

ارزیابی دمای خنثی و رفتارهای انطباقی در فضاهای میانی ساختمان‌های آموزشی در طول یک سال (نمونه موردی: دانشگاه صنعتی اصفهان)^۱

ساناز مطالایی^۲، مقدی خدابخشیان^۳، فاطمه السادات مجیدی^۴، مهدیه ابروش^۵

تاریخ دریافت: ۱۴۰۳/۰۸/۲۱

تاریخ بازنگری: ۱۴۰۳/۱۲/۱۹

تاریخ پذیرش: ۱۴۰۴/۰۴/۰۱

نوع مقاله: پژوهشی

صفحه ۶۹ تا ۹۰

چکیده

دستیابی به طراحی دقیق‌تر، مستلزم درک اصول سازگاری حرارتی افراد، رفتارها و تعامل آن‌ها با محیط است. از طرفی فضاهای میانی در ساختمان‌های معاصر بسیار حایز اهمیت اند و مانند پلی میان فضای درون و بیرون عمل می‌کنند. این فضاها، نه تنها به عنوان گذرگاه‌ها عمل می‌کنند؛ بلکه به عنوان فضاهای چندمنظوره شناخته می‌شوند؛ لذا، این مقاله به تحلیل رفتارهای انطباقی افراد در فضاهای میانی بسته (ساباط، آتریوم، لابی ورودی و لابی آسانسور) دانشگاه صنعتی اصفهان، در دو نوع دانشکده با تفاوت از نظر نوع تهویه در فضاهای میانی بسته می‌پردازد. این تحقیق شامل یک بررسی مقطعی و اندازه‌گیری‌های در محل برای تعیین دمای خنثی و رفتارهای انطباقی داخل ساختمان در طول یک سال بود. تغییرات رفتاری مشاهده شده در هر فصل در دانشکده‌های دارای تهویه طبیعی به ترتیب شامل: افزایش لایه‌های لباس در بهار، باز کردن پنجره‌ها برای تهویه متقابل یا استفاده از نوشیدنی سرد در تابستان، استفاده از نوشیدنی‌های گرم یا افزایش فعالیت در پاییز و مالش دست‌ها به یکدیگر یا استفاده از ویژگی‌های لباس (مانند جیب یا کلاه) برای زمستان بود. این اقدامات برای دانشکده‌های با تهویه مکانیکی عبارت‌اند از: کاهش لباس‌های بیرونی در فصول بهار، پاییز و زمستان و باز کردن پنجره‌ها در تابستان. همچنین، دمای خنثی در فضاهای میانی بسته ۲۳٫۵ درجه سانتیگراد است که ۰٫۳۵ بیشتر از دمای خنثی به‌دست‌آمده از مدل سازگاری حرارتی است. به‌صورت کلی، نتایج این مطالعه حاکی از آن است که در فضاهای میانی بسته، مدل پی - ام - وی^۱ نمی‌تواند به‌خوبی آسایش حرارتی افراد را تخمین بزند و برای نتایج دقیق‌تر بهتر است از مدل سازگاری حرارتی ای - ام - وی^۲ استفاده نمود.

واژگان کلیدی: آسایش حرارتی تطبیقی، رفتارهای تطبیقی، سازگاری حرارتی، ساختمان آموزشی، فضاهای میانی بسته

^۱ این مقاله مستخرج از رساله دکتری نویسنده اول با عنوان «ارزیابی تاثیر آسایش حرارتی بر رفتار افراد در فضاهای بسته واسط آموزشی با استفاده از مدل سازگاری (نمونه موردی: دانشگاه صنعتی اصفهان) می باشد که در دانشگاه آزاد اسلامی واحد اصفهان (خوراسگان) در دانشکده معماری و شهرسازی انجام شده است.

^۲ دانشجوی دکتری تخصصی، گروه معماری، واحد اصفهان (خوراسگان)، دانشگاه آزاد اسلامی، اصفهان، ایران.

^۳ استادیار گروه معماری، واحد اصفهان (خوراسگان)، دانشگاه آزاد اسلامی، اصفهان، ایران. (نویسنده مسئول) meg.kh@khuif.ac.ir

^۴ استادیار گروه معماری، واحد اصفهان (خوراسگان)، دانشگاه آزاد اسلامی، اصفهان، ایران.

^۵ استادیار دانشکده معماری، دانشکده‌های هنرهای زیبا، دانشگاه تهران، تهران، ایران.

۱. مقدمه

بررسی ملاحظات شرایط محیطی و صرفه‌جویی در مصرف انرژی در طراحی معماری ساختمان‌های معاصر بسیار حائز اهمیت است. با وجود دست‌به‌دست دادن بیشتر راهکارهای مهندسی و راهکاری پایدار در طراحی معماری، به‌دست‌آوردن کاهش قابل‌ملاحظه در مصرف انرژی کاری ساده نیست. اختلافات در طراحی و ساخت ساختمان، شرایط فنی و سیستمی، انتخاب مواد و رفتارهای مصرف انرژی ساکنان می‌توانند منجر به اختلاف قابل‌توجهی بین مصرف انرژی پیش‌بینی شده در مرحله طراحی و مصرف واقعی در ساختمان‌ها شوند؛ بنابراین، تمرکز بر سازگاری حرارتی که شامل جنبه‌های فیزیولوژیکی، روان‌شناختی و رفتاری است، می‌تواند به‌شدت بر آسایش حرارتی ساکنان تأثیرگذار باشد و مصرف انرژی را کاهش دهد. این موضوع نیاز مبرم به در نظر گرفتن رفتار ساکنان در هنگام تلاش برای طراحی ساختمان‌های صرفه‌جویی در مصرف انرژی و ایجاد ارتباط بین مصرف پیش‌بینی شده و مصرف واقعی انرژی را تأکید می‌کند.

گام اول برای دستیابی به شبیه‌سازی و طراحی دقیق‌تر، درک اصول سازگاری حرارتی، رفتارهای افراد و تعامل آن‌ها با محیط است؛ بنابراین، این مطالعه باهدف بررسی تطابق حرارتی در فضاهای میانی بسته در محیط‌های آموزش عالی، با بررسی دمای خنثی و اولویت‌بندی رفتارهای حرارتی انجام شده است. این تحقیق تلاش می‌کند تا پرسش‌های زیر را پاسخ دهد:

۱. دمای خنثی در فضاهای میانی بسته که برای اهداف آموزش عالی استفاده می‌شود چیست؟

۲. چگونه فضای معماری، رفتارهای کاربران و در نتیجه آسایش حرارتی افراد را تحت‌تأثیر قرار می‌دهد؟

این پرسش‌ها از طریق تعیین دمای خنثی با استفاده از اندازه‌گیری‌های میدانی در فضاهای موردبررسی می‌پردازد. علاوه بر این، اطلاعاتی درباره اولویت‌بندی رفتار حرارتی و عواملی که سبب دست‌یافتن به شرایط حرارتی مطلوب می‌شوند، از طریق پرسش‌نامه‌ها و مصاحبه‌ها جمع‌آوری خواهند شد. در نهایت، این تحقیق به دنبال ارزیابی بهترین نوع تهویه (طبیعی یا مکانیکی) و کاربری در فضاهای میانی بسته در دانشگاه‌ها و مؤسسات آموزش عالی در مناطق گرم و خشک است.

۱-۱. فضاهای میانی

با پیشرفت صنعتی، نیاز به فضاهایی که انسان را به محیط بیرون متصل می‌کنند، افزایش یافته است. این مناطق که در این مقاله به‌عنوان "فضاهای میانی" شناخته می‌شوند، مابین فضاهای داخلی و فضای باز یک ساختمان قرار دارند و مانند یک پل با شرایط محیطی متفاوت عمل می‌کنند. این فضاها پتانسیل قابل‌توجهی برای صرفه‌جویی در مصرف انرژی کل ساختمان دارند (Pitts, 2013).

علاوه بر این، فضاهای میانی در ساختمان‌های معاصر نه تنها به‌عنوان گذرگاه‌ها عمل می‌کنند؛ بلکه به‌عنوان فضاهای چندمنظوره شناخته می‌شوند. آن‌ها در ساختمان‌های آموزشی، فرهنگی، تجاری، تفریحی و حمل‌ونقل مورد استفاده قرار می‌گیرند. علاوه بر عبور و مرور، این فضاها برای مکالمات افراد، فعالیت‌های آموزشی، جلسات و یا اوقات فراغت استفاده می‌شوند. گاهی نیز به فضاهای خدماتی مانند رستوران‌ها و کافی‌شاپ‌ها تبدیل می‌شوند؛ بنابراین، ارزیابی شرایط حرارتی این فضاها تأثیر قابل‌توجهی بر افراد و فعالیت‌های انجام شده آن‌ها دارد.

فضاهای میانی وظایف چندگانه داشته و با فضاهای داخلی اشغال شده در ساختمان‌های غیرمسکونی ارتباط نزدیکی دارند. برای این فضاها، تنها چندین دستورالعمل یا استاندارد خاص وجود دارد. بیشتر تحقیقات در مورد فضاهای میانی از مطالعات در مورد فضاهای داخلی مشتق شده‌اند. اما، این فضاها در بسیاری از موارد مانند موقعیت مکانی، فعالیت ساکنان و لباس متداول افراد در این فضاها یا نوع تهویه از فضاهای اصلی دانشگاه مانند کلاس‌ها و آزمایشگاه‌ها متفاوت هستند. همچنین، مدت استفاده از این فضاها از فضاهای اصلی متفاوت است؛ بنابراین، استفاده از استانداردهای آسایش حرارتی فضاهای اصلی در این فضاها امکان‌پذیر نیست؛ لذا، می‌بایست با تحقیقات بیشتر، استانداردها و اولویت‌های خاص طراحی این فضاهای میانی به دست آید.

اگرچه استانداردهای آسایش حرارتی بر اساس تحقیقات آزمایشگاهی مانند ایزو ۷۷۳۰ اجرا شده‌اند، اما، دلایلی وجود دارد که نشان می‌دهد رضایت ساکنان از شرایط حرارتی واقعی در ساختمان‌ها همیشه با پایبندی دقیق به این استانداردها

از آسایش حرارتی است. به عنوان مثال، تغییر در عایق لباس می‌تواند تا ۳ درجه سانتیگراد تفاوت در دمای ترجیحی ایجاد کند (Fountain et al., 1996).

یکی از اولین مطالعات در این زمینه در سال ۱۹۹۸ انجام شد که بر روی آسایش حرارتی فضاهای میانی کربدورها در مدارس در بانکوک در فصل سرد تمرکز داشت. از طریق اندازه‌گیری‌های میدانی و پرسش‌نامه‌ها، آن‌ها به نتیجه رسیدند که دمای خنثی برای تمام نمونه‌ها ۲۷٫۱ درجه سانتیگراد بود و دمای قابل قبول در بازه ۲۵٫۵ تا ۳۱٫۵ درجه سانتیگراد قرار داشت (Jitkhajornwanich, 1998).

در سال ۲۰۰۴، چون و همکاران یک مقاله مروری انجام دادند. برای این منظور، سه دسته از فضاهای میانی بسته، نیمه باز و باز در یوکامی‌های ژاپنی، شامل دو لابی، دو بالکن و دو کلاه فرنگی انتخاب شدند. متغیرهای فیزیکی مانند دما، رطوبت نسبی، دمای کروی، تابش خورشید و سرعت هوا در دوره‌های طولانی مدت به مدت سه روز و دوره‌های کوتاه مدت به صورت ساعتی بررسی شدند. علاوه بر این، رفتار افراد ثبت شد. آن‌ها از یک ایستگاه هواشناسی در خارج از محل مطالعه برای اندازه‌گیری دماهای فضای باز استفاده کردند. برای ارزیابی آسایش حرارتی، از شاخص‌های PMV و SET* استفاده کردند و ادعا کردند که این شاخص‌ها اغلب برای پیش‌بینی آسایش حرارتی داخلی استفاده می‌شوند. آن‌ها همچنین از این شاخص‌ها برای مقایسه شرایط محیطی در این فضاها استفاده کردند تا روش جدیدی برای آسایش حرارتی در چنین فضاهایی در این اقلیم پیشنهاد کنند. همچنین مقادیر عایق لباس (CLO) و نرخ متابولیک (Met) بر اساس مشاهدات ثبت شدند. در نهایت، آن‌ها به این نتیجه رسیدند که شاخص PMV ممکن است برای پیش‌بینی آسایش حرارتی در فضاهای میانی مناسب نباشد (Chun et al., 2004).

