

Evaluation of Outdoor Thermal Comfort in Different Courtyard Forms at Neighborhood Scale; Case: Cold and Semi-Arid Climate of Sabzevar

Fateme Akhlaghinezhad¹ iD, Hadi Bagheri Sabzevar² iD

¹ Master of Architecture and Energy, Department of Architecture, Faculty of Architecture and Urban Planning, Hakim Sabzevari University, Sabzevar, Iran.

² Assistant Professor, Department of Architecture, Faculty of Architecture and Urban Planning, Hakim Sabzevari University, Sabzevar, Iran.

(Received: 13 Oct 2022, Received in revised form: 11 Mar 2023, Accepted: 4 Apr 2023)

The level of thermal comfort in urban open spaces plays an important role in pedestrian health. Residential environments and open spaces of housing units require more comfortable temperatures. Courtyards as microclimate modifiers and common open spaces between urban and architectural scales can be a good passive strategy to increase thermal comfort and reduce energy demand of buildings. Therefore, it is necessary to quantify their temperature balancing effect in the prevailing summer and winter climates. Different urban forms provide different microclimates with different levels of comfort for pedestrians. The effects of urban microclimates on urban air quality and building energy use make them significant at a larger scale. Urban forms, shaped by the typology of buildings and the open space between them, have different impacts at different seasons. They meet the demand for compactness in summer to provide shelter from the sun and openness in winter to provide access to the sun. Therefore, to design a form that provides the best thermal conditions throughout the year, through the design of openings in the open space openings - height and width and position of the opening. In recent years, there has been increasing interest in the design of courtyards for microclimatic improvement of outdoor spaces. However, there is still little knowledge about the thermal performance characteristics of courtyards, especially in cold and semi-arid climates. In this study, we measure the effects of different forms of courtyards on thermal comfort and climatic forces, including wind and radiation, using ENVI-met software by selecting a neighborhood unit in Sabzevar city. To this end, we have kept all design factors constant, including the height of adjacent blocks, vegetation, and materials, except for the openings of the adjacent courtyard. We studied the forms of the interrupted central courtyard, the closed central courtyard, and the U-shaped courtyard, and com-

pared the thermal comfort of the open space in terms of the UTCI and PET indices. These three forms of the inner courtyard were analyzed for the hottest and coldest day so far in the cold and semi-arid climate of Sabzevar. ENVI-met was used to simulate outdoor air temperature, mean radiant temperature, wind speed, and relative humidity, and to convert these data to Physiological Equivalent Temperature (PET) and universal thermal climate index (UTCI). The results show that the air temperature, mean radiant temperature, wind speed, and relative humidity are affected by the shape of the courtyard and the openings and play an important role in achieving optimal thermal comfort. The results show that the enclosed courtyard provides better protection from wind and radiation in this cold and semi-arid climate and is more successful from the point of view of thermal comfort. The results show that the enclosed courtyards provide better protection from wind and radiation in this cold and semi-arid climate and is closer to the thermal comfort range than the U-shaped courtyards from the thermal comfort point of view, with 4.88 and 7.73 degrees in the summer solstice and 4.01 and 1.28 degrees in the winter solstice in the UTCI and PET indices, respectively.

Keywords

Courtyard, Urban Microclimate, Thermal Comfort, Opening, ENVI-met, Sabzevar.

Citation: Akhlaghinezhad, Fateme; Bagheri Sabzevar, Hadi (2023). Evaluation of outdoor thermal comfort in different courtyard forms at neighborhood scale; Case: Cold and semi-arid climate of Sabzevar, *Journal of Fine Arts: Architecture and Urban Planning*, 28(1), 45-61. (in Persian)
DOI: <https://doi.org/10.22059/jfaup.2023.352410.672828>



* Corresponding Author: (+98-51) 44013717, E-mail: h.bagheri@hsu.ac.ir

ارزیابی آسایش حرارتی فضای باز در فرم‌های مختلف حیاط در مقیاس همسایگی؛ نمونه موردی: اقلیم سرد و نیمه خشک سبزوار

فاطمه اخلاقی نژاد^۱، هادی باقری سبزواری^{۲*}

^۱ کارشناس ارشد معماری و انرژی، گروه معماری، دانشگاه حکیم سبزواری، سبزوار، ایران.

^۲ استادیار گروه معماری، دانشکده معماری و شهرسازی، دانشگاه حکیم سبزواری، سبزوار، ایران.

(تاریخ دریافت مقاله: ۱۴۰۱/۰۷/۲۱، تاریخ بازنگری: ۱۴۰۱/۱۲/۲۰، تاریخ پذیرش نهایی: ۱۴۰۲/۰۱/۱۵)



چکیده

آسایش حرارتی در فضاهای باز شهری و مجتمع‌های مسکونی نقش مهمی در سلامت عابران و استفاده‌کنندگان دارد. حیاط‌ها به‌عنوان اصلاح‌کننده‌های خرد اقلیمی و به‌عنوان یک فضای باز مشترک بین معماری و مقیاس شهری، به‌عنوان یک استراتژی غیرفعال مناسب برای افزایش آسایش حرارتی و کاهش مصرف انرژی ساختمان‌ها می‌توانند عمل کنند. بنابراین، می‌توان اثر تلطیف حیاط‌ها در آب‌وهوای غالب تابستان و زمستان مورد بررسی قرار گیرد. در این پژوهش، با انتخاب یک واحد همسایگی در شهر سبزوار، اثر فرم‌های مختلف حیاط با تغییر در دهانه‌های باز شو بر آسایش حرارتی و عوامل اقلیمی، با استفاده از نرم‌افزار *Envi-met* ارزیابی می‌شود. بدین منظور، دهانه‌های باز شو در فرم‌های حیاط مرکزی منقطع، حیاط مرکزی محصور و حیاط U شکل به‌عنوان متغیرهای مورد بررسی قرار می‌گیرند و آسایش حرارتی فضای باز با شاخص‌های *UTCI* و *PET* مقایسه می‌شود. نتایج نشان می‌دهند که حیاط مرکزی محصور، فرم محافظت‌شده‌تری در مقابل باد و تابش در این اقلیم سرد و نیمه‌خشک است و از نظر آسایش حرارتی، در شاخص‌های *UTCI* و *PET* به ترتیب، ۴/۸۸ و ۷/۷۳ درجه سانتی‌گراد در انقلاب تابستانی و ۴/۰۱ و ۱/۲۸ درجه سانتی‌گراد در انقلاب زمستانی نسبت به حیاط U شکل نزدیک‌تر به محدوده آسایش حرارتی است.

واژه‌های کلیدی

حیاط، خرد اقلیم شهری، آسایش حرارتی، دهانه‌های باز شو، انویمت، سبزوار.

استناد: اخلاقی نژاد، فاطمه؛ باقری سبزواری، هادی (۱۴۰۲). ارزیابی آسایش حرارتی فضای باز در فرم‌های مختلف حیاط در مقیاس همسایگی (نمونه موردی: اقلیم سرد و

نیمه‌خشک سبزوار). *هنرهای زیبا - معماری و شهرسازی*، ۲۸(۱)، ۴۵-۶۱

DOI: <https://doi.org/10.22059/jfaup.2023.361097.672885>

* نویسنده مسئول: تلفن: ۰۵۱-۴۴۰۱۳۷۱۷، E-mail: h.bagheri@hsu.ac.ir



مقدمه

مطالعات متعددی در مورد خانه‌های حیاطدار، حیاط‌های شهری و عوامل مؤثر بر طراحی حیاط در کشورهای مختلف انجام شده است (Knapp, 2012). با این حال، تنها آثار کمی به بررسی حیاط واحد همسایگی در ایران پرداخته است؛ لذا در این مطالعه به بررسی این شکاف در اقلیم سرد و نیمه‌خشک ایران پرداخته شده است تا تأثیر فرم‌های مختلف حیاط با تغییر در دهانه‌های باز شو بر آسایش حرارتی روشن شود. در پژوهش حاضر با استفاده از نرم‌افزار *انویمیت* ابتدا یکی از واحدهای همسایگی در یکی از محلات شهرستان سبزوار شبیه‌سازی شده است، سپس با فرض ثابت بودن مصالح سطوح، پوشش گیاهی و مساحت فضای باز مرکزی، تأثیر باز شو در فرم‌های مختلف حیاط شامل حیاط مرکزی منقطع، حیاط مرکزی محصور و حیاط U شکل توسط شاخص‌های مؤثر بر آسایش حرارتی فضای باز شامل دمای هوا، میانگین دمای تابشی، سرعت باد و رطوبت نسبی مورد بررسی قرار گرفت و در نهایت به مقایسه آسایش حرارتی فضای باز توسط دو شاخص *UTCI* و *PET* پرداخته شد تا به سؤال اصلی پژوهش پاسخ داده شود: "مناسب‌ترین فرم حیاط همسایگی در اقلیم سبزوار از منظر آسایش حرارتی در فضای باز کدام است؟"

آخرین گزارش از پانل بین‌المللی تغییرات آب‌وهوایی (IPCC) (Arias et al., 2021)، با اطمینان بالا، دمای جهانی را حداقل ۱/۵ درجه سانتی‌گراد بالاتر از سطح قبل از صنعتی شدن در طول قرن بیست و یکم پیش‌بینی می‌کند. این افزایش دما ناشی از انتشار گازهای گلخانه‌ای است که بیش از ۳۰٪ این انتشار ناشی از مصرف انرژی در ساختمان است (López-cabe-za et al., 2022). بنابراین، انجام تحقیقات در مورد استراتژی‌های طراحی پایدار جهت افزایش آسایش حرارتی و به تبع آن، کاهش تقاضای انرژی اجتناب‌ناپذیر است. در سال‌های اخیر، نقش خرد اقلیم بر سطوح آسایش حرارتی در فضای باز، به یک موضوع مهم در برنامه‌ریزی شهری تبدیل شده است که می‌تواند بر سلامت و رفاه شهروندان و عملکرد فعالیت‌های بیرونی اثرگذار باشد. علاوه بر این، فضاهای بیرونی اثر قابل توجهی بر شرایط آسایش حرارتی محیط داخلی دارند و می‌توانند به دلیل شرایط نامناسب بیرونی، تقاضای انرژی ساختمان‌ها را به‌طور قابل توجهی افزایش دهند. این به‌نوبه خود فشار زیادی بر تقاضای انرژی شهرها وارد و باعث تشدید پدیده جزایر گرمایی شهری می‌شود (Kedissa et al., 2016). در این راستا، حیاط می‌تواند به‌عنوان یک خرد اقلیم شهری، یک روش پایدار مؤثر برای کنترل آب‌وهوا، افزایش آسایش حرارتی ساختمان‌ها و فضای باز بین آنها باشد.

روش پژوهش

آسایش حرارتی اخیراً نقش اساسی در طراحی‌های شهری ایفا می‌کند. از این رو، این مطالعه با هدف ارائه یک تحلیل جامع در مورد آسایش حرارتی در حیاط همسایگی واقع در یکی از محلات شهرستان سبزوار در ایران انجام شده است. برای انجام این کار، آسایش حرارتی در ۳ گزینه پیشنهادی برگرفته از ادبیات موضوعی (Ghaffarianhoseini et al., 2015; Taleb & Abumoe, 2015) براساس داده‌های آب‌وهوایی دو روز منتخب، گرم‌ترین و سردترین روز سال، که انقلاب تابستانی و زمستانی نامیده می‌شود، مورد ارزیابی قرار گرفت. از نرم‌افزار *انویمیت* نسخه ۴.۴.۵ (Bruse D, Bruse M., 2014) برای مدل‌سازی نمونه مورد بررسی و محاسبه شاخص‌های حرارتی استفاده می‌شود. *انویمیت* یک نرم‌افزار کاربرپسند که با تولید نتایج قابل اعتماد، به دلیل رابط کاربری آسان، برای تجزیه و تحلیل آسایش حرارتی برای فضاهای باز بسیار مناسب است. از این رو، بسیاری از محققان از آن برای شبیه‌سازی مسائل مختلف به‌ویژه آسایش حرارتی در فضای باز استفاده کرده‌اند (Teshnehdel et al., 2020). در این پژوهش، تأثیر فرم‌های مختلف حیاط با تغییر باز شو بر آسایش حرارتی و نیروهای اقلیمی، مورد ارزیابی قرار می‌گیرد. برای این منظور، دهانه‌های باز شو حیاط همسایگی، در فرم‌های حیاط مرکزی منقطع، حیاط مرکزی محصور و حیاط U شکل را به‌عنوان متغیر مورد بررسی قرار داده (بخش ۲/۳) و به مقایسه آسایش حرارتی فضای باز از منظر دو شاخص *UTCI* و *PET* پرداخته شد.

