

بررسی خواص فیزیکی و راحتی کالای پنبه‌ای و پلی استری پوشش داده شده با ذرات معدنی

مسکوویت

محمدجواد عبقری^۱، مهدی حسن‌زاده^۱

۱. دانشکده مهندسی نساجی، دانشگاه یزد، یزد، ایران

تاریخ دریافت:

۱۴۰۱/۰۸/۱۸

تاریخ پذیرش:

۱۴۰۱/۰۳/۲۲

مقاله

در این پژوهش خواص فیزیکی و راحتی پارچه‌های پنبه‌ای و پلی استری تکمیل شده با استفاده از ذرات معدنی مسکوویت مورد بررسی و ارزیابی قرار گرفت. برای این منظور ابتدا میکروذرات مسکوویت در محلول کیتوسان پخش شد و در ادامه روی پارچه تار پودی پنبه‌ای و پارچه حلقوی پلی استری پوشش داده شد. تأثیر حضور و درصد ذرات مسکوویت روی خواص ریخت شناسی و شیمیایی پارچه‌های عمل شده مورد مطالعه و بررسی قرار گرفت. برای این منظور از میکروسکوپ الکترونی روبشی و طیف سنجی مادون قرمز تبدیل فوریه استفاده شد. مطالعه ریخت شناسی پارچه‌های عمل شده نشان‌دهنده قرارگیری ذرات مسکوویت در فضای بین الیاف و همچنین روی سطح الیاف پارچه‌های مورد بررسی می‌باشد. به منظور بررسی خواص سطحی و عملکرد راحتی منسوج، از آزمون‌های زاویه تماس و لغزش آب و نفوذپذیری هوا استفاده شد. همچنین بررسی زبردست و راحتی منسوج نیز با استفاده از آزمون‌های طول خمش و زاویه بازگشت‌پذیری از چروک انجام شد. نتایج بدست آمده حاکی از آن است که افزودن ذرات مسکوویت بر پارچه پلی استری سبب افزایش خاصیت آبدوستی شده و تأثیر چندانی بر میزان نفوذپذیری هوا، زیر دست و چروک‌پذیری آن نداشته است. این درحالیست که در پارچه پنبه‌ای عمل شده، زاویه لغزش آب به میزان ۶۶ درصد کاهش یافته و سطح پارچه آبگریز شده است (زاویه تماس 104°). همچنین از نفوذپذیری هوا به میزان ۳۰ درصد کاسته شده و عملکرد راحتی منسوج نیز تحت تأثیر قرار گرفته است. تحلیل‌های آماری داده‌های بدست آمده از آزمون‌های فوق بیانگر معنی‌دار بودن داده‌ها در سطح اطمینان ۹۵ درصد بوده است.

مسکوویت، پارچه، کیتوسان، خواص سطحی، خواص عملکرد راحتی، تحلیل آماری.

واژگان کلیدی

Investigating physical and comfort properties of cotton and polyester fabrics coated with muscovite mineral particles

Mohammad Javad Abghary¹, Mahdi Hasanzadeh¹

1.Department of Textile Engineering, Yazd University, Yazd, Iran

Abstract

In this research, the physical and comfort properties of cotton and polyester fabrics treated with muscovite minerals were investigated. For this purpose, first, muscovite microparticles were dispersed in a chitosan solution and then the muscovite suspension was coated on plain cotton and knitted polyester fabrics. The effect of the presence and content value of muscovite particles on the morphological and chemical properties of processed fabrics was studied. For this purpose, scanning electron microscopy and Fourier transform infrared spectroscopy were used. The morphological study of treated fabrics shows the presence of muscovite particles in the space between the fibers and also on the surface of the fibers of the investigated fabrics. To evaluate the surface properties and comfort performance of the fabrics, the water contact angle, sliding angle, and air permeability tests were carried out. Also, the softness and comfort of the fabrics were investigated using bending length and wrinkle recovery angle analysis. The obtained results indicate that the addition of muscovite particles to the polyester fabric increased the hydrophilic property and did not have much effect on the air permeability, handling properties, and wrinkle resistance. While in the case of cotton fabric, the sliding angle of water is reduced by 66% and the surface of the fabric becomes hydrophobic (contact angle 104°). The air permeability has also been reduced by 30% and the comfort performance of the textile has also been affected. The statistical analysis of the data obtained from the above tests indicated the significance of the data at the confidence level of 95%.

Keywords

Muscovite, fabric, surface properties, comfort performance properties, statistical analysis.

۱- مقدمه

الیاف پلی استر و الیاف سلولزی پنبه از جمله متداول‌ترین الیاف پلیمری مورد استفاده در صنعت نساجی و پوشاک به شمار می‌روند. کالای پنبه‌ای به دلیل خواص فیزیکی و واکنش‌پذیری شیمیایی منحصریفر، بسیار مورد توجه قرار گرفته است. با این وجود به منظور بهبود برخی خصوصیات و همچنین ایجاد قابلیت‌های کاربردی جدید، محققان با استفاده از فناوری‌ها و ترکیبات مختلف به اصلاح سطح منسوجات پرداخته‌اند [۱]

مسکوویت یک ماده معدنی از خانواده میکا و غنی از پتاسیم و آلومینیوم است. فرمول شیمیایی مسکوویت بصورت $(KAl_3Si_3O_{10}(OH)_2)$ است که یون‌های دیگر با یک بار مثبت منفرد مانند سدیم، روبیدیم یا سزیم می‌توانند جایگزین پتاسیم شده و منیزیم، مس، لیتیوم، کروم یا وانادیم جایگزین آلومینیوم شوند. شکل ۱ ساختار کریستالی مسکوویت را نشان می‌دهد. این ذرات معدنی می‌توانند برای ساختن مواد ضدشعله و عایق و همچنین تا حدودی روان کننده‌ها استفاده شوند. مواد معدنی خانواده میکا به‌عنوان بخش مهمی از مواد معدنی رسی محسوب می‌شوند که در خاک‌های مناطق مختلف ایران گزارش شده‌اند [۲]

فراوانی، قیمت ارزان و همچنین سهولت اصلاح سطح مواد معدنی رسی نظیر مسکوویت، موجب شده است تا این ترکیبات مورد توجه محققان قرار گیرند. براین اساس از ترکیباتی نظیر پلیمرها [۳]، دندریمرها [۴]، نانوذرات مغناطیسی [۵]، چارچوب‌های آلی-فلزی [۶]، [۷] و غیره به منظور اصلاح مواد معدنی رسی و مسکوویت استفاده شده است. بطور مثال در مطالعه انجام شده توسط Bara kat و همکارانش [۸]، نانوذرات اکسید آهن را روی صفحات مسکوویت سنتز کردند. این محققان از کامپوزیت مغناطیسی اکسید آهن/مسکوویت به عنوان جاذب به منظور حذف موثر رنگزای آلی از پساب استفاده نمودند. در مطالعه‌ای دیگر، شهریارفر و همکارانش [۹] موفق به سنتز چارچوب‌های آلی-فلزی روی صفحات نانورس به منظور حذف انتخابی و همزمان رنگزاهای موجود در پساب نساجی شدند.

