



بررسی خواص عبوردهی ذرات سازه نانوفیلتری جهت استفاده در پوشاک اتاق تمیز

سماانه شهرابی^{۱*}، مسعود لطیفی^۱، علی اکبر قره آغاجی^۱، اصغر صدیق زاده^۲

چکیده:

اتاق تمیز محیطی است که غلظت ذرات موجود در آن کنترل می شود به گونه ای که تعداد ذرات درون اتاق در مقدار کمینه ای حفظ گردد. پوشاک اتاق تمیز علاوه بر خواص راحتی باید قادر باشند که مانع از انتقال ذرات از فرد به محیط گردند. خواص فیلتری همراه خاصیت تنفس و الاستیسیتهی مطلوب در ساختارهای نانولیفی، انگیزه ی مناسبی برای استفاده از این نوع در کاربردهای پوشاک اتاق تمیز است. در این پروژه عملیات پوشش دهی نانولایه پلی آمید ۶۶ بر روی بستر بی بافت اس.ام.اس (SMS) با روش الکترورسی صورت گرفت. اندازه گیری افت فشار و راندمان فیلتری برای ذرات اتمسفری در نمونه های تولیدی انجام شد. همچنین قابلیت نفوذ هوا در مجموعه خواص راحتی حرارتی پوشاک، آزمایش و بررسی شد. با افزایش زمان لایه نشانی بر روی بستر بی بافت نفوذ هوا در لایه های کاهش و خواص راندمان فیلتری در مجموع بهبود می یابند.

مقدمه

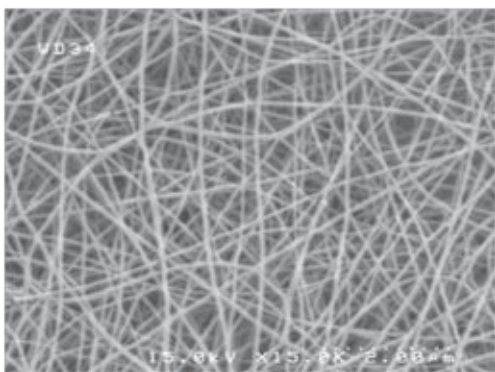
کاربردهای فناوری نانو در حال حاضر در زمینه های مختلفی از داروها تا مواد ساختمانی در حال گسترش است. صنعت نساجی نیز از حرکت جمعی صنایع گوناگون به سمت این فناوری مستثنی نیست. در بسیاری از صنایع محیط هایی که از جهت آب و هوا تحت کنترل دقیق باشند، به شدت مورد نیاز است. گاهی ذرات تحت کنترل، ابعادشان از ۰/۳ میکرومتر کمتر است نظیر ویروس ها، این مسأله نیاز به استفاده از فیلترهای نانولیفی را برای کنترل چنین ذراتی ضروری می سازد. ساختارهای نانولیفی با ویژگی های منحصر به فردی نظیر سطح مخصوص بالا و اندازه ی تخلخل بسیار ریز برای این دسته از کاربردها مناسبند. این سازه ها غالباً سبک و از قابلیت تنفس و الاستیسیتهی مطلوبی برخوردارند. استفاده از این دسته مواد با توجه به ویژگی های یاد شده، در البسه محافظ و پوشاک مورد استفاده در محیط های ویژه انتخاب مناسبی است [۱، ۲، ۳]. اتاق های تمیز از جمله محیط های کنترل شده ای هستند که غلظت ذرات در آنها در مقدار کمینه ای حفظ می گردد. عملکرد فیلتری پوشاک مورد استفاده در این اتاق ها به منظور جلوگیری از ورود ذرات پرسنلی به اتاق از اهمیت فراوانی برخوردار است. این مهم همراه با خواص راحتی مطلوب از ضروریات پوشاک اتاق تمیز است [۴].

