

# پارچه پنبه ای پوشانده شده با کوپلیمر اکریلات نانو $TiO_2$ با پلیمریزاسیون تعلیق در جا، جهت خود تمیز شوندگی فوتو کاتالیستی

چکیده

دو نوع انتشار هیبریدی نانو  $TiO_2$ - پلی اکریلات، یعنی TBM-w و TBM-e به ترتیب با استفاده از پلیمریزاسیون تعلیق در جا و پلیمریزاسیون محلول، سنتز شدند تا نانو ذرات  $TiO_2$  را روی پارچه تثبیت کنند. پارچه های خود تمیز شونده فوتو کاتالیستی به خاطر مزایای ذخیره آب و حفاظت محیط، در سال های اخیر بیشتر مورد توجه قرار گرفته اند. به هر حال تثبیت فوتو کاتالیست روی پارچه ها هنوز هم یک مشکل کلیدی است که مانع از صنعتی شدن این پارچه های دوستدار محیط زیست می شود. پارچه پنبه ای با دو نوع انتشار هیبریدی عمل شد. خصوصیت خود تمیز شوندگی فوتو کاتالیستی مشخص شده بود. طیف سنجی مادون قرمز، تست سوختن و گرماسنجی نشان داده است که بعضی از زنجیر های کوپلیمر با نانو ذرات  $TiO_2$  درگیر شده است. میکروسکوپ الکترونی انتقالی نشان داده است که یک لایه پلیمری روی سطح نانو ذرات  $TiO_2$  وجود داشته است. بر اساس آنالیز سایز، میانگین قطر TBM-w از TBM-e کوچکتر بوده است. رنگبری فوتو کاتالیستی شیره انگور نشان داده است که پارچه با هیبرید  $TiO_2$ - پلیمر، خاصیت خود تمیز شوندگی عالی داشته است.

مترجم: محسن عادلی

## ۱. مقدمه

بهترین گزینه برای کاربردهای فوتو کاتالیستی می باشد. از آنجا که این ماده سطح مخصوص بالا و حساسیت زیادی در برابر نور دارد، فعالیت فوتو کاتالیستی بالایی نشان داده است. تجزیه فوتوشیمیایی بسیاری از آلودگی های رنگی مانند Methylene Blue [7,8]، Acid Orange [9]، Methyl Orange [10,11]، C.I. Acid Blue 9 [12]، C.I. Reactive Red 2 [12 و 14] dye [12] توسط نانو ذرات  $TiO_2$  به دقت مطالعه شده است. همینطور تجزیه فوتو کاتالیستی برخی از آلودگی های هوا توسط نانو  $TiO_2$  نیز گزارش شده است. این امر تحقیق در مورد کاربرد نانو  $TiO_2$  را به سمت تولید پارچه های خود تمیز شونده هوشمند پیش برده است. به هر حال چسبندگی نانو  $TiO_2$  روی سطح پارچه، معمولا به اندازه ای قوی نیست که نانو ذرات را روی سطح ثابت کند. Tryba تثبیت فوتو کاتالیست روی ماده پنبه ای را مطالعه کرده است، اما ماده پنبه ای صرفا به عنوان نگه دار فوتو کاتالیست استفاده شده است. دو روش عمده برای تقویت کردن تثبیت در مورد پارچه ها وجود دارد. یکی از روش ها اصلاح سطح پارچه ها می باشد.

اخیرا با افزایش آگاهی در مورد حفاظت محیط زیست، موضوعات آلودگی محیط زیست بیشتر اهمیت پیدا کرده است. در میان این موضوعات، مصرف آب و رها کردن پساب حاصل از شست و شوی مواد، خیلی مهم است. به عنوان مثال پارچه های پنبه ای خود تمیز شونده با عمر ۲۵-۵۰ زمان شستشو، دسته ای از محصولات جدید دسته بندی شده به عنوان پارچه های هوشمند می باشد. حدود ۱۴ میلیون متر در سال از این نوع پارچه نیاز بازار اتحادیه اروپا بوده است. یک بازار حتی با پتانسیل بالاتر از این، در نواحی آسیا و اقیانوسیه می باشد. یک مزیت استفاده از این پارچه های خود تمیز شونده صرفه جویی در منابع تمیز کننده ها مثلا آب و مواد شیمیایی می باشد. از طرف دیگر، عمر پارچه ها می تواند زیاد شود، چونکه خود تمیز شوندگی پیوسته پارچه زمان شستشوی آن ها را کاهش می دهد. چنین ادعای با رسوب دادن فیلم های نازک ترکیب فعال نوری روی سطح پارچه، انجام شده است. امروزه اصلی ترین جزء فعال نوری روی پارچه های خود تمیز شونده نانو ذرات  $TiO_2$  می باشد. نشان داده شده است که نانو ذرات  $TiO_2$



