

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 Davoodizadeh¹, Mohsen Aliabadi^{2,*}, Majid Habibi Mohraz², Maryam Farhadian³, Masoud Shafiee Motlagh² 

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



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, we 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. DOI:10.32592/IJE.11.2.90

عملکرد جلیقه‌های مبتنی بر نانوالیاف و بسته‌های تغییر فاز دهنده در کاهش تنش‌های حرارتی در محیط کاری گرم: یک مطالعه 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، دانشکده علوم پزشکی همدان، همدان، ایران
^۲ قطب علمی آموزشی مهندسی بهداشت حرفه‌ای، مرکز تحقیقات بهداشت و ایمنی شغلی، دانشکده علوم پزشکی همدان، همدان، ایران
^۳ گروه آمار زیستی، مرکز تحقیقات علوم بهداشتی، دانشکده علوم پزشکی همدان، همدان، ایران

چکیده

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

روش کار: در این مطالعه تجربی، ۲۰ نفر از مردان در اتاقک شبیه‌سازی شرایط جوی با قابلیت تنظیم دما در ۲۴ درجه سانتی‌گراد به‌عنوان شرایط مرجع و ۳۲ درجه سانتی‌گراد در قالب ۱۰ سناریو ترکیبی، همراه با ۵ نمونه جلیقه خنک‌کننده 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 درجه سانتی‌گراد در مقایسه با دمای هوای ۲۴ درجه سانتی‌گراد، اندازه‌ی اثر بزرگ‌تری در افزایش دمای تمپانیک بدن ایجاد کرد ($P < 0.05$). تأثیر معنی‌دار استفاده از جلیقه نانوالیاف به همراه استفاده از بسته‌های مواد PCM با اندازه‌ی اثر ۰/۴۹۸، ۰/۵۶۸ و ۰/۳۴۹، به‌ترتیب، در کاهش دمای پوست، تمپانیک و دهانی در شرایط دمایی گرم مشاهده شد ($P < 0.05$). اندازه‌ی اثر افزایش دمای هوا کمتر از اندازه‌ی اثر نوع جلیقه خنک‌کننده بر پاسخ‌های فیزیولوژیکی بود و نشان‌دهنده این موضوع بود که اثربخشی جلیقه‌های طراحی‌شده با افزایش دما، افزایش می‌یابد ($P < 0.05$).

نتیجه‌گیری: به‌کارگیری جلیقه‌های خنک‌کننده 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: جلیقه خنک‌کننده؛ شرایط گرم؛ مواد تغییر فاز دهنده PCM؛ نانوالیاف

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، دانشکده بهداشت، دانشگاه علوم پزشکی همدان، همدان، ایران.

ایمیل: mohsen.aliabadi@umsha.ac.ir

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

مقدمه

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 خنک‌کننده مبتنی بر جریان سیال و مبتنی بر مواد تغییر فاز دهنده (PCM) phase change material است. جلیقه‌های مبتنی بر مواد تغییر فاز دهنده دارای محاسن بسیار زیادی هستند؛ به همین دلیل، بر استفاده از این وسایل

به‌کارگیری برنامه‌ی حفاظت حرارتی در محیط کار، به‌منظور کاهش استرس‌های حرارتی و همچنین، اقدامات مراقبت فردی برای کاهش استرس‌های 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

