نانو تکنولوژی

منسوجات اَبَر آبگریزِ هادی الکتریسیته با خاصیت ضدباکتری بواسطهٔ روکش‌دهی الیاف با نانوذرات نقره

چکیده

نانـوذرات نقـره (Ag NPs) توسـط احیـاء کمپلکـس $[Ag(NH_3)_2]^+$ بـا گلوکـز، روی الیـاف پنبـه تولیـد شـدند. اصـلاح بعـدی الیـاف روکش‌شـده بـا نانـوذرات نقـره، بـا هگزادسیل‌تری‌متوکسی‌سـیلان منجـر بـه ایجـاد منسـوجات پنبـه‌ای ابرآبگریـز شـد. عکس‌هـای میکروسـکوپ الکترونـی روبشـیِ منسـوجات نشـان داد کـه الیـاف عمل‌آوری‌شـده، بـا نانـوذرات نقـرهٔ یکنواخـت پوشـش داده شـده بودنـد، کـه بـا ایجـاد زبـری یـا خشـنی دوچنـدان روی منسـوجات، بـه تشـکیل سـطوح ابرآبگریـز کمـک می‌کـرد و نانـوذرات نقـره روکـشِ متراکمـی اطـراف الیـاف تشـکیل داده بودنـد کـه منسـوجات پنبـه‌ای طبیعـی عایـق را، هـادی الکتریسـیته می‌کـرد. تسـت ضـد باکتـری نشـان داد کـه منسـوجات تولیدشـده دارای فعالیـت ضدباکتـری بـالا در برابـر باکتـری گـرم منفـیِ اشریشـیا کلای (Escherichia coli) بودنـد. ایـن منسـوجات چنـد منظـوره می‌تواننـد در تجهیـزات الکتریکـیِ زیسـت‌درمانی کاربـرد داشـته باشـند.

مقدمه

مـوادی کـه قـادر بـه انجـام عملکردهـای چندگانـه بطـور همزمـان یا مـداوم در طـول زمـان هسـتند، بـرای بهبـود عملکـرد محصـولات دارای اهمیـت می‌باشـند. منسـوجاتی کـه دارای عملکردهـای بهبودیافتـه مثـل ضدباکتـری، ضـد الکتریسـیتهٔ سـاکن، مقاومـت در برابـر لکّـه، هـادی الکتریسـیته و محافظـت از نـور UV هسـتند، توسـط بـازار مصرف‌کننـده فهیـم و خواسـتار بـرای محصـولات بـا ارزش‌افـزودهٔ بـالا، بسـیار ارزشـمند هسـتند. منسـوجات چندمنظـوره می‌تواننـد از طریـق عملیات‌هـای ترکیبـی بـا اسـتفاده از مـواد گوناگـون بـا خـواص ویـژه روی الیـاف تولیـد شـوند. امّـا، چنـد منظوره‌کـردن منسـوجات بـا اسـتفاده از یـک مـاده بـا چنـد عملکـرد ذاتـی، یـا توسـط یـک عملیـات سـاده کـه چنـد کارکـرد همزمـان را القـا می‌کنـد، قابـل ترجیـح می‌باشـد. نقـره از دوران باسـتان بـه عنـوان یـک باکتری‌کـش معـروف بـوده اسـت. اخیـراً گـزارش شـده بـود کـه نانـوذرات نقـره (Ag NPs) خـواص ضدمیکروبـی را ارائـه می‌دهنـد. الحـاق یـا اتصـال نانـوذرات نقـره در قالب‌هـای گوناگـون بـه منظـور گسـترش سـودمندی آنهـا در مـواد و کاربردهـای زیسـت‌درمانی بـه شـدت مـورد مطالعـه قـرار گرفتـه بـود.

