

# خواص کالای پلی استری تکمیل شده با نانوذرات ZnO در محیط قلیایی کلسیم هیدروکسید

## Zinc Oxide Nanoparticles Treated Polyester Fabric in Calcium Hydroxide Media

ضحی خندق آبادی<sup>۱</sup>، شیرین نوربخش<sup>۱\*</sup>، مجید منتظر<sup>۲</sup>

۱- تهران، دانشگاه آزاد اسلامی، واحد یادگار امام خمینی (ره)، دانشکده فنی و مهندسی، گروه نساجی، صندوق پستی ۱۴۴-۱۸۱۵۵

۲- تهران، دانشگاه صنعتی امیرکبیر، دانشکده مهندسی نساجی، صندوق پستی ۴۴۱۳-۱۵۸۷۵

تاریخ دریافت: ۹۴/۰۳/۱۴ تاریخ پذیرش: ۹۴/۰۵/۱۹

### چکیده

در این پژوهش، دو فرایند پیش‌قلیا و هم‌زمان قلیا در آبکافت کالای پلی‌استری و در پی آن جذب نانوذرات روی اکسید بررسی شده است. در فرایند پیش‌قلیا ابتدا پارچه پلی‌استر قلیایی شده و سپس نانوذرات روی اکسید در غلظت‌های مختلف بر آن اعمال و در هم‌زمان قلیا هر دو فرایند قلیایی کردن و جذب نانوذرات هم‌زمان انجام شد. میکروسکوپی الکترونی پویشی (SEM)، طیف‌سنجی زیرقرمز تبدیل فوریه (ATR/FTIR) و تجزیه جذب اتمی به ترتیب برای بررسی شکل‌شناسی سطح، تغییرات ساختار شیمیایی و اندازه‌گیری مقدار یون فلز روی استفاده شد. اثر خودتمیزشوندگی با رنگرزی رنگزای آبی متیلن و مجاورت در برابر نور خورشید بررسی شد. زمان جذب قطره آب، طول خمش و خواص ضدباکتری مطابق آزمون‌های استاندارد بررسی شد. براساس نتایج حاصل از SEM در اثر اعمال قلیا، منافذ کوچکی بر سطح الیاف ایجاد شد که مکان مناسبی برای جذب نانوذرات ZnO است. نتایج طیف‌سنجی ATR/FTIR نشان داد، در اثر اعمال قلیا گروه‌های هیدروکسیل و کربوکسیل در زنجیر پلی‌استری ایجاد می‌شود، بنابراین بعضی از نانوذرات ZnO با این گروه‌ها به زنجیر پلی‌استری متصل می‌شوند. در بررسی نتایج جذب اتمی مشخص شد، با افزایش غلظت نانوذرات ZnO و استفاده از روش پیش‌قلیا، یون فلز روی بیشتری جذب پلی‌استر شده و در پی آن مقدار خودتمیزشوندگی، زمان جذب قطره آب، طول خمش و خاصیت ضدباکتری افزایش می‌یابد. نتایج حاصل از این پژوهش نشان داد، در فرایند پیش‌قلیا نانوذرات ZnO به مقدار بیشتری نسبت به فرایند هم‌زمان قلیا جذب پلی‌استر می‌شوند.

### مقدمه

از نانوذرات آن به‌عنوان کاتالیزور می‌توان استفاده کرد. همچنین، روی اکسید در تقویت نانوکامپوزیت‌ها به منظور ارتقای خواص مکانیکی، گرمایی و نوری استفاده می‌شود. افزون بر این، خاصیت مقاومت پوششی و ضدسرخوردگی نیز زیاد می‌شود [۳،۴]. وجود نانوذرات روی اکسید باعث ایجاد خواصی از جمله استحکام بیشتر، نفوذپذیری هوا و خاصیت جذب پرتو فرابنفش بر منسوجات می‌شود. نانوذرات روی اکسید می‌توانند باعث افزایش فعالیت تأخیراندازی شعله شوند. با توجه به خواص بیان شده این نانوذرات کاربردهای بسیاری در مواردی همچون سلول‌های خورشیدی، حسگرها، صفحه نمایش‌ها و نور کاتالیزورها دارند [۵،۶]. از جمله مهم‌ترین ویژگی نانوذرات ZnO

امروزه کاربرد علوم و نانو فناوری رو به گسترش است. از این رو، سنتز نانوذرات فلزی برای کاتالیزورها، الکترونیک، منسوجات، حفاظت محیط زیست و زیست‌فناوری مورد توجه بوده و استفاده از نانو فناوری در منسوجات به سرعت رو به افزایش است [۱،۲]. نانوذرات ZnO در مقایسه با نانوذرات نقره دارای مزایایی همچون هزینه کمتر، ظاهری سفیدرنگ و ممانعت در برابر پرتو فرابنفش هستند. نانوذرات روی اکسید نسبت به درشت‌مولکول‌های آن مزایایی دارند. از این رو، به مرور جایگزین آن می‌شوند. پژوهشگران در تلاش هستند تا ابعاد توده مواد را تا بعد نانو کاهش دهند. در پتروشیمی به‌جای استفاده از درشت‌مولکول‌های ZnO،

### کلمات کلیدی

پلی‌استر،  
نانوذرات روی اکسید،  
قلیایی،  
خودتمیزشوندگی،  
ضدباکتری

\* مسئول مکاتبات، پیام‌نگار: nourbakhsh.sh@gmail.com

### دستگاه‌ها و روش‌ها

برای قلیایی کردن پارچه پلی استری، نمونه‌هایی از پارچه با ابعاد  $25 \times 20 \text{ cm}^2$  تهیه شد. برای قلیایی کردن از کلسیم هیدروکسید با غلظت  $2\% (w/v)$  استفاده شد. قلیایی کردن در دمای جوش، به مدت  $60 \text{ min}$  و با  $L:R$  برابر  $1:50$  صورت گرفت. پس از پایان آزمون نمونه‌ها با آب مقطر آبکشی شده و با استیک اسید  $5\% (owf/.)$ ، در دمای محیط با  $L:R$  برابر  $1:20$  به مدت  $15 \text{ min}$  خنثی‌سازی شد.

برای اعمال نانوذرات ZnO بر پارچه‌های پلی استر قلیایی، محلول‌هایی از این نانوذرات با غلظت‌های  $1, 2, 5$  و  $10\% (owf/.)$  تهیه شد. آغشته‌سازی در  $L:R$  برابر  $1:50$  در دمای  $100^\circ\text{C}$  خشک و به مدت  $5 \text{ min}$  در دمای  $200^\circ\text{C}$  تثبیت شدند. در روش دیگر دو فرایند قلیایی کردن و اعمال نانوذرات ZnO به‌طور هم‌زمان انجام شد. در تهیه این حمام‌ها از کلسیم هیدروکسید  $2\% (w/v)$  به همراه محلول‌هایی از نانوذرات ZnO با غلظت‌های  $1, 2, 5$  و  $10\% (owf/.)$  استفاده شد. نمونه‌ها به مدت  $60 \text{ min}$  در دمای  $100^\circ\text{C}$ ، در حمام‌هایی با  $L:R$  برابر  $1:50$  قرار گرفتند. در ادامه در دمای  $100^\circ\text{C}$  خشک و  $5 \text{ min}$  در دمای  $200^\circ\text{C}$  تثبیت شدند.

