

Design and Fabrication of Black Textile with Solar Thermal Radiation Shielding Properties

Ali Khadivi¹ , Behzad Abedi^{2*} 

1- Department of Islamic Studies, School of Medicine, Shahid Beheshti University of Medical Sciences, Tehran, Iran.

2- Gastroenterology and Liver Diseases Research Center, Research Institute for Gastroenterology and Liver Diseases, Shahid Beheshti University of Medical Sciences, Tehran, Iran.

*Correspondence should be addressed to Dr. Behzad Abedi; Email: behzad.abedi1993@gmail.com

Article Info

Received: Jan 14, 2024

Received in revised form:

Apr 26, 2025

Accepted: Jun 26, 2025

Available Online: Dec 22, 2025

Keywords:

Black fabric

Hijab

Heat

Smart fabric

Sunlight



 <https://doi.org/10.22037/jrrh.v11i4.44396>

Abstract

Background and Objective: Scientific research to produce new fabrics with special capabilities has been started a long time ago and today with the advancement of smart fabric technology, smart fabric is produced. The aim of the present study was to design and produce in the laboratory a black fabric with the ability to repel the heat energy of sunlight.

Methods: This study is laboratory-based. In this study, two types of 100% Iranian-made black wool fabrics measuring 0.5 by 0.5 meters were prepared as sample fabrics. After placing hollow glass microspheres on the fabric, the experiments were conducted in an air atmosphere with a heating rate of 10 degrees Celsius per minute up to a maximum temperature of 700 degrees Celsius. The samples were placed on a hot plate with a surface temperature of 50 degrees Celsius and at different time intervals the thermal radiation of the fabrics was compared with the initial state using thermal images. All ethical considerations were observed in the present study and the authors of the article reported no conflicts of interest.

Results: In the present study, four sample groups were examined, which included ordinary fabric without hollow glass microspheres, and fabric with 5%, 15%, and 25% hollow glass microspheres. The thermal resistance values showed that the ordinary fabric had 0.87, the fabric with 5% hollow glass microspheres had 1.05, the fabric with 15% hollow glass microspheres had 1.18, and the fabric with 25% hollow glass microspheres had a thermal resistance of 1.52. On the other hand, the p-value indicates that the probability of the observed differences between groups being due to chance is very low. Furthermore, the results demonstrated that increasing the amount of hollow glass microspheres led to an increase in thermal resistance. Finally, adding hollow glass microspheres to the fabric at all three levels (5%, 15%, and 25%) increased thermal resistance, with the greatest increase corresponding to 25% hollow glass microspheres. Based on the statistical test, these differences are statistically significant ($P < 0.05$).

Conclusion: The results of this study showed that the coating of pigment nanoparticles on hollow glass microspheres leads to a core-shell composite material that helps to repel solar radiation and not absorb it on the fabric. Therefore, the development of hollow glass microspheres and the investigation of their optical properties are very valuable.

Please cite this article as: Khadivi A, Abedi B. Design and Fabrication of Black Textile with Solar Thermal Radiation Shielding Properties. Journal of Pizhūhish dar dīn va salāmat. 2025;11(4):75-87. <https://doi.org/10.22037/jrrh.v11i4.44396>

Summary

Background and Objective

Clothing has always been one of the fundamental and essential human needs. Beyond providing physical coverage, its function has expanded over time, becoming a symbol of psychological comfort, personal aesthetics, and social adornment. In many cultures, attire reflects an individual's social status, economic class, profession, lifestyle, and religious beliefs. Among divine religions, Islam assigns a specific and serious significance to body covering, defining it within a framework of ethical, devotional, and social values. Consequently, choosing appropriate clothing, especially that which complies with religious and climatic requirements, is crucial for realizing these values. From this perspective, any research, innovation, and development in designing fabrics and garments compatible with the needs of Muslim women, particularly to facilitate adherence to hijab, is considered a cultural and strategic initiative. Given that a significant number of Islamic countries are located in hot, arid, or semi-arid regions, designing textiles suitable for warm climates for Islamic attire is proposed as a scientific-cultural strategy and an essential need to improve the quality of life for Muslim women (1-3). The aim of the present study is the laboratory-based design and production of black fabric that can repel solar thermal energy for the comfort of veiled women.

Methods

This laboratory-based study utilized two types of 100% black wool fabric (0.5 x 0.5 m) as sample fabrics. Titanium dioxide particles reflect visible and ultraviolet light. Titanium dioxide colloid is widely used in sunscreens and skincare products due to its high ability to repel and scatter sunlight. On the other hand, hollow glass microspheres (also called bubbles, micro-bubbles, or micro-balloons) offer advantages such as low density and high chemical resistance (4). Due to their spherical and hollow structure, hollow glass microspheres effectively reflect and scatter sunlight. This property prevents harmful ultraviolet rays and even visible light from being absorbed by the skin. A two-step coating approach was used to develop the fabric coating. First, the fabrics were immersed in a titanium dioxide colloid for 30 seconds, followed by a padding process. A neutralization step was then performed using ammonium hydroxide (25%) vapor to

achieve a neutral pH on the fabric surface. After drying the samples under a hood, the coated samples were cured at 120°C for 3 minutes. Subsequently, the fabrics were coated three times with the prepared coating formulation using the blade coating method. The coating based on hollow glass microspheres was applied only on one side of the fabric. After the coatings dried, the fabrics were cured at 150°C for 10 minutes to complete the cross-linking reactions between the fabric and the self-crosslinking acrylic emulsions.

The thermal stability of the fabrics was evaluated +based on thermogravimetric analysis. Samples of the coated black fabrics were tested, and average values are reported. The thermal radiation of the fabrics was also monitored using a thermal imaging camera. The samples were placed on a hot plate with a surface temperature of 50°C, and the thermal radiation of the fabrics was compared to the initial state at different time intervals using thermal images. The reduction in heat energy absorption on the fabric surface was found to be entirely significant.

Results

The present study investigated four sample groups: plain fabric without hollow glass microspheres, fabric with 5% hollow glass microspheres, fabric with 15% hollow glass microspheres, and fabric with 25% hollow glass microspheres. The recorded thermal resistance values (value multiplied by 100) were found to be as follows: plain fabric had 0.87, fabric with 5% hollow glass microspheres had 1.05, fabric with 15% had 1.18, and fabric with 25% had 1.52 a thermal resistance. On the other hand, the P-value indicates that the probability of the observed difference between the groups being random is negligible. Typically, a p-value less than 0.05 is considered statistically significant. In our study, the p-value was much smaller than 0.05.

Conclusion

The aim of the present study was the laboratory-based design and production of black fabric with solar heat-repelling capability. Since women hold an exalted position in the Islamic worldview, observing hijab and modest dress, as a symbol of chastity and religious commitment, is considered a divine obligation for Muslim women, just as it is for men. Adherence to hijab is not only a religious duty but also a manifestation of the dignity, grace, and elevated character of a Muslim woman. Although Islamic law does not prescribe a specific, fixed form of dress for women, it emphasizes principles such as covering the entire

body and avoiding attracting attention. Nevertheless, implementing this divine command in specific climatic conditions, such as during summer, can present challenges. The results of this research demonstrate that using fabric coated with reflective nanoparticles—particularly in the visible and near-infrared regions—can effectively reduce the absorption of solar thermal energy, consequently lowering the temperature of the fabric surface and the adjacent skin. This finding aligns with previous studies that used various nanoparticles (e.g., ZnO, TiO₂, Ag) to improve the optical and thermal properties of textiles. For instance, a study applying zinc oxide nanoparticles showed that coating cotton fabrics with these nanoparticles could reduce ultraviolet radiation transmission by approximately 95% and provide significant UV protection (27). Furthermore, studies coating linen-polyester fabrics with titanium dioxide nanoparticles showed that the Ultraviolet Protection Factor (UPF) increased from about 3.67 in the uncoated sample to approximately 55.82 after coating, without adversely affecting water vapor permeability (perspiration) (30).

