

Designing and Manufacturing Cooling Pants and Evaluating Their Effects on Heat Strain in Hot Laboratory Conditions

Sina Malek Raisi¹, Seyed Mahdi Mousavi², Habibollah Dehghan³

Original Article

Abstract

Background: Heat exposure, as a work-related risk factor, can have a significant effect on human health. This study aimed to design and manufacture evaporative cooling pants and evaluate their effectiveness in reducing heat strain under controlled laboratory conditions.

Methods: The study consisted of three stages: developing evaporative cooling pants, assessing their cooling power in a laboratory and evaluating their effectiveness. 12 men wore regular pants and then switched to evaporative cooling pants while their heart rate, skin and ear temperature, and PSI were measured every 5 minutes. Data was analyzed using SPSS software.

Findings: The study revealed that the specially designed evaporative shorts lowered the temperature of the thigh skin by 3 °C ($P < 0.05$). However, there was no significant relationship between the two groups in terms of physiological parameters such as heart rate, ear temperature, and Physiological Strain Index ($P > 0.05$).

Conclusion: The use of designed evaporative cooling pants can have a positive impact on reducing skin temperature. However, it is recommended to test in actual work environments.

Keywords: Heat stress; Heart rate; Skin temperature; Cooling garments

Citation: Malek Raisi S, Mousavi SM, Dehghan H. **Designing and Manufacturing Cooling Pants and Evaluating Their Effects on Heat Strain in Hot Laboratory Conditions.** J Health Syst Res 2024; 20(1): 24-31.

1- Department of Occupational Health and Safety Engineering, School of Health, Isfahan University of Medical Sciences, Isfahan, Iran

2- PhD Student, Student Research Committee AND Department of Occupational Health Engineering, School of Health, Isfahan University of Medical Sciences, Isfahan, Iran

3- Professor, Department of Occupational Health Engineering, School of Health, Isfahan University of Medical Sciences, Isfahan, Iran

Corresponding Author: Habibollah Dehghan; Professor, Department of Occupational Health Engineering, School of Health, Isfahan University of Medical Sciences, Isfahan, Iran; Email: ha_dehghan@hlth.mui.ac.ir

طراحی و ساخت شلوارک خنک کننده تبخیری و ارزیابی اثرات آن بر استرین های گرمایی در شرایط گرم آزمایشگاهی

سینا ملک رئیسی^۱، سید مهدی موسوی^۲، حبیب اله دهقان^۳

مقاله پژوهشی

چکیده

مقدمه: مواجهه با گرما به عنوان یکی از عوامل خطر مرتبط با کار، می تواند به طور قابل توجهی بر سلامت انسان تأثیر بگذارد. هدف از انجام پژوهش حاضر، طراحی و ساخت یک شلوارک خنک کننده تبخیری و ارزیابی اثربخشی آن در کاهش استرین گرمایی در شرایط گرم آزمایشگاهی بود.

روش ها: این مطالعه در سه مرحله شامل «طراحی و ساخت شلوارک خنک کننده تبخیری، محاسبه توان خنک کنندگی در شرایط آزمایشگاهی و ارزیابی اثربخشی شلوارک طراحی شده» انجام شد. در مرحله ارزیابی اثربخشی، ۱۲ مرد سالم دو مرحله آزمایش شامل تست با شلوار معمولی و تست با شلوارک خنک کننده تبخیری را انجام دادند. در طی انجام مراحل تست، شاخص های فیزیولوژیک شامل ضربان قلب، دمای پوست ران، دمای گوش و شاخص استرین فیزیولوژیک (PSI یا Physiological Strain Index) هر ۵ دقیقه یکبار اندازه گیری گردید. داده ها در نرم افزار SPSS مورد تجزیه و تحلیل قرار گرفت.

یافته ها: شلوارک خنک کننده تبخیری طراحی شده، موجب کاهش دمای پوست در ناحیه ران (به میزان ۳ درجه سانتی گراد) شد ($P < 0.05$). همچنین، ارتباط معنی داری بین دو حالت شلوار معمولی و شلوارک خنک کننده در شاخص های فیزیولوژیک ضربان قلب، دمای گوش و PSI مشاهده نگردید ($P > 0.05$).

نتیجه گیری: شلوارک خنک کننده طراحی شده می تواند نقش مثبتی در کاهش دمای پوست ایفا کند و پیشنهاد می گردد عملکرد آن در محیط های واقعی تحت ارزیابی قرار گیرد. **واژه های کلیدی:** استرین گرمایی؛ ضربان قلب؛ دمای پوست؛ شاخص استرین فیزیولوژیک

ارجاع: ملک رئیسی سینا، موسوی سید مهدی، دهقان حبیب اله. طراحی و ساخت شلوارک خنک کننده تبخیری و ارزیابی اثرات آن بر استرین های گرمایی در شرایط گرم آزمایشگاهی. مجله تحقیقات نظام سلامت ۱۴۰۳؛ ۲۰ (۱): ۲۴-۳۱

تاریخ چاپ: ۱۴۰۳/۱/۱۵

پذیرش مقاله: ۱۴۰۲/۶/۲۲

دریافت مقاله: ۱۴۰۲/۳/۷

مقدمه

گرما به عنوان یکی از عوامل فیزیکی زیان آور در محیط های کاری شناخته می شود (۱). مواجهه با گرما می تواند به علت ماهیت فرایند باشد که در صنایعی مانند فولاد، ذوب آهن و شیشه سازی وجود دارد (۲) و یا ناشی از شرایط آب و هوایی است که افراد با مشاغل مانند کشاورزی، ماهیگیری و ساخت و ساز ساختمان را تحت تأثیر قرار می دهد (۳).

