



نانو تکنولوژی

ساخت غشاء هیبریدی نانو الیافی فوتوکاتالیستی PVA-TiO₂ با استفاده از روش الکتروریسی

مترجم: عباس حاجی پور

چکیده

غشاهای نانو الیاف برای استفاده در کاربردهای فیلتراسیون بسیار نوید بخش می‌باشند. در این مطالعه، غشاء پلیمری کامپوزیت فوتوکاتالیستی پلی وینیل الکل (PVA)/TiO₂ به طور موفق در غلظت‌های مختلف TiO₂ (۲۰، ۳۰، ۴۰ و ۵۰٪) با استفاده از روش الکتروریسی سنتز شد. پارامترهای الکتروریسی از قبیل میدان الکتریکی، فاصله نوک تا جمع کننده، و نرخ تغذیه برای فرآیند ساخت بهینه سازی شدند. قطر الیاف الکتروریسی PVA-TiO₂ و اندازه متوسط نانو ذرات TiO₂ موجود در نانو الیاف PVA به ترتیب در محدوده ۱۰۰ تا ۱۵۰ نانومتر و ۱۵ تا ۳۰ نانومتر بود. آنالیز دیفراکسیون اشعه X نشان داد که ساختار اصلی بلور از نوع آنتاز بود اگرچه پیک‌های کوچک روتایل برای غشاء PVA-TiO₂ نیز مشاهده شدند. نانو ذرات TiO₂ در لیف PVA قرار داده شدند و به صورت خطی در طول جهت لیف دیسپرس شدند. همانطور که مقدار TiO₂ موجود در PVA افزایش یافت، مقاومت کششی نیز افزایش یافت، در حالیکه کرنش کششی به طور چشمگیری کاهش یافت. همچنین، زمانیکه مقدار TiO₂ از ۲۰ تا ۵۰٪ افزایش یافت، فعالیت فوتوکاتالیستی غشاهای PVA-TiO₂ نیز افزایش یافت.

مقدمه

فیلتر برای کاربردهای پزشکی، از جمله مهندسی بافت دارو رسانی مناسب می‌باشد.

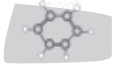
TiO₂ به دلیل نقش مهمش در پاک کنندگی و محافظت محیط زیست به دلیل توانایی بالایش در فوتوکاتالیز و تجزیه ترکیبات آلی مضر و هزینه کمش، به عنوان هدف ما انتخاب شد. TiO₂ معمولاً به صورت پودر در محلول مورد استفاده قرار می‌گیرد که کارایی فوتوکاتالیستی بالایی دارد. با این حال، کاتالیست‌ها باید از آب خالص بعد از عملیات جدا شوند.

برای حل این مشکل، راکتور غشاء فوتوکاتالیستی با استفاده از تکنیک‌های مختلف غشایی توسعه داده شده می‌شوند. با توجه به کاربردهای تجاری فیلتراسیون هوا، نانو الیاف پلیمری، چندین مزیت بالقوه به دلیل ابعاد زیر میکرون الیاف، دارا می‌باشند که برای فراهم کردن کارایی بهتر فیلتر شناخته شده می‌باشند. در میان نانو الیاف پلیمری، پلی وینیل الکل (PVA) کاربردهای وسیعی در فیلتراسیون هوا، صنعت نساجی و روکش دهی کاغذ به دلیل انعطاف پذیری آنها و دوام خوب شیمیایی و حرارتی دارد. علاوه، غشاء PVA به دلیل قطر نانو الیافش، کارایی فیلتراسیون بالاتری دارد.

هدف اصلی از این مطالعه، ساخت یک غشاء هیبریدی فوتوکاتالیستی PVA/TiO₂ بود که بتواند در کاربردهای فیلتراسیون مورد استفاده قرار بگیرد. غشاهای نانو الیاف PVA-TiO₂ بوسیله الکتروریسی در غلظت‌های مختلف

وسایلهای نانو الیافی اخیراً توجه چشمگیری به علت وزن پایه کم، نفوذ پذیری بالا، و اندازه کوچک منفذ بدست آورده اند که تمام این عوامل سبب شده تا این مواد برای استفاده وسیع کاربردهای فیلتراسیون مناسب باشند. علاوه، غشاء نانو الیاف خواص منحصر بفردی از قبیل مساحت سطح مخصوص بالا، اتصال خوب منافذ، و پتانسیل برای ترکیب شیمی فعال یا عاملیت در مقیاس نانو را ارائه می‌دهد.