Smartening textiles is crucial for providing complete and comfortable hijab. In the present study, samples of coated black fabrics were tested, and the reduction in heat energy absorption on the fabric was significant. The coating of pigment nanoparticles on hollow glass microspheres results in a core-shell composite material that aids in repelling solar rays. Therefore, the development of hollow glass microspheres and the investigation of their optical properties are highly valuable.

Acknowledgements

The authors would like thank all individuals who collaborated in conducting the experiments and data analysis in this research.

Ethical considerations

According to the authors, this research is derived from a project approved by the Ethics Committee of Shahid Beheshti University of Medical Sciences with code [IR.SBMU.RETECH.REC.1401.749](https://www.researchgate.net/publication/3681401749).

Funding

According to the authors, this research was financially supported by Shahid Beheshti University of Medical Sciences.

Conflict of interest

The article authors reported no conflicts of interest regarding this research.

Authors' contribution

Journal of Pizhūhish dar dīn va salāmat
(i.e., Research on Religion & Health)

Initial idea, study design, data analysis, and writing of the article: first and second authors.

تصميم وإنتاج ثياب سوداء قادرة على دفع أشعة الشمس الضارة

علي خديوي^١، بهزاد عابدي^{٢*}

١- قسم العلوم الإسلامية، كلية الطب، جامعة الشهيد بهشتي للعلوم الطبية، طهران، إيران.

٢- مركز دراسات أمراض الكبد و الجهاز الهضمي، معهد أمراض الكبد والجهاز الهضمي، جامعة الشهيد بهشتي للعلوم الطبية، طهران، إيران.

* المراسلات الموجهة إلى الدكتور بهزاد عابدي؛ البريد الإلكتروني: behzad.abedi1993@gmail.com

الملخص

خلفية البحث وأهدافه: بدأت صناعة الأقمشة الجديدة ذات الإمكانيات والقدرات الخاصة منذ زمن بعيد؛ وقد شهدت تطورات كبيرة بفضل تقنيات الثياب الذكية. وعليه، تسعى هذه الدراسة لتصميم وإنتاج ثياب سوداء قادرة على دفع أشعة الشمس الضارة بصورة تجريبية.

منهجية البحث: اعتمدت الدراسة على المنهج التجريبي. ففي هذه الدراسة أنتج الباحثون نوعين من الأقمشة السوداء مصنوعة من الصوف ١٠٠% من إنتاج إيران بقياسات ٠/٥ في ٠/٥ متر كقطعة تجريبية لإجراء البحث. فبعد وضع الكريئات الزجاجية المجهوطة على الثياب، أجريت التجربة في أجواء بدرجة حرارة ١٠ سنتيجراد في الدقيقة كحد أدنى و ٧٠٠ درجة سنتيجراد كحد أقصى. وقد وضعت النماذج على صفح صاخن تبلغ حرارته ٥٠ درجة مئوية، ثم قام الباحثون بمقارنة الأقمشة بدرجات حرارة مختلفة وفي فواصل زمنية مختلفة عبر الصور الحرارية. يُذكر أنه قد تمت مراعاة جميع الموارد الأخلاقية في هذا البحث وإضافة إلى ذلك فإن مؤلفي البحث لم يشيروا إلى أي تضارب في المصالح.

المعطيات: قام الباحثون بدراسة أربعة أنواع من الأقمشة كنموذج للدراسة وهي الأقمشة العادية الخالية من الكريئات الزجاجية المجهوطة، و أقمشة التي تحتوي على ٥%، ١٥%، و ٢٥% من الكريئات الزجاجية المجهوطة. أظهرت نسب مقاومة الحرارة أنّ الأقمشة العادية تحتوي على ٨٧% والأقمشة ذات الـ ٥% من الكريئات تحتوي على ١/١٨ والأقمشة ذات الـ ٢٥% من الكريئات الزجاجية المجهوطة تحتوي على ١/٥ والأقمشة ذات الـ ١٥% من الكريئات الزجاجية المجهوطة تحتوي على ١/٥٢ من نسب الحرارة. ومن انب آخر أظهرت كمية P أنّ احتمال الاختلاف بين الكميات احتمالات عشوائية، ضئيل جداً. فضلاً عن ذلك أثبتت النتائج أنّ ارتفاع نسبة الكريئات الزجاجية المجهوطة يزيد من نسبة مقاومة الحرارة. كما أنّ إضفاء الكريئات الزجاجية المجهوطة إلى الأقمشة في الأنواع الثلاثة (٥% و ١٥% و ٢٥%) تزيد من مقاومة الحرارة وأن النسبة الأعلى لمقاومة الحرارة كانت للأقمشة ذات الـ ٢٥% من الكريئات المجهوطة. وبناء على هذا الإختبار، يمكن القول أنّ الإختلاف يتضمن دلالة إحصائية واضحة ($P < ٠/٠٥$).

الاستنتاج: اثبتت نتائج البحث أنّ غطاء الذرات النانوية الملونة على الكريئات الزجاجية المجهوطة يؤدي إلى تكوين مادة مركبة من نواة-قشرة تساعد على دفع أشعة الشمس وتمنع القماش من امتصاص الأشعة الضارة. لهذا يمكن القول أنّ تطوير الكريئات الزجاجية المجهوطة ودراسة خصائصها الضوئية، أمر بالغ الأهمية في رفع جودة الثياب.

معلومات المادة

الوصول: ٢ رجب ١٤٤٥

وصول النص النهائي: ١٧ شوال ١٤٤٥

القبول: ١٩ ذى الحجة ١٤٤٥

النشر الإلكتروني: ١ رجب ١٤٤٧

الكلمات الرئيسية:

الأقمشة السوداء

الثياب الذكية

الحجاب

الحرارة

ضوء الشمس

يتم استناد المقالة على الترتيب التالي:

Khadiwi A, Abedi B. Design and Fabrication of Black Textile with Solar Thermal Radiation Shielding Properties. Journal of Pizhūhish dar dīn va salāmat. 2025;11(4):75-87. <https://doi.org/10.22037/jrrh.v11i4.44396>

طراحی و تولید پارچه مشکی با قابلیت دفع انرژی گرمایی نور خورشید

علی خدیوی^۱، بهزاد عابدی^{۲*}

۱- گروه معارف اسلامی، دانشکده پزشکی، دانشگاه علوم پزشکی شهید بهشتی، تهران، ایران.
۲- مرکز تحقیقات بیماری‌های گوارش و کبد، پژوهشکده بیماری‌های گوارش و کبد، دانشگاه علوم پزشکی شهید بهشتی، تهران، ایران.
*مکاتبات خطاب به دکتر بهزاد عابدی؛ رایانامه: behzad.abedi1993@gmail.com

اطلاعات مقاله

دریافت: ۲۴ دی ۱۴۰۳
دریافت متن نهایی: ۷ اردیبهشت ۱۴۰۴
پذیرش: ۶ تیر ۱۴۰۴
نشر الکترونیکی: ۱ دی ۱۴۰۴

چکیده

سابقه و هدف: پژوهش‌های علمی برای تولید پارچه‌های جدید با قابلیت‌های خاص از مدت‌ها پیش شروع شده است و امروزه با پیشرفت فناوری پارچه‌های هوشمند تولید می‌شود. هدف از مطالعه حاضر طراحی و تولید آزمایشگاهی پارچه مشکی با قابلیت دفع انرژی گرمایی نور خورشید بود.

