تاثیر قابلیت تنفس پذیری بر خواص راحتی پوشاک ورزشی چند لایه

[۱]محدثه رمضانپور؛[۲]علی اکبر قره آقاجی؛[۳]فاطمه موسی‌زادگان؛[۴]پرهام سلطانی

[1]دانشگاه صنعتی امیرکبیر/دانشکده مهندسی نساجی m.ramzanpoor@aut.ac.ir
[2]دانشگاه صنعتی امیرکبیر/دانشکده مهندسی نساجی aghaji@aut.ac.ir
[3]دانشگاه صنعتی امیرکبیر/دانشکده مهندسی نساجی F_mousazadegan@aut.ac.ir
[4]دانشگاه صنعتی اصفهان/دانشکده مهندسی نساجی pa.soltani@cc.iut.ac.ir

چکیده

با حرفه‌ای شدن ورزش‌ها، نیاز ورزشکاران به پوشاک مهندسی شده و تقاضاها برای پوشاکی که بتواند ورزشکاران را از خطرات احتمالی در ورزش و شرایط محیطی در امان نگه دارد، افزایش یافته است. از کاربردهای پوشاک ورزشی چندلایه، بهبود حفاظت در برابر سرما و راحتی حرکتی فرد به جای پوشیدن پوشاک تک‌لایه ضخیم و سنگین می‌باشد که در ورزش‌های زمستانی این موضوع مورد توجه است. در این مطالعه به بررسی قابلیت تنفس‌پذیری بر خواص راحتی پوشاک ورزشی چندلایه پرداخته شده است. به این منظور از پارچه‌های متداول لباس ورزشی زمستانی یعنی پارچه بادگیر برای لایه خارجی و پارچه حلقوی یک رو سیلندر برای لایه داخلی استفاده شده است. پارچه لایه میانی متغیر است که به صورت لایه بی‌بافت با ۵ سوزن‌زنی ۱۵، ۴۵، ۷۰، ۹۵ و ۱۰۸ سوزن در سانتی‌متر مربع تولید شد. پارچه‌ها و لایه‌ها ابتدا تک سپس به صورت لایی شده آزمایش شدند. وزن، ضخامت، مقدار عبوردهی هوا و بخارآب و مقاومت حرارتی پارچه‌ها اندازه‌گیری شدند. آزمایش فنجان برای اندازه‌گیری عبوردهی بخارآب و آزمایش تاگمتر برای اندازه‌گیری مقاومت حرارتی پارچه‌ها مورد استفاده قرار گرفت. تصاویر میکروسکوپ الکترونی از نمونه‌ها جهت مطالعه میزان تخلخل تهیه شد.

نتایج توزین نمونه‌ها نشان می‌دهد که با افزایش تعداد سوزن‌زنی وزن در واحد سطح نمونه‌ها نیز افزایش می‌یابد این پدیده به دلیل متراکم شدن الیاف در واحد سطح می‌باشد همین امر سبب افزایش ضخامت لایه نیز می‌شود. علاوه بر این، افزایش سوزن‌زنی با مقدار عبوردهی هوا و بخارآب رابطه‌ی عکس دارد. با افزایش سوزن‌زنی مقدار تخلخل لایه‌ها از ۱۹,۱۱٪ به ۱۲,۳۴ ٪ کاهش یافت. به صورت یک لایه و هم پارچه سه‌لایه، مقدار عبوردهی هوا و بخارآب از پارچه با سوزن‌زنی ۱۵سوزن در سانتی مترمربع به ۱۰۸ سوزن در سانتی‌مترمربع کاهش یافت. همچنین درصد هوای بیش‌تر داخل لایه، سبب افزایش مقاومت گرمایی پارچه می‌گردد. ، نمونه‌های NW15 و NW108 به ترتیب بیش‌ترین و کم‌ترین مقاومت گرمایی را داشته‌اند.

نمونه NW108 بیش‌ترین ضخامت را دارد، اما چون بیش‌ترین وزن را هم دارد درنتیجه تراکم این نمونه از دیگر نمونه‌ها بیش‌تر است، همچنین این نمونه کم‌ترین تخلخل را نیز دارد بنابراین هوای داخل لایه کم‌ترین مقدار را در بین نمونه‌های دیگر دارد. از این رو کم‌ترین مقاومت گرمایی مربوط به نمونه NW108 می‌باشد. عملیات دوختن، سبب افزایش درصد تخلخل نمونه‌ها شده‌است. به طور کلی عملیات دوخت سبب افزایش مقدار عبوردهی پارچه نسبت به حالت بدون دوخت می‌گردد. هرچند با افزایش سوزن‌زنی استحکام لایه افزایش پیدا می‌کند چون از دوخت استفاده می‌شود، سوزن‌زنی کم‌تر، مشکلی در استفاده ایجاد نمی‌کند. نتایج حاصل از این آزمایشات بیانگر آن است که با سوزن‌زنی کم‌تر در لایه میانی، پارچه سه‌لایه‌ای سبک‌تر و با خاصیت عبور هوا و بخارآب بیش‌تر می‌توان تولید کرد درنتیجه به راحتی بیش‌تری دست یافت.

واژه‌های کلیدی:

