علوم و فناوری نساجی و پوشاک
دوره جدید، شماره ۴، شماره پیاپی ۲۰
صفحه ۵۶-۴۷، ۱۳۹۶
ISSN: ۲۱۵۱-۷۱۶۲

اثر عوامل ساختاری کیسه خواب بر کارایی حفاظت گرمایی آن

Effect of Structural Parameters of Sleeping Bag on the Thermal Protection Performance

فاطمه قاضی‌نظام، ملیحه قنبری، نازنین اعزازشهابی، فاطمه موسی‌زادگان*

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

چکیده

کیسه خواب جزو تجهیزات حفاظت شخصی افرادی است که در فضاهای آزاد ناچار به اقامت و استراحت هستند. یکی از کاربردهای کیسه خواب برای حفاظت از بدن در برابر اتلاف شدید دمای آن در شرایط آب و هوایی سرد است که برای کوهنوردان و نیروهای نظامی مورد توجه قرار می‌گیرد. به دلیل تماس کیسه خواب با سطح زمین که در نواحی سرد دمای کمی دارد و از سوی دیگر به‌واسطه اعمال فشار ناشی از وزن بدن بر کیسه خواب، ضخامت کیسه خواب کاهش می‌یابد که موجب تسریع انتقال گرمای بدن به زمین می‌شود. از این‌رو، حفظ خاصیت عایق گرمایی کیسه خواب زیر فشار بدن، در پیشگیری از اتلاف شدید دمای آن و احساس سرمازدگی مؤثر است. در این مطالعه، اثر عوامل مؤثر در طراحی کیسه خواب برای بهبود خاصیت عایق گرمایی آن بررسی شده است. نتایج حاصل بیانگر آن است که وزن کیسه خواب، نوع مواد پرکننده استفاده شده و تعداد ردیف‌های دوخته شده روی کیسه خواب در تعیین کارایی گرمایی آن حین مصرف مؤثر است.

کلمات کلیدی

کیسه خواب،
عایق گرمایی،
فشارپذیری،
مواد پرکننده،
وزن واحد سطح

مقدمه

کیسه‌خواب، دسته‌ای از تجهیزات حفاظت شخصی است که برای حفاظت از افراد در برابر شـــرایط محیطی مانند حشرات، گرما و سرما استفاده می‌شود. از کاربردهای اصلی کیسه‌خواب محافظت از افراد در برابر سرمای محیط است، زمانی‌که فرد ناگزیر به اقامت در فضای آزاد است. نکته‌ای که باید به آن اشاره شود، این است که کیسه‌خواب بدن را گرم نمی‌کند، بلکه مانع از اتلاف گرمای بدن به محیط بیرون می‌شود. به‌عبارت دیگر، کیسه‌خواب به‌عنوان عایق گرمایی بین بدن و محیط ســـرد بیرون عمل می‌کند. از این‌رو، حفظ این خاصیت عایق در کارایی کیســـه‌خواب مؤثر است. به دلیل اهمیت خواص و ویژگی‌های حفاظتی و راحتی کیسه خواب، مطالعه روی این موضوع مورد توجه پژوهشگران متعددی قرار گرفته است.

در سال ۲۰۰۸، Haung دمای هوای تأمین‌کننده راحتی گرمایی مصرف‌کنندگان کیسه خواب را به پیش‌بینی کرد. بدین منظور، شش مدل مختلف برای تعیین دمای راحتی گرمایی افرادی مطالعه شـــد که از کیسه خواب استفاده می‌کنند. مدل‌های ارائه شده براساس مقادیر متفاوت از مقدار سوخت‌وساز بدن و میانگین دمای پوست بود. برای

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

اعتبارسنجی، نتایج حاصل از مدل با مقادیر تجربی به‌دست آمده از آزمون‌ها مقایسه شدند. عواملی که معمولاً در این مدل‌ها استفاده می‌شوند، عبارت از سرعت سوخت‌وساز بدن، اتلاف گرما به دلیل همرفت از پوست بدن، اتلاف گرما از راه تابش از پوست، اتلاف گرمای ناشی از تعرق و در نهایت مقدار ذخیره گرمایی بدن است [۱].

در ۲۰۱۰، Kuklane و Dejke مطابق استاندارد EN 13537، مطالعاتی را روی گروهی از کیسه‌خواب‌هایی انجام دادند که به‌طور معمول استفاده می‌شوند. نتایج این مطالعه بیانگر آن است که سرعت هوا، خاصیت عایق تشک (در صورت استفاده در زیر کیسه خواب) و مدت زمان بین بازکردن کیسه خواب و اندازه‌گیری خاصیت عایق گرمایی آن در هر محیط، در تعیین شرایط به‌کارگیری آن مؤثر است [۲].

این پژوهشگر در ۲۰۱۴، با استفاده از مانکن گرمایی، مقاومت تبخیری کیسه خواب را اندازه‌گیری کرد. نکته شایان توجه این است که اندازه‌گیری خواص عایق گرمایی کیسه خواب با توجه به استاندارد EN 13537، تنها در شرایط خشک انجام می‌شود، در حالی که همواره درصدی از تجمع رطوبت داخل کیسه خواب وجود دارد. به همین علت در این پژوهش تنفس‌پذیری و مقاومت در برابر نفوذ بخار آب برای گروهی از کیسه خواب‌ها بررسی شد [۳].

در ۲۰۱۳، Lin و همکاران به‌طور کیفی راحتی گرمایی کیسه خواب را بررسی کردند. ارزیابی دمای راحتی چهارکیسه خواب تجاری با خاصیت عایق گرمایی متفاوت با استفاده از ۱۰ داور و پس از ۲۰ ساعت استفاده در شرایط هوایی سرد (۹°C- تا ۱۱°C) نشان می‌دهد، به منظور احساس راحتی مصرف‌کننده، کیسه خواب به خاصیت عایق گرمایی بیشتری در نواحی حدی بدن مانند دست‌ها و پاها نیاز دارد [۴].

هدف از پژوهشی که Ramadan در ۲۰۱۵ انجام داد، تولید پارچه‌هایی بود که در عین اینکه ضدآب و تنفس‌پذیربودن، بتوانند راحتی فرد را از راه کاهش تعرق در داخل کیسه خواب، بهبود بخشند. در همین راستا، گروهی از پارچه‌های تاری‌پودی از جنس پلی‌استر با تراکم‌های پودی مختلف و نخ‌های پودی با ظرافت متفاوت، در سه طرح بافت تافته، سرژه و ساتین مطالعه شدند و اثر این عوامل بر خواص فیزیکی و مکانیکی پارچه‌های تولیدی بررسی شد [۵].

در ۲۰۱۵، Abele و همکاران خواص کیسه خواب‌های نظامی را ارزیابی کردند. طبق گزارش آن‌ها افزون بر اهمیت خواص عایق گرمایی و دمای حدی کیسه خواب برای حفاظت در شرایط آب و هوایی سرد، وزن کیسه خواب نیز برای بهبود عملکرد سرباز باید تا حدامکان سبک باشد[۶].

در همان سال در پژوهشی که Zhang و همکاران انجام دادند، کیسه خواب هوشمندی طراحی شد که بتواند راحتی گرمایی فرد را در مناطق مختلف کیسه خواب تأمین کند. به همین منظور در ناحیه پا که از جمله نواحی است که بدن گرمای زیادی از دست می‌دهد. از پارچه‌های گرم‌شونده استفاده شد و در نهایت پاسخ‌های فیزیولوژی و روانی افراد هنگام استفاده از کیسه خواب‌های هوشمند در مقایسه با کیسه‌خواب‌های معمولی مقایسه و بحث شد [۷].

در ۱۳۹۵، در پژوهشی که گودرز انجام داد، عوامل مهم در طراحی کیسه خواب و اثر آن بر عملکرد عایق گرمایی آن بررسی و سعی شده است، بهترین راهکار برای طراحی و انتخاب اجزای استفاده شده در کیسه خواب ارائه شود. در همین راستا، اثر ظرافت الیاف پلی‌استر توخالی بر خاصیت عایق گرمایی بررسی شد. بررسی‌ها نشان داد، جنس، نوبودن، درصد فضای خالی داخل کیسه خواب و ظرافت الیاف نقش مؤثری بر ایجاد مقاومت گرمایی لایه عایق دارند[۸].