برای بررسی دوام شست‌وشوی نانوذرات ZnO بر کالای پلی استری آزمون شست‌وشوی خانگی طبق استاندارد AATCC 1996-124 یا استاندارد ملی ۷۶۶۴ انجام شد. محلول شست‌وشو از شوینده استاندارد SDC با غلظت  $2 \text{ g/L}$  و  $L:R$  برابر  $1:100$  تهیه شد. این فرایند در پنج مرحله و در هر مرحله به مدت  $30 \text{ min}$  در دمای  $47^\circ\text{C}$  انجام شد. در نهایت، نمونه‌ها با آب مقطر آبکشی و خشک شدند. مقدار سختی پارچه به کمک آزمون طول خمش مطابق با استاندارد خمش ASTM D 1388 [۱۸] یا استاندارد ملی ۱۸۷۶۹ انجام شد. نواری باریک از پارچه با ابعاد  $20 \times 2/5 \text{ cm}^2$  مورد آزمون قرار گرفت. طول خمش با استفاده از معادله (۱) به‌دست آمد. در این معادله  $L$  طول بیرون‌زده نوار پارچه و  $C$  طول خمش است:

$$C = L \left[ \frac{\cos \frac{1}{2}\theta}{1 - \frac{1}{2}\theta} \right] \quad (1)$$

آزمون استاندارد AATCC 39-1980 برای بررسی مدت زمان جذب قطره آب انجام شد. در این آزمون نمونه کاملاً صاف و به فاصله  $10 \text{ mm}$  بالای سطح افقی نمونه، بورت قرار داده شد. مدت زمانی که طول می‌کشد تا قطره آب از حالت کروی به مسطح تبدیل شود، محاسبه و به‌عنوان زمان جذب قطره بیان شد. برای سنجش فعالیت ضدباکتری از استاندارد بین‌المللی AATCC100 یا استاندارد ملی ۱۱۰۷۰ با استفاده از دو باکتری *اشرشیا کلی* (*E. coli*) و *استافیلوکوکوس اورئوس* (*Staphylococcus aureus*) استفاده شد. در این روش قطعه‌های هم‌اندازه از پارچه‌ها به همراه نمونه شاهد با تعداد یکسانی از باکتری مجاورت داده شده سپس تعداد باکتری‌ها  $24 \text{ h}$  پس از تماس شمارش شدند [۱۹].

$$R = \frac{100(B - A)}{B} \quad (2)$$

R درصد کاهش باکتری، A تعداد باکتری‌ها (در نمونه‌های تکمیل شده) و

خاصیت نور کاتالیزوری آن است که سبب ایجاد خاصیت خودتمیزشوندگی در منسوجات می‌شود. از این نانوذرات برای تصفیه آب‌های آلوده نیز استفاده می‌شود. زیرا با تابش پرتو فرابنفش فعال شده و موجب تجزیه ترکیبات آلی می‌شوند [۷،۸].

نانوذرات ZnO فعالیت ضدباکتری بسیار مناسبی نشان داده و برای ضدباکتری کردن پوشاک استفاده می‌شوند [۵،۹]. خاصیت ضدباکتری نانوذرات ZnO سبب کاربردی شدن آن در صنایع پزشکی نیز شده است. به‌طور مثال از آن برای تولید ماسک، ملحفه‌های بیمارستانی، کفش‌های اتاق عمل و نخ بخیه استفاده می‌شود [۱۰،۱۱].

پلی اتیلن ترفتالات (PET) پلی استر نیمه‌بلوری و نیمه‌حلقوی گرم‌نرم است که کاربردهای فراوانی در صنایع نساجی، بسته‌بندی، تصفیه، خودروسازی و زیست‌پزشکی دارد. استحکام زیاد همراه با مقاومت در برابر مواد شیمیایی، سایش، کشش، جمع‌شدگی و چروک از جمله دلایل اهمیت این پلیمر است. ایجاد گروه‌های عاملی خاصی همچون کربوکسیل و هیدروکسیل بر سطح این پلیمر، موجب بهبود عملکرد و توسعه کاربردهای آن می‌شود. روش‌های اصلاح سطح متعددی برای بهبود خواص پلی استر، بدون تغییر در خواص کلی آن وجود دارند که در این میان می‌توان به مواردی همچون تکمیل قلیایی، پلاسما، پرتو دهی فرابنفش و اکسایش ازن اشاره کرد. از میان موارد مطرح شده اصلاح شیمیایی سطح با استفاده از قلیای قوی همچون سدیم هیدروکسید بسیار رایج است. بدین ترتیب مواردی همچون جذب رنگزا و مواد تکمیلی و الکتربسیسته ساکن بهبود می‌یابند [۱۵-۱۲].

اشرف و همکاران پارچه پلی استر ضدباکتری را با سنتز نانومیله‌های روی اکسید بر پارچه پلی استر پلاسما شده تهیه کردند [۱۶]. خواص محافظت در برابر پرتو بنفش پارچه پنبه و پنبه-پلی استر با استفاده از نانوذرات روی اکسید را Kathirvelu و همکاران بررسی کردند [۱۷]. در پژوهشی دیگر، نانوذرات روی اکسید تهیه و روی پلی استر و پنبه برای بررسی خواص ضدالکتربسیسته ساکن به کار رفت [۴]. در این پژوهش، کالای پلی استری با استفاده از کلسیم هیدروکسید قلیایی شده و نانوذرات ZnO با دو روش پیش‌قلیا و هم‌زمان قلیا بر آن اعمال شدند. سپس، با بررسی نتایج آزمون همچون تعیین طول خمش، زمان جذب قطره آب، ضدباکتری، طیف‌سنجی زیرقرمز (FTIR/ATR)، میکروسکوپ الکترونی پویشی (SEM)، خودتمیزشوندگی و جذب اتمی خواص آن بررسی شد.

### تجربی

#### مواد

در این پژوهش، از پارچه  $100\%$  پلی استر خالص (با تراکم نخ تار و پود  $25$  و  $20$  در هر سانتی‌متر)، محلول کلوبید در آب نانوذرات روی اکسید (ZnO) از شرکت Sigma-Aldrich (آمریکا) با میانگین ابعاد ذرات  $35 \text{ nm}$ ، کلسیم هیدروکسید از شرکت Merck آلمان، نیتریک اسید از شرکت CHEM-LAB (بلژیک)، رنگزای آبی متیلن از شرکت Merck آلمان و شوینده استاندارد SDC فاقد سفیدکننده نوری از شرکت Shirley انگلستان استفاده شد.

کوره شرکت Nabertherm محصول آلمان قرار گرفتند. سپس، محلولی از نمونه‌ها با نیتریک اسید و آب مقطر با حجم معینی تهیه شد. دستگاه جذب اتمی شده طیف‌نورسنج جذب اتمی PG-990 ساخت انگلستان است. مقدار یون فلز روی با استفاده از تهیه محلول‌های استاندارد و رسم منحنی کالیبره کردن به دست آمد و برحسب 100 g از پارچه گزارش شد.

### نتایج و بحث

#### تصاویر میکروسکوپ الکترونی

بررسی تصاویر مربوط به پلی استر (شکل ۱-الف) و پلی استر قلیایی (شکل ۱-ب) می‌توان دریافت، در اثر اعمال قلیا، خلل و فرج‌هایی در سطح الیاف ایجاد شده است، منافذ ایجاد شده بر سطح الیاف مکان‌های مناسبی برای ورود یا حبس نانوذرات هستند. براساس پژوهش Al-Balakocy و همکاران، آبکافت کالای پلی استری یا مخلوط پلی استر-پنبه سبب ایجاد خلل و فرج‌ها و شیارهایی بر سطح الیاف می‌شود که مکان مناسبی برای قرارگیری نانوذرات ZnO است [۲۰]. اگرچه با بررسی تصاویر SEM نمی‌توان از نظر مقداری به‌طور قطعی نتیجه‌گیری کرد، ولی می‌توان به‌طور تقریبی اطلاعاتی به‌دست آورد. با بررسی نمونه‌های هم‌زمان قلیا (شکل ۱-ج) و پیش قلیا (شکل ۱-د) که با ۱۰٪ از نانوذرات ZnO تکمیل شده‌اند، می‌توان دریافت که در فرایند پیش قلیا نانوذرات ZnO بیشتری روی سطح الیاف قرار گرفته‌اند. زیرا احتمالاً در فرایند پیش قلیا نسبت به هم‌زمان قلیا، منافذ بیشتری بر سطح الیاف ایجاد شده و نانوذرات بیشتری توانسته‌اند، بر سطح الیاف قرار گیرند. در شکل‌های ۱-ج تا ۱-هـ که با ۱۰٪ از نانوذرات ZnO تکمیل شده‌اند،