استفاده شده اند. آزو دی ایزوبوتیرو نیتریل (AIBN)، تولون و اتانول بدون آب از شرکت Acros Organic Company خریداری شده و به همان شکل دریافت شده مصرف شده است. نانو  $TiO_2$  از Xiya Chemical agent (www.xiyashiji.com, anatase, the particle size is 25 nm) خریداری شده بود.

**۲.۲. آماده سازی نانو  $TiO_2$  اصلاح شده**  
آب دی یونیزه شده یا اتانول بدون آب، نانو  $TiO_2$  و AIBN در یک راکتور سه گردنه که با یک کندانسور همراه بود و به وسیله  $N_2$  محافظت شده بود، تولید شده بود. به مدت ۳۰ دقیقه و در  $20^\circ C$  هم زده شده بود. سپس دما به  $70^\circ C$  افزایش یافته و بوتیل اکریلات و متیل متاکریلات مخلوط شده بودند و تحت محافظت  $N_2$  به راکتور واکنش افزوده شده بودند. بعد از افزودن مونومر ها، دما به مدت ۲۴۰ دقیقه در  $70^\circ C$  نگه داشته شده بود، سپس به  $80^\circ C$  افزایش یافته و ۶۰ دقیقه دیگر در این دما مانده است. انتشار هیبریدی نانو ذره-پلیمر تولید شده (شامل تعلیق و محلول) برای تکمیل پارچه ها ذخیره شده بودند. بخش کمی از انتشارها برداشته شده و سانتیفریوژ شده اند (3000rpm/min, 5 min)؛ نمونه ها با اتانول بدون آب شسته شده، فیلتر شده و در  $40^\circ C$  به مدت ۶ ساعت تحت خلا خشک شدند. سپس نمونه های خشک شده جهت شناسایی بیشتر در یک دسکاتور ذخیره شدند. دستور العمل معرف و پارامترهای واکنش بررسی شده در این مطالعه در جدول ۱ نشان داده شده است.

**۳.۲. تثبیت  $TiO_2$  روی پارچه ها و**

منظور مقایسه بررسی شد. Liu et al پلیمریزاسیون محلول را برای اصلاح همه نانو ذرات با استفاده از تولون به عنوان حلال به کار برده است. در واقع مقدار زیادی حلال آلی در پلیمریزاسیون محلول لازم است، چونکه مونومر های اکریلات نمی توانند در آب حل شوند. بنابراین پلیمریزاسیون محلول در مقایسه با پلیمریزاسیون تعلیق، مصرف مواد مسائل آلودگی محیط را دارا می باشد. در پلیمریزاسیون تعلیق هیچ حلال آلی و هیچ ماده امولسیون کننده ای لازم نبوده، بنابراین پلیمریزاسیون تعلیق یک اصلاح اقتصادی و دوستدار محیط زیست برای نانو ذرات می باشد. اما پلیمریزاسیون تعلیق درجا هنوز در آماده سازی پارچه های خود تمیز شونده استفاده نشده است. دو نوع انتشار هیبریدی نانو  $TiO_2$  - پلی اکریلات به وسیله کopolymerیزاسیون تعلیق در آب و کopolymerیزاسیون محلول در اتانول، آماده شده است.

نمونه ها تحت نام های TBM-e و TBM-w معین شده بودند. ساختار، مورفولوژی، اندازه ذره و مقدار پلیمر نانو ذرات اصلاح شده مشخص شده است. نانو  $TiO_2$  به وسیله دو نوع انتشار هیبریدی روی پارچه پنبه ای تثبیت شده است و تخریب فوتوکاتالیکی لکه شیره انگور روی پارچه پنبه ای تست شده تا خصوصیت خود تمیز شوندگی هیبرید های پلی اکریلات- $TiO_2$  را مشخص کند.

