



Hakim Sabzevari University

Arid Regions Geographic Studies

Homepage: jargs.hsu.ac.ir

P- ISSN: 2228-7167

E- ISSN: 2981-1910



Adapting the Orientation of Buildings to the Prevailing Wind Quality and Evaluating Its Effect on the Thermal Comfort of Urban Open Spaces in the Arid and Warm Climate of Sabzevar

Somayyeh Taheri¹ | Fatemeh Saffarsabzevar²

1. Department of Architecture, Faculty of Architecture & Urbanism, Hakim Sabzevari University, Sabzevar, Iran. S.taheri@hsu.ac.ir

2. Corresponding Author, Department of Urbanism, Faculty of Architecture & Urbanism, Hakim Sabzevari University, Sabzevar, Iran. F.saffar@hsu.ac.ir

Article Information

Research Paper

Vol: 16
No: 60
P: 133-154
Received: 2024-08-08
Revised: 2024-10-04
Accepted: 2024-11-06
Published: 2025-08-01

Keywords:

- Thermal comfort,
- Orientation,
- Urban open spaces,
- Envi-met software,
- Arid and warm climate,
- Sabzevar

Cite this Article:

Taheri, Somayyeh & Saffar Sabzevar, Fatemeh. (2025). Adapting the Orientation of Buildings to the Prevailing Wind Quality and Evaluating Its Effect on the Thermal Comfort of Urban Open Spaces in the Arid and Warm Climate of Sabzevar. *Journal of Arid Regions Geographic Studies* 16(60): 133-154. doi:10.22034/jargs.2024.472382.1130

Publisher: Hakim Sabzevari University

© The Author(s)



[10.22034/jargs.2024.472382.1130](https://doi.org/10.22034/jargs.2024.472382.1130)

Abstract

Aim: This research aims to investigate the effect of different building orientations based on prevailing wind on the thermal comfort of open spaces in a part of Sabzevar city. Additionally, the research hypothesis is that placing the site elements perpendicular to the prevailing wind of Sabzevar prevents the entry of dust, reduces the speed of airflow in the open spaces between buildings, and optimises the thermal comfort conditions for users.

Materials and Methods: First, a part of Sabzevar city was redesigned. Then, according to the direction of prevailing, favorable, and unfavorable winds, Envi-met software simulated different orientations of this part on the hottest and coldest days. Finally, its thermal comfort conditions were compared and analyzed.

Finding: The findings of the current research show that in summer, most of the thermal comfort parameters are better than in other orientations, with the rotation of the site elements by 20 degrees to the east. However, to adjust to the cold conditions in winter, it is better to use suitable solutions.

Conclusion: Based on the obtained results, the research hypothesis is rejected. Because the orientation of the site elements is perpendicular to the prevailing wind prevents the ventilation of the open spaces between the buildings, the thermal comfort indicators do not have the most optimal conditions. By rotating the elements of the site by 20 degrees to the east, in addition to catalyzing the air and reducing its speed, the ventilation conditions for the open spaces between the buildings are created, and the desired indicators are closer to the comfort range.

Innovation: Few studies have been conducted on the effect of the orientation of buildings on the thermal comfort of urban open spaces in arid and warm regions.

Extended Abstract

1. Introduction

Although the existing literature provides valuable insights into the relationship between thermal comfort in urban open spaces and the physical characteristics of surrounding buildings, fewer studies have examined the impact of building orientation on the thermal comfort of urban open spaces in Arid regions. Sabzevar is located in the northeastern part of Iran, in Khorasan Razavi Province, with a hot and dry climate. The prevailing wind in Sabzevar blows from the east, and it is accompanied by dust and dirt. To reduce the airflow speed and tolerate dust transport, it needs to be catalyzed. Therefore, not paying attention to the appropriate orientation of buildings based on the prevailing wind in Sabzevar can severely affect the quality of urban spaces and reduce their attendance. This study aims to investigate the effect of different orientations of buildings based on the prevailing wind on the thermal comfort of open spaces in a part of Sabzevar city. Based on the above, it is hypothesized that placing site elements perpendicular to the prevailing wind in Sabzevar prevents dust from entering and reduces airflow speed in open spaces between buildings, optimizing thermal comfort conditions for users.

2. Materials and methods

To achieve the research goal, first, a part of Sabzevar city is redesigned, and then, considering the prevailing, favorable, and unfavorable wind directions in this city, different orientations of a part of it on the hottest and coldest days of the year in summer and winter are simulated by Envi-met software and its thermal comfort conditions are analyzed. To investigate the optimal design of the study area, three different alternatives are considered in terms of prevailing, favorable, and unfavorable wind directions. Alternative A - rotating the site elements by 20 degrees to the east, alternative B - placing the site elements in the north-south direction without rotation, and alternative C - rotating the site elements by 20 degrees to the west. In Envi-met software, environmental parameters, including air temperature (°C), relative humidity (%), wind speed (m/s), and wind direction (°) have been considered as input parameters, and PET and UTCI have been considered as output parameters.

3. Results and Discussion

In this study, we compared the daily averages of thermal comfort parameters across three proposed alternatives with varying orientations. The studies show that the results of the factors are at the same level with slight differences. In the summer solstice and the courtyard of the central neighborhood unit, in alternative A, the wind speed is higher, and the air temperature is lower than the other two options. The radiant temperature is higher in Alternative B and lower in Alternative A, and the surface temperature is lower in Alternative A. Also, in the summer solstice and on the east-west street, in Alternative C, the wind speed is lower, and the air temperature is lower in Alternative A than in the other two alternatives. In Alternative B, the relative humidity is higher. The radiant temperature is higher in Alternative A and lower in Alternative C. The surface temperature is equal in all three alternatives due to the presence of linear green space in the middle of the street, but it is somewhat lower in Alternative A. The comparison of the findings shows that Alternative A (rotating the site elements by 20 degrees to the east) has more optimal conditions than the other alternatives.

On the other hand, at the winter solstice and in the courtyard of the central neighborhood unit, the wind speed is higher in Alternative A, and the air temperature is lower than in the other two alternatives. In Alternative A, the relative humidity is higher. The radiant temperature is higher in Alternative C and lower in Alternative A. The surface temperature is lower in Alternative A. The findings show that Alternative C (rotating the site elements by 20 degrees to the west) has the most optimal conditions for the courtyard of the central neighborhood unit. Also, at the winter solstice and on the east-west street, the wind speed is lower in Alternative C, and the air temperature in Alternative B is higher than in the other two cases. The relative humidity is higher in Alternative A. The radiant temperature is higher in Alternative B and lower in Alternative A. The surface temperature is equal in all three alternatives due to the presence of linear green space in the middle of the street but is nevertheless lower in Alternative A. The findings show that Alternative B (placing the site elements in a north-south direction without rotation) has the most optimal

conditions for this street. Comparing the alternatives in terms of UTCI and PET indices shows that Alternative A is closer to the desired index.

4. Conclusion

In the present study, the hypothesis was put forward that the placement of site elements perpendicular to the prevailing wind in Sabzevar prevents dust from entering, reduces the speed of airflow in open spaces between buildings, and optimizes thermal comfort conditions for users. Based on the results obtained, the research hypothesis is rejected. Because the orientation of site elements perpendicular to the prevailing wind prevents ventilation of open spaces between buildings, thermal comfort indices do not have optimal conditions. The results of the study show that in summer, most of the thermal comfort parameters in Alternative A, i.e., by rotating the site elements 20 degrees to the east, are better than other options. However, to adjust to the cold air conditions in winter, it is better to use solutions such as planting deciduous trees to benefit from solar radiation and sunlight penetration. By rotating the site elements 20 degrees to the east, in addition to catalyzing the air and reducing its speed, ventilation conditions are created for the open spaces between the buildings, and the desired indicators are brought closer to the comfort range.

5. Acknowledgement & Funding

The manuscript did not receive a grant from any organization

6. Conflict of Interest

The authors declare no conflict of interest.



مطالعات خرفایابی مناطق خشک

انطباق جهت گیری ساختمان ها با کیفیت باد غالب و ارزیابی تأثیر آن بر آسایش حرارتی فضاهای باز شهری در اقلیم گرم و خشک سبزوار

سمیه طاهری^۱، فاطمه صفار سبزواری^۲ 

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

۲- نویسنده مسئول، گروه شهرسازی، دانشکده معماری و شهرسازی، دانشگاه حکیم سبزواری، سبزوار، ایران. F.saffar@hsu.ac.ir

چکیده

هدف: هدف پژوهش حاضر، بررسی تأثیر جهت گیری های مختلف ساختمان ها بر اساس باد غالب بر آسایش حرارتی فضاهای باز در بخشی از شهر سبزوار است. این فرضیه نیز مطرح می گردد که قرارگیری عناصر سایت به صورت عمود بر باد غالب سبزوار، سبب جلوگیری از ورود گرد و غبار و کاهش سرعت جریان هوا در فضاهای باز بین بناها شده و شرایط آسایش حرارتی را برای کاربران بهینه می سازد.

روش و داده: برای دستیابی به هدف، ابتدا یک قسمت از بافت شهر سبزوار، بازطراحی شده و سپس با توجه به جهت وزش بادهای غالب، مطلوب و نامطلوب، جهت گیری های مختلف بخشی از آن در گرم ترین و سردترین روزهای سال در تابستان و زمستان، به وسیله نرم افزار انوی مت شبیه سازی شده و شرایط آسایش حرارتی آن مقایسه و تحلیل می گردد.

یافته ها: یافته های پژوهش حاضر نشان می دهد، در تابستان، بیشتر پارامترهای آسایش حرارتی با چرخش عناصر سایت به اندازه ۲۰ درجه به سمت شرق، وضعیت بهتری نسبت به سایر جهت گیری ها دارند؛ اما برای تعدیل شرایط سرمای هوا در زمستان، بهتر است از راهکارهای مناسبی استفاده گردد.

نتیجه گیری: بر اساس نتایج به دست آمده، به دلیل آن که جهت گیری عناصر سایت به صورت عمود بر باد غالب مانع از تهویه فضاهای باز بین ساختمان ها می گردد، شاخص های آسایش حرارتی، بهینه ترین شرایط را ندارند و بنابراین، فرضیه پژوهش رد می شود. در حقیقت، با چرخش عناصر سایت به صورت ۲۰ درجه به سمت شرق، علاوه بر کاتالیزه شدن هوا و کاهش سرعت آن، شرایط تهویه برای فضاهای باز بین بناها ایجاد شده و شاخص های مورد نظر به محدوده آسایش نزدیک تر می گردد.

نوآوری، کاربرد نتایج: نتایج این مطالعه می تواند به طراحان شهری کمک کند تا از مراحل اولیه طراحی جهت گیری مناسب (چرخش به اندازه ۲۰ درجه به سمت شرق) در اقلیم های مشابه سبزوار را مدنظر قرار داده و فضاهای شهری مطلوبی را از منظر آسایش اقلیمی برای شهروندان فراهم نمایند.

اطلاعات مقاله

مقاله پژوهشی

شماره:

۱۶

دوره:

۶۰

صفحه:

۱۵۴-۱۳۳

تاریخ دریافت:

۱۴۰۳/۰۵/۱۸

تاریخ ویرایش:

۱۴۰۳/۰۷/۱۳

تاریخ پذیرش:

۱۴۰۳/۰۸/۱۶

تاریخ انتشار:

۱۴۰۴/۰۵/۱۰

کلیدواژه ها:

- آسایش حرارتی
- جهت گیری
- فضاهای باز شهری
- نرم افزار انوی مت
- اقلیم گرم و خشک
- سبزوار

نحوه ارجاع به این مقاله:

طاهری، سمیه و صفار سبزواری، فاطمه. (۱۴۰۴). انطباق جهت گیری ساختمان ها با کیفیت باد غالب و ارزیابی تأثیر آن بر آسایش حرارتی فضاهای باز شهری در اقلیم گرم و خشک سبزوار. *مطالعات جغرافیایی مناطق خشک*، ۱۶ (۶۰): ۱۵۴-۱۳۳.

doi: 10.22034/jargs.2024.472382.1130

ناشر: دانشگاه حکیم سبزواری



© نویسنده (گان).



10.22034/jargs.2024.472382.1130

۱- مقدمه

شهرها به‌عنوان مراکز مهم فعالیت‌های اجتماعی و اقتصادی انسانی، تا سال ۲۰۵۰، تقریباً ۷۰ درصد از جمعیت جهان را در خود جای خواهند داد (Zhang et al., 2022). در شرایط شهرنشینی سریع، حیات بخشیدن به فضاهای باز شهری بسیار مهم است؛ زیرا این فضاها، مکان‌های ضروری برای زندگی روزمره شهروندان را فراهم می‌کنند. تشویق شهروندان به شرکت در فعالیت‌های خارج از منزل، استفاده از تهویه مطبوع و سایر تجهیزات الکترونیکی را کاهش می‌دهد (Lai et al., 2014)، درآمد حاصل از فعالیت‌های تجاری و تفریحی در فضای باز را افزایش می‌دهد (Highfill & Franks, 2019) و سلامت جسمی و روانی شهروندان را ارتقا می‌بخشد (Spagnolo & Dear, 2003). بنابراین، طراحی فضاهای شهری با کیفیت بالا برای جذب مردم به فضاهای شهری ضروری است.