دوبـاس و همکارانـش نانـوذرات نقـرهٔ ضدمیکـروبِ تثبیت‌شـده روی الیـاف نایلـون و ابریشـم را توسـط روش لایه‌نشـانی لایـه بـه لایـه بـه شـرح ذیـل گـزارش کـرده بودنـد. غوطـه‌وری پی‌درپـی الیـاف نایلـون یـا ابریشـم در محلول‌هـای رقیـقِ پلی‌دی‌آلیل‌دی‌متیل‌آمونیـوم کلرایـد و نانـوذرات نقـرهٔ پوشانده‌شـده بـا پلی‌متااکریلیـک اسـید، سـبب تشـکیل فیلـم نـازک رنگـی دارای خـواص ضدمیکروبـی شـد. لـی و همکارانـش روکـشِ پایـدار نانـوذرات نقـره را روی پارچـهٔ پنبـه‌ای توسـط غوطـه‌وری در محلول‌هـای اتانولـیِ $AgNO_3$ و بوتیل‌آمیـن گـزارش کردنـد. پارچـهٔ پنبـه‌ای روکش‌دهـی شـده بـا نانـوذرات نقـره، اثـرات باکتری‌کشـی بسـیار خوبـی را روی باکتری‌هـای بیمـاری‌زا بـدون ایجاد تحریک مسـتقیم پوسـت نشـان داد. ژائـو و همکارانش لایه‌هـای روکـش نقـره بـا سـاختار نانـو را روی فیلمهـای پلی‌آمیـد، از طریـق عملیـات بـا KOH آبـدار و $AgNO_3$ و در ادامـه عملیـات حرارتـی در ۲۰۰ درجـهٔ سـانتیگراد یـا دماهـای بیشـتر، تولیـد کردنـد. اصـلاح مجـدد لایه‌های نقـرهٔ روکش‌شـده بـا طـلا، یـا n–دودکان‌تیـول باعـث ایجـاد سـطوح‌آبگریز می‌شـود. خلیل‌آبـاد و یزدان‌شـناس سـطوحِ ضدباکتـری ابرآبگریـز را روی منسـوجات پنبـه‌ای از طریـق واردسـازی ذرات در حـد میکـروی نقـره در شـبکهٔ بافتـهٔ الیـاف تولیـد کردنـد. آنهـا ایـن نتایـج را از طریـق عملیـات بـا محلـول آبـدار KOH و $AgNO_3$ و سـپس آبگریزسـازی سـطحی بدسـت آوردنـد. سـاختار سـطحی بـا انـدازهٔ دو برابـر و انـرژی سـطحی کـمِ اصـلاح اُکتیل‌تری‌اتوکسی‌سـیلان سـبب ایجـاد سـطوح ابرآبگریـز عالـی بـا زاویـهٔ تماسـی بـه بزرگـی ۱۵۱ درجـه شـد. منسـوجات پنبـه‌ای اصلاح‌شـده قـادر بـه نابودکـردن هـر دو باکتـریِ گـرم منفـی و گـرم مثبـت بـر روی سـطح بودنـد. لازم بـه ذکـر می‌باشـد کـه عـلاوه بـر کاربردهـای زیست‌پزشـکی، منسـوجات ابرآبگریـز آراسته‌شـده بـا نانوسـاختارهای نقـره می‌تواننـد از خـواص دیگـری مثـل هدایـت الکتریکـی، خـواص ضدالکتریسـیتهٔ سـاکن، محافظـت از نـور ماوراءبنفـش و غیـره بهره‌منـد شـوند. از آنجایـی کـه تهیـهٔ نانـوذرات نقـره بـا انـدازه و شـکل قابل‌کنتـرل، آسـان می‌باشـد، منسـوجاتِ چندعاملـی می‌تواننـد توسـط آراسـته‌کردن الیـاف بـا نانـوذرات نقـره بـا انـدازهٔ کنترل‌شـده حاصـل شـوند. در ایـن مطالعـه، نانـوذرات نقـره توسـط احیـایِ در محـلِ کمپلکـس $[Ag(NH_3)_2]^+$ بـا گلوکـز، روی الیـاف پنبـه تولید شـدند و سـپس منسـوجات عمل‌آوری‌شـده، بـا اسـتفاده از آلکیل‌سـیلان بـا زنجیـر طویـل، بـه منظـور تولیـد منسـوجات کاربـردی بـا خـواص ترکیبـیِ ابرآبگریـزی، هدایـت الکتریکـی و ضـد باکتـری اصـلاح شـدند.

تجربیات

مواد

$AgNO_3$ (بیشـتر از ٪۹۹)، گلوکـز (بیشـتر از ٪۹۹)، آمونیـاک آبـی (٪۲۸ وزنی)، و NaOH از کمپانـی معرف‌هـای شـیمیایی Sinorpharm تهیـه شـدند.

