

Surface Modification of Polyester by Nano Titanium Dioxide in Alkaline Media and Their Synergism Effect on the Fabric

Vida Allahyarzadeh and Majid Montazer*

Textile Engineering Department, Center of Excellence in Textile Functionalization and Environment, Amirkabir University of Technology, P.O. Box: 15875-4413, Tehran, Iran

Received 8 July 2013, accepted 28 August 2013

ABSTRACT

The effect of alkaline hydrolysis with sodium hydroxide on nano titanium dioxide (nano TiO₂) adsorption was studied on polyester fabric surface as well as the influence of nano TiO₂ on the alkaline hydrolysis of polyester. To do this, the polyester fabrics were treated with different concentrations of nano TiO₂ and boiling sodium hydroxide solution for 1 h. The results revealed that alkaline hydrolysis reduced the weight of the fabric, which was more prominent in presence of nano TiO₂. Field emission scanning electronic microscope and energy dispersive X-ray confirmed the presence of nano TiO₂ on the polyester fabric surface. Increasing sodium hydroxide and nanoTiO₂ concentrations led to higher loading of nanoparticles on the polyester fabric surface. Also, the photocatalytic activity of nano TiO₂ particles on the polyester fabric was confirmed by the degradation of methylene blue as a model stain under daylight irradiation. The results indicated that increasing sodium hydroxide and nano TiO₂ concentrations led to higher photocatalytic activities of the alkali-treated polyester fabrics. Further, the bending rigidity of the treated polyester fabrics decreased while the water absorption of the fabric improved. Unexpectedly, the tensile strength of the nano TiO₂ treated polyester fabrics improved even with the action of alkali and surface hydrolysis that usually produce fabric with lower tensile strength. The synergism influence of nano TiO₂ particles in alkali hydrolysis of polyester fabric indicated to lower weight fabrics. Overall, this treatment was considered as another useful property such as higher self-cleaning, hydrophilicity and tensile strength.

Keywords:

alkaline hydrolysis,
nano titanium dioxide,
polyester,
photocatalytic activity,
tensile strength.

(*)To whom correspondence should be addressed.

E-mail: tex5mm@aut.ac.ir

اصلاح سطحی پلی استر با نانوذرات تیتانیم دی اکسید در محیط قلیایی و بررسی اثر هم افزایی آنها روی پارچه

ویدا اله یارزاده، مجید منتظر*

تهران، دانشگاه صنعتی امیرکبیر، دانشکده مهندسی نساجی، قطب علمی متعامل سازی الیاف و محیط زیست، صندوق پستی ۴۴۱۳-۱۵۸۷۵

دریافت: ۹۲/۴/۱۷، پذیرش: ۹۲/۶/۶

مجله علوم و تکنولوژی پلیمر،
سال بیست و ششم، شماره ۵،
صفحه ۴۵۰-۴۳۷، ۱۳۹۲
ISSN: 1016-3255
Online ISSN: 2008-0883

چکیده

در این پژوهش، اثر متقابل آبکافت قلیایی پلی استر در جذب نانوذرات تیتانیم دی اکسید روی سطح پلی استر و نانوذرات تیتانیم دی اکسید در فرایند آبکافت قلیایی به طور هم زمان بررسی شده است. بدین منظور، نمونه های پلی استر در محیط قلیایی سدیم هیدروکسید و نانوذرات تیتانیم دی اکسید با مقادیر مختلف در شرایط جوش به مدت ۱ h عمل آوری شدند. وزن نمونه های عمل آوری شده در اثر آبکافت قلیایی کاهش یافته و وجود نانوذرات تیتانیم دی اکسید سبب تشدید کاهش وزن نمونه ها شده است. تصاویر میکروسکوپ الکترونی پویشی گسیل میدانی (EF-SEM) و آزمون تجزیه پرتو X با انرژی پاشنده (EDX) وجود نانوذرات تیتانیم دی اکسید را روی سطح پارچه پلی استر ثابت کردند. همچنین، افزایش جذب نانوذرات روی سطح پارچه پلی استر با آبکافت قلیایی و غلظت بیشتر نانوذرات تیتانیم دی اکسید نشان داده شده است. فعالیت نورکاتالیزوری پارچه پلی استر عمل آوری شده با نانوذرات تیتانیم دی اکسید با تخریب رنگزای آبی متیلن زیر نور روز بررسی و نشان داده شده که فعالیت نورکاتالیزوری پارچه های عمل آوری شده با افزایش سدیم هیدروکسید و نانوذرات تیتانیم دی اکسید افزایش یافته است. افزون بر افزایش مقدار جذب آب نمونه های عمل آوری شده، مقدار آویزش آنها بر اساس نتایج سختی خمش نیز بهبود یافته است. در نهایت، انجام فرایند آبکافت قلیایی در مجاورت نانوذرات تیتانیم دی اکسید بر خلاف روش معمول آبکافت قلیایی پلی استر سبب بهبود استحکام کششی پارچه شده است. بنابراین به کارگیری نانوذرات تیتانیم دی اکسید در فرایند آبکافت قلیایی ضمن ایجاد اثر هم افزایی در کاهش وزن پارچه سبب ایجاد خواص مناسب دیگری مانند خودپاک کنندگی، آبدوستی و افزایش استحکام کششی نیز شده است.

واژه های کلیدی

آبکافت قلیایی،
نانوذرات تیتانیم دی اکسید،
پلی استر،
فعالیت نورکاتالیزوری،
استحکام کششی

مقدمه

پلی (اتیلن ترفتالات) پلی استری با کاربردهای متنوع و گسترده در زمینه‌های مختلف مورد توجه پژوهشگران بوده و همواره تلاش شده است تا با اصلاح آن، کاربردهای جدیدی برای این پلی استر ایجاد شود [۱]. طی چند دهه اخیر، آبکافت قلیایی نخ‌ها و پارچه‌های پلی استر برای بهبود خواص فیزیکی آنها مطالعه و پژوهش‌های بسیاری در این زمینه انجام شده است. آبکافت قلیایی پلی استر با سدیم هیدروکسید واکنش تخریب سطحی است که سبب کوتاه شدن زنجیرهای پلیمری، نازک تر شدن و ایجاد حفره در سطح لیف می‌شود [۲،۳]. همچنین، الیاف پلی استر آبکافت قلیایی شده رنگ‌پذیری، جذب آب، نفوذپذیری هوا، مقاومت در برابر سایش، رهایش چرک و جلای بیشتر و در مقابل پرزدهی، تولید بار ایستا و سختی کمتری دارند [۴-۵].

در آبکافت قلیایی پلی استر با سدیم هیدروکسید، یون هیدروکسید با زنجیرهای پلیمری سطح لیف واکنش داده و با جدا شدن پیوند استری پلی استر، اتیلن گلیکول و یون‌های ترفتالات از زنجیر پلیمری جدا می‌شوند و وزن کالا کاهش می‌یابد. همچنین، گروه‌های عاملی هیدروکسیل و کربوکسیلات روی زنجیر اصلی پلیمر ایجاد می‌شوند (واکنش ۱) [۶]. افزون بر این، با افزایش زمان عمل‌آوری و غلظت سدیم هیدروکسید مقدار کاهش وزن افزایش می‌یابد [۳].

نانومواد به علت داشتن اندازه بسیار کوچک و سطح ویژه زیاد، بیشترین مقدار فعالیت را نسبت به وزن داشته و خواص فیزیکی، شیمیایی و زیستی متفاوتی نشان می‌دهند [۷]. نانوذرات تیتانیم دی اکسید به عنوان ماده چندمنظوره به دلیل داشتن خواص منحصر به فرد مانند پایداری شیمیایی زیاد، دوام طولانی، ارزانی، دسترسی آسان، سمی نبودن، ایمنی و خواص نوری با قابلیت به‌کارگیری در بسیاری از زمینه‌ها مانند خودپاک‌کنندگی، ضد میکروبی، محافظت در برابر UV، پالایش زیست‌محیطی، خالص‌سازی آب و هوا، حسگرهای گازی، سلول‌های خورشیدی کارآمد، ایجاد خاصیت آبدوستی و نیز به عنوان نانوکاتالیزور در مرکز توجه پژوهشگران قرار گرفته است [۸،۹].

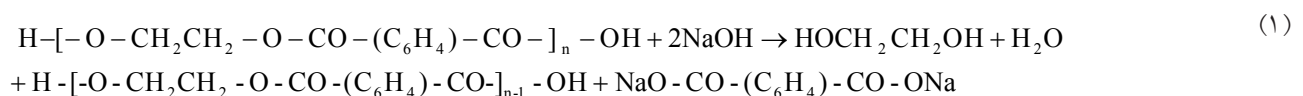
در دهه اخیر TiO_2 به دلیل داشتن ویژگی ممتاز به عنوان بهترین نورکاتالیزور معرفی شده است. این ترکیب قابلیت از بین بردن انواع مختلف ترکیبات آلی و غیرآلی را در فاز آبی یا گازی مانند مولکول‌های عطر، باکتری‌ها و ویروس‌ها دارد. فعالیت نورکاتالیزوری TiO_2 به عواملی مانند مقدار ذرات جذب شده، اندازه بلورها، سطح ویژه، خلل و فرج پوشش و ساختار لایه‌های ته‌نشین شده روی سطح

منسوج بستگی دارد [۱۰،۱۱]. در این راستا، بسیاری از پژوهش‌ها چگونگی به‌کارگیری و پایدارسازی نانوذرات تیتانیم دی اکسید را روی منسوجات برای ایجاد خواص چندمنظوره بررسی کرده‌اند. بر این اساس، به‌کارگیری نانوذرات تیتانیم دی اکسید روی پارچه پشمی سبب کاهش زردشدگی کالای پشمی در اثر نور شده [۱۲] و افزون بر این خاصیت ضدندمدی و ضد میکروبی در آن ایجاد شده است [۱۳-۱۵]. همچنین، با نشان دادن نانوذرات تیتانیم دی اکسید روی پارچه پنبه‌ای خاصیت خودپاک‌کنندگی روی آنها القا شده است [۱۶-۱۹].