آسایش حرارتی برای طراحی فضای شهری با کیفیت بالا یک امر اساسی محسوب می‌گردد. آسایش حرارتی، احساس آسایشی است که افراد با ادغام محیط درک شده و تعادل حرارتی خود احساس می‌کنند. این پدیده نشان‌دهنده سطح رضایتی است که فرد از محیط گرمایی که در آن زندگی می‌کند، درک کرده و یکی از مهم‌ترین شرایطی است که برای بهبود رضایت و آسایش افراد در نظر گرفته می‌شود (Yuan et al., 2022). عوامل زیادی می‌توانند به صورت مستقیم یا غیرمستقیم بر آسایش حرارتی در فضای باز تأثیر بگذارند. عواملی که تأثیر مستقیم بر آسایش حرارتی در فضای باز دارند، شامل: جنبه‌های فیزیکی، فیزیولوژیکی و روانی هستند. چهار پارامتری که عامل فیزیکی آسایش حرارتی در فضای باز را تشکیل می‌دهند شامل دمای هوا، رطوبت، سرعت باد و میانگین دمای تابشی هستند (Lai et al., 2020). این ریزاقليم‌های محلی ارتباط نزدیکی با آسایش حرارتی در فضاهای باز دارند (Benita & Tuncer, 2019; Fabbri et al., 2020; J. Zhang et al., 2022). سرعت باد و جریان هوا یکی از مؤلفه‌های بسیار مهم در تأمین آسایش افراد در فضاهای باز شهری محسوب می‌گردد. عدم جریان مناسب در محیط‌های شهری و فضای باز می‌تواند به اختلال عملکرد و کاهش حضورپذیری این فضاها منجر شود (Saadatjoo & Saligheh, 2021). همچنین، افزایش سرعت جریان باد موجب می‌شود که تهویه هوا در فضای داخلی و خارجی مناطق شهری و نیز خروج آلاینده‌ها از آن‌ها بهتر و سریع‌تر صورت پذیرد (Eyni & Taban, 2019).

محیط‌های ساخته شده و هندسه شهری می‌توانند به طور قابل توجهی بر ریزاقليم‌ها از جمله سرعت و جریان باد و در نتیجه بر آسایش حرارتی فضاها تأثیر بگذارند و محیط‌های حرارتی محلی را تغییر دهند (Deng et al., 2023). در جامعه دانشگاهی، تحقیقات در مورد ریزاقليم شهری و اشکال فضایی در جهان غرب به تدریج از دهه ۱۹۸۰ آغاز شد و اهمیت بهبود اشکال فضایی شهری بر اقليم‌های خرد شهری به طور فزاینده‌ای شناخته شد. در حال حاضر، بهینه‌سازی فرم‌های فضایی شهری در برنامه‌ریزی شهری و طراحی معماری به موضوع داغ پژوهشی تبدیل شده است (Badas et al., 2017; Kuo et al., 2020; Cui et al., 2020; Wang et al., 2022). برنامه‌ریزی علمی فرم فضاهای معماری در شهرها در ایجاد محیط باد مطلوب بسیار مهم است. اهمیت محیط بادی شهری در سطح جهانی پذیرفته شده است و اکنون گامی مهم در فرآیند برنامه‌ریزی و طراحی تلقی می‌گردد (Zhang et al., 2023). انطباق فرم شهری با کیفیت باد، اثرات منفی نفوذ باد به بافت شهری را از بین می‌برد و در عین حال منجر به بهبود آسایش و کیفیت زندگی در محیط شهری می‌شود (Bas & Egercioglu, 2016). در حقیقت، می‌توان گفت که یک طرح شهری می‌تواند به طور مؤثری باد را در سطوح مختلف، به ویژه در سطح پیاده، کنترل نماید (Jamei et al., 2016; Bouketta & Bouchahm, 2020). این موضوع بسیار حیاتی و ضروری است، چرا که تأثیر به‌سزایی بر آسایش حرارتی در مناطق با آب و هوای خاص و جزایر گرمایی دارد.

اندازه‌گیری‌های میدانی که به صورت پیوسته توسط یو و همکاران در پردیس کنت ریح دانشگاه ملی سنگاپور انجام شده، نشان می‌دهد که یک الگوی روزانه متمایز از تأثیر مورفولوژیکی شهری بر دمای هوا وجود دارد. پیکربندی شهری در بحران انرژی کنونی بسیار مهم است؛ زیرا از نظر حرارتی، ریزاقليم‌های محلی مطلوب‌تری ایجاد می‌کند (Yu et al., 2020). هادوی و پاسدارشهری با بررسی تأثیر همزمان مورفولوژی و تراکم شهری بر ریزاقليم نزدیک ساختمان و اثربخشی سیستم‌های خنک‌کننده نصب‌شده در فضاهای باز به شکاف تحقیقاتی قابل توجهی در این زمینه پرداخته‌اند (Hadavi & Pasdarshahri, 2021). فونتتل و همکاران مزایای آسایش آب و هوایی ناشی از تهویه طبیعی را در طول مقاوم‌سازی یک ساختمان اداری در مرکز شهر ریودوژانیرو تجزیه و تحلیل کرده و پتانسیل خنک‌کننده استراتژی‌های مبتنی بر بیومیمیک را برای اقليم خرد در منطقه تاریخی پاناما ارزیابی کردند

(Fontenelle et al., 2021). هی و همکاران ادعا می‌کنند که ویژگی‌های مورفولوژیکی منطقه تأثیر اصلاحی قابل توجهی بر تهویه منطقه دارد (He et al., 2020). بر اساس پژوهشی دیگر، رفتار باد در محیط‌های شهری، تا حد زیادی تحت تأثیر هندسه، جهت‌گیری و نسبت ارتفاع به عرض ساختمان‌هاست که به نوبه خود بر وجود یا عدم آسایش حرارتی تأثیر می‌گذارد (Zahedifar & Darabi, 2024). نتایج حاصل از شبیه‌سازی الگوی‌های مختلف چیدمان در یک مجتمع مسکونی واقع در شهر تهران نشان می‌دهد، ایجاد تغییرات در الگوی چیدمان بلوک‌ها می‌تواند سرعت و الگوی جریان باد در فضای باز مجتمع‌های مسکونی را تحت‌الشعاع قرار دهد (Saadatjoo & Saligheh, 2021). همچنین، یافته‌های پژوهشی دیگر در شهر دزفول نشان می‌دهد که هرچه ساختار کالبدی محیط منظم‌تر باشد، تلاطم و آشفتگی جریان باد کمتر خواهد بود (Eyni & Taban, 2019). مطابق با نتایج مطالعه‌ای که در شهر تهران انجام شده است، افزایش ارتفاع بلوک‌ها باعث افزایش سرعت باد و تشکیل تونل در دالان‌ها در صفر و ۴۵ درجه می‌شود و بلوک‌های ساختمانی موازی با جهت باد دارای میانگین سرعت باد ۲۰ تا ۳۰ درصد بیشتر هستند (Ghobadi et al., 2022). کریمی مشاور و صمدپور شهرک در پژوهشی که در شهر تبریز انجام دادند، قابلیت‌های اقلیمی و طبیعی برای بهینه‌سازی فضاهای باز را بررسی کردند. نتایج این پژوهش نشان می‌دهد که با در نظر گرفتن تابستان و زمستان، مناسب‌ترین نسبت ارتفاع به عرض ساختمان‌ها، نسبت ۱/۵ و بهترین زاویه جهت‌گیری ساختمان‌ها نسبت به خیابان، ۱۳۵ درجه از شمال است (Karimi moshaver & Samadpour Shahrak, 2022).

به طور کلی، مروری بر مطالعات، نشان می‌دهد که عواملی مانند ارتفاع ساختمان، تراکم، فاصله، شکل، جهت و طراحی نما بر میزان آسایش حرارتی در فضاهای باز شهری تأثیر می‌گذارد. علی‌رغم این موضوع که ادبیات موجود بینش‌های مفیدی را در مورد رابطه بین آسایش حرارتی در فضاهای باز شهری و ویژگی‌های کالبدی ساختمان‌های اطراف آن ارائه می‌دهد، اما، پژوهش‌های کمتری در مورد تأثیر جهت‌گیری ساختمان‌ها بر آسایش حرارتی فضاهای باز شهری در مناطق گرم و خشک پرداخته‌اند. این خلأ مطالعاتی در پژوهش‌های داخلی با شدت بیشتری احساس می‌گردد. این در صورتی است که، پژوهش‌های حوزه‌ی 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 است.

شهر سبزوار با اقلیم گرم و خشک در شمال شرقی ایران و در استان خراسان رضوی قرار دارد. باد غالب سبزوار از جهت شرق می‌وزد و علاوه بر سرعت زیاد جریان هوا که خارج از آستانه خوشایندی است، بر اساس نمودارهای گل غبار شهری همراه با گرد و خاک است و جهت کاهش سرعت جریان هوا و تحمل حمل غبار، نیاز به کاتالیزه شدن دارد (Omidvar & Nekoonam, 2011). بنابراین، عدم توجه به جهت‌گیری مناسب بناها بر اساس باد غالب در سبزوار می‌تواند کیفیت فضاهای شهری را به شدت تحت تأثیر قرار داده و از میزان حضورپذیری آن‌ها بکاهد. برخی از مطالعات به بررسی تأثیر جهت‌گیری بر آسایش اقلیمی داخل ساختمان در شهر سبزوار پرداخته‌اند (Hosseinabadi et al., 2012؛ Salanimoghaddam et al., 2015). اما، تأثیر جهت‌گیری بناها در آسایش اقلیمی فضاهای باز نادیده گرفته شده است. پژوهش حاضر تلاش می‌کند تا این خلأ مطالعاتی را پر نماید. هدف این پژوهش، بررسی تأثیر جهت‌گیری‌های مختلف بناها بر اساس باد غالب، بر آسایش حرارتی فضاهای باز در بخشی از شهر سبزوار است. بر اساس مطالب فوق، این فرضیه مطرح می‌گردد که قرارگیری عناصر سایت به صورت عمود بر باد غالب سبزوار، سبب جلوگیری از ورود گرد و غبار و کاهش سرعت جریان هوا در فضاهای باز بین بناها شده و شرایط آسایش حرارتی را برای کاربران بهینه می‌سازد. بدین منظور دستیابی به هدف پژوهش، ابتدا یک قسمت از بافت شهر سبزوار، بازطراحی شده و سپس با توجه به جهت وزش بادهای غالب، مطلوب و نامطلوب در این شهر، جهت‌گیری‌های مختلف بخشی از آن در گرم‌ترین و سردترین روزهای سال در تابستان و زمستان، به وسیله نرم‌افزار انوی‌مت^۱ شبیه‌سازی و شرایط آسایش حرارتی آن تحلیل می‌گردد.

در مطالعات گوناگون برای ارزیابی و سنجش آسایش حرارتی محیطی از شاخص‌ها و مدل‌های دمایی معادل مختلفی استفاده می‌شود. دمای معادل فیزیولوژیکی (PET^۲)، میانگین رأی پیش بینی شده (PMV^۳)، شاخص جهانی آب و هوای گرمایی (UTCI^۴) و دمای مؤثر استاندارد (SET^۵) چهار مدل پرکاربرد در این زمینه هستند و در ۵۳.۳ درصد از مطالعات به کار گرفته شدند. دمای معادل فیزیولوژیکی (PET) رایج‌ترین مدل دمای معادلی است که در تحقیقات مختلف به کار گرفته می‌شود. به طوری که بررسی‌ها

1. ENVI-met
2. Physiologically Equivalent Temperature
3. Predicted Mean Vote

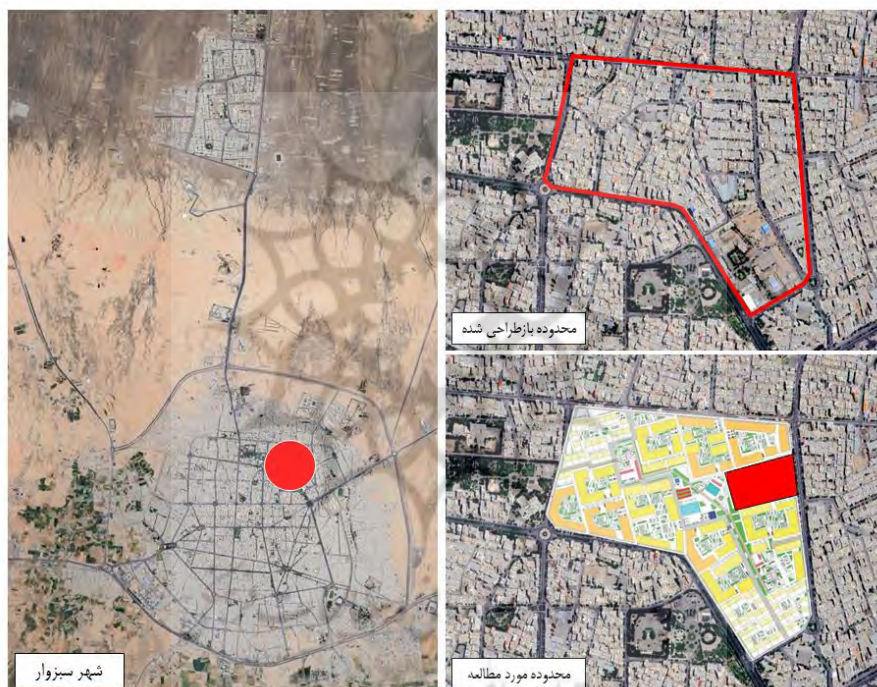
4. Universal Thermal Climate Index
5. Standard Effective Temperature

نشان می‌دهد، ۳۰/۲ درصد از مطالعات این حوزه تا سال ۲۰۱۸ از این مدل دمای معادل استفاده کرده‌اند (Potchter et al., 2018). در پژوهش پیش‌رو از دو مدل دمای معادل فیزیولوژیکی و شاخص جهانی آب و هوای گرمایی استفاده می‌گردد.

۲- مواد و روش

۲-۱- محدوده مورد مطالعه

محدوده مورد مطالعه در پژوهش حاضر، در قسمتی از بافت شهر سبزوار قرار دارد. شهرستان سبزوار در شمال شرقی ایران با عرض جغرافیایی ۳۶/۲۱ درجه و طول جغرافیایی ۵۷/۶۸ درجه واقع شده است. این شهرستان تابستان‌های گرم و خشک و زمستان‌های سرد و خشکی دارد. میانگین دمای سالانه آن ۱۸/۲ درجه سانتی‌گراد است. بیشترین میانگین دمای آن در تیر ماه و کم‌ترین میانگین دما در دی ماه به ترتیب 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 (Ashrae, 2020). شکل ۱ موقعیت محدوده مورد مطالعه را نشان می‌دهد. منطقه مورد مطالعه بایستی مبتنی بر اهداف تحقیق و با استفاده از داده‌های آماری و اسنادی و نقشه‌ها و ... در قالب ویژگی‌های سیاسی، جغرافیایی، جمعیتی و ... در راستای هدف پژوهش معرفی گردد.



