

# تکمیل حفاظت در برابر UV و خود پاک کنندگی برای پارچه پنبه‌ای با استفاده از نانوذرات اکسید فلزی

مترجم: امین رضایی

چکیده

عمل حفاظت در برابر UV و خود پاک کنندگی نانوذرات اکسید روی (ZnO) و دی اکسید تیتانیوم (TiO<sub>2</sub>) با بیندر اکریلیک روی پارچه پنبه‌ای با استفاده از روش پد، خشک و پخت کردن مورد ارزیابی قرار گرفت. پیش ماده‌های مختلفی مانند استات روی و تترا کلرید تیتانیوم برای سنتز نانوذرات استفاده شدند. استات روی با استفاده از تکنیک شیمیایی تر و تترا کلرید تیتانیوم با استفاده از تکنیک سل-ژل به نانوذرات تبدیل شدند. سپس نانوذرات سنتز شده با استفاده از آنالیزور اندازه ذرات، پراش سنجی اشعه X، اسپکتروسکوپی مادون قرمز تبدیل فوریه و میکروسکوپی الکترونی پویشی توصیف شدند. پارچه‌های تکمیل شده با نانوذرات ZnO و TiO<sub>2</sub> از نظر خواص حفاظتی در برابر UV، عمل خود پاک کنندگی و خواص فیزیکی مورد آزمایش قرار گرفتند. ثبات شستشویی پارچه‌های عمل شده برای ۵، ۱۰، ۱۵ و ۲۰ سیکل شستشو مورد ارزیابی قرار گرفتند. ارزیابی فعالیت خود پاک کنندگی، با قرار دادن نمونه پارچه‌های قرار گرفته در معرض لکه قهوه ۶٪ برای مدت زمان‌های ۱۲، ۲۴ و ۴۸ ساعت در نور آفتاب انجام شد. نانوذرات ZnO با اندازه ۹ نانومتر با استفاده از استات روی به عنوان پیش ماده و نانوذرات TiO<sub>2</sub> با اندازه ۳۵ نانومتر با استفاده از تترا کلرید تیتانیوم به عنوان پیش ماده به دست آمدند. در مورد حفاظت در برابر UV مشخص شد که پارچه‌های عمل شده با نانوذرات ۳۵ نانومتری مقادیر ضریب حفاظت در برابر UV بهتری را نسبت به پارچه‌های عمل شده با نانوذرات ۹ نانومتری نشان می‌دهد. نانوذرات کوچک‌تر (۹ نانومتری) نتایج بهتری را در رابطه با خود پاک کنندگی نشان می‌دهند. ثبات شستشویی برای حفاظت در برابر UV بین ۲۸ تا ۴۸ سیکل شستشویی قرار داشت.

مقدمه

TiO<sub>2</sub> به منظور حفاظت در برابر UV است. مشاهده شده است که نانوذرات ZnO و TiO<sub>2</sub> از کارایی بالاتری در جذب و پراکندگی امواج UV نسبت به ابعاد بزرگتر آن‌ها برخوردار هستند. این امر به دلیل آن است که نانوذرات دارای سطح در واحد جرم و حجم بیشتری بوده که منجر به کارایی بالا در سد کردن امواج UV می‌شود. یک لایه نازک از ZnO و TiO<sub>2</sub> روی سطح پارچه پنبه‌ای عمل شده شکل می‌گیرد که حفاظت عالی در برابر UV را فراهم می‌کند. TiO<sub>2</sub> یک ماده نیمه رسانا است که با قرار گرفتن در معرض نور UV تبدیل به یک کاتالیست پایه می‌شود که توانایی کشتن باکتری را دارد. نانوذرات ZnO خواص کاتالیست نوری موثری را هنگامی که در معرض نور قرار می‌گیرد فراهم می‌کند و در نتیجه خواص ضد باکتری و خود پاک کنندگی را به منسوجات اضافه خواهد کرد. عملکردهای کاربردی منسوجات که مورد نیاز مصرف کننده هستند شامل فعالیت ضد باکتری، حفاظت در برابر UV، خود پاک کنندگی و آزادسازی چرک می‌شوند. میکروب‌ها و باکتری‌ها، ویروس و قارچ‌ها خطرناک‌ترین عوامل برای انسان به وجود می‌آورند. جلوگیری از ۹۰٪ از موردهای سرطان پوست با حفاظت در برابر نور خورشید قابل دستیابی است. نانوذرات ZnO و TiO<sub>2</sub> اغلب در محدوده نور UV افزایش سطح پیدا کرده و خواص جذبی بیشتری را نشان می‌دهند. این اشعه از ۳ دسته با نام‌های UV-A، UV-B و UV-C تشکیل شده است که محدوده آن‌ها به ترتیب بین ۴۰۰-۳۲۰ نانومتر، ۳۲۰-۲۹۰ نانومتر و ۲۹۰-۱۰۰ نانومتر قرار دارد. پرتو UV-C به طور کامل توسط لایه ازن جذب می‌شود. با این حال، UV-A و UV-B به سطح زمین رسیده و موجب مجموعه‌ای از مشکلات، به خصوص سرطان پوست، آفتاب سوختگی، پیر شدن پوست، جوش زدن، قرمز شدن پوست، آسیب