با توجه به کاربرد بسیار زیاد منسوجات پلی استری برای پوشش‌های مختلف مانند پوشش‌های صنعتی، بیمارستانی، روکش اتومبیل و پوشاک و اهمیت خواص ویژه مانند خودپاک‌کنندگی و محافظت در برابر UV، به‌کارگیری نانوذرات تیتانیم دی اکسید روی منسوجات ۱۰٪ پلی استری و مخلوط پلی استر - پنبه یا پلی استر - پشم بسیار مورد توجه قرار گرفته است. از آنجا که در سطح الیاف پلی استر گروه‌های عاملی وجود ندارد، اصلاح سطحی پلی استر برای تولید گروه‌های عاملی روی سطح آن به منظور افزایش جذب و پایدارسازی نانوذرات تیتانیم دی اکسید از اهمیت ویژه‌ای برخوردار است.

در این راستا با به‌کارگیری نانوذرات تیتانیم دی اکسید و سیتریک اسید پارچه پلی استر - پنبه با ویژگی‌هایی نظیر ضدآتش، خودپاک‌کننده، ضد میکروبی، آبدوست، محافظ UV و با پایداری مناسب در برابر شست‌وشو تولید شده است [۲۰،۲۱]. همچنین، با اصلاح سطحی پارچه پشم - پلی استر قابلیت خودپاک‌کنندگی به همراه نرمی و آبدوستی در کالا ایجاد شده و مقدار جذب و پایداری نانوذرات تیتانیم دی اکسید روی سطح آن افزایش یافته است [۲۲،۲۳]. در پژوهشی دیگر، سطح پارچه پلی استر با نانوذرات تیتانیم دی اکسید و آلزینات اصلاح شده و منسوج چندمنظوره محافظ UV با فعالیت ضد میکروبی و نورکاتالیزوری تولید شدند [۲۴].

برای افزایش جذب TiO_2 روی سطح پارچه‌های پلی استری از پلاسما - RF، پلاسما - MW و پرتو UV نیز استفاده کرده‌اند. در این روش‌ها با ایجاد گروه‌های عاملی منفی روی سطح منسوج، جذب نانوذرات تیتانیم دی اکسید، آبدوستی و خاصیت خودپاک‌کنندگی افزایش یافته است [۴،۵،۷]. همچنین، برای افزایش جذب نانوذرات TiO_2 روی سطح پارچه پلی استری از آبکافت قلیایی کمک گرفته شده است. پارچه پلی استر آبکافت قلیایی شده، با نانوذرات TiO_2 به روش پد عمل‌آوری شدند. بدین ترتیب، مقدار نانوذرات TiO_2 جذب شده روی



در این معادله، w_1 و w_2 به ترتیب وزن نمونه پیش و پس از عمل آوری است.

مقدار رنگبری کالای لکه گذاری شده با محلول (w/v) ۰/۰۰۵٪ آبی متیلن زیر نور روز در اردیبهشت سال ۱۳۹۱ به مدت ۱۰ h طی ۲ روز (بین ساعت های ۹ تا ۱۴) ارزیابی شد و تغییرات رنگی به وسیله پردازش تصویر در فضای RGB براساس معادله (۲)، بررسی شد:

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

بیشتر بودن مقدار ΔRGB نشان دهنده خاصیت خودپاک کنندگی بیشتر نمونه است. طول خمش برای نمونه هایی با طول ۱۵ cm و عرض ۲/۵ cm با استفاده از دستگاه Shirley براساس استاندارد ASTM D 1388 اندازه گیری شد. سختی خمشی نمونه ها بر اساس استاندارد BS: 3356,1990 مطابق معادله (۳) محاسبه شد:

$$B_{FAST} = W \cdot c^3 \cdot (9.807) \cdot 10^{-6} \quad (3)$$

که B_{FAST} سختی خمشی نمونه (μN_m) در سامانه FAST (Fabric Assurance by Simple Testing) چگالی سطحی (g/m^2) و c طول خمش نمونه ها برابر ۱/۲ mm است. بیشتر بودن سختی خمشی نمونه ها به معنای سخت تر شدن زیر دست و کمتر شدن آویزش آنهاست. افزون بر این، آبدوستی نمونه های مطالعه شده با اندازه گیری زمان لازم برای جذب و پخش شدن قطره آب روی سطح پارچه براساس استاندارد AATCC 79-2000 بررسی شده است. در این بررسی قطره آب از فاصله ۱ cm سطح نمونه به وسیله قطره چکان روی سطح پارچه قرار گرفته و زمان لازم برای جذب کامل قطره اندازه گیری شد. این عمل ۱۰ مرتبه تکرار و میانگین آنها گزارش شده است. تغییرات استحکام کششی نمونه ها به وسیله دستگاه Instron با فاصله گیج ۵ cm و سرعت اعمال کشش ۲۰۰ mm/min بررسی شد. حداقل ۳ مرتبه آزمون برای هر نمونه انجام شده و میانگین نتایج گزارش شده است.

نتایج و بحث

درصد کاهش وزن

عملکرد سدیم هیدروکسید روی پلی استر کاملاً سطحی است و باعث کوتاه شدن زنجیرهای پلیمری سطح لیف، نازک تر شدن آن و ایجاد

سطح کالا و پایداری آنها در برابر شست و شو افزایش یافته است [۲۵]. پژوهش کنونی، با هدف بررسی هم زمان فرایند آبکافت قلیایی پارچه پلی استر با به کارگیری نانوذرات تیتانیم دی اکسید روی سطح آن انجام شده است. بر این اساس با انجام دو فرایند مختلف در یک مرحله، اثر متقابل آنها روی یکدیگر شامل اثر آبکافت قلیایی در جذب نانوذرات و اثر نانوذرات در فرایند آبکافت قلیایی بررسی و گزارش شده است. افزون بر این، خواص چند منظوره پارچه عمل آوری شده شامل خودپاک کنندگی و آبدوستی، استحکام کششی و سختی خمشی نیز بررسی و گزارش شده است.

تجربی

مواد و دستگاهها

پارچه پلی استر تریکو، مسطح، سفید با وزن $188/5 \text{ g/m}^2$ تهیه شده از رشته های پلی استر نیمه شفاف ۱۵۰ Den محصول شرکت نفیس نخ، سدیم هیدروکسید محصول Merck، نانوذرات تیتانیم دی اکسید (۲۱ nm، P25, Evonik) محصول Degussa، شوینده آنیونی Ultravon GPN محصول شرکت Ciba سوئیس و رنگزای کاتیونی آبی متیلن برای لکه گذاری نمونه ها استفاده شده است. میکروسکوپ الکترونی پوششی گسیل میدانی (FE-SEM) مدل Hitachi S4160 برای مشاهده سطح پارچه پلی استر و آزمون تجزیه پرتو X با انرژی پاشنده (EDX)، سختی سنج خمشی Shirley ساخت انگلستان برای اندازه گیری طول خمشی نمونه ها و برای بررسی تغییرات استحکام کششی کالاها دستگاه Instron به کار گرفته شد.

روشها

ابتدا پارچه پلی استر با شوینده آنیونی (۲ g/L) در دمای 60°C به مدت ۲۰ min برای جداسازی ناخالصی ها مانند روغن ریسندگی، شست و شو شد. سپس پارچه با آب مقطر آبکشی و در نهایت در دمای محیط خشک شد. نمونه پارچه ها در ابعاد مناسب بریده و توزین شدند. آنگاه نمونه ها، در حمام با نسبت مایع به وزن کالای ۴۰:۱ قرار گرفته و به همراه مواد لازم مطابق جدول ۱ به مدت ۱ h در دمای جوش عمل آوری شدند. پس از آن با آب مقطر آبکشی و در دمای محیط خشک شدند. نمونه ها پس از عمل آوری به مدت ۴۸ h در دمای محیط خشک و سپس وزن شدند و مقدار کاهش وزن آنها بر اساس معادله (۱) محاسبه شد:

$$WL\% = \frac{w_2 - w_1}{w_1} \times 100 \quad (1)$$

جدول ۱- تهیه نمونه‌های مختلف و نتایج آزمون‌های متفاوت.