روش کار: این پژوهش از نوع آزمایشگاهی بود. در این مطالعه، دو نوع پارچه مشکی ۱۰۰٪ پشمی ساخت ایران به اندازه ۰/۵ در ۰/۵ متر به‌عنوان پارچه نمونه تهیه شد. پس از قرارگرفتن میکروکره‌های شیشه‌ای توخالی روی پارچه، آزمایش‌ها در اتمسفر هوا با نرخ گرمایش ۱۰ درجه سانتی‌گراد در دقیقه تا حداکثر دمای ۷۰۰ درجه سانتی‌گراد انجام شد. نمونه‌ها روی صفحه داغ با دمای سطح ۵۰ درجه سانتی‌گراد قرار گرفت و در فواصل زمانی مختلف تابش حرارتی پارچه‌ها با حالت اولیه با استفاده از تصاویر حرارتی مقایسه شد. در این پژوهش همه اصول اخلاقی رعایت شده است و مؤلفان مقاله تضاد منافی گزارش نکرده‌اند.

یافته‌ها: در مطالعه حاضر چهار گروه نمونه بررسی شد که شامل پارچه معمولی بدون میکروکره‌های شیشه‌ای توخالی و پارچه با ۵٪، ۱۵٪ و ۲۵٪ میکروکره‌های شیشه‌ای توخالی بود. مقادیر مقاومت حرارتی نشان داد که پارچه معمولی دارای ۰/۸۷، پارچه با ۵٪ میکروکره‌های شیشه‌ای توخالی دارای ۱/۰۵، پارچه با ۱۵٪ میکروکره‌های شیشه‌ای توخالی دارای ۱/۱۸ و پارچه با ۲۵٪ میکروکره‌های شیشه‌ای توخالی دارای مقاومت حرارتی ۱/۵۲ بودند. از طرف دیگر مقدار P نشان می‌دهد که احتمال اینکه تفاوت مشاهده‌شده بین گروه‌ها تصادفی باشد، بسیار ناچیز است. علاوه‌براین، نتایج نشان داد که افزایش میکروکره‌های شیشه‌ای توخالی موجب افزایش مقاومت حرارتی شد. درنهایت افزودن میکروکره‌های شیشه‌ای توخالی به پارچه در هر سه سطح (۵٪، ۱۵٪ و ۲۵٪) مقاومت حرارتی را افزایش داد و بیشترین افزایش مربوط به میکروکره‌های شیشه‌ای توخالی ۲۵٪ بود. بر اساس آزمون آماری، این تفاوت‌ها به‌طور آماری معنی‌دار است ($P < 0.05$).

نتیجه‌گیری: یافته‌ها نشان می‌دهد که پوشش نانوذرات رنگدانه روی میکروکره‌های شیشه‌ای توخالی منجر به یک ماده مرکب هسته-پوسته می‌شود که به دفع اشعه‌های خورشیدی و جذب‌نشدن آن روی پارچه کمک می‌کند. از این‌رو، توسعه میکروکره‌های شیشه‌ای توخالی و بررسی خواص نوری آنها بسیار ارزشمند است.

استناد مقاله به این صورت است:

Khadivi A, Abedi B. Design and Fabrication of Black Textile with Solar Thermal Radiation Shielding Properties. Journal of Pizhūhish dar dīn va salāmat. 2025;11(4):75-87. <https://doi.org/10.22037/jrrh.v11i4.44396>

مقدمه

پوشاک همواره یکی از نیازهای بنیادین و اساسی انسان به شمار آمده است؛ نیازی که افزون بر تأمین پوشش فیزیکی، در گذر زمان کارکردهای گسترده‌تری یافته و به یکی از نمادهای آرامش روانی، زیبایی‌شناسی فردی و آراستگی اجتماعی تبدیل شده است. لباس نه تنها نقشی حفاظتی در برابر شرایط محیطی ایفا می‌کند، بلکه ابزاری نمادین است که حامل پیام‌هایی دربارهٔ هویت فردی و اجتماعی افراد است. در بسیاری از فرهنگ‌ها، پوشش انسان بیانگر جایگاه اجتماعی، طبقهٔ اقتصادی، پیشه و حرفه، سبک زندگی و باورهای دینی افراد است.

در میان ادیان الهی، دین اسلام جایگاهی خاص و جدی برای پوشش بدن قائل است و آن را در چارچوب ارزش‌های اخلاقی، عبادی و اجتماعی تعریف می‌کند. از منظر تعالیم اسلامی، حجاب برای زنان نه تنها حکم الهی، بلکه رکن بنیادین اخلاق فردی و اجتماعی به شمار می‌رود. زنان مسلمان رعایت پوشش کامل را ضامن حفظ کرامت خویش در عرصهٔ فعالیت‌های اجتماعی و نیز عاملی مؤثر در تحکیم بنیان خانواده تلقی می‌کنند. از این رو، انتخاب لباس مناسب به‌ویژه در تطابق با الزامات دینی و اقلیمی، اهمیت بسزایی در تحقق این ارزش‌ها دارد.

با توجه به این دیدگاه، هرگونه پژوهش، نوآوری و توسعه در حوزهٔ طراحی پارچه و لباس سازگار با نیازهای زنان مسلمان به‌ویژه در جهت تسهیل رعایت حجاب، اقدامی فرهنگی و راهبردی به شمار می‌رود. اهمیت این موضوع زمانی دوچندان می‌شود که شرایط اقلیمی نظیر گرمای شدید در فصول گرم، رعایت پوشش کامل را برای بانوان با دشواری‌هایی همراه سازد. در این زمینه، تولید و به‌کارگیری منسوجاتی که توان مقابله با گرمای ناشی از تابش خورشید را داشته باشد و مانع انتقال یا تجمع حرارت در فضای بین لباس و پوست شود، ضرورتی جدی می‌یابد.

با توجه به اینکه بخش قابل‌توجهی از کشورهای اسلامی در نواحی گرم، خشک یا نیمه‌خشک واقع شده‌اند، لزوم طراحی منسوجات متناسب با اقلیم گرم برای پوشش اسلامی به‌عنوان راهبردی علمی - فرهنگی و نیازی ضروری در جهت بهبود کیفیت زندگی بانوان مسلمان مطرح می‌شود. در نتیجه، توسعهٔ فناوری‌های مرتبط با پارچه‌های سبک، تنفس‌پذیر و مقاوم در برابر تابش خورشید، باید در اولویت‌های پژوهشی و

دورهٔ ۱۱، شمارهٔ ۴، زمستان ۱۴۰۴

صنعتی جوامع اسلامی قرار گیرد.

پژوهش‌های علمی برای تولید پارچه‌های جدید با قابلیت‌های خاص از مدت‌ها پیش شروع شده است و امروزه با پیشرفت فناوری پارچه‌های هوشمند تولید می‌شود. منسوجات هوشمند^۱ به حوزهٔ وسیعی از محصولات نساجی اشاره دارد که در آن کالای طراحی و ساخته شده (مانند پلیمر، لیاف، نخ و پارچه) قابلیت ارتباط و پاسخ به محرک‌های خارجی مانند گرما، مواد شیمیایی، میدان مغناطیسی، الکتروسیسته، متغییرهای مکانیکی و موارد متعدد دیگر را دارد (۱-۳).