علاوه بر این، پژوهشگرانی در سال ۲۰۰۹، آسایش حرارتی در فضاهای میانی را مورد بررسی قرار دادند. آن‌ها برای این منظور فضای لابی در یک ساختمان دولتی در مالزی را انتخاب کردند و دلیل انتخاب این فضا را به شرح زیر توضیح دادند: این فضا به دلیل ویژگی‌های منحصر به فرد خود انتخاب شد. یکی از این ویژگی‌ها شکل مشترک ساختمان‌های اداری در مالزی بود و

همانگی ندارد. در بسیاری از موارد، به نظر می‌رسد که ساکنان دارای سطح بالاتری از تحمل نسبت به انحرافات از دامنه‌های آسایش دماهای پذیرفته شده هستند (Deliahmedova, 2018). تئوری مورد استفاده در این تحقیق، تئوری سازگاری (تطبیقی) حرارتی است. طبق این تئوری، افراد هنگامی که با عدم آسایش حرارتی مواجه می‌شوند، با اقدامات و تغییراتی در وضعیت خود، به تطبیق و سازگاری در محیط حرارتی خود، دست می‌یابند. این سازگاری و تطبیق به قدری ادامه می‌یابد تا زمانی که فرد به سطحی از رضایت از شرایط حرارتی محیط برسد. این تئوری سه دسته عوامل را شناسایی می‌کند که تغییرات در شرایط حرارتی را تحت تأثیر قرار می‌دهند، شامل: ۱- عوامل فردی مانند سن، جنسیت، وزن و پس زمینه اقتصادی؛ ۲- عوامل محیطی مانند فصل، آب‌وهوای سایت؛ ۳- عوامل شناختی؛ مانند انتظارات و ترجیحات حرارتی. با کمک این عوامل، افراد تنظیماتی در شرایط حرارتی خود انجام می‌دهند. در مرحله بعد، اگر افراد قادر به تغییر شرایط حرارتی خود با این عوامل نباشند، سعی می‌کنند تا این امر را از طریق واکنش‌های رفتاری به دست آورند. تغییر لباس و پوشش، تغییر فعالیت‌ها، تغییر وضعیت نشستن، تغییر در عادات غذاخوری و نوشیدنی، یا تغییر مکان، باز و بسته کردن پنجره‌ها، روشن و خاموش کردن دستگاه‌های مکانیکی، انواع واکنش‌های رفتاری هستند.

گاهی واکنش‌های رفتاری تحت تأثیر فرهنگ اجتماعی هستند؛ مانند لباس یا نوع فعالیتی که یک فرد انجام می‌دهد. یک دسته دیگر از واکنش‌های سازگاری فرد با محیط، واکنش‌های فیزیولوژیکی هستند، به این معنا که افراد به تدریج زمان با محیط کنار می‌آیند و با آن سازگار می‌شوند و در واقع به آن "عادت" می‌کنند. دسته نهایی از روش‌های تنظیم محیطی فردی، تنظیمات روان‌شناختی مانند انتظارات و تجربیات شخصی هستند. در این مقاله، واکنش‌های رفتاری افراد از طریق پرسش‌نامه‌ها و مشاهدات جمع‌آوری و ثبت شدند.

تنظیمات رفتاری به تغییراتی اشاره دارند که افراد، تغییراتی در خود (مانند لباس پوشیدن، فعالیت‌ها، خوردن یا نوشیدن) و یا تغییراتی در محیط اطراف خود (مانند باز و بسته کردن پنجره‌ها یا استفاده از فن‌ها) ایجاد می‌کنند. ایجاد تنظیمات رفتاری برای تنظیم دمای بدن، بهترین راهکار برای افراد به منظور اطمینان

فضاها کنترلی بر عوامل اقلیمی ندارند به این معنی که امکان باز و بسته کردن پنجره‌ها یا تنظیم دماهای گرمایش و سرمایش برای آن‌ها وجود ندارد (Hou, 2016).

کوتوپولیاس و نیکولوپولو^۵، در سال ۲۰۱۶، سالن انتظار و لابی سه فرودگاه را برای آسایش حرارتی در بین دو گروه کارمندان و مسافران، موردبررسی قرار دادند. آن‌ها به نتیجه رسیدند که دمای خنثی برای مسافران کمتر از کارمندان است (Kotopoulos & Nikolopoulou, 2016).

در سال ۲۰۱۹، گروهی از محققان، یک مطالعه میدانی با استفاده از اندازه‌گیری‌های میدانی و پرسش‌نامه‌ها در مورد آسایش حرارتی در سه فضای میانی بسته عمومی در کاردیف، انگلستان انجام دادند. در طول این مطالعه، یک همبستگی قوی بین مقدار لباس و دمای واقعی در داخل ساختمان یافت شد. قابلیت سازگاری مردم با محیط حرارتی تأیید شد. آن‌ها به این نتیجه رسیدند که نزدیک به ۸۰٪ از پاسخ‌دهندگان برای پیشگیری از وضعیت ناراحت‌کننده اقدامات خودسازگاری را انتخاب می‌کنند (M.Y.Tse. & Jones, 2019).

جیانو و همکاران^۶، در سال ۲۰۲۳، تأثیر دماهای فضاهای میانی لابی‌ها و کریدورها را بر آسایش حرارتی و رفتارهای افراد سالمند در مراکز مراقبت درمانی مسکونی را ارزیابی کرده بودند. آن‌ها یک مطالعه میدانی با استفاده از پرسش‌نامه‌ها و اندازه‌گیری‌های فیزیکی انجام دادند و به این نتیجه رسیدند که بیشترین بهبود در آسایش حرارتی داخلی برای افراد سالمند زمانی رخ می‌دهد که تفاوت دما بین فضای میانی و محیط داخلی در زمستان ۶ درجه سانتیگراد و در تابستان ۲ درجه سانتیگراد باشد (Jiao et al., 2023).

در تحقیقات گذشته ایران، بیشتر آسایش حرارتی کاربران در فضاهای بافر و فضاهای واسط ساختمان‌های سنتی، مورد مطالعه قرار گرفته‌اند. از اولین مطالعات انجام شده روی فضاهای بافر و واسط در ساختمان‌های سنتی ایران، می‌توان به رساله تحقیقاتی دوره دکتری شاهین حیدری در سال ۲۰۰۰ میلادی در دانشگاه شفیلد انگلستان اشاره کرد. ایشان شرایط آسایش دمایی در حیاط‌های مرکزی خانه‌های سنتی شهر ایلام در ایران را با استفاده از اندازه‌گیری میدانی مورد مطالعه قرار دادند (Heidari, 2000).

دلیل دیگر استفاده مکرر از این فضا به دلیل ارتباط آن با فضاهای داخلی مهم و حضور بسیاری از افراد در این فضاها بود. علاوه بر این، این فضاها در مواقع خاص نیز به صورت گسترده مورد استفاده قرار می‌گیرد (Kwong et al., 2009).

در سال ۲۰۱۴، دو نفر از محققان، فضاهای نیمه باز، فضاهای نیمه بسته و راهروهای کاملاً بسته در دانشگاهی در هنگ کنگ را انتخاب کردند تا آسایش حرارتی را موردبررسی قرار دهند. آن‌ها اشاره کردند که دلیل انتخاب این فضاها، استفاده گسترده کاربران از این فضاها در طول روز بود (Hui & Jiang, 2014).

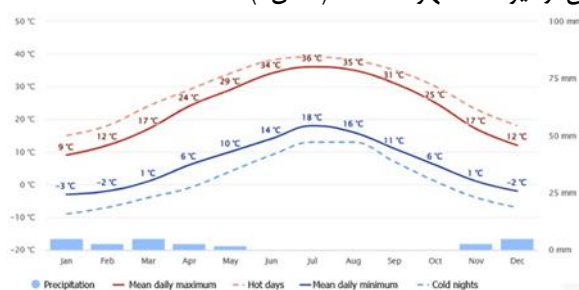
در سال ۲۰۱۶، وارگاس و استیونسون^۳ قصد داشتند تا تجربه آسایش حرارتی فصلی را از دیدگاه درک آسایش حرارتی و تجربه کوتاه مدت فضا بررسی کنند. بدین منظور، سه لابی در مدرسه با تهویه طبیعی را انتخاب کردند. تحقیقات آن‌ها نشان داد که تجربه ذهنی درازمدت در فصول مختلف و انتظارات دما نیز بر درک آسایش حرارتی در فضای مورد مطالعه تأثیر می‌گذارند. این پژوهشگران ادعا کردند که الگوهای درک حرارتی می‌توانند در مطالعات میدانی شناسایی شوند و استفاده منطقی از فضاهای لابی می‌تواند درک حرارتی ساکنان را بهبود بخشد (Vargas & Stevenson, 2016).

در سال ۲۰۱۶، هو^۴، کار خود را بر اساس مطالعات میدانی و پرسشنامه در فضاهای میانی انجام داد و اظهار کرد که دلیل انتخاب این روش، قابلیت اجرایی آن در اقلیم‌ها و شرایط مشابه است که امکان گسترش و استفاده آسان از نتایج را فراهم می‌کند. این روش در مقابل با مطالعات انجام شده در اتاق‌های کنترل شده آزمایشگاهی است که این قابلیت تعمیم را ندارند. سه ساختمان عمومی با تهویه مطبوع و تهویه طبیعی برای مطالعه فضاهای میانی انتخاب شدند. دو مورد از این ساختمان‌ها مؤسسات آموزشی و یک مورد نیز، موسسه فرهنگی بود. ویژگی مشترک این فضاهای میانی اتصال آن‌ها به سالن اصلی و وجود پنجره‌های بزرگ به فضای بیرون و حضور کافه‌ها و فروشگاه‌هاست؛ بنابراین، این سه فضای میانی اساساً چندمنظوره هستند و علاوه بر استفاده به عنوان فضاهای عبور، به عنوان اماکنی برای استراحت، خوردن، نوشیدن، جلسات، خواندن و حتی کار مورد استفاده قرار می‌گیرند. کاربران در این

مکانیکی در ساختمان‌های مسکونی شهر رشت پیشنهاد داده است (حسین‌پور توانی و همکاران، ۱۴۰۰).

۲. اقلیم سایت و ساختمان‌های مورد مطالعه

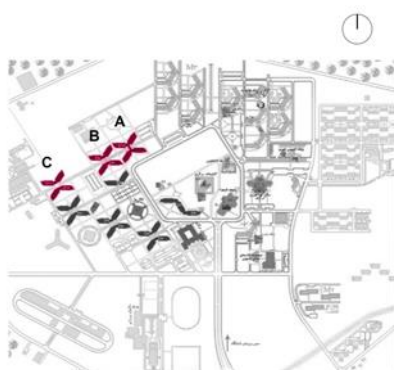
فضاهای میانی بسته مورد بررسی، واقع در دانشگاه صنعتی اصفهان، در شهر اصفهان است. شهر اصفهان در ارتفاع ۱۵۹۰ متری از سطح دریا واقع شده است. این شهر در عرض ۳۲٫۶۵ درجه شمالی و طول ۵۱٫۶۷ درجه شرقی واقع شده است. دمای میانگین بیشینه در تیرماه ۳۶ درجه سانتیگراد و دمای میانگین حداقل در بهمن‌ماه ۹ درجه سانتیگراد است. در ماه‌های مرداد و شهریور تقریباً ۲۹ روز آفتابی وجود دارد. بیشترین میزان بارندگی از آذرماه تا خردادماه حدود ۵-۲ میلیمتر است و حداقل میزان آن از تیرماه تا مهرماه است (شکل ۱).



شکل ۱. دماهای میانگین و بارش در اصفهان، ایران

(وبسایت سازمان هواشناسی ایران)

سه ساختمان همسان از نظر حجم و تعداد طبقات در دانشگاه صنعتی اصفهان در شهر اصفهان، ایران به عنوان ساختمان‌های مرجع برای این مطالعه انتخاب شده‌اند. تمام این دانشکده‌ها در شمالی‌ترین قسمت از محوطه دانشگاه واقع شده‌اند و با یکدیگر موازی هستند و دارای سه طبقه هستند (شکل ۲).



