Iranian Journal of Ergonomics

Iran J Ergon, 2023; 11(2): 90-100

https://journal.iehfs.ir/

Original Article

Performance of Vests based on Nanofibers and Packages of Phase Change Materials to Reduce Thermal Stress in a Hot Work Environment: An Experimental Study

Ali Davoodizadeh[1], Mohsen Aliabadi[2,*], Majid Habibi Mohraz[2], Maryam Farhadian[3], Masoud Shafiee Motlagh[2]

[1] Department of Occupational Health Engineering, Occupational Health and Safety Research Center, School of Public Health, Research Center for Health Sciences, Hamadan University of Medical Sciences, Hamadan, Iran
[2] Center of Excellence for Occupational Health Engineering, Occupational Health and Safety Research Center, Hamadan University of Medical Sciences, Hamadan, Iran
[3] Department of Biostatistics, School of Public Health, Research Center for Health Sciences, Hamadan University of Medical Sciences, Hamadan, Iran

Article History:
Received: 18/05/2023
Revised: 21/07/2023
Accepted: 24/07/2023
ePublished: 22/09/2023

***Corresponding author:** Mohsen Aliabadi, Center of Excellence for Occupational Health Engineering, Occupational Health and Safety Research Center, Hamadan University of Medical Sciences, Hamadan, Iran.
Email: mohsen.aliabadi@umsha.ac.ir

Abstract

Objectives: This study aimed to investigate the effectiveness of cooling vests based on nanofibers and packages of phase change materials (PCM) in reducing the thermal stress of medical personnel in hot workplaces.

Methods: In this experimental study, 20 males were exposed to 10 combined scenarios of temperatures of 24°C and 32°C in a room simulating atmospheric conditions and having 5 samples of cooling vests. Physiological parameters, including skin surface temperature, tympanic temperature, and oral temperature were measured before and after exposure to air temperature conditions by simulating the activity metabolism of hospital workers. The normal distribution of the data was checked with the Kolmogorov-Smirnov test, and the analysis of the effect of the scenarios was performed through the analysis of variance with repeated measurements.

Results: The results confirmed that in the condition without a vest, the air temperature of 32°C compared to the air temperature of 24°C had a greater effect in increasing the tympanic body temperature ($P<0.05$). The significant effect of using nanofiber vests along with PCM packages was observed in reducing skin temperature, tympanic temperature, and oral temperature in hot temperature conditions with effect sizes of 0.498, 0.568, and 0.349, respectively ($P<0.05$). The effect size of increasing the air temperature was lower than that of the type of cooling vests on the physiological responses, indicating that the effectiveness of the designed vests is enhanced with an increase in temperature ($P<0.05$).

Conclusion: The use of nanofiber cooling vests and PCM packages is effective in maintaining the body temperature stability of medical personnel in hot environments due to ideal weight and acceptable effect size.

Keywords: Cooling vest; Hot conditions; Nanofibers; Phase change materials

Copyright © 2023 Iranian Journal of Ergonomics. This is an open-access article distributed under the terms of the Creative Commons Attribution-NonCommercial 4.0 International License (http://creativecommons.org/licenses/by-nc/4.0/) which permits copy and redistribute the material just in noncommercial usages, provided the original work is properly cite

Extended Abstract

Background and Objective

The use of local cooling protocols as one of the personal protection methods in the improvement of movement functions, vision, fatigue, and situational awareness of workers in a hot environment has been widely studied. One of the new cooling methods is the use of cooling vests containing phase change materials (PCMs). The present study aimed to assess the effectiveness of cooling vests containing nanofibers and PCM packages in reducing the thermal stress of medical personnel in hot workplaces.

Materials and Methods

In this experimental study, 20 male students in the age range of 18-30 years were selected. The location of this research was the conditioning chamber of the thermal stress laboratory of the Faculty of Public Health, Hamedan University of Medical Sciences. An airflow speed of 0.2 m/s was also considered. The temperature of dry air in the summer was randomly applied in two temperature ranges of 24°C and 32°C, and the relative humidity was regarded as 40%. PCM/POLYMER nanofibers were produced using the electrospinning method, which produces nanofibers with diameters ranging from 3 nm to 1 mm. PAN (polyacrylonitrile), PVDF (polyvinylidene fluoride), and 6PA (polyamide six) were used as the shell (shell part). PEG1000 (polyethylene glycol 1000) as a PCM material was one of the pilot choices as the core (core part) of nanofibers. PCM packages with specific dimensions and silicone coatings containing PCM, in this case, high-purity paraffin or PEG1000, were packed in the amount of 100 grams per pack. In the designed vest, eight packs are used: four packs in the front part and four packs in the back part of the vest. In this study, 10 scenarios were designed. Nine combined scenarios, including exposure to physical temperature parameters at two levels of 24°C and 32°C with Wet Bulb Globe Temperature (WBGT) Index of 20°C and 24°C and one scenario of reference conditions without control interventions. According to the conducted studies, the average metabolism of the treatment staff in the summer was considered in the average range of 165 W/m², and the treadmill speed was regarded to be 4 km/h with a zero percent slope. Firstly, the body mass index was measured; thereafter, skin surface temperature, tympanic temperature, and oral temperature were measured before and after wearing the vest and performing an activity similar to the activity of the treatment staff in the hospital or conditions with moderate metabolism. After data collection, they were analyzed using SPSS software (version 22).

Results

Scenario 1 (vests with PCM/POLYMER fabrics and PCM packs (PCM-cool-vest) had the largest effect size in reducing the skin temperature difference after exposure compared to the baseline state in comparison with other scenarios. The effect sizes were obtained as 0.136 and 0.498 at 24°C and 32°C, respectively. In addition, at 32°C, this vest was more effective in cooling compared to a temperature of 24°C. In reference conditions without a vest, the air temperature of 32°C compared to the air temperature of 24°C had a greater effect in increasing the tympanic body temperature. Scenario 1 had the largest effect size in reducing the tympanic temperature difference after exposure compared to the baseline in comparison with other scenarios. The effect sizes were 0.206 and 0.565 at 24°C and 32°C, respectively. In addition, by increasing the temperature to 32°C, this vest was more effective in cooling compared to 24°C. In reference conditions without a vest, the air temperature of 32°C compared to the air temperature of 24°C had a greater effect on increasing oral temperature. Therefore, the oral temperature of people with a temperature of 32°C has increased more. Scenario 1 had the largest effect size in reducing the difference in oral temperature after exposure compared to the baseline in comparison with other scenarios. The effect sizes of 0.412 and 0.349 were observed at 24°C and 32°C, respectively. Moreover, at 32°C, this vest was more effective in cooling compared to 24°C.

Discussion

The use of cooling methods, including cooling vests, is recommended as one of the effective self-care solutions in dealing with heat for people living in hot environments. The results showed that the three scenarios, including the vest containing PCM fabrics (pcm-vest), did not have a significant effect in reducing body temperature when exposed to heat. Therefore, from a practical aspect, the use of PCM packages can provide a much better performance for hospital staff compared to PCM fibers. Nonetheless, vests with PCM/POLYMER fabric and the simultaneous use of PCM packs (PCM-cool-vest) had the greatest effect in reducing body temperature when exposed to heat. The use of PCM in the inner wall of cooling vest fabrics and, as a result, the reduction of the fabric's thermal transfer coefficient effectively increases the heat absorption capacity of PCM. Among the important achievements of this research, w can refer to the significant effect of using this type of vest in creating the thermal stability of the body, with effect sizes of 0.498, 0.568, and 0.349, respectively, in reducing average skin temperature, as well as tympanic and oral temperature, compared to non-intervention conditions. The results showed that within the range of combined conditions of temperature and vests studied, The effect size of increasing the air temperature was lower than that of the type of cooling vests on the physiological responses, indicating that the effectiveness of the designed vests is enhanced with an increase in temperature and its effect on improving the physiological responses of people is significant.

