Journal of Iranian Architecture & Urbanism
(JIAU)
Homepage: https://www.isau.ir/

ORIGINAL RESEARCH PAPER

Assessing the Effect of Green Roofs on Urban Microclimate,

Case study: the Low-Rise Context in Hot-Dry Climate of Shiraz

Sina Karamirad [1], **Roza Vakilinezhad** [2,*]

[1] *M.A. in Architecture, Department of Architecture, School of art and architecture, Shiraz University, Shiraz, Iran.*
[2] *Assistant Professor, Department of Architecture, School of art and architecture, Shiraz University, Shiraz, Iran.*

ARTICLE INFO

Article History:

Received	2020/07/01
Revised	2020/10/21
Accepted	2021/01/02
Available Online	2022/12/31

Keywords:

Green Roof
Microclimate
Envi-met
Urban Heat Island
Outdoor Thermal Comfort

Use your device to scan and read the article online

Number of References
36

Number of Figures
14

Number of Tables
1

Extended ABSTRACT

BACKGROUND AND OBJECTIVES: In recent years, various solutions have been proposed to reduce urban heat islands. The most common of these strategies is the use of cool surfaces (on roofs and sidewalks and vegetation surfaces) and increasing green space. However, the shape of urban blocks, the duration of direct sunlight, and the average radiant temperature play an important role in the thermal comfort of the outer space of cities. The microclimatic temperature conditions of the city affect the thermal behavior of buildings as well as the thermal comfort of pedestrians. Since the simplest way to change the microclimate and reduce the urban heat island is to use cool surfaces and increase green space, in recent decades, the use of green roofs in different climatic regions has expanded. The application of green roofs is one of the common strategies to reduce the thermal load of buildings. On the other hand, it is recommended to use cool surfaces and greenery to change the microclimate and mitigate urban heat islands. This research aims to investigate the effect of green roofs on the urban microclimate in the hot and dry climate.

METHODS: This study aims to determine the effect of green roofs on local microclimate and urban heat island in the low-rise contexts in the hot and dry climate of Shiraz. The research method used in this research is a computer simulation method, carried out using Envi-met software. Envi-met is a 3D simulation and measurement software for microclimatic conditions of urban climate and is used to analyze the open spaces of urban environments. This software has been selected due to its numerous capabilities and different validated results. The case study is a part of a low-rise urban context in Shiraz, and the research was carried out using Envi-met software for thermal simulation of the outside environment on one of the hottest days of the year. Thermal effects of three roof types on the surrounding environment have been evaluated: a common roof with reflecting isolation layer, a green roof with grass, and a green roof with trees. The simulation was done for the first day of July as one of the hottest days of the year. Data output is taken at the height of 0.5 m above the roof surface (6.5 m above the ground).

FINDINGS: The results show that the application of green roofs with trees or grass would slightly improve thermal comfort in the neighborhood. The maximum reduction in air temperature is between 0.27 to 0.74 degrees in the receptors, and 5.05 degrees in mean radiant temperature. In the case of relative humidity, the maximum changes are an increase of 0.36% or a decrease of 0.48%, while the maximum fluctuation of wind speed is an increase by 0.68 m/s. The analysis of the correlation coefficients between the variables and the thermal comfort index of PMV shows a significant correlation. In verifying the results, they are represented as descriptive statistics, including the changes in the variables of air temperature, radiant temperature, wind speed, humidity and thermal comfort. In addition, the relationship between radiant temperature, air temperature, relative humidity and wind speed and the thermal comfort has been investigated using statistical analysis and the coefficient of correlation between them has been calculated in three modes: green roof with grass and green roof with tree at 9 am and 5 pm. The correlation coefficients in most cases are more than 0.7 and indicate a strong correlation. In this way, the obtained correlation coefficients show a strong significant direct relationship.

© 2022, JIAU. All rights reserved.

https://dx.doi.org/10.30475/isau.2022.237674.1453

OPEN ACCESS

* Corresponding Author:
Email: *arch.rv@shirazu.ac.ir*
Phone: +98(917)7006612

Extended ABSTRACT

CONCLUSION: Providing A green roof with trees is more efficient than a green roof with grass providing better thermal comfort conditions in urban microclimates. The green roof area is more important than the green roof itself. The application of green roofs in small areas (urban blocks and neighboring) has little effect on the thermal comfort of the microclimate. It would effectively reduce air temperature and cooling effect only if it is used in a vast area. The correlation between the variables and the thermal comfort created in different conditions shows a strong correlation. Based on the results, the extent and the size of the green roof have a more important effect on the region's microclimate. These results are consistent with previous studies (Battista et al., 2016: 1058) and (Peng et al., 2013: 598) and (Alcazar et al., 2016: 304) and indicate that considering green roofs in small extents such as an urban block or a neighborhood unit has little effect on the microclimatic conditions of the region. In order to benefit from the cooling effects of green roofs and reduce the heat on an urban microclimate scale, it is necessary to use green roofs in a wider area. In summary, the following can be extracted from the results of the present study:

- Using a green roof can slightly reduce the outdoor temperature and improve thermal comfort conditions on a neighborhood scale.
- A green roof with trees is more effective than a green roof with grass, and from this point of view, it is more preferred.
- If the use of green roofs is considered as a solution to reduce air temperature and improve thermal comfort conditions, it should be considered in large urban areas (several urban blocks or several neighborhood units).

.....

HIGHLIGHTS:

- The extension of green roof area is more important than its type.
- Green roof with tree has the greatest effect on reduction of the mean radiant temperature among various types of green roofs.

ACKNOWLEDGMENTS:

This research did not receive any specific grant from funding agencies in the public, commercial, or not-forprofit sectors.

CONFLICT OF INTEREST:

The authors declared no conflicts of interest.

COPYRIGHTS

Copyright for this article is retained by the author(s), with publication rights granted to the Journal of Iranian Architecture & Urbanism (JIAU). This is an open access article distributed under the terms of the Creative Commons Attribution (CC BY 4.0), which permits unrestricted use, distribution, and reproduction in any medium, as long as the original authors and source are cited. No permission is required from the authors or the publishers.
https://creativecommons.org/licenses/by/4.0/

HOW TO CITE THIS ARTICLE

Karamirad, S.; Vakilinezhad, R., (2022). Assessing the Effect of Green Roofs on Urban Microclimate, Case study: the Low-Rise Context in Hot-Dry Climate of Shiraz. *Journal of Iranian Architecture & Urbanism*., 13(2): 5-19.

https://dx.doi.org/10.30475/isau.2022.237674.1453
https://www.isau.ir/article_166872.html

نشریه علمی معماری و شهرسازی ایران. دوره ۱۳. شماره ۲. صفحات ۱۹-۵. پاییز و زمستان ۱۴۰۱

نشریه علمی معماری و شهرسازی ایران
(JIAU)
https://www.isau.ir/

مقاله علمی- پژوهشی

ارزیابی تاثیر بام سبز بر خرداقلیم شهری؛
نمونه موردی: بافت کوتاه مرتبه اقلیم گرم و خشک شیراز

سینا کرمی‌راد [۱]، رزا وکیلی‌نژاد [۲و*]

۱. کارشناسی ارشد، گروه معماری، دانشکده هنر و معماری، دانشگاه شیراز، شیراز، ایران.
۲. استادیار، گروه معماری، دانشکده هنر و معماری، دانشگاه شیراز، شیراز، ایران.

مشخصات مقاله

تاریخ ارسال ۱۳۹۹/۰۴/۱۱
تاریخ بازنگری ۱۳۹۹/۰۷/۳۰
تاریخ پذیرش ۱۳۹۹/۱۰/۱۳
تاریخ انتشار آنلاین ۱۴۰۱/۱۰/۱۰

واژگان کلیدی

بام سبز
خرداقلیم
انویمت
جزیره گرمایی شهری
آسایش حرارتی بیرونی

چکیده

استفاده از بام سبز یکی از راهکارهای متداول جهت کاهش بار حرارتی ساختمانهاست. از طرف دیگر استفاده از سطوح خنک و فضای سبز جهت تغییر خرداقلیم و کاهش جزیره گرمایی شهری، پیشنهاد می‌شود. مقاله حاضر با هدف بررسی میزان تاثیر دو نوع بام سبز درخت و چمن بر خرداقلیم حرارتی در اقلیم گرم و خشک انجام شده است. نمونه مورد مطالعه بخشی از بافت کوتاه مرتبه شهر شیراز بوده و پژوهش به روش شبیه‌سازی حرارتی محیط خارجی با استفاده از نرم‌افزار انویمت در دو روز از گرم‌ترین روزهای سال انجام شده است. بدین منظور تاثیرات حرارتی سه نمونه بام متداول با پوشش نهایی ایزوگام، بام سبز با چمن و بام سبز با درخت بر محیط محله اطراف مورد بررسی قرار گرفته است. نتایج پژوهش نشان می‌دهد استفاده از بام سبز با درخت و چمن تاثیر اندکی بر کاهش دمای خرداقلیم دارد. در گیرنده‌های مختلف، حداکثر کاهش ایجاد شده در دمای هوا بین ۰.۲۷ تا ۰.۷۴ درجه و در دمای تابشی ۵.۰۵ درجه است. بیشترین تغییرات رطوبت نسبی شامل ۰.۳۶ درصد افزایش و ۰.۴۸ درصد کاهش و در مورد سرعت باد شامل حداکثر ۰.۶۸ متر بر ثانیه افزایش در مقادیر بوده و تغییرات این متغیرها، در بیشترین حالت تغییری معادل ۱.۵۲ در ضریب آسایش حرارتی ایجاد می‌کند. تحلیل همبستگی انجام شده میان متغیرها و آسایش حرارتی ایجاد شده در حالت‌های مختلف، وجود ضریب معناداری قوی را نشان می‌دهد. کارایی بام سبز با درخت، به دلیل تأثیر درختان بر کاهش میزان دمای متوسط تابشی بیشتر از بام سبز با چمن است و شرایط آسایش حرارتی مطلوب‌تری در مقیاس خرداقلیم محلی ایجاد می‌کند. به این ترتیب محدوده احداث بام سبز، در مقایسه به نوع آن از اهمیت بیشتری برخوردار است. ایجاد بام سبز در محدوده کوچک (بلوک شهری و واحد همسایگی) تاثیری اندک بر شرایط حرارتی خرداقلیم دارد.

نکات شاخص

- گستره احداث بام سبز در مقایسه با نوع آن از اهمیت بیشتری برخوردار است.
- از میان انواع بام سبز، بام سبز با درخت بیشترین تاثیر را در کاهش دمای متوسط تابشی دارد.

