

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

Somayyeh Taheri¹ 

1. Corresponding author, Assistant Professor, Department of Architecture and Energy, Faculty of Architecture and Urban Planning, University of Hakim Sabzevari, Sabzevar, Iran. E-mail: S.taheri@hsu.ac.ir

(Received 11 Sep 2024, Revised 24 Oct 2024, Accepted 16 Nov 2024, Published online 25 Mar 2025) - Research Article

Extended Abstract

Background and Objective

Although the effects of vegetation on urban microclimate have been discussed in various studies, research on thermal comfort in urban spaces is highly context-dependent, and each city with its geographical location and specific climatic conditions requires its unique studies. The present study aims to investigate the effect of vegetation on the thermal comfort of urban open spaces in a part of Sabzevar city. For this purpose, in this study, simulation results of two different options are used to evaluate it.

Methodology

This article examines the factors affecting microclimate and the influence of vegetation cover to achieve better spatial quality using the numerical software ENVI-met. The analyses are conducted using two patterns in an east-west pedestrian walkway in the neighborhood yard of a residential complex in the cold and semi-arid climate of Sabzevar. The first case includes two outer rows of deciduous trees with a height of 10 m and a crown width of 5 m and a middle row of evergreen trees with a height of 18 m and a crown width of 11 m. The second case includes an upper row of deciduous trees with a height of 11 m and a crown width of 9 m and a lower row of coniferous evergreen trees with a low leaf density index with a height of 15 m, and a crown width of 7 m.

Findings

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 use of evergreen trees in the central courtyards of the blocks has had positive effects on comfort conditions and the comfort index in the summer. In addition to providing the necessary humidity, these trees provide shade and bring environmental conditions closer to the comfort zone. Also, in the cold seasons, materials with higher reflectivity can be used, because this causes the solar rays to be reflected to the ground and at human height (for example, a height of 180 cm), people feel a higher ambient temperature. By using materials with a lower albedo index on surfaces, thermal stress in the environment can be increased and better comfort conditions can be created.



Keywords: Microclimate, Vegetation, Thermal comfort, Crop pattern, PET index

Cite this article: Taheri, Somayyeh. Measuring the impact of microclimatic changes of planting vegetation on comfort indicators. *Water Resources and Climate Change*. (2025); 1 (1): 1-17.
<https://doi.org/10.22091/wrcc.2024.11315.1002>

سنجش تأثیر تغییرات خرداقلیمی کاشت پوشش گیاهی بر شاخص‌های آسایشی

سمیه طاهری^۱

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

(تاریخ دریافت: ۱۴۰۳/۰۶/۲۱، تاریخ بازنگری: ۱۴۰۳/۰۸/۰۳، تاریخ پذیرش: ۱۴۰۳/۰۸/۲۶، تاریخ انتشار برخط: ۱۴۰۴/۰۱/۰۵) - مقاله پژوهشی

چکیده

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 سبزوار انجام شده است. 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. 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 سبزوار ایجاد می‌کنند. دلیل این امر، 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 حیاط مرکزی باعث بالا رفتن دمای متوسط تابشی و افزایش شاخص PET در زمستان شده است.

کلیدواژه‌ها: خرداقلیم، پوشش گیاهی، آسایش حرارتی، الگوی کشت، شاخص PET

استناد: طاهری، سمیه. (۱۴۰۴). سنجش تأثیر تغییرات خرداقلیمی کاشت پوشش گیاهی بر شاخص‌های آسایشی. *منابع آب و تغییر اقلیم*. ۱(۱)، ۱-۱۷

<https://doi.org/10.22091/wrcc.2024.11315.1002>

۱- مقدمه

اقلیم را به راحتی 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^۱ (GCOS) که نهادی از سازمان هواشناسی جهانی^۲ (WMO) است، متغیرهای اصلی اقلیم^۳ را با بیش‌ترین استانداردها در قالب سوابق داده‌های اقلیمی^۴ (CDR)، پایش و بایگانی می‌کند [۳]. به جز 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 به لحاظ آسایش حرارتی تبیین می‌کند، به‌طور عموم از برهم‌کنش چهار مؤلفه باد، دمای هوا، رطوبت و دمای متوسط تابشی^۵ (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

محل‌های شهری، اثرگذاری مستقیمی بر شکل‌گیری یا کاهش پدیده جزیره گرمایی شهری^۶ (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. بدین‌منظور، 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

⁴- Climatic Data Records

⁵- Mean Radiant Temperature

⁶- Urban Heat Island

¹- Global Climate Observing System

²- World Meteorological Organization

³- 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 به عنوان 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^۹ 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 می‌دانند [۲۲]. دخیل کردن شرایط اقلیمی، داده‌های جغرافیایی و ضوابط محلی و شهرسازی کمک می‌کند، اما با شبیه‌سازی پوشش گیاهی در طراحی شهری، نتیجه ملموس‌تری به دست خواهد آمد [۲۳]. یحیی^{۱۰} 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 به دلیل 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 به میزان قابل ملاحظه‌ای کاهش یابد. بنابراین به‌طور کلی، کاهش فاصله کاشت ردیف 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^۷ (PET) در خیابان و نزدیک شدن به محدوده آسایش می‌شوند [۱۷]. لی^۸ و همکاران تأثیر الگوی کاشت درختان بر خرداقلیم حیات 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