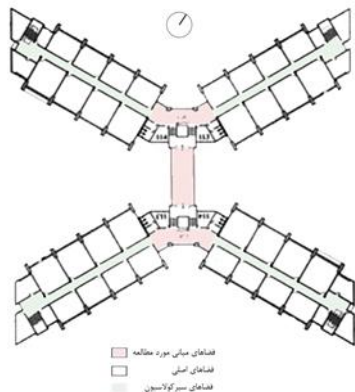
شکل ۲. موقعیت دانشکده‌های مورد مطالعه در محوطه دانشگاه صنعتی اصفهان با رنگ قرمز مشخص شده است.

فائزه یزدان‌پناه و علی‌اکبر حیدری در سال ۱۳۹۴ مقاله‌ای با عنوان "تأثیر تراس در مجتمع مسکونی بر کاهش مصرف انرژی ساختمان در اقلیم سرد و کوهستانی" ارائه دادند. این پژوهش به بررسی نقش تراس‌ها در کاهش مصرف انرژی در ساختمان‌های واقع در اقلیم‌های سرد و کوهستانی پرداخت و نشان داد که طراحی مناسب تراس‌ها می‌تواند به بهبود شرایط حرارتی و کاهش نیاز به سیستم‌های گرمایشی منجر شود.

همچنین در سال‌های ۹۶ و ۹۷، تحقیقات متعددی راجع به آسایش حرارتی در فضاهای باز و نیمه باز در داخل کشور انجام شده است که از آن جمله می‌توان به رساله کارشناسی ارشد بیات (۱۳۹۶)، با موضوع "بررسی آسایش حرارتی در فضای نیمه باز مسکن بومی شهر یزد" اشاره نمود که با روش سازگاری حرارتی به مطالعه آسایش حرارتی روی تالارهای ساختمان‌های بومی یزد پرداخته است. نتایج اندازه‌گیری‌های میدانی در یک تالار چهارگوشه عمیق نشان می‌دهد که این فضا با داشتن دمای خنک‌تر از بیرون در ساعات صبح و رطوبت نسبی بالاتر از هوای بیرون در تمام طول روز، شرایط آسایش حرارتی کمی گرم در صبح و گرم در ظهر و بعد از ظهر روزهای سوم و چهارم و پنجم خرداد ماه دارد (بیات، ۱۳۹۶). همچنین سعادت جو، در سال ۱۳۹۷، رساله دکتری خود با موضوع معماری متخلخل و بهره‌وری در مصرف انرژی را به انجام رساند. ایشان با بررسی تطبیقی نتایج مدل‌هایی با عمق تراس مختلف نشان داد که تغییر این پارامتر می‌تواند اختلاف معناداری در جریان داخلی ساختمان ایجاد کند؛ هرچند تغییر این شاخصه بر رفتار باد و الگوی جریان در تراس‌ها و فضاهای نیمه باز تأثیر قابل ملاحظه‌ای نداشت (سعادت جو، ۱۳۹۷).

حسین‌پور توانی و همکاران نیز، تأثیر عمق و نوع بالکن در تهویه طبیعی و بهینه‌سازی مصرف انرژی آپارتمان‌های مسکونی در اقلیم معتدل و مرطوب شهر رشت را مورد مطالعه قرار دادند. این پژوهش با استفاده از نرم‌افزار دیزاین بیلدر به بررسی سه عمق بالکن (۰٫۹ متر، ۱٫۵ متر و ۳ متر) و سه نوع بالکن (یک طرف بسته، دو طرف بسته و سه طرف بسته) پرداخته و مناسب‌ترین فرم را برای بیشترین تهویه طبیعی و کاهش مصرف انرژی

شکل حرف ایکس انگلیسی دارند که برای فضای مطالعه استفاده می‌شود.



شکل ۳. پلان تیپ طبقات دانشکده مهندسی کشاورزی، فیزیک و مهندسی معدن در دانشگاه صنعتی اصفهان

۳-۱. دانشکده مهندسی کشاورزی

همانند بقیه دانشکده‌های مورد مطالعه، دارای فرم پلان ایکس شکل است و از دو قسمت مسطح در طبقات دوم و سوم تشکیل شده است که با فضای میانی بسته مستطیلی (ساباط) که در این مطالعه ارزیابی شده است، به هم متصل شده‌اند. این فضای ساباط دارای ۲۷٫۴ متر طول و حدود ۶٫۱ متر عرض است. ارتفاع این فضای میانی بسته، ۲٫۷۵ متر است. این فضای میانی بسته در طبقه دوم زیر طبقه ای ندارد و بر روی خیابان معلق است. مساحت این فضای اصلی میانی بسته حدود ۱۶۴ متر مربع است. ارتفاع پنجره‌ها از سطح کف، ۰٫۹۲۲ متر و ارتفاع پنجره‌ها در این فضای میانی بسته ۱٫۴۱ متر است. دیوارهای بیرونی از آجر نما به ضخامت ۳۰ میلی متر، گچ به ضخامت ۲۰ میلی متر، آجر سوراخ دار به ضخامت ۲۲۰ میلی متر، گچ لایه داخلی ۲۰ میلی متر و سنگ نمای داخلی ۲۰ میلی متر با U-value کل ۲٫۵ وات بر مترمربع درجه کلین، ساخته شده است (اداره فنی دانشگاه صنعتی اصفهان، ۱۴۰۰). مجموع U-value سقف، بام و کف به ترتیب ۱٫۸۴، ۱٫۳۲ و ۱٫۸۷ وات بر مترمربع درجه کلین است. پنجره‌های این فضای میانی بسته، از شیشه‌های شفاف و قاب‌های آلومینیومی با مقدار U-value برابر ۲٫۷۶ وات بر مترمربع درجه کلین، تشکیل شده است (شکل ۴).

نیمکت‌های قرار داده شده در فضاهای میانی از جنس چوبی با پایه‌های فلزی هستند. این نیمکت‌ها در فضا ثابت نیستند و امکان تغییر و جابه‌جایی آن‌ها وجود دارد.

A: دانشکده مهندسی کشاورزی. B: دانشکده مهندسی معدن و فیزیک. C: دانشکده مهندسی مواد و منابع طبیعی (دفتر مرکزی دانشگاه صنعتی اصفهان، ۱۴۰۰)

۳. ویژگی‌های کالبدی و معماری فضاهای میانی بسته مورد مطالعه

دانشکده‌های مورد مطالعه دارای وجه مشترکاتی هستند که باعث انتخاب آن‌ها در این مطالعه شد. این موارد عبارت‌اند از:

- جهت‌گیری تمام این ساختمان‌ها یکسان است.
- سایر ساختمان‌های آموزشی در نزدیکی این دانشکده‌ها در حال ساخت یا بهره‌برداری هستند؛ بنابراین، توسعه دانشگاه در این محل در حال ادامه است و اطلاعات به‌دست آمده از تحقیقات می‌تواند برای طراحی اولیه ساختمان‌ها یا مرحله ساخت به کار رود.
- این دانشکده‌ها نماینده‌ای از مصالح ساختمانی معمول در محیط‌های گرم و خشک ایران هستند؛ بنابراین، تکنیک‌های ساخت برای دیوارها، کف‌ها، بازشدگی‌ها و ویژگی‌های معماری می‌توانند نمایانگر انواع معمول ساختمانی این ساختمان‌ها باشند. در این شرایط، نتایج ارزیابی انرژی در این نوع فضاهای میانی می‌تواند در ساختمان‌های مشابه غیرمسکونی با اقلیم مشابه استفاده شود. این موضوع هم می‌تواند یک ویژگی این نوع فضاهای میانی باشد و هم یکی از محدودیت‌های انتخاب نمونه‌ها باشد.
- در این دانشگاه یک ایستگاه هواشناسی سینوپتیک وجود دارد که می‌توان از داده‌های هواشناسی آن استفاده کرد.
- همه این ساختمان‌ها دارای نقشه به شکل حرف ایکس انگلیسی هستند و از دو بخش مسطح در طبقات دوم و سوم تشکیل شده‌اند که با یک فضای میانی به هم متصل هستند. سایر فضاهای میانی در دانشکده‌های با تهویه طبیعی (مهندسی کشاورزی، فیزیک و مهندسی معدن) فضاهای ورودی یا لابی آسانسور هستند و یک فضای تقریباً وسیع بین دو راهرو برای جلسات، گفتگو، استراحت و غیره قابل استفاده است. همچنین، دانشکده‌های با تهویه مکانیکی یک لابی ورودی با پنجره‌های بزرگ، یک تالار مرکزی و یک فضای میانی وسیع بین دو بخش نقشه به



شکل ۴. فضاهای میانی اصلی دانشکده مهندسی کشاورزی در دانشگاه صنعتی اصفهان (نگارندگان، ثبت با دوربین شخصی، ۱۴۰۰)

مهندسی کشاورزی است، با این تفاوت که فضای سابات طبقه اول در این دانشکده، تغییر کاربری پیدا کرده است و با جداره‌های ثابت با مصالح بنایی به فضای کافی شاپ و فست‌فود، اختصاص پیدا کرده است. جداره‌های جداکننده در قسمت بالایی و اتصال به سقف، باز هستند و امکان کوران و تهویه عرضی، همچنان در این فضا فراهم است. ضخامت جداره جداکننده ۱۰ سانتی‌متر و جنس آن از آجر با کاشی کاری سفیدرنگ از هر دو سمت است. با توجه به اینکه جداره‌ها ثابت هستند، در مطالعه حاضر، به عنوان متغیر مداخله‌گر محسوب می‌شوند. نیمکت‌های فضای کافی‌شاپ، از جنس چوب با پایه‌های فلزی تیره‌رنگ هستند. نیمکت‌های فضای میانی مابین کریدورها نیز، از جنس پلاستیک فشرده آبی‌رنگ است که در این پژوهش، جزو متغیرهای مداخله‌گر هستند (شکل ۵).

هر طبقه دارای سه منطقه حرارتی است. فضاهای میانی بسته شامل لابی ورودی و آسانسور، سابات و فضاهای تلاقی کریدورها است. این فضای میانی بسته، در دوره مورد مطالعه به عنوان فضای نشستن و گپ و گفتگو دانشجویان و فضایی جهت ارتباط بین دو قسمت اصلی دانشکده است. فضاهای اصلی است که شامل کلاس‌ها، آزمایشگاه‌ها و دفاتر آموزش است و در نهایت، قسمت اشغال نشده‌ای است که فقط می‌تواند برای سیرکولاسیون استفاده شود (شکل ۳). این دانشکده، دارای سیستم مکانیکی مرکزی^۷ برای گرمایش و سرمایش است؛ اما فضاهای میانی بسته (ساباط‌ها)، با تهویه طبیعی^۸ کار می‌کنند؛ بنابراین سیستم تهویه کلی این ساختمان از نوع ترکیبی^۹، است.

۲-۳. دانشکده فیزیک و مهندسی معدن

مشخصات فیزیکی و کالبدی فرم و حجم ساختمان دانشکده فیزیک - مهندسی معدن نیز عیناً همانند مشخصات دانشکده

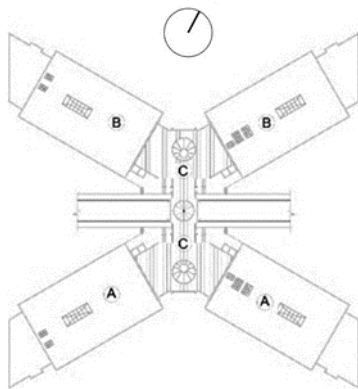


شکل ۵. فضاهای میانی اصلی دانشکده فیزیک و مهندسی معدن در دانشگاه صنعتی اصفهان

همچنین نوع تهویه فضاهای میانی بسته، در هر دو ساختمان، از نوع تهویه طبیعی ولی در کل ساختمان به صورت ترکیبی^{۱۰} است. به دلیل اینکه پنجره‌ها در هر دو سوی فضاهای سابات طبقات اول و دوم قرار دارند، امکان تهویه عرضی فراهم شده است.

پنجره‌های موجود در فضاهای میانی بسته، قابلیت باز شدن توسط کاربر را دارند و از نوع کشویی هستند. فریم پنجره‌ها، آلومینیومی است. در فضای سابات دانشکده مهندسی کشاورزی، پرده‌هایی پارچه‌ای به رنگ تیره در داخل فضا وجود دارد و

ساختمان دانشکده‌های مهندسی کشاورزی، فیزیک و مهندسی معدن، از نظر نوع مصالح در فضاهای میانی بسته یکسان هستند. همچنین، نوع سازماندهی فضاهای میانی بسته و فضاهای اصلی در هر دو این ساختمان‌ها از نوع سازماندهی خطی است؛ ولی نوع کاربری در فضاهای میانی بسته اصلی (ساباط طبقه اول)، در این دو دانشکده، متفاوت است. در دانشکده مهندسی کشاورزی، نیمکت‌هایی قرار داده شده است که دانشجویان یا دیگر افراد می‌توانند به مطالعه، تحقیق، استراحت، گپ و گفتگو بپردازند و یا حتی از منظره لذت ببرند.



