



# خواص بازدارندگی شعله و فوتوکاتالیتی پارچه سلولزی روکش داده شده با نانودی اکسید تیتانیوم

مترجم: عباس حاجی پور

## چکیده

ما تاثیر دی اکسید تیتانیوم به عنوان یک تکمیل با دوام بر روی اشتعال پذیری و خود پاک شونده فوتوکاتالیتی پارچه سلولزی را مورد بررسی قرار دادیم. ذرات نانو دی اکسید تیتانیوم به طور موقتی سنتز شدند و بر روی الیاف سلولزی با خواص سازگاری خوب، فعالیت خود پاک شونده فوتوکاتالیتی قابل توجه، و بازدارندگی شعله، با استفاده از فرآیند سل-ژل در دمای کم رسوب داده شد. فعالیت فوتوکاتالیتی با استفاده از اندازه گیری تجزیه نوری متیلن بلو تحت روشنایی فرا بنفش - مرئی مورد بررسی قرار گرفت، و همچنین اثر بازدارندگی شعله بوسیله آزمایش کننده اشتعال پذیری بررسی شد. نمونه‌ها بوسیله تکنیک‌های مختلفی از قبیل میکروسکوپی الکترونی روبشی، میکروسکوپی الکترونی عبوری، اسپکتروسکوپی بازتاب پخش، پراش اشعه X و آنالیز توزین حرارتی توصیف گردیدند. نانو ذرات دی اکسید تیتانیوم با اندازه ۱۰ تا ۲۰ نانومتر برای تشکیل یک فیلم نازک بکنواخت بر روی سطح لیف بدست آورده شد که خواص کارآمد فوتوکاتالیتی و بازدارندگی شعله را نشان می‌دهد. این تکنیک آماده سازی می‌تواند همچنین برای پارچه‌های جدید برای ایجاد خواص خود تمییز شونده و بازدارندگی شعله در آنها بکار رود.

## مقدمه

حوزه بازدارندگی شعله پلیمرها در طول ۲۰ سال اخیر بسیار رشد و توسعه یافته است. بیشتر پلیمرها و الیاف سلولزی به عنوان مواد آلی، بسیار به آتش حساس هستند. بنابراین، بهبود بازدارندگی شعله آنها برای مطابقت با ملزومات ایمنی، بیشتر و بیشتر مهم می‌شود. یک بازدارنده شعله، یک ترکیب یا مخلوطی از ترکیب‌ها می‌باشد که زمانیکه به طور شیمیایی و یا فیزیکی بر روی پلیمر اضافه می‌شود یا شرکت داده می‌شود، جلوگیری از آتش گرفتن یا رشد آتش را انجام می‌دهد. پیشرفت منسوجات با دوام خود تمییز شونده، یک هدف دنبال شده توسط صنایع نساجی در چهارچوب محصولات جدید کلاس بندی شده به عنوان منسوجات هوشمند، می‌باشد کاربردهای خود تمییز شونده با استفاده از پودرها یا فیلم‌های نازک نیمه رسانا تبدیل به یک موضوع بسیار جذاب در ۲۰ سال اخیر شده است. در میان اکسیدهای نیمه رسانا،  $TiO_2$  یکی از مواد بسیار استفاده شده برای کاربردهای خود تمییز شونده می‌باشد.  $TiO_2$  نانو آنتاز به صورت وسیعی به عنوان یک فوتوکاتالیست کارآمد برای تجزیه نوری آلودگی‌های آلی در فازهای مختلف بدلیل پایداری حرارتی، ارزانی، غیر سمی بودن، قدرت بالای اکسیداسیون و پایداری نوری بلند مدت آن، مورد استفاده قرار می‌گیرد. آماده سازی مستقیم فیلم‌های نانو کامپوزیت آنتاز/پلیمر از سل-ژل تیتانیا بر روی فیلم‌های پلیمر، عموماً به دلیل مقاومت کم پلیمرهای آلی به عملیات گرم، ممکن نمی‌باشد. اخیراً، چندین مطالعه بر روی فرآیندهای تشکیل نانو ذرات آنتاز، بر روی پلیمرهای مختلف از قبیل سطح سلولز در دماهای نسبتاً پایین، منتشر شده است. در این میان، بدست آوردن فرآیندهای زیر می‌تواند قابل توجه باشند: (a) خود تمییز شونده منسوجات پنبه ای اصلاح شده با  $TiO_2$  در دماهای پایین تحت تابش نور روز، (b) نانو بلورهای آنتاز رسوب کرده بر روی پارچه‌های پنبه ای از محلول‌های تیتانیوم ایزوپروپوکسید بوسیله فرآیند سل-ژل، (c) سنتز و توصیف پارچه‌های پنبه‌ای خود تمییز شونده بوسیله  $TiO_2$  از طریق یک روش ساده، (d) پنبه اصلاح شده  $TiO_2$  خود تمییز شونده آماده سازی شده بوسیله نور UVC و پلاسما RF در خلاء و همچنین تحت فشار

اتمسفری. هدف از این بررسی، مطالعه تاثیر دی اکسید کربن رسوب کرده به عنوان یک بازدارنده شعله برای انتقال بازدارندگی شعله و همچنین به عنوان یک فوتوکاتالیست نیمه رسانا برای خصوصیات خود تمییز شونده جهت ایجاد پارچه سلولزی بازدارنده شعله نور فعال می‌باشد. این نوآوری بدلیل آنکه اجازه استفاده عملی در کاربردهای صنعتی می‌دهد، مهم می‌باشد.

