

## Measuring the impact of microclimatic changes of planting vegetation on comfort indicators

Somayyeh Taheri<sup>1</sup> 

1. Corresponding Author, Department of Architecture and Energy, Faculty of Architecture and Urban Planning, University of Hakim Sabzevari, Sabzevar, Iran. E-mail: [n.dehghani@znu.ac.ir](mailto:n.dehghani@znu.ac.ir)

### Article Info

**Article type:**  
Research Article

**Article history:**  
Received 11 Sep 2024  
Revised 24 Oct 2024  
Accepted 16 Nov 2024  
Published 25 Mar 2025

**Keywords:**  
Microclimate,  
Vegetation,  
Thermal Comfort,  
Crop Pattern,  
PET Index.

### ABSTRACT

**Objective:** With the expansion of urbanization in recent years, the climate of various regions has undergone significant changes and consequences. One effective strategy for mitigating the impacts of microclimatic alterations involves evaluating the influence of vegetation cover on key microclimatic parameters. This study aims to investigate the planting patterns of various tree species along an east-west-oriented corridor between two residential building blocks in the climate of Sabzevar, Iran.

**Method:** To achieve the research objectives, different tree planting scenarios were modeled using ENVI-met software, and the key microclimatic variables, as well as the thermal comfort index—Physiological Equivalent Temperature (PET)—were analyzed.

**Results:** The results indicate that a planting configuration consisting of two outer rows of deciduous trees (10 meters in height and 5 meters crown width) and one middle row of evergreen trees (18 meters in height and 11 meters crown width) provides favorable summer conditions. In winter, a combination of one upper row of deciduous trees (11 meters in height and 9 meters in crown width) and one lower row of low leaf-density coniferous evergreens (15 meters in height and 7 meters in crown width) provides optimal thermal comfort in the Sabzevar climate.

**Conclusion:** The supply of required moisture and greater shading in the first pattern is due to planting one additional row of trees compared to the second pattern, as well as the environmental conditions being closer to the comfort zone during the summer season. On the other hand, in the second option, the use of lawn cover and deciduous trees with low height in the central courtyard has led to an increase in the mean radiant temperature and a rise in the PET index during winter.

**Cite this article:** Taheri S. Measuring the impact of microclimatic changes of planting vegetation on comfort indicators. *Water Resources and Climate Change*. (2025); 1(1): 1-16.  
<https://doi.org/10.22091/wrcc.2024.11315.1002>.



## **Introduction**

Although the influence of vegetation on the urban microclimate has been examined extensively in a broad range of studies, it is widely recognized that the assessment of thermal comfort in outdoor urban environments is inherently context-sensitive. The performance and effectiveness of vegetation in moderating thermal conditions can vary significantly depending on a city's unique geographical characteristics, local climate, urban morphology, and cultural patterns of space usage. Therefore, generalized conclusions drawn from studies conducted in one region may not be directly transferable to other urban contexts without accounting for site-specific variables.

In light of this, the present research is specifically designed to evaluate the role of urban vegetation in enhancing thermal comfort within open public spaces in a selected district of Sabzevar, a city located in the semi-arid climatic zone of northeastern Iran. This study adopts a simulation-based methodology, utilizing the ENVI-met microclimate modeling software to explore and compare the microclimatic performance of two distinct vegetation planting scenarios. By analyzing a range of environmental indicators—including air temperature, mean radiant temperature, wind speed, and the Physiological Equivalent Temperature (PET) index—this study seeks to provide empirical evidence on how strategic vegetation placement can mitigate adverse thermal conditions and improve outdoor comfort levels in Sabzevar's urban environment.

## **Method**

This study investigates the key factors influencing urban microclimate and explores the role of vegetation cover as a passive design strategy to enhance spatial quality and thermal comfort in outdoor environments. The research employs advanced numerical simulation using ENVI-met, a well-established three-dimensional microclimate modeling tool designed to assess the interactions between urban morphology, vegetation, and atmospheric conditions at the pedestrian level.

The analysis is conducted through the evaluation of two distinct vegetation configurations implemented along an east–west oriented pedestrian corridor located within the courtyard of a residential complex in the cold and semi-arid climatic context of Sabzevar, Iran. This region is characterized by significant diurnal temperature fluctuations and limited annual precipitation, necessitating context-specific design solutions to mitigate thermal stress in open spaces.

In the first design scenario, the vegetation layout comprises two outer rows of deciduous trees, each reaching a height of 10 meters and featuring a crown width of approximately 5 meters, flanking a central row of tall evergreen trees with an average height of 18 meters and a broad crown span of 11 meters. This arrangement is intended to optimize shading and evapotranspiration during the summer months while allowing for some solar penetration during the winter.

The second scenario adopts a vertical stratification strategy, featuring an upper row of deciduous trees with a height of 11 meters and a crown width of 9 meters, combined with a lower row of coniferous evergreen trees characterized by low leaf density. These conifers attain a height of 15 meters and possess a narrower crown width of 7 meters. This composition is aimed at providing a balance between winter solar gain and summer shading, while also minimizing visual obstruction and facilitating airflow within the pedestrian space.

Through comparative simulation and analysis of these two vegetation schemes, the study seeks to quantify their respective impacts on critical microclimatic parameters such as air temperature, mean radiant temperature, wind flow, and thermal comfort indicators, with particular emphasis on the Physiological Equivalent Temperature (PET). The findings are intended to inform climate-responsive landscape design strategies applicable to similar arid and semi-arid urban settings.

## **Results**

Due to the use of three rows of trees in the southern part of the blocks (east-west pedestrian axis), which is one row more than the other option, the comfort index number in summer is reported to be about 2 degrees Celsius lower (22.26 degrees Celsius). Also, in this option, soil cover is used in more places, which causes the ground surface temperature to decrease in these areas in the summer.

In the second option, the central courtyard is covered with grass and low-height deciduous trees, which causes the sun's rays to pass through the branches of the trees and increases the average radiant temperature, and higher PET is observed in winter.

## **Conclusion**

The incorporation of evergreen trees within the central courtyards of residential blocks has demonstrated a notably positive influence on thermal comfort conditions and corresponding comfort indices during the summer season. These trees contribute to microclimatic improvement through two primary mechanisms: first, by increasing relative humidity via transpiration processes, and second, by providing extensive shading, which significantly reduces surface and air temperatures at the pedestrian level. As a result, environmental parameters are shifted closer to the physiological comfort zone, as reflected in improved values of indices such as the Physiological Equivalent Temperature (PET).

Furthermore, during colder months, the strategic use of high-reflectivity surface materials can enhance outdoor thermal perception. These materials reflect incident solar radiation toward the ground and surrounding vertical surfaces, including the body of individuals standing or walking in the space (approximately 180 cm above ground level). This redirected radiation increases the mean radiant temperature ( $T_{mrt}$ ) at human height, thereby improving thermal perception and comfort without the need for active heating systems.

In contrast, the application of materials with lower albedo values on horizontal and vertical surfaces can lead to increased heat absorption during warmer seasons, exacerbating thermal stress in pedestrian zones. Thus, by carefully selecting surface materials based on seasonal performance—favoring high-reflectivity materials in winter and low-albedo materials in summer—urban designers can effectively modulate thermal conditions and enhance outdoor comfort in both hot and cold periods.

### **Declarations**

#### **Ethical Approval**

The paper is not currently being considered for publication elsewhere. All authors have been personally and actively involved in substantial work leading to the paper, and will take public responsibility for its content.

#### **Competing interests**

Conflict of Interest – None

#### **Availability of data and materials**

Data will be made available on the request.

#### **Authors Contributions**

Somayyeh Taheri performed the calculations, approved the analytical methods, supervised the findings of this work, discussed the results, and contributed to the final version of the paper.

#### **Acknowledgements**

The authors would like to thank all participants in the present study.

#### **Funding**

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



## سنجش تأثیر تغییرات خرداقلیمی کاشت پوشش گیاهی بر شاخص‌های آسایشی

سمیه طاهری<sup>۱</sup>

۱. نویسنده مسئول، گروه معماری و انرژی، دانشکده معماری و شهرسازی، دانشگاه حکیم سبزواری، سبزوار، ایران. رایانامه: S.taheri@hsu.ac.ir

اطلاعات مقاله	چکیده
<b>نوع مقاله:</b> مقاله پژوهشی	<b>هدف:</b> با توسعه شهرنشینی در سال‌های اخیر، اقلیم مناطق مختلف، تغییرات و پیامدهای قابل توجهی داشته است. یکی از راه‌کارهای کاهش تأثیرات ناشی از تغییر خرداقلیم، ارزیابی اثر کاشت پوشش‌های گیاهی بر پارامترهای موثر بر خرداقلیم می‌باشد. این پژوهش، با هدف بررسی الگوی کاشت درختان مختلف در معبر شرقی-غربی دو بلوک ساختمانی مسکونی در اقلیم سبزواری انجام شده است.
<b>تاریخ دریافت:</b> ۱۴۰۳/۰۶/۲۱	<b>روش:</b> برای دستیابی به هدف پژوهش، حالت‌های مختلف کاشت درخت، در نرم‌افزار ENVI-met مدل‌سازی شده و عامل‌های موثر بر خرداقلیم و شاخص آسایش حرارتی دمای فیزیولوژیک معادل (PET) مورد تحلیل و بررسی قرار می‌گیرد.
<b>تاریخ بازنگری:</b> ۱۴۰۳/۰۸/۰۳	<b>یافته‌ها:</b> نتایج و یافته‌های پژوهش، حاکی از آن است که دو ردیف خارجی درختان خزان‌پذیر با ارتفاع ۱۰ متر و عرض تاج ۵ متر و یک ردیف میانی درختان خزان‌ناپذیر با ارتفاع ۱۸ متر و عرض تاج ۱۱ متر در تابستان و یک ردیف بالایی درختان خزان‌پذیر با ارتفاع ۱۱ متر و عرض تاج ۹ متر و یک ردیف پایینی درختان خزان‌ناپذیر مخروطی با شاخص تراکم برگ پایین با ارتفاع ۱۵ متر و عرض تاج ۷ متر در زمستان شرایط مطلوبی را از نظر آسایشی در اقلیم سبزواری ایجاد می‌کنند.
<b>تاریخ پذیرش:</b> ۱۴۰۳/۰۸/۲۶	<b>نتیجه‌گیری:</b> تأمین رطوبت مورد نیاز و سایه‌اندازی بیش‌تر در الگوی اول به دلیل کاشت یک ردیف بیش‌تر درختان نسبت به الگوی دوم، و نزدیکی بیش‌تر شرایط محیطی به منطقه آسایش در فصل تابستان می‌باشد. از طرفی، در گزینه دوم، استفاده از پوشش چمن و درختان برگ‌ریز با ارتفاع کم در حیات مرکزی باعث بالا رفتن دمای متوسط تابشی و افزایش شاخص PET در زمستان شده است.
<b>تاریخ انتشار:</b> ۱۴۰۴/۰۱/۰۵	
<b>کلیدواژه‌ها:</b> خرداقلیم، پوشش گیاهی، آسایش حرارتی، الگوی کشت، شاخص PET.	
<b>استناد:</b> طاهری سمیه. سنجش تأثیر تغییرات خرداقلیمی کاشت پوشش گیاهی بر شاخص‌های آسایشی. <i>منابع آب و تغییر اقلیم</i> . ۱۴۰۴؛ (۱): ۱-۱۶.	
	<a href="http://doi.org/10.22091/wrcc.2024.11315.1002">http://doi.org/10.22091/wrcc.2024.11315.1002</a>



