

بررسی ارتباط میان تخلخل وب نانوالیاف و قابلیت آن در محافظت در برابر تابش فرابنفش

A Study on the Relation between Nanofiber Mat Porosity and Its UV Protection

الهام توکل، سیدعبدالکریم حسینی راوندی*

اصفهان، دانشگاه صنعتی اصفهان، دانشکده مهندسی نساجی، صندوق پستی ۸۴۱۵۶-۸۳۱۱۱

تاریخ دریافت: ۹۴/۰۳/۱۵ تاریخ پذیرش: ۹۴/۰۶/۱۵

چکیده

پژوهش‌های انجام شده نشان داده است، تعیین تخلخل لایه نانولیفی، بهترین روش برای ارزیابی انتقال پرتوی فرابنفش از لایه‌های بی‌بافت نانولیفی سفید و رنگرزی نشده است و ساختار شیمیایی الیاف در درجه دوم اهمیت قرار دارد. در این پژوهش، رابطه میان تخلخل وب نانوالیاف و مقدار محافظت ایجاد شده در برابر تابش فرابنفش مطالعه شد. بدین منظور، لایه‌های بی‌بافت نانولیفی با مقدار تخلخل متفاوت از محلول‌های دی‌متیل فرمامید حاوی مقادیر مختلف پلی‌آکریلونیتریل (۱۱ و ۱۵٪ وزنی) در سرعت‌های متفاوت درام جمع‌کننده تهیه شدند. سپس، مقدار تخلخل نمونه‌های الکترورسی شده به کمک آزمون اندازه‌گیری مقدار نفوذپذیری هومعین شد. مقدار محافظت ایجاد شده به وسیله هر وب در برابر تابش فرابنفش با بررسی مقدار تخریب رنگینه آبی متیلن که با همان وب محافظت می‌شد، برآورد شد. نتایج و شواهد در این پژوهش حاکی از آن است که با افزایش سرعت درام، تخلخل افزایش می‌یابد و در پی افزایش تخلخل، محافظت بیشتری در برابر تابش فرابنفش ایجاد می‌شود.

مقدمه

الکتروستاتیکی تولید می‌شوند. ابعاد و ریزساختار الیاف تولید شده در الکترورسی با متغیرهای مختلفی کنترل‌شده است. از جمله این متغیرها، گراندروی محلول، ولتاژ، سرعت تغذیه و رسانایی محلول هستند. روش الکترورسی بسیار تطبیق‌پذیر بوده و بسیاری از مواد پلیمری با محدوده گسترده‌ای از قطر الیاف، با این روش تولید می‌شوند [۲]. لایه‌های حاصل از الکترورسی می‌توانند از نظر اندازه منافذ محدوده گسترده‌ای را پوشش دهند، بدین معنی که این شیوه قابلیت تولید لایه‌هایی با تخلخل بسیار کم در حد بدون منفذ، لایه‌هایی با تخلخل بسیار زیاد و تمام محدوده متصور بین این دو مقدار حدی را دارد.

نانوالیاف به شکل الیاف با قطر کمتر از ۱۰۰ nm تعریف می‌شوند و با داشتن یک بعد خارج از محدوده نانومتر، جزء دسته نانومواد تک‌بعدی قرار می‌گیرند. نسبت سطح به حجم بسیار زیاد، قابلیت عامل‌دار کردن سطوح و خواص مکانیکی عالی از قبیل چقرمگی و استحکام کششی از خواص مورد توجه نانوالیاف در مقایسه با الیاف معمولی است. این خواص برجسته موجب شده است تا نانوالیاف گزینه مناسبی برای بسیاری از کاربردهای مهم از قبیل مهندسی بافت و دارورسانی باشند [۱]. الکترورسی روشی ساده و ارزان برای تولید نانوالیاف از محلول پلیمری است. در این روش نانوالیاف با نیروی محرکه

کلمات کلیدی

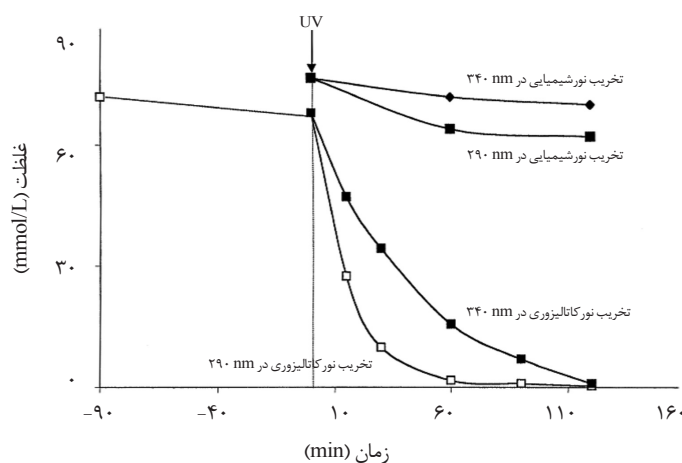
نانوالیاف،
الکترورسی،
تخلخل وب نانوالیاف،
سرعت درام جمع‌کننده،
محافظت در برابر تابش فرابنفش

