



## Evaluating the Effect of Changing Courtyard Dimensions on Outdoor Thermal Comfort of Educational Buildings in Tehran

Zahra Khazaie<sup>1</sup>, Maryam Azmoodeh<sup>2\*</sup>

1. M.Sc. Student, Department of Architecture, Imam Khomeini International University, Qazvin, Iran
2. Assistant Professor, Department of Architecture, Imam Khomeini International University, Qazvin, Iran (Corresponding Author) \*

### ARTICLE INFO

#### Article Type:

Original Research

Received: 10.14.2026

Revised: 11.20.2026

Accepted: 12.09.2026

#### Keyword:

Courtyard  
Optimization  
Outdoor Thermal Comfort  
Dimensions  
University

#### \*Corresponding Author:

Maryam Azmoodeh

Email: [azmoodeh@arc.ikiu.ac.ir](mailto:azmoodeh@arc.ikiu.ac.ir)

### ABSTRACT

Open spaces are an integral part of buildings. One of the important principles of open space design is to pay attention to thermal comfort to improve the quality of space. In the meantime, educational buildings, due to the use of numerous open spaces, require special attention to achieve appropriate thermal conditions. An examination of common university forms in Tehran shows that courtyard layouts are highly prevalent, highlighting the importance of improving outdoor thermal comfort in their central courtyards. This research examines the effect of the dimensions of the courtyard on outdoor thermal comfort (with constant area) with the UTCI index. Therefore, simulation and optimization were done to find the best and worst dimensions in terms of the average percentage of time that spaces are within outdoor thermal comfort range, among 76 different dimensions of the yard with a fixed area. The algorithm is simulated and the percentage of time with external thermal comfort with the UTCI index is examined by the Ladybug plugin to determine the best dimensions and orientation in this form by the Galapagos plugin. The results show that the best dimensions of the courtyard are approximately  $8.6 \times 11.6 \text{ m}^2$  which is a rectangular form with north-south extension. The difference between the best and the worst dimensions of the courtyard is  $0.007^\circ\text{C}$  and the difference in the percentage of time with outdoor thermal comfort is 0.018%. Therefore, by only changing the dimensions of the courtyard (other variables such as area remain constant), a very slight improvement in outdoor thermal comfort occurs inside the courtyard. Measurements indicate that outdoor thermal comfort drops significantly from the north to the south of the courtyard.

---

## EXTENDED ABSTRACT

---

### Introduction

The central courtyard form is one of the most common and significant architectural forms, particularly prevalent in the design of faculties in Tehran. Therefore, this study examines the impact of changes in the dimensions and elongation of the central courtyard on outdoor thermal comfort in the courtyard, using the Universal Thermal Climate Index (UTCI). The aim is to determine the optimal dimensions that maximize the percentage of time the outdoor space remains within the thermal comfort range and to analyze how the courtyard's dimensions and elongation affect outdoor thermal comfort. This research specifically investigates the effect of central courtyard dimension changes on outdoor thermal comfort, independent of surrounding context, usage, or other control variables, while maintaining a fixed area within the climate of Tehran. The central courtyard form was chosen because it is one of the most frequently used forms in faculty designs in Tehran.

### Methodology

Given the research topic, the selected method for this study is simulation and optimization. The study first collects and organizes initial data, including climatic and geographic information, and examines the common forms of universities in Tehran. Next, the selected common form is simulated, and the percentage of time the outdoor environment achieves thermal comfort, according to the Universal Thermal Climate Index (UTCI), is analyzed using the Ladybug plugin. Finally, the optimal dimensions and orientation for this form are determined using the Galapagos plugin.

Data collection was carried out in two parts: climatic data and geographic data. Climatic data were obtained in the form of an EPW file from the One Building website. The EPW file corresponds to the meteorological station at Imam Khomeini Airport in Tehran and includes wind speed, humidity, air temperature, and other climatic parameters. Geographic data involved examining the height and form of faculty buildings, surrounding structures, and the neighborhood context, which were obtained through aerial maps from Google Maps. Additionally, some input parameters were based on the software's recommended data. After performing the simulations, the output data were collected for analysis. Data analysis was conducted by comparing the output maps and generating charts using Microsoft Excel.

The base model for the study was derived from the faculties of universities in Tehran. For this research, eight public universities in Tehran, comprising a total of 92 faculties with diverse forms, were examined. In addition to the building form, the height and surrounding context of these faculties were also analyzed. The 92 forms were then classified into eight categories, and the frequency of each form type was calculated. These categories include I-, L, E, C, T, +, rectangular, and central courtyard forms. Based on their frequency, the central courtyard form was the third most common. Due to the specific characteristics of the central courtyard form and the ability to control courtyard dimensions, this study focused on the central courtyard form. A dedicated algorithm was used to generate 76 different courtyard dimensions, allowing the investigation of how variations in courtyard dimensions, under

fixed area and other constant conditions, affect the provision of optimal outdoor thermal comfort.

## Results and discussion

The results from the central courtyard outputs include analyses of the best and worst dimensions for the courtyard, mean radiant temperature, hours of direct solar exposure, and variations in outdoor thermal comfort at different locations within the courtyard. Using Table 4, Figures 2 were plotted. As observed in these figures, the difference between the best and worst courtyard dimensions in terms of outdoor thermal comfort is  $0.007\text{ }^{\circ}\text{C}$ , and the difference in the percentage of comfortable space between the two forms is  $0.018\%$ . These values indicate that, with a fixed courtyard form (rectangular), a fixed area ( $100\text{ m}^2$ ), and building height, changing the dimensions does not significantly affect the thermal comfort conditions of the central courtyard. Additionally, thermal stress in both forms is negative; therefore, the better form is the one that increases the environmental comfort temperature.

Figure 5 illustrates the best and worst courtyard forms. As shown, the best form has a larger south-facing side within the courtyard and a smaller difference between its length and width, whereas the worst form is more elongated along the north–south axis, has a greater difference between length and width, and a smaller south-facing surface area. The difference in mean radiant temperature between these two courtyard forms is  $0.026\text{ }^{\circ}\text{C}$ . Figure 6 shows that reducing elongation and increasing the northern side length leads to an increase in mean radiant temperature. Figure 7 further demonstrates that the best form, with a larger south-facing surface, receives 16 more hours of direct solar exposure compared to the worst form.

## Conclusion

The results indicate that the optimal dimensions for the central courtyard are rectangular, measuring  $8.6 \times 11.63\text{ m}$  with a north–south elongation. The worst dimensions are also rectangular but measure  $5 \times 20\text{ m}$  with a north–south elongation. The difference between these two courtyard forms in terms of outdoor thermal comfort is  $0.007\text{ }^{\circ}\text{C}$ , and the difference in the percentage of time the space remains within the thermal comfort range is  $0.018\%$ . Consequently, with all other variables held constant and only the courtyard dimensions changed (with a fixed area), the improvement in outdoor thermal comfort is minimal.

Analysis of thermal stress in the courtyard shows that cold stress dominates the outdoor environment. Therefore, reducing thermal stress requires increasing the outdoor thermal comfort temperature. For this reason, the optimal form exhibits higher outdoor thermal comfort, mean radiant temperature, and hours of direct solar exposure compared to the worst form. Specifically, the best form, with a larger south-facing area within the courtyard, has a mean radiant temperature  $0.026\text{ }^{\circ}\text{C}$  higher and receives 16 more hours of direct solar radiation during the study period than the worst form. Measurements also indicate that outdoor thermal comfort decreases significantly from north to south within the courtyard.

Observations of the forms and results suggest that, due to cold stress, the optimal form has a larger south-facing side (resulting in higher mean radiant temperature and more direct solar exposure) and a smaller difference between length and width, as well as reduced

north–south elongation, helping to slow the decrease in outdoor thermal comfort from north to south. In contrast, the worst form is more elongated along the north–south axis, has a larger difference between length and width, and a smaller south-facing surface, leading to reduced south-facing areas, increased shading, and lower outdoor thermal comfort. Therefore, the optimal courtyard form has less elongation, a larger south-facing surface, and a smaller length-to-width difference compared to the worst form to better retain heat and increase solar exposure.



## بررسی تاثیر تغییرات ابعاد حیاط مرکزی بر آسایش حرارتی فضای خارجی ساختمان‌های آموزشی در شهر تهران

زهرا خزایی<sup>۱</sup>، مریم آزموده<sup>۲\*</sup>

- ۱- کارشناسی ارشد معماری و انرژی، گروه معماری، دانشکده معماری و شهرسازی، دانشگاه بین المللی امام خمینی (ره)، قزوین، ایران.
- ۲- استادیار، گروه معماری، دانشکده معماری و شهرسازی، دانشگاه بین المللی امام خمینی (ره)، قزوین، ایران. (نویسنده مسئول).

### اطلاعات مقاله

### چکیده

نوع مقاله: مقاله پژوهشی

دریافت مقاله: ۱۴۰۳/۰۷/۲۳

بازنگری مقاله: ۱۴۰۳/۰۸/۳۰

پذیرش مقاله: ۱۴۰۳/۰۹/۱۹

### کلید واژگان:

حیاط مرکزی  
آسایش حرارتی فضای باز  
بهینه سازی  
ابعاد  
دانشگاه

فضاهای باز بخش جدایی ناپذیر طراحی ساختمان‌ها هستند. یکی از مهمترین اصول طراحی فضاهای باز، توجه به آسایش حرارتی برای ارتقای کیفیت فضا است. ساختمان‌های آموزشی به دلیل داشتن فضاهای باز به توجه ویژه در زمینه آسایش حرارتی نیاز دارند، و با توجه به رواج فرم حیاط مرکزی در دانشکده‌های تهران، بهبود آسایش حرارتی این فضاها اهمیت بالایی دارد. این پژوهش به بررسی تاثیر ابعاد حیاط مرکزی بر شرایط آسایش حرارتی خارجی (در مساحت ثابت) با شاخص UTCI می-پردازد. شبیه‌سازی و بهینه‌سازی ۷۶ ابعاد مختلف حیاط با مساحت ثابت برای یافتن بهترین و بدترین حالت از نظر درصد زمان حضور در محدوده آسایش حرارتی انجام شد. الگوریتم شبیه‌سازی شده و درصد زمانی که دارای آسایش حرارتی خارجی با شاخص UTCI است توسط پلاگین لیدی باگ<sup>۱</sup> بررسی می‌شود تا بهترین ابعاد و جهت توسط پلاگین گالاپاگوس<sup>۲</sup> مشخص شود. نتایج نشان می‌دهد بهترین ابعاد حیاط مرکزی، مستطیلی با ابعاد  $۱۱.۶ \times ۸.۶ \text{m}^2$  و کشیدگی شمالی-جنوبی است. اختلاف بین بهترین و بدترین ابعاد حیاط مرکزی، از نظر آسایش حرارتی خارجی  $۰.۰۰۷ \text{ } ^\circ\text{C}$  و اختلاف درصد زمان دارای آسایش حرارتی خارجی بین این دو فرم،  $۰.۰۱۸ \%$  است. بنابراین تنها با تغییر ابعاد حیاط مرکزی بهبودی جزئی در آسایش حرارتی خارجی ایجاد می‌شود. همچنین اندازه‌گیری‌ها نشان می‌دهد که با حرکت از شمال به جنوب حیاط، آسایش حرارتی خارجی به‌طور قابل توجهی کاهش می‌یابد.