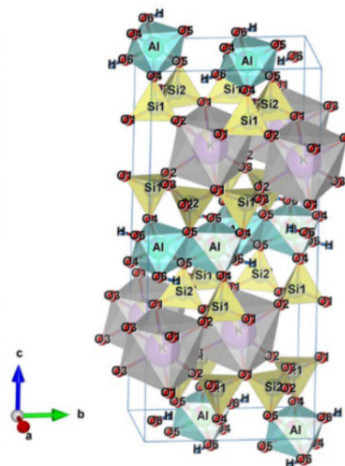
با توجه به خصوصیات فیزیکی و شیمیایی منحصریفر مواد معدنی

رسی و مسکوویت، محققان از این ترکیبات به منظور اصلاح برخی ویژگی‌های کالای نساجی و افزودن خصوصیات جدید بهره جستند. بطور مثال Jose و همکارانش [۱۰] از نانوذرات رس برای تکمیل ضدآتش کالای پشمی استفاده کردند. این محققان درصدهای مختلف نانوذرات رس را به روش‌های پد و رمق‌کشی روی پارچه پشمی پوشش دادند و دریافتند که کالای تکمیل شده به هر دو روش از عملکرد ضدشعله قابل توجه (۳۲٪ بهبود عملکرد) برخوردار است. تحقیقات مشابهی نیز با استفاده از نانوذرات رس روی کالای پنبه‌ای [۱۱]، [۱۲]، ویسکوز [۱۳] و غیره به منظور ایجاد خاصیت ضدشعله انجام شده است. علیرغم تحقیقات فراوان انجام شده در زمینه تکمیل کالای نساجی با ذرات معدنی نظیر رس، نگارندگان مقاله تاکنون مطالعه‌ای روی بررسی خصوصیات فیزیکی و راحتی کالای نساجی با استفاده از ذرات مسکوویت مشاهده نکرده‌اند. اغلب مطالعات صورت گرفته با نانوذرات رس نیز در زمینه تکمیل ضدشعله کالای نساجی بوده است. از اینرو در این پژوهش، از ذرات معدنی مسکوویت به منظور اصلاح سطح پارچه‌های پنبه‌ای (تاری پودی) و پلی استری (حلقوی) استفاده شده است. خواص عملکردی و راحتی پارچه‌های پنبه‌ای و پلی استری خام و عمل شده با استفاده از آزمون‌هایی نظیر تعیین طول خمش، زاویه بازگشت‌پذیری از چروک، زاویه تماس و لغزش آب و همچنین نفوذپذیری هوا مورد ارزیابی و بررسی قرار گرفت.

۲- تجربیات

۲-۱- مواد و روش‌ها

در این مطالعه از پارچه تاری پودی پنبه‌ای با تراکم ۲۴ تار در سانتیمتر و ۱۶ پود در سانتیمتر و همچنین پارچه حلقوی پلی استری با تراکم ۱۵ رج در سانتیمتر و ۱۲ ردیف در سانتیمتر استفاده گردید. همچنین به منظور تکمیل پارچه‌های فوق از ماده معدنی مسکوویت (تهیه شده از معادن استان یزد) و همچنین کیتوسان (CS) با وزن مولکولی متوسط استفاده شد. ابتدا پارچه‌های پلی استری و پنبه‌ای در ابعاد $20 \times 10 \text{ cm}^2$ تهیه گردیدند و به منظور رفع آلودگی و مواد زائد، تحت عملیات شستشو قرار گرفتند. سپس



شکل ۱. تصویر و ساختار کریستالی ذرات معدنی مسکوویت [۲]

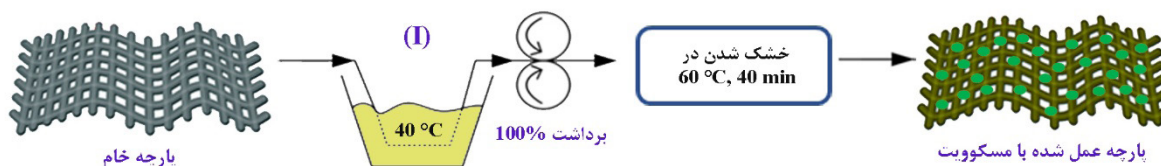
روشی نشرمیدانی (SEM مدل VEGA3) استفاده شد. پیش از تصویربرداری از نمونه‌ها جهت ممانعت از تجمع الکترون‌ها و ایجاد رسانایی در آن‌ها، کلیه نمونه‌ها با استفاده از دستگاه پوشش‌دهی کاتانداز (Sputter coater) با اتم‌های طلا پوشانیده شدند. تصاویر نمونه‌های مختلف در بزرگنمایی‌های مختلف تهیه و مورد مطالعه قرار گرفت. همچنین جهت بررسی برهمکنش بین پارچه، کیتوسان و ذرات معدنی و تغییر احتمالی در ساختار شیمیایی نمونه‌ها از دستگاه طیف‌سنج مادون قرمز تبدیل فوریه (FTIR) (مدل Nicolet Nexus-670 ساخت کشور آمریکا) استفاده شد. طیف‌سنجی ATR-FTIR سطح پارچه‌های خام و عمل شده انجام گردید.

نفوذپذیری هوا از جمله عوامل موثر در راحتی پوشاک است. به منظور ارزیابی قابلیت تنفس‌پذیری پارچه‌های عمل شده، از دستگاه سنجش نفوذپذیری هوا ساخت شرکت Shirley و مطابق استاندارد BS 5636 (موسسه استاندارد بریتانیا) استفاده شد. در این روش میزان جریان هوا از میان سطح مشخصی از پارچه که اختلاف

ذرات معدنی مسکوویت توسط آسیاب به ذرات کوچکتر (کمتر از ۵۰ میکرومتر) تبدیل شدند. پس از آن پارچه‌های تهیه شده، در محلول کیتوسان (۳ wt.% حاوی مقادیر مختلف (۱-۵ wt.%)) ذرات معدنی مسکوویت در دمای ۴۰ درجه سلسیوس و به مدت ۲۰ دقیقه به‌خوبی آغشته شدند. به منظور توزیع مناسب ذرات معدنی مسکوویت در محلول کیتوسان، این فرایند به مدت ۵ دقیقه در دمای ۳۰ درجه سلسیوس و در حمام فراصوت ادامه یافت. سپس با برداشت ۱۰۰ درصد تحت عملیات پد قرار گرفته و به مدت ۴۰ دقیقه در دمای ۶۰ درجه سلسیوس خشک شدند. شکل ۱ شماتیک فرایند آغشته سازی محلول حاوی ذرات معدنی مسکوویت روی پارچه را نشان می‌دهد. همچنین جدول ۱ مشخصات نمونه‌های تهیه شده را نشان داده است.

۲-۲- مشخصه‌یابی

به منظور بررسی ریخت شناسی و توزیع ذرات مسکوویت روی پارچه‌های پنبه‌ای و پلی‌استری، از میکروسکوپ الکترونی



شکل ۱. شماتیک فرایند تکمیل پارچه با استفاده از ذرات معدنی مسکوویت.

