Amirkabir Journal of Mechanical Engineering

Amirkabir J. Mech. Eng., 53(3) (2021) 367-370
DOI: 10.22060/mej.2019.15712.6186

Experimental Investigation of the Effects of Inlet Cooling Air Temperature on the Occupants' Local Thermal Sensation in the Under-Floor Air Distribution System

S. A. Zolfaghari*, S. Teymoori

Department of Mechanical Engineering, University of Birjand, Birjand, Iran

ABSTRACT: In the present study, the effects of inlet cooling air temperature from the diffusers of under-floor air distribution system have been experimentally investigated on the occupants' local thermal sensation. In the experiments, the inlet air temperature is controlled at 12°C, 16°C and 20°C, and the inlet velocity is kept constant. Also, the room thermal conditions have been controlled at the mean temperature of 24±0.5°C and mean relative humidity of 25±2%. During the experiment, 8 healthy male subjects with common office clothing and metabolic rate were exposed to an under-floor air distribution system for 30 min and their thermal sensation and satisfaction were assessed on the basis of thermal comfort standards. Based on the results, the head and chest thermal sensations are not significantly depended on inlet temperature. But, by decreasing the inlet temperature, the thermal sensation and satisfaction of hands and feet are decreased. Moreover, the results indicated that the overall body thermal sensation is significantly depended on the sensation of the body parts with extreme thermal conditions. Also, the results show that the feeling of air movement can be increased during the time; so, the subjects reported about 75% draught discomfort after 30 min exposure to under-floor air distribution system.

Review History:

Received: Jan. 28, 2019
Revised: Mar. 26, 2019
Accepted: May. 05, 2019
Available Online: May. 16, 2019

Keywords:

Under-floor air distribution system
Thermal comfort
Local thermal sensation
Experimental study
Ventilation

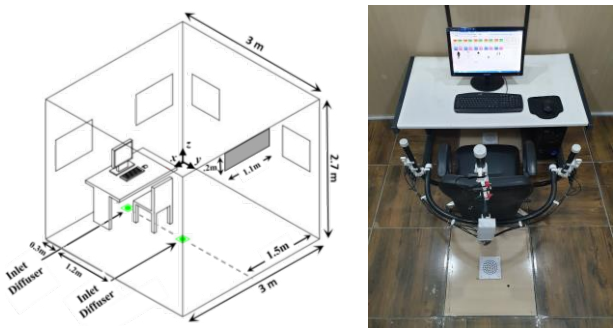
1. Introduction

The Under-Floor Air Distribution (UFAD) system is a conventional ventilation system which can provide proper indoor air quality and thermal comfort conditions [1]. So far, the numerous studies have been carried out on the performance of under-floor air distribution system. Al-Ajmi and Amer [2] analyzed the performance of under-floor air distribution systems in comparison with overhead systems. Based on their results, using the UFAD system can reduce the energy consumption up to 30%. Afzalian et al. [3] numerically investigated the effects of air change rate on thermal comfort, indoor air quality, and local thermal discomfort in a crowded hall with UFAD system. Based on the results, increasing the air exchange rate causes a significant increase in indoor air quality and energy consumption. But on the other hand, the diffusers' arrangement can cause to increase the draught discomfort about 15%. Also, Yau et al. [4] analyzed the performance of UFAD system with swirl inlet diffusers.

The performance of the air conditioning systems is generally influenced by factors such as the arrangement of inlet and outlet diffusers, the air change rate and the inlet air temperature and velocity of inlet air. Therefore, the main aim of this study is to experimentally evaluate the performance of UFAD system in providing the thermal comfort conditions for various body segments.

2. Methodology

The experiments conducted in a test room (as shown in Fig. 1) with dimensions of 3 m×3 m and ceiling height of 2.7 m which located at the Thermal Comfort Research Group, University of Birjand. In the experiment, 8 healthy male subjects were exposed to an under-floor air distribution system for 30 min and their thermal sensation and satisfaction were assessed on the basis of thermal comfort standards. During the test, the subjects performed sedentary office activity and their metabolic heat production was assessed about 1.2 met. Also, the subjects wore the office clothing with the thermal resistance of about 0.61 clo.



(a) Room geometry (b) Arrangement of diffusers

Fig. 1. Geometry of test room

*Corresponding author's email: zolfaghari@birjand.ac.ir

Copyrights for this article are retained by the author(s) with publishing rights granted to Amirkabir University Press. The content of this article is subject to the terms and conditions of the Creative Commons Attribution 4.0 International (CC-BY-NC 4.0) License. For more information, please visit https://www.creativecommons.org/licenses/by-nc/4.0/legalcode.

As shown in Fig. 1(a), the air enters the room from two inlet diffusers with dimensions of 15 cm×15 cm and the air passes through 57 holes with 6 mm diameter on each inlet diffuser. Also, an air outlet diffuser with dimensions of 110 cm×20 cm is located near the ceiling. On the other hand, the guidelines for designing the cooling UFAD systems have suggested a temperature of about 16°C as the inlet temperature [5,6]. This temperature is based on the occupants' general comfort and the effect of inlet temperature on local thermal sensation in various parts of the body has not been studied.

Therefore, in this study, the effects of three different inlet temperatures of 12, 16, and 20°C have been investigated on the occupants' local thermal sensation.

3. Results and Discussion

In this study, the effects of changes in the inlet temperature of UFAD system have been investigated on local thermal sensation and satisfaction of hand, feet and whole body. In Fig. 2(a), the subjects' hand thermal sensation is shown. Also, Figs. 2(b) and 2(c) show the transient thermal sensation of foot segment and whole body during the test. As can be seen, the subjects have noticeably cooler sensation for the inlet temperature of 12 than the temperatures of 16 and 20°C. Also, the results indicate that the body can adapt hands with the environment at inlet air temperatures of 16 and 20°C. So, the body can maintain the hand thermal sensation in the neutral range for up to 15 minutes from initial time. At the beginning of the test, the foot thermal sensation was in neutral range and it decreases over the time and after 30 min, the foot segment has a slightly cool sensation.

Fig. 3(a) shows the hand mean thermal comfort during the test. The subjects are satisfied with the inlet temperature of 20°C during the test; but as the inlet air temperature decreases to 16°C, the subjects' satisfaction decreases significantly. Also, it is observed that the inlet air temperature of 12°C can considerably decrease the level of subjects' comfort. Also, in Figs. 3(b) and 3(c), the foot and whole body thermal comfort are shown. As can be seen, the whole body thermal comfort level is highly dependent on mean comfort level of critical body segments such as hands and feet.

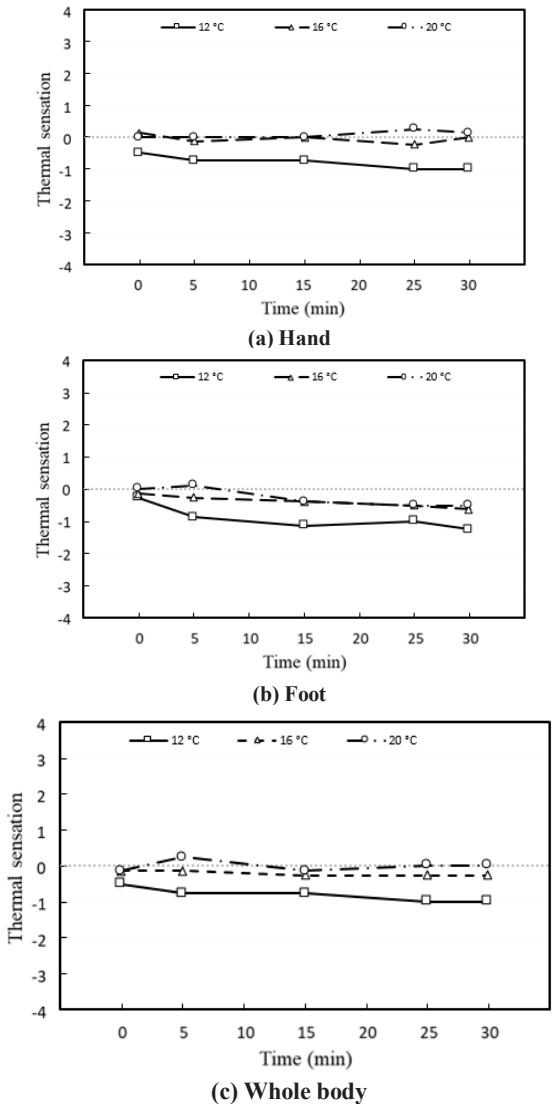


Fig. 2. The occupants' transient thermal sensation

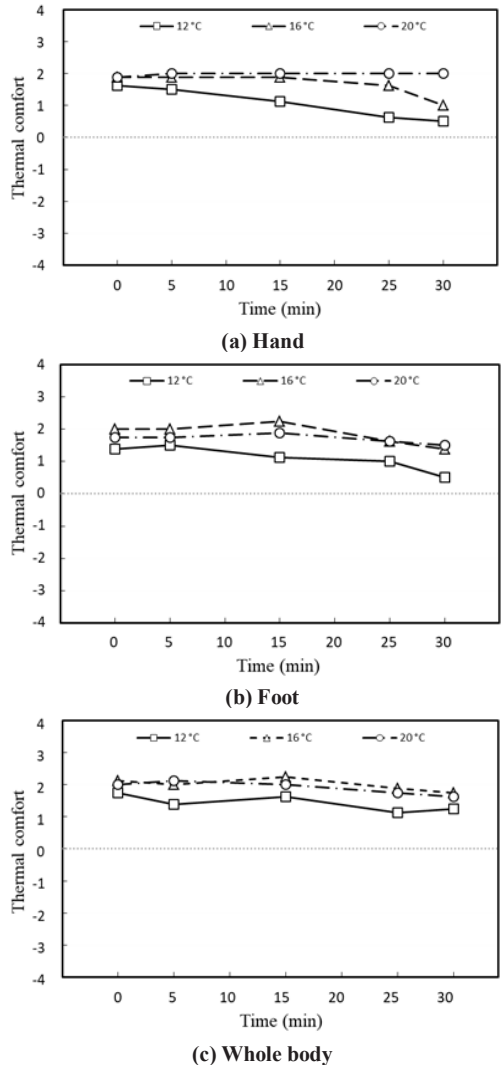


Fig. 3. The occupants' transient thermal comfort

4. Conclusion

In the present study, the occupants' local thermal sensation were studied in a room with UFAD system and with different inlet temperatures of 12, 16, and 20°C.

