مطالعات معماری ایران ۲۸

دوفصلنامه علمی دانشکده معماری و هنر، دانشگاه کاشان

سال چهاردهم، شماره ۲۸، پاییز و زمستان ۱۴۰۴

◆ محراب‌های گچی قاجاری منطقهٔ کاشان (۱۱۹٤ـ۱۲۷٦ق)
● شیما نگهبان/ محمدرضا غیاثیان/ محمد مشهدی نوش‌آبادی

◆ گونه‌شناسی معماری قلعه‌های تاریخی مسکون ایران
● مهتاب غوریانی/ ندا سادات صحراگرد منفرد/ سید عباس یزدانفر

◆ سیر پیدایش بادگیرهای بلند برجی در خط آسمان شهر قم بر مبنای اسناد مصورتاریخی
● محمد رضائی ندوشن

◆ میراث زندهٔ مسکونی: چارچوبی مفهومی برای فهم و حفاظت از تداوم سکونت در خانه‌های تاریخی
● ثنا یزدانی/ زهرا اهری

◆ بررسی اثر رویدادسازی در محوطهٔ فرهنگی سعدآباد
● فائزه تفرشی/ منوچهر معظمی/ نیکلاس وایز

◆ نقش مدت‌زمان حضور، غلظت دی‌اکسید کربن و رطوبت نسبی هوا بر احساس آسایش حرارتی نمازگزاران در مساجد معاصر ایلام
● کارن فتاحی

◆ آسیب‌پذیری محوطهٔ تخت‌جمشید در برابر تغییر آب‌وهوایی و نقش مشارکت محلی در کاهش آن
● حمید فدایی/ مسعود نخعی

◆ شهر دانشگاهی جندی‌شاپور اهواز؛ تجربه‌ای از بازتولید معماری ایرانی (از اواخر دههٔ ۱۳٤۰ تا انقلاب اسلامی)
● سید علیرضا سیدی/ مرتضی همتی

◆ ارزیابی برنامهٔ درسی رشتهٔ معماری از منظر کاربست دانش سازه بر مبنای نظریهٔ یادگیری معنادار بلوم
● فوزیه زینلی نصرآبادی/ نریمان فرح‌زا/ محمدرضا حافظی

◆ مولّد اولیهٔ طراحی در معماری خانه متناسب با رفتار اسلامی بر مبنای منابع نقلی اسلام
● مصطفی صیرفیان‌پور/ مسعود ناری قمی

◆ تحلیلی بر احیای قنات‌های تهران: خوانشی انتقادی از منظر بوم‌شناسی سیاسی شهری
● بهاره فراهانی/ کیانوش ذاکرحقیقی/ مهرنوش حسن‌زاده

◆ تفاوت‌های بافت سنتی و مدرن زواره براساس نظریهٔ «شهر درخت نیست»: بررسی ساختار شهر ارگانیک در برابر ساختار درخت‌وار
● علی عبدی/ غلامحسین معماریان/ منا آذرنوش

مطالعات معماری ایران

دوفصلنامه علمی دانشکده معماری و هنر، دانشگاه کاشان

سال چهاردهم، شماره ۲۸، پاییز و زمستان ۱۴۰۴
صاحب امتیاز: دانشگاه کاشان
مدیر مسئول: دکتر علی عمرانی‌پور
سردبیر: دکتر غلامحسین معماریان
مدیر داخلی: دکتر بابک عالمی

هیئت تحریریه (به‌ترتیب الفبا):
دکتر عباس اکبری. دانشیار دانشگاه کاشان
دکتر حمیدرضا جیحانی. دانشیار دانشگاه شهید بهشتی
دکتر پیروز حناچی. استاد دانشگاه تهران
دکتر شاهین حیدری. استاد دانشگاه تهران
دکتر مارکوس ریتر. استاد دانشگاه وین
دکتر محمدصادق طاهر طلوع دل. دانشیار دانشگاه تربیت دبیر شهید رجایی
دکتر بابک عالمی، دانشیار دانشگاه کاشان
دکتر علی عبد الرئوف. استاد دانشگاه حمد بن خلیفه قطر
دکتر علی عمرانی‌پور. دانشیار دانشگاه کاشان
دکتر فاطمه کاتب. استاد دانشگاه الزهرا (س)
دکتر حسین کلانتری. استاد جهاد دانشگاهی
دکتر اصغر محمد مرادی. استاد دانشگاه علم و صنعت ایران
دکتر غلامحسین معماریان. استاد دانشگاه علم و صنعت ایران
دکتر محسن نیازی. استاد دانشگاه کاشان

درجه علمی پژوهشی دوفصلنامه مطالعات معماری ایران طی نامه شماره ۱۶۱۶۷۶ مورخ ۱۳۹۰/۰۸/۲۱ دبیرخانه کمیسیون نشریات علمی کشور، وزارت علوم، تحقیقات و فناوری ابلاغ گردیده است.

پروانه انتشار این نشریه به شماره ۹۰/۲۳۰۳۰ مورخ ۹۱/۹/۷ از وزارت فرهنگ و ارشاد اسلامی صادر شده است.

این نشریه حاصل همکاری مشترک علمی دانشگاه کاشان با دانشکده معماری دانشگاه تهران، دانشگاه تربیت مدرس، دانشگاه الزهرا (س)، دانشگاه آزاد اسلامی واحد علوم و تحقیقات، دانشگاه شهید رجایی، پژوهشکده فرهنگ، هنر و معماری جهاد دانشگاهی و انجمن علمی انرژی ایران است.

نشریه مطالعات معماری ایران در پایگاه استنادی علوم کشورهای اسلامی (ISC)، پایگاه اطلاعات علمی جهاد دانشگاهی (SID)، پایگاه مجلات تخصصی نور (noormags.ir)، پرتال جامع علوم انسانی (ensani.ir) و بانک اطلاعات نشریات کشور (magiran.com) نمایه می‌شود.

تصاویر بدون استناد در هر مقاله، متعلق به نویسنده آن مقاله است.

(نسخه الکترونیکی مقاله‌های این مجله، با تصاویر رنگی در تارنمای نشریه قابل دریافت است.)

عکس روی جلد: علی عمرانی‌پور
(ایوان شمالی مدرسه پریزاد)

ویراستار ادبی فارسی: معصومه عدالت‌پور
همکار اجرایی: فائزه تفرشی

دورنگار: ۵۵۹۱۳۱۳۲-۰۳۱

نشانی دفتر نشریه: کاشان، بلوار قطب راوندی، دانشگاه کاشان، دانشکده معماری و هنر، کدپستی: ۵۳۱۵۳-۸۷۳۱۷

رایانامه: j.ir.arch.s@gmail.com
پایگاه اینترنتی: jias.kashanu.ac.ir

شاپای الکترونیکی: ۵۰۲۰-۲۶۷۶

فهرست

۵ **محراب‌های گچی قاجاری منطقهٔ کاشان (۱۱۹۴ـ۱۲۷۶ق)**
شیما نگهبان/ محمدرضا غیاثیان/ محمد مشهدی نوش‌آبادی

۲۹ **گونه‌شناسی معماری قلعه‌های تاریخی مسکون ایران**
مهتاب غوریانی/ ندا سادات صحراگرد منفرد/ سید عباس یزدانفر

۶۵ **سیر پیدایش بادگیرهای بلند برجی در خط آسمان شهر قم بر مبنای اسناد مصورتاریخی**
محمد رضائی ندوشن

۸۳ **میراث زندهٔ مسکونی: چارچوبی مفهومی برای فهم و حفاظت از تداوم سکونت در خانه‌های تاریخی**
ثنا یزدانی/ زهرا اهری

۱۱۳ **بررسی اثر رویدادسازی در محوطهٔ فرهنگی سعدآباد**
فائزه تفرشی/ منوچهر معظمی/ نیکلاس وایز

۱۲۹ **نقش مدت‌زمان حضور، غلظت دی‌اکسید کربن و رطوبت نسبی هوا بر احساس آسایش حرارتی نمازگزاران در مساجد معاصر ایلام**
کارن فتاحی

۱۵۳ **آسیب‌پذیری محوطهٔ تخت‌جمشید در برابر تغییر آب‌وهوایی و نقش مشارکت محلی در کاهش آن**
حمید فدایی/ مسعود نخعی

۱۷۱ **شهر دانشگاهی جندی‌شاپور اهواز؛ تجربه‌ای از بازتولید معماری ایرانی (از اواخر دههٔ ۱۳۴۰ تا انقلاب اسلامی)**
سید علیرضا سیدی/ مرتضی همتی

۱۹۷ **ارزیابی برنامهٔ درسی رشتهٔ معماری از منظر کاربست دانش سازه بر مبنای نظریهٔ یادگیری معنادار بلوم**
فوزیه زینلی نصرآبادی/ نریمان فرحزا/ محمدرضا حافظی

۲۱۷ **مولّد اولیهٔ طراحی در معماری خانه متناسب با رفتار اسلامی بر مبنای منابع نقلی اسلام**
مصطفی صیرفیان‌پور/ مسعود ناری قمی

۲۳۹ **تحلیلی بر احیای قنات‌های تهران: خوانشی انتقادی از منظر بوم‌شناسی سیاسی شهری**
بهاره فراهانی/ کیانوش ذاکرحقیقی/ مهرنوش حسن‌زاده

۲۶۱ **تفاوت‌های بافت سنتی و مدرن زواره براساس نظریهٔ «شهر درخت نیست»: بررسی ساختار شهر ارگانیک در برابر ساختار درخت‌وار**
علی عبدی/ غلامحسین معماریان/ منا آذرنوش

۲۷۳ **بخش انگلیسی**

نقش مدت‌زمان حضور، غلظت دی‌اکسید کربن و رطوبت نسبی هوا بر احساس آسایش حرارتی نمازگزاران در مساجد معاصر ایلام

کارن فتاحی*

علمی‌پژوهشی

تاریخ دریافت: ۱۴۰۴/۷/۲۹ تاریخ پذیرش: ۱۴۰۴/۱۲/۸

چکیده

احساس آسایش حرارتی در فضاهای مذهبی، یکی از عوامل کلیدی مؤثر بر کیفیت عبادت و تمرکز معنوی نمازگزاران است. وجود دما و رطوبت خارج از محدودهٔ مطلوب، نه‌تنها نارضایتی حرارتی را به دنبال دارد، بلکه زمینه‌ساز کاهش آسایش، ایجاد بی‌قراری و اخلال در کیفیت عبادت می‌شود. هدف پژوهش حاضر بررسی تأثیر تجربی سطوح متغیرهای رطوبت (۵۰ و ۷۰ درصد)، مدت‌زمان حضور افراد (۲۰، ۴۰، ۶۰ و ۸۰ دقیقه) و میزان دی‌اکسید کربن (با تهویهٔ مکانیکی ۶۰۰ PPM و بدون تهویهٔ مکانیکی ۱۶۰۰ PPM) بر احساس آسایش حرارتی نمازگزاران در فضای مساجد در اتاقک اقلیمی آزمایشگاهی است. این پژوهش با استفاده از آنالیز واریانس سه‌طرفه (ANOVA) بین گروهی طی بازهٔ زمانی چهارماهه (آذر تا اسفند ۱۴۰۳) با مشارکت ۱۶۰ مرد در شهر ایلام انجام شد و با استفاده از نرم‌افزار SPSS نسخهٔ ۲۷ تحلیل گردید. نتایج تحلیل آماری این پژوهش نشان‌دهندهٔ تأثیر معنادار عوامل محیطی بر احساس آسایش حرارتی نمازگزاران در فضای مساجد است. یافته‌ها بیانگر آن است که رطوبت نسبی هوا به‌عنوان یکی از مؤلفه‌های کیفی محیط، به‌تنهایی نقشی معنادار در تعیین آسایش حرارتی فضای معماری ایفا می‌کند ($p<0.05$). همچنین، غلظت دی‌اکسید کربن و مدت‌زمان حضور نمازگزاران به‌عنوان عوامل مستقل، بر شاخص آسایش حرارتی نمازگزاران اثرگذار است ($p<0.05$). نکتهٔ قابل توجه، وجود اثر متقابل معنادار میان رطوبت نسبی و میزان دی‌اکسید کربن است ($p<0.05$) که نشان می‌دهد ترکیب این دو عامل می‌تواند ساختار تعادل آسایش حرارتی را در محیط معماری دستخوش تغییر کند. بااین‌حال، سایر تعاملات شامل ارتباط مدت‌زمان حضور با رطوبت نسبی و دی‌اکسید کربن، واجد معناداری آماری نبوده و تأثیر محسوسی بر وضعیت آسایش حرارتی مشاهده نگردید. نتایج نشان داد حفظ رطوبت در سطح بهینه ۵۰ درصد و کنترل غلظت دی‌اکسید کربن در حد ۶۰۰ ppm، به‌عنوان دو عامل کلیدی، شرط لازم برای ایجاد محیطی مطلوب به‌ویژه در حضور طولانی‌مدت نمازگزاران در مساجد است. این یافته بر ضرورت طراحی هماهنگ سیستم‌های تهویه و تأسیسات رطوبتی در مساجد تأکید می‌کند؛ به‌گونه‌ای که تأمین هم‌زمان کیفیت هوا و رطوبت مطلوب، به‌ویژه در ساعات اقامت طولانی‌تر (مانند نمازهای جماعت یا مراسم مذهبی)، باید در اولویت قرار گیرد. ازاین‌رو، تلفیق راهکارهای غیرفعال (همچون مصالح مناسب و تهویهٔ طبیعی) با سیستم‌های فعال کنترل‌کنندهٔ رطوبت و کیفیت هوا، می‌تواند به طراحی فضاهای مذهبی پایدار و ارتقای تجربهٔ معنوی نمازگزاران منجر شود.

کلیدواژه‌ها:

مدت‌زمان حضور، غلظت دی‌اکسید کربن، رطوبت نسبی هوا، آسایش حرارتی، نمازگزاران، مساجد معاصر ایلام.

مطالعات معماری ایران

دو فصلنامه معماری ایرانی

شماره ۲۸ ـ پاییز و زمستان ۱۴۰۴

صفحات ۱۵۲-۱۲۹ ۱۲۹

* گروه معماری، واحد ایلام، دانشگاه آزاد اسلامی، ایلام، ایران، karenfatahi@yahoo.com

پرسش‌های پژوهش

۱. آیا مدت‌زمان حضور نمازگزاران در مساجد معاصر ایلام بر احساس آسایش حرارتی آن‌ها اثرگذار است؟
۲. آیا غلظت دی‌اکسید کربن و رطوبت نسبی هوا بر احساس آسایش حرارتی نمازگزاران در مساجد معاصر ایلام اثرگذار است؟
۳. آیا اثرات متقابل معناداری میان مدت‌زمان حضور، غلظت دی‌اکسید کربن و رطوبت نسبی هوا بر احساس آسایش حرارتی نمازگزاران در مساجد معاصر ایلام وجود دارد؟

مقدمه

مساجد به‌عنوان فضاهای مذهبی، در ساعات مختلف روز با تراکم جمعیتی متفاوت و با اهداف عبادی، فرهنگی و گاه گردشگری مورد استفاده قرار می‌گیرند. ویژگی‌های کالبدی و معماری این بناها تحت‌تأثیر عوامل فرهنگی، جغرافیایی و توپوگرافی منطقه‌ای متنوع است، اما همواره جهت‌گیری قبله (سوی کعبه) به‌عنوان عاملی ثابت و یکپارچه‌کننده در طراحی آن‌ها تبلور می‌یابد. این فضاها عمدتاً برای انجام فرایض عبادی، تلاوت قرآن، تعاملات اجتماعی و در مواردی، بازدیدهای سیاحتی مورد استفاده قرار می‌گیرند (Escandón et al 2019, 4). مساجد به‌عنوان بناهای مذهبی، با الگوی زمانی منحصربه‌فردی مورد استفاده قرار می‌گیرند. مسلمانان پنج بار در روز در زمان‌های مشخص (فجر، ظهر، عصر، مغرب و عشا) به‌علاوهٔ نمازجمعهٔ هفتگی، در این فضا گرد هم می‌آیند. مدت‌زمان هر نماز معمولاً ۳۰ تا ۴۵ دقیقه است که باعث اشغال متناوب فضای مسجد در طول روز می‌شود. بیشترین تراکم جمعیت در نماز جمعه رخ می‌دهد که مسجد معمولاً در حداکثر ظرفیت خود قرار دارد، درحالی‌که در دیگر اوقات، جمعیت به‌مراتب کمتر است. این الگوی استفادهٔ متغیر و دوره‌ای، مساجد را ازنظر الزامات عملکردی از سایر ساختمان‌ها متمایز می‌سازد (Azmi and Kandar 2019, 10).

