ارزیابی تأثیر سایه بر آسایش حرارتی فضای باز و تعیین محدودهٔ آسایش حرارتی[1]

شیائوشان یانگ[4]

استاد دانشکدهٔ معماری، دانشگاه صنعتی نانجینگ، چین

شهرزاد طالب‌صفا[2]*

مسعود طاهری شهرآئینی[3]

استادیار دانشکدهٔ مهندسی معماری و شهرسازی، دانشگاه صنعتی شاهرود، ایران

محمدرضا ربیعی[5]

استادیار دانشکدهٔ علوم ریاضی، دانشگاه صنعتی شاهرود، ایران

دریافت: ۲۲ مرداد ۱۴۰۱
پذیرش: ۱۱ اردیبهشت ۱۴۰۲
(صفحهٔ ۵۹ – ۴۳)

طالب صفا، ش.، م. طاهری شهرآئینی، شیائوشان یانگ، و ،م.ر. ربیعی. ۱۴۰۲. ارزیابی تأثیر سایه بر آسایش حرارتی فضای باز و تعیین محدودهٔ آسایش حرارتی. فصلنامهٔ علمی معماری و شهرسازی *صفه*. ۱۰۲ (۳): ۴۳–۵۹.

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 سایهٔ پوشش گیاهی، سایهٔ ساختمان، سایهٔ 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 ۲۱/۹°C و بیشترین مقدار در محدودهٔ آسایش PET، ۲۶/۹°C برای این مطالعه به‌دست آمده است. نتایج تحقیق نشان می‌دهد ارتباط معناداری میان موقعیت و آسایش حرارتی وجود دارد. سایهٔ پوشش گیاهی با رضایت بیش از ۸۰٪ کاربران، محیط حرارتی قابل‌قبولی را ایجاد کرده و پس از آن، سایهٔ پارکینگ و سایهٔ 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 روزانهٔ 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، ازجمله جنبه‌های جسمی، محیطی، اقتصادی، و اجتماعی، برای شهرها دارای مزیت

۱. این مقاله برگرفته از پایان‌نامهٔ کارشناسی ارشد معماری نویسندهٔ اول است با عنوان *بررسی تأثیر سایه بر آسایش حرارتی فضای باز؛ نمونه موردی: دانشگاه صنعتی شاهرود* که به راهنمایی نگارندهٔ دوم و مشاورهٔ نگارندگان سوم و چهارم در بهمن‌ماه سال ۱۳۹۸ در دانشکدهٔ معماری و شهرسازی دانشگاه صنعتی شاهرود دفاع شده است.

۲. نویسندهٔ مسئول، کارشناس ارشد معماری، دانشکدهٔ 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

*. Corresponding Author: Email Address. shtalebsafa@yahoo.com

http://dx.doi.org/10.48308/sofeh.2023.228327.1190
http://dorl.net/dor/20.1001.1.1683870.1402.33.3.2.8

*. 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/).

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. محدودهٔ آسایش حرارتی PET برای این مطالعه چیست؟

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 همهٔ 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 آنی 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 بازْ 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، به‌منزلهٔ جداره‌های مؤثر بر خرداقلیم پرداخته‌اند.[۱۷] احمدپورکلهرودی و همکاران به بررسی میزان تأثیر عناصر الحاقیِ نما، سایه‌بان، پوشش گیاهی، و سطوح آب، به‌مثابهٔ پرکاربردترین ابزار طراحی مؤثر بر کیفیت

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؛ نمونهٔ مورد مطالعه: فاز سه مجتمع مسکونی اکباتان»، ص۵۹.
11. ASHRAE, ASHRAE Standard 55: *Thermal Environmental Conditions for Human OCCupanCy*.

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، سایهٔ ساختمان، و سایهٔ 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 نقطهٔ متفاوت فضاهای باز دارای سایه در محیط‌های ساختمانی متراکم در کشور هنگ‌کنگ انجام دادند. در نتایج تحقیق آنها تأثیر سایه‌اندازی و شاخص دید به آسمانْ 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 همهٔ فصول به‌جز زمستان می‌شود. همچنین بنابر تحقیق آنها، سایهٔ درختان یا سایهٔ 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 محدودهٔ آسایش دمای مذکور را محاسبه کردند.[۲۳] غفاریان حسینی و همکاران، با استفاده از داده‌برداری مستقیم و شبیه‌سازی‌های پارامتریک، ویژگی‌های خرداقلیم را در محوطهٔ دانشگاه در اقلیم حاره‌ای کوالالامپور مالزی ارزیابی کردند. آنها مناطق با عدم آسایش حرارتی و ویژگی‌های فیزیکی و 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 ۱٫۶°C و حداکثر ۵٫۱ °C کاهش می‌دهد.[۲۷]

نتایج پژوهش‌های آسایش حرارتی فضای باز در اقلیم‌ها و موقعیت‌های مختلف در سراسر جهان نشان می‌دهد که محدودهٔ 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، ازآنجاکه تلاش‌های بسیار محدودی برای تعیین محدودهٔ آسایش PET در ایران صورت گرفته، اکثر مطالعات پیشین آسایش حرارتی از محدودهٔ آسایش حرارتی معرفی‌شده برای اروپای غربی و

۱۲. پرهام بقایی و دیگران، «محدودهٔ آسایش حرارتی در فضای باز مسکونی سنتی شهر یزد»، ص۶۰.

۱۳. نک:
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 طمقاچی‌ها در کاشان»، ص۶۳.

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 تاثیر ارتفاع ساختمان‌ها بر خرد اقلیم فضاهای شهری؛ نمونهٔ موردی: خیابان شهرداری تهران (حد فاصل میدان تجریش تا میدان قدس)».