نحوه ارجاع به مقاله

کرمی‌راد، سینا و وکیلی‌نژاد، رزا. (۱۴۰۱). ارزیابی تاثیر بام سبز بر خرداقلیم شهری؛ نمونه موردی: بافت کوتاه مرتبه اقلیم گرم و خشک شیراز، *نشریه علمی معماری و شهرسازی ایران*، ۱۳(۲)، ۵-۱۹.

* نویسنده مسئول
تلفن: ۰۰۹۸۹۱۷۷۰۰۶۶۱۲
پست الکترونیک: arch.rv@shirazu.ac.ir

مقدمه

تغییرات اقلیمی و افزایش دمای شهرها از مشکلات عمده جهانی در سال‌های اخیر بوده است. به همین دلیل در سال‌های اخیر مقالات علمی در مورد کاهش پدیده جزیره گرمایی شهری (UHI) رو به رشد بوده و راهکارهای مختلفی جهت کاهش جزیره گرمایی شهری پیشنهاد شده است. از متداول‌ترین این راهکارها استفاده از سطوح خنک (روی بام‌ها و پیاده‌روها و سطوح گیاه‌کاری) و افزایش فضای سبز است (Wang et al., 2016: 17; Battista et al., 2016: 1058). هرچند فرم بلوک‌های شهری، مدت زمان تابش مستقیم خورشید و دمای متوسط تابشی نقش مهمی در آسایش حرارتی فضای خارجی شهرها ایفا می‌کنند.

بام تخت از مهمترین اجزای ساختمان در تعیین بارهای حرارتی بناست. استفاده از بام‌های سبز به عنوان یکی از متداول‌ترین راهکارهای تعدیل بار سرمایش و گرمایش پیشنهاد شده است. از طرف دیگر شرایط حرارتی خرداقلیم شهری از دو جنبه بر رفتار حرارتی ساختمان‌ها و نیز آسایش حرارتی افراد پیاده تاثیرگذار می‌باشد. از آنجا که ساده‌ترین راهکار جهت تغییر خرداقلیم و کاهش جزیره گرمایی شهری، استفاده از سطوح خنک و افزایش فضای سبز است در دهه‌های اخیر کاربرد بام‌های سبز در مناطق مختلف اقلیمی گسترش یافته است. عمده پژوهش‌های انجام شده در این زمینه در اقلیم‌های مرطوب و نیمه‌مرطوب و در پهنه‌های بزرگ شهری انجام شده است.

این درحالیست که در کشور ما در محدوده‌های مختلف شهری تصمیمات مختلفی در رابطه با صدور مجوزهای قانونی از طرف ارگان‌های مربوط (شهرداری، نظام مهندسی) اتخاذ می‌شود که عمدتا بدون بررسی میزان و چگونگی تاثیر بام سبز بر خرداقلیم شهری است. هدف از انجام پژوهش حاضر تعیین میزان تاثیر انواع بام سبز بر تعدیل حرارتی در مقیاس خرداقلیم شهری در اقلیم گرم و خشک شهر شیراز است.

پیشینه پژوهش

پژوهش‌های مرتبط با بام سبز در دو دسته متفاوت به بررسی عملکرد حرارتی بام سبز در ساختمان و یا تاثیر آن بر خرداقلیم شهری پرداخته‌اند (Vuckovic et al., 2017: 331)، هرچند غالب مطالعات گذشته تاثیر سرمایشی بام سبز را بر شرایط حرارتی و مصرف انرژی ساختمان‌ها بررسی کرده‌اند (Peng et al., 2013: 598).

از جمله پژوهش‌های دسته اول، پژوهش مودی در سنجش عملکرد حرارتی بام‌های سبز است که معیاری برای ارزیابی میزان کارایی دینامیک بام‌های سبز (DBGR) به صورت نسبت انرژی گرمایش، تهویه و تهویه مطبوع ساختمان با بام سبز به بام متداول ایجاد کرده است. اگر بام سبز نسبت به بام متداول با سطح عایق یکسان، سبب کاهش مصرف انرژی شود مقدار این معیار بیشتر از واحد است. بررسی وی برای ساختمان‌های اداری در چهار اقلیم مختلف نشان داد که در اقلیم شیکاگو با زمستان سخت و دیگر فصول معتدل، کاهش انرژی کمتر و در آتلانتا و هوستون معادل سالانه ذخیره انرژی بام متداول است. در پرتلند این مقدار بدلیل سرمایش تبخیری ناخواسته در فصول میانی کمتر از واحد بوده و سبب افزایش بار گرمایش می‌شود (Moody et al., 2013: 262). تحلیل تجربی بام سبز گسترده در ساختمان دانشگاهی در ایتالیا با اقلیم مدیترانه‌ای کاهش دمای ۱۲ درجه سقف را در تابستان و افزایش متوسط ۴ درجه را در زمستان نشان می‌دهد. بر اساس نتایج، با زمان تاخیر ۳,۱-۴,۸ ساعت میزان کاهش بار سرمایش ۱۰۰٪ و بار گرمایش ۳۰-۳۷٪ است (Bevilacqu, 2016: 63). مدل‌سازی انجام شده با انویمت در اقلیم گرم و مرطوب دبی، تغییرات قابل توجه در متغیرهای بازتاب سطحی، دمای متوسط تابشی، رطوبت نسبی و ضریب PMV را نشان می‌دهد (Souza, 2013: 475). پژوهش‌های بسیاری نیز جهت بررسی تاثیر توده حرارتی، میزان عایق و بازتاب در بام خنک و سرعت آبیاری و گیاهان در بام سبز انجام شده است (Kolokotsa et al., 2013: 118; Silva et al., 2016: 318).

بررسی مصرف انرژی دو نوع ساختمان‌های عایق و بدون عایق در صورت استفاده از بام سبز، قابلیت آن را در کاهش ماکزیمم دمای داخلی در تابستان و محدود کردن تغییرات دمایی بام نشان می‌دهد (Rakoton-dramiarana et al., 2015). در پژوهشی که در اقلیم مدیترانه‌ای لیسبون در مورد بام سبز گسترده، نیمه گسترده و فشرده و با استفاده از انرژی پلاس انجام شده نشان می‌دهد که بام با عایق مناسب از مزایای سرمایش تبخیری برخوردار نیست و مصرف انرژی در ساختمان بدون عایق با بام گسترده ۲۰٪ کمتر از بام به رنگ مشکی و مشابه بام سفیدرنگ است. در بام‌های سبز با پوشش نیمه فشرده و فشرده نیز انرژی مصرفی به ترتیب ۶۰-۷۰٪ کمتر از با سیاه و سفید رنگ است (Silva et al., 2016: 318). در شهرهای جنوبی استرالیا، قابلیت سرمایشی بام‌های گسترده و فشرده سبز در تابستان و نیز عملکرد آن‌ها به عنوان لایه‌ای عایق جهت حفظ حرارت ساختمان در زمستان نشان داده شده است (Razzaghmanesh et al., 2016). در شانگهای با اقلیم بندری تابستان گرم و مرطوب، عملکرد حرارتی بام سبز گسترده در دو ساختمان با شرایط آزاد و تهویه مطبوع برای یک ماه بررسی شده است. بر اساس نتایج درحالی که در شرایط آزاد تاثیر تابش خورشیدی بر جریان حرارت از بام سبز و سرمایش منفی است در ساختمان با تهویه مطبوع مثبت است. مرتبط‌ترین فاکتور به دمای بام سبز، دمای هوای خارج است درحالی که کمترین

ارتباط را با اثر سرمایشی بام سبز دارد. علاوه بر این میزان رطوبت خاک، تابش موج بلند و رطوبت تبخیری عوامل مهم در ایجاد اثر سرمایشی هستند (He et al., 2016: 762).

از طرفی در مقیاس شهری راهکارهای متعددی از جمله گیاه‌کاری خیابان‌ها، استفاده از سطوح خنک و بام سبز جهت کاهش تاثیرات جزیره گرمایی شهری پیشنهاد و آزمون شده است. سوسکا و همکاران، تاثیر مثبت گیاه‌کاری را در دو مقیاس ساختمان و شهر در ۴ منطقه نیویورک و میانگین کاهش دمای ۲ درجه با اختلاف بین نواحی سبز و مصالح ساختمانی مشخص شده است (Susca et al., 2011: 2119). مقایسه سطوح با مصالح مختلف در دو شهر مونترال و تورنتو با اقلیم سرد با هدف تعیین سیاست‌های کاهش جزیره گرمایی شهری انجام شده که اهمیت جنس و رنگ سطوح بام و دیوارها را نشان می‌دهد (Wang & Akbari,2014). مصالح با بازتاب کم مثل آسفالت، مصالح بام و پیاده‌رو آجری سبب کاهش جزیره حرارتی هستند. جهت بررسی تاثیر مصالح، مطالعه تجربی در مقیاس خرد و شبیه‌سازی عددی در مقیاس کلان در محیط نمونه شهری در استرالیا انجام شده است. طبق نتایج عملکرد بام سبز و سطوح گیاهی سبب کاهش دمای تابستان و مشابه عایق در زمستان است. این پژوهش افزایش استفاده از مصالح شهری حساس به آب مانند دیوار سبز و درختان خیابان را در ترکیب با مصالح با بازتاب بالا پیشنهاد می‌دهد (Razzaghmanesh et al., 2016: 89). زنگ و همکاران، تاثیر گیاه‌کاری در محوطه ساختمان‌های مسکونی را در فصل تابستان در ووهان چین با تابستان گرم و بادهای سرد در زمستان با چندین متغیر و ۳ سناریو با ۳ نوع کاشت و ۸ نوع گیاه بررسی کرده‌اند (Zhang et al., 2018). الکساندرویز با بررسی ۴۱۱ مقاله در این زمینه، ۱۱ معیار اندازه‌گیری متفاوت را جهت سنجش میزان تاثیر گیاهان (درختان سایه‌دار، پوسته سرد ساختمان، گیاه‌کاری زمین و بام سبز) تعیین کرده است (Aleksandrowicz et al, 2017: 1).

در مقیاس شهری، عمده پژوهش‌ها در اقلیم نیمه استوایی و در پهنه‌های بزرگ شهری در شرق آسیا، شمال آمریکا و بخش‌هایی از اروپا و دریای مدیترانه انجام شده است. بررسی بام سبز در اقلیم مدیترانه‌ای تاثیر اندک آن (حداکثر ۱درجه) را بر خرداقلیم اطراف نشان می‌دهد در حالی که در ترکیب با سبزینگی شهر در سطح پیاده اثر بزرگتری (تا ۲درجه) دارد. هرچند با ترکیب بام سبز و سبزینگی شهری و سطوح نافذ رطوبت، تفاوت دما بین سطوح سخت و نرم در ارتفاع ۱ متری بخاطر سرمایش تبخیری تا ۵ درجه می‌رسد. بر اساس نتایج این پژوهش تاثیر سرمایشی بام سبز، اندک بوده و چندان تحت تاثیر جهت باد و شرایط تابش نیست (Alcazar et al., 2016: 304).