Conclusion

The results of the preset study recommend the use of nanofiber cooling vests along with PCM packages for the treatment staff in hot environments due to their ideal weight and acceptable effect size.

Please cite this article as follows: Davoodizadeh A, Aliabadi M, Habibi Mohraz M, Farhadian M, Shafiee Motlagh M. Performance of Vests based on Nanofibers and Packages of Phase Change Materials to Reduce Thermal Stress in a Hot Work Environment: An Experimental Study. *Iran J Ergon*. 2023; 11(2): 90-100.

مجله ارگونومی
دوره ۱۱، شماره ۲، تابستان ۱۴۰۲، صفحات: ۹۰-۱۰۰
https://journal.iehfs.ir
UMSHA Press

مقاله پژوهشی

عملکرد جلیقه‌های مبتنی بر نانوالیاف و بسته‌های تغییرفازدهنده در کاهش تنش‌های حرارتی در محیط کاری گرم: یک مطالعه‌ی تجربی

علی داوودی زاده[۱]، محسن علی آبادی[۲،*]، مجید حبیبی محرز[۲]، مریم فرهادیان[۳]، مسعود شفیعی مطلق[۲]

[۱] گروه مهندسی بهداشت حرفه‌ای، مرکز تحقیقات بهداشت و ایمنی شغلی، دانشکده‌ی بهداشت، دانشگاه علوم پزشکی همدان، همدان، ایران
[۲] قطب علمی آموزشی مهندسی بهداشت حرفه‌ای، مرکز تحقیقات بهداشت و ایمنی شغلی، دانشکده‌ی بهداشت، دانشگاه علوم پزشکی همدان، همدان، ایران
[۳] گروه آمار زیستی، مرکز تحقیقات علوم بهداشتی، دانشکده‌ی بهداشت، دانشگاه علوم پزشکی همدان، همدان، ایران

تاریخ دریافت مقاله: ۱۴۰۲/۰۲/۲۸
تاریخ داوری مقاله: ۱۴۰۲/۰۴/۳۰
تاریخ پذیرش مقاله: ۱۴۰۲/۰۵/۰۲
تاریخ انتشار مقاله: ۱۴۰۲/۰۶/۳۱

تمامی حقوق نشر برای دانشگاه علوم پزشکی همدان محفوظ است.

* **نویسنده مسئول:** محسن علی آبادی، قطب علمی آموزشی مهندسی بهداشت حرفه‌ای، مرکز تحقیقات بهداشت و ایمنی شغلی، دانشکده‌ی بهداشت، دانشگاه علوم پزشکی همدان، همدان، ایران.
ایمیل: mohsen.aliabadi@umsha.ac.ir

چکیده

اهداف: هدف از این مطالعه بررسی اثربخشی جلیقه‌های خنک‌کننده‌ی مبتنی بر نانوالیاف و بسته‌های مواد تغییرفازدهنده (PCM) در کاهش تنش‌های حرارتی شاغلان کادر درمان در محیط‌های کاری گرم است.

روش کار: در این مطالعه‌ی تجربی، ۲۰ نفر از مردان در اتاقک شبیه‌سازی شرایط جوی با قابلیت تنظیم دما در ۲۴ درجه‌ی سانتی‌گراد به‌عنوان شرایط مرجع و ۳۲ درجه‌ی سانتی‌گراد در قالب ۱۰ سناریو ترکیبی، همراه با ۵ نمونه‌ی جلیقه‌ی خنک‌کننده‌ی ساخته‌شده قرار گرفتند. پارامترهای فیزیولوژیکی شامل دمای پوست، تمپانیک و دهانی قبل و بعد از مواجهه با شرایط دمایی شبیه‌سازی متابولیسم فعالیت شاغلان بیمارستان اندازه‌گیری شد.

یافته‌ها: در شرایط بدون جلیقه، دمای هوای ۳۲ درجه‌ی سانتی‌گراد در مقایسه با دمای هوای ۲۴ درجه‌ی سانتی‌گراد، اندازه‌ی اثر بزرگ‌تری در افزایش دمای تمپانیک بدن ایجاد کرد ($P<۰/۰۵$). تأثیر معنی‌دار استفاده از جلیقه‌ی نانوالیاف به همراه استفاده از بسته‌های مواد PCMبا اندازه‌ی اثر ۰/۴۹۸، ۰/۵۶۸ و ۰/۳۴۹، به‌ترتیب، در کاهش دمای پوست، تمپانیک و دهانی در شرایط دمایی گرم مشاهده شد ($P<۰/۰۵$). اندازه‌ی اثر افزایش دمای هوا کمتر از اندازه‌ی اثر نوع جلیقه‌ی خنک‌کننده بر پاسخ‌های فیزیولوژیکی بود و نشان‌دهنده‌ی این موضوع بود که اثربخشی جلیقه‌های طراحی‌شده با افزایش دما، افزایش می‌یابد ($P<۰/۰۵$).

نتیجه‌گیری: به‌کارگیری جلیقه‌های خنک‌کننده‌ی نانوالیاف و بسته‌های PCM با توجه به وزن مناسب و با اندازه‌ی اثر پذیرفتنی، در حفظ ثبات دمایی بدن شاغلان کادر درمان در محیط‌های گرم مؤثر است.

کلید واژه‌ها: جلیقه‌ی خنک‌کننده؛ شرایط گرم؛ مواد تغییرفازدهنده‌ی PCM؛ نانوالیاف

استناد: داوودی زاده، علی؛ علی آبادی، محسن؛ حبیبی محرز، مجید؛ فرهادیان، مریم؛ شفیعی مطلق، مسعود. عملکرد جلیقه‌های مبتنی بر نانوالیاف و بسته‌های تغییرفازدهنده در کاهش تنش‌های حرارتی در محیط کاری گرم: یک مطالعه‌ی تجربی. مجله ارگونومی، تابستان ۱۴۰۲؛۱۱(۲): ۹۰-۱۰۰.

مقدمه

به‌کارگیری برنامه‌ی حفاظت حرارتی در محیط کار، به‌منظور کاهش استرس‌های حرارتی و همچنین، اقدامات مراقبت فردی برای کاهش استرین‌های ناشی از مواجهه با گرما ضروری به نظر می‌رسد [۱،۲]. واتسون از سال ۱۹۵۹، به‌کارگیری پروتکل‌های خنک‌سازی موضعی را به‌عنوان یکی از روش‌های حفاظت فردی در بهبود عملکردهای حرکتی، بینایی، خستگی و آگاهی موقعیتی شاغلان بررسی کرده است و تا به امروز، پیشرفت‌های چشمگیری در زمینه‌ی روش‌های خنک‌سازی رخ داده است [۳]. از جمله روش‌های نوین خنک‌سازی استفاده از جلیقه‌های خنک‌کننده‌ی مبتنی بر جریان سیال و مبتنی بر مواد تغییر فازدهنده (PCM) phase change

material) است. جلیقه‌های مبتنی بر مواد تغییرفازدهنده دارای محاسن بسیار زیادی هستند؛ به همین دلیل، بر استفاده از این وسایل بسیار تأکید می‌شود و اثربخشی آن‌ها در کاهش استرس‌های حرارتی از طریق کاهش دمای سطح پوست، کاهش ضربان قلب و در نهایت، کاهش دمای عمقی بدن بررسی و تأیید شده است [۴]. جلیقه‌های خنک‌کننده‌ی مبتنی بر مواد تغییرفازدهنده به‌عنوان راه‌حلی بالقوه، با ایجاد آسایش حرارتی، به افزایش عملکرد کارگران منجر می‌شوند و امکان فعالیت فیزیکی عادی را در محیط‌های گرم، حتی با دمای بالاتر از ۴۵ درجه‌ی سانتی‌گراد، بهبود می‌بخشند [۵, ۶].

