نانو تکنولوژی

طراحی مواد تنفس پذیر ضد آب بر پایه نانوالیاف الکتروریسی شده و ارزیابی ویژگی های عملکردی

مترجم: عباس حاجی پور

چکیده

برای توسعه مواد تنفس پذیر ضد آب برای کاربردهای مختلف مصرف کننده، ما از الکتروریسی برای ساخت سیستم های پارچه لایه ای با ساختارهای مختلف مرکب استفاده کردیم. مخصوصا، ما ساختارهای پارچه روکش شده بر پایه وب های نانو الیاف الکتروریسی شده با مقادیر مختلف تراکم وب نانو الیاف و همچنین بسترهای مختلف و ساختارهای لایه را توسعه دادیم و سپس تنفس پذیری و ضد آب بودن مواد را بررسی کردیم. تنفس پذیری و ضد آب بودن سیستم های پارچه لایه ای با پارچه های تنفس پذیر ضد آب متداول از قبیل پارچه های با بافت متراکم، پارچه پوشانده شده با (لمینت شده) غشاء میکرو متخلخل، پارچه پوشانده شده با پلی اوراتان غیر متخلخل آب دوست مقایسه شد. تنفس پذیری و مقدار عملکرد متفاوت مانعی بوسیله تفاوت ساختار لایه و بستر در سیستم های پارچه روکش شده با وب نانو الیاف الکتروریسی شده بدست آورده شد. یکنواختی وب نانو الیاف و فرآیند روکش شدن نیز بر روی عملکرد های مانعی و راحتی تاثیر گذاشت. مقایسه عملکردهای تنفس پذیری و ضد آبی بین مواد جدید و مواد تنفس پذیر ضد آب متداول نشان داد که ساختارهای روکشی بر پایه وب های نانوالیاف الکتروریسی شده، مقاومت بالاتری در برابر نفوذ آب نسبت به پارچه های با بافت متراکم و درجه بالاتری از بخار رطوبت و نفوذپذیری هوا نسبت به پارچه های پوشانده شده با غشاء میکرومتخلخل و پارچه های پوشش داده شده، با انتخاب مناسب ساختار لایه، پارچه بستر و فرآیند روکش شدن فراهم می کند.

مقدمه

پارچه های تنفس پذیر ضد آب برای استفاده در پوشاک برای فرآهم کردن محافظت از بدن انسان از عوامل محیطی از قبیل باران، باد، عوامل مضر توسعه یافته اند، درحالی که اجازه می دهند تا بخار آب از طریق آنها پخش شود. تعداد کاربردهای پارچه های تنفس پذیر ضد آب از لباس های بیرون برای راحتی و ورزش تا استفاده های پزشکی مخصوص و نظامی در حال افزایش است. با این حال، شرایط کاربرد و عملکرد مورد نیاز بطور وسیعی به استفاده نهایی وابسته است. پارچه های تنفس پذیر ضد آب در ورزش های بیرونی و پوشاک راحتی در حالی که محافظت از آب و هوا را فراهم می کند، نیاز به فراهم کردن پوشش با راحتی بالاتر دارد، زیرا مصرف کننده ها از راحتی لباس هنگام پوشیدن چنین پوشاکی آگاه تر هستند. لباس کار محافظ برای مواردی از قبیل یونیفرم جنگی ارتش استفاده می شود، که ممکن است در معرض شرایط سخت آب و هوایی باشد و بنابراین نیاز به درجه بالایی از عملکرد مانع شوندگی دارد. برای مواجه شدن با محدوده های مختلف استفاده‌های نهایی و نیازهای مصرف کننده برای انواع مختلف فعالیت‌ها، لازم است تا موادی که مقادیر مختلف تنفس پذیری و ضد آب بودن را پشنهاد می دهند، توسعه یابند.

تقاضا برای توسعه محدوده گوناگون پارچه های تنفس پذیر ضد آب، محققان را برای جستجو جدیدترین روش‌ها برای تولید ضد آب بودن و تنفس پذیری علاوه بر پارچه های تنفس پذیر ضد آب متداول در بازار ترغیب کرد. روش الکتروریسی به عنوان یکی از رویکردها برای توسعه مواد تنفس پذیر ضد آب بکار می رود. الکتروریسی یک وب بسیار نازک غشاء مانند از الیاف بسیار ظریف با اندازه منافذ بسیار کوچک فراهم می کند که برای کاربردهای مختلف از فیلتراسیون تا داربست بافت، سنسورها، و لباس های محافظتی جذاب می باشد. وب‌های نانوالیاف الکتروریسی شده می توانند با ساختار متخلخل مطلوب برای بهره مند سازی عملکرد راحتی و مانعی مهندسی شوند. مخلوط منحصر بفرد مساحت سطح مخصوص بالا، انعطاف پذیری، وزن کم و ساختار متخلخل با سطح مطلوبی از باز بودن، از چنین الیافی یک ماده ممتاز برای استفاده در پوشاک عملکرد بالا می سازد.

تکنولوژی الیاف نانو برای استفاده در محدوده وسیعی از کاربردهای تجاری کوچک که از نانو مواد الکتروریسی شده استفاده می‌کند، از آزمایشگاه گرفته شده است. اگرچه چندین شرکت به تولید زیاد نانو الیاف دست

