

بررسی عوامل تاثیرگذار بر انتقال گرما در پارچه‌های سه‌بعدی با استفاده از پردازش تصویر

ندا دهقان

دانشجوی دکتری، گروه مهندسی نساجی، دانشگاه یزد، یزد، ایران، neda.dehghan@stu.yazd.ac.ir

پدرام پیوندی*

دانشیار، گروه مهندسی نساجی، دانشگاه یزد، یزد، ایران، peivandi@yazd.ac.ir

چکیده

شناخت خواص گرمایی پارچه سه‌بعدی با توجه به کاربردهای بی‌شماری که در انواع صنایع مانند صنایع اتومبیل‌سازی، تشک‌ها و ... دارد، دارای اهمیت است. خواص گرمایی از جمله خواص فیزیکی است که تحت تاثیر پارامترهای ساختاری چون ضخامت، چگالی و ... قرار دارد. هدف از این مطالعه، تعیین خواص گرمایی پارچه سه‌بعدی، توزیع دما و ارتباط بین میزان انتقال گرما و پارامترهای پارچه است. بدین منظور، روش پردازش تصویر بر اساس الگوریتم خوشه‌بندی k-means جهت تعیین دمای هر نقطه از نمونه و توزیع دما، مورد استفاده قرار گرفت. نمودار توزیع دما در عرض پارچه به صورت سه‌بعدی حاصل از پردازش تصویر با استفاده از تکنیک خوشه‌بندی نشان داد که آهنگ انتقال گرما و انتقال گرما در نمونه‌ها وابسته به ضخامت و چگالی پارچه‌ها است، به نحوی که نمونه‌های متراکم دارای توزیع دمایی یکنواخت‌تر هستند. همچنین در بررسی ارتباط پارامترهای پارچه با نحوه انتقال گرما در آن‌ها، نتایج نشان می‌دهد که با افزایش ضخامت و چگالی میزان رسانایی گرمایی افزایش می‌یابد. تکنیک پردازش تصویر برای محاسبه توزیع دما در اجسام سه‌بعدی به عنوان روشی دقیق پیشنهاد می‌گردد.

واژه‌های کلیدی: تصاویر گرمایی، پردازش تصویر، توزیع دما، پارچه سه‌بعدی، روش خوشه‌بندی k-means.

An Investigation of Parameters on Heat Transfer of Spacer Fabric Using Image Processing Method

N. Dehghan

Textile Engineering Department, Faculty of Engineering, University of Yazd, Yazd, Iran

P. Payvandy

Textile Engineering Department, Faculty of Engineering, University of Yazd, Yazd, Iran

Abstract

The knowledge of the thermal properties of Spacer fabrics is important with regard to their vast applications in most industries such as the automotive industry, mattresses, etc. Thermal properties, are as one of the physical features of a textile, are influenced by its structural parameters such as thickness, density, and so on. This paper aims at the measurement of thermal properties, heat distribution and the relation between thermal transmission and parameters of the spacer fabric. For this purpose, an image processing method was used to produce clustered images based on the k-means clustering algorithm to determine the sample temperature and heat distribution.

The 3D thermal distribution of fabric and the results of image processing with the clustering technique showed that the heat transfer rate and heat distribution of fabrics depended on the thickness and density of the fabrics, so that dense samples have more uniform heat distribution. At the relationship between heat transfer and the fabric parameters, the results showed that thermal conductivity increases as the thickness and density of the spacer fabric increases. Image processing technique is proposed as an accurate method to determining the heat distribution in three-dimensional objects.

Keywords: Thermal Images, Image Processing, Thermal Distribution, Spacer Fabrics, K-means Clustering Method.

۱- مقدمه

شناخت خواص گرمایی منسوجات به واسطه کاربردهایی که در زمینه‌های عایق گرمایی، حفاظت گرمایی، راحتی گرمایی و ... دارند؛ یکی از موضوعات مورد توجه در بسیاری از مطالعات می‌باشد. پارچه سه‌بعدی^۱ یک منسوج سه‌بعدی با دو لایه بیرونی مشابه یا متفاوت با یکدیگر و یک لایه میانی، شامل نخ‌های فاصله‌سازی است که دو لایه بیرونی را به یکدیگر متصل می‌سازد. الیاف در ساختار پارچه‌های سه‌بعدی نه تنها در راستای سطح، بلکه در جهت ضخامت منسوج قرار می‌گیرند. ساختمان سه‌بعدی این نوع پارچه‌ها و همچنین فضای خالی بین دو سطح پارچه، باعث ایجاد خصوصیات متنوعی مانند گردش هوا داخل پارچه، قابلیت برگشت پذیری پس از اعمال نیرو، انتقال گرما و ...

می‌شود. مجموعه این خصوصیات، یک ساختار ویژه را برای پارچه‌های سه‌بعدی فراهم می‌کند که کاربردهای متنوعی را جهت استفاده در پوشاک ورزشی، پزشکی، تشک‌ها، لباس‌های محافظ، صنایع اتومبیل‌سازی، کامپوزیت‌ها و ... فراهم کرده است. مطالعه خواص گرمایی منسوجات، با استفاده از روش‌های تجربی با استفاده از دستگاه‌های آزمایشگاهی [۱-۵]، روش‌های وابسته به هندسه پارچه مانند مدل-سازی تحلیلی یا عددی [۶-۱۰] و یا با استفاده از روش پردازش تصویر با اهدافی چون تعیین رسانایی یا مقاومت گرمایی، بررسی تاثیر پارامترهای ساختاری منسوج، شرایط آزمایش و محیط بر خواص گرمایی انجام می‌شود.

در محاسبه خواص گرمایی پارچه‌های سه‌بعدی و بررسی ارتباط خواص با ساختار پارچه، ایی و همکارانش [۱] در مطالعه خود رفتار فشاری، تفاوت ضخامت، خواص گرمایی و نفوذپذیری هوا در پارچه‌های سه‌بعدی حلقوی تار مورد استفاده در صندلی ماشین را مورد بررسی قرار داده و آن‌ها را با فوم پلی‌یورتان مقایسه کردند. نتایج حاصل از این

^۱ Spacer

مطالعه نشان داد که پارچه‌های سه‌بعدی نسبت به فوم‌های پلی‌یورتان، خواص گرمایی بهتر، تنفس‌پذیری بالاتر و بازگشت بهتر پس از اعمال فشار دارا هستند. این پارچه‌ها در مدت زمان طولانی‌تر در ضخامت اصلی خود باقی مانده و رسانایی گرمایی بالاتر و مقاومت گرمایی کمتر از فوم دارند؛ بنابراین پارچه سه‌بعدی خیلی راحت‌تر و سریع‌تر گرما را از بدن انسان انتقال داده و گرمای کمتری هنگام نشستن بر روی پوشش پارچه‌ای نسبت به فوم ایجاد می‌شود. تعیین اثر پارامترهای پارچه سه‌بعدی (مواد تشکیل دهنده، تراکم بافت، ضخامت، نوع نخ لایه میانی و ویژگی‌های بافت) بر روی خواص پارچه‌ها مثل نفوذپذیری هوا، رسانایی گرمایی در بررسی توسط آرومگام و همکارانش انجام شد. نتایج بررسی آن‌ها نشان دادند که پارچه‌های سه‌بعدی با چگالی کمتر و نفوذپذیری هوای بالاتر دارای رسانایی گرمایی کمتر هستند. پارچه‌های متراکم‌تر رسانایی گرمایی بهتری دارند [۲].

