DOI: 10.48305/jhsr.v20i1.1526 Published by Vesnu Publications

Journal of Health System Research Vol. 20, No. 1, Spring

Received: 28.05.2023 Accepted: 13.09.2023 Published: 03.04.2024

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

Sina Malek Raisi[1], Seyed Mahdi Mousavi[2], Habibollah Dehghan[3]

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

This is an open-access article distributed under the terms of the Creative Commons Attribution-NonCommercial 4.0 Unported License, which permits unrestricted use, distribution, and reproduction in any medium, provided the original work is properly cited.

[Downloaded from hsr.mui.ac.ir on 2026-06-03]

[DOI: 10.48305/jhsr.v20i1.1526]

DOI: 10.48305/jhsr.v20i1.1526 Published by Vesnu Publications

طراحی و ساخت شلوارک خنک‌کننده تبخیری و ارزیابی اثرات آن بر استرین‌های گرمایی در شرایط گرم آزمایشگاهی

سینا ملک رئیسی[1]، سید مهدی موسوی[2]، حبیب‌اله دهقان[3]

مقاله پژوهشی

چکیده

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

روش‌ها: این مطالعه در سه مرحله شامل «طراحی و ساخت شلوارک خنک‌کننده تبخیری، محاسبه توان خنک‌کنندگی 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 خنک‌کننده تبخیری را انجام دادند. در طی انجام مراحل تست، شاخص‌های فیزیولوژیک شامل ضربان قلب، دمای پوست ران، دمای گوش و شاخص استرین فیزیولوژیک (Physiological Strain Index یا PSI) هر ۵ دقیقه یک‌بار اندازه‌گیری گردید. داده‌ها در نرم‌افزار SPSS مورد تجزیه و تحلیل قرار گرفت.

یافته‌ها: شلوارک خنک‌کننده تبخیری طراحی شده، موجب کاهش دمای پوست در ناحیه ران (به میزان ۳ درجه سانتی‌گراد) شد ($P < ۰/۰۵$). همچنین، ارتباط معنی‌داری بین دو حالت شلوار معمولی و شلوارک خنک‌کننده در شاخص‌های فیزیولوژیک ضربان قلب، دمای گوش و PSI مشاهده نگردید ($P > ۰/۰۵$).

نتیجه‌گیری: شلوارک خنک‌کننده طراحی شده می‌تواند نقش مثبتی در کاهش دمای پوست ایفا کند و پیشنهاد می‌گردد عملکرد آن در محیط‌های واقعی تحت ارزیابی قرار گیرد.

واژه‌های کلیدی: استرین گرمایی؛ ضربان قلب؛ دمای پوست؛ شاخص استرین فیزیولوژیک

ارجاع: ملک رئیسی سینا، موسوی سید مهدی، دهقان حبیب‌اله. **طراحی و ساخت شلوارک خنک‌کننده تبخیری و ارزیابی اثرات آن بر استرین‌های گرمایی در شرایط گرم آزمایشگاهی.** مجله تحقیقات نظام سلامت ۱۴۰۳؛ ۲۰ (۱): ۳۱-۲۴

دریافت مقاله: ۱۴۰۲/۳/۷ پذیرش مقاله: ۱۴۰۲/۶/۲۲ تاریخ چاپ: ۱۴۰۳/۱/۱۵

مقدمه

گرما به عنوان یکی از عوامل فیزیکی زیان‌آور در محیط‌های کاری شناخته می‌شود (۱). مواجهه با گرما می‌تواند به علت ماهیت فرایند باشد که در صنایعی مانند فولاد، ذوب‌آهن و شیشه‌سازی وجود دارد (۲) و یا ناشی از شرایط آب و هوایی است که افراد با مشاغلی مانند کشاورزی، ماهیگیری و ساخت و ساز ساختمان را تحت تأثیر قرار می‌دهد (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 می‌شود (۴). افزایش میزان تعریق، بالا رفتن ضربان قلب و افزایش دمای بدن از جمله استرین‌های گرمایی است که بدن در مواجهه با گرما از خود نشان می‌دهد. هنگامی که بدن در دفع گرمای اضافی به محیط دچار مشکل شود، استرین حرارتی رخ می‌دهد (۵). این حالت زمانی اتفاق می‌افتد که فرد برای مدت زمان طولانی در محیطی با دمای بالا حضور داشته باشد. قرار گرفتن طولانی مدت در این محیط، می‌تواند 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 می‌تواند منجر به افزایش خطر وقوع حوادث در صنایع، کاهش ظرفیت شناختی افراد، افزایش میزان بروز خطای انسانی و کاهش عملکرد و بهره‌وری کارکنان شود (۸، ۷).

