



نانو تکنولوژی

سنتر، شناسایی و خواص خودتمیز شوندگی نانوذرات تیتانیا پیوند یافته بر روی پارچه‌های پلی استر

بواسطه خواص فتوکاتالیستی بسیار خوب نانوذرات تیتانیا (TiO_2) به عنوان عوامل خود تمیز شونده و ضد باکتری، علاقه وسیعی نسبت به مهندسی کردن پارچه‌های نساجی تکمیل شده با TiO_2 ایجاد شده است. هدف از این مطالعه، ایجاد پارچه‌های نساجی خود تمیز شونده بر پایه الیاف پلی استر (PES) و نانوذرات TiO_2 بود. به منظور پیوند دادن TiO_2 به سطح پلی استر بصورت کووالانسی، نانوذرات تجاری TiO_2 ابتدا توسط آمینوپروپیل تری متوکسی سیلان (APTMS) اصلاح شدند و سپس به الیاف پلی استر پیوند داده شدند. الیاف پلی استر روکش شده توسط FT-IR و FESEM شناسایی شدند و خصوصیات آنها با الیاف بدون روکش مقایسه شد. فعالیت فتوکاتالیستی TiO_2 ، توسط تخریب نوری متیلن بلو در محلول اثبات شد. علاوه بر این، قابلیت TiO_2 برای تخریب نوری لکه‌های متیلن بلو جذب شده روی سطح پارچه پلی استر نیز، آزمایش شد.

مقدمه

محیطی موجود روی سطوح TiO_2 ، به انضمام ترکیبات فرار شوند و منجر به تجزیه آلاینده‌ها به قطعه‌های با وزن مولکولی کم شوند. تجربه مثبت با عملکرد فتوکاتالیستی نانوذرات TiO_2 و احتمال موفقیت تکنیکی و مزایای اقتصادی آن توسط صنایع نساجی شناسایی شده بود و بنابراین افزودن نانوذرات اکسید تیتانیوم روی پارچه‌ها مرکز توجه بسیاری از محققان شده است.

مطالعات زیادی بر روی ایجاد سطوح هوشمند حاوی نانوذرات TiO_2 با خواص فتوکاتالیستی صورت گرفته است که به عنوان سطوح خود تمیز شونده در برابر انواع آلاینده‌های آلی عمل می‌کنند [۸-۱۰]. به منظور طراحی مواد خود تمیز شونده، میکرو و نانو ذرات اکسید تیتانیوم روی بسترهای مناسب متفاوت با استفاده از تکنیک‌های مختلف از قبیل آندی کردن [۱۱، ۱۲]، نشانندن یا رسوب دهی شیمیایی با بخار [۱۳، ۱۴]، اکسایش حرارتی تیتانیوم فلزی، سُل-ژل [۱۵-۱۷] نشانده شده بودند. برخی از روشها مثل رسوب دهی شیمیایی با بخار که احتیاج به دماهای

نانوذرات اکسید تیتانیوم (TiO_2) غیر سمی، بسیار موثر، ارزان و فتوکاتالیست‌های سازگار با محیط زیست در تخریب آلودگی‌های آلی هستند [۱، ۲]. توانایی از بین بردن آلودگی‌های آلی از محیط اکسایش-کاهش ایجاد شده از حساسیت نوری TiO_2 ناشی می‌شود [۳]. همین که با نوری دارای طول موج مساوی یا بزرگتر از گاف انرژی خود (۲/۳ eV برای TiO_2) تهییج شود، تولید زوج الکترون‌ها و حفره‌ها به ترتیب در نوار ظرفیت و رسانش نیمه رسانا رخ می‌دهد [۴، ۵]. حفره‌ها و الکترون‌های تحریک یافته، هریک می‌توانند دوباره به هم پیوسته و واکنش‌های اکسایش-کاهش را با گونه‌های الکترون دهنده و گیرنده حاضر در مجاور نانوذرات TiO_2 ایجاد کنند. بطور کلی تشکیل گونه‌های اکسایش فعال (ROS) قادر به فتواکسید کردن مولکولهای آروماتیک و آلیفاتیک به CO_2 رخ می‌دهد [۶، ۷]. بنابراین، گونه‌های بدست آمده تحت پرتو دهی می‌توانند باعث اکسایش یا کاهش آلاینده‌های زیست



تجزیه نوری متیلن بلو به عنوان ترکیب مدل مورد ارزیابی قرار گرفت.

مواد

نانوذرات دیوکسید تیتانیوم (TiO_2) با ساختار آاناتاز و قطر اسمی کمتر از ۱۰۰ نانومتر از سیگما-آلدريج (سوئیس) خریداری شدند. پارچه‌های پلی‌استری (PES) از شرکت (Italy) Next Technology Tecnotessile (فراهم شدند. این پارچه‌ها متشکل از پلی‌استر آبدوست با ضخامت حدود ۱ میلی‌متر بودند. (۳-آمینوپروپیل)-تری‌متوکسی‌سیلان (APTMS) علاوه‌همه حلال‌ها از سیگما-آلدريج (سوئیس) تهیه شدند و بدون خلص‌سازی بیشتر مورد استفاده قرار گرفتند.