تئوری فیلتراسیون به صورت کلی بر فرض جریان پیوسته در اطراف لیف، بدون هیچ نوع لغزشی در سطح لیف، تکیه می کند. در هنگامی که قطر لیاف به حدی کوچک می شود که میزان جابه جایی مولکول های هوا در مقابل ابعاد لیاف و فضای عبور جریان قابل توجه است، این تئوری قابل تعمیم نخواهد بود. بنابراین برای لیاف در ابعاد

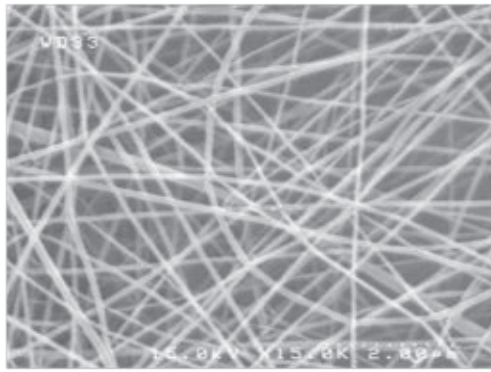
نانومتری پارامتر مهمی که باید در نظر گرفته شود، تأثیر لغزش جریان سیال در سطح لیف است. عدد نادسون جهت توصیف اهمیت جابه جایی مولکولی مولکول های هوا در سرتاسر محدوده ی جریان استفاده می شود، و از رابطه زیر محاسبه می شود (λ فاصله ی آزاد میانگین گاز و r_f شعاع لیف است).

$$K_n = \frac{\lambda}{r_f} \quad (1)$$

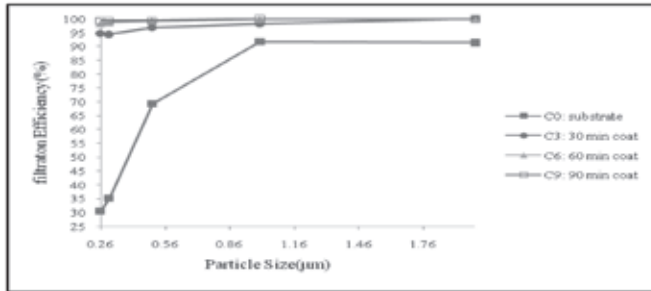
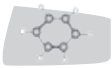
اگرچه یک مقدار واقعی برای عدد نادسون در حالتی که جریان لغزنده غلبه دارد، وجود ندارد، اما وقتی این عدد بزرگتر از ۰/۱ است، جریان لغزنده ی یاد شده باید در نظر گرفته شود. در شرایط استاندارد برای هوا، فاصله ی آزاد میانگین ۰/۰۶۶ میکرون است، بنابراین لیافی با قطر کمتر از ۰/۵ میکرون، مشمول این نوع از جریان می شوند، در جریان لغزنده، سرعت هوا در سطح لیف صفر نیست، به عبارت دیگر هوا در سطح لیف می لغزد. این پژوهش نیز با توجه به قطر لیاف تولیدی بر این قاعده استوار است [۵، ۱]. با توجه به اینکه الکترورسی عمده ترین و روان ترین روش جهت تولید نانولیاف و نانولایه هاست، بررسی تأثیر پارامترهای تولیدی بر خواص ساختاری و فیلتری سازه ی تولیدی از مواردی است که پیش از تولید باید مورد توجه قرار گیرد. در مطالعه ای که توسط افشاری و همکارانش بر روی نایلون ۶ صورت گرفت، محلول هایی از سه نوع نایلون با وزن های مولکولی در سه مقدار کم، متوسط و بالا و در دو غلظت وزنی ۱۰ و ۱۵ درصد تولید شدند، کشش سطحی، در تمام حالت های ممکن، تغییر معناداری نمی کند، در عوض ویسکوزیته با افزایش وزن مولکولی و غلظت افزایش می یابد، که



شکل ۲. تصویر میکروسکوپ الکترونی از نمونه C6



شکل ۱. تصویر میکروسکوپ الکترونی از نمونه C3



شکل ۴. راندامان فیلتری ذرات اتمسفری (%) برحسب ابعاد ذرات برای نمونه‌های C0، C3، C6 و C9.