Based on the results, changing in inlet air temperature can significantly affect the feet and hands thermal sensation.

Moreover, the results indicated that the overall body thermal sensation and thermal comfort level are significantly depended on the sensation of the body parts with extreme thermal conditions such as hands and feet. Also, the results show that the feeling of air movement can be increased during the time; so, the subjects reported about 75% draught discomfort after 30 min exposure to UFAD system.

References

[1] Y. Xue, Q. Chen, Influence of floor plenum on energy performance of buildings with UFAD systems, Energy and Buildings, 79 (2014) 74-83.

[2] A. Alajmi, W. El-Amer, Saving energy by using underfloor-air-distribution (UFAD) system in commercial buildings, Energy Conversion and Management, 51(8) (2010) 1637-1642.

[3] M. Afzalian, S.A. Zolfaghari, A. Foadadini, Effects of air change rate on comfort, air quality and energy consumption in an amphitheater with under-floor air distribution system, Modares Mechanical Engineering, 17(2) (2017) 284-294 (In persian).

[4] Y.H. Yau, K.S. Poh, A. Badarudin, A numerical airflow pattern study of a floor swirl diffuser for UFAD system, Energy and Buildings, 158 (2018) 525-535.

[5] F.S. Bauman, A. Dally, R. American Society of Heating, A.-C. Engineers, Underfloor Air Distribution (UFAD) Design Guide, American Society of Heating Refrigerating and Air-Conditioning Engineers, 2003.

[6] T. Webster, F.S. Bauman, Design guidelines for stratification in underfloor air distribution (UFAD) systems, (2006).

HOW TO CITE THIS ARTICLE

S. A. Zolfaghari, S. Teymoori, Experimental Investigation of the Effects of Inlet Cooling Air Temperature on the Occupants' Local Thermal Sensation in the Under-Floor Air Distribution System, Amirkabir J. Mech Eng., 53(3) (2021) 367-370.

DOI: 10.22060/mej.2019.15712.6186

This page intentionally left blank

نشریه مهندسی مکانیک امیرکبیر

نشریه مهندسی مکانیک امیرکبیر، دوره ۵۳، شماره ۳، سال ۱۴۰۰، صفحات ۱۵۳۷ تا ۱۵۴۸
DOI: 10.22060/mej.2019.15712.6186

بررسی آزمایشگاهی اثرات دمای هوای سرمایشی ورودی در سیستم توزیع هوای زیر سطحی بر احساس حرارتی موضعی ساکنان

سید علیرضا ذوالفقاری*، سعید تیموری

گروه مهندسی مکانیک دانشکده مهندسی دانشگاه بیرجند، بیرجند، ایران.

خلاصه: در این تحقیق، تاثیر دمای هوای ورودی از دریچه‌ها بر عملکرد سرمایشی سیستم توزیع هوای زیر سطحی و همچنین احساس حرارتی موضعی افراد به صورت آزمایشگاهی بررسی شده است. در این آزمایش، دمای هوا ورودی از دریچه در سه حالت ۱۲، ۱۶ و ۲۰ درجه سلسیوس تنظیم گردیده است. شرایط اتاق به نحوی تنظیم شد که دمای متوسط اتاق روی ۲۴±۰/۵ درجه سلسیوس و رطوبت نسبی ۲±۲۵% در همه حالات ثابت باشد. طی فرآیند آزمایش، ۸ نفر داوطلب مرد سالم با پوشش و نرخ متابولیک مربوط به شرایط اداری متداول، به مدت ۳۰ دقیقه در اتاقی دارای سیستم توزیع هوای زیر سطحی قرار گرفتند و شرایط احساس حرارتی و رضایت‌مندی ایشان مطابق با استانداردهای آسایش حرارتی در طول زمان استخراج گردید. بر اساس نتایج به دست‌آمده، با کاهش دمای دریچه ورودی، احساس حرارتی و رضایت‌مندی بخش‌های دست و پا کاهش می‌یابد. نتایج بیان می‌کند احساس حرارتی و رضایت‌مندی کل بدن افراد، به طور چشمگیری به شرایط حرارتی بحرانی‌ترین عضو بدن وابستگی دارد و با ثابت بودن جریان هوا ، افراد با گذشت زمان وزش را بیشتر احساس می‌کنند؛ به طوری که پس از ۳۰ دقیقه، حدود ۷۵ درصد افراد دچار نارضایتی ناشی از پدیده کوران می‌شوند.

تاریخچه داوری:
دریافت: ۱۳۹۷/۱۱/۰۸
بازنگری: ۱۳۹۸/۰۱/۰۶
پذیرش: ۱۳۹۸/۰۲/۱۵
ارائه آنلاین: ۱۳۹۸/۰۲/۲۶

کلمات کلیدی:
سیستم توزیع هوای زیر سطحی
آسایش حرارتی
احساس حرارتی موضعی
تحقیق آزمایشگاهی
تهویه

۱- مقدمه

در دهه‌های گذشته، بهینه‌سازی مصرف انرژی به علت قیمت بالای حامل‌های انرژی و همچنین ملاحظات زیست محیطی مورد توجه بوده است. بر این اساس، توسعه سیستم‌های تهویه مطبوعی که بتوانند با وجود برقراری شرایط مطلوب آسایشی و همچنین حفظ کیفیت هوا، انرژی کمتری مصرف کنند، در اولویت قرار گرفته است. یکی از سیستم‌های تهویه مطبوع دارای عملکرد مطلوب، سیستم توزیع هوای زیر سطحی است که در سال‌های اخیر با گسترش روز افزونی مواجه بوده است [۱]. این سیستم ابتدا در دهه ۱۹۵۰ میلادی و در مراکز داده به منظور خنک‌کاری سرورهای محاسباتی مورد استفاده قرار گرفت. پس از آن، در دهه ۱۹۷۰ میلادی برای اولین بار از این سیستم در یک ساختمان دارای ساکنان استفاده شد. نتیجه این کار، بهبود شرایط آسایشی و همچنین بهبود کیفیت هوای داخل بود [۲]. لذا این سیستم تهویه به سرعت به یک راهکار محبوب برای تامین شرایط آسایشی تبدیل شد و امروزه در مراکز آموزشی مانند مدارس و کتابخانه‌ها، مراکز فرهنگی مانند سالن سینما، مراکز مسکونی، اداری و تجاری مورد استفاده قرار می‌گیرد.

عملکرد سیستم توزیع هوای زیر سطحی مشابه سیستم تهویه جابجایی است [۳]. با این تفاوت که هوای ورودی از سیستم توزیع هوای زیر سطحی در مقایسه با سیستم تهویه جابجایی با سرعت بیش‌تر و از دریچه‌های کوچک‌تری خارج می‌شوند. تفاوت دیگر این دو سیستم، استفاده از پلنوم در سیستم توزیع هوای زیر سطحی است [۴]. پلنوم به فضای خالی بین کف اتاق و کف فضا گفته می‌شود که هوا ابتدا وارد این ناحیه شده و سپس از طریق دریچه‌هایی از این ناحیه وارد اتاق می‌شود. این هوای سرد و تمیز در اثر تبادل حرارت با منابع حرارتی درون ساختمان گرم می‌شود. هوای گرم به همراه آلاینده‌های داخل ساختمان، بر اثر شناوری حرارتی به سمت بالا حرکت کرده و از دریچه‌های خروجی که در ارتفاع بالای اتاق قرار دارند، خارج می‌شوند. شکل ۱ نمایی از سیستم توزیع هوای زیر سطحی و نحوه عملکرد آن را نشان می‌دهد.

تاکنون تحقیقات زیادی در مورد سیستم توزیع هوای زیر سطحی

* نویسنده عهده‌دار مکاتبات: zolfaghari@birjand.ac.ir

حقوق مؤلفین به نویسندگان و حقوق ناشر به انتشارات دانشگاه امیرکبیر داده شده است. این مقاله تحت لیسانس آفرینندگی مردمی (Creative Commons License) در دسترس شما قرار گرفته است. برای جزئیات این لیسانس، از آدرس https://www.creativecommons.org/licenses/by-nc/4.0/legalcode دیدن فرمائید.