زمانی که بدن در معرض مواجهه با گرما باشد و نسبت به این شرایط از خود پاسخ نشان دهد، به آن استرین گرمایی گفته می شود (۴). افزایش میزان تعریق، بالا رفتن ضربان قلب و افزایش دمای بدن از جمله استرین های گرمایی است که بدن در مواجهه با گرما از خود نشان می دهد. هنگامی که بدن در دفع گرمای اضافی به محیط دچار مشکل شود، استرین حرارتی رخ می دهد (۵). این حالت زمانی اتفاق می افتد که فرد برای مدت زمان طولانی در محیطی با دمای بالا حضور داشته باشد. قرار گرفتن طولانی مدت در این محیط، می تواند منجر به افزایش دمای عمقی بدن شود و در صورت پایدار شدن این وضعیت، عوارض

نامطلوبی مانند بروز جوش گرمایی، کرامپ عضلانی، ضعف گرمایی و گرمازدگی رخ دهد (۶). علاوه بر این، مواجهه با گرما می تواند منجر به افزایش خطر وقوع حوادث در صنایع، کاهش ظرفیت شناختی افراد، افزایش میزان بروز خطای انسانی و کاهش عملکرد و بهره وری کارکنان شود (۷، ۸).

به طور کلی، به منظور کنترل مواجهه با گرما، راهکارهایی مانند کنترل فنی و مهندسی، کنترل مدیریتی و کنترل های فردی توصیه شده است (۹). به دلیل محدودیت های مالی و وجود محیط های روباز و همچنین، تعدد منابع مولد گرما در محیط های کاری، استفاده از راهکارهای فنی و مهندسی مانند اصلاح فرایندی و عایق کاری منابع مولد گرما و راهکارهای مدیریتی مانند کاهش مدت زمان مواجهه با گرما، محدودیت دارد (۱۰). از این رو، استفاده از وسایل و تجهیزات خنک کننده فردی به عنوان آخرین راهکار از سلسله مراتب کنترل مواجهه با گرما در محیط های کاری توصیه می شود (۱۱). این تجهیزات، گرمای مازاد بدن را جذب می کنند و باعث کاهش میزان استرین حرارتی در افراد در معرض گرما می شوند و در نتیجه، می توانند منجر به بهبود عملکرد فیزیکی و شناختی افراد

۱- کارشناس ارشد، گروه مهندسی بهداشت حرفه ای و ایمنی کار، دانشکده بهداشت، دانشگاه علوم پزشکی اصفهان، اصفهان، ایران

۲- دانشجوی دکتری تخصصی، کمیته تحقیقات دانشجویی و گروه مهندسی بهداشت حرفه ای و ایمنی کار، دانشکده بهداشت، دانشگاه علوم پزشکی اصفهان، اصفهان، ایران

۳- استاد، گروه مهندسی بهداشت حرفه ای و ایمنی کار، دانشکده بهداشت، دانشگاه علوم پزشکی اصفهان، اصفهان، ایران

نویسنده مسؤول: حبیب اله دهقان؛ استاد، گروه مهندسی بهداشت حرفه ای و ایمنی کار، دانشکده بهداشت، دانشگاه علوم پزشکی اصفهان، اصفهان، ایران

Email: ha_dehghan@hlth.mui.ac.ir

استرس حرارتی» انجام شد. کلیه مراحل اجرای پژوهش مطابق با کد IR.MUI.RESEARCH.REC.1400.019 مصوب کمیته اخلاق در پژوهش دانشگاه علوم پزشکی اصفهان انجام گردید.

طراحی و دوخت شلوارک خنک کننده تبخیری: در این مرحله، بر اساس ساینبدی معمول موجود در بازار، سایز ۴۲ به عنوان مبنای طراحی اولیه شلوارک مورد استفاده قرار گرفت. طرح اولیه این شلوارک از سه لایه ساخته شد. لایه بیرونی از یک پارچه تنفس پذیر و با رنگ روشن، لایه میانی از الیاف به هم تنیده شده حاوی کریستال های پلیمر جاذب آب ساخته شد و نقش ذخیره کننده آب را در لایه میانی داشت. لایه داخلی نیز از پارچه ضد آب استفاده گردید که مانع خیس شدن بدن کاربر در حین استفاده شود. به منظور رفع عیوب احتمالی در طراحی اولیه، این شلوارک به طور آزمایشی در اختیار ۱۰ نفر قرار گرفت و از آن ها درخواست شد نظرات خود را در خصوص طراحی و شکل ظاهری، ابعاد و راحتی حین استفاده از آن بیان کنند. سپس بر اساس نظرات ارائه شده توسط کاربران، طرح نهایی شلوارک طراحی و ساخته شد. مکانیزم خنک کنندگی این شلوارک به این شکل است که شلوارک به مدت ۵ دقیقه در آب معمولی غوطه ور می شود و سپس از آب خارج و از طریق فشردن، آب اضافی آن خارج می شود. در شکل ۱ شلوارک تبخیری طراحی شده نمایش داده شده است.



شکل ۱. شلوارک تبخیری خنک کننده طراحی و ساخته شده در مطالعه

محاسبه توان خنک کنندگی شلوارک: به منظور ایجاد شرایط دمایی و رطوبتی مشخص شده برای تعیین توان خنک کنندگی شلوارک طراحی شده، یک محفظه به طول ۱۰۰ سانتی متر، عرض ۸۰ سانتی متر و ارتفاع ۱۱۰ سانتی متر که چهارچوب آن از جنس آهن و دیواره های آن از جنس کارتن پلاست بود، طراحی و ساخته شد (شکل ۲).



شکل ۲. ارزیابی مشخصات ترموفیزیکی و توان خنک کنندگی شلوارک در محفظه شرایط دمایی و رطوبتی

شوند (۱۲). هزینه پایین نسبت به دیگر راهکارهای کنترلی، در دسترس بودن، قابلیت استفاده برای محیط های سر بسته و روباز از جمله مزایای این تجهیزات می باشد. همچنین، گزارش شده است که این تجهیزات دارای معایبی مانند تداخل در کار، عدم کارایی مناسب در برخی محیط ها، عدم آسایش و راحتی در حین استفاده می باشد (۱۳).