\*نویسنده مسئول: مریم آزموده

پست الکترونیکی:

[azmoodeh@arc.ikiu.ac.ir](mailto:azmoodeh@arc.ikiu.ac.ir)

<sup>1</sup> Ladybug

<sup>2</sup> Galapagos



## مقدمه

در فضاهای خارجی دانشگاه‌ها، استراحت، تعاملات اجتماعی و ملاقات با دانشجویان دیگر رخ می‌دهد که این سبب رشد شخصی و اجتماعی دانشجویان می‌شود (۱). به همین دلیل ایجاد فضای خارجی مناسب در دانشگاه‌ها برای تشویق دانشجویان به سپری کردن وقت آزاد در فضای باز دانشگاه‌ها و بیرون از کلاس‌ها اهمیت زیادی دارد. و توجه به مسئله آسایش حرارتی فضای خارجی نیز یکی از روش‌های بهبود این فضاهاست.

فرم حیاط مرکزی نیز یکی از فرم‌های پرتکرار و مهم در معماری و به خصوص فرمی پرتکرار در طراحی دانشکده‌ها در شهر تهران است. بنابراین این پژوهش به بررسی تاثیر تغییرات ابعاد و کشیدگی حیاط مرکزی بر آسایش حرارتی خارجی (در حیاط) با شاخص (Universal Thermal Climate Index) UTCI<sup>۱</sup> می‌پردازد. تا بهترین ابعاد برای داشتن بیشترین درصد زمانی که فضای خارجی در محدوده آسایش حرارتی است مشخص شود و چگونگی تاثیر ابعاد و کشیدگی حیاط مرکزی بر آسایش حرارتی خارجی بررسی شود. در واقع این پژوهش تاثیر تغییرات ابعاد حیاط مرکزی بر آسایش حرارتی خارجی را فارغ از همسایگی، کاربری و سایر موارد (متغیرهای کنترلی) و با مساحت ثابت در اقلیم تهران بررسی کرده است. علت انتخاب فرم حیاط مرکزی، این است که این فرم یکی از فرم‌های پرتکرار در دانشکده‌ها در شهر تهران است.

به منظور تعیین شرایط حرارتی فضای داخلی، دانش درباره احساس حرارتی افراد ضروری است (۲). طبق تعریف انجمن گرمایش، سرمایش و تهویه مطبوع آمریکا، آسایش حرارتی: «وضعیتی ذهنی است که رضایت از شرایط دمایی محیط را بیان کرده و با ارزیابی ذهنی، ارزیابی می‌شود» (۳). آسایش حرارتی فضای خارجی بر فعالیت ساکنین و سلامت جسم و روان آن‌ها تاثیر فراوانی دارد (۴) و به منظور دستیابی به یک خرده اقلیم شهری با کیفیت، توجه به آسایش حرارتی خارجی امری ضروری است و می‌تواند راهنمایی‌هایی برای توسعه شهری پایدار ارائه کند (۵). مردم با حضور در فضای خارجی، به طور مستقیم در معرض تغییرات شرایط آب و هوایی مانند تغییر در دمای هوا، تابش خورشید، سایه اندازی سرعت و جهت باد قرار می‌گیرند (۶) موضوع آسایش حرارتی فضای خارجی در دهه‌ی گذشته، مورد توجه محققان قرار گرفته است (۷). همچنین آسایش حرارتی فضای خارجی بر محیط داخلی نیز تاثیر گذار است، به این صورت که دمای آسایش به شرایط آب و هوایی محیط خارجی بستگی دارد و بین دمای تطبیقی فضای داخلی و دمای غالب فضای خارجی رابطه مستقیم وجود دارد و با بالا رفتن دمای فضای خارجی، دمای فضای داخلی نیز بیشتر می‌شود (۶). شاخص UTCI نتیجه‌ی تلاش ۴۵ متخصص با حوزه‌های تخصص مختلف، از ۲۳ کشور دنیا به منظور توصیف محیط حرارتی انسان است (۸). داده‌های ورودی برای محاسبه UTCI به دو دسته هواشناسی و غیر هواشناسی (متابولیسم و عایق لباس) تقسیم می‌شود (۹). این شاخص بر اساس آخرین یافته‌های علمی در زمینه در ۴۰ سال گذشته بنا شده است (۸) و مناسب انواع مختلف آب و هوا، اقلیم و مکان‌ها است و به تغییرات محیطی بسیار حساس است (۱۰). در این پژوهش نیز از شاخص UTCI برای بررسی شرایط آسایش حرارتی خارجی استفاده شده است.

مطالعات نشان می‌دهد که آسایش حرارتی فضای خارجی در میزان استفاده دانشجویان از فضای خارجی دانشگاه اهمیت زیادی دارد همان‌طور که النصیریت<sup>۲</sup> و همکاران در پژوهشی به بررسی نظرات و رفتار دانشجویان در فضای باز دانشگاه می‌پردازند و عوامل متعددی که یکی از آن‌ها شرایط آسایش حرارتی فضای خارجی است را بررسی می‌کنند (۱). این پژوهش از طریق تحلیل و مشاهده رفتار و فرم فضاها، شبیه سازی آسایش حرارتی و پرسشنامه به منظور بررسی ترجیحات دانشجویان انجام شد. یکی از نتایج این پژوهش نشان دهنده همبستگی بین شرایط خرده اقلیم فضای خارجی و میزان استفاده دانشجویان از این فضاها است.

<sup>۱</sup> شاخص اقلیم حرارتی جهانی

<sup>۲</sup> Alnusairat

بسیاری از پژوهش‌های انجام شده بر آسایش حرارتی خارجی در مقیاس‌های شهری تمرکز کردند برای مثال منگ<sup>۱</sup> و همکاران با استفاده از بهینه‌سازی و استفاده از الگوریتم تکاملی پارتو II<sup>۲</sup> تلاش برای یافتن تراکم، ابعاد و جهت ساختمان‌ها در یک بلوک شهری در چین، برای داشتن بهترین شرایط آسایش حرارتی خارجی کردند (۱۱). آنالیز حساسیت به منظور یافتن پارامترهای تاثیرگذار بر آسایش حرارتی خارجی نیز انجام شد. منطقه بررسی شده در این پژوهش دارای آب و هوای سرد و پر باد به خصوص در بهار است و شاخص استفاده شده برای بررسی آسایش حرارتی خارجی UTCI می‌باشد. نتایج نشان داد بهینه‌سازی تراکم، طول و جهت ساختمان‌ها شرایط آسایش حرارتی را در این منطقه بهبود بخشید. همچنین شاگرد درباری و همکاران به بررسی تاثیر هندسه شهری بر دما و آسایش حرارتی خارجی با استفاده از نرم افزارهای ریمن<sup>۳</sup> و انوی مت<sup>۴</sup> می‌پردازند (۱۲). و با بررسی، سرعت باد و دمای تابشی در دو بافت جدید و قدیم شهر با استفاده از شاخص PET<sup>۵</sup>، به اهمیت نسبت ارتفاع به عرض پی می‌برد. این تحلیل‌ها نشان می‌دهد، هندسه بافت جدید نشان دهنده نقش قابل توجه باد در کاهش دمای شهر است.

خلیلیان، البرزی و سهیلی در مطالعه‌ای تاثیر فضاهای باز و سرپوشیده را بر آسایش حرارتی فضای خارجی در مجتمع‌های مسکونی شهر تهران بررسی می‌کنند (۱۳). گونه‌های مورد بررسی شامل فضای مجتمع‌های با چیدمان پراکنده، نواری، حیاط دار و متمرکز است. نرم افزارهای استفاده شده در این پژوهش هانی بی<sup>۶</sup> و لیدی باگ و رویت<sup>۷</sup> و جی آی اس<sup>۸</sup> و اتوکد<sup>۹</sup> است. نتایج این پژوهش نشان داد "نوع چیدمان فضاهای باز و سرپوشیده، تناسب طول به عرض بین بلوک‌ها، جهت‌گیری و مصالح" بر آسایش حرارتی تاثیرگذار است.

در پژوهشی، دهناد کریمی و مهدی نژاد به بررسی تاثیر فرم بلوک‌های مسکونی و ارتفاع آن‌ها بر آسایش حرارتی فضای خارجی (با شاخص PET) با استفاده از نرم افزارهای انوی مت و ریمن پرداختند (۱۴). ۴ بلوک مسکونی در سه ارتفاع متفاوت و با فرم‌های مختلف بررسی شدند و نتایج نشان دهنده تاثیر ارتفاع و فرم بلوک‌های مسکونی شامل نسبت فاصله بین بلوک‌ها و نسبت عرض به ارتفاع آن‌ها بر آسایش حرارتی فضای خارجی جمعی و حرکت باد و تابش بود. کرمی راد و همکاران در پژوهشی به بررسی ویژگی‌های حیاط مرکزی و تاثیر آن بر آسایش حرارتی افراد می‌پردازند (۱۵). به این منظور ۷ خانه سنتی شیراز را در نرم افزار انوی مت با شاخص PMV<sup>۹</sup> شبیه‌سازی و متغیرهای هندسی و محیطی هر کدام و آسایش حرارتی آن‌ها مقایسه شدند.

