



## Experimental investigation of personalized ventilation effects on temperature, velocity, and draught discomfort distribution in an office

S. A. Zolfaghari<sup>1,\*</sup>, P. Ebrahimi Naghani<sup>1</sup>, M. Maerefat<sup>2</sup>

<sup>1</sup> Department of Mechanical Engineering, University of Birjand, Iran

<sup>2</sup> Department of Mechanical Engineering, Tarbiat Modares University, Tehran, Iran

**ABSTRACT:** In this research, it has been tried to experimentally investigate the effect of a personalized ventilation system on airflow and temperature distribution in a room for two inlet air temperatures (24 and 32°C) and two different arrangements of the inlet diffusers (desk-mounted and under-desk air terminals). The results showed that the penetration depth of heat and momentum due to the inlet diffusers were not the same; So that the effect of inlet diffusers' temperature on the room temperature distribution is significant up to a distance of about 60 cm. However, the effect of inlet velocity is noticeable up to a distance of about 110 cm. Therefore, the occupants' thermal sensations up to the distance of about one meter from the inlet diffusers will be affected by the inlet conditions. Also, the results indicated that the draught discomfort along with the diffusers' centerline is significant to a distance of about 180 cm. Based on the results, the air velocity and turbulence intensity are the two main factors in determining the draught discomfort in the personalized ventilation system and due to the rapid thermal mixing of inlet air with the room air, the effect of inlet temperature on the draught discomfort is not significant.

### Review History:

Received: May, 22, 2020

Revised: Sep. 16, 2020

Accepted: Oct. 25, 2020

Available Online: Nov. 02, 2020

### Keywords:

Personalized ventilation system

Experimental study

Flow pattern

Draught discomfort

## INTRODUCTION

Nowadays, people spend about 90 percent of their time in indoor environment. Therefore, designing air conditioning systems to maintain proper indoor air quality and provide optimal thermal comfort conditions for residents is very important. In the recent years, the HVAC designers focused on optimizing the conditions in the occupied zone and thus save energy consumption [1]. One of the systems that has been designed to optimize the thermal conditions and indoor air quality in the occupied zone is the personalized ventilation system. In 2007, Cheong et al. [2] examined the local sensation and thermal comfort conditions of subjects in a room with a personalized ventilation system. He concluded that in the range of near-neutral thermal sensation, local discomfort increases by increasing temperature. In 2015, Vesely et al. [3] examined the performance of a heating personalized ventilation system. They concluded that the use of personalized ventilation system has a significant effect on the occupants' satisfaction. In 2019, Zolfaghari et al. [4] experimentally investigated the effects of air temperature on the air movement acceptability in an office with personalized ventilation system. They found that the arrangement of inlet diffusers at the left and right side of the seat may cause higher level of satisfaction and air movement acceptability. Zolfaghari et al. [5] experimentally evaluated the effect of inlet flow discharge direction on temperature and flow patterns in a room with UFAD system and also predicted the percentage of people's satisfaction and concluded that the level of satisfaction of people in the UFAD

system significantly depends on the discharge current and the distance of people from the diffuser. Previous studies indicate the importance of examining the pattern of temperature and velocity distribution in these locations. In the mentioned studies, draught discomfort for the desk-mounted and under-desk air terminals had not been studied. Also, due to the variety of diffusers in the personalized ventilation systems, the type of inlet air diffuser is important. In this study, by measuring the airflow pattern in an office environment for two different inlet air diffuser arrangements and two temperatures of 24 and 32 degrees Celsius, the distribution of temperature and the percentage of draught discomfort had been investigated.

## 2. METHODOLOGY

To perform the experiments, a climate chamber located in the University of Birjand has been used. The length and width of the room are 3m and its height is 2.7m. Also, the chamber is located inside a larger room, and as a result, weather conditions and sunlight do not affect the chamber. Inside the chamber, there is a temperature measuring sensor that transmits the information inside the chamber instantly to the test operator outside the chamber. Based on this information and available heating devices, the temperature is kept constant in the range of  $24 \pm 0.5^\circ\text{C}$ . Inside the ducts which connecting the air conditioner to the inlet air diffuser, there are sensors that show the velocity inside the ducts during the test. The inlet temperature of the diffusers is controlled at two different temperatures of 24 and 32°C. Temperature and velocity are

\*Corresponding author's email: alireza.zolfaghari@yahoo.com



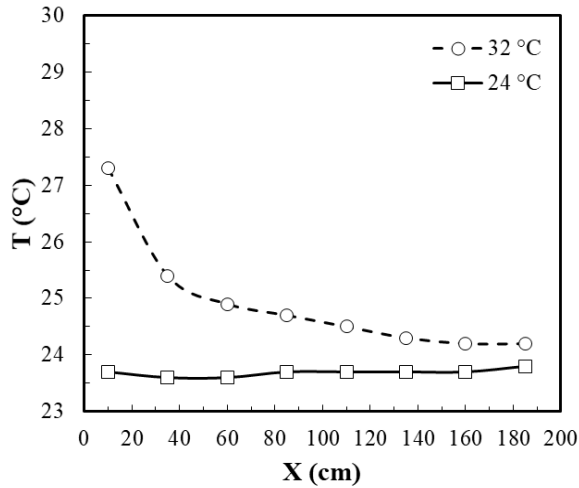


Fig. 1. Temperature distribution along with the under-desk air diffusers' centerline

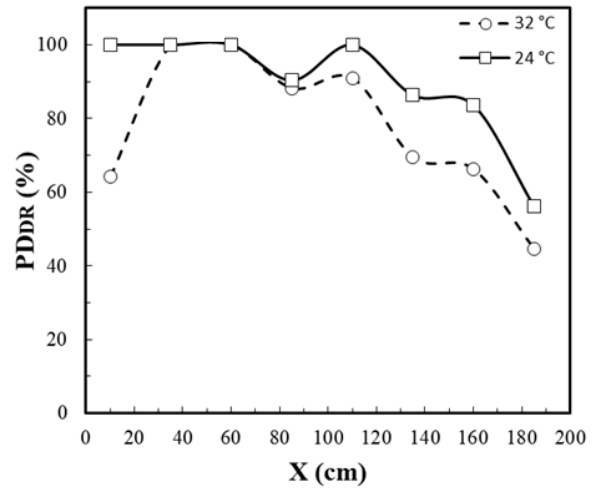


Fig. 3.  $PD_{DR}$  changes along with the under-desk air diffusers' centerline

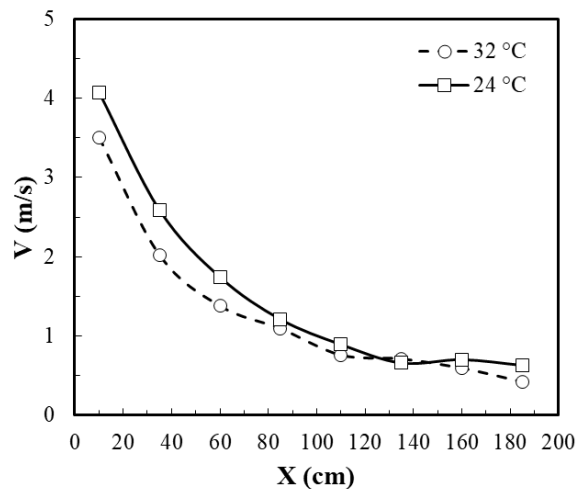


Fig. 2. Velocity distribution along with the under-desk air diffusers' centerline

Air velocity distribution along with the under-desk air diffusers' centerline is presented in Fig. 2. Based on this Figure, from 10 to 180cm distance from the diffuser, the velocity magnitude varies from 4.1 to about 0.6 and 3.5 to about 0.4m/s, for the inlet air temperature of 24 and 32°C respectively.

In Fig. 3 draught discomfort percentage distribution along with the under-desk air diffusers' centerline is presented. As expected, due to the high velocity of the airflow near the diffusers, high draught discomfort percentage happened. Based on results, draught discomfort along with the diffusers' centerline is significant to a distance of about 180 cm. It should be noted that depending on the diffusers' arrangement, the body parts such as hands and legs that are exposed directly to airflow, are at high risk of occurring discomfort due to draught.

#### 4. CONCLUSIONS

The results showed that the vertical temperature distribution on the floor did not depend on the arrangement of the inlet air diffusers in the personalized ventilation system. In the horizontal temperature distribution, the effect of inlet diffusers' temperature on the room temperature distribution is significant up to a distance of about 60 cm from the diffuser, and at longer distances, air mixing brought the airflow temperature closer to the average air temperature in the room. However, the results related to the horizontal distribution of air velocity show that the effect of inlet velocity is noticeable up to a distance of about 110 cm. Therefore, thermal sensations will be affected by the inlet conditions up to about one meter from the inlet diffusers. The draught dissatisfaction along with the diffusers' centerline is significant to a distance of about 180 cm. The results showed that the velocity and turbulence intensity are the two main factors in determining the draught discomfort in the personalized ventilation system and due to the rapid thermal mixing of the inlet air with room air, the inlet temperature does not have a significant effect on the draught discomfort.

measured in both vertical and horizontal positions. Along with the vertical measuring line, the sensors were located at distances of 10, 35, 60, 85, 110, 135 and 185 cm from the floor. Also, along with the horizontal line (centerline of the inlet diffuser), the temperature and velocity were measured by the sensors at distances of 10, 35, 60, 85, 110, 135 and 185 cm from the diffuser.

#### 3. DISCUSSION AND RESULTS

Fig. 1 presents the temperature distribution along with the under-desk air diffusers' centerline. By increasing the inlet temperature from 24 to 32°C, the temperature change near the diffusers is significant. The trend of changes up to a distance of 60 cm from the diffusers has a steep slope so that at this distance, the measured temperature decreases from 32°C (at the diffusers) to 24.8°C. Then, by moving away from the diffusers, inlet air mixes with the chamber air, and the measured temperature approaches 24°C.

## REFERENCES

- [1] B. Tashtoush, M. Molhim, and M. Al-Rousan, Dynamic model of an HVAC system for control analysis, *Energy*, 30(10) (2005) 1729-1745.
- [2] K. Cheong, W. Yu, S. Sekhar, K. Tham, and R. Kosonen, Local thermal sensation and comfort study in a field environment chamber served by displacement ventilation system in the tropics, *Building and Environment*, 42(2) (2007) 525-533.
- [3] M. Veselý, J. Verhaart, and W. Zeiler, Performance of Personalized Heating, *ASHRAE Transactions*, 121(2015) 1-8.
- [4] S. A. Zolfaghari, S. Teymoori, S. M. Hooshmand, M. Izadi, and M. Afzalian, Experimental investigation of the effects of air temperature on the air movement acceptability in an office with UFAD system, *The 27th Annual International Conference of Iranian Society of Mechanical Engineers-ISME*, (2019).
- [5] S. A. Zolfaghari, S. Teymoori, M. Afzalian, M. Raesi, and S. M. Hooshmand, Experimental evaluation of the effect of inlet flow discharge direction on temperature and flow patterns in a room with UFAD system, *The 27th Annual International Conference of Iranian Society of Mechanical Engineers-ISME*, (2019).