## ۲. آزمایش

### ۱.۲. مواد

بوتیل اکریلات و متیل اکریلات از Aldrich Chemical Co. of Milwaukee, WI خریداری شده بود. این مواد بعد از حذف موانع با عبور از یک ستون پر شده از آلومینای پایه،

برای مثال Bozzi et al گزارش کرده است که سطح پارچه های پنبه ای سفید گری شده و پارچه های پنبه ای مرسریزه شده می تواند به وسیله پلاسما یا اشعه فرابنفش فعال شود. گروه های فعالی با بار منفی که  $TiO_2$  را محکم می کنند. با این وجود چنین اصلاحی غالباً استحکام الیاف را ضعیف می کند. روش دیگر اصلاح سطح نانو  $TiO_2$  می باشد و دو راه اصلاح فیزیکی و شیمیایی برای این کار وجود دارد. اصلاح شیمیایی معمولاً روی سطح نانو  $TiO_2$  با OH- واکنش اصلاح کننده انجام می دهد. بنابراین احتمالاً فعالیت فوتوکاتالیستی نانو ذره بر اساس مکانیسم فوتوکاتالیستی کم می شود. در نتیجه معمولاً اصلاح فیزیکی نانو  $TiO_2$  پذیرفته شده است، که در آن جذب فیزیکی پلیمر ها، به صورت قابل توجهی طراحی مواد غیر آلی اصلاح شده پلیمری فعال را مطلوب کرده است.

با این وجود، جذب پلیمر روی سطح نانو ذرات با اصلاح فیزیکی، به اندازه ای قوی نیست که بتواند ذرات را روی ماده پایه تثبیت کند. به عنوان یک توسعه، پلیمریزاسیون در جای مونومر ها در اطراف سطح نانو ذرات پیشنهاد شده است. در پلیمریزاسیون در جا، جذب زنجیر پلیمر روی سطح نانو  $TiO_2$  می تواند به مقدار قابل توجهی بهبود یابد زیرا پلیمر به خوبی در اطراف نانو ذرات معلق شده است و برهمکنش کافی با نانو ذرات دارد. پلیمریزاسیون تعلیق نیز برای اصلاح نانو ذرات به کار رفته است. در پلیمریزاسیون تعلیق، پلیمریزاسیون در قطره مایع کوچک مونومر اتفاق می افتد. قطره مونومر به خوبی در اطراف نانو ذره معلق شده و اجازه می دهد که زنجیر های پلیمر به خوبی روی سطح نانو ذرات جذب شود و سطح نانو ذره را اصلاح کند. پلیمریزاسیون محلول نیز به

جدول ۱. دستور العمل هایی برای پلیمریزاسیون تعلیق و پلیمریزاسیون محلول هیبرید  $TiO_2$ -پلی (BA-co-MMA)





## شستشوی پارچه ها

هیبرید های  $\text{TiO}_2$  - پلیمر در یک ماشین چاپ آزمایشگاهی با فرو بردن پارچه ها در انتشارهای هیبرید  $\text{TiO}_2$  - پلیمر، فشردن پارچه خیس در دو غلتک فشار دهنده ماشین چاپ جهت کنترل پیک آب مایع، روی پارچه ها اعمال شده بودند، و خشک کردن تحت خلا پارچه خیس در یک آون در  $50^\circ\text{C}$  و به مدت ۶ ساعت انجام شد. پارچه های تکمیل شده ذخیره شدند و از تابش نور حفظ شدند. پارچه های تکمیل شده به صورت زیر شستشو شدند: به مدت ۱۵ دقیقه در آب دی یونیزه شده  $50^\circ\text{C}$  محافظت شده با  $\text{N}_2$  فرو برده شدند. نمونه ها در  $40^\circ\text{C}$  و به مدت ۱۲ ساعت تحت خلا خشک شدند و سپس برای تست خاصیت فوتو کاتالیستی ذخیره شدند.