برخی پژوهش‌ها نیز به بررسی پوشش‌های گیاهی بر آسایش حرارتی خارجی پرداختند مانند پژوهش صیاد<sup>۹</sup> و همکاران که به منظور بهینه‌سازی شرایط آسایش حرارتی خارجی در یک بلوار، با استفاده از پوشش گیاهی در شهری در الجزایر انجام گرفته است (۱۶). دو پارامتر مورد بررسی در این پژوهش گونه گیاهان کاشته شده در بلوار و جانمایی و نحوه قرار گیری آن‌ها به منظور فراهم شدن بهترین شرایط آسایش حرارتی است. این پژوهش با استفاده از نرم افزار انوی مت و شاخص UTCI و مقایسه پارامترهای این شاخص به تحلیل انواع گونه‌ها و جانمایی‌ها پرداخت و تحلیل‌ها نشان داد وجود گیاهان می‌تواند سبب بهبود آسایش حرارتی شود و نتایج نشان داد که گونه‌ای انجیر حداکثر سایه اندازی را ایجاد می‌کند. همچنین با جانمایی و کاشت درختان نخل و اشکنگتن در امتداد وسط بلوار حداکثر کاهش میانگین دمای

<sup>1</sup> Meng

<sup>2</sup> Pareto

<sup>3</sup> Rayman

<sup>4</sup> Envi-met

<sup>5</sup> Honeybee

<sup>6</sup> Revit

<sup>7</sup> GIS

<sup>8</sup> AutoCAD

<sup>9</sup> Sayad

تابشی و کاهش UTCI و ایجاد جریان هوا به دست آمد. کاهش دمای ایجاد شده توسط سطوح با پوشش گیاهی در پژوهش های متعدد دیگری مورد توجه قرار گرفته است (۱۷) در پژوهش های دیگری در این حوزه علاوه بر تاثیر پوشش گیاهی بر آسایش حرارتی جزئیات نوع گیاه مانند برگ ریز بودن یا همیشه سبز بودن و هم چنین میزان تراکم بافت گیاهی مورد توجه قرار گرفته است (۱۸) (۱۹). طالب صفا<sup>۱</sup> و همکاران در مطالعه ای به بررسی تاثیر سایه بر آسایش حرارتی فضای خارجی با کمک نرم افزار انوی مت می پردازند (۲۰). شاخص استفاده شده در این پژوهش PET است و محوطه ی دانشگاه برای انجام این پژوهش انتخاب شد. در این پژوهش سایه درختان و گیاهان و سایبان بررسی شد و نتایج نشان داد بیشترین افزایش در آسایش حرارتی خارجی و بهترین سایه، ترکیب سایه گیاهان و سایه ساختمان است. لام<sup>۲</sup> و همکاران در این پژوهش تاثیر سایبان بر آسایش حرارتی خارجی و بصری بررسی کردند (۲۱). این پژوهش با استفاده از نرم افزارهای انوی مت و رادینس<sup>۳</sup> با شاخص های UTCI و PET برای آسایش حرارتی خارجی انجام گرفت. متغیرهای بررسی شده برای سایبان شامل ویژگی های مانند مصالح، ابعاد و شفافیت سایبان ها به منظور دستیابی به آسایش حرارتی و بصری فضای خارجی بودند. نتایج نشان داد سایبان ها میانگین دمای تابشی و عدد شاخص های حرارتی را کاهش دادند. مواد مات باعث کاهش بیشتر روشنایی شدند و دستگاه های سایبان روشنایی را نیز می توانند کاهش دهند و در نتیجه احساس خورشید را کاهش داده و آسایش حرارتی را افزایش دهد بنابراین روشنایی و آسایش در سایبان اثر متقابل دارند.

#### جدول ۱. پیشینه پژوهش

سال	نویسندگان	متغیرها	مقیاس	نتیجه
2024	منگ و همکاران	بهینه سازی تراکم، طول، عرض و جهت ساختمان ها به منظور بهبود آسایش حرارتی خارجی	منطقه مسکونی با ۲۰ ساختمان	بهبود آسایش حرارتی خارجی: بهبود UTCI در تابستان تا ۲۵،۵۱ °C، در زمستان و بهار افزایش حفظ حرارت و کاهش باد شدید (زمستان: ۱۴،۰۲-، بهار: ۶،۴۱-)
2023	طالب صفا و همکاران	تاثیر سایه (ساختمان، سایبان و گیاهان) بر آسایش حرارتی خارجی	۴ نقطه از محوطه دانشگاه	- سایه تنش حرارتی و میانگین دمای تابشی را کاهش و آسایش را افزایش می دهد. - بیشترین و تاثیرگذارترین سایه، ترکیب سایه گیاهان و معماری ساختمان هاست.
2022	لام و همکاران	ویژگی های سایبان ها از جمله: مترئال، ابعاد و شفافیت به منظور دستیابی به آسایش حرارتی و	محوطه دانشگاه	سایبان ها میانگین دمای تابشی و عدد شاخص های حرارتی را کاهش دادند. مواد مات باعث کاهش بیشتر روشنایی شدند.

<sup>1</sup> Talebsafa

<sup>2</sup> Lam

<sup>3</sup> Radiance

سال	نویسندگان	متغیرها	مقیاس	نتیجه
		بصری فضای خارجی مقایسه شدند		دستگاه‌های سایبان، روشنایی را نیز می‌توانند کاهش دهند و در نتیجه احساس خورشید را کاهش داده و آسایش حرارتی را افزایش دهد. بنابراین روشنایی و آسایش در سایبان اثر متقابل دارند.
2021	النصیرت و همکاران	برای ارزیابی کیفیت فضای بیرونی: بررسی آسایش خارجی، ویژگی‌های فیزیکی و جانمایی شهری و رفتار و نیازهای دانشجویان	سه فضای باز در محوطه دانشگاه	-فضاهای باز دانشگاه فضاهای مهمی برای معاشرت و استراحت هستند. -وجود ارتباط بین شرایط خرده اقلیمی و استفاده از فضای بیرونی (گرچه شرایط بد نیز از فضا استفاده می‌شد). و اهمیت عوامل بصری و پیکربندی سایت.
2021	صیاد و همکاران	تاثیر گونه و جا نمایی پوشش گیاهی بر آسایش خارجی	بلوار	-نوعی گونه انجیر حداکثر سایه اندازی. - کاشت درختان نخل و اشنگتن در امتداد وسط بلوار حداکثر کاهش میانگین دمای تابشی و کاهش UTCI
۱۴۰۲	صبری و همکاران	بررسی عملکرد حرارتی دیوار سبز دولایه	یک ساختمان اداری	استفاده همزمان از دیوار سبز داخلی و خارجی سبب کاهش قابل توجه بار حرارتی سالانه خواهد شد.
۱۴۰۱	نشاط صفوی و همکاران	بررسی عملکرد بام سبز بر اساس نوع پوشش گیاهی	محدوده میدان انقلاب	پوشش گیاهی فشرده بیشترین تاثیر را دارد
۱۴۰۱	کولپوند	مقایسه درختان سوزنی و پهن برگ از نظر تاثیرگذاری حرارتی	دره های شهری	در طول سال درختان برگریز بهترین شرایط آسایش را مهیا کردند.
۱۴۰۰	دهناد، کریمی و مهدی نژاد	تاثیر فرم و ارتفاع بلوک‌های مسکونی بر آسایش حرارتی خارجی	بلوک‌های مسکونی	نسبت فاصله بین بلوک‌ها و نسبت عرض به ارتفاع آن‌ها بر آسایش حرارتی فضای خارجی جمعی و حرکت باد و تابش تاثیرگذار است
۱۳۹۹	پورامین، بهزاد فر و رضایی راد	بررسی مورفولوژی و هندسه شهر (درصد ساخت، تعداد طبقات، جهت و عرض معابر، درصد پوشش گیاهی، آسفالت، زمین‌های خشک) بر دمای منطقه غرب شهر تهران	بافت شهری با مساحتی مشابه کوی مسکونی	افزایش "درصد مساحت توده‌های ساختمانی نمونه" بیشترین تاثیر بر کاهش دما.
۱۳۹۸	خلیلیان، البرزی و سهیلی	تاثیر فضاهای باز و سرپوشیده مجتمع‌های مسکونی (شامل فضای مجتمع‌های با چیدمان پراکنده، نواری، حیاط دار و متمرکز) در مصرف انرژی و	مجتمع‌های مسکونی	"نوع چیدمان فضاهای باز و سرپوشیده، تناسب طول به عرض بین بلوک‌ها، جهت‌گیری و مصالح" بر آسایش حرارتی تاثیرگذار است. و بهترین حالت در این شهر "چیدمان متمرکز- تناسب بین بلوک ۱ به ۳ - جهتگیری ۳۱ درجه پادساعتگرد نسبت به شمال" است.

سال	نویسندگان	متغیرها	مقیاس	نتیجه
		درصد فضای سبز بر آسایش حرارتی فضا		
		تاثیر هندسه شهری (ارتفاع به عرض) بر دما و آسایش حرارتی خارجی در دو بافت جدید و قدیم شهر	خیابان و بافت شهری	اهمیت نسبت ارتفاع به عرض. هندسه بافت جدید نشان دهنده نقش قابل توجه باد در کاهش دمای شهر.
۱۳۹۶	ثناگر دربانی و دیگران			نسبت عکس ارتفاع به عرض با PET

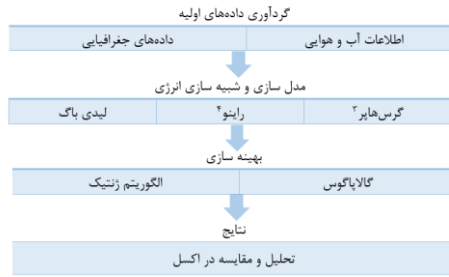
همان طور که پژوهش‌های بررسی شده نشان می‌دهد، به منظور بهبود شرایط آسایش حرارتی خارجی متغیرهایی مانند پوشش گیاهی و نوع آن و یا سایه و سایه‌بان‌ها بررسی شدند. سایر پژوهش‌های بررسی شده نیز تاثیر فرم بر آسایش حرارتی خارجی را در مقیاس‌های شهری و هندسه شهری بررسی کردند و پژوهش‌هایی که در مقیاس ساختمان انجام شدند تنها به بررسی تعداد معدودی از ابعاد بنا پرداختند. بنابراین این پژوهش به منظور پر کردن این شکاف تحقیقاتی به بررسی تاثیر فرم و ابعاد آن در مقیاس ساختمان بر آسایش حرارتی خارجی در شهر تهران پرداخته است، به همین علت این پژوهش با بررسی فرم‌های پرتکرار دانشکده‌های دانشگاه‌های شهر تهران اقدام به یافتن یکی از پرتکرارترین فرم‌ها می‌کند و در ادامه به بررسی تاثیر تغییرات ابعاد این فرم پرتکرار (حیاط مرکزی) بر آسایش حرارتی فضای خارجی پرداخته تا بهترین ابعاد و چگونگی تاثیر ابعاد و کشیدگی در شرایط آسایش حرارتی خارجی مشخص شود.