¹⁰- Yahia

⁷- Physiological Equivalent Temperature

⁸- Li

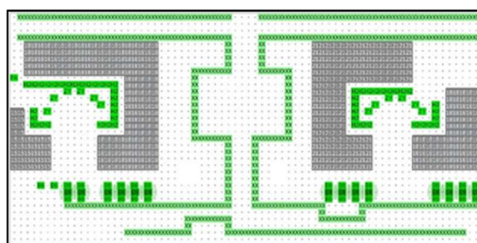
⁹- Morakinyo

۳- روش‌شناسی تحقیق

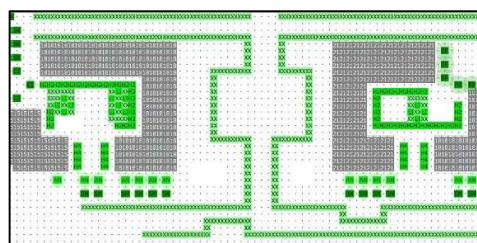
مقاله حاضر به بررسی عامل‌های موثر بر خرداقلیم و تحت تأثیر پوشش گیاهی برای دست‌یابی به کیفیت فضایی بهتر با استفاده از نرم‌افزار عددی ENVI-met می‌پردازد. موقعیت و فاصله مکانی از فضاها سبز شهری بر الگوی حرارتی در محیط شهری تأثیر می‌گذارد [۲۹]. براساس شکل ۱ و جدول ۱، تحلیل‌ها در دو الگو در معبر پیاده شرقی- 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.

۴- اقلیم و مکان مورد مطالعه

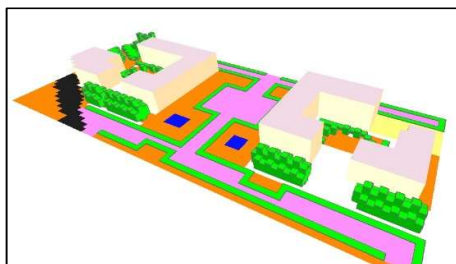
شهر سبزوار از لحاظ جمعیت و تجارت، پس از مشهد بزرگ‌ترین و مهم‌ترین شهر استان خراسان رضوی بوده و قسمت شمال‌شرقی ایران با عرض جغرافیایی ۳۶/۲۱ درجه و طول جغرافیایی ۵۷/۶۸ درجه واقع شده است. این شهرستان تابستان‌های گرم و زمستان‌های سردی دارد. آسمان این مناطق در بیش‌تر اوقات سال بدون ابر است، اما مه و طوفان، 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 ۱۸/۲ درجه سانتی‌گراد بوده و بیش‌ترین میانگین دما در ماه تیر و کم‌ترین میانگین دما در ماه دی به‌ترتیب حدود ۳۲ و ۴/۴ درجه سانتی‌گراد است. دامنه دما بین ۱/۱- درجه سانتی‌گراد در شب و ۳۵/۷ درجه سانتی‌گراد در روز در حال نوسان است. با توجه به طبقه بندی اقلیمی اشری [۳۰]، اقلیم سبزوار در ناحیه B3 و دارای آب‌وهوای سرد و نیمه‌خشک- خشک قرار می‌گیرد.



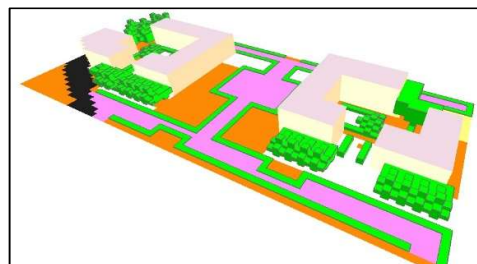
(a) First pattern – 2D



(b) Second pattern – 2D



(c) First pattern – 3D



(d) Second pattern – 3D

Figure 1. Modeled patterns (2D and 3D) in ENVI-met software

شکل ۱- الگوهای مدل‌سازی شده (دوبعدی و سه‌بعدی) در نرم‌افزار ENVI-met

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 یافته‌های پژوهش

۵-۱- تحلیل عوامل اقلیمی

(الف) دمای پتانسیل هوا- تابستان

گزینه اول شده است. بنابراین شاخص دمایی کاهش پیدا کرده است و با منطقه آسایش فاصله گرفته است. استفاده از ردیف درختان خزان‌پذیر و خزان‌ناپذیر در جنوب بلوک‌ها و در محور پیاده شرقی-غربی سبب افت محسوس دما در تمامی گزینه‌ها در مقایسه با نواحی اطراف شده است.

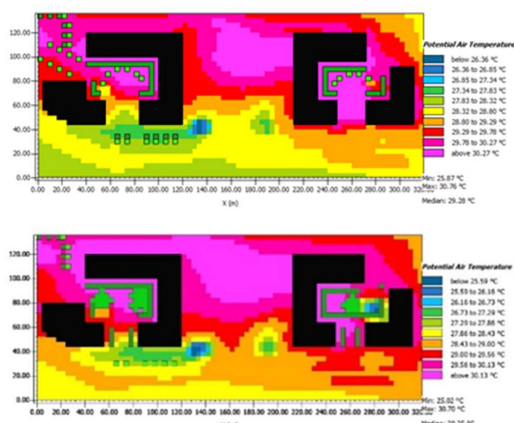


Figure 2. Summer air potential temperature images (Celsius)

شکل ۲- تصاویر دمای پتانسیل هوای تابستان (سانتی‌گراد)