شکل ۱. موقعیت محدوده مورد مطالعه (منبع: نویسندگان با اقتباس از گوگل ارث)

۲-۲- روش پژوهش

همانگونه که پیش‌تر گفته شد، هدف پژوهش حاضر، بررسی تأثیر جهت‌گیری‌های مختلف ساختمان‌ها بر آسایش حرارتی فضاهای باز شهری اطراف آن‌ها در بخشی از شهر سبزوار است. بدین منظور، ابتدا یک قسمت از بافت شهر سبزوار، بازطراحی شده و سپس با توجه به جهت وزش بادهای غالب، مطلوب و نامطلوب در این شهر، جهت‌گیری‌های مختلف بخشی از آن در گرم‌ترین و سردترین روزهای سال در تابستان و زمستان (انقلاب تابستانی و انقلاب زمستانی)، به وسیله نرم‌افزار انوی‌مت شبیه‌سازی و شرایط آسایش حرارتی آن مقایسه، ارزیابی و تحلیل می‌گردد. انوی‌مت یک نرم‌افزار کاربرپسند است که با تولید نتایج قابل اعتماد، برای تجزیه و تحلیل آسایش حرارتی در فضاهای باز بسیار مناسب است. از این رو، بسیاری از محققان از آن برای شبیه‌سازی مسائل مختلف به ویژه آسایش حرارتی در فضای باز استفاده می‌کنند (Teshnehdel et al., 2020). پژوهش‌های بنرچی و همکاران، کرانک و همکاران، الراوف و همکاران، بیلماز و همکاران، لیو و همکاران از جمله پژوهش‌های معتبری است که با استفاده از نرم‌افزار انوی‌مت انجام شده‌اند (Banerjee et al., 2024; Crank et al., 2023; Elraouf et al., 2022; Yilmaz et al., 2021; Liu et al., 2021).

بنابراین می‌توان به صحت نتایج حاصل از شبیه‌سازی در این نرم‌افزار اطمینان حاصل کرده و اعتبار نتایج حاصل از آن را تصدیق نمود.

در این پژوهش از دو مدل دمای معادل فیزیولوژیکی (PET) و شاخص جهانی آب و هوای گرمایی (UTCI) جهت ارزیابی و تحلیل آسایش حرارتی فضای باز در محدوده مورد مطالعه بهره گرفته شده است. مدل‌های آسایش حرارتی در فضای باز برای طراحی و استفاده شهری بسیار مهم هستند. این مدل‌ها به توسعه محیط‌های شهری قابل زندگی کمک می‌کنند. دمای معادل فیزیولوژیکی (PET) یک شاخص آب و هوای حرارتی است که بر اساس سیستم تنظیم حرارت انسان است و دمای مرکزی، دمای پوست و مرطوب بودن پوست را تخمین می‌زند (Walther & Goestchel, 2018). جدول ۱ مقادیر شاخص PET در درجات مختلف حساسیت انسان را نشان می‌دهد.

جدول ۱. مقادیر شاخص PET در درجات مختلف حساسیت انسان

PET (C°)	حساسیت حرارتی	درجه تنش فیزیولوژیکی
	خیلی سرد	تنش سرمایی بسیار شدید
۴	سرد	تنش سرمایی شدید
۸	خنک	تنش سرمایی متوسط
۱۳	کمی خنک	تنش سرمایی اندک
۱۸	راحت	بدون تنش سرما
۲۳	کمی گرم	تنش گرمایی اندک
۲۹	گرم	تنش گرمایی متوسط
۳۵	خیلی گرم	تنش گرمایی شدید
۴۱	داغ	تنش گرمایی بسیار شدید

(Matzarakis et al., 1999)

از سوی دیگر، شاخص جهانی آب و هوای گرمایی (UTCI) معیاری از آسایش حرارتی است که چندین عامل محیطی و شخصی از جمله دمای هوا، رطوبت، سرعت باد، تشعشع و عایق لباس را در نظر می‌گیرد (Park et al., 2014). مقدار UTCI از ۵۰- تا ۵۰+ متغیر است، مقادیر منفی نشان‌دهنده سرد بودن محیط، مقادیر مثبت نشان‌دهنده گرم بودن محیط و مقادیر نزدیک به صفر نشان می‌دهد که محیط از نظر حرارتی راحت است (Nie et al., 2022). احساس حرارتی با توجه به شاخص UTCI در جدول ۲ نشان داده شده است.

به منظور رسیدن به هدف پژوهش در نرم‌افزار انوی‌مت، پارامترهای محیطی از جمله دمای خشک (C°)، رطوبت نسبی (%)، سرعت باد (m/s) و جهت باد (°) به عنوان پارامترهای ورودی و PET و UTCI به عنوان پارامترهای خروجی در نظر گرفته شدند. جدول ۳ محدوده مقادیر پارامترهای ورودی مورد استفاده برای ایجاد مدل‌ها توسط انوی‌مت را در گرم‌ترین و سردترین روز (انقلاب تابستانی و زمستانی) سبزار ارائه می‌کند.

جدول ۲. احساس حرارتی با توجه به شاخص UTCI

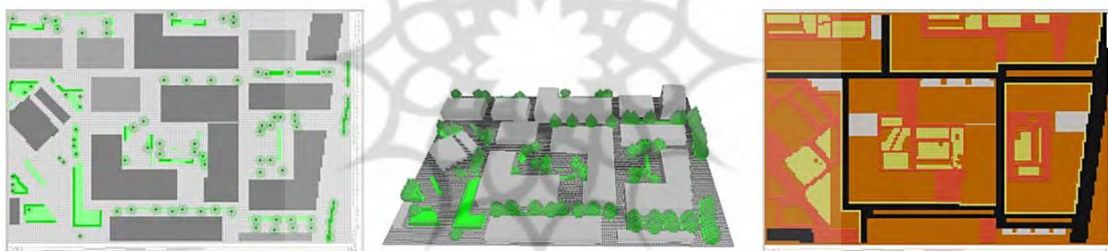
UTCI (C°)	احساس حرارتی
گرم بسیار شدید	۴۶ <
گرم بسیار قوی	۴۶ - ۳۸
گرم قوی	۳۸ - ۳۲
گرم متوسط	۳۲ - ۲۶
بدون استرس حرارتی	۲۶ - ۹
سرد جزئی	۹ - ۰
سرد متوسط	۰ - -۱۳
سرد قوی	-۱۳ - -۲۷
سرد خیلی قوی	-۲۷ - -۴۰
سرد بسیار شدید	-۴۰ >

(Brode et al., 2012)

جدول ۳. محدوده مقادیر پارامترهای ورودی پژوهش حاضر در نرم‌افزار انوی‌مت

انقلاب تابستانی	انقلاب زمستانی	
۲۰۲۱ / ۷ / ۲۷	۲۰۲۱ / ۳ / ۸	روز شبیه‌سازی
حداکثر: ۴۲/۳ (ساعت ۱۷) حداقل: ۳۰/۲ (ساعت ۵)	حداکثر: ۲/۱ (ساعت ۱۷) حداقل: ۳/۶- (ساعت ۵)	دمای خشک (°C)
حداکثر: ۲۵ درصد (ساعت ۲۴) حداقل: ۹ درصد (ساعت ۱۷)	حداکثر: ۸۳ درصد (ساعت ۵) حداقل: ۶۵ درصد (ساعت ۱۷)	رطوبت نسبی (%)
۸	۷	سرعت باد (m/s)
۸۵ درجه (از سمت شرق)	۲۱۰/۴ درجه (از سمت جنوب غرب)	جهت باد (°)

جهت شبیه‌سازی محدوده مورد مطالعه در نرم‌افزار انوی‌مت، تعداد طبقات ساختمان‌ها بین ۴ تا ۸ طبقه متغیر در نظر گرفته شده است. بلوک‌های کوچک‌تر به صورت پیلوت‌دار و بلوک‌های بزرگ‌تر با تعداد طبقات بیشتر فاقد پیلوت و دارای رمپ زیرزمین است. در طراحی اقلیمی این محدوده برای جلوگیری از ورود باد نامطلوب شرق به داخل سایت، در خیابان‌هایی با کشیدگی شرقی - غربی کاشت درختان ۲۵ متری خزان‌ناپذیر انجام شده است. در داخل حیاط‌های واحدهای همسایگی برای ورود آفتاب زمستان و عدم سایه‌اندازی در زمان یخبندان و برف، از درختان خزان‌پذیر ۱۵ متری استفاده شده است. برای پوشش خیابان‌های محدوده مورد مطالعه از آسفالت، برای کف‌سازی حیاط بلوک‌ها در قسمت‌های عبوری از آجر قرمز و برای فضاهای نشستن آجر زرد استفاده شده تا رنگ روشنی نداشته باشند، بازتاب نور برای عابرین پیاده مزاحمت ایجاد نکند و در فصل زمستان گرما جذب کرده و مانع یخ‌زدگی شود. برای فضای سبز از خاک و در پارکینگ‌های مهمان از سیمان خاکستری استفاده شده است. شکل ۲ جزئیات طراحی محدوده مورد مطالعه را نشان می‌دهد.



شکل ۲. جزئیات طراحی محدوده مورد مطالعه در نرم‌افزار انوی‌مت شامل: ارتفاع ساختمان‌ها، پوشش گیاهی و مصالح کف‌سازی (منبع: نگارندگان)

به منظور بررسی حالت بهینه طراحی محدوده مورد مطالعه، سه گزینه مختلف از منظر جهت بادهای غالب، مطلوب و نامطلوب در نظر گرفته شده است. بررسی‌ها نشان می‌دهد که باد مطلوب در سبزواری از جهت جنوب شرقی می‌وزد. از سوی دیگر، باد نامطلوب و همراه با گرد و غبار در سبزواری خصوصاً در فصل زمستان از جهت غرب می‌وزد. بنابر مطالعات، برای ورود باد مطلوب و جلوگیری از ورود باد نامطلوب در سبزواری، در ساختمان‌های یک طرفه به ترتیب جهت‌های ۱۵ و ۳۰ درجه شرقی بهترین جهت قرارگیری است. از طرف دیگر، در ساختمان‌های دو طرفه جهت‌های ۱۵ درجه شرقی و جهت شمالی - جنوبی بهترین جهت‌های قرارگیری ساختمان است. بر این اساس، گزینه‌های پیشنهادی برای محدوده مورد مطالعه بدین صورت ارائه می‌شوند؛ گزینه الف - چرخش عناصر سایت به اندازه ۲۰ درجه به سمت شرق، گزینه ب - قرار گرفتن عناصر سایت در جهت شمالی - جنوبی بدون چرخش و گزینه ج - چرخش عناصر سایت به اندازه ۲۰ درجه به سمت غرب. گزینه‌های پیشنهادی جهت مقایسه، تحلیل و ارزیابی آسایش اقلیمی در نرم‌افزار انوی‌مت شبیه‌سازی گردید.

۳- یافته‌ها

در پژوهش پیش‌رو پارامترهای مؤثر بر آسایش حرارتی شامل سرعت باد، دمای هوا، دمای تابشی، رطوبت نسبی و دمای سطح در سه گزینه پیشنهادی (جهت‌گیری‌های مختلف) بررسی شده و سپس شاخص‌های آسایش حرارتی در فضای باز (PET و UTCI) مورد ارزیابی و تحلیل قرار می‌گیرند.

۳-۱- پارامترهای مؤثر بر آسایش حرارتی

۳-۱-۱- سرعت باد

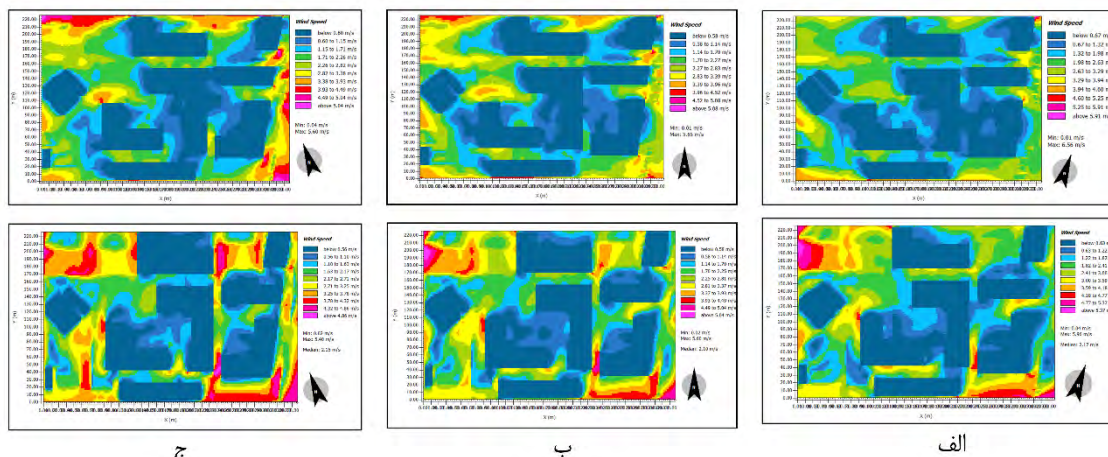
گزینه الف: مطابق با یافته‌ها در انقلاب تابستانی، در قسمت‌هایی از سایت که ساختمان‌ها پیلوت‌دار هستند (سمت شمال غربی و جنوب شرقی)، سرعت جریان هوا ۱.۹۸ تا ۳.۲۹ متر بر ثانیه است که آزاردهنده محسوب می‌شود. در حیاط‌های واحد همسایگی سرعت جریان هوا کمتر از ۱.۳۲ متر بر ثانیه و در بخش‌هایی از فضا که بین دو ساختمان محصور شده سرعت جریان هوا کمتر از ۱.۹۸ متر بر ثانیه است. در قسمت شرقی سایت که دارای دو خیابان اصلی با جهت شرقی-غربی با چرخش ۲۰ درجه به سمت شرق است و جریان باد نامطلوب با کاشت درختان کنترل شده است، مشاهده می‌شود که سرعت جریان هوا بین ۰.۶۷ تا ۱.۳۲ متغیر است. در کل سایت سرعت هوا به جز چند گرید محدود، سرعتی کمتر از ۴.۶۰ متر بر ثانیه دارد. در هنگام انقلاب زمستانی، در قسمت‌هایی از سایت که ساختمان‌ها پیلوت‌دار هستند و اطراف آن‌ها فضای باز است (سمت شمال غربی و جنوب شرقی)، سرعت جریان هوا ۱.۸ تا ۵.۳۷ متر بر ثانیه است. در حیاط‌های واحد همسایگی سرعت جریان هوا کمتر از ۱.۸ متر بر ثانیه است. در خیابان اصلی با جهت شرقی-غربی که در جنوب شرقی قرار دارد به دلیل فضای باز جنوبی باد جنوب غربی وارد این خیابان می‌شود و سرعت جریان هوا بین ۲.۴ تا ۳.۵۹ متر بر ثانیه متغیر است. شکل ۳ (الف) خروجی سرعت باد در نرم‌افزار انوی‌مت در شرایط گزینه الف (چرخش عناصر سایت به اندازه ۲۰ درجه به سمت شرق) را نشان می‌دهد.