بررسی ویژگی‌های پارچه‌های سه‌بعدی مانند خواص مکانیکی در تنش کم، نفوذپذیری هوا و رسانایی گرمایی؛ توسط ایپ و همکارانش انجام شد [۳]. خواص مکانیکی در تنش کم بدست آمده نشان می‌دهد که خواص کششی، خمشی و فشاری پارچه‌های سه‌بعدی به مقدار زیاد وابسته به نوع پارچه سه‌بعدی (حلقوی تار یا حلقوی پودی)، نوع نخ مورد استفاده در لایه میانی (مونوفیلامنت، چند فیلامنت) نمره نخ، جنس نخ، نوع اتصال نخ‌ها، نفوذپذیری هوا و رسانایی گرمایی پارچه سه‌بعدی است. پارچه سه‌بعدی از دسته مواد بسیار تنفس پذیر است. این منجر به افزایش سطح راحتی در مقایسه با موادی چون فوم است. میشر و همکارانش [۴] در مطالعه خود نشان دادند که هر دو پارامتر نفوذپذیری هوا و رسانایی گرمایی مرتبط با چگالی پارچه است و ویژگی‌های پارچه سه‌بعدی اثر بسیار مهمی بر نفوذپذیری هوا، رسانایی گرمایی و خواص مکانیکی پارچه سه‌بعدی دارد. هدف اصلی این مطالعه، تولید پارچه سه‌بعدی مناسب برای شرایط آب و هوایی سرد و به عنوان لباس ورزشی است. مقدار پایین‌تر رسانایی گرمایی در پارچه‌ها نشان دهنده انتقال گرمای کمتر از سطح پوست به پارچه است و همین منجر به احساس گرمی می‌شود. نتایج این مطالعه نشان می‌دهد که چگالی کمتر در پارچه منجر به رسانایی گرمایی کمتر می‌شود و این بدلیل فضای بیشتر برای محبوس بودن هوا داخل پارچه است.

آرومگام و همکارانش [۵] به بررسی خواص گرمایی و انتقال بخار آب پارچه‌های سه‌بعدی مختلف با تغییر در ساختار، چگالی، ضخامت، نوع مواد و ... پرداختند. افزایش رسانایی گرمایی و جذب گرما زمانی مشاهده می‌شود که ضخامت و چگالی پارچه افزایش یابد. نتایج به دست آمده نشان داد که مهم‌ترین عامل موثر بر رسانایی گرمایی و نفوذپذیری بخار آب، ضخامت پارچه است. ساختار سطحی پارچه سه‌بعدی یک نقش مهمی در تعیین رفتار انتقال گرما و بخار آب دارد.

در تعیین خواص گرمایی پارچه‌های سه‌بعدی با استفاده از روش‌های هندسی و مدل‌سازی، ضیایی و قانع [۶] در مطالعه خود به بررسی خواص عایق گرمایی پارچه سه‌بعدی حلقوی آغشته شده با پودر سرامیک پرداختند. در این مطالعه، یک مدل سری برای عایق گرمایی در مجموعه چند لایه در نظر گرفته شد، زیرا ساختار چند لایه اثر مهمی بر افزایش مقاومت گرمایی دارد. مقاومت گرمایی هر لایه در ابتدا به صورت جداگانه محاسبه، سپس مقاومت گرمایی مجموعه چند لایه با توجه به مدل سری بدست آمد. بارازکاس و همکارانش، خواص گرمایی

پارچه سه‌بعدی را با اضافه کردن پودر سرامیک [۷]، اضافه کردن مواد تغییر فاز دهنده [۸] و ارائه مدل برای شبیه سازی عددی تغییرات گرما و بخار آب در بین چند لایه منسوج دارای یک لایه پارچه سه‌بعدی و پوست انسان برای لباس‌های نظامی و محافظتی [۹] ارائه دادند. هر لایه توسط یک المان نشان داده شده و توسط ویژگی‌هایی چون نفوذپذیری بخار آب و هوا، مقاومت گرمایی و ظرفیت گرمایی و همچنین خواص جذب بخار آب مشخص می‌شود. مدل محاسباتی قادر به پیش بینی دما و رطوبت در هر یک از فاصله‌های بین هر دو جفت لایه مجاور است [۹]. در بررسی انجام شده توسط مائو و راسل [۱۰] وب پشم به یک سمت از پارچه سه‌بعدی حلقوی متصل شده است. در مقایسه با پارچه‌های معمولی، اتصال الیاف پشم به ساختار پارچه سه‌بعدی، رسانایی گرمایی را به صورت قابل توجهی کاهش می‌دهد. واضح است که اتصال وب پشم به پارچه سه‌بعدی، بدون توجه به تغییر در چگالی پارچه، بدلیل انسداد منافذ و کاهش جابجایی هوا در داخل ساختار، رسانایی گرمایی را کاهش می‌دهد. انتظار می‌رود که با اتصال وب پشم به هر دو طرف پارچه رسانایی گرمایی به میزان بیشتری کاهش یابد.

یکی دیگر از روش‌های معرفی شده جهت بررسی خواص گرمایی منسوجات، استفاده از روش پردازش تصویر است. پردازش تصاویر گرمایی منسوجات مختلف در چندین مطالعه انجام گرفته است [۱۱-۱۴]. استفاده از مواد تغییر فاز دهنده برای تغییر خواص و ایجاد عملکرد محافظتی در لباس‌ها، یا استفاده از مواد مختلف چون پودر سرامیک، جهت ایجاد منسوج به عنوان عایق گرمایی از جمله موارد استفاده از روش پردازش تصاویر گرمایی، جهت بررسی تأثیر مواد استفاده شده است [۱۱]. برخی از مطالعات نیز، به بررسی تصاویر گرمایی تهیه شده از مانکن‌های گرمایی، برای بررسی راحتی گرمایی لباس‌های مختلف بر روی مانکن، می‌پردازد [۱۲].

تشخیص عیوب با استفاده از تصاویر گرمایی در مطالعات تجربی در صنایع مختلف مانند بتن تقویت شده با الیاف و برای منسوجات مورد استفاده قرار می‌گیرد. در طول فرآیند تولید پارچه، تعداد زیادی عیوب ناشی از مواد اولیه، ریسندگی، بافندگی و یا فرآیندهای تکمیل ممکن است اتفاق بیافتند. در پردازش تصاویر گرمایی می‌توان مناطقی که دارای عیب هستند را با توجه به اختلاف دما، تشخیص داد. جهت تشخیص عیوب در منسوجات، در مطالعه انجام شده توسط یلدیز و همکاران، دستگاه کنترل کیفیت مجهز به هیتر مادون قرمز و دوربین حرارتی است. با استفاده از روش پردازش ویدئو و الگوریتم مبتنی بر FFT سه نوع عیب در ویدئو تشخیص داده شد. [۱۳]. یکی دیگر از روش‌های مورد استفاده، مبتنی بر پردازش تصاویر گرمایی، روش تقسیم‌بندی عیوب بر اساس گرما در منسوجات، با الگوریتم همسایگی K-nearest است. با استفاده از اختلاف دما بین منطقه دارای عیب و مناطق بدون عیب، مساحت قسمتی از پارچه که دارای عیب است، تشخیص داده می‌شود. مقایسه نتایج کنترل کیفیت تجربی و روش پردازش تصویر نشان داد که روش پیشنهادی با دقت ۹۶ درصد، به‌صورت مؤثر عمل می‌کند [۱۴].

اهمیت درک خواص منسوجات با توجه به کاربردهای رو به رشد آن‌ها در اکثر صنایع، دلیلی بر توسعه روش‌های سریع و دقیق تعیین خواص، مانند روش پردازش تصویر است. پردازش تصاویر گرمایی، یک تکنیک جدید جهت تعیین خواص فیزیکی از جمله خواص گرمایی و

کمترین فاصله تا مرکز آن خوشه را دارا باشد. با تکرار همین روال می‌توان در هر تکرار با میانگین‌گیری از داده‌ها، مراکز جدیدی برای آن‌ها محاسبه کرد و مجدداً داده‌ها را به خوشه‌های جدید نسبت داد. این روند تا زمانی ادامه پیدا می‌کند که دیگر تغییری در داده‌ها حاصل نشود [۱۹].

