بسم الله الرحمن الرحیم

دانشکده مهندسی معماری و شهرسازی

پایان‌نامه کارشناسی ارشد مهندسی معماری

بررسی تأثیر سایه بر آسایش حرارتی فضای باز

نمونه موردی: دانشگاه صنعتی شاهرود

نگارنده: شهرزاد طالب صفا

استاد راهنما

دکتر مسعود طاهری شهرآئینی

اساتید مشاور

دکتر شیائوشان یانگ

دکتر محمدرضا ربیعی

بهمن ۱۳۹۸

تقدیم به

پدر و مادر عزیزم

و

خواهر نازنینم

به پاس مهر و یاری بی‌پایانشان

تشکر و قدردانی

سپاس و شکر شایان نثار ایزد منان که توفیق اتمام پایان نامه را به من عطا فرمود.

با تشکر بی پایان از زحمات و راهنمایی های ارزشمند استاد گرانقدر جناب آقای دکتر مسعود طاهری شهرآئینی که در نهایت لطف و بزرگواری مرا در پیشبرد این پایان نامه یاری نمودند. همچنین سپاس فراوان از اساتید ارجمند جناب آقای دکتر شیائوشان یانگ و جناب آقای دکتر محمدرضا ربیعی که از راهنمایی هایشان بهره بسیار برده ام.

تعهدنامه

اینجانب **شهرزاد طالب‌صفا** دانشجوی دوره کارشناسی ارشد رشته **مهندسی معماری** دانشکده **مهندسی معماری و شهرسازی** دانشگاه صنعتی شاهرود نویسنده پایان‌نامه **بررسی تأثیر سایه بر آسایش حرارتی فضای باز، نمونه موردی: دانشگاه صنعتی شاهرود** تحت راهنمائی **جناب آقای دکتر مسعود طاهری شهرآئینی** متعهد می‌شوم:

- تحقیقات در این پایان‌نامه توسط اینجانب انجام شده و از صحت و اصالت برخوردار است.
- در استفاده از نتایج پژوهش‌های محققان دیگر به مرجع مورد استفاده استناد شده است.
- مطالب مندرج در پایان‌نامه تاکنون توسط خود یا فرد دیگری برای دریافت هیچ نوع مدرک یا امتیازی در هیچ‌جا ارائه نشده است.
- کلیه حقوق معنوی این اثر متعلق به دانشگاه صنعتی شاهرود می‌باشد و مقالات مستخرج با نام «دانشگاه صنعتی شاهرود» و یا «Shahrood University of Technology» به چاپ خواهد رسید.
- حقوق معنوی تمام افرادی که در به دست آمدن نتایج اصلی پایان‌نامه تأثیرگذار بوده‌اند در مقالات مستخرج از پایان‌نامه رعایت می‌گردد.
- در کلیه مراحل انجام این پایان‌نامه، در مواردی که از موجود زنده (یا بافت‌های آن‌ها) استفاده شده است، ضوابط و اصول اخلاقی رعایت شده است.
- در کلیه مراحل انجام این پایان‌نامه، در مواردی که به حوزه اطلاعات شخصی افراد دسترسی یافته یا استفاده شده‌است اصل رازداری، ضوابط و اصول اخلاق انسانی رعایت شده است.

تاریخ

امضای دانشجو

مالکیت نتایج و حق نشر

کلیه حقوق معنوی این اثر و محصولات آن (مقالات مستخرج، کتاب، برنامه‌های رایانه‌ای ، نرم افزارها و تجهیزات ساخته شده) متعلق به دانشگاه صنعتی شاهرود می‌باشد. این مطلب باید به نحو مقتضی در تولیدات علمی مربوطه ذکر شود.
استفاده از اطلاعات و نتایج موجود در پایان‌نامه بدون ذکر مرجع مجاز نمی‌باشد.

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 به منظور ارتقای کیفیت فضا و جلب بیشتر رضایت کاربران است. عوامل متعددی بر کیفیت آسایش حرارتی فضاهای باز تأثیرگذارند که در این میان، سایه اندازی یکی از مهم‌ترین آن‌ها به شمار می‌آید. این پژوهش به بررسی تأثیر سایه بر آسایش حرارتی دانشجویان دانشگاه صنعتی شاهرود در فصل گرم سال می‌پردازد. بدین منظور مطالعات میدانی شامل اندازه‌گیری پارامترهای اصلی اقلیمی و همچنین ارزیابی احساس حرارتی دانشجویان با استفاده از پرسشنامه‌های آسایش حرارتی به صورت همزمان در چهار نقطه از محیط دانشگاه (سایه پوشش گیاهی، سایه ساختمان، سایه ایجاد شده توسط سایه‌بان افقی(پارکینگ) و آفتاب) صورت گرفته است. در این پژوهش از دمای معادل فیزیولوژیکی (PET) به عنوان شاخص آسایش حرارتی استفاده شده است. مقدار PET خنثی ۲۱/۹°C و بیشترین مقدار در محدوده آسایش PET، ۲۶/۹°C برای این مطالعه به دست 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 قابل قبولی را ایجاد و پس از آن، سایه پارکینگ و سایه ساختمان نیز برای اکثر افرادی که در این محیط‌ها حضور داشتند، رضایت از محیط را فراهم کرده است؛ در حالیکه نامطلوب‌ترین شرایط حرارتی در موقعیت آفتاب رخ می‌دهد. موقعیت‌های دارای سایه مقدار PET و همچنین تنش‌های حرارتی را در فصل گرم و روزهای آفتابی کاهش می‌دهند و موجب افزایش سطح و ساعات آسایش در طی روز می‌شوند. بنابراین می‌توان نتیجه گرفت ایجاد سایه و مسدود کردن تابش مستقیم خورشید با استفاده از پوشش گیاهی یا عناصر مصنوع تا حد زیادی می‌تواند شرایط آسایش را در فضای باز و فصل گرم بهبود ببخشد.

کلمات کلیدی: آسایش حرارتی، فضای باز، خرد اقلیم، سایه، دمای معادل فیزیولوژیکی

لیست مقالات مستخرج از پایان نامه

۱- بررسی عوامل تأثیرگذار بر آسایش حرارتی فضای باز

ششمین کنفرانس ملی پژوهش‌های کاربردی در مهندسی عمران، معماری و مدیریت شهری، خرداد ۱۳۹۸، دانشگاه خواجه نصیرالدین طوسی، تهران

فهرست مطالب

فهرست جداول ه

فهرست اشکال و

فصل ۱: کلیات تحقیق ۱

۱-۱- مقدمه ۲

۱-۲- بیان مسئله ۳

۱-۳- ضرورت انجام تحقیق ۵

۱-۴- اهداف تحقیق ۶

فصل ۲: ادبیات و پیشینه تحقیق ۹

۲-۱- مقدمه ۱۰

۲-۲- اقلیم ۱۰

۲-۲-۱- عوامل اقلیمی ۱۱

۲-۲-۲- طبقه بندی اقلیمی ۱۲

۲-۲-۳- مقیاس‌های اقلیمی ۱۳

۲-۲-۳-۱- اقلیم کلان و میانه ۱۳

۲-۲-۳-۲- خرد اقلیم ۱۴

۲-۳- آسایش حرارتی ۱۶

۲-۳-۱- استرس حرارتی ۱۸

۲-۳-۲- آسایش حرارتی فضای باز ۱۹

۲-۳-۳- عوامل اقلیمی مؤثر بر آسایش حرارتی ۲۱

۲-۳-۳-۱- تابش خورشید ۲۱

۲-۳-۳-۲- دمای هوا ۲۲
۲-۳-۳-۳- دمای متوسط تشعشعی ۲۳
۲-۳-۳-۴- رطوبت هوا ۲۵
۲-۳-۳-۵- جریان هوا ۲۶
۲-۳-۴- عوامل فردی مؤثر بر آسایش حرارتی ۲۸
۲-۳-۴-۱- میزان فعالیت ۲۸
۲-۳-۴-۲- نوع پوشش ۲۹
۲-۳-۴-۳- سازگاری فردی ۳۰
۲-۳-۵- عوامل طراحی مؤثر بر آسایش حرارتی فضای باز ۳۰
۲-۳-۵-۱- پوشش گیاهی ۳۰
۲-۳-۵-۲- هندسه کالبدی ۳۱
۲-۳-۵-۳- مصالح سطوح ۳۲
۲-۳-۵-۴- سایه اندازی ۳۳
۲-۳-۶- شاخص‌های آسایش حرارتی ۳۴
۲-۳-۶-۱- پیش بینی متوسط نظر ۳۶
۲-۳-۶-۲- دمای مؤثر استاندارد ۳۸
۲-۳-۶-۳- دمای معادل فیزیولوژیکی ۴۰
۲-۴- پیشینه تحقیق ۴۲
۲-۴-۱- مطالعات آسایش حرارتی فضای باز ۴۲
۲-۴-۲- مطالعات سایه و آسایش حرارتی ۴۵

فصل ۳: روش تحقیق **۵۱**

۳-۱- مقدمه ۵۲

۳-۲- فرآیند پژوهش ۵۲
۳-۳- موقعیت جغرافیایی و اقلیم شاهرود ۵۳
۳-۴- محدوده مورد مطالعه ۵۵
۳-۵- شیوه و ابزار گردآوری اطلاعات ۵۹
۳-۵-۱- اندازه‌گیری متغیرهای اقلیمی ۶۰
۳-۵-۲- پرسشنامه آسایش حرارتی ۶۱
۳-۶- پردازش داده‌ها و تحلیل اطلاعات ۶۱
فصل ۴: تجزیه و تحلیل یافته‌های تحقیق **۶۳**
۴-۱- مقدمه ۶۴
۴-۲- اندازه‌گیری‌های اقلیمی ۶۴
۴-۳- بررسی یافته‌های حاصل از پرسشنامه ۶۸
۴-۳-۱- جامعه آماری ۶۸
۴-۳-۲- ارزیابی موقعیت‌های مورد مطالعه ۶۹
۴-۳-۲-۱- آسایش حرارتی در موقعیت‌های مورد مطالعه ۶۹
۴-۳-۲-۲- احساس حرارتی در موقعیت‌های مورد مطالعه ۷۱
۴-۳-۲-۳- ترجیح حرارتی در موقعیت‌های مورد مطالعه ۷۳
۴-۳-۳- ارتباط آسایش حرارتی و جنسیت ۷۷
۴-۳-۴- ارتباط آسایش حرارتی و زمان ۷۹
۴-۳-۵- ارتباط آسایش حرارتی و احساس حرارتی ۸۱
۴-۴- شاخص آسایش حرارتی PET ۸۱
۴-۵- دمای معادل فیزیولوژیکی خنثی و محدوده آسایش PET ۸۶

فصل ۵: نتیجه گیری **۹۱**

۵-۱- مقدمه ۹۲

۵-۲- نتایج تحقیق ۹۲

۵-۳- پیشنهادات و راهکارها ۹۴

۵-۴- پیشنهادات جهت پژوهش‌های آتی ۹۵

پیوست **۹۷**

مراجع **۱۰۱**

فهرست جداول

جدول۲-۱. مقیاس اقلیمی پیشنهاد گایگر ۱۳

جدول۲-۲. نوع و میزان تبادل حرارتی بدن و محیط اطراف ۲۳

جدول۲-۳. واکنش انسان در برابر سرعت جریان هوا ۲۷

جدول۲-۴. میزان متابولیسم بدن در فعالیت‌های مختلف ۲۸

جدول۲-۵. مقادیر ضریب نارسانایی لباس ۲۹

جدول۲-۶. مقادیر PMV متناظر با احساس حرارتی ۳۷

جدول۲-۷. مقادیر SET در درجات مختلف احساس حرارتی انسان ۳۹

جدول۲-۸. احساس حرارتی متناظر با مقادیر مختلف PET ۴۱

جدول۳-۱. مشخصات دستگاه ایستگاه هواشناسی ۵۹

جدول۳-۲. مشخصات دستگاه‌های داده برداری ۶۰

جدول۴-۱. فراوانی پرسشنامه در موقعیت‌ها و روزهای مورد مطالعه ۶۸

جدول۴-۲. ارتباط موقعیت و آسایش حرارتی ۷۰

جدول۴-۳. احساس حرارتی دانشجویان در موقعیت‌های مورد مطالعه ۷۲

جدول۴-۴. ارتباط آسایش حرارتی و جنسیت ۷۸

جدول۴-۵. ارتباط آسایش حرارتی و زمان تکمیل پرسشنامه ۸۰

جدول۴-۶. ارتباط سطوح آسایش و احساس حرارتی ۸۱

جدول۴-۷. میانگین مقادیر PET و دمای هوا در روزهای داده برداری ۸۴

جدول۴-۸. طبقه بندی PET ارائه شده برای اروپای غربی و میانه ۸۵

جدول۴-۹. محدوده آسایش حرارتی PET در مطالعات مختلف ۸۹

فهرست اشکال

شکل۲-۱. مقیاس‌های اقلیم شهری ۱۴

شکل۲-۲. لایه‌ی مرزی شهری و لایه‌ی چتر شهری ۱۵

شکل۲-۳. دمای متوسط تشعشعی ۲۴

شکل۲-۴. ارتباط میان PMV و PPD ۳۸

شکل۳-۱. موقعیت جغرافیایی شاهرود ۵۳

شکل۳-۲. نمودارهای ماهانه پارامترهای اقلیمی شاهرود ۵۴

شکل۳-۳. موقعیت محدوده مورد مطالعه ۵۵

شکل۳-۴. موقعیت دستگاه‌های داده‌برداری ۵۶

شکل۳-۵. موقعیت پوشش گیاهی ۵۷

شکل۳-۶. ساختمان دانشکده مدیریت ۵۷

شکل۳-۷. موقعیت پارکینگ ۵۸

شکل۳-۸. موقعیت آفتاب ۵۸

شکل۴-۱. داده‌های اقلیمی شاهرود در زمان داده‌برداری ۶۵

شکل۴-۲. نمودارهای اقلیمی ۲۷ خرداد ۱۳۹۸ در موقعیت‌های مورد مطالعه ۶۷

شکل۴-۳. نمودار فراوانی آسایش حرارتی در موقعیت‌های مورد مطالعه ۷۱

شکل۴-۴. نمودار فراوانی احساس حرارتی در موقعیت‌های مورد مطالعه ۷۳

شکل۴-۵. نمودار ترجیح دمای هوا در موقعیت‌های مورد مطالعه ۷۴

شکل۴-۶. نمودار ترجیح رطوبت نسبی در موقعیت‌های مورد مطالعه ۷۵

شکل۴-۷. نمودار ترجیح سرعت باد در موقعیت‌های مورد مطالعه ۷۶

شکل۴-۸. نمودار ترجیح تابش خورشید در موقعیت‌های مورد مطالعه ۷۷

شکل۴-۹. نمودار فراوانی آسایش حرارتی برای خانم‌ها و آقایان ۷۸
شکل۴-۱۰. نمودار فراوانی آسایش حرارتی در ساعات داده برداری ۷۹
شکل۴-۱۱. شاخص PET محاسبه شده برای روزها و موقعیت‌های مورد مطالعه ۸۳
شکل۴-۱۲. ارتباط MTSV و PET در فصل گرم ۸۶
شکل۴-۱۳. ارتباط درصد نارضایتی حرارتی و PET ۸۸

فصل ۱: کلیات تحقیق

۱-۱- مقدمه

فضاهای شهری بخشی از فضاهای باز و عمومی شهرها هستند که به نوعی تبلور ماهیت زندگی جمعی می‌باشند. یعنی جایی که شهروندان در آن حضور دارند[۱]. در دوران معاصر اهمیت حضور انسان در فضاهای شهری تا حدی است که بسیاری از صاحب‌نظران، عصر حاضر را "نوبت پرداختن به فضاهای شهری و آنچه در آن می‌گذرد" می‌دانند[۲].

انسان قرن بیستم به دلیل غلبه تفکر تجدد طلبی، شتاب‌زدگی و سطحی نگری در ارتباط و برخورد با مسائل و دستاوردهای مدرنیته از فهم معانی مدرنیته که همان فهم محیط و به تبع آن فهم خویش انسانی بود، غافل ماند و تلاشش برای ارتباط با محیط منجر به تجسد کالبدی شده که امروز حرکت وسایل نقلیه را به نظاره نشسته است و برای گریز از این هیاهوی فضا، معابر را بدون حضور طی می‌کند تا در انزوای خود پناه بگیرد[۱]. به عقیده لینچ[1]شهر تنها در قالب کالبدی و نقشه شهری معنا نمی‌یابد، بلکه شهر به همراه زندگی ساکنان آن، دیدگاه آنان نسبت به شهرشان و تحرک و زندگی شهری معنا می‌شود[۳]. از یک سو سرسپردگی بیش از حد شهرهای معاصر به نیازهای حرکت سواره و غفلت از ساماندهی فضاهای پیاده، منجر به افول کیفیت محیط شهری و ارزش‌های فرهنگی و بصری در فضاهای شهری گردیده و از سوی دیگر عدم وجود فضایی برای مناسبات اجتماعی، سبب تشویق نوعی فردگرایی شده است که تشدید انزوا، از خود بیگانگی و جدایی گزینی و در نهایت، بی‌اعتمادی را در بر خواهد داشت[۴].

فضاهای باز شهری با توجه به در برگرفتن رفت و آمد روزانه عابران پیاده و فعالیت‌های مختلف، برای شهرهای پایدار اهمیت بسیاری دارند و به میزان قابل توجهی به قابلیت زندگی و حیات شهری کمک می‌کنند. ترغیب بیشتر مردم به حضور در خیابان‌ها و فضاهای خارجی از دیدگاه‌های مختلف از جمله جنبه‌های جسمی، محیطی، اقتصادی و اجتماعی برای شهرها دارای مزیت خواهد بود[۵] و علاوه بر

---

[1] Lynch

مزایای شخصی و زندگی سالم، باعث گردهم آوردن افراد جامعه نیز می‌شود[۶]. ساکنان شهرها مایل به داشتن فضاهای باز برای لذت بردن از پیاده‌روی، دوچرخه‌سواری و دیگر فعالیت‌های تفریحی هستند که اغلب به دلیل شرایط حرارتی نامطلوب به ویژه در تابستان متوقف می‌شوند[۷]. کیفیت زندگی میلیون‌ها نفر که در شهرها زندگی می‌کنند می‌تواند از طریق توجه به فاکتورهای مؤثر در خرد اقلیم شهری و پاسخگویی شکل محیط ساخته شده به این فاکتورها به روش مناسبی بهبود یابد[۸].

برگشت انسان به طبیعت و همسازی با اقلیم و محیط یکی از موضوع‌های مهمی است که امروزه در طراحی محیط‌های انسانی مطرح است. شناخت و استفاده از توان‌های نهفته در اقلیم برای فراهم‌کردن آسایش محیطی در فضاهای داخلی و فضاهای باز، مورد توجه بسیاری از معماران و طراحان شهری قرار گرفته است[۹].

۱-۲- بیان مسئله

رشد سریع شهرنشینی در دوران معاصر، ضرورت و نیاز روانی انسان را به حضور در فضاهای باز افزایش داده است. فضاهای باز با ارتباط بین فعالیت‌های مختلف، شالوده و ساختار فضا را می‌سازند و استخوان‌بندی آن را شکل می‌دهند[۱۰] همچنین عرصه‌هایی هستند که زندگی جمعی در آن‌ها جریان دارد[۱۱]. در طی چند دهه گذشته هدف از برنامه ریزی و طراحی شهری ایجاد فضاهای باز قابل استفاده و جذاب برای مردم بوده است[۱۲]. این فضاها در مناطق شهری با توجه به موقعیت، ویژگی‌های طراحی، تجهیزات و روش‌هایی که مورد استفاده قرار می‌گیرند، متفاوت هستند. در بین همه این ویژگی‌ها (زیبایی شناسانه و کاربردی) که ممکن است بر ترجیح و تعداد استفاده کنندگان از این فضاها تأثیر بگذارد، آسایش حرارتی فضای باز نقش کلیدی را ایفا می‌کند[۱۳]. افراد در فضاهای خارجی به طور مستقیم در معرض تغییرات آنی محیط همچون تغییرات آفتاب و سایه، سرعت باد و... می‌باشند و آسایش حرارتی آن‌ها عمدتاً تحت تأثیر خرد اقلیم محلی قرار می‌گیرد[۱۲]. بنابراین یکی از مهمترین اصول طراحی

فضاهای باز، توجه به آسایش حرارتی به منظور ارتقای کیفیت فضا و جلب بیشتر رضایت کاربران است[۱۴].

فضاهای باز شهری می‌توانند تأثیر سودمندی بر جنبه‌های رفتار اجتماعی و اقتصادی مردم داشته باشند. برنامه‌ریزی شهری امروزه منجر به شهرنشینی متراکم و ساخت و ساز ساختمان‌های بلند و صنعتی شده است. این مسئله همچنین باعث ایجاد تغییرات در ویژگی‌های خرد اقلیم شهری در بسیاری از فضاهای بیرونی به دلیل کاهش پوشش گیاهی و گرمای تولید شده است که نتیجه همه آن‌ها، عدم آسایش حرارتی شهروندان در فضاهای شهری و همچنین عدم وجود فضاهای باز مناسب در محلات مسکونی جهت مراوده بین افراد، تفریح، پیاده‌روی، تماشا، گذران اوقات فراغت، بازی، تجمع، دیدار و گفتگو را به دنبال دارد. این در حالی است که فضاهای باز محله‌ای دارای آسایش، می‌توانند فرصت‌های لازم را جهت افزایش حضور و مشارکت اجتماعی، برقراری ارتباط و افزایش تعاملات ایجاد کنند[۱۵].

آسایش حرارتی شرایطی از ادراک است که در آن، محیط پیرامون از لحاظ حرارتی رضایت بخش باشد[۱۶]. کیفیت آسایش حرارتی به عوامل اقلیمی و فردی وابسته است. عوامل اقلیمی شامل: دمای هوا، رطوبت نسبی، سرعت جریان هوا، دمای متوسط تشعشعی (مجموع تابش‌های جذب شده توسط بدن انسان از سطوح تابشی مختلف) و عوامل فردی شامل: نرخ فعالیت، نرخ لباس[۱۰] و فاکتورهای روانشناختی و رفتاری[۱۷] می‌باشند. در این میان، عوامل فردی توسط طراحان محیط قابل کنترل نیستند و از میان عوامل اقلیمی، دمای متوسط تشعشعی بیشترین تأثیر را در کیفیت آسایش حرارتی داراست[۱۸]. یکی از مؤثرترین راهکارها در کنترل دمای متوسط تشعشعی، کنترل سایه می‌باشد. به گونه‌ای که تأثیر اصلی سایه‌اندازی در کاهش دمای متوسط تشعشعی طی روز از طریق مسدود کردن تابش مستقیم خورشید می‌باشد. مطالعات متعددی نشان می‌دهد که سایه اندازی توسط ساختمان‌ها یا درختان، جهت تأمین آسایش حرارتی فضای باز در طی روز اهمیت بسیاری دارد[۱۹]. سایه بر محیط حرارتی فضای باز و در نتیجه بر احساس حرارتی افراد در فضای خارجی تأثیر می‌گذارد[۲۰]. بنابراین

با شناخت عوامل ایجاد سایه و ویژگی‌های آن‌ها می‌توان فضایی مطلوب جهت بهره‌مندی از قابلیت‌های فضای باز ایجاد کرد.

۱-۳- ضرورت انجام تحقیق

لزوم تنظیم شرایط آسایش حرارتی در محیط زندگی بر هیچ کس پوشیده نیست و توجه به آن و به‌کارگیری راهکارهایی به منظور افزایش کیفی شاخص‌های آسایشی می‌تواند محیط زندگی افراد را مطلوب‌تر کند. با توجه به اینکه زندگی انسان عمدتاً در دو نوع محیط، یعنی محیط باز خارج ساختمان و محیط بسته داخل ساختمان سپری می‌شود و این دو محیط از نظر نوع و فعالیتی که در آن‌ها صورت می‌گیرد و شرایط حرارتی مورد نیازشان، با یکدیگر تفاوت دارند، نحوه تنظیم شرایط گرمایی این دو محیط نیز متفاوت بوده و مؤکول به راه حل‌های خاص خود می‌باشد[۲۱].

با توجه به تمرکز بیش از نیمی از جمعیت جهان در مناطق شهری، در سال‌های اخیر مطالعات اقلیمی در حوزه‌ی معماری و شهرسازی در اولویت قرار گرفته است[۲۲]. با طرح مباحث پایداری در دهه ۶۰ میلادی، بار دیگر به شیوه‌های غیرفعال در طراحی بناها توجه شد و همچنین آسایش حرارتی در مقیاس شهر و در فضاهای باز بیرونی نیز مورد توجه قرارگرفته است[۲۳]. مدیریت و برنامه‌ریزی محیطی در معماری از رهیافت‌های قرن حاضر برای دستیابی به توسعه پایدار است. یکی از رسالت‌های طراحان و معماران، خلق رابطه متناسب بین انسان و کالبد اطراف می‌باشد. برای نیل به این هدف، خالقان فضا باید درک صحیحی از رفتار انسان در محیط‌های متفاوت داشته باشند؛ به نحوی که ارتباط انسان و محیط پیرامون و تأثیر آسایشی و روانی بر انسان نیز به دقت مورد توجه قرار گیرد[۲۴]. با توجه به نقش اساسی اقلیم در تعریف فعالیت‌ها و اختصاص کاربری‌ها در فضای باز[۲۵] و ضرورت و نیاز روانی انسان به حضور در فضاهای باز و همچنین اهمیت برقراری آسایش برای حضور طولانی‌تر و با کیفیت‌تر افراد در این فضاها[۲۶]، شناخت عوامل تأثیرگذار بر آسایش حرارتی و ایجاد خرد اقلیم مطلوب

اهمیت ویژه‌ای دارد. از سوی دیگر دستیابی به شرایط آسایش در فضاهای باز زمینه‌ساز دستیابی به آسایش در فضاهای داخلی ساختمان‌هاست. زیرا فضاهای باز بستر دربرگیرنده و سازنده خرد اقلیم محیط پیرامون ساختمان‌ها می‌باشند. لذا در صورت رعایت اصول معماری همساز با اقلیم در فضاهای باز، تأمین شرایط آسایش در فضاهای داخلی تسهیل شده و صرفه‌جویی قابل ملاحظه‌ای در مصرف انرژی به عمل خواهد آمد[۲۷].

نتایج پژوهش‌های آسایش حرارتی فضای باز در اقلیم‌ها و موقعیت‌های مختلف در سراسر جهان نشان می‌دهد، محدوده آسایش حرارتی با توجه به تفاوت‌های جغرافیایی و شخصیتی متفاوت است[۲۰]. بر این اساس، پژوهش مستقل به منظور تعیین محدوده آسایش حرارتی فضای بر اساس شاخصه‌های استاندارد در هر ناحیه‌ی جغرافیایی ضروری است. بخش عمده‌ای از مطالعات موجود در ایران معطوف به آسایش حرارتی در فضای درون ساختمان و به منظور کاهش مصرف انرژی بوده‌است و مطالعات معدودی به آسایش حرارتی در فضای باز پرداخته‌اند[۲۸]. متعاقباً 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[۱۸]. بنابراین ضرورت مطالعه و پژوهش در این حوزه احساس می‌شود.

۱-۴- اهداف تحقیق

دستیابی به معماری پایدار و سازگار با محیط زیست یکی از اصلی‌ترین اهدافی است که انسان برای ایجاد زندگی بهتر به عنوان الگوی نهایی برای کلیه فعالیت‌های حرفه‌ای خود قرار داده است[۲۹]. از مهمترین بخش‌های برنامه ریزی و طراحی فضای باز شهری، توجه به ارتقاء کیفیت محیط و افزایش رضایت کاربران است. شناخت رابطهٔ متغیرهای اقلیمی- محیطی مؤثر بر آسایش حرارتی، امکان ارائه راهکارهای مناسب جهت افزایش کیفیت فضاهای باز را به وجود می آورد[۳۰].

از میان عوامل اقلیمی مؤثر بر کیفیت آسایش حرارتی فضای باز، دمای متوسط تشعشعی تأثیر بسیاری در ارزیابی آسایش حرارتی یک فضا داراست. کنترل سایه یکی از راهکارهای مؤثر در کنترل دمای متوسط تشعشعی[۱۹] و بهبود آسایش حرارتی در فضای باز می‌باشد؛ به گونه‌ای که در سطح شهر، اولین روش تعدیل حرارتی، استفاده از سایه است. اگر سایه‌اندازی مناسب شهری به‌وجود نیاید، افراد در معرض تابش مستقیم آفتاب، بازتابش آسمان و بازتابش کف گرم خیابان‌ها و پیاده‌روها خواهند بود. در نتیجه این موارد، بار گرمایی ناشی از امواج تابشی غیرقابل تحمل بوده و مردم مجبور به ترک فضاهای شهری خواهند شد[۳۱].

به همین دلیل این پژوهش با بررسی و مقایسه شرایط اقلیمی در نقاط دارای سایه (سایه پوشش گیاهی، سایه ساختمان، سایه ایجاد شده توسط سایه‌بان افقی(پارکینگ)) و همچنین آفتاب، تأثیر سایه بر آسایش حرارتی کاربران در فضای باز را مورد ارزیابی قرار می‌دهد و به دنبال ارائه راهکارهایی جهت افزایش آسایش حرارتی و در نتیجه افزایش حضور افراد در فضای باز، ایجاد محیطی پویا و همچنین کمک به آسایش فضای داخل می‌باشد تا بتوان بدین وسیله گامی در راستای پایداری محیطی برداشت.

فصل ۲: ادبیات و پیشینه تحقیق

۲-۱- مقدمه

شهر زنده، شهری است که بهانه‌های بسیار را برای حضور در فضاهای عمومی خود به دست شهروندان می‌دهد[۲۳]. توجه و تأکید بر جنبه‌های شکلی و زیباشناسی در معماری و معماری منظر، به تنهایی نمی‌تواند ضامن حضور مردم در آثار به وجودآمده و به ویژه استفاده از فضاهای باز شهری باشد. همچنین، فضاهای بازی که خرد اقلیم‌های نامناسبی دارند، توانمندی کمی برای تبدیل شدن به یک مکان شهری باکیفیت را خواهند داشت[۳۲]. فضای باز عرصه‌ای برای بسیاری از فعالیت‌های روزمره و بهبود وضع زندگی در محیط‌های باز، یکی از مهمترین مباحث معماران و شهرسازان است[۲۶]. نه تنها در دوره فعلی، بلکه در گذشته نیز آسایش حرارتی یکی از اجبارهای طراحی و برنامه‌ریزی فضای شهری محسوب شده و از شاخص‌های ارزیابی محیط کالبدی و اجتماعی به شمار می‌آید؛ تا آنجا که مهمترین بحث در خلق فضاهای مصنوع، پاسخگویی به عوامل محیطی به منظور کسب آسایش و ایجاد فضایی مطلوب برای شهروندان در کنار سایر عوامل طراحی است[۱۵].

به همین منظور در این فصل ابتدا مروری خواهیم داشت برتعریف اقلیم و تقسیم بندی‌های آن و سپس مفهوم آسایش حرارتی و عوامل مؤثر بر آن معرفی خواهند شد. پس از معرفی شاخص‌های ارزیابی آسایش حرارتی، مطالعات صورت گرفته در این حوزه در اقلیم‌های مختلف مورد بررسی قرار خواهند گرفت.

۲-۲- اقلیم

اقلیم[1]واژه‌ای است عربی که از کلمه یونانی کلیما[2]گرفته شده است و در فارسی به نام کلی آب و هوا به کار می‌رود. اقلیم را می‌توان وضعیت هوا در یک محیط کلان یا خرد دانست[۹]. در فرهنگ عمید

[1] climate
[2] clima

به معنی مملکت، کشور، ناحیه، و قطعه‌ای از عالم است که از لحاظ آب و هوا و سایر اوضاع و احوال طبیعی از مناطق دیگر متمایز باشد[۳۳].

اقلیم، ترکیبی است از عناصر هوا در هر ناحیه معین که معمولاً برای دوره‌ای متشکل از چند دهه اندازه گیری می‌شود. اقلیم تا آنجا که با آسایش انسان ارتباط دارد نتیجه عواملی چون تابش آفتاب، دما، رطوبت هوا، وزش باد و میزان بارندگی است[۳۴]. بر طبق فرهنگ هواشناسی بین المللی هرگاه از اقلیم یک ناحیه سخن گفته شود، منظور مجموعه شرایط جوی در منطقه است که با تغییر و شرایط خاص مربوط به هر ناحیه همراه با تغییرات زمانی، اقلیم آن ناحیه را تشکیل می‌دهد[۳۵].

۲-۲-۱- عوامل اقلیمی

عوامل تعیین کننده اقلیم طبق نظریات جیوونی[1]در سال ۱۹۷۶ و کنیا[2]به دو دسته اصلی و فرعی تقسیم می‌شوند. عوامل اصلی شامل: تابش آفتاب، دمای هوا، رطوبت، نزولات آسمانی، باد و عوامل فرعی شامل: ارتفاع از سطح دریا، فاصله از دریا، عرض جغرافیایی و یا وجود یک عامل خاص می‌باشند[۳۵].

پارامترهای کنترل کننده اقلیم یک منطقه را می‌توان در چهار گروه دسته بندی کرد:

گروه اول: عواملی که در ارتباط با الگوی ثابت نظام زیست کره زمین مانند کمربندهای فشار و باد، حرکت انتقالی زمین، انحنای سطح کره زمین، وضعیت قرارگیری زمین نسبت به خورشید پدید می‌آیند، که اقلیم کلان جهانی را می‌سازند.

گروه دوم: عواملی که در ارتباط با ترکیبات جو، مانند بخار آب، دی اکسید کربن، ازت، و ... قرار می‌گیرند.

گروه سوم: در ارتباط با دریافت تابشی خورشید می‌باشند.

گروه چهارم: به انباشت تابشی خورشید و باز پس‌دادن آن از سطح زمین مربوط می‌شوند. این عوامل به جنس زمین، پستی و بلندی، دوری و نزدیکی به پهنه‌های آبی مربوط می‌گردند[۹].

[1] Givoni
[2] Konya

۲-۲-۲- طبقه‌بندی اقلیمی

همانطور که اشاره گردید، اقلیم ترکیبی از عناصر هوا در هر ناحیه معین می‌باشد که معمولاً برای دوره‌ای متشکل از چند دهه اندازه‌گیری می‌شود، از این رو فقط با استناد به دما، فشار و بادها یا فقط میزان رطوبت و بارندگی نمی‌توان به بررسی و شناخت اقلیم یک ناحیه پرداخت[۳۶].