در ۲۰۱۶، Okamoto و همکاران برای بررسی اثر استفاده از لایه مقوایی اضافه بین کیسه خواب و زمین بر راحتی گرمایی کیسه خواب، از مجموعه‌ای از آزمایش‌های کیفی استفاده کردند. در این راستا، ۱۴ نفر به‌مدت ۲ h در دمای معمول محیطی در دو شرایط مختلف، داخل کیسه خواب خوابیدند. در حالت اول کیسه خواب مستقیم روی زمین چوبی قرار گرفته بود و در حالت دوم بین زمین و کیسه خواب از لایه مقوا استفاده شد. نتایج این مطالعه نشان داد، در صورت استفاده از مقوا، تعداد دفعات بیدارشدن افراد در اثر بدخوابی کاهش یافته است. از سوی دیگر، افراد احساس گرمای بیشتری داشته‌اند و خطر ایجاد تنش سرمایی کاهش یافته است[۹].

در ۲۰۱۷ Zhang و همکاران کیسه خواب هوشمند گرمایی را با قراردادن سامانه گرم‌کن الکتریکی در قسمت پاها طراحی کردند. این سامانه گرم‌کن قابلیت نگه‌داشتن دمای ناحیه پاها را به شکل خودکار در محدوده راحتی پاها دارد. کارایی این کیسه خواب از نظر راحتی گرمایی با استفاده از روش قضاوت انسانی ارزیابی شد. بدین ترتیب که ۸ زن به‌مدت ۸ h داخل این کیسه خواب در دو حالت سامانه گرم‌کن خاموش و روشن و در شرایط محیطی سرد قرار گرفتند. نتایج نشان داد، استفاده از سامانه گرم‌کن الکتریکی نه تنها در تأمین احساس راحتی گرمایی در پاها، بلکه در بهبود احساس راحتی گرمایی کل بدن نیز مؤثر بوده است [۱۰].

با توجه به جمع‌بندی انجام شده از مطالعات پیشین و با درنظرگرفتن این موضوع که خاصیت عایق گرمایی کیسه خواب در اثر اعمال فشار بدن دست‌خوش تغییر می‌شود، لازم بود تا در زمان طراحی کیسه خواب مقدار تغییرات خاصیت عایق گرمایی آن در اثر فشار ناشی از بدن نیز مطالعه شود. به همین دلیل در این پژوهش برای گروهی از کیسه‌خواب‌ها که دارای وزن واحد سطح، مواد پرکننده و فواصل دوخت متفاوت بودند، ارتباط فشار بدن و خاصیت عایق گرمایی بررسی و شرایط طراحی بهینه کیسه خواب ارزیابی شد.

تجربی

مواد

برای آماده‌سازی لایه‌های کیسه خواب، حداقل به سه لایه شامل دو لایه خارجی و یک لایه داخلی نیاز است. لایه‌های خارجی معمولاً از منسوجات نفوذناپذیر انتخاب می‌شوند تا از کیسه خواب در برابر نفوذ باد و باران محافظت کنند. لایه داخلی در واقع مواد پرکننده‌ای است که هدف از استفاده از آن، فراهم‌کردن خاصیت عایق گرمایی در لایه به منظور حفاظت از بدن در برابر اتلاف گرما، در حالت استراحت است. در این

مطالعه، کارایی مواد پرکننده مختلف از نظر خاصیت عایق گرمایی ارزیابی شده است. مواد پرکننده استفاده شده در این مطالعه عبارت از:
- الیاف پشم با طول متوسط ۹ cm و میانگین قطر ۰/۹ mm؛
- الیاف پلی‌استر توخالی با میانگین طول ۶ cm و میانگین قطر ۱/۲ mm؛
- پر خروس؛
- لایه بی‌بافت ترموفیوز ۱۰۰٪ پلی‌استری با وزن واحد سطح ۱۰۰، ۲۰۰، ۳۰۰ و ۴۰۰ g/m^2.

از پارچه بادگیر ۱۰۰٪ پلی‌استری با طرح بافت تافته و ضخامت ۰/۰۱۴ mm (زیر فشار ۲۰ g/cm^2) به‌عنوان لایه خارجی استفاده شده است که تراکم تاری و پودی آن به ترتیب ۴۴ و ۲۳ cm^2 بود.

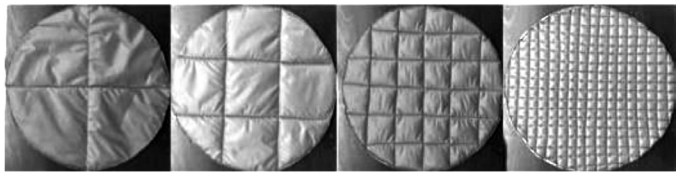
آماده‌سازی نمونه‌ها

لایه‌های کیسه خواب متشکل از مواد پرکننده مختلف در چهار وزن واحد سطح تهیه شدند که عبارت از ۱۰۰، ۲۰۰، ۳۰۰ و ۴۰۰ g/m^2 بود. بدین منظور، برای آماده‌سازی هر نمونه دو دایره به قطر ۳۸ cm بریده شد. سپس، مواد پرکننده مطابق با وزن مدنظر برای لایه نهایی در بین دو لایه پارچه قرار داده شدند. انتشار یکنواخت مواد پرکننده، به‌ویژه پر، الیاف پشم و الیاف توخالی پلی‌استر در بین دو لایه بیرونی حائز اهمیت است. سپس محیط سه لایه دوخته شد. برای جلوگیری از جابه‌جایی مواد پرکننده حین مصرف که می‌تواند خاصیت عایق گرمایی لایه را تحت تأثیر قرار دهد، هر نمونه در امتداد قطر دایره و به‌طور عمود بر هم نیز دوخته می‌شود. برای ارزیابی اثر تراکم دوخت بر خاصیت عایق گرمایی کیسه خواب، نمونه‌ها با فاصله دوخت‌های ۲، ۶، ۱۲ و ۱۶ cm دوخته شدند. در شکل ۱، نحوه دوخت و فاصله دوخت نمونه‌ها نشان داده شده است. از هر لایه کیسه‌خواب که از نظر عواملی مانند مواد پرکننده، وزن و فاصله دوخت، با یکدیگر تفاوت دارند، سه نمونه برای آزمون آماده‌سازی و میانگین نتایج آن‌ها گزارش شده است.

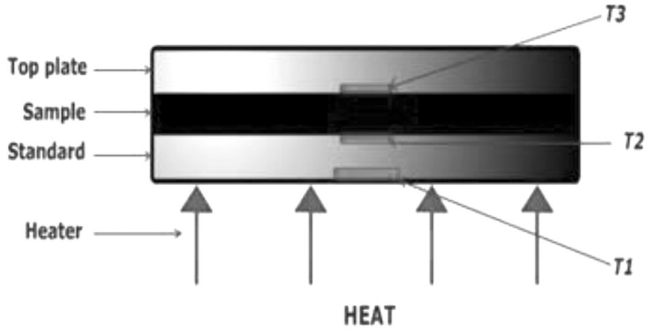
روش انجام آزمون

برای ارزیابی کیفیت و کارایی نمونه‌های کیسه خواب تهیه شده، به‌ویژه از منظر رفتار عایق گرمایی، خواص گرمایی این نمونه‌ها و عوامل اثرگذار بر آن، شامل فشارپذیری لایه‌ها به واسطه وزن اعمالی از طرف بدن، اندازه‌گیری شده است. قابلیت انتقال گرما در نمونه‌های کیسه خواب با توجه به استاندارد BS4745 و با استفاده از دستگاه تاگ‌متر اندازه‌گیری شده است. در این استاندارد دو رویه تک‌صفحه‌ای و دوصفحه‌ای (که در این پژوهش استفاده شده است) ارائه شده است. نمای از دستگاه تاگ‌متر در شکل ۲ نشان داده شده است.