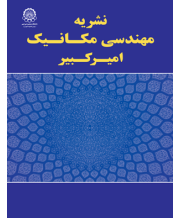
### HOW TO CITE THIS ARTICLE

S.A. Zolfaghari , P. Ebrahimi Naghani, M. Maerefat , *Experimental investigation of personalized ventilation effects on temperature, velocity, and draught discomfort distribution in an office*, *Amirkabir J. Mech Eng.*, 53(7) (2021) 1041-1044.

DOI: [10.22060/mej.2020.18478.6825](https://doi.org/10.22060/mej.2020.18478.6825)







## بررسی آزمایشگاهی تأثیر سیستم تهویه انفرادی بر توزیع دما، سرعت و ناراضیتی ناشی از کوران در یک محیط اداری

سیدعلیرضا ذوالفقاری<sup>۱\*</sup>، پیمان ابراهیمی ناغانی<sup>۱</sup>، مهدی معرفت<sup>۲</sup>

<sup>۱</sup> دانشکده مهندسی، دانشگاه بیرجند، بیرجند، ایران

<sup>۲</sup> دانشکده مهندسی مکانیک، دانشگاه تربیت مدرس، تهران، ایران

### تاریخچه داوری:

دریافت: ۱۳۹۹/۰۳/۰۲

بازنگری: ۱۳۹۹/۰۶/۲۶

پذیرش: ۱۳۹۹/۰۸/۰۴

ارائه آنلاین: ۱۳۹۹/۰۸/۱۲

### کلمات کلیدی:

سیستم تهویه هوای انفرادی

تحقیق آزمایشگاهی

الگوی جریان

ناراضیتی ناشی از کوران

**خلاصه:** در این تحقیق سعی شده است تا به روش آزمایشگاهی، تأثیر وزش هوا در سیستم تهویه انفرادی به ازای دو دمای هوای ورودی (۲۴ و ۲۲ درجه سلسیوس) و دو حالت مختلف جانمایی دریچه ورودی (دریچه روی میز و دریچه زیر میز)، بر توزیع دما و سرعت در ناحیه حضور افراد و نیز احتمال وقوع ناراضیتی موضعی کوران مورد ارزیابی قرار گیرد. نتایج نشان داد که عمق نفوذ حرارت و مومنوم در اثر دریچه های ورودی با هم برابر نیست؛ به طوری که تأثیر دمای دریچه بر توزیع دمای اتاق تا فاصله حدود ۶۰ سانتیمتری قابل توجه است. این در حالی است که تأثیر سرعت ورودی دریچه تا فاصله حدود ۱۱۰ سانتیمتری محسوس می باشد. در نتیجه، احساس حرارتی افراد تا فاصله حدود یک متری از دریچه، تحت تأثیر شرایط جریان ورودی قرار خواهد داشت. ضمن اینکه نتایج حاکی از آن است که ناراضیتی ناشی از کوران در راستای افقی تا فاصله حدود ۱۸۰ سانتی متری از دریچه محسوس است. همچنین بر اساس نتایج به دست آمده، سرعت و شدت اغتشاشات دو عامل اصلی در تعیین ناراضیتی ناشی از کوران در سیستم تهویه انفرادی هستند و به دلیل اختلاط سریع و همدمایی هوای ورودی با هوای اتاق، دمای ورودی تأثیر قابل ملاحظه ای بر ناراضیتی ناشی از کوران ندارد.

### ۱- مقدمه

به شرایط هوای محیط پیرامون خود ندارند [۳ و ۴]. دلیل این امر آن است که احساس حرارتی افراد به پارامترهای مختلفی مانند عوامل فیزیولوژیکی، فیزیکی و روان شناختی مربوط می شود [۵] و همین موضوع نشان دهنده پیچیدگی مفهوم آسایش حرارتی افراد است [۶]. اما به صورت کلی می توان رضایت افراد از شرایط حرارتی محیط را این گونه تعریف کرد که اگر دمای بدن در محدوده خاصی قرار بگیرد و تلاش های فیزیولوژیکی بدن برای تنظیم دما به کمترین میزان برسد و همچنین رطوبت پوست کم باشد، رضایت فرد از شرایط محیط پیرامون خود حاصل شده است [۷]. به طور معمول، بیشتر سیستم های گرمایش، سرمایش و تهویه مطبوع موجود، با هدف مطلوب سازی دما، رطوبت و کیفیت هوای داخل در کل فضای ساختمان طراحی می شود [۸]. این در حالی است که در برخی از ساختمان ها، می توان تمرکز سیستم تهویه را صرفاً بر مطلوب سازی شرایط در محل استقرار افراد

بطور میانگین انسان ها ۹۰ درصد زمان خود را در فضاهای داخل ساختمان می گذرانند که در بسیاری از آن ها یکنواختی دمایی وجود ندارد. بر اساس اعلام سازمان حفاظت از محیط زیست امریکا<sup>۱</sup> میزان آلاینده های داخل ساختمان می تواند بین ۲ تا ۵ برابر میزان آلاینده های هوای بیرون ساختمان باشد [۱]. لذا طراحی سیستم های تهویه مطبوع با هدف حفظ کیفیت مناسب هوای داخل و تأمین شرایط مطلوب آسایش حرارتی برای ساکنان بسیار حائز اهمیت است. بر اساس دستنامه اشری [۲]، آسایش حرارتی به حالت ذهنی که فرد از هوای محیط اطراف خود دارد، گفته می شود. این در حالی است که لزوماً همه افراد حاضر در ساختمان احساس و رضایت یکسانی نسبت

1 Environmental Protection Agency (EPA)

\* نویسنده عهده دار مکاتبات: zolfaghari@birjand.ac.ir

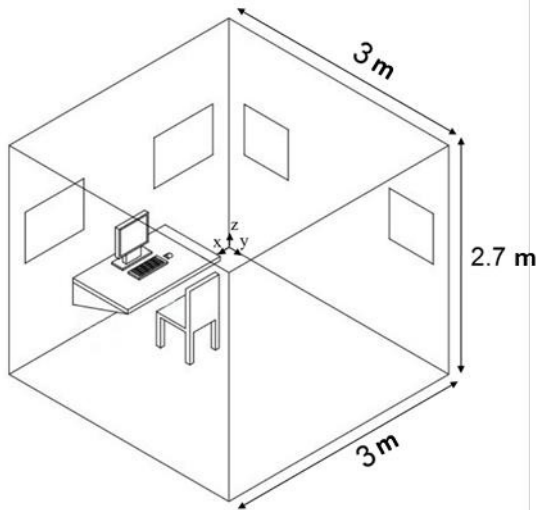


قرارداد و با این کار در مصرف انرژی صرفه‌جویی نمود [۹]. یکی از سیستم‌هایی که با هدف مطلوب‌سازی شرایط حرارتی و کیفیت هوای داخل در محدوده استقرار افراد طراحی شده‌است، سیستم تهویه هوای انفرادی می‌باشد. سیستم‌های تهویه انفرادی به منظور بهبود کیفیت هوای داخلی محیط ساختمان، کاهش مصرف انرژی ساختمان [۱۰]، کنترل دما و شرایط به صورت مستقل در هر قسمت ساختمان، آسایش حرارتی بیشتر افراد ساختمان [۱۱] و نیز افزایش قابل توجه درصد رضایت افراد از محیط [۱۲] ساخته شده‌اند.

بر این اساس، در سالهای اخیر تحقیقات زیادی به منظور بررسی عملکرد سیستم‌های تهویه انفرادی سیستم صورت گرفته‌است. چونگ و همکاران [۱۳] در سال ۲۰۰۶ با بکارگیری سیستم تهویه هوای انفرادی به بررسی کیفیت هوا و سندروم ساختمان بیمار<sup>۱</sup> پرداختند. به طوری که یک اتاق با کاربری اداری را شبیه‌سازی کردند و سرعت هوا را در ناحیه حضور افراد کمتر از ۰/۲ متر بر ثانیه و رطوبت نسبی را در ارتفاع ۰/۶ متر ۵۰ درصد تنظیم کردند. ایشان با توجه به دماهای ورودی ۲۰، ۲۳ و ۲۶ درجه سلسیوس، تغییرات دمایی را از ارتفاع ۰/۱ متر تا ۱/۱ متر اندازه‌گیری کردند و به این نتیجه رسیدند که تغییرات دمایی تاثیر ناچیزی بر کیفیت هوا و سندروم ساختمان بیمار دارد و با افزایش دمای هوا، احساس خشکی هوا، میزان جابجایی هوا و تازگی هوا<sup>۲</sup> کاهش می‌یابد. در سال ۲۰۰۷، سان و همکاران [۱۴] با بهره‌گیری از آدمک‌های حرارتی، به بررسی عملکرد سیستم تهویه انفرادی در دو شدت توربولانسی متفاوت پرداختند. در سال ۲۰۰۷ لائو و چن [۱۵] کارایی سیستم تهویه انفرادی را در محیط‌های کارگاهی با دریچه‌های چرخشی و صفحه سوراخ دار واقع در کف ساختمان، به روش عددی مورد بررسی قراردادند و پارامترهایی نظیر میزان دفعات تعویض هوا، تعداد و جایگاه دریچه‌ها، محل قرارگیری افراد و وسایل و همچنین نحوه قرارگیری دریچه‌های خروجی به منظور دستیابی به آسایش حرارتی مطلوب را بررسی نمودند. در سال ۲۰۰۷، چونگ و همکاران [۱۶] احساس موضعی و شرایط آسایش حرارتی افراد را در اتاقکی که در آن از سیستم تهویه هوای انفرادی استفاده شده، مورد بررسی قراردادند. در این آزمایش که در مجموع ۳۰ شرکت‌کننده مرد و ۳۰ شرکت‌کننده زن داشت، افراد در اتاقکی در معرض هوای ۲۰، ۲۳ و ۲۶ درجه سلیوس قرار گرفتند و احساس