## بخش تجربی

### مواد

لیف سلولزی خالص با قطر ۱۰ میکرو متر از پنبه برای تمام فرآیند مورد استفاده قرار گرفت. متیلن بلو (MB) از درجه AR، فراهم شده از Merck (آلمان) برای آزمایشات مورد استفاده قرار گرفت. دیگر مواد شیمیایی از Merck (آلمان) فراهم شدند و بدون خالص سازی بیشتر مورد استفاده قرار گرفتند. آب مورد استفاده در آزمایشات ما، آب سه بار تقطیر شده بود.

### روش سنتز (تهیه نانو سل $TiO_2$ )

روش معمول برای سنتز نانو  $TiO_2$  بر روی الیاف سلولزی مطابق زیر می‌باشد: تیتانیوم (IV) ایزوپروپوکسید (TIP) به عنوان پیش ماده  $TiO_2$  مورد استفاده قرار گرفت. محلول بدین روش تهیه شد: تیتانیوم (IV) ایزوپروپوکسید (۰/۰۲ مول) به ۲-ایزوپروپانول تحت شرایط همزدن شدید اضافه شد و سپس تری اتیل آمین (۰/۰۵ مول) به عنوان تثبیت کننده محلول اضافه شد و برای مدت ۱۵ دقیقه هم زده شد (۲۰۰ rpm). محلول دیگر سپس به صورت جداگانه بدین صورت تهیه گردید: اسید هیدروکلریدیک (۱ میلی لیتر) و آب (۰/۵ میلی لیتر) به ۲-ایزوپروپانول اضافه شد و به خوبی بوسیله همزن مغناطیسی برای مدت ۱۰ دقیقه مخلوط شد. این محلول (۵۰ میلی لیتر) سپس به صورت قطره قطره به داخل محلول بالای (۵۰ میلی لیتر) شامل تیتانیوم (IV) ایزوپروپوکسید (TIP)، ایزوپروپانول، و تری اتیل آمین اضافه شد و به صورت شدید در دمای اتاق تا انجام شدن هیدرولیز هم زده شد. سپس، پس از هم زدن مداوم برای مدت ۲



یک تابش سنج اندازه گیری شد که حدود  $20 \text{ mW cm}^{-2}$  بود. سرعت تجزیه فوتوکاتالیتی از رابطه زیر تعیین گردید.

$$(C_0 - C)/C_0 = \text{تجزیه فوتوکاتالیتی}$$

$$(A_0 - A)/A_0 =$$

که  $C_0$  غلظت اولیه رنگزا بر روی سطح لیف را نشان می دهد،  $C$  غلظت نهایی پس از روشن سازی توسط نور UV می باشد،  $A_0$  جذب اولیه و  $A$  جذب متغیر می باشند.

#### تکنیک های توصیف

برای بررسی مورفولوژی الیاف سلولزی خالص و اصلاح شده با  $\text{TiO}_2$ ، تصاویر میکروسکوپ الکترونی روبشی (SEM) بر روی Philips XL30 مجهز به سیستم میکرو آنالیز پخش کننده انرژی (EDS) برای آنالیز ترکیب بندی الیاف سلولزی روکش شده  $\text{TiO}_2$  بدست آورده شد. اندازه ذرات  $\text{TiO}_2$  بوسیله تصاویر میکروسکوپ الکترونی عبوری (TEM) بر روی دستگاه Philips CM10 با یک ولتاژ شتاب دهنده  $100 \text{ kV}$  بدست آورده شد. برای واکنش تجزیه نوری، طیف انعکاسی UV-Vis در دمای اتاق بوسیله اسپکتروفوتومتر UV-2100 Shimadzu ثبت گردیدند. اندازه گیری های پراش اشعه X بوسیله پراش سنج پیشرفته D8 Bruker با پرتو  $\text{Cu K}\alpha$ ، سرعت پویش  $2\theta/s$   $0.2^\circ$  و در محدوده  $2\theta$  از  $10^\circ$  تا  $70^\circ$  در دمای اتاق ثبت شدند. برای بررسی رفتار حرارتی نمونه ها، آنالیز توزین حرارتی تحت اتمسفر هوا و نیتروژن در سرعت حرارت دهی  $10^\circ \text{C min}^{-1}$  با استفاده از آنالیزور توزین حرارتی (TGA V5.1A DuPont 2000) انجام شد.