میانه استفاده کرده‌اند؛[۳۱] حال‌آنکه تفاوت‌های اقلیمی و فرهنگی ضرورت انجام پژوهش مستقل به‌منظور تعیین محدودهٔ آسایش حرارتی فضا بر اساس شاخصه‌های استاندارد در هر ناحیهٔ 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 درنتیجه 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 مطالعهٔ میدانی، بررسی و مقایسه می‌گردد و سپس به‌منظور ارزیابی محیط حرارتی، محاسبهٔ محدودهٔ آسایش PET مورد نظر خواهد بود.

۱. روش تحقیق

در این پژوهش ابتدا با استفاده از منابع کتابخانه‌ای و مرور پژوهش‌های صورت‌گرفته در حوزهٔ آسایش حرارتی فضای باز، عوامل مؤثر بر آسایش حرارتی مطالعه می‌گردد و سایه‌اندازی به‌مثابهٔ یکی از راهکارهای مؤثر در آسایش حرارتی فضای بازشناسی می‌شود. سپس به‌منظور بررسی میزان تأثیر سایه بر آسایش حرارتی فضای باز در فصل گرم، مطالعات میدانی در موقعیت‌های دارای سایه (سایهٔ پوشش گیاهی، سایهٔ ساختمان، و پارکینگ) و همچنین موقعیت آفتاب در محیط دانشگاه صنعتی شاهرود، با استفادهٔ هم‌زمان از پرسش‌نامه‌های آسایش حرارتی و اندازه‌گیری پارامترهای اقلیمی صورت می‌گیرد. با بررسی یافته‌های حاصل از مطالعات میدانی و همچنین با استفاده از نرم‌افزارهایSPSS و RaYMan و روش‌های آماری به تجزیه‌وتحلیل داده‌ها و ارزیابی شرایط اقلیمی در موقعیت‌های مورد مطالعه پرداخته می‌شود. درنهایت با استفاده از روش‌های آماری، ازجمله رگرسیون‌های خطی[۳۲] و لجستیک[۳۳]، مقدار PET خنثی و محدودهٔ 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 ’۰۰ °۵۵ شرقی یکی از شهرستان‌های استان سمنان واقع در شمال شرقی ایران است. با توجه به طبقه‌بندی اقلیمی کوپن ـ گایگر[۳۴]، شاهرود در محدودهٔ خشک و نیمه‌خشک سرد[۳۵] قرار می‌گیرد. میانگین سالانهٔ 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 سالانهٔ شاهرود طی دورهٔ بلندمدت آماری ۱۵۶٫۱ میلی‌متر گزارش شده است.[۳۶]

۱. ۲. محدودهٔ مورد مطالعه

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

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

۱۸. احمدپور کلهرودی و دیگران، همان، ص۵۹ و ۶۶.

۱۹. نک:
S. Watanabe, et al, “Evaluation of Outdoor Thermal Comfort in Sunlight, Building Shade, and Pergola Shade during Summer in a Humid SubtropiCal Region”.

۲۰. نک:
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

۲۳. نک:
A. Middel, et al, “ImpaCt of Shade on Outdoor Thermal Comfort—a Seasonal Field Study in Tempe, Arizona”.

۲۴. نک:
A. Ghaffarianhoseini, et al, “Analyzing the Thermal Comfort Conditions of Outdoor SpaCes in a University Campus in Kuala Lumpur, Malaysia”.

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

انتخاب محدودهٔ 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.

۱. ۳. 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 نقطه از فضای باز محوطهٔ دانشگاه صنعتی شاهرود انجام شد. در اکثر ساعات داده‌برداری در روزهای ۳۰ اردیبهشت و ۲۷ خردادْ 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 (فاصلهٔ حدود ۷۰۰ متر) با استفاده از دستگاه HOBO 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 پرسش‌نامهٔ آسایش حرارتی صورت گرفته است.

تاریخ داده‌برداری	ساعت	دمای هوا (C)	رطوبت‌نسبی (٪)	سرعت‌باد (m/s)	تابش‌خورشید (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

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

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[۳۷]، رطوبت نسبی[۳۸]، سرعت باد[۳۹]، و دمای کروی[۴۰] (برای محاسبهٔ 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

متغیر	دستگاه	دقت دستگاه	ارتفاع اندازه‌گیری (متر)
دمای هوا	Onset Hobo, UX100-003	۰٫۲۱° C (۰ تا ۵۰° C)	۱٫۱
رطوبت نسبی	Onset Hobo, UX100-003	۳٪ ۰٫۵ (۲۵٪ تا ۸۵٪) ۵٪ (>۸۵٪ و <۲۵٪)	۱٫۱
سرعت باد	Hot Wire Anemometer, CEM -3880. ST-3880	(d1 +۵٪)	۱٫۱
دمای کروی	Onset Hobo, UX100-014M	دقت ترموکوپل گوی ۰٫۷° C	۰٫۶ و ۱٫۱

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

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.

است.[۴۲] همهٔ دستگاه‌ها با ایستگاه هواشناسی موجود در دانشگاه کالیبره شدند.

دمای متوسط تشعشعی، با توجه به مقادیر دمای کروی، دمای هوا، و سرعت باد، از «رابطهٔ ۱» به‌دست می‌آید[۴۳]:

$$T_{mrt} = \left[\left(T_g + ۲۷۳\right)^{۴} + \frac{۱/۱۰ \times ۱۰^{۸} \times V_a^{۰/۶}}{\varepsilon D^{۰/۴}} \left(T_g - T_a\right) \right]^{\frac{۱}{۴}} - ۲۷۳ \quad (۱)$$

در «رابطهٔ ۱» ε انتشارپذیری گوی (۰/۹۵ برای گوی سیاه) و D قطر گوی (۴۰ میلی‌متر) برای این مطالعه است.

