶۸ متر بر ثانیه

داده‌های ورودی

مطابق شکل ۴ برای بررسی تأثیر استفاده بام سبز بر کاهش پدیده جزیره حرارتی، یک بلوک شهری در منطقه‌ای در محدوده میدان انقلاب شهر تهران، بین خیابان لبافی‌نژاد و روانمهر به‌عنوان یکی از جزایر حرارتی شهر تهران انتخاب گردیده است. براساس مطالعات انجام‌شده این منطقه یکی از مناطقی است که دمای آن به دلیل پدیده جزیره حرارتی در ماه‌های گرم بسیار افزایش می‌یابد. هندسه شهری سایت، ازدیاد سطوح نفوذناپذیر و تراکم بالای ساختمان‌های آن، تأثیر کاملاً محسوسی بر خرداقلیم محلی دارد. مساحت این محدوده چیزی حدود ۱۸۲۰۰ مترمربع است. در این محدوده ساختمان‌های متراکم با ارتفاع‌های متغیر از ۱ تا ۷ طبقه وجود دارد. به گفته ستاد محیط‌زیست تهران، مناطق هفت تیر، انقلاب، شوش، اطراف قیطریه و میدان آزادی، نقاط احتمالی‌ای هستند که درجه حرارت در آن‌ها از نقاط هم‌جوارشان بیشتر می‌شود. دلیل این اتفاق را می‌توان تردد بیش‌ازحد خودروها در این مناطق دانست. در واقع تراکم منابع متحرک و ثابت شهری در این نقاط، بیشتر از جاهای دیگر شهر است. این تراکم موجب استفاده از منابع سوختی فسیلی و در نهایت انتشار وسیع گازهای گلخانه‌ای و همچنین افزایش درجه حرارت زمین می‌شود.

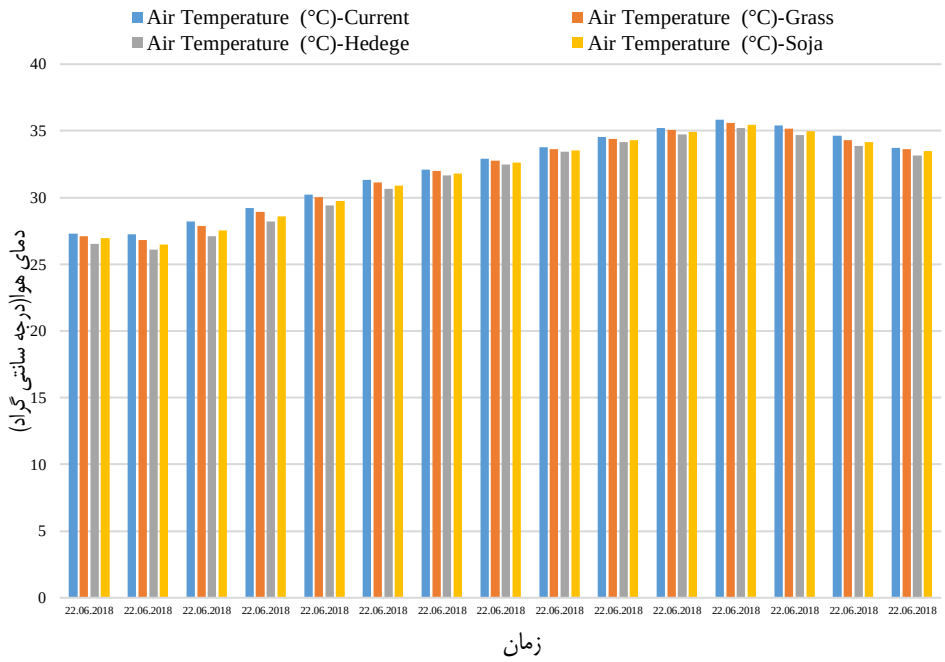
پس از انجام مدل‌سازی‌ها و بررسی‌های موردنظر، داده‌های حاصل از شبیه‌سازی در نرم‌افزار Envi-met و نیز به کمک نرم‌افزار Leonardo، به‌صورت کانتورهای دما، دمای تابشی متوسط، رطوبت نسبی و سرعت باد که چهار عامل مؤثر در شرایط آب‌وهوایی می‌باشند به‌دست آمده است. همچنین برای مقایسه تغییرات دما، دمای متوسط تابشی، رطوبت و سرعت باد در چهار سناریوی شبیه‌سازی‌شده، داده‌های عددی به‌دست‌آمده با استفاده از نرم‌افزار Excel به صورت نمودارهایی نمایش داده شده است. در تجزیه‌وتحلیل‌ها به تأثیر سه نوع مختلف از پوشش‌های گیاهی Hedege با ارتفاع ۲۰۰ سانتی‌متری و بازتاب‌پذیری ۰.۷۶ برای برگ‌ها، Soja با ارتفاع ۹۰ سانتی‌متری و بازتاب‌پذیری ۰.۹۵ برای

برگ‌ها و Grass با ارتفاع ۵۰ سانتی‌متری و بازتاب‌پذیری ۰.۶۵ برای سطوح آن، در مقایسه با بام دال بتنی معمولی و رایج پرداخته شده است.