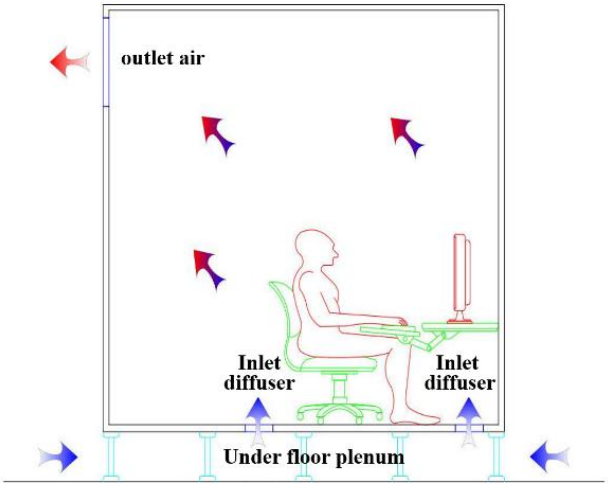


Fig. 1. UnderFloor Air Distribution (UFAD) system

شکل ۱. سیستم توزیع هوای زیر سطحی

به صورت عددی و آزمایشگاهی صورت پذیرفته است. در سال ۲۰۰۷، زاکوفسکی [۵] به ارائه یک رابطه جدید برای تعیین حداکثر سرعت مجاز از دریچه‌های سیستم توزیع هوای زیر سطحی برای جلوگیری از رخداد ساکنان پرداخت. العجمی و عامر [۶] در سال ۲۰۱۰ به تحلیل سیستم‌های توزیع هوای زیر سطحی و مقایسه با سیستم‌های بالاسری پرداختند. بر اساس نتایج ایشان، استفاده از سیستم توزیع هوای زیر سطحی مصرف انرژی را تا ۳۰ درصد کاهش می‌دهد و با کاهش بیشتر ارتفاع اتاق، این صرفه‌جویی بیشتر می‌شود. هو و همکاران [۷] در سال ۲۰۱۱ به بررسی و مقایسه سیستم تهویه بالاسری و سیستم توزیع هوای زیر سطحی در یک اتاق به صورت عددی و آزمایشگاهی پرداختند. بر اساس نتایج به دست آمده، به علت این که هوای تازه در سیستم توزیع هوای زیر سطحی برخلاف سیستم بالاسری وارد ناحیه حضور افراد و ناحیه استنشاقی می‌شود، کیفیت مطلوب‌تر هوای داخل مشاهده شد. همچنین، در شرایط آسایش حرارتی، سیستم‌های توزیع هوای زیر سطحی در مقایسه با سیستم توزیع بالاسری حدود ۲۰ تا ۳۰ درصد کاهش مصرف انرژی را نشان می‌دهد. در سال ۲۰۱۱، شیاون و همکاران [۸] یک روش ساده شده برای محاسبه بارهای برودتی در سیستم توزیع هوای زیر سطحی ارائه نمودند. همچنین، ژانگ و همکاران [۹] در سال ۲۰۱۴ عملکرد یک سیستم توزیع هوای زیر سطحی با دریچه‌های متخلخل را مورد ارزیابی قرار دادند. در سال ۲۰۱۵، فتح‌الله‌زاده و همکاران [۱۰] به بررسی شرایط آسایش حرارتی، کیفیت هوای داخل و مصرف انرژی در یک مکان پرجمعیت پرداختند. ایشان جانمایی دریچه‌های ورودی را در زیر صندلی افراد و به دو صورت مستقیم و چرخشی و جانمایی دریچه برگشت را در ارتفاع‌های مختلف در نظر گرفتند. بر اساس نتایج به دست آمده، در ارتفاع یکسان برای دریچه برگشتی، دریچه ورودی چرخشی نسبت به مستقیم اختلاف عمودی دمایی کمتری را ایجاد می‌کند. همچنین با فرض استفاده از هوای برگشتی، مصرف انرژی در دریچه‌های مستقیم نسبت به دریچه‌های چرخشی بیشتر است. ضمن این که قرارگیری دریچه خروجی در ارتفاع‌های مختلف، باعث تغییر درصد نارضایتی حرارتی و زمان ماندگاری هوا (یا عمر متوسط هوا به عنوان معیاری برای سنجش کیفیت هوای داخل) می‌شود. به طوری که در ارتفاع ۰/۱ متری از کف، دریچه ورودی چرخشی نسبت به دریچه مستقیم باعث افزایش درصد نارضایتی حرارتی و همچنین افزایش تقریبا ۳۵% زمان متوسط ماندگاری هوا در ارتفاع ۱/۱ متری از کف می‌شود که وضعیت مطلوبی را نشان نمی‌دهد.

در سال ۲۰۱۵، حیدری‌نژاد و همکاران [۱۱] به بررسی شرایط آسایش حرارتی، کیفیت هوای داخل و مصرف انرژی سیستم توزیع هوای زیر سطحی با دریچه چرخشی در یک اتاق پرداختند. در تحقیق ایشان، تاثیر جانمایی دریچه برگشت در چهار حالت (ارتفاع ۰/۳، ۰/۶۵، ۱/۳ و ۲ متری از کف) و زاویه ورود هوا (۳۰،۴۵ و ۶۰) از دریچه چرخشی بررسی شده است. نتایج نشان می‌دهند که در کلیه حالت‌های محل قرارگیری دریچه برگشتی، با افزایش زاویه ورود هوا از دریچه چرخشی، درصد نارضایتی حرارتی افزایش می‌یابد. به طوری که برای زاویه ۶۰ درجه برای تمامی حالت‌های محل دریچه برگشتی این درصد در ناحیه حضور افراد بیش‌تر از میزان استاندارد (۱۵ درصد) می‌باشد. همچنین فتح‌الله‌زاده و همکاران [۱۲] در سال ۲۰۱۶ در تحقیقی دیگر بهبود شرایط عملکردی سیستم‌های توزیع هوای زیر سطحی را در یک مکان پرجمعیت مورد مطالعه قرار دادند. در این تحقیق دو حالت دریچه (مقابل صندلی و زیر صندلی) و با سرعت‌های مختلف بررسی شد و از لحاظ آسایش حرارتی، کیفیت هوا و نارضایتی حرارتی موضعی مورد تحلیل قرار گرفت. بر اساس نتایج به دست آمده، در شرایط یکسان از نظر دما و سرعت هوای ورودی، برای دریچه‌های زیر صندلی گرادیان عمودی دمای بیشتری رخ می‌دهد؛ ولی از نظر کیفیت هوای داخل تفاوت چشمگیری مشاهده نشد.

افضلیان و همکاران [۱۳] به صورت عددی به بررسی اثرات نرخ تعویض هوای ساعتی بر آسایش حرارتی، کیفیت هوای داخل و

نارضایتی‌های حرارتی موضعی در یک سالن پرجمعیت پرداختند. بر اساس نتایج به دست آمده با افزایش نرخ تعویض هوای ساعتی، کیفیت هوای داخل و مصرف انرژی به طور محسوسی افزایش می‌یابد. ولی در مقابل، احساس نارضایتی ناشی از کوران نیز تا ۱۵% افزایش پیدا می‌کند. یائو و همکاران [۱۴] در سال ۲۰۱۸ عملکرد سیستم توزیع هوای زیر سطحی با دریچه چرخشی را به دو روش دینامیک سیالات محاسباتی و آزمایشگاهی و با در نظر گرفتن تاثیر عوامل مختلفی مانند (دبی هوای ورودی، تعداد و زاویه پره‌های ورودی چرخشی) بر توزیع دما و سرعت، بررسی کردند. در بخشی از این تحقیق، دریچه چرخشی با تعداد پره‌های مختلف (۱۲، ۱۸ و ۲۴) و دبی یکسان مورد ارزیابی قرار گرفتند. بر اساس نتایج به دست آمده بین حالت‌های فوق، دو مورد ۱۲ و ۲۴ پره رفتاری شبیه دریچه‌های مستقیم داشته و اثر چرخش جریان در آن‌ها ناچیز است. لذا، یائو و همکاران [۱۴] نتیجه گرفتند که دریچه چرخشی با تعداد ۱۸ پره شرایط مناسب‌تری دارد.

همان‌طور که گفته شد، عملکرد سیستم‌های تهویه مطبوع عموماً متاثر از عواملی مانند جانمایی دریچه‌های ورود و خروج، نرخ تعویض هوای ساعتی، دما و سرعت هوای ورودی، تعداد دریچه و نوع دریچه‌ها است. با توجه به کاربرد وسیع سیستم تهویه توزیع هوای زیر سطحی، لزوم بررسی عملکرد این سیستم و عوامل موثر بر بهبود عملکرد آن و همچنین ارائه پیشنهادهایی کاربردی به منظور ارتقا و بهبود شرایط افراد تحت وزش این سیستم به شدت احساس می‌شود. همان طور که اشاره شد، تحقیقات زیادی به صورت عددی در مورد عملکرد این سیستم صورت پذیرفته است، ولی برای تعیین عملکرد واقعی یک سیستم بایستی افراد با شرایط فردی مختلف تحت وضعیت متفاوت قرار گرفته و احساس و وضعیت کلی بخش‌های مختلف بدن افراد به صورت تجربی ارزیابی شود. لذا رویکرد اصلی در پژوهش حاضر، بررسی وضعیت عملکردی سیستم توزیع هوای زیر سطحی به صورت آزمایشگاهی می‌باشد و تاثیر دمای هوای ورودی سیستم توزیع هوای زیر سطحی بر شرایط احساس حرارتی موضعی افراد تحت شرایط آزمایش مورد سنجش و بررسی قرار گرفته است.