روش‌ها

عامل‌دار کردن نانوذرات TiO_2 با APTMS

نانوذرات تجاری تیتانیا (TiO_2) با استفاده از (۳-آمینوپروپیل)-تری‌متوکسی‌سیلان (APTMS) تحت عامل‌دار کردن سطحی قرار گرفتند، همانطور که قبلاً ارائه شده بود [۳۱]. بطور خلاصه، ۵ میلی‌لیتر از (۳-آمینوپروپیل)-تری‌متوکسی‌سیلان (APTMS) به تعلیق یا سوسپانسیون نانوذرات، حاوی ۵/۰ گرم نانوپودر TiO_2 در مخلوط اتانول/آب ۵/۹۵ درصد در pH=۵ اضافه شد. نانوذرات عامل‌دار شده بوسیله مافوق‌سانتریفیوژ در ۶۰۰۰ rpm به مدت ۱۵ دقیقه رسوب داده شدند و قبل از اینکه در آن خلاء به مدت یک شب در ۷۰ درجه سانتیگراد قرار گیرند، ۲ مرتبه با اتانول شسته شدند. نانوذرات عامل‌دار شده با APTMS، با عنوان نانوذرات TiO_2-NH_2 معرفی شده‌اند.

فرایند پیوند دادن نانوذرات TiO_2-NH_2

پارچه‌های پلی‌استر ابتدا در تعلیق حاوی نانوذرات TiO_2-NH_2 در غلظت ۱ mg/ml برای ۳۰ دقیقه غوطه‌ور شدند و سپس در ۷۰ درجه سانتیگراد در آن برای ۳۰ دقیقه حرارت داده شدند. پارچه‌های پیوند یافته با TiO_2 جهت حذف نانوذرات پیوند نده از سطح بطور ممتد با آب دیونیزه شسته شدند و اجازه داده شد که در هوا خشک شوند.

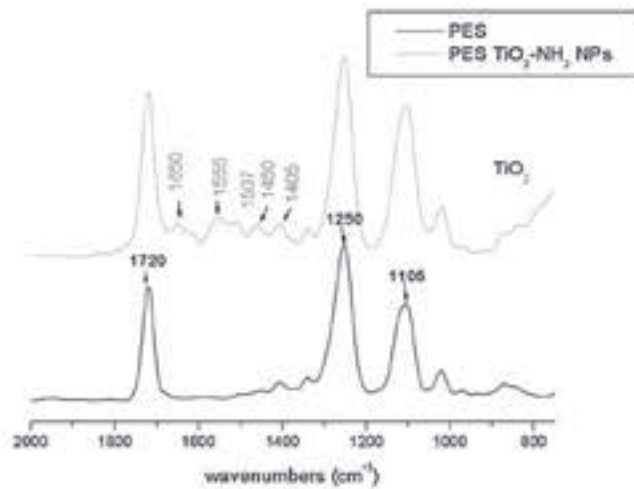
شناسایی خواص پارچه‌های دارای نانوذرات TiO_2-NH_2

طیف‌های مادون‌قرمز با استفاده از طیف‌سنج FTIR (Biorad FTS 6000)، راه‌اندازی شده در حالت انعکاس کلی کاهش یافته (ATR)، ثبت شد. طیف‌ها میانگین ۵۱۲ پویش در قدرت تفکیک 2 cm^{-1} بودند. طیف‌ها نسبت به خط مبنا تصحیح شده و صاف شده بودند.

الیاف پلی‌استر پیوند یافته و خام (اصلاح نشده) توسط میکروسکوپ الکترونی پوششی گسیل میدانی (SIGMA VP Zeiss, Germany) مجهز به طیف‌سنج متفرق‌کننده انرژی پرتو ایکس (EDX) با آشکارساز Oxford INCA، تجزیه و تحلیل شدند. نمونه‌ها تحت فشار جزئی با استفاده از آشکارساز VPSE زمانی که در مکان مخصوص سوار شده بود، مشاهده شدند. همه نمونه‌ها با استفاده از پارامترها و شرایط تقریباً یکسان میکروسکوپ آنالیز شدند؛ ولتاژ شتاب‌دهنده ۱۵ و ۲۰ کیلوولت، فاصله کاری حدود ۷ میلی‌متر و شدت پرتوی الکترون ۴/۲ آمپر. از سطوح همچنین در حالت الکترون بازگشتی نیز به منظور

بالا دارند، موجب گسیختگی یا پوسته پوسته شدن فیلم خواهد شد و مانع از ایجاد روکش روی مواد با خواص حرارتی کم مثل پلیمرها می‌شود [۱۸]. در خصوص مواد نساجی افزوده‌شده با نانوذرات، با وجود کاربردها و مزایای بالقوهٔ بشمار، هنوز نگرانی‌هایی دربارهٔ تولید آنها برای تجاری شدن وجود دارد. مسائل مشکل‌سازی در مورد حفظ خواص الیاف زمانی که با نانوذرات روکش می‌شوند، وجود دارند [۱۹]. اغلب روش‌ها برای نشان دادن TiO_2 بر روی بستر پلیمری شامل پارچه‌های پلی‌استر، پلی‌استایرن، پنبه با روش سل-ژل به علت فرایندپذیری آسان و شرایط عملیات قابل قبول آن، سر و کار دارند [۲۱،۲۲]. اخیراً، به منظور بهبود راندمان پیوند نانوذرات TiO_2 روی سطوح پلیمری، عامل‌های شیمیایی مختلفی روی سطح پلیمر وارد شده بود. با در نظر گرفتن اینکه گروه‌های هیدروکسیل و کربوکسیلیک اسید، محل بالقوه مناسبی برای پیوند نانوذرات TiO_2 هستند، بیشتر استراتژی‌ها تاکنون اهمیت ورود این گروه‌ها یا مولکول‌های حامل آنها را توسط تکنیک‌های مختلف شامل عملیات پلازما یا واکنش‌های شیمیایی، توصیه می‌کنند [۲۲،۲۳]. عملیات پلازما برای اصلاح سطح پارچه‌ها با هدف وارد کردن گروه‌های کربوکسیل و هیدروکسیل جدید مخصوصاً برای الیاف پلی‌استر و پلی‌اکریلیک بکار گرفته شده بود [۲۴]. اما شیمی سطح و توپوگرافی الیاف را تغییر می‌داد. کای و همکارانش تهیهٔ نانوذرات TiO_2 را از طریق فرایند سل-ژل بوسیلهٔ افزودن مقدار کمی اسید گزارش کردند، که باعث بهبود چسبندگی این قبیل نانوذرات به الیاف پلیمری می‌شود [۲۵]. اما این عملیات اسیدی سطح الیاف را تغییر داده و منجر به افت خواص مکانیکی تمام پارچه می‌شود. هاشمی‌زاد و همکارانش، استفاده از هیدرولیز قلیایی الیاف پلی‌اتیلن ترفتالات را به منظور پیوند دادن نانوذرات TiO_2 ارائه کردند [۲۶]. اما در این مورد نیز برخی تغییرات شیمی سطح و مورفولوژی الیاف اتفاق افتاد.