دمای آسایش در زمستان بین ۲۰ تا ۲۵/۷ می‌باشد. مطابق داده‌های شکل ۳، در الگوی اول کم‌ترین دمای ثبت شده ۱/۹۶- و بیش‌ترین دمای ثبت‌شده ۰/۶- و میانگین دمای گزارش‌شده ۱/۴۵- می‌باشد که این اعداد فاصله زیادی با محدوده آسایش دارند. به‌طور کلی بیش‌ترین بازه دمای ثبت‌شده مربوط به حیاط مرکزی بلوک‌ها، بعد از آن فضای بین بلوک‌ها و در نهایت قسمت‌های جنوبی و

دمای آسایش در تابستان بین ۲۱/۵ تا ۲۹ درجه سانتی‌گراد می‌باشد. براساس تصاویر گرافیکی شکل ۲، در گزینه اول، کم‌ترین دمای ثبت‌شده ۲۵/۸۷ و بیش‌ترین آن ۳۰/۷۶ و میانگین آن ۲۹/۲۸ است. بنابراین به‌صورت حدودی می‌توان گفت در منطقه آسایشی قرار گرفته است. به‌طور کلی در فضای حیاط مرکزی و فضای بین بلوک‌ها طیف دمای بیش‌تری مشاهده شده و در قسمت جنوب بلوک‌ها، طیف دمایی کم‌تری می‌شود؛ بنابراین مناطق جنوبی از نظر آسایشی مناسب‌تر هستند و فعالیت‌های فضای باز می‌تواند در این مناطق صورت گیرد. برای قسمت حیاط مرکزی با افزایش درختان خزان‌پذیر و خزان‌ناپذیر و استفاده از آنها به‌صورت ترکیبی و با فواصل مناسب به گونه‌ای که سبب سایه‌اندازی شوند، می‌توان دمای هوا را کاهش داد. در قسمت جنوب شرقی بلوک سمت چپ، حوض آب طراحی شده است و کاهش ناگهانی دمای هوا در این قسمت در مقایسه با نواحی اطراف به‌همین دلیل است.

در گزینه دوم و به‌خصوص در قسمت جنوبی، نواحی نارنجی‌رنگ غالب و جایگزین نواحی زرد و سبز رنگ در

متربرثانیه به شکل کوران و سرعت باد بیش‌تر از ۱/۵ متربرثانیه آزاددهنده 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 متربرثانیه باعث بروز اختلالات متفاوت می‌شود. براساس اطلاعات تصاویر گرافیکی شکل ۴، در الگوی اول، به‌طور کلی نواحی آبی رنگ که بیش‌تر 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 به‌طور تقریبی، نموداری مشابه الگوی اول دارد و بیش‌ترین سرعت باد ثبت‌شده در این گزینه، ۵/۳۸ متر بر ثانیه است.

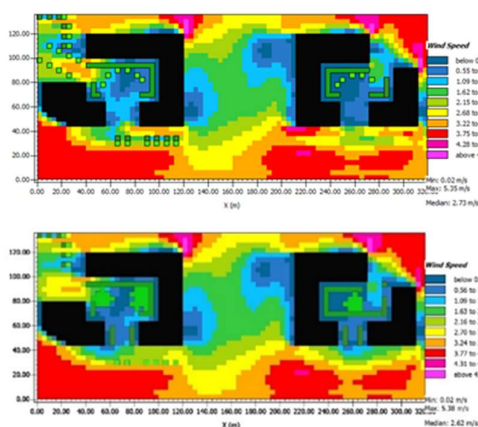


Figure 4. Graphical images of summer wind speed (m/s)

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

شمال‌غرب محل است. از این‌رو برای فعالیت‌های جمعی و مواردی که در فضای باز انجام می‌شوند، قسمت حیاط مرکزی به‌عنوان مکان مناسب توصیه می‌شود. از راه‌کارهایی که می‌توان دمای هوا را در ناحیه حیاط مرکزی بلوک‌ها افزایش داد، کاهش فاصله ورودی جنوبی بلوک‌های چپ و راست می‌باشد تا به نوعی باد نامطلوب در این فصل وارد حیاط مرکزی نشود. در الگوی دوم، وسعت نواحی قرمز و صورتی به‌خصوص در قسمت‌های حیاط مرکزی و شمال‌شرق محل است. این امر باعث نزدیک شدن شرایط محیطی به شرایط آسایش می‌شود. در قسمت ورودی بلوک‌ها در سمت جنوب دو ردیف درختان به‌صورت 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 شمال‌شرق سایت)، و ورود سرمای ناشی از آن شده است (در قسمت توضیحات گزینه ها، آرایش پوشش‌های گیاهی آورده شده است).

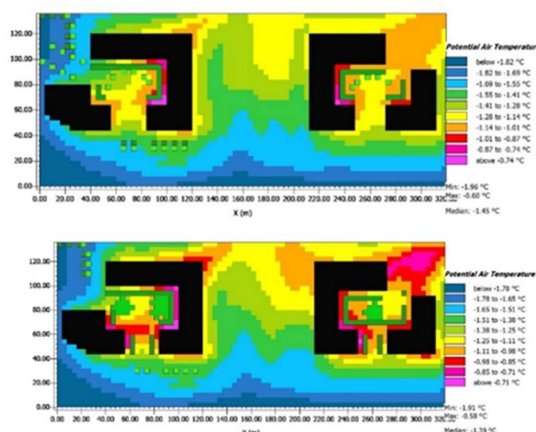


Figure 3. Winter air potential temperature images (Celsius)

شکل ۳- تصاویر دمای پتانسیل هوای زمستان (سانتی‌گراد)

(ب) سرعت باد- تابستان

سرعت باد کم‌تر از ۰/۱ متربرثانیه بویناک، سرعت باد ۰/۲ متربرثانیه نامحسوس، سرعت باد ۰/۵ متر بر ثانیه خوشایند، سرعت باد ۱ متربرثانیه آگاهانه، سرعت باد ۱/۵

به آبی تغییر پیدا کرده است. این بدین معنی است که میانگین رطوبت نسبی در این مناطق کاهش پیدا کرده است.