بیشترین نیروی پارگی (N)	زمان جذب آب (h)		سختی خمشی، (μNm) B_{FAST}	خودپاک‌کنندگی، ΔRGB	تغییر وزن، WL% (%)	مواد		کد نمونه
	پس از نوردهی	پیش از نوردهی				NaOH (w/w%)	TiO ₂ (w/w%)	
۳۹۵(۳/۹)	آنی	۱:۴۵	۱۰(۴/۱)	۳۷(۲/۲)	+۷/۱(۰/۹)	-	۰/۵	S1
۳۷۵(۴/۳)	آنی	۱:۵۵	۱۱(۳/۹)	۴۶(۱/۹)	+۷/۳(۱/۱)	-	۱	S2
۴۰۱(۲/۸)	آنی	۲:۱۵	۱۲(۳/۱)	۴۹(۱/۵)	+۱۴/۹(۰/۸)	-	۲	S3
۳۷۹(۳/۷)	آنی	۲:۴۵	۱۲(۲/۵)	۵۰(۲/۴)	+۱۵/۶(۱/۴)	-	۵	S4
۳۸۳(۴/۳)	آنی	آنی	۱۸(۳/۴)	۳۲(۱/۷)	-۰/۷(۱/۵)	۰/۵	-	S5
۳۷۶(۲/۷)	آنی	آنی	۱۷(۲/۵)	۳۵(۱/۶)	-۱/۱(۱)	۱	-	S6
۳۵۵(۴/۵)	آنی	آنی	۱۶(۳/۸)	۳۲(۱/۲)	-۲/۶(۰/۵)	۲	-	S7
۲۸۹(۳/۹)	آنی	آنی	۱۰(۳/۶)	۳۳(۱)	-۶/۶(۱/۱)	۵	-	S8
۳۸۴(۴/۱)	آنی	آنی	۹(۴)	۳۲(۱/۱)	-۰/۴(۱/۴)	۰/۵	۰/۵	S9
۴۰۰(۳/۸)	آنی	آنی	۱۹(۳/۹)	۴۵(۱/۸)	-۳/۲(۰/۶)	۱	۰/۵	S10
۳۹۵(۲/۹)	آنی	آنی	۱۹(۲/۶)	۴۳(۲/۳)	-۲/۳(۱/۶)	۲	۰/۵	S11
۳۷۳(۴/۴)	آنی	آنی	۱۴(۴/۳)	۴۷(۲/۹)	-۷/۳(۱)	۵	۰/۵	S12
۳۴۹(۴/۲)	آنی	آنی	۱۴(۳)	۲۶(۲/۹)	-۰/۷(۰/۹)	۰/۵	۱	S13
۳۶۸(۳/۲)	آنی	آنی	۷(۲/۹)	۲۹(۱/۹)	-۲/۶(۰/۷)	۱	۱	S14
۳۶۱(۳/۴)	آنی	آنی	۱۰(۳/۳)	۳۷(۲/۵)	-۳/۳(۱)	۲	۱	S15
۳۴۳(۴/۹)	آنی	آنی	۱۷(۴/۵)	۳۹(۲/۹)	-۲۰/۳(۱/۱)	۵	۱	S16
۴۲۰(۳/۶)	آنی	آنی	۱۴(۳/۵)	۵۲(۲/۷)	-۱/۵(۰/۹)	۰/۵	۲	S17
۳۵۴(۳/۶)	آنی	آنی	۵(۳/۲)	۴۴(۲)	-۲/۸(۱/۱)	۱	۲	S18
۳۵۱(۲/۳)	آنی	آنی	۹(۲/۱)	۴۸(۲/۳)	-۴/۵(۱/۳)	۲	۲	S19
۳۲۶(۲/۹)	آنی	آنی	۹(۲/۷)	۴۹(۲/۷)	-۱۵/۸(۰/۶)	۵	۲	S20
۴۰۹(۴/۲)	آنی	آنی	۹(۴/۱)	۴۷(۱/۹)	-۰/۹(۰/۷)	۰/۵	۵	S21
۳۷۶(۳/۶)	آنی	آنی	۶(۳/۳)	۴۳(۲/۶)	-۱/۵(۱)	۱	۵	S22
۳۸۴(۲/۸)	آنی	آنی	۱۷(۲/۵)	۴۴(۱/۸)	-۲/۳(۰/۹)	۲	۵	S23
۳۳۸(۲/۵)	آنی	آنی	۱۲(۲/۷)	۴۸(۱/۷)	-۱۶/۴(۱/۲)	۵	۵	S24

اعداد داخل پرانتز مقادیر انحراف معیار را نشان می‌دهند.

می‌دهد، نمونه‌های S1، S2، S3 و S4 عمل‌آوری شده بدون سدیم هیدروکسید افزایش وزن داشته‌اند. به دلیل نبود سدیم هیدروکسید آبکافت قلیایی روی آنها انجام نشده و نمونه‌ها بدون تغییر باقی مانده‌اند و فقط مقداری نانوذرات تیتانیم دی‌اکسید روی سطح آنها قرار گرفته است. با افزایش مقدار نانوذرات تیتانیم دی‌اکسید مقدار افزایش وزن بیشتر شده به طوری که نمونه S4 بیشترین افزایش وزن را داشته است

حفره در سطح لیف می‌شود. در این فرایند، یون‌های هیدروکسیل با کربن گروه کربونیل الکترون‌دوست واکنش می‌دهند و سبب تولید گروه‌های انتهایی هیدروکسیل (-OH) و کربوکسیلات (-COO-) در سطح لیف می‌شوند. در ادامه با جدا شدن زنجیرهای با وزن مولکولی کم از سطح لیاف، وزن و قطر لیاف کاهش می‌یابد [۲]. نتایج درصد کاهش وزن نمونه‌های مختلف در جدول ۱ نشان

نمونه‌ها نیز نشانگر افزایش این خاصیت با ازدیاد مقدار نانوذرات تیتانیوم دی اکسید است. آبکافت قلیایی پارچه پلی استر به وسیله سدیم هیدروکسید با حمله یون‌های هیدروکسیل با بار منفی به پیوندهای استری پارچه پلی استر و ایجاد گروه‌های عاملی هیدروکسیل و کربوکسیلات روی سطح آن همراه است.

گروه‌های عاملی ایجاد شده در محیط قلیایی بار منفی دارند که سبب دفعه الکتریکی ناشی از بارهای هم‌نام گروه‌های عاملی و یون هیدروکسیل قلیا می‌شود و سرعت فرایند آبکافت قلیایی را کاهش می‌دهد. ترکیبات واکنشگر با گروه‌های عاملی سطح پلی استر می‌توانند سبب کاهش بار منفی سطح شده و در نتیجه تمایل یون هیدروکسیل قلیا به زنجیر پلی استر و در نتیجه آبکافت قلیایی پلی استر را افزایش دهند [۳-۱]. بر این اساس نقش نانوذرات تیتانیوم دی اکسید در افزایش آبکافت قلیایی پلی استر از دو دیدگاه قابل بررسی است:

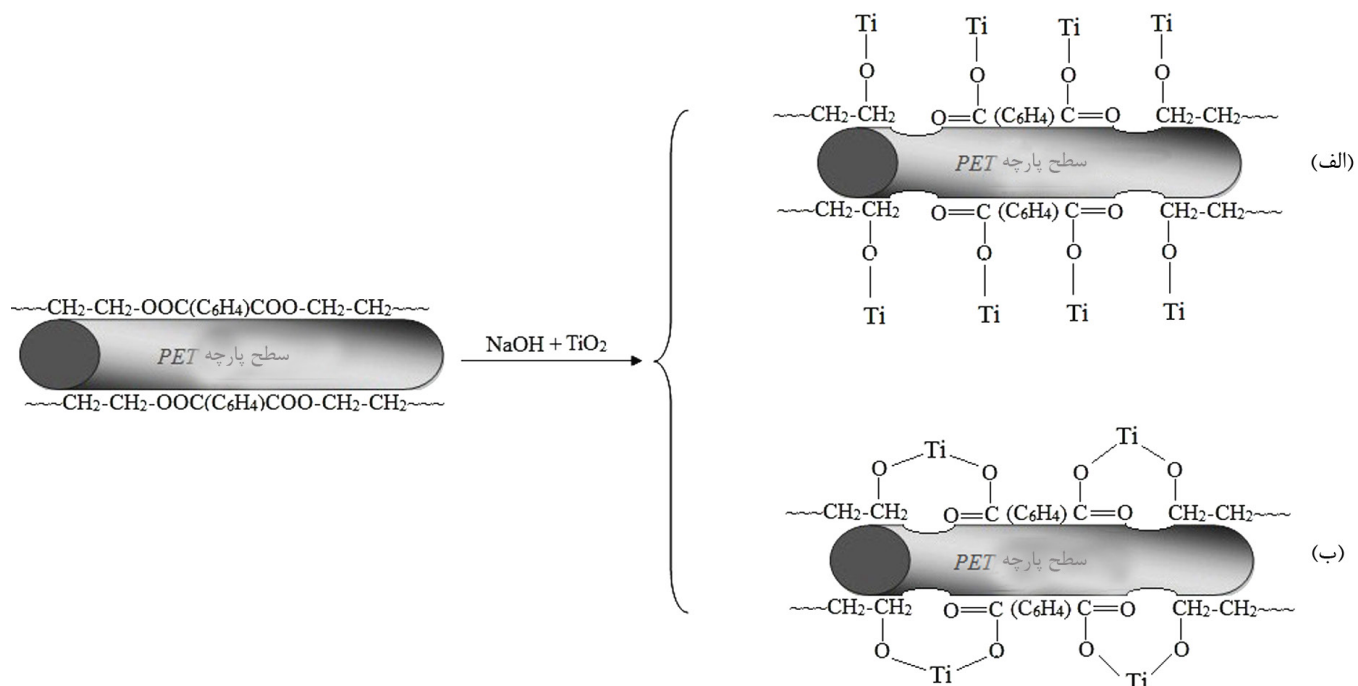
۱- در اثر واکنش نانوذرات TiO_2 با سدیم هیدروکسید (NaOH)، پیوند $Ti-O-Ti$ شکسته شده و ترکیبات واسطه $Ti-O-Na$ و $Ti-OH$ تشکیل می‌شوند [۲۶،۲۷]. این ترکیبات می‌توانند با گروه‌های عاملی $-OH$ و $-COONa$ روی سطح پلی استر واکنش داده و سبب کاهش بار منفی سطح و تسهیل انجام واکنش بعدی یون‌های هیدروکسیل قلیا با سطح پلی استر شوند. سازوکار واکنش اشاره شده در طرح ۱- الف آمده است.