۱. ۳. ۲. پرسش‌نامهٔ آسایش حرارتی

به‌منظور ارزیابی ادراک حرارتی دانشجویان از پرسش‌نامه‌های آسایش حرارتی استفاده شده است. پرسش‌نامه به‌صورت 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 صورت‌گرفته، شرایط و اهداف تحقیق حاضر درمجموع ۲۸۳ پرسش‌نامه صحیح توسط دانشجویان تکمیل گردید. ساختار پرسش‌نامه با استفاده از منابع مربوطه[۴۴]، مطالعات پیشین صورت‌گرفته در حوزهٔ 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، قابل‌قبول، 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.

۱. ۳. ۳. شاخص حرارتی

شاخص‌های متعددی برای ارزیابی حرارتی فضای باز معرفی شده‌اند که شاخص PET پرکاربردترین آنهاست.[۴۶] محاسبهٔ 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؛ ازآنجاکه از شاخص PET برای اقلیم‌های مختلف در سراسر جهان استفاده شده است،[۴۸] امکان مقایسهٔ نتایج این مطالعه با سایر پژوهش‌های آسایش حرارتی فضای باز را فراهم می‌شود.

۲. نتایج و تحلیل

۲. ۱. اندازه‌گیری‌های اقلیمی

در این بخش، به‌طور نمونه، پارامترهای اقلیمی ثبت‌شده 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 قابل‌مشاهده است. همان‌طور که مشاهده می‌شود، دمای هوا در موقعیت آفتاب در طول روز حداقل ۲°C بالاتر از موقعیت‌های دارای سایه است. بیشترین تفاوت دمایی در نقاط دارای سایه میان موقعیت‌های سایهٔ ساختمان و پارکینگ در ساعات قبل از ظهر ثبت شده است. موقعیت پارکینگ ۵/۴°C گرم‌تر از سایهٔ 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 سایهٔ پوشش گیاهی، سایهٔ ساختمان، پارکینگ، و آفتاب به‌ترتیب ۳۳/۱°C، ۳۲/۵°C، ۳۴/۵°C، ۳۶/۶°C است.

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

۲۹. مرجـان منتظری و دیگران، «تأثیر مؤلفه‌هـای فـرم کالبدی شـهری بر آسـایش حرارتی فضاهای باز شهری؛ نمونهٔ موردی: اراضی پشـت سیلو شهر یزد»، ص۶۹.

۳۰. .احمدپـور کلهـرودی و دیگران، همان، ص۶۰-۶۱.

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 FabriCs 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 PhYsiCal Quantities*.
43. Ibid.

بدون ابر، حداقل اختلاف °C۱۴٫۵ موقعیت آفتاب با سایه مشاهده می‌شود، درحالی‌که در ساعت ۱۵:۳۰ و هوای ابری این اختلاف به حدود °C۱٫۳ 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 سایهٔ ساختمان با تفاوت دمایی °C۱۸ 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 °C۳٫۵ در ساعات قبل از ظهر و بین موقعیت پارکینگ و سایهٔ ساختمان مشاهده می‌شود. در زمان ظهر این اختلاف به حداقل و در بعد از ظهر به حدود °C۲٫۶ می‌رسد. میانگین دمای متوسط تشعشعی در موقعیت‌های سایهٔ پوشش گیاهی، سایهٔ ساختمان، پارکینگ، و آفتاب به‌ترتیب °C۳۲٫۹، °C۳۳٫۶، °C۳۴٫۳، °C۴۳٫۷ است.

رطوبت نسبی در موقعیت پوشش گیاهی تا ۵٫۸٪ بیشتر از سایر موقعیت‌هاست. به‌طور متوسط، پوشش گیاهی منجر به افزایش ۴٫۱٪ در رطوبت نسبی شده است. رطوبت نسبی در سایهٔ ساختمان حدود ۲٪ بیشتر از پارکینگ و آفتاب است.

سرعت باد در پوشش گیاهی، به‌دلیل وجود درختان و گیاهان که باعث کاهش سرعت جریان هوا می‌شوند، کمتر از سایر موقعیت‌هاست. بیشترین میزان سرعت باد (۱٫۹ متر بر ثانیه) در زمان ظهر و موقعیت آفتاب به‌دلیل نبود موانع ثبت شده است. در هریک از موقعیت‌های دارای سایه، سرعت باد در محدودهٔ کوچکی (حداکثر ۰٫۳۵ متر بر ثانیه) نوسان داشته است. موقعیت پارکینگ، سایهٔ ساختمان، و سایهٔ پوشش گیاهی به‌ترتیب 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 اختلاف سرعت باد (۱٫۶ متر بر ثانیه) در ساعت ۱۳:۰۰ و میان پوشش گیاهی و موقعیت آفتاب ثبت شده است.