به طور کلی، یک سیستم طبقه بندی اقلیمی، مجموعه قواعدی است که با به کار گرفتن آن‌ها می‌توان مناطقی را که از نقطه نظرهای معین، ویژگی‌های مشترک را دارا می‌باشند، از یکدیگر مجزا نموده و نواحی با خصوصیات مشترک را در یک طبقه قرار داد. از این رو، دانشمندان این علم سعی کرده‌اند که در ارتباط با پدیده‌های طبیعی، نظیر پراکندگی خاک‌ها، گیاهان و اشکال روی زمین، طرحی از طبقه‌بندی‌های اقلیمی را به وجود آورند[۳۶].

جهت طبقه بندی اقلیمی روش‌های گوناگونی توسط محققین پیشنهاد شده است که هریک بر جنبه‌های خاصی از پارامترهای اقلیمی تأکید دارند. مشهورترین، پرکاربردترین و شاید یکی از قدیمی‌ترین روش‌های طبقه بندی که هنوز تا حدود زیادی اعتبار خود را حفظ کرده و الهام بخش بسیاری از روش‌های دیگر بوده، روش پهنه بندی اقلیمی کوپن[1]است. این روش مبتنی بر پنج گروه اصلی A (استوایی)، B (خشک)، C (معتدل)، D (سرد) و E (قطبی) است. هر یک از این گروه‌ها منطبق بر عرض جغرافیایی و فاصله آن‌ها از خط استوا است. با دخالت دادن بارش و دما، گروه‌های اصلی خود به چندین گروه فرعی تقسیم شده و ۲۸ گروه فرعی یا منشعب را به وجود می‌آورند. حروف دوم و سوم بعد از حروف اصلی E-D-C-B-A به طور معمول نشانگر مقدار بارش و دمایی ویژه در گستره اصلی هستند. در پاره‌ای موارد و برای تدقیق و تشریح موارد خاص از حرف چهارمی نیز ممکن است استفاده شود[۳۷].

[1] Köppen

۲-۲-۳- مقیاس‌های اقلیمی

تعیین مقیاس در اقلیم را می‌توان بر اساس تأثیرات هر مقیاس بر محیط یا تأثیراتی که از محیط می‌گیرند، گروه بندی کرد. طی سالیان گذشته، پژوهشگران تقسیم‌بندی‌های متفاوتی از اقلیم ارائه کردند[۹]. در جدول ۱-۲ مقیاس اقلیمی پیشنهاد گایگر[1] بیان شده است.

جدول۲-۱. مقیاس اقلیمی پیشنهاد گایگر[۹].

مقیاس	محدوده افقی (متر)	محدوده عمودی (متر)	مقیاس زمانی اولیه (ثانیه)
اقلیم خرد	$۱۰^{-۳}$ - $۱۰^{۲}$	< ۱۰	< ۱۰
اقلیم محلی	$۱۰^{۲}$ - $۱۰^{۴}$	$۱۰^{۳}$ - ۵	$۱۰^{۴}$ - ۱۰
اقلیم میانه	$۱۰^{۳}$ - ۲×۱۰^{۵}	$۱۰^{۲}\times۵$ - $۱۰^{۳}\times۴$	$۱۰^{۵}$ - $۱۰^{۴}$
اقلیم کلان	$>۲\times۱۰^{۵}$	$۱۰^{۴}$ - $۱۰^{۳}$	$۱۰^{۶}$ - $۱۰^{۵}$

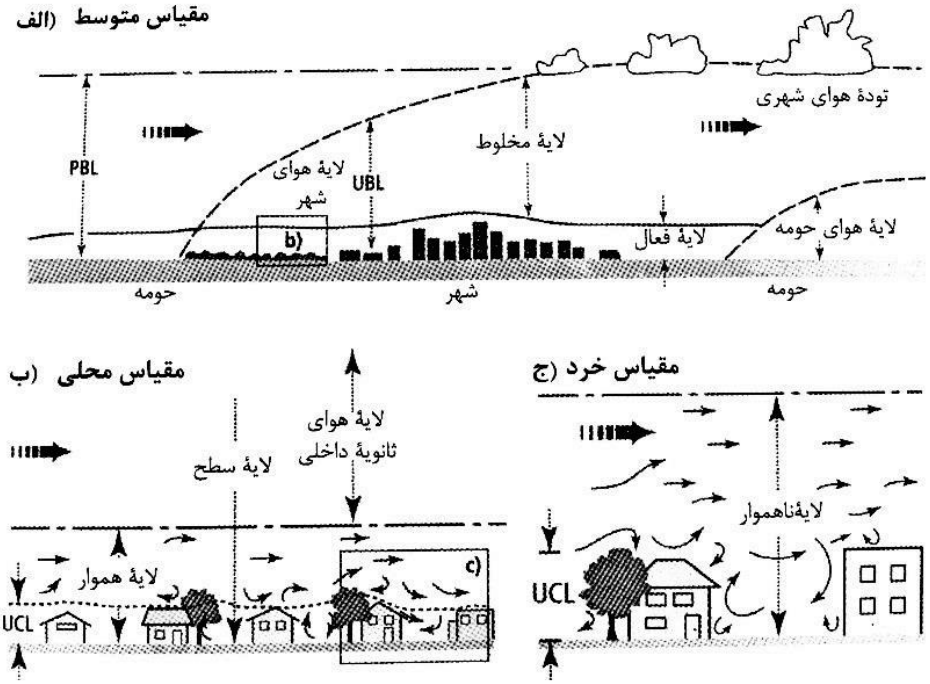
۲-۲-۳-۱- اقلیم کلان و میانه

اقلیم کلان جهانی در ارتباط با الگوی ثابت نظام زیست کره زمین، ترکیبات جو و دریافت تابشی خورشید تعریف می‌شود[۹]. اقلیم در مقیاس کلان جهانی تا هزاران کیلومتر را تحت تأثیر خود قرار می‌دهد و حرکت توده‌های هوای گرم کم فشار و هوای سرد پرفشار را شامل می‌شود. اصطلاح دیگری که برای آن به کار می‌رود اقلیم کلان قاره‌ها[2]ست[۳۸].

اقلیم میانه که در اصل از عوامل جهانی تأثیر می‌پذیرد، به هر محدوده جغرافیایی نسبتاً گسترده‌ای گفته می‌شود که از یک یا چند نظر همگنی و مشابهت داشته باشند. این مفهوم به معنای تشابه عوامل طبیعی و یا انسانی در طبیعت و حیات آن نهفته است و حاصل هماهنگی عملکردها و تأثیرات اقلیم،

[1] Geiger
[2] Microclimate of Continent

خاک و نیروی انسانی و عوامل مانند آن است. اقلیم میانه مربوط به جنس زمین، پستی و بلندی، دوری و نزدیکی به پهنه‌های آبی می‌باشد[۹]. شکل ۲-۱ مقیاس‌های اقلیم شهری را نشان می‌دهد.

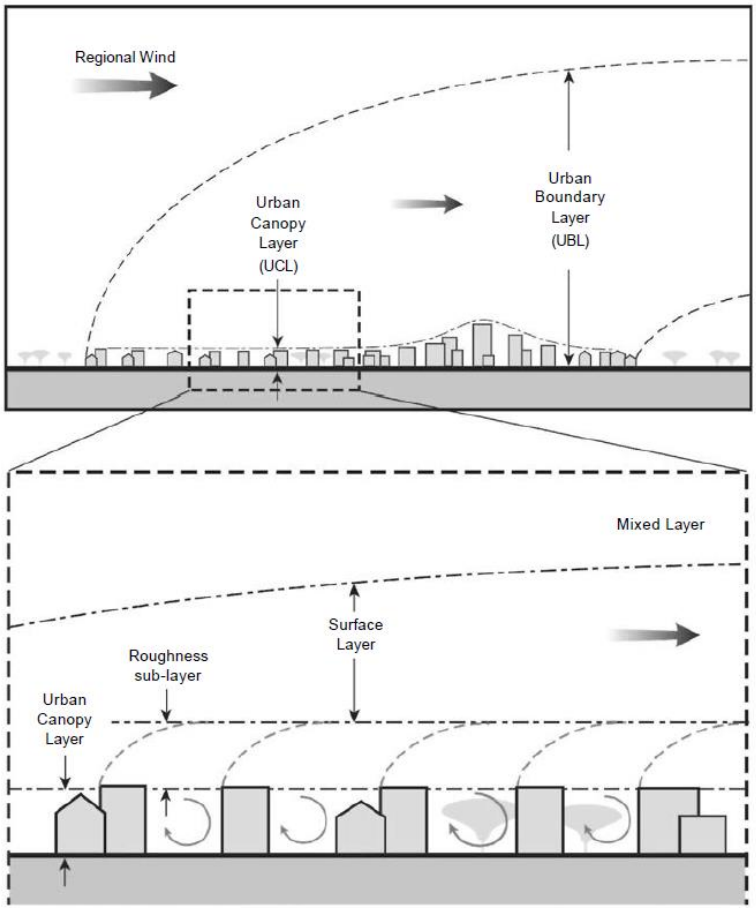


شکل۲-۱. مقیاس‌های اقلیم شهری. الف) مقیاس متوسط، ب) مقیاس محلی، ج) مقیاس خرد[۳۹].

۲-۲-۳-۲- خرد اقلیم

خرد اقلیم کوچکترین مقیاس اقلیمی است که آب و هوای متفاوتی را نسبت به محیط پیرامون خود دارد[۴۰] و قسمتی از یک اقلیم است که دارای شرایط آب و هوایی کاملاً یکسان باشد. هر منطقه اقلیمی می‌تواند شامل یک یا چندین خرد اقلیم باشد که همواره کوچکتر از اقلیم است. در خرد اقلیم به طور کلی عوارض جغرافیایی عمده‌ای وجود ندارد و به همین علت است که آب و هوا و شرایط اقلیمی آن منطقه خارج از تأثیرپذیری این عوامل می‌باشد[۳۵]. خرد اقلیم را می‌توان معادل اقلیم مکانی، اقلیم موضعی و اقلیم جزئی دانست. هر قدر از داخل جو به سطح زمین نزدیک شویم، اقلیم به میزان بیشتری تحت تأثیر سطح زمین قرار می‌گیرد و به دلیل مجاورت با جانداران و گیاهان و تأثیراتی که بر شیوه زندگی آن‌ها دارد، اقلیم خرد نامیده می‌شود. برخی از پژوهشگران اقلیم خرد را بخشی از اقلیم محلی یا اقلیم محلی در مقیاس خرد توصیف کرده‌اند[۴۰].

اقلیم خرد وضعیتی است که در آن تأثیر عوامل اقلیمی به طور مؤثر بر جانوران و گیاهان ظاهر می‌شود و محدوده آسایش انسان را تعیین می‌کند. تأثیرپذیری پدیده‌های مرتبط با حضور فیزیکی انسان از عوامل محیط طبیعی و تعامل محیط طبیعی با این پدیده ها، اهمیت مطالعات جغرافیایی اقلیم را در همه مقیاس‌های زندگی انسان مطرح می‌کند. تأکید بر اقلیم در برنامه‌ریزی‌های طراحی ساختمان و طراحی شهری جهت بهره برداری بهتر از محیط و فراهم کردن آسایش انسان، ضروری به شمار می‌آید[۴۰].



شکل۲-۲. لایه‌ی مرزی شهری و لایه‌ی چتر شهری[۸]

همانطور که در شکل ۲-۲ نشان داده شده است، خرد اقلیم شهری با دو سطح مقیاس تعیین می‌شود: "لایه‌ی مرزی شهری" و "لایه‌ی چتر شهری". اقلیم محلی در لایه‌ی چتر شهری می‌تواند در فاصله

[1] Urban Boundary Layer (UBL)
[2] Urban Canopy Layer (UCL)

چند متری به میزان قابل توجهی تغییر کند. در فاصله نزدیک ساختمان‌ها و عناصری مانند درختان بیشترین تغییر ایجاد می‌شود. لایه‌ی مرزی هوا در بالای ساختمان‌ها یک لایه نسبتاً همگن است که با محیط اطراف شهرها و خصوصیات شهری تعامل دارد. تغییرات لایه‌ی چتر شهری در کل می‌تواند لایه‌ی مرزی را نیز تحت تأثیر قرار دهد[۴۱].

ساختمان‌ها، پوشش گیاهی، توپوگرافی و ... بر روی اقلیم در مقیاس انسان و ساختمان‌ها تأثیر می‌گذارد و فضاهای اقلیمی با مشخصه خرد اقلیم شهری را به وجود می‌آورند. ویژگی خرد اقلیم یکی از خصوصیات فضای شهری است که تأثیر عمده‌ای بر کارکردها و محدوده فعالیت‌های قابل وقوع دارد و در نتیجه بر معنا و هویت فضا تأثیر می‌گذارد[۴۲]. توجه به آسایش حرارتی در خرد اقلیم‌های شهری، کارآیی و کیفیت استفاده از فضا را افزایش می‌دهد.

۲-۳- آسایش حرارتی

امروزه آسایش حرارتی از سوی پژوهشگران، به عنوان یکی از عمده‌ترین عوامل محیطی اثرگذار بر فعالیت افراد در فضاهای بیرونی پذیرفته شده است[۲۳]. آسایش حرارتی می‌تواند تعاریف متعددی داشته باشد. در اشری[۱۶] آسایش حرارتی" شرایط ذهنی است که رضایت از محیط را از لحاظ حرارتی بیان می‌کند". هیجز معتقد است این تعریف کامل نیست و چگونگی ارتباط شرایط ذهنی را با پارامترهای قابل اندازه گیری بیان نمی‌کند[۴۳].

نیلسن[۲] آسایش حرارتی را احساس رضایت فرد از محیطی مشخص بیان می‌کند. آسایش گرمایی از فردی به فرد دیگر متفاوت بوده و غیر از وجوه فیزیولوژیکی، جنبه‌های روانشناختی را نیز در بر می‌گیرد[۴۴]. بنزینگر[۳] تعریف ملموس‌تری از آسایش حرارتی را بیان می‌کند. او آسایش حرارتی را

[1] ASHRAE
[2] Nielsen
[3] Benzinger

حالتی می‌داند که فرد برای تغییر شرایط محیطی هیچ اقدام رفتاری را انجام ندهد. گیونی[1] نبودن ناراحتی نسبت به گرما و یا سرما را معیار آسایش حرارتی ذکر می‌کند[۴۵]. لیمب[2] آسایش حرارتی را شرایط ویژه‌ای در یک فضا می‌داند که ناشی از آن شرایط ویژه، برای ساکنان، صفای حرارتی ایجاد شود. تعریف لیمب نشان می‌دهد که آسایش حرارتی مقوله‌ای کاملاً احساسی است. اما چه معیاری برای باصفا بودن محیط می‌توان ذکر کرد؟ مکین تایر[3] معتقد است که هیچ معیاری نمی‌توان ارائه داد و این شاخصه از فردی به فرد دیگر با توجه به تفاوت عوامل روحی و روانی متفاوت است[۱۰]. طبق تعریف وات[4] وقتی اغلب مردم احساس آسایش حرارتی می‌کنند که بدن آن‌ها در شرایطی باشد که نه نیاز به دفع حرارت و نه نیاز به جذب آن داشته باشد[۴۶]. به طور کلی بدن انسان از سه طریق: همرفت(۳۰ درصد)، تشعشع(۴۵ درصد) و تبخیر(۲۵ درصد) حرارت را جذب و یا دفع می‌نماید[۴۷]. اولگی[5] محدوده‌ای برای راحتی عنوان و بر اساس آن محدوده آسایش حرارتی را تعریف کرده است. از نظر او آسایش حرارتی شرایطی است که کمترین میزان مصرف انرژی برای به وجود آوردن یک محیط مطلوب صرف شود[۱۰].

عقیده بسیاری از محققان فن بر این است که انسان زمانی در حالت آسایش حرارتی قرار دارد که در حالت خنثی باشد؛ یعنی احساس سرما یا گرما، احساس ناراحتی موضعی ناشی از تابش نامتقارن، کوران هوا، کف سرد، لباس ناهمگون و ... نداشته باشد[۴۸]. تعاریف دقیق‌تر این عبارت را می‌توان در سه دسته بیان کرد. تعریف روانشناختی: به رضایت مغز نسبت به دمای محیط باز می‌گردد. تعریف حرارتی-فیزیولوژیکی: به عکس العمل بیولوژیکی بدن و سیستم عصبی به تأثیرات خارجی بر گیرنده‌های حرارتی پوست مرتبط است. تعریف سوم مربوط به تعادل جریان حرارت به داخل و خارج از بدن انسان می‌شود[۴۹].

[1] Givoni
[2] Limb
[3] McIntyre
[4] Watt
[5] Olgyay

۲-۳-۱- استرس حرارتی

وقتی موجودات خونگرم در معرض گرما یا سرما قرار می‌گیرند، به طور طبیعی دستگاه تنظیم خودکار بدن به کار می‌افتد و با صرف بودجه حرارتی خود، سعی در به تعادل رساندن (ثابت نگه داشتن) دمای بدن دارد. عرق کردن و لرزیدن، دو واکنش کمکی دیگر در جبران گرما یا سرمای مازاد است. چنانچه بدن نتواند با واکنش‌های طبیعی، گرما یا سرمای اضافی را جبران کند، دچار استرس می‌شود[۵۰].

استرس گرمایی، تأثیر گرمای بیش از حد بر بدن انسان و عدم توانایی بدن برای حفظ تعادل دمای درونی است[۵۱]. با افزایش گرما، میزان استرس نیز افزایش خواهد یافت. شرایط بدون استرس گرمایی اثر فیزیکی قابل ملاحظه‌ای روی فرد ندارد. استرس گرمای متوسط در صورت ادامه ممکن است منجر به بروز حالتی شود که در نتیجه آن، شخص احساس فشار و خستگی فیزیکی می‌کند و دچار سستی و لختی می‌شود. کوتاه کردن مدت حضور و نوشیدن نوشیدنی‌های خنک به برطرف کردن این حالت کمک می‌کند[۵۰]. استرس گرمایی شدید و بسیار شدید، سبب شوک گرمایی (بالار فتن دمای بدن به بیش از ۴۰/۶ °C) می‌شوند[۵۲] و نیازمند کمک‌های سریع پزشکی هستند، در غیر این صورت منجر به مرگ خواهند شد[۵۱].

استرس سرمایی با کاهش دمای داخلی بدن و از دست دادن حرارت در ارتباط است[۵۱]. هرچه به شدت سرما اضافه شود، میزان استرس نیز افزایش می‌یابد. استرس سرمایی خفیف اثر فیزیکی قابل ملاحظه‌ای روی فرد ندارد. استرس سرمایی متوسط در صورتی که ادامه یابد، با کاهش دمای سطح پوست ممکن است در برخی اندام‌ها مثل انگشتان، ایجاد یخ زدگی کند و در نهایت موجب مرگ آن اندام شود. استفاده از لباس مناسب و پوشاندن اندام‌های ضعیف، نوشیدن نوشیدنی‌های گرم و کوتاه کردن مدت حضور از جمله راهکارهای برطرف کردن این حالت است[۵۰]. استرس سرمایی شدید

و بسیار شدید، سبب یخ زدگی و هیپوترمیا[1](کاهش دمای داخلی بدن به کمتر از ۳۵ °C) می‌شوند[۵۲] که در صورت ادامه منجر به مرگ خواهند شد[۵۱].

۲-۳-۲- آسایش حرارتی فضای باز

یکی از زیر مجموعه‌های آسایش محیطی، آسایش حرارتی بر پایه شرایط اقلیمی است که بحثی پایه‌ای و پیچیده قلمداد می‌گردد[۵۳]. آسایش حرارتی با توجه به نوع محیط به سه دسته تقسیم می‌شود: آسایش حرارتی در فضای باز (بیرونی)، آسایش حرارتی در فضای نیمه باز، آسایش حرارتی در فضای سرپوشیده (داخلی)[۵۴].

طی چندین دهه‌ی اخیر، ایجاد جذابیت در فضاهای باز شهری برای مردم، و نهایتاً استفاده مردم از این فضاها به طور فزاینده‌ای به عنوان یک هدف در برنامه ریزی شهری شناخته شده است[۵۵]. باتوجه به رشد شهرنشینی در نیم قرن گذشته، امروزه بیش از نیمی از جمعیت جهان در شهرها زندگی می‌کنند[۵۶]. مناطق شهری با جمعیت زیاد و ساختمان‌های متراکم در برابر گرمای تابستان آسیب پذیر هستند که این امر می‌تواند عواقب جدی برای سلامتی و رفاه انسان‌ها را در پی داشته باشد[۵۷]. تحت این شرایط، اطمینان حاصل نمودن از این مهم که شهروندان و افراد پیاده به خوبی از خدمات فضاهای باز شهری بهره‌مند شده و از آسایش حرارتی مطلوبی در فضا برخوردار شوند، جهت تحقق یک زندگی شهری با کیفیت بسیار حائز اهمیت می‌باشد[۵۵].

با توجه به گسترش فعالیت در فضاهای باز جهت تفریح و فعالیت‌های جمعی، آسایش حرارتی بیرونی بیش از پیش مورد اهمیت قرار گرفته است[۲۲]. در میان عوامل بسیاری که بر کیفیت فضاهای باز شهری و بهبود استفاده از آن تأثیر گذارند، خرد اقلیم فضای باز و به دنبال آن آسایش حرارتی، اهمیت بسزایی دارد.

[1] Hypothermia

افراد در فضاهای خارجی به طور مستقیم در معرض تغییرات آنی محیط از جمله تغییرات آفتاب و سایه، تغییر در سرعت باد و سایر متغیرها قرار می‌گیرند. بنابراین، ادراک مردم از آسایش حرارتی به شدت تحت تأثیر خرد اقلیم‌های محلی است[۱۲]؛ البته ویژگی‌های فردی و اجتماعی نیز در تحقق آسایش حرارتی برای شهروندان از اهمیت ویژه برخوردار می‌باشند. از این رو تحلیل و بررسی آسایش حرارتی شهروندان در فضاهای شهری و تأثیرات آن‌ها می‌تواند کمک شایانی به ارائه راهکارهایی دقیق‌تر در جهت افزایش کیفیت فضاهای شهری نماید[۵۵]. این واقعیت که به طور کلی تصور می‌شود خرد اقلیم خارجی فراتر از کنترل معماری و مکانیکی است، باعث می‌شود مردم انتظار داشته باشند که شرایط تجربه شده در فضای خارجی، در محدوده بسیار وسیع‌تری نسبت به اقلیم داخلی که در خانه یا محل کار خود تجربه می‌کنند، قرار بگیرد و بنابراین، به دلیل همین انتظار، محدوده شرایطی را که آن‌ها "قابل قبول" می‌دانند نیز باید به طور قابل توجهی گسترده‌تر از فضای داخلی باشد[۵۸]. تفاوت عمده محاسبه آسایش حرارتی فضای داخل و خارج با توجه به تنوع لباس، نرخ فعالیت و ماندگاری فضا، سبب می شود که تعمیم کامل استانداردهای فضای بسته به فضای باز امکان پذیر نباشد. این تفاوت ناشی از دلایل روان شناختی منبعث از تفاوت‌های فضای درونی و خارجی شکل دهنده انتظارات فردی، تفاوت‌های فیزیولوژیکی متأثر از زمان قرارگیری در فضای باز و بسته و افتراق محیطی ناشی از تفاوت بین دمای متوسط تابشی، دمای هوا و همچنین افزایش وزش باد نسبت به فضای داخلی است[۵۹].

آسایش حرارتی در فضای خارجی عمدتاً مربوط به ترمو-فیزیولوژی، به معنای فیزیولوژی و تعادل گرمای بدن انسان است و همانطور که ذکر شد، علاوه بر فاکتورهای خرد اقلیم شامل: دمای هوا، سرعت باد، دمای متوسط تشعشعی و رطوبت نسبی[۶۰]، تحت تأثیر متغیرهای فردی همچون میزان فعالیت، نوع پوشش [۱۰] و همچنین عوامل روانشناختی و رفتاری نیز قرار دارد[۱۷].

۲-۳-۳- عوامل اقلیمی مؤثر بر آسایش حرارتی

۲-۳-۳-۱- تابش خورشید

نور خورشید به عنوان اصلی‌ترین و مهم‌ترین عامل تأمین انرژی گرمایی در زمین، از عوامل عمده‌ی تعیین کننده‌ی اقلیم در هر منطقه است. گرچه فاصله‌ی زمین تا خورشید تقریباً ثابت (۱۵۰ میلیون کیلومتر) می‌باشد ولی به علت تفاوت در زاویه‌ی تابش، هر منطقه به تبع قرارگیری و موقعیت جغرافیایی (عرض جغرافیایی) به میزان خاصی از انرژی خورشید بهره می‌گیرد[۳۵].

آفتاب پرتویی الکترومغناطیسی است که از خورشید ساطع می‌شود. این پرتو دارای طول موج‌های مختلفی بین ۰/۲۸ تا ۳ میکرون است. طیف نور خورشید، به طور گسترده به سه قسمت فرابنفش، قابل رؤیت و فروسرخ تقسیم می‌شود. با اینکه حداکثر شدت تابش آفتاب در قسمت پرتو قابل رؤیت آن است، ولی بیش از نیمی از انرژی حرارتی خورشید مربوط به پرتو فروسرخ می‌شود[۳۴]. تابش آفتاب دو اثر تابشی و حرارتی بر انسان دارد. انرژی خورشید به صورت طیفی از اشعه با طول موج‌های مختلف وارد جو می‌شود و در آنجا به صورت‌های زیر در می‌آید:

- ۳۲٪ از اشعه خورشید مستقیماً به سطح زمین می رسد. به این بخش اشعه مستقیم می‌گویند.
- ۲۵٪ از اشعه جذب جو زمین می‌شود.
- ۲۰٪ از اشعه در اثر برخورد با توده‌های ابر موجود در جو منعکس شده و دوباره از جو خارج می‌شود.
- ۲۳٪ از اشعه در اثر برخورد با مولکول‌های هوا، ذرات آب، گرد و غبار و... در همه جهات پراکنده می‌شود و عاقبت به زمین می‌رسد. به این بخش، اشعه افشان می‌گویند.

بر همین اساس کنترل میزان تابش آفتاب بر سطوح می‌تواند یکی از اساسی‌ترین عوامل ایجاد مطلوبیت فضایی از نظر گرمایش و سرمایش محدوده مورد استفاده باشد[۶۱].

۲-۳-۳-۲- دمای هوا

مقدار انرژی خورشیدی تابیده شده به هر نقطه از سطح زمین در طول سال، به شدت و دوام تابش آفتاب در آن منطقه بستگی دارد و میزان گرما و سرمای سطح زمین، عامل اصلی تعیین کننده درجه حرارت هوای بالای آن است. تمام طیف‌های نور خورشید از هوا عبور می‌کنند اما دمای هوا با دریافت پرتو خورشید بطور مستقیم افزایش نمی‌یابد. لایه‌های هوا گرمای خود را از طریق تماس با سطح زمین که در اثر دریافت پرتوهای خورشید گرم شده‌اند، به دست می‌آورند و لایه‌های گرم شده هوا، گرمای خود را از طریق همرفت به لایه‌های دیگر منتقل می‌کنند. در فرایند گرم شدن لایه‌های هوا، جریان هوا و باد سبب افزایش تماس توده‌های عظیم هوا با سطح زمین و در نتیجه گرم‌تر شدن آن می‌شوند[۳۴]. دما مهمترین خصوصیت اقلیم شهری محسوب می‌شود و میزان دریافت تابش تأثیر زیادی در دمای سطوح در شهر دارد. سطح روی زمین گرما را از تابش خورشیدی به وسیله امواج کوتاه دریافت کرده و به وسیله اشعه موج بلند از دست می‌دهد. دریافت گرما از طریق امواج کوتاه تنها در روز اتفاق می‌افتد اما از دست دادن گرما توسط امواج بلند به آسمان در طی شبانه روز انجام می‌گردد. در نتیجه یک روش برای کاهش دمای محیط در فضاهای باز و فضاهای شهری از دست دادن گرما از طریق امواج بلند است. پدیده از دست دادن گرما به شیوه امواج بلند به تفاوت دمای آسمان و سطح زمین بستگی دارد. این پدیده در تابستان مفید و در زمستان به خصوص در شب‌های صاف به دلیل کاهش دمای محیط می‌تواند باعث افزایش مصرف انرژی و در نهایت آلودگی بیشتر در زمستان‌ها گردد[۶۲].

جذب و یا دفع حرارت از بدن ارتباط مستقیم با دمای محیط دارد[۴۷]. در حالت طبیعی، دمای درونی بدن ۳۷ و دمای پوست ۳۲ درجه سانتیگراد است. اگر بدن در محیطی گرم‌تر از پوست قرار گیرد، شروع به جذب حرارت می‌کند و برعکس، اگر در محیطی سردتر از پوست باشد، حرارت خود را به تدریج از دست می‌دهد تا بدین طریق دمای درونی بدن ثابت نگه داشته شود. در نتیجه تبادلی پیوسته میان بدن و محیط صورت می‌گیرد. این تبادل به چهار شیوه فیزیکی مختلف روی می‌دهد؛ همرفت، تبخیر،

تابش بلند-موج و رسانش. هر مکانیسم مطابق با محیط گرمایی تغییر می‌کند[۳۴]. جدول ۲-۲ نوع و میزان تبادل حرارتی بدن و محیط اطراف را نشان می‌دهد.

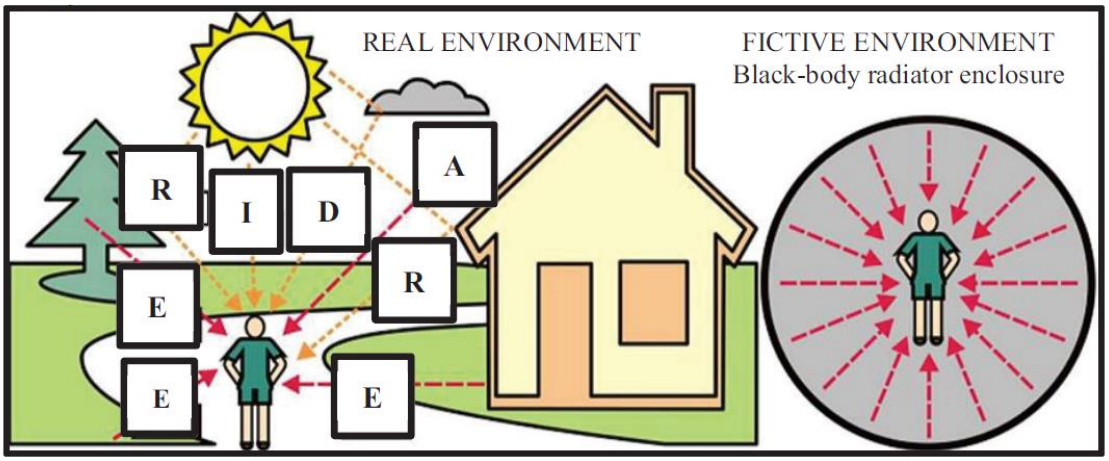
جدول ۲-۲. نوع و میزان تبادل حرارتی بدن و محیط اطراف[۳۴]

نوع تبادل	میزان تبادل	نحوه تبادل
همرفت	٪۴۰	در اثر اختلاف درجه حرارت بدن و هوای پیرامون آن
تبخیر	٪۲۰	در اثر تعریق و سپس بخارشدن عرق در سطح پوست
تابش	٪۴۰	در اثر ساطع شدن امواج الکترومغناطیس
رسانش	بسیار کم	در اثر تماس مستقیم

۲-۳-۳-۳- دمای متوسط تشعشعی[1]

در فضاهای باز شهری، انتقال حرارت توسط تابش مهم‌ترین عامل در تبادل انرژی بین بدن انسان و محیط آن به خصوص در آسمان آفتابی است[۶۳]. دمای متوسط تشعشعی، کمیتی است که انتقال انرژی تابشی بین بدن انسان و محیط اطراف را که بدن در معرض آن قرار گرفته است، بیان می‌کند. از آنجائیکه دمای متوسط تشعشعی با تعادل انرژی انسان ارتباط نزدیکی دارد، یکی از پارامترهای مهم در ارزیابی حرارتی می‌باشد[۱۹]. همانطور که شکل ۲-۳ نشان می‌دهد، این پارامتر به عنوان دمای یکنواخت یک محفظه خیالی که در آن انتقال حرارت تابشی از بدن انسان برابر است با انتقال حرارت تابشی در محوطه غیریکنواخت واقعی، تعریف شده است[۶۴].

[1] Mean Radiant Temperature (MRT)



شکل۲-۳. دمای متوسط تشعشعی[۶۳]

جریان‌های تابشی در فضاهای باز در مقایسه با فضاهای بسته تفاوت بسیاری دارند. در فضای باز و شرایط آفتابی دمای متوسط تشعشعی می‌تواند ۳۰ °C بیش از دمای هوا باشد؛ در حالی که این دو کمیت در فضای داخلی تقریباً مساوی هستند[۶۵]. این پدیده به طور مستقیم مرتبط با تنوع گسترده‌ای از مؤلفه‌های تابشی است.

الف- تابش طول موج کوتاه: که تابش خورشیدی نیز نامیده می‌شود، به سه دسته تقسیم می‌شود:

۱- اشعه مستقیم خورشید

۲- اشعه پراکنده خورشید

۳- تابش منعکس شده نور خورشید

ب- تابش طول موج بلند: که تابش زمینی نیز نامیده می‌شود، به دو دسته تقسیم می‌شود:

۱- اشعه جوی، منتشر شده از آسمان

۲- اشعه زمین، منتشر شده از محیط اطراف

اثر هر یک از این اشعه‌ها بر بدن انسان بسته به مکان، ماه، روز و زمان متفاوت می‌باشد[۶۳]. دمای متوسط تشعشعی مجموع تمام طول موج‌های بلند و کوتاهی است که به بدن انسان می‌رسد و مهمترین پارامتر مؤثر بر آسایش حرارتی فضای باز تحت شرایط آفتابی است[۶۵].

۲-۳-۳-۴- رطوبت هوا

منظور از رطوبت هوا مقدار آبی است که به صورت بخار در هوا وجود دارد. بخار آب از طریق تبخیر آب سطح اقیانوس‌ها و دریاها و همچنین سطوح مرطوبی چون گیاهان وارد هوا می‌شود. هرچه هوا گرم‌تر باشد، بخار آب بیشتری را در خود نگه می‌دارد. بنابراین به دلیل اختلاف دمای هوا در مناطق مختلف، میزان رطوبت هوا نیز در نقاط مختلف سطح زمین به یک اندازه نیست. حداکثر میزان رطوبت هوا در نواحی خط استواست که با حرکت به طرف قطبین کاهش می‌یابد و به صورت‌های گوناگون از جمله رطوبت مطلق، رطوبت مخصوص، فشار بخار آب، رطوبت نسبی و .... اندازه‌گیری می‌شود[۳۴].

رطوبت نسبی عبارت است از نسبت وزن بخار آب موجود در حجم مشخصی از هوا در یک درجه حرارت به حداکثر بخار آبی که آن حجم از هوا در همان درجه حرارت می‌تواند در خود نگه دارد. زمانی که هوا حداکثر رطوبتی را که می تواند در خود نگه دارد، جذب کند، آن را هوای اشباع شده می‌نامند که رطوبت نسبی ۱۰۰٪ است. حتی در صورت ثابت بودن فشار بخار رطوبت نسبی هوا با تغییر درجه حرارت تغییر می‌کند[۳۴].