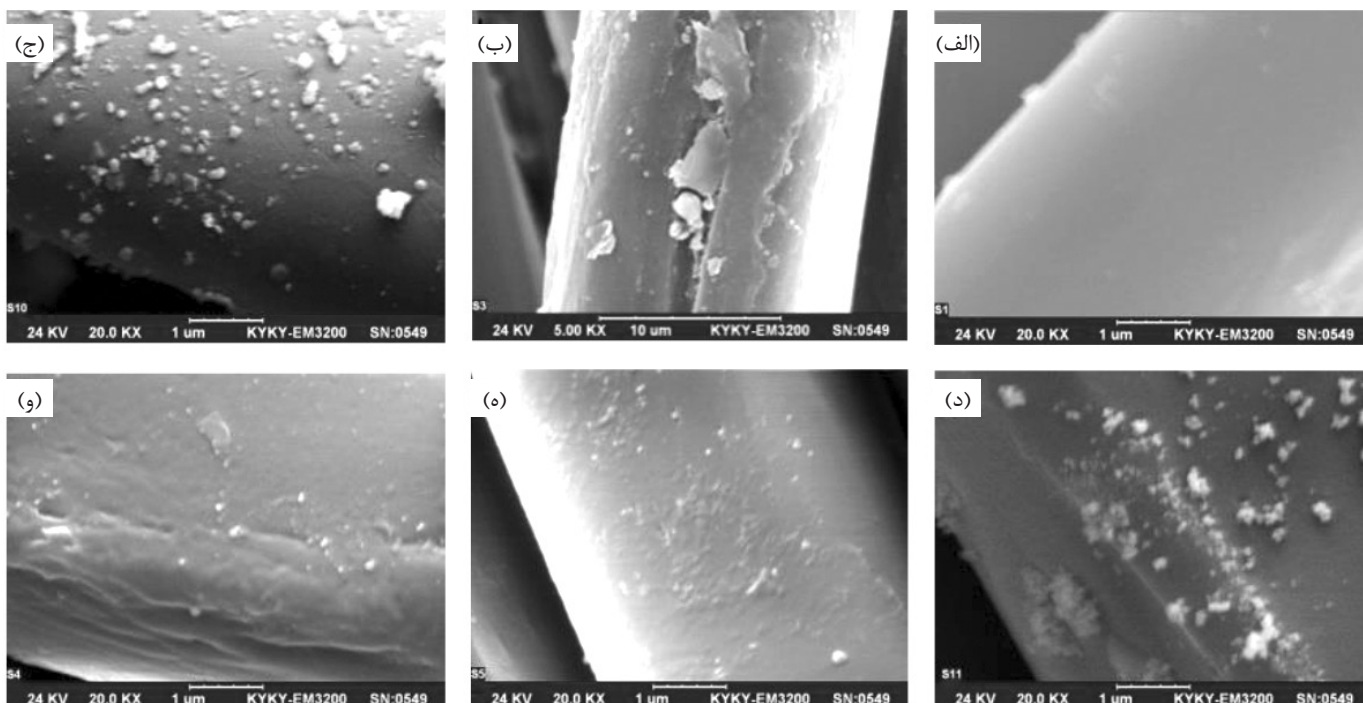
B تعداد باکتری‌ها (در نمونه شاهد) است.

برای بررسی تغییرات شیمیایی و گروه‌های عاملی ایجاد شده بر کالای پلی استری در اثر اعمال قلیا و نانوذرات ZnO از طیف‌سنجی زیرقرمز استفاده شد. این کار با دستگاه FTIR/ATR 27Tensor محصول شرکت Bruker آلمان انجام شد. شکل‌شناسی سطح الیاف پلی استر در اثر اعمال قلیا و نانوذرات ZnO با میکروسکوپ الکترونی پویشی (SEM) مدل KYKY-EM 3200 محصول کشور چین بررسی شد.

خاصیت نور کاتالیزوری کالای پلی استری تکمیل شده با نانوذرات ZnO به وسیله رنگرزی با رنگزای آبی متیلن بررسی شد. محلول آبی متیلن با غلظت ۰/۰۱٪ (w/v) تهیه شده و مطابق با وزن نمونه‌ها و L:R برابر ۱:۵۰، آغشته‌سازی انجام شد. این فرایند در دمای محیط و به مدت ۳۰ min انجام شد. سپس، نمونه‌ها خشک شد. در ادامه، نمونه‌ها در بازه‌های زمانی ۲۴ و ۴۲ h در معرض نور خورشید قرار گرفته و با طیف‌نورسنج بازتابی پارامترهای رنگی (L\*, a\* و b\*) اندازه‌گیری شد. این کار با طیف‌نورسنج بازتابی Gretag Macbeth Color eye 7000 A ساخت آمریکا با هندسه اندازه‌گیری D/8 انجام شد. اندازه‌گیری در دستگاه تحت نور D65 و مشاهده‌کننده استاندارد ۱۰° انجام و از معادله (۲) اختلاف رنگ (ΔE) نمونه‌ها مشخص شد:

$$\Delta E^* = \sqrt{(\Delta L^*)^2 + (\Delta a^*)^2 + (\Delta b^*)^2} \quad (3)$$

L\* به مفهوم روشنایی، a\* محور سبز-قرمز و b\* محور زرد-آبی است. مقدار نانوذرات جذب شده بر پارچه‌های پلی استری با تجزیه جذب اتمی بررسی شد. نمونه‌ها با وزن مشخص به مدت ۳ h در دمای ۶۰۰°C درون



شکل ۱-الف) پلی استر، ب) پلی استر قلیایی، ج) پلی استر هم‌زمان قلیا و ZnO، پیش از شست‌وشوی خانگی (ق.ش)، د) پلی استر پیش قلیا و ZnO، ق.ش، ه) پلی استر هم‌زمان قلیا و ZnO، پس از شست‌وشوی خانگی (ب.ش) و و) پلی استر پیش قلیا و ZnO (ب.ش).

داشته باشد. به طور مثال همان طور که در تصاویر میکروسکوپ الکترونی مشاهده شد، با افزایش غلظت نانوذرات ZnO، نانوذرات بیشتری روی سطح لیف قرار گرفته‌اند، وجود نانوذرات بر سطح لیف می‌تواند تا حدی سبب خشکی و سختی نمونه شده، طول خمش آن افزایش پیدا کند. مطابق پژوهش عبدالهادی و همکاران با افزایش غلظت نانوذرات ZnO، نانوذرات بیشتری جذب شده و بر سطح لیف رسوب می‌کنند. از این رو، موجب سختی زیر دست شده و خواص دیگری همچون محافظت در برابر پرتو فرابنفش افزایش می‌یابد [۶]. همچنین نانوذرات به دلیل اندازه کوچک آنها می‌توانند در درون لیف نفوذ کنند و بین فضای زنجیرهای مولکولی قرار گرفته و به‌عنوان یک پرکننده طول خمش را افزایش دهند [۲۲].

طول خمش نمونه‌ها پیش از شست‌وشو بیشتر از پس از شست‌وشو است. بنابراین، مقداری از نانوذرات حین شست‌وشو از روی الیاف برداشته شده‌اند، پس می‌توان چنین نتیجه گرفت، نانوذرات ZnO روی لیف پلی استری ثبات شست‌وشویی زیادی ندارند و احتمالاً مقداری از این نانوذرات فقط روی سطح قرار گرفته و اتصال محکمی با آن برقرار نمی‌کنند. براساس پژوهش منتظر و همکاران نانوذرات بزرگ‌تر راحت‌تر از سطح لیف جدا می‌شوند و نانوذرات کوچک‌تر ثبات بیشتری دارند [۲۳].

