

بررسی تأثیر دمای هوا، دمای همبسته رنگ نور و شدت نور محیطی بر احساس آسایش حرارتی دانشجویان در فضای کتابخانه

کارن فتاحی*

تاریخ دریافت: ۱۴۰۴/۲/۲۸ تاریخ پذیرش: ۱۴۰۴/۶/۲۵

علمی پژوهشی

چکیده

احساس آسایش حرارتی در فضاهای آموزشی، یکی از عوامل کلیدی مؤثر بر کیفیت یادگیری و بهره‌وری دانشجویان است. وضعیت نامناسب وضعیت دما و نور می‌تواند باعث نارضایتی حرارتی، کاهش تمرکز، خستگی زودرس و افت یادگیری شود. از این رو، ایجاد محیطی با آسایش حرارتی مطلوب نه تنها بر رفاه دانشجویان تأثیر می‌گذارد، بلکه یک الزام اساسی در معماری فضاهای آموزشی به شمار می‌رود. هدف پژوهش حاضر، بررسی تأثیر تجربی سطوح متغیرهای دمای محیط (۲۵، ۳۰ و درجه سانتی‌گراد)، شدت نور (۲۰۰، ۴۰۰ و ۶۰۰ لوکس) و دمای همبسته رنگ نور محیطی (۲۷۰۰، ۴۰۰۰ و ۷۸۰۰ کلوین) بر احساس آسایش حرارتی دانشجویان حین انجام مطالعه در اتاقک اقلیمی آزمایشگاهی است. این پژوهش با استفاده از آنالیز واریانس سه‌طرفه (ANOVA) بین گروهی طی بازه زمانی چهارماهه (آذر تا اسفند ۱۴۰۳) با مشارکت ۹۰ دانشجوی مرد در شهر ایلام انجام شد و با استفاده از نرم‌افزار SPSS نسخه ۲۷ تحلیل گردید. یافته‌ها نشان داد در دماهای همبسته رنگ نور ۲۷۰۰ کلوین (دمای محیط ۲۵ درجه و شدت نور ۲۰۰، ۴۰۰ و ۶۰۰ لوکس)، ۴۰۰۰ کلوین (شدت نور ۶۰۰ لوکس) و ۷۸۰۰ کلوین (دمای محیط ۲۰ درجه) تأثیر معناداری بر احساس آسایش حرارتی دانشجویان حین انجام مطالعه دارند ($p < 0.05$). دمای محیطی سالن مطالعه و دمای همبسته رنگ نور محیطی به‌طور مستقل و همچنین اثر ترکیبی دمای محیطی با شدت نور محیطی و دمای رنگ نور، نقش مهم و معنی‌داری در تغییر احساس آسایش حرارتی دانشجویان دارند. شدت نور محیطی به‌تنهایی تأثیر قابل توجهی ندارد اما در تعامل با دمای محیطی می‌تواند مؤثر باشد. نتایج نشان داد که دمای محیط و دمای همبسته رنگ نور محیطی هر دو تأثیر معنی‌داری بر احساس آسایش حرارتی دانشجویان در فضای کتابخانه دارند ($p < 0.05$) و این تأثیرات با تغییر شدت نور محیطی (۲۰۰، ۴۰۰ و ۶۰۰ لوکس) متفاوت است. در شدت نور ۲۰۰ لوکس، گروه ۴۰۰۰ کلوین با دو گروه دیگر متفاوت است، اما در ۴۰۰ لوکس، اثر ترکیبی دو فاکتور مشاهده شد و بیشترین آسایش حرارتی دانشجویان مربوط به دمای همبسته رنگ نور ۲۷۰۰ کلوین است. در شدت نور ۶۰۰ لوکس، تنها گروه با دمای رنگ نور بالا (۷۸۰۰ کلوین) آسایش حرارتی بیشتری نسبت به دیگر گروه‌ها داشت. بنابراین، تأثیر دمای رنگ نور بر آسایش حرارتی، با تغییر شدت نور محیط و دمای محیط متغیر است و در هر شرایط، سطوح مختلف دمای رنگ نور اثر متفاوتی دارند.

کلیدواژه‌ها:

دما، دمای همبسته رنگ نور، شدت نور، آسایش حرارتی، سالن مطالعه.

مطالعات معماری ایران

دو فصلنامه معماری ایرانی
شماره ۲۷ - بهار و تابستان ۱۴۰۴

صفحات ۱۵۷-۱۷۹ ۱۵۷

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

پرسش‌های پژوهش

۱. چگونه دمای هوا، دمای همبسته رنگ نور و شدت نور محیطی بر احساس آسایش حرارتی دانشجویان حین انجام مطالعه در سالن کتابخانه اثرگذار است؟
۲. چگونه اثرات ترکیبی پارامترهای دمای محیط، دمای همبسته رنگ نور و شدت نور محیطی به صورت همزمان بر احساس آسایش حرارتی دانشجویان حین انجام مطالعه در سالن کتابخانه اثرگذار است؟

مقدمه

آسایش حرارتی نقش مؤثری بر عملکرد تحصیلی و پیشرفت دانشجویان دارد که تحت تأثیر عوامل مختلفی از جمله عوامل محیطی قرار می‌گیرد. بررسی این عوامل ذاتاً پیچیده است و اهمیت ویژه‌ای می‌یابد و نیازمند تحلیل دقیق هستند (Romero et al. 2024, 13). از آنجاکه رسالت معماران در طراحی ساختمان‌های آموزشی، فراهم آوردن محیطی ایدئال برای یادگیری است، لازم است سالن‌های مطالعه به عنوان یکی از فضاهای کلیدی در محیط‌های آموزشی، با دقت طراحی شوند تا هم زمینه تمرکز بهتر فراهم گردد و هم فرایند آموزش را پویا و جذاب سازند (Mishra and Ramgopal 2014, 4). شرایط محیطی داخلی از جمله دما، رطوبت، سرعت جریان هوا، کیفیت هوای داخلی، میزان نور کافی و سیستم تهویه مناسب، نقش تعیین کننده‌ای در کیفیت این محیط‌ها و ارتقای سطح تمرکز افراد دارند. این پارامترها به طور مستقیم بر کارایی شناختی و عملکرد آموزشی تأثیر می‌گذارند (Arroyo et al. 2023, 12). با توجه به اینکه دانشجویان زمان قابل توجهی را در سالن‌های مطالعه می‌گذرانند، که نشان می‌دهد می‌تواند در معرض کیفیت نامطلوب محیط داخلی قرار گیرند (Bluyssen 2017, 11)، درک و بهینه سازی عوامل محیطی برای ایجاد فضاهای آموزشی مطلوب ضروری است (Rodríguez et al. 2021, 6).

برینک^۱ و همکاران در پژوهش خود نشان دادند که دستیابی به شرایط بهینه آسایش حرارتی، تأثیر مستقیمی بر بهبود عملکرد شناختی و وضعیت روانی افراد دارد. یافته‌های ایشان حاکی از آن است که تنظیم مناسب پارامترهای محیطی می‌تواند به طور معناداری بر کارایی ذهنی و سلامت عاطفی تأثیر بگذارد (Brink et al. 2024, 23). مطالعه کیم^۲ و همکاران نشان داد شرایط حرارتی بر عملکرد شناختی مؤثر است: گرمای محیط موجب کاهش هوشیاری و حافظه می‌شود، درحالی که سرمای محیط بر ظرفیت‌های اجرایی و بار ذهنی تأثیرگذار است (Kim et al. 2020, 10). آسایش حرارتی به وضعیت مطلوب محیطی گفته می‌شود که در آن فرد نه احساس گرما می‌کند و نه احساس سرما، بلکه در حالت تعادل حرارتی مطلوب قرار دارد. مطالعات متعددی نشان داده است که در این شرایط، فرد کاملاً از وضعیت دمایی محیط راضی بوده و هیچ گونه تنش یا ناراحتی ناشی از عوامل حرارتی را تجربه نمی‌کند (Fatahi and begi 2025, 3; Fatahi and Beigi 2024, 6; Fatahi, Nasrollahi et al. 2021, 1; Fatahi, Nasrollahi et al. 2021, 3; Fatahi and Beigi 2024, 6; Fatahi, Nasrollahi et al. 2021, 1; Fatahi, Nasrollahi et al. 2021, 3). بنابراین در ساختمان‌های آموزشی، تضمین آسایش حرارتی برای تضمین سلامت و یادگیری بالای دانشجویان بسیار مهم است (Torriani et al. 2023). عوامل مؤثر بر آسایش افراد در فضاهای ساختمانی به دو دسته اصلی تقسیم می‌شوند: عوامل انسانی و عوامل محیطی. در میان عوامل محیطی، نورپردازی نقش تعیین کننده‌ای دارد که مهم ترین پارامترهای آن شامل شدت روشنایی (Illuminance) و دمای رنگ همبسته نور (CCT³) هستند. این عوامل به همراه سایر مؤلفه‌های محیطی مانند شرایط حرارتی، کیفیت هوای داخلی و ویژگی‌های آکوستیکی، در کنار عوامل فردی مانند ویژگی‌های فیزیولوژیکی و رفتاری ساکنان، تعادل و آسایش محیطی را شکل می‌دهند. در این میان، نورپردازی مناسب نه تنها بر عملکرد بینایی، بلکه بر ریتم بیولوژیکی، خلق و خو و بهره‌وری ساکنان نیز تأثیر مستقیم دارد (Leger 1994, 17; Zhu et al. 2019, 12).

دمای رنگ نور تأثیر قابل توجهی بر آسایش حرارتی افراد دارد؛ زیرا ادراک انسان از گرما و سرما تنها به دمای واقعی هوا وابسته نیست، بلکه تحت تأثیر عوامل روان شناختی نیز قرار می‌گیرد. نورهای گرم (زرد و نارنجی) تداعی کننده حرارت

و تابش خورشید هستند و محیط را گرم‌تر از آنچه هست نشان می‌دهند، درحالی‌که نورهای سرد (سفید و آبی) حس خنکی و فضای باز را القا می‌کنند. این ویژگی باعث می‌شود افراد در فضاهای با نور گرم، حتی با دمای ثابت، احساس گرمای بیشتری کنند و برعکس این شرایط هم برقرار است؛ در نتیجه، انتخاب دمای رنگ مناسب در نورپردازی می‌تواند به کاهش مصرف انرژی (با تنظیم دهنی دمای محیط) و بهبود آسایش حرارتی کمک کند. این ارتباط بین نور و دما، ابزاری کاربردی در طراحی ساختمان‌های هوشمند و پایدار است (Luo et al. 2023b, 23). همچنین، شدت نور یکی از پارامترهای کلیدی در طراحی محیط‌های داخلی است که تأثیر مستقیمی بر آسایش حرارتی افراد دارد. این عامل نه تنها بر درک دمایی محیط مؤثر است، بلکه با ایجاد تعادل در شرایط نوری، از بروز مشکلاتی مانند خستگی بینایی و اختلالات خواب جلوگیری می‌کند. تنظیم بهینه شدت روشنایی، با ایجاد محیطی پویا و کارآمد، موجب ارتقای کیفیت عملکرد افراد می‌شود. این امر از یک سو به کاهش خطاهای عملیاتی منجر شده و از سوی دیگر زمینه را برای افزایش چشمگیر بهره‌وری فراهم می‌سازد. در واقع، نور مناسب به عنوان عاملی کلیدی، پیوندی ناگسستنی بین آسایش فیزیکی و کارایی شناختی ایجاد می‌کند (Azmoon et al. 2013, 10).

در سال‌های اخیر، با تغییر سبک زندگی و افزایش ساعات مطالعه در فضاهای سرپوشیده، توجه به عوامل محیطی مؤثر بر آسایش حرارتی افراد به‌ویژه دانشجویان به عنوان یکی از گروه‌های اصلی استفاده‌کننده از فضاهای آموزشی و مطالعاتی، اهمیت دوچندان یافته است. از جمله این عوامل، پارامترهای نوری از قبیل دمای همبسته رنگ نور و شدت نور محیطی هستند که نه تنها بر کیفیت بینایی و عملکرد شناختی تأثیر می‌گذارند، بلکه می‌توانند بر احساس آسایش حرارتی نیز اثرگذار باشند. درحالی‌که اکثر پژوهش‌های پیشین به‌طور مستقل به بررسی تأثیر عوامل حرارتی یا نوری بر آسایش انسان پرداخته‌اند، کمتر مطالعه‌ای به بررسی تعامل پیچیده میان این دو دسته از عوامل در شرایط واقعی مطالعه دانشجویان اختصاص یافته است. از این رو، نوآوری در این پژوهش بدان سبب حائز اهمیت است که برای نخستین بار به‌صورت نظام‌مند و با رویکردی چندرشته‌ای، تأثیر هم‌زمان دمای رنگ نور و شدت نور محیطی بر احساس آسایش حرارتی دانشجویان هنگام مطالعه بررسی می‌شود. هدف اصلی این پژوهش، شناسایی رابطه میان متغیرهای نوری و حرارتی و ارائه الگوی بهینه‌ای از طراحی روشنایی در فضاهای مطالعه است که ضمن تأمین شرایط بینایی مناسب، حس حرارتی مطلوبی نیز برای دانشجویان فراهم آورد. نتایج این مطالعه می‌تواند ضمن ارتقای کیفیت سالن‌های مطالعه و محیط‌های آموزشی، منجر به بهینه‌سازی مصرف انرژی و ارتقای بهره‌وری تحصیلی دانشجویان شود.

تصویر ۱ فرایند کلی پژوهش را به تصویر کشیده است.