شکل ۶: پلان تیپ طبقات دانشکده مهندسی معدن و منابع طبیعی در دانشگاه صنعتی اصفهان
A: فضاهای اصلی دانشکده منابع طبیعی
B: فضاهای اصلی دانشکده مهندسی نساجی
C: فضاهای میانی بسته

دیوارهای بیرونی از به ترتیب از بیرون به داخل از آجرنما به ضخامت ۱۰۰ میلی متر، عایق حرارتی پلی یورتان با وزن مخصوص خشک 1200 kg/m^3 و ضریب هدایت موثر ۰٫۲۵، $W/m.K$ با ضخامت حدودی ۳۰ میلی متر، بلوک سیمانی به ضخامت ۲۰۰ میلی متر، سیمان کاری با رویه پرداختی به ضخامت ۲۰ میلی متر و سنگ نمای داخلی ۲۰ میلی متر با U -value کل ۰٫۶۲ وات بر مترمربع درجه کلوین، ساخته شده است (نگارندگان، بر اساس اداره فنی دانشگاه صنعتی اصفهان، ۱۴۰۰). مجموع U -value سقف و بام به ترتیب ۰٫۱۱ و ۰٫۱۳، وات بر مترمربع درجه کلوین است. پنجره‌های فضای میانی بسته، از شیشه‌های شفاف و قاب‌های یو پی وی سی با مقدار U -value برابر ۰٫۷۱ وات بر مترمربع درجه کلوین، تشکیل شده است.

در دانشکده مهندسی نساجی - منابع طبیعی، اگرچه فرم و حجم خارجی بنا همانند دیگر ساختمان‌های موجود در سایت مورد مطالعه است؛ ولی نوع سازماندهی کلی در این فضا از نوع سازماندهی مرکزی است. آتریومی در فضای مرکزی تعبیه شده است که تأمین‌کننده نور و تهویه طبیعی در این ساختمان است. فضای ساباط در این ساختمان، کلاً از حالت عبوری خارج شده و به فضای اصلی سالن مطالعات اختصاص داده شده است و عبور و مرور صرفاً از اطراف آتریوم به فضاهای اصلی صورت می‌گیرد. در فضای مرکزی اطراف آتریوم، از یک سو،

کاربران می‌توانند در صورت تمایل، نور فضا را با آن‌ها کنترل کنند؛ ولی فضای ساباط طبقه اول دانشکده فیزیک - معدن، فاقد سایبان‌های داخلی و قابل کنترل است.

همچنین، نوع کاربری در این فضاهای میانی بسته، کاملاً متفاوت است و فضای ساباط طبقه اول در دانشکده معدن - فیزیک به یک کافی‌شاپ و فست‌فود اختصاص دارد و دو قسمت برای خانم‌ها و آقایان جهت استفاده از خدمات این کافی‌شاپ، در نظر گرفته شده است. اگرچه، بوی غذا توسط یک مکند مکانیکی توسط داکت به بیرون از فضا منتقل می‌شود؛ ولی تهویه این فضای میانی نیز از نوع طبیعی است. همچنین به دلیل جداره‌هایی که جهت جداسازی این کافی‌شاپ از فضای عبور و مرور در نظر گرفته شده است، امکان تهویه عرضی در این فضای میانی بسته از بین رفته است و تهویه در فضای کافی‌شاپ و فضای عبوری صرف از یک وجه صورت می‌گیرد.

۳-۳. دانشکده مهندسی نساجی و منابع طبیعی

این ساختمان، مانند دیگر ساختمان‌های آموزشی سایت به فرم حرف ایکس انگلیسی، است و نیز مانند بقیه دانشکده‌ها از نمای بیرونی توسط یک فضای بسته میانی اصلی (ساباط)، به هم متصل شده‌اند. پلان داخلی این دانشکده‌ها نسبت به دانشکده‌های قدیمی‌تر سایت، تفاوت اصلی نموده و هر دانشکده توسط یک آتریوم در بدو ورود به ساختمان، نورگیری و تهویه می‌شود (شکل ۶). پلان فضاهای میانی بسته مورد مطالعه، در شکل ۷ آمده است. همین‌طور، فضای بسته میانی این دانشکده‌ها (ساباط)، با تغییر کاربری به یک سالن مطالعه بانوان و آقایان تبدیل شده است و از راه عبوری به یک فضای کاملاً کاربردی تبدیل گشته است. میزان سطح پنجره در ساباط، نسبت به بقیه دانشکده‌های مورد مطالعه کمتر است ولیکن مصالح عمده نما و فرم کلی به دانشکده‌های قبلی شباهت بسیاری دارد. همچنین جداره‌های شمالی و جنوبی این دانشکده، کاملاً پوشیده از شیشه است.

شکل ۷. پلان فضاهای میانی بسته دانشکده منابع طبیعی و

مهندسی نساجی در دانشگاه صنعتی اصفهان

(اداره مرکزی دانشگاه صنعتی اصفهان، ۱۴۰۰)

در شکل ۸، فضاهای میانی بسته آتریوم و فضای سباط که به سالن مطالعه اختصاص داده شده است، مشخص است. تهویه فضاهای میانی بسته و فضاهای اصلی، از طریق تهویه مکانیکی صورت می‌گیرد. همچنین، به‌غیر از درب اتوماتیک فضای ورودی اصلی و سقف شیشه‌ای آتریوم مرکزی، امکان باز و بسته نمودن بازشوهای جداره‌ها در توسط کاربران فضا وجود دارد.



شکل ۸. فضاهای میانی اصلی دانشکده مهندسی مواد و منابع طبیعی در

دانشگاه صنعتی اصفهان

اگرچه ساختمان کلی و حجم بناها در همه موارد یکسان است، ولیکن، در مصالح، نوع کاربری و مبلمان فضاهای میانی بسته ساختمان‌ها، تفاوت‌هایی دارند که منجر به تغییر رفتارها و فعالیت کاربران می‌شود. این رفتارها و فعالیت‌ها در نهایت منجر به رسیدن افراد به سازگاری حرارتی می‌شود که در این مطالعه مورد ارزیابی قرار می‌گیرند.

پنجره‌هایی در هر طبقه قرار دارد که توسط کاربران، قابلیت کنترل دارد. در این فضا، نیمکت‌هایی فلزی جهت استراحت افراد قرار دارد و قفسه کتابی نیز جهت استفاده افراد تعبیه شده است که قابلیت جابه‌جایی دارد (شکل ۸).

پلان فضای میانی مورد مطالعه	مکان فضای میانی مورد مطالعه
	طبقه همکف
	طبقه اول
	طبقه دوم
	طبقه سوم

جدول ۱. ویژگی‌های معماری و کالبدی فضاهای میانی بسته در ساختمان‌های مورد مطالعه

(نگارندگان، بر اساس مشاهدات، ۱۴۰۲)

مکان فضای میانی بسته	نوع تهویه کل ساختمان	نوع تهویه فضای میانی بسته	امکان تهویه عرضی	امکان تهویه عمودی	عناصر کالبدی در فضای میانی بسته	قابلیت جابه‌جایی یا تغییر
دانشکده مهندسی کشاورزی	ترکیبی	طبیعی	بلی	خیر	نیمکت چوبی سایبان داخلی گل‌دان گیاه طبیعی پنجره	بلی خیر
دانشکده فیزیک و مهندسی معدن	ترکیبی	طبیعی	خیر	خیر	پارتیشن میز و صندلی غذاخوری	• •

دانشکده منابع طبیعی - مهندسی نساجی	مکانیکی	مکانیکی	بله	بله	پنجره نیمکت فلزی	•
					قفسه کتاب	•
					پنجره	•
					پنجره آتریوم	•
					سایبان داخلی	•

۴. روش تحقیق

این تحقیق در دانشگاه صنعتی اصفهان که در منطقه اقلیم گرم و خشک ایران واقع شده است، انجام شد. این مطالعه بر پایه مطالعات میدانی اجرا شد و در شرایط دمایی، کالبد فیزیکی و معماری فضاهای مورد مطالعه مداخله‌ای انجام نشد. اندازه‌گیری‌های میدانی و توزیع پرسش‌نامه‌ها در شرایط پساکرونا کووید - ۱۹، در تابستان ۱۴۰۰ تا بهار ۱۴۰۱ انجام شد. فضاهای میانی بسته در دانشگاه صنعتی اصفهان شامل فضاهای ورودی (لابی)، راهروها و پل‌ها و ارتباط‌های میانی (ساباط) از دانشکده‌های مختلف می‌شوند. تمرکز اصلی انتخاب این فضاهای میانی بسته بر این اساس بود که فضا به اندازه کافی وسیع باشد تا امکان تغییر کاربری آن وجود داشته باشد و فضایی صرفاً عبوری نباشد.

بر اساس مطالعات سازگاری حرارتی، روش مطالعه میدانی توسط نیکول^{۱۱} (۱۹۹۳) - سطح ۱۳، به عنوان پایه و اساس روش‌شناسی انتخاب شد. این روش بر اساس مشاهدات واقعی در جهان و مقایسه نتایج آزمایشی با مدل‌های نظری استوار است. یافته‌ها نشان‌دهنده دامنه‌ای از شرایط مطلوب و تحمل‌پذیر برای افراد هستند که به عنوان محدوده آسایش برای طراحی ساختمان مورد استفاده قرار می‌گیرند (Nicol, 1993). در رویکرد نیکول، یافته‌ها قابل مقایسه با سایر مطالعات هستند و می‌تواند به مناطق دیگر مرتبط با ویژگی‌های اقلیمی آن منطقه تعمیم یابد؛ بنابراین، هم‌زمان با مرحله قبلی، اندازه‌گیری پارامترهای محیطی کلان و تأثیر آن‌ها بر آسایش حرارتی در تحقیق بر اساس مطالعات میدانی انجام شد (Pitts, 2013) که شامل دمای هوا، دمای کروی، رطوبت نسبی و سرعت باد در فضاهای میانی بسته و در نمونه‌های فضای باز که ساختمان‌های آموزشی دانشگاه هستند، بود. در همین زمان، پرسش‌نامه‌های

کدگذاری شده مربوط به عوامل معماری برای کاربران فضا فراهم شد.

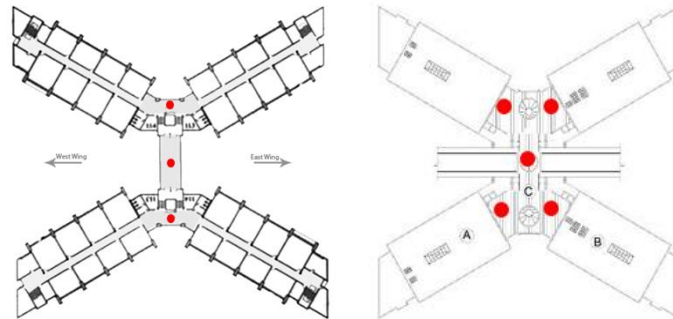
ارزیابی مکان بهینه‌ای برای نصب تجهیزات اندازه‌گیری دما، قبل از انجام مطالعات میدانی اصلی، ضروری بود که بهترین مکان و نزدیک‌ترین به دمای میانگین محیط از طریق آزمون و خطا انجام شد. در طول اندازه‌گیری متغیرهای محیطی، علاوه بر پرسش‌نامه‌های تعیین شده از پیش، اطلاعات شخصی و فردی مانند سن، فعالیت‌های قبل از ورود به مکان مشخص شده، وضعیت سلامت فرد، همراه با رضایت آن‌ها از دمای محیط و ترجیحات حرارتی، میزان و نوع فعالیت فردی در طول استفاده از فضاهای میانی بسته مورد مطالعه از افراد پرسیده شد. همچنین، نوع لباس افراد توسط مشاهدات و با تطابق با استانداردهای اشری ثبت شد (Pitts & Saleh, 2006). علاوه بر این، داده‌های آب‌وهوایی فضای باز از ایستگاه هواشناسی سینوپتیک دانشگاه به دست آمد. به دلیل نیاز به نتایج دقیق‌تر از عوامل اقلیمی در محدوده ارتفاع انسان، این عوامل نیز در نواحی باز از فضاهای فیزیکی دانشکده‌ها توسط دیتالاگرها در ارتفاع انسان ایستاده ارزیابی شدند (Chun et al., 2004)؛ لذا، در صورت اختلاف با داده‌های به دست آمده از ایستگاه هواشناسی، آمار میانگین آن‌ها در نظر گرفته شد. بر این اساس، داده‌های این تحقیق هم کمی و هم کیفی هستند. در نهایت، داده‌ها با استفاده از نرم‌افزارهای آماری تحلیل و بررسی شدند و نوع رابطه و همبستگی بین متغیرها ارزیابی شد. این مطالعه دارای جهت‌گیری کاربردی بوده و روش آن مطالعه موردی بر پایه مطالعات میدانی است.