الگوریتم خوشه‌بندی k-means با مراکز خوشه تصادفی کار می‌کند، بنابراین نتایج خوشه‌بندی، متأثر از مراکز خوشه اولیه انتخابی می‌باشد و الگوریتم دارای جواب یکتایی نیست. مسئله پیدا کردن خوشه‌بندی بهینه، در این زمینه مورد توجه است و معمولاً مسئله اعتبار خوشه نامیده می‌شود. شاخص‌های اعتبار خوشه‌بندی اغلب از دو معیار فشردگی و پراکندگی برای ارزیابی خوشه‌بندی انجام شده استفاده می‌کنند. از جمله این شاخص‌ها می‌توان به شاخص دیویس بولدین اشاره کرد. این معیار از شباهت بین دو خوشه (Rij) استفاده می‌کند که بر اساس پراکندگی خوشه Si و عدم شباهت بین دو خوشه i و j (dij) تعریف می‌شود که به صورت معادله (۳) است.

$$DB = \frac{1}{n_c} \sum_{i=1}^{n_c} R_i \quad (3)$$

که در آن n_c تعداد خوشه‌هاست و R_i به شکل زیر تعریف می‌شود:

$$R_i = \max(R_{ij}), i = 1 \dots n_c, j = 1 \dots n_c \quad (4)$$

در معادله (۴)، R_{ij} شباهت بین دو خوشه است که به شکل زیر تعریف می‌شود:

$$R_{ij} = \frac{S_i + S_j}{d_{ij}} \quad (5)$$

که در آن d_{ij} و S_i با معادله‌های زیر محاسبه می‌شوند:

$$d_{ij} = d(v_i, v_j) \quad (6)$$

در معادله (۶) تابع d تابع فاصله و v_i و v_j به ترتیب مراکز خوشه نام و ژام هستند که در نتیجه d_{ij} فاصله بین مراکز خوشه نام و ژام خواهد بود:

$$S_i = \frac{1}{\|c_i\|} \sum_{x \in c_i} d(x, v_i) \quad (7)$$

در معادله (۷) منظور از C_i تعداد داده‌ها در خوشه نام و V_i مرکز خوشه نام است. این شاخص در واقع میانگین شباهت بین هر خوشه با شبیه‌ترین خوشه به آن را محاسبه می‌کند. بهینه‌ترین حالت خوشه-بندی زمانی حاصل می‌شود که فاصله درون خوشه‌های کمترین و فاصله بین خوشه‌های بیشترین مقدار را داشته باشد. در نتیجه هر چه مقدار این شاخص کمتر باشد، خوشه‌های بهتری تولید شده است [۲۰، ۲۱].

۴- تعریف مساله

خواصی چون رسانایی و مقاومت گرمایی از جمله پارامترهای مهم در معرفی خواص گرمایی یک منسوج هستند که می‌توان با آن‌ها توانایی یا عدم توانایی یک منسوج در برابر عبور گرما را بیان کرد. روش‌های مختلفی برای تعیین این خواص معرفی شد.

در سال‌های اخیر پردازش تصویر و پردازش ویدئو به عنوان شاخه جدیدی از علوم، برای ارزیابی خواص منسوجات از جمله پدیده‌های فیزیکی مورد توجه و استقبال قرار گرفته است. در روش پردازش تصویر، سیستم یک تصویر را، به عنوان ورودی دریافت کرده و با انجام

تعیین توزیع دما در اجسام به شمار می‌رود. با توجه به مطالعات ذکر شده، پردازش تصاویر گرمایی منسوجات بسیار محدود و در مورد پارچه سه‌بعدی تاکنون انجام نشده است. در این مطالعه با هدف بررسی خاصیت انتقال گرما در پارچه سه‌بعدی با استفاده از پردازش تصاویر، از تکنیک خوشه‌بندی K-means استفاده و پروفایل گرمایی و تصاویر گرمایی خوشه‌بندی، توزیع دما در این نوع منسوج سه‌بعدی تعیین شدند. استفاده از تکنیک خوشه‌بندی و پردازش تصویر جهت تعیین توزیع دما در پارچه سه‌بعدی را می‌توان به عنوان شاخصه‌های نوآورانه پژوهش حاضر برشمرد.

۲- خواص گرمایی

ضریب رسانایی گرمایی، مقدار انرژی گرمایی که ماده می‌تواند در ضخامت واحد و در زمان واحد 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 رسانایی گرمایی جسم بزرگ‌تر باشد، گرمای بیشتری از جسم عبور می‌کند و برعکس هر چه مقدار عددی ضریب رسانایی گرمایی جسم کوچک‌تر باشد جسم عایق‌تر می‌باشد [۱۵]. ضریب رسانایی گرمایی را با K ، مقدار شار گرمایی عبوری از نمونه Q ، مساحت سطح (A) ، اختلاف دما دو طرف نمونه ΔT و ضخامت ماده را با t نشان می‌دهند.

$$k = \frac{Qt}{A \Delta T} \quad (1)$$

مقاومت گرمایی، توانایی ماده برای مانع شدن از انتقال گرما از یک سطح پارچه به سطوح دیگر را بیان می‌کند. ضخامت پارچه و رسانایی گرمایی به عنوان عوامل مهم تأثیرگذار بر عایق گرمایی شناخته می‌شوند. مقاومت گرمایی وابسته به جریان گرما و برعکس ضریب انتقال گرما است و مقدار مقاومت ماده در مقابل جریان انرژی گرمایی می‌باشد. ضریب مقاومت گرمایی را با R نشان می‌دهند، مقدار دقیق R عبارت است از عکس ضریب انتقال گرما (K) ضرب در ضخامت ماده (t) [۱۶]. رابطه بین مقاومت گرمایی و رسانایی گرمایی به صورت زیر محاسبه می‌شود:

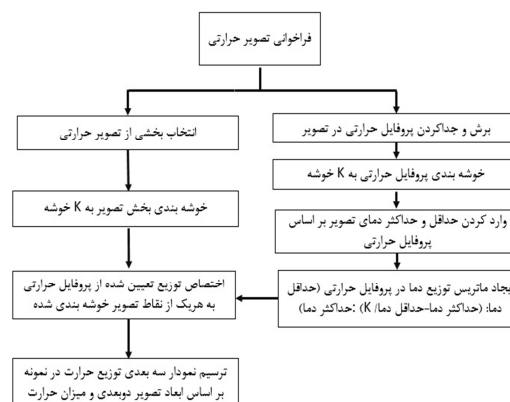
$$R = \frac{t}{k} \quad (2)$$

روش‌های مختلفی برای تعیین رسانایی گرمایی در منسوجات وجود دارد، سه روش پرکاربرد عبارت‌اند از: ۱- روش دو صفحه که در آن پارچه بین دو صفحه فلزی که در آن گرادیان دما وجود دارد؛ قرار داده می‌شود [۱۶]. ۲- روش سرد کردن، در این روش یک‌طرف پارچه روی یک صفحه داغ و سطح دیگر پارچه در معرض هوا قرار می‌گیرد [۱۷]. ۳- روش دما ثابت که در آن پارچه اطراف منبع گرمایی پیچیده می‌شود [۱۸].

۳- الگوریتم خوشه‌بندی K-means

روش K-Means یکی از روش‌های خوشه‌بندی داده‌ها در داده‌کاوی است. این الگوریتم بر مبنای تعداد ثابت خوشه، سعی در تخمین موارد زیر دارد: ۱- به دست آوردن نقاطی به عنوان مراکز خوشه‌ها که این نقاط در واقع، همان میانگین نقاط متعلق به هر خوشه هستند. ۲- نسبت دادن هر نمونه داده به یک خوشه که آن داده

یک سری عملیات مورفولوژیکی و محاسباتی بر روی آن، یک تصویر با یک مجموعه از متغیرهای مربوط به تصویر، به عنوان خروجی از آن استخراج می‌شود. این خروجی‌ها می‌تواند شامل: نمایش و چاپ تصویر، ویرایش و یا بهبود تصویر، تشخیص یک ویژگی خاص در تصویر و ... باشد. انتخاب بهترین تکنیک پردازش تصویر برای تعیین هر یک از خواص، دارای اهمیت است. در این مطالعه، با توجه به ساختار متفاوت پارچه سه‌بعدی و تغییرات توزیع دما در آن‌ها در طول انتقال گرما، از تکنیک خوشه‌بندی در روش پردازش تصویر استفاده شده است. الگوریتم روش پردازش تصویر مورد استفاده جهت تعیین نحوه توزیع دما در نمونه پارچه سه‌بعدی در زمان‌های مختلف در شکل ۱ نشان داده شده است.



شکل ۱- الگوریتم پردازش تصویر

تابع اصلی مورد استفاده در پردازش تصاویر گرمایی، تابع خوشه‌بندی K-means است که اساس کار آن تقسیم‌بندی تصویر گرمایی به تعداد خوشه تعریف شده برای آن است.

۵- تجربیات

۵-۱- مواد

در این مطالعه ۱۲ نمونه پارچه سه‌بعدی با مشخصات بیان شده در جدول ۱ و ۲ مورد استفاده قرار گرفت.

