

Original Article

Investigating the Effect of Carbon Dioxide in the Air on the Feeling of Thermal Comfort, Cognitive Function, and Heart Rate of Healthcare Workers while Working

Karen Fatahi^{1*} 

¹ Department of Architecture, Il.c., Islamic Azad University, Ilam, Iran

Abstract

Article History:

Received: 28 November 2024

Revised: 28 February 2025

Accepted: 05 March 2025

ePublished: 20 March 2025

*Corresponding author: Karen Fatahi,
Department of Architecture, Il.c.,
Islamic Azad University, Ilam, Iran

Email: karenfatahi@yahoo.com

Objectives: The primary aim of this study is to examine the impact of carbon dioxide (CO₂) concentrations in the air on thermal comfort, cognitive performance, and heart rate among healthcare workers while they engage in their duties within therapeutic environments. These settings are often characterized by high occupancy, inadequate ventilation, underground locations, limited natural light, and exposure to pollutants.

Methods: In this laboratory-based research, 20 employees from a specialized clinic were randomly assigned into two groups of ten. They were exposed to varying levels of CO₂ at a controlled temperature of 25°C: one group experienced 1100 ppm with adequate ventilation, while the other was subjected to 1800 ppm without ventilation. Key parameters, such as heart rate, thermal comfort (assessed using the ASHRAE standard questionnaire), and cognitive performance (measured through the MOCA test) were recorded. The collected data were analyzed using multivariate analysis of covariance (MANCOVA).

Results: The statistical analysis revealed significant effects of cognitive performance and CO₂ levels (1800 ppm vs. 1100 ppm) on thermal comfort ($F(1,15)=13.257$, $P<0.05$ and $F(1,15)=16.694$, $P<0.05$). Furthermore, both the CO₂ levels and the gender of participants significantly influenced the heart rate of healthcare workers in their work environments ($F(1,15)=53.381$, $P<0.05$ and $F(1,15)=9.642$, $P<0.05$). Specifically, individuals exposed to 1800 ppm of carbon dioxide reported a thermal dissatisfaction score that was 0.878 units higher and exhibited a heart rate that was 9.25 beats per minute greater compared to those exposed to 1100 ppm.

Conclusion: The findings underscore the importance of continuous air quality monitoring in workplace settings. Such measures can enhance thermal comfort levels, improve cognitive performance, and mitigate health risks for healthcare workers engaged in their professional activities.

Keywords: Air quality, Carbon dioxide, Healthcare workers, Heart rate, Thermal comfort, Workplace

Extended Abstract

Background and Objective

Thermal comfort, or satisfaction with the thermal environment, is essential for health, well-being, and cognitive performance. Disruption in temperature can lead to physical stress and decreased cognitive accuracy. High temperatures specifically disrupt reasoning, learning, and problem-solving, reduce workplace productivity, and increase economic losses. Indoor air quality, particularly carbon dioxide (CO₂) levels, also plays a significant role. High CO₂ levels can cause headaches, fatigue, and respiratory issues. Effective ventilation is crucial to maintaining optimal CO₂ levels and a healthy indoor environment. Therefore, optimizing thermal comfort and indoor air quality is vital for creating spaces that enhance physical and mental well-being. The aim of this study is to examine how CO₂ levels in crowded, poorly ventilated, underground, and contaminated healthcare settings impact the thermal comfort, cognitive performance, and heart rate of healthcare workers.

Materials and Methods

In a controlled laboratory study, 20 employees from a specialized clinic were divided into two groups of 10 and were exposed to two CO₂ level scenarios (1100 PPM with ventilation and 1800 PPM without ventilation) at a constant temperature of 25°C. Heart rate, thermal comfort (based on ASHRAE standards), and cognitive performance (assessed using the Montreal Cognitive Assessment questionnaire) were measured. Data were analyzed using the multivariate analysis of covariance (MANCOVA) method.

Results

This study revealed that higher levels of CO₂ (1800 ppm) were associated with lower thermal comfort and higher heart rates in healthcare workers compared to lower levels (1100 ppm). While the group exposed to 1100 ppm met the ASHRAE standard for thermal comfort, the 1800 ppm group did not. Specifically, women in the 1800 ppm group reported the highest thermal comfort score (1.800) and heart rate (600.83 bpm). Overall, the average thermal comfort score was higher in the 1800 ppm group (1.339), and the average heart rate was also elevated in this group (985.81 bpm). The study demonstrated a significant relationship between CO₂ levels, cognitive performance, and thermal comfort. Higher CO₂ levels (1800 ppm) were linked to diminished cognitive performance and decreased thermal comfort compared to lower levels (1100 ppm). Additionally, both CO₂ levels and gender significantly affected heart rate. MANCOVA analysis indicated that cognitive performance levels and gender did not significantly impact the heart rate of healthcare staff ($P>0.05$), leading to the rejection of the second hypothesis. Furthermore, the interaction effects of CO₂ levels (ppm 1800 and ppm 1100) and gender on thermal comfort and heart rate were also not significant ($P>0.05$),

resulting in the rejection of the third hypothesis.

Discussion

This study demonstrated that cognitive performance and CO₂ levels (1800 ppm and 1100 ppm) significantly impacted thermal comfort, while CO₂ levels and gender affected heart rate. However, cognitive performance did not influence heart rate, nor did gender impact thermal comfort. The interaction between CO₂ levels and gender also did not significantly affect thermal comfort and heart rate. The results indicated that varying CO₂ levels within the same temperature range (25°C) lead to changes in thermal comfort and heart rate among healthcare workers. Cognitive performance and CO₂ levels significantly influence thermal comfort, while CO₂ levels and gender influence heart rate. These findings align with previous research indicating that increased CO₂ levels can stimulate the respiratory system and potentially elevate heart rate, although a direct relationship with thermal comfort was not previously established. Recent studies using logistic regression have demonstrated that higher CO₂ levels significantly reduce thermal satisfaction, emphasizing the need to consider CO₂ levels when creating healthy indoor environments. The impact of indoor thermal comfort, environmental conditions, emotions, and fatigue on employee performance varies seasonally and significantly affects performance through cognitive abilities. A predictive model that integrates thermal comfort, emotions, and fatigue achieved an R² of 0.749, highlighting thermal comfort as the most critical factor affecting work performance. Another study considering indoor building temperature and office worker performance indicated optimal performance at 17°C, with a thermal sensation of -0.57 and body temperature at 36.4°C. Performance positively correlated with thermal satisfaction and negatively with sleepiness. This study underscores the importance of indoor temperature in office spaces and its relationship with performance, perceptions, and physiology. Previous studies have also shown that exposure to hot and humid air impacts cognitive performance.

Conclusion

This study found that healthcare workers exposed to 1800 ppm of CO₂ experienced higher thermal dissatisfaction (0.878 TSV units) and an increased heart rate (25.9 beats higher) compared to those exposed to 1100 ppm. These findings highlight the significant impact of environmental conditions on the performance and physiological well-being of healthcare workers. Understanding how factors such as CO₂ levels and thermal comfort affect cognitive performance and heart rate may help optimize workplace conditions. Effectively managing these environmental factors could enhance mental clarity, decision-making, and overall performance, leading to better outcomes, reduced medical errors, and improved workplace health. This research provides scientific evidence regarding the importance of workplace health, which can inform standards, design strategies, and health programs in healthcare environments.