فیزیکی خوبی دارد [۱۱، ۱۲]. با عنایت به بررسی‌های انجام گرفته، از ترکیبات پلیمری PVDF به دلیل خاصیت پیزوالکتریک بالا، سازگاری با محیط زیست، دوام و انعطاف پذیری بالا و اختصاص نتایج امیدوارکننده [۱۲] در مطالعه‌ی حاضر، به عنوان 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 تأثیر خصوصیات مختلف مواد تغییرفازدهنده، از جمله ظرفیت گرمایی نهان، دمای ذوب و همچنین، نحوه‌ی به کارگیری آن‌ها به صورت بسته‌های خنک کننده یا الیاف هوشمند خنک کننده 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) به صورت الیاف هوشمند با بهره‌گیری از نانوالیاف هسته‌پوسته در مقایسه با بسته‌های PCM خنک کننده 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 شرایطسازی آزمایشگاه تنش حرارتی دانشکده‌ی بهداشت دانشگاه علوم پزشکی همدان بود. شرکت کنندگان از لحاظ وضعیت سلامت روانی و جسمانی (نداشتن پیشینه‌ی مصرف مواد مخدر و سیگار، نداشتن سابقه‌ی مصرف داروهای قلبی، ضداسه‌زدگی و آرام‌بخش و سایر داروها، مبتلا نبودن به کوررنگی، برخورداری از شنوایی و بینایی طبیعی، نداشتن سابقه‌ی بیماری‌های قلبی عروقی، مشکلات تنفسی و اختلالات خواب)، وضعیت تحصیلی، وزن، قد و سایر مشخصات دموگرافیک، از طریق پرسشنامه‌ی محقق ساخته 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 شرکت کننده 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 کافئین دار بپرهیزند. در روز آزمون، پرسشنامه‌ی اطلاعات دموگرافیک بین افراد توزیع و پس از تکمیل شدن، جمع‌آوری شد.

طراحی جلیقه‌های مبتنی بر PCM (نانوالیاف PCM/Polymer)

روش تولید نانوالیاف PCM/POLYMER

تمام مراحل تولید نانوالیاف PCM/POLYMER شامل

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 خنک کننده مبتنی بر مواد تغییرفازدهنده به عنوان 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 خنک کننده، مطالعات گسترده در جوامع گوناگون صورت گرفته است؛ به طور 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، معنی دار است، در صورتی که در عملکرد شناختی افراد تفاوت معنی داری 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 خنک کننده، به طور معنی داری، 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 خنک کننده مبتنی بر مواد تغییرفازدهنده تأثیر معنی داری بر کاهش بار حرارتی و احساس حرارتی افراد می‌گذارد [۹].

یکی از موضوعات مهم در به کارگیری جلیقه‌های خنک کننده 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، به عنوان پارچه‌های هوشمند، استفاده شده است که می‌تواند به تغییر خصوصیات حرارتی، همچون ضریب انتقال حرارت، ظرفیت گرمایی ویژه و نهان پارچه منجر شود. با این حال، درباره‌ی استفاده از این نوع پارچه‌ها در تهیه‌ی لباس‌های خنک کننده 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 (پلی‌آمید ۶) و PVDF (پلی‌وینیل‌فلوراید) بودند که نتایج آزمایش، PVA (پلی‌وینیل‌الکل) را ترکیبی آب‌گریز با ضریب انتقال حرارتی ۱۰/۹ وات بر متر بر درجه‌ی کلون 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

مطالعه در نظر گرفته شد. مشخصات مواد تغییر فاز دهنده و سایر مواد در جدول ۱ ارائه شده است. نانوالیاف تولید شده در جدار میانی پارچه های پلیمری، پارچه هایی که به صورت تجاری تهیه شدند و در ساخت گان های کادر درمان از آن بهره گیری می شود (اسپان)، قرار گرفت و بسته های PCM در فضای داخلی جلیقه ها جاسازی شدند، به گونه ای که از سمت خارج جلیقه، افزایش ضریب انتقال حرارت و از سمت فضای میکروکلایمت داخلی جلیقه، کاهش ضریب انتقال حرارت را ایجاد کنند.

روش تهیه ی بسته های PCM

بسته های PCM با ابعاد مشخص و بهره گیری از پوشش های 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 جلیقه ی طراحی شده، ۸ بسته (۴ بسته در قسمت قدامی و ۴ بسته در قسمت خلفی) استفاده شد و پس از شارژ (فریز شدن)، در جلیقه های ساخته شده با نانوالیاف پلیمری، به صورت ساندویچی، در بسترهای پارچه ای جایابی شد و در اتاقت تنظیم شرایط جوی آزمایش شد (مطابق با شکل ۱).