بی‌بافت پلی‌پروپیلن است. محلول پلیمری با غلظت ۱۰ درصد وزنی تولید شد.

تجهیزات آزمایشگاهی

برای انجام عملیات لایه‌نشانی (Coating) بر روی بستر از دستگاه الکترورسی که مجهز به جمع‌کننده سیلندری و یک پمپ تراورس کننده است، استفاده شد. با بریدن پارچه بستر در ابعاد ۳۰×۲۵ و چسباندن آن بر روی صفحه‌ی آلومینیومی سیلندر جمع‌کننده، عملیات الکترورسی انجام شد. عوامل تنظیم شده در دستگاه الکترورسی عبارتند از سرعت تغذیه 0.3 CC/h ، فاصله نوک سوزن تا جمع‌کننده 1.5 cm ، سرعت دورانی جمع‌کننده 3 m/min ، سرعت دورانی جمع‌کننده 138 rpm ، ولتاژ الکتریکی 2.5 kv ، گپ سوزن ۲۲، دما ۲۲ درجه‌ی سانتی‌گراد و رطوبت نسبی ۲۸/۲ درصد است. زمان‌های لایه‌نشانی در این پژوهش ۳۰، ۶۰ و ۹۰ دقیقه انتخاب شد، کد نمونه‌های انتخاب شده برای بستر و لایه‌های تولیدی در زمان‌های یاد شده به ترتیب C0، C3، C6 و C9 است.

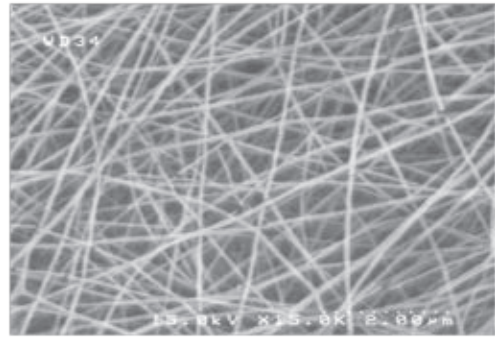
دستگاه‌های مورد استفاده در این پژوهش برای اندازه‌گیری نفوذ هوا ساخت شرکت دستگاه SDL-AIR PERMEABILITY تحت فشار 9.8 Pa ، تجهیزات آزمون فیلتری شامل یک تونل تست فیلتر، پمپ خلأ، مانومتر، دی‌متر و دو نوع شمارشگر ذرات برای شمارش ذرات در اندازه‌های مختلف است. جریان هوا در سیستم توسط پمپ خلأ Andersen برقرار می‌شود. از دی‌متر ساخت کارخانه Air flow برای اندازه‌گیری دی‌متر در سیستم استفاده می‌شود. برای شمارش تعداد ذرات هوایی قبل و بعد از نمونه از شمارشگر ذرات ساخت کارخانه GRIMM برای شمارش ذرات دارای قطر مشخص استفاده شد. تهیه تصاویر از نمونه‌های تولیدی از یکی از انواع میکروسکوپ الکترونی پوششی استفاده شد. میکروسکوپ استفاده شده FESEM متعلق به کمپانی Hitachi، مدل S ۴۱۶۰ است.

روش انجام آزمایش

تونل آزمون نمونه‌های لیفی برای اندازه‌گیری راندامان فیلتر، از یک محفظه‌ی استوانه‌ای شکل، دارای یک مسیر ورود و خروج هوا در دو انتها است. ابعاد این محفظه برای

جدول ۱. مشخصه‌های توصیفی در آزمون اندازه‌گیری نفوذ هوا ($\frac{\text{mlit}}{\text{s} \cdot \text{cm}^2}$)

کد نمونه	میانگین نفوذ هوا	انحراف معیار	(%) ضریب تغییرات
C0	۲۴۹/۳	۳۱/۴۵	۱۲/۶۲
C3	۵۲/۸	۵/۵۷	۱۰/۳۵
C6	۲۶/۶۲	۲/۰۶	۱۰/۳۵
C9	۲۰/۹۴	۲/۲۴	۱۰/۷



