نانو تکنولوژی

رسوب فیلم چند لایه مبتنی بر نانو TiO_2 بر روی پارچه‌های پنبه‌ای برای محافظت در برابر UV

مترجم: عباس حاجی پور

چکیده

فیلم‌های نانو کامپوزیت چند لایه بر پایه نانو TiO_2 بر روی پارچه‌های پنبه‌ای بافته شده اصلاح شده به صورت کاتیونی بوسیله تکنیک خود آرائی مولکولی لایه لایه ساخته شدند. فرآیند کاتیونه شدن برای بدست آوردن بار سطحی کاتیونیک بر روی پارچه-های پنبه‌ای استفاده شد. آنالیزهای اسپکتروسکوپی تبدیل فوریه مادون قرمز انعکاس کلی ضعیف شده برای بررسی وجود بار سطحی کاتیونیک و فیلم‌های چند لایه رسوب کرده بر روی پارچه‌ها استفاده شد. تصاویر میکروسکوپ الکترونی روبشی فیلم‌های چند لایه پلی (سدیم ٤٠استایرن سولفونات)/TiO_2، نانو پلی اوراتان/ TiO_2 و TiO_2/پلی(دی آلیل دی متیل آمونیوم کلرید) رسوب کرده بر روی پارچه پنبه بدست آورده شد. با رسوب فیلم چند لایه بر پایه نانو TiO2، محافظت پارچه‌های پنبه‌ای در برابر تابش UV افزایش می‌یابد. دوام محافظت در برابر UV فیلم‌های چند لایه خود آرا شده رسوب کرده بر روی پارچه‌های پنبه‌ای پس از ۱۰ و ۲۰ چرخه شستشو در دمای ٤٠ درجه سانتیگراد برای مدت ۳۰ دقیقه بررسی شد. آنالیز مقدار نفوذپذیری هوا و سفیدی پارچه‌های پنبه‌ای عمل نشده و رسوب داده شده با فیلم چند لایه انجام شدند. تاثیر فرآیند رسوب لایه لایه بر روی مشخصات مقاومت کششی نخ تار و پود تعیین شد.

مقدمه

در اوایل سال ۱۹۹۰، پس از آنکه گروه Decher فرآیند لایه لایه را کشف کرد، علاقه به ساخت فیلم‌های نازک چند لایه از پلی الکترولیت‌های با بار مخالف در زمینه‌های مختلف علوم افزایش یافت. برای فرآیند رسوب‌گذاری LbL، بستر که فیلم چند لایه را حمایت می‌کند باید بار سطحی داشته باشد. بنابراین اگر بستر بار سطحی نداشته باشد، ابتدا یک بار سطحی باید بر روی بستر به شیوه درست ایجاد گردد. بستر باردار سپس در محلول رقیق پلی الکترولیت‌های با بار مخالف وارد می‌شود. جذب مداوم مواد با بار مخالف بر روی بستر، فیلم‌های نازک چند لایه را شکل می‌دهد. فیلم‌های چند لایه با بار مخالف بوسیله جذب الکترواستاتیک قوی با هم نگه داشته می‌شوند. فرآیند LbL بر پایه جذب متناوب نمونه‌های باردار کاتیونیک و آنیونیک از قبیل مولکول‌ها، نانو ذرات، رنگزا، پروتئین‌ها، و دیگر نمونه‌های فوق مولکولی بادار می‌باشد.

فیلم‌های چند لایه حاوی نانو ذرات به طور وسیعی برای استفاده از پتانسیل آنها در روکش‌های آنتی استاتیک برای پلاستیک‌ها، سنسورها، دیودهای ساتع کننده نور، سلول‌های سوخت، کپسول‌های پلیمری و غیره مورد مطالعه قرار گرفته است. برای مواد نساجی، پنبه، PET، ابریشم، و پارچه‌های نایلونی، و پارچه‌های بی بافت پلی پروپیلن و پلی استر به عنوان ماده حمایت‌کننده برای رسوب فیلم چند لایه پلی الکترولیت مورد استفاده قرار گرفتند. پادری‌های نانو لیفی استات سلولز روکش شده با فیلم خود آرا شده LbL فوق نازک هیبریدی TiO_2/ پلی(اکریلیک اسید) بوسیله ترکیب تکنیک‌های الکتروریسی و خود آرائی الکترواستاتیک LbL ساخته شده اند. الیاف فوق نازک شامل پلی (اکریلیک اسید) و پلی (آلیلامین هیدروکلرید) با استفاده از تکنیک الکتروریسی با فرآیند LbL ساخته می‌شوند. برای اضافه کردن خواص ضد باکتری به الیاف ابریشم و نایلون، فیلم‌های حاوی نانو ذرات نقره بوسیله روش LbL ایجاد شده اند. بر طبق مقالات، می‌توان نتیجه گرفت که با فرآیند LbL، الیاف نساجی نانو کامپوزیت تهیه منسوجات عامل‌دار که می‌توانند ساخته شوند را فراهم می‌کنند.

