

پایدارسازی نانوذرات TiO_2 روی پارچه حلقوی پنبه - پلی استر با استفاده از سیتریک اسید به منظور خودپاک کنندگی و رنگ بری از پساب رنگ زای واکنش پذیر سیاه ۵

سمانه هاشمی کیا، مجید منتظر*

دانشگاه صنعتی امیرکبیر، دانشکده مهندسی نساجی، قطب علمی هویت یابی نوین در نساجی، صندوق پستی ۱۵۸۱۷۵-۴۴۱۳

دریافت: ۸۹۷/۲۹، پذیرش: ۹۰/۲/۵

چکیده

در این پژوهش، پارچه حلقوی پنبه - پلی استر به عنوان یکی از محصولات نساجی که به مقدار زیاد تولید می شود با نانوذرات تیتانیم دی اکسید عمل آوری شده است. سفیدتر بودن کالای عمل آوری شده با نانوذرات تیتانیم دی اکسید نسبت به پارچه عمل آوری نشده و خاصیت خودپاک کنندگی آن قابل توجه بوده است. افزون بر این، امکان رنگ بری رنگ زای واکنش پذیر سیاه ۵ با این پارچه نیز بررسی و گزارش شده است. همچنین، پایداری نانوذرات تیتانیم دی اکسید روی پارچه حلقوی پنبه - پلی استر به کمک سیتریک اسید به همراه سدیم هیپوفسفیت به عنوان کاتالیزور بررسی شده است. این نمونه ها خواص خودپاک کنندگی مناسبی در آزمون لکه بری رنگ زای مستقیم ۸۰ نشان داده اند. استفاده از سیتریک اسید در مجاورت سدیم هیپوفسفیت سبب پایداری نانوذرات تیتانیم دی اکسید پس از ۱۰ مرتبه شست و شو شده است. تصاویر میکروسکوپ الکترونی و تصاویر به دست آمده از پراش پرتو X وجود نانوذرات تیتانیم دی اکسید را روی پارچه عمل آوری شده حتی پس از ۱۰ مرتبه شست و شو تأیید کرده است. نمونه های عمل آوری شده با نانوذرات تیتانیم دی اکسید سبب رنگ بری از پساب رنگ زای واکنش پذیر سیاه ۵ نیز شده است.

واژه های کلیدی

نانوتیتانیم دی اکسید،
پنبه - پلی استر،
خودپاک کنندگی،
پایدارسازی، بی رنگ کردن

* مسئول مکاتبات، پیام نگار:

tex5mm@aut.ac.ir

مقدمه

یکی از خواص تیتانیم دی اکسید، خاصیت نورکاتالیزوری آن است [۱]. خاصیت نورکاتالیزوری تیتانیم دی اکسید، اولین بار در سال ۱۹۷۲ توسط Fujishima کشف شد [۲]. از دیگر ویژگی های TiO₂ خاصیت آب دوستی آن است [۳]. TiO₂ معمولاً با فرایندهایی مانند آب کافت، هیدروترمال، الکتروفورز، سل - ژل و سل - ژل در دمای کم تولید می شود [۴-۷]. با توجه به ویژگی های منحصر به فرد ذرات TiO₂ در زمینه خاصیت نورکاتالیزوری، این ذرات به منظور تصفیه پساب های رنگی و ایجاد خواص خودپاک کنندگی روی منسوجات به کار می روند [۸،۹]. از مزایای استفاده از این پارچه ها، خودپاک کنندگی جزیی یا کلی لکه هاست که منجر به صرفه جویی در هزینه تمیز کردن می شود. لایه گذاری TiO₂ روی مواد با مقاومت گرمایی کم، مثل پنبه، فرایندی عملی است که منجر به ایجاد خواص خودپاک کنندگی و ضد میکروبی می شود [۱۱،۱۲]. هم چنین، به دلیل خاصیت جذب پرتو UV ذرات TiO₂، از این ذرات به منظور افزایش پایداری و جلوگیری از زرد شدن و تخریب منسوجات در برابر UV استفاده شده است [۱۳،۱۴].

به منظور افزایش پایداری نانو ذرات از روش های متفاوت روی الیاف مختلف استفاده شده است که از جمله آن استفاده از پلی کربوکسیلیک اسیدها را می توان نام برد [۲۸-۱۵]. از آن جا که پنبه پلی ساکاریدی با چند پیوند استری به پنبه متصل می شوند، گروه دوم کربوکسیلیک را می توان به وسیله واکنش الکتروستاتیک به TiO₂ متصل کرد [۳۱-۲۹].

گزارش های زیادی در زمینه به کارگیری نانوذرات تیتانیم دی اکسید منتشر شده است، اما گزارشی درباره به کارگیری این نانوذرات روی پارچه مخلوط پنبه - پلی استر حلقوی مشاهده نشده است. تاکنون، پایدارسازی این نانوذرات روی پارچه مخلوط پنبه - پلی استر با سیتریک اسید نیز گزارش نشده است. هم چنین، استفاده از کالای نساجی برای قراردادی نانوذرات روی آنها به منظور رنگ بری پساب رنگی برای اولین بار در پژوهش حاضر گزارش شده است.

در این پژوهش، پارچه های پنبه - پلی استر با سیتریک اسید (CA)، نانوذرات TiO₂ و سدیم هیپوفسیت (SHP) در دمای ۳۰-۴۰°C در حمام فراصوت به مدت ۳۰ min عمل آوری شده و پس از خشک شدن در دمای ۱۵۰°C به مدت ۴ min پخت شده اند. هدف از این پژوهش، بررسی خواص ایجاد شده روی پارچه پنبه - پلی استر در اثر عمل آوری با نانوذرات TiO₂ در مجاورت CA به منظور افزایش پایداری ذرات TiO₂ است.

