

مروری بر انتقال حرارت در منسوجات بخش اول: مطالعات تجربی

Review of Heat Transfer in Textiles, Part 1: Experimental Studies

ندا دهقان^۱، پدرام پیوندی^{۲*}

۱- دانشجوی دکترا مهندسی تکنولوژی نساجی - یزد، دانشگاه یزد، مجتمع فنی و مهندسی، دانشکده مهندسی نساجی، صندوق پستی ۷۴۱-۸۹۱۹۵

۲- عضو هیات علمی دانشکده مهندسی نساجی - دانشیار - یزد، دانشگاه یزد، مجتمع فنی و مهندسی، دانشکده مهندسی نساجی، صندوق پستی ۷۴۱-۸۹۱۹۵

چکیده

شناخت خواص حرارتی منسوجات مانند راحتی حرارتی، حفاظت حرارتی و عایق حرارتی، یکی از موضوعات مورد توجه در صنایع می باشد. هدایت حرارتی و عایق حرارتی، پارامترهای کلیدی در انتقال حرارت در منسوجات به شمار می روند و آن ها را می توان با روش های مختلف، شامل روش های تجربی، حل تحلیلی و عددی ارزیابی کرد. در این میان، روش های عددی و تجربی بیشتر مورد توجه قرار گرفته است. تحلیل و شناخت رفتار حرارتی منسوجات با ویژگی های هندسی و ساختاری متفاوت با روش های تجربی امکان پذیر است. موارد تأثیرگذار بر خواص حرارتی شامل مواد سازنده، خواص ساختاری، ظرافت، سطح مقطع، تخلخل، ساختار نخ و خواص آن و همچنین ویژگی های ساختاری و فیزیکی پارچه و خواص تکمیلی بر روی آن است. هدف از این مطالعه، مرور پژوهش های تجربی انجام شده، جهت تعیین رفتار حرارتی منسوجات است. در بخش اول، روش های اندازه گیری خواص حرارتی مرور و در ادامه پارامترهای هندسی و ساختاری تأثیرگذار بر خواص حرارتی و معرفی شده توسط محققین، ارائه شده است.

مقدمه

می باشد. حل معادلات استخراج شده از مدل سازی جهت تعیین ضریب هدایت حرارتی و مقاومت حرارتی است که با استفاده از شبیه سازی و روش های عددی انجام می گیرد. روش های تجربی مبتنی بر معادلات رگرسیون و آنالیز آماری داده ها هستند.

تفاوت در روش های تجربی به کار رفته برای بیان هر یک از خواص حرارتی بر روی ساختارهای نساجی، با اهدافی چون تعیین ضریب هدایت و مقاومت حرارتی [۲-۷]، بررسی تأثیر پارامترهای ساختاری بر روی هدایت حرارتی یا مقاومت حرارتی [۵-۹]، بررسی تأثیر شرایط آزمون و تکمیل های مختلف بر روی خواص حرارتی منسوجات [۱۰-۱۳] است. مطالعات تجربی بر روی انواع منسوجات شامل پارچه های تار پودی، حلقوی، بی بافت ها،

تعیین خواص حرارتی مانند هدایت حرارتی و مقاومت حرارتی در منسوجات مختلف، از گذشته مورد توجه محققین قرار گرفته است. هدایت حرارتی و مقاومت حرارتی، پارامترهای کلیدی برای بررسی خواص حرارتی منسوجات هستند که می توان با آن ها توانایی یا عدم توانایی یک منسوج در برابر عبور حرارت را بیان کرد [۱]. سایر خواص حرارتی قابل اندازه گیری شامل جذب و انتشار حرارتی است. محاسبه هر یک از این پارامترها با روش های مختلفی انجام می شود؛ این روش ها عبارت اند از: روش های تحلیلی، عددی و روش های تجربی.

روش های تحلیلی برای بیان خواص حرارتی منسوجات، عمدتاً بر پایه مدل سازی بر اساس هندسه و ساختار منسوج

کلمات کلیدی

اندازه گیری خواص حرارتی،
مواد سازنده،
ساختار پارچه،
ساختار نخ،
خواص مورفولوژی

* مسئول مکاتبات، پیام نگار: peivandi@yazd.ac.ir

پارچه به سطوح دیگر را بیان می‌کند. ضخامت پارچه و هدایت حرارتی به‌عنوان عوامل مهم تأثیرگذار بر عایق حرارتی شناخته می‌شوند. مقاومت حرارتی وابسته به جریان حرارت و برعکس ضریب انتقال حرارت است و نشان دهنده مقدار مقاومت ماده در مقابل جریان انرژی گرمایی می‌باشد. ضریب مقاومت حرارتی را با R نشان می‌دهند، مقدار R عبارت است از عکس ضریب انتقال حرارت k ضرب در ضخامت ماده t [۱۹و۱۸و۱۴و۴]. رابطه بین مقاومت حرارتی و هدایت حرارتی به‌صورت زیر محاسبه می‌شود:

$$R = \frac{t}{k} \quad (2)$$

جذب حرارتی

جذب حرارتی، یک ویژگی مرتبط با سطح منسوج است که در آن احساس گرم و سردی پارچه، زمانی که پوست انسان به‌طور مستقیم در تماس با هر منسوج است، محاسبه می‌شود. پارچه با مقدار جذب حرارتی کم، به معنای احساس گرمی در اولین تماس است، درحالی‌که مقدار بالا به احساس خنکی اشاره دارد.

جذب حرارتی یک پارامتر عینی است، اما می‌تواند با استفاده از دستگاه آلام بتا اندازه‌گیری شود [۸و ۱۵ و ۲۰-۲۲]. ρ دانسیته نمونه (برابر با تقسیم دانسیته سطحی بر ضخامت $K, \text{kg/m}^3$ ، ضریب هدایت حرارتی c و گرمای ویژه J/kgK است.

$$b = \sqrt{K\rho c} \quad (3)$$

انتشار حرارتی

انتشار حرارتی به‌عنوان حرارت جریان یافته از طریق هوا در ضخامت ماده در جهت نرمال، در مساحت سطح اندازه‌گیری شود. انتشار حرارتی یک ویژگی حرارتی گذرا است که با پارامتر a مشخص می‌شود [۸ و ۲۰ و ۲۲ و ۲۳]:

$$a = \frac{K}{\rho c} \quad (4)$$

دو پارامتر جذب و انتشار حرارتی را می‌توان با استفاده از سایر ویژگی‌های حرارتی چون هدایت حرارتی k تعیین کرد؛ و با توجه به روابط ارائه شده این مقادیر در ارتباط با خواص ماده و توانایی آن در هدایت حرارت می‌باشند.

در مطالعه حاضر با توجه به اثر مشابه دو خاصیت ذکر شده با اثر هدایت حرارتی، دو پارامتر اصلی در تعیین خواص منسوجات، یعنی هدایت و مقاومت حرارتی بیشتر مورد بحث و بررسی قرار گرفته است و در مواردی نیز میزان مشابهت خاصیت جذب حرارتی با میزان هدایت حرارتی نیز بیان شده است.

روش‌های اندازه‌گیری خواص حرارتی

خواص حرارتی منسوجات با استفاده از روش‌های مختلفی تعیین می‌شود که در ادامه توضیح مختصر در مورد هریک از روش‌های پرکاربرد و همچنین دستگاه‌های تجاری آن‌ها بیان شده است [۱]:

کامپوزیت‌های حاوی منسوجات، عایق‌های حرارتی بر پایه منسوجات، پارچه‌های اسپیسر و انواع لباس صورت گرفته است. پارامترهای هندسی و ساختاری تأثیرگذار بر خواص حرارتی شامل: نوع مواد (جنس)، نمره نخ، شکل و سطح مقطع الیاف، طول حلقه در پارچه‌های حلقوی، تراکم بافت، تخلخل، دانسیته سطحی، ضخامت، تعداد لایه‌ها و نوع تکمیل به کار رفته می‌باشد. اهمیت درک خواص حرارتی، با توجه به نوع کاربرد منسوجات، به دلیل در اولویت بودن راحتی حرارتی منسوجات و همچنین توانایی در هدایت حرارت و یا عایق بودن آن دارای اهمیت می‌باشد؛ به عنوان مثال، در شرایط آب و هوایی سرد، مقاومت در برابر عبور جریان حرارت از بدن به سمت محیط اطراف لازم است، بنابراین هدف از استفاده از پارچه با ویژگی معین با این شرایط آب و هوایی، عمل‌کننده به‌عنوان یک عایق است [۱] که به معنی هدایت حرارتی کمتر و عایق حرارتی بالاتر است.

در این بررسی پژوهش‌های انجام شده در زمینه انتقال حرارت انواع پارچه بر مبنای روش‌های تجربی مرور شده است. مقاله شامل چهار بخش اصلی می‌باشد؛ که به ترتیب در بخش اول تعاریف پارامترهای تعیین‌کننده خواص حرارتی، بخش دوم روش‌های کلی اندازه‌گیری خواص حرارتی منسوجات و چند دستگاه پرکاربرد در این زمینه معرفی شده است. بخش سوم مطالعات ارائه شده به‌صورت تجربی و تأثیر پارامترها بر روی خواص حرارتی و در بخش چهارم روش‌های آماری آنالیز داده‌های تجربی بیان شده است.

تعاریف

خواص حرارتی

خواص حرارتی به‌صورت مقادیر مختلف تعیین و گزارش می‌شود. این مقادیر می‌تواند قابلیت هدایت حرارتی از یک منسوج یا عدم توانایی انتقال حرارت (مقاومت حرارتی) از آن و یا احساس گرمی یا سردی و یا پخش و انتشار حرارت در اطراف منسوج باشد. تمامی موارد ذکر شده از خواص حرارتی منسوجات، نشان دهنده خواص راحتی و یا عایق بودن آن می‌باشد. هر یک از موارد ذکر شده در ادامه تعریف و روابط آن‌ها معرفی شده است.

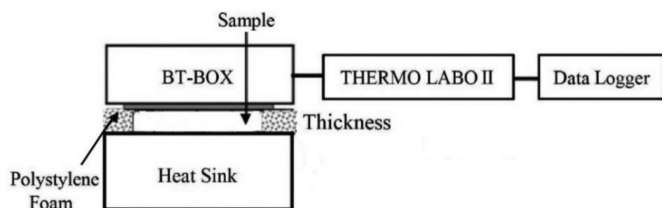
هدایت حرارتی

ضریب هدایت حرارتی، مقدار انرژی گرمایی که ماده می‌تواند در واحد ضخامت و در واحد زمان و در دمای مشخصی، از خود عبور دهد و به نوع جسم و شرایط فیزیکی از قبیل دما و فشار آن بستگی دارد. لذا هر چه مقدار عددی ضریب هدایت حرارتی جسم بزرگ‌تر باشد، گرمای بیشتری از جسم عبور می‌کند و برعکس هر چه مقدار عددی ضریب هدایت حرارتی جسم کوچک‌تر باشد جسم عایق‌تر می‌باشد [۱۴-۱۷]. ضریب هدایت حرارتی را با K ، مقدار شار حرارتی عبوری از نمونه Q ، مساحت سطح A ، اختلاف دما دو طرف نمونه ΔT و ضخامت ماده t در رابطه ۱ نشان داده شده است.

$$k = \frac{Q.t}{A.\Delta T} \quad (1)$$

مقاومت حرارتی

مقاومت حرارتی، توانایی ماده برای مانع شدن از انتقال گرما از یک سطح

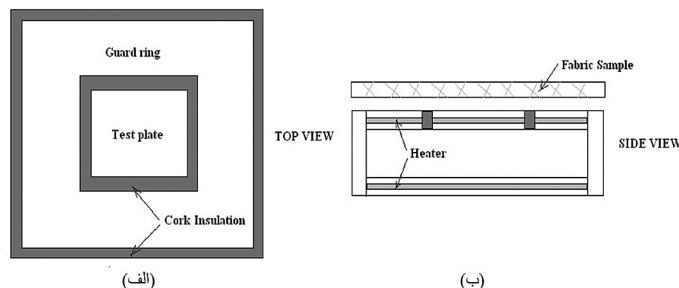


شکل ۲: دستگاه Thermo-Lab-II برای اندازه‌گیری هدایت حرارتی

جریان می‌یابد. به‌منظور تعیین هدایت حرارتی و مقاومت حرارتی، دانستن نرخ جریان حرارتی در واحد سطح (شار حرارتی) در پارچه ضروری است. اندازه‌گیری شار حرارتی در یک جهت ویژه، حتی با استفاده از هیتر با توان مشخص، سخت است؛ زیرا حرارت ایجاد شده در تمام جهات پراکنده می‌شود. دو روش مختلف برای اندازه‌گیری شار حرارتی از طریق پارچه وجود دارد: اول استفاده از نمونه مرجع برای دانستن مقاومت حرارتی برای مقایسه با نمونه‌ای آزمون و دوم حذف حرارت اتلافی که از طریق نمونه پارچه عبور نمی‌کند [۲۵]. چندین دستگاه در این مدل تقسیم‌بندی شدند اما آن‌ها دارای روند مختلف برای اندازه‌گیری هدایت حرارتی و مقاومت حرارتی در پارچه هستند: صفحه داغ با هیتر محافظ، صفحه داغ با وسیله سنجش شار حرارتی و صفحه داغ با نمونه مرجع.

دستگاه KES-F7 Thermo-Lab-II بر مبنای روش دو صفحه و دارای هیتر حفاظت شده برای اطمینان از اینکه حرارت فقط از طریق پارچه آزمون عبور می‌کند، است. روش آزمون بدین صورت است: نمونه پارچه ۵×۵ سانتی‌متر بر روی صفحه سرد قرار داده می‌شود که در تماس با جعبه آب در دمای اتاق است. صفحه داغ با دمای کنترل شده (B.T – BOX) با دقت $\pm 0.1^\circ\text{C}$ بر روی سطح نمونه قرار داده می‌شود. زمانی که شرایط پایدار حاصل شود اتلاف حرارت از (B.T – BOX) بر روی صفحه نمایش کامپیوتر قابل مشاهده است. اتلاف حرارت با استفاده از مقدار توان مورد نیاز تغذیه شده به هیتر با استفاده از تقویت کننده محاسبه می‌شود [۲۶].