Please cite this article as follows: Fatahi K. Investigating the Effect of Carbon Dioxide in the Air on the Feeling of Thermal Comfort, Cognitive Function, and Heart Rate of Healthcare Workers while Working. *Iran J Ergon.* 2025; 12(4): 252-262 DOI: 10.32592/IJE.12.4.252

بررسی اثر دی‌اکسیدکربن موجود در هوا بر احساس آسایش حرارتی، عملکرد شناختی و ضربان قلب کارکنان فضاهای درمانی حین انجام کار

کارن فتاحی^{۱*}

^۱ گروه معماری، واحد ایلام، دانشگاه آزاد اسلامی، ایلام، ایران

چکیده

اهداف: هدف پژوهش حاضر بررسی اثر مقادیر دی‌اکسیدکربن موجود در هوا بر احساس آسایش حرارتی، عملکرد شناختی و ضربان قلب کارکنان فضاهای درمانی حین انجام فعالیت کاری در فضاهای درمانی است که در معرض شلوغی افراد، عدم تهویه مناسب محیط کاری، استقرار در فضاهای زیرزمینی، امکان فاقد نورگیری و دارای آلاینده‌گی در محل کار هستند.

روش کار: در این مطالعه آزمایشگاهی، ۲۰ نفر از کارکنان یک درمانگاه تخصصی به‌طور تصادفی به دو گروه ۱۰ نفری تقسیم شدند و در دمای ۲۵ درجه سانتی‌گراد در معرض سطوح مختلف دی‌اکسیدکربن (۱۱۰۰ ppm با تهویه و ۱۸۰۰ ppm بدون تهویه) قرار گرفتند. پارامترهای ضربان قلب و آسایش حرارتی با استفاده از پرسش‌نامه استاندارد ASHRAE و عملکرد شناختی (MOCA) ثبت و داده‌ها با آنالیز کواریانس چندمتغیره (MANCOVA) تجزیه و تحلیل شدند.

یافته‌ها: مقادیر آماری فیشر به‌دست‌آمده نشان می‌دهد که عملکرد شناختی و سطوح فاکتور دی‌اکسیدکربن موجود در هوا (۱۸۰۰ ppm و ۱۱۰۰ ppm) به‌طور معنی‌داری بر آسایش حرارتی تأثیر می‌گذارند ($p<0.05$, $F(1,15)=16.694$ و $p<0.05$, $F(1,15)=13.257$). همچنین، سطوح دی‌اکسیدکربن موجود در هوا (۱۸۰۰ ppm و ۱۱۰۰ ppm) و جنسیت افراد نقش مهمی در افزایش ضربان قلب کارکنان فضاهای درمانی در محل کار آن‌ها با مقادیر ($F(1,15)=53.381$, $P<0.05$ و $F(1,15)=9.642$, $P<0.05$) دارند. یافته‌ها نشان داد وضعیت آسایش حرارتی افرادی که در معرض مقدار دی‌اکسیدکربن ۱۸۰۰ (ppm) قرار داشتند، به‌اندازه ۰/۸۷۸ واحد TSV نارضایتی حرارتی و ۹/۲۵ ضربان قلب بیشتری نسبت به مقدار دی‌اکسیدکربن ۱۱۰۰ (ppm) موجود در محیط کار داشتند.

نتیجه‌گیری: با کنترل مداوم کیفیت هوا در محیط‌های کاری می‌توان توسعه دامنه آسایش حرارتی، بهبود وضعیت عملکرد شناختی و پیشگیری از بروز آسیب به سلامت کارکنان فضاهای درمانی حین انجام فعالیت‌های کاری را ایجاد کرد.

کلید واژه‌ها: دی‌اکسیدکربن، کیفیت هوا، آسایش حرارتی، ضربان قلب، کارکنان فضاهای درمانی، محیط کار

تاریخ دریافت مقاله: ۱۴۰۳/۰۹/۰۸

تاریخ داوری مقاله: ۱۴۰۳/۱۲/۱۰

تاریخ پذیرش مقاله: ۱۴۰۳/۱۲/۱۵

تاریخ انتشار مقاله: ۱۴۰۳/۱۲/۳۰

تمامی حقوق نشر برای دانشگاه علوم پزشکی همدان محفوظ است.

* نویسنده مسئول: کارن فتاحی، گروه معماری، واحد ایلام، دانشگاه آزاد اسلامی، ایلام، ایران
ایمیل: karenfatahi@yahoo.com

استناد: فتاحی، کارن. بررسی اثر دی‌اکسیدکربن موجود در هوا بر احساس آسایش حرارتی، عملکرد شناختی و ضربان قلب کارکنان فضاهای درمانی حین انجام کار. مجله ارگونومی، زمستان ۱۴۰۳؛ ۱۲(۴): ۲۵۲-۲۶۲

مقدمه

مختلف نشان می‌دهد که «سندرم ساختمان بیمار» به نارضایتی ساکنان از کیفیت محیط داخلی ساختمان مرتبط است و به شرایط محیطی خاص داخل آن بستگی دارد [۲]. آلودگی فضای داخلی به‌عنوان یکی

مفهوم ساختمان‌های «سالم» موضوعی جدید در معماری است. تمرکز آن بر به حداقل رساندن اثرات زیست‌محیطی در عین به حداکثر رساندن اثرات مثبت بر سلامت کاربران است [۱]. مروری بر مطالعات

تأثیر آن بر کارایی و بهره‌وری کارکنان به یک چالش مهم تبدیل شده است [۲۰]. محیط داخلی باکیفیت در ساختمان‌های اداری باعث افزایش کارایی کارکنان و رشد اقتصادی می‌شود، درحالی‌که محیط ضعیف به نارضایتی و کاهش بهره‌وری منجر می‌گردد. تهویه مناسب تحت تأثیر دی‌اکسیدکربن، یکی از عوامل کلیدی در این زمینه است [۲۱]. افزایش سطح CO₂ در فضاهای داخلی می‌تواند به سردرد، خستگی، سوزش چشم، آبریزش بینی و مشکلات تنفسی منجر شود [۲۰]. کیفیت پایین هوا در مراکز بهداشتی می‌تواند سلامت کارکنان را به خطر اندازد و شرایط بیمارانی را تشدید کند. بنابراین، اطمینان از کیفیت مطلوب هوای داخلی برای ارتقای سلامت و کاهش اثرات منفی آن اهمیت زیادی دارد [۲۲]. در تحقیقی در نانجینگ چین، اندازه‌گیری طولانی‌مدت سطح دی‌اکسیدکربن در بیمارستان‌های عمومی نشان داد که کیفیت هوای داخلی با سطح CO₂ به‌عنوان شاخصی برای سلامت اهمیت دارد [۲۳]. تعداد زیادی از مطالعات نشان داده‌اند که دمای هوای داخلی و سطح بالای CO₂ تأثیر قابل‌توجهی بر سلامت، ضربان قلب افراد [۲۴] و در نتیجه عملکرد شناختی آن‌ها دارد [۲۵]. CO₂ بالا می‌تواند سیستم تنفسی را تحریک کند و به افزایش سرعت متابولیک و افزایش تبادل گرما با محیط منجر شود و در نتیجه بر آسایش حرارتی تأثیر بگذارد [۲۶]. پژوهش دیگر نشان داد تست CO₂ به افزایش قابل‌توجه ضربان قلب در شرکت‌کنندگان منجر می‌شود که نشان‌دهنده پاسخ سیستم عصبی خودمختار به سطوح بالای CO₂ است [۲۷].

