

ارزیابی آزمایشگاهی تأثیر پوشش ناحیه پا بر احساس حرارتی موضعی و کلی افراد تحت سیستم تهویه انفرادی

سید علیرضا ذوالفقاری*
 دانشیار، مهندسی مکانیک، دانشگاه بیرجند، بیرجند، ایران، zolfaghari@birjand.ac.ir
 پیمان ابراهیمی ناغانی
 دانش آموخته دکتری، مهندسی مکانیک، دانشگاه بیرجند، بیرجند، ایران، ebrahimi.naghani@birjand.ac.ir
 مهدی معرفت
 استاد، مهندسی مکانیک، دانشگاه تربیت مدرس، تهران، ایران، maerefat@modares.ac.ir

چکیده

در این پژوهش، تأثیر پوشش ناحیه پا بر احساس حرارتی موضعی و کلی افراد تحت یک سیستم تهویه انفرادی در محیط اداری به صورت آزمایشگاهی بررسی شده است. بر این اساس، احساس حرارتی کلی و موضعی افراد به ازای دو حالت جانمایی دریاچه (روی میز و زیر میز) و دو حالت پوشش (A: پوشش اداری متداول با مقاومت حرارتی 0.58clo و B: پوشش مشابه ولی فاقد کفش و جوراب) در سه حالت دمای ورودی مختلف (۱۶، ۲۴ و 32°C) مورد ارزیابی قرار گرفته است. نتایج نشان داد که پوشش ناحیه پا می‌تواند تأثیر قابل ملاحظه‌ای بر احساس حرارتی افراد داشته باشد. ضمن اینکه عدم وجود پوشش ناحیه پا، پراکندگی شاخص احساس بخش‌های مختلف بدن را افزایش می‌دهد. به طوری که اختلاف میان احساس حرارتی بخش‌های مختلف بدن در شرایط پوشش A و قرارگیری دریاچه روی میز حدود 0.5 است؛ درحالی که این میزان در شرایط پوشش B و جانمایی دریاچه زیر میز به حدود دو برابر و مقدار 1 می‌رسد. همچنین، نتایج نشان داد اگر دمای ورودی 16°C باشد و یا افراد فاقد پوشش در ناحیه پا باشند، نمی‌توان از نارضایتی حرارتی افراد جلوگیری کرد.

واژه‌های کلیدی: سیستم تهویه انفرادی، احساس حرارتی موضعی، پوشش پا، جانمایی دریاچه، احساس کلی، نارضایتی حرارتی.

Experimental evaluation of the effect of foot wearing on occupants' local and overall thermal sensation under personalized ventilation system

S. A. R. Zolfaghari
 P. Ebrahimi Naghani
 M. Maerefat

Department of Mechanical Engineering, University of Birjand, Birjand, Iran
 Department of Mechanical Engineering, University of Birjand, Birjand, Iran
 Department of Mechanical Engineering, Tarbiat Modares University, Tehran, Iran

Abstract

In this study, the effect of foot wearing on local and overall thermal sensation has been experimentally investigated under a personalized ventilation system in an office. Accordingly, the overall and local sensation of occupants for two arrangements of diffusers (desktop and under the desk) and two different clothing (A: conventional office clothing with thermal resistance of 0.58clo and B: similar clothing without shoes and socks) and three different inlet temperatures (16 , 24 and 32°C) have been evaluated. The results showed that the feet wearing has a significant effect on the thermal sensation. In addition, the lack of coverage of the foot area increases the deviations between the sensations of various parts of the body. So, that the difference between the sensation of various segments under the conditions of using clothing A and the desktop arrangement for the diffusers is about 0.5 ; while this amount in the conditions of under the desk diffusers and using clothing B reaches about twice and the value of 1 . Also, the results showed that if the inlet temperature is 16°C or occupants are not used the foot wearing, thermal dissatisfaction cannot be prevented.

Keywords: Personal ventilation, Local sensation, Foot wearing, Diffusers' arrangement, Overall sensation, thermal dissatisfaction.

۱- مقدمه

همکاران [۱]، در سال ۲۰۰۶ پاسخ حرارتی افراد را برای سیستم تهویه هوای انفرادی با چند نوع دریاچه در دمای ورودی ۲۳ و ۲۶ درجه سلسیوس بررسی کردند؛ آنها در این پژوهش، احساس نارضایتی افراد در حالت دریاچه افقی روی میز را در شرایط وزش جریان افقی به سمت قفسه سینه مشاهده کردند. چونگ و همکاران [۲]، در سال ۲۰۰۷ به بررسی احساس حرارتی موضعی در اتاقی مجهز به سیستم تهویه هوای انفرادی پرداختند، در این آزمایش تعداد ۳۰ نفر مرد و ۳۰ نفر زن شرکت کردند که در معرض هوایی با دمای ۲۰، ۲۳ و ۲۶ درجه سلسیوس در اتاقکی به ابعاد $7/53 \times 11/2$ مترمربع قرار گرفته بودند. ایشان به این نتیجه رسیدند که احساس حرارتی کلی به طور عمده تحت تأثیر مقادیر احساس حرارتی موضعی در نواحی، بازو، ساق، پشت

در یک طبقه‌بندی کلی، سیستم‌های تهویه مطبوع به دو دسته سیستم‌های سراسری و ناحیه‌ای تقسیم می‌شوند. اهمیت بالای صرفه‌جویی در مصرف انرژی و افزایش کیفیت هوای داخل، استفاده از سیستم‌های تهویه مطبوع ناحیه‌ای را بطور گسترده‌ای رواج داده است. تحقیقات در سال‌های اخیر نشان داده است که استفاده از این سیستم‌ها علاوه بر کاهش مصرف انرژی، شرایط مطلوبی جهت دستیابی به آسایش حرارتی را فراهم می‌آورد.

بر همین اساس، بررسی عملکرد سیستم‌های تهویه مطبوع ناحیه‌ای و به طور خاص سیستم تهویه انفرادی، موضوعی است که در سال‌های اخیر توجه پژوهشگران را به خود جلب کرده است. کزماچیک و

