

An Evaluation of the Effects of Shade on Open Space Thermal Comfort, and Establishing Thermal Comfort Zone

Shahrzad Talebsafa * 

MSc, Faculty of Architectural Engineering and Urbanism, Shahrood University of Technology, Shahrood, Iran

Masoud Taheri Shahraeini, PhD

Assistant Professor, Faculty of Architectural Engineering and Urbanism, Shahrood University of Technology, Shahrood, Iran

Xiaoshan Yang, PhD

Professor, Faculty of Architecture, Nanjing Tech University, Nanjing, China

Mohammadreza Rabiei, PhD

Assistant Professor, Faculty of Mathematical Sciences, Shahrood University of Technology, Shahrood, Iran

Received: August 13, 2022

Accepted: May 1, 2023

(Pages: 47-65)

Taleb Safa, Sh., Taheri Shahraeini, M., Yang, X. and Rabiei, M.R., 2023. An Evaluation of the Effects of Shade on Open Space Thermal Comfort, and Establishing Thermal Comfort Zone. *Soffeh*. 102 (3): 47-65.

DOI: [10.48308/sofeh.2023.228327.1190](https://doi.org/10.48308/sofeh.2023.228327.1190)

Keywords:

Thermal comfort,
Open space, Shading,
Physiological equivalent
temperature, Micro-
climate.

Abstract:

The rapid growth of urbanisation in contemporary era has increased the human need for open space. One of the most important principles of open space design is to pay attention to thermal comfort in order to improve the quality of space and satisfy users. Numerous factors affect the thermal comfort quality of open spaces including shading; one of the most



SOFFEH

Soffeh Journal, Shahid Beheshti University, Vol. 33, Issue 3, No. 102, 2023



ISSN: 1683-870X

*. Copyright: © 2023 by the authors. Submitted for possible open access publication under the terms and conditions of the Creative Commons Attribution (CC BY) license (<https://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>).

*. Corresponding Author: Email Address. shtalebsafa@yahoo.com
<http://dx.doi.org/10.48308/sofeh.2023.228327.1190>
<http://dori.net/dor/20.1001.1.1683870.1402.33.3.2.8>

important ones. This study investigates the effect of shade on students' thermal comfort at Shahrood University of Technology in Iran during the hot season. For this purpose, field studies were conducted including the measurement of major climatic parameters, as well as the evaluation of the thermal perception of students by using thermal comfort questionnaires at four types of location in campus (under plants shade, building shade, horizontal shading (canopy), and sunlight) simultaneously. The Physiologically Equivalent Temperature (PET) is used here as a thermal comfort index. The neutral PET value of 21.9 °C and the maximum value in the PET comfort range of 26.9 °C are obtained for this study. The results show that there is a significant relationship between the location and the thermal comfort. The plants shade creates an acceptable thermal environment with more than 80% user satisfaction. After that, the canopy and the building shade also provide environmental satisfaction for the majority of people, while the most uncomfortable condition is in the sunlight position. Shaded locations decrease the PET value and thermal stress on sunny days and increase comfort levels as well as comfort hours during the day. Therefore, it can be concluded that creating shade and blocking direct solar radiation using vegetation or building elements can significantly improve outdoor thermal comfort during the hot season.

ارزیابی تأثیر سایه بر آسایش حرارتی فضای باز و تعیین محدوده آسایش حرارتی^۱

شهرزاد طالب صفا^{۲*} ID

شیائوشان یانگ^۴

مسعود طاهری شهرآئینی^۳

استاد دانشکده معماری، دانشگاه صنعتی نانجینگ، چین

استادیار دانشکده مهندسی معماری و شهرسازی، دانشگاه صنعتی

محمد رضاریعی^۵

استادیار دانشکده علوم ریاضی، دانشگاه صنعتی شاهرود، ایران

شاهرود، ایران

دریافت: ۲۲ مرداد ۱۴۰۱

پذیرش: ۱۱ اردیبهشت ۱۴۰۲
(صفحه ۶۵ - ۴۷)

طالب صفا، ش.، م. طاهری شهرآئینی، شیائوشان یانگ، و م. ر. ربیعی. ۱۴۰۲. ارزیابی تأثیر سایه بر آسایش حرارتی فضای باز و تعیین محدوده آسایش حرارتی. فصلنامه علمی معماری و شهرسازی صفحه. ۱۰۲ (۳): ۴۷-۶۵.

کلیدواژگان: آسایش حرارتی، فضای باز، سایه، دمای معادل فیزیولوژیکی، خرداقلیم.

چکیده

رشد سریع شهرنشینی در دوران معاصر ضرورت و نیاز روانی انسان را به حضور در فضاهای باز افزایش داده است. یکی از مهم‌ترین اصول طراحی فضاهای باز توجه به آسایش حرارتی در جهت ارتقای کیفیت فضا و جلب رضایت بیشتر کاربران است. عوامل متعددی بر کیفیت آسایش حرارتی فضاهای باز اثر می‌گذارند که، در این میان، سایه‌اندازی یکی از مهم‌ترین آنهاست. این پژوهش به بررسی تأثیر سایه بر آسایش حرارتی دانشجویان دانشگاه صنعتی شاهرود در فصل گرم سال اختصاص دارد. بدین منظور، مطالعات میدانی شامل اندازه‌گیری پارامترهای اصلی اقلیمی و همچنین ارزیابی احساس حرارتی دانشجویان با استفاده از پرسش‌نامه‌های آسایش حرارتی به‌صورت هم‌زمان در چهار نقطه از محیط دانشگاه شامل سایه پوشش گیاهی، سایه ساختمان، سایه سایه‌بان افقی (پارکینگ)، و آفتاب صورت گرفته است. در این پژوهش از دمای معادل فیزیولوژیکی (PET) شاخص آسایش حرارتی دانسته شده است. مقدار PET خنثی $21/9^{\circ}\text{C}$ و بیشترین مقدار در محدوده آسایش PET، $26/9^{\circ}\text{C}$ برای این مطالعه به‌دست آمده است. نتایج تحقیق نشان می‌دهد ارتباط معناداری میان موقعیت و آسایش حرارتی وجود دارد. سایه پوشش گیاهی با رضایت بیش از ۸۰٪ کاربران، محیط حرارتی قابل‌قبولی را ایجاد کرده و پس

از آن، سایه پارکینگ و سایه ساختمان نیز برای اکثر افراد حاضر در این محیط‌ها رضایت از محیط را فراهم کرده است؛ درحالی‌که نامطلوب‌ترین شرایط حرارتی در موقعیت آفتاب رخ می‌دهد. در موقعیت‌های دارای سایه مقدار PET و همچنین تنش‌های حرارتی در فصل گرم و روزهای آفتابی کاهش می‌یابند و این موجب افزایش سطح و ساعات آسایش در طی روز می‌شود. بنابراین می‌توان نتیجه گرفت که ایجاد سایه و مسدود کردن تابش مستقیم خورشید با استفاده از پوشش گیاهی یا عناصر مصنوع تا حد زیادی می‌تواند شرایط آسایش حرارتی فضای باز را در فصل گرم بهبود بخشد.

مقدمه

فضاهای باز شهری، با توجه به جریان داشتن رفت‌وآمد روزانه عابران پیاده و فعالیت‌های مختلف در آنها، برای شهرهای پایدار اهمیت بسیاری دارند و به میزان شایان توجهی به قابلیت زندگی و حیات شهری کمک می‌کنند. ترغیب بیشتر مردم به حضور در خیابان‌ها و فضاهای باز از دیدگاه‌های مختلف، از جمله جنبه‌های جسمی، محیطی، اقتصادی، و اجتماعی، برای شهرها دارای مزیت

۱. این مقاله برگرفته از پایان‌نامه کارشناسی ارشد معماری نویسنده اول است با عنوان بررسی تأثیر سایه بر آسایش حرارتی فضای باز؛ نمونه موردی: دانشگاه صنعتی شاهرود که به راهنمایی نگارنده دوم و مشاوره نگارندگان سوم و چهارم در بهمن‌ماه سال ۱۳۹۸ در دانشکده معماری و شهرسازی دانشگاه صنعتی شاهرود دفاع شده است.

۲. نویسنده مسئول، کارشناس ارشد معماری، دانشکده مهندسی معماری و شهرسازی، دانشگاه صنعتی شاهرود، ایران

shtalebsafa@yahoo.com
3.mtaheri87@shahroodut.ac.ir
4.yangx@njtech.edu.cn
5.rabiei_stat@shahroodut.ac.ir

فصلنامه علمی معماری و شهرسازی؛ سال سی و سوم، شماره ۱۰۲، پاییز ۱۴۰۲

*. Copyright: © 2023 by the authors. Submitted for possible open access publication under the terms and conditions of the Creative Commons Attribution (CC BY) license (<https://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>).

*. Corresponding Author: Email Address. shtalebsafa@yahoo.com
<http://dx.doi.org/10.48308/sofeh.2023.228327.1190>
<http://dori.net/dor/20.1001.1.1683870.1402.33.3.2.8>



پرسش‌های تحقیق

۱. آیا ایجاد سایه می‌تواند شرایط آسایش حرارتی را برای کاربران فضای باز فراهم کند؟
۲. فراهم کردن سایه چگونه و تا چه میزان بر پارامترهای اقلیمی و آسایش حرارتی فضای باز مؤثر است؟
۳. محدوده آسایش حرارتی PET برای این مطالعه چیست؟

6. L. Chen & E. Ng, "Outdoor Thermal Comfort and Outdoor Activities: A Review of Research in the Past DeCade", p. 118; N. Eslamirad, et al, "Data Generative MaChine Learning Model for the Assessment of Outdoor Thermal and Wind Comfort in a Northern Urban Environment", p. 541.
7. R. Adawiyah Nasir, et al, "PhysiCal ACTivity and Human Comfort Correlation in an Urban Park in Hot and Humid Conditions", p. 598.
8. F. Canan, et al, "Outdoor Thermal Comfort Conditions during Summer in a Cold Semi-arid Climate, A Transversal Field Survey in Central Anatolia (Turkey)", p. 212.
9. Sarah Binte Ali & Suprava Patnaik, "Thermal Comfort in Urban Open SpaCes: ObjeCtive Assessment and SubjeCtive PerCeption Study in TropiCal City of Bhopal, India", p. 954.
۱۰. سیدامیرسعید محمودی و دیگران، «تأثیر طراحی در آسایش حرارتی فضای باز مجتمع‌های مسکونی؛ نمونه مورد مطالعه: فاز سه مجتمع مسکونی اکباتان»، ص ۵۹.
11. ASHRAE, ASHRAE Standard 55: Thermal Environmental Conditions for Human OCCupanCy.

خواهد بود^۶ و علاوه بر مزایای شخصی و زندگی سالم، باعث گرد هم آوردن افراد جامعه نیز می‌شود.^۷ فضاهای باز در مناطق شهری، با توجه به موقعیت، ویژگی‌های طراحی، تجهیزات، و روش‌های مورد استفاده، متفاوت هستند. در بین همه این ویژگی‌ها (زیبایی‌شناسانه و کاربردی) که ممکن است بر ترجیح و تعداد استفاده‌کنندگان از این فضاها تأثیر داشته باشد، آسایش حرارتی فضای باز نقش کلیدی دارد.^۸ افراد در فضاهای باز به‌طور مستقیم در معرض تغییرات آبی محیط، همچون تغییرات آفتاب و سایه، سرعت باد، و ... هستند و آسایش حرارتی آنها عمدتاً تحت تأثیر خرداقلیم محلی قرار می‌گیرد.^۹ بنابراین یکی از مهم‌ترین اصول طراحی فضاهای باز توجه به آسایش حرارتی به‌منظور ارتقای کیفیت فضا و جلب رضایت بیشتر کاربران است.^{۱۰}

آسایش حرارتی شرایطی از ادراک است که در آن، محیط پیرامون از لحاظ حرارتی رضایت‌بخش باشد.^{۱۱} کیفیت آسایش حرارتی به عوامل اقلیمی و فردی وابسته است. عوامل اقلیمی شامل دمای هوا، رطوبت نسبی، سرعت جریان هوا، و دمای متوسط تشعشعی (مجموع تابش‌های جذب‌شده توسط بدن انسان از سطوح تابشی مختلف) و عوامل فردی شامل نرخ فعالیت، نرخ لباس^{۱۲}، و فاکتورهای روان‌شناختی و رفتاری^{۱۳} هستند. در این میان، عوامل فردی را طراحان محیط نمی‌توانند کنترل کنند و از میان عوامل اقلیمی، دمای متوسط تشعشعی بیشترین تأثیر را در کیفیت آسایش حرارتی داراست.^{۱۴} یکی از مؤثرترین راهکارها در کنترل دمای متوسط تشعشعی، کنترل سایه است.^{۱۵} در مطالعات متعددی نشان داده شده که سایه‌اندازی ساختمان‌ها یا درختان برای تأمین آسایش حرارتی فضای باز در طی روز اهمیت بسیاری دارد.^{۱۶} بنابراین با شناخت عوامل ایجاد سایه و ویژگی‌های آنها می‌توان فضایی مطلوب برای بهره‌مندی از قابلیت‌های فضای باز ایجاد کرد.