بسیاری از فضاهای درمانی در ایلام دارای غلظت بالای CO₂ هستند که ناشی از شلوغی، عدم تهویه مناسب و آلاینده‌های محیطی است. این کیفیت پایین هوا بر آسایش حرارتی، سلامت جسمی و ضربان قلب کارکنان تأثیر منفی می‌گذارد و تمرکز و عملکرد دی‌اکسیدکربن بر احساس آسایش ذهنی و ضربان قلب کارکنان در حین فعالیت کاری است. پژوهش حاضر در پی بررسی فرضیات زیر است:

- عملکرد شناختی و دی‌اکسیدکربن در محیط بر آسایش حرارتی کارکنان فضاهای درمانی تأثیر دارند.
- عملکرد شناختی، مقادیر CO₂ و جنسیت عوامل مؤثری بر احساس آسایش حرارتی و میزان ضربان قلب کارکنان فضاهای درمانی حین کار هستند.
- فاکتورهای سطوح مختلف مقادیر CO₂ و جنسیت به‌طور هم‌زمان یک عامل مؤثر بر احساس آسایش حرارتی و میزان ضربان قلب کارکنان فضاهای درمانی حین کار هستند.

روش کار

جامعه آماری مورد مطالعه

این مطالعه تجربی در سال ۱۴۰۳ به‌صورت یک بررسی آزمایشگاهی با تعداد نمونه ۲۰ نفر از کارکنان فضاهای درمانی در دو

از خطرات زیست‌محیطی پیشرو برای سلامت عمومی شناسایی شده و کیفیت خوب هوای داخلی برای ایجاد محیطی سالم ضروری است. این آلودگی می‌تواند به بیماری‌های تنفسی کمک کند و در دوران بیماری‌های همه‌گیر، توجه به این موضوع برای کاهش اثرات مضر آن اهمیت بیشتری پیدا کرده است [۳]. همچنین کیفیت هوای داخلی بر آسایش حرارتی تأثیر می‌گذارد [۴].

آسایش حرارتی یک حالت ذهنی است که رضایت از شرایط دمایی محیط را بیان می‌کند [۵] و جنبه مهمی از فرایند طراحی ساختمان است [۶]. آسایش حرارتی برای تضمین سلامت و بهره‌وری ساکنان حیاتی است و دانستن تقاضای حرارتی آن‌ها می‌تواند به ایجاد محیطی رضایت‌بخش با کمترین اتلاف انرژی کمک کند [۷]. با این حال، چندین چالش برای دستیابی به یک محیط ساخته‌شده پایدار، مانند بهینه‌سازی آسایش حرارتی و کیفیت هوای داخل ساختمان و درعین‌حال کاهش مصرف انرژی ایجاد می‌کند. در نتیجه، افزایش قابل‌توجهی در مطالعات متمرکز بر بهینه‌سازی طراحی یا بهره‌برداری از ساختمان‌های کم‌مصرف در سال‌های اخیر وجود داشته است [۸]. شرایط محیطی همراه با ارزیابی شرایط حرارتی داخلی ساختمان به‌طور اساسی به دستیابی به آسایش حرارتی بستگی دارد [۹]. با توجه به اینکه انسان بیشتر وقت خود را در محیط داخلی می‌گذراند، توجه به کیفیت محیط داخلی حیاتی شده است؛ زیرا تأثیر قابل‌توجهی بر سلامت و راحتی کاربران دارد [۱۰].

تغییرات ناگهانی دما می‌تواند علائمی مانند خستگی چشم، سرگیجه، تسریع تنفس و افزایش ضربان قلب را به همراه داشته باشد که نشان‌دهنده فشار فیزیکی و تأثیر منفی بر سلامت کلی است [۱۱]. همچنین آزمایش‌های انجام‌شده در اتاقک‌های اقلیمی بیان کرده‌اند که دقت تست‌های شناختی در دمای بالا کاهش می‌یابد که نشان‌دهنده اختلال در عملکرد شناختی است [۱۲]. عملکرد شناختی طیفی از توانایی‌های ذهنی از جمله استدلال، یادگیری، حافظه و حل مسئله را دربر می‌گیرد [۱۳]. درجه حرارت بالا عامل اصلی حوادث ایمنی شغلی است که با کاهش عملکردهای شناختی و افزایش احتمال بروز حوادث در محل کار مرتبط است [۱۴]. آسایش حرارتی در محیط کار و محیط زندگی به‌عنوان یکی از مهم‌ترین دغدغه‌های بشر در نیم قرن گذشته مطرح بوده است [۱۵]. آسایش حرارتی در محیط‌های داخلی برای رفاه و بهره‌وری کارکنان حیاتی است و نارضایتی از محل کار می‌تواند بهره‌وری را کاهش دهد. حفظ شرایط بهینه در ساختمان‌ها به افزایش کارایی و موفقیت سازمان کمک می‌کند [۱۶]. بنابراین یکی از دلایل اصلی کاهش بازده کاری اختلالات شناختی است [۱۷]. حفظ عملکرد شناختی نیازمند منابع و تلاش بیشتری است که هزینه‌های فیزیولوژیکی به همراه دارد. معیارهای فیزیولوژیکی می‌توانند به‌عنوان شاخصی برای ارزیابی عوامل ذهنی و عملکرد شناختی عمل کنند [۱۸]. به‌طور خاص، سه مرور سیستماتیک تنوع ضربان قلب را به‌عنوان پارامترهای فیزیولوژیکی اولیه برای ارزیابی کار ذهنی شناسایی می‌کنند [۱۹].

شیوع سندرم ساختمان بیمار در محیط‌های اداری امروزه به‌دلیل

گروه‌های مورد مطالعه در معرض دو سطح دی‌اکسید کربن (۱۱۰۰ ppm با تهویه و ۱۸۰۰ ppm بدون تهویه) قرار گرفتند.



شکل ۱. وضعیت محل انجام مطالعات آزمایشگاهی

فرایند گردآوری داده‌های میدانی در این مطالعه شامل شش گام اصلی بود که در مجموع ۲ ساعت و ۴۲ دقیقه به طول انجامید. ابتدا ۵ دقیقه به توضیح آزمون و اخذ رضایت‌نامه آگاهانه اختصاص یافت و سپس گروه‌های مورد مطالعه با لباس فرم یکسان و مقاومتی برابر با ۰/۷۵ کلو به مدت ۲ دقیقه پوشش داده شدند. در مرحله بعد، ۲۰ دقیقه به سازگاری حرارتی کارکنان در دمای ۲۵ درجه سانتی‌گراد اختصاص یافت که در آن شرایط محیطی مانند صدا و شدت روشنایی کنترل شد. پس از آن، ۲ ساعت فعالیت کاری متداول در فضای آزمایشگاه انجام شد که شامل مواجهه با دی‌اکسید کربن در دو سطح ۱۱۰۰ ppm با تهویه و ۱۸۰۰ ppm بدون تهویه بود. سپس، ۱۰ دقیقه به پاسخ به پرسش‌نامه آسایش حرارتی قبل و بعد از مواجهه اختصاص یافت که مطابق با استاندارد ASHREA آمریکا انجام شد. در نهایت، وضعیت عملکرد شناختی کارکنان بر اساس پرسش‌نامه استاندارد MOCA بررسی گردید تا اثر دی‌اکسید کربن بر عملکرد ذهنی آن‌ها ارزیابی شود. داده‌های جمع‌آوری‌شده از گروه‌های مورد مطالعه نیز با استفاده از آنالیز کواریانس چندمتغیره (MANCOVA) و نرم‌افزار SPSS27 تجزیه و تحلیل شدند.