### ۴.۲. تکنیک های اختصاصی

مقدار پلیمر در TBM-w یا TBM-e توسط سوزاندن در یک کوره با دمای بالا تعیین شده و با معادله ۱ محاسبه شده است.

$$P = \frac{m_1 - m_2}{m_0} \times 100$$

که P مقدار پلیمر است که درصد وزنی پلیمرها بر اساس وزن  $\text{TiO}_2$  می باشد و به وسیله سوزاندن در یک کوره تست شده است،  $m_0$  وزن بوته آزمایش،  $m_1$  وزن کل نمونه قبل از سوزاندن و  $m_2$  وزن کل نمونه و بوته آزمایش بعد از سوزاندن می باشد. بوته آزمایش در یک آون خشک شده است تا قبل از استفاده وزن ثابت شود. ساختار پلیمر به وسیله طیف سنج Nicolet Nexus 470 FT-IR شناسایی شده است. هیبرید ها قبل از اینکه با KBr فشرده شوند، تحت خلا خشک شده و به دقت توزین شدند.

سپس با وضوح  $4\text{cm}^{-1}$ ،  $64$  مرتبه اسکن شده اند. سه عدد نمونه، ذرات  $\text{TiO}_2$  آلی، TBM-w و TBM-e، جهت مقایسه نصف مقدار به صورت یکسان توزین شدند.

ساختار و مورفولوژی نانو  $\text{TiO}_2$  اصلاح شده در TEM (JEM200CX, JEOL in Japan) مشاهده شده است.

اندازه ذره به صورت زیر تست شده است: حدود 0.01 ml سوسپانسیون پلی اکریلات

اشاره داشته است [۳۱،۳۲]. به علاوه، جذب  $\text{C}=\text{O}$  در  $1736\text{ cm}^{-1}$  از منحنی b از منحنی c در شکل ۱ ضعیف تر بود. این امر نشان داده است که مقدار پلیمر در TBM-w از TBM-e کمتر بوده است.



شکل ۱. طیف FT-IR مربوط به  $\text{TiO}_2$ ، اصلاح شده و

کوپلیمر  $\text{TiO}_2$  (A) ساده (طیف a)،

TBM-w (طیف b) و TBM-e (طیف c)؛ (B) کوپلیمر

بوتیل اکریلات و متیل متاکریلات. شرایط ساخت هیبریدها:

$$[M] = 0.35\text{ g/mL}$$

۳.۲. تاثیر غلظت مونومر روی مقدار پلیمر در نانو ذرات  $\text{TiO}_2$  اصلاح شده

خواص فوتو کاتالیست هیبرید نانو ذره-پلیمر با مقدار پلیمر تحت تاثیر قرار گرفته اند و مقدار پلیمر عمدتاً به وسیله غلظت مونومر "[M]" در سیستم پلیمریزاسیون تعیین شده است. همانطور که در جدول ۲ نشان داده شده است، رابطه بین [M] و مقدار پلیمر TBM-w یا TBM-e تست شده است.

با افزایش [M] مقدار پلیمر ابتدا افزایش یافته و سپس کاهش یافته است و در هر دو سیستم پلیمریزاسیون، مکانیزم مقدار پلیمر زمانی که [M] حدوداً  $0.25\text{ g/mL}$  بوده است، بدست آمده است. مقدار پلیمر کمتر در [M] بالا به دست آمده است. دلیل این امر می تواند به خاطر هوموپلیمر های نچسبیده به نانو ذره

نانو  $\text{TiO}_2$  اصلاح شده با آب دی یونیزه شده  $2000$  مرتبه رقیق شده و سپس دستگاه آنالیز کننده سایز ذره (Nano-ZS90, Malvern Company, UK) به کار برده شده تا اندازه ذره را مشخص کند. تخریب حرارتی و مقدار پلیمر در و با TG/DTA (DSCQ100, TA Company, USA) تست شده اند. پنج تا ده میلی گرم از پودر نمونه برای تست استفاده شده و در یک نرخ افزایش دمای  $20^\circ\text{C}/\text{min}$  تست شده اند.

۵.۲. روش پرتو افکنی و ارزیابی عمل تمیز کنندگی پارچه

پرتو افکنی نمونه ها در یک شبیه ساز نور خورشید که به وسیله هوا به  $40^\circ\text{C}$  سرد شده، انجام شده است. لامپ تست نور خورشید، فوتون هایی در بازه طیفی  $290\text{ nm}$  تا  $800\text{ nm}$ ، مشابه حدود  $50\%$  از AMI (AMI) مشابه شدت نور پرتو خورشید در خط استوا و در هنگام ظهر می باشد، از طیف خورشید با شدت نور  $40\text{ W/m}^2$  پیروی کرده است. مقادیر K/S پارچه با لکه رنگی و نمونه های پرتو افکنی شده در یک سیستم اندازه گیری رنگ تست شده است.

