



پارچه بی بافت لیف توخالی پلی استر چند منظوره (عاملی) با استفاده از کامپوزیت‌های نانو کلی / نانو TiO_2 / پلی سیلوکسان

مترجم: عباس حاجی پور

چکیده

اصلاح سطحی و بهبود خواص پارچه بی بافت لیف پلی استر توخالی به دلیل کاربرد در زمینه‌های مختلف بسیار مهم می‌باشد. در اینجا، نانو کلی، نانو TiO_2 و نرم کننده پلی سیلوکسان از طریق روش متداول *impregnation-dry-cure* به منظور افزایش خواص پارچه بر روی پارچه بی بافت لیف پلی استر توخالی بکار برده شدند. هیدرولیز قلیایی پلی استر بر روی سطح بی بافت جهت عامل‌دار سازی پارچه و افزایش برداشت نانوذرات انجام شد. نانو کلی در ابتدا با استفاده از عامل دیسپرس کننده غیر یونی دیسپرس شد، و سپس دیسپرسیون نانو دی اکسید تیتانیوم به صورت قطره‌ای به دیسپرسیون نانو کلی تهیه شده اضافه شد. همچنین، دیسپرسیون‌های دیگر با اضافه نرم کننده پلی سیلوکسان و رزین پلی یورتان تحت سونیکیت کردن تهیه شدند. تصاویر SEM و الگوهای EDX/XRD، وجود ذرات مختلف بکار برده شده بر روی سطح پارچه را نشان دادند. آنالیز توزین حرارتی جهت بررسی رفتار تجزیه حرارتی نمونه‌های عمل شده بکار برده شد. خاصیت خود تمییز شونده بی بافت پلی استر عمل شده با کامپوزیت TiO_2 / نانو کلی / پلی سیلوکسان بوسیله تجزیه کردن متیلن بلو تحت تابش نور روز در دمای محیط بررسی شد و مشخص شد که کامپوزیت نانو کلی / TiO_2 پلی سیلوکسان بر روی سطوح پارچه، خاصیت خود تمییز شونده، پایداری حرارتی بالای $400^\circ C$ درجه سانتیگراد، و خواص جذب آب پارچه را بهبود داده است.

مقدمه

امروزه پارچه بی بافت لیف پلی استر توخالی با وزن کم، خواص ویژه آن در حبس هوا، تمییز کردن راحت، جذب صدای بیشتر و خواص دی الکتریک بهتر، کاربردهای زیادی در زمینه‌های مختلف از قبیل فیلترها، پشت فرش، عایق بندی در اتومبیل‌ها و وسایل دیگر دارد. کاربرد پارچه‌های بی بافت پلی استر در صنعت اتومبیل (پوشش) به داشتن برخی خواص از قبیل پایداری حرارتی، جذب آب و خود تمییز شونده نیاز دارد. بکارگیری نانو تکنولوژی به دستیابی این اهداف مورد نظر کمک می‌کند.

در سال‌های اخیر دی اکسید تیتانیوم و نانو کلی توجه زیادی در کاربردهای مختلف از قبیل ضد باکتری کردن، خود تمییز شونده و پایداری حرارتی به خود جلب کرده است. ذرات کلی سیلیکات‌های لایه‌ای با خواص منحصر بفرد می‌باشند. ساختار بلوری آنها شامل لایه‌های انباشته ساخته شده از دو چهار وجهی سیلیکا ترکیب شده با صفحه هشت وجهی با لبه مشترک آلومین می‌باشد. ضخامت لایه تقریباً ۱ نانومتر می‌باشد و ابعاد جانبی آن می‌تواند از ۳۰۰ آنگسترم تا چند میکرون متغیر باشد، که نسبت طول به عرض بیشتر از ۱۰۰۰ می‌باشد. کاربرد نانو کلی در مواد کامپوزیتی خاصیت مکانیکی، پایداری حرارتی، خاصیت مانع شونده در برابر گاز را افزایش می‌دهد و اشتعال پذیری را کاهش می‌دهد. تاثیر فیلترهای کلی در پایداری حرارتی کاملاً پیچیده می‌باشد. آنها اغلب به عنوان سد حرارتی عمل می‌کنند و انتقال اکسیژن تولید شده و گازهای فرار در طول تخریب پلیمر جلوگیری می‌کنند. با این حال، پایداری حرارتی می‌تواند به دلیل محصولات نانو کلی با تخریب تغییر دهنده آلی که تخریب ماتریس پلیمر را تسریع می‌کنند، کاهش یابد و استفاده از کراس لینک کننده‌ها از قبیل رزین

به دلیل پایداری کم نانوذرات کلی بر روی پارچه، مفید می‌باشد.

TiO_2 خواص تجزیه‌ای عالی برای برخی ترکیبات آلی با تاثیر ضد باکتری قابل قبول نشان می‌دهد. TiO_2 واکنش‌های کاتالیتیکی نوری قوی القاء شده با پرتو دهی UV نشان می‌دهد. بسیاری از محققان کاربرد ذرات نانو TiO_2 بر روی پارچه را نشان داده‌اند. بهبود مقاومت در برابر چروک پارچه پنبه با نانو کلی از طریق *pad-dry-cure* نیز گزارش شده است. سیکل‌ها و زمان خرد شدن طولانی‌تر، در مقاومت در برابر چروک بهتر برای پارچه پنبه عمل شده مونتور بونیت تاثیر خواهند داشت.

کامپوزیت‌های نانو کلی / نانو دی اکسید تیتانیوم در بسیاری از زمینه‌ها از قبیل حذف کننده‌های آلاینده آلی و تخریب فوتوکاتالیستی رنگ‌ها توجه زیادی به خود جلب کرده‌اند. در این مقاله روش جدید اصلاح سطح پارچه بی بافت لیف پلی استر توخالی با استفاده از نانو کلی، نانو TiO_2 و نرم کننده پلی سیلوکسان از طریق فرآیند متداول *impregnation-dry-cure* توضیح داده شده است. این عمل منجر به افزایش جذب آب، خود تمییز شونده و پایداری حرارتی پارچه‌های عمل شده می‌شود. تاثیر وجود نانو کلی بر اصلاح پارچه نیز بررسی شد و نتایج بحث شد.