بنابراین، وسایل نانو الیافی به طور وسیعی در زمینه کاربردهای فیلتراسیون مورد مطالعه قرار گرفته است. وسایل فیلترینگ نانو الیافی می‌توانند در جایکه تصفیه هوای بسیار بالا مورد نیاز است، مثلاً در بیمارستان‌ها، امکانات بهداشت و درمان، آزمایشگاه‌های تحقیقاتی و تولیدکنندگان اجزای الکترونیکی مورد استفاده قرار بگیرد. وسایل فیلترینگ بر پایه نانو لیف که از الیاف با قطر کمتر از چند میکرون تا چند نانومتر تشکیل می‌شوند، می‌توانند به راحتی با استفاده از تکنیک الکتروریسی تولید شوند. این تکنیک توجهات بسیاری را در این سال‌ها به دلیل سادگی نسبی و اینکه محدوده وسیعی از ساختارهای متخلخل می‌تواند تولید شوند، به خود جذب کرده است و پیشرفته‌ها در روش الکتروریسی، تولید صنعتی بیش از ۲۰ نوع از فیلترهای لیفی را میسر کرده است. بنابراین، روش الکتروریسی برای تولید



تا ۸۰ درجه متغیر بود.

مقاومت کششی غشاهای الیاف الکتروریسی شده با استفاده از یک دستگاه آزمایش فراگیر (R&B UNITECH—T، کره) تعیین گردید. تمام نمونه‌ها به شکل مستطیل با ابعاد عرض \times طول، 4×20 میلی متر از غشاهای الیاف الکتروریسی شده تهیه شدند. ضخامت نمونه‌ها بوسیله میکرومتر دیجیتالی که دقت ۱ میکرومتر داشت، اندازه‌گیری شدند. ارزیابی‌ها بوسیله یک بار سنج ۵۰۰ g.f انجام شدند. داده‌های نیروی تغییر شکل در سرعت تغییر شکل ۰/۵ mm/s ثبت شدند. منحنی تنش- کرنش ساختارهای نانو الیاف از منحنی نیرو- تغییر شکل رسم گردید.

عملکرد فوتوکاتالیتی و توصیف نانو لیف PVA-TiO₂

فعالیت فوتوکاتالیتی PVA-TiO₂ بوسیله اندازه‌گیری تجزیه methyl orange (MO) که آلاینده هدف می‌باشد، مورد بررسی قرار گرفت. غشاهای PVA-TiO₂ در آب دی یونیزه حاوی محلول MO (۱۰ mg/L) در بشر پیرکس قرار داده شدند. لامپ جیوه با فشار متوسط ۴۰ وات که نور ساعت شده در محدوده طول موج ۲۵۰ تا ۳۹۰ نانومتر است، به عنوان منبع تابش UV مورد استفاده قرار گرفت. مقدار کمی از محلول برداشته شده از محلول واکنش بوسیله اسپکتروفتومتر UV-Visible (HP8453، Hewlett Pack-ard، ایالات متحده) جهت تعیین تغییرات غلظت باقیمانده MO در مدت زمان تابش UV، مورد بررسی قرار گرفت. جذب MO در محدوده ۳۰۰ تا ۷۰۰ نانومتر ارزیابی گردید.

