Part B: Farsi Edition

Journal of Textiles and Polymers

Vol. 9, No. 2, 57-70, 2021

RESEARCH PAPER

Relationship Between the Comfort Properties of Sport Wear and the Comfort Sensation of Athlete During Activity

Mostafa Jafari and Fatemeh Mousazadegan*

Textile Engineering Department, Amirkabir University of Technology, Tehran, Iran

Received: 9 August 2020, Accepted: 3 December 2020

Abstract

In this study the relation of physical properties of fabric and the comfort feeling of athlete during physical activity is considered. To this end, four single-jersey weft knitted fabrics with various fibers blends were used to prepare sport T-shirts and then athletic comfort during wearing T-shirt and exercising in duration of 60 minutes was investigated, both subjectively and objectively. Furthermore, physical properties of applied fabrics including air permeability, water vapor permeability and thermal insulation properties were measured. Then, the relation of fabric characteristics and athletics comfort during activity was probed. Outcomes confirm that the increase in the body activity leads to the increment of the body temperature and sweating rate. Since cotton fiber absorbs and retains moisture, it keeps the skin wet during high activity level due to the high rate of sweating. On the other hand, polyester fibers owing to the high wicking ability and quick transfer of the moisture vapor to the environment, have better performance. Polyester fabrics with lower stitch density and loose structure have effective performance in terms of both dissipating extra body heat and moisture vapor to the surrounding and providing athletics comfort. The selection of proper sport wear is necessary since the level of physical activity affects the body heat and sweating rate.

Keywords: sport wear, thermal and humidity comfort, physical activity, body temperature, dampness and stickiness of garment

(*) To whom correspondence should be addressed.
E-mail: f_mousazadegan@aut.ac.ir

نشریه نساجی و پلیمر

سال ۹، شماره ۲، ۷۰-۵۷، بهار ۱۴۰۰

مقاله پژوهشی

ارزیابی ارتباط خواص راحتی پوشاک ورزشی با احساس راحتی ورزشکار در حال فعالیت

مصطفی جعفری، فاطمه موسی‌زادگان*

تهران، دانشگاه صنعتی امیرکبیر، دانشکده مهندسی نساجی، صندوق پستی ۴۴۱۳-۱۵۸۷۵

دریافت: ۱۳۹۹/۰۵/۱۹، پذیرش: ۱۳۹۹/۰۹/۱۳

چکیده

در این مطالعه به ارتباط میان برخی خواص فیزیکی پارچه و راحتی ورزشکار در حال انجام فعالیت فیزیکی توجه شده است. بدین منظور، از چهار پارچه حلقوی پودی یک‌روسیلندر با ترکیب الیاف متفاوت، برای تولید تی‌شرت‌های ورزشی استفاده و سپس راحتی ورزشکار در حین پوشیدن آن و انجام فعالیت ورزشی برای یک دوره ۶۰ min، به‌طور کیفی و کمی ارزیابی شد. افزون بر این، برخی خواص فیزیکی پارچه‌های استفاده‌شده شامل قابلیت گذردهی هوا، بخار آب و خاصیت عایق گرمایی نیز اندازه‌گیری شد. سپس، ارتباط بین راحتی ورزشکار در حال فعالیت با خواص راحتی پارچه‌های مختلف بررسی شد. نتایج به‌دست‌آمده بیانگر آن است، افزایش فعالیت بدن موجب افزایش دمای بدن و نرخ تعرق می‌شود. نظر به اینکه الیاف پنبه رطوبت را جذب می‌کنند و دیر خشک می‌شوند، در حین فعالیت بدنی به‌دلیل تعرق زیاد بدن، پوست تر می‌ماند. از سوی دیگر، الیاف پلی‌استر به‌واسطه قابلیت نفوذ مویینگی زیاد و انتقال سریع عرق بدن به محیط اطراف، کارایی بهتری دارند. پارچه‌های پلی‌استری با تراکم حلقه کمتر و ساختار باز، در انتقال گرمای اضافی و عرق بدن به محیط اطراف و راحتی ورزشکار مؤثرترند. نظر به اینکه فعالیت فیزیکی بدن بر نرخ تعرق و گرمای آن مؤثر بوده، انتخاب پوشاک ورزشی مناسب، کاری ضروری است.

واژه‌های کلیدی: پوشاک ورزشی، راحتی گرمایی و رطوبتی، فعالیت فیزیکی، دمای بدن، تری و چسبندگی لباس

۱ مقدمه

انتخاب الیاف مناسب برای تهیه پوشاک با توجه به نیازهای بدن و شرایط مصرف باید درنظر گرفته شود تا راحتی پوششی مناسب فراهم شود. در پوشاک ورزشی با سطح فعالیت زیاد، قابلیت انتقال عرق و گرمای اضافی بدن به محیط اطراف اهمیت زیادی دارد تا از تری لباس و چسبندگی آن به سطح پوست جلوگیری شود. زیرا، در این حالت افزون بر ایجاد احساس ناخوشایند، به‌دلیل افزایش گرمای بدن موجب خستگی فرد می‌شود و کارایی ورزشکار را تحت تأثیر قرار می‌دهد. در سال‌های گذشته، موضوع راحتی انواع پوشاک از جنبه‌های مختلف مورد توجه بسیاری از پژوهشگران قرار گرفته است.

نظر به اهمیت جنس الیاف استفاده‌شده در راحتی پوشاک، Brzezinski و همکاران در سال ۲۰۰۵، برای دست‌یابی به راحتی سامانه پوشاک چندلایه در شرایط محیطی مختلف، به ارزیابی

* مسئول مکاتبات، پیام‌نگار: f_mousazadegan@aut.ac.ir

اهمیت انتخاب مواد استفاده‌شده در این پوشاک ورزشی پرداختند [۱]. از آنجا که الیاف مختلف، خواص انتقال گرما و رطوبت متفاوتی دارند و دمای بدن و نرخ تعرق نیز در بخش‌های مختلف بدن متفاوت است، Wu و همکاران در سال ۲۰۰۹ نشان دادند، استفاده از ترکیب الیاف با خواص انتقال گرما و رطوبت مناسب، در بهبود راحتی ورزشکار در حال فعالیت مؤثر بوده است [۲].

افزون بر جنس الیاف، ساختار نخ‌های استفاده‌شده در بافت پارچه و همچنین عوامل ساختاری پارچه نیز بر خواص راحتی پوشاک مؤثرند. در این راستا در سال ۲۰۱۱، Yu و Qian اثر چگالی خطی نخ‌های تشکیل‌دهنده پارچه را بر راحتی گرمایی پوشاک مطالعه کردند [۳]. Ozkan و Kaplangiray در سال ۲۰۱۹، اثر ساختار نخ‌های پلی‌استری استفاده‌شده در بافت پارچه‌های حلقوی شامل نخ‌های ریسیده‌شده در سامانه رینگ و نخ‌های تکسچره‌شده را بر خواص راحتی پوشاک ورزشی ارزیابی کردند [۴]. Chen و همکاران در سال ۲۰۱۷، خواص فیزیکی ۱۷ پارچه حلقوی پلی‌استری تجاری متداول در تولید پوشاک ورزشی را اندازه‌گیری و اثر خواص فیزیکی و مشخصات ساختار بافت پارچه‌ها را بر خواص راحتی پوشاک ورزشی مطالعه کردند [۵]. Suganthi و Senthikumar در سال ۲۰۱۸، اثر ساختار پارچه‌های حلقوی را بر خواص راحتی لباس ورزشی تنیس مطالعه کردند.

بدین منظور، پارچه‌های حلقوی دولایه با ساختارهای مختلف تهیه شد که در این پارچه‌ها از نخ تنسل در بافت لایه خارجی و از نخ‌های پلی‌استر-آکریلیک در بافت لایه داخلی استفاده شده بود. سپس، اثر ساختار بافت بر خواص راحتی پارچه‌ها ارزیابی شد [۶].

در پوشاک ورزشی، نه تنها به راحتی پوشاک در حالت سکون، بلکه به راحتی ورزشکار در حین فعالیت بدنی هم باید توجه شود. آزمایش‌های Kar و همکاران در سال ۲۰۰۷، بیانگر آن است که گرچه خواص راحتی پوشاک در شروع فعالیت ورزشی اثر چندانی ندارد، اما پس از شروع فعالیت، نقش به‌سزایی در راحتی ورزشکار دارد [۷]. Hassan و همکاران در سال ۲۰۱۲، به مطالعه راحتی پوشاک ورزشی در حین انجام فعالیت بدنی پرداختند [۸]. نظر به اینکه راحتی پوشاک در حین ورزش، کارایی ورزشکار را تحت تأثیر قرار می‌دهد، Martiez و همکاران در سال ۲۰۰۹ روشی را برای انتخاب پوشاک ورزشی مناسب براساس واکنش بدن ارائه کردند. بدین منظور، راحتی دو نمونه تی‌شرت ورزشی تحت فرایند ورزشی، توسط ۸ شرکت‌کننده ارزیابی شد. در این مطالعه، به دمای پوست، ضربان قلب و نرخ تعرق بدن توجه شده است [۹].

در بررسی راحتی پوشاک، توجه به شرایط محیطی و خواص نفوذپذیری پارچه هم ضروری است و می‌تواند بر نتایج اثرگذار باشد. از این رو، Zhang و همکاران در سال ۲۰۰۲، اثر قابلیت گذردهی هوا از میان پوشاک را بر تغییرات دمای بدن در شرایط آب و هوای گرم و سرد مطالعه کردند [۱۰]. با استفاده از مانکن گرمایی با قابلیت تعرق، Celcar و همکاران در سال ۲۰۰۸، اثر دمای محیط را بر راحتی ترکیب‌های مختلف پوشاک مردانه با درنظرگرفتن مقادیر مختلف عرق بدن، ارزیابی کردند [۱۱]. Havelka و Kus در سال ۲۰۱۱، به ارزیابی اثر قابلیت تنفس‌پذیری پوشاک ورزشی بر راحتی ورزشکار پرداختند [۱۲].