بخش تجربی

۱- مواد و دستگاه‌ها

پارچه بی بافت لیف پلی استر توخالی با وزن ۱۷۰ گرم بر متر مربع مورد استفاده قرار گرفت. Cloisite® 20 A از Cloisite® 20A Southern Clay استفاده قرار گرفت. مونتورینت طبیعی اصلاح شده با استفاده از نمک آمونیوم نوع چهارم می‌باشد، نانو دی اکسید تیتانیوم (Degussa-P-25) با ساختار بلوری آتاتز و اندازه متوسط



جدول ۱. تهیه نمونه‌های مختلف (L/G: 100/1)

Sample no.	Nano clay (g/L)	Nano TiO ₂ (g/L)	Polysiloxane (g/L)	Polyurethane resin (%V/V)
(Control)	-	-	-	-
1	-	0.5	-	-
2	-	1	-	-
3	-	2	-	-
4	-	0.5	60	-
5	-	1	60	-
6	-	2	60	-
7	5	-	-	4
8	10	-	-	4
9	10	2	-	-
10	10	2	-	4
11	10	0.5	60	4
12	10	1	60	4
13	10	2	60	4

۰/۰۰۵٪ متیلن بلو تحت تابش دهی نور روز برای مدت ۳۰ ساعت بررسی شد. تغییرات رنگ نمونه‌ها با استفاده از پردازش تصویر ارزیابی شد که اختلاف رنگ در فضا رنگ RGB بر طبق رابطه ۱ محاسبه شد:

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

بطوریکه D اختلاف رنگ قبل و بعد از پرتو دهی نور روز می‌باشد، RGB مخفف رنگهای قرمز-سبز-آبی لکه می‌باشد، که بوسیله نرم افزار تعیین شد. مقدار D بالاتر نشان دهنده خاصیت خود تمییز شوندهگی بالاتر می‌باشد.

آب دوستی نمونه‌ها با استفاده از اندازه‌گیری زمان لازم برای آنکه قطره آب بر روی سطح پارچه بر طبق استاندارد انگلیسی ۴۵۵۴:۱۹۷۰ پخش شود که مربوط به قابلیت تر شوندهگی پارچه‌های نساجی می‌باشد، بررسی شد. برای انجام آن، قطره آب از فاصله یک سانتی متری بر روی سطح پارچه بوسیله سرنگ کوچک قرار داده شد. زمان متوسط جذب کامل قطرات آب بر روی سطوح پارچه از ۲۰ آزمایش اندازه‌گیری شد.

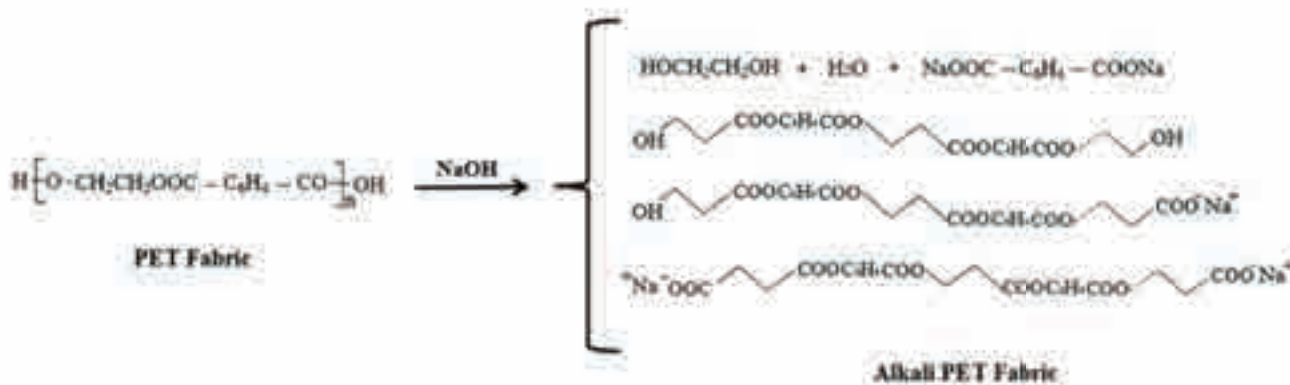
ذرات ۲۱ نانومتر از شرکت Evonik (آلمان)، عامل دیسپرس کننده (غیر یونی) بر پایه پلی اکریلات و آلیکل فسفات از شرکت Alkemi، نرم کننده پلی سیلوکسان [P-836] Adrasil HP، رزین پلی استر پلی یورتان بر پایه آب یعنی Asupret E-Pol از شرکت Asutex (اسپانسا) مورد استفاده قرار گرفتند. اولتراسونیک UP400S به منظور دیسپرس کردن نانوذرات در آب مورد استفاده قرار گرفت. آون (Binder، آلمان) جهت خشک کردن و پخت نمونه‌های پارچه مورد استفاده قرار گرفت. رفتار حرارتی (TGA/DTA) با استفاده از Perkin Elmer model Pyris 1 با نرخ حرارت دهی ۱۰ درجه سانتیگراد بر دقیقه در هوا اندازه‌گیری شد.