طی انجام آزمون، قابلیت عایق گرمایی (مقاومت گرمایی) نمونه‌ها از



شکل ۱- فاصله دوخت‌ها در لایه‌های کیسه خواب.



شکل ۲- دستگاه تاگ‌متر.

معادله (۱) محاسبه شد:

$$R_f = \frac{\theta'_2 - \theta'_3}{\theta'_1 - \theta'_2} - \frac{\theta_2 - \theta_3}{\theta_1 - \theta_2} \quad (1)$$

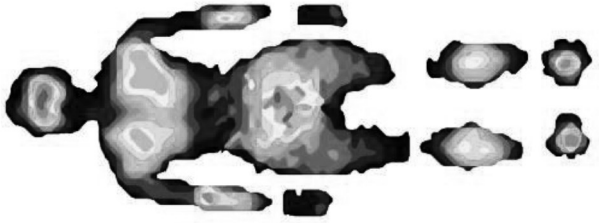
در این معادله، θ_1، θ_2 و θ_3 دماهای ثبت شده به‌وسیله حسگرهای T_1، T_2 و T_3 در ابتدای شروع آزمون و بدون گذاشتن نمونه داخل دستگاه $\theta`_1$، $\theta`_2$ و $\theta`_3$ دماهای ثبت شده به‌وسیله حسگرهای T_1، T_2 و T_3 در پس از قراردادن نمونه داخل دستگاه و برقراری تعادل گرمایی است. با اندازه‌گیری عایق گرمایی نمونه‌ها، قابلیت انتقال گرما (K) از معادله (۲) محاسبه شد:

$$K = \frac{d}{R_f} \times 10^{-3} \quad (2)$$

در این معادله، K قابلیت انتقال گرما (W/m°C)، R_f خاصیت عایق گرمایی (m^2 °C/W) و d ضخامت پارچه (mm) است. افزون بر عوامل گفته شده، عامل دیگری با عنوان عامل گرما به وزن را آکپونمن [۱۱] ارائه کرد، برای بیان رفتار گرمایی نمونه‌ها با توجه به وزن واحد سطح کیسه خواب‌ها (معادله ۳) نیز محاسبه شد:

$$\text{Warmth to weight factor} = \frac{R_f}{m} \quad (3)$$

در این معادله، R_f خاصیت عایق گرمایی برحسب تاگ (m^2 °C/W ۰/۱) و m وزن واحد سطح نمونه (g/cm^2) است. از آنجا که فشار ناشی از بدن حین استفاده از کیسه خواب می‌تواند روی ضخامت و به دنبال خاصیت عایق گرمایی تجهیزات استفاده شده اثر بگذارد، لازم است، فشار در نواحی مختلف بدن انسان اندازه‌گیری شود. به همین منظور از حسگر فشار رقمی با نام تجاری Kikuhim برای اندازه‌گیری فشار بین نواحی مختلف بدن و زمین استفاده شد. محدوده اندازه‌گیری دستگاه بین ۰ تا ۱۶ kPa (۰ تا ۱۲۰ mmHg) بود. واحد حس‌کننده فشار در این دستگاه کیسه نرم پر شده از هوا (با قطر ۱۰ cm) است که به فشارسنج رقمی متصل شده است. چگونگی توزیع فشار در نواحی مختلف بدن در شکل ۳ نشان داده است. همان‌طور که در شکل ۳ دیده می‌شود، از آنجا که فشار ایجاد شده به‌وسیله کتف نسبتاً زیاد بوده و نیز به دلیل اینکه حساسیت گرمایی در ناحیه کتف‌ها نسبت به سایر نواحی بدن بیشتر است، در این مطالعه،



شکل ۳- چگونگی توزیع فشار بدن حین خواب روی زمین.

فشـــار کتف‌ها به‌عنوان فشار مبنا درنظر گرفته شده است و برای ارزیابی فشارپذیری و خاصیت عایق گرمایی کیسه خواب حین خوابیدن فرد روی زمین، استفاده شده است. برای اندازه‌گیری فشار بدن حین خوابیدن روی زمین، ۵ نفر در محدوده وزنی ۵۰kg تا ۷۵ kg آزمایش شدند. در نهایت، نتایج اندازه‌گیری‌ها نشان داد، برای افرادی در این محدوده وزنی، میانگین فشار بدن در ناحیه کتف، مقدار ۶۲/۵۶ g/cm^2 است. با هدف اندازه‌گیری ضخامت لایه‌های کیسه خواب تهیه شده زیر فشارهای مختلف، دستگاه ضخامت‌سنج شرلی با توجه به استاندارد ASTM D1777 به‌کار گرفته شد. از داده‌های به‌دســـت آمده از این آزمون برای محاسبه مقدار فشارپذیری نمونه‌های کیسه خواب بر اثر فشار کتف استفاده شد. فشارپذیری نمونه‌ها با توجه به معادله (۴) محاسبه شد:

$$\text{compressibilty} = \frac{|D_2 - D_1|}{P_2 - P_1} \times 100 \qquad (۴)$$

در این معادله، D_1 ضخامت نمونه زیر فشار P_1 (۲۰g/cm^2) و D_2 ضخامت نمونه زیر فشار P_2 (۶۲/۵۶ g/cm^2) است.

نتایج و بحث

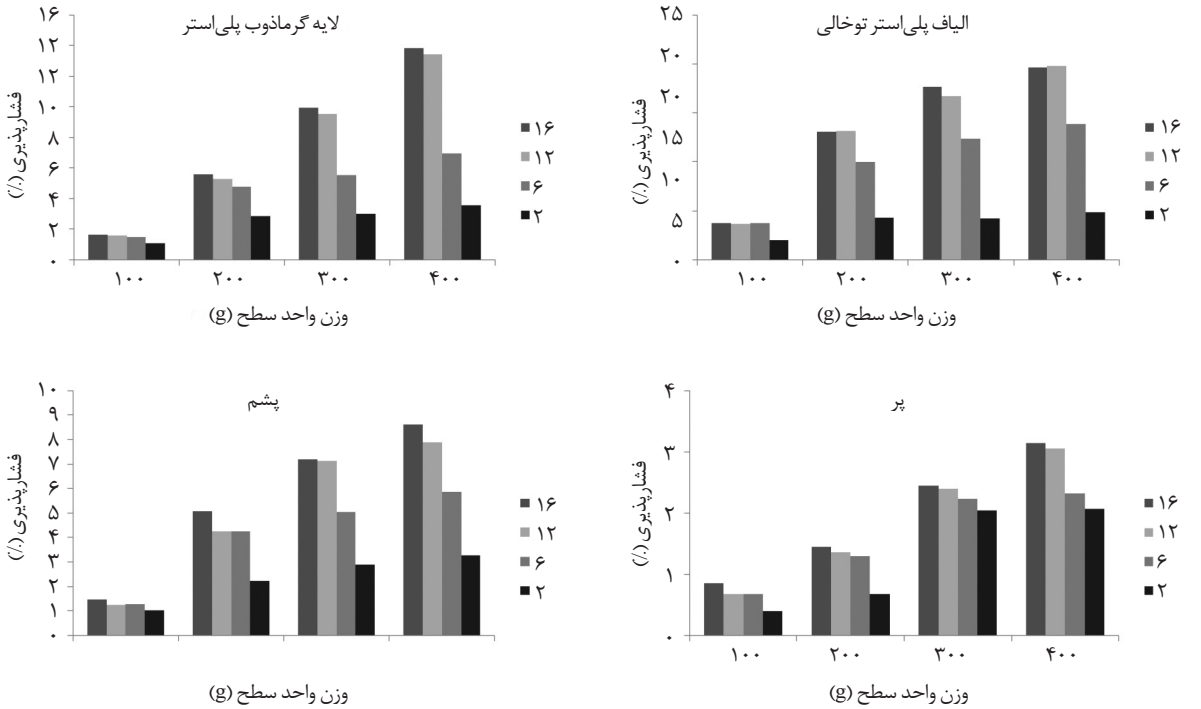
بررسی رفتار فشارپذیری کیسه خواب

همان‌طور که در بخش پیشـــین نیز توضیح داده شد، نمونه‌های کیسه خواب آماده شده در ۴ گروه وزنی مختلف از مواد پرکننده متفاوت تهیه شدند و دوخت‌هایی که روی این لایه‌ها استفاده شده بود، فواصل مختلفی داشتند. به همین منظور در این بخش پس از محاسبه مقدار فشارپذیری نمونه‌های کیسه خواب از معادله (۴)، اثر هریک از عوامل فاصله دوخت، وزن لایه‌ها و جنس مواد پرکننده بر قابلیت فشـــارپذیری کیسه خواب بررسی و تحلیل شدند.