### مواد و روش‌ها

با توجه به موضوع پژوهش، روش انتخابی برای این پژوهش شبیه‌سازی و بهینه‌سازی می‌باشد. این پژوهش ابتدا به وسیله جمع‌آوری اطلاعات آب و هوایی و داده‌های جغرافیایی، اطلاعات اولیه را دسته‌بندی کرده و فرم‌های متداول دانشگاه‌های شهر تهران را بررسی می‌کند. در مرحله بعد فرم متداول انتخابی توسط الگوریتم شبیه‌سازی شده و درصد زمانی که دارای آسایش حرارتی خارجی با شاخص UTCI است توسط پلاگین لیدی باگ<sup>۱</sup> بررسی می‌شود تا بهترین ابعاد و جهت در این فرم توسط پلاگین گالاپاگوس<sup>۲</sup> مشخص شود.

<sup>1</sup> Ladybug

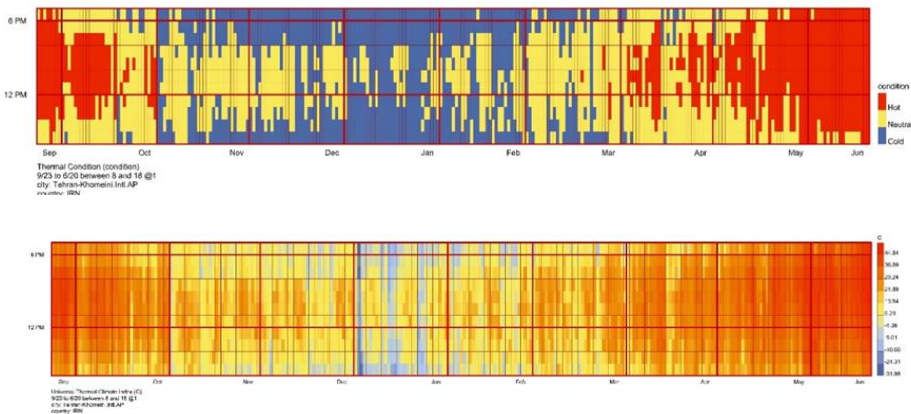
<sup>2</sup> Galapagos



شکل ۱. دیاگرام روند پژوهش

گردآوری داده‌ها در دو بخش داده‌های آب و هوایی و داده‌های جغرافیایی انجام شده است. داده‌های آب و هوایی به صورت فایل epw از سایت One Building دریافت شد، این سایت معتبر برای دریافت اطلاعات آب و هوایی است و بسیاری از مقالات از این سایت برای پژوهش خود استفاده کردند (۲۲)، (۲۳). فایل epw دریافتی مربوط به ایستگاه هواشناسی فرودگاه امام خمینی (ره) شهر تهران است. داده‌های این فایل شامل سرعت باد، رطوبت، دمای هوا و سایر اطلاعات آب و هوایی است. داده‌های جغرافیایی شامل بررسی ارتفاع و فرم ساختمان دانشکده‌ها، ساختمان‌های اطراف و همسایگی‌های سایت می‌باشد که توسط بررسی‌های نقشه‌های هوایی از گوگل مپ دریافت گردید. همچنین برای برخی اطلاعات ورودی، از داده‌های پیشنهادی نرم‌افزار استفاده شد. پس از انجام شبیه‌سازی به کمک نرم افزار، داده‌های خروجی، به منظور تجزیه و تحلیل به دست آمدند. تجزیه و تحلیل داده‌ها از مقایسه نقشه‌های خروجی و ایجاد نمودارها در نرم‌افزار اکسل انجام شده است.

بازه زمانی در نظر گرفته شده در این پژوهش، زمانی است که دانشجویان بیشترین حضور را در دانشگاه دارند که از اوایل مهر تا اواخر خرداد است، بررسی شرایط آسایش از حدود ۸ صبح تا غروب، در نرم افزار لیدی باگ در سایت مورد نظر با شاخص UTCI انجام شد (شکل ۲). همان طور که در تصویر زیر دیده می‌شود، در اوایل و اواخر بازه زمانی در نظر گرفته شده تنش‌های گرمایی و آسایش نسبی وجود دارد اما در سایر روزهای این بازه تنش‌های سرمایی بیشتر دیده می‌شود، همچنین در روزهای با تنش سرمایی آسایش نسبی در ساعات اواسط روز دیده می‌شود.

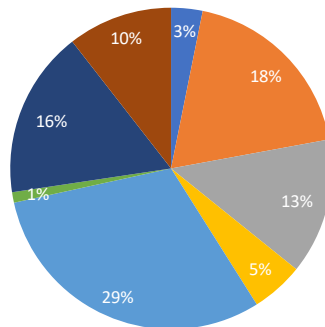
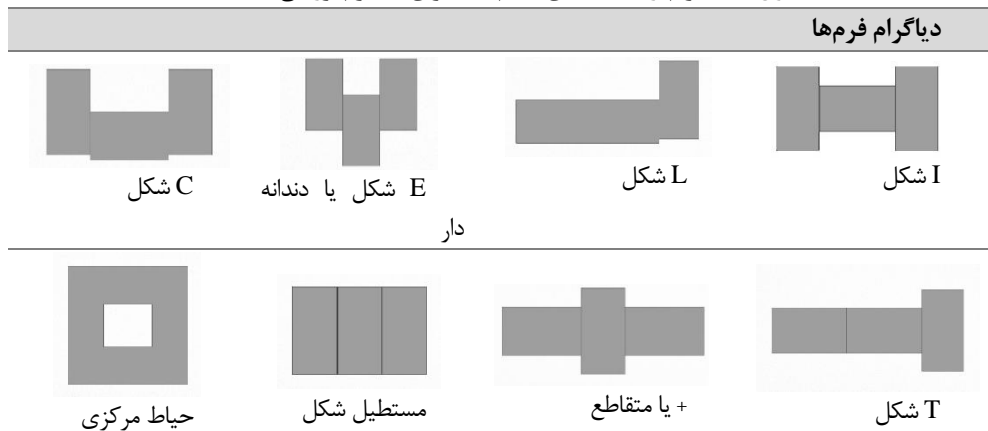


شکل ۲. نمودارهای آسایش حرارتی خارجی در شهر تهران در بازه زمانی تحلیلی

مدل پایه دانشکده‌های شهر تهران در نظر گرفته شد. به منظور انجام این پژوهش، ۸ دانشگاه دولتی شهر تهران که جمعا شامل ۹۲ دانشکده با فرم‌های متنوع هستند بررسی شد. در طی این پژوهش علاوه بر فرم، ارتفاع و همسایگی‌های

این دانشکده‌ها نیز بررسی شدند. سپس این ۹۲ فرم در ۸ دسته تقسیم بندی شدند (جدول ۱) و درصد تکرار هر نوع فرم در نظر گرفته شد (نمودار ۱). این دسته بندی شامل فرم‌های I, L, E, C, T, +, مستطیل شکل و حیاط مرکزی می‌باشد. با توجه به درصد تکرار در فرم‌ها، فرم حیاط مرکزی فرم سوم پرتکرار در این دسته بندی بود و به دلیل فرم خاص ساختمان حیاط مرکزی و قابلیت کنترل ابعاد حیاط در این فرم، در این پژوهش فرم حیاط مرکزی، توسط یک الگوریتم (که قابلیت تشکیل فرم حیاط مرکزی با ۷۶ عدد ابعاد مختلف حیاط را دارد) به منظور بررسی ابعاد مختلف حیاط در نظر گرفته شد تا در مساحت و شرایط ثابت تاثیر تغییرات ابعاد حیاط مرکزی در فراهم آوردن بهترین شرایط آسایش حرارتی خارجی بررسی شود.

جدول ۲. دیاگرام از دسته بندی انجام شده برای ۹۲ فرم بررسی شده دانشکده



نمودار ۱. درصد تکرار فرم‌های بررسی شده

متغیرهای پژوهش

## متغیرهای مستقل:

-متغیرهای مستقل شامل ابعاد حیاط مرکزی است، در الگوریتم حیاط مرکزی، با تغییر ابعاد حیاط (در بازه مشخص)، انواع حیاط مرکزی مستطیل شکل با ابعاد مختلف بررسی شده است. و این تغییر ابعاد سبب تغییر کشیدگی مستطیل و در نتیجه تغییر کشیدگی و جهت حیاط نیز می شود (شکل ۳).

## متغیرهای وابسته:

-متغیرهای وابسته این تحقیق آسایش حرارتی فضای خارجی UTCI و درصد زمان دارای آسایش است. در این پژوهش تاثیر تغییر ابعاد فرم حیاط مرکزی بر آسایش حرارتی فضای خارجی بررسی شده است، بنابراین آسایش حرارتی فضای خارجی با شاخص UTCI، متغیر وابسته است. به صورت دقیق تر، میانگین درصد زمانی که میانگین فضای حیاط مرکزی دارای آسایش حرارتی است، به عبارت دیگر درصد میانگین زمان دارای آسایش حرارتی در میانگین نقاط مختلف حیاط مرکزی، محاسبه شد و در ادامه تلاش شد تا این عدد در بازه‌ی زمانی ثابت به حداکثر برسد، یعنی با تغییر ابعاد، زمان دارای آسایش حرارتی در فضای خارجی افزایش پیدا کند و درصد زمانی که محیط حیاط مرکزی در آسایش است در بازه زمانی ثابت به حداکثر برسد. سپس در خروجی‌ها نقشه درجه آسایش حرارتی در گریدهای حیاط مرکزی به صورت میانگین آسایش هر گرید در طول بازه زمانی مشخص شده نشان داده می‌شود. لازم به ذکر است که در این پژوهش درصد فضای دارای آسایش، به عبارت دقیق تر، همان میانگین درصد زمانی است که میانگین فضای اطراف فرم در محدوده آسایش حرارتی قرار دارد. و منظور از درجه آسایش حرارتی خارجی هر فرم، میانگین درجه آسایش حرارتی فضای خارجی آن است. و فضای خارجی در فرم حیاط مرکزی، همان حیاط مرکزی است.