* نویسنده مکاتبه کننده، آدرس پست الکترونیکی: zolfaghari@birjand.ac.ir

تاریخ دریافت: ۰۰/۱۱/۲۵

تاریخ پذیرش: ۰۱/۰۲/۰۵

و دست قرار دارد که در این میان ساق پا سهم ویژه‌ای دارد. کانسیسائو و همکاران [۳]، در سال ۲۰۱۰ آسایش حرارتی افراد را در یک کلاس با میزهای تجهیز شده به دو سیستم تهویه هوای انفرادی بررسی نموده و ضمن این بررسی مشخص شد درصد ناراضیاتی افراد در شرایط بدون تهویه انفرادی برابر ۲۷ درصد و همین مقدار در زمانی که از سیستم تهویه انفرادی استفاده شده است به ۱۶ درصد کاهش می‌یابد. ژین و همکاران [۴]، در سال ۲۰۱۱ احساس حرارتی سر و کل بدن را در شرایط گرمایش و سرمایش موضعی بررسی کرده و ضمن این بررسی به این نتیجه رسیدند که عضو سر در معرض تهویه موضعی خنک می‌شود و این احساس بر احساس حرارتی کل تاثیر می‌گذارد. ژائو و همکاران [۵]، در سال ۲۰۱۴ مدل تخمین احساس حرارتی کل بدن را بهبود بخشیدند. با توجه به این مدل افراد قادر هستند با ترکیب مختلف لباس و سطوح متابولیک به احساس حرارتی خنثی دست یابند. کلودزینسکا و بوگدان [۶]، در سال ۲۰۱۵ در پژوهشی اثر دمای هوا و جهت ورزش را بر احساس حرارتی ارزیابی کردند. در این پژوهش آنها ۲۰ نفر را تحت سیستم تهویه هوای انفرادی قرار دادند و اثر جریان هوای ورودی بر احساس حرارتی بخش‌های مختلف بدن را تحلیل نمودند. چن و همکاران [۷]، در سال ۲۰۱۶ دریافتند افراد نرخ جریان هوای تهویه انفرادی بالاتری را هنگام افزایش دمای هوای محیط ترجیح می‌دهند. هی و همکاران [۸]، در سال ۲۰۱۷ به بررسی شرایط آسایش حرارتی تحت یک سیستم سرمایش انفرادی تعبیه شده روی میز پرداختند. رحمتی و همکاران [۹]، در یک پژوهش عددی در سال ۲۰۱۸ عملکرد سیستم تهویه انفرادی را بررسی کردند و دریافتند که تحت سیستم تهویه انفرادی امکان ایجاد ناراضیاتی حرارتی ناشی از کوران در ناحیه سر و پا برای افراد وجود دارد. فنگ و همکاران [۱۰]، در سال ۲۰۱۸ در یک پژوهش آزمایشگاهی ارتباط بین احساس حرارتی موضعی و کلی بدن را بررسی کردند و به این نتیجه رسیدند که احساس حرارتی قفسه‌سینه به طور چشمگیری بر احساس حرارتی کل بدن تاثیر گذار است. علاوه بر این، آنها دریافتند احساس حرارتی بازو، ران، ساق و پا نسبتاً پراکنده می‌باشد. این در حالی است که احساس حرارتی اعضا سر، قفسه‌سینه، پشت و دست کاملاً نزدیک به هم بوده و اختلاف معنا داری ندارند. ذوالفقاری و تیموری [۱۱]، در سال ۲۰۱۹ طی یک پژوهش آزمایشگاهی به بررسی میزان رضایتمندی و احساس حرارتی موضعی در یک سیستم با توزیع هوای زیر سطحی با سه دمای خروجی از دریچه ۱۲، ۱۶ و ۲۰ درجه سلسیوس پرداختند. نتایج نشان می‌دهد که در این سیستم احساس حرارتی کل بدن متاثر از احساس حرارتی پا می‌باشد. ابراهیمی و همکاران [۱۲]، در سال ۲۰۲۰ به بررسی سیستم تهویه هوای انفرادی با دمای هوای خروجی از دریچه ۱۶، ۲۴ و ۳۲ درجه سلسیوس پرداختند. آنها در این پژوهش اثر بخشی قابل توجه احساس حرارتی اعضا بالا تنه بر احساس حرارتی کل بدن را مشاهده نمودند. ابراهیمی و همکاران [۱۳]، در سال ۲۰۲۱ طی پژوهشی آزمایشگاهی به بررسی اثر غیر یکنواختی پوشش بر احساس حرارتی موضعی و کلی بدن پرداختند. آنها نتیجه گرفتند با استفاده از پیراهن آستین کوتاه در طول آزمایش، هنگامی که افراد تحت دمای هوای خروجی از دریچه ۳۲ درجه سلسیوس قرار می‌گیرند، رضایتمندی بیشتری نسبت به شرایط مشابه و دمای ۱۶ درجه سلسیوس دارند.

با نگاهی به تحقیقات مذکور، می‌توان دریافت که عملکرد سیستم‌های تهویه انفرادی از عواملی چون جانمایی دریاچه‌های ورودی و خروجی هوا، دمای هوای محیط آزمایش، دمای هوای خروجی از دریاچه‌ها، نرخ تعویض ساعتی هوا، نوع و تعداد دریچه، دبی هوای خروجی از دریچه تاثیر می‌پذیرد. همچنین، نوع پوشش افراد می‌تواند نقش مهمی در تعیین میزان اثرگذاری دریچه بر احساس حرارتی موضعی و کلی بدن داشته باشد. بنابراین، برای تعیین عملکرد سیستم تهویه انفرادی لازم است تا بررسی احساس حرارتی موضعی و کلی افراد به ازای پوشش‌های مختلف مورد بررسی قرار گیرد. یکی از بخش‌های بسیار مهم و تأثیرگذار بر شرایط حرارتی بدن، ناحیه پا است [۱۴]. از سوی دیگر، ورزش‌های غیریکنواخت ناشی از سیستم تهویه انفرادی می‌تواند میزان همبستگی میان احساس ناحیه پا بر احساس حرارتی کلی را تحت تأثیر قرار دهد. لذا بررسی میزان اثرگذاری پوشش پا بر احساس حرارتی موضعی و کلی بدن، بسیار حائز اهمیت است. بر همین اساس، هدف اصلی از تحقیق حاضر ارزیابی احساس حرارتی موضعی و کلی بدن به ازای دو نوع پوشش مختلف ناحیه پا (پا فاقد پوشش، پا دارای پوشش جوراب و کفش) تحت ورزش‌های سیستم تهویه انفرادی با دو جانمایی مختلف دریچه (روی میز و زیر میز) می‌باشد.

۲- ابزار و روش آزمایشگاهی

۲-۱- محیط آزمایشگاه

در تحقیق حاضر از اتاقک آزمایشگاهی که در گروه پژوهشی انرژی در ساختمان و آسایش حرارتی دانشگاه بیرجند ساخته شده است، استفاده گردید. این اتاقک دارای ابعاد 3×3 متر مربع و ارتفاع $2/7$ متر است. تجهیزات موجود در اتاقک برای شبیه سازی کار در محیط اداری شامل یک میز و صندلی و یک کامپیوتر رومیزی برای استفاده کاربر می‌باشد. شخص در طول آزمایش در زمان‌های مشخصی اقدام به تکمیل پرسشنامه احساس حرارتی نموده و در سایر زمان‌ها به کارهای سبک از جمله جستجو در اینترنت پرداخته است.

از یک داکت اسپیلیت با ظرفیت 18000 وات جهت تامین و کنترل هوای سیستم‌های تهویه مطبوع (هوای ورودی دریچه‌ها) استفاده شده است. این تجهیز قابلیت کارکرد در محدوده دمایی 16 تا 30 درجه سلسیوس با سه سرعت وزشی مختلف را دارد. با اندکی تغییر در سیستم، قابلیت کارکرد این تجهیز در محدوده دمایی 10 تا 40 درجه سلسیوس، ایجاد شد تا بتوان آزمایشات را با گستره دمایی بیشتری به انجام رساند. همچنین، در این پژوهش از دریچه‌هایی به ابعاد 15×15 سانتی‌متر مربع در دو جانمایی روی میز و زیر میز استفاده شده است. همچنین، روی هر دریچه 30 عدد سوراخ به قطر 8 میلی‌متر وجود دارد. آزمایش مدنظر با دو حالت جانمایی برای قرارگیری دریچه‌ها بر روی میز و زیر میز انجام پذیرفته است. مختصات جانمایی دریچه‌ها در هر یک از حالات روی میز و زیر میز در جدول ۱ آورده شده است. همچنین، شکل ۱ شماتیکی از محیط اتاقک آزمایش در هر حالت جانمایی دریچه روی میز و زیر میز را نشان می‌دهد. برای بررسی اثرات سرمایش و گرمایش در طی آزمایش، دمای هوای ورودی از دریچه‌ها روی 16 ، 24 و 32 درجه سلسیوس در هر یک از حالات آزمایش تنظیم شده است.

جدول ۱ - مختصات دریچه‌های سیستم تهویه انفرادی قرار گرفته بر

روی میز و زیر میز			فاصله افقی بین دریچه‌ها (cm)	شماره دریچه	جانمایی دریچه‌ها
x	y	z			
۱۱۲	۱۸	۷۱	۷۶	۱	روی میز
۱۸۸	۱۸	۷۱	۷۶	۲	روی میز
۱۱۲	۱۸	۱۵	۷۶	۱	زیر میز
۱۸۸	۱۸	۱۵	۷۶	۲	زیر میز

جدول ۲ - میانگین دمای جدارها بر حسب درجه سلسیوس به ازای

نام جداره	سه دمای هوای ورودی مختلف		
	دمای هوای ورودی از دریچه (°C)		
	۱۶	۲۴	۳۲
در	۲۳	۲۱/۹	۲۱/۴
سقف	۲۲/۵	۲۱/۶	۲۰/۹
کف	۲۳/۲	۲۱/۲	۲۱/۳
پنجره‌ها	۲۲/۸	۲۱/۷	۲۱/۱
دیوارها	۲۳/۵	۲۲/۸	۲۲

۲-۲- تجهیزات مورد استفاده در آزمایش

در این پژوهش، هوای ورودی از دریچه از طریق داکت اسپیلت تنظیم و به وسیله لوله‌های با قطر ۱۰ سانتی‌متری به قطعه واسط رسیده و سپس در هر یک از حالات جانمایی رو و زیر میز از دریچه‌های هوای ورودی خارج می‌شود. جهت اندازه‌گیری دما، رطوبت و سرعت جریان هوا در شرایط آزمایش از دستگاه تستو ۴۸۰ استفاده شده است. همچنین، از حسگر کد ۳۱۲۸۱۴۶ تستو جهت اندازه‌گیری دما با رزولوشن ۰/۱ درجه سلسیوس و دقتی به میزان ± 0.2 درجه سلسیوس و سرعت با رزولوشن ۰/۰۱ متر بر ثانیه و دقتی به میزان ± 0.5 متر بر ثانیه استفاده شده است. ضمن اینکه حسگر کد ۶۰۷۳۲۹۵۷ تستو نیز برای اندازه‌گیری دما با رزولوشن ۰/۱ درجه سلسیوس و دقتی به میزان ± 0.2 درجه سلسیوس و رطوبت نسبی با رزولوشن ۰/۱٪ و دقتی به میزان ± 1.5 ٪ مورد استفاده قرار گرفته است.