خنک کننده های تبخیری، خنک کننده های مبتنی بر تغییر فاز مواد، سیستم های گردش مایعات و سیستم های هوای فشرده از جمله انواع سیستم های خنک کننده موجود می باشد. خنک کننده های تبخیری حاوی ژل یا کریستال های مخصوص هستند که با خیس شدن در آب، متورم می شوند و از گرمای جذب شده از بدن کاربر برای تبخیر آب ذخیره شده در این کریستال ها استفاده می کنند (۱۴). یکی از مشکلاتی که در برخی از صنایع وجود دارد، گرم شدن قسمت تحتانی بدن و به خصوص ناحیه فوقانی اندام تحتانی است که می تواند منجر به عرق سوز شدن و یا ناباروری شود. در حالت طبیعی، دمای بیضه ای در اسکروتوم ۱ تا ۲ درجه سانتی گراد از دمای داخلی بدن کمتر می باشد و افزایش دمای بیضه می تواند بر فرایند اسپرماتوژنز تأثیر بگذارد (۱۵). عواملی همچون قرار گرفتن در معرض محیط شغلی گرم، عادات کاری بدون تحرک، سفر در ماشین برای مدت طولانی و پوشیدن لباس های تنگ می توانند تنظیم دمای داخلی کیسه بیضه را مختل کنند و منجر به افزایش دمای بیضه شوند (۱۶). گزارش های زیادی در مورد سلامت باروری کارگران در مواجهه با درجه حرارت بالا وجود دارد. به طور مثال، محققان شیوع بالای اسپرم های آسیب دیده را در میان کارگران صنعت سرامیک مشاهده کردند (۱۷). از این رو، استفاده از تجهیزات خنک کننده به منظور پیشگیری از این عوارض نامطلوب، ضروری به نظر می رسد.

وسایل و تجهیزات خنک کننده تبخیری، یکی از ساده ترین مکانیسم های مقابله با افزایش دمای عمقی بدن را دارد. مطالعات گذشته کارایی این تجهیزات را در کاهش پیامدهای نامطلوب مواجهه با گرما نشان داده اند. به طور مثال، Bright و همکاران یک نوع پوشش خنک کننده تبخیری طراحی و تولید کردند که با پوشاندن ناحیه گردن، این قابلیت را داشت که با خنک کردن عروق کاروتید، می توانست منجر به کاهش محسوس احساس گرمایی و در نتیجه، بهبود عملکرد جسمانی و شناختی افراد شود (۱۸). در تحقیق Desai و Bottoms یک نوع خنک کننده تبخیری برای پوشاندن ناحیه گردن طراحی کردند و دریافتند که پوشش طراحی شده می تواند منجر به بهبود کیفیت تمرین و عملکرد حین مسابقه در تنیس بازان شود (۱۹). جهادی نائینی و دهقان نیز پوشش های خنک کننده تبخیری موضعی را طراحی و تولید و گزارش نمودند که پوشش های خنک کننده تبخیری موضعی، می تواند منجر به بهبود شاخص های ادراکی در مواجهه با گرما در شرایط آزمایشگاهی شود (۱۲).

تاکنون پژوهشی در زمینه ساخت و طراحی شلوارک خنک کننده تبخیری و اعتبارسنجی کارایی آن در محیط های گرم انجام نشده است. از این رو، هدف از انجام مطالعه حاضر، طراحی و ساخت نوعی شلوارک خنک کننده تبخیری و اعتبارسنجی آن در محیط آزمایشگاهی بود.

روش ها

این تحقیق تجربی در سه مرحله «طراحی و دوخت شلوارک خنک کننده تبخیری، محاسبه توان خنک کنندگی و ارزیابی کارایی شلوارک در کاهش

همکاران (۲۲) تعیین گردید. معیارهای ورود شامل شاخص توده بدنی (BMI یا Body mass index) نرمال (۲۰-۱۸/۵ کیلوگرم بر مترمربع)، عدم سابقه ابتلا به بیماری‌های قلبی-عروقی، ریوی، عصبی-عضلانی، اسکلتی-عضلانی، صرع، تشنج، دیابت، عدم مصرف داروهای فشار خون و داروهای تأثیرگذار بر ضربان قلب، عدم مصرف قهوه، کافئین و الکل از ۱۲ ساعت قبل از انجام تست بود. همچنین، عدم تمایل به ادامه همکاری در هر مرحله از انجام تست، افزایش ضربان قلب بیش از ۱۸۰ ضربه در دقیقه و دمای عمقی بیش از ۳۹ درجه سانتی‌گراد نیز به عنوان معیارهای خروج در نظر گرفته شد. مراحل ارزیابی کارایی شلوارک در شکل ۳ نشان داده شده است.

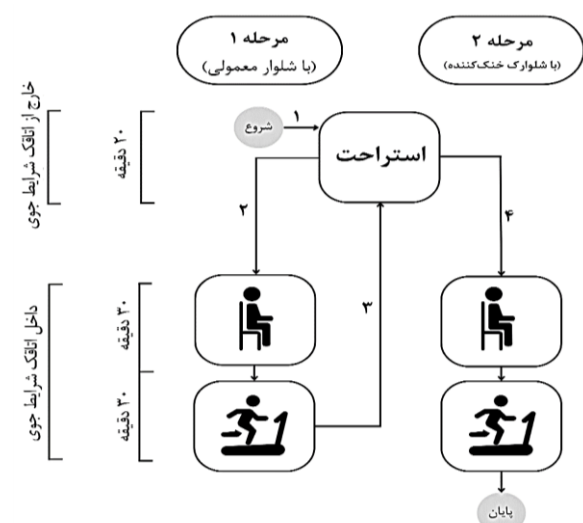
شرکت‌کنندگان ابتدا به مدت ۲۰ دقیقه در خارج از اتاقک شرایط جوی و در حالت آسایش دمایی استراحت کردند و پس از ورود به اتاقک شرایط جوی و شروع آزمایش، شاخص‌های فیزیولوژیک شامل ضربان قلب با استفاده از دستگاه پالس اکسی‌متر (MicroLife OXY 300، آمریکا)، دمای پوست در ناحیه ران با استفاده از ترمومتر (مدل Dual Temp Biofeedback، شرکت سینا، ایران)، دمای گوش با استفاده از تب‌سنج دیجیتالی (مدل MicroLife IR 120، آمریکا) اندازه‌گیری شد و در نهایت، شاخص استرین فیزیولوژیک (Physiological Strain Index یا PSI) محاسبه گردید. جهت محاسبه PSI (این شاخص یک شاخص ارزیابی استرین فیزیولوژیک ناشی از گرما است که بار وارد آمده به سیستم قلبی-عروقی و تنظیم حرارتی بدن را لحاظ می‌کند) از رابطه ۱ استفاده شد (۲۳) که Tct دمای عمقی (دهانی) بدن در هنگام فعالیت، Tc0 دمای عمقی (دهانی) بدن در حالت استراحت، HRct تعداد ضربان قلب در هنگام فعالیت و HRc0 تعداد ضربان قلب در حالت استراحت می‌باشد.