1 Sick building syndrome  
2 Air freshness

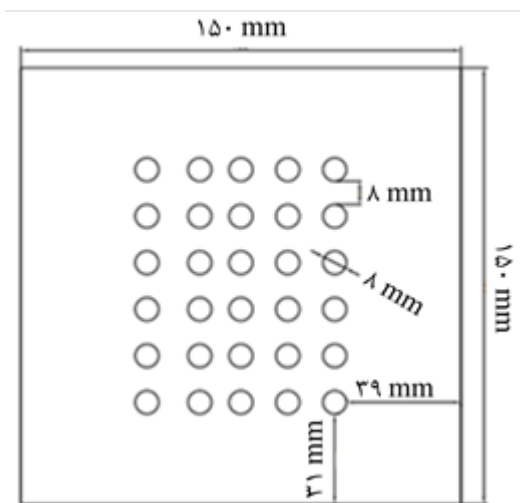
موضعی و میزان آسایش حرارتی ایشان مورد بررسی قرارگرفت. ایشان نتیجه گرفتند که در محدوده احساس حرارتی نزدیک به خنثی، با افزایش دما میزان نارضایتی موضعی افراد افزایش پیدا می‌کند و در احساس دمایی کمی گرم، برای بهبود شرایط از نقطه نظر نارضایتی نیاز است تا تمامی اعضای بدن احساس خنک‌تری را تجربه کنند. ژانگ و همکاران [۱۷] در سال ۲۰۰۸ به ارزیابی و مقایسه شاخص‌های مختلف نظیر احساس حرارتی و میزان رضایت در محیطی با توزیع دمای یکنواخت و غیریکنواخت پرداختند. مگنر و همکاران [۱۸] در یک تحقیق آزمایشگاهی در سال ۲۰۱۲، سرعت دما را در اتاقکی دارای سیستم تهویه انفرادی مورد ارزیابی قرار دادند. ماخونل و همکاران [۱۹] در سال ۲۰۱۳ به بررسی میزان آسایش حرارتی و راندمان انرژی یک سیستم تهویه انفرادی با دریچه نوع سقفی پرداختند. در سال ۲۰۱۳ ریس و هاوس [۲۰] به صورت تجربی جریان هوا و توزیع گرما را در اتاقی با سیستم تهویه هوای انفرادی به صورت سرمایش سقفی مورد بررسی قراردادند. واسیلی و همکاران [۲۱] در تحقیقی در سال ۲۰۱۵، به بررسی عملکرد سیستم گرمایش به صورت انفرادی پرداختند. آن‌ها سیستمی با قابلیت گرمایش گردن، دست و پا را در دمای محیط ۱۸ درجه سلسیوس در نظر گرفتند و در مجموع ۱۲ نفر به مدت ۲ ساعت در معرض این شرایط هوایی قرارداده شدند. آن‌ها به این نتیجه رسیدند که استفاده از سیستم گرمایش انفرادی تاثیر بسزایی بر رضایتمندی افراد دارد. چلودزینسکا و بوگدان [۲۲] در تحقیقی در سال ۲۰۱۵، به بررسی تاثیر دمای هوا و جهت وزش بر احساس حرارتی پرداخته‌اند. آن‌ها بر روی ۲۰ نفر که به صورت جداگانه در اتاقکی با سیستم تهویه هوای انفرادی قرار گرفتند، آزمایشاتی را انجام دادند. طبق تحقیق آن‌ها دمای هوا نسبت به جهت وزش هوا تأثیر بیشتری بر روی احساس حرارتی دارد. در سال ۲۰۱۹ ذوالفقاری و همکاران [۲۳] تاثیر دمای هوا را بر روی پذیرش رضایتمندی از میزان وزش هوا توسط افراد را به صورت آزمایشگاهی مورد ارزیابی قراردادند. آن‌ها دو جایگذاری متفاوت دریچه‌ها را در چپ و راست و همچنین در جلو و پشت فرد در نظر گرفتند. ایشان دریافتند که در شرایط قرارگیری دریچه‌ها در سمت چپ و راست محل نشستن فرد، میزان رضایتمندی و پذیرش افراد از وزش هوا بیشتر می‌باشد. ذوالفقاری و همکاران [۲۴] در سال ۲۰۱۹ به ارزیابی تجربی تاثیر جهت جریان ورودی بر الگوی جریان و



شکل ۱. طرحواره اتاق آزمایشگاهی  
Fig. 1. Climate chamber scheme



شکل ۲. دریچه ورود هوا به اتاقک آزمایش  
Fig. 2. Inlet air diffuser



شکل ۳. جزئیات مربوط به دریچه‌های تهویه انفرادی  
Fig. 3. Inlet air diffuser specification

دما در اتاقی با سیستم توزیع هوای زیر سطحی و همچنین پیش‌بینی درصد رضایت افراد پرداختند و نتیجه گرفتند که میزان رضایت افراد در سیستم تهویه هوای زیرسطحی بطور چشمگیری به جهت تخلیه جریان و میزان فاصله افراد از دریچه وابسته است.

تنوع در محل جانمایی دریچه‌ها یکی از ویژگی‌های استفاده از سیستم‌های تهویه هوای انفرادی می‌باشد به همین دلیل الگوی توزیع دما و سرعت در جانمایی‌های مختلف متفاوت است. تحقیقات پیشین نشان‌دهنده اهمیت بررسی الگوی توزیع دما و سرعت در این جانمایی‌ها می‌باشد. دریچه‌های مورد بررسی در این تحقیق روی میز و زیرمیز قرار گرفته‌است. در تحقیقاتی که اشاره شد میزان ناراضایتی ناشی از کوران برای دریچه‌های روی میز و زیر میز بررسی نشده‌است. همچنین، به علت تنوع دریچه‌ها در سیستم تهویه هوای انفرادی نوع دریچه‌ها نیز دارای اهمیت می‌باشد. طبق تحقیقات پیشین، بررسی عملکرد سیستم تهویه انفرادی با دریچه‌های سوراخ دار خطی کمتر مورد بررسی قرار گرفته است. بر این اساس، در این تحقیق سعی شده تا با بررسی شکل الگوی جریان، نحوه توزیع گرما و درصد ناراضایتی ناشی از کوران در محیط‌های اداری برای دو حالت مختلف جانمایی دریچه و دو دمای ۲۴ و ۳۲ درجه سلسیوس و با استفاده از دریچه سوراخ دار خطی مورد مطالعه قرار گیرد.

## ۲- ابزار و روش تحقیق

### ۲-۱- محیط آزمایشگاه

برای انجام آزمایشات تحقیق حاضر، از اتاقک آزمایشگاهی واقع در گروه پژوهشی انرژی در ساختمان و آسایش حرارتی دانشگاه بیرجند ارائه شده در شکل ۱ استفاده شده‌است. طول و عرض اتاقک ۳ متر و ارتفاع آن ۲/۷ متر می‌باشد. همچنین، اتاقک مذکور در داخل یک اتاق کنترل شده بزرگتر واقع شده‌است و در نتیجه، شرایط جوی و تابش خورشید تأثیری بر اتاقک ندارد. ضمناً روشنایی اتاقک از طریق ۴ عدد لامپ کم مصرف ۱۲ وات تامین می‌شود و در اتاقک، یک عدد رایانه و میز و صندلی قرار دارد. هوای ورودی به این اتاقک از طریق دو دریچه تهویه انفرادی به ابعاد ۱۵×۱۵ تامین می‌گردد که در شکل ۲ نشان داده شده‌است. مطابق شکل ۳ که جزئیات دریچه‌های ورودی هوا را نشان می‌دهد، بر روی هریک از دریچه‌ها ۳۰ سوراخ با قطر ۸ میلی‌متر وجود دارد. هر دو دریچه در یک تراز ارتفاعی قرار می‌گیرند

دقیقه در مختصات مشخص شده پارامترها برداشت می‌شود و در انتها سرعت میانگین و رطوبت نسبی میانگین در مختصات مشخص نیز از داده‌های بدست‌آمده استخراج می‌شود.

### ۲-۳- دستورالعمل آزمایش

در داخل اتاقک سنسور اندازه‌گیری دما وجود داشته که اطلاعات داخل اتاقک را به صورت لحظه‌ای به شخص آزمایش گیرنده در بیرون اتاقک منتقل می‌نماید. بر اساس این اطلاعات و وسایل گرمایشی موجود دما در محدوده  $24 \pm 0.5$  درجه سلسیوس ثابت نگه داشته می‌شود. در داخل لوله‌های اتصال دستگاه هوارسان به دریچه هوای ورودی سنسورهایی وجود دارد که سرعت داخل لوله‌ها در هر لحظه را نشان می‌دهد. با توجه به دبی مورد نیاز برای ورود به اتاق، سرعت داخل لوله‌ها با تغییر در سطح مقطع مکش هوای دستگاه هوا رسان در محدوده مشخصی تنظیم می‌گردد. در نتیجه دبی مد نظر وارد اتاقک آزمایش خواهد شد. همچنین دمای ورودی دریچه در دو حالت مختلف ۲۴ و ۳۲ درجه سلسیوس تنظیم می‌گردد. محل قرارگیری دریچه‌ها در دو حالت می‌باشد، دریچه‌ها در زیر میز و دریچه‌ها در روی میز. دما و سرعت در دو حالت عمودی و افقی اندازه‌گیری می‌شود. در حالت عمودی سنسور در موقعیت نشان‌داده شده در شکل ۴(ب) و ۴(د) قرار می‌گیرد و در فاصله‌های ۱۰، ۳۵، ۶۰، ۸۵، ۱۱۰، ۱۳۵ و ۱۸۵ سانتی‌متری از سطح زمین دما و سرعت اندازه‌گیری می‌شود که این عمل برای دو حالت دمای ۲۴ و ۳۲ درجه سلسیوس و دو موقعیت دریچه در روی میز و در زیر میز نیز انجام می‌شود. همچنین در حالت افقی نیز سنسور در مقابل یکی از دریچه‌ها قرار می‌گیرد و در فاصله‌های ۱۰، ۳۵، ۶۰، ۸۵، ۱۱۰، ۱۳۵ و ۱۸۵ سانتی‌متری از دریچه دما و سرعت اندازه‌گیری می‌شود. لازم به ذکر است که این عمل برای دو حالت دمای ۲۴ و ۳۲ درجه سلسیوس و دو موقعیت دریچه در روی میز و در زیر میز نیز انجام می‌شود.

### ۳- نتایج

همان‌طور که گفته شد، در این پژوهش به مقایسه الگوی جریان سیستم تهویه انفرادی تحت دو جانمایی مختلف برای دریچه در حالت زیر و روی میز، به ازای دمای هوای ورودی ۲۴ و ۳۲ درجه سلسیوس پرداخته شده‌است. در هریک از حالات، الگوی جریان به صورت

و دبی هرکدام از دریچه‌های یکسان و برابر ۵ لیتر بر ثانیه می‌باشد. در این آزمایش دمای ورودی سیستم تهویه انفرادی بر روی ۲۴ و ۳۲ درجه سلسیوس تنظیم شده‌است. همچنین، متوسط دمای اتاقک آزمایش ۲۴ درجه سلسیوس می‌باشد.