#### نتایج و بحث

##### تصاویر SEM، TEM و آنالیز EDS روکش های $\text{TiO}_2$

به منظور بررسی مورفولوژی نمونه های بدست آمده، مقایسه بین تصاویر الیاف سلولزی عمل شده و عمل نشده در شکل ۱ نشان داده شده است. به وضوح نشان می دهد که لیف عمل شده قبل و بعد از شستشو بوسیله فیلم نازک پیوسته و یکنواخت  $\text{TiO}_2$  پوشیده شده است. بررسی SEM فیلم نازک  $\text{TiO}_2$  رسوب کرده بر روی الیاف سلولزی نشان می دهد که اندازه ذرات رسوب کرده تیتانیا بر روی سطح الیاف کمتر از  $100$  نانومتر می باشد (شکل ۱a، b). در شکل ۲، آنالیز EDS الیاف پوشیده شده با  $\text{TiO}_2$  قبل از شستشو (a) و بعد از شستشو (b) گزارش شده است. بر اساس این نتایج، مشاهده مواد رسوب کرده شامل تیتانیوم و اکسیژن قابل توجه است و پس از شستشو، مقدار قابل توجهی از تیتانیا هنوز هم بر روی سطح الیاف وجود دارد. این بدان معناست که ذرات  $\text{TiO}_2$  به صورت محکم به سطح الیاف متصل می باشند. به منظور بررسی اندازه ذرات  $\text{TiO}_2$  تشکیل دهنده فیلم  $\text{TiO}_2$ ، یک بخشی از ماده بوسیله خراشیدن سطح جمع آوری شد و بوسیله TEM بررسی شد. تصاویر TEM، گزارش شده در شکل ۳، نشان می دهد که فیلم تیتانیا رسوب کرده شامل ذرات کروی با قطر متوسط  $10$  تا  $20$  نانومتر می باشد.

##### آنالیز پراش اشعه X (XRD)

الگوهای XRD الیاف سلولزی خالص و روکش شده تیتانیا و پودرهای  $\text{TiO}_2$  بدست آمده از سل ژل در شکل ۴ گزارش شده است. شکل ۴a دو پیک پهن و

ساعت، سل شفاف مایل به زرد بدست آورده شد ( $100$  میلی لیتر)، سل  $\text{TiO}_2$  تشکیل شده شفاف و کاملاً پایدار بود. برای آغشته کردن، نمونه های پارچه ( $2 \text{ cm} \times 2 \text{ cm}$ ) با آب مقطر گرم و استون برای مدت  $60$  دقیقه برای حذف ناخالصیها عمل شدند و در دمای اتاق برای مدت  $24$  ساعت خشک شدند. پارچه سلولزی پس از خشک شدن در آن از قبل گرم شده، سپس برای مدت  $5$  دقیقه در  $\text{TiO}_2$  حاوی نانو سل مایع غوطه ور شد. نمونه های خارج شده سپس پد شدند و در آن از قبل گرم شده  $70$  درجه سانتیگراد برای حذف حلال از لیف قرار داده شد و سپس در دمای  $110$  درجه سانتیگراد برای مدت  $30$  دقیقه، برای کامل شدن تشکیل دی اکسید تیتانیوم از پیش ماده، گرم شدند. در طول این مرحله، ذرات  $\text{TiO}_2$  متصل نشده از سطح الیاف جدا شدند.

##### آزمایش تاخیر اندازه ی شعله

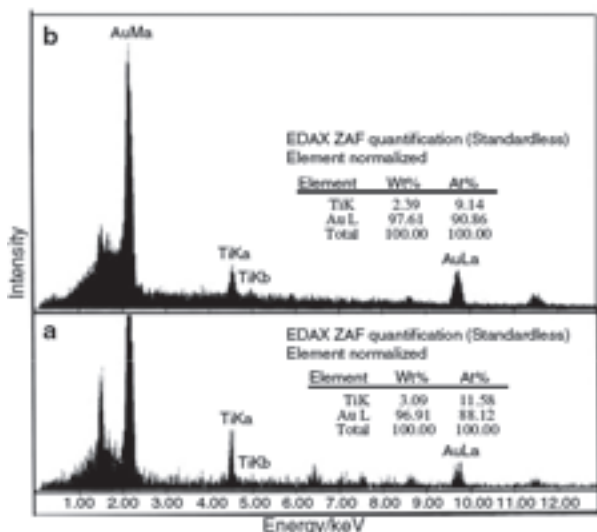
تمام پارچه های سلولزی با بافت تافته، وزن  $144 \text{ g m}^{-2}$ ، پنبه تکمیل نشده  $100\%$ ، شستشو شده، و خشک شده بودند. آنها نوارهای  $8 \text{ cm} \times 22$  بریده شده در راستای تار و از قبل شسته شده در آب یونزه گرم بودند. نمونه ها در دمای  $110$  درجه برای مدت  $30$  دقیقه در یک آون خشک شدند و در یک دسیکاتور سرد شدند و با دقت بالا وزن شدند. به جز اولین مجموعه (جدول ۱)، تمام نمونه های دیگر با نانو سل  $\text{TiO}_2$  تهیه شده در بالا در دمای  $20$  درجه سانتیگراد آغشته شدند. پس از آن، آنها پد شدند و به صورت افقی در آن در دمای  $110$  درجه سانتیگراد برای مدت  $30$  دقیقه خشک شدند. آنها سپس در دسیکاتور سرد شدند و با یک ترازو دقیق دوباره وزن شدند، تا مقدار ماده اضافه شده بر روی نمونه ها بدست آورده شود.