در خصوص اثربخشی جلیقه‌های خنک‌کننده، مطالعات گسترده در جوامع گوناگون صورت گرفته است؛ به‌طور مثال، در مطالعه‌ای که سیوها و همکاران در سال ۲۰۲۳، درباره‌ی ۱۰ نفر از کارکنان محیطی صنعتی صورت دادند، مشخص شد که تأثیر این نوع جلیقه‌ها بر کاهش پاسخ‌های فیزیولوژیک افراد شاغل در محیطی با دمای ۳۵ درجه‌ی سانتی‌گراد، معنی‌دار است، درصورتی‌که در عملکرد شناختی افراد تفاوت معنی‌داری مشاهده نشد [۷]. همچنین، در مطالعه‌ای که کورته و همکاران در سال ۲۰۲۳، درباره‌ی ۱۷ نفر از پرستاران بیمارستانی در دو شیفت صورت دادند، مشخص شد که آسایش حرارتی و فشار روانی ناشی از حرارت در زمان بهره‌گیری از جلیقه‌های خنک‌کننده، به‌طور معنی‌داری، کاهش پیدا می‌کند [۸]. در مطالعه‌ای که رویلوفسن و همکاران در سال ۲۰۲۳، درباره‌ی جمعی از کارگران ساختمانی صورت دادند، مشخص شد که بهره‌گیری از جلیقه‌های خنک‌کننده‌ی مبتنی بر مواد تغییرفازدهنده تأثیر معنی‌داری بر کاهش بار حرارتی و احساس حرارتی افراد می‌گذارد [۹].

یکی از موضوعات مهم در به‌کارگیری جلیقه‌های خنک‌کننده بهبود کارایی آن‌ها از لحاظ قدرت خنک‌کنندگی، مدت استفاده و سبک بودن است. استفاده از نانوالیاف در تولید پارچه‌ها و لباس‌ها در حال توسعه‌ی روزافزون است. در برخی مطالعات، از مواد تغییرفازدهنده در ساختار تولید الیاف، به‌عنوان پارچه‌های هوشمند، استفاده شده است که می‌تواند به تغییر خصوصیات حرارتی، همچون ضریب انتقال حرارت، ظرفیت گرمای ویژه و نهان پارچه منجر شود. بااین‌حال، درباره‌ی استفاده از این نوع پارچه‌ها در تهیه‌ی لباس‌های خنک‌کننده کمتر مطالعه شده است. مواد PCM موادی با رفتار حرارتی متفاوت و با قابلیت ذخیره‌ی انرژی حرارتی هستند که در حالت جامد، دمای نهان پایین‌تر از آنتالپی خود دارند و در حین ذوب شدن، دمای نهان آن‌ها افزایش می‌یابد؛ ولی نرخ افزایش دمای نهان کاملاً صعودی نیست [۱۰]. از جمله مواد PCM که با توجه به بررسی متون مختلف، شانس استفاده در این مطالعه را داشتند، موادی چون PAN (پلی‌اکریلونیتریل)، PVP (پلی‌وینیل‌پیرولیدون)، PA6 (پلی‌آمید۶) و PVDF (پلی‌وینیلیدین فلوراید) بودند که نتایج آزمایش، PVA (پلی‌وینیل‌الکل) را ترکیبی آب‌گریز با ضریب انتقال حرارتی ۱۰/۹ وات بر متر بر درجه‌ی کلوین نشان داد و PVDF را ترکیبی آب‌گریز با دوام بالا و ضریب انتقال حرارتی برابر با PVA نشان داد [۱۱]. همچنین، مشخص شد که نانوالیاف ساخته‌شده‌ی PEG/PVDF (پلی‌اتیلن‌گلیکول) پایداری حرارتی و مقاومت فیزیکی خوبی دارد [۱۱, ۱۲]. با عنایت به بررسی‌های انجام‌گرفته، از ترکیبات پلیمری PVDF به‌دلیل خاصیت پیزوالکتریک بالا، سازگاری با محیط‌زیست، دوام و انعطاف پذیری بالا و اختصاص نتایج امیدوارکننده [۱۲] در مطالعه‌ی حاضر، به‌عنوان کپسول‌های نگهدارنده‌ی مواد PCM در تکنیک الکترواسپینینگ بهره گرفته خواهد شد. روش الکتروریسی (الکترواسپینینگ) قادر به تولید نانوالیافی به قطر کمتر از ۳ نانومتر تا بیش از ۱ میلی‌متر است [۱۳]. گفتنی است که تعیین تأثیرخصوصیات مختلف مواد تغییرفازدهنده، از جمله ظرفیت گرمای نهان، دمای ذوب و همچنین، نحوه‌ی به‌کارگیری آن‌ها به‌صورت بسته‌های خنک‌کننده یا الیاف هوشمند خنک‌کننده بر ایجاد آسایش حرارتی شاغلان، نیازمند مطالعات تجربی و آزمایشگاهی است؛ در نتیجه، هدف از این طرح تحقیقاتی بررسی اثربخشی روش نوینی مبتنی بر مواد تغییرفازدهنده (PCM) به‌صورت الیاف هوشمند با بهره‌گیری از نانوالیاف هسته‌پوسته در مقایسه با بسته‌های PCM خنک‌کننده در شرایط دمایی مختلف بر کاهش تنش‌های حرارتی شاغلان کادر درمان در بیمارستان‌ها است.

روش کار

جامعه‌ی مورد مطالعه

این مطالعه‌ی تجربی در سال ۱۴۰۱، در دانشگاه علوم پزشکی همدان انجام شد. تعداد ۲۰ نفر از دانشجویان مرد، در محدوده‌ی سنی ۱۸ تا ۳۰ سال انتخاب شدند. محل انجام این پژوهش اتاقک شرایط سازی آزمایشگاه تنش حرارتی دانشکده‌ی بهداشت دانشگاه علوم پزشکی همدان بود. شرکت‌کنندگان از لحاظ وضعیت سلامت روانی و جسمانی (نداشتن پیشینه‌ی مصرف موادمخدر و سیگار، نداشتن سابقه‌ی مصرف داروهای قلبی، ضدافسردگی و آرام‌بخش و سایر داروها، مبتلا نبودن به کوررنگی، برخورداری از شنوایی و بینایی طبیعی، نداشتن سابقه‌ی بیماری‌های قلبی‌عروقی، مشکلات تنفسی و اختلالات خواب)، وضعیت تحصیلی، وزن، قد و سایر مشخصات دموگرافیک، از طریق پرسش‌نامه‌ی محقق‌ساخته و مصاحبه، بنا بر اظهارات شخصی، بررسی شدند.

قبل از شروع آزمایش‌ها، با توجه به مصوبه‌ی کمیته‌ی اخلاق دانشگاه علوم پزشکی همدان (IR.UMSHA.REC.1401.012)، از داوطلبان شرکت‌کننده در پژوهش رضایت‌نامه‌ی شرکت در طرح اخذ و مستندسازی شد. پس از انتخاب نهایی افراد واجد شرایط، در روز قبل از آزمایش‌ها، به افراد گفته شد که خواب و استراحت کافی داشته باشند، رژیم غذایی معمولی را رعایت کنند و از مصرف دارو، قهوه و مواد کافئین‌دار بپرهیزند. در روز آزمون، پرسش‌نامه‌ی اطلاعات دموگرافیک بین افراد توزیع و پس از تکمیل شدن، جمع آوری شد.

طراحی جلیقه‌های مبتنی بر PCM (نانوالیاف PCM/Polymer)

روش تولید نانوالیاف PCM/POLYMER

تمام مراحل تولید نانوالیاف PCM/POLYMER شامل محلول سازی و ساخت پلیمر با نسبت‌های آزمایش‌شده و تصویربرداری‌شده بود. لایه‌ی نانوالیاف با بهره‌گیری از روش الکتروریسی ایجاد شد. این روش قابلیت تولید نانوالیافی با قطرهایی در محدوده‌ی ۳ نانومتر تا ۱ میلی‌متر را دارد.