## ۱- مقدمه

محل‌های شهری، اثرگذاری مستقیمی بر شکل‌گیری یا کاهش پدیده جزیره گرمایی شهری<sup>۴</sup> (UHI) دارد؛ بررسی این مسأله در مناطق مختلف شهری در سراسر جهان نشان از رابطه عمیق با شکل ابنیه، محل و منطقه آب‌وهوایی و پوشش گیاهی هر محل دارد [۱۰ و ۱۱]. در مناطق شهری در حال توسعه، ساختمان‌ها و جاده‌ها و سایر زیرساخت‌های شهری جایگزین زمین‌های باز و پوشش گیاهی می‌شوند که این امر به یک‌باره زمین‌های نفوذپذیر و مرطوب را به نفوذناپذیر و خشک تبدیل می‌کند [۱۲]. درحالی‌که سطوح گیاهان به‌طور قابل توجهی خنک‌تر باقی می‌مانند، جرم حرارتی سطوح شهری می‌توانند تأثیر قابل توجهی در ذخیره حرارت داشته و خرداقلیم مجموعه را تحت تأثیر خود قرار دهند [۱۳]. پوشش گیاهی شامل درخت‌ها، بوته‌ها (درختچه‌ها)، بالارونده‌ها و علف‌ها می‌شود. اثر سایه و نرخ تبخیر و تعرق درختان بستگی به ارتفاع، هندسه تاج درختان و شاخص شاخ و برگ‌ها و شکل بالغ درختان نیز دارد [۱۴].

اگرچه در مطالعات مختلف، اثرات پوشش گیاهی در خرداقلیم شهری مورد بحث قرار گرفته است، با این حال، پژوهش‌های حوزه آسایش حرارتی در فضاهای شهری بسیار وابسته به زمینه است و هر شهر با موقعیت جغرافیایی و شرایط خاص اقلیمی نیازمند مطالعات منحصر به خود می‌باشد. هدف پژوهش حاضر، بررسی تأثیر پوشش گیاهی بر آسایش حرارتی فضاهای باز شهری در بخشی از شهر سبزوار است. بدین منظور، در این مطالعه از نتایج شبیه‌سازی دو گزینه مختلف برای ارزیابی آن استفاده می‌گردد.

## ۲- پیشینه پژوهش

در زمینه تأثیر پوشش گیاهی در فضاهای شهری بر خرداقلیم و عامل‌های موثر بر آن، تحقیقات گسترده‌ای در

اقلیم را به‌راحتی می‌توان مهم‌ترین عامل تأثیرگذار در زندگی انسان و حیات جوامع انسانی قلمداد نمود. گرم شدن آب‌وهوای کره زمین و تغییر اقلیم در حال حاضر به یکی از مهم‌ترین چالش‌های زیست‌محیطی جهان تبدیل شده است [۱]. یکی از دلایل اصلی تغییرات اقلیمی، افزایش گرمایش جهانی ناشی از اثرات گلخانه‌ای می‌باشد. با صنعتی شدن کشورها، میزان تولید گازهای گلخانه‌ای افزایش یافته و این امر منجر به افزایش دمای کره زمین و ایجاد تغییرات گسترده‌ای در وضعیت آب‌وهوایی شده است که به این تغییرات آب‌وهوایی، تغییر اقلیم گفته می‌شود [۲]. سامانه مشاهدات اقلیم جهانی<sup>۱</sup> (GCOS) که نهادی از سازمان هواشناسی جهانی<sup>۲</sup> (WMO) است، متغیرهای اصلی اقلیم<sup>۳</sup> را با بیش‌ترین استانداردها در قالب سوابق داده‌های اقلیمی<sup>۴</sup> (CDR)، پایش و بایگانی می‌کند [۳]. به‌جز بارش، متغیرهای دما، تندی باد و رطوبت نسبی از جمله متغیرهای اصلی هستند که اهمیت بسیار زیادی در شکل‌گیری اقلیم یک مکان دارند و تغییرات آنها در ارتباط با یکدیگر می‌تواند پیامدهای زیان‌باری همانند افزایش تنش گرمایی [۴]، افزایش شدت شرجی در مناطق ساحلی [۵] و افزایش تبخیر-تعرق [۶] داشته باشند.

بنابراین آنچه شرایط محیط را به‌لحاظ آسایش حرارتی تبیین می‌کند، به‌طور عموم از برهم‌کنش چهار مؤلفه باد، دمای هوا، رطوبت و دمای متوسط تابشی<sup>۵</sup> (MRT) ناشی می‌شود [۷ و ۸].

از طرفی درختان می‌توانند با سایه‌اندازی خود باعث تغییر در میزان جذب تابش خورشیدی و بازتابش‌های زمینی برای اصلاح نمودن خرداقلیم‌ها شوند. سایه درختان به‌عنوان یکی از عوامل کلیدی در کاهش دمای هوا در تابستان و کنترل شاخص جزایر حرارتی شناسایی شده است [۹]. میزان و چگونگی استفاده از پوشش گیاهی

<sup>4</sup>- Climatic Data Records

<sup>5</sup>- Mean Radiant Temperature

<sup>6</sup>- Urban Heat Island

<sup>1</sup>- Global Climate Observing System

<sup>2</sup>- World Meteorological Organization

<sup>3</sup>- Variables Climate Essential

حفاظت شده در برابر باد (سایه باد) هنگامی است که پهنای بادشکن ۱۱ تا ۱۲ برابر ارتفاع آن باشد. افزایش پهنای بادشکن از این میزان، طول سایه باد را افزایش نمی‌دهد، ولی کارایی بادشکن را افزایش می‌دهد [۱۹]. استفاده از بام سبز در بلوک‌های ساختمانی و افزایش میزان پوشش گیاهی وضع موجود، باعث کاهش جزایر گرمایی شهری می‌شود [۲۰]. درختان علاوه بر تأثیر بر خرداقلیم، بر کاهش صدا هم می‌توانند تأثیرگذار باشند، به طوری که در پژوهشی نتایج نشان دادند که فاصله فضای سبز به‌عنوان حایل بین فرستنده صدا و خانه‌های مسکونی، هر قدر عرض پیاده‌رو بعد از خط میانی سبز بیشتر باشد، اثر کاهش صدا بیشتر است (بیش از ۱۵ متر) [۲۱]. موراکینیو<sup>۹</sup> و همکاران، شاخص تراکم برگ، ارتفاع درخت و ارتفاع تنه درخت را از عوامل تأثیرگذار در آسایش حرارتی فضای باز در هنگام روز و شب می‌داند [۲۲]. دخیل کردن شرایط اقلیمی، داده‌های جغرافیایی و ضوابط محلی و شهرسازی کمک می‌کند، اما با شبیه‌سازی پوشش گیاهی در طراحی شهری، نتیجه ملموس‌تری به‌دست خواهد آمد [۲۳]. یحیی<sup>۱۰</sup> و همکاران در پژوهشی با موضوع تأثیر طراحی شهری بر خرداقلیم و آسایش حرارتی فضای باز در اقلیم گرم و مرطوب، گیاهان بومی منطقه باعث ایجاد سایه و در نتیجه کاهش دمای فیزیولوژیک منطقه شده و سبب مقابله با پدیده جزایر گرمایی شهری می‌شود [۲۴]. گیاهان بومی به‌دلیل هماهنگی با اقلیم خود تأثیر به‌سزایی در پایداری شهری دارند [۲۵]. استفاده از پوشش گیاهی باعث کاهش دمای تابشی و سرعت باد و افزایش رطوبت [۲۶] و افزایش سطح آسایش حرارتی عابران پیاده می‌شود [۲۷] و ارتباط مستقیمی بین شاخص اختلاف پوشش گیاهی به‌نجار شده و دمای سطح زمین وجود دارد [۲۸].

اقلیم‌های مختلف صورت گرفته است. وانگ و اکبری در پژوهشی با موضوع اثر کاشت درختان خیابانی بر کاهش جزایر گرمایی شهری در مونترال، به این نتیجه رسیدند که درختان با قطر تاج بزرگ‌تر، تأثیر بیشتری در مقابله با پدیده جزایر گرمایی شهری در روز و شب دارند. کاشت درختان تنومند و بزرگ بدون در نظر گرفتن فاصله بین تاج درختان، منجر می‌شود که خیابان‌ها در سایه کامل قرار گرفته و با تابش‌های خورشیدی به‌طور وسیعی مقابله شود و دمای هوا به‌میزان قابل ملاحظه‌ای کاهش یابد. بنابراین به‌طور کلی، کاهش فاصله کاشت درختان و هم‌چنین کاهش فاصله کاشت درختان در یک ردیف باعث می‌شود، میزان سایه‌اندازی افزایش یافته و در نتیجه کمک فراوانی به میزان کاهش دما می‌کند [۱۵]. در بررسی تأثیر الگوی کاشت درختان کوچک‌مقیاس بر خنک‌کنندگی و آسایش حرارتی فضای باز، نتایج نشان دادند که آرایش مستطیلی با دو ردیف خارجی درختان همیشه سبز و دو ردیف داخلی درختان برگ‌ریز در میان آنها منجر به حالت بهینه آسایش حرارتی محیطی می‌شود [۱۶]. هم‌چنین با تحقیق بر تأثیر پیکربندی درخت و الگوی کاشت آن بر خرداقلیم، به این نتیجه رسیدند که استفاده از درختان و جریان مایل باد در داخل خیابان‌ها عواملی هستند که منجر به کم‌ترین شاخص دمای فیزیولوژیک معادل<sup>۷</sup> (PET) در خیابان و نزدیک شدن به محدوده آسایش می‌شوند [۱۷]. لی<sup>۸</sup> و همکاران تأثیر الگوی کاشت درختان بر خرداقلیم حیاط مرکزی را مورد بررسی قرار دادند و به این نتیجه رسیدند که کاشت درختان به‌صورت فشرده و متراکم در مرکز فضای باز، منجر به کاهش میزان تهویه طبیعی در درون فضا می‌شود؛ ولی از طرف دیگر منجر به کاهش سرعت باد شده و چنان‌چه باد نامطلوب باشد، پتانسیل مقابله با باد نامطلوب را دارد [۱۸].