طول خمش برای نمونه‌های پیش‌قلیا به مقدار اندکی بیشتر از نمونه‌های هم‌زمان قلیاست. وجود نانوذرات بر سطح لیف و درون آن موجب سختی آن می‌شود و طول خمش افزایش می‌یابد. بنابراین وجود نانوذرات ZnO روی نمونه‌های تکمیل شده به روش پیش‌قلیا بیشتر است. پس می‌توان چنین برداشت کرد که مقدار جذب نانوذرات ZnO به روش پیش‌قلیا بیشتر از هم‌زمان قلیاست، حاصل آزمون جذب اتمی که به آن اشاره می‌شود، نیز در همین راستاست و این نتیجه را تأیید می‌کند.

مشاهده می‌شود، مقدار نانوذرات موجود بر سطح لیف، پیش از شست‌وشو بیشتر از پس از شست‌وشو است. در شکل‌های ۱-ج و ۱-د که مربوط به پیش از شست‌وشو است، تعداد نانوذرات ZnO موجود بر سطح لیف بسیار زیاد است، اما در شکل‌های ۱-ه و ۱-و که مربوط به پس از شست‌وشو است، تعداد نانوذرات ZnO موجود بر سطح لیف بسیار کاهش می‌یابد، بنابراین می‌توان نتیجه گرفت، احتمالاً تعدادی از نانوذرات ZnO بر سطح لیف براساس نیروهای ضعیف واندروالسی قرار گرفته‌اند. به همین دلیل ثبات شست‌وشویی زیادی نداشته و حین شست‌وشو از سطح لیف برداشته می‌شوند. این مسئله کاملاً توجیه‌پذیر است، زیرا نمی‌توان انتظار داشت که تمام نانوذرات با یک نوع پیوند به لیف متصل شوند. از این رو، بخشی از آنها با لیف اتصال شیمیایی برقرار کرده و بخشی دیگر فقط جذب سطحی شده‌اند، یعنی در خلل و فرج‌ها و شیارهای لیف نفوذ کرده‌اند، بنابراین آن دسته از نانوذرات که با لیف اتصال شیمیایی داده‌اند، حین شست‌وشو از آن جدا نشده، بر سطح لیف باقی می‌مانند. اما، آنهایی که تنها با نیروهای ضعیف واندروالسی به لیف متصل شده‌اند، حین شست‌وشو از سطح لیف جدا می‌شوند. براساس پژوهش منتظر و همکاران ایجاد گروه عاملی بر سطح لیف سبب اتصال شیمیایی بین نانوذره و لیف شده، بنابراین ثبات شست‌وشویی افزایش می‌یابد [۱۴]. همچنین براساس پژوهش اظفرنیام و همکاران از مزایای پیوندهای عرضی بر کالای پلی استری، پایداری بیشتر ترکیبات روی کالاست [۲۱].

### طول خمش

مقدار طول خمش برای نمونه‌های مختلف در جدول ۱ آمده است. مطابق با اعداد موجود در جدول، طول خمش نمونه پلی استری از نمونه قلیایی شده با کلسیم هیدروکسید اندکی بیشتر است. همچنین، با بررسی این نتایج می‌توان مشاهده کرد، با افزایش غلظت نانوذرات ZnO از ۱٪ تا ۱۰٪ طول خمش افزایش می‌یابد. این مسئله می‌تواند دلایل متعددی

جدول ۱- طول خمش و زمان جذب قطره آب نمونه‌های تکمیل شده با نانوذرات ZnO در فرایند تکمیل به دو روش پیش‌قلیا و هم‌زمان قلیا، پیش و پس از شست‌وشو.

| پس از شست‌وشو |                      | پیش از شست‌وشو |                      | مقدار نانوذرات ZnO (%) | نمونه و روش                                   |
|---------------|----------------------|----------------|----------------------|------------------------|-----------------------------------------------|
| طول خمش (cm)  | زمان جذب قطره آب (s) | طول خمش (cm)   | زمان جذب قطره آب (s) |                        |                                               |
| ۲/۵           | ۰/۲                  | ۲/۵            | ۰/۲                  | -                      | نمونه پلی استری قلیایی شده با کلسیم هیدروکسید |
| ۱/۷           | ۰/۰۹                 | ۱/۷            | ۰/۰۹                 | -                      |                                               |
| ۲/۰           | ۲/۱                  | ۲/۲            | ۲/۴                  | ۱                      | پیش‌قلیا                                      |
| ۲/۰           | ۲/۱                  | ۲/۲            | ۲/۷                  | ۲                      |                                               |
| ۲/۱           | ۲/۱                  | ۲/۳            | ۵/۳                  | ۵                      |                                               |
| ۲/۳           | ۲/۳                  | ۲/۴            | ۵/۹                  | ۱۰                     |                                               |
| ۲/۰           | ۲/۰                  | ۲/۱            | ۳/۱                  | ۱                      | هم‌زمان قلیا                                  |
| ۲/۰           | ۲/۰                  | ۲/۱            | ۳/۱                  | ۲                      |                                               |
| ۲/۱           | ۲/۱                  | ۲/۱            | ۴/۱                  | ۵                      |                                               |
| ۲/۲           | ۲/۲                  | ۲/۲            | ۴/۶                  | ۱۰                     |                                               |

### زمان جذب قطره آب

مدت زمان جذب قطره آب به وسیله پارچه پلی استری و تکمیل شده در جدول ۱ آمده است. زمان جذب قطره آب پس از آبکافت قلیایی کاهش می یابد. کلسیم هیدروکسید سبب تغییر فیزیکی و شیمیایی در سطح لیف پلی استری می شود، به طوری که نتایج SEM حفره هایی را در سطح آن نشان می دهد که این منافذ مکانی برای نفوذ قطره آب به لیف است [۲۴-۲۶]. با افزایش غلظت نانوذرات ZnO بر پارچه پلی استری مدت زمان جذب افزایش می یابد. بدین ترتیب هر چه غلظت نانوذرات ZnO بر پارچه پلی استری بیشتر باشد، زمان بیشتری طول می کشد تا قطره آب موجود بر سطح پارچه از حالت کروی خارج شده و جذب شود. با بررسی تصاویر میکروسکوپ الکترونی و داده های آزمون طول خمش می توان نتیجه گرفت که بسیاری از نانوذرات ZnO جذب سطح لیاف شده اند، وجود سطحی نانوذرات سبب پر شدن خلل و فرج های لیف شده، از این رو راه ورود قطره های آب مسدود شده، نفوذ مولکول های آب دشوار می شود. افزون بر این، وجود سطحی نانوذرات ZnO موجب تشکیل ناهمواری هایی در بعد نانو شده و مولکول های آب که یقیناً ابعاد بزرگ تری دارند، روی این ناهمواری ها قرار گرفته اند. این ناهمواری ها باعث ایجاد فاصله بین مولکول های آب و سطح لیف شده، دسترسی به سطح لیف دشوار می شود. از این رو، جذب قطره آب با گذشت زمان بیشتری صورت گرفته است. بنابراین، نانوذرات باعث افزایش زمان جذب آب می شوند. بر اساس پژوهش مزروعی و همکاران آبکافت و اعمال نانوذرات بر لیاف سبب می شود، سطح آن همچون برگ های نیلوفر آبی دارای ناهمواری هایی شود [۲۷].