۲- روش‌ها

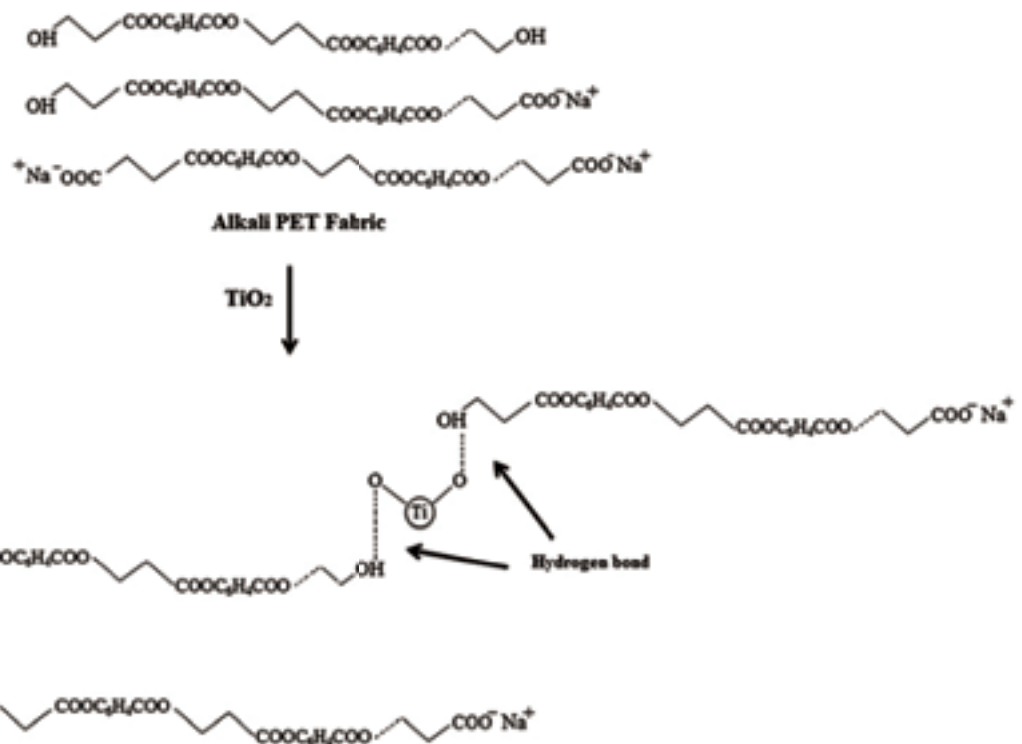
نمونه‌های پارچه‌ای در ابتدا با استفاده از ۲ گرم بر لیتر دترجنت نانیونیک در دمای ۶۰ درجه سانتیگراد برای مدت ۲۰ دقیقه شسته شدند، با آب سرد آبکشی شدند و در دمای محیط خشک شدند. نمونه‌ها با استفاده از ۴٪ سدیم هیدروکسید جهت ایجاد گروه‌های عاملی بر روی پارچه بی بافت پلی استر و افزایش برداشت نانوذرات، هیدرولیز شدند.

ذرات نانو کلی با استفاده از ۵٪ عامل دیسپرس کننده بوسیله ۵ دقیقه سونیکیت کردن در دمای ۶۰ درجه سانتیگراد دیسپرس شدند. دیسپرسیون نانو دی اکسید تیتانیوم سپس به صورت قطره‌ای دیسپرسیون نانو کلی اضافه شد. همچنین، نرم کننده پلی سیلوکسان و رزین پلی یورتان به دیسپرسیون اضافه شد و برای مدت ۵ دقیقه سونیکیت شد تا محلول یکنواخت بدست آورده شود. پیش آماده سازی حمام‌های مختلف در جدول ۱ نشان داده شده است.

پارچه‌های بی بافت پلی استر هیدرولیز شده با قلیا در حمام تهیه شده برای مدت ۲۰ دقیقه غوطه‌ور شد، و در دمای ۹۰ درجه سانتیگراد خشک شد، و سپس در دمای ۱۵۰ درجه سانتیگراد برای مدت ۵ دقیقه پخت شد. تصاویر SEM و الگوهای EDX/XRD جهت مشاهده وجود نانو کلی و نانو TiO₂ بر روی سطح پلی استر مورد استفاده قرار گرفتند. آنالیز توزین حرارتی (TGA) و آنالیز تفاضلی حرارتی (DTA) جهت بررسی رفتار تخریب حرارتی پارچه‌های شاهد و برخی پارچه‌های عمل شده بکار برده شد. خواص خود تمییز شوندهگی پارچه‌های بی بافت پلی استر عمل شده با کامپوزیت‌های TiO₂/نانو کلی/پلی سیلوکسان بوسیله بررسی تجزیه لکه



شما تیک ۱. مکانیزم هیدرولیز قلیایی پلی استر

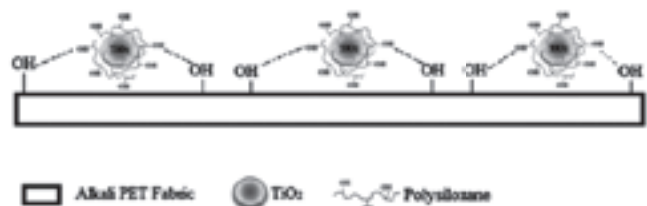


شما تیک ۲. مکانیزم جذب نانو ذرات TiO_2 بر روی پلی استر به صورت قلیایی هیدرولیز شده

۳- مکانیزم های جذب نانوذرات بر روی سطح پارچه پلی استر

۱-۳ مکانیزم های جذب نانو دی اکسید تیتانیوم

هیدرولیز قلیایی، گروه های عاملی هیدروکسیل بر روی زنجیرهای پلی استر را افزایش می دهد که منجر به جذب دی اکسید تیتانیوم به دلیل اتصال هیدروژنی بین گروه های هیدروکسیل و گروه های $Ti-O$ می شود. مکانیزم شیمیایی هیدرولیز قلیایی پلی استر و جذب نانوذرات TiO_2 در شما تیک های ۱ و ۲ نشان داده شده است. استفاده از نرم کننده پلی سیلوکسان نیز جهت دستیابی به دیسپرسیون پایدار، توزیع یکنواخت و پایدارسازی بالاتر نانوذرات بر روی پارچه بی بافت بود. زنجیر بلند نرم کننده پلی سیلوکسان نانوذرات TiO_2 را احاطه می کند و با گروه های هیدروکسیل آزاد و تولید شده بوسیله هیدرولیز پلی استر به دلیل گروه های هیدروکسیل در ساختار آنها متصل می شود. نرم کننده پلی سیلوکسان نیز به زنجیرهای پلی استر از طریق نیروهای واندوالس متصل می شود. پس از آن، TiO_2 (Ti^{+4}) به گروه های COO^- پلی استر به دلیل شرایط اسیدی (pH تقریباً برابر با ۴/۵) در حضور پلی سیلوکسان متصل می شود. مکانیزم پیشنهاد شده برای نانوذرات TiO_2