یافتـه انـد، امـا فیلترهـا هنـوز اسـتفاده تجـاری اولیـه از الیـاف الکتروریسـی شـده هسـتند. پتانسـیل اسـتفاده از وب هـای نانـو الیـاف الکتروریسـی شـده بـرای مـواد تنفـس پذیـر ضـد آب در حـال بررسـی اسـت. کانـگ[1] و همـکاران امـکان پذیـری پلـی اوراتـان الکتروریسـی شـده بـر روی بسـتر پارچـه ای بـرای تهیـه پارچـه هـای تنفـس پذیـر را بررسـی کردنـد. لـی[2] و همـکاران ، تغییـرات در خـواص مکانیکـی و خـواص حرارتـی و انتقـال آب وب نانـو الیـاف تولیـد انبـوه شـده پـس از شستشـو بـرای ارزیابـی امـکان اسـتفاده از نانـو الیـاف بـرای پوشـاک بیـرون را مـورد بررسـی قـرار دادنـد. آنهـا گـزارش کردنـد کـه خـواص مکانیکـی وب نانـو الیـاف بـرای اسـتفاده بـه عنـوان لبـاس در پوشـاک بیـرون اگـر فراینـد روکـش شـدن در تولیدشـان اسـتفاده شـود و مـواد وب نانـو الیـاف خـواص حرارتـی و انتقـال آب را بعـد از تکـرار شستشـو حفـظ کننـد، مناسـب مـی باشـد. از آنجایـی کـه وب هـای نانـو الیـاف بسـیار نـازک هسـتند، آنهـا معمـولا نیـاز بـه سـاختار حمایـت کننـده بـرای کاربرهـای تجـاری دارنـد، و روشـی کـه در آن لایـه هـای نانـو الیـاف در داخـل مـاده مخلـوط نهایـی قـرار می‌گیرنـد، می‌توانـد بـر روی عملکـرد مانعـی و راحتـی مـاده تاثیـر بگـذارد. بـه منظـور بررسـی بیشـتر کاربردهـای تجـاری وب هـای نانـو الیـاف الکتروریسـی شـده بـرای کاربردهـای پارچـه تنفـس پذیـر ضـد آب، لازم اسـت تـا مـواد نانـو الیـاف الکتروریسـی شـده بـا سـاختارهای مختلـف کامپوزیـت و مقادیـر مختلـف تراکـم وب نانـو الیـاف توسـعه یابـد و چگونگـی تاثیـر ایـن فاکتورهـا بـر روی تنفـس پذیـری و ضـد آب بـودن بررسـی شـود. ایـن اطلاعـات می‌تواننـد بـه صنعـت کمـک کننـد تـا مـواد تنفـس پذیـر ضـد آب جدیـد بـر پایـه نانـو الیـاف الکتروریسـی شـده را بهتـر طراحـی کنـد. همچنیـن مهـم اسـت کـه ایـن نـوع جدیـد از مـواد تنفـس پذیـر ضـد آب بـا پارچـه هـای تنفـس پذیـر ضـد آب متـداول در بـازار بـر حسـب عملکـرد مانعـی و راحتـی بـرای بررسـی امـکان ایجـاد موقعیـت جدیـد فـروش مقایسـه گـردد. معرفـی مـواد تنفـس پذیـر ضـد آب جدیـد مـی توانـد طیـف وسـیعی از انتخـاب بـرای مشـتری فراهـم کنـد و منجـر بـه درجـه بالاتـری از تقسـیم بنـدی در بـازار مـی شـود.

ایـن پژوهـش بـر روی توسـعه مـواد تنفـس پذیـر ضـد آب بـا اسـتفاده از روش الکتروریسـی، کـه بـا اسـتفاده هـای نهایـی مختلـف و نیازهـای مشـتری کـه بـرای انـواع مختلـف کاربردهـا مواجـه مـی شـود، تمرکـز کـرده اسـت. سیسـتم پارچـه هـای روکـش شـده بـر پایـه وب هـای نانـو الیـاف الکتروریسـی شـده بـا مقادیـر مختلـف تراکـم وب نانـو الیـاف و همچنیـن بسـترهای مختلـف و سـاختارهای لایـه‌ای توسـعه یافتـه اسـت. وب‌هـای نانـو الیـاف تولیـد شـده در مقیـاس زیـاد، و همچنیـن وب هـای نانـو الیـاف سـاخته شـده بـا تراکـم مختلـف وب در آزمایـش مـا، بـرای تولیـد سـاختارهای کامپوزیـت مختلـف اسـتفاده شـد. ضـد آب بـودن و تنفـس پذیـری سیسـتم هـای پارچـه روکـش شـده ارزیابـی شـد و بـا پارچـه هـای تنفـس پذیـر ضـد آب موجـود در بـازار، از قبیـل پارچـه بـا بافـت سـنگین، پارچـه پوشـانده شـده بـا غشـاء میکـرو متخلخـل و پارچـه پوشـش داده شـده مقایسـه شـد.

بخش تجربی

مواد

سیسـتم هـای پارچـه پوشـانده شـده (لایـه ای) بـا وب نانـو الیـاف تولیـد شـده در مقیـاس آزمایشـگاه

پلـت هـای پلـی اوراتـان از نـوع تجـاری (Pellethane™، 2103-80AE، Dow Chemical Company، آمریـکا) بـرای سـاخت وب نانـو الیـاف در مقیـاس آزمایشـگاه بـا مقادیـر مختلـف تراکـم وب نانـو الیـاف اسـتفاده شـد. N، N– دی متیـل فـرم آلدئیـد (DMF) (Junsei Chemical Co., Ltd، ژاپـن) بـه عنـوان حـلال اسـتفاده شـد. محلـول هـای الکتروریسـی بوسـیله انحـلال پلیمـر در DMF در غلظـت ٪wt ۱۳ تهیـه شـد. وضعیـت الکتروریسـی عمـودی بـا یـک سیسـتم ربـات دو محـور (NanoNC Co. ،NNC- ESP200R2، کـره) اسـتفاده شـد. کـه شـامل منبـع تغذیـه ولتـاژ بـالا قـادر بـه ۳۰- ۰ kV، پمـپ سـرنگ، جمـع کننـده زمینـی، و سیسـتم نـازل چندگانـه بـود کـه یـک سیسـتم کامپیوتر، سیسـتم نـازل و جمـع کننـده را کنتـرل مـی کنـد تـا آنهـا بـه ترتیـب در درازا و در پهنـا حرکـت کننـد تـا وب نانـو الیـاف یکسـان سـاخته شـود. سیسـتم هـای پارچـه روکـش داده شـده، بـرای حمایـت خـواص مکانیکـی محـدود شـده وب هـای نانـو الیـاف سـاخته شـدند.

پارچـه بـا بافـت متراکـم (Kolon Fashion Material Co.، کـره) بـه عنـوان بسـتر بـرای سیسـتم هـای پارچـه پوشـانده شـده بـا وب نانـو الیـاف تولیـد شـده در مقیـاس آزمایشـگاه اسـتفاده شـد.

پارچـه بسـتر، پلـی اسـتر ۱۰۰٪ بـود و ضخامـت ۰/۱۷ mm، وزن ۸۸/۴ g/m^2 و تعـداد تـار و پـود in / (W×F) ۱۶۰×۱۵۰ داشـت. چسـب اورسـل (3M Co.، آمریـکا) قبـل از فرآینـد الکتروریسـی بـرای بسـتر بـکار رفـت تـا چسـبندگی وب نانـو الیـاف بـه لایـه هـای بسـتر را بهبـود ببخشـد.

نانـو الیـاف پلـی اوراتـان مسـتقیما بـر روی زمینـه تحـت شـرایط مختلـف از قبیـل نـرخ تغذیـه متفـاوت، ولتـاژ بـرق، فاصلـه جمـع کننـده و قطرهـای موئیـن بـرای یافتـن شـرایط بهینـه ریسـندگی بـرای تنظیـم الکتروریسـی مـا، الکتـرو ریسـی شـدند. دو نـوع سیسـتم پارچـه لایـه ای وب نانـو الیـاف در مقیـاس آزمایشـگاه بـا تراکـم وب بـه ترتیـب ۵/۶ و ۱۰/۲ g/m^2 تحـت شـرایط بهینـه ریسـندگی تولیـد شـد.