نساجی هوشمند توانسته است به‌طور چشمگیری مسی‌رها و تحولات جدیدی را در حوزه‌های گوناگون از جمله حوزهٔ نظامی، پزشکی، مد، الکترونیک، هوافضا و سایر صنایع ایجاد نماید. برای نمونه ترموترون^۲ پارچه‌ای ویژه با توانایی جذب نور خورشید است و کار آن تبدیل انرژی نور به انرژی گرمایی است. این پارچه گرما را بدون هدر دادن ذخیره می‌کند. در داخل ترموترون، میکرو ذرات زیرکونیوم کاربرد^۳ وجود دارد که به پارچه اجازه می‌دهد نور خورشید را جذب و پایش کند. لایهٔ درونی پارچه گرمای تولیدشده توسط پارچه را نگه می‌دارد و مانع انتقال آن در جو اطراف می‌شود؛ و در نهایت تأثیر مطلوبی بر بدن انسان می‌گذارد (۴). در نتیجه آن چیزی که پارچه‌های هوشمند را می‌تواند به تحولی نو تبدیل کند، قابلیت انجام کارهایی است که پارچه‌های متداول قادر به انجام آنها نیست. یکی از کارکردهای آیندهٔ پارچه‌های هوشمند استفاده به‌عنوان حجاب هوشمند بانوان است. در حال حاضر، بیشتر پارچه‌هایی که برای دوخت مانتو یا چادر سیاه استفاده می‌شود، معمولاً رنگ تیره یا مایل به تیره دارد (۵). رنگ سیاه ذاتاً جاذب اشعهٔ نور خورشید است که موجب جذب انرژی الکترومغناطیسی خورشید در سطح پارچه و در نتیجه افزایش دمای سطح و قسمت داخلی پارچه (مانتو یا چادر) می‌شود و مسلماً مشکلاتی برای بانوان محجبه ایجاد می‌کند (۶).

برای نخستین بار در این مطالعه نوع خاصی پارچهٔ مشکی با استفاده از میکروکره‌های شیشه‌ای توخالی^۴ و تیتانیوم دی‌اکسید^۵ تولید شده است که با کاهش مقدار جذب انرژی و الکترومغناطیس نور خورشید موجب کاهش جذب انرژی و در نتیجه کاهش دمای محیط داخل مانتو یا چادر می‌شود و

1) Smart Textiles

2) Thermatron

3) Zirconium Carbide

4) Hollow glass microspheres (HGMs)

5) Titanium Dioxide Colloid

امکان استفاده راحت‌تر از حجاب کامل را در ایام گرم سال فراهم می‌آورد (۷-۱۴).

روش کار

این پژوهش از نوع آزمایشگاهی است. در این مطالعه دو نوع پارچه مشکی ۱۰۰٪ پشمی ساخت ایران به اندازه ۰/۵ در ۰/۵ متر به‌عنوان پارچه نمونه تهیه شد و بارگذاری میکروکره‌های شیشه‌ای توخالی بر روی این پارچه‌ها انجام شد. ویژگی تجاری این پارچه‌ها در جدول شماره ۱ آورده شده است.

جدول (۱) پارچه‌های استفاده‌شده در مطالعه

شماره	ویژند تجاری پارچه	اندازه پارچه (متر مربع)
۱	مهراجه ^۱	۰/۲۵
۲	والا ^۲	۰/۲۵

کلوئید تیتانیوم دی اکسید

کلوئید تیتانیوم دی اکسید به‌طور گسترده‌ای در محصولات ضد آفتاب و مراقبت از پوست استفاده می‌شود؛ زیرا توانایی بالایی در دفع و پراکنده کردن نور خورشید دارد. تیتانیوم دی اکسید فیلتری فیزیکی است که نور فرابنفش را جذب و پراکنده می‌کند. این ماده با تشکیل یک لایه محافظ روی سطح، از نفوذ اشعه‌های مضر خورشید جلوگیری می‌کند. به عبارت دیگر، ذرات تیتانیوم دی اکسید نور مرئی و فرابنفش را بازتاب می‌دهد. این خاصیت موجب می‌شود که نور خورشید به‌جای جذب شدن توسط سطح، منعکس شود. تیتانیوم دی اکسید در برابر نور پایدار است و تحت تأثیر اشعه‌های خورشید تجزیه نمی‌شود. این ویژگی آن را به یک ماده ایدئال برای استفاده در پارچه‌های هوشمند تبدیل می‌کند. با جلوگیری از نفوذ اشعه‌های فرابنفش، تیتانیوم دی اکسید به کاهش خطر آفتاب‌سوختگی، پیری زودرس پوست و حتی سرطان پوست کمک می‌کند (۱۵-۲۰).

تهیه میکروکره‌های شیشه‌ای توخالی

میکروکره‌های شیشه‌ای توخالی که به آنها حباب، میکروحباب یا میکروبالون نیز گفته می‌شود، مزایایی مانند چگالی کم و مقاومت شیمیایی بالا دارند. گوی‌های شیشه‌ای توخالی از نظر شیمیایی پایدار، غیر قابل احتراق و دارای مقاومت عالی در برابر آب هستند. میکروکره‌های شیشه‌ای توخالی به دلیل ساختار کروی و توخالی خود، نور خورشید را به‌طور مؤثر

بازتاب می‌دهند و پراکنده می‌کنند. این خاصیت موجب می‌شود که اشعه‌های مضر فرابنفش و حتی نور مرئی به‌جای جذب شدن توسط پوست، منعکس شود. ساختار توخالی این میکروکره‌ها مانند عایقی حرارتی عمل می‌کند و از انتقال گرمای ناشی از نور خورشید به پارچه جلوگیری می‌کند. این ویژگی به کاهش احساس گرما و ناراحتی ناشی از تابش مستقیم خورشید کمک می‌کند. میکروکره‌های شیشه‌ای توخالی بسیار سبک هستند که این ویژگی موجب ایجاد لایه‌ای نازک و یکنواخت روی پارچه می‌شود که بدون ایجاد حس سنگینی، از پوست محافظت می‌کند. این میکروکره‌ها می‌توانند به‌عنوان مکمل در کنار سایر فیلترهای ضد آفتاب (مانند تیتانیوم دی اکسید یا زینک اکسید) استفاده شوند تا کارایی پارچه را افزایش دهند. آنها به‌طور هم‌زمان نور را بازتاب می‌دهند و از نفوذ اشعه‌های مضر به داخل پارچه جلوگیری می‌کنند. در مطالعه حاضر از میکروکره‌های شیشه‌ای توخالی با قطر متوسط ۱۸ میکرومتر استفاده شده است (۲۱-۲۵).

جایگذاری میکروکره‌های شیشه‌ای روی سطح پارچه

در گام نهایی از رویکرد پوشش دومرحله‌ای برای توسعه پوشش روی پارچه‌ها استفاده شد. ابتدا پارچه‌ها به مدت ۳۰ ثانیه در کلوئید تیتانیوم اکسید غوطه‌ور شدند و سپس فرایند بالشتک انجام شد. بعد از آن یک مرحله خنثی‌سازی با استفاده از بخار محلول هیدروکسید آمونیوم (۰/۲۵٪) برای به دست آوردن pH خنثی روی سطح پارچه انجام شد. پس از خشک شدن نمونه‌ها در زیر هود، نمونه‌های پوشش‌داده شده در دمای ۱۲۰ درجه سانتی‌گراد به مدت ۳ دقیقه پخت شدند. در مرحله بعد، پارچه‌ها با فرمول پوشش آماده‌شده سه بار با روش پوشش‌دهی تیغه‌ای پوشانده شدند. پوشش مبتنی بر میکروکره‌های شیشه‌ای فقط در یک طرف پارچه اعمال شد. پس از خشک شدن پوشش‌ها، پارچه‌ها در دمای ۱۵۰ درجه سانتیگراد به مدت ۱۰ دقیقه پخت شدند تا واکنش‌های پیوند متقابل بین پارچه و امولسیون‌های آکرلیک خودپیوند^۳ تکمیل شود.