تجربی

مواد و دستگاه ها

در این پژوهش از پارچه پنبه - پلی استر (۶۵٪-۳۵) حلقوی شست و شو شده با وزن ۱۹۵g/m² استفاده شده است. CA و SHP از شرکت Merck و نانوذرات TiO₂ (Degussa P-25) از شرکت Evonic تهیه شدند. رنگ زای مستقیم قرمز ۸۰ (DR80) و واکنش پذیر سیاه ۵ (RB5) محصول شرکت Ciba کشور سوئیس به ترتیب به منظور لکه گذاری نمونه ها و تهیه محلول رنگ بری استفاده شدند. برای شست و شو از شوینده آنیونی Ultravon GP استفاده شده است. حمام فراصوت با قدرت ۸۰۰W برای پراکنش نانوذرات TiO₂، لامپ UV-A ۴۰۰ W مدل G8T5 به منظور پرتو دهی UV و میکروسکوپ الکترونی پوشی Philips (SEM) ساخت آلمان و Seron Thechnology مدل AIS-2100 ساخت کره برای مشاهده وجود نانوذرات روی نمونه ها به کار گرفته شد. سفیدی نمونه ها با استفاده از طیف نورسنج Eye 7000A Color ساخت آمریکا و جذب محلول های رنگ بری شده در طول موج بیشینه به وسیله طیف نورسنج UV-Vis انتقالی Cary 100، ساخت استرالیا اندازه گیری شده است.

روش ها

ابتدا نمونه های پنبه - پلی استر با ۱g/L شوینده آنیونی، در ۸۰°C به مدت ۳۰ min شسته و پس از آبکشی در دمای ۱۰۰°C خشک شدند. حمام های حاوی مقادیر مختلف ترکیبات شامل TiO₂ (v/v)٪، CA (g/L) و SHP ۶۰٪ مقدار CA، تهیه شدند (۳۰:۱ L:G). ترکیب درصد حمام ها در جدول ۱ آمده است. پس از انجام عمل آوری، نمونه ها به مدت ۵ min در حمام فراصوت قرار گرفتند تا ذرات TiO₂ پیوند نیافته از سطح منسوج

جدول ۱ - ترکیب درصد حمام های عمل آوری برای نمونه های مختلف با مقادیر متفاوت TiO₂، CA، و SHP.

نمونه	TiO ₂ (%)	CA (g/L)	SHP (g/L)	نمونه	TiO ₂ (%)	CA (g/L)	SHP (g/L)
شاهد	-	-	-	۵	۰/۵۰	۲۰/۰۰	۰/۰۰
۱	۰/۰۰	۲۰/۰۰	۰/۰۰	۶	۰/۵۰	۳۰/۰۰	۰/۰۰
۲	۰/۰۰	۲۰/۰۰	۱۲/۰۰	۷	۰/۵۰	۱۰/۰۰	۶/۰۰
۳	۰/۵۰	۰/۰۰	۰/۰۰	۸	۰/۵۰	۲۰/۰۰	۱۲/۰۰
۴	۰/۵۰	۱۰/۰۰	۰/۰۰	۹	۰/۵۰	۳۰/۰۰	۱۸/۰۰

شدند. این شست و شو ۵ و ۱۰ مرتبه تکرار شد تا اثر شست و شوهای مکرر روی ثبات TiO₂ بررسی شود. پس از هر چرخه شست و شو نمونه ها با رنگ زای DR80 لکه گذاری شده و زیر تابش نور UV به مدت ۳۰ min قرار گرفتند. به منظور رنگ بری از پساب به وسیله نمونه ها، ۰/۵ g از پارچه عمل آوری شده، داخل محلول رنگ زای RB5 با غلظت ۲۰ ppm و L:G برابر با ۱:۶۰ قرار داده شد. ابتدا به منظور ایجاد تعادل در جذب رنگ به نمونه، محلول حاوی پارچه به مدت ۳۰ min در تاریکی قرار گرفت. سپس، محلول به همراه نمونه به مدت ۱۲۰ min زیر لامپ UV (۴۰۰ W) با طول موج ۳۲۰-۳۸۰ nm نوردهی شد.

نتایج و بحث

مطابق جدول ۲ مشاهده می شود، نمونه های حاوی TiO₂، نسبت به نمونه خام سفیدتر شده اند. بیشتر بودن سفیدی نمونه های عمل آوری شده با نانو ذرات TiO₂، به دلیل وجود نانو ذرات TiO₂ روی سطح پارچه عمل آوری شده در نظر گرفته می شود [۳]. همان طور که مشاهده می شود، نمونه هایی که بدون TiO₂ در مجاورت CA و SHP عمل آوری شده اند، نسبت به نمونه خام از سفیدی کمتری برخوردارند.

جدول ۲ - نتایج شاخص سفیدی نمونه های عمل آوری شده و فاصله رنگی نمونه های لکه گذاری شده با رنگ زای DR80 پیش و پس از ۳۰ min پرتو دهی فرابنفش بدون شست و شو و پس از شست و شوهای متفاوت و مقدار جذب محلول رنگ زای RB5 در طول موج بیشینه پس از ۱۲۰ min پرتو دهی فرابنفش در نمونه های مختلف.