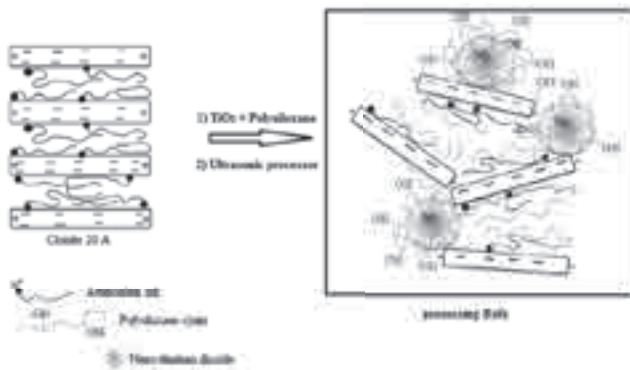


شما تیک ۳. اتصال نانو TiO_2 روکش شده با پلی سیلوکسان با سطح پارچه پلی استر به صورت قلیایی هیدرولیز شده

روکش شده با پلی سیلوکسان که به سطح پلی استر متصل شده است، در شما تیک ۳ نشان داده شده است.

۲-۳ مکانیزم های جذب کامپوزیت نانو کلی /نانو TiO_2 /پلی سیلوکسان

می دانیم که ذرات کلی لایه ای می باشند و فاصله بین صفحات نانو کلی با دیسپرس شدن در آب افزایش می یابد. زنجیرهای نرم کننده پلی سیلوکسان با زنجیرهای آب گریز اصلاح کننده آلی (نمک آمونیوم نوع چهارم) در فضای بین لایه های کلی مونومرینت اصلاح شده به صورت آلی (Cloisite 20A) واکنش می دهد. یک فرآیند تشکیل پیشنهاد شده کامپوزیت نانو کلی /نانو TiO_2 /پلی سیلوکسان در شما تیک ۴ نشان داده شده است. نانو ذرات دی اکسید تیتانیوم با اندازه ۲۱ نانومتر بین صفحات کلی بارگذاری نمی شوند؛



شما تیک ۴. شکل گیری پیشنهاد شده کامپوزیت نانو کلی /نانو TiO_2 /پلی سیلوکسان



جدول ۲. خواص پارچه‌های عمل شده

Sample code	Color difference (D)	Water droplet adsorption time (S) (before irradiation)	Water droplet adsorption time (S) (after irradiation)
Raw nonwoven	31.28	6,440	3,010
Control	49.96	1	1
1	51.98	20	1
2	53.92	35	1
3	57.73	124	1
4	53.19	1	1
5	55.41	1	1
6	58.81	1	1
7	27.75	2,880	2,405
8	26.34	4,080	3,840
9	51.07	535	1
10	49.82	3,700	1
11	67.43	1	1
12	67.36	1	1
13	75.58	1	1

حضور نرم کننده آب دوست پلی سیلوکسان، آب دوست می‌باشند. لیف پلی استر توخالی خام حاوی ۰/۲٪ TiO_2 با خاصیت فوتوکاتالیستی پایین می‌باشد، بنابراین زمان جذب آب به مقدار کمی پس از پرتودهی نور روز حتی بدون TiO_2 کاهش می‌یابد. با این حال، پارچه‌های عمل شده با کامپوزیت نانو کلی/نانو دی اکسید تیتانیوم (نمونه‌های ۱۳-۹) خواص فوتوکاتالیستی عالی نشان می‌دهند که منجر به نتایج خود تمییز شونده‌گی نیز می‌شود.

۲- خواص خود تمییز شونده‌گی

اختلافات رنگ در فضای RGB، مقدار D بالاتر برای پارچه عمل شده با TiO_2 بیشتر (جدول ۲) نشان می‌دهد، در حالیکه لکه بطور کامل پس از ۱۰ ساعت تحت پرتودهی نور روز حذف می‌شود. نانو TiO_2 بیشتر منجر به تولید رادیکال‌های اکسید کننده بیشتر ناشی از پرتودهی می‌شود. رادیکال‌های تولید شده قادر به تخریب کردن ترکیب رنگ‌زا می‌باشند. همچنین، تاثیر خود تمییز شونده‌گی با حضور پلی سیلوکسان (نمونه‌های ۴، ۵ و ۶) افزایش می‌یابد و متیلین بلو بطور کامل پس از ۷ ساعت تحت پرتودهی نور روز تخریب می‌شود. با این حال، افزایش رزین (نمونه‌های ۱۰-۷) تاثیر منفی بر روی خاصیت خود تمییز شونده‌گی نشان می‌دهد. علاوه بر این، افزایش نرم کننده پلی سیلوکسان در نمونه‌های ۱۱، ۱۲ و ۱۳ به دلیل شاخص شکست کمتر پلی سیلوکسان نسبت به پلی استر، منجر به القاء نورهای بیشتر به نانوذرات دی اکسید تیتانیوم می‌شود. این عمل منجر به تعداد بیشتر رادیکال‌های اکسید کننده تولید شده بر روی سطح پارچه می‌شود و خاصیت فوتوکاتالیستی را افزایش می‌دهد. بنابراین، تاثیر منفی رزین بر روی خواص خود تمییز شونده‌گی پارچه جبران می‌شود و لکه متیلین بلو تقریباً بطور کامل تجزیه می‌شود.

