Journal of Military Medicine
2022, Volume 24, Issue 2
Pages: 1106-1114
10.30491/JMM.24.2.1106

Optimal Selection of Working Cloth Fabric for Military Personnel and Workers in Hot and Dry Areas with A Multivariate Decision-Making Approach

Milad Derakhshanjazari [1], Masoud Haghani [2], Mohammad Reza Monazzam [3], Ruhollah Bagherzadeh [4], Zahra Zamanian [5*], Morteza Pazhohnia [1]

[1] *Department of Occupational Health, Baqiyatallah University of Medical Sciences, Tehran, Iran*
[2] *Department of Radiology, School of Paramedical Sciences, Shiraz University of Medical Sciences, Shiraz, Iran*
[3] *Department of Occupational Health Engineering, School of Public Health, Tehran University of Medical Sciences, Tehran, Iran*
[4] *Department of Textile Engineering, Advanced Textile Materials and Technology Research Institute (ATMT), Amirkabir University of Technology, Tehran, Iran*
[5] *Department of Occupational Health Engineering, School of Health, Shiraz University of Medical Sciences, Shiraz, Iran*

Received: 10 October 2021 **Accepted:** 7 June 2022

Abstract

Background and Aim: Working cloth is one of the most important personal protective equipment for workers and the military, and its proper selection for hot and dry areas plays an important role in heat exchange and balance between the human body and the environment. Therefore, this study was conducted to evaluate the heat transfer and comfort of fabrics and the optimal selection of fabrics for military personnel and workers in hot and dry areas.

Methods: This experimental study was carried out on 16 types of common fabrics of military personnel and workers in hot and dry areas. This fabric has a combination of 4 texture patterns and 4 types of percentage of a combination of cotton and polyester. The fabrics were evaluated in terms of air permeability and water vapor permeability, water absorption, equivalent pore radius, thermal conductivity, tear resistance, and bending stiffness of the machine. Finally, the optimal fabric was selected by combining multivariate decision making and hierarchical analysis (AHP-TOPSIS) and compared with other fabrics using SPSS 16 software.

Results: The results of AHP-TOPSIS showed that the fabric with a combined share of 65% cotton and 35% polyester with a texture of 1/2 shows the optimal behavior in terms of comfort characteristics and heat transfer of the fabric. In a texture of 1/2, the average amount of water absorption, bending stiffness and thermal conductivity in 35% polyester and 65% cotton fabrics are not significantly different from 100% cotton fabrics ($P>0.05$). Also, the average amount of air and water vapor permeability and tear resistance in 35% polyester and 65% cotton fabrics are not significantly different from 65% polyester and 35% cotton fabrics ($P>0.05$).

Conclusion: The results of this study showed that the most optimal fabric for military personnel and workers in hot and dry areas has a composition of 65% cotton and 35% polyester and also has a texture of 1/2.

Keywords: Fabric selection, Working cloth, Military personnel, Workers, Hot and dry areas.

*Corresponding author: **Zahra Zamanian,** Email: zzamamian@yahoo.com

مجله طب نظامی
دوره ۲۴، شماره ۲، اردیبهشت ۱۴۰۱
صفحات: ۱۱۱۴-۱۱۰۶
10.30491/JMM.24.2.1106

انتخاب بهینه پارچه لباس‌کار پرسنل نظامی و کارگران مناطق گرم و خشک با رویکرد تصمیم‌گیری چند متغیره

میلاد درخشان‌جزری[۱]، مسعود حقانی[۲]، محمدرضا منظم[۳]، روح‌الله باقرزاده[۴]، زهرا زمانیان[۵*]، مرتضی پژوه‌نیا[۱]

[۱] گروه مهندسی بهداشت حرفه ای، دانشگاه علوم پزشکی بقیه الله (عج)، تهران، ایران
[۲] گروه رادیولوژی، دانشکده پیراپزشکی، دانشگاه علوم پزشکی شیراز، شیراز، ایران
[۳] گروه مهندسی بهداشت حرفه ای، دانشگاه علوم پزشکی تهران، تهران، ایران
[۴] گروه مهندسی تکنولوژی نساجی، مرکز تحقیقات تکنولوژی و مواد نساجی، دانشگاه صنعتی امیر کبیر، تهران، ایران
[۵] گروه مهندسی بهداشت حرفه ای، دانشگاه علوم پزشکی شیراز، شیراز، ایران

چکیده

زمینه و هدف: لباس‌کار یکی از مهمترین لوازم حفاظت فردی کارگران و نظامیان می‌باشد و انتخاب مناسب آن برای مناطق گرم وخشک نقش مهمی در تبادل و تعادل حرارتی میان بدن انسان و محیط دارد. بنابراین، این مطالعه با هدف ارزیابی انتقال حرارت و راحتی پارچه‌ها و انتخاب بهینه پارچه برای لباس‌کار پرسنل نظامی و کارگران مناطق گرم و خشک انجام گرفت.

روش‌ها: این مطالعه تجربی روی ۱۶ نوع از پارچه‌های رایج لباس در مناطق گرم و خشک انجام گرفت. این پارچه‌ها دارای ترکیب ۴ نوع بافت و ۴ نوع درصد ترکیبی از کتان و پلی‌استر می‌باشد. پارچه‌ها از نظر میزان نفوذپذیری هوا و بخارات آب، جذب آب، شعاع معادل منافذ، هدایت حرارتی، مقاومت پارگی و خمشی براساس استاندارد ارزیابی شدند. نهایتا، پارچه بهینه با ترکیب روش تصمیم‌گیری چند متغیره و تحلیل سلسله مراتبی (AHP-TOPSIS) انتخاب گردید و با سایر پارچه‌ها با استفاده از نرم‌افزار SPSS 16 مورد مقایسه قرار گرفت.

یافته‌ها: نتایج AHP-TOPSIS نشان داد پارچه با سهم ترکیبی ۶۵٪ کتان و ۳۵٪ پلی‌استر با نوع بافت ۱/۲ رفتار بهینه‌ای در میزان ویژگی‌های راحتی و انتقال حرارتی پارچه نشان می‌دهد. در نوع بافت ۱/۲ میانگین مقدار جذب آب، مقاومت خمشی و هدایت حرارتی در پارچه ۳۵٪ پلی‌استر و ۶۵٪ کتان با پارچه‌های ۱۰۰٪ کتان اختلاف معناداری ندارد ($P>0/05$). همچنین میانگین مقدار نفوذپذیری هوا و بخار آب و مقاومت پارگی در پارچه ۳۵٪ پلی‌استر و ۶۵٪ کتان با پارچه های ۶۵٪ پلی‌استر ۳۵٪ کتان اختلاف معناداری ندارد ($P>0/05$).

نتیجه‌گیری: نتایج این مطالعه نشان داد که بهینه‌ترین پارچه برای لباس‌کار پرسنل نظامی و کارگران مناطق گرم و خشک دارای ترکیب ۶۵٪ کتان و ۳۵٪ پلی‌استر و همچنین دارای نوع بافت ۱/۲ می‌باشد.