الگوی سکونت متناوب و متغیر مساجد، همراه با وسعت فضای نمازگاه، تأثیر مستقیمی بر طراحی سیستم‌های تهویهٔ مطبوع و تعیین راهبردهای مدیریت انرژی این بناها دارد. این ویژگی‌های عملکردی، طراحی مسجد را به‌سمتی سوق می‌دهد که باید هم‌زمان سه هدف کلیدی را محقق سازد: تأمین آسایش حرارتی مطلوب در حداقل زمان ممکن پیش از آغاز هر نوبت نماز، حفظ کارایی انرژی به‌دلیل استفادهٔ غیرپیوسته از فضا، و پاسخ‌گویی به تغییرات بار حرارتی ناشی از نوسانات جمعیت. این ملاحظات، لزوم به‌کارگیری راهکارهای هوشمندانه در طراحی معماری و انتخاب سیستم‌های مکانیکی مساجد را آشکار می‌سازد (Azmi and Ibrahim 2020, 6). بنابراین، با توجه به ویژگی‌های منحصربه‌فرد مساجد ازنظر مدت‌زمان حضور، الگوی استفاده و تنوع جمعیتی، تأمین آسایش حرارتی در این فضاها نه‌تنها یک نیاز اساسی، بلکه امری اجتناب‌ناپذیر است. تمایزات ساختاری و کارکردی مساجد نسبت به سایر بناها، ایجاد معیارهای مستقل برای سنجش آسایش حرارتی و شاخص‌های انرژی را به یک ضرورت تبدیل می‌کند. اگرچه حجم گستردهٔ فضای داخلی و تنوع کاربری‌ها در بخش‌های مختلف، دستیابی به آسایش حرارتی یکنواخت را با چالش مواجه می‌سازد، همین ویژگی‌ها اهمیت پیاده‌سازی سیستم‌های هوشمند و منعطف گرمایشی و سرمایشی را دوچندان می‌کند. بنابراین، با در نظر گرفتن الگوی متغیر حضور نمازگزاران و اهداف عبادی این فضاها، تأمین آسایش حرارتی بهینه نه‌تنها دشوار نیست، بلکه با به‌کارگیری راهکارهای نوین و طراحی دقیق، کاملاً قابل دستیابی و ضروری است (Atmaca et al. 2021, 14).

آسایش حرارتی به‌عنوان یک ادراک ذهنی، نشان‌دهندهٔ میزان رضایت افراد از شرایط محیطی بوده و یکی از ارکان اساسی در فرایند طراحی ساختمان به شمار می‌رود. این مفهوم که تأثیر مستقیمی بر سلامت، بهره‌وری و کیفیت تجربهٔ استفاده‌کنندگان از فضا دارد، به یک معیار کلیدی در ارزیابی کارایی محیط‌های داخلی تبدیل شده است. دستیابی به این مهم مستلزم درنظرگیری هم‌زمان عوامل فیزیولوژیکی، روان‌شناختی و پارامترهای محیطی در مرحلهٔ

طراحی است (فتاحی و بیگی ۱۴۰۳، ۴). بهینه‌سازی مصرف انرژی در ساختمان‌ها مستلزم درک پارامتر کلیدی آسایش حرارتی است. این عامل نقش تعیین‌کننده‌ای در تضمین سلامت و افزایش سطح بهره‌وری ساکنان دارد. ازاین‌رو، برآورد دقیق نیاز حرارتی آنان، زمینه‌ساز طراحی محیطی مطلوب و درعین‌حال بهینه ازنظر انرژی خواهد بود (Ibid, 3). از میان شاخص‌های محیطی مؤثر بر آسایش حرارتی، دما، سرعت هوا و به‌ویژه رطوبت از شناخته‌شده‌ترین‌ها هستند. رطوبت، که به‌صورت کمی (مانند رطوبت نسبی) بیان می‌شود، به مقدار بخارآب موجود در هوا اشاره دارد. تأثیر این پارامتر به‌گونه‌ای است که سطوح بالای آن در ترکیب با دمای هوا، احساس گرمای بیشتری ایجاد می‌کند؛ چراکه ظرفیت تبخیر عرق از سطح پوست را کاهش داده و درنتیجه، مهم‌ترین مکانیسم خنک‌کنندگی بدن را مختل می‌سازد (Holm and Engelbrecht 2005,11). علاوه‌بر این، دی‌اکسید کربن با غلظت بالا، که شاخصی کلیدی در ارزیابی کیفیت محیط‌های داخلی محسوب می‌شود، علاوه‌بر تأثیر بر سیستم تنفسی، قادر است نرخ متابولیسم پایه را نیز افزایش دهد. این پدیدهٔ متابولیک، میزان تبادل حرارت بدن با محیط را افزایش داده و درنهایت ادراک حرارتی ساکنان را تحت‌تأثیر قرار می‌دهد. بنابراین، این موضوع آسایش حرارتی افراد را تحت‌تأثیر قرار می‌دهد (Gauthier et al. 2015, 4). مساجد به‌عنوان کانون اصلی حیات اجتماعی و معنوی مسلمانان، نقشی فراتر از یک مکان صرفاً عبادی ایفا می‌کنند. این فضاها می‌بایست محیطی آرامش‌بخش و دعوت‌کننده باشند تا زمینهٔ تمرکز و تعمیق تجربهٔ معنوی نمازگزاران را فراهم آورند. بااین‌حال، مشاهدات میدانی حاکی از آن است که وضعیت موجود در بسیاری از مساجد شهر ایلام از وضعیت مطلوب و مناسبی برخوردار نیست و به نظر می‌رسد در طراحی و بهره‌برداری از این مساجد، ملاحظات مربوط به آسایش محیطی به‌ویژه در برابر اقلیم خاص این منطقه، چندان در نظر گرفته نمی‌شود. در این میان، آسایش حرارتی به‌عنوان یکی از اساسی‌ترین عوامل مؤثر بر رضایت و تداوم حضور افراد، از اهمیتی حیاتی برخوردار است. احساس گرما یا سرمای بیش از حد نه‌تنها می‌تواند عاملی برای حواس‌پرتی و کاهش تمرکز در عبادت باشد، بلکه حتی ممکن است موجب کوتاه شدن مدت‌زمان حضور نمازگزاران در مسجد یا خودداری آنان از آمدن در برخی ساعت‌ها یا فصل‌های خاص شود. این موضوع به‌ویژه در مناطقی با اقلیم آب‌وهوایی خاص (بسیار گرم یا بسیار سرد) مانند استان ایلام و در فصول مختلف سال شدت بیشتری می‌یابد (تصویر ۱).

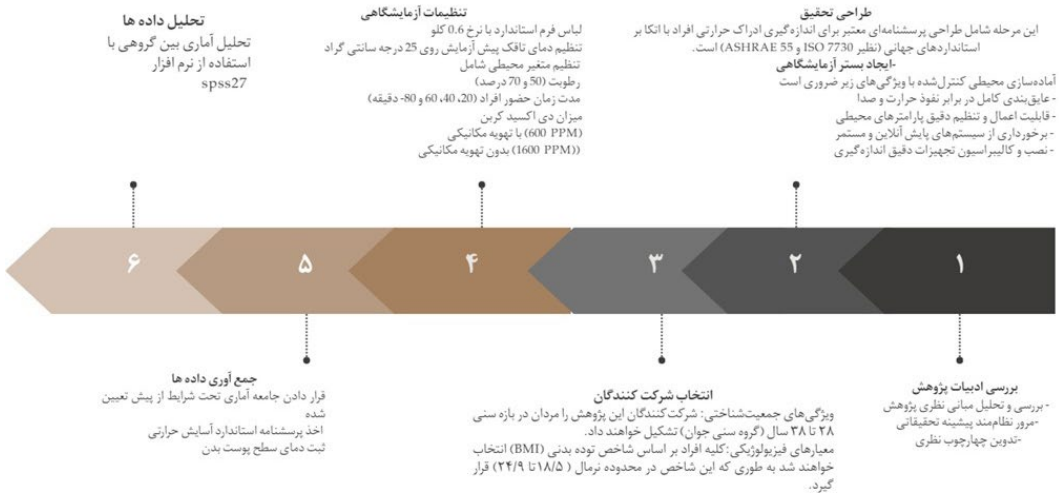
طراحی معماری مساجد به‌عنوان مهم‌ترین فضاهای مذهبی در جهان اسلام، همواره معطوف به خلق محیطی متناسب با قداست و شأن عبادی این مکان‌ها بوده است؛ بااین‌حال، تحقق چنین هدف والایی جز ازطریق تأمین هم‌زمان آسایش اقلیمی و حرارتی نمازگزاران میسر نیست؛ چراکه بی‌توجهی به شرایط محیطی و حرارتی نه‌تنها موجب اختلال در تمرکز و حضور قلب نمازگزاران می‌شود، بلکه تجربهٔ معنوی آنان را تحت‌الشعاع قرار داده و حتی ممکن است به کاهش تردد و حضور مستمر ایشان در مساجد بینجامد. به‌رغم این اهمیت، استانداردهای موجود آسایش حرارتی عمدتاً براساس فعالیت‌های سکونتی یا اداری در ساختمان‌های مسکونی و تجاری تدوین شده‌اند و این استانداردها به‌دلیل تفاوت‌های بنیادین در نوع فعالیت عبادی (شامل حرکات موزون و متوالی نظیر ایستادن، رکوع، سجود و نشستن)، پوشش خاص نمازگزاران (نظیر پوشش سنتی و الزامات شرعی) و نیز انتظارات ذهنی و معنوی این قشر از جامعه، قابلیت تعمیم‌پذیری کامل به فضاهای مذهبی را ندارند. این شکاف دانشی در کنار مشکلات عینی و مشهود آسایش حرارتی در بسیاری از مساجد معاصر ایران ازجمله مساجد شهر ایلام (که در فصول گرم و سرد سال با چالش‌های جدی در این حوزه مواجه‌اند)، ضرورت انجام پژوهشی بومی، تجربی و مسئله‌محور را دوچندان می‌کند. ازاین‌رو، پژوهش حاضر درصدد است با واکاوی نقش سه عامل کلیدی مدت‌زمان حضور نمازگزاران، غلظت دی‌اکسید کربن و رطوبت نسبی هوا بر احساس آسایش حرارتی آنان، ضمن پر کردن خلأ نظری موجود در این حوزه، مبنایی علمی و کاربردی برای معماران، طراحان و مهندسان تأسیسات فراهم آورد تا بتوانند مساجد معاصر را به‌گونه‌ای طراحی یا بهینه‌سازی نمایند که ضمن حفظ هویت معنوی، محیطی دعوت‌کننده، آرامش‌بخش و آسایش‌محور برای نمازگزاران فراهم آورند.

تصویر ۱: تصاویری از مساجد شهر ایلام

مطالعات معماری ایران
دو فصلنامه معماری ایرانی
شماره ۲۸ ـ پاییز و زمستان ۱۴۰۴

اگرچه مطالعات پراکنده‌ای درزمینهٔ آسایش حرارتی در فضاهای داخلی انجام شده است، کمبود پژوهش‌های تجربی جامعی که به‌طور هم‌زمان سه عامل کلیدی «مدت‌زمان حضور، غلظت دی‌اکسید کربن و رطوبت نسبی» را در کنار یکدیگر و در بستر واقعی مساجد مورد سنجش و تحلیل قرار دهند، به‌وضوح احساس می‌شود. بیشتر پژوهش‌های پیشین بر روی دما و رطوبت متمرکز بوده و اثر تلفیقی این پارامترها با عامل زمان (مدت حضور) و همچنین ادراک ذهنی نمازگزاران به‌اندازهٔ کافی مورد کاوش قرار نگرفته است. نوآوری این پژوهش در رویکرد تجربی و میدانی آن است که این متغیرها را نه به‌صورت مجزا، بلکه در تعامل با یکدیگر و در یک محیط واقعی اندازه‌گیری کرده و ارتباط آن‌ها را با احساس آسایش نمازگزاران می‌سنجد. این رویکرد می‌تواند منجر به توسعهٔ یک چارچوب بومی و اختصاصی برای ارزیابی آسایش حرارتی در مساجد شود که در طراحی، بهینه‌سازی و مدیریت سیستم‌های تهویهٔ مطبوع این فضاها کاربرد مستقیم خواهد داشت. هدف اصلی این مطالعه، بررسی علمی و تجربی تأثیر هم‌زمان مدت‌زمان حضور نمازگزاران، کیفیت هوا و رطوبت نسبی بر احساس آسایش حرارتی آنان در فضای داخلی مساجد است.

این پژوهش در پی آن است تا ازطریق روش آزمایشگاهی و تکمیل پرسش‌نامه‌های ادراک ذهنی توسط نمازگزاران، به درک دقیق‌تری از محدوده‌های بهینهٔ این عوامل برای تأمین حداکثر آسایش دست یابد. دستیابی به چنین هدفی می‌تواند مبنای علمی معتبری را در اختیار معماران، مهندسان تأسیسات و مدیران مساجد قرار دهد تا با اتخاذ راهکارهای هوشمندانه در طراحی، نگهداری و بهره‌برداری از این فضاها، شرایطی مطلوب را فراهم آورند که ضمن کاهش مصرف انرژی، تجربه‌ای روح‌بخش و خالصانه از عبادت را برای همهٔ نمازگزاران به ارمغان آورد.



تصویر ۲: فرایند کلی پژوهش

۱. پیشینهٔ پژوهش

مساجد به‌عنوان مهم‌ترین فضاهای مذهبی در جهان اسلام، همواره محل گردهمایی و عبادت مسلمانان بوده و تأمین آسایش حرارتی در این فضاها به‌دلیل تأثیر آن بر تمرکز و حضور قلب نمازگزاران، همواره مورد توجه معماران و پژوهشگران این حوزه قرار داشته است. ازاین‌رو، مطالعات متعددی به بررسی عوامل مؤثر بر آسایش حرارتی در فضاهای مذهبی پرداخته‌اند که در ادامه مرور می‌گردد.

۱. ۱. مطالعات مرتبط با مدت‌زمان حضور

هوپه در پژوهش خود نشان داد که مدل‌های حالت پایدار برای ارزیابی آسایش حرارتی در فضاهای داخلی مناسب هستند، زیرا افراد زمان طولانی‌تری را در این فضاها سپری می‌کنند. درمقابل، برای فضاهای بیرونی که مدت‌زمان حضور افراد عموماً کوتاه‌تر است (کمتر از یک ساعت)، این مدل‌ها ناراحتی حرارتی را بیش‌ازحد برآورد می‌کنند. بنابراین، مدت‌زمان حضور افراد در یک محیط بر چگونگی ارزیابی آسایش حرارتی و انتخاب مدل مناسب برای پیش‌بینی آن تأثیر مستقیم دارد (Höppe 2002, 1). میشرا و رامگوپال در پژوهشی نشان دادند که مدت‌زمان حضور افراد در یک محیط بر سازگاری حرارتی آنان تأثیر مستقیم دارد. مطالعات میدانی نشان می‌دهند که افراد توانایی قابل توجهی برای سازگاری با شرایط محیطی دارند، به شرطی که فرصت‌های کافی برای انطباق در اختیار داشته باشند. هرچه مدت‌زمان حضور افراد در یک محیط طولانی‌تر باشد، فرصت بیشتری برای استفاده از راهکارهای سازگاری خواهند داشت؛ برعکس، در محیط‌های تهویهٔ مطبوع که فرصت‌های سازگاری محدود است یا مدت‌زمان حضور کوتاه است، افراد ممکن است نتوانند با شرایط محیطی سازگار شوند (Mishra and Ramgopal 2013, 3). سونگ و همکاران در پژوهش خود نشان دادند که فرایند سازگاری حرارتی انسان یک پدیدهٔ پویا و وابسته به زمان است. ایشان با قرار دادن آزمودنی‌ها در معرض دماهای مختلف و در بازه‌های زمانی گوناگون به این نتیجه رسیدند که احساس حرارتی افراد نه‌تنها به شرایط لحظه‌ای محیط، بلکه به تاریخچهٔ حرارتی آنان و مدت‌زمان مواجهه با یک شرایط خاص نیز بستگی دارد. در دقایق اولیهٔ ورود به یک محیط جدید، افراد بیشترین میزان نارضایتی حرارتی را ابراز می‌کنند، اما با گذشت زمان و فعال شدن مکانیسم‌های سازگاری فیزیولوژیک، این نارضایتی کاهش می‌یابد (Song et al. 2020, 106990).

تحلیل تطبیقی مطالعات مدت‌زمان حضور: هر سه مطالعه بر نقش کلیدی مدت‌زمان حضور در فرایند سازگاری حرارتی تأکید دارند، اما دیدگاه آن‌ها متفاوت است. هوپه بر تفکیک فضاهای داخلی و خارجی و انتخاب مدل مناسب تأکید دارد، درحالی‌که میشرا بر فرصت‌های سازگاری و تفاوت فضاهای طبیعی و مکانیزه تمرکز می‌کند. سونگ و

همکاران با رویکردی پویا، تاریخچهٔ حرارتی افراد را نیز به معادله اضافه می‌کنند. بااین‌حال، هیچ‌یک از این مطالعات به‌طور خاص به الگوی حضور متناوب در فضاهای مذهبی (مانند پنج نوبت نماز در طول روز) نپرداخته و بیشتر بر حضور مداوم و پیوسته متمرکز بوده‌اند.