هدایت حرارتی نمونه با استفاده از رابطه ۱ محاسبه می‌شود. دستگاه DTC-25 (TA) دستگاهی است که بر اساس اصل روش سنجش شار حرارتی کار می‌کند. در آن سنسور شار حرارتی به یک سینک حرارت، خنک شده با مایع، متصل است؛ روش سنجش شار حرارتی روش بسیار دقیق برای اندازه‌گیری هدایت حرارتی مواد غیرهمسان است [۲۷]. با توجه به استاندارد ASTM E1530 آزمون بدین صورت است که نمونه



شکل ۱: دستگاه صفحه داغ محافظ؛ (الف) نمای بالا دستگاه (ب) نمای جانبی دستگاه [۲۴]

روش صفحه داغ محافظ

روش صفحه داغ محافظ (روش سرد کردن)، برای ارزیابی حرارت گذرا از پارچه مورد استفاده قرار می‌گیرد. پارچه بر روی صفحه داغ، در دمای ثابت با رنج دمای پوست انسان (۳۳–۳۶ درجه سانتی‌گراد) نگه داشته می‌شود و سطح بالایی پارچه در معرض هوا قرار دارد.

با توجه به استاندارد ASTM D 1518-85 روش کار بدین ترتیب است که هیتر بین دو صفحه آلومینیومی قرار گرفته است و حلقه محافظ اطراف صفحه آزمون، جهت اطمینان از اینکه همه حرارت تولید شده از طریق پارچه عبور می‌کند و اتلاف گرمایی وجود ندارد، قرار گرفته است (شکل ۱) [۲۴].

دستگاه آزمون، داخل یک کانال برای نگه داشتن شرایط هوایی در رنج دمایی بین ۴/۵ تا ۲۱/۱ درجه سانتی‌گراد قرار می‌گیرد. در حین آزمون، زمانی که شرایط پایدار یا در تعادل باشد دمای صفحه داغ و هوای بالای آن تا ۵۰ میلی‌متر بالاتر از صفحه داغ داخل کانال اندازه‌گیری می‌شود. توان اعمال شده به هیتر برای ثابت نگه داشتن دما و حرارت انتقال یافته از پارچه و هوا را می‌توان به عنوان شار حرارتی با استفاده از رابطه ۵ محاسبه کرد:

$$U_1 = \frac{P}{A \times (T_p - T_a)} \quad (5)$$

که در آن P اتلاف توان از صفحه آزمون، A مساحت صفحه آزمون، T_p دمای صفحه آزمون و T_a دمای هوا است. مقدار توان برای حرارت انتقال یافته از پارچه می‌تواند با استفاده از رابطه حرارت عبوری از صفحه بدون نمونه تعیین شود:

$$U_2 = \frac{U_1 U_{bp}}{U_{bp} - U_1} \quad (6)$$

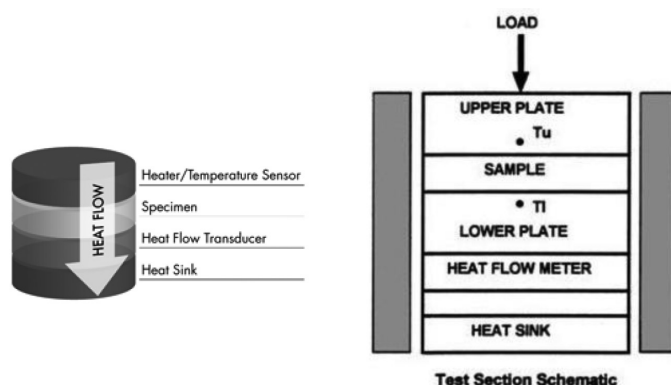
هدایت حرارتی (K) پارچه می‌تواند با استفاده از رابطه ۷ محاسبه شود:

$$K = \frac{U_2 \times t}{1000} \quad (7)$$

که در آن t ضخامت نمونه برحسب میلی‌متر است [۲۴].

روش دو صفحه

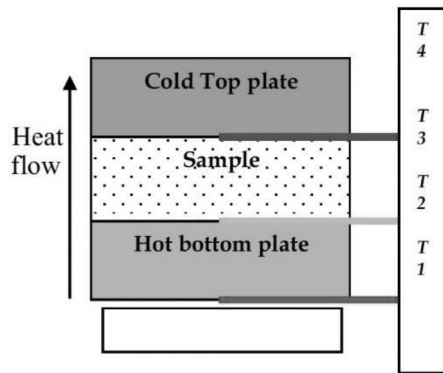
در روش دو صفحه، پارچه بین دو صفحه که بین آن دو، گرادیان دمایی وجود دارد، قرار داده می‌شود حرارت از صفحه داغ به سمت صفحه سرد



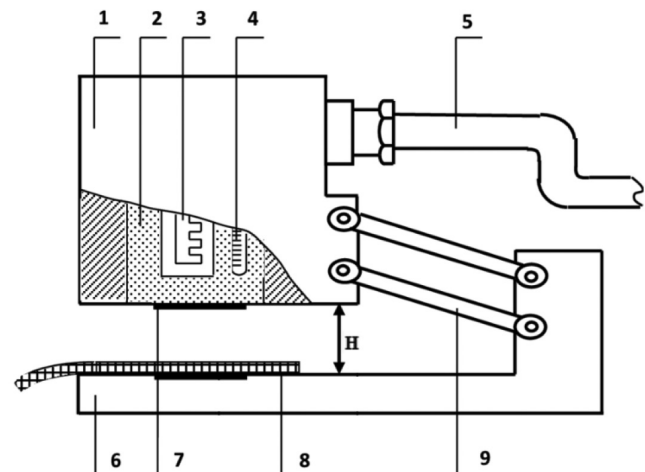
(ب)

(الف)

شکل ۳: DTC-25، (الف) شماتیک بخش آزمایش، (ب) مکانیزم شار حرارتی [۲۹ و ۲۸]



شکل ۵: تاگومتر، روش دو صفحه [۳۱]

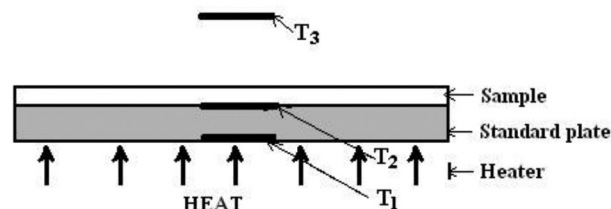
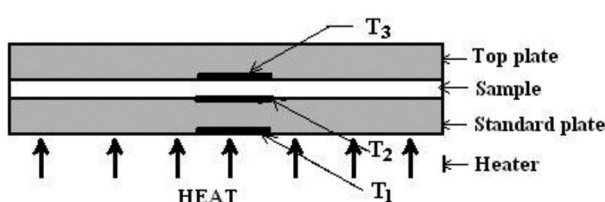


شکل ۴: دستگاه آلام بتا، ۱: هد اندازه‌گیری، ۲: قطعه مسی، ۳: هیتر، ۴: سنسور حرارتی، ۵: اتصال با کامپیوتر، ۶: صفحه فلزی، ۷: سنسور شار حرارتی، ۸: نمونه و ۹: راهنمای موازی [۳۰].

حالت پایدار و ناپایدار پارچه استفاده می‌شود. این دستگاه، همچنین برای اندازه‌گیری ضخامت نمونه مناسب است. ساختار دستگاه شامل، نمونه (۵) بر روی صفحه قرار گرفته در پایه دستگاه (۶) قرار می‌گیرد و صفحه بالایی با حسگر شار حرارتی (۷)، به قطعه مسی (۲) که دارای کنترلر دما برای ثابت نگه داشتن اختلاف دما اطراف نمونه است، متصل است [۳۰]. در طول آزمون، نمونه بین دو هد اندازه‌گیری که هر دو سمت آن سنسور جریان حرارت متصل است، قرار می‌گیرد. زمانی که هد اندازه‌گیری پایین می‌آید و در تماس با نمونه قرار می‌گیرد شار حرارتی گذرا با استفاده از آلام بتا اندازه‌گیری می‌شود و پارامترهای مختلف چون هدایت حرارتی، جذب حرارتی، نسبت ماکزیمم دانسیته شار حرارتی به دانسیته شار حرارتی ثابت (q_{max}/q_{dt}) ، انتشار حرارتی، مقاومت حرارتی و ضخامت نمونه با استفاده از سنسور فتوالکتریک ارزیابی می‌شود [۲۰].

تاگومتر دستگاهی است که بر اساس نمونه مرجع کار می‌کند. با توجه به استاندارد BS 4745:2005، پارچه‌ها به صورت سری با توجه به جهت شار حرارتی قرار داده می‌شود و برای جلوگیری از اتلاف حرارت جابجایی با فشار ثابت شده است.

مقاومت حرارتی پارچه برابر با نسبت اختلاف دما در دو سمت نمونه به دو طرف نمونه مرجع؛ که برابر با نسبت مقاومت حرارتی آن‌ها است. طرح تاگومتر با دو صفحه در شکل ۵ نشان داده شده است. در طول آزمون، نمونه (۳۳۰ میلی‌متر در قطر) بر روی نمونه مرجع (با مقاومت حرارتی مشخص) قرار داده می‌شود و توسط صفحه داغ با دمای کنترل شده گرم می‌شود. صفحه بالایی (عایق) برای جلوگیری از فشار به نمونه پارچه می‌بایست به آرامی نزدیک شود. سه دمای مختلف به دست آمده در شرایط پایدار: T_1 دمای صفحه داغ T_2 ، دما بین سطح پایین نمونه آزمون و سطح بالا پارچه مرجع، T_3 دما بین سطح بالای نمونه آزمون و صفحه بالایی.



شکل ۶: تاگومتر، روش دو صفحه و روش یک صفحه [۳۲]

(قطر ۵۰ میلی‌متر) بین دو صفحه، تحت نیروی فشاری قرار داده می‌شود و از چسب حرارتی در فصل مشترک آن‌ها برای جلوگیری از مقاومت حرارت تماسی استفاده شده است (شکل ۳ الف). اختلاف دمای محوری بین دو صفحه به دست می‌آید، حرارت از منبع گرما (صفحه داغ) به صفحه سرد جریان می‌یابد (شکل ۳ ب).

زمانی که شرایط حالت پایدار حاصل شد اختلاف دما در نمونه با استفاده از سنسور دما که به سطح صفحات متصل است اندازه‌گیری می‌شود؛ شار حرارتی با استفاده از سنسور شار حرارتی اندازه‌گیری می‌شود. مقاومت حرارتی نمونه با استفاده از رابطه (۸) محاسبه می‌شود. در این رابطه T_i دمای صفحه پایین، T_u دمای صفحه بالا، F پارامتر کالیبراسیون مبدل شار حرارتی، R_{int} مقاومت حرارتی تماسی (در صورت وجود) و R_s مقاومت حرارتی نمونه است. هدایت حرارتی نمونه با توجه به ضخامت و مقاومت حرارتی به دست آمده با استفاده از رابطه ۲ محاسبه می‌شود.

$$R_s = F \frac{T_u - T_i}{q} - R_{int} \quad (8)$$

آلام بتا برای شبیه‌سازی اولین لحظه تماس بین پوست و پارچه (احساس سرد-گرم) با استفاده از پارامتر جذب حرارتی طراحی و استفاده می‌شود، شماتیک دستگاه در شکل ۴ نشان داده شده است. حرارت از پوست به سمت پارچه که دارای دمای کمتر از پوست است، جریان می‌یابد. آلام بتا برای اندازه‌گیری خواص ترموفیزیکی در شرایط

جدول ۱. انواع دستگاه‌های مختلف استفاده شده توسط پژوهشگران در تعیین خواص حرارتی

ردیف	نوع دستگاه	مراجع
۱	Thermo-Lab	[۳۴-۴۰]
۲	Alambeta	[۴-۹ و ۱۱-۲۲ و ۴۱ و ۱۰۱-۱۰۵]
۳	Guarded hot plate	[۳۷ و ۳۸ و ۴۲ و ۴۳]

تأثیر مواد، هندسه و ساختار پارچه‌ها بر خواص حرارتی

در بسیاری از مطالعات انجام شده بر پایه مطالعات مدل‌سازی تحلیلی یا شبیه‌سازی عددی، وابستگی خواص حرارتی یک منسوج به مواد سازنده، ساختار، الیاف، نخ‌ها و بافت عنوان شده است [۴۴]. به‌طور کلی نتایج بررسی برای انواع ترکیبات نشان داد که میزان هدایت حرارتی در پارچه به مقدار زیادی وابسته به دانسیته، هدایت حرارتی الیاف و رطوبت محتوی در الیاف در داخل ساختار پارچه است. نمونه با وزن بیشتر هدایت حرارتی بالاتری دارند. مقدار هوای محبوس در داخل ساختار پارچه یکی دیگر از عوامل تأثیرگذار بر هدایت حرارتی پارچه است. در تراکم یکسان پارچه، با افزایش ضخامت پارچه مقاومت حرارتی افزایش می‌یابد. قابل ذکر است، زمانی که تراکم پارچه افزایش یابد برای پارچه‌ها با ضخامت تقریباً یکسان میزان مقاومت حرارتی کاهش می‌یابد [۸].