پرسش‌نامه و تجهیزات اقلیمی به‌کاررفته در پژوهش

پرسش‌نامه‌های مطالعات آزمایشگاهی به دو دسته اصلی تقسیم می‌شوند: آسایش حرارتی و عملکرد شناختی. سؤالات آسایش حرارتی براساس مقیاس هفت‌گانه استاندارد ASHRAE طراحی شده و شامل سه محدوده حرارتی گرم، متعادل و سرد است. محدوده متعادل نشان‌دهنده احساس رضایت از وضعیت حرارتی است و شامل سه مقیاس کمی گرم، متعادل و کمی سرد می‌شود. در مقابل، محدوده

گروه ۱۰ نفری با استفاده از فرمول کوکران به‌صورت تصادفی با دو جنسیت مرد و زن در محدوده سنی ۲۵ تا ۳۵ سال در یک مرکز بهداشتی درمانی واقع در شهر ایلام انجام شد. محل انجام مطالعه در یک زیرزمین با مساحت حدود ۴۰ مترمربع در یک فضای کنترل‌شده از نظر حرارتی و کنترل کیفیت هوای محیط در یک درمانگاه تخصصی در شهر ایلام انجام گرفت. شرکت‌کنندگان از نظر داشتن سلامت روانی و سلامت جسمانی (عدم سابقه مصرف سیگار و مواد مخدر، عدم سابقه مصرف داروهای قلبی، عدم ابتلا به بیماری‌های تنفسی، عدم ابتلا به کورنگی، بر خورداری از سلامت شنوایی و بینایی، نداشتن بیماری‌های قلبی عروقی، زمینه‌ای و اختلالات خواب)، وضعیت سابقه تحصیلی، مقادیر وزن، قد و سایر مشخصات دموگرافیک با استفاده از پرسش‌نامه‌های استاندارد انجمن مهندسان گرمایش، سرمایش و تهویه مطبوع آمریکا و پرسش‌نامه استاندارد عملکرد شناختی (MOCA) متناسب با اظهارات شخصی بررسی شدند.

یک روز قبل از آزمایش، توصیه‌هایی درباره خواب، رژیم غذایی و پرهیز از داروها و کافئین به آن‌ها داده شد. در زمان آزمایش، پرسش‌نامه اطلاعات دموگرافیک توزیع و پس از پاسخ‌گویی جمع‌آوری شد.

شرایط محل انجام مطالعات آزمایشگاهی

بسیاری از اماکن درمانی در ایلام به دلیل شلوغی، عدم تهویه مناسب، استقرار در فضاهای زیرزمینی و آلاینده‌های کیفیت هوای مطلوبی ندارند و غلظت دی‌اکسید کربن در این فضاها بالاتر از ۱۲۰۰ ppm استاندارد ASHRAE است. بررسی‌ها نشان می‌دهد که در برخی از این اماکن، غلظت CO₂ کمتر از ۱۱۰۰ ppm و در بسیاری دیگر تا ۲۴۰۰ ppm متغیر است. محل انجام مطالعات آزمایشگاهی در یک فضای آزمایشگاهی در یک زیرزمین فضای درمانی با ابعاد حدود ۷/۵۰ در ۵/۲۰ متر با ارتفاع ۲/۸۰ متر مطابق (شکل ۱) است. تهویه فضای کار این آزمایشگاه از طریق یک پنجره به ابعاد ۰/۶۰ در ۰/۶۰ متر و استفاده از تهویه مکانیکی از طریق یک فن سقفی با توان ۳۵ وات و دور موتور ۲۱۵۰ با ولتاژ ۲۲۰ ولت تک‌فاز و قطر پروانه ۱۵ سانتی‌متری صورت می‌گیرد. پس از تهویه، غلظت دی‌اکسید کربن در هوا حدود ۱۱۰۰ ppm اندازه‌گیری شد. با بستن پنجره و قطع تهویه و انجام فعالیت کاری، این مقدار به ۱۸۰۰ ppm افزایش یافت. بنابراین، شرایط آزمایشگاهی در دو سناریو مطابق با وضعیت کیفیت هوای داخلی فضاهای درمانی تنظیم شد.

متناسب با استاندارد ASHREA، مقدار دمای خشک برای محیط‌های داخل فضاهای درمانی ۲۵ درجه سانتی‌گراد در محدوده دمای خنثی با میزان رطوبت نسبی بین ۵۰ تا ۶۰ درصد و سرعت جریان هوا حدود ۰/۲۰ متر بر ثانیه در نظر گرفته شده است. مطابق استاندارد ISO۹۹۲۰، مقاومت لباس ۰/۷۵ کلو برای گروه‌های مورد مطالعه خانم و آقا به‌صورت یکسان در نظر گرفته شده است [۲۸]. قبل از ورود افراد به شرایط آزمایشگاهی، دماهای سطح پوست بدن، گردن، صورت، کتف راست و دستان چپ و راست اندازه‌گیری شد.

مواجهه با مقادیر متفاوت دی‌اکسیدکربن بررسی خواهد شد. برداشت داده‌های اقلیمی شامل دما، رطوبت، سرعت جریان هوا، دمای تابشی و میزان رطوبت نسبی توسط دیتالاگر (10 delta log) ثبت شد (شکل ۳ A) و اندازه‌گیری دمای سطح پوست بدن به‌وسیله دستگاه استاندارد تفنگ حرارتی (TCE ۱۳۲۶/۱۳۲۷) اندازه‌گیری گردید (شکل ۳ B). هم‌زمان با استفاده از دستگاه تستر کیفیت هوا (Fluke) Fluke 975 Air Meter (ایالات متحده آمریکا ثبت لحظه‌ای CO₂ در فضای آزمایش انجام گرفت تا امکان تطابق پاسخ‌های کارکنان با اندازه‌گیری‌های محیطی وجود داشته باشد (شکل ۳ C).