۲- ابزار و روش تحقیق آزمایشگاهی

۲-۱- محیط آزمایشگاه

آزمایشات تحقیق حاضر در گروه پژوهشی انرژی در ساختمان و آسایش حرارتی دانشگاه بیرجند و در اتاقکی مطابق هندسه شکل ۲ انجام پذیرفته است. طول و عرض اتاقک هر کدام ۳ متر و ارتفاع آن ۲/۷ متر می‌باشد. در داخل اتاقک، یک کامپیوتر به همراه میز و صندلی قرار دارد. همچنین، روشنایی اتاقک آزمایش به وسیله ۴ عدد لامپ ال‌ای‌دی با حرارت تولیدی هر یک ۱۲ وات تامین می‌شود. مطابق شکل ۲(الف)، دریچه خروج هوا به ابعاد ۲۰×۱۱۰ سانتی‌متر در نزدیک سقف قرار دارد. برخلاف بسیاری از تحقیقات که برای مدل‌سازی انسان از مانکن حرارتی استفاده می‌شود، در این آزمایش از افراد با شرایط تقریبا یکسان استفاده شده که در طول آزمایش از طریق پرسش‌نامه طراحی شده، شرایط آسایشی خود را گزارش می‌کنند. همه افراد دارای پوشش اداری هستند که شامل زیرپوش آستین کوتاه، شلوار پارچه‌ای، پیراهن نخی آستین بلند، جوراب و کفش اداری است؛ مقاومت حرارتی این پوشش معادل ۰/۶۱ clo تخمین زده می‌شود. همچنین، همان‌گونه که در شکل ۲ مشاهده می‌شود، ابعاد دریچه ورودی هوا ۱۵×۱۵ سانتی‌متر است که بر روی آن تعداد ۵۷ سوراخ با قطر ۶ میلی‌متر ایجاد شده و مطابق شکل ۲(ه) پراکندگی سوراخ‌ها در شعاع ۵ سانتی‌متری از مرکز دریچه می‌باشد. دریچه‌های کفی بر روی خط x =۱/۵ m جانمایی شده‌اند. همچنین، یک دریچه در محل y =۰/۳ m و دریچه دیگر در y =۱/۵ m قرار دارد. طبق دستورالعمل‌های طراحی سیستم‌های سرمایش وزشی، معمولاً دمای هوای ورودی در محدوده ۱۲ تا ۲۰ درجه سلسیوس تنظیم می‌شود؛ از سوی دیگر، دستورالعمل‌های مربوط به طراحی

جدول ۱: میانگین دمای جداره‌ها

Table 1. Mean temperature of the walls

دمای خروجی از دریچه‌ها	درب	کف	سقف	پنجره‌ها	دیواره‌ها
۱۲ درجه سلسیوس	۲۱/۹	۲۱/۰	۲۰/۸	۲۱/۷	۲۱/۹
۱۶ درجه سلسیوس	۲۱/۸	۲۱/۲	۲۰/۸	۲۱/۸	۲۲/۱
۲۰ درجه سلسیوس	۲۳/۲	۲۲/۵	۲۲/۰	۲۳/۰	۲۳/۴

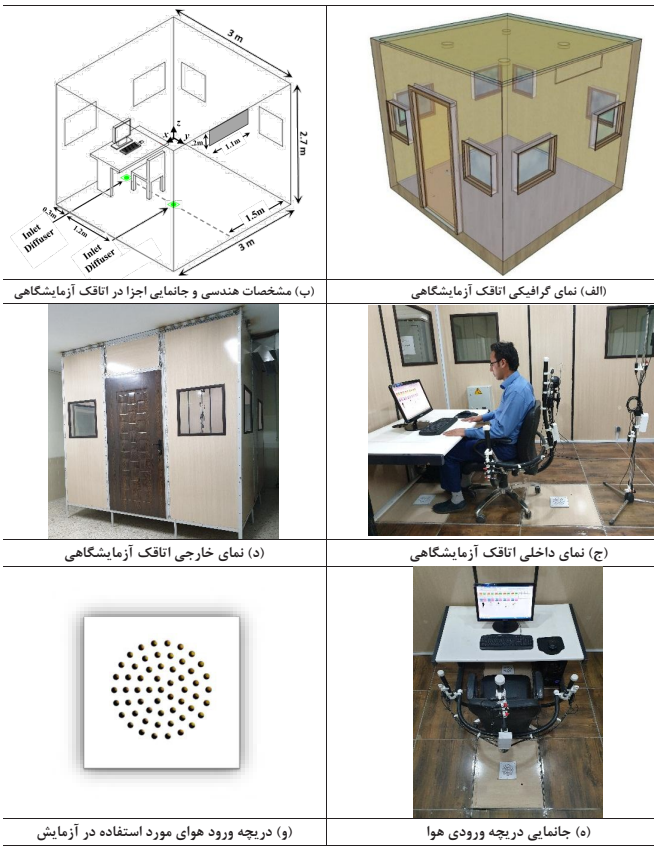
سیستم‌های توزیع هوای زیر سطحی، دمای حدود ۱۶ درجه سلسیوس را به عنوان دمای ورودی برای حالت سرمایشی توصیه کرده‌اند [۱۵]. البته این دما بر مبنای شرایط آسایش کلی افراد پیشنهاد شده است و تأثیر دمای ورودی بر احساس حرارتی موضعی بخش‌های مختلف بدن مورد بررسی قرار نگرفته است. لذا در این تحقیق، تأثیر سه دمای ورودی مختلف ۱۲، ۱۶ و ۲۰ درجه سلسیوس بر احساس حرارتی موضعی ساکنان به صورت آزمایشگاهی بررسی می‌شود. ضمنا در این آزمایشات دمای جداره‌ها به صورت جدول ۱ اندازه‌گیری شده است.

۲-۲- ابزار و وسایل

در این تحقیق هوای خروجی سیستم توزیع هوای زیر سطحی از طریق داکت اسپیلت تأمین می‌گردد و دمای هوای خروجی با تلرانس ۰/۲± کنترل می‌شود. شرایط دما، رطوبت و سرعت در اتاقک آزمایش به وسیله دستگاه TESTO-۴۸۰ اندازه‌گیری می‌شود که این دستگاه مقادیر سرعت را با رزولوشن ۰/۰۱ متر بر ثانیه، دما با رزولوشن ۰/۱ و دقت ۰/۲± درجه سلسیوس و رطوبت را با رزولوشن ۰/۱ و دقت ۱/۵%± اندازه‌گیری می‌کند. همچنین برای دقت بیشتر در اندازه‌گیری و کنترل شرایط محیطی اتاقک آزمایش از سنسورهای دما از نوع LM۳۵ با دقت ۰/۵± درجه سلسیوس (که برای محدوده دمایی ۵۵- تا ۱۵۰+ درجه سلسیوس طراحی شده است)، سنسورهای رطوبت از نوع سنسورهای خازنی رطوبت با دقت ۱/۵%± (که محدوده اندازه‌گیری این سنسور از صفر تا ۹۹% می‌باشد) و برای اندازه‌گیری سرعت هوا در محیط از سنسورهای سیم داغ استفاده شده است. در محیط آزمایشگاه تعداد ۶ سنسور دما و ۶ سنسور رطوبت در اطراف صندلی و تعداد ۴ سنسور دما، ۴ سنسور رطوبت و ۴ سنسور سرعت بر روی یک پایه در ارتفاع‌های مختلف نصب شده است که رزولوشن سنسورهای دما، رطوبت و سرعت به ترتیب ۰,۱، ۰/۱ و ۰/۰۱ می‌باشد. در ابتدای هر آزمایش برای تعیین شرایط فیزیولوژیکی افراد مانند وزن، شاخص توده بدنی، درصد چربی بدن و فشار خون افراد و ... از دستگاه‌های Omron Karda-Scan و Omron M۲ استفاده شده است.

۲-۳- دستورالعمل آزمایش

افراد شرکت کننده در این آزمایش شامل ۸ مرد با میانگین سنی ۲۴ سال، قد ۱۷۳ سانتی‌متر و شاخص توده بدنی ۲۳/۹ کیلوگرم بر مترمربع می‌باشد. به منظور آماده‌سازی و هم‌دمایی بدن افراد با محیط آزمایش، افراد به مدت ۳۰ دقیقه در اتاقی با دمای ۲۴ درجه سلسیوس قرار می‌گیرند و سپس، وارد اتاقک اصلی آزمایش می‌شوند. مدت زمان آزمایش ۳۰ دقیقه بوده که با قرار گرفتن افراد بر روی صندلی و قرارگیری دست‌ها بر روی میز آزمایش آغاز می‌گردد. برای این که افراد در طول آزمایش فعالیت یکسانی داشته باشند، تمامی افراد در طول آزمایش مشغول جستجو در اینترنت، تایپ و مطالعه که شبیه‌سازی فعالیت اداری است، می‌باشند. در طول آزمایش، افراد پنج فرم مربوط به ارزیابی احساس حرارتی و رضایت‌مندی را در ابتدای آزمایش و زمان‌های ۵، ۱۵، ۲۵ و ۳۰ دقیقه پس از شروع آزمایش تکمیل می‌کنند. در زمان آزمایش، دمای هوای اتاقک ۰/۵±۲۴ درجه سلسیوس و تغییرات رطوبت اتاق ۲±۲۵% ثابت نگه داشته می‌شوند.



(الف) نمای گرافیکی اتاقک آزمایشگاهی
(ب) مشخصات هندسی و جانمایی اجزا در اتاقک آزمایشگاهی
(ج) نمای داخلی اتاقک آزمایشگاهی
(د) نمای خارجی اتاقک آزمایشگاهی
(ه) جانمایی دریچه ورودی هوا
(و) دریچه ورود هوای مورد استفاده در آزمایش

Fig. 2. Geometry and specification test chamber
a) Graphical representation of the test chamber
b) Geometry and layout components of the test chamber
c) Interior view of the test chamber
d) Exterior view of the test chamber
e) Arrangement of the inlet diffuser
f) Air inlet diffuser