چندین بررسی از نانو ذرات TiO_2 برای تولید پارچه با عملکردهای مختلف از قبیل ضد UV، ضد باکتری و خصوصیات خود تمیز شوندگی استفاده کردند. در مقالات، فیلم‌های نازک حاوی نانو ذرات TiO_2 بوسیله روش‌های رسوب دمای نسبتا بالا از قبیل روش‌های رسوب شیمیایی بخار، کاتد پرانی، سل-ژل، و روکش دهی غوطه وری ایجاد شده‌اند. مقاله قبلی ما اختمال رسوب فیلم‌های چند لایه نانو ذرات TiO_2/ TiO_2 بر روی پارچه‌های پنبه‌ای بحث شد. در این مطالعه، فیلم‌های چند لایه بر پایه نانو TiO_2 رسوب کرده بر روی پارچه پنبه‌ای برای ساخت پارچه‌های پنبه‌ای محافظ UV ساخته شدند. پنبه با استفاده از روش کاتیونی کردن فعال شده است که شامل اشباع پارچه پنبه با محلول ۲،۳-اپوکسی پروپیل تری متیل آمونیوم کلرید (EP3MAC) می‌باشد. با روش رسوب گذاری LbL، فیلم‌های ۱۰ و ۱۶ لایه PSS/TiO_2، نانو PU/TiO_2، و TiO_2/PDDA بر روی پارچه‌های پنبه‌ای کاتیونی شده، رسوب داده شدند. اندازه‌گیری‌های اسپکتروسکوپی تبدیل فوریه مادون قرمز انعکاس کلی ضعیف شده (ATR-FTIR) برای بررسی بارهای مثبت بر روی پارچه‌های پنبه‌ای و وجود نانو TiO_2 در فیلم‌های چند لایه رسوب داده شده مورد استفاده قرار گرفت. تصاویر میکروسکوپ الکترونی روبشی برای تعیین اختلاف در مورفولوژی سطح لیف پس از فرآیند رسوب گذاری LbL استفاده شدند. خصوصیات محافظت UV پارچه‌ها در نتیجه نقش فیلم‌های چند لایه بر پایه نانو TiO_2 رسوب کرده پس از رسوب، و ۱۰ و ۲۰ بار شستشو بررسی شدندو نفوذپذیری هوای، مقادیر سفیدی، آنالیزهای مقاومت کششی برای بررسی اثر فیلم چند لایه رسوب کرده بر روی خصوصیات پارچه انجام شدند.

بخش تجربی

مواد

نانو ذرات دی اسکید تیتانیوم (اندازه ذرات کمتر از ۲۵ نانومتر، مساحت سطح

مخصوص ۲۲۰–۲۰۰ متر مربع بر گرم، آناتاز) از Aldrich خریداری شدند و برای ساخت فیلم چند لایه همانطور که در زیر اشاره شده استف بکار برده شدند. سوپانسیون نانوذرات در watt ۴۰ برای مدت ۱ ساعت بوسیله Sonics Vibra–Cell Ultrasonic Homogenizer در غلظت wt٪۰/۱ تهیه شد. نقطه ایزوالکتریک TiO_2 آناتاز در pH ۶/۲–۴/۷ می‌باشد. برای ساخت سوپانسیون‌های TiO_2 کاتیونیک و آنیونیک، pH سوسپانسیون‌های نانوذرات در ۹/۰ و ۲/۵ با استفاده از NaOH و HCL تنظیم شدند. پلی (سدیم ۴– استایرن سولفونات) (PSS، Mw =۷۰۰۰۰ و پلی (دی آلیل دی متیل آمونیوم کلرید) (PDDA، ۲۰۰۰۰– Mw =۱۰۰۰۰۰) از Aldrich خریداری شدند و همانطور مه دریافت شد، مورد استفاده قرار گرفتند. محلول آبی پلی الکترولیت‌ها در غلظت ۳ mM/l با استفاده از آب دی یونیزه تهیه شدند. دیسپرسیون آنیونیک پلی اورتان نانو (Baypret Nano PU، اندازه ذرات کمتر از ۱۰۰ نانومتر) از Tanatex Chemicals خریداری شد. محلول آبی PU نانو در غلظت‌های مختلف g/l۱۵ با استفاده از آب دی یونیزه تهیه شد و pH دیسپرسیون نانوذرات پلی اورتان در ۵ با استفاده از HCl تنظیم شد.

پارچه بافته شده ۱۰۰۵ پنبه مرسریزه شده و سفید شده (مشخصات پارچه بدین ترتیب بودند: بافت ساده، ۱۳۸/۸۴ g/M^2، ۵۶ ends/cm، ۳۱ picks/cm، و شماره نخ 50/1) به عنوان بستر مورد استفاده قرار گرفت که فیلم چند لایه برای فرآیند LbL را حمایت خواهند کرد.