##### آزمایش اشتعال پذیری

روش آزمایش عمودی برای تخمین قابلیت اشتعال پارچه طراحی شد و به عنوان آزمایش کننده اشتعال پذیری Mostashari نامیده می شود. شرایط پارچه ها و محیط در یک دمای متوسط بین  $20$  و  $22$  درجه و رطوبت نسبی (RH) بین  $65$  و  $67\%$  بودند. روش کار مشابه در DOC FF 3-71 تشریح شده است. توصیف کامل از آزمایش کننده اشتعال پذیری ما در بررسی های قبلی بیان شده است.

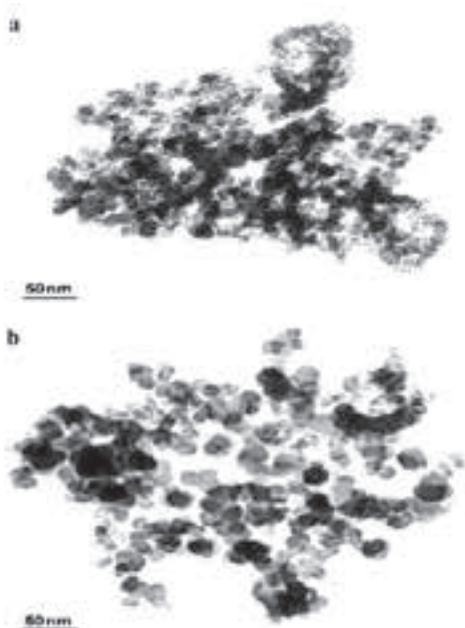
##### آزمایش فوتوکاتالیتی

فعالیت نوری الیاف سلولزی پوشیده شده با دی اکسید تیتانیوم بوسیله در تماس قرار دادن نمونه های حاوی MB با نور UV-Vis مورد بررسی قرار گرفت. برای این منظور،  $100 \text{ mL}$  محلول های آبی ( $10^{-5} \text{ mol}^{-1} \text{ L}$ ) از MB تهیه شدند. الیاف پوشش داده شده و پوشیده شده با  $\text{TiO}_2$  در محلول MB عمل شدند. همان مقدار از هر نمونه تحت همزدن ملایم در مقدار مشابه از محلول غوطه ور شد و تمام شب برای کامل شدن جذب در محلول باقی ماند. محلول سپس جدا شد و نمونه ها در دمای اتاق خشک شدند. نمونه های بدست آمده سپس در تماس با UV-Vis برای آزمایش فعالیت نوری آنها قرار داده شدند. برای واکنش های فوتوکاتالیتی، تابش بر روی نمونه های خشک، بوسیله لامپ جیوه با فشار بالا (HPMV 400 W، آلمان) انجام شد. لامپ، طیف در محدوده فرا بنفش تا مرئی ( $200$  تا  $800$  نانومتر) تولید می کند. فاصله بین لامپ و راکتور  $50$  سانتی متر بود، و شدت تابش UV رسیده به راکتور بوسیله



شکل ۲. طیف EDS الیاف سلولزی روکش شده  $TiO_2$  قبل از شستشو و b بعد از شستشو

تحت اتمسفرهای نیتروژن و هوا در جدول ۵ آورده شده است. منحنی TG الیاف سلولزی عمل شده (شکل ۵a) نشان می‌دهد که تغییر شیمیایی آنها بر اثر حرارت شامل ۳ مرحله، ابتدایی، اصلی، و تخریب شدن زغال می‌باشد. دما، سرعت و جرم از دست رفته مربوط به هر مرحله می‌تواند از منحنی TG بدست آورده شود. در مرحله اولیه، که محدوده دما کمتر از ۳۰۰ درجه سانتیگراد می‌باشد، مهمترین تغییرات پلیمر در خواص فیزیکی آن اتفاق می‌افتد و کاهش جرم کمی اتفاق می‌افتد. در اینجا، تخریب سلولز بیشتر در مناطق آمورف آن اتفاق می‌افتد. مرحله اصلی پیرولیز در محدوده دمای ۳۰۰ تا ۳۷۰ درجه