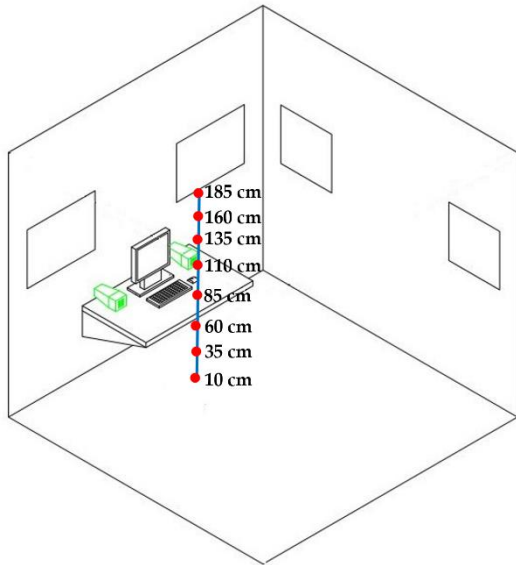
### ۲-۲- ابزار آزمایش

در این تحقیق، هوای ورودی از طریق یک دستگاه داکت اسپلیت تامین و دمای آن کنترل می‌شود. همچنین، دما و میزان سرعت هوای محیط نیز به وسیله دستگاه Testo-480 پایش می‌شود. به این دستگاه سه پراب با نام‌های پراب سنجش دما و رطوبت (Testo 9743 0636 Humidity and Temperature probe)، پراب آسایش حرارتی (0143 0628 Testo Comfort Level probe) و پراب سنجش دمای متوسط تابشی (Testo Globe probe 0743 0602) متصل می‌شوند. این دستگاه دما را با رزولوشن ۰/۱ درجه سلسیوس و دقت  $\pm 0.2$  درجه سلسیوس، مقادیر سرعت را با رزولوشن ۰/۱ متر بر ثانیه و دقت  $\pm 0.3$  متر بر ثانیه و همچنین میزان رطوبت را با رزولوشن ۰/۱ و دقت  $\pm 1$  درصد برداشت می‌کند. همچنین به منظور دقت بیشتر از سنسور LM35 نیز استفاده می‌شود، این سنسور دما را در محدوده ۵۵- تا ۱۵۰+ درجه سلسیوس با دقت  $\pm 0.5$  درجه سلسیوس اندازه‌گیری می‌کند. باید دقت داشت چراکه سرعت ذاتا پارامتری در حال تغییر می‌باشد. با این حال با اندازه‌گیری آن در مقیاس زمانی طولانی و به دست آوردن سرعت متوسط می‌توان این پارامتر را کنترل نمود. همان‌طور که پیش از این نیز توضیح داده شد، با اندازه‌گیری سرعت و تغییر در مساحت ناحیه مکش هوا توسط دستگاه هوا رسان، سرعت در داخل لوله‌های منتهی به دریچه ورودی هوا در طول زمان اندازه‌گیری و کنترل می‌شود. با رسیدن به سرعت متوسط دلخواه می‌توان دبی و یا سرعت را به درستی در نظر گرفت. فرآیند برداشت داده‌ها بصورتی است که سنسور LM35 دمای مرکزی اتاق را برداشت می‌کند، پراب سنجش دما و رطوبت، پارامترهای مربوط به دریچه و پراب آسایش حرارتی نیز پارامترهای مورد نظر از جمله دما، سرعت و رطوبت را در مختصات مشخص شده برداشت می‌کند. اندازه‌گیری این پارامترها در مختصات مورد نظر به این صورت است که دمای مرکزی اتاق و دریچه ثابت نگه‌داشته می‌شود و در صورت ثابت ماندن دما به مدت یک



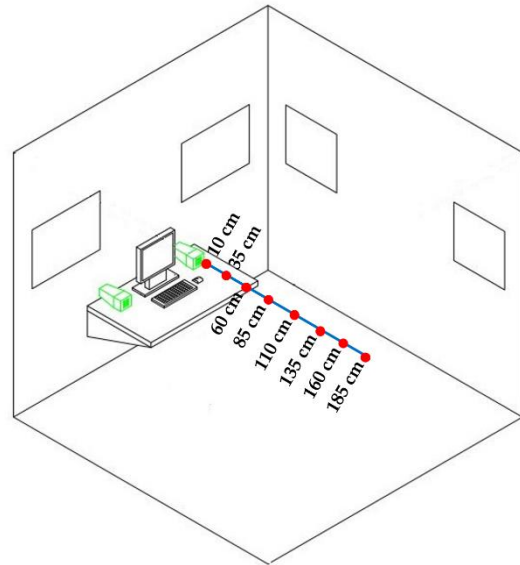
سیستم تهویه انفرادی برای زمانی که دمای هوای خروجی دریچه ۲۴ و ۳۲ درجه سلسیوس است را برای دریچه قرار گرفته روی میز نشان می‌دهد. ضمن اینکه در هر دو حالت مذکور، شرایط دمایی اتاقک به گونه‌ای تنظیم شده‌است که میانگین دمای هوا در اتاقک برابر با

عمودی و به صورت افقی در روبه‌روی دریچه مطابق مختصات ارائه‌شده در جدول ۱، تعیین شده‌است. شکل ۵ نشان‌دهنده توزیع عمودی دما در سیستم تهویه انفرادی برای دو حالت جانمایی دریچه روی میز و زیر میز می‌باشد. شکل ۵ (الف)، توزیع عمودی دما در



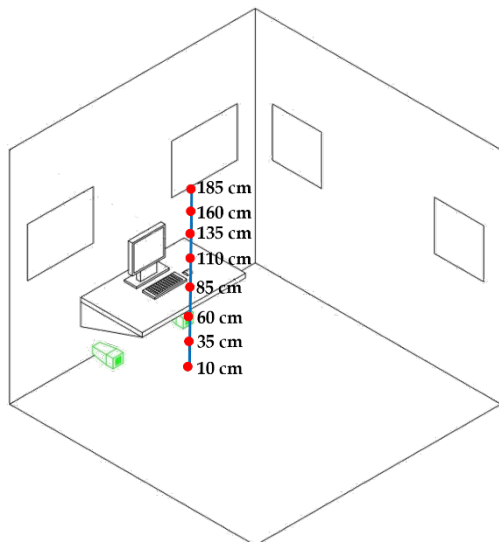
(b) Vertical measuring points for desk-mounted diffusers

(ب) فواصل نسبت به زمین در حالت عمودی و دریچه روی میز



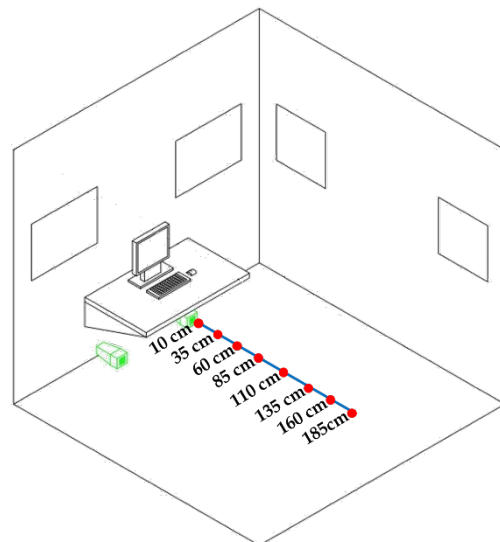
(a) Horizontal measuring points for desk-mounted diffusers

(الف) فواصل نسبت به دریچه در حالت افقی و دریچه روی میز



(d) Vertical measuring points for under-desk diffusers

(د) فواصل نسبت به زمین در حالت عمودی و دریچه زیر میز



(c) Horizontal measuring points for under-desk diffusers

(ج) فواصل نسبت به دریچه در حالت افقی و دریچه زیر میز

شکل ۴. شماتیکی از محل نقاط داده برداری شده

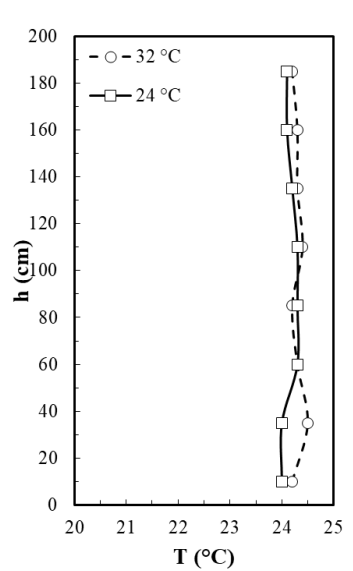
Fig. 4. Data measuring points scheme

دمای متوسط در ارتفاع یک متری اتاق باشد. همچنین، برداشت‌های آزمایشگاهی حاکی از آن است که بیشترین تغییرات عمودی دما در ارتفاع ۱۰ تا ۳۵ سانتی‌متری از کف رخ می‌دهد و در این فاصله، دما در حدود یک درجه سلسیوس دچار تغییر شده‌است. ضمن اینکه با افزایش ارتفاع از ۳۵ تا ۸۵ سانتی‌متری تغییرات دمایی اندکی مشاهده می‌شود. اما مجدداً از ارتفاع ۸۵ تا ۱۱۰ سانتی‌متری تغییرات دمایی

۲۴ درجه سلسیوس باشد. همانطور که مشاهده می‌شود، زمانی که دمای هوای خروجی از دریچه، برابر با ۲۴ درجه سلسیوس ثابت نگه‌داشته شده‌است، در فاصله ۱۰ سانتی‌متری از کف اتاقک، دمای هوا ۲۲/۸ درجه سلسیوس می‌باشد. البته این موضوع کاملاً قابل پیش‌بینی بود. زیرا انتظار می‌رفت که هوای سرد به دلیل چگالی بیشتر، به سمت کف اتاق سرازیر شود و دمای هوا در ناحیه نزدیک به کف، کمتر از

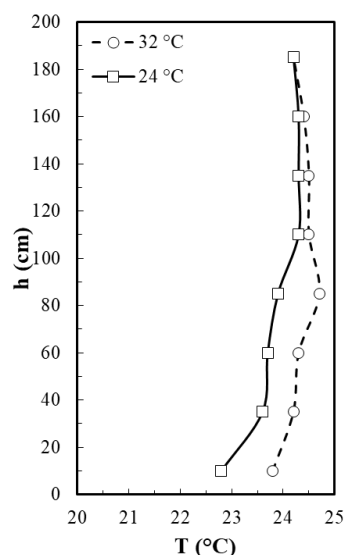
جدول ۱. مختصات نقاط داده‌برداری آزمایشگاهی  
Table 1. The locations of data measuring points