همان‌طور که دیده می‌شود، خواص حرارتی منسوجات تحت تأثیر تعداد زیادی از پارامترها است که می‌توان آن‌ها را به سه بخش کلی تقسیم کرد:

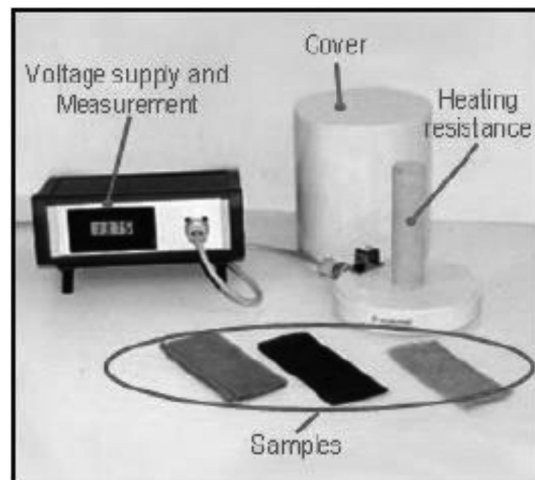
- سطح میکروسکوپی (ترکیب شیمیایی، خواص مورفولوژیکی، ظرافت، سطح مقطع، تخلخل و رطوبت محتوی الیاف)
- سطح مزوسکوپی (ساختار نخ و خواص آن)
- سطح ماکروسکوپی (ویژگی‌ها ساختاری و فیزیکی پارچه و خواص تکمیلی بر روی آن) [۴۵].

اثر نوع مواد و جنس بر خواص حرارتی

منسوجات از جمله مواد ترکیبی هستند که ترکیبی از الیاف و هوا در آن‌ها وجود دارد، از آنجا که هدایت حرارتی اکثر الیاف از هوای موجود در فضاهای خالی منسوجات بیشتر است؛ بنابراین افزایش یا کاهش درصد وزنی الیاف بر خواص حرارتی چون مقاومت و هدایت حرارتی تأثیر می‌گذارد، به‌عنوان مثال افزایش درصد الیاف پشم در پارچه باعث افزایش مقاومت حرارتی می‌شود [۴۶]، یا در ترکیب پنبه و پلی‌استر برای پارچه‌های تار پودی و حلقوی، افزایش درصد پلی‌استر که دارای هدایت حرارتی کمتر است باعث افزایش مقاومت حرارتی می‌شود [۱۹]. سایر مطالعات انجام شده در زمینه بررسی نوع ماده بر خواص حرارتی منسوج در ادامه در جدول ۲ بیان شده است.

اثر نمره نخ و دانسیته خطی الیاف بر خواص حرارتی

در بررسی‌های مختلف بر روی پارچه‌های تار پودی، حلقوی و بی‌بافت، نتایج حاصل از آنالیزهای تجربی نشان می‌دهد که نمره نخ یکی از پارامترهای تأثیرگذار در ساختار و در نتیجه خواص حرارتی منسوجات می‌باشد. برای ساختارهای بی‌بافت دنییر الیاف دارای بیشترین تأثیر بر



شکل ۷: تعیین هدایت حرارتی [۳۳]

مقاومت حرارتی نمونه آزمون با استفاده از رابطه ۹ محاسبه می‌شود:

$$\frac{R_f + R_c}{R_s} = \frac{T_f - T_r}{T_1 - T_2} \quad (9)$$

که R_f ، R_c و R_s مقاومت حرارتی نمونه، تماسی و استاندارد است. [۳۱]. همچنین در روش تاگومتر اندازه‌گیری مقاومت حرارتی با استفاده از روش یک صفحه نیز انجام می‌شود که شماتیک هر دو روش در شکل ۶ نشان داده شده است.

ایده اصلی روش دما ثابت، این است که نمونه پارچه اطراف بدنه منبع داغ پیچیده شده و مقدار انرژی مورد نیاز برای ثابت نگه داشتن اختلاف دما بین پارچه و خنک‌کننده (به‌صورت معمول هوا استفاده می‌شود) تعیین می‌شود. ترکیب کلی از دستگاه شامل هیتر استوانه‌ای که پارچه بر آن پیچیده می‌شود. انتهای استوانه و محفظه عایق شده است. استوانه به‌صورت الکتریکی و در شرایط حالت پایدار گرم می‌شود، هدایت حرارتی پارچه می‌تواند با اندازه‌گیری مقدار انرژی مورد نیاز برای حفظ اختلاف دما بین سطح استوانه و هوا در محفظه محاسبه شود [۱].

برای محاسبه ضریب هدایت حرارتی از رابطه ۱۰ استفاده می‌شود:

$$K = \frac{\ln\left(\frac{T_r}{T_1}\right)}{\pi L \left(\frac{T_{sk} - T_{clo}}{Q}\right)} \quad (10)$$

T_1 : شعاع مقاومت حرارتی، T_2 : ضخامت نمونه اضافه شده به شعاع مقاومت حرارتی، L : طول مقاومت حرارتی، Q : شار حرارتی عبوری از نمونه، T_{sk} : دمای چرم (سطح بیرونی مقاومت حرارتی)، T_{clo} : دمای سطح داخلی نمونه. شار حرارتی عبوری از نمونه به‌صورت رابطه ۱۱ محاسبه می‌شود:

$$Q = \frac{U_1^2}{R_\Omega} \quad (11)$$

U_1^2 توان الکتریکی وارد شده به مقاومت، R_Ω مقاومت المنت حرارتی است [۳۳]. در جدول ۲، استفاده مطالعات مختلف از دستگاه‌ها آورده شده است.

جدول ۲. تأثیر انواع مواد بر خواص حرارتی گزارش شده توسط پژوهشگران

ردیف	ماده	نوع منسوج	نوع تأثیر	علت	مراجع
۱	الیاف بامبو-پنبه	پارچه حلقوی	افزایش درصد بامبو افزایش هدایت حرارتی	بالاتر بودن هدایت حرارتی ذاتی الیاف بامبو نسبت به الیاف پنبه و ایجاد احساس سردی برای لباس‌های تابستانه	[۴۷]
۲	الیاف بامبو-پنبه	پارچه حلقوی	افزایش درصد بامبو کاهش هدایت حرارتی، کاهش مقاومت حرارتی	موبینگگی بیشتر الیاف پنبه نسبت به بامبو- کاهش مقاومت حرارتی با افزایش درصد بامبو. رابطه (۲) نشان می‌دهد که هدایت حرارتی و مقاومت حرارتی رابطه عکس دارند ولی در این مطالعه، هدایت حرارتی هم‌زمان با مقاومت حرارتی با افزایش درصد بامبو کاهش می‌یابد.	[۴۸، ۳۹، ۴۰]
۳	الیاف پلی‌استر - پشم و آکرلیک	پارچه دوطرفه	هدایت حرارتی پلی‌استر کمتر از پشم و آکرلیک	هدایت حرارتی پشم و آکرلیک تقریباً برابر است. مواد با هدایت حرارتی کمتر دارای مقاومت بالاتری در برابر شار حرارتی هستند و احساس گرم‌تری در هنگام تماس القا می‌کنند	[۳۷]
۴	کولار و پشم- الیاف پلی‌استر و پشم و لایکرا	پارچه تار پودی	افزایش درصد پشم افزایش مقاومت حرارتی	مقاومت حرارتی کولار-پشم بیشتر از مقاومت حرارتی پارچه کولار خالص است. وزن و ضخامت پارچه مقدار انتقال حرارت را تعیین می‌کند. پارچه کولار خالص دارای فیلامنت‌های بدون موج و تاب و ضخامت پارچه کمتر از ترکیب آن با پشم است. وزن آن هم کمتر از کولار-پشم است.	[۴۶، ۴۹]
۵	الیاف پلی‌استر - پنبه	پارچه‌ها حلقوی- پارچه تار پودی	افزایش پلی‌استر افزایش مقاومت حرارتی. جذب حرارتی پنبه بالاتر از پلی‌استر	اختلاف دما برای الیاف پنبه در پارچه خیلی بیشتر از الیاف پلی‌استر است. مقاومت حرارتی الیاف پلی‌استر بیشتر از الیاف پنبه است.	[۱۹، ۵۰، ۵۱]
۶	الیاف پلی‌استر - پنبه	پارچه‌های اینترلاک حلقوی دولایه	افزایش پنبه در لایه داخلی و لایه بیرونی افزایش مقاومت حرارتی	این رابطه افزایشی برای الیاف پنبه در لایه بیرونی و داخلی صادق است. گرمای ویژه الیاف پنبه بیشتر از الیاف پلی‌استر است، بنابراین زمانی که درصد الیاف پنبه در هر یک از لایه‌ها افزایش یابد گرمای ویژه کل پارچه افزایش می‌یابد با توجه به بالاتر رفتن مقدار انرژی مورد نیاز برای بالا بردن دما و انتقال حرارت به سمت دیگر پارچه. افزایش گرمای ویژه در نتیجه مقاومت حرارتی پارچه نیز افزایش می‌یابد.	[۷]
۷	پنبه و نایلون پلی‌استر	پارچه تار پودی	افزایش پلی‌استر افزایش مقاومت حرارتی	نمونه‌های نایلون، دارای مقاومت حرارتی نسبتاً کم نسبت به پلی‌استر هستند. هدایت حرارتی پایین نمونه‌های پلی‌استر منجر به افزایش میزان عایق حرارتی آن‌ها می‌شود در حالی که پنبه با توجه به هدایت حرارتی بالای آن، دارای کمترین مقدار مقاومت حرارتی است و نایلون بین این دو لیف قرار دارد.	[۵۲]
۸	پنبه و الیاف rabbit	پارچه حلقوی	مقدار افزایش الیاف rabbit کاهش هدایت حرارتی	افزایش الیاف rabbit منجر به موبینگگی بیشتر پارچه می‌شود. افزایش هوای به دام افتاده - هوا دارای هدایت حرارتی کمتر از الیاف است هدایت حرارتی کاهش و مقاومت حرارتی افزایش می‌یابد. استفاده از ترکیب الیاف با الیاف rabbit به منظور محافظت در برابر شرایط سرد و عایق حرارتی بالاتر و احساس گرمی در تماس استفاده می‌شود.	[۲۳]
۹	بازالت و پلی‌پروپیلن و جوت- نایلون، پنبه و کرمل	پارچه تار پودی	افزایش هدایت حرارتی با افزایش پلی‌پروپیلن - تا حدودی افزایش کرمل، افزایش هدایت حرارتی منجر می‌شود	هدایت حرارتی ترکیب بازالت و پلی‌پروپیلن در تمام بافت‌ها بیشترین مقدار را دارد، هدایت حرارتی پلی‌پروپیلن از سایر الیاف بیشتر است، استفاده از الیاف جوت باعث افزایش موبینگگی، افزایش منافذ هوا و در نتیجه افزایش مقاومت حرارتی شده است - مقاومت حرارتی الیاف کرمل و پارچه‌های ساخته شده از آن‌ها بیشتر از نایلون و پنبه است.	[۴۵، ۵۳]

افزایش می‌یابد [۵۴]. در بررسی دیگر بر روی خواص راحتی پارچه‌های حلقوی مخلوط بامبو / پنبه تولید شده با استفاده از نخ‌های ریسیده شده، نتایج نشان داد که ساختار نخ تأثیر مهمی در میزان مقاومت حرارتی دارد.

مقاومت حرارتی است. مقاومت حرارتی لایه بی‌بافت زمانی که دانسیته سطحی بالاتر و دنیر الیاف کم باشد بالاتر است. در دنیر کمتر الیاف، تعداد الیاف بیشتر در واحد سطح و مساحت سطحی و مقاومت حرارتی

جدول ۳. تأثیر دانسیته خطی نخ بر خواص حرارتی گزارش شده توسط پژوهشگران

ردیف	ماده	نمره نخ	نوع تأثیر	علت	مراجع
۱	پارچه تار پودی	دانسیته خطی نخ	افزایش مقاومت و هدایت حرارتی با افزایش نمره نخ	نخ‌های ضخیم‌تر باعث کاهش اندازه منافذ شده در تراکم یکسان پارچه شده و نفوذپذیری هوا داخل پارچه کاهش می‌یابد توانایی انتقال حرارت کم و دمای سطح پارچه کمتر می‌شود، زمانی که نمره نخ از حد معینی بیشتر شود، ساختار پارچه متراکم و سطح تماس بین نخ‌ها افزایش می‌یابد و انتقال حرارت از طریق هدایت نیز افزایش می‌یابد- افزایش نمره باعث افزایش ضخامت می‌شود و در نتیجه افزایش هدایت، جذب و مقاومت حرارتی رخ می‌دهد.	[۴۹،۵۵]
۲	لایه بی‌بافت	الیاف ظریف	کاهش دنیر الیاف افزایش مقاومت حرارتی	دنیر کمتر الیاف، تعداد الیاف در واحد سطح بیشتر و مساحت سطحی افزایش می‌یابد. با افزایش دانسیته سطحی تعداد نقاط تماس بین الیاف افزایش و اتلاف حرارتی از طریق هدایت و مقاومت حرارتی افزایش می‌یابد.	[۵۴،۵۶،۵۷]
۳	پارچه حلقوی	دانسیته خطی نخ	کاهش هدایت حرارتی با افزایش ظرفیت	با افزایش ظرفیت الیاف، تعداد فیلامنت‌ها در ساختار افزایش می‌یابد. از این‌رو افزایش ضخامت پارچه و کاهش در میزان هدایت و افزایش مقاومت حرارتی مشاهده می‌شود.	[۵۸،۵۹]
۴	پارچه حلقوی	دانسیته خطی نخ- ظرفیت الیاف	افزایش دانسیته خطی نخ، افزایش مقاومت حرارتی پارچه	افزایش دانسیته خطی نخ، افزایش ضخامت پارچه، افزایش هوای به دام افتاده، افزایش عایق حرارتی پارچه ضخیم را منجر می‌شود.	[۵۰،۶۰،۶۱،۶۲]
۵	پارچه تار پودی	دانسیته خطی نخ	افزایش دانسیته خطی نخ افزایش مقاومت حرارتی و کاهش هدایت و جذب حرارتی	افزایش دانسیته خطی الیاف و ترکیب الیاف غیر دایره‌ای به جای الیاف دایره‌ای منجر به تخلخل بالاتر و حجم هوای بیشتر که منجر به مقاومت حرارتی بالاتر و هدایت حرارتی کمتر و جذب حرارتی کمتر می‌شود که جذب حرارتی کمتر احساس گرم‌تری ایجاد می‌کند.	[۶]
۶	پارچه حلقوی	دانسیته خطی نخ	افزایش هدایت حرارتی با افزایش دانسیته خطی نخ	زیرا با تغییرات دانسیته خطی نخ میزان تخلخل تغییر می‌کند. افزایش دانسیته خطی نخ، افزایش دانسیته سطحی پارچه و کاهش میزان تخلخل افزایش هدایت حرارتی	[۴۷]

در مطالعه دیگر در بررسی تأثیر نوع شکل و سطح مقطع الیاف بیان شده است که استفاده از الیاف به شکل مثلث و تقریباً لوزی (۴ دایره در کنار هم) نسبت به سطح مقطع دایره‌ای، با توجه به افزایش تخلخل پارچه، باعث کاهش هدایت حرارتی پارچه می‌شود. هدایت حرارت کلی شامل حرارت هدایت یافته از طریق هوا و الیاف است [۶]. در بررسی خواص انتقال حرارت و جرم پارچه‌های پنبه پلی‌استر، مقاومت حرارتی پارچه‌ای که دارای ترکیب الیاف پلی‌استری مثلثی و الیاف پنبه کارد شده است بالاتر از پارچه‌ای که دارای الیاف پلی‌استری دایره‌ای و الیاف پنبه‌ای است. استفاده از الیاف مثلثی شکل باعث ایجاد نخ‌های حجیم‌تر می‌شود و با توجه به شکل و نحوه قرارگیری، میزان تخلخل پارچه و حجم هوا در داخل پارچه افزایش می‌یابد [۶۲].