* مسئول مکاتبات، پیام‌نگار: hoseinir@cc.iut.ac.ir

نشان داده‌اند که تخلخل بهترین پیش‌بینی‌کننده انتقال پرتو UV از پارچه‌های سفید و رنگرزی نشده بوده و شیمی الیاف در مرتبه دوم است [۶].

نتایج کار دادور و همکاران [۷] نشان داد، نانوالیاف با قطر کمتر به علت داشتن سطح ویژه بیشتر پرتو UV را به مقدار کمتری از خود عبور می‌دهند. از طرفی با کاهش قطر نانوالیاف، به همان نسبت، اندازه منافذ ساختار متخلخل کاهش می‌یابد. نتایج پژوهش آنها نشان داد، منافذ کوچک‌تر قابلیت محافظت بهتری را در برابر پرتو UV ایجاد می‌کنند. برای ارزیابی قابلیت محافظت UV وب نانوالیاف افزون بر روش‌های استاندارد می‌توان از روش‌های نسبی هم استفاده کرد. از جمله با قراردادن وب نانوالیاف روی محلول رنگینه‌ای که ثبات نوری کمی دارد و اندازه‌گیری مقدار تخریب رنگینه در معرض تابش UV می‌توان معیاری از محافظت ایجاد شده به‌وسیله وب نانوالیاف را داشت. پیش از این Im و همکاران با استفاده از این روش، اثر وجود تیتانیم دی‌اکسید در وب نانوالیاف پلی‌آکریلونیتریل را روی قابلیت محافظت در برابر UV ارزیابی کردند [۸]. آبی متیلن، رنگینه‌ای با ثبات نوری کم است که می‌توان تخریب آن را در معرض تابش پرتو فرابنفش بررسی کرد. این رنگینه ترکیب شیمیایی آروماتیک ناجور حلقه با فرمول شیمیایی $C_{16}H_{18}N_3S$ و وزن مولکولی $319/85$ g/mol است که پس از حل شدن در آب به رنگ آبی در می‌آید [۹]. مطالعاتی روی پایداری این رنگینه در محلول‌های آبی و مسیر تخریب نور کاتالیزوری آن انجام شده است. Houas و همکاران [۱۰] سینتیک ناپدیدشدن آبی متیلن با وجود کاتالیزور و بدون آن را بررسی کردند. آنها نشان دادند، سرعت ناپدیدشدن رنگینه یا به عبارتی تخریب آن در طول موج کوتاه‌تر و با وجود تیتانیم دی‌اکسید بیشتر است (شکل ۱).

در کار پژوهشی حاضر، افزایش تخلخل وب نانوالیاف در روش الکتروسی با افزایش سرعت جمع‌کننده (درام) به‌وجود آمده است. سپس، با بررسی حفاظت ایجاد شده در برابر پرتو فرابنفش، برای



شکل ۱- تخریب رنگینه آبی متیلن در معرض تابش پرتو فرابنفش. ناپدیدشدن آبی متیلن به روش نورشیمیایی و نورکاتالیزوری در تابش UV در ۸ برابر ۲۹۰ nm و ۳۴۰ nm. آزمون در غلظتی از رنگینه انجام شده که قانون بیر-لامبرت برقرار است و یک بار با تیتانیم دی‌اکسید و بار دیگر بدون آن انجام شد [۱۰].

مطابق معادله (۱) تخلخل (ϵ) به شکل نسبت حجم منافذ (V_p) به حجم کل سازه (V_T) تعریف می‌شود [۳]:

$$\epsilon = \frac{V_p}{V_T} \quad (1)$$

غربال، پردازش تصویر، نفوذ جیوه، عبور مایع و فشار بحرانی از جمله روش‌هایی هستند که برای اندازه‌گیری تخلخل منسوجات به کار می‌روند. از آنجا که ساختارهای نانولیفی استحکام کافی ندارند، استفاده از این روش‌ها برای سازه‌های لیفی نانومقیاس با ملاحظات همراه است. از طرفی تهیه نمونه مناسب از این ساختارها برای هر یک از تجهیزات یاد شده یا ثابت‌ماندن اندازه منافذ حین اندازه‌گیری بسیار دشوار است. به‌عنوان مثال می‌توان به گزارش‌هایی از به‌کارگیری روش نفوذ جیوه برای تعیین اندازه منافذ لایه نانوالیاف اشاره کرد [۴] که در آنها به‌واسطه تنش سطحی زیاد جیوه، فشردن آن درون منافذ لایه نانوالیاف نیازمند اعمال فشار زیادی است که به تغییر شکل منافذ و ارائه تخلخل‌های بیشتر از مقادیر واقعی منجر می‌شود. از آنجا که نفوذپذیری هوا در لایه نانوالیاف رابطه مستقیمی با اندازه منافذ دارد، زمانی که قادر به اندازه‌گیری اندازه منافذ نیستیم می‌توان نفوذپذیری هوا را اندازه‌گیری کرد [۵].

پرتو فرابنفش (UV) به محدوده‌ای از امواج الکترومغناطیسی اطلاق می‌شود که در طیف بین پرتو X (X-Ray) و نور مرئی با طول موج $100-400$ nm قرار دارد. این پرتو از دسته پرتوهای پرنانرژی بوده و بیشتر خواص و کاربردهای آن به‌واسطه همین انرژی زیاد است. به دلیل نزدیک‌بودن انرژی پرتو فرابنفش به انرژی موجود در پیوندهای ترکیبات آلی، این پرتو روی ترکیبات مزبور اثر گذاشته و باعث گسستن پیوندها و ایجاد پیوندهای جدید می‌شود. پیوندهای دوگانه یا سه‌گانه بین اتم‌های ترکیبات آلی (پیوندهای بین کربن و دیگر اتم‌ها) مستعدترین پیوندهای آسیب‌پذیر به وسیله UV هستند. در دهه‌های اخیر، خطر شیوع سرطان پوست در سرتاسر جهان افزایش یافته است. دلیل اولیه این اتفاق به نقصان لایه فوقانی ازن نسبت داده شده است. زیرا ازن جذب‌کننده بسیار مؤثر پرتو UV است. با هر ۱٪ کاهش در غلظت ازن، ۲٪ تا ۵٪ افزایش در سرطان پوست پیش‌بینی شده است. از این‌رو، اهمیت قابلیت محافظت در برابر UV منسوجات بیش از پیش مورد توجه قرار گرفته است. آزمون‌های کمی برای ارزیابی قابلیت حفاظت منسوجات در برابر پرتو UV می‌تواند در آزمون‌های آزمایشگاهی در محیط طبیعی یا مصنوعی انجام شود. در محیط طبیعی اصطلاح UPF (ultraviolet protective factor) به‌طور گسترده در صنایع نساجی و پوشاک در سرتاسر جهان برای مشخص کردن قابلیت حفاظت منسوج به کار می‌رود.

استاندارد AS/NZS 4399 انجمن شیمی دانان و رنگرزان نساجی آمریکا (AATCC)، روش آزمون BS 7914 و استاندارد اروپایی EN 13758-1 روش‌های آزمون استاندارد استفاده شده برای ارزیابی قابلیت حفاظت منسوجات در برابر پرتو UV است. تخلخل، وزن و ضخامت مهم‌ترین پارامترها در زمینه ساختار منسوج هستند. مطالعات بی‌شماری

وب‌های دارای تخلخل‌های متفاوت، ارتباط بین تخلخل و قابلیت محافظت به دست آمده است.

وب‌های دارای تخلخل‌های متفاوت، ارتباط بین تخلخل و قابلیت محافظت به دست آمده است.

تجربی

مواد

از پودر پلی‌آکریلونیتریل محصول شرکت پلی‌آکریل ایران، دی‌متیل فرمامید (DMF) خالص محصول شرکت Merck آلمان و محلول ۱٪ رنگینه آبی متیلن 9 C.I. Basic Blue استفاده شد.