چندکاره در محیط مورد پژوهش		جدول ۲. روش اندازه‌گیری متغیرهای اقلیمی به تفکیک دوره زمانی موردنظر (نگارندگان، ۱۴۰۲، بر اساس چون، ۲۰۰۴)			
روش	زمان	موقعیت	زمان	متغیرهای مورد مطالعه	دوره زمانی
اندازه‌گیری‌های میدانی با استفاده از دیتالاگرهای دما و رطوبت، بادسنج و ترمومتر دمای کروی انجام شدند.	در مطالعات آسایش حرارتی سه دستگاه اصلی برای اندازه‌گیری داده‌های محیطی باید استفاده شود: الف - دستگاه اندازه‌گیری دما و رطوبت، ب-دستگاه اندازه‌گیری دمای کروی، ج-دستگاه اندازه‌گیری جریان باد. این تجهیزات باید در ارتفاع و فاصله مناسب از سقف و کف و دیوارها نصب گردند. مناسب‌ترین فاصله ارتفاع ۱,۱ متری از کف و در فاصله مساوی از دو دیوار مجاور است (Dahlan et al., 2009). دستگاه‌ها بر اساس موجودیت در بازار ایران و اعتبار و دقت داده‌ها انتخاب گردیدند. دستگاه‌های استفاده شده در شکل ۹ و موقعیت نصب دستگاه‌ها در شکل ۱۰ نمایش داده شده است.	اندازه‌گیری	میانگین	دمای هوا	بلندمدت
		قرارگیری تجهیزات اندازه‌گیری	سه‌روزه	رطوبت نسبی	رطوبت نسبی
		پوسته بافاصله زمانی ۵ دقیقه به وسیله دیتالاگر دما و رطوبت در ساعات کاری	۱۲۰ سانتی‌متر بالای سطح زمین (استاندارد اشری ۵۵)	دمای هوا	کوتاه‌مدت
		اندازه‌گیری لحظه‌ای پس از سه دقیقه قرار گرفتن حسگر دستگاه	۹ ساعت - ۱۲ ساعت - ۱۵ ساعت	رطوبت نسبی سرعت جریان هوا	رطوبت نسبی سرعت
نام دستگاه / مدل	تصویر دستگاه	پارامترهای مورد اندازه‌گیری	روش	زمان	مکان
الف) دستگاه سنجش دما و رطوبت وینتکت ۱۳ / WT۸۳		دمای هوا رطوبت نسبی	ضبط داده‌ها با قراردادن دستگاه در دست پس از ۳ دقیقه قرارگرفتن در معرض عوامل اقلیمی		
ب) دستگاه سنجش سرعت باد بنتک ۱۴ / GM8۹۰۱		سرعت جریان هوا دمای هوا	۶ صبح، ۸ صبح، ۱۰ صبح، ۱۲ بعد از ظهر، ۱۴ بعد از ظهر.		
ج) دستگاه سنجش دمای کروی ۱۵ / ۸۷۷۸		دمای کروی دمای هوا	۱۱۰ سانتی‌متر از کف		

شکل ۹. مشخصات دستگاه‌های اندازه‌گیری اقلیم در مطالعه میدانی تحقیقات (نگارندگان، ۱۴۰۲)

اعتبارسنجی دستگاه‌ها به این ترتیب بود که به مدت سه روز ابزارهای اندازه‌گیری مورد آزمایش قرار گرفتند و نتایج چندین دستگاه با هم مقایسه شد. اختلاف بین دستگاه‌ها از ۰,۵ تا ۱ درجه سانتیگراد بیشتر تجاوز نمی‌کرد. این اختلاف در زمینه رطوبت نسبی اندازه‌گیری شده کمتر از ۵ درصد بود. محدوده

همگن شدن دستگاه با محیط در حدود ۲۰ دقیقه زمان در نظر گرفته شد.



شکل ۱۰. موقعیت نصب دستگاه‌های سنجش عوامل اقلیمی در پلان
(راست: دانشکده مهندسی نساجی و منابع طبیعی، چپ: دانشکده مهندسی کشاورزی، مهندسی معدن و فیزیک)
(نگارندگان، ۱۴۰۲)

و همچنین با استفاده از سنسورهای قابل حمل در محل نیز ثبت شد. این داده‌های ثبت شده با داده‌های به‌دست‌آمده از ایستگاه هواشناسی مقایسه و متقابلاً مورد مقایسه قرار گرفتند. شرایط دما، رطوبت نسبی و سرعت هوا در هر دو فضای میانی بسته و فضای باز در جدول ۳ آمده است.

متغیرهای فیزیکی در این مطالعه شامل پارامترهای محیطی مانند دمای هوا (Ta)، دمای کروی (Tg)، رطوبت نسبی (RH%) و سرعت هوا (V) بودند که با استفاده از دستگاه‌های دما، رطوبت و آنومتر در فضاهای میانی بسته تحت مطالعه ثبت شدند. دمای تشعشعی میانگین (TMRT) نیز به‌صورت ریاضی محاسبه و ثبت شد. همچنین، داده‌های دمای فضای باز از ایستگاه هواشناسی سینوپتیک در محل دانشگاه به دست آمد.

جدول ۳. شرایط دما، رطوبت نسبی و سرعت هوا در فضای باز در روزهای اندازه‌گیری میدانی (نگارندگان، ۱۴۰۲)

زمان اندازه‌گیری	دمای محیط بیرون (درجه سانتی‌گراد)			رطوبت نسبی (درصد)			سرعت جریان هوا (متر بر ثانیه)		
	حداقل	متوسط	حداکثر	حداقل	متوسط	حداکثر	حداقل	متوسط	حداکثر
تابستان ۱۴۰۰	۳۴	۳۱٫۹	۳۶	۱۵٫۲	۲۲٫۱	۳۰٫۵	۰	۰٫۳	۱٫۵
پاییز ۱۴۰۰	۱۴	۲۳	۳۴	۱۲	۲۹٫۱	۵۸	۰٫۹	۱٫۷	۳
زمستان ۱۴۰۰	۱۱٫۱	۱۱٫۹	۱۳	۱۹٫۵	۲۳	۲۷٫۲	۰٫۵	۱٫۱	۲٫۵
بهار ۱۴۰۱	۱۳٫۷	۱۶٫۸	۲۲٫۳	۱۱٫۸	۱۵٫۵	۱۹٫۱	۰٫۲	۰٫۶	۱٫۷

فضاهای میانی بسته در میان افراد حاضر در فضای مورد مطالعه، توزیع شد. تقریباً ۱۵-۱۰ دقیقه برای تکمیل پرسش‌نامه در نظر گرفته شد. آرا حرارتی دانشجویان به‌صورت بررسی عرضی^{۱۶}، جمع‌آوری شد. در روش نیکول، صد پرسش‌نامه کافی برای مطالعات میدانی است که می‌توان آنها را به روش‌های مستطیلی و مقطعی تکمیل کرد (حیدری، ۲۰۰۰). به‌صورت عملی، پرسش‌نامه‌ها تا اشیاع نظری اجرا شدند و به روش مقطعی

علاوه بر این، مشخصات اقلیمی - محیطی فضاهای میانی بسته، بر اساس ساختمان‌های مورد بررسی در طول دوره جمع‌آوری داده‌ها، ثبت شده‌اند. این اطلاعات در پیوست ۲ آمده است.

به‌منظور بررسی ادراکات ذهنی و احساسات حرارتی افراد مورد مطالعه، یک پرسش‌نامه بر اساس استاندارد ایزو-۷۷۳۰ و اشری، آماده شد. این پرسش‌نامه در پیوست ۱ قرار دارد. پرسش‌نامه بررسی ادراکات حرارتی افراد در حین استفاده از

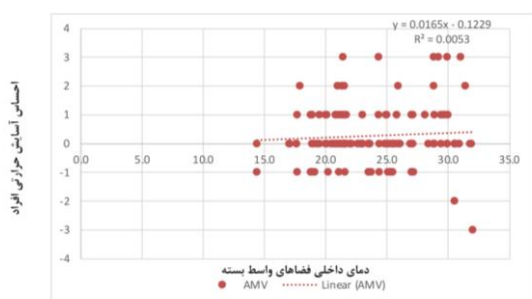
استفاده کنند. نرم‌افزار تحلیلی SPSS نسخه ۲۶ برای تجزیه و تحلیل داده‌ها استفاده شد.

۵. نتایج

۵-۱. همبستگی بین دمای هوای داخلی و ادراک آسایش حرارتی افراد

ضریب همبستگی اسپیرمن بین دو متغیر دمای هوای داخلی و ترجیح حرارتی در فضای میانی بسته موردنظر، برابر $r=0.564$ و بیانگر یک رابطه مثبت و نسبتاً قوی بین دو متغیر است. ضریب معناداری نیز مشخص می‌کند رابطه بین این دو متغیر، یک رابطه معنادار است ($\text{sig}<0.001$). همچنین ضریب تعیین برابر 0.32 می‌باشد و نشان می‌دهد میزان دمای داخلی می‌تواند 32% درصد واریانس نمره کل ترجیح حرارتی در فضای موردنظر را به خود اختصاص دهد.

نمودار معادله همبستگی بین دمای هوای داخل و احساس آسایش حرارتی افراد مطابق با شکل ۱۱، به دست آمد. باتوجه به این نمودار، حداقل دمای خنثی داخلی برای افراد مورد مطالعه در فضاهای دانشگاهی برابر 14.4 درجه سانتی‌گراد و حداکثر آن برابر 31 درجه سانتی‌گراد و دمای خنثی در فضاهای داخلی برابر 22.7 درجه سانتی‌گراد است.



شکل ۱۱. رابطه همبستگی و معادله خط بین دمای هوای داخلی و

احساس آسایش حرارتی افراد بر اساس آرای واقعی افراد

(نگارندگان، ۱۴۰۲)

همچنین، دمای خنثی با مدل پی - ام - وی، با استفاده از نرم‌افزار کامفورت تول^{۱۹}، برای همه افرادی که پرسش‌نامه را تکمیل کرده بودند، انجام گرفت. بدین منظور، دمای هوای عملکردی برابر دمای هوای داخلی در نرم‌افزار وارد گردید. همچنین، رطوبت هوا، سرعت جریان هوا، نرخ عایق لباس و نرخ متابولیک کلیه افرادی که در پرسش‌نامه شرکت کردند،

تکمیل شدند؛ بنابراین، تعداد ۱۶۰ پرسش‌نامه در فصل‌های موردبررسی از تابستان ۱۴۰۰ تا بهار ۱۴۰۲ توزیع شد.

