

بررسی خواص حرارتی مجموعه چند لایه پارچه دارای پارچه اسپیسر

ندا دهقان^{۱*}، پدرام پیوندی^۲

1- یزد، دانشگاه یزد، مجتمع فنی و مهندسی، دانشکده مهندسی نساجی، صندوق پستی ۷۴۱ -

neda.dehghan@stu.yazd.ac.ir - ۸۹۱۹۵

۲- یزد، دانشگاه یزد، مجتمع فنی و مهندسی، دانشکده مهندسی نساجی، صندوق پستی ۷۴۱ -

peivandi@yazd.ac.ir - ۸۹۱۹۵

چکیده

شناخت دقیق خواص حرارتی منسوجات، با توجه به کاربردهای گسترده‌ای که دارند، مانند پارچه‌های چندلایه به عنوان لباس‌های محافظ حرارتی و لباس زمستانه در شرایط آب و هوایی سرد، دارای اهمیت می‌باشد. هدف از این بررسی، تعیین مقاومت حرارتی پارچه‌های اسپیسر و بی‌بافت به صورت جداگانه و سپس مقایسه تک لایه‌ها با مجموعه چندلایه پارچه است. نتایج حاصل از آزمون تجربی با مدل مقاومتی سری ارائه شده، مقایسه گردید. در تحلیل آماری انجام گرفته تاثیر وزن، عمق نفوذ سوزن و افزایش تعداد لایه بر مقاومت حرارتی بررسی شد. نتایج نشان داد که دو عامل وزن و افزایش لایه و اثر متقابل آن‌ها بر مقاومت حرارتی اثر معنی‌دار دارد.

کلمات کلیدی: مقاومت حرارتی، پارچه اسپیسر، بی‌بافت سوزن‌زنی، وزن، عمق نفوذ سوزن

Investigation of Thermal Properties of Multilayer Textile Packages with Spacer Fabric

Neda Dehghan^{1*}, Pedram Payvandy²

1- Department of Textile Engineering, Faculty of Engineering, Yazd University, P.O. Box: 89195-741, Yazd, Iran- neda.dehghan@stu.yazd.ac.ir

2- Department of Textile Engineering, Faculty of Engineering, Yazd University, P.O. Box: 89195-741, Yazd, Iran- peivandi@yazd.ac.ir

Abstract.

The knowledge of the thermal properties of textiles is important with regard to their vast applications, such as multilayer fabrics as thermal and winter protective clothing, in cold climates. This paper aims at the determining thermal resistance of nonwoven and spacer fabric separately, and then compare the thermal resistance of the monolayers with the multilayer fabric. The experimental results were compared with the series resistance model. The effect of weight, depth of penetration of needle and number of layers on the thermal resistance were analyzed. The results showed that the weight and increasing the number of layers and their interaction had a significant effect on increasing the thermal resistance properties.

Keywords:

Thermal resistance, Spacer fabric, Needle-punched fabrics, Weight, Needle penetration depth.

۱. مقدمه

شناخت دقیق خواص فیزیکی منسوجات مانند خواص حرارتی، با توجه به کاربردهای گسترده در صنایع گوناگون، مورد توجه محققین می‌باشد؛ از جمله این کاربردها استفاده از منسوجات مختلف به صورت چندلایه در مواردی چون عایق و محافظ حرارتی است. تعیین پارامترهای تاثیرگذار بر مقاومت حرارتی در مجموعه چند لایه و انتخاب پارامترهای ساختاری بهینه در این مجموعه‌ها، جهت رسیدن به مقاومت حرارتی معین، در مطالعات مختلف مورد بررسی قرار گرفته است. جنس منسوج، ضخامت، وزن، لایه هوا، فشار و ... از جمله پارامترهای موثر بر مقاومت حرارتی هستند.