پارچه‌های سه‌بعدی با دستگاه راشل مدل Karl Mayer HDR-RD با شش شانه و گیج ۲۸ تولید شدند. جنس تمام نمونه‌ها ۱۰۰ درصد پلی‌استر و مونوفیلaments پلی‌استر با قطر ۲۲۰ میکرون و نخ‌های چند فیلامنتی 600D/192F برای لایه‌های دو طرف می‌باشد. طرح بافت لایه‌های دو طرف یکسان و پارچه‌ها از نظر ضخامت، ساختار و تراکم نخ در لایه میانی، متفاوت هستند. ضخامت نمونه‌ها با توجه به استاندارد ASTM D1777 و وزن واحد حجم آن‌ها نیز با استفاده از استاندارد ASTM D3776 تعیین شدند. حجم پارچه سه‌بعدی، با توجه به ابعاد آن و ضخامت قابل محاسبه است، بنابراین چگالی پارچه بدست می‌آید. از هر پارچه، پنج نمونه بررسی، متوسط پارامترها و ضریب تغییرات در جدول ۱، ارائه شده است.

جدول ۱- مشخصات پارچه‌های سه‌بعدی

کد نمونه	تخلخل (%)	پراکندگی مونوفیلamentsها (Density/cm ²)	چگالی (kg/m ³)	ضخامت (mm)
S1	۹۳/۳۴	۶۰	۲/۲۲ (cv%:۶/۵۸)	۳۷ (cv%:۲/۱۹)
S2	۹۴/۱۳	۵۰	۰/۳۵ (cv%:۵/۲۵)	۱۰ (cv%:۱/۳۶)
S3	۸۹/۳۹	۶۰	۲/۳۰ (cv%:۴/۶۹)	۲۴ (cv%:۲/۲۰)
S4	۹۱/۷۴	۴۸	۱/۸۲ (cv%:۵/۱۵)	۲۲ (cv%:۲/۳۷)
S5	۹۵/۸۹	۳۸	۰/۵۶ (cv%:۴/۱۹)	۱۰ (cv%:۲/۱۵)
S6	۹۳/۴۸	۶۰	۲/۳۳ (cv%:۵/۹۴)	۳۰ (cv%:۲/۴۱)
S7	۹۵/۲۱	۳۶	۱/۴۳ (cv%:۶/۱۲)	۲۳ (cv%:۳/۲۹)
S8	۹۶/۲۳	۳۰	۰/۵۲ (cv%:۵/۴۷)	۱۰ (cv%:۲/۱۰)
S9	۹۴/۲۷	۶۰	۱/۹۷ (cv%:۶/۲۹)	۲۶ (cv%:۳/۰۳)
S10	۹۴/۳۶	۶۰	۰/۸۸ (cv%:۴/۲۲)	۲۰ (cv%:۱/۶۸)
S11	۹۵/۵۷	۴۲	۰/۶۱ (cv%:۵/۵۳)	۱۰ (cv%:۲/۲۵)
S12	۹۲/۹۴	۸۰	۱/۷۵ (cv%:۴/۶۸)	۲۷ (cv%:۲/۳۱)

تخلخل نمونه‌ها با استفاده از رابطه (۸) محاسبه گردید، با توجه به این رابطه تخلخل پارچه وابسته به چگالی پارچه (ρ_{fabric}) و چگالی الیاف (ρ_{fiber}) مورد استفاده در پارچه که در اینجا برای الیاف پلی‌استر برابر با (1.38 g/cm^3) است.

$$\varepsilon = 1 - \frac{\rho_{fabric}}{\rho_{fiber}} \quad (8)$$

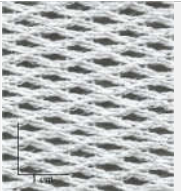
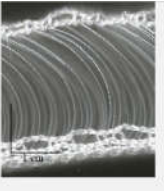
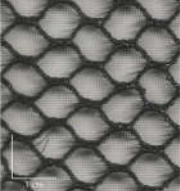
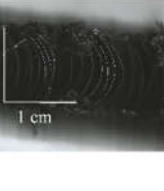
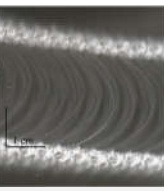
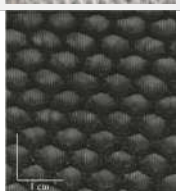
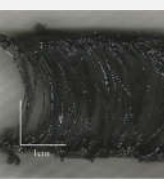
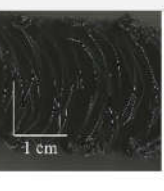
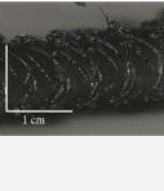
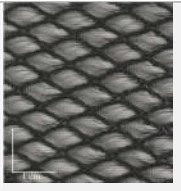
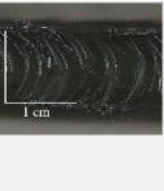
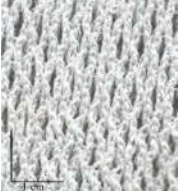
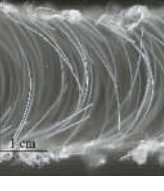
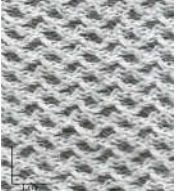
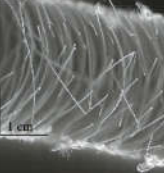
۵-۲- روش‌ها

۵-۲-۱- انجام آزمون (تصویربرداری)

جهت تعیین میزان انتقال گرما در نمونه‌های سه‌بعدی مورد استفاده در این مطالعه، از تصاویر گرمایی به دست آمده از دوربین حرارتی مدل FLIR-C2 با حساسیت دمایی ۰/۱ درجه سلسیوس استفاده گردید. بدین منظور نمونه‌های سه‌بعدی بر روی صفحه داغ قرار گرفته و تصاویر گرمایی از نمای جانبی نمونه‌ها با فاصله دوربین ۱۵ سانتیمتر، از لحظه قرارگیری نمونه بر روی صفحه داغ با فواصل زمانی ۵ ثانیه به مدت ۳ دقیقه تهیه شدند.

این زمان به دلیل، به حداقل رسیدن تغییرات دمایی بر روی سطح نمونه و همچنین تا زمان ثابت نگه‌داشتن توان ورودی به صفحه داغ انتخاب گردید. هرچند این زمان در برخی از نمونه‌ها به دلیل ضخامت کمتر و زودتر رسیدن به تعادل گرمایی، کمتر (یعنی ۲ دقیقه) است. از هر یک از پارچه‌ها، ۵ نمونه مورد بررسی قرار گرفت.

جدول ۲- تصاویر پارچه‌های سه‌بعدی

کد نمونه‌ها	روی فنی- پشت فنی	نمای جانبی	کد نمونه‌ها	روی فنی- پشت فنی	نمای جانبی
S1			S7		
S2			S8		
S3			S9		
S4			S10		
S5			S11		
S6			S12		

صنعتی همچون استفاده به‌عنوان فوم صندلی ماشین، دمای صفحه آزمون در دمای ۶۰ درجه سلسیوس تنظیم و با توجه به روابط ارائه شده، میزان رسانایی گرمایی نمونه‌ها محاسبه گردید. با توجه به تصاویر گرمایی تهیه شده، جهت محاسبه میزان رسانایی گرمایی در هریک از نمونه‌ها دمای صفحه داغ، به‌عنوان دمای اولیه و دمای سطح به‌عنوان دمای سرد استفاده شد. برای هر پارچه، ۵ نمونه مورد آزمون قرار گرفته و میزان رسانایی گرمایی و ضریب تغییرات به دست آمده در جدول ۳ گزارش شده است.

پس از تهیه تصاویر گرمایی به‌صورت متوالی، از روش پردازش تصویر (شکل ۱) جهت تعیین توزیع دمایی در نمونه‌ها استفاده گردید. روند قرارگیری اجزاء، تهیه و پردازش تصاویر در شکل ۲ نشان داده شده است.