نتایج و بحث

شرایط الکتروریسی برای تولید نانو الیاف نازکتر و یکنواخت‌تر PVA-TiO₂ بهینه گردیدند. شرایط بهینه شده بوسیله بررسی تاثیر پارامترهای مختلف الکتروریسی از قبیل نسبت PVA-TiO₂، ولتاژ بکار رفته، فاصله نوک تا جمع کننده (TCD) و نرخ تغذیه بر روی نانو الیاف حاصل PVA-TiO₂ تعیین گردیدند. شرایط بررسی شده در جدول ۱ نشان داده شده است. در ابتدا، TCD در ۱۰ سانتی متر ثابت شد. سپس، ولتاژ بکار رفته بین ۲۲ تا ۲۵ کیلو ولت تغییر داده شد. نرخ جریان محلول نیز بین ۰/۱ و ۰/۵ mL/h با استفاده از پمپ تزریق متفاوت بود. بر پایه این نتایج، شرایط الکتروریسی، غلظت PVA، ۱۲ wt%؛ TCD، ۱۰ سانتی متر؛ ولتاژ ۲۵ kV و نرخ جریان محلول ۰/۱ mL/h، نشان داده شد که منجر به تشکیل الیاف نازکتر و منظم PVA-TiO₂ شد. شکل ۱ تاثیر مقدار TiO₂ بر روی مورفولوژی الیاف را نشان می‌دهد. پیدایش نانو ذرات TiO₂ در الیاف PVA با افزایش غلظت TiO₂ به طور قابل توجهی افزایش یافت. نانو ذرات TiO₂ به خوبی در ماتریس نانو الیاف TiO₂ توزیع شده اند. هیچ دلایل انعقاد نانو ذرات TiO₂ در ماتریس مشاهده نشد که بیشتر به دلیل برهمکنش بین محلول PVA و نانو ذرات TiO₂ و میدان الکتریکی قوی در هنگام الکتروریسی بود. برهمکنش حاصل از اتصالات هیدروژنی بین گروه‌های هیدروکسید در PVA و اکسیژن در TiO₂

TiO₂ (۲۰، ۳۰، ۴۰، و ۵۰٪) تهیه شدند. علاوه، شرایط بهینه الکتروریسی به منظور ساخت غشاء PVA-TiO₂ مورد بررسی قرار گرفتند. ساختار بلوری غشاها بوسیله دیفراکسیون اشعه X (XRD) و میکروسکوپ الکترونی عبوری رزولوشن بالا (HRTEM) تعیین گردید. همچنین، مقاومت کششی و فعالیت فوتوکاتالیتی غشاها به عنوان تابعی از غلظت TiO₂ مورد بررسی قرار گرفتند.

مواد و روش‌ها

مواد و تنظیمات الکتروریسی

پلی (وینیل الکل) هیدرولیز شده ۹۹+ (PVA)، با وزن مولکولی متوسط ۱۱۵۰۰۰ گرم بر مول از شرکت Aldrich Chemical Co (ایالات متحده) بدست آورده شد. نانو ذرات TiO₂ بوسیله فرآیند سل- ژل تهیه شدند. مساحت سطح ذرات اولیه نانو TiO₂ (محدوده ۱۵ تا ۳۰ نانومتر در قطر) بوسیله BET مورد ارزیابی قرار گرفتند و ۴۶/۵۲ m²/g بدست آورده شد. نانو ذرات TiO₂ شامل دو بلور روتایل و آناتاز بودند. محلول آبی PVA (wt%) بوسیله حل کردن در آب دی یونیزه (DI) در دمای ۸۰ درجه سانتیگراد با هم زدن با سرعت ثابت برای مدت حداقل ۳ ساعت تهیه شدند. نانو ذرات TiO₂ در ترکیب‌هایی از قبیل: w/w بین غلظت TiO₂ و PVA در DI (۲۰٪ PVA-TiO₂، ۳۰٪ PVA-TiO₂، ۴۰٪ PVA-TiO₂) و ۵۰٪ PVA-TiO₂ در آب دی یونیزه به مدت ۱ ساعت دیسپرس شدند و سپس به داخل محلول PVA برای بدست آوردن محلول PVA-TiO₂ اضافه شدند.

محلول‌های الکتروریسی (eS-robot، سیستم الکتروریسی / اسپری) به داخل سرنگ ۱۰ میلی لیتر مجهز به سوزن با قطر نوک گيج ۲۵ (قطر داخلی ۰/۲۵ میلی متر) ریخته شدند. یک پمپ تزریق (نوع lure-lock، کره) برای کنترل نرخ تغذیه مورد استفاده قرار گرفت و قالب استوانه ای محکم از جنس فولاد ضد زنگ برای جمع آوری الیاف مورد استفاده قرار گرفت. ولتاژ الکتروریسی مستقیماً توسط یک منبع تغذیه ولتاژ بالای DC (k,u) نوع قابل حمل NNC:۳۰ و کیلو ولت ۲ mA، کره) تامین می شد.