تهیه بستر

تکنیک اصلاح شیمیایی که کاتیونی کردن نامیده شده است، برای تولید سایت‌های کاتیونیک بر روی سطح الیاف پنبه استفاده شد. پنبه کاتیونیک بوسیله EP3MAC تهیه شد. EP3MAC در محلول آبی با استفاده از واکنش ۳–کلرو–۲۰ هیدروکسی پروپیل تری متیل آمونیوم کلرید (CHP-3MAC) با قلیا (NaOH) تهیه شد. وقتیکه EP3MAC با گروه‌های هیدروکسیل سلولز واکنش می‌دهد، بر روی سطح الیاف پنبه بارهای کاتیونیک ایجاد می‌شوند.

بلورهای EP3MAC (۶۵٪) و NaOH از Aldrich تهیه شدند. ۱۰۰ گرم از CHP3MAC و ۴۵/۵ گرم از NaOH در ۲۰۰ میلی لیتر از آب دی یونیزه شده مخلوط شدند. NaOH به محلولی که کمی قبل از فرآیند پد کردن برای جاوگیری از هیدرولیز محلول اضافه شد.

این محلول برای نمونه‌های پنبه‌ای در برداشت تر ۱۰۰٪ با استفاده از پد کننده بکار برده شدند. پس از پد کردن، نمونه‌های پارچه برای مدت ۲۴ ساعت در شرایط محیطی (۲۰ درجه سانتیگراد و رطوبت نسبی ۶۵٪) در کیسه‌های زیپ پک نگهداری شدند و در خشک کننده معمولی در دمای ۶۰ درجه سانتیگراد خشک شدند.

تشکیل فیلم چند لایه

برای فرآیند رسوب دهی فیلم چند لایه، ظروف پروپیلن (۲۰ در ۳۰ سانتیمتر) استفاده شدند. برای فرآیند رسوب دهی فیلم چند لایه PSS/TiO_2 و PU/ TiO_2 نانو، پارچه‌های پنبه با بار مثبت به داخل محلول‌های: (a) محلول pSS آنیونیک و PU نانو، (b) آب دی یونیزه، (c) محلول کلوئیدی کاتیونیک TiO_2، و (d) آب دی یونیزه، به طور مکرر برای مدت ۵ دقیقه وارد شدند. این چرخه‌های رسوب دهی تکرار شدند تا وقتی که فیلم‌های ۱۰ و ۱۶ لایه بر روی الیاف پنبه‌ای رسوب کردند. فیلم‌های چند لایه رسوب کرده ر روی پارچه‌های پنبه‌ای، در دمای ۶۰ درجه سانتیگراد خشک شدند و در دمای ۱۳۰ درجه سانتیگراد برای مدت ۳ دقیقه پخت شدند.

پنبه با بار مثبت به داخل محلول‌های (a) محلول کلوئیدی TiO_2 آنیونیک، (b) آب دی یونیزه، (c) محلول کاتیونیک PDDA، و (d) آب دی یونیزه، به طور مکرر برای مدت ۵ دقیقه وارد شدند. این چرخه‌های رسوب دهی تکرار شدند تا وقتی که فیلم‌های ۱۰ و ۱۶ لایه بر روی الیاف پنبه‌ای رسوب کردند. فیلم‌های چند لایه رسوب کرده ر روی پارچه‌های پنبه‌ای، در دمای ۶۰ درجه سانتیگراد خشک شدند و در دمای ۱۳۰ درجه سانتیگراد برای مدت ۳ دقیقه پخت شدند.

اندازه‌گیری‌های ATR–FTIR

اسپکتروفتومتر Bruker IFS 66/S FTIR برای بدست آوردن طیف مادون قرمز سطوح با استفاده از نمونه برداری ATR استفاده شد. طیف ATR-FTIR پارچه‌های عمل نشده، کاتیونی شده، و رسوب داده شده با فیلم‌های چند لایه در محدوده cm^{-1} ۴۰۰۰–۴۰۰ با رزولوشن cm^{-1} ۲ در دمای اتاق اندازه‌گیری شدند. آنالیزهای اسپکترومتر ATR–FTIR برای بررسی تشکیل کاتیونی کردن و فرآیند LbL استفاده شدند.

آنالیز SEM

میکروسکوپ الکترونی روبشی صدور الکترون رزولوشن بالا A QUANTA 400F برای بررسی سطوح نمونه‌های پنبه‌ای رسوب کرده با فیلم چند لایه در ولتاژ شتاب دهنده kV ۱۰ استفاده شد. فیلم‌های چند لایه رسوب کرده بر روی نمونه‌های پارچه پنبه‌ای با Au/Pd ۱۰ نانومتر قبل از مشاهده کرن با SEM روکش شدند.