دستگاه‌ها و روش‌ها

الکتروریسی و تولید نانولایه

دو مجموعه محلول با مقادیر وزنی ۱۱ و ۱۵٪ از پلی‌آکریلونیتریل در حلال DMF تهیه شد. محلول‌ها پیش از الکتروریسی به مدت ۴۸ h روی همزن مغناطیسی و در دمای محیط با همزن مغناطیسی همزده شد تا محلول شفاف و یک‌دست حاصل شود. از تجهیزات الکتروریسی شامل پمپ سرنگ برای کنترل جریان محلول پلیمری، منبع تغذیه مستقیم، درام جمع‌کننده پوشانده شده با ورقه آلومینیمی با ابعاد 3×5 cm و دستگاه ایجادکننده سرعت متغیر مدل SV004iC5-1 (LS Industrial Systems) ساخت کره استفاده شد. تمام نمونه‌ها با اختلاف پتانسیل ۱۵ kV، فاصله ریسندگی ۱۵ cm و سرعت تغذیه ۰/۳ mL/h تهیه شدند. حجم ۱/۵ mL از محلول‌های تهیه شده با هر دو غلظت وزنی به‌طور مجزا داخل سرنگ ریخته شده و هر بار در عملیات گفته شده قرار گرفتند. از هر مجموعه محلول ۵ نمونه وب نانوالیاف تهیه شد. در هر مجموعه از این ۵ نمونه سرعت درام به‌عنوان متغیر مدنظر قرار گرفت. سرعت خطی درام با دستگاه ایجادکننده سرعت متغیر از ۰/۴۵۷ m/s تا ۲/۲۸۷ m/s (طبق مقادیر مندرج در جدول‌های ۱ و ۲) تغییر یافت. بدین ترتیب که سرعت خطی درام برای نمونه اول از هر مجموعه محلول برابر با ۰/۴۵۷ m/s، برای نمونه دوم برابر با ۰/۹۱۵ m/s و به همین ترتیب برای نمونه پنجم روی

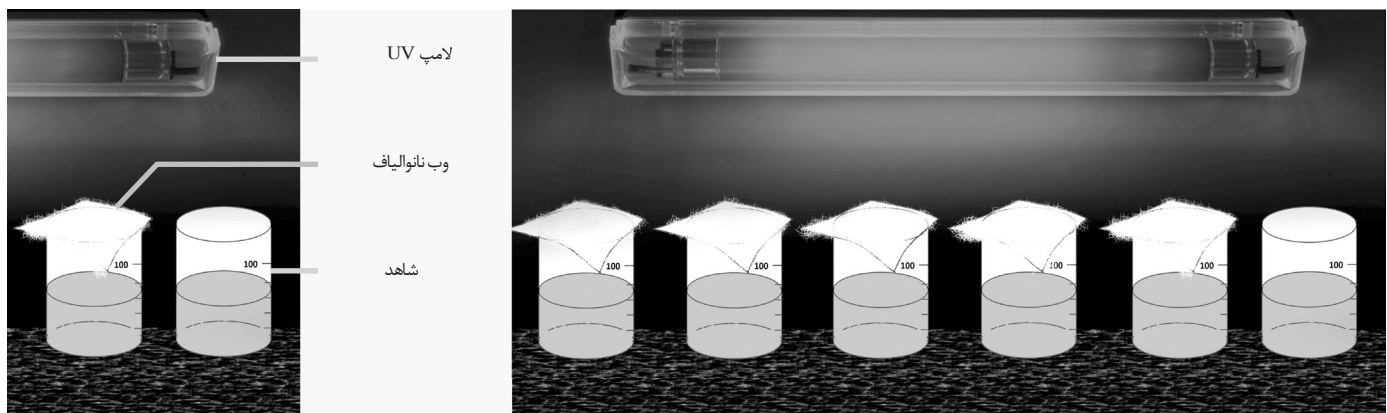
بررسی مقدار محافظت ایجاد شده در برابر تابش فرابنفش

بدین منظور از اتاقلک UV دارای دو لامپ UVA (۳۲۰-۴۰۰ nm) و طیف‌نورسنج UV-Vis مدل UV-mini 1240 Shimadzu ساخت ژاپن استفاده شد. محلول $18 \mu\text{mol/L}$ از محلول ۱٪ رنگینه آبی متیلن تهیه شد. در هر یک از شش بشر ۱۰۰ mL، حجم ۵۰ mL از محلول رنگینه ریخته شد. سپس، درب هر بشر به‌جز بشر ۶ با وب نانوالیاف پوشانده شد (شکل ۲). به نحوی که درب بشر ۱ با وب تهیه شده با سرعت درام ۰/۴۵۷ m/s، درب بشر ۲ با وب تهیه شده با سرعت درام ۰/۹۱۵ m/s و به همین ترتیب درب بشر ۵ با وب تهیه شده با سرعت درام ۲/۲۸۷ m/s به‌طور کامل پوشانده شد. بشر ۶ به‌عنوان شاهد در نظر گرفته شد. تمام بشرها داخل اتاقلک UV قرار داده شد، به‌طوری که دریافت پرتو برای تمام بشرها یکسان باشد. پس از هر ساعت پرتو دهی مقدار تغییرات جذب با طیف‌نورسنج UV-Vis در طول موج بیشینه جذب $662/5$ nm اندازه‌گیری شد و با مقدار جذب اولیه مقایسه شد.