مطالعه پنگ در مقیاس خرداقلیم همسایگی و آسایش انسانی در ۵ همسایگی مسکونی در اقلیم نیمه استوایی هنگ کنگ انجام شده است. ابزارهای مورد استفاده برای بررسی اثر دو نوع بام سبز گسترده و فشرده انویمت و ریمن هستند. بر اساس نتایج، اثر سرمایشی بام سبز در ساختمان‌های کوتاه مرتبه‌ها تا سطح زمین و افراد پیاده قابل مشاهده است. بام سبز گسترده سبب ۰٫۴-۰٫۷و فشرده سبب ۰٫۵-۱٫۷ درجه کاهش دما می‌شوند (Peng et al., 2013: 598). طبق نتایج یک پژوهش دیگر، استفاده از بام سبز در شهر رم در وسعتی به مساحت ۰٫۲۱۸ کیلومتر مربع و بر بام ۳۰۰۰ خانوار، سبب کاهش دمای ۰٫۵ و ۰٫۳ در روز و شب در پروفیل عمودی دما شده و استفاده از مصالح خنک و گیاه‌کاری سبب کاهش دما تا ۲ درجه و کاهش دمای معادل فیزیولوژیک تا ۱ درجه می‌شود (Battista et al, 2016: 1058). در منچستر توانایی بام گسترده سبز برای سرمایش هوای مجاور بام بتنی در ارتفاع ۳۰ سانتی از بام به طور متوسط ماهانه بیش از یک درجه محاسبه کرده‌اند (Speak et al., 2013: 40) و بررسی تجربی بام سبز در تهران در مقایسه با بام بتنی، دما هوای ۳٫۷ درجه پایینتر و رطوبت ۱۲٪ بالاتر را نشان می‌دهد (Moghbel et al., 2017: 46).

یکی از گسترده‌ترین پژوهش‌ها در مقیاس شهری، بررسی تاثیر حرارتی پوسته‌های سبز ساختمان در اقلیم‌های مختلف است که در ۹ شهر و با سه هندسه خیابان و در دو جهت‌گیری و دو جهت باد آزمایش شده است. در این آزمایش اثر دیوارها و بام سبز درون خیابان و در سطح بام بر کاهش دما و مصرف انرژی و آسایش حرارتی خارجی آزموده شده است. بر اساس نتایج در اقلیم ریاض، کاهش دما در سطح بام حداکثر تا ۲۶ درجه بوده و متوسط آن ۱۲٫۸ درجه است. درحالیکه دمای خیابان حداکثر ۱۱٫۳ درجه و به طور متوسط ۹٫۱ درجه کاهش دارد. در اقلیم گرم و مرطوب هنگ‌کنگ، استفاده از بام و دیوار سبز سبب کاهش دما تا ۸٫۴ درجه است. این نتایج تاثیر اندک جهت‌گیری خیابان و باد را در سرعت‌های کم باد نشان می‌دهد. علاوه بر این با افزایش عرض خیابان اثر سرمایشی بام و دیوار سبز کمتر است (Alexandria et al., 2008: 480). پژوهش انجام شده در یکی از شهرهای چین با اقلیم نیمه مدیترانه‌ای، نشان می‌دهد که بیشترین کاهش دما در لایه نزدیک و تا ۰٫۵ درجه بوده و به نحوه سازماندهی و محل قرارگیری سبزینگی بستگی داشته و قرارگیری بام سبز رو به باد می‌تواند سبب کاهش دمای هوا در کل منطقه شود (Jin et al., 2017).

در پژوهش موراکینیو، تاثیر چهار نوع بام سبز بر بار سرمایش و گرمایش در ۴ اقلیم و ۳ تراکم شهری با استفاده از شبیه‌سازی ترکیبی انرژی پلاس و انویمت بررسی شده است. نتایج پژوهش کارایی بیشتر بام نیمه گسترده را در مقایسه با بام گسترده

برای کاهش هر دو بار سرمایش و دمای خارجی نشان می‌دهد. گرچه اثر گرمایش شبانه خارجی با بام نیمه گسترده بیشتر قابل توجه بوده و حدود ۰٫۲ درجه است اما اثر سرمایش داخلی و خارجی بین ۰٫۰۵-۰٫۶ درجه و ۰٫۴-۱٫۴ درجه بسته به نوع بام سبز و زمان روز و تراکم شهری متفاوت می‌باشد. بیشترین میزان تاثیرگذاری این مساله به ترتیب در اقلیم گرم و خشک، گرم و مرطوب و معتدل است زیرا در اقلیم گرم و مرطوب اثر سرمایش تبخیری فضای سبز در مقایسه با خشک کاسته می‌شود. بیشترین کاهش بار سرمایش در گرمترین روز سال، در اقلیم گرم و خشک و با استفاده از بام سبز گسترده معادل ۵٫۲ درصد بوده و کمترین آن در اقلیم معتدل و بام سبز نیمه گسترده معادل ۰٫۱ درصد است. در مجموع برای کاهش سرمایش و دمای خارجی هر دو، بام سبز نیمه گسترده موثرتر از گسترده بوده و فضای سبز بلندتر برای کاهش دمای داخلی مهمتر است (Morakinyo et al., 2017: 226).

در برخی پژوهش‌ها میزان تاثیر حرارتی انواع بام سبز با راهکارهای دیگر مقایسه شده است. به عنوان مثال ونگ تاثیر تیپولوژی شهری و سایه‌سازی گیاهان را بر کاهش جزیره گرمایی در مناطق شهری مختلف تورنتو با همسایگی‌ها و تراکم متفاوت با شبیه‌سازی انویمت بررسی کرده است. طبق نتایج این پژوهش با استفاده از سه راهکار بام خنک، پیاده‌رو خنک و افزایش گیاهان شهری دمای زمین ۷٫۹ درجه و با استفاده از بام خنک دمای بام تا ۱۱٫۳ درجه کاهش یافته و استفاده از ۱۰ درصد گیاه‌کاری در فضای شهری می‌تواند دمای هوای خارج را تا ۰٫۸ و دمای pet را تا ۴٫۶ در روز کاهش دهد (Wang et al., 2016: 17). در پژوهش دیگری از این دسته، تاثیر حرارتی دیوار سبز بر شرایط حرارتی خیابان با بام سبز مقایسه شده و در همه اقلیم‌ها اثر آن بیشتر از بام سبز بوده است در حالیکه تاثیر حرارتی بام سبز در سطح بام و درنتیجه در مقیاس شهری بیشتر است. به این ترتیب استفاده از ترکیب هر دو دیوار و بام سبز در مقیاس شهر (نه یک بلوک) می‌تواند با توجه به نوع اقلیم اثر سرمایشی از ۳۲ تا ۱۰۰ درصد بر ساختمان‌ها داشته باشد (Alexandria et al., 2008: 480). در شبیه‌سازی که با مدل تجربی به مقیاس ۱/۱۰ و نرم‌افزار ترنسیس انجام شد دیواری بتنی و بام سبز در جداره خیابان مورد آزمون قرار گرفت. طبق نتایج، در اقلیم معتدل اقیانوسی در تابستان دمای سطح بام تا به ۲۰ درجه رسیده و دمای هوای خیابان ۰٫۸ درجه کاهش یافته است (Ouldboukhitine et al., 2014: 273).

در پژوهشی تجربی در مدلی با مقیاس کوچک از یک خیابان، تاثیر دو بلوک بام سبز و خیابان با دیوار سبز غربی بر خرداقلیم شهری سنجش شده است. دیوار سبز خاصه در روزهای تابستان تاثیر زیادی بر دمای تابشی خیابان دارد. با توجه به تاثیر کاهشی چندین درجه دما در پژوهش حاضر با مقیاس کاهش یافته، این تاثیر در واقعیت و مقیاس شهری می‌تواند بسیار بیشتر باشد (Djedjig et al., 2015: 34). بررسی تاثیر انواع مختلف ساختارهای سبز شهری شامل درخت، بام و نمای سبز بر شرایط حرارتی محیط شهری در منطقه پرتراکم مسکونی مونیخ نشان می‌دهد که کاشت درختان بیشترین تاثیر را در کاهش دمای فیزیولوژیک (۱۳٪) در مقایسه با گیاه‌کاری موجود دارد. نمای سبز ۵-۱۰٪ درحالیکه تاثیر بام سبز قابل چشم‌پوشی است. صرفا افزایش میزان گیاه‌کاری مهم نبوده و قرارگیری گیاهان در نواحی در معرض حرارت اهمیت بیشتری دارد (Zölch et al., 2016).

در یک بررسی جامع ضروری ست سنجش تاثیرات بام سبز از جنبه‌های دیگر علاوه بر خرداقلیم شهری، از جمله مسائل اکولوژیکی، اقتصادی و اجتماعی نیز مورد توجه قرار گیرد. به عنوان مثال در پژوهشی مساله از منظر کنترل پشه‌ها در فضای شهری بررسی کرده (Wong et al., 2017: 63) و در پژوهشی دیگر، تحلیل تغییر سطح پارکینگ از آسفالت به چمن و اندازه گیری آن با دوربین حرارتی انجام شده است. طبق نتایج علاوه بر کاهش توزیع دمایی ۰٫۱ درجه، کاهش شار حرارتی ۱۰۰-۱۵۰ وات بر مترمربع در روز و ۵۰ در شب است. ضمن آن‌که جلوه ظاهری پارکینگ با رشد چمن و اثر وزن اتومبیل و حرارت تابشی از موتور و هزینه ساخت و نگهداری باید مدنظر قرار گیرد (Takebayashi et al., 2009: 1211).

از طرفی دسته دیگر پژوهش‌ها به تحلیل میزان تاثیر عوامل مختلف بام سبز بر رفتار حرارتی آن اختصاص داند. در این زمینه رفتار حرارتی سیستم بام سبز فشرده با گیاهان معطر بومی و آبیاری کم بر بام عایق شده به مساحت ۱۰۰۰ مترمربع یک ساختمان اداری در آتن سنجیده شده است. طبق نتایج انواع گونه‌های گیاهی سبب کاهش دمای سطح بام تا ۱۵ درجه در مقایسه با بام متداول می‌شوند. دمای داخلی ساختمان بدون تهویه مطبوع تا ۰٫۷ درجه کاسته شده و بار حرارتی به ترتیب ۱۹ و ۱۱ درصد برای سرمایش و گرمایش کاهش می‌یابد (Karachaliou et al., 2016: 256).