کلیدواژه‌ها: انتخاب پارچه، لباس‌کار، پرسنل نظامی، کارگران، مناطق گرم و خشک.

*نویسنده مسئول: **زهرا زمانیان.** پست الکترونیک: zzamamian@yahoo.com
دریافت مقاله: ۱۴۰۰/۰۷/۱۸ پذیرش مقاله: ۱۴۰۱/۰۳/۱۷

مقدمه

لباس‌کار یکی از مهمترین لوازم حفاظت فردی کارگران و نظامیان می‌باشد و نقش مهمی در تبادل و تعادل حرارتی میان بدن انسان و محیط‌های کاری گرم دارد (۳-۱). البته این اهمیت بسیار متاثر از ویژگی‌های ساختاری فیزیکی و شیمیایی پارچه لباس‌کار می‌باشد که موجب می‌شود هریک از پارچه‌ها دارای رفتارهای حرارتی متفاوتی باشد (۶-۴). مطالعات نشان داده است که دمای تجمع‌یافته در بدن کارگران و نظامیان ناشی از متابولیسم کاری و دمای محیطی در مناطق روباز گرم و خشک با دمای بیش از ۳۵ درجه سیلسیوس و رطوبت نسبی کمتر از ۳۰٪ موجب افزایش دمای عمقی بدن می‌گردد (۷). بنابراین، بیشترین تمایل بدن انسان برای تبادل حرارتی با محیط از طریق مکانیزم‌های تبخیر عرق و جابجایی حرارتی می‌باشد (۱،۸).

از این رو لازم است پارچه لباس‌کار می‌بایست از نظر ویژگی راحتی حرارتی یعنی نفوذپذیری هوا و بخار آب، جذب آب، هدایت حرارتی، و همچنین از نظر ویژگی‌های دوام و نرمی پارچه اعم از مقاومت کششی و خمشی دارای شرایط مناسبی باشند که پارچه لباس‌کار مانع مکانیزم‌های انتقال حرارت اعم از جابجایی حرارتی و تبخیر عرق از بدن به محیط نهایتا موجب استرس حرارتی بدن نشود (۹،۱۰).

نفوذپذیری هوا و بخارات آب و جذب آب تحت تاثیر منافذ و جنس پارچه قرار می‌گیرد و معیاری از توانایی جذب و انتقال بخارات عرق و همچنین جابجایی حرارت از بدن انسان به محیط می‌باشند (۱۱). توانایی لباس در انتقال بخار آب، عامل تعیین‌کننده و مهمی در راحتی فیزیولوژیکی می‌باشد. ابعاد منافذ و توزیع در پارچه تابعی از هندسه پارچه می‌باشد. قطر نخ، ساختار بافت، تراکم تار و پود و نمره نخ، از جمله پارامترهای اصلی تاثیرگذار بر تخلخل پارچه‌ها می‌باشد (۱۲).

مقاومت خمشی پارچه نیز در نرمی و راحتی لباس‌کار تاثیرگذار است و مطالعات نشان داده است که این متغیر نشان‌دهنده انعطاف‌پذیری پارچه می‌باشد (۱۳) و مقاومت پارگی پارچه‌ها نیز نشان‌دهنده استحکام و دوام پارچه‌ها در حین کار می‌باشند (۱۴). این پارچه‌ها توسط نخ‌های تار و پود بافته می‌شود که توان کششی پارچه و انعطاف‌پذیری آن را ایجاد می‌کند. نخ‌های آن‌ها دارای قطرهای استانداردی می‌باشد. تعداد نخ‌ها در هر اینچ (Tex)، نحوه قرارگیری تار (warp) و پود (weft)، نسبت تار به پود، جرم در واحد سطح پارچه که ضخامت پارچه را نشان می‌دهد و همچنین نوع بافت در میزان انعطاف‌پذیری، نفوذ هوا، مقاومت حرارتی و سطح تماس پارچه تاثیرگذار می‌باشد (۱۵،۱۶).

تا به حال مطالعات زیادی در خصوص اصلاح پارچه‌های لباس‌کار مورد استفاده در مناطق گرم و خشک مشاغل گرم به منظور افزایش راحتی حرارتی پارچه لباس‌کارها انجام شده است. در این مطالعات از نانوذرات یا نانو الیاف در پارچه و هچنین کاربرد فن‌های تهویه‌کننده هوا در لباس‌کار برای تهویه گرما و تبخیر عرق سطح پوست استفاده شده است. راحتی استفاده، کارایی و هزینه این پارچه‌ها و لباسکارها از نظر پرسنل نظامی و کارگران مصرف کننده و حتی کارفرمایان، یکی از نقص‌های عمده محصولات آن‌ها است که موجب توجه کمتر به مطالعات آن‌ها شده است (۲۰-۱۷).

با توجه به اینکه پرسنل نظامی و کارگران مناطق گرم و خشک تمایل بیشتری به استفاده از لباس‌کارهایی دارند که محدودیت در راحتی حرارتی و دوام و نرمی نداشته باشند. از طرفی، مطالعات جامعی در خصوص انتخاب پارچه مناسب از نظر رفتار حرارتی برای لباس‌کار چنین مشاغلی انجام نگرفته است. بنابراین، این مطالعه تجربی با هدف تعیین میزان نفوذپذیری هوا و بخارات آب، جذب آب، هدایت حرارتی، مقاومت پارگی و خمشی در پارچه‌های رایج لباس‌کار پرسنل نظامی و کارگران و انتخاب بهینه پارچه با رویکرد ترکیب روش‌های تصمیم‌گیری چند متغیره و تحلیل سلسله مراتبی (AHP-TOPSIS) برای مناطق گرم و خشک انجام گرفت.

روش‌ها

این مطالعه تجربی در سه فاز انجام گرفت.

فاز اول: غربالگری و انتخاب پارچه‌های مورد مطالعه

ابتدا اطلاعات پارچه‌های رایج لباس‌کار پرسنل نظامی و کارگران مناطق گرم و خشک از تولیدکنندگان داخلی و همچنین پارچه‌های وارداتی جمع‌آوری شد. براساس این اطلاعات، پارچه‌های رایج لباس‌کار مشاغل گرم از ۴ جنس ترکیبی از کتان و پلی‌استر با درصدهای وزنی مختلف می‌باشند که از برندهای ترگال و مطهری برای این مطالعه انتخاب گردید. سپس، هر یک از این ۴ نوع جنس پارچه با انواع بافت ۱/۱، ۱/۲، ۱/۳، ۱/۴ از تولیدکنندگان و فروشندگان با گرماژ و نمره‌های نخ متفاوت جمع‌آوری گردید. به گونه‌ای که به صورت سرشماری حدود ۸۴ نوع پارچه وارد مطالعه شد. براساس تجربه تولیدکنندگان، پارچه ۱۰۰٪ پلی‌استر برای لباس‌کار به دلیل عدم تقاضای مصرف‌کننده تولید نمی‌گردد و صرفا در لباس‌های ورزشی استفاده می‌شود. گرماژ و نمره نخ پارچه‌های جمع‌آوری شده براساس استاندارد ISO 7211/5 (۲۱) نساجی اندازه‌گیری گردید و ۱۶ پارچه با گرماژ و نمره نخ یکسان وارد مطالعه گردید. نهایتا، ۱۶ نوع پارچه دارای چهار نوع جنس در ترکیب با چهار نوع بافت وارد مطالعه گردید. همه پارچه‌های مورد مطالعه کاملا شستشو و خشک‌شده و برای هر یک از تست‌ها آماده‌سازی شدند.