هگزادسیل‌تری‌اتوکسی‌سیلان (HDTMS) از کمپانی تکنولوژی مواد Hangzhou Silong تهیه شد. همهٔ مواد شیمیایی همانگونه که دریافت شدند، مورد استفاده قرار گرفتند. منسوجات با بافت سادهٔ پنبه‌ای، آهارگیری‌شده، شسته‌شده، و سفیدگری‌شده، قبل از خشک‌کردن به منظور استفاده، با آب دیونیزه (یون‌زدوده) و اتانول تمیز شدند. در سرتاسر همهٔ آزمایشات از آب دیونیزه استفاده شد.

عملیات قلیایی منسوجات پنبه‌ای و روکش‌دهی الیاف با ذرات نقره

منسوجات پنبه‌ای با محلول آبکی ۱۰ درصد وزنیِ NaOH در دمای اتاق به مدت ۱۰ دقیقه عمل‌آوری شدند و به دنبال آن با مقدار زیادی از آب مقطر آبکشی شدند. آمونیاک آبی (٪ وزنی) قطره به قطره درون محلول آبکی ۰/۵ مولار $AgNO_3$ اضافه شد و تا اینکه محلول بی‌رنگِ شفافِ $[Ag(NH_3)_2]^+$ تشکیل شود، هم زده شد. منسوجات عمل‌شدهٔ قلیایی، در محلول $[Ag(NH_3)_2]^+$ به مدت ۱ ساعت غوطه‌ور شدند و سپس به درون محلول ۰/۱ مولار گلوکز منتقل شدند. بعد از ۵ دقیقه، محلولِ $[Ag(NH_3)_2]^+$ باقیمانده نیز به محلول گلوکز اضافه شد. درنهایت، منسوجات با آب آبکشی شدند و در هوا خشکانده شدند.

آبگریزکردن منسوجات با HDTMS

به دلیل انرژی سطحی کم مولکول‌های بر پایهٔ سیلان با زنجیر هیدروکربنی طویل، HDTMS به منظور آبگریزکردن منسوجات طبقِ گزارش خلیل‌آباد و یزدان‌شناس با برخی تغییرات مورد استفاده قرار گرفت. منسوجات توسط غوطه‌وری نمونهٔ منسوج در محلول اتانولی HDTMS (٪ حجمی) آبگریز شدند و به مدت ۱ ساعت در دمای اتاق تحت واکنش قرار گرفتند. نمونه سپس به مدت ۱۰ دقیقه در دمای ۸۰ درجهٔ سانتیگراد خشک شد و به مدت ۱ ساعت در ۱۳۰ درجهٔ سانتیگراد تحت پخت قرار گرفت.

شناسایی و بررسی

مورفولوژی‌های منسوجات توسط میکروسکوپ الکترونی روبشی SEM (JSM-6700, JEOL, Japan) مورد ملاحظه قرار گرفت. نمونه‌ها قبل از مشاهدهٔ SEM با استفاده از روکش‌دهندهٔ خلاء با طلا روکش داده شدند. زوایای تماس آب (WCA) نمونه‌ها در دمای محیط روی سیستم زاویهٔ تماس‌سنجِ (OCA 20, Dataphysics, Germany) اندازه‌گیری شدند. همهٔ زوایای تماس توسط میانگین‌گیری مقادیر اندازه‌گیری‌شده در ۵–۶ نقطهٔ مختلف روی هر سطح نمونه تعیین شدند. الگوهای تفرق پرتوی ایکس (XRD) روی تفرق‌سنجِ D/max 2200PC ثبت شدند.

تست ضدمیکروبی

آزمایشات ضدمیکروبی توسط روش حلقهٔ بازدارنگی باکتریایی (تست نفوذ آگار/ CEN/TC 248 WG 13) و تست احیاء رشد باکتریایی (EN ISO 20743:2007 تست انتقال) انجام شدند.