پیشینه پژوهش

تحقیقات در زمینه ایجاد شرایط آسایش حرارتی در فضای باز از دهه ۱۹۷۰ آغاز شده است. آسایش حرارتی به‌عنوان «شرایط ذهنی که شخص رضایت خود را از محیط حرارتی اطراف بیان می‌کند» تعریف

می‌شود (Ashrae, 2020). این مطالعات ابتدا بر شاخص‌های آسایش حرارتی در فضای بسته تمرکز داشتند و سپس به بازسازی آن با توجه به شرایط بیرون پرداختند. علاوه بر شرایط آب‌وهوایی مانند بهره خورشیدی، باد و رطوبت، آسایش حرارتی تحت تأثیر محیط اطراف، پوشش سطح، تبخیر و تعرق، سایه یا عوامل ایجادشده توسط عوامل طبیعی و دست‌ساز قرار می‌گیرد (Teshnehdel et al., 2020). با افزایش علاقه به موضوعات مربوط به آسایش حرارتی در فضاهای باز، حیاط‌های مرکزی به‌عنوان فضای تعاملی بین مقیاس‌های شهری و معماری مورد بحث قرار می‌گیرند. حیاط فضایی است که در ناحیه مرکزی ساختمان (ها) قرار می‌گیرد و از یک، دو، سه یا چهار طرف توسط ساختمان (ها) محدود می‌شود (Pile-chiha et al., 2021). حیاط، حیاتی‌ترین فضا برای روشنایی، تهویه و ارتباطات داخلی برای یک خانه در مقیاس کوچک، و برای یک محله یا شهر در مقیاس بزرگ محسوب می‌شود (Soflaei et al., 2016). این فضای مرکزی اصلی‌ترین فضای داخلی عمومی محسوب می‌شود که دارای حریم خصوصی یک فضای بسته داخلی است اما به‌صورت نیمه داخلی و نیمه بیرونی به آسمان باز است که اغلب به‌عنوان محل ملاقات و تجمع ساکنین استفاده می‌شود. علاوه بر این، یک حیاط دارای مزیت‌های زیبایی‌شناختی، اجتماعی و حرارتی بسیاری است (Reynolds, 2002). در راستای تأثیر حیاط بر آسایش حرارتی داخلی ساختمان‌ها، تحقیقات بسیاری نیز در مورد خانه‌های حیاط سنتی بر نقش محیطی حیاط‌ها به‌عنوان یک استراتژی ریزاقلیمی غیرفعال برای تأمین آسایش حرارتی در فضای باز تأکید می‌کنند (Al-Hafith et al., 2017; Martinelli & Mat, 2015; Soflaei et al., 2015; Zarakis, 2017; Taleghani et al., 2016). بیان کردند که حیاط مرکزی سنتی در ایران بر اساس توجه دقیق به جهت‌گیری و ویژگی‌های هندسی در مورد پارامترهای فیزیکی و طبیعی طراحی شده است تا به‌عنوان یک اصلاح‌کننده مؤثر اقلیم عمل

سریع‌ترین سرعت باد تا $2/7$ متر بر ثانیه در حیاط U شکل مربعی با بازشدگی به سمت باد غالب، وجود دارد. طالقانی و همکاران (Taleghani et al., 2015) دمای هوای فضای باز را در سه فرم مختلف حیاط شهری، شامل حیاط مرکزی، حیاط نقطه‌ای و حیاط خطی، در هلند با اقلیم سرد و معتدل با هم مقایسه کردند. تحقیقات آنها نشان داد که دوره تابش مستقیم خورشید و میانگین دمای تابشی که تحت تأثیر مورفولوژی قرار می‌گیرد، تأثیرگذارترین عامل در آسایش حرارتی است. علاوه بر این، آنها به این نتیجه رسیدند که حیاط‌های مرکزی نسبت به سایر اشکال شهری، شرایط میکرو اقلیم بهتری را از جهت محافظت در برابر تابش و باد فراهم می‌کنند. امروزه فرم‌های حیاط به‌جز فرم‌های مستطیلی سنتی، به دلیل عوامل متعددی مانند خلاقیت طراح و نیازهای زمینه‌ای مثل محدودیت سایت و کارکردهای خاص، شکل‌های پویاتری را به خود گرفته‌اند. این امر منجر به ایجاد فرم‌های جدید و مدرنی به‌صورت U، L، T یا Y شده است که با تغییر در دهانه‌های باز شو حاصل می‌شود (Almhafdy et al., 2013). برخی از مطالعات تأثیر بازشوها را بر عملکرد حرارتی حیاط بررسی می‌کنند. در این رابطه، روجاس و همکاران (Rojas et al., 2012) تحقیقاتی در مورد تهویه عرضی در حیاط عمیق مدیترانه در اسپانیا انجام دادند که دارای یک راهرو باز از خیابان تا حیاط بود. آنها مشاهده کردند که الگوهای جریان در مقایسه با حیاط‌های محصور به طرز قابل توجهی تغییر کرده است. گردباد در مرکز حیاط ناپدید شد و خطوط جریان حیاط داخلی از راهرو به خیابان می‌گذشت.

بر کوویچ و همکاران (Berkovic et al., 2012) تأثیر بازشوها در دیوارهای حیاط را مورد مطالعه قرار دادند. آنها به این نتیجه رسیدند که تهویه عرضی با فضای بیرون از طریق دهانه‌های حیاط باعث منجر به نفوذ هوای گرم و تابش می‌شود و در نتیجه دمای هوا و دمای تابش افزایش می‌یابد. دهانه‌های با ارتفاع بیشتر در مقایسه با دهانه‌های کوچک‌تر نارضایتی حرارتی بیشتری ایجاد می‌کنند. اوک و همکاران (Ok et al., 2008) تأثیر ۱۷ نمای مختلف باز شو در جداره‌های حیاط را بر جریان هوا مطالعه کردند. نتایج نشان دادند که ایجاد باز شو در دیوارهای اطراف می‌تواند عملکرد تهویه طبیعی در حیاط را افزایش دهد. نتایج همچنین نشان داد که حیاط بسته دارای کم‌ترین سرعت جریان هوا است، در حالی که ایجاد دو حفره مقابل در جداره‌های حیاط سرعت هوا را به میزان قابل توجهی افزایش می‌دهد. در یک مطالعه دیگر، چاتزیدیمیتریو و همکاران (Chatzidimitriou & Yannas, 2016) به این نتیجه رسیدند که بازشوهای طبقه همکف باعث ایجاد جریان هوا و تغییرات دما در تابستان می‌شود و امکان جریان هوای سرد را در زمستان فراهم می‌کند. بنابراین، آنها نشان دادند که عملکرد حرارتی حیاط محصور بهتر از حیاط‌هایی است که باز شو دارند. اگرچه مطالعات موجود به بررسی تأثیر فرم حیاط و بازشوهای آن بر آسایش حرارتی فضای باز پرداخته‌اند، اما تنها به فرم‌های رایج حیاط مرکزی، U شکل و خطی، در اقلیم‌های گرم بسنده کرده‌اند. لذا بررسی تأثیر ابعاد و موقعیت‌های مختلف باز شو در حیاط همسایگی، در اقلیمی که هر دو هوای غالب سرد و گرم را تجربه می‌کند، به‌عنوان یک شکاف پژوهشی باقی مانده است که هدف از پژوهش حاضر بر کردن این شکاف است.

کند. فعل‌وانفعالات بین هندسه شهری و ویژگی‌های سطوح، تحت یک آب‌وهوای خاص، باعث ایجاد خرد اقلیم می‌شود. این تعاملات ابتدا توسط اولگی (Olgay, 2015) و اوک (Oke, 2002) مورد بحث قرار گرفتند. گیونی (Givoni, 1998) تأثیر حرارتی گونه‌های شهری در آب‌وهوای مختلف را مورد بحث قرار داد و به دستورالعمل‌های کلی طراحی رسید. او بیان می‌کند که فرم‌های معماری، مصالح سطحی و مورفولوژی شهری (فشردگی، کشیدگی‌ها و غیره) می‌توانند بر میکرو اقلیم شهری تأثیر بگذارند. در این موضوع، بلوک‌های حیاط‌دار را در چندین اقلیم و مزایای مختلف آن‌ها را مورد بررسی قرار داد.

یک مطالعه جامع در مورد حیاط شهری در عرض جغرافیایی ۲۶ تا ۳۴ درجه شمالی توسط یزیورو و همکاران (Yeziro et al., 2006) انجام شد. آن‌ها نشان دادند که برای اهداف سرمایشی، بهترین جهت یک حیاط مستطیل شکل، شمال به جنوب (NS)، پس از آن NW_ SE، NE_ SW و EW به ترتیب است؛ زیرا جهت NS کوتاه‌ترین مدت تابش مستقیم نور خورشید را در مرکز حیاط دارد. این یافته مطابق با آب‌وهوا (یا فصل‌ها) که در آن آفتاب کم‌تر مطلوب است، سازگار است. آنها همچنین آسایش حرارتی در تابستان را مورد بررسی قرار داده و نشان دادند، اگرچه تفاوت دمای هوا بین مناطق سایه‌دار و بدون سایه تنها $0/5$ درجه سانتی‌گراد است، اما میانگین دمای تابشی تا 30 درجه سانتی‌گراد متفاوت است. استیمرز و همکاران (Stemers, 2003) شش فرم معماری معمول شهری را برای لندن پیشنهاد کردند و تابش خورشیدی و میزان دریافت نور روز را مقایسه کردند. آنها به این نتیجه رسیدند که حیاط‌های بزرگ از نظر زیست‌محیطی در آب‌وهوای سرد مناسب هستند، جایی که تحت شرایط هندسی خاصی می‌توانند به‌عنوان ذخیره کننده انرژی خورشیدی عمل کرده و در برابر بادهای سرد نقش سرپناه بودن خود را حفظ کنند. راتی و همکاران (Ratti et al., 2003) سه بلوک شهری را در آب‌وهوای گرم و خشک مورد مطالعه قرار دادند. آنها نسبت سطح به حجم، ضریب نمای آسمان، نور روز و میزان سایه را محاسبه کردند و در ادامه به این نتیجه رسیدند که ساختمان‌های حیاط‌دار بهترین عملکرد را در بین اشکال مختلف ساختمان دارد. اجرای حیاط همیشه به‌عنوان یک طرح مناسب برای حفظ حریم خصوصی، آسایش و حداقل مصرف انرژی در نظر گرفته شده است. علاوه بر این، حیاط‌ها مقدار مناسبی از نور روز، تهویه طبیعی و عملکرد حرارتی را فراهم می‌کنند.