جهت دستیابی به نتایج دقیق، تحلیل پارامتریک گزینه‌های مختلف بام سبز، افزایش عمق خاک، افزایش ضریب سطح برگ ضروری است. بررسی مزایای خرداقلیم و صرفه جویی انرژی بام سبز در نمونه موردی دانشکده تورنتو کانادا نشان می‌دهد که افزایش ضریب برگ سبب افزایش اثر سرمایشی دمای هوا تا ۰٫۴ درجه در روز در سطح پیاده و اثر بیشتر سرمایشی در سطح بام است. تا ۳٪ سبب کاهش مصرف انرژی ساختمان می‌شود. طبق نتایج این پژوهش، افزایش عمق خاک مهمتر از افزایش ضریب سطح برگ است (Berardi, 2016: 217).

به این ترتیب نتایج پژوهش‌ها نشان می‌دهد

که متداول‌ترین استراتژی جهت کاهش گرمایش شهری استفاده از سبزینگی است که در ترکیب با دیگر استراتژی‌ها قابلیت کاهش بیشتر حرارت را پیدا می‌کند (Tsoka, et al., 2018). با توجه به تفاوت مقیاس در واحدهای همسایگی و ساختمان، ابزارهای مورد استفاده جهت تحلیل اثرات فضای سبز نیز متفاوت است. به عنوان مثال روشی جهت طراحی چند مقیاسی و ارزیابی مزایای خرداقلیم در مقیاس شهر، همسایگی و ساختمان پیشنهاد شده که با ترکیب دو نرم‌افزار انویمت و انرژی پلاس به بررسی سیستم یکپارچه گیاه‌کاری ساختمان و توزیع پنجره‌ها می‌پردازد (Pastore et al., 2017: 1).

در برخی پژوهش‌ها نیز مدل محاسباتی ترمودینامیک برای پیش بینی رفتار حرارتی بام سبز ارائه شده است (He et al., 2010: 2949). اما در یک دسته‌بندی کلی می‌توان پژوهش‌های انجام شده در این زمینه را در سه دسته پژوهش‌های تجربی، عددی و شبیه‌سازی تقسیم‌بندی نمود. علاوه بر این علیرغم آن‌که میزان کارایی بام‌های سبز بر بار حرارتی ساختمان‌ها در اقلیم گرم و خشک بیشتر از سایر اقلیم‌هاست، در مقیاس خرداقلیم شهری، غالب پژوهش‌های انجام شده در اقلیم نیمه استوایی، مدیترانه‌ای و معتدل انجام شده است. با توجه به کمبود این اطلاعات در اقلیم گرم و خشک، پژوهش حاضر جهت تعیین میزان تاثیر حرارتی بام سبز در مقیاس خرداقلیم شهری در اقلیم گرم و خشک شیراز انجام گرفته است.

کاربرد بام سبز در اقلیم‌های مختلف، با اهداف گوناگونی انجام می‌شود که یکی از مهمترین آن‌ها، استفاده از ویژگی تعادل حرارتی بام سبز و کاهش مصرف انرژی ساختمان است. از طرفی ایجاد سبزینگی در سطوح مختلف شهری با توجه به اثرات حرارتی آن می‌تواند سبب ایجاد خرد اقلیم‌های متفاوت گردد. به این ترتیب احداث بام سبز علاوه بر تاثیر بر عملکرد حرارتی و مصرف انرژی ساختمان، بر شرایط حرارتی نیز موثر بوده و می‌تواند در مقیاس بزرگتر محله یا بلوک شهری بر آسایش حرارتی خارجی تاثیرگذار باشد. با اینحال بنظر میرسد استفاده از بام سبز در مقیاس وسیع می‌تواند تاثیر قابل توجه در کاهش جزیره حرارتی شهری داشته باشد. مقاله حاضر با هدف تعیین میزان تاثیر بر اساس انواع مختلف بام سبز انجام شده است.

روش پژوهش

هدف از انجام پژوهش حاضر تعیین میزان تاثیر بام سبز ساختمان‌ها بر خرداقلیم محلی و نیز جزیره گرمایی شهری در بافت کوتاه مرتبه اقلیم گرم و خشک شیراز است. روش تحقیق مورد استفاده در این پژوهش شبیه‌سازی رایانه‌ای است که با استفاده از نرم‌افزار انویمت انجام شده است. انویمت، نرم‌افزاری جهت شبیه‌سازی سه بعدی و سنجش شرایط خرد اقلیم شهری است که برای تحلیل فضاهای باز محیط‌های شهری مورد استفاده قرار می‌گیرد. این نرم‌افزار به دلیل قابلیت‌های متعدد و نتایج اعتبارسنجی شده مختلف، انتخاب گردید و داده‌های آب و هوایی ورودی به نرم‌افزار از ایستگاه هواشناسی فرودگاه دستغیب شیراز استخراج شده است. نقاط انتخابی گیرنده‌ها جهت مقایسه بهتر داده‌های نرم‌افزار در سه محدوده خیابان اصلی، کوچه فرعی و پشت بام خانه‌ها انتخاب گردیده است. شکل ۱، فرآیند پژوهش را نشان می‌دهد.

مطابق شکل ۲، محدوده مورد مطالعه قسمتی از بافت کوتاه مرتبه منطقه بلوار مدرس شیراز و در نزدیکی ایستگاه هواشناسی انتخاب شده و شبیه‌سازی برای روز یک تیرماه به عنوان یکی از گرمترین روزهای سال انجام شده است.

نتایج پژوهش‌های انجام گرفته در مورد جزیره گرمایی در شهر شیراز نشان می‌دهد که مهمترین

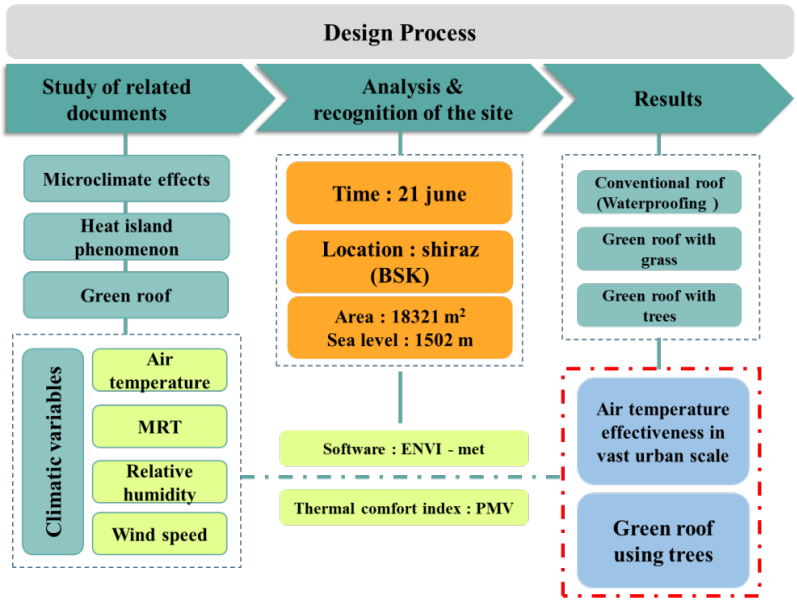


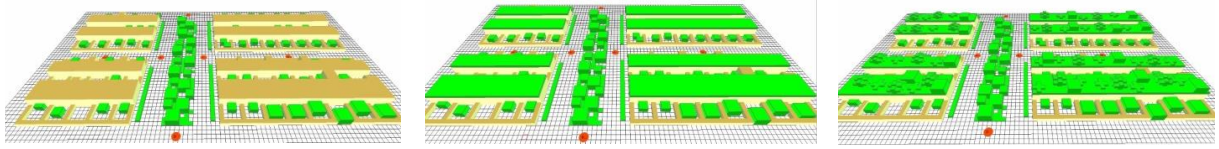
Fig.1. Research process

Fig.2. Site location (Google, 2019)

عامل در گسترش جزایر گرمایی کاهش پوشش گیاهی بوده و بیشترین جزیره حرارتی، در نواحی حاشیه‌ای جنوبی شهر به خصوص در محدوده اطراف مراکز صنعتی، فرودگاه بین المللی، ترمینال مسافربری کاراندیش، اطراف ایستگاه‌های مترو، بزرگراه‌ها، خیابان‌های پرترافیک و مکان‌های دارای بافت فرسوده مشاهده می‌شود (Sarbaz Demiri, 2019; Halabian & Soltani, 2020). به این ترتیب محدوده انتخابی جز مناطق دارای جزیره گرمایی شهری است که به عنوان مناسب‌ترین مکان‌ها جهت احداث بام سبز پیشنهاد می‌شود. در پژوهش حاضر میزان تاثیر، احداث بام سبز در بخشی از این محدوده بر خرداقلیم شهری مورد بررسی قرار گرفته است.

مدل ایجاد شده در سه حالت الف: بام متداول با پوشش نهایی ایزوگام، ب: بام سبز گسترده (با چمن) و ج: بام سبز فشرده (با درخت)، شبیه‌سازی انجام شده و نتایج با یکدیگر مقایسه شده است. خروجی داده‌ها در ارتفاع ۰/۵ متری بالای سطح پشت بام‌ها (۶/۵ متر از سطح زمین) گرفته شده است. شکل ۳، انواع مدل‌های مورد مطالعه و جدول ۱، جزییات بام‌های مورد استفاده را نشان می‌دهد.

روش انتخاب شده جهت راستی آزمایی نتایج شبیه‌سازی، شامل انجام شبیه‌سازی در دو روز متوالی و مقایسه نتایج جهت اعتبارسنجی آن‌هاست. لذا شبیه‌سازی‌ها به صورت مشابه در روز دوم تیرماه نیز انجام شد. مقایسه نتایج دو روز متوالی (۱ و ۲ تیرماه) وجود تفاوت قابل قبول (۳درصد) را نشان می‌دهد.



Sample 1: Conventional roofing | Sample 2: Green roof with grass | Sample 3: Green roof with a tree

Fig.3. Case Study models

Table 1. Details of applied roofs

	Conventional Roof		Green roof with grass	Green roof with tree
Parameter	Amount	**Parameter**		
Absorption Coefficient	0.50	**Carbon Dioxide**	C3	C3
Thickness	50 cm	**Leaf Type**	Grass	Deciduous Tree
Reflection Coefficient	0.50	**Albedo**	0.20	0.40
Thermal Conductivity Coefficient	0.84	**Pass Rate**	0.50	0.30
		Plant Height	0.50	4.00

یافته‌ها

محل قرارگیری گیرنده‌ها

جهت تجزیه و تحلیل نتایج تعداد ۱۰ عدد گیرنده در مدل‌سازی قرار داده شده است. شکل ۴، محل قرارگیری گیرنده‌ها را نشان می‌دهد.