## متغیرهای کنترلی:

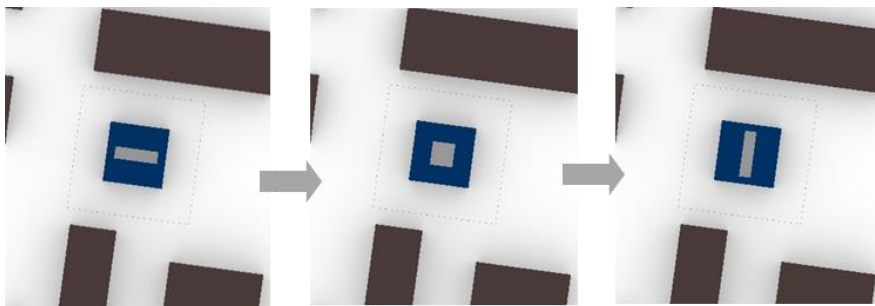
-همسایگی‌ها و ساختمان‌های اطراف سایت مورد نظر ثابت و بر اساس شرایط واقعی یکی از محیط‌های دانشکده‌های بررسی شده در نظر گرفته شد. و موقعیت جغرافیایی هم شهر تهران در نظر گرفته شد.

-جهت پیش فرض در همه ی همسایگی‌ها و حتی حیاط مرکزی با ابعاد مختلف بررسی شده مطابق شرایط واقعی سایت، زاویه ۷,۷۵ درجه به سمت شمال شرقی است. لازم به ذکر است به علت زاویه ۷,۷۵ درجه به سمت شمال شرقی در همه ی فرم های سایت مورد نظر که شرایط همسایگی‌ها از آن برگرفته شده است، در این پژوهش نیز فرم های بررسی شده و در نتیجه حیاط‌ها با این زاویه قرار داده شده‌اند. بنابراین در این پژوهش، به طور دقیق تر، منظور از شمال، مایل به شمال شرقی با زاویه ۷,۷۵ درجه است (زوایای جنوب، شرق و غرب نیز به همین ترتیب در واقع جنوب غربی، جنوب شرقی و شمال غربی با احتساب ۷,۷۵ درجه محسوب می‌شود).

-ارتفاع فرم ثابت، به اندازه ۴ طبقه ۳,۵ متری (۱۴ متر) در نظر گرفته شد که به صورت تقریبی میانگین ارتفاع ساختمان‌های دانشکده‌های بررسی شده است.

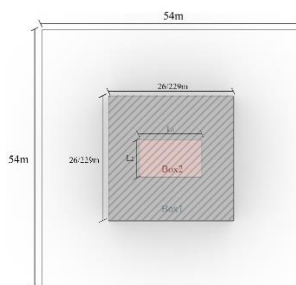
-مساحت حیاط مرکزی مورد بررسی ۱۰۰ مترمربع است و مساحت فرم مورد نظر در همه‌ی حالات و دسته‌بندی‌ها ثابت و به اندازه ۵۸۸ مترمربع و با سطح اشغال ثابت ۲۰,۱۶٪ می‌باشد.

-همچنین تنظیمات الگوریتم انرژی، شامل قد افراد، زاویه نسبت به خورشید، رنگ پوست و لباس، حالت فرد (ایستاده)، ابعاد گریدهای سایت و سایر موارد نیز در طول شبیه‌سازی ثابت در نظر گرفته شد.



شکل ۳. سه نمونه از ۷۶ فرم تولید شده توسط الگوریتم حیاط مرکزی

**روش انجام شبیه سازی:** به منظور طراحی این الگوریتم برای تولید حیاط مرکزی هایی با مساحت ثابت و ابعاد متفاوت فرم، دو مکعب مستطیل در نظر گرفته شد. مکعب اول شامل بخش صلب ساختمان به علاوه‌ی حیاط مرکزی در داخلش است و دارای ابعاد و مساحت ثابت می‌باشد (در شکل ۴، Box1 در کل بخش هاشور خورده). مکعب دوم که فقط حیاط مرکزی را تشکیل می‌دهد، دارای مساحت ثابت و ابعاد متغیر است (در شکل ۴، هاشور خورده قرمز رنگ). با ثابت بودن مساحت مکعب حیاط مرکزی (Box2 - مترمربع ۱۰۰) و مساحت ساختمان (مترمربع ۵۸۸ - هاشور خورده طوسی)، مساحت مکعب مربع بزرگتر (Box1 در شکل ۴، کل بخش هاشور خورده)  $(۱۰۰ + ۵۸۸ = ۶۸۸)$  به دست می‌آید. به علت اینکه تغییرات ابعاد در حیاط مرکزی با نسبت متناسبی صورت گیرد، مکعب بزرگتر به صورت مکعب مربع در نظر گرفته شد و در نتیجه هر ضلع آن  $\sqrt{۶۸۸} = ۲۶/۲۲۹ = ۱۶۸۸$  متر می‌باشد.



شکل ۴. تغییرات ابعاد حیاط مرکزی در الگوریتم دوم

جدول ۳. بازه تغییرات و ابعاد متغیرها در الگوریتم دوم

متغیر	مقدار
$L_1$	$[۵۰, ۲۰۰, ۰]$
	با فاصله ۰,۲
$L_2$	$۱۰۰ / L_1$

مکعب حیاط مرکزی که در درون مکعب بزرگتر قرار می‌گیرد، با مساحت ثابت ۱۰۰ مترمربع، قابلیت تغییر ابعاد را (جدول ۲) دارد تا بهترین ابعاد حیاط مرکزی در بهینه سازی مشخص شود. حداقل ضلع مکعب حیاط ۵ متر در نظر گرفته شد. علت انتخاب این عدد این بود که در مقاله ی "بررسی نقش تناسبات حیاط مرکزی بر سرمایه‌های ایستای ساختمان در اقلیم گرم و مرطوب" (۲۴) مدل‌های مختلف از حیاط مرکزی برای شبیه سازی در نظر گرفته شد که در آن حداقل طول ضلع حیاط مرکزی ۴ متر بود. اما در پژوهش حاضر در نظر گرفتن ضلع ۴ متری برای حیاط مرکزی، سبب ایجاد راهروهایی با پهنای ۰/۶۱ در داخل فرم ساختمان می‌شود، بنابراین حداقل ضلع (L<sub>۱</sub>) ۵ متر در نظر گرفته شد تا این مشکل برطرف شود.

بازه تغییرات L<sub>۱</sub> در حیاط مرکزی از ۵ تا ۲۰ متر (مساحت ثابت ۱۰۰ مترمربع است، بنابراین ۲۰ ÷ ۵ = ۱۰) است (جدول ۲). با ثابت بودن مساحت، L<sub>۲</sub> هم با توجه به مقدار L<sub>۱</sub>، به دست می‌آید. حرکت اعداد در این بازه با تغییرات ۰/۲ است بنابراین این الگوریتم ۷۶ ابعاد حیاط مرکزی را بررسی می‌کند (شکل ۳).

تنظیمات شبیه سازی انرژی توسط پلاگین لیدی باگ مطابق جدول ۳ انجام شد، و به منظور بهینه سازی توسط پلاگین گالاپاگوس نیز تنظیمات جدول ۳ در نظر گرفته شد. ورودی ژن‌ها در پلاگین گالاپاگوس، اسلایدی است که با تغییر آن ابعاد حیاط مرکزی نیز تغییر می‌کند و ورودی برای تابع عملکرد نیز میانگین درصد زمانی است که نقاط گرید حیاط مرکزی در محدوده آسایش حرارتی (در بازه زمانی ثابت) قرار دارند. به منظور یافتن بهترین ابعاد حیاط مرکزی، مقدار تابع عملکرد حداکثر، و برای یافتن بدترین ابعاد حیاط مرکزی در هر بازه زمانی، این مقدار بر روی تنظیمات حداقل قرار داده شد. سایر تنظیمات بهینه سازی و شبیه سازی توسط لیدی باگ و گالاپاگوس که در جدول زیر قرار ندارند به صورت پیش فرض نرم افزار در نظر گرفته شده است. به علت تمرکز بر آسایش حرارتی فضای خارجی دانشکده‌ها در این پژوهش، بازه زمانی مورد بررسی زمانی است که حضور دانشجویان در دانشگاه بیشتر است.

جدول ۴. تنظیمات شبیه سازی و بهینه سازی

بازه زمانی مورد بررسی	۱۰ مهرماه تا ۱ تیر از ساعت ۹ تا ۱۸	
اطلاعات هواشناسی	فایل epw	
میزان بازتاب زمین	۰,۳	
فرد	فرد ایستاده با قد ۱,۶۷ متر با رنگ پوست سبزه (نه سیاه و نه سفید) و میزان لباس متوسط	
ابعاد گریدها در حیاط مرکزی	۵,۰ × ۰,۵ مترمربع	
بهینه سازی	ژن‌ها	ابعاد
	تابع عملکرد	میانگین درصد زمانی که میانگین نقاط گرید در شرایط آسایش حرارتی در بازه زمانی ثابت قرار دارند
	Max stagnant	۴
	جمعیت	۵
	BOOST	۲
اولیه		

نتایج و بحث

با بررسی ۷۶ فرم در بهینه سازی از طریق کامپوننت گالایاگوس، خروجی‌های زیر برای حیاط مرکزی با بهترین شرایط آسایش حرارتی خارجی و حیاط مرکزی با بدترین شرایط آسایش حرارتی خارجی در طول کل بازه زمانی بررسی شده است. ستون بازه دسته بندی در جدول ۴ بر اساس جدول ۵ می‌باشد که مشخص کننده میزان و نوع تنش بررسی شده است.