در این مقاله، ما یک روش ساده و مؤثر برای روکش نمودن الیاف پلی‌استر با نانوذرات TiO_2 بدون تغییر خواص الیاف، به منظور دستیابی به پارچه‌های پلی‌استری (PES) خودتمیزشونده ارائه نمودیم. از میان مواد مختلف نساجی که توسط نانوذرات TiO_2 روکش شده‌اند، پلی‌استر به علت هزینهٔ کم، انعطاف‌پذیری، مقاومت و محدودهٔ وسیعی از کاربردهای آن، از فیلتر برای تصفیه هوا گرفته تا پارچه‌های نساجی برای پوشاک، یکی از چالش‌انگیزترین آنها می‌باشد [۲۷-۲۹]. شیوهٔ ما ابتدا شامل عامل‌دار کردن نانوذرات TiO_2 با مولکول آمینوسیلان و سپس پیوند دادن نانوذرات سیلان‌دار شده به الیاف پلی‌استر می‌باشد. جذب و برهمکنش ارگانوسیلان‌ها بر روی نانوذرات TiO_2 از طریق تشکیل پیوندهای Si-O-Ti رخ می‌دهد. در نتیجهٔ ورود گروه‌های آمین اولیه، نانوذرات TiO_2 سیلان‌دار شده می‌توانند از طریق شکست پیوندهای استری و در ادامه تشکیل پیوند آمیدی، بطور کووالانسی به پلی‌استر متصل شوند. الیاف روکش یافته توسط طیف‌سنجی تبدیل فوریهٔ مادون قرمز تجهیز شده با بازتابش کلی کاهش یافته (ATR-FTIR) بطور شیمیایی آنالیز شدند. آنالیزهای میکروسکوپ الکترونی پوششی تحت گسیل میدانی (FESEM) و طیف‌سنجی متفرق‌کنندهٔ انرژی پرتوی ایکس (EDX) برای شناسایی مورفولوژی الیاف روکش یافته و توزیع نانوذرات روی الیاف استفاده شدند. عملکرد فتوکاتالیستی الیاف روکش یافته توسط



شکل ۳- طیفهای مادون قرمز پلی استر خام (طیف مشکی) و پارچه پلی استر پیوند داده با نانوذرات TiO_2 (طیف خاکستری)

زمانی منظم ۱۰ دقیقه خارج شد و غلظت باقی مانده متیلن بلو توسط اسپکتوفتومتر UV (Lambda 650 Perkin Elmer) در $\lambda_{max} = 664 \text{ nm}$ اندازه گیری شد تا اینکه جذب نزدیک به صفر شد. پارچه های پیوند داده با نانوذرات TiO_2 پرتو دهی نشده و پارچه های پرتو دهی شده بدون نانوذرات TiO_2 به عنوان نمونه های مرجع در نظر گرفته شدند.

تجزیه فتوکاتالیزوری توسط رابطه زیر محاسبه شد:

$$C/C_0$$

بطوریکه C_0 غلظت متیلن بلو اولیه رنگ و C غلظت در هر زمان آزمایش متفاوت را ارائه می دهند.

علاوه بر این به منظور ارزیابی قابلیت نانوذرات TiO_2 برای تجزیه نوری لکه رنگ متیلن بلو روی سطح پلی استر، پارچه های پیوند داده با TiO_2 با ۱ میلی لیتر محلول $5 \times 10^{-4} \text{ M}$ متیلن بلو لکه گذاری شده و در دمای اتاق خشک شدند و سپس توسط لامپ UV تحت شرایط یکسان پرتو دهی شدند. رنگ متیلن بلو باقی مانده بر روی پارچه ها توسط اندازه گیریهای طیف نورسنجی UV محاسبه شد. نمونه ها روی حفره گوی جمع کننده محکم شدند و جذب متیلن بلو لکه گذاری شده روی سطوح در $\lambda_{max} = 664 \text{ nm}$ هر ۱۰ دقیقه تا اینکه به صفر نزدیک شود، اندازه گیری شد.