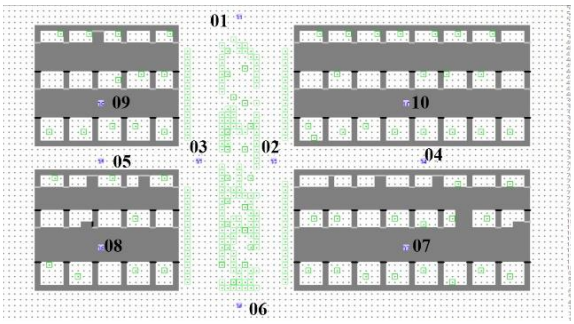


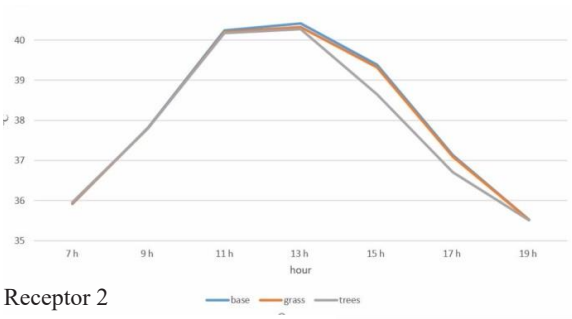
Fig.4. Location of receptors in the model

در اینجا با بررسی تمامی گیرنده‌ها جهت اجتناب از تکرار اطلاعات خروجی، داده‌های مستخرج از سه عدد از گیرنده‌ها مورد بررسی قرار گرفته است. گیرنده ۲ در خیابان اصلی، گیرنده ۴ در کوچه فرعی میان بلوک‌ها و گیرنده ۱۰ بالای بام یکی از ساختمان‌ها قرار گرفته است.

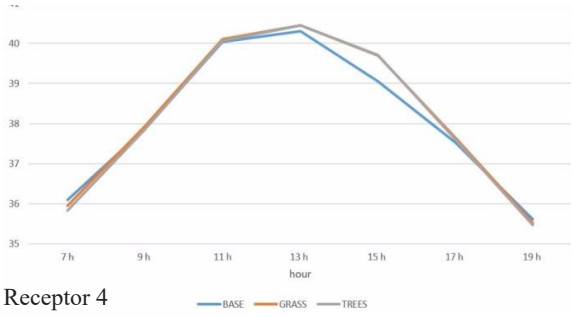
تغییرات متغیرها

در شکل‌های ۵ تا ۷، نمودار تغییرات داده‌ها از ساعت ۷ صبح تا ۱۹ عصر نشان داده شده است. مطابق شکل ۵، در گیرنده ۲، روند تغییرات دما در دو نمونه اولیه و بام چمن بسیار نزدیک به یکدیگر است. دمای هوا در نمونه اولیه بیشترین مقدار را داشته و در نمونه چمن و درخت به ترتیب کاهش می‌یابد. تفاوت میان دمای هوا در نمونه بام سبز با درخت با

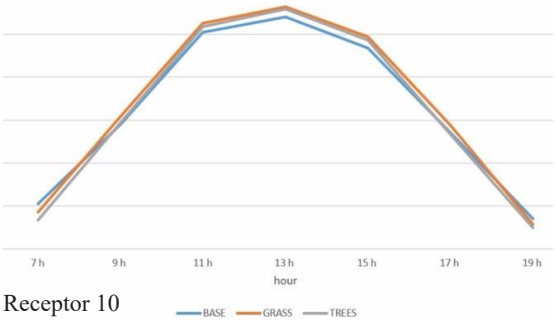
دو نمونه دیگر از ساعت ۱۳ افزایش یافته و تا ساعت ۱۹ ادامه می‌یابد. در گیرنده ۴ که در کوچه فرعی واقع شده است، این تفاوت از ساعت ۱۱ آغاز شده و تا ساعت ۱۷ ادامه دارد. با این تفاوت که در این گیرنده دمای هوا در نمونه بام متداول مقدار کمتری را نسبت به دو حالت دیگر نشان می‌دهد. که این تفاوت می‌تواند به دلیل تاخیر دمایی و تأثیر درختان بر کاهش اثر باد در کوچه باشد. در گیرنده ۱۰ روند کاهشی دما به ترتیب در نمونه بام سبز چمن، بام سبز درخت و بام اولیه دیده می‌شود. از آنجایی که اصلی‌ترین عامل در آسایش حرارتی بیرونی دمای متوسط تابشی می‌باشد، به بررسی این عامل در بین گیرنده‌های مورد نظر پرداخته و تأثیر آن را بر آسایش حرارتی بررسی می‌گردد.



Receptor 2



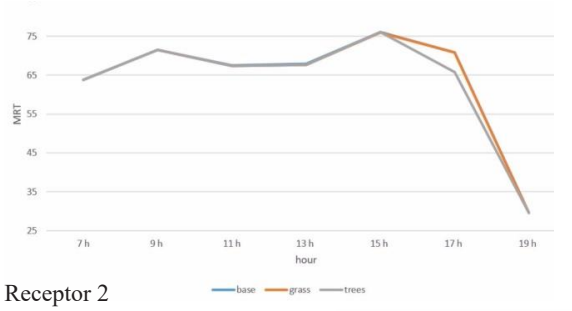
Receptor 4



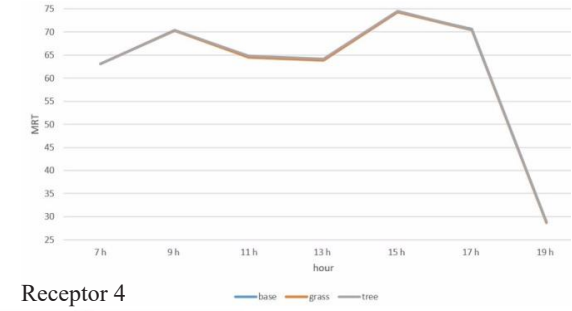
Receptor 10

Fig.5. Air temperature in receptors 2, 4, 10

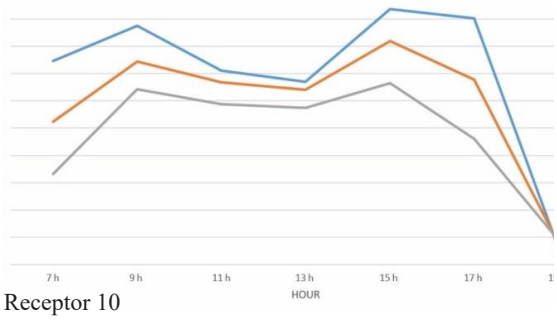
با توجه به نمودارهای شکل ۶، دمای تابشی در گیرنده ۲، در عمده ساعات روز در هر سه نمونه مقادیر مشابهی دارد. از ساعت ۱۵ دمای تابشی در بام سبز درخت و از بام سبز چمن و بام متداول کمتر بوده و تا ساعت ۱۷ به بیشترین میزان تفاوت حدود ۵ درجه سانتی گراد می‌رسد پس از آن با کاهش میزان تفاوت تا ساعت ۱۹، مجددا نمودار دماها بر یکدیگر منطبق می‌شود. در گیرنده ۴، روند تغییرات دما در سه نمونه یکسان و تقریبا بر یکدیگر منطبق است. بیشترین تفاوت در دمای تابشی نمونه‌ها در گیرنده ۱۰ مشاهده می‌شود. کمترین دمای تابشی به ترتیب مربوط به بام سبز با درخت، بام سبز چمن و نمونه اولیه است. مطابق شکل ۶، این تفاوت در کمترین حالت در ساعت ۱۳، به میزان ۵ درجه بوده و در ساعت اولیه روز (ساعت ۷) به بیش از ۲۰ درجه می‌رسد و در ساعت ۱۹ با توجه به زاویه نزدیک به صفر تابش افتاب دمای متوسط تابشی در سه حالت بر هم منطبق گردیده‌اند.



Receptor 2



Receptor 4



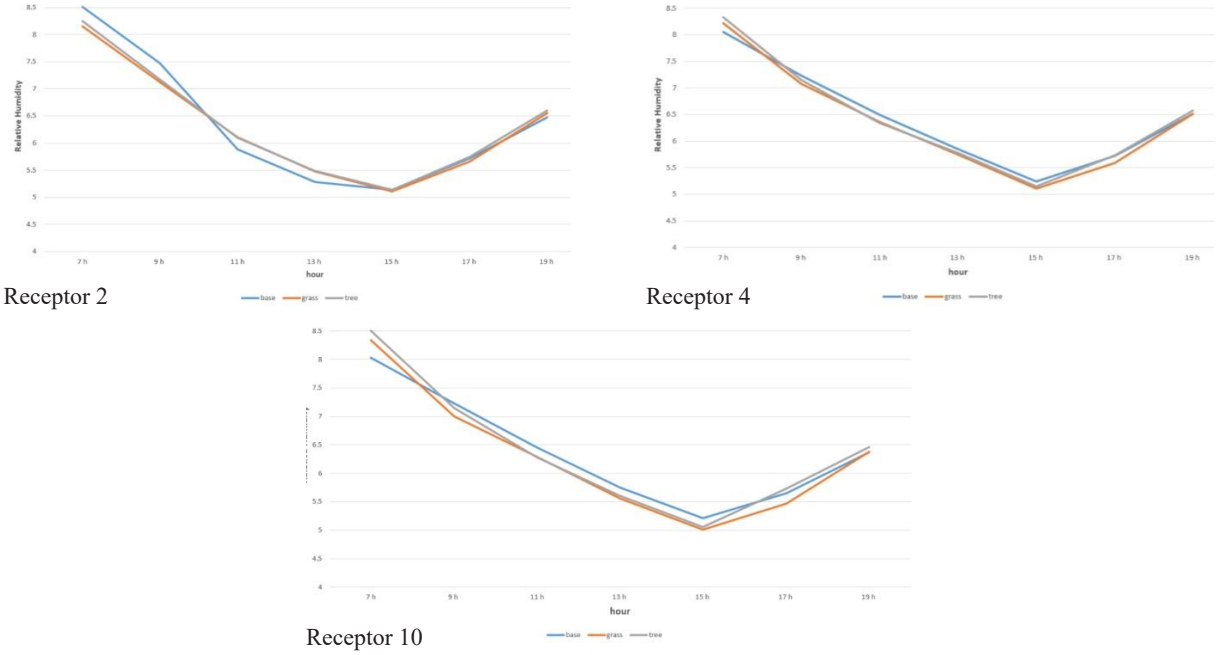
Receptor 10

Fig.6. Radiation temperature at 2, 4, 10 receptors

در شکل ۷، نمودار تغییرات رطوبت نسبی گیرنده‌های مختلف در سه نمونه مورد بررسی قرار گرفته است. مطابق شکل، تفاوت میان مقادیر رطوبت در سه نمونه مورد بررسی بسیار اندک بوده و قابل چشم پوشی است. ضمن آن‌که در هر سه گیرنده روند کاهشی یا افزایشی خاصی قابل مشاهده نیست.