جدول ۱. مشخصات پارچه‌های تکمیل شده

کد نمونه	پارچه	کیتوسان (wt.%)	مسکوویت (wt.%)
C	پنبه خام	۰	۰
CC	پنبه عمل شده با کیتوسان	۳	۰
CCM-1	پنبه عمل شده با مسکوویت ۱ درصد	۳	۱
CCM-3	پنبه عمل شده با مسکوویت ۳ درصد	۳	۳
CCM-5	پنبه عمل شده با مسکوویت ۵ درصد	۳	۵
P	پلیاستر خام	۰	۰
PC	پلیاستر عمل شده با کیتوسان	۳	۰
PCM-1	پلیاستر عمل شده با مسکوویت ۱ درصد	۳	۱
PCM-3	پلیاستر عمل شده با مسکوویت ۳ درصد	۳	۳
PCM-5	پلیاستر عمل شده با مسکوویت ۵ درصد	۳	۵

نتایج به‌صورت میانگین گزارش گردید. همچنین به منظور بررسی چسبندگی قطره آب به سطح، زاویه لغزش قطره آب اندازه‌گیری شد. برای این منظور قطره آب روی پارچه‌های خام و عمل شده قرار داده شد و با افزایش زاویه سطح شیب‌دار، زاویه لغزش قطره آب اندازه‌گیری گردید.

۲-۳- تجزیه و تحلیل آماری داده‌ها

پس از انجام آزمون‌های مشخصه‌یابی عملکردی و راحتی منسوج و ثبت داده‌ها، به منظور تجزیه و تحلیل آماری و رسم نمودارها، از نرم‌افزار SPSS استفاده شد. تحلیل واریانس یک طرفه و مقایسه میانگین‌ها براساس آزمون تعقیبی (Post Hoc) و در سطح اطمینان ۹۵٪ انجام گرفت.

۳- نتایج و بحث

۳-۱- ارزیابی ریخت شناسی و ساختار شیمیایی

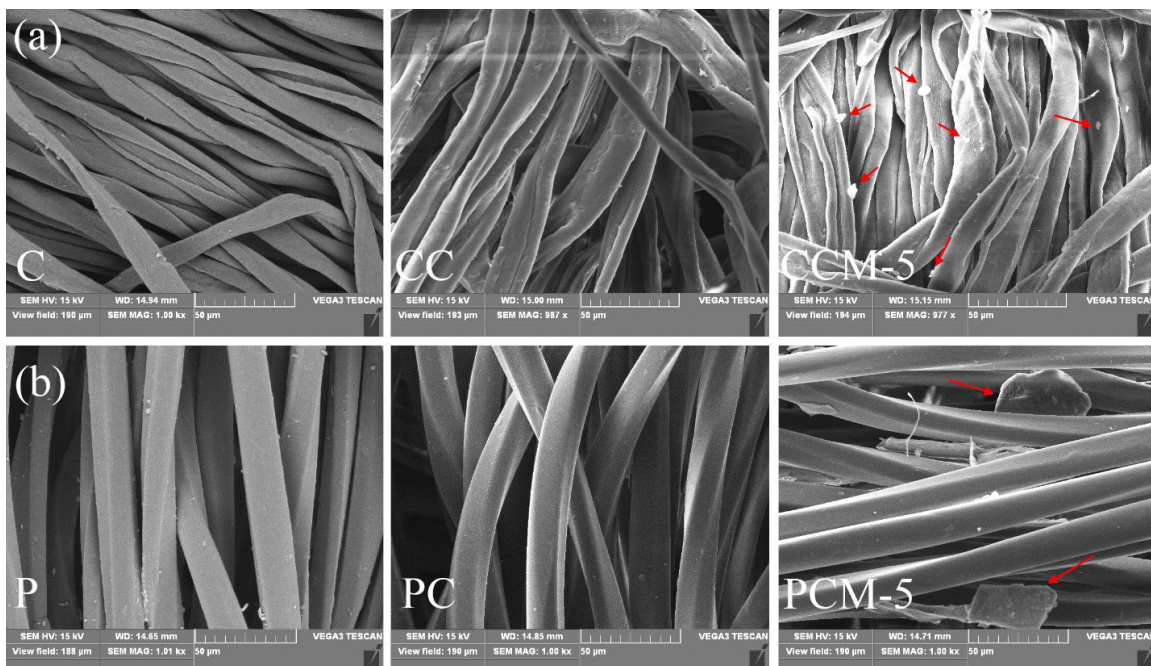
بررسی ریخت شناسی سطح پارچه‌های خام و عمل شده با کیتوسان و ذرات مسکوویت با استفاده از میکروسکوپ الکترونی روبشی (SEM) انجام شد (شکل ۲). همانطور که مشاهده می‌شود سطح پارچه‌های پنبه‌ای و پلی‌استری خام بسیار صاف بوده و پس از آغشته شدن به محلول کیتوسان تغییرات محسوس روی ظاهر الیاف ایجاد نشده است. با این حال حضور لایه‌ای از کیتوسان روی سطح الیاف مشاهده می‌شود. این ویژگی در پارچه پنبه‌ای نسبت به پارچه پلی‌استری بیشتر مشاهده می‌شود، که دلیل آن را می‌توان به وجود گروه‌های هیدروکسیل فراوان در پارچه پنبه‌ای و برهمکنش مناسب با کیتوسان نسبت داد. افزودن ذرات مسکوویت به پارچه‌های مورد بررسی به خوبی توسط تصاویر میکروسکوپی

فشار در دو طرف آن ۱۰ میلی‌متر فشار آب است، اندازه‌گیری می‌شود. مقاومت عبور هوا نیز که به‌صورت زمان لازم برای عبور یک میلیلیتر هوا از نمونه‌ای به مساحت ۱۰۰ میلی‌متر مربع تحت اختلاف فشار ۱۰ میلی‌متر فشار آب تعریف می‌شود، محاسبه گردید. این آزمون برای هر نمونه در ۳ بخش مختلف در شرایط یکسان انجام شد.

یکی از روش‌های اندازه‌گیری مقاومت خمشی پارچه، تعیین طول خمش آن است. کیفیت آویزان ماندن و آویزش پارچه وابسته به سختی و مقدار وزن آن است. برای این منظور زاویه خمشی که طول معینی از پارچه با خم شدن تحت وزن خودش ایجاد می‌کند اندازه‌گیری می‌شود. بزرگتر بودن طول خمش نشان‌دهنده سختی (شق و رق بودن) پارچه است. پارچه‌های خام و عمل شده در ابعاد $15 \times 2/5 \text{ cm}^2$ بریده شدند. سپس طول خمش پارچه بعد از رسیدن به خط معیار توسط دستگاه Shirley اندازه‌گیری گردید.

زاویه بازگشت‌پذیری از چروک (WRA) نمونه‌های خام و عمل شده مطابق روش استاندارد AATCC (Test Method 66) اندازه‌گیری شد. برای این منظور پارچه‌ها در ابعاد $28 \times 15 \text{ cm}^2$ بریده شدند. سپس نمونه‌ها از وسط تا شده و به مدت ۵ دقیقه تحت نیروی ۱۰ نیوتن قرار داده شده و بلافاصله زاویه بازگشت‌پذیری از چروک اندازه‌گیری شد. کمتر بودن این زاویه بیانگر تمایل بیشتر پارچه به ماندگاری تغییر شکل‌های دائمی است.