جذب در طول موج ۶۰۰ nm	D ₁₀		D ₅		D ₀		شاخص سفیدی (Berger)		نمونه
	SD	میانگین	SD	میانگین	SD	میانگین	SD	میانگین	
۰/۴۶۳	۰/۲	۴/۲۳	۰/۳	۳/۸۴	۰/۲	۴/۸۵	۰/۲۳	۸۲/۳۴	شاهد
۰/۴۱۱	۰/۴	۷/۰۱	۰/۶	۱۲/۰۱	۰/۵	۱۷/۵۶	۰/۳۰	۸۰/۸۶	۱
۰/۴۲۴	۰/۵	۷/۱۲	۰/۵	۱۰/۰	۰/۴	۱۷/۷۹	۰/۲۲	۷۹/۰۱	۲
۰/۱۱۱	۰/۹	۲۸/۱۹	۰/۷	۳۴/۱۵	۷/۰	۴۲/۵۱	۰/۲۱	۸۸/۳۳	۳
۰/۰۷	۰/۸	۳۳/۲۷	۷/۱	۴۲/۴۵	۷/۱	۴۷/۶۰	۰/۲۴	۸۷/۷۶	۴
۰/۰۵	۷/۰	۳۰/۳۳	۷/۰	۴۰/۸۹	۰/۹	۳۷/۸۲	۰/۲۰	۸۸/۲۱	۵
۰/۰۳۳	۷/۲	۳۵/۹۲	۷/۲	۳۸/۷۴	۰/۸	۳۷/۵۴	۰/۲۳	۸۹/۴۸	۶
۰/۱۵۷	۷/۰	۳۷/۰۱	۷/۰	۴۷/۴۵	۰/۹	۳۹/۲۷	۰/۲۱	۸۸/۵۰	۷
۰/۰۹۸	۷/۲	۳۶/۱۰	۰/۹	۴۲/۷۳	۰/۸	۳۹/۶۳	۰/۲۰	۸۷/۱۰	۸
۰/۰۸۹	۷/۱	۴۰/۱۰	۰/۹	۴۷/۴۶	۷/۰	۴۶/۸۹	۰/۲۲	۸۵/۹۷	۹

Da: فاصله رنگی نمونه لکه گذاری شده پیش و پس از پرتو دهی UV، پس از a بار شست و شو.

جدا شوند. نمونه های خام و عمل آوری شده به کمک طیف نورسنج انعکاسی ارزیابی شدند و مقادیر سفیدی نمونه ها به کمک معادله (۱)، شاخص برگر [۲۸] محاسبه شد:

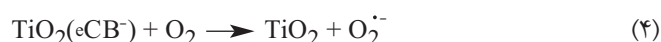
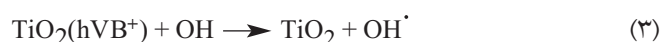
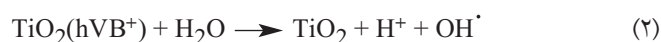
$$W(\text{Berger}) = 0.333Y + 1.06Z - 1.277X \quad (1)$$

به منظور بررسی خاصیت خودپاک کنندگی نمونه ها، از رنگ زای DR80 استفاده شده است. به این ترتیب که یک قطره از محلول رنگ زای با غلظت ۰/۰۵ g/L به کمک بورت از فاصله ۲ cm روی نمونه ریخته شد. سپس، نمونه ها به مدت ۳۰ min در معرض پرتو UV (با کمک لامپ ۴۰۰ W) قرار گرفتند. به منظور ارزیابی کمی خاصیت خودپاک کنندگی، تصاویر نمونه ها با استفاده از پردازش تصویر، پیش و پس از پرتو دهی با یک دیگر مقایسه شده و فاصله اقلیدسی آنها در فضای RGB به دست آمد. فاصله رنگی نمونه ها با توجه به معادله (۲) به دست آمده است [۲۸]:

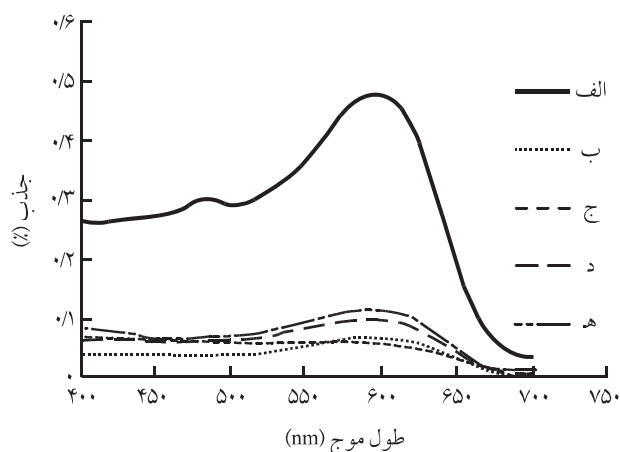
$$D = [(B_2 - B_1)^2 + (G_2 - G_1)^2 + (R_2 - R_1)^2]^{1/2} \quad (2)$$

به منظور بررسی ثبات شست و شویی ذرات TiO₂ روی پارچه، نمونه ها با ۱ g/L شوینده آنیونی در دمای ۶۰°C به مدت ۲۰ min شسته

امواج فرابنفش با انرژی بیشتر از اختلاف انرژی دو تراز، انواع رادیکال‌های مختلف را از اکسیژن و بخار آب تولید می‌کنند. این رادیکال‌های تولید شده بسیار پرانرژی و واکنش پذیر هستند و منجر به تجزیه مواد آلی نظیر رنگ‌زها می‌شوند. افزون بر این، حفره‌ها و الکترون‌ها می‌توانند به طور مستقیم با مواد آلی مطابق واکنش‌های (۷) و (۸) واکنش دهند [۸]:



در جدول ۲، نتایج اندازه‌گیری فاصله رنگی آمده است. نتایج این جدول

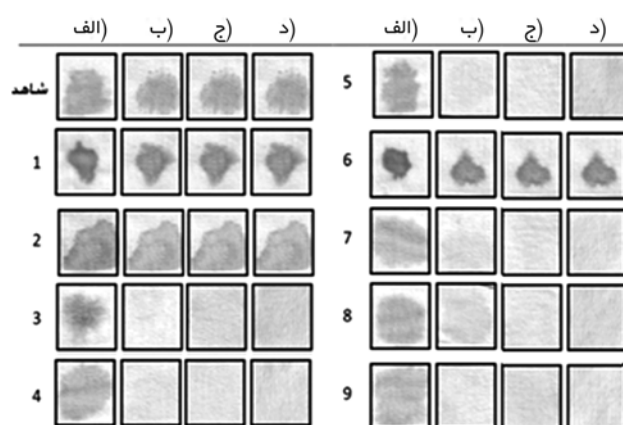


شکل ۲ - طیف جذبی محلول ۲۰ ppm رنگ‌زای RB5 رنگ‌بری شده با نمونه ۹: (الف) پیش از پرتو دهی، (ب) پس از رنگ‌بری با پرتو دهی به مدت ۱۲۰ min با پرتو فرابنفش و پس از: (ج) یک بار، (د) دوبار و (ه) سه بار رنگ‌بری مجدد نمونه ب.

گزارش شده است، CA و SHP موجب زردی نمونه می‌شوند. زردی ناشی از CA و SHP به دلیل ایجاد پلی کربوکسیلیک اسیدهای سیرنشده روی نمونه است [۲۹]. کاهش سفیدی در نمونه‌های حاوی نانوذرات TiO₂ به همراه CA و SHP نسبت به نمونه خام دیده نمی‌شود. همان‌طور که در شکل ۱ مشاهده می‌شود، پس از پرتو دهی UV در اثر فعالیت نورکاتالیزی نانوذرات TiO₂ در لکه رنگی کم‌رنگی ایجاد شده و خاصیت خودپاک‌کنندگی در نمونه به وجود آمده است. واکنش‌های انجام شده پس از پرتو دهی UV که موجب تخریب و بی‌رنگ شدن رنگ‌زاشده‌اند، شامل واکنش‌های (۱) تا (۸) هستند [۳۲، ۳۳]:



واکنش (۱)، تهییج نانوذرات TiO₂ را در اثر تابش پرتو فرابنفش نشان می‌دهد. برای این که فعالیت نورکاتالیزی انجام شود، نیمه رسانا نیاز به جذب انرژی برابر یا بیشتر از انرژی اختلاف انرژی دو تراز دارد که سبب انتقال الکترون از تراز ظرفیت به تراز رسانا شده و یک حفره (eCB⁻) به جا می‌گذارد. با جابه‌جایی الکترون‌ها، الکترون بار منفی (hVB⁺) و حفره با بار مثبت تولید می‌شود [۸]. مطابق واکنش‌های (۲) و (۳) حفره‌های تولید شده طی واکنش اکسایش، با آب و OH واکنش داده و رادیکال‌های فعالی نظیر H⁺، OH[·] و O₂^{·-} تولید می‌کنند. الکترون‌ها نیز طی واکنش کاهش (واکنش ۴) با اکسیژن مولکولی واکنش داده و رادیکال‌های آنیون سوپراکسید تولید می‌کنند. این رادیکال تولید شده می‌تواند مطابق واکنش (۵) با H⁺ واکنش دهد. TiO₂ در پرتو دهی با



شکل ۱ - نمونه لکه‌گذاری شده با رنگ‌زای DR80: (الف) پیش از پرتو دهی با UV، (ب) پس از ۳۰ min پرتو دهی، (ج) پس از ۵ مرتبه شست و شو و ۳۰ min پرتو دهی و (د) پس از ۱۰ مرتبه شست و شو و ۳۰ min پرتو دهی.

خودپاک کنندگی نمونه های شسته شده، به وسیله فواصل رنگی در فضای RGB در شکل ۱ و جدول ۲ نشان داده شده است. نتایج آزمون ثبات شست و شویی نشان می دهد، پس از ۵ و ۱۰ مرتبه شست و شو خاصیت خودپاک کنندگی به ویژه برای نمونه هایی که با CA و SHP عمل آوری شده اند، تا حدودی حفظ شده است. با توجه به نتایج جدول ۲، با افزایش مقدار CA ثبات شست و شویی نمونه ها افزایش یافته است. به ویژه نمونه هایی که به همراه SHP هستند، ثبات شست و شویی بیشتری نسبت به نمونه های بدون SHP دارند. چراکه SHP شبکه ای شدن CA و پنبه را آسان می کند. در نتیجه، موجب افزایش حبس نانوذرات TiO₂ می شود و به افزایش ثبات شست و شویی کمک می کند [۲۰، ۲۱]. از آن جا که بدون وجود SHP واکنش شیمیایی بین نمونه و CA به مقدار کافی برقرار نمی شود، در نتیجه در اثر شست و شو CA و TiO₂ متصل به آن از سطح نمونه جدا می شود. بنابراین، ثبات خاصیت خودپاک کنندگی در مجاورت SHP بیشتر است. واکنش (۹)، افزایش TiO₂ به سلولوز شبکه ای شده با CA را نشان می دهد:



نتایج جدول ۲ نشان می دهد، وجود ذرات نانوذرات TiO₂ روی پارچه، موجب تخریب نوری رنگ زا و در نتیجه تصفیه پساب رنگی شده است. مشاهده می شود، با افزایش CA در نمونه هایی که حاوی نانوذرات TiO₂ هستند، مقدار جذب محلول رنگ زا کاهش یافته است که این امر را می توان به افزایش جذب نانوذرات در مجاورت CA نسبت داد [۲۵]. اما، زمانی که افزون بر CA، SHP نیز به حمام اضافه شود کاهش مقدار