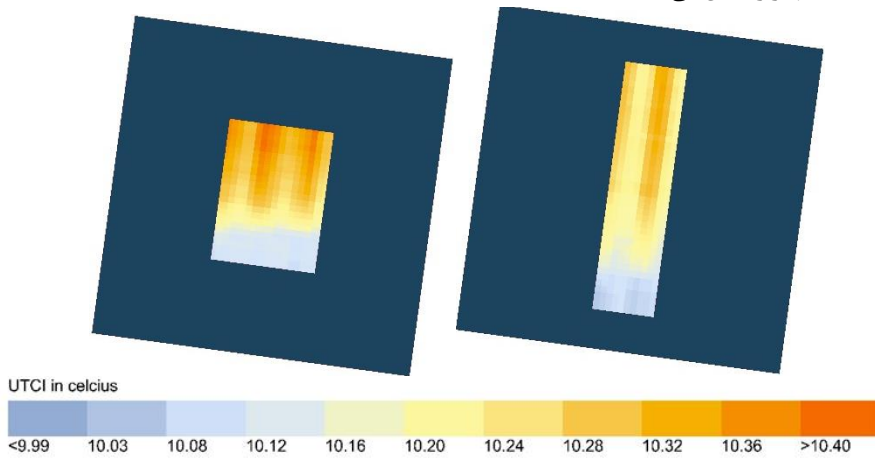
جدول ۵. مشخصات آسایش حرارتی خارجی در خروجی‌های بهترین و بدترین ابعاد حیاط مرکزی

نوع فرم	دیاگرام	ابعاد حیاط مرکزی و کشیدگی	درصد فضای دارای آسایش	میانگین درجه آسایش حرارتی خارجی (UTCI)	میانگین دمای تابشی	دسته بندی	ساعات تابش مستقیم
بهترین		۸٫۶ × ۱۱٫۶۲۷۹۰۷	۴۰٫۲۰۰	۱۰٫۰۳۱	۱۷٫۳۸۰	-۰٫۴۸۶	۹۱۹
بدترین		۲۰ × ۵ شمالی-جنوبی	۴۰٫۱۸۲	۱۰٫۰۲۴	۱۷٫۳۵۴	-۰٫۴۸۷	۹۰۳
اختلاف			۰٫۰۱۸	۰٫۰۰۷	۰٫۰۲۶	۰٫۰۰۱	۱۶

جدول ۶. دسته بندی بازه های تنش حرارتی در قالب اعداد

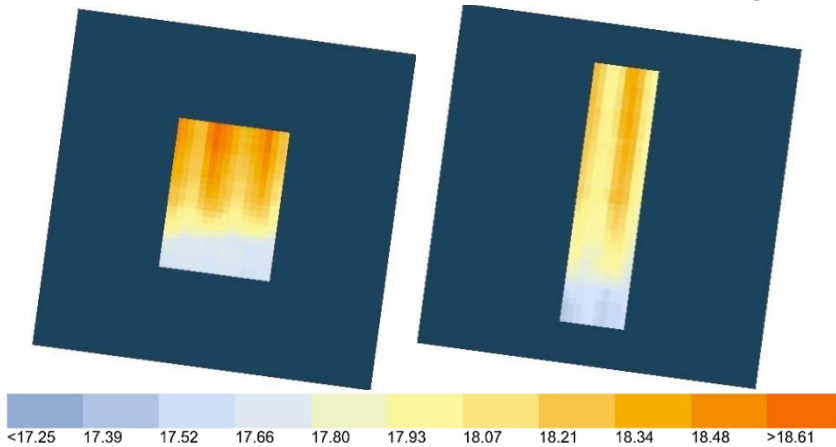
ردیف	بازه	دسته بندی تنش	عدد
۱	$UTCI < -۴۰$	تنش سرمایی شدید	-۵
۲	$-۴۰ \leq UTCI < -۲۷$	تنش سرمایی بسیار قوی	-۴
۳	$-۲۷ \leq UTCI < -۱۳$	تنش سرمایی قوی	-۳
۴	$-۱۲ \leq UTCI < ۰$	تنش سرمایی متوسط	-۲
۵	$۰ \leq UTCI < ۹$	تنش سرمایی کم	-۱
۶	$۹ \leq UTCI < ۲۶$	بدون تنش حرارتی	۰
۷	$۲۶ \leq UTCI < ۲۸$	تنش گرمایی کم	+۱
۸	$۲۸ \leq UTCI < ۳۲$	تنش گرمایی متوسط	+۲
۹	$۳۲ \leq UTCI < ۳۸$	تنش گرمایی قوی	+۳
۱۰	$۳۸ \leq UTCI < ۴۶$	تنش گرمایی بسیار قوی	+۴
۱۱	$UTCI > ۴۶$	تنش گرمایی شدید	+۵

تصاویر زیر تغییرات وضعیت آسایش حرارتی خارجی در بهترین و بدترین ابعاد حیاط مرکزی با راهنمای نقشه‌ی مشابه برای مقایسه بهتر را نشان می‌دهد.



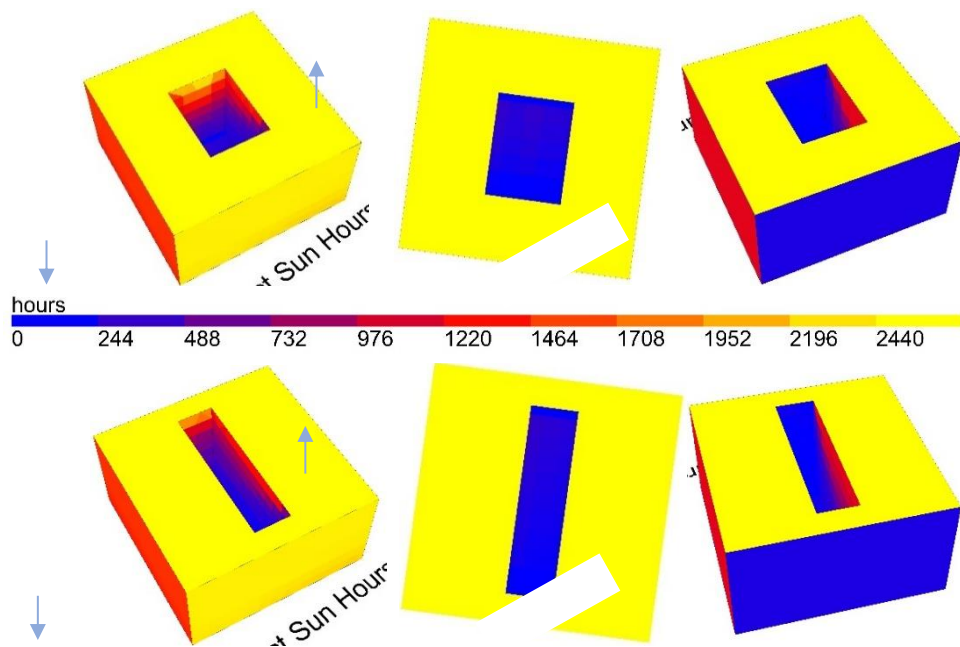
شکل ۵. بهترین فرم و بدترین ابعاد حیاط مرکزی در کل بازه زمانی از راست به چپ

تصاویر زیر وضعیت میانگین دمای تابشی در بهترین و بدترین ابعاد حیاط مرکزی با راهنمای نقشه‌ی مشابه برای مقایسه بهتر نشان می‌دهد.



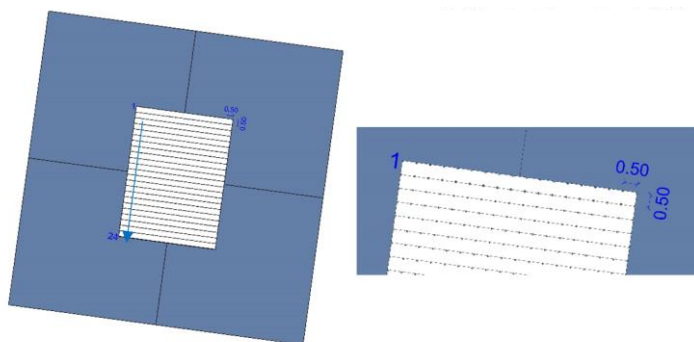
شکل ۶. میانگین دمای تابشی بهترین فرم و بدترین ابعاد حیاط مرکزی در کل بازه زمانی از راست به چپ

در تصاویر زیر، ساعات دریافت تابش مستقیم در بهترین و بدترین ابعاد حیاط مرکزی با یکدیگر مقایسه شده‌اند که میزان اختلاف آن‌ها در دریافت تابش مستقیم خورشید در جدول ۴ نشان داده شده است. در تنظیمات این خروجی، ابعاد گرید ها ۲×۲ مترمربع در نظر گرفته شده است.



شکل ۷. پلان و پرسپکتیو ساعات دریافت تابش مستقیم، در بهترین (ردیف بالا) و بدترین (ردیف پایین) ابعاد حیاط مرکزی

با در نظر گرفتن خطوطی که شامل نقطه‌هایی با فاصله ۵۰ سانتی متری از یکدیگر هستند، و قرار دادن این خطوط به ترتیب در فواصل ۵۰ سانتی متری از قسمت شمالی تا جنوبی سایت، تغییرات میزان آسایش حرارتی از شمال تا جنوب سایت بررسی شد.