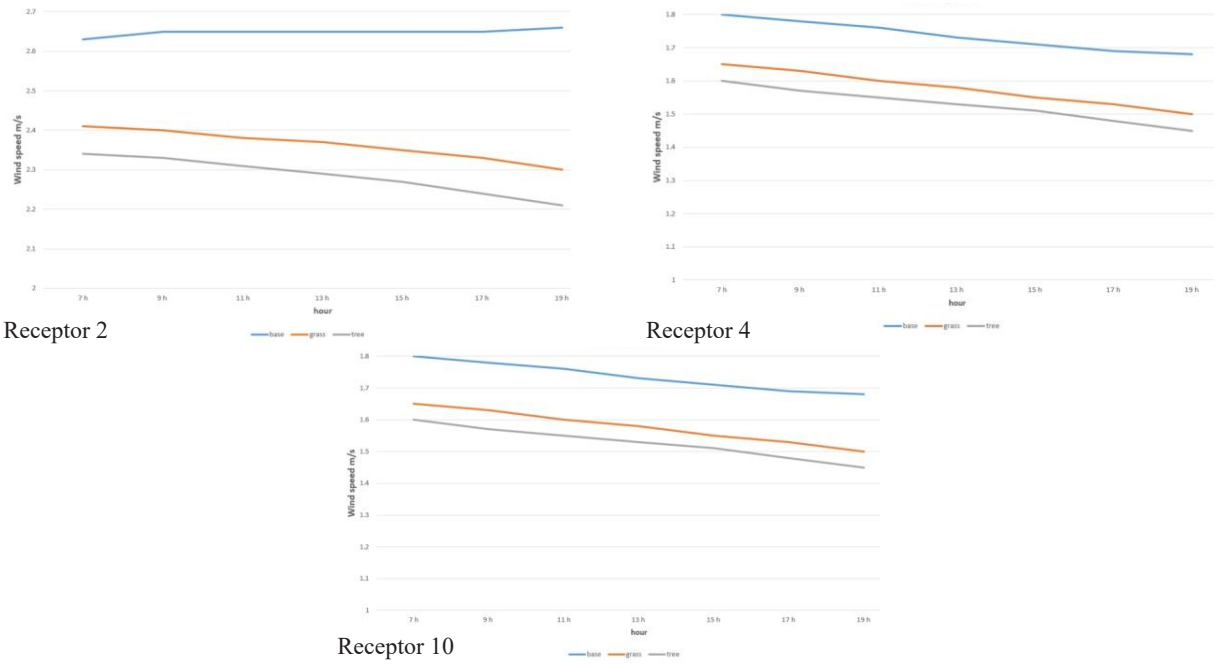
در شکل ۸، نمودار تغییرات سرعت هوا در ساعت‌های مختلف در سه نمونه مورد بررسی نشان داده شده است. در هر سه گیرنده، سرعت هوا در نمونه اولیه بیشتر از دو نمونه دیگر بوده و پس از آن به ترتیب بام سبز چمن و بام سبز درخت قرار دارد. بیشترین میزان تفاوت در مقادیر سرعت باد در گیرنده دو و در ساعات پایانی روز، میان دو حالت با سبز و نمونه اولیه وجود دارد. تغییرات مشابه نمودارها نشان می‌دهد که میزان تاثیر بر سرعت باد، در ساعات مختلف روز یکسان می‌باشد. علاوه بر این تفاوت میان مقادیر سرعت در دو نمونه بام سبز اندک بوده اما در مقایسه با نمونه اولیه قابل توجه است.

مطابق شکل ۹، تغییرات آسایش حرارتی PMV در هماهنگی با تغییرات دمای متوسط تابشی صورت گرفته است. در گیرنده‌های ۲ و ۴، با توجه به اینکه تغییرات سبزینگی وجود ندارد تفاوت اندکی با یکدیگر داشته و در گیرنده ۱۰ به دلیل ذکر شده تفاوت زیادی مشاهده می‌گردد. در گیرنده ۱۰ بهترین شرایط آسایش حرارتی مربوط به بام سبز با درخت بوده و به ترتیب برای بام سبز با چمن و بام متداول شرایط نامطلوب‌تر می‌شود.



Receptor 2 — Receptor 4 — Receptor 10

Fig.7. Relative air humidity in receptors 2, 4, 10



Receptor 2 — Receptor 4 — Receptor 10

Fig.8. Wind speed in receptors 2, 4, 10

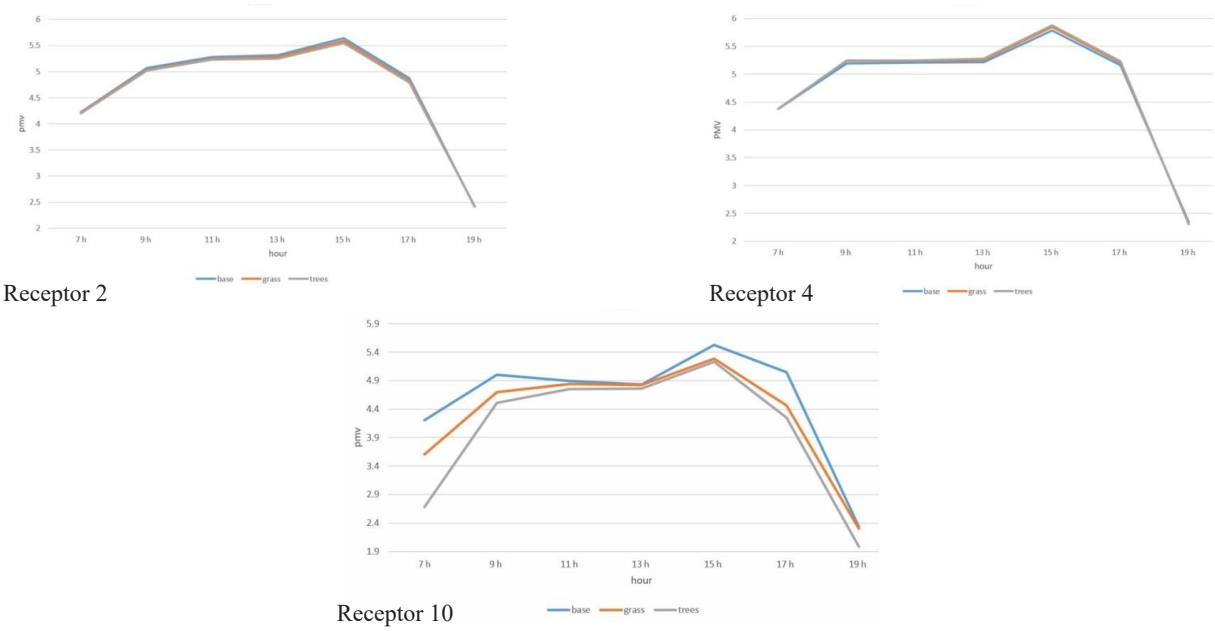


Fig.9. Thermal comfort in receptors 2, 4, 10

شکل‌های ۱۰ و ۱۱، گراف‌های دمای هوای محیط را در دو ساعت ۹ صبح و ۱۷ عصر در سه نمونه مورد بررسی نشان می‌دهد. همانگونه که مشاهده می‌شود تفاوت اندکی میان دمای هوا در سه نمونه وجود دارد. دمای هوا در نمونه بام سبز چمن اندکی بالاتر از بام سبز درخت و بام متداول است. به دلیل کاهش باد بر اثر وجود درختان ضمن آن‌که در این ساعت از روز سایه‌اندازی انجام نشده است. اما در این نمونه‌ها دمای میانگین تابشی کمتر می‌باشد. بطور کلی در هر سه نمونه در ساعات عصر شرایط حرارتی مطلوب‌تر است. در شکل‌های ۱۲ و ۱۳، شرایط آسایش حرارتی در دو ساعت ۹ صبح و ۱۷ عصر در سه نمونه مورد بررسی نشان داده شده است. با توجه به اینکه شبیه‌سازی در یکی از گرمترین روزهای سال انجام شده، در هیچ یک از نمونه‌ها در بسیاری از زمان‌های روز آسایش حرارتی در محیط خارج برقرار نیست. مقادیر PMV بالاتر از ۱ در این اشکال، گویای این مساله است. با این همه این اشکال نشان می‌دهند که شرایط حرارتی در نمونه ۳ و ۲ به ترتیب مطلوب‌تر از نمونه اولیه است. مقادیر PMV در نمونه ۳ نیز کمتر از نمونه ۲ می‌باشد. ضمن آن‌که در قسمت‌های بام شرایط حرارتی مطلوبتری نسبت به قسمت‌های خیابان وجود دارد. علاوه بر این در مقایسه میان دو ساعت نمونه، در ساعت ۱۷ عصر محیط حرارتی در سایر قسمت‌های بام و خیابان‌ها مطلوب‌تر است. در گیرنده‌های مختلف، حداکثر کاهش ایجاد شده در دمای هوا بین ۰,۲۷ تا ۰,۷۴ درجه و در دمای تابشی ۵,۰۵ درجه است. در مورد رطوبت نسبی بیشترین تغییرات شامل ۰,۳۶ درصد افزایش و ۰,۴۸ درصد کاهش و در مورد سرعت باد شامل حداکثر ۰,۶۸ متر بر ثانیه افزایش در مقادیر بوده و تغییرات این متغیرها، در بیشترین حالت تغییری معادل ۱,۵۲ در ضریب آسایش حرارتی ایجاد می‌کند.