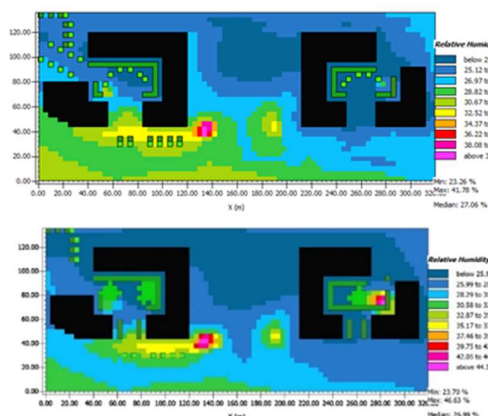


Figure 6. Summer relative humidity images (percentage)

شکل ۶- تصاویر رطوبت نسبی تابستان (درصد)

بیشتر استانداردهای جهانی و پزشکان، رطوبت مناسب را بدون در نظر گرفتن فصل، ۴۰ تا ۶۰ درصد می دانند [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 این‌رو 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.

نواحی و بین ۰/۰۶ متربرثانیه تا نزدیک ۲ متربرثانیه است که این امر به‌دلیل استفاده از پوشش‌های گیاهی نظیر چمن، شمشاد و درختان است. در این گزینه، میانگین سرعت باد ۳ متربرثانیه ثبت شده است که با محدوده آسایش فاصله زیادی دارد. از این‌رو لازم است در مناطق جنوبی 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.

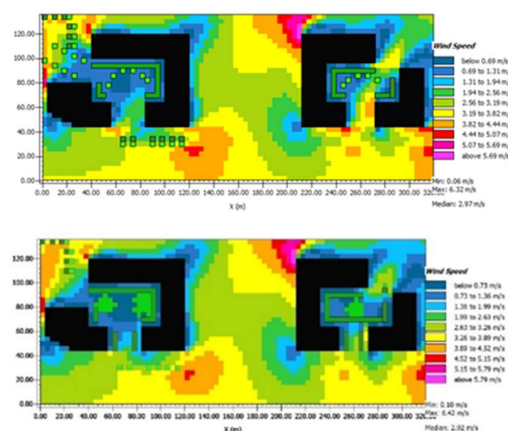


Figure 5. Graphical images of winter wind speed (m/s)

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

خورشیدی کسب‌شده در این مناطق در فصل زمستان بیش تر بوده و از این رو برای انجام فعالیت‌های فضای باز مناسب تر 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 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 4°C - درجه است، افزایش یافته است.

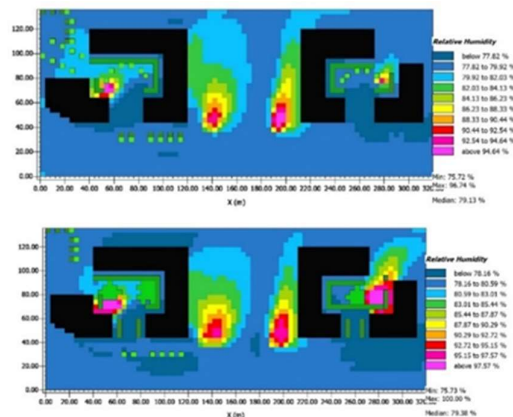


Figure 7. Winter relative humidity images (percentage)

شکل ۷- تصاویر رطوبت نسبی زمستان (درصد)

(ت) متوسط دمای تشعشی

مطابق شکل ۸، در گزینه اول، کم‌ترین دمای متوسط تابشی $18/76^{\circ}\text{C}$ ، بیش‌ترین $37/63^{\circ}\text{C}$ و میانگین آن $22/85^{\circ}\text{C}$ درجه سانتی‌گراد است. در نواحی شمالی و جنوبی دمای بیش‌تری در این گزینه در مقایسه با سایر نواحی ثبت شده است. در نواحی حیاط مرکزی و حد فاصل بلوک‌ها دما بین $18/5^{\circ}\text{C}$ تا 25°C درجه متغیر است و به‌طور تقریبی در داخل منطقه آسایش قرار دارد. در نواحی شمالی و جنوبی دمای متوسط تشعشی به بیش از $33/5^{\circ}\text{C}$ 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 $38/19^{\circ}\text{C}$ درجه سانتی‌گراد و میانگین $22/95^{\circ}\text{C}$ درجه سانتی‌گراد است.

در زمستان براساس شکل ۹ در الگوی اول، دمای متوسط تابشی بین 11°C تا $2/28^{\circ}\text{C}$ - با میانگین $8/80^{\circ}\text{C}$ - 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

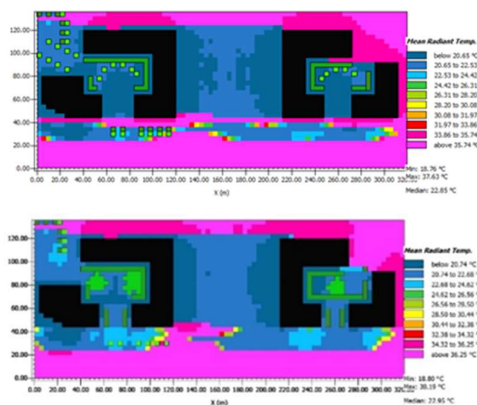


Figure 8. Average summer radiation temperature images (Celsius)