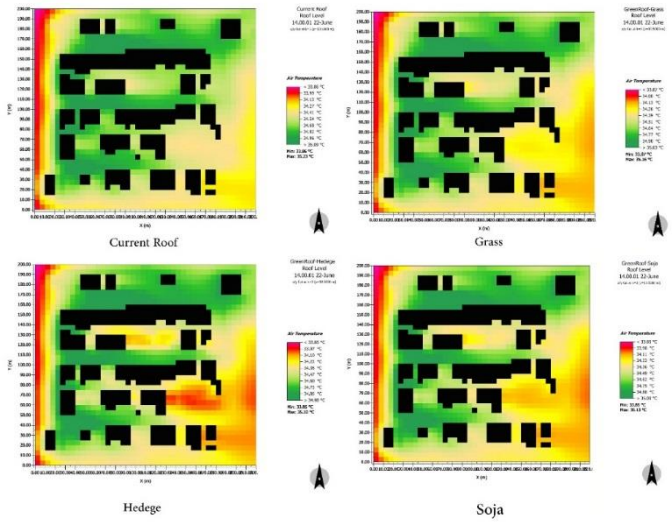
تجزیه‌وتحلیل داده‌ها

– دمای هوا

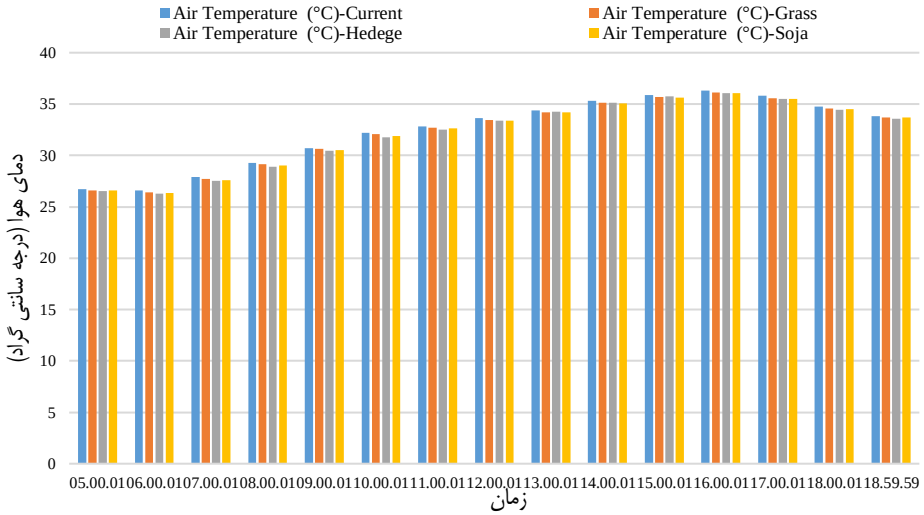
همان‌طور که افزایش دما یکی از عوامل ایجاد جزایر حرارتی است کاهش دما نیز تأثیر قابل‌توجهی در کاهش تأثیر جزایر حرارتی خواهد داشت. در این راستا در این بخش از تحقیق به بررسی تـأثیر نـوع پوشـش‌های گیـاهی بـر میـزان کاهش و تغییرات دمایی هوا در سطح بام و همچنین در ارتفاع پیاده پرداخته شده است. نتایج به‌دسـت‌آمده در بررسـی چگونگی توزیع و تغییرات دمایی در شکل‌های ۴ و ۵ و نیز نمودارهای ۱ و ۲ در روز ۱ تیرماه در ساعت ۱۴ آورده شـده است. تغییرات دما در ارتفاع ۱/۵ متری از سطح بام است تغییرات دمایی پوشش گیاهی در سطح بام به این شکل اسـت که بیشترین کاهش دما برای بام سبز Hedege سپس Grass و Soja بوده است. مطابق شکل ۴ و نمودار ۱، در حالـت سقف معمولی میزان دمای هوا بر سطح بام بین ۳۳.۸۶ تا ۳۵.۲۳ درجه سانتی‌گراد می‌باشد. در حالت بـام سـبز Grass دمای هوا بین ۳۳.۸۷ تا ۳۵.۱۶ درجه سانتی‌گراد، در حالت بام سبز Soja این میزان بین ۳۳.۸۵ تا ۳۵.۱۳ و در حالـت بام سبز Hedege میزان دمای هوا در سطوح بام بین ۳۳.۸۵ تا ۳۵.۱۰ درجه سانتی‌گراد است.



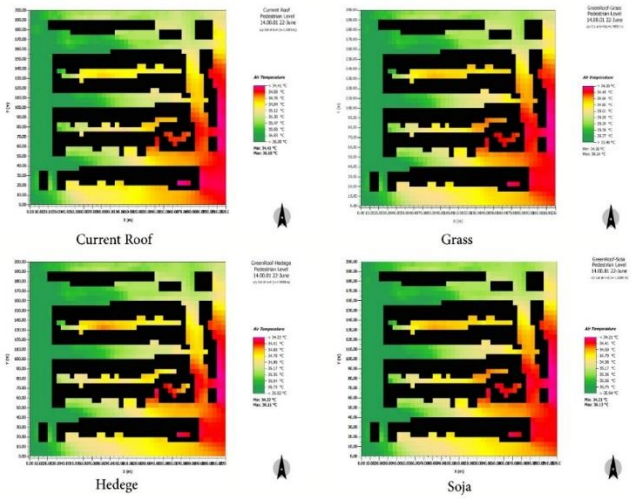
نمودار ۱. نتایج دمای هوا در سطح بام برای چهار نوع پوشش گیاهی (نگارندگان).



شکل ۴. نمایش توزیع کانتورهای دمای هوا در سطح بام برای چهار نوع پوشش گیاهی.