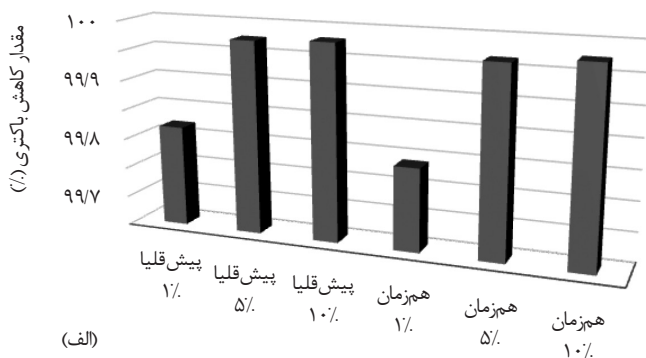
همچنین، زمان لازم برای جذب قطره آب، بر سطح نمونه های پیش قلیا بیشتر از هم زمان قلیاست. این مسئله می تواند به دلیل پر شدن خلل و فرج های لیاف و ایجاد ناهمواری بر سطح آنها باشد تا بدین ترتیب راه نفوذ قطره های آب بسته شده و دسترسی آنها به سطح لیاف با دشواری همراه باشد. با توجه به دلایل مطرح شده آنچه مسلم است، اینکه در روش پیش قلیا نانوذرات بیشتری نسبت به روش هم زمان قلیا جذب پارچه پلی استری می شوند.

زمان جذب قطره برای نمونه ها، پیش از شست و شو بیشتر از پس از شست و شو است. می توان چنین برداشت کرد که آن دسته از نانوذرات ZnO که با پارچه پلی استری پیوند شیمیایی برقرار نکرده اند، ثبات شست و شویی زیادی ندارند و حین شست و شو از سطح پارچه جدا می شوند. بنا بر این، موانع جذب قطره آب تا حدی برداشته شده و زمان جذب کمتر می شود.

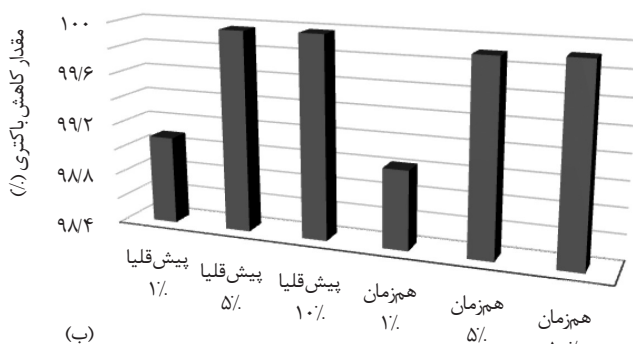
### خواص ضد باکتری

فعالیت ضد باکتری نمونه های تکمیل شده با نانوذرات ZnO با انجام آزمون ضد باکتری و محاسبه درصد کاهش باکتری بررسی شد. با بررسی درصد کاهش باکتری می توان دریافت، با افزایش غلظت نانوذرات ZnO تعداد کلنی ها پس از ۲۴ h کاهش یافته و مقدار فعالیت ضد باکتری افزایش می یابد. این مسئله کاملاً قابل توجیه است، از آنجا که نانوذرات ZnO دارای خاصیت ضد باکتری هستند، با افزایش غلظت آن بر نمونه تکمیل شده، مقدار فعالیت ضد باکتری افزایش می یابد.

در شکل ۲ می توان مشاهده کرد، درصد کاهش باکتری برای نمونه های



غلظت نانوذرات روی اکسید و شرایط قلیایی



غلظت نانوذرات روی اکسید و شرایط قلیایی

شکل ۲- درصد کاهش باکتری (الف) *E. coli* و (ب) *S. aureus* در شرایط مختلف.

پیش قلیا اندکی بیشتر از نمونه های هم زمان قلیاست. این نتیجه حاکی از آن است که در فرایند پیش قلیا خلل و فرج های بیشتری بر سطح لیاف ایجاد شده، مکان های مناسب برای جذب نانوذرات ZnO بیشتر است، این مسئله می تواند به این دلیل باشد که در فرایند پیش قلیا زمان برای اثر گذاری قلیا بیشتر است و چون در حمام به جز قلیا ماده دیگری وجود ندارد، قلیا در تمام مدت فرایند فرصت دارد تا بر سطح لیاف پلی استر منافذی ایجاد کند. از این رو، با اعمال نانوذرات ZnO، نانوذرات بیشتری بر سطح لیف می نشینند. اما این مسئله برای هم زمان قلیا صادق نیست، زیرا در فرایند هم زمان قلیا در حمام تکمیل هم قلیا و هم نانوذرات ZnO وجود دارند. از این رو، سطح لیاف در زمان معین شده هم باید قلیایی شود و هم نانوذرات ZnO بتوانند روی آن قرار گیرند. به همین دلیل، هم قلیا اثر گذاری کمتری بر سطح لیاف پلی استری دارد و هم نانوذرات ZnO کمتری می توانند بر سطح لیاف قرار گیرند. همچنین، این امکان وجود دارد که در حمام هم زمان قلیا واکنشی بین نانوذرات ZnO و قلیا انجام شود، در نتیجه نانوذرات کمتری با لیف واکنش دهند. بنا بر دلایل مطرح شده نمونه های تکمیل شده به روش پیش قلیا نسبت به نمونه های تکمیل شده به روش هم زمان قلیا فعالیت ضد باکتری بیشتری دارند.

### جذب اتمی

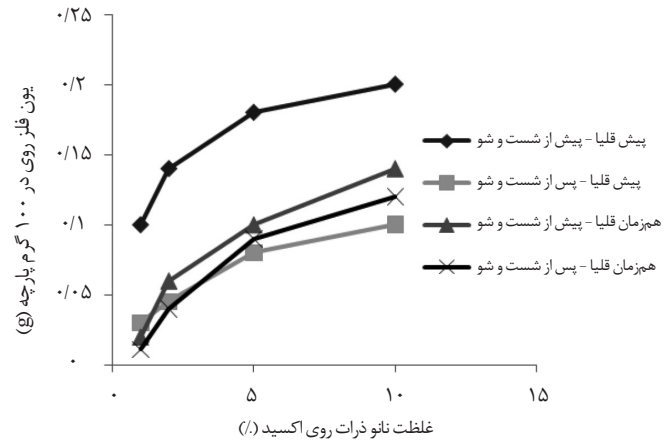
در این آزمون مقدار یون فلز روی (Zn) در ۱۰۰ گرم از پارچه محاسبه شده است. در شکل ۳ مطابق با منحنی ها می توان نتیجه گرفت که با افزایش

ایجاد گروه‌های کربوکسیل و هیدروکسیل در الیاف به‌ویژه الیافی مانند پلی استر و پلی آکرلیک از اهمیت بسیاری برخوردار است، زیرا به این شیوه ثبات نانوذرات افزایش می‌یابد [۲۸].

#### خودتمیزشوندگی

عمل خودتمیزشوندگی بر گرفته از اثر نیلوفر آبی (Lotos-effect) است که در آن وجود نانوذرات بر سطح الیاف سبب ممانعت از نفوذ قطره آب به داخل آن و در نتیجه غلطیدن قطره آب از روی سطح می‌شود. این عمل به‌عنوان پوشش آبگریز شناخته می‌شود. در مقابل، تکمیل خودتمیزشوندگی پوشش آبدوست هنگامی اتفاق می‌افتد که قطره چرک یا آلودگی‌ها جذب شده و به کمک خاصیت نور کاتالیزوری عمل خودتمیزشوندگی انجام می‌شود. در این نوع تکمیل ذره چرک هنگامی که در مجاورت نور قرار می‌گیرد، به‌طور شیمیایی تخریب می‌شود [۲۹]. نانوذرات روی اکسید به‌عنوان نور کاتالیزور عمل می‌کنند و هنگامی که در معرض تابش نور قرار می‌گیرند، پروتون‌ها ( $H^+$ ) به‌عنوان اکسنده عمل می‌کنند [۳۰، ۳۱] و سبب اکسایش و تخریب مولکول‌های مجاور می‌شوند و این موضوع سبب تمیزشدن سطح می‌شود [۲۹].