تنفس‌پذیری، پوشاک ورزشی چندلایه, راحتی پوشاک, تخلخل، نفوذپذیری

۱-مقدمه

یکی از نیازهای اصلی هر پوشاک، صرفنظر از کاربرد آن راحتی پوشاک می‌باشد. خاصیت عایق گرمایی، جذب سریع مایع‌ها، توانایی تبخیر و انتقال عرق از پوست به محیط خارجی و سپس انتشار سریع پارچه، بر راحتی تاثیر گذار است. یکی از مهم‌ترین جنبه‌های راحتی پوشاک به قابلیت انتقال بخارآب ناشی از عرق بدن به خارج از سامانه پوشاک مربوط می‌شود که با عنوان قابلیت تنفس‌پذیری لباس مطرح می‌شود. این جنبه از راحتی بویژه در پوشاک ورزشی مورد استفاده در شرایط آب و هوایی سرد که در آن فعالیت بدنی زیاد است، باید مورد توجه قرار بگیرد. گرمای تولید شده توسط بدن بواسطه تنفس، تعریق و تبخیر آن به محیط اطراف منتقل می‌شود. که در صورت عدم دفع به موقع، این گرمای اضافی بدن می‌تواند باعث کاهش عملکرد ورزشکار شود. بدن، در این مواقع گرمای اضافی بدن را به صورت بخارآب و یا عرق مایع دفع می‌کند با توجه به گرمای نهان تبخیر آب، گرمای لازم برای تبخیر عرق از سطح پوست گرفته می‌شود که اثر خنک‌کنندگی دارد. البته در این میان ساختار پوشاک و فضای بین لایه‌های لباس، باید امکان عبور هوا و تبخیر عرق را فراهم نماید تا بدن خنک شود. در غیر این صورت انباشته شدن بخارآب در داخل پوشاک، موجب میعان بخار و خیس شدن لباس و سطح پوست می‌شود. در لباس های ورزشی زمستانی یک لباس تنفس‌پذیر با خاصیت عایق گرمایی خوب مورد نیاز است که از پوشاک چندلایه مورد توجه قرار می‌گرفته است[۱]. خواص راحتی پوشاک چند لایه به ویژگی‌های لایه‌های مختلف و ترکیب آنها بستگی دارد. در بررسی تاثیر جنس پارچه بر راحتی و عملکرد ورزشکاردریافتند که در صورت استفاده از پوشاک ۱۰۰٪ پلی‌استری مقاومت گرمایی کم‌تر باعث انتقال سریع‌تر گرمای بدن به محیط اطراف شده، به این ترتیب رضایت ورزشکاران را به دنبال داشته است. با توجه به قابلیت نفوذ مویینگی و قابلیت انتقال بخارآب، عرق بدن را به سرعت به محیط اطراف منتقل می‌کند[۲]. تاثیر جنس الیاف مورد استفاده در پارچه بر راحتی پوشاک ورزشی دولایه حلقوی پودی بررسی شد نتایج نشان داد که خاصیت رسانایی گرمایی به جرم در واحد سطح، ضخامت و نوع نخ بستگی دارد. هرچه ضخامت پارچه کم‌تر باشد، مقدار نفوذپذیری هوا بیش‌تر خواهد بود[۳]. تاثیر خصوصیات پارچه لباس ورزشی بر راحتی ترموفیزیولوژیکی ورزشکاران نشان داد، پارچه با بافت تریکو مشبک تک رو از جنس تنسل و مش پلی‌استری یا ترکیبات آن‌ها برای تولید لباس‌های ورزشی ترجیح داده می‌شوند[۴]. اثر ساختارهای مختلف بافت بر عوامل راحتی پوشاک بررسی شد نتایج نشان داد پارچه‌های شل دارای طول حلقه بلندتر با مقادیر تخلخل بیش‌تر و اندازه منافذ بزرگ‌تر هستند. میزان عبور بخارآب با افزایش ضخامت به دلیل افزایش فشردگی و کاهش هوا داخل بافت، کاهش می‌یابد. اندازه منافذ و میزان نفوذ مویینه رابطه عکس دارند عوامل راحتی به طور قابل توجهی تحت تاثیر ساختار بافت حلقوی قرار دارند[۵]. پارچه‌های ورزشی چندلایه در شرایط ایستا زیر صفر درجه سانتی‌گراد بررسی شدند و نتیجه نشان داد که به دلیل مقاومت در برابر انتقال گرما و عبور بخارآب بیش‌تر، پارچه‌های دولایه، نرخ تعریق بیش‌تری نسبت به پارچه تک‌لایه دارند. پارچه چندلایه در روند تنظیم حرارتی بدن موثر است تا دمای مرکز بدن ثابت بماند[۶]. بررسی رفتار نفوذپذیری منسوج سه‌لایه با لایه میانی نانو الیاف الکتروریسی شده به عنوان یک منسوج محافظ در برابر باد نشان داد که از نظر قابلیت انتقال بخارآب و تنفس‌پذیری، پارچه‌های چندلایه با نانوالیاف کارایی بهتری نسبت به پارچه گورتکس داشته‌اند. استفاده از لایه نانوالیاف به جای پوشش‌دهی سطح پارچه با مواد پلیمری، راحتی خوبی دارند[۷]. بررسی تاثیر استفاده از لایه نانوالیاف به عنوان لایه میانی، بر راحتی گرمایی لباس‌های سه‌لایه محافظ در برابر سرما نشان داد که لایه‌های متخلخل نانوالیاف با منافذ بسیار کوچک و زیاد بدون افزایش وزن قابل توجه در پوشاک، می‌توانند خاصیت مقاومت گرمایی آن را بهبود می دهد. افزایش قطر نانوالیاف که به دلیل غلظت محلول است باعث تغییر تخلخل می‌شود و منجر به افزایش عایق گرمایی می‌شود. قطر الیاف نانو در مقاومت در برابر آب تاثیر ندارد[۸]. تاثیر تراکم سوزن زنی پارچه بی‌بافت تولید شده به روش مکانیکی بر خواص راحتی پوشاک چند لایه با افزایش تراکم سوزن‌زنی سختی خمشی کاهش می‌یابد.

به علت جابه‌جایی الیـاف، تغییـر حالـت قرارگیری الیاف و کاهش نظم، حالت سوراخ مانندی به وجود می‌آید که در این صورت عبور هوا و بخار راحت‌تر صورت می‌گیرد. بـا کاهش فواصل دوخت، به علت افزایش تعداد خطوط دوخت در طول نمونه، سختی خمشی افزایش یافته و میزان عبوردهی هوا کاهش می‌یابد. با افزایش تراکم سوزن‌زنی و همچنین افزایش فواصل دوخت، قابلیت عبوردهی هوا افزایش می‌یابد[۹]

۲-تجربیات

در این تحقیق از لایه‌های وب با پنج نوع سوزن‌زنی مختلف برای لایه میانی، از پارچه بادگیر به عنوان لایه خارجی و از پارچه جرسی به عنوان لایه داخلی استفاده شده است. پارچه یک رو سیلندر با بافت حلقوی و جنس۱۰۰٪ پلی‌استر می‌باشد. در این راستا از دوخت ساده به طول بخیه ۳ میلی‌متر، جهت اتصال لایه‌های استفاده شده است. مشخصات نمونه‌های مورد استفاده در جدول ۱ آورده شده است.