رطوبت هوا به طور مستقیم بر دمای بدن انسان تأثیر نمی‌گذارد، ولی ظرفیت تبخیر و در نتیجه، میزان خنک شدن بدن از طریق تعریق را تعیین می‌کند. تبخیر در شرایط خشک همواره سریع‌تر از شرایط مرطوب انجام می‌پذیرد؛ در دمای بالا تبخیر، عمده‌ترین روش کنترل درجه حرارت بدن به شمار می‌آید. علاوه بر رطوبت نسبی، فشار بخار هوا نیز در میزان تعرق و تبخیر رطوبت پوست بدن دخالت داشته و همچنین بر روی وضعیت روانی و فیزیکی انسان نیز تأثیر می‌گذارد. فشار بخار در سطح بدن به دمای پوست و رطوبت آن بستگی دارد[۳۵].

در دمای ۲۰ تا ۲۵ درجه سانتیگراد، میزان رطوبت هوا تقریباً تأثیری بر انسان ندارد و رطوبت نسبی ۳۰ تا ۸۵ درصد، عملاً احساس نمی‌شود. تنها وقتی هوا تقریباً اشباع شده است، رطوبت زیاد و خیس بودن آن احساس می‌شود. در دمای بیش از ۲۵ درجه تأثیر رطوبت هوا بر انسان به مرور افزایش می‌یابد؛

به ویژه تأثیر آن بر رطوبت و دمای پوست و در درجه حرارت‌های بالاتر بر میزان تعریق و تبخیر آن. عامل دیگری که در میزان رطوبت هوا بر بدن انسان اثر می‌گذارد، جریان باد است. در یک درجه حرارت ثابت، افزایش سرعت باد باعث افزایش میزان مجاز و قابل قبول رطوبت نسبی هوا می‌شود[۳۴]. به طور کلی می‌توان گفت میزان رطوبت نسبی بین ۲۵ تا ۶۰ درصد برای محیط‌های انسانی مطلوب به‌شمار می‌رود[۳۵]؛ اما مقادیر بیش از این موجب کاهش تبخیر از سطح پوست و افزایش گرمای بدن شده و شرایط ناراحت‌کننده‌ای را به وجود می‌آورد. کاهش رطوبت نیز باعث خشکی دهان و پوست شده و به گونه‌ای دیگر شرایط آسایش را بر هم می‌زند[۳۷].

رطوبت هوا یکی از عوامل مؤثر در شرایط آسایش حرارتی است که باعث کاهش دمای خشک و پایین آمدن درجه حرارت شده و سبب می‌شود محدوده‌های بالای منطقه آسایش نیز قابل تحمل گردند[۶۱].

۲-۳-۳-۵- جریان هوا

بر روی هر یک از این نیمکره‌های زمین کمربندها و نقاطی با فشارهای جوی متفاوت (کم و زیاد) وجود دارند. بعضی از این کمربندها دائمی هستند و بعضی دیگر فقط در مدتی از سال ایجاد می‌شوند. علت اصلی وجود نقاط و کمربندهای فشار هوا تقسیم نامتعادل پرتوهای خورشید بر روی زمین است که باعث ایجاد اختلاف دما در نقاط مختلف سطح زمین می‌شود. توده‌های عظیم هوا همیشه از مناطق پرفشار به سمت مناطق کم فشار حرکت می‌کنند[۳۴].

سرعت جریان هوا به دو طریق بدن انسان را تحت تأثیر قرار می‌دهد. جریان هوا، از یک سو مقدار تبادل حرارتی از طریق همرفت (جابه‌جایی هوا در اثر اختلاف دما) را مشخص و از طرف دیگر ظرفیت تبخیر در هوا و در نتیجه میزان خنک شدن بدن از طریق تعریق را تعیین می‌کند. تأثیر سرعت و دمای هوا در تبادل حرارتی از طریق همرفت به یکدیگر بستگی دارد، زیرا تبادل حرارت از طریق همرفت، در اثر سرعت هوا و اختلاف دمای پوست و هوای اطرافش به وجود می‌آید[۳۴].

اگر هوا سردتر از پوست بدن باشد، هر دو تأثیر جریان هوا بر بدن انسان در یک جهت عمل می‌کنند و در نتیجه، افزایش سرعت هوا باعث خنک شدن بدن می‌شود. در صورتیکه هوا گرم‌تر از پوست باشد، اثرات جریان هوا در جهت عکس یکدیگر عمل می‌کنند؛ به این معنی که افزایش سرعت هوا از یک سو باعث افزایش اثر همرفت و در نتیجه گرم‌تر شدن بدن و از سوی دیگر باعث افزایش ظرفیت تبخیر در هوا و سردتر شدن پوست می‌شود[۴]. در دماهای بالا، یک سرعت بهینه باد وجود دارد که در آن سرعت، بدن تا بیشترین حد ممکن خنک می‌شود لذا کاهش سرعت هوا از این حد باعث افزایش دمای پوست و در نتیجه گرم‌تر شدن بدن از طریق همرفت می‌گردد[۶۱].

بافت سطح زمین، سرعت و شتاب جریان هوا را تعیین می‌کند. همچنین شرایط وزش باد در شهر به خصوص در سطح معابر و خیابان‌ها بر شرایط آسایش حرارتی شهروندان، میزان مصرف انرژی گرمایشی و سرمایشی و میزان تمرکز آلودگی‌های هوای شهری اثرات مستقیم دارد[۶۲]. سرعت باد بر آسایش حرارتی تأثیر بسیاری دارد و در واقع دومین پارامتر مهم بعد از سایه اندازی به شمار می‌رود[۶۶]. در یک محیط گرم، جریان هوا با سرعت m/s ۱ خوشایند بوده و تا m/s ۱/۵ ممکن است قابل قبول باشد و در شرایط سرد، جریان هوا نباید بیش از m/s ۰/۲۵ باشد و جریان کمتر از m/s ۰/۱ نیز خوشایند نیست[۴۷]. در جدول ۲-۳ واکنش انسان در برابر سرعت‌های مختلف جریان هوا، هنگامی که در ارتفاع سر افراد جریان داشته باشد، نشان داده شده است.

جدول۲-۳. واکنش انسان در برابر سرعت جریان هوا[۳۴]

سرعت باد (m/s)	واکنش انسان
۰ تا ۰/۰۵	هوا کاملاً راکد است و احساس ناراحتی می‌شود.
۰/۰۵ تا ۰/۲۵	به طورکلی احساس راحتی می شود، ولی حرکت هوا احساس نمی‌شود.
۰/۲۵ تا ۰/۵	حرکت هوا احساس می‌شود، ولی ناراحت کننده نیست.
۰/۵ تا ۱	حرکت هوا کاملاً احساس می‌شود، ولی قابل تحمل است.
۱ تا ۲	حالت وزش وجود دارد و باعث اختلال در روند انجام کار می‌شود.
۲ تا ۴	شروع احساس ناراحتی
۴ به بالا	غیر قابل تحمل

۲-۳-۴- عوامل فردی مؤثر بر آسایش حرارتی

۲-۳-۴-۱- میزان فعالیت

میزان انرژی حاصل از متابولیسم بدن تابعی از حرکت و فعالیت انسان است که به طور مستقیم در آسایش حرارتی بدن تأثیر می‌گذارد. به طور معمول کل انرژی حاصل از حرکت ماهیچه‌ها تبدیل به انرژی گرمایی می‌شود[۱۴]. میزان حرارت تولید شده به وسیله بدن انسان با واحد وات بر متر مربع پوست انسان (w/m^2) سنجیده می‌شود. میزان حرارت تولید شده بستگی به سطح پوست و فعالیت هر شخص دارد. به ازای یک متر مربع سطح پوست بدن یک انسان در حالت خوابیده، حدود ۴۱ وات انرژی تولید می شود ($۴۱w/m^2$)[۴۷]. میزان فعالیت بدن با واحد دیگری به نام met نیز سنجیده می‌شود. شدت متابولیسم هنگام نشستن ($۵۸\ w/m^2$) به عنوان واحد پایه met یعنی ۱ met تعیین شده است[۴۷]. جدول ۲-۴ میزان متابولیسم بدن را در فعالیت‌های مختلف نشان می‌دهد.

جدول۲-۴. میزان متابولیسم بدن در فعالیت‌های مختلف[۱۶]

نوع فعالیت	میزان متابولیسم (w/m^2)
خوابیدن	۴۰
نشستن	۶۰
ایستادن	۷۰
خواندن (درحالت نشسته)	۵۵
نوشتن	۶۰
رانندگی کردن	۶۰-۱۱۵
راه رفتن (۰/۹ m/s)	۱۱۵
راه رفتن (۱/۸ m/s)	۲۲۰
تمیز کردن منزل	۱۱۵-۲۰۰
بسکتبال	۲۹۰-۴۴۰

از عوامل مؤثر بر نرخ فعالیت، سن، جنسیت و ساختارکالبدی است که سبب می‌گردد دامنه آسایش حرارتی برای افراد مختلف متفاوت شود[۱۰].

۲-۳-۴-۲- نوع پوشش

نوع پوشش و لباس یکی دیگر از عوامل تأثیرگذار بر آسایش حرارتی به شمار می‌آید. درتبادل حرارت بدن انسان با محیط اطراف، لباس عامل مؤثری است و از تماس سطح بدن با محیط اطراف می‌کاهد. نوع پوشش عایقی است که انسان‌ها برای تطابق با محیط اطراف انتخاب می‌کنند[۱۴]. ضریب نارسانایی یا مقاومت لباس I_{cl} بوده و با واحد clo سنجیده می‌شود و عبارت است از مقدار لباسی که شخص در یک محیط با دمای ۲۱°C و جریان هوای معادل ۰/۱ m/s پوشیده و احساس آسایش می‌کند[۴۷]. جدول ۲-۵ ارزش نارسانایی پوشش‌های مختلف را نشان می‌دهد.

جدول۲-۵. مقادیر ضریب نارسانایی لباس[۱۶]

نوع پوشش	ضریب نارسانایی لباس (clo)
بلوز آستین کوتاه	۰/۱۹
بلوز آستین بلند	۰/۲۵
بلوز پشمی	۰/۳۴
شلوار (نازک)	۰/۱۵
شلوار (ضخیم)	۰/۲۴
کفش	۰/۰۲
جوراب	۰/۰۲

۲-۳-۴-۳- سازگاری فردی

علاوه بر فاکتورهای اقلیمی، سازگاری فردی و عوامل روانشناختی و رفتاری نیز، ادراک افراد از محیط حرارتی را تحت تأثیر قرار می‌دهد. به عنوان مثال فرهنگ افراد یا رنگ محیط می‌تواند بر احساس حرارتی و در نتیجه آسایش حرارتی افراد در فضای باز تأثیر بگذارد.

سازگاری فیزیکی می‌تواند با تغییر لباس و سطح فعالیت در فصول مختلف سال و سازگاری روانی با تجربیات حرارتی و انتظارات افراد مرتبط باشد[۶۷]. از آنجایی که ایجاد آسایش در تمامی زمان‌ها ممکن نیست، افراد از کنترل‌های شخصی برای رسیدن به آسایش حرارتی در شرایط مختلف اقلیمی استفاده می‌کنند. به عنوان نمونه، در فصول گرم در صورتی که فضاهای نشیمن، جانمایی نامناسب داشته باشند، افراد زمان حضور خود را در فضا کاهش می‌دهند که در واقع تمایل به سمت سازگاری با محدودیت‌های حرارتی، برای ادامه حضور در فضای باز می‌باشد. بر مبنای همین سازگاری حرارتی است که افراد تنوع شرایط حرارتی در فضاهای خارجی را راحت‌تر از فضاهای داخلی تحمل می‌کنند[۴۵].

۲-۳-۵- عوامل طراحی مؤثر بر آسایش حرارتی فضای باز

با تمهیدات طراحی از قبیل رعایت تناسبات کالبدی در هر اقلیم، توده گذاری و جهت‌گیری صحیح توده‌ها استفاده از پوشش گیاهی، استفاده از مصالح مناسب در بام، کف و جداره‌ها[۲۸]، استفاده از سطوح آب و ایجاد سایه[۱۸] جهت تأثیرگذاری بر متغیرهای اقلیمی، می‌توان به‌گونه‌ای مؤثر آسایش حرارتی فضای باز را در فصول گرم سال بهبود بخشید.

۲-۳-۵-۱-پوشش گیاهی

بر طبق تحقیقات انجام شده، پوشش گیاهی از سه طریق (تأثیر بر سرعت وزش باد، سایه اندازی و ایجاد رطوبت حاصل از تبخیر و تعرق) بر آسایش حرارتی محیط اثر می‌گذارد. دو عامل سایه اندازی و رطوبت،

از عوامل اصلی تعدیل حرارتی گیاهی به شمار می‌روند. علاوه بر این دو عامل، نفوذ تابش نیز در کنترل دمایی تاثیرگذار است؛ به طوری که پناه گرفتن از خورشید و یا مسیری که به نور خورشید منتهی می‌شود، تأثیر بسزایی در استفاده از فضاهای شهری دارد[۲۶].

درختان می‌توانند از طریق پاکیزه کردن هوا، کاهش سطح آلودگی صوتی و ایجاد ثبات در خاک برای محیط زیست مؤثر واقع شوند و صرفه‌های اقتصادی عظیمی را شامل گردند. در حالت کلی پوشش گیاهی می‌تواند تأثیر چشمگیری در افزایش کیفیت فضایی محیط داشته باشد. مطالعات متعددی درزمینه‌های صرفه‌جویی انرژی در تابستان با بهره گیری از سایه درختان صورت پذیرفته است. سایه درختان به عنوان یکی از عوامل کلیدی در کاهش دمای هوا در تابستان شناسایی شده است[۳۹].

وجود درختان در مقیاس‌های فضایی مختلف می‌تواند بر دمای هوا تأثیرگذار باشد. با این حال این اثر ممکن است به عوامل متعددی بستگی داشته باشد. درختان نه تنها از تابش خورشیدی بلکه از تابش امواج بلند زمین، سطوح ساختمان ها و آسمان نیز جلوگیری می‌کنند. گیاهان می‌توانند باعث کاهش سرعت باد در نزدیکی ساختمان شوند. این امر نفوذ ناخواسته جریان هوا و در عین حال قابلیت تهویه را محدود می‌کند. همچنین تبادل حرارت همرفتی در سطوح ساختمان را کاهش می‌دهد[۱۰].

۲-۳-۵-۲- هندسه کالبدی

رابطه متقابل و تنگاتنگی بین ساختمان‌ها و هر عنصر انسان ساخت شهری دیگر و محیط پیرامون آن‌ها وجود دارد. در واقع هر عنصر مصنوع، وضعیت آب و هوای اطراف خود را تغییر می‌دهد[۲۸]. هندسه شهری در برنامه ریزی و طراحی شهر جهت دستیابی به آسایش حرارتی از اهمیت بسزایی برخوردار است. مورفولوژی شهر شامل سه مؤلفه مهم است که عبارتند از ساختمان‌ها، خیابان‌ها و فضاهای باز وسیع (میدان یا پارک)[۶۸]. مراد از هندسه کالبدی، جهت گیری معابر و توده‌های ساختمانی، ضریب دید به آسمان و نسبت ارتفاع به عرض در معابر شهری است[۲۳]. این پارامترهای مورفولوژی برای بررسی

و تجزیه و تحلیل تأثیر هندسه شهری بر شرایط محیطی فضای خارجی از قبیل تابش خورشیدی، دمای فضای باز، سرعت باد، سر و صدا و آسایش حرارتی در سطح خیابان اهمیت بسیاری دارند[۶۸].

۲-۳-۵-۳- مصالح سطوح

یکی از مهم‌ترین عواملی که می‌تواند بر میزان دمای سطوح تاثیرگذار باشد، نوع مصالح سطوح مختلف است؛ زیرا مصالح مختلف به دلیل دارا بودن ویژگی‌های متفاوتی از قبیل ظرفیت حرارتی، ضریب انتقال حرارت، آلبدو، ضریب انعکاس و ... می‌توانند در میزان گرمایش سطوح مختلف مداخله کرده و جریانات گرمایی متفاوت ایجاد کنند و به طور کلی بر روی آسایش حرارتی محیط بیرونی تأثیرگذار باشند. معمولاً مصالح با رنگ‌های تیره مانند آسفالت تیره خیابان‌ها سبب جذب بیشتر نور خورشید و مصالح روشن سبب انعکاس بیشتر نور می‌شوند. جنس و رنگ مصالح بایستی به نحوی باشد که حداقل جذب آفتاب در فصول گرم سال را فراهم کند و از افزایش دمای متوسط تابشی ناشی از بازتابش مصالح جلوگیری نماید[۲۸].

رفتار حرارتی مصالح به کار رفته در کف و جداره فضا، به لحاظ جذب و یا انعکاس انرژی خورشید، تأثیر بسزایی بر شرایط حرارتی محیط دارد. سطوح روشن اعم از بلوک سیمانی، بتنی و سنگی، با افزایش دمای محیط در روز زمستان و کاهش آن در تابستان، شرایط نسبتاً مناسبی را ایجاد می‌کنند. این سطوح که دارای ضریب بازتابش بالایی هستند، در شب‌های تابستان به خوبی خنک شده و گرمای روز را با انتقال به آسمان سرد شب، تخلیه می‌کنند. آندرو[1]برآن است که خصوصیات مصالح، در مقایسه با عاملی چون هندسه کالبدی، اثر کمتری بر آسایش حرارتی دارد، با این همه آلبدوی مصالح در معابر شهری فراخ و کم عمق اثر تعیین کننده‌ای بر شرایط حرارتی خواهد گذاشت[۲۳].

[1] Andreou

۲-۳-۵-۴- سایه اندازی

یکی از ویژگی‌های مناطق گرمسیر، وجود آسمان صاف و تابش شدید خورشید در اکثر مواقع سال است. در این شرایط ایجاد سایه در فضاهای باز و معابر یکی از عوامل بسیار مؤثر در خنک سازی محیط و کاهش دمای هوا در دوره‌های گرم می‌باشد[۲۷]. در طی روز دمای متوسط تشعشعی مهم‌ترین متغیر مؤثر بر آسایش حرارتی انسان به شمار می‌رود و به شدت به تابش خورشید وابسته است. هنگامی که تابش خورشید در مناطق دارای سایه مهار می‌شود، تابش‌های مستقیم طول موج کوتاه کاهش پیدا کرده و دمای سطوح دارای سایه نیز کاهش می‌یابد. در نتیجه تابش‌های طول موج بلند از سطوح به میزان زیادی تقلیل می‌یابد و تأثیر خنک کنندگی کلی را ایجاد می‌کند[۶۹].

استفاده از تابش خورشید در دوره‌های سرد سال، در کنار توجه به سایه اندازی در تابستان باید مد نظر قرار گیرد. دستیابی به چنین هدفی نیازمند شناخت کافی از اقلیم محل، شرایط آسایش انسان و همچنین وضعیت خورشید در آسمان است[۲۷]. به طور مثال با کاشت درختان خزان پذیر می‌توان از سایه ایجاد شده توسط آن‌ها در تابستان و از تابش خورشید در فصل زمستان بهره برد. هندسه شهری نیز به طور گسترده نقش مهمی در ارائه سایه در محیط شهری ایفا می‌کند به طور مثال می‌توان میزان سایه اندازی‌ها را توسط فرم‌های شهری متراکم‌تر و با افزایش ارتفاع ساختمان افزایش داد. از سوی دیگر در محیط‌های شهری باید همزمان به دو عامل تهویه هوا و کاهش تنش حرارتی توجه شود[۶۲].

دو روش پایه جهت سایه‌اندازی وجود دارد: توسط موانع افقی و یا عمودی بالای صفحه مورد نظر. موانع افقی جلوی نور را از بالا می‌گیرند. وسعت سایه از طریق هندسه نسبی مانع و صفحه تعیین می‌شود، به‌گونه‌ای که هرچه پیش آمدگی بیشتر باشد، پوشش آن نیز بیشتر خواهد بود؛ هر چه پیش آمدگی در ارتفاع بیشتری باشد پوشش آن کمتر است. موانع عمودی جلوی نور را از اطراف می‌گیرند و همانند موانع افقی، هندسه و زاویه سایه‌اندازی، ابعاد و فاصله نسبی مانع و صفحه را کنترل می‌کند. این

موانع در تصاویر، به صورت وسایل سایه‌انداز مصنوعی نشان داده شده‌اند؛ اما درختان، کوه‌ها و ساختمان‌ها هم جزء این موانع به‌شمار می‌آیند[۴].

کمبود سایه در محیط‌های شهری منجر به بالارفتن دمای هوا و سطوح می‌شود. سایه اندازی به وسیله پوشش گیاهی و عناصر مصنوع یک از راهکارهای اساسی در کاهش استرس حرارتی در ساعات گرم تابستان و مهمترین فاکتور تأثیرگذار بر شرایط آسایش حرارتی می‌باشد[۴۵].

۲-۳-۶- شاخص‌های آسایش حرارتی

سنجش میزان آسایش، نیازمند شاخص‌هایی برای مقایسه با مجموع شرایط اقلیمی حادث بر فرد است. در واقع تنها یک خصوصیت اقلیم، بیان کننده‌ی میزان آسایش حرارتی از محیط نیست؛ مانند بدن که برای درک دمای محیط گیرنده‌های جدا ندارد و همه‌ی متغیرهای اقلیمی با یکدیگر تلقی آدمی از شرایط محیطی را می‌سازند[۲۵]. در واقع پارامترهای مؤثر در آسایش حرارتی باید در تعامل با یکدیگر باشند تا بتوان شرایط مشخصی را آسوده خواند. بنابراین برایند این شرایط باید شاخصی به دست دهد تا به کمک آن بتوان وضعیت مشخصی را از نقطه نظر آسایش مورد ارزیابی قرار داد. به دلیل متغیرهای متعدد و حسی بودن شرایط آسایش که دامنه‌ی آن حتی به آداب و حالت‌های روحی و نوع تغذیه نیز کشیده می‌شود، دسترسی به شاخص یا شاخص‌هایی از طریق محاسبات، بسیار پیچیده، دشوار و در پاره‌ای موارد ناممکن است؛ اما به طریق تجربی و بر اساس آزمایش‌های مختلف می‌توان به شاخص‌های واقعی‌تری دست یافت. از این رو محققان برای به‌دست آوردن چنین شاخص‌هایی، دست به آزمایش‌های متعددی زده و نتایج آن را مورد تحلیل و ارزیابی قرار داده‌اند و ماحصل آن‌ها را در قالب برخی اصطلاحات، معادلات و نمودارها ارائه کرده اند[۳۷].

مجموعه‌ی شاخص‌های حرارتی در دو گروه تجربی (ET[1]، RT[2]، HOP[3]، OP[4]، WCI[5]) و تحلیلی (ITS[6]، HIS[7]، ET*[8]، SET*[9]، OUT_SET*[10]، PMV[11]، PT[12]، PET[13]) تقسیم‌بندی می‌شوند. مبنای شاخص‌های تحلیلی بر اساس تعادل انرژی (انرژی اتلافی و تولیدی در انسان) است[۲۵]. معادله این تعادل انرژی برای بدن انسان عبارت است از[۷۰]:

$$M + W + R + C + E_D + E_{Re} + E_{Sw} + = 0 \qquad (۱-۲)$$

در رابطه ۲-۱، M نرخ سوخت و ساز (انرژی تولیدی داخل بدن)، W میزان کار فیزیکی، R تابش خالص بدن، C جریان گرمای همرفتی، E_D معادل جریان گرمای نهان ازدست‌رفته، ناشی از تبخیر آب از سطح پوست، E_{Re} مجموع جریان‌های حرارتی برای گرمایش و رطوبت دهی هوا، E_{Sw} جریان انرژی ناشی از تبخیر و تعرق و S ذخیره جریان گرما برای گرمایش و سرمایش توده و جرم بدن است. مقادیر فردی در این معادله اگر با جذب انرژی برای بدن همراه باشند علامت مثبت و در صورت از دست دادن انرژی علامت منفی را به خود اختصاص می‌دهند(M همیشه مثبت و W، E_D و E_{Sw} همیشه منفی است). واحد همه جریان‌های حرارتی وات می‌باشد[۷۰]. بر اساس این فرمول، شرایط افراد از نظر آسایش حرارتی عمدتاً تحت تأثیر پارامترهای هواشناسی قرار می‌گیرد. C و E_{Re}، تحت تأثیر دمای هوا، E_D، E_{Re} و E_{Sw}، تحت تأثیر رطوبت، C و E_{Sw} تحت تأثیر سرعت وزش باد قرار می‌گیرند. R به عنوان تبادل انرژی بین انسان و محیط پیرامون توسط تشعشع موج کوتاه و موج بلند محاسبه می‌شود. در حالت نشسته انسان زمانی احساس آسایش می‌کند که تولید عرق توسط بدن کم و یا E_{Sw} نزدیک به صفر باشد و در سطوح

[1] Effective Temperature
[2] Resultant Temperature
[3] Humid Operative Temperature
[4] Operative Temperature
[5] Wind Chill Index
[6] Index of Thermal Stress
[7] Heat Stress Index
[8] New Effective Temperature
[9] Standard Effective Temperature
[10] Outdoor Standard Effective Temperature
[11] Predicted Mean Vote
[12] Perceived Temperature
[13] Physiologically Equivalent Temperature

بالاتر فعالیت، آسایش زمانی به‌دست می‌آید که تولید عرق و مرطوب بودن پوست بدن به میزان متوسطی باشد. این بدین معنی است که ترکیب دمای پوست و دمای درونی بدن که نشان‌دهنده محدوده آسایش هستند، وابسته به فعالیت می‌باشند. شرایط مهم دیگر برای آسایش این است که تغییرات S از یک مقدار مشخص کوچک فراتر نرود، یعنی مقدار حرارت تولید شده توسط سوخت و ساز در بدن (M+W) تقریباً با مقدار حرارت از دست رفته بدن برابر باشد[۷۱].

بیشتر پژوهش‌ها در سال‌های اخیر از شاخص‌های "پیش‌بینی متوسط نظر"، " دمای مؤثر استاندارد[۲]" و "دمای معادل فیزیولوژیکی[۳]" به منظور پیش‌بینی دمای آسایش در فضای باز استفاده کرده‌اند. نتایج پژوهش‌های مختلف در مورد اعتبارسنجی شاخص‌ها نشان می‌دهد که نمونه‌هایی همچون "دمای مؤثر استاندارد" و "دمای معادل فیزیولوژیکی" رابطه همبستگی بالایی (۸۹ درصد) با احساس آسایش حرارتی در فضای باز دارند[۲۵].

۲-۳-۶-۱- پیش بینی متوسط نظر

"پیش بینی متوسط نظر" یک شاخص احساس حرارتی است که توسط فانگر[۴]در سال ۱۹۷۲ میلادی بر اساس تعادل حرارتی بدن انسان، برای محدوده گسترده‌ای از فعالیت‌های فیزیکی، متغیرهای اقلیمی و پوشش‌های مختلف، جهت تعیین میزان آسایش حرارتی ارائه شده است[۷۲, ۷۳].

برای ارزیابی آسایش حرارتی فضای باز با استفاده از این شاخص، جندرتزکی و نوبلر[۵]در سال ۱۹۸۱ تابش‌های محیطی را به آن اضافه و الگویی با نام "کلیما مایکل[۶]" را معرفی کردند. از این الگو در تهیه نقشه آسایش حرارتی شهر فریبورگ[۷]استفاده شد. در اقلیم‌ها و مطالعات گوناگون همچون محاسبه‌ی

[1] Predict Mean Vote (PMV)
[2] Standard Effective Temperature (SET)
[3] Physiological Equivalent Temperature (PET)
[4] Fanger
[5] Jendritzky and Nübler
[6] Klima-Michel Model
[7] Freiburg

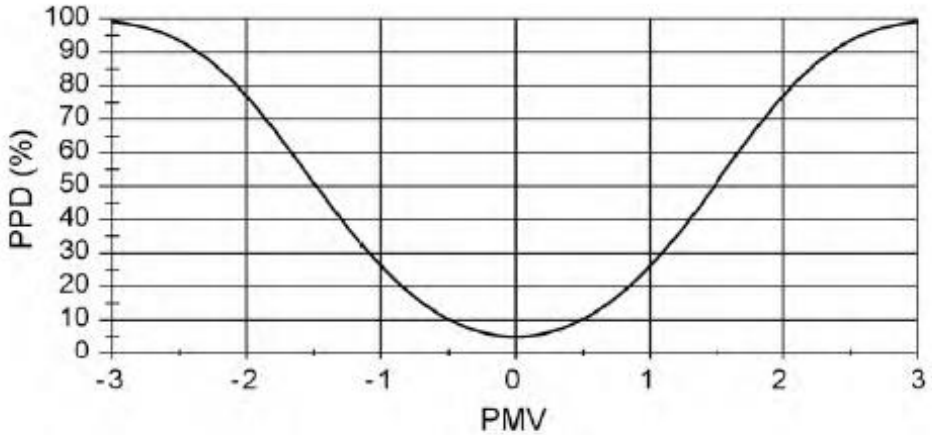
میانگین تعداد روزهای دارای تنش حرارتی در یونان، رابطه میان حرارت و الگوی رفتاری در سوئد و همچنین ارزیابی آسایش حرارتی فضای باز در برزیل از این شاخص برای ارزیابی آسایش حرارتی در فضای باز استفاده شد. نتایج پژوهش‌های اعتبارسنجی این شاخص در فضای باز نشان داد که میزان "احساس حرارتی" کمتر از "پیش‌بینی متوسط نظر" می‌باشد. که این امر ناشی از عواملی مانند فرهنگ، شرایط اجتماعی، روان‌شناختی و سازگاری رفتاری است. اخیراً برای رفع این مشکل، شاخص "پیش بینی متوسط نظر انطباقی" معرفی شده است[۲۵]. همانطور که در جدول ۲-۶ نشان داده شده است، مقیاس PMV نوعی تقسیم‌بندی احساس حرارتی ۷ درجه‌ای است که دامنه آن از ۳- (خیلی سرد) تا ۳+ (خیلی گرم) تغییر می‌کند. صفر در این مقیاس نشانگر احساس حرارتی خنثی است. این هفت درجه توسط اشری ارائه شده و به وسیله فانگر مورد استفاده قرار گرفته است. در این معیار اعدادی که کمی بالاتر از ۱+ و یا اندکی پایین‌تر از ۱- باشند، موجبات بروز نارضایتی را فراهم می‌کنند[۱۸]؛ بنابراین محدوده آسایش، مرتبط با PMV بین ۱+ (کمی گرم) و ۱- (کمی سرد) می‌باشد[۷۳].

جدول۲-۶. مقادیر PMV متناظر با احساس حرارتی[۱۶]

PMV	احساس حرارتی
۳+	خیلی گرم
۲+	گرم
۱+	کمی گرم
۰	خنثی
۱-	کمی سرد
۲-	سرد
۳-	خیلی سرد

[1] Adaptive Predicted Mean Vote

"درصد نارضایتی پیش بینی شده[1]" شاخصی است وابسته و درصد افراد ناراضی از شرایط حرارتی محیط را از روی شاخص پیش بینی متوسط نظر افراد درباره شرایط حرارتی نشان می‌دهد[۷۴]. همانطور که در شکل۲-۴ نشان داده شده است، حتی در شرایط خنثی که مقدار PMV برابر صفر است، حداقل ۵ درصد افراد از شرایط حرارتی ناراضی‌اند. حتی اگر همه آن‌ها پوشش و سطح فعالیت یکسان داشته باشند. این به دلیل تفاوت‌هایی در ارزیابی آسایش حرارتی از یک فرد به فرد دیگر می‌باشد[۷۵]. بنابراین هیچگاه نمی‌توان شرایطی را خلق نمود که رضایت حرارتی همه‌ی افراد حاضر در یک محیط را برآورد[۷۴].



شکل۲-۴. ارتباط میان PMV و PPD [۷۵]

۲-۳-۶-۲- دمای مؤثر استاندارد

گیج[2]و همکاران در سال ۱۹۸۶ شاخص "دمای مؤثر استاندارد" را با ارتقا دادن "دمای مؤثر" ارائه دادند و از آن پس به طور گسترده‌ای به عنوان شاخص حرارتی فضاهای داخلی و خارجی مورد استفاده قرار گرفته است[۷۱]. این شاخص نشان دهنده‌ی دمای هوای معادل یک محیط با دمای یکنواخت و رطوبت ۵۰ درصد است که در آن شخص لباسی را که مناسب فعالیتش است، پوشیده و همان تنش حرارتی (دمای پوست) و تنظیم دمایی (رطوبت پوست) محیط واقعی را دارد[۲۵]. دمای مؤثر عدد ثابتی

[1] Predicted Percentage of Dissatisfied (PPD)
[2] Gagge

نمی‌تواند باشد و به شرایط محیط مثل سرعت باد، دمای تر، دمای خشک و همچنین شرایط فیزیولوژیکی، مقدار لباس و میزان فعالیت فرد بستگی دارد. این شاخص کاربردهای فراوانی از جمله استفاده در برنامه‌ریزی‌های توسعه‌ای به منظور داشتن معیارهایی از دمای نواحی مختلف برای انجام ملاحظات دمایی در ساخت تأسیسات مسکونی، اداری، صنعتی، ورزشی، تفریحی و گردشگری و اهداف آموزشی و نظامی دارد[۲۴]. جدول ۲-۷ مقادیر شاخص دمای مؤثر استاندارد را با توجه به درجات مختلف احساس حرارتی انسان نشان می‌دهد.

جدول ۲-۷. مقادیر SET در درجات مختلف احساس حرارتی انسان[۲۴]

SET	احساس حرارتی
بیش از ۳۰	فوق العاده گرم
۳۰-۲۷/۵	شرجی
۲۷/۵-۲۵/۶	خیلی گرم
۲۵/۶-۲۲/۲	گرم
۲۲/۲-۱۷/۸	آسایش
۱۷/۸-۱۵/۵	خنک
۱۵/۵-۶/۷	خیلی خنک
۶/۷- (-۱۰)	سرد
(-۱۰) - (-۲۰)	خیلی سرد
کمتر از ۲۰-	فوق العاده سرد

پژوهش‌های مختلفی اعتبار این شاخص را برای فضای باز تأیید کردند. در سال ۱۹۹۹ پیکاپ[1]و دیر[2]این شاخص را بهبود بخشیدند و شاخص حرارتی را صرفاً برای شرایط خارجی تحت عنوان "دمای مؤثر استاندارد فضای باز[3]" توسعه دادند[۷۱].