نانو فناوری به خوبی برای کاربردهای تجاری محصولات مختلف مورد استفاده قرار گرفته است. نانو فناوری در نساجی نیز اهمیت خود را در فرآوری و تکمیل محصولات نساجی به منظور افزایش یا ایجاد خواص جدید به دست آورده است. در سال‌های اخیر منسوجات کاربردی با خواصی مانند ضد میکروبی، حفاظت در برابر UV، فعالیت خود پاک کنندگی، ضد تشعشع، مقاوم در برابر حشرات و دارای رایحه توجه زیادی را به خود جلب کرده‌اند. بنابراین، امروزه طیف گسترده‌ای از نانوذرات و نانو ساختارها روی الیاف به کار می‌روند که خواص جدیدی را به محصول نهایی اضافه می‌کنند. یکی از روش‌های بهبود خاصیت حفاظت در برابر UV، فعالیت ضد میکروبی و خود پاک کنندگی پارچه‌ها پوشش دادن سطح آن‌ها با نانوذرات است. پوشش دادن سطح منسوجات با نانوذرات اکسیدهای فلزی به دلیل مزایای ویژه آن‌ها اخیراً اهمیت بیشتری پیدا کرده است. خواص چندگانه‌ای مانند حفاظت در برابر UV، ضد میکروبی، آزادسازی چرک و خود پاک کنندگی از طریق پوشش‌های نانو قابل دستیابی است. نانوذرات ZnO و TiO<sub>2</sub> توانایی ایجاد خاصیت خود پاک کنندگی روی منسوجات را دارند. اکسید روی، دی اکسید تیتانیوم، سولفید روی، اکسید تنگستن، تیتانات استرونتیوم و هماتیت جزء مواد کاتالیست نوری هستند. در یک سیستم کاتالیز نوری نا همگن، ذرات نیمه رسانا که در تماس نزدیکی با یک محیط واکنشی مایع یا گاز هستند، زمانیکه در معرض نور قرار گیرند به حالت برانگیخته رفته و واکنش‌های بعدی مانند اکسایش-کاهش و تغییر شکل‌های مولکولی را آغاز می‌کنند. TiO<sub>2</sub> چنین ماده‌ای است که به شکل بلوری با نام‌های روتیل، آتاتاز و بروکیت وجود دارد. یکی از مهمترین محدوده‌های کاربرد اکسیدهای نیمه رسانا مانند ZnO



استفاده از تجهیزات آسیاب میکرو تولید شد. بازده این عمل ۳۶٪ بود.

## ۲-۲- سنتز نانوذرات $TiO_2$ (روش ۲)

تترا کلرید تیتانیوم برای آماده‌سازی محلول اولیه با اضافه کردن آمونیاک ۱ مولار به صورت قطره‌ای هیدرولیز شد که در آن غلظت تیتانیوم ۵/۴۵ مولار بود. در حین واکنش، ابتدا یک‌های زرد  $TiO(OH)_2$  تشکیل شدند که سپس در آمونیاک اضافه شده حل شده و یک محلول آبی شکل گرفت. این محلول اولیه حالت پایدار خود را بدون ته نشینی در دمای اتاق حتی بعد از گذشت ۵ ماه حفظ کرد. در نهایت، محلول آمونیاک با غلظت ۴/۵ مولار به این محلول اولیه اضافه شد تا یک محلول شفاف با غلظت‌های متفاوت  $Ti^{4+}$  حاصل شود. این محلول در داخل رآکتور ریخته شد و در آن با دمای  $^{\circ}C$  ۹۰ قرار گرفت تا رسوب دهد. رسوب‌های  $TiO_2$  مکرراً با آب مقطر شسته شد و در دمای  $^{\circ}C$  ۸۰ به مدت ۶ ساعت خشک شد.

## ۳-۳- تشخیص نانوذرات

نانوذرات به دست آمده از نظر اندازه، شکل، ساختار فیزیکی و شیمیایی با استفاده از تکنیک‌هایی که در ادامه گفته می‌شود مورد ارزیابی قرار گرفتند.

## ۳-۱- پراش پرتو X

بلورینگی نانوذرات توسط XRD و با استفاده از دستگاه SHIMADZU - XRD 6000 advanced X-rays Diffractometer مجهز شده به اشعه  $Cu K\alpha$  با  $\lambda = 1.5406 \text{ \AA}$  و ولتاژ به کار رفته ۳۰ کیلوولت و جریان ۳۰ میلی آمپر تعیین شد. نانوذرات خشک شده به صورت پودر در محفظه نگهدارنده نمونه از جنس پلکسی گلاس قرار گرفتند و طرح XRD در زوایای  $^{\circ}80-10$  با سرعت اسکن  $^{\circ}5$  بر دقیقه، گام نمونه  $^{\circ}0.2$  و زمان از پیش تنظیم شده  $0.24$  ثانیه ثبت شد. قطرهای مناطق بلوری (D) با استفاده از پیک‌های XRD و بر اساس معادله Debye-Scherrer که در ذیل مشاهده می‌شود به دست آمد:

$$D = \frac{0.89 \times \lambda}{\Delta W \times \cos \theta} \quad (1)$$

که در آن  $\lambda$ ، طول موج اشعه X ( $1.5406 \text{ \AA}$  برای  $Cu K\alpha$ )،  $\theta$ ، زاویه پراش براگ؛ و  $\Delta W$  عرض کامل خط طرح اشعه X در ارتفاع وسط پیک بر حسب رادیان است.