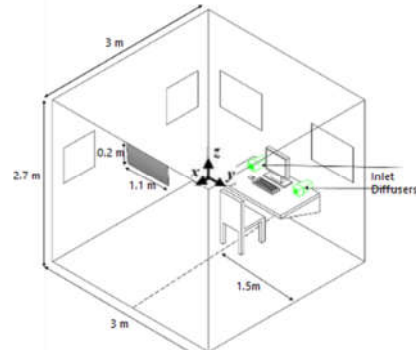
۲-۳- دستورالعمل آزمایش

آزمایش بر روی ۸ داوطلب مرد با میانگین سنی 23 ± 3 سال و شرایط جسمی سالم انجام گرفته است. تعداد داوطلبان با توجه به تحقیقات مشابه [۱۷-۱۵] به گونه‌ای انتخاب شده است که تفاوت‌های ناشی از شرایط جسمی و ادراکات فردی، تأثیر قابل ملاحظه‌ای بر نتایج نداشته باشد. ضمن اینکه دقت شد که شرایط این افراد به هم نزدیک باشد و دارای شرایط مشابهی از منظر موارد زیر باشند: قرارگیری در محدوده سنی بزرگسالان، قرارگیری در محدوده توده بدنی متناسب (نه چاق و نه لاغر)، شرایط جسمی سالم، غیر سیگاری، عدم مصرف دارو یک هفته پیش از آزمایش، وجود خواب کافی در ۲۴ ساعت پیش از آزمایش. موارد فوق، همگی به منظور بالابردن قابلیت تکرارپذیری نتایج صورت پذیرفته است و سعی شده است تا همه دستورالعمل‌های آزمایشگاهی مرتبط با حوزه آسایش حرارتی تجربی رعایت شود. موارد فوق کمک می‌کند که قابلیت تکرارپذیری نتایج افزایش یابد. پیش از

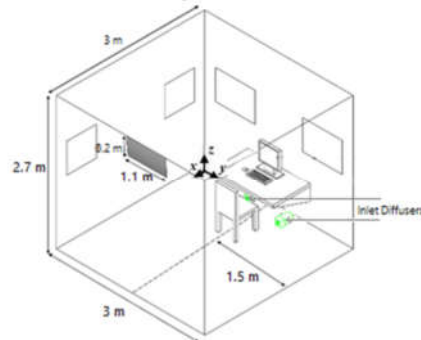
همچنین، در حالت‌های مختلف آزمایش دمای دیوارها، پنجره‌ها، در، سقف و کف اتاقک آزمایش برداشت شده و میانگین این دماها در هر حالت در جدول ۲ مشاهده می‌شود. افراد حین آزمایش باید هر بار یکی از پوشش‌های A و B را بپوشند و در زمان‌های مقرر، پرسشنامه احساس حرارتی را تکمیل نمایند. پوشش A، پوششی مرسوم در محیط اداری با 0.5 Acllo می‌باشد و شامل اجزای زیرپوش آستین‌دار کتانی، پیراهن آستین بلند نخ اداری، لباس زیر نخ، شلوار فاستونی اداری، جوراب نخی و کفش اداری می‌باشد. در حالی که برای مشخص شدن تأثیر پوشش در ناحیه پا، پوشش B مشابه با پوشش A و صرفاً بدون کفش و جوراب در نظر گرفته شده است. با استفاده از استانداردهای آسایش حرارتی، میزان مقاومت حرارتی پوشش B حدود 0.5 clo می‌باشد. در واقع، مقایسه میان احساس حرارتی موضعی و کلی افراد در دو حالت پوشش A و B، بیانگر میزان تأثیرگذاری پوشش ناحیه پا (کفش و جوراب) بر درک حرارتی افراد می‌باشد.



(الف)

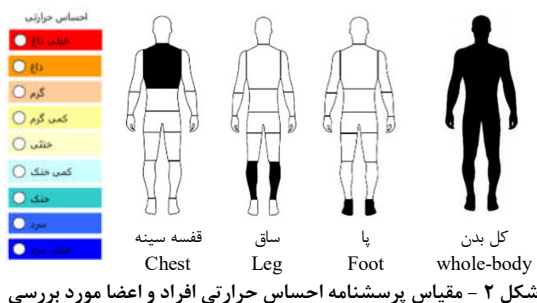


(ب)

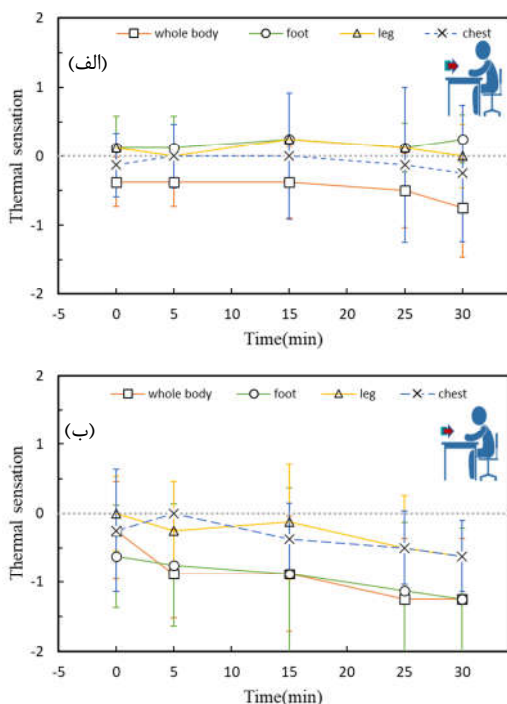


(ج)

شکل ۱- تصویر اتاقک آزمایشگاه (الف) عکس مربوط به نمای بیرونی اتاقک آزمایش، (ب) طرحواره فضای داخلی اتاقک آزمایش در حالت جانمایی دریچه روی میز، (ج) طرحواره فضای داخلی اتاقک آزمایش در حالت جانمایی دریچه زیر میز



شکل ۲ - مقیاس پرسشنامه احساس حرارتی افراد و اعضا مورد بررسی



شکل ۳- تغییرات احساس حرارتی برای اعضا قفسه‌سینه، ساق، پا و کل بدن در دمای ۱۶ درجه سلسیوس در حالت جانمایی در درجه روی میز (الف) پوشش A (ب) پوشش B

طبق نتایج گزارش شده در شکل ۳-الف تغییرات احساس حرارتی ساق در ۱۵ دقیقه ابتدایی آزمایش، در هر دو پوشش در محدوده احساس خنثی بوده و در ادامه، احساس حرارتی افراد در پوشش A در همین محدوده باقی مانده است. اما در پوشش B پس از ۱۵ دقیقه ابتدایی، تغییرات احساس حرارتی عضو ساق روند نزولی داشته تا جایی که احساس حرارتی این عضو در انتهای آزمایش به عدد -0.63 رسیده است. بنابراین، با مقایسه احساس حرارتی عضو ساق در نمودارهای شکل ۳ ملاحظه می‌شود که عدم وجود پوشش جوراب در ناحیه ساق، باعث احساس سرمای قابل توجه در این ناحیه شده است. با نگاهی به نمودارهای شکل ۳ برای احساس حرارتی عضو پا می‌توان دریافت که وجود پوشش جوراب و کفش در ناحیه پا احساس حرارتی این عضو را در پوشش A تحت تاثیر قرار داده، به طوری که احساس حرارتی این عضو در این پوشش کاملاً در محدوده مثبت (بین احساس خنثی و کمی گرم) قرار گرفته است. این در حالی است که