نفوذ UV و اندازه‌گیری محافظت

قابلیت پارچه برای جلوگیری از نور UV بوسیله مقادیر فاکتور محافظت از فرا بنفش (UPF) بدست آورده می‌شود. UPF اندازه‌گیری محافظت فراهم شده توسط پارچه‌های لباسی می‌باشد. UPFها در آزمایشگاه با استفاده از اسپکترو رادیو متر یا اسپکتروفتومتر تعیین می‌شوند. اسپکتروفتومتر اندازه‌گیری محافظت و نفوذ UV، Camspec M350 UV/visible (SDL/ ATLAS) برای بدست آوردن مقدار UPF فیلم‌های چند لایه رسوب کرده بر روی پارچه‌های پنبه‌ای بر طبق استاندارد استرالیا/نیوزلند AS/NZS 4399:1996 استفاده شد.

اندازه‌گیری نفوذپذیری هوا

TexTest Instruments FX 3300 Air Permeability Tester III instrument برای بدست آوردن مقادیر نفوذپذیری هوای نمونه عمل نشده و فیلم‌های چند لایه بر پایه نانو TiO_2 رسوب کرده بر روی پارچه‌های پنبه‌ای بر طبق استاندارد EN ISO 9237 استفاده شد. تست‌های نفوذپذیری هوای پارچه ۱۰ بار در فشار ۱۰۰ پاسکال برای تمام نمونه‌ها انجام شد.

اندازه‌گیری مقدار سفیدی

اسپکتروفتومتر Minolta 3600d برای بدست آوردن مقادیر سفیدی فیلم‌های چند لایه عمل نشده، کاتیونی شده و بر پایه نانو TiO_2 به عنوان شاخص Stensby با استفاده از منبع نوری D65 برای بررسی بازدهی فرآیند LbL بر روی مشخصات زدی پارچه‌ها استفاده شد.

اندازه‌گیری مقاومت کششی

تست‌های مکانیکی بر روی دستگاه مقومت کششی الکترونیکی Lloyd LR5K Plus بر طبق استاندارد EN ISO 2062 انجام شدند. مقاومت پارگی نخ‌های تار و پود که از پارچه‌های عمل نشده، کاتیونی شده و رسوب داده شده با فیلم‌های چند لایه بدست آورده شده بود در نقطه پارگی بررسی شدند. پارچه‌های قبل از فرآیند LbL در اندازه تقریبی ۳۰ سانتی متر در ۳۰ سانتی متر بریده شدند. نخ‌های تار و پود پارچه‌های عمل شده با فرآیند LbL از پارچه‌های خارج شدند و نمونه‌های نخ برای مدت ۲۴ ساعت در شرایط محیط (دمای ۲۰ درجه سانتیگراد و رطوبت نسبی ۶۵ درصد) نگهداری شدند. فاصله بین گیره‌ها و سرعت آزمایش به ترتیب در ۲۵۰ میلی متر و ۲۵۰ متر بر دقیقه تنظیم شدند. ۲۰ نمونه برای هر تست استفاده شدند و نتایج تست با برنامه آنالیز آماری SPSS 16.0 بر طبق تست ANOVA ارزیابی شدند.

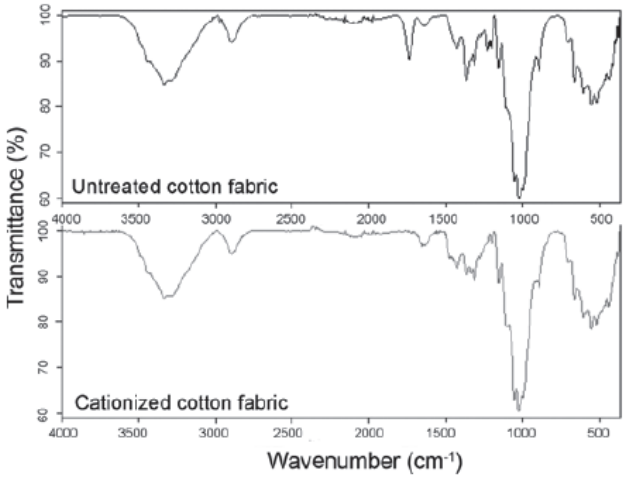
روش شستشو

مشخصات محافظت در برابر UV چندین فلم چند لایه بر پایه نانو TiO_2 رسوب داده شده بر روی پارچه پنبه پس از فرآیند LbL بررسی شدند. به منظور تعیین دوام این خاصیت عاملی، نمونه‌های پارچه پنبه‌ای ۱۰ و ۲۰ بار در دمای ۴۰ درجه سانتیگراد برای مدت ۳۰ دقیقه با ماشین شستشو آزمایشگاهی Gyrowash شسته ششدند. نمونه‌های پارچه چند لایه تحت شستشو بر طبق تست استاندارد EN ISO 20105-C01 قرار گرفتند و درجنت استاندارد AATCC بدون سفید کننده نوری در تمام سیکل‌های شستشو استفاده شد.