با توجه به اهمیت سایه و نقش آن در ایجاد شرایط آسایش در فضای باز، پژوهش‌های متعددی به‌منظور بررسی ارتباط و چگونگی تأثیر سایه بر آسایش حرارتی فضای باز انجام شده است. منشی‌زاده و همکاران به بررسی تأثیر عوامل خرداقلیم بر آسایش حرارتی در فضاهای شهری تهران و ارتباط آنها با ارتفاع ساختمان‌ها، به‌منزله جداره‌های مؤثر بر خرداقلیم پرداخته‌اند.^{۱۷} احمدپور کلهرودی و همکاران به بررسی میزان تأثیر عناصر الحاقی نما، سایه‌بان، پوشش گیاهی، و سطوح آب، به‌مثابه پرکاربردترین ابزار طراحی مؤثر بر کیفیت

۱۲. پرهام بقایی و دیگران، «محدوده آسایش حرارتی در فضای باز مسکونی سنتی شهر یزد»، ص ۶۰ نک: ۱۳.

S.Y. Chan, et al, "On the Study of Thermal Comfort and Perceptions of Environmental Features in Urban Parks: A StruCTural Equation Modeling ApproaCh"; X. Deng, et al, "InfluenCe of Built Environment on Outdoor Thermal Comfort: A Comparative Study of New and Old Urban BloCks in Guangzhou".

۱۴. نرگس احمدپور کله‌رودی و دیگران، «نقش و تأثیر عناصر طراحی در کیفیت آسایش حرارتی فضاهای باز شهری؛ بررسی موردی: طراحی پیاده‌راه طمقچی‌ها در کاشان»، ص ۶۳

15. Z. Fang, et al, "Daily Variation of Ground Radiation in Unshaded and Shaded Environments and the EffeCt on Mean Radiant Temperature", p. 2.

16. A. Lai, et al, "Observational Studies of Mean Radiant Temperature aCross Different Outdoor SpaCes under Shaded Conditions in Densely Built Environment", p. 398.

۱۷. نک: رحمت‌الله منشی‌زاده و دیگران، «آسایش حرارتی و تأثیر ارتفاع ساختمان‌ها بر خرد اقلیم فضاهای شهری؛ نمونه موردی: خیابان شهرداری تهران (حد فاصل میدان تجریش تا میدان قدس)».

طراحی آنها را شناسایی و موقعیت‌های افزایش آسایش حرارتی فضای باز را برای کاربران دانشگاه بررسی کردند و نشان دادند بازطراحی مؤثر فضاهای باز در اقلیم حاره‌ای از طریق توجه کافی به عوامل مهم سایه و پوشش گیاهی می‌تواند منجر به افزایش حضور افراد و بهبود سطح آسایش شود.^{۲۴} لیو و همکاران تأثیر تابش آفتاب و باد را بر احساس حرارتی افراد در فضای باز در اقلیم سرد تیانجین چین مقایسه کردند و نشان دادند که تابش آفتاب نسبت به باد اثر بیشتری بر آسایش حرارتی فضای باز می‌گذارد.^{۲۵} پژوهش روسی و همکاران با هدف افزایش آسایش حرارتی افراد با استفاده از سایه‌بان بهینه از طریق اندازه‌گیری پارامترهای اقلیمی و مطالعات پرسش‌نامه‌ای صورت گرفت. نتایج پژوهش آنها نشان داد که استفاده از سایه‌بان بهینه مقادیر دمای معادل فیزیولوژیکی اصلاح‌شده^{۲۶} را به‌طور متوسط $1/6^{\circ}\text{C}$ و حداکثر $5/1^{\circ}\text{C}$ کاهش می‌دهد.^{۲۷}

نتایج پژوهش‌های آسایش حرارتی فضای باز در اقلیم‌ها و موقعیت‌های مختلف در سراسر جهان نشان می‌دهد که محدوده آسایش حرارتی با توجه به تفاوت‌های جغرافیایی و شخصیتی متفاوت است.^{۲۸} بخش عمده‌ای از مطالعات موجود در ایران معطوف به آسایش حرارتی در فضای درون ساختمان و به‌منظور کاهش مصرف انرژی بوده است و پژوهشگران معدودی به آسایش حرارتی در فضای باز پرداخته‌اند.^{۲۹} کمبود منابع علمی در این زمینه منجر به طراحی‌های ناکارآمد اقلیمی در فضای باز شهری شده و اثراتی نامطلوب بر سلامت انسان، آسایش فضای داخلی، و حتی شرایط اجتماعی داشته است.^{۳۰} بررسی مطالعات پیشین نشان می‌دهد که تا کنون پژوهشی در بررسی تأثیر سایه بر آسایش حرارتی فضای باز در اقلیم سرد و نیمه‌خشک ایران صورت نگرفته است. همچنین، از آنجاکه تلاش‌های بسیار محدودی برای تعیین محدوده آسایش PET در ایران صورت گرفته، اکثر مطالعات پیشین آسایش حرارتی از محدوده آسایش حرارتی معرفی شده برای اروپای غربی و

آسایش حرارتی عابرین پیاده در اقلیم گرم و خشک کاشان، پرداخته‌اند.^{۱۸} واتانابی و همکاران آسایش حرارتی فضای باز را در تابستان در اقلیم مرطوب نیمه‌استوایی در سه موقعیت آفتاب، سایه ساختمان، و سایه پوشش گیاهی در محیط دانشگاه دایدو ژاپن ارزیابی کرده‌اند.^{۱۹} مارتینلی و همکاران ارتباط میان الگوهای سایه‌اندازی روزانه را با حضور و آسایش حرارتی افراد در تابستان، در میدانی در شهر رم ایتالیا ارزیابی کرده و به این نتیجه رسیده‌اند که اکثریت افراد حاضر در میدان موقعیت‌های دارای سایه را برای نشستن انتخاب می‌کنند. آنها اهمیت توجه به الگوهای سایه‌اندازی روزانه را در بازسازی فضاهای باز در اقلیم مدیترانه‌ای بیان کردند.^{۲۰} لای و همکاران مطالعات میدانی را در خصوص دمای متوسط تشعشعی برای شش نقطه متفاوت فضاهای باز دارای سایه در محیط‌های ساختمانی متراکم در کشور هنگ‌کنگ انجام دادند. در نتایج تحقیق آنها تأثیر سایه‌اندازی و شاخص دید به آسمان راهکارهایی برای سرمایش محیط بیان می‌شود.^{۲۱} پژوهش میدل و همکاران با هدف بررسی تأثیر سایه بر آسایش حرارتی فضای باز از طریق اندازه‌گیری‌های هواشناسی و بررسی‌های میدانی درون دانشگاه در اقلیم گرم و خشک آریزونا صورت گرفته است. آنها نشان دادند که سایه باعث کاهش احساس حرارتی به میزان تقریباً ۱ درجه در مقیاس ۹ نقطه‌ای و افزایش آسایش حرارتی در همه فصول به‌جز زمستان می‌شود. همچنین بنابر تحقیق آنها، سایه درختان یا سایه سایه‌بان‌های مصنوعی تفاوت معناداری در سطح آسایش افراد ایجاد نمی‌کند. ایشان سپس با استفاده از روش‌های آماری دمای معادل فیزیولوژیکی^{۲۲} خنثی و ترجیحی و محدوده آسایش دمای مذکور را محاسبه کردند.^{۲۳} غفاریان حسینی و همکاران، با استفاده از داده‌برداری مستقیم و شبیه‌سازی‌های پارامتریک، ویژگی‌های خرداقلیم را در محوطه دانشگاه در اقلیم حاره‌ای کوالالامپور مالزی ارزیابی کردند. آنها مناطق با عدم آسایش حرارتی و ویژگی‌های فیزیکی و

۱۸. احمدپور کلهرودی و دیگران، همان، ص ۵۹ و ۶۶
نک: ۱۹

S. Watanabe, et al, "Evaluation of Outdoor Thermal Comfort in Sunlight, Building Shade, and Pergola Shade during Summer in a Humid SubtropiCal Region".

نک: ۲۰

L. Martinelli, et al, "Assessment of the InfluenCe of Daily Shadings Pattern on Human Thermal Comfort and AttendanCe in Rome during Summer Period".

21. A. Lai, et al, Ibid, p. 397, 400.

22. PET: PhysiologiCally Equivalent Temperature

نک: ۲۳

A. Middel, et al, "ImpaCt of Shade on Outdoor Thermal Comfort—a Seasonal Field Study in Tempe, Arizona".

نک: ۲۴

A. Ghaffarianhoseini, et al, "Analyzing the Thermal Comfort Conditions of Outdoor SpaCes in a University Campus in Kuala Lumpur, Malaysia".

ت ۱. موقعیت دستگاه‌های داده‌برداری. الف) سایه پوشش گیاهی، ب) سایه ساختمان، ج) پارکینگ، د) آفتاب، پژوهش و تدوین: نگارنده اول.

میان‌ه استفاده کرده‌اند؛^{۳۱} حال آنکه تفاوت‌های اقلیمی و فرهنگی ضرورت انجام پژوهش مستقل به‌منظور تعیین محدوده آسایش حرارتی فضا بر اساس شاخصه‌های استاندارد در هر ناحیه جغرافیایی را نشان می‌دهد.

در پژوهش حاضر تأثیر سایه بر آسایش حرارتی کاربران در فضای باز ارزیابی می‌شود و راهکارهایی برای افزایش آسایش حرارتی و در نتیجه افزایش حضور افراد در فضای باز، ایجاد محیطی پویا، و همچنین کمک به آسایش فضای داخل دنبال می‌شود تا بتوان بدین وسیله گامی در راستای پایداری محیطی برداشت. بدین منظور، شرایط اقلیمی در نقاط دارای سایه و آفتاب، از طریق مطالعه میدانی، بررسی و مقایسه می‌گردد و سپس به‌منظور ارزیابی محیط حرارتی، محاسبه محدوده آسایش PET مورد نظر خواهد بود.

۱. روش تحقیق

در این پژوهش ابتدا با استفاده از منابع کتابخانه‌ای و مرور پژوهش‌های صورت گرفته در حوزه آسایش حرارتی فضای باز، عوامل مؤثر بر آسایش حرارتی مطالعه می‌گردد و سایه‌اندازی به‌مثابه یکی از راهکارهای مؤثر در آسایش حرارتی فضای باز شناسی می‌شود. سپس به‌منظور بررسی میزان تأثیر سایه بر آسایش حرارتی فضای باز در فصل گرم، مطالعات میدانی در موقعیت‌های دارای سایه (سایه پوشش گیاهی، سایه ساختمان، و پارکینگ) و همچنین موقعیت آفتاب در محیط دانشگاه صنعتی شاهرود، با استفاده هم‌زمان از پرسش‌نامه‌های آسایش حرارتی و اندازه‌گیری پارامترهای اقلیمی صورت می‌گیرد. با بررسی یافته‌های حاصل از مطالعات میدانی و همچنین با استفاده از نرم‌افزارهای SPSS و RayMan و روش‌های آماری به تجزیه و تحلیل داده‌ها و ارزیابی شرایط اقلیمی در موقعیت‌های مورد مطالعه پرداخته می‌شود. در نهایت با استفاده از روش‌های آماری، از جمله رگرسیون‌های خطی^{۳۲} و لجستیک^{۳۳}، مقدار PET

خنثی و محدوده آسایش PET برای این مطالعه محاسبه می‌شود.