به طور کلی، به منظور کنترل مواجهه با گرما، راهکارهایی مانند کنترل فنی و مهندسی، کنترل مدیریتی و کنترل‌های فردی توصیه شده است (۹). به دلیل محدودیت‌های مالی و وجود محیط‌های روباز و همچنین، تعدد منابع مولد گرما در محیط‌های کاری، استفاده از راهکارهای فنی و مهندسی مانند اصلاح فرایندی و عایق‌کاری منابع مولد گرما و راهکارهای مدیریتی مانند کاهش مدت زمان مواجهه با گرما، محدودیت دارد (۱۰). از این‌رو، استفاده از وسایل و تجهیزات خنک‌کننده فردی به عنوان آخرین راهکار از سلسله مراتب کنترل مواجهه با گرما در محیط‌های کاری توصیه می‌شود (۱۱). این تجهیزات، گرمای مازاد بدن را جذب می‌کنند و باعث کاهش میزان استرس حرارتی در افراد در معرض گرما می‌شوند و در نتیجه، می‌توانند منجر به بهبود عملکرد فیزیکی و شناختی افراد

۱- کارشناس ارشد، گروه مهندسی بهداشت حرفه‌ای و ایمنی کار، دانشکده بهداشت، دانشگاه علوم پزشکی اصفهان، اصفهان، ایران
۲- دانشجوی دکتری تخصصی، کمیته تحقیقات دانشجویی و گروه مهندسی بهداشت حرفه‌ای و ایمنی کار، دانشکده بهداشت، دانشگاه علوم پزشکی اصفهان، اصفهان، ایران
۳- استاد، گروه مهندسی بهداشت حرفه‌ای و ایمنی کار، دانشکده بهداشت، دانشگاه علوم پزشکی اصفهان، اصفهان، ایران
نویسنده مسؤول: حبیب‌اله دهقان؛ استاد، گروه مهندسی بهداشت حرفه‌ای و ایمنی کار، دانشکده بهداشت، دانشگاه علوم پزشکی اصفهان، اصفهان، ایران
Email: ha_dehghan@hlth.mui.ac.ir

[Downloaded from hsr.mui.ac.ir on 2026-06-03]
[DOI: 10.48305/jhsr.v20i1.1526]

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

خنک‌کننده‌های تبخیری، خنک‌کننده‌های مبتنی بر تغییر فاز مواد، سیستم‌های گردش مایعات و سیستم‌های هوای فشرده از جمله انواع سیستم‌های خنک‌کننده موجود می‌باشد. خنک‌کننده‌های تبخیری حاوی ژل یا کریستال‌های مخصوص هستند که با خیساندن در آب، متورم می‌شوند و از گرمای جذب شده از بدن کاربر برای تبخیر آب ذخیره شده در این کریستال‌ها استفاده می‌کنند (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 می‌تواند منجر به عرق‌سوز شدن و یا ناباروری شود. در حالت طبیعی، دمای بیضه‌ای در اسکروتوم ۱ تا ۲ درجه سانتی‌گراد از دمای داخلی بدن کمتر می‌باشد و افزایش دمای بیضه می‌تواند 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 لباس‌های تنگ می‌توانند تنظیم دمای داخلی کیسه بیضه را مختل کنند و منجر به افزایش دمای بیضه شوند (۱۶). گزارش‌های زیادی در مورد سلامت باروری کارگران در مواجهه با درجه حرارت بالا وجود دارد. به طور مثال، محققان شیوع بالای اسپرم‌های آسیب دیده را در میان کارگران صنعت سرامیک مشاهده کردند (۱۷). از این‌رو، استفاده از تجهیزات خنک‌کننده به منظور پیشگیری از این عوارض نامطلوب، ضروری به نظر می‌رسد.