فاز دوم: آزمایشات تجربی

مشخصات تمامی آزمایشات تجربی بر روی پارچه‌های مورد مطالعه در جدول ۱ آورده شده است. این نکته از اهمیت بالایی برخوردار است که هر یک از تست‌ها به منظور افزایش دقت در تعیین مقدار متغیرهای وابسته، ۵ مرتبه تکرار گردید.

جدول-۱. مشخصات انجام آزمایشات تجربی بر روی پارچه‌های مورد مطالعه

نام آزمایش	نام دستگاه مورد استفاده	واحد اندازه‌گیری	شرایط مورد نیاز آزمایش (در صورت که نیاز باشد)	استاندارد
تست نفوذپذیری هوا (۲۳)	دستگاه نفوذپذیری هوا	$dm^3/m^2/h$	پارچه‌های مورد مطالعه به ابعاد ۱۰×۱۰ سانتیمتر تحت اختلاف فشار ۱۰۰ پاسکال در مدت یک ثانیه	ASTM D737
نفوذپذیری بخار آب (۲۴)	روش فنجان	μ_wv یا g/m2.pa.h	پارچه‌های مورد مطالعه به قطر ۱۰ cm	ISO 15496
جذب آب (۲۵)	روش غوطه‌وری	گرم	پارچه‌های مورد مطالعه به ابعاد به ابعاد ۱۰×۱۰ cm	ASTM D 4772-97
مقاومت کششی (۲۲)	دستگاه مقاومت سنج از نوع ازدیاد طول با نرخ ثابت (CRE)	کیلوگرم	پارچه‌های مورد مطالعه با ابعاد عرض ۵ cm و طول ۲۵ cm	ISO 13934-1
مقاومت خمشی (۱۳)	دستگاه فلکسومتر	mg/cm	پارچه‌های مورد مطالعه با ابعاد عرض ۲/۵ cm و طول ۲۰ cm	BS 3356
قطر معادل منافذ (۲۶)	روش فشار حباب هوا	µm	پارچه‌های مورد مطالعه به ابعاد ۷/۵ × ۷/۵ cm آغشته به حلال نفتی	BS 3321
هدایت حرارتی (۲۷)	دستگاه Lee's Disc	$(w/mk)\times10^{-3}$	پارچه‌های مورد مطالعه به ابعاد به ابعاد ۱۰×۱۰ cm، در اختلاف دمای ۵ درجه سیلسیوس در دو صفحه آن به طوری که plate با دمای کمتر دارای ۳۵ درجه سیلسیوس و plate با دمای بیشتر دارای ۴۰ درجه سیلسیوس	ASTM D7340

فاز سوم: انتخاب پارچه بهینه به روش ترکیبی تاپسیس و تحلیل سلسله مراتبی (AHP-TOPSIS)

روش ترجیح براساس مشابهت به راه حل ایده‌آل (TOPSIS) یکی از روش‌های تصمیمی‌گیری چند متغیره می‌باشد که برای انتخاب بهترین گزینه براساس تعداد معیارها (متغیرهای مورد مطالعه) استفاده می‌شود. در این مطالعه برای انتخاب بهینه پارچه براساس متغیرهای مورد مطالعه، می‌بایست ابتدا متغیرهای مطالعه وزن‌دهی شوند و سپس بهترین پارچه به روش TOPSIS انتخاب گردد. بنابراین، هر یک از ویژگی‌های پارچه شامل نفوذپذیری هوا و نفوذپذیری بخارات آب، جذب آب، شعاع معادل منافذ، هدایت حرارتی، مقاومت پارگی، خمشی با توجه به نظر خبره‌ها با استفاده از AHP وزن‌دهی گردید. این فرایند توسط ۱۵ خبره که بیشترین آگاهی و تسلط بر موضوع داشتند انجام گرفت. سپس جدول میانگین همه نظرات خبره‌ها محاسبه گردید و وزن یا ضریب اهمیت هریک از ویژگی‌های پارچه برای پارچه بهینه لباس‌کار کارگران مشاغل گرم و خشک به روش AHP تعیین گردید. سپس، انتخاب پارچه بهینه برای مناطق گرم وخشک به روش تاپسیس (TOPSIS) استفاده گردید. در این روش ابتدا فرآیندهای زیر انجام گرفت.

تشکیل ماتریس تصمیم

در تکنیک تاپسیس با استفاده از N شاخص (متغیرهای وابسته یا ویژگی‌های پارچه) به ارزیابی M پارچه (متغیرهای مستقل یعنی ۱۶ نوع پارچه با نوع بافت و جنس مختلف) پرداخته شد و یک ماتریس تصمیم M × N تشکیل گردید.

نرمال کردن ماتریس تصمیم

برای نرمال‌سازی مقادیر از روش برداری استفاده شد. روش برداری برخلاف روش ساده نرمال‌سازی خطی براساس معادله ۱ انجام گردید. به گونه‌ای که هر درایه ماتریس به مجذور مجموع مربعات تقسیم گردید.

$$r_{ij} = \frac{x_{ij}}{\sqrt{\sum_{i=1}^{m} x_{ij}^2}} \qquad \text{معادله ۱}$$

شکیل ماتریس تصمیم نرمال موزون

گام بعدی تشکیل ماتریس نرمال موزون براساس وزن شاخص‌ها است. وزن‌های به دست آمده در روش AHP هر یک از شاخص‌ها در درایه‌های مربوط به آن معیار ضرب گردید.

محاسبه ایده‌آل‌های مثبت و منفی

در این مرحله ایده‌آل مثبت (PIS) و ایده‌آل منفی (NIS) تعیین گردید. در این مطالعه براساس نظر خبره‌ها و نتایج سایر مطالعات، ویژگی‌های پارچه شامل نفوذپذیری هوا، نفوذپذیری بخار هوا، جذب آب، مقاومت پارگی، شعاع معادل منافذ و هدایت حرارتی از نوع PIS می‌باشند. هر چقدر مقادیر آن‌ها در پارچه‌ها بیشتر باشد آن پارچه برای لباس کار کارگران مشاغل روباز مناطق گرم و خشک به منظور تبادلات حرارتی بدن با محیط از طریق جابه‌جایی حرارتی و تبخیر عرق و راحتی حرارتی بهتر است. مقاومت خمشی پارچه از نوع NIS می‌باشد. هرچه مقدار آن کمتر باشد، پارچه از نظر راحتی و لطافت برای کارگران بهتر است (۲۸).