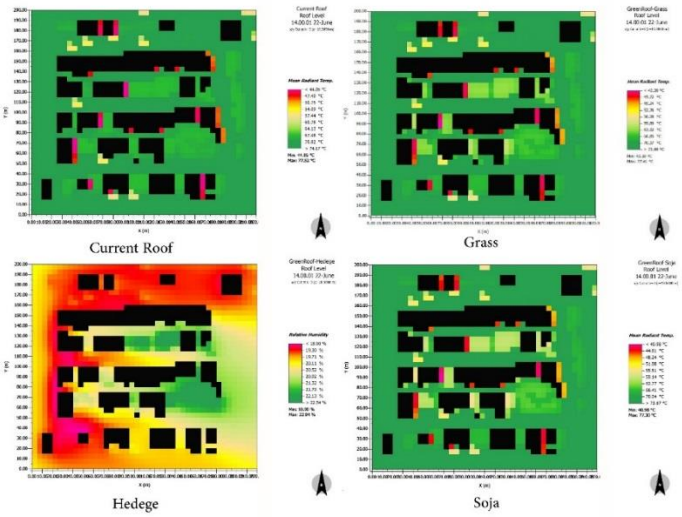
نمودار ۲. نتایج دمای هوا در ارتفاع یک‌ونیم متری از سطح پیاده‌رو برای چهار نوع پوشش گیاهی (نگارندگان).



شکل ۵. نمایش توزیع کانتورهای دمای هوا در ارتفاع یک‌ونیم متری از سطح پیاده‌رو برای چهار نوع پوشش گیاهی.

- **دمای متوسط تابشی**

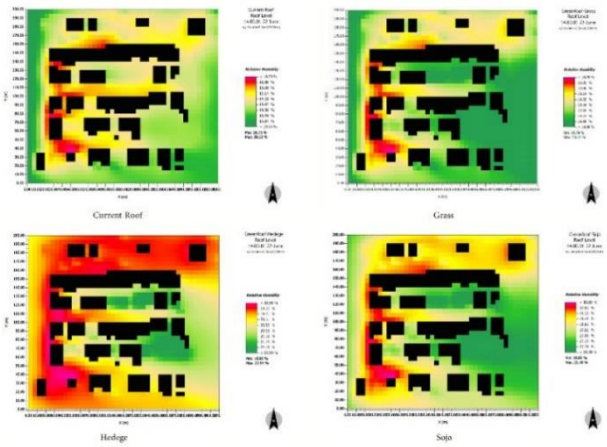
عامل اصلی تغییرات آب‌وهوایی، تابش خورشید است. سطوح ساختمان‌ها و زمین بر اثر تابش خورشید گرم می‌شوند و مصالح نیز با طیفی از طول موج‌ها انرژی جذب‌شده را به محیط اطرافشان پس می‌دهند؛ بنابراین بررسی میزان تأثیر پوشش‌های گیاهی بر دمای متوسط تابشی در کاهش پدیده جزیره حرارتی بسیار مؤثر خواهد بود. در این راستا شبیه‌سازی‌های انجام‌شده در محدوده زمانی که تابش آفتاب بر سطوح می‌تابد انجام شده است. زمان ارزیابی به‌منظور جذب تابش خورشید ساعت ۱۴ در نظر گرفته شده است. سطوح بام سبز و بام موجود تحت تابش، به دلیل ویژگی متفاوت فیزیکی، دماهای مختلفی را نشان می‌دهند. نتایج نشان می‌دهد که بام سبز دمای متوسط تابشی کمتری را نسبت به بام رایج نشان می‌دهد. طبق شکل ۶ تأثیر انواع این پوشش‌های گیاهی را نشان می‌دهد.



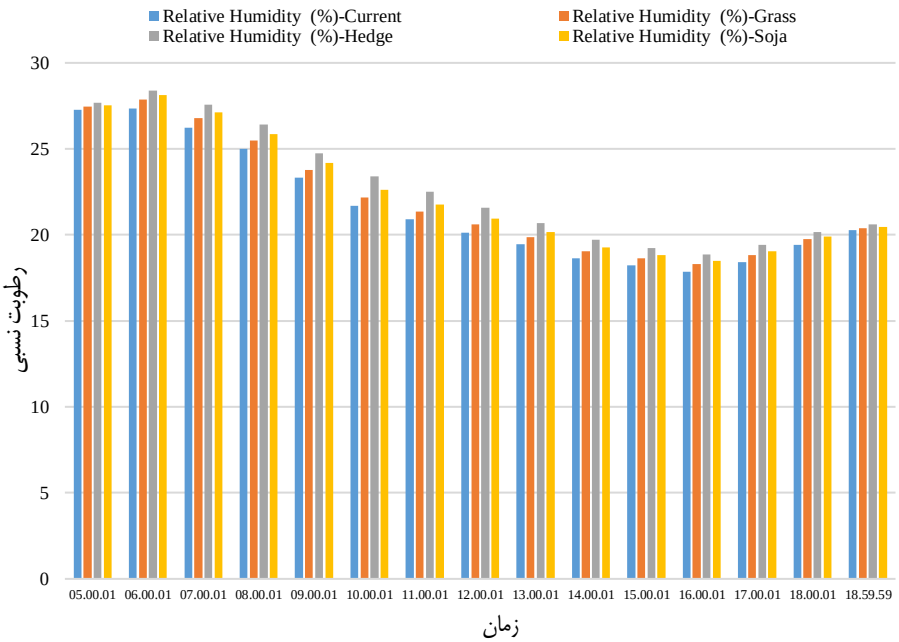
شکل ۶. نمایش توزیع کانتورهای دمای متوسط تابشی در سطح بام برای چهار نوع پوشش (نگارندگان).