آزمایش به منظور آماده‌سازی و هم‌دمایی بدن افراد با محیط آزمایش، افراد به مدت ۳۰ دقیقه در اتاقی با دمای ۲۴ درجه سلسیوس قرار گرفتند و پس از آن وارد اتاق اصلی آزمایش شدند. مدت زمان هر آزمایش ۳۰ دقیقه می‌باشد و در طی آزمایش افراد در ابتدای آزمایش و دقیقاً ۵، ۱۵، ۲۵ و ۳۰ دقیقه پس از شروع آزمایش اقدام به تکمیل پرسشنامه‌های مربوطه می‌کنند. در سایر دقیق‌های آزمایش برای اینکه افراد فعالیت یکسانی داشته باشند، مشغول (شبه‌سازی فعالیت‌های برای کار در محیط اداری) جستجو در اینترنت، تایپ و مطالعه شدند. در زمان آزمایش، متوسط دمای هوای اتاق 24 ± 0.5 درجه سلسیوس و رطوبت نسبی اتاق 25 ± 2 ٪ تنظیم می‌شود. دبی هوای ورودی از دریچه‌ها در تمامی حالت‌های آزمایش برابر ۱۰ لیتر بر ثانیه می‌باشد. بنابراین در این آزمایش، افراد در دو پوشش A و B، سه دمای هوای خروجی از دریچه ۱۶، ۲۴ و ۳۲ درجه سلسیوس و دو جانمایی دریچه روی میز و زیر میز تحت آزمایش قرار می‌گیرند.

۲-۴- پرسشنامه احساس حرارتی افراد

جهت جمع‌آوری اطلاعات فردی از پرسشنامه‌ای مطابق شکل ۲ و منطبق بر مقیاس اشری ۵۵ [۱۵] استفاده شده است. افراد در طول آزمایش در دقیق‌های مشخص باید یکی از مقیاس‌های خیلی داغ (+۴)، داغ (+۳)، گرم (+۲)، کمی گرم (+۱)، خنثی (۰)، کمی خنک (-۱)، خنک (-۲)، سرد (-۳)، خیلی سرد (-۴) را انتخاب کنند. همچنین، این پرسشنامه برای اعضای قفسه‌سینه، ساق، پا و کل بدن طراحی شده است.

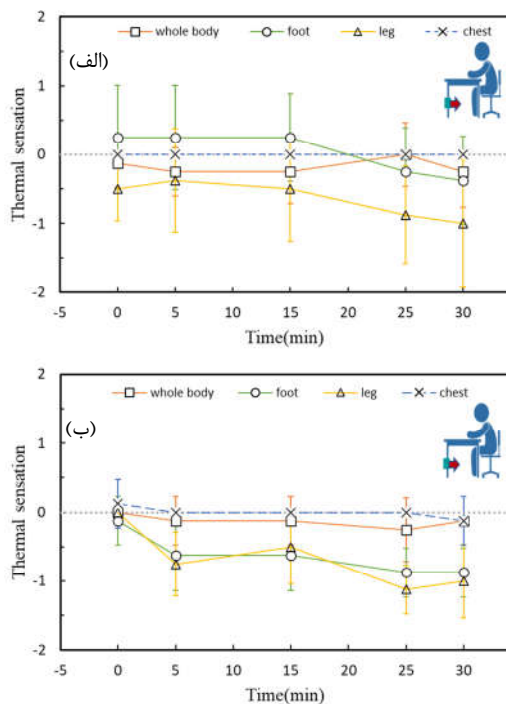
۳- نتایج

همان‌طور که بیان شد، در این پژوهش به بررسی اثر پوشش در ناحیه پا تحت سیستم تهویه هوای انفرادی در دو جانمایی دریچه روی میز و زیر میز، به ازای دمای هوای ورودی ۱۶، ۲۴ و ۳۲ درجه سلسیوس پرداخته شده است. در هر یک از حالت‌ها، احساس حرارتی چهار ناحیه (پا، ساق، پا، قفسه‌سینه و کل بدن) برای دو پوشش A (افراد دارای پوشش کفش و جوراب) و B (افراد بدون کفش و جوراب) در نمودارها آمده است. در این بررسی، تفاوت پوشش A و B در ناحیه پا می‌باشد تا با مقایسه احساس حرارتی افراد در دو پوشش یاد شده اثر پوشش ناحیه پا بر احساس حرارتی این عضو و تاثیر آن بر احساس حرارتی کل بدن مشخص گردد.

شکل ۳ احساس حرارتی اعضای قفسه‌سینه، پا، ساق و کل بدن را به ازای دمای ورودی ۱۶ درجه سلسیوس و جانمایی دریچه روی میز نشان می‌دهد. همان‌طور که مشاهده می‌شود در ۵ دقیقه ابتدایی آزمایش احساس حرارتی قفسه‌سینه در دو پوشش نزدیک به یکدیگر و در یک محدوده گزارش شده است. نتایج بدست آمده از پوشش A نشان می‌دهد در طول آزمایش با تقریب خوبی احساس حرارتی قفسه‌سینه در محدوده خنثی گزارش شده است. در حالی که در پوشش B پس از ۵ دقیقه ابتدایی آزمایش، میانگین احساس حرارتی رو به کاهش بوده است. در این پوشش افراد تحت تاثیر هوای خروجی سیستم تهویه انفرادی قرار گرفته‌اند، به گونه‌ای که در انتهای آزمایش میانگین احساس حرارتی قفسه‌سینه افراد -0.63 محاسبه شده است.

حرارتی افراد کاهش یابد. احساس حرارتی کل بدن در هر دو پوشش در محدوده خنثی قرار داشته و می‌توان گفت در این حالت از آزمایش تحت تاثیر احساس حرارتی قفسه‌سینه قرار گرفته است.

در شکل ۵ تغییرات احساس حرارتی افراد با دو پوشش A و B به ازای دمای ۲۴ درجه سلسیوس و جانمایی دریاچه روی میز مورد بررسی قرار گرفته است. نتایج به دست آمده در شکل ۵ برای هر دو حالت آزمایش نشان می‌دهد که برخورد ورزش مستقیم هوای ورودی بر قفسه‌سینه افراد موجب کاهش احساس حرارتی در این ناحیه از بدن شده است. در این دو پوشش احساس حرارتی قفسه‌سینه در محدوده احساس خنثی قرار دارد و میزان این تغییرات در محدوده ۰/۳- گزارش شده است و به ازای هر دو پوشش مورد بررسی، احساس حرارتی قفسه‌سینه در ۱۵ دقیقه پایانی آزمایش ثابت و بدون تغییر بوده است. همچنین، نتایج احساس حرارتی در مورد عضو ساق بیانگر این موضوع است که افراد در پوشش B که پوششی بدون کفش و جوراب است، احساس کمتر از خنثی داشته‌اند به گونه‌ای که در انتهای آزمایش احساس حرارتی ساق افراد ۰/۵- گزارش شده است. در پوشش A به علت وجود پوشش جوراب احساس حرارتی ساق نسبت به پوشش B به محدوده خنثی نزدیک‌تر است. همچنین، نتایج به دست آمده در ۲۴ درجه سلسیوس نشان می‌دهد که برای پوشش A احساس حرارتی افراد در طول آزمایش تغییرات زیادی نداشته و در محدوده خنثی قرار گرفته است. طبق انتظار، احساس حرارتی پا در پوشش B به کمترین مقدار خود رسیده است و به شدت تحت تاثیر ریزش هوای خروجی از دریاچه قرار گرفته است.