۱. ۲. مطالعات مرتبط با رطوبت نسبی

کائو و همکاران در مطالعه‌ای به بررسی تأثیر رطوبت بر آسایش حرارتی پرداختند. براساس این مطالعه، تغییرات رطوبت نسبی در سطوح ۴۰، ۵۵ و ۷۰ درصد به‌عنوان یکی از متغیرهای اصلی در ارزیابی ادراکات حرارتی مورد بررسی قرار گرفت. اگرچه اثر رطوبت در مقایسه با سایر عوامل کم‌رنگ‌تر گزارش شده، همچنان به‌عنوان جزئی جدایی‌ناپذیر از محیط آسایش حرارتی شناخته می‌شود(Cao et al. 2021, 1) . ژو و همکاران نشان دادند که در شرایطی که رطوبت نسبی به سطح ۷۰ تا ۹۰ درصد می‌رسد، حتی با افزایش سرعت هوا تا ۰/۲ متر بر ثانیه نیز نمی‌توان ناراحتی حرارتی را به‌طور کامل برطرف کرد. حداکثر دمای قابل قبول برای آسایش حرارتی در شرایط رطوبت بالا (۷۰ تا ۹۰ درصد) به میزان قابل توجهی کاهش می‌یابد (Zhou et al. 2023, 1). آماریپادات و همکاران در پژوهشی نشان دادند که رطوبت به‌طور غیرمستقیم و ازطریق تأثیر بر تبادلات حرارتی تبخیری در مدل‌های فیزیولوژیکی و روان‌شناختی وارد محاسبات می‌شود. این مطالعه بر اهمیت درنظرگیری هم‌زمان دمای مؤثر و رطوبت نسبی در توسعهٔ شاخص‌های آینده ناراحتی حرارتی تأکید می‌کند (Amaripadath et al. 2023,12).

تحلیل تطبیقی مطالعات رطوبت: مطالعات فوق اتفاق نظر دارند که رطوبت نسبی یک عامل تعیین‌کننده در آسایش حرارتی است، اما در مورد میزان اهمیت آن اختلاف نظر وجود دارد. کائو و همکاران اثر رطوبت را «کم‌رنگ‌تر» از سایر عوامل می‌دانند، درحالی‌که ژو و همکاران در رطوبت‌های بالا (۷۰ درصد به بالا) آن را یک عامل محدودکننده معرفی می‌کنند که حتی با افزایش سرعت هوا نیز قابل جبران نیست. آماریپادات نیز بر اهمیت آن تأکید دارد. محدودیت مشترک این مطالعات، بررسی رطوبت در فضاهای عمومی یا مسکونی است و به شرایط خاص مساجد (تراکم جمعیت متناوب، پوشش خاص نمازگزاران) توجه نشده است.

۱. ۳. مطالعات مرتبط با کیفیت هوا و دی‌اکسید کربن

جیا و همکاران در پژوهشی نشان دادند که کیفیت پایین هوای داخلی می‌تواند هم‌زمان بر ادراک حرارتی افراد تأثیر منفی بگذارد. نتایج این پژوهش نشان می‌دهد که برای دستیابی به آسایش حرارتی مطلوب در فضاهای داخلی، باید به‌صورت هم‌زمان کیفیت هوای داخلی و پارامترهای طراحی غیرفعال ساختمان را در نظر گرفت (Jia et al. 2021, 20). کائو و دنگ در پژوهشی نشان دادند که افزایش دمای هوای تأمین‌شده باعث تقویت اثرات شناوری حرارتی می‌شود که این امر به افزایش غلظت دی‌اکسید کربن در فضای داخلی منجر می‌گردد. به‌ازای هر ۱ درجهٔ سانتی‌گراد افزایش دما، حدود ۱/۲ درصد افزایش در غلظت دی‌اکسید کربن مشاهده شده است. این یافته‌ها نشان می‌دهند که بین پارامترهای آسایش حرارتی و کیفیت هوای داخلی ارتباط مستقیم وجود دارد (Cao and Deng 2019, 1).

تحلیل تطبیقی مطالعات کیفیت هوا: جیا و همکاران بر طراحی هم‌زمان تأکید دارند، درحالی‌که کائو و دنگ رابطهٔ کمی بین دما و غلظت CO_2 را نشان می‌دهند. بااین‌حال، این مطالعات در فضاهای اداری و مسکونی انجام شده و به چالش‌های خاص مساجد مانند افزایش ناگهانی غلظت CO_2 در زمان نمازجماعت نپرداخته‌اند.

۱. ٤. مطالعات تخصصی در مساجد

جمیچی و دوغان در پژوهشی میدانی در مساجد استانبول به این نتیجه رسیدند که الگوی حضور متناوب نمازگزاران در مساجد، چالش‌های خاصی برای مدل‌های رایج آسایش حرارتی ایجاد می‌کند. ایشان نشان دادند که در نمازجمعه، غلظت دی‌اکسید کربن در مدت‌زمان کوتاهی از ۱۵۰۰ به ۲۵۰۰ قسمت در میلیون افزایش می‌یابد و این افزایش ناگهانی، ارتباط معناداری با احساس نارضایتی حرارتی نمازگزاران دارد (Gemici and Dogan 2024, 8). توهین و همکاران در پژوهشی در مالزی نشان دادند که صرف‌نظر از دمای هوا، غلظت دی‌اکسید کربن و رطوبت نسبی به‌عنوان دو عامل مستقل بر ارزیابی نمازگزاران از وضعیت آسایش حرارتی اثرگذارند. نمازگزارانی که در معرض غلظت‌های بالای

دی‌اکسید کربن قرار داشتند، حتی در دماهای بهینه نیز احساس نارضایتی حرارتی بیشتری ابراز می‌کردند (Tuhin et al. 2025, 12). نسوتیون و همکاران در پژوهشی در مساجد مناطق گرمسیری دریافتند که به‌رغم یکسان بودن شرایط محیطی در برخی ساعات، ارزیابی نمازگزاران از وضعیت آسایش حرارتی در نوبت‌های مختلف نماز متفاوت است. ایشان این تفاوت را ناشی از عوامل روانی و انتظارات ذهنی نمازگزاران دانستند (Nasution et al. 2025, 5).

یوکسول و همکاران با مقایسهٔ غلظت دی‌اکسید کربن در دو دورهٔ قبل و حین پاندمی کرونا نشان دادند که با کاهش تراکم جمعیت، غلظت دی‌اکسید کربن از ۶۶۱ به ۴۲۸ قسمت در میلیون کاهش یافته و رضایت حرارتی نمازگزاران افزایش معناداری پیدا کرده بود. این پژوهش نشان می‌دهد که تراکم جمعیت به‌عنوان یک متغیر پنهان، ازطریق تأثیر بر غلظت دی‌اکسید کربن، بر احساس آسایش حرارتی اثر می‌گذارد (Yüksel et al. 2022, 7). آتماکا و زرور گدیک در پژوهشی در مساجد ترکیه نشان دادند که سیستم‌های تهویهٔ مطبوع رایج که براساس الگوی حضور مداوم طراحی شده‌اند، در مساجد با الگوی حضور منقطع، ناکارآمد هستند و مصرف انرژی بالایی دارند (Atmaca and Zorer Gedik 2023, 15). اجیباده و همکاران در پژوهشی میدانی به بررسی توزیع فضایی آسایش حرارتی پرداختند و نشان دادند که استفاده از کولرهای اسپلیت در مساجد منجر به ایجاد نقاط سرد موضعی در گوشه‌های نمازخانه می‌شود (Ajibade et al. 2025, 9). اندور و همکاران در پژوهشی تطبیقی نشان دادند که مدل‌های رایج آسایش، احساس حرارتی واقعی کاربران را در مساجد با خطای بیشتری نسبت به کلیسا پیش‌بینی می‌کنند که دلیل آن پوشش خاص نمازگزاران و حرکات موزون عبادی است (Endur et al. 2024, 18).

تحلیل تطبیقی مطالعات مساجد: این دسته از مطالعات اگرچه مستقیماً به مساجد پرداخته‌اند، هریک از زاویه‌ای محدود به موضوع نگریسته‌اند. جمیچی و دوغان بر الگوی حضور متناوب تأکید دارند، توهین و همکاران بر ارتباط CO_2 و آسایش حرارتی، نسوتیون و همکاران بر عوامل روانی، یوکسول و همکاران بر تراکم جمعیت، آتماکا بر طراحی تأسیسات، اجیباده بر توزیع فضایی و اندور بر خطای مدل‌ها. هیچ‌یک از این مطالعات به بررسی هم‌زمان و تجربی هر سه متغیر مدت‌زمان حضور، غلظت دی‌اکسید کربن و رطوبت نسبی در شرایط کنترل‌شدهٔ آزمایشگاهی نپرداخته‌اند. همچنین، بیشتر این پژوهش‌ها میدانی بوده و امکان کنترل دقیق متغیرها را نداشته‌اند.

مرور مطالعات پیشین نشان می‌دهد که اگرچه پژوهش‌های متعددی به بررسی عوامل مؤثر بر آسایش حرارتی در فضاهای داخلی و حتی مساجد پرداخته‌اند، شکاف‌های مهمی در این حوزه وجود دارد. نخست آنکه، عدم بررسی هم‌زمان متغیرها یکی از مهم‌ترین خلأهای تحقیقاتی به شمار می‌رود؛ به این معنا که بیشتر مطالعات به‌صورت تک‌متغیره یا حداکثر دومتغیره به موضوع پرداخته‌اند و اثرات متقابل مدت‌زمان حضور، غلظت دی‌اکسید کربن و رطوبت نسبی بر آسایش حرارتی مغفول مانده است؛ دوم، غالب بودن مطالعات میدانی در پژوهش‌های انجام‌شده در مساجد موجب شده تا به‌دلیل عدم کنترل دقیق شرایط محیطی، امکان تفکیک اثرات مستقل و متقابل متغیرها فراهم نباشد؛ سوم، نادیده گرفتن ویژگی‌های خاص نمازگزاران ایرانی ازجمله پوشش خاص، الگوی حرکتی (رکوع و سجود) و انتظارات فرهنگی آنان در مطالعات بین‌المللی لحاظ نشده است؛ چهارم، عدم تمرکز بر مساجد معاصر ایران با وجود مشکلات عینی آسایش حرارتی در مساجد شهر ایلام، ضرورت انجام پژوهشی بومی و مسئله‌محور را دوچندان می‌کند. پژوهش حاضر با هدف پر کردن این شکاف‌ها، به بررسی تجربی اثرات مستقل و متقابل سه متغیر مدت‌زمان حضور (۲۰، ۴۰، ۶۰ و ۸۰ دقیقه)، غلظت دی‌اکسید کربن (۶۰۰ و ۱۶۰۰ ppm) و رطوبت نسبی (۵۰ و ۷۰ درصد) بر احساس آسایش حرارتی نمازگزاران در مساجد معاصر ایلام، در شرایط کنترل‌شدهٔ آزمایشگاهی می‌پردازد.

۲. مبانی نظری

۲. ۱. مفهوم آسایش حرارتی در معماری

آسایش حرارتی به‌عنوان یکی از بنیادی‌ترین مفاهیم در طراحی معماری و محیط‌های انسان‌ساخت، نقشی تعیین‌کننده در کیفیت فضاهای معماری ایفا می‌کند. در شرایط آب‌وهوایی گرم یا در شرایط تابستانی، محدودهٔ دمای آسایش

توصیه‌شده توسط انجمن مهندسان گرمایش، سرمایش و تهویهٔ مطبوع آمریکا (ASHRAE) ۲۳ تا ۲۷ درجهٔ سانتی‌گراد است (ASHRAE 2017, 3). این شرایط بر مبنای فرض نبود نور مستقیم خورشید و میانگین دمای تابشی کمتر از ۲۸ درجهٔ سانتی‌گراد با رطوبت نسبی ۵۰ درصد استوار است. در مناطقی که تابش مستقیم یا غیرمستقیم خورشید وجود دارد یا شرایط رطوبتی بالاتر حاکم است، لازم است دمای محیط به میزان قابل توجهی کاهش یابد تا اثرات افزایش رطوبت یا بالا رفتن میانگین دمای تابشی جبران شود. به عبارت دیگر، در محیط‌هایی با سطوح تشعشعی بالاتر یا رطوبت زیاد، دستیابی به آسایش حرارتی مستلزم اعمال دمای هوای پایین‌تر نسبت به شرایط استاندارد است. این تنظیمات ضروری به‌منظور خنثی‌سازی تأثیر ترکیبی عوامل محیطی بر ادراک حرارتی افراد انجام می‌پذیرد. این اصل نشان‌دهندهٔ اهمیت درنظرگیری هم‌زمان تمامی پارامترهای محیطی ازجمله دما، رطوبت و میانگین دمای تابشی در طراحی سیستم‌های تهویهٔ مطبوع است. بی‌توجهی به این تعاملات پیچیده می‌تواند منجر به ایجاد شرایط ناراحت‌کنندهٔ حرارتی حتی در دماهای به‌ظاهر مطلوب شود (Fiala et al. 1999, 23).

آسایش حرارتی در ساختمان‌ها یکی از عوامل کلیدی تأثیرگذار بر سلامت جسمی و روانی ساکنان و همچنین بازدهی فعالیت‌های آنان است. استانداردهای موجود، محدوده‌های مشخصی را برای دستیابی به این آسایش تعریف کرده‌اند، اما پرسش مهم این است که آیا می‌توان از یک محدودهٔ ثابت برای تمامی انواع ساختمان‌ها و شرایط آب‌وهوایی مختلف استفاده کرد؟ به نظر می‌رسد که با توجه به تنوع در معماری ساختمان‌ها، تفاوت‌های فرهنگی و اقلیمی، و همچنین اهداف مختلف کاربری فضاها، نیاز به بازنگری در این استانداردها احساس می‌شود. هر محیط با توجه به ویژگی‌های منحصربه‌فرد خود ممکن است نیازمند تعریف محدوده‌های اختصاصی برای تأمین آسایش حرارتی باشد. این موضوع اهمیت توسعهٔ راهکارهای بومی و متناسب با شرایط خاص هر ساختمان و اقلیم را پررنگ می‌کند. طراحی هوشمندانهٔ سیستم‌های گرمایشی و سرمایشی با درنظرگیری این تفاوت‌ها می‌تواند علاوه‌بر تأمین آسایش حرارتی مطلوب، به بهینه‌سازی مصرف انرژی نیز منجر شود (Atmaca and Gedik 2020, 8).

در این میان، تمایز میان آسایش فیزیولوژیک و ادراکی از اهمیتی ویژه برخوردار است. آسایش فیزیولوژیک به تعادل حرارتی بدن و عملکرد صحیح مکانیسم‌های تنظیم دمای درونی اشاره دارد، درحالی‌که آسایش ادراکی به احساس ذهنی و روانی فرد از محیط حرارتی مرتبط است. این تمایز به‌ویژه در فضاهای جمعی چون مساجد اهمیت می‌یابد؛ جایی که ادراک فردی هر نمازگزار از شرایط محیطی می‌تواند متفاوت از دیگری باشد. برخلاف سایر ساختمان‌ها، اماکن مذهبی به‌دلیل ویژگی‌های خاص معماری و کاربری منحصربه‌فرد، با چالش‌های ویژه‌ای در تأمین آسایش محیطی مواجه‌اند. مساجد به‌عنوان کانون تجمع مسلمانان برای عبادت، دارای فضای داخلی وسیع، سقف‌های بلند و جمعیت متغیر در ساعات مختلف روز هستند که این ویژگی‌ها مدیریت شرایط محیطی را پیچیده می‌کند. دستیابی به استانداردهای مطلوب آسایش حرارتی و کیفیت هوای داخلی در این فضاها از اهمیت ویژه‌ای برخوردار است، چراکه این عوامل مستقیماً بر آرامش، تمرکز و سلامت مراجعان تأثیر می‌گذارند. طراحی مناسب سیستم‌های تهویه و تنظیم شرایط محیطی در مساجد نه‌تنها موجب بهبود تجربه عبادت می‌شود، بلکه در مصرف بهینهٔ انرژی نیز نقش تعیین‌کننده‌ای دارد. این چالش‌های طراحی نیازمند رویکردی تلفیقی هستند که هم ویژگی‌های معماری خاص مساجد و هم الگوهای متغیر استفاده از این فضاها را در نظر بگیرد. تأمین تعادل بین آسایش حرارتی، کیفیت هوا و مصرف انرژی در این اماکن نیازمند مطالعات ویژه و ارائهٔ راهکارهای بومی است (Reda et al. 2022, 9). مساجد مکانی با اهمیت بسیار زیاد و عملکرد منحصربه‌فرد هستند، زیرا نمازگزاران در استفاده از مسجد باید احساس راحتی و آرامش کنند و بتوانند با احساس آرامش و صلح از آنجا خارج شوند؛ درنتیجه، آن‌ها باید ازنظر آسایش حرارتی و نیازهای انرژی به‌دقت ارزیابی شوند (Al-Homoud et al. 2009, 4).