دریچه زیر میز						دریچه روی میز					
عمودی			افقی			عمودی			افقی		
Z(cm)	Y(cm)	X(cm)	Z(cm)	Y(cm)	X(cm)	Z(cm)	Y(cm)	X(cm)	Z(cm)	Y(cm)	X(cm)
۱۰	۱۵۰	۱۵۰	۷/۵	۷۰	۱۲۰	۱۰	۱۵۰	۱۵۰	۱۱۰	۷۰	۱۲۰
۳۵	۱۵۰	۱۵۰	۷/۵	۹۵	۱۲۰	۳۵	۱۵۰	۱۵۰	۱۱۰	۹۵	۱۲۰
۶۰	۱۵۰	۱۵۰	۷/۵	۱۲۰	۱۲۰	۶۰	۱۵۰	۱۵۰	۱۱۰	۱۲۰	۱۲۰
۸۵	۱۵۰	۱۵۰	۷/۵	۱۴۵	۱۲۰	۸۵	۱۵۰	۱۵۰	۱۱۰	۱۴۵	۱۲۰
۱۱۰	۱۵۰	۱۵۰	۷/۵	۱۷۰	۱۲۰	۱۱۰	۱۵۰	۱۵۰	۱۱۰	۱۷۰	۱۲۰
۱۳۵	۱۵۰	۱۵۰	۷/۵	۱۹۵	۱۲۰	۱۳۵	۱۵۰	۱۵۰	۱۱۰	۱۹۵	۱۲۰
۱۶۰	۱۵۰	۱۵۰	۷/۵	۲۲۰	۱۲۰	۱۶۰	۱۵۰	۱۵۰	۱۱۰	۲۲۰	۱۲۰
۱۸۵	۱۵۰	۱۵۰	۷/۵	۲۴۵	۱۲۰	۱۸۵	۱۵۰	۱۵۰	۱۱۰	۲۴۵	۱۲۰



(b) Under-desk diffusers

(ب) دریچه زیر میز



(a) Desk-mounted diffusers

(الف) دریچه روی میز

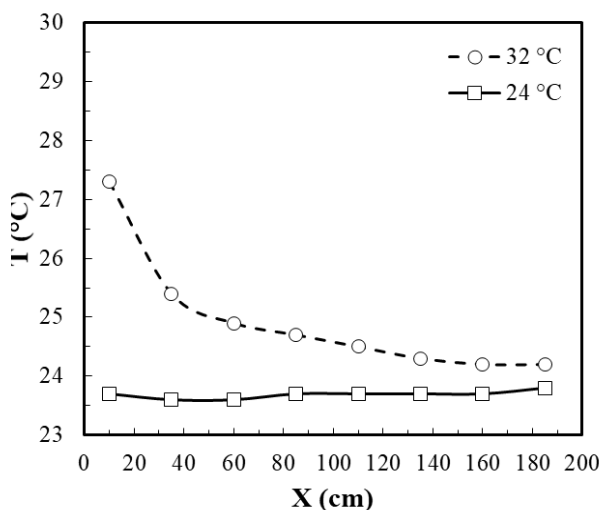
شکل ۵. توزیع عمودی دما در سیستم تهویه انفرادی  
Fig. 5. Vertical temperature distribution

به ترتیب ۲۴ و ۲۴/۵ درجه سلسیوس می‌باشد و در سایر نقاط تغییرات عمودی دما تقریباً یکسان به نظر می‌رسد. می‌توان نتیجه گرفت در این حالت قرارگیری دریچه، هوای خروجی اثرات چندانی بر تغییرات عمودی دمای هوای اتاقک نداشته‌است و هوای خروجی دریچه سیستم تهویه انفرادی با هوای اتاقک به خوبی اختلاط پیدا کرده‌است. در جمع‌بندی نهایی با بررسی نتایج بدست‌آمده از هر دو حالت قرارگیری دریچه هوای خروجی، می‌توان دریافت هوای خروجی از دریچه سیستم تهویه انفرادی تغییرات دمایی اندکی در ارتفاعات پایین‌تر از محل نصب دریچه ایجاد می‌کند و این موضوع به علت اختلاط هوای خروجی از دریچه با هوای اتاقک و کاهش دمای هوا اختلاطی و ریزش به سمت پایین می‌باشد.

شکل ۶ (الف) تغییرات دما در راستای افقی برای حالت دریچه روی میز در سیستم تهویه انفرادی برای دمای هوای دریچه ۲۴ و ۳۲ درجه سلسیوس را نشان می‌دهد. نتایج حاکی از آن است که در شرایط دمای هوای خروجی از دریچه ۲۴ درجه سلسیوس، از آنجایی که دمای هوای متوسط در اتاقک نیز ۲۴ درجه سلسیوس است، لذا همانطور که از پیش نیز مورد انتظار بود، تغییرات قابل توجهی در توزیع دمای افقی مشاهده نمی‌شود. این در حالی است که در حالت دمای دریچه ۳۲ درجه سلسیوس، توزیع دمای افقی در ناحیه نزدیک به دریچه

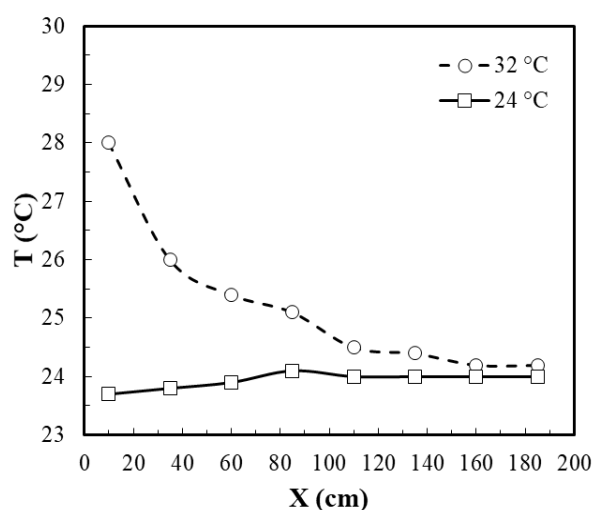
افزایش یافته و به میزان حدود ۰/۵ درجه سلسیوس، تغییرات دمایی رخ می‌دهد؛ که این موضوع، متأثر از جریان هوای خروجی از دریچه می‌باشد. با افزایش ارتفاع تا ۱۸۵ سانتی‌متری از کف به علت اختلاط هوای خروجی از دریچه و هوای اتاقک تغییرات عمودی دما بسیار ناچیز است. همچنین، با افزایش دمای هوای ورودی به ۳۲ درجه سلسیوس، مشاهده می‌شود که روند تغییرات عمودی دما تقریباً مشابه حالت دمای دریچه ۲۴ درجه سلسیوس است؛ با این تفاوت که در فواصل نزدیک به کف دمای بیشتری اندازه‌گیری شده‌است، که ناشی از اثرات دمای هوای خروجی از دریچه می‌باشد. همچنین، نتایج بدست‌آمده نشان می‌دهد با افزایش ارتفاع بیش از ۱۱۰ سانتی‌متری دمای هوای خروجی از دریچه بر هوای اتاقک اثرات اندکی داشته تا جایی که در ارتفاع ۱۸۵ سانتی‌متری نقاط اندازه‌گیری شده در دمای هوای خروجی دریچه ۲۴ و ۳۲ درجه سلسیوس بر هم منطبق می‌باشند.

شکل ۵ (ب)، توزیع عمودی دما در سیستم تهویه انفرادی برای دریچه قرار گرفته زیر میز کار را برای زمانی که دمای هوای خروجی دریچه ۲۴ و ۳۲ درجه سلسیوس است، نمایش می‌دهد. نتایج بدست‌آمده بیان می‌کند، تنها در ارتفاع ۳۵ سانتی‌متری از کف که محل قرارگیری دریچه سیستم تهویه انفرادی می‌باشد، دمای اندازه‌گیری شده برای هوای خروجی ۲۴ و ۳۲ درجه سلسیوس



(b) Under-desk diffusers

(ب) دریچه زیر میز



(a) Desk-mounted diffusers

(الف) دریچه روی میز

شکل ۶. تغییرات دما در راستای افقی (در راستای محور خروجی دریچه) در سیستم تهویه انفرادی

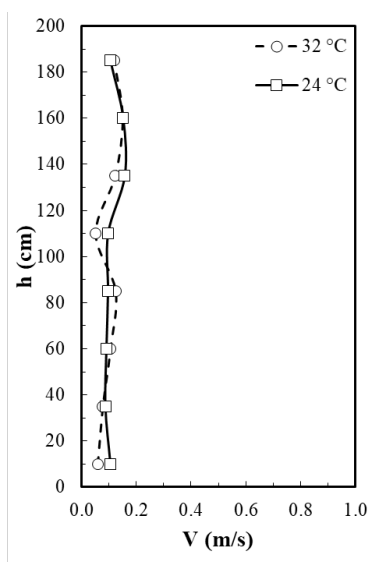
Fig. 6. Horizontal temperature distribution

از دریچه دمای اندازه گیری شده به حدود ۲۷/۳ درجه سلسیوس می رسد. همچنین، نتایج تا فاصله ۶۰ سانتی متری تغییرات دمایی با شیب بیشتری را نشان می دهد، که در این نقطه دمای هوای ۲۴/۸ درجه سلسیوس ثبت شده است. در ادامه، با فاصله گرفتن از دریچه سیستم تهویه انفرادی، اختلاط هوای ورودی با هوای اتاقک افزایش یافته و دمای هوا به دمای ۲۴ درجه سلسیوس که میانگین دمای اتاقک است، نزدیک می شود.

توزیع عمودی سرعت در دماهای ۲۴ و ۳۲ درجه سلسیوس برای حالت قرارگیری دریچه سیستم تهویه انفرادی بر روی میز، در شکل ۷ (الف) نشان داده شده است. نتایج حاکی از آن است که محدوده تغییرات سرعت برای هر دو دما، تقریباً بین ۰/۰۴ تا ۰/۲۴ متر بر ثانیه است. ضمن اینکه اختلاف سرعت برای هوا خروجی با دمای ۲۴ و ۳۲ درجه سلسیوس برای ارتفاع های مختلف، حداکثر ۰/۰۷ متر بر ثانیه اندازه گیری شده است. تغییرات سرعت برای ارتفاعات ۱۰ تا ۶۰ سانتی متری از کف ناچیز اندازه گیری شده است، اما در ارتفاع ۸۵ سانتی متری سرعت برای هر دو دما به یکباره افزایش می یابد، علت این اتفاق اثرات سرعت هوای خروجی دریچه سیستم تهویه انفرادی نصب شده روی میز می باشد. شکل ۷ (ب) توزیع عمودی سرعت برای

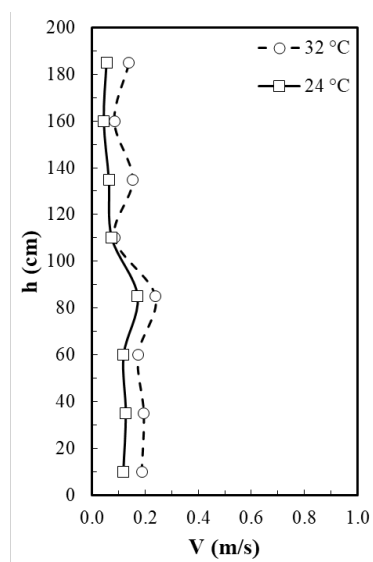
کاملاً متفاوت است و در فاصله ۱۰ سانتی متری از دریچه، تغییرات چشمگیر دمای هوا ثبت شده است. به طوری که در این فاصله، حدود ۴ درجه سلسیوس تغییرات دمای هوا مشاهده می شود که این امر به دلیل اختلاف قابل توجه میان دمای هوای ورودی و دمای متوسط هوا در اتاقک می باشد. همچنین، روند تغییرات تا فاصله ۶۰ سانتی متری از دریچه دارای شیب زیادی بوده به گونه ای که در این فاصله، دمای اندازه گیری شده از ۳۲ درجه سلسیوس (در خروجی دریچه) به ۲۴/۹ درجه سلسیوس کاهش می یابد. در ادامه با فاصله گرفتن از خروجی سیستم تهویه هوای خروجی با هوای اتاقک اختلاط پیدا کرده و دمای اندازه گیری شده به ۲۴ درجه سلسیوس نزدیک می گردد.