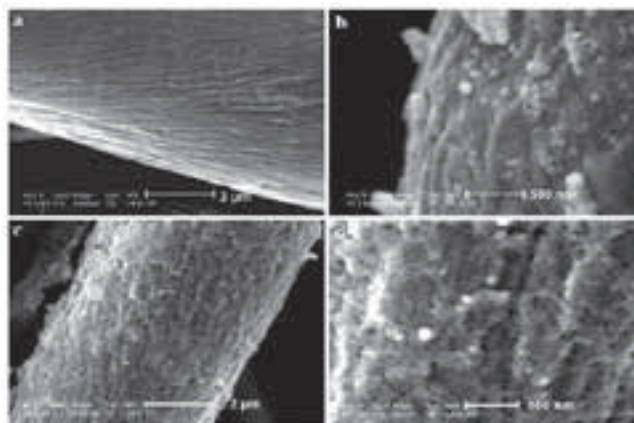


شکل ۳. تصاویر TEM a نانو ذرات  $TiO_2$  تششکیل دهنده فیلم  $TiO_2$  و b تصویر بزرگ شده TEM نانو ذرات  $TiO_2$

یک پیک شدید به ترتیب در ۱۳/۱۶، ۱۵/۱۲ و ۲۱/۴ درجه را نشان می‌دهد که شامل الگوی XRD نمونه‌ای از الیاف سلولزی می‌باشد. دو یا ۳ پیک اصلی در ۱۳/۱۶ و ۱۵/۱۲ درجه به فاز آمورف لیف بستگی دارند، در حالیکه پیک در ۲۱/۴ درجه به علت فاز بلوری می‌باشد. شکل ۴b الگوی XRD الیاف پوشیده شده  $TiO_2$  را نشان می‌دهد. از آنجاییکه مقدار  $TiO_2$  بر روی الیاف سطحی کم بود، بنابراین  $TiO_2$  بر روی سطح الیاف شدت فاز بلوری در الگوی XRD را به خوبی نشان نداد. با این حال، پیک‌های کوچک در ۲θ برابر با ۳۷، ۴۸ و ۵۰ درجه مشاهده گردیدند. اینها پیک‌ها مربوط به پیک‌ها پراش مربوط به بلورهای آتاتاز می‌باشند. شکل c و d الگوی XRD پودرهای  $TiO_2$  بدست آمده سل-ژل خشک شده به ترتیب در ۵۰۰ و ۷۰۰ درجه سانتیگراد را نشان می‌دهد. پودر  $TiO_2$  خشک شده در ۵۰۰ درجه سانتیگراد در طیف TiO<sub>2</sub> به راحتی به صورت بلور شکل آتاتاز شناسایی می‌گردد، در حالیکه در ۷۰۰ درجه سانتیگراد به راحتی به عنوان بلور شکل روتایل مشخص می‌گردد.

### آنالیز تاخیر اندازه‌ی شعله

نتایج تجربی آنالیز برای شناسایی مشخصات سوختن نمونه‌ها در جدول ۱ خلاصه شده است. آزمایشات انتشار شعله عمودی به دقت برای تعیین مقادیر اضافه شده بر زمان سوختن در واحد ثانیه انجام شدند (ستون ۳). حالت‌های نمونه‌ها (پس از آزمایشات) در ستون ۷ نشان داده شده است، که CB به معنی کامل سوختن می‌باشد و FR نشان دهنده بازدارندگی شعله می‌باشد. سرعت سوختن بر حسب  $cm s^{-1}$  بوسیله تقسیم طول پارچه سوخته شده بوسیله زمان سوختن شامحاسبه شدند که در ستون ۵ نشان داده شده است. طول زغال بر حسب cm در ستون ۶ داده شده است. از نتایج تجربی ستون ۳ می‌توان دریافت که مقدار کارآمد اکسید تیتانیوم به عنوان بازدارنده شعله برای پارچه سلولزی بر حسب گرم به ازای ۱۰۰ گرم پارچه خشک شده، حدود ۴/۸٪ می‌باشد. بعلاوه، این مقدار اضافه شده، مقدار کارآمد برای افزودن بازدارندگی شعله به پارچه سلولزی می‌باشد. توزین حرارتی (TG)، به صورت وسیع برای بررسی تخریب حرارتی پلیمرها برای تشخیص دادن پایداری‌های حرارتی و روند سوختن و پیرولیز مربوط به آنها استفاده می‌شود. منحنی‌های TG نمونه‌ها



شکل ۱. تصاویر SEM a لیف خالص ( $\times 10000$ )، b لیف روکش شده  $TiO_2$  پس از شستشو ( $\times 30000$ )، c لیف روکش شده  $TiO_2$  قبل از شستشو ( $\times 10000$ ) و d لیف روکش شده  $TiO_2$  قبل از شستشو ( $\times 30000$ )