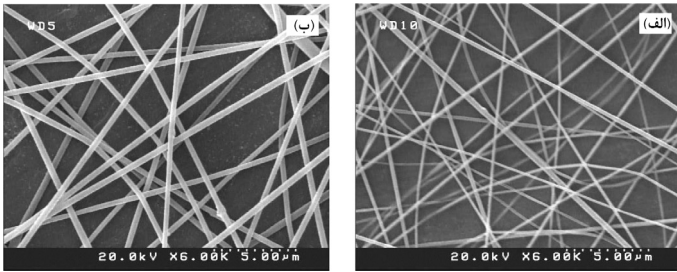
ضریب مولی جذب از اندازه‌گیری جذب محلول اولیه با غلظت معلوم $18 \mu\text{mol/L}$ و از قانون بیر-لامبرت، $2/4 \times 10^4$ L/mol cm محاسبه شد. بدین ترتیب از آنجا که رنگینه در برابر تابش فرابنفش تخریب می‌شود، با محاسبه مقدار کاهش غلظت در ساعت، می‌توان به‌طور نسبی مقدار محافظت ایجاد شده به وسیله وب نانوالیاف را در برابر تابش فرابنفش ارزیابی کرد.

اندازه‌گیری نفوذپذیری هوا

برای اندازه‌گیری نفوذپذیری هوا از دستگاه آزمون نفوذپذیری هوا مدل SDL-Mo 215 ساخت انگلستان استفاده شد (شکل ۳). از هر نمونه وب نانوالیاف، قطعه‌ای با ابعاد 4×5 cm بریده شد. فشارسنج روی سطح فشار صفر تنظیم شد. سطح وب در محل نصب نمونه به نحوی



شکل ۲- طرح کلی آزمون انجام شده برای بررسی مقدار محافظت ایجاد شده در برابر تابش فرابنفش.

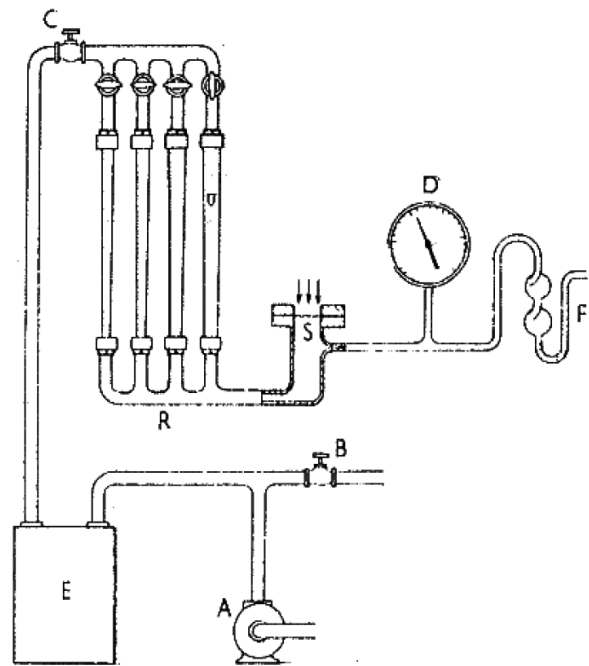


شکل ۵- تصاویر SEM از وب نانوالیاف حاصل از غلظت‌های وزنی: (الف) ۱۱٪ و (ب) ۱۵٪.

دو مجموعه از نمونه‌ها به‌طور مجزا صادق است، چرا که نفوذپذیری هوا با افزایش سرعت درام افزایش یافته است (شکل ۴). در مقایسه این دو مجموعه با هم می‌توان گفت، به‌طور کلی نفوذپذیری هوا در نمونه‌های تهیه شده از محلول ۱۵٪ وزنی PAN/DMF در هر سرعت بیشتر از نمونه‌هایی است که از محلول ۱۱٪ وزنی PAN/DMF تهیه شده‌اند. در تحلیل این مسئله می‌توان گفت، از آنجا که در غلظت‌های زیاد، گرانروی محلول در حرکت جت به فاصله‌های دور از سوزن محدودیت ایجاد می‌کند، کاهش مسیر جت به معنی کشش کمتر محلول است که در نهایت به تولید الیاف با قطر بزرگ‌تر منجر می‌شود [۷].