غفاریان حسینی و همکاران (Ghaffarianhoseini et al., 2015) اثرات دو فرم حیاط مرکزی و U شکل با جهت‌گیری‌های مختلف را بر آسایش حرارتی در اقلیم گرم و مرطوب مالزی با استفاده از انویمت بررسی کردند. نتایج نشان می‌دهد که حیاط‌های U شکل به سمت شمال به دلیل سایه‌دهی بهتر بر خلاف جهت‌گیری‌های دیگر و فرم حیاط مرکزی، عملکرد بهتری دارند. افزایش ارتفاع دیوارها و استفاده از پوشش گیاهی مناسب نیز آسایش حرارتی کلی را بهبود می‌بخشد؛ بنابراین، با طراحی مناسب، آسایش حرارتی به‌راحتی قابل دستیابی است. طالب و همکاران (Taleb & Abumoeilak, 2021) با مقایسه چندین فرم حیاط در مقیاس شهری در یکی از محله‌های دبی با اقلیم گرم و خشک، شامل حیاط مرکزی مربعی، حیاط U شکل مستطیلی، حیاط U شکل مربعی و حیاط خطی، به این نتیجه رسیدند که بهترین رفتار حرارتی حیاط شهری با کم‌ترین دمای هوا، بالاترین رطوبت نسبی و

مبانی نظری پژوهش

۱- اقلیم سبزوار

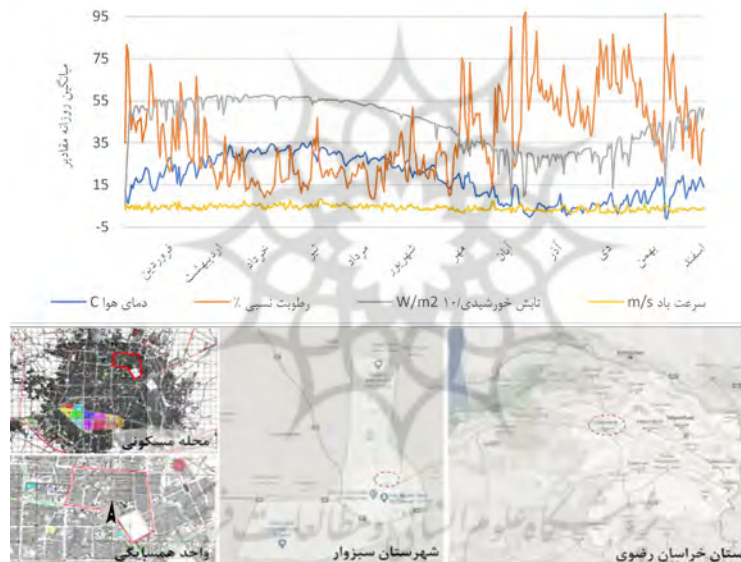
شهرستان سبزوار در قسمت شمال شرقی ایران با عرض جغرافیایی ۳۶/۲۱ درجه و طول جغرافیایی ۵۷/۶۸ درجه واقع شده است. این شهرستان تابستان‌های گرم و زمستان‌های سردی دارد. میانگین دمای سالانه ۱۸/۲ درجه سانتی‌گراد، بیشترین میانگین دما در ماه تیر و کم‌ترین میانگین دما در ماه دی به ترتیب حدود ۳۲ و ۴/۴ درجه سانتی‌گراد است. دامنه دما بین ۱/۱- درجه سانتی‌گراد در شب و ۳۵/۷ درجه سانتی‌گراد در روز در حال نوسان است. دمای هوا و سایر متغیرهای محیطی شامل رطوبت نسبی، سرعت باد و تابش خورشیدی و موقعیت سایت مورد نظر در شهرستان سبزوار را در تصویر (۱) مشاهده می‌شود. با توجه به طبقه‌بندی اقلیمی اشری (Ashrae, 2020) اقلیم سبزوار در زون 3B و مشابه اقلیم تهران و اصفهان (Soflaei et al., 2017) که دارای آب‌وهوای سرد و نیمه‌خشک-خشک هستند، قرار می‌گیرد.

۲- اطلاعات ورودی و خروجی نرم‌افزار/نویمت

از آنجایی که هدف اصلی این مقاله مقایسه آسایش حرارتی حیاط همسایگی در اقلیم سبزوار با استفاده از نویمت می‌باشد، پارامترهای محیطی از جمله دمای خشک (°C)، رطوبت نسبی (%)، سرعت باد (m/s)، جهت باد (°) در دوره زمانی ۲۰۱۸-۲۰۰۴ به‌عنوان پارامترهای ورودی (Weather Spark 2022, World Weather Online 2022) و *UTCI* و *PET* پارامترهای خروجی هستند. جدول (۲) محدوده مقادیر پارامترهای ورودی مورد استفاده برای ایجاد مدل‌ها توسط نویمت را در گرم‌ترین و سردترین روز (انقلاب تابستانی و زمستانی) سبزوار خلاصه می‌کند. قابل ذکر است که ساعت ۱۷ گرم‌ترین ساعت و ساعت ۵ سردترین ساعت در انقلاب تابستانی و زمستانی است.

۳- طراحی گزینه‌های پیشنهادی

برای رسیدن به هدف پژوهش، ۳ گزینه طراحی حیاط بر گرفته از ادبیات موضوعی (Ghaffarianhoseini et al., 2015; Taleb & Abumoeilak, 2021) برای واحد همسایگی مورد نظر پیشنهاد شد که



تصویر ۱- موقعیت جغرافیایی واحد همسایگی در یک محله مسکونی در شهرستان سبزوار، خراسان رضوی، ایران (پایین)، اطلاعات آب‌وهوایی در شهرستان سبزوار (بالا).

جدول ۲- اطلاعات ورودی در نرم‌افزار نویمت.

	انقلاب تابستانی	انقلاب زمستانی
موقعیت	سبزوار (۳۶/۲۱° شمال و ۵۷/۶۸° شرق)	
ارتفاع	۹۰۸	
اقلیم	سرد و نیمه‌خشک-خشک	
چرخش نسبت به محور شمال (°)	-۲۰	
تعداد شبکه‌ها	(X*Y*Z) ۵۹*۳۹*۳۰	
ابعاد شبکه‌ها	(X*Y*Z) ۳m*۳m*۳m	
روزهای شبیه‌سازی	۲۰۱۸/۲/۷ (گرم‌ترین روز سال)	۲۰۱۸/۸/۳ (سردترین روز سال)
دوره‌ی شبیه‌سازی	۲۴ ساعت_شروع از ۵ صبح همان روز (ساعت ۱۷ بعدازظهر به‌عنوان گرم‌ترین ساعت)	۲۴ ساعت_شروع از ۱۷ بعدازظهر (ساعت ۵ صبح به‌عنوان سردترین ساعت)
دمای خشک (°C)	حداکثر: ۴۲/۳ حداقل: ۳۰/۲	حداکثر: ۲/۱ حداقل: -۳/۶
رطوبت نسبی (%)	حداکثر: ۲۵ حداقل: ۹	حداکثر: ۸۲ حداقل: ۷۴
سرعت باد (m/s)	۸.۰	۷.۰
جهت باد (° درجه - سمت شمال)	۸۵	۲۱۰

شامل: ۱) ورود باد مطلوب از جبهه شمالی و جنوبی (۲) سایه‌اندازی کم‌تر در حیاط همسایگی و معبر شمالی. حیاط مرکزی منقطع به‌عنوان گزینه پیشنهادی اول (تصویر ۲ الف) دارای ۳ بازشو گسترده بدون هیچ پوششی در سقف، در جبهه‌های شمالی، شرقی و جنوبی می‌باشد. گزینه پیشنهادی دوم، ضمن ثابت در نظر گرفتن شرایط ذکر شده در طراحی، حیاط مرکزی منقطع را به یک حیاط مرکزی محصور تبدیل کرده و تنها دو بازشو با ارتفاع ۳ متر و به عرض یک پیاده راه کوچک در جبهه شمالی و جنوبی، در جهت باد مطلوب تعبیه شده است (تصویر ۲ ب). گزینه پیشنهادی سوم نیز، ضمن ثابت در نظر گرفتن شرایط ذکر شده در طراحی، حیاط مرکزی محصور را به حیاط U شکل با بازشو به سمت شمال تبدیل کرده که در جهت باد مطلوب این اقلیم است (تصویر ۲ ج).

۴- شاخص‌های آسایش حرارتی

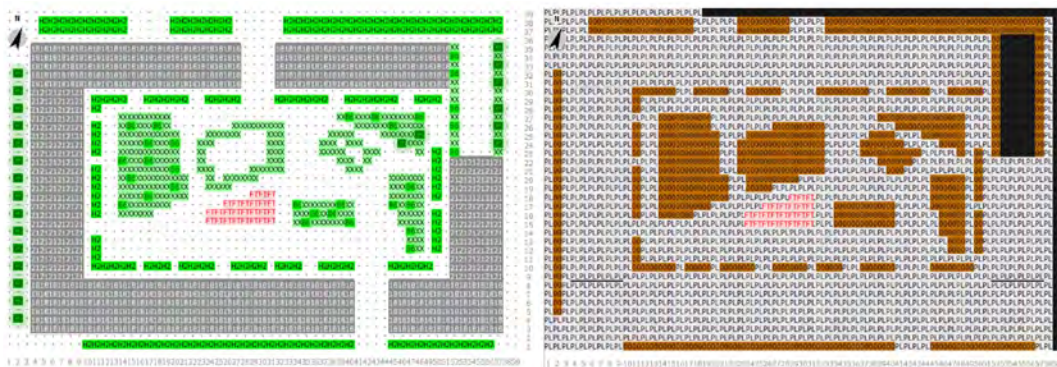
شاخص $UTCI$ (Universal Thermal Climate Index) یا شاخص جهانی آب‌وهوای گرمایی، از میانگین دمای تابشی، دمای هوا، سرعت هوا و رطوبت نسبی برای محاسبه آسایش حرارتی در فضاهای باز استفاده می‌کند و همچنین عوامل دیگری مانند لباس، سن، وزن و قد متوسط جمعیت را در نظر می‌گیرد. $UTCI$ به یک شاخص رایج مورد استفاده توسط هواشناسان در سطح جهان تبدیل شده است (McGregor, 2012) و در مطالعات زیادی (Dhariwal et al., 2019; Nasrolla-hi et al., 2017) مورد بررسی قرار گرفته است. این شاخص بررسی ترموفیزیولوژیکی، محیط حرارتی را برای هر آب‌وهوا، فصل یا مقیاس معین تخمین می‌زند. تنش‌های حرارتی در ۱۰ مقیاس از تنش گرمایی شدید تا تنش سرمای شدید تعریف شده است. اعتقاد بر این است که منطقه آسایش حرارتی بین ۱۸ تا ۲۶ درجه سانتی‌گراد است (جدول ۱). شاخص PET (Physiological Equivalent Temperature) یا دمای معادل فیزیولوژیکی (بر حسب درجه سانتی‌گراد)، سعی می‌کند آب‌وهوای بیرون را به‌عنوان یک شاخص برای افراد عادی ساده کند. ماتزاراکیس و آمونگ (Matzarakis & Amelung, 2008)، نشان دادند که PET یک

تنها هندسه حیاط از مراجع گرفته شده است و تمامی جزئیات واحد همسایگی شامل بلوک‌های مسکونی، پوشش گیاهی، آب‌نما و مصالح متناسب با هدف پژوهش به ترتیب توضیح داده خواهد شد و این جزئیات در هر ۳ گزینه پیشنهادی حیاط، ثابت فرض شده است (تصاویر ۲-۳). از آنجا که هندسه حیاط مرکزی گرچه تاکنون در سبزووار در مقیاس شهری مورد توجه قرار نگرفته است. لیکن، با توجه تیپولوژی ساختمان‌های سنتی سبزووار که به‌صورت حیاط مرکزی است (Taheri et al., 2021). می‌توان به بررسی این نوع هندسه فضای باز، در شهر سبزووار پرداخت. حیاط مورد نظر، حیاطی با ابعاد تقریبی ۱۲۰×۶۰ متر در جهت شرقی- غربی با بلوک‌های ۶ طبقه (۱۸ متر ارتفاع) در جبهه شمالی و جنوبی، و بلوک‌های ۷ طبقه (۲۱ متر ارتفاع) در جبهه شرقی و غربی (بر اساس وضع موجود بلوک‌ها در واحد همسایگی). باد مطلوب در اقلیم سبزووار از جبهه شمال غربی و جنوب شرقی، باد نامطلوب در تابستان از جبهه شرقی و در زمستان از جبهه جنوب غربی می‌باشد.

با توجه به جبهه باد مطلوب سبزووار از شمال غربی و جنوب شرقی، از پوشش گیاهی شمشاد $۱/۵$ متری در این جهات استفاده شد که با علامت اختصاری H2 نمایش داده شده است (تصویر ۳). همچنین در مرکز حیاط همسایگی از پوشش گیاهی خزان پذیر با ارتفاع ۱۰ متر جهت دریافت تابش در زمستان و ایجاد سایه در تابستان استفاده شد که با علامت B6 نشان داده شده است. در جبهه‌های شرق و جنوب غربی که دارای باد نامطلوب تابستانی و زمستانی به ترتیب می‌باشد، از درختان بلند خزان ناپذیر (C2) با ارتفاع ۱۵ متر استفاده شده است. در ضمن تمامی لکه‌های سبز سایت با چمن (با نماد XX)، آنچه در سبزووار متداول است، پوشیده شده است. در معابر سواره از آسفالت و در معابر پیاده از بتن سبک، در باغچه‌ها از خاک لومی و در قسمتی از حیاط، آب‌نما با مصالح طبیعی آب بر گرفته از قسمت $Sources$ نرم‌افزار استفاده شده است (تصویر ۳). جبهه‌های شمال و جنوب واحد همسایگی به دو دلیل ارتفاع کم‌تری نسبت به جبهه‌های شرقی و غربی دارند که



تصویر ۲- مدل‌سازی واحد همسایگی در نرم‌افزار نوبیت: (الف) گزینه پیشنهادی اول (حیاط مرکزی منقطع)؛ (ب) گزینه پیشنهادی دوم (حیاط مرکزی محصور)؛ (ج) گزینه پیشنهادی سوم (حیاط U شکل با بازشو به سمت شمال).