تصویر ۱: فرایند کلی پژوهش

مطالعات معماری ایران

دو فصلنامه معماری ایرانی
شماره ۲۷ - بهار و تابستان ۱۴۰۴

۱۵۹

۱. پیشینه پژوهش

این پژوهش به بررسی تأثیر دو عامل مهم نورپردازی، یعنی دمای همبسته رنگ نور و شدت نور محیطی بر احساس آسایش حرارتی دانشجویان هنگام مطالعه می‌پردازد. نور محیطی نه تنها بر عملکرد بصری، بلکه بر ادراک حرارتی افراد نیز تأثیر می‌گذارد. با کنترل این متغیرها، می‌توان شرایط بهینه برای بهبود تمرکز و رفاه دانشجویان در فضاهای آموزشی را شناسایی کرد. در پژوهش‌های متعددی به بررسی تأثیر عوامل نورپردازی بر آسایش حرارتی در فضاهای داخلی پرداخته شده است. از این دسته پژوهش‌ها می‌توان به موارد ذیل اشاره کرد:

مطالعات نشان می‌دهند که دمای رنگ همبسته و شدت نور نه تنها بر آسایش بصری، بلکه بر ادراک حرارتی افراد نیز تأثیرگذار است. فو^۴ و همکاران به بررسی تأثیر دمای رنگ همبسته بر آسایش حرارتی پرداختند. این پژوهش که با مشارکت ۴۶ دانشجوی سالم (۲۳ مرد و ۲۳ زن) در بازه سنی ۲۲ تا ۲۶ سال (با میانگین سنی ۲۴/۲ سال) انجام شد، به بررسی تأثیر دمای رنگ همبسته و سطح روشنایی در نورپردازی LED بر آسایش بصری پرداخت. نتایج نشان داد که شرایط نوری با دمای رنگ همبسته حدود ۳۳۰۰ کلوین و شدت روشنایی ۳۰۰ لوکس، بیشترین سطح آسایش را در حین انجام وظایف نیازمند تمرکز پایدار ایجاد می‌کند. بهینه‌سازی هم‌زمان دمای رنگ نور و شدت روشنایی می‌تواند به بهبود آسایش حرارتی بصری در فضاهای آموزشی بینجامد. این یافته‌ها به‌ویژه برای طراحی محیط‌های مطالعه (مانند کتابخانه‌ها یا کلاس‌های درس) که نیازمند تعادل بین تمرکز و رفاه کاربران هستند، کاربرد دارد (Fu et al. 2023, 25). نتایج پژوهش کیان و همکاران که براساس ارزیابی ۲۰۰ شرکت‌کننده، به بررسی تأثیر دمای رنگ همبسته بر آسایش حرارتی پرداختند، نشان می‌دهد که 4500K CCT می‌تواند به‌عنوان نقطه بهینه برای دستیابی به حداکثر آسایش حرارتی - بصری در نظر گرفته شود. این یافته با مشاهدات مربوط به مدت‌زمان خیره شدن چشم و تغییرات قطر مردمک نیز همخوانی دارد. این پژوهش بر اهمیت در نظر گرفتن تأثیر هم‌زمان دمای رنگ همبسته بر ادراک حرارتی و تجربه بصری در طراحی نورپردازی تأکید دارد (Qian et al. 2025, 17).

لو و همکاران در مطالعه‌ای به بررسی تأثیر مواجهه طولانی‌مدت (بیش از ۲ ساعت) با دو دمای رنگ متفاوت (K ۲۷۰۰ و K ۵۷۰۰) در شرایط محیطی خنک (۱۷ درجه سانتی‌گراد)، یافته‌های نوینی را درباره ارتباط دمای رنگ همبسته و آسایش حرارتی ارائه می‌دهد. برخلاف فرضیه سنتی «رنگ - دما» که پیش‌بینی می‌کند نورهای با دمای رنگ همبسته بالا (آبی‌گونه) احساس سرمای بیشتری ایجاد می‌کنند، نتایج این پژوهش نشان می‌دهد که در مواجهه طولانی‌مدت، دمای رنگ همبسته بالاتر (K ۵۷۰۰) نه تنها احساس سرمای کمتری به همراه دارد، بلکه منجر به بهبود قابل توجه شاخص‌های متعددی از جمله افزایش آسایش حرارتی (به‌طور میانگین ۱۵٪ بهبود)، کاهش ۲۰ درصدی احساس لرزش، افزایش ۸ درصدی مصرف انرژی پس از یک ساعت مواجهه، و ارتقای عملکرد شناختی می‌شود. مکانیسم این تأثیرات احتمالاً از طریق فعال‌سازی مسیرهای غیربصری سیستم بینایی، شامل افزایش سطح هوشیاری (۳۰٪ افزایش در مقیاس استاندارد) و برانگیختگی عصبی، و نیز تغییرات متابولیک بدن قابل توجیه است. جالب توجه اینکه درحالی‌که راحتی بصری در هر دو شرایط نوری مشابه بود (تفاوت کمتر از ۵٪)، آسایش حرارتی به‌طور معناداری با کاهش احساس لرزش و بهبود راحتی بصری مرتبط بود، اما ارتباطی با ادراک ذهنی رنگ نور نداشت. این یافته‌ها همراه با تغییرات فردی قابل توجه (انحراف معیار ۲۵٪ در پاسخ‌های حرارتی)، نشان‌دهنده پیچیدگی مکانیسم‌های تأثیر دمای رنگ همبسته بر ادراک حرارتی است (Luo et al. 2023a, 12). توفتوم^۵ و همکاران به بررسی تأثیر دمای رنگ همبسته بر آسایش حرارتی پرداخته‌اند. این پژوهش به بررسی عمیق تأثیر دمای رنگ همبسته نور LED سفید بر ادراک حرارتی و سایر جنبه‌های کیفیت محیط داخلی پرداخته است. یافته‌ها نشان می‌دهد که دمای رنگ همبسته، تأثیرات پیچیده‌ای بر ادراک ساکنان دارد که به شرایط محیطی و ویژگی‌های فردی وابسته است. در شرایط دمایی خنثی (۲۲ °C)، افزایش دمای رنگ همبسته از K ۲۷۰۰ به K ۶۲۰۰ منجر به کاهش محسوس احساس حرارتی معادل ۱/۷ °C می‌شود؛ اثری که به‌ویژه در زنان بارزتر مشاهده شده است. این تغییر هم‌زمان با افزایش ادراک روشنایی، بهبود کیفیت هوا و افزایش هوشیاری ذهنی همراه بوده است. از منظر کاربردهای عملی، این پژوهش نشان می‌دهد که تنظیم راهبردی دمای رنگ

همبسته می‌تواند به عنوان ابزاری مؤثر در مدیریت انرژی ساختمان‌ها عمل کند. به‌طور مشخص، کاهش دمای رنگ همبسته از K ۴۵۰۰ به K ۲۷۰۰ می‌تواند تا ۸٪ در مصرف سالانه انرژی ساختمان صرفه‌جویی ایجاد کند. این یافته‌ها برای طراحان و مدیران تأسیسات ساختمانی از اهمیت ویژه‌ای برخوردار است، زیرا نشان می‌دهد چگونه می‌توان با مداخلات غیرحرارتی به بهبود آسایش و بهره‌وری انرژی دست یافت (Toftum et al. 2018, 18).

چینازو^۷ و همکاران به بررسی شدت نور بر آسایش حرارتی افراد پرداخته‌اند؛ یافته‌های پژوهش به‌وضوح نشان می‌دهد که شدت نور به‌عنوان یک عامل غیرحرارتی تأثیر معناداری بر ادراک حرارتی افراد دارد، به‌گونه‌ای که این اثر در شرایط دمایی مختلف، الگوهای متفاوتی از خود نشان می‌دهد. در شرایط سرد (19°C)، نور با شدت کم (~ 130 لوکس) منجر به کاهش محسوس رضایت حرارتی می‌شود، درحالی‌که همین سطح نور در شرایط گرم (27°C) اثر معکوس دارد و احساس آسایش حرارتی را بهبود می‌بخشد. این اثر متقابل نور و دما که از آن به‌عنوان اثر متقابل حسی یاد می‌شود، نه‌تنها در ارزیابی‌های ذهنی مشهود است، بلکه در رفتارهای تنظیم حرارتی افراد نیز تأثیرگذار است (Chinazzo et al. 2019, 2). بلیا^۸ و همکاران به بررسی تأثیر شدت نور و دمای رنگ همبسته بر آسایش حرارتی پرداخته‌اند. این مطالعه جامع با بررسی ۱۶۳ شرکت‌کننده در محیطی کنترل‌شده، به کشف رابطه پیچیده بین پارامترهای نوری و ادراک حرارتی پرداخته است. یافته‌ها نشان می‌دهد که دمای رنگ همبسته نور در کنار شدت نور ثابت ۳۰۰ لوکس، تأثیر معناداری بر احساس حرارتی افراد دارد. نور گرم با دمای رنگ ۳۰۰۰ کلوین به‌طور سیستماتیک، احساس گرم‌تری نسبت به نور سرد ۶۰۰۰ کلوین در هر دو شرایط دمایی ۲۰ و ۲۵ درجه سانتی‌گراد ایجاد می‌کند. این پدیده که از فرضیه رنگ - دما (hue-heat hypothesis) حمایت می‌کند، احتمالاً ناشی از تداعی‌های ذهنی و ارتباطات روان‌شناختی بین رنگ نور و احساس دماست. نکته جالب توجه این است که با وجود تأثیر واضح دمای رنگ همبسته نور بر احساس حرارتی، در محدوده آسایش حرارتی ($20-25^{\circ}\text{C}$) این تأثیر به ترجیحات حرارتی کاربران یا ادراک رطوبت تبدیل نشده است. این یافته نشان می‌دهد که اثرات روان‌شناختی نور اگرچه بر احساس لحظه‌ای دما مؤثرند، زمانی که شرایط محیطی در محدوده آسایش قرار دارد، تأثیر تعیین‌کننده‌ای بر رضایت کلی حرارتی ندارند. همچنین، برخلاف برخی مطالعات دیگر، این تحقیق نشان داد که دمای رنگ همبسته نور تأثیر محسوسی بر عملکرد شناختی (در این مورد عملکرد در بازی) ندارد (Bellia et al. 2021, 19).

۲. مبانی نظری

۲.۱. دما و دمای همبسته رنگ نور و آسایش حرارتی دانشجویان

فضاهای داخلی نقش تعیین‌کننده‌ای در تأمین رفاه، حفظ سلامت و ارتقای کارایی افراد دارند، زیرا بیش از ۸۰٪ از اوقات زندگی مردم در این فضاها سپری می‌شود. طراحی مناسب محیط‌های داخلی نه‌تنها بر آسایش فیزیکی، بلکه بر سلامت روانی و بازدهی کاری ساکنان تأثیر مستقیم می‌گذارد (Klepeis et al. 2001, 8; Sundell 2004, 13). سیستم‌های کنترل شرایط محیطی ساختمان‌ها یکی از اصلی‌ترین مصرف‌کنندگان انرژی به شمار می‌روند. آمارها نشان می‌دهد که تنها بخش تنظیم دمای داخلی ساختمان‌ها مسئول حدود نیمی از کل انرژی مصرفی در بخش ساختمان است. این رقم به‌تنهایی گویای اهمیت بهینه‌سازی سیستم‌های تهویه مطبوع در مدیریت انرژی است (Agency 2011, 17). ساکنان ساختمان‌ها به‌طور مداوم در معرض ترکیب پیچیده‌ای از محرک‌های محیطی از جمله دما، نور، صدا و کیفیت هوا قرار می‌گیرند که به‌صورت پویا با یکدیگر تعامل دارند. درک این روابط متقابل برای طراحی فضاهای داخلی بهینه که هم‌زمان سه هدف کلیدی تأمین آسایش ساکنان، کاهش مصرف انرژی و ارتقای سلامت محیطی را دنبال می‌کنند، ضروری است. در این میان، تعامل نور و دما به‌عنوان یکی از مهم‌ترین این روابط، توجه ویژه‌ای را در تحقیقات اخیر به خود جلب کرده است. مطالعات نشان می‌دهد که این دو عامل می‌توانند اثرات هم‌افزایی داشته باشند؛ به‌طوری‌که تنظیم هماهنگ آن‌ها نه‌تنها درک حرارتی ساکنان را بهبود می‌بخشد، بلکه امکان دستیابی به آسایش مطلوب با مصرف انرژی کمتر را نیز فراهم می‌آورد (Chinazzo et al. 2018, 3; Kompier et al. 2022, 1). تحقیقات نشان می‌دهد کاهش

محدوده کنترل دمای داخلی و پذیرش تغییرات فصلی ملایم (مانند دمای پایین‌تر در زمستان) می‌تواند تا ۲۰٪ در مصرف انرژی صرفه‌جویی ایجاد کند. این رویکرد نه تنها هزینه‌های انرژی را کاهش می‌دهد، بلکه با تحریک متابولیسم بدن و تقویت سیستم ایمنی، برای سلامت انسان نیز مفید است. این راهبرد هوشمندانه که «ترموستات انطباقی» نامیده می‌شود، مزایای اقتصادی و سلامتی را هم‌زمان تأمین می‌کند (Kramer et al. 2017, 3; van Marken Lichten-1, 1; belt et al. 2017).