نتایج

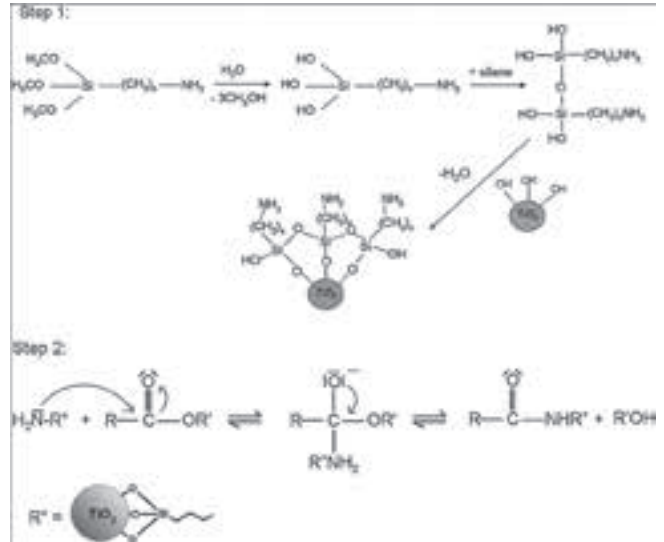
پیوند دادن نانوذرات TiO_2-NH_2 روی پارچه های پلی استر

پیوند دادن نانوذرات TiO_2 روی الیاف پلی استر در دو مرحله انجام شده بود، بطوریکه در شکل ۱ نشان داده شده است:

(۱) عامل دار کردن نانوذرات TiO_2 توسط (۳-آمینوپروپیل)-تری متوکسی سیلان (APTMS).

(۲) اتصال نانوذرات TiO_2-NH_2 روی الیاف پلی استر.

عامل دار کردن سطحی نانوذرات TiO_2 از طریق تشکیل پیوند $Ti-O-Si$ با گروه های متوکسی APTMS اتفاق می افتد و همانطور که قبلاً گزارش شده بود، انجام شد [۳۱]. طیف مادون قرمز نانوذرات

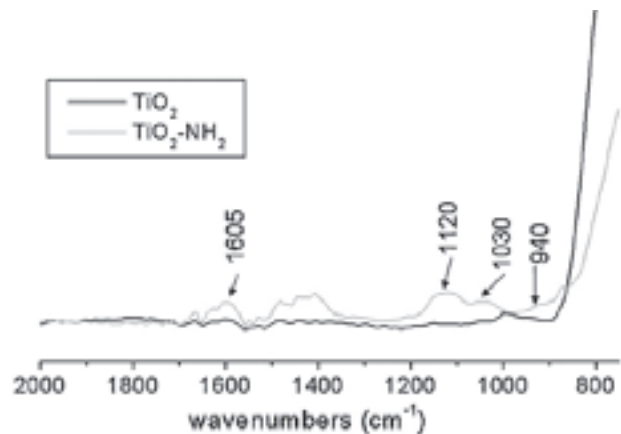


شکل ۱- شماتیک عامل دار کردن سطحی نانوذرات TiO_2 توسط APTMS (مرحله ۱) و پیوند سطحی نانوذرات TiO_2 عامل دار شده با آمینو روی سطح الیاف (مرحله ۲)

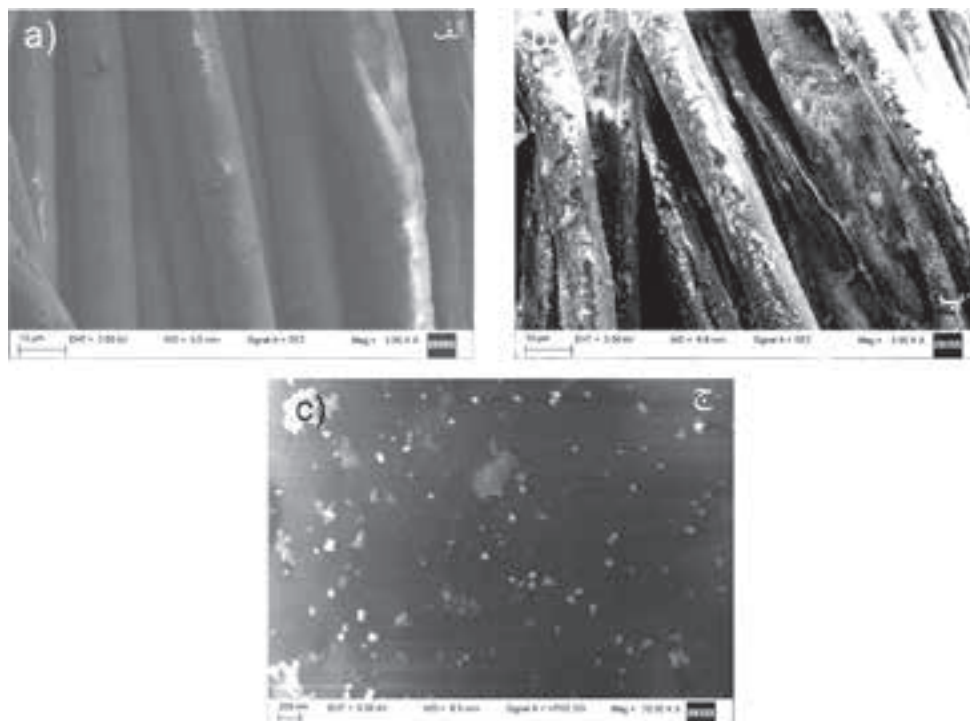
تشخیص نانوذرات معدنی از پارچه های آلی عکس گرفته شد. آنالیز عنصری توسط طیف سنجی متفرق کننده پرتوی ایکس (EDX)، با استفاده از سیستم OXFORD INCA انجام شد. نقشه های هوشمند نقطه به نقطه نیز توسط عکسبرداری سیگنال های Ti و Si روی سطح، جهت تعیین توزیع نانوذرات TiO_2 روی سطح حاصل شد.