تصاویر میکروسکوپ الکترونی پویشی در شکل ۵ از وب نانوالیاف حاصل از غلظت‌های وزنی ۱۱ و ۱۵٪ در سرعت ثابت ۰/۴۵۷ m/s به‌دست آمده است. همان‌طور که در شکل ۵ مشاهده می‌شود، با افزایش غلظت محلول ریسندگی در شرایطی که سایر متغیرهای الکترورسی ثابت نگه داشته شده‌اند، قطر نانوالیاف و اندازه منافذ افزایش یافته است. به‌طوری که در سرعت ۰/۴۵۷ m/s، میانگین قطر نانوالیاف حاصل از غلظت ۱۱٪ وزنی برابر ۱۷۲/۹۴۰ nm با انحراف استاندارد ۳۵/۸۹۶ و در غلظت ۱۵٪ وزنی برابر ۴۰۹/۹۴۶ nm با انحراف استاندارد ۴۶/۲۶۸ است. نانوالیاف با قطر کمتر سطح ویژه بیشتری دارند، پس به مقدار بیشتری در تماس با هوا قرار گرفته و از عبور آن مانع می‌کنند. وجود منافذ کوچک‌تر در وب نانوالیاف حاصل از غلظت کمتر نیز به کاهش نفوذ هوا منجر می‌شود.

در هر دو مجموعه از نمونه‌ها با افزایش سرعت درام، مقدار محافظت



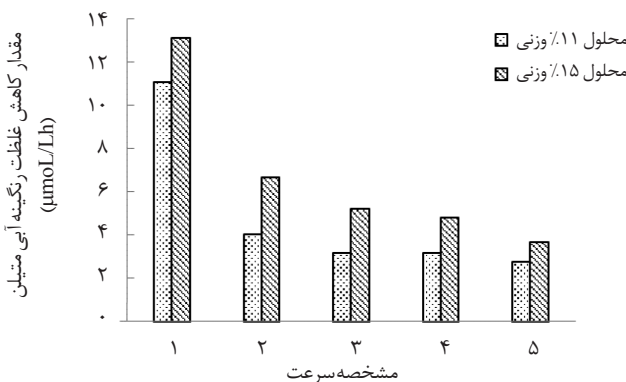
شکل ۳- نمایی از دستگاه اندازه‌گیری نفوذپذیری هوا.

محکم شد که هوا فقط از سطح وب نانوالیاف مکیده شود. عددی که به وسیله شناور دستگاه نشان داده می‌شود، بیان‌کننده سرعت جریان هوا (q_v) است. مقدار نفوذپذیری هوا از معادله (۲) محاسبه شد. A سطحی است که هوا از آن عبور می‌کند و در اینجا برابر با $78/5 \text{ mm}^2$ است:

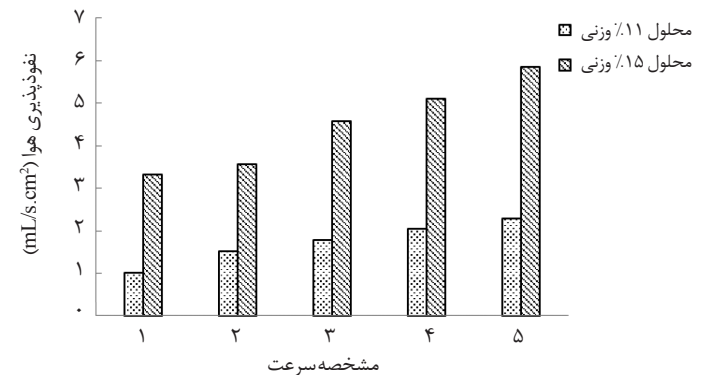
$$\text{نفوذپذیری هوا} = \frac{q_v}{A} \times 100 \quad (2)$$

نتایج و بحث

با افزایش سرعت خطی درام از ۰/۴۵۷ m/s تا ۲/۲۸۷ m/s تخلخل وب نانوالیاف افزایش می‌یابد (جدول‌های ۱ و ۲). این موضوع برای هر



شکل ۶- مقدار کاهش غلظت رنگینه آبی متیلن که نتایج مربوط به وب‌های تهیه شده از محلول ۱۱٪ وزنی را در مقایسه با نتایج مربوط به وب‌های تهیه شده از محلول ۱۵٪ وزنی نشان می‌دهد.



شکل ۴- نتایج آزمون نفوذپذیری هوا که نتایج مربوط به وب‌های تهیه شده از محلول ۱۱٪ وزنی را در مقایسه با نتایج مربوط به وب‌های تهیه شده از محلول ۱۵٪ وزنی نشان می‌دهد.