شکل ۶ (ب)، تغییرات دما در راستای افقی برای هوای ورودی از سیستم تهویه انفرادی با دمای ۲۴ و ۳۲ درجه سلسیوس در حالتی که دریچه زیر میز کار قرار گرفته است را نشان می دهد. نتایج بدست آمده برای دمای هوای خروجی ۲۴ درجه سلسیوس تقریباً مشابه دریچه روی میز می باشد، این نتایج با توجه به هم دمابودن دمای مرکز اتاقک و دمای هوای ورودی از سیستم تهویه انفرادی، قابل انتظار بود. اما برای دمای هوای ورودی ۳۲ درجه سلسیوس، روند تغییرات مشابه دریچه روی میز است؛ با این تفاوت که در فاصله ۱۰ سانتی متری



(b) Under-desk diffusers

(ب) دریچه زیر میز



(a) Desk-mounted diffusers

(الف) دریچه روی میز

شکل ۷. توزیع عمودی سرعت در سیستم تهویه انفرادی

Fig. 7. Vertical velocity distribution

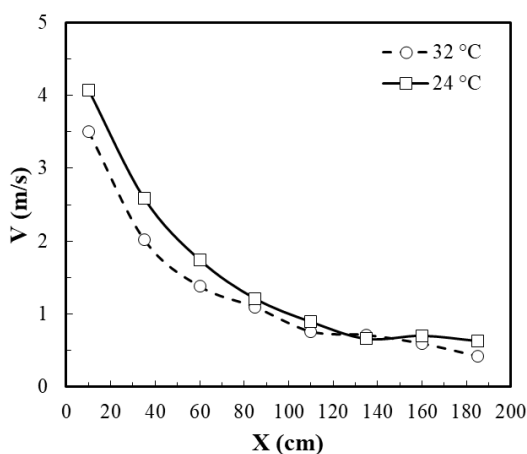
تا ۱۸۰ سانتیمتری از دریچه، از ۴/۱ تا حدود ۰/۶ متر بر ثانیه متغیر می‌باشد. این در حالی است که همین مقادیر برای دمای دریچه ۳۲ درجه سلسیوس، بین ۳/۵ تا حدود ۰/۴ متر بر ثانیه تغییر می‌کند.

شکل ۹ نمایانگر تغییرات عمودی شاخص احساس حرارتی افراد برای سیستم تهویه انفرادی برای دریچه نصب شده زیر میز و روی میز می‌باشد. مطابق شکل ۹ (الف)، شاخص احساس حرارتی افراد برای هر دو دمای دریچه ۲۴ و ۳۲ درجه سلسیوس در ارتفاع‌های مختلف تقریباً یکسان و یکنواخت است. این امر نشان می‌دهد که مدل آسایش حرارتی فنکر [۲۵] که شاخص میانگین رأی افراد (PMV) را به عنوان معیاری از احساس حرارتی افراد معرفی می‌کند، نمی‌تواند احساس حرارتی بخش‌های مختلف را در شرایط ورزش موضعی ارزیابی کند. البته این امر از قبل نیز قابل پیش‌بینی بود. زیرا مدل آسایش حرارتی مذکور، یک مدل تک‌نقطه‌ای محسوب می‌شود و اثرات احساس موضعی را نمی‌تواند ارزیابی نماید [۲۶]. با این حال، به واسطه تغییرات اندک دما و سرعت در امتداد عمودی، تغییرات ناچیزی در شاخص احساس حرارتی افراد مشاهده می‌شود.

همانطور که پیشتر گفته شد، شاخص میانگین رأی افراد (PMV) نمی‌تواند پیش‌بینی کاملی از میزان نارضایتی موضعی افراد ارائه کند. از سوی دیگر، یکی از عوامل اصلی در ایجاد نارضایتی موضعی در سیستم‌های ورزشی، پدیده کوران است [۲]. در شکل ۱۰ تغییرات نارضایتی ناشی از کوران در راستای افقی (در امتداد خروجی دریچه)

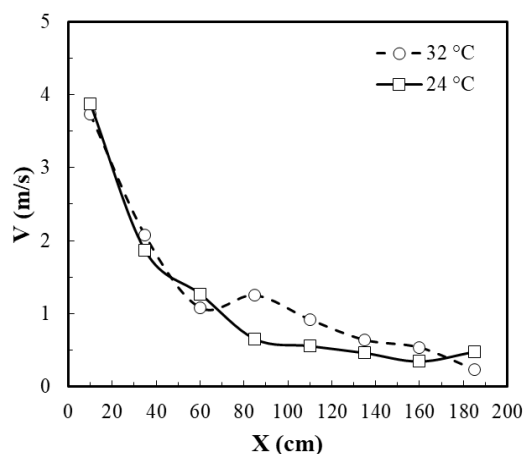
دمای ۲۴ و ۳۲ درجه سلسیوس در سیستم تهویه انفرادی در حالی که دریچه زیر میز قرار گرفته را نشان می‌دهد. مشاهده می‌شود که تغییرات عمودی سرعت از ارتفاع ۱۰ تا ۱۸۵ سانتی متری از کف برای هر دو دما در بازه بین ۰/۰۵ تا ۰/۱۶ متر بر ثانیه قرار دارد. ضمن اینکه مشاهدات نشان می‌دهد تغییرات عمودی سرعت برای دمای ۲۴ و ۳۲ درجه سلسیوس در ارتفاع‌های مختلف، نزدیک به یکدیگر است. با توجه به وابستگی دما و سرعت جریان هوا به یکدیگر و نیز با نگاهی به شکل ۵ (ب) و اختلاط هوای خروجی از سیستم تهویه انفرادی در ارتفاعات نزدیک به کف، تغییرات ناچیز سرعت منطقی به نظر می‌رسد.

شکل ۸ (الف) تغییرات سرعت در راستای افقی در سیستم تهویه انفرادی برای حالت دریچه روی میز را نشان می‌دهد. همانطور که انتظار می‌رود، سرعت هوا با فاصله گرفتن از دریچه به طور قابل ملاحظه‌ای کاهش می‌یابد. البته روند تغییرات سرعت، برای دمای ۲۴ درجه سلسیوس به علت همدمایی دمای دریچه و اتاقک دستخوش نوسانات کمتری می‌شود. این در حالی است که همین مقادیر برای دمای ۳۲ درجه سلسیوس دارای شیب تغییرات بیشتری می‌باشد. همچنین، شکل ۸ (ب) تغییرات سرعت در راستای افقی در سیستم تهویه انفرادی در دماهای ۲۴ و ۳۲ درجه سلسیوس برای حالت دریچه زیر میز را نشان می‌دهد. مشاهده می‌شود که محدوده تغییرات سرعت برای دمای دریچه ۲۴ درجه سلسیوس، بین فاصله ۱۰



(b) Under-desk diffusers

(ب) دریچه زیر میز

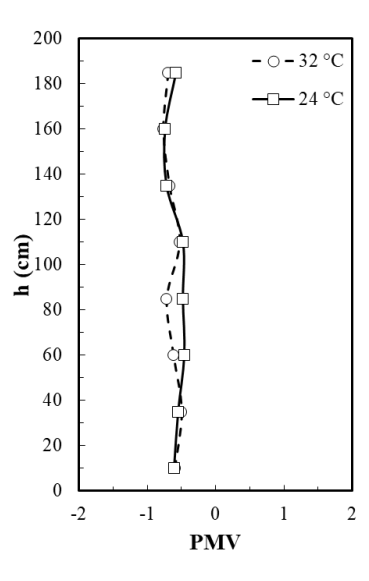


(a) Desk-mounted diffusers

(الف) دریچه روی میز

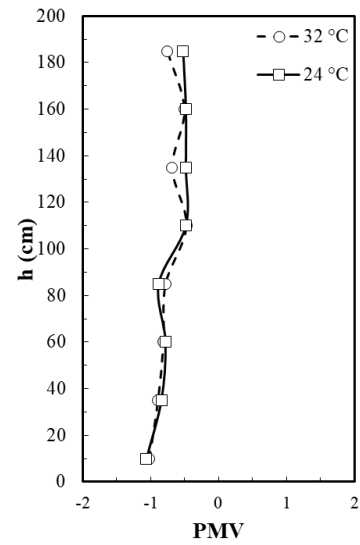
شکل ۸. تغییرات سرعت در راستای افقی (در راستای محور خروجی دریچه) در سیستم تهویه انفرادی

Fig. 8. Horizontal velocity distribution



(b) Under-desk diffusers

(ب) دریچه زیر میز

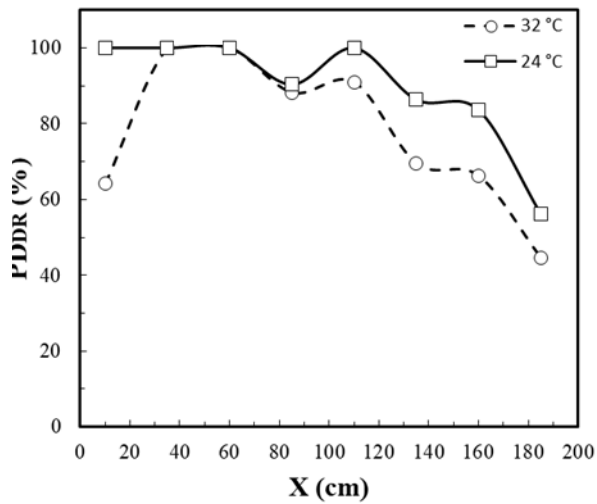


(a) Desk-mounted diffusers

(الف) دریچه روی میز

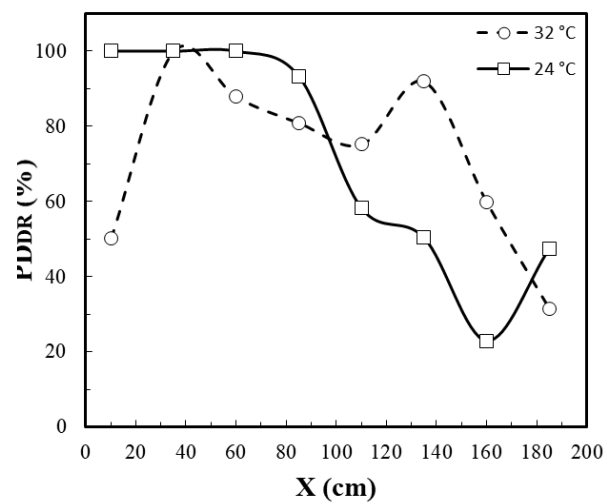
شکل ۹. تغییرات عمودی شاخص احساس حرارتی (PMV) در سیستم تهویه انفرادی