امولسیون‌های آکرلیک (۲۶، ۲۷) خودپیوند نوعی از پلیمرهای پایه آب هستند که بدون نیاز به مواد افزودنی یا عوامل پخت خارجی، قادر به ایجاد پیوندهای عرضی در ساختار خود هستند. این امولسیون‌ها معمولاً از مونومر^۴هایی

^۳ Self-Cross-Linking

^۴ Monomer

^۱ Mahraje

^۲ Vala

تیتانیوم دی اکسید وجود دارد که می‌تواند به‌عنوان یک پوسته ثانویه در سطح بیرونی میکروکره‌های شیشه‌ای توخالی عمل کند که ضریب شکست کلی را در سطح پارچه افزایش می‌دهد (تصویر ۱).

تصویر ۲ نشان‌دهنده تغییرات مقاومت حرارتی (بر حسب درجه سانتی‌گراد \times سانتی‌متر مربع / وات) در چهار نمونه مختلف از پارچه پنبه‌ای است. در این نمودار، مقاومت حرارتی پارچه‌ها با درصد‌های مختلفی از افزودنی میکروکره‌های شیشه‌ای توخالی بررسی شده است.

افزایش مقاومت حرارتی به این معنا است که پارچه توانایی بیشتری در جلوگیری از انتقال گرما دارد؛ که در صنعت نساجی به‌ویژه برای لباس‌های زمستانی یا عایق‌ها، بسیار مهم است. در مطالعه حاضر چهار گروه نمونه بررسی شده است که شامل پارچه معمولی بدون میکروکره‌های شیشه‌ای توخالی، پارچه با ۵٪ میکروکره‌های شیشه‌ای توخالی، پارچه با ۱۵٪ میکروکره‌های شیشه‌ای توخالی و پارچه با ۲۵٪ میکروکره‌های شیشه‌ای توخالی است. مقادیر مقاومت حرارتی ثبت شده به‌صورت زیر بود (مقدار ضریب ۱۰۰ شده): پارچه معمولی دارای مقاومت حرارتی ۰/۸۷، پارچه با ۵٪ میکروکره‌های شیشه‌ای توخالی دارای مقاومت حرارتی ۱/۰۵، پارچه با ۱۵٪ میکروکره‌های شیشه‌ای توخالی دارای مقاومت حرارتی ۱/۱۸ و پارچه با ۲۵٪ میکروکره‌های شیشه‌ای توخالی دارای مقاومت حرارتی ۱/۵۲ بودند. از طرف دیگر، مقدار P نشان می‌دهد که احتمال اینکه تفاوت مشاهده‌شده بین گروه‌ها تصادفی باشد بسیار ناچیز است. به‌طور معمول، اگر P کمتر از ۰/۰۵ باشد، تفاوت بین گروه‌ها معنادار در نظر گرفته می‌شود. در اینجا مقدار P بسیار کوچک‌تر از ۰/۰۵ بود.

تصویر ۲ شامل نوارهای خطا است که میزان تغییرات یا قطعی نبودن در هر گروه را نشان می‌دهد. این نوارها بر اساس انحراف معیار تقریبی داده‌ها بود و به‌وضوح نشان می‌دهد که افزایش میکروکره‌های شیشه‌ای توخالی موجب افزایش مقاومت حرارتی می‌شود. در نهایت افزودن میکروکره‌های شیشه‌ای توخالی به پارچه در هر سه سطح (۵٪، ۱۵٪ و ۲۵٪) مقاومت حرارتی را افزایش داده است. بیشترین افزایش مربوط به میکروکره‌های شیشه‌ای توخالی ۲۵٪ بود. بر اساس آزمون آماری، این تفاوت‌ها به‌طور آماری معنی‌دار است ($P < 0.05$).

مانند متیل متاکریلات^۱، بوتیل آکریلات^۲ و مونومرهای عملکردی مانند گروه‌های هیدروکسیل^۳ یا اپوکسید^۴ ساخته می‌شوند. این گروه‌های عملکردی موجب می‌شود که بعد از خشک شدن یا در شرایط حرارتی مشخص، پیوندهای شیمیایی در بین زنجیره‌های پلیمری شکل بگیرد. ایجاد این پیوندهای عرضی موجب بهبود خواصی مانند مقاومت شیمیایی، مکانیکی و مقاومت در برابر آب می‌شود. از آنجاکه این نوع امولسیون‌ها بر پایه آب هستند، میزان انتشار ترکیبات آلی فرار بسیار پایین است و از نظر زیست‌محیطی مناسب‌تر هستند.

تحلیل‌های حرارتی و نوری پارچه‌های تولیدشده

پایداری حرارتی پارچه‌ها بر اساس تحلیل ترموگراویمتری^۵ و منحنی‌های ترموگراویمتری ارزیابی شد. آزمایش‌ها با نرخ گرمایش ۱۰ درجه سانتی‌گراد در دقیقه تا حداکثر دمای ۷۰۰ درجه سانتی‌گراد انجام شد. علاوه بر این، مقاومت حرارتی خشک پارچه‌ها با استفاده از محفظه حرارتی محافظ طبق روش استاندارد اندازه‌گیری شد. دمای صفحه آزمایش و محیط به‌ترتیب در 20 ± 0.1 و 35 ± 0.1 درجه سانتیگراد حفظ شد. سرعت هوا و رطوبت نسبی محفظه آزمایش به‌ترتیب 1 ± 0.1 متر بر ثانیه و $4 \pm 65\%$ تنظیم شد. نمونه‌هایی از پارچه‌های پوشش‌داده‌شده، آزمایش؛ و مقادیر متوسط گزارش شد. تابش گرمای پارچه‌ها نیز با استفاده از دوربین تصویربرداری حرارتی کنترل شد. نمونه‌ها روی صفحه داغ با دمای سطح ۵۰ درجه سانتیگراد قرار گرفتند و در فواصل زمانی مختلف تابش حرارتی پارچه‌ها با حالت اولیه با استفاده از تصاویر حرارتی مقایسه شد. بازتاب پارچه‌ها با استفاده از دستگاه‌های مجهز به لوازم جانبی بازتابی منتشر اندازه‌گیری شد (۲۸، ۲۹).

یافته‌ها

در این مطالعه تلاش شده است تا با ساخت نوعی پارچه هوشمند گرمای تابستان بدون به خطر انداختن حفظ حجاب کامل شکست داده شود. حضور میکروکره‌های شیشه‌ای توخالی و غلظت آن به‌طور مستقیم بر بازتاب اشعه نور خورشید تأثیر می‌گذارد. در سطح مشترک بین پارچه و میکروکره‌های شیشه‌ای توخالی، لایه نازکی از بلورهای