به استفاده از پوشاک چندلایه، به‌عنوان روشی برای تأمین راحتی در کاربردهای مختلف از جمله پوشاک ورزشی، توجه شده است. در این راستا، Celcar و همکاران در سال ۲۰۰۸، راحتی پوشاک رسمی مردانه چهارلایه را که از مواد مختلف تهیه شده بود، از نظر قابلیت انتقال گرما و عرق بدن در شرایط مختلف دمایی، ارزیابی کردند [۱۳]. Yuchai و همکاران در سال ۲۰۱۰، نوعی مدل اجزای محدود را برای بررسی فرایند انتقال گرما از میان پوشاک چندلایه ارائه کردند. نتایج آزمایش‌های آن‌ها نشان داد، افزون بر تعداد لایه‌های پوشاک، ضخامت لایه هوای محبوس در داخل سامانه پوشاک نیز نقش مهمی در قابلیت حفاظت گرمایی در آب و هوای سرد دارد [۱۴]. Havelka و همکاران در سال ۲۰۱۵، اثر استفاده از مواد پرکننده را بر بهبود خاصیت عایق گرمایی و راحتی پوشاک استفاده‌شده در شرایط آب و هوای سرد ارزیابی کردند. آن‌ها دریافتند، برخی از مواد طبیعی مانند پر، موجب افزایش درخور توجه خاصیت عایق گرمایی پوشاک می‌شود [۱۵].

با توجه به اهمیت تأمین راحتی ورزشکار در محیط‌های سربسته، Fantozzi و Lamberti در سال ۲۰۱۹، به مرور عوامل مؤثر بر تأمین راحتی ورزشکار در سالن پرداختند. این عوامل شامل شرایط تهویه و مشخصات پوشاک ورزشی بوده است [۱۶].

در ادامه مطالعات قبلی انجام‌شده، هدف از این مطالعه بررسی تغییرات دما و نرخ تعرق بدن براساس سطح فعالیت آن و نوع پوشاک ورزشی استفاده‌شده در طول ورزش است. بدین منظور، تی‌شرت‌های ورزشی از ۴ پارچه حلقوی پودی مختلف، تهیه شدند. سپس ضمن اندازه‌گیری برخی خواص فیزیکی پارچه‌ها، راحتی افراد پس از پوشیدن این تی‌شرت‌ها و انجام فرایند ورزشی از پیش‌معین به‌طور کیفی و کمی اندازه‌گیری شد. درنهایت، ارتباط بین خواص راحتی پارچه‌های استفاده‌شده و راحتی افراد در حین انجام آزمایش، ارزیابی شد.

جدول ۱- مشخصات پارچه‌های استفاده‌شده برای تولید تی‌شرت‌ها.

کد نمونه	نوع الیاف	وزن		تراکم سطحی حلقه‌ها		ضخامت		تخلخل (٪)
		میانگین (g/m^2)	انحراف معیار	تعداد رج در سانتی‌متر	تعداد ردیف در سانتی‌متر	میانگین (mm)	انحراف معیار	
B-PE	۱۰۰٪ پلی‌استر	۲۶۴	۲/۰۱	۵۴	۳۹	۰/۷۲	۰/۰۲	۰/۶۷
R-CO	۱۰۰٪ پنبه	۱۴۴	۱/۵۸	۴۹	۳۴	۰/۶۲	۰/۱۵	۰/۸۰
W-CO	۱۰۰٪ پنبه	۱۶۰	۱/۴۱	۶۰	۳۸	۰/۵۶	۰/۰۸	۰/۶۴
W-PE/Co	۹۵/۵٪ پنبه-پلی‌استر	۱۳۶	۱/۴۴	۲۶	۳۴	۰/۵۴	۰/۰۶	۰/۸۸

۲ تجربی

۲-۱ مواد

در این مطالعه، از ۴ پارچه حلقوی پودی یک‌روسیلندر با طرح بافت ریب ساده، برای تولید تی‌شرت‌های ورزشی استفاده شده است که به‌عنوان نمونه آزمایش به‌کار گرفته شده‌اند. این پارچه‌ها از نظر جنس، تراکم بافت حلقه‌ها و وزن با یکدیگر تفاوت داشتند. باتوجه به تفاوت تراکم و وزن سطحی پارچه‌های استفاده‌شده برای تهیه تی‌شرت‌ها، تخلخل نمونه‌ها مطابق کار Benltoufa و همکاران در سال ۲۰۰۷ براساس معادله (۱) محاسبه شد [۱۷]. مشخصات پارچه‌های استفاده‌شده در جدول ۱ آورده شده است:

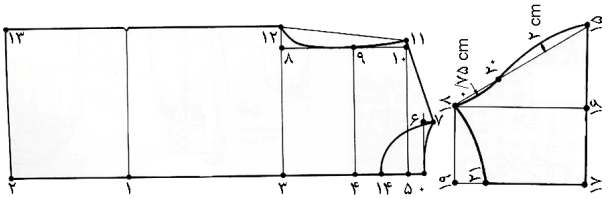
$$\varepsilon = 1 - \frac{\pi d^2 l C W}{2t} \qquad (۱)$$

که در آن، t ضخامت پارچه (cm)، l طول حلقه (cm)، d قطر نخ (cm)، C تعداد رج در cm ۱ و W تعداد ردیف در cm ۱ است.

برای تهیه تی‌شرت‌ها از الگوی نشان داده‌شده در شکل ۱ استفاده شده است. لازم به ذکر است، تی‌شرت‌ها برای هر یک از افراد به‌طور جداگانه تهیه شده و مقدار آزادی تی‌شرت در خط سینه برای شرکت‌کنندگان cm ۵ درنظر گرفته شده است.

۲-۲ روش‌ها

به‌منظور ارزیابی اثر خواص راحتی پارچه بر راحتی ورزشکار



شکل ۱- الگوی استفاده‌شده برای دوخت تی‌شرت‌ها.

در حین فعالیت، برخی خواص فیزیکی پارچه‌های آزمایش‌شده اندازه‌گیری شد. روش آزمایش استاندارد استفاده‌شده نیز در جدول ۲ آورده شده است. همه نمونه‌ها پیش از آزمایش، در شرایط استاندارد شامل دمای °C ۲۰ و رطوبت نسبی ٪۶۵، آماده‌سازی شده‌اند.

در این مطالعه، با هدف ارزیابی راحتی نمونه‌ها در طول انجام ورزش، ۱۰ مرد ورزشکار ۲۰ تا ۲۸ ساله، با متوسط وزن kg ۳±۸۳/۴۷، قد cm ۳±۱۸۲/۶۷ و شاخص توده بدنی kg/m^2 ۲۵/۰±۱۹/۲، شرکت کردند. فعالیت ورزشی تعیین‌شده برای آزمایش شامل یک برنامه ۶ مرحله‌ای بوده که به مدت min ۶۰ روی تردمیل انجام می‌شود. هدف از انتخاب این ۶ مرحله، ارزیابی اثر هر یک از تی‌شرت‌ها بر کارایی فرد در سطوح مختلف فعالیت‌های فیزیکی است. این ۶ مرحله به شرح زیر است:

- مرحله اول: min ۱۰ راه‌رفتن، min ۵ راه‌رفتن با سرعت km/h ۳/۲۲ و min ۵ راه‌رفتن با سرعت km/h ۸/۰۵.
- مرحله دوم: min ۵ استراحت در حالت ایستاده.
- مرحله سوم: min ۱۵ دویدن با سرعت‌های ۹/۶۶، ۱۱/۲۷ و km/h ۱۲/۸۷ در بازه‌های min ۵ (فعالیت فیزیکی کم).
- مرحله چهارم: min ۵ استراحت در حالت ایستاده.
- مرحله پنجم: min ۱۵ دویدن با سرعت‌های ۱۲/۸۷، ۱۴/۴۸ و km/h ۱۶/۰۹ در بازه‌های min ۵ (فعالیت فیزیکی زیاد).
- مرحله ششم: min ۵ استراحت در حالت ایستاده.

پس از هر min ۵، از افراد درخواست شد تا احساس خود را از

جدول ۲- آزمایش‌های راحتی انجام‌شده برای پارچه‌ها.

خواص اندازه‌گیری‌شده	استانداردهای استفاده‌شده
قابلیت گذردهی هوا	BS 5636
قابلیت گذردهی بخار آب	BS 7209
عایق گرمایی	BS 4745

جدول ۳- نتایج مربوط به برخی خواص فیزیکی پارچه‌ها.

کد نمونه	گذردهی هوا ($mL/s.cm^2$)		گذردهی بخارآب ($g/h.m^2$)		عایق گرمایی ($m^2.°C/W$)	
	میانگین	انحراف معیار	میانگین	انحراف معیار	میانگین	انحراف معیار
B-PE	۲۹/۲۴	۰/۷۴	۱۲۹۸	۱۰/۰۱	۰/۰۱۰۳۹	۰/۰۰۱۰
R-CO	۳۰/۶۲	۰/۳۶	۱۳۰۰	۸/۰۳	۰/۰۰۵۷۱	۰/۰۰۱۵
W-CO	۱۱/۷۴	۰/۵۱	۱۲۵۶	۹/۰۷	۰/۰۰۸۰۱	۰/۰۰۱۲
W-PE/Co	–	–	۱۳۷۶	۱۲/۳۲	۰/۰۰۵۳۶	۰/۰۰۱۱

دمای بدن، تری لباس و راحتی تی‌شرت با عبارت‌های کیفی به شرح زیر بیان کنند:

- بسیار گرم، بسیار تر و چسبنده، کاملا ناراحت (با عدد درجه‌بندی ۱).
- گرم، تر و چسبنده، ناراحت (با عدد درجه‌بندی ۲).
- حالت معمولی (با عدد درجه‌بندی ۳).
- خنک و خشک، راحت (با عدد درجه‌بندی ۴).
- بسیار خنک و بسیار خشک، بسیار راحت (با عدد درجه‌بندی ۵).