[1] Pickup
[2] Dear
[3] OUT-SET

۲-۳-۶-۳- دمای معادل فیزیولوژیکی

معادله PMV بر انتقال حرارت حالت پایدار استوار است، حالتی که در زندگی روزمره به ویژه در فضای خارجی، به ندرت رخ می‌دهد. حالت تعادل حرارتی پویا به بهترین وجه، وضعیت اکثر مردم را توصیف می‌کند. محدودیت‌های PMV به عنوان شاخصی جهت ارزیابی محیط خارجی منجر به ارائه شاخص دمای معادل فیزیولوژیکی گردید. این شاخص که اولین بار توسط هوپ[1] ارائه شده است[۸]، آسایش حرارتی را به وسیله ادغام فاکتورهای حرارتی محیطی و تعادل گرمایی بدن انسان ارزیابی می کند[۲۰]. این شاخص به عنوان دمای معادل فیزیولوژیکی در هر مکان معین (داخلی یا خارجی) تعریف می‌شود و معادل دمای هوایی است که طی آن، در یک محیط داخلی معمولی، بیلان حرارتی بدن انسان (با نرخ سوخت و ساز کاری سبک ۸۰ وات و مقاومت حرارتی لباس ۰/۹ clo) با دمای پوست و دمای مرکز بدن در تعادل باشد[۷۰] اگرچه این شاخص تحت شرایط فضای مجازی داخلی تعریف شده است، اما برای شرایط واقعی فضای خارجی نیز کاربرد دارد و امکان مقایسه تأثیر کامل مجموعه شرایط حرارتی محیط بیرون با تجربه‌ی شخصی را در اختیار فرد می‌گذارد. از مهم‌ترین عوامل تأثیرگذار در این شاخص، متغیر اقلیمی "دمای متوسط تشعشعی" است[۲۵]. دمای معادل فیزیولوژیکی همچون دمای مؤثر، یک شاخص دمایی است که به طراحان درک بهتری از محیط حرارتی نسبت به مقیاس ساختگی همچون PMV می‌دهد[۸]. دمای معادل فیزیولوژیکی در مقایسه با دمای مؤثر استاندارد دارای رابطه بالاتری با میزان احساس آسایش ادراکی است. هر چند که به میزان بسیار کم از آسایش ادراکی بیشتر برخوردار می‌باشد. همچنین در شرایط اقلیمی گرم در فضای باز (با در نظر گرفتن نرخ لباس یکسان و سطح فعالیت برابر) دمای مؤثر استاندارد به صورت سیستماتیک دارای میزان کمتری از شرایط واقعی است. این نشان می‌دهد که دمای معادل فیزیولوژیکی دارای دقت بیشتری نسبت به دمای مؤثر استاندارد است و نسبت

[1] Höppe

به دو شاخصه دیگر با واقعیت‌های اقلیمی تطابق بیشتری دارند[۲۵]. جدول ۲-۸ احساس حرارتی متناظر با مقادیر مختلف PET را برای اروپای غربی و میانه نشان می‌دهد.

جدول۲-۸. احساس حرارتی متناظر با مقادیر مختلف PET [۷۶]

محدوده PET (°C)	احساس حرارتی
>۴۱	بسیار داغ
۴۱-۳۵	داغ
۳۵-۲۹	گرم
۲۹-۲۳	کمی گرم
۲۳-۱۸	آسایش (خنثی)
۱۸-۱۳	کمی خنک
۱۳-۸	خنک
۸-۴	سرد
≤۴	بسیار سرد

برای محاسبه‌ی شاخص مذکور، لازم است پارامترهای اقلیمی اثرگذار بر تعادل انرژی در بدن انسان، در یک ارتفاع مشخص (به عنوان مثال ارتفاع ۱/۱متر در بالای سطح زمین، معادل میانگین ارتفاع مرکز ثقل انسان اروپایی در حالت ایستاده) اندازه‌گیری شود[۷۷]. با استفاده از نرم افزار ریمن[1]که به دست ماتزاراکیس[2]و همکاران در سال ۲۰۰۷ توسعه پیدا کرده است، دمای معادل فیزیولوژیکی به راحتی قابل محاسبه می‌باشد[۷۱].

شاخص PET برای اقلیم‌های مختلف در سراسر جهان استفاده شده است و نتایج حاصل از شبیه سازی و مطالعات میدانی مقایسه مثبتی را نشان می‌دهد. انجمن مهندسان آلمان این شاخص را جهت استفاده در فضای خارجی توصیه کرده است[۷۸]. این شاخص در مطالعات متعددی مورد استفاده قرارگرفته است[۱۲, ۱۳, ۵۷, ۸۳-۷۹]. جانسون[3]و دیگران پس از بررسی ۲۶ مطالعهٔ انجام شده در

[1] Rayman
[2] Matzarakis
[3] Johansson

حوزه آسایش حرارتی فضاهای بیرونی، شاخص دمای معادل فیزیولوژیکی را پرکاربردترین شاخص ارزیابی حرارتی معرفی نموده‌اند[۸۴]. در این پژوهش از شاخص دمای معادل فیزیولوژیکی جهت ارزیابی حرارتی فضای باز استفاده شده است.

۲-۴- پیشینه تحقیق

به طور کلی توجه به مطالعات زیست محیطی در طرح‌های شهری به چند دهه‌ی اخیر باز می‌گردد. در اروپا تا اواخر دهه هشتاد عموماً طرح‌ها به کالبد و وضعیت ترافیکی می‌پرداخت؛ اما از اوایل دهه نود و با گسترده‌شدن مباحث مربوط به پایداری، اقدامات عملی در زمینه طراحی فضاهای شهری با رویکرد همساز با طبیعت و محیط شکل گرفت. به طوری که غالباً پس از آن در راهنماهای طراحی شهری توجه به تأثیر توسعه‌های جدید بر محیط همواره مورد توجه بوده است[۳۸]. در این راستا و با توجه به اهمیت فضای باز و نقش آن در بهبود کیفیت زندگی فردی و اجتماعی، مطالعات متعددی در حوزه آسایش حرارتی فضای باز طی سال‌های اخیر در اقلیم‌ها و فضاهای متفاوت (همچون خیابان‌ها، پارک‌ها و دانشگاه‌ها) صورت گرفته است.

۲-۴-۱- مطالعات آسایش حرارتی فضای باز

اولین مطالعه نظام‌مند در حوزه تأثیر متقابل اقلیم و معماری توسط لوک هوارد[1] در سال ۱۸۳۳ در لندن صورت گرفت[۸۵]. او نخستین شخصی بود که تأثیر نواحی شهری را بر اقلیم محلی مورد توجه قرار داد. از دهه ۱۹۶۰ به تأثیر کالبد شهر بر روی تغییرات خرد اقلیم و همچنین تعادل گرمایی بدن انسان با محیط توجه بیشتری مبذول شد[۱۴]. فانگر در سال ۱۹۷۲ یکی از پرکاربردترین شاخص‌ها را جهت اندازه‌گیری آسایش اقلیم، تحت عنوان "پیش بینی متوسط نظر" و "درصد نارضایتی پیش بینی شده"

[1] Luke Howard

وضع کرد[۸۶]. از دهه ۱۹۸۰، مطالعات آسایش حرارتی در فضای خارجی به‌دلیل افزایش توجه به عابرین پیاده در معابر شهری، پلازاها و میادین افزایش داشته و منجر به انجام تحقیقات بسیاری در زمینه متغیرهای طراحی اقلیمی براساس آسایش حرارتی عابرین پیاده شده است[۶۰]. اولگی[1]و همچنین اوکه[2] با تأکید بر تعامل میان ساختمان و خرد اقلیم، ارتباط میان معماران و طراحان شهری را از دیدگاه اقلیم‌شناسی مورد بررسی قرار دادند. مطالعات نیکولوپولو[3]در سال ۲۰۰۱ یکی از اولین مطالعات در خصوص آسایش حرارتی فضای باز شهری است که الگوهای رفتاری افراد را مدنظر قرار می‌دهد. پس از آن نیز مطالعات بسیاری توسط افراد مختلف در این زمینه انجام شد؛ مانند مطالعات لینکویست[4]که به تأثیرات فیزیکی، فیزیولوژیکی و روانی استفاده‌کنندگان از فضا بر اساس میزان تداوم حضور و استراحت افراد می‌پرداخت. این مطالعات نقش اقلیم را در شکل‌گیری الگوهای فعالیتی جاری در فضاهای باز شهری به دلیل تأثیرپذیری فیزیولوژیکی و روانی انسان از شرایط آب و هوایی به اثبات می‌رسانند[۱۸].

برخی از مطالعات در حوزه‌ی آسایش حرارتی فضای باز، در مقیاس شهری و در خصوص ارتباط فرم شهری و آسایش حرارتی صورت گرفته‌اند که در این میان تعدادی از پژوهش‌ها به ویژه بر دره‌های شهری و تأثیر جهت‌گیری معابر بر روی خرد اقلیم معابر متمرکز بوده‌اند. در ادامه برخی از این مطالعات معرفی می‌شوند.

علی تودرت[5]و مایر[6]مدل ENVI-met را برای شبیه سازی تأثیر مقاطع مختلف معبر شهری در جهت‌گیری‌های متفاوت بر آسایش حرارتی فضای باز شهری به کار بردند[۸۷]. طالقانی و همکاران آسایش حرارتی فضای باز را در پنج فرم شهری متفاوت در کشور هلند مورد ارزیابی قرار دادند[۶۰]. پژوهش زاخور[7]و همکاران بر اساس مقایسه شرایط محیطی خیابان‌های شهری در بافت قدیمی و جدید

[1] Olgyay
[2] Oke
[3] Nikolopoulou
[4] Lindqvist
[5] Ali-Toudert
[6] Mayer
[7] Zakhour

شهر آلپو[1] سوریه جهت نشان‌دادن تأثیر مورفولوژی و هندسه شهری بر خرد اقلیم و آسایش حرارتی فضای خارجی در اقلیم گرم و خشک صورت گرفته است[۸۸]. پژوهش تومینی[2] و همکاران با تمرکز بر تعریف استراتژی‌های زیست اقلیمی برای فضاهای شهری موجود بر اساس مؤلفه‌های تیپولوژیکی، شرایط خرد اقلیم شهری و نیازهای آسایش برای همه شهروندان و به منظور بررسی رابطه بین شرایط خرد اقلیم و آسایش حرارتی، در دو منطقه نمونه در شهر مادرید با استفاده از شبیه‌سازی صورت گرفته است[۸۹]. آلگسیراس[3] و همکاران تأثیر خیابان‌های نامتقارن را بر آسایش حرارتی عابرین پیاده در اقلیم گرم و مرطوب کوبا با پنج نسبت ارتفاع به عرض و چهار جهت‌گیری متفاوت خیابان مورد مطالعه قرار دادند[۶۸]. مطالعات یانگ[4] و همکاران با هدف ارزیابی رفتار حرارتی اقلیم‌های محلی متفاوت در نانجینگ[5] چین برای ۱۴ زون متفاوت صورت گرفته است. زون‌های انتخابی بر اساس ویژگی‌های ساختمانی و پوشش زمین تعریف شده‌اند[۹۰]. بیغرض و همکاران آسایش حرارتی فضای باز را در بافت قدیم و جدید شهر لار، فارس در فضاهای باز عمومی با استفاده از شبیه سازی مورد مقایسه قرار دادند و به این نتیجه رسیدند که افراد در بافت تاریخی به دلیل کمبود عرصه‌های عمومی و همچنین کمبود پوشش‌های گیاهی در گذرگاه‌های عمومی احساس رضایت کمتری دارند[۹۱].

علاوه بر مقیاس شهری، در مقیاس‌های کوچکتر نیز مطالعات متعددی در زمینه تأثیر پارامترهای مختلف بر آسایش حرارتی فضای باز صورت گرفته است. یانگ و همکاران رفتار حرارتی مصالح مختلف کفسازی‌های موجود در محیط دانشگاه گوانژو[6] چین را با استفاده از شبیه سازی مقایسه کردند[۹۲]. پژوهش نصیر[7] و همکاران ارتباط بین آسایش حرارتی و فعالیت فیزیکی مردم را در یک پارک شهری در اقلیم گرم و مرطوب مالزی بررسی کرده است. نتایج تحقیقات آن‌ها ارتباط قابل توجه و معناداری را

[1] Aleppo
[2] Tumini
[3] Algeciras
[4] Yang
[5] Nanjing
[6] Guangzhou
[7] Nasir

بین آسایش حرارتی و فعالیت‌های فیزیکی انتخابی در شرایط خاص مشخص می‌کند[۶]. چان[1] و همکاران روابط بین متغیرهای مؤثر در احساس حرارتی در پارک‌های شهری را برای دوره‌های تابستان و زمستان بررسی کردند. همچنین در این مطالعه علاوه بر فاکتورهای خرد اقلیم و فیزیولوژیکی، اثرات روانی ناشی از درک ویژگی‌های محیطی موجود در پارک‌ها و دید آنی ویژگی‌های پارک نیز بر آسایش حرارتی و قابلیت پذیرش گرمایی مشخص شده است[۱۷]. پژوهش زوخ[2] و همکاران در خصوص طراحی میدان‌های عمومی با زیرساخت سبز جهت بهینه سازی آسایش حرارتی افراد صورت گرفته است. آن‌ها با استفاده از شبیه سازی، طراحی‌های سبز رایج میدان‌های عمومی و خرد اقلیم متأثر از آن‌ها را در یک روز گرم تابستان در طول روز و همچنین شب ارزیابی کردند[۵۷].

۲-۴-۲- مطالعات سایه و آسایش حرارتی

با توجه به اهمیت سایه و نقش تأثیرگذار آن در ایجاد شرایط آسایش در فضای باز، پژوهش‌های متعددی به بررسی ارتباط و چگونگی تأثیر گذاری سایه بر آسایش حرارتی فضای باز پرداخته‌اند. در ادامه به بررسی تعدادی از مطالعات صورت گرفته در این حوزه می‌پردازیم.

پژوهش محمودی و همکاران با هدف تبیین معیارهای طراحی مؤثر بر آسایش حرارتی فضای باز عمومی در بخشی از مجتمع مسکونی اکباتان با استفاده از شبیه‌سازی صورت گرفته است. آن‌ها با مقایسه دمای معادل فیزیولوژیکی و عوامل فیزیکی محیط شامل ضریب دید به آسمان، میزان سایه و فاصله تا ساختمان، معیارهای مؤثر در تحقق آسایش حرارتی را شناسایی و پیشنهاداتی جهت ارتقای معماری فضاهای باز با رویکرد اقلیمی ارائه دادند[۱۴]. در پژوهش منشی‌زاده و همکاران به بررسی تأثیر عوامل خرد اقلیم بر آسایش حرارتی در فضاهای شهری و ارتباط آن با ارتفاع ساختمان‌ها به عنوان

[1] Chan
[2] Zölch

جداره‌های مؤثر بر خرد اقلیم پرداخته شده است. در این پژوهش پس از شناسایی محدوده‌های بحرانی در خیابان شهرداری تهران (سطوح همیشه در سایه و نیز سطوحی که همواره در معرض تابش آفتاب قرار دارند)، با اعمال تغییر در ارتفاع ساختمان‌ها به ایجاد مناطق آفتاب‌گیر و سایه‌دار در محدوده‌های مورد نیاز اقدام شده است. در نهایت با در نظر گرفتن تغییرات انجام شده و تحلیل دوباره این محدوده با استفاده از شبیه سازی شرایط آسایش ایجاد شده در طرح پیشنهادی بررسی شده است[۶۱]. مکارمی و همکاران آسایش حرارتی فضای باز را در فضاهای دارای سایه در دانشگاه پوترا[1]مالزی در اقلیم گرم و مرطوب استوایی براساس نظریات دانشجویان محلی و بین المللی، با استفاده از پرسشنامه و اندازه‌گیری‌های اقلیمی بررسی کردند. آن‌ها نشان دادند در کنار نقش اساسی فاکتورهای محیطی، سازگاری حرارتی و پارامترهای روانشناختی تأثیر بسزایی بر آسایش حرارتی انسان در فضای خارجی دارند. همچنین تفاوت معناداری بین دانشجویان محلی و بین المللی در ارتباط با شرایط اقلیمی وجود دارد[۹۳]. واتانابی[2]و همکاران آسایش حرارتی فضای باز را در تابستان در اقلیم مرطوب نیمه استوایی در محیط دانشگاه دایدو[3]ژاپن مورد ارزیابی قرار دارند. مطالعات میدانی در سه موقعیت: آفتاب، سایه ساختمان و سایه پوشش گیاهی انجام شد و ۴۲ نفر از دانشجویان پسر پرسشنامه‌های احساس حرارتی و آسایش حرارتی را تکمیل کردند. آن‌ها از سه شاخص حرارتی ETU ، UTCI و OUT_SET استفاده کردند و به این نتیجه رسیدند که شاخص ETU یک شاخص مناسب برای ارزیابی آسایش حرارتی فضای باز در محدوده این مطالعه است. نتایج پژوهش آن‌ها نشان می‌دهد، ابزارهای سایه انداز مثل ساختمان و آلاچیق‌هایی با پوشش گیاهی می‌تواند ETU را به طور قابل توجهی در تابستان در منطقه مرطوب نیمه استوایی کاهش دهد و محیط خنک‌تری را در مقایسه با آفتاب فراهم کند[۹۴]. نیو[4]و همکاران با اندازه‌گیری پارامترهای اقلیمی، تغییرات آسایش حرارتی فضای باز را ارزیابی کردند. آن‌ها با بررسی سه

[1] Putra
[2] Watanabe
[3] Daido
[4] Niu

موقعیت درون دانشگاه در دو روز نمونه در تابستان، نشان دادند که افزایش باد به همراه سایه اندازی می‌تواند محدوده قابل قبول از لحاظ آسایش حرارتی را در فضای باز در کنار ساختمان‌های بلند حتی در روزهای گرم تابستان در شهر نیمه استوایی افزایش دهد[۷]. مارتینلی[1]و همکاران ارتباط میان الگوهای سایه اندازی روزانه را با حضور و آسایش حرارتی افراد در تابستان، در میدانی در شهر رم ایتالیا ارزیابی کردند و به این نتیجه رسیدند اکثریت افرادی که در میدان حضور داشتند، موقعیت‌های دارای سایه را جهت نشستن انتخاب می‌کنند. آن‌ها اهمیت توجه به الگوهای سایه اندازی روزانه را در بازسازی فضاهای باز در اقلیم مدیترانه‌ای بیان کردند[۶۹]. پژوهش احمدپورکلهرودی و همکاران با هدف بررسی میزان تأثیرگذاری عناصر الحاقی نما، سایبان، پوشش گیاهی و سطوح آب به عنوان پرکاربردترین ابزار طراحی مؤثر بر کیفیت آسایش حرارتی عابرین پیاده در نواحی گرم و خشک انجام شده است. این پژوهش براساس تحلیل مقایسه‌ای گزینه‌های پیشنهادی از طریق شبیه‌سازی صورت گرفته است[۱۸]. لای[2]و همکاران مطالعات میدانی را در خصوص دمای متوسط تشعشعی برای شش نقطه متفاوت فضاهای باز دارای سایه در محیط‌های ساختمانی متراکم در کشور هنگ کنگ انجام دادند. مطالعه آن‌ها با هدف بررسی ارتباط بین شاخص دید به آسمان[3] و دمای متوسط تشعشعی در محیط‌های ساختمانی انجام شده است. نتایج آن‌ها تأثیر سایه اندازی و شاخص دید به آسمان را به عنوان راهکارهایی جهت سرمایش محیط بیان می‌کند[۱۹]. پژوهش میدل[4]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 سایه باعث کاهش احساس حرارتی به میزان تقریباً ۱ درجه در مقیاس ۹ نقطه‌ای و افزایش آسایش حرارتی در همه فصول به جز زمستان می‌شود. همچنین سایه ایجاد شده توسط درختان یا سایه بان‌های مصنوعی تفاوت معناداری در سطح آسایش افراد ایجاد نمی‌کند.

[1] Martinelli
[2] Lai
[3] Sky View Factor (SVF)
[4] Middel

سپس با استفاده از روش‌های آماری PET خنثی، ترجیحی و محدوده آسایش PET را محاسبه نمودند.[۸۲]. لی[1]و همکاران آسایش حرارتی فضای باز و فعالیت‌های فضای مسکونی را در اقلیم مرطوب حاره‌ای چین در فصول مختلف سال بررسی کردند. اندازه‌گیری پارامترهای اقلیمی همزمان با نظرسنجی توسط پرسشنامه صورت گرفته است. آن‌ها مقدار خنثی و محدوده آسایش PET را برای فصول مختلف محاسبه و بیان کردند افراد از طریق تنظیم پوشش، فضا و زمان فعالیت با محیط بیرونی هماهنگ می‌شوند. یافته‌های پژوهش نشان می‌دهد موقعیت‌های دارای سایه و آفتاب باید در طراحی فضای باز مناطق مسکونی در نظر گرفته شود تا در فصول مختلف سال، فرصت‌های بیشتری برای تعامل با محیط در اختیار ساکنان قرار گیرد و در نتیجه آسایش حرارتی و میزان استفاده افراد بهبود یابد[۸۰]. پژوهش علی[2]و پاتنایک[3]در شهر حاره‌ای بوپال[4] هند به منظور بررسی شرایط آسایش حرارتی فضای باز در سه گونه از فضاهای باز شهری (پارک‌های شهری، ساحل و گذرگاه‌های روباز بازار) در طول شرایط گرم و خشک انجام شده است. نتایج این پژوهش اهمیت سایه و کاهش پرتوهای تابشی را در دست‌یابی به آسایش حرارتی در فضاهای باز شهری در زمان بعد از ظهر نشان می‌دهد[۱۲]. کانان[5]و همکاران شرایط آسایش حرارتی فضای باز را در تابستان و اقلیم نیمه خشک سرد ترکیه با استفاده از مطالعات میدانی در محیط دانشگاه بررسی کردند. نقاط مورد مطالعه با توجه به معیارهای متفاوت از جمله سایه‌اندازی انتخاب شده بودند. همزمان با اندازه‌گیری پارامترهای اقلیمی، ۳۱۵ پرسشنامه توسط افراد تکمیل شد. آن‌ها با استفاده از روش‌های آماری PET خنثی و ترجیحی و محدوده آسایش PET را محاسبه و در نهایت دو شاخص آسایش حرارتی فضای باز را برای این مطالعه معرفی کردند[۱۳]. غفاریان حسینی و همکاران با استفاده از داده‌برداری مستقیم و شبیه‌سازی‌های پارامتریک ویژگی‌های خرد اقلیم را در محوطه دانشگاه در اقلیم حاره‌ای کوالالامپور مالزی ارزیابی کردند. آن‌ها مناطق با عدم آسایش حرارتی

[1] Li
[2] Ali
[3] Patnaik
[4] Bhopal
[5] Canan

و ویژگی‌های فیزیکی و طراحی آن‌ها را شناسایی و موقعیت‌های افزایش آسایش حرارتی فضای باز را برای کاربران دانشگاه بررسی کردند. یافته‌های آن‌ها نشان می‌دهد سطوح بالایی از عدم آسایش حرارتی در بیشتر فضاهای مورد مطالعه وجود دارد و پیشنهاداتی جهت بهبود کیفیت طراحی فضاهای خارجی که در آن‌ها شرایط آسایش حرارتی بهینه شده است، ارائه دادند. همچنین نتیجه گرفتند که بازطراحی مؤثر فضاهای خارجی در اقلیم حاره‌ای از طریق توجه کافی به عوامل مهم سایه و پوشش گیاهی می‌تواند منجر به دستیابی به فضای خارجی با تعداد کاربران زیاد و سطوح آسایش بهبود یافته شود[۹۵].

مطالب ذکر شده بیان می‌کنند بررسی شرایط آسایش حرارتی در فضای باز، نیازمند انجام پژوهش‌هایی به صورت مجزا برای هر اقلیم بوده و محدوده آسایش حرارتی قابل تعمیم به سایر اقلیم‌ها نمی‌باشد. همانگونه که در فصل اول نیز ذکر شد، شرایط آسایش در اقلیم‌های مختلف با توجه به تفاوت‌های جغرافیایی و شخصیتی متفاوت است. بررسی مطالعات پیشین نشان می‌دهد، پژوهشی مشابه پژوهش حاضر جهت بررسی تأثیر سایه بر آسایش حرارتی فضای باز در شهر شاهرود صورت نگرفته است.

فصل ۳: روش تحقیق

۳-۱- مقدمه

روش شناسی پژوهش، از جمله گام‌های مهم هر پژوهش می‌باشد که طی آن، مراحل انجام پژوهش، ابزار و روش‌های مورد استفاده و همچنین نحوه تحلیل یافته‌ها بیان می‌شود.

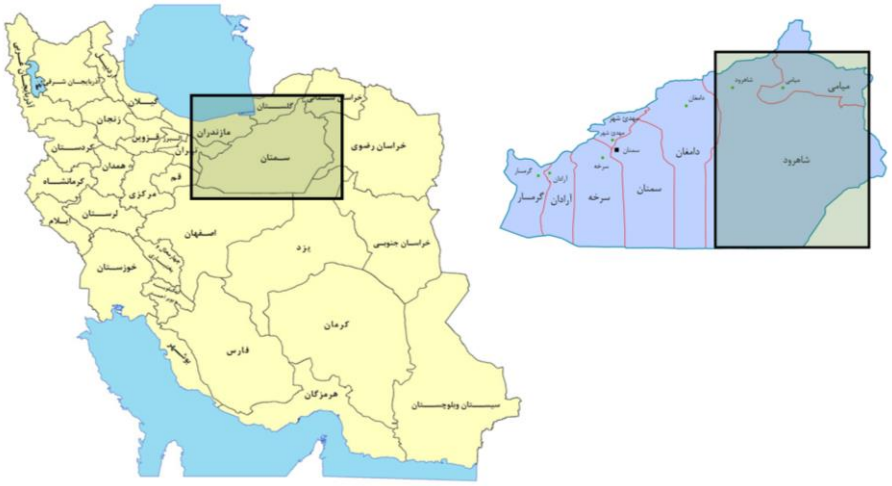
این پژوهش با هدف بررسی تأثیر سایه بر آسایش حرارتی فضای باز صورت گرفته است. مطالعات میدانی در این پژوهش به دو بخش ارزیابی حرارتی محیط با استفاده از پرسشنامه و اندازه‌گیری پارامترهای اصلی اقلیمی تقسیم می‌شود. در این فصل، ابتدا فرآیند پژوهش و سپس موقعیت و اقلیم شهر شاهرود معرفی خواهد شد. در ادامه نحوه انجام مطالعات میدانی و همچنین روش تجزیه و تحلیل یافته‌های حاصل از آن تبیین می‌شود.

۳-۲- فرآیند پژوهش

در این پژوهش ابتدا با استفاده از منابع کتابخانه‌ای و مرور پژوهش‌های صورت گرفته در حوزه آسایش حرارتی فضای باز، عوامل تأثیرگذار بر آسایش حرارتی مورد مطالعه قرار گرفته و سایه اندازی به عنوان یکی از راهکارهای مؤثر در آسایش حرارتی فضای باز شناسایی شده است. سپس جهت بررسی میزان تأثیرگذاری 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 گرفته است. با بررسی یافته‌های حاصل از مطالعات میدانی و همچنین استفاده از نرم افزارهای EXCEL، SPSS و RayMan و روش‌های آماری به تجزیه و تحلیل داده‌ها و ارزیابی شرایط اقلیمی در موقعیت‌های مورد مطالعه پرداخته شده است.

۳-۳- موقعیت جغرافیایی و اقلیم شاهرود

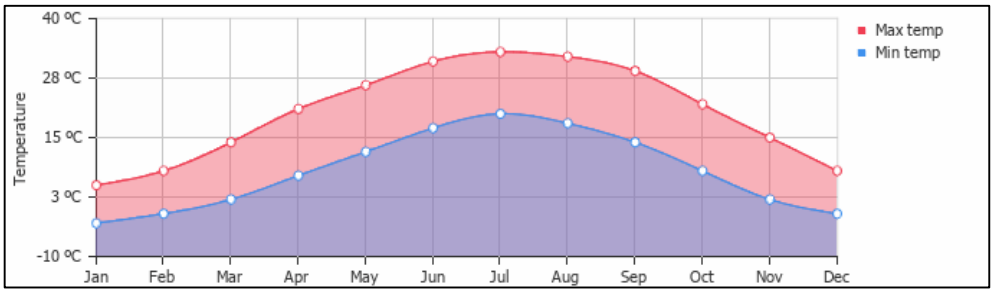
شهرستان شاهرود واقع در عرض جغرافیایی '۲۲ °۳۶ تا '۲۶ °۳۶ شمالی و طول جغرافیایی '۵۴ °۵۴ تا '۰۰ °۵۵ شرقی یکی از شهرستان‌های استان سمنان واقع در شمال شرقی ایران می‌باشد. این شهر در حاشیه شمالی دشت کویر و در دامنه‌های جنوبی رشته کوه البرز واقع شده است. این شهرستان از شمال به استان گلستان، از شرق به استان خراسان رضوی و شهرستان میامی، از جنوب به استان‌های اصفهان و یزد و از غرب به شهرستان دامغان محدود می‌گردد. شکل ۳-۱ موقعیت جغرافیایی شاهرود را نشان می‌دهد.



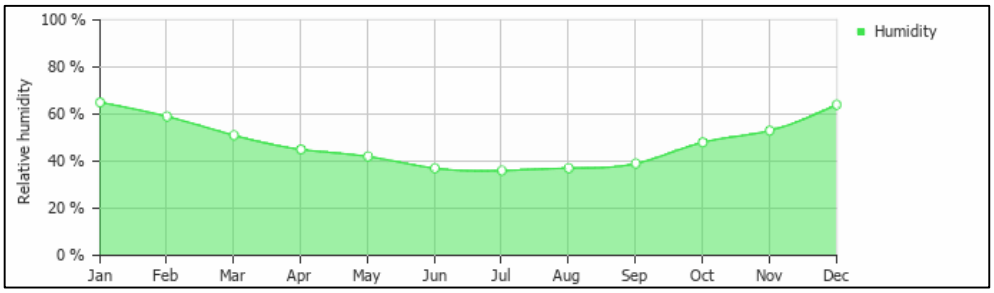
شکل۳-۱. موقعیت جغرافیایی شاهرود[۹۶]

با توجه به طبقه بندی اقلیمی کوپن-گایگر[1] شاهرود در محدوده خشک و نیمه خشک سرد (Bsk) 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- می‌باشد. همچنین میانگین بارندگی سالانه شاهرود طی دوره بلند مدت آماری ۱۵۶/۱ میلیمتر گزارش شده است[۹۷]. نمودارهای ماهانه پارامترهای اقلیمی شاهرود در طی سال در شکل ۳-۲ نشان داده شده است.

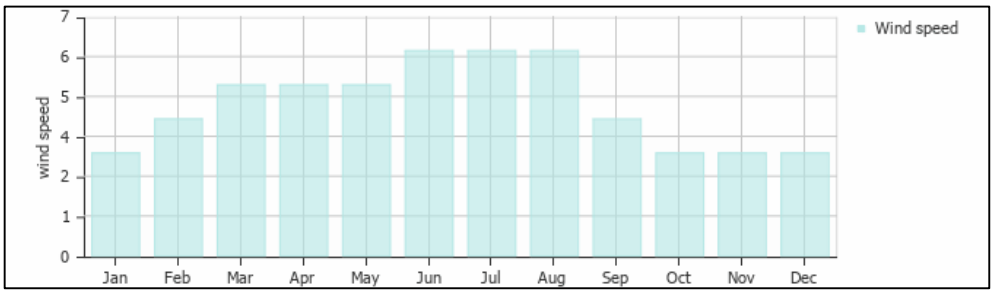
[1] Köppen-Geiger



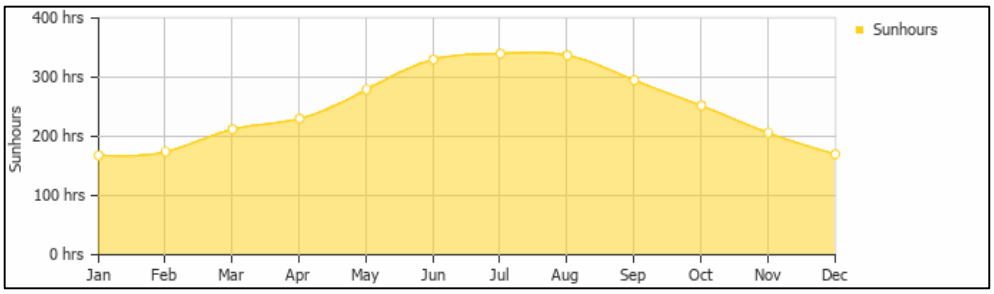
میانگین حداقل و حداکثر دمای ماهانه در شاهرود



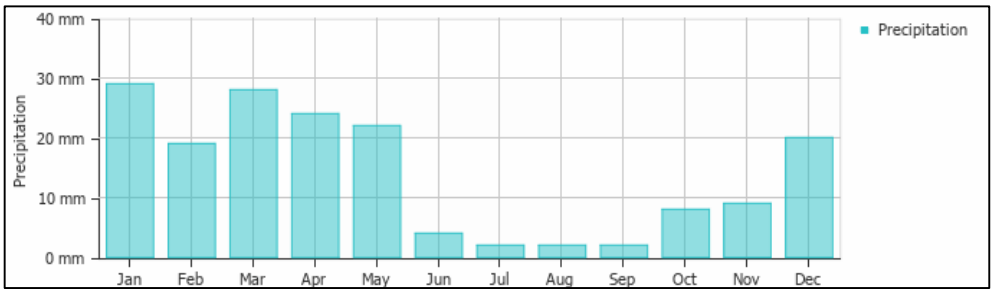
میانگین رطوبت نسبی ماهانه در شاهرود



میانگین سرعت باد ماهانه در شاهرود



میانگین ساعات آفتابی ماهانه در شاهرود



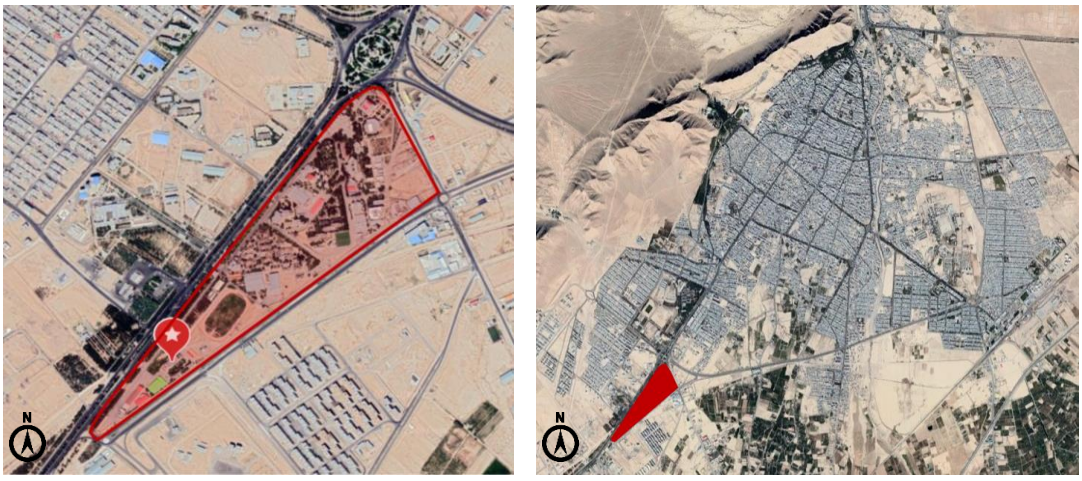
میانگین بارش ماهانه در شاهرود

شکل۳-۲. نمودارهای ماهانه پارامترهای اقلیمی شاهرود[۹۸]

همانطور که شکل ۳-۲ نشان می‌دهد، به طور میانگین گرم‌ترین و سردترین ماه‌های سال به ترتیب تیر و دی ماه، کمترین میزان رطوبت نسبی در مرداد و بیشترین مقدار آن در دی ماه می‌باشد[۹۸]. ماه‌های خرداد تا مرداد دارای بیشترین میزان سرعت باد و ساعات آفتابی می‌باشند. بیشترین میزان بارش در دی ماه و کمترین میزان آن در ماه‌های تیر تا شهریور رخ می‌دهد. با توجه به بررسی‌های انجام شده می‌توان بیان کرد دمای هوای میانگین در ماه‌های خرداد تا مرداد به بیشترین میزان می‌رسد.