آلوده‌کننده‌های آلی مانند پلیمرها، مواد رنگزا و سطح فعال‌ها به این روش تخریب می‌شوند. عمل نور کاتالیزوری معمولاً به‌وسیله تخریب مواد آلوده‌کننده آلی بررسی می‌شود که آبی متیلن یکی از مواد رایج شناخته شده است که اندازه‌گیری کمی آن به‌وسیله طیف‌سنجی آسان است [۲۹]. نمونه‌های رنگریزی شده با آبی متیلن در بازه‌های زمانی مختلف در معرض تابش نور خورشید قرار گرفته سپس در مقایسه با نمونه‌ای که در معرض نور خورشید قرار نگرفته، اختلاف رنگ آنها اندازه‌گیری شد. بنابراین هرچه اختلاف رنگ بیشتر باشد، خاصیت خودتمیزشوندگی و رنگبری نمونه بیشتر است. با توجه به داده‌های موجود در جدول ۲ می‌توان دریافت، با افزایش غلظت نانوذرات ZnO، اختلاف رنگ هم بیشتر می‌شود، زیرا نانوذرات ZnO خاصیت نور کاتالیزوری دارند و وقتی در معرض نور قرار می‌گیرند، فعال شده و موجب رنگبری پلی استر رنگریزی شده با رنگزای



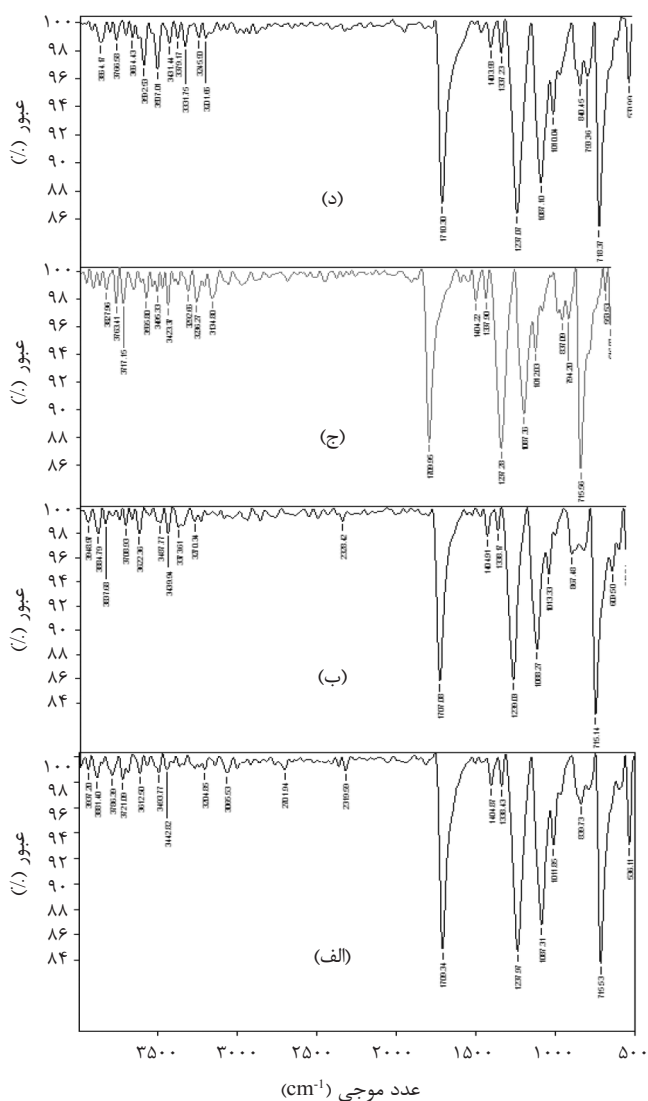
شکل ۳- مقدار یون فلز روی در ۱۰۰ g پارچه تکمیل شده در شرایط مختلف.

غلظت نانوذرات ZnO، مقدار یون‌های فلز روی (Zn) موجود در ۱۰۰ g نمونه پلی استری، افزایش پیدا می‌کند. این نتیجه‌گیری کاملاً قابل پیش‌بینی است. زیرا، هرچه نانوذرات ZnO بیشتری در محلول تکمیل وجود داشته باشند، نانوذرات بیشتری هم جذب نمونه پلی استری می‌شوند. می‌توان گفت، در فرایند پیش قلیا نانوذرات ZnO بیشتری جذب نمونه پلی استری می‌شوند، زیرا مقدار یون‌های فلزی موجود بر نمونه‌هایی که به روش پیش قلیا تکمیل شده‌اند، بیشتر از نمونه‌هایی است که به روش هم‌زمان قلیا تکمیل شده‌اند، این مسئله که در آزمون‌های پیشین نیز به اثبات رسیده بود، حاکی از آن است که در روش پیش قلیا نانوذرات بیشتری نسبت به هم‌زمان قلیا جذب می‌شوند.

مقدار یون‌های فلزی پیش از شست‌وشو بیشتر از پس از شست‌وشو است، بدین معنا که مقدار نانوذرات ZnO در نمونه پلی استری پیش از شست‌وشو بیشتر از پس از شست‌وشو است. پس مطابق با آزمون قبلی می‌توان چنین نتیجه گرفت که برخی از نانوذرات ZnO با کالای پلی استری اتصال محکمی نداشته‌اند، از این رو ثبات شست‌وشویی زیادی ندارند. به همین دلیل حین شست‌وشو از روی لیف برداشته می‌شوند. به همین دلیل است که

جدول ۲- اختلاف رنگ ( $\Delta E$ ) نمونه پلی استری، نمونه قلیایی شده و نمونه‌های تکمیل شده با نانوذرات ZnO پس از ۲۴ h و ۴۲ h زیر تابش نور خورشید.

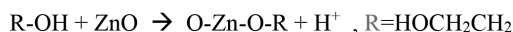
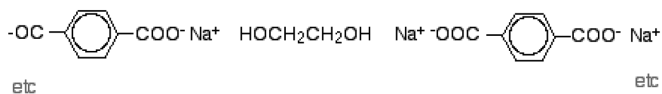
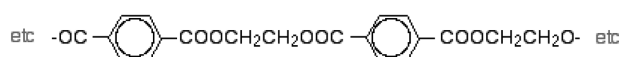
| نمونه و روش     | مقدار نانوذرات ZnO (%) | زمان (h) |      |
|-----------------|------------------------|----------|------|
|                 |                        | ۲۴       | ۴۲   |
| نمونه پلی استری | -                      | ۵/۹      | ۵/۹  |
|                 | -                      | ۸/۶      | ۸/۶  |
| پیش قلیا        | ۱                      | ۷/۰      | ۱۳/۶ |
|                 | ۲                      | ۸/۶      | ۱۴/۷ |
|                 | ۵                      | ۹/۴      | ۱۵/۷ |
|                 | ۱۰                     | ۹/۵      | ۱۹/۵ |
| هم‌زمان قلیا    | ۱                      | ۳/۸      | ۶/۹  |
|                 | ۲                      | ۴/۵      | ۷/۲۵ |
|                 | ۵                      | ۴/۵      | ۸/۱  |
|                 | ۱۰                     | ۵/۱      | ۸/۳  |



شکل ۴- طیف سنجی FTIR: (الف) پلی استر، (ب) قلیایی شده با کلسیم هیدروکسید، (ج) پیش قلیا، نانوذرات ZnO و (د) همزمان قلیا، نانوذرات ZnO.

پلی استر قلیایی با نانوذرات روی اکسید) است:

مطابق با نتایج مطرح شده، در فرایند همزمان قلیا، بین نانوذرات ZnO و قلیا واکنشی روی می دهد که سازوکار احتمالی به شکل طرح ۲ است.