۱.۱. موقعیت جغرافیایی و اقلیم شاهرود

شهرستان شاهرود واقع در عرض جغرافیایی ۲۲° ۳۶' تا ۲۶° ۳۶' شمالی و طول جغرافیایی ۵۴° ۵۴' تا ۵۵° ۰۰' شرقی یکی از شهرستان‌های استان سمنان واقع در شمال شرقی ایران است. با توجه به طبقه‌بندی اقلیمی کوپن - گایگر^{۳۴}، شاهرود در محدوده خشک و نیمه‌خشک سرد^{۳۵} قرار می‌گیرد. میانگین سالانه دمای هوای شاهرود ۱۵/۲°C، میانگین حداکثر دما در گرم‌ترین ماه سال ۳۳/۱°C و میانگین حداقل دما در سردترین ماه سال ۱/۵°C- است. همچنین میانگین بارندگی سالانه شاهرود طی دوره بلندمدت آماری ۱۵۶/۱ میلی‌متر گزارش شده است.^{۳۶}

۲.۱. محدوده مورد مطالعه

در این پژوهش، دانشگاه صنعتی شاهرود (عرض جغرافیایی ۲۳° ۳۶' شمالی، طول جغرافیایی ۵۴° ۵۶' شرقی و ۱۳۳۰ متر ارتفاع از سطح دریا) در جنوب غربی شهرستان شاهرود جهت



فصلنامه علمی معماری و شهرسازی؛ سال سی و سوم، شماره ۱۰۲، پاییز ۱۴۰۲

۲۵. نک:

K. Liu, et al, "Comparing the Effect s of Sun and Wind on Outdoor Thermal Comfort". 26. mPET: modified PhysiologiCally Equivalent Temperature

۲۷. نک:

F. Rossi, et al, "Outdoor Thermal Comfort Improvement with AdvanCed Solar Awnings: SubjeCtive and ObjeCtive Survey". 28. Tzu-Ping Lin, et al, "Shading EffeCt on Long-term Outdoor Thermal Comfort", p. 124.

جدول ۱ (راست). داده‌های اقلیمی شاهرود در زمان داده‌برداری در پژوهش.

جدول ۲ (چپ). مشخصات دستگاه‌های داده‌برداری، تدوین: نگارندگان.

متغیر	دستگاه	دقت دستگاه	ارتفاع اندازه‌گیری (متر)
دمای هوا	Onset Hobo, UX100-003	($\pm 0.2^\circ\text{C}$)	۱/۱
رطوبت نسبی	Onset Hobo, UX100-003	($\pm 2.5\%$ تا $\pm 0.5\%$) ($> 2.5\%$ و $< 0.5\%$)	۱/۱
سرعت باد	Hot Wire Anemometer, CEM-3880. ST-3880	($\pm 1\%$)	۱/۱
دمای کروی	Onset Hobo, UX100-014M	دقت ترموکوپل گوی $\pm 0.7^\circ\text{C}$	۰/۶ و ۱/۱

نقطه از فضای باز محوطه دانشگاه صنعتی شاهرود انجام شد. در اکثر ساعات داده‌برداری در روزهای ۳۰ اردیبهشت و ۲۷ خرداد شرایط آفتابی و در روز ۳۱ اردیبهشت شرایط ابری بود. داده‌های هواشناسی در روزهای داده‌برداری در ایستگاه هواشناسی واقع در دانشگاه صنعتی شاهرود در نزدیکی محل داده‌برداری (فاصله حدود ۷۰۰ متر) با استفاده از دستگاه HOB0 RX3000 Remote Monitoring Station Data Logger در فواصل ۵ دقیقه ثبت شده است. در «جدول ۱» داده‌های اقلیمی شاهرود در زمان داده‌برداری نشان داده شده است. مطالعات میدانی با اندازه‌گیری هم‌زمان متغیرهای اقلیمی با دستگاه‌های داده‌برداری و ارزیابی ادراک حرارتی دانشجویان با استفاده از پرسش‌نامه آسایش حرارتی صورت گرفته است.

۱.۳.۱. اندازه‌گیری متغیرهای اقلیمی

متغیرهای اقلیمی در هریک از روزهای داده‌برداری به‌صورت هم‌زمان در چهار موقعیت مورد مطالعه اندازه‌گیری شده است. مقادیر دمای هوا^{۲۷}، رطوبت نسبی^{۲۸}، سرعت باد^{۲۹}، و دمای کروی^{۴۰} (برای محاسبه دمای متوسط تشعشعی^{۴۱}) در فواصل زمانی یک دقیقه توسط دستگاه‌های ذکرشده در «جدول ۲» در هریک از موقعیت‌های داده‌برداری ثبت شده است. دستگاه‌ها و فرایند داده‌برداری مطابق با ایزو ۷۷۲۶ در نظر گرفته شده

انجام مطالعات میدانی انتخاب شده است. از آنجاکه تمرکز در این مطالعه بر سایه است، موقعیت‌های متفاوت ایجاد سایه در این دانشگاه شامل سایه پوشش گیاهی، سایه ساختمان، و سایه ایجاد شده توسط سایه‌بان افقی (پارکینگ) و همچنین موقعیت آفتاب برای مقایسه با شرایط سایه بررسی شده است.

انتخاب محدوده مورد مطالعه به گونه‌ای بوده که نقاط مذکور در فواصل نزدیک به یکدیگر قرار گرفته باشند و مصالح کف نیز در این نقاط یکسان باشند، همچنین سایه‌اندازی‌ها طوری باشد که در زمان داده‌برداری موقعیت آفتاب و سایه در نقاط مورد نظر تغییر نکند. در «ت ۱» موقعیت دستگاه‌های داده‌برداری نشان داده شده است.

۳.۱. شیوه و ابزار گردآوری اطلاعات

با توجه به هدف تحقیق مبنی بر تمرکز بر هوای گرم و بررسی آمارهای هواشناسی، از یک‌سو، و همچنین ضرورت حضور دانشجویان برای تکمیل پرسش‌نامه، از سوی دیگر، مطالعات میدانی در روزهای ۳۰ و ۳۱ اردیبهشت و ۲۷ خرداد سال ۱۳۹۸ از ساعت ۱۰:۰۰ تا ۱۷:۰۰ به‌صورت هم‌زمان در ۴

تاریخ داده‌برداری	ساعت	دمای هوا (C)	رطوبت نسبی (%)	سرعت باد (m/s)	تابش خورشید (w/m ²)
۳۰ اردیبهشت ۱۳۹۸	۱۰:۳۰	۲۸/۲۲	۱۷/۲	۰	۷۸۱
	۱۳:۰۰	۲۹/۰۴	۱۴/۶	۰/۵	۳۸۸
	۱۵:۳۰	۲۹/۶۱	۱۳/۹	۱	۳۲۴
۳۱ اردیبهشت ۱۳۹۸	۱۰:۳۰	۲۴/۵۶	۲۹/۲	۲	۸۲۹
	۱۳:۰۰	۲۶/۶	۲۹	۱/۵	۹۵۹
	۱۵:۳۰	۲۳/۱۴	۳۳/۲	۶	۲۵۶
۲۷ خرداد ۱۳۹۸	۱۰:۳۰	۲۹/۹۲	۲۴/۱	۰	۷۵۹
	۱۳:۰۰	۳۲/۶۴	۱۸	۱/۵	۹۲۷
	۱۵:۳۰	۳۲/۵۱	۱۷/۹	۲	۸۲۹



است.^{۴۲} همه دستگاه‌ها با ایستگاه هواشناسی موجود در دانشگاه کالیبره شدند.

دمای متوسط تشعشعی، با توجه به مقادیر دمای کروی، دمای هوا، و سرعت باد، از «رابطه ۱» به دست می‌آید:^{۴۳}

$$T_{mrt} = \left[(T_g + 273)^4 + \frac{1.0 \times 10^8 \times V_a^{0.16}}{8D^{0.4}} (T_g - T_a) \right]^{1/4} - 273 \quad (1)$$

در «رابطه ۱» E انتشارپذیری گوی (0.95 برای گوی سیاه) و D قطر گوی (40 میلی‌متر) برای این مطالعه است.

۲.۳.۱. پرسش‌نامه آسایش حرارتی

به منظور ارزیابی ادراک حرارتی دانشجویان از پرسش‌نامه‌های آسایش حرارتی استفاده شده است. پرسش‌نامه به صورت تصادفی در بین دانشجویان حاضر در موقعیت‌های مورد مطالعه در روزهای داده‌برداری توزیع شد. تعداد پرسش‌نامه‌های مورد نیاز برای انجام تحلیل نسبت به پژوهش‌های پیشین متفاوت بوده است. با توجه به بررسی‌های صورت گرفته، شرایط و اهداف تحقیق حاضر در مجموع ۲۸۳ پرسش‌نامه صحیح توسط دانشجویان تکمیل گردید. ساختار پرسش‌نامه با استفاده از منابع مربوطه^{۴۴}، مطالعات پیشین صورت گرفته در حوزه آسایش حرارتی فضای باز^{۴۵}، و همچنین اهداف تحقیق در دو بخش سازمان‌دهی شد. در بخش اول از ویژگی‌های شخصی (سن و جنسیت)، سطوح فعالیت، و پوشش و در بخش دوم از اطلاعات مربوط به احساس حرارتی و سطح آسایش افراد با توجه به پارامترهای آب‌وهوایی سؤال شد. احساس حرارتی (خیلی گرم، کمی گرم، نه سرد و نه گرم، کمی سرد، خیلی سرد) و آسایش حرارتی افراد (بسیار ناخوشایند، ناخوشایند، قابل قبول، خوشایند، بسیار خوشایند) با استفاده از مقیاس ۵ نقطه‌ای و ترجیح حرارتی هریک از متغیرهای هواشناسی با توجه به مقیاس سه‌گانه (بیشتر شود، کمتر شود، ثابت بماند) ارزیابی شده است.

۳.۳.۱. شاخص حرارتی

شاخص‌های متعددی برای ارزیابی حرارتی فضای باز معرفی شده‌اند که شاخص PET پرکاربردترین آنهاست.^{۴۶} محاسبه PET مستلزم چهار متغیر هواشناسی است که بر تبادل حرارت بین بدن انسان و محیط آن تأثیر می‌گذارند: دمای هوا، سرعت باد، دمای متوسط تشعشعی، و رطوبت نسبی.^{۴۷} در این پژوهش نیز از شاخص PET استفاده شده است؛ از آنجاکه از شاخص PET برای اقلیم‌های مختلف در سراسر جهان استفاده شده است،^{۴۸} امکان مقایسه نتایج این مطالعه با سایر پژوهش‌های آسایش حرارتی فضای باز را فراهم می‌شود.

۲. نتایج و تحلیل

۱.۲. اندازه‌گیری‌های اقلیمی

در این بخش، به طور نمونه، پارامترهای اقلیمی ثبت شده در هریک از موقعیت‌ها در ۲۷ خرداد ۱۳۹۸، که بالاترین دمای هوا را در میان روزهای داده‌برداری داشته، عرضه شده است. در «ت ۲» تغییرات دمای هوا، دمای متوسط تشعشعی، رطوبت نسبی، و سرعت باد در زمان‌های قبل از ظهر، ظهر، و بعد از ظهر قابل مشاهده است. همان‌طور که مشاهده می‌شود، دمای هوا در موقعیت آفتاب در طول روز حداقل 22°C بالاتر از موقعیت‌های دارای سایه است. بیشترین تفاوت دمایی در نقاط دارای سایه میان موقعیت‌های سایه ساختمان و پارکینگ در ساعات قبل از ظهر ثبت شده است. موقعیت پارکینگ $35/4^{\circ}\text{C}$ گرم‌تر از سایه ساختمان است. اختلاف دما در نقاط دارای سایه در زمان ظهر کاهش می‌یابد و در بعد از ظهر با ابری شدن آسمان به حداقل می‌رسد. میانگین دمای هوا در موقعیت‌های سایه پوشش گیاهی، سایه ساختمان، پارکینگ، و آفتاب به ترتیب $33/1^{\circ}\text{C}$ ، $33/5^{\circ}\text{C}$ ، $34/5^{\circ}\text{C}$ ، $36/6^{\circ}\text{C}$ است.

دمای متوسط تشعشعی نیز همانند دمای هوا در موقعیت آفتاب بالاتر از سایر موقعیت‌هاست. در قبل از ظهر و شرایط

۲۹. مرجان منتظری و دیگران، «تأثیر مؤلفه‌های فرم کالبدی شهری بر آسایش حرارتی فضاهای باز شهری؛ نمونه موردی: اراضی پشت سیلو شهر یزد»، ص ۶۹.

۳۰. احمدپور کله‌رودی و دیگران، همان، ص ۶۰-۶۱.