- **رطوبت نسبی**

رطوبت نسبی، عاملی مهم و تأثیرگذار در تغییر شرایط آب‌وهوایی است. همچنین وجود گیاهان سبب تغییراتی در میزان رطوبت می‌شود. با وجود آنکه میزان رطوبت شهرها و مناطق حومه‌ای آن‌ها تفاوت قابل‌ملاحظه‌ای ندارد اما با در نظر گرفتن این نکته که هوای گرم رطوبت بیشتری در خود نگاه می‌دارد می‌توان به این نتیجه رسید با صعود هوای گرم از فراز شهرها، رطوبت نیز در این نواحی نسبتاً کاهش می‌یابد. در واقع میزان تغییر در رطوبت نسبی می‌تواند در کاهش تأثیرات جزیره حرارتی بسیار تأثیرگذار باشد. یکی از راه‌کارهای تغییر در میزان رطوبت نسبی استفاده از سطوح با پوشش‌های گیاهی مناسب و تأثیرگذار می‌باشد. در این راستا شکل ۷ و نمودار ۳ چگونگی توزیع رطوبت نسبی در اطراف ساختمان در ارتفاع ۱/۵ متری از سطح زمین را نشان می‌دهد.



شکل ۷. نمایش توزیع کانتورهای رطوبت نسبی در سطح بام برای چهار نوع پوشش گیاهی (نگارندگان).

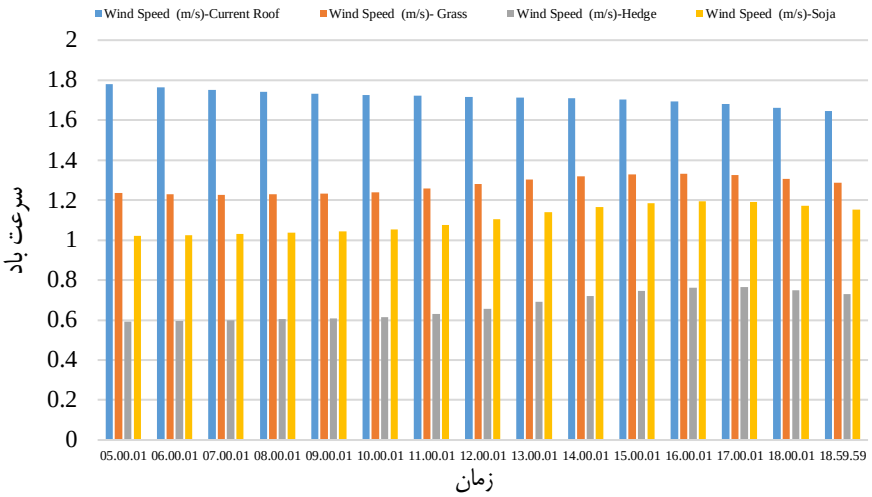


نمودار ۳. نتایج رطوبت نسبی در ارتفاع یک‌ونیم متری از سطح پیاده‌رو برای چهار نوع پوشش گیاهی (نگارندگان).

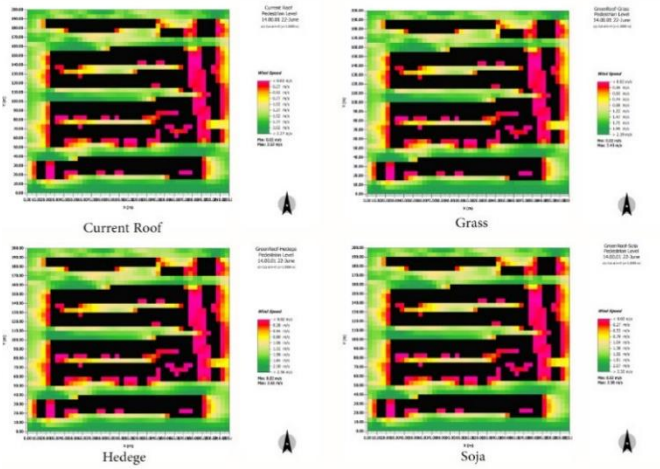
- **سرعت باد**

ساخت‌وساز و هندسه‌های نامناسب شهری موجب تغییر سرعت باد در سطوح مختلف و در نتیجه ایجاد شرایط جزیره حرارتی شده است. یکی از راهکارهای تعدیل سرعت باد و کاهش تأثیر جزایر حرارتی می‌تواند استفاده از پوشش‌های گیاهی مناسب به‌ویژه در سطوح بام ساختمان‌ها باشد. در واقع سرعت وزش باد بر میزان کاهش دمای هوا

نیز مؤثر است؛ بنابراین در این بخش از تحقیق به تأثیر پوشش‌های گیاهی مختلف بر میزان تغییرات این متغیر پرداخته شده است.



نمودار ۴. نتایج سرعت باد در سطح بام برای چهار نوع پوشش گیاهی (نگارندگان).



شکل ۸. نمایش توزیع کانتورهای سرعت باد در ارتفاع یک‌ونیم متری سطح پیاده‌رو برای چهار نوع پوشش گیاهی (نگارندگان).