طرح ۱- سازوکار احتمالی بین نانوذرات ZnO و لیاف پلی استری در فرایند پیش قلیا.

آبی متیلن می شوند. از این رو، با افزایش غلظت نانوذرات روی اکسید نمونه پلی استری روشن تر می شود. بنابر پژوهش منتظر و همکاران با افزایش غلظت نانوذرات ZnO خاصیت خودتمیزشوندگی افزایش می یابد [۱۴].

اختلاف رنگ برای نمونه های پیش قلیا بیشتر از همزمان قلیاست و این دلالت بر آن دارد که مقدار نانوذرات ZnO در نمونه های پیش قلیا نسبت به همزمان بیشتر است، می توان چنین نتیجه گرفت که در فرایند پیش قلیا نانوذرات بیشتری جذب نمونه پلی استری می شوند. این نتایج مطابق با نتایج حاصل از اندازه گیری یون فلز روی (Zn) در تجزیه جذب اتمی است.

#### طیف سنجی زیرقرمز تبدیل فوریه (FTIR/ATR)

شکل های ۴-الف و ۴-ب به ترتیب طیف های FTIR نمونه های خام پلی استری و نمونه های قلیایی شده با کلسیم هیدروکسید را نشان می دهند. وجود نوار جذبی در نواحی ۳۴۴۰ و ۱۷۰۷  $\text{cm}^{-1}$  که به ترتیب مربوط به گروه های هیدروکسیل و کربوکسیل هستند، نشان دهنده آن است که در اثر اعمال قلیا، برخی از زنجیرهای پلی استری شکسته شده و در دو سر آنها گروه های هیدروکسیل و کربوکسیل شکل گرفته اند. در شکل ۴-ج نوار جذبی در نواحی ۱۷۰۹ و ۳۴۲۳  $\text{cm}^{-1}$  وجود دارد که این نوارهای جذبی بیانگر وجود گروه کربوکسیل و هیدروکسیل است. همچنین، در شکل ۴-د نوار جذبی در نواحی ۱۷۱۰ و ۳۴۳۱  $\text{cm}^{-1}$  قابل مشاهده است که این نوارهای جذبی نشان دهنده وجود گروه کربوکسیل و هیدروکسیل است. به دلیل وجود همین گروه های عاملی است که تعدادی از نانوذرات ZnO با لیف پلی استری اتصال شیمیایی برقرار کرده و ثبات شست و شویی پیدا کرده اند. به عبارت دیگر، این دسته از نانوذرات هستند که در اثر شست و شو همچنان بر سطح لیف باقی مانده و در تصاویر میکروسکوپ الکترونی مربوط به پس از شست و شوی نمونه ها قابل مشاهده هستند [۹].

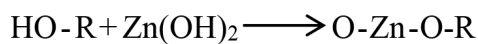
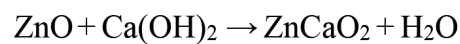
با بررسی طیف های FTIR می توان دریافت که برخی از نانوذرات ZnO با گروه های هیدروکسیل و کربوکسیل ایجاد شده در دو سر زنجیرهای پلی استری اتصال برقرار کرده اند. از آنجا که این نوع اتصال از نوع کووالانسی بوده و نانوذرات با پیوندی بسیار محکم تر از نیروهای واندروالسی یا حتی سازوکارهایی همچون حبس فیزیکی به زنجیر پلی استری متصل شده اند، دارای ثبات زیادی بر نمونه هستند و حتی در اثر شست و شو از سطح جدا نمی شوند. در شکل ۴-الف نوار جذبی در ناحیه ۷۱۵  $\text{cm}^{-1}$ ، در شکل ۴-ب نوار جذبی در ناحیه ۷۱۵  $\text{cm}^{-1}$ ، در شکل ۴-ج نوار جذبی در ناحیه ۷۹۴  $\text{cm}^{-1}$  و در شکل ۴-د نوار جذبی در ناحیه ۷۹۳  $\text{cm}^{-1}$  همان طور که پیش تر اشاره شد، وجود این نوارهای جذبی بیانگر آن است که تعدادی از نانوذرات با لیف پلی استری اتصال کووالانسی برقرار کرده و ثبات زیادی دارند.

#### سازوکارهای احتمالی

مطابق با نتایج حاصل از آزمون های پیشین مشخص شد، برخی از نانوذرات ZnO با گروه های هیدروکسیل و کربوکسیل موجود در زنجیرهای پلی استری که حاصل از فرایند قلیایی کردن هستند، واکنش داده و اتصال محکمی میان نانوذرات ZnO و زنجیر پلی استری شکل می گیرد. سازوکار احتمالی برای این فرایند به شکل طرح ۱ (قلیایی پلی استر-واکنش

شد، نانوذرات بیشتری بر سطح الیاف مشاهده شدند. بدین معنا که فرایند پیش‌قلیا نسبت به هم‌زمان قلیا بازده بیشتری داشته، موجب افزایش جذب نانوذرات ZnO در لیف پلی استری می‌شود.

در طیف‌های FTIR لیف پلی استر قلیایی، گروه‌های هیدروکسیل و کربوکسیل مشاهده شد. در اثر اعمال قلیا زنجیرهای پلی استری شکسته شده و در دو سر آنها گروه‌های هیدروکسیل و کربوکسیل ایجاد شده است. بنابراین، تعدادی از نانوذرات ZnO با زنجیرهای پلی استری اتصال شیمیایی برقرار کرده‌اند. بنابر نتایج حاصل از اثر خودتمیزشوندگی، جذب اتمی، آزمون جذب آب و آزمون طول خمش با افزایش غلظت نانوذرات ZnO مقدار جذب آنها به وسیله پارچه پلی استری افزایش می‌یابد. فرایند پیش‌قلیا نسبت به فرایند هم‌زمان قلیا بازده بیشتری دارد، با این روش نانوذرات ZnO بیشتری جذب لیف پلی استری می‌شوند.



طرح ۲- سازوکار احتمالی بین نانوذرات ZnO و الیاف پلی استری در فرایند هم‌زمان قلیا.

## نتیجه‌گیری

تصاویر حاصل از SEM نشان داد، در اثر اعمال قلیا بر پارچه پلی استری، روی سطح الیاف منافذ و شیارهایی ایجاد می‌شود، این منافذ و شیارها محل مناسبی برای ورود نانوذرات ZnO به داخل ساختار لیف است، به واسطه این منافذ سطحی، جذب نانوذرات ZnO افزایش می‌یابد. با افزایش غلظت نانوذرات ZnO، مقدار نانوذرات بیشتری در لیف مشاهده شد، زمانی که از فرایند پیش‌قلیا برای اعمال نانوذرات ZnO بر نمونه پلی استری استفاده