^۱) Methyl methacrylate

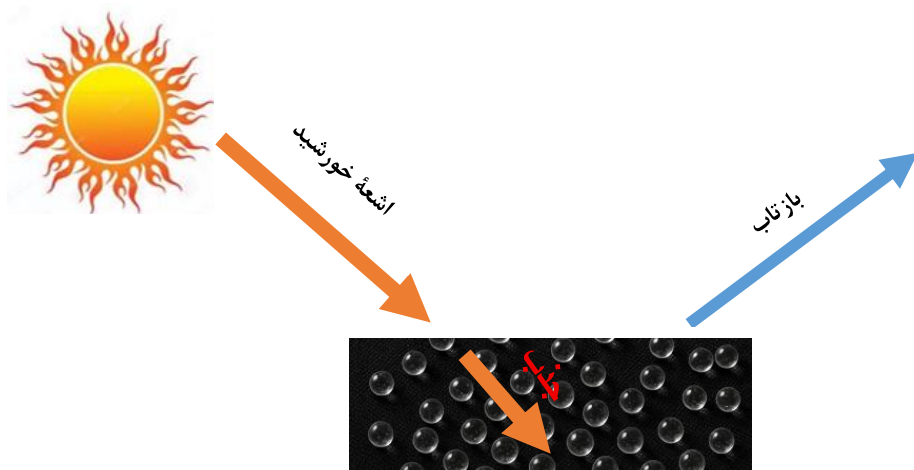
^۲) Butyl acrylate

^۳) Hydroxyl

^۴) Epoxide

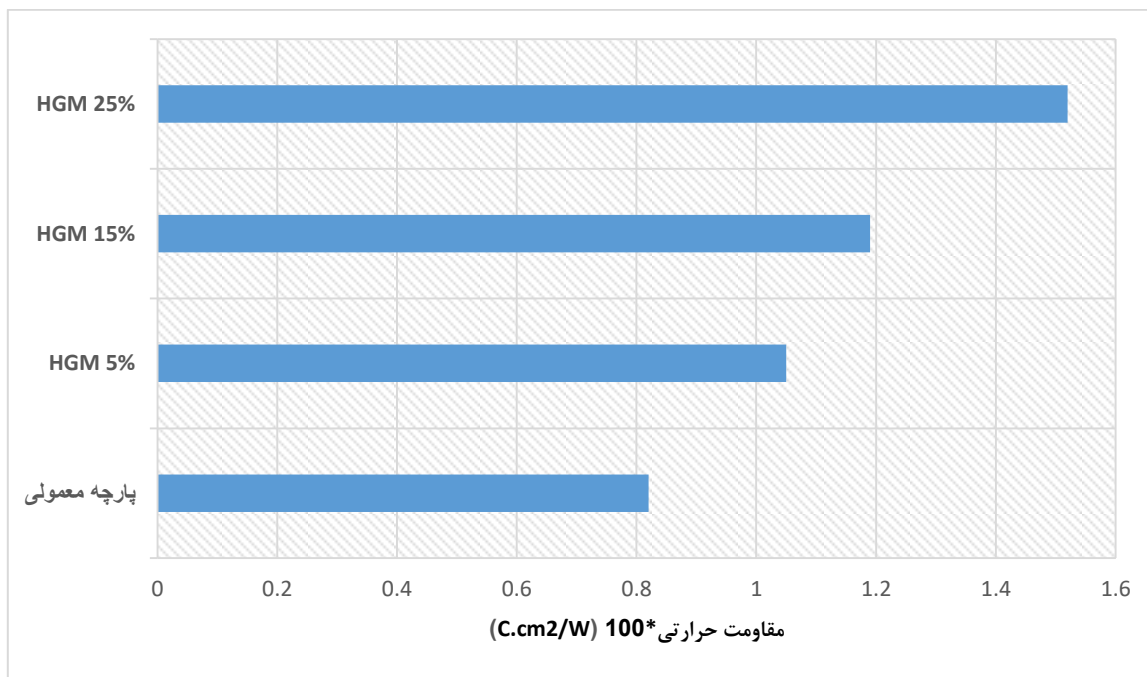
^۵) Thermogravimetric

^۶) Error bars



پارچه سیاه با میکروکره‌های شیشه‌ای

تصویر (۱) تأثیر میکروکره‌های شیشه‌ای بر بازتاب اشعه خورشید



تصویر (۲) مقاومت حرارتی پارچه معمولی و پارچه‌های اصلاح‌شده

اقلیمی خاص از جمله فصل تابستان، ممکن است با دشواری‌هایی همراه شود. نتایج این پژوهش نشان می‌دهد که استفاده از پارچه‌ای با پوشش نانوذرات بازتابنده -به‌ویژه در ناحیه مرئی و نزدیک مادون قرمز- می‌تواند به‌طور مؤثری جذب انرژی گرمایی ناشی از تابش خورشید را کاهش دهد و به تبع آن، دمای سطح پارچه و پوست مجاور آن را پایین بیاورد. این یافته با مطالعات پیشین که در آنها نانوذرات مختلف (مثلاً Ag , TiO_2 , ZnO) برای بهبود خواص نوری و حرارتی منسوجات به کار رفته‌اند، همسو است. برای نمونه،

بحث و نتیجه‌گیری

هدف از مطالعه حاضر طراحی و تولید آزمایشگاهی پارچه مشکی با قابلیت دفع انرژی گرمایی نور خورشید بود. رعایت حجاب نه‌تنها تکلیفی شرعی، بلکه مظهری از کرامت، متانت و شخصیت والای زن مسلمان است. هر چند شریعت اسلام شکل خاص و ثابتی برای پوشش زنان تعیین نکرده، اما اصولی چون پوشاندن تمامی بدن و اجتناب از جلب توجه در آن تأکید شده است. باوجوداین، اجرای این دستور الهی در شرایط

بلند (با کاهش تله شدن حرارت در لایه پارچه). از این منظر، می توان گفت ایجاد تعادل بین رعایت کامل حجاب و مواجهه با شرایط اقلیمی سخت، نه تنها ممکن، بلکه با تکیه بر راهکارهای علمی و مهندسی قابل تحقق است. بدین ترتیب، حجاب در کنار حفظ ارزش های دینی، می تواند با بهره مندی از نوآوری های علمی، با نیازهای فیزیولوژیکی و زیست محیطی نیز همسو گردد (۳۱-۳۴).

نتایج مطالعه ای نشان داده است که میکروکره های شیشه ای توخالی می توانند به عنوان پرکننده های مؤثر در کنترل جذب گرمای خورشید از محیط استفاده شوند (۳۵). با این حال، کارایی آن تا حد زیادی به اندازه ذرات و غلظت در ساختار پوشش بستگی دارد (تصویر ۱).

اشعه های موجود در نور خورشید، عموماً منشأ گرما نامیده می شوند. بنابراین، پوشش های مناسب با خاصیت بازتاب اشعه نور خورشید می تواند دمای سطح و همچنین افزایش حرارت داخلی را کاهش دهد و در عین حال آسایش را بهبود بخشد. زمانی که دمای محیط ۴۰ درجه سانتیگراد یا بیشتر است، استفاده از حجاب با جنس پلی استر یا نایلون غیرممکن است. ولی نوعی پارچه سبک و قابل تنفس، زنان مسلمان را از دردهای هوای گرم بیرون نجات می دهد. این پارچه های نرم از زنان محجبه در برابر اشعه های مضر خورشید محافظت می کند و راحتی آنان را در بالاترین سطح حفظ می کند. برای مثال، ابریشم بهترین پارچه برای حجاب در تابستان شناخته می شود. چنین پارچه هایی عرق را جذب می کنند و هوا را به گردش درمی آورند و فرد را خنک نگه می دارند. بنابراین پارچه حجاب باید به گونه ای انتخاب شود که در عین حال که شخص از فصل گرما لذت ببرد، ظاهر محجبه فرد نیز حفظ شود.