## ۳-۲- اسپکتروسکوپی مادون قرمز تبدیل فوریه (FTIR)

اسپکتروفتومتر SHIMADZU - FTIR 8400S با محدوده طیفی  $cm^{-1}$  ۴۰۰-۴۰۰۰ مورد استفاده قرار گرفت. طیف با قدرت

چشمی و آسیب رسیدن به DNA می‌شوند. دی اکسید تیتانیوم کاتالیست نوری که در معرض نور قرار گیرد، رفتار آبدوستی فوق العاده‌ای را نشان می‌دهد که به باقی‌مانده‌های چرک و کثیفی تجزیه شده روی سطح اجازه می‌دهد تا به آسانی شسته شوند. در این کار، دو مجموعه از پیش ماده‌هایی مانند استات روی و تترا کلرید تیتانیوم به ترتیب با تکنیک‌های شیمیایی تر و سل-ژل به صورت نانوذرات سنتز شدند. نانوذرات سنتز شده سپس با استفاده از FTIR، XRD، PSA و SEM مورد ارزیابی قرار گرفتند. این نانوذرات سپس با استفاده از روش پد، خشک و پخت کردن روی نمونه‌های پارچه پنبه‌ای به کار گرفته شدند. سپس، نمونه‌های عمل شده از لحاظ UPF و فعالیت خود پاک کنندگی مورد آزمایش قرار گرفتند. نمونه‌های عمل شده از نظر ثبات شستشویی نیز مورد آزمایش قرار گرفتند.

## مواد و روش‌ها

### ۱- مواد

پارچه پنبه‌ای سفیدگری شده با بافت ساده با نخ‌های تار و پود نمره Ne ۴۰ (۱۴/۸ تکس)، تعداد ۳۸ تار و ۳۸ پود در سانتی‌متر و با وزن در متر مربع ۱۱۸ گرم خریداری و مورد استفاده قرار گرفت. استات روی از M/s Fisher Thermo electron LLS India (P) Ltd, Mumbai و دانسیته  $1.726 \text{ gcm}^{-3}$  از Scientific M/s. Hi-media Laboratories (P) از  $1.726 \text{ gcm}^{-3}$  و تترا کلرید تیتانیوم با جرم مولکولی  $1.89679 \text{ gmol}^{-1}$  از Scientific M/s. Hi-media Laboratories (P) از  $1.726 \text{ gcm}^{-3}$  و Lissapol-N غیر یونی به عنوان سطح فعال برای دیسپرس کردن نانوذرات در بیندر اکریلیک (Texacryl binder SLN) استفاده شد. آب دیونیزه شده برای هیدرولیز اکسید روی و دی اکسید تیتانیوم و برای تهیه محلول استفاده شد.

### ۲- روش‌ها

دو پیش ماده استات روی و تترا کلرید تیتانیوم برای سنتز نانوذرات ZnO و  $TiO_2$  به وسیله روش‌های شیمیایی تر و سل-ژل مورد استفاده قرار گرفت.

## ۲-۱- سنتز نانوذرات ZnO (روش ۱)

سنتز نانوذرات ZnO با استفاده از پیش ماده استات روی و حل کردن آن در ۱۲۰ میلی‌لیتر  $H_2O_2$  (۳٪، محلول آبی حجمی / حجمی) انجام شد. pH محلول با استفاده از آمونیاک رقیق روی ۱۰/۰ تنظیم شد. محلول به دست آمده در دمای  $^{\circ}C$  ۱۰۰ و به مدت ۱۲ ساعت رفلاکس شد. نانو کریستال‌های ZnO تشکیل شده در این مرحله تا دمای اتاق سرد شده و تحت سیکل‌های تکراری شستشو و سانتریفیوژ قرار گرفت (۲۰ دقیقه در سرعت ۱۱۰۰ دور در دقیقه). ماده به دست آمده در دمای  $^{\circ}C$  ۸۰ و به مدت ۳ ساعت خشک شد و پودر نانوی ZnO با



زیر استفاده شد:

$$UPF = \frac{\sum_{\lambda=280}^{400} EA \times SA \times \Delta\lambda}{\sum_{\lambda=280}^{400} (EA \times SA \times TA \times \Delta\lambda)} \quad (2)$$

که  $E\lambda$ ، اثر نسبی طیف تابشی؛  $S\lambda$ ، طیف انرژی خورشیدی تشعشع مادون قرمز بر حسب  $Wm^{-2} nm^{-1}$ ؛  $T\lambda$ ، طیف انتقال به دست آمده از اسپکتروفتومتر برای نمونه؛ و  $\Delta\lambda$ ، پهناى باند بر حسب نانومتر است.

### ۶- عمل خود پاک کنندگی

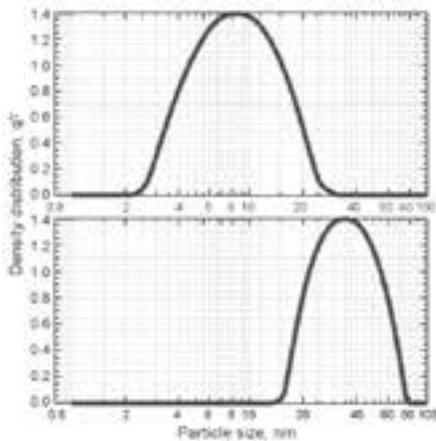
عمل خود پاک کنندگی پارچه پنبه‌ای عمل شده با  $ZnO$  و  $TiO_2$  با قرار دادن نمونه‌های حاوی لکه قهوه در معرض نور مرئی مورد بررسی قرار گرفت. محلول قهوه ۶٪ روی پارچه ریخته شده و اجازه پخش شدن به آن داده شد. نصف هر لکه به مدت ۴۸-۱۲ ساعت در معرض نور خورشید قرار گرفت در حالیکه نصف دیگر آن با پارچه مشکی پوشانده شد. این دو قسمت از نظر عمل خود پاک کنندگی با یکدیگر مقایسه شدند. دستگاه Premier colour scan SS 5100A Spectrophotometer برای اندازه‌گیری تجزیه نوری لکه قهوه استفاده شد. عمل خود پاک کنندگی با مقایسه مقادیر K/S دو بخش از لکه به صورت زیر تعیین شد:

$$\% \text{ کاهش K/S نمونه در معرض نور قرار گرفته} = \frac{(K/S)_{unexposed} - (K/S)_{exposed}}{(K/S)_{unexposed}} \times 100 \quad (3)$$

که در آن K میزان جذب و S میزان پراکندگی است.