۳۱. نک:

- H. Farajzadeh & A. Matzarakis, "Evaluation of Thermal Comfort Conditions in Ourmieh Lake, Iran"; B. Biqaraz, et al, "A Comparison of Outdoor Thermal Comfort in Historical and Contemporary Urban Fabric of Lar City"; S. Teshnehdel, et al., "Effect of Tree Cover and Tree Species on Microclimate and Pedestrian Comfort in a Residential District in Iran".
32. Linear Regression
33. Logistic Regression
34. Köppen-Geiger
35. BSk
36. Semnan Meteorology Organization. <http://www.semnanweather.ir>
37. T_a : Air Temperature
38. RH: Relative Humidity
39. V_a : Wind Speed
40. T_g : Globe Temperature
41. T_{mrt} : Mean Radiant Temperature
42. ISO, International Standard 7726: Ergonomics of the Thermal Environment-Instruments for Measuring Physiological Quantities.
43. Ibid.

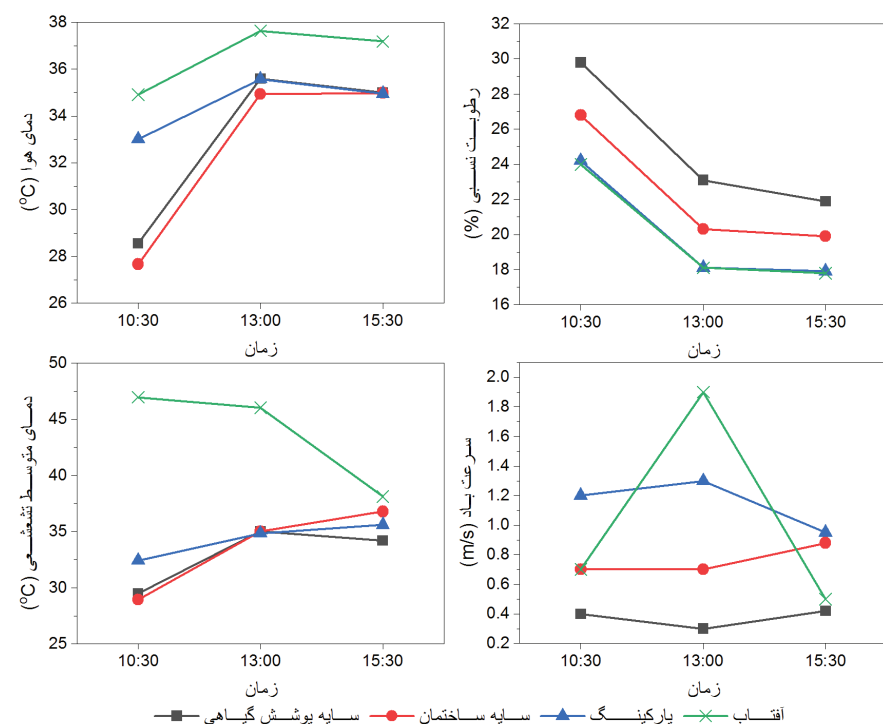
اختلاف سرعت باد ($1/6$ متر بر ثانیه) در ساعت $13:00$ و میان پوشش گیاهی و موقعیت آفتاب ثبت شده است.

در مجموع می‌توان نتیجه گرفت که موقعیت آفتاب بیشترین دمای هوا و دمای متوسط تشعشعی و موقعیت پوشش گیاهی کمترین میزان سرعت باد را در طول روز دارند. سایه‌اندازی با استفاده از پوشش گیاهی و یا عناصر مصنوع (ساختمان یا سایه‌بان‌های افقی) تأثیر قابل‌توجهی در کاهش دمای هوا و دمای متوسط تشعشعی طی روز و شرایط آفتابی دارد.

۲.۲. بررسی یافته‌های حاصل از پرسش‌نامه

همان‌طور که ذکر شد، هم‌زمان با اندازه‌گیری پارامترهای اصلی اقلیمی در موقعیت‌های مورد مطالعه، از نظرات افراد در خصوص شرایط حرارتی با استفاده از پرسش‌نامه سؤال شده

ت ۲. نمودارهای اقلیمی ۲۷ خرداد ۱۳۹۸ در موقعیت‌های مورد مطالعه، تدوین: نگارندگان.



بدون ابر، حداقل اختلاف $14/5^{\circ}\text{C}$ موقعیت آفتاب با سایه مشاهده می‌شود، درحالی‌که در ساعت $15:30$ و هوای ابری این اختلاف به حدود $1/3^{\circ}\text{C}$ می‌رسد. از سوی دیگر، حداکثر اختلاف دمای متوسط تشعشعی میان موقعیت آفتاب و سایه نیز در زمان قبل از ظهر و میان موقعیت آفتاب و سایه ساختمان با تفاوت دمایی 18°C رخ می‌دهد. این یافته‌ها نشان می‌دهد در روزهای آفتابی موقعیت‌های دارای سایه محیط حرارتی بسیار خنک‌تری را نسبت به آفتاب فراهم می‌کنند. تفاوت دمایی در بین نقاط دارای سایه بسیار کمتر از تفاوت دمایی بین موقعیت‌های سایه و آفتاب است. بیشترین اختلاف دمای متوسط تشعشعی در نقاط دارای سایه حدود $3/5^{\circ}\text{C}$ در ساعات قبل از ظهر و بین موقعیت پارکینگ و سایه ساختمان مشاهده می‌شود. در زمان ظهر این اختلاف به حداقل و در بعد از ظهر به حدود $2/6^{\circ}\text{C}$ می‌رسد. میانگین دمای متوسط تشعشعی در موقعیت‌های سایه پوشش گیاهی، سایه ساختمان، پارکینگ و آفتاب به ترتیب $32/9^{\circ}\text{C}$ ، $33/6^{\circ}\text{C}$ ، $34/3^{\circ}\text{C}$ ، $43/7^{\circ}\text{C}$ است.

رطوبت نسبی در موقعیت پوشش گیاهی تا $5/8\%$ بیشتر از سایر موقعیت‌هاست. به‌طور متوسط، پوشش گیاهی منجر به افزایش $4/1\%$ در رطوبت نسبی شده است. رطوبت نسبی در سایه ساختمان حدود 2% بیشتر از پارکینگ و آفتاب است.

سرعت باد در پوشش گیاهی، به دلیل وجود درختان و گیاهان که باعث کاهش سرعت جریان هوا می‌شوند، کمتر از سایر موقعیت‌هاست. بیشترین میزان سرعت باد ($1/9$ متر بر ثانیه) در زمان ظهر و موقعیت آفتاب به دلیل نبود موانع ثبت شده است. در هریک از موقعیت‌های دارای سایه، سرعت باد در محدوده کوچکی (حداکثر $0/35$ متر بر ثانیه) نوسان داشته است. موقعیت پارکینگ، سایه ساختمان، و سایه پوشش گیاهی به ترتیب دارای بیشترین میزان وزش باد در فضاهای دارای سایه هستند. بیشترین نوسان سرعت باد در طول روز در موقعیت آفتاب مشاهده می‌شود. از سوی دیگر، بیشترین

این دو متغیر ارتباط معناداری هست. در غیر این صورت، ارتباط معناداری وجود ندارد.

۱.۲.۲. آسایش حرارتی در موقعیت‌های مورد مطالعه

سطح آسایش حرارتی افراد در هریک از موقعیت‌های مورد مطالعه با استفاده از مقیاس ۵ نقطه‌ای (بسیار خوشایند تا بسیار ناخوشایند) سنجش شده است. آزمون کای اسکور نشان می‌دهد ارتباط معناداری بین موقعیت و آسایش حرارتی وجود دارد ($p\text{-value} = 0.000 \leq 0.05$). با توجه به «ت ۳»، سایه پوشش گیاهی مطلوب‌ترین و موقعیت آفتاب ناخوشایندترین شرایط حرارتی را برای افراد مورد مطالعه در این پژوهش فراهم می‌کند. با توجه به استاندارد اشرفی، محیط حرارتی قابل قبول «محیط حرارتی است که برای اکثریت قابل توجهی (بیش از ۸۰٪) از افراد به لحاظ حرارتی قابل قبول باشد». بنابراین سایه پوشش گیاهی با ۸۱٪ رضایت، محیط حرارتی قابل قبولی را ایجاد می‌کند.

در سایه پوشش گیاهی، پارکینگ، و سایه ساختمان اکثر افرادی که در این محیط‌ها حضور داشتند (به ترتیب ۸۱٪، ۶۹٪، و ۶۵٪) محیط حرارتی را قابل قبول یا خوشایند می‌دانستند، درحالی‌که در موقعیت آفتاب بیش از نیمی از پاسخ‌دهندگان (۵۷٪) محیط حرارتی را ناخوشایند دانسته‌اند.

۲.۲.۲. احساس حرارتی در موقعیت‌های مورد مطالعه

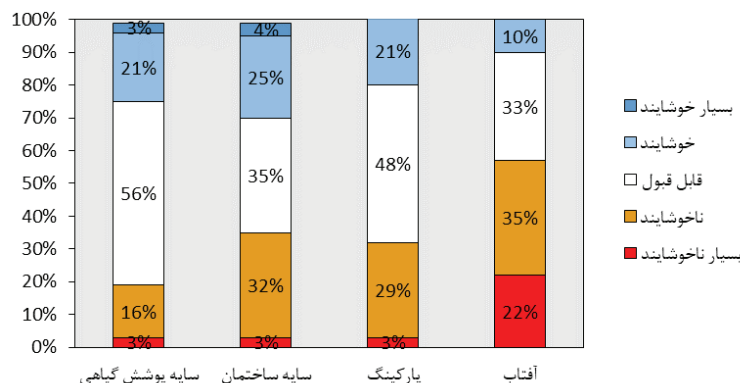
احساس حرارتی افراد در هریک از موقعیت‌های مورد مطالعه با استفاده از مقیاس ۵ نقطه‌ای (بسیار گرم تا بسیار سرد) ارزیابی شده است. آزمون کای اسکور نشان می‌دهد ارتباط معناداری میان موقعیت و احساس حرارتی افراد وجود دارد ($p\text{-value} = 0.000 \leq 0.05$). همان‌طور که در «ت ۴» نشان داده شده است، در همه موقعیت‌ها تقریباً نیمی از افراد احساس حرارتی «کمی گرم» و یک‌سوم آنها شرایط حرارتی «نه سرد و نه

است. پیش از تحلیل داده‌ها، پرسش‌نامه‌هایی با پاسخ‌های متناقض از روند ارزیابی حذف شدند تا نتایج دارای اعتبار باشند. در مجموع، همان‌طور که پیش‌تر گفته شد، ۲۸۳ پرسش‌نامه صحیح ارزیابی گردید. دانشجویان در بازه سنی ۱۸ تا ۳۴ سال بودند و از مجموع پاسخ‌دهندگان، ۵۹٪ خانم‌ها (۱۶۷ نفر) و ۴۱٪ آقایان (۱۱۶ نفر) پرسش‌نامه‌ها را تکمیل کردند. در «جدول ۳» فراوانی پرسش‌نامه را در موقعیت‌ها و روزهای مورد مطالعه نشان داده شده است.

داده‌های حاصل از پرسش‌نامه‌ها با نرم‌افزار آماری SPSS و استفاده از آنالیزهای توصیفی تجزیه و تحلیل و شرایط حرارتی افراد در سایت‌های انتخابی بررسی شده است. برای تعیین وجود و یا فقدان ارتباط بین دو متغیر از آزمون کای اسکور^{۴۹} استفاده شده است. در این آزمون اگر سطح معناداری بین دو متغیر ($p\text{-value}$) کمتر از ۰/۰۵ باشد، نشان می‌دهد که بین

جدول ۳ (بالا). فراوانی پرسش‌نامه در موقعیت‌ها و روزهای مورد مطالعه، تدوین: نگارندگان. ت ۳ (پایین). نمودار فراوانی آسایش حرارتی در موقعیت‌های مورد مطالعه، پژوهش و تدوین: نگارنده اول.