شکل ۲: هندسه و مشخصات محیط آزمایشگاه

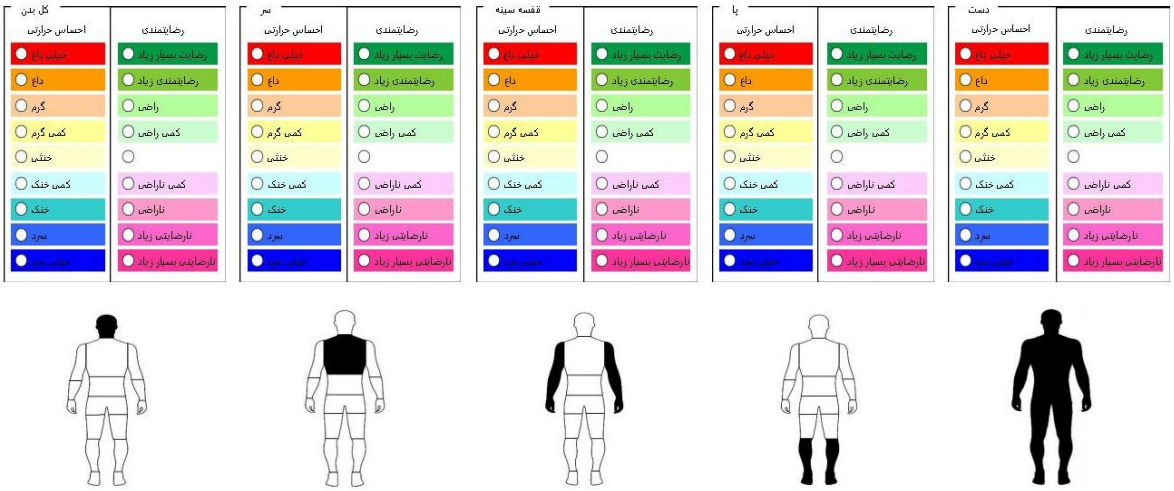


Fig. 3. Thermal sensation questionnaire

شکل ۳: پرسشنامه احساس حرارتی

سرعت هوای خروجی از دریچه‌ها در تمامی حالت‌ها بدون تغییر و برابر ۴/۳ متر بر ثانیه بوده که با افزایش ارتفاع، سرعت جریان هوا کاهش می‌یابد. همچنین، در این آزمایش دبی هوای خروجی از هر دریچه، ۷ لیتر بر ثانیه تنظیم شده است. در این آزمایش، دمای هوای خروجی از سیستم توزیع هوای زیر سطحی متغیر بوده و اثرات احساس آسایشی افراد در سه دمای ۱۲، ۱۶ و ۲۰ درجه سلسیوس (با تلرانس ۰/۲± درجه سلسیوس) مقایسه و بررسی می‌شود.

۲-۴- پرسشنامه و اطلاعات جمع‌آوری شده

برای جمع‌آوری اطلاعات افراد در این آزمایش از پرسشنامه شکل ۳ استفاده شده است. همان‌گونه که مشاهده می‌شود، این پرسشنامه برای پنج بخش سر، قفسه سینه، دست، پا و کل بدن طراحی شده است؛ سوالات این پرسشنامه به دو قسمت احساس حرارتی و رضایت‌مندی تقسیم‌بندی گردیده است و افراد حاضر در آزمایش، در زمان‌های ابتدای آزمایش و پس از ۵، ۱۵، ۲۵ و ۳۰ دقیقه پرسشنامه را تکمیل می‌کنند. در این آزمایش احساس حرارتی افراد طبق پرسشنامه شکل ۳ به ۹ قسمت و میزان رضایت‌مندی افراد نیز به ۸ قسمت تقسیم می‌شود که تقسیم‌بندی‌ها به ترتیب جدول‌های ۲ و ۳ مشاهده می‌گردد.

۳- نتایج و بحث

همان‌طور که پیشتر بیان شد، در این پژوهش اثرات تغییر دمای هوای خروجی از دریچه‌های توزیع هوای زیر سطحی بر احساس حرارتی موضعی و رضایت‌مندی افراد برای پنج ناحیه از بدن در شرایط اداری مورد آزمایش قرار گرفته است. در شکل ۴، میانگین تغییرات احساس حرارتی افراد و در شکل ۵ میانگین تغییرات رضایت‌مندی افراد به ازای سه دمای ورودی ۱۲، ۱۶ و ۲۰ درجه سلسیوس نشان داده شده است.

همان‌گونه که در شکل ۴(الف) مشاهده می‌شود، احساس حرارتی سر افراد در ابتدای آزمایش برای هر سه دما تطابق خوبی داشته است؛ این انطباق نشان دهنده هم‌دمایی مناسب افراد در ابتدای آزمایش می‌باشد. نتایج نشان می‌دهد احساس حرارتی سر افراد در طی آزمایش برای دماهای ۱۲ و ۱۶ درجه سلسیوس در محدوده خنثی بوده است و تغییر دما تاثیر چندانی بر احساس افراد نگذاشته است. این در حالی است که با افزایش دما به ۲۰ درجه سلسیوس، احساس حرارتی سر بالاتر رفته و افراد بعد از گذشت پنج دقیقه گرمای بیشتری نسبت

جدول ۲: مقیاس ارزیابی احساس حرارتی افراد

Table 2. Thermal sensation scale

احساس حرارتی								
خیلی سرد	سرد	خنک	کمی خنک	خنثی	کمی گرم	گرم	داغ	خیلی داغ
-۴	-۳	-۲	-۱	۰	۱	۲	۳	۴

جدول ۳: مقیاس ارزیابی رضایت‌مندی افراد

Table 3. Thermal comfort scale

رضایت‌مندی							
نارضایتی بسیار زیاد	نارضایتی زیاد	ناراضی	کمی ناراضی	کمی راضی	راضی	رضایت‌مندی زیاد	رضایت‌مندی بسیار زیاد
-۴	-۳	-۲	-۱	۱	۲	۳	۴

به ابتدای آزمایش حس کرده‌اند اما با گذر زمان این احساس با شیب کمی کاهش یافته است. علت این احساس را می‌توان این گونه بیان کرد که فرد پس از قرار گرفتن در معرض هوای گرم، ابتدا احساس کمی گرما می‌کند؛ اما در ادامه به دلیل اختلاف کم دمای هوای خروجی دریچه با میانگین دمای هوای محیط، وزش هوا را بیشتر احساس می‌کند و این وزش موجب افزایش انتقال حرارت از سطح پوست شده و افراد در گذر زمان احساس خنک‌تری نسبت به ابتدای آزمایش خواهند داشت.

همان‌طور که قبلا در شکل ۲(ب) نشان داده شد یکی از دریچه‌های خروجی هوا در زیر میز اداری قرار دارد و جریان هوای خروجی از این دریچه به میز کار برخورد کرده و در جهت‌های مختلف منتشر می‌شود و موجب می‌گردد وزش بر روی قفسه سینه افراد بیشتر احساس شود. شکل ۴(ب) میانگین تغییرات احساس حرارتی قفسه سینه افراد نسبت به زمان را نشان می‌دهد. در این نمودار، تغییرات احساس حرارتی به ازای تغییر دمای ورودی قابل توجه است. مشاهدات نشان می‌دهد، در ابتدای آزمایش افراد به ازای دمای هوای ورودی ۱۲ درجه سلسیوس، احساس خنثی داشته و در ادامه آزمایش، به مرور زمان احساس آن‌ها به سمت منطقه خنک‌تر سوق پیدا می‌کند. در دمای هوای ورودی ۱۶ و ۲۰ درجه سلسیوس نیز نتایج بدین گونه است که تا میانه آزمایش، احساس حرارتی افراد در محدوده نسبتا ثابتی قرار دارد؛ اما با نزدیک شدن به زمان انتهای آزمایش، قفسه سینه از دمای خروجی دریچه تاثیر بیشتری می‌گیرد. در این آزمایشات دست به عنوان عضوی بدون پوشش نسبت به سایر اعضای بدن، بیشتر تحت تاثیر تغییرات دما قرار گرفته است. در شکل ۴(ج) که میانگین تغییرات احساس حرارتی دست افراد نسبت به زمان نشان داده شده است، افراد به ازای دمای هوای ورودی ۱۲ درجه سلسیوس نسبت به سایر دماها به طور محسوسی احساس خنکی بیشتر داشته‌اند. دست‌ها نیز همانند قفسه سینه با گذر زمان، تحت تاثیر دمای هوای دریچه قرار گرفته‌اند و در این ناحیه، افراد احساس خنک‌تری را گزارش کرده‌اند. به نظر می‌رسد علاوه بر دما، وزش هوا نیز تاثیر قابل توجهی بر احساس حرارتی دست داشته است. مشاهدات بیان می‌کند که در ابتدا، میانگین تغییرات احساس حرارتی دست افراد در دمای ۱۶ و ۲۰ درجه سلسیوس بر یکدیگر منطبق بوده و افراد تا میانه آزمایش، احساسی در محدوده خنثی داشته‌اند.

همچنین، انتظار می‌رود پای افراد به عنوان عضوی که در نزدیکی دریچه‌ها قرار گرفته است، بیشتر از سایر اعضای بدن تحت تاثیر وزش قرار بگیرد. شکل ۴(د) نشان دهنده میانگین تغییرات احساس حرارتی پا افراد نسبت به زمان است. در ابتدای آزمایش، برای هر سه دمای هوای ورودی، احساس حرارتی افراد در محدوده خنثی بوده و طبق انتظار، نتایج بیان کننده آن است که جریان هوا در دمای ۱۲ درجه سلسیوس تاثیر بیشتری بر احساس حرارتی افراد داشته است. طبق بیان ژانگ و همکاران [۱۷]، احساس حرارتی کل بدن وابستگی زیادی به احساس حرارتی بحرانی‌ترین قسمت‌های بدن دارد. نمودارهای شکل ۴(هـ)، بیان‌کننده میانگین تغییرات احساس حرارتی کل بدن افراد نسبت به زمان است. همانطور که گفته شد، در این آزمایش دست و پا دو عضوی هستند که از سایر اعضا احساس خنکی بیشتری دارند و احساس کل بدن به احساس این دو عضو نزدیک‌تر است.