۲- از آنجا که پارچه پلی استر در محیط باز و شرایط نور آزمایشگاه

که نشانگر بارگذاری مقدار بیشتر نانوذرات تیتانیوم دی اکسید روی سطح این نمونه است.

در نمونه‌های S5 تا S24 عمل‌آوری شده با استفاده از سدیم هیدروکسید با و بدون وجود نانوذرات تیتانیوم دی اکسید، به علت جداسدن زنجیرهای با وزن مولکولی کم از روی سطح پارچه پلی استر، وزن نمونه‌ها کاهش یافته است. با افزایش غلظت سدیم هیدروکسید و مقدار ثابت نانوذرات تیتانیوم دی اکسید، مقدار کاهش وزن نمونه‌ها افزایش یافته است.

نمونه‌های عمل‌آوری شده با مقدار ۵٪ (w/v) سدیم هیدروکسید در مقدار ثابت نانوذرات تیتانیوم دی اکسید یعنی نمونه‌های S8، S12، S16، S20 و S24 بیشترین کاهش وزن را در مقایسه با نمونه‌های عمل‌آوری شده با مقدار کمتر سدیم هیدروکسید دارند. نکته شایان توجه اینکه در مقدار ثابت سدیم هیدروکسید، نمونه‌های عمل‌آوری شده با وجود نانوذرات تیتانیوم دی اکسید نسبت به نمونه عمل‌آوری شده بدون نانوذرات تیتانیوم دی اکسید کاهش وزن بیشتری داشته‌اند. این موضوع در مقادیر بیشتر نانوذرات تیتانیوم دی اکسید مشهودتر است، به طوری که نمونه‌های S16، S20 و S24 کاهش وزن بیشتری نسبت به نمونه S8 نشان داده‌اند. وجود نانوذرات تیتانیوم دی اکسید در محیط قلیایی سبب تسریع و افزایش عملیات آبکافت قلیایی شده و با وجود جذب آنها روی سطح پارچه پلی استر، مقدار کاهش وزن آنها نیز افزایش یافته است. نتایج آزمون خودپاک‌کنندگی



طرح ۱- طرح کلی اتصال نانوذرات TiO_2 به گروه‌های عاملی سطح پارچه پلی استر.

عمل آوری شدند، احتمال تشکیل جفت الکترون - حفره روی سطح نانوذرات TiO_2 در اثر تابش نور روز وجود دارد. در نتیجه، الکترون‌ها با کاهش Ti^{+4} به Ti^{+3} و واکنش آن با اکسیژن مولکولی محیط، آنیون O^{2-} تولید می‌کنند. سپس این آنیون‌ها، به وسیله حفره‌های مثبت به مولکول اکسیژن تبدیل شده و به حالت گاز از سطح خارج می‌شوند. این پدیده منجر به ایجاد فضاهای خالی روی سطح نانوذرات می‌شود که مولکول‌های آب در این فضاهای خالی قرار گرفته و نانوذرات TiO_2 به شکل $HOTiOH$ درمی‌آیند. ترکیبات مزبور به گروه‌های عاملی موجود روی سطح پلی استر متصل شده و سبب کاهش بار منفی سطح و افزایش آبکافت قلیایی پلی استر می‌شوند [۱۵، ۲۸]. سازوکار مزبور در طرح ۱- ب آمده است.

خود پاک کنندگی

تابش نور با انرژی بیش از انرژی فاصله ترازهای تیتانیم دی اکسید سبب شکل گیری حفره - الکترون در سطح آن می‌شود. الکترون - حفره‌های تولید شده با آب و اکسیژن هوا واکنش می‌دهند و رادیکال هیدروکسیل و رادیکال آنیون سوپراکسید اکسیژن تولید می‌کنند که منجر به ایجاد خاصیت نورکاتالیزوری در نانوذرات TiO_2 می‌شود [۵]. منبع نوری استفاده شده در این بررسی نور روز بوده است. نور روز حاوی مقداری پرتوهای فرابنفش است. با توجه به وجود ترکیبات سدیم هیدروکسید، تیتانیم دی اکسید و پلی استر در فرایند واکنش، که می‌تواند منجر به برهم کنش‌هایی مانند تشکیل تیتانیم هیدروکسید و شکستن زنجیرهای پلی استر شده و واکنش‌هایی نیز در بین آنها انجام می‌شود. بنابراین، ترکیبات حاوی کربن، اکسیژن، هیدروژن و سدیم می‌توانند در سطح تیتانیم دی اکسید قرار گیرند و لبه جذب تیتانیم دی اکسید را به ناحیه مرئی منتقل کنند. همچنین، تجربیات پیشین همین پژوهشگران نشانگر فعالیت بیشتر تیتانیم دی اکسید عمل آوری شده روی کالای نساجی در زیر نور روز بوده است [۲۳-۱۹].

تخریب رنگزای متیلن آبی روی تمام نمونه‌ها در فضا رنگ RGB بررسی و مقادیر ΔRGB محاسبه شده در جدول ۱ آمده است. با افزایش غلظت سدیم هیدروکسید در نمونه‌های عمل آوری شده بدون نانوذرات تیتانیم دی اکسید (نمونه‌های S5 تا S8) مقادیر ΔRGB افزایش یافته است. با افزایش آبکافت قلیایی پلی استر گروه‌های هیدروکسیل بیشتری روی سطح پارچه پلی استر ایجاد شده که تمایل سطح پارچه به جذب ترکیبات کاتیونی نظیر متیلن آبی را افزایش می‌دهد. در این حالت، غلظت رنگزای متیلن آبی به علت پخش شدن روی سطح پارچه کم شده و سریع‌تر با نور خورشید تخریب شده و

در نتیجه مقادیر ΔRGB بیشتری به دست آمده است.

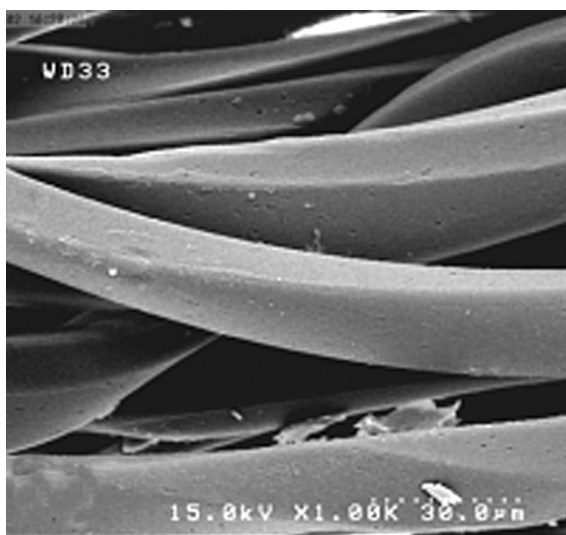
همچنین، با افزایش مقدار نانوذرات تیتانیم دی اکسید در نمونه‌های آبکافت قلیایی نشده (نمونه‌های S1، S2، S3 و S4) مقادیر ΔRGB افزایش یافت. این موضوع نشانگر افزایش نانوذرات جذب شده روی سطح پارچه پلی استر با افزایش مقدار نانوذرات تیتانیم دی اکسید است که منجر به بهبود خاصیت خودپاک‌کنندگی نمونه‌ها شده است. به هر حال نمونه‌های عمل آوری شده بدون سدیم هیدروکسید (نمونه‌های S1 تا S4) نسبت به نمونه‌های آبکافت قلیایی شده (نمونه‌های S9 تا S24) به طور متوسط مقادیر ΔRGB بیشتری را نشان داده‌اند. این پدیده را می‌توان به اثر آبکافت قلیایی و ایجاد حفره در سطح الیاف پلی استر نسبت داد [۲] (شکل ۱) چرا که نانوذرات تیتانیم دی اکسید روی پارچه‌های عمل آوری شده در محیط قلیایی در داخل حفره‌ها جای گرفته و با تجمع اثر نورکاتالیزوری آنها کاهش می‌یابد. در حالی که نانوذرات تیتانیم دی اکسید به خوبی روی سطح نمونه‌های آبکافت نشده پخش شده‌اند و همگی آنها تحت تأثیر نور خورشید قرار می‌گیرند، در نتیجه مقادیر ΔRGB بیشتری را نشان داده‌اند.

با افزایش غلظت سدیم هیدروکسید در غلظت ثابت نانوذرات تیتانیم دی اکسید (نمونه‌های S9 تا S13، S12 تا S17، S16 تا S20 و S21 تا S24) مقادیر ΔRGB بیشتر شده است. اگرچه در مقادیر ۰/۵ و ۱٪ w/w نانوذرات تیتانیم دی اکسید این روند کاملاً منظم است. علت این موضوع را می‌توان با دلایل زیر توجیه کرد:

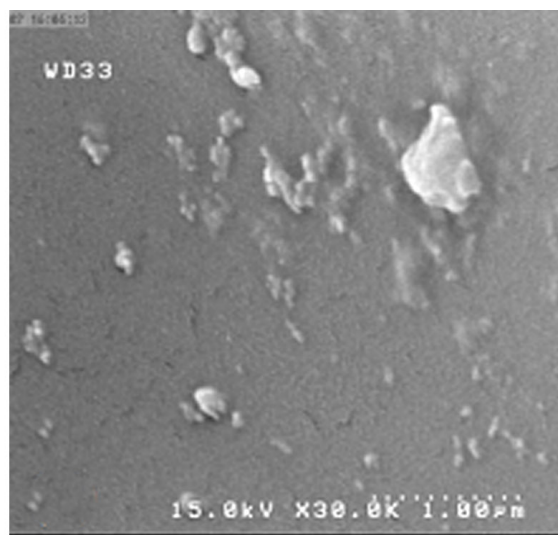
- ۱- افزایش آبدوستی سطح نمونه در اثر افزایش آبکافت قلیایی، پخش و تخریب سریع‌تر رنگزای متیلن آبی روی سطح آن در اثر نور خورشید و
- ۲- افزایش تعداد گروه‌های انتهایی هیدروکسیل (-OH) و کربوکسیلات (-COO-) در سطح لیف به علت آبکافت قلیایی بیشتر با افزایش غلظت هیدروکسید سدیم و جذب بیشتر نانوذرات تیتانیم دی اکسید روی سطح پارچه پلی استر.