به منظور بررسی خواص آبدوستی و آبگریزی پارچه‌های خام و عمل شده، از روش اندازه‌گیری زاویه تماس (CA) استاتیک استفاده شد. برای این منظور قطره آب به حجم ۱۲ میکرولیتر روی سطح پارچه‌های خام و عمل شده قرار داده شد و پس از ۱ ثانیه تصویر قطره ثبت گردید. این آزمایش ۳ بار تکرار شد و



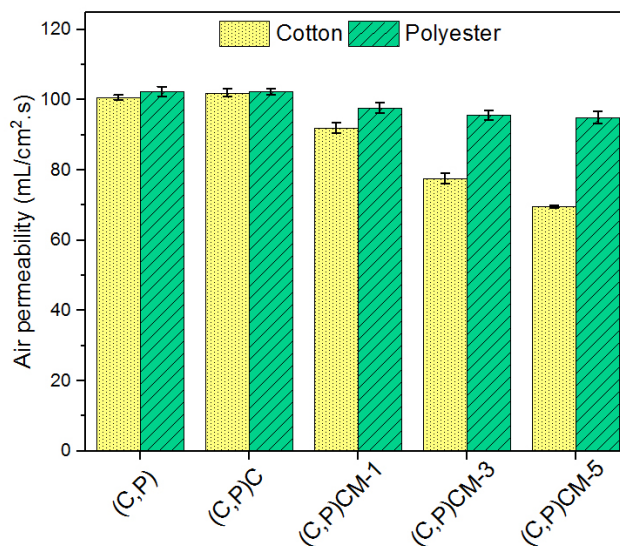
شکل ۲. تصویر میکروسکوپ الکترونی روبشی پارچه‌های (a) پنبه‌ای، و (b) پلی‌استری خام (سمت چپ)، عمل شده با کیتوسان (وسط)، و عمل شده با کیتوسان/مسکوویت ۵ درصد (سمت راست).

پارچه‌های مورد بررسی با ذرات معدنی مسکوویت به صورت فیزیکی بوده و پیوند شیمیایی جدیدی بر اثر این فرایند شکل نگرفته است. نتایج مشابهی نیز توسط محققان در اصلاح پارچه پنبه‌ای توسط ذرات معدنی رس مشاهده شد [11].

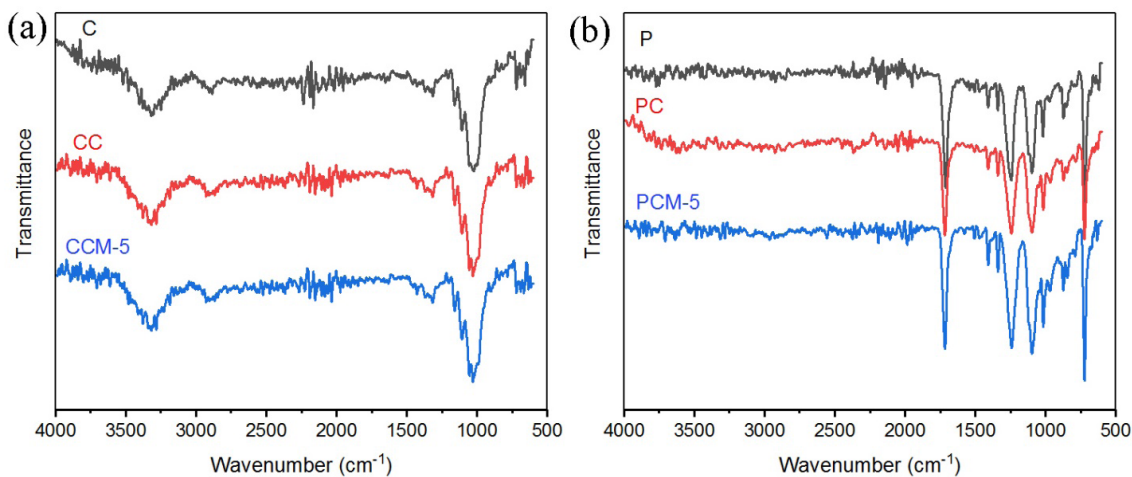
۳-۲- ارزیابی خواص عملکردی و راحتی منسوج نفوذپذیری هوا

شکل ۴ نفوذپذیری هوا از پارچه‌های خام و عمل شده را نشان می‌دهد. همانطور که مشاهده می‌شود، پوشش ذرات مسکوویت روی هر دو پارچه پنبه‌ای و پلی‌استری سبب کاهش میزان نفوذپذیری هوا گردیده است. این کاهش با افزایش میزان مسکوویت شدت بیشتری یافته است. بطور مثال افزایش ذرات مسکوویت از ۱ به ۵ درصد در پارچه پنبه‌ای، سبب کاهش نفوذپذیری هوا از ۹۲ به $70 \text{ mL/cm}^2 \cdot \text{s}$ گردیده است. بطور مشابه در خصوص پارچه پلی‌استری، نفوذپذیری هوا از ۹۸ به $\text{mL/cm}^2 \cdot \text{s}$ کاهش یافت. از سوی دیگر کاهش نفوذپذیری هوا

تأیید می‌شود. در شکل ۲ (تصویر مربوط به نمونه‌های CCM-5 و PCM-5) حضور ذرات مسکوویت در فضای بین الیاف و همچنین روی سطح الیاف به خوبی قابل مشاهده است. طیف FTIR پارچه‌های خام و عمل شده با کیتوسان و ذرات مسکوویت در شکل ۳ نشان داده شده است. ارتعاش کششی گروه‌های هیدروکسیل پارچه پنبه‌ای در ناحیه $3200-3400 \text{ cm}^{-1}$ مشاهده گردیده است. همچنین در طیف FTIR پارچه پلی‌استری، ارتعاش کششی متقارن گروه‌های C=O در 1711 cm^{-1} رخ داده است. ارتعاشات ضعیف مربوط به گروه‌های Si-O و همچنین Si-O-Al شده است. با این وجود، تفاوت قابل توجهی بین طیف‌های FTIR پارچه پنبه‌ای خام و عمل شده و همچنین پارچه پلی‌استری خام و عمل شده وجود ندارد. این امر می‌تواند مربوط به درصد کم ذرات مسکوویت استفاده شده و میزان زیاد گروه‌های عاملی پارچه از یکسو و ازسوی دیگر هم‌پوشانی برخی از پیک‌های شاخص ذرات مسکوویت با منسوج باشد. در نتیجه می‌توان گفت پوشش



شکل ۴. تغییرات نفوذپذیری هوا پارچه‌های پنبه‌ای و پلی‌استری خام و عمل شده.



شکل ۳. طیف مادون قرمز تبدیل فوریه پارچه‌های (a) پنبه‌ای، و (b) پلی‌استری خام، عمل شده با کیتوسان، و عمل شده با کیتوسان/مسکوویت ۵ درصد.