با این که میانگین احساس حرارتی افراد در قسمت مختلف بدن در محدوده کمی‌خنک تا کمی‌گرم قرار گرفته است، انتظار می‌رود میانگین رضایت‌مندی افراد در ناحیه رضایت قرار گرفته باشد. شکل ۵(الف)، میانگین تغییرات رضایت‌مندی سر افراد نسبت به زمان را نشان می‌دهد طبق انتظار، میزان رضایت‌مندی در ناحیه رضایت قرار گرفته است. همان‌گونه که در شکل دیده می‌شود در ابتدای آزمایش احساس رضایت‌مندی برای هر سه دما بر هم منطبق بوده است، اما بعد از گذشت دقایقی از آزمایش، میزان رضایت افراد کاسته می‌شود؛ به گونه‌ای که افراد در انتهای آزمایش با دمای ورودی ۲۰ درجه سلسیوس، بیشترین میزان رضایت و به ازای دمای هوای ورودی ۱۲ درجه سلسیوس، کمترین میزان رضایت را گزارش کرده‌اند. همین

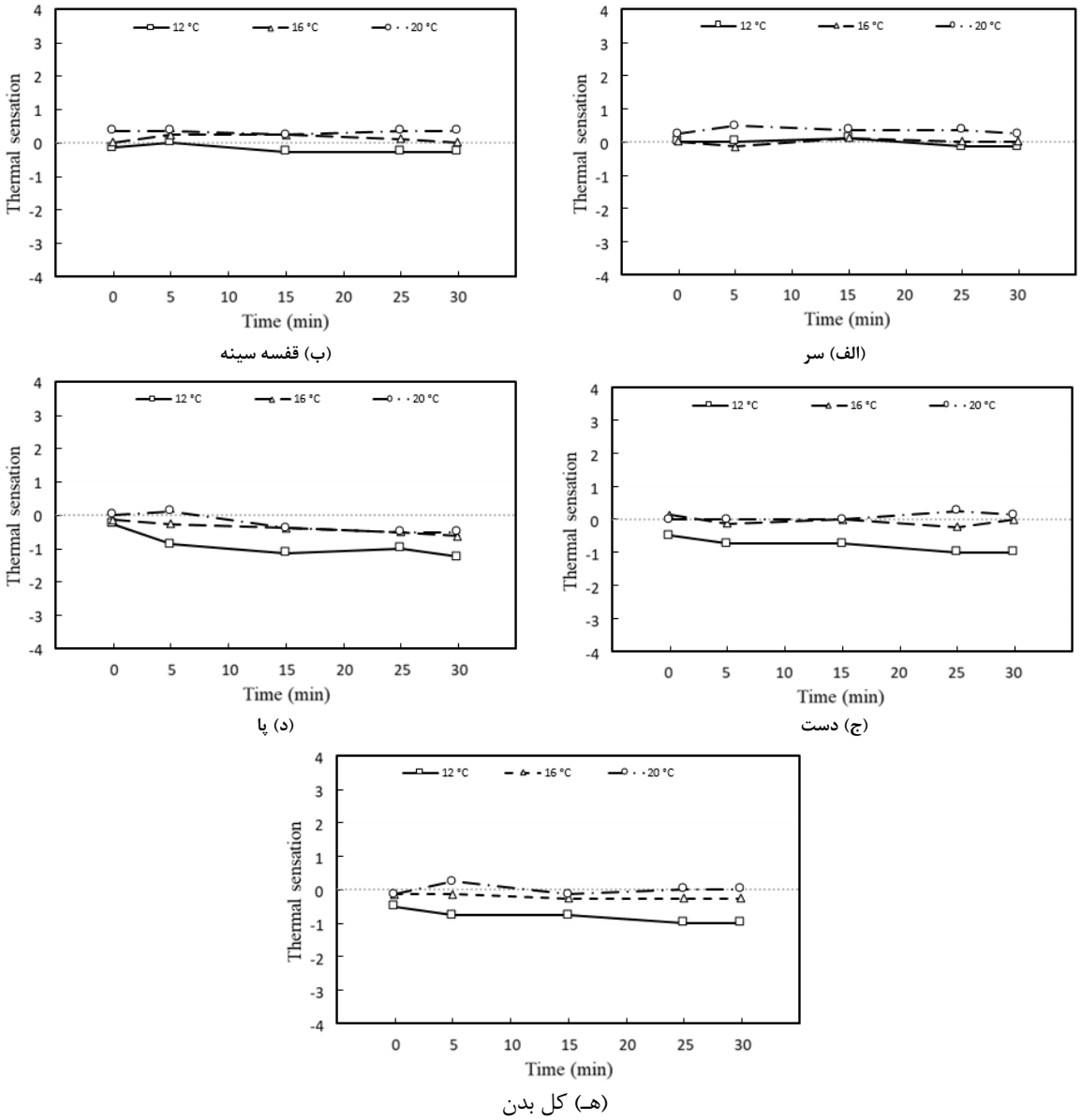


Fig. 4. Mean thermal sensation changes during the time for (a) Head (b) Chest (c) Hand (d) Leg (e) Whole body

شکل ۴: میانگین تغییرات احساس حرارتی نسبت به زمان برای الف) سر، ب) قفسه سینه، ج) دست، د) پا، هـ) کل بدن

شرایط برای قفسه سینه هم صدق می‌کند؛ با این تفاوت که از ابتدا تا انتهای آزمایش میزان رضایت‌مندی تغییرات چندانی نداشته است و برای هر سه دما تقریبا منطبق بر یکدیگر است، که در شکل ۵(ب) میانگین تغییرات رضایت‌مندی قفسه سینه افراد نسبت به زمان قابل مشاهده است. همچنین، شکل ۵(ج) میانگین تغییرات رضایت‌مندی دست افراد نسبت به زمان را نشان می‌دهد. به ازای دمای هوای ورودی ۲۰ درجه سلسیوس، افراد در طول آزمایش در محدوده احساس رضایت قرار دارند؛ اما با کاهش دمای هوای ورودی به ۱۶ درجه سلسیوس، احساس رضایت‌مندی افراد در دقایق انتهایی آزمایش با شیب بیشتری کاهش می‌یابد. همچنین، مشاهده می‌شود که دمای هوای ورودی ۱۲ درجه سلسیوس، میزان رضایت‌مندی افراد را به شدت کاهش می‌دهد به حدی که در انتهای آزمایش، احساس رضایت‌مندی افراد به ناحیه نارضایتی نزدیک می‌شود. همچنین در شکل ۵(د) میانگین تغییرات احساس رضایت‌مندی ناحیه پای افراد نسبت به زمان نشان داده شده است.

میزان احساس رضایت‌مندی کل بدن افراد همانند احساس حرارتی کل بدن آن‌ها وابستگی بسیاری به میانگین احساس رضایت‌مندی بدترین قسمت‌های بدن دارد. در شکل ۵(هـ)، میانگین تغییرات احساس رضایت‌مندی کل بدن افراد نسبت به زمان مشاهده می‌شود. احساس رضایت‌مندی کل بدن افراد به ازای دمای هوای

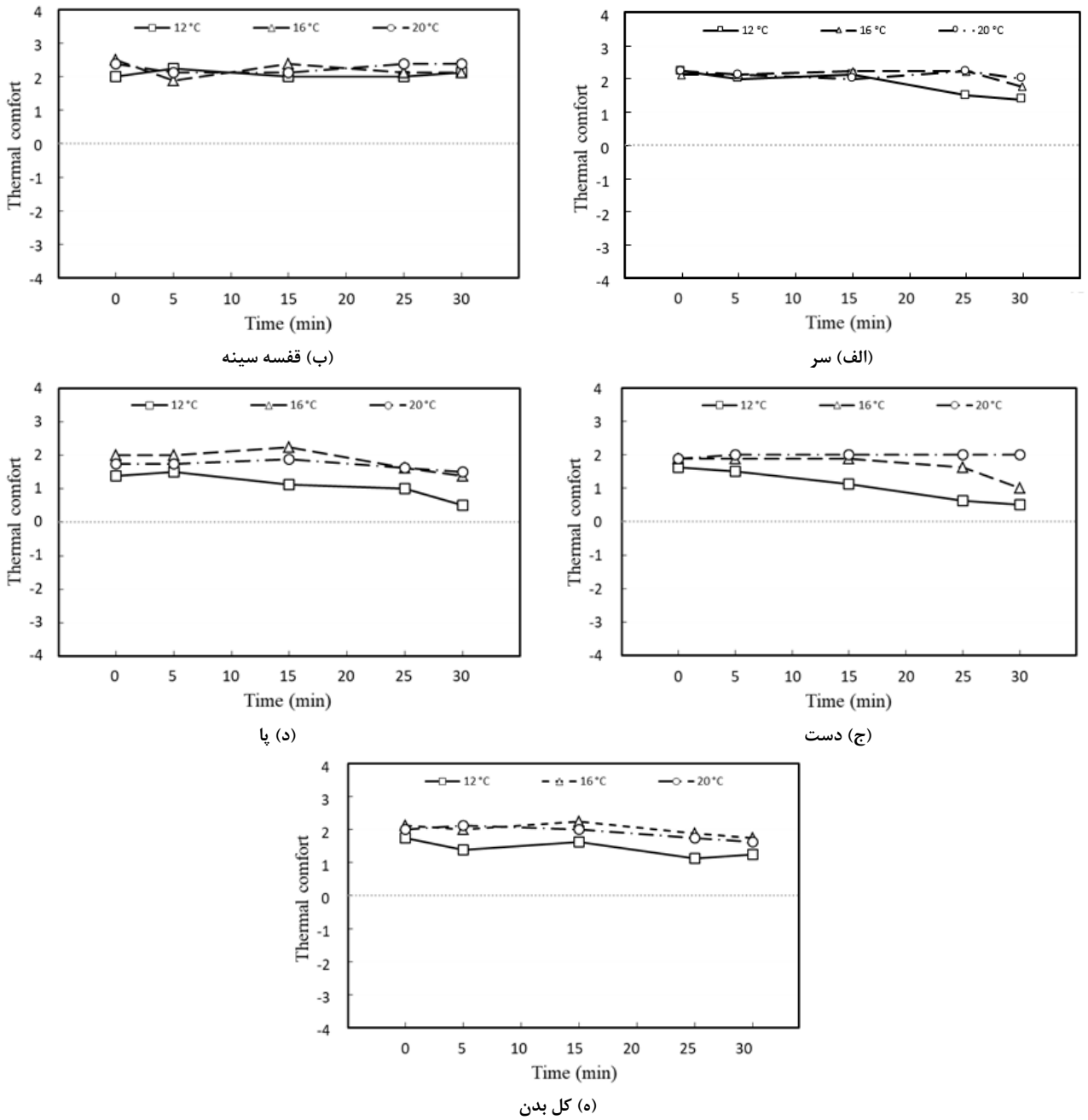


Fig. 5. Mean thermal comfort changes during the time for (a) Head (b) Chest (c) Hand (d) Leg (e) Whole body

شکل ۵: میانگین تغییرات رضایت‌مندی نسبت به زمان برای (الف) سر، (ب) قفسه سینه، (ج) دست، (د) پا، (هـ) کل بدن

ورودی ۱۶ و ۲۰ درجه سلسیوس بر هم تطابق داشته و از ابتدا تا انتهای آزمایش در محدوده احساس رضایت قرار دارند.