جدول ۱ - مشخصات نمونه‌ها

کدگذاری لایه‌ها	تراکم سوزن‌زنی (cm^2)	وزن در واحد سطح (m^2)	عمق سوزن زنی(mm)
NW15	۱۵	۲۷۹,۱	۱۱
NW45	۴۵	۲۸۸,۳۵	۱۱
NW70	۷۰	۲۹۴,۶۸	۱۱
NW95	۹۵	۳۴۵,۳۴	۱۱
NW108	۱۰۸	۳۴۹,۱۳	۱۱

از پارچه‌های متداول پوشاک ورزشی هوای سرد برای لایه خارجی و داخلی استفاده شده است. برای لایه میانی که خاصیت عایق باید داشته باشد از وب‌های سوزن‌زنی شده استفاده شده است. عملیات سوزن‌زنی به دفعات متفاوت و عمق نفوذ ۱۱ سانتی‌متر جهت مقاوم سازی لایه‌ها انجام شده است. هر نمونه ابتدا به صورت یک‌لایه، سپس به صورت سه‌لایه بر روی هم و در نهایت سه‌لایه دوخته شده آزمایش شده‌اند. برای دوخت نمونه‌ها از ماشین راسته دوز آدلر مدل ۲۷۲ استفاده شده است. نمونه‌ها با طول بخیه‌ی ۳ میلی‌متر و خطوط دوخت در کل پارچه با فاصله ۵ سانتی‌متر به صورت لوزی دوزی دوخته شده‌اند. ۴ نمونه از هر نوع از پارچه‌ها به ابعاد ۵ × ۵ سانتی‌مترمربع با ترازو به دقت ۰,۰۰۰۱ وزن شدند. ضخامت نمونه‌ها در ۵ نقطه توسط دستگاه ضخامت سنج شرلی مطابق استاندارد ASTM D 1777 اندازه‌گیری شده است. آزمایش نفوذپذیری هوا مطابق استاندارد ASTM D737 توسط دستگاه نفوذپذیری هوا شرلی SDL در افت فشار ۱۰۰ پاسکال و محدوده آزمایش ۲۰ سانتی‌مترمربع انجام شده است. آزمایش میزان عبوردهی بخارآب نمونه‌ها به روش فنجان بر طبق استانداردهای BS 7209 / ASTM E96 مورد آزمایش قرارگرفته‌اند. آزمایشات در شرایط محیطی با دمای ۲ c° ۲۳ ± c° و رطوبت ۵٪ ± ۶۵٪ در مدت زمان ۸ ساعت انجام شده است، و عبوردهی بخارآب نمونه‌ها از رابطه‌ی ۱ محاسبه شده است.

$$WVTR = 24M/tA \quad g/m^2/day \qquad (۱)$$

برای ارزیابی تخلخل لایه‌ها از میکروسکوپ الکترونی روبشی (SEM) با بزرگنمایی ۲۰۰ µm میکروسکوپ فیلیپس (XL-30) برای بررسی مورفولوژی لایه‌های بی‌بافت استفاده شده است. تصاویر با استفاده از نرم افزار متلب مورد تجزیه و تحلیل قرار گرفته‌اند و در نهایت تخلخل لایه‌ها محاسبه گردید. مقاومت گرمایی نمونه‌ها با استفاده از تاگمتر مطابق استاندارد BS ۴۷۴۵ انجام شد. مقاومت گرمایی هوا و نمونه‌ها طبق رابطه ۲ و ۳ محاسبه شد.

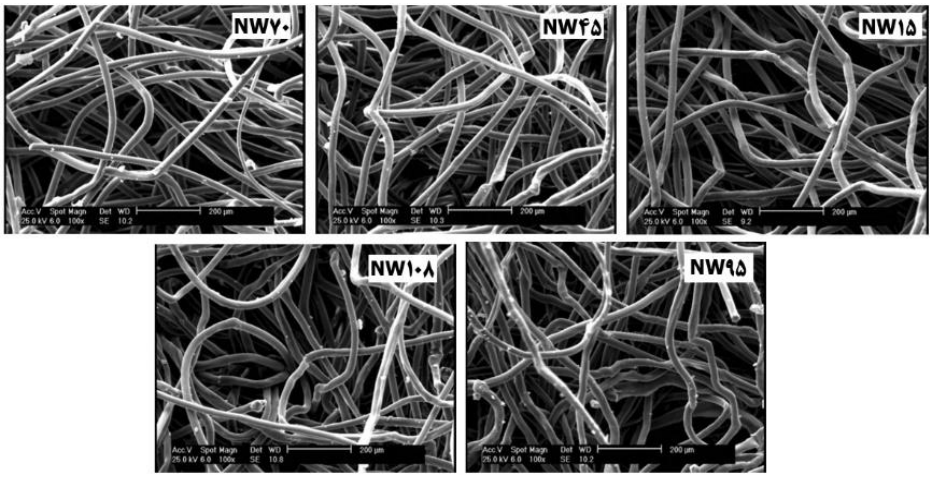
$$R_{air} = R_{Stand} \times \frac{T_2 - T_3}{T_1 - T_2} \qquad (۲)$$

$$R_{sample} = R_{Standard} \times \frac{T_2 - T_3}{T_1 - T_2} - R_{air} \quad (۰)$$

که R_{Stand} مقاومت گرمایی جسم استاندارد است. که در آن R_{Stand} مقاومت حرارتی صفحه استاندارد، R_{air} مقاومت حرارتی لایه هوا است که روی نمونه تشکیل شده است T_1 دما بین گرم‌کن و صفحه استاندارد T_2 دما بین صفحه استاندارد و نمونه آزمایش و T_3 دمای قسمت بالای نمونه آزمون است.

۳-نتایج و بحث

به منظور بررسی تنفس‌پذیری، در ادامه به ارزیابی نتایج حاصل از آزمایشات پرداخته شده است. همانطور که گفته شد، میزان تخلخل لایه میانی بر تنفس‌پذیری پارچه نهایی تاثیرگذار است. به منظور بررسی تاثیر سوزن‌زنی بر راحتی پارچه، آزمایشات عبوردهی هوا، عبوردهی بخارآب و مقاومت حرارتی انجام شده است. در شکل ۱ تصاویر میکروسکوپی لایه‌های بی‌بافت مشاهده می‌شود.



شکل ۱- تصاویر SEM لایه های بی بافت با بزرگنمایی ۲۰۰ میکرومتر

تخلخل

در اثر سوزن‌زنی میزان تخلخل لایه‌ها متفاوت شده است در ادامه تخلخل لایه‌ها را توسط نرم‌افزار متلب محاسبه شده و در جدول ۲ آورده شده است. همانطور که گزارش گردیده با افزایش سوزن‌زنی درصد تخلخل لایه‌ها کاهش پیدا کرده است و این نشانه‌ای از متراکم‌تر شدن لایه در اثر سوزن‌زنی است. برای بررسی تاثیر سوزن‌زنی لایه میانی بر مقدار تخلخل پارچه نهایی، آزمون آنووا در سطح اطمینان ۹۵٪ انجام شده‌است. با توجه به نتایج تحلیل آماری، عامل سوزن‌زنی بر مقدار تخلخل تاثیر معناداری داشته‌است.