ارزیابی فعالیت ضدمیکروبی منسوجات در برابر باکتری گرم-منفیِ Es-cerichia coli (E.coli) به شرح ذیل بود. مخلوط محیط آبی مغذی و آگار مغذی در ۱ لیتر آب مقطر در pH = ۷/۲ و همچنین ظرف‌های پتری‌دیش خالی در اتوکلاو قرار گرفتند. واسطهٔ آگار سپس درون ظرف‌های پتری‌دیش ریخته شد و سرما داده شد. بطور تقریبی روی ظرف‌ها، ۱۰۵ واحد تشکیل‌دهندهٔ کلنی برای هر باکتری تلقیح شد و سپس هر نمونهٔ منسوج روی ظرف‌های حاوی آگار قرار گرفت. همهٔ ظرف‌ها به مدت ۲۴ ساعت در ۳۷ درجهٔ سانتیگراد در در انکوباتور تحت رشد قرار گرفتند و در پایان ناحیهٔ بازدارندگی از رشد اندازه‌گیری شد. احیاء رشد باکتری روی منسوجات برای باکتری E.coli با استفاده از روش انتقال EN ISO 20743:2007 تخمین زده شد. ظرفهای حاوی آگار با ۱ میلی‌لیتر مایع مغذی کشت میکروب حاوی $10^5 \times (3-4)$ واحد تشکیل‌دهنده کلنیِ باکتری تلقیح شدند. سپس، نمونهٔ منسوج آزمایشی روی سطح آگار قرار داده شد و فشار داده شد. نمونهٔ مورد آزمایش سپس از سطح آگار به درون یک ظرف ۱۰۰ میلی‌لیتری منتقل شد و به مدت ۲۴ ساعت در ۳۷ درجهٔ سانتیگراد در محفظهٔ رطوبت تحت رشد قرار گرفت. بعد از رشد، ۲۰ میلی‌لیتر محلول خنثی‌کننده روی نمونه ریخته شد و به مدت ۱ دقیقه به شدت تکان داده شد. رقیق‌سازی‌های پیاپی با استفاده از آب استریلیزه انجام شد و تعلیق‌ها یا سوسپانسیون‌ها روی آگار مغذی قرار داده شد و به مدت ۲۴ ساعت در ۳۷ درجهٔ سانتیگراد تحت رشد قرار گرفت. کاهش یا احیاء رشد باکتری (RA) روی نمونهٔ عمل‌آوری‌شده با نقره در مقایسه با نمونهٔ عمل‌نشده بصورت زیر محاسبه شد:

$$RA\ (\%) = \frac{(C - A)}{C} \times 100 \qquad (۱)$$

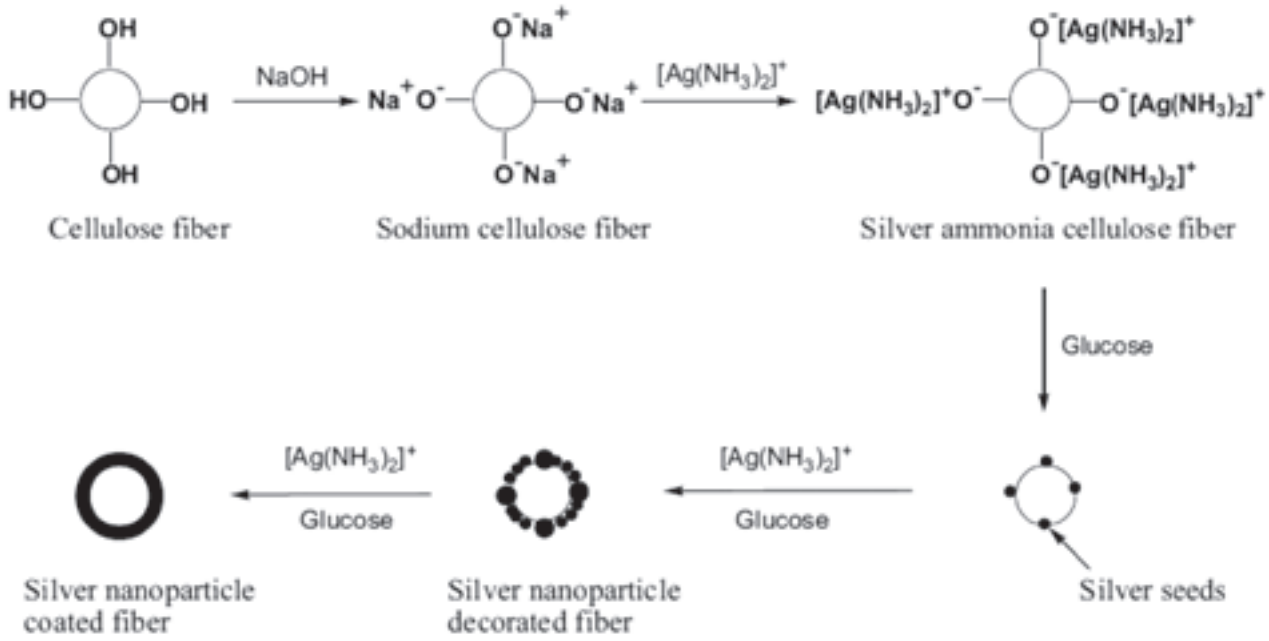
که در اینجا C، تعداد واحدهای تشکیل‌دهندهٔ باکتری روی منسوج عمل‌آوری‌نشده بعد از ۲۴ ساعت تلقیح و A، تعداد واحدهای تشکیل‌دهندهٔ باکتری روی منسوج عمل‌آوری‌شده با نقره تحت شرایط یکسان می‌باشد.