بخشی از زنجیرهای پلی سیلوکسان ذرات دی اکسید تیتانیوم را احاطه می‌کنند و بر روی صفحات کلی بارگذاری می‌شوند و بخش دیگر بین صفحات کلی قرار می‌گیرد. TiO_2 (Ti^{+4}) به سطح مونتورینت با بار منفی بوسیله نیروی الکترواستاتیک به دلیل شرایط اسیدی (pH تقریباً برابر با ۴/۵) در حضور پلی سیلوکسان متصل می‌شود. به دلیل بار منفی سطح صفحات کلی و لبه مثبت، به صورت همزمان صفحات کلی نامنظم، لبه صفحات نانو کلی به یکدیگر بوسیله نیروی الکترواستاتیک متصل می‌شوند و ساختار شبکه‌ای شکل می‌گیرد. نانوذرات TiO_2 روکش شده با زنجیرهای پلی سیلوکسان بر روی صفحات کلی بارگذاری می‌شوند. کامپوزیت نانو کلی/نانو TiO_2 /پلی سیلوکسان به پلی استر بوسیله اتصال هیدروژنی، و نیروهای الکترواستاتیک و واندوالس متصل می‌شود. جهت بهبود پایداری نانوذرات کلی بر روی بی بافت پلی استر و در هنگام شستشو، رزین پلی یورتان استفاده شد. رزین تاثیر کراس لینک کننده‌گی دارد و نانوذرات به سطح پارچه بی بافت متصل می‌شوند و منافذ باز را پر می‌کنند و همچنین مقاومت پارچه را افزایش می‌دهند.

نتایج و بحث

۱- جذب قطره آب

نتایج جدول ۲ نشان می‌دهد که بی بافت لیف پلی استر تو خالی، خاصیت آب گریزی دارد که بوسیله هیدرولیز کردن با هیدروکسید سدیم آب دوست شدند. زمان جذب آب بر روی پارچه عمل شده با نرم کننده پلی سیلوکسان به دلیل خاصیت آب دوستی نرم کننده مورد استفاده، بسیار کوتاه می‌باشد. اضافه کردن رزین پلی یورتان (نمونه ۷ و ۸) منجر به سطح آب گریز و افزایش زمان جذب به دلیل آب گریز بودن پلی یورتان و مسدود شدن فضاهای باز در ساختار پارچه بی بافت می‌شود. با این حال نمونه‌های ۱۱، ۱۲ و ۱۳ به دلیل

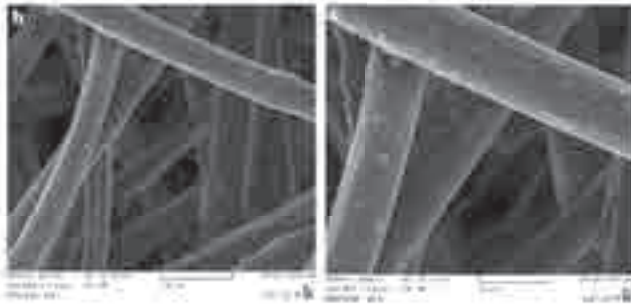


۳- رفتارهای حرارتی پارچه‌ها

TGA و DTA مطلوب‌ترین روش برای ارزیابی پایداری حرارتی پارچه‌های عمل شده با نانوذرات می‌باشد. شکل ۱ ترموگرام‌های TGA و DTA نمونه‌های مختلف از قبیل شاهد، ۸، ۱۰ و ۱۳ در هوا با نرخ حرارت دهی ۱۰ درجه سانتیگراد بر دقیقه را نشان می‌دهد.

پارچه بی بافت لیف پلی استر تحت ۳ مرحله مختلف تخریب حرارتی قرار می‌گیرد. اولین مرحله بین دمای ۲۳۰ و ۲۷۵ درجه سانتیگراد اتفاق می‌افتد که شامل حذف مولکول‌های آب جذب شده در منافذ و خلل و فرج پارچه بی بافت می‌باشد. دومین مرحله بین ۳۵۰ و ۴۵۰ درجه سانتیگراد اتفاق می‌افتد که مربوط به تخریب زنجیره‌های پلی استر در بخش‌های کوچک‌تر بوسیله تخریب اولیه انتهای زنجیر می‌باشد. این مرحله اصلی تخریب می‌باشد و حداکثر کاهش وزن در ۴۳۰ درجه سانتیگراد اتفاق می‌افتد. سومین مرحله کاهش وزن بین ۴۵۰ و ۵۵۰ درجه سانتیگراد اتفاق می‌افتد که به دلیل تخریب ترمو اکسایشی بخش‌های کوچک به محصولات فرار می‌باشد. حداکثر دمای تخریب ۵۱۰ درجه سانتیگراد می‌باشد و وزن باقی مانده پارچه پلی استر خام در ۵۹۰ درجه سانتیگراد، ۰/۳۱٪ می‌باشد.

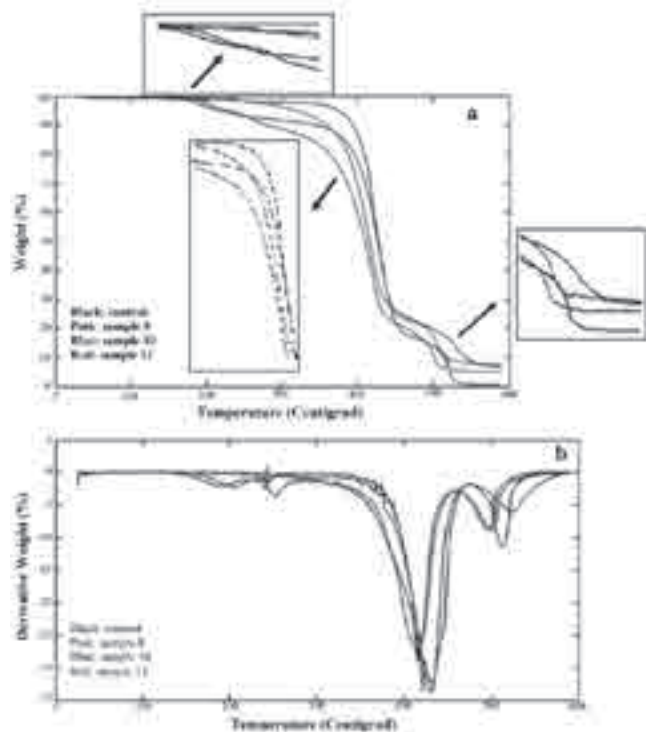
تأثیر نانو کلی و رزین بر روی رفتار حرارتی پارچه عمل شده (نمونه ۸) بررسی شد. این نمونه دو مرحله تخریب را نشان می‌دهد. پیک مربوط به حذف آب به دلیل خاصیت آب‌گریزی پارچه بی بافت در حضور نانو کلی و رزین قابل مشاهده نمی‌باشد. نانو کلی با مساحت سطح بزرگ بر روی سطح پارچه بی بافت جذب می‌شود. مقداری از آن در فضاهای باز بین الیاف قرار می‌گیرد و رزین نیز به نانوذرات پارچه بی بافت متصل می‌شود و منجر به آب‌گریزی بیشتر می‌شود. دومین و سومین پیک