فاصله از ایده‌آل‌های مثبت و منفی و محاسبه راه حل ایده‌آل

در این گام فاصله اقلیدسی هر گزینه از ایده‌آل مثبت (d+) و منفی (d-) با معادلات ۲ و ۳ محاسبه شد.

$$d_i^+ = \sqrt{\sum_{j=1}^{n} (v_{ij} - v_j^+)^2} \qquad \text{معادله ۲}$$

$$d_i^- = \sqrt{\sum_{j=1}^{n}(v_{ij} - v_j^-)^2} \qquad \text{معادله ۳}$$

میزان نزدیکی نسبی هر گزینه به راه حل ایده آل با استفاده از معادله ۴ محاسبه شد که باiCL نشان داده می شود و مقدار آن صفر و یک است. هرچه این مقدار به یک نزدیکتر باشد یعنی انتخاب ما ایده آل تر است که در این مطالعه یعنی نوع پارچه به جواب ایده آل نزدیکتر است و از نظر توام شاخص ها، پارچه بهتری برای لباسکار کارگران مشاغل گرم و خشک میباشد.

$$CL_i^* = \frac{d_i^-}{d_i^- + d_i^+} \qquad \text{معادله ۴}$$

تجزیه و تحلیل آماری داده‌ها

ابتدا نرمالیت داده‌ها با استفاده از آزمون کمولوگروف اسمیرنوف مورد بررسی قرار گرفت و با توجه به اینکه همه مقادیر متغیرهای وابسته نرمال بودند، در نهایت برای تاثیر متغیرهای مستقل بر وابسته با استفاده از آزمون One Way ANOVA و همچنین مقایسه دوتایی میانگین متغیرها وابسته در انواع بافت و پارچه‌های مورد مطالعه با استفاده از آزمون Paired sample t test در نرم افزار SPSS 16 مورد تحلیل قرار گرفت.

نتایج

در این مطالعه پارچه‌های پلی‌استر و کتان با درصدهای وزنی مختلف و ترکیب ۴ نوع بافت انتخاب شدند. نهایتا، ۱۶ نمونه پارچه دارای ویژگی‌های ۴ نوع بافت ۱/۱، ۱/۲، ۱/۳، ۱/۴ و ۴ گروه پارچه با ترکیب درصدهای متفاوت پلی‌استر و کتان انتخاب گردید. در پارچه‌های مورد مطالعه نمره نخ تار برابر با Tex ۱۹/۶۸۳ معادل 30 Ne (قطر نخ تار برابر ۰/۱۷۵ میلی‌متر) و نمره نخ پود برابر با Tex ۲۹/۵۲۵ معادل 20 Ne (قطر نخ پود برابر ۰/۲۱ میلی‌متر) می‌باشد. نتایج آزمایشات این مطالعه تجربی نشان داد که مشخصه‌های فیزیکی پارچه مانند نوع بافت و جنس پارچه باعث تغییر در میزان ویژگی‌های مورد مطالعه پارچه می‌گردد. میانگین و انحراف معیار مقادیر متغیرهای وابسته (ویژگی‌های پارچه) مورد مطالعه بر حسب ترکیب نوع پارچه و نوع بافت پارچه با جزییات در جدول ۲ آورده شده است.

جدول-۲. میانگین و انحراف معیار ویژگی‌های پارچه‌های مورد مطالعه بر حسب نوع پارچه و نوع بافت

جنس پارچه		الگوی باقت	میانگین متغیرهای وابسته (انحراف معیار)						
			نفوذپذیری هوا ($dm^3/m^2/h$) (±SD)	نفوذپذیری بخار آب ($mg/m^2/h$) (±SD)	جذب آب (g/m) (±SD)	مقاومت کششی (kg) (±SD)	مقاومت خمشی (mg/cm) (±SD)	قطر معادل منافذ (um) (±SD)	هدایت حرارتی $(w/mk)\ x10^{-3}$ (±SD)
B	۶۵٪ پلی‌استر + ۳۵٪ کتان	۱/۱	۸۲۰ (۴/۳)	۴۳۴۴ (۴/۴)	۰/۲۷ (۰/۰۲)	۹۶ (۳/۲)	۱۶/۱ (۱/۲)	۱۴۴ (۴/۲)	۸/۵۸ (۰/۲)
		۱/۲	۸۳۷ (۳/۱)	۴۵۲۱ (۳/۹)	۰/۳۸ (۰/۰۱)	۹۳ (۳)	۱۵/۵ (۰/۴)	۱۵۲/۴۶ (۳/۹)	۱۱/۴۳ (۰/۸)
		۱/۳	۸۱۶ (۲/۱)	۴۱۲۱ (۷/۳)	۰/۳۹ (۰/۰۱)	۸۵ (۲/۸)	۱۵ (۰/۸)	۱۳۶ (۴/۷)	۹/۳۴ (۰/۷)
		۱/۴	۷۳۵ (۳/۹)	۳۹۵۳ (۴/۶)	۰/۳۶ (۰/۰۳)	۸۴ (۱/۱)	۱۴/۱ (۰/۹)	۱۳۲ (۲/۸)	۹/۰۴ (۰/۵)
C	۵۰٪ پلی‌استر + ۵۰٪ کتان	۱/۱	۸۰۰ (۱/۷)	۴۲۲۳ (۶/۶)	۰/۵ (۰/۰۴)	۸۰ (۳/۱)	۱۳/۵ (۰/۳)	۱۴۰ (۱/۶)	۱۰/۳ (۰/۴)
		۱/۲	۸۲۳ (۱)	۴۳۳۰ (۷/۱)	۰/۵۴ (۰/۰۳)	۸۹ (۲/۴)	۱۲/۹ (۱)	۱۵۵ (۳/۶)	۱۳ (۰/۳)
		۱/۳	۷۸۶ (۲/۳)	۴۰۸۸ (۵/۳)	۰/۴۱ (۰/۰۳)	۷۵ (۴/۳)	۱۳ (۰/۶)	۱۳۱ (۳/۲)	۱۰/۸ (۰/۴)
		۱/۴	۷۹۷ (۲/۱)	۳۸۱۱ (۴/۱)	۰/۴۳ (۰/۰۲)	۷۳ (۲/۸)	۱۲/۴ (۰/۶)	۱۳۳ (۳/۳)	۱۱/۰۸ (۰/۶)
D	۳۵٪ پلی‌استر + ۶۵٪ کتان	۱/۱	۸۱۲ (۶/۲)	۴۳۲۱ (۶)	۰/۶۱ (۰/۰۵)	۹۰ (۱/۳)	۱۴ (۰/۵)	۱۳۱ (۳/۹)	۱۳/۹ (۰/۵)
		۱/۲	۸۲۹ (۴/۶)	۴۴۸۵ (۳/۸)	۰/۶۸ (۰/۰۵)	۸۵ (۴/۱)	۱۳/۳ (۰/۴)	۱۵۰ (۱/۵)	۱۸/۲۸ (۰/۶)
		۱/۳	۷۸۲ (۲/۲)	۳۹۹۵ (۹/۳)	۰/۶۶ (۰/۰۲)	۸۵ (۱/۳)	۱۳/۱ (۰/۴)	۱۳۰ (۴/۴)	۱۷/۱ (۰/۴)
		۱/۴	۷۳۲ (۵/۳)	۳۷۰۰ (۶/۷)	۰/۶۱ (۰/۰۱)	۷۹ (۳/۲)	۱۲/۷ (۰/۶)	۱۲۱ (۳/۴)	۱۷/۲۳ (۱)
E	۱۰۰٪ کتان	۱/۱	۷۶۱ (۳/۴)	۳۹۱۱ (۸/۳)	۰/۶۵ (۰/۰۳)	۷۷ (۴/۲)	۱۱ (۰/۸)	۱۲۹/۷۸ (۲/۱)	۱۶/۷۴ (۰/۳)
		۱/۲	۷۸۹ (۳/۳)	۳۹۸۷ (۹/۳)	۰/۷۱ (۰/۰۴)	۷۸ (۳/۶)	۱۲/۲ (۱/۳)	۱۴۹/۷۶ (۱/۲)	۲۰/۲۳ (۰/۶)
		۱/۳	۶۸۹ (۲/۸)	۳۷۲۳ (۴/۷)	۰/۷۱ (۰/۰۱)	۷۰ (۱/۵)	۱۰/۱ (۰/۹)	۱۲۴/۰۲ (۱/۴)	۱۹ (۰/۸)
		۱/۴	۶۵۴ (۲/۵)	۳۶۹۰ (۶/۱)	۰/۶۳ (۰/۰۳)	۶۵ (۳/۸)	۹/۹ (۰/۶)	۱۰۹ (۴/۲)	۱۸/۹ (۰/۴)