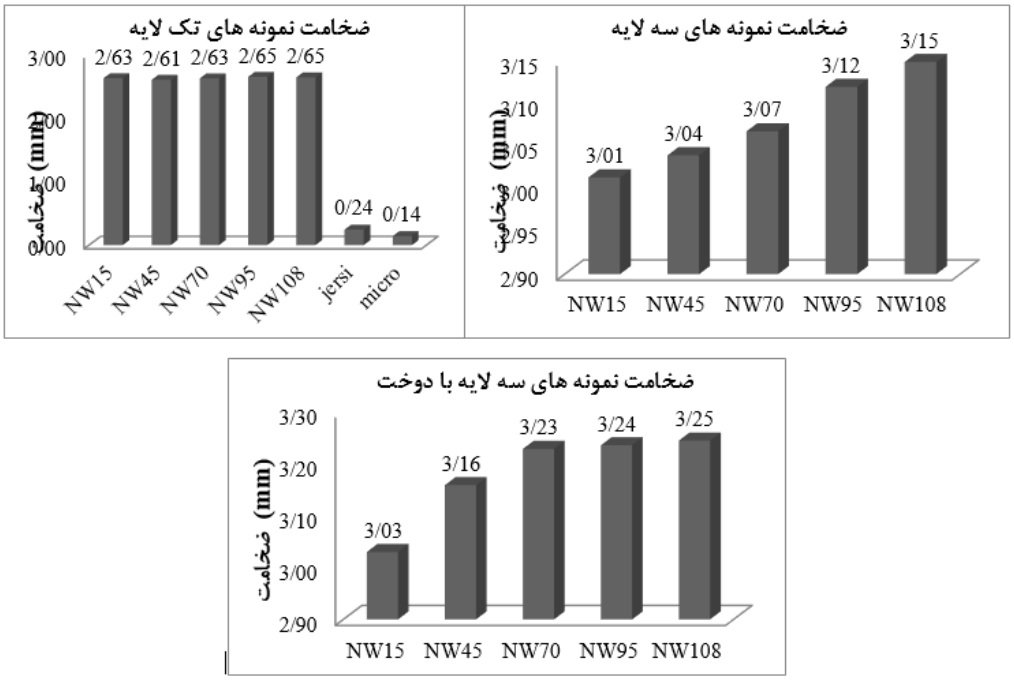
جدول ۲- درصد تخلخل لایه‌ها و پارچه داخلی و خارجی

ردیف	کد لایه	درصد تخلخل
۱	WN15	۱۹,۱۱
۲	WN45	۱۶,۲۹
۳	WN70	۱۵,۵۰
۴	WN95	۱۴,۴۰
۵	WN108	۱۲,۴
۶	Micro	۰,۴
۷	jersi	۳۰,۷۳

ضخامت

نمونه‌های تهیه شده در حالت یک‌لایه، سه‌لایه و سه‌لایه با دوخت ضخامت‌هایشان اندازه‌گیری شد ضخامت لایه‌ها به صورت یک‌لایه، با افزایش جزئی در مقدار ضخامت همراه بوده است. با افزایش.سوزن‌زنی مشاهده شد که این مقدار افزایش را می‌توان به افزایش الیاف موجود در لایه‌های با سوزن‌زنی بیش‌تر نسبت داد. این امر به دلیل استفاده از سوزن دندانه‌دار در سوزن‌زنی می‌باشد که سوزن الیاف را از لایه‌ای به لایه‌ی دیگر می‌کشاند. مقدار افزایش ضخامت لایه‌ها به قدری ناچیز است که باید مقدار سوزن‌زنی تفاوت زیادی داشته باشد تا این تفاوت قابل مشاهده شود. این افزایش ضخامت در پارچه سه‌لایه دوخته شده، به دلیل فشرده شدن در اثر دوخت کم‌تر شده است. با افزایش سوزن‌زنی لایه میانی ضخامت لایه نهایی سه‌لایه افزایش پیدا کرده است.

از نمودار شکل ۲ نمونه‌های یک‌لایه و سه‌لایه باهم می‌توان به این نتیجه رسید که هرچه سوزن‌زنی بیش‌تر می‌شود ضخامت لایه‌ها نیز بیش‌تر می‌شود. دلیل این امر را می‌توان وجود الیاف به صورت عمود بر سطح دانست که با افزایش سوزن‌زنی لایه حجیم‌تر می‌شود و به حالت سه‌بعدی قرار می‌گیرد. برای پارچه نهایی به صورت سه‌لایه دوخته شده به یکدیگر نیز روند به همین صورت می‌باشد اما به دلیل دوخته شدن افزایش ضخامت ناچیز بوده چون لایه‌ها به هم فشرده شده‌اند. به منظور بررسی تاثیر سوزن‌زنی لایه میانی بر مقدار ضخامت لایه و پارچه نهایی، آزمون آنووا در سطح اطمینان ۹۵٪ انجام شده‌است. با توجه به نتایج تحلیل آماری، عامل سوزن‌زنی بر مقدار ضخامت تاثیر معناداری در نمونه‌های یک‌لایه داشته‌است. اما در نمونه سه‌لایه و سه‌لایه با دوخت عامل سوزن‌زنی معنادار نبوده است. با اختلاف کمی از معناداری خارج شده است. پارچه سه‌لایه به دلیل وزن لایه‌های دیگر و پارچه سه‌لایه با دوخت به دلیل دوخته شدن و فشردگی لایه‌ها به یکدیگر توسط نخ دوخت، سبب کاهش ضخامت پارچه نهایی می‌شوند و به همین دلیل افزایش ضخامت در اثر سوزن‌زنی در این پارچه‌ها با اختلاف کمی معنی‌دار نشده است.



شکل ۲- ضخامت نمونه‌های آزمایش شده

عبوردهی هوا

نتایج مربوط به گذردهی هوا از میان پارچه‌های آزمایش‌شده در جدول۴-۵ با یکدیگر مقایسه شده است. نتایج به‌دست‌آمده بیانگر آن است که، دو نمونه NW15 و NW108 به‌ترتیب بیش‌ترین و کم‌ترین قابلیت گذردهی هوا را داشته‌اند. البته قابلیت گذردهی هوا نمونه یک رو سیلندر بیش‌تر از دیگر نمونه‌ها و خارج از محدوده کاری دستگاه اندازه‌گیری بوده است به همین دلیل در نمودار آورده نشده است. قابلیت عبوردهی هوا پارچه سه‌لایه اندازه‌گیری شده است. این اندازه‌گیری با توجه به اینکه پارچه بادگیر لایه خارجی و پارچه یک رو سیلندر لایه داخلی می‌باشد، انجام شده است که هوا از بیرون به پارچه برخورد می‌کند. مقدار عبوردهی پارچه به اندازه‌ی عبوردهی پارچه بادگیر که لایه خارجی است کاهش پیدا کرده است. با این حال بیش‌ترین عبوردهی هوا در پارچه‌ای است که لایه میانی آن NW15 با کم‌ترین سوزن‌زنی یعنی بیش‌ترین تخلخل می‌باشد. به همین ترتیب عبوردهی هوا با افزایش سوزن‌زنی کاهش می‌یابد. در نتیجه عبوردهی هوا با مقدار سوزن‌زنی رابطه عکس دارد.