پس از انجام ارزیابی کیفی، نتایج به‌دست‌آمده در بازه ۰ تا ۱ نرمال شدند. برای نرمال‌سازی نتایج از معادله (۲) استفاده شده است:

$$X_{Normal} = \frac{X - X_{min}}{X_{max} - X_{min}} \quad (۲)$$

که در آن، X مقدار ارزیابی کیفی ارائه‌شده توسط افراد برای هر عامل، X_{min} کمینه مقدار درجه ارزیابی کیفی، X_{max} بیشینه مقدار درجه ارزیابی کیفی است.

افزون بر این، پس از هر min ۵، دمای بدن با استفاده از دماسنج در نقطه زیربغل اندازه‌گیری شد. برای اندازه‌گیری دمای بدن، از یک دماسنج الکلی استفاده شد، به‌طوری که دماسنج در زیر بغل فرد در حالت ایستاده (از روی تی‌شرت) قرار داده می‌شد و پس از min ۱ دمای آن خوانده می‌شد. همچنین، اختلاف بین وزن تی‌شرت در حالت خشک و پس از هر دوره فعالیت ورزشی min ۶۰ محاسبه و به‌عنوان معیاری از مقدار عرق بدن درنظر گرفته شد. لازم به ذکر است، فرایند آزمایش در سالنی مجهز به سامانه تهویه هوا با دمای °C ۲۱ انجام شد.

۳ نتایج و بحث

همان‌گونه که اشاره شد، برخی از خواص پارچه مانند قابلیت گذردهی هوا و بخار آب و عایق گرمایی که در راحتی آن مؤثر هستند، اندازه‌گیری شده‌اند. نتایج به‌دست‌آمده از این آزمایش‌ها در جدول ۳ آورده شده است. در ادامه، به بحث درباره نتایج پرداخته شده است.

۳-۱ خواص راحتی پارچه‌ها

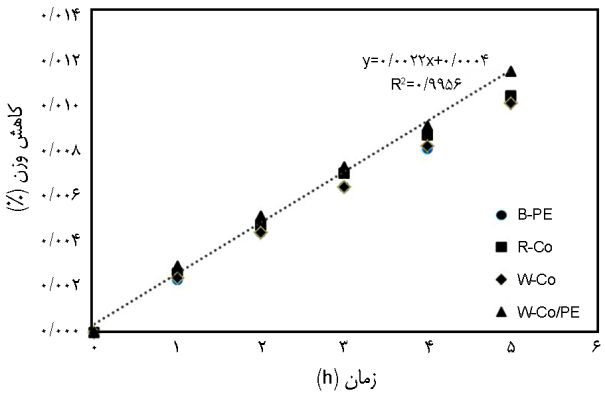
۳-۱-۱ قابلیت گذردهی بخار آب

به‌منظور اندازه‌گیری قابلیت گذردهی بخار آب از میان پارچه‌های مدنظر که شاخصی از قابلیت تنفس‌پذیری پارچه است، فرایند آزمایش در طول دوره زمانی h ۵ انجام شد. همان‌گونه که در شکل ۲ دیده می‌شود، درصد کاهش وزن مجموعه‌های فنجان‌های استفاده‌شده، مطابق روش استاندارد برای ارزیابی گذردهی بخار آب از میان نمونه‌ها در طول دوره آزمایش ثابت بوده و به‌طور خطی تغییر می‌کند.

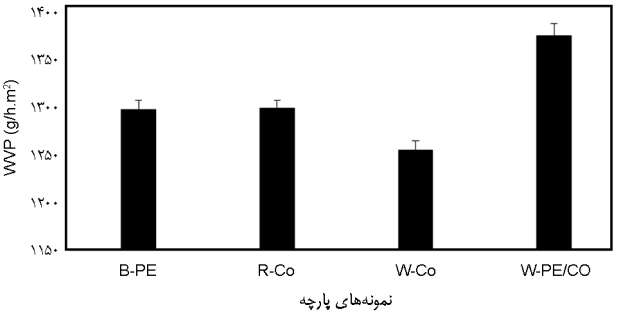
برای مقایسه قابلیت تنفس‌پذیری نمونه پارچه‌های آزمایش‌شده، براساس روش استاندارد BS ۷۲۰۹، شاخص گذردهی بخار آب با معادله (۳) محاسبه شده است:

$$WVP = \frac{24M}{A \times t} \quad (۳)$$

که در آن، M کاهش وزن فنجان‌ها (g)، A مساحت دهانه فنجان



شکل ۲- درصد تغییرات وزن بر حسب زمان.

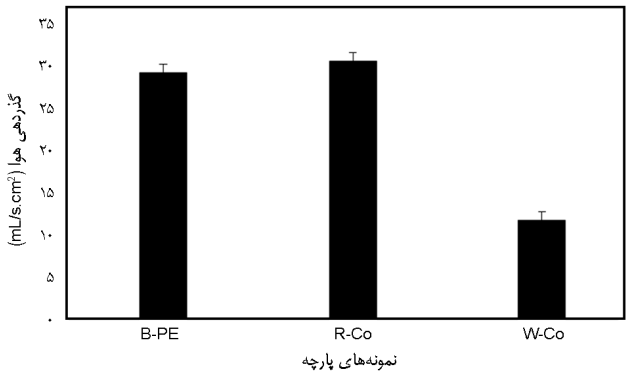


شکل ۳- مقایسه قابلیت گذردهی بخارآب از میان نمونه‌های آزمایش.

(m^2) و t مدت زمان آزمایش (h) است. قابلیت گذردهی بخار آب از میان نمونه‌های آزمایش‌شده مختلف در شکل ۳ آورده شده است. مطابق نتایج به‌دست‌آمده، دو نمونه W-PE/CO و W-CO به‌ترتیب بیشترین و کمترین قابلیت گذردهی بخار آب را داشته‌اند. به‌نظر می‌رسد، این نتیجه ناشی از تراکم حلقه‌های بافت است، به‌طوری که W-PE/CO کمترین تراکم سطحی حلقه را دارد. مساحت متوسط هر حلقه معادل ۰/۱۱ mm^2 بوده، در حالی که مقدار آن در پارچه W-CO، برابر ۰/۰۴۴ mm^2 است. بدین ترتیب نمونه با کمترین تراکم سطحی، فضای بیشتری برای عبور مولکول‌های بخار آب از میان پارچه را فراهم می‌کند. بنابراین در یک دوره زمانی مشخص، نمونه می‌تواند مولکول‌های بخار آب بیشتری را منتقل کند. در حالی که نمونه W-CO که بیشترین تراکم سطحی حلقه را دارد، کمترین شاخص گذردهی بخار آب را دارد. افزون بر این، مقایسه تخلخل نمونه‌های استفاده‌شده نیز نشان می‌دهد، دو نمونه W-PE/CO و W-CO به‌ترتیب بیشترین و کمترین تخلخل را داشته‌اند. به‌عبارت دیگر با افزایش تخلخل نمونه‌ها، قابلیت گذردهی بخار آب نمونه‌ها نیز افزایش یافته است. همچنین، جنس الیاف تشکیل‌دهنده پارچه در قابلیت گذردهی بخار آب نیز مؤثر است. به‌طوری که نمونه‌های پلی‌استری به‌دلیل خاصیت نفوذ مویینگی، کارایی بهتری در انتقال بخار آب داشته‌اند. همان‌طور که اشاره شد، نمونه W-PE/CO بیشترین قابلیت گذردهی بخار آب را دارد، در حالی که نمونه پنبه‌ای W-CO دارای کمترین مقدار است. همچنین، گرچه تخلخل نمونه پنبه‌ای R-CO بیش از نمونه پلی‌استری B-PE است، اما تقریبا از نظر گذردهی بخار آب تفاوت محسوسی ندارند.

۳-۱-۲ قابلیت گذردهی هوا

قابلیت گذردهی هوای پارچه، شاخصی برای ارزیابی تهویه لباس



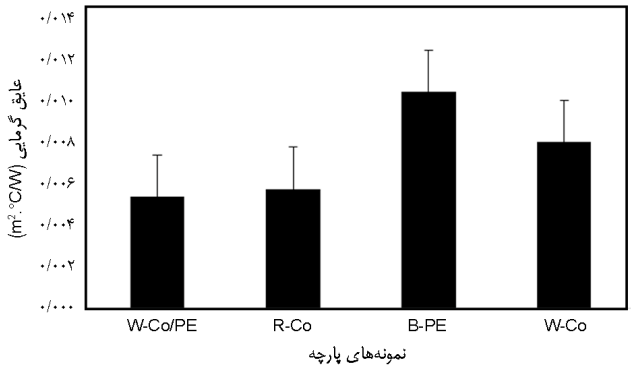
شکل ۴- مقایسه قابلیت گذردهی هوا از میان نمونه‌های آزمایش.

بوده و بنابراین عاملی کلیدی در راحتی پوشاک، به‌ویژه پوشاک ورزشی است. نتایج مربوط به گذردهی هوا از میان پارچه‌های آزمایش‌شده در شکل ۴ با یکدیگر مقایسه شده است.