مجموع	موقعیت				تاریخ
	آفتاب	پارکینگ	سایه ساختمان	سایه پوشش گیاهی	
۱۱۵	۲۱	۲۶	۲۹	۳۹	۱۳۹۸/۲/۳۰
۸۸	۲۱	۱۹	۱۷	۳۱	۱۳۹۸/۲/۳۱
۸۰	۲۱	۱۸	۲۲	۱۹	۱۳۹۸/۲/۲۷
۲۸۳	۶۳	۶۳	۶۸	۸۹	مجموع



به صورت مجزا برای هریک از متغیرهای هواشناسی ارزیابی و در «ت ۵» نشان داده شده است. نتایج حاصل از بررسی رابطه میان موقعیت و ترجیح حرارتی هریک از پارامترهای اقلیمی نشان می‌دهد که میان ترجیح دمای هوا، رطوبت نسبی، و سرعت باد با موقعیت رابطه معناداری وجود ندارد، درحالی‌که میان موقعیت و ترجیح پاسخ‌دهندگان بر میزان تابش خورشید رابطه معناداری وجود دارد.

با توجه به «ت ۵»، در مجموع موقعیت‌ها حدود ۸۳٪ از پاسخ‌دهندگان کاهش و ۱۷٪ از آنها عدم تغییر دمای هوا را برای دستیابی به شرایط اقلیمی بهتر ترجیح می‌دادند. هیچ‌یک از افراد تمایل به افزایش دمای هوا نداشتند. این شرایط با مقادیر احساس حرارتی که بیشتر افراد احساس گرما را بیان کرده بودند، مطابقت دارد. آزمون کای اسکور نشان می‌دهد که ارتباط معناداری میان موقعیت و ترجیح افراد بر دمای هوا وجود ندارد ($p\text{-value} = 0.251 > 0.05$).

میزان رطوبت نسبی در زمان داده‌برداری بین ۱۷ تا ۳۳٪ متغیر بوده است. اکثر افراد در هریک از موقعیت‌ها ترجیح می‌دادند رطوبت نسبی تغییر نکند. بیشترین مطلوبیت (۸۳٪ خواهان عدم تغییر) در سایه پارکینگ مشاهده می‌شود. از مجموع پاسخ‌دهندگان، ۶۹٪ عدم تغییر، ۱۲٪ افزایش، و ۱۹٪ کاهش رطوبت نسبی را برای ایجاد محیط مطلوب بیان کردند. تحلیل داده‌ها نشان می‌دهد رطوبت نسبی مورد رضایت‌ترین



گرم» را تجربه و در مجموع ۶۵٪ افراد احساس کمی گرم و خیلی گرم را بیان کردند. این بدین معنی است که تجربه حرارتی اکثر افراد در سمت گرم مقیاس حرارتی بوده است.

مقایسه میان چهار موقعیت نشان می‌دهد که بیشترین گرما را افراد در موقعیت آفتاب احساس کردند (۳۷٪ احساس خیلی گرم و ۴۲٪ احساس کمی گرم). احساس حرارتی خنثی در موقعیت‌های دارای سایه تقریباً برابر و حدود ۳۸٪ در هر موقعیت بوده، درحالی‌که در موقعیت آفتاب تنها ۲۱٪ افراد دارای احساس حرارتی خنثی بودند. این نشان می‌دهد که سایه‌اندازی می‌تواند در کاهش احساس حرارتی افراد تأثیر بسزایی داشته باشد.

۳.۲.۲. ترجیح حرارتی در موقعیت‌های مورد مطالعه

ترجیح حرارتی افراد برای دستیابی به شرایط بهتر اقلیمی، با توجه به مقیاس سه‌گانه (بیشتر شود، کمتر شود، ثابت بماند)،

ت ۴ (بالا). نمودار فراوانی احساس حرارتی در موقعیت‌های مورد مطالعه، پژوهش و تدوین: نگارنده اول.
ت ۵ (پایین). نمودار ترجیح پارامترهای اقلیمی در موقعیت‌های مورد مطالعه، تدوین: نگارندگان.



نشان می‌دهد که محدود کردن تابش مستقیم آفتاب و ایجاد سایه تأثیر زیادی در بهبود شرایط حرارتی دارد.

۴.۲.۲. ارتباط آسایش حرارتی و جنسیت

تحلیل‌ها نشان می‌دهند که ارتباط معناداری میان جنسیت و سطح آسایش حرارتی وجود دارد ($p\text{-value} = 0.017 \geq 0.05$). در هم‌و/موقعیت‌ها، مردان شرایط را قابل‌قبول‌تر از زنان می‌دانستند. ۷۲٪ از مردان سطح آسایش حرارتی را خوشایند یا قابل‌قبول و ۲۸٪ از آنها ناخوشایند یا بسیار ناخوشایند می‌دانستند، درحالی‌که ۶۱٪ از زنان سطح آسایش را خوشایند یا قابل‌قبول و ۳۹٪ از آنها ناخوشایند یا بسیار ناخوشایند توصیف کرده‌اند. همان‌طور که در «ت ۶» نشان داده شده است، در هردو گروه مردان و زنان بیشترین آراء آسایش حرارتی مربوط به سطح قابل‌قبول (مردان ۴۹٪ و زنان ۴۱٪) است.

۵.۲.۲. ارتباط آسایش حرارتی و زمان

آنالیز توصیفی میان سطوح آسایش حرارتی و زمان تکمیل پرسش‌نامه نشان می‌دهد که ارتباط معناداری میان این دو متغیر وجود دارد ($p\text{-value} = 0.001 \geq 0.05$). در «ت ۷» مشاهده می‌شود که بیشترین میزان عدم آسایش در زمان ظهر

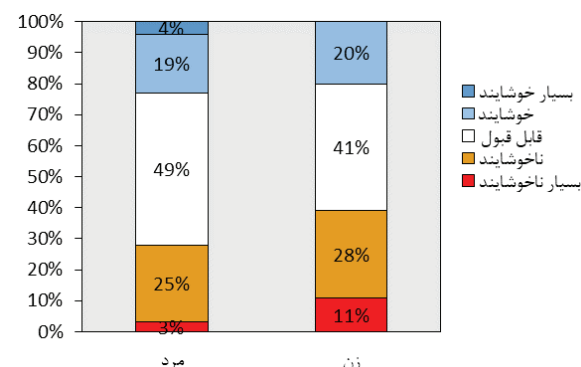
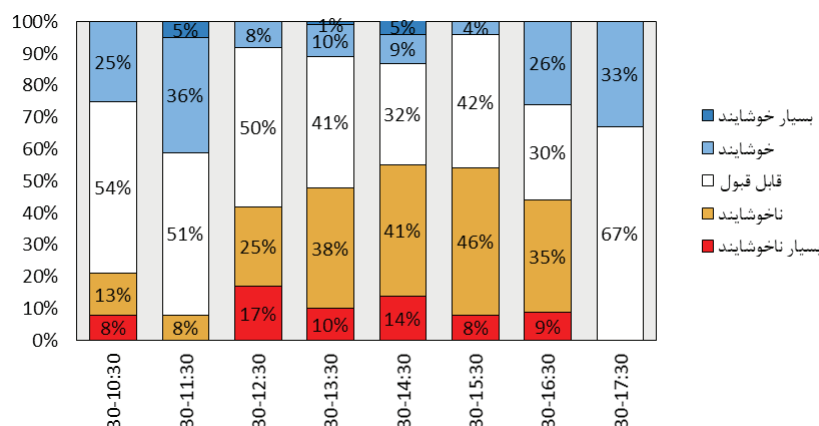
پارامتر هواشناسی در این مطالعه است.

درصد کمی از افراد در هر موقعیت تمایل به کاهش سرعت باد داشتند. بیشترین مطلوبیت به‌ترتیب در سایه ساختمان، پارکینگ، و پوشش گیاهی (۵۳٪، ۴۶٪، ۴۴٪) خواهان عدم تغییر مشاهده می‌شود. در موقعیت آفتاب تقریباً نیمی از افراد تمایل به افزایش سرعت باد داشتند. در مجموع موقعیت‌ها، ۴۳٪ از افراد عدم تغییر، ۴۳٪ دیگر افزایش، و ۱۴٪ کاهش سرعت باد را برای دستیابی به شرایط بهتر ترجیح دادند. این واقعیت به‌خوبی با محدوده سرعت باد طی زمان‌های داده‌برداری (۰/۰۴ تا ۱۰ متر بر ثانیه) مطابقت دارد.

همان‌طور که ذکر شد، میان موقعیت و ترجیح پاسخ‌دهندگان بر میزان تابش خورشید رابطه معناداری وجود دارد ($p\text{-value} = 0.003$). در «ت ۵» مشاهده می‌شود که در همه موقعیت‌ها حدود ۸۱٪ از پاسخ‌دهندگان افزایش سایه و ۱۹٪ از آنها عدم تغییر تابش خورشید را برای دستیابی به شرایط بهتر اقلیمی ترجیح می‌دادند. هیچ‌یک از افراد تمایل به افزایش تابش نداشتند. در موقعیت آفتاب، درصد بسیار کمی از افراد (۲٪) تمایل به ثابت ماندن تابش خورشید داشتند و تقریباً همه ترجیح می‌دادند سایه بیشتری ایجاد شود. این یافته‌ها با آراء احساس حرارتی اکثر افراد مبنی بر احساس گرما تطابق دارد و

ت ۶ (راست). نمودار فراوانی آسایش حرارتی برای خانم‌ها و آقایان، پژوهش و تدوین: نگارنده اول.

ت ۷ (چپ). نمودار فراوانی آسایش حرارتی در ساعات داده‌برداری، پژوهش و تدوین: نگارنده اول.

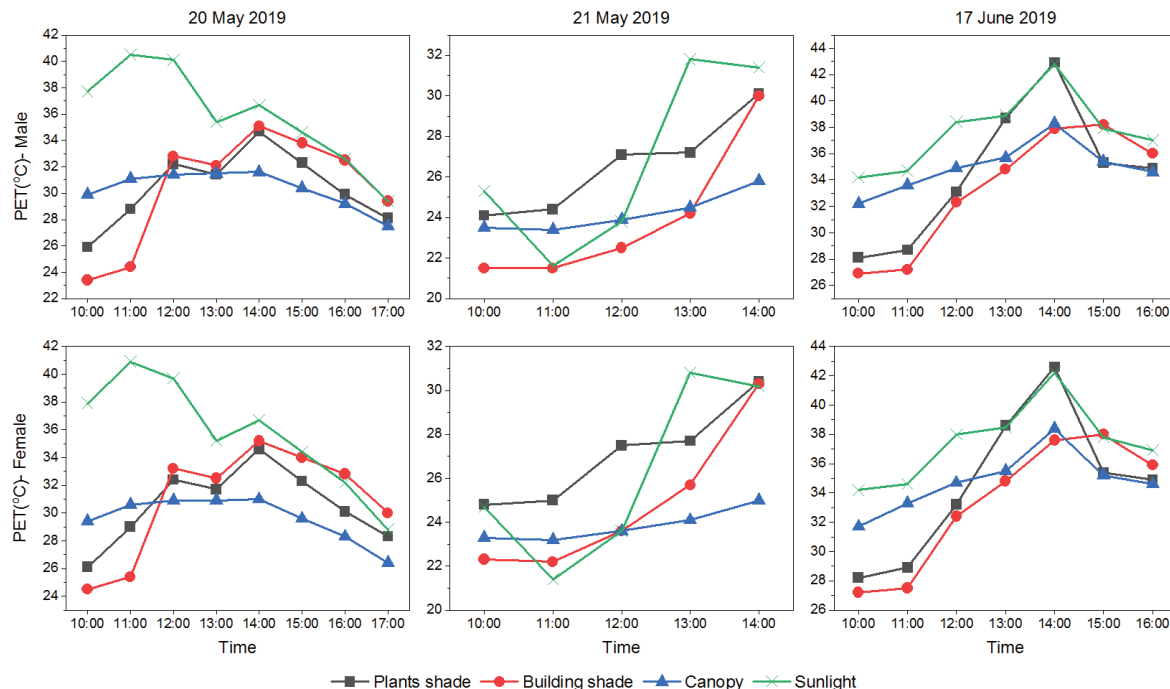


۶.۲.۲. شاخص آسایش حرارتی PET

به منظور ارزیابی شرایط حرارتی محدوده‌های انتخابی بر اساس شاخص PET، از نرم‌افزار RayMan نسخه ۲٫۱ استفاده شده است. پارامترهای اقلیمی ثبت شده در هریک از موقعیت‌ها، شامل دمای هوا، رطوبت نسبی، سرعت باد، پوشش ابر، و دمای متوسط تشعشعی، داده‌های ورودی نرم‌افزار تعریف شدند. همان‌طور که ذکر شد، ارتباط معناداری میان جنسیت و آسایش حرارتی وجود دارد؛ بنابراین شاخص PET برای خانم‌ها و آقایان به‌طور جداگانه در هریک از موقعیت‌ها و روزهای داده‌برداری محاسبه شده است. از آنجاکه مطالعات میدانی در محیط دانشگاه بوده، در همه موقعیت‌ها نوع پوشش خانم‌ها مشابهت زیادی با یکدیگر داشته و همچنین نوع پوشش آقایان نیز تقریباً مشابه یکدیگر بوده است. بنابراین نرخ پوشش برای دختران Clo و برای پسران 0.57 Clo با توجه به اشری^{۵۱} و ایزو

و بعد از ظهر است. از سوی دیگر، بیشترین مقدار سطح آسایش خوشایند یا قابل قبول در ساعات قبل از ظهر و همچنین اواخر بعد از ظهر گزارش شده است.