آبدوستی می‌گردند. در خصوص پارچه پنبه‌ای، با توجه به خاصیت آبدوستی و جذب آب بسیار بالای پارچه پنبه‌ای خام، پوشش پارچه با کیتوسان تا حد قابل توجهی از خاصیت آبدوستی پارچه کاسته و منجر به آبریزی پارچه شده است؛ بطوریکه زاویه تماس آب از 19° به 104° افزایش یافت. با این حال روند مشابهی برای زاویه تماس آب در نمونه‌های پوشش داده شده با ذرات مسکوویت مشاهده شد، بطوریکه افزایش درصد ذرات مسکوویت از ۱ به ۵ درصد، سبب کاهش زاویه تماس آب از 100° به 65° شده است.

بررسی‌های زاویه لغزش آب (شکل ۵b) نشان دهنده زاویه لغزش بالای پارچه پنبه‌ای خام (98°) در مقایسه با پنبه عمل شده است. این مهم بیانگر چسبندگی بالای قطره به سطح پارچه پنبه‌ای خام در مقایسه با پارچه عمل شده است. پوشش ذرات مسکوویت به میزان $5 \text{ wt.}\%$ روی پارچه‌های پنبه‌ای و پلی استری سبب کاهش زاویه لغزش آب به ترتیب به میزان ۶۶ و ۳۲ درصد گردیده است. کاهش زاویه لغزش آب بیانگر افزایش خاصیت خودتمیزشوندگی پارچه‌های مورد بررسی به کمک ذرات معدنی مسکوویت است.

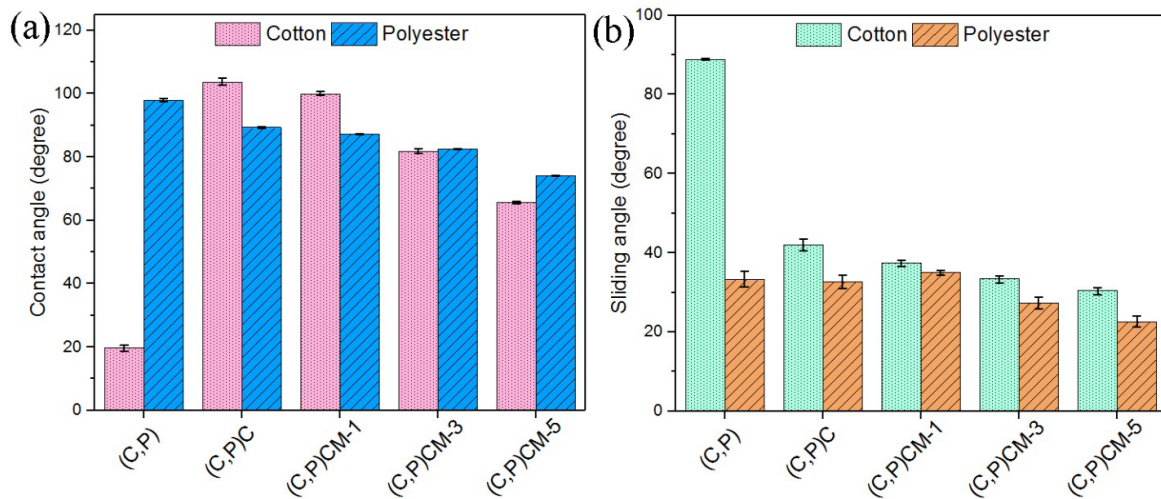
طول خمش

اندازه‌گیری طول خمش معیاری از زبردست نمونه‌های مورد بررسی است. به همین جهت برای آگاهی یافتن از میزان کمی تغییرات ایجاد شده روی زبردست پارچه‌های عمل شده از اندازه‌گیری طول خمش استفاده شد. مقدار طول خمش برای نمونه‌های مختلف در جدول ۲ آورده شده است. همانطور که مشاهده می‌شود طول خمش پارچه‌های پنبه‌ای و پلی استری خام پس از عمل‌آوری با کیتوسان تا حدی افزایش یافته است. همچنین مطابق جدول ۲، با افزایش درصد ذرات مسکوویت از ۱ به ۵ درصد، طول خمش افزایش می‌یابد. دلیل این امر را می‌توان به موارد زیر مربوط دانست: (۱) افزایش درصد حضور ذرات مسکوویت روی سطح پارچه‌های مورد بررسی، سبب خشکی و سختی نمونه شده و موجب افزایش طول خمش می‌شود؛ (۲) اعمال پوشش کیتوسان و ذرات مسکوویت سبب

در پارچه پنبه‌ای عمل شده بطور قابل ملاحظه‌ای نسبت به نمونه مشابه پارچه پلی استری، بیشتر بوده است؛ بطوریکه نفوذپذیری هوا در پارچه‌های پنبه‌ای و پلی استری عمل شده با ۵ درصد ذرات مسکوویت (PCM-5 و CCM-5) نسبت به پارچه پنبه‌ای و پلی استری خام به ترتیب به میزان ۳۰ و ۷ درصد کاهش یافته است. بطور کلی در پارچه‌های تاری-بودی، میزان نفوذپذیری هوا، به مقدار زیادی به تخلخل حاصل از فاصله بین تارها و پودهای بافته شده بستگی دارد. به این معنی که هرچقدر که فاصله بین تارها و پودها که با زاویه 90° درجه با یکدیگر درگیر هستند بیشتر باشد، میزان نفوذپذیری هوا افزایش می‌یابد. بنابراین اعمال پوششی از ذرات معدنی مسکوویت بر روی لیف‌ها، باعث کاهش این حفرات و نتیجتاً کاهش نفوذپذیری خواهد شد. همانطور که در تصاویر میکروسکوپ الکترونی روشی نمونه‌های عمل شده مشاهده شد، ذرات مسکوویت در فضای خالی بین الیاف قرار گرفته‌اند. از این رو با مقاومت در برابر عبور آزادانه هوا، سبب کاهش میزان نفوذپذیری هوا در پارچه‌های عمل شده گردیده است. علیرغم کاهش میزان نفوذپذیری هوا در نمونه‌های پوشش داده شده با ذرات مسکوویت، همچنان مقدار نفوذپذیری هوا در محدوده مجاز استاندارد راحتی پوشاک بوده است.

زاویه تماس آب

خاصیت آبدوستی پارچه‌های خام و عمل شده به روش‌های اندازه‌گیری زاویه تماس استاتیک آب و زاویه لغزش قطره مورد بررسی قرار گرفت. شکل 5a نتایج زاویه تماس آب پارچه‌های خام و عمل شده را نشان می‌دهد. همانطور که مشاهده می‌شود پوشش ذرات مسکوویت روی پارچه پلی استری سبب کاهش زاویه تماس آب و افزایش خاصیت آبدوستی پارچه گردیده است؛ بطوریکه افزودن ۵ درصد ذرات مسکوویت روی پارچه پلی استری، زاویه تماس آب را از 98° به 74° کاهش داده است. دلیل این امر را می‌توان در وجود گروه‌های آبدوست کیتوسان و همچنین گروه‌های سیلیکات مسکوویت دانست که سبب افزایش خاصیت



شکل ۵. (a) زاویه تماس استاتیک و (b) زاویه لغزش آب پارچه‌های پنبه‌ای و پلی استری خام و عمل شده.