اثر تخلخل بر خواص حرارتی

خواص حرارتی تحت تأثیر نفوذپذیری هوا در پارچه و نفوذپذیری هوا وابسته به تخلخل پارچه است که با تعداد کانال‌های هوایی موجود در پارچه تعریف می‌شود [۶۵،۶۶]. تخلخل بیشتر به معنای فضای بیشتر برای به دام افتادن هوا و آب داخل پارچه است [۴۴]. در برخی از مطالعات مهم‌ترین عامل در هدایت و مقاومت حرارتی پارچه، هوای به دام افتاده

نخ‌های چرخانه‌ای حجیم‌تر و دارای هوای داخلی بیشتری هستند که باعث می‌شود به عنوان عایق‌های بهتری عمل کنند. در ادامه تأثیر دانسیته خطی بر خواص حرارتی منسوجات بیان شده است.

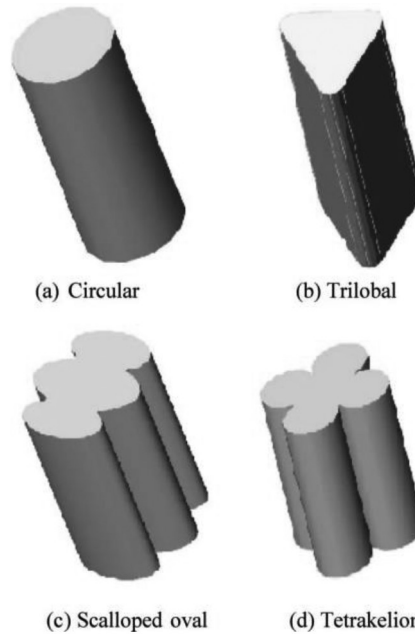
اثر شکل و سطح مقطع الیاف و نخ بر خواص حرارتی

نتایج مختلفی برای تأثیر نوع شکل و سطح مقطع الیاف بر خصوصیات حرارتی بیان شده است [۶، ۹، ۵۷، ۶۲-۶۴]. در بررسی انجام شده بر روی پارچه تار پودی با دو نوع نخ توخالی و توپر، نتایج نشان داد که پارچه‌ها دارای الیاف توخالی نسبت به الیاف سالیید دارای هدایت و جذب حرارتی بالاتر و مقاومت حرارتی کمتر هستند [۹]. هدایت حرارتی پارچه تولید شده از الیاف توخالی نه تنها به دلیل افزایش ضخامت پارچه همچنین به دلیل حجم منافذ در داخل نخ انتظار می‌رود، کاهش یابد [۵۷]. نتایج به دست آمده نشان می‌دهد که خواص حرارتی تحت تأثیر منافذ بین نخ‌ها در پارچه است. همچنین هدایت حرارتی و جذب حرارتی پارچه‌های تولید شده از الیاف مثلثی کمتر از الیاف گرد است. پارچه‌های دارای الیاف مثلثی دارای وزن واحد سطح و ضخامت کمتر از پارچه‌های دارای الیاف گرد هستند. بافت سررژه دارای الیاف مثلثی دارای کمترین هدایت و جذب حرارتی و بیشترین مقاومت حرارتی است [۹].

پارچه با مقدار تخلخل بالاتر دارای هدایت حرارتی کمتر می‌باشد. از این رو در محاسبه هدایت حرارتی کل برای یک منسوج که ترکیبی از الیاف و هوا است، هرچه ساختار متراکم‌تر و دارای الیاف بیشتر و هوای کمتری در ساختار باشد، مقدار هدایت حرارتی بالاتر است، چون هدایت حرارتی الیاف از هدایت حرارتی هوا بیشتر است [۲۲].

اثر طول حلقه در بافت‌های حلقوی بر خواص حرارتی
پارامترهای متعددی بر خواص حرارتی تأثیر دارد که یکی از آن‌ها طول حلقه در بافت‌های حلقوی می‌باشد، نتایج آزمون‌های تجربی بر روی پارچه‌های حلقوی ریب ۱×۱ و میکرو سیلندر نشان می‌دهد که بیشترین تأثیر بر روی هدایت و جذب حرارتی دو نوع پارچه، ابتدا نمره نخ، سپس طول حلقه است. طول حلقه بیشتر، میزان نفوذپذیری هوا را افزایش، در نتیجه هدایت حرارتی و جذب حرارتی کاهش و مقاومت حرارتی افزایش می‌یابد [۱۶].

اثر تراکم در بافت بر خواص حرارتی
تراکم بافت یکی دیگر از پارامترهای تأثیرگذار بر خواص حرارتی است، در مطالعات انجام شده بیان شده است که افزایش تراکم پودی در پارچه‌های دوطرفه منجر به احساس گرمی و مقاومت حرارتی بالاتر می‌شود. افزایش تراکم پودی موجب کاهش فاصله بین نخ‌های پود و منجر به افزایش وزن پارچه می‌شود؛ پارچه با وزن بیشتر، گرم‌تر و دارای مقاومت حرارتی بالاتر از پارچه‌های سبک است. این تغییرات هم ضخامت پارچه هم ضخامت لایه هوا را افزایش می‌دهد که منجر به افزایش مقاومت حرارتی در پارچه‌های دوطرفه می‌شود [۳۴]. همچنین در مورد پارچه‌های تار پودی پنبه‌ای، با افزایش تراکم پودی هدایت حرارتی افزایش می‌یابد و تفاوت هدایت حرارتی در پارچه‌ها با تراکم پودی‌های مختلف معنی‌دار



شکل ۸: شکل سطح مقطع الیاف [۶۲]

در آن معرفی شده است. افزایش تخلخل، افزایش حجم هوا در ساختار و کاهش حجم الیاف موجود در آن، باعث کاهش هدایت حرارتی کل می‌شود زیرا هدایت حرارتی هوا خیلی کمتر از هدایت حرارتی الیاف است [۵۸]. تخلخل شامل سه بخش اصلی: ۱- فضای داخل نخ (تخلخل ماکرو) ۲- فضای بین الیاف در قسمت‌های داخلی نخ (تخلخل مزو) ۳- تخلخل ذاتی متعلق به لیف [۶۷، ۶۸]. نتایج برخی از مقالات در زمینه تأثیر تخلخل بر خواص حرارتی در ادامه بیان شده است. از مهم‌ترین نتایج ذکر شده، رابطه عکس بین هدایت حرارتی و نفوذپذیری هوا است؛ یعنی

جدول ۴. تأثیر تخلخل بر خواص حرارتی گزارش شده توسط پژوهشگران

ردیف	ماده	نمره نخ	نوع تأثیر	علت	مراجع
۱	پارچه حلقوی- پارچه لسیسر	هدایت و جذب حرارتی	افزایش تخلخل همراه با کاهش هدایت و جذب حرارتی	افزایش تخلخل، افزایش حجم هوا، کاهش حجم الیاف، کاهش هدایت حرارتی کل به دلیل کمتر بودن هدایت حرارتی هوا نسبت به هدایت حرارتی الیاف محتوی - وابستگی جذب حرارتی به ظرفیت حرارتی و هدایت حرارتی، در ساختارهای متخلخل، تماس الیاف به یکدیگر کمتر و کاهش هدایت و جذب حرارتی.	[۳، ۲۲، ۵۸، ۶۳، ۶۹]
۲	پارچه اسپیسر- پارچه‌های چندلایه	مقاومت حرارتی	افزایش تخلخل بهبود خواص عایق حرارتی	افزایش تخلخل به دلیل وجود لایه میانی، افزایش حجم هوا در پارچه، افزایش مقاومت حرارتی	[۷۰، ۷۱]
۳	پارچه حلقوی- پارچه حلقوی دارای الیاف توخالی	مقاومت حرارتی	افزایش مقاومت حرارتی با افزایش منافذ و حجم هوا	پارچه‌ها با الیاف توخالی دارای هوای بیشتر در نتیجه افزایش مقاومت حرارتی	[۶۱، ۶۳، ۷۲]
۴	لایه‌های بی-بافت	هدایت حرارتی	افزایش هدایت حرارتی با کاهش حجم هوا	با افزایش وزن، افزایش مقدار الیاف در واحد سطح، کاهش مقدار هوا، بالاتر بودن هدایت حرارتی الیاف نسبت به هوا.	[۵۴]
۵	پارچه‌های تار پودی و ساختارهای بی بافت	مقاومت حرارتی	کاهش مقاومت حرارتی با افزایش تخلخل سطحی	افزایش وزن و دانسیته موجب افزایش مقاومت حرارتی و افزایش تخلخل باعث کاهش مقاومت حرارتی، سبک بودن لایه‌های بی-بافت	[۵۶، ۷۳]

جدول ۵. تأثیر طول حلقه در پارچه حلقوی بر خواص حرارتی، گزارش شده توسط پژوهشگران

ردیف	نوع منسوج	نمره نخ	نوع تأثیر	مراجع
۱	پارچه دوطرفه پنبه- پلی استر	افزایش طول حلقه افزایش مقاومت حرارتی و کاهش هدایت حرارتی	با افزایش طول حلقه، طول پایه حلقه در جهت ضخامت، افزایش یافته و طول پایه طولانی تر می شود و باعث افزایش ضخامت پارچه و لایه هوا شده که منجر به افزایش مقاومت حرارتی می شود. همچنین این افزایش طول حلقه منجر به احساس گرمی در پارچه های دوطرفه می شود.	[۳۴، ۵۸، ۶۳]
۲	پارچه حلقوی پنبه- پلی استر	افزایش طول حلقه افزایش مقاومت حرارتی و هدایت حرارتی	افزایش طول حلقه افزایش هوا در داخل پارچه در نتیجه افزایش مقاومت حرارتی و هدایت حرارتی را باعث می شود.	[۷]
۳	پارچه حلقوی پنبه- پارچه حلقوی ابریشمی- پارچه حلقوی بامبو	افزایش طول حلقه، کاهش هدایت حرارتی و جذب حرارتی	جذب حرارتی وابسته به سفتی پارچه است، در حالی که هدایت حرارتی وابسته به میزان تخلخل پارچه است. با افزایش طول حلقه، مقدار الیاف در واحد سطح کاهش می یابد و مقدار هوای به دام افتاده در داخل ساختار پارچه افزایش می یابد. هدایت حرارتی هوای به دام افتاده کمتر از هر گونه الیاف نساجی است که آن را می توان به هدایت حرارتی کم در طول حلقه های بزرگ نسبت داد.	[۱۶، ۵۹، ۶۰]

۱×۱ و اینترلاک، جذب حرارتی کمتر و احساس گرم تر برای ساختارهای یکروسیلندر در پارچه های حلقوی پنبه پلی استر به دست آمد. زمانی که وزن افزایش یابد، مقدار الیاف در واحد سطح افزایش می یابد، هدایت حرارتی الیاف بیشتر از هدایت حرارتی هوا است، بنابراین پارچه های سنگین تر از لحاظ وزن مانند اینترلاک دارای هوای کمتر و هدایت حرارتی بالاتر هستند [۵۰، ۷۴]. در مطالعه انجام شده بر روی پارچه تار پودی با دو نوع بافت ساده و سرژه و همچنین استفاده از دو نوع الیاف توخالی و توپر، نتایج حاصل از پژوهش نشان داد که الیاف سالیید و بافت سرژه دارای کمترین هدایت حرارتی و جذب حرارتی است و بالاترین مقاومت حرارتی مربوط به پارچه ها با الیاف توخالی و بافت ساده هستند [۹].