با توجه به «ت ۷»، در ساعات اولیه بعد از ظهر (۱۳:۳۰-۱۵:۳۰) بیش از نیمی از افراد سطح آسایش حرارتی خود را ناخوشایند و یا بسیار ناخوشایند توصیف کرده‌اند. در صورتی که در اواخر بعد از ظهر (ساعت ۱۶:۳۰-۱۷:۳۰) هیچ‌یک از پاسخ‌دهندگان احساس حرارتی ناخوشایند نداشتند و همه آنها در محدوده آسایش بودند. همچنین در قبل از ظهر (۱۰:۳۰-۱۱:۳۰) تنها ۸٪ از افراد، شرایط حرارتی را ناخوشایند می‌دانستند؛ در حالی که اکثریت آنها (۹۲٪) شرایط را خوشایند یا قابل قبول گفته بودند. این یافته‌ها نشان می‌دهند که با افزایش شدت تابش، سطح آسایش حرارتی کاهش می‌یابد.



ت ۸ (پایین). شاخص PET محاسبه شده در روزها و موقعیت‌های مورد مطالعه، میژوهش و تدوین: نگارنده اول.

45. D. Lai, et al, "Studies of Outdoor Thermal Comfort in Northern China"; M. Nikolopoulou & S. Lykoudis, "Thermal Comfort in Outdoor Urban SpaCes: Analysis aCross Different European Countries"; L. Chen, et al, "Studies of Thermal Comfort and SpaCe Use in an Urban Park Square in Cool and Cold Seasons in Shanghai"; J. Spagnolo & R. de Dear, "A Eld Study of Thermal Comfort in Outdoor and Semi-outdoor Environments in SubtropiCal Sydney Australia"; S. Oliveira & H. Andrade, "An Initial Assessment of the BioClimatiC Comfort in an Outdoor PubliC SpaCe in Lisbon"; T. Stathopoulos, et al, "Outdoor Human Comfort in an Urban Climate"; P.K. Cheung & C.Y. Jim, "Improved Assessment of Outdoor Thermal Comfort: 1-Hour ACceptable Temperature Range"; N. Makaremi, *Thermal Comfort Conditions of shaded Outdoor SpaCes for LoCal and International Students at University Putra Malaysia, Serdang*.

جدول ۴. میانگین مقادیر PET و دمای هوا در روزهای داده‌برداری. تدوین: نگارندگان.

۷۷۳۰^{۵۲} در نظر گرفته شده است. از افراد خواسته شده بود، حداقل ۵ دقیقه قبل از پر کردن پرسش‌نامه، در موقعیت‌های داده‌برداری حضور داشته باشند. نرخ سوخت‌وساز دانشجویان در حین فرایند داده‌برداری (W/m^2) ۸۰ است که این نیز بر اساس مشاهدات نویسندگان و مقادیر پیشنهادی اشری^{۵۳} و ایزو ۷۷۳۰^{۵۴} در نظر گرفته شده است. در «ت ۸» شاخص PET محاسبه‌شده در روزها و موقعیت‌های داده‌برداری نشان داده شده است.

در «ت ۸» مشاهده می‌شود که مقدار PET در ساعات آفتابی در روزهای ۳۰ اردیبهشت و ۲۷ خرداد، در موقعیت آفتاب بیشتر از موقعیت‌های دارای سایه است. این تفاوت در روز ۳۰ اردیبهشت و ساعت ۱۱ میان موقعیت آفتاب و سایه ساختمان به حداکثر خود می‌رسد. این مقدار برای آقایان ۱۶°C و برای خانم‌ها ۱۵/۵°C به‌دست آمده است. به‌صورت میانگین می‌توان بیان کرد که در موقعیت‌های دارای سایه در مقایسه با موقعیت آفتاب، مقدار PET حداکثر تا ۵°C می‌تواند کاهش یابد.

از سوی دیگر، بیشترین تفاوت میان مقادیر PET محاسبه‌شده برای خانم‌ها و آقایان، در روز ۳۱ اردیبهشت و ساعت ۱۳، در موقعیت سایه ساختمان ثبت شده است. در این موقعیت دمای معادل فیزیولوژیکی برای خانم‌ها ۱۵/۵°C بیشتر از آقایان است. این در حالی است که در بعضی ساعات تفاوتی در مقدار PET محاسبه‌شده برای خانم‌ها و آقایان نیست.

مقایسه میان روزهای داده‌برداری نشان می‌دهد که در روز ۳۱ اردیبهشت که میانگین دمای هوا در ساعات داده‌برداری

روزهای داده‌برداری	میانگین مقادیر PET در ساعات داده‌برداری	میانگین دمای هوا در ساعات داده‌برداری
۳۰ اردیبهشت	۳۱/۶۱°C	۲۶/۹۲°C
۳۱ اردیبهشت	۲۵/۴۳°C	۲۰/۴°C
۲۷ خرداد	۳۵/۰۸°C	۳۱/۷۴°C

کمترین میزان را در بین روزهای داده‌برداری داشته است (۲۰/۴°C)، مقدار میانگین PET نیز کمترین مقدار و در روز ۲۷ خرداد با افزایش دما، مقدار میانگین PET بیشترین مقدار را در بین روزهای داده‌برداری داشته است. همان‌طور که در «جدول ۴» نشان داده شده است، حداکثر اختلاف میان مقادیر میانگین PET در روزهای داده‌برداری حدود ۱۰°C بین روزهای ۳۱ اردیبهشت و ۲۷ خرداد است.

آنالیزهای توصیفی نشان می‌دهند که ارتباط معناداری میان PET و احساس حرارتی افراد وجود دارد ($0.05 \geq p\text{-value}$). در فصل گرم با افزایش PET احساس حرارتی گرم‌تر می‌شود (همبستگی مستقیم). همچنین میان PET و سطح آسایش حرارتی نیز ارتباط معناداری وجود دارد ($0.05 \geq p\text{-value}$). با افزایش PET، سطح آسایش حرارتی کاهش می‌یابد (همبستگی معکوس).

۷.۲.۲. دمای معادل فیزیولوژیکی خنثی و محدوده آسایش PET

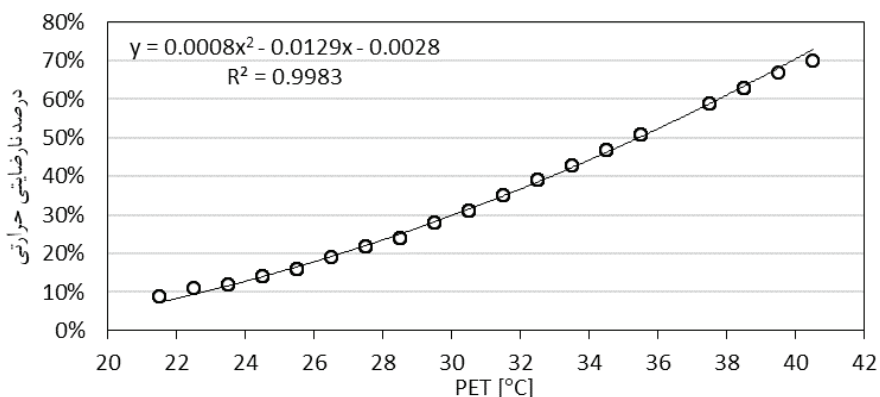
مقایسه میان نظرات افراد و داده‌های حاصل از مطالعات میدانی نشان می‌دهد که ارتباط معناداری میان احساس حرارتی افراد و مقدار PET هست ($0.05 \geq p\text{-value}$). در مطالعات متعددی برای تعیین مقدار PET خنثی از تحلیل‌های رگرسیون بین احساس حرارتی و PET استفاده شده است.^{۵۵} معادلات رگرسیونی اثر یک متغیر بر متغیر دیگر را نشان می‌دهند. در رگرسیون، یک متغیر (Y)، که تأثیرپذیر از سایر متغیرهاست، متغیر پاسخ یا وابسته و متغیر یا متغیرهایی که بر متغیر پاسخ اثر می‌گذارند (X) متغیر توضیحی یا مستقل نامیده می‌شوند.^{۵۶} در مطالعه حاضر مقدار PET متغیر مستقل و احساس حرارتی افراد متغیر وابسته است. از آنجاکه احساس حرارتی در بین افرادی که تحت شرایط حرارتی مشابه بوده‌اند (در مقدار PET یکسان) متفاوت است، متوسط آراء احساس حرارتی^{۵۷} با توجه فواصل

46. E. Johansson, et al, "Instruments and Methods in Outdoor Thermal Comfort Studies – The Need for Standardization", p. 17; S. CoCColo, et al, "Outdoor Human Comfort and Thermal Stress: A Comprehensive Review on Models and Standards", p. 47.

۴۷. نک:

M. Sulzer, et al, "Predicting Indoor Air Temperature and Thermal Comfort in OCCupational Settings Using Weather ForeCasts, Indoor Sensors, and Artificial Neural Networks".

ت ۹ (راست). ارتباط MTSV و PET در فصل گرم، پژوهش و تدوین: نگارنده اول.
ت ۱۰ (چپ). ارتباط درصد ناراضی‌های حرارتی و PET. پژوهش و تدوین: نگارنده اول.

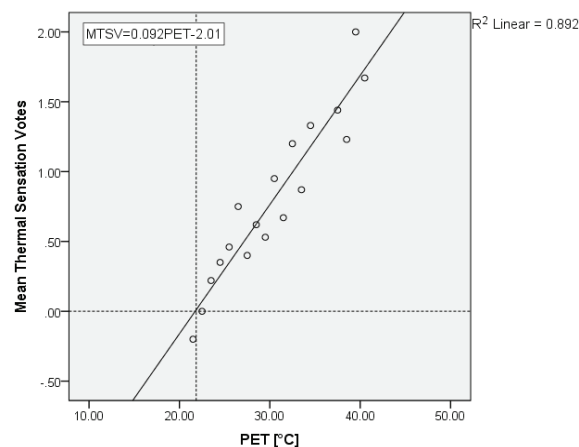


۱°C برای PET محاسبه گردیده است.^{۵۸} در «ت ۹» متوسط احساس حرارتی افراد با مقادیر متناظر PET مشاهده می‌شود. این نمودار با در نظر گرفتن فواصل ۱°C برای PET ترسیم شده است.

در «ت ۹» امکان تعیین مقدار PET خنثی در فصول گرم سال در نظر بوده است. PET خنثی بیانگر شرایط خرداقلیمی است که در آن افراد احساس گرما و یا سرما نمی‌کنند (احساس حرارتی خنثی).^{۵۹} با قرار دادن مقدار $MTSV = 0$ در «رابطه ۲»، PET خنثی برای این مطالعه ۲۱/۰°C به دست می‌آید.

$$(2) \quad MTSV = 0.092PET - 2.01 \quad (R^2 = 0.892)$$

برای به دست آوردن محدوده آسایش PET، از ارتباط بین آسایش حرارتی و مقادیر PET استفاده شده است. آزمون کای اسکور نشان می‌دهد که ارتباط معناداری بین این دو متغیر وجود دارد ($p\text{-value} = 0.000 \geq 0.05$). محدوده آسایش حرارتی با رضایت ۸۰٪ افراد، محدوده‌ای از PET را بیان می‌کند که در آن ۸۰٪ افراد احساس آسایش داشته باشند (به بیان دیگر $\geq 20\%$ احساس ناراضی‌های داشته باشند).^{۶۰} برای محاسبه احساس ناراضی‌های افراد تحت دماهای متفاوت PET، نرخ ناراضی‌های حرارتی با توجه فواصل ۱°C برای PET با استفاده از



- A. Matzarakis, et al, "AppliCations of a Universal Thermal Index: PhysiologiCal Equivalent Temperature". 49. Chi-Square Tests 50. ASHRAE, ibid, p. 3. 51. Ibid. p. 12-13. 52. ISO, *International Standard 7730: ErgonomiCs of the Thermal Environment - AnalYtiCal Determination and Interpretation of Thermal Comfort Using CalCulation of the PMV and PPD IndiCes and LoCal Thermal Comfort Criteria*. 53. ASHRAE, ibid, p. 6. 54. ISO, ibid.