تصویر ۳- جزئیات طراحی بلوک‌های ساختمانی، پوشش گیاهی، مصالح معابر در نرم‌افزار نوبیت.

سرعت باد و رطوبت نسبی که از بیشترین تا کم‌ترین تأثیر به ترتیب رتبه‌بندی می‌شوند، در این پژوهش مورد بررسی قرار می‌گیرند.

۱. پارامترهای مؤثر بر آسایش حرارتی

۱-۱. دمای هوا

با توجه به تصویر (۶)، میانگین دمای هوا در حیاط مرکزی محصور در انقلاب زمستانی بالاتر از سایر گزینه‌هاست و در انقلاب تابستانی، اگرچه میانگین دمای هوای حیاط مرکزی محصور پایین‌تر از حیاط مرکزی

جدول ۱- محدوده شاخص‌های *UTCI* (Nasrollahi et al., 2017) و *PET* (Taleghani et al., 2014) برای درجه‌های مختلف احساس حرارتی.

PET (°C)	UTCI (°C)	احساس حرارتی
	> -۴۰	به شدت سرد
کمتر از ۴	-۴۰	بسیار سرد
۴	-۳۷	سرد
۸	-۱۳	خنک
۱۳	۰	کمی خنک
۱۸	۱۸	محدوده آسایش حرارتی
۲۳	۲۶	کمی گرم
۲۹	۳۲	گرم
۳۵	۳۸	داغ
۴۱	۴۶	بسیار داغ
بیشتر از ۴۱	بیشتر از ۴۶	

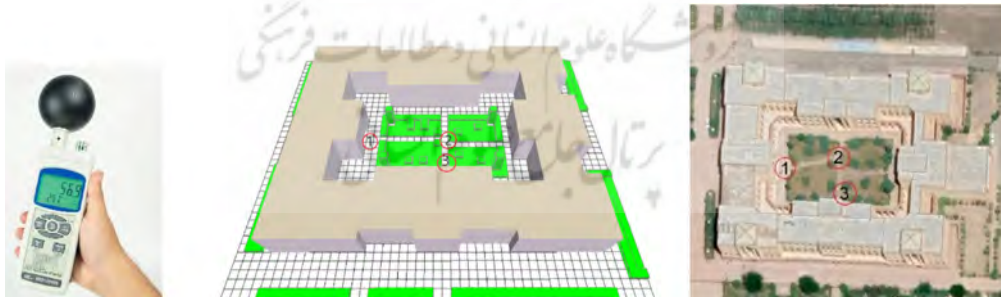
شاخص دقیق برای ارزیابی اثرات تغییرات آب‌وهوایی بر سلامت و رفاه انسان است و نتایج آن به روشنی نشان‌دهنده دمای آسایش است، زیرا بر حسب درجه سانتی‌گراد بوده و بنابراین برای افرادی که در هواشناسی متخصص نیستند نیز منطقی است. *PET* به چهار پارامتر اصلی فیزیکی بستگی دارد که محیط گرمایی را مشخص می‌کنند: دمای هوا، فشار بخار آب، سرعت هوا و میانگین دمای تابشی. محدوده آسایش حرارتی این شاخص در جدول ۱ مشاهده می‌شود.

۵- اعتبار سنجی نرم‌افزار/نویمت

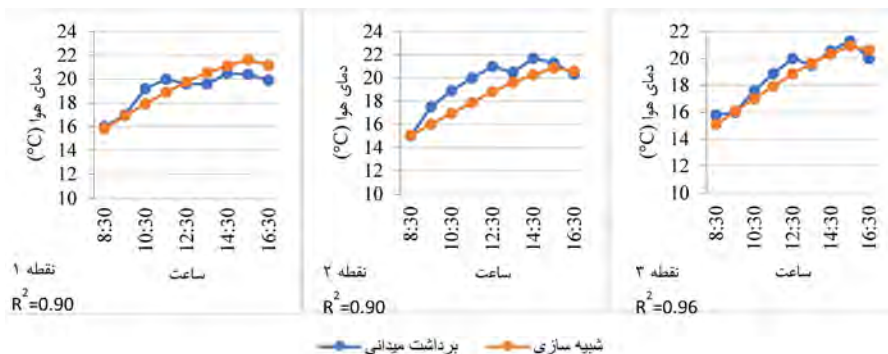
به منظور اعتبار سنجی نرم‌افزار، نتایج حاصل از شبیه‌سازی با داده‌های اندازه‌گیری شده در شرایط مشابه در یک روز مقایسه می‌شود. به این منظور، برداشت‌های میدانی از سه نقطه واقع در حیاط مرکزی (ابعاد ۴۸×۷۰ متر) ساختمان دانشکده ادبیات دانشگاه حکیم سبزواری (ابعاد ۱۱۶×۹۵ متر) که با یک گشودگی در سمت غرب به فضای بیرون راه دارد، با استفاده از دستگاه *WBGT-2010SD* انجام شد (نقطه ۱ واقع در ورودی ساختمان در حیاط، نقطه ۲ در مرکز حیاط و نقطه ۳ در وسط ضلع جنوبی حیاط قرار دارد). (تصویر ۴). سپس، نتایج برداشت میدانی (از ساعت ۸:۳۰ تا ۱۶:۳۰)، با نتایج حاصل از نرم‌افزار نویمت که بر اساس داده‌های پایگاه سینپوتیک هواشناسی سبزوار (کد ۴۰۷۴۳)، در تاریخ ۱۴۰۲/۱۳/۳۰ از ساعت ۵:۳۰ تا ساعت ۱۸:۳۰ شبیه‌سازی شده است، مقایسه شد. بر اساس مقایسه اطلاعات به دست آمده از نتایج شبیه‌سازی و برداشت میدانی، ضریب همبستگی پیرسون برای میزان درستی اطلاعات شبیه‌سازی محاسبه گردید. نتایج، همبستگی ۹۰ درصد برای نقطه ۱ و ۹۶ و ۹۲ درصد برای نقطه ۲ و ۳ را نشان می‌دهد (تصویر ۵) که میزان بالای دقت شبیه‌سازی را نشان می‌دهد.

یافته‌ها و بحث

پارامترهای مؤثر بر آسایش حرارتی شامل دمای هوا، دمای تابشی،



تصویر ۴- محل نقاط برداشت‌شده در ساختمان مورد نظر و مدل آن در نرم‌افزار/نویمت به منظور اعتبار سنجی و وسیله اندازه‌گیری.



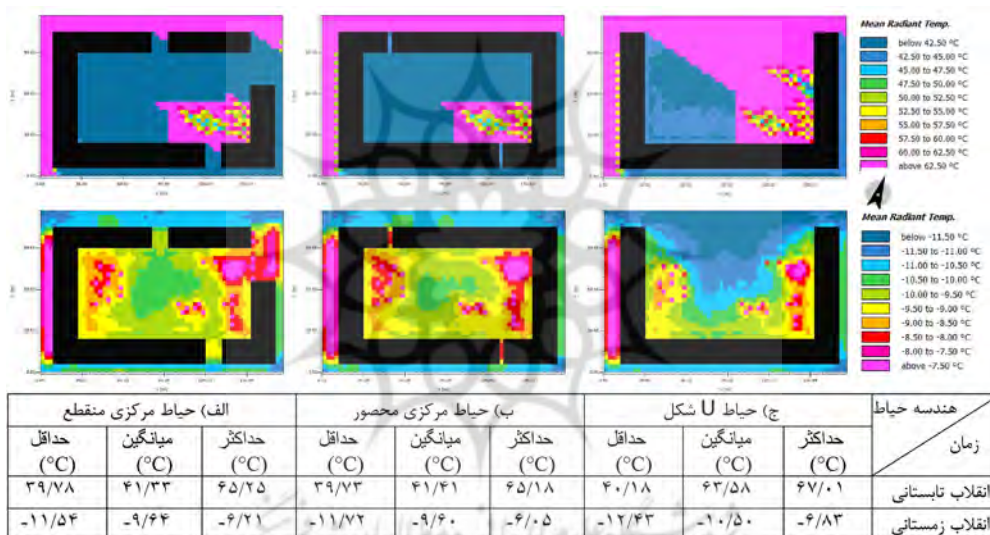
تصویر ۵- اعتبار سنجی نرم‌افزار، همبستگی نتایج دمای هوا برداشت‌شده و شبیه‌سازی شده در ۳ نقطه.

راست حیاط، تابش مشاهده می‌شود و لذا میانگین دمای تابشی در آن نقاط بیشتر است. از نظر میانگین دمای تابشی، در انقلاب تابستانی اگرچه حداقل و حداکثر دمای تابشی در حیاط مرکزی محصور کم‌تر از حیاط مرکزی منقطع است، اما میانگین دمای تابشی، با توجه به سایه‌اندازی محدودتر در کل سایت، برخلاف آن است. در انقلاب زمستانی هم با توجه به راکد شدن هوا در سمت راست حیاط مرکزی محصور، حداکثر دمای تابشی و به تبع آن میانگین دمای تابشی بیشتر از حیاط مرکزی منقطع است. در حیاط U شکل، با توجه به نفوذ نور بیشتر در حیاط، میانگین دمای تابشی در انقلاب تابستانی افزایش می‌یابد و در انقلاب زمستانی با توجه به نفوذ هوای سرد در حیاط، میانگین دمای تابشی به شدت کاهش می‌یابد. نمونه‌های حیاط مرکزی دارای یک محیط آب‌وهوایی محافظت‌شده‌تر است که در تابستان تابش خورشید کم‌تر و در زمستان تابش خورشیدی بیشتری را دریافت می‌کنند، لذا میانگین دمای تابشی در گزینه‌های حیاط مرکزی، در هر دو فصل متعادل‌تر از حیاط U شکل است.

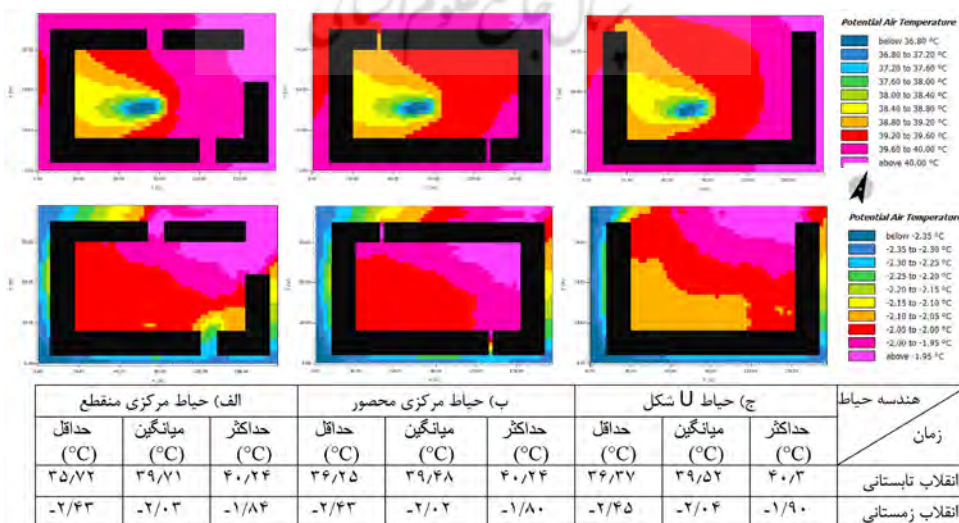
منقطع است، اما در حیاط مرکزی منقطع، حداقل دما پایین‌تر است. در انقلاب تابستانی در حیاط مرکزی محصور، با توجه به تهویه حداقلی در سمت راست حیاط، هوای بسیار گرم راکد در آنجا وجود دارد ولی در حیاط مرکزی منقطع، هوای گرم از جبهه شرقی از میان درختان بلند عبور کرده و با دمای کم‌تری وارد حیاط می‌شود. در حیاط U شکل با توجه به بازشوی گسترده در جبهه شمالی و سرعت گرفتن جریان باد، دمای هوا در زمستان بسیار پایین و در تابستان بسیار بالاست که باعث نارضایتی حرارتی بیشتری می‌شود. با توجه به تابستان‌های گرم و زمستان‌های سرد در اقلیم سبزوار، حیاط مرکزی محصور به دلیل فراهم کردن کم‌ترین دما در انقلاب تابستانی و بیشترین دما در انقلاب زمستانی مناسب‌ترین حیاط به‌شمار می‌رود.