محلول سازی و ساخت پلیمر با نسبت های آزمایش شده و تصویربرداری شده بود. لایه ی نانوالیاف با بهره گیری از روش الکترورسی ایجاد شد. این روش قابلیت تولید نانوالیافی با قطرهای در محدوده ی ۳ نانومتر تا ۱ میلی متر را دارد.

به منظور حفظ لایه ی نانو از صدمات فیزیکی، این لایه بین دو لایه از پارچه ی اسپان به صورت ساندویچی قرار داده شد. تمام این مراحل در دانشگاه علوم پزشکی همدان انجام گرفت. بررسی هایی به عمل آمد که در نتیجه ی آن ها، از PAN (پلی آکریلو نیتریل)، PVDF (پلی وینیلیدین فلوراید) و PA6 (پلی آمید ۶) به عنوان 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 به صورت پابلوت تهیه شد و پس از تست های آزمایشگاهی، بهترین نمونه انتخاب شد. PEG-1000 (پلی اتیلن گلیکول ۱۰۰۰) نیز به عنوان ماده ی PCM، یکی از انتخاب های پابلوت به عنوان هسته ی (بخش درونی الیاف که پلیمر پوسته آن را احاطه کرده است) نانوالیاف بود که طبق بررسی های صورت گرفته و ویژگی هایی چون غیرسمی بودن، واکنش پذیری بسیار پایین و دوستدار طبیعت بودن، از جمله انتخاب های خوب بود که با توجه به بررسی متون مرتبط، هسته ی نانوالیاف ساخته شده در این

جدول ۱: مشخصات مواد شیمیایی مورد استفاده در تهیه ی جلیقه های خنک کننده

نام	فرمول مولکولی	CAS	وزن مولکولی	نقطه ی ذوب	گرمای نهان ذوب
Polyethylene glycol (1000)	$\text{HO}(\text{C}_2\text{H}_4\text{O})_n\text{H}$	۳-۶۸-۳۵۳۲۲	$\text{g/mol } 1050-950$	۴۰-۳۵	$\text{Kj/Kg } 142$
Polyvinylidene fluoride	$\text{n}(\text{CH}_2\text{CF}_2)$	۴۲۷۱۷۹	$\text{g/mol } 2350$	۱۷۷	-
Paraffin wax	$\text{C}_n\text{H}_{2n+2}$	۲-۷۴-۸۰۰۲	$\text{g/mol } 350$	۶۴-۴۴	$\text{Kj/Kg } 190$



شکل ۱: محیط آزمایشگاهی و آزمودنی ها و تصویر جلیقه های طراحی شده بر مبنای بسته های 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

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

رفت. سطح معناداری برای همه ی آزمون ها کمتر از ۰/۰۵ در نظر گرفته شد. منظور از اندازه ی اثر در یافته ها اختلاف سطح پاسخ های فیزیولوژیک بدن آزمودنی ها در هر سناریو نسبت به شرایط مرجع است.

یافته ها

در این مطالعه، میانگین و انحراف معیار سن آزمودنی ها ۲۲/۲۵±۲/۳۸ سال، قد ۱۶۹/۸۷±۸/۲۹ سانتی متر، وزن ۶۵/۷۰±۸/۶۴ کیلوگرم و شاخص توده ی 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، اندازه ی اثر بزرگ تری در افزایش دمای پوست بدن وجود دارد. بنابراین، دمای پوست افراد در دمای ۳۲ درجه، دچار افزایش بیشتری شده است. سناریو ۱ (جلیقه هایی با پارچه ی PCM/POLYMER و بسته های PCM) دارای بیشترین اندازه ی 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، اندازه ی اثر ۰/۱۳۶ و در دمای ۳۲ درجه، اندازه ی اثر ۰/۴۹۸ بود. علاوه بر این، در دمای ۳۲ درجه، این جلیقه کارایی بیشتری در خنک کنندگی در مقایسه با دمای ۲۴ درجه داشت.