وسایل و تجهیزات خنک‌کننده تبخیری، یکی از ساده‌ترین مکانیسم‌های مقابله با افزایش دمای عمقی بدن را دارد. مطالعات گذشته کارایی این تجهیزات را در کاهش پیامدهای نامطلوب مواجهه با گرما نشان داده‌اند. به طور مثال، Bright و همکاران یک نوع پوشش خنک‌کننده تبخیری طراحی و تولید کردند که با پوشاندن ناحیه گردن، این قابلیت را داشت که با خنک کردن عروق کاروتید، می‌توانست منجر به کاهش محسوس احساس گرمایی و در نتیجه، بهبود عملکرد جسمانی و شناختی افراد شود (۱۸). در تحقیق Desai و Bottoms یک نوع خنک‌کننده تبخیری برای پوشاندن ناحیه گردن طراحی کردند و دریافتند که پوشش طراحی شده می‌تواند منجر به بهبود کیفیت تمرین و عملکرد حین مسابقه در تنیس‌بازان شود (۱۹). جهادی‌نائینی و دهقان نیز پوشش‌های خنک‌کننده تبخیری موضعی را طراحی و تولید و گزارش نمودند که پوشش‌های خنک‌کننده تبخیری موضعی، می‌تواند منجر به بهبود شاخص‌های ادراکی در مواجهه با گرما در شرایط آزمایشگاهی شود (۱۲).

تاکنون پژوهشی در زمینه ساخت و طراحی شلوارک خنک‌کننده تبخیری و اعتبارسنجی کارایی آن در محیط‌های گرم انجام نشده است. از این‌رو، هدف از انجام مطالعه حاضر، طراحی و ساخت نوعی شلوارک خنک‌کننده تبخیری و اعتبارسنجی آن در محیط آزمایشگاهی بود.

روش‌ها

این تحقیق تجربی در سه مرحله «طراحی و دوخت شلوارک خنک‌کننده تبخیری، محاسبه توان خنک‌کنندگی و ارزیابی کارایی شلوارک در کاهش 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 خنک‌کننده تبخیری: در این مرحله، بر اساس سایزبندی 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 تنفس‌پذیر و با رنگ روشن، لایه میانی از الیاف به هم تنیده شده حاوی کریستال‌های پلیمر جاذب آب ساخته شد و نقش ذخیره‌کننده 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 آن‌ها درخواست شد نظرات خود را در خصوص طراحی و شکل ظاهری، ابعاد و راحتی حین استفاده از آن بیان کنند. سپس بر اساس نظرات ارایه شده توسط کاربران، طرح نهایی شلوارک طراحی و ساخته شد. مکانیزم خنک‌کنندگی این شلوارک به این شکل است که شلوارک به مدت ۵ دقیقه در آب معمولی غوطه‌ور می‌شود و سپس از آب خارج و از طریق فشردن، آب اضافی آن خارج می‌شود. در شکل ۱ شلوارک تبخیری طراحی شده نمایش داده شده است.

شکل ۱. شلوارک تبخیری خنک‌کننده طراحی و ساخته شده در مطالعه

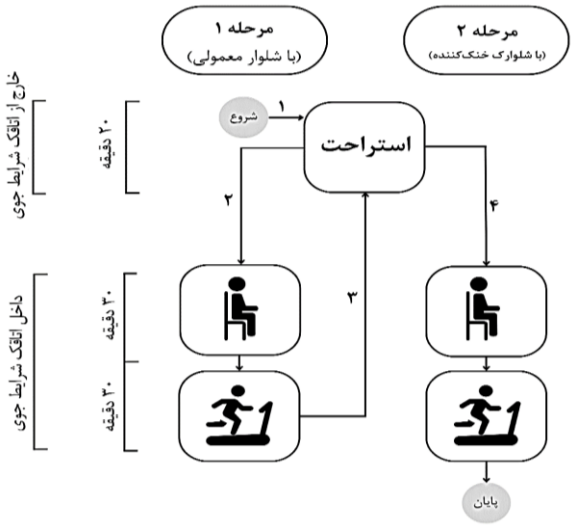
محاسبه توان خنک‌کنندگی شلوارک: به منظور ایجاد شرایط دمایی و رطوبتی مشخص شده برای تعیین توان خنک‌کنندگی شلوارک طراحی شده، یک محفظه به طول ۱۰۰ سانتی‌متر، عرض ۸۰ سانتی‌متر و ارتفاع ۱۱۰ سانتی‌متر که چهارچوب آن از جنس آهن و دیواره‌های آن از جنس کارتن‌پلاست بود، طراحی و ساخته شد (شکل ۲).