قبادیان و فیض‌مهدوی در پژوهشی نشان دادند که هنگام استفاده از درختان به‌عنوان بادشکن، بیشینه طول منطقه

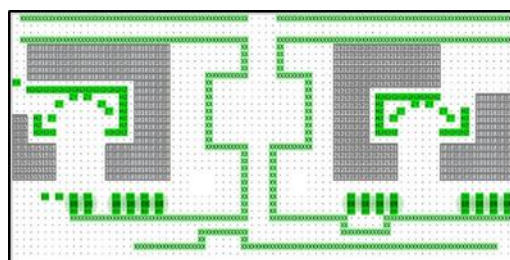
<sup>10</sup>- Yahia

<sup>7</sup>- Physiological Equivalent Temperature

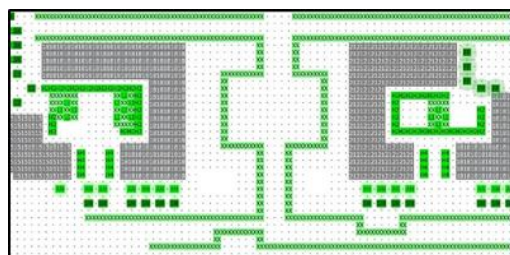
<sup>8</sup>- Li

<sup>9</sup>- Morakinyo

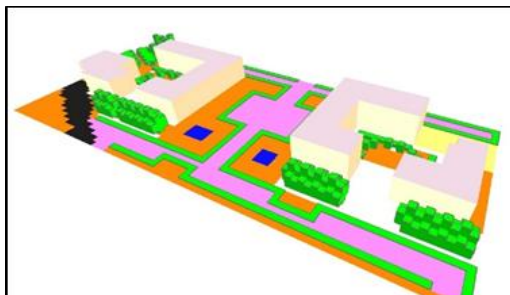
## ۳- روش‌شناسی تحقیق



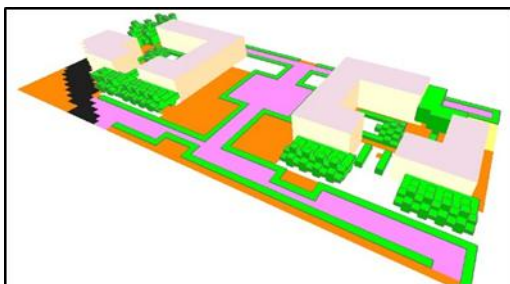
(a) First pattern – 2D



(b) Second pattern – 2D



(c) First pattern – 3D



(d) Second pattern – 3D

Figure 1. 2D modeled (a) first and (b) second patterns; and 3D modeled (c) first and (d) second patterns in ENVI-met software

شکل ۱- الگوهای مدل‌سازی شده دوبعدی (الف) اول و (ب) دوم و الگوهای مدل‌سازی شده سه‌بعدی (پ) اول و (ت) دوم در نرم‌افزار ENVI-met

مقاله حاضر به بررسی عامل‌های موثر بر خرداقلیم و تحت تاثیر پوشش گیاهی برای دست‌یابی به کیفیت فضایی بهتر با استفاده از نرم‌افزار عددی ENVI-met می‌پردازد. موقعیت و فاصله مکانی از فضاهای سبز شهری بر الگوی حرارتی در محیط شهری تأثیر می‌گذارد [۲۹]. براساس شکل ۱ و جدول ۱، تحلیل‌ها در دو الگو در معبر پیاده شرقی- غربی در حیاط همسایگی یک مجتمع مسکونی در اقلیم سرد و نیمه‌خشک- خشک سبزوار مورد بررسی قرار می‌گیرد. حالت اول شامل دو ردیف خارجی درختان خزان‌پذیر با ارتفاع ۱۰ متر و عرض تاج ۵ متر و یک ردیف میانی درختان خزان‌ناپذیر با ارتفاع ۱۸ متر و عرض تاج ۱۱ متر می‌باشد. حالت دوم شامل یک ردیف بالایی درختان خزان‌پذیر با ارتفاع ۱۱ متر و عرض تاج ۹ متر و یک ردیف پایینی درختان خزان‌ناپذیر مخروطی با شاخص تراکم برگ پایین با ارتفاع ۱۵ متر و عرض تاج ۷ متر می‌باشد.

شهر سبزوار از لحاظ جمعیت و تجارت، پس از مشهد بزرگ‌ترین و مهم‌ترین شهر استان خراسان رضوی بوده و قسمت شمال شرقی ایران با عرض جغرافیایی  $36/21$  درجه و طول جغرافیایی  $57/68$  درجه واقع شده است. این شهرستان تابستان‌های گرم و زمستان‌های سردی دارد. آسمان این مناطق در بیش‌تر اوقات سال بدون ابر است، اما مه و طوفان، گردوخاک به‌طور معمول در بعد از ظهرها بر اثر گرم شدن و حرکت لایه‌های هوای نزدیک به زمین پدید می‌آیند. رطوبت کم و نبودن ابر در آسمان باعث می‌شود که دامنه تغییرات دمای هوا در این مناطق بسیار زیاد شود. میانگین دمای سالانه  $18/2$  درجه سانتی‌گراد بوده و بیش‌ترین میانگین دما در ماه تیر و کم‌ترین میانگین دما در ماه دی به ترتیب حدود  $32$  و  $4/4$  درجه سانتی‌گراد است. دامنه دما بین  $1/1$ - درجه سانتی‌گراد در شب و  $35/7$  درجه سانتی‌گراد در روز در حال نوسان است. با توجه به طبقه‌بندی اقلیمی اشری [۳۰]، اقلیم سبزوار در ناحیه B3 و دارای آب‌وهوای سرد و نیمه‌خشک-خشک قرار می‌گیرد.

در این قسمت در مقایسه با نواحی اطراف به همین دلیل است.

در گزینه دوم و به خصوص در قسمت جنوبی، نواحی نارنجی رنگ غالب و جایگزین نواحی زرد و سبز رنگ در گزینه اول شده است. بنابراین شاخص دمایی کاهش پیدا کرده است و با منطقه آسایش فاصله گرفته است. استفاده از ردیف درختان خزان پذیر و خزان ناپذیر در جنوب بلوکها و در محور پیاده شرقی-غربی سبب افت محسوس دما در تمامی گزینهها در مقایسه با نواحی اطراف شده است.

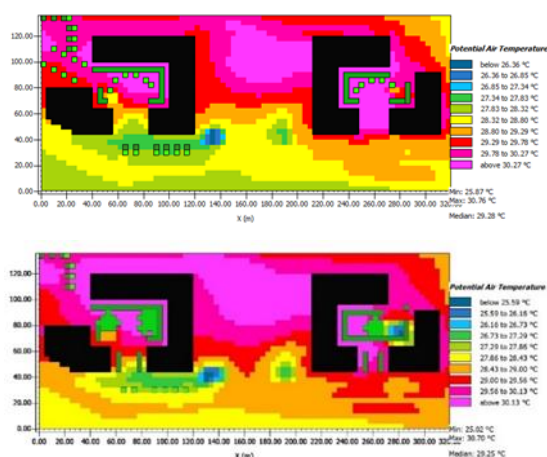


Figure 2. Summer air potential temperature images (Celsius)

شکل ۲- تصاویر دمای پتانسیل هوای تابستان (سانتی گراد) دمای آسایش در زمستان بین ۲۰ تا ۲۵/۷ می باشد. مطابق داده های شکل ۳، در الگوی اول کمترین دمای ثبت شده ۱/۹۶- و بیشترین دمای ثبت شده ۰/۶- و میانگین دمای گزارش شده ۱/۴۵- می باشد که این اعداد فاصله زیادی با محدوده آسایش دارند. به طور کلی بیشترین بازه دمای ثبت شده مربوط به حیاط مرکزی بلوکها، بعد از آن فضای بین بلوکها و در نهایت قسمت های جنوبی و شمال غرب محل است. از این رو برای فعالیت های جمعی و مواردی که در فضای باز انجام می شوند، قسمت حیاط مرکزی به عنوان مکان مناسب توصیه می شود. از راه کارهایی که می توان دمای هوا را در ناحیه حیاط مرکزی بلوکها افزایش داد، کاهش فاصله ورودی جنوبی بلوک های چپ و راست می باشد تا به نوعی

## جدول ۱- مشخصات الگوهای طراحی

Table 1. Design pattern specifications

Pattern	East-West Pedestrian Crossing	Neighborhood unit yard
1	Three rows of trees including: Two outer rows of deciduous trees with a height of 10 meters and a crown width of 5 meters A middle row of non-deciduous trees with a height of 18 meters and a crown width of 11 meters	(1) Use of 2 m high boxwood cover adjacent to the residential block for shade (2) Instead of using dense grass cover, non-deciduous trees 7 m high and 3 m wide were used.
2	Two rows of trees including: An upper row of deciduous trees with a height of 11 meters and a crown width of 9 meters A lower row of coniferous evergreen trees with a low leaf density index with a height of 15 meters and a crown width of 7 meters	(1) Use of a 2-meter-high boxwood cover adjacent to the residential block for shading (2) Dense grass cover 25 centimeters high and on it a specially designed arrangement of deciduous trees with a height of 5 meters and a crown width of 5 meters.

## ۵- نتایج و یافته های پژوهش

### ۵-۱- تحلیل عوامل اقلیمی

#### الف) دمای پتانسیل هوا- تابستان

دمای آسایش در تابستان بین ۲۱/۵ تا ۲۹ درجه سانتی گراد می باشد. براساس تصاویر گرافیکی شکل ۲، در گزینه اول، کمترین دمای ثبت شده ۲۵/۸۷ و بیشترین آن ۳۰/۷۶ و میانگین آن ۲۹/۲۸ است. بنابراین به صورت حدودی می توان گفت در منطقه آسایشی قرار گرفته است. به طور کلی در فضای حیاط مرکزی و فضای بین بلوکها طیف دمای بیشتری مشاهده شده و در قسمت جنوب بلوکها، طیف دمایی کمتری می شود؛ بنابراین مناطق جنوبی از نظر آسایشی مناسب تر هستند و فعالیت های فضای باز می تواند در این مناطق صورت گیرد. برای قسمت حیاط مرکزی با افزایش درختان خزان پذیر و خزان ناپذیر و استفاده از آنها به صورت ترکیبی و با فواصل مناسب به گونه ای که سبب سایه اندازی شوند، می توان دمای هوا را کاهش داد. در قسمت جنوب شرقی بلوک سمت چپ، حوض آب طراحی شده است و کاهش ناگهانی دمای هوا

به طور کلی نواحی آبی رنگ که بیش تر در قسمت حیاط‌های مرکزی دیده می‌شوند و بیشینه سرعت بادی حدود ۱/۷ متر بر ثانیه دارند، از لحاظ آسایشی مناسب تشخیص داده می‌شوند و برای فعالیت‌های بیرونی افراد، شرایط بهتری دارند. نواحی که با رنگ‌های گرم مشخص شده‌اند، خارج از محدوده آسایش هستند و باعث ایجاد اختلالات برای افراد می‌شوند؛ پس باید با ایجاد تدابیری مانند ایجاد درختان بادشکن یا ساخت توده‌های ساختمانی سعی در کنترل باد و نزدیک شدن شرایط به شرایط آسایش کرد. الگوی دوم به طور تقریبی، نموداری مشابه الگوی اول دارد و بیشترین سرعت باد ثبت شده در این گزینه، ۵/۳۸ متر بر ثانیه است.