در تحقیقات عرضی معمولاً جامعه آماری شامل افراد زیادی می‌شود و در این حالت خود فرد ملاک عمل نیست؛ بلکه درجه اول اهمیت بر پایه احساس افراد مختلف از محیط حرارتی اطرافشان است. تحقیق عرضی کمک خواهد کرد تا بتوان نتایج را قابل تعمیم به موارد مشابه کرد. به منظور سنجش آرا حرارتی، پرسش‌نامه بر اساس استانداردهای موجود تنظیم گردید که دارای بخش‌های اصلی زیر است. بخش اول شامل اطلاعات کلی افراد و تخمین میزان پوشش و فعالیت افراد است. بخش‌های دیگر به ترتیب به منظور تخمین احساس حرارتی، ترجیح حرارتی، انتظار حرارتی و رفتارهای حرارتی استفاده‌کنندگان تنظیم شده بود. در حقیقت، هدف از این پرسش‌نامه به دست آوردن اطلاعاتی در زمینه آرا حرارتی، انتظارات و ادراک رفتارهای حرارتی است که از خود نشان می‌دهند و اینکه چگونه فضای معماری و کاربری موجود در آن می‌تواند باعث تغییر در احساس آسایش حرارتی افراد شود. مقیاس هفت نقطه‌ای اشری برای پیش‌بینی احساس و انتظار حرارتی مورد استفاده قرار گرفت. از مقیاس پنج نقطه‌ای برای ارزیابی میزان رضایت حرارتی^{۱۷} استفاده شد. چرا که افراد را مجبور می‌کند دقت بیشتری در انتخاب خود داشته باشند. مقبولیت حرارتی^{۱۸} نیز به صورت مستقیم مورد پرسش قرار گرفت. این سؤالات برای ارزیابی رطوبت و جریان باد نیز تکرار شد. از طرفی سؤالاتی در زمینه مدت زمان زندگی افراد در اقلیم موردنظر مطرح گردید و در سه دسته زیر یک سال، بین یک الی سه سال و بالای سه سال تنظیم گردید. بومی بودن و محل تولد و محل زندگی نیز مورد پرسش قرار گرفت.

داده‌های به دست آمده از مطالعات میدانی و پرسش‌نامه‌ها به لحاظ عوامل فیزیکی و غیرفیزیکی تجزیه و تحلیل شدند. عوامل فیزیکی شامل داده‌های اقلیمی - محیطی حاصل از سنسورها و ایستگاه هواشناسی سینوپتیک واقع در محل دانشگاه بودند. این عوامل بدون شک تأثیر مستقیمی بر احساسات حرارتی کاربران فضا دارند. عوامل غیرفیزیکی شامل اقدامات، رفتارها و استراتژی‌هایی هستند که افراد می‌توانند برای تنظیم وضعیت حرارتی خود و حتی دستیابی به آسایش حرارتی مطلوب خود

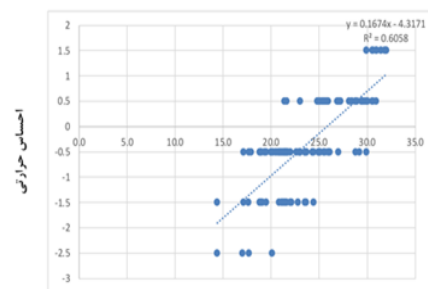
مشخص می‌شود که کاربران در شرایط واقعی نسبت به شرایط آزمایشگاهی، به دامنه وسیع‌تری از آسایش حرارتی می‌رسند. نتایج این نمودار نشان می‌دهد که مدل آزمایشگاهی نمی‌تواند به‌خوبی شرایط آسایش حرارتی افراد در فضاهای میانی بسته را توصیف و پیش‌بینی نماید. افراد در شرایط واقعی، با توجه به تجربیات گذشته حرارتی خود، شرایط فردی و تغییر در لباس یا فعالیت خود می‌توانند به شرایط آسایش حرارتی دست یابند. با ۳۵٪ کاهش در دمای خنثی، می‌توان تقریباً ۳ درصد در مصرف انرژی صرفه‌جویی نمود و بالعکس با افزایش مقدار دمای خنثی بر اساس مدل آزمایشگاهی در فضاهای میانی بسته، نه تنها به آسایش حرارتی افراد کمک نشده است، بلکه بسیاری از افراد احساس عدم آسایش حرارتی دارند و با فعالیت‌هایی نظیر باز کردن پنجره یا کم نمودن لباس‌های رویه در فصول سرد سال به آسایش حرارتی دست می‌یابند. همچنین مقدار p کمتر از ۰,۰۰۵ گزارش شده است.

تحلیل کواریانس بین این دو متغیر انجام شد تا اثربخشی استفاده از مدل PMV برای احساس آسایش حرارتی افراد در فضاهای میانی بسته مورد تحلیل و بررسی قرار گیرد. متغیر مستقل، دمای داخلی در فضاهای میانی بسته است. متغیر وابسته مدل مطالعات میدانی AMV و متغیر کمکی، مدل مطالعات آزمایشگاهی PMV، در نظر گرفته شد. اندازه اثر بین این دو متغیر برابر ۰,۱۰۷ است و مدل PMV می‌تواند ۱۰,۷ درصد مدل AMV را پیش‌بینی کند. بررسی مقدماتی برای اطمینان از عدم تخطی از مفروضه‌های بهنجاری، خطی بودن، همگنی واریانس، همگنی شیب رگرسیون و پایایی اندازه‌گیری‌های متغیرهای هم تغییر انجام شد. نتایج تست لون نشان می‌دهد که $\text{sig} > 0.05$ است و از مفروضه یکسانی واریانس‌ها تخطی نشده است.

۲-۵. تحلیل رفتارهای تطبیقی جهت رسیدن به سازگاری حرارتی

افراد در فضاها و فصول مختلف، جهت رسیدن به شرایط آسایش حرارتی، رفتارهای مختلفی را از خود بروز می‌دهند. این رفتارها، بستگی به امکانات فضای موردنظر (مانند امکان تنظیم، جهت وزش و سرعت وزش برودت یا حرارت سیستم‌های تأسیساتی، امکان باز و بسته نمودن بازشوها، امکان تغییر مکان)، امکانات

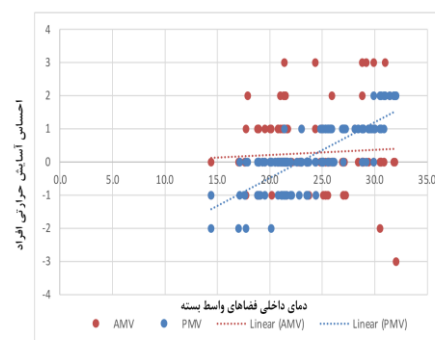
مطابق زمان ثبت داده‌ها، در نرم‌افزار وارد گردید. در مرحله بعد، داده‌های حاصل از نرم‌افزار مطابق مدل پی - ام - وی، مدل پی - پی - دی ۲۰ و دمای SET، در نرم‌افزارهای آماری اکسل و اس - پی - اس - اس وارد گردید. سپس، نمودار همبستگی بین دمای هوای داخلی و احساس حرارتی افراد با استفاده از مدل پی - ام - وی رسم شد و معادله خط به دست آمد (شکل ۱۲). با استفاده از نمودار همبستگی و نقطه آسایش، دمای خنثی با استفاده از این مدل به دست آمد.



شکل ۱۲. همبستگی بین دمای داخلی در فضاهای میانی بسته و احساس حرارتی با استفاده از مدل آزمایشگاهی PMV

(نگارندگان، ۱۴۰۲)

بر اساس مدل PMV، دمای خنثی در فضاهای میانی بسته مورد مطالعه ۲۳,۵ درجه سانتی‌گراد، به دست آمد که مقدار ۰,۳۵ بالاتر از دمای خنثی به دست آمده از مدل AMV است. شکل ۱۳، اختلاف در نتایج مطالعات آزمایشگاهی با مدل PMV و نتایج مطالعات میدانی با استفاده از روش AMV را نشان می‌دهد.



شکل ۱۳. اختلاف در نتایج مطالعات آزمایشگاهی PMV و مطالعات میدانی AMV (نگارندگان، ۱۴۰۲)

در شکل ۱۳، خط مدل PMV، شیب بسیار بیشتری نسبت به مدل AMV دارد و به اصطلاح برجهنده‌تر است. براین اساس

لباس افراد (مانند داشتن جیب، لباس، دستکش و نوع یقه لباس) و استفاده از فیزیولوژی بدن (مانند استفاده از دمای بازدم و لرزیدن، قوز کردن، مالش دستان به یکدیگر، گرفتن دستان در سینه و غیره) صورت می‌گیرد. اگر افراد نتوانند با استفاده از این رفتارها به آسایش حرارتی برسند، ناچار به ترک آن فضا خواهند

جدول ۴. اولویت رفتار حرارتی در فضاهای میانی بسته آموزشی تهویه طبیعی در فصول سال مورد مطالعه بر اساس درصد پاسخ افراد

(نگارندگان، ۱۴۰۲)

فصل		بهار		تابستان		پاییز		زمستان	
نوع رفتار		درصد	اولویت	درصد	اولویت	درصد	اولویت	درصد	اولویت
افزایش لباس رویه		۲۵	۱			۶,۴		۵	
کاهش لباس رویه				۳,۲		۲,۱			
استفاده از ویژگی‌های لباس		۱۲,۵	۳			۲,۱		۲۰	۲
نوشیدنی گرم		۱۲,۵	۳			۱۲,۸	۲	۵	
نوشیدنی خنک				۱۹,۴	۲				
افزایش فعالیت		۱۸,۸	۲			۱۷	۱	۱۵	۳
کاهش فعالیت									
کم یا زیاد کردن تجهیزات تبادل حرارتی		-	-	-	-	-	-	-	-
باز نمودن پنجره				۲۲,۶	۱	۲,۱			
بستن پنجره		۶,۳				۴,۳			
باز و بستن پرده				۳,۲		۲,۱			
تغییر مکان				۹,۷	۳	۴,۳			
سایر		۶,۳		۶,۵		۱۰,۶	۳	۲۵	۱
هیچ کدام		۱۸,۸		۳۵,۵		۳۶,۲		۲۵	

از پلکان اختصاص می‌یابد (۱۸,۸ درصد). همچنین، رفتار حرارتی که در اولویت سوم قرار می‌گیرد، استفاده از ویژگی‌های لباس مانند استفاده از جیب لباس است و نیز استفاده از نوشیدنی گرم در این فضا است (هر کدام ۱۲,۵ درصد). در فصل تابستان، مهمترین اقدام افراد برای رسیدن به آسایش حرارتی، باز نمودن پنجره‌های فضای میانی بسته جهت تهویه عرضی گزارش شد (۲۲,۶ درصد) و بعد از آن افراد با استفاده از نوشیدنی خنک در این فضاها به آسایش حرارتی دست یافتند. در فصل پاییز، مهمترین اقدام حرارتی افراد جهت رسیدن به محدوده آسایش حرارتی، استفاده از نوشیدنی گرم و یا افزایش فعالیت مانند راه رفتن و قدم زدن یا بالارفتن از پله بود. اولویت رفتار حرارتی سوم در فصل پاییز، تغییر مکان افراد به مکانی گرم تر مانند زیر نور آفتاب بود (۱۰,۶ درصد). در نهایت، در فصل زمستان،

باتوجه به جدول ۴، در فضاهای میانی بسته با تهویه طبیعی، بیشتر افراد با استفاده از پوشش لباس، بر اساس تجربه قبلی احساس حرارتی و یا فعالیت قبلی خود، به آسایش حرارتی دست یافته‌اند و درصد زیادی از کاربران این فضاها اقدامی جهت رسیدن به آسایش حرارتی انجام نمی‌دهند. ولی با بررسی دقیق‌تر، متوجه می‌شویم که در فصول اعتدالین (بهار و پاییز)، اقداماتی که برای رسیدن به آسایش حرارتی اتفاق افتاده است، جزئی‌تر شده است و افراد از اقدامات متنوع‌تری برای رسیدن به آسایش حرارتی در این فضاها استفاده می‌نمایند. به‌طور کلی، در فصل بهار، افراد ابتدا سعی می‌کنند با افزایش لباس رویه مانند پوشیدن سویی شرت و یا چادر برای بانوان، در این فضاها به آسایش حرارتی دست یابند (۲۵ درصد). اولویت رفتار حرارتی دوم در این فصل، به افزایش فعالیت نظیر راه رفتن یا بالارفتن

طبیعی، ابتدا با افزایش لباس رویه مانند کت، سویشرت، پالتو، شال‌گردن و غیره، و سپس با نوشیدنی گرم، شرایط آسایش حرارتی در این فضاها را برای خود مهیا می‌نمایند. همچنین در اعتدالین (بهار و پاییز)، اولویت رفتار حرارتی افراد جهت رسیدن به شرایط آسایش در این فضاها، تغییر لباس رویه و سپس نوشیدنی گرم است. در فصل تابستان نیز، بیشتر افراد با استفاده از نوشیدنی خنک به آسایش حرارتی در این نوع فضاهای میانی بسته دست یافتند.