شکل ۳. تصویر میکروسکوپ الکترونی از نمونه C9

این روند هنگام افزایش غلظت چشمگیرتر است. غلظت‌های پایین پلیمری، سبب می‌شود ک عبور دانه‌تسبیحی و قطره‌ای شدن در هنگام تولید بیش‌تر مشاهده گردد و نیز در برخی موارد الیاف هنگام رسیدن به صفحه‌ی هدف هنوز تر هستند [۶]. در پژوهش ویچولی و همکارانش، در الکترورسی نایلون ۶ افزایش ولتاژ سبب کاهش قطر الیاف می‌شود که علت آن افزایش نیروی کلمب وارد شده از سمت میدان خارجی است، آنها همچنین اشاره کردند که در محلولهایی که ویسکوزیته‌ی پایین‌تری دارند، افزایش ولتاژ سبب تشکیل جت‌های ثانویه می‌شود [۷].

مطالعه‌ای توسط هیکیلا و همکارانش بر روی نانوالیاف نایلون ۶ و ۶ که تحت فرآیند الکترورسی تولید شده و بر روی بستر لیفی قرار گرفتند، انجام شده است. سه زمان متفاوت برای پوشش دادن نانوالیاف بر روی بستر انتخاب شد. زمان‌های ۳۲ ثانیه، ۲ دقیقه و ۴۰ ثانیه و ۱۳ دقیقه و ۲۰ ثانیه به ترتیب پوشش‌هایی با وزن‌های ۰/۰۲ گرم بر مترمربع، ۰/۱ گرم بر مترمربع و ۰/۵ گرم بر مترمربع را بر روی بستر لیفی فراهم کردند. راندامان فیلتراسیون برای ذرات ۱ میکرونی در پوشش ۰/۰۲ گرم بر مترمربع ۴۰-۲۰ درصد، در پوشش ۰/۱ گرم بر مترمربع بالاتر از ۶۰ درصد و در نهایت در پوشش ۰/۵ گرم بر مترمربع بالاتر از ۹۰ درصد است [۸].

آنچه که در این پژوهش بر آن تلاش شده است تولید سازه‌های نانولیفی است که جهت استفاده در پوشاک اتاق تمیز از ویژگی‌های فیلتری و راحتی نسبتاً مطلوبی برخوردار باشد. روش الکترورسی برای تولید این سازه انتخاب شده است و عملیات لایه‌نشانی (Coating) بر روی بستر بی‌بافت انتخابی صورت گرفته است. عامل متغیر در این پژوهش زمان لایه‌نشانی بر روی بستر است.

برای رسیدن به شرایط نسبتاً ثابت، عوامل متغیر در سطوح مشخصی تغییر داده شدند. بدیهی است که مجموعه اعداد انتخاب شده برای متغیرهای الکترورسی در این تحقیق، تنها یکی از انواع چیدمان‌های مطلوب پارامتر در تولید است. ثبات و پایداری جت و میزان پاشیدگی در این آزمون و خطا در نظر گرفته شد و نیز با تهیه تصاویر میکروسکوپ الکترونی، اندازه‌گیری قطر الیاف میسر و عیوب لایه تولید شده مشاهده شد.

روش تحقیق

مواد مصرفی

پلیمر انتخابی برای الکترورسی، نایلون ۶ است که به همراه حلال اسید فرمیک برای تهیه‌ی محلول مورد استفاده قرار می‌گیرد. نایلون ۶۶ تولید کارخانه Fluka به صورت چپیس است. چگالی این نایلون ۱/۰۹۰ گرم بر سانتی‌متر مکعب است. اسید فرمیک ۹۹٪ تولید شرکت Chemi lab با چگالی ۱/۲۲ گرم بر سانتی‌متر مکعب مورد استفاده قرار گرفت. بستر مورد استفاده برای عملیات الکترورسی بستر بی‌بافت SMS با وزن واحد سطح ۳۴ گرم بر مترمربع و تولید کارخانه‌ی بافتینه‌ی ملایر است. جنس این بستر