سیسـتم هـای پارچـه پوشـانده شـده (لایـه ای) بـا وب نانـو الیـاف تولیـد شـده در مقیـاس انبـوه

سـه نـوع سیسـتم پارچـه پوشـانده شـده بـا وب نانـو الیـاف بـا اسـتفاده از وب نانـو الیـاف الکتروریسـی شـده تولیـد شـده در مقیـاس انبـوه تهیـه شـده از Finetex Technology Co تولیـد شـد. وب نانـو الیـاف تولیـد شـده در مقیـاس انبـوه، پلـی اوراتـان بـا تراکـم ۵/۲ g/m^2 بـود. وب هـای نانـو الیـاف بـر روی پارچـه بسـتر بـا اسـتفاده از غلتـک تـوری و چسـب پلـی اوراتـان بـرای حمایـت وب هـای نـازک نانـو الیـاف روکـش شـدند .

سـه نـوع سیسـتم پارچـه پوشـانده شـده بـا وب نانـو الیـاف تولیـد شـده در مقیـاس انبـوه بـا بسـترهای و سـاختارهای لایـه مختلـف تهیـه شـدند. دو نـوع از سـاختارهای دو لایـه سـاخته شـد کـه در بسـترها اسـتفاده شـد. بـه ترتیـب پارچـه بـا بافـت متراکـم و پارچـه پلـی اسـتر معمولـی کـه عمومـا بـه عنـوان بسـتر در لایـه هـای تنفـس پذیـر ضـد آب متـداول اسـتفاده شـده، بـرای بسـتر انتخـاب مـی شـود.

سـاختار سـه لایـه نیـز سـاخته شـد کـه پارچـه پلـی اسـتر معمولـی و تریکـو نایلـون بـه عنـوان پارچـه بسـتر اسـتفاده شـدند. وب نانـو الیـاف تولیـد شـده در

1. Kang
2. Lee

Specimen	Sample code	Construction	Nanofiber web density (g/m^2)	Substrate	Weight (g/m^2)	Thickness (mm)
Lab-scale nanofiber web layered fabric system	L1	2-layer	5.6	Densely woven 100 % polyester	91.9	0.18
	L2	2-layer	10.2	Densely woven 100 % polyester	92.4	0.23
Mass-produced nanofiber web layered fabric system	C1	2-layer	5.2	Densely woven 100 % polyester	97.9	0.17
	C2	2-layer	5.2	100 % polyester fabric	120.0	0.21
	C3	3-layer	5.2	100 % polyester fabric 100 % nylon tricot	187.9	0.46

جدول ۱. ساختار پارچه و مشخصات سیستم های پارچه لایه ای وب نانو الیاف

Specimen	Substrate	Weave construction	Weight (g/m^2)	Thickness (mm)	Fabric count (warp×filling/inch)
Densely woven fabric	100 % polyester	Dobby	88.4	0.17	160×150
PU coated fabric	100 % polyester	Plain	101.3	0.13	136×84
PTFE membrane laminated fabric	100 % polyester	Dobby	101.9	0.20	179×119

جدول ۲. مشخصات پارچه های تنفس پذیر ضد آب متداول

مقیاس انبوه ابتدا به پارچه پلی استر معمولی روکش شد و سپس پارچه حلقوی تریکو نایلون به طرف دیگر وب روکش شد، بنابراین وب نانو الیاف بین دو پارچه بستر قرار گرفت. پارچه پلی استر معمولی ضخامت ۰/۱۵ mm، وزن ۱۰۹ g/m^2 و تعداد تار و پود ۹۳×۹۳ /in داشت. تریکو نایلون ضخامت ۰/۲۵ mm، وزن ۶۹ g/m^2 و تعداد تار و پود ۴۲×۴۸ /in داشت. مشخصات سیستم های پارچه پوشانده شده با وب نانو الیاف تولید شده در مقیاس آزمایشگاه و سیستم های پارچه پوشانده شده با وب نانو الیاف تولید شده در مقیاس انبوه در جدول ۱ نشان داده شده است.

پارچه های تنفس پذیر ضد آب متداول

برای مقایسه تنفس پذیری و ضد آب بودن، سه نوع پارچه تنفس پذیر ضد آب متداول، پارچه با بافت متراکم (Kolon Fashion Material Co.، کره)، پارچه با غشاء میکرو متخلخل پلی تترافلوئورواتیلن لایه شده (Donaldson Co.، آمریکا) و پارچه پوشش داده شده با PU غیر متخلخل آب دوست (Hwashin Special Textile Filter Co.، کره)، که معمولا استفاده می شود، انتخاب شد. مشخصات پارچه ها در جدول ۲ آورده شده است.

مورفولوژی الیاف

مورفولوژی الیاف پلی اوراتان الکتروریسی شده و سیستم های پارچه پوشانده شده با استفاده از میکروسکوپ الکترونی روبشی تحت گسیل میدانی (FE–SEM) (Hitachi Model S-4200، Nissei Sangyo، ژاپن) بعد از پوشش دهی با Pt/Pd مورد بررسی قرار گرفت.

توزیع اندازه منافذ

توزیع اندازه منافذ بوسیله Porous Materials, Inc.) Capillary Flow Porometer آمریکا) اندازه گیری شد. نرخ های جریان گاز از میان نمونه های تر و خشک بر حسب اختلاف فشار اندازه گیری شد و قطرهای منفذ در وسط منافذ در تنگ ترین بخش از منفذ تعیین شد.

مقاومت در برابر نفوذ آب

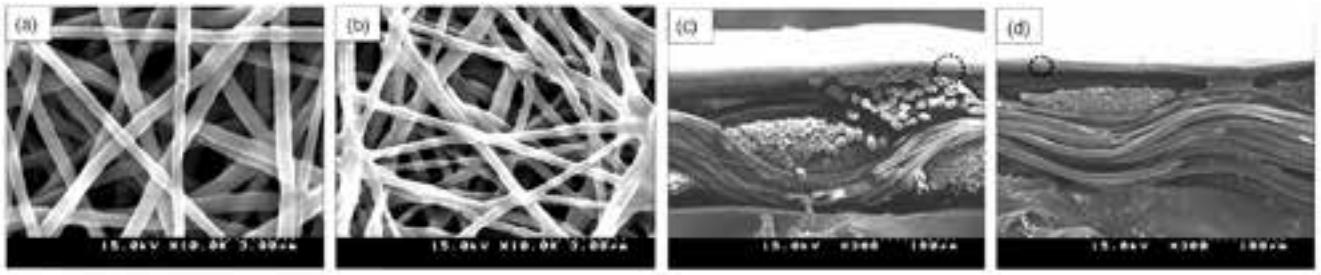
مقاومت در برابر نفوذ آب هر سیستم پارچه پوشانده شده بر طبق ISO 811:1981، پارچه‌های نساجی– تعیین مقاومت در برابر نفوذ آب– آزمایش فشار ایستایی، با استفاده از دستگاه آزمایش فشار ایستایی (FX3000III، Textest Co.، سوئیس) برای ۵ نمونه اندازه گیری شد. دما آب در ۲۰±۲ °C نگه داشته شد و نرخ افزایش فشار آب در cmH_2O/min ۶۰ تنظیم شد. آزمایشات در اتمسفر کنترل شده، که دمای هوا ۲۰±۲ °C بود و رطوبت نسبی ٪ ۶۵±۵ بود، انجام شد.