برخی پژوهش‌های میدانی نشان می‌دهند که با اعمال تغییرات کنترل‌شده در دمای داخلی ساختمان‌ها متناسب با ساعات روز و تغییرات فصلی، می‌توان به صرفه‌جویی قابل توجه ۵۰ تا ۷۰ درصدی در مصرف انرژی دست یافت. این رویکرد انعطاف‌پذیر که مبتنی بر تنظیم پویای دمای محیط براساس شرایط واقعی است، نه تنها هزینه‌های عملیاتی را به میزان قابل توجهی کاهش می‌دهد، بلکه با تقلید از نوسانات طبیعی دما در محیط بیرون، سازگاری بهتری با ریتم فیزیولوژیک بدن انسان ایجاد می‌کند. این یافته‌ها اهمیت به‌کارگیری سیستم‌های کنترل هوشمند دما را در ساختمان‌های مدرن بیش از پیش آشکار می‌سازد (Kramer et al. 2016, 12). درحالی‌که تغییرات دمایی کنترل‌شده می‌تواند به صرفه‌جویی قابل توجه انرژی منجر شود، این نوسانات ممکن است با انتظارات ساکنان از آسایش حرارتی و عملکرد بهینه در تضاد قرار گیرد. در این زمینه، مطالعات اخیر نشان می‌دهند که نورپردازی هوشمند می‌تواند به‌عنوان یک راهکار مکمل مؤثر عمل کند (Huebner et al. 2016, 9)، زیرا ثابت شده است که هم دمای رنگ همبسته و هم روشنایی بر ادراک حرارتی تأثیر می‌گذارد (te Kulve et al. 2016, 1). برای مثال، چندین مطالعه نشان داده‌اند که دمای رنگ همبسته نور پایین با احساس حرارتی گرم‌تر مرتبط است (Bellia et al. 2021, 2; Brambilla et al. 2020, 1). مطالعات جدید نشان می‌دهد که درک حرارتی و بصری افراد در فضاهای داخلی به‌صورت پویا با یکدیگر تعامل دارند. پژوهش‌های کولوی^۸ و همکاران با بررسی سیستماتیک تأثیر هم‌زمان دمای رنگ نور (۲۷۰۰ K و ۵۷۰۰ K) و سطوح روشنایی (۵ و ۱۲۰۰ لوکس) در سه شرایط دمایی مختلف (۲۶، ۲۹ و ۳۲ درجه سانتی‌گراد) به نتایج جالبی دست یافت. یافته‌های این تحقیق نشان داد که در شرایط محیطی نامطلوب (چه سرد و چه گرم)، بهبود آسایش بصری می‌تواند به‌صورت معناداری منجر به ارتقای آسایش حرارتی درک شده شود، درحالی‌که این ارتباط در شرایط حرارتی خنثی (۲۹ درجه سانتی‌گراد) کاهش می‌یابد. این نتایج حاکی از آن است که سیستم‌های ادراکی انسان در مواجهه با ناراحتی حرارتی، نسبت به محرک‌های بصری حساس‌تر می‌شوند. این کشف مهم راه را برای توسعه سیستم‌های یکپارچه کنترل محیطی هوشمند که به‌صورت هم‌زمان پارامترهای نوری و حرارتی را تنظیم می‌کنند، هموار ساخته است. چنین سیستم‌هایی می‌توانند با بهینه‌سازی هم‌زمان شرایط بصری و حرارتی، هم مصرف انرژی را کاهش دهند و هم رضایت ساکنان از محیط را افزایش دهند (Te Kulve et al. 2018, 19).

۲.۲. شدت نور محیطی و آسایش حرارتی دانشجویان

نظام آموزشی و دانشگاهی هر جامعه‌ای سنگ بنای توسعه اجتماعی، اقتصادی، سیاسی و فرهنگی است. بررسی عوامل مؤثر بر پیشرفت جوامع نشان می‌دهد که کشورهایی می‌توانند نظام‌های آموزشی قدرتمند و کارآمدی داشته باشند که این قدرت منوط به فراهم کردن شرایط مناسب برای دانشجویان خود، ازجمله فراهم کردن شرایط فیزیکی و محیطی بوده باشد (اصفهانی و همکاران ۱۴۰۰، ۹). یک فضای آموزشی باید به‌گونه‌ای طراحی شود که از توسعه بی‌وقفه فعالیت‌های آموزشی و یادگیری پشتیبانی کند و راحتی را بدون ایجاد ناراحتی یا آسیب فیزیکی تضمین کند. همچنین باید شرایط آسایش طبیعی را حفظ کند (Barrett et al. 2015, 20). کلاس‌های درس و آزمایشگاه‌های دانشگاه مکان‌هایی هستند که افراد معمولاً بخش زیادی از وقت خود را برای اهداف آموزشی و پژوهشی در آنجا می‌گذرانند (Mohammadi et al. 2022, 6). طراحی کلاس‌های درس باید فرایند یادگیری را در اولویت قرار دهد و درعین حال آب‌وهوا را نیز در نظر بگیرد و شرایط آسایش را فراهم کند. این موضوع همیشه یک نگرانی مهم بوده است (Balali et al. 2023, 22; Fantozzi et al. 2019, 11). افزایش دمای زمین ناشی از گرمایش جهانی، چالش‌های

جدیدی برای فضاهای آموزشی ایجاد کرده است. تحقیقات نشان می‌دهد که دمای بالای محیط در مناطق شهری می‌تواند تمرکز و عملکرد شناختی را تا ۱۵٪ کاهش دهد، به‌ویژه در مناطقی که با نوسانات شدید آب‌وهوایی مواجه هستند. این یافته‌ها ضرورت بازنگری در طراحی محیط‌های آموزشی و بهینه‌سازی سیستم‌های کنترل دما را بیش از پیش آشکار می‌سازد (Arroyo et al. 2023, 3). بنابراین، ایجاد آسایش حرارتی مهم است زیرا به‌طور قابل توجهی بر رفاه، بهره‌وری و ایمنی انسان تأثیر می‌گذارد. حفظ محدوده دمای مطلوب به افراد کمک می‌کند تا به‌وضوح فکر کنند، وظایف خود را به‌طور مؤثر انجام دهند و خطر خطا یا حوادث را کاهش دهند. علاوه بر این، آسایش حرارتی به رفاه عمومی کمک می‌کند و حتی می‌تواند با بهبود نتایج سلامتی مرتبط باشد (Zheng et al. 2025, 23). شدت نور به‌عنوان عاملی کلیدی در طراحی محیط‌های داخلی، از طریق مکانیسم‌های حسی و فیزیولوژیک بر ادراک حرارتی تأثیر می‌گذارد. مطالعات نشان می‌دهد نور با شدت بالا در محیط‌های سرد احساس گرمایی مطلوب‌تری ایجاد می‌کند، درحالی‌که کاهش کنترل‌شده روشنایی در فضاهای گرم به القای حس خنکی کمک می‌نماید. این ارتباط پویا بین نور و دما، ضرورت طراحی هوشمندانه سیستم‌های نورپردازی برای دستیابی به آسایش حرارتی بهینه را برجسته می‌سازد (Azmoon et al. 2013, 27).

انسان‌ها اطلاعات و یافته‌های اصلی خود را از محیط از طریق حس بینایی به دست می‌آورند (Hajibabaei, Kord, and Rasooli 2014, 9). یکی از نیازهای اساسی انسان که بر رفتارهای جسمی، فیزیولوژیکی و روانی او تأثیر می‌گذارد، روشنایی است. برای حفظ سلامت و رفاه، باید سطح روشنایی استاندارد فراهم شود (Bellia et al. 2011, 16). د کورت و اسمولدرز^۹ مشاهده کردند که میزان روشنایی بر فرایندهای روانی و بیولوژیکی تأثیر می‌گذارد، به‌طوری‌که افرادی که در معرض نور کافی قرار دارند، آگاهی و انرژی بیشتری نسبت به افرادی که در معرض نور ضعیف هستند، نشان می‌دهند (De Kort and Smolders 2010, 3). یادگیری با ۸۳٪ بینایی رخ می‌دهد، درحالی‌که اختلال بینایی باعث کاهش راندمان آموزشی می‌شود. بنابراین، محیط‌های یادگیری و آموزشی باید به‌گونه‌ای باشند که انرژی دانش‌آموز صرفاً صرف فرایند یادگیری شود (Jahangiri et al. 2023, 23). مطالعات نشان داده‌اند که در کلاس درس، شرایط نوری نامناسب، چه از نظر کمی و چه از نظر کیفی، رابطه مستقیمی با عملکرد، یادگیری و سلامت دارد (فولادی و همکاران ۱۳۹۶، ۲۹).

۳. روش و مراحل انجام تحقیق (روش‌شناسی)

۳.۱. جامعه آماری

این پژوهش آزمایشگاهی که با تأییدیه کمیته اخلاق^{۱۰} انجام شده، به بررسی نظام‌مند تأثیر دمای هوا، شدت نور و دمای همبسته رنگ نور بر آسایش حرارتی دانشجویان در حین فعالیت مطالعاتی پرداخته است. مطالعه حاضر در محیطی کاملاً کنترل‌شده در دانشگاه آزاد در شهر ایلام اجرا شد، که امکان کنترل دقیق متغیرهای محیطی شامل سه سطح شدت نور (۲۰۰، ۴۰۰ و ۶۰۰ لوکس)، سه محدوده دمای رنگ نور (۲۷۰۰، ۴۰۰۰ و ۷۸۰۰ کلوین) و سه بازه دمای محیط (۲۰، ۲۵ و ۳۰ درجه سانتی‌گراد) را فراهم می‌کرد. حجم نمونه شامل ۹۰ دانشجوی مرد بود که با استفاده از فرمول کوکران با سطح اطمینان ۹۵٪ محاسبه و براساس معیارهای دقیق شامل سلامت بینایی، عدم حساسیت به نور، توانایی همکاری در شرایط آزمایشگاهی و سلامت روانی انتخاب شدند. پروتکل پژوهش به دقت طراحی شد تا ضمن حفظ استانداردهای کمیته اخلاق، امکان ارزیابی علمی تأثیرات متقابل نور و دما بر آسایش حرارتی فراهم گردد. معیارهای خروج از مطالعه نیز شامل بروز هرگونه اختلال بینایی، مشکلات حسی حرکتی یا عدم تمایل به ادامه همکاری بود. این رویکرد روش‌شناختی امکان استخراج نتایج معتبر در زمینه بهینه‌سازی محیط‌های آموزشی با در نظر گرفتن تعامل پیچیده عوامل نوری و حرارتی را فراهم می‌سازد. این مطالعه به دلایل روش‌شناختی و کنترل علمی متغیرهای مخدوش‌کننده، به‌صورت هدفمند تنها بر روی جامعه مردان انجام شده است. انتخاب جنسیت مذکر به‌عنوان معیار ورود به مطالعه، عمدتاً ناشی از نیاز به حذف تأثیرات بالقوه تفاوت‌های جنسیتی بر متغیرهای وابسته پژوهش بوده است. از آنجاکه

مطالعات متعدد نشان داده‌اند زنان و مردان در ادراک حرارتی، پاسخ‌های متابولیک و حساسیت به محرک‌های محیطی تفاوت‌های معناداری دارند، این تصمیم روش‌شناختی امکان کنترل دقیق‌تر متغیرهای مداخله‌گر را فراهم کرده است. همچنین، یکسان‌سازی جنسیتی شرکت‌کنندگان موجب افزایش همگنی نمونه آماری و در نتیجه، بهبود قابلیت اعتماد نتایج شده است. این رویکرد اگرچه دامنه تعمیم‌پذیری یافته‌ها را به جامعه مردان محدود می‌کند، از سوی دیگر امکان بررسی دقیق‌تر روابط علی بین متغیرهای مستقل و وابسته را بدون نگرانی از تأثیرات مخدوش‌کننده جنسیت فراهم آورده است. شایان ذکر است که این تصمیم صرفاً بر مبنای ملاحظات علمی و با هدف افزایش دقت اندازه‌گیری‌ها اتخاذ شده و نتایج حاصل می‌تواند مبنای مناسبی برای مطالعات آتی با جامعه‌های گسترده‌تر باشد. مشخصات جامعه آماری در جدول ۱ نشان داده شده است.

جدول ۱: مشخصات شرکت‌کنندگان

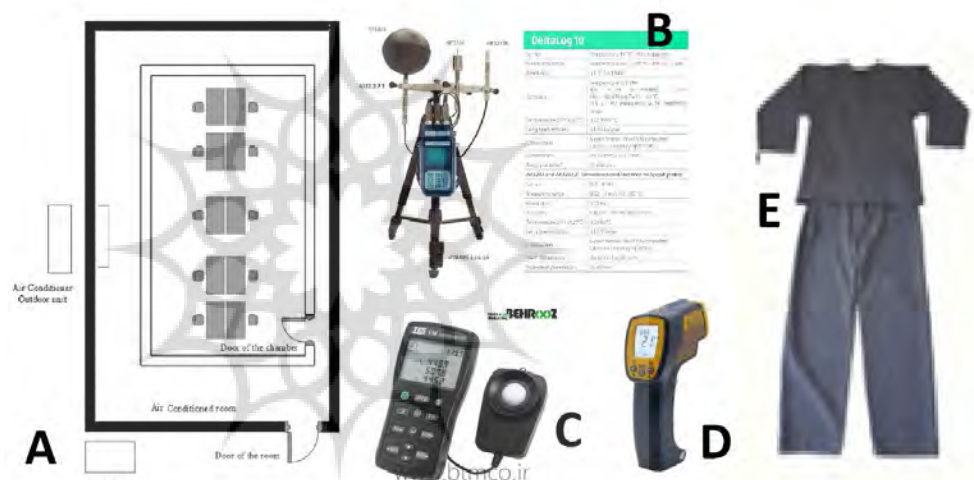
جنسیت	میانگین	محدوده
مرد	سن (سال) ۳۳/۶	۲۸ تا ۳۸
	قد (سانتی‌متر) ۱۸۰	۱۷۵ تا ۱۸۶
	شاخص توده بدنی (kg/m^2) ۲۴/۲۸	۲۵ تا ۳۳/۱

۲.۳. پارامترهای نورپردازی و شرایط آزمایش

این مطالعه با در نظر گرفتن استانداردهای بین‌المللی و یافته‌های پژوهشی معتبر، به بررسی تأثیر سطوح مختلف دمایی و روشنایی و دمای رنگ نور بر ادراک حرارتی پرداخته است. در طراحی آزمایش، سه سطح کنترل‌شده از شدت نور (200 ، 400 و 600 لوکس) (Chriswardana et al. 2022, 22) در نظر گرفته شده است که هر کدام بیانگر کیفیت‌های متفاوتی از روشنایی محیط هستند. بر این اساس، 200 لوکس نمایانگر نور ملایم، 400 لوکس سطح متوسط و 600 لوکس شدت نور بالاتری را ارائه می‌دهد. همچنین، سه دمای مختلف دمای رنگ همبسته شامل نور گرم (2700 کلوین)، نور خنثی (4000 کلوین) و نور سرد (7800 کلوین) مورد بررسی قرار گرفته‌اند (Wang et al. 2024, 19). این محدوده‌ها به‌طور سیستماتیک انتخاب شده‌اند تا طیف وسیعی از شرایط نوری موجود در فضاهای داخلی را پوشش دهند. از سوی دیگر، با توجه به تفاوت‌های ادراکی افراد از دمای محیط، سه سطح دمایی (20 ، 25 و 30 درجه سانتی‌گراد) تعریف شده‌اند که به‌ترتیب بیانگر شرایط سرد، متعادل و گرم هستند (فتاحی و همکاران ۱۴۰۴، ۱۴: Tohidi et al. 2025, 10). این محدوده‌های دمایی بر مبنای استانداردهای جهانی آسایش حرارتی و مطالعات پیشین تعیین شده‌اند تا امکان ارزیابی دقیق‌تر تأثیر متقابل نور و دما بر آسایش حرارتی افراد فراهم شود. تمامی این پارامترها با دقت بالا کنترل و اندازه‌گیری شده‌اند تا اطمینان حاصل شود که نتایج به‌دست‌آمده از اعتبار علمی لازم برخوردارند. این رویکرد سیستماتیک به پژوهشگران امکان می‌دهد تا به درک بهتری از چگونگی تأثیر نورپردازی بر ادراک حرارتی در شرایط مختلف دست یابند.