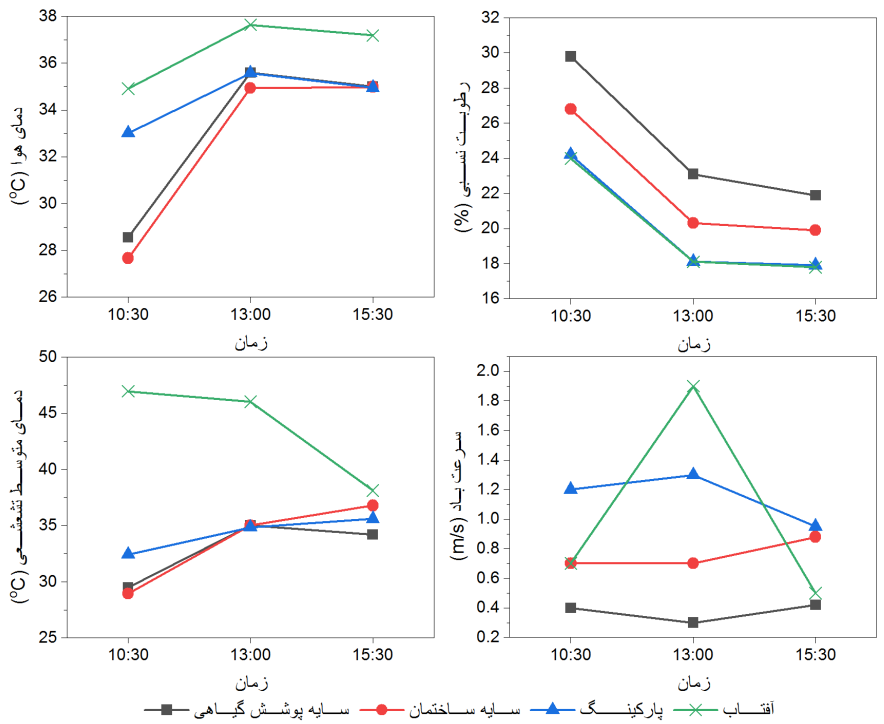
درمجموع می‌توان نتیجه گرفت که موقعیت آفتاب بیشترین دمای هوا و دمای متوسط تشعشعی و موقعیت پوشش گیاهی کمترین میزان سرعت باد را در طول روز دارند. سایه‌اندازی با استفاده از پوشش گیاهی و یا عناصر مصنوع (ساختمان یا سایه‌بان‌های افقی) تأثیر قابل‌توجهی در کاهش دمای هوا و دمای متوسط تشعشعی طی روز و شرایط آفتابی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

44. G. Havenith, *Thermal Conditions Measurement*; ASHRAE, ibid.

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

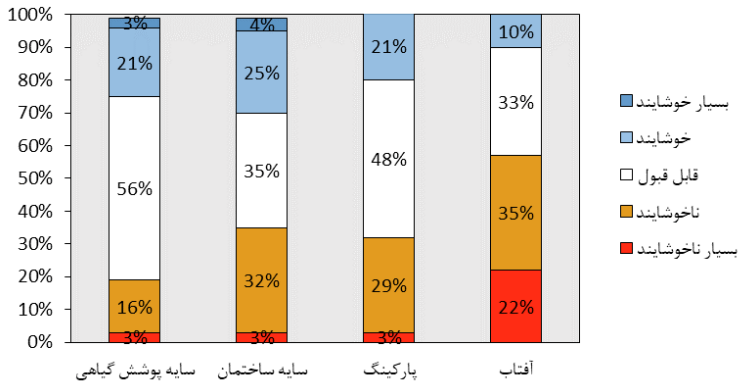


است. پیش از تحلیل داده‌ها، پرسش‌نامه‌هایی با پاسخ‌های متناقض از روند ارزیابی حذف شدند تا نتایج دارای اعتبار باشند. در مجموع، همان‌طور که پیش‌تر گفته شد، ۲۸۳ پرسش‌نامهٔ صحیح ارزیابی گردید. دانشجویان در بازهٔ سنی ۱۸ تا ۳۴ سال بودند و از مجموع پاسخ‌دهندگان، ۵۹٪ خانم‌ها (۱۶۷ نفر) و ۴۱٪ آقایان (۱۱۶ نفر) پرسش‌نامه‌ها 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 تجزیه‌وتحلیل و شرایط حرارتی افراد در سایت‌های انتخابی بررسی شده است. برای تعیین وجود و یا فقدان ارتباط بین دو متغیر از آزمون کای‌اسکوئر[۴۹] استفاده شده است. در این آزمون اگر سطح معناداری بین دو متغیر (p-value) کمتر از ۰٫۰۵ باشد، نشان می‌دهد که بین این دو متغیر ارتباط معناداری هست. در غیر این صورت، ارتباط معناداری وجود ندارد.

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: نگارندهٔ اول.

مجموع	موقعیت				تاریخ
	آفتاب	پارکینگ	سایهٔ ساختمان	سایهٔ پوشش گیاهی	
۱۱۵	۲۱	۲۶	۲۹	۳۹	۱۳۹۸/۲/۳۰
۸۸	۲۱	۱۹	۱۷	۳۱	۱۳۹۸/۲/۳۱
۸۰	۲۱	۱۸	۲۲	۱۹	۱۳۹۸/۳/۲۷
۲۸۳	۶۳	۶۳	۶۸	۸۹	مجموع



۲.۲.۱. 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 اسکوئر نشان می‌دهد ارتباط معناداری بین موقعیت و آسایش حرارتی وجود دارد (p-value =۰٫۰۰۰ ≤ ۰٫۰۵). با توجه به «ت ۳»، سایهٔ پوشش گیاهی مطلوب‌ترین و موقعیت آفتاب ناخوشایندترین شرایط حرارتی را برای افراد مورد مطالعه در این پژوهش فراهم می‌کند. با توجه به استاندارد اشری، محیط حرارتی قابل‌قبول «محیط حرارتی است که برای اکثریت قابل‌توجهی (بیش از ۸۰٪) از افراد به لحاظ حرارتی قابل‌قبول باشد».[۵۰] بنابراین سایهٔ پوشش گیاهی با ۸۱٪ رضایت، محیط حرارتی قابل‌قبولی را ایجاد می‌کند.