به‌منظور حفظ لایه‌ی نانو از صدمات فیزیکی، این لایه بین دو لایه از پارچه‌ی اسپان به‌صورت ساندویچی قرار داده شد. تمام این مراحل در دانشگاه علوم پزشکی همدان انجام گرفت. بررسی‌هایی به عمل آمد که در نتیجه‌ی آن‌ها، از PAN (پلی‌آکریلو نیتریل)، PVDF (پلی‌وینیلیدین‌فلوراید) و PA6 (پلی‌آمید۶) به‌عنوان پوسته (قشر بیرونی و محافظ بخش هسته) استفاده شد. با توجه به خصوصیات کشش، مقاومت فیزیکی، حلالیت در آب، ممانعت از نشت PCM و مقاومت در برابر تغییرات دمایی، پوسته به‌صورت پایلوت تهیه شد و پس از تست‌های آزمایشگاهی، بهترین نمونه انتخاب شد. PEG-1000 (پلی‌اتیلن‌گلیکول ۱۰۰۰) نیز به‌عنوان ماده‌ی PCM، یکی از انتخاب‌های پایلوت به‌عنوان هسته‌ی (بخش درونی الیاف که پلیمر پوسته آن را احاطه کرده است) نانوالیاف بود که طبق بررسی‌های صورت‌گرفته و ویژگی‌هایی چون غیرسمی بودن، واکنش‌پذیری بسیار پایین و دوستدار طبیعت بودن، از جمله انتخاب‌های خوب بود که با توجه به بررسی متون مرتبط، هسته‌ی نانوالیاف ساخته‌شده در این مطالعه در نظر گرفته شد. مشخصات مواد تغییرفازدهنده و سایر مواد در جدول ۱ ارائه شده است. نانوالیاف تولیدشده در جدار میانی پارچه‌های پلیمری، پارچه‌هایی که به‌صورت تجاری تهیه شدند و در ساخت گان‌های کادر درمان از آن بهره‌گیری می‌شود (اسپان)، قرار گرفت و بسته‌های PCM در فضای داخلی جلیقه‌ها جاسازی شدند، به گونه‌ای که از سمت خارج جلیقه، افزایش ضریب انتقال حرارت و از سمت فضای میکروکلایمت داخلی جلیقه، کاهش ضریب انتقال حرارت را ایجاد کنند.

روش تهیه‌ی بسته‌های PCM

بسته‌های PCM با ابعاد مشخص و بهره‌گیری از پوشش‌های سیلیکونی حاوی PCM تهیه شدند. در این مورد نیز پارافین با خلوص بالا یا PEG-1000 مطابق با مشخصات حرارتی جدول ۱، به مقدار ۱۰۰ گرم در هر بسته قرار داده شد. در جلیقه‌ی طراحی‌شده، ۸ بسته (۴ بسته در قسمت قدامی و ۴ بسته در قسمت خلفی) استفاده شد و پس از شارژ (فریز شدن)، در جلیقه‌های ساخته‌شده با نانوالیاف پلیمری، به‌صورت ساندویچی، در بسترهای پارچه‌ای جایابی شد و در اتاقک تنظیم شرایط جوی آزمایش شد (مطابق با شکل ۱).

جدول ۱: مشخصات مواد شیمیایی مورد استفاده در تهیه‌ی جلیقه‌های خنک‌کننده

نام	فرمول مولکولی	CAS	وزن مولکولی	نقطه‌ی ذوب	گرمای نهان ذوب
Polyethylene glycol (1000)	$HO(C_2H_4O)nH$	۳-۶۸-۳۵۳۲۲	g/mol۱۰۵۰-۹۵۰	۴۰-۳۵	Kj/Kg۱۴۲
Polyvinylidene fluoride	n(CH2CF2)	۴۲۷۱۷۹	g/mol۲۳۵۰	۱۷۷	-
Paraffin wax	CnH2n+2	۲-۷۴-۸۰۰۲	g/mol۳۵۰	۶۴-۴۴	Kj/Kg۱۹۰

شکل ۱: محیط آزمایشگاهی و آزمودنی‌ها و تصویر جلیقه‌های طراحی‌شده بر مبنای بسته‌های PCM

روش شبیه‌سازی کار در محیط گرم بیمارستان

تمامی آزمایش‌ها در اتاقک شرایط‌سازی موجود در آزمایشگاه تنش حرارتی دانشکده‌ی بهداشت صورت گرفت. بر اساس استاندارد ASHREA، دمای خشک هوا برای شرایط استفاده در محیط‌های گرم داخل بیمارستان در تابستان، بین ۲۰ تا ۲۴ درجه‌ی سانتی‌گراد و رطوبت نسبی داخلی در تابستان، ۳۰ تا ۶۰ درصد است. سرعت جریان هوا نیز ۰/۲ متر بر ثانیه در نظر گرفته شد. دمای هوای خشک در فصل تابستان، در رنج دمایی ۲۴ تا ۳۲ درجه‌ی سانتی‌گراد و به‌صورت تصادفی تنظیم شد و رطوبت نسبی ۴۰ درصد در نظر گرفته شد.

در ابتدا، شاخص توده‌ی بدنی اندازه گرفته شد. سپس، پارامترهای دمای سطح پوست، نرخ ضربان قلب، تغییرپذیری ضربان قلب، دمای تمپانیک، فشارخون و وزن جلیقه قبل و بعد از پوشیدن جلیقه و انجام فعالیتی مشابه با فعالیت کادر درمان در بیمارستان یا شرایطی با متابولیسم کم و متوسط، اندازه‌گیری شد.

با توجه به مطالعات انجام‌شده، میانگین متابولیسم کادر درمان در فصل تابستان، در محدوده‌ی متوسط، برابر با ۱۶۵ وات بر مترمربع در نظر گرفته می‌شود. با توجه به مقادیر توصیه‌شده در روش استاندارد ISO8996، سرعت تردمیل ۴ کیلومتر بر ساعت در نظر گرفته شد و شیب آن صفر درجه بود.

روش انجام آزمون‌ها

در این مطالعه، ۱۰ سناریو طراحی شد: ۹ سناریو ترکیبی شامل مواجهه با پارامترهای فیزیکی دما در دو سطح ۲۴ و ۳۲ درجه‌ی سانتی‌گراد با دمای تر گویسان ۲۰ و ۲۴ درجه‌ی سانتی‌گراد و ۱ سناریو شرایط مرجع بدون مداخلات کنترلی. به‌گونه‌ای که بدون در نظر گرفتن شرایط دمایی اتاقک، هر فرد ۵ بار آزموده شد. در مرحله‌ی نخست، فرد با پوشش متداول (پیراهن نخی و شلوار)، به مدت ۳۰ دقیقه، در شرایط شبیه‌سازی‌شده، روی تردمیل راه رفت و پاسخ‌های فیزیولوژیک وی به‌عنوان شرایط مرجع، در هر دما اندازه‌گیری و ثبت شد. فرایند اجرای آزمون‌ها در شکل ۲ ارائه شده است.

شکل ۲: فلوچارت فرایند انجام آزمون‌های مطالعه

با توجه به توصیه‌ی سازمان ASHRAE در سال ۱۹۹۲ که شرایط آسایش حرارتی بهینه در فصل زمستان و تابستان را ارائه کرد [۱۴]، در این پژوهش، قبل از ورود افراد به اتاقک شرایط‌سازی و با توجه به اینکه پژوهش در فصل زمستان انجام شد، شرایط سازش دمایی ۲۲ درجه‌ی سانتی‌گراد در نظر گرفته شد. داوطلبان برای اجرای آزمایش‌ها، ۱۰ بار و هر بار، به مدت ۳۰ دقیقه، در اتاقک حاضر شدند. مواجهه با شرایط ترکیبی جلیقه و دما برای افراد به‌صورت تصادفی انجام شد. رطوبت نسبی اتاقک ۵۰ درصد و سرعت جریان هوا ۰/۲ متر بر ثانیه بود. در تمام آزمایش‌ها، طبق استاندارد ISO9920، مقاومت لباس ۰/۷۵ کلو در نظر گرفته شد [۱۵]. قبل از ورود فرد به اتاقک شرایط‌سازی، پارامترهای فیزیولوژیکی نظیر دمای سطحی بدن، دمای پوست، دمای تمپانیک و دمای دهانی مواجهه به مدت ۱۰ دقیقه اندازه‌گیری و به‌عنوان پارامترهای پایه ثبت شدند. سپس، افراد وارد اتاقک شرایط‌سازی شدند. قبل از ورود داوطلبان، شرایط ترکیبی جلیقه و دما تنظیم شده بود. افراد به مدت ۳۰ دقیقه، روی تردمیل با سرعت و شیب یکسان پیاده‌روی کردند و در نهایت، پارامترهای فیزیولوژیکی دوباره اندازه‌گیری شدند.