براساس جدول ۲، نفوذپذیری هوا، نفوذپذیری بخار آب، مقاومت پارگی، مقاومت خمشی، قطر معادل منافذ در پارچه‌های نوع B بیشتر است. میزان جذب آب، هدایت حرارتی در پارچه‌های نوع E بیشتر است.

نتایج روش ترکیبی تحلیل سلسله مراتبی و تاپسیس (AHP-TOPSIS)

در ابتدا براساس نظر خبرگان، وزن‌دهی و اهمیت هر یک از ویژگی‌های مورد مطالعه پارچه در جدول ۳ آورده شده است.

جدول-۳. نتایج وزن‌دهی ویژگی‌های پارچه بهینه برای لباس‌کار کارگران مشاغل گرم و خشک

ویژگی‌های پارچه	وزن‌دهی ویژگی‌ها
نفوذپذیری هوا	۰/۲۸
نفوذپذیری بخار آب	۰/۲۰
شعاع معادل منافذ	۰/۱۷
جذب آب	۰/۱۵
مقاومت خمشی	۰/۱۱
مقاومت پارگی	۰/۰۵
هدایت حرارتی	۰/۰۳

براساس جدول ۳، نتایج نشان داد که شاخص‌های نفوذپذیری هوا و بخار آب و شعاع معادل منافذ پارچه مهمترین شاخص‌ها به ترتیب دارای وزن ۰/۲۸، ۰/۲۰، ۰/۱۷ به منظور انتخاب بهینه پارچه لباس‌کار پرسنل نظامی و کارگران مناطق گرم و خشک می‌باشند. سپس نتایج وزن‌دهی حاصل از روش AHP برای انتخاب پارچه بهینه با استفاده از روش TOPSIS از نظر توام همه شاخص‌های مورد مطالعه شامل نفوذپذیری هوا و نفوذپذیری بخار آب، جذب آب، مقاومت پارگی، مقاومت خمشی، شعاع معادل منافذ و هدایت حرارتی مخصوص لباس‌کار کارگران مشاغل گرم و خشک مورد استفاده قرار گرفت که در جدول ۴ نتایج رتبه‌بندی پارچه بهینه حاصل از روش TOPSIS آورده شده است.

جدول-۴. فاصله از ایده‌آل‌ها و رتبه‌بندی پارچه‌ها از نظر توام شاخص‌های مورد مطالعه

ردیف	الگوی بافت	جنس پارچه (٪)	ایده آل مثبت (d+)	ایده آل منفی (d-)	CL_i	وزن دهی	رتبه بندی پارچه بهینه
۱	۱/۱	پلی‌استر (۶۵) + کتان (۳۵)	۰/۰۳۳۴	۰/۰۱۷۹	۰/۳۴۸۹	۰/۰۳۸۶	۱۵
۲	۱/۲		۰/۰۲۵۳	۰/۰۲۴۹	۰/۴۹۶۱	۰/۰۵۴۹	۱۱
۳	۱/۳		۰/۰۲۵۶	۰/۰۱۹۵	۰/۴۳۲۶	۰/۰۴۷۸	۱۴
۴	۱/۴		۰/۰۲۸۸	۰/۰۱۳۱	۰/۳۱۲۷	۰/۰۳۴۶	۱۶
۵	۱/۱	پلی‌استر (۵۰) + کتان (۵۰)	۰/۰۱۸۴	۰/۰۲۲۹	۰/۵۵۵۵	۰/۰۶۱۴	۹
۶	۱/۲		۰/۰۱۳۹	۰/۰۲۹۰	۰/۶۷۶۲	۰/۰۷۴۸	۴
۷	۱/۳		۰/۰۲۳۸	۰/۰۱۸۴	۰/۴۳۵۲	۰/۰۴۸۱	۱۳
۸	۱/۴		۰/۰۲۳۲	۰/۰۱۹۷	۰/۴۶۰۱	۰/۰۵۰۹	۱۲
۹	۱/۱	پلی‌استر (۳۵) + کتان (۶۵)	۰/۰۱۵۲	۰/۰۲۷۱	۰/۶۴۱۲	۰/۰۷۰۹	۵
۱۰	۱/۲		۰/۰۰۷۷	۰/۰۳۶۱	۰/۸۲۴۹	۰/۰۹۱۲	۱
۱۱	۱/۳		۰/۰۱۳۲	۰/۰۳۰۴	۰/۶۹۷۲	۰/۰۷۷۱	۳
۱۲	۱/۴		۰/۰۱۹۳	۰/۰۲۵۴	۰/۵۶۸۸	۰/۰۶۲۹	۸
۱۳	۱/۱	کتان (۱۰۰)	۰/۰۱۶۳	۰/۰۲۹۱	۰/۶۴۱۰	۰/۰۷۰۹	۶
۱۴	۱/۲		۰/۰۰۹۶	۰/۰۳۵۷	۰/۷۸۷۵	۰/۰۸۷۱	۲
۱۵	۱/۳		۰/۰۱۹۰	۰/۰۳۲۷	۰/۶۳۲۱	۰/۰۶۹۹	۷
۱۶	۱/۴		۰/۰۲۴۴	۰/۰۲۷۶	۰/۵۳۱۰	۰/۰۵۸۷	۱۰

جدول-۵. نتایج مقایسه میانگین مقادیر متغیرهای وابسته در الگوی بافت ۱/۲در پارچه‌های مورد مطالعه