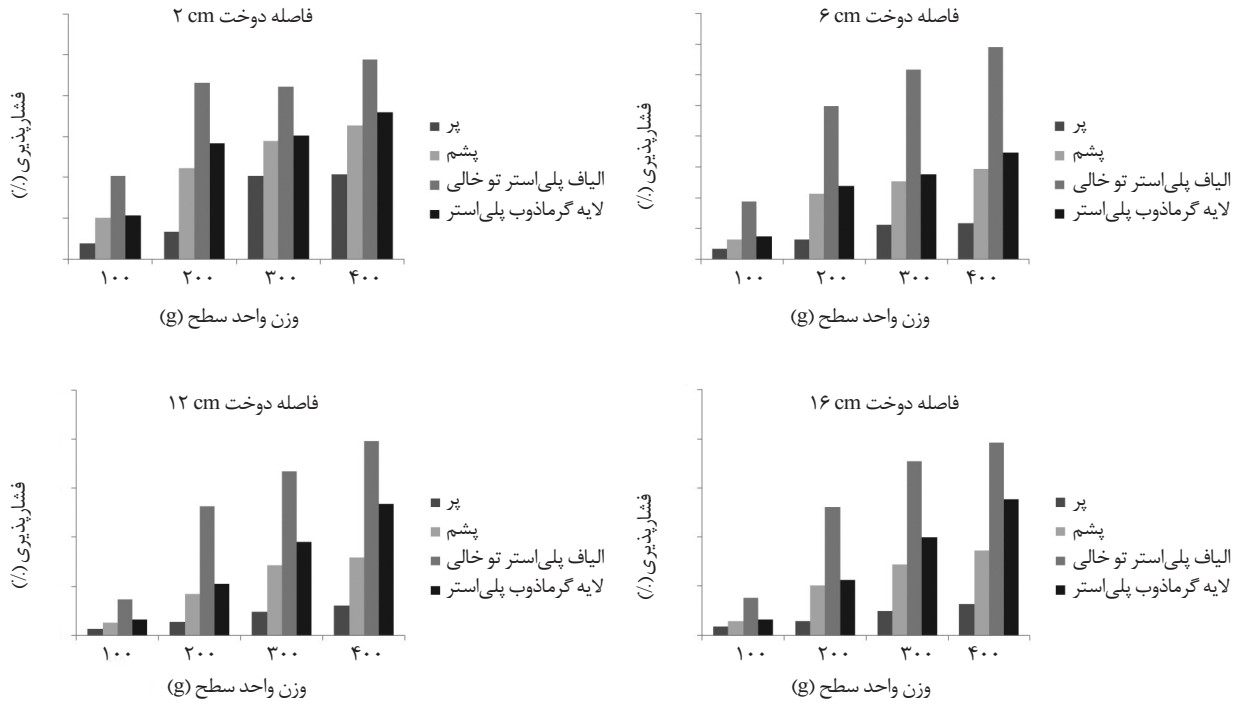
اثر فاصله دوخت بر قابلیت فشارپذیری کیسه خواب

هنگام تولید کیسه خواب، برای قرارگیری مناسب لایه‌های پرکننده داخل آن و نیـــز در برخی مواقع برای افزایش زیبایـــی ظاهری از دوخت‌هایی استفاده می‌شود. در این مطالعه اثر تراکم دوخت‌های زده شده روی کیسه خواب روی قابلیت فشارپذیری لایه‌های تهیه شده مطالعه شد. همان‌طور که در شکل ۴ مشاهده می‌شود، به ازای گروه‌های وزنی مختلف و نیز تمام مواد پرکننده استفاده شده در این پژوهش، با افزایش تراکم دوخت‌ها روی لایه‌های کیســـه خواب یا به عبارت دیگر کاهش فاصله دوخت‌ها، مقدار فشارپذیری لایه‌های بررسی شده کاهش یافته است.

روند مزبور با توجه به تغییراتی که در اثر اعمال دوخت در لایی ایجاد می‌شـــود، توجیه‌پذیر اســـت. افزایش تعداد ردیف‌های دوخته شده روی لایه‌های کیســـه خواب به اعمال فشار بیشـــتر دو لایه رو و زیر، بر مواد پرکننده منجر می‌شود. در اثر اعمال فشار ناشی از دوخت، فضاهای خالی



شکل۴- اثر فاصله دوخت بر قابلیت فشارپذیری کیسه خواب.



شکل۵- اثر وزن لایه و نوع مواد پرکننده بر قابلیت فشارپذیری کیسه خواب.

بین مواد پرکننده کاهش می‌یابد و دامنه تغییر شکل‌های فشاری در اثر فشار ناشی از وزن بدن کاهش می‌یابد. در واقع وسعت نواحی قابل فشردگی حین اعمال نیروهای فشاری کاهش یافته و به دنبال آن قابلیت فشارپذیری کیسه خواب کاهش می‌یابد. باید درنظر داشت، کاهش قابلیت فشارپذیری کیسه خواب به واسطه نبود امکان جذب و توزیع نیروی وارد شده از طرف زمین به بدن، می‌تواند به کاهش راحتی فرد هنگام خواب منجر شود. در ادامه، ارتباط قابلیت فشارپذیری با خواص عایق گرمایی کیسه خواب نیز بررسی شد.

اثر وزن لایه و نوع مواد پرکننده بر قابلیت فشارپذیری کیسه خواب

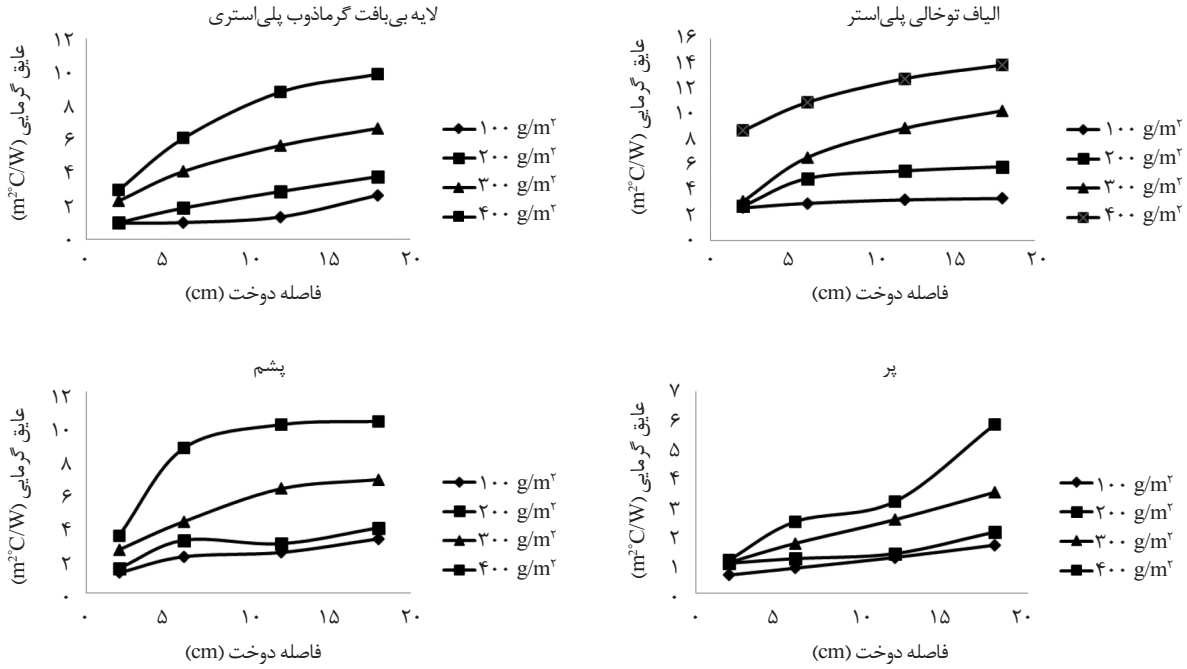
در این بخش با توجه به شکل ۵ به ازای ۴ فاصله دوخت استفاده شده در نمونه‌های این مطالعه، اثر وزن واحد سطح لایه‌ها و جنس مواد پرکننده قابل رویت است. همان‌طور که در شکل ۵ مشاهده می‌شود، به ازای تمام مواد پرکننده استفاده شده در این مطالعه، با افزایش وزن واحد سطح لایه‌ها، مقدار فشارپذیری افزایش یافته است. در واقع، با افزایش وزن واحد سطح، ضخامت مواد پرکننده و به دنبال آن حجم فضای خالی بین آن‌ها در داخل لایی افزایش می‌یابد. این افزایش ضخامت و فضای خالی بین مواد پرکننده حجم و وسعت نواحی قابل فشردگی داخل لایی را افزایش داده و به بهبود قابلیت فشارپذیری منجر می‌شود.