نتایج و بحث

آنالیز ATR–FTIR

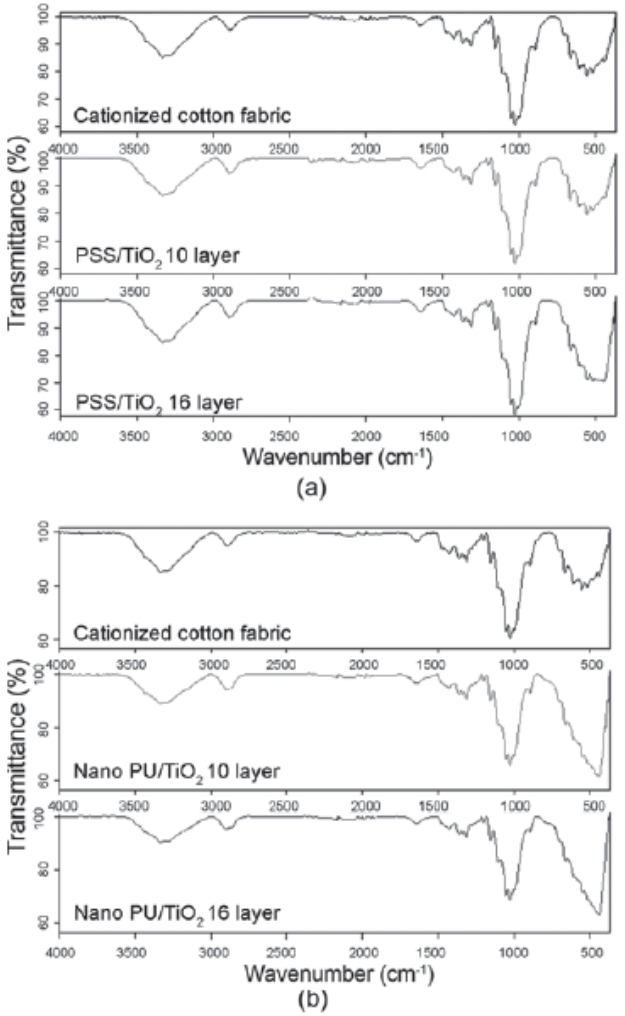
شکل ۱ طیف‌های ATR–FTIR برای نمونه پارچه پنبه‌ای بافته شده عمل نشده و پارچه پنبه‌ای بافته شده کاتیونیک را نشان می‌دهد. پارچه پنبه‌ای عمل نشده تعدادی از ویژگی‌های جذب طیف‌های FTIR را نشان داد. باند پهن بین $3700–3100\ cm^{-1}$ با مرکز حدود $3360\ cm^{-1}$ مشخصات گروه‌های عاملی OH در سلولز را نشان می‌دهد.



شکل ۱. طیف‌های FTIR پارچه پنبه‌ای عمل نشده و پارچه پنبه‌ای کاتیونی شده.

پیک پهن در ناحیه $3000–2800\ cm^{-1}$ برای کششی C–H در هر دو طیف دیده شد. پیک حدود $1640\ cm^{-1}$ ناشی از آب جذب شده می‌باشد. پیک‌های در حدود $1430\ cm^{-1}$ و $1368\ cm^{-1}$ به خمش‌های C-H مربوط می‌باشد. باند قوی جذبی با ماکزیمم در $1030\ cm^{-1}$ نتیجه اتصالات همپوشانی مربوط به گروه‌های عاملی سلولز، یعنی ارتعاشات کششی C–C، C–O و C–O–C می‌باشد. می‌توان مشاهده کرد که پارچه پنبه‌ای کاتیونی شده، ویژگی‌های FTIR پارچه پنبه‌ای عمل نشده را حفظ کرده است. در حالت CHP3MAC، باندهای $1479\ cm^{-1}$ به ارتعاشات کششی مربوط می‌باشد و باند در $675\ cm^{-1}$ به علت باند جذبی C-Cl می‌باشد.

طیف‌های ATR-FTIR نمونه عمل نشده، و فیلم‌های برپایه نانو TiO_2، ۱۰ و ۱۶ لایه رسوب کرده بر روی پارچه‌های پنبه‌ای در شکل ۲ نشان داده شده‌اند. می‌توان مشاهده کرد که فیلم‌های چند لایه نانو TiO_2 رسوب کرده بر روی پارچه‌های پنبه‌ای مشخصات FTIR پارچه پنبه‌ای عمل نشده را حفظ کرده‌اند. برای تمام نمونه‌ها باند پهنی بین $3700–3100\ cm^{-1}$ با مرکز حدود 3360 cm-1، مشخصات گروه‌های عاملی OH در سلولز را نشان می‌دهد. پیک‌های حدود ناحیه $2800–3000\ cm^{-1}$، $1430\ cm^{-1}$ و $1368\ cm^{-1}$



شکل ۲. طیف‌های FTIR (a) فیلم ۱۰ و ۱۶ لایه کاتیونی شده، PSS/TiO_2 رسوب داده شده، (b) فیلم ۱۰ و ۱۶ لایه کاتیونی شده، PU/TiO_2 رسوب داده شده، و (c) فیلم ۱۰ و ۱۶ لایه کاتیونی شده، TiO_2/PDDA رسوب داده شده بر روی پارچه‌های پنبه‌ای.