$$\text{رابطه ۱} \quad \text{PSI} = 5 \times (\text{Tct} - \text{Tc0}) / (39.5 - \text{Tc0}) + 5 \times (\text{HRct} - \text{HRc0}) / (180 - \text{HRc0})$$

امتیاز نهایی PSI بین صفر تا ۱۰ است که امتیاز صفر تا ۲ عدم وجود استرس گرمایی، امتیاز ۳-۴ استرس گرمایی کم، امتیاز ۵-۶ استرس گرمایی متوسط، امتیاز ۷-۸ استرس گرمایی بالا، امتیاز ۹-۱۰ استرس گرمایی خیلی بالا و شدید را نشان می‌دهد (۲۳). به منظور جلوگیری از اثرات متفاوت لباس‌های داوطلبان بر روی استرین گرمایی، در مرحله اول افراد از شلوار کار معمولی (پارچه ۷۰ درصد پلی‌استر و ۳۰ درصد کتان) استفاده کردند و سپس وارد اتاقک شرایط جوی (با ابعاد ۳ × ۴ متر و ارتفاع ۲/۸ متر و میانگین دمای خشک ۳۸/۷ درجه سانتی‌گراد، دمای تر ۲۶ درجه سانتی‌گراد، دمای گویسان ۳۸/۹ درجه سانتی‌گراد، شاخص دمای تر گویسان (Wet-bulb globe temperature یا WBGT) ۲۹/۶ درجه سانتی‌گراد و رطوبت نسبی ۴۲/۵ درصد) شدند و به مدت ۳۰ دقیقه در حالت نشسته و ۳۰ دقیقه روی دستگاه تردمیل (مدل Kettler، آلمان) با سرعت ۳ کیلومتر در ساعت و شیب صفر درجه پیاده‌روی کردند و شاخص‌های فوق به فاصله هر ۵ دقیقه به مدت ۶۰ دقیقه اندازه‌گیری شد. سپس فرد از اتاقک خارج شد و به مدت ۲۰ دقیقه استراحت کرد تا شاخص‌های فیزیولوژیک به حالت عادی برگردند. سپس فرد شلوارک خنک‌کننده تبخیری شارژ شده را پوشید و تمامی شاخص‌های مرحله اول در همان شرایط قبل اندازه‌گیری گردید (۱۳).

از آزمون Shapiro-Wilk به منظور ارزیابی نرمال بودن داده‌ها استفاده شد. در صورت نرمال بودن داده‌ها، از آزمون Paired t و در صورت غیر نرمال

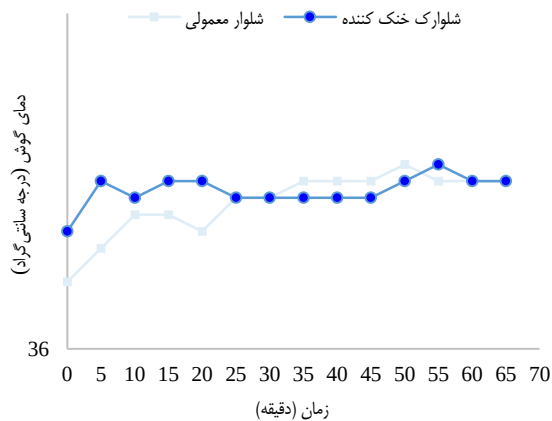
به منظور کنترل رطوبت نسبی در محفظه، از یک پمپ با دبی ۲۰ تا ۵۰ معنای فوت مکعب در دقیقه و برای اندازه‌گیری دما و رطوبت داخل آن، از دستگاه دما-رطوبت‌سنج (مدل TES-1364، تایوان) استفاده گردید. همچنین، به منظور تأمین درجه حرارت مورد نیاز در اتاقک، از هیتر برقی با توان حرارتی ۵۰۰ وات (مدل hs-860، شرکت پارس‌خزر، ایران) استفاده گردید. در این مرحله، شلوارک خنک‌کننده تبخیری به مدت ۵ دقیقه در آب با دمای معمولی غوطه‌ور و شارژ گردید. سپس آب اضافی آن با فشردن خارج شد و بلافاصله روی یک پوششی که از پلاستیک پر شده بود تا حجمی شبیه به پایین‌تنه بگیرد و روی یک پایه فلزی قرار گرفته بود، پوشانده شد و با استفاده از ترازو با دقت ۰/۱ گرم توزین شد و به مدت ۱۲۰ دقیقه در داخل محفظه طراحی شده با شرایط دمایی ۳۰ درجه سانتی‌گراد و رطوبت ۴۵ درصد قرار داده شد (شکل ۳).