۲. ۲. نظریه‌های تطابق و سازگاری حرارتی

نظریه‌های تطابق و سازگاری حرارتی چارچوبی نظری برای تبیین چگونگی انطباق انسان با شرایط محیطی متنوع فراهم می‌آورند. نظریهٔ تطابق حرارتی بیان می‌کند که انسان‌ها به‌طور طبیعی توانایی سازگاری با شرایط حرارتی محیط

را دارند و این سازگاری ازطریق سه مکانیسم اصلی شامل سازگاری رفتاری، فیزیولوژیک و روانی صورت می‌پذیرد.

سازگاری رفتاری شامل اقدامات آگاهانه یا ناآگاهانه‌ای است که افراد برای تعدیل شرایط حرارتی انجام می‌دهند، مانند تنظیم پوشش، تغییر وضعیت بدنی، باز یا بسته کردن پنجره‌ها، یا استفاده از سیستم‌های تهویه. سازگاری روانی نیز به تغییر در ادراک و انتظارات فرد از شرایط محیطی اشاره دارد؛ به این معنا که افراد با گذشت زمان و براساس تجربیات گذشته، انتظارات خود را از شرایط حرارتی تعدیل می‌کنند. مدت‌زمان حضور افراد در محیط نقش تعیین‌کننده‌ای در ایجاد سازگاری حرارتی دارد. هرچه افراد زمان بیشتری در یک محیط سپری کنند، فرایند سازگاری روانی با شرایط حرارتی بهتر صورت می‌گیرد که درنهایت منجر به دستیابی به آسایش حرارتی می‌شود. بنابراین، هرچه میزان سازگاری روانی افراد بیشتر باشد، حساسیت آنان به تغییرات دمای پوست و دمای مؤثر کاهش می‌یابد. این سازگاری روانی تحت‌تأثیر هر دو عامل آب‌وهوای داخلی و خارجی قرار دارد که افراد در معرض آن هستند (Zhuang et al. 2022, 3).

کاربرد این نظریه‌ها در فضاهای مذهبی نیازمند توجه ویژه به ویژگی‌های منحصربه‌فرد این اماکن است. مساجد برخلاف سایر ساختمان‌ها، دارای الگوی زمانی منحصربه‌فردی در استفاده هستند. در پنج نوبت مشخص روزانه (اوقات شرعی) به‌علاوه نمازجمعه، نمازگزاران برای ادای فریضهٔ نماز در این مکان گرد هم می‌آیند. هریک از این نوبت‌ها به‌طور معمول بین ۳۰ تا ۴۵ دقیقه به طول می‌انجامد که منجر به استفادهٔ دوره‌ای و متناوب از فضای مسجد می‌گردد. ویژگی استفادهٔ متناوب از فضای مسجد، چالش‌های خاصی را درزمینهٔ مدیریت انرژی و شرایط آسایش محیطی ایجاد می‌کند که نیازمند راهکارهای مهندسی خلاقانه است (Azmi and Kandar 2019, 14).

با توجه به مدت‌زمان نسبتاً کوتاه حضور نمازگزاران در مساجد، تأمین سریع و کارآمد آسایش حرارتی در این فضاها از اهمیت ویژه‌ای برخوردار است. این ویژگی منحصربه‌فرد، سیستم‌های تهویهٔ مطبوع را با چالش‌های فنی قابل توجهی مواجه می‌سازد، چراکه این سیستم‌ها باید در بازه‌های زمانی محدود بتوانند شرایط محیطی مطلوب را به‌سرعت ایجاد و حفظ نمایند. کوتاه بودن مدت‌زمان حضور نمازگزاران، لزوم طراحی هوشمندانه‌ای را ایجاب می‌کند که بتواند در زمان ممکن به شرایط آسایش مطلوب دست یابد. این امر مستلزم به‌کارگیری سیستم‌های با ظرفیت پاسخ‌گویی بالا و راهبردهای کنترلی پیشرفته است که قابلیت تطبیق با الگوی متغیر استفاده از فضای مسجد را دارا باشند. ویژگی استفادهٔ متناوب و مدت‌زمان محدود حضور در مساجد، توجه ویژه‌ای را به طراحی سیستم‌های تهویهٔ مطبوع با زمان پاسخ کوتاه و بازدهی انرژی بالا طلب می‌کند. این چالش‌های فنی، توسعهٔ راهکارهای مهندسی خلاقانه و نوآورانه را برای دستیابی به آسایش حرارتی مطلوب در این فضاهای خاص ضروری می‌سازد (Atmaca et al. 2021, 6).

۲. ۳. چارچوب مفهومی پژوهش

چارچوب مفهومی این پژوهش براساس سه متغیر اصلی مدت‌زمان حضور، غلظت دی‌اکسید کربن و رطوبت نسبی هوا و تأثیرات مستقل و متقابل آن‌ها بر احساس آسایش حرارتی نمازگزاران در مساجد ترسیم شده است. این چارچوب از یک‌سو مبتنی‌بر استانداردهای بین‌المللی آسایش حرارتی و ازسوی دیگر، متأثر از ویژگی‌های خاص فضاهای مذهبی و نظریه‌های سازگاری حرارتی است.

کاربرد سیستم‌های تهویهٔ مطبوع در مساجد از اهمیت ویژه‌ای برخوردار است، چراکه کیفیت هوای داخل این فضاها به‌شدت تحت‌تأثیر رفتار جریان هوا، توزیع دما، میزان رطوبت و سطح دی‌اکسید کربن قرار دارد که این عوامل به‌نوبهٔ خود متأثر از تراکم بالای جمعیت در اوقات مختلف هستند. تحقیقات نشان می‌دهد تنظیم دقیق نرخ تهویهٔ هوای داخلی نقش تعیین‌کننده‌ای در حفظ و بهبود کیفیت هوای داخل مساجد دارد. بهینه‌سازی این پارامتر نه‌تنها می‌تواند شرایط محیطی مطلوبی برای نمازگزاران فراهم کند، بلکه در کاهش مصرف انرژی سیستم‌های تهویهٔ مطبوع نیز مؤثر خواهد بود. بنابراین، توجه به ویژگی‌های خاص مساجد ازجمله تغییرات شدید جمعیت در ساعات مختلف روز و الگوهای استفادهٔ متناوب از فضا، ایجاب می‌کند که سیستم‌های تهویهٔ مطبوع در این فضاها با دقت بیشتری طراحی و تنظیم شوند (Jaafar et al. 2017, 2).

معمولاً سیستم‌های تهویهٔ مطبوع (HVAC) در مساجد، طبق زمان نماز، از یک برنامهٔ عملیاتی متناوب پیروی

می‌کنند (Azmi, Kandar,and Aminudin 2021). برای هریک از پنج نماز روزانه، سیستم تهویهٔ مطبوع معمولاً تقریباً یک ساعت کار می‌کند، درحالی‌که زمان واقعی نماز برای هر نماز حدود ۱۵ تا ۲۰ دقیقه است. تحقیقات نشان می‌دهد که با وجود مصرف بالای انرژی برای این سیستم‌ها، شرایط آسایش حرارتی حداقل برای سه (Budaiwi et al. 2013, 7) تا چهار (Al-Homoud et al. 2009, 5) مورد از پنج نماز روزانه برآورده نمی‌شود. این موضوع همچنین در نظرسنجی‌های متعدد انجام‌شده در مساجد (Hussin et al. 2015, 1; Calis, Alt, and kuru 2015, 1) منعکس شده است که در آن نمازگزاران با وجود فعال بودن سیستم‌های تهویهٔ مطبوع، از شرایط داخلی ابراز نارضایتی کرده‌اند.

ازآنجاکه سیستم‌های تهویهٔ مطبوع به‌طور متناوب در طول روز برای مدت کوتاهی در زمان نماز کار می‌کنند، دمای هوای داخل اغلب در یک نمازخانهٔ بزرگ به سطح آسایش نمی‌رسد. علاوه‌بر این، در آب‌وهوای گرم، تابش خورشیدی از پوستهٔ ساختمان به داخل ساختمان تابیده می‌شود که به ناراحتی حرارتی ساکنان کمک می‌کند (Guo et al. 2020, 9). علاوه‌بر این، ایستادن نمازگزاران در نزدیکی یکدیگر در زمان نماز می‌تواند منبع گرمای تابشی باشد که به ناراحتی می‌افزاید.

همچنین کیفیت هوای داخل ساختمان از عوامل مهمی است که بر آسایش حرارتی افراد در فضای داخلی تأثیرگذار است (Cao and Deng 2019, 1). مطالعات نشان می‌دهد که بین پارامترهای آسایش حرارتی (مانند دما) و کیفیت هوای داخلی (مانند غلظت دی‌اکسید کربن) ارتباط مستقیم وجود دارد. برای مثال، افزایش دمای هوای تأمین‌شده باعث تقویت اثرات شناوری حرارتی می‌شود که این امر به افزایش غلظت دی‌اکسید کربن در فضای داخلی منجر می‌گردد (Ibid).

رطوبت نسبی نیز به‌عنوان یکی از متغیرهای کلیدی در این پژوهش، نقش مهمی در احساس آسایش حرارتی ایفا می‌کند. در شرایط رطوبتی بالا، دستیابی به آسایش حرارتی مستلزم اعمال دمای هوای پایین‌تر نسبت به شرایط استاندارد است. این تنظیمات ضروری به‌منظور خنثی‌سازی تأثیر ترکیبی عوامل محیطی بر ادراک حرارتی افراد انجام می‌پذیرد (Fiala et al. 1999, 23).

بنابراین، چارچوب مفهومی این پژوهش بر این فرض استوار است که احساس آسایش حرارتی نمازگزاران در مساجد تابعی از اثرات مستقل و متقابل سه متغیر مدت‌زمان حضور، غلظت دی‌اکسید کربن و رطوبت نسبی هواست. این چارچوب ضمن بهره‌گیری از استانداردهای بین‌المللی (ASHRAE) و نظریه‌های سازگاری حرارتی، ویژگی‌های خاص فضاهای مذهبی ازجمله الگوی حضور متناوب، تراکم متغیر جمعیت و الزامات شرعی پوشش را نیز در نظر می‌گیرد. پژوهش حاضر با طراحی آزمایشگاهی و کنترل دقیق این متغیرها، درصدد آزمون تجربی این چارچوب مفهومی و شناسایی اثرات اصلی و تعاملی این سه عامل بر آسایش حرارتی نمازگزاران در مساجد معاصر ایلام است.

۳. روش و مراحل انجام تحقیق (روش‌شناسی)

۳. ۱. جامعهٔ آماری

این پژوهش آزمایشگاهی با هدف بررسی نظام‌مند تأثیر مدت‌زمان حضور افراد، کیفیت هوا و رطوبت نسبی بر آسایش حرارتی نمازگزاران در فضای مساجد طراحی و اجرا گردید. این مطالعه به دلایل روش‌شناختی و با هدف کنترل دقیق متغیرهای مخدوش‌کننده، به‌صورت هدفمند تنها بر روی جامعهٔ مردان انجام شده است. انتخاب جنسیت مذکر به‌عنوان معیار ورود به مطالعه، عمدتاً ناشی از نیاز به حذف تأثیرات بالقوهٔ تفاوت‌های جنسیتی بر متغیرهای وابسته پژوهش بوده است، چراکه مطالعات متعدد نشان داده‌اند زنان و مردان در ادراک حرارتی، پاسخ‌های متابولیک و حساسیت به محرک‌های محیطی تفاوت‌های معناداری دارند.

تبیین تفصیلی دلایل روش‌شناختی این انتخاب: نخست، تفاوت در ادراک حرارتی: پژوهش‌های گسترده در حوزهٔ آسایش حرارتی نشان داده‌اند که زنان و مردان ارزیابی متفاوتی از شرایط محیطی یکسان ارائه می‌دهند. زنان معمولاً نسبت به نوسانات دمایی حساس‌تر بوده و محدودهٔ آسایش باریک‌تری دارند، درحالی‌که مردان دامنهٔ وسیع‌تری از دما را برای خود آسایش‌بخش ارزیابی می‌کنند. این تفاوت در ادراک می‌تواند به‌عنوان یک متغیر مخدوش‌کننده عمل کرده و

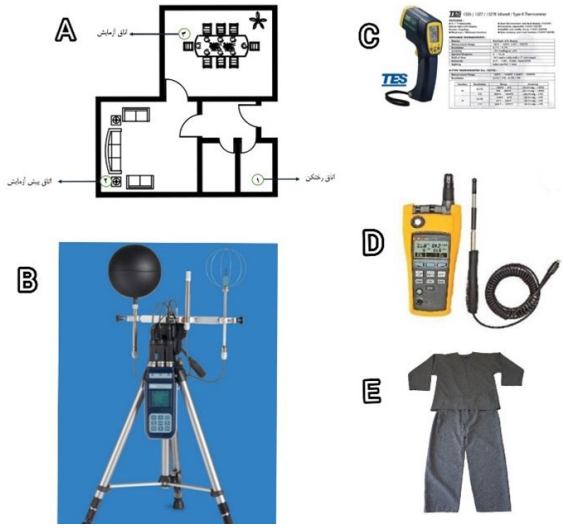
تفکیک اثرات اصلی متغیرهای مستقل (مدت‌زمان حضور، غلظت دی‌اکسید کربن و رطوبت نسبی) را با دشواری مواجه سازد؛ دوم، تفاوت در پاسخ‌های فیزیولوژیک و متابولیک: زنان و مردان ازنظر فیزیولوژیک تفاوت‌های بنیادینی در سیستم تنظیم دمای بدن دارند. عواملی نظیر نسبت سطح پوست به حجم بدن، درصد چربی زیرپوستی، میزان متابولیسم پایه و عملکرد غدد عرق‌ریز در دو جنس متفاوت است. این تفاوت‌های فیزیولوژیک باعث می‌شود که پاسخ‌های حرارتی زنان و مردان در مواجهه با شرایط محیطی یکسان، متفاوت باشد. برای مثال، مردان معمولاً نرخ تعریق بالاتری دارند و از این طریق سریع‌تر خود را با شرایط گرم تطبیق می‌دهند، درحالی‌که زنان ممکن است برای دستیابی به این سازگاری به زمان بیشتری نیاز داشته باشند؛ سوم، تفاوت در پوشش و الزامات شرعی. در پژوهش حاضر که در بستر فرهنگی و مذهبی ایران و با تمرکز بر مساجد انجام شده است، تفاوت پوشش زنان و مردان براساس الزامات شرعی، تأثیر مستقیمی بر تبادلات حرارتی آنان با محیط دارد. پوشش زنان مسلمان (مانند چادر یا روسری) در مقایسه با پوشش مردان، سطح تماس کمتری با هوای محیط ایجاد کرده و فرایندهای تبادل حرارتی ازطریق تبخیر و همرفت را تحت‌تأثیر قرار می‌دهد. این تفاوت پوشش می‌تواند به‌عنوان یک متغیر مداخله‌گر، ارزیابی تأثیر خالص متغیرهای محیطی را با پیچیدگی مواجه سازد؛ چهارم، الزامات کنترل آزمایشگاهی: طراحی این پژوهش به‌صورت آزمایشگاهی و در اتاقک اقلیمی انجام شده است. برای دستیابی به نتایج معتبر و قابل تعمیم، کنترل هرچه بیشتر متغیرهای مداخله‌گر ضروری است. همگن‌سازی نمونه ازنظر جنسیت، یکی از رایج‌ترین راهکارهای روش‌شناختی برای کاهش تغییرات بین‌فردی و افزایش دقت آماری در مطالعات تجربی است. این رویکرد به پژوهشگران امکان می‌دهد با اطمینان بیشتری اثرات متغیرهای مستقل را بر متغیر وابسته مورد سنجش قرار دهند؛ پنجم، امکان تعمیم‌پذیری محدود اما دقیق: اگرچه محدود شدن نمونه به مردان، قابلیت تعمیم نتایج به کل جمعیت (شامل زنان) را محدود می‌کند، درعوض دقت و اعتبار درونی پژوهش را به میزان قابل توجهی افزایش می‌دهد. این یک انتخاب آگاهانه در طراحی پژوهش بوده است تا ابتدا روابط علی میان متغیرها در یک جمعیت همگن به‌طور دقیق شناسایی شود. در مراحل بعدی پژوهش، می‌توان با طراحی مطالعات مشابه بر روی جامعهٔ زنان، نتایج را مقایسه کرد و به درک جامع‌تری از تفاوت‌های جنسیتی در این حوزه دست یافت. بنابراین، انتخاب هدفمند جامعهٔ مردان در این پژوهش، نه به‌دلیل نادیده انگاشتن اهمیت بررسی جامعهٔ زنان، بلکه به‌عنوان یک ضرورت روش‌شناختی برای کنترل متغیرهای مخدوش‌کننده و دستیابی به برآوردی دقیق و قابل اتکا از روابط علی میان متغیرهای مستقل و وابسته صورت گرفته است.