جدول ۲. نتایج آزمون راندمان فیلتر در ذرات اتمسفری (%)

کد نمونه	راندمان فیلتر ذرات ۰/۲۶ میکرومتر (%)	راندمان فیلتر ذرات ۰/۳ میکرومتر (%)	راندمان فیلتر ذرات ۰/۵ میکرومتر (%)	راندمان فیلتر ذرات ۱ میکرومتر (%)	راندمان فیلتر ذرات ۲ میکرومتر (%)
C0	۳۰/۷۰	۳۵/۳۰	۶۹/۴۲	۹۱/۷۸	۹۱/۵۲
C3	۹۴/۸۲	۹۴/۴۸	۹۶/۸۹	۹۸/۲۸	*۹۹/۹۲
C6	۹۸/۲۷	۹۸/۶۶	*۹۹/۳۷	*۹۹/۸۷	*۱۰۰
C9	۹۹/۳۲	۹۹/۳۱	*۹۹/۴۷	*۱۰۰	*۱۰۰

قابلیت نفوذ هوا در نمونه‌های تولیدی در زمان ۹۰ دقیقه نسبت به ۶۰ دقیقه تغییر معناداری نمی‌کند. بنابراین همراه با افزایش زمان لایه‌نشانی ضمن بهبود خواص فیلتری، قابلیت نفوذ هوا که از موارد راحتی پوشاک است، بدون تغییر باقی می‌ماند. مجموع نتایج بدست آمده در این پژوهش نشان می‌دهد زمان لایه‌نشانی ۶۰ دقیقه، خواص مطلوبی را در بخش فیلتراسیون و راحتی حرارتی ایجاد کرده است.

پانویس:

- ۱- دانشکده مهندسی نساجی، دانشگاه صنعتی امیرکبیر، تهران
- ۲- پژوهشکده فیزیک پلاسما و گداخت هسته‌ای، پژوهشگاه علوم و فنون هسته‌ای، سازمان انرژی اتمی، تهران

مراجع

- [1] Whyte w., "Cleanroom Technology", John Wiley & Sons Ltd, 2001, P.P.1- 20,22-38, 239-248, 251-262.
- [2] Graham K., Ouyang M., Raether T., Grafe T., McDonald B., Knuaf P., Polymeric Nanofibers in Air Filtration Applications, Fifteenth Annual Technical Conference & Expo of the American Filtration & Separation Society (9-12 April 2002), Galveston, Texas.
- [3] Barhate R.S., Ramakrishna S., Nanofibrous filtering media: Filtration problems and solutions from Tiny materials, Journal of Membrane Science, 296(2007), 1-8.
- [4] Jian F., HaiTao N., Tong L., XunGai W., Application of electrospun nanofibers, Chinese Science Bulletin. 53(15), (2008), 2265-2286.
- [5] Barhate R.S., Chong Kian Loong, Ramakrishna S., Preparation and characterization of nanofibrous filtering media, Journal of Membrane Science, 283, (2006), 209-218.
- [6] Satyajeet S., Ojha, Afshari M., Kotek R., Russell E., Gorga-Morphology of Electrospun Nylon-6 Nanofibers as a Function of Molecular Weight and Processing Parameters, Journal of Applied Polymer Science. 108, (2008), 308-319.
- [7] Narendiran Vitthuli, Quan Shi, Joshua Nowak, McCord M., Bourham M., Xiangwu Zhang, "Electrospun Ultrathin Nylon Fibers for Protective Applications". Journal of Applied Polymer Science. 116, (2010), 2181-2187.
- [8] Heikkila, P., Sipila, A., Peltola, M., Harlin, A., " Electrospun PA-66 Coating on Textile Surfaces", Textile Res. J., 77(11), (2007), 864-870.