### ۷- تست ثبات شستشویی

ثبات شستشویی نانوذرات  $ZnO$  و  $TiO_2$  روی پارچه بر اساس استاندارد AATCC 61(1996) no.2A و با استفاده از دستگاه LEF Atlas laundry-O-meter انجام شد.



شکل ۱، آنالیز اندازه ذرات (a) نانوذرات  $ZnO$  ( $Z_1$ ) و (b) نانوذرات  $TiO_2$  ( $T_1$ )

تفکیک  $cm^{-1} 10^3-9$  جمع‌آوری و به صورت نسبت اسکن‌های تک پرتو به همین تعداد اسکن‌های پس زمینه در KBr خالص اعلام شد. KBr به صورت پودر در آمد و با نمونه‌ها مخلوط شد (۲٪ وزنی / وزنی).

### ۳-۳- آنالیزهای اندازه ذرات (PSA)

توزیع اندازه نانوذرات با استفاده آنالیزور اندازه ذرات تعیین شد. اندازه نانوذرات از طریق PSA و با استفاده از دستگاه Sympatec (P 0143) GmbH, NANOPHOX به دست آمد. شرایط اندازه‌گیری شامل زمان ۱۵/۱۰ ثانیه، دمای  $27^\circ C$ ، توان لیزر ۷۵٪ و محدوده محاسبه ۱-۱۰۰۰ نانومتر بود.

### ۳-۴- میکروسکوپی الکترونی پویشی (SEM)

نمونه‌های پارچه عمل شده با نانوذرات به کمک نوار چسب دوطرفه روی محل خود قرار گرفته، با روکشی از طلا پوشانده شده و در نهایت با استفاده از میکروسکوپ الکترونی پویشی (JEOL-JSM-6360) مورد آزمایش قرار گرفتند.

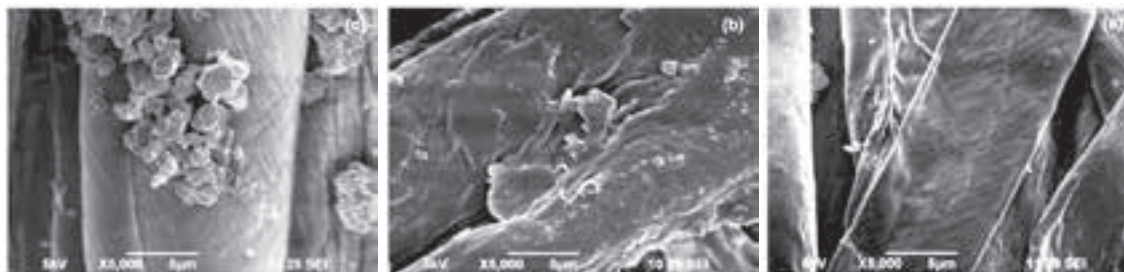
### ۴- پوشش پارچه به وسیله نانوذرات

قبل از پوشش دادن، پارچه در دمای  $100^\circ C$  به مدت ۵ دقیقه در آون خشک شد تا رطوبت محتوی آن از بین برود. پارچه پنبه‌ای به مدت ۱ دقیقه در نانو محلول با ۵٪ بیندر اکریلیک در یک دستگاه پد آغشته شد.

پارچه‌ها با محلول‌هایی با غلظت‌های مختلف مانند ۱۰٪، ۱۵٪ و ۲٪ عمل شدند. نانو محلول اکسید روی و دی اکسید تیتانیوم به طور جداگانه و با روش پد، خشک و پخت کردن روی پارچه عمل شدند. نانوذرات با استفاده از یک دستگاه پد آزمایشگاهی با سرعت ۱۵ m/min و فشار  $15 kg/cm^2$  به طور یکنواخت روی پارچه را پوشش دادند. بعد از پد کردن، پارچه در دمای  $70^\circ C$  به مدت ۵ دقیقه خشک و در دمای  $120^\circ C$  به مدت ۳ دقیقه پخت شد.

### ۵- ضریب حفاظت در برابر UV (UPF)

روش In-vitro برای ارزیابی حفاظت در برابر UV پارچه پنبه‌ای مطابق با استاندارد AATCC-183 (۲۰۰۴) استفاده شد. در این روش انتقال یا انسداد اشعه UV از پارچه با اسپکتروفتومتر UV-VIS (Varian, Cary 5000) محاسبه می‌شود. طیف‌های UV به دست آمده برای نمونه‌های عمل نشده و نمونه‌های عمل شده با نانوذرات با یکدیگر مقایسه شده و کارایی حفاظت در برابر UV با اندازه‌گیری حفاظت، انتقال و بازتاب UV ارزیابی شد. هر اندازه‌گیری میانگینی از ۴ اسکن به دست آمده با چرخش  $90^\circ$  نمونه است. داده‌های انتقال برای محاسبه UPF بر اساس معادله