این تحقیق در محیطی کاملاً کنترل‌شده در دانشگاه آزاد اسلامی واحد ایلام اجرا شد که امکان کنترل دقیق متغیرهای رطوبت (در سطوح ۵۰ و ۷۰ درصد)، مدت‌زمان حضور افراد (۲۰، ۴۰، ۶۰ و ۸۰ دقیقه) و میزان دی‌اکسید کربن (در شرایط با تهویهٔ مکانیکی حدود ۶۰۰ PPM و بدون تهویهٔ مکانیکی حدود ۱۶۰۰ PPM) را فراهم می‌کرد. حجم نمونه شامل ۱۶۰ مرد بود که با استفاده از فرمول کوکران۱ با سطح اطمینان ۹۵% محاسبه و براساس معیارهای دقیق توانایی همکاری در شرایط آزمایشگاهی و سلامت روانی انتخاب شدند. ویژگی‌های جامعه آماری شامل سن با میانگین ۳۳/۶ سال در محدودهٔ ۲۸ تا ۳۸ سال، قد با میانگین ۱۸۰ سانتی‌متر در محدودهٔ ۱۷۵ تا ۱۸۶ سانتی‌متر و شاخص تودهٔ بدنی (BMI) با میانگین ۲۴,۲۸ در محدودهٔ ۲۳,۱–۲۵ بود. معیارهای خروج از مطالعه نیز شامل بروز هرگونه اختلال بینایی، مشکلات حسی ـ حرکتی، مشکلات قلبی ـ عروقی، عدم تمایل به ادامهٔ همکاری و همچنین مصرف هرگونه داروی خاص بود. این یکسان‌سازی جنسیتی اگرچه دامنهٔ تعمیم‌پذیری یافته‌ها را به جامعهٔ مردان محدود می‌کند، از سوی دیگر امکان بررسی دقیق‌تر روابط علی بین متغیرهای مستقل و وابسته را بدون نگرانی از تأثیرات مخدوش‌کنندهٔ جنسیت فراهم آورده و همگنی نمونهٔ آماری را افزایش داده است. این رویکرد که صرفاً بر مبنای ملاحظات علمی و با هدف افزایش دقت اندازه‌گیری‌ها اتخاذ شده است، می‌تواند مبنای مناسبی برای مطالعات آتی با جامعه‌های گسترده‌تر شامل هر دو جنس باشد. هدف نهایی این پژوهش، ارائهٔ داده‌های علمی دقیق و کاربردی برای بهینه‌سازی شرایط محیطی (دما، رطوبت، تهویه و زمان حضور) در فضاهای مذهبی مانند مساجد و اماکن عمومی مشابه، برای تأمین حداکثر آسایش حرارتی برای استفاده‌کنندگان است.

۳. ۲. شرایط آزمایش

با در نظرگیری استانداردهای بین‌المللی و یافته‌های پژوهشی معتبر، این مطالعه به بررسی نظام‌مند تأثیر سه متغیر کلیدی رطوبت نسبی (در سطوح ۵۰ و ۷۰ درصد)، غلظت دی‌اکسید کربن (حدود ۶۰۰ PPM در شرایط تهویهٔ مکانیکی و حدود ۱۶۰۰ PPM در شرایط بدون تهویه) و مدت‌زمان حضور (۲۰، ۴۰، ۶۰ و ۸۰ دقیقه) بر آسایش حرارتی پرداخته است. این محدوده‌ها بر مبنای استانداردهای جهانی آسایش حرارتی و مطالعات پیشین تعیین شده‌اند تا امکان ارزیابی دقیق‌تر تأثیر متقابل این پارامترها فراهم شود.

تمامی آزمایش‌ها در یک اتاقک اقلیمی پیشرفته شامل سه بخش مجزای رختکن، اتاق پیش‌آزمون و اتاق آزمایش اصلی انجام شد (تصویر ۳: A). پیش از ورود به اتاق اصلی، شرکت‌کنندگان حداقل ۱۰ دقیقه در اتاق پیش‌آزمون با دمای ثابت ۲۵ درجهٔ سانتی‌گراد می‌ماندند تا سازگاری حرارتی اولیه حاصل شود. در طول آزمایش، پارامترهای محیطی شامل دما، رطوبت نسبی، سرعت جریان هوا (کمتر از ۰/۱ متر بر ثانیه) و دمای تابشی به‌طور مداوم توسط دیتالاگر Delta Log 10 با دقت ±۰/۳ درجهٔ سانتی‌گراد ثبت و کنترل شد (تصویر ۳: B). همچنین دمای سطح پوست بدن با استفاده از تفنگ حرارتی استاندارد (TEC1326/1327) اندازه‌گیری گردید (تصویر ۳: C). هم‌زمان با استفاده از دستگاه تستر Fluke 975 Air Meter(Fluke) ایالات متحدهٔ آمریکا مقادیر دی‌اکسید کربن موجود در هوا ثبت لحظه‌ای گردید تا امکان تطابق پاسخ‌های کارکنان با اندازه‌گیری‌های محیطی مورد بررسی قرار گیرد (تصویر ۳: D). به‌منظور حذف متغیرهای مزاحم، کلیهٔ داوطلبان ۲۴ ساعت پیش از آزمایش از مصرف کافئین و سیگار پرهیز کردند، لباس یکنواخت تترون پلی‌استر با عایق حرارتی ۰/۶ clo پوشیدند (تصویر ۳: E). و فعالیت متابولیک پایه را در حد ۰/۱ MET حفظ کردند. سلامت بینایی تمامی شرکت‌کنندگان با آزمایش بینایی‌سنجی تأیید شد و افراد دارای مشکلات جسمی، روانی یا مصرف داروهای تأثیرگذار بر سیستم گردش خون و تعریق از مطالعه حذف شدند. این پروتکل دقیق کنترل شرایط آزمایشگاهی، اطمینان حاصل کرد که نتایج به‌دست‌آمده از اعتبار علمی لازم برخوردارند و امکان درک بهتری از چگونگی تأثیر این پارامترهای محیطی بر ادراک حرارتی افراد فراهم می‌آید. این سطح بالای کنترل محیطی و فیزیولوژیکی، امکان ارزیابی دقیق و بی‌واسطهٔ تأثیر ترکیب‌های مختلف رطوبت، کیفیت هوا و مدت‌زمان حضور بر شاخص‌های ارگونومیک مانند سازگاری حرارتی و رضایت محیطی را در شرایطی کاملاً شبیه‌سازی‌شده فراهم کرد. این پروتکل دقیق کنترل شرایط آزمایشگاهی، اطمینان حاصل کرد که نتایج به‌دست‌آمده از اعتبار علمی لازم برخوردارند و امکان درک بهتری از چگونگی تأثیر این پارامترهای محیطی بر ادراک حرارتی افراد فراهم می‌آید.



تصویر ۳: وضعیت محل انجام مطالعات آزمایشگاهی و تجهیزات مورد استفاده

۳. ۳. روش اجرای پژوهش

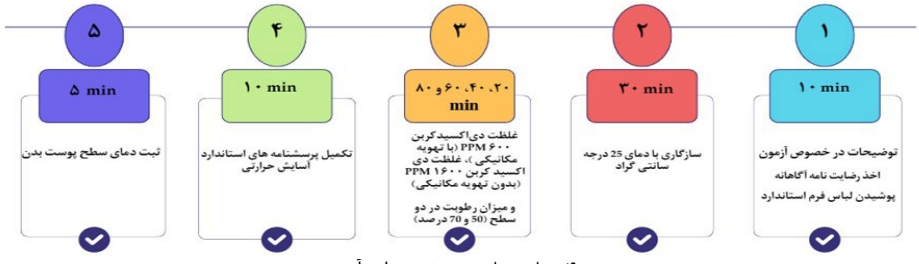
این پژوهش به روش تجربی و با مشارکت ۱۶۰ مرد داوطلب انجام شد. شرکت‌کنندگان به‌صورت تصادفی در دو گروه ۸۰ نفره تقسیم شدند تا در معرض سطوح متفاوتی از رطوبت و غلظت دی‌اکسید کربن قرار گیرند. گروه اول در شرایط با رطوبت کنترل‌شده ۵۰ درصد و غلظت دی‌اکسید کربن ۶۰۰ PPM (با سیستم تهویهٔ مکانیکی) قرار گرفتند، درحالی‌که گروه دوم در معرض رطوبت بالاتر ۷۰ درصد و غلظت دی‌اکسید کربن ۱۶۰۰ PPM (فاقد سیستم تهویهٔ مکانیکی) قرار داده شدند. سپس هریک از این دو گروه اصلی به چهار زیرگروه ۲۰ نفره تقسیم شدند که مدت‌زمان حضور متفاوتی در محیط آزمایشگاهی داشتند. این زیرگروه‌ها به‌ترتیب در بازه‌های زمانی ۲۰، ۴۰، ۶۰ و ۸۰ دقیقه در اتاقک آزمایش حاضر شدند. این طراحی پژوهشی امکان بررسی هم‌زمان تأثیر متغیرهای رطوبت، کیفیت هوا و مدت‌زمان حضور بر شاخص‌های آسایش حرارتی را فراهم کرد.

این مطالعه براساس یک فرایند پنج‌مرحله‌ای ساختاریافته صورت گرفته است (تصویر ۴). در هر جلسهٔ آزمایشی، گروه‌های ۱۰ نفره به‌صورت هم‌زمان مورد ارزیابی قرار گرفتند. مرحلهٔ اول به‌مدت ۱۰ دقیقه به توجیه شرکت‌کنندگان در مورد پروتکل آزمایش، اخذ رضایت آگاهانه و پوشیدن لباس استاندارد یکسان اختصاص داده شد. در مرحلهٔ دوم که ۳۰ دقیقه به طول انجامید، کلیهٔ شرکت‌کنندگان در محیطی با شرایط استاندارد (دمای ثابت ۲۵ درجهٔ سانتی‌گراد) مستقر شده و در حالت نشسته قرار گرفتند. این مرحله به‌منظور اطمینان از سازگاری محیطی کامل آزمودنی‌ها و قرارگیری همهٔ آنان در شرایط حرارتی مطلوب و یکسان قبل از شروع اندازه‌گیری‌های اصلی طراحی شده بود. این دوره سازگاری برای حذف اثرات محیط قبلی و ایجاد شرایط پایهٔ یکسان برای تمامی شرکت‌کنندگان ضروری بود. این انتخاب براساس ملاحظات روش‌شناختی ازجمله کنترل متغیرهای مخدوش‌کننده و استاندارد بودن فعالیت نشستن صورت گرفته است. فعالیت بدنی یکی از مهم‌ترین عوامل تأثیرگذار بر نرخ متابولیسم و درنتیجه احساس آسایش حرارتی است. با ثابت نگه داشتن نوع فعالیت (نشستن) برای همهٔ شرکت‌کنندگان، تأثیر این متغیر کنترل شده و امکان بررسی دقیق‌تر اثرات متغیرهای مستقل (مدت‌زمان حضور، غلظت CO_2 و رطوبت نسبی) فراهم گردیده است. براساس استاندارد ISO 7730 و ASHRAE 55، فعالیت نشستن (مطالعه یا استراحت) دارای نرخ متابولیسم مشخصی معادل ۰/۱ تا ۱/۲ مت (معادل ۵۸ تا ۷۰ وات بر متر مربع) است که به‌عنوان یک فعالیت با شدت ثابت و قابل پیش‌بینی در مطالعات آسایش حرارتی به کار می‌رود.

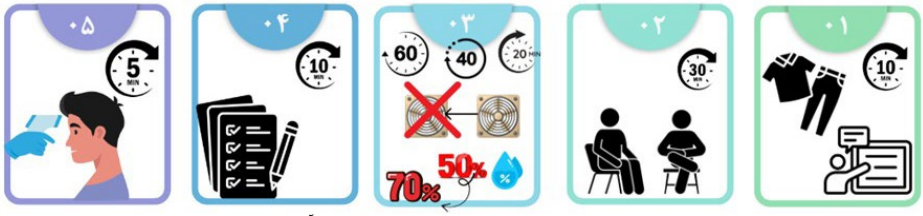
مرحلهٔ سوم آزمایش، هر گروه از شرکت‌کنندگان با توجه به بازهٔ زمانی مشخص‌شده (۲۰، ۴۰، ۶۰ و ۸۰ دقیقه) در اتاقک اقلیمی قرار گرفتند. در این مرحله، دو شرایط مختلف کیفیت هوا اعمال شد: غلظت دی‌اکسید کربن ۶۰۰ PPM (با تهویهٔ مکانیکی)، غلظت دی‌اکسید کربن ۱۶۰۰ PPM (بدون تهویهٔ مکانیکی) و میزان رطوبت در دو سطح (۵۰ و ۷۰ درصد)، در طول این مدت‌زمان، شرکت‌کنندگان فعالیت مشخصی (مطالعه) را انجام می‌دادند. انتخاب این سطوح براساس مطالعات میدانی در مساجد و استانداردهای بین‌المللی صورت گرفته است. سطح ۶۰۰ ppm نمایندهٔ شرایط با تهویهٔ مناسب و کیفیت هوای مطلوب (مطابق با میانگین گزارش‌شده در مساجد با تهویهٔ فعال) و سطح ۱۶۰۰ ppm نمایندهٔ شرایط پرتراکم و تهویهٔ ناکافی در اوقاتی مانند نمازجمعه است که در مطالعات جمیچی و دوغان (۲۰۲۴) و توهین و همکاران (۲۰۲۵) مستند شده است.

در مرحلهٔ چهارم (۱۰ دقیقه)، پرسش‌نامهٔ استاندارد آسایش حرارتی مطابق با استاندارد ASHRAE آمریکا تکمیل شد (فتاحی و بیگی ۱۴۰۴، ۵). در این مطالعه، احساس آسایش حرارتی شرکت‌کنندگان با استفاده از شاخص TSV (مقیاس رأی حس حرارتی) سنجیده شد. نقطهٔ TSV=0 به‌عنوان حالت تعادل حرارتی و نشان‌دهندهٔ حداکثر رضایت افراد از شرایط محیطی در نظر گرفته شد. مقادیر TSV در سه محدودهٔ اصلی دسته‌بندی شدند: محدودهٔ آسایش حرارتی (شامل مرزهای بالا و پایین آسایش)، دمای خنثی حرارتی (نقطهٔ صفر مطلق) و خارج از محدودهٔ آسایش (شرایط نامطلوب گرمایی یا سرمایی). براساس استانداردهای پژوهشی، دامنهٔ آسایش حرارتی معمولاً به بازهٔ TSV بین ۰/۵+ (احساس گرمای ملایم) تا ۰/۵− (احساس سرمای جزئی) اطلاق می‌شود که به‌عنوان منطقهٔ بهینهٔ رضایت حرارتی

شناخته می‌شود و بیانگر شرایطی است که افراد در آن بیشترین سطح آسایش را تجربه می‌کنند. مرحلهٔ نهایی (۵ دقیقه) به اندازه‌گیری دمای نقاط مختلف بدن با استفاده از تفنگ حرارتی TCE1326/1327 اختصاص یافت. هر شرکت‌کننده فقط در یک جلسهٔ آزمایش شرکت کرد (تصویر ۵).



تصویر ۴: زمان برنامه‌ریزی‌شده برای آزمون



تصویر ۵: تصویری از مراحل انجام پژوهش در شرایط آزمایشگاهی

٤. یافته‌ها

جدول ۱ شامل میانگین و انحراف‌معیار مربوط به متغیرها در هر گروه است که براساس آن میانگین وضعیت احساس آسایش حرارتی نمازگزاران در فضای مساجد براساس سطوح فاکتور مدت‌زمان حضور نمازگزاران برای گروه‌های ۲۰، ۴۰، ۶۰ و ۸۰ دقیقه در فضای مساجد به‌ترتیب برابر ۰/۴۲۰/۰۷۸، ۱/۲۲۰/۰۷۳، ۱/۲۵۰/۰۸۰ و ۱/۵۵۰/۰۸۱ به دست آمد. بیشترین میانگین وضعیت احساس آسایش حرارتی نمازگزاران در فضای مساجد برای گروه میزان رطوبت نسبی هوا ۷۰ درصد با میانگین و انحراف‌معیار ۲/۵۰۰/۰۵۰ در میان گروه مدت‌زمان حضور ۸۰ دقیقه نمازگزاران در فضای مساجد با میزان دی‌اکسید کربن ۱۶۰۰ PPM موجود در هوا به دست آمد. ازطرف دیگر، کمترین میانگین وضعیت احساس آسایش حرارتی نمازگزاران در فضای مساجد برای گروه میزان رطوبت نسبی هوا ۵۰ درصد با میانگین و انحراف‌معیار ۰/۳۰۰/۰۹۴- در میان گروه مدت‌زمان حضور ۲۰ دقیقه نمازگزاران در فضای مساجد با میزان دی‌اکسید کربن ۶۰۰ PPM موجود در هوا به دست آمد.