در این پژوهش، پارامترهای فیزیولوژیکی شامل میانگین وزنی دمای سطحی بدن و پارامترهایی چون دمای گردن، کتف راست، دست چپ و ساق راست، دمای تمپانیک افراد قبل و بعد از مواجهه و هر ۱۰ دقیقه یک بار، اندازه‌گیری شد. برای اندازه‌گیری دمای سطحی بدن، از دستگاه ترموویژن FLIR TG165 با محدوده‌ی تصویربرداری ۲۵- تا ۳۸۰ درجه‌ی سانتی‌گراد استفاده شد. برای اندازه‌گیری دمای گوش، از دماسنج لیزری مدل Emperor-NET100 ساخت کشور کره استفاده شد. این ترمومتر درجه‌ی گرمی و سردی گوش را که همان پرده‌ی گوش است، مشخص می‌کند.

تحلیل‌های آماری

داده‌ها پس از جمع‌آوری، با نرم‌افزار آماری SPSS نسخه‌ی ۲۲ تجزیه‌وتحلیل شدند. در این مطالعه، در مواردی که توزیع متغیرها نرمال بود، از آزمون آنالیز واریانس با اندازه‌گیری مکرر استفاده شد و در صورت نرمال نبودن توزیع داده‌ها، آزمون t زوجی به کار رفت. سطح معناداری برای همه‌ی آزمون‌ها کمتر از ۰/۰۵ در نظر گرفته شد. منظور از اندازه‌ی اثر در یافته‌ها اختلاف سطح پاسخ‌های فیزیولوژیک بدن آزمودنی‌ها در هر سناریو نسبت به شرایط مرجع است.

یافته‌ها

در این مطالعه، میانگین و انحراف معیار سن آزمودنی‌ها ۲۲/۲۵±۲/۳۸ سال، قد ۱۶۹/۸۷±۸/۲۹ سانتی‌متر، وزن ۶۵/۷۰±۸/۶۴ کیلوگرم و شاخص توده‌ی بدنی ۲۲/۶۸±۱/۷۶ کیلوگرم بر مترمربع بود. نتایج نشان داد که مطابق با جدول ۲، در شرایط مرجع بدون جلیقه و دمای ۳۲ درجه، در مقایسه با دمای ۲۴، اندازه‌ی اثر بزرگ‌تری در افزایش دمای پوست بدن وجود دارد. بنابراین، دمای پوست افراد در دمای ۳۲ درجه، دچار افزایش بیشتری شده است. سناریو ۱ (جلیقه‌هایی با پارچه‌ی PCM/POLYMER و بسته‌های PCM) دارای بیشترین اندازه‌ی اثر در کاهش اختلاف دمای پوست بعد از مواجهه، نسبت به حالت پایه، در مقایسه با سایر سناریوها بود. در این سناریو، در دمای ۲۴ درجه، اندازه‌ی اثر ۰/۱۳۶ و در دمای ۳۲ درجه، اندازه‌ی اثر ۰/۴۹۸ بود. علاوه بر این، در دمای ۳۲ درجه، این جلیقه کارایی بیشتری در خنک‌کنندگی در مقایسه با دمای ۲۴ درجه داشت.

سناریو ۲ (جلیقه‌هایی با پارچه‌ی POLYMER و بسته‌های PCM) دارای اندازه‌ی اثر قابل ملاحظه‌ای در کاهش اختلاف دمای پوست بعد از مواجهه، نسبت به حالت پایه بود که به‌ترتیب، برای دمای ۳۲ درجه، ۰/۲۳۸ و برای دمای ۲۴ درجه، ۰/۱۱۲ بود. سناریوهای ۳ و ۴ (جلیقه‌ی مبتنی بر پارچه‌های PCM و جلیقه‌ی مبتنی بر پارچه‌های POLYMER) اندازه‌ی اثر معنی‌دار و قابل ملاحظه‌ای در کاهش اختلاف دمای پوست بعد از مواجهه، نسبت به حالت پایه در مقایسه با سایر سناریوها نداشتند. فارغ از مقادیر اندازه‌ی اثر، تنها سناریو معنی‌دارشده در کاهش دمای پوست از لحاظ آماری، سناریو ۱ (جلیقه‌هایی با پارچه‌ی PCM/POLYMER و بسته‌های PCM) بود ($P<0/05$).

جدول ۲: اختلاف میانگین و انحراف معیار تغییرات میانگین وزنی دمای پوست در سناریوهای طراحی‌شده بعد از ۳۰ دقیقه مواجهه

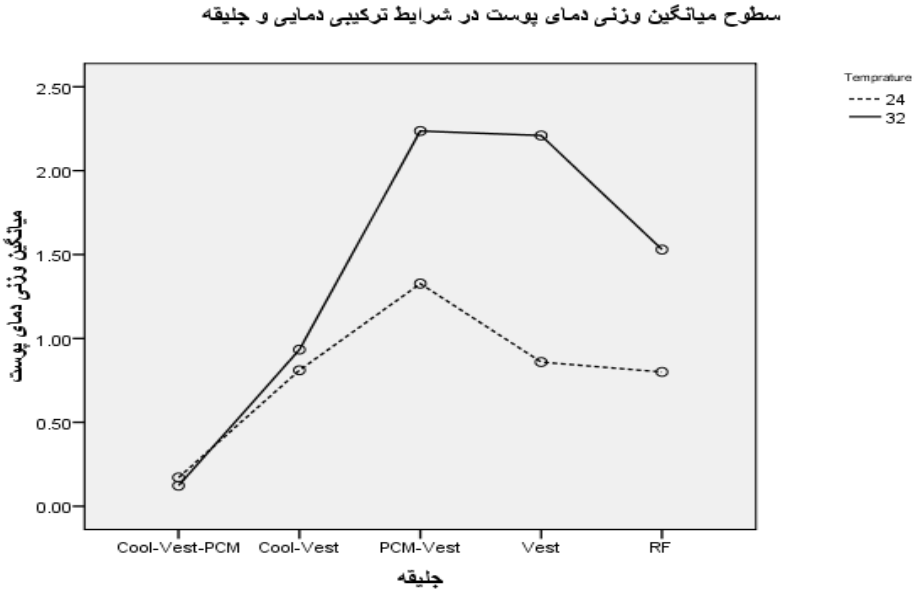
سناریو	۲۴			۳۲		
	اختلاف میانگین±خطای معیار	P-value	اندازه‌ی اثر	اختلاف میانگین±خطای معیار	P-value	اندازه‌ی اثر
۱	-۰/۰±۵۵/۲۹	۰/۰۶۲	۰/۱۳۶	-۱/۰±۴۸/۳۸	۰/۰۰۱	۰/۴۹۸
۲	۰/۰±۲۹/۴۰	۰/۱۷۷	۰/۱۱۲	۰/۰±۳۳/۳۸	۰/۳۹۱	۰/۲۳۸
۳	۰/۰±۲۹/۴۵	۰/۱۳۰	۰/۰۶۱	۰۱/۰±۶۳/۳۸	۰/۱۰۱	۰/۱۰۰
۴	۰/۰±۲۹/۰۳	۰/۸۹۵	۰/۰۰۴	۰/۰±۷۷/۳۸	۰/۰۴۷	۰/۱۳۶
۵	-	-	-	-	-	-