همچنین با توجه به شکل ۵، در تمام فواصل دوخت و گروه‌های وزنی مطالعه شده، مشاهده می‌شود، بهترین قابلیت فشارپذیری مربوط به الیاف پلی‌استر توخالی است و به دنبال آن لایه گرماذوب پلی‌استر و پشم در رده‌های بعدی قرار دارند و کمترین قابلیت فشارپذیری متلعق به پر است. بهتربودن امکان فشارپذیری الیاف پلی‌استر توخالی در مقایسه با سایر مواد پرکننده، به این موضوع برمی‌گردد که به واسطه توخالی‌بودن این الیاف نیروهای فشاری وارده به نحو بهتری به‌وسیله الیاف دریافت شده و در فضای خالی داخل الیاف توزیع می‌شود.

همچنین، توخالی‌بودن الیاف به کاهش استحکام خمشی و بهبود انعطاف‌پذیری این الیاف منجر می‌شود، در نتیجه این الیاف راحت‌تر در اثر اعمال نیرو تغییرشکل داده و فشارپذیری بسیار خوبی نشان می‌دهند. لایه گرماذوب پلی‌استر هم در مقایسه با پشم و پر فشارپذیری بهتری دارد. اگر ساختار این لایه‌ها با دقت بررسی شود، مشخص می‌شود، در این لایه‌ها دسته‌ای از الیاف به‌طور تصادفی در سطح توزیع شده و که این الیاف قطر کمتری نسبت به الیاف پشم داشته و در نتیجه سختی خمشی کمتری دارند و راحت‌تر تغییرشکل می‌یابند. همچنین، به‌واسطه روش شکل‌گیری این لایه‌ها و قطر کمتر الیاف پلی‌استر، حجم فضای خالی داخل لایه‌ها افزایش می‌یابد که به گسترش فضای قابل فشردگی در این لایه‌ها منجر می‌شود. پر به‌عنوان ماده پرکننده در مقایسه با سایر مواد، قابلیت انعطاف‌پذیری محدودتر و فشارپذیری کمتری دارد.

بررسی خاصیت عایق گرمایی کیسه خواب

از مهم‌ترین انتظاراتی که از کیسه خواب به‌عنوان تجهیزات حفاظتی وجود دارد که در فضای باز استفاده می‌شود، حفظ گرمای بدن فرد حین خواب و جلوگیری از احساس سرماست. به همین منظور در این مقاله اثر عوامل مختلف بر خاصیت عایق گرمایی کیسه خواب، به‌طور کامل مطالعه شده است.



شکل۶- اثر فاصله دوخت بر خاصیت عایق گرمایی کیسه خواب.

اثر فاصله دوخت بر خاصیت عایق گرمایی کیسه خواب

در کیسه‌های خواب، به‌ویژه در کیسه خواب‌هایی که در آن‌ها از الیاف و پر به‌عنوان مواد پرکننده استفاده شده است، باید از ردیف دوخت‌های متعدد استفاده شود تا توزیع مواد پرکننده در سطح لایه حین جابه‌جایی و مصرف تغییر نکند. همان‌طور که در شکل ۶ آمده است، بررسی اثر فاصله این ردیف‌های دوخت بر خاصیت عایق گرمایی لایه‌های کیسه خواب مختلف نشان می‌دهد، صرف‌نظر از وزن لایه و نوع مواد پرکننده، کاهش تعداد ردیف‌های دوخت، به بیان دیگر افزایش فاصله ردیف‌های دوخته شده، موجب بهبود خاصیت عایق گرمایی لایه کیسه خواب می‌شود.

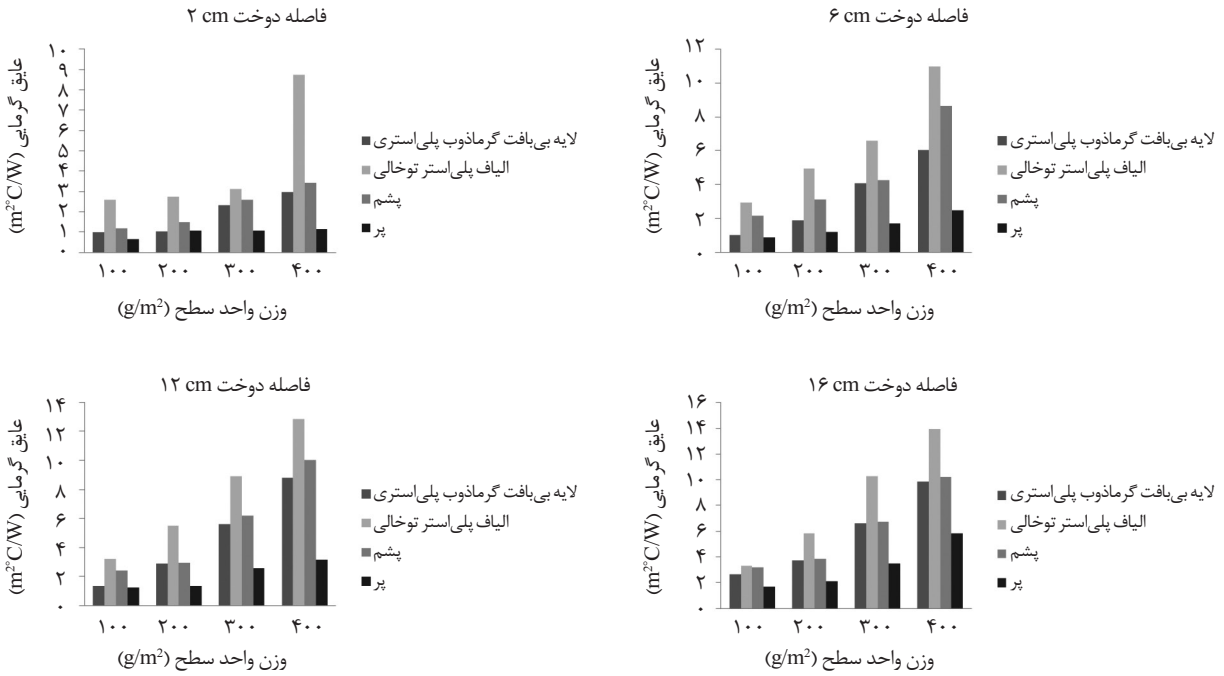
در واقع، اگرچه استفاده از دوخت‌های متعدد در حفظ توزیع مواد پرکننده در سطح لایه مؤثر است، اما موجب اعمال فشار بر مواد پرکننده و کاهش بسته‌های هوایی موجود در بین آن‌ها می‌شود. همان‌طور که در معادله (۵) نشان داده شده است، خاصیت رسانایی یک لایه به خاصیت رسانایی الیاف تشکیل‌دهنده و حجم هوای موجود در لایه بستگی دارد.

$$K_{layer} = (1-f)K_A + fK_f \qquad (۵)$$

در این معادله، رسانایی گرمایی لایه، ضریب رسانایی هوا، ضریب رسانایی الیاف و درصد حجم اشغال شده به‌وسیله الیاف است. با کاهش فاصله ردیف‌های دوخته شده و اعمال فشار بر لایه‌های الیاف و خروج هوا از میان مواد پرکننده که عایق گرما محسوب می‌شود، خاصیت رسانایی لایه بهبود می‌یابد، در حالی که خاصیت عایق گرمایی آن کاهش می‌یابد. از این‌رو، تعیین فاصله دوخت بهینه برای حفظ توزیع مواد پرکننده در کیسه خواب و به‌طور هم‌زمان حفظ خاصیت عایق گرمایی لایه کیسه خواب باید درنظر گرفته شود.