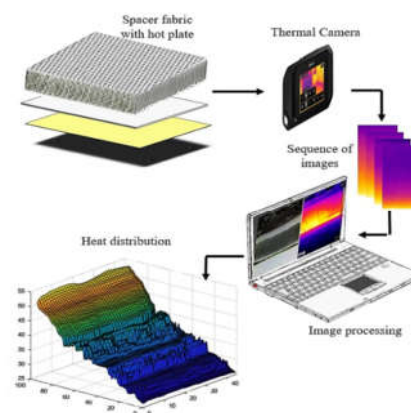
۲-۵- تعیین رسانایی گرمایی

در این مطالعه، جهت بررسی میزان انتقال گرما در پارچه‌های سه‌بعدی از دستگاه توسعه داده شده با توجه به استاندارد ASTM D1518-85، 2003 که بر اساس روش سرد کردن است [۱۷]، استفاده گردید. نمونه پارچه‌های مورد استفاده در این بررسی، از نمونه‌های موجود در بازار که دارای مصرف تجاری هستند، استفاده و بدلیل کاربرد

۶- نتایج

۵-۱ - پردازش تصویر گرمایی

در ساختار ویژه پارچه سه‌بعدی، بدلیل سه‌بعدی بودن، انتقال گرما علاوه بر سطح در بعد سوم نمونه یعنی ضخامت نیز رخ خواهد داد، توزیع دما در ضخامت وابسته به ویژگی‌های پارچه (ضخامت، چگالی و تخلخل) است. از آنجا که این نوع منسوجات به عنوان تشک و روکش صندلی نیز مورد استفاده قرار می‌گیرند محاسبه توزیع دما در عرض نمونه دارای اهمیت است.



شکل ۲- فرآیند تعیین توزیع دما در پارچه سه‌بعدی

در شکل ۳ تصویر گرمایی دو نمونه پارچه سه‌بعدی (S11, S1) با ضخامت‌های ۳۷ و ۱۰ میلی‌متر نشان داده شده است. از شکل ۳ مشاهده می‌شود، پس از گذشت ۲ دقیقه، دمای حداکثر افزایش می‌یابد که این موضوع به دلیل مقاومت تماسی نمونه با صفحه داغ در طول انتقال گرما در نمونه است. البته قابل‌ذکر است که تصویربرداری از نمونه‌ها تا زمانی که توان ورودی به صفحه داغ برای ثابت نگه‌داشتن دمای ۶۰ درجه، ثابت بود؛ انجام گرفت.

با توجه به ضخامت کمتر نمونه S11 نسبت به نمونه S1 و همچنین میزان تخلخل بالاتر آن (جدول ۱)، انتظار می‌رود که نمونه S11 با اختلاف دمای کمتری به تعادل گرمایی برسد. همان‌طور که مشاهده می‌شود، اختلاف دمای ماکزیمم برای نمونه ضخیم با ضخامت ۳۷ میلی‌متر ۷٫۶ درجه سلسیوس و برای نمونه با ضخامت ۱۰ میلی‌متر برابر با ۴٫۳ درجه سلسیوس است. شکل ۴ روند تغییرات دما نسبت به زمان در تصاویر گرمایی را برای دو نمونه پارچه سه‌بعدی (S12, S2) با ضخامت‌های ۲۷ و ۱۰ میلی‌متر نشان می‌دهد.

جدول ۳- رسانایی گرمایی محاسبه شده با استفاده از روش تجربی

کد پارچه	توان موردنیاز برای ثابت نگه‌داشتن دما (W)	رسانایی گرمایی (W/M.°C)
S1	۸/۵۵	۰/۲۱۱ (cv%:۰/۸۸)
S2	۹/۵۳	۰/۰۷۰ (cv%:۰/۴۲)
S3	۸/۴۴	۰/۱۵۷ (cv%:۰/۶۸)
S4	۹/۱۴	۰/۱۵۴

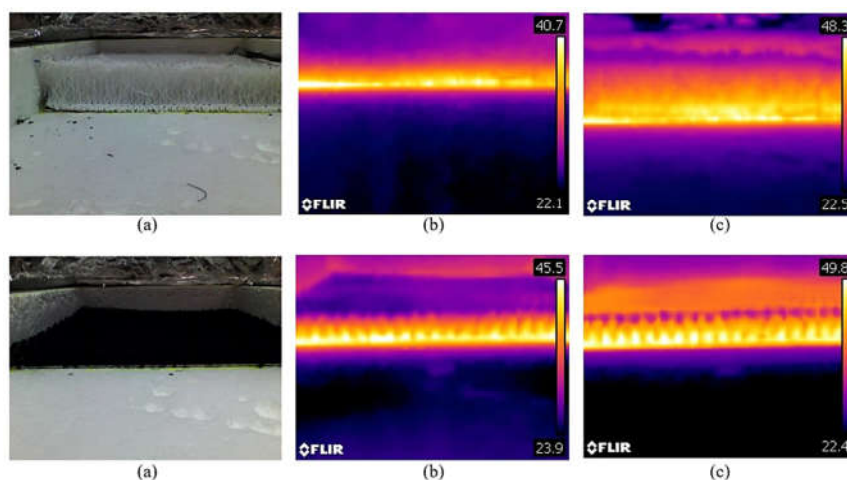
S5	۹/۵۳	۰/۰۸۰ (cv%:۰/۶۵)
S6	۸/۳۳	۰/۱۷۲ (cv%:۰/۸۰)
S7	۹/۱۴	۰/۱۵۵ (cv%:۰/۴۸)
S8	۹/۵۳	۰/۰۸۶ (cv%:۰/۵۷)
S9	۸/۵۲	۰/۱۵۹ (cv%:۰/۴۹)
S10	۸/۵۲	۰/۱۲۹ (cv%:۰/۹۱)
S11	۹/۵۳	۰/۰۹۸ (cv%:۰/۳۶)
S12	۹/۳۷	۰/۲۱۳ (cv%:۰/۷۷)

از شکل ۴ مشاهده می‌شود توزیع دما و رسیدن به تعادل دمایی در نمونه با ضخامت کم بسیار سریع‌تر از نمونه ضخیم اتفاق افتاده و پس از آن توزیع گرما، در سطح نمونه، انجام می‌شود. در نمونه‌های ضخیم مدت زمان بیشتر برای توزیع گرما در ضخامت طول می‌کشد و سپس گرما در سطح توزیع می‌گردد.

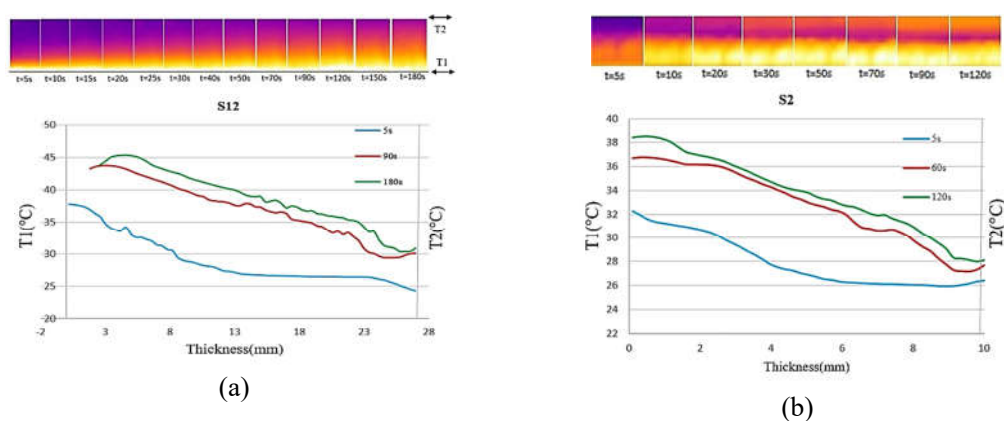
روند تغییرات دما در تصاویر گرمایی متوالی در زمان‌های مختلف در ضخامت پارچه نشان دهنده تأثیر ضخامت بر توزیع دما می‌باشد؛ به‌طوری که در نمونه با ضخامت بیشتر، رسیدن به تعادل گرمایی در مدت زمان بیشتر و به‌تدریج رخ می‌دهد، این در حالی است که نمونه با ضخامت کم با سرعت بیشتری به تعادل دمایی می‌رسد. همان‌طور که روند تغییرات گرما در نمودار نشان داده شده است، حداکثر تغییرات دمایی در نمونه‌ها در ثانیه‌های اولیه اتفاق می‌افتد و این پدیده را می‌توان با توجه به اختلاف دما در زمان ۵ ثانیه و ۹۰ ثانیه شکل ۴ (a) و در زمان ۵ ثانیه و ۶۰ ثانیه شکل ۴ (b) مشاهده کرد و اختلاف دما از زمان نصف تا زمان نهایی خیلی کم است. در نمودارها (T1) دمای صفحه داغ و (T2) دمای سطح نمونه است.