۱. جلیقه با پارچه‌ی PCM/POLYMER و پک‌های PCM (pcm-cool-vest)
۲. جلیقه با پارچه‌ی POLYMER و پک‌های PCM (cool-vest)
۳. جلیقه‌ی مبتنی بر پارچه‌های PCM (pcm-vest)
۴. جلیقه‌ی مبتنی بر پارچه‌های POLYMER (vest)
۵. رفرنس بدون مداخله (ref)

جدول ۲ نشان می‌دهد که جلیقه‌ها با پارچه‌ی PCM/POLYMER و بسته‌های PCM یا به عبارتی، سناریو ۱ با اندازه‌ی اثر ۰/۴۹۸ و ۰/۱۳۶، به‌ترتیب در دمای ۳۲ و ۲۴ درجه‌ی سانتی‌گراد، نسبت به سایر سناریوهای طراحی‌شده، در کنترل پاسخ فیزیولوژیک میانگین وزنی دمای پوست تأثیر بیشتری داشته که در دمای ۳۲، از لحاظ آماری، معنی‌دار بوده و در دمای ۲۴، معنی‌دار نبوده است.

مطابق با جدول ۲، در مقایسه‌ی عملکرد جلیقه در دو شرایط دمایی ۲۴ و ۳۲ نسبت به هم (جلیقه‌ی ثابت)، نتایج نشان داد که در خصوص سناریو ۱ (جلیقه با پارچه‌ی PCM/POLYMER و بسته‌های PCM) و همچنین، سناریو ۲ (جلیقه با پارچه‌ی POLYMER و پک‌های PCM) میزان کاهش دمای پوست بعد از مواجهه در دمای ۳۲ درجه، در مقایسه با میزان دمای پوست در دمای ۲۴ درجه معنی دار نبود. بنابراین، علی‌رغم افزایش دمای هوا تا ۳۲ درجه، به‌علت قدرت خنک‌کنندگی قابل قبول جلیقه‌ها، دمای پوست مشابه با شرایط دمایی ۲۴ درجه حفظ شده است. در شکل ۳، دمای پوست در سناریوهای مختلف، در شرایط دمایی ۳۲ و ۲۴ درجه نمایش داده شده است که مؤید نتایج جدول ۲ است.

نتایج نشان داد که مطابق با جدول ۳، در شرایط مرجع بدون جلیقه و دمای ۳۲ درجه، در مقایسه با دمای ۲۴، اندازه‌ی اثر در افزایش دمای تمپانیک بدن بزرگ‌تر است. بنابراین، دمای تمپانیک افراد در دمای ۳۲ درجه، دچار افزایش بیشتری شده است. سناریو ۱ (جلیقه با پارچه‌ی PCM/POLYMER و بسته‌های PCM) دارای بیشترین اندازه‌ی اثر در کاهش اختلاف دمای تمپانیک بعد از مواجهه، نسبت به حالت پایه در مقایسه با سایر سناریوها بود. در این سناریو، در دمای ۲۴ درجه، اندازه‌ی اثر ۰/۲۰۶ و در دمای ۳۲ درجه، اندازه‌ی اثر ۰/۵۶۵ بود. علاوه بر این، نتایج نشان داد که با افزایش دما تا ۳۲ درجه، این جلیقه کارایی بیشتری در قدرت خنک‌کنندگی در مقایسه با دمای ۲۴ درجه داشت.

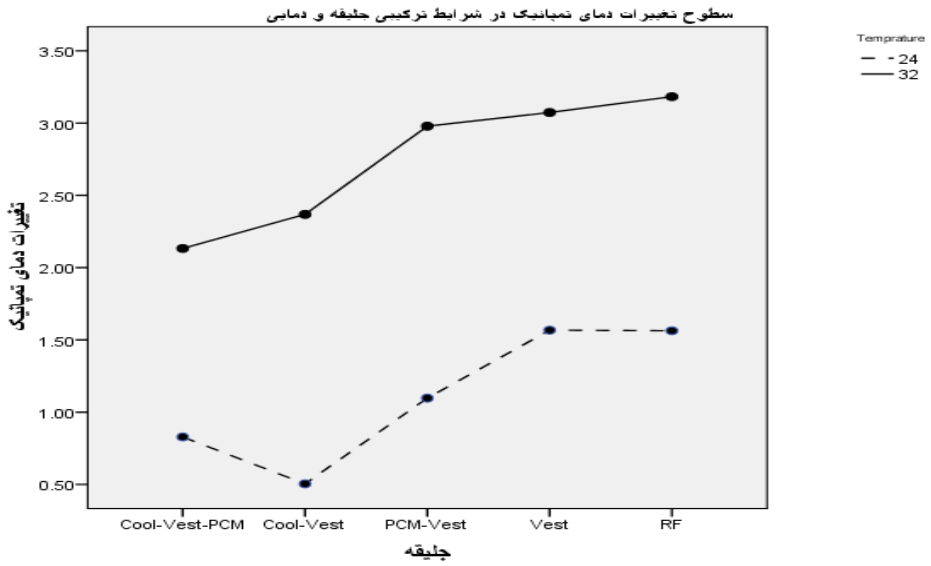


شکل ۳: سطوح میانگین وزنی دمای پوست در شرایط ترکیبی دمای هوا و نوع جلیقه

جدول ۳: اختلاف میانگین و انحراف معیار دمای تمپانیک در سناریوهای طراحی‌شده

سناریو	۲۴			۳۲		
	اختلاف میانگین±خطای معیار	P-value	اندازه‌ی اثر	اختلاف میانگین±خطای معیار	P-value	اندازه‌ی اثر
۱	-۱/۰±۰۴/۳۰	۰/۰۰۱	۰/۳۶۳	-۰/۰±۷۳/۳۴	۰/۰۳۴	۰/۵۶۵
۲	-۰/۰±۹۹/۳۰	۰/۰۰۲	۰/۲۰۶	-۰/۰±۲۶/۳۴	۰/۴۳۹	۰/۱۳۸
۳	-۰/۰±۸۰/۳۰	۰/۰۱۱	۰/۱۰۶	۰/۰±۱۵/۳۴	۰/۶۶۱	۰/۰۳۸
۴	-۰/۰±۱۸/۳۰	۰/۵۴۹	۰/۰۰۰	۰/۰±۰۹/۳۴	۰/۷۹۲	۰/۰۱۳
۵	-	-	-	-	-	-

۱. جلیقه با پارچه‌ی PCM/POLYMER و پک‌های PCM (pcm-cool-vest)
۲. جلیقه با پارچه‌ی POLYMER و پک‌های PCM (cool-vest)
۳. جلیقه‌ی مبتنی بر پارچه‌های PCM (pcm-vest)
۴. جلیقه‌ی مبتنی بر پارچه‌های POLYMER (vest)
۵. رفرنس بدون مداخله (ref)



شکل ۴: سطوح تغییرات دمای تمپانیک در شرایط ترکیبی دمایی و جلیقه

سناریو ۲ (جلیقه با پارچه‌ی POLYMER و پک‌های PCM) دارای اندازه‌ی اثر قابل ملاحظه‌ای در کاهش اختلاف دمای تمپانیک بعد از مواجهه، نسبت به حالت پایه بود که به‌ترتیب، برای دمای ۳۲ درجه، ۰/۱۳۸ و برای دمای ۲۴ درجه، ۰/۲۶۳ بود. سناریوهای ۳ و ۴ (جلیقه‌ی مبتنی بر پارچه‌های PCM و جلیقه‌ی مبتنی بر پارچه‌های POLYMER) اندازه‌ی اثر معنی‌دار و قابل ملاحظه‌ای در کاهش اختلاف دمای تمپانیک بعد از مواجهه، نسبت به حالت پایه، در مقایسه با سایر سناریوها نداشتند. فارغ از مقادیر اندازه‌ی اثر، سناریو معنی دارشده از لحاظ آماری در کاهش دمای تمپانیک، سناریو ۱ (جلیقه با پارچه‌ی PCM/POLYMER و بسته‌های PCM) در دمای ۳۲ و ۲۴ درجه بود (P<۰/۰۵). سناریو ۲ (جلیقه با پارچه‌ی POLYMER و پک‌های PCM) تنها در دمای ۲۴ درجه در کاهش دمای تمپانیک از لحاظ آماری معنی‌دار بود (P<۰/۰۵). در شکل ۴، دمای تمپانیک در سناریوهای مختلف در شرایط دمایی ۳۲ و ۲۴ درجه، نمایش داده شده است که مؤید نتایج جدول ۳ است.