اثر وزن لایه و نوع مواد پرکننده بر خاصیت عایق گرمایی کیسه خواب وزن کیسه خواب یکی از عوامل مهم در انتخاب کیسه خواب است. اگرچه همان‌طور که در شکل ۷ نشان داده شده است، در همه لایه‌های تهیه شده برای کیسه خواب صرف‌نظر از نوع مواد پرکننده و فاصله دوخت‌ها، با افزایش وزن واحد سطح لایه به دلیل افزایش حجم الیاف و هوای موجود در میان مواد پرکننده، خاصیت عایق گرمایی لایه افزایش می‌یابد، اما نظر به اینکه معمولاً فرد باید کیسه خواب را به همراه سایر تجهیزات خود حمل کند، معمولاً کیسه‌های خواب سبک‌تر برای مصرف‌کنندگان مطلوب‌تر است. از این‌رو برای بهبود خاصیت عایق گرمایی کیسه خواب، افزایش وزن کیسه خواب محدودیت‌هایی دارد و باید عوامل دیگری نظیر نوع مواد پرکننده مورد توجه قرار گیرد. با توجه به شکل ۷، مقایسه خاصیت عایق گرمایی لایه‌های تهیه شده از مواد پرکننده مختلف در شرایط یکسان (از نظر فاصله دوخت و وزن لایه)، بیانگر آن است که الیاف توخالی پلی‌استر، کارایی بهتری از نظر خاصیت عایق گرمایی در مقایسه با سایر مواد پرکننده دارند. در حالی که پر کمترین قابلیت حفظ گرمای بدن را داشته است.

در الیاف توخالی پلی‌استر، حفره موجود درون الیاف، در حفظ هوای داخل الیاف افزون بر هوای موجود در لابه‌لای الیاف در لایه بسیار مؤثر است و بدین ترتیب حجم هوای محبوس شده شایان توجهی در مقایسه با سایر مواد پرکننده در لایه ایجاد می‌کند و از این‌رو انتخاب مناسبی برای مواد پرکننده محسوب می‌شود. الیاف پشم نیز در مقایسه با الیاف پلی‌استر موجود در لایه بی‌بافت کارایی بهتری در حفظ گرمای بدن دارند که ناشی

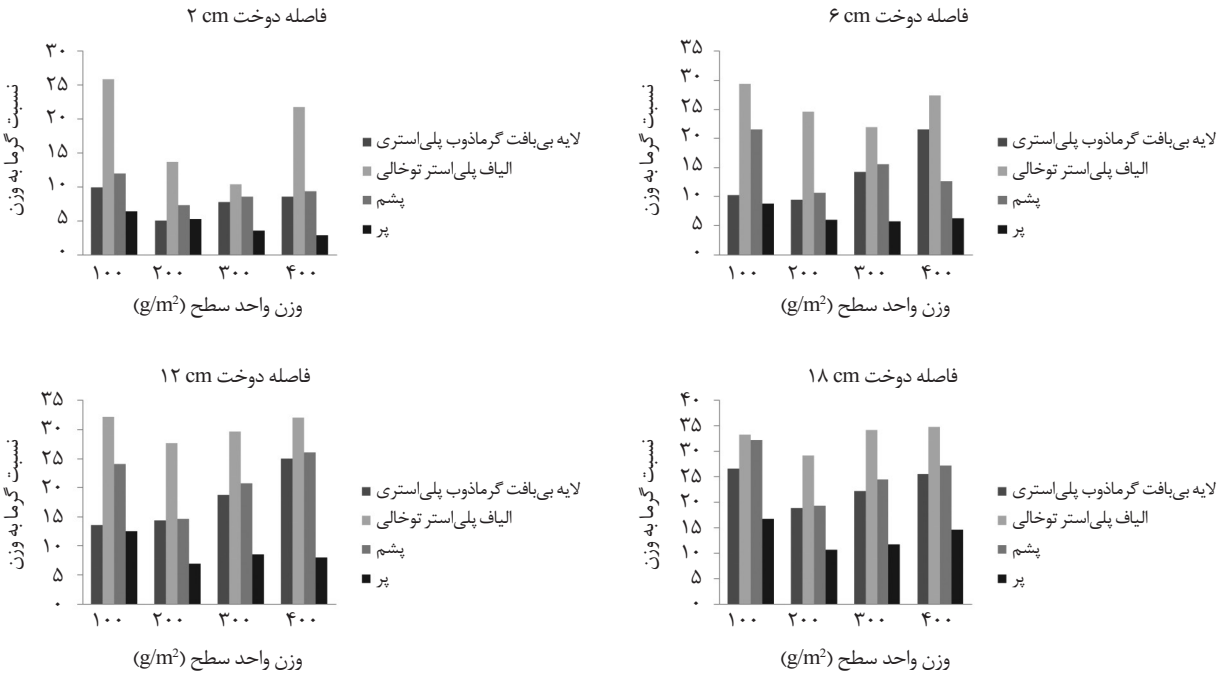


شکل۷- اثر وزن لایه و نوع مواد پرکننده بر خاصیت عایق گرمایی کیسه خواب.

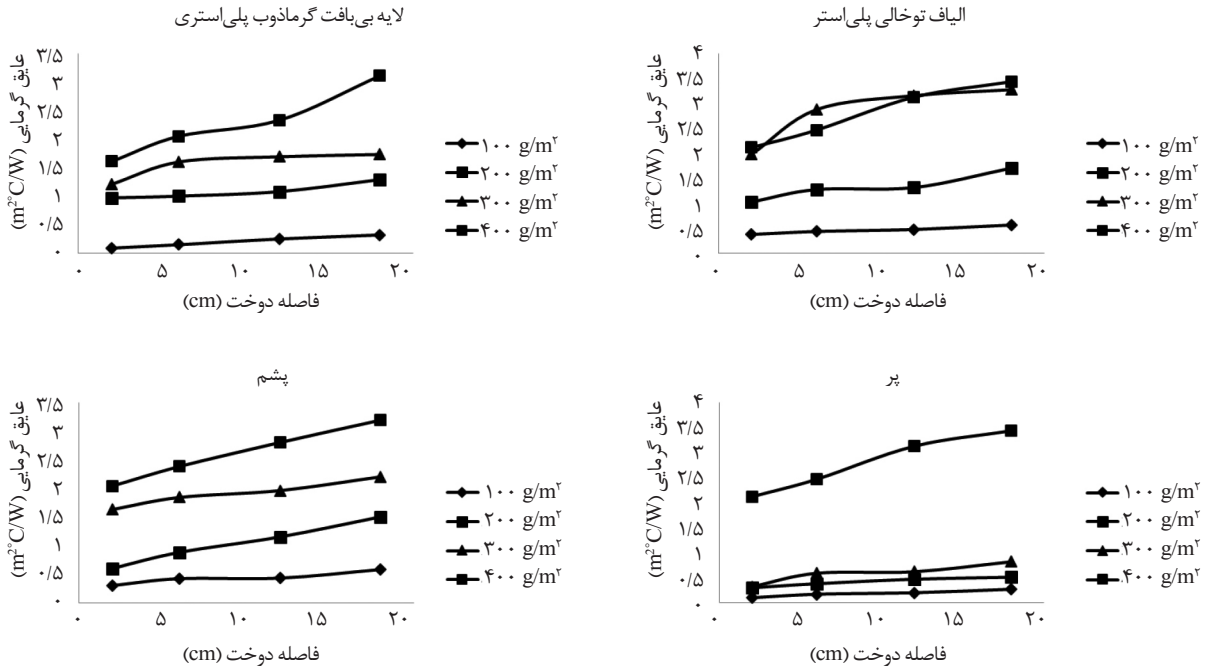
از ساختار الیاف پشم و فر و موج طبیعی موجود در آن است. بدین ترتیب، فاصله‌هایی بین الیاف پشم در لایه پرکننده ایجاد می‌شود که در افزایش حجم هوای محبوس شده در مواد پرکننده و بهبود خاصیت عایق گرمایی آن مؤثر اســـت. همان‌طور که در شکل ۸ نیز ملاحظه می‌شود، مقایسه نسبت گرما به وزن لایه‌های مختلف نیز مؤید این نتیجه است.