استفاده از چند لایه منسوج، پیشنهاد مناسبی جهت ایجاد عایق حرارتی است. به طور معمول لباس‌های محافظتی حرارتی شامل ۳ لایه، لایه داخلی، لایه میانی و لایه بیرونی هستند که هر یک از این لایه‌ها با ویژگی‌های خاص، مورد استفاده قرار می‌گیرند [۱]. مقاومت حرارتی در لایه‌های بی‌بافت وابسته به ضخامت بوده و استفاده از آن‌ها یکی از راه‌کارهای موثر برای افزایش مقاومت حرارتی است [۲]. در منسوجات چندلایه، استفاده از پارچه‌های سوزن زنی شده، بدلیل داشتن عملکرد خوب در عایق کردن مجموعه، به عنوان لایه میانی پیشنهاد می‌شود [۳].

Morris [۴] مقاومت حرارتی چندین نوع پارچه را با استفاده از دستگاه انتقال حرارت تعیین و عنوان کرد، در صورتی که لایه‌ها دارای سطوح صاف و هموار باشند، مقاومت حرارتی مجموعه چندلایه را می‌توان با مجموع مقدار مقاومت هر یک از لایه‌ها، تخمین زد. در بررسی انجام شده توسط Epps [۵] مقاومت حرارتی منسوجات چند لایه با هدف تعیین رابطه بین تعداد لایه و مقاومت حرارتی انجام گرفت. نتایج حاصل از آزمون تجربی نشان داد که انتقال حرارت وابسته به تعداد لایه پارچه و رابطه خطی بین مقاومت حرارتی و تعداد لایه بدست آمد. Huang و همکاران [۶] نیز افزایش مقاومت حرارتی، با افزایش تعداد لایه از ۱ الی ۴ لایه را گزارش کردند؛ نتایج بررسی آن‌ها نشان داد که مقاومت حرارتی مجموعه چند لایه، بزرگتر از مجموع مقاومت حرارتی لایه‌های تکی است و علت آن را می‌توان به دام افتادن هوا در بین لایه‌ها دانست. نتایج حاصل از آنالیز تجربی در استفاده از بی‌بافت سوزن زنی شده به عنوان لایه میانی، نشان داد که مقاومت حرارتی مجموعه چندلایه با افزایش جرم واحد سطح افزایش و با افزایش تراکم سوزن‌زنی کاهش می‌یابد [۷،۳].

پارچه‌های اسپیسر را بدلیل داشتن ساختار ویژه، می‌توان در منسوجات چندلایه مورد استفاده قرار داد [۸،۹]. در این مطالعه مقاومت حرارتی مجموعه پارچه اسپیسر و بی‌بافت سوزن زنی شده تعیین و تاثیر پارامترهای مختلف بررسی گردید.

۲. تجربیات**۲-۱. مواد**

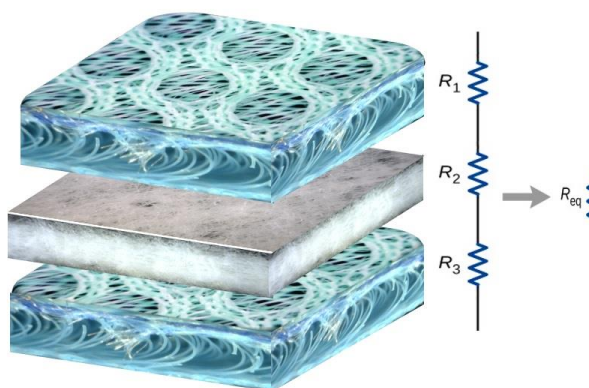
در این بررسی ۹ نوع بی‌بافت سوزن زنی شده ۱۰۰ درصد پلی‌استر با متوسط ظرافت ۶ دنیر با مشخصات ارائه شده در جدول ۱ و یک پارچه اسپیسر حلقوی تاری پلی‌استری مورد استفاده قرار گرفت. تراکم سوزن‌زنی برای تمام نمونه‌ها ثابت و برابر با ۲۰۰ نفوذ بر سانتی‌متر مربع است. نفوذپذیری هوا با استفاده از دستگاه نفوذپذیری هوا SDL21 در فشار ۲ میلی‌متر آب تعیین گردید.

جدول ۱- مشخصات بی بافت های سوزن زنی شده.