۳-۴- محدوده 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) واقع در جنوب غربی شهرستان شاهرود جهت انجام مطالعات میدانی انتخاب شده است. از آنجائیکه تمرکز این مطالعه بر سایه می‌باشد، موقعیت‌های متفاوت ایجاد سایه در این دانشگاه شامل: سایه پوشش گیاهی، سایه ساختمان، سایه ایجاد شده توسط سایه‌بان افقی(پارکینگ) و همچنین موقعیت آفتاب جهت مقایسه با شرایط سایه مورد بررسی قرار گرفته‌اند. موقعیت‌های مذکور در در اطراف دانشکده مدیریت واقع شده‌اند. شکل ۳-۳ موقعیت محدوده مورد مطالعه را نشان می‌دهد.



(ب) (الف)

شکل۳-۳. موقعیت محدوده مورد مطالعه. الف) موقعیت دان–شگاه صنعتی شاهرود، ب) موقعیت دانشکده مدیریت. مأخذ: نگارنده

محدوده مورد مطالعه به گونه‌ای انتخاب شده است که نقاط مذکور در فواصل نزدیک به یکدیگر قرار گرفته باشند و مصالح کف نیز در این نقاط یکسان باشد. همچنین سایه اندازی‌ها به نحوی باشد که در زمان داده برداری موقعیت آفتاب و سایه در نقاط مورد نظر تغییر نکند. در شکل ۳-۴ موقعیت دستگاه‌های داده برداری نشان داده شده است.

شکل۳-۴. موقعیت دستگاه‌های داده برداری. الف) سایه پوشش گیاهی، ب) سایه ساختمان، ج) پارکینگ، د) آفتاب. مأخذ: نگارنده

- **موقعیت پوشش گیاهی**

موقعیت سایه پوشش گیاهی مورد مطالعه در بخش جنوبی ساختمان دانشکده مدیریت واقع شده است. همانطور که در شکل ۳-۵ نشان داده شده است، پوشش گیاهی شامل: بوته، درختچه و درختان سوزنی برگ و پهن برگ با حداکثر ارتفاع حدود ۸ متر می‌باشد. کف باغچه‌ها با خاک پوشیده شده است و

مصالح کف در اطراف باغچه‌ها شامل صفحات سیمانی و آسفالت می‌باشد. موقعیت قرارگیری دستگاه داده برداری به گونه‌ای انتخاب شده است که مصالح کف در اطراف نقطه مورد نظر (مشابه سایر نقاط داده برداری) آسفالت باشد.

شکل۳-۵. موقعیت پوشش گیاهی. مأخذ: نگارنده

- **موقعیت ساختمان**

ساختمان دانشکده مدیریت ساختمانی ۴ طبقه (در بخش‌های ورودی ۲ طبقه و بخش مرکزی ۳ طبقه) با نمای آجری و جهت گیری شمال شرقی – جنوب غربی است. طول این ساختمان حدود ۶۰ متر و عرض آن حدود ۱۸ متر می‌باشد. شکل ۳-۶ ساختمان دانشکده مدیریت را نشان می‌دهد.

شکل۳-۶. ساختمان دانشکده مدیریت. مأخذ: نگارنده

- **موقعیت پارکینگ**

پارکینگ خودرو در فاصله ۱۶ متری از ضلع غربی ساختمان دانشکده واقع شده است. دو پارکینگ مسقف با مصالح ورق فلزی به فاصله ۵ متر از یکدیگر قرار گرفته‌اند. شکل ۳-۷ نشان می‌دهد رنگ سقف‌ها در سمت خارجی، قرمز و نارنجی و در سمت داخلی طوسی روشن می‌باشد. هر پارکینگ حدود ۶ متر عرض و ۲۵ متر طول دارد و سقف پارکینگ در میانگین ارتفاع ۳ متر بالای سطح زمین می‌باشد.

شکل۳-۷. موقعیت پارکینگ. مأخذ: نگارنده

- **موقعیت آفتاب**

موقعیت آفتاب در بخش شمال شرقی ورودی اصلی دانشکده واقع شده است. به‌گونه‌ای که در تمام ساعات داده برداری در معرض تابش خورشید قرار داشته است. همانطور که در شکل ۳-۸ نشان داده شده است، در اطراف نقطه مورد نظر موانع سایه انداز وجود ندارد.

شکل۳-۸. موقعیت آفتاب. مأخذ: نگارنده

۳-۵- شیوه و ابزار گردآوری اطلاعات

با توجه به هدف تحقیق مبنی بر تمرکز بر هوای گرم و بررسی آمارهای هواشناسی از یک سو و همچنین ضرورت حضور دانشجویان جهت تکمیل پرسشنامه از سوی دیگر، مطالعات میدانی در روزهای ۳۰ و ۳۱ اردیبهشت و ۲۷ خرداد ۱۳۹۸ از ساعت ۱۰:۰۰ تا ۱۷:۰۰ به صورت همزمان در ۴ نقطه از فضای باز محوطه دانشگاه صنعتی شاهرود انجام شد. در اکثر ساعات داده برداری در روزهای ۳۰ اردیبهشت و ۲۷ خرداد، شرایط آفتابی و در روز ۳۱ اردیبهشت شرایط ابری حاکم بود.

داده‌های هواشناسی در روزهای داده برداری توسط ایستگاه هواشناسی واقع در دانشگاه صنعتی شاهرود در نزدیکی محل داده برداری (فاصله حدود ۷۰۰ متر) ثبت شده است. جدول ۳-۱ مشخصات دستگاه ایستگاه هواشناسی دانشگاه صنعتی شاهرود را نشان می‌دهد.

جدول۳-۱. مشخصات دستگاه ایستگاه هواشناسی. مأخذ: نگارنده

متغیر	دستگاه	دقت زمانی	محدوده داده‌برداری	فاصله زمانی
تابش خورشیدی رطوبت نسبی باران دما جهت وزش باد سرعت باد فشار هوا	HOBO RX3000 Remote Monitoring Station Data Logger	± ۸ ثانیه بر ماه در محدوده ۰ تا ۴۰ °C ± ۳۰ ثانیه بر ماه در محدوده ۴۰- تا ۶۰ °C	۴۰- تا ۶۰ °C	۵ دقیقه

مطالعات میدانی با اندازه‌گیری همزمان متغیرهای اقلیمی توسط دستگاه‌های داده برداری و ارزیابی ادراک حرارتی دانشجویان با استفاده از پرسشنامه آسایش حرارتی صورت گرفته‌است.

۳-۵- ۱- اندازه‌گیری متغیرهای اقلیمی

متغیرهای اقلیمی در هر یک از روزهای داده برداری به صورت همزمان در چهار موقعیت مورد مطالعه اندازه‌گیری شده است. مقادیر دمای هوا[۱] رطوبت نسبی[۲] سرعت باد[۳]و دمای کروی[۴](برای محاسبه دمای متوسط تشعشعی[۵] در فواصل زمانی یک دقیقه توسط دستگاه‌های ذکر شده در جدول ۲-۳ در هر یک از موقعیت‌های داده برداری ثبت شده است. دستگاه‌ها و فرآیند داده برداری مطابق با ایزو[۶] ۷۷۲۶ در نظر گرفته شده است[۹۹]. همه دستگاه‌ها قبل از داده برداری آزمایش شدند.

جدول۳-۲. مشخصات دستگاه‌های داده برداری. مأخذ: نگارنده

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[۷]	٪۳/۵ (٪۲۵ تا ٪۸۵) ٪۵ (٪۲۵> و ٪۸۵<)	۱/۱
سرعت باد	Hot Wire Anemometer, CEM -3880. ST-3880	± (٪۵ +۱d)	۱/۱
دمای کروی	Onset Hobo, UX100-014M	دقت ترموکوپل گوی ± ۰/۷ °C ±	۰/۶ و ۱/۱

دمای متوسط تشعشعی با توجه به مقادیر دمای کروی، دمای هوا و سرعت باد از رابطه ۳-۱ به دست می‌آید[۹۹]:

$$\mathrm{T_{mrt}} = \left[\left(T_g + 273\right)^4 + \frac{1.10 \times 10^8 \times V_a^{0.6}}{\varepsilon D^{0.4}} \left(T_g - T_a\right) \right]^{\frac{1}{4}} - 273 \qquad (۱-۳)$$

[1] Air Temperature (T_a)
[2] Relative Humidity (RH)
[3] Wind Speed (V_a)
[4] Globe Temperature (T_g)
[5] Mean Radiant Temperature (T_{mrt})
[6] ISO
[7] ٪۱۵-٪۹۵ : محدوده عملیاتی

در رابطه ۳-۱، ε انتشار پذیری گوی (۰/۹۵ برای گوی سیاه) و D قطر گوی (۴۰ میلیمتر برای این مطالعه) می‌باشد.

۳-۵- ۲- پرسشنامه آسایش حرارتی

جهت ارزیابی ادراک حرارتی دانشجویان از پرسشنامه‌های آسایش حرارتی استفاده شده است. توزیع پرسشنامه به صورت تصادفی در بین دانشجویانی که در روزهای داده برداری در موقعیت‌های مورد مطالعه حضور داشتند، صورت گرفت. تعداد پرسشنامه‌های مورد نیاز جهت انجام تحلیل در پژوهش‌های پیشین متفاوت بوده است. باتوجه 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 [۱۶, ۱۰۰]، مطالعات پیشین صورت گرفته در حوزه آسایش حرارتی فضای باز [۵۸, ۶۷, ۸۱, ۱۰۱-۱۰۵] و همچنین اهداف تحقیق در دو بخش سازماندهی شد. در بخش اول ویژگی‌های شخصی (سن و جنسیت)، سطوح فعالیت و پوشش و در بخش دوم اطلاعات مربوط به احساس حرارتی و سطح آسایش افراد با توجه به پارامترهای آب و هوایی مورد سؤال قرار گرفت. 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 هر یک از متغیرهای هواشناسی با توجه به مقیاس سه گانه (بیشتر شود، کمتر شود و ثابت بماند) ارزیابی شده است. پرسشنامه در پیوست قرار داده شده است.

۳-۶- پردازش داده‌ها و تحلیل اطلاعات

پس از انجام مطالعات میدانی، پارامترهای اقلیمی ثبت شده توسط دستگاه‌های داده برداری در هر یک از موقعیت‌ها و همچنین ایستگاه هواشناسی دانشگاه با استفاده از نرم افزار HOBO استخراج گردید. از

آنجائیکه جهت اندازه‌گیری پارامترهای اقلیمی در موقعیت‌های مورد مطالعه از چندین دستگاه استفاده شده است؛ پیش از انجام تحلیل، دستگاه‌ها با ایستگاه هواشناسی موجود در دانشگاه کالیبره شدند و باتوجه به حداقل زمان حضور و تکمیل پرسشنامه توسط دانشجویان از میانگین ۵ دقیقه‌ای برای هر یک از پارامترهای اقلیمی در زمان تکمیل هر پرسشنامه استفاده شده است.

داده‌های حاصل از اندازه‌گیری‌های اقلیمی با کمک نرم افزار EXCEL جهت بررسی شرایط اقلیمی موقعیت‌های انتخابی مورد تجزیه و تحلیل قرار گرفته است. همچنین با استفاده از نرم افزار SPSS نسخه ۲۰، یافته‌های حاصل از پرسشنامه‌ها، بررسی و ارتباط بین متغیرهای مختلف و سطح آسایش حرارتی در موقعیت‌های انتخابی مشخص شده است. از سوی دیگر با کمک نرم افزار RayMan نسخه ۱.۲ و داده‌های حاصل اندازه‌گیری‌های اقلیمی، شاخص PET در هر یک از موقعیت‌های انتخابی به صورت مجزا برای خانم‌ها و آقایان محاسبه و با یافته‌های حاصل از نظرات افراد مقایسه شده است تا بدین وسیله شرایط اقلیمی و آسایش حرارتی دانشجویان در موقعیت‌های انتخابی مورد بررسی قرار گیرد. در نهایت با استفاده از روش‌های آماری از جمله رگرسیون‌های خطی[1] و لجستیک[2] مقدار PET خنثی و محدوده آسایش PET برای این مطالعه تعریف شده است.

[1] Linear Regression
[2] Logistic Regression

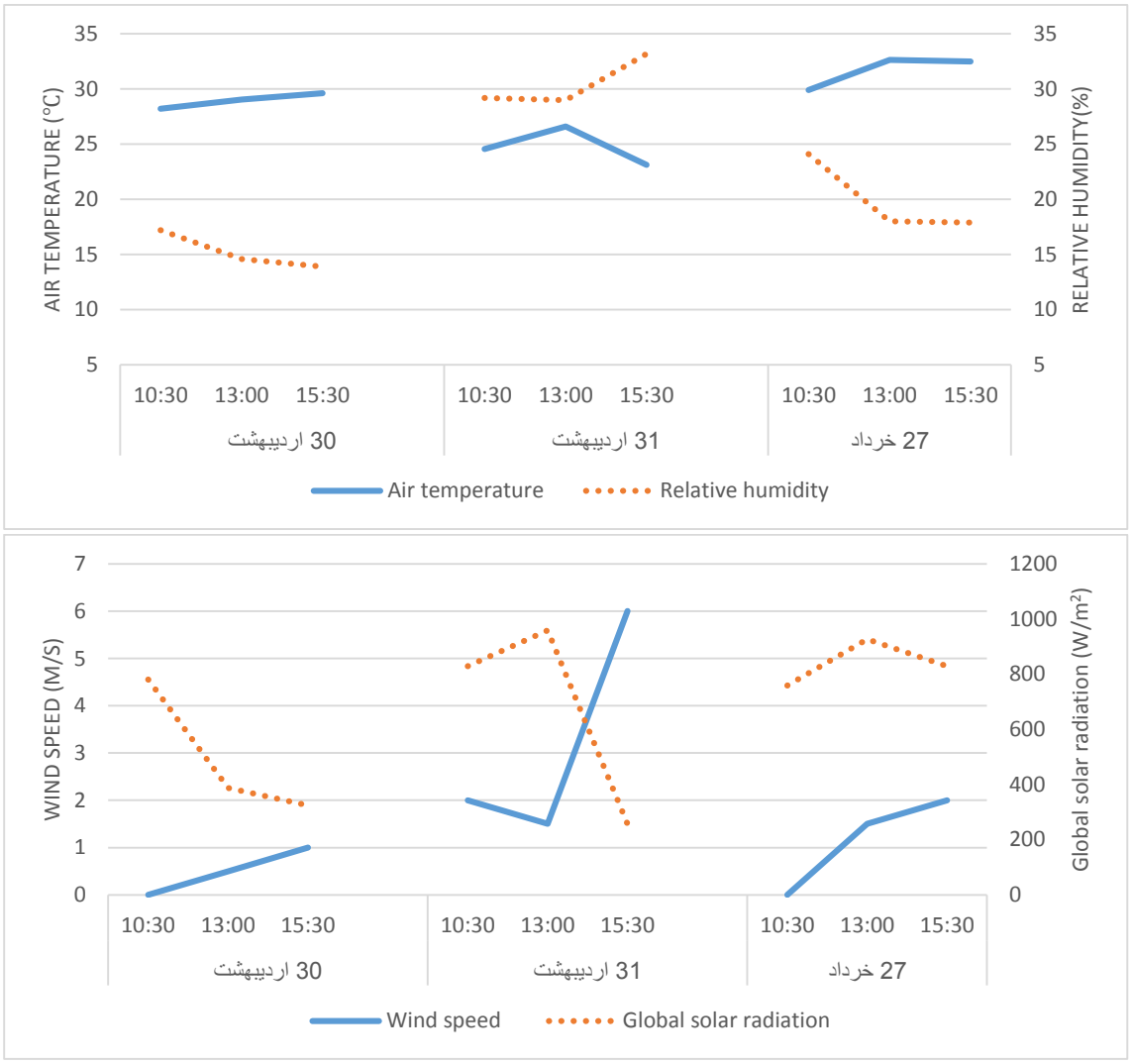
فصل ۴: تجزیه و تحلیل یافته‌های تحقیق

۴-۱- مقدمه

در این فصل در خصوص نتایج حاصل از داده‌برداری‌های میدانی شامل پارامترهای اقلیمی و همچنین پاسخ‌های کاربران بحث خواهد شد. سپس با توجه به داده‌های حاصل از اندازه‌گیری پارامترهای اقلیمی، مقادیر دمای معادل فیزیولوژیکی در روزهای و موقعیت‌های داده برداری محاسبه و با نظرات دانشجویان مقایسه می‌شود. در نهایت مقدار خنثی و محدوده آسایش دمای معادل فیزیولوژیکی، بر اساس نظرات افراد و با استفاده از روش‌های آماری محاسبه خواهد شد.

۴-۲- اندازه‌گیری‌های اقلیمی

همانطور که ذکر شد، اطلاعات هواشناسی در روزهای داده برداری از ایستگاه هواشناسی واقع در دانشگاه استخراج شده است. شکل ۴-۱ نشان می‌دهد، حداقل دمای هوا در ساعات داده برداری ۲۳/۱۴ °C و حداکثر آن ۳۲/۶۴ °C ثبت شده است. رطوبت نسبی بین ۱۳/۹ ٪ تا ۳۳/۲ ٪ و سرعت باد بین ۰ تا ۶ متر بر ثانیه در زمان داده برداری متغیر بوده است. کمترین میزان تابش خورشید (w/m^2) ۲۵۶ و بیشترین میزان آن (w/m^2) ۹۵۲ گزارش شده است.



شکل ۴-۱. داده‌های اقلیمی شاهرود در زمان داده‌برداری. مأخذ: نگارنده

در این بخش، به عنوان نمونه، پارامترهای اقلیمی ثبت شده در هر یک از موقعیت‌ها در ۲۷ خرداد ۱۳۹۸ که بالاترین دمای هوا را در میان روزهای داده برداری داشته، ارائه شده است. شکل ۴-۲ تغییرات دمای هوا، دمای متوسط تشعشعی، رطوبت نسبی و سرعت باد را در زمان‌های قبل از ظهر، ظهر و بعد از ظهر نشان می‌دهد. همانطور که مشاهده می‌شود دمای هوا در موقعیت آفتاب در طول روز حداقل ۲ °C بالاتر از موقعیت‌های دارای سایه می‌باشد. بیشترین تفاوت دمایی در نقاط دارای سایه میان موقعیت‌های سایه ساختمان و پارکینگ در ساعات قبل از ظهر ثبت شده است. موقعیت پارکینگ ۵/۴ °C گرم‌تر از سایه ساختمان می‌باشد. اختلاف دما در نقاط دارای سایه در زمان ظهر کاهش یافته و در بعد از ظهر با ابری

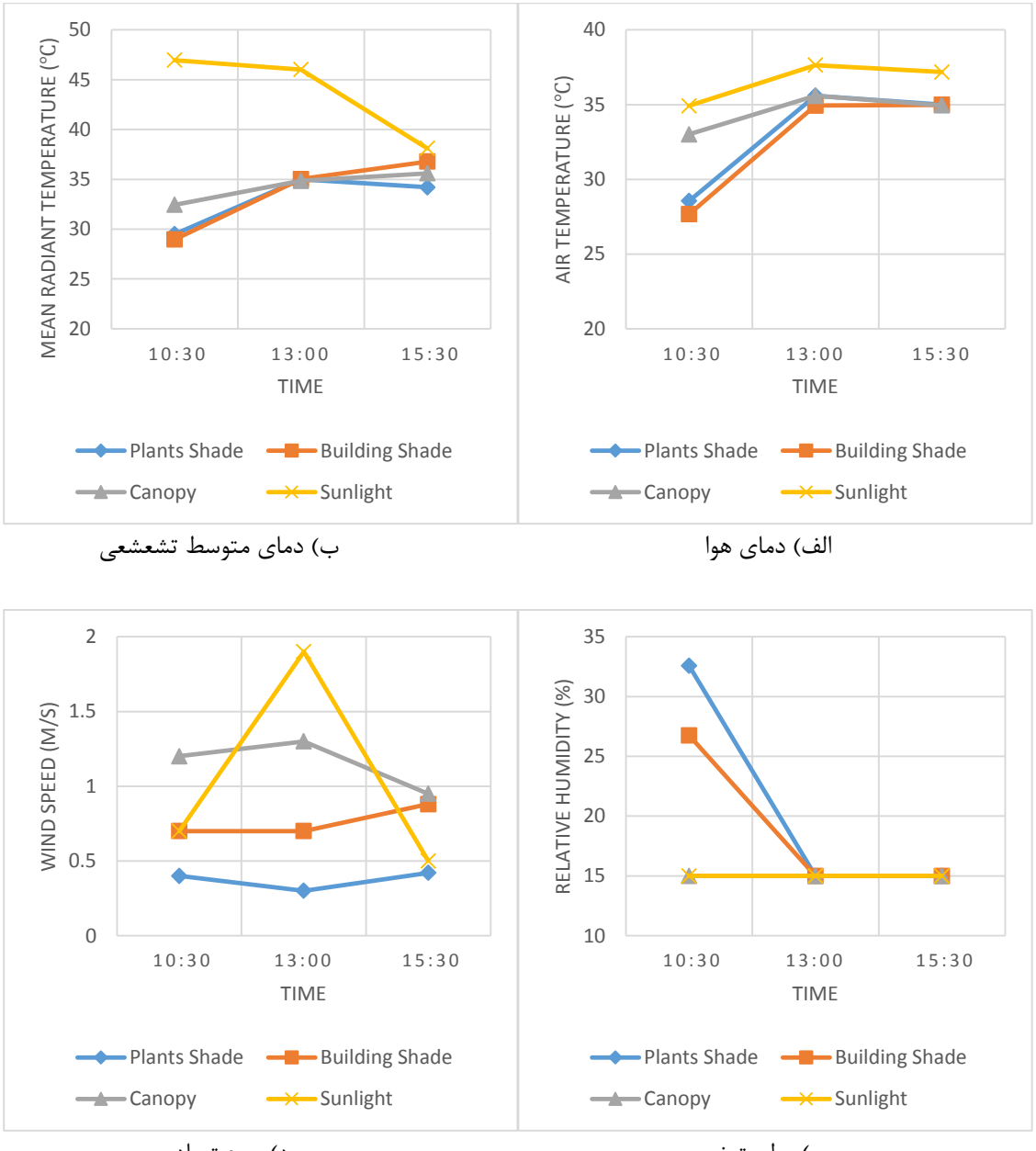
شدن آسمان به حداقل می‌رسد. میانگین دمای هوا در موقعیت‌های سایه پوشش گیاهی، سایه ساختمان، پارکینگ و آفتاب به ترتیب ۳۳/۱ °C، ۳۲/۵ °C، ۳۴/۵ °C، ۳۶/۶ °C می‌باشد.

دمای متوسط تشعشعی نیز همانند دمای هوا در موقعیت آفتاب بالاتر از سایر موقعیت‌ها می‌باشد. در قبل از ظهر و شرایط بدون ابر، حداقل اختلاف ۱۴/۵ °C موقعیت آفتاب با سایه مشاهده می‌شود در حالیکه در ساعت ۱۵:۳۰ و هوای ابری این اختلاف به حدود ۱/۳ °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 ۱۸ °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 می‌باشد. بیشترین اختلاف دمای متوسط تشعشعی در نقاط دارای سایه حدود ۳/۵ °C در ساعات قبل از ظهر و بین موقعیت پارکینگ و سایه ساختمان مشاهده می‌شود. در زمان ظهر این اختلاف به حداقل و در بعداز ظهر به حدود ۲/۶ °C می‌رسد. میانگین دمای متوسط تشعشعی در موقعیت‌های سایه پوشش گیاهی، سایه ساختمان، پارکینگ و آفتاب به ترتیب ۳۲/۹ °C، ۳۳/۶ °C، ۳۴/۳ °C، ۴۳/۷ °C می‌باشد.

رطوبت نسبی در قبل از ظهر و شرایط بدون ابر در پوشش گیاهی بیشترین مقدار را دارد. این در حالیست که در شرایط ابری رطوبت نسبی در همه موقعیت‌ها حداقل اختلاف را دارند. از آنجائیکه محدوده عملیاتی دستگاه ثبت کننده مقدار رطوبت نسبی ۱۵-۹۵٪ می‌باشد، بنابراین حداقل تفاوت رطوبت نسبی میان موقعیت‌های آفتاب و سایه قابل محاسبه نمی‌باشد.

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 (۱/۹ متر بر ثانیه) در زمان ظهر و موقعیت آفتاب به دلیل عدم وجود موانع ثبت شده است. در هریک از موقعیت‌های دارای سایه، سرعت باد در محدوده کوچکی (حداکثر ۰/۳۵ 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 می‌باشند. 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.



ب) دمای متوسط تشعشعی

الف) دمای هوا

د) سرعت باد

ج) رطوبت نسبی

شکل۴-۲. نمودارهای اقلیمی ۲۷ خرداد ۱۳۹۸ در موقعیت‌های مورد مطالعه؛ الف) دمای هوا، ب) دمای متوسط تشعشعی، ج) رطوبت نسبی، د) سرعت باد. مأخذ: نگارنده

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

۴-۳- بررسی یافته‌های حاصل از پرسشنامه

۴-۳-۱- جامعه آماری

همانطور که ذکر شد، همزمان با اندازه‌گیری پارامترهای اصلی اقلیمی در موقعیت‌های مورد مطالعه، نظرات افراد در خصوص شرایط حرارتی با استفاده از پرسشنامه مورد سؤال قرار گرفته است. پیش از تحلیل داده‌ها، پرسشنامه‌هایی با پاسخ‌های متناقض از روند ارزیابی حذف شده تا نتایج دارای اعتبار باشند. در مجموع ۲۸۳ پرسشنامه صحیح مورد ارزیابی قرار گرفت. دانشجویان در بازه سنی ۱۸ تا ۳۴ سال قرار داشتند و از مجموع پاسخ‌دهندگان (۲۸۳ نفر) ، ۵۹٪ خانم‌ها (۱۶۷ نفر) و ۴۱٪ آقایان (۱۱۶ نفر) پرسشنامه‌ها را تکمیل کردند. جدول ۴-۱ فراوانی پرسشنامه را در موقعیت‌ها و روزهای مورد مطالعه نشان می‌دهد.

جدول۴-۱. فراوانی پرسشنامه در موقعیت‌ها و روزهای مورد مطالعه. مأخذ: نگارنده

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

۴-۳-۲- ارزیابی موقعیت‌های مورد مطالعه

داده‌های حاصل از پرسشنامه‌ها توسط نرم افزار آماری SPSS و با استفاده از آنالیزهای توصیفی، مورد تجزیه و تحلیل قرار گرفته و شرایط حرارتی افراد در سایت‌های انتخابی بررسی شده‌است. جهت تعیین وجود و یا عدم وجود ارتباط بین دو متغیر از آزمون کای اسکوئر[1] استفاده شده است. در این آزمون اگر سطح معناداری بین دو متغیر (p-value) کمتر از ۰/۰۵ باشد، نشان می‌دهد بین این دو متغیر ارتباط معناداری وجود دارد. در غیر این صورت ارتباط معناداری وجود ندارد.

۴-۳-۲-۱-آسایش حرارتی در موقعیت‌های مورد مطالعه

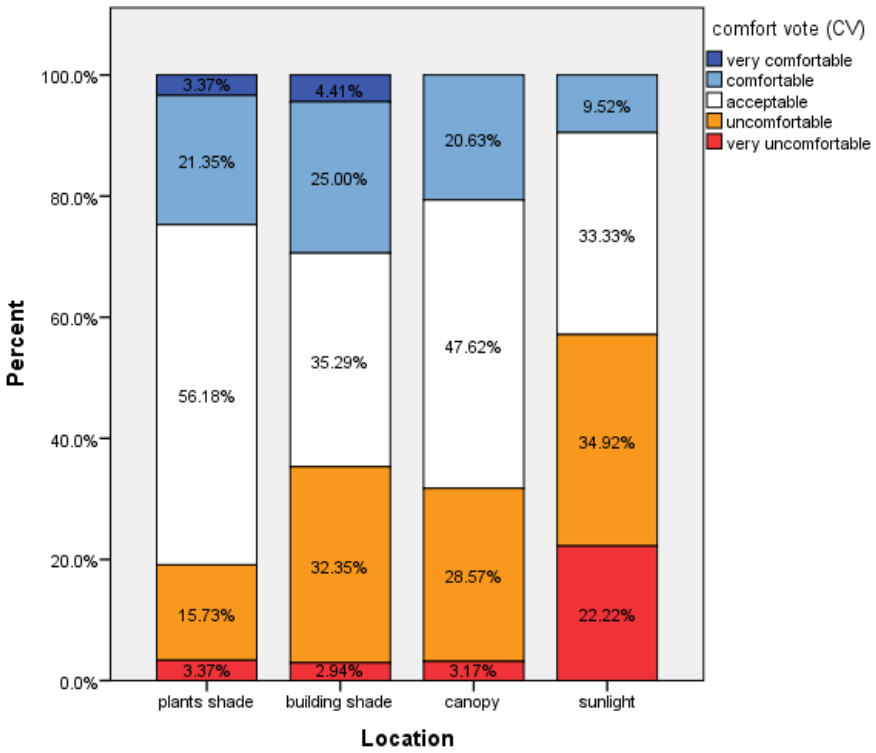
سطح آسایش حرارتی افراد در هریک از موقعیت‌های مورد مطالعه با استفاده از مقیاس ۵ نقطه‌ای (بسیار خوشایند تا بسیار ناخوشایند) مورد سنجش قرار گرفته است. آزمون کای اسکوئر نشان می‌دهد ارتباط معناداری بین موقعیت و آسایش حرارتی وجود دارد (p-value =۰/۰۰۰ ≤ ۰/۰۵). مطابق با جدول ۴-۲، سایه پوشش گیاهی مطلوب‌ترین و موقعیت آفتاب ناخوشایندترین شرایط حرارتی را برای افراد مورد مطالعه در این پژوهش فراهم می‌کند. باتوجه به استاندارد اشری محیط حرارتی قابل قبول "محیط حرارتی است که برای اکثریت قابل توجهی (بیش از ۸۰٪) از افراد به لحاظ حرارتی قابل قبول باشد"[۱۶]. بنابراین سایه پوشش گیاهی با درصد رضایت ۸۰/۹٪، محیط حرارتی قابل قبولی را ایجاد می‌کند.

[1] Chi-Square Tests

جدول۴-۲. ارتباط موقعیت و آسایش حرارتی. مأخذ: نگارنده

			آسایش حرارتی					مجموع
			بسیار ناخوشایند	ناخوشایند	قابل قبول	خوشایند	بسیار خوشایند	
موقعیت	سایه پوشش گیاهی	تعداد	۳	۱۴	۵۰	۱۹	۳	۸۹
		درصد در موقعیت	٪ ۳/۴	٪ ۱۵/۷	٪ ۵۶/۲	٪ ۲۱/۳	٪ ۳/۴	٪ ۱۰۰
		درصد در آسایش حرارتی	٪ ۱۴/۳	٪ ۱۸/۴	٪ ۴۰	٪ ۳۴/۵	٪ ۵۰	٪ ۳۱/۴
		درصد در مجموع	٪ ۱/۱	٪ ۴/۹	٪ ۱۷/۷	٪ ۶/۷	٪ ۱/۱	٪ ۳۱/۴
	سایه ساختمان	تعداد	۲	۲۲	۲۴	۱۷	۳	۶۸
		درصد در موقعیت	٪ ۲/۹	٪ ۳۲/۴	٪ ۳۵/۳	٪ ۲۵/۰	٪ ۴/۴	٪ ۱۰۰
		درصد در آسایش حرارتی	٪ ۹/۵	٪ ۲۸/۹	٪ ۱۹/۲	٪ ۳۰/۹	٪ ۵۰	٪ ۲۴
		درصد در مجموع	٪ ۰/۷	٪ ۷/۸	٪ ۸/۵	٪ ۶	٪ ۱/۱	٪ ۲۴
	پارکینگ	تعداد	۲	۱۸	۳۰	۱۳	۰	۶۳
		درصد در موقعیت	٪ ۳/۲	٪۲۸/۶	٪ ۴۷/۶	٪ ۲۰/۶	٪ ۰	٪ ۱۰۰
		درصد در آسایش حرارتی	٪ ۹/۵	٪ ۲۳/۷	٪ ۲۴	٪ ۲۳/۶	٪ ۰	٪ ۲۲/۳
		درصد در مجموع	٪ ۰/۷	٪ ۶/۴	٪ ۱۰/۶	٪ ۴/۶	٪ ۰	٪ ۲۲/۳
	آفتاب	تعداد	۱۴	۲۲	۲۱	۶	۰	۶۳
		درصد در موقعیت	٪ ۲۲/۲	٪ ۳۴/۹	٪ ۳۳/۳	٪ ۹/۵	٪ ۰	٪ ۱۰۰
		درصد در آسایش حرارتی	٪ ۶۶/۷	٪ ۲۸/۹	٪ ۱۶/۸	٪ ۱۰/۹	٪ ۰	٪ ۲۲/۳
		درصد در مجموع	٪ ۴/۹	٪ ۷/۸	٪ ۷/۴	٪ ۲/۱	٪ ۰	٪ ۲۲/۳
مجموع		تعداد	۲۱	۷۶	۱۲۵	۵۵	۶	۲۸۳
		درصد در موقعیت	٪ ۷/۴	٪ ۲۶/۹	٪ ۴۴/۲	٪ ۱۹/۴	٪ ۲/۱	٪ ۱۰۰
		درصد در آسایش حرارتی	٪ ۱۰۰	٪ ۱۰۰	٪ ۱۰۰	٪ ۱۰۰	٪ ۱۰۰	٪ ۱۰۰

در سایه پوشش گیاهی، پارکینگ و سایه ساختمان اکثر افرادی که در این محیط‌ها حضور داشتند (به ترتیب ۸۰/۹٪ ، ۶۸/۲ ٪ و ۶۴/۷٪) محیط حرارتی را قابل قبول یا خوشایند می‌دانستند در حالیکه در موقعیت آفتاب بیش از نیمی از پاسخ‌دهندگان (۵۷/۱ ٪) محیط حرارتی را ناخوشایند عنوان کرده‌اند. شکل ۴-۳ نمودار فراوانی آسایش حرارتی در هر یک از موقعیت‌های مورد مطالعه را نشان می‌دهد.