تمام آزمایش‌ها در اتاقک اقلیمی پیشرفته‌ای انجام شد که شامل سه بخش مجزا شامل رختکن، اتاق پیش‌آزمون و اتاق آزمایشگاهی طراحی شده بود (تصویر ۲: A). در این فضا، سیستم روشنایی پنلی سقفی با نور پایه 6500 کلوین به کار رفت و روی سازه‌ای خربایی در فاصله 25 سانتی‌متر از سقف، سه لامپ LED قابل تنظیم نصب شد تا ترکیب دقیق هر سه سطح شدت و دمای رنگ مورد نیاز را ایجاد کند. برای حصول اطمینان از یکنواختی نور، فاصله و زاویه چراغ‌ها به‌گونه‌ای محاسبه شد که تابش متمرکز و پراکندگی یکنواخت روی میز مطالعه ایجاد شود. پیش از ورود به اتاق اصلی، شرکت‌کنندگان حداقل 10 دقیقه در اتاق پیش‌آزمون با دمای ثابت 25 درجه سانتی‌گراد می‌ماندند تا سازگاری حرارتی اولیه حاصل شود. در طول آزمایش، پارامترهای محیطی شامل دما، رطوبت نسبی 50% ، سرعت جریان هوا کمتر از 0.1

متر بر ثانیه و دمای تابشی به‌طور مداوم توسط دیتالاگر Delta Log 10 با دقت $\pm 0.3^\circ$ درجه سانتی‌گراد ثبت و کنترل شد (تصویر ۲: B). برای اندازه‌گیری متغیرهای نوری نیز از لوکس‌متر مدل TES-1339R (تصویر ۲: C) با دقت $\pm 3\%$ و طیف‌سنج دستی Hopoocolor OHSP-350 استفاده شد تا مقادیر واقعی شدت و دمای رنگ به دست آید. همچنین دمای سطح پوست بدن با استفاده از تفنگ حرارتی استاندارد (TEC1326/1327) اندازه‌گیری شد (تصویر ۲: D). از جهت حذف متغیرهای مزاحم، کلیه داوطلبان ۲۴ ساعت پیش از آزمایش از مصرف کافئین و سیگار پرهیز کردند، لباس یکنواخت تترون پلی‌استر با عایق حرارتی 0.6 clo پوشیدند (تصویر ۲: E) و فعالیت متابولیک پایه را در حد 1.0 MET حفظ کردند. سلامت بینایی تمامی شرکت‌کنندگان با تست بینایی‌سنج تأیید شد و افراد دارای مشکلات جسمی، روانی یا مصرف داروهای تأثیرگذار بر سیستم گردش خون و تعریق حذف شدند. این سطح بالای کنترل محیطی و فیزیولوژیکی، امکان ارزیابی صرف و بی‌واسطه تأثیر ترکیب‌های مختلف نور و دما بر شاخص‌های ارگونومیک مانند سازگاری حرارتی و خستگی بینایی را در شرایطی کاملاً شبیه‌سازی شده فراهم کرد.



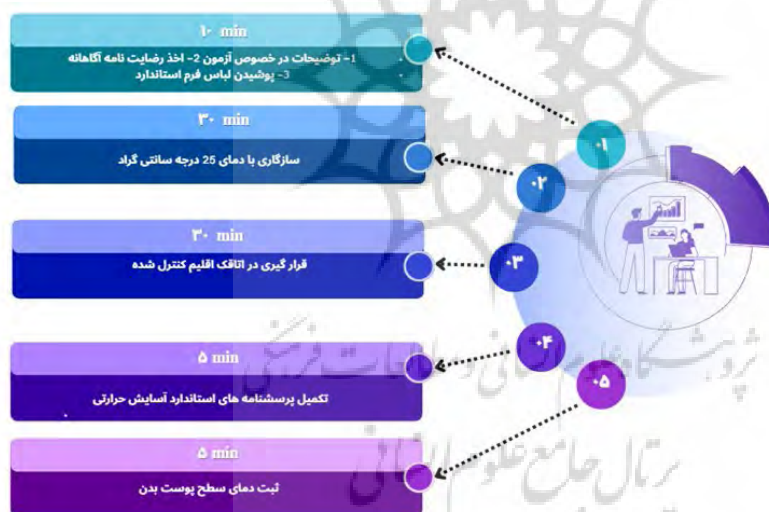
تصویر ۲: مجموعه آزمایشگاهی

۳.۳. روش اجرای پژوهش

این پژوهش به‌صورت تجربی با مشارکت ۹۰ دانشجوی مرد انجام شد که به‌طور تصادفی در سه گروه ۳۰ نفره تقسیم شدند و هر گروه تحت شرایط متفاوتی از شدت نور و دما قرار گرفتند. گروه اول در معرض نور ۲۰۰ لوکس و دمای ۲۰ درجه سانتی‌گراد، گروه دوم در معرض نور ۴۰۰ لوکس و دمای ۲۵ درجه سانتی‌گراد، و گروه سوم در معرض نور ۶۰۰ لوکس و دمای ۳۰ درجه سانتی‌گراد قرار داده شدند. سپس هریک از این گروه‌های اصلی به سه زیرگروه ۱۰ نفره تقسیم شدند که به‌ترتیب در معرض دمای رنگ نور ۲۷۰۰ کلوین (گرم)، ۴۰۰۰ کلوین (خنثی) و ۷۸۰۰ کلوین (سرد) قرار گرفتند. این طراحی پژوهشی امکان ارزیابی دقیق تأثیر متقابل شدت نور و دمای رنگ نور بر آسایش حرارتی را فراهم می‌کرد.

فرایند آزمایش در پنج مرحله طراحی شد و در مجموع برای هر نفر ۸۰ دقیقه به طول انجامید (تصویر ۳). در هر جلسه آزمایش، گروه‌های ۱۰ نفره مورد بررسی قرار گرفتند. مرحله اول (۱۰ دقیقه) شامل آشنایی شرکت‌کنندگان با پروتکل آزمایش، ارائه رضایت آگاهانه و پوشیدن لباس استاندارد یکسان بود. در مرحله دوم (۳۰ دقیقه)، شرکت‌کنندگان در محیطی با شرایط استاندارد (دمای ثابت ۲۵ درجه سانتی‌گراد) مستقر شدند و در حالت نشسته قرار گرفتند تا از سازگاری

محیطی و قرارگیری همه آزمودنی‌ها در شرایط حرارتی مطلوب و یکسان اطمینان حاصل شود. سپس در مرحله سوم (۳۰ دقیقه)، افراد به اتاق آزمایش منتقل شدند که در آن تمام پارامترهای محیطی از جمله دما، شدت نور و دمای رنگ نور از پیش تعیین شده بودند و به دقت کنترل و ثابت نگه داشته می‌شدند. در این مرحله، شرکت‌کنندگان مشغول مطالعه بودند. در مرحله چهارم (۵ دقیقه)، پرسش‌نامه استاندارد آسایش حرارتی مطابق با استاندارد ASHRAE آمریکا تکمیل شد. در این مطالعه، احساس آسایش حرارتی شرکت‌کنندگان با استفاده از شاخص TSV (مقیاس رأی حس حرارتی) سنجیده شد. نقطه $TSV=0$ به عنوان حالت تعادل حرارتی و نشان‌دهنده حداکثر رضایت افراد از شرایط محیطی در نظر گرفته شد. شرکت‌کنندگان براساس برداشت ذهنی خود از شدت نور (برحسب لوکس) و دمای رنگ نور، وضعیت حرارتی محیط را ارزیابی کرده و در یکی از دسته‌های تعیین‌شده قرار دادند. مقادیر TSV در سه محدوده اصلی دسته‌بندی شدند: محدوده آسایش حرارتی (شامل مرزهای بالا و پایین آسایش)، دمای خنثی حرارتی (نقطه صفر مطلق) و خارج از محدوده آسایش (شرایط نامطلوب گرمایی یا سرمای). براساس استانداردهای پژوهشی، دامنه آسایش حرارتی معمولاً به بازه TSV بین $+0.5$ (احساس گرمای ملایم) تا -0.5 (احساس سرمای جزئی) اطلاق می‌شود که به عنوان منطقه بهینه رضایت حرارتی شناخته می‌شود و بیانگر شرایطی است که افراد در آن بیشترین سطح آسایش را تجربه می‌کنند. مرحله نهایی (۵ دقیقه) به اندازه‌گیری دمای نقاط مختلف بدن با استفاده از تفنگ حرارتی TCE1326/1327 اختصاص یافت. هر شرکت‌کننده تنها در یک جلسه آزمایش شرکت کرد و داده‌ها به صورت فردی جمع‌آوری شدند (تصویر ۴). این مطالعه با هدف بررسی دقیق تأثیر عوامل نوری و حرارتی بر آسایش افراد طراحی شده بود.



تصویر ۳: زمان برنامه‌ریزی شده برای آزمون



تصویر ۴: تصویری از مراحل انجام پژوهش در شرایط آزمایشگاهی

۴. یافته‌ها

جدول ۲ شامل میانگین و انحراف معیار مربوط به متغیرها در هر گروه است که براساس آن میانگین وضعیت احساس آسایش حرارتی دانشجویان در فضای سالن مطالعه براساس سطوح فاکتور دمای محیطی فضای سالن مطالعه برای گروه‌های دمای ۲۰، ۲۵ و ۳۰ درجه سانتی‌گراد به ترتیب برابر $۰/۵۲۰/۰۴$ ، $۰/۶۲۰/۰۴$ و $۱/۷۴۰۰/۰۴$ به دست آمد. بیشترین میانگین وضعیت احساس آسایش حرارتی دانشجویان در سالن مطالعه برای گروه شدت نور ۶۰۰ لوکس محیطی با میانگین و انحراف معیار $۳/۰۳۰/۰۲$ در میان گروه دمای محیطی ۳۰ درجه سانتی‌گراد سالن مطالعه به دست آمد. از طرف دیگر، کمترین میانگین وضعیت احساس آسایش حرارتی دانشجویان در فضای سالن مطالعه برابر $۱/۰۱۰/۰۱$ و برای گروه شدت نور ۲۰۰ لوکس محیطی در میان گروه دمای محیطی ۲۰ درجه سانتی‌گراد که در فضای سالن مطالعه قرار داشتند، به دست آمد.

جدول ۲: میانگین و انحراف معیار وضعیت احساس آسایش حرارتی دانشجویان در سالن مطالعه ($X \pm \sigma$)

شدت نور محیطی سالن مطالعه	دمای همبسته رنگ نور محیطی سالن مطالعه	سطوح فاکتور دمای محیطی سالن مطالعه		
		۲۰ درجه سانتی‌گراد	۲۵ درجه سانتی‌گراد	۳۰ درجه سانتی‌گراد
۲۰۰ لوکس نوری	۲۷۰۰ کلوین	$-۱/۰۱۰/۰۱$	$۰/۳۳۰/۰۵$	$۱/۰۰۰/۰۱$
	۴۰۰۰ کلوین	$-۰/۶۶۰/۰۵$	$۰/۶۶۰/۰۳$	$۱/۶۶۰/۰۵$
	۷۸۰۰ کلوین	$۰/۰۰۰/۰۰$	$۰/۶۶۰/۰۵$	$۲/۳۳۰/۰۳$
۴۰۰ لوکس نوری	۲۷۰۰ کلوین	$-۱/۰۰۰/۰۱$	$۰/۶۶۰/۰۲$	$۱/۰۲۰/۰۱$
	۴۰۰۰ کلوین	$-۱/۰۰۰/۰۱$	$۱/۰۰۰/۰۱$	$۲/۰۰۰/۰۲$
	۷۸۰۰ کلوین	$۰/۰۱۰/۰۰$	$۰/۶۸۰/۰۴$	$۳/۰۰۰/۰۳$
۶۰۰ لوکس نوری	۲۷۰۰ کلوین	$-۰/۳۳۰/۰۵$	$۰/۳۱۰/۰۲$	$۰/۶۷۰/۰۶$
	۴۰۰۰ کلوین	$-۰/۵۰۰/۰۱$	$۰/۶۲۰/۰۳$	$۱/۰۱۰/۰۱$
	۷۸۰۰ کلوین	$۰/۶۶۰/۰۵$	$۰/۶۶۰/۰۴$	$۳/۰۳۰/۰۲$
کل		$-۰/۵۲۰/۰۴$	$۰/۶۲۰/۰۴$	$۱/۷۴۰۰/۰۴$

مطالعات معماری ایران

دو فصلنامه معماری ایرانی
شماره ۲۷ - بهار و تابستان ۱۴۰۴

۱۶۷

یکی از فروض انجام تحلیل واریانس، یکنواختی واریانس خطای متغیر وابسته احساس آسایش حرارتی دانشجویان در سالن مطالعه در بین گروه‌های مورد مطالعه، شدت نور محیطی ۲۰۰، ۴۰۰ و ۶۰۰ لوکس سالن مطالعه، دمای همبسته رنگ نور محیطی ۲۷۰۰، ۴۰۰۰ و ۷۸۰۰ کلوین سالن مطالعه و سطوح فاکتور دمای محیطی ۲۰، ۲۵ و ۳۰ درجه سانتی‌گراد سالن مطالعه است که با توجه به مقدار آماره لوین که برابر $۱/۰۹۵$ به دست آمده، در سطح خطای یک درصد دلیلی بر رد یکنواختی واریانس گروه‌ها وجود ندارد ($P=0.014 > 0.01$). بنابراین با انجام تحلیل واریانس می‌توان به بررسی تفاوت بین گروه‌های مورد مطالعه شدت نور محیطی، دمای همبسته رنگ نور محیطی و سطوح فاکتور دمای محیطی سالن مطالعه پرداخت. جدول ۳ نتایج تحلیل واریانس سه‌طرفه را برای گروه‌های مورد مطالعه نشان می‌دهد.