۱-۲. میانگین دمای تابشی

با توجه به تصویر (۷)، در انقلاب تابستانی با توجه به ساعت ۱۷ بعدازظهر و وجود خورشید در غرب و سایه‌اندازی بلوک‌ها، فقط در سمت



تصویر ۷- میانگین دمای تابشی در فضای باز مرکزی در ۳ گزینه پیشنهادی: الف) حیاط مرکزی منقطع؛ ب) حیاط مرکزی محصور؛ ج) حیاط U شکل (ردیف بالا انقلاب تابستانی، ردیف پایین انقلاب زمستانی).



تصویر ۸- دمای هوای فضای باز مرکزی در ۳ گزینه پیشنهادی: الف) حیاط مرکزی منقطع؛ ب) حیاط مرکزی محصور؛ ج) حیاط U شکل (ردیف بالا انقلاب تابستانی، ردیف پایین انقلاب زمستانی).

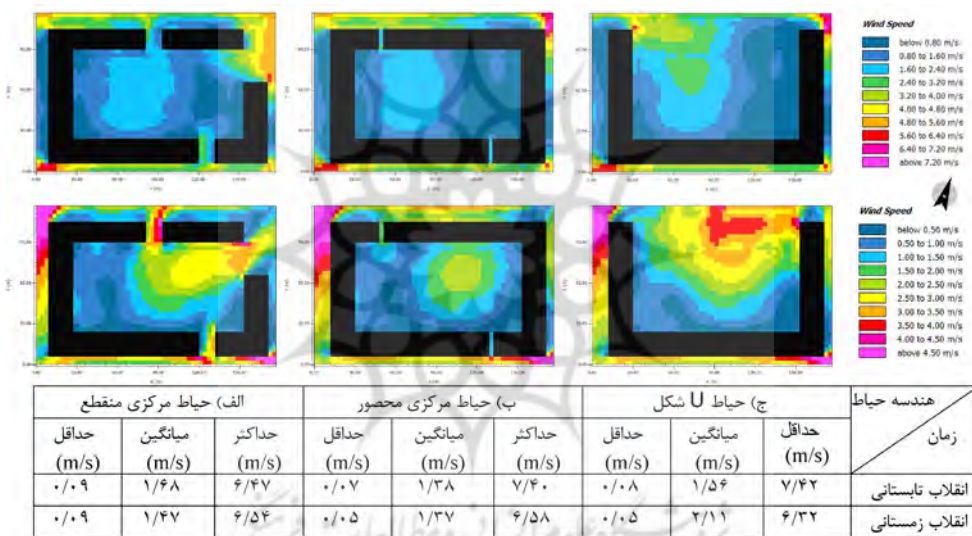
منتهی با تمهیداتی مانند استفاده از پوشش گیاهی که دمای باد را تعدیل بخشد. باز شو بزرگ شرقی اگرچه باعث تهویه طبیعی و افزایش آسایش حرارتی در انقلاب تابستانی در حیاط مرکزی منقطع شده است، اما همین باز شو باعث ورود هوای سرد به داخل حیاط همسایگی در انقلاب زمستانی می‌شود.

۴-۱. رطوبت نسبی

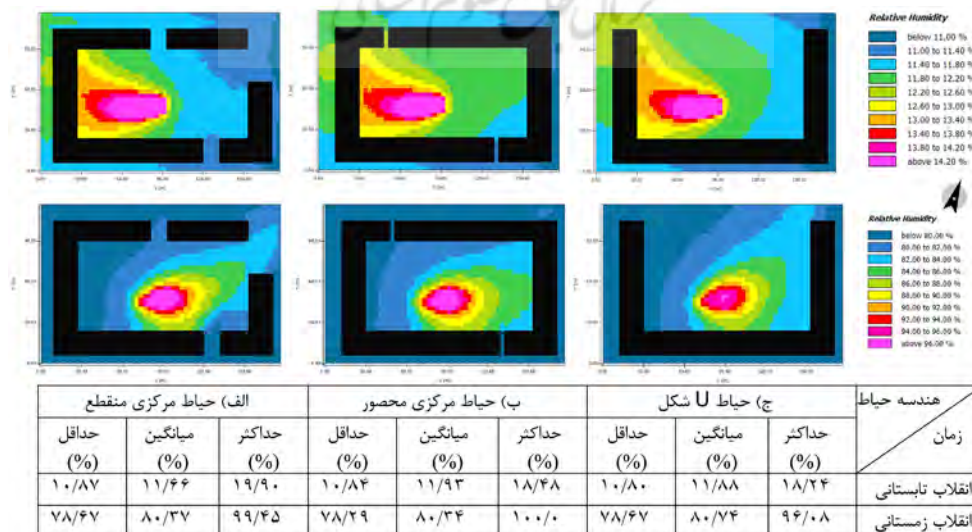
با توجه به تصویر (۹)، در انقلاب تابستانی، حیاط مرکزی محصور دارای بیشترین رطوبت نسبی است و در انقلاب زمستانی دارای کم‌ترین رطوبت نسبی است که معقول‌ترین حالت است؛ زیرا تهویه طبیعی در این حیاط کم‌تر از سایر گزینه‌ها می‌باشد که این خود باعث حفظ رطوبت هوای حیاط در تابستان (حفاظت از باد خشک تابستانی) و جلوگیری از افزایش رطوبت نسبی در زمستان می‌شود (باد مرطوب زمستانی). رطوبت در قسمت آب‌نما به بیشترین حالت خود می‌رسد و با توجه به اینکه نتایج در ارتفاع ۱/۸۰ متر است، رطوبت درختان قابل مشاهده نیست. حیاط مرکزی محصور بهترین گزینه طراحی از منظر رطوبت نسبی هم در

۳-۱. سرعت باد

با توجه به تصویر (۸)، در حیاط مرکزی محصور که تمامی جبهه‌ها کاملاً بسته است (به جز دو باز شو ۳ متری در جبهه شمالی و جنوبی)، سرعت باد نسبت به دو گزینه دیگر، در انقلاب تابستانی و زمستانی کاهش یافته است؛ اما با توجه به اینکه در تابستان در سمت شرقی حیاط و در زمستان در سمت غربی حیاط، تهویه به شدت کاهش می‌یابد که این خود باعث گرمای شدید در تابستان و سرمای شدید در زمستان خواهد شد، پس بهترین طراحی، ترکیب دو گزینه پیشنهادی اول و دوم است. به این معنی که در حیاط مرکزی محصور، بازشوی کوچکی با ارتفاع کم در جبهه شرقی یا غربی ایجاد شود. در حیاط U شکل، در انقلاب زمستانی سرعت باد به شدت بالا می‌باشد که این به ضرر آسایش حرارتی خواهد بود. در نهایت بهتر است جهت بهبود تهویه طبیعی در حیاط‌های همسایگی در این اقلیم، ابتدا از فرم‌های محصورتر مانند حیاط مرکزی نسبت به حیاط U شکل استفاده شود، ثانیاً از بازشوهای کم ارتفاع در همه جبهه‌ها می‌توان جهت جلوگیری از راکدشدن هوا استفاده کرد،



تصویر ۸- سرعت باد در فضای باز مرکزی در ۳ گزینه پیشنهادی؛ الف) حیاط مرکزی منقطع؛
 ب) حیاط مرکزی محصور؛ ج) حیاط U شکل (ردیف بالا انقلاب تابستانی، ردیف پایین انقلاب زمستانی).



تصویر ۹- رطوبت نسبی در فضای باز مرکزی در ارتفاع ۱/۸۰ متر در ۳ گزینه پیشنهادی؛ الف) حیاط مرکزی منقطع؛ ب) حیاط مرکزی محصور؛ ج) حیاط U شکل (ردیف بالا انقلاب تابستانی، ردیف پایین انقلاب زمستانی).

تابستان و هم در زمستان است.

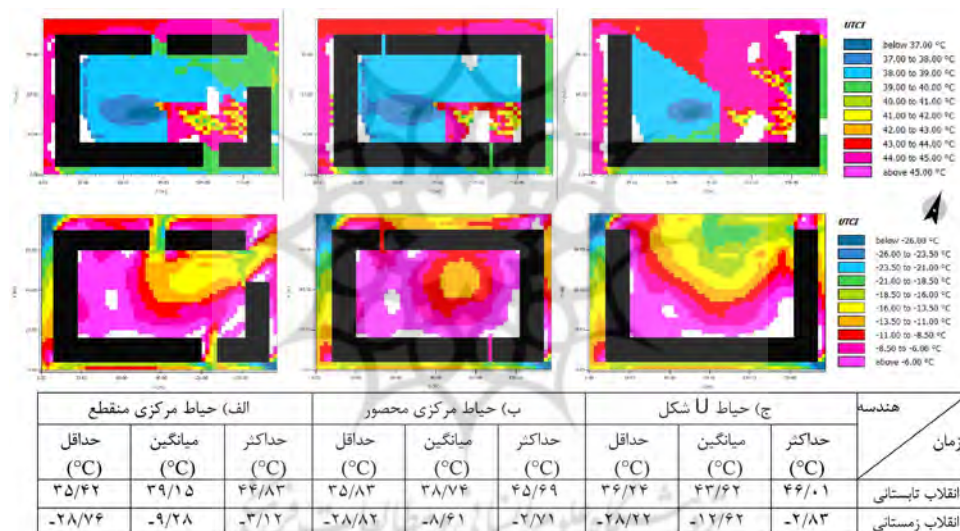
۲- شاخص‌های آسایش حرارتی در فضای باز: *PET, UTCI*

همان‌طور که در تصویر (۱۰) آمده است، میانگین شاخص *UTCI* در حیاط مرکزی محصور به میزان ۴/۸۸ درجه سانتی‌گراد در انقلاب تابستانی و ۴/۰۱ درجه سانتی‌گراد در انقلاب زمستانی نسبت به حیاط U شکل به محدوده آسایش حرارتی که طبق جدول (۱)، ۱۸ تا ۲۶ درجه سانتی‌گراد است، نزدیک‌تر است. همچنین در تابستان، شاخص *UTCI* در نزدیکی آب‌نما در بهترین حالت خود قرار دارد زیرا دما کاهش یافته است. در حیاط مرکزی منقطع، بازشویی که در جبهه شرقی وجود دارد، باعث نفوذ باد سرد در زمستان و باد گرم در تابستان به داخل حیاط و کاهش آسایش حرارتی می‌شود. همان‌طور که در تصویر (۱۱) مشاهده می‌شود، میانگین شاخص *PET* در حیاط مرکزی محصور به میزان ۷/۷۳ درجه سانتی‌گراد در انقلاب تابستانی و ۱/۲۸ درجه سانتی‌گراد در انقلاب زمستانی نسبت به حیاط U شکل به محدوده آسایش که طبق جدول (۱)، ۱۸ تا ۲۳ درجه سانتی‌گراد است، با توجه به دمای

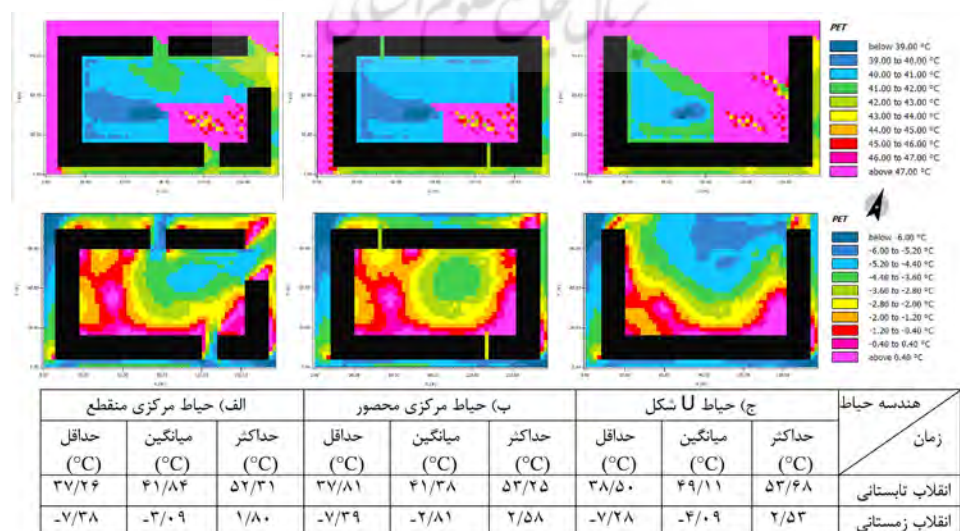
معادل فیزیکی *PET*، حیاط مرکزی محصور راحت‌ترین ساعات را در یک روز تابستانی و زمستانی دارد. در حیاط مرکزی منقطع، بازشویی که در جبهه شرقی وجود دارد، باعث نفوذ باد سرد در زمستان به داخل حیاط و کاهش آسایش حرارتی می‌شود. نکته قابل توجه این است که باد پس از عبور از باز شو جبهه شرقی و درختان بلند خزان ناپذیر، دمای آن کاهش یافته که در تابستان مطلوب و در زمستان نامطلوب است. در حیاط U شکل، نفوذ باد سرد در زمستان و باد گرم در تابستان از جبهه شمالی، باعث کاهش آسایش حرارتی می‌شود و تفاوتی در آسایش حرارتی داخل و خارج حیاط U شکل احساس نمی‌شود درحالی‌که گزینه‌های پیشنهادی اول و دوم، آسایش حرارتی را به دلیل تعدیل دما در تابستان و زمستان، بهبود می‌بخشند.