کد نمونه	وزن واحد سطح (g/m ²)	ضخامت (mm)	عمق نفوذ سوزن (mm)	نفوذپذیری هوا (cm ³ /cm ² /s)
A1	۱۲۰	۲/۳	۸/۵	۲۵/۷
A2	۱۲۰	۱/۸	۱۰	۲۳/۷۵
A3	۱۲۰	۱/۳	۱۱/۵	۲۷/۶
B1	۱۸۰	۲/۳	۸/۵	۱۹/۶
B2	۱۸۰	۲/۱	۱۰	۱۷/۶
B3	۱۸۰	۱/۳	۱۱/۵	۲۱/۶
C1	۲۴۰	۲/۳	۸/۵	۱۴/۷
C2	۲۴۰	۲	۱۰	۱۰/۸
C3	۲۴۰	۱/۸	۱۱/۵	۱۶/۷۶

۲-۲. روشها

در این بررسی یک نمونه پارچه اسپیسر حلقوی تار با ضخامت ۲/۱ میلیمتر به عنوان لایه داخلی و بیرونی و ۹ نمونه بی بافت سوزن زنی شده به عنوان لایه میانی مورد استفاده قرار گرفتند. نحوه چیدمان لایه ها در شکل ۱ نشان داده شده است. روش های مختلفی برای تعیین هدایت حرارتی در منسوجات وجود دارد، سه روش پرکاربرد عبارتند از: ۱- روش دو صفحه، که در آن پارچه بین دو صفحه فلزی که در آن گرادیان دما وجود دارد قرار داده می شود. ۲- روش سرد کردن، در این روش یک طرف پارچه روی یک صفحه داغ و سطح دیگر پارچه در معرض هوا قرار می گیرد. ۳- روش دما ثابت، که در آن پارچه اطراف منبع حرارتی پیچیده می شود. مقاومت حرارتی هر یک از لایه ها به صورت جداگانه و به صورت چند لایه با استفاده از دستگاه طراحی شده مطابق با استاندارد ASTM D1518-85 که بر اساس روش سرد کردن است، تعیین شد. مقاومت حرارتی با استفاده از رابطه ۱ محاسبه شد.



شکل ۱- چیدمان چندلایه اسپیسر و لایه بی بافت

$$R = \frac{(T_p - T_a)}{Q/A} \quad (1)$$

در این رابطه T_p دمای صفحه آزمون، T_a دمای هوا بر حسب درجه سانتیگراد، Q (W) توان مورد نیاز برای ثابت نگه داشتن صفحه آزمون در دمای ۶۰ درجه سانتیگراد و A مساحت نمونه آزمون (m²) است. تعیین میزان شار حرارتی عبوری از نمونه ها با عایق کردن صفحه داغ و اطمینان از جلوگیری از هدر رفتن حرارت و همچنین عبور گرمای تولید شده فقط از طریق نمونه با استفاده از توان مصرفی منبع تغذیه در ثابت نگه داشتن دمای مد نظر محاسبه شد.

مدل سری

مدل سری را می‌توان برای پیش بینی مقدار مقاومت حرارتی کل در مجموعه‌های چند لایه مورد استفاده قرار داد [۸،۱۰]. در شکل ۱، مدل سری مقاومت‌ها نشان داده شده است. در این بررسی لایه‌ها در تماس با یکدیگر قرار دارند و فرض شده است که این تماس کامل و لایه هوا بین آن‌ها وجود ندارد.

$$R_{eq} = \sum_{i=1}^3 R_i \quad (2)$$

۳. نتایج و بحث

نتایج حاصل از آزمون تجربی برای تعیین مقاومت حرارتی هریک از لایه‌ها در جدول ۲ ارائه شده است. پارچه‌های بی بافت با اسم A-C کدگذاری و نمونه‌های چندلایه که شامل ۲ لایه اسپیسر و نمونه بی بافت است با I-III کد شده‌اند. مقاومت حرارتی برای تک لایه پارچه اسپیسر (۰/۰۴۳۸ m².K/W) بدست آمد. جدول ۳ مقایسه نتایج حاصل از روش تجربی و مدل سری را نشان می‌دهد.