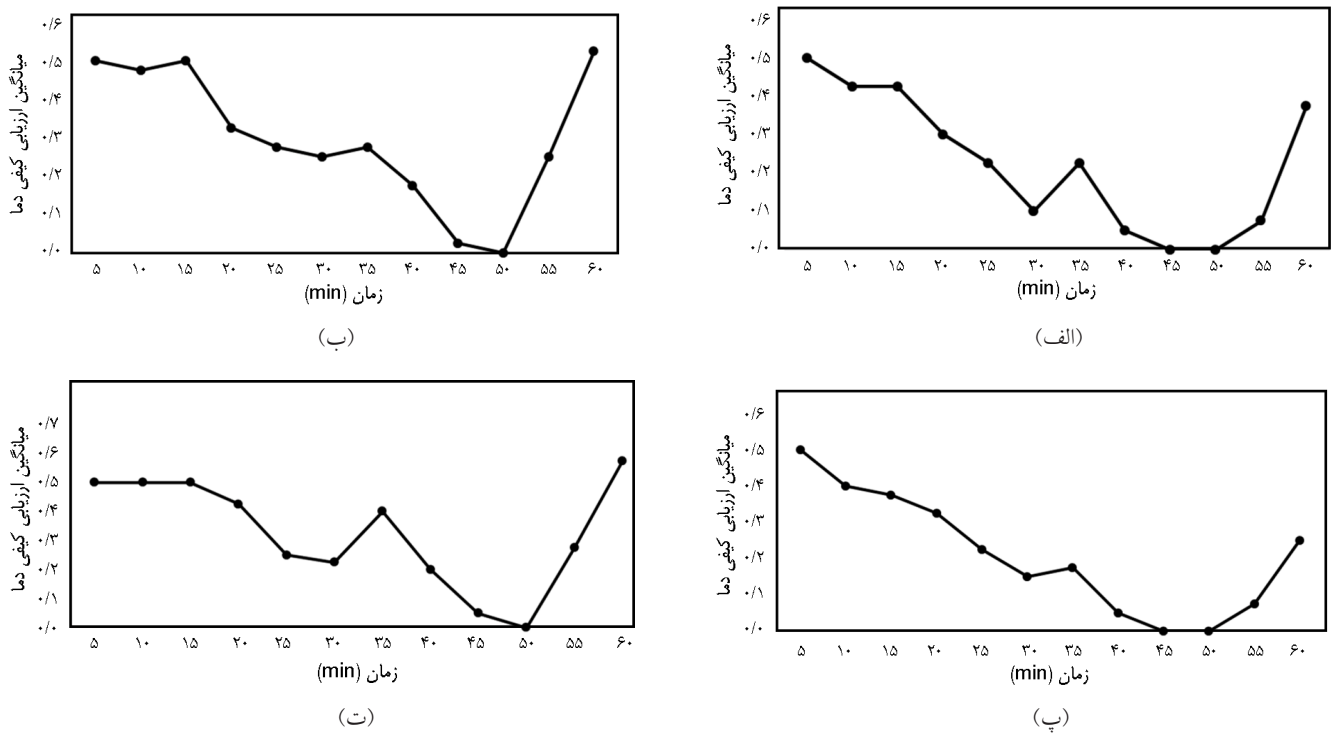
نتایج به‌دست‌آمده بیانگر آن است که مشابه قابلیت گذردهی بخار آب، دو نمونه W-PE/CO و W-CO به‌ترتیب بیشترین و کمترین قابلیت گذردهی هوا را داشته‌اند. البته از آنجا که قابلیت گذردهی هوا از میان نمونه W-PE/CO بیشتر و خارج از محدوده کاری دستگاه اندازه‌گیری بوده، پس در نمودار آورده نشده است. همان‌گونه که قبلا نیز اشاره شد، نمونه W-PE/CO بیشترین تخلخل و نمونه W-CO کمترین تخلخل را دارند. به عبارت دیگر، پارچه‌های با ساختار باز، به‌دلیل داشتن خلل و فرج بیشتر، قابلیت گذردهی هوای بیشتری دارند و انتظار می‌رود که نقش به‌سزایی در راحتی لباس داشته باشند.

۳-۱-۳ عایق گرمایی

خاصیت عایق گرمایی پارچه، بیانگر قابلیت انتقال گرما از میان آن به فضای اطراف است که در ارزیابی راحتی پوشاک ورزشی باید به آن توجه شود. به‌طوری که امکان انتقال گرمای اضافی بدن



شکل ۵- مقایسه خاصیت عایق گرمایی نمونه‌های آزمایش.



شکل ۶- ارزیابی کیفی دما در طول دوره ورزش برای لباس‌های تهیه‌شده از پارچه‌های مختلف: (الف) B-PE، (ب) R-Co، (پ) W-Co و (ت) W-PE/Co.

به محیط اطراف فراهم می‌شود. خاصیت عایق گرمایی پارچه‌های آزمایش‌شده به‌وسیله دستگاه تاگ‌متر اندازه‌گیری و نتایج آن در شکل ۵ نشان داده شده است.

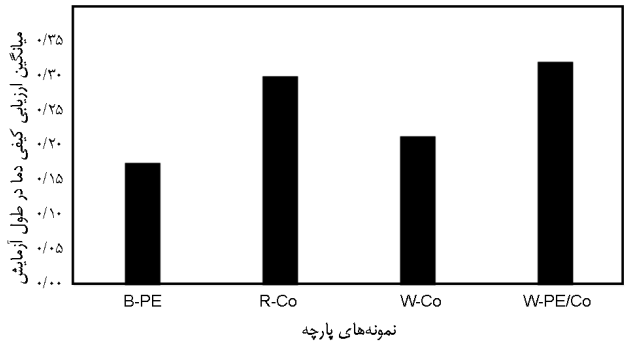
براساس شکل ۵، نمونه‌های B-PE و W-Co/PE به‌ترتیب بیشترین و کمترین مقاومت گرمایی را داشته‌اند. نمونه B-PE بیشترین ضخامت را دارد، بنابراین هوای ساکن بیشتری در داخل ساختار پارچه محبوس می‌شود. نظر به اینکه هوا عایق خوبی برای گرماست، افزایش حجم هوا درون پارچه موجب افزایش مقاومت گرمایی آن می‌شود. در حالی که نمونه W-Co/PE پارچه‌ای با ضخامت کمتر بوده که ساختار بازی دارد و از این رو کمترین خاصیت عایق گرمایی را داراست.

۳-۲ تغییرات دمای بدن در طول فرایند آزمایش

۳-۲-۱ ارزیابی کیفی دما

همان‌طور که پیش‌تر نیز گفته شد، از افراد شرکت‌کننده در آزمایش درخواست شد تا احساس خود را درباره دمای بدن، پس از هر min ۵ در طول دوره ورزش بیان کنند. میانگین نتایج ارزیابی کیفی نرمال‌شده شرکت‌کنندگان مختلف از دمای بدن در طول فرایند آزمایش در شکل ۶ نشان داده شده است.

با توجه به این شکل ملاحظه می‌شود، روند تغییرات کیفی دما در تمام نمونه‌های پارچه‌های آزمایش‌شده مشابه بوده است. در min ۱۰ اول فرایند که مربوط به مرحله گرم‌کردن اولیه است، همه افراد افزایش دمای بدن و پس از آن در طول دوره استراحت اول، کاهش دمای بدن را احساس کرده‌اند. پس از آن، در طول دوره فعالیت کم که min ۱۵ به طول انجامید، دوباره افزایش دمای بدن احساس شده است. در این مرحله، با افزایش سرعت دویدن، افزایش دمای بدن نیز بیشتر شده است. در مرحله دوم استراحت، به‌واسطه کاهش فعالیت بدنی، دمای بدن کاهش یافته است. در مرحله پنجم که شامل فعالیت فیزیکی شدید و دویدن با سرعت بیشتر بوده و min ۱۵ به طول انجامیده است، افراد احساس



شکل ۷- مقایسه میانگین ارزیابی کیفی دما در طول دوره ورزش برای نمونه‌های آزمایش.

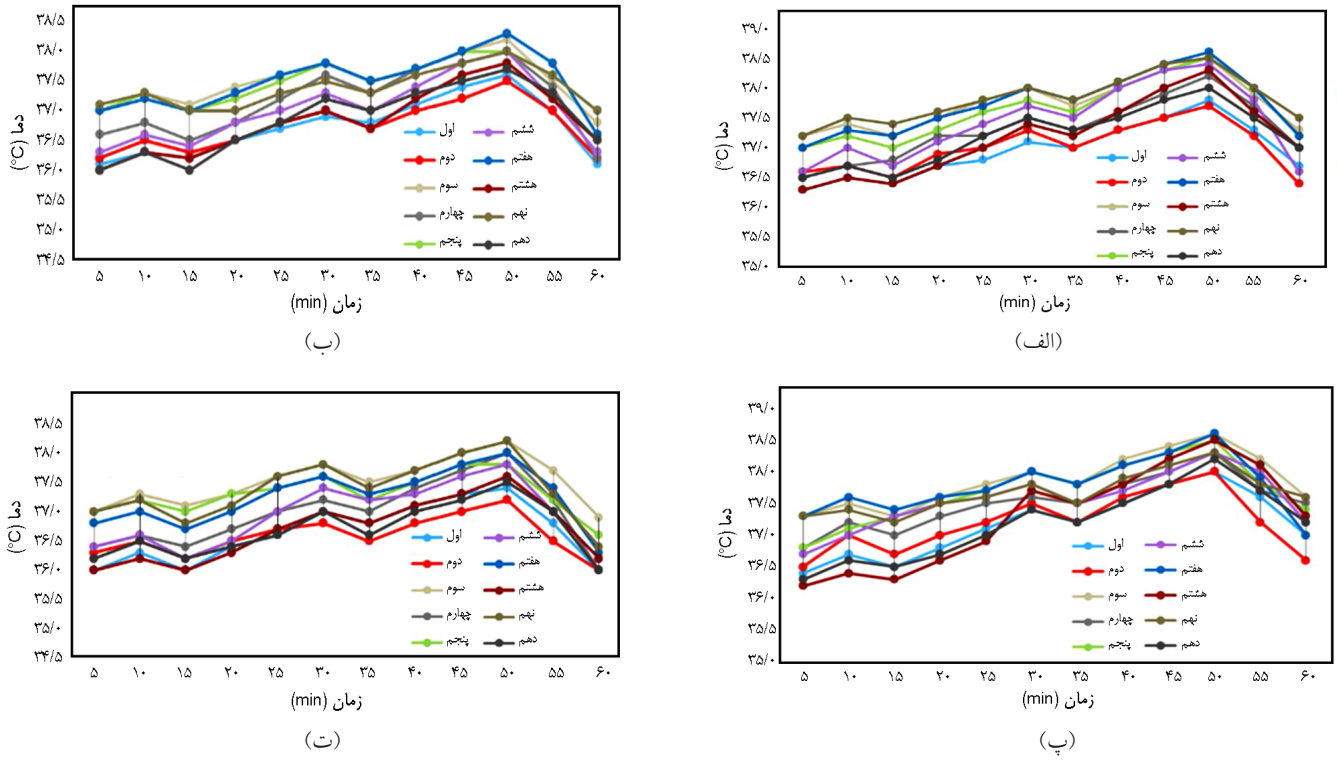
گرمای بسیاری داشته‌اند. بنابراین، افراد افزایش دمای بدن را احساس کرده‌اند. در طول دوره استراحت سوم، فعالیت بدنی و نرخ تولید گرمای بدن کاهش یافته است، بنابراین افراد دمای کمتری را احساس کرده‌اند. با توجه به شکل ۶، همه پارچه‌ها براساس سطح فعالیت بدن، روند مشابهی داشته‌اند. به‌منظور مقایسه کارایی هر یک از پارچه‌ها از نظر احساس دما، میانگین ارزیابی کیفی دما در طول دوره ورزش، برای نمونه‌های مختلف در شکل ۷ نشان داده شده است.