گرم شامل دو مقیاس گرم و بسیار گرم و محدوده سرد شامل دو مقیاس سرد و خیلی سرد است که افراد براساس احساس خود انتخاب می‌کنند. آزمون MOCA ابزاری مهم برای غربالگری مشکلات شناختی و بیماری‌های حافظه است که به تشخیص زودهنگام اختلالات کمک می‌کند و در کمتر از ۱۰ تا ۱۵ دقیقه انجام می‌شود. در این مطالعه، گروه‌های موردبررسی در معرض دو سطح دی‌اکسیدکربن (۱۱۰۰ ppm با تهویه و ۱۸۰۰ ppm بدون تهویه) قرار گرفتند تا اثر کیفیت هوا بر عملکرد شناختی آن‌ها ارزیابی شود. این گروه‌ها فعالیت کاری یکسانی دارند، اما وضعیت شناختی آن‌ها در



شکل ۲. مسیر انجام پژوهش در مطالعه حاضر



شکل ۳. مشخصات دستگاه‌های اقلیمی ثبت داده‌ها

Kolmogorov) پرداخته شد که با توجه به مقدارهای P در آزمون کولموگوروف و اسمیرنوف که از ۰/۰۵ بزرگ‌تر بودند، مفروضه دوم تحلیل کواریانس رعایت گردید.

یکی از فروض انجام تحلیل کواریانس چندمتغیره، یکنواختی کواریانس‌های مشاهده‌شده متغیرهای وابسته آسایش حرارتی و ضربان قلب کارکنان فضاهای درمانی در بین گروه‌های مورد مطالعه با مقدار CO₂ (ppm) ۱۸۰۰ و (ppm) ۱۱۰۰ است که با توجه به مقدار آماره فیشر آزمون ام‌باکس (Box's Test) که برابر ۱/۲۷۵ به دست آمده است، در سطح خطای ۵ درصد دلیلی بر رد یکنواختی کواریانس‌های متغیرهای وابسته آسایش حرارتی و ضربان قلب

آنالیز آماری

برای انجام تحلیل کواریانس چندمتغیره (مانکوا) (MANCOVA)، ابتدا پیش‌فرض‌های آن بررسی شدند. به‌این‌منظور، اولین مفروضه زیربنایی تحلیل کواریانس شامل فاصله‌ای و نسبی بودن متغیرهای وابسته آسایش حرارتی و ضربان قلب کارکنان فضاهای درمانی است. همان‌طور که در شیوه نمره‌گذاری تست‌ها آورده شد، مقیاس‌ها از نوع فاصله‌ای هستند. به‌همین‌جهت، مفروضه اول تحلیل کواریانس حاصل شده است. جهت بررسی نرمال (Normal) بودن گروه‌های مورد مطالعه، به بررسی نرمال بودن توزیع‌ها با استفاده از آزمون کولموگوروف و اسمیرنوف (Sample - Smirnov Test)

کارکنان فضاهای درمانی در بین گروه‌ها وجود ندارد ($0.245 > 0.05$). همچنین، نتایج آزمون لوین (Levene's Test) برای هر دو متغیر وابسته آسایش حرارتی و ضربان قلب کارکنان فضاهای درمانی به ترتیب با مقادیر $(F(3,16)=1.118, P=0.371>0.05)$ و $(F(3,16)=0.304, P=0.822>0.05)$ بیانگر این واقعیت است که واریانس خطای متغیرهای وابسته آسایش حرارتی و ضربان قلب کارکنان فضاهای درمانی در بین گروه‌های مورد مطالعه با مقدار CO_2 (ppm) ۱۸۰۰ و (ppm) ۱۱۰۰ یکسان است. براین اساس، می‌توان اطمینان حاصل کرد که داده‌های این پژوهش مفروضه‌های زیربنایی تحلیل کواریانس را برآورد می‌کنند و می‌توان داده‌های پژوهش را توسط این روش آماری تجزیه و تحلیل کرد. از طرفی، نتایج آزمون لامدای ویلکز (Wilks' Lambda) بیانگر تأثیرگذاری فاکتورهای وضعیت عملکرد شناختی افراد، گروه‌های مورد مطالعه با مقدار CO_2 (ppm) ۱۸۰۰ و (ppm) ۱۱۰۰ و جنسیت افراد در سطح خطای ۵ درصد است. جدول ۱ نتایج تحلیل کواریانس چندمتغیره مانکوا (MANCOVA) را نشان می‌دهد.

یافته‌ها

جدول ۲ شامل میانگین و انحراف معیار مربوط به متغیرهای مورد مطالعه احساس آسایش حرارتی و ضربان قلب کارکنان فضاهای درمانی در هر گروه است که براساس آن بالاترین میانگین برای متغیر احساس آسایش حرارتی مربوط به گروه زنان با مقدار CO_2 (ppm) ۱۸۰۰ با مقدار ۱/۸۰۰ و برای متغیر ضربان قلب افراد مربوط به گروه زنان با مقدار CO_2 (ppm) ۱۸۰۰ و با مقدار ۸۳/۶۰۰ است. از طرفی، به‌طور کلی بالاترین میانگین احساس آسایش حرارتی برابر ۱/۳۳۹ برای گروه CO_2 (ppm) ۱۸۰۰ و برای متغیر ضربان قلب برابر ۸۱/۹۸۵ به دست آمد. با استناد به استاندارد ASHREA آمریکا و

تعیین دامنه آسایش حرارتی بین $-0.5 \leq TSV \leq 0.5$ یافته‌ها نشان‌دهنده قرارگیری گروه افراد در شرایط محیطی با میزان مقادیر CO_2 (ppm) ۱۱۰۰ در محدوده آسایش حرارتی و عدم قرارگیری گروه افراد در شرایط محیطی با میزان مقادیر CO_2 (ppm) ۱۸۰۰ در محدوده آسایش حرارتی است. همچنین، یافته‌ها حاکی از تأثیر مقادیر CO_2 (ppm) ۱۸۰۰ موجود در محیط بر روی ضربان قلب کارکنان فضاهای درمانی نسبت به مقدار CO_2 (ppm) ۱۱۰۰ موجود در محیط است.

براساس جدول ۲، با توجه به مقادیر آماره فیش و سطح معنی‌داری به‌دست‌آمده برای سطوح فاکتور عملکرد شناختی افراد و سطوح فاکتور مقادیر CO_2 (ppm) ۱۸۰۰ و (ppm) ۱۱۰۰ که به ترتیب برابر $(F(1,15)=13.257, p<0.05)$ و $(F(1,15)=16.694, p<0.05)$ برای متغیر احساس آسایش حرارتی افراد به دست آمده است، می‌توان نتیجه گرفت که فاکتورهای عملکرد شناختی افراد و مقادیر CO_2 موجود در محیط فاکتورهای تأثیرگذار بر وضعیت آسایش حرارتی افراد هستند. یافته‌های این بخش نشان می‌دهد که فاکتورهای عملکرد شناختی کارکنان فضاهای درمانی و مقادیر CO_2 موجود در محیط بر وضعیت احساس آسایش حرارتی افراد تأثیر معنی‌داری دارد و بنابراین فرضیه اول پژوهش مورد پذیرش قرار می‌گیرد. همچنین با توجه به مقادیر آماره فیش و سطح معنی‌داری به‌دست‌آمده برای سطوح فاکتورهای مقادیر CO_2 (ppm) ۱۸۰۰ و (ppm) ۱۱۰۰ موجود در محیط و سطوح فاکتور جنسیت که به ترتیب برابر با $(F(1,15)=53.381, p<0.05)$ و $(F(1,15)=9.642, p<0.05)$ برای متغیر ضربان قلب کارکنان فضاهای درمانی به دست آمده است، می‌توان نتیجه گرفت که فاکتورهای مقادیر CO_2 موجود در محیط و سطوح فاکتور جنسیت افراد با میزان مقاومت لباس ۰/۷۵ کلو فاکتورهای مهم و تأثیرگذار بر میزان ضربان قلب کارکنان فضاهای درمانی هستند.