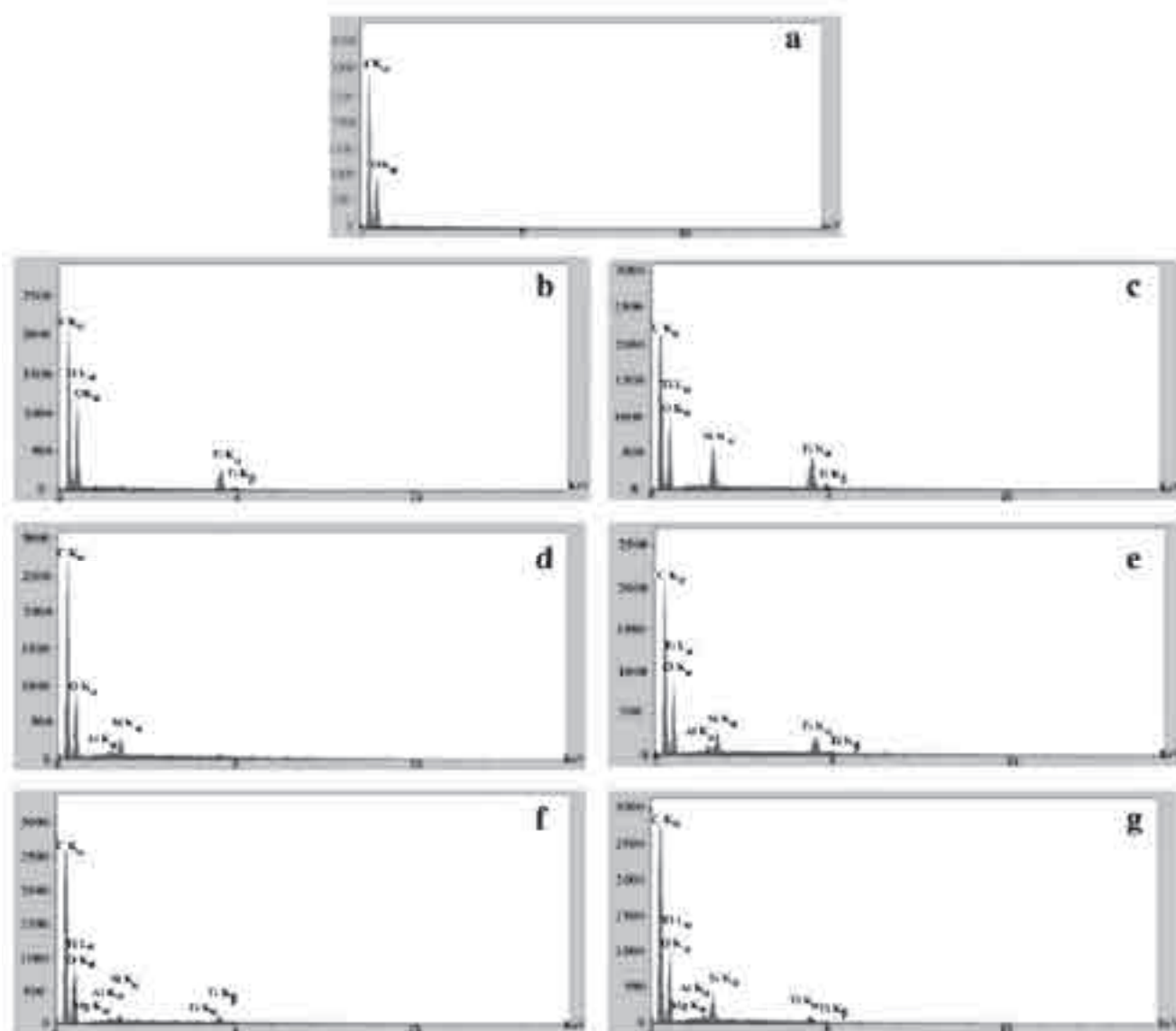
شکل ۲. تصاویر SEM نمونه‌های مختلف: a نمونه شاهد؛ نمونه ۱۳ با بزرگنمایی ۱۰۰۰ x؛ نمونه ۱۳ با بزرگنمایی ۵۰۰ x

تخریب حرارتی به دماهای پایین‌تر یعنی به ترتیب ۴۲۰ و ۵۰۰ درجه سانتیگراد شیفت یافتند. علاوه بر این، خاکستر باقیمانده تا ۷/۳۸٪ مقدار اولیه در دمای ۵۹۰ درجه افزایش یافت. تأثیر نانودی اکسید تیتانیوم، نانو کلی و رزین در رفتار حرارتی نمونه ۱۰ مورد بررسی قرار گرفت. این نمونه ۴ مرحله مختلف تخریب را نشان می‌دهد. اولین مرحله مربوط به نانوذرات دی اکسید تیتانیوم می‌باشد که در ۱۷۵ درجه سانتیگراد با حداکثر تخریب در ۱۹۸ درجه سانتیگراد شروع می‌شود. پیک مربوط به حذف گروه هیدروکسیل به دلیل ماهیت آب دوستی نمونه پارچه و جذب آب در دمای ۲۴۰ درجه سانتیگراد مشاهده شد. پیک تخریب پلی استر در ۴۳۱ درجه سانتیگراد، نزدیک به نمونه خام، مشاهده شد. پیک تخریب مرحله نهایی به دمای بالاتر در حدود ۵۲۴ درجه سانتیگراد شیفت یافت. بنابراین، تخریب ترمو اکسایشی قطعات در حضور دی اکسید تیتانیوم به تأخیر افتاد. خاکستر باقیمانده ۶/۷۷٪ مقدار اولیه در دمای ۵۹۰ درجه سانتیگراد بود. پیک‌های تخریب مرحله‌های یک و دو در حضور پلی سیلوکسان (نمونه ۱۳) به دماهای بالاتر یعنی به ترتیب ۲۰۴ و ۲۵۲ درجه سانتیگراد، به دلیل اتصال هیدروژنی با الیاف و در دسترس نبودن مولکول‌های آب، شیفت یافت. با این حال، پیک‌های تخریب مرحله‌های بعد به دماهای پایین‌تر یعنی به ترتیب ۴۱۸ و ۴۹۵ درجه سانتیگراد، شیفت یافت. همچنین، خاکستر باقیمانده در مقایسه با نمونه شاهد افزایش یافت.