بحث

در این مطالعه، پاسخ‌های فیزیولوژیک افراد به‌منظور بررسی اثربخشی نانوالیاف تولیدشده در افزایش حفظ سرمایش موضعی بسته‌های PCM ارزیابی شد. در مطالعه‌ای که باباپور و همکاران در سال ۲۰۱۷، در دانشگاه صنعتی شیراز (ایران)، صورت دادند، با استفاده از تکنیک الکترواسپینینگ نانوالیاف (هسته‌پوسته) و انتخاب پلی‌اتیلن گلیکول (PEG-1000) به‌عنوان هسته و پلی‌آمید۶ (PA6) به عنوان قشر محافظ (پوسته) در ساخت و به‌کارگیری نانوالیاف PCM به‌منظور ایجاد سیستم ذخیره‌سازی انرژی و پایداری حرارتی، قابلیت ذخیره‌سازی انرژی حرارتی تأیید شد [۱۶]. در مطالعه‌ی حاضر، PVDF به‌دلیل خاصیت پیزو الکتریک بالا، سازگاری با محیط‌زیست، دوام و انعطاف‌پذیری بالا انتخاب شد، مشابه با مطالعه‌ای که ژین و همکاران در سال ۲۰۱۸، در دانشگاه مهندسی برق و تجهیزات کشور چین انجام دادند [۱۲, ۱۷]. نتایج این مطالعه نشان داد که عملکرد جلیقه با پارچه‌ی PCM/POLYMER و بسته‌های PCM در طول آزمایش و در دمای ۳۲ درجه، نسبت به ۲۴ درجه، در حفظ سرمایش موضعی افراد تأثیر معنی‌داری دارد. بنابر داده‌های استخراج‌شده، به‌کارگیری نانوالیاف تولیدشده بدون استفاده از بسته‌های PCM در جلیقه‌های طراحی‌شده با شرایط بدون مداخله تفاوت معنی‌داری ندارد و تنها اثربخشی نانوالیاف تولیدشده در افزایش مدت بهره‌گیری از بسته‌های PCM است. در مطالعه‌ای که پزدانی‌فر و همکاران انجام دادند، پارچه‌ی جلیقه‌های خنک‌کننده از جنس پلی‌استر بود و از ۱۷ پک ۱۳۵گرمی پارافین (۹ پک در قسمت پشتی و ۸ پک در قسمت جلویی) با نقطه‌ی ذوب ۳۰ درجه‌ی سانتی‌گراد و گرمای نهان ۱۰۸ کیلوژول بر کیلوگرم با غشای آلومینیمی به ضخامت ۰/۱۲۵ میلی‌متر و ضریب انتقال حرارت ۳۷۷ وات بر متر بر درجه‌ی کلوین که مجموع هر پک را به ۱۴۰ گرم رساند، استفاده شد. تفاوت معنی‌داری بین قبل و بعد از استفاده از جلیقه‌های خنک‌کننده در نتایج مشاهده شد [۱۸]. در این مطالعه، با به‌کارگیری ۸ بسته‌ی ۱۰۰گرمی پارافین (۴ پک در قسمت جلو، ۴ پک در قسمت عقب) با مشخصات مطالعه‌ی مذکور، وزن جلیقه‌های طراحی‌شده به ۱ کیلوگرم کاهش یافت (وزن جلیقه ۲۰۰ گرم) و نتایج قابل ملاحظه‌ای در قدرت خنک‌کنندگی جلیقه‌ها حاصل شد. علاوه بر این، به‌منظور کاهش بیشتر وزن جلیقه‌ها می‌توان تنها در محل قرارگیری بسته‌های PCM از نانوالیاف تولیدشده بهره گیری کرد. در مطالعه‌ی حاضر، آزمایش‌های انجام‌گرفته بر اساس روش استاندارد BS4745 بود و آزمون تعیین ضریب انتقال حرارت پارچه به‌منظور بررسی مقاومت گرمایی پارچه‌های جلیقه‌های تولیدشده را آزمایشگاه دانشکده‌ی نساجی دانشگاه صنعتی امیرکبیر تهران انجام داد و مشخص شد که میزان مقاومت حرارتی جلیقه با پارچه‌های رفرنس ۰/۰۱۴۸ (m^2C/w) و جلیقه با پارچه‌ی

PCM/POLYMER، ۰/۰۲ (m^2C/w) است.

سناریو ۱ (جلیقه با پارچه‌ی PCM/POLYMER و بسته‌های PCM) دارای بیشترین اندازه‌ی اثر در کاهش اختلاف دمای بدن بعد از مواجهه، نسبت به حالت پایه، در مقایسه با سایر سناریوها بود. علاوه بر این، نتایج نشان داد که با افزایش دما تا ۳۲ درجه، این جلیقه کارایی بیشتری در قدرت خنک‌کنندگی، در مقایسه با دمای ۲۴ درجه دارد. نتایج تأیید کرد که در شرایط گرم‌تر، جلیقه‌ی طراحی‌شده دارای خنک‌کنندگی بیشتر است. سناریو ۲ (جلیقه با پارچه‌ی POLYMER و پک‌ها) دارای اندازه‌ی اثر کمتری نسبت به سناریو ۱ در کاهش اختلاف دمای بدن بعد از مواجهه، نسبت به حالت پایه بود.

سناریو ۳ (جلیقه‌ی مبتنی بر پارچه‌های PCM) اندازه‌ی اثر معنی دار و قابل ملاحظه‌ای در کاهش اختلاف دمای بدن بعد از مواجهه، نسبت به حالت پایه، در مقایسه با سایر سناریوها نداشت. چون مقدار وزنی مواد تغییرفازدهنده‌ی استفاده‌شده در الیاف پارچه محدود است، نمی‌توان انتظار داشت که پارچه‌ی لباس به‌تنهایی قدرت خنک کنندگی قابل ملاحظه‌ای در طول زمان ایجاد کند. بنابراین، از جنبه‌ی کاربردی، استفاده از بسته‌های PCM می‌تواند عملکرد بسیار بهتری در مقایسه با الیاف PCM برای شاغلان کادر درمان بیمارستان‌ها در استفاده از جلیقه‌ها ایجاد کند.

از جمله محدودیت‌های مطالعه بررسی صرفاً دو سناریو آب‌وهوایی اقتباس‌شده از شرایط هوایی بیمارستان‌ها بود؛ زیرا ممکن بود به‌دلیل افزایش تعداد آزمایش‌ها، نمونه‌ها ریزش کنند. توصیه می‌شود در مطالعات آینده، عملکرد جلیقه‌ها در سایر شرایط آب‌وهوایی بررسی شود. علاوه بر این، با توجه به جمعیت شاغلان خانم کادر درمان، توصیه می‌شود عملکرد جلیقه‌ها بر شاغلان خانم بررسی شود. استفاده از سایر نانومواد تغییرفازدهنده در ترکیب بسته‌های مواد PCM به‌منظور افزایش ظرفیت گرمای نهان و نتیجتاً افزایش ظرفیت خنک‌کنندگی جلیقه، افزایش زمان کارایی جلیقه و سبک‌تر شدن جلیقه می‌تواند زمینه‌ی تحقیقاتی جدیدی باشد.