## مراجع

- Rajendran R., Balakumar C., Mohammed Ahammed H.A., Jayakumar S., Vaideki K., and Rajesh E.M., Use of zinc oxide nanoparticles for production of antimicrobial textiles, *Int. J. Eng., Sci. Technol.*, 2, 202-208, 2010.
- Teli M.D. and Kale R.D., Polyester nanocomposite fibers with antibacterial properties, *Pelagia Res. Library*, 2, 491-502, 2011.
- Bikiaris D.N., Nianias N.P., Karagiannidou E.G., and Docoslis A., Effect of different nanoparticles on the properties and enzymatic hydrolysis mechanism of aliphatic polyesters, *Polym. Degrad. Stabil.*, 97, 2077-2089, 2012.
- Zhang F. and Yang J., Preparation of nano-ZnO and its application to the textile on antistatic finishing, *Int. J. Chem.*, 1, 18, 2009.
- Dastjerdi R. and Montazer M., A review on the application of inorganic nano-structured materials in the modification of textiles: Focus on anti-microbial properties, *Colloid. Surfac. B: Biointerfaces*, 79, 5-18, 2010.
- Abd El-Hady M.M., Farouk A., and Sharaf S., Flame retardancy and UV protection of cotton based fabrics using nano ZnO and polycarboxylic acids, *Carbohydr. Polym.*, 92, 400-406, 2013.
- Bizarro M., Tapia-Rodriguez M.A., Ojeda M.L., Alonso J.C., and Ortiz A., Photocatalytic activity enhancement of TiO<sub>2</sub> films by micro and nano-structured surface modification, *Appl. Surface Sci.*, 255, 6274-6278, 2009.
- Lee S.D., Nam S.H., Kim M.H., and Boo J.B., Synthesis and photocatalytic property of ZnO nanoparticles prepared by spray-pyrolysis method, *Physics Procedia*, 32, 320-326, 2012.
- Parthasarathi V. and Thilagavathi G., Synthesis and characterization of zinc oxide nanoparticle and its application on fabrics for microbe resistant defence clothing, *Int. J. Pharm. Pharmaceut. Sci.*, 3, 2011.
- Sun C., Chen X., Han Q., Zhou M., Mao C., and Zhu Q., Shen J., Fabrication of glucose biosensor for whole blood based on Au/hyperbranched polyester nanoparticles multilayers by antibiofouling and self-assembly technique, *Analy. Chimica Acta*, 776, 17-23, 2013.
- Ali S.W., Rajendran S., and Joshi M., Synthesis and characterization of chitosan and silver loaded chitosan nanoparticles for bioactive polyester, *Carbohydr. Polym.*, 83, 438-446, 2011.
- Vigneswaran C. and Anbumani N., Partial alkaline hydrolysis treatment on the physical characteristics of polyester rotor spun yarns, *J. Text. Inst.*, 102, 140-149, 2011.
- Donellia I., Freddia G., Nierstrasz V.A., and Taddei P., Surface structure and properties of poly-(ethylene terephthalate) hydrolyzed by alkali and cutinase, *Polym. Degrad. Stabil.*, 95, 1542-1550, 2010.
- Poortavasoly H. and Montazer M., Functional polyester fabric through simultaneous aminolysis and nano ZnO synthesis, *J. Ultrafine Grained Nanostruct. Mater.*, 47, 113-119, 2014.
- Natarajan S. and Jeyakodi Moses J., Surface modification of polyester fabric using polyvinyl alcohol in alkaline medium, *Indian J. Fibre Text. Res.*, 37, 284-291, 2012.
- Ashraf M., Dumont F., Company e C., Champagne Ph., Perwuelz A., Leriche A., Chihib N.E., al., Development of anti-



- bacterial polyester fabric by growth of ZnO Nanorods, *J. Eng. Fibe. Fabr.*, 9, 2014.
17. Kathirvelu S., D'souza L. and Dhurai B., UV protection finishing of textile using ZnO nanoparticles, *Indian J. Fibre Text. Res.*, 34, 267-273, 2009.
  18. ASTM D-1388.
  19. AATCC Test method 100-2004.
  20. Al-Balakocy N.G., El-Badry Kh., and Hassan T.M., Multi-finishing of polyester and polyester cotton blend fabrics activated by enzymatic treatment and loaded with zinc oxide nanoparticles, *J. Appl. Sci. Res.*, 9, 2767, 2013.
  ۲۱. اظفر نیام ل، منتظر م، رشیدی ا، تاثیر سیتریک و مالنیک اسید بر خواص نورفعال نانو دی اکسید تیتانیوم/پلی سیلوکسان روی کالای پلی استر، نشریه علمی پژوهشی مواد پیشرفته و پوشش‌های نوین، ۷، ۴۹۶-۵۰۸، ۱۳۹۲.
  22. Chattopadhyay D.P. and Patel B.H., Effect of nanosized colloidal copper on cotton fabric, *J. Eng. Fibe. Fabr.*, 5, 2010.
  23. Hashemizad S., Montazer M., and Rashidi A., Influence of the Surface Hydrolysis on the Functionality of Poly(ethylene terephthalate) Fabric Treated with Nanotitanium Dioxide, *Appl. Polym. Sci.*, 125, 1176-1184, 2012.
  24. Allahyarzadeh V. and Montazer M. surface modification of polyester by nano titanium dioxide in alkaline media and their synergism effect on the fabric, *Iran. J. Polym. Sci. Technol. (Persian)*, 26, 437-450, 2013.
  25. Ellison M.S., Fisher L.D., Alger K.W., and Zeronian S.H., Physical properties of polyester fiber degraded by aminolysis and by alkaline hydrolysis, *J. Appl. Polym. Sci.*, 27, 247-257, 1982.
  26. Dhinakaran M., Dasaradan B.S., and Subrsmnism V., A new method of investigating the structure by weight loss of polyester fiber, *J. Text. Apparel Technol. Manage.*, 6, 1-8, 2010.
  27. Mazrouei-Sebdani Z., Khoddami A., Alkaline hydrolysis: A facile method to manufacture superhydrophobic polyester fabric by fluorocarbon coating, *Prog. Org. Coat.*, 72, 638-646, 2011.
  28. Pasquia D. and Barbuccia R., Synthesis, characterization and self-cleaning properties of titania nanoparticles grafted on polyester fabrics, *J. Photochem. Photobiol. A: Chem.*, 274, 1-6, 2014.
  29. Parkin I.P. and Palgrave R.G., Self-cleaning coatings, *J. Mater. Chem.*, 15, 1689-1695, 2005.
  30. Halliwell B. and Gutteridge J.M.C., Oxygen toxicity, oxygen radicals, transition metals and disease, *Biochem. J.*, 219, 114, 1984.
  31. AbdElhady M.M., Preparation and characterization of chitosan/zinc oxide nanoparticles for imparting antimicrobial and UV protection to cotton fabric, *Int. J. Carbohydr. Chem.*, Article ID 840591, 2012.

# Zinc Oxide Nanoparticles Treated Polyester Fabric in Calcium Hydroxide Media

Zoha Khandagh Abadi<sup>1</sup>, Shirin Nourbakhsh<sup>1,\*</sup> and Majid Montazer<sup>2</sup>

1. Department of Textile Engineering, Faculty of Engineering, Islamic Azad University, P. O. Box: 8155-144, Tehean, Iran

2. Department of Textile Engineering, Amirkabir University of Technology, P. O. Box: 15875-4413, Tehran, Iran

Received 4 June 2015; Accepted 10 August 2015

## Abstract

In this research, polyester fabrics were treated by calcium hydroxide alkaline solutions in the presence of ZnO nano particles. The fabrics were treated at different concentrations of ZnO nano colloidal solutions (1,2, 5 and 10% owf). The scanning electron microscope (SEM) and FTIR/ATR spectroscopy were used for investigation of surface morphology and chemical structure of polyester fabrics. The treated polyester fabrics were dyed with methylene blue and were exposed to sunlight to determine self-cleaning effect. The reflectance values of the dyed fabrics were measured by spectrophotometer (D65/10°). The atomic absorption spectroscopy was carried out to determine the Zn ions content on polyester fabrics. Wetting time and bending length were obtained according to the standard test methods. Antimicrobial properties of the treated fabrics were tested with two kinds of bacteria (*Escherichia coli* and *Staphylococcus aureus*) according to AATCC 100 standard test method. The results showed that the absorption of ZnO nanoparticles on pretreated polyester fabrics was higher than that on the samples treated in alkaline solutions containing ZnO nano particles.

## Keywords

polyester,  
zinc oxide nanoparticle,  
self-cleaning,  
antimicrobial

(\*) Address Correspondence to Sh. Nourbakhsh, Email: [nourbakhsh.sh@gmail.com](mailto:nourbakhsh.sh@gmail.com)