۳. مقایسه پارامترهای آسایش حرارتی در موقعیت رسپتورها

با استفاده از تعریف رسپتور و خروجی‌های عددی نرم‌افزار انویمت، به مقایسه شاخص‌های مؤثر بر آسایش حرارتی در برخی نقاط مشخص و کلیدی در طرح نیز پرداخته شد. برای این منظور ۳ رسپتور متفاوت



تصویر ۱۰- شاخص آسایش حرارتی *UTCI* در فضای باز مرکزی در ۳ گزینه پیشنهادی: (الف) حیاط مرکزی منقطع؛ (ب) حیاط مرکزی محصور؛ (ج) حیاط U شکل (ردیف بالا انقلاب تابستانی، ردیف پایین انقلاب زمستانی).

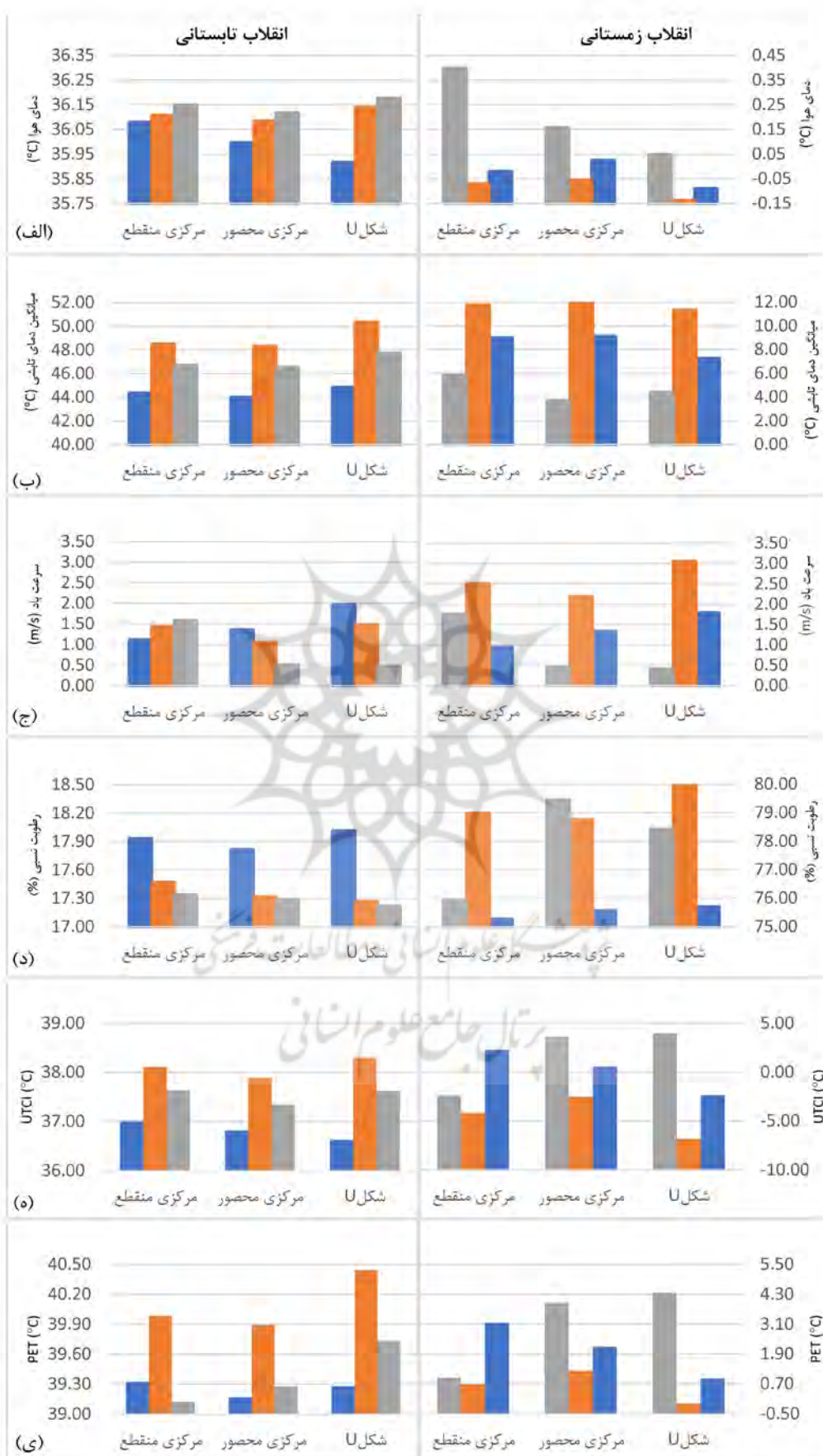


تصویر ۱۱- شاخص آسایش حرارتی *PET* در فضای باز مرکزی در ۳ گزینه پیشنهادی: (الف) حیاط مرکزی منقطع؛ (ب) حیاط مرکزی محصور؛ (ج) حیاط U شکل (ردیف بالا انقلاب تابستانی، ردیف پایین انقلاب زمستانی).

در ساعات ابتدایی و انتهایی روز، رطوبت حیاط مرکزی منقطع بیشتر از سایر حیاط‌ها بوده در حالی که در ساعات میانی روز، برعکس عمل می‌کند. در انقلاب زمستانی، رسپتور مرکزی در حیاط مرکزی محصور و رسپتور جنوبی در حیاط مرکزی منقطع کم‌ترین میزان رطوبت نسبی را ثبت کرده است که این اختلاف در ساعات ۴ تا ۸ صبح به اوج خود می‌رسد. در انقلاب تابستانی شمال حیاط‌ها دمای کم‌تر، تابش کم‌تر، سرعت باد بیشتر (به‌جز حیاط مرکزی منقطع) و رطوبت بیشتری را تجربه می‌کنند و لذا شاخص‌های آسایش حرارتی در این موقعیت به محدوده آسایش حرارتی نزدیک‌تر است (در حیاط مرکزی منقطع، بازشو بزرگ جنوبی باعث افزایش سرعت باد شده است، لذا در انقلاب تابستانی، شاخص *PET* در موقعیت جنوبی حیاط به شرایط آسایش حرارتی نزدیک‌تر است). در انقلاب تابستانی، شاخص آسایش حرارتی *UTCL* در جنوب و مرکز حیاط مرکزی محصور به محدوده آسایش حرارتی نزدیک‌تر است. در موقعیت شمالی در حیاط U شکل با توجه به سرعت باد بیشتر و دمای کم‌تر، امکان فراهم آوردن شرایط آسایش حرارتی آسان‌تر می‌شود. در انقلاب زمستانی، جنوب حیاط‌ها، دمای بیشتر و سرعت باد کم‌تر (به‌جز حیاط مرکزی منقطع)، مرکز حیاط‌ها، تابش بیشتر و شمال حیاط‌ها، رطوبت کم‌تری را تجربه می‌کنند که هر یک از این نقاط با توجه به نیاز کاربر، نقاط کلیدی طرح محسوب می‌شوند، اما از نظر شاخص‌های حرارتی *UTCI* و *PET*، موقعیت جنوبی حیاط به شرایط آسایش حرارتی نزدیک‌تر است، به‌جز در حیاط مرکزی منقطع که بازشو بزرگ جنوبی باعث افزایش سرعت باد و کاهش میزان آسایش حرارتی می‌شود. در انقلاب زمستانی، شمال حیاط مرکزی منقطع، جنوب حیاط مرکزی محصور و حیاط U شکل به شرایط آسایش حرارتی نزدیک‌تر است (تصویر ۱۲ هـ) و در ساعات ۱۳ تا ۱۵ کاملاً در محدوده آسایش قرار می‌گیرد. با مقایسه نمودارهای *UTCI* و *PET* در ۲۴ ساعت دوره شبیه‌سازی در تصاویر (۱۳-۱۵)، مشاهده می‌شود که الگوی نمودارهای مذکور بیش از همه به نمودار میانگین دمای تابشی شباهت دارد، لذا به‌عنوان مهم‌ترین عاملی که هم تأثیر دما و هم تابش را نشان می‌دهد، در تعیین آسایش حرارتی فضای باز به‌شمار می‌رود.

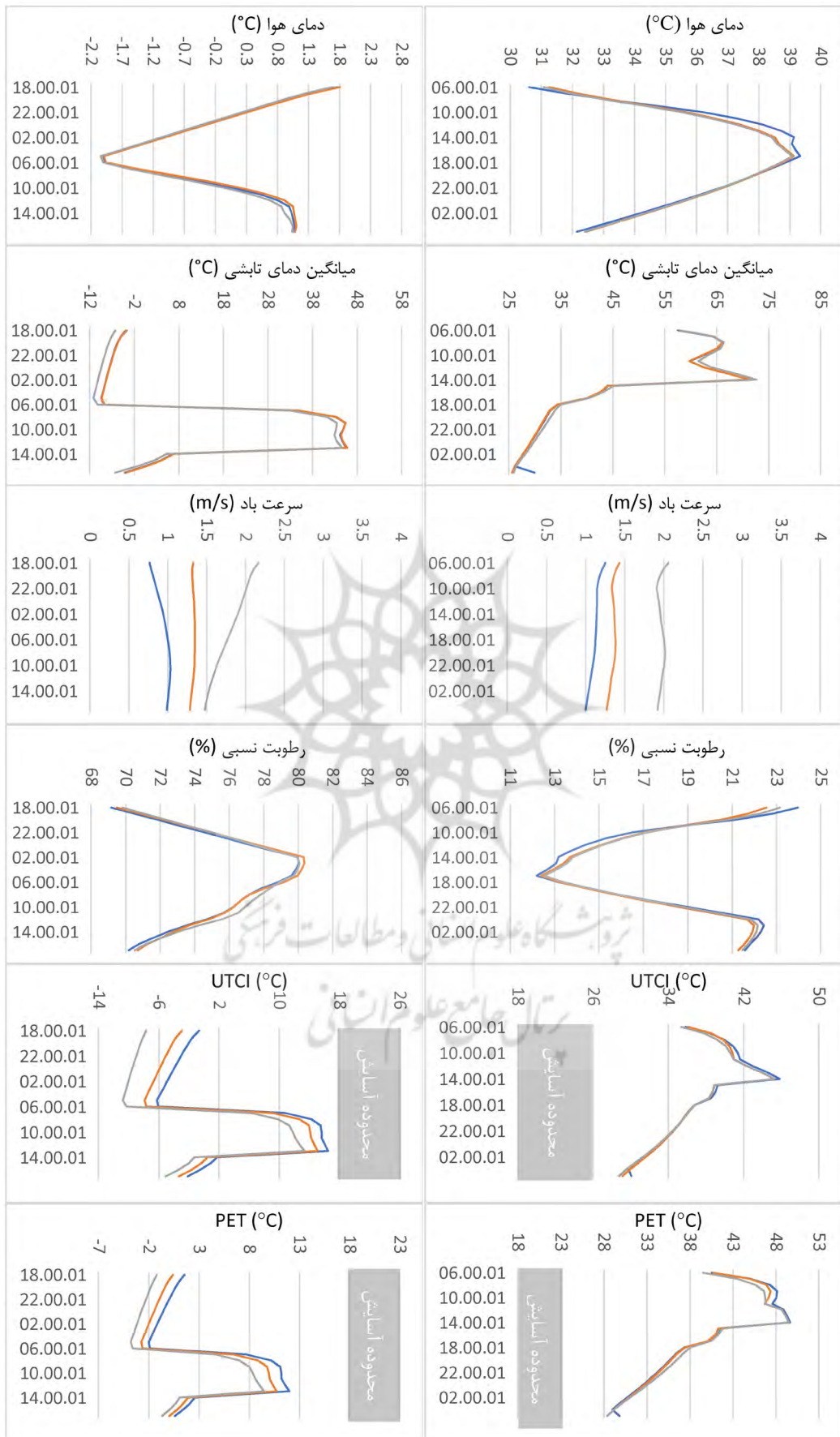
با مختصات (۲۸،۱۶)، (۲۴،۳۴) و (۱۰،۴۳) با موقعیت نزدیک به بازشو شمالی، مرکز حیاط و بازشو جنوبی (تصویر ۲) در نظر گرفته شد و از منظر دمای هوا، میانگین دمای تابشی، سرعت باد، رطوبت نسبی، شاخص‌های *UTCI* و *PET*، ۳ گزینه پیشنهادی حیاط همسایگی در میانگین روزانه هر یک از فاکتورهای نامبرده در ۳ موقعیت متفاوت تعریف شده باهم مقایسه شدند (تصویر ۱۲). قابل ذکر است که تمامی پارامترهای محیطی و شاخص‌های آسایش حرارتی به تفکیک ساعت در موقعیت رسپتور شمالی (تصویر ۱۳)، رسپتور مرکزی (تصویر ۱۴) و رسپتور جنوبی (تصویر ۱۵) در پایان مقاله قابل مشاهده است. نتایج نشان می‌دهد که ایجاد بازشو در جبهه جنوبی در انقلاب تابستانی باعث کاهش دمای هوا و در انقلاب زمستانی باعث افزایش دمای هوا می‌شود که به علت ایجاد جریان هواست (تصویر ۱۲ الف). افزایش دمای هوا در رسپتور جنوبی در انقلاب زمستانی از ساعت ۱۱ تا ۱۴ نیز گواهی بر این ادعاست (تصویر ۱۵). در موقعیت شمالی حیاط‌ها به دلیل باز بودن جبهه شمالی حیاط U شکل، دمای هوا در تابستان کاهش بیشتری می‌یابد و در زمستان با توجه به راکد شدن هوا در جنوب حیاط U شکل، میانگین دمای هوا به‌شدت کاهش می‌یابد. میانگین دمای هوا در حیاط مرکزی منقطع با بازشوهایی بدون سقف و مرتفع، به‌مراتب بیشتر از حیاط مرکزی محصور با بازشوهایی کم‌عرض و ارتفاع ۳ متر است که گویای ورود هوای گرم و تابش و باد بیشتری در دهانه‌های بزرگ‌تر در انقلاب تابستانی است و این اختلاف در ساعات ۱۱ تا ۱۴ به اوج خود می‌رسد که در داده‌های رسپتور شمالی به‌وضوح قابل درک است (تصویر ۱۳).