اتصالات هیدروژنی بین الیاف در محل چروک می‌گردد. از این رو بازیابی اتصالات هیدروژنی اولیه با دشواری روبرو بوده و موجب کاهش توانایی پارچه برای بازگشت به حالت اولیه می‌شود. اگر چه بسیاری از مطالعات صورت گرفته، افزایش زاویه بازگشت‌پذیری از چروک را بر اثر اعمال پوشش و عملیات اصلاح سطح منسوج گزارش کرده‌اند [۱۶]، [۱۷]، با این حال در این مطالعه اعمال پوشش ذرات مسکوویت سبب کاهش زاویه بازگشت‌پذیری از چروک شده است. نتایج مشابهی نیز در مطالعه خصوصیات فیزیکی پارچه پنبه‌ای عمل شده با نانوذرات نقره، توسط Perera و همکارانش [۱۸] گزارش شده است.

۳-۳- تحلیل آماری

در این پژوهش مقایسه داده‌های به دست آمده از آزمون‌های عملکردی و راحتی پارچه‌های پنبه‌ای و پلی‌استری خام و عمل شده با ذرات مسکوویت شامل نفوذپذیری هوا، زاویه تماس آب، طول خمش و زاویه بازگشت‌پذیری از چروک، با استفاده از تحلیل واریانس (ANOVA) و آزمون تعقیبی (Post Hoc) بررسی شده است. فرض‌های آزمون مطابق زیر است:

این آزمون در سطح اطمینان ۹۵٪ انجام شده و سطح معنی‌داری داده‌ها ۰/۰۵ می‌باشد. لذا چنانچه سطح معنی‌دار بزرگتر از ۰/۰۵ باشد، فرض صفر نتیجه می‌شود و چنانچه کوچکتر از ۰/۰۵ باشد، فرض یک صحیح است. به‌عبارت دیگر، بین خواص عملکردی و راحتی منسوج نمونه‌های مختلف (پارچه خام، عمل شده با کیتوسان، عمل شده با کیتوسان/مسکوویت) تفاوت معنی‌داری وجود دارد. در فرض صفر تمام میانگین‌ها برابرند و نیازی به انجام آزمون تعقیبی نیست. جدول ۳ خلاصه نتایج تحلیل واریانس را نشان می‌دهد. بررسی‌های به عمل آمده روی داده‌های حاصل از آزمون

افزایش وزن واحد طول پارچه و در نتیجه افزایش طول خمش پارچه عمل شده میشود [۱] (۳) با توجه به تصاویر میکروسکوپ الکترونی روبشی و قرارگیری ذرات مسکوویت در فضای خالی بین الیاف، این ذرات به‌عنوان پرکننده عمل کرده و موجب می‌شوند طول خمش افزایش یابد [۱۴]. افزایش طول خمش در پارچه پنبه‌ای بیش از پارچه پلی‌استری بوده است. بررسی‌های به‌عمل آمده نشان می‌دهد زبردست پارچه در اثر تکمیل انجام شده با ذرات مسکوویت حالت شق‌تر و سخت‌تر پیدا می‌کند.

زاویه بازگشت‌پذیری از چروک

زاویه بازگشت‌پذیری از چروک به عنوان معیاری برای بررسی میزان چروک‌پذیری پارچه مورد بررسی قرار گرفت و نتایج آن در جدول ۲ ارائه شده است. بیشتر بودن زاویه بازگشت‌پذیری از چروک به مفهوم بازگشت به حالت اولیه بهتر است. بررسی‌های به‌عمل آمده نشان می‌دهد که پارچه‌های عمل شده با مسکوویت زاویه بازگشت‌پذیری از چروک کمتری نسبت به پارچه خام دارند. مقایسه داده‌های به‌دست آمده از زاویه بازگشت‌پذیری از چروک پارچه‌های پنبه‌ای و پلی‌استری نشان می‌دهد که پارچه پلی‌استری به میزان کمتری تحت تأثیر پوشش ذرات مسکوویت قرار گرفته است؛ بطوریکه پارچه‌های پنبه‌ای و پلی‌استری به ترتیب به میزان ۵۵ و ۱۵ درصد کاهش در زاویه بازگشت‌پذیری از چروک را نشان دادند. پنبه به‌عنوان یک لیف سلولزی که از مناطق بلورین و آمورف تشکیل شده است، دارای اتصالات ضعیف هیدروژنی بین زنجیرهای پلیمری در ناحیه آمورف است. بر اثر اعمال نیروی قوی، این اتصالات در حالتی جدید (حالت چروک) شکل گرفته و موجب چروک‌پذیری بالای این الیاف می‌شوند. از سوی دیگر جذب رطوبت بالای الیاف پنبه خام نیز به شکسته شدن اتصالات هیدروژنی و جمعشدگی کالا منجر می‌شود [۱۵]. اعمال پوشش کیتوسان و ذرات مسکوویت روی پارچه پنبه‌ای سبب از بین رفتن

جدول ۲. نتایج آزمون‌های اندازه‌گیری طول خمش و زاویه بازگشت‌پذیری از چروک

پارچه	کد نمونه	خواص راحتی پوشش	
		طول خمش (cm)	زاویه بازگشت‌پذیری از چروک (°)
پنبه	C	۲/۰۰	۱۳۷/۶۷
	CC	۵/۰۳	۱۱۸/۶۷
	CCM-1	۵/۳۲	۱۰۳/۶۷
	CCM-3	۶/۱۱	۸۲/۳۳
	CCM-5	۶/۳۱	۶۱/۶۷
پلی استر	P	۱/۹۱	۱۲۱/۶۷
	PC	۲/۴۳	۱۱۷/۳۳
	PCM-1	۲/۶۷	۱۱۰/۶۷
	PCM-3	۳/۶۸	۱۰۴/۳۳
	PCM-5	۳/۸۳	۱۰۳/۶۷

جدول ۳. جدول ANOVA برای داده‌های حاصل از آزمون‌های عملکردی و راحتی منسوج روی پارچه‌های خام و عمل شده