شکل ۸- تصاویر متوسط دمای تشعشی تابستان (سانتی‌گراد)

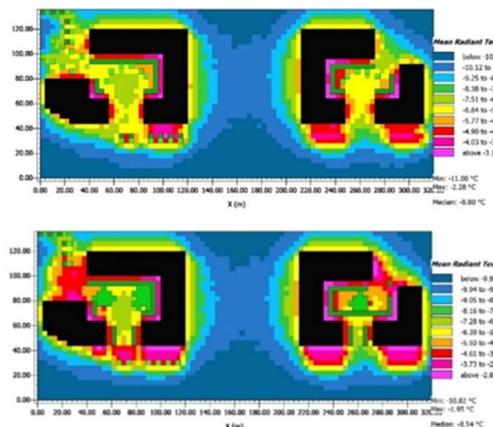


Figure 9. Average winter radiant temperature images (Celsius)

شکل ۹- تصاویر متوسط دمای تشعشی زمستان (سانتی‌گراد)

(ث) دمای سطح زمین

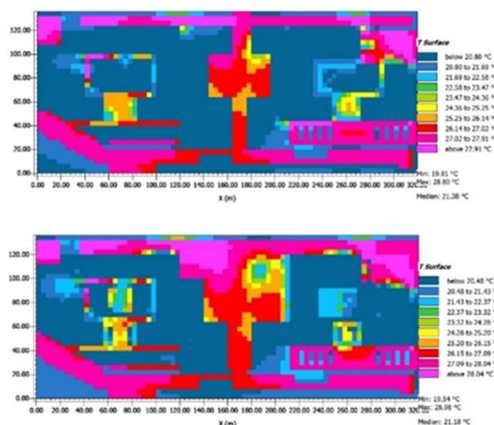


Figure 10. Summer land surface temperature images (Celsius)

شکل ۱۰- تصاویر دمای سطح زمین تابستان (سانتی گراد)

در تحلیل تابستان اشاره شد که خاک ظرفیت حرارتی بالایی دارد و می‌تواند نوسانات حرارتی را در طول سال کنترل کند. به همین 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، به‌دلیل پراکندگی پوشش گیاهی و درختان در بخش‌های مختلف (ردیف درختان در قسمت شمال شرق 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 الگو میانگین دمای سطح زمین حدود ۲/۵ درجه سانتی گراد می‌باشد.

براساس 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 پر رنگ)، به‌دلیل ظرفیت حرارتی بالای خاک، دمای سطح زمین به 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 بازالت 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، به‌دلیل 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.

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، به دلیل 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 حیات مرکزی بلوک‌های مسکونی، فعالیت‌هایی از قبیل نشستن و تعاملات اجتماعی صورت می‌گیرد، می‌توان گفت که طیف PET موجود در حیات 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 استفاده بیش‌تر از عنصر آب، بیش‌تر کردن تعداد درختان همیشه بهار برای افزایش سایه‌اندازی، استفاده از مصالح با شاخص آلبدو 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

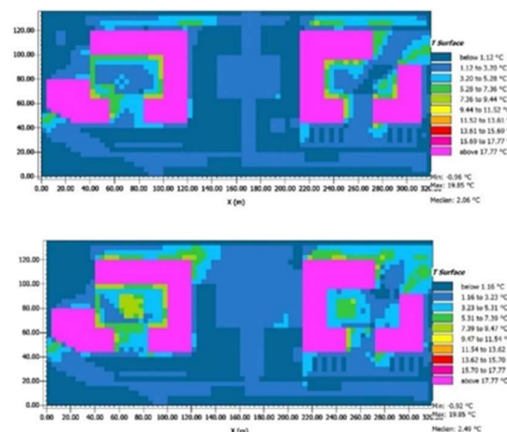


Figure 11. Winter land surface temperature image (Celsius)

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 به‌ترتیب به‌نسبت گرم با دمای ۲۴ تا ۲۶ درجه سانتی‌گراد می‌رسد. به‌طور کلی، طیف توزیع دمای PET به خصوص 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. علاوه‌بر 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 حیات 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 آلبدو کم در آنها نظیر: کف‌پوش بازالت، پوشش بتن سبک و غیره استفاده شده است.

ارتفاع بیش‌تری استفاده شده و سایه‌اندازی آنها باعث کم‌تر شدن دمای PET در مقایسه با الگوی دوم شده است.

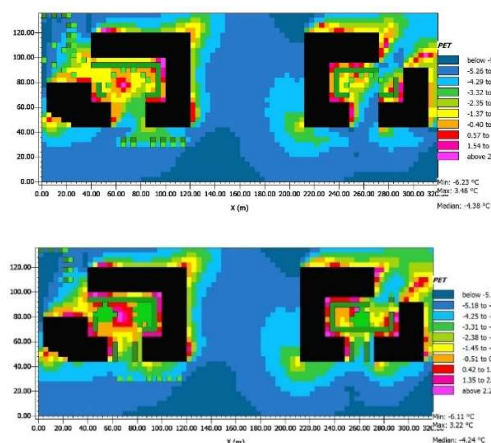


Figure 12. PET images in winter (Celsius)

شکل ۱۳- تصاویر PET در زمستان (سانتی‌گراد)

تا این مرحله، به مقایسه شاخص آسایش حرارتی PET 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 شاخص های آسایش حرارتی و عوامل تأثیرگذار بر آن استخراج می‌شود. این محدوده شبکه‌ها قسمت میانی حیاط مرکزی بلوک سمت چپ است و در شکل ۱۴، با مستطیل سفید رنگ مشخص شده است.