در انقلاب تابستانی، حیاط U شکل تابش بیشتری در روز دریافت می‌کند و لذا میانگین دمای تابشی در ۳ موقعیت تعریف شده در آن بالاتر است و این اختلاف از ساعت ۱۰ تا ۱۶ که خورشید مستقیم می‌تابد، به‌وضوح قابل درک است (تصاویر ۱۳ تا ۱۵). در انقلاب زمستانی به دلیل راکد شدن هوا در جنوب حیاط U شکل و عدم جریان هوا، میانگین دمای تابشی کمی افزایش پیدا می‌کند اما در موقعیت شمالی و مرکزی حیاط دارای کم‌ترین میانگین دمای تابشی ناشی از تهویه هوا می‌باشد (تصویر ۱۲ ب). افزایش چشمگیر میانگین دمای تابشی در ساعات ۱۱ و ۱۲ ظهر در حیاط مرکزی منقطع در رسپتور جنوبی ناشی از حداقل سرعت باد در این ساعات می‌باشد (تصویر ۱۵). مقایسه سرعت باد در تصویر (۱۲ ج) نشان می‌دهد که ایجاد بازشو بزرگ‌تر در جبهه جنوبی باعث تهویه هوای بیشتری در مرکز و جنوب حیاط مرکزی می‌شود و در شمال حیاط با توجه به اینکه رسپتور در مقابل بازشو شمالی حیاط مرکزی محصور تعریف شده است، لذا سرعت باد در شمال این حیاط بیشتر از حیاط مرکزی منقطع است. از طرفی سرعت باد در حیاط U شکل با توجه به نفوذ باد بیشتر هم در تابستان و هم در زمستان، بیشتر از گزینه‌های حیاط مرکزی می‌باشد به‌جز در موقعیت جنوبی حیاط که هوای راکد و سرعت باد کم‌تری نسبت به حیاط‌های مرکزی مشاهده می‌شود و این الگو در ۲۴ ساعت شبیه‌سازی ثابت است (تصاویر ۱۳-۱۵). مقایسه رطوبت نسبی در تصویر (۱۲ د) نشان می‌دهد که در انقلاب تابستانی، ایجاد بازشو در جبهه جنوبی باعث افزایش رطوبت نسبی مرکز و جنوب حیاط‌ها می‌شود؛ اما شمال حیاط U شکل با توجه به بازشو سراسری هم در تابستان و هم در زمستان، رطوبت نسبی بالاتری را دارا می‌باشد که این امر در زمستان چندان خوشایند نیست. از طرف دیگر

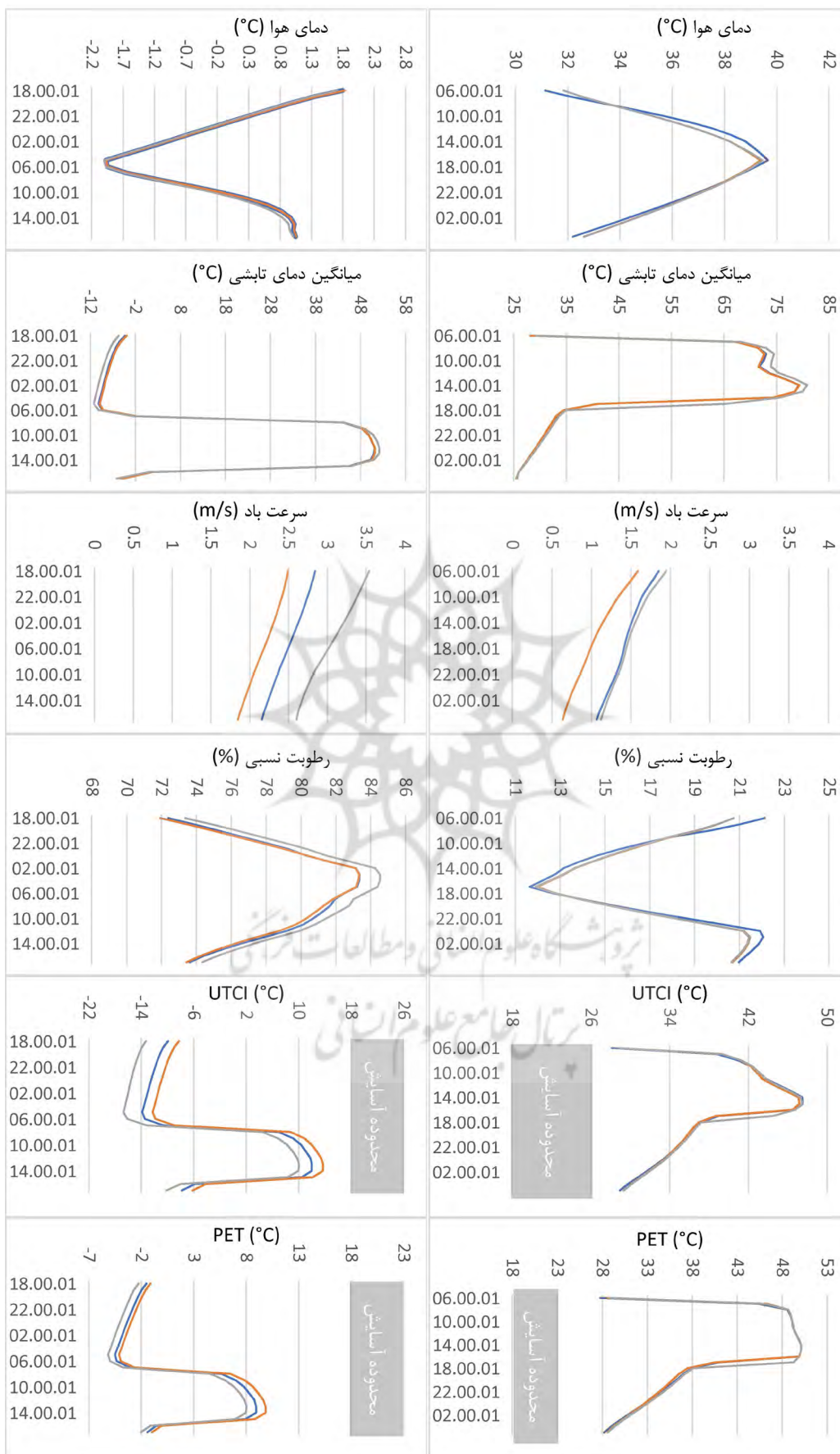


تصویر ۱۲- میانگین روزانه (الف) دمای هوا؛ (ب) میانگین دمای تابشی؛ (ج) سرعت باد، (د) رطوبت نسبی، (ه) UTCI؛ (و) PET در فضای باز مرکزی در ۳ گزینه پیشنهادی در ۳ موقعیت تعریف شده رسپتور (سمت چپ انقلاب تابستانی، سمت راست انقلاب زمستانی).

ارزیابی آسایش حرارتی فضای باز در فرم‌های مختلف حیاط در مقیاس همسایگی؛
نمونه موردی: اقلیم سرد و نیمه‌خشک سبزوار

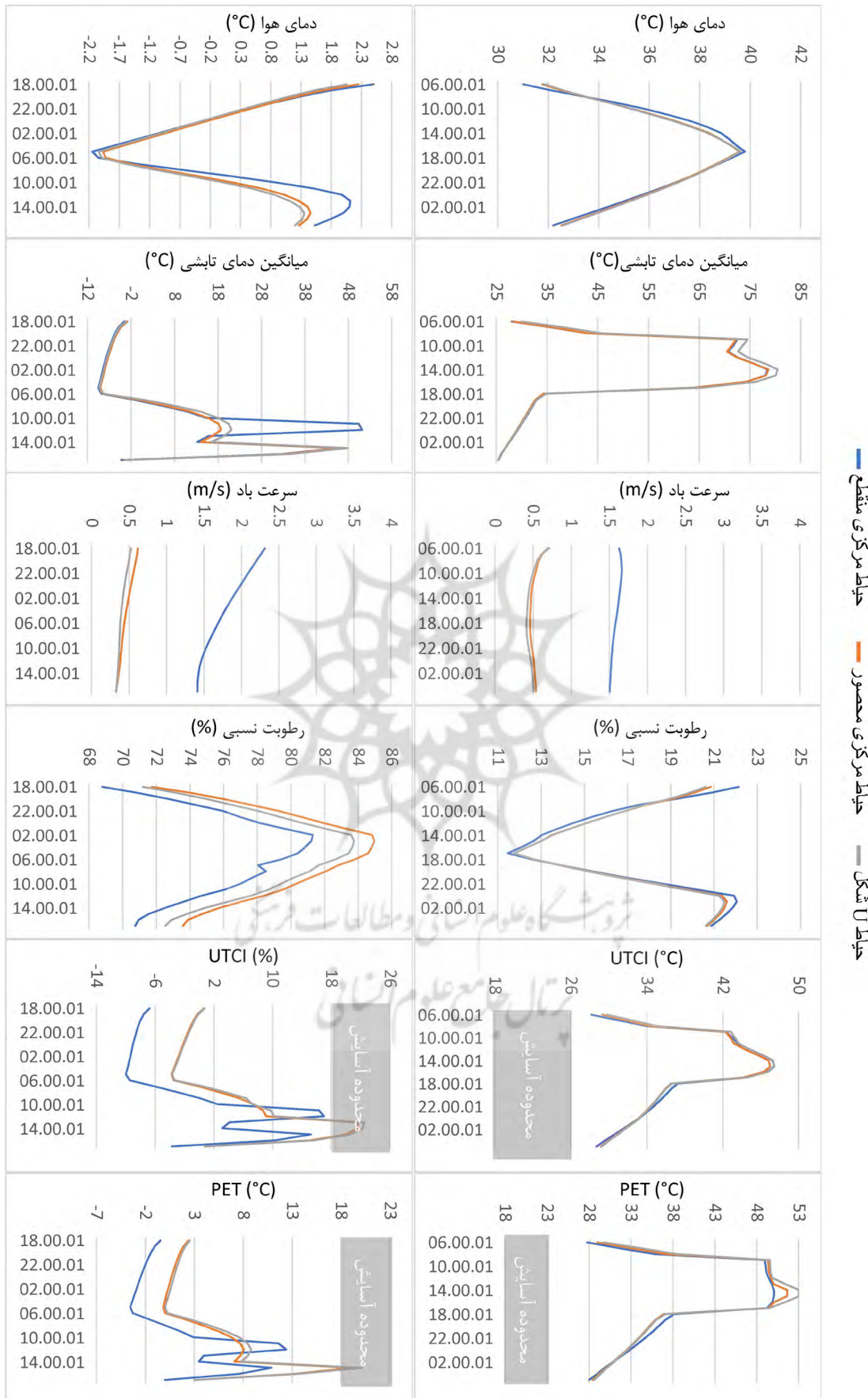


تصویر ۱۳- دمای هوا، میانگین دمای تابشی، سرعت باد، رطوبت نسبی، شاخص $UTCI$ و PET در فضای باز مرکزی در ۳ گزینه پیشنهادی در رستوران شمالی (ردیف بالا انقلاب تابستانی، ردیف پایین انقلاب زمستانی).