سناریو ۲ (جلیقه هایی با پارچه ی POLYMER و بسته های PCM) دارای اندازه ی اثر قابل ملاحظه ای در کاهش اختلاف دمای پوست بعد از مواجهه، نسبت به حالت پایه بود که به ترتیب، برای دمای ۳۲ درجه، ۰/۲۳۸ و برای دمای ۲۴ درجه، ۰/۱۱۲ بود. سناریوهای ۳ و ۴ (جلیقه ی مبتنی بر پارچه های PCM و جلیقه ی مبتنی بر پارچه های POLYMER) اندازه ی اثر معنی دار و قابل ملاحظه ای در کاهش اختلاف دمای پوست بعد از مواجهه، نسبت به حالت پایه در مقایسه با سایر سناریوها نداشتند. فارغ از مقادیر اندازه ی اثر، تنها سناریو معنی دار شده در کاهش دمای پوست از لحاظ آماری، سناریو ۱ (جلیقه هایی با پارچه ی PCM/POLYMER و بسته های PCM) بود ($P < 0.05$).

با توجه به توصیه ی 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 شرایط سازی و با توجه به اینکه پژوهش در فصل زمستان انجام شد، شرایط سازش دمایی ۲۲ درجه ی سانتی گراد در نظر گرفته شد. داوطلبان برای اجرای آزمایش ها، ۱۰ بار و هر بار، به مدت ۳۰ دقیقه، در اتاقک حاضر شدند. مواجهه با شرایط ترکیبی جلیقه و دما برای افراد به صورت تصادفی انجام شد. رطوبت نسبی اتاقک ۵۰ درصد و سرعت جریان هوا ۰/۲ متر بر ثانیه بود. در تمام آزمایش ها، طبق استاندارد ISO9920، مقاومت لباس ۰/۷۵ کلو در نظر گرفته شد [۱۵]. قبل از ورود فرد به اتاقک شرایط سازی، پارامترهای فیزیولوژیکی نظیر دمای سطحی بدن، دمای پوست، دمای تمپانیک و دمای دهانی مواجهه به مدت ۱۰ دقیقه اندازه گیری و به عنوان پارامترهای پایه ثبت شدند. سپس، افراد وارد اتاقک شرایط سازی شدند. قبل از ورود داوطلبان، شرایط ترکیبی جلیقه و دما تنظیم شده بود. افراد به مدت ۳۰ دقیقه، روی ترممیل با سرعت و شیب یکسان پیاده روی کردند و در نهایت، پارامترهای فیزیولوژیکی دوباره اندازه گیری 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، اندازه گیری شد. برای اندازه گیری دمای سطحی بدن، از دستگاه ترموویژن FLIR TG165 با محدوده ی تصویربرداری ۲۵- تا ۳۸۰ درجه ی سانتی گراد استفاده شد. برای اندازه گیری دمای گوش، از دماسنج لیزری مدل Emperor-NET100 ساخت کشور کره استفاده شد. این ترمومتر درجه ی گرمی و سردی گوش را که همان پرده ی گوش است، مشخص می کند.

تحلیل های آماری

داده ها پس از جمع آوری، با نرم افزار آماری SPSS نسخه ی ۲۲ تجزیه و تحلیل شدند. در این مطالعه، در مواردی که توزیع متغیرها نرمال بود، از آزمون آنالیز واریانس با اندازه گیری مکرر استفاده شد و در صورت نرمال نبودن توزیع داده ها، آزمون t زوجی به کار

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

سناریو	۲۴			۳۲		
	اختلاف میانگین ± خطای معیار	P-value	اندازه ی اثر	اختلاف میانگین ± خطای معیار	P-value	اندازه ی 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	۰/۱۰ ± 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 پارچه ی PCM/POLYMER و پک های PCM (pcm-cool-vest)

۲. جلیقه با پارچه ی POLYMER و پک های PCM (cool-vest)

۳. جلیقه ی مبتنی بر پارچه های PCM (pcm-vest)

۴. جلیقه ی مبتنی بر پارچه های POLYMER (vest)