در سایهٔ پوشش گیاهی، پارکینگ، و سایهٔ ساختمان اکثر افرادی که در این محیط‌ها حضور داشتند (به‌ترتیب ۸۱٪، ۶۹٪، و ۶۵٪) محیط حرارتی را قابل‌قبول 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 اسکوئر نشان می‌دهد ارتباط معناداری میان موقعیت و احساس حرارتی افراد وجود دارد (p-value =۰٫۰۰۰ ≤ ۰٫۰۵). همان‌طور که در «ت ۴» نشان داده شده است، در همهٔ موقعیت‌ها تقریباً نیمی از افراد احساس حرارتی «کمی گرم» و یک‌سوم آنها شرایط حرارتی «نه سرد و نه

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

مقایسهٔ 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.

۲.۲.۳. 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)، به‌صورت مجزا برای هریک از متغیرهای هواشناسی ارزیابی و در «ت ۵» نشان داده شده است. نتایج حاصل از بررسی رابطهٔ میان موقعیت و ترجیح حرارتی هریک از پارامترهای اقلیمی نشان می‌دهد که میان ترجیح دمای هوا، رطوبت نسبی، و سرعت باد با موقعیت رابطهٔ معناداری وجود ندارد، درحالی‌که میان موقعیت و ترجیح پاسخ‌دهندگان بر میزان تابش خورشید رابطهٔ 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 اسکوئر نشان می‌دهد که ارتباط معناداری میان موقعیت و ترجیح افراد بر دمای هوا وجود ندارد (p-value =۰٫۲۵۱ > ۰٫۰۵).

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 سایهٔ 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

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

پارامتر هواشناسی در این مطالعه است.

درصد کمی از افراد در هر موقعیت تمایل به کاهش سرعت باد داشتند. بیشترین مطلوبیت به‌ترتیب در سایهٔ 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 محدودهٔ سرعت باد طی زمان‌های داده‌برداری (۰٫۰۴ تا ۱۰ متر بر ثانیه) مطابقت دارد.

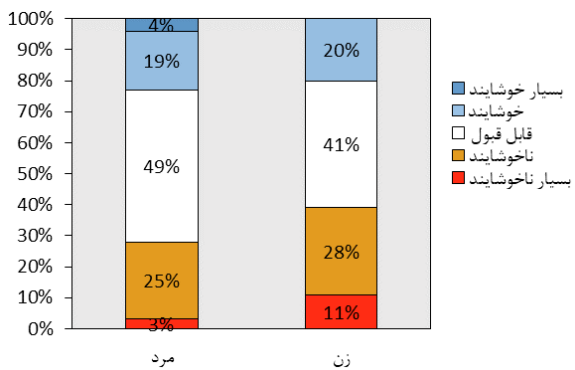
همان‌طور که ذکر شد، میان موقعیت و ترجیح پاسخ‌دهندگان بر میزان تابش خورشید رابطهٔ معناداری وجود دارد (۰٫۰۵ ≥ p-value =۰٫۰۰۳). در «ت ۵» مشاهده می‌شود که در همهٔ موقعیت‌ها حدود ۸۱٪ از پاسخ‌دهندگان افزایش سایه و ۱۹٪ از آنها عدم تغییر تابش خورشید را برای دستیابی به شرایط بهتر اقلیمی ترجیح می‌دادند. هیچ‌یک 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 سایهٔ بیشتری ایجاد شود. این یافته‌ها با آراء احساس حرارتی اکثر افراد مبنی بر احساس گرما تطابق دارد و نشان می‌دهد که محدود کردن تابش مستقیم آفتاب و ایجاد سایه تأثیر زیادی در بهبود شرایط حرارتی دارد.

۲. ۲. ۴. ارتباط آسایش حرارتی و جنسیت

تحلیل‌ها نشان می‌دهند که ارتباط معناداری میان جنسیت و سطح آسایش حرارتی وجود دارد (۰٫۰۵ ≥ p-value =۰٫۰۱۷). 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.

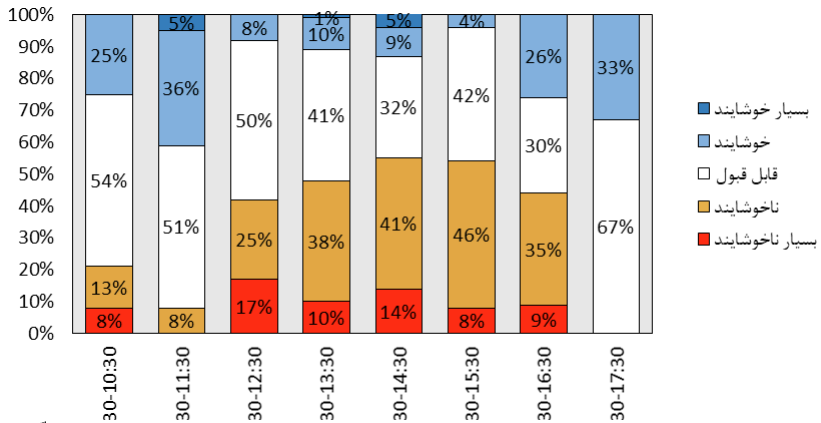
۲. ۲. ۵. ارتباط آسایش حرارتی و زمان

آنالیز توصیفی میان سطوح آسایش حرارتی و زمان تکمیل پرسش‌نامه نشان می‌دهد که ارتباط معناداری میان این دو متغیر وجود دارد (۰٫۰۵ ≥ p-value =۰٫۰۰۱). در «ت ۷» مشاهده می‌شود که بیشترین میزان عدم آسایش در زمان ظهر