همانطور که در شکل ۳ آمده است عبوردهی پارچه نهایی نسبت به نمودار پارچه سه‌لایه بدون دوخت افزایش یافته است. در اینجا سه لایه به هم دوخته شده‌اند و این افزایش عبوردهی هوا در پارچه به دلیل منافذی است که طی فرایند دوخت در پارچه ایجاد شده است. پارچه بادگیر در دوخت تخلخل‌اش زیاد شده است و عبوردهی کلی پارچه افزایش یافته است. پارچه NW15 و NW108 به‌ترتیب بیش‌ترین و کم‌ترین عبوردهی هوا را دارند. همچنان با وجود اضافه شدن تخلخل نهایی پارچه، پارچه‌ای لایه میانی آن سوزن‌زنی کم‌تری دارد عبوردهی هوای آن بیش‌تر است. در کل خاصیت عبوردهی هوا پارچه به مقدار تخلخل آن پارچه بستگی دارد. همانطور که مشاهده شد ابتدا تخلخل لایه‌ها منحصر به خود یک‌لایه بوده است اما پس از ترکیب لایه‌ها عبوردهی کل برابر با عبوردهی هوا لایه با کم‌ترین عبوردهی هوا است. پس از دوخت و افزایش تخلخل آن لایه عبوردهی هوا کل نیز افزایش یافت.

به منظور بررسی تاثیر سوزن‌زنی لایه میانی بر خاصیت عبوردهی هوا پارچه نهایی، آزمون آنووا در سطح اطمینان ۹۵٪ به صورت جداگانه انجام شده‌است. با توجه به نتایج تحلیل آماری، عامل سوزن‌زنی بر خاصیت عبوردهی هوا پارچه یک‌لایه، سه‌لایه و سه‌لایه با دوخت تاثیر معناداری داشته است.

شکل ۳- عبوردهی هوا نمونه‌های آزمایش شده

خاصیت عبوردهی بخارآب

پارچه میکروپلی‌استر همان پارچه بادگیر است که به دلیل بافت تافته متراکم، کم‌ترین عبوردهی بخارآب را دارد. می‌توان نتیجه گرفت که، با افزایش سوزن‌زنی و افزایش تراکم، عبوردهی بخارآب لایه‌ها نیز کاهش یافته است. مطابق نتایج به دست آمده همانطور که در شکل ۴ گزارش شده است، دو نمونه NW15 و NW108 به ترتیب بیش‌ترین و کم‌ترین قابلیت گذردهی بخارآب را داشته‌اند این نتیجه برای پارچه یک‌لایه و سه‌لایه صحیح است. به‌نظر می‌رسد، این نتیجه ناشی از تراکم لایه است، به طوری که NW15 کم‌ترین تراکم را دارد. مقدارسوزن‌زنی ۱۵سوزن در سانتی‌مترمربع است، در حالی که مقدار آن در پارچه NW108، برابر ۱۰۸ سوزن در سانتی‌متر مربع است.

بدین ترتیب نمونه با کم‌ترین تراکم، فضای بیش‌تری برای عبور مولکول‌های بخارآب از میان پارچه را فراهم می‌کند. بنابراین در یک دوره زمانی مشخص، نمونه می‌تواند مولکول‌های بخارآب بیش‌تری را منتقل کند. در حالی که نمونه NW108 که بیش‌ترین تراکم را دارد، کم‌ترین مقدار گذردهی بخارآب را نیز دارد. با افزایش تخلخل نمونه‌ها، قابلیت گذردهی بخارآب نمونه‌ها نیز افزایش یافته است. با افزایش مقدار سوزن‌زنی عبوردهی بخارآب نمونه کاهش پیدا می‌کند یعنی با افزایش تراکم لایه در اثر افزایش سوزن‌زنی بخارآب به سختی از پارچه عبور می‌کند.

در نمودار عبوردهی بخارآب نمونه‌های سه‌لایه با دوخت شکل ۴ نشان داده شده است که پس از دوخته شدن لایه‌های پارچه به یکدیگر لایه‌ی NW15 که عبوردهی بخارآب بیش‌تری داشته است. مقدارش کاهش پیدا کرد اما همچنان بیش‌ترین عبوردهی را در بین پارچه‌ها دارد. کم‌ترین عبوردهی برای پارچه NW108 است که نسبت به حالت دوخته نشده، مقدار عبوردهی بخارآب آن افزایش داشته است این پدیده می‌تواند به علت افزایش تخلخل پارچه در اثر دوخته شدن باشد

به منظور بررسی تاثیر سوزن‌زنی لایه میانی بر خاصیت عبوردهی بخارآب نمونه‌های یک‌لایه و سه‌لایه، آزمون آنووا در سطح اطمینان ۹۵٪ انجام شده‌است. با توجه به نتایج تحلیل آماری، عامل سوزن‌زنی بر خاصیت عبوردهی بخارآب در نمونه‌های یک‌لایه و سه‌لایه تاثیر معناداری داشته‌است. اما در نمونه‌های سه‌لایه با دوخت تفاوت معنادار نبوده است. با ترکیب لایه‌ها و دوخته شدن آنها به هم مقدار انتقال بخارآب کاهش معناداری نداشته است زیرا دوخته شدن باعث ایجاد منافذی در پارچه می‌شود که اثر کاهش منافذ به دلیل افزایش سوزن‌زنی را کم می‌کند.