شکل ۸. تصویر نقاط بررسی شده در هر ردیف

جدول ۷. میانگین آسایش حرارتی نقاط در هر ردیف از شمال به جنوب

ردیف	۱ (شمال)	۲	۳	۴	۵	۶	۷	۸	۹	۱۰
میانگین آسایش حرارتی نقاط	۱۰،۳۴	۱۰،۳۳	۱۰،۳۳	۱۰،۳۳	۱۰،۳۲	۱۰،۳۱	۱۰،۳۰	۱۰،۲۹	۱۰،۲۹	۱۰،۲۸
درصد	۴۰،۷۸	۴۰،۷۵	۴۰،۷۵	۴۰،۷۶	۴۰،۷۲	۴۰،۶۷	۴۰،۶۳	۴۰،۶۲	۴۰،۵۹	۴۰،۵۶
		۵	۱	۵	۳	۵	۹	۲	۷	۳

ردیف	۱۱	۱۲	۱۳	۱۴	۱۵	۱۶	۱۷	۱۸	۱۹
میانگین آسایش حرارتی نقاط	۱۰،۲۸	۱۰،۲۶	۱۰،۲۵	۱۰،۲۴	۱۰،۲۲	۱۰،۲۰	۱۰،۱۸	۱۰،۱۴	۱۰،۱۱
درصد	۴۰،۵۵۱	۴۰،۵۱۹	۴۰،۴۵۲	۴۰،۴۲۲	۴۰،۳۹۹	۴۰،۳۶۸	۴۰،۲۷۳	۴۰،۲۰۸	۴۰،۱۵۹

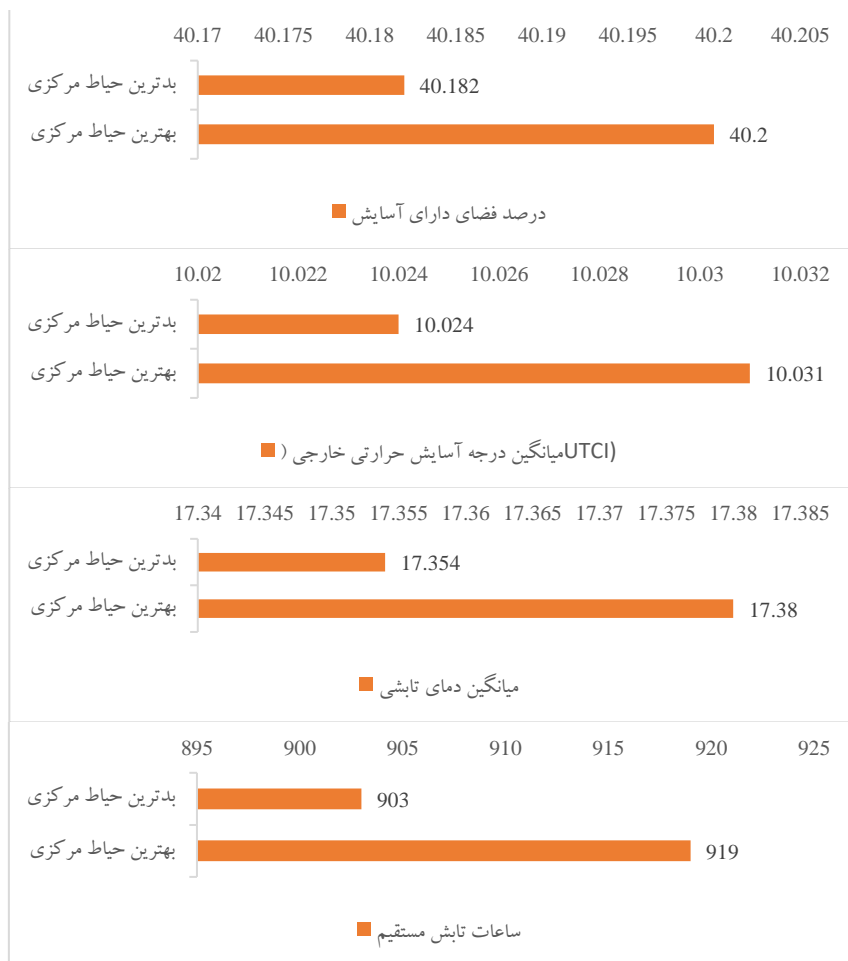
ردیف	۲۰	۲۱	۲۲	۲۳	۲۴ (جنوب)
میانگین آسایش حرارتی نقاط	۱۰،۱۰	۱۰،۱۰	۱۰،۰۹	۱۰،۰۹	۱۰،۰۹
درصد	۴۰،۱۴۵	۴۰،۱۳۴	۴۰،۱۴۰	۴۰،۱۵۵	۴۰،۱۵۵

### بحث

نتایج حاصل از خروجی‌های حیات مرکزی شامل تحلیل‌های بهترین و بدترین ابعاد برای حیات مرکزی، میانگین دمای تابشی، ساعات دریافت تابش مستقیم و تغییرات آسایش حرارتی در حیات مرکزی در فواصل مختلف در این بخش تحلیل می‌شود.

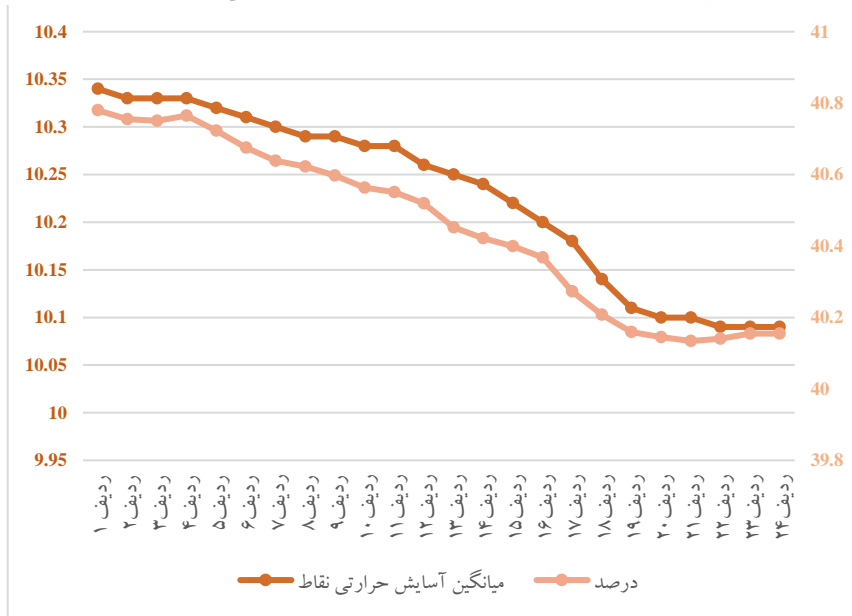
با استفاده از جدول ۴، نمودارهای ۲ ترسیم شدند. همان طور که در این نمودارها مشاهده می‌شود، میزان اختلاف بین بهترین و بدترین ابعاد حیات مرکزی از نظر آسایش حرارتی خارجی ۰،۰۰۷ درجه سانتی‌گراد و تفاوت درصد فضای آسایش بین این دو فرم ۱۸،۰٪ می‌باشد. این اعداد نشان می‌دهد که با ثابت بودن فرم حیات مرکزی (مستطیل) و ثابت

بودن مساحت (۱۰۰ مترمربع) و ارتفاع بنا، تغییر ابعاد تفاوت قابل توجهی در شرایط آسایش حرارتی حیاط مرکزی ایجاد نمی‌کند. همچنین تنش حرارتی در هر دو فرم، منفی است بنابراین فرم بهتر، فرمی است که دمای آسایش محیط را افزایش دهد. شکل ۵ نشان دهنده بهترین و بدترین فرم حیاط مرکزی است. همان طور که مشاهده می‌شود، بهترین فرم دارای ضلع رو به جنوب بیشتری در قسمت حیاط مرکزی است و اختلاف بین طول و عرض حیاط در آن کمتر است، اما بدترین فرم، کشیدگی شمالی جنوبی بیشتری دارد و اختلاف بین طول و عرض فرم نیز بیشتر و سطح رو به جنوب آن نیز کمتر است. اختلاف بین میانگین دمای تابشی بین این دو حیاط مرکزی، ۰,۰۲۶ درجه سانتی گراد است. شکل ۶ نشان می‌دهند که با کاهش کشیدگی و افزایش ضلع شمالی، میزان میانگین دمای تابشی افزایش یافته است. همچنین شکل ۷ نیز نشان می‌دهد، بهترین فرم با سطح رو به جنوب بیشتر میزان دریافت تابش مستقیم بیشتری به اندازه ۱۶ ساعت بیشتر از بدترین فرم دارد.



نمودار ۲. مشخصات بهترین و بدترین ابعاد حیاط مرکزی

با توجه به شکل ۸ و جدول ۶، اندازه گیری میانگین آسایش حرارتی خارجی نقاط در عرض حیاط مرکزی، و با حرکت در راستای شمال به جنوب و مقایسه این اندازه گیری‌ها از فاصله ۵۰ سانتی متری از یکدیگر نمودار زیر ترسیم شد. همان طور که مشاهده می‌شود، با حرکت از شمال به سمت جنوب در حیاط مرکزی، میزان آسایش حرارتی خارجی و درصد فضاهای دارای آسایش کم و کمتر می‌شود. به همین علت بهترین فرم حیاط مرکزی دارای کشیدگی شمالی- جنوبی کمتری از بدترین فرم حیاط مرکزی است، تا روند کاهش درجه آسایش خارجی زودتر متوقف شود.



نمودار ۳. روند تغییرات درصد و میزان آسایش حرارتی خارجی در فواصل مختلف

### نتیجه گیری

نتایج نشان داد بهترین ابعاد حیاط مرکزی، مستطیلی به ابعاد  $۸,۶ \times ۱۱,۶$  مترمربع و کشیدگی شمالی- جنوبی است. بدترین ابعاد حیاط مرکزی نیز، مستطیلی به ابعاد  $۵ \times ۲۰$  مترمربع و کشیدگی شمالی- جنوبی است. اختلاف بین این دو ابعاد حیاط مرکزی، از نظر آسایش حرارتی خارجی  $۰,۰۰۷$  درجه سانتی گراد و اختلاف درصد زمان وجود فضای دارای آسایش بین این دو فرم،  $۰,۰۱۸$ ٪ است. در نتیجه با ثابت بودن تمام متغیرها و تنها تغییر ابعاد حیاط مرکزی با مساحت ثابت، بهبودی بسیار جزئی در شرایط آسایش حرارتی خارجی در درون حیاط مرکزی ایجاد می‌گردد. بررسی تنش‌های حرارتی فرم حیاط مرکزی نشان می‌دهد تنش سرمایی در فضای خارجی غالب است، بنابراین برای کاهش تنش به افزایش درجه آسایش حرارتی نیاز است. به همین علت بهترین فرم دارای درجه آسایش حرارتی خارجی، میانگین دمای تابشی، و ساعات دریافت تابش مستقیم بیشتری از بدترین فرم است.