	نفوذپذیری هوا	نفوذپذیری بخار آب	جذب آب	مقاومت پارگی	مقاومت خمشی	قطر معادل منافذ	هدایت حرارتی
Textile of D&B	R= -۰/۲۷۶	R= -۰/۱۲۱	R= ۰/۷۸۰**	R= -۰/۵۵۴*	R= -۰/۱۴۹	R= -۰/۱۱۷	R= ۰/۵۱۲*
Textile of D&C	R= -۰/۱۰۲	R= -۰/۳۲۱	R= ۰/۴۳۵*	R= -۰/۱۸۷	R= -۰/۹۴	R= -۰/۲۱۹	R= ۰/۴۸۷*
Textile of D&E	R= -۰/۶۱۴*	R= -۰/۸۷۶**	R= ۰/۳۲۱	R= -۰/۲۰۱	R= -۰/۱۸۰	R= -۰/۲۵۱	R= ۰/۱۶۷

براساس نتایج جدول ۴، در رتبه اول بهینه‌ترین پارچه برای لباس‌کار کارگران مشاغل گرم و خشک پارچه شماره ۱۰ می‌باشد که دارای ترکیب ۶۵٪ کتان و ۳۵٪ پلی‌استر و همچنین دارای نوع بافت ۱/۲ است. در رتبه دوم، پارچه شماره ۱۴ می‌باشد که دارای ترکیب ۱۰۰٪ کتان و دارای نوع بافت ۱/۲ است. و در رتبه سوم، پارچه شماره ۶ می‌باشد که دارای ترکیب ۳۵٪ کتان و ۶۵٪ پلی‌استر و دارای نوع بافت ۱/۲ است.

مقایسه ویژگی‌های پارچه انتخاب شده با سایر پارچه‌های مورد مطالعه

نتایج نشان داد که میانگین مقادیر جذب آب، مقاومت پارگی، مقاومت خمشی و هدایت حرات در بین انواع بافت‌های مورد مطالعه از نظر آماری با یکدیگر اختلاف معنادار نداشت ($P>۰/۰۵$).

همچنین مقایسه میانگین مقادیر متغیرهای وابسته در الگوی بافت ۱/۲ در بین گروه‌های مختلف جنس پارچه‌های مورد مطالعه براساس نتایج آزمون Paired sample t test در جدول ۵ آورده شده است.

براساس جدول ۵، در الگوی بافت ۱/۲، نتایج نشان داد که میانگین نفوذپذیری هوا در پارچه D با پارچه E دارای اختلاف معناداری است ($P<۰/۰۵$). به گونه‌ای که پارچه D نفوذپذیری بیشتری نسبت به پارچه E دارد. با توجه به نتایج جدول ۵، میانگین مقادیر نفوذپذیری بخار آب در پارچه‌های نوع D با B و C اختلاف معناداری ندارد ($P>۰/۰۵$). این درحالی است که میانگین مقادیر نفوذپذیری بخار آب پارچه D بیشتر است ($P<۰/۰۵$). میانگین مقادیر جذب آب در پارچه D با پارچه E دارای اختلاف معناداری است و به‌طور میانگین میزان جذب آب در پارچه‌های D و E برابر در نظر گرفته می‌شود ($P>۰/۰۵$). میانگین مقادیر مقاومت پارگی در پارچه‌های نوع D با C و E اختلاف معناداری ندارد ($P>۰/۰۵$). میانگین مقادیر مقاومت خمشی در پارچه‌های نوع D با B و C و E دارای اختلاف معناداری نمی باشد ($P>۰/۰۵$). میانگین مقادیرهدایت حرارتی در پارچه D با پارچه E اختلاف معناداری ندارد ($P>۰/۰۵$).

بحث

با توجه به نتایج این مطالعه، نوع بافت ۱/۲ رفتار متفاوتی نسبت به سایر انواع بافت‌های مورد مطالعه دارد. این نوع بافت بیشترین مقدار نفوذپذیری هوا، بخار آب، شعاع معادل منافذ و هدایت حرارتی را دارد. از طرفی هم جنس پارچه در برابر جریان هوا و بخار آب، جذب آب و مقاومت پارچه و همچنین انتقال حرارت تاثیر دارد. پارچه‌های ۱۰۰٪ کتان دارای بیشترین مقدار جذب آب، هدایت حرارتی و کمترین مقاومت خمشی می‌باشد و پارچه‌های ۶۵٪ پلی‌استر و ۳۵٪ کتان دارای بیشترین مقدار نفوذپذیری بخار آب و هوا و مقاومت پارگی می‌باشد. اما در نوع بافت ۱/۲، پارچه ۳۵٪ پلی‌استر و ۶۵٪ کتان از بین پارچه‌های مورد مطالعه از نظر مقدار جذب آب، مقاومت خمشی و هدایت حرارتی بیشترین شباهت را به پارچه‌های ۱۰۰٪ کتان دارد و همچنین از نظر مقدار نفوذپذیری جذب آب و هوا و مقاومت پارگی بیشترین شباهت را به پارچه‌های ۶۵٪ پلی استر دارد.

در مطالعات قبلی نشان داده شده است که نفوذپذیری هوا و بخارات آب در پارچه‌های بافته‌شده از نخ‌های کتان کمتر از گیاه بامبو و پلی‌استر می‌باشد (۲۳،۲۴)، که در مطالعه ما نیز مشاهده شد که افزایش نسبت پلی‌استر به کتان در پارچه‌های مورد مطالعه موجب افزایش نفوذپذیری هوا و بخارآب می‌گردد. یکی از دلایل آن احتمالا این است که پارچه‌های کتان دارای منافذ ریزتری هستند و الیاف به‌کار رفته در نخ این نوع پارچه‌ها موجب انسداد این منافذ می‌گردد که در یافته‌های مطالعه حاضر نیز افزایش قطر معادل منافذ با افزایش نسبت پلی‌استر به کتان مشهود است (۲۴).

آسیف الهی و همکاران در مطالعه خود به این نتیجه رسیدند که نفوذ بخار آب و هوا در پارچه‌های دارای ریب عمودی بیشتر از ریب افقی می‌باشد. در مطالعه ما نیز پارچه‌های با نوع بافت ۱/۲ که ریب متمایل ایجاد می‌کند و بیشترین نفوذپذیری هوا و بخار آب را دارد. احتمالا به دلیل منافذ بزرگتر در این نوع بافت‌ها و کمترین ایجاد مقاومت در برابر تغییر جهت جریان هوا موجب افزایش نفوذپذیری هوا و بخار آب می‌گردد (۲۹).

در مطالعات نشان داده‌اند که مقاومت خمشی پارچه‌های بافته شده از الیاف پشم کمتر از پلی‌استر است (۱۳) و در مطالعه حاضر نیز نتایجی شبیه آن به دست آمده است، اما در این مطالعه مقاومت خمشی در نوع بافت ۱/۲ در پارچه‌های بافته شده از پلی‌استر و کتان با سهم درصد کتان ۵۰، ۶۵ و ۱۰۰ درصد تفاوتی نداشت و می‌توان گفت که به‌کارگیری آن در لباس‌کار با راحتی یکسانی برخوردار است. احتمالا به دلیل استحکام و چسبندگی بیشتر الیاف پلی‌استر است که در ساختار نخ حالتی غیر قابل سر خوردن بر روی یکدیگر ایجاد می‌کند و در نهایت خمش آن کمتر می‌گردد. اما در نوع بافت ۱/۲ احتمالا به دلیل ساختار تنیده شدن نخ و خمش‌های بوجود آمده در آن موجب ایجاد لولاهایی شده است که مقاومت خمش پارچه در این نوع بافت‌ها را کمتر کرده است.