حذف حجاب گرمای هوا را تغییر نمی دهد ولی اصول اخلاقی را به خطر می اندازد. همچنین، حجاب علاوه بر اینکه نشانه حیا است، دفاعی برای زنان در برابر اشعه های مضر خورشید است. لخت نگه داشتن پوست در فصل گرما به این معنی است که اشعه ماورای بنفش مستقیماً به پوست نفوذ می کند (۳۰، ۳۶). هوشمندسازی منسوجات نیز برای فراهم کردن حجاب کامل و راحت بسیار مهم است. در مطالعه حاضر، نمونه هایی از پارچه های مشکی پوشش داده شده آزمایش شد و مقادیر متوسط گزارش شد. تابش گرمای پارچه ها نیز با استفاده از دوربین تصویربرداری حرارتی کنترل شد. نمونه ها روی صفحه داغ با دمای سطح ۵۰ درجه سانتیگراد قرار گرفت و در فواصل زمانی مختلف تابش

مطالعه ای با کاربرد نانوذرات اکسید روی نشان داده است که پوشش روی پارچه های پنبه ای با این نانوذرات می تواند عبور اشعه فرابنفش را تا حدود ۹۵٪ کاهش دهد (به طور تقریبی) و حفاظت قابل توجهی در برابر اشعه ماورای بنفش ایجاد کند (۲۷). همچنین، مطالعاتی با پوشش نانو ذرات تیتانیوم اکسید روی پارچه های «کتان - پلی استر» نشان داده است که مقدار حفاظت در برابر اشعه ماورای بنفش از حدود ۳/۶۷ در نمونه بدون پوشش به حدود ۵۵/۸۲ پس از پوشش، بدون ایجاد تأثیر منفی بر نفوذ بخار عرق، افزایش یافت (۳۰). به علاوه، پژوهشی دیگر نشان داده است که ساختار «نانومش» از الیاف با قطر ۶۰۰ نانومتر می تواند بیش از ۹۰٪ بازتاب تابش خورشید و نزدیک مادون قرمز داشته باشد و همزمان حدود ۵۰٪ انتشار مادون قرمز بلند (حرارتی) را ممکن سازد (۳۱).

پژوهش های یادشده نشان می دهد که به کارگیری نانوذرات یا ساختار میکرو/نانو در سطح پارچه می تواند نقش مهمی در کنترل حرارتی منسوجات داشته باشد. زن در منظومه فکری اسلام از جایگاه رفیعی برخوردار است و بر همین اساس، حفظ حجاب و رعایت پوشش علاوه بر مردان در زنان مسلمان به عنوان نماد عفاف و تعهد دینی، یکی از فرایض الهی شمرده می شود. تابستان فصلی است که در آن شدت تابش خورشید به حداکثر می رسد و در نتیجه، دمای محیط به طور محسوسی افزایش می یابد. این شرایط برای بانوان محجبه به ویژه در مناطق گرمسیری و نیمه گرمسیری، ممکن است منجر به ایجاد ناراحتی های جسمی، تعریق بیش از حد و حتی بروز مشکلات پوستی گردد. با در نظر گرفتن این چالش ها، پژوهش در حوزه فناوری نساجی و طراحی پوشاک اسلامی به سمت یافتن راهکارهایی برای افزایش آسایش حرارتی در پوشش بانوان معطوف شده است. در این زمینه، استفاده از راهبردهای خنک کننده غیرفعال در ساختار پارچه ها همچون افزایش قابلیت تنفس پذیری، بازتاب تابش خورشیدی و بهره گیری از الیاف طبیعی از مهم ترین محورهای مطالعات اخیر به شمار می رود.

در پژوهش حاضر مشاهده شد که پارچه پوشش داده شده با نانوذرات نسبت به نمونه مرجع (بدون پوشش یا با پوشش معمولی) دمای سطح را به مقدار قابل توجهی کاهش داد و نرخ جذب تابش را پایین آورد. این امر عمدتاً به دو عامل بازمی گردد: ۱) افزایش بازتاب تابش در ناحیه مرئی و نزدیک مادون قرمز به واسطه نانوذرات با ضریب بازتاب بالا؛ و ۲) امکان انتقال حرارت بدن به محیط از طریق انتشار مادون قرمز

شود. همچنین، تأثیر روش‌های مختلف اعمال پوشش (پد - درای، اسپری، لایه‌نشانی پلاسمایی، یا سل - ژل) بر یکنواختی و چسبندگی پوشش نیز قابل بررسی و مطالعه است.

قدردانی

از تمامی افرادی که در انجام آزمایش‌ها و تحلیل داده‌ها در این پژوهش همکاری داشته‌اند، تشکر و قدردانی می‌شود.

ملاحظات اخلاقی

بنا بر اظهار مؤلفان مقاله، مطالعه حاضر برگرفته از طرح پژوهشی است که کمیته اخلاق در پژوهش معاونت تحقیقات و فناوری دانشگاه علوم پزشکی شهید بهشتی با کد اخلاق IR.SBMU.RETECH.REC.1401.749 آن را تأیید کرده است.

حامی مالی

بنا بر اظهار مؤلفان مقاله، این پژوهش با حمایت مالی دانشگاه علوم پزشکی شهید بهشتی انجام شده است.

تضاد منافع

مؤلفان مقاله تضاد منافی درباره این پژوهش گزارش نکرده‌اند.

مشارکت مؤلفان

فکر اولیه، طراحی مطالعه، تحلیل داده‌ها و نگارش مقاله: مؤلفان اول و دوم.

References

1. Sadatmoosavi Z, Shokouhi MA, editors. Hijab of women in Islamic civilization history. World Congress for Islamic History and Civilization; 2011: WOCIHAC, Academy of Islamic Studies University of Malaya Kuala Lumpur.
2. Cherenack K, Van Pieteron L. Smart textiles: Challenges and opportunities. Journal of Applied Physics. 2012;112(9).
3. Syduzzaman M, Patwary SU, Farhana K, Ahmed S. Smart textiles and nano-technology: a general overview. J Text Sci Eng. 2015;5(1):1-7.
4. Knischka R, Lehmann U, Stadler U, Mamak M, Benkhoff J. Novel approaches in NIR curing technology. Progress in Organic Coatings. 2009;64(2-3):171-4.

حرارتی پارچه‌ها با حالت اولیه با استفاده از تصاویر حرارتی مقایسه شد و کاهش جذب انرژی گرمایی روی پارچه کاملاً معنادار بود.

نتایج حاصل از این مطالعه نشان می‌دهد که از طریق اعمال میکروکره‌های شیشه‌ای توخالی روی پارچه و افزایش غلظت آن، بازتاب نور خورشید افزایش می‌یابد که این ویژگی را می‌توان بر اساس درک فعل و انفعالات احتمالی بین میکروکره‌های شیشه‌ای توخالی و تشعشعات خورشیدی توضیح داد. پوشش نانوذرات رنگدانه روی میکروکره‌های شیشه‌ای توخالی منجر به یک ماده مرکب هسته - پوسته می‌شود که به دفع اشعه‌های خورشیدی کمک می‌کند. بنابراین، این نتیجه حاصل می‌شود که افزایش درصد میکروکره‌های شیشه‌ای توخالی به‌طور معناداری موجب افزایش مقاومت حرارتی می‌گردد. بنابراین، استفاده از میکروکره‌های شیشه‌ای توخالی در طراحی پارچه‌ها می‌تواند به‌شکل مؤثری عملکرد حرارتی آنها را بهبود دهد. از این‌رو، توسعه میکروکره‌های شیشه‌ای توخالی و بررسی خواص نوری آنها بسیار ارزشمند است.

در جمع‌بندی، نتایج این تحقیق همراه با یافته‌های پیشین نشان می‌دهد که طراحی هدفمند منسوجات با خواص بازتابی و حرارتی کنترل‌شده می‌تواند به تولید نسل جدیدی از لباس‌ها و منسوجات سازگار با اقلیم گرم منجر شود که نه تنها به بهبود آسایش فردی کمک می‌کند، بلکه در مقیاس کلان می‌تواند به حفظ حجاب اسلامی در جامعه کمک نماید.

محدودیت‌های پژوهش

دسترسی محدود به مواد اولیه با خلوص بالا از مهم‌ترین محدودیت‌های مطالعه حاضر بود. همچنین، یکنواختی پوشش‌دهی نانوذرات روی سطح پارچه ممکن است در مقیاس آزمایشگاهی کنترل شود، اما در تولید صنعتی دشوار است. علاوه‌براین، در پژوهش حاضر پایداری پوشش در برابر شست‌وشو، نور و سایش در طول زمان، به‌دلیل محدودیت‌های مالی بررسی نشد.