گزینه ب: در گزینه ب و هنگام انقلاب تابستانی، در قسمت‌هایی از سایت که ساختمان‌ها پیلوت‌دار هستند (سمت شمال غربی و جنوب شرقی) سرعت جریان هوا ۱.۷۰ تا ۴.۵۲ متر بر ثانیه است که آزاردهنده محسوب می‌شود. در حیاط‌های واحد همسایگی سرعت جریان هوا کمتر از ۱.۷ متر بر ثانیه و بخش‌هایی از فضا که بین دو ساختمان محصور شده سرعت جریان هوا کمتر از ۱.۹۸ متر بر ثانیه است. دو خیابان اصلی با جهت شرقی-غربی که بدون چرخش به سمت شرق است و جریان باد نامطلوب با کاشت درختان کنترل شده است، مشاهده می‌شود که سرعت جریان هوا بین ۰.۵۸ تا ۲.۸۳ متر بر ثانیه متغیر است. در ورودی خیابان‌ها، این جریان تا ۳.۹۶ افزایش می‌یابد. در انقلاب زمستانی، باد جنوب غربی به داخل سایت نفوذ بیشتری یافته است. سرعت باد در بخش‌هایی از فضای جمعی نسبت به حالت قبل افزایش داشته است و سرعت باد در حیاط واحد همسایگی در مرکز نسبت به حالت قبل کاهش داشته است. در شکل ۳ (ب) خروجی سرعت باد در نرم‌افزار انوی‌مت در شرایط گزینه ب (قرار گرفتن عناصر سایت در جهت شمالی-جنوبی بدون چرخش) ارائه شده است.

گزینه ج: با چرخش سایت به سمت غرب، در انقلاب تابستانی، افزایش چشم‌گیر سرعت جریان هوا مشاهده می‌شود که ایجاد عدم آسایش را به دنبال دارد. در قسمت‌هایی از سایت که ساختمان‌ها پیلوت‌دار هستند (سمت شمال غربی و جنوب شرقی) سرعت جریان هوا ۱.۷۰ تا ۵.۰۴ و بالاتر از ۵.۰۴ متر بر ثانیه است که آزاردهنده محسوب می‌شود. در حیاط‌های واحد همسایگی سرعت جریان هوا کمتر از ۲.۲۶ متر بر ثانیه و بخش‌هایی از فضا که بین دو ساختمان محصور شده سرعت جریان هوا بین ۱.۱۵ تا ۲.۸۲ متر بر ثانیه است. دو خیابان اصلی با جهت شرقی-غربی که با چرخش ۲۰ درجه به سمت غرب است و جریان باد نامطلوب با کاشت درختان کنترل شده است مشاهده می‌شود که سرعت جریان هوا بین ۰.۶۰ تا ۲.۸۲ متر بر ثانیه متغیر است. در ورودی خیابان‌ها این جریان تا بالاتر از ۵.۰۴ افزایش می‌یابد. در انقلاب زمستانی، گزینه ج، با چرخش ۲۰ درجه به سمت غرب، به دلیل هم راست شدن جهت خیابان‌های شمالی-جنوبی با باد جنوب غربی، نفوذ باد نامطلوب زمستان به داخل سایت افزایش چشم‌گیری می‌یابد. در شکل ۴ (ج) خروجی سرعت باد در نرم‌افزار انوی‌مت در شرایط گزینه ج (چرخش عناصر سایت به اندازه ۲۰ درجه به سمت غرب) ارائه شده است.

یافته‌های پژوهش نشان می‌دهد، در انقلاب تابستانی و با توجه به سرعت باد غالب شرقی، در گزینه الف سرعت جریان هوای نامطلوب در کل محدوده مورد مطالعه، نسبت به سایر گزینه‌ها کمتر است و باد نامطلوب کمتری به داخل سایت وارد شده و روی آن

تأثیر می‌گذارد؛ بنابراین گزینه الف، گزینه مناسب‌تری برای طراحی محسوب می‌گردد. از سوی دیگر، مطابق با یافته‌ها در انقلاب زمستانی نیز با مقایسه سه گزینه پیشنهادی از نظر سرعت باد، باز هم گزینه الف وضعیت بهتری از لحاظ کاهش سرعت و نفوذ باد سرد به سایت دارد.



شکل ۳. سرعت باد در گزینه‌های پیشنهادی؛ الف) چرخش عناصر سایت به اندازه ۲۰ درجه به سمت شرق، ب) قرار گرفتن عناصر سایت در جهت شمالی- جنوبی بدون چرخش و ج) چرخش عناصر سایت به اندازه ۲۰ درجه به سمت غرب. (ردیف بالا انقلاب تابستانی، ردیف پایین انقلاب زمستانی) (منبع: یافته‌های نگارندگان)

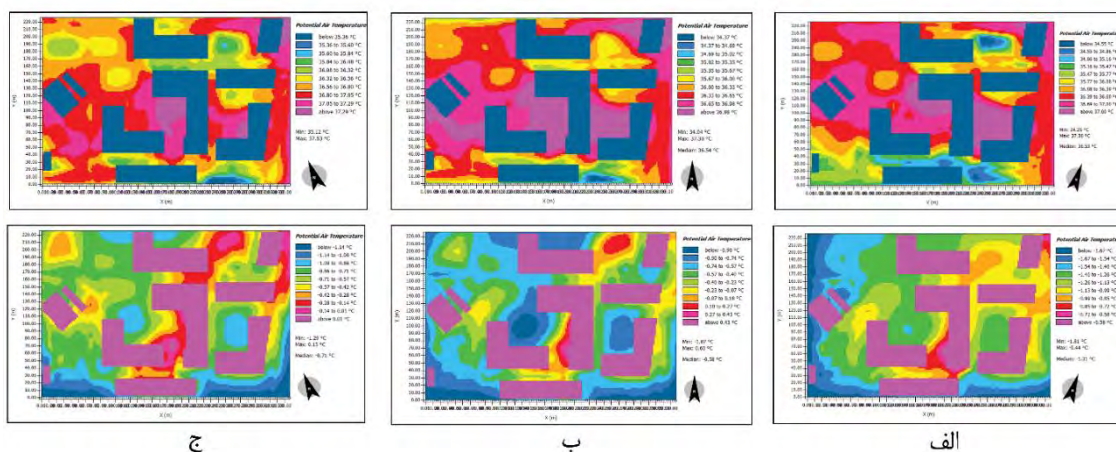
۳-۱-۲- دمای هوا

گزینه الف: با جهت‌گیری محدوده مورد مطالعه به صورت گزینه الف و در انقلاب تابستانی، دمای هوا در حیاط واحدهای همسایگی بین ۳۶ تا ۳۷ درجه و بالاتر متغیر است. در خیابان‌های شرقی- غربی به دلیل جریان هوای بیشتر، دمای هوا بین ۳۶ درجه و کمتر متغیر است. در قسمت غربی محدوده که فضای جمعی قرار دارد و قسمت جنوبی محدوده مورد مطالعه دمای مطلوب‌تری مشاهده می‌شود. از طرف دیگر، در زمان انقلاب زمستانی، در قسمت‌های غربی سایت که فضای باز محصور نشده وجود دارد، دمای هوا کمتر از ۱۰۴- درجه است. در حیاط‌های واحد همسایگی دما هوا بین ۱۰۴۰- تا ۱۰۲۶- درجه است و در قسمت شمال شرقی به دلیل محصورتر بودن فضا و کاشت ردیفی درختان، باد نفوذ کمتری دارد و دمای هوا بین ۱۰۲۶- تا ۰۸۵- درجه است. در شکل ۴ (الف) خروجی دمای هوا در نرم‌افزار انوی‌مت در شرایط گزینه الف (چرخش عناصر سایت به اندازه ۲۰ درجه به سمت شرق) ارائه شده است.

گزینه ب: شکل ۴ (ب) نشان می‌دهد که در هنگام انقلاب تابستانی، در حیاط واحدهای همسایگی دمای هوا بین ۳۶ تا ۳۷ درجه و بالاتر متغیر است؛ اما نسبت به حالت قبل محدوده بیشتری از این فضا دمایی بالاتر از ۳۷ دارند. در خیابان‌های شرقی- غربی به دلیل جریان هوای بیشتر، دمای هوا بین ۳۵.۶۷ درجه و بالاتر متغیر است. همچنین، در بخش‌های جنوبی قسمت‌هایی با دمای پایین‌تر وجود دارد. در قسمت جنوبی و غربی (فضای جمعی) در مقایسه با حالت اول دمای هوا بالاتر است. از سوی دیگر، در انقلاب زمستانی، با قرار گرفتن سایت به صورت شمالی- جنوبی، نفوذ باد بیشتر شده و بخش‌های بیشتری از محدوده نسبت به حالت قبل دمای کمتر از ۰.۵۷- درجه دارند. هم چنین دمای هوا در واحدهای همسایگی از ۱۰۲۶- درجه در حالت قبل به ۰.۹- درجه نیز می‌رسد.

گزینه ج: مطابق با یافته‌ها، در انقلاب تابستانی و در حیاط واحدهای همسایگی، دمای هوا بین ۳۶.۸۰ تا ۳۷.۲۹ درجه و بالاتر متغیر است؛ اما نسبت به حالت قبل محدوده بیشتری از این فضا دمای ۳۶.۸۰ دارند. در خیابان‌های شرقی- غربی به دلیل جریان هوای بیشتر، دمای هوا بین ۳۶.۸۰ تا ۳۶.۸۰ درجه متغیر است در بخش‌های جنوبی قسمت‌هایی با دمای پایین‌تر نسبت به حالت قبل کمتر است و در قسمت فضای جمعی محدوده در مقایسه با گزینه الف دمای هوا بالاتر و در مقایسه با گزینه ب دمای هوا پایین‌تر است. در انقلاب زمستانی، با چرخش سایت به سمت غرب، دمای هوا در حیاط واحدهای همسایگی نسبت به حالت قبل افزایش داشته و بین ۱- تا ۰.۰۱- درجه متغیر است. در شکل ۴ (ج) خروجی دمای هوا در نرم‌افزار انوی‌مت در شرایط گزینه ج (چرخش عناصر سایت به اندازه ۲۰ درجه به سمت غرب) نشان داده شده است.

مقایسه دمای هوا در سناریوهای مختلف در انقلاب تابستانی نشان می‌دهد که در گزینه الف، بخش‌های بیشتری دمای هوای مطلوب‌تری دارند؛ اما نکته قابل توجه دمای هوا بالا در حیطه‌های واحد همسایگی است که باید باد مطلوب نیز در نظر گرفته شود تا درک بهتری از دمای هوای این نقاط حاصل شود. از سوی دیگر، با مقایسه گزینه‌های مختلف در شرایط زمستانی این نتیجه حاصل می‌شود که دمای هوا در گزینه ج بهتر است؛ زیرا در مقایسه با دو حالت دیگر نقاط بیشتری در آن دمای بالاتری دارد.