نفوذپذیری هوا

نفوذ پذیری هوا بر طبق ASTM D 737-2004، آزمایش استاندارد برای نفوذ پذیری هوای پارچه های نساجی، با استفاده از یک Frazier Air Permeability Tester برای ۱۰ نمونه ارزیابی شد. ناحیه آزمایش ۲۳۸ cm بود و افت فشار استفاده شده ۱۲۵ Pa بود.

انتقال بخار آب

نرخ انتقال بخار آب بر طبق ISO 2528:1995،روش وزنی (ظرف) مواد صفحه‌ای (اندازه‌گیری نرخ انتقال بخار آب) برای ۳ نمونه ارزیابی شد. کلراید کلسیم بی آب به عنوان ماده خشک کننده استفاده شد و آزمایشات در اتمسفر کنترل شده انجام شدند که دمای هوا ۳۸±۵ °C بود و رطوبت نسبی ٪ ۹۰±۲ بود.



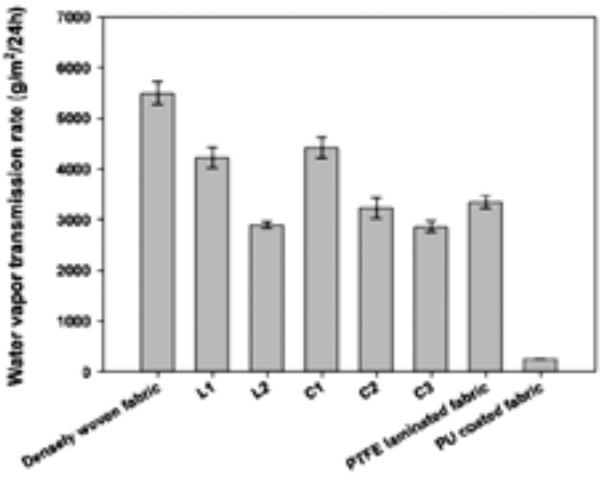
شکل ۱. تصاویر SEM سیستم پارچه لایه ای وب نانو الیاف پلی اوراتان الکتروریسی شده، (a) وب نانو الیاف در مقیاس ازمایشگاه، (b) وب نانو الیاف تولید شده در مقیاس انبوه، (c) مقطع عرضی سیستم پارچه لایه ای وب نانو الیاف در مقیاس آزمایشگاه با تراکم وب ۵/۶۲ g/m (L1)، و (d) مقطع عرضی سیستم پارچه لایه ای وب نانو الیاف تولید شده در مقیاس انبوه با تراکم وب ۵/۲۲ g/m (C1).

نتایج و بحث

مورفولوژی الیاف

برای ساخت سیستم پارچه پوشانده شده با وب نانو الیاف الکتررو ریسی شده در مقیاس آزمایشگاه، الیاف پلی اوراتان تحت شرایط مختلف برای یافتن شرایط بهینه ریسندگی برای تنظیم الکترو ریسی ما، الکتروریسی شدند. شکل ۱(a) الیاف پلی اوراتان الکتروریسی شده بدست آمده از wt٪ ۱۳ محلول پلی اوراتان با سوزن گیج ۲۶ در نرخ تغذیه ml/h ۰/۲، ولتاژ kV ۱۰ و فاصله جمع کننده cm ۱۱ را نشان می دهد. الیاف استوانه ای با محدوده قطر ۳۰۰ تا nm ۵۰۰ بدست آورده شد. در شرایط بهینه، نانو الیاف پلی اوراتان مستقیما بر روی بستر، یک پارچه با بافت سنگین، برای ایجاد سیستم پارچه پوشانده شده با وب نانو الیاف تولید شده در مقیاس آزمایشگاه الکتروریسی شدند. شکل ۱(c) نمای مقطع عرضی از سیستم پارچه لایه ای وب نانو الیاف در مقیاس آزمایشگاهی با تراکم وب g/m^2 ۵/۶ (L1) را نشان می دهد. ما مشاهده کردیم که لایه نازک وب نانو الیاف الکتروریسی شده بر روی پارچه بستر همانطور که بوسیله دایره نقطه ای نشان داده شده است، قرار گرفت.

مورفولوژی سطح وب نانو الیاف ساخته شده در مقیاس انبوه در شکل ۱(b) نشان داده شده است. قطر نانو الیاف در محدوده ۳۰۰ تا nm ۵۰۰ بود که مشابه نانو الیاف در مقیاس آزمایشگاه بود. وب نانو الیاف تولید شده در مقیاس انبوه به بستر پارچه در طرح های مختلف ساختار کامپوزیت روکش شد. شکل ۱(d) نمای مقطع عرضی سیستم پارچه پوشانده شده با وب نانو الیاف تولید شده در مقیاس انبوه با تراکم وب g/ m^2 ۵/۲ (C1) را نشان می دهد. چنانچه با سیستم پارچه پوشانده شده با وب نانو الیاف تولید شده در مقیاس آزمایشگاه (شکل ۱(c)) مقایسه شود، لایه وب نانوالیاف بسیار نازک تر با ضخامت حدود µm ۱۰ برای سیتم پارچه پوشانده شده با وب نانو الیاف تولید شده در مقیاس انبوه مشاهده شد. که این ممکن است به علت فرآیند روکش دهی بکار رفته برای سیستم های پارچه پوشانده شده با وب نانو الیاف تولید شده در مقیاس انبوه باشد. فشار بکار رفته برای وب و پارچه بستر در طول فرآیند روکش دهی ممکن است وب نانو الیاف نازکتر و فشرده تر ایجاد کند و این ممکن است بر روی عملکرد مانعی و راحتی مواد تاثیر بگذارد.



شکل ۲. نرخ انتقال بخار آب سیستم های پارچه پوشانده شده با وب نانو الیاف الکتروریسی شده و پارچه های تنفس پذیر ضد آب متداول

انتقال بخار آب

انتقال بخار آب، توانایی مواد برای اجازه عبور بخار رطوبت از میان ماده را نشان می دهد. نفوذپذیری بخار رطوبت در ارزیابی راحتی حرارتی بخصوص در محیط های گرم بسیار مهم است، زیرا تولید عرق و بخار مهمترین مکانیزم های خنک شوندگی برای حفظ راحتی حرارتی و اجتناب از فشار گرما در چنین محیط هایی است.

نرخ های انتقال بخار آب سیستم های پارچه پوشانده شده با وب نانو الیاف الکتروریسی شده و پارچه های تنفس پذیر ضد آب متداول در شکل ۲ نشان داده شده است.