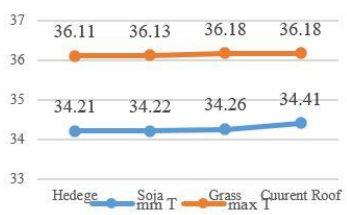
یافته‌ها

نتایج به‌دست‌آمده نشان می‌دهد که در بام سبز فشرده Hedege با ارتفاع ۲۰۰ سانتی‌متری و بازتاب‌پذیری ۰.۷۶ برای برگ‌ها، به دلیل ارتفاع زیاد گیاهان و بازتاب‌پذیری مناسب آن‌ها، تأثیر بیشتری بر کاهش میزان دمای هوا در

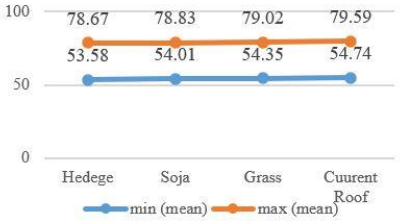
سطح بام و همچنین در سطح پیاده‌رو نسبت به دو نوع پوشش گیاهی گسترده و نیمه‌فشرده داشته است. همچنین مشخص شد که در سطح بام و ارتفاع پیاده، ابتدا بام سبز با پوشش گیاهی Hedege سپس Grass و Soja توانسته است در میزان کاهش دمای متوسط تابشی بیشتر تأثیرگذار باشد. به عبارت دیگر پوشش گیاهی فشرده، بیشترین تأثیر را بر کاهش دمای متوسط تابشی داشته است.

در مرحله بعد یافته‌ها این‌طور نشان داد که ابتدا بام سبز با پوشش گیاهی Hedege سپس Grass و Soja در ایجاد رطوبت نسبی مناسب و متعادل، چه در سطح بام و چه در ارتفاع پیاده‌رو تأثیرگذار بوده است. در واقع استفاده از پوشش گیاهی مناسب توانسته است در افزایش رطوبت نسبی و کاهش اثر جزیره حرارتی مؤثر باشد. علاوه بر موارد فوق، استفاده از پوشش گیاهی روی بام به سبب تراکم گیاهان می‌تواند سرعت باد در اطراف ساختمان و روی بام را تعدیل کند. با توجه به شکل ۱۱ و ۱۲ و نیز نمودار ۴ و شکل ۸، بیشترین کاهش سرعت برای Hedege به دلیل ارتفاع و تراکم بیشتر است. استفاده از پوشش گیاهی مناسب می‌تواند در تعدیل سرعت باد و کاهش تفاوت دمایی در سطوح مختلف شهری و در نهایت کاهش تأثیر پدیده جزایر حرارتی، کمک بسیاری کند. مقایسه سه نوع گیاه بررسی‌شده در این پژوهش در قالب نمودارهای زیر قابل مشاهده است:

نمودار ۵. محدوده متغیرهای مختلف تحقیق برای هر چهار سناریو در سطح بام (نگارندگان).

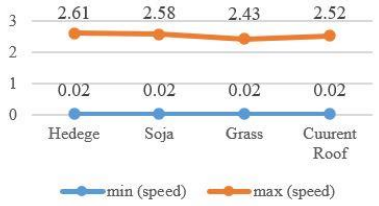


محدوده دمای هوا



محدوده دمای تابشی

محدوده رطوبت نسبی



محدوده سرعت باد

نمودار ۶. محدوده متغیرهای مختلف تحقیق برای هر چهار سناریو در ارتفاع یک‌ونیم متری سطح زمین (نگارندگان).

بحث و نتیجه‌گیری

در این پژوهش به تحلیل قیاسی تأثیر پوشش‌های گیاهی مختلف بر بام ساختمان به‌عنوان بام سبز، در محدوده میدان انقلاب شهر تهران پرداخته شد. این مقاله از میان پارامترهای مختلف مؤثر بر عملکرد بام سبز در کاهش دمای محیط، نوع پوشش گیاهی را بررسی کرد. در جدول ۴ خلاصه تأثیرات پوشش‌های گیاهی موردبررسی در این مقاله را بر عوامل جزیره حرارتی می‌توان ملاحظه کرد.

جدول ۴. تأثیرات نوع پوشش گیاهی بر عوامل جزیره حرارتی (نگارندگان).

عوامل جزیره حرارتی	Hedege (پوشش گیاهی فشرده)	Grass (پوشش گیاهی نیمه فشرده)	Soja (پوشش گیاهی گسترده)
کاهش دما	بیشترین کاهش دما	کاهش دما متوسط	کمترین کاهش دما
دمای متوسط تابشی	بیشترین کاهش دمای تابشی	متوسط کاهش دمای تابشی	کمترین کاهش دمای تابشی
رطوبت نسبی	ایجاد بیشترین رطوبت نسبی	ایجاد متوسط رطوبت نسبی	ایجاد کمترین رطوبت نسبی
سرعت باد	کاهش بیشتر سرعت باد	کاهش متوسط سرعت باد	کاهش کمتر سرعت باد

با توجه به نمودارهای ۸ و ۹، در مقایسه پارامترهای محیطی در بازه زمانی ۱۵ ساعته در حالت بام رایج با بام سبزی با پوشش گیاهی که رطوبت بیشتری در خود ذخیره می‌کند و سایه‌اندازی بیشتری را نیز ایجاد می‌کند؛ بام سبز با پوشش گیاهی Hedege (فشرده) بیشترین میزان تأثیرگذاری را بر پارامترهای آب و هوایی به نسبت سایر بام‌های سبز دارد. مطالعات این پژوهش نشان داد که انتخاب نوع پوشش گیاهی، عامل تأثیرگذار و مهمی در عملکرد بام سبز است. باید این مسئله را نیز در نظر داشت که گیاهانی که به نگهداری و آب بیشتری نیاز دارند بیشتر در معرض آسیب هستند و برای حفظ عملکرد بام سبز، نیاز به رسیدگی و هزینه بیشتری دارند. از طرف دیگر هر نوع پوشش گیاهی