شکل ۴- عبوردهی بخارآب نمونه‌های آزمایش شده

مقاومت حرارتی

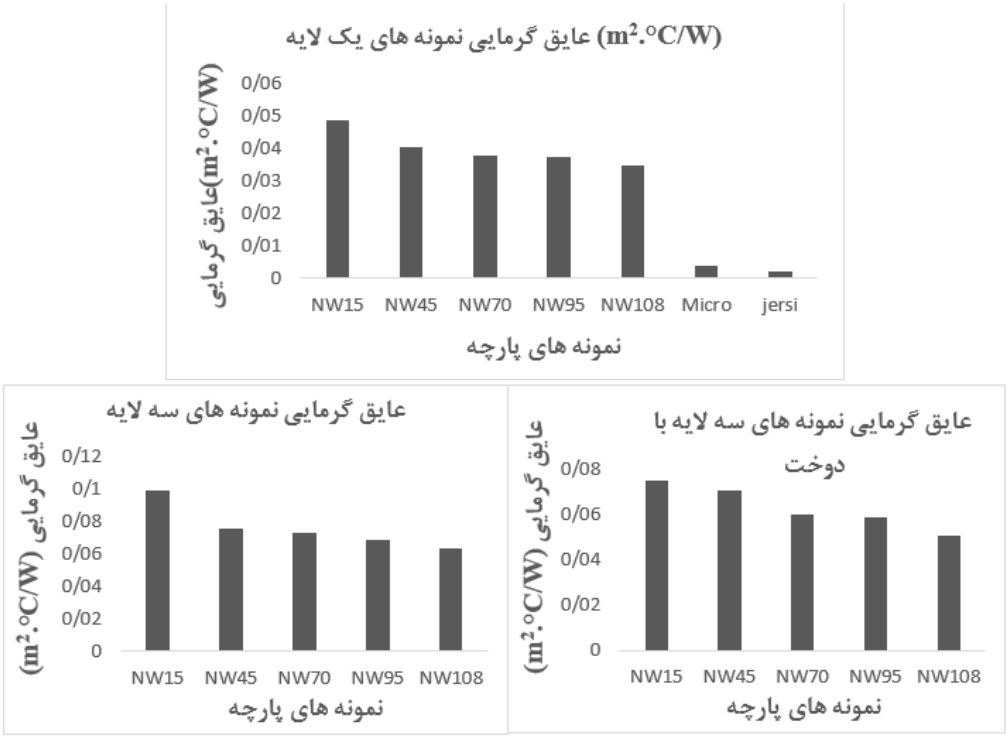
خاصیت عایق گرمایی پارچه، بیانگر قابلیت انتقال گرما از میان آن به فضای اطراف است که در ارزیابی راحتی پوشاک ورزشی باید به آن توجه شود. به‌طوری که امکان انتقال گرمای اضافی بدن به محیط اطراف فراهم می‌شود. خاصیت عایق گرمایی پارچه‌های آزمایش شده به وسیله دستگاه تاگمتر اندازه‌گیری شده است. براساس شکل ۵، نمونه‌های NW15 و NW108 به ترتیب بیش‌ترین و کم‌ترین مقاومت گرمایی را داشته‌اند.

نمونه NW108 بیش‌ترین ضخامت را دارد، اما چون بیش‌ترین وزن را هم دارد درنتیجه تراکم این نمونه از دیگر نمونه‌ها بیش‌تر است، همچنین این نمونه کم‌ترین تخلخل را نیز دارد بنابراین هوای داخل لایه کم‌ترین مقدار را در بین نمونه‌های دیگر دارد. از این رو کم‌ترین مقاومت گرمایی مربوط به نمونه NW108 می‌باشد. نظر به اینکه هوا عایق خوبی برای گرما است، افزایش حجم هوا درون پارچه موجب افزایش مقاومت گرمایی آن می‌شود .

به منظور بررسی تاثیر سوزن‌زنی لایه میانی بر خاصیت عایق گرمایی نمونه‌ها، آزمون آنووا در سطح اطمینان ۹۵٪ انجام شده‌است. با توجه به نتایج تحلیل آماری، عامل سوزن‌زنی بر خاصیت عایق گرمایی پارچه‌های یک‌لایه، سه‌لایه و سه‌لایه با دوخت تاثیر معناداری داشته‌است.

جدول ۳ – خاصیت عایق حرارتی نمونه‌های یک‌لایه و سه‌لایه

	عایق گرمایی $(m^2.°C/W)$		
کد لایه	پارچه یک‌لایه	پارچه سه‌لایه	پارچه سه‌لایه با دوخت
NW15	۰/۰۴۸۵	۰/۰۹۸۳	۰/۰۷۵۰
NW45	۰/۰۴۰۳	۰/۰۷۵۱	۰/۰۷۰۶
NW70	۰/۰۳۸۰	۰/۰۷۳۰	۰/۰۶۰۱
NW95	۰/۰۳۸۶	۰/۰۶۸۷	۰/۰۵۹۹
NW108	۰/۰۳۴۹	۰/۰۶۳۵	۰/۰۵۰۶
Micro	۰/۰۰۳۸	–	–
jersi	۰/۰۰۲۱	–	–



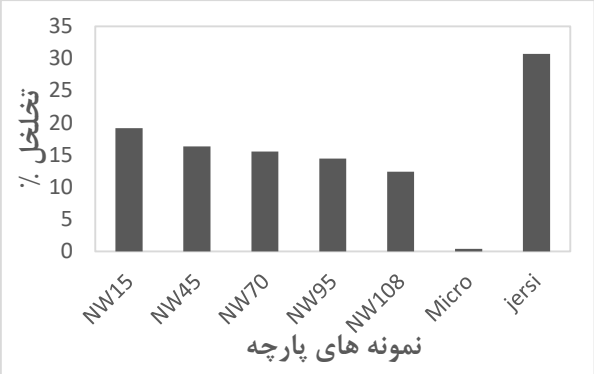
شکل ۵- مقایسه عایق گرمایی نمونه‌های یک‌لایه و سه‌لایه

تخلخل

در اثر سوزن‌زنی مقدار تخلخل لایه‌ها متفاوت شده است. همانطور که در شکل ۶ مشاهده شد با افزایش سوزن‌زنی درصد تخلخل لایه‌ها کاهش پیدا کرده است و این نشان از متراکم‌تر شدن لایه در اثر سوزن‌زنی است. هرچه لایه سوزن‌زنی کم‌تری داشته باشد الیاف تشکیل دهنده لایه آزادتر هستند و درگیری کم‌تری با هم دارند در نتیجه لایه‌هایی که کم‌تر سوزن‌زنی شده‌اند تخلخل، وزن و ضخامت کم‌تری دارند. در شکل ۶ نمودار ستونی درصد تخلخل‌ها مشاهده می‌شود.

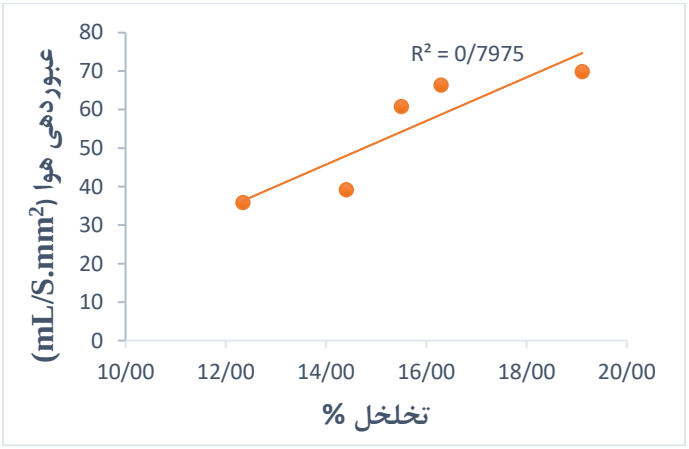
برای لایه‌های بی‌بافت، ضخامت از عوامل اصلی در هدایت حرارتی است. علاوه بر ضخامت، تخلخل از دیگر عوامل موثر بر هدایت حرارتی است. با افزایش تخلخل، هدایت حرارتی بی‌بافت‌ها کاهش می‌یابد. همچنین، رسانایی گرمایی بالاتری در پارچه‌های با ضخامت کم‌تر مشاهده شده است. نفوذپذیری هوا با ساختار متخلخل پارچه بی‌بافت رابطه مستقیم دارد. هرچه تخلخل بیش‌تر

باشد، عبوردهی هوا هم بیش‌تر است. به طور کلی، مشخص شد که پارچه‌های بی‌بافت توسعه یافته می‌توانند به طور موثری برای کاربردهای پوشاک استفاده شوند. برای بررسی تاثیر سوزن‌زنی لایه میانی بر مقدار تخلخل پارچه نهایی، آزمون آنووا در سطح اطمینان ۹۵٪ انجام شده‌است.