جدول ۱. نتایج تحلیل مانکوا

منبع تغییرات	متغیرهای وابسته	مجموع مربعات	درجات آزادی	میانگین مجموع مربعات	مقدار آماره فیش	سطح معنی‌داری (P)
سطوح فاکتور عملکرد شناختی افراد	آسایش حرارتی	۱/۶۸۹	۱	۱/۶۸۹	۱۳/۲۵۷	۰/۰۰۲
مقادیر CO_2 (ppm) ۱۸۰۰ و (ppm) ۱۱۰۰	ضربان قلب	۸/۴۶۰	۱	۸/۴۶۰	۱/۹۰۱	۰/۱۸۸
سطوح فاکتور جنسیت	آسایش حرارتی	۲/۱۲۷	۱	۲/۱۲۷	۱۶/۶۹۴	۰/۰۰۱
اثر متقابل فاکتور مقادیر CO_2 (ppm) ۱۸۰۰ و (ppm) ۱۱۰۰	ضربان قلب	۲۳۷/۵۰۹	۱	۲۳۷/۵۰۹	۵۳/۳۸۱	۰/۰۰۱
اثر متقابل فاکتور مقادیر CO_2 (ppm) ۱۸۰۰ و (ppm) ۱۱۰۰	آسایش حرارتی	۰/۱۷۴	۱	۰/۱۷۴	۱/۳۶۶	۰/۲۶۱
فاکتور جنسیت	ضربان قلب	۴۲/۹۰۲	۱	۴۲/۹۰۲	۹/۶۴۲	۰/۰۰۷
فاکتور جنسیت	آسایش حرارتی	۰/۱۲۷	۱	۰/۱۲۷	۰/۹۹۷	۰/۳۳۴
فاکتور جنسیت	ضربان قلب	۱۲/۵۸۰	۱	۱۲/۵۸۰	۲/۸۲۷	۰/۱۱۳

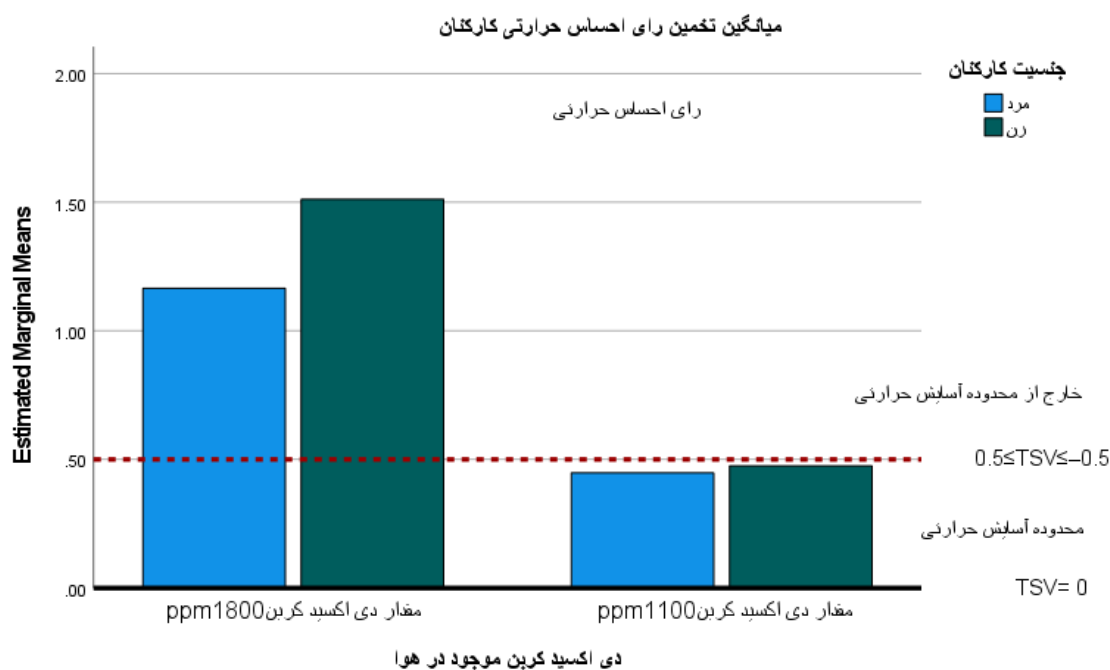
خطا	آسایش حرارتی	۱/۹۱۱	۱۵	۰/۱۲۷
	ضربان قلب	۶۶/۷۴۰	۱۵	۴/۴۴۹
مجموع	آسایش حرارتی	۳۰/۰۰۰	۲۰	
	ضربان قلب	۱۲۰۱۱۷/۰۰۰	۲۰	

جدول ۲. میانگین و انحراف معیار متغیرهای آسایش حرارتی و ضربان قلب کارکنان فضاهای درمانی

متغیرهای وابسته	مقادیر CO2	جنسیت	میانگین	انحراف معیار	مجموع
آسایش حرارتی	۱۸۰۰ (ppm)	مرد	۱/۴۰۰	۰/۵۴۷	۱/۳۳۹
		زن	۱/۸۰۰	۰/۴۴۷	
	۱۱۰۰ (ppm)	مرد	۰/۲۰۰	۰/۴۴۷	۰/۴۶۱
		زن	۰/۲۰۰	۰/۴۴۷	
ضربان قلب	۱۸۰۰ (ppm)	مرد	۷۹/۲۰۰	۱/۶۴۳	۸۱/۹۸۵
		زن	۸۳/۶۰۰	۳/۰۴۹	
	۱۱۰۰ (ppm)	مرد	۷۲/۶۰۰	۱/۸۱۶	۷۲/۷۱۵
		زن	۷۴/۰۰۰	۱/۸۷۰	

احساس آسایش حرارتی و ضربان قلب کارکنان فضاهای درمانی معنی دار نیست ($p > 0.05$). همچنین، فرضیه سوم موردپذیرش قرار نمی‌گیرد. شکل‌های ۴ و ۵ وضعیت اثرات متقابل فاکتورهای مقادیر CO2 و فاکتور جنسیت بر احساس آسایش حرارتی و میزان ضربان قلب کارکنان فضاهای درمانی را نشان می‌دهد.