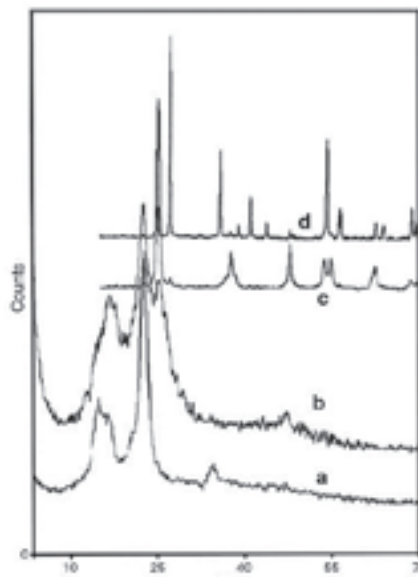


به خوبی در زیر تخریب حرارتی سلولز عمل نشده اتفاق می افتد. مشخصه است که دمای تخریب بستری عمل شده با  $TiO_2$  کمتر از نمونه های عمل نشده است (شکل c5, d)، که نشان دهنده تاثیر  $TiO_2$  به عنوان عامل بازدارنده شعله می باشد. لیف عمل نشده تخریب حرارتی سریع در ۳۰۰ درجه سانتیگراد را آغاز کرد و حدود ۹۸٪ این جرم در ۵۵۰ درجه سانتیگراد کاهش یافت (شکل ۵a). با این حال، نمونه عمل شده در مقدار بهینه از مواد اضافی، برای افزودن بازدارندگی شعله شروع به تخریب در دمای حدود ۲۵۰ درجه سانتیگراد کرد. قابل ذکر است که کاهش جرم اصلی لیف عمل نشده در دمای ۳۵۰ درجه سانتیگراد بوقوع پیوست که حدود ۷۰٪ از جرم آن کاهش یافت. با این حال، نمونه عمل شده تنها ۵۰٪ از جرمش را در این دما از دست داد. بنابراین، می توان نتیجه گرفت که بوسیله بکار بردن دی اکسید تیتانیوم به عنوان بازدارنده شعله، تشکیل محصولات پیرولیز در زمانیکه پلیمر در معرض تخریب حرارتی است را به تعویق می اندازد.

نمونه های منحنی TG تحت اتمسفر نیتروژن سه مرحله مشابه را نشان می دهد (شکل ۵b). پارچه پنبه عمل نشده (منحنی b) دمای تخریبی دارد که در ۳۰۰ درجه که پارچه های عمل شده به دلیل آب زدایی کاتالیزوری سلولز بوسیله بازدارنده شعله، دمای تخریب پایین تری دارند شروع می شود (شکل ۵d). می توان مشاهده کرد که احیاء قابل توجهی در مرحله آغازین نمونه عمل شده در حال اتفاق افتادن است که این می تواند به دلیل اثر کاتالیزوری نانو ذرات  $TiO_2$  و برهمکنش گروه های عاملی لیف سلولز و گروه های هیدروکسیل بر روی سطح لیف با نانو ذرات باشد. با این حال، باقیمانده، یعنی  $TiO_2$ ، به نظر می رسد که نقش خاک یا دیوار برای جذب حرارت و اتلاف در ناحیه سوختن همانطور که در تئوری اثر دیوار بیان شده است، بازی می کند. بر طبق این تئوری، اگر غلظت بسیار کافی از خاک در هوا وجود داشته باشد، هیچ شعله ای نمی تواند منتشر شود. از اینرو کاهش دما حاصل می شود و هدف از بازدارندگی شعله می تواند بدست آید. پس از سوختن تمام بخش های آلی در الیاف روکش شده  $TiO_2$ ، مقدار باقیمانده (حدود ۱۷٪ جرم) به  $TiO_2$  اشاره می کند (شکل c5). از این نتایج پیداست که تکنیک آنالیز توزین حرارتی در هوا اجازه ارزیابی حضور روکش  $TiO_2$  الیاف سلولزی را می دهد.

#### خود تمییز شونده گی فوتوکاتالیتی

فعالیت نوری دی اکسید تیتانیوم سنتز شده بر روی الیاف سلولزی بوسیله در تماس قرار دادن نمونه حاوی MB جذب شده با نور UV-Vis مورد بررسی



شکل ۴. الگوهای XRD نمونه ها: (a) الیاف سلولزی خالص، (b) الیاف پوشیده شده  $TiO_2$  پودر، (c)  $TiO_2$  بدست آمده سل-ژل در ۵۰۰ درجه سانتیگراد (d) پودر  $TiO_2$  بدست آمده سل-ژل در ۸۰۰ درجه سانتیگراد

سانتیگراد حادث می شود. در این مرحله، کاهش جرم بسیار سریع و چشم گیر می باشد. بیشتر محصولات تغییرات شیمیایی بر اثر حرارت در این مرحله تولید می شوند. به توجه به مقالات، گلوکز همرا با تمام انواع گازهای قابل احتراق، یکی از مهمترین محصولات می باشد.