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

[Downloaded from hsr.mui.ac.ir on 2026-06-03]

[DOI: 10.48305/jhsr.v20i1.1526]

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 ۴۵-۳۰ 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 = ml استفاده گردید. اختلاف وزن قبل و بعد از ورود به هر شرایط دمایی و رطوبتی (m) در میزان گرمای 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 ۳/۹ ± ۲۳/۶ سال، وزن ۱۱/۸ ± ۸۳/۱ 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 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.

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

امتیاز نهایی PSI بین صفر تا ۱۰ است که امتیاز صفر تا ۲ عدم وجود استرس گرمایی، امتیاز ۴-۳ استرس گرمایی کم، امتیاز ۶-۵ استرس گرمایی متوسط، امتیاز ۸-۷ استرس گرمایی بالا، امتیاز ۱۰-۹ 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 ۴ × ۳ 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 Ketller، 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

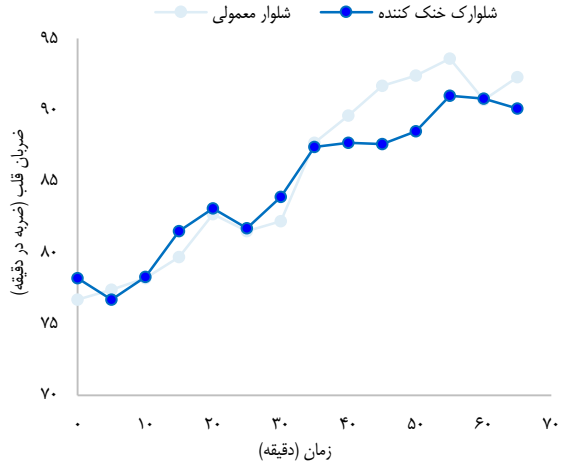
[Downloaded from hsr.mui.ac.ir on 2026-06-03]
[DOI: 10.48305/jhsr.v20i1.1526]

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

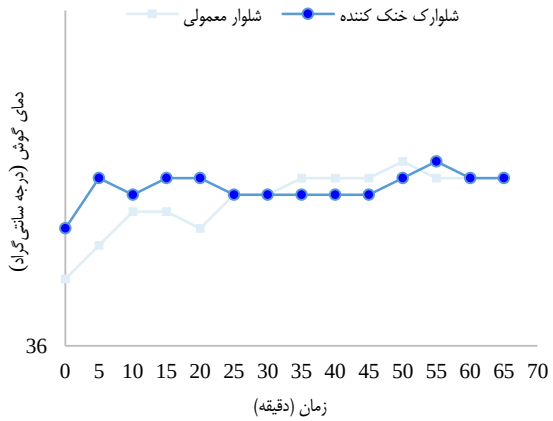
یافته‌ها نشان داد که توان خنک‌کنندگی شلوارک تبخیری بر اساس میزان آب تبخیر شده در دماهای ۳۰، ۳۵، ۴۰ و ۴۵ درجه سانتی‌گراد به ترتیب ۶۷/۸، ۹۱/۴، ۱۱۳/۳ و ۱۳۸/۱ وات بود. مقادیر میانگین شاخص‌های فیزیولوژیک اندازه‌گیری شده در دو حالت با شلوار معمولی و با شلوارک خنک‌کننده تبخیری در جدول ۱ ارایه شده است.

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).



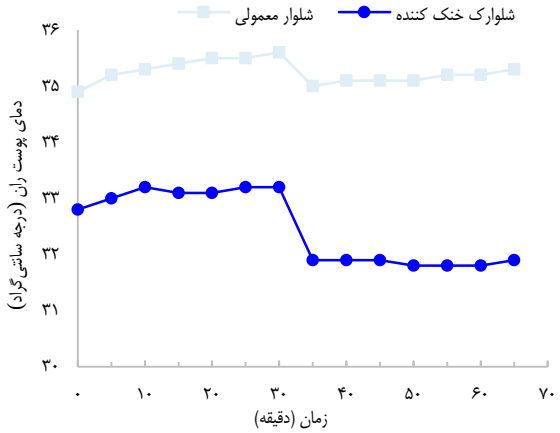
شکل ۴. روند تغییرات ضربان قلب با شلوار کار معمولی و با شلوارک خنک‌کننده

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.