اندازه‌گیری مقاومت

هدایت الکتریکی منسوجات اصلی و اصلاح‌شده بعد از آبگریزسازی، توسط اندازه‌گیری تصادفی مقاومت بین دو نقطه با فاصلهٔ ۱ سانتی‌متر روی منسوجات به منظور راحتی کار، ارزیابی شد. همهٔ مقاومت‌ها توسط معدل‌گیری ۶ مقدار اندازه‌گیری‌شده روی هر سطح نمونه تعیین شدند. مقاومت‌های کمتر به معنی هدایت الکتریکی بالاتر هستند.

نتایج و بحث

کاهش شیمیایی بیشترین روش شیمیایی مورد استفاده برای تهیهٔ نانوذرات نقره و دیسپرسیونهای کلوئیدی در آب یا حلّال‌های آلی می‌باشد. عوامل کاهنده مورد استفادهٔ رایج بروهیدرات، سیترات،

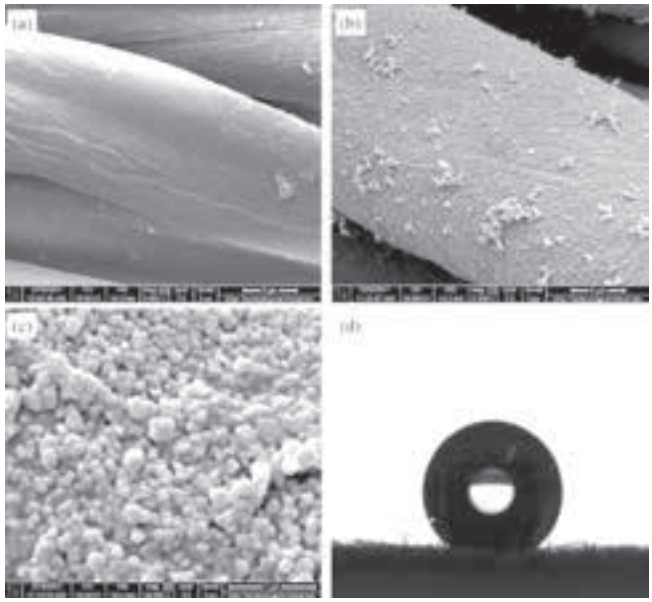


شماتیک ۱- تصویر فرایندهای درگیر در روکش‌نمودن الیاف پنبه با نانوذرات نقره.