شکل ۲، تصاویر SEM (a) نمونه عمل نشده، (b) نمونه عمل شده با نانوذرات  $Z_1$  و (c) نمونه عمل شده با نانوذرات  $T_1$

## ۸- تست خواص فیزیکی پارچه‌ها

خواص فیزیکی پارچه‌های پنبه‌ای مانند وزن پارچه (ASTM D3776:2009)، ضخامت (ASTM D1777:2007)، بازگشت از چروک (AATCC 66:2008)، ضریب پوشش (ASTM D6193:92/2004)، استحکام کششی و ازدیاد طول (ASTM D5035:2006)، نفوذپذیری (ASTM D737:2008)، استحکام پارگی (ASTM D1424:2009) و شاخص سفیدی (ASTM E 313) (1998) برای هر دو دسته نمونه‌های عمل شده و عمل نشده بعد از قرار دادن آن‌ها به مدت ۲۴ ساعت در رطوبت نسبی ۶۵٪ و دمای ۲۰°C ± ۲٪ ارزیابی شد.

## ۱-۲- پراش پرتو ایکس (XRD)

طیف نگاشت پراش پرتو ایکس (XRD) از نانوذرات  $ZnO$  پیک‌های مشخص  $ZnO$  را به ترتیب در ۳۷/۱۱ (۱۰۰)، ۴۳/۳۱ (۱۰۱)، ۶۲/۴۶ (۲۲۰)، ۶۶/۲۳ (۱۱۰) و ۷۵/۰ (۳۱۱) نشان می‌دهد. طیف نگاشت پراش پرتو ایکس (XRD) از نانوذرات  $TiO_2$  پیک‌های مشخص  $TiO_2$  را به ترتیب در ۲۹/۹۱ (۱۰۱)، ۴۷/۸۷ (۱۱۱)، ۵۶/۹۴ (۲۰۰) و ۷۴/۷۹ (۱۰۲) نشان می‌دهد. مشاهده پیک‌های مشابه  $ZnO$  و  $TiO_2$  نشان دهنده تشکیل نانوذرات به شکل آناز است. طرح XRD به دست آمده برای نانوذرات  $ZnO$  و  $TiO_2$  نشان دهنده پیک‌های تیزی است. این بدان معنی است که نانوذرات  $Z_1$  و  $T_1$  بیشتر بلوری هستند.

## نتایج و بحث

### ۱- مشخصات نانوذرات $ZnO$ و $TiO_2$

نتایج آنالیزها و تفاسیر آزمایش‌های مختلف برای تعیین مشخصات نانوذرات سنتز شده  $ZnO$  ( $Z_1$ ) و  $TiO_2$  ( $T_1$ ) استفاده شد. این آزمایش‌های تحلیلی شامل آنالیزور اندازه ذرات (PSA)، پراش پرتو ایکس (XRD)، اسپکتروسکوپی مادون قرمز تبدیل فوریه (FTIR) و میکروسکوپی الکترونی پویشی (SEM) بودند.

### ۱-۳- اسپکتروسکوپی مادون قرمز تبدیل فوریه (FTIR)

طیف FTIR به وضوح نشان دهنده نوار جذبی  $ZnO$  و  $TiO_2$  در نزدیکی  $440\text{ cm}^{-1}$  و  $482\text{ cm}^{-1}$  است. طیف FTIR نمونه عمل نشده هیچ پیکی در  $440\text{ cm}^{-1}$  و  $482\text{ cm}^{-1}$  نشان نداد که وجود  $ZnO$  و  $TiO_2$  در نمونه‌های عمل شده را تأیید می‌کند. پیک‌های  $3450\text{ cm}^{-1}$ ،  $3350\text{ cm}^{-1}$  و  $3000\text{ cm}^{-1}$  نشان دهنده حضور گروه‌های  $-OH$  و  $C=O$  هستند که احتمالاً به ترتیب به دلیل رطوبت و  $CO_2$  موجود در اتمسفر است.

### ۱-۱- آنالیزور اندازه ذرات (PSA)

توزیع اندازه ذرات  $ZnO$  و  $TiO_2$  سنتز شده با استفاده از PSA تعیین شد که در شکل‌های (a) و (b) مشاهده می‌شود. نانوذرات اکسید روی با اندازه ۹ میلی‌متر ( $Z_1$ ) از سنتز پیش ماده استات روی در دمای ۱۰۰°C و نانوذرات دی اکسید تیتانیوم با اندازه ۳۵ میلی‌متر ( $T_1$ ) از سنتز پیش ماده تترا کلرید تیتانیوم در دمای ۳۰°C به دست آمد. توزیع دانسیته برای پیک ماکزیمم برابر ۱/۴ است.

### ۱-۴- میکروسکوپی الکترونی پویشی (SEM)

شکل ۲ (a) تصاویر SEM پارچه پنبه‌ای عمل نشده را نشان می‌دهد. شکل‌های (b) و (c) نشان دهنده نانوذرات  $ZnO$  و  $TiO_2$  روی نمونه‌های پارچه پنبه‌ای است. نانوذرات در هر دو مورد به خوبی روی سطوح الیاف پخش شده و جا گرفته‌اند. مشاهده می‌شود که نانوذرات  $Z_1$  یکنواخت‌تر از نانوذرات  $T_1$  روی سطح پارچه پخش شده‌اند که به