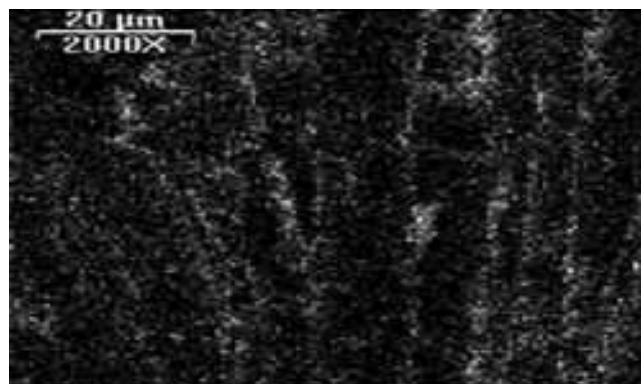
جدول ۳ - نتایج آزمون EDAX نمونه شاهد و نمونه های ۳ و ۹ پیش و پس از ۱۰ مرتبه شست و شو.

Au(%wt)	Ti (%wt)	نمونه
۰	۰	شاهد
۷۶/۸۸	۲۳/۱۲	۳
۸۹/۵۰	۱۰/۵۰	*۳
۷۱/۳۴	۲۸/۶۶	۹
۸۱/۹۷	۱۸/۰۳	*۹

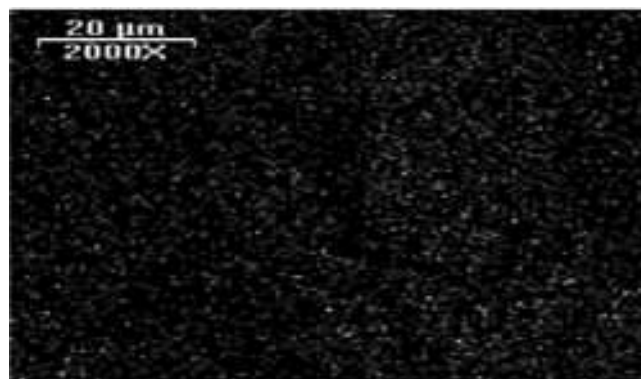
*پس از ۱۰ مرتبه شست و شو.



(الف)



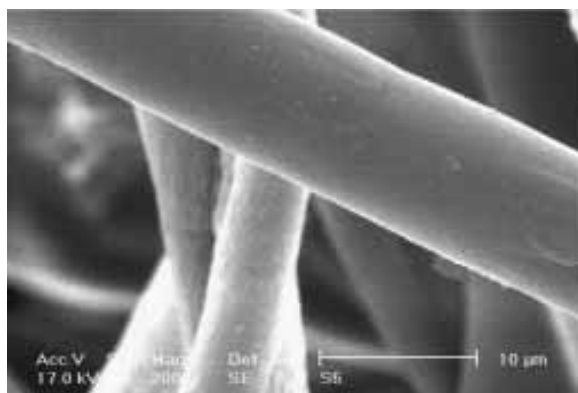
(ب)



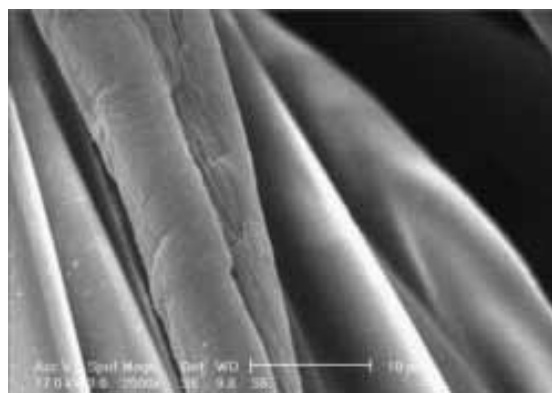
(ج)

شکل ۳ - تصاویر نقشه X-ray: (الف) نمونه شاهد و نمونه ۹، (ب) پیش از شست و شو و (ج) پس از ۱۰ مرتبه شست و شو.

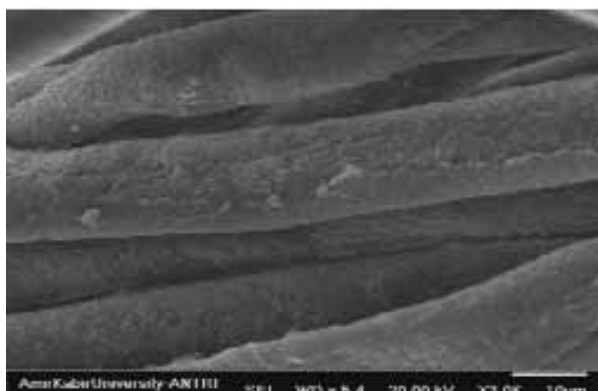
نشان می دهد، TiO₂ روی پارچه حلقوی مخلوط پنبه - پلی استر اثر خودپاک کنندگی خوبی ایجاد کرده است. البته دیده می شود، نمونه های بدون TiO₂ نیز تا حدودی سبب کم رنگ شدن لکه رنگی شده اند که در نتیجه تخریب نوری رنگ زا در اثر پرتو دهی UV بوده است. نتایج آزمون ثبات شست و شویی ذرات TiO₂ قرار گرفته روی کالا با بررسی