نتایج تحلیل مانکوا نشان داد که سطوح عملکرد شناختی تأثیری بر ضربان قلب کارکنان فضاهای درمانی و جنسیت تأثیری بر احساس آسایش حرارتی در حین کار ندارد ($p > 0.05$). بنابراین فرضیه دوم پژوهش موردپذیرش قرار نگرفت. همچنین نتایج نشان داد که اثر متقابل مقادیر CO2 (ppm ۱۸۰۰ و ppm ۱۱۰۰) و جنسیت بر



Covariates appearing in the model are evaluated at the following values: MOCA = 25.3500

شکل ۴. نمودار اثر متقابل بین فاکتور مقادیر CO2 و فاکتور جنسیت برای متغیر احساس آسایش حرارتی کارکنان فضاهای درمانی



Covariates appearing in the model are evaluated at the following values: MOCA = 25.3500

شکل ۵. نمودار اثر متقابل بین فاکتور مقادیر CO₂ و فاکتور جنسیت برای متغیر ضربان قلب کارکنان فضاهای درمانی

بحث

نتایج نشان می‌دهد که عملکرد شناختی و سطوح CO₂ (۱۸۰۰ ppm و ۱۱۰۰ ppm) بر آسایش حرارتی تأثیر دارند و سطح CO₂ و جنسیت بر ضربان قلب مؤثرند. اما تحلیل MANOVA نشان داد که عملکرد شناختی تأثیری بر ضربان قلب ندارد و جنسیت نیز بر آسایش حرارتی تأثیر نمی‌گذارد ($p < 0.05$). همچنین، براساس نتایج بخش سوم اثر متقابل بین سطوح CO₂ و جنسیت نیز بر آسایش حرارتی و ضربان قلب تأثیر معنی‌داری ندارد ($p < 0.05$).

مطالعه نشان می‌دهد که دمای ۲۵ درجه سانتی‌گراد و سطوح مختلف CO₂ (۱۸۰۰ ppm و ۱۱۰۰ ppm) تأثیر قابل‌توجهی بر آسایش حرارتی و ضربان قلب کارکنان دارد. سطوح بالای CO₂ بر عملکرد شناختی و آسایش حرارتی تأثیر می‌گذارد و جنسیت نیز در افزایش ضربان قلب نقش دارد. گروه‌های در معرض ۱۸۰۰ ppm نارضایتی حرارتی بیشتری را تجربه کردند که نیاز به تحقیقات بیشتر برای درک تأثیر CO₂ بر سلامت قلبی‌عروقی را برجسته می‌کند [۲۹]. مطالعات اخیر نقش قابل‌توجهی از سطوح CO₂ را در تأثیر راحتی حرارتی درک‌شده در محیط‌های داخلی برجسته کرده‌اند. غلظت CO₂ بالاتر به‌طور قابل‌توجهی احتمال احساس رضایت حرارتی افراد را کاهش می‌دهد؛ از ۶۲٪ در ۵۵۰ ppm به ۲۸٪ در ۷۵۰ ppm. این یافته‌ها نشان می‌دهد که سطوح CO₂ ممکن است یک عامل مهم، اما اغلب نادیده‌گرفته‌شده، در پیش‌بینی آسایش حرارتی باشد و بر نیاز به گنجاندن اندازه‌گیری CO₂ در مدل‌های آسایش حرارتی آینده برای افزایش دقت و قابلیت اطمینان آن‌ها تأکید می‌کند [۳۰].

نتیجه‌گیری

نتایج نشان داد گروه افرادی که در محل کار خود در معرض مقدار

CO₂ (ppm) ۱۸۰۰ قرار داشتند، از نظر آسایش حرارتی به‌اندازه ۰/۸۷۸ واحد TSV نارضایتی حرارتی و ۹/۲۵ ضربان قلب بیشتری نسبت به گروه کارکنان فضاهای درمانی با مقدار CO₂ (ppm) ۱۱۰۰ موجود در محیط داشتند. با استناد به نتیجه این مطالعه، تدقیق در تنظیم شرایط محیطی محل کار کارکنان فضاهای درمانی که در محیط‌های پرمخاطره کار می‌کنند، می‌تواند بر عملکرد و رفاه فیزیولوژیکی آن‌ها به‌طور مستقیم تأثیر بگذارد. با درک اینکه چگونه عوامل محیطی مانند سطوح CO₂ و راحتی حرارتی بر عملکرد شناختی و ضربان قلب تأثیر می‌گذارند، مدیریت بخش‌های دولتی و خصوصی فضاهای درمانی می‌توانند مداخلات هدفمندی را برای بهینه‌سازی شرایط محل کار کارکنان را انجام و دامنه رفاه و سلامت آن‌ها را توسعه دهند. بهبود طراحی محیطی و آگاهی به‌طور بالقوه می‌تواند وضوح ذهنی، توانایی تصمیم‌گیری و عملکرد کلی کارکنان فضاهای درمانی را افزایش دهد که در نهایت به کسب نتایج بهتر برای کارکنان، کاهش خطاهای پزشکی و بهبود سلامت محیط کار منجر می‌شود. علاوه‌براین، این مطالعه به یک جنبه مهم و درعین‌حال نادیده‌گرفته‌شده سلامت شغلی کارکنان پرداخته است تا بتواند شواهد علمی درخصوص اهمیت سلامت افراد در محل کار را ارائه دهد که می‌تواند استانداردهای محل کار، استراتژی‌های طراحی و برنامه‌های سلامت کارکنان را در محیط‌های پزشکی بررسی کند.

محدودیت‌های مطالعه

انجام مطالعات آزمایشگاهی هم‌زمان با فعالیت روزمره کارکنان دشوار و زمان‌بر و سنجش آسایش حرارتی در فضاهای کاری هزینه‌بر است. همچنین، نبود تنوع سنی و جنسیتی در بسیاری از اماکن درمانی برای ارزیابی کیفیت هوا و آسایش حرارتی چالش‌برانگیز است.

حمایت مالی

در روند انجام این مطالعه هیچ گونه حمایت مالی صورت نگرفت.

ملاحظات اخلاقی

این مطالعه با رعایت کلیه موازین اخلاقی و با دریافت مجوز از کمیته اخلاق دانشگاه آزاد اسلامی واحد ایلام با کد اخلاق ۱۴۰۳۰۹۱ IR.IAU.ILAM.RES. انجام شد.

سهم نویسندگان

انجام این مطالعه به کوشش نویسنده مسئول انجام شده است.

تشکر و قدردانی

از مدیریت و مجموعه کارکنان درمانگاه تخصصی خورشید شهر ایلام و کمیته اخلاق دانشگاه آزاد ایلام صمیمانه تشکر می کنیم.

تضاد منافع

شرکت کنندگان و نویسندگان این مقاله فاقد تعارض مالی و اقتصادی در ارائه گزارش نتایج اند.