توصیف غشاهای PVA-TiO₂

مورفولوژی الیاف الکتروریسی PVA و الیاف PVA-TiO₂ بوسیله میکروسکوپ الکترونی روبشی (SEM، JSM-7401F)، اسپکترومتر پراش انرژی (EDS، JSM-7401F) و میکروسکوپ الکترونی عبوری (TEM) (JEM2010، JEOL، ژاپن) بررسی گردیدند. بخش کوچکی از الیاف بر روی نگهدارنده نمونه SEM قرار داده شد و با پلاتین (Crossington 108 Auto) روکش داده شد. ولتاژ شتاب دهنده ۱۵ کیلو ولت برای گرفتن تصاویر SEM مورد استفاده قرار گرفت. ساختار بلوری غشاهای پلیمری کامپوزیت PVA-TiO₂ با استفاده از XRD (D/MAX—2500 V، Rigaku) و با استفاده از تابش Cu Ka تولید شده در ۴۰ kV و ۲۰۰ mA مورد مطالعه قرار گرفتند. زاویه دیفراکسیون (2θ) از ۱۰



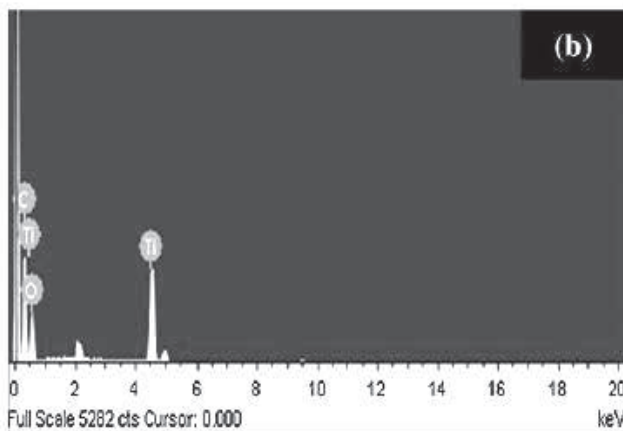
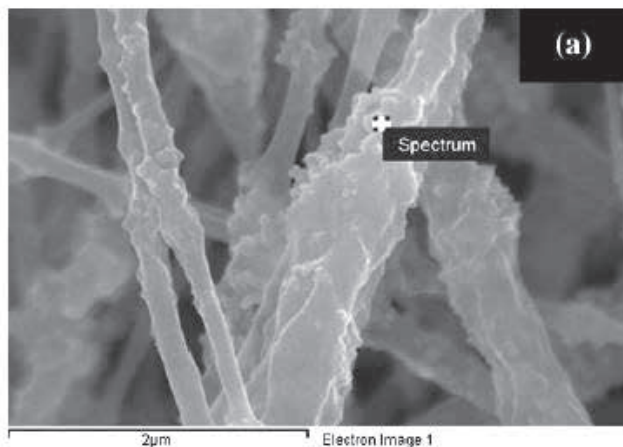
جدول ۱. شرایط الکترورسی استفاده شده برای ساخت غشاهای PVA-TiO₂ در غلظت‌های مختلف TiO₂

Samples	Average diameter of fibers ^a (nm)	Parameter		
		Voltage (kV)	Distance (cm)	Feed rate (mL/h)
PVA	150 ± 20	22	10	0.5
PVA-20TiO ₂	150 ± 20	22	10	0.5
PVA-30TiO ₂	150 ± 20	22	10	0.5
PVA-30TiO ₂	120 ± 20	25	10	0.5
PVA-40TiO ₂	120 ± 20	25	10	0.5
PVA-40TiO ₂	100 ± 20	25	10	0.1
PVA-50TiO ₂	100 ± 20	25	10	0.1
PVA-50TiO ₂	100 ± 20	25	10	0.5

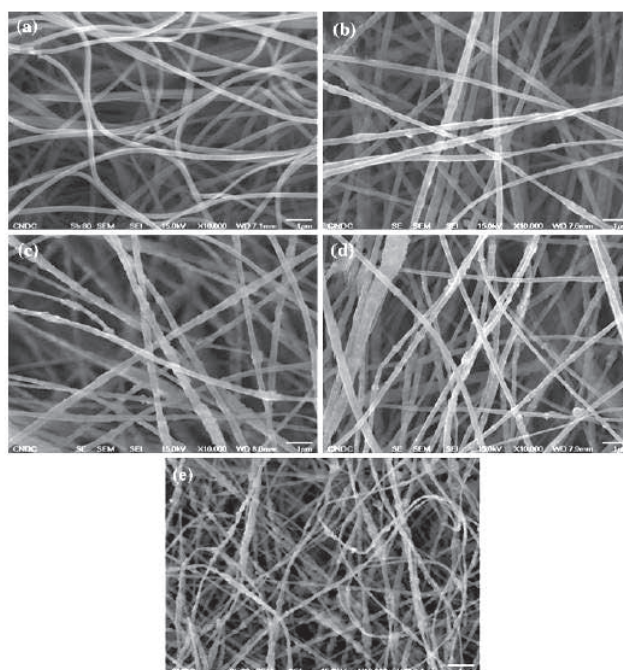
a تمام اطلاعات به صورت میانگین ± انحراف معیار بیان شده است.