شکل ۳. مراحل ارزیابی کارایی شلوارک خنک‌کننده تبخیری در مطالعه

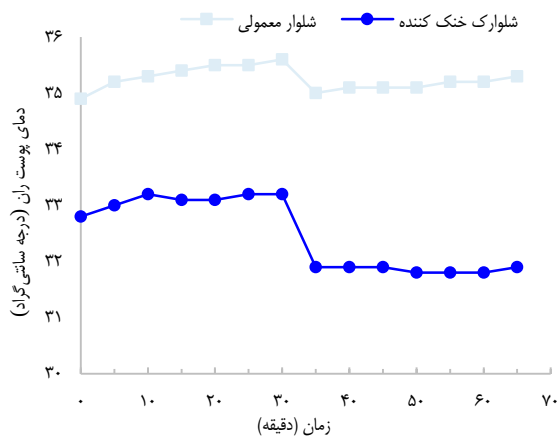
طی انجام آزمایش، نظارت کامل بر شرایط دمایی و رطوبتی صورت گرفت؛ به گونه‌ای که هیچ‌گاه تغییرات دمایی بیشتر از ۱ درجه سانتی‌گراد و رطوبت بیش از ۱۰ درصد رخ نداد. در انتها، پس از سپری شدن ۱۲۰ دقیقه، مجدد وزن شلوارک خنک‌کننده توزین و ثبت گردید. مراحل مذکور در دماهای ۳۰، ۳۵، ۴۰ و ۴۵ درجه سانتی‌گراد و با رطوبت ۳۰-۴۵ درصد و با دو تکرار در هر شرایط دمایی جهت کاهش خطای اندازه‌گیری انجام شد. به منظور محاسبه توان خنک‌کنندگی شلوارک خنک‌کننده، از رابطه $Q = \text{ml}$ استفاده گردید. اختلاف وزن قبل و بعد از ورود به هر شرایط دمایی و رطوبتی (m) در میزان گرمایی نهان تبخیر آب (l) ضرب شد و میزان توان خنک‌کنندگی شلوارک (Q) بر حسب وات محاسبه گردید (۱۲).

ارزیابی کارایی شلوارک در کاهش استرس حرارتی: در این مرحله به منظور ارزیابی کارایی شلوارک تبخیری طراحی شده در کاهش استرس حرارتی، ۱۲ مرد با میانگین سنی $23/9 \pm 3/9$ سال، وزن $83/1 \pm 11/8$ کیلوگرم و با در نظر گرفتن معیارهای ورود و خروج وارد مطالعه شدند. حجم نمونه با توجه به مطالعات Bennett و همکاران (۲۰)، Hadid و همکاران (۲۱) و Selkirk و



شکل ۵. روند تغییرات دمای گوش با شلوار کار معمولی و با شلوارک خنک‌کننده

شکل ۶ نشان می‌دهد که پس از استفاده از شلوارک خنک‌کننده، زمانی که فرد در حالت نشسته قرار دارد (از شروع آزمایش تا دقیقه ۳۰)، ۲/۴ درجه سانتی‌گراد و در مرحله تردمیل (دقیقه ۳۵ تا آخر آزمایش) ۳/۳ درجه سانتی‌گراد کاهش میانگین دمای پوست در ناحیه دو ران داشته است.



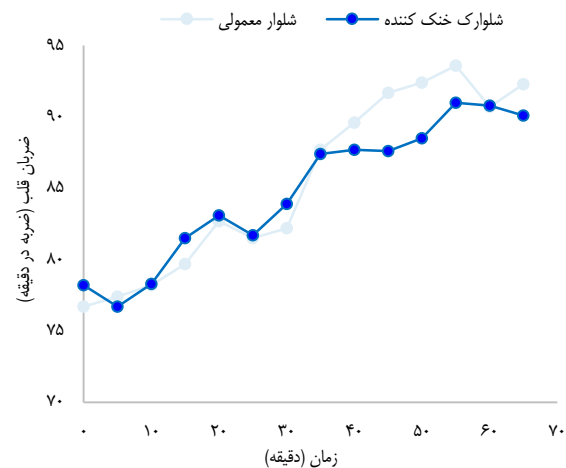
شکل ۶. روند تغییرات دمای پوست ران با شلوار کار معمولی و با شلوارک خنک‌کننده

بودن آن‌ها، از آزمون Wilcoxon استفاده گردید. در نهایت، داده‌ها در نرم‌افزار SPSS نسخه ۲۵ (version 25, IBM Corporation, Armonk, NY) مورد تجزیه و تحلیل قرار گرفت.

یافته‌ها

یافته‌ها نشان داد که توان خنک‌کنندگی شلوارک تبخیری بر اساس میزان آب تبخیر شده در دماهای ۳۰، ۳۵، ۴۰ و ۴۵ درجه سانتی‌گراد به ترتیب ۶۷/۸، ۹۱/۴، ۱۱۳/۳ و ۱۳۸/۱ وات بود. مقادیر میانگین شاخص‌های فیزیولوژیک اندازه‌گیری شده در دو حالت با شلوار معمولی و با شلوارک خنک‌کننده تبخیری در جدول ۱ ارائه شده است.

شکل ۴ روند تغییرات ضربان قلب در دو گروه با شلوارک تبخیری و با شلوار معمولی را نشان می‌دهد. بر اساس آزمون Paired t، اختلاف بین میانگین ضربان قلب در این دو گروه معنی‌دار نبود ($P = ۰/۵۴۷$).



شکل ۴. روند تغییرات ضربان قلب با شلوار کار معمولی و با شلوارک خنک‌کننده

نتایج اندازه‌گیری دمای گوش در دو گروه با شلوار کار معمولی و شلوارک خنک‌کننده نشان داد که تغییرات محسوسی طی آزمایش رخ نداده است ($P = ۰/۴۸۷$). شکل ۵ روند تغییرات دمای گوش را در دو گروه مورد بررسی نشان می‌دهد.

جدول ۱. میانگین شاخص‌های فیزیولوژیک اندازه‌گیری شده در دو حالت با شلوار معمولی و با شلوارک خنک‌کننده تبخیری

شاخص	P	شلوارک خنک‌کننده		شلوار معمولی	
		میانگین $\pm$ انحراف معیار		میانگین $\pm$ انحراف معیار	
ضربان قلب (ضربه در دقیقه)	۰/۵۴۷	۸۴/۷ $\pm$ ۱۲/۵		۸۵/۵ $\pm$ ۱۴/۳	
دمای گوش (درجه سانتی‌گراد)	۰/۴۸۷	۳۶/۹ $\pm$ ۰/۴		۳۶/۹ $\pm$ ۰/۳	
دمای پوست ران (درجه سانتی‌گراد)	۰/۰۰۲	۳۲/۳ $\pm$ ۱/۰		۳۵/۳ $\pm$ ۰/۷	
PSI	۰/۱۵۴	۰/۶ $\pm$ ۰/۳		۱/۲ $\pm$ ۰/۵	