پیشنهاد‌های پژوهش

پیشنهاد می‌شود در مطالعات آتی انواع نانوذرات بازتابنده یا خنک‌کننده بررسی و لایه‌های ترکیبی پوششی با هدف بهبود هم‌زمان بازتاب حرارتی و پایداری مکانیکی طراحی و مطالعه

5. Leet-Otley J. (Mis)understanding the Hijab: the spirit and strength of Somali girls. *Diaspora, Indigenous, and Minority Education*. 2020;14(1):43-54.
6. Pakdel E, Fang J, Sun L, Wang X. Nanocoatings for Smart Textiles. 2018. p. 247-300.
7. Zhang H. Silver plating on hollow glass microsphere and coating finishing of PET/cotton fabric. *Journal of Industrial Textiles*. 2013;42:283-96.
8. Pakdel E, Daoud WA, Sun L, Wang X. Visible and UV functionality of TiO₂ ternary nanocomposites on cotton. *Applied Surface Science*. 2014;321:447-56.
9. Pakdel E, Daoud W, Wang X. Self-cleaning and superhydrophilic wool by TiO₂/SiO₂ nanocomposite. *Applied Surface Science*. 2013;275:397-402.
10. Pakdel E, Daoud W, Afrin T, Sun L, Wang X. Self-cleaning wool: effect of noble metals and silica on visible-light-induced functionalities of nano TiO₂ colloid. *The Journal of The Textile Institute*. 2015;106:1-14.
11. Xu B, Ding J, Feng L, Ding Y, Ge F, Cai Z. Self-cleaning cotton fabrics via combination of photocatalytic TiO₂ and superhydrophobic SiO₂. *Surface and Coatings Technology*. 2015;262.
12. Montazer M, Pakdel E. Reducing Photoyellowing of Wool Using Nano TiO₂. *Photochemistry and Photobiology*. 2010;86(2):255-60.
13. Pakdel E, Daoud W, Afrin T, Sun L, Wang X. Enhanced antimicrobial coating on cotton and its impact on UV protection and physical characteristics. *Cellulose*. 2017;24.
14. Cheng X-W, Guan J, Yang X-H, Tang R-C. Improvement of flame retardancy of silk fabric by bio-based phytic acid, nano-TiO₂, and polycarboxylic acid. *Progress in Organic Coatings*. 2017;112:18-26.
15. Alongi J, Carosio F, Malucelli G. Current emerging techniques to impart flame retardancy to fabrics: An overview. *Polymer Degradation and Stability*. 2014;106:138-49.
16. Li Y-C, Schulz J, Mannen S, Delhom C, Condon B, Chang S, et al. Flame Retardant Behavior of Polyelectrolyte-Clay Thin Film Assemblies on Cotton Fabric. *ACS Nano*. 2010;4(6):3325-37.
17. Parvinzadeh Gashti M, Almasian A. UV radiation induced flame retardant cellulose fiber by using polyvinylphosphonic acid/carbon nanotube composite coating. *Composites Part B: Engineering*. 2013; 45(1):282-9.
18. Jabbari M, Åkesson D, Skrifvars M, Taherzadeh M. Novel lightweight and highly thermally insulative silica aerogel-doped poly(vinyl chloride)-coated fabric composite. *Journal of Reinforced Plastics and Composites*. 2015;34:1581-92.
19. Cui Y, Gong H, Wang Y, Li D, Bai H. Thermal Insulation: A Thermally Insulating Textile Inspired by Polar Bear Hair (*Adv. Mater.* 14/2018). *Advanced Materials*. 2018;30(14):1870098.
20. Pakdel E, Daoud W, Sun L, Wang X. Photostability of wool fabrics coated with pure and modified TiO₂ colloids (Reprinted from *Journal of Colloid and Interface Science*, vol 440, pg 299-309, 2015). *Journal of Colloid and Interface Science*. 2015;447:191-201.
21. Xie W, Pakdel E, Liang Y, Liu D, Sun L, Wang X. Natural melanin/TiO₂ hybrids for simultaneous removal of dyes and heavy metal ions under visible light. *Journal of Photochemistry and Photobiology A: Chemistry*. 2019;389:112292.
22. Dastjerdi R, Montazer M. A review on the application of inorganic nano-structured materials in the modification of textiles: Focus on anti-microbial properties. *Colloids and Surfaces B: Biointerfaces*. 2010;79(1):5-18.
23. Xie W, Pakdel E, Liu D, Sun L, Wang X. Waste-Hair-Derived Natural Melanin/TiO₂ Hybrids as Highly Efficient and Stable UV-Shielding Fillers for Polyurethane Films. *ACS Sustainable Chemistry & Engineering*. 2020;8(3):1343-52.
24. Liang Y, Pakdel E, Zhang M, Sun L, Wang X. Photoprotective properties of alpaca fiber melanin reinforced by rutile TiO₂ nanoparticles: A study on wool fabric. *Polymer Degradation and Stability*. 2019;160:80-8.
25. Qu Y-N, Xu J, Su Z-G, Ma N, Zhang X-Y, Xi X-Q, et al. Lightweight and high-strength glass foams prepared by a novel green spheres hollowing technique. *Ceramics International*. 2016;42(2, Part A):2370-7.
26. Abedi B, Tayebi KH. Excretion of nitrogenous waste products from the intestinal fluid simulator using super absorbent polymer: a new generation dialysis. 2023.
27. Khosroshahi HT, Abedi B, Daneshvar S, Alizadeh E, Khalilzadeh M, Abedi YJ. Cross-linked Polyelectrolyte and Its Function in Adsorption of Fluid and Excess Nitrogen Waste Products: an Experimental Study on Dialysate Effluent Fluid. 2017;11(4):294.
28. Yazhini B, Prabu H. Study on flame retardant and UV protection properties of cotton fabric functionalized with ppy-ZnO-CNT nanocomposite. *RSC Advances*. 2015;5.
29. Asadzadeh S, Khosroshahi HT, Abedi B, Ghasemi Y, Meshgini SJRF. Renal structural image processing techniques: a systematic review. 2019;41(1):57-68.
30. Alimohammadi F, Parvinzadeh Gashti M, Mozaffari A. Polyvinylpyrrolidone/Carbon Nanotube/Cotton Functional Nanocomposite: Preparation and Characterization of Properties. *Fibers Polym*. 2018;19(9):1940-7.

31. Wong A, Daoud WA, Liang H-h, Szeto YS. Application of rutile and anatase onto cotton fabric and their effect on the NIR reflection/surface temperature of the fabric. *Solar Energy Materials and Solar Cells*. 2015;134:425-37.
32. Broda J, Bączek M. Acoustic Properties of Multi-Layer Wool Nonwoven Structures. *Journal of Natural Fibers*. 2019;17:1-15.
33. Zhai Y, Ma Y, David S, Zhao D, Lou R, Tan G, et al. Scalable-manufactured randomized glass-polymer hybrid metamaterial for daytime radiative cooling. *Science*. 2017;355:eaai7899.
34. Panwar K, Jassal M, Agrawal AK. TiO₂-SiO₂ Janus particles treated cotton fabric for thermal regulation. *Surface and Coatings Technology*. 2017; 309:897-903.
35. Pakdel E, Daoud WA. Self-cleaning cotton functionalized with TiO₂/SiO₂: Focus on the role of silica. *Journal of Colloid and Interface Science*. 2013; 401:1-7.
36. Rosace G, Castellano A, Trovato V, Iacono G, Malucelli G. Thermal and flame retardant behaviour of cotton fabrics treated with a novel nitrogen-containing carboxyl-functionalized organophosphorus system. *Carbohydrate Polymers*. 2018;196:348-58.