در این مطالعه جهت محاسبه دمای دقیق در هر نقطه از نمونه با توجه به پروفایل گرمایی در تصویر و تعیین توزیع دما از الگوریتم K-means ابتدا برای تقسیم‌بندی پروفایل گرمایی به تعداد خوشه معین (وابسته به دقت در محاسبه توزیع دما) و سپس جهت تقسیم‌بندی تصویر گرمایی و اختصاص دمای پروفایل خوشه‌بندی شده به تصویر گرمایی، استفاده شده است.

تصاویر گرمایی پارچه‌های سه‌بعدی، با توجه به محدوده دمایی پروفایل گرمایی (حداقل و حداکثر دمای پروفایل گرمایی) به ۱۰۰ الی ۲۰۰ خوشه تقسیم بندی شدند که این تعداد خوشه بیش از ۵ الی ۱۰ برابر تفاضل دمای کمینه و بیشینه در هر تصویر است. تعیین تعداد بهینه خوشه، بر اساس شاخص ارزیابی کیفیت خوشه‌بندی (شاخص دیویس بولدین) انجام شده است. به این ترتیب دمای هر نقطه از نمونه با دقت ۰/۱ درجه سلسیوس نیز قابل محاسبه است.

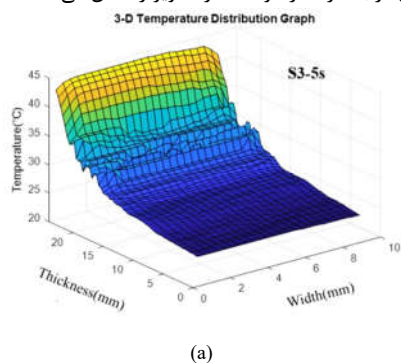


شکل ۳- (a) تصویر اولیه و تصویر گرمایی در زمان (b) ۵ ثانیه و (c) ۱۲۰ ثانیه برای نمونه S1 و S11

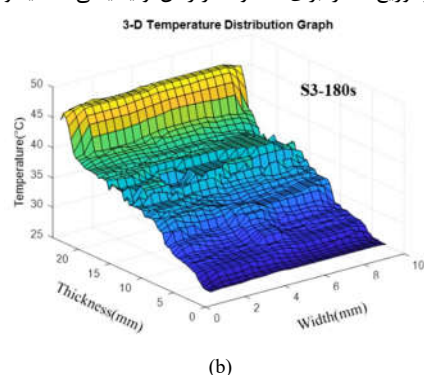


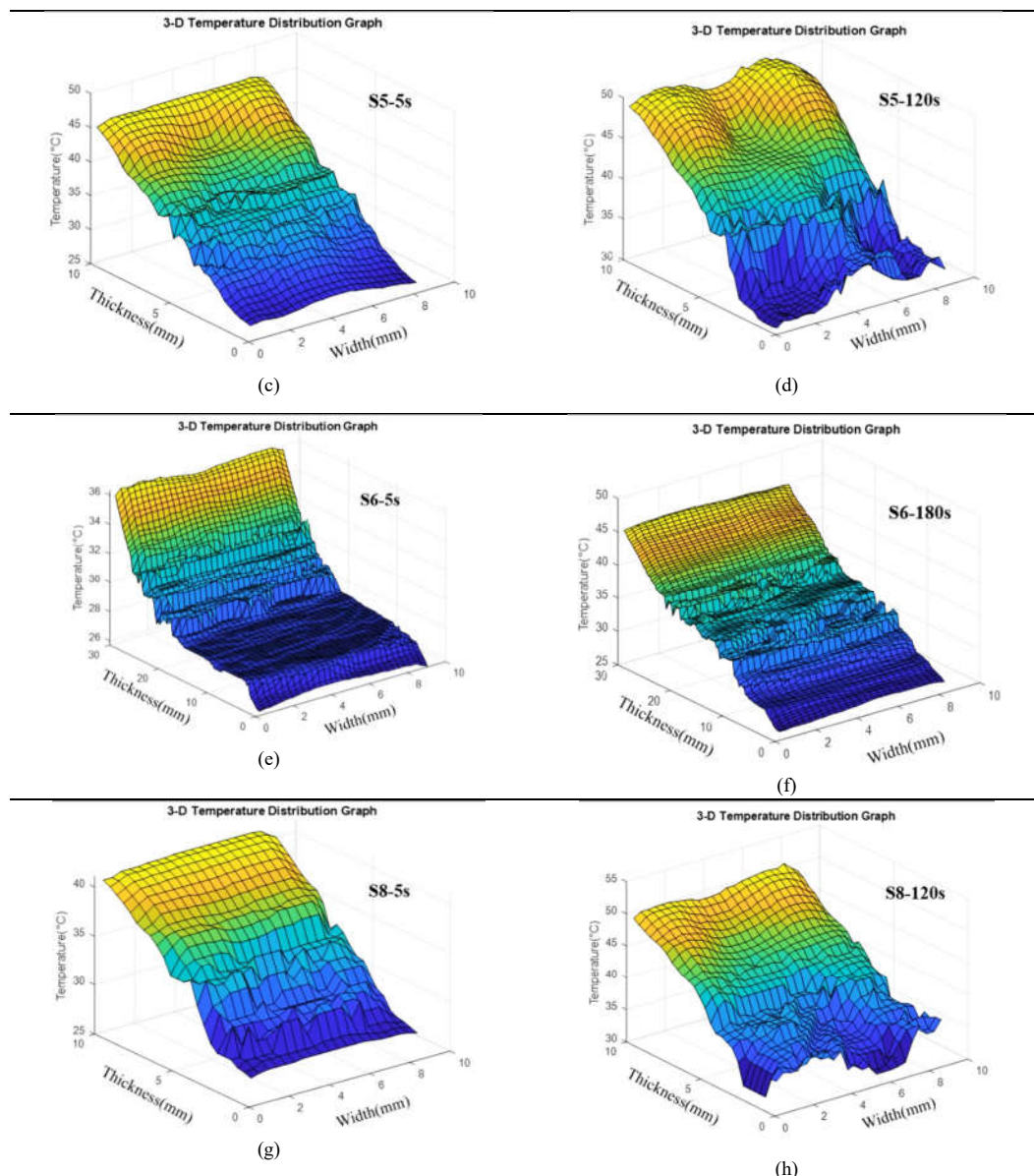
شکل ۴- روند تغییرات دما در نمونه با ضخامت (a) ۲۷ و (b) ۱۰ میلی‌متر

زمان نهایی یعنی ۱۲۰ یا ۱۸۰ ثانیه نشان می‌دهد. نمودار سه‌بعدی نشان داده شده، بر اساس ابعاد نوار برش خورده از تصویر گرمایی بر حسب میلی‌متر (ابعاد حداقل ۱ سانتیمتر در ضخامت نمونه) و محور Z میزان درجه گرما در هر نقطه از تصویر را نشان می‌دهد.



پس از خوشه‌بندی تصاویر گرمایی و تعیین دمای دقیق هر نقطه، نمودار توزیع دما به صورت سه‌بعدی هر یک از نمونه‌ها بدست آمد، شکل ۵، نمودار توزیع دما را برای ۴ نمونه در زمان اولیه یعنی ۵ ثانیه و



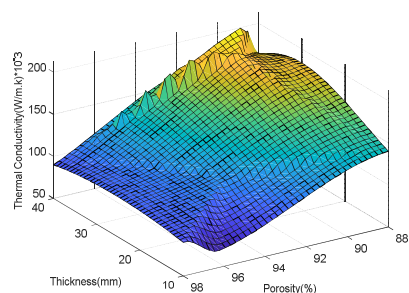


شکل ۵- منحنی توزیع دما در نمونه‌های S5، S6، S8 و S3

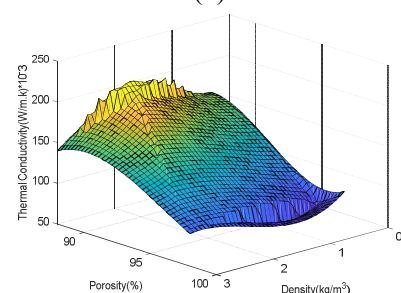
در راستای ضخامت در دو نمونه S3 و S6 منجر به توزیع دمای یکنواخت‌تر شده است.