### ۳. نتایج و بحث

۳.۱. آنالیز ساختاری کوپلیمر

ساختار پلیمر توسط FT-IR ذرات اولیه  $\text{TiO}_2$  و اصلاح شده، آنالیز شده است. طیف نانو  $\text{TiO}_2$  اولیه، TBM-w و TBM-e به ترتیب با منحنی های a، b و c در شکل A.۱ نشان داده شده است. جهت مقایسه، FT-IR کوپلیمر BA-MMA در شکل B.۱ نشان داده شده است. در شکل B.۱ دو پیک مشخص کننده در  $1736\text{ cm}^{-1}$  ( $\text{C}=\text{O}$ ) و  $1164\text{ cm}^{-1}$  ( $\text{C}-\text{O}$ ) از کوپلیمر اکریلات ظاهر شده است.

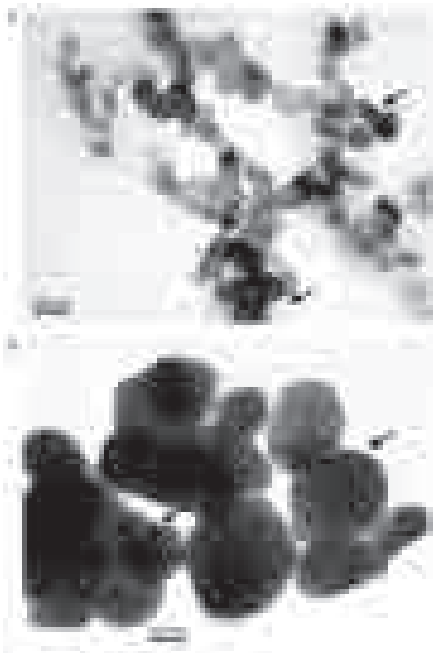
در مقایسه با طیف FT-IR نانو  $\text{TiO}_2$  اولیه (منحنی a) دو تا جذب مشخص کننده در  $1736\text{ cm}^{-1}$  و  $1164\text{ cm}^{-1}$  در طیف FT-IR نمونه های TBM-w (منحنی b) و TBM-e (منحنی c) وجود داشته است. ثابت شده است که این دو جذب به ترتیب مربوط به ارتعاش خمشی  $\text{C}=\text{O}$  و ارتعاش کششی  $\text{C}-\text{O}$  می باشد. جذب در  $1736\text{ cm}^{-1}$  و  $1164\text{ cm}^{-1}$  به وجود کوپلیمر های اکریلات در هیبرید ها



مشاهده شد. همانطور که در شکل ۳b مشهود است نسبت زیادی از نانو ذرات (در ناحیه پر رنگ) با زنجیر های پلیمری درگیر نشده اند، و بر طبق تصویر TEM، نسبت به TBM-w ذرات بیشتری در TBM-e ظاهر شده اند. بیشتر زنجیر های مولکولی به جای عمل با نانو ذرات، محلول همگن درون حلال تشکیل داده اند.

اگر چه مقدار پلیمر در TBM-e از TBM-w بیشتر است اما پلیمر درگیر شده در TBM-e ممکن است از TBM-w کمتر باشد. بنابراین در مقایسه با TBM-w در TBM-e تجمع بیشتری از نانو ذرات ایجاد می شود. قطر TBM-e باید بزرگ تر از TBM-w باشد که این امر همانطور که در شکل ۴a نشان داده شده، با نتایج آنالیز سایز اثبات شده است، میانگین قطر محاسبه شده حدود ۲۲۰ nm بود. شکل ۴b نتیجه آنالیز سایز را نشان داده است.

قطر ذرات در TBM-e حداقل ۱۰۰ nm بود و تعداد کمی از ذرات بیشتر از ۴۵۰ nm بودند. مطابق آنالیز سایز میانگین قطر TBM-e حدود ۳۱۰ nm بود. از میانگین قطر TBM-w بزرگ تر بود.