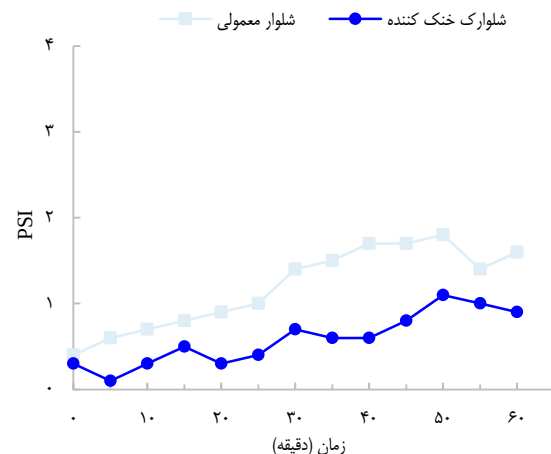
PSI: Physiological Strain Index

هیچ تفاوت معنی‌داری در مقادیر ضربان قلب در طول آزمایش مشاهده نشد، اما میانگین آن پس از استفاده از شلوارک خنک‌کننده در مقایسه با شلوار عادی کاهش داشت که این کاهش نسبی در مرحله تردمیل (دقیقه ۳۵ تا آخر آزمایش) چشمگیرتر و بیشترین کاهش در دقایق ۴۵ و ۵۰ به میزان ۴ ضربه در دقیقه کمتر از حالت با شلوار کار معمولی بود. دمای پوست بدن در ناحیه ران‌ها با استفاده از شلوارک خنک‌کننده تبخیری در تمام فواصل زمانی آزمایش، به طور معنی‌داری کاهش یافت. بیشترین میانگین دمای ثبت شده، ۳۵/۶ درجه سانتی‌گراد در دقیقه ۳۰ آزمایش و با شلوار کار معمولی گزارش شد که مقدار آن برای افراد با شلوارک خنک‌کننده در همان زمان، ۳۲/۲ درجه سانتی‌گراد بود و نشان دهنده ۳/۴ درجه سانتی‌گراد کاهش دمای پوست در این ناحیه می‌باشد.

نتایج مربوط به میانگین ضربان قلب و دمای پوست با یافته‌های تحقیق Karkalic و همکاران (۲۶) همخوانی داشت. در پژوهش آن‌ها، ضمن افزایشی بودن روند تغییرات میانگین ضربان قلب در هر دو حالت با پوشش معمولی و با جلیقه خنک‌کننده تبخیری در طول آزمایش، پس از این که افراد از جلیقه خنک‌کننده تبخیری استفاده کردند، میزان ضربان قلب کاهش چشمگیری را نشان داد و حداکثر اختلاف ۱۱ ضربه در دقیقه در مرحله آخر آزمایش ثبت گردید. همچنین، در حالت با جلیقه خنک‌کننده، دمای پایین‌تر (میانگین 0.2 ± 0.8 درجه سانتی‌گراد) در دو نقطه اندازه‌گیری در ناحیه تنه، به عنوان پیامد مستقیم اثرات این جلیقه بر دمای پوست مشاهده شد (۲۶). در پژوهش Eijssvogels و همکاران که با هدف بررسی تأثیر پوشیدن جلیقه خنک‌کننده تبخیری بر عملکرد آزمایشی دوچرخه‌سواران طی ۴۰ کیلومتر در یک محیط گرم انجام شد، به منظور بررسی روند تغییرات دمای مرکزی بدن در طی آزمایش، دمای رکتال نمونه‌ها (۸ مرد دوچرخه‌سوار و آموزش دیده) اندازه‌گیری گردید و دمای پوست به طور قابل توجهی در طول آزمایش مقادیر کمتری با استفاده از جلیقه خنک‌کننده تبخیری در مقایسه با شرایط شاهد داشت. ضربان قلب ابتدا تفاوتی بین شرایط با و بدون جلیقه نداشت و در طول آزمایش در هر دو شرایط به طور قابل توجهی افزایش داشت و تفاوت آن بین دو حالت شاهد و با جلیقه خنک‌کننده، ۳ ضربه در دقیقه بود که از نظر آماری معنی‌دار نبود (۲۷).

در مطالعه حاضر، میانگین دمای گوش در هر دو حالت روند افزایشی داشت و بیشترین مقدار آن $37/1$ درجه سانتی‌گراد برای دقیقه ۵۰ با شلوارک کار و دقیقه ۵۵ با شلوارک خنک‌کننده ثبت گردید و تفاوت معنی‌داری مشاهده نشد. این نتایج با یافته‌های تحقیق Procter (۲۸) مغایرت داشت. او به این نتیجه دست یافت که پوشیدن جلیقه خنک‌کننده تبخیری، روند افزایش دمای مرکزی بدن طی آزمایش را کاهش می‌دهد؛ به طوری که در آزمایش او نیز در هر دو حالت با جلیقه خنک‌کننده تبخیری و بدون آن روند تغییرات دمای عمقی بدن افزایشی بود و بیشینه آن برای حالت با جلیقه، $0.4 \pm 36/13$ درجه سانتی‌گراد و بدون آن $0.58 \pm 37/14$ درجه سانتی‌گراد ثبت شد و اختلاف مقادیر معنی‌دار بود (۲۷). احتمالاً تفاوت نتایج در مورد دمای مرکزی بدن به دلیل انتخاب دمای رکتال نسبت به دمای گوش -که نماینده بهتری برای دمای مرکزی بدن می‌باشد و تغییرات آن را با حساسیت بیشتری نشان می‌دهد- و همچنین، تفاوت در شدت فعالیت در جین آزمایش می‌باشد. در پژوهش او افراد با توان ۱۰۰ وات فعالیت دوچرخه‌سواری خود را شروع کردند و تا انتهای آزمایش ۲۰ وات به ازای هر دقیقه به آن اضافه شد (۲۸)، اما در مطالعه حاضر افراد در هر مرحله، نصف زمان آزمایش به صورت نشسته و نصف دیگر آن بر روی تردمیل با شدت

شکل ۷ تغییرات نمره PSI را در حین تست شلوارک خنک‌کننده در دو حالت با شلوار معمولی و با شلوارک خنک‌کننده تبخیری نشان می‌دهد. نتایج نشان داد که اختلاف بین میانگین PSI در این دو حالت معنی‌دار نبود ($P = 0/154$).