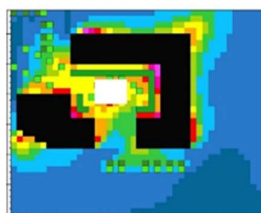


Figure 14. Network area in the middle part of the central courtyard

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

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.

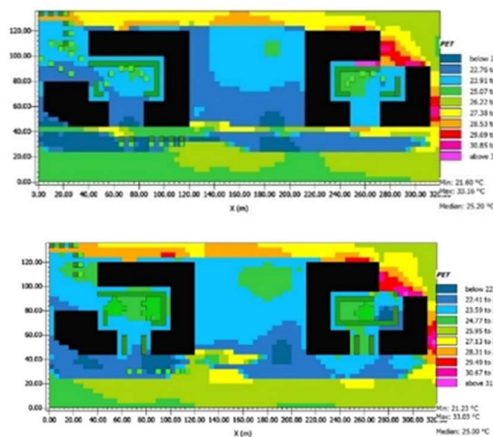


Figure 12. PET images in summer (Celsius)

شکل ۱۲- تصاویر PET در تابستان (سانتی‌گراد)

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 مشاهده شود. ولی در الگوی اول از درختان خزان‌ناپذیر با

طور 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؛ به گونه‌ای که هرچه سرعت باد کم‌تر می‌شود، شاخص آسایشی افزایش می‌یابد. دلیل امر این است که در فصول گرم باید سرعت باد مناسب با شدت 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 به وسیله گیاهان، به مراتب ساده‌تر از ایجاد باد است. هم چنین افزایش فضاها و آب‌نما و حوض نیز به افزایش رطوبت نسبی محیط کمک می‌کند. بنابراین با توجه به تحلیل‌های عددی صورت گرفته در این بخش و تحلیل‌های نموداری و موارد گفته شده در بخش قبل می‌توان گفت گزینه شماره ۱ بهترین گزینه برای تابستان با در نظر گرفتن شاخص PET است.

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.

به طور کلی دامنه قابل قبول تندی هوا در فضاها قابل سکونت ساختمان‌ها از ۰/۱ تا ۰/۳ متربرثانیه است. در ارتباط با شاخص سرعت باد در این گزینه، سرعت باد در ساعات شبیه سازی 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 قیف 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 شبیه سازی شده، کاهش بیابد. در ساعات اولیه صبح، شاخص رطوبت نسبی، روندی کاهشی داشته و به صورت میانگین حدود ۲۶ درصد است که در محدوده آسایش تابستان (۳۰ تا ۶۵ درصد) قرار ندارد. در این گزینه، استفاده از پوشش گیاهی به تنهایی قادر به افزایش رطوبت نسبی نمی‌باشد و با استفاده از افزایش فضاها و آب‌نما که کمک به سرمایش تبخیری می‌کنند، می‌توان رطوبت نسبی فضای باز را افزایش داد.

در گزینه دوم براساس جدول ۲ و شکل ۱۵ (ب)، به

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

Date and name of the pattern	Hour	PET (°C)	Skin surface temperature (°C)	Wind speed (m/s)	Air temperature (°C)	Average radiant temperature (°C)	Relative humidity (°C)
2021 Jul 27 First pattern	04:00	25.0002	34.51	0.30	31.048	19.429	26.818
	05:00	25.09	34.521	0.29	30.477	20.489	26.478
	05:59	28.434	34.896	0.29	30.971	27.132	26.421
2021 Jul 27 Second pattern	04:00	25.292	34.544	0.26	31.055	20.164	26.813
	05:00	25.4	34.55	0.27	30.491	21.074	26.484
	05:59	28.47	34.885	0.29	30.92	28.982	26.461

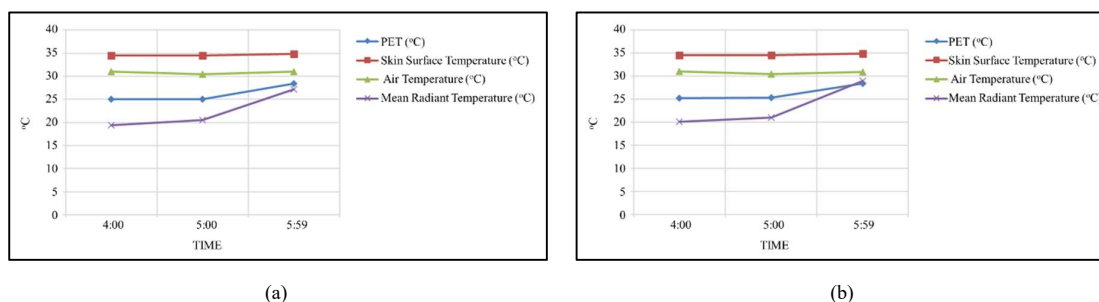


Figure 15. Diagram of factors and climatic index of the first (a) and second (b) patterns at different times of the summer

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

تابستان اشاره شد که استفاده از عناصر آب در تابستان به افزایش رطوبت نسبی کمک می‌کنند، ولی بهتر است در فصل زمستان آب این آب‌نماها تخلیه شود؛ چرا که خود پوشش گیاهی به‌تنهایی می‌تواند در این فصل تأمین‌کننده رطوبت نسبی لازم باشد.

در گزینه دوم نیز روند پارامترها صعودی است. شاخص PET در این گزینه حدود ۱ درجه بیشتر شده است و به ۱/۲ درجه سانتی‌گراد 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 متربرثانیه رسیده است که از لحاظ شرایط آسایش برای اقلیم سبزوار در فصل زمستان مناسب‌تر می‌باشد.