نتایج مطالعه Majumdar نشان داد که هدایت حرارتی در پارچه‌های بافته‌شده از جنس کتان بیشتر از بامبو می‌باشد (۲۳) که با نتایج مطالعه ما مطابقت دارد. در مطالعه حاضر افزایش نسبت کتان به پلی‌استر در پارچه‌های مورد مطالعه موجب افزایش هدایت حرارتی در ضخامت پارچه می‌شود. دلیل آن احتمالا تماس بیشتر الیاف با یکدیگر و افزایش تماس سطوح خارجی در دستگاه هدایت حرارتی سنج به دلیل نرم بودن الیاف و تراکم بیشتر الیاف پارچه می‌باشد.

در مطالعه Su و همکاران مشاهده گردید که پارچه‌های بافته شده از الیاف کتان جذب آب بیشتری نسبت به پلی‌استر دارند که در این مطالعه نیز به چنین نتیجه‌ای رسیدیم که افزایش نسبت کتان به پلی‌استر موجب افزایش جذب آب می‌گردد. دلیل احتمالی آن آب‌دوست بودن الیاف کتان می‌باشد و همچنین یکی دیگر از دلایل آن کوچکتر بودن منافذ پارچه کتان است که مقاومت بیشتری در مقابل بخارات آب ایجاد می‌کند و بنابراین فرصت و شانس بیشتری برای جذب آب دارد (۳۰).

مطالعه روح الله پروری و همکاران بر روی ۴ نمونه از لباس‌کارهای کارگران با درجه سختی‌کار کم، متوسط و بالا نشان داد که که لباس کار با پارچه ۱۰۰٪ کتان برای کارهای با سختی کار کم و لباس‌کارهای با پارچه ۶۹/۸٪ پلی استر و ۳۰/۲٪ کتان برای کارهای با سختی کار متوسط کارگران ایرانی توصیه می‌شود (۵). هچنین درخشان و همکاران نشان دادند که نوع پارچه در ایجاد استرس حرارتی در کارگران مشاغل روباز تاثیرگذار است و پارچه‌هایی

با درصد بیشتر کتان موجب کاهش استرس حرارتی می‌شود (۳۱). اما مهمترین نتایج این مطالعه این بود که پارچه‌هایی با نوع بافت ۱/۲ و ترکیب ۳۵٪ پلی‌استر و ۶۵٪ کتان از نظر نفوذپذیری هوا و بخار آب و قطر منافذ معادل، رفتاری شبیه پارچه‌های ٪۶۵ پلی‌استر دارد و از نظر هدایت حرارتی، مقاومت پارگی و خمشی و جذب آب، رفتاری شبیه پارچه‌های ۱۰۰٪ کتان را دارد. احتمالا دلایل شباهت رفتاری این پارچه با پلی‌استر ۶۵٪، شباهت ویژگی‌های فیزیکی این دو نوع پارچه است، به گونه‌ای که پارچه ۳۵٪ پلی‌استر و ۶۵٪ کتان دارای منافذی و آبگریزی برابری با پارچه‌های ۶۵٪ پلی‌استر دارد. همچنین احتمالا دلایل شباهت رفتاری این پارچه با کتان ۱۰۰٪، شباهت ویژگی‌های شیمیایی این دو نوع پارچه است. به گونه‌ای که پارچه ۳۵٪ پلی‌استر و ۶۵٪ کتان دارای سهم بالایی از کتان می‌باشد و برخی از رفتارها مانند هدایت حرارتی، مقاومت پارگی و خمشی و جذب آب را از مقاومت کتان در ترکیب پارچه به نمایش می‌گذارد که رفتاری جالب است که نویسنده مقاله تفسیری برای دلیل آن ندارند.

از محدودیت‌های این مطالعه می‌توان به خطاهای کار با دستگاه‌های اندازه‌گیری متغیرهای وابسته مورد مطالعه اشاره کرد که این اندازه‌گیری‌ها با تکرار آزمایشات تا حدی کاهش یافته است. اما از نظر نویسنده هنوز خطاهای تصادفی ناشی از آماده‌سازی پارچه‌ها برای انجام آزمایشات وجود دارد که مهار کردن آن‌ها در چنین تحقیقی کار ساده‌ای نیست و می‌بایست به آنها توجه ویژه‌ای شود.

نتیجه‌گیری

نتایج این مطالعه نشان داد که پارچه با مشخصات نوع بافت ۱/۲ و ترکیب ۳۵٪ پلی استر و ۶۵٪ کتان به طور توام دارای مقادیر بهینه از نظر میزان نفوذپذیری بخار آب و هوا، جذب آب، مقاومت پارگی و خمشی و هدایت حرارتی برای لباسکار کارگران و نظامیان مناطق گرم و خشک می‌باشد. پیشنهاد می‌گردد که از بین پارچه‌های مورد مطالعه، استفاده از پارچه با نوع بافت ۱/۲ و ترکیب ۳۵٪ پلی‌استر و ۶۵٪ کتان در لباس‌کار پرسنل نظامی و کارگران شاغل در مناطق گرم و خشک می‌تواند نقش بهتری در راحتی حرارتی و دوام و نرمی ایفا کند.

نکات بالینی کاربردی برای جوامع نظامی

- با توجه به اینکه موقعیت ایران در خطه گرم و خشک قرار گرفته است، فعالیت بدنی بالا و گرمای محیطی در این منطقه می‌تواند موجب بروز استرس‌های حرارتی در پرسنل نظامی شود. از طرفی، پارچه انتخاب شده در این مطالعه به‌عنوان پارچه بهینه از نظر توانایی تبادل حرارتی بدن با محیط و همچنین پیشگیری از بروز استرس حرارتی می‌تواند در ساخت لباس‌کار پرسنل نظامی شاغل در مناطق گرم و خشک کاربردی باشد و هزینه‌های مستقیم و غیرمستقیم ناشی از عوارض احتمالی بروز استرس حرارتی را کاهش دهد.

تشکر و قدردانی: مقاله حاضر حاصل پایان نامه دکتری مصوب با شماره ۲۰۸۲۵ و کد اخلاق IR.SUMS.REC.1398.1314 توسط شورای پژوهشی معاونت تحقیقات دانشگاه علوم پزشکی شیراز می‌باشد. همچنین از تمامی افرادی که همکاری داشتند، تشکر می‌نماییم.

تضاد منافع: نویسندگان تصریح می‌کنند که هیچ‌گونه تضاد منافعی در مطالعه حاضر وجود ندارد.