آسکوربات، و هیدروژن عنصری هستند. مطالعات قبلی نشان دادند که کاربرد بروهیدرات که کاهنده‌ای قوی می‌باشد، باعث ایجاد ذرات کوچکی می‌شود که قدری منودیسپرس بودند، امّا کنترل-نمودنِ ایجاد ذرات بزرگتر مشکل می‌باشد. استفاده از سیترات که کاهنده‌ای ضعیف‌تر می‌باشد، منجر به نرخ کاهش کمتری شد، امّا توزیع اندازه دقیق نبود و سیترات همچنین به عنوان عامل پوششی عمل می‌کرد که ذرات کلوئیدی را تثبیت یا پایدار می‌کرد. در این مطالعه، به منظور تولید منسوجات عامل‌دارشده با نانوذرات نقره، این امر بسیار مهم می‌باشد که نانوذرات نقره به‌جای اینکه در آب به عنوان دیسپرسیون تولید شوند، روی الیاف تولید شوند. بنابراین الیاف پنبه‌ای به منظور ایجاد بارهای سطحی منفی بر روی سطح الیاف، ابتدا با NaOH عمل‌شدند. بعد از غوطه‌وریِ الیاف عمل‌آوری‌شده با NaOH در محلول کمپلکس آمونیاکِ نقره، کمپلکس‌های $[Ag(NH_3)_2]^+$ به راحتی و بطور فراوان روی سطح لیف جذب شدند. و هنگامی که الیاف بارگزاری‌شده با کمپلکس آمونیاک نقره به محلول گلوکز منتقل شدند، کمپلکسِ $[Ag(NH_3)_2]^+$ در محل به ذرات نقره روی سطح لیف کاهش پیدا کرد. با افزودن $[Ag(NH_3)_2]^+$ و گلوکز، یون‌های نقرهٔ بیشتر و بیشتری روی سطح لیف جذب شدند و به نقره کاهش پیدا کردند، و دانه‌های نقره رشد بیشتری کردند و به نانوذرات نقرهٔ متصل به هم تبدیل شدند و یک روکش فشردهٔ نانوذرات نقره روی الیاف تشکیل دادند. این فرایندها در شماتیک ۱ به نمایش گذاشته شده‌اند.

عکس‌های SEM مربوط به الیاف پنبه، قبل و بعد از روکش ذرات نقره در شکل ۱ نشان داده شده‌اند. از شکل ۱(a) می‌توان مشاهده کرد که الیاف پنبهٔ خام ساختار فیبریلی طولی مشخصی را با سطحی صاف و تمیز نشان می‌دهند. بعد از عملیات روکش-دهی، همانطور که در شکل ۱(b) نشان داده شده، سطح لیف پنبه یک پوشش یا روکش یکنواخت و فشردهٔ ذرات را نشان می‌دهد و عکس با بزرگنمائی بیشترِ لیف عمل‌آوری‌شده در شکل ۱(c) نشان می‌دهد که ذراتی با اندازهٔ در محدودهٔ از ۱۰۰ تا ۳۰۰ نانومتر که به وضوح آشکار هستند، سطح لیف را زبر و خشن کرده‌اند و بنابراین یک ساختار سطحی با اندازهٔ دوبرابر را روی منسوجات ایجاد کرده‌اند. بنابراین سطح منسوجات پنبه‌ایِ بطور ذاتی آبدوست، که به دلیل گروه‌های هیدروکسیل فراوان در ساختار خود می‌تواند بطور کامل توسط آب مرطوب شود، بعد از آبگریزسازی با HDTMS، همانطور که در شکل ۱(d) دیده می‌شود، به سطحی ابرآبگریز با زاویهٔ تماس آبِ ۱/۶ ± ۱۵۷/۳ درجه برای قطرهٔ آب ۵ میکرولیتری تبدیل شد و هنگامی که نمونهٔ منسوج بطور افقی حرکت داده شد، قطره‌های آب به راحتی روی سطح منسوج غلتیدند. این پدیده با گزارش خلیل‌آباد و یزدان‌شناس متفاوت بود که در آن قطرهٔ آب محکم به سطح منسوج اصلاح‌شده با ذرات نقره چسبیده بود.