پارچه های با بافت متراکم، همانطور که انتظار می‌رفت، بالاترین نرخ انتقال بخار آب که $5500 g/m^2$ / ۲۴ h می باشد را نشان می‌دهند. سیستم‌های پارچه پوشانده شده با وب نانو الیاف الکتروریسی شده نرخ های انتقال بخار رطوبت بین ۲۸۹۹ و ۲۴ h / $4300 g/m^2$، بسته به نوع طراحی ساختار کامپزیت نشان داد و این نرخ ها بسیار بیشتر از پارچه های روکش شده با PU بود.

پارچه های پوشش داده شده با PTFE انتقال بخار آب مشابه با C2، سیستم های پارچه پوشانده شده با وب نانو الیاف تولید شده در ابعاد انبوه، نشان داد. پارچه پوشش داده شده با PU ، کمترین نرخ انتقال بخار آب، $250 g/m^2$/۲۴ h، نشان داد، که نشان می دهد که اگر برای مدت طولانی در طول فعالیت های شدید پوشیده شود، احتمالا از نظر حرارتی راحت نمی باشند.

مقایسه سیستم های پارچه پوشانده شده با وب نانو الیاف تولید شده در مقیاس آزمایشگاه، L1 و L2، با توجه به اینکه پارچه های بستر و ساختار

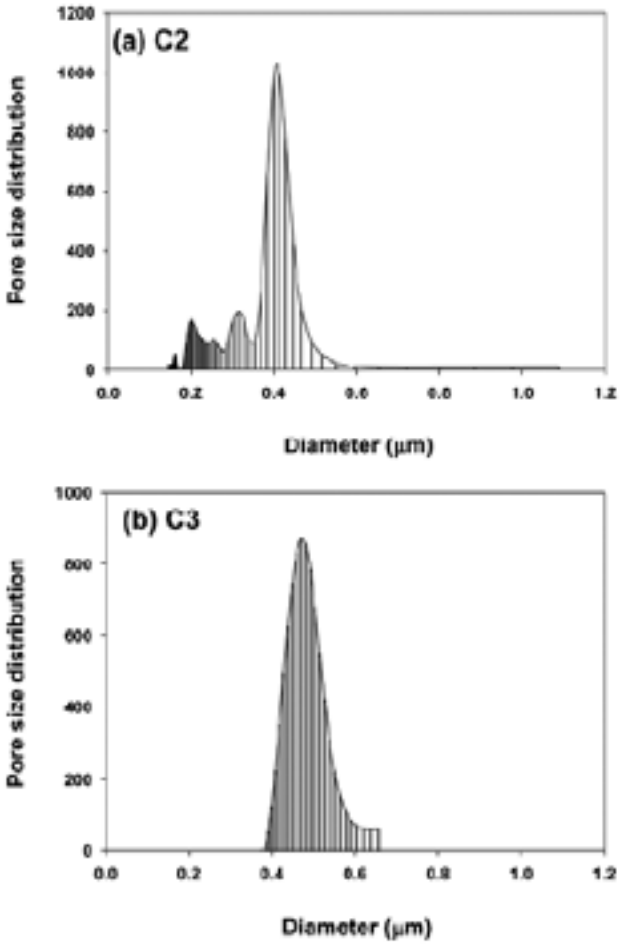
لایـه مشـابه در آن سیسـتم هـا اسـتفاده شـد، تاثیـر تراکـم وب نانـو الیـاف بـر روی انتقـال بخـار آب سـاختارهای لایـه ای را نشـان مـی دهـد. سیسـتم پارچـه لایـه ای بـا تراکـم وب بـالا (L2) نـرخ انتقـال بخـار آب کمتـر نسـبت بـه سیسـتم هـای پارچـه لایـه ایـی بـا دانسـیته وب کـم (L1) داشـت. نـوع پارچـه بسـتر و سـاختار لایـه نیـز بـر روی انتقـال بخـار آب مـاده کامپوزیـت نهایـی تاثیـر داشـت. اگرچـه انـواع مشـابه وب نانـو الیـاف در سیسـتم هـای پارچـه پوشـانده شـده بـا وب نانـو الیـاف تولیـد شـده در مقیـاس انبـوه اسـتفاده شـد (C2،C1 و C3)، امـا آنهـا محـدوده ای از انتقـال بخـار آب را نشـان دادنـد. سـاختارهای لایـه ای کـه در پارچـه هـای بـا بافـت متراکـم بـه عنـوان بسـتر (C1) اسـتفاده شـد، انتقـال بخـار آب بالاتـر از پارچـه هـای پلـی اسـتر معمولـی کـه بـه عنـوان بسـتر (C2) اسـتفاده شـد، از خـود نشـان داد. سیسـتم سـه لایـه (C3) انتقـال بخـار آب کمتـر نسـبت بـه سیسـتم دو لایـه (C2) ارائـه داد. انتقـال بخـار آب از میـان مـواد نسـاجی نشـان مـی دهـد کـه بوسـیله فاکتورهـای مختلـف از قبیـل انـدازه منفـذ، مقـدار خلـل و فـرج در مـاده و ضخامـت کنتـرل مـی شـود. یافتـه هـای مـا نشـان مـی دهـد کـه نـه تنهـا لایـه وب نانـو الیـاف، بلکـه طراحـی سـاختار کامپوزیـت، از قبیـل سـاختار لایـه و سـاختار پارچـه بسـتر نیـز ممکـن اسـت بـرای طـول تخلخـل یـا منفـذ مـواد کامپوزیـت نهایـی و از اینـرو عملکـرد انتقـال بخـار آب مـواد شـرکت کنـد.

در مقایسـه بـا پارچـه هـای تنفـس پذیـر ضـد آب کـه معمـولا اسـتفاده مـی شـود، سیسـتم پارچـه هـای پوشـانده شـده بـا وب نانـو الیـاف الکتروریسـی شـده، انتقـال بخـار آب در محـدوده بیـن پارچـه هـای بـا بافـت متراکـم و پارچـه هـای پوشـش داده شـده بـا PU از خـود نشـان داد. بخصـوص L1 و C1 انتقـال بخـار آب بـالا نشـان دادنـد کـه نویـد بخـش فرآهـم آوری راحتـی حرارتـی اسـت.