۵. فرنس بدون مداخله (ref)

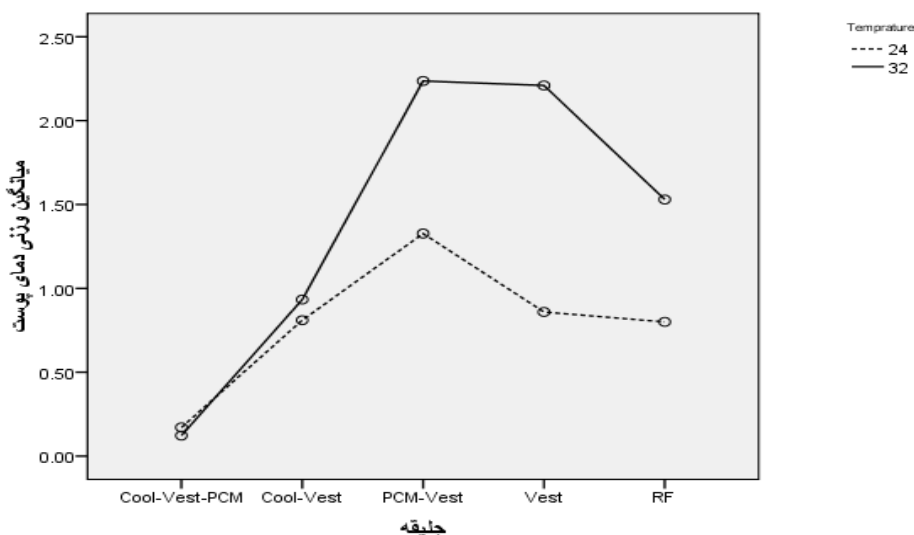
شرایط دمایی ۲۴ درجه حفظ شده است. در شکل ۳، دمای پوست در سناریوهای مختلف، در شرایط دمایی ۳۲ و ۲۴ درجه نمایش داده شده است که مؤید نتایج جدول ۲ است.

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.

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 معنی‌دار نبود. بنابراین، علی‌رغم افزایش دمای هوا تا ۳۲ درجه، به‌علت قدرت خنک‌کنندگی قابل قبول جلیقه‌ها، دمای پوست مشابه با

سطوح میانگین وزنی دمای پوست در شرایط ترکیبی دمایی و جلیقه



شکل ۳: سطوح میانگین وزنی دمای پوست در شرایط ترکیبی دمایی 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 ± ۰/۴/۳۰	۰/۰۰۱	۰/۳۶۳	-۰/۰ ± ۰/۷۳/۳۴	۰/۰۳۴	۰/۵۶۵
۲	-۰/۰ ± ۰/۹۹/۳۰	۰/۰۰۲	۰/۲۰۶	-۰/۰ ± ۰/۲۶/۳۴	۰/۴۳۹	۰/۱۳۸
۳	-۰/۰ ± ۰/۸۰/۳۰	۰/۰۱۱	۰/۱۰۶	۰/۰ ± ۰/۱۵/۳۴	۰/۶۶۱	۰/۰۳۸
۴	-۰/۰ ± ۰/۱۸/۳۰	۰/۵۴۹	۰/۰۰۰	۰/۰ ± ۰/۰۹/۳۴	۰/۷۹۲	۰/۰۱۳
۵	-	-	-	-	-	-