شکل۴-۳. نمودار فراوانی آسایش حرارتی در موقعیت‌های مورد مطالعه. مأخذ: نگارنده

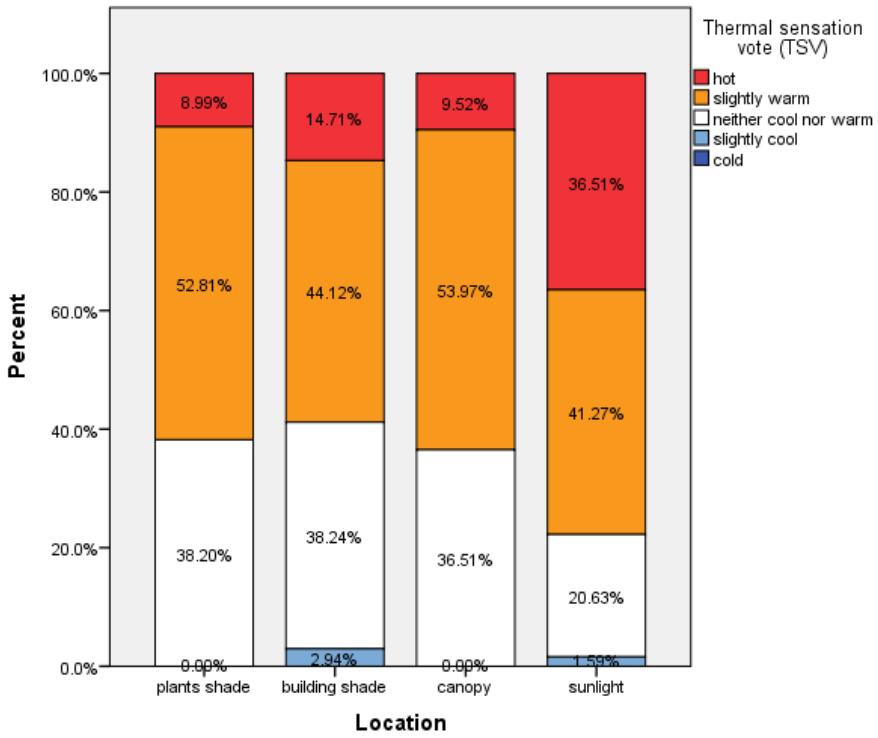
۴-۳-۲-۲- احساس حرارتی در موقعیت‌های مورد مطالعه

احساس حرارتی افراد در هریک از موقعیت‌های مورد مطالعه با استفاده از مقیاس ۵ نقطه‌ای (بسیار گرم تا بسیار سرد) مورد سنجش قرار گرفته 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 جدول ۴-۳ نشان می‌دهد، در مجموع موقعیت‌ها تقریباً نیمی از افراد احساس حرارتی "کمی گرم" و یک سوم 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 تجربه حرارتی اکثر افراد در سمت گرم مقیاس حرارتی بوده‌است.

جدول۴-۳. احساس حرارتی دانشجویان در موقعیت‌های مورد مطالعه. مأخذ: نگارنده

			احساس حرارتی				مجموع
			کمی سرد	نه سرد و نه گرم	کمی گرم	خیلی گرم	
موقعیت	سایه پوشش گیاهی	تعداد	۰	۳۴	۴۷	۸	۸۹
		درصد در موقعیت	٪ ۰	٪ ۳۸/۲	٪ ۵۲/ ۸	٪ ۹	٪ ۱۰۰
		درصد در احساس حرارتی	٪ ۰	٪ ۳۵/۴	٪ ۳۴/۳	٪ ۱۷	٪ ۳۱/۴
		درصد در مجموع	٪ ۰	٪ ۱۲	٪ ۱۶/۶	٪ ۲/۸	٪ ۳۱/۴
	سایه ساختمان	تعداد	۲	۲۶	۳۰	۱۰	۶۸
		درصد در موقعیت	٪ ۲/۹	٪ ۳۸/۲	٪ ۴۴/۱	٪ ۱۴/۷	٪ ۱۰۰
		درصد در احساس حرارتی	٪ ۶۶/۷	٪ ۲۷/۱	٪ ۲۱/۹	٪ ۲۱/۳	٪ ۲۴
		درصد در مجموع	٪ ۰/۷	٪ ۹/۲	٪ ۱۰/۶	٪ ۳/۵	٪ ۲۴
	پارکینگ	تعداد	۰	۲۳	۳۴	۶	۶۳
		درصد در موقعیت	٪ ۰	٪ ۳۶/۵	٪ ۵۴	٪ ۹/۵	٪ ۱۰۰
		درصد در احساس حرارتی	٪ ۰	٪ ۲۴	٪ ۲۴/۸	٪ ۱۲/۸	٪ ۲۲/۳
		درصد در مجموع	٪ ۰	٪ ۸/۱	٪ ۱۲	٪ ۲/۱	٪ ۲۲/۳
	آفتاب	تعداد	۱	۱۳	۲۶	۲۳	۶۳
		درصد در موقعیت	٪ ۱/۶	٪ ۲۰/۶	٪ ۴۱/۳	٪ ۳۶/۵	٪ ۱۰۰
		درصد در احساس حرارتی	٪ ۳۳/۳	٪ ۱۳/۵	٪ ۱۹	٪ ۴۸/۹	٪ ۲۲/۳
		درصد در مجموع	٪ ۰/۴	٪ ۴/۶	٪ ۹/۲	٪ ۸/۱	٪ ۲۲/۳
مجموع		تعداد	۳	۹۶	۱۳۷	۴۷	۲۸۳
		درصد در موقعیت	٪ ۱/۱	٪ ۳۳/۹	٪ ۴۸/۴	٪ ۱۶/۶	٪ ۱۰۰
		درصد در احساس حرارتی	٪ ۱۰۰	٪ ۱۰۰	٪ ۱۰۰	٪ ۱۰۰	٪ ۱۰۰
		درصد در مجموع	٪ ۱/۱	٪ ۳۳/۹	٪ ۴۸/۴	٪ ۱۶/۶	٪ ۱۰۰

شکل۴-۴ نمودار فراوانی احساس حرارتی در هر یک از موقعیت‌های مورد مطالعه را نشان می‌دهد. مقایسه میان چهار موقعیت نشان می‌دهد که بیشترین گرما را افراد در موقعیت آفتاب احساس کردند (۳۶/۵ ٪ احساس خیلی گرم و ۴۱/۳٪ احساس کمی گرم). احساس حرارتی خنثی در موقعیت‌های دارای سایه تقریباً برابر و حدود ۳۸ ٪ در هر موقعیت بوده در حالیکه در موقعیت آفتاب تنها ۲۱٪ از افراد دارای احساس حرارتی خنثی بودند. این مسئله نشان می‌دهد سایه اندازی می‌تواند در کاهش احساس حرارتی افراد تأثیر بسزایی داشته باشد.

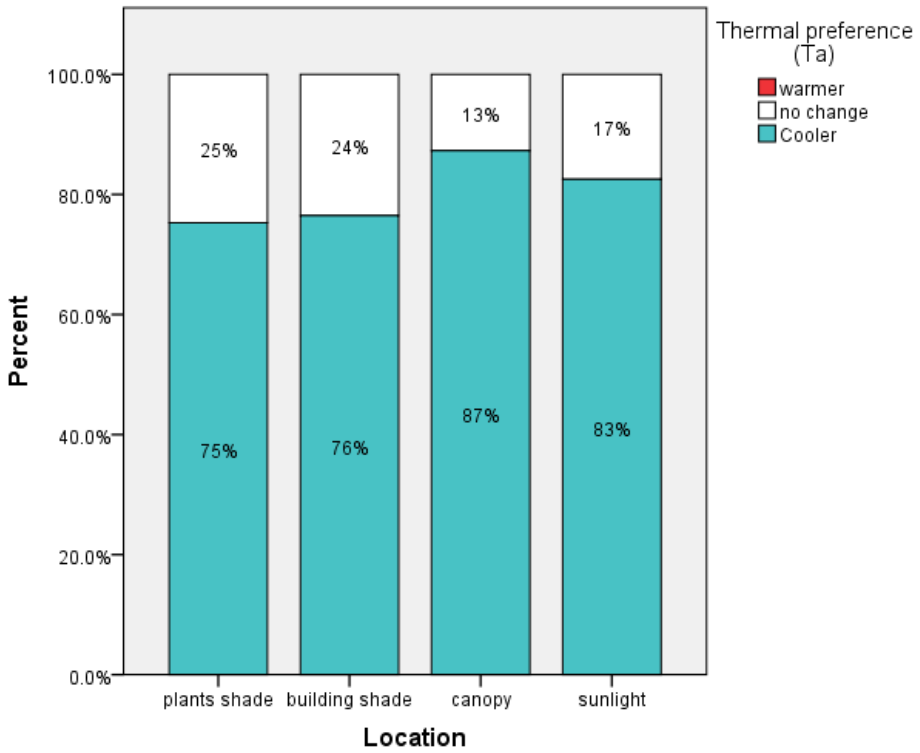


شکل۴-۴. نمودار فراوانی احساس حرارتی در موقعیت‌های مورد مطالعه. مأخذ: نگارنده

۴-۳-۲-۳-ترجیح حرارتی در موقعیت‌های مورد مطالعه

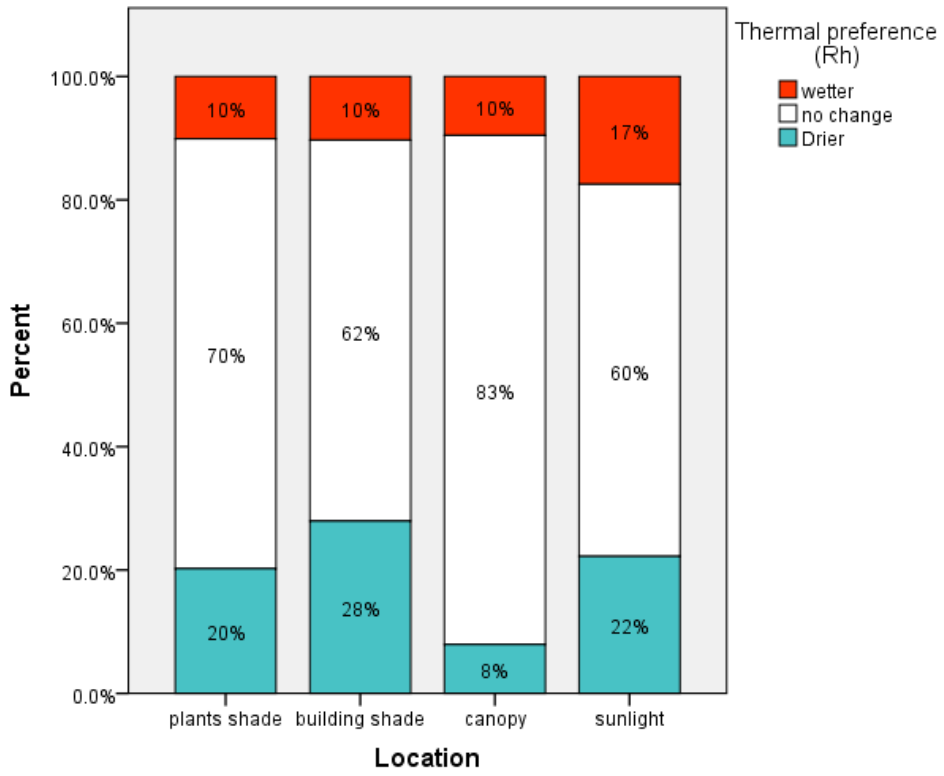
ترجیح حرارتی افراد جهت دستیابی به شرایط بهتر اقلیمی با توجه به مقیاس سه گانه (بیشتر شود، کمتر شود و ثابت بماند) به صورت مجزا برای هر یک از متغیرهای هواشناسی مورد سنجش قرار گرفته است. نتایج حاصل از بررسی رابطه میان موقعیت و ترجیح حرارتی هر یک از پارامترهای اقلیمی نشان می‌دهد که میان ترجیح دمای هوا، رطوبت نسبی و سرعت باد با موقعیت رابطه معناداری وجود ندارد. در حالیکه میان موقعیت و ترجیح پاسخ دهندگان بر میزان تابش خورشید رابطه معناداری وجود دارد.

- با توجه به شکل ۴-۵ در مجموع موقعیت‌ها حدود ۸۰٪ از پاسخ‌دهندگان کاهش و ۲۰٪ از آن‌ها عدم تغییر دمای هوا را جهت دستیابی به شرایط اقلیمی بهتر ترجیح می‌دادند. هیچ یک 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 ارتباط معناداری میان موقعیت و ترجیح افراد بر دمای هوا وجود ندارد (p-value =۰/۲۵۱ > ۰/۰۵).



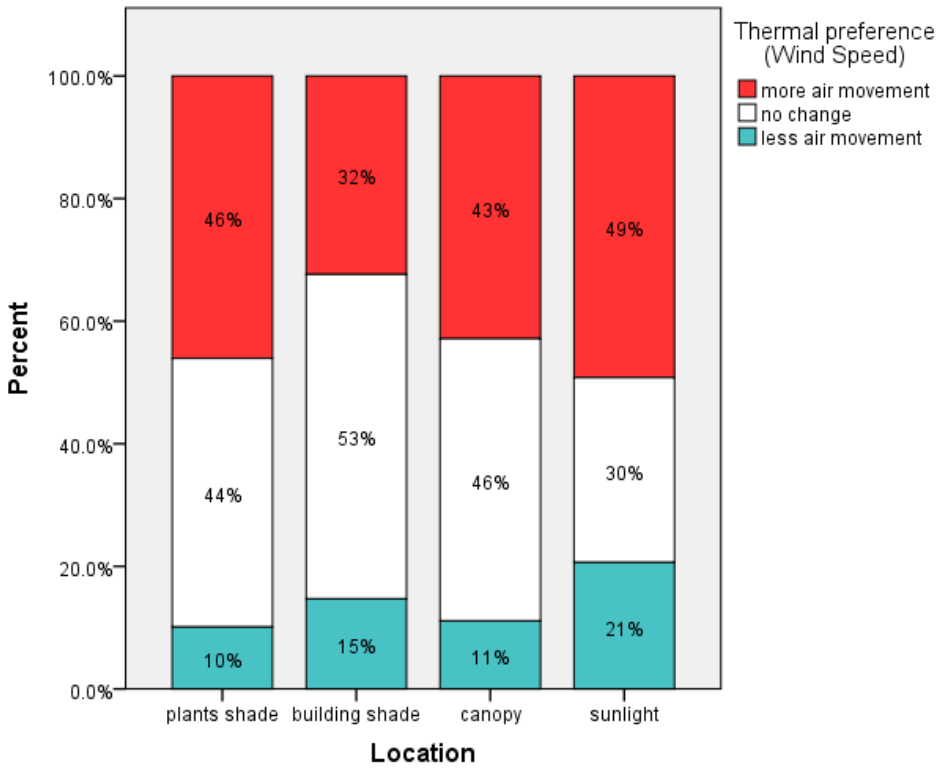
شکل ۴-۵. نمودار ترجیح دمای هوا در موقعیت‌های مورد مطالعه. مأخذ: نگارنده

- میزان رطوبت نسبی در زمان داده برداری بین ۱۵ تا ۳۳ درصد متغیر بوده است. شکل ۴-۶ ترجیح پاسخ‌دهندگان بر رطوبت نسبی در هر یک از موقعیت‌های مورد مطالعه را نشان می‌دهد. اکثر افراد در هر یک از موقعیت‌ها ترجیح می‌دادند رطوبت نسبی تغییر نکند. بیشترین مطلوبیت (۸۳ ٪ خواهان عدم تغییر) در سایه پارکینگ مشاهده می‌شود. از مجموع پاسخ دهندگان، ۶۹٪ عدم تغییر، ۱۲٪ افزایش، و ۱۹٪ کاهش رطوبت نسبی را جهت ایجاد محیط مطلوب بیان کردند. تحلیل داده‌ها نشان می‌دهد رطوبت نسبی مورد رضایت‌ترین پارامتر هواشناسی در این مطالعه می‌باشد.



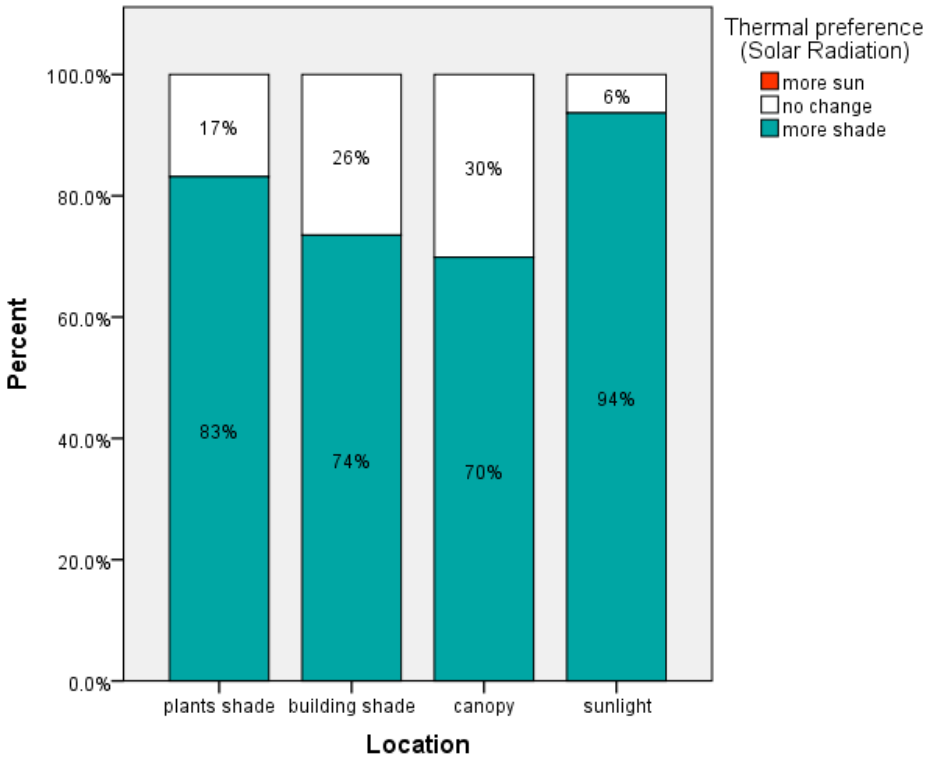
شکل ۴-۶. نمودار ترجیح رطوبت نسبی در موقعیت‌های مورد مطالعه. مأخذ: نگارنده

- همانطور که در شکل ۴-۷ نشان داده شده است، درصد کمی از افراد در هر موقعیت، تمایل به کاهش سرعت باد داشتند. بیشترین مطلوبیت به ترتیب در سایه ساختمان، پارکینگ و پوشش گیاهی (۵۳٪، ۴۶٪ و 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 جهت دستیابی به شرایط بهتر ترجیح دادند. این واقعیت به خوبی با محدوده سرعت باد طی زمان‌های داده برداری (۰/۰۴ تا ۱۰ متر بر ثانیه) مطابقت دارد.



شکل ۴-۷. نمودار ترجیح سرعت باد در موقعیت‌های مورد مطالعه. مأخذ: نگارنده

- همانطور که ذکر شد میان موقعیت و ترجیح پاسخ دهندگان بر میزان تابش خورشید رابطه معناداری وجود دارد (p-value =۰/۰۰۳ ≤ ۰/۰۵). شکل ۴-۸ نشان می‌دهد در مجموع موقعیت‌ها حدود ۸۰٪ از پاسخ دهندگان افزایش سایه و۲۰٪ از آن‌ها عدم تغییر تابش خورشید را جهت دستیابی به شرایط بهتر اقلیمی ترجیح می‌دادند. هیچ یک از افراد تمایل به افزایش تابش نداشتند. در موقعیت آفتاب، درصد بسیار کمی از افراد (۶٪) تمایل به ثابت ماندن تابش خورشید داشتند و تقریباً همه افراد ترجیح می‌دادند سایه بیشتری ایجاد شود. این یافته‌ها با آرای احساس حرارتی اکثر افراد مبنی بر احساس گرما تطابق دارد و نشان می‌دهد محدود کردن تابش مستقیم آفتاب و ایجاد سایه تأثیر زیادی در بهبود شرایط حرارتی دارد.



شکل ۴-۸. نمودار ترجیح تابش خورشید در موقعیت‌های مورد مطالعه. مأخذ: نگارنده

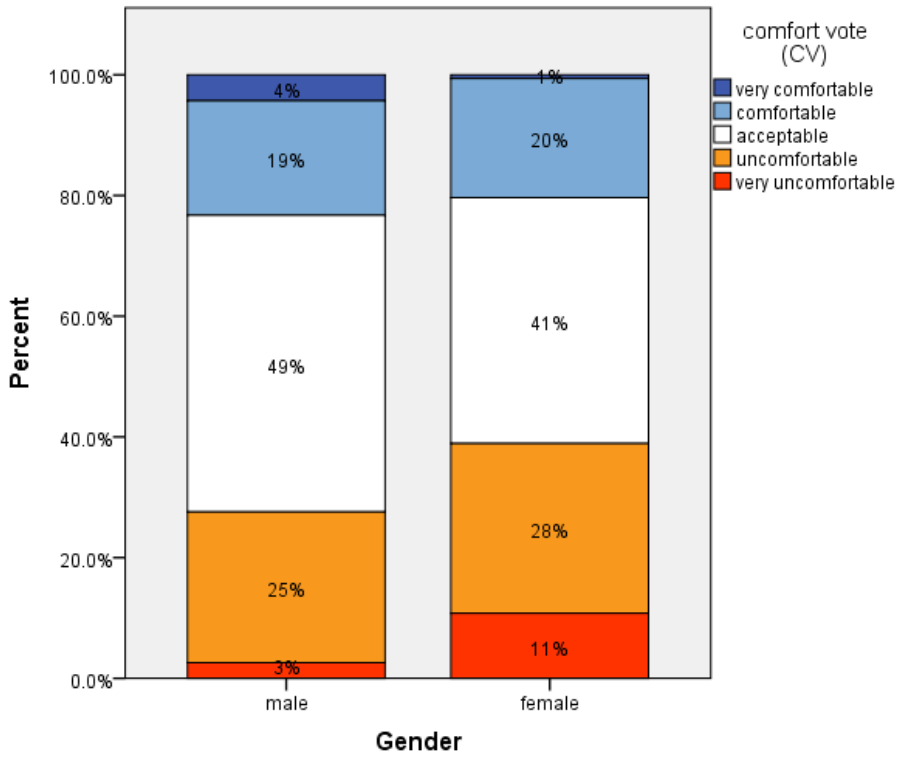
۴-۳-۳- ارتباط آسایش حرارتی و جنسیت

تحلیل‌ها نشان می‌دهد ارتباط معناداری میان جنسیت و سطح آسایش حرارتی وجود دارد (p-value =۰/۰۱۷ ≤ ۰/۰۵). در مجموع موقعیت‌ها، مردان شرایط را قابل قبول‌تر از زنان می‌دانستند. جدول ۴-۴ بیان می‌کند ۷۲٪ از مردان سطح آسایش حرارتی را خوشایند یا قابل قبول و ۲۸٪ از آن‌ها ناخوشایند می‌دانستند. درحالیکه ۶۱٪ از زنان، سطح آسایش را خوشایند یا قابل قبول و ۳۹٪ از آن‌ها ناخوشایند توصیف کرده‌اند.

جدول۴-۴. ارتباط آسایش حرارتی و جنسیت. مأخذ: نگارنده

			آسایش حرارتی					مجموع
			بسیار ناخوشایند	ناخوشایند	قابل قبول	خوشایند	بسیار خوشایند	
جنسیت	مرد	تعداد	۳	۲۹	۵۷	۲۲	۵	۱۱۶
		درصد در جنسیت	٪ ۲/۶	٪ ۲۵	٪ ۴۹/۱	٪ ۱۹	٪ ۴/۳	٪ ۱۰۰
		درصد در آسایش حرارتی	٪ ۱۴/۳	٪ ۳۸/۲	٪ ۴۵/۶	٪ ۴۰	٪ ۸۳/۳	٪ ۴۱
	زن	تعداد	۱۸	۴۷	۶۸	۳۳	۱	۱۶۷
		درصد در جنسیت	٪ ۱۰/۸	٪ ۲۸/۱	٪ ۴۰/۷	٪ ۱۹/۸	٪ ۰/۶	٪ ۱۰۰
		درصد در آسایش حرارتی	٪۸۵/۷	٪ ۶۱/۸	٪ ۵۴/۴	٪ ۶۰	٪ ۱۶/۷	٪ ۵۹
مجموع		تعداد	۲۱	۷۶	۱۲۵	۵۵	۶	۲۸۳
		درصد در آسایش حرارتی	٪ ۱۰۰	٪ ۱۰۰	٪ ۱۰۰	٪ ۱۰۰	٪ ۱۰۰	٪ ۱۰۰
		درصد در مجموع	٪ ۷/۴	٪ ۲۶/۹	٪ ۴۴/۲	٪ ۱۹/۴	٪ ۲/۱	٪ ۱۰۰

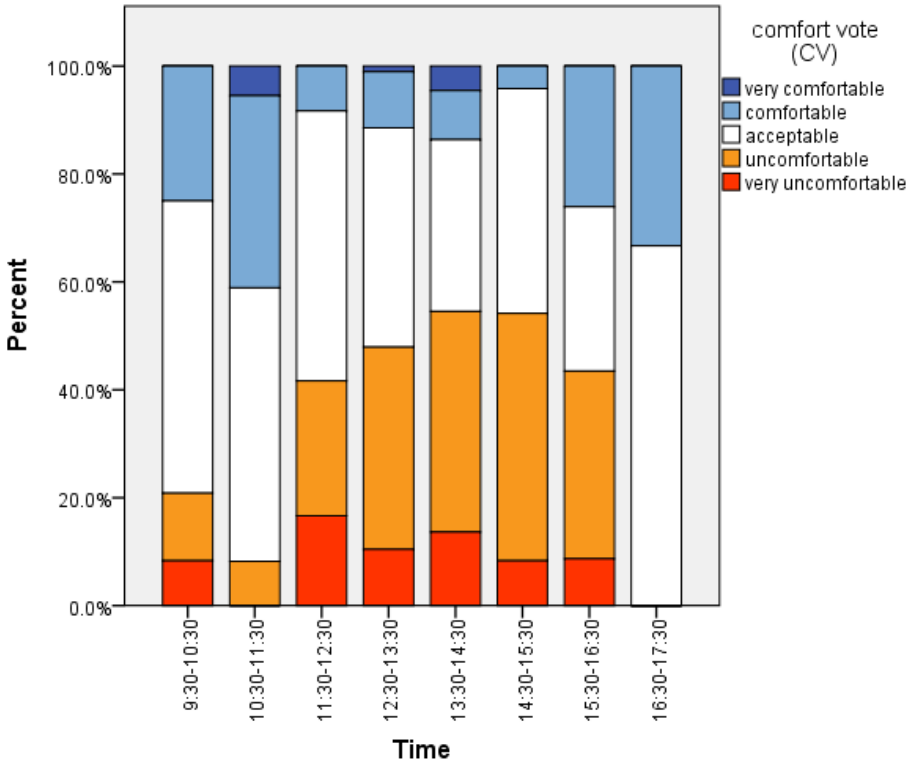
همانطور که در شکل ۴-۹ نشان داده شده است، در هر دو گروه مردان و زنان بیشترین آرای آسایش حرارتی مربوط به سطح قابل قبول (مردان ۴۹ ٪ و زنان ۴۱٪) می‌باشد.



شکل ۴-۹. نمودار فراوانی آسایش حرارتی برای خانم‌ها و آقایان. مأخذ: نگارنده

۴-۳-۴- ارتباط آسایش حرارتی و زمان

آنالیز توصیفی میان سطوح آسایش حرارتی و زمان تکمیل پرسشنامه نشان می‌دهد ارتباط معناداری میان این دو متغیر وجود دارد (p-value =۰/۰۰۱ ≤ ۰/۰۵). شکل ۴-۱۰ نشان می‌دهد بیشترین میزان عدم آسایش در زمان ظهر و بعد از ظهر می‌باشد. 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.



شکل ۴-۱۰. نمودار فراوانی آسایش حرارتی در ساعات داده برداری. مأخذ: نگارنده

با توجه به جدول ۴-۵، در زمان‌های 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 صورتیکه در اواخر بعد از ظهر (۱۶:۳۰-۱۷:۳۰)، هیچ یک از پاسخ دهندگان احساس حرارتی ناخوشایند نداشته و همه آن‌ها در محدوده آسایش قرار داشتند. همچنین در زمان قبل از ظهر (۱۰:۳۰-۱۱:۳۰) تنها ۸٪ از افراد، شرایط حرارتی را ناخوشایند می‌دانستند؛ در حالیکه اکثریت آن‌ها (۹۲٪) شرایط را خوشایند یا قابل قبول عنوان کرده بودند. این یافته‌ها نشان می‌دهد با افزایش شدت تابش، سطح آسایش حرارتی کاهش می‌یابد.

جدول ۴-۵. ارتباط آسایش حرارتی و زمان تکمیل پرسشنامه. مأخذ: نگارنده

			آسایش حرارتی					مجموع
			بسیار ناخوشایند	ناخوشایند	قابل قبول	خوشایند	بسیار خوشایند	
زمان	۱۰:۳۰-۹:۳۰	درصد در زمان	٪ ۸/۳	٪ ۱۲/۵	٪ ۵۴/۲	٪ ۲۵	٪ ۰	٪ ۱۰۰
		درصد در آسایش حرارتی	٪ ۹/۵	٪ ۳/۹	٪ ۱۰/۴	٪ ۱۰/۹	٪ ۰	٪ ۸/۵
	۱۱:۳۰-۱۰:۳۰	درصد در زمان	٪ ۰	٪ ۸/۲	٪ ۵۰/۷	٪ ۳۵/۶	٪ ۵/۵	۱۰۰
		درصد در آسایش حرارتی	٪ ۰	٪ ۷/۹	٪ ۲۹/۶	٪ ۴۷/۳	٪ ۶۶/۷	٪ ۲۵/۸
	۱۲:۳۰-۱۱:۳۰	درصد در زمان	٪ ۱۶/۷	٪ ۲۵	٪ ۵۰	٪ ۸/۳	٪ ۰	٪ ۱۰۰
		درصد در آسایش حرارتی	٪ ۹/۵	٪ ۳/۹	٪ ۴/۸	٪ ۱/۸	٪ ۰	٪ ۴/۲
	۱۳:۳۰-۱۲:۳۰	درصد در زمان	٪ ۱۰/۴	٪ ۳۷/۵	٪ ۴۰/۶	٪ ۱۰/۴	٪ ۱	٪ ۱۰۰
		درصد در آسایش حرارتی	٪ ۴۷/۶	٪ ۴۷/۴	٪ ۳۱/۲	٪ ۱۸/۲	٪ ۱۶/۷	٪ ۳۳/۹
	۱۴:۳۰-۱۳:۳۰	درصد در زمان	٪ ۱۳/۶	٪ ۴۰/۹	٪ ۳۱/۸	٪ ۹/۱	٪ ۴/۵	٪ ۱۰۰
		درصد در آسایش حرارتی	٪ ۱۴/۳	٪ ۱۱/۸	٪ ۵/۶	٪ ۳/۶	٪ ۱۶/۷	٪ ۷/۸
	۱۵:۳۰-۱۴:۳۰	درصد در زمان	٪ ۸/۳	٪ ۴۵/۸	٪ ۴۱/۷	٪ ۴/۲	٪ ۰	٪ ۱۰۰
		درصد در آسایش حرارتی	٪ ۹/۵	٪ ۱۴/۵	٪ ۸	٪ ۱/۸	٪ ۰	٪ ۸/۵
	۱۶:۳۰-۱۵:۳۰	درصد در زمان	٪ ۸/۷	٪ ۳۴/۸	٪ ۳۰/۴	٪ ۲۶/۱	٪ ۰	٪ ۱۰۰
		درصد در آسایش حرارتی	٪ ۹/۵	٪ ۱۰/۵	٪ ۵/۶	٪ ۱۰/۹	٪ ۰	٪ ۸/۱
	۱۷:۳۰-۱۶:۳۰	درصد در زمان	٪ ۰	٪ ۰	٪ ۶۶/۷	٪ ۳۳/۳	٪ ۰	٪ ۱۰۰
		درصد در آسایش حرارتی	٪ ۰	٪ ۰	٪ ۴/۸	٪ ۵/۵	٪ ۰	٪ ۳/۲
مجموع		درصد در زمان	٪ ۷/۴	٪ ۲۶/۹	٪ ۴۴/۲	٪ ۱۹/۴	٪ ۲/۱	٪ ۱۰۰
		درصد در آسایش حرارتی	٪ ۱۰۰	٪ ۱۰۰	٪ ۱۰۰	٪ ۱۰۰	٪ ۱۰۰	٪ ۱۰۰

در این مطالعه ارتباط معناداری میان مدت زمان حضور و آسایش حرارتی افراد وجود ندارد.

۴-۳-۵- ارتباط آسایش حرارتی و احساس حرارتی

آزمون کای اسکوئر نشان می‌دهد ارتباط معناداری میان سطوح آسایش حرارتی و احساس حرارتی وجود دارد (p-value =۰/۰۰۰ ≤ ۰/۰۵). در فصل گرم هرچه احساس حرارتی گرم‌تر باشد، سطح آسایش کمتر می‌شود؛ به گونه‌ای که تقریباً همه افراد با احساس حرارتی "نه سرد و نه گرم" در شرایط آسایش هستند درحالیکه همه افرادی که احساس حرارتی "خیلی گرم" را تجربه می‌کنند، سطح آسایش خود را ناخوشایند بیان کرده‌اند. بنابراین با ایجاد سایه و کاهش گرما می‌توان باعث کاهش احساس حرارتی و در نتیجه بهبود سطح آسایش در فصل گرم سال شد. جدول ۴-۶ ارتباط سطوح آسایش و احساس حرارتی را نشان می‌دهد.