هدایت حرارتی

جدول ۶. تأثیر نوع بافت بر هدایت حرارتی گزارش شده توسط پژوهشگران

مقاومت حرارتی

جدول ۷. تأثیر نوع بافت بر مقاومت حرارتی گزارش شده توسط پژوهشگران

اثر سفتی بافت بر خواص حرارتی

نتایج آزمایش های انجام شده توسط آردوملو و ساریکام نشان داد که سفتی بافت تأثیر مهمی بر مقاومت حرارتی ندارد [۲۲]. همچنین یوکار و یلماز بیان کردند که زمانی که پارچه سفت تر شود، از دست دادن گرما کاهش می یابد. این حقیقت با توجه به این است که سفتی پارچه از نمره نخ و دانسیته تأثیر پذیر است [۷۹]. در ساختارهای سفت تر که دارای الیاف بیشتر و هوای کمتر در ساختار است انتظار می رود با توجه به هدایت حرارتی بالاتر الیاف نسبت به هدایت حرارتی هوا، مقدار هدایت حرارتی کل بالاتر رود [۲۲].

اثر ویژگی های سطحی بر خواص حرارتی

یکی از عوامل تأثیرگذار در جذب حرارتی را می توان وابستگی جذب

است. نتایج حاصل از آزمایش ها نشان می دهد که بافت لانه زنبوری با جنس پنبه نسبت به بافت ساده برای لباس گرم مناسب تر است [۳۵]. با ثابت بودن تراکم پودی، با افزایش تراکم تار ضخامت پارچه افزایش و تخلخل پارچه کاهش می یابد. در تراکم تار کم نفوذپذیری هوای پارچه افزایش یافته که منجر به انتقال حرارت جابجایی بیشتر در پارچه می شود. با افزایش تراکم تار تا یک سطح معین، باعث کوچک شدن اندازه منافذ در بین نخ ها و باعث کوچک شدن کانال های هوا و کاهش انتقال حرارت جابجایی می شود. دمای پارچه افزایش و عملکرد عایق حرارتی بهبود می یابد. کاهش حجم هوا و افزایش سطح تماس بین نخ ها باعث انتقال حرارت هدایتی بهتر و در نتیجه انتقال حرارت بهبود می یابد [۵۵].

اثر نوع بافت بر خواص حرارتی

هندسه بر خواص حرارتی و مکانیکی تأثیر دارد؛ بنابراین یکی دیگر از پارامترهای تأثیرگذار بر خواص حرارتی نوع بافت پارچه است، تفاوت در بافت منجر به اندازه منافذ متفاوت می شود [۴۵، ۵۰، ۵۵]؛ بنابراین خواص حرارتی که تحت تأثیر نسبت الیاف به هوا در پارچه است را می توان با توجه به تفاوت بافت توضیح داد. در ادامه تأثیر نوع بافت بر هر یک از خواص حرارتی بیان شده است.

جذب حرارتی

طراحی پارچه از عوامل تأثیرگذار بر مقاومت حرارتی و نفوذپذیری بخار آب است [۸]. در مطالعه انجام شده در سال ۲۰۱۶، بر روی پارچه حلقوی دارای بافت های مختلف، نتایج نشان داد که بیشترین جذب حرارتی مربوط به ساختار یکروسیلندر و اینترلاک در مقایسه با بافت ریب و ساده است. ریب دارای کمترین جذب حرارتی است؛ بنابراین در تماس با پوست در مقایسه با اینترلاک و یکروسیلندر گرم تر به نظر می رسد [۲۲]. در مطالعه دیگر بر روی پارچه های حلقوی که سه نوع بافت ریب ۱×۱، یکروسیلندر و اینترلاک مقایسه شدند، نتایج متفاوتی از آزمایش های تجربی گزارش شده است، هدایت و مقاومت حرارتی بالا برای ساختارهای ریب

جدول ۶. تأثیر نوع بافت بر هدایت حرارتی گزارش شده توسط پژوهشگران

ردیف	نوع منسوج	جنس ماده	نوع بافت	نوع تأثیر	علت	مراجع
۱	پارچه حلقوی	آکرلیک-پنبه و بامبو	ریب ۱×۱ و ۲×۲، یکرو سیلندر و اینترلاک-بافت ساده ریب ۱×۱ و اینترلاک	ساختار اینترلاک دارای بیشترین هدایت حرارتی و ساختار یکرو سیلندر دارای کمترین هدایت حرارتی در دو حالت سفتی (سفت و شل) دارد	ساختار اینترلاک دارای ساختار سفت تر، دارای تخلخل کمتر در میان بقیه ساختارها است؛ بنابراین مقدار الیاف موجود در سطح مشخص از پارچه بیشتر و هدایت حرارتی الیاف بیشتر از مقدار هوای به دام افتاده بین آنها است	[۲۲،۴۷]
۲	پارچه تار پودی	پنبه	بافت های ساده، سرژه ۱/۳ و سرژه ۲/۲، ریب ۱/۱ و ۲/۲ hopsack	بالاترین هدایت حرارتی برای پارچه ساده است	بافت ساده دارای حجم هوای کمتر و به علت بالاتر بودن هدایت حرارتی الیاف نسبت به هوا، بعد از بافت ساده بیشترین هدایت حرارتی برای بافت های ریب ۲/۲ و سرژه ۱/۳	[۷۵]
۳	پارچه حلقوی	الیاف ابریشم	ribe ، یکرو سیلندر	هدایت حرارتی پارچه pique بیشتر از پارچه یکرو سیلندر	هدایت حرارتی پارچه pique بیشتر از پارچه یکرو سیلندر، دارای نخ ضخیم و طول حلقه کوچک	[۶۰]
۴	پارچه تار پودی	پلی پروپیلن، بازالت و نخ جوت	ساده، ریب و سرژه	بافت سرژه دارای بیشترین هدایت حرارتی و سپس بافت ریب	هدایت حرارتی تحت تأثیر حضور هوا در داخل پارچه نسبت به الیاف محتوی است. بافت سرژه دارای نفوذپذیری هوای بیشتر و هدایت حرارتی بالاتر، بافت ساده دارای بیشترین مقاومت حرارتی و بافت سرژه دارای کمترین مقاومت حرارتی است	[۴۵]

جدول ۷. تأثیر نوع بافت بر مقاومت حرارتی گزارش شده توسط پژوهشگران

ردیف	نوع منسوج	جنس ماده	نوع بافت	نوع تأثیر	علت	مراجع
۱	پارچه حلقوی	آکرلیک	ریب ۱×۱ و ۲×۲، یکرو سیلندر و اینترلاک	پارچه ریب ۲×۲ دارای بالاترین مقاومت حرارتی، مقاومت حرارتی در یکرو سیلندر کمتر از ریب و اینترلاک است	ساختار اینترلاک دارای تخلخل کمتر در میان بقیه ساختارها است؛ بنابراین مقدار الیاف موجود در سطح مشخصی از پارچه بیشتر و مقدار هوای به دام افتاده بین آنها کم است و مقاومت حرارتی آن کم است.	[۲۲،۷۶،۷۷]
۲	پارچه دولایه	آکرلیک و پشم و پلی استر	تاری پودی-ساده حلقوی- یکرو سیلندر	پارچه حلقوی مقاومت حرارتی بیشتر نسبت به پارچه تاری پودی-مقاومت حرارتی پارچه دوطرفه از پارچه تاری پودی و حلقوی بیشتر است	به خاطر وجود حلقه ها در ساختار پارچه حلقوی نسبت به پارچه تاری پودی، تخلخل بیشتر و در نتیجه مقدار هوای بیشتر است، هوا مقاومت بالاتری در انتقال حرارت دارد که باعث افزایش مقاومت حرارتی پارچه حلقوی می شود. همچنین بالاتر بودن وزن پارچه دوطرفه نسبت به پارچه های حلقوی و تاری پودی افزایش مقاومت حرارتی را منجر می شود.	[۳۷]
۳	پارچه تاری پودی	پنبه پلی استر-پنبه	بافت های cellular (مشتق شده از بافت ساتین)، diced، سرژه matt و سرژه ۲/۲ - half panama، بافت ساده، ottoman ۱/۱، نوع بافت مشتق شده از بافت سرژه، matt	بافت cellular و بافت diced دارای بیشترین مقاومت حرارتی و سرژه matt و سرژه ۲/۲ دارای مقاومت حرارتی کم-بیشترین مقاومت حرارتی برای بافت ساده ۱/۱ و کمترین مقدار آن برای matt ۲/۲	در بافت ساده ماکزیم تماس و درهم روی بین نخ های تاروپود وجود دارد؛ و در بافت matt ۲/۲ کمترین مقدار مقاومت حرارتی را دارا می باشد به این دلیل که در هم روی بین نخ ها در این بافت بسیار کمتر از سایر بافت های استفاده شده است.	[۱۹،۷۸]
۴	پارچه تاری پودی-پارچه های تاری پودی دولایه	الیاف شیشه-پنبه، پلی استر و نایلون	سرژه ۳/۳، سرژه ۳/۲، سرژه ۲/۲، سرژه ۱/۲ و ساده-ساده، سرژه ۱/۳ و سرژه ۲/۲	بیشترین عایق حرارتی مربوط به بافت سرژه ۳/۳-سرژه ۱/۲ دارای مقاومت حرارتی کمتر نسبت به سرژه ۲/۲	تفاوت در بافت منجر به اندازه منافذ و تخلخل متفاوت-بزرگ تر بودن فلوت ها بافت ۱/۳ است که باعث نفوذپذیری بیشتر و در نتیجه مقاومت حرارتی کمتر می شود.	[۵۲،۵۵]

وابسته به نوع الیاف بکار رفته در آن نیست. به عنوان مثال افزایش سطح تماس منجر به افزایش شار حرارتی و جریان حرارت از پوست و احساس خنک بودن می شود. سطح پارچه حلقوی با توجه به حلقه های موجود در سطح آن سخت تر و ناهموارتر از پارچه تار پودی است. سطح صافتر پارچه تار پودی سطح تماس بیشتری با پوست دارد بنابراین با سطح تماس بیشتر، مقدار انتقال حرارت از پوست در پارچه تار پودی بیشتر و پارچه تار پودی نسبت به حلقوی خنک تر است [۳۷].

اثر ضخامت بر خواص حرارتی

خواص حرارتی پارچه ها از جمله هدایت حرارتی در آن ها وابسته به عواملی چون ضخامت، مقدار هوای به دام افتاده و رفتار هوا در پارچه است [۸۱]. ضخامت پارچه دارای نسبت مستقیم با هدایت حرارتی و جذب حرارتی است. می توان این گونه بیان کرد که افزایش ضخامت پارچه همراه با افزایش وزن واحد سطح پارچه است. افزایش مواد لیفی که دارای هدایت حرارتی بالاتر از هوا هستند و همچنین افزایش نقاط تماس آن ها با یکدیگر باعث انتقال حرارت راحت در پارچه و در نتیجه افزایش هدایت حرارتی و جذب حرارتی شود [۷]. هدایت حرارتی بالاتر نشان دهنده انتقال حرارت سریع تر از یک سمت پارچه به سمت دیگر آن است که این موضوع باعث ایجاد احساس سردی بیشتر می شود [۳۵] از طرفی افزایش ضخامت پارچه موجب افزایش مقدار هوا داخل آن و در نتیجه بهبود عایق حرارتی می شود. رابطه مقاومت حرارتی و ضخامت بدین صورت است که پارچه های ضخیم تر مقاومت حرارتی بیشتری در برابر عبور حرارت دارند [۲۲ و ۸۲ و ۸۳].

حرارتی به ویژگی های سطحی دانست. جذب حرارتی کمتر به معنی گرم تر بودن منسوج در اولین تماس با پوست است. در واقع در سطح صاف تر، تماس بین پوست و پارچه افزایش می یابد و جریان حرارت راحت تر اتفاق می افتد که باعث ایجاد احساس سردی و خنکی می شود. در مطالعه انجام شده توسط آردوملو و ساریکام در سال ۲۰۱۶، در یک آنالیز تجربی بر روی ساختارهای حلقوی، نتایج نشان داد که ساختار ریب ۱×۱ ساختار مسطح تری نسبت به ریب ۲×۲ دارد، بنابراین دارای جذب حرارتی بالاتر است. در میان چند بافت، چون اینترلاک، میکروسیلندر و ریب، بیشترین جذب حرارتی مربوط به ساختار میکروسیلندر و اینترلاک است. همچنین به نظر می رسد که مقدار جذب حرارتی در ساختار ریب کمتر از جذب حرارتی در میکروسیلندر و اینترلاک است [۲۲].