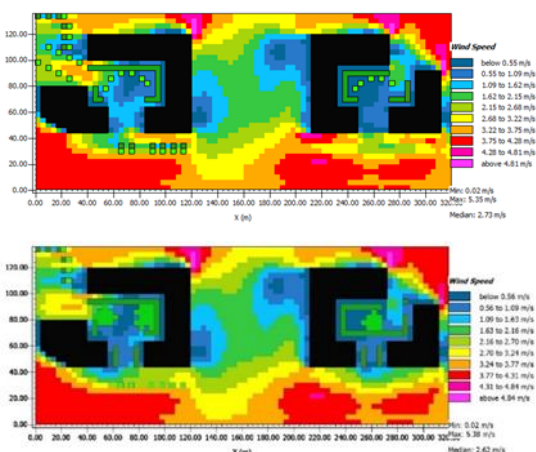


Figure 4. Graphical images of summer wind speed (m/s)

شکل ۴- تصاویر گرافیکی سرعت باد تابستان (متر بر ثانیه)

همان‌طور که اشاره شد، سرعت باد ۰/۵ متر بر ثانیه خوشایند و سرعت باد ۱ متر بر ثانیه آگاهانه است. بین سرعت ۱/۱ تا ۲/۳ متر بر ثانیه، باد بر روی صورت احساس می‌شود که در فصل زمستان از لحاظ آسایشی مناسب نیست. بنابراین نواحی آبی پررنگ، از نظر سرعت باد به شرایط آسایش نزدیک‌تر هستند. مطابق شکل ۵، در گزینه اول، در حیاط مرکزی بلوک‌ها، سرعت باد کم‌تر از سایر نواحی و بین ۰/۶ متر بر ثانیه تا نزدیک ۲ متر بر ثانیه است که این امر به دلیل استفاده از پوشش‌های گیاهی نظیر چمن، شمشاد و درختان است. در این گزینه، میانگین سرعت باد ۳ متر بر ثانیه ثبت شده است که با محدوده آسایشی فاصله زیادی دارد. از این رو لازم است در مناطق جنوبی

باد نامطلوب در این فصل وارد حیاط مرکزی نشود. در الگوی دوم، وسعت نواحی قرمز و صورتی به خصوص در قسمت‌های حیاط مرکزی و شمال شرق محل است. این امر باعث نزدیک شدن شرایط محیطی به شرایط آسایش می‌شود. در قسمت ورودی بلوک‌ها در سمت جنوب دو ردیف درختان به صورت عمودی برای کنترل جریان باد کاشته شده است و باعث شده است میانگین دمایی در این نواحی افزایش یافته و به رنگ‌های قرمز و صورتی نزدیک شود. دلیل افزایش دما در قسمت شمال شرق، این است که در این گزینه، آرایشی از درختان مانع از وزش باد نامطلوب (جبهه شمال شرق سایت)، و ورود سرمای ناشی از آن شده است (در قسمت توضیحات گزینه‌ها، آرایش پوشش‌های گیاهی آورده شده است).

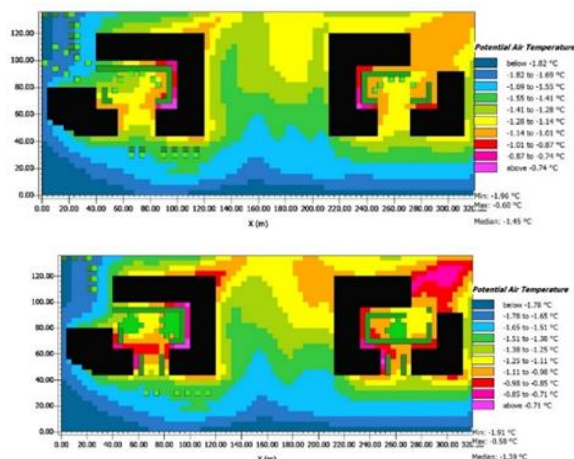


Figure 3. Winter air potential temperature images (Celsius)

شکل ۳- تصاویر دمای پتانسیل هوای زمستان (سانتی‌گراد)

### (ب) سرعت باد- تابستان

سرعت باد کم‌تر از ۰/۱ متر بر ثانیه بویناک، سرعت باد ۰/۲ متر بر ثانیه نامحسوس، سرعت باد ۰/۵ متر بر ثانیه خوشایند، سرعت باد ۱ متر بر ثانیه آگاهانه، سرعت باد ۱/۵ متر بر ثانیه به شکل کوران و سرعت باد بیش‌تر از ۱/۵ متر بر ثانیه آزاردهنده است. از طرف دیگر سرعت باد ۱/۱ تا ۲/۳ به صورت احساس باد بر روی صورت است و سرعت باد بیش از ۲/۴ متر بر ثانیه باعث بروز اختلالات متفاوت می‌شود. براساس اطلاعات تصاویر گرافیکی شکل ۴، در الگوی اول،

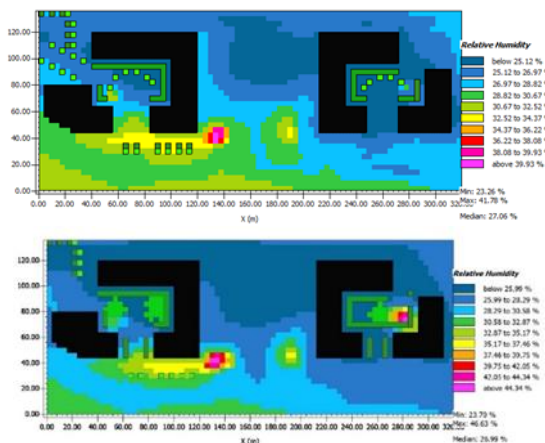


Figure 6. Summer relative humidity images (percentage)

شکل ۶- تصاویر رطوبت نسبی تابستان (درصد)

بیشتر استانداردهای جهانی و پزشکان، رطوبت مناسب را بدون در نظر گرفتن فصل، ۴۰ تا ۶۰ درصد می‌دانند [۳۱].

براساس داده‌های شکل ۷، در گزینه اول، کمینه رطوبت نسبی حدود ۷۶ درصد و بیشینه رطوبت نسبی حدود ۹۷ درصد با میانگین ۷۹ درصد می‌باشد. با توجه به این موارد رطوبت نسبی در این محدوده فراتر از حد آسایش است.

از این رو لازم است با انجام تمهیداتی رطوبت نسبی به‌طور کلی در کل محل کم شود. در چهار نقطه از محل (نواحی قرمز و صورتی) به‌دلیل پوشش آب رطوبت نسبی به بیش از ۹۰ درصد رسیده است که عدد بسیار بالایی است و سبب افزایش رطوبت نسبی محیط اطراف خود نیز شده است. در این حالت لازم است در این فصل آب این آب نماها تخلیه شود تا رطوبت نسبی کنترل شود. در گزینه دوم، بیشینه رطوبت نسبی به ۱۰۰ درصد رسیده است و خارج از محدوده آسایشی قرار دارد.

#### (ت) متوسط دمای تشعشعی

مطابق شکل ۸، در گزینه اول، کم‌ترین دمای متوسط تابشی ۱۸/۷۶، بیش‌ترین ۳۷/۶۳ و میانگین آن ۲۲/۸۵ درجه سانتی‌گراد است. در نواحی شمالی و جنوبی دمای بیش‌تری در این گزینه در مقایسه با سایر نواحی

بلوک‌ها و همچنین فضای بین بلوک‌ها حجم پوشش گیاهی را افزایش داده تا اثرات باد نامطلوب کاهش یابد. در الگوی دوم، نحوه توزیع سرعت باد به‌طور تقریبی مشابه الگوی اول است.

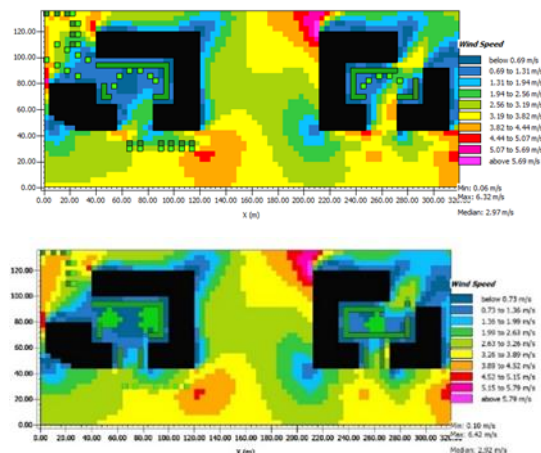


Figure 5. Graphical images of winter wind speed (m/s)

شکل ۵- تصاویر گرافیکی سرعت باد زمستان (متر بر ثانیه)

#### (پ) رطوبت نسبی

حد آسایش رطوبت نسبی در تابستان بین ۳۰ تا ۶۵ درصد است. براساس داده‌های شکل ۶، در الگوی اول کم‌ترین رطوبت نسبی ثبت‌شده حدود ۲۴ درصد و میانگین رطوبت نسبی ثبت‌شده حدود ۲۷ درصد است که هر دو خارج از محدوده آسایش هستند. تنها در نواحی جنوبی که طیف رنگی سبز و زرد دارند، رطوبت نسبی افزایش یافته است و به بیش از ۳۰ درصد رسیده است. بنابراین لازم است با افزایش استفاده از عناصر آب به‌خصوص در قسمت‌های حیاط مرکزی بلوک‌ها که فعالیت‌های جمعی در آنجا صورت می‌گیرد، درصد رطوبت نسبی را افزایش داد. در الگوی دوم نیز میانگین رطوبت نسبی ثبت‌شده به‌ترتیب ۲۷ درصد است، با این تفاوت که در قسمت جنوب، طیف رنگی از سبز به آبی تغییر پیدا کرده است. این بدین معنی است که میانگین رطوبت نسبی در این مناطق کاهش پیدا کرده است.

به مانند الگوی اول از دمای متوسط تابشی در تمامی مناطق مشاهده می‌شود، با این تفاوت که وسعت نواحی که دمای هوا در آنها بیش‌تر از ۴- درجه است، افزایش یافته است.