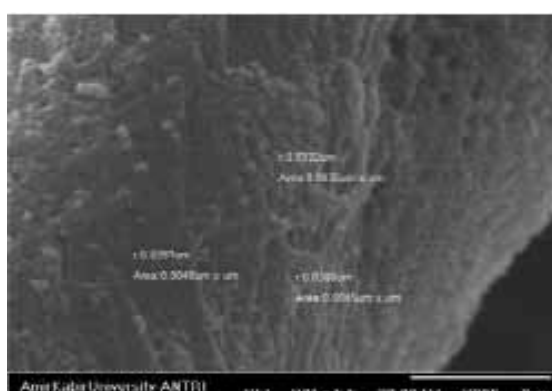
(ب)



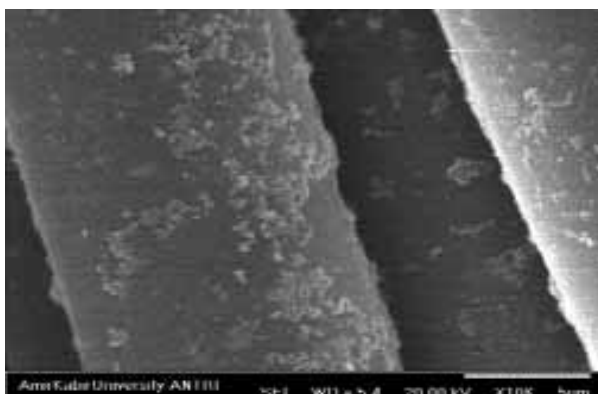
(الف)



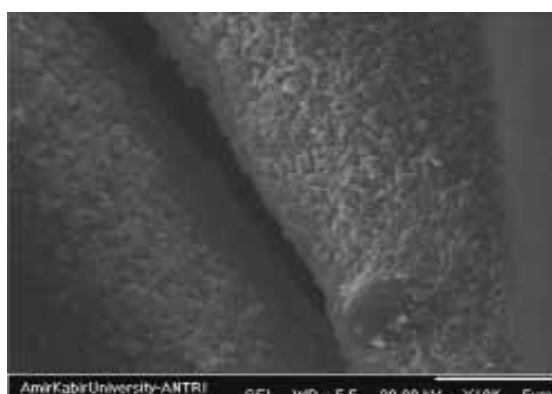
(د)



(ج)



(و)



(ه)

شکل ۴- تصویر SEM سطح الیاف پارچه پنبه - پلی استر: (الف و ب) پیش از عمل آوری، (ج) نمونه ۹، (د) نمونه ۹ پس از ۱۰ مرتبه شست و شو، (ه) نمونه ۳ و (و) نمونه ۳ پس از ۱۰ مرتبه شست و شو.

منظور بررسی امکان استفاده از یک نمونه برای رنگ‌بری محلول‌های رنگی پی در پی نمونه ۹ که به مدت ۱۲۰ min داخل محلول رنگ‌زا در معرض پرتودهی قرار گرفته است، برای رنگ‌بری ۳ محلول پی در پی دیگر با همان شرایط استفاده شده است. شکل ۲ طیف جذبی محلول‌های رنگ‌بری شده با این نمونه، پیش و پس از ۱۲۰ min

حداکثر جذب کمتر است. این امر می‌تواند به دلیل ایجاد بار منفی روی کالا به واسطه وجود CA و SHP باشد. از آن جا که مولکول رنگ‌زای استفاده شده دارای گروه‌های منفی است، در نتیجه جذب رنگ‌زا به سطح کالا به عنوان مهم‌ترین مرحله تخریب، کاهش یافته و مقدار رنگ‌بری پس از زمان مشخص ۲h پرتودهی UV کاهش یافته است. به

CA در مجاورت SHP به برداشت نانوذرات TiO_2 از محلول کمک می کند. با مقایسه تصاویر شکل ۴-د و ۴-ه و مشاهده می شود، در نمونه ۹ حتی پس از ۱۰ مرتبه شست و شو هنوز مقدار زیادی نانوذرات TiO_2 ، به ویژه روی الیاف پنبه، باقی مانده است. در حالی که در نمونه ۳، که بدون CA عمل آوری شده است، پس از شست و شو مقدار نانوذرات TiO_2 روی سطح الیاف بسیار کاهش می یابد. هم چنین، تصاویر مزبور مؤید نتایج حاصل از خودپاک کنندگی پس از شست و شو است. این امر می تواند به دلیل شبکه ای شدن نمونه در مجاورت CA و SHP در حمام عمل آوری باشد که سبب افزایش پایداری نانوذرات TiO_2 روی سطح الیاف پنبه ای شده است. بنابراین می توان نتیجه گرفت، وجود CA و SHP کمک قابل توجهی به افزایش مقدار و پایداری نانوذرات TiO_2 ، به ویژه روی سطح الیاف پنبه، کرده است [۲۴-۲۰].

نتیجه گیری

با عمل آوری پارچه حلقوی پنبه - پلی استر به وسیله نانوذرات تیتانیم دی اکسید مشخص شد، سفیدی نمونه های عمل آوری شده، نسبت به نمونه خام بیشتر شده که ناشی از وجود نانوذرات TiO_2 روی سطح پارچه عمل آوری شده است. ذرات TiO_2 روی پارچه مخلوط پنبه - پلی استر اثر خودپاک کنندگی خوبی ایجاد کرده اند. هم چنین، ویژگی خودپاک کنندگی پس از ۵ و ۱۰ مرتبه شست و شو برای نمونه های عمل آوری شده با CA و SHP به خوبی حفظ شده است. تصاویر SEM نمونه ۱۰ مرتبه شسته شده نشان می دهد، مقدار نانوذرات TiO_2 روی سطح الیاف تا حدی کاهش یافته، اما هنوز به مقدار قابل توجهی از ذرات روی سطح الیاف باقی مانده اند. وجود CA به همراه SHP با ایجاد پیوند عرضی در نمونه به افزایش پایداری نانوذرات TiO_2 کمک کرده است. هم چنین، پارچه حلقوی مخلوط پنبه - پلی استر عمل آوری شده با TiO_2 و CA می تواند برای رنگ بری پساب رنگی برای چند مرتبه استفاده شود.