بر اساس نتایج آماری استخراج شده از جدول ۴ و سطوح معنی‌داری بدست آمده، مشخص شد که وزن، افزایش چند لایه و اثر متقابل آن‌ها بر مقاومت حرارتی تاثیر معنی‌دار دارند، به طوری که افزایش وزن و افزایش تعداد لایه باعث افزایش مقاومت حرارتی مجموعه چندلایه پارچه می‌شود.

جدول ۳- مقایسه مقاومت حرارتی از روش تجربی و مدل سری.

کد نمونه	مقاومت حرارتی محاسبه شده (m ² .K/W)	مقاومت حرارتی پیش بینی شده (m ² .K/W)	خطا (%)
I1	۰/۱۴۵	۰/۱۵۹	۹/۶۵
I2	۰/۱۲۳	۰/۱۵۱	۲۲/۷
I3	۰/۱۴۴	۰/۱۴۶	۱/۳۸
II1	۰/۱۷	۰/۱۶۲	۴/۷
II2	۰/۱۶۷	۰/۱۵۲	۸/۹۸
II3	۰/۱۵۹	۰/۱۵۸	۰/۶۲
III1	۰/۱۷۱	۰/۱۵۴	۹/۹۴
III2	۰/۱۷۳	۰/۱۶۷	۳/۴۶
III3	۰/۱۸۶	۰/۱۶۷	۱۰/۲۱

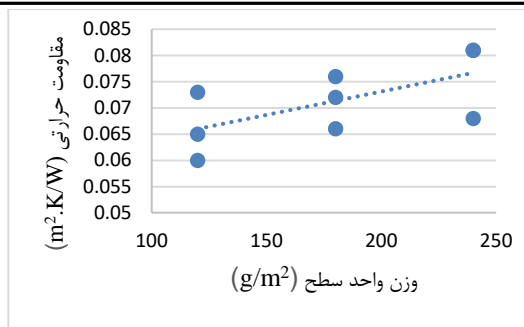
جدول ۲- مقاومت حرارتی نمونه‌ها.

کد نمونه	ضخامت (mm)	مقاومت حرارتی (m ² .K/W)	کد نمونه	ضخامت (mm)	مقاومت حرارتی (m ² .K/W)
A1	۲/۳	۰/۰۷۳	I1	۶/۵	۰/۱۴۵
A2	۱/۸	۰/۰۶۵	I2	۶	۰/۱۲۳
A3	۱/۳	۰/۰۶۰	I3	۵/۵	۰/۱۴۴
B1	۲/۳	۰/۰۷۶	II1	۶/۵	۰/۱۷
B2	۲/۱	۰/۰۶۶	II2	۶/۳	۰/۱۶۷
B3	۱/۳	۰/۰۷۲	II3	۵/۵	۰/۱۵۹
C1	۲/۳	۰/۰۶۸	III1	۶/۵	۰/۱۷۱
C2	۲	۰/۰۸۱	III2	۶/۲	۰/۱۷۳
C3	۱/۸	۰/۰۸۱	III3	۶	۰/۱۸۶

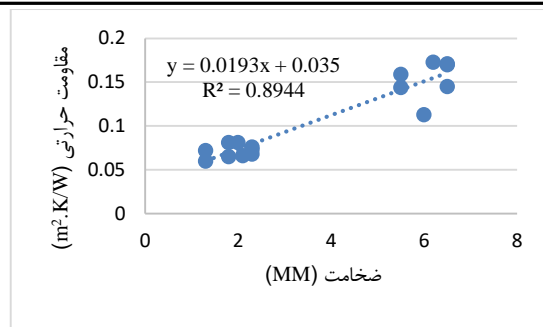
جدول ۴- تحلیل واریانس متغیرها بر مقاومت حرارتی چندلایه

منبع تغییرات	وزن واحد سطح (A)	عمق نفوذ سوزن (B)	چیدمان چندلایه (C)	B * A	C * A	C * B
p-value	< ۰/۰۰۰۱	۰/۷۹۴۲	< ۰/۰۰۰۱	۰/۰۱۳۲	۰/۰۰۰۴	۰/۶۳۹۱

رابطه ضخامت و وزن واحد سطح با مقاومت حرارتی در شکل ۲ و ۳ نشان داده شده است. نتایج حاصل نشان می‌دهد که افزایش تعداد لایه، مقاومت حرارتی را در مجموعه چند لایه افزایش می‌دهد، رابطه بدست آمده بین ضخامت و مقاومت حرارتی تقریباً خطی است، همچنین در لایه‌های بی بافت سوزن زنی شده با افزایش وزن واحد سطح مقاومت حرارتی افزایش می‌یابد.