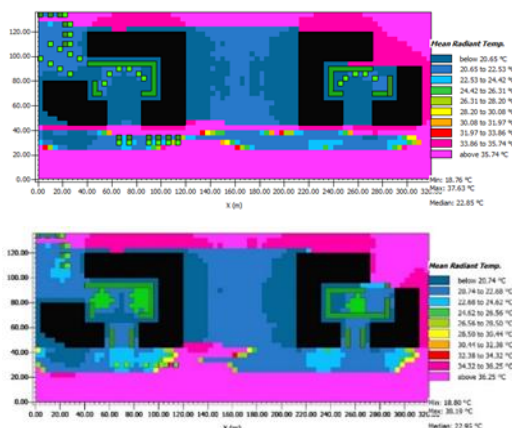


Figure 8. Average summer radiation temperature images (Celsius)

شکل ۸- تصاویر متوسط دمای تشعشعی تابستان (سانتی‌گراد)

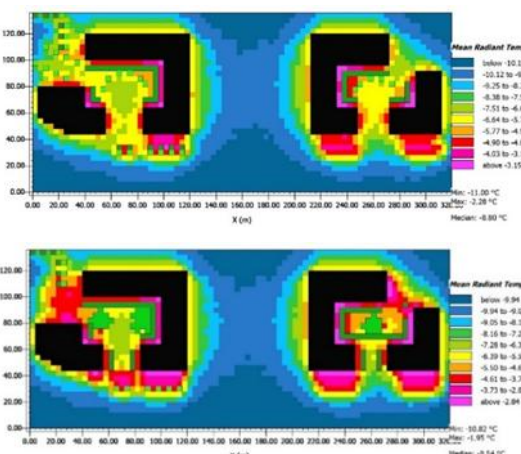


Figure 9. Average winter radiant temperature images (Celsius)

شکل ۹- تصاویر متوسط دمای تشعشعی زمستان (سانتی‌گراد)

### (ث) دمای سطح زمین

بر اساس تصاویر گرافیکی شکل ۱۰، در الگوی اول و در ساعت ۵ صبح دمای سطح زمین به‌طور تقریبی بین ۱۹ تا ۲۹ درجه سانتی‌گراد است و میانگین ۲۱/۳۸ گزارش شده است. در مکان‌هایی که زیر بلوک‌ها قرار گرفته است و به‌طور عمده پوشش خاک وجود دارد (قسمت آبی پررنگ)، به‌دلیل ظرفیت حرارتی بالای خاک، دمای سطح زمین به

ثابت شده است. در نواحی حیاط مرکزی و حد فاصل بلوک‌ها دما بین ۱۸/۵ تا ۲۵ درجه متغیر است و به‌طور تقریبی در داخل منطقه آسایش قرار دارد. در نواحی شمالی و جنوبی دمای متوسط تشعشعی به بیش از ۳۳/۵ درجه سانتی‌گراد رسیده است که ادراک محیطی گرم را پدید می‌آورد. می‌توان گفت که تابش خورشیدی رسیده به حیاط مرکزی و فضای بین دو بلوک به‌دلیل تراکم بیش‌تر پوشش گیاهی، کم‌تر از نواحی شمالی و جنوبی، می‌باشد؛ چرا که این شاخص نماینده‌ای از انتقال تابشی بین سطوح مختلف است. در گزینه دوم، بیشینه دمای گزارش‌شده ۳۸/۱۹ درجه سانتی‌گراد و میانگین ۲۲/۹۵ درجه سانتی‌گراد است.

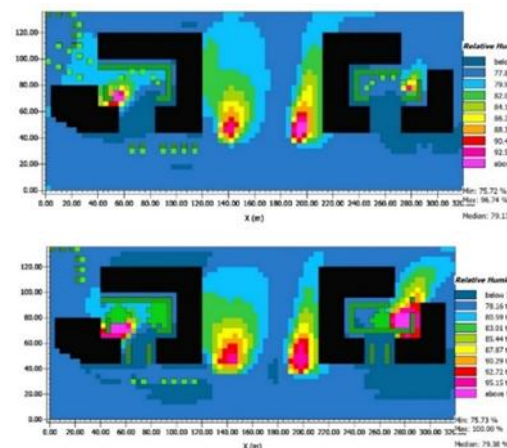


Figure 7. Winter relative humidity images (percentage)

شکل ۷- تصاویر رطوبت نسبی زمستان (درصد)

در زمستان براساس شکل ۹ در الگوی اول، دمای متوسط تابشی بین ۱۱- تا ۲/۲۸- با میانگین ۸/۸۰- درجه سانتی‌گراد گزارش شده است. نحوه توزیع این دما به‌گونه‌ای است که در اطراف بلوک‌ها تا یک شعاع مشخص و همچنین در داخل حیاط مرکزی، متوسط دمای تابشی بیش‌تر از سایر مناطق است. بنابراین می‌توان گفت تابش خورشیدی کسب‌شده در این مناطق در فصل زمستان بیش‌تر بوده و از این‌رو برای انجام فعالیت‌های فضای باز مناسب‌تر می‌باشند. در جداره‌هایی از بلوک‌ها که رو به حیاط مرکزی هستند و طیف رنگی صورتی دارند، می‌توان گفت که دمای تابشی بیش‌تری ثبت شده است. در گزینه دوم نیز، توزیع مشابهی

الگو میانگین دمای سطح زمین حدود ۲/۵ درجه سانتی گراد می‌باشد.

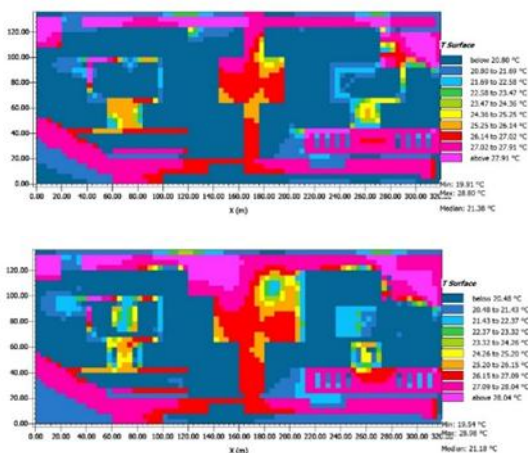


Figure 10. Summer land surface temperature images (Celsius)

شکل ۱۰- تصاویر دمای سطح زمین تابستان (سانتی‌گراد)

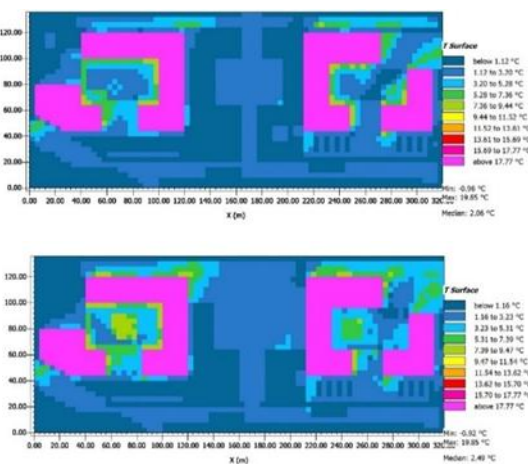


Figure 11. Winter land surface temperature image (Celsius)

شکل ۱۱- تصاویر دمای سطح زمین زمستان (سانتی‌گراد)

## ۵-۲- تحلیل شاخص‌های آسایش حرارتی

### (الف) PET

محدوده آسایش در شاخص PET، ۱۸ تا ۲۳ درجه سانتی‌گراد است. برای فعالیتی نظیر نشستن، شرایط حرارتی مورد نیاز در فضای باز گرم و دمای PET ۳۰ درجه سانتی‌گراد در نظر گرفته می‌شود. در مورد بازی بچه‌ها، این موارد به ترتیب به نسبت گرم با دمای ۲۴ تا ۲۶ درجه

کم‌تر از ۲۰/۸۰ درجه سانتی‌گراد رسیده است. استفاده از پوشش آسفالت در قسمت جنوب‌غربی محل منجر به مشاهده بیش‌ترین دما شده است و دمای سطح زمین در این ناحیه به بیش از ۲۸ درجه سانتی‌گراد رسیده است. در این منطقه امکان بروز پدیده‌هایی چون جزایر حرارتی وجود دارد. در این گزینه در مکان‌هایی که از کف‌پوش بازلت استفاده شده است (قسمت‌های قرمز و صورتی)، دما در مقایسه با نواحی بلوک‌ها و حیاط مرکزی بلوک‌ها بیش‌تر است. به‌طور کلی در نواحی که از پوشش گیاهی و عنصر آب استفاده شده است، دما کاهش یافته و نزدیک به محدوده آسایش قرار دارد. گزینه دوم در مقایسه با گزینه اول، در حیاط مرکزی بلوک سمت چپ، به دلیل تغییر نوع پوشش درختان از خزان‌ناپذیر به خزان‌پذیر در نواحی خاصی دمای سطح زمین افزایش پیدا کرده است. در قسمت شمالی این محل، جایگزینی مواد خاک با مواد بتن سبک باعث افزایش دما در این قسمت شده است. میانگین دما در این گزینه ۲۱/۱۸ درجه سانتی‌گراد است.

در تحلیل تابستان اشاره شد که خاک ظرفیت حرارتی بالایی دارد و می‌تواند نوسانات حرارتی را در طول سال کنترل کند. به‌همین دلیل قابل درک است که در فضای زیر بلوک‌ها که پوشش خاک را دارا است، بیش‌ترین دما (بیش‌تر از ۱۷/۵ درجه سانتی‌گراد) را در فصل زمستان شامل می‌شود. به‌طور کلی، براساس شکل ۱۱، نواحی آبی رنگ در کل محل با دمای کم‌تر از حدود ۵ درجه غالب است و در قسمت‌های محدودی دما به حدود ۵ تا ۹ درجه سانتی‌گراد می‌رسد. در ساعت ۵ صبح زمستان دمای سطح زمین بین ۰/۹۶- تا حدود ۲۰ درجه سانتی‌گراد و با میانگین تقریبی ۲ درجه سانتی‌گراد گزارش شده است. در گزینه دوم، به دلیل پراکندگی پوشش گیاهی و درختان در بخش‌های مختلف (ردیف درختان در قسمت شمال‌شرق و کاشت دو ردیف عمودی درختان در ورودی جنوبی بلوک‌ها)، محدوده‌های سبز رنگ (با دمای حدودی بین ۵ تا ۱۰ درجه سانتی‌گراد) در نواحی بیش‌تری مشاهده می‌شود که از نظر آسایش حرارتی مناسب‌تر است. در این

استفاده بیش‌تر از عنصر آب، بیش‌تر کردن تعداد درختان همیشه بهار برای افزایش سایه‌اندازی، استفاده از مصالح با شاخص آلبیدو بیش‌تر در سطوح کف، سقف و دیوار برای کاهش تنش حرارتی، استفاده از دیواره‌های سبز به‌منظور افزایش رطوبت و کاهش PET از جمله این راه‌کارها هستند. با توجه به این که در شهرستان سبزوار، اوقات سردسیر غالب‌تر است، انجام راه‌کارها برای رسیدن به شاخص مناسب PET در مقایسه با فصل تابستان ضروری‌تر به‌نظر می‌رسد. متأسفانه براساس شکل ۱۳، محدوده شاخص PET فاصله بیش‌تری با شرایط آسایش در این فصل در مقایسه با فصل تابستان دارد که این امر به‌احتمال زیاد ریشه در خشک بودن هوا در اوقات سرد سال و در نتیجه پایین آمدن رطوبت مورد نیاز برای انسان‌ها- که از عوامل موثر در شاخص PET است- در ارتفاع انسانی ۱۸۰ سانتی‌متری می‌شود. کم‌ترین دمای ثبت‌شده در دو الگو، به‌طور تقریبی ۶- درجه سانتی‌گراد، میانگین دمای ثبت‌شده به‌طور تقریبی ۴/۲- درجه و بیش‌ترین میزان حدود ۳/۵- درجه سانتی‌گراد می‌باشد که همگی بیان‌گر تنش سرمایی مفرط در این منطقه است. با این حال در نواحی حیاط مرکزی و اطراف بلوک‌ها تا یک شعاع خاص شرایط آسایشی بهتری مشاهده می‌شود و دمای PET تا بیش از ۲/۵ درجه نیز می‌رسد که این نواحی برای انجام فعالیت‌های مردم محله مناسب‌تر به‌نظر می‌رسند و پتانسیل این را دارند تا با در نظر گرفتن راه‌کارهایی به شرایط آسایش نزدیک شوند.