جدول ۱- نتایج مربوط به نمونه‌های تهیه شده از محلول ۱۱٪ وزنی PAN/DMF

شماره بشر	سرعت خطی درام		مقدار کاهش غلظت رنگینه آبی متیلن (μmol/L.h)	نفوذپذیری هوا (mL/s.cm ²)
	مقدار (m/s)	مشخصه سرعت		
۱	۰/۴۵۷	۱	۱۱/۰۸۳	۱/۰۱۹
۲	۰/۹۱۵	۲	۴/۰۴۲	۱/۵۲۲
۳	۱/۳۷۲	۳	۳/۱۶۷	۱/۷۸۳
۴	۱/۸۲۹	۴	۳/۱۶۹	۲/۰۳۸
۵	۲/۲۸۷	۵	۲/۷۵۳	۲/۲۹۲
۶	-	-	۱۵/۳۹۷	-

نتیجه‌گیری

زمانی که پارامتر متغیر در الکتروسیسی محلول پلیمری (قابل الکتروسیسی) با غلظت مشخص سرعت درام باشد، در مقایسه نمونه‌های حاصل از سرعت‌های مختلف، افزایش سرعت درام، افزایش تخلخل وب نانوالیاف را در پی دارد. در این پژوهش وب نانوالیاف از محلول پلیمری PAN/DMF در غلظت‌های ۱۱٪ و ۱۵٪ تهیه و بررسی شد. محلول‌های تهیه شده در هر غلظت در پنج سرعت متمایز الکتروسیسی شدند. با افزایش تخلخل وب نانوالیاف، قابلیت آن برای ایجاد محافظت در برابر پرتو فرابنفش افزایش می‌یابد. این نتیجه حاصل مقایسه مقدار کاهش غلظت محلول رنگینه آبی متیلن است که با وب‌های نانوالیاف با تخلخل‌های متفاوت محافظت شده بود. چون بخشی از رنگینه به وسیله آب آبکافت شده است، نمی‌توان تمام تخریب را به پرتو فرابنفش نسبت داد، اما از آنجا که تمام محلول‌ها شرایط یکسان داشته‌اند، نتایج اندازه‌گیری تخریب قابل مقایسه است. با افزایش تخلخل به دلیل ایجاد تله‌های بیشتتری از هوا برای به دام انداختن تابش فرابنفش، رنگینه محافظت شده به وسیله وب نانوالیاف به مقدار کمتری تخریب می‌شود. همچنین، از مقایسه نتایج حاصل از دو غلظت متمایز دریافت می‌شود که نمونه‌های حاصل از محلول ریسندگی با غلظت کمتر به علت ایجاد الیاف ظریف‌تر، سطح ویژه بیشتری داشته و در نتیجه محافظت بهتری در برابر پرتو UV ایجاد می‌کنند.

ایجاد شده در برابر تابش فرابنفش افزایش یافته است (جدول‌های ۱ و ۲). طرح ادعای افزایش محافظت از آن روست که مقدار کاهش غلظت رنگینه آبی متیلن در محلول که ناشی از تخریب رنگینه بر اثر تابش UV است، با افزایش سرعت خطی درام از ۰/۴۵۷ m/s تا ۲/۲۸۷ m/s به تدریج کاهش یافته و به عبارتی مقدار کمتری از رنگینه تخریب شده است (شکل ۶).

برای هر مجموعه از نمونه‌ها به‌طور مجزا می‌توان چنین گفت که با افزایش سرعت درام و افزایش تخلخل ناشی از آن، مقدار محافظت در برابر تابش فرابنفش افزایش می‌یابد. وجود تخلخل به منزله ایجاد دام‌هایی از هواست که تابش فرابنفش را به دام انداخته و با جذب آن مانع عبور تابش می‌شود.

در مقایسه این دو مجموعه با هم مشاهده می‌شود، مقدار محافظت ایجاد شده در برابر تابش فرابنفش در نمونه‌های تهیه شده از محلول ۱۵٪ وزنی PAN/DMF در هر سرعت کمتر از نمونه‌هایی است که از محلول ۱۱٪ وزنی PAN/DMF تهیه شده‌اند. در این باره نیز می‌توان بحث قطر را مطرح کرد. نانوالیاف با قطر بزرگ‌تر UV را به مقدار بیشتری از خود عبور می‌دهند. در حالی که نانوالیاف با قطر کمتر به علت داشتن سطح ویژه بیشتر چنین نیستند. از طرفی با کاهش قطر نانوالیاف به همان نسبت اندازه منافذ ساختار متخلخل کاهش می‌یابد. شواهد حاکی از آن است که اثر منافذ کوچک‌تر بر خواص محافظت UV شرایط بهتری را ایجاد می‌کنند [۷].