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

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

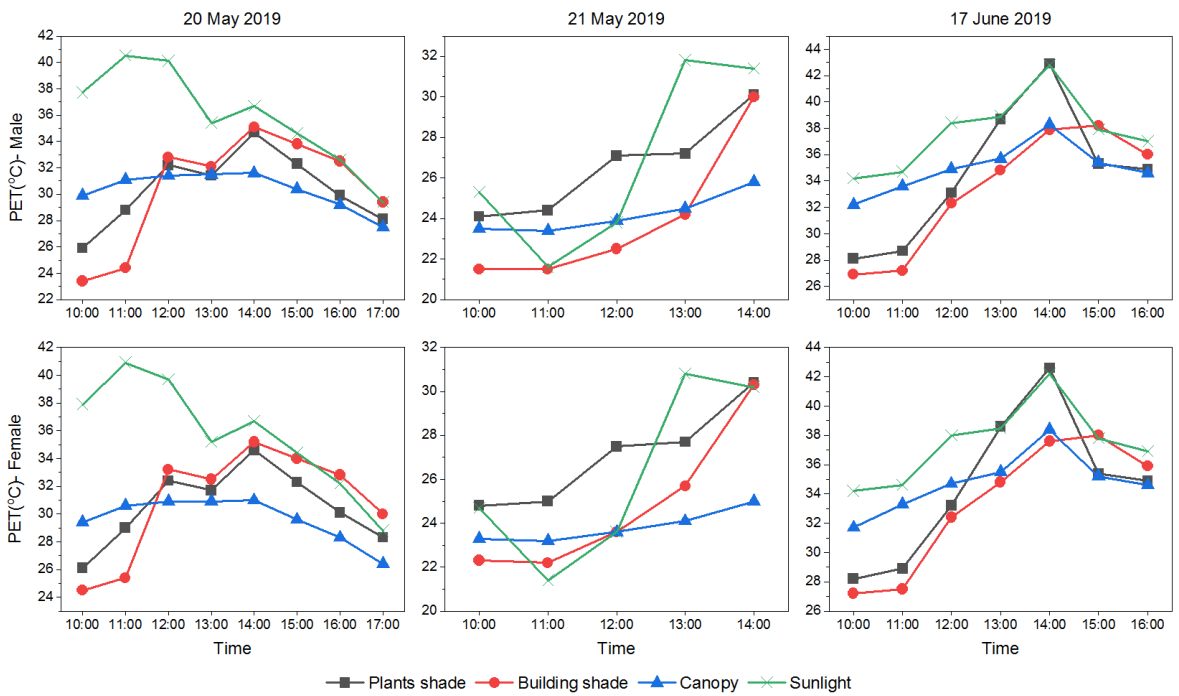


و بعد از ظهر است. از سوی دیگر، بیشترین مقدار سطح آسایش خوشایند یا قابل‌قبول در ساعات قبل از ظهر و همچنین اواخر بعد از ظهر گزارش شده است.

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

۲. ۲. ۶. شاخص آسایش حرارتی PET

به‌منظور ارزیابی شرایط حرارتی محدوده‌های انتخابی بر اساس شاخص PET، از نرم‌افزار RaYMan نسخهٔ ۲,۱ استفاده شده است. پارامترهای اقلیمی ثبت‌شده 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. ازآنجاکه مطالعات میدانی در محیط دانشگاه بوده، در همهٔ 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 ۰/۹۸ و برای پسران Clo ۰/۵۷ با توجه به اشری [۵۱] ۵۵ و ایزو



ت ۸ (پایین). شاخص PET محاسبه‌شده در روزها و موقعیت‌های مورد مطالعه، مپژوهش و تدوین: نگارندهٔ اول.

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]۵۵ 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 سایهٔ 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 سایهٔ ساختمان ثبت شده است. در این موقعیت دمای معادل فیزیولوژیکی برای خانم‌ها ۱٫۵°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 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 (p-value =۰٫۰۰۰ ≤ ۰٫۰۵). در فصل گرم با افزایش PET احساس حرارتی گرم‌تر می‌شود (همبستگی مستقیم). همچنین میان PET و سطح آسایش حرارتی نیز ارتباط معناداری وجود دارد (p-value =۰٫۰۰۰ ≤ ۰٫۰۵). با افزایش PET، سطح آسایش حرارتی کاهش می‌یابد (همبستگی معکوس).

۲.۲.۷. دمای معادل فیزیولوژیکی خنثی و محدودهٔ 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 (p-value =۰٫۰۰۰ ≤ ۰٫۰۵). در مطالعات متعددی برای تعیین مقدارPET 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 مطالعهٔ حاضر مقدار PET متغیر مستقل و احساس حرارتی افراد متغیر وابسته است. ازآنجاکه 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

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

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

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*.

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.

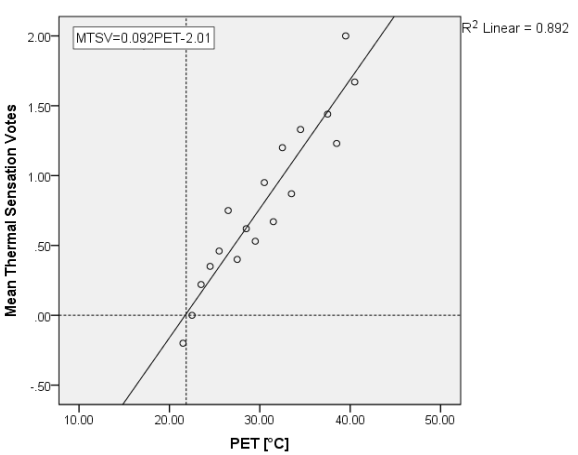
در «ت ۹» امکان تعیین مقدار PET خنثی در فصول گرم سال در نظر بوده است. PET خنثی بیانگر شرایط خرداقلیمی است که در آن افراد احساس گرما و یا سرما نمی‌کنند (احساس حرارتی خنثی).[۵۹] با قرار دادن مقدار MTSV= ۰ در «رابطهٔ ۲»، PET خنثی برای این مطالعه ۲۱/°C۹ به‌دست می‌آید.