میانگین نتایج ارزیابی کیفی نمونه‌های مختلف بیانگر آن است که افراد از پوشیدن تی‌شرت‌های تهیه‌شده از نمونه‌های B-PE و W-PE/Co به‌ترتیب بیشترین و کمترین دما را احساس کرده‌اند. این نتیجه با خاصیت مقاومت گرمایی نمونه‌های استفاده‌شده هم‌خوانی دارد. به‌طوری که نمونه B-PE که دارای بیشترین خاصیت عایق گرمایی بوده، قابلیت کمتری در انتقال گرمای اضافی بدن به محیط بیرون داشته است. بنابراین، کمترین درجه کیفی احساس دما را دارد. در حالی که نمونه W-PE/Co که ساختار باز و کمترین خاصیت عایق گرمایی را داشته، کارایی بهتری در انتقال گرمای اضافی بدن به محیط بیرون دارد. از این رو، بیشترین درجه کیفی احساس دما را داشته است.

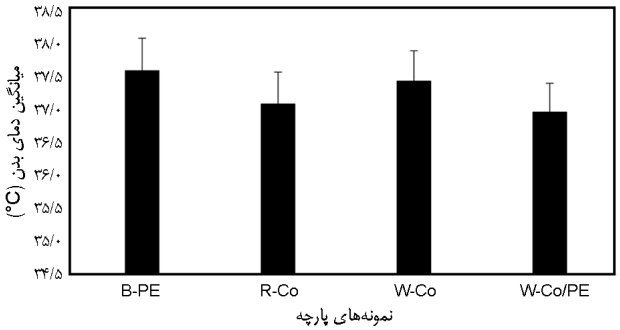
۳-۲-۲ ارزیابی کمی دما

نتایج مربوط به اندازه‌گیری دمای بدن برای هر یک از افراد شرکت‌کننده در آزمایش برای یک دوره ۶۰ min در شکل ۸ آورده شده است. با توجه به شکل مشاهده می‌شود، برای هر یک از نمونه‌ها، تغییرات دما در طول دوره انجام ورزش، برای همه شرکت‌کنندگان مشابه بوده است. به‌طور کلی، برای هر یک از پارچه‌های آزمایش‌شده، ۳ مرحله افزایش و کاهش دما به‌دست آمده است. در طول دوره‌های راه‌رفتن و دویدن افزایش دمای بدن گزارش شده که با افزایش سرعت راه‌رفتن و دویدن، روند این افزایش به‌طور صعودی تغییر کرده است. در حالی که در مرحله استراحت، کاهش دما ثبت شده است. به‌عبارت دیگر، ارتباط مستقیمی بین سطح فعالیت فیزیکی و دمای بدن به‌دست آمده است.

نظر به اینکه با افزایش فعالیت بدنی، دمای بدن به‌شدت افزایش می‌یابد، برای حفظ راحتی ورزشکار این گرمای اضافی باید به سرعت به محیط اطراف منتقل شود. بنابراین به‌نظر می‌رسد، قابلیت انتقال گرمای اضافی بدن به محیط اطراف در انتخاب پوشاک ورزشی باید درنظر گرفته شود. به‌منظور مقایسه کارایی پارچه‌های مختلف در انتقال گرمای اضافی بدن به محیط اطراف، میانگین دمای بدن در طول دوره ورزش در شکل ۹ نشان داده



شکل ۸- ارزیابی کمی دما در طول دوره ورزش برای افراد متفاوت و لباس‌های تهیه‌شده از پارچه‌های مختلف: (الف) B-PE، (ب) R-Co، (پ) W-Co و (ت) W-PE/Co.



شکل ۹- میانگین دمای اندازه‌گیری‌شده بدن در طول دوره ورزش برای نمونه‌های آزمایش.

شده است.

براساس نتایج به‌دست‌آمده، بیشترین و کمترین دمای بدن به‌ترتیب در حالت‌هایی به‌دست آمده که تی‌شرت‌های تهیه‌شده از پارچه‌های B-PE و W-Co/PE استفاده شده‌اند. به‌نظر می‌رسد، علت آن ناشی از خاصیت عایق گرمایی این پارچه‌هاست. در شکل ۱۰، همبستگی ارزیابی کمی و کیفی دمای بدن برای هر پارچه نشان داده شده است.

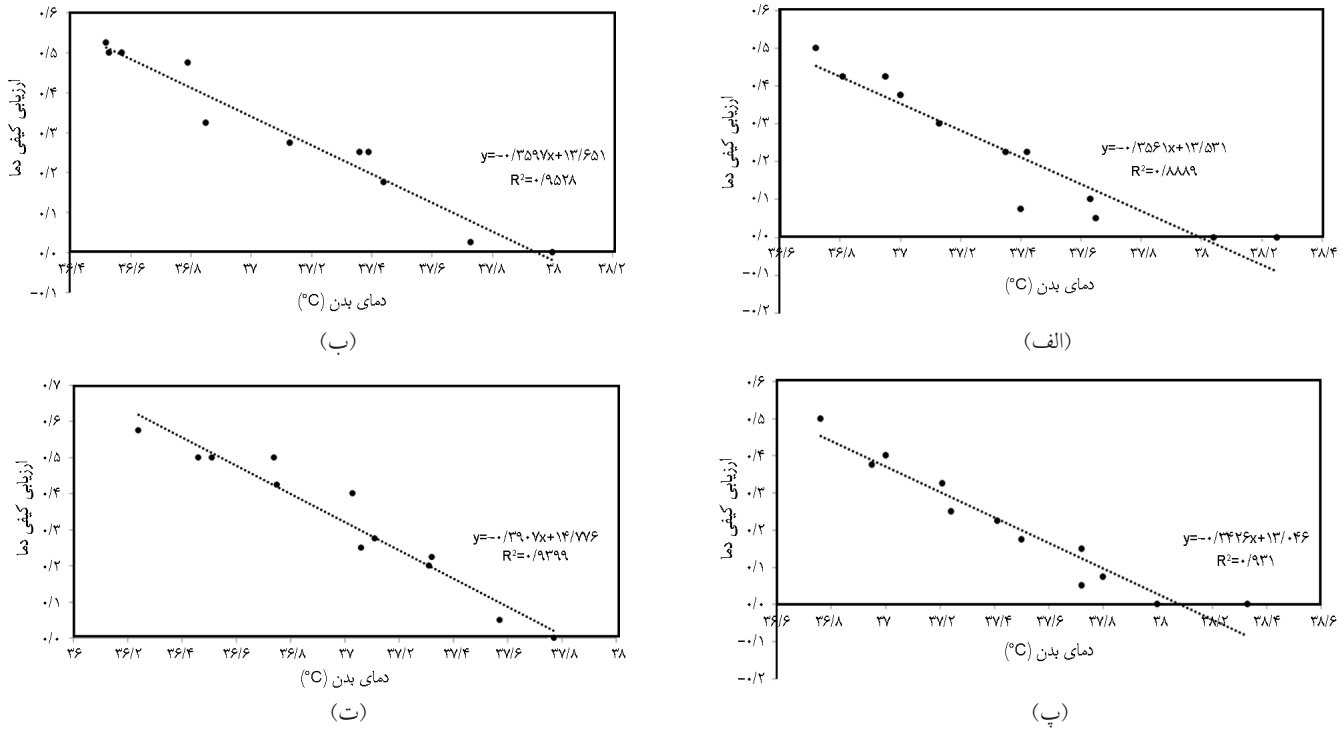
همان‌طور که ملاحظه می‌شود، بین میانگین نتایج کمی و کیفی دمای بدن در طول دوره ورزش، همبستگی زیادی (R^2 >۰/۸۸۸۹) به‌دست آمده است. به‌عبارت دیگر، احساس افراد از دمای بدن با دمای اندازه‌گیری‌شده هم‌خوانی دارد.