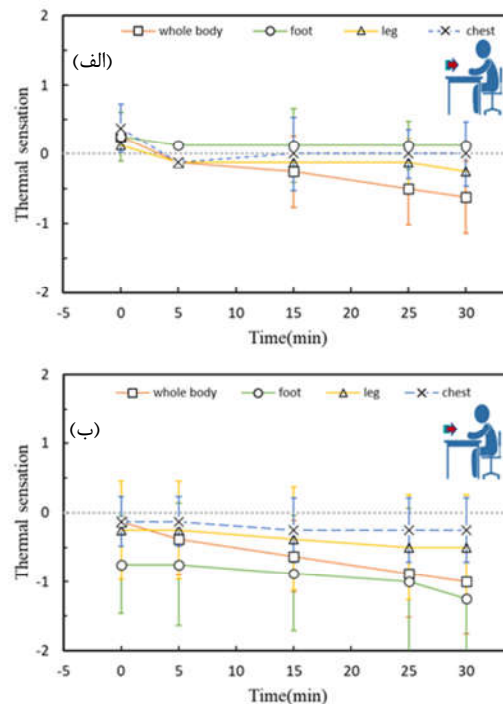
شکل ۴- تغییرات احساس حرارتی برای اعضا قفسه‌سینه، ساق، پا و کل بدن در دمای ۱۶ درجه سلسیوس در حالت جانمایی دریاچه زیر میز (الف) پوشش A (ب) پوشش B

عدم استفاده از جوراب و کفش در پوشش B باعث ایجاد روند نزولی قابل ملاحظه‌ای در احساس حرارتی ناحیه پا شده است؛ به گونه‌ای که پس از گذشت ۳۰ دقیقه، احساس ناحیه پا به کمتر از ۱- (بین احساس خنک و کمی خنک) رسیده است. لازم به ذکر است که حتی در حالت قرارگیری دریاچه روی میز، در شرایطی که دمای هوای ورودی سرد است، ریزش هوای خنک از روی میز به پایین صورت می‌گیرد و همین امر باعث ایجاد احساس سرما در بخش‌های ساق و پا می‌شود.

همانطور که در شکل ۳ مشاهده می‌شود، هنگامی که افراد در معرض سیستم تهویه انفرادی رومیزی با دمای ورودی ۱۶ درجه سلسیوس قرار می‌گیرند، احساس حرارتی کلی بدن با تغییر نوع پوشش به طور قابل ملاحظه‌ای تغییر می‌کند. همچنین، در شرایطی که فاقد کفش و جوراب است، بخش پا تبدیل به عضو دارای احساس حرارتی بحرانی می‌شود و در این شرایط، احساس حرارتی کلی بدن از احساس حرارتی بخش بحرانی بدن (بخش پا در شرایط بدون پوشش) تبعیت می‌کند. همچنین، بررسی نتایج در ۵ دقیقه پایانی آزمایش نشان می‌دهد که عدم وجود پوشش جوراب در ناحیه ساق، می‌تواند تا حدود ۰/۵ واحد بر احساس حرارتی ساق تأثیر بگذارد و همین امر، حاکی از تأثیر قابل توجه پوشش جوراب بر درک حرارتی افراد می‌باشد.

شکل ۴ تغییرات احساس حرارتی اعضای قفسه‌سینه، ساق، پا و احساس حرارتی کلی بدن را به ازای دمای هوای ورودی ۱۶ درجه سلسیوس، در حالت جانمایی دریاچه زیر میز نشان می‌دهد. همانطور که در شکل ۴ مشاهده می‌شود، با حذف ورزش مستقیم سیستم تهویه انفرادی از ناحیه قفسه‌سینه (تغییر جانمایی دریاچه از روی میز به زیر میز)، تغییرات احساس حرارتی این ناحیه در طول آزمایش برای هر دو پوشش تقریباً یکسان و در محدوده خنثی می‌باشد. همچنین، در شرایط قرارگیری دریاچه در زیر میز، احساس حرارتی ساق به شدت تحت تاثیر هوای خروجی سیستم تهویه انفرادی قرار گرفته است؛ به طوری که در هر دو پوشش، ساق با تقریب خوبی خنک‌ترین احساس حرارتی را به خود اختصاص داده است که ناشی از ورزش مستقیم هوای ورودی از دریاچه می‌باشد؛ اما روند این تغییرات در پوشش B همواره با شیب بیشتری همراه بوده است. لازم به ذکر است احساس حرارتی عضو ساق در ۵ دقیقه پایانی آزمایش برای هر دو پوشش در محدوده کمی خنک واقع شده است. همچنین، با نگاهی به تغییرات احساس حرارتی ناحیه پا نسبت به زمان و بررسی اثرات تغییر پوشش در این ناحیه، مشاهده می‌شود که افراد دارای پوشش B کمترین احساس حرارتی که نزدیک احساس کمی خنک است را گزارش کردند. دلیل این کاهش محسوس احساس حرارتی، بدون پوشش بودن ناحیه پا در این پوشش است. برای پوشش A در این حالت آزمایش تغییرات احساس حرارتی در محدوده ۰/۱ تا ۰/۳- متغیر بوده است. همچنین، می‌توان گفت روند تغییرات احساس حرارتی عضو ساق و پا در پوشش B با تقریب خوبی مشابه است که ناشی از تاثیر مجاورت این دو عضو می‌باشد.

از آنجایی که میانگین دمای هوای اتاقک آزمایش ۲۴ درجه سلسیوس کنترل شده است، پیش بینی می‌شود که احساس حرارتی نواحی مختلف بدن در محدوده احساس خنثی قرار گیرد. همچنین، پیش‌بینی می‌شود اگر ناحیه‌ای از بدن در مسیر ورزش مستقیم هوای خروجی سیستم تهویه انفرادی قرار گیرد، به علت ایجاد کوران احساس



شکل ۵- تغییرات احساس حرارتی برای اعضا قفسه‌سینه، ساق، پا و کل بدن در دمای ۲۴ درجه سلسیوس در حالت جانمایی در درجه روی میز پوشش A (الف) پوشش B (ب)

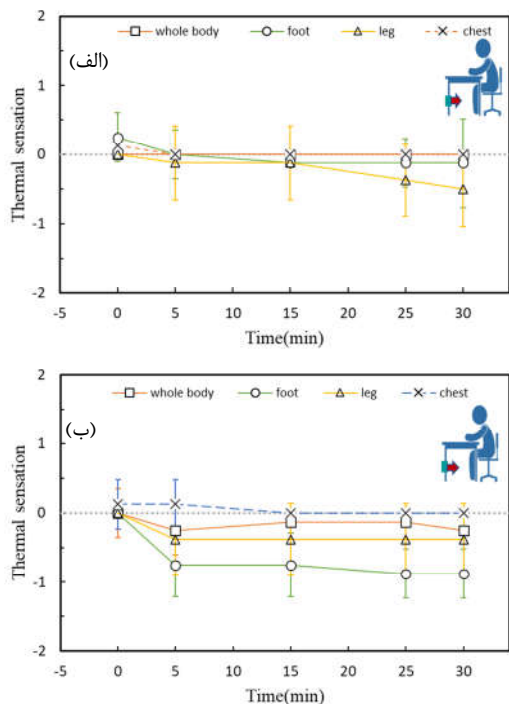
احساس حرارتی کل بدن متأثر از احساس حرارتی نواحی مختلف بدن است به خصوص نواحی که کمترین احساس حرارتی را داشته باشند. با نگاه کلی به نتایج شکل ۵ می‌توان نتیجه گرفت که روند تغییرات احساس حرارتی کل بدن در هر دو پوشش نزولی است و در ۵ دقیقه ابتدایی آزمایش مشابه احساس حرارتی قفسه‌سینه می‌باشد و در دقایق بعدی آزمایش، روند نزولی با شیب تقریباً ثابتی اتفاق افتاده است. همچنین، احساس حرارتی کل بدن برای پوشش B در ۵ دقیقه پایانی آزمایش که شرایط به حالت تقریباً پایا رسیده است، بسیار نزدیک به احساس حرارتی پا بوده است. برای دو پوشش مورد بررسی نتایج حاصل از تغییرات احساس حرارتی اعضا قفسه‌سینه، پا، ساق و کل بدن به ازای دمای ورودی ۲۴ درجه سلسیوس از درجه روی میز، در شکل ۶ نشان داده شده است. مشاهده می‌شود احساس حرارتی قفسه‌سینه به علت دور بودن از وزش مستقیم جریان در محدوده احساس حرارتی خنثی قرار گرفته است. با بررسی نتایج شکل ۶ مشاهده می‌شود که با قرارگیری درجه هوای ورودی در زیر میز و برخورد جریان مستقیم هوا به ساق افراد، احساس حرارتی این ناحیه از بدن به ازای هر دو پوشش مورد بررسی، نزدیک به یکدیگر و در محدوده احساس کمتر از خنثی قرار گرفته است. روند این تغییرات برای پوشش B از ۰/۲۵- شروع شده و در کمترین مقدار خود به ۰/۶۲۵- رسیده است. همچنین، شکل ۶ نشان می‌دهد که تغییرات احساس حرارتی پا در حالت دمای ۲۴ درجه سلسیوس و درجه زیر میز، به ازای پوشش B که افراد بدون کفش و جوراب هستند به شدت تحت تأثیر وزش هوای ورودی از درجه قرار می‌گیرد. روند این تغییرات به گونه‌ای است که احساس حرارتی پای افراد حدود ۱- گزارش شده