پیرولیز زغال در دمای بالاتر از ۴۷۰ درجه سانتیگراد اتفاق می افتد. در طول این فرآیند (واکنش های آب زدایی و زغالی کامل با تولید گلوکز) واکنش های آب زدایی و زغالی بیشتر مشهود می باشند. تخریب جرم تا آب زدایی و دی کربوکسیل شدن ادامه می یابد، و آب و دی اکسید کربن بیشتری آزاد می کند و باندهای دوگانه و محصولات کربونیل تولید می کند. مقدار کربن در محصولات تجزیه شده بیشتر و بیشتر می شود و باقیمانده زغالی شده شکل می گیرد. اگرچه، محدوده دمای دقیق پیرولیز سلولز می تواند بسیار به مواد مختلف سلولزی و شرایط محیطی باشد، اما این سه مرحله در پیرولیز سلولز همیشه وجود دارد. در واقع، پیرولیز از مناطق آمورف تا مناطق بلوری در سلولز پیش می رود. نتایج منحنی های TG درباره نمونه های بازدارنده شعله سه مرحله مشابه اما با ماهای تخریب و کاهش جرم کمتر را نشان می دهد، یعنی، این مراحل

جدول ۱. تاثیر دی اکسید تیتانیوم رسوب کرده بر روی بازدارندگی شعله اضافه شده به پارچه سلولزی

Set no. <sup>a</sup>	Samples	Percent (add-on) drying at 110 °C and weighing	Burning time/s	Burning rate/cm s <sup>-1</sup>	Char length/cm	State of the fabric
1	Untreated	—	25	0.88	—	CB
2	Treated <sup>b</sup>	4.80	—	—	1	FR
3	Treated <sup>c</sup>	7.44	—	—	0.5	FR

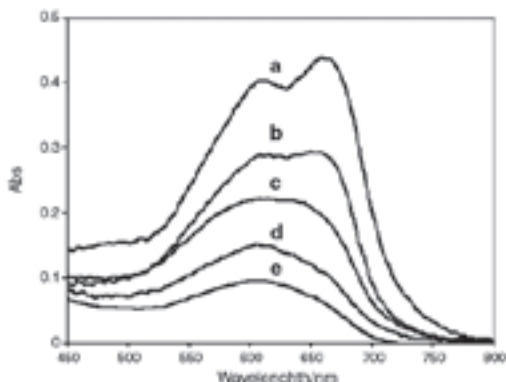
CB به صورت کامل سوخته، FR بازدارنده شده در برابر شعله

a متوسط ۵ آزمایش برای هر مجموعه

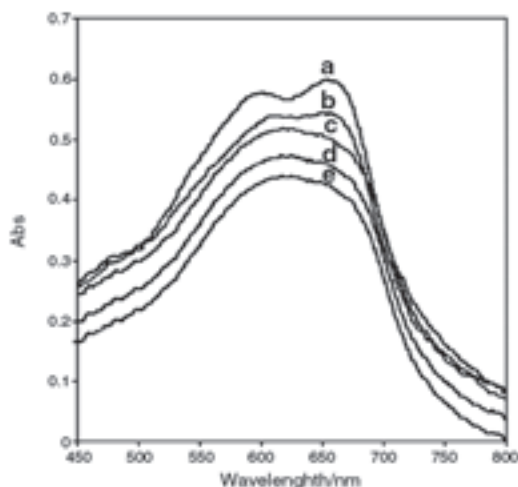
b نمونه عمل شده با نانو سل بعد از شستشو

c نمونه عمل شده با نانو سل قبل از شستشو

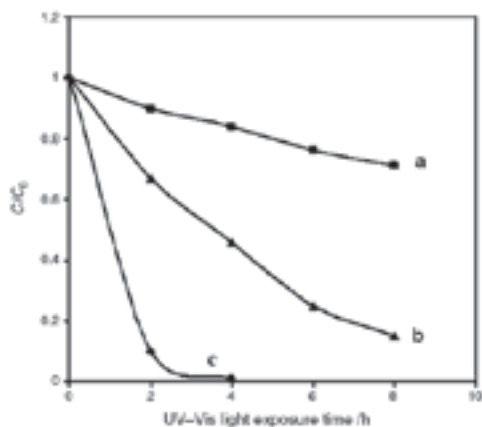
تذکر: (۱) برای نمونه های بازدارندگی شعله (FRS)، طول زغال  $\geq 2.0$  cm، (۲) در صد (اضافی) به معنی جرم اضافه شده برای پارچه های آغشته شده خشک  $\times 100$



شکل ۶. تغییرات طیفی انعکاسی UV-Vis، متیلن بلور بر روی الیاف روکش شده TiO<sub>2</sub> در دمای اتاق، تحت تابش نور UV-Vis: طیف‌های a-f به ترتیب برای زمان تابش ۰، ۲، ۴، ۶ و ۸.