مراجع

1. Fujishima A. and Zhang X., Titanium Dioxide Photocatalysis: Present Situation and Future Approach, *Compt. Rend. Chim.*, **9**, 750-760, 2006.
2. Zhang Q., Gao L., and Guo J., Effect of Hydrolysis Conditions on Morphology and Crystallization of Nanosized TiO_2 Powder, *J. Eur. Ceram. Soc.*, **20**, 2153-2158, 2000.
3. Zukerman R., *Photocatalytic Properties of Nanocrystalline Titania*, MSc Thesis, University of the Negev, 2003.
4. Xie H., Zhang Q., Xi T., Wang J., and Liu Y., Thermal Analysis on Nanosized TiO_2 Prepared by Hydrolysis, *Thermochim. Acta*, **381**, 45-48, 2002.
5. Samuneva B., Kozhukharov V., Trapalis C., and Kranold R., Sol-

پرتو دهی را نشان می دهد. مشاهده می شود، حداقل تا ۴ مرتبه می توان از یک نمونه به منظور رنگ بری از پساب رنگی استفاده کرد. این موضوع نشان دهنده پایداری نانوذرات TiO_2 روی پارچه پنبه - پلی استر و پایداری کارایی نورکاتالیزوی آنهاست [۳۱].

به منظور نشان دادن نحوه توزیع نانوذرات تیتانیم دی اکسید روی سطح الیاف به کمک دستگاه WDX تصویر نقشه عنصر تیتانیم (Ti) به کمک X-ray گرفته شد (شکل ۳). تصاویر به دست آمده نبود TiO_2 روی سطح نمونه شاهد را نشان می دهد (شکل ۳-الف). تصویر نقشه X-ray نمونه ۹، توزیع یکنواخت و متراکم نانوذرات TiO_2 را روی سطح الیاف نشان می دهد. تصویر نقشه X-ray نمونه ۱۰ مرتبه شسته شده نشان می دهد، مقدار TiO_2 روی سطح الیاف تا حدی کاهش یافته است، اما هنوز به مقدار قابل توجهی روی سطح الیاف باقی مانده اند.

نتایج آزمون EDAX نمونه شاهد و نمونه های ۳ و ۹ پیش و پس از ۱۰ مرتبه شست و شو در جدول ۳ نشان داده شده اند. با بررسی درصد وزنی عناصر شناسایی شده مشخص شد، افزودن CA به حمام فراصوت سبب افزایش جذب ذرات TiO_2 می شود. درصد های عناصر پیش و پس از شست و شو نشان می دهد، نمونه ۹ با وجود CA و SHP پایداری شست و شویی بیشتری نسبت به نمونه ۳ بدون CA دارد. بنابراین می توان نتیجه گرفت، وجود CA و SHP نه تنها به افزایش جذب نانوذرات TiO_2 کمک می کند، بلکه موجب افزایش پایداری نانوذرات TiO_2 روی منسوج پنبه - پلی استر نیز شده است.

شکل ۴-الف و ب تصاویر SEM سطح الیاف موجود در پارچه پنبه - پلی استر را پیش از عمل آوری نشان می دهد. تصاویر پارچه خام، نبود هر نوع ترکیب یا آلودگی روی سطح الیاف پنبه و پلی استر را پیش از عمل آوری تأیید می کند. تصویر SEM نمونه ۹ (شکل ۴-ج) نشان می دهد، سطح الیاف به خوبی با نانوذرات TiO_2 پوشانده شده است. در تصویر SEM نمونه ۳ (شکل ۴-د) نیز مشاهده می شود، سطح الیاف با نانوذرات پوشانده شده است. ولی همان طور که تصویر ۴-ه نشان می دهد، وجود نانوذرات TiO_2 در نمونه ۳ کمتر از نمونه ۹ است که با CA و SHP عمل آوری شده است. زیرا همان طور که قبلاً اشاره شد،