شکل ۴: دمای هوا در گزینه‌های پیشنهادی؛ الف) چرخش عناصر سایت به اندازه ۲۰ درجه به سمت شرق، ب) قرار گرفتن عناصر سایت در جهت شمالی- جنوبی بدون چرخش و ج) چرخش عناصر سایت به اندازه ۲۰ درجه به سمت غرب. (ردیف بالا انقلاب تابستانی، ردیف پایین انقلاب زمستانی) (منبع: یافته‌های نگارندگان)

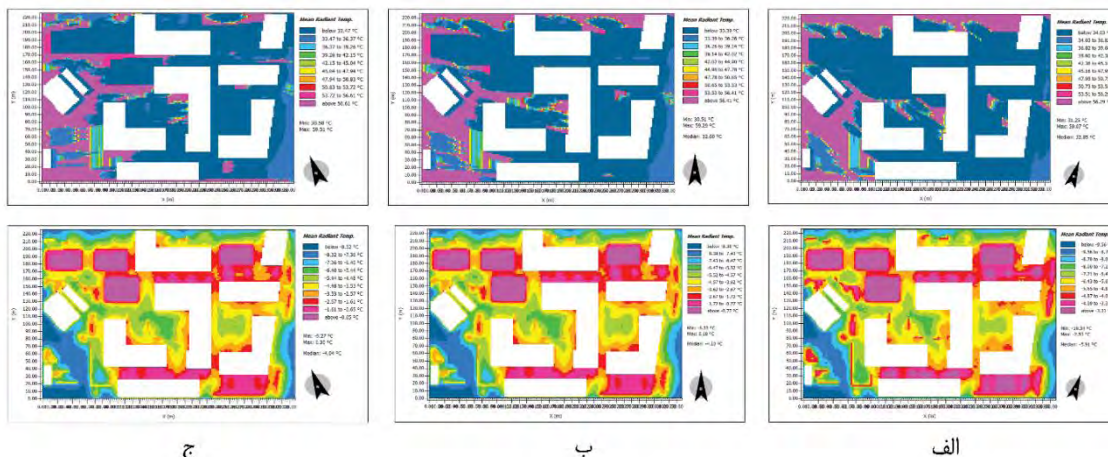
۳-۱-۳- دمای تابشی

گزینه الف: مطابق با شکل ۵ (الف)، در انقلاب تابستانی، چرخش ۲۰ درجه به سمت شرق باعث سایه‌اندازی بیشتر ساختمان‌ها در فضای باز شده و در نتیجه دمای تابشی سایت در بیشتر نقاط کمتر از ۳۴.۰۳ درجه است. در بخش فضای جمعی در قسمتی که کاشت شمشاد و چمن انجام شده دمای تابشی از ۵۶.۲۹ درجه که در سایر قسمت‌ها قرار دارد به ۳۷ درجه تغییر یافته است. از طرف دیگر، در انقلاب زمستانی نسبت به تابستان در ساعت ۵ صبح تابش کمتری دریافت می‌شود. در نتیجه دمای تابشی بسیار کم است. در بخش فضای جمعی در قسمتی که کاشت شمشاد و چمن انجام شده دمای تابشی از ۹- درجه که در سایر قسمت‌ها قرار دارد به ۴- درجه تغییر یافته است. در خیابان‌های اصلی شرقی تأثیر کاشت درخت به وضوح مشخص است. در قسمت‌هایی که کاشت درخت وجود دارد، دما بالای ۳.۳۱- درجه است.

گزینه ب: در انقلاب تابستانی، سایه‌اندازی ساختمان‌ها در این گزینه کمتر است. در نتیجه دمای تابشی سایت نسبت به گزینه الف نقاط بیشتری با دمای بالای ۵۶.۴۱ درجه دارد. در این سناریو نیز در بخش فضای جمعی در قسمتی که کاشت شمشاد و چمن انجام شده دمای تابشی از ۵۶.۲۹ درجه که در سایر قسمت‌ها قرار دارد به ۳۷ درجه تغییر یافته است؛ اما تأثیر کمتری داشته و بخش‌هایی از آن دمای ۴۰ درجه هم دارد. همچنین، دمای قسمت شرقی نسبت به حالت اول از ۳۳.۳۹ درجه در سناریو اول تا ۳۶.۲۶ درجه افزایش داشته است. در انقلاب زمستانی در این سناریو، تأثیر چمن و شمشاد در فضای جمعی کمتر شده و دما تابشی بین ۴.۵۷- تا ۳.۶۲- درجه است. در خیابان‌های اصلی شرقی تأثیر کاشت درخت به وضوح مشخص است و در این بخش‌ها دمای تابشی از بالای ۳.۳۱- درجه به ۱.۷- درجه می‌رسد. در شکل ۵ (ب) خروجی دمای تابشی در نرم‌افزار انوی‌مت در شرایط گزینه ب (قرار گرفتن عناصر سایت در جهت شمالی- جنوبی بدون چرخش) ارائه شده است.

گزینه ج: همانطور که شکل ۵ (ج) نشان می‌دهد، در انقلاب تابستانی، چرخش ۲۰ درجه به سمت غرب باعث شده تا سایه‌اندازی ساختمان‌ها در راستای غرب قرار گرفته و عمق نفوذ بیشتری به داخل سایت داشته باشد. در هنگام انقلاب زمستانی، مانند حالت قبل تأثیر چمن و شمشاد در فضای جمعی کمتر شده و دما تابشی بین ۴.۵۷- تا ۳.۶۲- درجه است. در خیابان‌های اصلی شرقی که تأثیر کاشت درخت به وضوح مشخص است، دمای تابشی از بالای ۳.۳۱- درجه به ۱.۷- درجه رسیده است.

بررسی و مقایسه گزینه های مختلف حاکی از آن است که در گزینه الف و در زمان انقلاب تابستانی، دمای تابشی بیشتر نقاط سایت زیر ۳۳ درجه بوده و نسبت به دو حالت دیگر مطلوب تر است. از سوی دیگر، در انقلاب زمستانی نیز گزینه الف در بیشتر نقاط نسبت به دو حالت دیگر دمای تابشی بالاتر داشته و به حالت آسایش کمی نزدیک تر است.



شکل ۵. دمای تابشی در گزینه های پیشنهادی؛ الف) چرخش عناصر سایت به اندازه ۲۰ درجه به سمت شرق، ب) قرار گرفتن عناصر سایت در جهت شمالی-جنوبی بدون چرخش و ج) چرخش عناصر سایت به اندازه ۲۰ درجه به سمت غرب. (ردیف بالا انقلاب تابستانی، ردیف پایین انقلاب زمستانی) (منبع: یافته های نگارندگان)

۳-۱-۴- رطوبت نسبی

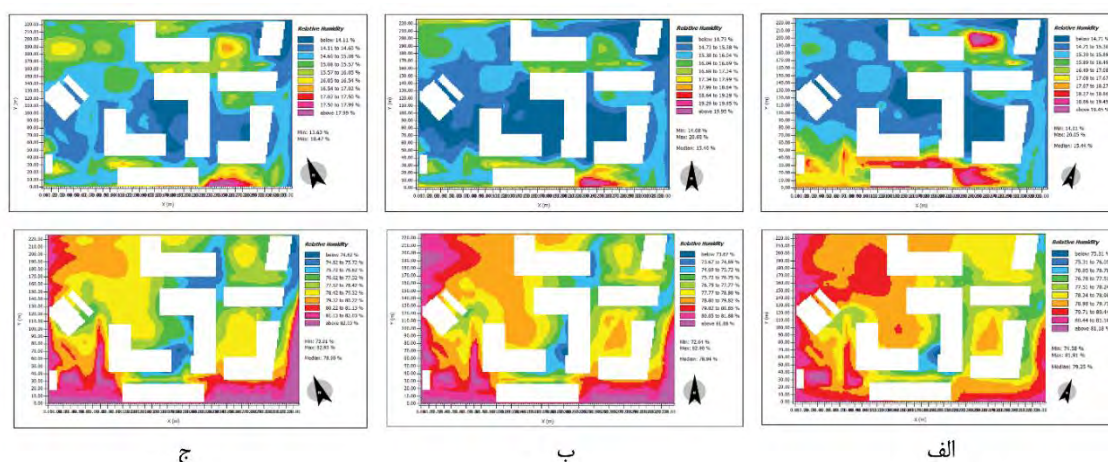
گزینه الف: مطالعات نشان می دهد، رطوبت نسبی مناسب در تابستان جهت حفظ محدوده آسایش در ایران ۳۰ - ۶۵ درصد است (Kasmai, 2015). در گزینه الف و در انقلاب تابستانی، با توجه به خروجی های دمای هوا، در قسمت های که دمای هوا بالاست؛ رطوبت نسبی پایین و کمتر از ۱۵.۸۹ درصد است. در قسمت جنوبی و غربی (فضای جمعی) سایت که دمای هوای مناسب تری داریم؛ رطوبت نسبی به بالای ۱۹.۴۹ درصد نیز می رسد. اما به صورت کلی رطوبت نسبی کمتر از محدوده آسایش است. مطابق با یافته ها، در انقلاب زمستانی، در قسمت های از سایت که دمای هوا پایین است، رطوبت نسبی بالا و بیشتر از ۷۹.۷۱ درصد است. در حیاط های واحد همسایگی رطوبت بین ۷۷ تا ۷۹ درصد است؛ اما در کل رطوبت نسبی از محدوده آسایش بیشتر است. در شکل ۶ الف) خروجی رطوبت نسبی در نرم افزار انوی مت در شرایط گزینه الف (چرخش عناصر سایت به اندازه ۲۰ درجه به سمت شرق) ارائه شده است.

گزینه ب: هنگام انقلاب تابستانی، در گزینه ب، در مقایسه با گزینه الف قسمت های جنوبی و غربی نیز رطوبت کمتری دارند و در نتیجه آسایش کمتری را برای افراد در فضای باز فراهم می کند؛ اما بررسی ها نشان می دهد، در انقلاب زمستانی، قسمت های غربی سایت رطوبت بالاتری نسبت به گزینه الف دارد. بخش های با رطوبت زیر ۷۴ درصد نیز بیشتر از گزینه الف بوده و در حیاط های واحد همسایگی رطوبت بین ۷۳ تا ۷۹ درصد است. شکل ۶ ب) خروجی رطوبت نسبی در نرم افزار انوی مت در شرایط گزینه ب را نشان می دهد.

گزینه ج: همان گونه که شکل ۶ ج) نشان می دهد، در انقلاب تابستانی، در قسمت های شمال شرقی گزینه ج، رطوبت نسبت به گزینه ب افزایش داشته و به ۱۶ درصد رسیده؛ اما در مقایسه با گزینه الف آسایش کمتری را برای افراد در فضای باز فراهم می کند. در شرایط انقلاب زمستانی، در گزینه ج نسبت به گزینه های قبلی رطوبت بالای ۸۰ درصد از غرب به سمت جنوب و شرق کشیده شده است. بخش های با رطوبت زیر ۷۴ درصد بیشتر از گزینه قبل است و در حیاط های واحد همسایگی رطوبت بین ۷۳ تا ۷۹ درصد است.

با بررسی و مقایسه خروجی های رطوبت نسبی در انقلاب تابستانی، به نظر می رسد که رطوبت نسبی در گزینه الف نسبت به دو گزینه دیگر به محدوده آسایش نزدیک تر است. اما در کل در تمام فضای سایت رطوبت نسبی از حالت آسایش کمتر است. از سوی دیگر، در انقلاب زمستانی، رطوبت در فضاهای باز در هر سه گزینه بالاتر از ۸۰ درصد است. رطوبت در حیاط های واحد همسایگی

در گزینه ج کمتر و به حالت آسایش نزدیکتر است؛ اما به دلیل چرخش غربی، خیابان جنوب شرقی نسبت به گزینه الف رطوبت بیشتری دارد.



شکل ۶. رطوبت نسبی در گزینه‌های پیشنهادی؛ الف) چرخش عناصر سایت به اندازه ۲۰ درجه به سمت شرق، ب) قرار گرفتن عناصر سایت در جهت شمالی-جنوبی بدون چرخش و ج) چرخش عناصر سایت به اندازه ۲۰ درجه به سمت غرب. (ردیف بالا انقلاب تابستانی، ردیف پایین انقلاب زمستانی) (منبع: یافته‌های نگارندگان)

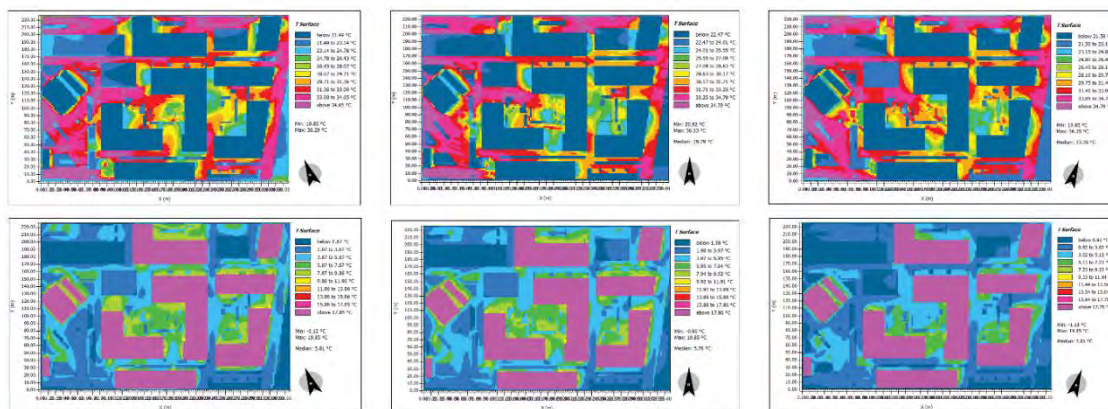
۳-۱-۵- دمای سطح

گزینه الف: همان‌گونه که شکل ۷ الف) نشان می‌دهد، در انقلاب تابستانی، در قسمت‌هایی از سایت که سایه‌اندازی دارد، دمای سطح ۲۳ تا ۳۱ درجه است. دمای سطح در حیاط واحد همسایگی که در سمت شرق قرار دارد؛ بین ۲۳.۱۵ تا ۲۹.۷۵ درجه است و در قسمتی که از سمت شرق ورودی وجود دارد، دمای سطح به ۳۳ درجه نیز می‌رسد. دمای سطح در حیاط واحد همسایگی که در مرکز این محدوده است، بالاتر است. در فضای جمعی به دلیل عدم وجود سایه، دما تا بالای ۴۰ درجه نیز می‌رسد. در بخش‌هایی که پوشش خاک وجود دارد، دما کمتر از ۲۲.۴۷ درجه است. از طرف دیگر در انقلاب زمستانی، بیشتر نقاط سایت، دمایی زیر ۵ درجه دارند. در حیاط‌های واحد همسایگی دمای سطح بین ۳ تا ۹ درجه است.

گزینه ب: مطابق با شکل ۷ ب)، در انقلاب تابستانی، در حیاط‌های واحد همسایگی و قسمت‌های سایه‌دار گزینه ب، دمای سطح ۲۳ درجه است. در قسمت غربی سایت و قسمت‌هایی از فضای جمعی که در گزینه الف دمای ۳۱ تا ۳۳ درجه داشت، افزایش دما داشته و به ۳۳.۰۵ تا ۳۴.۷۰ می‌رسد. در خیابان‌های اصلی شرقی غربی نیز دمای سطح بین ۲۹.۷ تا ۳۳.۰۵ درجه است. در انقلاب زمستانی، در حیاط‌های واحد همسایگی دمای سطح بین ۳ تا ۹ درجه است و نسبت به گزینه قبل نقاط بیشتری از فضا دمای سطح ۹ درجه دارند.