نتایج حاصل از شبیه سازی و نتایج تجربی در مطالعه انجام شده توسط شن و همکاران نشان می دهد که در منسوجات چند لایه، هر چقدر سطح پارچه هموارتر باشد لایه هوا بین لایه ها نازک تر و نزدیک تر به سطح و مقاومت حرارتی به دست آمده کمتر است. مقاومت حرارتی با افزایش ناهمواری سطحی افزایش می یابد. زمانی که دولایه پارچه با ناهمواری سطحی مشابه کنار یکدیگر قرار گیرند، مقاومت حرارتی هوا برابر با مقاومت حرارتی متوسط آن دو لایه پارچه به دست می آید؛ و زمانی که دو پارچه از لحاظ ویژگی های سطحی متفاوت باشند مقاومت حرارتی هوا، نزدیک تر به پارچه با مقاومت حرارتی بیشتر بدست می آید. این بدین معنی است که در دولایه پارچه با ناهمواری سطحی متفاوت، مقاومت حرارتی لایه هوا بین آن دو، بیشتر وابسته به مقاومت حرارتی پارچه ناهموارتر است [۸۰]. احساس گرمایی عمدتاً با توجه به ساختار سطح پارچه تعیین می شود و

جدول ۸. تأثیر ضخامت بر خواص حرارتی گزارش شده توسط پژوهشگران

ردیف	نوع منسوج	خواص حرارتی	نوع تأثیر	علت	مراجع
۱	پارچه حلقوی	هدایت حرارتی	افزایش ضخامت همراه با کاهش هدایت حرارتی	افزایش ضخامت، افزایش تخلخل و حجم هوا و کاهش هدایت حرارتی	[۴۷]
۲	لایه های بی بافت - پارچه حلقوی	مقاومت حرارتی	افزایش ضخامت افزایش مقاومت حرارتی	افزایش ضخامت، به دام افتادن هوای بیشتر و افزایش مقاومت حرارتی - در پارچه نازک تر و متراکم تر مقدار مقاومت حرارتی کاهش، افزایش ضخامت پارچه، موجب افزایش مقدار هوا داخل آن و عایق حرارتی هوا بهتر از الیاف	[۴، ۲۲، ۴۲، ۵۰، ۵۴، ۵۶، ۶۳، ۸۴]
۳	چند لایه منسوج - پارچه دوطرفه	مقاومت حرارتی	افزایش تعداد لایه افزایش مقاومت حرارتی	افزایش تعداد لایه، همراه با افزایش تعداد لایه هوا بین لایه ها که منجر به افزایش مقاومت حرارتی کل می شود - افزایش ضخامت، به دام افتادن هوای بیشتر و افزایش مقاومت حرارتی	[۸۰، ۱۳، ۳۸، ۷۱، ۸۵، ۱۰۳، ۱۰۲، ۸۶، ۳۷]
۴	پارچه اسپیسر - پارچه تار پودی و بی بافت	مقاومت حرارتی	افزایش ضخامت بهبود عایق حرارتی	پارچه اسپیسر با نخ های اسپیسر طولانی و ضخامت بالای پارچه به دام افتادن راحت تر هوا داخل پارچه، بهبود عایق حرارتی	[۳، ۳۶، ۶۹، ۷۳]
۵	پارچه حلقوی - پارچه اسپیسر	هدایت و جذب حرارتی	افزایش ضخامت افزایش هدایت و جذب حرارتی - مقاومت حرارتی	افزایش ضخامت پارچه، افزایش وزن واحد سطح پارچه، افزایش مواد لیفی که دارای هدایت حرارتی بالاتر از هوا هستند و افزایش نقاط تماس آن ها با یکدیگر انتقال حرارت راحت در بین پارچه	[۷، ۶۰، ۸۷، ۴۰، ۵۰، ۸۸]
۶	پارچه تار پودی	مقاومت حرارتی	افزایش ضخامت افزایش عایق حرارتی	افزایش ضخامت پارچه، افزایش حجم هوای ایزوله شده در ساختار و بهبود عایق حرارتی	[۴۵، ۶۵]

جدول ۹. تأثیر دانسیته سطحی بر خواص حرارتی گزارش شده توسط پژوهشگران

ردیف	نوع منسوج	خواص حرارتی	نوع تأثیر	علت	مراجع
۱	پارچه حلقوی	مقاومت حرارتی	کاهش دانسیته برابر با افزایش مقاومت حرارتی	افزایش شکاف‌های هوایی داخل پارچه و بین الیاف و انتقال حرارت کم در پارچه	[۷,۴۲]
۲	پارچه حلقوی- پارچه اسپیسر	هدایت حرارتی	افزایش دانسیته همراه با افزایش هدایت حرارتی	افزایش تعداد نخ‌ها در واحد سطح، افزایش نقاط تماس و مواد لیفی، کم شدن حجم هوای پارچه	[۳,۷,۸,۶۹,۷۰] [۹۰-۸۷]
۳	پارچه‌های تار پودی و ساختارهای بی‌بافت- پارچه‌های دو طرفه (تاری پودی-حلقوی)	مقاومت حرارتی	افزایش دانسیته حجمی برابر با افزایش مقاومت حرارتی	ارتباط افزایش ضخامت با افزایش وزن واحد حجم و ارتباط آن‌ها با مقاومت حرارتی با توجه به رابطه (۲)- افزایش وزن و ضخامت نسبت به پارچه تار پودی و حلقوی دو سمت و بالاتر رفتن حجم هوای پارچه و در نتیجه افزایش مقاومت حرارتی	[۸۰,۱۳,۳۸,۷۱,۸۵] [۱۰۳,۱۰۲,۸۶,۳۷]

اثر دانسیته سطحی بر خواص حرارتی

حرارتی می‌شود [۲۳]. اثر پارامترهای بافت texturing نخ ایرجت بر خواص حرارتی نشان داد که هدایت حرارتی و مقاومت حرارتی تحت تأثیر پارامترهای بافت ایرجت نیستند و این خواص وابسته به هوای به دام افتاده در پارچه هستند [۹۲].

سرعت بافندگی و کشش نخ تأثیر معنی‌دار بر خواص حرارتی ندارند [۱۶]. با افزایش رطوبت، کاهش مقاومت حرارتی و افزایش هدایت حرارتی دیده می‌شود [۹۳-۹۵]. از طرفی روش‌های مختلف برای افزایش عایق حرارتی منسوجات معرفی شده است که می‌توان چند لایه کردن منسوجات، تغییر در شرایط تولید الیاف و پارچه و یا استفاده از موادی که باعث افزایش عایق حرارتی می‌شوند. از جمله این مواد، مواد سرامیکی است که با روش‌های مختلف برای افزایش عایق حرارتی می‌توان از آن استفاده کرد؛ به عنوان مثال بافت پارچه حلقوی پلی‌استری با الیاف شامل بایو سرامیک و راه دیگر لایه نشانی ماده بایو سرامیک بر روی پارچه با استفاده از روش‌های مختلف چون چاپ و استفاده از روش پلاسما. بیشترین مقاومت حرارتی در استفاده از روش کوت با پلاسما در مقایسه با روش استفاده از مواد در ترکیب با الیاف به دست آمد [۹۶].

کاهش قابل توجهی در مقدار هدایت حرارتی پارچه‌های اسپیسر بعد از اتصال لایه پشم به پارچه دیده می‌شود. واضح است که اتصال وب پشم به پارچه اسپیسر بدون توجه به تغییرات در دانسیته پارچه، هدایت حرارتی را کاهش می‌دهد. این به دلیل انسداد منافذ و کاهش جابجایی هوا در داخل ساختار است. انتظار می‌رود که با اتصال وب پشم به هر دو طرف پارچه

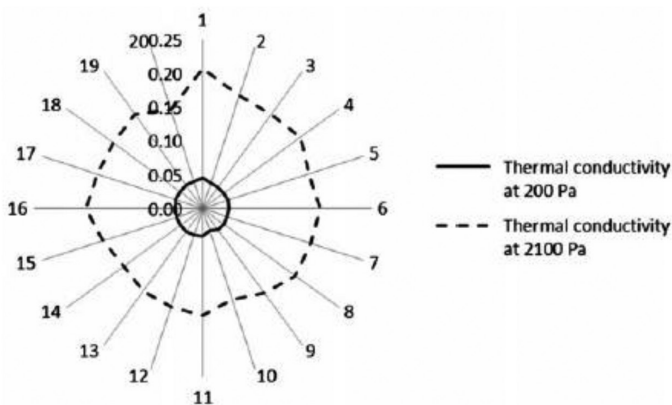
منظور از دانسیته سطحی، جرم واحد سطح می‌باشد که معمولاً بر اساس واحد استاندارد (kg/m^2) بیان و مورد استفاده قرار می‌گیرد. یکی از عوامل تأثیرگذار بر خواص حرارتی منسوجات دانسیته سطحی عنوان شده است [۳۷]. در برخی از مطالعات نیز با تقسیم این پارامتر بر ضخامت منسوج، دانسیته حجمی (kg/m^3) مورد بحث قرار گرفته است. به طور کلی افزایش این مقدار برای یک پارچه، به منظور بیشتر بودن الیاف نسبت به هوا، در واحد سطح می‌باشد؛ که باعث بالا رفتن وزن می‌شود [۵۴]. تأثیر دانسیته بر خواص حرارتی در برخی از مطالعات در ادامه بیان شده است.

سایر موارد (پارامترهای تولید و شرایط محیطی)

علاوه بر موارد ذکر شده تأثیر پارامترهای دیگری چون پارامترهای تولید، نانو مواد و شرایط محیطی و ... نیز بر خواص حرارتی مورد بررسی قرار گرفته است که در ادامه به برخی اشاره می‌شود: یکی از پارامترهای تأثیرگذار بر هدایت حرارتی آرایش الیاف است [۱۰,۲]. نتایج حاصل از بررسی‌ها نشان می‌دهد که الیاف موازی با شار حرارتی، نسبت به الیاف عمود در ساختار پارچه، چندین برابر مقاومت حرارتی را افزایش می‌دهند [۲,۹۱].

در مقایسه نخ‌های تولید شده با روش‌های مختلف و کاربرد آن‌ها در پارچه و تأثیر بر خواص حرارتی، راجا و همکاران در بررسی خود نشان دادند که هدایت حرارتی پارچه حلقوی یکروسیلندر تولید شده از نخ کامپکت کمتر از نخ رینگ و مقاومت حرارتی پارچه‌های حلقوی با نخ رینگ بیشتر از پارچه‌ها با نخ کامپکت هستند. می‌توان علت را در موینگی نخ‌ها جستجو کرد؛ نخ رینگ دارای موینگی بیشتر است. زمانی که موینگی نخ افزایش یابد، مقدار هوای ساکنی که از عبور حرارت جلوگیری می‌کند، افزایش می‌یابد. کاهش موینگی، احساس سردی ایجاد می‌کند. دومین دلیل ضخامت پارچه است؛ در نمره نخ یکسان، ضخامت پارچه حلقوی از نخ رینگ بالاتر است [۱۱].

در مقایسه پارچه‌های تولید شده از نخ رینگ با پارچه‌های تولید شده با نخ چرخانه‌ای، پارچه‌های دارای نخ رینگ، دارای هدایت حرارتی کمتر و مقاومت حرارتی بیشتر هستند. به علت موینگی نخ رینگ، پارچه حلقوی با نخ رینگ احساس گرم‌تر در اولین تماس دارند که این موضوع باعث افزایش هوای به دام افتاده در ساختار پارچه و در نتیجه کاهش هدایت



شکل ۹: تأثیر فشار بر هدایت حرارتی [۱۲]

جدول ۱۰. آنالیز آماری داده‌های حاصل از مطالعات تجربی گزارش شده توسط پژوهشگران

ردیف	نوع تحلیل	مراجع
۱	آنالیز آماری و رگرسیون	[۴۰-۳۶، ۴۰۹، ۱۹۰، ۲۲، ۳۶، ۴۲، ۴۶، ۵۳، ۵۶، ۵۸، ۶۱، ۶۴، ۹۴]
۲	آنوای یک‌طرفه	[۳۷، ۷۸، ۵۳]
۳	آنوای دوطرفه	[۴۰، ۲۲، ۵۸]

تأثیرگذار بودن روش و دستگاه مورد استفاده هم در تعیین پارامترهای منسوجات و هم در تعیین خواص حرارتی.

آنالیز آماری داده‌های حاصل از روش‌های تجربی

آنالیز واریانس یا تحلیل واریانس یکی از روش‌های پرکاربرد آماری است. هدف اصلی این روش آماری، مقایسه میانگین‌های چند گروه مستقل، در متغیر وابسته مورد نظر است. متغیرهای مستقل در مطالعات انجام شده هریک از پارامترهای تأثیرگذار بر خواص حرارتی و متغیر وابسته خواص حرارتی هستند. تحلیل واریانس، با توجه به تعداد متغیرهای مستقل و وابسته مورد استفاده، انواع مختلفی دارد. اگر تنها یک متغیر مستقل در تحلیل واریانس وجود داشته باشد، به آن تحلیل واریانس یک‌طرفه (آنوا) و اگر تعداد متغیر مستقل دو یا بیشتر از دو باشد؛ آنالیز واریانس دوطرفه یا چند طرفه نام دارد. البته اگر تعداد متغیرها بیشتر از سه یا چهار متغیر باشد، بهتر است از روش تحلیل رگرسیون خطی استفاده شود. آنالیز واریانس دوطرفه روشی مفید و پرکاربرد، در تحقیقات توصیفی و آزمایشی است. برای بررسی تأثیر تعاملی متغیرهای مستقل بر متغیر وابسته از روش آنالیز واریانس دوطرفه استفاده می‌شود.

در آنالیز واریانس دوطرفه، میانگین متغیر وابسته، در هر یک از سطوح متغیرهای مستقل، با هم مقایسه می‌شود. این قسمت، شبیه تحلیل واریانس یک‌طرفه است. در تحلیل واریانس دوطرفه، تأثیر روابط تعاملی متغیرهای مستقل، بر متغیر وابسته بررسی می‌شود. این قسمت تفاوت اصلی تحلیل واریانس یک‌طرفه و چند طرفه را نشان می‌دهد؛ زیرا در تحلیل واریانس یک‌طرفه روابط تعاملی بررسی نمی‌گردد. در ادامه استفاده مقالات مختلف از روش آماری جهت تحلیل در جدول ۱۰ بیان شده است [۹۹].

نتیجه‌گیری

شناخت دقیق و کاربردی خواص فیزیکی منسوجات مانند خواص حرارتی، با توجه به استفاده‌های بی‌شماری که در صنایع گوناگون دارند از مهم‌ترین اولویت‌های پژوهشگران می‌باشد. بررسی خواص راحتی حرارتی منسوجات در کاربردهایی مانند انواع لباس راحتی، ورزشی و ...، استفاده از منسوجات مختلف به‌عنوان عایق یا محافظ حرارتی، ترکیب مواد مختلف با منسوجات جهت رسیدن به عایق‌های حرارتی و تعیین شرایط تولید و محیطی مناسب و پارامترهای ساختاری بهینه در منسوجات، جهت رسیدن به خواص حرارتی معین از جمله کاربردهای مطالعات حرارتی منسوجات می‌باشد. ساختار متخلخل، غیرهمگن و دو فاز منسوجات، درک چگونگی انتقال حرارت در این نوع ماده را دشوار کرده است. پارامترهای زیادی

هدایت حرارتی را به میزان بیشتری کاهش دهد [۹۷].