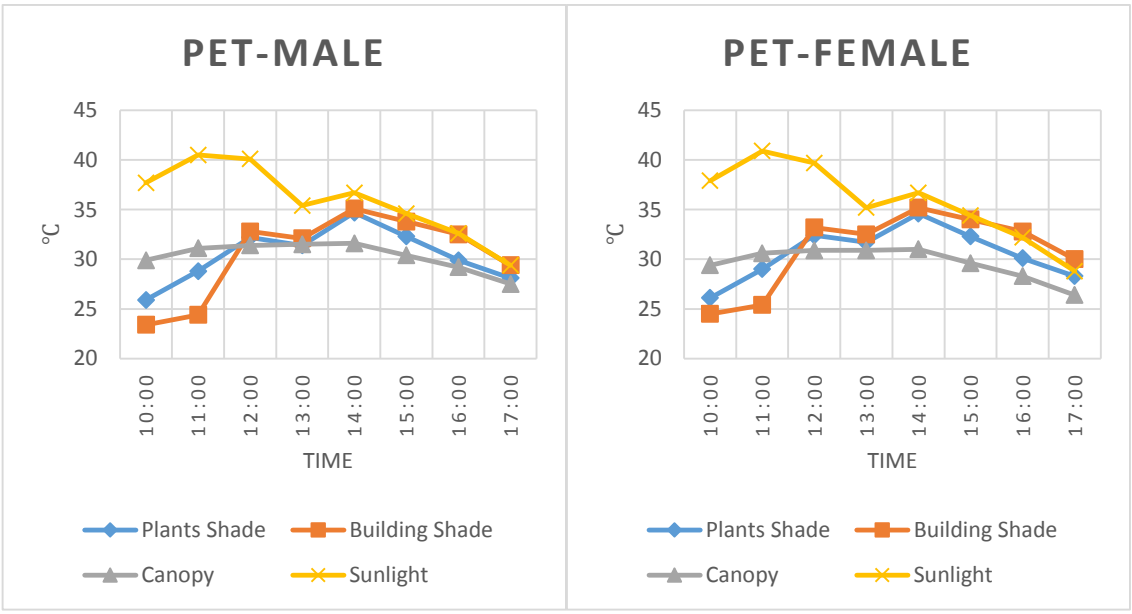
جدول۴-۶. ارتباط سطوح آسایش و احساس حرارتی. مأخذ: نگارنده

		احساس حرارتی		
		نه سرد و نه گرم	کمی گرم	خیلی گرم
آسایش حرارتی	خوشایند یا قابل قبول	٪ ۹۶/۹	٪ ۶۶/۴	٪ ۰
	ناخوشایند	٪ ۳/۱	٪ ۳۳/۵	٪ ۱۰۰

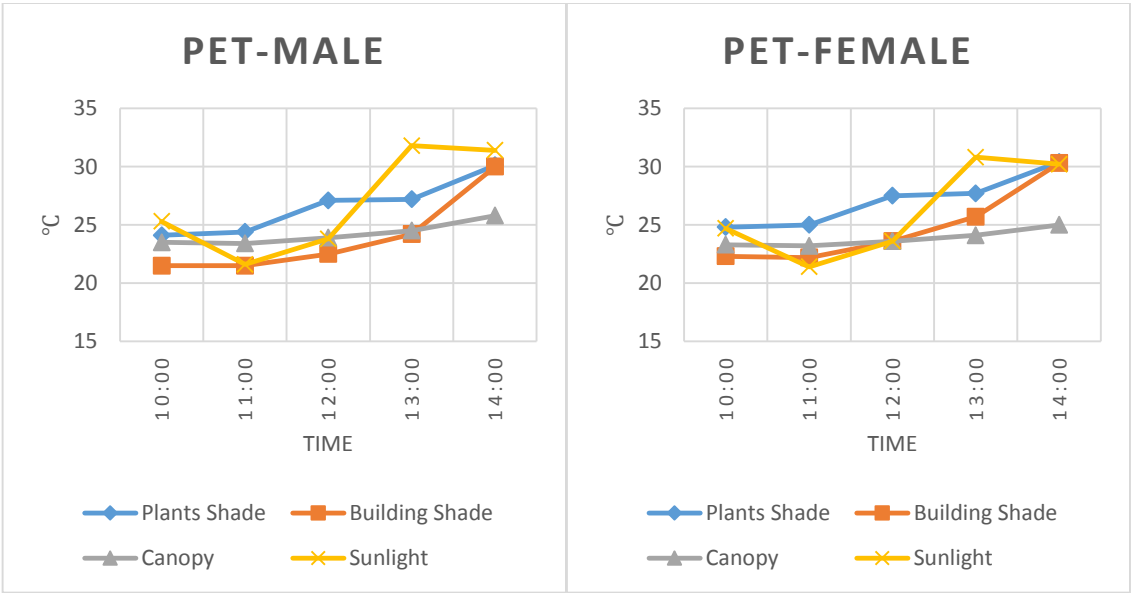
۴-۴- شاخص آسایش حرارتی PET

جهت ارزیابی شرایط حرارتی محدوده‌های انتخابی بر اساس شاخص PET، از نرم افزار RayMan نسخه ۱.۲ استفاده شده است. پارامترهای اقلیمی ثبت شده در هر یک از موقعیت‌ها شامل: دمای هوا، رطوبت نسبی، سرعت باد، پوشش ابر و دمای متوسط تشعشعی به عنوان داده‌های ورودی در نرم افزار تعریف شدند. همانطور که ذکر شد، ارتباط معناداری میان جنسیت و آسایش حرارتی وجود دارد؛ بنابراین شاخص PET برای خانم‌ها و آقایان به طور جداگانه در هر یک از موقعیت‌ها و روزهای داده برداری محاسبه شده است. از آنجائیکه مطالعات میدانی در محیط دانشگاه انجام شده است، در همه موقعیت‌ها نوع پوشش خانم‌ها مشابهت زیادی با یکدیگر داشته و همچنین نوع پوشش آقایان نیز تقریباً مشابه

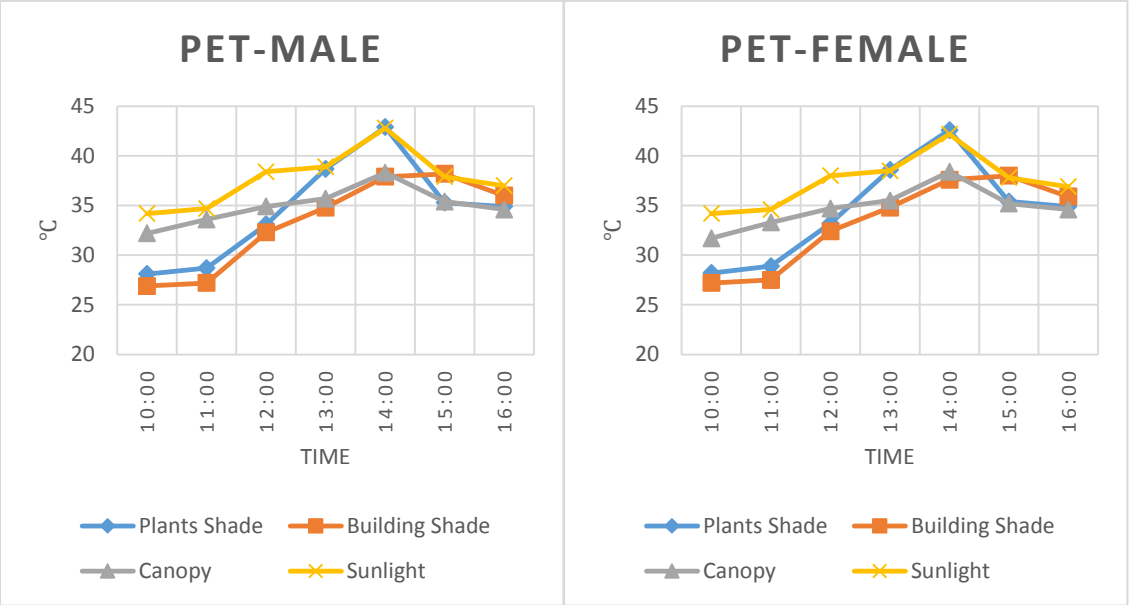
یکدیگر بوده است. بنابراین نرخ پوشش برای دختران clo ۰/۹۸ و برای پسران clo ۰/۵۷ با توجه به اشری ۵۵ [۱۶] و ایزو ۷۷۳۰ [۱۰۶] در نظر گرفته شده است. از افراد خواسته شده بود حداقل ۵ دقیقه قبل از پرکردن پرسشنامه در موقعیت‌های داده برداری حضور داشته باشند. نرخ سوخت و ساز دانشجویان در حین فرآیند داده برداری (w/m^2) ۸۰ می‌باشد که بر اساس مشاهدات نویسنده و مقادیر پیشنهادی اشری ۵۵ [۱۶] و ایزو ۷۷۳۰ [۱۰۶] در نظر گرفته شده است. شکل ۴-۱۱ شاخص PET محاسبه شده برای دانشجویان در روزها و موقعیت‌های داده برداری را نشان می‌دهد.



۳۰ اردیبهشت ۱۳۹۸



۳۱ اردیبهشت ۱۳۹۸



۲۷ خرداد ۱۳۹۸

شکل۴-۱۱. شاخص PET محاسبه شده برای روزها و موقعیت‌های مورد مطالعه. مأخذ: نگارنده

شکل ۴-۱۱ نشان می‌دهد مقدار PET در ساعات آفتابی در روزهای ۳۰ اردیبهشت و ۲۷ خرداد، در موقعیت آفتاب بیشتر از موقعیت‌های دارای سایه می‌باشد. 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 به دست آمده است. به صورت میانگین می‌توان بیان کرد موقعیت‌های دارای سایه در مقایسه با موقعیت آفتاب، مقدار PET را حداکثر تا ۵ °C می‌توانند کاهش دهند.

از سوی دیگر بیشترین تفاوت میان مقادیر PET محاسبه شده 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، ۱/۵ °C بیشتر از آقایان می‌باشد. این در حالیست که در بعضی ساعات، تفاوتی در مقدار PET محاسبه شده برای خانم‌ها و آقایان وجود ندارد.

مقایسه میان روزهای داده برداری نشان می‌دهد در روز ۳۱ اردیبهشت که میانگین دمای هوا در ساعات داده برداری، کمترین میزان را در بین روزهای داده برداری 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 داده برداری داشته است. همانطور که در جدول ۴-۷ نشان داده شده است،

حداکثر اختلاف میان مقادیر میانگین PET در روزهای داده برداری، حدود ۱۰ °C بین روزهای ۳۱ اردیبهشت و ۲۷ خرداد می‌باشد.

جدول۴-۷. میانگین مقادیر PET و دمای هوا در روزهای داده برداری. مأخذ: نگارنده

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

آنالیزهای توصیفی نشان می‌دهد 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).

جهت بررسی شرایط حرارتی موقعیت‌های مورد مطالعه، با توجه به مقادیر PET نشان داده شده در شکل ۴-۱۱، از طبقه بندی ارائه شده توسط ماتزاراکیس و مایر[1] [۷۶] برای اروپای غربی و میانه مطابق جدول ۴-۸ استفاده شده است.

[1] Mayer

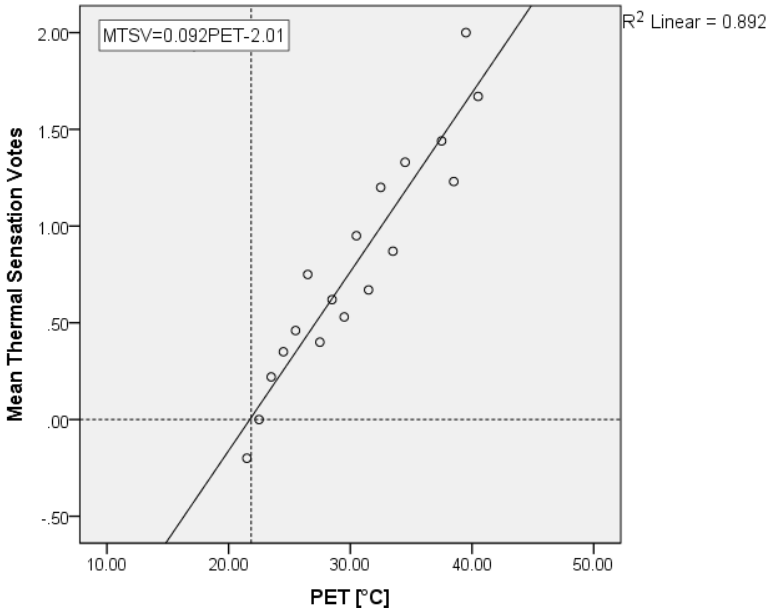
جدول۴-۸. طبقه بندی PET ارائه شده برای اروپای غربی و میانه[۷۶]

محدوده PET (°C)	احساس حرارتی	درجه تنش فیزیولوژیکی
>۴۱	بسیار داغ	تنش گرمایی بسیار زیاد
۴۱-۳۵	داغ	تنش گرمایی زیاد
۳۵-۲۹	گرم	تنش گرمایی متوسط
۲۹-۲۳	کمی گرم	تنش گرمایی اندک
۲۳-۱۸	آسایش (خنثی)	بدون تنش حرارتی
۱۸-۱۳	کمی خنک	تنش سرمایی اندک
۱۳-۸	خنک	تنش سرمایی متوسط
۸-۴	سرد	تنش سرمایی زیاد
≤۴	بسیار سرد	تنش سرمایی بسیار زیاد

در این طبقه بندی، محدوده آسایش حرارتی ℃ ۲۳-۱۸ می‌باشد. با توجه به این محدوده در روز ۳۰ اردیبهشت و ۲۷ خرداد، طی زمان داده برداری در هیچ یک از موقعیت‌ها، آسایش حرارتی وجود ندارد. اما در روز ۳۱ اردیبهشت با توجه به کاهش دمای هوا و ابری بودن آسمان در بعضی ساعات، آسایش حرارتی بیشتری نسبت به سایر روزهای داده برداری وجود دارد. سایه ساختمان بین ساعات ۱۲-۱۰ برای آقایان و ساعت ۱۰ -۱۱ قبل از ظهر برای خانم‌ها شرایط آسایش حرارتی را فراهم می‌کند. در ساعت ۱۱ در موقعیت آفتاب هر دو گروه خانم‌ها و آقایان در محدوده آسایش حرارتی قرار دارند. مطابق با این طبقه بندی، در سایر ساعت‌ها و موقعیت‌های داده برداری شرایط آسایش وجود ندارد؛ در حالیکه نظرات دانشجویان در خصوص آسایش حرارتی فضای باز نشان می‌دهد که آن‌ها در موقعیت‌ها و ساعات گسترده‌تری، در محدوده آسایش حرارتی قرار دارند. بنابراین می‌توان بیان داشت محدوده آسایش حرارتی برای این مطالعه با محدوده تعریف شده برای اروپای غربی و میانه متفاوت است. در نتیجه می‌توان طبقه بندی PET جدیدی برای این مطالعه تعریف کرد.

۴-۵- دمای معادل فیزیولوژیکی خنثی و محدوده آسایش PET

مقایسه میان نظرات افراد و داده‌های حاصل از مطالعات میدانی نشان می‌دهد ارتباط معناداری میان احساس حرارتی افراد و مقدار PET وجود دارد (p-value =۰/۰۰۰ ≤ ۰/۰۵). مطالعات متعددی جهت تعیین مقدار PET خنثی از تحلیل‌های رگرسیون بین احساس حرارتی و PET استفاده کرده‌اند[۸۲, ۱۰۷-۱۰۹]. 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[۲۴]. در این مطالعه مقدار PET، متغیر مستقل و احساس حرارتی افراد، متغیر وابسته می‌باشد. از آنجائیکه احساس حرارتی در بین افرادی که تحت شرایط حرارتی مشابه بوده‌اند (در مقدار PET یکسان) متفاوت است، متوسط آرای احساس حرارتی[1] با توجه فواصل ۱ °C برای PET محاسبه گردیده است[۱۳, ۸۰, ۱۰۷, ۱۱۰, ۱۱۱]. شکل ۴-۱۲ متوسط احساس حرارتی افراد را با مقادیر متناظر PET نشان می‌دهد. نمودار با در نظر گرفتن فواصل ۱°C برای PET ترسیم شده است.



شکل۴-۱۲. ارتباط MTSV و PET در فصل گرم. مأخذ: نگارنده

[1] Mean Thermal Sensation Vote (MTSV)

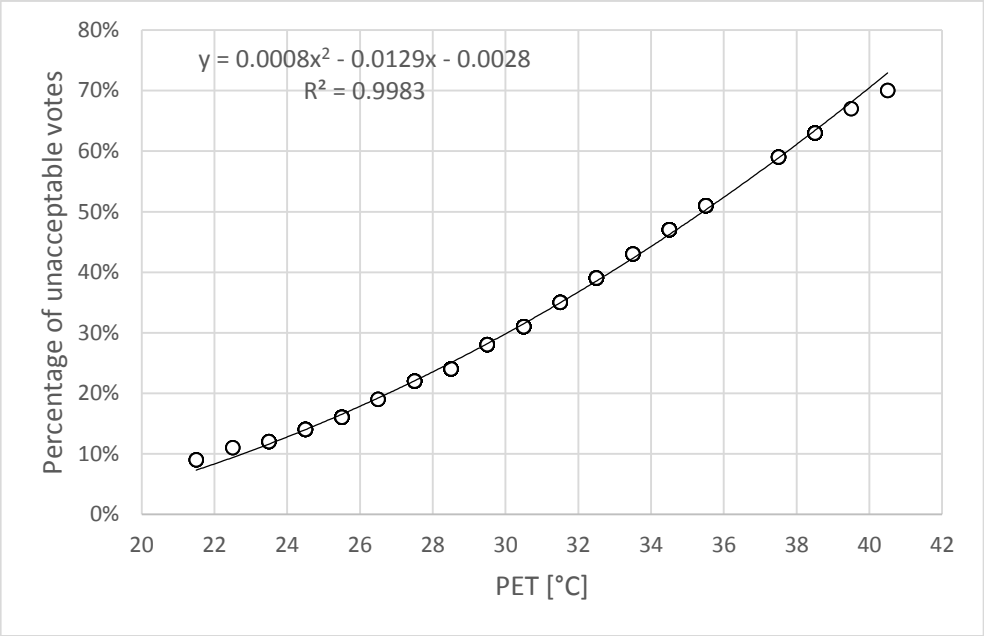
شکل ۴-۱۲ امکان تعیین مقدار PET خنثی را در فصول گرم سال می‌دهد. PET خنثی بیانگر شرایط خرد اقلیمی است که در آن افراد احساس گرما و یا سرما نمی کنند (احساس حرارتی خنثی)[۱۳, ۱۰۷, ۱۱۰, ۱۱۱]. با قرار دادن مقدار MTSV=0 در رابطه ۴-۱، PET خنثی برای این مطالعه ۲۱/۹ ℃ به دست می‌آید.

$$MTSV = 0.092PET - 2.01 \qquad (R^2=0.892) \qquad (۱-۴)$$

جهت به‌دست آوردن محدوده آسایش PET، از ارتباط بین آسایش حرارتی و مقادیر PET استفاده شده است. آزمون کای اسکوئر نشان می‌دهد ارتباط معناداری بین این دو متغیر وجود دارد (p-value =۰/۰۰۰ ≤ ۰/۰۵). 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 ٪۲۰≤ احساس نارضایتی داشته باشند)[۱۱۰]. برای محاسبه احساس نارضایتی افراد تحت دماهای متفاوت PET، نرخ نارضایتی حرارتی با توجه فواصل ۱℃ برای PET با استفاده از رگرسیون لجستیک تعیین گردیده است. نرخ نارضایتی به عنوان نسبتی از رأی نارضایتی به کل آرا تعریف می‌شود[۸۰].

رگرسیون لجستیک بر پایه نسبت احتمالات می‌باشد و با استفاده از آن می‌توان یک متغیر وابسته را بر اساس تعدادی متغیر مستقل پیش بینی کرد. با توجه به اینکه رگرسیون لجستیک با پاسخ‌های باینری[1](صفر و یک) مرتبط است[۱۱۲]، آسایش حرارتی افراد به دو گروه (خوشایند ۰ و ناخوشایند ۱) تقسیم بندی شده است. در این مطالعه مقادیر PET، متغیر مستقل و آسایش حرارتی افراد، متغیر وابسته است. شکل ۴-۱۳ درصد نارضایتی افراد را تحت دماهای متفاوت PET نشان می‌دهد.

[1] Binary



شکل۴-۱۳. ارتباط درصد نارضایتی حرارتی و PET. مأخذ: نگارنده

محدوده آسایش حرارتی با رضایت ۸۰٪ افراد، تقاطع نمودار و خط نارضایتی ۲۰٪ می‌باشد. از آنجائیکه این مطالعه در فصل گرم سال انجام شده است و خط نارضایتی ۲۰٪ در یک نقطه منحنی را قطع می‌کند؛ بنابراین مقدار حداقل در محدوده آسایش PET قابل محاسبه نمی‌باشد اما مقدار حداکثر در محدوده آسایش PET، ۲۶/۹ °C می‌باشد. این نشان می‌دهد حد آسایش حرارتی در این مطالعه بیشتر از حد آسایش حرارتی تعریف شده برای اروپای غربی و میانه (۲۳ °C) است. جدول ۴-۹ محدوده آسایش حرارتی PET محاسبه شده در مطالعات مختلف را نشان می‌دهد.

جدول۴-۹. محدوده آسایش حرارتی PET در مطالعات مختلف. مأخذ: نگارنده

شهر	محدوده آسایش PET (°C)	فصل مورد بررسی	منبع
اروپای غربی و میانه	۱۸-۲۳	تمام سال	Matzarakis and Mayer, 1996[76]
گوانژو[1] چین	۱۸/۱ - ۳۱/۱	تمام سال	Li et al.2016[80]
تایچونگ[2] تایوان	۲۱/۳ - ۲۸/۵	تمام سال	Lin, 2009[108]
تیانجین[3] چین	۱۱-۲۴	تمام سال	Lai et al, 2014[102]
رم[4] ایتالیا	۲۱/۱ - ۲۹/۲	تمام سال	Salata et al,2016[111]
تمپه[5] آمریکا	۱۹/۱ - ۳۸/۱	تمام سال	Middel et al, 2016[82]
قاهره، مصر	ماه گرم ۲۲-۳۰ ماه سرد ۲۱-۲۹	ماه گرم (ژوئن) و ماه سرد (دسامبر)	Mahmoud, 2011[109]
کونیا[6] ترکیه	۲۱/۶ - ۳۲	تابستان	Canan et al, 2018[13]

با توجه به تعریف مقدار حداکثر PET در محدوده آسایش برای این مطالعه و شکل ۴-۱۱ می‌توان بیان داشت: در روز ۳۰ اردیبهشت، سایه پوشش گیاهی در ساعت ۱۰ و همچنین سایه ساختمان در ساعات ۱۱-۱۰ قبل از ظهر شرایط آسایش حرارتی را برای هر دو 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 هر دو 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 تمام مدت داده برداری، شرایط آسایش حرارتی را برای کاربران فراهم می‌کند.

[1] Guangzhou
[2] Taichung
[3] Tianjin
[4] Rome
[5] Tempe
[6] Konya

در روز ۲۷ خرداد با توجه به افزایش دما در زمان داده برداری تنها سایه ساختمان در ساعت ۱۰ صبح شرایط آسایش را برای آقایان فراهم می‌کند. در سایر موقعیت‌ها و ساعات داده برداری آسایش حرارتی وجود ندارد.

بنابر آنچه ذکر شد می‌توان بیان کرد 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[۱۲, ۶۹, ۸۲, ۹۴, ۹۵].

فصل ۵: نتیجه گیری

۵-۱- مقدمه

پژوهش حاضر با هدف بررسی تأثیر سایه بر آسایش حرارتی فضای باز در شهر شاهرود و در فصل گرم سال صورت گرفته است. در فصل‌های گذشته ضرورت و اهمیت مطالعه آسایش حرارتی در فضای باز و همچنین عوامل مؤثر بر درک و بهبود شرایط آسایش بیان گردید. مطالعات میدانی شامل اندازه‌گیری همزمان پارامترهای اصلی اقلیمی و پرسشنامه‌های آسایش حرارتی در چهار موقعیت: سایه پوشش گیاهی، سایه ساختمان، سایه ایجاد شده توسط سایه‌بان افقی(پارکینگ) و آفتاب، صورت گرفت و یافته‌های حاصل مورد تجزیه و تحلیل قرار گرفتند.

در این فصل به نتیجه گیری و جمع‌بندی یافته‌های تحقیق خواهیم پرداخت. در ادامه، پیشنهاداتی جهت افزایش آسایش حرارتی فضای باز و بهره گیری از محیط‌های مطلوب حرارتی و در بخش نهایی فصل نیز پیشنهاداتی جهت انجام پژوهش‌های آتی ارائه خواهد شد.

۵-۲- نتایج تحقیق

پس از تحلیل و بررسی داده‌های حاصل از مطالعات میدانی، نتایج حاصل از پژوهش حاضر را می‌توان به شرح زیر بیان کرد:

- ارتباط معناداری میان موقعیت و آسایش حرارتی وجود دارد. سایه پوشش گیاهی رضایت بیش از ۸۰ درصد از کاربران را فراهم می‌کند؛ بنابراین مطابق با استاندارد اشری، محیط حرارتی قابل قبولی را ایجاد می‌کند. سایه پارکینگ و سایه ساختمان نیز برای اکثر افرادی که در این محیط‌ها حضور داشتند (به ترتیب ۶۸/۲ ٪ و ۶۴/۷ ٪) رضایت از محیط را فراهم می‌کند؛ در حالیکه موقعیت آفتاب با نارضایتی بیش از ۵۰ درصد از کاربران شرایط حرارتی نامطلوب را ایجاد می‌کند.

- در روزهای آفتابی از ساعت ۱۲ تا ۱۵ به دلیل میزان زیاد تابش آفتاب در هیچ یک 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 می‌باشد.

- سطح آسایش حرارتی برای مردان و زنان در این مطالعه متفاوت بوده است. در مجموع موقعیت‌ها مردان شرایط را قابل قبول‌تر از زنان می‌دانستند. از سوی دیگر میان سطوح آسایش حرارتی و احساس حرارتی نیز ارتباط معناداری وجود دارد. در فصل گرم هرچه احساس حرارتی گرم‌تر باشد، سطح آسایش کمتر می‌شود. بنابراین با ایجاد سایه و کاهش گرما می‌توان سطح آسایش را بهبود بخشید.

- تحلیل یافته‌ها نشان می‌دهد دانشجویان محدوده PET گسترده‌تری نسبت به طبقه بندی ارائه شده توسط ماتزاراکیس و مایر (برای اروپای غربی و میانه) را به 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 انجام این مطالعه در فصل گرم، حد بالایی محدوده آسایش PET، ۲۶/۹ °C به دست آمده است.

- نتایج حاصل از اندازه‌گیری پارامترهای اقلیمی در موقعیت‌های مورد مطالعه نشان می‌دهد موقعیت آفتاب بیشترین دمای هوا و دمای متوسط تشعشعی را در طول روز دارا می‌باشد. تفاوت دمای متوسط تشعشعی در موقعیت آفتاب و موقعیت‌های دارای سایه در روزهای آفتابی به ۱۸ °C می‌رسد.

با جمع بندی مطالب ذکر شده می‌توان بیان کرد پوشش گیاهی یا عناصر سایه انداز به دلیل جلوگیری از تابش مستقیم خورشید منجر به کاهش احساس حرارتی، استرس حرارتی افراد و همچنین دمای معادل فیزیولوژیکی (به صورت میانگین ۵ °C و حداکثر ۱۶ °C برای این پژوهش) می‌شوند و محیط خنک‌تری را نسبت به آفتاب ایجاد می‌کنند. از سوی دیگر، بررسی یافته‌های تحقیق نشان می‌دهند در فصل گرم با افزایش PET احساس حرارتی گرمتر می‌شود و سطح آسایش حرارتی کاهش می‌یابد.

بنابراین می‌توان نتیجه گرفت در فصل گرم سال، سطوح بالای سایه در فضای خارجی منجر به افزایش سطح آسایش و همچنین افزایش ساعات آسایش در طی روز می‌شوند.

۵-۳- پیشنهادات و راهکارها

در این پژوهش پس از بررسی‌های مختلف و نتایج به دست آمده، به ارائه راهکارهایی جهت طراحی و افزایش کیفیت فضای باز در راستای افزایش سطح آسایش اقلیمی پرداخته شده است که به شرح زیر می‌باشند:

- ایجاد سایه در محوطه ورودی دانشکده مدیریت به وسیله پوشش گیاهی یا سایه‌اندازهای افقی.

با توجه به اینکه محدوده وسیعی در مسیر ورودی دانشکده در معرض تابش خورشید قرار دارد 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 جهت گردهم آوردن افراد و حضور باکیفیت‌تر و طولانی‌تر آن‌ها و در نتیجه پویایی بیشتر فضای دانشکده بهره برد.

- استفاده هرچه بیشتر از فضاهای سبز موجود در محوطه دانشگاه جهت انجام فعالیت‌های موقت و جذب بیشتر دانشجویان و بهره‌گیری از شرایط مطلوب آسایش حرارتی در این فضاها

- قرارگیری مبلمان در بخش‌های دارای سایه و آسایش حرارتی

- توجه به فرم، جهت گیری و ارتفاع ساختمان و همچنین سایه ایجاد شده توسط آن در طراحی بناها به منظور بهره‌مندی از خرد اقلیم حاصل از فضای ایجاد شده

۵-۴- پیشنهادات جهت پژوهش‌های آتی

در این بخش سعی شده است با شناساندن خلاءها و چالش‌های باقیمانده، پیشنهاداتی جهت استفاده در تحقیقات آتی ارائه گردد.

- این پژوهش به بررسی شرایط آسایش حرارتی در فصل گرم سال پرداخته است. شرایط حرارتی دوره سرد سال نیز می‌تواند در تحقیقات آتی مورد بررسی قرار گیرد.

- در این پژوهش به بررسی موقعیت‌های دارای سایه موجود در دانشگاه و همچنین شرایط آفتاب پرداخته شده است. سایر موقعیت‌های دارای سایه از جمله سایه‌بان‌هایی با مصالح یا ارتفاع متفاوت می‌تواند در مطالعات آتی مورد بررسی قرار گیرد.

- مطالعات میدانی در این پژوهش در محوطه دانشگاه صورت گرفته است. شرایط آسایش در فضاهای دارای سایه در محیط‌های شهری نیز می‌تواند مورد بررسی قرار گیرد.

- این پژوهش در شهر شاهرود در اقلیم نیمه خشک سرد ایران صورت گرفته است. مطالعات در حوزه سایه و آسایش حرارتی می‌تواند در اقلیم‌ها و شرایط آب و هوایی متفاوت نیز صورت بگیرد.

- با استفاده از شبیه سازی می‌توان آسایش حرارتی موقعیت‌های مورد مطالعه را با اعمال تغییرات (از جمله ایجاد سایه توسط سایه اندازهای متفاوت در موقعیت آفتاب)، مورد بررسی قرار داد.

پیوست

پرسشنامه آسایش حرارتی فضای باز

از اینکه برای تکمیل این پرسشنامه وقت می‌گذارید، بسیار سپاسگزارم.

تاریخ: زمان: موقعیت: سایه پوشش گیاهی☐ سایه ساختمان☐ پارکینگ☐ آفتاب☐

جنسیت: مرد☐ زن☐ سن: ..... سال

- فعالیت شما در ۱۵ دقیقه گذشته: (می‌توانید بیش از یک گزینه را انتخاب کنید)

استراحت☐ خواندن/ نوشتن☐ صحبت کردن☐ ایستادن☐ پیاده روی آرام☐ پیاده روی تند☐

سایر موارد.....