بیشترین گزارش دریافت شده مبنی بر اینست که افراد با سایر اقدامات مانند استفاده از شال‌گردن، استفاده از هوای بازدم جهت گرم نمودن دستان و یا مالش دستان به یکدیگر (۲۵ درصد) و بعد از آن از ویژگی‌های لباس و پوشش خود برای نیل به هدف کمک می‌گیرند (۲۰ درصد). همچنین، ۱۵ درصد افراد با قدم زدن و افزایش فعالیت و ایستادن به جای نشستن، به آسایش حرارتی دست می‌یابند. به‌طور کلی، در فصول سرد سال (پاییز و زمستان)، بیشتر افراد در فضاهای میانی بسته با تهویه

جدول ۵. اولویت رفتار حرارتی در فضاهای میانی بسته آموزشی تهویه مکانیکی در فصول سال مورد مطالعه بر اساس درصد پاسخ افراد (نگارندگان، ۱۴۰۲)

فصل	بهار		تابستان		پاییز		زمستان	
	درصد	اولویت	درصد	اولویت	درصد	اولویت	درصد	اولویت
نوع رفتار								
افزایش لباس رویه	۱۲,۵	۲	۵,۹	۳	۳	۳		
کاهش لباس رویه	۲۵	۱	۴۷,۱	۱	۱	۱	۳۷,۵	۱
استفاده از ویژگی‌های لباس	۱۲,۵	۲						
نوشیدنی گرم			۱۱,۸	۲				
نوشیدنی خنک	۲۰	۲			۶,۳	۳		
افزایش فعالیت			۵,۹	۳				
کاهش فعالیت								
نزدیک شدن به تجهیزات تبادل حرارتی	۲۰	۲						
باز نمودن پنجره	۱۲,۵	۲	۴۰	۱	۵,۹	۳	۱۲,۵	۲
بستن پنجره					۶,۳	۳		
باز و بستن پرده								
تغییر مکان								
سایر	۱۲,۵	۲					۱۲,۵	۲
هیچ کدام	۲۵	۲۰	۲۳,۵	۲۵			۲۵	

حرارتی دست یافتند. همچنین ۱۲,۵ درصد افراد، از ویژگی‌های لباس خود مانند جیب یا کلاه استفاده نمودند تا در این فضاها آسایش حرارتی داشته باشند. ۱۲,۵ درصد افراد، باز نمودن پنجره را راه‌حلی برای رسیدن به آسایش حرارتی عنوان نمودند، ۱۲,۵ درصد افراد از سایر اقدامات (مانند استفاده از شال‌گردن)، استفاده کردند تا شرایط محیطی مطلوبی را در این فضاهای میانی بسته، تجربه نمایند. در فصل تابستان، بیشتر افراد، از امکان باز نمودن پنجره‌ها استفاده کردند تا به آسایش حرارتی برسند (۴۰ درصد). اقدامات حرارتی بعدی برای بهبود شرایط محیطی در این فصل شامل استفاده از نوشیدنی خنک و نیز نزدیک شدن به

در فضاهای میانی بسته با تهویه مکانیکی، در فصول بهار، تابستان، پاییز و زمستان به ترتیب ۲۵ درصد، ۲۰ درصد، ۲۳,۵ درصد و ۲۵ درصد افراد از شرایط محیطی رضایت داشتند و نیازی به اقدامات رفتاری حرارتی جهت تغییر شرایط محیطی نداشتند. ولی، به‌صورت کلی، در فصل بهار، ۲۵ درصد افراد استفاده‌کننده از فضاهای میانی بسته با تهویه مکانیکی، با کاهش لباس رویه مانند درآوردن سوییشرت، کت، پالتو و مواردی از این قبیل، به آسایش حرارتی دست یافتند. همچنین، ۱۲,۵ درصد افراد در این فصل، در ساعات و روز مورد پرسش، فضا را سرد قلمداد نمودند و با افزایش لباس رویه به آسایش

طبیعی، اکثریت فعالیت‌ها متناسب با فصل موردبررسی است، در صورتی‌که، در فضاهای میانی بسته با تهویه مکانیکی، شاهد اقداماتی در تقابل با فصل مانند کاهش لباس رویه، استفاده از نوشیدنی خنک و یا باز نمودن پنجره در فصول سرد سال هستیم.

نتایج به‌دست‌آمده از مصاحبه‌ها و پرسش‌نامه‌ها، همچنین اطلاعات جدول ۵ نشان می‌دهد که در فضاهای میانی بسته با آتریوم و تهویه مکانیکی در این مطالعه، بسیاری از افراد دمای هوای داخلی را بالاتر از حد انتظار می‌یابند. لباس افراد در این فضاها مشابه فضاهای آموزشی اصلی است. داده‌های جدول ۵ نیز نشان می‌دهد که اولویت رفتارهای حرارتی در این فضاها، حتی در فصل‌های سرد (پاییز و زمستان)، کاهش لباس رویه است. همان‌طور که از جدول ۵ مشاهده می‌شود، ۱۲٫۵ درصد از افراد در فصل زمستان با باز کردن پنجره‌ها در این فضاها به آسایش حرارتی دست یافتند. به علاوه، اطلاعات به‌دست‌آمده از مصاحبه‌کنندگان در طبقات دوم و سوم نشان می‌دهد که در فصل تابستان، ۲۰ درصد از افراد ترجیح می‌دهند به سمت سیستم‌های سرمایشی بروند؛ لذا، مقایسه اطلاعات به‌دست‌آمده از این جداول، نشان می‌دهند که تهویه مکانیکی در فضاهای میانی بسته در این اقلیم نمی‌تواند به‌خوبی تهویه طبیعی در این نوع فضاها عمل کند و رفتارهایی خارج از فصل را باعث می‌شود که منجر به هدررفت انرژی فضا می‌شود.

نتایج حاصل از جدول ۶ نشان می‌دهد که در فضاهای میانی بسته مورد مطالعه که با استفاده از کالبد معماری و یا مبلمان در فضا، برای آنها کاربری دیگری به‌غیر از فضای عبوری، تعریف شده است، به فضایی کاربردی تبدیل شده است؛ لذا، با بالابردن کیفیت زیست فضا و کیفیت هوا در فضاهای میانی بسته، می‌توان این نوع فضاها را به فضایی پویا تبدیل نمود و از پرتی فضا که معمولاً در فضاهای بزرگ آموزشی در فضاهای میانی و متصل‌کننده فضاهای اصلی به هم، اتفاق می‌افتد، جلوگیری نمود. همان‌گونه که در این جدول آمده است، با اضافه کردن و تعریف حداقل یک کاربری مربوط به این فضاها با استفاده از روش‌های متفاوت مانند پارتیشن‌های ثابت یا متحرک، مبلمان، میز کامپیوتر جهت تحقیق دانشجویان، نیمکت‌های مطالعه، قفسه کتاب، کافی‌شاپ، محل تایپ و زیراکس و کاربری‌هایی

سیستم‌های تبادل سرمایش تأسیساتی جهت بهبود شرایط دمایی است (هر کدام ۲۰ درصد). همین‌طور، در فصل پاییز، ۴۷٫۱ درصد افراد با کاهش لباس رویه، ۱۱٫۸ با استفاده از نوشیدنی گرم، ۵٫۹ درصد با افزایش فعالیت و ۵٫۹ درصد به کمک باز نمودن پنجره‌ها، به آسایش حرارتی دست یافتند. در فصل زمستان نیز، ۳۷٫۵ درصد افراد با کاهش لباس رویه، ۱۲٫۵ درصد با استفاده از باز کردن پنجره و ۱۲٫۵ درصد با سایر اقدامات رفتاری مانند باز نمودن شال گردن، ۶٫۳ درصد با استفاده از آشامیدن نوشیدنی خنک و ۶٫۳ درصد با بستن پنجره‌ها به آسایش حرارتی دست یافتند.

نتایج حاصل از مصاحبه و پرسش‌نامه و نیز اطلاعات حاصل از جدول ۵، حاکی از آن است که در فضاهای میانی بسته از نوع آتریوم و با تهویه مکانیکی، بسیاری از افراد دمای داخلی زمستان را بیش از حد تصور عنوان نمودند و لباس افراد در این نوع فضاها، همانند لباس در فضاهای آموزشی اصلی است. اطلاعات به‌دست‌آمده از جدول ۵ هم نشان می‌دهد که اولویت رفتار حرارتی در این فضاها، کاهش لباس رویه حتی در فصول سرد سال (پاییز و زمستان) است. همان‌گونه که از جدول ۵ نیز قابل مشاهده است، ۱۲٫۵ درصد افراد در فصل زمستان، از طریق باز نمودن پنجره‌ها در این فضاها به شرایط آسایش حرارتی دست یافتند. همچنین اطلاعاتی که از مصاحبه‌کنندگان در طبقه دوم و سوم به دست آمدنشان داد که در فصل تابستان ۲۰ درصد افراد تمایل دارند به سمت سیستم‌های تأسیساتی خنک‌کننده بروند. جهت درک بهتر موضوع، مقدار فراوانی و تکرار فعالیت‌ها در فضاهای میانی بسته با تهویه طبیعی و تهویه مکانیکی در فضاهای دانشگاهی موردبررسی به تفکیک فصول مورد مطالعه در جدول ۶ گزارش شده است.

۶. نتیجه‌گیری

مقایسه نتایج حاصل از جداول ۴ و ۵، نشان می‌دهد که افراد در فضاهای میانی بسته با تهویه طبیعی، تنها با سازگاری حرارتی و استفاده از رفتارهای حرارتی، توانسته‌اند به آسایش حرارتی دست یابند و درصد رضایت افراد از شرایط محیطی در اکثر فصل‌های سال (تابستان، پاییز و زمستان) بیشتر از رضایت حرارتی افراد در همین فصول در فضاهای میانی بسته با تهویه مکانیکی است. همچنین در فضاهای میانی بسته با تهویه

فضاهای میانی بسته را به درستی پیش‌بینی نماید. بسیاری از افراد خود را با شرایط محیطی سازگار می‌کنند و از طریق رفتارهای تطبیقی، به حد آسایش حرارتی را دست یافته‌اند. نتایج این مطالعه نشان می‌دهد که دمای خنثی در فضاهای میانی بسته در ساختمان‌های با تهویه مکانیکی باید کمتر از دمای خنثی فضاهای اصلی در نظر گرفته شود. این به این دلیل است که همان‌طور که در این تحقیق مشاهده شده است، افراد در این نوع فضاها می‌توانند با تغییرات پویا در فعالیت، لباس یا موقعیت مکانی خود، به آسایش حرارتی دست یابند. در اینصورت، می‌توان از مصرف انرژی کل برای گرمایش و سرمایش در ساختمان‌های آموزشی در اقلیم گرم و خشک صرفه‌جویی نمود.

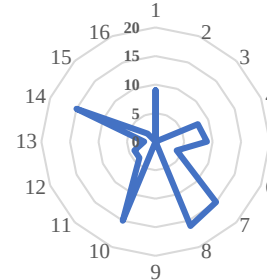
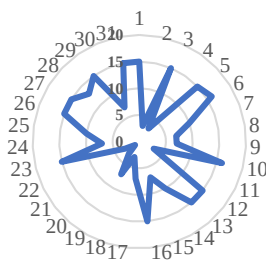
جدول ۶ مقدار فراوانی و تکرار فعالیت‌ها در فضاهای میانی بسته با کاربری‌های متفاوت در فضاهای دانشگاهی مورد بررسی به تفکیک فصول

مورد مطالعه (نگارندگان، ۱۴۰۲)

الف- سابلای دانشکده معدن و فیزیک

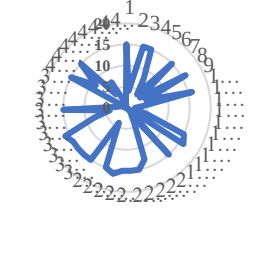
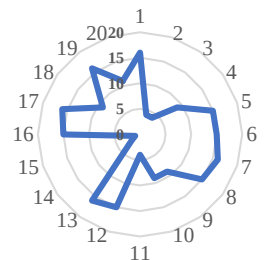
تابستان

بهار



زمستان

پاییز



ب- آتریوم دانشکده منابع طبیعی و نساجی

تابستان

بهار

پوشیدن لباس بیشتر =

کم نمودن لباس های روبه = ۱

نوشیدنی گرم = ۲

نوشیدنی خنک = ۳

راه رفتن و افزایش فعالیت = ۴

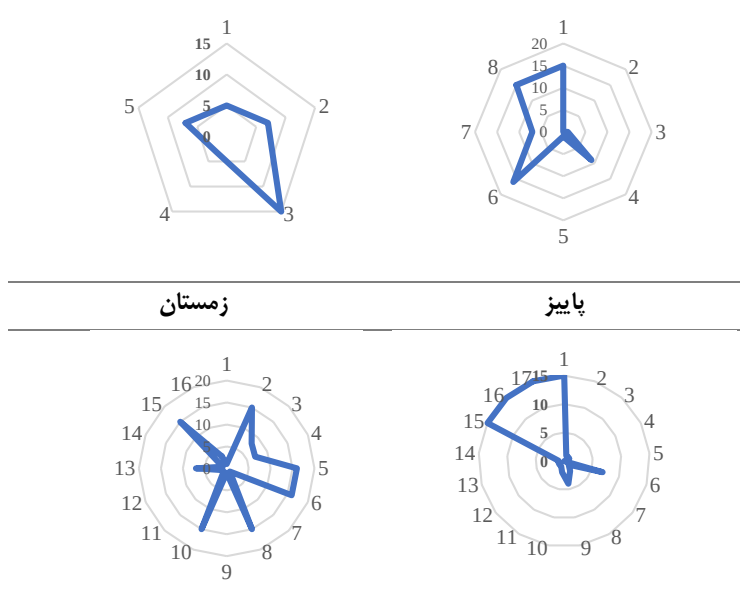
نزدیک شدن به سیستم های تاسیساتی = ۵

کم یا زیاد نمودن سیستم های تبادل حرارتی = ۶

باز کردن پنجره = ۷

بستن پنجره = ۸

بستن پنجره=۸
باز و بسته نمودن دکمه یا زیپ لباس رویه=۹
تغییر مکان=۱۰
باز یا بسته نمودن پرده=۱۳
هیچکدام=۱۵
سایر=۱۶



فیزیکی و یا متغیرهای دیگری که به تعطیلات تحقیق و اهداف وابسته است، اندازه‌گیری می‌شوند.