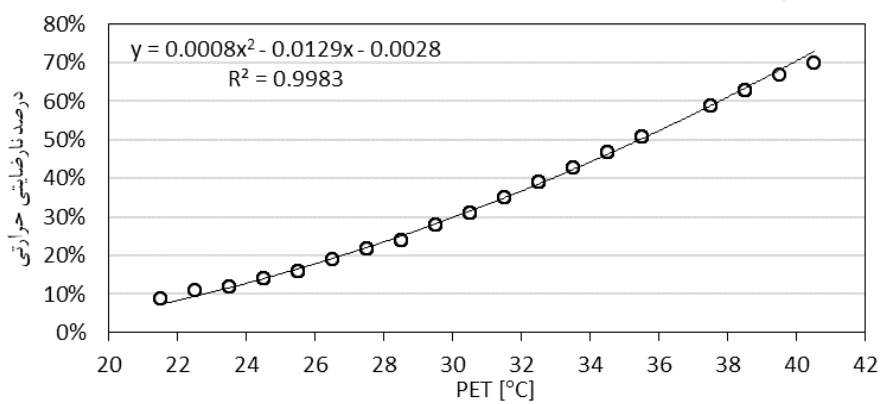
$$MTSV = ۰/۰۹۲PET - ۲/۰۱ \qquad (R^۲)=۰/۸۹۲ \quad (۲)$$

برای به‌دست آوردن محدودهٔ آسایش PET، از ارتباط بین آسایش حرارتی و مقادیر PET استفاده شده است. آزمون کای اسکوئر نشان می‌دهد که ارتباط معناداری بین این دو متغیر وجود دارد (p-value =۰/۰۰۰ ≥ ۰/۰۵). محدودهٔ آسایش حرارتی با رضایت ۸۰٪ افراد، محدوده‌ای از PET را بیان می‌کند که در آن ۸۰٪ افراد احساس آسایش داشته باشند (به بیان دیگر ۲۰٪≥ احساس نارضایتی داشته باشند).[۶۰] برای محاسبهٔ احساس نارضایتی افراد تحت دماهای متفاوت PET، نرخ نارضایتی حرارتی با توجه فواصل ۱ °C برای PET با استفاده از رگرسیون لجستیک تعیین گردیده است. نرخ نارضایتی نسبتی از رأی نارضایتی به کل آراء تعریف می‌شود.[۶۱]

رگرسیون لجستیک بر پایهٔ نسبت احتمالات است و با استفاده از آن می‌توان یک متغیر وابسته را بر اساس تعدادی متغیر مستقل پیش‌بینی کرد. با توجه به اینکه رگرسیون لجستیک با پاسخ‌های باینری[۶۲] (صفر و یک) مرتبط است،[۶۳] آسایش حرارتی افراد به دو گروه (خوشایند ۰ و ناخوشایند ۱) تقسیم‌بندی شده است. در این مطالعه مقادیر PET متغیر مستقل و آسایش حرارتی افراد متغیر وابسته است. در «ت ۱۰» درصد نارضایتی افراد تحت دماهای متفاوت PET نشان داده شده است.

محدودهٔ آسایش حرارتی با رضایت ۸۰٪ افرادْ تقاطع نمودار و خط نارضایتی ۲۰٪ است. ازآنجاکه این مطالعه در فصل گرم سال انجام شده است و خط نارضایتی ۲۰٪ در یک نقطه منحنی را قطع می‌کند، بنابراین مقدار حداقل در محدودهٔ آسایش PET قابل‌محاسبه نیست، اما مقدار حداکثر در محدودهٔ آسایش PET برابر °C۲۶/۹ است. این نشان می‌دهد که حد آسایش حرارتی در این مطالعه بیشتر از حد آسایش حرارتی تعریف‌شده برای اروپای غربی و میانه (°C۲۳) است. در «جدول ۵» محدودهٔ آسایش حرارتی PET محاسبه‌شده در مطالعات مختلف قابل‌مشاهده است.





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: نگارندهٔ اول.
ت ۱۰ (چپ). ارتباط درصد نارضایتی حرارتی و PET. پژوهش و تدوین: نگارندهٔ اول.

با توجه به تعریف مقدار حداکثر PET در محدودهٔ آسایش برای این مطالعه و «ت ۸» می‌توان بیان داشت که در روز ۳۰ اردیبهشت سایهٔ پوشش گیاهی در ساعت ۱۰ و همچنین سایهٔ 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 سایهٔ 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 محدودهٔ آسایش حرارتی قرار دارند. همچنین موقعیت آفتاب تا ساعت ۱۲، سایهٔ ساختمان تا ساعت ۱۳، و سایهٔ 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 سایهٔ 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:

ـ ارتباط معناداری میان موقعیت و آسایش حرارتی وجود دارد. سایهٔ پوشش گیاهی رضایت بیش از ۸۰٪ از کاربران را فراهم می‌کند؛ بنابراین مطابق با استاندارد اشری، محیط حرارتی قابل‌قبولی ایجاد می‌شود. سایهٔ پارکینگ و سایهٔ ساختمان نیز برای اکثر افرادی که در این محیط‌ها حضور داشتند (به‌ترتیب

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

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

۴۸. نک:
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.