سطح معنی‌داری	F-value	میانگین مربعات	درجه آزادی	مجموع مربعات	منبع تغییرات	پارچه	آزمون	
۰/۰۰۰	۱۶۰/۷۶۳	۶۱۰/۹	۴	۲۴۴۳/۶	بین گروهها	پنبه	نفوذپذیری هوا	
			۱۰	۳۸	درون گروهها			
			۴	۲۴۸۱/۶	کل			
۰/۰۰۹	۶/۲۲	۳۷/۷۳	۴	۱۵۰/۹۳۳	بین گروهها	پلیاستر		
			۱۰	۶۰/۶۶۷	درون گروهها			
			۴	۲۱۱/۶	کل			
۰/۰۰۰	۲۰۱۱/۰۸	۳۴۸۹/۶۸۷	۴	۱۳۹۵۸/۷۵۰	بین گروهها	پنبه		زاویه تماس آب
			۱۰	۱۷/۳۵۲	درون گروهها			
			۴	۱۳۹۷۶/۱۰۲	کل			
۰/۰۰۰	۱۳۷۳/۸۲	۲۳۴/۵۳۲	۴	۹۳۸/۱۲۹	بین گروهها	پلیاستر		
			۱۰	۱/۷۰۷	درون گروهها			
			۴	۹۳۹/۸۳۶	کل			
۰/۰۰۰	۶۲۲/۴۶۶	۱۷۵۳/۳۶۷	۴	۷۰۱۳/۴۶۶	بین گروهها	پنبه	زاویه لغزش آب	
			۱۰	۲۸/۱۶۸	درون گروهها			
			۴	۷۰۴۱/۶۳۴	کل			
۰/۰۰۱	۱۱/۰۲۸	۷۷/۹۳۳	۴	۳۱۱/۷۳۳	بین گروهها	پلیاستر		
			۱۰	۷۰/۶۷۷	درون گروهها			
			۴	۳۸۲/۴۰۰	کل			
۰/۰۰۰	۱۵۳۰/۲۳	۹/۰۰۸	۴	۳۶/۰۳۲	بین گروهها	پنبه		طول خمش
			۱۰	۰/۰۵۹	درون گروهها			
			۴	۳۶/۰۹۱	کل			
۰/۰۰۰	۵۶۹/۹۸	۲/۱۱۳	۴	۸/۴۵۱	بین گروهها	پلیاستر		
			۱۰	۰/۰۳۷	درون گروهها			
			۴	۸/۴۸۸	کل			
۰/۰۰۰	۲۴۸/۶۸۹	۲۶۶۹/۲۶۷	۴	۱۰۶۷۷/۰۶۷	بین گروهها	پنبه	زاویه بازگشتپذیری از چروک	
			۱۰	۱۰۷/۳۳۳	درون گروهها			
			۴	۱۰۷۸۴/۴	کل			
۰/۰۰۰	۲۳/۱۲۷	۱۸۸/۱۰۰	۴	۷۵۲/۴	بین گروهها	پلیاستر		
			۱۰	۸۱/۳۳۳	درون گروهها			
			۴	۸۳۳/۷۳۳	کل			

پذیرفته می‌شود. به عبارت دیگر، بین نفوذپذیری هوا پارچه‌های پنبه‌ای خام و عمل شده (C, CC, CCM-1, CCM-3, CCM-) و همچنین پارچه پلی استری خام و عمل شده (P, PC, PCM-) (5)

نفوذپذیری هوا روی دو پارچه پنبه‌ای و پلی استری عمل شده بیانگر معنی‌دار بودن داده‌ها در سطح اطمینان ۹۵٪ بوده و براین اساس فرض صفر (عدم تفاوت) رد و فرض یک (وجود تفاوت)

جدول ۴. نتایج آزمون تعقیبی کمترین تفاوت معنی‌دار (LSD) برای داده‌های حاصل از آزمون‌های عملکردی و راحتی منسوج روی پارچه‌های خام و عمل شده

آزمون	پارچه			اختلاف میانگین	خطای معیار	سطح معنی‌داری	فاصله اطمینان ۹۵ درصد	
	جنس	خام	عمل شده				سطح پایین	سطح بالا
نفوذپذیری هوا	پنبه	C	CCM-1	-۸/۶۶۶۶۷*	۱/۵۹۱۶۴	۰/۰۰۰	-۹/۱۴۷۶	-۵/۱۲۰۳
	پلی استر	P	PCM-1	-۴/۶۶۶۶۷*	۲/۰۱۱۰۸	۰/۰۴۳	-۱۲/۲۱۳۱	-۰/۱۸۵۷
زاویه تماس آب	پنبه	C	CCM-1	۸۰/۴۰۰۰ *	۱/۰۷۵۵۵	۰/۰۰۰	۷۸/۰۰۳۵	۸۲/۷۹۶۵
	پلی استر	P	PCM-1	-۱۰/۷۱۶۶۷*	۰/۳۳۷۳۶	۰/۰۰۰	-۱۱/۴۶۸۳	-۹/۹۶۵۰
زاویه لغزش آب	پنبه	C	CCM-1	-۵۱/۵۸۰۰۰ *	۱/۳۷۰۳۵	۰/۰۰۰	-۵۴/۶۳۳۳	-۴۸/۵۲۶۷
	پلی استر	P	PCM-1	۱/۶۶۶۶۷	۲/۱۷۰۵۱	۰/۰۴۶۰	-۳/۱۶۹۵	۶/۵۰۲۹
طول خمش	پنبه	C	CCM-1	۳/۳۱۳۳۳*	۰/۰۶۲۶۵	۰/۰۰۰	۳/۱۷۳۸	۳/۴۵۲۹
	پلی استر	P	PCM-1	۰/۷۶۰۰۰*	۰/۰۴۹۷۱	۰/۰۰۰	۰/۶۴۹۲	۰/۸۷۰۸
زاویه بازگشت‌پذیری از چروک	پنبه	C	CCM-1	۳۴/۰۰۰۰*	۲/۶۷۴۹۹	۰/۰۰۰	-۳۹/۹۶۰۲	-۲۸/۰۳۹۸
	پلی استر	P	PCM-1	۱۱/۰۰۰۰	۲/۳۲۸۵۷	۰/۰۰۱	-۱۶/۱۸۸۴	-۵/۸۱۱۶

* معنی‌دار بودن داده‌ها با میانگین

به میزان ۵ درصد بوده است. با این وجود این روند در خصوص پارچه تار پودی پنبه‌ای متفاوت بوده است. افزایش درصد ذرات مسکوویت روی پارچه‌های مورد بررسی از ۱ تا ۵ درصد سبب کاهش میزان نفوذپذیری هوا شده است. همچنین بررسی خواص راحتی پارچه‌های مورد بررسی با استفاده از آزمون‌های طول خمش و زاویه بازگشت‌پذیری از چروک بیانگر افزایش طول خمش و کاهش زاویه بازگشت‌پذیری از چروک با افزودن ذرات مسکوویت بوده است.

همچنین (1, PCM-3, PCM-5) تفاوت معنی‌داری وجود دارد. همچنین آزمون تعقیبی کمترین تفاوت معنی‌دار (LSD) انجام شده ضمن تایید مطلب فوق، نشان می‌دهد که نفوذپذیری هوای نمونه‌های مختلف پارچه پنبه‌ای در ۴ گروه دسته‌بندی شده‌اند؛ به طوری که بیشترین میانگین نفوذپذیری هوا مربوط به نمونه پارچه‌های خام و عمل شده با کیتوسان (C, CC) می‌باشد و کمترین میانگین نفوذپذیری هوا مربوط به نمونه عمل شده با مسکوویت ۵ درصد (CCM-5) می‌باشد. نتایج مشابهی برای آزمون نفوذپذیری هوای پارچه پلی‌استری نیز مشاهده شد.

با بررسی‌های به عمل آمده از جدول ANOVA برای سایر آزمون‌های عملکردی و راحتی منسوج، مشخص شد که تمامی داده‌های حاصل از آزمون‌های زاویه تماس آب، طول خمش و زاویه بازگشت‌پذیری از چروک برای نمونه‌های مختلف خام و عمل شده با مسکوویت در سطح اطمینان ۹۵٪ معنی‌دار بوده و براین اساس فرض صفر (عدم تفاوت) رد و فرض یک (وجود تفاوت) پذیرفته می‌شود.