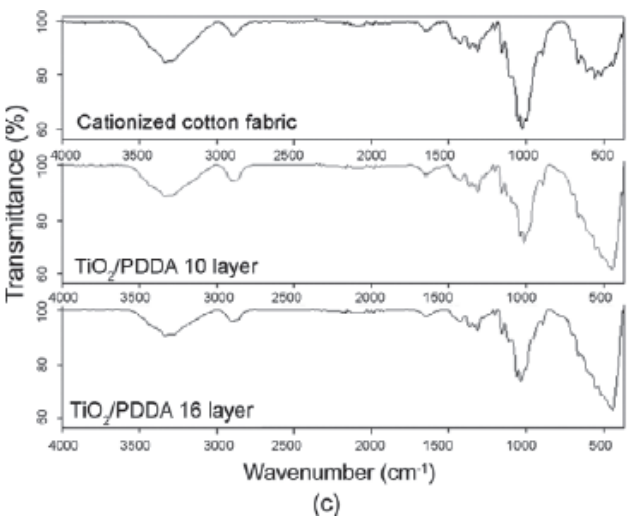
به خمشی C–H سلولز مربوط می‌باشند و برای طیف تمام نمونه‌های می‌توان مشاهده کرد. پیک در حدود $1640\ cm^{-1}$ به علت آب جذب شده می‌باشد. بخصوص برای فرآیندهای رسوب دهی LbL با استفاده از نانو PU و PDDA، این باند با افزایش تعداد لایه‌های رسوب کرده، افزایش در شدت را نشان می‌دهد که نشان می‌دهد که گروه‌های عاملی هیدروکسیل با نانو ذرات TiO_2 پر شده است. باند جذب قوی با ماکزیمم در $1030\ cm^{-1}$ از اتصالات همپوشانی مربوط به گروه‌های عاملی سلولز، یعنی ارتعاشات کششی C–C، C–O و C–O–C حاصل می‌شود. به طور مشابه، افزایش شدت در این باند برای طیف‌های پارچه‌های رسوب داده شده با فیلم چند لایه نانو PU/TiO_2 و TiO_2/PDDA نیز مشاهده شده است. برای تمام طیف‌های پارچه‌های رسوب داده شده چند لایه، پیک جذبی قوی حدود $450\ cm^{-1}$ می‌تواند به نانو ذرات TiO_2 مربوط باشد.

آنالیز SEM

میکروسکوپ الکترونی روبشی برای بررسی وجود چند لایه‌های رسوب داده شده بر روی پارچه‌های پنبه‌ای کاتیونی شده استفاده شد. شکل ۳ تصاویر SEM پارچه‌های پنبه‌ای رسوب داده شده با فیلم ۱۰ و ۱۶ لایه PSS/TiO_2، نانو PU/TiO_2 و کاتیونی شده TiO_2/PDDA را نشان می‌دهد. نانوذرات TiO_2 می‌توانند به صورت واضح بر روی سطح لیف، بخصوص برای پارچه‌های رسوب داده شده با فیلم PSS/TiO_2 و نانو PU/TiO_2 مشاهده گردد. از آنجاییکه لایه بالایی فیلم‌های چند لایه از محلول PDDA بدست آورده شده است، نانوذرات TiO_2 نمی‌توانند به صورت واضح در پارچه‌های رسوب داده شده با فیلم TiO_2/PDDA مشاده گردند. با افزایش تعداد لایه، دانسیته نانو ذره همانطور که انتظار می‌رفت افزایش می‌یابد. سطح الیاف پنبه‌ای نشان می‌دهد که پارچه‌های با ۱۶ لایه فیلم‌ها رسوب کرده، تقریبا با نانوذرات TiO_2 پوشیده شده است. فاز بلوری نانو ذرات TiO_2 در فیلم چند لایه نانو TiO_2 رسوب کرده بر روی الیاف پنبه‌ای بدون تغییر، باقی ماند و الیاف روکش شده با فیلم نانو TiO_2 سطح زیر نشان دادند.

مقادیر UPF پارچه‌ها

استاندارد استرالیا/نیوزلند AS/NZS 4399:1996، «ارزیابی و توصیف لباس



شکل ۳. تصاویر SEM پارچه‌های پنبه‌ای کاتیونی شده رسوب داده با فیلم ۱۰ و ۱۶ لایه PSS/TiO_2، نانو PU/TiO_2 و TiO_2/PDDA.

جدول ۱. سیستم دسته بندی UPF بر طبق استاندارد AS/NZS 4399:1996

UPF range	UVR protection category	UPF rating
15 to 24	Good protection	15, 20
25 to 39	Very good protection	25, 30, 35
40 to 50, 50+	Excellent protection	40, 45, 50, 50+

محافظ در برابر خورشید» از UPF برای تعیین مقدار محافظت ایجاد شده توسط پوشاک شخصی و همچنین دسته بندی پوشاک به دسته‌های محافظتی که در جدول ۱ نشان داده شده است، استفاده می‌کند. سه دسته بندی محافظت که عالی، خیلی خوب و خوب نامیده می‌شوند، وجود دارد. یک ماده نساجی باید حداقل UPF برابر با ۱۵ داشته باشد تا به عنوان محافظ UV درجه بندی شود.