۳-۳ تغییرات تری لباس در طول فرایند آزمایش

۳-۳-۱ ارزیابی کیفی ترشدن

پیش‌تر گفته شد، پس از گذشت هر min ۵ از فرایند ورزش، از افراد خواسته شد تا تری لباس را با عبارت‌های بسیار تر و چسبنده، تر، معمولی، خشک و کاملاً خشک ارزیابی کنند که به‌ترتیب با اعداد ۱ تا ۵ درجه‌بندی می‌شوند. در جدول ۴ نمونه‌ای از ارزیابی کیفی افراد شرکت‌کننده از تری لباس برای نمونه W-CO آورده شده است.

میانگین ارزیابی کیفی تری لباس در طول دوره آزمایش پس از نرمال‌کردن نتایج در شکل ۱۱ نشان داده شده است. در شکل ملاحظه می‌شود، روند تغییرات ارزیابی کیفی تری لباس در طول فرایند آزمایش، مشابه تغییرات دمای بدن بوده که در همه پارچه‌های آزمایش‌شده یکسان است. به‌عبارت دیگر، طی راه‌رفتن و دویدن، دمای بدن به‌واسطه فعالیت فیزیکی افزایش می‌یابد و غدد عرق فعال می‌شوند تا گرمای اضافی تولیدشده بدن را دفع کنند. افزون بر این، افزایش سرعت دویدن به تعرق محسوس بدن منجر می‌شود، بنابراین افراد تری لباس را حس می‌کنند. در حالی که طی مرحله استراحت‌کردن، نرخ تعرق بدن به‌واسطه کم‌شدن فعالیت فیزیکی



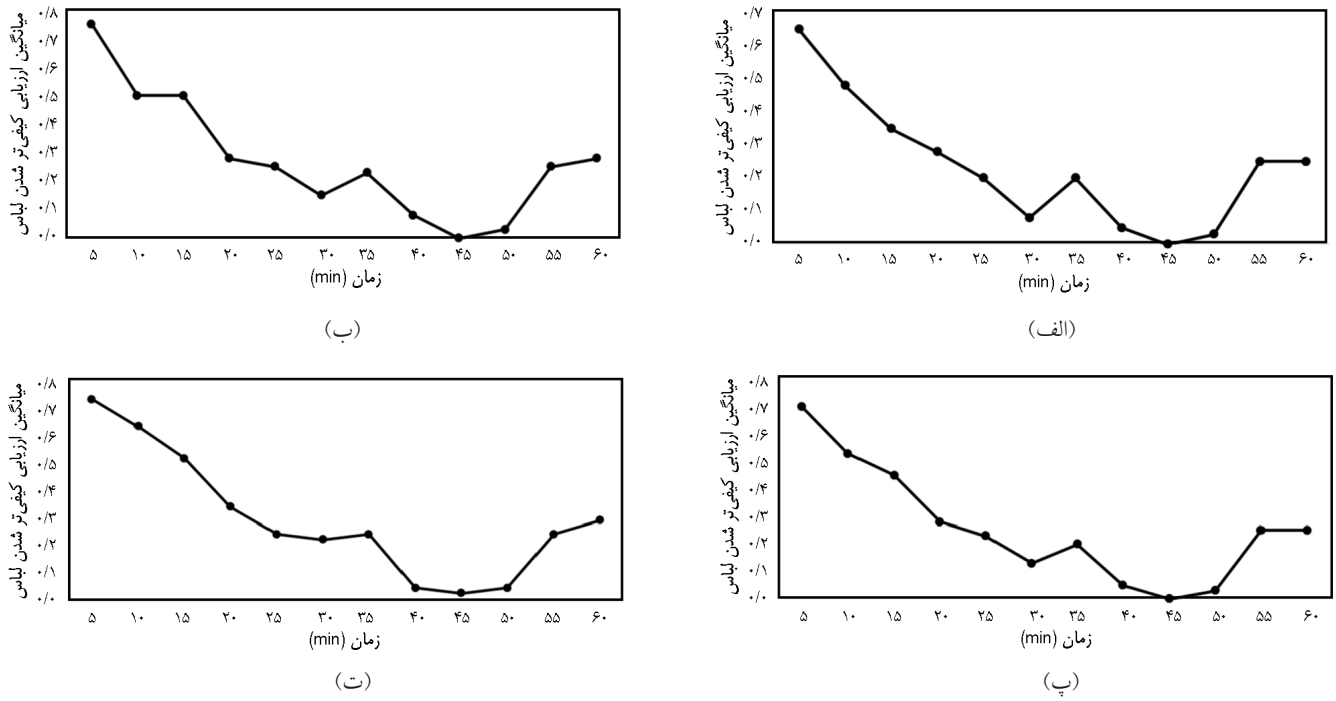
شکل ۱۰- بررسی همبستگی بین ارزیابی کیفی و کمی دمای بدن برای لباس‌های تهیه‌شده از پارچه‌های مختلف: (الف) B-PE، (ب) R-Co، (پ) W-Co و (ت) W-PE/Co.

جدول ۴- نتایج ارزیابی کیفی افراد از تری لباس برای نمونه W-CO.

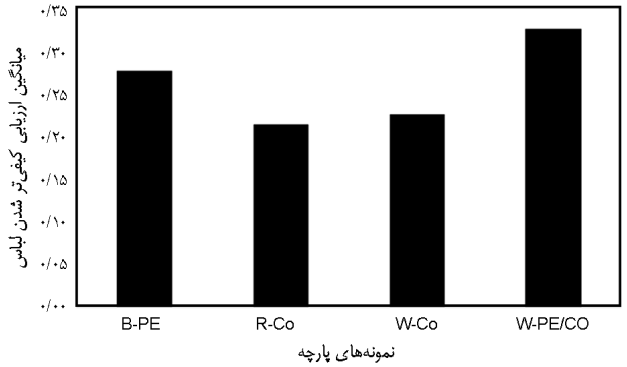
زمان (min)	نفر اول	نفر دوم	نفر سوم	نفر چهارم	نفر پنجم	نفر ششم	نفر هفتم	نفر هشتم	نفر نهم	نفر دهم
۵	۴	۴	۴	۳	۴	۳	۴	۴	۴	۴
۱۰	۳	۳	۴	۳	۳	۲	۳	۳	۴	۳
۱۵	۳	۲	۴	۳	۲	۳	۲	۳	۳	۳
۲۰	۲	۲	۳	۲	۲	۲	۲	۲	۲	۲
۲۵	۲	۲	۲	۲	۲	۱	۲	۲	۲	۲
۳۰	۱	۱	۲	۲	۲	۱	۱	۲	۲	۱
۳۵	۲	۲	۲	۲	۲	۱	۲	۲	۲	۱
۴۰	۲	۱	۲	۱	۱	۱	۱	۱	۱	۱
۴۵	۱	۱	۱	۱	۱	۱	۱	۱	۱	۱
۵۰	۱	۱	۱	۱	۱	۲	۱	۱	۱	۱
۵۵	۲	۲	۲	۲	۲	۲	۲	۲	۲	۲
۶۰	۲	۲	۲	۲	۲	۲	۲	۲	۲	۲

کاهش می‌یابد و فرد احساس بهتری دارد. به‌منظور مقایسه کارایی پارچه‌های مختلف از نظر تری لباس، میانگین ارزیابی کیفی ترشدن لباس در شکل ۱۲ آورده شده است.

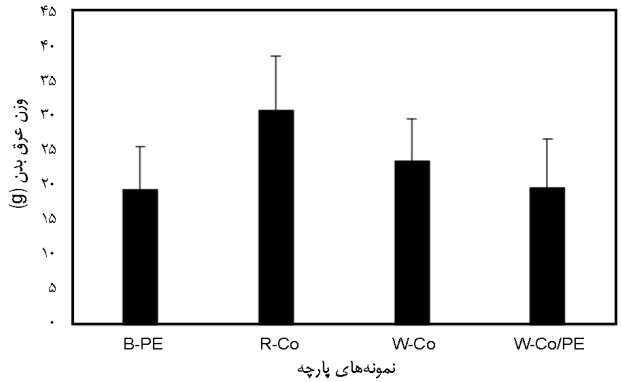
مطابق نتایج به‌دست‌آمده، نمونه‌های W-PE/Co و B-PE (نمونه‌های حاوی الیاف پلی‌استر) کارایی بهتری از نظر احساس تری لباس داشته‌اند. همچنین در پوشاک متداول روزمره، پارچه‌های پنبه‌ای به‌دلیل جذب رطوبت زیاد معمولاً به‌عنوان لایه داخلی لباس، برای مثال زیرپوش، در تماس با پوست بدن استفاده می‌شوند. استفاده از این منسوجات برای پوشاک ورزشی با سطح فعالیت زیاد مناسب نیست و راحتی پوشش لازم را فراهم نمی‌کند. زیرا،



شکل ۱۱- میانگین ارزیابی شرکت‌کنندگان در طول دوره ورزش از تری لباس‌های تهیه‌شده از پارچه‌های مختلف: (الف) B-PE، (ب) R-Co، (پ) W-Co و (ت) W-PE/Co.



شکل ۱۲- میانگین ارزیابی کیفی تری لباس در طول دوره ورزش برای نمونه‌های آزمایش.

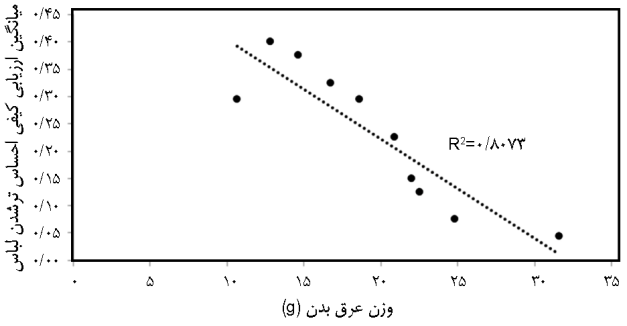


شکل ۱۳- میانگین ارزیابی کمی تری لباس در طول دوره ورزش برای نمونه‌های آزمایش.