نفوذپذیری هوا

نفوذپذیـری هـوای پارچـه هـا عملکـرد تنفـس پذیـری و تهویـه پارچـه را نشـان مـی دهـد. عمومـا، نفـوذ پذیـری پارچـه بـه راحتـی حرارتـی پوشـاک، بخصـوص در آب و هـوای گـرم و مرطـوب مربـوط مـی شـود. شـکل ۳ نفـوذ پذیـری هـوای سیسـتم هـای پارچـه پوشـانده شـده بـا وب نانـو الیـاف الکتـرو ریسـی شـده و پارچـه هـای تنفـس پذیـر ضـد آب متـداول را نشـان مـی دهـد. پارچـه هـای بـا بافـت متراکـم، بالاتریـن نفـوذ پذیـری هـوا را نشـان دادنـد در حالیکـه پارچـه هـای پوشـش داده شـده بـا PU بعـد از پارچـه هـای پوشـانده شـده بـا PTFE، کمتریـن نفـوذ پذیـری را ارائـه دادنـد. سیسـتم هـای پارچـه پوشـانده شـده بـا وب نانـو الیـاف الکتروریسـی شـده، نفـوذ پذیـری هـوای بسـیار بیشـتر از پارچه‌هـای پوشـش داده شـده و پارچـه هـای پوشـانده شـده (بـا PTFE) ارائـه داد.

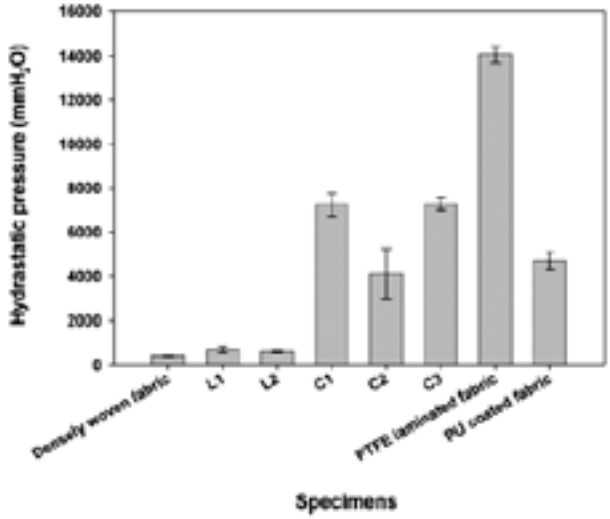
شـکل ۳ نشـان مـی دهـد کـه سیسـتم هـای پارچـه لایـه ای بـا تراکـم وب بـالا (L2) تنفـس پذیـری هـوای کمتـر نسـبت بـه سیسـتم هـای پارچـه لایـه ای بـا تراکـم وب کمتـر (L1) مـی دهـد کـه ممکـن اسـت مربـوط بـه انـدازه منافـذ کاهـش پیـدا کـرده باشـد. نـوع پارچـه بسـتر نیـز بـر روی نفوذپذیـری هـوای سیسـتم هـای پارچـه لایـه ای اثـر داشـت. سـاختار لایـه ای، در پارچـه هایـی کـه پارچـه بـا بافـت متراکـم بـه عنـوان بسـتر اسـتفاده شـد (C1)، نفوذپذیـری هـوای بالاتـر از آنهایـی کـه پارچـه پلـی اسـتر معمولـی بـه عنـوان بسـتر اسـتفاده شـد (C2) نشـان داد کـه در آن سیسـتم هـا نـوع مشـابهی از



شکل ٤. توزیع اندازه وسط منفذ
سیستم های پارچه لایه ای با یک لایه وب پلی اوراتان الکتروریسی شده.

وب نانـو الیـاف اسـتفاده شـد. جالـب اسـت کـه مـا دریافتیـم کـه سیسـتم هـای سـه لایـه (C3) نفـوذ پذیـری هـوای بالاتـر از سیسـتم دولایـه (C2) می‌دهـد. بـه منظـور بررسـی دقیـق تـر، توزیـع انـدازه منفـذ در ایـن سـیتم هـای پارچـه لایـه ای انـدازه گیـری شـد. جریـان موئینگـی پرومتـری بـرای انـدازه گیـری قطرهـای منفـذ تنهـا در وسـط منافـذ در تنـگ تریـن بخـش منفـذ بـرای سیسـتم هـای پارچـه اسـتفاده شـد. همانطـور کـه در شـکل هـای ۴ نشـان داده شـده اسـت، C3 توزیـع انـدازه منفـذ باریـک بـا محـدوده انـدازه منفـذ از ۰/۳۹ تـا ۰/۶۶ µm را نشـان داد. قطـر در بیشـترین توزیـع انـدازه منفـذ بـرای C3، ۰/۴۶ µm بـود.

از طـرف دیگـر منافـذ کوچکتـر بـا محـدوده انـدازه منفـذ پاییـن آمـده تـا µm ۰/۱۵ بـرای C2 مشـاهده شـد، کـه نشـان دهنـده توزیـع وسـیعتر انـدازه منفـذ اسـت. قطـر در بیشـترین توزیـع انـدازه منفـذ بـرای C2، ۰/۴۱ µm بـود. بـه نظـر مـی رسـد کـه C3، شـامل بخـش بزرگتـری از منافـذ نسـبتا بـزرگ نسـبت بـه C2 اسـت و ایـن منافـذ بـزرگ ممکـن اسـت منجـر بـه نفوذپذیـری هـوای بالاتـر نسـبت بـه C2 شـود. نفوذپذیـری هـوا از نـرخ جریـان هـوا از میـان پارچـه در یـک اختـلاف فشـار داده شـده بیـن دو سـطح پارچـه، بدسـت مـی آیـد. بـرای ایـن نـوع از جریـان هـوا در فشـار داده شـده، مقاومـت بـه جریـان از میـان یـک منفـذ منفـرد همچنانکـه قطـر منفـذ افزایـش مـی یابـد، بـه طـور



شکل ۵. مقاومت در برابر نفوذ آب سیستم های پارچه پوشانده شده با وب نانو الیاف الکتروریسی شده و پارچه های تنفس پذیر ضد آب متداول.

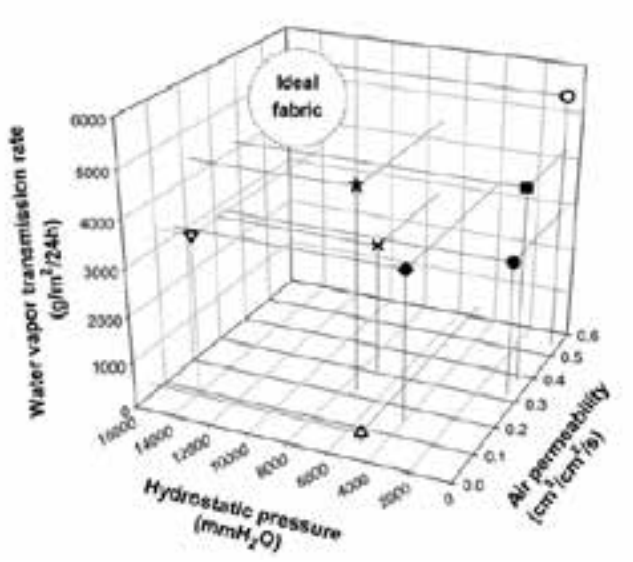
قابل توجهی کاهش پیدا می-کند. بنابراین، اندازه منفذ تاثیر قابل توجهی بر روی نفوذ پذیری هوا دارد و مخصوصا منافذ بزرگ به طور چشمگیری در نفوذپذیری هوا شرکت می کنند. سیستم سه لایه، C3، تحت فرآیند دوبرابری لایه گذاری بدست می آید که ممکن است تغییرات فیزیکی بر روی وب نانو الیاف بوجود آید که منجر به منافذ بزرگتر می شود.