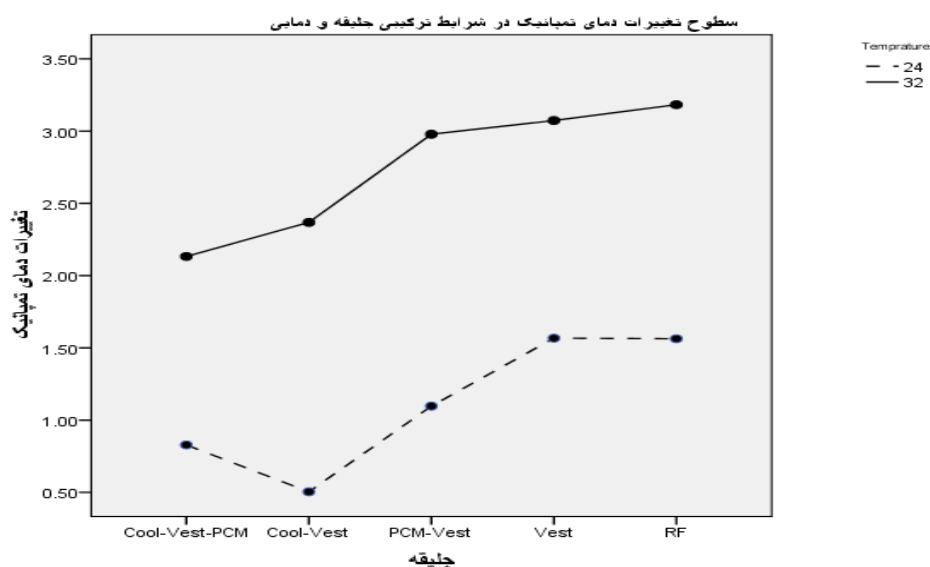
۱. جلیقه با پارچه‌ی PCM/POLYMER و پک‌های PCM (pcm-cool-vest)

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

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 ۱۳۵ گرمی 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 کلون 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 ۱۰۰ گرمی 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 بهره‌گیری 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 ۰/۱۴۸ (m^2C/w) و جلیقه با پارچه‌ی PCM/POLYMER، ۰/۰۲ (m^2C/w) است. سناریو ۱ (جلیقه با پارچه‌ی PCM/POLYMER و بسته‌های

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 معنی‌دارشده از لحاظ آماری در کاهش دمای تمپانیک، سناریو ۱ (جلیقه با پارچه‌ی PCM/POLYMER و بسته‌های PCM) در دمای ۳۲ و ۲۴ درجه بود ($P < 0/05$). سناریو ۲ (جلیقه با پارچه‌ی POLYMER و پک‌های PCM) تنها در دمای ۲۴ درجه در کاهش دمای تمپانیک از لحاظ آماری معنی‌دار بود ($P < 0/05$). 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 پلی‌آمید ۶ (PA6) به‌عنوان 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

برای شاغلان کادر درمان بیمارستان‌ها ایجاد کند. با این حال، 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 به‌سبب 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 منافی در این مطالعه ندارند.

سهم نویسندگان

کلیه نویسندگان در فرآیند طراحی و اجرای مطالعه و نگارش مقاله مشارکت داشته‌اند.

ملاحظات اخلاقی

از کلیه شرکت‌کنندگان 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.

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 معنی‌دار 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 خنک‌کنندگی 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 اکتباس‌شده از شرایط هوایی بیمارستان‌ها بود؛ زیرا ممکن بود به دلیل 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

REFERENCES

- Ozdetin 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](https://doi.org/10.1177/102490791201900208)]
- 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](https://doi.org/10.1007/s40279-020-01318-4)] [PMID]
- 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](https://doi.org/10.1016/j.jtherbio.2017.07.012)] [PMID]
- 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](https://doi.org/10.1016/j.enbuild.2017.09.057)]
- 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](https://doi.org/10.1016/j.ijthermalsci.2019.04.010)]
- 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](https://doi.org/10.1016/j.applthermaleng.2018.09.057)]
- 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.therbio.2022.103442](https://doi.org/10.1016/j.therbio.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](https://doi.org/10.1080/23328940.2020.1868386)] [PMID]
9. Roelofsens 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/IJCS-08-2021-0104](https://doi.org/10.1108/IJCS-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](https://doi.org/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](https://doi.org/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](https://doi.org/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](https://doi.org/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](https://doi.org/10.1016/j.shaw.2019.01.004)] [PMID]
16. Babapoor A, Karimi G, Golestaneh SI, Mezzin 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](https://doi.org/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](https://doi.org/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](https://doi.org/10.1039/C7TA06980D)]