گزینه ج: در انقلاب تابستانی، در گزینه ج، در مقایسه با گزینه‌های قبل به دلیل چرخش به سمت غرب و نفوذ بیشتر آفتاب غرب به داخل سایت، دمای سطح بیشتر نقاط افزایش داشته است. دمای سطح در خیابان‌های اصلی شرقی-غربی افزایش داشته و به ۳۴.۶۵ درجه سانتی‌گراد می‌رسد. در قسمت غرب سایت، بیشتر نقاط دمای سطح بالای ۳۱.۳۶ درجه دارند. در انقلاب زمستانی، در حیاط‌های واحد همسایگی دمای سطح بین ۳ تا ۹ درجه است و نسبت به گزینه قبل نقاط کمتری از فضا دمای سطح ۹ درجه داشته و فضاهای سبز نیز دمای کمتری دارند. شکل ۷ ج) خروجی دمای سطح در نرم‌افزار انوی مت در شرایط گزینه ج نشان داده شده است.

مقایسه گزینه‌های مختلف در انقلاب تابستانی و انقلاب زمستانی نشان می‌دهد که در مجموع گزینه ب دمای سطح مطلوب‌تری نسبت به سایر گزینه‌ها داشته و به حالت آسایش نزدیکتر است.



ج

ب

الف

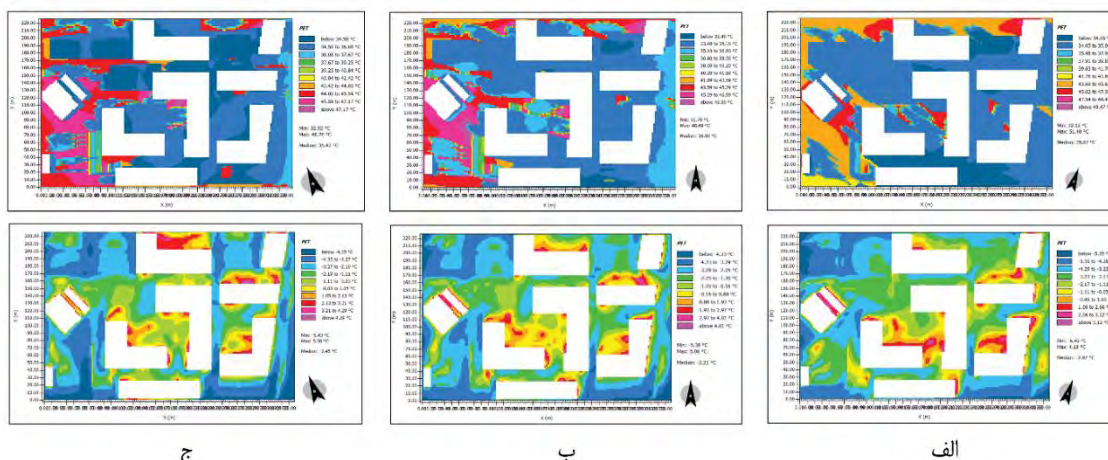
شکل ۷. دمای سطح در گزینه های پیشنهادی؛ الف) چرخش عناصر سایت به اندازه ۲۰ درجه به سمت شرق، ب) قرار گرفتن عناصر سایت در جهت شمالی- جنوبی بدون چرخش و ج) چرخش عناصر سایت به اندازه ۲۰ درجه به سمت غرب. (ردیف بالا انقلاب تابستانی، ردیف پایین انقلاب زمستانی) (منبع: یافته های نگارندگان)

۳-۲- شاخص های آسایش حرارتی در فضای باز (PET و UTCI)

دمای معادل فیزیولوژیک (PET): یافته ها نشان می دهد که در انقلاب تابستانی و در گزینه الف، در قسمت هایی از سایت که ساختمان ها یا پوشش گیاهی موجب سایه اندازی در فضای بیرون شده است؛ مقدار شاخص دمای فیزیولوژیک (PET) بین ۳۴.۰۵ تا ۳۵.۹۸ درجه است. در سمت غرب سایت که سایه اندازی کمتر است؛ اما جریان هوا وجود دارد، مقدار شاخص دمای فیزیولوژیک ۴۳.۶۹ تا ۴۵.۶۲ درجه است و در بخش هایی که سایه اندازی نداریم و جریان باد نیز کمتر است؛ مقدار شاخص دمای فیزیولوژیک بین ۴۵.۶۲ تا ۴۹.۴۷ درجه سانتی گراد است. همچنین، در قسمت جنوبی که سایه اندازی و جریان هوا وجود دارد؛ دمای هوا کمتر از ۳۴ درجه است. در شرایط انقلاب تابستانی و در گزینه ب، به دلیل سایه اندازی کمتر نسبت به حالت قبل مقدار شاخص دمای فیزیولوژیک در اکثر نقاط سایت بین ۳۳.۴۰ تا ۳۵.۱۰ درجه است. همچنین، مقدار شاخص دمای فیزیولوژیک در مرکز جمعی به جز قسمت هایی که پوشش گیاهی سایه اندازی دارد؛ بین ۴۳.۵۹ تا ۴۶.۹۹ درجه متغیر است که نسبت به گزینه الف افزایش قابل توجهی دارد. مقدار شاخص دمای فیزیولوژیک در قسمت غربی نسبت به گزینه الف نیز ۲ درجه افزایش داشته است. در گزینه ج، مقدار شاخص دمای فیزیولوژیک نسبت به گزینه های قبل در اکثر نقاط سایت افزایش داشته است و در قسمت غربی سایت به جز قسمت هایی که سایه وجود دارد ۴۴ تا ۴۷ درجه است. مقدار شاخص دمای فیزیولوژیک در مرکز جمعی به جز قسمت هایی که پوشش گیاهی سایه اندازی دارد بین ۴۳.۵۹ تا ۴۶.۹۹ درجه متغیر است که نسبت به گزینه الف افزایش قابل توجهی دارد. مقدار شاخص دمای فیزیولوژیک در قسمت غربی نسبت به گزینه الف نیز ۲ درجه افزایش داشته است. مقایسه شاخص PET نشان می دهد که در هر سه گزینه مقدار شاخص دمای فیزیولوژیک بالاتر از دمای آسایش است؛ اما با این وجود، گزینه الف نسبت به دو گزینه دیگر دمای کمتری دارد و مطابق با جدول ۱ بیشتر نقاط در آن در محدوده گرم قرار می گیرند. در حالی که بیشتر نقاط گزینه ب در محدوده بسیار گرم قرار داشته و گزینه ج نیز محدوده داغ بیشتری دارد.

از طرف دیگر، در انقلاب زمستانی، در گزینه الف، مقدار شاخص دمای فیزیولوژیک در حیاط ها ۳ - تا ۳ درجه است. در سمت غرب سایت که محصوریت کمتر است مقدار شاخص دمای فیزیولوژیک ۳ - درجه است و در قسمت هایی که کاشت گیاه وجود دارد، دمای شاخص بالاتر و مطلوب تر است. در گزینه ب مقدار شاخص دمای فیزیولوژیک در حیاط ها نسبت به گزینه قبل کاهش داشته و دمای نقاط ۱ تا ۲ درجه کمتر است. دمای شاخص در قسمت جنوب غربی مربوط به فضای جمعی نیز کاهش داشته است. در قسمت هایی که کاشت گیاه وجود دارد، دمای شاخص بالاتر و مطلوب تر است. در گزینه ج، مقدار شاخص دمای فیزیولوژیک در حیاط ها نسبت به حالت قبل کاهش داشته است. به دلیل چرخش سایت به سمت باد نامطلوب، نفوذ در خیابان های شمالی- جنوبی بیشتر شده و دمای شاخص کمتری نسبت به حالات قبل دارد. با مقایسه و بررسی سه گزینه پیشنهادی به نظر می رسد، گزینه الف

نسبت به سایر گزینه‌ها از دمای شاخص مطلوب‌تری برخوردار است. شکل ۸ خروجی معادل فیزیولوژیک (PET) در نرم‌افزار انوی‌مت را ارائه می‌دهد.



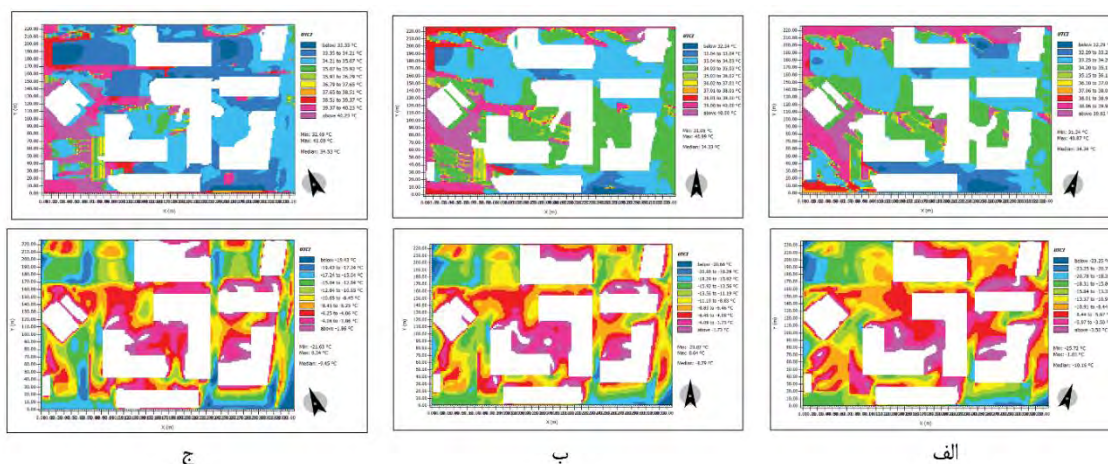
شکل ۸. دمای معادل فیزیولوژیک (PET) در گزینه‌های پیشنهادی؛ الف) چرخش عناصر سایت به اندازه ۲۰ درجه به سمت شرق، ب) قرار گرفتن عناصر سایت در جهت شمالی- جنوبی بدون چرخش و ج) چرخش عناصر سایت به اندازه ۲۰ درجه به سمت غرب. (ردیف بالا انقلاب تابستانی، ردیف پایین انقلاب زمستانی) (منبع: یافته‌های نگارندگان)

شاخص جهانی آب و هوای گرمایی (UTCI): مطابق با یافته‌های پژوهش، در انقلاب تابستانی و در حیاط‌های واحدهای

همسایگی گزینه پیشنهادی الف شاخص UTCI بین ۳۴.۲۰ تا ۳۵.۱۵ درجه سانتی‌گراد است. در خیابان شرقی- غربی در بالای سایت شاخص UTCI ۳۳.۲۵ تا ۳۴.۲۰ درجه است و در خیابان شرقی- غربی در پایین سایت شاخص بین ۳۲.۲۹ تا ۳۳.۲۵ درجه است. این عدد در فضای جمعی غرب سایت که فاقد سایه‌اندازی یا پوشش گیاهی است بین ۳۸.۹۶ تا ۳۹.۹۲ درجه است؛ اما در قسمتی که کاشت شمشاد و چمن وجود دارد، دما ۳۴.۲۰ تا ۳۵.۱۵ درجه سانتی‌گراد است. بر اساس جدول ۲ محدوده شاخص گزینه الف، گرم قوی محسوب می‌گردد. در شرایط انقلاب تابستانی و در حیاط‌های واحدهای همسایگی گزینه پیشنهادی ب شاخص UTCI بین ۳۴.۰۳ تا ۳۵.۰۳ درجه سانتی‌گراد است. در خیابان شرقی- غربی در بالای سایت شاخص مانند گزینه اول ۳۳.۲۵ تا ۳۴.۲۰ درجه است و در خیابان شرقی- غربی در پایین سایت شاخص بین ۳۲.۲۹ تا ۳۳.۲۵ است. این شاخص در فضای جمعی غرب سایت نسبت به حالت قبل افزایش داشته و بیشتر نقاط به بالای ۴۰ درجه می‌رسد؛ اما در قسمتی که کاشت شمشاد و چمن وجود دارد دما ۳۵ درجه است و نقاط دارای سایه‌اندازی و پوشش گیاهی، ۳۴.۰۳ تا ۳۵.۰۳ درجه سانتی‌گراد است. هنگام انقلاب تابستانی، در حیاط‌های واحدهای همسایگی گزینه ج شاخص UTCI نسبت به دو حالت قبل کمتر و بین ۳۴.۲۱ تا ۳۵.۰۷ درجه است. در خیابان شرقی- غربی شاخص ۳۳.۳۵ تا ۳۵.۰۷ است و در فضای جمعی غرب سایت در بیشتر نقاط به بالای ۳۹ درجه سانتی‌گراد می‌رسد. نتایج نشان می‌دهد، با توجه به جدول ۲ هر سه گزینه پیشنهادی در انقلاب تابستانی، در محدوده گرم قوی قرار می‌گیرند؛ اما گزینه ج در بیشتر نقاط دمای کمتری نسبت به دو حالت دیگر دارد.