تجزیه یا تخریب فتوکاتالیستی متیلن بلو تحت تابش نور UV

خواص فتوکاتالیستی پارچه پیوند خورده با نانوذرات TiO_2 توسط سنجش تجزیه نوری متیلن بلو (MB) در محلول آبی با غلظت اولیه $5 \times 10^{-4} \text{ M}$ ارزیابی شد. پارچه های پیوند خورده با نانوذرات TiO_2 (قطعه های گرد با شعاع حدود ۳ cm) در ۱۰ میلی لیتر محلول $5 \times 10^{-4} \text{ M}$ متیلن بلو غوطه ور شدند و تحت شرایط تاریک جهت دستیابی به تعادل جذب برای ۲ ساعت هم زده شدند. سپس نمونه ها توسط لامپ جیوه UV-Vis ۴۰۰ وات (Helios Ital Quartz) در محدوده بین ۲۰۰ و ۸۰۰ نانومتر در فاصله ۳۰ سانتی متری تحت تابش قرار گرفتند. محلول متیلن بلو در فواصل



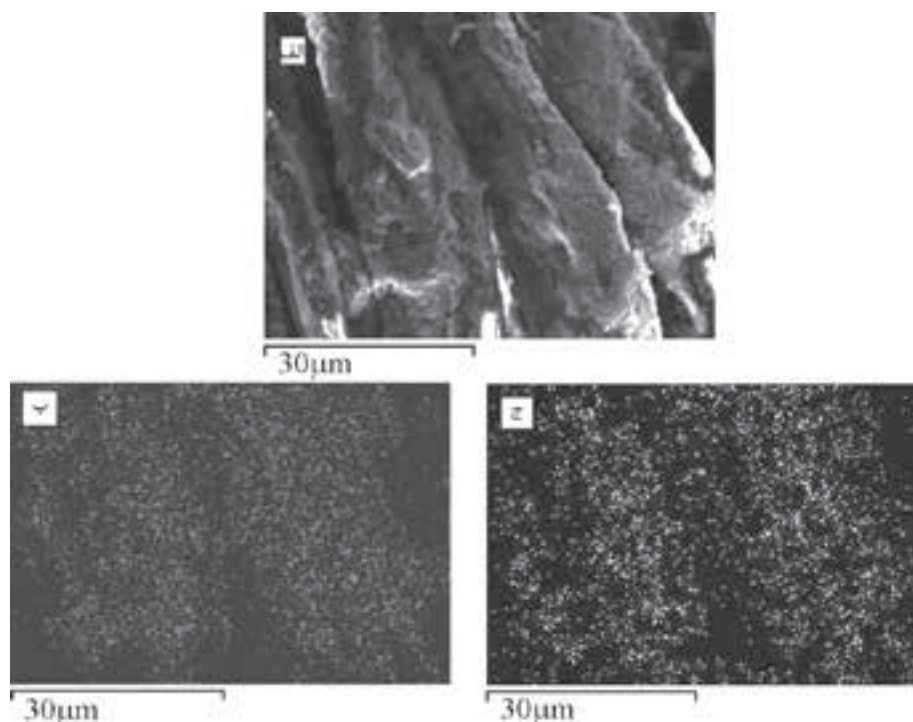
شکل ۲- طیفهای مادون قرمز نانوذرات TiO_2 خام (طیف مشکی) و نانوذرات عامل دار شده با APTMS (طیف خاکستری)



شکل ۴- عکس‌های FESEM در بزرگنمایی‌های مختلف: الف) الیاف پلی‌استر خام (اصلاح‌نشده)، ب) الیاف پلی‌استر روکش‌شده با نانوذرات و ج) الیاف پلی‌استر پیوندیافته با نانوذرات در بزرگنمایی‌های بالاتر

1605 cm^{-1} متعلق به خمشی گروه‌های آمین اولیه موجود در APTMS می‌باشد. همه این داده‌ها حضور APTMS روی سطح نانوذرات را ثابت می‌کنند. علاوه بر این، پیک موجود در 940 cm^{-1} به علت کشش پیوند Ti-O-Si ، نشان می‌دهد که پیوند شیمیایی سیلان به سطح

عامل‌دار شده، سازگار با طیف‌های گزارش‌شده در مقالات بود (شکل ۲) [۳۰، ۳۲، ۳۳]. پیک پهن زیر 800 cm^{-1} به علت اتصال Ti-O و Ti-O-Ti در تیتانیا می‌باشد. دو پیک موجود در 1030 cm^{-1} و 1120 cm^{-1} مربوط به کشش نامتقارن Si-O-Si است و پیک پهن در



شکل ۵- نقشه‌های نقطه به نقطه نشان‌دهنده توزیع عنصری Ti (نقاط قرمز) و Si (نقاط سبز) (ج) روی الیاف پلی‌استر آبدوست روکش‌شده با نانوذرات TiO_2 توسط EDX. سیگنال‌های Ti و Si روی سطح تداخل یافته اند. عکس (الف) مورفولوژی اصلی الیاف بعد از روکش با نانوذرات را نشان می‌دهد.