نتایج حاصل از پردازش تصاویر گرمایی پارچه‌های سه‌بعدی نشان داد که نمونه‌های دارای تراکم الیاف منظم‌تر و چگالی بیشتر، دارای توزیع دمای یکنواخت‌تری هستند. پارچه‌ها با وزن واحد حجم بیشتر، میزان تخلخل و هوای موجود کمتر، هادی‌تر و دارای توزیع دما و انتقال گرما یکنواخت‌تر هستند. در نتایج سایر مطالعات نیز نشان داده شده است که در مقایسه پارچه سه‌بعدی با فوم پلی‌پورتان به‌کار رفته به عنوان تشک صندلی ماشین، پارچه سه‌بعدی، رسانایی گرمایی بالاتر و مقاومت گرمایی کمتر از فوم دارد. بنابراین پارچه سه‌بعدی خیلی راحت‌تر و سریع‌تر گرما را از بدن انسان انتقال داده و گرمای کمتری هنگام نشست بر روی پوشش پارچه‌ای نسبت به فوم ایجاد می‌شود. این موضوع راحتی راننده را بعد از رانندگی طولانی مدت نیز تحت شرایط

در شکل ۵ توزیع سه‌بعدی دما در چندین نمونه نشان داده شده است همان‌طور که از شکل مشاهده می‌شود توزیع دما در زمان اولیه شکل ۵ (a,c,e,g) یکنواخت‌تر است زیرا در این زمان هنوز تغییرات دمای زیادی در عرض نمونه اتفاق نیافتاده است و با گذشت زمان، در زمان نهایی شکل ۵ (b,d,f,h) توزیع دما در عرض نمونه پخش شده است. با توجه به جدول ۱، نمونه S5 و S8 دارای ضخامت و چگالی کمتر و تخلخل بیشتر نسبت به نمونه S3 و S6 هستند، همچنین تراکم مونوفیلامنت‌ها در نمونه‌های S5 و S8 تقریباً نصف نمونه‌های S3 و S6 است. با توجه به پراکندگی توزیع الیاف در دو نمونه S5 و S8 و تخلخل بالاتر و مقدار هوای بیشتر در آن‌ها، از شکل ۵ (d,h) مشاهده می‌شود که توزیع دما در این دو نمونه در زمان نهایی توزیع، نایک‌نواخت‌تر از دو نمونه S3 و S6 است. چگالی بالاتر و توزیع یکنواخت‌تر مونوفیلامنت‌ها



(b)



(c)

شکل ۶- تأثیر (a) ضخامت، چگالی (b) ضخامت، تخلخل و (c) تخلخل، چگالی بر رسانایی گرمایی

در مطالعاتی که افزایش ضخامت همراه با افزایش چگالی نیست و افزایش ضخامت منجر به افزایش میزان تخلخل و میزان هوای حبس شده در نمونه شده است، همین موضوع باعث کاهش رسانایی گرمایی و افزایش میزان عایق گرمایی در پارچه می گردد [۲۲، ۲۳]. در این مطالعه، با توجه به اطلاعات ارائه شده در جدول ۱ و جدول ۳، افزایش ضخامت در نمونه‌های سه‌بعدی همراه با افزایش چگالی (افزایش میزان الیاف در واحد حجم پارچه) و افزایش میزان رسانایی گرمایی پارچه است. با افزایش چگالی و کاهش میزان هوا در نمونه‌ها میزان رسانایی در آن افزایش و عایق بودن نمونه کاهش می‌یابد؛ زیرا رسانایی گرمایی و عایق گرمایی دارای رابطه عکس با یکدیگر هستند.

در شکل ۶ (b) تأثیر ضخامت و تخلخل بر رسانایی گرمایی نشان داده شده است. نتایج حاصل نشان می‌دهد که در نمونه‌های با ضخامت بیشتر، در صورتی که چگالی نمونه‌ها زیاد نشده باشد، میزان تخلخل و حجم هوای داخل نمونه افزایش در نتیجه رسانایی گرمایی پارچه کم و پارچه عایق بهتری خواهد بود.

انتقال گرما در نمونه‌های سه‌بعدی با توجه به چگالی و میزان تخلخل در شکل ۶ (c) نشان داده شده است. پارچه‌های متراکم‌تر میزان تخلخل کمتری دارند و حجم هوای محبوس در آن‌ها کمتر است، رسانایی گرمایی در اجسام دوفازی تحت تأثیر هر دو فاز قرار دارد. در صورتی که میزان الیاف که دارای رسانایی گرمایی بالاتر از فاز سیال است، بیشتر باشد، رسانایی گرمایی مجموعه نیز بالاتر خواهد رفت [۵، ۲۲].

۷- نتیجه‌گیری

خواص منسوجات به‌طور سنتی با استفاده از روش‌های بصری یا روابط ریاضی وابسته به یک یا چند پارامتر دیگر ارزیابی می‌شوند که این روش‌ها می‌توانند غیرقابل اعتماد باشند. توسعه در سیستم‌های

استاندارد دما و رطوبت نسبی بهبود می‌بخشد [۱]. هم‌چنین پارچه‌های سه‌بعدی با چگالی کمتر و نفوذپذیری هوای بالاتر دارای رسانایی گرمایی کمتر هستند. پارچه‌های متراکم‌تر رسانایی گرمایی بهتری دارند البته این بیشتر شدن می‌تواند منجر به بدتر شدن راحتی، مخصوصاً آزادی حرکت شود [۲]. بنابراین انتخاب چگالی، ضخامت و محدوده نفوذپذیری هوای مناسب برای تولید پارچه‌های سه‌بعدی با کاربردهای این‌چنین که پارچه تحت تنش باید راحتی ترموفیزیولوژی کاربر را فراهم آورد، دارای اهمیت است.

۲-۶- نتایج آماری

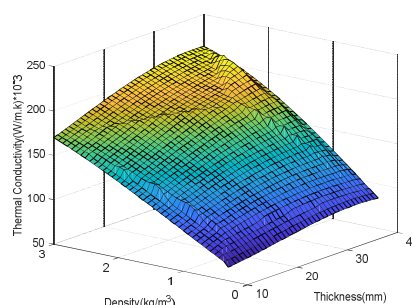
در ادامه نتایج رگرسیون چند متغیره، که وابستگی میزان رسانایی گرمایی به دست آمده با توجه به توزیع دما در نمونه‌های سه‌بعدی را با هریک از پارامترهای وابسته به پارچه که شامل میزان تخلخل، چگالی و ضخامت پارچه است، در جدول ۴ و شکل ۶ نشان داده شده است.

جدول ۴- نتایج رگرسیون چند متغیره

	Coefficients	Standard Error	t Stat	P-value
Intercept	۰,۱۶۸۳	۰,۴۲۳۱	۰,۳۹۷۹	۰,۷۰۱
Thickness	۰,۰۰۴۹	۰,۰۰۱۶	۳,۰۵۶۶	۰,۰۱۵۶
Density	-۰,۰۰۰۰۶	۰,۰۰۲۳۱	-۰,۰۲۶۹۸	۰,۹۷۹
Porosity	-۰,۰۰۱۳	۰,۰۰۰۴۴	-۰,۳۱۳۳	۰,۷۶۲

در رگرسیون چند عاملی، بدلیل نبود داده‌های موجود در تمام سطوح ضخامتی و تمام سطوحی وزنی، امکان بررسی تأثیر تداخلی و اثر متقابل پارامترها وجود ندارد. در بررسی تأثیر هریک از پارامترها بر خواص گرمایی، آنالیز رگرسیون چند عاملی انجام و همانگونه که در جداول ۴ نشان داده شده است، ضخامت دارای مقدار P کمتر از ۰/۰۵ است و به معنی تأثیر معنی‌دار ضخامت بر میزان رسانایی گرمایی نسبت به سایر پارامترها می‌باشد.

شکل ۶ (a) میزان رسانایی گرمایی را با توجه به ضخامت و چگالی نشان می‌دهد، مشاهده می‌شود که با افزایش ضخامت و چگالی، رسانایی گرمایی افزایش می‌یابد. البته در صورتی که افزایش ضخامت با افزایش چگالی (میزان الیاف در واحد حجم پارچه) همراه باشد، باعث افزایش رسانایی گرمایی پارچه می‌گردد. با افزایش ضخامت نمونه، میزان الیاف در نمونه نیز افزایش یافته، از آنجا که میزان رسانایی گرمایی الیاف بیشتر از هوا است، در ترکیب الیاف و هوا (جسم دو فازی)، رسانایی گرمایی نمونه نیز افزایش می‌یابد [۲۱، ۵، ۱].