جدول ۱: میانگین و انحراف‌معیار وضعیت احساس آسایش حرارتی نمازگزاران در فضای مساجد ($\bar{X}\pm\sigma$)

میزان رطوبت نسبی موجود در هوا	میزان دی‌اکسید کربن موجود در هوا	سطوح فاکتور مدت‌زمان حضور نمازگزاران در مساجد			
		۲۰ دقیقه	۴۰ دقیقه	۶۰ دقیقه	۸۰ دقیقه
۵۰ درصد	۶۰۰ PPM	-۰/۳۰۰/۰۹۴	۰/۵۰۰/۰۵۲	۰/۵۰۰/۰۵۲	۱/۰۰۰/۰۴۷
	۱۶۰۰ PPM	۰/۴۰۰/۰۵۱	۱/۲۰۰/۰۴۲	۱/۳۰۰/۰۴۸	۲/۰۰۰/۰۴۶
۷۰ درصد	۶۰۰ PPM	۰/۳۰۰/۰۸۲	۱/۳۰۰/۰۴۵	۱/۵۰۰/۰۵۱	۱/۹۰۰/۰۳۱
	۱۶۰۰ PPM	۰/۷۰۰/۰۴۸	۱/۵۰۰/۰۵۳	۱/۵۰۰/۰۵۱	۲/۵۰۰/۰۵۰
کل		۰/۴۲۰/۰۷۸	۱/۲۲۰/۰۷۳	۱/۲۵۰/۰۸۰	۱/۵۵۰/۰۸۱

یکی از فروض انجام تحلیل واریانس، یکنواختی واریانس خطای متغیر وابسته احساس آسایش حرارتی نمازگزاران در مساجد در بین گروه‌های مورد مطالعه میزان رطوبت نسبی هوا ۵۰ و ۷۰ درصد، میزان دی‌اکسید کربن ۶۰۰ و ۱۶۰۰ PPM موجود در هوا و سطوح فاکتور مدت‌زمان حضور نمازگزاران برای گروه‌های ۲۰، ۴۰، ۶۰ و ۸۰ دقیقه در فضای مساجد است که با توجه به مقدار آمارهٔ لوین که برابر ۲/۲۹۳ به دست آمده، در سطح خطای ۱ درصد دلیلی بر رد یکنواختی واریانس گروه‌ها وجود ندارد (P=0.011>0.01). بنابراین با انجام تحلیل واریانس می‌توان به بررسی تفاوت بین گروه‌های مورد مطالعهٔ میزان رطوبت نسبی هوا، میزان دی‌اکسید کربن موجود در هوا و سطوح فاکتور مدت‌زمان حضور نمازگزاران در فضای مساجد پرداخت. جدول ۲ نتایج تحلیل واریانس سه‌طرفه را برای گروه‌های مورد مطالعه نشان می‌دهد.

جدول ۲: نتایج تحلیل واریانس وضعیت احساس آسایش حرارتی نمازگزاران در فضای مساجد

منبع تغییرات	مجموع مربعات	درجات آزادی	میانگین مجموع مربعات	مقدار آمارهٔ فیشر	سطح معنی‌داری (P)
سطوح فاکتور میزان رطوبت نسبی موجود در هوا	۱۳/۲۲۵	۱	۱۳/۲۲۵	۴۲/۸۹۲	۰/۰۰۱
سطوح فاکتور میزان دی‌اکسید کربن موجود در هوا	۱۲/۱۰۰	۱	۱۲/۱۰۰	۳۹/۲۴۳	۰/۰۰۱
سطوح فاکتور مدت‌زمان حضور نمازگزاران در فضای مساجد	۵۰/۱۲۵	۳	۱۶/۷۰۸	۵۴/۱۸۹	۰/۰۰۱
اثر متقابل فاکتور میزان رطوبت نسبی موجود در هوا در فاکتور میزان دی‌اکسید کربن موجود در هوا	۲/۵۰۰	۱	۲/۵۰۰	۸/۱۰۸	۰/۰۰۵
اثر متقابل فاکتور میزان رطوبت نسبی موجود در هوا در فاکتور مدت‌زمان حضور نمازگزاران در فضای مساجد	۰/۳۲۵	۳	۰/۱۰۸	۰/۳۵۱	۰/۷۸۸
اثر متقابل فاکتور میزان دی‌اکسید کربن موجود در هوا در فاکتور مدت‌زمان حضور نمازگزاران در فضای مساجد	۰/۹۵۰	۳	۰/۳۱۷	۱/۰۲۷	۰/۳۸۳
اثرات متقابل فاکتورهای میزان رطوبت نسبی موجود در هوا، فاکتور میزان دی‌اکسید کربن موجود در هوا و مدت‌زمان حضور نمازگزاران در فضای مساجد	۰/۳۵۰	۳	۰/۱۱۷	۰/۳۷۸	۰/۷۶۹
خطا	۴۴/۴۰۰	۱۴۴	۰/۳۰۸		
مجموع	۳۲۲/۰۰۰	۱۶۰			

براساس جدول ۲، با توجه به مقادیر آمارهٔ فیشر و سطح معنی‌داری به‌دست‌آمده برای سطوح فاکتورهای میزان رطوبت نسبی موجود در هوا، سطوح فاکتور میزان دی‌اکسید کربن موجود در هوا و سطوح فاکتور مدت‌زمان حضور نمازگزاران در فضای مساجد که به‌ترتیب برابر ($F(1,144)=42.899, p<0.05$)، ($F(1,144)=39.243, p<0.05$) و ($F(3,144)=54.189, p<0.05$) به دست آمده است، می‌توان نتیجه گرفت که فاکتورهای میزان رطوبت نسبی موجود در هوا، میزان دی‌اکسید کربن موجود در هوا و مدت‌زمان حضور نمازگزاران در فضای مساجد تأثیر معنی‌داری بر احساس آسایش حرارتی نمازگزاران در فضای مساجد دارند. همچنین نتایج تحلیل واریانس نشان داد که اثرات متقابل فاکتور میزان رطوبت نسبی موجود در هوا در فاکتور میزان دی‌اکسید کربن موجود در هوا در فضای مساجد با مقدار ($F(1,144)=8.108, p<0.05$) بر احساس آسایش حرارتی نمازگزاران در فضای مساجد تأثیر معنی‌داری دارند. ازطرفی نتایج، حاکی از عدم تأثیرگذاری اثرات متقابل فاکتور میزان رطوبت نسبی موجود در هوا در فاکتور مدت‌زمان حضور نمازگزاران در فضای مساجد، اثر متقابل فاکتور میزان دی‌اکسید کربن موجود در هوا در فاکتور مدت‌زمان حضور نمازگزاران در فضای مساجد و اثرات متقابل فاکتورهای میزان رطوبت نسبی موجود در هوا، فاکتور میزان دی‌اکسید کربن موجود در هوا و مدت‌زمان حضور نمازگزاران در فضای مساجد بر وضعیت احساس آسایش حرارتی نمازگزاران در فضای مساجد است (p>0.05). تصویرهای ۶ تا ۱۰ اثرات متقابل فاکتورهای میزان رطوبت نسبی موجود در هوا،

میزان دی‌اکسید کربن موجود در هوا و سطوح فاکتور مدت‌زمان حضور نمازگزاران در فضای مساجد را به‌صورت دوبه‌دو و هم‌زمان نشان می‌دهد که براساس آن اثرات معنی‌دار قابل تشخیص است. براساس نمودار شکل ۱، می‌توان دریافت که میزان رطوبت نسبی ۵۰ و ۷۰ درصد موجود در هوا در مدت‌زمان ۲۰ دقیقه حضور نمازگزاران در فضای مساجد تأثیرات متفاوتی را نسبت به سایر میزان رطوبت نسبی ۵۰ و ۷۰ درصد موجود در هوا در زمان‌های ۴۰، ۶۰ و ۸۰ دقیقه بر وضعیت احساس آسایش حرارتی نمازگزاران در فضای مساجد داشته‌اند.

آنالیز واریانس دوطرفه بین میزان دی‌اکسید کربن موجود در هوا و سطوح فاکتور مدت‌زمان حضور نمازگزاران در مساجد (با کنترل متغیر میزان رطوبت نسبی ۵۰ درصد موجود در هوا)

با کنترل متغیر میزان رطوبت نسبی موجود در هوا (۵۰ درصد) و انجام تحلیل واریانس دوطرفه تنها بر روی فاکتور میزان دی‌اکسید کربن موجود در هوا و فاکتور مدت‌زمان حضور نمازگزاران در فضای مساجد نتایج حاکی از معنی‌داری مجدد اثرات سطوح فاکتور میزان دی‌اکسید کربن موجود در هوا و مدت‌زمان حضور نمازگزاران در فضای مساجد به ترتیب با مقادیر ($F(1,72)=39.724, p<0.01$) و ($F(3,72)= 21.983, p<0.01$) است. ازطرفی، نتایج آزمون توکی نشان داد بین میانگین وضعیت احساس آسایش حرارتی نمازگزاران که به‌مدت ۲۰ دقیقه در فضای مسجد حضور داشتند از یک طرف و گروه مدت ۴۰ و ۶۰ دقیقه ازسوی دیگر با گروه مدت‌زمان ۸۰ دقیقه در فضای مسجد حضور داشتند تفاوت معنی‌داری وجود دارد ($p<0.05$). این درحالی است که بین مدت‌زمان حضور ۴۰ و ۶۰ دقیقه نمازگزاران در فضای مسجد تفاوت معنی‌داری دیده نشد ($p<0.05$). این نتیجه در جدول ۳ نشان داده شده است که در آن گروه‌ها به زیرمجموعه‌های هم‌خوان با یکدیگر تقسیم شده‌اند. در این جدول میانگین گروه مدت‌زمان ۴۰ و ۶۰ دقیقه که از میانگین‌های دو گروه مدت‌زمان ۲۰ و ۸۰ دقیقه حضور نمازگزاران متفاوت است، در زیرمجموعه‌ای جدا از دو گروه دیگر قرار گرفته است، درصورتی‌که این دو گروه خود با یکدیگر تفاوت معنی‌داری ندارند.

جدول ۳: زیرمجموعه‌های همگن

گروه‌های مورد مطالعهٔ مدت‌زمان حضور نمازگزاران در فضای مسجد	زیرمجموعه‌های همگن		
	مجموعه ۳	مجموعه ۲	مجموعه ۱
مدت‌زمان ۲۰ دقیقه			۰/۰۵۰
مدت‌زمان ۴۰ دقیقه		۰/۸۵۰	
مدت‌زمان ۶۰ دقیقه		۰/۹۰۰	
مدت‌زمان ۸۰ دقیقه	۱/۵۰۰		
سطح معنی‌داری	۱/۰۰۰	۰/۹۹۲	۱/۰۰۰

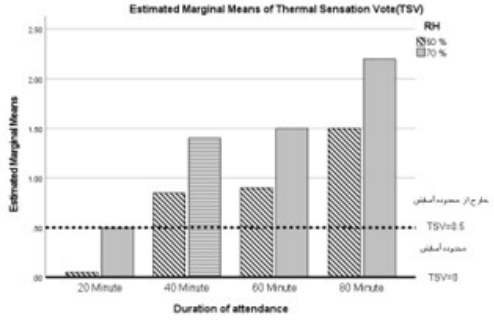
آنالیز واریانس دوطرفه بین میزان دی‌اکسید کربن موجود در هوا و سطوح فاکتور مدت‌زمان حضور نمازگزاران در مساجد (با کنترل متغیر میزان رطوبت نسبی ۷۰ درصد موجود در هوا)

با کنترل متغیر میزان رطوبت نسبی موجود در هوا (۷۰ درصد) و انجام تحلیل واریانس دوطرفه تنها بر روی فاکتور میزان دی‌اکسید کربن موجود در هوا و فاکتور مدت‌زمان حضور نمازگزاران در فضای مساجد نتایج حاکی از معنی‌داری مجدد اثرات سطوح فاکتور میزان دی‌اکسید کربن موجود در هوا و مدت‌زمان حضور نمازگزاران در فضای مساجد به‌ترتیب با مقادیر ($F(1,72)=6.113, p<0.01$) و ($F(3,72)=33.057, p<0.01$) است. ازطرفی، نتایج آزمون توکی نشان داد بین میانگین وضعیت احساس آسایش حرارتی نمازگزاران که به‌مدت ۲۰ دقیقه در فضای مسجد حضور داشتند از یک طرف و گروه مدت ۴۰ و ۶۰ دقیقه ازسوی دیگر با گروه مدت‌زمان ۸۰ دقیقه در فضای مسجد حضور داشتند تفاوت معنی‌داری وجود دارد ($p<0.05$). این درحالی است که بین مدت‌زمان حضور ۴۰ و ۶۰ دقیقه نمازگزاران در فضای مسجد تفاوت معنی‌داری دیده نشد ($p>0.05$). این نتیجه در جدول ۴ نشان داده شده است که در آن گروه‌ها

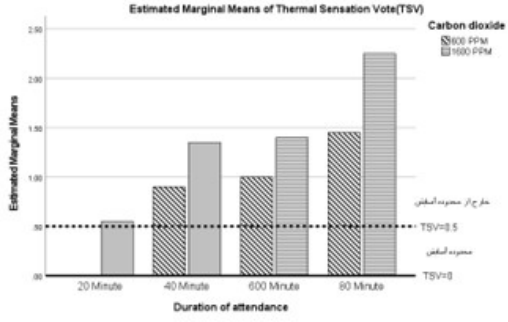
به زیرمجموعه‌های هم‌خوان با یکدیگر تقسیم شده‌اند. در این جدول، میانگین گروه مدت‌زمان ۴۰ و ۶۰ دقیقه که از میانگین‌های دو گروه مدت‌زمان ۲۰ و ۸۰ دقیقهٔ حضور نمازگزاران متفاوت است، در زیرمجموعه‌ای جدا از دو گروه دیگر قرار گرفته است، درصورتی‌که این دو گروه خود با یکدیگر تفاوت معنی‌داری ندارند. یافته‌ها نشان داد با توجه به مدت‌زمان حضور نمازگزاران در فضای مسجد و سطح معنی‌داری نتایج به‌دست‌آمده، می‌توان به‌صورت خلاصه نتیجه گرفت که کیفیت هوا و میزان رطوبت نسبی هوا و ویژگی‌های معماری مسجد تأثیر قابل توجهی بر روی احساس آسایش حرارتی نمازگزاران و درنتیجه ماندگاری نمازگزاران در فضای مساجد دارد. برای مدت‌زمان حضور بیشتر نمازگزاران در فضای مسجد لازم است علاوه‌بر توجه به وجود فضایی مناسب، آرام و متناسب با نیازهای معنوی و رفاهی نمازگزاران به کیفیت هوا و کنترل مداوم میزان رطوبت نسبی هوا در فضای مساجد توجه کرد. در واقع، در طراحی صحیح معماری مسجد علاوه‌بر توجه به وجوه محتوایی و معنوی باید به عوامل اقلیمی و محیطی توجه کرد. این امر بیانگر اهمیت رعایت احساس آسایش حرارتی نمازگزاران در خلق این محیط است که علاوه‌بر کارکرد عبادی، فضای آرامش‌بخش و دعوت‌کننده برای نمازگزاران باشد و تجربهٔ معنوی آنان را تقویت کند.