منابع

1. Oğulata RT. The effect of thermal insulation of clothing on human thermal comfort. Fibres & Textiles in Eastern Europe. 2007;15(2):67-72.
2. Wang F, Gao C, Kuklane K, Holmér I. Effects of various protective clothing and thermal environments on heat strain of unacclimated men: the PHS (predicted heat strain) model revisited. Industrial Health. 2013:2012-0073. doi:10.2486/indhealth.2012-0073
3. Ghiyasi S, Nabizadeh H, Jazari MD, Soltanzadeh A, Heidari H, Fardi A, et al. The effect of personal protective equipment on thermal stress: An experimental study on firefighters. Work. 2020;67(1):141-7. doi:10.3233/WOR-203259
4. Lin Y, Jia Y, Alva G, Fang G. Review on thermal conductivity enhancement, thermal properties and applications of phase change materials in thermal energy storage. Renewable and Sustainable Energy Reviews. 2018;82:2730-42. doi:10.1016/rser-17.10.002
5. Parvari RA, Aghaei HA, Dehghan H, Khademi A, Maracy MR, Dehghan SF. The effect of fabric type of common iranian working clothes on the induced cardiac and physiological strain under heat stress. Archives of Environmental & Occupational Health. 2015;70(5):272-8. doi:10.1080/19338244-14.891965
6. Valipour F, Dehghan SF, Hajizadeh R. The effect of nano-and microfillers on thermal properties of Polyurethane foam. International Journal of Environmental Science and Technology. 2022;19(1):541-52. doi:10.1007/s13762-021-03150-3
7. Coco A, Jacklitsch B, Williams J, Kim JH, Musolin K, Turner N. Criteria for a recommended standard: occupational exposure to heat and hot environments. control Ccfd, editor. 2016.
8. Koelblen B, Psikuta A, Bogdan A, Annaheim S, Rossi RM. Comparison of fabric skins for the simulation of sweating on thermal manikins.

International Journal of Biometeorology. 2017; 61(9):1519-29. doi:10.1007/s00484-017-1331-3
9. Zhu G, Kremenakova D, Wang Y, Militky J, Mishra R, Wiener J. 3D numerical simulation of laminar flow and conjugate heat transfer through fabric. Autex Research Journal. 2017;17(1):53-60. doi:10.1515/aut-2015-0052
10. Zhu G, Kremenakova D, Wang Y, Militky J, Mishra R. Study on air permeability and thermal resistance of textiles under heat convection. Textile Research Journal. 2015;85(16):1681-90. doi:10.1177/0040517515573407
11. Gibson P, Rivin D, Kendrick C. Convection/ diffusion test method for porous textiles. International Journal of Clothing Science and Technology. 2000;12(2):96-113. doi:10.1108/09556220010324803
12. Gibson PW, Charmchi M. Modeling convection/ diffusion processes in porous textiles with inclusion of humidity-dependent air permeability. International Communications in Heat and Mass Transfer. 1997;24(5):709-24. doi:10.1016/S0735-1933(97)00056-0
13. Nofitoska M, Demboski G, Carvalho MÂ. Effect of fabric structure variation on garment aesthetic properties. Journal of Textile & Apparel/Tekstil ve Konfeksiyon. 2012;22(2):132-8.
14. Hussain T, Ali R. Comparison of properties of cotton fabric dyed with pigment and reactive dye. The Journal of the Textile Institute. 2009;100(1):95-8. doi:10.1080/00405000701679590
15. Snjezana B, Beti RC, Stana K. Influence of woven fabric construction on seam thread slippage. Journal of Fiber Bioengineering and Informatics. 2016;9(4):213-22. doi:10.3993/jfbim00238
16. Long J, Burns K, Yang JJ. Cloth modeling and simulation: a literature survey. InInternational Conference on Digital Human Modeling. Springer, Berlin, Heidelberg. 2011:311-20. doi:10.1007/978-3-642-21799-9_35
17. Chan AP, Song W, Yang Y. Meta-analysis of the effects of microclimate cooling systems on human performance under thermal stressful environments: potential applications to occupational workers. Journal of Thermal Biology. 2015;49:16-32. doi:10.1016/j.jtherbio.2015.01.007
18. Hsu PC, Song AY, Catrysse PB, Liu C, Peng Y, Xie J, et al. Radiative human body cooling by nanoporous polyethylene textile. Science. 2016;353 (6303):1019-23. doi:10.1126/science.aaf5471
19. Dehghan H, Valipour F, Mobasheri Demneh M, Mahaki B, Mobasheri Demneh A. Effect of mine protective clothing on vision fatigue and reaction time in hot and dry laboratory condition. Journal of Military Medicine. 2016;17(4):299-305. [In Persian]
20. Tanha FA, Rangkooy HA, Jaafarzadeh NE, Valipour FI, Arefian I. A study on photocatalytic removal of Toluene from air using ZnO-SnO2 coupled oxide immobilized on Activated Carbon. Iran Occupational Health. 2017;13(6):1-9. [In Persian]
21. Šarac T, Petrović V, Stepanović J, Demboski G. Cotton type fabric drape prediction. De Redactie. 2017;68:3-8. doi:10.35530/IT.068.01.1275
22. Abou Nassif GA. Effect of weave structure and weft density on the physical and mechanical properties of micro polyester woven fabrics. Life Science Journal. 2012;9(3):2-7.
23. Majumdar A, Mukhopadhyay S, Yadav R. Thermal properties of knitted fabrics made from cotton and regenerated bamboo cellulosic fibres. International Journal of Thermal Sciences. 2010;49 (10):2042-8. doi:10.1016/j.ijthermalsci.2010.05.017
24. Bivainytė A, Mikučionienė D. Investigation on the air and water vapour permeability of double-layered weft knitted fabrics. FIBRES & TEXTILES in Eastern Europe. 2011;19(3):69-73.
25. Zervent Ünal B, Özdemir H. Experimental and statistical comparison of selected water absorption test methods. Journal of the Textile Institute. 2013;104(11):1178-85. doi:10.1080/00405000.2013.782847
26. BS 3321 1986, Method for Measurement of the Equivalent Pore Size of Fabrics (Bubble Pressure Test). 1986.
27. Vigneswaran C, Chandrasekaran K, Senthilkumar P. Effect of thermal conductivity behavior of jute/cotton blended knitted fabrics. Journal of Industrial Textiles. 2009;38(4):289-307. doi:10.1177/1528083708098915
28. Pourtaghi GH, Hekmat M, Rafati Shaldehi H, Salem M. Hospital incidents' prevalence rate and its effective agents in the staff of a military hospital. Journal of Military Medicine. 2011;13(1):53-7. [In Persian]
29. Mangat AE, Lubos HE, Bajzík V, Ahmad Z. Influence of air flow direction on thermal resistance and water vapor permeability of rib knit fabrics. Textile and Apparel. 2017;27(1):32-7.
30. Su CI, Fang JX, Chen XH, Wu WY. Moisture absorption and release of profiled polyester and cotton composite knitted fabrics. Textile Research Journal. 2007;77(10):764-9. doi:10.1177/0040517507080696
31. Derakhshanjazari M, Jangjou A, Bagherzadeh R, Reza M, Monazzam ZZ. Prevalence of Heat-Related Illnesses among Outdoor Workplaces Workers in Hot and Dry Areas of Iran. Journal of Environmental Treatment Techniques. 2021;9(1):253-8. doi:10.47277/JETT/9(1)258