جذب قطره آب

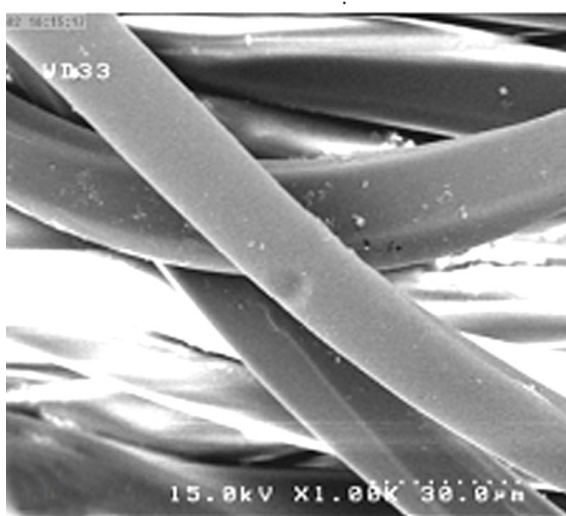
با انجام آبکافت قلیایی پارچه پلی استر، گروه‌های انتهایی هیدروکسیل (-OH) و کربوکسیلات (-COO-) روی سطح الیاف پلی استر اضافه شده و در نتیجه آبدوستی سطح کالا افزایش می‌یابد [۲۹]. افزون بر این، تیتانیم دی اکسید روی سطح پارچه پلی استر با تابش نور خورشید فعال شده و سطح آن آبدوست می‌شود. بر این اساس قطره‌های آب روی سطوح پوشیده با TiO_2 همواره با زاویه بسیار کم قرار می‌گیرند و تمایل به پخش شدن روی سطح و خیس کردن آن را دارند [۴]. در اثر تابش پرتوهای ماورابنفش با طول موج‌های کمتر از ۳۸۸ nm، تشکیل



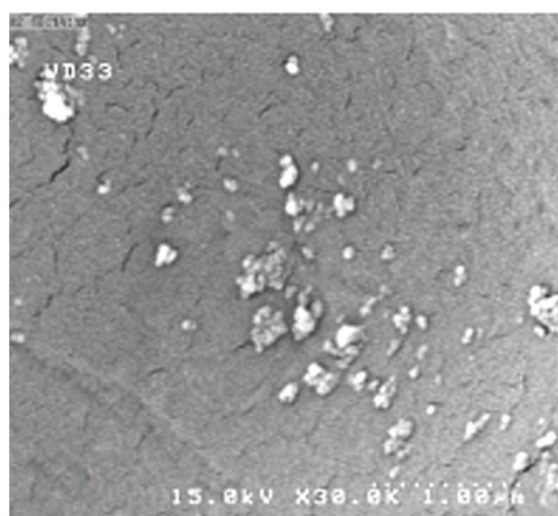
(ب)



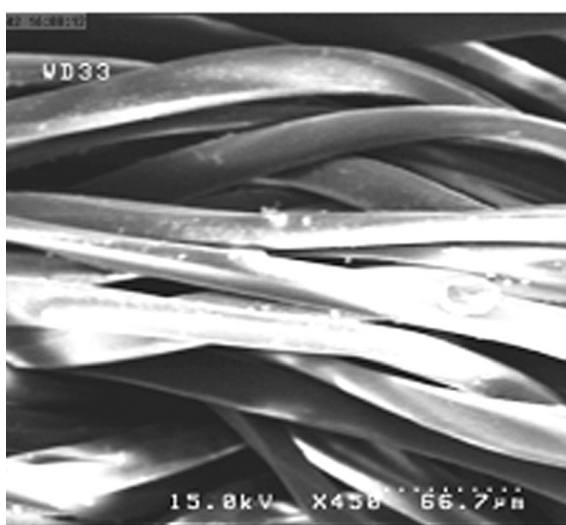
(الف)



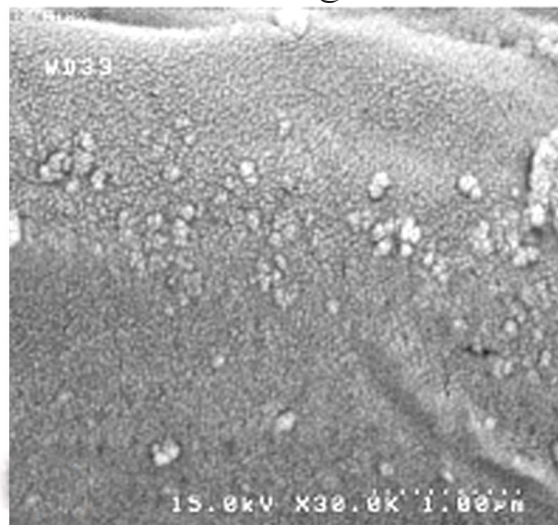
(د)



(ج)



(و)



(ه)

شکل ۱- تصاویر FE-SEM نمونه‌های: (الف) و (ب) S1، (ج) و (د) S9 و (ه) و (و) S12 در بزرگ‌نمایی‌های مختلف.

روی این نمونه‌ها انجام نشده و ساختار پارچه دست نخورده باقی مانده، بنابراین تغییر ایجاد شده در سختی خمشی آنها تنها به وجود نانوذرات تیتانیم دی اکسید روی سطح آنها مربوط می‌شود. به هر حال، با افزایش وزن نمونه‌های S1، S2، S3 و S4، طول خمش آنها کمتر شده و با توجه به اثر بیشتر طول خمش نسبت به وزن در سختی خمشی، مقدار سختی خمشی این نمونه‌ها نسبت به نمونه خام کمتر شده است. بنابراین، کمتر بودن سختی خمشی این نمونه‌ها را می‌توان با بهبود آویزش آنها توجیه کرد. همچنین می‌توان نتیجه گرفت، در اثر قرارگیری نانوذرات تیتانیم دی اکسید روی سطح پارچه‌های پلی استر آبکافت نشده، آویزش آنها بهبود یافته است.

با وجود کاهش وزن پارچه پلی استر در اثر عملیات آبکافت قلیایی که سبب نرم‌تر شدن سطح آن می‌شود، قرارگیری نانوذرات تیتانیم دی اکسید در حفره‌های ایجاد شده روی سطح موجب سختی زبردست شده و هم‌زمانی این دو اثر متضاد روی سطح نمونه سبب می‌شود، تغییر چندانی در سختی خمشی نمونه‌های عمل‌آوری شده با TiO_2 (نمونه‌های S9 تا S24) نسبت به نمونه‌های عمل‌آوری شده بدون TiO_2 (نمونه‌های S5 تا S8) مشاهده نشود و نتایج روند منظمی نداشته باشند.

استحکام کششی

آبکافت قلیایی پلی استر ضمن ایجاد خواص مطلوب روی سطح آن سبب ایجاد حفره می‌شود. بنابراین، در اثر اعمال نیرو به پارچه آبکافت قلیایی شده، حفره‌های موجود روی سطح الیاف سبب ایجاد ترک شده و در نهایت با رشد ترک نمونه پاره می‌شود [۱]. میانگین نتایج استحکام کششی نمونه‌ها در جدول ۱ نشان می‌دهد، نمونه‌های آبکافت قلیایی شده در غلظت‌های مختلف سدیم هیدروکسید (نمونه‌های S5 تا S8) با نیروی کمتری نسبت به نمونه پلی استر خام (نیرو تا پارگی ۴۱۵ N) پاره شده‌اند. همچنین، با افزایش غلظت سدیم هیدروکسید کاهش استحکام نمونه‌ها به دلیل افزایش مقدار آبکافت قلیایی و تشکیل حفره‌های بیشتر و عمیق‌تر روی سطح پارچه پلی استر بیشتر می‌شود، به طوری که نمونه S8 از بیشترین کاهش استحکام برخوردار است. از طرف دیگر، انجام عملیات آبکافت قلیایی با وجود نانوذرات تیتانیم دی اکسید سبب افزایش استحکام نمونه‌های مورد آزمون شده است، به طوری که در غلظت ثابت سدیم هیدروکسید، نمونه‌های عمل‌آوری شده با مقادیر مختلف نانوذرات تیتانیم دی اکسید نسبت به نمونه عمل‌آوری شده بدون نانوذرات تیتانیم دی اکسید (نمونه‌های S20، S16، S12 و S24 نسبت به نمونه S8) از استحکام بیشتری برخوردار بوده‌اند. اثر افزایش استحکام نمونه‌ها با وجود نانوذرات

زوج الکترون - حفره، تمایل الکترون به تبدیل کاتیون‌های Ti^{4+} به Ti^{3+} ، واکنش Ti^{3+} با اکسیژن مولکولی هوا و تبدیل آنها به O_2^- و جذب آنها روی سطح نانوذرات، اکسایش آنیون‌های O_2^- جذب شده روی سطح به وسیله حفره‌ها و در نتیجه تبدیل مولکول TiO_2 به حالت اولیه، خروج اکسیژن مولکولی به حالت گاز از روی سطح نانوذرات و ایجاد فضای خالی سبب جذب مولکول‌های آب در فضاهای خالی شده و سطح نانوذرات خاصیت آبدوستی پیدا می‌کنند. این خاصیت سبب می‌شود تا همواره به جای قطره‌های آب با زاویه بزرگ روی سطح، لایه‌ای نازک از آب روی سطح تشکیل شود [۴]. قطره‌های آب به طور آبی روی تمام نمونه‌های آبکافت قلیایی شده (نمونه‌های S5 تا S24) جذب می‌شود که نشانگر تشکیل گروه‌های عاملی هیدروکسیل پلی استر در اثر آبکافت قلیایی است. همچنین، سطح نمونه‌های آبکافت نشده (نمونه‌های S1، S2، S3 و S4) پیش از نوردی آبریز بودند، به طوری که متوسط زمان جذب قطره‌های آب روی سطح آنها به ترتیب $1:40'$ ، $1:55'$ ، $2:15'$ و $2:45'$ بوده است. با نوردی نمونه‌ها به مدت ۱۰ h به وسیله نور روز، سطح آنها کاملاً آبدوست شده و قطره‌های آب به طور آبی روی آنها پخش شدند که نشانگر فعالیت نورکاتالیزوری نانوذرات در اثر تابش نور روز روی پارچه پلی استر است که با نظریه‌های اشاره شده مطابقت دارد (جدول ۱).