ایجاد جریان لایه‌ای هوای عبوری محاسبه و طراحی شده است. محل استقرار نمونه در قسمت میانی این تونل قرار دارد. در دو طرف محل استقرار بستر، دو پراب نمونه‌برداری تعبیه شده است تا از ذرات معلق قبل و بعد از بستر نمونه‌گیری صورت گیرد. یک سه راهی جهت تغییر مسیر جریان نمونه‌برداری برای تعیین تراکم - عددی ذرات هوا قبل و بعد از نمونه استفاده می‌شود. جریان هوا در کل سیستم توسط یک پمپ با ظرفیت ۱۰۰ لیتر بر دقیقه تأمین می‌شود. دبی مورد استفاده برای انجام این آزمایش ۴ لیتر بر دقیقه است. گستره‌ی شمارش ذرات با دستگاه CPC، غلظت‌های از ۰/۰۱ تا ۹/۹۹×۱۰^۶ ذره در سانتی‌متر مکعب هوا و ذرات به اندازه‌ی بزرگتر از ۰/۰۱ میکرومتر است. کارایی یک بستر با اندازه‌گیری تراکم عددی ذرات قبل و بعد از نمونه و با استفاده از رابطه‌ی ۲ محاسبه می‌شود.

$$E = 1 - \frac{n_2}{n_1} \quad (2)$$

نتایج و بحث

به کمک تصاویر میکروسکوپ الکترونی میانگین قطر الیاف و توزیع قطری الیاف بدست آمد. میانگین قطر الیاف بدست آمده از الیاف سطحی براساس تصاویر میکروسکوپ الکترونی و به کمک نرم‌افزار measurement به ترتیب برای نمونه‌های C6، C3 و C9 عبارتند از ۸۹/۱۹۱۹، ۹۶/۶۸۶۶، ۱۰۲/۷۸۸۴ است. براساس داده‌های توزیع قطری الیاف، درصد الیاف زیر ۱۰۰ نانومتر برای نمونه‌های C6، C3 و C9 به ترتیب ۸۲، ۵۸ و ۳۹ درصد است. الیاف در محدوده‌ی ۶۰-۷۰ نانومتر در نمونه‌ی C9 و نیز الیاف در محدوده‌ی ۱۴۰-۱۳۰ نانومتر در نمونه‌ی C3 مشاهده نمی‌شود.

نفوذ هوا برای هریک از نمونه‌ها ۱۰ مرتبه اندازه‌گیری گردید. بستر بیشترین میزان نفوذ هوا را داراست. همه‌ی لایه‌های پوشش داده شده نفوذ هوایی بسیار کمتر از بستر دارند و این نشان از تأثیر بسیار زیاد نانولایه‌ی الکترونیسی شده بر این ویژگی دارد. ظرافت الیاف و کوچک شدن منافذ لایه‌ی نانو سبب مقاومت بیشتر در مقابل عبور مولکول‌های هوا می‌شود.

نمودار راندمان فیلتراسیون برای محدوده‌ی ذرات اتمسفری از ۰/۲۶ تا ۲ میکرومتر در نمودار شکل ۴ نمایش داده شده است. همچنین جدول ۲ نتایج حاصل از این آزمون را نشان می‌دهد. علامت ستاره در کنار داده‌ها نشان می‌دهد که بین آنها بر مبنای آزمون آماری دانکن تفاوت معناداری مشاهده نشده است.

نتیجه‌گیری

با افزایش زمان لایه‌نشانی، قطر الیاف افزایش یافته است. میانگین قطر الیاف با زمان لایه‌نشانی روند نسبتاً خطی دارد. درصد الیاف بالاتر از ۱۰۰ نانومتر از ۱۸ درصد در نمونه C3 به ۶۱ درصد در نمونه C9 افزایش می‌یابد. برای ذرات بزرگتر از ۰/۳ نانومتر در نمونه‌های C6 و C9 تفاوت معناداری در کارایی فیلتراسیون مشاهده نمی‌شود. راندمان فیلتراسیون ذرات اتمسفری، برای تمامی ابعاد ذرات، مقدار بالاتری را در نمونه‌های تولیدی نسبت به بستر بی‌بافت (C0) نشان می‌دهد. با افزایش زمان لایه‌نشانی در نمونه‌ها، راندمان فیلتری برای ذرات اتمسفری افزایش می‌یابد.