راکه صرفاً آب یا ملزومات نگهداری کمتری دارد را نمی‌توان استفاده کرد؛ زیرا در این پژوهش نشان داده شد که بین سه گیاه Grass و Soja و Hedege تغییرات دمای متوسط تابشی برای هریک متفاوت است. میزان رطوبت نسبی نیز با توجه به نوع پوشش گیاهی تغییر می‌کند. بنابراین در بام‌های موردارزیابی، بهترین عملکرد برای بام سبز با پوشش گیاهی Hedege است؛ به‌طوری که با کاهش بیشتر دمای متوسط تابشی، تأثیرگذاری بیشتری در کاهش پدیده جزیره حرارتی داشته است. این پوشش گیاهی در تعدیل سرعت باد نیز بسیار مؤثر بوده است. همچنین براساس نتایج به‌دست‌آمده، میزان دمای تابشی و دمای هوا در سطح بام و سطح پیاده‌رو کاهش و رطوبت نسبی افزایش یافته است. این تغییرات در پارامترهای مهم آب‌وهوایی موجب شکل‌گیری خرداقلیمی می‌شود که با عوامل آب‌وهوایی مطلوب‌تر به ایجاد محیط اکولوژیکی بهتر برای زیست دیگر جانداران نیز کمک می‌کند. پس با توجه شبیه‌سازی‌های انجام شده میزان تأثیر پوشش سبز بام بر کاهش دما متوسط تابشی که عنصر مهمی در ایجاد جزایر حرارتی است متفاوت است؛ بنابراین می‌توان گفت نوع پوشش گیاهی مورداستفاده در بام، مهم‌ترین عامل برای بهره‌وری بام سبز است. در واقع استفاده از پوشش‌های گیاهی مناسب بر بام ساختمان‌ها به‌عنوان بام سبز می‌تواند در کاهش اثر جزیره حرارتی بسیار تأثیرگذار باشد. بنابراین می‌توان با انتخاب پوشش گیاهی مناسب (فشرده، نیمه‌فشرده و گسترده) علاوه بر جلوگیری از هدررفت سرمایه و انرژی درکاهش پدیده جزیره حرارتی شهری نیز نقش داشت.

علاوه بر موارد بررسی‌شده در این پژوهش، پوشش گیاهی در جذب و کاهش آلایندگی و کربن موجود در هوا نیز تأثیر به‌سزایی دارد. همچنین بام سبز در بارندگی‌های شدید از جای شدن آب باران نیز جلوگیری می‌کند. پوشش گیاهی که بر روی سطح بام گسترده شده است همانند عایقی، از هدررفت دما در فصول گرم و سرد سال نیز جلوگیری می‌کند که خود سبب کاهش مصرف انرژی و آلاینده‌ها می‌شود. به همین دلیل پوشش گیاهی سبز در به تعادل رسیدن دمای شهر کمک می‌کند. مسائل فوق، بخشی از موضوعاتی است که در ادامه این پژوهش قابل انجام است. شایان ذکر است که راهکار بهره‌گیری از بام‌های سبز این قابلیت را دارد که هم در بام‌های موجود و هم در ساخت‌وسازهای جدید مورد توجه قرار گیرد.

References

[1] Sahebi, M., Farahani, M., & Motahari, S. (2021). Investigating the Situation of Urban Livability in Urban Districts from the Viewpoint of Citizens (Case Study: Eight Districts of Kermanshah Metropolis). *Karafan Quarterly Scientific Journal*, *18*(1), 59-75. https://doi.org/10.48301/kssa.2021.129163

[2] Bowler, D. E., Buyung-Ali, L. M., Knight, T. M., & Pullin, A. S. (2010). A systematic review of evidence for the added benefits to health of exposure to natural environments. *BioMed Central Public Health*, *10*(1), 1-10 .https://doi.org/10.1186/1471-2458-10-456

[3] Loghmanpour Zarini, R., & Nabipour Afrouzi, H. (2020). Estimation of Energy Balance and Greenhouse Gas Emissions in Dairy Farms (Case study: Qazvin Province). *Karafan Quarterly Scientific Journal*, *17*(2), 13-21. https://doi.org/10.48301/kssa. 2020.119204

[4] Santamouris, M. (2014). Cooling the cities – A review of reflective and green roof mitigation technologies to fight heat island and improve comfort in urban environments. *Solar Energy*, *103*, 682-703. https://doi.org/10.1016/j.solener.2012.07.003

[5] Balany, F., Ng, A. W., Muttil, N., Muthukumaran, S., & Wong, M. S. (2020). Green Infrastructure as an Urban Heat Island Mitigation Strategy—A Review. *Water*, *12*(12), 1-22. https://doi.org/10.3390/w12123577

[6] Buchin, O., Hoelscher, M-T., Meier, F., Nehls, T., & Ziegler, F. (2016). Evaluation of the health-risk reduction potential of countermeasures to urban heat islands. *Energy and Buildings*, *114*, 27-37. https://doi.org/10.1016/j.enbuild.2015.06.038

[7] Yang, W., Wang, Z., Cui, J., Zhu, Z., & Zhao, X. (2015). Comparative study of the thermal performance of the novel green (planting) roofs against other existing roofs. *Sustainable Cities and Society*, *16*, 1-12. https://doi.org/10.1016/j.scs.2015.01.002

[8] Yang, J., Mohan Kumar, D. l., Pyrgou, A., Chong, A., Santamouris, M., Kolokotsa, D., & Lee, S. E. (2018). Green and cool roofs' urban heat island mitigation potential in tropical climate. *Solar Energy*, *173*, 597-609. https://doi.org/10.1016/j.solener.2018.08.006

[9] Shishegar, N. (2014). The Impacts of Green Areas on Mitigating Urban Heat Island Effect: A Review (Published in 2014). *The International Journal of Environmental Sustainability*, *9*(1), 119-130. https://doi.org/10.18848/2325-1077/CGP/v09i01/55 081