Fig. 9. Vertical PMV changes



(b) Under-desk diffusers

(ب) دریچه زیر میز



(a) Desk-mounted diffusers

(الف) دریچه روی میز

شکل ۱۰. تغییرات افقی شاخص درصد ناراضایتی ناشی از کوران ( $PD_{DR}$ ) در راستای محور دریچه در سیستم تهویه انفرادی

Fig. 10. Horizontal  $PD_{DR}$  changes

مقدار عدم قطعیت بیشینه و مورد انتظار برای پارامترهای شاخص احساس حرارتی و شاخص درصد ناراضی ناشی از کوران به ازای هر کدام از نقاط اندازه‌گیری شده می‌باشد. در این جداول بیشترین دامنه نوسان ممکن به خاطر دقت ابزار اندازه‌گیری و همچنین دامنه نوسان محتمل در این آزمایش نشان داده شده است. مرتبه نوسان شاخص آسایش حرارتی مرتبه منفی دو بوده که به معنای کم‌بودن دامنه نوسان در این شاخص می‌باشد. بیشتر دامنه نوسان در شاخص آسایش حرارتی در ارتفاع ۳۵ و ۸۵ سانتی متری از کف اتاقک می‌تواند رخ دهد، علت این امر این است که در رابطه تعیین‌کننده احساس حرارتی پارامتر سرعت در قالب پارامتر ضریب انتقال حرارت جابه‌جایی نمود پیدا می‌کند و این پارامتر به ازای سرعت‌های کمتر از ۰/۲ متر بر ثانیه مقدار ثابتی را دارد. در این دو نقطه سرعت از حد مورد نظر فراتر رفته در نتیجه اثر سرعت نسبت به حالات دیگر بیشتر شده است. آنالیز عدم قطعیت برای شاخص آسایش حرارتی نشان‌دهنده این است که در دمای ۲۴ درجه سلسیوس دامنه نوسان در حدود  $10^{-2} \times 4/64$  واحد آسایش حرارتی بوده که در مقایسه با مقدار آسایش حرارتی بسیار کمتر می‌باشد. همچنین در دمای ۳۲ درجه سلسیوس دامنه نوسان بیشینه و مورد انتظار به جز دو نقطه در حد دمای ۲۴ درجه سلسیوس بوده است. طبق آنالیز عدم قطعیت مقدار نوسان مورد انتظار در شرایط این آزمایش در دو ارتفاع ۳۵ و ۸۵ سانتی متری از کف برابر ۰/۱۳۶ و ۰/۱۱۸ واحد آسایش حرارتی خواهد بود. بر اساس این آنالیز می‌توان نتیجه گرفت که دقت نتایج گزارش شده برای شاخص احساس حرارتی مطلوب بوده است.

نتایج جدول ۳ نشان‌دهنده دقت آزمایش در اندازه‌گیری پارامترها و محاسبه شاخص ناراضی ناشی از کوران می‌باشد. بیشترین مقدار دامنه نوسان قابل انتظار طبق آنالیز عدم قطعیت برای درجه زیرمیز به ازای دمای ۲۴ و ۳۲ درجه سلسیوس به ترتیب برابر ۵/۹ درصد و ۵/۳۷ درصد در فاصله ۱۱۰ سانتی‌متری از درجه می‌باشد. این مقادیر برای درجه روی میز به ترتیب برابر ۵/۶۲ و ۶/۴۵ درصد است. با توجه به شکل ۱۰ و مقدار شاخص ناراضی ناشی از کوران مشاهده می‌شود که این درصد احتمالی نوسان مطلوب بوده و خطای آزمایش در محدوده‌ای قرار دارد که تأثیر قابل ملاحظه‌ای بر شاخص محاسبه شده نهایی ندارد.

برای سیستم تهویه انفرادی نشان داده شده است. همانطور که از پیش انتظار می‌رفت، با توجه به سرعت بالای جریان وزشی در نزدیکی دریچه‌های سیستم تهویه انفرادی، شاهد درصد بالای ناراضی ناشی از کوران در مجاورت دریچه می‌باشیم. به طوری که در امتداد محور خروجی دریچه، تا فاصله حدود ۱۸۰ سانتیمتری نیز درصد قابل توجهی از ناراضی ناشی از کوران ثبت شده است. این در حالی است که طبق استاندارد آسایش حرارتی اشری ۵۵ [۲۷]، حد مجاز برای ناراضی موضعی ناشی از کوران، ۲۰ درصد است. لذا طبق نتایج به دست آمده، طبیعتاً در صورتی که عضوی از بدن فرد در معرض وزش مستقیم ناشی از سیستم تهویه انفرادی قرار گیرد، ناراضی موضعی ناشی از کوران می‌تواند رضایتمندی افراد را تحت تأثیر قرار دهد. لازم به ذکر است که باتوجه به موقعیت قرارگیری دریچه‌ها و نحوه نشستن فرد، تنها عضوی از فرد که احتمال قرارگیری آن در معرض وزش مستقیم از دریچه وجود دارد، پا در حالت دریچه زیرمیز و نیز دستها و ساق دست در حالت دریچه روی میز می‌باشد و در نتیجه، وقوع ناراضی ناشی از کوران در ناحیه پا در حالت دریچه زیر میز و نیز در ناحیه دست و ساق دست در حالت دریچه روی میز کاملاً محتمل است.

با توجه به اینکه وسایل اندازه‌گیری در هر آزمایشی دارای خطاهای ذاتی می‌باشد و دقت آن‌ها در محدوده کالیبره شده در حدود ۹۵ درصد می‌باشد نیاز است تا آنالیز عدم قطعیت انجام شود تا محدوده خطای پارامترهایی که بر اساس این داده‌های آزمایشگاهی محاسبه شده‌اند نیز محاسبه و بررسی شود. طبق منابع موجود در این زمینه [۲۸] عدم قطعیت داده‌های آزمایشگاهی برابر مقدار دقت وسایل اندازه‌گیری می‌باشد. برای به دست آوردن بیشترین مقدار عدم قطعیت از رابطه (۱) و عدم قطعیت مورد انتظار از رابطه (۲) استفاده می‌شود.

$$U_{\max} = \sum_{i=1}^{i=N} \left| u_{x_i} \frac{\partial R}{\partial x_i} \right| \quad (1)$$

$$U_E = \sqrt{\sum_{i=1}^{i=N} \left( u_{x_i} \frac{\partial R}{\partial x_i} \right)^2} \quad (2)$$

که در این روابط  $R$  بیانگر پارامتر محاسبه شده بر حسب داده‌های اندازه‌گیری شده  $(x_i)$  می‌باشد. جداول ۲ و ۳ به ترتیب نشان‌دهنده

جدول ۲. مقادیر بیشینه و مورد انتظار در آنالیز عدم قطعیت برای شاخص احساس حرارتی

Table 2. Maximum and expected uncertainty value for PMV

مقدار مورد انتظار آنالیز عدم قطعیت				مقدار بیشینه آنالیز عدم قطعیت				فاصله عمودی از کف اتاق
دریچه زیر میز		دریچه روی میز		دریچه زیر میز		دریچه روی میز		
۳۲ °C	۲۴ °C	۳۲ °C	۲۴ °C	۳۲ °C	۲۴ °C	۳۲ °C	۲۴ °C	h(cm)
۱/۹۸	۲/۵۸	۱/۷	۲/۴۳	۲/۴۲	۳/۳۳	۱/۹۹	۳/۱۶	۱۰
۴/۰۹	۴/۱۴	۴/۱۲	۴/۸۵	۵/۷۶	۵/۸۱	۵/۷۸	۶/۸۵	۳۵
۴/۳۴	۴/۹۷	۳/۸۳	۵/۶۲	۶/۰۸	۶/۹۹	۵/۲۸	۷/۷۱	۶۰
۳/۶۹	۳/۳۱	۳/۰۴	۶/۴	۵/۰۶	۴/۵۶	۴/۲۵	۸	۸۵
۵/۳۷	۵/۹	۳/۵۳	۴/۳۲	۶/۹۳	۷/۷	۴/۷۴	۵/۳۲	۱۱۰
۴/۱۴	۵/۷۳	۶/۴۵	۴/۴۸	۵/۳۲	۷/۱۶	۸/۰۷	۵/۳۷	۱۳۵
۴/۷۳	۵/۱۷	۴/۶۷	۲/۱۹	۵/۸۸	۶/۵۳	۵/۷۳	۲/۶	۱۶۰
۴/۳۲	۳/۵۷	۵/۸۱	۳/۹۷	۵/۱۴	۴/۴۹	۶/۴۲	۴/۸	۱۸۵

جدول ۳. مقادیر بیشینه و مورد انتظار در آنالیز عدم قطعیت برای شاخص درصد ناراضایتی ناشی از کوران

Table 3. Maximum and expected uncertainty value for PD<sub>DR</sub>

مقدار مورد انتظار آنالیز عدم قطعیت				مقدار بیشینه آنالیز عدم قطعیت				فاصله عمودی از کف اتاق
دریچه زیر میز		دریچه روی میز		دریچه زیر میز		دریچه روی میز		
۳۲ °C	۲۴ °C	۳۲ °C	۲۴ °C	۳۲ °C	۲۴ °C	۳۲ °C	۲۴ °C	h(cm)
۱/۹۸	۲/۵۸	۱/۷	۲/۴۳	۲/۴۲	۳/۳۳	۱/۹۹	۳/۱۶	۱۰
۴/۰۹	۴/۱۴	۴/۱۲	۴/۸۵	۵/۷۶	۵/۸۱	۵/۷۸	۶/۸۵	۳۵
۴/۳۴	۴/۹۷	۳/۸۳	۵/۶۲	۶/۰۸	۶/۹۹	۵/۲۸	۷/۷۱	۶۰
۳/۶۹	۳/۳۱	۳/۰۴	۶/۴	۵/۰۶	۴/۵۶	۴/۲۵	۸	۸۵
۵/۳۷	۵/۹	۳/۵۳	۴/۳۲	۶/۹۳	۷/۷	۴/۷۴	۵/۳۲	۱۱۰
۴/۱۴	۵/۷۳	۶/۴۵	۴/۴۸	۵/۳۲	۷/۱۶	۸/۰۷	۵/۳۷	۱۳۵
۴/۷۳	۵/۱۷	۴/۶۷	۲/۱۹	۵/۸۸	۶/۵۳	۵/۷۳	۲/۶	۱۶۰
۴/۳۲	۳/۵۷	۵/۸۱	۳/۹۷	۵/۱۴	۴/۴۹	۶/۴۲	۴/۸	۱۸۵