جدول ۱- مقادیر UPF پارچه پنبه‌ای

نمونه عمل شده	نمونه کنترل		مقادیر UPF					
	UV-A	UV-B	UV-A			UV-B		
			٪۱	٪۱/۵	٪۲	٪۱	٪۱/۵	٪۲
$Z_1$	۱/۵۴	۱/۶	۳۰/۶۲	۳۲/۶	۳۳/۸	۳۱/۸۳	۳۳/۷	۳۵/۲
$T_1$	۱/۵۴	۱/۶	۳۵/۸	۲۸/۶	۳۹/۰	۳۶/۶	۳۸/۷	۳۹/۸



جدول ۲، مقادیر UPF پارچه‌ها بعد از شستشوی مکرر

نمونه عمل شده	نمونه عمل نشده	مقادیر UPF														
		قبل از شستشو			بعد از ۵ بار شستشو			بعد از ۱۰ بار شستشو			بعد از ۱۵ بار شستشو			بعد از ۲۰ بار شستشو		
		۱٪	۱/۵٪	۲٪	۱٪	۱/۵٪	۲٪	۱٪	۱/۵٪	۲٪	۱٪	۱/۵٪	۲٪	۱٪	۱/۵٪	۲٪
Z <sub>1</sub>	۱/۶	۳۱/۲	۳۳/۱	۳۴/۵	۳۰/۲	۳۱/۹	۳۳/۳	۲۹/۱	۳۰/۸	۳۲/۲	۳۳/۷	۲۵/۱	۲۶/۲	۱۷/۸	۱۸/۸	۱۹/۶
SD (Z <sub>1</sub> )	۰/۱۸۴	۰/۶۷۸	۰/۵۷۰	۰/۶۰۴	۰/۶۵۲	۰/۵۸۳	۰/۵۷۰	۰/۵۶۱	۰/۵۱۵	۰/۳۵۴	۰/۴۶۹	۰/۳۳۲	۰/۳۲۴	۰/۵۷۹	۰/۵۵۲	۰/۶۴۰
T <sub>1</sub>	۱/۶	۳۶/۲	۳۸/۶	۳۹/۴	۳۲/۲	۳۴/۴	۳۵/۰	۲۷/۷	۲۹/۶	۳۰/۱	۱۹/۴	۲۰/۷	۲۱/۰	۹/۹	۱۰/۵	۱۰/۷
SD (T <sub>1</sub> )	۰/۱۸۴	۰/۴۴۲	۰/۵۷۹	۰/۵۴۸	۰/۴۸۵	۰/۵۶۱	۰/۳۵۴	۰/۶۴۰	۰/۳۳۹	۰/۴۳۰	۰/۵۳۹	۰/۴۶۴	۰/۲۹۲	۰/۴۴۷	۰/۳۶۷	۰/۳۱۶

است. نتایج همچنین نشان می‌دهد که کارایی تکمیل با افزایش تعداد سیکل‌های شستشو کاهش می‌یابد.

تعداد شستشوی پیش‌بینی شده برای رسیدن به مقدار UPF نمونه عمل نشده (۱/۶) برای پارچه‌های عمل شده با نانوذرات Z<sub>1</sub> برای سطوح غلظت ۱٪، ۱/۵٪ و ۲٪ برابر با ۴۸ و برای پارچه‌های عمل شده با نانوذرات T<sub>1</sub> برای سطوح غلظت ۱٪، ۱/۵٪ و ۲٪ برابر با ۲۸ بود. جدول ۳ همبستگی خوبی در نانوذرات Z<sub>1</sub> و T<sub>1</sub> را برای UPF با داشتن مقادیر R<sub>2</sub> بین ۰/۸۷۸ و ۰/۹۶۴ با معادله  $y = -0.738x + 36.54$  تا  $y = -1.428x + 41.52$  نشان می‌دهد که ارتباط ناچیز بین سطوح غلظت ۱٪، ۱/۵٪ و ۲٪ را مشخص می‌کند.

### ۲-۲- ارزیابی عمل خود پاک کنندگی پارچه عمل شده با ZnO و TiO<sub>2</sub>

خاصیت خود پاک کنندگی نمونه عمل شده با ZnO بر پایه تولید مواد واسطه با قابلیت اکسید کنندگی بالا در سطح پنبه است. مقادیر K/S (ضریب جذب به ضریب پراکندگی) بخش نوردهی شده از نمونه و بخشی که در معرض نور قرار نگرفته است بعد از ۱۲، ۲۴، ۴۸ ساعت محاسبه شدند. مقایسه مقادیر K/S نمونه‌های مختلف در شکل ۳ مشاهده می‌شود. درصد کاهش در مقدار K/S برای تعیین فعالیت خود پاک کنندگی دو بخش مورد نظر از نمونه محاسبه شد. نرخ تجزیه لکه قهوه در ۱۲ ساعت اولیه نوردهی بیشتر است. در نمونه‌های عمل شده، تغییری در خواص پارچه پنبه‌ای تا ۴۸ ساعت نوردهی مشاهده نشد. نانوذرات با اندازه کوچکتر به دلیل داشتن سطح بیشتر فعالیت خود پاک کنندگی عالی را نشان می‌دهند. نمونه‌های عمل شده با نانوذرات Z<sub>1</sub> فعالیت خود پاک کنندگی بهتری را نسبت به نمونه‌های عمل شده با نانوذرات T<sub>1</sub> نشان می‌دهند.