۲ نشان می‌دهد که نانو ذرات TiO₂ به طور موفقی در نانو الیاف PVA قرار داده شده است. ارزیابی‌های XRD به منظور بررسی ساختار بلوری غشاء پلیمری کامپوزیت PVA-TiO₂ انجام شدند. شکل ۳ الگوهای XRD

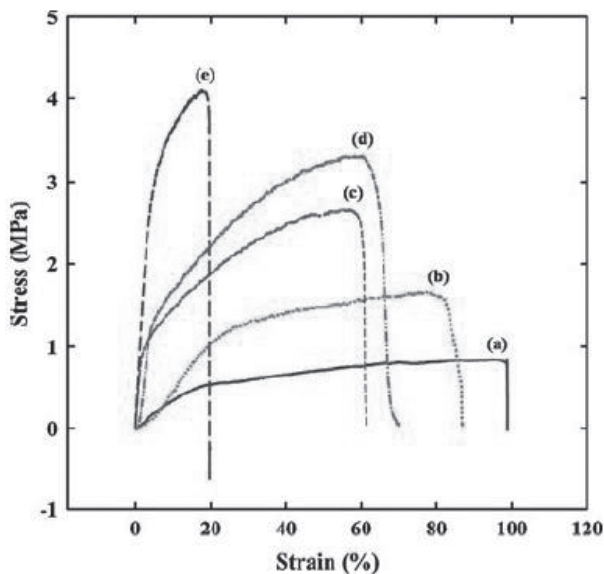
می‌تواند از تجمع نانو ذرات TiO₂ جلوگیری کند. قطر متوسط الیاف PVA-TiO₂ از SEM تعیین شد و در جدول ۱ نشان داده شده است. قطر الیاف PVA-TiO₂ الکترورسی شده از ۱۵۰ تا ۱۰۰ نانومتر با افزایش مقدار TiO₂ از ۲۰ تا ۵۰٪ کاهش یافت. شکل ۲ تصویر SEM با بیشترین بزرگنمایی و پروفایل EDS، PVA-50% TiO₂ را نشان می‌دهد. نانو ذرات TiO₂ بر روی سطح الیاف PVA قرار داده شدند و به صورت خطی در طول جهت لیف دیسپرس شدند که از تاثیر قطبش و تمایل به دلیل میدان الکتریکی بالا در هنگام روش الکترورسی ناشی شده بود. پروفایل EDS در شکل b



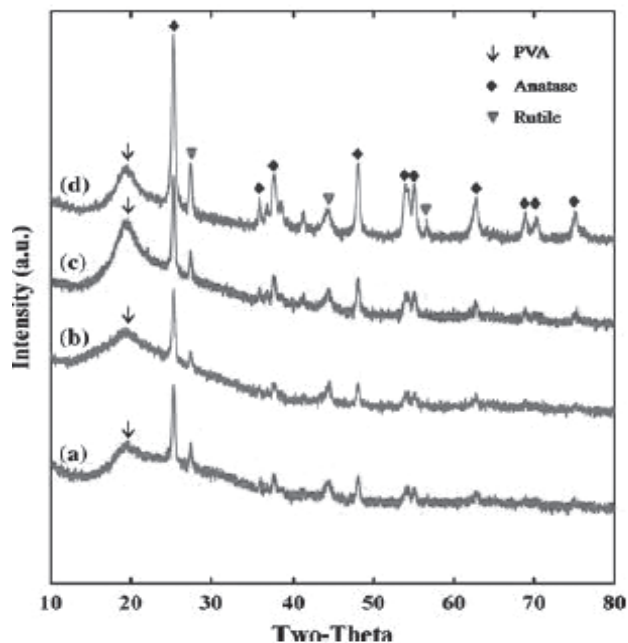
شکل ۲. تصاویر SEM با بزرگنمایی بالا (a) و پروفایل‌های EDS، PVA-50% TiO₂ (b)