است. این در حالی است که به ازای پوشش A احساس حرارتی پای افراد به حدود ۰/۲۵+ رسیده است. این امر به خوبی تأثیر پوشش ناحیه پا بر احساس حرارتی آن در حالت قرارگیری درجه در زیر میز را نشان می‌دهد. همچنین، در این حالت تغییرات احساس کل بدن برای پوشش‌های مورد بررسی در طول آزمایش در محدوده احساس خنثی قرار گرفته است و اثرگذاری احساس اعضای ساق و پای افراد که کمترین احساس حرارتی را در این حالت گزارش کرده‌اند، ناچیز است. در عوض، احساس کل بدن نزدیک به احساس قفسه‌سینه می‌باشد.

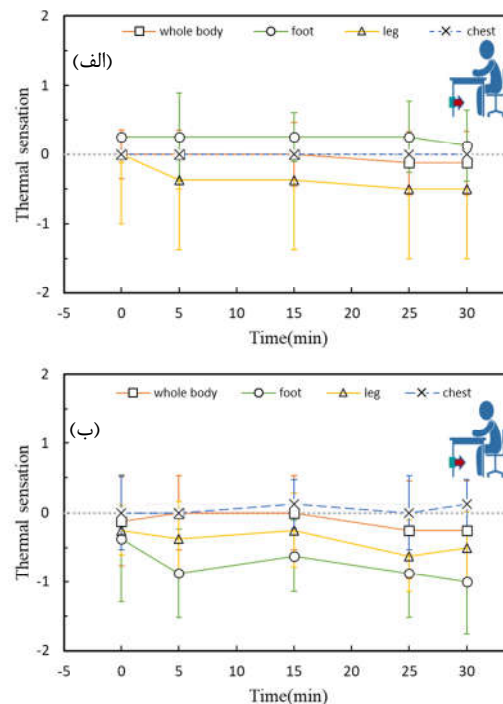
نتایج به دست آمده برای تغییرات احساس حرارتی افراد در حالت جانمایی در درجه روی میز و دمای ۳۲ درجه سلسیوس در شکل ۷ نشان داده شده است. با برخورد هوای وزشی به قفسه‌سینه، مشاهده می‌شود در دو پوشش احساس حرارتی افراد در محدوده خنثی قرار گرفته است. همچنین، مشاهده می‌شود ساق افراد در پوشش B که بدون کفش و جوراب بوده‌است احساس حرارتی کمتری نسبت به پوشش A را گزارش کرده است. در پوشش A احساس حرارتی ساق در محدوده خنثی قرار گرفته است. مشاهدات نشان می‌دهد تغییرات احساس حرارتی افراد برای پوشش B در ۱۵ دقیقه ابتدایی از احساس خنثی به ۰/۳۸- کاهش یافته است و در ادامه با سازگاری این عضو با شرایط محیط احساس حرارتی ثابت بوده است. در این حالت، به علت بیشتر بودن دمای هوای خروجی سیستم تهویه انفرادی از میانگین دمای هوای اتاق آزمایش، مشاهده می‌شود اختلاف دما باعث جابه‌جایی هوا شده که این موضوع بر احساس حرارتی ناحیه پا تأثیرگذار بوده است. این موضوع منجر شده است تا افراد در پوشش B که بدون کفش و جوراب می‌باشند، احساس کمتری نسبت به پوشش A داشته باشند. وجود پوشش در ناحیه پا در پوشش A دلیلی بر مثبت بودن احساس حرارتی این عضو می‌باشد این در حالی است که در پوشش B، عدم وجود پوشش در ناحیه پا، احساس حرارتی این عضو را در ۱۵ دقیقه ابتدایی آزمایش به عدد ۰/۳۸- رسانده و پس از آن این مقدار با روند نزولی در ۵ دقیقه پایانی آزمایش به عدد ۰/۷۵- می‌رسد.

نتایج بدست آمده در شکل ۷ نشان می‌دهد احساس کلی افراد تحت تأثیر احساس حرارتی قفسه‌سینه که در معرض وزش مستقیم سیستم تهویه انفرادی قرار گرفته‌است، می‌باشد. این موضوع منجر شده تا احساس حرارتی کل بدن افراد در دو حالت با گذر زمان از احساس خنثی با شیب اندکی کاهش یابد.

شکل ۸ به مقایسه تغییرات احساس حرارتی اعضای قفسه‌سینه، ساق، پا و کل بدن افراد در دو پوشش A و B در حالت جانمایی در درجه زیر میز به ازای دمای ورودی ۳۲ درجه سلسیوس پرداخته است. در این حالت قفسه‌سینه به دور از وزش مستقیم هوای خروجی قرار گرفته است و این موضوع منجر شده تغییرات احساس حرارتی این ناحیه در طول زمان آزمایش در محدوده خنثی قرار گیرد. نتایج شکل ۸ نشان می‌دهد که با قرارگیری درجه سیستم تهویه انفرادی در زیر میز، احساس حرارتی ساق افراد به ازای دمای ورودی ۳۲ درجه سلسیوس برای هر دو پوشش در بازه احساس خنثی و ۰/۵- قرار گرفته است. همچنین، مشاهده می‌شود افراد دارای پوشش B که از پوششی بدون کفش و جوراب استفاده کرده‌اند، احساس حرارتی نزدیک‌تر به حالت خنثی را در پایان آزمایش داشته‌اند که ناشی از وزش مستقیم جریان هوای گرم ورودی از درجه و عدم پوشش در این ناحیه است.



شکل ۵- تغییرات احساس حرارتی برای اعضا قفسه سینه، ساق، پا و کل بدن در دمای ۲۴ درجه سلسیوس در حالت جانمایی دریاچه زیر میز پوشش A (ب) پوشش B

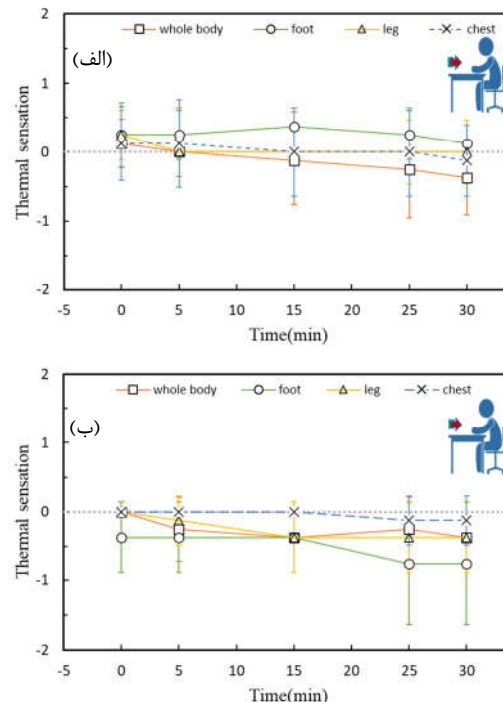


شکل ۶- تغییرات احساس حرارتی برای اعضا قفسه سینه، ساق، پا و کل بدن در دمای ۲۴ درجه سلسیوس در حالت جانمایی دریاچه زیر میز پوشش A (ب) پوشش B

با نگاه به نتایج بدست آمده در شکل ۸- الف مشاهده می شود احساس حرارتی ساق افراد در پوشش A به شدت تحت تاثیر قرار گرفته و کاهش یافته است. این موضوع منجر شده تا بدن افراد با مقایسه احساس ساق و پا با یکدیگر برای عضو ساق، احساس حرارتی بیشتری گزارش کند.