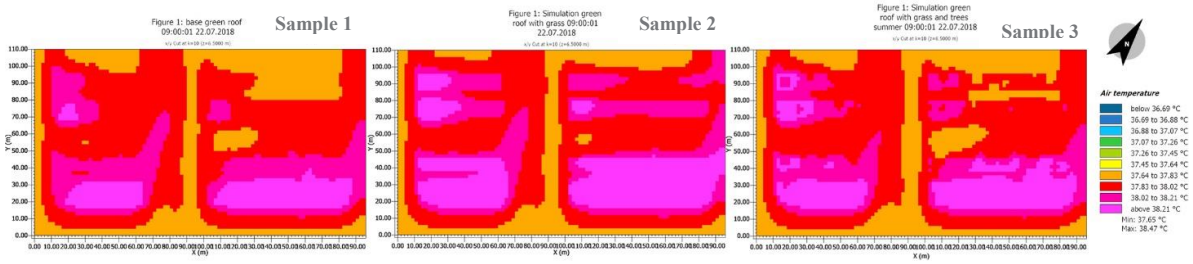


Fig.10. Air temperature at 9 am

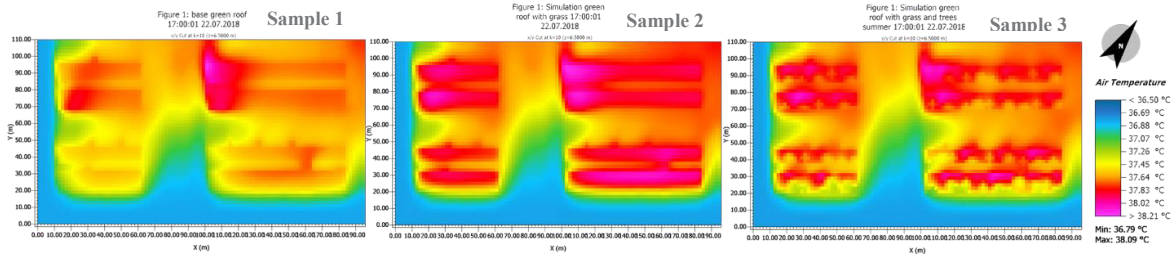


Fig.11. Air temperature at 17 pm

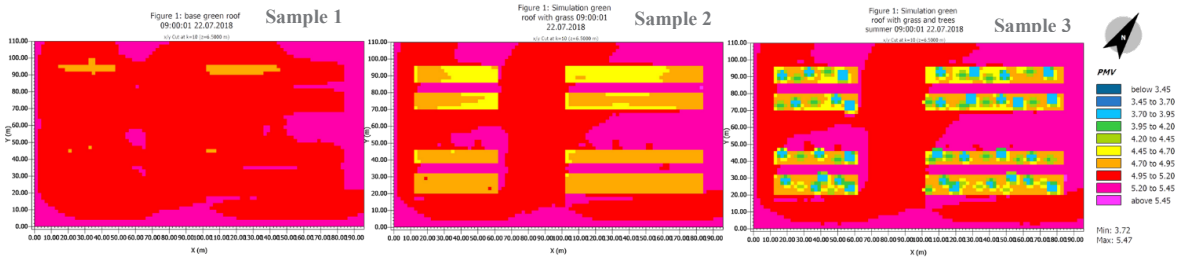


Fig.12. Thermal comfort at 9 am

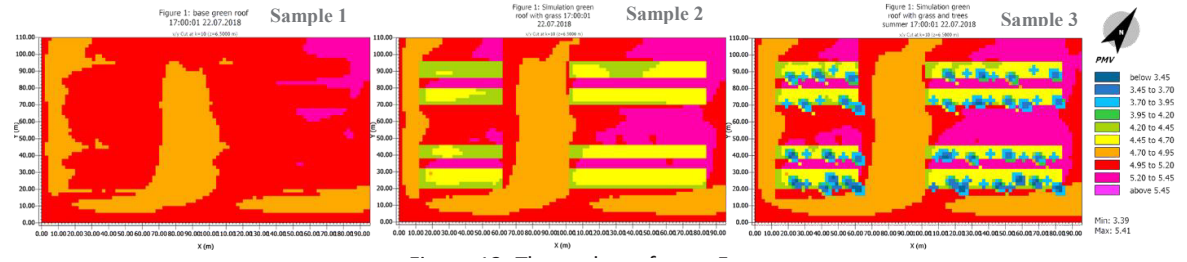


Fig.13. Thermal comfort at 17 pm

تحلیل همبستگی

جهت تدقیق نتایج، علاوه بر ارائه آن‌ها به صورت آمار توصیفی، شامل میزان تغییرات ایجاد شده در متغیرهای دمای هوا، دمای تابشی، سرعت باد، رطوبت و آسایش حرارتی، رابطه میان متغیرهای دمای تابشی، دمای هوا، رطوبت نسبی و سرعت باد با میزان آسایش حرارتی با استفاده از تحلیل‌های آماری مورد بررسی قرار گرفته و ضریب معناداری همبستگی بین آن‌ها در سه حالت وضعیت موجود، بام سبز با چمن و بام سبز با درخت در دو ساعت ۹ صبح و ۱۷ عصر محاسبه شده است. شکل ۱۴، ضرایب همبستگی میان متغیرها را نشان می‌دهد. مطابق شکل، ضرایب همبستگی در اکثر موارد بیشتر از ۰٫۷ بوده و وجود همبستگی قوی را نشان می‌دهد. به این ترتیب ضرایب همبستگی به دست آمده، وجود رابطه مستقیم معنادار قوی را نشان می‌دهد.

به این ترتیب بر اساس نتایج، استفاده از بام سبز در دو حالت درخت و چمن تاثیرات اندکی در سرمایش محیط دارد. هرچند که این تأثیرات بر روی کاهش دما مقدار اندکی بوده اما با توجه به تغییراتی که در دمای متوسط تابشی ایجاد می‌کند، شرایط آسایش حرارتی را بهبود می‌بخشد.همچنین محدوده و ابعاد احداث بام سبز تاثیری مهمتر از نوع بام سبز بر خرد اقلیم منطقه دارد. این نتایج با پژوهش‌های پیشین مطابقت داشته (Battista et al, 2016: 1058; Peng et al, 2013: 598; Alcazar et al, 2016: 304) و نیز بیانگر آن است که احداث بام سبز در محدوده ابعادی کوچک مانند یک بلوک شهری و یا واحد همسایگی، تاثیری اندک بر شرایط خرد اقلیم منطقه داشته و برای بهره‌مند شدن از مزایای سرمایشی بام سبز و کاهش بار در مقیاس خرداقلیم شهری لازم است ایجاد بام سبز در پهنه‌ای وسیع‌تر مورد استفاده قرار گیرد.

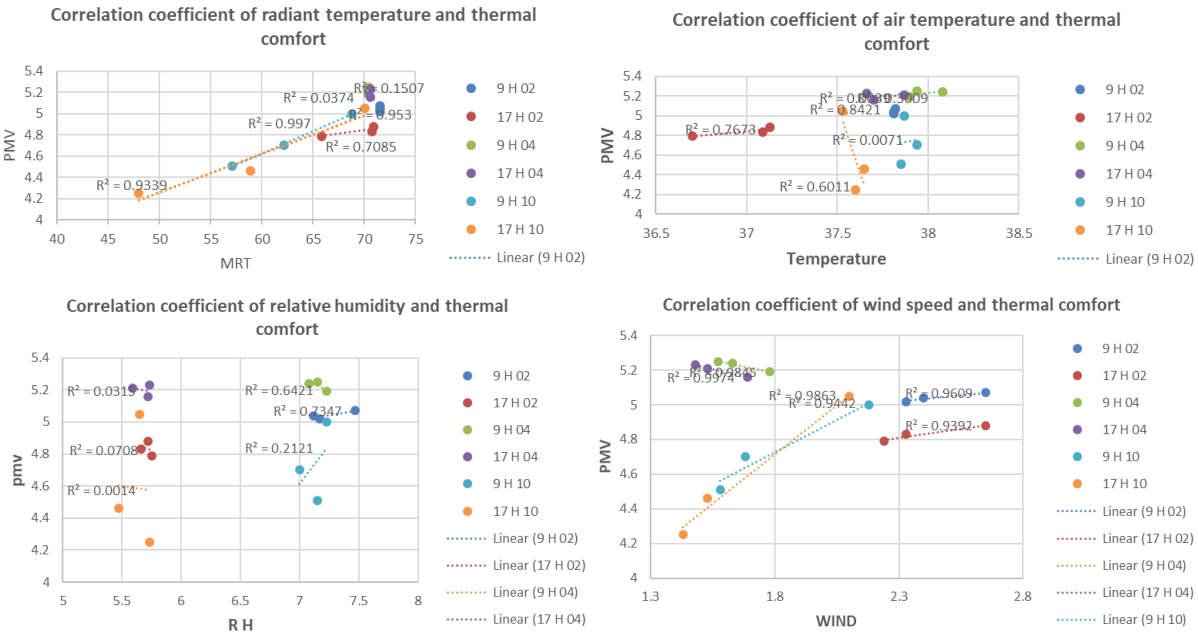


Fig.14. Correlation coefficient between variables and thermal comfort, including radiant temperature, air temperature, relative humidity and wind speed, respectively

بحث و نتیجه‌گیری

در سال‌های اخیر راهکارهای مختلفی جهت کاهش جزیره گرمایی شهری پیشنهاد شده است. از متداول‌ترین این راهکارها استفاده از سطوح خنک (روی بام‌ها و پیاده‌روها و سطوح گیاه‌کاری) و افزایش فضای سبز است (Wang et al, 2016: 17; Battista et al, 2016: 1058). هرچند فرم بلوک‌های شهری، مدت زمان تابش مستقیم خورشید و دمای متوسط تابشی نقش مهمی در آسایش حرارتی فضای خارجی شهرها ایفا می‌کنند. شرایط حرارتی خرداقلیم شهری بر رفتار حرارتی ساختمان‌ها و همچنین بر آسایش حرارتی افراد پیاده تاثیرگذار می‌باشد. از آنجا که ساده ترین راهکار جهت تغییر خرداقلیم و کاهش جزیره گرمایی شهری، استفاده از سطوح خنک و افزایش فضای سبز است در دهه‌های اخیر کاربرد بام‌های سبز در مناطق مختلف اقلیمی گسترش یافته است.

مقاله حاضر با هدف بررسی میزان تاثیر بام سبز بر خرداقلیم حرارتی شهری در اقلیم گرم و خشک انجام شده است. به این منظور در بخشی از بافت کوتاه مرتبه شهر شیراز سه مدل نمونه بام متداول، بام سبز درخت، بام سبز چمن، ایجاد شده و با استفاده از نرم‌افزار انویمت در یکی از گرمترین روزهای سال شبیه‌سازی شده است. نتایج پژوهش نشان می‌دهد استفاده از بام سبز با درخت و چمن تغییراتی اندک در جهت کاهش دمای خرداقلیم ایجاد می‌کند گرچه به دلیل تأثیراتی که وجود درختان بر کاهش میزان دمای متوسط تابشی دارند کارایی بام سبز با درخت، بیشتر از بام سبز با چمن است و شرایط آسایش حرارتی مطلوب‌تری در مقیاس خرداقلیم محلی ایجاد می‌کند. به این ترتیب، استفاده از بام سبز در دو حالت درخت و چمن تاثیرات اندکی در سرمایش محیط دارد. در گیرنده‌های مختلف، حداکثر کاهش ایجاد شده در دمای هوا بین ۰,۲۷ تا ۰,۷۴ درجه و در دمای تابشی ۵,۰۵ درجه است. در مورد رطوبت نسبی بیشترین تغییرات شامل ۰,۳۶ درصد افزایش و ۰,۴۸ درصد کاهش و در مورد سرعت باد شامل حداکثر ۰,۶۸ متر بر ثانیه افزایش در مقادیر بوده و تغییرات این متغیرها، در بیشترین حالت تغییری معادل ۱,۵۲ در ضریب آسایش حرارتی ایجاد می‌کند. هرچند که این تأثیرات بر روی کاهش دما مقدار اندکی بوده اما با توجه به تغییراتی که در دمای متوسط تابشی ایجاد می کند شرایط آسایش حرارتی را بهبود می‌بخشد. تحلیل همبستگی انجام شده میان متغیرها و آسایش حرارتی ایجاد شده در حالتهای مختلف، وجود ضریب معناداری قوی را نشان می‌دهد بر اساس نتایج، محدوده و ابعاد احداث بام سبز تاثیری مهمتر از نوع بام سبز بر خرد اقلیم منطقه دارد. این نتایج با پژوهش‌های پیشین مطابقت داشته (Battista et al, 2016: 1058; Peng et al, 2013: 598; Alcazar et al, 2016: 304) و نیز بیانگر آن است که احداث بام سبز در محدوده ابعادی کوچک مانند یک بلوک شهری و یا واحد همسایگی، تاثیری اندک بر شرایط خرد اقلیم منطقه داشته و برای بهره‌مند شدن از مزایای سرمایشی بام سبز و کاهش بار در مقیاس خرداقلیم شهری لازم است ایجاد بام سبز در پهنه‌ای وسیع تر مورد استفاده قرار گیرد. به این ترتیب می‌توان موارد زیر را از نتایج پژوهش حاضر استخراج نمود:

- استفاده از بام سبز می‌تواند سبب کاهش اندک دما و بهبود شرایط آسایش حرارتی در مقیاس محله‌ای شود.
- میزان تاثیر بام سبز با درخت بیشتر از بام سبز با چمن بوده و از این منظر استفاده از آن ارجحیت دارد.
- درصورتی که استفاده از بام سبز به عنوان راهکاری جهت کاهش دمای هوا و بهبود شرایط آسایش حرارتی مدنظر باشد، باید در پهنه‌های وسیع‌تر در مقیاس شهری (چند بلوک شهری یا چند واحد همسایگی) ایجاد گردد.

تشکر و قدردانی

موردی توسط نویسندگان گزارش نشده است.

تعارض منافع

نویسندگان اعلام می‌دارند که در انجام این پژوهش هیچ‌گونه تعارض منافعی برای ایشان وجود نداشته است.

تاییدیه‌های اخلاقی

نویسندگان متعهد می‌شوند که کلیهٔ اصول اخلاقی انتشار اثر علمی را براساس اصول اخلاقی COPE رعایت کرده‌اند و در صورت احراز هر یک از موارد تخطی از اصول اخلاقی، حتی پس از انتشار مقاله، حق حذف مقاله و پیگیری مورد را به مجله می‌دهند.

منابع مالی/ حمایت‌ها

موردی توسط نویسندگان گزارش نشده است.

مشارکت و مسئولیت نویسندگان

نویسندگان اعلام می‌دارند به‌طور مستقیم در مراحل انجام پژوهش و نگارش مقاله مشارکت فعال داشته و به طور برابر مسئولیت تمام محتویات و مطالب گفته‌شده در مقاله را می‌پذیرند.

References

1. Ahmadi, Mahmoud & Dadashi Rudbari, Abbas Ali. (2017). Identification of urban thermal islands based on environmental approach (Case study: Isfahan metropolis), *Geography and Environmental Planning,* 28 (3), 1-20 [In Persian].
2. Alcazar, S., Olivieri, F. & Neila, J. (2016). Green roofs: Experimental and analytical study of its potential for urban microclimate regulation in Mediterranean–continental climates. *Urban Climate,* 17, 304–317.
3. Aleksandrowicz, O., Vuckovic, M., Kiesel, K. & Mahdavi, A. (2017). Current trends in urban heat island mitigation research: Observations based on a comprehensive research repository. *Urban Climate*, 21, 1–26.
4. Alexandria, E. &Jones, P. (2008). Temperature decreases in an urban canyon due to green walls and green roofs in diverse climates. *Building and Environment,* 43, 480–493.
5. Battista, G., Pastore, E. M., Mauri, L. & Basilicata, C. (2016). Green roof effects in a case study of Rome (Italy). *Energy Procedia,* 101, 1058 – 1063.
6. Berardi, U. (2016). The outdoor microclimate benefits and energy saving resulting from green roofs retrofits. *Energy and Buildings,* 121, 217–229.
7. Brown, C. & Lundholm, J. (2015). Microclimate and substrate depth influence green roof plant community dynamics. *Landscape and Urban Planning,* 143, 134–142.
8. Coppola, E. & Giorgi, F. (2010). An assessment of temperature and precipitation change projections over Italy from recent global and regional climate model simulations. *International Journal of Climatology,* 30, 11-32.
9. Djedjig, R, Bozonnet, E. & Belarbi, R. (2015). Experimental study of the urban microclimate mitigation potential of green roofs and green walls in street canyons. *International Journal of Low-Carbon Technologies,* 10, 34–44.
10. Google. (2019).Retrieved from https://www.google.com/earth/ , 29.08.2019, 14:25:30
11. Halabian, Amir Hossein & Soltani, Zahra. (2020). Analysis of spatial-temporal changes of urban heat islands and land use with environmental approach in Shiraz, *Urban Structure and Function Studies*, 7(24), 73-97 [In Persian].
12. He, H. and C.Y. Jim, (2010). Simulation of thermodynamic transmission in green roof ecosystem. *Ecological Modelling,* 221, 2949–2958.
13. Jin, Ch., Bai, X., Luo, T. & Zou, M. (2018). Efa fects of green roofs' variations on the regional thermal environment using measurements and simulations in Chongqing, China. *Urban Forestry and Urban Greening*, 29, 223-237.
14. Karachaliou, P., Santamouris, M. & Pangalou, H. (2016). Experimental and numerical analysis of the energy performance of a large scale intensive green roof system installed on an office building in Athens. *Energy and Buildings,* 114, 256–264.
15. Kolokots, D., Santamouris, M., Zerefos, & S.C. (2013). Green and cool roofs' urban heat island mitigation potential in European climates for office buildings under free floating conditions. *Solar Energy,* 95, 118–130.
16. Moghbel, M. & Erfanian Salim, R. (2017). Environmental benefits of green roofs on microclimate of Tehran with specific focus on air temperature, humidity and CO2 content. *Urban Climate,* 20, 46–58.
17. Moody, S. S. & Sailor, D.J. (2013). Development and application of a building energy performance metric for green roof systems. *Energy and Buildings,* 60, 262–269.
18. Morakinyo, T. E., Kalani, K.W.D., Dahanayake, C., Ng, E. & Chow, C. L. (2017). Temperature and cooling demand reduction by green-roof types in different climates and urban densities: A co-simulation parametric study. *Energy and Buildings,*145, 226–237.
19. Ouldboukhitine, S., Belarbi, R., Sailor, D. J. (2014). Experimental and numerical investigation of urban street canyons to evaluate the impact of green roof inside and outside buildings. *Applied Energy,* 114, 273–282.
20. Pastore, L., Corrao, R. & Heiselberg, P. K. (2017). The effects of vegetation on indoor thermal comfort: The application of a multi-scale simulation methodology on a residential neighborhood renovation case study. *Energy and Buildings,* 146, 1–11.
21. Peng, L.H. & Jim, C.Y. (2013). Green-Roof Effects on Neighborhood Microclimate and Human Thermal Sensation. *Energies,* 6, 598-618.
22. Rakotondramiaran, H. T., Ranaivoariso, T. F. & Morau, D. (2015). Dynamic Simulation of the Green Roofs Impact on Building Energy Performance, Case Study of Antananarivo, Madagascar. *Buildings,* 5, 497-520.
23. Razzaghmanesh, M., Beecham, S. & Salemi, T. (2016). The role of green roofs in mitigating Urban Heat Island effects in the metropolitan area of Adelaide, South Australia. *Urban Forestry & Urban Greening,* 15, 89–102.
24. Razzaghmanesh, M., Beecham, S. & Salemib, T. (2016). The role of green roofs in mitigating Urban Heat Island effects in themetropolitan area of Adelaide, South Australia. *Urban Forestry & Urban Greening,* 15, 89–102.
25. Sarbaz Demiri, Jalaluddin. (2019). Investigating the Impact of Urban Green Space on the Temporal-Spatial Distribution of the Thermal Islands of Shiraz, M.Sc. Thesis, Faculty of Literature and Humanities, Department of Natural Geography, Mohaghegh Ardabili University [In Persian].
26. Silva, C. M., Glria Gomes, M. & Silva, M. (2016). Green roofs energy performance in Mediterranean climate. *Energy and Buildings,* 116, 318–325.

27. Souza, U. D. (2013). The thermal performance of green roofs in a hot, humid microclimate. *WIT Transactions on Ecology and The Environment,* 173, 475-486.
28. Speak, A.F., Rothwell, J.J., Lindley, S.J. & Smith, C.L. (2013). Reduction of the urban cooling effects of an intensive green roof due to vegetation damage. *Urban Climate,* 3, 40–55.
29. Susca, T., Gaffin, S.R. & Dell'Osso, G.R. (2011). Positive effects of vegetation: Urban heat island and green roofs. *Environmental Pollution,* 159, 2119-2126.
30. Takebayashi, H. & Moriyama, M. (2009). Study on the urban heat island mitigation effect achieved by converting to grass-covered parking. *Solar Energy,* 83, 1211–1223.
31. Tsoka, S., Tsikaloudaki, A. & Theodosiou, T. (2018). Analyzing the ENVI-met microclimate model's performance and assessing cool materials and urban vegetation applications–A review. *Sustainable Cities and Society,* 43, 55–76.
32. Vuckovic, M., Kiesel, K. & Mahdavi, and A. (2017). Studies in the assessment of vegetation impact in the urban context .*Energy and Buildings,* 145, 331–341.
33. Wang, Y. & Akbari, H. (2014).3D Simulation Analysis of Urban Micro-Climates to Inform Heat Island Mitigation Policies in Cold Climates. *ACEEE Summer Study on Energy Efficiency in Buildings*, 353-364.
34. Wang, Y., Berardi, U. & Akbari, H. (2016). Comparing the effects of urban heat island mitigation strategies for Toronto, Canada. *Energy and Buildings,* 114, 2–19.
35. Zhang, L., Zhan, Q. & Lan, Y. (2018). Effects of the tree distribution and species on outdoor environment conditions in a hot summer and cold winter zone: A case study in Wuhan residential quarters. *Building and Environment*, 130, 27–39.
36. Zölch, T., Maderspacher, J., Wamsler, Ch. & Pauleit, S. (2016). Using green infrastructure for urban climate-proofing: An evaluation of heat mitigation measures at the micro-scale. *Urban Forestry & Urban Greening,* 20, 305–316.