شکل ۱. تصاویر SEM، PVA و PVA-TiO₂ در غلظت‌های مختلف TiO₂: a؛ ۲۰٪، b؛ ۳۰٪، c؛ ۴۰٪، d؛ ۵۰٪، e



شکل ۵. منحنی‌های مقاومت کششی PVA و PVA-TiO₂ در غلظت‌های مختلف TiO₂:
 (a) PVA، (b) PVA-20TiO₂، (c) PVA-30TiO₂، (d) PVA-40TiO₂ و (e) PVA-50TiO₂

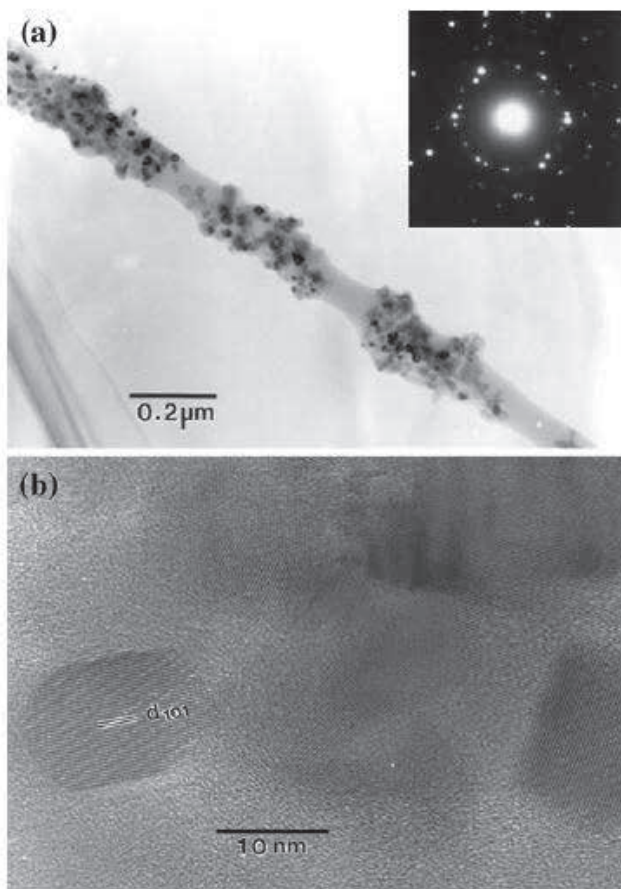


شکل ۳. الگوهای XRD، PVA-TiO₂ در غلظت‌های مختلف TiO₂:
 (a) ۲۰٪، (b) ۳۰٪، (c) ۴۰٪ و (d) ۵۰٪

کامپوزیت PVA-TiO₂ در غلظت‌های مختلف TiO₂ را نشان می‌دهد. نانو الیاف PVA وزن مولکولی بالاتر، خواص بلوری بهتری با پیک آشکار در حدود 2θ ۱۹° داشتند. همانطور که می‌توان به وضوح در شکل ۳ مشاهده کرد، TiO₂ در تمام غشاهای پلیمری کامپوزیت PVA-TiO₂ دو ساختار آناتاز و روتایل داشت.

TEM و HRTEM برای تصویربرداری میکروساختارهای داخلی غشاء کامپوزیتی PVA-50% TiO₂ مورد استفاده قرار گرفتند. همانطور که در شکل ۴a نشان داده شده است، قطر لیف PVA-50% تقریباً ۱۰۰ نانومتر می‌باشد و نانو ذرات TiO₂ به خوبی در سرتاسر سطح نانو الیاف PVA پخش شده است. الگوی پراش الکترونی، که از مرکز نانو الیاف بدست آورده شده است، تایید کرد که نانو ذرات TiO₂ با یک آرایش یافتگی تصادفی پخش شده اند.