تصویر ۱۴- دمای هوا، میانگین دمای تابشی، سرعت باد، رطوبت نسبی، شاخص UTCI و PET در فضای باز مرکزی در ۳ گزینه پیشنهادی در رستپور مرکزی (ردیف بالا انقلاب تابستانی، ردیف پایین انقلاب زمستانی).

ارزیابی آسایش حرارتی فضای باز در فرم‌های مختلف حیاط در مقیاس همسایگی؛
نمونه موردی: اقلیم سرد و نیمه‌خشک سبزوار



تصویر ۱۵- دمای هوا، میانگین دمای تابشی، سرعت باد، رطوبت نسبی، شاخص $UTCI$ و PET در فضای باز مرکزی در ۳ گزینه پیشنهادی در رستپور جنوبی (ردیف بالا انقلاب تابستانی، ردیف پایین انقلاب زمستانی).

نتیجه

حیاط مرکزی با بازشوی حداقلی در اقلیم سبزواری از سایر فرم‌ها (مانند فرم U) بهترین پاسخ را ارائه می‌دهد. در واقع مدت‌زمان قرارگیری مرکز حیاط در معرض تابش خورشید تابستانی در فرم حیاط مرکزی محصور در کم‌ترین حد خود قرار دارد و سرعت متوسط باد در فرم حیاط مرکزی کاهش می‌یابد. این فرم همچنین میکرو اقلیمی را در تابستان و زمستان بهبود می‌بخشد. به اصطلاح، هرچه فرم بازتر باشد، در معرض باد و تابش بیشتری قرار خواهد گرفت. از طرفی، افزایش ارتفاع بازشوی نه تنها شرایط آسایش حرارتی را بهبود نمی‌بخشد، بلکه منجر به نفوذ بیشتر تابش و باد به داخل حیاط می‌شود که این باعث کاهش آسایش حرارتی می‌شود. در آینده، توصیه می‌شود که فرم حیاط مرکزی محصور با نسبت‌های مختلف H/W (ارتفاع به عرض) و با کشیدگی شمالی-جنوبی و شرقی-غربی، به زاویه ۴۵ درجه سانتی‌گراد چرخش داده شده و با بازشوی سرتاسری (طول آن بیشتر از ۳ متر) از منظر آسایش حرارتی مورد مطالعه قرار گیرد.

در این تحقیق، با استفاده از نرم‌افزار/نویمت، تأثیر فرم‌های مختلف حیاط همسایگی با تغییر در دهانه‌های بازشو بر آسایش حرارتی فضای باز در اقلیم سبزواری بررسی شده است. هدف اصلی این تحقیق، پیدا کردن مناسب‌ترین فرم حیاط همسایگی از نظر آسایش حرارتی در فضای باز در این اقلیم است. این تحقیق برای طراحان و معماران فرصتی مناسب فراهم می‌کند تا در مرحله اول طراحی، از مقیاس همسایگی تا مقیاس شهری در این اقلیم استفاده کنند و با استفاده از فرم مناسب حیاط و طراحی ابعاد مناسب بازشوها، زمان و هزینه شبیه‌سازی را کاهش داده و به سرعت به فرم ایدئال خود دست یابند. مناسب‌ترین فرم حیاط همسایگی در اقلیم سبزواری از منظر آسایش حرارتی در فضای باز کدام است؟ با توجه به اقلیم سبزواری که تابستان‌های گرم و زمستان‌های سرد دارد، اصلاح نتایج در هر دو فصل تابستان و زمستان بسیار حائز اهمیت است. بنابراین، با توجه به اینکه شاخص‌های *UTCI* و *PET* در گزینه پیشنهادی دوم (حیاط مرکزی محصور) به محدوده آسایش حرارتی نزدیک‌تر است،

env.2019.01.016

Ghaffarianhoseini, A., Berardi, U., & Ghaffarianhoseini, A. (2015). Thermal performance characteristics of unshaded courtyards in hot and humid climates. *Building and Environment*. <https://doi.org/10.1016/j.buildenv.2015.02.001>

Givoni, B. (1998). *Climate considerations in building and urban design*. John Wiley & Sons.

Kedissa, C., Outtas, S., & Belarbi, R. (2016). The impact of height/width ratio on the microclimate and thermal comfort levels of urban courtyards. *International Journal of Sustainable Building Technology and Urban Development*, 7(3-4), 174-183. <https://doi.org/10.1080/2093761X.2017.1302830>

Knapp, R. G. (2012). *Chinese houses: the architectural heritage of a nation*. Tuttle Publishing.

López-cabeza, V. P., Diz-mellado, E., Rivera-gómez, C., Galán-marín, C., Samuelson, H. W., Patricia, V., Diz-mellado, E., Rivera-gómez, C., & López-cabeza, V. P. (2022). *Thermal comfort modelling and empirical validation of predicted air temperature in hot-summer Mediterranean courtyards in hot-summer Mediterranean courtyards*. <https://doi.org/10.1080/19401493.2021.2001571>

Martinelli, L., & Matzarakis, A. (2017). Influence of height/width proportions on the thermal comfort of courtyard typology for Italian climate zones. *Sustainable Cities and Society*, 29, 97-106. <https://doi.org/10.1016/j.scs.2016.12.004>

Matzarakis, A., & Amelung, B. (2008). Physiological equivalent temperature as indicator for impacts of climate change on thermal comfort of humans. In *Seasonal forecasts, climatic change and human health* (pp. 161-172). Springer.

McGregor, G. R. (2012). universal thermal comfort index (UTCI). *International Journal of Biometeorology*, 56(3), 419.

Nasrollahi, N., Hatami, M., Khaštar, S. R., & Taleghani, M. (2017). Numerical evaluation of thermal comfort in traditional courtyards to develop new microclimate design in a hot and dry

فهرست منابع

مختاری، نیلوفر؛ اسکویان آذر، ساناز (۱۳۹۷). بررسی تأثیر فرم بلوک‌های ساختمانی بر تأثیرگذاری نمای سبز بر آسایش حرارتی در فضای باز: نمونه موردی شهر تهران. *کنفرانس بین‌المللی عمران، معماری و مدیریت توسعه شهری در ایران*، ۱-۴۱.

Al-Hafith, O., Satish, B. K., Bradbury, S., & De Wilde, P. (2017). The Impact of Courtyard parameters on its shading level An experimental study in Baghdad, Iraq. *Energy Procedia*, 134, 99-109. <https://doi.org/10.1016/j.egypro.2017.09.539>

Almhafdy, A., Ibrahim, N., Ahmad, S. S., & Yahya, J. (2013). Courtyard design variants and microclimate performance. *Procedia-Social and Behavioral Sciences*, 101, 170-180.

Arias, P., Bellouin, N., Coppola, E., Jones, R., Krinner, G., Marotzke, J., Naik, V., Palmer, M., Plattner, G.-K., & Rogelj, J. (2021). *Climate Change 2021: The Physical Science Basis. Contribution of Working Group 14 I to the Sixth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change; Technical Summary*.

Ashrae. (2020). *Thermal Environmental Conditions for Human Occupancy, ANSI/ASHRAE Standard 55-2020*.

Berkovic, S., Yezioro, A., & Bitan, A. (2012). Study of thermal comfort in courtyards in a hot arid climate. *Solar Energy*, 86(5), 1173-1186. <https://doi.org/10.1016/j.solener.2012.01.010>

Bruse D, Bruse M, S. H. (2014). *ENVI_MET* (No. 4). <https://www.envi-met.com/about-us/>.

Chatzidimitriou, A., & Yannas, S. (2016). Microclimate design for open spaces: Ranking urban design effects on pedestrian thermal comfort in summer. *Sustainable Cities and Society*, 26, 27-47.

Dhariwal, J., Manandhar, P., Bande, L., Marpu, P., Armstrong, P., & Reinhart, C. F. (2019). Evaluating the effectiveness of outdoor evaporative cooling in a hot, arid climate. *Building and Environment*, 150, 281-288. <https://doi.org/10.1016/j.build->

and transport. *Energy and Buildings*, 35(1), 3–14.

Taheri, J., Moghadam, T. T., Taheri, S., Safari, M. K., & Eslami, F. (2021). Assessment of passive design strategies in traditional houses of Sabzevar, Iran. *Journal of Cultural Heritage Management and Sustainable Development*.

Taleb, H. M., & Abumoeilak, L. (2021). An assessment of different courtyard configurations in urban communities in the United Arab Emirates (UAE). *Smart and Sustainable Built Environment*, 10(1), 67–89. <https://doi.org/10.1108/SAS-BE-08-2019-0116>

Taleghani, M., Kleerekoper, L., Tenpierik, M., & Dobbelsteen, A. Van Den. (2014). Outdoor thermal comfort within five different urban forms in the Netherlands. *Building and Environment*. <https://doi.org/10.1016/j.buildenv.2014.03.014>

Taleghani, M., Kleerekoper, L., Tenpierik, M., & van den Dobbelsteen, A. (2015). Outdoor thermal comfort within five different urban forms in the Netherlands. *Building and Environment*, 83, 65–78. <https://doi.org/10.1016/j.buildenv.2014.03.014>

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>

weatherspark(<https://weatherspark.com/y/105738/Average-Weather-in-Sabzevar-Iran-Year-Round>). (2022). Accessed: 1 November 2022.

World Weather Online(<https://www.worldweatheronline.com/sabzevar-weather/khorasan/ir.aspx>). (2022). Accessed: 1 November 2022.

Yezioro, A., Capeluto, I. G., & Shaviv, E. (2006). Design guidelines for appropriate insolation of urban squares. *Renewable Energy*, 31(7), 1011–1023.

climate. *Sustainable Cities and Society*, 35, 449–467. <https://doi.org/10.1016/j.scs.2017.08.017>

Ok, V., Yasa, E., & Özgünler, M. (2008). An Experimental Study of the Effects of Surface Openings on Air Flow Caused by Wind in Courtyard Buildings. *Architectural Science Review*, 51(3), 263–268. <https://doi.org/10.3763/asre.2008.5131>

Oke, T. R. (2002). *Boundary layer climates*. Routledge.

Olgay, V. (2015). Design with climate. In *Design with Climate*. Princeton university press.

Pilechiha, P., Norouzasas, A., Ghorbani Naeini, H., & Jolma, K. (2021). Evaluation of occupant's adaptive thermal comfort behaviour in naturally ventilated courtyard houses. In *Smart and Sustainable Built Environment*. <https://doi.org/10.1108/SAS-BE-02-2021-0020>

Ratti, C., Raydan, D., & Steemers, K. (2003). Building form and environmental performance: archetypes, analysis and an arid climate. *Energy and Buildings*, 35(1), 49–59.

Reynolds, J. (2002). *Courtyards: aesthetic, social, and thermal delight*. John Wiley & Sons.

Rojas, J. M., Galán-Marín, C., & Fernández-Nieto, E. D. (2012). Parametric study of thermodynamics in the mediterranean courtyard as a tool for the design of eco-efficient buildings. *Energies*, 5(7), 2381–2403.

Soflaei, F., Shokouhian, M., Abraveshdar, H., & Alipour, A. (2017). The impact of courtyard design variants on shading performance in hot- arid climates of Iran. *Energy and Buildings*, 143, 71–83. <https://doi.org/10.1016/j.enbuild.2017.03.027>

Soflaei, F., Shokouhian, M., & Mofidi Shemirani, S. M. (2016). Traditional Iranian courtyards as microclimate modifiers by considering orientation, dimensions, and proportions. *Frontiers of Architectural Research*, 5(2), 225–238. <https://doi.org/10.1016/j.foar.2016.02.002>

Steemers, K. (2003). Energy and the city: density, buildings