در مقایسه گزینه‌ها که در هر دوی آنها فضای بین بلوک‌ها و هم‌چنین نواحی شمالی و جنوبی شاخص PET کم‌تری را نشان می‌دهند، گزینه دوم که طیف بیش‌تری از نواحی قرمز و صورتی (دماهای PET بالاتر) را شامل می‌شود، مناسب‌تر می‌باشد و برای انجام فعالیت‌های جمعی بهتر است. این موضوع می‌تواند به این دلیل باشد که در این الگو در حیاط مرکزی از پوشش چمن و درختان برگ‌ریز با ارتفاع کم استفاده شده که باعث می‌شود دمای متوسط تابشی حاصل از خورشید بالاتر رفته و PET بیش‌تری

سانتی‌گراد می‌رسد. به‌طور کلی، طیف توزیع دمای PET به‌خصوص در الگوی اول و دوم در نواحی آبی رنگ است که دمایی بین ۲۱ تا ۲۵ درجه را شامل می‌شود که تنش گرمایی کمی را در بر می‌گیرند. علاوه بر این، استفاده از پوشش گیاهی تأثیر مثبتی بر روی کاهش دمای فیزیولوژیک داشته و به بهبود شرایط آسایش کمک کرده است. هم‌چنین، در فضای بین دو بلوک و حیاط مرکزی بلوک‌ها، دمای PET کم‌تری در مقایسه با شمال و جنوب منطقه مورد مطالعه ثبت شده است که دلیل این مطلب می‌تواند پوشش گیاهی کم این نواحی باشد. چرا که این نواحی به‌طور عمده مسیر رفت‌وآمد پیاده هستند و از مصالح‌هایی با شاخص آلبیدو کم در آنها نظیر: کف‌پوش بازالت، پوشش بتن سبک و غیره استفاده شده است.

براساس شکل ۱۲، در گزینه اول نواحی آبی پر رنگ که دمایی حدود ۲۱ تا ۲۳ درجه را شامل می‌شوند، بارزتر شده است. در این الگو، به‌دلیل استفاده از سه ردیف درختان در قسمت جنوبی بلوک‌ها (محور پیاده شرقی- غربی) - که یک ردیف بیش‌تر از گزینه دوم است- عدد PET کم‌تر گزارش شده و به‌طور عمده پایین‌تر از ۲۲/۲۶ درجه سانتی‌گراد می‌باشد. در این ناحیه PET گزارش‌شده برای گزینه دوم، به‌طور تقریبی به بالای ۲۳/۵ درجه سانتی‌گراد رسیده است. در گزینه دوم طیف رنگی سبز و به‌خصوص سبز کم‌رنگ خودنمایی می‌کند. با این حال کم‌ترین و بیش‌ترین و میانگین دمای ثبت‌شده در این گزینه به‌طور تقریبی ۳۳، ۲۱ و ۲۵ درجه سانتی‌گراد است. از آنجایی که در حیاط مرکزی بلوک‌های مسکونی، فعالیت‌هایی از قبیل نشستن و تعاملات اجتماعی صورت می‌گیرد، می‌توان گفت که طیف PET موجود در حیاط مرکزی به‌طور تقریبی قابل قبول با استاندارد آسایش شاخص PET می‌باشد. برای فضای بازی کودکان، نواحی زرد رنگ و نارنجی رنگ که دمای PET بیش‌تری دارند، مناسب‌تر می‌باشند. بنابراین با توجه به مطالب گفته‌شده، گزینه اول گزینه مناسب‌تری بوده ولی با این حال، باید برخی راه‌کارها انجام شود تا نزدیک به شرایط آسایش شود. افزایش تعداد آب‌نماها و

مرکزی بلوک سمت چپ است و در شکل ۱۴، با مستطیل سفید رنگ مشخص شده است.

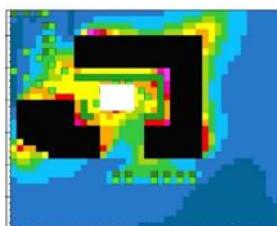


Figure 14. Network area in the middle part of the central courtyard

شکل ۱۴- محدوده شبکه‌ها قسمت میانی حیاط مرکزی در گزینه اول با توجه به جدول ۲ و شکل ۱۵ (الف) در تابستان، شاخص PET در ساعت ۴ صبح حدود ۲۵ درجه سانتی‌گراد است که نزدیک بیشینه محدوده آسایش، یعنی ۲۳ درجه است و تا ساعت ۵ صبح در همان حدود باقی می‌ماند. سپس از ساعت ۵ تا ۶ صبح نمودار اوج می‌گیرد و شاخص PET به عدد ۲۸/۴۳ می‌رسد که دلیل آن به احتمال زیاد طلوع خورشید در این بازه زمانی است. به‌طور کلی دامنه قابل قبول تندی هوا در فضاهای قابل سکونت ساختمان‌ها از ۰/۱ تا ۰/۳ متربرثانیه است. در ارتباط با شاخص سرعت باد در این گزینه، سرعت باد در ساعات شبیه‌سازی شده حدود ۰/۳ متربرثانیه است که اثرات نامحسوسی بر انسان دارد و باد قابل توجهی ندارد. پس بهتر است در قسمت شمال غربی حیاط مرکزی پوشش درختان بیش‌تری گذاشت تا مانند کیف عمل کرده و باد مطلوب را به داخل حیاط مرکزی هدایت کنند.

محدوده آسایش برای دمای هوا در تابستان بین ۲۱/۵ تا ۲۹ درجه سانتی‌گراد است که در ساعات ۴ تا ۶ صبح تابستان در این گزینه حدود ۳۱ درجه سانتی‌گراد است و با محدوده آسایش اختلاف دارد، پس باید اقداماتی انجام شود تا دمای هوا در این ساعات شبیه‌سازی شده، کاهش بیابد. در ساعات اولیه صبح، شاخص رطوبت نسبی، روندی کاهشی داشته و به‌صورت میانگین حدود ۲۶ درصد است که در محدوده آسایش تابستان (۳۰ تا ۶۵ درصد) قرار ندارد. در این گزینه، استفاده از پوشش گیاهی

مشاهده شود. ولی در الگوی اول از درختان خزان‌ناپذیر با ارتفاع بیش‌تری استفاده شده و سایه‌اندازی آنها باعث کم‌تر شدن دمای PET در مقایسه با الگوی دوم شده است.

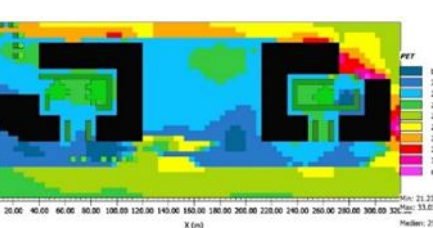
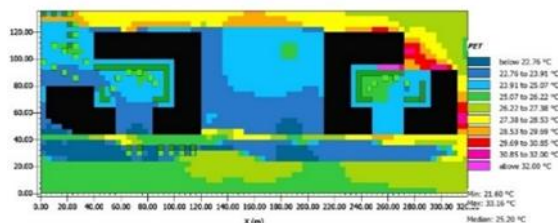


Figure 12. PET images in summer (Celsius)

شکل ۱۲- تصاویر PET در تابستان (سانتی‌گراد)

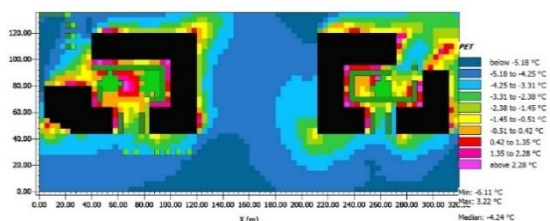
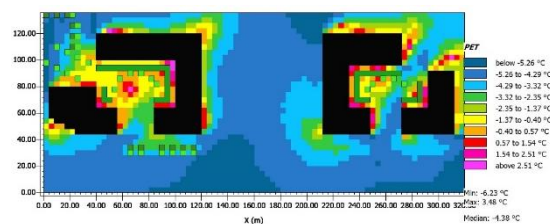


Figure 12. PET images in winter (Celsius)

شکل ۱۳- تصاویر PET در زمستان (سانتی‌گراد)

تا این مرحله، به مقایسه شاخص آسایش حرارتی در گزینه‌ها براساس نمودارهای حاصل از شبیه‌سازی پرداخته شد. در این مرحله برای این که بتوان گزینه نهایی را دقیق‌تر انتخاب کرد، محدوده‌ای از شبکه‌ها را انتخاب کرده و در گزینه‌های مختلف داده‌های ساعتی از شاخص‌های آسایش حرارتی و عوامل تأثیرگذار بر آن استخراج می‌شود. این محدوده شبکه‌ها قسمت میانی حیاط

به تنهایی قادر به افزایش رطوبت نسبی نمی‌باشد و با استفاده از افزایش فضاهاى آبی که کمک به سرمایش تبخیری می‌کنند، می‌توان رطوبت نسبی فضای باز را افزایش داد. در گزینه دوم براساس جدول ۲ و شکل ۱۵ (ب)، به‌طور تقریبی تمامی اعداد گزارش شده مشابه حالت قبلی است و نیاز به کاهش دمای هوا و افزایش سرعت باد وجود دارد. ارتباط مستقیمی بین کاهش سرعت باد و رطوبت نسبی و افزایش شاخص آسایشی در این دو گزینه وجود دارد؛ به‌گونه‌ای که هرچه سرعت باد کم‌تر می‌شود، شاخص آسایشی افزایش می‌یابد. دلیل امر این است که در فصول گرم باید سرعت باد مناسب باشد تا پدیده تعریق بر روی بدن صورت بگیرد و در نتیجه پوست احساس خنکی کند. از طرف دیگر رطوبت بیش از حد یعنی ۶۵ درصد در فصول گرم، پدیده تبخیر سطحی بر روی پوست را با مشکل همراه می‌کند و بدن در این شرایط احساس راحتی ندارد. کاهش دمای هوا و افزایش سرعت باد و رطوبت نسبی در فصل تابستان مورد نیاز است. در مناطقی که آب‌وهوای گرم دارند، گیاهان می‌توانند با افزایش سایه و کاهش دمای هوا، در ایجاد باد نقش داشته باشند، هرچند کاهش سرعت باد به‌وسیله گیاهان، به‌مراتب ساده‌تر از ایجاد باد است. هم‌چنین افزایش فضاهاى آبی نظیر آب‌نما و حوض نیز به افزایش رطوبت نسبی محیط کمک می‌کند. بنابراین با توجه به تحلیل‌های عددی صورت‌گرفته در این بخش و تحلیل‌های نموداری و موارد گفته‌شده در بخش قبل می‌توان گفت گزینه شماره ۱ بهترین گزینه برای تابستان با در نظر گرفتن شاخص PET است.