از آنالیز HRTEM (شکل ۴b)، شبکه نانوذرات TiO₂ با ساختار بلوری بالاتر و قطر تقریباً ۱۵ نانومتر به وضوح مشاهده می‌گردد. وقتی که محلول از نازل که در تماس با الکترود مثبت منبع تغذیه ولتاژ بالا بود، خارج شد، جت یک



شکل ۴. تصاویر TEM (a) و HRTEM (b) PVA-50% TiO₂

جدول ۲. مقاومت کششی PVA-TiO₂ در غلظت‌های مختلف TiO₂

Samples	Ultimate strength ^a (MPa)	Strain ^{a,b} (%)
PVA-20TiO ₂	1.65 ± 0.40	81.5 ± 5.0
PVA-30TiO ₂	2.71 ± 0.50	58.0 ± 5.0
PVA-40TiO ₂	3.33 ± 0.50	60 ± 5.0
PVA-50TiO ₂	4.15 ± 0.50	19 ± 5.0

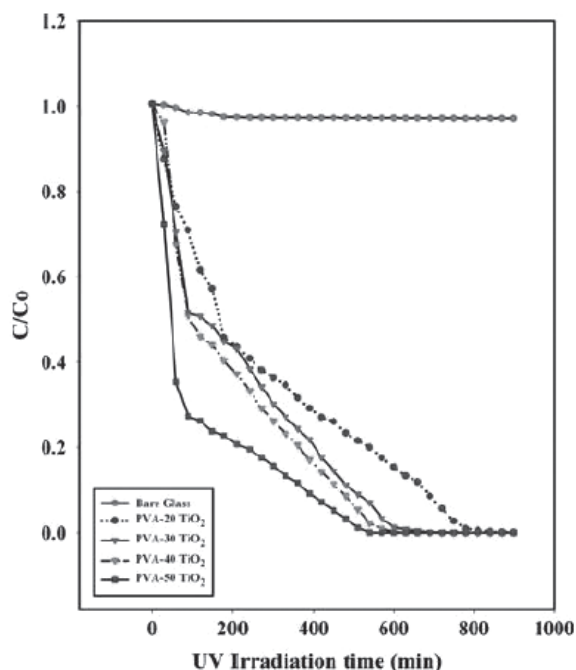
a تمام داده‌ها به صورت میانگین ± انحراف معیار بیان شده است.
 b در مقاومت نهایی



فوتوکاتالیستی MO بر روی PVA-TiO₂ تا ۹۰۰ دقیقه در شکل ۶ نشان داده شده است. در اولین ۹۰ دقیقه، تمام غشاهای یک فعالیت سریع در تجزیه MO تحت تابش UV نشان دادند. بعد از این مرحله، یک کاهش نسبتاً فعالیت آهسته تر ثبت گردید. بعد از ۲۴۰ دقیقه از تابش UV، مقدار قابل توجه از تمام MO بر روی غشای PVA-50TiO₂ تجزیه شدند. اما برای تجزیه کامل MO، تقریباً ۵۴۰ دقیقه زمان در حالت PVA-50TiO₂ صرف شود. که این در واقع یک فعالیت فیلتر سریع و کارآمد در مقایسه با انواع دیگر بود. برای مثال PVA-20TiO₂، PVA-30TiO₂، PVA-40TiO₂ یک فعالیت کندتر از PVA-50TiO₂ به منظور تجزیه MO تحت تماس با UV نشان دادند (شکل ۶). تجزیه فوتوکاتالیستی رنگزای آلی بوسیله برانگیختگی نوری نیمه هادی و سپس تشکیل زوج الکترون-حفره بر روی سطح کاتالیست آغاز شد. حفره بالای اکسیداسیون مستقیماً رنگزای حاصل در تجزیه اش را اکسید کرد. رادیکال‌های بسیار فعال هیدروکسیل نیز می‌توانند با بوسیله تجزیه H₂O یا بوسیله واکنش حفره با OH⁻ تشکیل شوند. رادیکال‌های هیدروکسیل همچنین می‌توانند به راحتی رنگزای آلی را تجزیه کنند. سرعت تجزیه MO با افزایش غلظت TiO₂ افزایش یافت. راندمان حذف آلودگی‌های آلی باید به طور چشمگیری با کاهش مساحت سطح فعال فوتوکاتالیستی کاهش یابد. مساحت سطح ییاف مستقیماً از قطر ییاف تاثیر می‌پذیرد. همچنانکه قطر ییاف کم می‌شود، مساحت سطح افزایش می‌یابد. با اینحال، قطر ییاف مواد بوسیله کامپوزیت PVA-TiO₂ تحمیل می‌شود. از شکل ۱ می‌توان دریافت که ییاف PVA-50TiO₂ کوچکتر از دیگر غلظت‌های استفاده شده در اینجا با TiO₂ می‌باشند، که می‌توان نتیجه گرفت که PVA-50TiO₂ مساحت سطح بالاتر از بقیه داشته است. بنابراین، غلظت بالاتر TiO₂ در غشاهای نانو ییاف سبب مساحت سطح فعال بالا می‌شود که عملاً فعالیت فوتوکاتالیستی را افزایش داد. بنابراین، غشای PVA-50TiO₂ بهترین عملکرد فوتوکاتالیستی را نشان داد.