شکل ۳. مورفولوژی کوپلیمر اکریلات نانو  $TiO_2$  اصلاح شده. شرایط ساخت هیبریدها: (a) TBM-w، (b) TBM-e. [M] = 0.35 g/mL

Time (min)	The average particle size			
	in TBM-w (nm)	in TBM-e (nm)	in TBM-w (nm)	in TBM-e (nm)
1	8.18	7.88	13.77	10.13
2	8.28	7.66	13.28	10.19
3	8.28	7.79	13.64	10.28
4	8.46	8.77	14.68	11.11

جدول ۲. تاثیر غلظت مونومر روی مقدار پلیمر در TBM-e و TBM-w

پلیمریزاسیون محلول کمتر بوده است.



شکل ۲. تخریب حرارتی کوپلیمر های کیسوله شده روی نانو ذرات  $TiO_2$ ، TBM-w (a)، TBM-e (b). شرایط ساخت هیبریدها: [M] = 0.35 g/mL

۳. ۴. TEM و آنالیز سایز نانو ذره  $TiO_2$  اصلاح شده

مورفولوژی، ساختار و اندازه ذره TBM-w و TBM-e توسط TEM و آنالیز سایز مطالعه شده است. تصاویر TEM در شکل ۳ نشان داده شده است. در تصاویر TEM، بخش مرکزی ذره با رنگ عمیق تر نانو ذره  $TiO_2$  بوده و اطراف ذره با رنگ روشن تر کوپلیمر اکریلات بوده است. همانطور که تصویر TEM در شکل ۳a نشان داده است، بیشتر نانو ذرات  $TiO_2$  با زنجیر های پلیمری درگیر شده و ذره هیبریدی TBM-w به شکل ذرات کروی یکسان، در آب معلق شده است. بر اساس شکل ۳a مقدار تجمع کمی از نانو ذرات وجود دارد. به علاوه اندازه ذرات TBM-w به وسیله دستگاه آنالیز کننده سایز، اندازه گیری شده است. مطابق آنالیز میانگین قطر TBM-w حدود ۲۲۰ nm بود.

به هر حال، بیشترین اختلاف در مورد TBM-e

ها (پلیمر آزاد) که در حالت غلظت بالای پلیمر به خاطر توزیع نایکخواخت مونومر تولید شده است، باشد. بخشی از پلیمر آزاد در طی سستشو حذف شده است، بنابراین زمانی که [M] بیشتر از ۰/۲۵ g/mL شده است مقدار پلیمر کاهش یافته است. به هر حال زمانی که [M] برابر ۰/۱۵، ۰/۲۵، ۰/۳۵، ۰/۴۶ g/mL بود مقدار پلیمر TBM-w به ترتیب ۰/۷/۹۳، ۰/۱۳/۰۶، ۰/۹/۹۲ و ۰/۹/۱۵ (درصد وزنی) بوده و مقدار پلیمر TBM-e نیز به ترتیب ۰/۱۵/۳۷، ۰/۱۹/۲۱، ۰/۱۸/۰۹ و ۰/۱۶/۵۱ بوده است. به طور واضح، مقدار پلیمر TBM-w از TBM-e کمتر بود، که با نتیجه FT-IR مطابقت داشت.

۳. ۳. تخریب حرارتی ترکیبات کوپلیمر-نانو ذره  $TiO_2$

همانطور که در شکل ۲ نشان داده شده، آنالیز های گرماسنجی (TGA) به کار برده شده است تا تخریب کوپلیمر در هیبرید های نانو  $TiO_2$  - پلی اکریلات (شماره ۳ TBM-w و TBM-e)، به منظور تشخیص مقدار پلیمر در هیبرید ها، مطالعه شود. منحنی های a و b در شکل ۲ به ترتیب TBM-w و TBM-e را نشان داده اند. بر اساس منحنی های TG، تقلیل وزن دو نمونه در حدود ۲۵۰°C شروع شده و در دمای حدود ۵۰۰°C متوقف شده است، و درصد تقلیل وزن TBM-w و TBM-e به ترتیب حدود ۸٪ و ۱۷٪ بوده است. در نتیجه با نتایج تست های آزمایش سوزاندن و تعیین FT-IR نشان داده شده است که مقدار پلیمر TBM-w از TBM-e کمتر بوده است. بر اساس مقایسه مقدار پلیمر TBM-w و TBM-e به وسیله FT-IR، تست سوزاندن و TGA، راندمان کوپلیمر در پلیمریزاسیون تعلیق نسبت به