آزمون سختی خمشی

کاهش وزن پارچه پلی استر با آبکافت قلیایی به عنوان روشی مناسب برای بهبود خواص ظاهری و زیبایی این نوع پارچه‌هاست، به طوری که با کاهش وزن حدود ۱۰٪ تا ۳۰٪ زبردست کالای پلی استر ابریشمی می‌شود [۲۹].

نتایج سختی خمشی نمونه‌ها در جدول ۱ نشان می‌دهد، سختی خمش پارچه پلی استر آبکافت نشده $32 \mu Nm$ بوده که با انجام عملیات آبکافت قلیایی (نمونه S5) به $18 \mu Nm$ کاهش یافته است. در نتیجه با انجام عملیات آبکافت قلیایی روی پارچه پلی استری با کاهش وزن نمونه‌ها سختی خمشی کاهش، زبردست نرم‌تر و آویزش نیز بهتر شده است. همچنین، با افزایش غلظت سدیم هیدروکسید (نمونه‌های S5 تا S8) طول خمش نمونه‌ها به علت از دست دادن وزن بیشتر و باز شدن ساختار پارچه، کوتاه‌تر شده و زبردست آنها نرم‌تر و سختی خمشی آنها کمتر شده است، به طوری که سختی خمشی نمونه S8 به $10 \mu Nm$ رسیده است.

افزون بر این، سختی خمشی نمونه‌های آبکافت نشده و عمل‌آوری شده با نانوذرات تیتانیم دی اکسید (نمونه‌های S1، S2، S3 و S4) کمتر از نمونه پلی استر خام بوده است. از آنجا که آبکافت قلیایی

جدول ۲- نتایج آزمون ANOVA (متغیر وابسته استحکام است).

منبع	جمع مربعات نوع III	df	مربع میانگین	F	Sig.
مدل تصحیح شده	۶۴۲۸۰/۸۸۰ الف	۲۴	۲۶۷۸/۳۷۰	۶/۵۰۰	۰/۰۰۰
Intercept	۱۰۳۷۶۵۶۸/۱۲۰	۱	۱۰۳۷۶۵۶۸/۱۲۰	۲۵۱۸۳/۸۲۶	۰/۰۰۰
NaOH	۳۳۰۷۳/۶۸۰	۴	۸۲۶۸/۴۲۰	۲۰/۰۶۷	۰/۰۰۰
TiO ₂	۸۵۰۱/۲۸۰	۴	۲۱۲۵/۳۲۰	۵/۱۵۸	۰/۰۰۱
NaOH * TiO ₂	۲۲۷۰۵/۹۲۰	۱۶	۱۴۱۹/۱۲۰	۳/۴۴۴	۰/۰۰۰
خطا	۲۰۶۰۱/۶۵۲	۵۰	۴۱۲/۰۳۳	-	-
کل	۱۰۴۶۱۴۵۰/۶۵۲	۷۵	-	-	-
تصحیح شده کل	۸۴۸۸۲/۵۳۲	۷۴	-	-	-

(الف) R مربع شده = ۰/۷۵۷ (R مربع شده تنظیم شده = ۰/۶۴۱)

تصاویر سطح نمونه‌ها SEM و EDX

تصاویر سطح نمونه‌های S1، S4، S9، S12، S21 و S24 با استفاده از میکروسکوپ الکترونی پویشی گسیل میدانی (FESEM) و آزمون تجزیه عنصری EDX به ترتیب در شکل‌های ۱ تا ۳ آمده است.

سطح نمونه‌های آبکافت قلیایی نشده S1 و S4 صاف و بدون حفره‌اند. با انجام عملیات آبکافت قلیایی حفره‌هایی در سطح الیاف ایجاد شده که در شکل‌های ۱-ج و ۲-ج به خوبی مشهود است. تصاویر ۱-ه و ۲-ه نشان می‌دهد، با افزایش غلظت سدیم هیدروکسید تعداد و عمق حفره‌های ایجاد شده روی سطح پارچه پلی‌استری بیشتر شده است. همچنین، مقایسه تصاویر شکل‌های ۱ و ۲ نشان می‌دهد، در مقدار ثابت نانوذرات تیتانیم دی‌اکسید با انجام عملیات آبکافت قلیایی، نانوذرات بیشتری روی سطح نمونه جذب شده است، به طوری که سطح نمونه S9 نسبت به نمونه S1 و نمونه S12 نسبت به نمونه‌های S9 و S1 (شکل ۱) از مقدار بیشتری نانوذرات تیتانیم دی‌اکسید برخوردار است. نتیجه مشابه در مقایسه تصاویر شکل ۲ نیز مشاهده می‌شود. همچنین در نمونه‌های S12 و S24، تصاویر ۱-ه و ۲-ه که با غلظت زیاد سدیم هیدروکسید عمل‌آوری شدند، به علت ایجاد گروه‌های عاملی بیشتر نسبت به غلظت کم سدیم هیدروکسید، توزیع نانوذرات روی سطح یکنواخت‌تر شده و تجمع آنها روی سطح کمتر شده است. حصول اختلاف رنگ (ΔRGB) بیشتر روی نمونه S24 نسبت به S21 و نمونه S9 نسبت به نمونه S12 نیز با نتایج تصاویر میکروسکوپی هماهنگ است.

برای بررسی افزایش غلظت نانوذرات تیتانیم دی‌اکسید در غلظت ثابت هیدروکسید سدیم، دو نمونه S9 و S21 انتخاب شدند که در کمترین غلظت هیدروکسید سدیم (۰/۵٪w/v) و به ترتیب با کمترین و

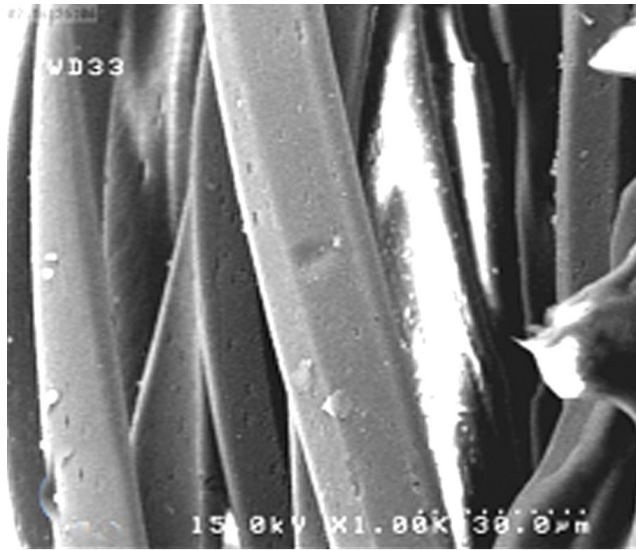
TiO₂ از دو دیدگاه قابل بررسی است:

۱- HOTiOH تشکیل شده با اتصال به گروه‌های عاملی COONa- و OH- روی سطح پلی‌استر به عنوان عامل ایجاد پیوند عرضی عمل می‌کند و سبب توزیع یکنواخت‌تر نیروی اعمالی به الیاف، به تأخیرانداختن تشکیل و رشد ترک روی سطح الیاف و در نهایت افزایش استحکام نمونه‌ها شده است [۱۵].

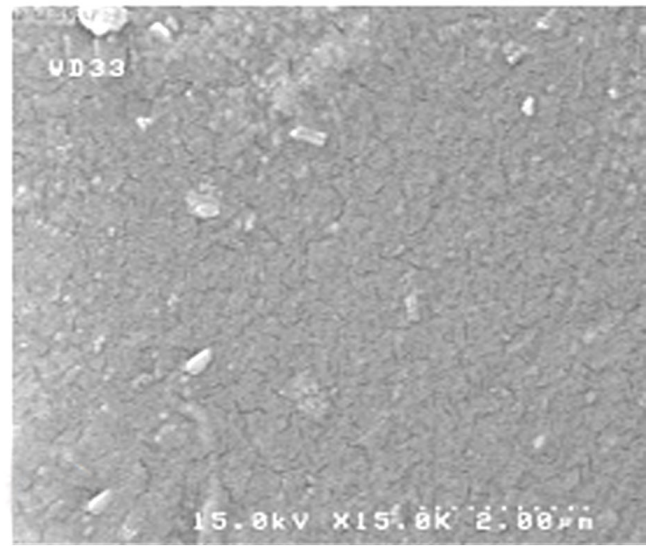
۲- تمایل نانوذرات TiO₂ به تجمع درون حفره‌های ایجاد شده در اثر آبکافت قلیایی (تصاویر FE-SEM در شکل ۱)، به همراه اتصال‌های ایجاد شده سبب توزیع یکنواخت‌تر نیروی اعمالی به الیاف در ساختار پارچه پلی‌استر می‌شود.