- نوع پوشش شما در حال حاضر:

لباس آستین بلند☐ لباس آستین کوتاه☐ لباس بدون آستین☐ شلوار☐ جوراب☐ کفش☐

صندل☐ مانتو☐ روسری/ مقنعه☐ چادر☐

-رنگ پوشش شما؟

تیره☐ روشن☐

- چه مدت زمان است در این مکان حضور دارید؟

کمتر از ۵ دقیقه ☐ ۵ تا ۱۵ دقیقه☐ ۱۵ تا ۳۰ دقیقه☐ بیش از ۳۰ دقیقه☐

- ترجیح می‌دهید پارامترهای زیر چه تغییری کند تا شما احساس آسایش بیشتری داشته باشید؟

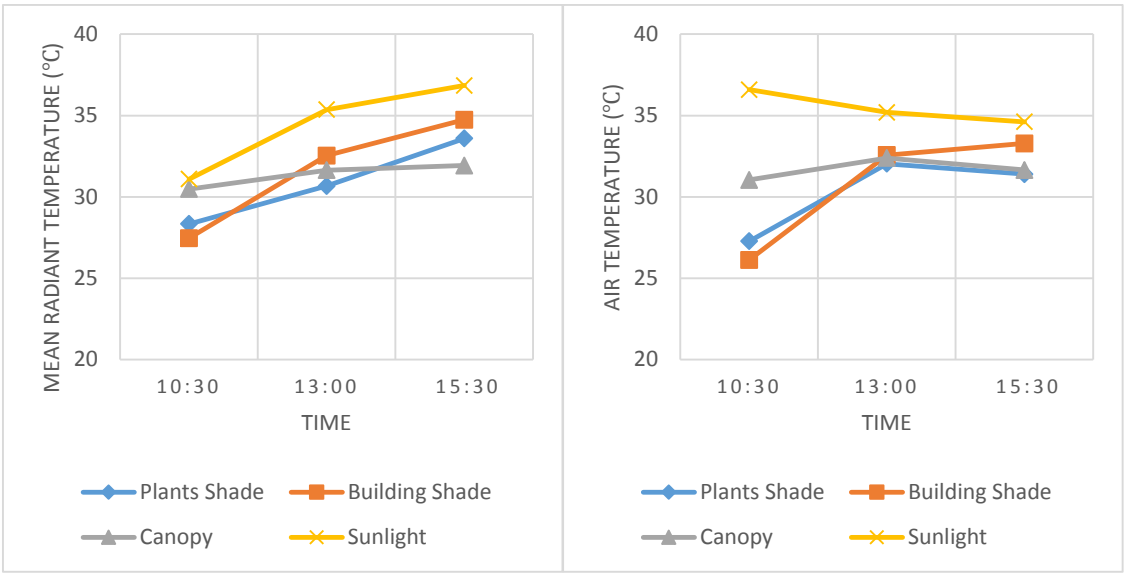
دمای هوا	سردتر شود	بدون تغییر	گرم تر شود
رطوبت	بیشتر شود	بدون تغییر	کمتر شود
سرعت باد	بیشتر شود	بدون تغییر	کمتر شود
تابش آفتاب	بیشتر شود	بدون تغییر	کمتر شود

- در این لحظه میزان آسایش شما با توجه به شرایط آب و هوایی کدام است؟

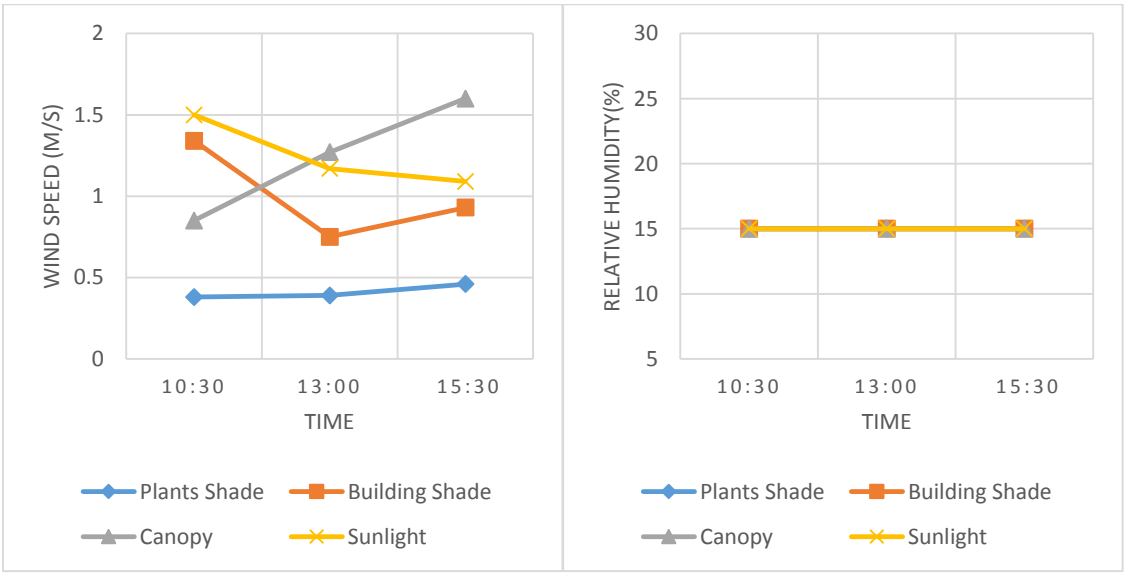
بسیار ناخوشایند☐ ناخوشایند☐ قابل قبول☐ خوشایند☐ بسیار خوشایند☐

- احساس حرارتی شما در این لحظه کدام یک از موارد زیر است؟

خیلی سرد☐ کمی سرد☐ نه سرد و نه گرم☐ کمی گرم☐ خیلی گرم☐

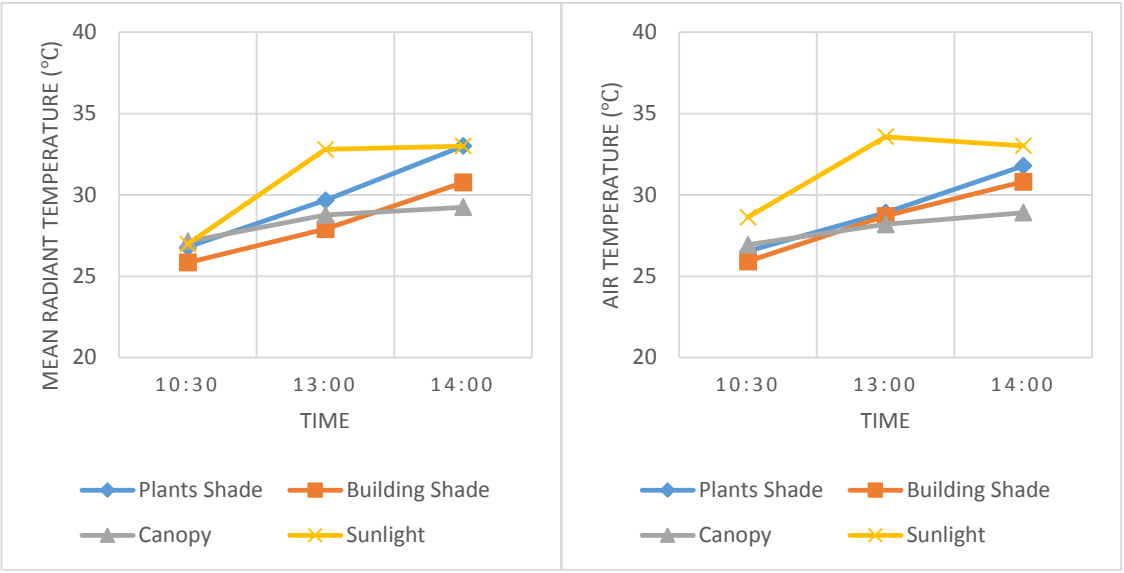


دمای متوسط تشعشعی　　دمای هوا

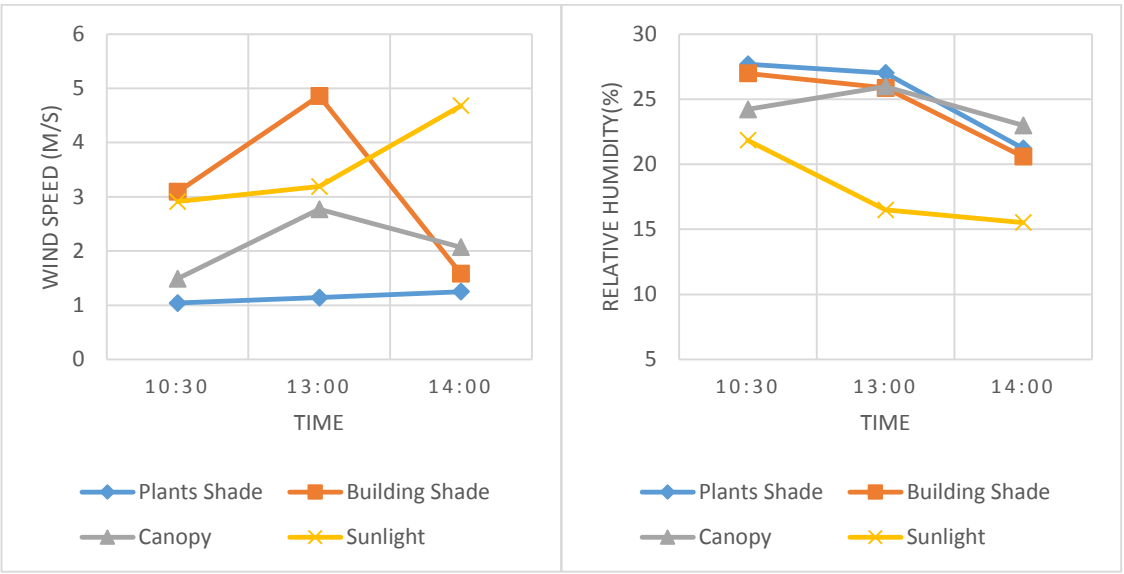


سرعت باد　　رطوبت نسبی

نمودارهای اقلیمی ۲۰ اردیبهشت ۱۳۹۸ در موقعیت‌های مورد مطالعه. مأخذ: نگارنده



دمای متوسط تشعشعی　　دمای هوا



سرعت باد　　رطوبت نسبی

نمودارهای اقلیمی ۲۱ اردیبهشت ۱۳۹۸ در موقعیت‌های مورد مطالعه. مأخذ: نگارنده

مراجع

[۱] ج. پاکزاد، (۱۳۸۵) "مبانی نظری و فرآیند طراحی شهری"، انتشارات شهیدی، تهران.
[۲] س.ح. بحرینی، ح. خسروی، (۱۳۹۴) "بررسی تطبیقی تأثیر ویژگی‌های خرده اقلیم در الگوی رفتارهای شهری نمونهٔ موردی: فضاهای شهری یزد (اقلیم گرم و خشک) و فومن (اقلیم معتدل و مرطوب)"، محیط شناسی، دوره ۴۱، شماره ۲، ص ۴۶۵-۴۸۲.
[۳] ک. لینچ، (۱۳۹۵) "سیمای شهر"، م. مزینی، موسسه چاپ و انتشارات دانشگاه تهران، تهران.
[۴] س.ا. حسینی، (۱۳۸۸)، پایان نامه کارشناسی ارشد طراحی شهری، "طراحی پیاده راه همساز با اقلیم با تاکید بر زاویه تابش خورشید و نقاب سایه"، دانشکده هنر و معماری، دانشگاه تربیت مدرس.
[۵]L. Chen, E. Ng, (2012) "Outdoor thermal comfort and outdoor activities: A review of research in the past decade", Cities, 29, pp 118–125.
[۶]R.A. Nasir, S.Sh. Ahmad, A.Z. Ahmed, (2013) "Physical Activity and Human Comfort Correlation in an Urban Park in Hot and Humid Conditions", Procedia - Social and Behavioral Sciences, 105, pp 598 – 609.
[۷]J. Niu, J. Liu, T-c. Lee, Z. Lin, C. Mak, K-T. Tse, B-s. Tang, K.C.S. Kwok, (2015) "A new method to assess spatial variations of outdoor thermal comfort: Onsite monitoring results and implications for precinct planning", Building and Environment, 91, pp 263-270.
[۸]E. Erell, D. Pearlmutter, T. Williamson, (2011) "Urban Microclimate, Designing the Spaces Between Buildings", Earthscan.
[۹] ش. پوردیهیمی، (۱۳۹۰) "زبان اقلیمی در طراحی محیطی پایدار"، جلد۱: مقیاس کلان و میانه، مرکز چاپ و انتشارات دانشگاه شهید بهشتی، تهران.
[۱۰] پ. بقایی، م. انصاری، م. بمانیان، ر. فیاض، (۱۳۹۴) "محدوده آسایش حرارتی در فضای باز مسکونی سنتی شهر یزد"، هویت شهر، دوره ۹، شماره ۲۳، ص ۵۹-۷۲.
[۱۱] م. اسلامی، ا. نوذری فردوسیه، م. طاهباز، (۱۳۹۵) "راهکارهای طراحی اقلیمی معابر فضای باز (مطالعه موردی: پیاده راه‌های دانشگاه کاشان)"، هویت شهر، دوره ۱۰، شماره ۲۶، ص ۳۳-۴۶.
[۱۲]S.B. Ali, S. Patnaik, (2018) "Thermal comfort in urban open spaces: Objective assessment and subjective perception study in tropical city of Bhopal, India", Urban Climate, 24, pp 954-967.
[۱۳]F. Canan, I. Golasi, V. Ciancio, M. Coppi, F. Salata, (2019) "Outdoor thermal comfort conditions during summer in a cold semi-arid climate. A transversal field survey in Central Anatolia (Turkey)", Building and Environment, 148, pp 212-224.
[۱۴] س.ا. محمودی، س.ن. قاضی‌زاده، ع. منعام، (۱۳۸۹) "تأثیر طراحی در آسایش حرارتی فضای باز مجتمع‌های مسکونی، نمونه مورد مطالعه: فاز سه مجتمع مسکونی اکباتان"، نشریه هنرهای زیبا، دوره ۲، شماره ۴۲، ص ۵۹-۷۰.
[۱۵] ف. مجیدی، ش. حیدری، م. قلعه نویی، م. قاسمی سیچانی، (۱۳۹۷) " تفاوت فصلی حدود آسایش حرارتی در محلات قدیم و جدید شهر اصفهان (مطالعه موردی: محلات جلفا و مرداویج)"، نشریه هنرهای زیبا - معماری و شهرسازی، دوره ۲۳، شماره ۲، ص۳۱-۴۲.
[۱۶]ASHRAE, (2013) "ASHRAE Standard 55-2013,Thermal Environmental Conditions for Human Occupancy".
[۱۷]S.Y. Chan, C.K. Chau, T.M. Leung, (2017) "On the study of thermal comfort and perceptions of environmental features in urban parks: A structural equation modeling approach", Building and Environment, 122, pp 171-183.
[۱۸] ن. احمدپور کلهرودی، م. پورجعفر، م. مهدوی نژاد، س. یوسفیان، (۱۳۹۶) "نقش و تأثیر عناصر طراحی در کیفیت آسایش حرارتی فضاهای باز شهری بررسی موردی: طراحی پیاده راه طمقاچی‌ها در کاشان"، نامهٔ معماری و شهرسازی، دوره ۹، شماره ۱۸، ص ۵۹-۷۹.
[۱۹]A. Lai, M. Maing, E. Ng, (2017) "Observational studies of mean radiant temperature across different outdoor spaces under shaded conditions in densely built environment", Building and Environment, 114, pp 397-409.

[۲۰]T-P. Lin, A. Matzarakis, R-L. Hwang, (2010) "Shading effect on long-term outdoor thermal comfort", Building and Environment, 45, pp 213–221.
[۲۱] ج. داوطلب، (۱۳۹۷)، رساله دکتری رشته معماری، "اثر پوشش گیاهی بر شرایط آسایش حرارتی فضای باز شهری، مطالعهٔ موردی: منطقهٔ سیستان"، دانشکده معماری و شهرسازی، دانشگاه شهید بهشتی.
[۲۲] س. کرمی راد، ب. بنازاده، ه. زارعی، ا. قزلباش، (۱۳۹۸) "ارزیابی و تحلیل آسایش حرارتی حیاط خانه های تاریخی شهر شیراز در دوره ی قاجاریه"، پژوهش‌های باستان شناسی ایران، دوره ۹، شماره ۲۰، ص ۱۸۳-۲۰۲.
[۲۳] غ. حقیقت نائینی، ر. فیاض، ب. بیغرض، (۱۳۹۷) "دستیابی به آسایش حرارتی در فضاهای همگانی با بهره گیری از روش شبیه سازی گام به گام بررسی موردی: یک واحد همسایگی در شهرک امام خمینی لار"، نامهٔ معماری و شهرسازی، دوره ۱۱، شماره ۲۱، ص ۷۷-۹۹.
[۲۴] پ. بقایی، (۱۳۹۳)، رساله دکتری رشته معماری، "برهم کنش عوامل منظرپرداز در تحلیل شرایط حرارتی مسکن سنتی ایران (نمونه مورد بررسی: خانه‌های سنتی یزد)"، دانشکده هنر و معماری، دانشگاه تربیت مدرس.
[۲۵] ش. حیدری، ع. منعام، (۱۳۹۲) "ارزیابی شاخصه‌های آسایش حرارتی در فضای باز"، مجله جغرافیا و توسعه ناحیه‌ای، دوره ۱۱، شماره ۲۰، ص ۱۹۷-۲۱۶.
[۲۶] ج. داوطلب، م. حافظی، م. ادیب، (۱۳۹۵) "بررسی میزان اثر و نقش پوشش گیاهی بر متغیرهای تعیین کننده آسایش حرارتی فضای باز، مطالعهٔ موردی: اقلیم گرم و خشک سیستان"، صفه، دوره ۲۶، شماره ۷۵، ص ۱۹-۴۱.
[۲۷] م. طاهباز، (۱۳۸۶) "طراحی سایه در فضای باز"، نشریه هنرهای زیبا، شماره ۳۱، ص ۲۷-۳۸.
[۲۸] م. منتظری، ل. جهانشاهلو، ح. ماجدی، (۱۳۹۶) "تأثیر مؤلفه‌های فرم کالبدی شهری بر آسایش حرارتی فضاهای باز شهری (نمونه موردی: اراضی پشت سیلو شهر یزد)"، فصلنامه جغرافیا و مطالعات محیطی، دوره ۲۲، شماره ۶، ص ۶۳-۸۴.
[۲۹]M. Mahdavinejad, A. Zia, A. Norouzi Larki, S. Ghanavati, N. Elmi, (2014) "Dilemma of green and pseudo green architecture based on LEED norms in case of developing countries", International Journal of Sustainable Built Environment, 3, pp 235-246.
[۳۰] م. بهزادفر، ع. منعام، (۱۳۸۹) "تأثیر ضریب دید به آسمان در آسایش حرارتی کاربران فضای باز شهری"، آرمانشهر، دوره ۳، شماره ۵، ص ۲۳-۳۴.
[۳۱] ش. حیدری، (۱۳۹۱) "بر همکنش جریان هوا، دما و راحتی در فضاهای باز شهری، مطالعه موردی اقلیم گرم و خشک ایران"، نشریه هنرهای زیبا-معماری و شهرسازی، دوره ۱۷، شماره ۲، ۴۲-۳۷.
[۳۲] س.ح. تقوایی، م. طاهباز، س. متقی پیشه، (۱۳۹۴) "نقش سایه در باغ ایرانی، بررسی وضعیت آسایش اقلیمی در باغ جهان نما و باغ دلگشا"، مطالعات معماری ایران، دوره ۴، شماره ۷، ص ۳۵-۵۶.
[۳۳] ح. عمید، (۱۳۶۳) "فرهنگ عمید"، چاپ اول، مؤسسه انتشارات امیر کبیر، تهران.
[۳۴] م. کسمایی، (۱۳۸۹) "اقلیم و معماری"، چاپ ششم، نشر خاک، اصفهان.
[۳۵] م. اختر کاوان، م. صدیق، ح. اختر کاوان، (۱۳۹۱) "تنظیم شرایط همساز با بوم و اقلیم ایران (اقلیم، معماری و انرژی)"، چاپ دوم، کلهر، تهران.
[۳۶] ا. جعفرپور، (۱۳۹۱) "اقلیم شناسی"، چاپ هشتم، مؤسسه انتشارات دانشگاه تهران، تهران.
[۳۷] م. سلطاندوست، (۱۳۹۰) "اقلیم، معماری، تهویه مطبوع"، یزدا، تهران.
[۳۸] س. یوسفیان، (۱۳۹۱)، پایان نامه کارشناسی ارشد رشته طراحی شهری، "استفاده بهینه از جریان هوا در طراحی فضاهای شهری، نمونه موردی: طراحی فاز چهارم شهرک اکباتان"، دانشکده هنر و معماری، دانشگاه تربیت مدرس.
[۳۹] س. کرمی راد، م. علی آبادی، ا. حبیبی، ر. وکیلی نژاد، (۱۳۹۶) " سنجش میزان تأثیر پوشش گیاهی بر شرایط آسایش حرارتی بیرونی عابران پیاده (مورد پژوهی: مجتمع مسکونی گلدشت شیراز)"، نشریه علمی - پژوهشی انجمن علمی معماری و شهرسازی ایران، دوره ۸، شماره ۱۴، ص ۱۸۵-۱۹۶.
[۴۰] ش. پوردیهیمی، (۱۳۹۰) "زبان اقلیمی در طراحی محیطی پایدار"، جلد ۲: مقیاس خرد، مرکز چاپ و انتشارات دانشگاه شهید بهشتی، تهران.
[۴۱]L. Kleerekoper, (2016) "Urban Climate Design: Improving thermal comfort in Dutch neighbourhoods", Delft University of Technology.

[۴۲] ن. رحمتیان، س.ز. عمادی رضوی، س.م. آیت اللهی، (۱۳۹۳) "نقش خرد اقلیم در دلبستگی و احراز مکان بررسی موردی: دانشکده هنر و معماری دانشگاه یزد"، دو فصلنامه دانشگاه هنر، نامه معماری و شهرسازی، دوره ۷، شماره ۱۳، ص ۷۷-۹۲.
[۴۳]M. Nikolopoulou, (2011) "OUTDOOR THERMAL COMFORT", Frontiers in Bioscience, pp 1552-1568.
[۴۴] ا. ضابطیان، ر. خیرالدین، (۱۳۹۷) "مدل سلسله مراتبی ارزیابی سازگاری روانی در جهت نیل به آسایش حرارتی و حس مکان در فضاهای شهری"، مطالعات شهری دوره ۷، شماره ۲۸، ص ۷۹-۹۰.
[۴۵] ح. رنجبران، (۱۳۹۳)، پایان نامه کارشناسی ارشد رشته معماری منظر، " بررسی نقش رطوبت و سایه در دستیابی به آسایش حرارتی نمونه موردی: بازطراحی پارک گفت‌وگو"، دانشکده هنر و معماری، دانشگاه تربیت مدرس.
[۴۶]J.R. Watt, (1963) "Evaporative air conditioning", The Industrial Press, New York.
[۴۷] ز. قیابکلو، (۱۳۸۰) "روش‌های تخمین محدوده آسایش حرارتی"، هنرهای زیبا، شماره ۱۰، ص ۶۸-۷۴.
[۴۸]D. Watson, K. Labs, (2006) "Bioclimatic design at the site planning scale", Time-Saver Standards for Urban Design.
[۴۹]H. Taleb, D. Taleb, (2014) "Enhancing the thermal comfort on urban level in a desert area: Case study of Dubai, United Arab Emirates", Urban Forestry & Urban Greening, 13, pp 253-260.
[۵۰] م. طاهباز، ش. جلیلیان، ف. موسوی، (۱۳۹۱) "آموزه‌هایی از معماری اقلیمی گذرهای کاشان، تحقیق میدانی در بافت تاریخی شهر"، مطالعات معماری ایران، دوره ۱، شماره ۱، ص ۵۹-۸۳.
[۵۱]Aerographer/Meteorology, integrated Publishing's Archive Service, Available at: http://www.tpub.com/content/aerographer/14269/css/14269_67.htm
[۵۲] M. Tahbaz, (2013) "A method for microclimate observation and thermal analysis-tropical condition of Kuala Lumpur", International Journal of Architectural Engineering & Urban Planning, 23, pp 1-16.
[۵۳]R.D. Brown, T.J. Gillespie, (1995) "Microclimatic landscape design : creating thermal comfort and energy efficiency", J. Wiley & Sons, New York.
[۵۴]R.F. Rupp, N.G. Vásquez, R. Lamberts, (2015) "A review of human thermal comfort in the built environment", Energy and Buildings, 105, pp 178-205.
[۵۵] ع. پور اسد، (۱۳۹۶)، پایان نامه کارشناسی ارشد رشته برنامه‌ریزی شهری، "سنجش سطح آسایش حرارتی و ارزیابی نقش آن در چگونگی استفاده شهروندان از فضای شهری (نمونه موردی : پارک دانشجو)"، دانشکده هنر معماری و شهرسازی، دانشگاه هنر.
[۵۶]D. Lai, W. Liu, T. Gan, K. Liu, Q. Chen, (2019) "A review of mitigating strategies to improve the thermal environment and thermal comfort in urban outdoor spaces", Science of the Total Environment, 661, pp 337–353.
[۵۷]T. Zölch, M.A. Rahman, E. Pfleiderer, G. Wagner, S. Pauleit, (2019) "Designing public squares with green infrastructure to optimize human thermal comfort", Building and Environment, 149, pp 640–654.
[۵۸]J. Spagnolo, R. de Dear, (2003) "A eld study of thermal comfort in outdoor and semi-outdoor environments in subtropical Sydney Australia", Building and Environment, 38, pp 721–738.
[۵۹] پ. قنواتی، (۱۳۹۴)، پایان نامه کارشناسی ارشد رشته طراحی شهری، "بررسی آسایش حرارتی در فضای باز شهری در اقلیم نیمه خشک مطالعه موردی: میدان بانک ملی بهبهان"، دانشکده مهندسی معماری و شهرسازی، دانشگاه تربیت دبیر شهید رجائی.
[۶۰]M. Taleghani, L. Kleerekoper, M. Tenpierik, A. van den Dobbelsteen, (2014) "Outdoor thermal comfort within five different urban forms in the Netherlands", Building and Environment, 83, pp 65-78.
[۶۱] ر. منشی زاده، س.ا. حسینی، ع. اجاق، س.ح. شعبانی، (۱۳۹۱) "آسایش حرارتی و تاثیر ارتفاع ساختمان ها بر خرد اقلیم فضاهای شهری، نمونه موردی خیابان شهرداری تهران"، فصل نامه آمایش محیط، دوره ۶، شماره ۲۰، ص ۱۰۹-۱۲۶.
[۶۲] ر. باهوش، (۱۳۹۵)، پایان نامه کارشناسی ارشد رشته مهندسی معماری (انرژی)، "تأثیر هندسه و فرم بلوک شهری بر دمای تابشی، فاکتور دید به آسمان و آسایش حرارتی (نمونه موردی اهواز)"، دانشکده فنی و مهندسی، دانشگاه ایلام.

[۶۳]A. Atef, Z. Noureddine, F. Soufiane, (2015) "SPUCAL_mrt as a new model for estimating the mean radiant temperature in arid lands", Energy Procedia, 74, pp 273 – 280.
[۶۴]ASHRAE, (2001) "ASHRAE Fundamentals Handbook 2001", Atlanta, GA.
[۶۵]N. Kántor, J. Unger, (2011) "The most problematic variable in the course of human-biometeorological comfort assessment – the mean radiant temperature", Central European Journal of Geosciences, 3, 1, pp 90-100.
[۶۶]E. Andreou, (2013) "Thermal comfort in outdoor spaces and urban canyon microclimate", Renewable Energy, 55, pp 182-188.
[۶۷]M. Nikolopoulou, S. Lykoudis, (2006) "Thermal comfort in outdoor urban spaces: Analysis across different European countries", Building and Environment, 41, pp 1455–1470.
[۶۸]J. Rodríguez-Algeciras, A. Tablada, A. Matzarakis, (2018) "Effect of asymmetrical street canyons on pedestrian thermal comfort in warm-humid climate of Cuba", Theoretical and Applied Climatology, 133, pp 663–679.
[۶۹]L. Martinelli, T-P. Lin, A. Matzarakis, (2015) "Assessment of the influence of daily shadings pattern on human thermal comfort and attendance in Rome during summer period", Building and Environment, 92, pp 30-38.
[۷۰]P. Höppe, (1999) "The physiological equivalent temperature – a universal index for the biometeorological assessment of the thermal environment", International Journal of Biometeorology, 43 ,pp 71-75.
[۷۱]T. Honjo, (2009) "Thermal Comfort in Outdoor Environment", Global Environmental Research, 13, pp 43-47.
[۷۲]W.P. Jones, (2001) "Air Conditioning Engineering", fifth edition, Elsevier Butterworth-Heinemann.
[۷۳]B. Givoni, (1998) "Climate Considerations in Building and Urban Design", John Wiley & Sons,Inc, Canada.
[۷۴] ز. قیابکلو، (۱۳۹۱) "مبانی فیزیک ساختمان ۲: تنظیم شرایط محیطی"، جهاد دانشگاهی واحد صنعتی امیرکبیر، تهران.
[۷۵]N. Djongyang, R. Tchinda, D. Njomo, (2010) "Thermal comfort: A review paper", Renewable and Sustainable Energy Reviews, 14, 9, pp 2626–2640.
[۷۶]A. Matzarakis, H. Mayer, (1996) "Another kind of environmental stress: thermal stress", WHO newsletter, 18, pp 7-10.
[۷۷]A. Matzarakis, H. Mayer, M.G. Iziomon, (1999) "Applications of a universal thermal index: physiological equivalent temperature", International Journal of Biometeorology, 43, pp 73-84.
[۷۸]S. Coccolo, J. Kämpf, J-L. Scartezzini, D. Pearlmutter, (2016) "Outdoor human comfort and thermal stress: A comprehensive review on models and standards", Urban Climate, 18, pp 33–57.
[۷۹]S. Yin, W. Lang, Y. Xiao, Z. Xu, (2019) "Correlative Impact of Shading Strategies and Configurations Design on Pedestrian-Level Thermal Comfort in Traditional Shophouse Neighbourhoods, Southern China", sustainability, 11.
[۸۰]K. Li, Y. Zhang, L. Zhao, (2016) "Outdoor thermal comfort and activities in the urban residential community in a humid subtropical area of China", Energy and Buildings, 133, pp 498-511.
[۸۱]P.K. Cheung, C.Y. Jim, (2019) "Improved assessment of outdoor thermal comfort: 1-hour acceptable temperature range", Building and Environment, 151, pp 303-317.
[۸۲]A. Middel, N. Selover, B. Hagen, N. Chhetri, (2016) "Impact of shade on outdoor thermal comfort—a seasonal field study in Tempe, Arizona", International Journal of Biometeorology, 60, pp 1849–1861.

[۸۳]F. Gómez, A. Pérez Cueva, M. Valcuende, A. Matzarakis, (2013) "Research on ecological design to enhance comfort in open spaces of a city (Valencia, Spain). Utility of the physiological equivalent temperature (PET)", Ecological Engineering, 57, pp 27-39.
[۸۴]E. Johansson, S. Thorsson, R. Emmanuel, E. Krüger, (2014) "Instruments and methods in outdoor thermal comfort studies – The need for standardization", Urban Climate, 10, pp 346-366.
[۸۵]R. Emmanuel, (2005) "Thermal comfort implications of urbanization in a warm-humid city: the Colombo Metropolitan Region (CMR), Sri Lanka", Building and Environment, 40, pp 1591–1601.
[۸۶]P.O. Fanger, (1972) "Thermal comfort", McGraw-Hill, New York.
[۸۷]F. Ali-Toudert, H. Mayer, (2007) "Effects of asymmetry, galleries, overhanging fac¸ades and vegetation on thermal comfort in urban street canyons", Solar Energy, 81, pp 742–754.
[۸۸]S. Zakhour, (2015) "The Impact of Urban Geometry on Outdoor Thermal Comfort Conditions in Hot-arid Region", J. Civil Eng. Architect. Res, 2, pp 862-875.
[۸۹]I. Tumini, E.H. Garcia, S.B. Rada, (2016) "Urban microclimate and thermal comfort modelling: Strategies for urban renovation", International Journal of Sustainable Building Technology and Urban Development, 7, 1, pp 22-37.
[۹۰]X. Yang, L. Yao, T. Jin, L.L.H. Peng, Z. Jiang, Z. Hu, Y. Ye, (2018) "Assessing the thermal behavior of different local climate zones in the Nanjing metropolis, China", Building and Environment, 137, pp 171–184.
[۹۱]B. Biqaraz, R. Fayaz, G. Haghighaat Naeeni, (2019) "A comparison of outdoor thermal comfort in historical and contemporary urban fabrics of Lar City", Urban Climate, 27, pp 212–226.
[۹۲]X. Yang, L. Zhao, M. Bruse, Q. Meng, (2013) "Evaluation of a microclimate model for predicting the thermal behavior of different ground surfaces", Building and Environment, 60, pp 93-104.
[۹۳]N. Makaremi, E. Salleh, M.Z. Jaafar, A. GhaffarianHoseini, (2012) "Thermal comfort conditions of shaded outdoor spaces in hot and humid climate of Malaysia", Building and Environment, 48, pp 7-14.
[۹۴]S. Watanabe, K. Nagano, J. Ishii, T. Horikoshi, (2014) "Evaluation of outdoor thermal comfort in sunlight, building shade, and pergola shade during summer in a humid subtropical region", Building and Environment, 82, pp 556-565.
[۹۵]A. Ghaffarianhoseini, U. Berardi, A. Ghaffarianhoseini, K. Al-Obaidi, (2019) "Analyzing the thermal comfort conditions of outdoor spaces in a university campus in Kuala Lumpur, Malaysia", Science of the Total Environment, 666, pp 1327-1345.
[۹۶] مرکز آمار ایران، درگاه ملی آمار: https://www.amar.org.ir
[۹۷] اداره کل هواشناسی استان سمنان: http://www.semnanweather.ir
[۹۸] https://weather-and-climate.com
[۹۹]ISO, (1998) "International Standard 7726, Ergonomics of the thermal environment-Instruments for measuring physical quantities", International Standard Organization, Geneva.
[۱۰۰]G. Havenith, (2004) "Thermal conditions measurement", CRC Press.
[۱۰۱]D. Lai, D. Guo, Y. Hou, C. Lin, Q. Chen, (2014) "Studies of Outdoor Thermal Comfort in Northern China", Building and Environment, 77, pp 110-118.
[۱۰۲]L. Chen, Y. Wen, L. Zhang, W-N. Xiang, (2015) "Studies of thermal comfort and space use in an urban park square in cool and cold seasons in Shanghai", Building and Environment, 94, pp 644-653.
[۱۰۳]S. Oliveira, H. Andrade, (2007) "An initial assessment of the bioclimatic comfort in an outdoor public space in Lisbon", International Journal of Biometeorology, 52, pp 69–84.

[۱۰۴]T. Stathopoulos, H. Wu, J. Zacharias, (2004) "Outdoor human comfort in an urban climate", Building and Environment, 39, pp 297–305.
[۱۰۵]N. Makaremi, (2011), Master of Science thesis, "Thermal comfort conditions of shaded outdoor spaces for local and international students at Universiti Putra Malaysia, Serdang", Faculty of Design and Architecture, Universiti Putra Malaysia.
[۱۰۶]ISO, (2005) "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", International Standard Organization, Geneva.
[۱۰۷]N. Kántor, (2016) "Differences between the evaluation of thermal environment in shaded and sunny position", Hungarian Geographical Bulletin, 65, pp 139-153.
[۱۰۸]T-P. Lin, (2009) "Thermal perception, adaptation and attendance in a public square in hot and humid regions", Building and Environment, 44, pp 2017-2026.
[۱۰۹]A.H.A. Mahmoud, (2011) "Analysis of the microclimatic and human comfort conditions in an urban park in hot and arid regions", Building and Environment, 46, pp 2641-2656.
[۱۱۰]T-P. Lin, A. Matzarakis, (2008) "Tourism climate and thermal comfort in Sun Moon Lake, Taiwan", International Journal of Biometeorology, 52, 4, pp 281-290.
[۱۱۱]F. Salata, I. Golasi, R. de Lieto Vollaro, A. de Lieto Vollaro, (2016) "Outdoor thermal comfort in the Mediterranean area. A transversal study in Rome, Italy", Building and Environment, 96, pp 46-61.
[۱۱۲]Y. Xie, J. Liu, T. Huang, J. Li, J. Niu, C.M. Mak, T-c. Lee, (2019) "Outdoor thermal sensation and logistic regression analysis of comfort range of meteorological parameters in Hong Kong", Building and Environment, 155, pp 175-186.

Abstract

The rapid growth of urbanization in contemporary times 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 to satisfy users. Numerous factors affect the thermal comfort quality of open spaces; among them, shading is one of the most important. This study investigates the effect of shade on students' thermal comfort in Shahrood University of Technology in Iran in the hot season. For this purpose, field studies were conducted including measurement of major climatic parameters as well as evaluation the thermal perception of students by using thermal comfort questionnaires simultaneously at four points of campus (plants shade, building shade, horizontal shading (canopy) and sunlight). In this paper, the Physiologically Equivalent Temperature (PET) is used 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 is obtained for this study. The results show that there is a significant relationship between location and 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 who were present in these areas, 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 shading and blocking direct solar radiation using vegetation or building elements can greatly improve thermal comfort in outdoor space in the hot season.

Keywords: Thermal comfort, Outdoor space, Microclimate, Shade, PET

Shahrood University of Technology

Faculty of Architectural Engineering and Urbanism

M.Sc. Thesis in Architectural Engineering

Investigating the effect of shade on outdoor thermal comfort

Case study: Shahrood University of Technology

By: Shahrzad Talebsafa

Supervisor:

Dr. Masoud Taheri Shahraeini

Advisors:

Dr. Xiaoshan Yang

Dr. Mohammadreza Rabiei

January, 2020