همچنین اضافه کردن تکمیل‌های ضد روغن و ضد آب و سایر تکمیل‌ها موجب بسته شدن منافذ و یا کاهش اندازه منافذ در پارچه می‌شود و در نتیجه افزایش هدایت حرارتی و مقاومت حرارتی را منجر می‌شود [۴۹، ۶۵]. ضیایی و قانع [۹۸] در مطالعه خود به بررسی خواص عایق حرارتی پارچه اسپیسر حلقوی آغشته شده با پودر سرامیک پرداختند. مواد سرامیکی موادی شناخته شده و مفید برای کاربردهای عایق حرارتی هستند.

افزایش فشار موجب افزایش هدایت حرارتی می‌شود چون ضخامت کاهش می‌یابد. این وضعیت را می‌توان با هوای به دام افتاده در داخل ساختار نیز توضیح داد. زمانی که وزن پارچه افزایش یابد مقدار الیاف در واحد سطح افزایش می‌یابد و مقدار لایه هوا کم می‌شود. [۱۱]. داس و همکاران در سال ۲۰۱۴ [۱۲] مقاومت حرارتی پارچه چندلایه در شرایط آب و هوایی سرد تحت نیروهای فشاری مختلف را بررسی کردند. نتایج حاصل از این بررسی نشان داد که مقاومت حرارتی پارچه‌های چندلایه با افزایش جرم واحد سطح و کاهش تراکم سوزن زنی در پارچه سوزن زنی صرف‌نظر از روش آزمون افزایش می‌یابد. به‌طور مشابه با افزایش تراکم سوزن زنی، درگیری بیشتر، مقاومت حرارتی در پارچه‌های چندلایه کاهش می‌یابد. اثر نیروی فشاری بر هدایت حرارتی پارچه چندلایه در شکل ۹ نشان داده شده است. با توجه به شکل می‌توان مشاهده کرد که هدایت حرارتی با افزایش نیروی فشاری، افزایش می‌یابد. با توجه به افزایش درگیری الیاف در پارچه، تحت تأثیر فشار و کاهش کسر حجمی هوا یا تخلخل مواد که فاکتور مهم و تأثیرگذار بر هدایت حرارتی اثر است؛ بنابراین با افزایش نیروی فشاری ضخامت پارچه کاهش می‌یابد، حجم هوای محبوس در پارچه چندلایه کاهش و هدایت حرارتی پارچه افزایش می‌یابد.

در بررسی مجموعه چندلایه که شامل پارچه حلقوی و بی بافت است، نتایج نشان داد که زمانی که دانسیته پانچ و عمق نفوذ افزایش یابد مقاومت حرارتی کاهش می‌یابد. این موضوع با توجه به تأثیری که افزایش دانسیته پانچ و عمق نفوذ سوزن بر ضخامت و تخلخل دارد، است. هرچه سطح دانسیته پانچ بیشتر باشد، این افزایش جرم واحد سطح مقاومت حرارتی بیشتر افزایش می‌یابد [۱۳].

در نتایج بیان شده از تأثیر پارامترهای مختلف در خواص حرارتی منسوجات، نتایج متفاوت و بعضاً متضاد دیده می‌شود. در مورد تفاوت‌های حاصل شده در مورد نتایج می‌توان به چند عامل اشاره کرد:

تأثیرگذار بودن سایر پارامترهای منسوج که در تعیین خواص حرارتی به آن‌ها اشاره نشده است (به‌عنوان مثال: در بررسی تأثیر جنس پارچه بر خواص حرارتی، میزان تخلخل و ضخامت پارچه نیز به‌عنوان پارامترهای مؤثر، معرفی نشده است).

سایر پارامترهای منسوج نیز می‌شود. بنابراین رفتار حرارتی منسوجات وابسته به هر یک از این پارامترها و تغییرات آن‌ها است. با توجه به بررسی‌های انجام شده و نتایج نشان داده شده در این مطالعه، مهم‌ترین پارامترهای منسوجات که تأثیرات بیشتری بر خواص حرارتی دارند را می‌توان جنس منسوج، تخلخل (وابسته به نوع بافت) و ضخامت نام برد. در این مطالعه سعی بر مرور کامل انواع پارامترهای تأثیرگذار بر خواص حرارتی به صورت مستقیم و غیر مستقیم شده است.

بر خواص حرارتی منسوجات تأثیرگذار هستند، جنس، ظرافت و سطح مقطع نخ‌ها، تخلخل، وزن و ضخامت پارچه، نوع و تراکم بافت، ویژگی‌های سطحی و انواع تکمیل‌های انجام گرفته بر روی منسوجات از جمله آن‌ها می‌باشد که توسط پژوهشگران، در مطالعات مختلف مورد تحلیل و بررسی قرار گرفته است.

از آنجا که تمام پارامترهای ذکر شده در یک منسوج، در ارتباط با یکدیگر هستند، حداقل تغییرات در هر یک از پارامترها به طور معمول باعث تغییر

مراجع

1. Ukponmwan, J.O., The thermal-insulation properties of fabrics. *Textile Progress.*, 24, 1-57, 1993.
2. دهقان، ن، پیوندی، پ، بهینه‌سازی مدل هدایت حرارتی پارچه‌های اسپیسر با استفاده از الگوریتم رقابت استعماری، یازدهمین کنفرانس ملی مهندسی نساجی، دانشگاه گیلان اردیبهشت ۱۳۹۷.
3. Arumugam, V., Mishra, R., Militky, J., and Salacova, J., Investigation on thermo-physiological and compression characteristics of weft-knitted 3D spacer fabrics. *J. Tex. Ins.*, 108, 1095-1105, 2017.
4. Prakash, C., Ramakrishnan, G., Effect of blend proportion on thermal behaviour of bamboo knitted fabrics. *J. Tex. Ins.*, 104, 907-913, 2013.
5. Kadapalayam Chinnasamy, K., Chidambaram, P., Influence of the bamboo/cotton fibre blend proportion on the thermal comfort properties of single jersey knitted fabrics. *Fibres. Tex. East. Eur.*, 2017.
6. Varshney, R.K., Kothari, V.K. and Dhamija, S., A study on thermophysiological comfort properties of fabrics in relation to constituent fibre fineness and cross-sectional shapes. *J. Tex. Ins.*, 101, 495-505, 2010.
7. Afzal, A., Ahmad, S., Rasheed, A., Ahmad, F., Ifikhar, F. and Nawab, Y., Influence of fabric parameters on thermal comfort performance of double layer knitted interlock fabrics. *Autex. Res. J.*, 17, 20-26, 2017.
8. Onal, L., and Yildirim, M., Comfort properties of functional three-dimensional knitted spacer fabrics for home-textile applications. *Tex. Res. J.*, 82, 1751-1764, 2012.
9. Karaca, E., Kahraman, N., Omeroglu, S. and Becerir, B., Effects of fiber cross sectional shape and weave pattern on thermal comfort properties of polyester woven fabrics. *Fibres. Tex. East. Eur.*, 3, 67-72, 2012.
10. Bogaty, H., Hollies, N.R. and Harris, M., Some thermal properties of fabrics: part I: The effect of fiber arrangement. *Tex. Res. J.*, 27, 445-449, 1957.
11. Raja, D., Prakash, C., Gunasekaran, G. and Koushik, C.V., A study on thermal properties of single-jersey knitted fabrics produced from ring and compact folded yarns. *J. Tex. Ins.*, 106, 359-365, 2015.
12. Karunamoorthy, S., and Das, A., Study on thermal resistance of multilayered fabrics under different compressional loads. *J. Tex. Ins.*, 105, 538-546, 2014.
13. Shabaridharan, M., and Das, A., Study on thermal and evaporative resistances of multilayered fabric ensembles. *J. Tex. Ins.*, 104, 1025-1041, 2013.
۱۴. اینکروپرا، ف. پ، پی دویت، د، مترجمان، رستمی، ع. الف، حمایت، ش، مقدمه‌ای بر انتقال حرارت. ۱۳۶۷.
۱۵. سنجل، ی. الف، قجر، الف. ج، مترجمان: عالم رجبی، ع. الف، نصرآزادانی، ع. یدالله پور، م، انتقال گرما و جرم، ویرایش چهارم. ۱۳۹۳.
16. Ghosh, A., Mal, P., Majumdar, A., and Banerjee, D., An investigation on air and thermal transmission through knitted fabric structures using the Taguchi method. *Autex. Res. J.*, 17, 152-163, 2017.
17. Ertekin, M., Ertekin, G., and Marmaralı, A., Analysis of thermal comfort properties of fabrics for protective applications. *J. Tex. Ins.*, 109, 1091-1098, 2018.
۱۸. اینکروپرا، ف. پ، پی دویت، د، مترجمان، رستمی، ع. الف، شیرازی، م، مقدمه‌ای بر انتقال گرما. ویرایش چهارم. ۱۳۸۵.
19. Özdemir, H., Thermal comfort properties of clothing fabrics woven with polyester/cotton blend yarns. *Autex. Res. J.*, 17, 135-141, 2017.
20. Kothari, V.K., and Bhattacharjee, D., Prediction of thermal resistance of woven fabrics. Part I: Mathematical model. *J. Tex. Ins.*, 99, 421-432, 2008.
21. Cengel, Y. A., Heat transfer a practical approach. McGraw-Hill. 1-60, 2003.
22. Erdumlu, N., and Saricam, C., Investigating the effect of some

- fabric parameters on the thermal comfort properties of flat knitted acrylic fabrics for winter wear. *Tex. Res. J.*, 87, 1349-1359, 2017.
23. Oglakcioglu, N., Celik, P., Ute, T.B., Marmarali, A., and Kadoğlu, H., Thermal comfort properties of angora rabbit/cotton fiber blended knitted fabrics. *Tex. Res. J.*, 79, 888-894, 2009.
 24. ASTM D 1518-85: Standard test method for thermal transmittance of textile materials, American Society for Testing and Materials, 2003.
 25. Saville, B.P., Comfort, in *Physical testing of textiles*. Woodhead Publishing Limited: Cambridge, England. 209-243, 1999.
 26. KES-F7 Thermo-Lab-II B, precise and fast Thermal-property measuring instrument. Katotech Ltd: Japan.
 27. Mahanta, N. K., and Abramson, A. R., The dual-mode heat flow meter technique: A versatile method for characterizing thermal conductivity. *Int. J. Heat and Mass. Trans.*, 53, 5581-5586, 2010.
 28. DTC-25. Thermal conductivity meter, TA Instruments: USA, 2014.
 29. ASTM E1530: Standard test method for evaluating the resistance of thermal transmission of materials by the guarded heat flow meter technique. American Society for Testing and Materials.
 30. Hes, L., and Dolezal, I., New method and equipment for measuring thermal properties of textiles, *J. Tex. Machin. Society. Japan.*, 42, T124-T128, 1989.
 31. Standard, B., BS 4745: Determination of the thermal resistance of textiles-Two plate method: Fixed pressure procedure., British Standard Institution, 2005.
 32. Uttam, D., Objective measurement of heat transport through clothing. *Int. J. Eng. Res. Develop.*, 2, 43-47, 2012.
 33. Fayala, F., Alibi, H., Benltoufa, S., and Jemni, A., Neural Network for Predicting Thermal Conductivity of Knit Materials. *J. Eng. Fabrics & Fibers*, 3, 53-60, 2008.
 34. Zhu, L., Wang, X., Blanchonette, I. and Naebe, M., Thermal comfort properties of bifacial fabrics. *Tex. Res. J.*, 89, 43-51, 2019.
 35. Xiao, X., Hua, T., Wang, J., Li, L., and Au, W., Transfer and mechanical behavior of three-dimensional honeycomb fabric. *Tex. Res. J.*, 85, 1281-1292, 2015.
 36. Yang, Y., and Hu, H., Spacer fabric-based exuding wound dressing-Part I: Structural design, fabrication and property evaluation of spacer fabrics. *Tex. Res. J.*, 87, 1469-1480, 2017.
 37. Zhu, L., Naebe, M., Blanchonette, I., and Wang, X., Heat transfer properties of bifacial fabrics. *Tex. Res. J.*, 87, 2307-2313, 2017.
 38. Shen, H., Xie, K., Shi, H., Yan, X., Tu, L., Xu, Y., and Wang, J., Analysis of heat transfer characteristics in textiles and factors affecting thermal properties by modeling. *Tex. Res. J.*, 2019.
 39. Abro, Z.A., Chen, N., Yifan, Z., Cheng-Yu, H., Abassi, A.M.R., Simair, A.A., Ahmed, R. and Hussain, A., Investigation on Thermal Comfort Characteristics of Regenerated Bamboo and Cotton Woven Structured Fabrics. *Autex. Res. J.*, 18, 323-329, 2018.
 40. Korycki, R., and Więzowska, A., Relation between basic structural parameters of knitted fur fabrics and their heat transmission resistance. *Fibres. Tex. East. Eur.*, 16, 68-75, 2008.
 41. Matusiak, M., Modelling the thermal resistance of woven fabrics. *J. Tex. Ins.*, 104, 426-437, 2013.
 42. Özkan, E.T., and Meriç, B., Thermophysiological comfort properties of different knitted fabrics used in cycling clothes. *Tex. Res. J.*, 85, 62-70, 2015.
 43. Angelova, R.A., Kyosov, M., and Stankov, P., Numerical investigation of the heat transfer through woven textiles by the jet system theory. *J. Tex. Ins.*, 110, 386-395, 2019.
 44. Mangat, M.M., Hes, L., and Bajzik, V., Thermal resistance models of selected fabrics in wet state and their experimental verification. *Tex. Res. J.*, 85, 200-210, 2015.
 45. Jamshaid, H., Mishra, R., and Militky, J., Thermal and mechanical characterization of novel basalt woven hybrid structures. *J. Tex. Ins.*, 107, 462-471, 2016.
 46. Mahbub, R.F., Wang, L., Arnold, L., Kaneslingam, S., and Padhye, R., Thermal comfort properties of Kevlar and Kevlar/wool fabrics. *Tex. Res. J.*, 84, 2094-2102, 2014.
 47. Majumdar, A., Modelling of thermal conductivity of knitted fabrics made of cotton-bamboo yarns using artificial neural network. *J. Tex. Ins.*, 102, 752-762, 2011.
 48. Ramakrishnan, G., Umapathy, P., and Prakash, C., Comfort properties of bamboo/cotton blended knitted fabrics produced from rotor spun yarns. *J. Tex. Ins.*, 106, 1371-1376, 2015.
 49. Jankoska, M., and Demboski, G., Influence of structure variation and finishing on woven fabric thermal properties. *Fibres. Tex. East. Eur.*, 2018.
 50. Oglakcioglu, N., and Marmarali, A., Thermal comfort properties of some knitted structures. *Fibres. Tex. East. Eur.*, 15, 64-65, 2007.
 51. Li, Y., Zhu, Q., and Yeung, K.W., Influence of thickness and porosity on coupled heat and liquid moisture transfer in porous textiles. *Tex. Res. J.*, 72, 435-446, 2002.
 52. Nazir, M.U., Shaker, K., Nawab, Y., Fazal, M.Z., Khan, M.I., and Umair, M., Investigating the effect of material and weave design on comfort properties of bilayer-woven fabrics. *J. Tex. Ins.*, 108,