جدول ۲- عامل‌ها و شاخص اقلیمی الگوی اول و دوم در ساعات مختلف تابستان

Table 2. Climatic factors and index of the first and second patterns at different times of the summer

Characteristics	2021 Jul 27 - First pattern		
Hour	4:00	5:00	5:59
PET (°C)	25.0002	25.09	28.434
Skin surface temperature (°C)	34.51	34.521	34.896
Wind speed (m/s)	0.3	0.29	0.29
Air temperature (°C)	31.048	30.477	30.971
Average radiant temperature (°C)	19.429	20.489	27.132
Relative humidity (%)	26.818	26.478	26.421
Characteristics	2022 Jul 27 - Second pattern		
Hour	4:00	5:00	5:59
PET (°C)	25.292	25.4	28.47
Skin surface temperature (°C)	34.544	34.55	34.885
Wind speed (m/s)	0.26	0.27	0.29
Air temperature (°C)	31.055	30.491	30.92
Average radiant temperature (°C)	20.164	21.074	28.982
Relative humidity (%)	26.813	26.484	26.461

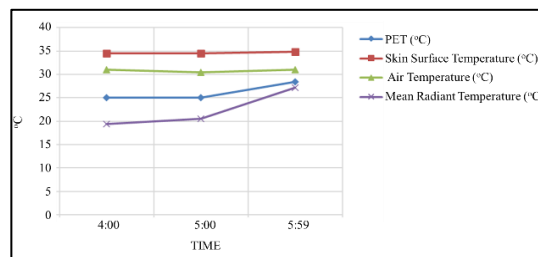
در زمستان، شاخص PET در ساعت ۴ صبح عدد ۰/۲۱ را نشان می‌دهد، سپس روندی نزولی را طی می‌کند تا در ساعت ۶ صبح به‌حدود ۰/۶- سانتی‌گراد می‌رسد که در تمامی این دوره تنش سرمایی مفرط برای افراد وجود دارد. در این مدت سرعت هوا نیز روندی نزولی داشته و از ۰/۷۵ به ۰/۷۳ متربرثانیه رسیده است که از لحاظ شرایط تو صیفی نور هوا تو صیف می‌شود و از لحاظ تأثیر بر افراد

در گزینه اول با توجه به جدول ۳ و شکل ۱۶ (الف) در زمستان، شاخص PET در ساعت ۴ صبح عدد ۰/۲۱ را نشان می‌دهد، سپس روندی نزولی را طی می‌کند تا در ساعت ۶ صبح به‌حدود ۰/۶- سانتی‌گراد می‌رسد که در تمامی این دوره تنش سرمایی مفرط برای افراد وجود دارد. در این مدت سرعت هوا نیز روندی نزولی داشته و از ۰/۷۵ به ۰/۷۳ متربرثانیه رسیده است که از لحاظ شرایط تو صیفی نور هوا تو صیف می‌شود و از لحاظ تأثیر بر افراد

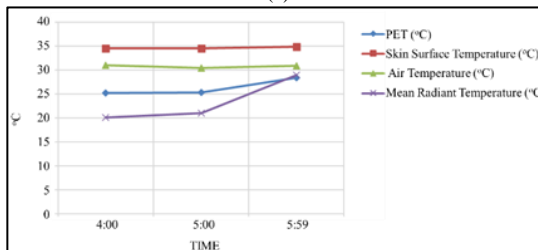
این قسمت و قسمت قبل الگوی دوم، الگوی مناسبتری برای فصل زمستان است.

جدول ۳- عاملها و شاخص اقلیمی الگوی اول و دوم در ساعات مختلف زمستان

Table 3. Climatic factors and index of the first and second patterns at different times of the winter			
Characteristics	2021 Mar 8 - First pattern		
Hour	04:00	05:00	5:59
PET (°C)	0.214	-0.47	-0.59
Skin surface	13.72	13.08	12.97
Wind speed (m/s)	0.75	0.74	0.73
Air temperature (°C)	-0.44	-1.25	-1.37
Average radiant	-5.22	-6.92	-7.40
Relative humidity (%)	2.98	2.71	2.65
Characteristics	2021 Mar 8 - Second pattern		
Hour	04:00	05:00	05:59
PET (°C)	1.24	0.58	0.46
Skin surface	14.65	14.04	13.94
Wind speed (m/s)	0.48	0.47	0.46
Air temperature (°C)	-0.30	-1.11	-1.25
Average radiant	-5.14	-6.74	-7.17
Relative humidity (%)	3.01	2.77	2.71



(a)

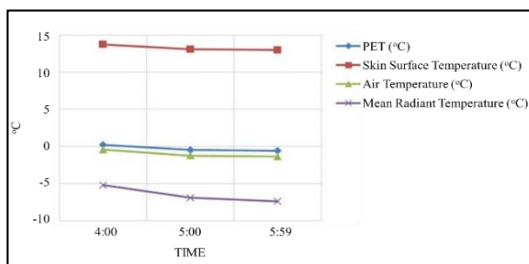


(b)

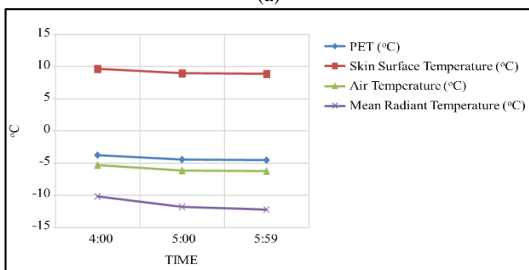
Figure 15. Diagram of factors and climatic index of the first (a) and second (b) patterns at different times of the summer

شکل ۱۵- نمودار عاملها و شاخص اقلیمی الگوی اول (الف) و دوم (ب) در ساعات مختلف تابستان

در گزینه دوم نیز روند پارامترها صعودی است. شاخص PET در این گزینه حدود ۱ درجه بیش تر شده است و به ۱/۲ درجه سانتی گراد در ساعت ۴ صبح رسیده است که عددی بهتر در مقایسه با شاخص قبلی است. سرعت باد نیز حدود ۰/۲۵ کاهش یافته و به حدود میانگین ۰/۴۶ متر بر ثانیه رسیده است که از لحاظ شرایط آسایش برای اقلیم سبزوار در فصل زمستان مناسب تر می باشد. با طراحی راه کارهای افزایش دمای هوا می توان شاخص PET را برای دستیابی به آسایش بیش تر در زمستان نیز افزایش داد. افزایش کاشت درختان خزان پذیر که در این الگو در جهت باد غالب استفاده شده است، می تواند نور و گرمای خورشید از لابه لای شاخه های درختان وارد فضاها کرده و دمای این فضاها را بالا ببرد. استفاده از عنصر آب در این فصل توصیه نمی شود، چون محیط های آبی سبب کاهش دما در فصل زمستان می شوند. کاشت درختان خزان ناپذیر در جهت باد سرد غالب شمال و شمال شرق مناسب است تا بتوان از نفوذ باد سرد جلوگیری کرد و سرعت جریان باد را در این نواحی کاهش داد. بنابراین، با توجه به مطالب گفته شده در



(a)



(b)

Figure 16. Diagram of factors and climatic index of the first (a) and second (b) patterns at different times of the winter

شکل ۱۶- نمودار عاملها و شاخص اقلیمی الگوی اول (الف) و دوم (ب) در ساعات مختلف زمستان

### ۶- نتیجه گیری

این پژوهش شامل بررسی دو الگوی متفاوت کاشت درختان در مسیر پیاده یک واحد همسایگی در ساختمان مسکونی می باشد. در مقاله حاضر سعی بر آن بود تا با ارائه و مدل سازی یک نمونه عملی از الگوی کاشت درختان در

مناسب در جهت باد نامطلوب شمال شرق برای جلوگیری از ورود باد به داخل حیاط مرکزی، از جمله راه کارهای مناسب در فصل گرم و تابستان می باشد. در فصول سرد سال، می توان از مصالحی با خاصیت بازتابندگی بیش تر استفاده نمود؛ زیرا این کار باعث می شود تا پرتوهای خورشیدی تابیده شده به زمین بازتاب شوند و در ارتفاع انسانی (به عنوان مثال، ارتفاع ۱۸۰ سانتی متری)، افراد دمای محیطی بالاتری را حس کنند. هم چنین با استفاده از مصالح با شاخص آلبیدو کم تر در سطوح می توان تنش حرارتی در محیط را بالا برده و شرایط آسایشی بهتری را ایجاد نمود (شایان ذکر است که این مورد در فصل تابستان می تواند نامناسب باشد. با این حال با توجه به اقلیم سبزوار که سرما غالب است، شاخص آلبیدو کم تر قابل توجیه است). یکی دیگر از راه کارهای مناسب در این فصل عدم استفاده از عنصر آب در نواحی مختلف به خصوص حیاط مرکزی بلوک ها می باشد؛ زیرا محیط های آبی سبب کاهش دما در فصل زمستان و افزایش رطوبت نسبی می شوند. بنابراین آب آب نماها در این فصل باید تخلیه شود. امید است با موارد ذکر شده، امکان ارائه طراحی فضاهای شهری با توجه به اصول اقلیمی در اقلیم های مشابه فراهم شود. از آنجا که نتیجه گیری فوق براساس پژوهش بر روی یک مطالعه موردی است، بنابراین، تنها می توان نتایج را به مواردی با شرایط آب و هوایی مشابه تعمیم داد. از این رو پیشنهاد می شود، پژوهش حاضر با بررسی سایر موارد از قبیل الگوی کاشت درختان در اقلیم های مختلف تکمیل گردد.

### ملاحظات اخلاقی

#### پیروی از اصول اخلاق پژوهش

نویسنده اصول اخلاقی را در انجام و انتشار این پژوهش علمی رعایت نموده است.