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

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

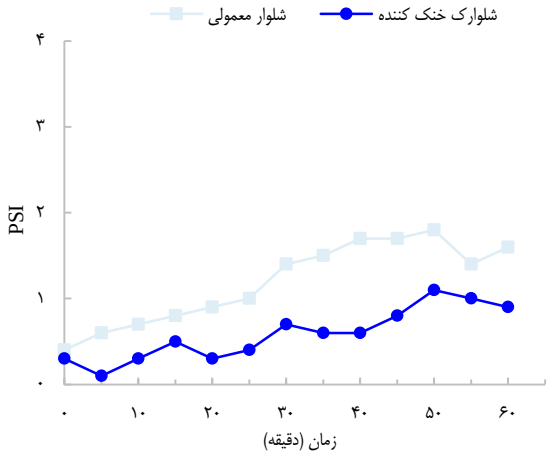
شاخص	شلوار معمولی	شلوارک خنک‌کننده	مقدار P	نوع آزمون
	میانگین ± انحراف معیار	میانگین ± انحراف معیار		
ضربان قلب (ضربه در دقیقه)	۸۵/۵ ± ۱۴/۳	۸۴/۷ ± ۱۲/۵	۰/۵۴۷	Paired t
دمای گوش (درجه سانتی‌گراد)	۳۶/۹ ± ۰/۳	۳۶/۹ ± ۰/۴	۰/۴۸۷	Paired t
دمای پوست ران (درجه سانتی‌گراد)	۳۵/۳ ± ۰/۷	۳۲/۳ ± ۱/۰	۰/۰۰۲	Wilcoxon
PSI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

PSI: Physiological Strain Index

[Downloaded from hsr.mui.ac.ir on 2026-06-03]

[DOI: 10.48305/jhsr.v20i1.1526]

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 = ۰/۱۵۴).



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 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 سانتی‌گرادکاهش 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 ۰/۰۲ ± ۰/۸ درجه سانتی‌گراد) در دو نقطه اندازه‌گیری در ناحیه تنه، به عنوان پیامد مستقیم اثرات این جلیقه بر دمای پوست مشاهده شد (۲۶). در پژوهش Eijsvogels 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 ۳۷/۱ 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، ۰/۴۰ ± ۳۶/۱۳ درجه سانتی‌گراد و بدون آن ۰/۵۸ ± ۳۷/۱۴ 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 حین 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

[Downloaded from hsr.mui.ac.ir on 2026-06-03]
[DOI: 10.48305/jhsr.v20i1.1526]

فعالیت سبک (سرعت ۳ کیلومتر در ساعت و شیب صفر درجه) راه رفتند. در تحقیق Eijsvogels 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 (۰/۵ ± ۳۹/۱ و ۰/۴ ± ۱/۵ درجه سانتی‌گراد) و با جلیقه خنک‌کننده (۰/۳ ± ۳۹/۰ و ۰/۴ ± ۱/۴ 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 یابد. 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، 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.

References

1. Chan A, Yi W. Heat stress and its impacts on occupational health and performance. Indoor Built Environ 2016; 25(1): 3-5.
2. 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.
3. 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.
4. 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.
5. 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.
6. 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).
7. 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.
8. 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.
9. 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.
10. Yazdanirad S, Golbabaei 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.
11. Haghighat M, Yazdanirad S, Faridan M, Jahadi Naeini M, Mousavi SM. Application of hybrid Shannon's entropy-PROMEHTEE methods in weighing and prioritizing industrial noise control measures. Theor Issues Ergon Sci 2022; 23(5): 517-30.
12. 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].

[Downloaded from hsr.mui.ac.ir on 2026-06-03]

[DOI: 10.48305/jhsr.v20i1.1526]

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. Eijsvogels 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.

[Downloaded from hsr.mui.ac.ir on 2026-06-03]

[DOI: 10.48305/jhsr.v20i1.1526]