پی‌نوشت

۱۳. Wintact Humidity & Temperature Meter
۱۴. BENETECH Digital Anemometer
۱۵. Heat Index WBGT Meter
۱۶. Transverse Survey
۱۷. Thermal Satisfaction
۱۸. Thermal Acceptability
۱۹. CBE Thermal Comfort Tool
۲۰. PPD (Predicted Percentage Dissatisfied)
۲۱. Nearest Neighbor Index

۱. PMV
۲. AMV
۳. Vargas & Stevenson
۴. Hou
۵. Kotopouleas & Nikolopoulou
۶. Jiao et al.
۷. Central HVAC System
۸. Natural Ventilation
۹. Mixed-Mode Ventilation
۱۰. Mixed-Mode Ventilation
۱۱. Nicol

تعارض منافع

نویسندگان هیچ‌گونه تعارض منافی برای اعلام ندارند.

۱۲. در این سطح، همراه با اندازه‌گیری متغیرهای محیطی، متغیرهای شخصی (نرخ پوشاک و نرخ فعالیت) و عوامل دیگری نظیر سن، جنسیت، تغذیه، نوشیدنی، تجربه حرارتی، وضعیت

منابع

- وب‌سایت هواشناسی اصفهان. (۱۰ مارس ۲۰۲۲ / ۱۹ اسفند ۱۴۰۰).
- حسین‌پور توانی ن، کریمی کلیدبری، م، روشن م. (۱۴۰۰). بررسی تاثیر عمق و نوع بالکن در تهویه طبیعی و بهینه‌سازی مصرف انرژی آپارتمان مسکونی در اقلیم معتدل و مرطوب شهر رشت، انرژی ایران، دوره ۴، شماره ۳ (پیاپی ۷۹).
- یزدان‌پناه، فائزه و حیدری، علی‌اکبر (۱۳۹۴)، تأثیر تراس در مجتمع مسکونی بر کاهش مصرف انرژی ساختمان در اقلیم سرد و کوهستانی، چهارمین کنفرانس ملی مصالح و سازه‌های نوین در مهندسی عمران، یاسوج.

- سعادت‌جو، پ. (۱۳۹۶)، معماری متخلخل و بهره‌وری در مصرف انرژی نقش فضاهاى پر و خالى در تهویه و سرمایش تابستانی ساختمان‌های میان مرتبه شهر قشم، رساله دکتری، دانشگاه تربیت‌مدرس.
- Aparicio-Ruiz, P., & Munuzuri, J. (2021). A field study on adaptive thermal comfort in Spanish primary classrooms during the summer season. *Building and Environment*, 203, 108089.
- Bhandari, N., Faheem, M., Tadeballi, S., & Gopalakrishnan, P. (2023). Study of occupant behavior to improve thermal comfort conditions by arranging furniture in student hostel rooms. *Energy and Built Environment*.
- Bian, F., Chong, H., Ding, C., Zhang, W., & Li, L. (2023). Occupant behavior effects on energy-saving measures and thermal comfort in severe cold areas. *Energy for Sustainable Development*, 73, 1-12.
- Chun, C., & Tamura, A. (2005). Thermal comfort in urban transitional spaces. *Building and Environment*, 40, 633-639.
- Chun, C., Kwok, A., & Tamura, A. (2004). Thermal comfort in transitional spaces—basic concepts: literature review and trial measurement. *Building and Environment*, 39, 1187–1192.
- Dahlan, N. D., Jones, P. J., Alexander, D. K., Salleh, E., & Alias, J. (2009). Evidence base prioritization of indoor comfort perceptions in Malaysian typical multi-storey hostels. *Building and Environment*, 44(10), 2158-2165.
- Deliahmedova, M. (2018). Examination of adaptive thermal models for appropriate assessment of thermal comfort in transitory and semi-external spaces. Master's thesis, Faculty of Engineering, Lund University.
- Fountain, M., Brager, G., & de Dear, R. (1996). Expectations of indoor climate control. *Energy and Building*, 24, 179–182.
- Heidari, S. (2000). Thermal comfort in Iranian courtyard. Ph.D. Thesis, Sheffield University.
- Hou, G. (2016). An investigation of thermal comfort and the use of indoor transitional space. Ph.D. Thesis, Cardiff University.
- Hui, S. C. M., & Jiang, J. (2014). Assessment of thermal comfort in transitional spaces. *Proceedings of the Joint Symposium 2014: Change in Building Services for Future*, Kowloon Shangri-la Hotel, Hong Kong, 13 pp.
- Jiao, U., Yu, Y., Yu, H., & Wang, F. (2023). The impact of the thermal environment of transition spaces in elderly-care buildings on thermal adaptation and thermal behavior of the elderly. *Building and Environment*, 228, 109871.
- Jitkhajornwanich, K., Pitts, A., Malama, A., & Sharples, S. (1998). Thermal comfort in transitional spaces in the cool season of Bangkok. *ASHRAE Transactions*, 104(1), 1181-1193.
- Kotopouleas, A., & Nikolopoulou, M. (2016). Thermal comfort conditions in airport terminals. *Building and Environment*, 99.
- Kwong, Q. J., Tang, S. H., & Adam, N. M. (2009). Thermal comfort evaluation of the enclosed transitional space in tropical buildings: Subjective response and computational fluid dynamics simulation. *Journal of Applied Sciences*, 9, 3480-3490.

- Nicol, F. (1993). Thermal comfort: A handbook for field studies towards an adaptive model. University of East London.
- Pitts, A. (2013). Thermal comfort in transition spaces. *Buildings*, 3, 122-142.
- Pitts, A., & Saleh, J. (2006). Transition spaces and thermal comfort – Opportunities for optimizing energy use. PLEA2006 - The 23rd Conference on Passive and Low Energy Architecture, Geneva, Switzerland.
- Rawal, R., & Somani, G. (2022). Adaptive thermal comfort model based on field studies in five climate zones across India. *Building and Environment*, 219, 109187.
- Singh, M., Mahapatra, S., & Atreya, S. K. (2011). Adaptive thermal comfort model for different climatic zones of North-East India. *Applied Energy*, 88, 2420–2428.
- Tse, M. Y., & Jones, P. (2019). Evaluation of thermal comfort in building transitional spaces - Field studies in the UK. *Building and Environment*, 156, 191-202.
- Vargas, G., & Stevenson, F. (2016). The comfort of thermal variability: Short-term thermal transitions in the lobby space in higher education institutions in the UK. *Proceedings of the 9th Windsor Conference: Making Comfort Relevant*, Cumberland Lodge, Windsor, UK, 7-9 April 2016.

Evaluation of Neutral Temperature and Adaptive Behaviors in Transitional Spaces of Educational Buildings During One Year (Case Study: Isfahan University of Technology)¹

Sanaz Motalaei ², Meghedy Khodabakhshian ^{3*}, Fatemeh Alsadat Majidi ⁴, Mahdiah Abravesh ⁵

(Receive Date: 11 November 2024 Revise Date: 09 March 2025 Accept Date: 22 June 2025)

Research Article

Abstract

Introduction: Differences in building design and construction, technical and systemic conditions, material selection, and residents' energy consumption behaviors can lead to significant discrepancies between the predicted energy consumption during the design phase and the actual energy use in buildings. Therefore, focusing on thermal adaptability, which encompasses physiological, psychological, and behavioral aspects, can greatly impact the thermal comfort of occupants and reduce energy consumption. This highlights the urgent need to consider residents' behavior when designing energy-efficient buildings and to bridge the gap between predicted and actual energy consumption. Achieving a more precise design requires understanding the principles of thermal adaptation of individuals, their behaviors, and their interactions with the environment. Intermediate spaces in contemporary buildings are highly important and act as bridges between indoor and outdoor environments. These spaces not only serve as passages but are recognized as multi-purpose areas. Therefore, this article analyzes the adaptive behaviors of individuals in enclosed intermediate spaces (such as corridors, atriums, entrance lobbies, and elevator lobbies) of Isfahan University of Technology, in two types of faculties differing in terms of ventilation in enclosed intermediate spaces.

Methodology: This research included a cross-sectional study and on-site measurements to determine neutral temperature and adaptive behaviors inside the building over one year. It was conducted at Isfahan University of Technology, located in the hot and dry climate region of Iran. The study was based on field studies, with no interventions in the thermal conditions, physical structure, or architectural features of the studied spaces. Field measurements and the distribution of questionnaires were carried out during the post-COVID-19 period, from the summer of 2021 to the spring of 2022. The enclosed intermediate spaces at Isfahan University of Technology included entrance areas (lobbies), corridors, bridges, and intermediate connections (Sabats) across various faculties. The primary focus on selecting these enclosed intermediate spaces was based on ensuring that the spaces were sufficiently large to allow for potential changes in functionality and were not merely transitional areas.

Results: The observed behavioral changes in each season in faculties with natural ventilation included: increasing layers of clothing in spring, opening windows for cross-ventilation or using cold beverages in summer, using warm beverages or increasing activity in autumn, and rubbing hands together or utilizing clothing features (like pockets or hats) for winter. These actions for faculties with mechanical ventilation included: reducing outerwear layers in spring, autumn, and winter, and opening windows in summer. Additionally, the neutral temperature in enclosed intermediate spaces is 23.5 degrees Celsius, which is 0.35 higher than the neutral temperature obtained from the thermal comfort model. In general, the results of this study indicate that in enclosed intermediate spaces, the PMV model cannot accurately estimate the thermal comfort of individuals, and it is better to use the AMV model for more accurate results.

Conclusion: the study highlights the importance of considering human thermal comfort in architectural design, particularly in enclosed intermediate spaces. It underscores the need for adaptive design strategies to create environments that support occupants' well-being throughout the year. Implementing such strategies can enhance user satisfaction and productivity while promoting sustainable building practices.

Conflict of interest: None declared.

Keywords: Adaptive Thermal Comfort, Adaptive Behaviors, Thermal Adaptation, Educational Building, Closed Transitional Spaces

¹ This article is derived from the doctoral dissertation of the first author under the guidance of the second and third authors, with the advisory support of the fourth author.

² Ph.D. Student, Department of Architecture, Isfahan (Khorasgan) Branch, Islamic Azad University, Isfahan, Iran

³ Assistant Professor, Department of Architecture, Isfahan (Khorasgan) Branch, Islamic Azad University, Isfahan, Iran (Corresponding Author) meg.kh@khuif.ac.ir

⁴ Assistant Professor, Department of Architecture, Isfahan (Khorasgan) Branch, Islamic Azad University, Isfahan, Iran

⁵ Assistant Professor, Faculty of Architecture, College of Fine Arts, University of Tehran, Tehran, Iran.