در شکل ۶ میانگین تغییرات احساس حرارتی سر، قفسه سینه، دست، پا و کل بدن به ازای سه دمای هوای ورودی ۱۲، ۱۶ و ۲۰ درجه سلسیوس ارائه شده است. همان‌گونه که انتظار می‌رود، نتایج نشان می‌دهد در همه قسمت‌های بدن با افزایش دما، احساس حرارتی افراد نیز افزایش می‌یابد. در ناحیه سر افراد، میانگین احساس حرارتی با افزایش دمای هوای ورودی از ۱۲ به ۱۶ و سپس ۲۰ درجه سلسیوس، به ترتیب به صورت ۰/۰۳-، ۰ و ۰/۳۸ افزایش می‌یابد. همان‌گونه که نتایج نشان می‌دهد در دو دمای هوای ورودی ۱۲ و ۱۶ درجه سلسیوس، اختلاف ناچیزی بین میانگین احساس حرارتی سر وجود دارد و می‌توان گفت افراد در این دو دما احساس خنثی داشته‌اند؛ ولی میانگین این احساس در دمای ۲۰ درجه سلسیوس با شیب بیشتری تغییر کرده و در محدوده احساس حرارتی کمی گرم گزارش شده است که اختلاف چشمگیری با حالت‌های مربوط به دمای هوای ورودی ۱۲ و ۱۶ درجه سلسیوس دارد.

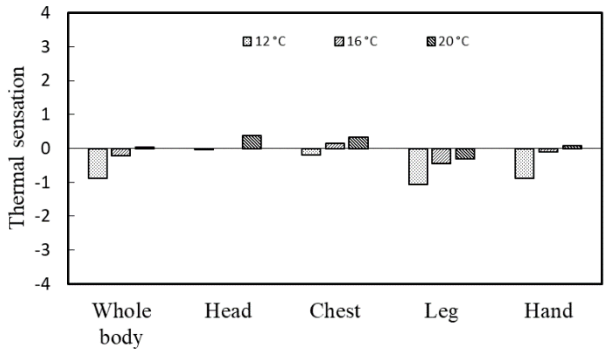


Fig. 6. Mean thermal sensation for various body segments at different inlet temperatures

شکل ۶: میانگین تغییرات احساس حرارتی در دماهای مختلف برای قسمت‌های مختلف بدن

طبق اطلاعات شکل ۶، متوسط احساس حرارتی ناحیه دست افراد به ازای دمای هوای ورودی ۱۶ و ۲۰ درجه سلسیوس به ترتیب ۰/۱- و ۰/۱ بوده است و به ازای این دو دمای هوای ورودی، شرایط افراد به احساس حرارتی خنثی نزدیک است؛ اما در دمای ۱۲ درجه سلسیوس میانگین احساس حرارتی دست افراد ۰/۸۸- بوده که در محدوده کمی سرد قرار می‌گیرد و نشان می‌دهد که بر خلاف شیب کم تغییرات در دمای ۱۶ و ۲۰ درجه سلسیوس، میزان تغییرات احساس حرارتی به ازای تغییر دمای هوای ورودی از ۱۶ به ۱۲ درجه سلسیوس، شیب بیشتری دارد. همچنین، احساس حرارتی پای افراد به ازای هر سه دمای هوای ورودی در ناحیه نارضایتی قرار داشته و مقدار احساس حرارتی پای افراد به ازای دمای هوای ورودی ۱۲، ۱۶ و ۲۰ درجه سلسیوس به ترتیب ۱/۰۳-، ۰/۴۴- و ۰/۳۱- می‌باشد. در نهایت احساس حرارتی کل بدن افراد برای دماهای ۱۲، ۱۶ و ۲۰ درجه سلسیوس برابر ۰/۸۹-، ۰/۲۲- و ۰/۰۳ است. طبق انتظار احساس حرارتی کل بدن در هر سه دما، وابسته به احساس حرارتی دست و پای افراد (اعضای دارای احساس بحرانی) است.

شکل ۷ بیانگر میانگین تغییرات رضایت‌مندی افراد به ازای دمای ورودی ۱۲، ۱۶ و ۲۰ درجه سلسیوس و برای قسمت‌های سر، قفسه سینه، دست، پا و کل بدن می‌باشد. در ناحیه سر افراد، میانگین رضایت‌مندی افراد به ازای سه دمای هوای ورودی ۱۲، ۱۶ و ۲۰ درجه سلسیوس به ترتیب برابر ۱/۷۵، ۲/۰۹ و ۲/۰۹ می‌باشد. با این که احساس حرارتی سر افراد در دمای ورودی ۱۶ و ۲۰ با هم اختلاف دارد، اما میانگین رضایت‌مندی افراد یکسان می‌باشد؛ اما بر خلاف این موضوع، اختلاف احساس حرارتی سر افراد در دمای ۱۲ و ۱۶ درجه سلسیوس بسیار ناچیز است. اما به علت احساس خنکی بیشتر سایر نواحی بدن، در دمای ۱۲ درجه سلسیوس میزان رضایت افراد در این دما کمتر است و این موضوع بیانگر آن است که نارضایتی یکی از اعضا بر رضایت‌مندی سایر اعضا تاثیرگذار می‌باشد. همچنین، نتایج بیان می‌کند که میانگین رضایت‌مندی دست افراد با افزایش دما افزایش یافته است و به ازای هر سه دمای ورودی ۱۲، ۱۶ و ۲۰ درجه سلسیوس، افراد احساس رضایت دارند و میانگین رضایت‌مندی دست افراد ۰/۹۴، ۱/۶ و ۲ است. ضمنا، بر خلاف شیب زیاد تغییرات احساس حرارتی که قبلا بیان شد، شیب تغییرات رضایت‌مندی افراد تقریبا به صورت یکنواخت می‌باشد. همچنین همان طور که گفته شد، احساس حرارتی و رضایت‌مندی کل بدن افراد وابستگی بسیاری به احساس و رضایت‌مندی بحرانی‌ترین عضو بدن دارد. نتایج نیز بیانگر همین موضوع بوده و تغییرات رضایت‌مندی کل بدن، مشابه با میزان رضایت‌مندی پای افراد می‌باشد.

در زمان آزمایش همراه با پرسش‌نامه احساس حرارتی و رضایت‌مندی افراد پرسشی مبنی بر احساس افراد در خصوص سرعت وزش هوای خروجی از دریچه‌ها سوال شد و افراد یکی از گزینه‌های "ترجیح می‌دهم سرعت کاهش یابد، بدون تغییر باقی بماند و افزایش یابد" را انتخاب می‌کردند. همان‌گونه که بیان شد، سرعت جریان هوای خروجی از دریچه‌های توزیع هوای زیر سطحی در طول آزمایش ثابت بوده است اما احساس افراد نسبت به سرعت وزش هوا در طول زمان آزمایش متفاوت است. در شکل ۸ نمودار میانگین ترجیح افراد در خصوص شرایط سرعت وزش هوا در طول زمان آزمایش نشان داده شده است. این نمودار برای سه دمای ورودی ۱۲، ۱۶ و ۲۰

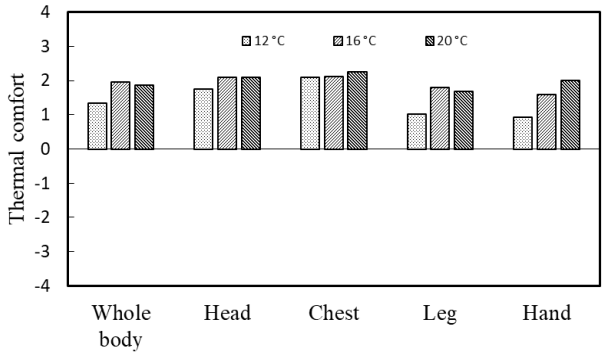
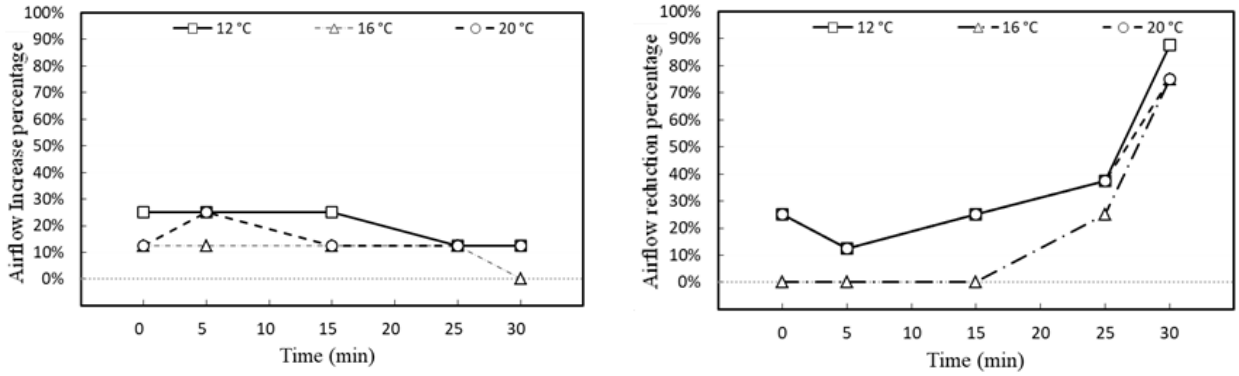