نتیجه گیری

غشاهای پلیمری کامپوزیت PVA-TiO₂ برای کاربردهای فیلتراسیون به صورت موقفی با استفاده از روش الکترورسی تهیه گردیدند. شرایط بهینه الکترورسی برای ساخت غشاهای PVA-TiO₂ از قبیل غلظت نانو ذرات TiO₂، ولتاژ، و نرخ جریان تعیین گردیدند و تحت این شرایط بهینه، ساختارهای در مقیاس نانو بدست آورده شد (۱۰۰ تا ۱۵۰ نانومتر). نانو ذرات TiO₂ به خوبی بر روی سطح و داخل نانو ییاف PVA پراکنده شدند. نانوذرات TiO₂ با ساختار بلوری می‌تواند مقاومت کششی غشاهای PVA-TiO₂ را بهبود دهند. غشای PVA-50TiO₂ عملکرد خوب فوتوکاتالیستی با توجه به تجزیه methyl orange نشان داد. یک غشای هیبریدی الکترورسی شده PVA-TiO₂ با فعالیت کارآمد فوتوکاتالیستی ساخته شد و نشان داده شد که یک نامزد بسیار نوید بخش برای استفاده در کاربردهای فیلتراسیون می‌باشد.



شکل ۶. تجزیه فوتوکاتالیستی MO بر روی PVA-TiO₂ در غلظت‌های مختلف TiO₂ بعد از ۴ ساعت تحت تابش UV

بار مثبت می‌گیرد و هم سطح ییاف و هم نانو ذرات TiO₂ در ییاف دارای بار مثبت شدند. در نتیجه، نانو ذرات TiO₂ با بار مثبت بوسیله بارهای مثبت بر روی سطح ییاف دفع شدند و در قسمت میانی ییاف تجمع کردند. بنابراین، میدان الکتریکی بالا قطبیت و آرایش یافتگی نانو ذرات TiO₂ را القاء کرد، و بنابراین، نانو ذرات TiO₂ در داخل و امتداد جهت ییاف قرار گرفتند.

منحنی‌های تنش- کرنش غشاهای ییافی الکترورسی شده PVA-TiO₂ در غلظت‌های مختلف TiO₂ در شکل ۵ نشان داده شده است و مقاومت کششی و کرنش در جدول ۲ آورده شده است. مقاومت کششی PVA-TiO₂ به ترتیب از ۱/۶۵ تا ۴/۱۵ MPa با افزایش غلظت TiO₂ از ۲۰ تا ۵۰٪ افزایش یافت. این نتایج نشان می‌دهند که اثر تقویت پراکندگی به علت پراکندگی ذرات در ابعاد نانو TiO₂ اتفاق افتاده است. زمانیکه غلظت TiO₂ افزایش یافت، مقاومت کششی افزایش یافت، در حالیکه کرنش کاهش یافت. اثر غلظت نانو ذرات TiO₂ بر روی رفتار مکانیکی می‌تواند بوسیله چسبندگی بین وجهی بین نانو ذرات TiO₂ و PVA توضیح داده شود. بعلاوه، همانطور که نانو ذرات TiO₂ موجود افزایش یافت، ازدیاد طول تا حد پارگی کامپوزیت‌ها به دلیل کاهش انعطاف پذیری، کاهش یافت. این نتایج نشان می‌دهد که مقدار TiO₂ می‌تواند مقاومت کشش غشاهای PVA را بهبود ببخشد.

MO برای بررسی فعالیت فوتوکاتالیستی غشاهای PVA-TiO₂ مورد استفاده قرار گرفت. غلظت محلول MO به عنوان تابعی از زمان تابش UV با استفاده از اسپکتروفوتومتر UV-Vis مورد ارزیابی قرار گرفت. تغییرات در غلظت محلول‌های MO بر اساس تغییر در جذب ارزیابی گردیدند. تجزیه