جدول ۲- نتایج مربوط به نمونه‌های تهیه شده از محلول ۱۵٪ وزنی PAN/DMF

شماره بشر	سرعت خطی درام		مقدار کاهش غلظت رنگینه آبی متیلن (μmol/L.h)	نفوذپذیری هوا (mL/s.cm ²)
	مقدار (m/s)	مشخصه سرعت		
۱	۰/۴۵۷	۱	۱۳/۱۲۷	۳/۳۱۲
۲	۰/۹۱۵	۲	۶/۶۷۶	۳/۵۶۷
۳	۱/۳۷۲	۳	۵/۲۲۸	۴/۵۸۶
۴	۱/۸۲۹	۴	۴/۸۱۰	۵/۰۹۵
۵	۲/۲۸۷	۵	۳/۶۵۸	۵/۸۶۰
۶	-	-	۱۵/۳۹۷	-

مراجع

- Huang Z., Zhang Y.Z., Kotaki M., and Ramakrishna S., A review on polymer nanofibers by electrospinning and their applications in nanocomposites, *Compos. Sci. Technol.*, 63, 2223-2253, 2003.
- Andrady A.L., *Science and Technology of Polymer Nanofibers*, John Wiley and Sons Inc, 2008.
- ابوزاده رع، قره آقاجی ع، زادهوش ع، بررسی نظری و تجربی ساختار منافذ در لایه نانوالیاف الکتروریسی شده، هشتمین کنفرانس ملی مهندسی نساجی ایران، یزد، دانشگاه یزد، ۱۳۹۱.
- Lanfrey P.Y., Kuzeljevic Z.V., and Dudukovic M.P., Tortuosity model for fixed beds randomly packed with identical particles, *Chem. Eng. Sci.*, 65, 1891-1896, 2010.
- Kim H.Y., Method of manufacturing continuous mats by electrospinning and mats manufactured thereby, *WIPO Patent, WO2006132470 A1*, 2006.
- قاسمی ا، منسوجات حفاظتی، سمینار کارشناسی ارشد مهندسی تکنولوژی نساجی، دانشکده مهندسی نساجی، دانشگاه صنعتی اصفهان، ۱۳۸۸.
- Dadvar S., Tavanai H., and Morshed M., UV-protection properties of electrospun polyacrylonitrile nanofibrous mats embedded with mgo and Al₂O₃ nanoparticles, *J. Nanopart. Res.*, 13, 5163-5169, 2011.
- Im J.S., Kim M.I.L. and Lee Y-S., Preparation of PAN-based electrospun nanofiber webs containing TiO₂ for photocatalytic degradation, *Mater. Lett.*, 62, 3652-3655, 2008.
- Lachheb H., Puzenat E., and Houas A., Photocatalytic degradation of various types of dyes in water by UV-irradiated titania, *Appl. Catal. B*, 39, 75-90, 2002.
- Houas, A., Lachheb H., Ksibi M., Elaloui E., Guillard C., and Herrmann J., Photocatalytic degradation pathway of methylene blue in water, *Appl. Catal. B*, 31, 145-157, 2001.

A Study on the Relation between Nanofiber Mat Porosity and Its UV Protection

Elham Tavakkol and Seyed Abdolkarim Hosseini Ravandi*

Department of Textile Engineering, Isfahan University of Technology, P.O. Box: 84156-83111, Isfahan, Iran

Received 5 June 2015; Accepted 6 September 2015

Abstract

The researches have shown that the nanofibrous mat porosity determination is the best way to evaluate the Ultra-violet (UV) transmission of white and non-dyed nanofibrous mats, and the fibers chemical structure is of secondary importance. There are different parameters affecting the porosity of nanofiber mat. The main aim of this study is to investigate the relation between the nanofibrous mat porosity and the UV-protection (shielding) capability of the mats. For this purpose, the nanofibrous mats with different porosity were produced by electrospinning polyacrylonitrile solutions (11 and 15 wt% in dimethylformamide) on drum collector at various speeds. The porosity of electrospun samples was measured by the air permeability test. Moreover, their UV-protection capability was determined by measuring the degradation of methylene blue dye solution protected by each mat sample under UV irradiation. The results showed that the nanofibrous mat with higher porosity and therefore higher UV-protection can be obtained by increasing the drum speed.

Keywords

nanofibers,
electrospinning,
nanofiber mat porosity,
speed of the drum collector,
UV-protection

(*) Address Correspondence to S.A. Hosseini Ravandi, Email: hoseinir@cc.iut.ac.ir