اثر فشار بر خاصیت عایق گرمایی کیسه خواب

همان‌طور که پیش‌تر نیز بدان اشاره شد، با توجه به اینکه هدف از به‌کارگیری کیسه خواب در نواحی سرد و برای فعالیت‌هایی نظیر کوهنوردی، حفظ گرمای بدن است، باید کارایی آن به‌عنوان عایق گرمایی در شرایط مشابه مصرف ارزیابی شود. در زمان مصرف، با توجه به اعمال فشار ناشی از وزن



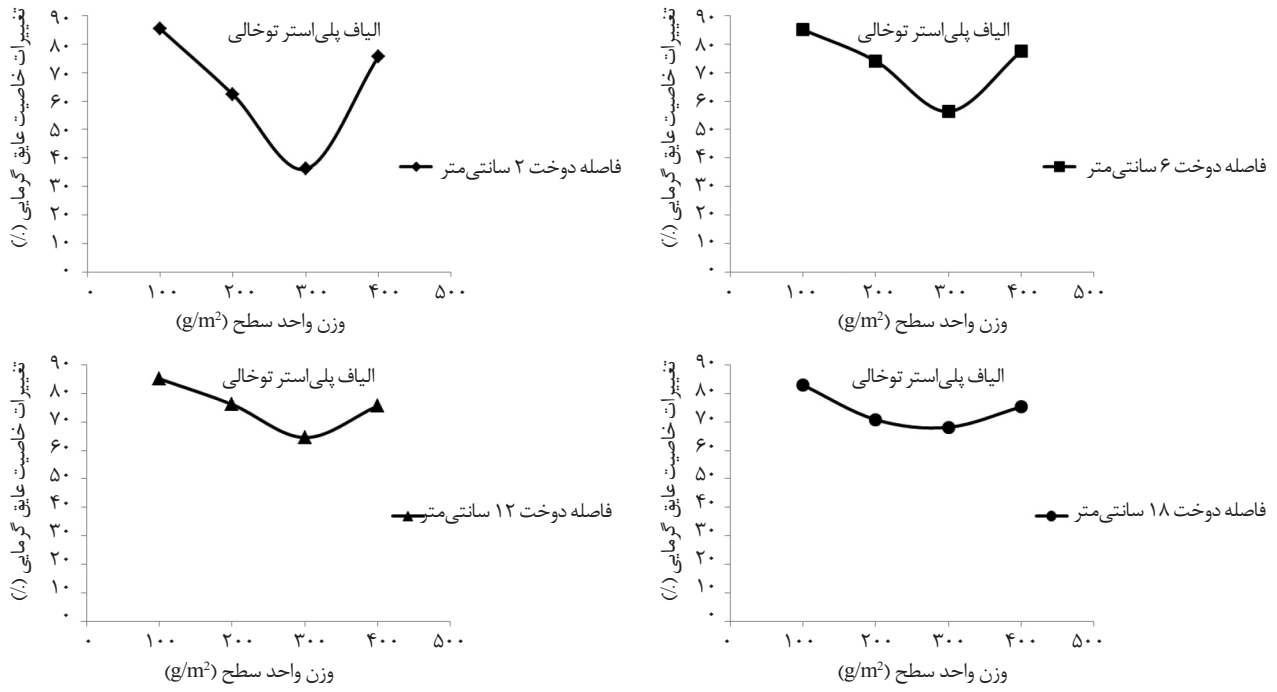
شکل۸- اثر وزن لایه و نوع مواد پرکننده بر نسبت گرما به وزن کیسه خواب.



شکل۹- اثر فشار بر خاصیت عایق گرمایی کیسه خواب.

بدن روی لایه کیســـه خواب، انتظار می‌رود، با فشرده‌شدن لایه، تماس الیاف با یکدیگر و خروج هوا، خاصیت عایق کیســـه خواب کاهش یابد. از این‌رو، باید این مسئله هنگام طراحی کیسه خواب درنظر گرفته شود تا بتواند خاصیت عایق قابل قبولی را در شـــرایط مصرف فراهم کند. نتایج مربوط به اندازه‌گیری خاصیت عایق گرمایی لایه‌های مختلف زیر فشار در شکل ۹ آمده است.

همان‌طور که انتظار می‌رود، نمونه‌های با وزن بیشتر، زیر فشار نیز عملکرد بهتری دارند. نمونه‌های با فاصله دوخت بیشتر نیز، همچنان خاصیت عایق گرمایی بیشتری دارند. این روند در حالت ارزیابی خاصیت عایق گرمایی لایه‌های مختلف بدون اعمال فشـــار (شـــکل ۶) نیز مشاهده شده است. شایان ذکر است، با وجود یکسان‌بودن روند تغییرات خاصیت عایق گرمایی به ازای وزن واحد سطح، فاصله دوخت و مواد پرکننده متفاوت، در حالت



شکل۱۰- درصد تغییرات خاصیت عایق گرمایی بدن در اثر اعمال فشار.

زیر فشار به دلیل از بین رفتن بسته‌های هوایی محبوس در میان لایه‌ها، مقدار خاصیت عایق گرمایی کاهش یافته است.

در واقع عملکرد خوب کیسه خواب هنگامی حاصل می‌شود که بتواند کارایی خود را به‌ویژه از دیدگاه خاصیت عایق گرمایی هنگام استفاده حفظ کند. به عبارت دیگر انتظار می‌رود، کیسه خواب خوب کمترین درصد تغییرات خاصیت عایق گرمایی را در اثر اعمال فشار داشته باشد. در همین راستا، در این بخش درصد تغییرات خاصیت عایق گرمایی لایه‌های تهیه شده از الیاف پلی‌استر توخالی (به‌عنوان بهترین ماده پرکننده از نظر خاصیت عایق گرمایی و فشارپذیری)، بین حالت زیر فشار بدن و در حالت بدون فشار محاسبه شده است و به ازای فاصله دوخت‌ها و گروه‌های وزنی مختلف، بررسی شده است.

همان‌طور که در شکل ۱۰ مشاهده می‌شود، به ازای تمام فاصله دوخت‌های بررسی شده، با افزایش وزن واحد سطح لایه، درصد تغییرات خاصیت عایق گرمایی کاهش یافته و به کمترین مقدار در وزن واحد سطح g/m^2 ۳۰۰ می‌رسد. پس از این نقطه افزایش وزن لایه، افزایش درصد تغییرات مقدار عایق گرمایی را به دنبال دارد. نکته شایان توجه دیگری که وجود دارد، این است که در لایه‌هایی که فاصله دوخت بیشتری دارند، تغییرات خاصیت عایق گرمایی در گروه‌های وزنی مختلف یکنواخت‌تر است. افزون بر این، کمترین درصد تغییرات عایق گرمایی برای فاصله دوخت ۲ cm در وزن g/m^2 ۳۰۰ مشاهده می‌شود، که این موضوع با توجه به قابلیت فشردگی کمتر این لایه در اثر نزدیک بودن دوخت‌ها توجیه‌پذیر است. درصد تغییرات کمتر خاصیت عایق گرمایی در اثر اعمال فشار به این موضوع اشاره دارد که در چنین لایه‌ای خاصیت عایق گرمایی در حالت زیر فشار و بدون فشار تغییرات کمی دارد و از نکاتی است که هنگام طراحی کیسه خواب باید به آن توجه شود.