جدول ۳: نتایج تحلیل واریانس وضعیت احساس آسایش حرارتی دانشجویان در سالن مطالعه

منبع تغییرات	مجموع مربعات	درجات آزادی	میانگین مجموع مربعات	مقدار آماره فشر	سطح معنی‌داری (P)
سطوح فاکتور دمای محیطی سالن مطالعه	۶۷/۸۰۹	۲	۳۳/۹۰۴	۱۴۳/۹۹۸	۰/۰۰۱
سطوح فاکتور شدت نور محیطی سالن مطالعه	۰/۳۶۰	۲	۰/۱۸۰	۰/۷۶۵	۰/۴۷۰
سطوح فاکتور دمای همبسته رنگ نور محیطی سالن مطالعه	۱۵/۴۸۵	۲	۷/۷۴۲	۳۲/۸۸۳	۰/۰۰۱
اثر متقابل فاکتور دمای محیطی در فاکتور شدت نور محیطی سالن مطالعه	۲/۲۰۸	۴	۰/۸۰۲	۳/۴۰۶	۰/۰۱۴
اثر متقابل فاکتور دمای محیطی در فاکتور دمای همبسته رنگ نور محیطی سالن مطالعه	۷/۷۹۰	۴	۱/۹۴۸	۸/۲۷۲	۰/۰۰۱
اثر متقابل فاکتور شدت نور محیطی در فاکتور دمای همبسته رنگ نور محیطی سالن مطالعه	۱/۰۲۰	۴	۰/۲۵۵	۱/۰۸۳	۰/۳۷۳
اثرات متقابل فاکتورهای دمای محیطی، فاکتور شدت نور محیطی و دمای همبسته رنگ نور محیطی سالن مطالعه	۱/۱۵۴	۸	۰/۱۹۳	۰/۶۱۳	۰/۷۶۴
خطا	۱۴/۸۳۳	۶۳	۰/۲۳۵		
مجموع	۱۴۷/۰۰۰	۹۰			

بر اساس جدول ۲، با توجه به مقادیر آماره فشر و سطح معنی‌داری به‌دست‌آمده برای فاکتورهای سطوح فاکتور دمای محیطی سالن مطالعه و سطوح فاکتور دمای همبسته رنگ نور محیطی سالن مطالعه که به‌ترتیب برابر $(F(2,63)=143.998, p<0.05)$ و $(F(1,63)=32.883, p<0.05)$ به دست آمده است، می‌توان نتیجه گرفت که فاکتورهای دمای محیطی سالن مطالعه و دمای همبسته رنگ نور محیطی فضای سالن مطالعه، تأثیر معنی‌داری بر احساس آسایش حرارتی دانشجویان در سالن مطالعه دارند و سطوح فاکتور شدت نور محیطی سالن مطالعه تأثیر معنی‌داری بر احساس آسایش حرارتی دانشجویان در فضای سالن مطالعه ندارد. همچنین نتایج تحلیل واریانس نشان داد که اثرات متقابل فاکتور دمای محیطی در فاکتور شدت نور محیطی سالن مطالعه و اثر متقابل فاکتور دمای محیطی در فاکتور دمای همبسته رنگ نور محیطی سالن مطالعه به‌ترتیب با مقادیر $(F(4,63)=3.406, p<0.05)$ و $(F(4,63)=8.272, p<0.05)$ بر احساس آسایش حرارتی دانشجویان در فضای سالن مطالعه تأثیر معنی‌داری دارند. از طرفی، نتایج حاکی از عدم تأثیرگذاری اثرات متقابل فاکتور شدت نور محیطی در فاکتور دمای همبسته رنگ نور محیطی سالن مطالعه و اثرات متقابل فاکتورهای دمای محیطی، فاکتور شدت نور محیطی و دمای همبسته رنگ نور محیطی سالن مطالعه بر وضعیت احساس آسایش حرارتی دانشجویان در فضای سالن مطالعه است $(p>0.05)$. نمودارهای ۱ تا ۶ اثرات متقابل فاکتورهای شدت نور محیطی، دمای همبسته رنگ نور محیطی و سطوح فاکتور دمای محیطی سالن مطالعه را به‌صورت دوبه‌دو و هم‌زمان نشان می‌دهد که براساس آن اثرات معنی‌دار قابل تشخیص است. براساس نمودار شکل ۱، می‌توان دریافت که دمای محیطی ۲۰ و ۲۵ درجه سانتی‌گراد سالن مطالعه تأثیرات متفاوتی را نسبت به دمای ۳۰ درجه سانتی‌گراد سالن مطالعه بر وضعیت احساس آسایش حرارتی دانشجویان در فضای سالن مطالعه داشته‌اند.

۴.۱. آنالیز واریانس دوطرفه بین دمای همبسته رنگ نور محیطی و سطوح فاکتور دمای محیطی سالن مطالعه (با کنترل متغیر ۲۰۰ لوکس نور محیطی)

با کنترل متغیر شدت نور محیطی (۲۰۰ لوکس نور محیطی) و انجام تحلیل واریانس دوطرفه تنها بر روی فاکتور دمای همبسته رنگ نور محیطی و سطوح فاکتور دمای محیطی سالن مطالعه، نتایج حاکی از معنی‌داری مجدد اثرات سطوح

فاکتور دمای محیطی و دمای همبسته رنگ نور محیطی سالن مطالعه به ترتیب با مقادیر ($F(2,18)=50.000, p<0.01$) و ($F(2,18)=8.000, p<0.01$) است. از طرفی، نتایج آزمون توکی نشان داد بین میانگین وضعیت احساس آسایش حرارتی دانشجویان در فضای سالن مطالعه که در معرض دمای همبسته رنگ نور محیطی ۲۷۰۰ و ۷۸۰۰ کلوین از یک طرف و گروه دمای همبسته رنگ نور محیطی ۴۰۰۰ کلوین بودند، تفاوت معنی داری وجود دارد ($p<0.05$). این در حالی است که بین دمای همبسته رنگ نور محیطی ۲۷۰۰ و ۷۸۰۰ کلوین تفاوت معنی داری 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 دمای همبسته رنگ نور محیطی ۴۰۰۰ کلوین که از میانگین‌های دو گروه دمای همبسته رنگ نور محیطی ۲۷۰۰ و ۷۸۰۰ کلوین متفاوت است، در زیرمجموعه‌ای جدا از دو گروه دیگر قرار گرفته است؛ در صورتی که این دو گروه خود با یکدیگر تفاوت معنی داری ندارند.

جدول ۴: زیرمجموعه‌های همگن

زیرمجموعه‌های همگن		گروه‌های مورد مطالعه دمای همبسته رنگ نور محیطی فضای سالن مطالعه
مجموعه ۱	مجموعه ۲	
۰/۱۱۱		۲۷۰۰ کلوین
۰/۵۵۵	۰/۵۵۵	۴۰۰۰ کلوین
	۱/۰۰۰	۷۸۰۰ کلوین
۰/۱۴۱	۰/۱۴۱	سطح معنی داری

۴.۲. آنالیز واریانس دوطرفه بین دمای همبسته رنگ نور محیطی و سطوح فاکتور دمای محیطی سالن مطالعه (با کنترل متغیر ۴۰۰ لوکس نور محیطی)

با کنترل متغیر شدت نور محیطی (۴۰۰ لوکس نور محیطی) و انجام تحلیل واریانس دوطرفه تنها بر روی فاکتور دمای همبسته رنگ نور محیطی و سطوح فاکتور دمای محیطی سالن مطالعه، نتایج حاکی از معنی داری مجدد اثرات سطوح فاکتور دمای محیطی و دمای همبسته رنگ نور محیطی سالن مطالعه به ترتیب با مقادیر ($F(2,24)=328.348, p<0.01$) و ($F(2,24)=45.565, p<0.01$) است. از طرفی، نتایج آزمون توکی نشان داد بین میانگین وضعیت احساس آسایش حرارتی دانشجویان در فضای سالن مطالعه که در معرض دمای همبسته رنگ نور محیطی ۲۷۰۰ و ۷۸۰۰ کلوین از یک طرف و گروه دمای همبسته رنگ نور محیطی ۴۰۰۰ کلوین و گروه دمای همبسته رنگ نور محیطی ۲۷۰۰ و ۷۸۰۰ کلوین که از میانگین‌های دو گروه دمای همبسته رنگ نور محیطی ۲۷۰۰ و ۷۸۰۰ کلوین متفاوت معنی داری وجود دارد ($p<0.05$). این نتیجه در جدول ۵ نشان داده شده است که در آن گروه‌ها به زیرمجموعه‌های همخوان با یکدیگر تقسیم شده‌اند. در این جدول، میانگین گروه دمای همبسته رنگ نور محیطی ۲۷۰۰ کلوین که از میانگین‌های دو گروه دمای همبسته رنگ نور محیطی ۴۰۰۰ و ۷۸۰۰ کلوین متفاوت است، در زیرمجموعه‌ای جدا از دو گروه دیگر قرار گرفته است و این دو گروه خود با یکدیگر تفاوت معنی داری دارند. نکته قابل تأمل آن است که با کنترل شدت نور محیطی ۴۰۰ لوکس، نتایج تحلیل واریانس نشان داد که اثرات متقابل فاکتور دمای محیطی در فاکتور دمای همبسته رنگ نور محیطی سالن مطالعه با مقدار ($F(4,24)=16.947, p<0.05$) بر احساس آسایش حرارتی دانشجویان در فضای سالن مطالعه تأثیر معنی داری دارد. به عبارت ساده‌تر، می‌توان گفت اگر شدت نور در فضای سالن مطالعه به میزان ۴۰۰ لوکس نوری باشد، دمای همبسته رنگ نور در سطوح ۲۷۰۰، ۴۰۰۰ و ۷۸۰۰ کلوین همگی بر وضعیت احساس آسایش هم به صورت جداگانه و هم به صورت اثر ترکیبی اثرگذار است. خلاصه مقایسه بین گروه‌های ۲۷۰۰، ۴۰۰۰ و ۷۸۰۰ کلوین نشان می‌دهد که تمامی تفاوت‌ها در مقدار آسایش حرارتی بین این گروه‌ها معنادار است ($p<0.05$). به طور مشخص، گروه ۲۷۰۰ کلوین بیشترین مقدار آسایش حرارتی را دارد که به طور معناداری بالاتر از گروه‌های ۴۰۰۰ و ۷۸۰۰ کلوین است. همچنین گروه ۷۸۰۰ کلوین مقدار آسایش حرارتی بالاتری نسبت به گروه ۴۰۰۰ کلوین دارد اما کمتر از گروه ۲۷۰۰ کلوین است. در نهایت، گروه ۴۰۰۰ کلوین کمترین

مقدار آسایش حرارتی را در بین سه گروه داراست. بنابراین، ترتیب مقدار آسایش حرارتی از زیاد به کم به شکل ۲۷۰۰ کلوین، سپس ۷۸۰۰ کلوین و در نهایت ۴۰۰۰ کلوین است و این تفاوت‌ها ارتباط معنی‌دار بین گروه‌ها را نشان می‌دهد.

جدول ۵: زیرمجموعه‌های همگن

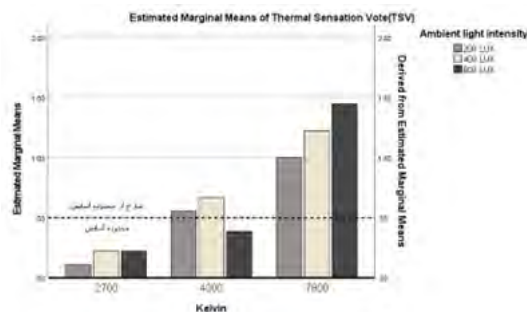
زیرمجموعه‌های همگن			گروه‌های مورد مطالعه دمای همبسته رنگ نور محیطی فضای سالن مطالعه
مجموعه ۱	مجموعه ۲	مجموعه ۳	
۰-۰/۲۶۶			۲۷۰۰ کلوین
	۰/۶۶۶		۴۰۰۰ کلوین
		۱/۲۲۲	۷۸۰۰ کلوین
۱/۰۰۰	۱/۰۰۰	۱/۰۰۰	سطح معنی‌داری

۳.۴. آنالیز واریانس دوطرفه بین دمای همبسته رنگ نور محیطی و سطوح فاکتور دمای سالن مطالعه (با کنترل متغیر ۶۰۰ لوکس نور محیطی)

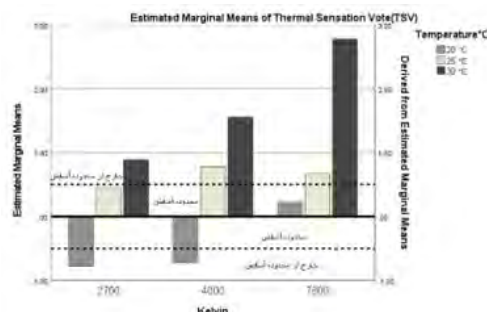
با کنترل متغیر شدت نور محیطی (۶۰۰ لوکس نور محیطی) و انجام تحلیل واریانس دوطرفه تنها بر روی فاکتور دمای همبسته رنگ نور محیطی و سطوح فاکتور دمای محیطی سالن مطالعه، نتایج حاکی از معنی‌داری مجدد اثرات سطوح فاکتور دمای محیطی و دمای همبسته رنگ نور محیطی سالن مطالعه به ترتیب با مقادیر $(F(2,21)=14.184, p<0.01)$ و $(F(2,21)=8.904, p<0.01)$ است. خلاصه مقایسه بین گروه‌ها براساس نتایج آزمون توکی نشان می‌دهد که بین گروه‌های ۲۷۰۰ کلوین و ۴۰۰۰ کلوین تفاوت معناداری در مقدار آسایش حرارتی وجود ندارد. اما گروه ۷۸۰۰ کلوین به‌طور معناداری مقدار وضعیت احساس آسایش حرارتی بیشتری نسبت به هر دو گروه ۲۷۰۰ و ۴۰۰۰ کلوین دارد $(p<0.05)$. تفاوت میانگین وضعیت احساس آسایش حرارتی بین ۷۸۰۰ کلوین و ۲۷۰۰ کلوین حدود ۱/۲۲ واحد و بین ۷۸۰۰ کلوین و ۴۰۰۰ کلوین حدود ۱/۲۸ واحد است. بنابراین، تنها گروه با دمای رنگ بالا یعنی ۷۸۰۰ کلوین تأثیر قابل توجه و افزایش مقدار وضعیت احساس آسایش حرارتی را نسبت به دو گروه دیگر نشان می‌دهد.