- 1319-1326, 2017.
53. Kakvan, A., Shaikhzadeh Najar, S., and Psikuta, A., Study on effect of blend ratio on thermal comfort properties of cotton/nylon-blended fabrics with high-performance Kermel fibre. *J. Tex. Ins.*, 106, 674-682, 2015.
 54. Kaleeswaran, P., and Kothari, V.K., Thermal resistance of non-woven waddings. *J. Tex. Ins.*, 108, 1657-1661, 2017.
 55. Zheng, Z., Wang, H., Zhao, X., and Zhang, N., Simulation of the effects of structural parameters of glass fiber fabric on the thermal insulation property. *Tex. Res. J.*, 88, 1954-1964, 2018.
 56. Gnanauthayan, G., Rengasamy, R.S., and Kothari, V.K., Heat insulation characteristics of high bulk nonwovens. *J. Tex. Ins.*, 108, 2173-2179, 2017.
 57. Martin, J.R., and Lamb, G.E., Measurement of thermal conductivity of nonwovens using a dynamic method. *Tex. Res. J.*, 57, 721-727, 1987.
 58. Jhanji, Y., Gupta, D., and Kothari, V.K., Effect of loop length and filament fineness on thermo-physiological properties of polyester-cotton plated knit structures. *J. Tex. Ins.*, 106, 383-394, 2015.
 59. Chidambaram, P., Govind, R., and Venkataraman, K.C., The effect of loop length and yarn linear density on the thermal properties of bamboo knitted fabric. *Autex. Res. J.*, 11, 102-105, 2011.
 60. Senthil Kumar, B., and Ramachandran, T., Influence of Knitting Process Parameters on the Thermal Comfort Properties of Eri Silk Knitted Fabrics. *Fibres. Tex. East. Eur.*, 2018.
 61. Kaynak, H.K., and Babaarslan, O., Effects of filament linear density on the comfort related properties of polyester knitted fabrics. *Fibres. Tex. East. Eur.*, 2016.
 62. Jhanji, Y., Gupta, D., and Kothari, V.K., Thermal and mass transport properties of polyester-cotton plated fabrics in relation to back layer fibre profiles and face layer yarn types. *J. Tex. Ins.*, 109, 669-676, 2018.
 63. Bakhtiari, M., Hasani, H., Zarrebini, M., and Hassanzadeh, S., Investigation of the thermal comfort properties of knitted fabric produced from Estabragh (Milkweed)/cotton-blended yarns. *J. Tex. Ins.*, 106, 47-56, 2015.
 64. Celep, G., and Yükksekaya, M.E., Comparison of thermal comfort properties of single jersey fabrics produced by hollow yarns with different hollowness ratio. *J. Tex. Ins.*, 108, 165-171, 2017.
 65. Dal, V., Şimşek, R., Hes, L., Akçagün, E., and Yilmaz, A., Investigation of thermal comfort properties of zinc oxide coated woven cotton fabric. *J. Tex. Ins.*, 108, 337-340, 2017.
 66. Hes, L., and de Araujo, M., Simulation of the effect of air gaps between the skin and a wet fabric on resulting cooling flow. *Tex. Res. J.*, 80, 1488-1497, 2010.
 67. Du, N., Fan, J., and Wu, H., Optimum porosity of fibrous porous materials for thermal insulation. *Fibers & Polymers*, 9, 27-33, 2008.
 68. Mangat, M.M., Militký, J., and Hes, L., Thermal resistance of cotton denim fabric under various moisture conditions. *Compar. Wet. Milling. Action. Fibrous. Solid. Mat.*, 16, 35, 2012.
 69. Crina, B., Blaga, M., Luminita, V., and Mishra, R., Comfort Properties of Functional Weft Knitted Spacer Fabrics. *J. Tex. Apparel.*, 23, 2013.
 70. Chen, C., Du, Z., Yu, W., and Dias, T., Analysis of physical properties and structure design of weft-knitted spacer fabric with high porosity. *Tex. Res. J.*, 88, 59-68, 2018.
 71. Morris, M.A., Thermal insulation of single and multiple layers of fabrics. *Tex. Res. J.*, 25, 766-773, 1955.
 72. Mukhopadhyay, A., Ishtiaque, S.M., and Uttam, D., Impact of structural variations in hollow yarn on heat and moisture transport properties of fabrics. *J. Tex. Ins.*, 102, 700-712, 2011.
 73. Angelova, R.A., Reiners, P., Georgieva, E., Konova, H.P., Pruss, B., and Kyosev, Y., Heat and mass transfer through outerwear clothing for protection from cold: influence of geometrical, structural and mass characteristics of the textile layers. *Tex. Res. J.*, 87, 1060-1070, 2017.
 74. Hearle, J.W., and Morton, W.E., Physical properties of textile fibres. Elsevier, 2008.
 75. Matusiak, M., and Sikorski, K., Influence of the structure of woven fabrics on their thermal insulation properties. *Fibres. Tex. East. Eur.*, 19, 88, 2011.
 76. Oglakcioglu, N., Cay, A., Marmarali, A., Characteristics of knitted structures produced by engineered polyester yarns and their blends in terms of thermal comfort. *J. Eng. Fibers. Fabrics.*, 10, 32-41, 2015.
 77. Majumdar, A., Mukhopadhyay, S., and Yadav, R., Thermal properties of knitted fabrics made from cotton and regenerated bamboo cellulosic fibres. *Int. J. Therm. Sci.*, 49, 2042-2048, 2010.
 78. Ahmad, S., Ahmad, F., Afzal, A., Rasheed, A., Mohsin, M., and Ahmad, N., Effect of weave structure on thermo-physiological properties of cotton fabrics. *AUTEX. Res. J.*, 15, 30-34, 2015.

79. Ucar, N., and Yilmaz, T., Thermal properties of 1×1 , 2×2 , and 3×3 rib knit fabrics. *Fibres. Tex. East. Eur.*, 12, 34-38, 2004.
80. Shen, H., Tu, L., Yan, X., and Sukigara, S., Obtaining the thermal resistance of air enclosed at the interface of multilayer fabrics by simulation. *Tex. Res. J.*, 89, 3178-3188, 2019.
81. Slater, F.P., and Rees, W.H., The protective value of clothing. *J. Tex. Ins. Proc.*, 37, P132-P153, 1946.
82. Onofrei, E., Rocha, A.M., and Catarino, A., The influence of knitted fabrics' structure on the thermal and moisture management properties. *J. Eng. Fibers. Fabrics.*, 6, 10-22, 2011.
83. Schacher, L., Adolphe, D.C., and Drean, J.Y., Comparison between thermal insulation and thermal properties of classical and microfibre polyester fabrics. *Int. J. Cloth. Sci. Tech.*, 12, 84-95, 2000.
84. Obendorf, S.K., and Smith, J.P., Heat transfer characteristics of nonwoven insulating materials. *Tex. Res. J.*, 56, 691-696, 1986.
85. Baxter, S., and Cassie, A.B.D., Thermal Insulating Properties of Clothing. *J. Tex. Ins. Trans.*, 34, T41-T54. 1943.
86. Morris, G.J., Thermal properties of textile materials. *J. Tex. Ins. Trans.*, 44, T449-T476, 1953.
87. Arumugam, V., Mishra, R., Militky, J., Davies, L., and Slater, S., Thermal and water vapor transmission through porous warp knitted 3D spacer fabrics for car upholstery applications. *J. Tex. Ins.*, 1-13. 2017.
88. Yip, J., and Ng, S. P., Study of three-dimensional spacer fabrics: Physical and mechanical properties. *J. mat. Proc. Tech.*, 206, 359-364. 2008.
89. Abdel-Rehim, Z. S., Saad, M. M., El-Shakankery, M., and Hanafy, I., Textile fabrics as thermal insulators. *AUTEX. Res. J.*, 6, 148-161. 2006.
90. Mishra, R., Veerakumar, A., and Militky, J., Thermo-physiological properties of 3D spacer knitted fabrics. *Int. J. Cloth. Sci. Tech.*, 28, 328-339. 2016.
91. Crow, R.M., Heat and moisture transfer in clothing systems. Transfer through materials, a literature review Part 1. Ottawa: ON: Defence Research Establishment, Kong Polytechnic University, 1974.
92. Rengasamy, R.S., Das, B.R., and Patil, Y.B., Thermo-physiological comfort characteristics of polyester air-jet-textured and cotton-yarn fabrics. *J. Tex. Ins.*, 100, 507-511. 2009.
93. Mangat, M.M., and Hes, L., Thermal resistance of denim fabric under dynamic moist conditions and its investigational confirmation. *Fibres. Tex. East. Eur.*, 2014.
94. Huang, J., Wu, J., and Xu, W., Coupling effects of steady-state heat and water vapor transfer through fabrics. *Tex. Res. J.*, 84, 2157-2165, 2014.
95. Dias, T., and Delkumburewatte, G. B., The influence of moisture content on the thermal conductivity of a knitted structure. *Measur. Sci. Tech.*, 18, 1304-1314. 2007.
96. Kubiliene, D., Sankauskaite, A., Abraitienė, A., Krauledas, S., and Barauskas, R., Investigation of thermal properties of ceramic-containing knitted textile materials. *Fibres. Tex. East. Eur.*, 3, 63-66, 2016.
97. Mao, N., and Russell, S. J., The thermal insulation properties of spacer fabrics with a mechanically integrated wool fiber surface. *Tex. Res. J.*, 77, 914-922, 2007.
98. Ziaei, M., and Ghane, M., Thermal insulation property of spacer fabrics integrated by ceramic powder impregnated fabrics. *J. Indus. Tex.*, 43, 20-33, 2013.
۹۹. ریچارد، آ، جانسون، و، ترجمه: حسینعلی، ن، تحلیل آماری چندمتغیری کاربردی، ۱۳۷۸.
100. Matusiak, M., and Kowalczyk, S., Thermal-insulation properties of multilayer textile packages. *Autex. Res. J.*, 14, 299-307, 2014.
101. Bhattacharjee, D., and Kothari, V. K., Heat transfer through woven textiles. *Int. J. Heat. Mass. Trans.*, 52, 2155-2160, 2009.
102. Matusiak, M., Investigation of the thermal insulation properties of multilayer textiles. *Fibres. Tex. East. Eur.*, 14, 98-102. 2006.
103. Sybilska, W., and Korycki, R., Analysis of thermal-insulating parameters in two-and three-layer textiles with semi-permeable membranes. *Fibres. Tex. East. Eur.*, 5, 80-87, 2016.
104. Gilewicz, P., Dominiak, J., Cichocka, A., and Frydrych, I., Change in Structural and Thermal Properties of Textile Fabric Packages Containing Basalt Fibres after Fatigue Bending Loading. *Fibres. Tex. East. Eur.*, 2013.
105. Kanat, Z.E., and Özdil, N., Application of artificial neural network (ANN) for the prediction of thermal resistance of knitted fabrics at different moisture content. *J. Tex. Ins.*, 109, 1247-1253, 2018.

Review of Heat Transfer in Textiles, Part 1: Experimental Studies

Neda Dehghan¹, Pedram Payvandy^{*,2}

1. Department of Textile Engineering, Faculty of Engineering, Yazd University, P.O. Box: 89195-741, Yazd, Iran.

2. Department of Textile Engineering, Faculty of Engineering, Yazd University, P.O. Box: 89195-741, Yazd, Iran.

Abstract

Understanding the thermal properties of textiles, such as thermal comfort, thermal protection, and thermal insulation, is one of the most interests in the industry. The thermal conductivity and thermal resistance are the key parameters for heat transfer in the textiles and it can be evaluated by different ways: experimental method, analytical solution method and numerical method. However, numerical and experimental methods have received more attention. The thermal behavior analysis of textiles that have different geometrical and structural properties is possible by experimental methods. Different parameters such as materials, morphological properties, fineness, cross-section, porosity, yarn structure and its properties as well as fabric structural and physical properties and its finishing properties are the factors that affect the thermal properties. The aim of this paper is to survey the published experimental results of textiles thermal behavior. In part one reviews the methods of thermal properties measurement and geometrical and structural parameters affecting thermal properties introduced by the researchers are also presented.

Keywords

Thermal properties Tester,
Materials,
Fabric structure,
Yarn structure,
Morphological properties

(*) Address Correspondence to P. Payvandy, E-mail: peivandi@yazd.ac.ir