شکل ۴. سایز و توزیع سایز TBM-w3 (a) و TBM-e3 (b) شرایط ساخت هیبریدها: [M] = 0.35 g/mL

۵. خود تمیز شونده‌گی پارچه های پنبه ای با هیبرید های نانو  $TiO_2$  - پلیمر

به منظور اثبات کردن توانایی تمیز کنندگی فوتوکاتالیک هیبرید های آماده شده ی  $TiO_2$  - پلیمر و پیدا کردن تاثیر روی اصلاح توانایی خود تمیز شونده‌گی کوپلیمر اکریلات، TBM-w و TBM-e به وسیله یک ماشین چاپ غلتکی روی سطح پارچه های پنبه ای منتقل شدند. مقدار مشخص از شیره انگور روی پارچه های تکمیل شده چکانده شده و سپس دی کلریناسیون لکه ها در یک دستگاه شبیه ساز نور خورشید تست شده است. مقدار K/S می تواند رنگ را به صورت کمی مشخص کند. شدت نور (UV (A بین 280 nm و 400 nm برابر با 400 W/m<sup>2</sup> بود. استحکام رنگ پارچه های پنبه ای پوشش داده شده با هیبرید های  $TiO_2$  - پلیمر که با شیره انگور لکه گذاری شده اند، همانطور که در شکل ۵ نشان داده شده است، به وسیله دستگاه تست کننده مقدار K/S به صورت عملی مشخص شد. بر اساس شکل ۵ در طول زمان پرتو افکنی، هر نمونه یک کاهش در مقدار K/S دارد، اما درجه کاهش با مقدار پلیمر و شبیه پلیمریزاسیون (به ترتیب در آب و اتانول) تغییر کرده است. همانطور که در بالا بیان شد، نمونه های TBM-w از پلیمریزاسیون تعلیق در آب به دست آمده اند. بر طبق شکل ۵ بیشتر پارچه های عمل شده با TBM-w نسبت به پارچه های TBM-e مقادیر K/S پایین تری کسب کرده اند. مقدار K/S چهار نمونه TBM-w که به مدت ۱۶ ساعت پرتو افکنی شده است برابر با ۰/۲۴۲، ۰/۲۲۶، ۰/۱۱۲ و ۰/۱۸۴ بوده و مقدار K/S چهار نمونه TBM-e که به مدت ۱۶ ساعت پرتو افکنی شده اند، برابر با ۰/۲۹۵، ۰/۲۷۲، ۰/۲۰۶ و

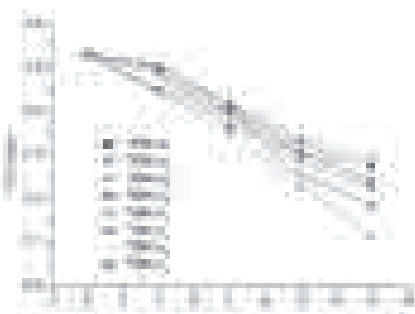
۰/۲۷۶ بوده است. که نتایج بهتر دی کلریناسیون به وسیله TBM-w، می تواند به تعلیق بهتر نانو ذرات در پلیمریزاسیون تعلیق نسبت داده شود. چونکه نانو ذره بهتر معلق شده ممکن است انرژی بیشتری از نور دریافت کند، خاصیت خود تمیز کنندگی فوتوکاتالیک بهتر بود.

به هر حال، مقدار پلیمر چهار نمونه TBM-w به ترتیب ۰/۷۹۳، ۰/۱۳/۰۶، ۰/۹/۹۲ و ۰/۹/۱۵ بود که TBM-w2 بیشترین مقدار پلیمر را داشته است. حتی بعد از ۱۶ ساعت پرتو افکنی شبیه ساز نور خورشید پارچه با TBM-w1 هنوز هم مقدار K/S بالایی دارد، در حالی که نمونه ها در TBM-w2 و TBM-w4 مقدار کمتری داشتند و کمترین مقدار K/S در TBM-w3 به دست آمده است؛ مقدار K/S نمونه TBM-w3 بعد از ۱۶ ساعت پرتو افکنی از ۰/۵۲۸ به ۰/۱۱۲ کاهش یافته است. بنابراین بهترین نتیجه دی کلریناسیون با نمونه TBM-w3 به دست آمده است. با استفاده از نمونه های TBM-e نیز نتایج مشابهی به دست آمده است. نمونه TBM-e3 با بعد از ۱۶ بار پرتو افکنی کمترین مقدار K/S (۰/۲۰۶) را داشته است. بهترین توانایی خود تمیز شونده‌گی برای نمونه هایی با بیشترین یا کمترین مقدار پلیمر به دست نیامده است.