جدول ۴: زیرمجموعه‌های همگن

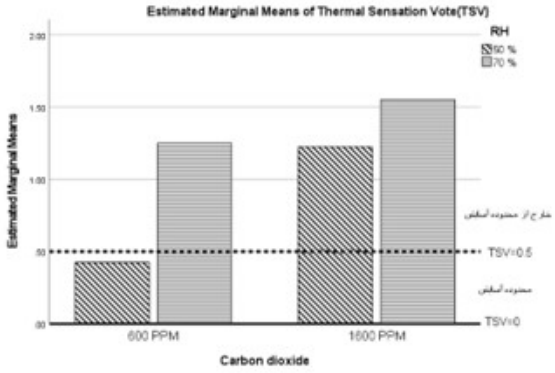
گروه‌های مورد مطالعهٔ مدت‌زمان حضور نمازگزاران در فضای مسجد	زیرمجموعه‌های همگن		
	مجموعه ۳	مجموعه ۲	مجموعه ۱
مدت‌زمان ۲۰ دقیقه			۰/۵۰
مدت‌زمان ۴۰ دقیقه		۱/۴۰۰	
مدت‌زمان ۶۰ دقیقه		۱/۵۰۰	
مدت‌زمان ۸۰ دقیقه	۲/۲۰۰		
سطح معنی‌داری	۱/۰۰۰	۰/۹۳۷	۱/۰۰۰



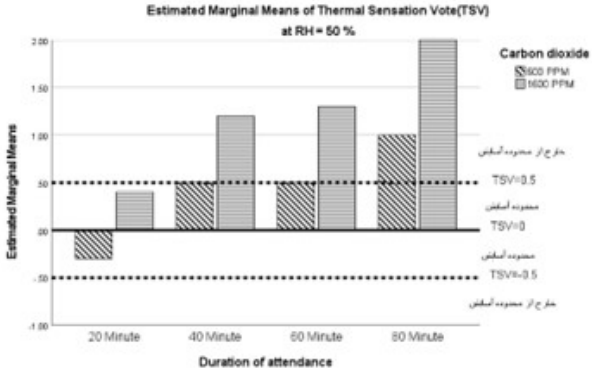
تصویر ۶: نمودار اثرات متقابل بین میزان رطوبت نسبی موجود در هوا و مدت‌زمان حضور نمازگزاران در فضای مساجد



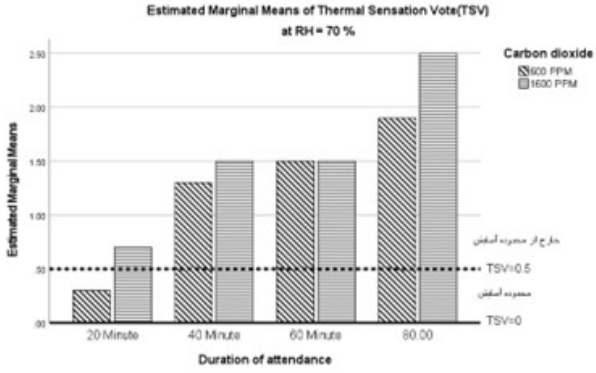
تصویر ۷: نمودار اثرات متقابل بین میزان دی‌اکسید کربن موجود در هوا و مدت‌زمان حضور نمازگزاران در فضای مساجد



تصویر ۸: نمودار اثرات متقابل بین میزان رطوبت نسبی و میزان دی‌اکسید کربن موجود در هوافضای مساجد



تصویر ۹: نمودار اثرات متقابل بین میزان دی‌اکسید کربن موجود در هوا و مدت‌زمان حضور نمازگزاران در فضای مساجد با میزان رطوبت نسبی ۵۰ درصد



تصویر ۱۰: نمودار اثرات متقابل بین میزان دی‌اکسید کربن موجود در هوا و مدت‌زمان حضور نمازگزاران در فضای مساجد با میزان رطوبت نسبی ۷۰ درصد

۵. تحلیل یافته‌ها

یافته‌های پژوهش نشان داد که سطح رطوبت ۵۰ درصد، شرایط بهینه‌ای برای آسایش حرارتی نمازگزاران فراهم می‌کند. در این سطح رطوبتی، احساس آسایش حرارتی با افزایش زمان حضور، روندی نسبتاً پایدار و مطلوب دارد و میانگین آسایش پس از ۸۰ دقیقه حضور در بالاترین حد خود قرار می‌گیرد. در مقابل، در رطوبت ۷۰ درصد، روند کاملاً معکوس است؛ با گذشت زمان، احساس نارضایتی حرارتی به‌طور پیوسته و شدید افزایش می‌یابد و پس از ۸۰ دقیقه، پایین‌ترین سطح آسایش ثبت می‌شود. این نتایج به‌وضوح نشان می‌دهد که رطوبت ۵۰ درصد به‌عنوان شرایط بهینه و حضور طولانی‌مدت در رطوبت ۷۰ درصد به‌عنوان بدترین سناریو برای آسایش حرارتی محسوب می‌شوند. این یافته‌ها با نتایج پژوهش‌های پیشین همسوست. جینگ و همکاران (۲۰۱۳) نشان دادند که در دماهای بالاتر، رطوبت نسبی تأثیر قابل توجهی بر دمای پوست و احساس حرارتی داشته و رطوبت بالاتر می‌تواند تأثیر منفی بر آسایش حرارتی فرد داشته باشد (Jing et al. 2013, 18). همچنین فاونتن و همکاران (۱۹۹۹) با مطالعه بر روی ۴۱۱ آزمودنی در گسترهٔ دمایی ۲۰ تا ۲۶ درجهٔ سانتی‌گراد و رطوبت ۶۰ تا ۹۰ درصد نشان دادند که افزایش سطح فعالیت فیزیکی به ۱/۶ مت و فراتر از آن، تأثیر نامطلوب رطوبت بر آسایش حرارتی را به‌وضوح آشکار می‌سازد. بر پایهٔ یافته‌های این تحقیق، حتی با بهینه‌سازی سایر پارامترهای محیطی، در صورت فعالیت متوسط تا شدید افراد، هیچ راهکار عملی‌ای نمی‌تواند میزان نارضایتی حرارتی ناشی از رطوبت بالا را به کمتر از ۲۵ درصد کاهش دهد (Fountain et al. 1999, 3).

۵. ۱. تأثیر غلظت دی‌اکسید کربن بر آسایش حرارتی

در غلظت‌های پایین دی‌اکسید کربن (حدود ۶۰۰ ppm)، منحنی آسایش حرارتی تقریباً ثابت باقی می‌ماند که نشان‌دهندهٔ کیفیت هوای قابل قبول حتی در اقامت‌های طولانی‌تر است. درمقابل، با افزایش غلظت دی‌اکسید کربن به ۱۶۰۰ ppm، منحنی مربوطه سقوط شدیدی را نشان می‌دهد. در این شرایط، آسایش حرارتی پس از تنها ۲۰ دقیقه کاهش محسوس یافته و این روند نزولی با گذشت زمان تا ۸۰ دقیقه ادامه یافته و به پایین‌ترین حد خود می‌رسد. این پدیده به‌وضوح نشان‌دهندهٔ تجمع تدریجی آلاینده و افت کیفیت هوا در طول زمان است. بنابراین، حضور کوتاه‌مدت در هوای آلوده تا حدی قابل تحمل است، اما برای اقامت‌های طولانی‌مدت، وجود هوایی با کیفیت عالی (غلظت CO_2 حدود ۶۰۰ ppm) ضروری است. این یافته‌ها با نتایج پژوهش‌های دیگر نیز همخوانی دارد. کرازبی و ریسانک (۲۰۲۲) نشان دادند که غلظت بالای دی‌اکسید کربن (۷۵۰ ppm به بالا) باعث کاهش قابل توجه آسایش حرارتی می‌شود. براساس تحلیل‌های آماری ایشان، در دمای ثابت ۲۳/۵ درجه سانتی‌گراد، احتمال رضایت حرارتی افراد از ۰/۶۲ در غلظت ۵۵۰ ppm به ۰/۲۸ در غلظت ۷۵۰ ppm کاهش می‌یابد که کاهشی ۵۵ درصدی را نشان می‌دهد (Crosby and Rysanek 2022, 24). گوتیه و همکاران (۲۰۱۵) نیز مکانیسم‌های فیزیولوژیکی این تأثیر را تبیین کرده و نشان دادند که افزایش غلظت دی‌اکسید کربن موجب تحریک سیستم تنفسی و افزایش نرخ متابولیک بدن شده که این امر به تشدید تبادل حرارتی با محیط و تغییر درک حرارتی افراد منجر می‌شود. همچنین تجمع این گاز در فضاهای بسته، احساس خفگی و سنگینی هوا را ایجاد کرده که به‌طور غیرمستقیم بر ادراک حرارتی تأثیر می‌گذارد (Gauthier et al. 2015, 1).

۵. ۲. تأثیر مدت‌زمان حضور بر آسایش حرارتی

یافته‌های این پژوهش نشان داد که مدت‌زمان حضور نقش تعدیل‌کنندهٔ مهمی در رابطهٔ بین عوامل محیطی و آسایش حرارتی ایفا می‌کند. این نتایج با مطالعات سونگ و همکاران (۲۰۲۰) همسوست که نشان دادند با افزایش مدت‌زمان حضور افراد در محیط داخلی، سازگاری حرارتی بدن به‌تدریج افزایش یافته و درنهایت منجر به بهبود آسایش حرارتی می‌شود. قرارگیری طولانی‌مدت در معرض شرایط حرارتی خاص، اثر تجمعی زمانی بر سازگاری حرارتی انسان دارد و این فرایند شامل هر دو بعد فیزیولوژیکی و روانی است. ازنظر فیزیولوژیکی، این سازگاری با افزایش دمای پوست و کاهش فعالیت سمپاتیک همراه است (Song et al. 2020, 21). نینگ و همکاران (۲۰۱۶) نیز در مطالعهٔ میدانی در شهر هاربین چین نشان دادند که افزایش مدت‌زمان حضور ساکنان در محیط‌های داخلی با دمای متعادل منجر به

توسعهٔ سازگاری حرارتی مؤثر شده و آسایش حرارتی بهتری را فراهم می‌کند. ایشان دریافتند ساکنانی که در معرض محیط‌های خنک‌تر قرار داشتند، سازگاری حرارتی بهتری در مقایسه با ساکنان محیط‌های بیش‌ازحد گرم نشان دادند. دمای خنثی حرارتی برای ساکنان محیط‌های گرم‌تر، پس از استانداردسازی سطح پوشش، ۱/۹ درجهٔ سانتی‌گراد بالاتر بود که نشان‌دهندهٔ تأثیر قابل توجه سازگاری فیزیولوژیکی و روانی است (Ning et al. 2016, 1).

۵. ۳. اثرات متقابل رطوبت و دی‌اکسید کربن

نتایج نشان داد بالاترین حد از عدم آسایش، زمانی رخ می‌دهد که هر دو عامل رطوبت و دی‌اکسید کربن در بالاترین سطح خود باشند (رطوبت ۱۶۰۰ ppm و ۷۰٪= CO_2). در این شرایط، احساس نارضایتی به اوج خود می‌رسد. نکتهٔ حائز اهمیت آنکه حتی اگر یکی از این عوامل در سطح مطلوب باشد (مثلاً رطوبت ۵۰٪ ولی CO_2 بالا)، بازهم آسایش به‌طور کامل تأمین نمی‌شود. این یافته نشان می‌دهد که این دو عامل می‌توانند اثر منفی یکدیگر را تشدید کنند و مدیریت محیط داخلی باید یکپارچه و سیستماتیک باشد. در شرایط با رطوبت ۵۰ درصد، با وجود اینکه افزایش غلظت دی‌اکسید کربن و طولانی شدن زمان حضور منجر به کاهش رضایت حرارتی می‌شود، نرخ این کاهش با شیبی ملایم‌تر صورت می‌پذیرد. درمقابل، در محیط با رطوبت ۷۰ درصد، منحنی مربوط به غلظت بالای دی‌اکسید کربن با شیبی بسیار شدیدتر کاهش می‌یابد که حاکی از تقویت اثرات منفی آلودگی هوا در شرایط مرطوب است.

۵. ٤. جمع‌بندی و همسویی با پژوهش‌های پیشین

نتایج پژوهش حاضر با یافته‌های مطالعات متعدد در حوزهٔ آسایش حرارتی همسوست. پژوهش‌های بررسی‌شده بر نقش معنادار هریک از متغیرهای مدت‌زمان حضور، غلظت دی‌اکسید کربن و رطوبت نسبی بر آسایش حرارتی تأکید دارند. بااین‌حال، نوآوری پژوهش حاضر در بررسی هم‌زمان و تحلیل اثرات متقابل این سه متغیر در شرایط کنترل‌شدهٔ آزمایشگاهی و در بستر خاص فضاهای مذهبی (مساجد) است. این رویکرد جامع‌نگر، امکان شناسایی تعاملات پیچیده بین متغیرها را فراهم آورده و اهمیت مدیریت یکپارچهٔ شرایط محیطی در مساجد را آشکار می‌سازد.

نتیجه

نتایج این پژوهش به‌وضوح نشان می‌دهد که تأمین آسایش حرارتی در فضاهای عبادی مانند مساجد، نیازمند رویکردی نظام‌مند و یکپارچه به عوامل محیطی است. یافته‌ها حاکی از آن است که حفظ رطوبت در سطح بهینه ۵۰ درصد و کنترل غلظت دی‌اکسید کربن در حد ۶۰۰ ppm، به‌عنوان دو عامل کلیدی، شرط لازم برای ایجاد محیطی مطلوب به‌ویژه در اقامت‌های طولانی‌مدت است. درمقابل، افزایش هم‌زمان رطوبت به ۷۰ درصد و غلظت دی‌اکسید کربن به ۱۶۰۰ ppm، بدترین سناریوی ممکن برای آسایش حرارتی ایجاد می‌کند.

از منظر طراحی معماری، این پژوهش بر لزوم اولویت‌بندی راهکارها تأکید می‌کند. کنترل رطوبت در فضای مساجد، به‌ویژه در اقلیم‌های مرطوب، یک ضرورت انکارناپذیر است. استفاده از مصالحی با ظرفیت جذب رطوبت بالا مانند گچ و آجرهای متخلخل می‌تواند به‌عنوان یک تنظیم‌کنندهٔ طبیعی و غیرفعال رطوبت عمل کند. این مصالح رطوبت اضافی هوا را در ساعات شلوغی جذب و در زمان خلوت آزاد می‌کنند. طراحی باید به‌گونه‌ای باشد که جریان هوا به‌راحتی برقرار شود؛ استفاده از حیاط مرکزی، بادگیر و پنجره‌های روبه‌رو (تهویهٔ متقاطع) می‌تواند به خروج هوای مرطوب و سنگین و جایگزینی آن با هوای تازه کمک کند. درزمینهٔ تهویه و کیفیت هوا، حجم و سیستم تهویه باید براساس حداکثر ظرفیت جمعیت و میانگین زمان اقامت محاسبه شود. طراحی باید تلفیقی از تهویهٔ طبیعی و مکانیکی باشد. تعبیهٔ پنجره‌های قابل بازشو در سطوح پایین و بالا برای ایجاد جریان چرخشی هوا، همراه با نصب هواکش‌های اگزاست قوی در سقف، به‌ویژه در بالای مناطق اصلی تجمع نمازگزاران، یک راهکار ضروری است. طراحی سقف‌های بلند و گنبدی، که از المان‌های اصیل معماری مساجد است، هوای گرم و آلوده را به‌سمت بالا هدایت کرده و آن را از محدودهٔ تنفسی افراد دور می‌کند.

مدیریت یکپارچهٔ محیطی نیز از اهمیت ویژه‌ای برخوردار است. در مساجد بزرگ و نوین، استفاده از سیستم‌های یکپارچهٔ HVAC که قابلیت کنترل هم‌زمان دما، رطوبت و تصفیهٔ هوا را داشته باشند، یک ضرورت برای تضمین

آسایش در طول مراسم طولانی است. نصب سنسورهای نمایشگر کیفیت هوا (CO_2) و رطوبت‌سنج) در معرض دید متولیان مسجد می‌تواند به آنان کمک کند پیش از رسیدن شرایط به حد بحرانی، با باز کردن پنجره‌ها یا فعال کردن سیستم تهویه، واکنش پیشگیرانه نشان دهند. درنهایت، راهبردهای سلسله‌مراتبی طراحی باید مورد توجه قرار گیرد. نخستین و بنیادی‌ترین گام، اطمینان از خروج هوای فرسوده و آلوده و جایگزینی مستمر آن با هوای تازه است. تهویهٔ مناسب، زیربنای اساسی و مؤثرترین اقدام در تأمین آسایش حرارتی و کیفیت هوای داخلی است. در مرحلهٔ بعد، راهکارها باید مبتنی‌بر شرایط آب‌وهوایی باشد؛ در مناطق خشک، تمرکز اصلی می‌تواند بر تهویهٔ طبیعی و خنک‌سازی تبخیری معطوف شود، درحالی‌که در مناطق گرم و مرطوب، معمار باید از ابتدا به فکر یک سیستم مکانیکی کامل برای کنترل رطوبت و دما همراه با تهویهٔ قوی باشد. درنهایت، به‌کارگیری راهکارهای غیرفعال مانند سایه‌اندازی مناسب روی پنجره‌ها و دیوارها می‌تواند از گرمایش بیش از حد فضای داخلی جلوگیری کرده و بار تحمیلی بر سیستم‌های مکانیکی را کاهش دهد. درنهایت، این پژوهش نشان می‌دهد که توجه به احساس آسایش حرارتی نمازگزاران نه‌تنها یک ضرورت فنی، بلکه یک اصل معنوی در طراحی فضاهای عبادی است. فضایی که علاوه‌بر کارکرد عبادی، آرامش‌بخش و دعوت‌کننده باشد، می‌تواند تجربهٔ معنوی نمازگزاران را تقویت کند و ماندگاری آنان را در فضای مسجد افزایش دهد. چنین رویکردی نه‌تنها به ارتقای کیفیت فضای کالبدی می‌انجامد، بلکه به غنای تجربهٔ عبادی جامعه نیز کمک می‌کند.