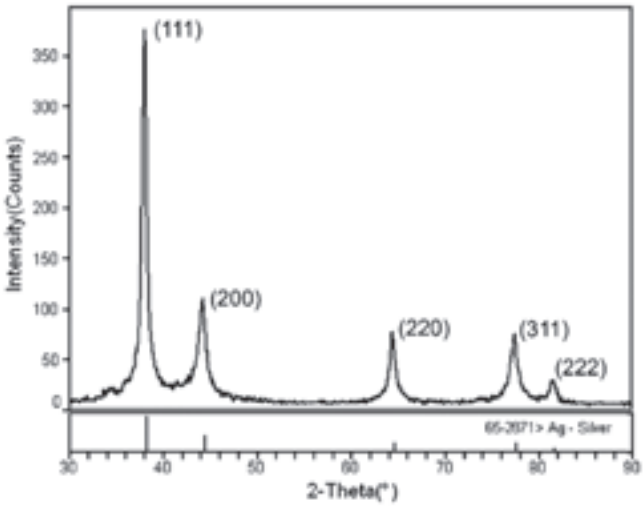
روشهای گوناگونی برای روکش‌نمودنِ الیاف پنبه با ذرات نقره گزارش شده بود. امّا همانطور که در شکل ۱(b) مشاهده شد، با توجه به دانش ما این اولین بار می‌باشد که چنین روکش فیلمیِ چگال یا متراکمی از نانوذرات نقره روی الیاف دیده شده بود. درصد وزنی نقرهٔ افزوده روی نمونه بر حسب وزن منسوج قبل از روکش‌دهی با نقره، ۳۴/۴۹ درصد محاسبه شد. شکل ۲ الگوی XRD مربوط به الیاف پنبهٔ روکش‌شده با ذرات نقره را نشان می‌دهد. چهار پیک مشهود در ۳۸، ۴۴، ۶۴، و ۷۷ درجه به ترتیب مربوط به صفحاتِ (۱۱۱)، (۲۰۰)، (۲۲۰) و (۳۱۱) کریستال نقره (JCPDScards 4-0783) هستند. اندازهٔ متوسط ذرات، با استفاده از رابطهٔ شِرِر ۲۵۷ نانومتر تخمین زده



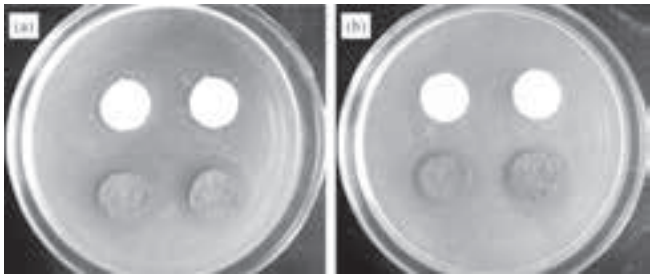
شکل ۱- عکس‌های SEM: (a) منسوجات پنبه‌ای خام و (b) الیاف پنبهٔ عمل‌آوری‌شده با ذرات نقره؛ (c) عکس با بزرگنمایی بیشتر (a)؛ (d) عکس قطرهٔ آب روی منسوج عمل‌شده با ذرات نقره و HDTMS.

شـد. هیچگونـه پیـک مشـخصی بـرای دیگـر ناخالصی‌هـا مثـل Ag_2O مشـاهده نشـد. بنابرایـن روکـش روی الیـاف تنهـا از کریسـتال‌های نقـره تشـکیل شـده اسـت و دیگـر ترکیبهـا وجـود نـدارد، کـه بـه منسـوجات، هدایـت الکتریکـی بالایـی بـا مقاومـت الکتریکـیِ بـه کوچکـیِ ۱/۸ + ۳۷ اُهـم، اندازه‌گیری‌شـده بـا مولتی‌متـر، می‌دهـد. امّـا در مـورد منسـوجات اصلـی یـا خـام، بـه دلیـل عایق‌بـودن، مقاومـت بینهایـت بـود.

فعالیـت ضدباکتـری نمونه‌هـای پارچـه‌ای بـر حسـب بازدارندگـی یـا ممانعـت ناحیـهٔ تشکیل‌شـده روی واسـطهٔ آگار تعییـن شـد. شـکل ۳ نشـان می‌دهـد کـه نمونه‌هـای پنبـهٔ خـام یـا نرمـال، کـه بـه عنـوان مرجـع یـا کنتـرل اسـتفاده شـده بودنـد، هیچگونـه فعالیـت ضدباکتـری از خـود نشـان ندادنـد. منسـوجات پنبـه‌ای اصلاح‌شـده بـا نقـره روی سـطوح



شکل ۲- الگوی XRD منسوجات روکش‌شده با ذرات نقره.



شکل ۳- فعالیت ضدباکتری (a) منسوجات پنبه‌اِی خام (دو نمونهٔ بالایی) و اصلاح‌شده با نانوذرات نقره (دو نمونهٔ پایینی) و (b) منسوجات پنبه ای خام (دوتای بالایی) و پنبه‌اِی اصلاح‌شده با نقرهٔ آبگریزشده (دوتای پایینی).