مقایسه رفتار حرارتی ۴ نمونه مختلف نشان می‌دهد که حضور نانو کلی/ رزین بر روی سطح پارچه بی بافت، دماهای اولیه تخریب حرارتی را کاهش می‌دهد؛ با این حال، خاکستر باقیمانده در دماهای بالا افزایش می‌یابد. دمای اولیه کمتر تخریب به دلیل آنکه فرآیند در دمای کمتر از دمای شروع انجام می‌شود، تأثیری بر پایداری حرارتی در طول فرآیند ندارد. به عبارت دیگر، پایداری حرارتی پارچه‌های عمل شده، به دلیل خاکستر باقیمانده بیشتر، به بالای ۴۵۰ درجه سانتیگراد افزایش یافت. می‌دانیم که خاکستر



شکل ۱. a) ترموگرام‌های TGA نمونه‌های مختلف؛ b) ترموگرام‌های DTG نمونه‌های مختلف در هوا با نرخ حرارت دهی ۱۰ درجه سانتیگراد بر دقیقه



شکل ۳. الگوی EDX نمونه‌های مختلف عمل شده: a شاهد؛ b نمونه ۳ عمل شده با ۲ گرم بر لیتر TiO_2 ؛ c نمونه ۶ عمل شده با ۲ گرم بر لیتر TiO_2 و ۶- گرم بر لیتر پلی سیلوکسان؛ d نمونه ۸ عمل شده با ۱۰ گرم بر لیتر نانو کلی و ۴٪ حجمی/حجمی رزین پلی یورتان؛ e نمونه ۹ عمل شده با ۱۰ گرم بر لیتر نانو کلی و ۲ گرم بر لیتر TiO_2 ؛ f نمونه ۱۰ عمل شده با ۱۰ گرم بر لیتر نانو کلی، ۲ گرم بر لیتر TiO_2 ، ۶۰ گرم بر لیتر پلی سیلوکسان و ۴٪ حجمی/حجمی رزین پلی یورتان

ذرات را نشان می‌دهد. شکل 2b، 2c، نمونه عمل شده با نانو کلی/نانو TiO_2 /پلی سیلوکسان (نمونه ۱۳) با دو بزرگمائی را نشان می‌دهند. نانو ذرات بر روی سطح پارچه بی بافت بارگذاری شده‌اند و کراس لینک‌های بین الیاف به دلیل حضور رزین پلی یورتان و پلی سیلوکسان در کامپوزیت قابل مشاهده می‌باشند.

۵- الگوی EDX

الگوهای EDX حضور نانو کلی و دی اکسید تیتانیوم بر روی پارچه‌های عمل شده پس از شستشو در شکل ۳ نشان می‌دهند و wt٪ اجزای بر روی هر نمونه در جدول ۳ گزارش شده است. مقدار Ti برای نمونه ۳ در مقایسه با نمونه ۶ کمتر بود که تاثیر نرم کننده پلی سیلوکسان بر روی سطح پارچه را نشان می‌دهد که محتوای نانو TiO_2 در نمونه ۶ افزایش می‌یابد. وجود

بیشتر، تخریب پلی استر در دماهای بالا را به تاخیر می‌اندازد و از انتقال اکسیژن و گازهای فرار تولید شده در طول تخریب جلوگیری می‌کند. وجود نانو کلی/دی اکسید تیتانیوم/رزین، بیشترین پایداری حرارتی در دماهای بالا را نشان می‌دهد. نرم کننده پلی سیلوکسان، دمای آغاز تخریب را افزایش می‌دهد و پایداری حرارتی بالای ۴۵۰ درجه سانتیگراد کاهش می‌یابد.

۴- تصاویر SEM

به منظور مشاهده مورفولوژی پارچه بی بافت و توزیع نانو ذرات بر روی سطح، تصاویر نمونه شاهد و نمونه ۱۳ با استفاده از میکروسکوپ الکترونی روبشی مشاهده شد. تصاویر SEM پارچه عمل شده، نانو ذرات بارگذاری شده بر روی سطح پارچه را نشان می‌دهد. شکل 2a، سطح پارچه بی بافت هیدرولیز شده (نمونه شاهد) با سطح تمییز و بدون بارگذاری نانو



جدول ۳. درصد وزنی (%wt) و درصد اتمی (%at) اجزای شناسایی شده مختلف بر روی نمونه‌های عمل شده

Elements	O		Ti		Si		Al		Mg		Total	
	wt%	at.%	wt%	at.%	wt%	at.%	wt%	at.%	wt%	at.%	wt%	at.%
Control	100	100	-	-	-	-	-	-	-	-	100	100
Sample 3	93.66	97.79	6.34	2.21	-	-	-	-	-	-	100	100
Sample 6	84.44	92.14	8.50	5.28	7.06	2.57	-	-	-	-	100	100
Sample 8	90.38	94.36	-	-	6.55	3.85	2.60	1.61	0.48	0.14	100	100
Sample 9	87.41	93.48	4.81	1.72	5.37	3.27	2.47	1.53	-	-	100	100
Sample 10	92.73	96.23	2.51	0.87	2.76	1.63	1.42	0.87	0.58	0.39	100	100
Sample 13	87.18	92.54	1.49	0.53	9.24	5.59	1.61	1.01	0.47	0.33	100	100

شدن زنجیرهای پلی سیلوکسان بین صفحات کلی می‌باشد. با این حال، این پیک‌های پرآش می‌توانند احتمالاً بوسیله محتوای نانو کلی بیشتر در پارچه تولید شوند که منجر به تجمع می‌شود، با این حال درجه تجمع به دلیل شدت کم پیک پرآش ($2\theta=4.64$) کمتر می‌باشد. پیک‌های دیگر به دلیل لایه‌ای شدن و نامنظم شدن صفحات کلی، کمی کاهش یافتند و انتقال پیدا کردند.