جدول ۶: زیرمجموعه‌های همگن

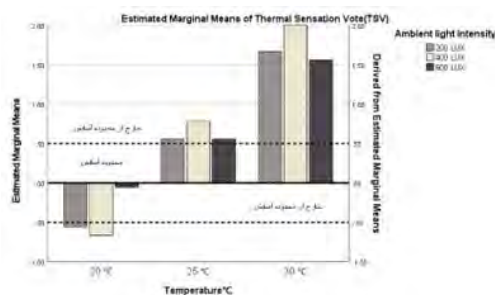
زیر مجموعه‌های همگن		گروه‌های مورد مطالعه دمای همبسته رنگ نور محیطی فضای سالن مطالعه
مجموعه ۱	مجموعه ۲	
۰/۲۲۲		۲۷۰۰ کلوین
۰/۱۶۶		۴۰۰۰ کلوین
	۱/۴۴۴	۷۸۰۰ کلوین
۰/۹۸۲	۰/۱۴۱	سطح معنی‌داری



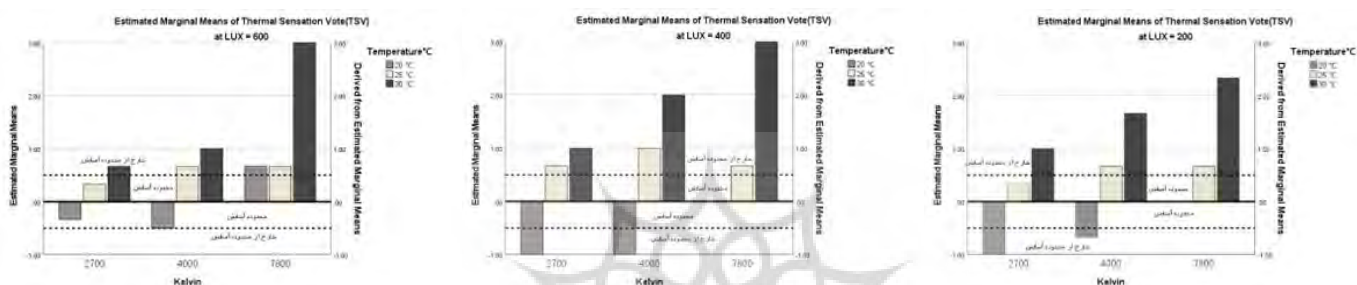
تصویر ۶: نمودار اثرات متقابل بین شدت نور محیطی و دمای همبسته رنگ نور محیطی فضای سالن مطالعه



تصویر ۵: نمودار اثرات متقابل بین دمای همبسته رنگ نور محیطی و سطوح فاکتور دمای محیطی فضای سالن مطالعه



تصویر ۷: نمودار اثر متقابل بین شدت نور محیطی و سطوح فاکتور دمای محیطی فضای سالن مطالعه



تصویر ۸: نمودار اثرات متقابل هم‌زمان سه فاکتور شدت نور محیطی، دمای همبسته رنگ نور محیطی و سطوح فاکتور دمای محیطی فضای سالن مطالعه

۵. تحلیل یافته‌ها

یافته‌های پژوهش نشان داد دمای محیطی ۲۵ درجه سانتی‌گراد در ترکیب با نور گرم (۲۷۰۰ کلوین) بهینه‌ترین شرایط را برای ایجاد احساس آسایش حرارتی در فضاهای مطالعه فراهم می‌کند. در مقابل، شرایط نامطلوب‌تر در دمای ۳۰ درجه سانتی‌گراد با نور خنثی (۴۰۰۰ کلوین) مشاهده شده است، به طوری که این ترکیب کمترین میزان آسایش را ایجاد می‌نماید. همچنین نور سرد (۲۸۰۰ کلوین) در محیط‌های با دمای بالا (۳۰ درجه) تأثیر منفی بر آسایش حرارتی استفاده‌کنندگان دارد. از نظر معماری، برای دستیابی به حداکثر آسایش حرارتی در فضاهای مطالعه، توصیه می‌شود دمای محیط در حدود ۲۵ درجه سانتی‌گراد تنظیم گردد و در مناطق با آب‌وهوای معتدل یا در فصول سرد سال از نور گرم (۲۷۰۰ کلوین) استفاده شود، زیرا این ترکیب موجب ایجاد حس گرمایی مطلوب و فضایی آرامش‌بخش می‌گردد. در فضاهای با دمای محیطی بالاتر، کاربرد نور خنثی (۴۰۰۰ کلوین) به همراه سیستم‌های خنک‌کننده می‌تواند از ایجاد ناراحتی برای کاربران جلوگیری کند و شرایط مناسبی برای مطالعه فراهم آورد.

همچنین نتایج پژوهش نشان می‌دهد که در شرایط با شدت نور پایین (۲۰۰ لوکس)، استفاده از نور گرم (۲۷۰۰ کلوین) و دمای محیط ۲۵ درجه سانتی‌گراد بیشترین میزان آسایش حرارتی را برای کاربران فضاهای مطالعه به همراه دارد. در مقابل، در محیط‌هایی با شدت نور بالا (۶۰۰ لوکس) با دمای ۲۰ درجه سانتی‌گراد و دمای همبسته رنگ نور ۲۷۰۰ و ۴۰۰۰ کلوین و دمای ۲۵ درجه سانتی‌گراد و دمای همبسته رنگ نور ۲۷۰۰ کلوین عملکرد بهتری در تأمین آسایش حرارتی استفاده‌کنندگان نشان می‌دهد. این یافته‌ها پیامدهای مهمی برای طراحی معماری فضاهای مطالعه دارد. در فضاهای مطالعه با نور کم مانند کتابخانه‌های سنتی یا اتاق‌های مطالعه شخصی، به کارگیری نور گرم (نظیر چراغ‌های رومیزی با نور زرد) می‌تواند علاوه بر ایجاد حس صمیمیت و فضایی دنج، به افزایش سطح تمرکز کاربران کمک شایانی کند. از سوی دیگر، در فضاهای بزرگ با نورپردازی عمومی همچون سالن‌های مطالعه دانشگاهی، استفاده از نور سرد (مانند LEDهای سفید) نه تنها به حفظ سطح هوشیاری دانشجویان کمک می‌کند، بلکه از خستگی چشم در طول ساعات طولانی مطالعه نیز می‌کاهد. این تفاوت در نیازهای نوری بر اهمیت توجه به مقیاس و کاربری فضا در طراحی سیستم‌های روشنایی تأکید دارد.

نتایج پژوهش حاکی از آن است که در محیط‌های با دمای ۲۰ درجه سانتی گراد، افزایش شدت نور از ۲۰۰ به ۶۰۰ لوکس تأثیر معکوس بر احساس آسایش استفاده‌کنندگان دارد و موجب کاهش رضایت حرارتی می‌شود. در مقابل، در فضاهای با دمای بالاتر (۳۰ درجه سانتی گراد)، استفاده از نور با همه سطوح شدت نور محیطی احساس آسایش حرارتی وجود ندارد. از منظر طراحی معماری، این یافته‌ها نشان‌دهنده نیاز به رویکردی هوشمندانه در کنترل رابطه دمای هوا با شدت نور و دمای رنگ نور محیطی و برای ایجاد نورپردازی مناسب فضاهای مطالعه براساس شرایط آسایش محیط است. در فضاهای سرد مانند کتابخانه‌های مناطق سردسیر، توصیه می‌شود از نورپردازی گرم و غیرمستقیم با استفاده از چراغ‌های دیواری با پخش نور گسترده بهره گرفته شود، زیرا این رویکرد علاوه بر ایجاد روشنایی کافی، به کاهش احساس سرمای محیط کمک می‌کند. در فضاهای گرم‌تر، به‌کارگیری نور مستقیم و با شدت بیشتر (مانند نورپردازی متمرکز بالای میزهای مطالعه) می‌تواند در ایجاد تعادل حرارتی مؤثر باشد، مشروط بر آنکه از ایجاد نور خیره‌کننده و آزاردهنده جلوگیری شود. این تفاوت در نیازهای نوری براساس شرایط حرارتی محیط، بر اهمیت طراحی منعطف و پاسخ‌گو در سیستم‌های نورپردازی فضاهای مطالعه تأکید دارد.

این پژوهش نشان می‌دهد که آسایش حرارتی در فضاهای آموزشی نتیجه تعامل پیچیده‌ای بین دما نور و ادراک کاربران است. معماران می‌توانند با بهره‌گیری از این یافته‌ها فضاهایی کارآمدتر و سازگارتر با نیازهای حرارتی - نوری کاربران طراحی کنند؛ به‌ویژه در طراحی ساختمان‌های پایدار توجه هم‌زمان به این پارامترها می‌تواند هم به کاهش مصرف انرژی و هم به ارتقای کیفیت محیطی منجر شود. بررسی تأثیر یکپارچه دمای رنگ نور و شرایط حرارتی بر آسایش محیطی، راهکارهای نوینی برای طراحی بهینه فضاهای آموزشی ارائه می‌دهد. یافته‌های آن نه تنها به بهبود کیفیت محیطی کمک می‌کند، بلکه با کاهش مصرف انرژی، نقش مهمی در توسعه پایدار ساختمان‌ها ایفا می‌کند. این مطالعه با ترکیب جنبه‌های معماری، نورپردازی و کنترل هوشمند، الگویی جامع برای طراحی فضاهای اداری و آموزشی عرضه کرده است. این پژوهش به دلیل رویکرد نوآورانه در تلفیق عوامل محیطی و انسانی، توجه ویژه متخصصان حوزه معماری پایدار، روان‌شناسی محیطی و مهندسی انرژی را به خود جلب کرده است. در ادامه، به بررسی و مقایسه نتایج این پژوهش با برخی از مطالعات مهمی که در این زمینه انجام گرفته‌اند پرداخته شده است. نتایج پژوهش حاضر با نتایج پژوهش‌هایی که به بررسی تأثیر دمای محیط، شدت نور و دمای رنگ همبسته بر آسایش حرارتی پرداخته‌اند، همسو می‌شود.

مطالعه‌ای نشان داد که با استفاده از الگوریتم هوشمند مبتنی بر یادگیری تقویتی، امکان ایجاد آسایش حرارتی در دمای مطلوب ۲۵ درجه سانتی گراد همراه با بهینه‌سازی مصرف انرژی فراهم شده است. این سیستم کنترل هوشمند که در محیط آموزشی با ظرفیت ۷۲ نفر مورد آزمایش قرار گرفت، توانسته است ضمن حفظ شرایط آسایش حرارتی در دمای ۲۵ درجه، تا ۴۳٪ صرفه‌جویی انرژی نسبت به سیستم‌های معمول با دمای ثابت ۲۵ درجه ایجاد کند. نتایج نشان می‌دهد که این رویکرد نه تنها قادر به تأمین دمای ایدئال ۲۵ درجه برای محیط است، بلکه به‌طور میانگین ۱۹٪ کاهش مصرف انرژی را نیز به همراه داشته است. این یافته‌ها ثابت می‌کند که با بهره‌گیری از فناوری‌های هوشمند کنترل، می‌توان به‌صورت هم‌زمان به اهداف آسایش حرارتی در دمای ۲۵ درجه و بهینه‌سازی انرژی دست یافت (Yu et al., 2021, 2). پژوهشی نشان داد ترکیب بهینه برای دستیابی به حداکثر آسایش و عملکرد در فضاهای مطالعه شامل دمای ۲۵ درجه سانتی گراد و شدت نور متوسط (۴۰۰ تا ۵۰۰ لوکس) است. این یافته‌ها از مطالعه‌ای بر روی ۵۰ دانشجو در دانشگاه علوم پزشکی شیراز به دست آمده است. نتایج نشان می‌دهد شدت نور (۴۰۰ تا ۵۰۰ لوکس) در ترکیب با دمای ۲۵ درجه سانتی گراد منجر به بهترین آسایش حرارتی و عملکرد در آزمون‌های تشخیص اشتباهات متنی شده است. نکته جالب اینکه این ترکیب بهینه به‌ویژه برای مردان مؤثرتر بوده، درحالی‌که عملکرد زنان کمتر تحت تأثیر تغییرات نور قرار گرفته است. بنابراین برای طراحی فضاهای مطالعه و کاری، توجه هم‌زمان به این دو عامل محیطی (دمای ۲۵ درجه و نور متوسط (۴۰۰ تا ۵۰۰ لوکس) می‌تواند محیطی ایدئال برای ارتقای بهره‌وری فراهم آورد (Malakoutikhah et al., 2021, 1). نتایج پژوهشی نشان داد استفاده از نور ۲۷۰۰ کلوین در ترکیب با سیستم‌های هوشمند کنترل نور، نه تنها

آسایش حرارتی مطلوبی ایجاد می‌کند، بلکه از جنبه‌های سلامت‌محور و زیستی نیز برخوردار است. این ویژگی‌ها آن را به گزینه‌ای ایدئال برای فضاهای مسکونی، آموزشی و هر محیطی که آسایش بلندمدت کاربران در آن اهمیت دارد، تبدیل می‌کند (Ardiatma and Soewito 2023, 29).