تلقیحـی بـا باکتـری همـهٔ باکتریهـای زیـر و اطـراف آنهـا را نابـود کردنـد. ناحیـهٔ بازدارندگـی مشـخص بـا عـرض متوسـط ۸/۷۸ میلی‌متـر اطـراف نمونـهٔ پنبـه‌ای مشـاهده شـد. مطالعـهٔ قبلـی نشـان داد کـه پارچه‌هایـی بـا روکشـهایی کـه آب را دفـع می‌کننـد دارای اثـر ضـد باکتـری هسـتند. امّـا بعـد از آبگریزسـازی، عـرض متوسـط ناحیـهٔ بازدارندگـیِ نمونه‌هـای اصلاح‌شـده بـا نقـره بـه ۶/۸۴ میلی‌متـر کاهـش پیـدا کـرد. کاهـشِ عـرض بازدارندگـی می‌توانـد بـه دلیـل ممانعـت نفـوذ Ag^+ از نانـوذرات نقـره بواسـطهٔ آبگریزنمـودن باشـد. کاهـش رشـد باکتـری روی نمونـهٔ عمل‌شـده بـا نقـره، چـه آبگریـز شـده باشـد و چـه نشـده باشـد، در مقایسـه بـا نمونـهٔ عمل‌آوری‌نشـده، ۹۹/۹۹ درصـد محاسـبه شـد، کـه نشـان‌دهندهٔ خاصیـت ضدباکتـری قـوی می‌باشـد.

بـرای بررسـی دوام اَبَرآبرگریـزی، رسـانایی یـا هدایـت الکتریکـی، و خاصیـت ضدباکتـری، مـا نمونـهٔ منسـوج را در حمـام آب غوطـه‌ور کردیـم و بـه مـدت ۱۰ دقیقـه در دمـای محیـط بـا همـزن مغناطیسـی هـم زدیـم و سـپس نمونـه را خشـک کردیـم. ایـن فراینـد ۱۰ مرتبـه تکـرار شـد. معلـوم شـد کـه زاویـهٔ تمـاس آب بـرای قطـرهٔ آب ۵ میکرولیتـری در ۱/۴ ± ۱۵۱/۵ درجـه ثابـت مانـد. مقاومـت منسـوجات تغییـر قابل‌توجهـی نشـان نـداد و در ۱/۵ ± ۳۹/۲ اُهـم ثابـت مانـد. و کاهـش رشـد باکتـریِ همـهٔ نمونه‌هـا اصلاح‌شـده بـا نقـره بعـد از ۱۰ مرتبـه شستشـو بـا آب، ۹۹/۹۹ درصـد ثابـت مانـد. همـهٔ ایـن نتایـج اشـاره بـر ایـن داشـتند کـه ذرات نقـره کامـلاً بـا قـدرت بـه سـطح منسـوج پنبـه‌ای متصـل شـده‌اند.

نتیجه‌گیری

منسـوجات پنبـه‌ای رسـانا و ابرآبگریـز بـا خاصیـت ضدباکتـری، بـا موفقیـت توسـط روکـشِ در محـلِ الیـاف بـا نانـوذرات نقـره و بـه دنبـال آن آبگریزسـازی تولیـد شـدند. اثـر زبـری و خشـنیِ نانـوذرات بـر روی سـطح لیـف بـه سـاختار سـطوح ابرآبگریـز کمـک می‌کنـد، درحالیکـه روکـش فشـرده و متراکـم ذرات نقـره نـه تنهـا بـه الیـاف، ویژگـی فلـزی می‌دهـد و منسـوجات را رسـانا می‌کنـد، بلکـه همچنیـن بـه منسـوجات خاصیـت ضـد باکتـری را القـا می‌کنـد. ایـن روش کـه بـرای چندمنظـوره کـردن منسـوجات مرسـوم بـا یـک مـاده بـکار مـی‌رود، در صنعـت نسـاجی مفیـد می‌باشـد و انتظـار مـی‌رود کـه ایـن اسـتراتژی یـک سـکّوی پـرش قدرتمنـد بـرای تولیـد مـواد چنـد منظـوره باشـد.