بهترین فرم با سطح رو به جنوب بیشتر در داخل حیاط، دارای میانگین دمای تابشی بیشتری به اندازه  $۰,۰۲۶$  درجه سانتی گراد و دارای ساعات دریافت تابش مستقیم بیشتری به اندازه ۱۶ ساعت در بازه زمانی بررسی شده نسبت به بدترین فرم است. همچنین اندازه گیری‌ها نشان می‌دهد با حرکت از شمال به جنوب در حیاط مرکزی، میزان آسایش حرارتی به میزان قابل توجهی با پیشروی به سمت جنوب سایت کاهش می‌یابد. مشاهده فرم‌ها و نتایج به دست آمده نشان می‌دهد که به علت تنش سرمایی، بهترین فرم دارای ضلع رو به جنوب بیشتری در حیاط (و در نتیجه ساعات

تابش مستقیم و میانگین دمای تابشی بیشتر) است، همچنین در بهترین فرم اختلاف بین طول و عرض حیاط و کشیدگی شمالی-جنوبی کمتر از بدترین فرم است تا روند کاهش درجه آسایش خارجی با حرکت از شمال به جنوب، زودتر متوقف شود. اما بدترین فرم، کشیدگی شمالی جنوبی بیشتری دارد و اختلاف بین طول و عرض فرم نیز بیشتر و سطح رو به جنوب آن نیز کمتر است این باعث شده تا حیاط مرکزی سطوح رو به جنوب کمتری داشته باشد و سایه اندازی بیشتر شود و در نتیجه آسایش حرارتی خارجی نیز کاهش می‌یابد. بنابراین بهترین فرم به منظور حفظ حرارت و دریافت تابش بیشتر، کشیدگی کمتر و سطح رو به جنوب بیشتری در حیاط از بدترین فرم داشته و اختلاف بین طول عرض آن نیز کمتر از بدترین فرم است.

نتایج این تحقیق می‌تواند برای طراحان ساختمان‌های آموزشی مختلف مانند دانشگاه‌ها، مدارس و سایر کاربری‌هایی که فضای باز در آن‌ها نقش مهمی را ایفا می‌کند، مفید واقع شود. از آن‌جا که حیاط مرکزی از دیرباز یکی از فرم‌های پرکاربرده در کاربری‌های متنوع است توجه به تناسبات آن به منظور ارتقای آسایش کاربران حایز اهمیت است. طراحی این فرم پر تکرار با تناسبات بهینه موجب تعدیل دمای محیط، کاهش مصرف انرژی و ارتقای رضایت کاربران می‌شود.

## References

- [۱] Alnusairat, S., Ayyad, Y., & Al-Shatnawi, Z. (2021). *Towards meaningful university space: Perceptions of the quality of open spaces for students*. Buildings, 11(11), 556 . <https://doi.org/10.3390/buildings11110556>
- [۲] Itard, L., Bluysen, P., Lindeman, R., & Keuvelaar, J. (2004). *Fundamental Aspects of Thermal Comfort* . <https://ocw.tudelft.nl>
- [۳] ASHRAE, A. (2017). *Standard 55-2017 Thermal environmental conditions for human occupancy*. 2017. American Society of Heating, Refrigerating, and Air-Conditioning Engineers: Atlanta, GA . <https://www.ashrae.org>
- [۴] Liu, Z., Li, J., & Xi, T .(۲۰۲۳) .*A Review of Thermal Comfort Evaluation and Improvement in Urban Outdoor Spaces*. Buildings, 13(12), 3050 . <https://doi.org/10.3390/buildings13123050>
- [۵] Coccolo, S., Kämpf, J., Scartezzini, J.-L., & Pearlmutter, D. (2016). *Outdoor human comfort and thermal stress: A comprehensive review on models and standards*. Urban Climate, 18, 33-57 . <https://doi.org/10.1016/j.uclim.2016.08.004>
- [۶] Rupp, R. F., Vásquez, N. G., & Lamberts, R. (2015). *A review of human thermal comfort in the built environment*. Energy and buildings, 105, 178-205 . <https://doi.org/10.1016/j.enbuild.2015.07.047>
- [۷] Kumar, P., & Sharma, A. (2020). *Study on importance, procedure, and scope of outdoor thermal comfort—A review*. Sustainable Cities and Society, 61, 102297 . <https://doi.org/10.1016/j.scs.2020.102297>
- [۸] Jendritzky, G., de Dear, R., & Havenith, G. (2012). *UTCI—why another thermal index?* International journal of biometeorology, 56, 421-428 . <http://dx.doi.org/10.1007/s00484-011-0513-7>
- [۹] Zare, S ., Hasheminejad, N., Shirvan, H. E., Hemmatjo, R., Sarebanzadeh, K., & Ahmadi, S. (2018). *Comparing Universal Thermal Climate Index (UTCI) with selected thermal indices/environmental parameters during 12 months of the year*. Weather and climate extremes, 1 . ۵۷-۴۹ , ۹ <https://doi.org/10.1016/j.wace.2018.01.004>
- [۱۰] Blazejczyk, K., Epstein, Y., Jendritzky, G., Staiger, H., & Tinz, B. (2012). *Comparison of UTCI to selected thermal indices*. International journal of biometeorology, 56, 515-535 . <https://doi.org/10.1007/s00484-011-0453-2>
- [۱۱] Meng, Y., Hao, Y., Que, Y., Ren, J., & Liu, Y .(۲۰۲۴) .*Multi-Objective Optimization of Morphology in High-Rise Residential Areas for Outdoor Thermal Comfort in Yulin City, Northwest China*. Buildings, 14(6), 1688 . <http://dx.doi.org/10.3390/buildings14061688>
- [۱۲] sanagar darbani, e., rafiyan, m., hanaee, T., & monsefi parapari, d. (2018). *Environmental Effects Of Urban Geometry Changes On Air Temperature And Outdoor Thermal Comfort In Arid Climate Of Mashhad (Case Study Of Pachenar And Shahed)*. Journal of Environmental Studies, 43(4), 561-578. <https://doi.org/10.22059/jes.2018.247624.1007570> (In Persian)
- [۱۳] Khalilian, S., Alborzi, F., & Soheili, J. A. D. (2019). *The effect of indoor and outdoor spaces of residential complexes on the thermal comfort component of environmental quality with the fuzzy logic approach (Case study: Residential complexes in Tehran)* . <https://dorl.net/dor/20.1001.1.22285229.1398.10.36.10.2> (In Persian)
- [۱۴] dehnad, n., karimi, B., & Mahdi Nejad, J.-e.-D. (2022). *Exploring the effects of height and form of residential places on creating thermal comfort of collective outdoor*

- spaces (Case study: Residential complexes of Shiraz)*. *Geography and Urban Space Development*, 8(2), 197-217. <https://doi.org/10.22067/jgusd.2022.72333.1101> (In Persian)
- [۱۵] Karamirad, S., Banazade, B., Zarei, H., & Ghezlbash, E. (2019). *Assessment and Analysis of Thermal Comfort Courtyards of Shiraz Historical Houses in Qajar Era*. *pazhoheshha-ye Bastan shenasi Iran*, 9(20), 183-202. <https://doi.org/10.22084/nbsh.2019.17023.1792> (In Persian)
- [۱۶] Sayad, B., Alkama, D., Rebhi, R., Menni, Y., Ahmad, H., Inc, M., Sharifpur, M., Lorenzini, G., Azab, E., & Elnaggar, A. Y. (2021). *Outdoor thermal comfort optimization through vegetation parameterization: species and tree layout*. *Sustainability*, 13(21), 11791. <https://doi.org/10.3390/su132111791>
- [۱۷] Sabri, R., Rostami, R., & Mozaffari Qhadikolaei, F. (2024). *Thermal Performance of Double-layer Green Walls in Optimizing Energy Consumption in a Typical Commercial Office Building in Tehran*. *Karafan Journal*, 20(4), 179-194. <https://doi.org/10.48301/kssa.2023.388810.2473> (In Persian)
- [۱۸] Neshatsafavi, S., Babakhani, M., & Azmoodeh, M. (2023). *Comparative Comparison of the Effect of Green Roof Vegetation on the Reduction of Urban Heat Island (Case Study: Enghelab Square, City of Tehran)*. *Karafan Journal*, 19(4), 259-282. <https://doi.org/10.48301/kssa.2022.319059.1893> (In Persian)
- [۱۹] Koulivand, T. (2023). *Comparison of Thermal Performance of Broadleaf and Coniferous Trees in Urban Canyons (Case Study: City of Isfahan)*. *Karafan Journal*, 19(4), 333-364. <https://doi.org/10.48301/kssa.2022.298183.1650> (In Persian)
- [۲۰] Talebsafa, S., Taheri Shahraeini, M., Yang, X., & Rabiei, M. (2023). *Impact of Providing Shade on Outdoor Thermal Comfort during Hot Season: a Case Study of a University Campus in Cold Semi-arid Climate*. *Renewable Energy Research and Applications*, 4(2), 209-224. <https://doi.org/10.22044/rera.2022.12254.1169>
- [۲۱] Lam, C. K. C., Weng, J., Liu, K., & Hang, J. (2023). *The effects of shading devices on outdoor thermal and visual comfort in Southern China during summer*. *Building and Environment*, 228, 109743. <https://doi.org/10.1016/j.buildenv.2022.109743>
- [۲۲] Rodrigues, E., Fereidani, N. A., Fernandes, M. S., & Gaspar, A. R. (2023). *Climate change and ideal thermal transmittance of residential buildings in Iran*. *Journal of Building Engineering*, 74, 106919. <https://doi.org/10.1016/j.jobe.2023.106919>
- [۲۳] Forouzandeh, N., Brembilla, E., Nan, L., Stoter, J., & Jakubiec, A. (2024). *Influence of geometrical levels of detail and inaccurate material optical properties on daylight simulation*. *Energy and buildings*, 306, 113924. <http://dx.doi.org/10.1016/j.enbuild.2024.113924>
- [۲۴] Saligheh, E., & Saadatjoo, P. (2020). *Impact of Central Courtyard Proportions on Passive Cooling Potential in Hot and Humid Regions (Case Study: Single-story Buildings in Bandar Abbas)*. *Naqshejahan- Basic studies and New Technologies of Architecture and Planning*, 10(2), 137-152. <http://bsnt.modares.ac.ir/article-2-40649-en.html> (In Persian)