مطالعه‌ای نشان داد ترکیب دمای محیطی بالا (۲۶ تا ۳۰ درجه سانتی‌گراد) با نور سرد (۶۵۰۰ کلوین و بالاتر) تأثیرات منفی قابل توجهی بر آسایش حرارتی دارد. این ترکیب نامطلوب منجر به ایجاد تنش فیزیولوژیکی می‌شود که خود را در قالب افزایش ضربان قلب، بالا رفتن فشار خون و کاهش محسوس رضایت حرارتی و عملکرد تحصیلی نشان می‌دهد. در محیط‌های گرم، نورهای سرد با طول موج کوتاه (آبی) موجب تشدید احساس ناراحتی حرارتی می‌شوند، زیرا بین پیام‌های حسی متضاد (گرمای محیطی و سردی بصری نور) تناقض ایجاد می‌کنند. برای فضاهای آموزشی و کاری، این یافته‌ها اهمیت اجتناب از چنین ترکیب نامطلوبی را برجسته می‌سازد. راهکارهای عملی شامل استفاده از نورهای گرم‌تر در محیط‌های گرم، به‌کارگیری سیستم‌های خنک‌کننده کارآمد و استفاده از فیلترهای طیفی برای کاهش طول موج‌های آبی مضر است. این تدابیر می‌توانند به حفظ تعادل حرارتی - بصری و بهبود شرایط آسایش کمک شایانی نمایند (Madvari and Sefidkar, 27). نتایج پژوهشی نشان داد ترکیب دمای بالا (۳۰ درجه سانتی‌گراد) با شدت نور متوسط (۶۰۰ لوکس) و دمای رنگ بالا (۶۵۰۰ کلوین و بیشتر) تأثیرات پیچیده‌ای بر آسایش حرارتی و عملکرد شناختی افراد دارد. این ترکیب محیطی منجر به ایجاد یک حالت «تنش حرارتی - بصری» می‌شود که در آن، اگرچه نور با شدت ۶۰۰ لوکس می‌تواند تمرکز و توجه را بهبود بخشد، هم‌زمان باعث تشدید احساس ناراحتی حرارتی ناشی از دمای بالا می‌گردد (Pradhan et al. 2024, 1).

نتیجه

این مطالعه جامع به بررسی تأثیر متقابل سه عامل کلیدی محیطی دمای هوا، شدت نور و دمای همبسته رنگ نور بر احساس آسایش حرارتی دانشجویان در فضاهای مطالعه پرداخته است. یافته‌های تحقیق در پاسخ به سؤال اول پژوهش نشان می‌دهد که ایجاد شرایط مطلوب در محیط‌های آموزشی نیازمند توجه هم‌زمان به این عوامل و تعامل پیچیده بین آن‌هاست. پژوهش حاضر نشان می‌دهد که ترکیب بهینه برای دستیابی به حداکثر آسایش در فضاهای مطالعه شامل دمای ۲۵ درجه سانتی‌گراد، شدت نور ۴۰۰ لوکس و دمای رنگ ۲۷۰۰ کلوین است. درمقابل، استفاده از نور سرد (۷۸۰۰ کلوین) در محیط‌های با دمای بالا (۳۰ درجه) تأثیر منفی بر آسایش حرارتی افراد دارد. این یافته‌ها ضرورت طراحی یکپارچه سیستم‌های روشنایی و تهویه مطبوع را نمایان می‌سازد. راهکار پیشنهادی، به‌کارگیری سیستم‌های هوشمند تطبیقی است که بتوانند به‌صورت پویا و براساس تغییرات دمای محیط، پارامترهای نور (شدت و دمای رنگ) را تنظیم نمایند. برای مثال، در ساعات صبح که هوا خنک‌تر است، سیستم می‌تواند به‌صورت خودکار از نور گرم با شدت متوسط استفاده کند، درحالی‌که در ساعات ظهر و هنگام افزایش دما، به نور خنثی با شدت بالاتر تغییر وضعیت دهد. از نظر معماری، این نتایج اهمیت ویژه‌ای برای طراحی فضاهای آموزشی و کتابخانه‌ها دارند. تأثیر معنی‌دار دمای محیط و دمای همبسته رنگ نور نشان‌دهنده ضرورت توجه دقیق به کنترل دما و کیفیت نور در طراحی داخلی این فضاهاست، زیرا این دو فاکتور به‌طور مستقیم در ایجاد یک محیط آسایش‌بخش حرارتی و افزایش تمرکز دانشجویان نقش دارند. به عبارت دیگر، معماران باید به بهینه‌سازی سیستم‌های تهویه و گرمایش، به همراه انتخاب رنگ نور مناسب (رنگ‌های گرم یا سرد متناسب با شرایط محیطی) توجه ویژه داشته باشند تا شرایط مطلوب حرارتی و نوری فراهم شود. ازسوی دیگر، عدم تأثیر معنی‌دار شدت نور محیطی به‌تنهایی بر احساس آسایش حرارتی، بیانگر این است که صرفاً افزایش یا کاهش شدت نور نمی‌تواند کیفیت آسایش حرارتی را بهبود بخشد. این نکته برای معماران این فرصت را فراهم می‌آورد که به‌جای تمرکز صرف بر میزان نور، بر کیفیت نور و خصوصیات رنگ نور توجه کنند و در طراحی سیستم روشنایی به نورپردازی هوشمندانه و ترکیب آن با شرایط حرارتی محیط بپردازند.

نتایج پاسخ سؤال دوم پژوهش درخصوص چگونگی اثرات ترکیبی پارامترهای دمای محیط، دمای همبسته رنگ

نور و شدت نور محیطی به صورت همزمان بر احساس آسایش حرارتی دانشجویان حین انجام مطالعه در سالن کتابخانه نشان داد که دمای محیط و دمای رنگ نور محیطی تأثیر قابل توجهی بر احساس آسایش حرارتی دانشجویان در سالن مطالعه دارند، در حالی که شدت نور محیطی به تنهایی تأثیر معنی داری ندارد. همچنین ترکیب دمای محیط و دمای رنگ نور محیطی به ویژه در شدت نور متوسط (۴۰۰ لوکس) تأثیر قابل توجه و هماهنگی بر آسایش حرارتی ایجاد می کند. در شدت نور پایین (۲۰۰ لوکس) برخی تفاوتها بین دمای رنگ نور مشاهده شد، اما در شدت نور بالا (۶۰۰ لوکس) تنها دمای رنگ نور بالا (۷۸۰۰ کلوین) باعث افزایش محسوس آسایش حرارتی نسبت به سایر سطوح شد. این نتایج بر اهمیت توجه به هماهنگی میان دمای محیط و دمای رنگ نور در طراحی فضاهای مطالعه تأکید دارد. از نظر معماری، نتایج تأکید می کند که طراحی فضاهای آموزشی مانند کتابخانه ها باید به هماهنگی دقیق میان دمای محیط و ویژگی های نور، به خصوص دمای رنگ نور، توجه ویژه ای داشته باشد. صرفاً کنترل شدت نور کافی نیست و باید به کیفیت و رنگ نور در کنار شرایط حرارتی محیط توجه کرد تا فضایی آسایش بخش و مناسب برای مطالعه، تمرکز و افزایش بهره وری دانشجویان فراهم شود. بنابراین، معماران باید با رویکردی سیستماتیک و تلفیقی، نورپردازی و تنظیم دما را به گونه ای طراحی کنند که تعاملات این عوامل به بهترین شکل، منجر به ایجاد محیطی آرام و کارآمد شود.

پی نوشت ها

1. Brink

2. Kim

3. Correlated Color Temperature

دمای رنگ همبسته، دمایی است که به میزان گرمی (زرد بودن) یا سردی (آبی بودن) رنگ نور سفید اشاره دارد. این معیار برحسب واحد کلوین (K) بیان می شود.

4. Fu

5. Toftum

6. Chinazzo

7. Bellia

8. te Kulve

9. De Kort and Smolders

۱۰. این مطالعه با رعایت همه موازین اخلاقی و با دریافت مجوز از کمیته اخلاق دانشگاه آزاد اسلامی واحد ایلام با کد اخلاق IR.IAU.ILAM.REC.1403.091 انجام شد.

منابع

- اصفهان، آیباهی، کوروش مؤمنی، و فرامرز حسن پور. ۱۴۰۰. بررسی تأثیر جهت گیری ساختمان بر مصرف انرژی سالیانه در مدارس نواحی گرم و خشک ایران با استفاده از مدل سازی اقلیمی؛ مورد مطالعاتی: بررسی مدرسه تیپ دو کلاسه، معماری و شهرسازی آرمان شهر ۱۴ (۳۴): ۳۷-۴۶.
- برمنش، فاطمه، کارن فتاحی، مجتبی نوراللهی، و احمد ملکشاهی. ۱۴۰۳. بررسی نقش جریان و رطوبت نسبی هوا در فرسایش قلعه تاریخی والی شهر ایلام به روش محاسباتی دینامیک سیالات. مطالعات معماری ایران ۱۳ (۲۵): ۷۹-۹۵.
- فتاحی، کارن، و مریم بیگی. ۱۴۰۴. بررسی وضعیت آسایش حرارتی سالمندان متأثر از تنوع دامنه دمایی، نوع و میزان صدای محیط. نشریه طول عمر ۲ (۴): ۵۳-۷۳.
- فولادی، بهزاد، علویه زینب موسویان اصل، مجتبی شگرد، خدیجه پورش، و حنان ساری. ۱۳۹۶. اندازه گیری شدت روشنایی مدارس ابتدایی شهرستان اهواز و مقایسه آن با مقادیر استاندارد در سال ۱۳۹۶. فصلنامه بهداشت کار و ارتقای سلامت ۳ (۱): ۸۴-۹۶.

مطالعات مرتبط ایران

دو فصلنامه معماری ایرانی
شماره ۲۷ - بهار و تابستان ۱۴۰۴

۱۷۴

- Agency, International Energy. 2011. Energy-efficient buildings: Heating and cooling equipment. OECD Publishing.
- Ardiatma, Angger Dwi, and Benfano Soewito. 2023. IOT Based Indoor Lighting Performance of Led With Different Color Temperatures System Based on Human Activity. *Jurnal Syntax Admiration* 4 s(7): 1007-1024.
- Arroyo, Yesica Paola Villarreal, Rita Peñabaena-Niebles, and Carmen Berdugo Correa. 2023. Influence of environmental conditions on students' learning processes: A systematic review. *Building and Environment*, 231: 110051. <https://doi.org/10.1016/j.buildenv.2023.110051>
- Azmoon, Hiva, Habibollah Dehghan, Jafar Akbari, and Shiva Souri. 2013. The relationship between thermal comfort and light intensity with sleep quality and eye tiredness in shift work nurses. *Journal of environmental and public health* 2013 (1): 639184. <https://doi.org/10.1155/2013/639184>
- Balali, Amirhossein, Akilu Yunusa-Kaltungo, and Rodger Edwards. 2023. A systematic review of passive energy consumption optimisation strategy selection for buildings through multiple criteria decision-making techniques. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, no. 171: 113013. <https://doi.org/10.1016/j.rser.2022.113013>
- Barrett, Peter, Fay Davies, Yufan Zhang , and Lucinda Barrett. 2015. The impact of classroom design on pupils' learning: Final results of a holistic, multi-level analysis. *Building and Environment*, no. 89: 118-133 <https://doi.org/10.1016/j.buildenv.2015.02.013>.
- Bellia, Laura, Francesca Romana d'Ambrosio Alfano, Francesca Fragliasso, Boris Igor Palella, and Giuseppe Riccio. 2021. On the interaction between lighting and thermal comfort: An integrated approach to IEQ. *Energy and Buildings*, no. 231: 110570. <https://doi.org/10.1016/j.enbuild.2020.110570>
- Bellia, Laura, Fabio Bisegna, and Gennaro Spada. 2011. Lighting in indoor environments: Visual and non-visual effects of light sources with different spectral power distributions. *Building and Environment* 46(10): 1984-1992. <https://doi.org/10.1016/j.buildenv.2011.04.007>
- Bluysen, Philomena M. 2017. Health, comfort and performance of children in classrooms—new directions for research. *Indoor and Built environment* 26 (8), 1040-1050. <https://doi.org/10.1177/1420326X16661866>
- Brambilla, Arianna, Wenye Hu, Reza Samangouei, Rebecca Cadorin, and Wendy Davis. 2020. How correlated colour temperature manipulates human thermal perception and comfort. *Building and Environment*, no. 177: 106929. <https://doi.org/10.1016/j.buildenv.2020.106929>
- Brink, Henk W, Stefan C.M Lechner, Marcel G.L.C Loomans, Mark P Mobach, and Helianthe S.M. Kort 2024. Understanding how indoor environmental classroom conditions influence academic performance in higher education. *Facilities* 42 (3-4): 185-200. <https://doi.org/10.1108/F-12-2022-0164>
- Chinazzo, Giorgia, Luisa Pastore, Jan Wienold, and Marilyne Andersen. 2018. A field study investigation on the influence of light level on subjective thermal perception in different seasons. *Proceedings of the tenth Windsor Conference*, p. 12-15.
- Chinazzo, Giorgia , JanWienold , and Marilyne Andersen. 2019. Daylight affects human thermal perception. *Scientific reports* 9 (1): 13690. <https://doi.org/10.1038/s41598-019-48963-y>