#### ۴- نتیجه گیری

در تحقیق حاضر به بررسی مقایسه الگوی جریان سیستم تهویه انفرادی و نحوه توزیع گرما و درصد ناراضایتی ناشی از کوران در محیط‌های اداری تحت دو جانمایی مختلف برای دریچه در حالت زیر و روی میز، به ازای دمای هوای ورودی ۲۴ و ۳۲ درجه سلسیوس پرداخته شد. سپس با استفاده از داده‌های آزمایشگاهی و با استفاده از معادلات آسایشی و رابطه مربوط به ارزیابی ناراضایتی ناشی از کوران،

شرایط اتاق به ازای دمای متوسط ۲۴ درجه سلسیوس و دمای هوای ورودی ۲۴ و ۳۲ درجه سلسیوس مورد ارزیابی قرار گرفت. نتایج نشان داد که توزیع عمودی دما در ارتفاع نزدیک کف، وابستگی چندانی به جانمایی دریچه هوای ورودی سیستم تهویه انفرادی ندارد. همچنین در توزیع افقی دما مشاهده شد بیشترین تغییرات دمایی تا فاصله ۶۰ سانتی متری از دریچه صورت گرفته و در فواصل بیشتر، اختلاط هوا موجب نزدیک شدن دمای هوای وزشی به دمای متوسط



- Universiteit Eindhoven, (1991).
- [4] N. Djongyang, R. Tchinda, and D. Njomo, Thermal comfort: A review paper, *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 2640-2626 (2010) (9)14.
- [5] A. Ogbonna and D. Harris, Thermal comfort in sub-Saharan Africa: field study report in Jos-Nigeria, *Applied Energy*, 11-1 (2008) (11)85.
- [6] M. Taleghani, M. Tenpierik, S. Kurvers, and A. Van Den Dobbelen, A review into thermal comfort in buildings, *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, (2013) 26 215-201.
- [7] F.J. Snow, American Society Of Heating, Refrigeration, And Air Conditioning Engineers (ASH RAE) Thermographic Standard 101 P, in *Thermal Infrared Sensing Applied to Energy Conservation in Building Envelopes*, International Society for Optics and Photonics, 98-94 (1982) 313.
- [8] B. Yu, Z. Hu, M. Liu, H. Yang, Q. Kong, and Y. Liu, Review of research on air-conditioning systems and indoor air quality control for human health, *International Journal of Refrigeration*, 20-3 (2009) (1)32.
- [9] B. Tashtoush, M. Molhim, and M. Al-Rousan, Dynamic model of an HVAC system for control analysis, *Energy*, 1745-1729 (2005) (10)30.
- [10] A. K. Melikov, R. Cermak, and M. Majer, Personalized ventilation: evaluation of different air terminal devices, *Energy and Buildings*, 836-829 (2002) (8)34.
- [11] Z. Lin, T. Chow, K. Fong, Q. Wang, and Y. Li, Comparison of performances of displacement and mixing ventilations. Part I: thermal comfort, *International Journal of Refrigeration*, 287-276 (2005) (2)28.
- [12] Z. Lin, T. Chow, K. Fong, C. Tsang, and Q. Wang, Comparison of performances of displacement and mixing ventilations. Part II: indoor air quality, *International Journal of Refrigeration*, 305-288 (2005) (2)28.
- [13] K. Cheong, W. Yu, K. Tham, S. Sekhar, and R. Kosonen, A study of perceived air quality and sick building syndrome in a field environment chamber served by displacement ventilation system in the tropics, *Building and environment*, 1539-1530 (2006) (11)41.
- [14] W. Sun, K. W. Tham, W. Zhou, and N. Gong, Thermal

هوای اتاق می‌شود. این در حالی است که نتایج مربوط به توزیع افقی اندازه سرعت جریان هوا نشان می‌دهد که تا فاصله حدود ۱۱۰ سانتی متری از دریچه‌های ورودی، اثر مومنتم جت و تأثیر آن بر سرعت هوا در اتاق چشمگیر است. لذا تا فاصله حدود یک متری از دریچه، تأثیرات آن بر احساس حرارتی افراد چشمگیر می‌باشد. این در حالی است که نتایج تغییرات عمودی شاخص احساس حرارتی افراد برای هر دو دمای دریچه ۲۴ و ۲۲ درجه سلسیوس تقریباً یکسان و یکنواخت محاسبه شده است. این امر نشان می‌دهد که مدل آسایش حرارتی فنگر که شاخص میانگین رأی افراد (PMV) را به عنوان معیاری از احساس حرارتی افراد معرفی می‌کند، نمی‌تواند احساس حرارتی بخش‌های مختلف را در شرایط ورزش موضعی ارزیابی کند. همچنین نتایج محاسبه شده از تغییرات نارضایتی ناشی از کوران در راستای افقی برای سیستم تهویه انفرادی تا فاصله ۱۸۰ سانتی متری از دریچه بیانگر درصد بالای نارضایتی ناشی از کوران در مجاورت دریچه می‌باشد. طبیعتاً در صورتی که عضوی از بدن فرد در معرض ورزش مستقیم ناشی از سیستم تهویه انفرادی قرار گیرد، نارضایتی موضعی ناشی از کوران می‌تواند رضایت‌مندی افراد را تحت تأثیر قرار دهد. ضمن اینکه نتایج نشان داد که سرعت و شدت اغتشاشات دو عامل اصلی در تعیین نارضایتی ناشی از کوران در سیستم تهویه انفرادی هستند و به دلیل اختلاط سریع و همدمایی هوای ورودی با هوای اتاق، دمای ورودی تأثیر قابل ملاحظه‌ای بر نارضایتی ناشی از کوران ندارد. همچنین، در صورت قرارگیری افراد تحت سیستم تهویه انفرادی در حالت دریچه زیرمیز، پای افراد و در حالت دریچه روی میز، دست‌ها و ساق دست افراد اعضایی می‌باشند که وقوع نارضایتی ناشی از کوران برای این نواحی کاملاً محتمل است.

## مراجع

- [1] D. Stout and M. Mason, The distribution of chlorpyrifos following a crack and crevice type application in the US EPA Indoor Air Quality Research House, *Atmospheric Environment*, 5549-5539 (2003) (40-39)37.
- [2] ASHRAE, *ASHRAE Handbook of Fundamentals*, American Society of Heating, Refrigerating and Air-Conditioning Engineers, Atlanta, GA, USA, (2009).
- [3] J. L. M. Hensen, On the thermal interaction of building structure and heating and ventilating system. *Technische*

- [22] M. Chludzińska and A. Bogdan, The effect of temperature and direction of airflow from the personalised ventilation on occupants' thermal sensations in office areas, *Building and Environment*, 286-277 (2015) 85.
- [23] S. A. Zolfaghari, S. Teymoori, S. M. Hooshmand, M. Izadi, and M. Afzalian, Experimental investigation of the effects of air temperature on the air movement acceptability in an office with UFAD system, *The 27th Annual International Conference of Iranian Society of Mechanical Engineers-ISME*, (2019).
- [24] S. A. Zolfaghari, S. Teymoori, M. Afzalian, M. Raesi, and S. M. Hooshmand, Experimental evaluation of the effect of inlet flow discharge direction on temperature and flow patterns in a room with UFAD system, *The 27th Annual International Conference of Iranian Society of Mechanical Engineers-ISME*, (2019).
- [25] P. O. Fanger, *Thermal comfort Analysis and applications in environmental engineering*, New York: McGraw-Hill, (93-87 (1972).
- [26] ISO 7730, *Ergonomics of the Thermal Environment—Analytical Determination and Interpretation of Thermal Comfort Using Calculation of the PMV and PPD Indices and Local Thermal Comfort Criteria*, International Standard Organization (ISO), (2005).
- [27] ASHRAE, *ASHRAE Standard 2017-55 Thermal Environmental Conditions for Human Occupancy*, American Society of Heating, Refrigerating and Air-Conditioning Engineers, Atlanta, GA, USA, (2017).
- [28] J. M. Cimbala, *Experimental uncertainty analysis*, Penn State University, (4-1 (2013).
- performance of a personalized ventilation air terminal device at two different turbulence intensities, *Building and environment*, 3983-3974 (2007) (12)42.
- [15] J. Lau and Q. Chen, Floor-supply displacement ventilation for workshops, *Building and Environment*, (2007) (4)42 1730-1718.
- [16] K. Cheong, W. Yu, S. Sekhar, K. Tham, and R. Kosonen, Local thermal sensation and comfort study in a field environment chamber served by displacement ventilation system in the tropics, *Building and Environment*, (2)42 533-525 (2007).
- [17] Y. Zhang, S. Sun, and R. Zhao, Assessment indices for uniform and non-uniform thermal environments, *Frontiers of Energy and Power Engineering in China*, (2)2 133-129 (2008).
- [18] L. Magnier, R. Zmeureanu, and D. Derome, Experimental assessment of the velocity and temperature distribution in an indoor displacement ventilation jet, *Building and Environment*, 160-150 (2012) 47.
- [19] A. Makhoul, K. Ghali, and N. Ghaddar, Thermal comfort and energy performance of a low-mixing ceiling-mounted personalized ventilator system, *Building and Environment*, 136-126 (2013) 60.
- [20] S. J. Rees and P. Haves, An experimental study of air flow and temperature distribution in a room with displacement ventilation and a chilled ceiling, *Building and Environment*, 368-358 (2013) 59.
- [21] M. Veselý, J. Verhaart, and W. Zeiler, Performance of Personalized Heating, *ASHRAE Transactions*, (2015)121 8-1.

چگونه به این مقاله ارجاع دهیم

S.A. Zolfaghari, P. Ebrahimi Naghani, M. Maerefat, *Experimental investigation of personalized ventilation effects on temperature, velocity, and draught discomfort distribution in an office*, *Amirkabir J. Mech Eng.*, 53(7) (2021) 4397-4410.

DOI: [10.22060/mej.2020.18478.6825](https://doi.org/10.22060/mej.2020.18478.6825)