شکل ۷. روند تغییرات Physiological Strain Index (PSI) با شلوار کار معمولی و با شلوارک خنک‌کننده

بحث

وسایل و تجهیزات خنک‌کننده تبخیری به عنوان یکی از راهکارهای کنترل مواجهه با گرما شناخته می‌شوند که می‌توانند منجر به حذف گرمای مازاد بدن در برابر گرما شوند. پژوهش حاضر با هدف طراحی و ساخت شلوارک خنک‌کننده تبخیری و اعتبارسنجی کارایی آن در کاهش میزان استرین گرمایی انجام شد. یافته‌ها نشان داد که بین توان خنک‌کنندگی شلوارک تبخیری و دمای محیط رابطه مستقیمی وجود دارد؛ به طوری که با افزایش میزان درجه حرارت محیط، توان خنک‌کنندگی افزایش یافت. مطالعه Yi و همکاران که با هدف ارزیابی تأثیر جلیقه خنک‌کننده ترکیبی طراحی شده برای کارگران ساختمانی در کاهش استرس گرمایی انجام شد، توان خنک‌کنندگی جلیقه‌ها در شرایط دمای ۳۴ درجه سانتی‌گراد، رطوبت نسبی ۶۰ درصد محاسبه گردید. توان خنک‌کنندگی جلیقه طراحی شده آن‌ها ۶۷ وات بود (۲۴) که با وجود نزدیک بودن مقدار آن به مقادیر به دست آمده در تحقیق حاضر، احتمالاً تفاوت مقدار آن به دلیل اختلاف سطح پوشش بدن توسط جلیقه نسبت به شلوارک خنک‌کننده و نوع مکانیسم خنک‌کنندگی می‌باشد؛ به طوری که در پژوهش آن‌ها مکانیسم خنک‌کنندگی مواد تغییر فاز مورد استفاده قرار گرفته بود (۲۴).

در مطالعه Ciuha و همکاران که با هدف سنجش میزان مقاومت تبخیری و مقاومت گرمایی انواع مختلف جلیقه‌های خنک‌کننده فردی و در شرایط محیطی با دمای ۳۵ درجه سانتی‌گراد و رطوبت ۳۵ درصد طی مدت زمان ۸ ساعت انجام شد، حداکثر توان خنک‌کنندگی یکی از انواع جلیقه‌های خنک‌کننده تبخیری، ۴۳ وات بر مترمربع گزارش گردید. اختلاف نتایج مقادیر با بررسی حاضر شاید به دلیل تفاوت در نوع پوشش‌های خنک‌کننده و همچنین، مقدار زمان آزمایش باشد (۲۵). بر اساس نتایج به دست آمده، ضربان قلب افراد در هر دو حالت (با شلوارک خنک‌کننده و با شلوار کار معمولی) روند افزایشی داشت و

شناختی و ادراکی می‌باشد.

نتیجه‌گیری

نتایج به دست آمده از آزمایش شلوارک طراحی شده نشان داد که این شلوارک توان خنک‌کنندگی مناسبی در شرایط گرم و خشک دارد و می‌تواند در کاهش دمای پوست در ناحیه ران مؤثر باشد و پیشنهاد می‌گردد که عملکرد شلوارک خنک‌کننده تبخیری در محیط‌های واقعی انجام کار تحت ارزیابی قرار گیرد. همچنین، با توجه به این که شرایط آزمایش به صورت کنترل شده بود، انتظار می‌رود در شرایط واقعی و با عملکرد آزاد افراد و در شرایط رطوبت پایین‌تر محیط و سرعت هوای بیشتر به علت بالاتر رفتن میزان تبخیر آب، توان خنک‌کنندگی آن نیز بیشتر شود.

تشکر و قدردانی

پژوهش حاضر برگرفته از پایان‌نامه مقطع کارشناسی ارشد با کد ۳۹۹۹۳۷، مصوب دانشگاه علوم پزشکی اصفهان می‌باشد. بدین وسیله از تمام کسانی که در انجام این مطالعه همکاری نمودند، تشکر و قدردانی به عمل می‌آید.

فعالیت سبک (سرعت ۳ کیلومتر در ساعت و شیب صفر درجه) راه رفتند. در تحقیق Eijssvogels و همکاران، دمای مرکزی بدن تغییرات معنی‌داری پس از استفاده از جلیقه خنک‌کننده تبخیری نداشت. علاوه بر این، میزان افزایش دمای مرکزی و حداکثر آن بین دو گروه با شلوارک کار (0.5 ± 0.1 و 39.1 ± 0.4 و 1.5 ± 0.4 درجه سانتی‌گراد) و با جلیقه خنک‌کننده (0.3 ± 0.1 و 39.0 ± 0.4 و 1.4 ± 0.4 درجه سانتی‌گراد) تفاوتی را نشان نداد (۲۷) که با نتایج بررسی حاضر همسو بود.

با توجه به محدودیت‌های مالی و عدم دسترسی به مانکن‌های حرارتی، امکان انجام آزمایش‌های مربوط به تعیین میزان توان خنک‌کنندگی شلوارک طراحی شده با استفاده از این مانکن‌ها وجود نداشت. بنابراین، یکی از پیشنهادها برای پژوهش‌های آینده، طراحی و ساخت مانکن حرارتی مناسب و بررسی توان خنک‌کنندگی این شلوارک بر روی آن و یا نمونه‌های انسانی در اتاقک شرایط جوی می‌باشد. پیشنهاد می‌گردد با توجه به تعداد نمونه‌ها (۱۲ نفر)، در مطالعات آینده عملکرد شلوارک با تعداد نمونه بیشتری صورت پذیرد. همچنین، شرایط آزمایشگاهی و کنترل شده که در تحقیق حاضر برقرار بود، به شرایط واقعی و به صورت میدانی در یکی از صنایع دارای فرایند گرم تغییر باید. از دیگر پیشنهادها، استفاده توأم دیگر پوشش‌های خنک‌کننده مانند جلیقه‌ها و یا پوشش‌های موضعی همراه با این شلوارک و بررسی نتایج آن بر شاخص‌های فیزیولوژیک،