نتیجه‌گیری

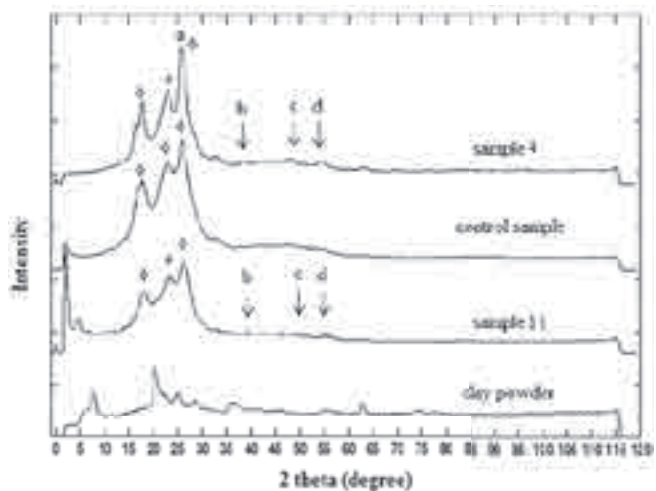
پارچه بی بافت پلی استر متخلخل به صورت موفق با استفاده از نانو کلی/نانو TiO_2 /نرم کننده پلی سیلوکسان اصلاح شد که یک پارچه با خواص چند منظوره از قبیل خود خواص تمییز شونده، پایداری در برابر حرارت و آب دوستی تولید کرد. الگوهای EDX و تصاویر SEM حضور نانوذرات بر روی سطح پارچه را تأیید کرد. علاوه بر این، حضور نرم کننده پلی سیلوکسان و رزین منجر به توزیع یکنواخت نانوذرات با اندازه کمتر بر روی سطح پارچه شد. آنالیز XRD وجود نانو کلی و دی اکسید تیتانیوم با فاز بلوری آناتاز بر روی پارچه‌های بی بافت را تأیید کرد. علاوه، فاصله بین صفحات نانو کلی افزایش یافت و زنجیرهای پلی سیلوکسان بین لایه‌های نانو کلی قرار گرفتند. خواص خود تمییز شونده پارچه با نانو TiO_2 بیشتر به دلیل افزایش رادیکال‌های اکسید کننده تولید شده تحت پرتودهی نور روز، افزایش یافت. نرم کننده پلی سیلوکسان نرمی و زیر دست مطلوبی ایجاد می‌کند، در حالیکه نور بیشتر به دی اکسید تیتانیوم القاء می‌شود و اثر فوتوکاتالیتی نانو ذرات به دلیل شاخص شکست پایین تر پلی سیلوکسان نسبت به لیف پلی استر، افزایش می‌یابد. حضور نانو کلی و رزین همرا به پلی سیلوکسان، هیچ تأثیر منفی بر روی خواص خود تمییز شونده پارچه عمل شده نشان نداد.

آنالیز Tg-DTA خاکستر باقیمانده بیشتر در حضور نانو کلی نشان داد و تخریب پلی استر در دمای بالا به تأخیر افتاد. حضور کامپوزیت نانو کلی/دی اکسید تیتانیوم منجر به انتقال پیک تخریب به دمای بالا و افزایش پایداری حرارتی در بالای 400 درجه سانتیگراد شد. نانو TiO_2 بیشتر در کامپوزیت منجر به خاصیت فوتوکاتالیتی و آب دوستی بیشتر پارچه پس از پرتودهی نور روز شد. نانو کلی و پلی سیلوکسان تأثیر مثبت بر خواص فوتوکاتالیتی و آب دوستی القاء شده توسط نور نشان دادند. با این حال، رزین پلی یورتان چسبندگی نانو ذرات بر روی پارچه بی بافت پلی استر را افزایش داد.

رزین پلی یورتان و نرم کننده پلی سیلوکسان (نمونه‌های ۱۰ و ۱۳)، توزیع یکنواخت نانوذرات بر روی سطح پارچه را بوجود می‌آورد، زیرا نسبت Ti در نمونه‌ها کاهش می‌یابد.

۶- پراش اشعه ایکس

الگوهای SRD پودر نانو کلی و نمونه‌های مختلف از قبیل شاهد، ۶ و ۱۳ در شکل ۴ نشان داده شده است. پیک‌های مشخصه پلی استر در طیف‌ها با ستاره مشخص شده است. الگوهای XRD نمونه‌های حاوی نانو دی اکسید تیتانیوم شامل پیک انعکاس نسبتاً قوی (a) $(2\theta/54)$ و سه پیک ضعیف (b) $(37/98)$ ، (c) $(48/5)$ و (d) $(54/33)$ آناتاز بود. پیک‌های نمونه ۱۳ پلی استر و دی اکسید تیتانیوم را مشخص کرد. ضمناً دو پیک جدید در $2\theta/0.8$ و $4/64$ نشان دهنده حضور نانو کلی بود. می‌توان مشاهده کرد که (۰۰۱) d مربوط به کلی خام در $2\theta=7.67$ ظاهر شد، که مربوط به فضای بین لایه‌ای $1/15$ نانومتر می‌باشد. نوع وجود لایه کلی در کامپوزیت‌های نانو پلیمری بر اساس شیفت و شدت پیک تعیین شد. وجود پیک جدید در $2\theta=2.08$ و $4/64$ در نمونه ۱۳ مربوط به $d=4.23$ و $d=1.9$ nm نشان دهنده افزایش فاصله بین صفحات کلی می‌باشد. بنابراین، وجود پلی سیلوکسان با زنجیر بلند منجر به ترکیبات بین لایه‌ای بین صفحات کلی می‌شود. انعکاسات دیگر ظاهر شده در الگوی SRD مربوط به نامنظم



شکل ۴. الگوهای XRD پودر کلی و نمونه‌های شاهد، ۶ و ۱۳