از سوی دیگر، در انقلاب زمستانی، شاخص UTCI در حیاط‌های واحدهای همسایگی گزینه الف، بین ۸.۴۴- تا ۳.۵- درجه است. در خیابان شرقی- غربی در بالای سایت، شاخص UTCI بالای ۳.۵- درجه است و در خیابان شرقی- غربی در پایین سایت به دلیل باز بودن فضای جنوبی آن شاخص بین ۱۵- تا ۱۰- درجه است. شاخص UTCI در فضای جمعی غرب سایت که فاقد سایه‌اندازی یا پوشش گیاهی است بین ۳- تا ۲۳- درجه است؛ اما در قسمتی که کاشت شمشاد و چمن وجود دارد، دما بالای ۳.۵- درجه است. بر اساس جدول ۲، محدوده شاخص UTCI در این سناریو، سرد متوسط و سرد قوی محسوب می‌گردد. در گزینه ب و هنگام انقلاب زمستانی، نسبت به حالت قبل، تعداد نقاط با شاخص بالای ۸- درجه کاهش یافته و در مقابل تعداد نقاط با شاخص ۱۱- افزایش یافته است که وضع را نامطلوب‌تر می‌نماید. هنگام انقلاب زمستانی، در گزینه ج نسبت به حالت قبل، تعداد نقاط با شاخص بالای ۸- درجه کاهش یافته و در مقابل تعداد نقاط با شاخص ۱۲- افزایش یافته است که باز هم سبب نامطلوب‌تر شدن

شرایط آسایش حرارتی می‌گردد. مقایسه سناریوها از نظر شاخص UTCI نشان می‌دهد که گزینه الف به شاخص مطلوب نزدیک‌تر است. در شکل ۹ خروجی شاخص جهانی آب و هوای گرمایی (UTCI) در نرم‌افزار انوی‌مت ارائه شده است.

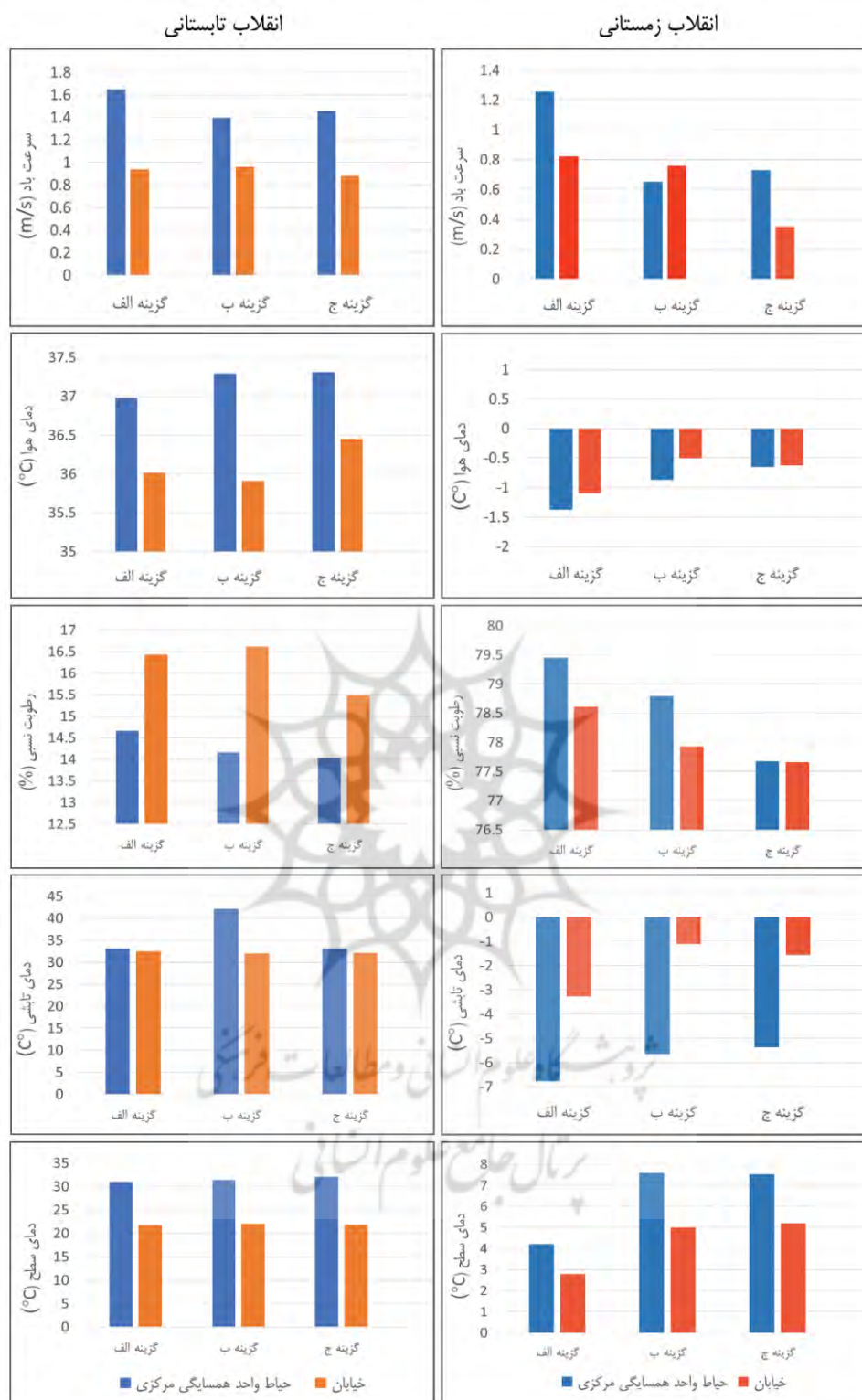


شکل ۹. شاخص جهانی آب و هوای گرمایی (UTCI) در گزینه‌های پیشنهادی؛ الف) چرخش عناصر سایت به اندازه ۲۰ درجه به سمت شرق، ب) قرار گرفتن عناصر سایت در جهت شمالی- جنوبی بدون چرخش و ج) چرخش عناصر سایت به اندازه ۲۰ درجه به سمت غرب. (ردیف بالا انقلاب تابستانی، ردیف پایین انقلاب زمستانی) (منبع: یافته‌های نگارندگان)

۳-۳- مقایسه پارامترهای آسایش حرارتی

در پژوهش حاضر، با استفاده از خروجی‌های عددی نرم‌افزار انوی‌مت، به مقایسه شاخص‌های مؤثر بر آسایش حرارتی در برخی نقاط مشخص و کلیدی در طرح مانند حیاط واحد همسایگی مرکزی و خیابان شرقی- غربی در شمال سایت، پرداخته شده است. میانگین روزانه هر یک از پارامترهای آسایش حرارتی در سه گزینه پیشنهادی با جهت‌گیری‌های متفاوت با هم مقایسه شدند (شکل ۱۰). بررسی‌ها نشان می‌دهد نتایج عوامل در یک سطح با اختلاف جزئی هستند. در انقلاب تابستانی و در حیاط واحد همسایگی مرکزی، در گزینه الف، سرعت باد بیشتر و دمای هوا کمتر از دو گزینه دیگر است. دمای تابشی در گزینه ب بیشتر و در گزینه الف کمتر است و دمای سطح در گزینه الف کمتر است. همچنین، در انقلاب تابستانی و در خیابان شرقی- غربی، در گزینه ج، سرعت باد کمتر است و دمای هوا در گزینه الف کمتر از دو گزینه دیگر است. در گزینه ب رطوبت نسبی بیشتر است. دمای تابشی در گزینه الف بیشتر و در گزینه ج کمتر است. دمای سطح به دلیل وجود فضای سبز خطی در وسط خیابان در هر سه گزینه برابر است؛ اما با این وجود در گزینه الف مقداری کمتر است. مقایسه یافته‌ها نشان می‌دهد که گزینه الف (چرخش عناصر سایت به اندازه ۲۰ درجه به سمت شرق) شرایط بهینه‌تری نسبت به سایر گزینه‌ها دارد.

از سوی دیگر، در انقلاب زمستانی و در حیاط واحد همسایگی مرکزی، سرعت باد در گزینه الف بیشتر است و دمای هوا از دو گزینه دیگر کمتر است. در گزینه الف رطوبت نسبی بیشتر است. دمای تابشی در گزینه ج بیشتر و در گزینه الف کمتر است. دمای سطح در گزینه الف کمتر است. یافته‌ها نشان می‌دهد که گزینه ج (چرخش عناصر سایت به اندازه ۲۰ درجه به سمت غرب) بهینه‌ترین شرایط را برای حیاط واحد همسایگی مرکزی داراست. همچنین، هنگام انقلاب زمستانی و در خیابان شرقی- غربی، در گزینه ج سرعت باد کمتر و دمای هوا در گزینه ب بیشتر از دو حالت دیگر است. در گزینه الف رطوبت نسبی بیشتر است. دمای تابشی در گزینه ب بیشتر و در گزینه الف کمتر است. دمای سطح به دلیل وجود فضای سبز خطی در وسط خیابان، در هر سه گزینه برابر؛ اما با این وجود در گزینه الف کمتر است. یافته‌ها نشان می‌دهد که گزینه ب (قرار گرفتن عناصر سایت در جهت شمالی- جنوبی بدون چرخش) بهینه‌ترین شرایط را برای این خیابان داراست.



شکل ۱۰. میانگین روزانه سرعت باد، دمای هوا، رطوبت نسبی، دمای تابشی و دمای سطح در حیاط واحد مرکزی و خیابان شرقی- غربی در سه گزینه پیشنهادی (سمت راست؛ انقلاب زمستانی و سمت چپ؛ انقلاب تابستانی) (منبع: یافته‌های نگارندگان)

۴- بحث و نتیجه‌گیری

جزایر گرمایی شهری در لایه تاج‌پوش یا چتر شهری، بین زمین و سقف پشت بام‌ها شکل می‌گیرد و به شدت تحت تأثیر هندسه معابر و جهت‌گیری عناصر سایت نسبت به وضعیت بادهای منطقه قرار دارد. بر همین اساس، در پژوهش حاضر، تأثیر جهت‌گیری عناصر سایت (بر اساس باد غالب) بر آسایش حرارتی فضاهای باز در بخشی از شهر سبزوار بررسی گردید. با توجه به این‌که باد غالب سبزوار از سمت شرق بوده و علاوه بر سرعت بالای جریان هوا، همراه با گرد و خاک است، این فرضیه مطرح شد که قرارگیری عناصر سایت به صورت عمود بر باد غالب سبزوار، سبب جلوگیری از ورود گرد و غبار و کاهش سرعت جریان هوا در فضاهای باز بین بناها شده و شرایط آسایش حرارتی را برای کاربران بهینه می‌سازد.

به منظور دستیابی به هدف پژوهش، ابتدا یک قسمت از بافت شهر سبزوار، باز طراحی شده و سپس با توجه به جهت وزش بادهای غالب، مطلوب و نامطلوب در این شهر، جهت‌گیری‌های مختلف بخشی از آن در گرم‌ترین و سردترین روزهای سال در تابستان و زمستان، در نرم‌افزار انوی‌مت، شبیه‌سازی و شرایط آسایش حرارتی آن ارزیابی و تحلیل گردید. با توجه به اقلیم سبزوار که تابستان‌های گرم و خشک و زمستان‌های سرد و خشک دارد، اصلاح نتایج در هر دو فصل تابستان و زمستان حائز اهمیت است.

نتایج پژوهش نشان می‌دهد، در تابستان، بیشتر پارامترهای آسایش حرارتی در گزینه الف، یعنی با چرخش عناصر سایت به اندازه ۲۰ درجه به سمت شرق، وضعیت بهتری نسبت به سایر گزینه‌ها دارد؛ اما برای تعدیل شرایط سرمای هوا در زمستان بهتر است از راهکارهایی نظیر کاشت درختان برگ‌ریز جهت بهره‌گیری از تابش خورشید و نفوذ آفتاب نیز استفاده گردد. در حقیقت می‌توان گفت، محدوده مورد مطالعه با جهت‌گیری عناصر سایت به اندازه ۲۰ درجه به سمت شرق، کمتر از سایر جهت‌گیری‌ها در معرض تابش خورشید تابستانی قرار می‌گیرد. این جهت‌گیری به بهبود خرداقلیم در تابستان و زمستان نیز کمک می‌نماید. بر اساس نتایج به دست آمده، فرضیه پژوهش رد می‌شود. در حقیقت، به دلیل آن که جهت‌گیری عناصر سایت به صورت عمود بر باد غالب مانع از تهویه فضاهای باز بین ساختمان‌ها می‌گردد، شاخص‌های آسایش حرارتی، بهینه‌ترین شرایط را ندارند. با چرخش عناصر سایت به صورت ۲۰ درجه به سمت شرق، علاوه بر کاتالیزه شدن هوا و کاهش سرعت آن، شرایط تهویه برای فضاهای باز بین بناها ایجاد شده و شاخص‌های مورد نظر به محدوده آسایش نزدیک‌تر می‌گردد.

نتایج این مطالعه می‌تواند به طراحان شهری کمک کند تا از مراحل اولیه طراحی جهت‌گیری مناسب (چرخش به اندازه ۲۰ درجه به سمت شرق) در اقلیم‌های مشابه سبزوار را مدنظر قرار داده و فضاهای شهری مطلوبی را از منظر آسایش اقلیمی برای شهروندان فراهم نمایند. هماهنگی و هم‌سویی طرح‌های ساختمانی با جهت‌گیری مناسب می‌تواند به کاهش جزایر گرمایی و اطمینان از آسایش اقلیمی در مناطق شهری کمک نماید. همچنین، پیشنهاد می‌گردد نسبت‌های مناسب عرض به ارتفاع و میزان محصوریت مطلوب معابر و فضاهای شهری از نظر آسایش اقلیمی در پژوهش‌های آتی مورد مطالعه و بررسی قرار گیرد.

۵- سپاس‌گزاری

نگارندگان از حمایت‌های معنوی دانشگاه حکیم سبزواری تشکر می‌نمایند.