### ۳- خواص فیزیکی پارچه‌های عمل شده و عمل نشده

خواص فیزیکی نمونه‌های عمل شده و عمل نشده با استفاده از استانداردهای AATCC و ASTM آنالیز شد که نتایج آن در جدول ۴ آمده است. پارچه‌ها در تمام خواص اصلی مانند وزن پارچه، ضخامت،

دلیل اندازه کوچکتر ذرات آن‌ها است. اندازه ذرات نقش مهمی در تعیین میزان چسبندگی آن‌ها به الیاف دارند. منطقی است که انتظار داشته باشیم توده ذرات بزرگتر به آسانی از سطح الیاف جدا شوند در حالیکه ذرات کوچکتر بیشتر نفوذ کرده و محکم‌تر به پارچه می‌چسبند.

### ۲- ضریب حفاظت در برابر UV (UPF)

جدول ۱ مقادیر UPF را برای هر دو پارچه در برابر اشعه UV-A (۳۲۰-۴۰۰ نانومتر) و UV-B (۲۹۰-۳۲۰ نانومتر) نشان می‌دهد. نتایج مقادیر UPF نشان می‌دهد که پارچه عمل شده دارای حفاظت در برابر UV بهتری نسبت به نمونه عمل نشده است. نمونه نوع T<sub>1</sub> مقادیر UPF بهتری را نسبت به نمونه نوع Z<sub>1</sub> نشان می‌دهد. بر اساس تئوری پراکندگی رایلی، پراکندگی نور با توان چهارم طول موج نسبت عکس دارد. اندازه ذرات بهینه برای پراکندگی تشعشع بین ۴۰-۱۵ نانومتر محاسبه شده است. این به وضوح نشان می‌دهد که نانوذرات با اندازه نزدیکتر به ۴۰-۲۰ نانومتر پراکندگی بهتری را برای تشعشعات UV نشان می‌دهند. از این رو، مقدار ضریب حفاظت در برابر UV برای T<sub>1</sub> بیشتر از Z<sub>1</sub> است.

### ۲-۱- مقدار UPF برای شستشوی مکرر

نتایج آزمایشات حفاظت در برابر UV برای اولین استفاده و بعد از ۵، ۱۰، ۱۵ و ۲۰ بار شستشو در جدول ۲ آمده است. نتایج نشان می‌دهد که مقادیر UPF برای تمام نمونه‌های عمل شده بهتر از نمونه عمل نشده

جدول ۲، مقادیر UPF پارچه‌ها بعد از شستشوی مکرر

مقدار R <sub>2</sub>	معادله	غلظت، %	نانوذرات
۰/۸۷۹	$y = -0.666x + 33.06$	۱	Z <sub>1</sub>
۰/۸۸۱	$y = -0.708x + 35.02$	۱/۵	
۰/۸۷۸	$y = -0.738x + 36.54$	۲	
۰/۹۶۳	$y = -1.308x + 38.16$	۱	T <sub>1</sub>
۰/۹۶۲	$y = -1.398x + 40.74$	۱/۵	
۰/۹۶۴	$y = -1.428x + 41.52$	۲	



جدول ۴، خواص فیزیکی پارچه‌های عمل شده و عمل نشده

خاصیت	پارچه عمل نشده	پارچه عمل شده					
		Z <sub>1</sub>			T <sub>1</sub>		
		%۱	%۵/۱	%۲	%۱	%۵/۱	%۲
وزن پارچه، g/m <sup>2</sup>	۱۱۸±۲/۰۶۵	۱۱۸/۴±۱/۸۴۷	۱۱۹/۴±۲/۱۰۱	۱۲۰/۶±۱/۹۸۹	۱۱۸/۱±۲/۱۱۴۹	۱۱۹/۲±۲/۱۲۰	۱۲۰/۱±۲/۵۸۰
ضخامت پارچه، mm	۰/۱۶۸±۰/۰۰۳	۰/۱۷۴±۰/۰۰۴	۰/۱۷۶±۰/۰۰۴	۰/۱۷۷±۰/۰۰۴	۰/۱۷۶±۰/۰۰۴	۰/۱۷۷±۰/۰۰۴	۰/۱۷۸±۰/۰۰۳
زاویه بازگشت از چروک، °							
تار	۶۸/۵±۱/۲۰۰	۷۰/۵±۱/۳۳۲	۷۱/۰±۱/۴۹۱	۷۱/۴±۱/۵۷۱	۷۰/۸±۱/۴۸۶	۷۱/۸±۱/۵۷۹	۷۱/۶±۱/۴۱۷
پود	۶۲/۳±۱/۰۹۰	۶۴/۳±۱/۲۷۳	۶۴/۸±۱/۲۸۳	۶۵/۲±۱/۳۶۹	۶۴/۳±۱/۳۵۰	۶۵/۱±۱/۴۳۲	۶۵/۸±۱/۴۸۰
ضریب پوشش	۰/۵۰۴±۰/۰۱۲	۰/۵۹۰±۰/۰۱۵	۰/۶۰۲±۰/۰۱۴	۰/۶۰۶±۰/۰۱۵	۰/۵۸۱±۰/۰۱۵	۰/۵۹۲±۰/۰۱۴	۰/۵۹۶±۰/۰۱۴
استحکام کششی، kgf							
تار	۶۶/۲۹±۵۹۳/۰	۶۶/۲۹±۶۶۰/۰	۶۸/۲۹±۷۳/۰	۷۲/۲۹±۷۲۵/۰	۶۶/۲۹±۷۱۵/۰	۶۸/۲۹±۶۸۹/۰	۷۱/۲۹±۶۱۸/۰
پود	۲۵/۴۱±۰/۶۳۵	۲۵/۴۱±۰/۵۶۵	۲۵/۴۴±۰/۵۶۳	۲۵/۴۶±۰/۶۱۱	۲۵/۴۲±۰/۵۳۷	۲۵/۴۲±۰/۵۴۴	۲۵/۴۶±۰/۶۲۲
ازدیاد طول، %							
تار	۱۱/۷±۰/۲۹۳	۱۱/۹±۰/۲۷۸	۱۱/۹±۰/۲۷۸	۱۲/۰±۰/۲۷۶	۱۱/۷±۰/۲۵۵	۱۱/۸±۰/۲۴۱	۱۱/۸±۰/۲۵۰
پود	۱۳/۳±۰/۲۹۹	۱۳/۳±۰/۲۸۸	۱۳/۴±۰/۲۶۱	۱۳/۴±۰/۲۳۱	۱۳/۳±۰/۲۷۳	۱۳/۴±۰/۲۸۳	۱۳/۵±۰/۲۶۸
نفوذپذیری، cm <sup>3</sup> /cm <sup>2</sup> /s	۳۷/۴۲±۰/۸۴۲	۳۷/۲۴±۰/۷۸۲	۳۷/۲±۰/۹۰۱	۳۷/۰۸±۰/۸۳۴	۳۷/۱۲±۰/۷۴۲	۳۷/۰۸±۰/۷۴۲	۳۶/۹۴±۰/۷۷۵
استحکام پارگی، kgf							
تار	۱۷/۷±۰/۳۹۸	۱۷/۷±۰/۳۹۱	۱۷/۷±۰/۳۹۱	۱۷/۸±۰/۴۲۱	۱۷/۷±۰/۳۸۹	۱۷/۸±۰/۴۰۹	۱۷/۸±۰/۴۲۳
پود	۱۸/۶±۰/۴۱۸	۱۸/۶±۰/۴۱۸	۱۸/۶±۰/۴۱۶	۱۸/۸±۰/۴۱۶	۱۸/۶±۰/۴۶۲	۱۸/۷±۰/۴۴۱	۱۸/۷±۰/۳۹۳
شاخص سفیدی	۱۰۰	۹۸/۴	۹۸/۲	۹۸/۲	۹۷/۱	۹۶/۸	۹۶/۷