می‌دهد که برخی نانوذرات به علت تجمع، شکل‌های نامنظم با شعاع چند میکرومتر تشکیل داده‌اند ولی اغلب آنها تقریباً نانوذرات منفرد با ابعاد از ۵۰ تا ۸۰ نانومتر هستند (شکل ۴-ج). مطابق شکل‌ها، هیچگونه تغییری در الیاف اتصال یافته با نانوذرات TiO_2 ، مخصوصاً در مقایسه با شکل‌های پلی‌استر عمل نشده مشاهده نمی‌شود. عکس‌های نشان‌دهنده توزیع سیگنال‌های Ti و Si بر روی سطوح پلی‌استر بدست آمده توسط طیف‌سنجی متفرق کننده پرتوی ایکس (EDX) در شکل ۵ ارائه شده‌اند. توزیع تداخلی Ti و Si روی الیاف، حضور لایه تقریباً یکنواخت نانوذرات TiO_2 سیلان دار شده را روی الیاف پلی‌استر نشان می‌دهد.

تجزیه نوری متیلن بلو

فعالیت فتوکاتالیستی الیاف پلی‌استر پیوند یافته با نانوذرات TiO_2 توسط تخریب متیلن بلو (MB) تحت تابش نور UV ارزیابی شد. متیلن بلو با موفقیت توسط فتوکاتالیزور بر پایه تیتانیا در دمای اتاق طبق مکانیزم شرح داده شده [۳۷]، بی‌رنگ و تخریب شد.

سینتیک تخریب نوری متیلن بلو توسط بررسی جذب در $664 \text{ nm} = \lambda_{\text{max}}$ به عنوان تابعی از زمان پرتو دهی، بررسی شد. شکل ۶ وابستگی تخریب نوری محلول متیلن بلو را با زمان نشان می‌دهد. بعد از ۱۴۰ دقیقه تابش، رنگ بطور کامل تخریب نوری شد و محلول بی‌رنگ شد. هیچگونه آزادسازی نانوذرات TiO_2 در محلول حاوی متیلن بلو بواسطه غیاب باند جذبی تشخیصی در ۳۲۰ نانومتر مربوط به TiO_2 ، تأیید نشد. البته، بی‌رنگ شدن متیلن بلو هنگام تماس محلول متیلن بلو با الیاف پلی‌استر خام رخ نداد. رفتار مشابهی نیز برای پلی‌استر روکش یافته با نانوذرات TiO_2 توسط روش‌های مختلف نشانند، مشاهده شده بود. روند تخریب نوری متیلن بلو وابسته به اندازه و دانسیته نانوذرات روی الیاف بود [۲۲].

به منظور بررسی اینکه آیا وقتی که پارچه پلی‌استر در معرض نور UV قرار می‌گیرد، خواص فتوکاتالیستی TiO_2 حفظ می‌شود یا نه، تخریب نوری محلول متیلن بلو با استفاده از نمونه پلی‌استر یکسان، چندین مرتبه تکرار شد. فعالیت فتوکاتالیستی نانوذرات TiO_2 متصل شده به پارچه پلی‌استر برای حداقل ۳ مرتبه پرتو دهی نور UV، حفظ شد (شکل ۶).

می‌توان متوجه شد که فرایند تخریب متیلن بلو در دوره‌های بعدی سریعتر است؛ در حقیقت به جای ۲ ساعت که برای پرتو دهی اول مشاهده شد، ۴۰ دقیقه طول می‌کشد تا متیلن بلو بطور کامل تخریب شود. این رفتار قبلاً مشاهده شده بود و مربوط به تمیز شدن ذرات سطحی از ترکیبات ناخالصیها در طول دور اول بود [۲۲، ۳۸]. از آنجایی که پلیمرها و در نتیجه پارچه‌های نساجی ممکن است توسط گونه‌های فعال اکسیژن تشکیل شده تحت پرتو دهی ماوراء بنفش تیتانیا تخریب شوند [۳۹]، همچنین این امر که آیا سطح الیاف بعد از پرتو دهی با نور ماوراء بنفش آسیب می‌بیند یا نه، توسط آنالیز FESEM بررسی شد. عکس‌های FESEM نشان می‌دهد که توپوگرافی سطحی الیاف پلی‌استر بعد از تابش UV بدون تغییر باقی مانده است و نانوذرات تیتانیا هنوز متصل به الیاف باقی مانده اند (شکل ۷).

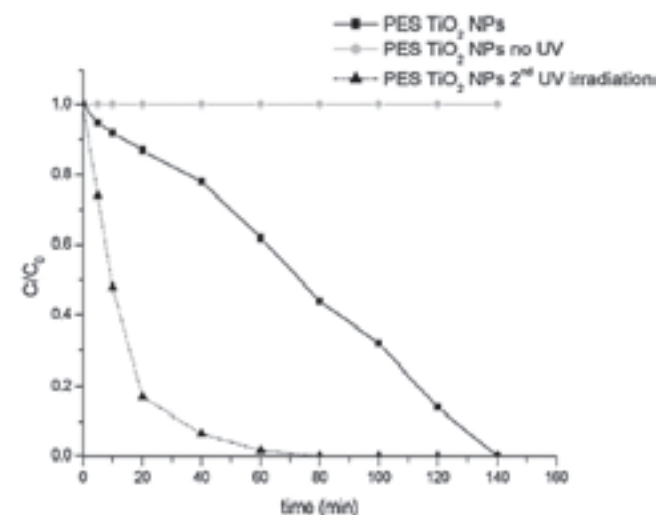
علاوه بر این، خواص خودتمیز شونده فتوکاتالیستی نانوذرات TiO_2

نانوذرات از طریق پیوندهای $Ti-O-Si$ تحقق یافته است [۳۰]. اتصال نانوذرات TiO_2-NH_2 از طریق تشکیل پیوند بین گروه‌های آمین نانوذرات و گروه‌های استر الیاف پلی‌استر فراهم می‌شود (شکل ۱ را مشاهده کنید). این واکنش که همچنین آمینولیز نامیده می‌شود، منجر به قطع شدن گروه‌های استری برای حمله هسته دوستی TiO_2-NH_2 با تشکیل گروه آمیدی و رهاسازی مولکول الکل، می‌شود [۳۴].