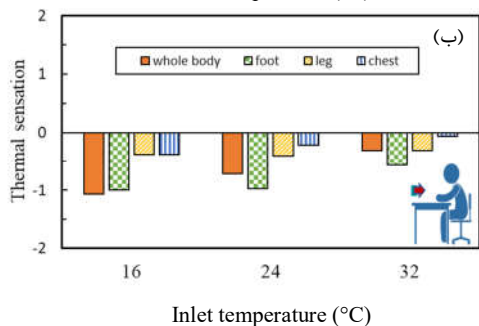
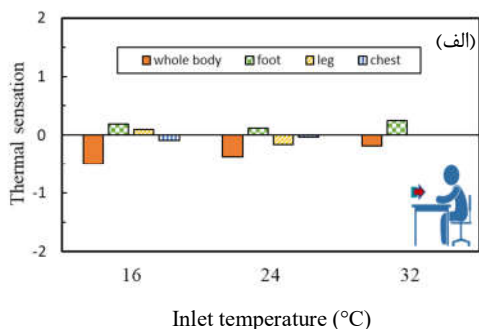
با تغییر جانمایی دریاچه سیستم تهویه انفرادی به زیر میز، احساس حرارتی عضو پا در پوشش B کمترین احساس را در طول آزمایش به خود اختصاص داده است و برای پوشش A تغییرات احساس حرارتی در نزدیکی احساس خنثی قرار گرفته است. همچنین، مشاهده می شود احساس حرارتی کل بدن افراد در محدوده احساس خنثی قرار گرفته است. این موضوع در حالی اتفاق افتاده که به ازای هر دو پوشش، بخش های ساق و پای افراد دارای احساسی کمتر از خنثی است. این موضوع نشان می دهد در صورتی که دمای سیستم تهویه انفرادی ۳۲ درجه سلسیوس باشد برای نواحی ساق و پای افراد، احساس حرارتی کمتر از خنثی رضایت بخش بوده و این موضوع منجر به این شده تا احساس حرارتی کل بدن افراد تحت تاثیر احساس حرارتی ساق و پا قرار نگیرد و در محدوده خنثی گزارش شود.

در شکل ۹ میانگین احساس حرارتی اعضای قفسه سینه، ساق، پا و کل بدن در دو پوشش A و B برای حالتی که دمای هوای دریاچه سیستم تهویه انفرادی با جانمایی روی میز برابر ۱۶، ۲۴ و ۳۲ درجه سلسیوس تنظیم شده است، نشان داده شده است. نتایج نشان می دهد که احساس حرارتی قفسه سینه با ایجاد غیر یکنواختی در ناحیه پا در پوشش B، به ازای هر سه دمای آزمایش کاهش می یابد. این روند کاهشی در پوشش B با شدت بیشتری در اعضا ساق و پا دیده می شود

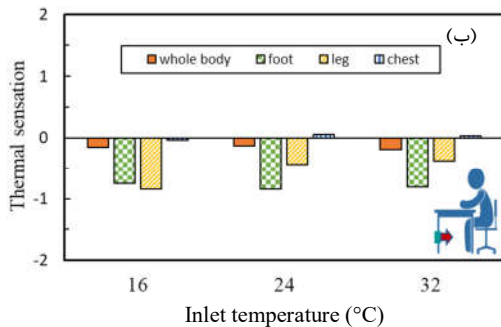
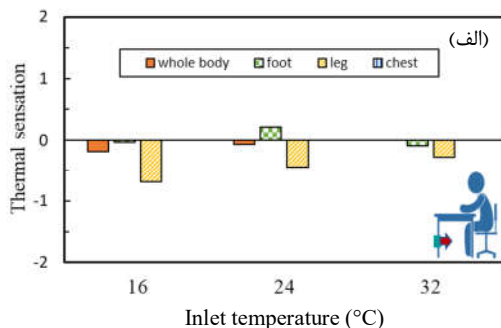


شکل ۷- تغییرات احساس حرارتی برای اعضا قفسه سینه، ساق، پا و کل بدن در دمای ۳۲ درجه سلسیوس در حالت جانمایی دریاچه روی میز پوشش A (ب) پوشش B

حدود ۱- می‌رسد و از آنجایی که احساس حرارتی مطلوب صرفاً در ناحیه ۰/۵ تا ۰/۵- تعریف شده است [۱۸]، لذا در ناحیه پا ناراحتی حرارتی رخ می‌دهد.



شکل ۹- تغییرات میانگین احساس حرارتی برای اعضا قفسه‌سینه، ساق، پا و کل بدن به ازای دمای ۱۶، ۲۴ و ۳۲ درجه سلسیوس و جانمایی دریاچه روی میز (الف) پوشش A (ب) پوشش B



شکل ۱۰- تغییرات میانگین احساس حرارتی برای اعضا قفسه‌سینه، ساق، پا و کل بدن به ازای دمای ۱۶، ۲۴ و ۳۲ درجه سلسیوس و جانمایی دریاچه روی میز (الف) پوشش A، (ب) پوشش B

تا حدی که میانگین احساس حرارتی در عضو پا به ازای دمای هوای ورودی از دریاچه ۱۶ و ۲۴ درجه سلسیوس به نزدیک عدد ۱- و احساس حرارتی کمی خنک رسیده است. همچنین، مشاهده می‌شود که احساس حرارتی کل بدن نیز همانند احساس‌های حرارتی سایر بخش‌های بدن، با تغییر پوشش و ایجاد غیر یکنواختی در ناحیه پا کاهش یافته است، می‌توان دلیل این امر را تاثیر پذیری احساس حرارتی کل بدن از احساس حرارتی اعضای ساق و پا دانست.

میانگین احساس حرارتی اعضای قفسه‌سینه، ساق، پا و کل بدن در حالت جانمایی دریاچه زیر میز به ازای دمای ۱۶، ۲۴ و ۳۲ درجه سلسیوس در شکل ۱۰ مشاهده می‌شود. میانگین احساس حرارتی قفسه‌سینه در هر دو پوشش A و B به علت دور بودن از دریاچه، بسیار نزدیک به خنثی می‌باشد. اما ورزش مستقیم هوای ورودی از دریاچه به ناحیه پا می‌تواند احساس حرارتی عضو ساق و پا را دستخوش تغییر سازد. این تغییرات به نحوی است که میانگین احساس حرارتی عضو ساق در هر دو پوشش از حالت خنثی، فاصله قابل توجهی دارد.

این در حالی است که میانگین احساس حرارتی عضو پا، وقتی افراد پوشش A را بر تن دارند، فقط در دمای ورودی ۲۴ و ۳۲ درجه سلسیوس کمی با حالت خنثی فاصله دارد؛ ولی هنگامی که افراد از پوشش B استفاده می‌کنند، فاصله میانگین احساس حرارتی پا از حالت خنثی بیشتر به چشم می‌خورد و تا نزدیکی احساس کمی خنک پیش می‌رود. بنابراین با نگاهی به نمودارهای موجود در شکل ۱۰ می‌توان دریافت که در حالت دریاچه زیر میز، عدم وجود پوشش در ناحیه پا، بیشترین تاثیر را بر احساس حرارتی عضو پا می‌گذارد و تاثیر کمی بر عضو ساق دارد. همچنین، با تغییر در جانمایی دریاچه از حالت روی میز به حالت زیر میز، میانگین احساس حرارتی کل بدن کاهش یافته و به حالت خنثی نزدیک‌تر شده است که نشان دهنده تاثیر پذیری احساس حرارتی کل بدن از احساس حرارتی اعضای بالاتنه می‌باشد.