- Gel Processing of Titanium-containing Thin Coatings - Part I: Preparation and Structure, *Mater. Sci.*, **28**, 2353-2360, 1993.
6. Djaoued Y., Badilescu S., and Ashrit P.V., Low Temperature Sol-Gel Preparation of Nanocrystalline TiO₂ Thin Films, *J. Sol-Gel Sci. Technol.*, **24**, 247-254, 2002.
 7. Kathirvelu S., Louis D'Souza D., and Dhurai B., A Comparative Study of Multifunctional Finishing of Cotton and P/C Blended Fabrics Treated with Titanium Dioxide/Zinc Oxide Nanoparticles, *Ind. J. Sci. Technol.*, **1**, 1-12, 2008.
 8. Akpan U.G. and Hameed B.H., Parameters Affecting the Photocatalytic Degradation of Dyes Using TiO₂-based Photocatalysts: A Review, *J. Hazard. Mater.*, **170**, 520-529, 2009.
 9. Uddin M.J., Cesano F., and Bonino F., Photoactive TiO₂ Film on Cellulose Fibers: Synthesis and Characterization, *J. Photochem. Photobiol. A.*, **189**, 286-294, 2007.
 10. 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. Surf. B*, **79**, 5-18, 2010.
 11. Li H., Deng H., and Zhao J., Performance Research of Polyester Fabric Treated by Nano Titanium Dioxide, Anti-ultraviolet, *Finish. Chem.*, **1**, 57-62, 2009.
 12. Montazer M. and Pakdel E., Reducing Photoyellowing of Wool Using Nano TiO₂, *J. Photochem. Photobiol. A.*, **86**, 255-260, 2010.
 13. Meilert K.T., Laub D., and Kiwi J., Photocatalytic Self-cleaning of Modified Cotton Textile by TiO₂ Clusters Attached by Chemical Spacer, *J. Molecul. Catal. A: Chem.*, **237**, 101-108, 2005.
 14. Ledakowicz J., Lewartowska J., Kudzin M., Leonowicz M., Jesionowski T., Stefanska K., and Krysztafkiewicz A., Functionalization of Textile Materials by Alkoxysilane-Grafted Titanium Dioxide, *J. Mater. Sci.*, **44**, 3852-3860, 2009.
 15. Dastjerdi R., Montazer M., and Shahsavan S., A Novel Technique for Producing Durable Multifunctional Textiles Using Nanocomposite Coating, *Colloid. Surf. B*, **81**, 32-41, 2010.
 16. Mihailovic D., Saponjie Z., Radoicic M., Radetie T., Jovancie P., Nedeljkovic J., and Radetie M., Functionalization of Polyester Fabrics with Alginates and TiO₂ Nanoparticles, *Carbohydr. Polym.*, **79**, 526-532, 2010.
 17. Da Silva M.A., Bierhalz A.C.K., and Kieckbusch T.G., Alginate and Pectin Composite Films Crosslinked with Ca²⁺ Ions: Effect of the Plasticizer Concentration, *Carbohydr. Polym.*, **77**, 736-742, 2009.
 18. Sunada K., Watanabe T., and Hashimoto K., Studies on Photokilling of Bacteria on TiO₂ Thin Film, *J. Photochem. Photobiol. A.*, **156**, 227-223, 2003.
 19. Tatsuma T., Tachibana S., Miwa T., Tryk D.A., and Fujishima A., Remote Bleaching of Methylene Blue by UV-Irradiated TiO₂ in the Gas Phase, *J. Phys. Chem. B.*, **103**, 8033-8035, 1999.
 20. Nazari A., Montazer M., Rashidi A., Yazdanshenas M., and Anary-Abbasinejad M., Nano TiO₂ Photo-catalyst and Sodium Hypophosphite for Cross-linking Cotton with Polycarboxylic Acids under UV and High Temperature, *J. Appl. Catal., A.*, **371**, 10-16, 2009.
 21. Nazari A., Montazer M., Rashidi A., Yazdanshenas M., and Moghadam M.B., Optimization of Cotton Crosslinking with Polycarboxylic Acids and Nano TiO₂ Using Central Composite Design, *J. Appl. Polym. Sci.*, **117**, 2740-2748, 2010.
 22. Chen C.C. and Wang C.C., Crosslinking of Cotton Cellulose with Succinic Acid in the Presence of Titanium Dioxide Nano-Catalyst under UV Irradiation, *J. Sol-Gel Sci. Technol.*, **40**, 31-38, 2006.
 23. Wang C.C. and Chen C.C., Physical Properties of the Crosslinked Cellulose Catalyzed with Nanotitanium Dioxide under UV Irradiation and Electronic Field, *Appl. Catal., A.*, **293**, 171-179, 2005.
 24. Wang C.C. and Chen C.C., Physical Properties of Crosslinked Cellulose Catalyzed with Nano Titanium Dioxide, *J. Appl. Polym. Sci.*, **97**, 2450 - 2456, 2005.
 25. Nazari A., Montazer M., Moghadam M.B., and Anary-Abbasinejad M., Self-cleaning Properties of Bleached and Cationized Cotton Using NanoTiO₂: A Statistical Approach, *Carbohydr. Polym.*, **83**, 1119-1127, 2011.
 26. Welch C.M., Tetra Carboxylic Acids as Formaldehyde-Free Durable Press Finishing Agents, Part I. Catalyst, Additive, and Durability Studies, *Text. Res. J.*, **58**, 480-486, 1988.
 27. Karimi L., Mirjalili M., Yazdanshenas M.E., and Nazari A., Effect of Nano TiO₂ on Self-cleaning Property of Cross-linking Cotton Fabric with Succinic Acid under UV Irradiation, *J. Photochem. Photobiol. A.*, **20**, 1-8, 2010.
 28. Amirshahi S.H. and Agahian F., *Computational Colour Physics*,

- Arcan Danesh, Iran, 1386.
29. Lu Y. and Yang C., Fabric Yellowing Caused by Citric Acid as a Crosslinking Agent for Cotton, *Text. Res. J.*, **69**, 685-690, 1999.
 30. Montazer M., Nazari A., and Rahimi M.K., Concurrent Antimicrobial and Anticrease of Bleached and Cationic Cotton Using Nano Titanium Dioxide and Butane Tetracarboxylic Acid, *Iran. J. Polym. Sci. Technol. (In Persian)*, **99**, 41-51, 2009.
 31. Montazer M. and Joulai M.M., Structure Modification of Polyester 3-Deminsional Fabrics with 3-Cyclodextrin and Citric Acid, *Iran. J. Polym. Sci. Technol. (In Persian)*, **96**, 297-305, 2008.
 32. Konstantinou I.K. and Albanis T.A., TiO_2 -assisted Photocatalytic Degradation of Azo Dyes in Aqueuse Solution: Kinetic and Mechanistic Investigations: A Review, *Appl. Catal. B.*, **49**, 1-14, 2004.
 33. Neti N.R. and Joshi P., Cellulose Reinforced- TiO_2 Photocatalyst Coating on Acrylic Plastic for Degradation of Reactive Dyes, *J. Coat. Technol. Res.*, **7**, 643-650, 2010.