[10] Najafian Gurji, M. R., Mogimi, E., & Mohammadi, H. (2018). Evaluation of the trend of temperature changes, heat island pattern and vegetation cover in hot days of Tehran. *Physical Geography Quarterly*, *10*(38), 1-18. https://jopg.larestan.iau.ir/article_539498.html?lang=en

[11] Zanganeh, M., Amiri, J., & Pilehvar, M. (2017). Study of factors related not using Development of green Roof In reducing Islands thermal Metropolises Case of the city of Mashhad. *Journal of Geographical Science*, *12*(25), 84-99. https://geographic.mashhad.iau.ir/article_533002.html

[12] Rafieyan, M., Noorian, F., & RezaeeRad, H. (2017). Spatial Correlation of Assessment Between NDVI and Surface Thermal Energy in Tehran Metropolitan (1382-1395) By Using Remote Sensing. *Physical Sacial Planning*, *4*(3), 25-36. https://psp.journals.pnu.ac.ir/article_4393.html?lang=en

[13] Azmoodeh, M., & Heidari, S. (2017). Effect of Urban Green Walls on Reduction of Temperature in Microclimates and Urban Heat Island. *Journal of Environmental Science and Technology*, *19*(5), 597-606. https://doi.org/10.22034/jest.2017.11398

[14] Susca, T., Gaffin, S. R., & Dell'Osso, G. R. (2011). Positive effects of vegetation :Urban heat island and green roofs. *Environmental Pollution*, *159*(8-9), 2119-2126. https://doi.org/10.1016/j.envpol.2011.03.007

[15] Battista, G., Vollaro, E. d. L., & Vollaro, R. d. L. (2022). How Cool Pavements and Green Roof Affect Building Energy Performances. *Heat Transfer Engineering*, *43*(3-5), 326-336. https://doi.org/10.1080/01457632.2021.1874667

[16] Ghaffari, Z. (2021). *Assessing the impact of green roofs on the urban heat island using satellite images: A case study of Washington DC* [Doctor, Texas State University]. San Marcos, Texas. https://digital.library.txstate.edu/bitstream/handle/10877/13514/GHAFFARI-DISSERTATION-2021.pdf?sequence=1&isAllowed=y

[17] Manso, M., Teotónio, I., Silva, C. M., & Cruz, C. O. (2021). Green roof and green wall benefits and costs: A review of the quantitative evidence. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, *135*, 110111. https://doi.org/10.1016/j.rser.2020.110111

[18] Sahnoune, S., Benhassine, N., Bourbia, F., & Hadbaoui, H. (2021). Quantifying The Effect Of Green-Roof And Urban Green Infrastructure Ratio On Urban Heat Island Mitigation-Semi-Arid Climate. *Journal of Fundamental and Applied Sciences*, *13*(1), 199-224. http://dx.doi.org/10.4314/jfas.v13i1.12

[19] Herath, H. M. P. I. K., Halwatura, R. U., & Jayasinghe, G. Y. (2018). Modeling a Tropical Urban Context with Green Walls and Green Roofs as an Urban Heat Island Adaptation

Strategy. *Procedia Engineering*, *212*, 691-698. https://doi.org/10.1016/j.proeng.2018.01.089

[20] Ebrahimnejad, R., Noori, O., & Deihimfard, R. (2017). Mitigation potential of green structures on local urban microclimate using ENVI-met model. *International Journal of Urban Sustainable Development*, *9*(3), 274-285. https://doi.org/10.1080/19463138.2017.1370424

[21] Maleki, A., & Mahdavi, A. (2016). Evaluation Of Urban Heat Islands Mitigation Strategies Using 3dimentional Urban Micro-Climate Model Envi-Met. *Asian Journal Of Civil Engineering (Building And Housing)*, *17*(3), 357-371 .https://www.sid.ir/en/Journal/ViewPaper.aspx?ID=484742

[22] Tiwari, A., Kumar, P., Kalaiarasan, G., & Ottosen, T-B. (2021). The impacts of existing and hypothetical green infrastructure scenarios on urban heat island formation. *Environmental Pollution*, *274*, 115898. https://doi.org/10.1016/j.envpol.2020.115898

[23] Moghbel, M., Shamsipour, A., & Payam, A. (2020). Modeling the Urban Heat Islands Mitigation Using the Green Roof Approach: A Case Study of the 17 District of Tehran municipality. *Physical Geography Research Quarterly*, *52*(2), 237-252. https://doi.org/10.22059/jphgr.2020.286665.1007426

[24] Hirano, Y., & Fujita, T. (2012). Evaluation of the impact of the urban heat island on residential and commercial energy consumption in Tokyo. *Energy*, *37*(1), 371-383. https://doi.org/10.1016/j.energy.2011.11.018

[25] Sodoudi, S., Shahmohamadi, P., Vollack, K., Cubasch, U., & Che-Ani, A. I. (2014). Mitigating the Urban Heat Island Effect in Megacity Tehran. *Advances in Meteorology*, *2014(3-4)*, 1-19. https//:doi.org/10.1155/2014/547974

[26] Tsoka, S. (2017). Investigating the Relationship Between Urban Spaces Morphology and Local Microclimate: A Study for Thessaloniki. *Procedia Environmental Sciences*, *38*, 674-681. https://doi.org/10.1016/j.proenv.2017.03.148

[27] Chatzidimitriou, A., & Yannas, S. (2016). Microclimate design for open spaces: Ranking urban design effects on pedestrian thermal comfort in summer. *Sustainable Cities and Society*, *26*, 27-47. https://doi.org/10.1016/j.scs.2016.05.004