علت این امر ممکن است با دو فاکتور چسبندگی کوپلیمر های اکریلات بین  $TiO_2$  و پارچه پنبه ای و به صورت کیسول در آوردن کوپلیمر ها روی سطح نانو ذرات، توضیح داده شود. همینطور با افزایش  $TiO_2$  مقدار پلیمر تثبیت شده افزایش یافته، توانایی فوتوکاتالیک با کیسوله کردن خیلی زیاد پلیمر تضعیف شده است. برای اندازه یکسان، مقدار پلیمر بیشتر در هیبرید ها، تثبیت بهتر  $TiO_2$  روی پارچه داشته است. به هر حال مقدار بیش از حد زیاد پلیمر ممکن است مقدار خیلی زیاد کیسوله کردن نانو  $TiO_2$  را نتیجه شود، که توانایی فوتوکاتالیک  $TiO_2$  کاهش یافته را نتیجه می دهد. بنابراین بر اساس مطالعه ما مقدار پلیمر در هیبرید های نانو  $TiO_2$  - پلیمر باید بیشتر از ۰/۹ و کمتر از ۰/۱۱ باشد. مقدار پلیمر باید در حد ۰/۱۰ کنترل شود.

بر اساس شکل ۵، برای نمونه های شماره ۴ دو هیبرید نتایج غیر عادی خود تمیز شونده‌گی به دست آمده است. این امر ممکن است به این صورت توضیح داده شود که بیشترین غلظت مونومر در آماده سازی TBM-e<sub>4</sub>، همگن بودن

پلیمر تشکیل شده در محلول را نتیجه می دهد. بنابراین پلیمر اطراف نانو ذرات کاهش یافته است. TBM-e<sub>4</sub> خود تمیز شونده‌گی کمی بهتری از TBM-w<sub>4</sub> نشان داده است.



شکل ۵. مقادیر K/S نمونه های پارچه ای با لکه شیره انگور با TBM-w و TBM-e قبل و بعد از پرتو افکنی در شبیه ساز نور خورشید

#### ۴. نتایج

نانو ذره  $TiO_2$  اصلاح شده و با پلیمریزاسیون تعلیق مونومر های اکریلات، با موفقیت معلق شده است، و نانو ذرات اصلاح شده بدون هیچ گونه عامل کمکی یا نگه دارنده دیگر، توانسته است که روی سطح پارچه های پنبه ای تثبیت شود. دو نوع هیبرید نانو  $TiO_2$  - کوپلیمر آماده شده است. نتایج FT-IR، تست سوزاندن و TGA نشان داده است که مقدار پلیمر TBM-e از TBM-w بیشتر بود. تصاویر TEM اثبات کرد که اصلاح سطح و تعلیق ذره تنها، در پلیمریزاسیون تعلیق در آب دی یونیزه شده بهتر بود. آنالیز کننده سایز نشان داد که اندازه ذره TBM-w و TBM-e به ترتیب حدودا ۲۲۰ nm و ۳۱۰ nm بود. تجمع نانوذرات در TBM-w خیلی کمتر از TBM-e بود. مقدار پلیمر و درجه تعلیق به طور واضح روی خاصیت فوتوکاتالیک هیبرید ها تاثیر گذاشته است. بنابراین مقدار پلیمر باید در یک مقدار مناسب کنترل شود. تغییرات مقادیر K/S نشان داده است که لکه شیره انگور روی پارچه های پنبه ای سفیدگری شده، توسط نانو ذرات  $TiO_2$  و تحت پرتو افکنی شبیه ساز نور خورشید با موفقیت رنگبری شده است.

بنابراین پلیمریزاسیون تعلیق در جای اکریلات یک روش موثر برای تثبیت نانو ذرات روی پارچه های پنبه ای و آماده سازی پارچه های پنبه ای خود تمیز شونده جدید در آینده، می باشد.

منابع در دفتر مجله موجود است.