Fig. 7. Mean thermal comfort for various body segments at different inlet temperatures

شکل ۷: میانگین تغییرات رضایت‌مندی در دماهای مختلف برای قسمت‌های مختلف بدن



(الف) درخواست کاهش وزش هوا

(ب) درخواست افزایش وزش هوا

Fig. 8. Mean percentage of occupants' preference for air movement over the time

(a) Requesting to decrease the air movement(%)

(b) Requesting to increase the air movement(%)

شکل ۸: میانگین احساس افراد برای تغییرات سرعت وزش هوا نسبت به زمان

درجه سلسیوس ارائه شده است و شکل ۸(الف) نشان‌دهنده درصد افرادی است که کاهش و یا افزایش سرعت وزش را در طول آزمایش ترجیح داده‌اند. نتایج نشان می‌دهد در دماهای ورودی ۱۲ و ۲۰ درجه سلسیوس، درصد افرادی که در انتهای آزمایش درخواست کاهش سرعت وزش هوا را داشته‌اند، به ترتیب ۸۸% و ۷۵% می‌باشد. در حالی که به ازای دمای ۱۶ درجه سلسیوس، در انتهای آزمایش ۷۵% افراد وزش را احساس کرده و درخواست کاهش وزش را اعلام کرده‌اند. نتایج نشان می‌دهد در هر سه دمای ورودی، بعد از گذشت دقایقی از آزمایش احساس وزش در افراد با شیب زیادی افزایش می‌یابد و این می‌تواند عامل ایجاد نارضایتی افراد باشد.

شکل ۸(ب) نشان‌دهنده درصد افرادی است که درخواست افزایش وزش را داشته‌اند. طبق انتظار، با گذشت زمان برای هر سه دمای ورودی ۱۲، ۱۶ و ۲۰ درجه سلسیوس، از درصد افراد خواهان افزایش سرعت وزش هوا کاسته شده است. به‌گونه‌ای که در انتهای آزمایش، در دمای ورودی ۱۶ درجه سلسیوس هیچ فردی درخواست افزایش سرعت را گزارش نکرده است. همان‌گونه که مشاهده می‌شود، در طول آزمایش در دمای ۱۲ درجه سلسیوس درصد افرادی که دارای درخواست افزایش سرعت وزش هستند، بیشتر از سایر دماها می‌باشد. در مجموع، نتایج بیانگر آن است که افراد در دمای ۱۶ درجه سلسیوس بیشترین درخواست را نسبت به ثابت بودن سرعت وزش را داشته‌اند و اکثریت افراد از این سرعت هوا در این دما رضایت داشته‌اند.

۴- نتیجه‌گیری

در تحقیق حاضر احساس حرارتی موضعی و میزان رضایت‌مندی افراد تحت وزش در سیستم توزیع هوای زیر سطحی با سه دمای ورودی از دریچه ۱۲، ۱۶ و ۲۰ درجه سلسیوس مورد بررسی قرار گرفته است. برای سنجش احساس حرارتی و میزان رضایت‌مندی افراد، از ۸ نفر با شرایط فیزیولوژیکی تقریبا یکسان (از نظر سن، وزن، قد، شاخص توده بدنی) و با پوشش کاملا یکسان استفاده شد و این افراد در طول آزمایش به پرسش‌نامه‌ای مطابق با استانداردهای آسایش حرارتی پاسخ دادند. بر اساس نتایج به دست آمده تغییر دما بر احساس حرارتی سر و قفسه سینه افراد تاثیر چندانی نداشته است؛ اما دست و پا به عنوان دو عضو که احساس حرارتی خنک‌تری نسبت به سایر اعضا داشته‌اند. به طوری که در دمای ۱۶ و ۲۰ درجه سلسیوس احساس مشابهی را گزارش کرده‌اند؛ اما در دمای ۱۲ درجه سلسیوس افراد به صورت قابل ملاحظه‌ای احساس خنکی داشته‌اند. همچنین، نتایج نشان می‌دهد که ناحیه سر افراد تحت وزش سیستم توزیع هوای زیر سطحی به طور متوسط به میزان حدود ۰/۵ واحد احساس حرارتی گرم‌تری را نسبت به احساس کلی بدن تجربه می‌کنند. این در حالی است که بر اساس نتایج به دست آمده، در سیستم‌های توزیع هوای زیر سطحی، احساس حرارتی کلی بدن تا حد زیادی تابع احساس ناحیه پا است. ضمناً نتایج رضایت‌مندی افراد نیز نشان می‌دهد که در ناحیه سر و قفسه سینه، دمای ورودی از دریچه تاثیر بسزایی بر رضایت‌مندی افراد نداشته است؛ اما رضایت‌مندی دست

و پا افراد با گذر زمان کاهش یافته است که این نارضایتی در دمای ۱۲ درجه برای هر دو عضو قابل ملاحظه است. در مجموع، نتایج بیانگر تاثیرپذیری شدید احساس حرارتی و رضایت‌مندی کل بدن از میانگین احساس حرارتی و رضایت‌مندی بخش‌های دست و پا که بحرانی‌ترین احساس حرارتی و میزان رضایت را دارند، می‌باشد. همچنین، نتایج نشان می‌دهد با این که سرعت وزش در زمان آزمایش ثابت بوده است اما با گذر زمان افراد وزش را بیشتر احساس کرده که این موضوع موجب کاهش رضایت‌مندی افراد شده است؛ به طوری که پس از گذشت ۳۰ دقیقه از شروع آزمایش، حداقل ۷۵% افراد از سرعت بالای جریان وزشی و رخداد کوران ابراز نارضایتی کرده‌اند.

۵-منابع

[1] Q.A. Liu, P. F. Linden The fluid dynamics of an underfloor air distribution system, 2006.

[2] R. Li, S.C. Sekhar, A.K. Melikov, Thermal comfort and IAQ assessment of under-floor air distribution system integrated with personalized ventilation in hot and humid climate, Building and Environment, 45(9) (2010) 1906-1913.

[3] T. Arghand, T. Karimipanah, H.B. Awbi, M. Cehlin, U. Larsson, E. Linden, An experimental investigation of the flow and comfort parameters for under-floor, confluent jets and mixing ventilation systems in an open-plan office, Building and Environment, 92 (2015) 48-60.

[4] Y. Xue, Q. Chen, Influence of floor plenum on energy performance of buildings with UFAD systems, Energy and Buildings, 79 (2014) 74-83.

[5] M. Zukowski, A new formula for determining a minimum recommended value of inlet air velocity from UFAD system to prevent occupants from draught risk, Building and Environment, 42(1) (2007) 171-179.

[6] A. Alajmi, W. El-Amer, Saving energy by using underfloor-air-distribution (UFAD) system in commercial buildings, Energy Conversion and Management, 51(8) (2010) 1637-1642.

[7] S.H. Ho, L. Rosario, M.M. Rahman, Comparison of underfloor and overhead air distribution systems in an office environment, Building and Environment, 46(7) (2011) 1415-1427.

[8] S. Schiavon, K.H. Lee, F. Bauman, T. Webster, Simplified calculation method for design cooling loads in underfloor air distribution (UFAD) systems, Energy and Buildings, 43(2) (2011) 517-528.

[9] K. Zhang, X. Zhang, S. Li, X. Jin, Experimental study on the characteristics of supply air for UFAD system with perforated tiles, Energy and Buildings, 80 (2014) 1-6.

[10] M.H. Fathollahzadeh, G. Heidarinejad, H. Pasdarshahri, Prediction of thermal comfort, IAQ, and energy consumption in a dense occupancy environment with the under floor air distribution system, Building and Environment, 90 (2015) 96-104.

[11] G. Heidarinejad, M.H. Fathollahzadeh, H. Pasdarshahri, Effects of return air vent height on energy consumption, thermal comfort conditions and indoor air quality in an under floor air distribution system, Energy and Buildings, 97 (2015) 155-161.

[12] M.H. Fathollahzadeh, G. Heidarinejad, H. Pasdarshahri, Producing a better performance for the under floor air distribution system in a dense occupancy space, Energy and Buildings, 126 (2016) 230-238.

[13] M. Afzalian, S.A. Zolfaghari, A. Foadadini, Effects of air change rate on comfort, air quality and energy consumption in an amphitheater with under-floor air distribution system, Modares Mechanical Engineering, 17(2) (2017) 284-294.(In persian)

[14] Y.H. Yau, K.S. Poh, A. Badarudin, A numerical airflow pattern study of a floor swirl diffuser for UFAD system, Energy and Buildings, 158 (2018) 525-535.

[15] F.S. Bauman, A. Dally, R. American Society of Heating, A.-C. Engineers, Underfloor Air Distribution (UFAD) Design Guide, American Society of Heating Refrigerating and Air-Conditioning Engineers, 2003.

[16] T. Webster, F.S. Bauman, Design guidelines for stratification in underfloor air distribution (UFAD) systems, (2006).

individual body parts, Building and Environment, 45(2) (2010) 380-388.

[17] H. Zhang, E. Arens, C. Huizenga, T. Han, Thermal sensation and comfort models for non-uniform and transient environments: Part I: Local sensation of

برای ارجاع به این مقاله از عبارت زیر استفاده کنید:

S. A. Zolfaghari, S. Teymoori, Experimental Investigation of the Effects of Inlet Cooling Air Temperature on the Occupants' Local Thermal Sensation in the Under-Floor Air Distribution System, Amirkabir J. Mech Eng., 53(3) (2021) 1537- 1548.

DOI: 10.22060/mej.2019.15712.6186