با طراحی راه‌کارهای افزایش دمای هوا می‌توان شاخص PET را برای دستیابی به آسایش بیشتر در زمستان نیز افزایش داد. افزایش کاشت درختان خزان‌پذیر که در این الگو در جهت باد غالب استفاده شده است، می‌تواند نور و گرمای خورشید از لابه‌لای شاخه‌های درختان وارد فضاها کرده و دمای این فضاها را بالا ببرد. استفاده از عنصر آب در این فصل توصیه نمی‌شود، چون محیط‌های آبی سبب کاهش دما در فصل زمستان می‌شوند. کاشت درختان خزان‌ناپذیر در جهت باد سرد غالب شمال و شمال شرق مناسب است تا بتوان از نفوذ باد سرد جلوگیری کرد

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 به حدود 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 باد قابل توجهی ندارد. در تمامی گزینه‌ها و از جمله در این گزینه با کاشت ردیفی گیاهان در جهت باد سرد غالب (شرق و شمال شرق) از وزش باد در مسیرها ممانعت به عمل می‌آید. لازم به ذکر است برای انجام فعالیت نشستن سرعت باد تا ۲/۶ متر بر ثانیه قابل قبول است. برای ایستادن و پیاده‌روی این مقدار به‌ترتیب به ۳/۹ و ۵/۴ متربرثانیه می‌رسد.

دمای هوا در این مدت نیز روندی کاهشی داشته است و از ۰/۴۴- به ۱/۳- رسیده است که فاصله زیادی با منطقه آسایش ۲۵/۷-۲۰ درجه سانتی‌گراد دارد. رطوبت نسبی نیز روندی کاهشی داشته است و به‌صورت میانگین ۸۰ درصد است که فراتر از محدوده آسایش (۳۰ تا ۶۵ درصد) می‌باشد. از دلایل این موضوع می‌توان به استفاده از حوض آب در داخل حیاط مرکزی اشاره نمود که بر فضای اطراف تأثیر گذاشته است. با وجود این که در بخش

و سرعت جریان باد را در این نواحی کاهش داد. بنابراین، با الگوی دوم، الگوی مناسب‌تری برای فصل زمستان است. توجه به مطالب گفته‌شده در این قسمت و قسمت قبل

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 summer

Date and name of the pattern	Hour	PET (°C)	Skin surface temperature (°C)	Wind speed (m/s)	Air temperature (°C)	Average radiant temperature (°C)	Relative humidity (°C)
2021 Mar 8 First pattern	04:00	0.214	13.72	0.75	-0.44	-5.22	2.98
	05:00	-0.47	13.08	0.74	-1.25	-6.92	2.71
	05:59	-0.59	12.97	0.73	-1.37	-7.40	2.65
2021 Mar 8 Second pattern	04:00	1.24	14.65	0.48	-0.30	-5.14	3.01
	05:00	0.58	14.04	0.47	-1.11	-6.74	2.77
	05:59	0.46	13.94	0.46	-1.25	-7.17	2.71

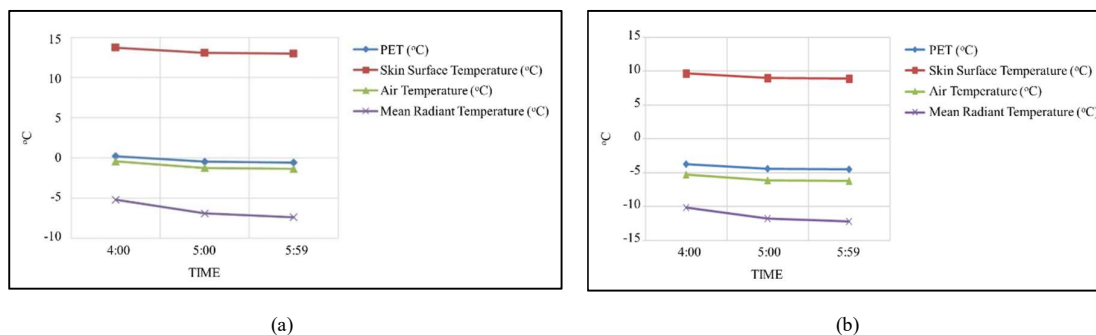


Figure 16. Diagram of factors and climatic index of the first (a) and second (b) patterns at different times of the winter

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

۶- نتیجه‌گیری

این پژوهش شامل بررسی دو الگوی متفاوت کاشت درختان در مسیر پیاده یک واحد همسایگی در ساختمان مسکونی می‌باشد. در مقاله حاضر سعی بر آن بود تا با ارائه و مدل‌سازی یک نمونه عملی از الگوی کاشت درختان در اقلیم سرد و نیمه‌خشک-خشک سبزوار، الگوی مناسب در فصل تابستان و زمستان را ارائه دهد.

براساس نتایج به‌دست‌آمده، به‌کارگیری درختان خزان‌ناپذیر در حیات‌های مرکزی بلوک‌ها تأثیرات مثبتی بر روی شرایط آسایشی و شاخص آسایشی در تابستان داشته است. این درختان علاوه بر تأمین رطوبت مورد نیاز، سبب

سایه‌اندازی شده و شرایط محیطی را به منطقه آسایش نزدیک می‌کنند. از طرفی، به‌دلیل استفاده از سه ردیف درختان در قسمت جنوبی بلوک‌ها (محور پیاده شرقی-غربی)، که یک ردیف بیش‌تر از گزینه دیگر است، عدد شاخص آسایشی در تابستان حدود ۲ درجه سانتی‌گراد کم‌تر (۲۲/۲۶ درجه سانتی‌گراد) گزارش شده است. همچنین در این گزینه در مکان‌های بیش‌تری 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، حیات مرکزی از پوشش چمن و درختان برگ‌ریز با ارتفاع کم استفاده شده که باعث عبور تابش‌های خورشید از بین شاخه‌های درختان و افزایش

دمای متوسط تابشی شده و PET بیش‌تری در زمستان مشاهده شود.