[28] Rodríguez-Algeciras, J., Tablada, A., & Matzarakis, A. (2018). Effect of asymmetrical street canyons on pedestrian thermal comfort in warm-humid climate of Cuba. *Theoretical and Applied Climatology*, *133*(3), 663-679. https://doi.org/10.1007/s00704-017-2204-8

[29] Broadbent, A. M., Coutts, A. M., Tapper, N. J., & Demuzere, M. (2018). The cooling effect of irrigation on urban microclimate during heatwave conditions. *Urban Climate*, *23*, 309-329. https://doi.org/10.1016/j.uclim.2017.05.002

[30] Lin, B-S., & Lin, C-T. (2016). Preliminary study of the influence of the spatial arrangement of urban parks on local temperature reduction. *Urban Forestry & Urban Greening*, *20*, 348-357. https://doi.org/10.1016/j.ufug.2016.10.003

[31] Skelhorn, C., Lindley, S., & Levermore, G. (2014). The impact of vegetation types on air and surface temperatures in a temperate city: A fine scale assessment in Manchester, UK. *Landscape and Urban Planning*, *121*, 129-140. https://doi.org/10.1016/j.landurbplan.2013.09.012

[32] Wu, Z., & Chen, L. (2017). Optimizing the spatial arrangement of trees in residential neighborhoods for better cooling effects: Integrating modeling with in-situ measurements. *Landscape and Urban Planning*, *167*, 463-472. https://doi.org/10.1016/j.landurbplan.2017.07.015

[33] Benedict, M. A., & McMahon, E. T. (2006). *Green infrastructure: linking landscapes and communities*. Island press. https://www.amazon.com/Green-Infrastructure-Linking-Landscapes-Communities/dp/1559635584

[34] Akbari, H., Shea Rose, L., & Taha, H. (2003). Analyzing the land cover of an urban environment using high-resolution orthophotos. *Landscape and Urban Planning*, *63*(1), 1-14. https://doi.org/10.1016/S0169-2046(02)00165-2

[35] Bates, A. J., Sadler, J. P., & Mackay, R. (2013). Vegetation development over four years on two green roofs in the UK. *Urban Forestry & Urban Greening*, *12*(1), 98-108. https://doi.org/10.1016/j.ufug.2012.12.003

[36] Molaei, M. M., Pilechiha, P., & Afshar, A. (2018). Energy Efficiency Evaluation of Green Roof in Iran Case Study: Tehran, Tabriz, Ramsar, Bandar Abbas. *Urban Management*, *17*(52), 21-34. https://www.sid.ir/en/Journal/ViewPaper.aspx?ID=696806

[37] Oberndorfer, E., Lundholm, J., Bass, B., Coffman, R. R., Doshi, H., Dunnett, N., Gaffin, S., Köhler, M., Liu, K. K. Y., & Rowe, B. (2007). Green Roofs as Urban Ecosystems: Ecological Structures, Functions, and Services. *BioScience*, *57*(10), 823-833. https://doi.org/10.1641/b571005

[38] Fioretti, R., Palla, A., Lanza, L. G., & Principi, P. (2010). Green roof energy and water related performance in the Mediterranean climate. *Building and Environment*, *45*(8), 1890-1904. https://doi.org/10.1016/j.buildenv.2010.03.001

[39] Saiz, S., Kennedy, C., Bass, B., & Pressnail, K. (2006). Comparative Life Cycle Assessment of Standard and Green Roofs. *Environmental Science & Technology*, *40*(13), 4312-4316. https://doi.org/10.1021/es0517522

[40] Cascone, S. (2019). Green Roof Design: State of the Art on Technology and Materials. *Sustainability*, *11*(11), 1-27. https://doi.org/10.3390/su11113020

[41] Luckett, K. (2009). *Green Roof Construction and Maintenance*. McGraw Hill. https://www.amazon.com/Construction-Maintenance-GreenSource-McGraw-Hills-Greensource/dp/007160880X

[42] Kluge, M. (1977). Is Sedum acre L. a CAM plant? *Oecologia*, *29*(1), 77-83. https://doi.org/10.1007/BF00345364

[43] Ebadati, M., & Ehyaei, M. A .(2020). Reduction of energy consumption in residential buildings with green roofs in three different climates of Iran. *Advances in Building Energy Research*, *14*(1), 66-93. https://doi.org/10.1080/17512549.2018.1489894

[44] Huttner, S., Bruse, M., & Dostal, P. (2008). Using ENVI-met to simulate the impact of global warming on the microclimate in central European cities. In *5th Japanese German Meeting on Urban Climatology: Albert Ludwigs University of Freiburg, Germany*. Meteorological Institute. https://citeseerx.ist.psu.edu/viewdoc/download?doi=10.1.1.510.8687&rep=rep1&type=pdf

[45] Yang, X., Zhao, L., Bruse, M., & Meng, Q. (2012). An integrated simulation method for building energy performance assessment in urban environments. *Energy and Buildings*, *54*, 243-251. https://doi.org/10.1016/j.enbuild.2012.07.042

[46] Taleghani, M., Kleerekoper, L., Tenpierik, M., & Van Den Dobbelsteen, A. (2015). Outdoor thermal comfort within five different urban forms in the Netherlands. *Building and Environment*, *83*, 65-78 .https://doi.org/10.1016/j.buildenv.2014.03.014

[47] Daemei, A. B., Azmoodeh, M., Zamani, Z., & Khotbehsara, E. M. (2018). Experimental and simulation studies on the thermal behavior of vertical greenery system for temperature mitigation in urban spaces. *Journal of Building Engineering*, *20*, 277-284. https://doi.org/10.1016/j.jobe.2018.07.024