پی‌نوشت

۱. فرمول کوکران (Cochran’s Formula) یکی از پرکاربردترین روش‌های آماری برای تعیین حجم نمونه در پژوهش‌های علوم اجتماعی، رفتاری و مهندسی است که ویلیام جی. کوکران در سال ۱۹۶۳ ارائه کرد. این فرمول به پژوهشگران امکان می‌دهد تا با دانستن ویژگی‌های جامعهٔ آماری، حداقل حجم نمونهٔ مورد نیاز برای دستیابی به نتایج معتبر را محاسبه کنند.

منابع

ـ فتاحی، کارن، و مریم بیگی. ۱۴۰۳. ارزیابی وضعیت عملکرد شناختی کارکنان و تعیین دامنهٔ آسایش حرارتی جنسیت‌های مختلف در بیمارستان‌های شهر ایلام. فصلنامهٔ علمی‌تخصصی *طب کار* ۱۶ (۳): ۲۷ـ۴۱. http://tkj.ssu.ac.ir/article-1-1324-fa.html

ـ فتاحی، کارن، و مریم بیگی. ۱۴۰۴. بررسی نقش مدت‌زمان فعالیت، احساس آسایش و سازگاری حرارتی بر عملکرد شناختی و خستگی عمومی کارکنان فضاهای درمانی (مطالعهٔ موردی: کارکنان بیمارستان‌های شهر ایلام). نشریهٔ علمی‌پژوهشی *دانشگاه علوم پزشکی البرز* ۱۴ (۳): ۲۳۳ـ۲۴۵. http://aums.abzums.ac.ir/article-1-1885-fa.html

- Ajibade ,S., A .Abubakar , and H. Ahmad. 2025. Assessment of thermal comfort in a medium size mosque in h ot climates. *Journal of Thermal Biology*, no. 118: 103678. https://doi.org/10.1016/j.jtherbio.2024.103678

-Al-Homoud, M., A. Adel A, Ismail M. B. 2009. Assessment of monitored energy use and thermal comfort conditions in mosques in hot-humid climates. *Energy and Buildings* 41 (6): 607-614 https://doi.org/10.1016/j.enbuild.2008.12.005

-Amaripadath, D., R. Ramin, V. Mirjana, and A .Shady G. 2023.A systematic review on role of humidity as an indoor thermal comfort parameter in humid climates. *Journal of Building Engineering*, no. 68: 106039. https://doi.org/10.1016/j.jobe.2023.106039.

-Ashrae Standard. 2017. ASHRAE Standard 55: Thermal environmental conditions for human occupancy. *American Society of Heating*, *Refrigerating and Air-Conditioning Engineers*: *Atlanta*, *GA*, *USA*.

-Atmaca, A., G .Zorer Gedik, and A. Wagner. 2021. Determination of optimum envelope of religious buildings in terms of thermal comfort and energy consumption: Mosque cases. *Energies* 14 (20): 6597. https://doi.org/10.3390/en14206597

-Atmaca, A., and G. Zorer Gedik. 2020. Determination of thermal comfort of religious buildings by measurement and survey methods: Examples of mosques in a temperate-humid climate. *Journal of Building Engineering*, no. 30: 101246. https://doi.org/10.1016/j.jobe.2020.101246

-Atmaca, B., and G. Zorer Gedik. 2023. Development of energy efficient design proposals for air conditioned mosques. *Sustainable Cities and Society*, no. 98: 104567. https://doi.org/10.1016/j.scs.2023.104567

-Azmi, N., and M. Z. Kandar. 2019. Factors contributing in the design of environmentally sustainable mosques. *Journal of Building Engineering*, no. 23: 27-37. https://doi.org/10.1016/j.jobe.2019.01.024

-Azm, N., M. Arıcı, and A. Baharun. 2021. A review on the factors influencing energy efficiency of mosque buildings. *Journal of cleaner production*, no. 292: 126010. https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2021.126010

-Azmi, N., and S. H. Ibrahim. 2020. A comprehensive review on thermal performance and envelope thermal design of mosque buildings. *Building and Environment*, no. 185: 107305. https://doi.org/10.1016/j.buildenv.2020.107305

-Azmi, N., M., Z Kandar, and E. Aminudin. 2021. Energy consumption and thermal comfort in mosques: A review. *Sustainability* 13 (9): 4987. https://doi.org/10.3390/su13094987

-Budaiwi, I., A. A. Abdou, M. S. Al-Homoud. 2013. Envelope retrofit and air-Calis, Gulben, Alt, Berna, Kuru, Merve. 2015. Thermal comfort and occupant satisfaction of a mosque in a hot and humid climate. *In Computing in Civil Engineering*, (pp. 139-147). https://doi.org/10.1061/9780784479247.018

-Cao, S., and H. Y Deng. 2019. Investigation of temperature regulation effects on indoor thermal comfort, air quality, and energy savings toward green residential buildings. *Science and Technology for the Built Environment* 25 (3): 309-321. https://doi.org/10.1080/23744731.2018.1526016

-Cao,T., Z. Lian, S. Ma, and J. Bao. 2021. Thermal comfort and sleep quality under temperature, relative humidity and illuminance in sleep environment. *Journal of Building Engineering*, no. 43: 102575. https://doi.org/10.1016/j.jobe.2021.102575

-conditioning operational strategies for reduced energy consumption in mosques in hot climates. *Building Simulation*, p. 33-50. https://doi.org/10.1007/s12273-012-0092-5

-Crosby ,S., and A. Rysanek. 2022. Predicting thermal satisfaction as a function of indoor CO2 levels: Bayesian modelling of new field data. *Building and Environment*, no. 209: 108569. https://doi.org/10.1016/j.buildenv.2021.108569

-Endur, Z., L .Tanaçan, G., and K. Oral. 2024. Comparison of different thermal comfort models: mosque and church cases. *Building Research & Information*, 52 (4): 456-472. https://doi.org/10.1080/09613218.2024.2314567

-Escandón, R., R. Suárez, J. J. Sendra, N. Ascione, N. Bianco, and G. M. Mauro. 2019. Predicting the impact of climate change on thermal comfort in a building category: The Case of Linear-type Social

Housing Stock in Southern Spain. *Energies* 12 (12): 2238. https://doi.org/10.3390/en12122238

-Fiala, D., K. J. Lomas, and M. Stohrer. 1999. A computer model of human thermoregulation for a wide range of environmental conditions: the passive system. *Journal of applied physiology* 87 (5): 1957-1972. https://doi.org/10.1152/jappl.1999.87.5.1957

-Fountain, M., E. Arens, T. Xu, and Liu, G., Huebner, and D. Shipworth. 2015. Investigating the effect of CO2 concentration on reported thermal comfort. *InfoScience*, pp. 315-320.

-Gemici, E., and M. Dogan. 2024. Adaptive strategies and thermal perceptions in intermittently used congregational Spaces: A case study. Journal of Building Engineering, no. 89: 109234. https://doi.org/10.1016/j.jobe.2024.109234

-Guo, H., D. Aviv, M. Loyola, E. Teitelbaum, N. Houchois, and F. Meggers. 2020. On the understanding of the mean radiant temperature within both the indoor and outdoor environment, a critical review. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, no. 117: 109207. https://doi.org/10.1016/j.rser.2019.06.014

-Holm, D., and F. Engelbrecht. 2005. Practical choice of thermal comfort scale and range in naturally ventilated buildings in South Africa. *Journal of the South African Institution of Civil Engineering= Joernaal van die Suid-Afrikaanse Instituut van Siviele Ingenieurswese* 47 (2): 9-14. https://hdl.handle.net/10520/EJC26974

-Höppe, P., 2002. Different aspects of assessing indoor and outdoor thermal comfort. *Energy and Buildings* 34 (6): 661-665. https://doi.org/10.1016/S0378-7788(02)00017-8

-Hussin, A., E. Salleh, H. Y. Chan, and M. Sohif. 2015. The reliability of Predicted Mean Vote model predictions in an air-conditioned mosque during daily prayer times in Malaysia. *Architectural Science Review* 58 (1): 67-76. https://doi.org/10.1080/00038628.2014.976538

-Jaafar, R., E. E. Khalil, and T. M. Abou-Deif. 2017. Numerical investigations of indoor air quality inside Al-Haram mosque in Makkah. *Procedia Engineering*, no. 205: 4179-4186. https://doi.org/10.1016/j.proeng.2017.10.175

-Jia, L., J. Han, X. Chen, Q. Y. Li, C. C. Lee, and Y. H. Fung. 2021. Interaction between thermal comfort, indoor air quality and ventilation energy consumption of educational buildings: A comprehensive review. *Buildings* 11 (12): 591 https://doi.org/10.3390/buildings1112059.

-Jing, S., B. Li, M. Tan, and H. Liu. 2013. Impact of relative humidity on thermal comfort in a warm environment. *Indoor and Built environment* 22 (4): 598-607. https://doi.org/10.1177/1420326X12447614

-Mishra, A., and M. Ramgopal. 2013. Field studies on human thermal comfort—an overview. *Building and Environment*, no. 6 :94-106. https://doi.org/10.1016/j.buildenv.2013.02.015

-Nasution, I., S. A. Zaki, H. B. Rijal, and W. Khalid. 2025. Thermal comfort challenges in Tropical mosques: indoor and semi-outdoor space evaluation. *Building and Environment*, no. 267: 112345. https://doi.org/10.1016/j.buildenv.2024.112345

-Ning, H., Z. Wang, and Y. Ji. 2016. Thermal history and adaptation: Does a long-term indoor thermal exposure impact human thermal adaptability? *Applied Energy*, no. 183: 22-30. https://doi.org/10.1016/j.apenergy.2016.08.157

-Reda, I., R. N. AbdelMessih, M. Steit, and E. M. Mina. 2022. Experimental assessment of thermal comfort and indoor air quality in worship places: The influence of occupancy level and period. *International Journal of Thermal Sciences*, 179: 107686. https://doi.org/10.1016/j.ijthermalsci.2022.107686

-Song, C., L. Huang, Y. Liu, Y. Dong, X. Zhou, and J. Liu. 2020. Effects of indoor thermal exposure on human dynamic thermal adaptation process. *Building and Environment*, no. 179: 106990. https://doi.org/10.1016/j.buildenv.2020.106990

-Tuhin, A., S. A. Zaki, N. W. Tuck, H. B. Rijal, W. Khalid, and N. Othman. 2025. Thermal comfort and ventilation performance in an air-conditioned mosque in tropical climates of Malaysia. Advances in *Building Energy Research* 19 (2): 199-240. https://doi.org/10.1080/17512549.2025.2456789

-Yükse, A., Z. D. Arsan, and G. G. Akkurt. 2022. Energy consumption, thermal comfort, and indoor air quality in mosques: Impact of Covid-19 measures. *Energy and Buildings*, no. 275: 112456. https://doi.org/10.1016/j.enbuild.2022.112456

-Zhou, J., X. Zhang, J. Xie, and J. Liu. 2023. Effects of elevated air speed on thermal comfort in hot-humid climate and the extended summer comfort zone. *Energy and Buildings*, no. 287: 112953. https://doi.org/10.1016/j.enbuild.2023.112953

-Zhuang, L., J. Huang, F. Li, and K. Zhong. 2022. Psychological adaptation to thermal environments and its effects on thermal sensation. *Physiology & Behavior*, no. 247: 113724. https://doi.org/10.1016/j.physbeh.2022.113724

The Role of Duration of Presence, Carbon Dioxide Concentration, and Relative Humidity on the Thermal Comfort of Worshippers in Contemporary Mosques of Ilam

Karen Fatahi
Department of Architecture, II.c., Islamic Azad University, Ilam, Iran

The feeling of thermal comfort in religious spaces is one of the key factors affecting the quality of worship and spiritual concentration of worshippers. The presence of temperature and humidity outside the desired range not only leads to thermal dissatisfaction but also leads to a decrease in comfort, creates restlessness, and disrupts the quality of worship. The present study aims to investigate the experimental effect of the levels of humidity variables (50 and 70 percent), the duration of people's presence (20, 40, 60, and 80 minutes), and the amount of carbon dioxide (600 PPM with mechanical ventilation and 1600 PPM without mechanical ventilation) on the feeling of thermal comfort of worshippers in mosques in a laboratory climate chamber. This study was conducted using a three-way analysis of variance (ANOVA) between groups over four months (December to March 2024) with the participation of 160 men in Ilam city. It was analyzed using SPSS version 27 software. The results of the statistical analysis of this study indicate a significant effect of environmental factors on the feeling of thermal comfort of worshippers in mosques. The findings indicate that relative humidity of the air, as one of the environmental quality components, plays a significant role in determining the thermal comfort of the architectural space ($p<0.05$). Also, carbon dioxide concentration and the duration of the presence of worshipers, as independent factors, affect the thermal comfort index of worshipers ($p<0.05$). It is noteworthy that there is a significant interaction between relative humidity and the amount of carbon dioxide ($p<0.05$), which indicates that the combination of these two factors can change the structure of the thermal comfort balance in the architectural environment. However, other interactions, including the relationship between the duration of presence with relative humidity and carbon dioxide, were not statistically significant and no noticeable effect was observed on the thermal comfort status. The results showed that maintaining humidity at the optimal level of 50% and controlling the concentration of carbon dioxide at 600 ppm, as two key factors, are a necessary condition for creating a desirable environment, especially in the long-term presence of worshipers in mosques. This finding emphasizes the need for coordinated design of ventilation and humidification systems in mosques, such that simultaneous provision of desirable air quality and humidity, especially during longer occupancy hours (such as congregational prayers or religious ceremonies), should be prioritized. Therefore, combining passive solutions (such as appropriate materials and natural ventilation) with active systems controlling humidity and air quality can lead to the design of sustainable religious spaces and enhance the spiritual experience of worshippers.

Keywords: Duration of Attendance, Carbon Dioxide Concentration, Relative Air Humidity, Thermal Comfort, Worshippers, Contemporary Mosques of Ilam.

JIAS

Journal of Iranian Architecture Studies

University of Kashan
School of Architecture and Art

28

Vol. 28, Autumn and Winter 2026
E-ISSN: 2676-5020

- **Stucco Mihrabs of the Qajar Period in the Kashan Region (1780–1859)**
  Shima Negahban, MohamadReza Ghiasian, Mohammad Mashhadi NooshAbadi
- **Architectural Typology of Historical Inhabited Castles of Iran**
  Mahtab Ghouryani, Neda Sahragard Monfared, Seyed Abbas Yazdanfar
- **The Emergence of Tall Tower Windcatchers in the Skyline of Qom City Based on Historical Illustrated Documents**
  Mohammad Rezai Nedoushan
- **Inhabited Living Heritage: A Conceptual Framework for Understanding and Preserving the Continuity of Dwelling in Historic Houses**
  Sana Yazdani, Zahra Ahari
- **Examining the Impact of Eventification in the Sa'dabad Cultural Complex**
  Faezeh Tafreshi, Manoochehr Moazzami, Nicholas Wise
- **The Role of Duration of Presence, Carbon Dioxide Concentration, and Relative Humidity on the Thermal Comfort of Worshippers in Contemporary Mosques of Ilam**
  Karen Fatahi
- **Vulnerability of the Persepolis Site to Climate Change and the Role of Local Community Participation in Its Reduction**
  Hamid Fadaei , Masoud Nakhaei Ashtari
- **Jundishapour University of Ahvaz Campus: An Experiment in the Reproduction of Iranian Architecture (Late 1960s–1979)**
  Seyed Alireza Seyedi, Morteza Hemmai
- **Evaluation of Structural Education Curriculum in Iranian Architecture Schools from the Perspective of Implementing Structural Knowledge in Architectural Design Based on Bloom's Revised Taxonomy**
  Fouzieh zeinali, Nariman Farahza, Mohammadreza Hafezi
- **Primary Generator in the Design of an Islamic-Behavioral House Based on Islamic Hadith Sources**
  Mostafa SayrafianPour, Masoud Nari Qomi
- **An Analysis of the Revival of Tehran Qanats: A Critical Reading from the Perspective of Urban Political Ecology**
  Baharch Farahani, Kianoosh Zakerhaghighi, Mehrnoush Hassanzadeh
- **Differences between the Traditional and Modern Urban Fabric of Zavareh Based on the "City Is Not a Tree" Theory: A Comparison of Organic Urban Structure and Tree-Like Structure**
  Ali Abdi, Gholamhossein Memarian, Mona Azarnoush