#### مشارکت نویسندگان

سمیه طاهری محاسبات را انجام داد. روش های تحلیلی را تایید کرد، بر یافته های این پژوهش نظارت

اقلیم سرد و نیمه خشک-خشک سبزوار، الگوی مناسب در فصل تابستان و زمستان را ارائه دهد. براساس نتایج به دست آمده، به کارگیری درختان خزان ناپذیر در حیاط های مرکزی بلوک ها تأثیرات مثبتی بر روی شرایط آسایشی و شاخص آسایشی در تابستان داشته است. این درختان علاوه بر تأمین رطوبت مورد نیاز، سبب سایه اندازی شده و شرایط محیطی را به منطقه آسایش نزدیک می کنند. از طرفی، به دلیل استفاده از سه ردیف درختان در قسمت جنوبی بلوک ها (محور پیاده شرقی-غربی)، که یک ردیف بیش تر از گزینه دیگر است، عدد شاخص آسایشی در تابستان حدود ۲ درجه سانتی گراد کم تر (۲۲/۲۶ درجه سانتی گراد) گزارش شده است. هم چنین در این گزینه در مکان های بیش تری از پوشش خاک استفاده شده است و این امر موجب شده تا دمای سطح زمین در تابستان در این نواحی کاهش پیدا کند. در گزینه دوم، حیاط مرکزی از پوشش چمن و درختان برگ ریز با ارتفاع کم استفاده شده که باعث عبور تابش های خورشید از بین شاخه های درختان و افزایش دمای متوسط تابشی شده و PET بیش تری در زمستان مشاهده شود. در این گزینه، قسمت شمال شرق محل از درختان بادشکن استفاده شده تا مانع ورود باد نامطلوب به فضاهای داخلی و حیاط مرکزی شوند. در تحلیل های عددی مشخص شد که این امر تأثیر مثبتی در کاهش سرعت باد در این نواحی در زمستان شده است. بنابراین به طور کلی، افزایش استفاده از عناصر آب به خصوص در فضاهایی که فعالیت های جمعی رخ می دهد (حیاط مرکزی بلوک ها) برای افزایش رطوبت نسبی و کنترل دما و نزدیک تر کردن شاخص های آسایش حیاط مرکزی به محدوده آسایش، استفاده از دیوارهای سبز در نما برای افزایش رطوبت نسبی و بهبود شرایط آسایش، استفاده از مصالح با شاخص آلبیدو بیش تر، در سطوح کف، سقف و دیوار برای کاهش تنش حرارتی در محیط بیرونی، افزایش تعداد درختان به صورت پخشایی در کل محل انتخابی و به صورت معین به خصوص برای نواحی که زمینه لازم برای فعالیت های محیطی را دارند و کاشت درختانی

داشت، نتایج را بحث نمود و در نسخه نهایی مقاله مشارکت داشت.

### حامی مالی

این پژوهش کمک هزینه خاصی دریافت نکرده است.

### تعارض منافع

بنا بر اظهار نویسنده این مقاله تعارض منافع ندارد.

### سپاسگزاری

از داوران محترم به خاطر ارائه نظرهای ساختاری و علمی سپاسگزاری می‌شود.

## References

- [1] Moradinezhad A, Khosrobeigi S. Assessing the impact of climate change on temperature and precipitation parameters in Arak region. *Environmental Science Studies*. 2025 Jan; 4 (9): 9524-9534. <https://doi.org/10.22034/jess.2024.458377.2258> [In Persian].
- [2] Babaeian E, Nagafineik Z, Zabolabasi F, Habeibei M, Adab H, Malbisei Sh. Climate change assessment over Iran during 2010-2039 by using statistical downscaling of ECHO- G Model. *Geography and Development*. 2010 Feb; 7 (16): 135-152. <https://doi.org/10.22111/gdj.2009.1179> [In Persian].
- [3] Lavergne T, Kern S, Aaboe S, et al. A new structure for the sea ice essential climate variables of the global climate observing system: *Bulletin of the American Meteorological Society*. 2022; 103 (6): 1502-1521. <https://doi.org/10.1175/BAMS-D-21-0227.1>.
- [4] Oleson K. W, Monaghan A, Wilhelmi O, Barlage M, Brunzell N, Feddema J, Hu L, Steinhoff DF. Interactions between urbanization, heat stress, and climate change. *Climatic Change*. 2015 Apr; 129: 525-541. <https://doi.org/10.1007/s10584-013-0936-8>.
- [5] Matzarakis A, Hämmerle M, Endler Ch, Muthers S, Koch E. Assessment of tourism and recreation destinations under climate change conditions in Austria. *Meteorologische Zeitschrift*. 2012 May; 21 (2): 157-165. <https://doi.org/10.1127/0941-2948/2012/0342>.
- [6] Yassen AN, Nam W-H, Hong E-M. Impact of climate change on reference evapotranspiration in Egypt. *CATENA*. 2020 Nov; 194: 104711. <https://doi.org/10.1007/s10584-013-0936-8>.
- [7] El-Bardisy WM, Fahmy M, El-Gohary GF. Climatic sensitive landscape design: Towards a better microclimate through plantation in public schools, Cairo, Egypt. *Procedia. Social and Behavioral Sciences*. 2016 Jan; 216: 206-216. <https://doi.org/10.1016/j.sbspro.2015.12.029>.
- [8] Rezaazadeh R, Aghajan Beigloo E. Proposed pattern for piling in row housing plots, comparative study of two piling patterns in residential blocks with thermal comfort standards. *Architecture and Urban Planning*. 2011; 7: 2. <https://doi.org/10.30480/aup.2012.169> [In Persian].
- [9] Karamirad S, Aliabadi M, Habibi A, Vakilinezhad R. Measuring the effect of vegetation on external thermal comfort conditions pedestrians (Study case: Goldasht residential complex, Shiraz). *Scientific Association of Architecture and Urban Planning of Iran*. 2017; 14: 185-196. <https://doi.org/10.30475/isau.2018.62074> [In Persian].
- [10] Targhi MZ, Van Dessel S. Potential contribution of urban developments to outdoor thermal comfort conditions: The Influence of Urban Geometry and Form in Worcester, Massachusetts, USA *Procedia Engineering*. 2015; 118: 1153-1161. <https://doi.org/10.1016/j.proeng.2015.08.457>.
- [11] Salata F, Golasi I, Vollaro ADL, Vollaro RDL. How high albedo and traditional buildings' materials and vegetation affect the quality of urban microclimate. A case study. *Energy and Buildings*. 2015 Jul; 99: 32-49. <https://doi.org/10.1016/j.enbuild.2015.04.010>.
- [12] Al-Kurdi N, Awadallah T. Role of street-level outdoor thermal comfort in minimizing urban heat island effect by using simulation program, Envi-Met: Case of Amman. *Research Journal of Environmental and Earth Sciences*. 2015 Aug; 7: 42-49. <https://doi.org/10.19026/rjees.7.1694>.
- [13] Taleghani M, Sailor DJ, Tenpierik M, van den Dobbelen, A. Thermal assessment of heat mitigation strategies: The Case of Portland State University, Oregon, USA. *Building and Environment*. 2014 Mar; 73: 138-150. <https://doi.org/10.1016/j.buildenv.2013.12.006>.

- [14] Santamouris M. Energy and climate in the urban built environment. Routledge. 2001. <https://doi.org/10.4324/9781315073774>.
- [15] Wang Y, Akbari H. The effects of street tree planting on Urban Heat Island mitigation in Montreal. *Sustainable Cities and Society*. 2016 Nov; 27: 122-128. <https://doi.org/10.1016/j.scs.2016.04.013>.
- [16] Abdi B, Hami A, Zarehaghi D. Impact of small-scale tree planting patterns on outdoor cooling and thermal comfort. *Sustainable Cities and Society*. 2020 May; 56: 102085. <https://doi.org/10.1016/j.scs.2020.102085>.
- [17] Morakinyo TE, Lam YF. Simulation study on the impact of tree-configuration, planting pattern and wind condition on street-canyon's micro-climate and thermal comfort. *Building and Environment*. 2016 Jul; 103: 262-275. <https://doi.org/10.1016/j.buildenv.2016.04.025>.
- [18] Li J, Liu J, Srebric J, Hu Y, Liu M, Su L, Wang Sh. The effect of tree-planting patterns on the microclimate within a courtyard. *Sustainability*. 2019 Mar; 11 (6): 1-21. <https://doi.org/10.3390/su11061665>.
- [19] Ghobadian V, Feizmahdavi M. Climate design: Theoretical and practical principles of energy use in buildings. University of Tehran. 2013; 14: 266 [In Persian].
- [20] Farhadi H, Faizi M, Sanaieian H. Mitigating the urban heat island in a residential area in Tehran: Investigating the role of vegetation, materials, and orientation of buildings. *Sustainable Cities and Society*. 2019 Apr; 46: 101448. <https://doi.org/10.1016/j.scs.2019.101448>.
- [21] Babaei J, Salaran P, Izadifar M. Investigating the importance of vegetation in urban landscape. The Fourth Scientific Research Conference of New Horizons in Geographical Sciences and Architectural and Urban Planning. Iran. Tehran. 2015 Aug 17. <https://civilica.com/doc/617397> [In Persian].
- [22] Morakinyo TE, Kong L, Lau KK-L, Yuan C, Ng E. A study on the impact of shadow-cast and tree species on in-canyon and neighborhood's thermal comfort. *Building and Environment*. 2017 Apr; 115: 1-7. <https://doi.org/10.1016/j.buildenv.2017.01.005>.
- [23] Khairadeen Ali A, Song H, Lee OJ, Kim ES, Hashim Mohammed Ali H. Multi-agent-based urban vegetation design. *Environ. Res. Public Health*. 2020 Apr; 17 (9): 3075. <https://doi.org/10.3390/ijerph17093075>.
- [24] Yahia MW, Johansson E, Thorsson S, Lindberg F, Rasmussen MI. Effect of urban design on microclimate and thermal comfort outdoors in warm-humid Dar es Salaam, Tanzania. *International Journal of Biometeorology*. 2018 Jun; 62: 373-385. <https://doi.org/10.1007/s00484-017-1380-7>.
- [25] Naghizadeh M, Hasani M, Mashhadizadeh N. Evaluation of the impact of vegetation on the sustainability of the urban landscape (Case example: Mashhad Metropolis). Conference on Civil Engineering, Architecture and Urban Planning of the Countries of the Islamic world. Iran. 2018 May 10. <https://civilica.com/doc/775606> [In Persian].
- [26] Karamirad S, Aliabadi M, Habibi A, Vakilinezhad R. Measuring the effect of vegetation on the external thermal comfort conditions pedestrians (example: Goldasht residential complex, Shiraz). *Scientific Association of Architecture and Urban Planning of Iran*. 2017; 14: 185-196. <https://doi.org/10.30475/isau.2018.62074> [In Persian].
- [27] Davtalab J, Hafezi M, Adib M. Investigating the effect and role of vegetation on the variables that determine the thermal comfort of open space (case study: Sistan's hot and dry climate). *SOFTEH*. 2016; 26(4): 19-42. <https://doi.org/10.1001.1.1683870.1395.26.4.2.1> [In Persian].
- [28] Poordeihimi Sh, Tahsildoost M, Ameri P. The effect of vegetation on reducing the intensity of urban heat islands: A case study of Tehran metropolis. *Policy Research and Energy Planning*. 2019; 16: 97-122 [In Persian].
- [29] Amiri F, Tabatabaie T. The influence of green spaces on land surface temperature and humidity of the surrounding environment in Bushehr city. *Environmental Science*. 2020 Oct; 18 (3): 184-205. <https://doi.org/10.29252/envs.18.3.184> [In Persian].
- [30] HANDBOOK, ASHRAE. *HVAC systems and equipment*. Chapter, 2020.
- [31] Mousavi SS, Rezaei P, Ramazani B. Evaluation of thermal comfort in residential spaces of Rasht City. *Journal of Studies of Human Settlements Planning*. 2023; 18 (4): 113-128. <https://doi.org/10.1001.1.25385968.1402.18.4.10.3> [In Persian].