نتیجه‌گیری

نتایج تأیید کرد که جلیقه‌ی مبتنی بر پارچه‌های PCM اندازه‌ی اثر معنی‌دار و قابل ملاحظه‌ای در کاهش دمای بدن در مواجهه با گرما نداشت؛ بنابراین، از جنبه‌ی کاربردی، استفاده از بسته‌های PCM می‌تواند عملکرد بسیار بهتری در مقایسه با الیاف PCM برای شاغلان کادر درمان بیمارستان‌ها ایجاد کند. بااین‌حال، جلیقه با پارچه‌ی PCM/POLYMER و استفاده‌ی هم‌زمان از بسته‌های PCM دارای بیشترین اندازه‌ی اثر در کاهش دمای بدن در مواجهه با گرما بود. به‌کارگیری نانوالیاف تغییرفازدهنده (PCM) در جدار داخلی پارچه‌های جلیقه‌های خنک‌کننده و به سبب آن، کاهش ضریب انتقال حرارتی پارچه در افزایش ظرفیت جذب حرارتی بسته‌های تغییرفازدهنده مؤثر است. با توجه به وزن مناسب و قدرت خنک‌کنندگی مشاهده‌شده، نتایج مطالعه استفاده از جلیقه‌های خنک‌کننده‌ی نانوالیاف به همراه بسته‌های تغییرفازدهنده را به کادر درمان در شرایط آب‌وهوایی تابستان، در زیر گان‌های پزشکی توصیه می‌کند.

تشکر و قدردانی

نویسندگان مقاله از دانشجویان شرکت‌کننده در این پژوهش صمیمانه سپاسگزاری می‌کنند. این مطالعه بخشی از پایان‌نامه‌ی تحقیقاتی دوره‌ی کارشناسی ارشد رشته‌ی مهندسی بهداشت حرفه‌ای به شماره طرح ۱۴۰۱۰۲۲۰۱۱۱۴ است و معاونت تحقیقات و فناوری دانشگاه علوم پزشکی همدان آن را حمایت کرده است.

تضاد منافع

نویسندگان اعلام می‌کنند که هیچ‌گونه تضاد منافعی در این مطالعه ندارند.

سهم نویسندگان

کلیه نویسندگان در فرآیند طراحی و اجرای مطاله و نگارش مقاله مشارکت داشته اند.

ملاحظات اخلاقی

از کلیه شرکت کنندگان مطابق با الزام کمیته اخلاق فرم رضایت نامه جهت حضور و انجام آزمایشات اخذ شده است.

حمایت مالی

معاونت تحقیقات و فناوری دانشگاه علوم پزشکی همدان از این طرح حمایت کرده است.

REFERENCES

1.Ozcetin M, Arslan M, Yilmaz R, Yildirim A. Rare cause of cerebral damage: child with heatstroke found inside an enclosed vehicle. Hong Kong journal of emergency medicine. 2012;19(2):126-9. [DOI: 10.1177/102490791201900208]

2.Laitano O, Murray KO, Leon LR. Overlapping mechanisms of exertional heat stroke and malignant hyperthermia: evidence vs. conjecture. Sports Med. 2020;50:1581-92. [DOI: 10.1007/s40279-020-01318-4] [PMID]

3.Chan AP, Zhang Y, Wang F, Wong FF, Chan DW. A field study of the effectiveness and practicality of a novel hybrid personal cooling vest worn during rest in Hong Kong construction industry. J Therm Biol. 2017;70:21-7. [DOI: 10.1016/j.jtherbio.2017.07.012] [PMID]

4.Ouahrani D, Itani M, Ghaddar N, Ghali K, Khater B. Experimental study on using PCMs of different melting temperatures in one cooling vest to reduce its weight and improve comfort. Energy and Buildings. 2017;155:533-45. [DOI: 10.1016/j.enbuild.2017.09.057]

5.Raad R, Itani M, Ghaddar N, Ghali K. A novel M-cycle evaporative cooling vest for enhanced comfort of active human in hot environment. International Journal of Thermal Sciences. 2019;142:1-13. [DOI: 10.1016/j.ijthermalsci.2019.04.010]

6.Itani M, Ghaddar N, Ghali K, Ouahrani D, Khater B. Significance of PCM arrangement in cooling vest for enhancing comfort at varied working periods and climates: Modeling and experimentation. Applied Thermal

Engineering. 2018;145:772-90. [DOI: 10.1016/j.applthermaleng.2018.09.057]
7.Ciuha U, Valenčič T, Ioannou LG, Mekjavic IB. Efficacy of cooling vests based on different heat-extraction concepts: The HEAT-SHIELD project. J Therm Biol. 2023;112:103442. [DOI: 10.1016/j.jtherbio.2022.103442] [PMID]
8.de Korte JQ, Bongers CC, Catoire M, Kingma BR, Eijsvogels TM. Cooling vests alleviate perceptual heat strain perceived by COVID-19 nurses. Temperature. 2022;9(1):103-13. [DOI: 10.1080/23328940.2020.1868386] [PMID]
9.Roelofsen P, Jansen K. Comfort and performance improvement through the use of cooling vests for construction workers. International Journal of Clothing Science and Technology. 2023;35(1):152-61. [DOI: 10.1108/IJCST-08-2021-0104]
10.Mehling H, Barreneche C, Solé A, Cabeza LF. The connection between the heat storage capability of PCM as a material property and their performance in real scale applications. Journal of Energy Storage. 2017;13:35-9. [DOI: 10.1016/j.est.2017.06.007]
11.Yang G, Zhang X, Pan D, Zhang W, Shang Y, Su F, et al. Highly thermal conductive poly (vinyl alcohol) composites with oriented hybrid networks: silver nanowire bridged boron nitride nanoplatelets. ACS Appl Mater Interfaces. 2021;13(27):32286-94. [DOI: 10.1021/acsami.1c08408] [PMID]
12.Xin Y, Zhu J, Sun H, Xu Y, Liu T, Qian C. A brief review on piezoelectric PVDF nanofibers prepared by electrospinning. Ferroelectrics. 2018;526(1):140-51. [DOI: 10.1080/00150193.2018.1456304]
13.Wendorff JH, Agarwal S, Greiner A. Electrospinning: materials, processing, and applications: John Wiley & Sons; 2012.
14.House JR, Lunt HC, Taylor R, Milligan G, Lyons JA, House CM. The impact of a phase-change cooling vest on heat strain and the effect of different cooling pack melting temperatures. Eur J Appl Physiol. 2013;113:1223-31. [DOI: 10.1007/s00421-012-2534-2] [PMID]
15.Zare M, Dehghan H, Yazdanirad S, Khoshakhlagh AH. Comparison of the Impact of an Optimized Ice Cooling Vest and a Paraffin Cooling Vest on Physiological and Perceptual Strain. Saf Health Work. 2019;10(2):219-223. [DOI: 10.1016/j.shaw.2019.01.004] [PMID]
16.Babapoor A, Karimi G, Golestaneh SI, Mezjin MA. Coaxial electro-spun PEG/PA6 composite fibers: fabrication and characterization. Applied Thermal Engineering. 2017;118:398-407. [DOI: 10.1016/j.applthermaleng.2017.02.119]
17.El Fray M, Wagner H. Influence of PEG molecular masses on electrospinning of new multiblock terpoly (ester-ether-ester) s. Designed Monomers and Polymers. 2012;15(6):547-59. [DOI: 10.1080/1385772X.2012.688338]
18.Su J-F, Wang X-Y, Han S, Zhang X-L, Guo Y-D, Wang Y-Y, et al. Preparation and physicochemical properties of microcapsules containing phase-change material with graphene/organic hybrid structure shells. Journal of Materials Chemistry A. 2017;5(45):23937-51. [DOI: 10.1039/C7TA06980D]