همچنین، حد معنی‌داری اثر دو عامل سدیم هیدروکسید و نانوذرات تیتانیم دی‌اکسید روی استحکام پارچه‌های پلی‌استر عمل‌آوری شده با سطح معنی‌داری ۰/۰۵ با استفاده از نرم‌افزارهای آماری (SPSS) مشخص شده است. پس از انجام آزمون، فرض برابری واریانس‌ها برای هر دو عامل سدیم هیدروکسید و نانوذرات تیتانیم دی‌اکسید و صادق بودن فرض صفر (برابری واریانس‌ها)، آزمون ANOVA انجام شده است.

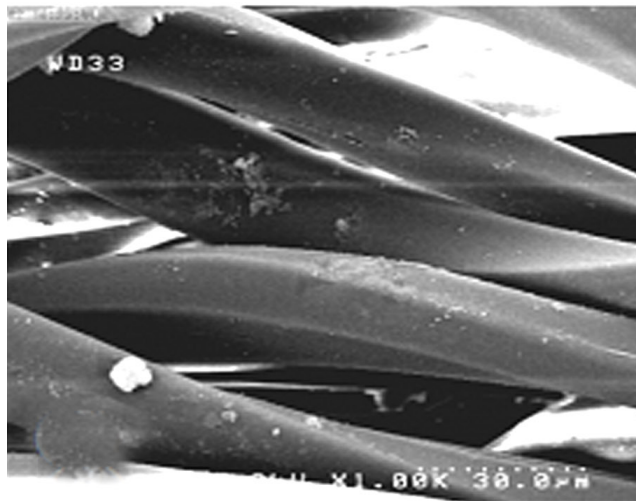
نتایج این آزمون در جدول ۲ آمده است. نتایج نشان‌دهنده معنی‌داری اثر هر دو عامل وجود سدیم هیدروکسید و نانوذرات تیتانیم دی‌اکسید روی استحکام پارچه‌های پلی‌استر عمل‌آوری شده بوده است. افزون بر این، با استفاده از آزمون دانکن نیز مشخص شده که اثر سدیم هیدروکسید و نانوذرات تیتانیم دی‌اکسید روی استحکام پارچه‌های پلی‌استری معنی‌دار بوده است. بنابراین، نتایج اثر مثبت وجود نانوذرات تیتانیم دی‌اکسید روی استحکام پارچه پلی‌استر بر اساس نتایج آزمون آماری نیز قابل اعتماد است.



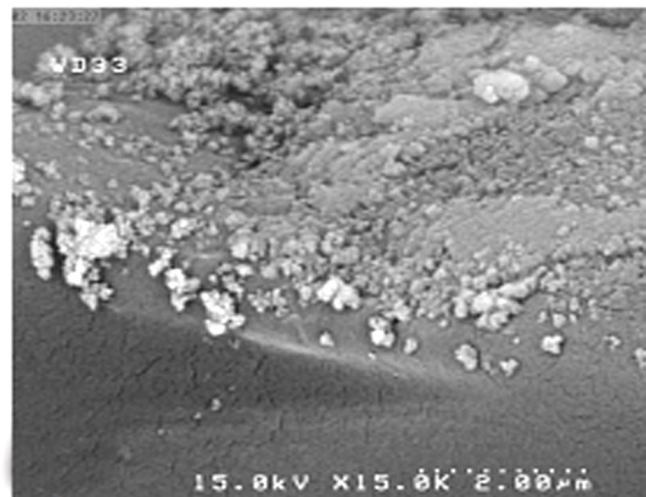
(ب)



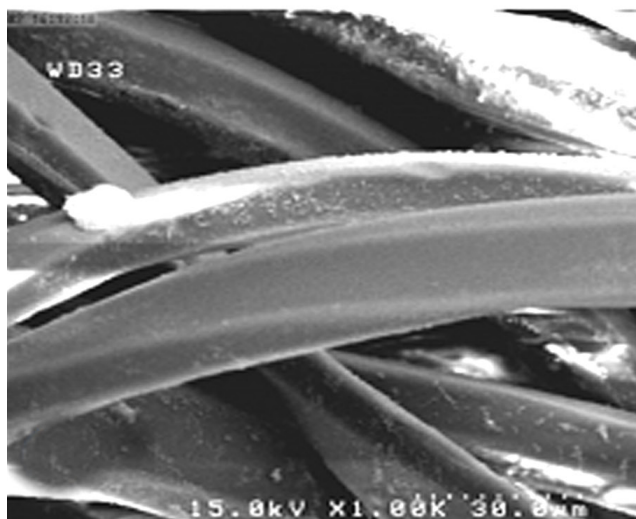
(الف)



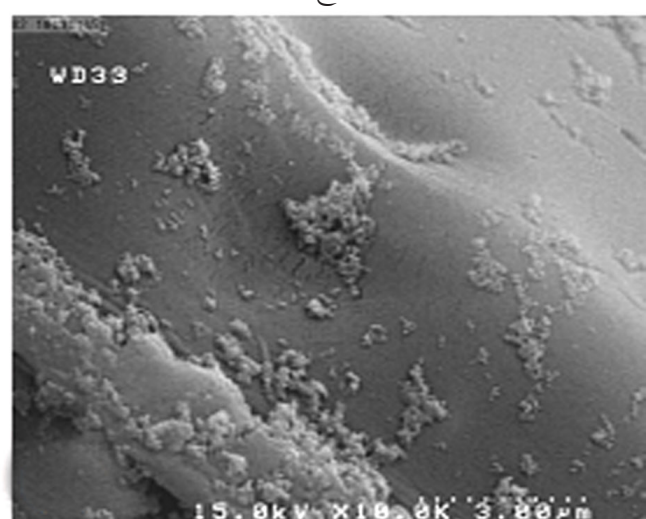
(د)



(ج)



(و)



(هـ)

شکل ۲- تصاویر FE-SEM نمونه‌های: (الف) و (ب) S4، (ج) و (د) S21 و (هـ) و (و) S24 در بزرگ‌نمایی‌های مختلف.

مقایسه تصاویر شکل‌های ۱ و ۲ نیز نتیجه مشابهی را نشان می‌دهد.

نتیجه‌گیری

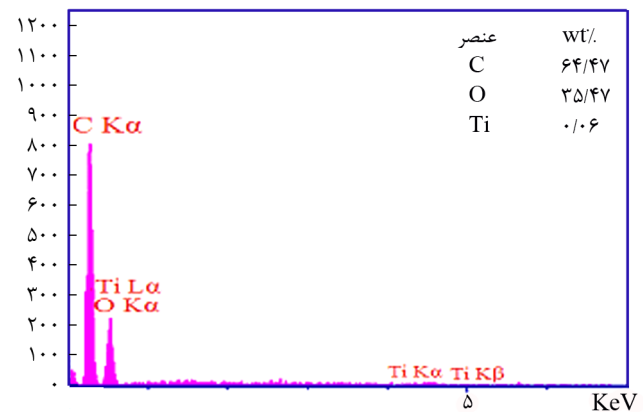
نتایج این پژوهش نشان می‌دهد، عملیات آبکافت قلیایی همراه با نانوذرات تیتانیم دی‌اکسید روی پارچه پلی‌استر در یک مرحله، سبب افزایش جذب نانوذرات تیتانیم دی‌اکسید روی سطح پارچه شده است، به طوری که با افزایش غلظت سدیم هیدروکسید جذب نانوذرات روی سطح پارچه افزایش یافته است. همچنین، نمونه‌های عمل‌آوری شده با نانوذرات تیتانیم دی‌اکسید بدون سدیم هیدروکسید افزایش وزن داشته در حالی که وزن نمونه‌های عمل‌آوری شده با نانوذرات تیتانیم دی‌اکسید همراه با سدیم هیدروکسید کاهش یافته‌اند. افزون بر این، نانوذرات تیتانیم دی‌اکسید همراه با آبکافت قلیایی سبب افزایش درصد کاهش وزن نمونه‌ها شده به طوری که عملکرد آنها در فرایند آبکافت قلیایی مانند سطح فعال کاتیونی بوده و سبب تسریع انجام فرایند آبکافت قلیایی شده‌اند.

تصاویر FE-SEM و الگوی EDX افزایش مقدار جذب نانوذرات تیتانیم دی‌اکسید را در اثر انجام عملیات آبکافت قلیایی و افزایش غلظت نانوذرات تیتانیم دی‌اکسید تأیید کرده‌اند. افزون بر این، افزایش غلظت سدیم هیدروکسید در غلظت ثابت نانوذرات تیتانیم دی‌اکسید، سبب بهبود خاصیت خودپاک‌کنندگی نمونه‌ها شده است. همچنین، تمام نمونه‌های آبکافت قلیایی شده از جذب آب و آویزش مناسب به همراه زیردست نرم‌تر برخوردار بوده‌اند.