۶- فهرست منابع

- امیدوار، کمال، نکونام، زری. (۱۳۹۰). کاربرد گلباد و گل‌غبار در تحلیل پدیده‌ی گرد و خاک و تعیین رژیم فصلی بادهای همراه با این پدیده (مطالعه‌ی موردی: شهر سبزوار)، *پژوهش‌های جغرافیای طبیعی*، ۷۶، ۸۵-۱۰۴.
- حسین‌آبادی، سعید، لشکری، حسن و سلمانی‌مقدم، محمد. (۱۳۹۱). طراحی اقلیمی ساختمان‌های مسکونی شهر سبزوار با تأکید بر جهت‌گیری ساختمان و عمق سایبان، *نشریه جغرافیا و توسعه*، ۱۰ (۲۷)، ۱۰۳-۱۱۶.
- سعادت‌جو، پریا و سلیقه، الهام. (۱۴۰۰). نقش الگوی چیدمان بلوک‌های مجتمع مسکونی بر جریان باد فضای باز و نور روز دریافتی ساختمان‌ها؛ نمونه موردی: مجتمع‌های مسکونی شهر تهران. *نقش جهان - مطالعات نظری و فناوری‌های نوین معماری و شهرسازی*، ۱۱ (۳)، ۶۷-۹۲.
- سلمانی‌مقدم، محمد، باعقیده، محمد و پورغلامحسن، عفت. (۱۳۹۴). نقش اقلیم در معماری بافت‌های مختلف شهری مطالعه موردی، شهر سبزوار. *مطالعات و پژوهش‌های شهری و منطقه‌ای*، ۷ (۲۶)، ۱۰۵-۱۲۶.

عینی، اسعد و تابان، محسن. (۱۳۹۸). ارزیابی تأثیر ساختار کالبدی بر الگوی جریان باد در محیط شهری نمونه موردی: محله سیاهپوشان و گذر شاهی در محله قلعه دزفول. *فصلنامه علوم محیطی*، ۱۷(۲)، ۱۵۵-۱۷۲.

قبادی، پریسا، ملکی، آیدا، عالی، سید علیرضا. (۱۴۰۱). واکاوی تأثیر مورفولوژی بلوک‌های شهری بر سرعت باد، *فصلنامه تحقیقات جغرافیایی*، ۳۷(۴)، ۵۰۹-۵۱۶.

کسمایی، مرتضی. (۱۳۹۵). *اقلیم و معماری*، نشر خاک، چاپ هشتم، تهران.

References

- Ali-Toudert, F.; & Mayer, H. (2006). Numerical study on the effects of aspect ratio and orientation of an urban street canyon on outdoor thermal comfort in hot and dry climate. *Building and environment*, 41(2), 94-108. <https://doi.org/10.1016/j.buildenv.2005.01.013>.
- Ashrae. (2020). Thermal Environmental Conditions for Human Occupancy, ANSI/ASHRAE Standard 55-2020.
- Badas, M.G.; Ferrari, S.; Garau, M.; Querzoli, G. (2017). On the effect of gable roof on natural ventilation in two-dimensional urban canyons. *J. Wind Eng. Ind. Aerodyn.*, 162, 24-34.
- Banerjee, S.; Pek, R. X. Y.; Yik, S. K.; Ching, G. N.; Ho, X. T.; Dzyuban, Y.; Crank, P. J.; Acero, J. A.; Chow, W. T. L. (2024). Assessing impact of urban densification on outdoor microclimate and thermal comfort using ENVI-met simulations for Combined Spatial-Climatic Design (CSCD) approach, *Sustainable Cities and Society*, 105, 105302. <https://doi.org/10.1016/j.scs.2024.105302>.
- Bas, H.; Egercioğlu, Y. (2019). Impact of Quality of Wind on Urban Form: Analysis of Vernacular and Contemporary Wind-Adaptive Urban Design Approaches, *Designing urban design: towards a holistic perspective International Symposium*, Ankara, Turkey.
- Benita, F.; Tunçer, B. (2019). Exploring the effect of urban features and immediate environment on body responses, *Urban For. Urban Gree.* 43, 126365.
- Bouketta, S., & Bouchahm, Y. (2020). Numerical evaluation of urban geometry's control of wind movements in outdoor spaces during winter period. Case of Mediterranean climate. *Renew. Energy*, 146, 1062-1069.
- Bröde, P., Fiala, D., Blazejczyk, K., Holmér, I., Jendritzky, G., Kampmann, B., ... Havenith, G. (2012). Deriving the operational procedure for the Universal Thermal Climate Index (UTCI). *International Journal of Biometeorology*, 56(3), 481-494. <https://doi.org/10.1007/s00484-011-0454-1>.
- Crank, P. J.; Middel, A.; Coseo, P.; Sailor, D. J. (2023). Microclimate impacts of neighborhood redesign in a desert community using ENVI-met and MaRTy, *Urban Climate*, 52, 101702. <https://doi.org/10.1016/j.uclim.2023.101702>.
- Cui, D.; Li, X.; Du, Y.; Mak, C.M.; Kwok, K. (2020). Effects of envelope features on wind flow and pollutant exposure in street canyons, *Building and Environment*, 176. <https://doi.org/10.1016/j.buildenv.2020.106862>
- Deng, X.; Nie, W.; Li, X.; Wu, J.; Yin, Z.; Han, J.; Pan, H.; Lam, C.K.C. (2023). Influence of built environment on outdoor thermal comfort: A comparative study of new and old urban blocks in Guangzhou, *Building and Environment*, 234. <https://doi.org/10.1016/j.buildenv.2023.110133>
- Elraouf, R.A.; Elmokadem, A.; Megahed, N.; Eleinen, O.A.; Eltarabily, S. (2022). Evaluating urban outdoor thermal comfort: A validation of ENVI-met simulation through field measurement. *Journal of Building Performance Simulation*, 15(2), 268-286. <https://doi.org/10.1080/19401493.2022.2046165>.
- Eyni, A., & Taban, M. (2019). Evaluation of the effect of physical structure on the wind flow pattern in urban environments (case study: Siyah-Poshan and Gozare Shahi neighborhoods in Ghaleh district of Dezful). *Environmental Sciences*, 17(2), 155-172. doi: 10.29252/envs.17.2.155. [In Persian]
- Fabbri, K.; Ugolini, A.; Iacovella, A.; Bianchi, A.P. (2020). The effect of vegetation in outdoor thermal comfort in archaeological area in urban context, *Build. Environ.* 175, 106816.
- Fontenelle, M. R., Bastos, L. E. G., & Lorente, S. (2021). Natural ventilation for office building retrofit in dense urban context under hot and humid climate. *Ambient. Constr.* 21, 67-87.
- Ghobadi P, Maleki A, Aali S. (2022). Analysis of the Effect of Urban Block Morphology on Wind Flow. *GeoRes*, 37 (4), 509-516. URL: <http://georesearch.ir/article-1-1379-fa.html>. [In Persian]
- Hadavi, M.; & Pasdarshahri, H. (2021). Impacts of urban buildings on microclimate and cooling systems efficiency: Coupled CFD and BES simulations. *Sustain. Cities Soc.*, 67, 102740.
- He, B.-J., Ding, L., & Prasad, D. (2020). Relationships among local-scale urban morphology, urban ventilation, urban heat island and outdoor thermal comfort under sea breeze influence. *Sustain. Cities Soc.*, 60, 102289.

- Highfill, H.; Franks, C. (2019). Measuring the us outdoor recreation economy, 2012– 2016, *Journal of Outdoor Recreation and Tourism*, 27.
- Hosseiniabadi, S., Lashkari, H., Salmani Moqadam, M. (2012). Climatic Design of Residential Building of Sabzevar with Emphasis on Building Orientation and Depth of Canopy, *Geography and Development Iranian Journal*, 10(27), 103. magiran.com/p1010201. [In Persian]
- Jamei, E., Rajagopalan, P., Seyedmahmoudian, M., & Jamei, Y. (2016). Review on the impact of urban geometry and pedestrian level greening on outdoor thermal comfort. *Renew. Sust. Energ. Rev.*, 54, 1002-1017.
- Karimimoshaver, M.; Samadpour Shahrak, M. (2022). The effect of height and orientation of buildings on thermal comfort, *Sustainable Cities and Society*, 79, 103720. <https://doi.org/10.1016/j.scs.2022.103720>.
- Kasmai, Morteza. (2015). *Climate and Architecture*, Nasharkhak, 8th edition, Tehran. [In Persian]
- Khakian, R., Karimimoshaver, M., Aram, F., Zoroufchi Benis, S., Mosavi, A., & Varkonyi- Koczy, A. (2020). Modeling nearly zero energy buildings for sustainable Development in Rural Areas, *Energies*, 13(10), 2593. <https://doi.org/10.3390/en13102593>.
- Lai, D.; Guo, D.; Hou, Y.; Lin, C.; Chen, Q. (2014). Studies of outdoor thermal comfort in northern china, *Build. Environ.* 77, 110–118. <https://doi.org/10.1016/j.buildenv.2014.03.026>.
- Lai, D.; Lian, Z.; Liu, W.; Guo, C.; Liu, W.; Liu, K.; Chen, Q. (2020). A comprehensive review of thermal comfort studies in urban open spaces, *Science of The Total Environment*, 742. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2020.140092>.
- Liu, Z.; Cheng, W.; Jim, C. Y.; Marakinyo, T. E.; She, Y.; Ng, E. (2021). Heat mitigation benefits of urban green and blue infrastructures: A systematic review of modeling techniques, validation and scenario simulation in ENVI-met V4, *Building and Environment*, 200, 107939. <https://doi.org/10.1016/j.buildenv.2021.107939>.
- Matzarakis, A.; Mayer, H.; Iziomon, M.G. (1999). Applications of a universal thermal index: physiological equivalent temperature, *Int J Biometeorol*, 43, 76–84.
- Nie, T.; Lai, D.; Liu, K.; Lian, Z.; Yuan, Y.; & Sun, L. (2022). Discussion on inapplicability of Universal Thermal Climate Index (UTCI) for outdoor thermal comfort in cold region. *Urban Clim.*, 46, 101304.
- Omidvar, K. and Nekoonam, Z. (2011). An Application of Wind Rose and Dust Rose in the Analysis of Dust Phenomenon and Determining the Seasonal Regime of Dust Winds (Case Study: Sabzevar City). *Physical Geography Research*, 43(76), 85-104. https://jphgr.ut.ac.ir/article_23072.html. [In Persian]
- Park, S.; Tuller, S. E.; & Jo, M. (2014). Application of Universal Thermal Climate Index (UTCI) for microclimatic analysis in urban thermal environments. *Landsc Urban Plan*, 125, 146-155.
- Potchter, O.; Cohen, P.; Lin, T.P.; Matzarakis, A. (2018). Outdoor human thermal perception in various climates: a comprehensive review of approaches, methods and quantification, *Sci. Total Environ.* 631 (2018) 390–406.
- Saadatjoo P, Saligheh E. (2021). The Role of Buildings Distribution Pattern on Outdoor Airflow and Received Daylight in Residential Complexes; Case study: Residential Complexes in Tehran. *Naqshejahan*, 11 (3), 67-92. URL: <http://bsnt.modares.ac.ir/article-2-50471-fa.html>. [In Persian]
- Salmanimoghaddam, M. , Baaghdeh, M. and Poorgholamhasan, E. (2015). The Impact of Climate on the Architecture of Different Urban Textures. *Journal of Urban - Regional Studies and Research*, 7(26), 105-126. https://urs.ui.ac.ir/article_20143.html?lang=fa. [In Persian]
- Spagnolo, J.; De Dear, R. (2003). A field study of thermal comfort in outdoor and semioutdoor environments in subtropical sydney australia, *Build. Environ.* 38, 721–738. [https://doi.org/10.1016/S0360-1323\(02\)00209-3](https://doi.org/10.1016/S0360-1323(02)00209-3).
- Teshnehdel, S.; Mirnezami, S.; Saber, A.; Pourzangbar, A.; & Olabi, A. G. (2020). Data-driven and numerical approaches to predict thermal comfort in traditional courtyards. *Sustainable Energy Technologies and Assessments*, 37, 100569. <https://doi.org/10.1016/j.seta.2019.100569>.
- Walther, E.; & Goestchel, Q. (2018). The PET comfort index: Questioning the model. *Build Environ.*, 137, 1-10.
- Wang, B.; Geoffroy, S.; & Bonhomme, M. (2022). Urban form study for wind potential development. *Environment and Planning B: Urban Analytics and City Science*, 49(1), 76-91. <https://doi.org/10.1177/2399808321994449>.
- Yilmaz, S.; Külekç, E. A.; Mutlu, B. E.; Sezen, I. (2021). Analysis of winter thermal comfort conditions: street scenarios using ENVI-met model, *Environmental Science and Pollution Research*, 28:63837–63859. <https://doi.org/10.1007/s11356-020-12009-y>.
- Yuan, F.; Yao, R.; Sadrizadeh, S.; Li, B.; Cao, G.; Zhang, S.; Zhou, S.; Liu, H.; Bogdan, A.; Croitoru, C.; Melikov, A.; Short, C.A.; Li, B. (2022). Thermal comfort in hospital buildings—A literature review, *Journal of Building Engineering* 45.103463. <https://doi.org/10.1016/j.job.2021.103463>.

- Yu, Z.; Chen, S.; & Wong, N. H. (2020). Temporal variation in the impact of urban morphology on outdoor air temperature in the tropics: A campus case study. *Build. Environ.*, 181, 107132.
- Zahedifar, T.; & Darabi, H. (2024). Modeling Airflow in Urban High-Rise Building Areas and Climate Comfort. *Pollution*, 10 (1), 104-118. <https://doi.org/10.22059/poll.2023.362249.1991>
- Zhang, J.; Zhang, F.; Gou, Z.; Liu, J. (2022). Assessment of macroclimate and microclimate effects on outdoor thermal comfort via artificial neural network models, *Urban Clim.* 42, 101134. <https://doi.org/10.1016/j.uclim.2022.101134>.
- Zhang, Q.; Zhou, D.; Xu, D.; Rogora, A. (2023). Association between Wind Environment and Spatial Characteristics of High-Rise Residential Buildings in Cold Regions through Field Measurements in Xi'an, *Buildings* 13(8), <https://doi.org/10.3390/buildings13082007>.
- Zhang, X.; Han, L.; Wei, H.; Tan, X.; Zhou, W.; Li, W.; Qian, Y. (2022). Linking urbanization and air quality together: A review and a perspective on the future sustainable urban development, *J. Clean. Prod.* 130988. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2022.130988>.