در یک جمع‌بندی کلی از نتایج قابل مشاهده در شکل‌های ۹ و ۱۰، می‌توان نتیجه گرفت، بهترین کیسه‌خواب از میان نمونه‌های مطالعه شده، نمونه‌ای است که در آن از الیاف پلی‌استر توخالی به‌عنوان ماده پرکننده استفاده می‌شود و بیشترین فاصله دوخت را داشته باشد. درباره وزن لایه‌ها باید درنظر داشت، به این دلیل که کیسه خواب در اکثر مواقع توسط کوهنوردان، افراد نظامی و سایر افراد به صورت پیاده حمل می‌شود، لازم است، تا حد امکان سبک باشد. از طرف دیگر، براساس نتایج به‌دست آمده افزایش وزن لایه، به بهبود خاصیت عایق گرمایی آن منجر می‌شود، در نتیجه لازم است، وزنی به‌عنوان وزن بهینه کیسه خواب انتخاب شود که افزون بر داشتن خاصیت عایق گرمایی مناسب، سبک‌تر است و کمترین درصد تغییرات عایق گرمایی را در اثر فشار بدن داشته باشد. به همین دلیل با توجه به نتایج حاصل از این پژوهش می‌توان بیان کرد، وزن واحد سطح g/m^2 ۳۰۰ وزن بهینه برای تهیه کیسه خواب است.

نتیجه‌گیری

از آنجا که از کیسه خواب به‌عنوان یکی از تجهیزات حفاظتی در محیط سرد استفاده می‌شود، لازم است کیفیت و راحتی مناسبی به‌ویژه از دیدگاه خواص عایق گرمایی داشته باشد و بتواند کارایی خود را حین استفاده و پس از اعمال فشار بدن روی آن همچنان تا حد قابل قبولی حفظ کند. همان‌طور که پیش‌تر نیز بیان شد، در این پژوهش برای مطالعه کیسه خواب، مواد پرکننده متفاوت برای تهیه لایه‌های کیسه خواب با وزن‌ها و فاصله دوخت‌های مختلف بررسی شدند

نتایج نشان داد، از میان مواد پرکننده مطالعه شده، الیاف پلی‌استر توخالی بهترین خاصیت عایق گرمایی را نشان می‌دهد. در واقع، در داخل بدنه این الیاف به واسطه توخالی‌بودن آن‌ها کانالی از هوا وجود دارد که به افزایش حجم هوای محبوس در این الیاف منجر می‌شود و از آنجا که هوا به‌عنوان عایق گرما عمل می‌کند، می‌تواند به بهبود حفظ گرما در این لایه منجر شود. همچنین، این الیاف دارای تجعد و ساختاری پفکی هستند که احتمال تشکیل بسته‌های هوایی داخل لایه را افزایش داده و در نهایت به بهبود خاصیت عایق گرمایی آن منجر می‌شود. افزون بر این مشخص شد، افزایش وزن واحد سطح لایه‌های کیسه خواب و نیز فاصله دوخت‌ها اثر مثبتی بر خاصیت عایق گرمایی و قابلیت فشارپذیری لایه‌ها داشته که در نهایت به بهبود جوانب راحتی کیسه خواب منجر می‌شود

با توجه به این موضوع که ارتباط متقابلی بین فشار وارد بر لایه از طرف بدن و قابلیت حفظ گرمای کیسه خواب وجود دارد و معمولاً با اعمال فشار و کاهش ضخامت لایه، حجم هوای محبوس و به دنبال آن مقدار عایق‌بودن لایه کاهش می‌یابد، لازم است، حالت بهینه‌ای از نظر ساختاری برای کیسه خواب طراحی شود تا تفاوت رفتاری لایه بین حالت پیش و پس از اعمال فشار حداقل باشد. با توجه به این موارد، نتایج نشان داد، از بین حالت‌های مختلف بررسی شده در این پژوهش، کیسه خوابی که از الیاف پلی‌استر توخالی پرشده و دارای بیشترین فاصله دوخت است، در وزن واحد سطح g/m^2 ۳۰۰ بهترین کارایی را داشته است.

مراجع

1. Huang J., Prediction of air temperature for thermal comfort of people using sleeping bags: a review, *Int. J. Biometeorol.*, 52, 717-723, 2008.
2. Kuklane K. and Dejke V., Testing sleeping bags according to En 13537:2002, details that make the difference, *Int. J. Occup. Saf. Ergon.*, 16, 199-216, 2010.
3. Kuklane K., Evaporative resistance of sleeping bags-measurements on a thermal manikin Tore, Proceedings of the 5th European Conference on Protective Clothing (ECPC) and NOKOBETEF 10, Valencia, Spain, 2012.

Environmental Ergonomics, Portsmouth, UK., 2015.

۸. گودرز م.، ارزیابی فاکتورهای موثر بر طراحی کیسه خواب‌های محافظ در برابر هوای فوق سرد، مجموعه مقالات دهمین کنفرانس ملی مهندسی نساجی ایران، دانشکده مهندسی نساجی دانشگاه صنعتی اصفهان، اردیبهشت ۱۳۹۵

9. Okamoto M.K., Mizuno K., Tanabe M.. and Niwano K., Effect of cardboard under a sleeping bag on sleep stages during daytime nap, *Appl. Ergon.*, 54, 27-32, 2016.
10. Zhang C., Ren C., Li Y., Son W., Xu P and Wang F., Designing a smart electrically heated sleeping bag to improve wearers 'feet thermal comfort while sleeping in a cold ambient environment, *Text. Res. J.*, 87, 1-10, 2017
11. Ukponman J. O., The thermal-insulation properties of fabrics, *J. Text. Inst.*, 24(4), 1-54, 1993

4. Lin L.Y., Wang F., Kuklane K., Gao C., Holmer I and Zhao M., A laboratory validation study of comfort and limit temperatures of four sleepingbags defined according to EN 13537, *Appl. Ergon.*, 44, 321-326, 2013.
5. Ramadan E. M., Designing and production of waterproof breathable fabric suitable for sleeping bags, *J. Am. Sci.*, 11(10), 51-61, 2015.
6. Abele I., Sitvjenkins I., Kuklane K and Vilumsone A., Evaluation of thermal resistance of the military sleeping bags, *Adv. Mater. Res.*, 1117, 299-302, 2015.
7. Zhang C., Lai D., Lu Y., Wang F., Kuklane K., Smart heating sleeping bags for improving wearers' thermal comfort at the feet, Proceedings of the 15th International Conference on

Journal of
Apparel and Textile Science
and Technology

Renewed Period of Publication,
No. 4, Winter 2017,
Issue No. 20, 47-56
ISSN: 2151-7162

Effect of Structural Parameters of Sleeping Bag on the Thermal Protection Performance

Fatemeh Ghazinezam, Malihe Ghanberi, Nazanin Ezazshahabi and Fatemeh Mousazadegan*

Textile Engineering Department, Amirkabir University of Technology, P.O. Box:15875-4413,Tehran, Iran

Abstract

Sleeping bags can be considered as self-protection equipment that are used in open environment for sleeping and rest and are vital for mountain climbers and military forces. A sleeping bag should protect the body against sever temperature loss in cold weather conditions. A sleeping bag is normally sandwiched between the cold ground and the body which results in lower thickness and higher rate of heat loss. In order to prevent and lower the heat loss, the high thermal insulation property of the sleeping bag should be preserved under body pressure. In this study, the effects of important weaving factors on thermal insulation properties of sleeping bags were investigated. The mass per surface area, the type of waddings and the distance between the seamed rows (i.e, through pore size) were found to be among the most important factors affecting the thermal insulation of sleeping bags.

Keywords

sleeping bag,
thermal insulation,
compressibility,
wadding,
weight per area

(*) Address Correspondence to F. Mousazadegan, Email: F_mousazadegan@aut.ac.ir