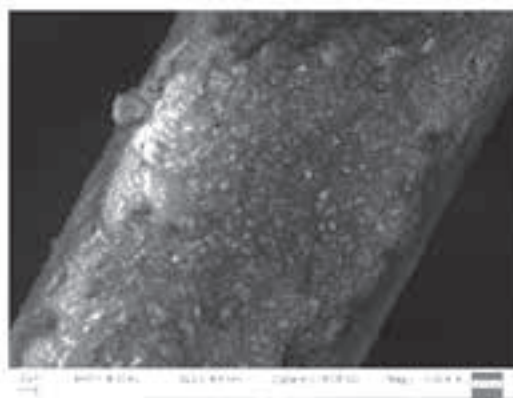
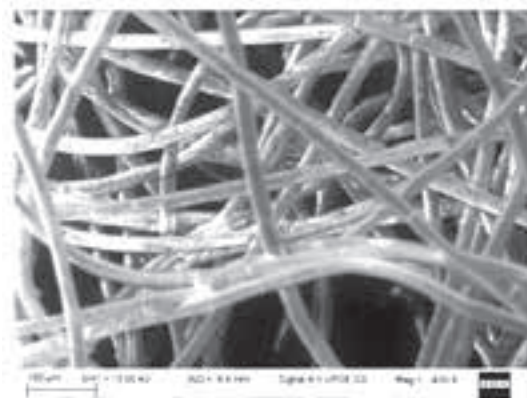
شکل ۳ طیف مادون قرمز پلی‌استر اتصال یافته با TiO_2-NH_2 را در مقایسه با طیف پلی‌استر خام، بین ۲۰۰۰ و 750 cm^{-1} نشان می‌دهد. طیف پلی‌استر خام یک پیک شدید در 1720 cm^{-1} مربوط به کشش گروه‌های استر $C=O$ ، به انضمام دو پیک شدید دیگر در 1250 cm^{-1} و 1105 cm^{-1} مرتبط با گروه‌های $C-O-C$ ، نشان می‌دهد. علاوه بر این، یک باند کوچک در 1340 cm^{-1} یافت شد که مربوط به حالت ارتعاش CH_2 می‌باشد [۳۵]. طیف الیاف دارای نانوذرات، یک پیک پهن حدود 800 cm^{-1} به علت حضور TiO_2 نشان می‌دهد [۳۶]. پیک‌های موجود در 1650 cm^{-1} و 1555 cm^{-1} به ترتیب مربوط به ارتعاش کششی $C=O$ آمید و خمش $N-H$ آمید، تشکیل گروه آمید بین آمین اولیه نانوذرات عامل دار شده با APTMS پلی‌استر را ثابت می‌کند. پیک شدید در 1720 cm^{-1} متعلق به گروه‌های استر $C=O$ ، که هنوز وجود دارد، نشان می‌دهد که الیاف بواسطه پیوند با نانوذرات TiO_2 آسیب ندیده‌اند. این امر نشان می‌دهد که اتصال TiO_2 محدود به سطح الیاف پلی‌استر می‌باشد.

شناسایی خصوصیات مورفولوژیکی

شکل ۴ مورفولوژی الیاف پلی‌استر را قبل و بعد از پیوند نانوذرات TiO_2-NH_2 نشان می‌دهد. الیاف پلی‌استر دارای شعاع حدود ۱۰ میکرومتر هستند و سطح نسبتاً صافی نشان می‌دهند (شکل ۴-الف). شکل ۴-ب الیاف روکش شده پلی‌استر را بعد از شستشو جهت حذف نانوذرات متصل نشده نشان می‌دهد. عکس‌های با بزرگنمایی بیشتر نمایش



شکل ۶- تخریب نوری محلول حاوی متیلن بلو (غلظت ۱۰-۵ M) در حضور پارچه‌های روکش شده با نانوذرات TiO_2 تحت (مربع‌های مشکی) و بدون تابش UV (دایره‌های خاکستری). روند تخریب نوری متیلن بلو تحت تابش بیشتر نور UV (دور دوم) نیز ارائه شده است (مثلث‌های مشکی)



شکل ۷- عکس‌های FESEM نانوذرات پیوند یافته با الیاف پلی استر بعد از ۶ ساعت پرتو دهی نور ماوراء بنفش