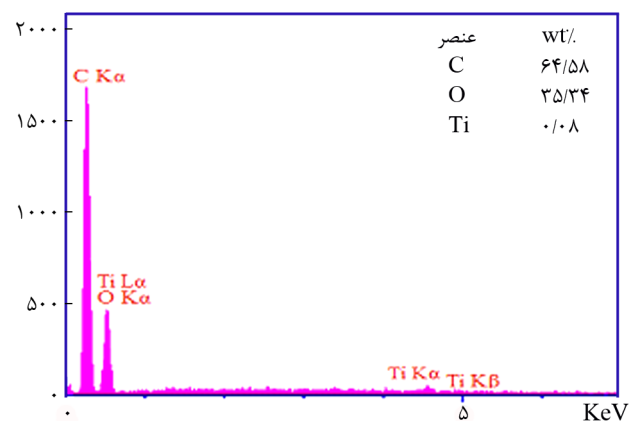
بر خلاف انتظار که فرایند آبکافت قلیایی پلی‌استر سبب کاهش استحکام پارچه می‌شود، انجام عملیات هم‌زمان آبکافت قلیایی و بارگذاری نانوذرات تیتانیم دی‌اکسید روی سطح پارچه سبب افزایش استحکام آن شده است. انتخاب نمونه بهینه در این بررسی به کاربرد نهایی پارچه بستگی دارد، ولی نمونه S10 که با کمترین مقدار تیتانیم دی‌اکسید و غلظت مناسب سدیم هیدروکسید ویژگی قابل قبولی از نظر کاهش وزن، خودپاک‌کنندگی، زیردست و استحکام دارد، می‌تواند به عنوان نمونه بهینه در نظر گرفته شود.

مراجع

1. East G.C. and Rahman M., Effect of Applied Stress on the Alkaline Hydrolysis of Geotextile Poly(ethylene terephthalate).



(الف)



(ب)

شکل ۳- الگوی EDX نمونه‌های: (الف) S9 و (ب) S21.

بیشترین درصد نانوذرات تیتانیم دی‌اکسید عمل‌آوری شده‌اند. نتایج آزمون EDX نمونه‌های S9 و S21 در شکل ۳، وجود نانوذرات تیتانیم دی‌اکسید را روی سطح کالا تأیید می‌کند. در شکل ۳-الف و ۳-ب قله‌های مربوط به عناصر تیتانیم و اکسیژن مشاهده می‌شود، در نقطه اتفاقی درصدگیری عناصر روی سطح نمونه‌ها، درصد تیتانیم و اکسیژن برای نمونه S9 (شکل ۳-الف) و S21 (شکل ۳-ب) متفاوت است، به طوری که در نمونه S21 مقدار درصد تیتانیم بیشتر از نمونه S9 است. در نتیجه با ثابت بودن غلظت هیدروکسید سدیم، افزایش مقدار نانوذرات تیتانیم دی‌اکسید سبب افزایش نانوذرات روی سطح نمونه شده است.

Part 1: Room Temperature, *Polymer*, **40**, 2281-2288, 1999.

2. Ellison M.S, Fisher L.D, Alger K.W, and Zeronian S.H.,

- Physical Properties of Polyester Fiber Degraded by Aminolysis and by Alkaline Hydrolysis, *J. Appl. Polym. Sci.*, **27**, 247-257, 1982.
3. Haghghat Kish M. and Nouri M., Effect of Sodium Hydroxide and Calcium Hydroxide on Polyester Fabrics, *J. Appl. Polym. Sci.*, **72**, 631-637, 1999.
 4. Niu S. and Wakida T., Effect of Heat-Setting Temperature on Alkaline Hydrolysis of Poly(ethylene terephthalate) Fibers, *Text. Res. J.*, **63**, 346-350, 1993.
 5. Haji A., Malek R.M.A., Mazaheri F., and Haghghatkish M., Pad-Steam Process for Continuous Alkali Treatment of Polyester/Cotton Fabric, *J. Color. Sci. Technol.*, **2**, 141-149, 2008.
 6. Latta B.M., Improved Tactile and Sorption Properties of Polyester Fabrics through Caustic Treatment, *Text. Res. J.*, **84**, 766-775, 1987.
 7. Sharma V.K., Yngard R.A., and Lin Y., Silver Nanoparticles: Green Synthesis and Their Antimicrobial Activities, *Adv. Colloid Interface Sci.*, **145**, 83-96, 2009.
 8. Dastjerdi R. and Montazer M., A Review on the Application of Inorganic Nano-Structured Materials in the Modification of Textiles: Focus on Anti-Microbial Properties, *Colloid. Surface B*, **79**, 5-18, 2010.
 9. Montazer M., Behzadnia A., Pakdel E., Rahimi M.K., and Bameni Moghadam M., Photo Induced Silver on Nano Titanium Dioxide as an Enhanced Antimicrobial Agent for Wool, *J. Photochem. Photobio. B*, **103**, 207-214, 2011.
 10. Fu G., Vary, P., and Lin C.T., Anatase TiO₂ Nanocomposites for Antimicrobial Coatings, *J. Phys. Chem. B*, **109**, 8889-8898, 2005.
 11. Bozzi A., Yuranova T., and Kiwi J., Self-Cleaning of Wool-Polyamide and Polyester Textiles by TiO₂-Rutile Modification under Daylight Irradiation at Ambient Temperature, *J. Photochem. Photobio. A*, **172**, 27-34, 2005.
 12. Montazer M., Pakdel E., and Bameni Moghadam M., Nano Titanium Dioxide on Wool Keratin as UV Absorber Stabilized by Butane Tetra Carboxylic Acid (BTCA): A Statistical Prospect, *Fibers Polym.*, **11**, 967-975, 2010.
 13. Daoud W.A., Leung S.K., Tung W.S., Xin J.H., Cheuk K., and Qi K., Selfcleaning Keratins, *Chem. Mater*, **20**, 1242-1244, 2008.
 14. Montazer M., Pakdel E., and Behzadnia A., Novel Feature of Nano-Titanium Dioxide on Textiles: Antifelting and Antibacterial Wool, *J. Appl. Polym. Sci.*, **121**, 3407-3413, 2011.
 15. Montazer M. and Pakdel E., Functionality of Nano Titanium Dioxide on Textiles with Future Aspects: Focus on Wool, *J. Photochem. Photobio. C*, **12**, 293- 303, 2011.
 16. Nazari A., Montazer M., Rashidi A., Yazdanshenas M., and Anary-Abbasinejad M., Nano TiO₂ Photo-Catalyst and Sodium Hypophosphite for Cross-Linking Cotton with Polycarboxylic Acids under UV and High Temperature, *Appl. Catal. A*, **371**, 10-16, 2009.
 17. Nazri A., Montazer M., Moghadam M.B., and Anary-Abbasinejad M., Self-Cleaning Properties of Bleached and Cationized Cotton using NanoTiO₂: A Statistical Approach. *Carbohydr. Polym.*, **83**, 1119-1127, 2011.
 18. Uddin M.J., Cesano F., Bonino F., Bordiga S., Spoto G., Scarano D., and Zecchina A., Photoactive TiO₂ films on Cellulose Fibres: Synthesis and Characterization, *J. Photochem. Photobio. A*, **189**, 286-294, 2007.
 19. Nazari A., Montazer M., and Rahimi M.K., Concurrent Antimicrobial and Anticrease of Bleached and Cationic Cotton using Nano Titanium Dioxide and Butane Tetracarboxylic Acid, *Iran. J. Polym. Sci. Technol.*, (In Persian) **22**, 41-51, 2009.
 20. Hashemikia S. and Montazer M., Sodium Hypophosphite and Nano TiO₂ Inorganic Catalysts Along with Citric Acid on Textile Producing Multi-Functional Properties, *Appl. Catal. A*, **417- 418**, 200- 208, 2012.
 21. Hashemikia S. and Montazer M., Stabilization of Nanosized TiO₂ Particles on Knitted Cotton/Polyester Fabric by Citric Acid for Self-cleaning and Discoloration of Reactive Black 5 from Waste Water, *Iran. J. Polym. Sci Technol. (In Persian)*, **24**, 33-42, 2011.
 22. Montazer M. and Seifollahzadeh S., Pretreatment of Wool/ Polyester Blended Fabrics to Enhance Titanium Dioxide Nanoparticle Adsorption and Self-Cleaning Properties, *Color Technol.*, **127**, 322-327, 2011.
 23. Montazer M. and Seifollahzadeh S., Enhanced Self-cleaning, Antibacterial and UV Protection Properties of Nano TiO₂ Treated Textile through Enzymatic Pretreatment, *Photochem. Photobiol.*, **87**, 877-883, 2011.
 24. Mihailovic D., Šaponjic Z., Radoicic M., Radetic T., Jovancic P., Nedeljko J., and Radetic M., Functionalization of Polyester Fabrics with Alginates and TiO₂ Nanoparticles,

- Carbohydr. Polym.*, **79**, 526-532, 2010.
25. Hashemizad S., Montazer M., and Rashidi A., Influence of the Surface Hydrolysis on the Functionality of Poly(ethylene terephthalate) Fabric Treated with Nanotitanium Dioxide, *J. Appl. Polym. Sci.*, **125**, 1176-1185, 2011.
26. Tsai C.C. and Teng H., Structural Features of Nanotubes Synthesized from NaOH Treatment on TiO₂ with Different Post-Treatments, *Chem. Mater.*, **18**, 367-373, 2006.
27. Chen X. and Mao S., Titanium Dioxide Nanomaterials: Synthesis, Properties, Modifications, and Applications, *Chem. Rev.*, **107**, 2891-2959, 2007.
28. Bozzi A., Yuranova T., and Kiwi J., Self-cleaning of Wool-Polyamide and Polyester Textiles by TiO₂-Rutile Modification under Daylight Irradiation at Ambient Temperature, *J. Photochem. Photobio. A*, **172**, 27-34, 2005.
29. Dhinakaran M., Dasaradan B.S., and Subramaniam V., A New Method of Investigating the Structure by Weight Loss of Polyester Fibe, *J. Text. Apparel Technol. Management*, **6**, 1-8, 2010.