- Chriswardana, Marcelinus, H Hadiyanto, and Wahyu Zuli Pratiwi. 2022. Optimization of Light intensity and Color Temperature in The Cultivation of Chlorella Vulgaris Culture Using the Surface Response Method. *Journal of Bioresources and Environmental Sciences*, 1.2: 33-41
- De Kort, YAW , and KCHJ Smolders. 2010. Effects of dynamic lighting on office workers: First results of a field study with monthly alternating settings. *Lighting Research & Technology* 42 (3): 345-360. <https://doi.org/10.1177/1477153510378150>
- Fantozzi, Fabio, Hassan Hamdi, Michele Rocca, and Stefano Vegnuti. 2019. Use of automated control systems and advanced energy simulations in the design of climate responsive educational building for mediterranean area. *Sustainability* 11 (6): 1660. <https://doi.org/10.3390/su11061660>
- Fatahi, Karen, and maryam beigi. 2025. Investigating the role of activity duration, sense of comfort, and thermal adaptation on cognitive performance and general fatigue of healthcare workers (Case study: Hospital workers in Ilam). *Alborz University Medical Journal* 14 (3): 233-245. <https://doi.org/10.61186/aums.14.3.233>
- Fatahi, Karen, and Maryam Beigi. 2024. Assessing the state of cognitive performance of employees and determining the range of thermal comfort of different genders in Ilam hospitals. *Occupational Medicine Quarterly Journal* 16 (3): 27-41. <https://doi.org/10.18502/tkj.v16i3.16873>
- Fatahi, Karen, nazanin Nasrollahi, Maryam Ansarimanesh, jamal Khodakarami, and Ali Omranipour. 2021. The Role of Influential Factors in the Possibility of Human Thermal Comfort in Historical Texture of Kashan. *Journal of Architecture in Hot and Dry Climate* 8 (12): 127-146. [10.29252/ahdc.2021.14689.1396](https://doi.org/10.29252/ahdc.2021.14689.1396)
- Fatahi, Karen, Nazanin Nasrullahi, Maryam Ansarimanesh, jamal Khodakarami, and Ali Emranipour. 2021. Investigating the role of geometry and type of urban open space on thermal comfort and environmental quality (Case study: Kashan historical part). *Motaleate Shahri* 10 (39): 69-82. <https://doi.org/10.34785/j011.2021.138>
- Fu, Xiaoyun, Di Feng, Xu Jiang, and Tingting Wu. 2023. The effect of correlated color temperature and illumination level of LED lighting on visual comfort during sustained attention activities. *Sustainability* 15 (4): 3826. <https://doi.org/10.3390/su15043826>
- Hajibabaei, Majid, Samira Kord, and Ezat Rasooli. 2014. Comparison of different methods of measuring illuminance in the indoor of office and educational buildings. *Jundishapur Journal of Health Sciences* 6 (3): 1-6. DOI: 10.5812/jjhs.21720
- Huebner, Gesche M, David T Shipworth, Stephanie M Gauthier, Christoph Witzel, PeterJ Raynham, and W Chan. 2016. Saving energy with light? Experimental studies assessing the impact of colour temperature on thermal comfort. *Energy Research & Social Science*, no. 15: 45-57. <https://doi.org/10.1016/j.erss.2016.02.008>
- Jahangiri, Hamid, Reza Kazemi, Hamidreza Mokarami, and Andrew Smith. 2023. Visual ergonomics, performance and the mediating role of eye discomfort: a structural equation modelling approach. *International journal of occupational safety and ergonomics* 29 (3): 1075-1079. <https://doi.org/10.1080/10803548.2022.2111885>

- Kim, Hakpyeong, Taehoon Hong, Jimin Kim, and Seungkeun Yeom. 2020. A psychophysiological effect of indoor thermal condition on college students' learning performance through EEG measurement. *Building and Environment*, no. 184: 107223. <https://doi.org/10.1016/j.buildenv.2020.107223>
- Klepeis, Neil Edward , William C Nelson, Wayne Ott, and John P Robinson. 2001. The National Human Activity Pattern Survey (NHAPS): a resource for assessing exposure to environmental pollutants. *Journal of exposure science & environmental epidemiology*, 11.3: 231-252. <https://doi.org/10.1038/sj.jea.7500165>
- Kompier, Maaïke, Karin Smolders, and Yvonne de Kort. 2022. Effects of light and ambient temperature on visual and thermal appraisals. In *Routledge Handbook of Resilient Thermal Comfort*, (pp.347-362).
- Kramer, Rick , Jos van Schijndel, and Henk Schellen. 2017. Dynamic setpoint control for museum indoor climate conditioning integrating collection and comfort requirements: Development and energy impact for Europe. *Building and Environment*, no. 118: 14-31. <https://doi.org/10.1016/j.buildenv.2017.03.028>
- Kramer, Rick P, L. Schellen Schellen, and A.W.M. Jos Van Schijndel. 2016. Impact of ASHRAE's museum climate classes on energy consumption and indoor climate fluctuations: Full-scale measurements in museum Hermitage Amsterdam. *Energy and Buildings*, no. 130: 286-294. <https://doi.org/10.1016/j.enbuild.2016.08.016>
- Leger, Damien. 1994. The cost of sleep-related accidents: a report for the National Commission on Sleep Disorders Research. *Sleep* 17 (1): 84-93. <https://doi.org/10.1093/sleep/17.1.84>
- Luo, Wei, Rick Kramer, Maaïke Kompier, Karin Smolders, Yvonne de Kort, and Wouter van Marken Lichtenbelt. 2023a. Effects of correlated color temperature of light on thermal comfort, thermophysiology and cognitive performance. *Building and Environment*, no. 231: 109944. <https://doi.org/10.1016/j.buildenv.2022.109944>
- Luo, Wei, Kramer, Kompier Rick, Smolders Maaïke, de Kort Karin, Yvonne, and Wouter van Marken Lichtenbelt. 2023b. Personal control of correlated color temperature of light: Effects on thermal comfort, visual comfort, and cognitive performance. *Building and Environment*, no. 238: 110380. <https://doi.org/10.1016/j.buildenv.2023.110380>
- Madvari, Rohollah Fallah, Reyhaneh Sefidkar, Fateme Kargar Shouroki, Hossein Fallah, and Hamidreza Torkian. 2024. *Impact of Combined Ambient Temperature and Color Temperature on Thermal Comfort and Cognitive Performance in Educational Settings*. <http://dx.doi.org/10.2139/ssrn.4971614>
- Malakoutikhah, Mahdi, Hadiseh Rabiei, Asma Zare, and Amir Omidvar. 2021. The simultaneous effect of ambient temperature and light intensity on performance: A cross-sectional study. *International Archives of Health Sciences* 8(3): 170-175. DOI: 10.4103/iahs.iahs_125_20.
- Mishra, Asit Kumar , and Maddali Ramgopal . 2014. Thermal comfort field study in undergraduate laboratories—An analysis of occupant perceptions. *Building and Environment*, no. 76: 62-72. <https://doi.org/10.1016/j.buildenv.2014.03.005>
- Mohammadi, Abbas, Leila Nematpour, and Behzad Fouladi Dehaghi. 2022. Reader fatigue—Electroencephalography findings: A case study in students. *Work* 71 (1): 209-214. <https://doi.org/10.3233/WOR-205121>

- Pradhan, Surakshya, Youjin Jang , and Hardik Chauhan. 2024. Investigating effects of indoor temperature and lighting on university students' learning performance considering sensation, comfort, and physiological responses. *Building and Environment*, no. 253: 111346. <https://doi.org/10.1016/j.buildenv.2024.111346>
- Qian, Liang, Xiwen Zeng, Xiaorong Liu, and Li Peng. 2025. The impact of varied correlated color temperatures on visual comfort in museum exhibitions: integrating physiological and subjective assessments. *Journal of Asian Architecture and Building Engineering* 24 (3): 1836-1850. <https://doi.org/10.1080/13467581.2024.2342856>
- Rodríguez, Carolina M, María Camila Coronado, and Juan Manuel Medina. 2021. Thermal comfort in educational buildings: The Classroom-Comfort-Data method applied to schools in Bogotá, Colombia. *Building and Environment*, no. 194: 107682. <https://doi.org/10.1016/j.buildenv.2021.107682>
- Romero, Pilar, Víctor Valero-Amaro , Sergio Rubio, and María Teresa Miranda. 2024. An analysis of thermal comfort as an influencing factor on the academic performance of university students. *Education Sciences* 14 (12): 1340. <https://doi.org/10.3390/educsci14121340>
- Sundell, Jan. 2004. On the history of indoor air quality and health. *Indoor Air*, 14.
- te Kulve, Marije, Schellen L, Schlangen L, van Marken Lichtenbelt, W. 2016. *The influence of light on thermal responses*. *Acta Physiologica* 216 (2): 163-185.
- Te Kulve, Marije, and van Marken Lichtenbelt W Schlangen L. 2018. Interactions between the perception of light and temperature. *Indoor Air* 28 (6): 881-891. <https://doi.org/10.1111/ina.12500>
- Toftum, Jørn, Anders Thorseth, Jakob Markvart, and Ásta Logadóttir . 2018. Occupant response to different correlated colour temperatures of white LED lighting. *Building and Environment*, no. 143: 258-268 <https://doi.org/10.1016/j.buildenv.2018.07.013>.
- Tohidi, Mohammad, Karen Fatahi, and Maryam Beigi. 2025. Investigating the effect of ambient temperature, sound type, and noise level on the heart rate of the elderly. *Experimental Gerontology*, no. 208: 112829. <https://doi.org/10.1016/j.exger.2025.112829>
- Torriani, Giulia, Giulia Lamberti, Giacomo Salvadori, Fabio Fantozzi, and Francesco Babich. 2023. Thermal comfort and adaptive capacities: Differences among students at various school stages. *Building and Environment*, no. 237: 110340. <https://doi.org/10.1016/j.buildenv.2023.110340>
- van Marken Lichtenbelt, Wouter, Mark Hanssen, Hannah Pallubinsky, Boris Kingma, and Lisje Schellen. 2017. Healthy excursions outside the thermal comfort zone. *Building Research & Information* 45 (7): 819-827. <https://doi.org/10.1080/09613218.2017.1307647>
- Wang, Zitong, F Yao u , and Weijun Gao. 2024. The crossed and interaction effects of indoor light and thermal factors on human perceptions. *Developments in the Built Environment*, no. 17: 100339. <https://doi.org/10.1016/j.dibe.2024.100339>
- Yu, Kuan-Heng , Yi-An Chen , Emanuel Jaimes, Wu-Chieh Wu, Kuo-Kai Liao, Jen-Chung Liao, Kuang-Chin Lu , Wen-Jenn Sheu, and Chi-Chuan Wang . 2021. Optimization of thermal comfort, indoor quality, and energy-saving in campus classroom through deep Q learning. *Case Studies in Thermal Engineering*, no. 24: 100842. <https://doi.org/10.1016/j.csite.2021.100842>

- Zheng, Peiping, Runming Yao, James O'Donnell, Eugene Mohareb , Prashant Kumar, Christopher Pain, Xizhen Huang, and Baizhan Li. 2025. A comprehensive review of thermal comfort evaluation methods and influencing factors for urban parks. *Building and Environment*, no. 267: 112159. <https://doi.org/10.1016/j.buildenv.2024.112159>
- Zhu, Yingying, Minqi Yang, Ying Yao, Xiao Xiong, Xiaoran Li, Guofu Zhou, and Ning Ma. 2019. Effects of illuminance and correlated color temperature on daytime cognitive performance, subjective mood, and alertness in healthy adults. *Environment and Behavior* 51 (2): 199-230. <https://doi.org/10.1177/0013916517738077>



پژوهشگاه علوم انسانی و مطالعات فرهنگی
پرتال جامع علوم انسانی

■ Investigating the Effect of Air Temperature, Color-correlated Temperature of Light, and Ambient Light Intensity on Students' Sense of Thermal Comfort in the Library Space.

Karen Fatahi

Assistant Professor, Department of Architecture, II.C. Islamic Azad University, Ilam, Iran

The sense of thermal comfort in educational environments is a key factor affecting both learning quality and student productivity. Inappropriate temperature and lighting conditions can cause thermal discomfort, decrease concentration, lead to early fatigue, and impede learning progress. Therefore, creating a space with optimal thermal comfort not only supports students' well-being but also plays a crucial role in designing effective educational facilities. This study aims to explore how different levels of ambient temperature (20, 25, and 30 degrees Celsius), light intensity (200, 400, and 600 lux), and the associated color temperature of ambient light (2700, 4000, and 7800 Kelvin) influence students' perceptions of thermal comfort while studying in a laboratory climate chamber. Conducted over four months (December to March 2024) with 90 male students from Ilam city, the research employed a three-way ANOVA analysis using SPSS version 27. Results indicated that correlated light color temperatures of 2700 Kelvin (at 25 degrees Celsius and light intensities of 200, 400, and 600 lux), 4000 Kelvin (at 600 lux), and 7800 Kelvin (at 20 degrees Celsius) significantly affected students' feelings of thermal comfort ($p < 0.05$). The ambient temperature of the study hall and the correlated color temperature of ambient light, both independently and in combination with light intensity, significantly influenced students' thermal comfort. Although ambient light intensity alone did not have a significant effect, it did interact with ambient temperature. The findings also confirmed that both ambient temperature and correlated color temperature significantly affected students' thermal comfort in the library, with effects varying across the ambient light intensities (200, 400, and 600 lux). Specifically, at 200 lux, the 4000 K group revealed differences from the other groups. At 400 lux, a combined effect was observed, with the highest comfort reported at 2700 K. At 600 lux, only the group with the highest color temperature (7800 K) experienced greater thermal comfort than the others. In conclusion, the influence of light color temperature on thermal comfort depends on ambient light intensity and temperature conditions, with different levels producing distinct effects under each scenario.

Keywords: Temperature, Color-correlated Temperature of Light, Light Intensity, Thermal Comfort, Study Hall.