در این گزینه، قسمت شمال‌شرق محل از درختان بادشکن استفاده شده تا مانع ورود باد نامطلوب به فضاهای داخلی و حیاط مرکزی شوند. در تحلیل‌های عددی مشخص شد که این امر تأثیر مثبتی در کاهش سرعت باد در این نواحی در زمستان شده است.

بنابراین به‌طور کلی، افزایش استفاده از عناصر آب به خصوص در فضاهایی که فعالیت‌های جمعی رخ می‌دهد (حیاط مرکزی بلوک‌ها) برای افزایش رطوبت نسبی و کنترل دما و نزدیک‌تر کردن شاخص‌های 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 بیش‌تر، در سطوح کف، سقف و دیوار برای کاهش تنش حرارتی در محیط بیرونی، افزایش تعداد درختان به‌صورت پخشایی در کل محل انتخابی و به‌صورت معین به‌خصوص برای نواحی که زمینه لازم برای فعالیت‌های محیطی را دارند و کاشت درختانی مناسب در جهت باد نامطلوب شمال‌شرق برای جلوگیری از ورود باد به داخل حیاط مرکزی، از جمله راه‌کارهای مناسب در فصل گرم و تابستان می‌باشد.

در فصول سرد سال، می‌توان از مصالحی با خاصیت بازتابندگی بیش‌تر استفاده نمود؛ زیرا این کار باعث می‌شود

تا پرتوهای خورشیدی تابیده‌شده به زمین بازتاب شوند و در ارتفاع انسانی (به‌عنوان مثال، ارتفاع ۱۸۰ سانتی‌متری)، افراد دمای محیطی بالاتری را حس کنند. هم‌چنین با استفاده از مصالح با شاخص آلبیدو کم‌تر در سطوح می‌توان تنش حرارتی در محیط را بالا برده و شرایط آسایشی بهتری را ایجاد نمود (شایان ذکر است که این مورد در فصل تابستان می‌تواند نامناسب باشد. با این حال با توجه به اقلیم سبزوار که سرما غالب است، شاخص آلبیدو کم‌تر قابل توجیه است). یکی دیگر از راه‌کارهای مناسب در این فصل عدم‌استفاده از عنصر آب در نواحی مختلف به‌خصوص حیاط مرکزی بلوک‌ها می‌باشد؛ زیرا محیط‌های آبی سبب کاهش دما در فصل زمستان و افزایش رطوبت نسبی می‌شوند. بنابراین آب آب‌نماها در این فصل باید تخلیه شود. امید است با موارد ذکرشده، امکان ارائه طراحی فضاهای شهری با توجه به اصول اقلیمی در اقلیم‌های مشابه فراهم شود.

از آنجا که نتیجه‌گیری فوق براساس پژوهش بر روی یک مطالعه موردی است، بنابراین، تنها می‌توان نتایج را به مواردی با شرایط آب‌وهوایی مشابه تعمیم داد. از این‌رو پیشنهاد می‌شود، پژوهش حاضر با بررسی سایر موارد از قبیل الگوی کاشت درختان در اقلیم‌های مختلف تکمیل گردد.

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 developed the theory and performed the computations, verified the analytical methods and supervised the findings of this work. Somayyeh Taheri wrote the manuscript and conceived the original idea.

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. doi: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. **doi: 10.22111/gdij.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. **doi: 10.1175/BAMS-D-21-0227.1**.
- [4] Oleson K. W, Monaghan A, Wilhelmi O, Barlage M, Brunsell N, Feddema J, Hu L, Steinhoff DF. Interactions between urbanization, heat stress, and climate change. *Climatic Change*. 2015 Apr; 129: 525-541. **doi: 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. **doi: 10.1127/0941-2948/2012/0342**.
- [6] Yassen AN, Nam W-H, Hong E-M. Impact of climate change on reference evapotranspiration in Egypt. *CA-TENA*. 2020 Nov; 194: 104711. **doi: 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. **doi:10.1016/j.sbspro.2015.12.029**.
- [8] Rezazadeh 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. **doi: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. **doi: 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. **doi: 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. **doi: 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. **Doi: 10.19026/rjees.7.1694**.
- [13] Taleghani M, Sailor DJ, Tenpierik M, van den Dobbelsteen, A. Thermal assessment of heat mitigation strategies: The Case of Portland State University, Oregon, USA. *Building and Environment*. 2014 Mar; 73: 138-150. **Doi: 10.1016/j.buildenv.2013.12.006**.
- [14] Santamouris M. *Energy and climate in the urban built environment*. Routledge. 2001. **Doi: 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. **Doi: 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. **Doi: 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. **Doi: 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. **Doi: 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, Sanaeian 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. **Doi: 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. **Doi: 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. **Doi: 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. **Doi: 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. **Doi: 10.30475/isau.2018.62074** [In Persian].
- [27] Davtala 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. **Doi: 20.1001.1.1683870.1395.26.4.2.1** [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. **Doi: 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. **Doi: 20.1001.1.25385968.1402.18.4.10.3** [In Persian].