شکل ۷. تغییرات طیفی انعکاسی UV-Vis، متیلن بلور بر روی الیاف خالص در دمای اتاق، تحت تابش نور UV-Vis: طیف‌های a-f به ترتیب برای زمان تابش ۰، ۲، ۴، ۶ و ۸.

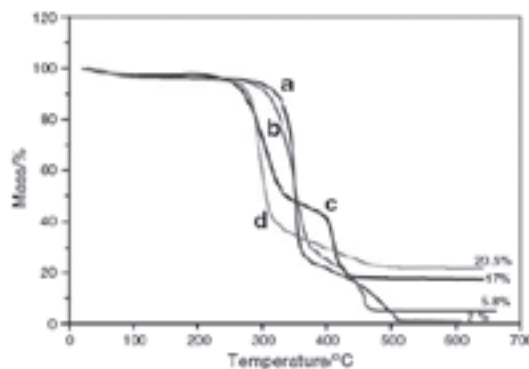


شکل ۸. وابستگی زمان غلظت سطحی MB جذب شده به محض تماس نور: (a) الیاف عمل نشده، (b) فعالیت فوتوکاتالیتی الیاف روکش شده TiO<sub>2</sub> و (c) P25 (Degussa)، که C<sub>0</sub> غلظت اولیه رنگزا بر روی الیاف سطحی و C غلظت نهایی پس از تابش بوسیله نور UV-Vis می‌باشند.

قرار گرفت. طیف‌های انعکاسی UV-Vis بدست آمده بر روی نمونه خشک شده قبل (طیف a) و بعد از تابش (طیف b-e) به ترتیب در شکل‌های ۶ و ۷ گزارش شده است. از شکل a می‌توان مشاهده کرد که باندهای جذب در فاصله ۵۰۰ تا ۷۰۰ نانومتر به علت جذب MB به سرعت تغییر می‌کنند، زیرا TiO<sub>2</sub> تجزیه نوری کاتالیستی را افزایش می‌دهد (طیف b-f). از آنجایی که فعالیت فوتوکاتالیستی TiO<sub>2</sub> معروف می‌باشد، این مسئله غیر منتظره نمی‌باشد. سرعت محو شدن باندها به علت جذب MB جذب شده بر روی الیاف روکش شده با TiO<sub>2</sub> بسیار بزرگتر از آن چیزی است که در حالت الیاف عمل نشده مشاهده شد (شکل ۷). البته، تأثیر تجزیه نوری کمتر از آن چیزی است که بر روی P25، که بهترین کاتالیست TiO<sub>2</sub> می‌باشد، مشاهده شد. مشهود است که الیاف روکش شده TiO<sub>2</sub> فرآیند تجزیه نوری را افزایش می‌دهند، و مساحت سطح بالای مربوطه با اندازه کوچک ذره، شرایط مطلوب برای تجزیه نسبتاً سریع را تأمین می‌کند.

#### نتیجه‌گیری

الیاف سلولزی روکش شده با TiO<sub>2</sub> نانو به طور موفقیت‌آمیزی بوسیله تکنیک سل-ژل در دمای پایین با فعالیت خود تمییز شونده فوتوکاتالیستی و بازدارندگی شعله تولید شدند. این آماده‌سازی، اجازه رسوب و اتصال نانو ذرات TiO<sub>2</sub> بر روی الیاف را می‌دهد و دی‌اکسید تیتانیوم به طور یکنواخت سطح الیاف را می‌پوشاند. الیاف سلولزی روکش شده TiO<sub>2</sub> کارآمدی نوور فوتوکاتالیستی در تجزیه MB قبل جذب شده تحت نور UV-Vis را نشان می‌دهند. ذرات TiO<sub>2</sub> بر روی منسوجات سلولزی، فرآیند نور تخریبی و بازدارندگی شعله را افزایش می‌دهند. مساحت سطح بالای مربوطه با اندازه کوچک ذرات، شرایط مطلوب برای اهداف خود تمییز شونده را تأمین می‌کند. عمل بازدارندگی شعله TiO<sub>2</sub> باقی مانده در خاکسترهای مصرف شده می‌تواند اشاره کند که ناشی از تئوری تأثیر خاک یا دیوار پیشنهاد شده بوسیله جونس می‌باشد. این تأثیر، غلظت کافی خاک در ناحیه شعله گرما را جذب می‌کند و سبب اتلاف حرارت می‌شود. از اینرو منجر به کاهش دما و در نتیجه بازدارندگی شعله می‌شود.



شکل ۹. منحنی‌های مقایسه‌ای TG پارچه سلولزی عمل نشده و عمل شده با TiO<sub>2</sub> برای اضافه کردن بازدارندگی شعله: (a) پارچه عمل نشده تحت اتمسفر هوا، (b) پارچه عمل نشده تحت اتمسفر نیتروژن، (c) پارچه سلولزی عمل شده با TiO<sub>2</sub> تحت اتمسفر هوا، و (d) پارچه سلولزی عمل شده با TiO<sub>2</sub> تحت اتمسفر نیتروژن