(a)

- [6] Ziaei M. and Ghane M., Thermal insulation property of spacer fabrics integrated by ceramic powder impregnated fabrics. *Journal of Industrial Textiles*, Vol. 43, No. 1, pp. 20-33, 2013.
- [7] Barauskas R., Sankauskaite A. and Abraitiene A., Investigation of the thermal properties of spacer fabrics with bio-ceramic additives using the finite element model and experiment. *Textile Research Journal*, Vol. 88, No. 3, pp. 293-311, 2018.
- [8] Barauskas R., Sankauskaite A., Rubeziene V., Gadeikyte A., Skurkyte-Papieviene V. and Abraitiene A., Investigation of thermal properties of spacer fabrics with phase changing material by finite element model and experiment. *Textile Research Journal*, Vol. 90, No. 15-16, pp. 1837-1850, 2020.
- [9] Barauskas R. and Abraitiene A., A model for numerical simulation of heat and water vapor exchange in multilayer textile packages with three-dimensional spacer fabric ventilation layer. *Textile Research Journal*, Vol. 81, No. 12, pp. 1195-1215, 2011.
- [10] Mao N. and Russell S. J., The thermal insulation properties of spacer fabrics with a mechanically integrated wool fiber surface. *Textile Research Journal*, Vol. 77, No. 12, pp. 914-922, 2007.
- [11] Rubeziene V., Padleckiene I., Zuravliova S. V. and Baltusnikaite J., Reduction of thermal signature using fabrics with conductive additives. *Materials Science*, Vol. 19, No. 4, pp. 409-414, 2013.
- [12] Wang M., Li X., Li J. and Xu B., A new approach to quantify the thermal shrinkage of fire protective clothing after flash fire exposure. *Textile Research Journal*, Vol. 86, No. 6, pp. 580-592, 2016.
- [13] Yildiz K., Buldu A., Demetgul M. and Yildiz Z., A novel thermal-based fabric defect detection technique. *The Journal of the Textile Institute*, Vol. 106, No. 3, pp. 275-283, 2015.
- [14] Yildiz K., Buldu A. and Demetgul M., A thermal-based defect classification method in textile fabrics with K-nearest neighbor algorithm. *Journal of Industrial Textiles*, Vol. 45, No. 5, pp. 780-795, 2016.
- [15] ع. ا. رستمی: مترجمان دیوید، دویت پی. پی فرانک اینکروپرا ۱۳۶۷. انتقال حرارت، بر مقدمای ش. حمایت
- [16] Prakash C. and Ramakrishnan G., Effect of blend proportion on thermal behaviour of bamboo knitted fabrics. *Journal of the Textile Institute*, Vol. 104, No. 9, pp. 907-913, 2013.
- [17] ASTM D 1518-85: Standard test method for thermal transmittance of textile materials, American Society for Testing and Materials, 2003.
- [18] Saville B.P., Comfort, in Physical testing of textiles. Woodhead Publishing Limited: Cambridge, England, pp. 209-243, 1999.
- [19] Fayala F., Alibi H., Benltoufa S. and Jemni A., Neural Network for Predicting Thermal Conductivity of Knit Materials. *Journal of Engineered Fabrics & Fibers (JEFF)*, Vol. 3, No. 4, pp. 53-60, 2008.
- [20] Emadi M., Tavanaie M. A. and Payvandy P., Measurement of the Uniformity of Thermally Bonded Points in Polypropylene Spunbonded Non-Wovens Using Image Processing and Its Relationship with Their Tensile Properties. *AUTEX Research Journal*, Vol. 18, No. 4, pp. 1-14, 2018.
- [21] Dehghan N., Payvandy P. and Tavanaie, M. A., Measuring the Diameter of Nanofibers Extracted from Polyblend Fibers Using FCM Clustering Method. *Journal of Textiles and Polymers*, Vol. 4, No. 2, pp. 83-91, 2016.
- [22] Onal L. and Yildirim M., Comfort properties of functional three-dimensional knitted spacer fabrics for home-textile applications. *Textile Research Journal*, Vol. 82, No. 17, pp. 1751-1764, 2012.

اندازه‌گیری خواص و معرفی روش‌هایی چون پردازش تصویر که با افزایش دقت و سرعت همراه است یکی از اهداف اصلی محققین در زمینه نساجی است. در این بررسی با استفاده از روش پردازش تصاویر گرمایی، نه تنها امکان محاسبه میزان رسانایی گرمایی در نمونه‌های سه-بعدی وجود دارد بلکه دمای دقیق هر یک از نقاط نمونه تعیین و ترسیم توزیع دما در پارچه‌ها در طول زمان در عرض نمونه، نیز امکان‌پذیر است. این روش دارای مزایای چون غیر تماسی بودن و دقت بالا برای تعیین خواص گرمایی پارچه با پارامترهای مشخص است.

نتایج حاصل از بررسی نشان داد که با افزایش ضخامت، رسیدن به تعادل گرمایی در زمان طولانی‌تری و به تدریج است. از طرفی توزیع دما یکنواخت در نمونه‌های متراکم‌تر اتفاق می‌افتد. بنابراین در صورتی که از این نوع پارچه‌ها بدلیل ساختار ویژه سه‌بعدی و تنفس پذیر بودن برای کاربردهایی چون تشک و صندلی ماشین مورد استفاده قرار گیرند، در صورتی که پارچه سه‌بعدی با ضخامت کم و متراکم (تا محدوده معین، که تنفس‌پذیری پارچه حفظ شود) انتخاب شود، خیلی راحت‌تر و سریع‌تر گرما را از بدن انسان انتقال داده و گرمای کمتری هنگام نشستن بر روی آن ایجاد می‌شود. در صورت ثابت بودن ضخامت پارچه، چگالی پارچه زیاد شود، انتقال گرما نیز افزایش می‌یابد (جدول ۳). میزان تخلخل در پارچه‌های سه‌بعدی وابسته به چگالی، توزیع مونوفیل‌منت‌ها در نمونه و متأثر از طرح بافت است. با افزایش تخلخل میزان هوای محبوس در نمونه افزایش یافته و باعث می‌شود نمونه به عنوان عایق بهتر عمل کند.

در این بررسی، دمای دقیق هر یک از نقاط در عرض نمونه و نمودار توزیع دما در پارچه جهت بررسی و مشاهده نحوه انتقال گرما در آن‌ها با استفاده از تکنیک خوشه‌بندی K-means در روش پردازش تصویر بدست آمد و نتایج حاصل نشان داد که تکنیک مورد استفاده را می‌توان به صورت موثر جهت تعیین توزیع دما در اجسام با دقت بسیار بالا مورد استفاده قرار داد. در مطالعات بعدی با در نظر گرفتن طرح بافت به‌عنوان یکی از متغیرها و تأثیر آن بر میزان تخلخل در پارچه‌ها می‌توان میزان توزیع دما در منسوجات را با جزئیات بیشتر مورد بررسی قرار داد.

۸- مراجع

- [1] Ye X., Fangueiro R., Hu H. and Araújo M. D., Application of warp-knitted spacer fabrics in car seats. *Journal of the Textile Institute*, Vol. 98, No. 4, pp. 337-344, 2007.
- [2] Arumugam V., Mishra R., Militky J. and Salacova J., Investigation on thermo-physiological and compression characteristics of weft-knitted 3D spacer fabrics. *The Journal of the Textile Institute*, Vol. 108, No. 7, pp. 1095-1105, 2017.
- [3] Yip J. and Ng S. P., Study of three-dimensional spacer fabrics: Physical and mechanical properties. *Journal of materials processing technology*, Vol. 206, No. 1, pp. 359-364, 2008.
- [4] Mishra R., Veerakumar A. and Militky J., Thermo-physiological properties of 3D spacer knitted fabrics. *International Journal of Clothing Science and Technology*, Vol. 28, No. 3, pp. 328-339, 2016.
- [5] 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. *The Journal of the Textile Institute*, Vol. 109, No. 3, pp. 345-357, 2018.