کرده و محکم‌تر به پارچه می‌چسبند. در مورد حفاظت در برابر UV، پارچه‌های عمل شده با نانوذرات TiO<sub>2</sub> که اندازه بزرگتری دارند مقدار UPF بهتری را نسبت به پارچه‌های عمل شده با نانوذرات ZnO که اندازه کوچکتری دارند نشان می‌دهند. در مورد خاصیت خود پاک‌کنندگی، لایه نانوذرات ZnO با اندازه کوچکتر که با استفاده از روش شیمیایی تر ایجاد شده است (Z1) فعالیت بهتری را نسبت به پارچه عمل شده با T1 نشان می‌دهد. خواص فیزیکی و مکانیکی پارچه‌های پنبه‌ای بعد از عمل با ZnO و TiO<sub>2</sub> هیچ تغییری را نشان نمی‌دهد. مقدار UPF پارچه بعد از تکمیل با ZnO و TiO<sub>2</sub> در مقایسه با پارچه عمل نشده به شدت افزایش می‌یابد و بعد از ۱۰ سیکل شستشو نیز خاصیت خود را حفظ می‌کند.

بعد از ۱۵ سیکل شستشو کاهش در مقدار UPF مشاهده شد. نانوذرات ZnO و TiO<sub>2</sub> عمل شده روی پارچه پنبه‌ای نه تنها خواص حفاظتی در برابر UV و خود پاک‌کنندگی را به پارچه‌های عمل شده اضافه کردند، بلکه دو خاصیت کاربردی دیگر یعنی فعالیت ضد میکروبی و آزادسازی چرک را نیز به پارچه افزودند. بنابراین، تکمیل منسوجات با نانوذرات ZnO و TiO<sub>2</sub> امکان انجام تکمیل‌های چند منظوره را با یک فرایند تکمیلی میسر می‌کند.

بازگشت از چروک، ضریب پوشش، استحکام کششی، ازدیاد طول، نفوذپذیری و استحکام پارگی نوسان داشتند. این به دلیل طبیعت ذاتی تغییرات در تعداد تار و پود در اینچ، ضریب پوشش، تعداد الیاف موجود در سطح مقطع نخ و نوسانات ضخامت نخ است. بنابراین، تغییرات مشاهده شده در اندازه‌گیری خواص فیزیکی و مکانیکی پارچه را می‌توان به این نوسانات ربط داد. علاوه بر این، یک کاهش اندک در سفیدی پارچه عمل شده مشاهده شد که اساساً به دلیل آمونیاک اضافه شده است.

#### ۴- نتیجه‌گیری

نانوذرات ZnO و TiO<sub>2</sub> به ترتیب با میانگین اندازه ذرات ۹ نانومتر و ۳۵ نانومتر سنتز شدند. در آنالیزهای FTIR وجود یک نوار جذبی در ۴۴۰ cm<sup>-1</sup> و ۴۸۲ cm<sup>-1</sup> در محصول تکمیل شده نشان دهنده حضور ZnO و TiO<sub>2</sub> در پارچه عمل شده است. در طیف XRD نانوذرات ZnO و TiO<sub>2</sub> حضور پیک‌های تعریف شده نشان دهنده ساختار بلوری است. اندازه ذرات نقش مهمی در تعیین میزان چسبندگی ذرات به الیاف را دارند. مشاهده شد که توده ذرات بزرگتر به آسانی از سطح پارچه جدا می‌شوند در حالیکه ذرات کوچکتر بیشتر نفوذ