۵۵. نک:
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".

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

ـ در روزهای آفتابی از ساعت ۱۲ تا ۱۵، به‌دلیل 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 قابل‌قبول در ساعات قبل از ظهر و همچنین اواخر بعد از ظهر است. تفاوت دمای متوسط تشعشعی در موقعیت آفتاب و موقعیت‌های دارای سایه در روزهای آفتابی به ۱۸°C می‌رسد.

ـ سطح آسایش حرارتی برای مردان و زنان در این مطالعه متفاوت بوده است. در همهٔ موقعیت‌ها مردان شرایط را قابل‌قبول‌تر از زنان می‌دانستند.

ـ تحلیل یافته‌ها نشان می‌دهد که دانشجویان محدودهٔ PET گسترده‌تری را نسبت به طبقه‌بندی ماتزاراکیس و مایر (برای اروپای غربی و میانه) با عنوان محدودهٔ قابل‌قبول 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 محدودهٔ آسایش PET، ۲۶٫۹°C به‌دست آمده است.

با جمع‌بندی مطالب، می‌توان بیان کرد که پوشش گیاهی یا عناصر سایه‌انداز، به‌دلیل جلوگیری از تابش مستقیم خورشید، منجر به کاهش احساس حرارتی، استرس حرارتی افراد، و همچنین دمای معادل فیزیولوژیکی (به‌صورت میانگین ۵°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 محدودهٔ وسیعی در مسیر ورودی دانشکده در معرض تابش خورشید است و قابلیت تبدیل به فضای تعاملی و کاربری‌های موقت ازجمله 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 ایجادشده برای گرد هم آوردن افراد و حضور باکیفیت‌تر و طولانی‌ترشان و درنتیجه پویایی بیشتر فضای دانشکده بهره برد.

منابع و مآخذ

احمدپور کلهرودی، نرگس و محمدرضا پورجعفر و محمدجواد مهدوی‌نژاد و سمیرا یوسفیان. «نقش و تأثیر عناصر طراحی در کیفیت آسایش حرارتی فضاهای باز شهری؛ بررسی موردی: طراحی پیاده‌راه طمقاچی‌ها در کاشان». در *نامهٔ معماری و شهرسازی*، ش۱۸ (بهار و تابستان ۱۳۹۶)، ص۵۹–۷۹.

بقایی، پرهام و مجتبی انصاری و محمدرضا بمانیان و ریما فیاض. «محدودهٔ آسایش حرارتی در فضای باز مسکونی سنتی شهر یزد». در *هویت شهر*، ش۲۳ (پاییز ۱۳۹۴)، ص۵۹–۷۲.

بقایی، پرهام. *برهم‌کنش عوامل منظرپرداز در تحلیل شرایط حرارتی مسکن سنتی ایران؛ نمونهٔ مورد بررسی: خانه‌های سنتی یزد*. رسالهٔ دکتری رشتهٔ معماری. تهران: دانشگاه تربیت مدرس، دانشکده هنر و معماری، ۱۳۹۳.

محمودی، سیدامیرسعید و سیده‌ندا قاضی‌زاده و علیرضا منعام. «تأثیر طراحی در آسایش حرارتی فضای باز مجتمع‌های مسکونی؛ نمونهٔ موردی: فاز سه مجتمع مسکونی اکباتان». در *نشریه هنرهای زیبا*، ش۴۲ (تیر ۱۳۸۹)، ص۵۹–۷۰.

منتظری، مرجان و لعلا جهانشاهلو و حمید ماجدی. «تأثیر مؤلفه‌های فرم کالبدی شهری بر آسایش حرارتی فضاهای باز شهری؛ نمونهٔ موردی: اراضی

۵۶. پرهام بقایی، *برهم‌کنش عوامل منظرپرداز در تحلیل شرایط حرارتی مسکن سنتی ایران؛ نمونهٔ مورد بررسی: خانه‌های سنتی یزد*، ص۱۸۵.

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".

پشت سیلو شهر یزد». در *فصلنامهٔ جغرافیا و مطالعات محیطی*، ش۲۲ (تابستان ۱۳۹۶)، ص۶۳-۸۴.

منشی‌زاده، رحمت‌الله و سیدابراهیم حسینی و عقیل اجاق و سیده‌حمیده شعبانی. « آسایش حرارتی و تأثیر ارتفاع ساختمان‌ها بر خرداقلیم فضاهای شهری؛ نمونهٔ موردی: خیابان شهرداری تهران (حد فاصل میدان تجریش تا میدان قدس)». در *فصلنامهٔ آمایش محیط*، ش۲۰ (بهار۱۳۹۲)، ص۱۰۲-۱۲۶.

AdawiYah Nasir, Rabiatul & 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.

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

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. Haghighaat 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 Reviewon 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 LYlYkangas & 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 PhYsiCal 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

۶۴. نک:
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".

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 & Vítor Ribeiro & Javier Martín-Vide. "A Comprehensive MethodologY for Assessing Outdoor Thermal Comfort in TouristiC CitY of Porto (Portugal)". In *Urban Climate*, No. 45 (2022).

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 MaYer. "Another Kind of Environmental Stress: Thermal Stress". In *WHO Newsletter*, No. 18 (1996), pp. 7-10.

Matzarakis, Andreas & Helmut MaYer & 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.

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 & IaCopo 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.

Spagnolo, Jennifer & RiChard de Dear. "A Eld 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.

Semnan MeteorologY Organization. http://www.semnanweather.ir

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

Taleb Safa, Sh., Taheri Shahraini, 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): 8-9.

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 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

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

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/).

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.

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