References

- Chan A, Yi W. Heat stress and its impacts on occupational health and performance. *Indoor Built Environ* 2016; 25(1): 3-5.
- Krishnamurthy M, Ramalingam P, Perumal K, Kamalakannan LP, Chinnadurai J, Shanmugam R, et al. Occupational heat stress impacts on health and productivity in a steel industry in southern India. *Saf Health Work* 2017; 8(1): 99-104.
- Licker R, Dahl K, Abatzoglou J. Quantifying the impact of future extreme heat on the outdoor work sector in the United States. *Elem Sci Anth* 2022; 10(1): 1-16.
- Abdelnour SA, Abd El-Hack ME, Khafaga AF, Arif M, Taha AE, Noreldin AE. Stress biomarkers and proteomics alteration to thermal stress in ruminants: A review. *J Therm Biol* 2019; 79: 120-34.
- Karthick S, Kermanshachi S, Pamidimukkala A. Impact analysis of heat on physical and mental health of construction workforce. *Proceedings of the ASCE International Conference on Transportation & Development*; 2022 May 31–June 3; Seattle, WA, USA.
- Boonruksa P, Maturachon T, Kongtip P, Woskie S. Heat stress, physiological response, and heat-related symptoms among Thai sugarcane workers. *Int J Environ Res Public Health* 2020; 17(17).
- Ebi KL, Capon A, Berry P, Broderick C, de Dear R, Havenith G, et al. Hot weather and heat extremes: health risks. *Lancet* 2021; 398(10301): 698-708.
- Caporale A, Botti L, Galizia FG, Mora C. Assessing the impact of environmental quality factors on the industrial performance of aged workers: A literature review. *Saf Sci* 2022; 149: 105680.
- Valipour F, Dehghan H, Yazdani Rad S, Zare M. Comparing the effect of two portable cooling vests on physiological parameters under hot laboratory conditions. *Iranian Journal of Health, Safety and Environment* 2019; 6(2): 1243-8.
- Yazdanirad S, Golbabaie F, Khoshakhlagh AH, Sarsangi V, Yaseri M, Mousavi SM. Development and validation of the tools for evaluating awareness and practice related to heat stress among the workers of warm workplaces. *J Health Saf Work* 2022; 12(1): 1-24.
- Haghighat M, Yazdanirad S, Faridan M, Jahadi Naeini M, Mousavi SM. Application of hybrid Shannon's entropy-PROMEETEE methods in weighing and prioritizing industrial noise control measures. *Theor Issues Ergon Sci* 2022; 23(5): 517-30.
- Jahadinaeini M, Dehghan H. Design and construction of evaporative local cooling coatings and evaluate their efficiency in improving some perceptual indicators in laboratory conditions. *Koomesh* 2022; 24(6): 776-84. [In Persian].

13. Jahadi M, Dehghan H. Design and validation of novel evaporative local cooling coatings to prevent adverse health effects of heat exposure. *Int J Prev Med* 2023; 14: 30.
14. 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): 219-23.
15. Pomara G, Morelli G, Canale D, Turchi P, Caglieresi C, Moschini C, et al. Alterations in sperm motility after acute oral administration of sildenafil or tadalafil in young, infertile men. *Fertil Steril* 2007; 88(4): 860-5.
16. Robbins WA, Elashoff DA, Xun L, Jia J, Li N, Wu G, et al. Effect of lifestyle exposures on sperm aneuploidy. *Cytogenet Genome Res* 2005; 111(3-4): 371-7.
17. Woodruff TJ, Carlson A, Schwartz JM, Giudice LC. Proceedings of the summit on environmental challenges to reproductive health and fertility: Executive summary. *Fertil Steril* 2008; 89(2): 281-300.
18. Bright FM, Chaseling GK, Jay O, Morris NB. Self-paced exercise performance in the heat with neck cooling, menthol application, and abdominal cooling. *J Sci Med Sport* 2019; 22(3): 371-7.
19. Desai T, Bottoms L. Neck cooling improves table tennis performance amongst young national level players. *Sports (Basel)* 2017; 5(1): 19.
20. Bennett BL, Hagan RD, Huey KA, Minson C, Cain D. Comparison of two cool vests on heat-strain reduction while wearing a firefighting ensemble. *Eur J Appl Physiol Occup Physiol* 1995; 70(4): 322-8.
21. Hadid A, Yanovich R, Erlich T, Khomenok G, Moran DS. Effect of a personal ambient ventilation system on physiological strain during heat stress wearing a ballistic vest. *Eur J Appl Physiol* 2008; 104(2): 311-9.
22. Selkirk GA, McLellan TM, Wong J. Active versus passive cooling during work in warm environments while wearing firefighting protective clothing. *J Occup Environ Hyg* 2004; 1(8): 521-31.
23. Moran DS, Montain SJ, Pandolf KB. Evaluation of different levels of hydration using a new physiological strain index. *Am J Physiol* 1998; 275(3): R854-R860.
24. Yi W, Zhao Y, Chan APC. Evaluating the effectiveness of cooling vest in a hot and humid environment. *Ann Work Expo Health* 2017; 61(4): 481-94.
25. Ciuha U, Valencic T, Mekjavic IB. Cooling efficiency of vests with different cooling concepts over 8-hour trials. *Ergonomics* 2021; 64(5): 625-39.
26. Karkalic R, Jovanovic D, Radakovic S, Rajic D, Petrovic BV, Ivankovic ND, et al. The influence of the passive evaporative cooling vest on a chemical industry workers and physiological strain level in hot conditions. *Hem Ind* 2015; 69(6): 587-94.
27. Eijvogels TM, Bongers CC, Veltmeijer MT, Moen MH, Hopman M. Cooling during exercise in temperate conditions: impact on performance and thermoregulation. *Int J Sports Med* 2014; 35(10): 840-6.
28. Procter J. The Effect of an evaporative cooling vest during 40km time trial performance in the heat [BSc Thesis]. Hatfield, UK: University of Hertfordshire; 2017.