جدول ۲ مقادیر فاکتور UPF فیلم‌های چند لایه نانو TiO_2 رسوب داده شده بر روی پارچه‌های پنبه‌ای را نشان می‌دهد که از اسپکتروسکوپی UV–visible بر طبق روش تست استاندارد AS/NZS 4399:1996 بدست آورده شده‌اند. دوام عمل محافظت در برابر UV فیلم‌های چند لایه رسوب داده شده بر روی پارچه‌ای پنبه‌ای کاتیونی شده با فرآیند LbL در برابر شستشوهای مکرر خانگی با انجام ۱۰ و ۲۰ بار شستشو در دمای ۴۰ درجه سانتیگراد برای مدت ۳۰ دقیقه ارزیابی شد. رسوب فیلم ۱۶ لایه تمام پارچه‌ها، محافظت در برابر UV عالی را نشان داد. برای پارچه‌های رسوب داده شده با با فیلم ۱۶ لایه نانو PU/TiO_2 و TiO_2/PDDA، مقادیر UPF +۵۰ (محافظت عالی) بدست آورده می‌شود. پس از رسوب فیلم چند لایه PSS/TiO_2، پایین‌ترین درجات UPF بدست آورده شدند.

این نتایج با نتایج SEM و ATR–FTIR همخوانی دارد، زیرا با پارچه‌های رسوب داده شده با فیلم چند لایه PSS/TiO_2، کمترین مقدار نانو TiO_2 در تصاویر SEM و کمترین شدت در پیک جذبی حدود $450\ cm^{-1}$ در طیف‌های ATR–FTIR بدست آورده شدند. در تشکیل فیلم‌های چندلایه PU/TiO_2 و PSS/TiO_2، دیسپرسیون نانوذرات TiO_2 نقش کاتیونیک دارد. این نتایج نشان داد که رسوب لایه TiO_2 آنیونیک یا کاتیونیک در مقادیر درجه UPF تاثیر ندارد و نکته مهم، بدست آوردن نیروهای اتصال الکترواستاتیک بین نانو TiO_2 و پلی الکترولیت/ نانو دیسپرسیون می‌باشد. می‌توان نتیجه گرفت که اگرچه انتقال UV پس از ۱۰ و ۲۰ سیکل شستشو کمی افزایش می‌یابد، اما درجه محافظت در برابر UV برای پارچه‌های رسوب داده شده با فیلم چند

جدول ۳. مقادیر UPF درجه بندی شده پارچه‌های پنبه‌ای کاتیونی شده رسوب داده شده با PSS/TiO_2، نانو PU/TiO_2 و TiO_2/PDDA ۱۰ و ۱۶ لایه

	Air permeability ($l/m^2/s$)	Whiteness value (Stensby, D65)
Untreated fabric	56.68	85.54
Nano PU/TiO_2 10 layer	43.32	80.95
Nano PU/TiO_2 16 layer	38.85	79.12
PSS/TiO_2 10 layer	42.27	78.70
PSS/TiO_2 16 layer	31.38	70.13
TiO_2/PDDA 10 layer	45.84	78.59
TiO_2/PDDA 16 layer	39.08	73.04

جدول۳. مقادیر نفوذپذیری هوا و سفیدی پارچه‌های پنبه‌ای عمل نشده، پارچه‌های پنبه‌ای رسوب داده شده با PSS/TiO_2، نانو PU/TiO_2 و $TiO_2/PDDA$ ۱۰ و ۱۶ لایه

	Air permeability ($l/m^2/s$)	Whiteness value (Stensby, D65)
Untreated fabric	56.68	85.54
Nano PU/TiO_2 10 layer	43.32	80.95
Nano PU/TiO_2 16 layer	38.85	79.12
PSS/TiO_2 10 layer	42.27	78.70
PSS/TiO_2 16 layer	31.38	70.13
$TiO_2/PDDA$ 10 layer	45.84	78.59
$TiO_2/PDDA$ 16 layer	39.08	73.04

لایه هنوز هم ثابت باقی نگه داشته می‌شود.

نفوذپذیری هوا و مقادیر سفیدی پارچه‌ها

هدف فرآیند LbL، اصلاح سطح مواد نساجی برای مشخصات عاملی بدون تغییر در وزن، حجمف و مشخصات راحتی ماده می‌باشد. مقادیر نفوذپذیری هوا و سفیدی پارچه‌های عمل نشده و عمل شده‌برای مشاهده تغییر در عملکردهای پارچه پس از فرآیند LbL مورد ارزیابی قرار گرفتند. جدول ۳ مقادیر نفوذپذیری هوا و مقادیر سفیدی بر طبق شاخص Stensby پارچه‌های عمل نشده و رسوب داده شده با فیلم چند لایه را نشان می‌دهد. پس از رسوب فیلم چند لایه بر روی الیاف پنبه‌ای، مقادیر نفوذپذیری هوا کاهش می‌یابد. بررسی‌های نفوذپذیری هوا نشان داد که با افزایش در تعداد لایه، مقادیر نفوذپذیری هوا پارچه‌ها کاهش می‌یابد. این نتایج، حضور لایه‌های رسوب داده شده بر روی لیف پنبه را بررسی کردند. به طور مشابه، مقدار سفیدی پارچه‌ها با افزایش لایه‌ها، کاهش می‌یابد.