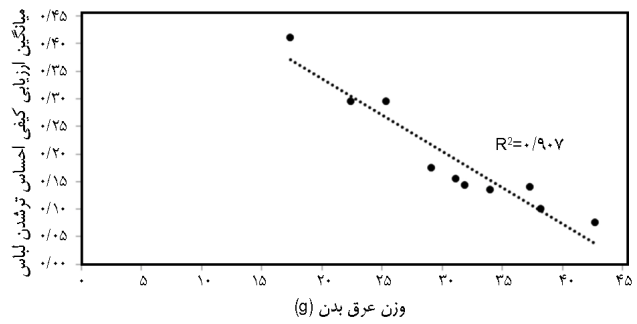
الیاف پنبه رطوبت را جذب می‌کنند و دیرتر خشک می‌شوند. از این رو، در حین انجام فعالیت فیزیکی شدید بدن که افزایش نرخ تعرق را به‌دنبال دارد، پوشاک پنبه‌ای که در تماس با سطح پوست قرار می‌گیرد با جذب عرق بدن تر شده و در سطح پوشاک حالت تری و چسبندگی لباس ایجاد می‌شود که نامطلوب است. اما پارچه‌های پلی‌استری، به‌واسطه خاصیت نفوذ مویینگی خوب، عرق بدن را از سطح پوست جذب و آن را به محیط اطراف منتقل می‌کنند. بنابراین، فرد احساس خشک‌بودن پوست و راحتی پوشش را دارد.

۳-۳-۲ ارزیابی کمی تری لباس

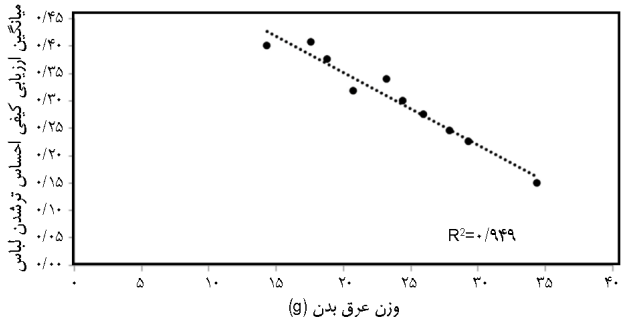
همان‌طور که پیش‌تر نیز به آن اشاره شد، اختلاف وزن تی‌شرت‌ها در حالت خشک و پس از هر دوره ورزش محاسبه شده است که به‌عنوان معیاری از نرخ عرق بدن درنظر گرفته می‌شود. در شکل ۱۳، نتایج آن برای پارچه‌های مختلف نشان داده شده است. با توجه به شکل مشاهده می‌شود، وزن عرق جذب‌شده به‌وسیله نمونه‌های پنبه‌ای در مقایسه با پارچه‌های پلی‌استری بیشتر بوده که این نتیجه ناشی از خاصیت جذب رطوبت زیاد الیاف پنبه است. این نتیجه با



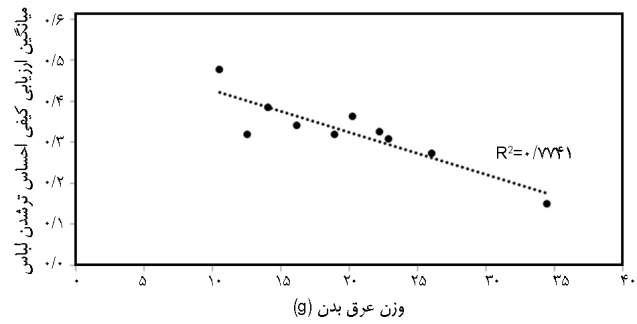
(الف)



(ب)



(پ)



(ت)

شکل ۱۴- بررسی همبستگی میان ارزیابی کیفی و کمی تری لباس‌های تهیه‌شده از پارچه‌های مختلف: (الف) B-PE، (ب) R-Co، (پ) W-Co و (ت) W-PE/Co.

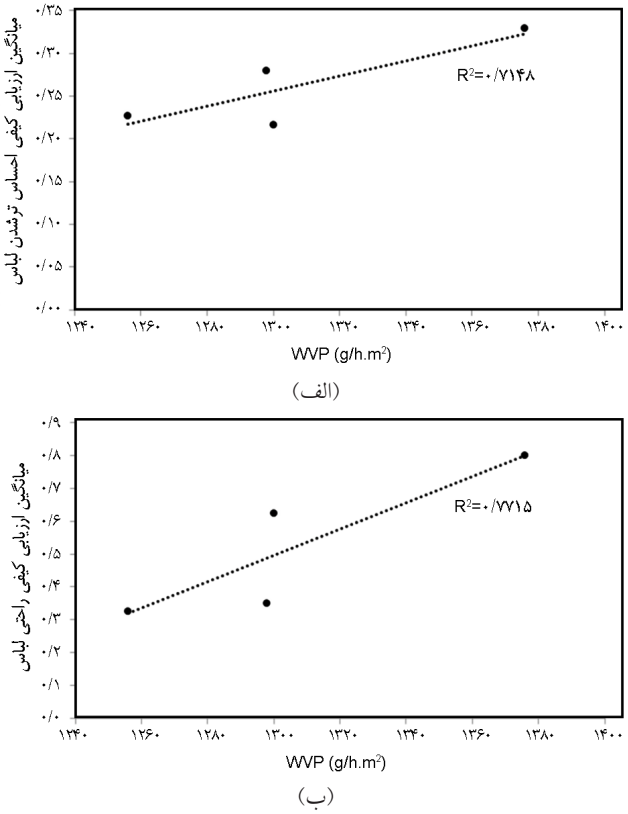
احساس افراد شرکت‌کننده در آزمایش از تری تی‌شرت‌های پنبه‌ای هم‌خوانی دارد. از این رو به‌نظر می‌رسد، پوشاک ورزشی پنبه‌ای برای انجام فعالیت فیزیکی شدید بدن مناسب نباشد. در حالی که در شرایط مشابه ورزشی، تی‌شرت‌های پلی‌استری مقدار عرق کمتری را نگه داشته‌اند، بنابراین فرد در سطح پوست احساس خیسی نمی‌کند.

در شکل ۱۴ همبستگی بین میانگین ارزیابی کیفی احساس تری لباس و وزن عرق جذب‌شده به‌وسیله تی‌شرت‌های آزمایش‌شده، نشان داده شده است. ملاحظه می‌شود، در پارچه‌های مطالعه‌شده، ضریب همبستگی بیش از ۰/۷۷۴۱ است. به عبارت دیگر، نمونه‌های پنبه‌ای که وزن عرق بیشتری داشته‌اند، از نظر شرکت‌کنندگان نیز به‌عنوان لباس ورزشی تر و چسبنده دسته‌بندی شده‌اند.

۳-۴ ارتباط بین خواص پارچه و راحتی پوشاک در حین ورزش

۳-۴-۱ ارتباط قابلیت گذردهی بخار آب با تعرق بدن

اثر قابلیت گذردهی بخار آب از میان پارچه (در جدول ۳ مقادیر آن برای پارچه‌ها گزارش شده است) و میانگین ارزیابی کیفی احساس تری لباس و راحتی آن در شکل ۱۵ آورده شده است. همان‌طور که ملاحظه می‌شود، با افزایش قابلیت گذردهی بخار آب



شکل ۱۵- اثر قابلیت گذردهی بخار آب پارچه بر: (الف) احساس تری و (ب) میانگین ارزیابی کیفی راحتی لباس.

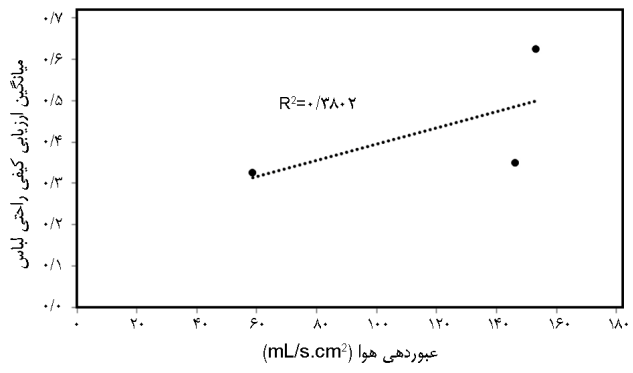
از میان پارچه، قابلیت تنفس‌پذیری پارچه نیز افزایش می‌یابد. این افزایش، امکان انتقال عرق بدن به محیط بیرون را فراهم کرده و از انباشته‌شدن عرق در داخل لباس جلوگیری می‌کند. با توجه به جدول ۳، مقدار شاخص گذردهی بخار آب نمونه‌های W-Co و W–PE/Co به‌ترتیب ۱۲۵۶ و ۱۳۷۶ $g/m^2.h$ است. در نمودار شکل ۱۵ ملاحظه می‌شود، نمونه W–PE/Co با قابلیت گذردهی بیشتر، ارزیابی کیفی بهتری از نظر احساس راحتی و تری لباس داشته است. بنابراین، چنین پارچه‌ای برای کاربرد پوشاک ورزشی مناسب است و ورزشکار احساس راحتی می‌کند. بدین ترتیب، افزایش قابلیت گذردهی بخار آب از میان پارچه سبب کاهش احساس تری و افزایش راحتی لباس می‌شود.