مقاومت در برابر نفوذ آب

مقاومت در برابر نفوذ آب سیستم های پارچه پوشانده شده با وب نانو الیاف الکتروریسی شده و پارچه های تنفس پذیر ضد آب متداول در شکل ۵ آورده شده است. پارچه های پوشانده شده با غشاء PTFE پس از C1 و C3 بالاترین مقاومت در برابر نفوذ آب را نشان دادند. عموما، سیستم های پارچه پوشانده شده با وب نانو الیاف تولید شده در مقیاس انبوه، C1، C2، و C3، محدوده بالاتر یا قابل مقایسه از مقاومت در برابر آب نسبت به پارچه های پوشش داده شده، نشان دادند. از طرف دیگر، سیستم های پارچه پوشانده شده با وب نانو الیاف تولید شده در مقیاس آزمایشگاه، مقادیر کم مشابه با پارچه های با بافت متراکم نشان دادند. این ممکن است به علت یکنواختی وب نانو الیاف تولید شده در مقیاس انبوه و فرآیند پوشاندن بکار رفته برای سیستم های پارچه پوشانده شده با وب نانو الیاف تولید شده در مقیاس انبوه باشد. بطور کلی، وب های نانو الیاف تولید شده در مقیاس انبوه تحت یک محیط کنترل شده بهتر از قبیل اتمسفر کنترل شده، در مقایسه با وب های نانو الیاف تولید شده در مقیاس آزمایشگاه، ساخته شده اند؛ بنابراین یکنواختی وب می تواند در وب نانو الیاف تولید شده در مقیاس انبوه بهتر حفظ شود. همچنین چسبندگی قوی وب نانو الیاف به منسوج بدلیل فرآیند پوشاندن می تواند بدست آورده شود که منجر به عملکرد مانعی بهبود یافته در سیستم های پارچه پوشانده شده با وب نانو الیاف تولید شده در مقیاس انبوه می شود.
نفوذ مایع از میان مواد متخلخل عموما توسط مدل های ریاضی کلاسیک تشریح می گردد که می تواند رابطه بین مقاومت در برابر نفوذ مایع و خواص ماده و مایع را توضیح دهد. رابطه لاپلاس، $P=2\gamma\cos\theta/r$، نفوذ مایع به مواد را توضیح می دهد. P فشار لازم برای کشیدن مایع از میان منفذ می باشد، γ کشش سطحی مایع است، θ زاویه تماس در سطح مشترک مایع/ماده است، و r شعاع منفذ می باشد. رابطه پویسوله، $Q (\Delta P/L)]=[\pi r^4/8\eta]$، جریان مایع از میان یک منفذ را تشریح می کند. Q نرخ جریان مایع است، $P\Delta$ اختلاف فشار در امتداد طول منفذ می باشد، η ویسکوزیته مایع می باشدف و L طول منفذ می باشد. همانطور که در این معادلات نشان داده شده استف فاکتورهایی از قبیل کشش سطحی و ویسکوزیته مایع، برهمکنش بین مایع و سطح ماده(که بوسیله زاویه تماس تعریف می شود)، هندسه منفذ ماده، و ضخامت ماده در نفوذ مایع به مواد تاثیر دارند. در میان سه نوع مختلف سیستم های پارچه پوشانده شده با وب نانو الیاف تولید در مقیاس انبوه، C3 مقومت در برابر آب بیشتری نسبت به C2 نشان داد. ضخامت C3 بیشتر از دو برابر ضخامت C2 بود (جدول ۱ را مشاهده کنید)، و این ممکن است یک فاکتور شرکت کننده در محدود کردن نفوذ مایع به ماده باشد. ساختار دو لایه در پارچه ای که، پارچه با بافت متراکم به عنوان بستر استفاده شد (C1)، مقاومت در برابر آب بیشتری نسبت به C2، ساختار دو لایه در پارچه ای که، پارچه بافته شده با پلی استر معمولی به عنوان بستر استفاده شد، نشان داد، که ممکن است به ساختار هندسی پارچه بستر و بر همکنش بین مایع و ساختار سطحی بستر مربوط باشد. در واقع، C1 مقاومت در برابر آب مشابه با C3، ساختار سه لایه، فراهم می کند. این نتایج نشان می دهد که ساخت کامپوزیت نانو الیاف دو لایه با مقدار مشابه از ضد آب بودن کامپوزیت سه لایه بدون از دست دادن زیر دست و آویزش پارچه، ممکن است، اگر پارچه بستر مناسب انتخاب شود. که این موضوع اهمیت انتخاب ماده بستر مناسب که بتواند بیشترین عملکرد در ساختار کامپوزیت داشته باشد را نشان می دهد. در این مطالعه، از آنجا که ما می خواستیم تاثیر وب-های نانو الیاف بر روی عملکرد محافظتی و راحتی حرارتی به جز تاثیرات تکمیل را بررسی کنیم، پارچه های بستر بدون تکمیل-های سطحی مورد استفاده قرار گرفتند. ما انتظار داریم که تکمیل مانعی بر روی پارچه بستر می تواند عملکرد محافظتی سیستم-های پارچه لایه ای را بیشتر بهبود بخشد.

ارزیابی مقایسه ای مواد تنفس پذیر ضد آب مختلف

تنفس پذیری و ضد آب بودن دو عملکرد متقابلا ناسازگار می باشند؛ بنابراین مهم است که تعادل بین این خواص حفظ شود. برای دستیابی و مقایسه عملکرد کلی مواد تنفس پذیر ضد آب جدیدا توسعه یافته، عملکرد ضد آب بودن بر حسب خواص انتقال هوا و بخار رطوبت رسم شد و با پارچه های تنفس پذیر ضد آب متداول مقایسه شد (شکل ۶). پارچه های با بافت متراکم، لمینت های غشای میکروسکوپی، و پارچه پوشش داده شده با PU غیر متخلخل آب دوست پارچه های تنفس پذیر ضد آب متداول در بازار می باشند. در مقاله مروری درباره پارچه های تنفس پذیر ضد آبف نویسندگان اشاره کردند که هنوز هم میدانی وسیع برای توسعه های فنی بیشتر و تجاری در پارچه های تنفس پذیر ضد آب وجود دارد. که این به وضوح در شکل ۶ نشان داده شده است که در پارچه های تنفس پذیر ضد آب معمولی که معمولا استفاده می شوند در



شکل ٦. مقاومت در برابر نفوذ آب، نرخ انتقال بخار آب و نفوذپذیری هوا سیستم های پارچه لایه ای با یک وب نانو الیاف الکتروریسی شده در مقایسه با پارچه های تنفس پذیر ضد آب متداول؛ (O) پارچه با بافت متراکم، (■) L1، (●) L2، (★) C1، (◆) C2، (×) C3، (▽) پارچه پوشانده شده با PTFE، (Δ) پارچه پوشش داده شده با PU.