۴- نتیجه گیری

در این تحقیق ذرات معدنی مسکوویت با استفاده از کیتوسان روی پارچه‌های پنبه‌ای و پلی‌استری پوشش داده شدند و خواص ریخت شناسی، فیزیکی و راحتی منسوج عمل شده مورد بررسی و ارزیابی قرار گرفت. بررسی ریخت شناسی منسوج عمل شده با ذرات مسکوویت نشان‌دهنده حضور ذرات مسکوویت در فضای بین الیاف و سطح الیاف بوده است. همچنین بررسی رفتار آبدوستی سطح پارچه‌های مورد بررسی با مطالعه زاویه تماس استاتیک و زاویه لغزش آب بیانگر افزایش خاصیت آبدوستی پارچه حلقوی پلی‌استری و کاهش زاویه لغزش آب با افزودن ذرات مسکوویت

مراجع

- [1] M. Mohseni, H. S. Far, M. Hasanzadeh, and K. Golovin, "Non-fluorinated sprayable fabric finish for durable and comfortable superhydrophobic textiles," *Prog. Org. Coatings*, vol. 157, no. April, p. 106319, 2021, doi: 10.1016/j.porgcoat.2021.106319.
- [2] M. Kirubanithy, S. Divya, T. H. Oh, N. Gopalakrishnan, and K. Balamurugan, "Preparation and characterization of BaTiO₃-natural muscovite composites," *J. Mater. Sci. Mater. Electron.*, vol. 33, no. 26, pp. 20656-20667, Sep. 2022, doi: 10.1007/S10854-022-08877-4/FIGURES/9.
- [3] D. W. Cho *et al.*, "A novel chitosan/clay/magnetite composite for adsorption of Cu(II) and As(V)," *Chem. Eng. J.*, vol. 200-202, pp. 654-662, Aug. 2012, doi: 10.1016/J.CEJ.2012.06.126.
- [4] M. Krawczyk, S. Akbari, M. Jeszka-Skowron, E. Pajootan, and F. S. Fard, "Application of dendrimer modified halloysite nanotubes as a new sorbent for ultrasound-assisted dispersive micro-solid phase extraction and sequential determination of cadmium and lead in water samples," *J. Anal. At. Spectrom.*, vol. 31, no. 7, pp. 1505-1514, 2016, doi: 10.1039/c6ja00096g.
- [5] J. Chang *et al.*, "Adsorption of methylene blue onto Fe₃O₄/activated montmorillonite nanocomposite," *Appl. Clay Sci.*, vol. 119, pp. 132-140, Jan. 2016, doi: 10.1016/J.CLAY.2015.06.038.
- [6] H. Shahriyari Far, M. Hasanzadeh, M. Najafi, and R. Rahimi, "In-situ self-assembly of mono- and bi-metal organic frameworks onto clay mineral for highly efficient adsorption of pollutants from wastewater," *Chem. Phys. Lett.*, vol. 799, no. April, p. 139626, 2022, doi: 10.1016/j.cplett.2022.139626.
- [7] Ü. Ecer, A. Zengin, and T. Şahan, "Magnetic clay/zeolitic imidazole framework nanocomposite (ZIF-8@Fe₃O₄@BNT) for reactive orange 16 removal from liquid media," *Colloids Surfaces A Physicochem. Eng. Asp.*, vol. 630, p. 127558, Dec. 2021, doi: 10.1016/J.COLSURFA.2021.127558.
- [8] M. A. Barakat, R. Kumar, E. C. Lima, and M. K. Seliem, "Facile synthesis of muscovite-supported Fe₃O₄ nanoparticles as an adsorbent and heterogeneous catalyst for effective removal of methyl orange: Characterisation, modelling, and mechanism," *J. Taiwan Inst. Chem. Eng.*, vol. 119, pp. 146-157, Feb. 2021, doi: 10.1016/J.JTICE.2021.01.025.
- [9] H. S. Far, M. Hasanzadeh, M. Najafi, and R. Rahimi, "Hybridization of Nanoclay with a Chromium-Based Metal-Organic Framework for Boosting Adsorption of Organic Dyes from Wastewater," *ChemistrySelect*, vol. 7, no. 5, p. e202104191, 2022, doi: 10.1002/slct.202104191.
- [10] S. Jose, N. Shanmugam, S. Das, A. Kumar, and P. Pandit, "Coating of lightweight wool fabric with nano clay for fire retardancy," *Journal of the Textile Institute*, vol. 110, no. 5, pp. 764-770, 2019, doi: 10.1080/00405000.2018.1516529.
- [11] R. Begam, M. Joshi, and R. Purwar, "Antimicrobial Finishing of Cotton Textiles using Silver Intercalated Clay," *Fibers and Polymers*, vol. 23, no. 1, pp. 148-154, 2022, doi: 10.1007/s12221-021-3178-9.
- [12] C. R. S. de Oliveira, M. A. Batistella, L. A. Lourenço, S. M. de A. G. U. de Souza, and A. A. U. de Souza, "Cotton fabric finishing based on phosphate/clay mineral by direct-coating technique and its influence on the thermal stability of the fibers," *Prog. Org. Coatings*, vol. 150, p. 105949, Jan. 2021, doi: 10.1016/J.PORGCOAT.2020.105949.
- [13] A. A. Abou El-Kheir, M. Ezzat, F. Bassiouny, and L. K. El-Gabry, "Development of some functional properties on viscose fabrics using nano kaolin," *Cellulose*, vol. 25, no. 8, pp. 4805-4818, 2018, doi: 10.1007/s10570-018-1865-5.
- [14] D. P. Chattopadhyay and B. H. Patel, "Effect of Nanosized Colloidal

- Copper on Cotton Fabric,” <https://doi.org/10.1177/155892501000500301>, vol. 5, no. 3, pp. 1–6, Sep. 2010, doi: 10.1177/155892501000500301.
- [15] T. Karthik, R. Rathinamoorthy, and R. Murugan, “Enhancement of wrinkle recovery angle of cotton fabric using citric acid cross-linking agent with nano-TiO₂ as a co-catalyst,” <http://dx.doi.org/10.1177/1528083711427481>, Nov. 2011, doi: 10.1177/1528083711427481.
- [16] A. Taherkhani and M. Hasanzadeh, “Durable flame retardant finishing of cotton fabrics with poly(amidoamine) dendrimer using citric acid,” *Mater. Chem. Phys.*, vol. 219, pp. 425–432, Nov. 2018, doi: 10.1016/j.matchemphys.2018.08.058.
- [17] M. Joshi, S. W. Ali, and S. Rajendran, “Antibacterial finishing of polyester/cotton blend fabrics using neem (*Azadirachta indica*): A natural bioactive agent,” *J. Appl. Polym. Sci.*, vol. 106, no. 2, pp. 793–800, Oct. 2007, doi: 10.1002/APP.26323.
- [18] S. Perera, B. Bhushan, R. Bandara, G. Rajapakse, S. Rajapakse, and C. Bandara, “Morphological, antimicrobial, durability, and physical properties of untreated and treated textiles using silver-nanoparticles,” *Colloids Surfaces A Physicochem. Eng. Asp.*, vol. 436, pp. 975–989, Sep. 2013, doi: 10.1016/J.COLSURFA.2013.08.038.