۴- نتیجه‌گیری

در این پژوهش به بررسی اثر پوشش در ناحیه پا بر احساس حرارتی کلی و موضعی افراد تحت سیستم تهویه انفرادی پرداخته شده است. این بررسی در حالت‌های دمای هوای ورودی ۱۶، ۲۴ و ۳۲ درجه سلسیوس و به ازای دو حالت جانمایی دریاچه روی میز و زیر میز انجام گرفته است. افراد در هر یک از حالت‌های مذکور، یک بار با پوشش A (پوشش اداری متداول) و یک بار با پوشش B (فاقد کفش و جوراب) در آزمایش شرکت کردند. نتایج نشان داد که در حالت جانمایی دریاچه روی میز، هنگامی که افراد پوشش A را بر تن دارند، با تقریب خوبی احساس حرارتی اعضا در محدوده خنثی قرار دارد، اما اگر ناحیه پا فاقد پوشش باشد، افراد ریزش هوای ورودی از دریاچه را احساس می‌کنند و همین امر منجر به تغییر احساس حرارتی عضو پا نسبت به حالت خنثی می‌شود و احساس ناحیه پا به سمت احساس خنک سوق پیدا می‌کند. همچنین، نتایج نشان داد که در حالت قرارگیری دریاچه در زیر میز، به دلیل ورزش مستقیم هوای ورودی از دریاچه به ناحیه پا و ساق، احساس حرارتی این بخش‌ها به طور چشمگیری به نوع پوشش وابسته است؛ به طوری که چنانچه افراد فاقد کفش و جوراب باشند، احساس حرارتی ناحیه پا در شرایط جانمایی دریاچه در زیر میز به

smoothed whole-body sensation model. *Building and Environment*, Vol. 72, pp. 300-308, 2014.

[6] Chludzinska M. and Bogdan A., The effect of temperature and direction of airflow from the personalized ventilation on occupants' thermal sensations in office areas. *Building and Environment*, Vol. 85, pp. 277-286, 2015.

[7] Chen Y., Raphael B., and Sekhar S., Experimental and simulated energy performance of a personalized ventilation system with individual airflow control in a hot and humid climate. *Building and Environment*, vol. 96, pp. 283-292, 2016.

[8] He Y., Li N., Wang X., He M., and He D., Comfort, energy efficiency and adoption of personal cooling systems in warm environments: A field experimental study. *International Journal of Environmental Research and Public Health*, Vol. 14, No. 11, p. 1408, 2017.

[9] Rahmati B., Heidarian A., and Jadidi A. M., Investigation in performance of a hybrid under-floor air distribution with improved desk displacement ventilation system in a small office. *Applied Thermal Engineering*, Vol. 138, pp. 861-872, 2018.

[10] Fang Z., Liu H., Li B., Tan M., and Olaide O. M., Experimental investigation on thermal comfort model between local thermal sensation and overall thermal sensation. *Energy and Buildings*, Vol. 158, pp. 1286-1295, 2018.

[11] Zolfaghari A., and Teymoori S., Experimental investigation of the effects of inlet cooling air temperature on the occupants' local thermal sensation in the under-floor air distribution system. *Amirkabir Journal of Mechanical Engineering*, Vol. 53, No. 3, pp. 1-11, 2021.

[12] Ebrahimi Naghani P., Zolfaghari A., Maerefat M., Hooshmand S.M., and Teymoori S., Empirical assessment of air movement acceptability in an office with personalized ventilation system. In *28th Annual International Conference of Iranian Society of Mechanical Engineers-ISME2020*, Tehran, May 2020.

[13] Ebrahimi Naghani P., Zolfaghari A., Maerefat M., Toftum J., and Hooshmand S.M., Experimental Investigation of the effects of non-uniform clothing ensembles on the occupants' thermal perceptions under a local ventilation system. *International Journal of Air-Conditioning and Refrigeration*, Vol. 29, No. 2, pp. 1-14, 2021.

[14] Djongyang N., Tchinda R., and Njomo D., Thermal comfort: A review paper. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, Vol. 14, No. 9, pp. 2626-2640, 2010.

[15] Hodder S., Loveday D., Parsons K., and Taki A., Thermal comfort in chilled ceiling and displacement ventilation environments: vertical radiant temperature asymmetry effects. *Energy and Buildings*, vol. 27, no. 2, pp. 167-173, 1998.

[16] Schellen L., van Marken Lichtenbelt W., de Wit M., Loomans M., Frijns A., and Toftum J., Thermal comfort, physiological responses and performance during exposure to a moderate temperature drift. *Indoor Air*, vol. 2008, pp. 17-22, 2008.

[17] Cheng V., Ng E., Chan C., and Givoni B., Outdoor thermal comfort study in a sub-tropical climate: a longitudinal study based in Hong Kong. *International journal of Biometeorology*, vol. 56, no. 1, pp. 43-56, 2012.

[18] ASHRAE Standard 55-2010, *Thermal Environmental Conditions for Human Occupancy*. Atlanta, GA: American Society of Heating, Refrigeration and Air Conditioning, 2010.

همچنین، نتایج نشان داد که در شرایطی که دریاچه در زیر میز قرار می‌گیرد، پراکندگی احساس حرارتی بخش‌های مختلف بدن نسبت به حالت جانمایی دریاچه بر روی میز تا حدی افزایش می‌یابد. ضمن اینکه عدم وجود پوشش ناحیه پا، می‌تواند پراکندگی مقدار شاخص احساس حرارتی بخش‌های مختلف بدن را افزایش دهد. بر این اساس، اختلاف میان احساس حرارتی بخش‌های مختلف بدن در شرایط پوشش A و قرارگیری دریاچه بر روی میز حدود ۰/۵ واحد است؛ در حالی که این میزان در شرایط پوشش B و جانمایی دریاچه زیر میز به حدود دو برابر و مقدار ۱ واحد می‌رسد. به بیان دیگر، چنانچه بخش پا فاقد پوشش باشد و دریاچه نیز در زیر میز قرار گیرد، به هیچ وجه نمی‌توان احساس حرارتی همه بخش‌های بدن را در محدوده مناسب حفظ کرد. این در حالی است که در شرایط پوشش اداری متداول (پوشش A)، به ازای دمای ورودی ۲۴ و ۳۲ درجه سلسیوس می‌توان در هر دو حالت قرارگیری دریاچه روی میز و زیر میز، احساس حرارتی بخش‌های مختلف بدن را در محدوده آسایش نگه داشت. ولی، چنانچه دمای ورودی سیستم تهویه انفرادی ۱۶ درجه سلسیوس باشد و یا افراد فاقد پوشش در ناحیه پا باشند، نمی‌توان به شرایط حرارتی مطلوب در همه بخش‌های بدن دست یافت. همچنین، جمع‌بندی نتایج نشان داد که تغییرات احساس حرارتی بدن نسبت به دما خطی نیست و نیز این تغییرات، عضو به عضو متفاوت است. به عنوان مثال، در تحقیق حاضر مشاهده شد که در شرایط فاقد پوشش جوراب و حالت قرارگیری دریاچه در زیر میز، دمای ورزش تأثیر چشمگیری بر احساس ناحیه پا ندارد؛ در حالی که احساس ناحیه ساق پا به طور مشهودی به دمای ورزش وابسته است. این امر نشان‌دهنده آن است که در شرایط ورزش مستقیم، پای فاقد پوشش به هر حال دارای نارضایتی و احساس نزدیک به ۱- است؛ ولی احساس ناحیه ساق پا افزایش دمای هوای ورودی از ۱۶ به ۳۲ درجه سلسیوس، حدود ۰/۶ افزایش می‌یابد و از ۱- (عدم آسایش) به حدود ۰/۴- (محدوده آسایش) می‌رسد.

۵- مراجع

[1] Kaczmarczyk J., Melikov A., Bolashikov Z., Nikolaev L., and Fanger P. O., Human response to five designs of personalized ventilation. *HVAC&R Research*, Vol. 12, No. 2, pp. 367-384, 2006.

[2] Cheong K., Yu W., Sekhar S., Tham K., and Kosonen R., Local thermal sensation and comfort study in a field environment chamber served by displacement ventilation system in the tropics. *Building and Environment*, Vol. 42, pp. 525-533, 2007.

[3] Conceição E. Z., Lúcio M. M. J., Rosa S. P., Custódio A. L., Andrade R. L., and Meira M. J., Evaluation of comfort level in desks equipped with two personalized ventilation systems in slightly warm environments. *Building and Environment*, Vol. 45, pp. 601-609, 2010.

[4] Jin Q., Duanmu L., Zhang H., Li X., and Xu H., Thermal sensations of the whole body and head under local cooling and heating conditions during step-changes between workstation and ambient environment. *Building and Environment*, Vol. 46, pp. 2342-2350, 2011.

[5] Zhao Y., Zhang H., Arens E. A., and Zhao Q., Thermal sensation and comfort models for non-uniform and transient environments, part IV: adaptive neutral setpoints and