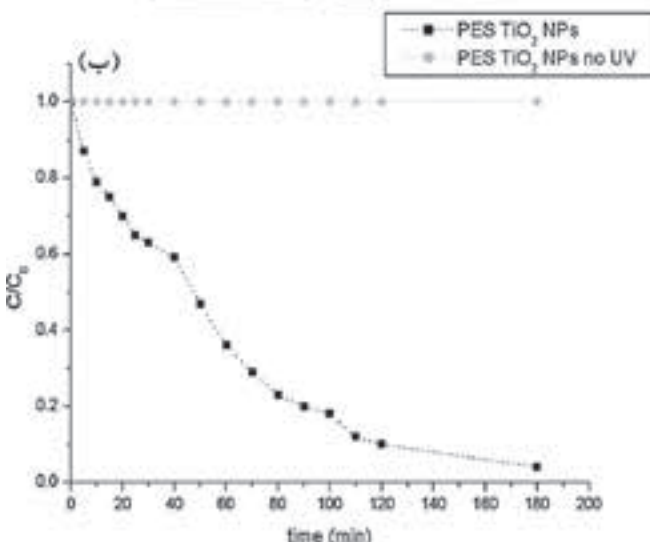
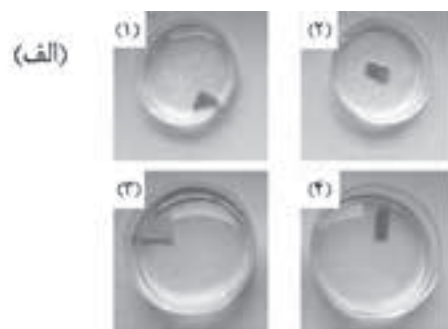
برعکس، هیچگونه رنگ‌زدایی متیلن‌بلو در الیاف خام پلی‌استر (بدون نانوذرات TiO_2) حتی بعد از تابش طولانی‌مدت نور ماوراء بنفش (UV) مشاهده نشد (شکل ۸- الف: عکسهای b و d). علاوه بر این شکل ۸- ب روند تخریب نوری متیلن‌بلو جذب شده بر روی پارچه‌های پلی‌استر را نشان می‌دهد، که بطور مستقیم روی پارچه‌ها با استفاده از گوی جمع‌کننده اسپکترومتر UV اندازه‌گیری شده است. همانطور که برای متیلن‌بلو در محلول رخ داد، لکه متیلن‌بلو تخریب نوری شد و بعد از ۳ ساعت پرتو دهی، بطور کامل از پارچه زوده شد. این یعنی که نانوذرات TiO_2 ، خواص فتوکاتالیستی خود را حتی روی الیاف پلی‌استر نشان می‌دهند و پارچه‌ها را تبدیل به یک سطح خودتمیز شونده در برابر لکه‌های متیلن‌بلو می‌کنند.

به منظور شناسایی اینکه آیا فعالیت TiO_2 می‌تواند به رنگ طبیعی پارچه صدمه بزند یا نه، قطعه‌های پنبه مشکی توسط نانوذرات TiO_2 روکش شدند و تحت تابش نور UV به مدت ۶ ساعت قرار گرفتند. هیچگونه رنگ‌زدایی الیاف با رنگ سیاه، مشاهده نشد.

نتیجه‌گیری

روشی ساده و مؤثر جهت اتصال کووالانسی نانوذرات TiO_2 به الیاف پلی‌استر از طریق تشکیل پیوند آمیدی ایجاد شد. الیاف پلی‌استر پیوند یافته با TiO_2 ، بطوریکه توسط آنالیز FT-IR و FESEM تأیید شد، در مقایسه با الیاف بدون TiO_2 هیچگونه آسیب شیمیایی و مورفولوژیکی ندیدند. نانوذرات TiO_2 با شعاع متوسط در محدوده بین ۵۰ تا ۸۰ نانومتر، تقریباً بطور کامل و یکنواخت سطح الیاف را پوشش دادند. الیاف پلی‌استر اصلاح شده، متیلن‌بلو را هم در محلول و هم در حالت جذب شده روی سطح منسوج تحت پرتو دهی نور ماوراء بنفش، تخریب نوری کردند. TiO_2 ، از پارچه جدا نشد و تخریب لیف تحت نور ماوراء بنفش رخ نداد. روی هم رفته، این نتایج نشان می‌دهد که نانوذرات TiO_2 هنگامی که بطور کووالانسی با پارچه‌های پلی‌استر پیوند می‌دهند، خواص فتوکاتالیستی آنها حفظ می‌شود. الیاف پلی‌استر روکش شده با نانوذرات می‌توانند به عنوان سطوح خودتمیز شونده، با کاربردهای بالقوه امیدبخش در نظر گرفته شوند.

پیوند خورده به الیاف پلی‌استر، توسط تجزیه متیلن‌بلو لکه-گذاری شده بر روی سطح پارچه بررسی شد. شکل ۸- الف (عکسهای a و c) رنگ‌زدایی لکه متیلن‌بلو بر روی الیاف پلی‌استر را بعد از ۶ ساعت پرتو دهی ماوراء بنفش نشان می‌دهد. پارچه پلی‌استر، رنگ سفید خود را دوباره بدست آورد، همانطور که قبل از لکه‌گذاری با متیلن‌بلو بود.



شکل ۸- الف) عکسهای: (۱) پارچه پلی‌استر روکش یافته با نانوذرات TiO_2 و (۲) پارچه پلی‌استر خام قبل از پرتو دهی UV؛ (۳) پارچه روکش شده با نانوذرات TiO_2 و (۴) پارچه پلی‌استر خام بعد از ۶ ساعت تابش نور UV. حضور نانوذرات TiO_2 امکان حذف کامل رنگ متیلن‌بلو را از پارچه پلی‌استر فراهم می‌کند. (ب) روند تخریب نوری متیلن‌بلو لکه‌گذاری شده روی پارچه پلی‌استر روکش یافته با نانوذرات TiO_2 تحت و بدون تابش UV.