- Noémi Kántor, "DifferenCes between the Evaluation of Thermal Environment in Shaded and SunnY Position"; Middel, et al, ibid; Tzu-Ping Lin, "Thermal PerCeption, Adaptation and AttendanCe in a PubliC Square in Hot and Humid Regions"; AYman Hassaan Ahmed Mahmoud, "AnalYsis of the MiCroClimatiC and Human Comfort Conditions in an Urban Park in Hot and Arid Regions".

جدول ۵. محدوده آسایش حرارتی PET در مطالعات مختلف، تدوین: نگارندگان.

با توجه به تعریف مقدار حداکثر PET در محدوده آسایش برای این مطالعه و «ت ۸» می‌توان بیان داشت که در روز ۳۰ اردیبهشت سایه پوشش گیاهی در ساعت ۱۰ و همچنین سایه ساختمان در ساعات ۱۰-۱۱ قبل از ظهر شرایط آسایش حرارتی را برای هردو گروه خانم‌ها و آقایان فراهم می‌کند. علاوه بر این، در اواخر بعد از ظهر (ساعت ۱۷) در سایه پارکینگ نیز شرایط آسایش حرارتی برای خانم‌ها وجود دارد. در روز ۳۱ اردیبهشت هردو گروه خانم‌ها و آقایان در ساعات ۱۰-۱۱ قبل از ظهر در همه موقعیت‌ها در محدوده آسایش حرارتی قرار دارند. همچنین موقعیت آفتاب تا ساعت ۱۲، سایه ساختمان تا ساعت ۱۳، و سایه پارکینگ در طول مدت داده‌برداری شرایط آسایش حرارتی را برای کاربران فراهم می‌کند. در روز ۲۷ خرداد، با توجه به افزایش دما در زمان داده‌برداری، تنها سایه ساختمان در ساعت ۱۰ صبح شرایط آسایش را برای آقایان فراهم می‌کند. در سایر موقعیت‌ها و ساعات داده‌برداری آسایش حرارتی وجود ندارد.

بنابر آنچه ذکر شد، می‌توان بیان کرد که موقعیت‌های دارای سایه در فضاهای باز باعث افزایش سطح آسایش حرارتی و ساعات آسایش و همچنین کاهش مقدار PET و تنش حرارتی در فصل گرم می‌شوند. یافته‌های این تحقیق با نتایج حاصل از مطالعات قبلی آسایش حرارتی که تأثیر سایه را بر افزایش آسایش حرارتی فضای باز در فصول گرم بیان کرده‌اند، مطابقت دارد.^{۶۴}

نتیجه‌گیری

پس از تحلیل و بررسی داده‌های حاصل از مطالعات میدانی، از پژوهش حاضر این نتایج را می‌توان بیان کرد: ارتباط معناداری میان موقعیت و آسایش حرارتی وجود دارد. سایه پوشش گیاهی رضایت بیش از ۸۰٪ از کاربران را فراهم می‌کند؛ بنابراین مطابق با استاندارد اشری، محیط حرارتی قابل‌قبولی ایجاد می‌شود. سایه پارکینگ و سایه ساختمان نیز برای اکثر افرادی که در این محیط‌ها حضور داشتند (به‌ترتیب

منبع	فصل مورد بررسی	محدوده آسایش (PET °C)	شهر
Matzarakis & MaYer, "Another Kkind of Environmental Stress: Thermal Stress".	کل سال	۱۸-۲۳	اروپای غربی و میانه
Li, et al, "Outdoor Thermal Comfort and ACtivities in the Urban Residential Community in a Humid SubtropiCal Area of China".	کل سال	۱۸٫۱ - ۳۱٫۱	گوانژو (Guangzhou)، چین
Lin, "Thermal PerCeption, Adaptation and AttendanCe in a PubliC Square in Hot and Humid Regions".	کل سال	۲۸٫۵ - ۲۱٫۳	تایچونگ (TaiChung)، تایوان
Lai, et al, "Studies of Outdoor Thermal Comfort in Northern China".	کل سال	۱۱-۲۴	تیانجین (Tianjin)، چین
Salata, et al, "Outdoor Thermal Comfort in the Mediterranean Area, A Transversal StudY in Rome, Italy".	کل سال	۲۹٫۲ - ۲۱٫۱	رم (Rome)، ایتالیا
Middel, et al, "ImpaCt of Shade on Outdoor Thermal Comfort—a Seasonal Field StudY in Tempe, Arizona".	کل سال	۳۸٫۱ - ۱۹٫۱	تمپه (Tempe)، امریکا
Mahmoud, "AnalYsis of the MiCroClimatiC and Human Comfort Conditions in an Urban Park in Hot and Arid Regions".	ماه گرم (ژوئن) و ماه سرد (دسامبر)	۳۰-۲۲ و ۲۹-۲۱	قاهره (EgYpt)، مصر
Canan, et al, "Outdoor Thermal Comfort Conditions during Summer in a Cold Semi-arid Climate, A Transversal Field Survey in Central Anatolia (TurkeY)".	تابستان	۳۲ - ۲۱٫۶	کونیا (KonYa)، ترکیه



۵۶. پرهام بقایبی، برهم‌کنش عوامل منظرپرداز در تحلیل شرایط حرارتی مسکن سنتی ایران؛ نمونه مورد بررسی: خانه‌های سنتی یزد، ص ۱۸۵.

57. MTSV: Mean Thermal Sensation Vote

۵۸. نک:

Canan, et al, ibid, p. 220; K. Li, et al., "Outdoor Thermal Comfort and Activities in the Urban Residential Community in a Humid Subtropical Area of China"; Kántor, Ibid; T-P Lin & A. Matzarakis, "Tourism Climate and Thermal Comfort in Sun Moon Lake, Taiwan"; F. Salata, et al, "Outdoor Thermal Comfort in the Mediterranean Area, A Transversal Study in Rome, Italy".

۵۹. نک:

Canan, et al, ibid; Kántor, ibid; Lin & Matzarakis, ibid; Salata, et al, ibid.

۶۰. نک:

Lin & Matzarakis, ibid.

۶۱. نک:

Li, et al, ibid.
62. BinarY

۶۳. نک:

Y. Xie, et al, "Outdoor Thermal Sensation and Logistic Regression Analysis of Comfort Range of Meteorological Parameters in Hong Kong".

۲۶/۹ °C به دست آمده است.

با جمع‌بندی مطالب، می‌توان بیان کرد که پوشش گیاهی یا عناصر سایه‌انداز، به دلیل جلوگیری از تابش مستقیم خورشید، منجر به کاهش احساس حرارتی، استرس حرارتی افراد، و همچنین دمای معادل فیزیولوژیکی (به صورت میانگین ۲۵ °C و حداکثر ۱۶ °C برای این پژوهش) می‌شوند و محیط خنک‌تری را نسبت به آفتاب ایجاد می‌کنند. از سوی دیگر، یافته‌های تحقیق حاکی هستند که در فصل گرم با افزایش PET احساس حرارتی گرم‌تر می‌شود و سطح آسایش حرارتی کاهش می‌یابد. بنابراین می‌توان نتیجه گرفت که در فصل گرم سال، سطوح بالای سایه در فضای خارجی منجر به افزایش سطح آسایش و همچنین افزایش ساعات آسایش در طی روز می‌شوند. با توجه به اینکه محدوده وسیعی در مسیر ورودی دانشکده در معرض تابش خورشید است و قابلیت تبدیل به فضای تعاملی و کاربری‌های موقت از جمله نمایشگاه را دارد، می‌توان با ایجاد سایه و مسدود کردن تابش مستقیم خورشید با استفاده از پوشش گیاهی یا سایه‌بان افقی، شرایط حرارتی را در این موقعیت بهبود بخشید و از فضای ایجاد شده برای گرد هم آوردن افراد و حضور با کیفیت‌تر و طولانی‌ترشان و در نتیجه پویایی بیشتر فضای دانشکده بهره برد.

References

AdawiYah Nasir, Rabiatalul & Sabarinah Sh Ahmad & Azni Zain Ahmed. "Physical Activity and Human Comfort Correlation in an Urban Park in Hot and Humid Conditions". In *ProCedia - SoCial and Behavioral SCienCes*, No.105 (2013), pp. 598-609.

Ahmadpour Kolahroodi, Narges and Mohammadreza Pourjafar, Mohammadjavad Mahdaviinejad and Samira Yousefian. "The Role and Impact of Design Elements on the Quality of Thermal Comfort in Urban Open Spaces Case Study: Design of Pedestrian Way in Tamghachiha Pathway in the City of Kashan". In *Nameye Memari va Shahrsazi Journal of Architecture and Urban Planning (Quarterly Scientific of Tehran University of Art)*, Vol. 9, Issue 2, No. 18 (Spring and Summer 2017), pp. 59-79. (In Persian)

۶۹٪ و ۶۵٪)، رضایت از محیط را فراهم می‌کند، درحالی‌که موقعیت آفتاب با ناراضایتی بیش از ۵۰٪ از کاربران شرایط حرارتی نامطلوب را ایجاد می‌کند.

- در روزهای آفتابی از ساعت ۱۲ تا ۱۵، به دلیل میزان زیاد تابش آفتاب، در هیچ‌یک از موقعیت‌ها آسایش حرارتی وجود ندارد. بیشترین میزان عدم آسایش در زمان ظهر و بیشترین مقدار سطح آسایش خوشایند یا قابل قبول در ساعات قبل از ظهر و همچنین اواخر بعد از ظهر است. تفاوت دمای متوسط تشعشی در موقعیت آفتاب و موقعیت‌های دارای سایه در روزهای آفتابی به ۱۸ °C می‌رسد.

- سطح آسایش حرارتی برای مردان و زنان در این مطالعه متفاوت بوده است. در همه موقعیت‌ها مردان شرایط را قابل قبول‌تر از زنان می‌دانستند.

- تحلیل یافته‌ها نشان می‌دهد که دانشجویان محدوده PET گسترده‌تری را نسبت به طبقه‌بندی ماتزاراکیس و مایر (برای اروپای غربی و میانه) با عنوان محدوده قابل قبول حرارتی بیان کرده‌اند. با استفاده از روش‌های آماری و همچنین یافته‌های حاصل از اندازه‌گیری‌های اقلیمی و نظرات دانشجویان، مقدار PET خنثی در این مطالعه ۲۱/۹ °C و با توجه به انجام این مطالعه در فصل گرم، حد بالایی محدوده آسایش PET،

ASHRAE. *ASHRAE Standard 55: Thermal Environmental Conditions for Human OCCupanCY*. Atlanta, 2013.