شکل ۳- رابطه وزن واحد سطح و مقاومت حرارتی



شکل ۴- رابطه ضخامت و مقاومت حرارتی

مقاومت حرارتی مدل برابر با مجموع مقاومت هر یک از لایه‌ها که شامل دو لایه اسپیسر و یک لایه بی بافت است. در مقایسه مقاومت حرارتی بدست آمده با روش تجربی و مدل سری از جدول ۳، مشاهده می‌شود که مدل تا حدودی قادر به پیش بینی مقاومت حرارتی چند لایه پارچه می‌باشد و این در صورتی است که لایه‌ها کاملاً صاف و هموار باشند. در غیر اینصورت لایه هوا در بین لایه‌ها قرار گرفته و باعث بالاتر رفتن مقاومت حرارتی می‌شود.

۴. نتیجه‌گیری

پارچه اسپیسر را بدلیل ساختار سه لایه و ضخامت‌های متغیر و بالاتر نسبت به پارچه‌های حلقوی و تارپودی، می‌توان در کاربردهای عایق حرارتی مورد استفاده قرار داد. استفاده همزمان از این نوع پارچه و لایه‌های بی بافت باعث بالارفتن مقاومت حرارتی نسبت به استفاده از پارچه‌های نازک‌تر چون تارپودی و حلقوی می‌شود. نتایج این بررسی نشان داد که می‌توان با انتخاب پارچه‌های بی‌بافت با عمق نفوذ سوزن و وزن‌های مختلف و پارچه اسپیسر با ضخامت‌های متفاوت، مجموعه چند لایه پارچه با مقاومت حرارتی متغیر ایجاد کرد. همچنین با افزایش وزن لایه‌های بی‌بافت و ضخامت مجموعه چند لایه، مقاومت حرارتی منسوج چندلایه افزایش می‌یابد.

۵. مراجع

- [1] Morrissey, M.P. and Rossi, R.M., 2013. Clothing systems for outdoor activities. *Textile Progress*, 45(2-3), pp.145-181, 2013.
- [2] Barker R.L. and Heniford R.C., Factors affecting the thermal insulation and abrasion resistance of heat resistant hydro-entangled nonwoven batting materials for use in firefighter turnout suit thermal liner systems. *J Eng Fibers*; 6: 1-10, 2011.
- [3] Shabaridharan M and Das A. Statistical and ANN analysis of thermal and evaporative resistances of multilayered fabric ensembles. *J Text Inst*; 104:950-964, 2013.
- [4] Morris MA. Thermal insulation of single and multiple layers of fabrics. *Text Res J*; 25: 766-773, 1955.
- [5] Epps HH. Insulation characteristics of fabric assemblies. *J Coated Fabr*; 17: 212-218, 1988.
- [6] McCullough EA, Huang J and Kim CS. An explanation and discussion of sweating hot plate standards. *J ASTM Int*; 1: 1-13, 2004.
- [7] Shabaridharan M and Das A. Study on thermal and evaporative resistances of multilayered fabric ensembles. *J Text Inst*; 104: 1025-1041, 2013.
- [8] Ziaei, M. and Ghane, M., Thermal insulation property of spacer fabrics integrated by ceramic powder impregnated fabrics. *Journal of Industrial Textiles*, 43(1), 20-33, 2013.
- [9] Onal, L. and Yildirim, M., Comfort properties of functional three-dimensional knitted spacer fabrics for home-textile applications. *Textile Research Journal*, 82(17), pp.1751-1764, 2012.
- [10] Das, A., Alagirusamy, R. and Kumar, P., Study of heat transfer through multilayer clothing assemblies: a theoretical prediction. *AUTEX Research Journal*, 11(2), pp.54-60, 2011.