۳-۴-۲ ارتباط گذردهی هوا با راحتی لباس

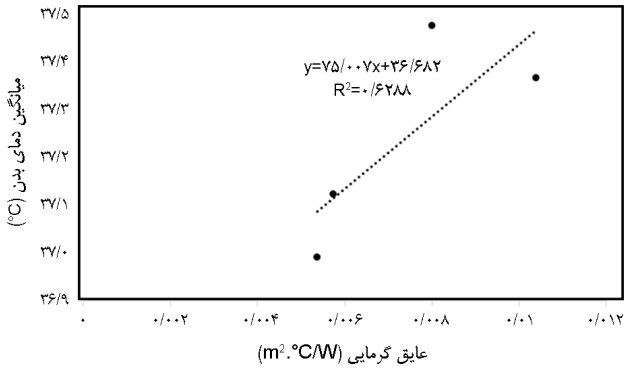
ارتباط ارزیابی کیفی راحتی لباس و قابلیت گذردهی هوا از میان پارچه (شکل ۱۶) نشان می‌دهد، افزایش این قابلیت موجب افزایش راحتی ورزشکار در طول دوره ورزش می‌شود. در واقع نفوذ هوا و انتشار آن در ساختار پوشاک، به انتقال گرمای اضافی و عرق بدن به محیط بیرون کمک می‌کند. بدین ترتیب، از انباشته‌شدن بخار آب در داخل لباس جلوگیری شده و موجب راحتی ورزشکار می‌شود.

۳-۴-۳ ارتباط عایق گرمایی پارچه با دمای بدن

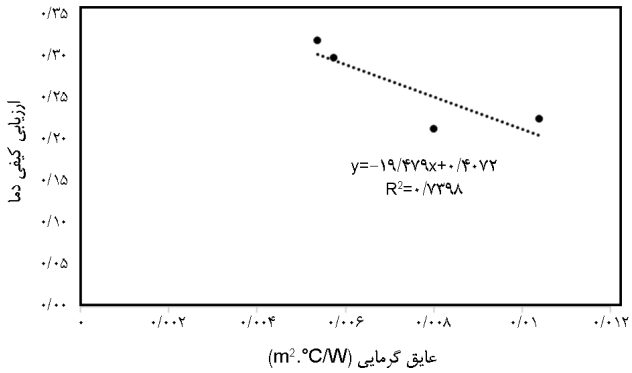
قابلیت لباس برای انتقال گرمای اضافی بدن به محیط بیرون، نکته مهمی در تعیین راحتی لباس در حین ورزش است. همان‌طور که در شکل ۱۷ نشان داده شده است، با افزایش خاصیت عایق گرمایی پارچه، ورزشکاران دمای بیشتری را احساس کرده‌اند. به عبارت دیگر، پوشاک قابلیت انتقال سریع گرمای اضافی بدن را به بیرون ندارد، بنابراین موجب افزایش دمای بدن، احساس گرما و عدم



شکل ۱۶- اثر قابلیت گذردهی هوای پارچه بر ارزیابی کیفی راحتی لباس.



(الف)



(ب)

شکل ۱۷- اثر قابلیت عایق گرمایی پارچه بر: (الف) میانگین دمای بدن و (ب) ارزیابی کیفی دما.

راحتی ورزشکار می‌شود. در حالی که در نمونه‌های با خاصیت عایقی کمتر، دمای احساس‌شده توسط افراد شرکت‌کننده و تلقی آن‌ها از دمای بدن کمتر بوده است. با توجه به شکل ۱۷، ضریب‌های همبستگی بین خاصیت عایق گرمایی و میانگین دمای اندازه‌گیری‌شده بدن ۰/۶۲۸۸ و بین خاصیت عایق گرمایی و ارزیابی کیفی دما ۰/۷۳۹۸ بوده که قابل قبول است و اثر خاصیت عایق گرمایی پارچه بر دمای بدن را تأیید می‌کند.

۴ نتیجه‌گیری

در هنگام انتخاب پارچه برای تولید لباس، خواص راحتی پوشاک با توجه به شرایط آب و هوایی و سطح فعالیت فیزیکی بدن باید درنظر گرفته شود. در پوشاک ورزشی، به‌دلیل افزایش دما و نرخ تعرق بدن ناشی از فعالیت شدید فیزیکی، خشک نگه‌داشتن پوست و انتقال گرمای اضافی بدن به محیط بیرون ضروری است. نتایج این مطالعه بیانگر آن است که افزایش سطح فعالیت فیزیکی بدن، به‌طور مستقیم بر نرخ تعرق و دمای بدن مؤثر است. خواص راحتی ۴ پارچه حلقوی پودی یک‌روسیلندر از نظر گذردهی بخار آب و هوا و خاصیت عایق گرمایی ارزیابی شدند. همچنین، مطالعه درباره راحتی ورزشکار براساس تغییرات دمای بدن و نرخ تعرق آن در حالت انجام ورزش به‌طور کیفی و کمی نشان می‌دهد، راحتی ورزشکار به خواص راحتی پارچه وابسته است. به‌طوری که پارچه‌های با قابلیت گذردهی بیشتر و خاصیت عایق گرمایی کمتر در تأمین تهویه لباس و انتقال گرما و عرق بدن به محیط بیرون کارایی مؤثری دارند. بدین ترتیب، پارچه‌های سبک دارای ساختار باز با تراکم حلقه کم و تخلخل بیشتر، کارایی بهتری دارند. افزون بر ساختار پارچه، جنس الیاف تشکیل‌دهنده پارچه نیز عامل مؤثری است که باید درنظر گرفته شود. به‌واسطه قابلیت جذب و نگه‌داشتن رطوبت، پارچه‌های پنبه‌ای سطح پوست را تر نگه‌می‌دارند. در حالی که پارچه‌های پلی‌استری به‌واسطه نفوذ مویینگی خوب، عرق بدن را جذب و به محیط اطراف منتقل می‌کنند که باعث احساس راحتی افراد می‌شوند. بنابراین، برای تهیه پوشاک ورزشی با سطح فعالیت زیاد بدنی به‌دلیل نرخ تعرق شدید و افزایش دمای بدن، استفاده از منسوجات پلی‌استری سبک با ساختار باز، انتخاب مناسبی برای تأمین راحتی ورزشکار است.

مراجع

[1] S. Brzezinski, G. Malinowska, and T. Nowak, "High-tech sports clothing with a high comfort of use made from multi-layer composite materials", *Fiber. Text. East. Eur.*, vol. 13, no. 4, pp. 90-93, 2005.

[2] H.Y. Wu, W.Y. Zhang, and J. Li, "Study on improving the thermal-wet comfort of clothing during exercise with an assembly of fabrics", *Fiber. Text. East. Eur.*, vol. 17, no. 4, pp. 46-51, 2009.

[3] Y. Yu and X. Qian, "The effect of material performances of knit fabric on clothing comfort", *Adv. Mater. Res.*, vol. 156-157, pp. 717-723, 2011.

[4] E.T. Ozkan and B.M. Kaplangiray, "Investigating thermo physiological comfort properties of polyester knitted fabrics", *J. Text. Eng. Fash. Technol.*, vol. 5, no. 1, pp. 50-56, 2019.

[5] Q. Chen, K.M. Tang, P. Ma, G. Jiang, and C. Xu, "Thermophysiological comfort properties of polyester weft knitted fabrics for sports t-shirt", *J. Text. Inst.*, vol. 108, no. 8, pp. 1421-1429, 2017.

[6] T. Suganthi and P. Senthikumar, "Comfort properties

of double face knitted fabrics for tennis sportwear", *Indian J. Fibre Text. Res.*, vol. 43, pp. 9-19, 2018.

[7] F. Kar, J. Fan, X. Yu, and X. Wan, "Effects of thermal and moisture transport properties of t-shirts on wearer's comfort sensations", *Fiber. Polym.*, vol. 8, no. 5, pp. 537-542, 2007.

[8] M. Hassan, K. Qashqary, H.A. Hassan, E. Shady, and M. Alansary, "Influence of sportswear fabric properties on the health and performance of athletes", *Fiber. Text. East. Eur.*, vol. 20, no. 4, pp. 82-88, 2012.

[9] N. Martínez, J.C. González, D. Rosa, and E. Alcántara, "A methodology of selecting a suitable garment for sports use", *Int. J. Cloth. Sci. Technol.*, vol. 21, no. 2/3, pp. 146-154, 2009.

[10] P. Zhang, R.H. Gong, Y. Yanai, and H. Tokura, "Influence of clothing material properties on rectal temperature in different environments", *Int. J. Cloth. Sci. Technol.*, vol. 14, no. 5, pp. 299-306, 2002.

[11] D. Celcar, H. Meinander, and J. Geršak, "Heat and moisture transmission properties of clothing systems evaluated by using a sweating thermal manikin under different environmental conditions", *Int. J. Cloth. Sci. Technol.*, vol. 20, no. 4, pp. 240-252, 2008.

[12] A. Havelka and Z. Kus, "The transport phenomena of semi-permeable membrane for sport cloth", *Int. J. Cloth. Sci. Technol.*, vol. 23, no. 2/3, pp. 119-130, 2011.

[13] D. Celcar, H. Meinander, and J. Geršak, "A study of the influence of different clothing materials on heat and moisture transmission through clothing materials, evaluated using a sweating cylinder", *Int. J. Cloth. Sci. Technol.*, vol. 20, no. 2, pp. 119-130, 2008.

[14] S. Yuchai, X. Chen, Z. Cheng, and X. Feng, "Study of heat transfer through layers of textiles using finite element method", *Int. J. Cloth. Sci. Technol.*, vol. 22, no. 2/3, pp. 161-173, 2010.

[15] A. Havelka, V. Glombikova, Z. Kus, and M. Chotebor, "The thermal insulation properties of high-tech sportswear fillings", *Int. J. Cloth. Sci. Technol.*, vol. 27, no. 4, pp. 549-560, 2015.

[16] F. Fantozzi and G. Lamberti, "Determination of thermal comfort in indoor sport facilities located in moderate environment; an overview", *Atmosphere*, vol. 769, no. 10, pp. 1-27, 2019.

[17] S. Benltoufa, F. Fayala, M. Cheikhrouhou, and S.B. Nasrallah, "Porosity determination of jersey structure", *Autex Res. J.*, vol. 1, no. 1, pp. 63-69, 2007.