Baghaie, Parham. *The Interaction of Landscape Factors in the Analysis of the Thermal Conditions of Traditional Iranian Housing; The Studied Example: Traditional Houses of Yazd*. PhD dissertation in Architecture. Tehran: Tarbiat Modarres University, Faculty of Art and Architecture, 2014. (In Persian)

Baghaie, Parham and Mojtaba Ansari, MohammadReza Bamanian and Rima Fayaz. "The Range of Thermal Comfort in Traditional Residential Outdoor in Yazd". In *Hoviateshahr (Journal of Islamic Azad University - Science and Research Branch)*, Vol. 9, Issue 3, No. 23 (Autumn 2015), pp. 59-72. (In Persian)



- Binte Ali, Sarah & Suprava Patnaik. "Thermal Comfort in Urban Open Spaces: Objective Assessment and Subjective Perception Study in Tropical City of Bhopal, India". In *Urban Climate*, No. 24 (2018), pp. 954-967.
- Biqaraz, B. & R. FaYaz & G. Haghighaht Naeeni. "A Comparison of Outdoor Thermal Comfort in Historical and Contemporary Urban Fabrics of Lar City". In *Urban Climate*, No. 27 (2019), pp. 212-226.
- Canan, Fatih & LaCopo Golasi & Virgilio Ciancio & Massimo Coppi & Ferdinando Salata. "Outdoor Thermal Comfort Conditions during Summer in a Cold Semi-arid Climate, A Transversal Field Survey in Central Anatolia (Turkey)". In *Building and Environment*, No.148 (2019), pp. 212-224.
- Chan, S.Y. & C.K. Chau & T.M. Leung. "On the Study of Thermal Comfort and Perceptions of Environmental Features in Urban Parks: A Structural Equation Modeling Approach". In *Building and Environment*, No.122 (2017), pp. 171-183.
- Chen, Liang & Edward Ng. "Outdoor Thermal Comfort and Outdoor Activities: A Review of Research in the Past Decade". In *Cities*, No. 29 (2012), pp. 118-125.
- Chen, Liang & YongYi Wen & Lang Zhang & Wei-Ning Xiang. "Studies of Thermal Comfort and Space Use in an Urban Park Square in Cool and Cold Seasons in Shanghai". In *Building and Environment*, No. 94 (2015), pp. 644-653.
- Cheung, Pui Kwan & Chi Yung Jim. "Improved Assessment of Outdoor Thermal Comfort: 1-Hour Acceptable Temperature Range". In *Building and Environment*, No.151 (2019), pp. 303-317.
- Coccolo, Silvia & Jérôme Kämpf & Jean-Louis Scartezzini & David Pearlmutter. "Outdoor Human Comfort and Thermal Stress: A Comprehensive Review on Models and Standards". In *Urban Climate*, No. 18 (2016), pp. 33-57.
- Deng, Xingdong & Weixiao Nie & Xiaohui Li & Jie Wu & Zhe Yin & Jiejie Han & Haonan Pan & Cho Kwong Charlie Lam. "Influence of Built Environment on Outdoor Thermal Comfort: A Comparative Study of New and Old Urban Blocks in Guangzhou". In *Building and Environment*, No. 234 (2023).
- Eslamirad, Nasim & Francesco De Luca & Kimmo Sakari Lyykangas & Sadok Ben Yahia. "Data Generative Machine Learning Model for the Assessment of Outdoor Thermal and Wind Comfort in a Northern Urban Environment". In *Frontiers of Architectural Research*, No. 12 (2023), pp. 541-555.
- Fang, Zhaosong & Huiyu He & Zhisheng Guo & Zhimin Zheng & Xiwen Feng. "Daily Variation of Ground Radiation in Unshaded and Shaded Environments and the Effect on Mean Radiant Temperature". In *Case Studies in Thermal Engineering*, No. 43 (2023).
- Farajzadeh, Hassan & Andreas Matzarakis. "Evaluation of Thermal Comfort Conditions in Ourmieh Lake, Iran". In *Theoretical and Applied Climatology*, No. 107 (2012), pp. 451-459.
- Ghaffarianhoseini, Amirhosein & Umberto Berardi & Ali Ghaffarianhoseini & Karam Al-Obaidi. "Analyzing the Thermal Comfort Conditions of Outdoor Spaces in a University Campus in Kuala Lumpur, Malaysia". In *SCIENCE of the Total Environment*, No. 666 (2019), pp. 1327-1345.
- Havenith, George. *Thermal Conditions Measurement*. Florida: CRC Press, 2004.
- ISO. *International Standard 7726: Ergonomics of the Thermal Environment-Instruments for Measuring Physiological Quantities*. Geneva: International Standard Organization, 1998.
- ISO. *International Standard 7730: Ergonomics of the Thermal Environment - Analytical Determination and Interpretation of Thermal Comfort Using Calculation of the PMV and PPD Indices and Local Thermal Comfort Criteria*. Geneva: International Standard Organization, 2005.
- Johansson, Erik & Sofia Thorsson & Rohinton Emmanuel & Eduardo Krüger. "Instruments and Methods in Outdoor Thermal Comfort Studies – The Need for Standardization". In *Urban Climate*, No. 10 (2014), pp. 346-366.
- Kántor, Noémi. "Differences between the Evaluation of Thermal Environment in Shaded and Sunny Position". In *Hungarian Geographical Bulletin*, No. 65 (2016), pp. 139-153.
- Lai, Alan & Minjung Maing & Edward Ng. "Observational Studies of Mean Radiant Temperature across Different Outdoor Spaces under Shaded Conditions in Densely Built Environment". In *Building and Environment*, No. 114 (2017), pp. 397-409.
- Lai, DaYi & Deheng Guo & Yuefei Hou & ChenYi Lin & Qingyan Chen. "Studies of Outdoor Thermal Comfort in Northern China". In *Building and Environment*, No. 77 (2014), pp. 110-118.
- Li, Kunming & Yufeng Zhang & Lihua Zhao. "Outdoor Thermal Comfort and Activities in the Urban Residential Community in a Humid Subtropical Area of China". In *Energy and Buildings*, No. 133 (2016), pp. 498-511.
- Lin, Tzu-Ping. "Thermal Perception, Adaptation and Attendance in a Public Square in Hot and Humid Regions". In *Building and Environment*, No. 44 (2009), pp. 2017-2026.
- Lin, Tzu-Ping & Andreas Matzarakis. "Tourism Climate and Thermal Comfort in Sun Moon Lake, Taiwan". In *International Journal of Biometeorology*, No. 52 (2008), pp. 281-290.
- Lin, Tzu-Ping & Andreas Matzarakis & Ruey-Lung Hwang. "Shading Effect on Long-term Outdoor Thermal Comfort". In *Building and Environment*, No. 45 (2010), pp. 213-221.
- Liu, Kuixing & Zhiwei Lian & Xilei Dai & DaYi Lai. "Comparing the Effects of Sun and Wind on Outdoor Thermal Comfort: A Case Study Based on Longitudinal Subject Tests in Cold Climate Region". In *SCIENCE of the Total Environment*, No. 825 (2022).
- Lopes, H'elder Silva & Paula Remoaldo & Vitor Ribeiro & Javier Martin-Vide. "A Comprehensive Methodology for Assessing Outdoor Thermal Comfort in Touristic City of Porto (Portugal)". In *Urban Climate*, No. 45 (2022).
- Mahmoodi, Seyyed Amir Saeed, Seyyedeh Neda Ghazizadeh, and Alireza Menam. "The Impact of the Architectural Design on the Thermal Comfort of the Outdoor Spaces in Residential
- Watanabe, et al, *ibid*; Binte Ali & Patnaik, *ibid*, p. 10, 12; Ghaffarianhoseini, et al, *ibid*; Middel, et al, *ibid*; Martinelli, et al, *ibid*; H'elder Silva Lopes, et al, "A Comprehensive Methodology for Assessing Outdoor Thermal Comfort in Touristic City of Porto (Portugal)"; Ch. Miao, et al., "Coupling outdoor air quality with thermal comfort in the presence of street trees: a pilot investigation in ShenYang, Northeast China".

۶۴ نك:



Complexes Case Study: Ekbatan Complex, Phase III". In *Honar-Ha-ye-Ziba: Memari va ShahrSazi (Journal of Fine Arts: Architecture and Urban Planning - The Quarterly Journal of College of Fine Arts, University of Tehran)*, Vol. 2, Issue 2, No. 42 (July 2010), pp. 59-70. (In Persian)

Mahmoud, Ayman Hassaan Ahmed. "Analysis of the Microclimatic and Human Comfort Conditions in an Urban Park in Hot and Arid Regions". In *Building and Environment*, No. 46 (2011), pp. 2641-2656.

Makaremi, Nastaran. *Thermal Comfort Conditions of shaded Outdoor Spaces for Local and International Students at University Putra Malaysia, Serdang*. Thesis for Master of Science. Universiti Putra Malaysia, Faculty of Design and Architecture, 2011.

Martinelli, Letizia & Tzu-Ping Lin & Andreas Matzarakis. "Assessment of the Influence of Daily Shadings Pattern on Human Thermal Comfort and Attendance in Rome during Summer Period". In *Building and Environment*, No. 92 (2015), pp. 30-38.

Matzarakis, Andreas & Helmut Maier. "Another Kind of Environmental Stress: Thermal Stress". In *WHO Newsletter*, No. 18 (1996), pp. 7-10.

Matzarakis, Andreas & Helmut Maier & Moses G. Iziomon. "Applications of a Universal Thermal Index: Physiological Equivalent Temperature". In *International Journal of Biometeorology*, No. 43 (1999), pp. 73-84.

Miao, Chunping & Pingping Li & Yanqing Huang & Yuxuan Sun & Wei Chen & Shuai Yu. "Coupling Outdoor Air Quality with Thermal Comfort in the Presence of Street Trees: a Pilot Investigation in Shenyang, Northeast China". In *Journal of Forestry Research*, No. 34 (2023), pp. 831-839.

Middel, Ariane & Nancy Selover & Björn Hagen & Nalini Chhetri. "Impact of Shade on Outdoor Thermal Comfort—a Seasonal Field Study in Tempe, Arizona". In *International Journal of Biometeorology*, No. 60 (2016), pp. 1849-1861.

Monshizadeh, Rahmatollahi, Seyyed Ebrahim Hosseini, Aghil Ojagh, and Seyyede Hamideh Shabani. "An Investigation into Thermal Convenience and the Impact of Building Height on Urban Microclimate: a Case Study of Shahr-dari Street, Tehran, Iran". In *Amayesh-e Mohit (Quarterly Journal of Environmental Based Territorial Planning of Azad University - Malayer Branch)*, Vol. 6, Issue 1, No. 20 (Spring 2013), pp. 102-126. (In Persian)

Montazeri, Marjan and La'la Jahanshahloo and Hamid Majedi. "Affect Components of Urban Physical Form on Outdoor Thermal Comfort Case Study: Yazd". *Journal of Geography and Environmental Studies (Quarterly Scientific of Azad University - Najaf Abad Branch)*, Vol. 6, Issue 2, No. 22 (Summer 2017), pp.

63-84. (In Persian)

Nikolopoulou, Marialena & Spyros Lykoudis. "Thermal Comfort in Outdoor Urban Spaces: Analysis across Different European Countries". In *Building and Environment*, No. 41 (2006), pp. 1455-1470.

Oliveira, Sandra & Henrique Andrade. "An Initial Assessment of the Bioclimatic Comfort in an Outdoor Public Space in Lisbon". In *International Journal of Biometeorology*, No. 52 (2007), pp. 69-84.

Rossi, Federico & Marta Cardinali & Alessia Di Giuseppe & Beatrice Castellani & Andrea Nicolini. "Outdoor Thermal Comfort Improvement with Advanced Solar Awnings: Subjective and Objective Survey". In *Building and Environment*, No. 215 (2022).

Salata, Ferdinando & laCopo Golasi & Roberto de Lieto Vollaro & Andrea de Lieto Vollaro. "Outdoor Thermal Comfort in the Mediterranean Area, A Transversal Study in Rome, Italy". In *Building and Environment*, No. 96 (2016), pp. 46-61.

Semnan Meteorology Organization. <http://www.semnanweather.ir>

Spagnolo, Jennifer & Richard de Dear. "A Field Study of Thermal Comfort in Outdoor and Semi-outdoor Environments in Subtropical Sydney Australia". In *Building and Environment*, No. 38 (2003), pp. 721-738.

Stathopoulos, Theodore & Hanqing Wu & John Zacharias. "Outdoor Human Comfort in an Urban Climate". In *Building and Environment*, No. 39 (2004), pp. 297-305.

Sulzer, Markus & Andreas Christen & Andreas Matzarakis. "Predicting Indoor Air Temperature and Thermal Comfort in Occupational Settings Using Weather Forecasts, Indoor Sensors, and Artificial Neural Networks". In *Building and Environment*, No. 234 (2023).

Teshnehdel, Saeid & Hassan Akbari & Elisa Di Giuseppe & Robert D. Brown. "Effect of Tree Cover and Tree Species on Microclimate and Pedestrian Comfort in a Residential District in Iran". In *Building and Environment*, No. 178 (2020).

Watanabe, Shinichi & Kazuo Nagano & Jin Ishii & Tetsumi Horikoshi. "Evaluation of Outdoor Thermal Comfort in Sunlight, Building Shade, and Pergola Shade during Summer in a Humid Subtropical Region". In *Building and Environment*, No. 82 (2014), pp. 556-565.

Xie, Yongxin & Jianlin Liu & Taiyang Huang & Jianong Li & Jianlei Niu & Cheuk Ming Mak & Tsz-Cheung Lee. "Outdoor Thermal Sensation and Logistic Regression Analysis of Comfort Range of Meteorological Parameters in Hong Kong". In *Building and Environment*, No. 155 (2019), pp. 175-186.