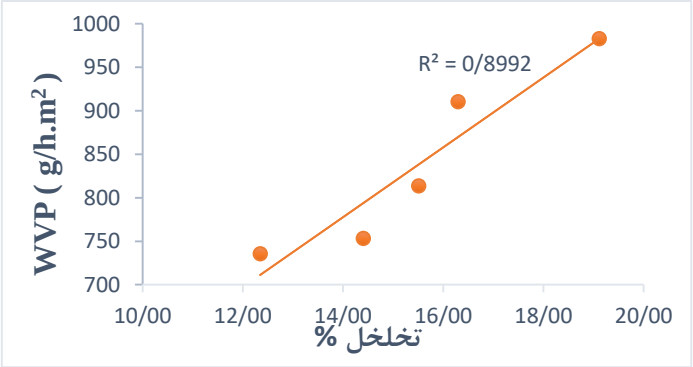
شکل ۶ نمودار درصد تخلخل نمونه‌ها

در مقایسه عبوردهی هوا با مقدار تخلخل لایه‌های مختلف همان طور در شکل ۷ نشان داده شده است، با افزایش درصد تخلخل مقدار عبوردهی هوا لایه‌ها به صورت خطی (R^2=0.7975) افزایش می‌یابد. این به دلیل افزایش منافذ در پارچه می‌باشد، که با افزایش درصد تخلخل پارچه مولکول‌های هوا آسان‌تر می‌توانند از بافت پارچه عبور کنند. فضای بیش‌تری برای عبور مولکول‌های بخارآب از میان پارچه را فراهم می‌کند و این امر سبب افزایش عبوردهی هوا لایه‌ها می‌گردد. نمونه NW15 بیش‌ترین تخلخل و نمونه NW108 کم‌ترین تخلخل را دارند. به عبارت دیگر، پارچه‌های با ساختار باز، به دلیل داشتن خلل و فرج بیش‌تر، قابلیت گذردهی هوای بیش‌تری دارند و انتظار می‌رود که نقش به سزایی در راحتی لباس داشته باشند.



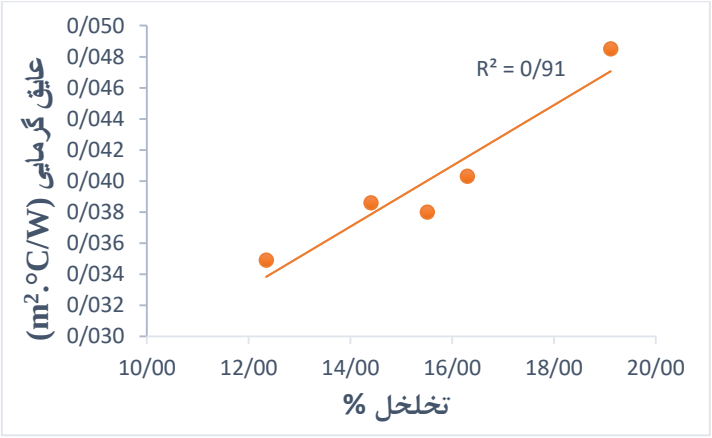
شکل ۲ تاثیر تخلخل بر عبوردهی هوا

در ارزیابی تخلخل در مقایسه با عبوردهی بخارآب لایه‌های بی‌بافت نیز با کاهش تخلخل در اثر سوزن‌زنی مقدار عبوردهی بخارآب همانطور که در شکل ۸ نشان داده شده است کاهش می‌یابد هرچه لایه‌ها سوزن‌زنی کم‌تری داشته باشند تراکم کم‌تری نیز دارند در نتیجه تخلخل‌شان نیز کم‌تر است و این امر سبب می‌گردد که با کاهش درصد تخلخل در اثر سوزن‌زنی، عبوردهی بخارآب نمونه‌ها به صورت خطی (R^2=0.8992) کاهش یابد.



شکل ۳ تاثیر تخلخل بر عبوردهی بخارآب

تاثیر تخلخل بر مقاومت حرارتی لایه‌های بی‌بافت که مورد بررسی قرار گرفت مشخص شد که با افزایش تخلخل مقدار مقاومت حرارتی افزایش می‌یابد که در اثر افزایش حجم هوای داخل ساختار لایه رخ داده است. همانطور که در شکل ۹ نشان داده شده است نمونه‌هایی که سوزن‌زنی کم‌تری دارند از درصد تخلخل بیش‌تری برخوردارند و درنتیجه هوای محبوس شده در داخل ساختار بیش‌تری دارند که سبب مقاومت گرمایی بیش‌تر می‌گردد. این روند به صورت خطی(R^2=0.91) رخ می‌دهد.



شکل ۰۴ تاثیر تخلخل بر مقاومت گرمایی

علاوه بر ساختار پارچه، جنس پارچه نیز در راحتی پارچه تاثیرگذار است که باید درنظر گرفته شود. پارچه‌های پلی‌استری به دلیل نفوذ مویینگی خوب و آبگریز بودن، عرق بدن را به خوبی به محیط بیرون منتقل می‌کنند که باعث احساس راحتی افراد می‌شود. برای تهیه پوشاک ورزشی با سطح فعالیت زیاد بدنی به‌دلیل نرخ تعرق شدید و افزایش دمای متابولیسم بدن، معمولا از منسوجات پلی‌استری سبک استفاده می‌شود که ساختار باز، انتخاب مناسبی برای تامین راحتی ورزشکار است، به همین دلیل از پارچه‌های الیاف پلی‌استری استفاده شده است. همچنین وظیفه لایه میانی حفظ حرارت لازم و خاصیت عایق گرمایی مناسب است درنتیجه به دلیل خاصیت عایق گرمایی مناسب الیاف پلی‌پروپیلن از این الیاف برای لایه میانی استفاده شده است.