امتداد لبه های دو وجهی قرار گرفته است. پارچه های با بافت متراکم نرخ انتقال بخار آب و نفوذ پذیری هوای بالا اما مقاومت در برابر نفوذ آب بسیار کم نشان می دهند، در حالیکه پارچه-های پوشانده شده با غشاء PTFE میکرو متخلخل، بالاترین مقاومت در برابر نفوذ آب اما نفوذپذیری هوای بسیار کم فراهم می-کنند. شکل ۶ به وضوح نشان می دهد که امید زیادی برای توسعه مواد وجود دارد که می تواند مخلوطی از عملکرد مانعی بالا و راحتی حرارتی را فراهم کند. مواد تنفس پذیر ضد آب جدید باید برای این ناحیه از نیاز به منظور فراهم کردن مصرف کننده هایی با موادهایی که عملکرد راحتی و مانعی بهبود یافته را پشنهاد می کنند، به عنوان هدف قرار گیرند.

همانطور که در شکل ۶ نشان داده شده است، سیستم های پارچه پوشانده شده با وب نانو الیاف الکتروریسی شده به صورت موفقی در ناحیه هدف قرار گرفتند و فضاهای خالی را پر کردند. به طور ویژه، سیستم های پارچه پوشانده شده با وب نانو الیاف تولید شده در مقیاس انبوه، C1، C2، و C3، مقدار بالاتری از محافظت نسبت به پارچه های با بافت متراکم نشان می دهد و درجه بالاتری از تنفس پذیری و راحتی نسبت به پارچه های پوشانده شده با غشاء میکرو متخلخل و پوشش داده شده را پشنهاد می کند. از طرف دیگر، سیستم های پارچه پوشانده شده با وب نانو الیاف تولید شده در مقیاس آزمایشگاه، L1 و L2، مقدار بالاتری از خواص انتقال هوا و بخار رطوبت نشان می دهند اما عملکرد ضد آب کم مانند پارچه های با بافت متراکم دارد. این تایید می کند که فرآیند لمینت کردن و یکنواختی وب نانو الیاف برای بهبود عملکرد مانعی ضروری هستند.

مواد تنفس پذیر ضد آب ایده ال باید از نفوذ آب جلوگیری کنند، در حالیکه اجازه بدهند تا بخار رطوبت و هوا برای فرآهم کردن راحتی حرارتی آزاد شوند (شکل ۶). سیستم های پارچه پوشانده شده با وب نانو الیاف تولید شده در مقیاس انبوه، عملکرد تنفس پذیری و ضد آبی بسیار نزدیک تر به نیازهای ناحیه ایده آل نشان می دهند. شکل ۶ بیان می کند که یک ماده تنفس پذیر ضد آب با رفتار ایده آل محافظت بالا و نفوذپذیری بالای هوا و بخار آب برای راحتی حرارتی، می تواند بوسیله الکتروریسی توسعه یابد. همچنین نشان می دهد که می می توانیم به سطوح عملکرد تنفس پذیری و مانعی مختلف بوسیله کنترل طراحی ساختار کامپوزیت از قبیل ساختار لایه و پارچه های بستر در سیستم های پارچه لایه ای دست یابیم.

نتیجه گیری

تقاضای زیادی برای کحصولات تنفس پذیر ضد آب وجود دارد و پارچه های تنفس پذیر ضد آب نه تنها برای کارهای عملکرد بالا و لباس ورزشی استفاده می شود، بلکه در لباس های مد روز نیز استفاده می شود. این پژوهش استفاده از الکتروریسی در درست کردن مواد تنفس پذیر ضد آب را بررسی می کند که سطوح مختلفی از تنفس پذیری و ضد آب بودن برای مطابقت با استفاده های نهایی مختلف و نیازهای مشتری پیشنهاد می کند. سیسستم های پارچه لایه ای، بر پایه وب نانو الیاف الکترو ریسی شده با ساختارهای مختلف کامپوزیت، پارچه های بستر، و سطوح مختلف تراکم وب نانو الیاف توسعه یافتند و تنفس پذیری و ضد آب بودن بررسی شدند. تنفس پذیری و ضد آب بودن سیستم های پارچه لایه ای با پارچه های تنفس پذیر ضد آب که معمولا استفاده می شوند، از قبیل پارچه با بافت متراکم، پارچه پوشانده با غشاء میکرو متخلخل، و پارچه پوشش داده شده با PU غیرمتخلخل آب دوست مقایسه شدند.

سطوح عملکردی متفاوت بوسیله تفاوت در ساختار لایه، بسترها در سیستم های پارچه پوشانده شده با وب نانو الیاف الکتروریسی شده بدست آورده شد. طراحی ساختار کامپوزیت، تاثیر قابل توجهی بر روی درجه تنفس پذیری و ضد آب بودن داشت. یافته ها نشان می دهد که وب نانو الیاف باید در داخل ساختار کامپوزیت لایه ای برای دستیابی مخلوطی از عملکرد مانعی و راحتی شرکت کند. یکنواختی وب نانو الیاف تولید شده در مقیاس انبوه و فرآیند لمینت کردن بعدی، که چسبندگی قوی وب نانو الیاف به پارچه بستر را می دهد نیز در تنفس پذیری و ضد آب بودن تاثیر گذاشت. در میان سیستم های پارچه لایه ای مختلف که ما توسعه دادیم، بهترین نرکیب از ضد آب بودن و تنفس پذیری در C1، سیستم پارچه پوشانده شده با وب نانو الیاف تولید شده در مقیاس انبوه، بدست آورده شد. این نتیجه این احتمال را بوجود آرود که مهندسی ساختار کامپوزیت بر پایه نانو الیاف الکترو ریسی شده، راحتی را بهبود خواهد بخشید درحالیکه سطح بالایی از محافظت را فراهم می کند.

مقایسه ضد آب بودن و عملکرد تنفس پذیری بین مواد جدید و مواد تنفس پذیر ضد آب متداول در بازار نشان داد که مواد تنفس پذیر ضد آب قادرند شکاف در عملکردهای مانعی/ راحتی را از مواد تنفس پذیر ضد آب موجود که می توانند با استفاده از الکتروریسی مهندس شوند، پر کنند . معرفی این نوع جدید مواد تنفس پذیر ضد آب می تواند جایگزین هایی در این بازار فراهم کند و یک طیف وسیعی از انتخاب ها را برای مصرف کنندگان پیشنهاد دهد.