REFERENCES

1. Tabe Afshar S, Toofan S, Saghafi Asl A. An Investigation of Sick Building Syndrome (SBS) in Workplaces, (Case Study: Engineering Organization Building of Urmia). Iran J Ergon 2022;10(2):90-100. [Link]
2. Thach TQ, Mahirah D, Dunleavy G, Nazeha N, Zhang Y, Tan CEH, et al. Prevalence of sick building syndrome and its association with perceived indoor environmental quality in an Asian multi-ethnic working population. Build Environ. 2019; 166:106420. [DOI:10.1016/j.buildenv.2019.106420]
3. Sadrizadeh S, Yao R, Yuan F, Awbi HB. Indoor air quality and health in schools: A critical review for developing the roadmap for the future school environment. J Build Engineer. 2022;57: 104908. [DOI:10.1016/j.jobee.2022.104908]
4. Ma N, Aviv D, Guo H, W. Braham W. Measuring the right factors: A review of variables and models for thermal comfort and indoor air quality. Renewable and Sustainable Energy Reviews. 2021;135: 110436. [DOI:10.1016/j.rser.2020.110436]
5. Karimi A, Bayat A, Mohammadzadeh N, Mohajerani M, Yeganeh M. Microclimatic analysis of outdoor thermal comfort of high-rise buildings with different configurations in Tehran: Insights from field surveys and thermal comfort indices. Build Environ. 2023;240:110445. [DOI:10.1016/j.buildenv.2023.110445]
6. Van JH, Mazej M, Hensen JLM. Thermal comfort: Research and practice. Front Biosci. 2010;15(2):765-788. [DOI: 10.2741/3645] [PMID]
7. Su X, Yuan Y, Wang Z, Liu W, Lan Li, Lian Z. Human thermal comfort in non-uniform thermal environments: A review. Energy Built Environ. 2024;5(6):853-862. [DOI:10.1016/j.enbenv.2023.06.012]
8. Mindeel TA, Spentzou E, Eftekhari M. Energy, thermal comfort, and indoor air quality: Multi-objective optimization review. Renewable and Sustainable Energy Reviews. 2024;202:114682. [DOI: 10.1016/j.enbenv.2023.06.012]
9. Yao R, Zhang S, Du C, Schweiker M, Hodder S, et al. Evolution and performance analysis of adaptive thermal comfort models- a comprehensive literature review. Build Environ. 2022;217:109020. [DOI:10.1016/j.buildenv.2022.109020]
10. Wu Y, Zhao J, Cao B. A systematic review of research on personal thermal comfort using infrared technology-Energy and Buildings. Energy Build. 2023;301:113666. [DOI:10.1016/j.enbuild.2023.113666]
11. Xiong J, Lian Z, Zhou X, You J, Lin Y. Effects of temperature steps on human health and thermal comfort. Build Environ. 2015;94(1):144-154. [DOI:10.1016/j.buildenv.2015.07.032]
12. Chen Y, Wang Z, Tian X, Liu W. Evaluation of cognitive performance in high temperature with heart rate: A pilot study. Build Environ. 2023;228:109801. [DOI: 10.1016/j.buildenv.2022.109801]
13. Fisher GG, Chacon M, Chaffee DS. Theories of cognitive aging and work. In: Baltes B, Rudolph C, Zacher H, editors. Work across the lifespan. Cambridge, Massachusetts: Academic Press; 2019; 17-45. [DOI:10.1016/B978-0-12-812756-8.00002-5]
14. Fatahi K, Beigi M. Assessing the state of cognitive performance of employees and determining the range of thermal comfort of different genders in Ilam hospitals. TKJ. 2024;16(3):27-41. [DOI:10.18502/tkj.v16i3.16873]
15. Ahmadi H, Noorilahi M, Soleimani MR, Bitaraf E. Investigating the Effect of Environmental Thermal Comfort Components on Students' Cognitive Performance based on the Analysis of Fatigue Factor (Study Sample of Architecture Students of Universities in Ilam). Iran J Ergon 2023;10 (4):250-258. [Link]
16. LiangY, Yu J, Xu R, Zhang J, Zhou X, Luo M. Correlating working performance with thermal comfort, emotion, and fatigue evaluations through on-site study in office buildings. Build Environ. 2024;265:111960. [DOI:10.1016/j.buildenv.2024.111960]
17. Barmanesh F, Fatahi K, Nooroullahi M, Malekshahi A. Impact of Air Flow and Humidity on the Erosion of Walli Castle in Ilam: A CFD Approach. Journal of Iranian Architecture Studies.2024;13(25),79-95. [DOI: 10.22052/jias.2024.255336.1320]
18. Meyer SC, Hünefeld L. Challenging Cognitive Demands at Work, Related Working Conditions, and Employee Well-Being. Int J Environ Res Public Health. 2018;15(12):2911.[DOI: 10.3390/ijerph15122911] [PMID]
19. Tao D, Tan H, Wang H, Zhang X, Qu X, Zhang T. A Systematic Review of Physiological Measures of Mental Workload. International Journal of Environmental Research and Public Health. 2019; 16(15):2716. [DOI: 10.3390/ijerph16152716]
20. Erdmann CA, Steiner KC, Apte MG. Indoor carbon dioxide concentrations and sick building syndrome symptoms in the base study revisited: Analyses of the 100 building dataset. Proceedings: Indoor Air. 2002.
21. Ansari Manesh M, Nasrollahi N. Determining the appropriate range of carbon dioxide to optimize the quality of the indoor environment in office buildings in Kermanshah city. Naqshejahan. 2018; 8(1): 9-15. [Link]
22. Farhadi F, Khakzand M, Barzegar Z, Khanmohammadi MA. Investigating parameters affecting indoor air quality in healthcare spaces. Sadra Medi Sci J. 2024;12(2):151-160. [Link]
23. Zhou Q, Lyu Z, Qian H, Song J, Möbs VC. Field-measurement of CO2 level in general hospital wards in Nanjing. Procedia Engineer. 2015; 121:52-58. [DOI:10.1016/j.proeng.2015.08.1018]
24. Apte MG, Fisk WJ, Daisey JM. Associations between indoor CO2 concentrations and sick building syndrome symptoms in U.S. office buildings: an analysis of the 1994-1996 BASE study data. Indoor Air. 2000;10(4): 246-257. [DOI: 10.1034/j.1600-0668.2000.010004246.x] [PMID]
25. Allen JG, MacNaughton P, Laurent JGC, Flanagan SS, et al. Green Buildings and Health. Curr Envir Health Rpt. 2015; 2(3):250-258. [DOI: 10.1007/s40572-015-0063-y]
26. Gauthier S, Liu B, M.Huebner G, Shipworth D. Investigating the effect of CO2 concentration on reported thermal comfort. Scartezini, Jean-louis (ed.) In Proceedings of CIBSAT 2015 International Conference on Future Buildings and Districts - Sustainability from Nano to Urban Scale - Vol. I. Info Science. 2015; 315-320. [Link]
27. Vickers K, Jafarpour S, Mofidi A, Rafat B, Woznica A. The 35% carbon dioxide test in stress and panic research: Overview of effects and integration of findings. Clin

- Psychol Rev. 2012;32(3):153-164. [DOI: [10.1016/j.cpr.2011.12.004](https://doi.org/10.1016/j.cpr.2011.12.004)] [PMID]
28. Fatahi K, Shadie S. Experimental Study of the Effect of Ambient and Water Temperature During Showering on the Feeling of Thermal Comfort of Elderly Men.3 JNE 2025;13(6):1-15. [Link]
29. Zare M, Dehghan H, Yazdanirad S, Khoshakhlagh AH. Comparison of the Impact of an Optimized Ice Cooling Vest and a Paraffin Cooling Vest on Physiological and Perceptual Strain. Saf Health Work. 2019;10(2):219-223. [DOI: [10.1016/j.shaw.2019.01.004](https://doi.org/10.1016/j.shaw.2019.01.004)] [PMID]
30. Crosby S, Rysanek A. Predicting thermal satisfaction as a function of indoor CO2 levels: Bayesian modelling of new field data. Build Environ. 2022;209:108569. [DOI: [10.1016/j.buildenv.2021.108569](https://doi.org/10.1016/j.buildenv.2021.108569)].