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، به دلیل افزایش دما و نرخ تعرق بدن ناشی از فعالیت شدید فیزیکی، خشک نگه داشتن پوست و انتقال گرمای اضافی بدن به محیط بیرون ضروری است. راحتی یکی از پارامترهای مهم پوشاک ورزشی می‌باشد.

در پوشاک ورزشی هوای سرد تنفس‌پذیری از عوامل مهم و تاثیرگذار بر عملکرد ورزشکار است. در این پوشاک انتقال بخارات عرق به بیرون از پوشاک و حفظ گرمای لازم در هوای سرد باید در تعادل باشند تا ورزشکار احساس سرما نکند همچنین گرمای اضافی بدن که در اثر فعالیت شدید بدنی ایجاد می‌شود، از سامانه پوشاک به سرعت خارج شود. به این منظور برای پوشاک ورزشی به طور معمول از پارچه‌های چندلایه استفاده می‌شود.

تنفس پذیری و مقاومت گرمایی دو عامل اصلی و تاثیرگذار بر راحتی می‌باشند که باید در پوشاک ورزشی در مقدار بهینه وجود داشته باشند. تنفس پذیری به عواملی مانند خاصیت عبوردهی هوا، خاصیت عبوردهی بخارآب و مقاومت گرمایی بستگی دارد. عوامل مختلفی مانند تخلخل پارچه، جنس پارچه، تراکم بافت نوع لیف می تواند بر مقدار عبوردهی هوا و بخارآب پارچه ها موثر باشد. در پارچه های بی بافت روش تولید بر مقدار تخلخل لایه تاثیر گذار است.

در این مطالعه خواص راحتی پوشاک ورزشی چندلایه، از نظر تنفس‌پذیری میزان سوزن‌زنی لایه میانی پارچه‌ی دوخته شده مورد بررسی قرار گرفته است نتایج بدست آمده عبارتند از:

- با افزایش سوزن‌زنی ضخامت لایه افزایش می‌یابد ولی درنهایت با ترکیب پارچه‌ها و پس از دوخته شدن به دلیل فشردگی ضخامت کمی فقط افزوده می‌شودکه دیگر این تفاوت معنادار نیست.

- با فزایش سورن‌زنی لایه میانی عبوردهی هوا لایه‌ها به دلیل کم شدن منافذ کاهش می‌یابد.

- با افازیش سوزن‌زنی و کاهش تخلخل عبوردهی بخارآب نمونه‌ها کاهش می‌یابد.

- با دوخته شدن نمونه، بر منافذ پارچه افزوده می‌شود.

- با توجه به آزمایشات انجام شده و تحلیل آماری مقدار سوزن‌زنی بر درصد تخلخل لایه میانی پارچه سه‌لایه تاثیرگذار ا ست. اندازه‌گیری تخلخل روی نمونه نشان داد که با افزایش مقدار سوزن‌زنی در صد تخلخل لایه‌های بی‌بافت کاهش می‌یابد.

- بررسی‌ها نشان داد که پارچه با جنس پلی‌استر و پلی‌پروپیلن از نظر عایق گرمایی و راحتی برای پوشاک ورزشی مناسب هستند.

- در بررسی خواص راحتی ۵ لایه با سوزن‌زنی متفاوت از نظر گذردهی بخارآب و هوا و خاصیت عایق گرمایی، نتایج نشان داد که پارچه‌های با تخلخل بیش‌تر، سبک، دارای ساختار باز با تراکم کم، کارایی بهتری دارند.

- افزون بر ساختار پارچه، جنس الیاف تشکیل‌دهنده پارچه نیز عامل موثری است که باید درنظر گرفته شود. پارچه‌های پلی‌استری به واسطه نفوذ مویینگی خوب، عرق بدن را جذب و به محیط اطراف منتقل می‌کنند که باعث احساس راحتی افراد می‌شود. برای تهیه پوشاک ورزشی با سطح فعالیت زیاد بدنی به‌دلیل نرخ تعرق

شدیدو افزایش دمای بدن، ا ستفاده از منسوجات پلیا ستری سبک با ساختار باز، انتخاب منا سبی برای تامین راحتی ورزشکار است، به همین دلیل از پارچه‌های الیاف پلی‌استری استفاده شده است.

مراجع

[1] F.W and C.Ga ; Protective-Clothing-Managing-Thermal-Stress, "*Woodhead Publishing Series in Textiles*" , Number 154, 2014

[2] M. Hassan, K. Qashqary, H. A. Hassan, E. Shady, and M. Alansary, "Influence of sportswear fabric properties on the health and performance of athletes," *Fibres Text. East. Eur.*, vol. 93, No. 4, pp. 82–88, 2012.

[3] T. Suganthi and P. Senthilkumar, "Thermal comfort characteristics of bi-layer knitted fabrics for sportswear," *Int. J. Fash. Des. Technol. Educ.*, vol. 11, No. 2, pp. 210–222, 2018, doi: 10.1080/17543266.2017.1378733.

[4] Ozkan ET and Kaplangiray B, "Investigating Thermophy siological Comfort Properties of Fabrics Used in Athlete Clothes." Journal of Fashion Technology & Textile Engineering, 2020, doi: 10.37532/jftte.2020.8(3).189

[5] M. Yanılmaz and F. Kalaoğlu, "Investigation of wicking, wetting and drying properties of acrylic knitted fabrics," *Text. Res. J.*, vol. 82, No. 8, pp. 820–831, 2012, doi: 10.1177/0040517511435851

[6] O.T.Christopher Watson, Nazia Nawaz, "2013-Design-and-Evaluation-of-Sport-Garments-for-Cold-Conditions -Using-Human-Thermoregulation-Modeling-Paradigm.pdf." Elsevier, Melbourne, Australia, pp. 151–156, 2013, doi: 10.1016/j.proeng.2013.07.053.

[7] M. G. and L. K. Roohollah Bagherzadeh1, 3, Masoud Latifi1, Saeed Shaikhzadeh Najar1, Mohammad Amani Tehran1, "Transport properties of multi-layer fabric based on electrospun nanofiber mats as a breathable barrier textile material." Textile Research Journal SAGE Publications, Tehran, pp. 82(1) 70–76, 2011, doi: 10.1177/0040517511420766 trj.sagepub.com

[8] S. Ghaffari, M. Yousefzadeh, and F. Mousazadegan, "Investigation of thermal comfort in nanofibrous three-layer fabric for cold weather protective clothing," *Polym. Eng. Sci.*, vol. 59, no. 10, pp. 2032–2040, 2019, doi: 10.1002/pen.25203.

[9] Hante.motahare, Ghareaghagi.aliakbar, and varkiyani. see. mohamad Hoseyni, "Effect of Needle Punching Density of Nonwoven Fabric on The Comfort Properties of Laminated Garment Motahare." 8th National Conference on Textile Engineering- May 2012- Yazd University,