مقاومت پارگی پارچه‌ها

۲۰ نخ تار و پود از پارچه‌های پنبه‌ای عمل نشده، کاتیونی شده، و رسوب داده شده با فیلم چند لایه برای آزمون کششی برای تعیین اثر تغییرات مقادیر pH محلول در طول فرآیند LbL با روش‌های غوطه‌وری متناوب انتخاب شدند.

جدول ۴، مقادیر متوسط مقاومت کششی، انحراف معیار نتایج آزمون، نتایج آنالیز آماری ANOVA را نشان می‌دهد. اختلاف آماری چشم‌گیری تنها برای نخ رسوب داده با چند لایه PU/TiO_2 بدست آورده شد. مقاومت‌های کششی با کاتیونی کردن و فرآیند رسوب فلیم ۱۰ لایه کاهش می‌یابند. پس از رسوب فیلم ۱۶ لایه، مقاومت‌های کششی نخ افزایش می‌یابند. اما به طور کلی، می‌توان نتیجه گرفت که تغییرات در مقادیر pH محلول در طول فر آیند LbL با روش‌های غوطه‌وری متناوب تاثیری بر مشخصات کششی نخ‌ها نداشته است.

نتیجه‌گیری

در مجموع، ما امکان تشکیل رسوب فیلم برپایه نانو TiO_2 بر روی پارچه‌های پنبه‌ای بافته شده را نشان دادیم و تصیف کردیم. آماده سازی نمونه‌های پنبه‌ای با ۲، ۳-اپوکسی پروپیل تری متیل آمونیوم کلرید، برای ایجاد بارهای کاتیونیک بر روی الیاف برای شروع تشکیل چند لایه نانوذرات استفاده شد.

با آنالیز ATR-FTIR، بارهای ایجاد شده بر روی الیاف بررسی شدند. ATR-FTIR و SEM حضور فیلم‌های چند لایه بر پایه نانو TiO_2 رسوب داده شده بر روی الیاف پنبه‌ای را نشان دادند. پارچه‌های پوشش داده شده با نانوذرات TiO_2، محافظت در برابر UV نشان دادند که می‌توان به مفید آنها در کاربردهای منسوج محافظ در برابر UV تفسیر کرد.

با فیلم ۱۶ لایه نانو PU/TiO_2 و $TiO_2/PDDA$ رسوب داده شده بر روی پارچه‌های پنبه‌ای کاتیونی شده، مقادیر محافظت در برابر UV عالی بدست آورده شدند. آنالیز UPF نشان داد که با افزایش تعداد لایهف مقادیر UPF بالاتر می‌توان بدست آورد.

نتایج تست‌های مقاومت کششی نشان داد که تغییرات مقادیر pH محلول در طول فرآیند LbL با روش‌های غوطه وری متناوب تاثیری بر مشخصات کششی نخ‌ها نداشته است.

جدول ٤. مقاومت کششی نخ پارچه پنبه عمل نشده، پارچه پنبه رسوب داده شده با PSS/TiO_2، نانو PU/TiO_2 و $TiO_2/PDDA$ ۱۰ و ۱۶ لایه

Fabric groups	Weft yarn tensile strength			Warp yarn tensile strength		
	Mean	Standard deviation	Sig.	Mean	Standard deviation	Sig.
Untreated fabric	0.783	0.098	0.010*	0.817	0.088	0.002*
Cationized fabric	0.777	0.086		0.829	0.090	
Nano PU/TiO_2 10 layer	0.707	0.076		0.736	0.089	
Nano PU/TiO_2 16 layer	0.792	0.083		0.817	0.062	
Untreated fabric	0.783	0.098	0.155	0.817	0.088	0.974
Cationized fabric	0.777	0.086		0.829	0.090	
PSS/TiO_2 10 layer	0.758	0.073		0.825	0.060	
PSS/TiO_2 16 layer	0.821	0.095		0.821	0.095	
Untreated fabric	0.783	0.098	0.602	0.817	0.088	0.335
Cationized fabric	0.777	0.086		0.829	0.090	
$TiO_2/PDDA$ 10 layer	0.751	0.114		0.787	0.077	
$TiO_2/PDDA$ 16 layer	0.787	0.059		0.799	0.042	

*مقادیر میانگین از نظر آماری به طور معناداری در sig کمتر از ۰/۰۵ در مقاومت کششی بین نخ‌های شاهد و عمل شده متفاوت می‌باشند.