

Synthesis of Graphene/Zinc Stannate Nanocomposite on Cotton Fabric to Obtain Multi-Functional Properties

Kazhal Ebrahimi¹, Peiman Valipour^{1*}, Mohammad Mirjalili², and Habib-Allah Tayebi¹

1. Department of Textile and Apparel Engineering, Qaemshahr Branch, Islamic Azad University,

P.O. Box 35953-613, Qaemshahr, Iran

2. Department of Textile and Polymer Engineering, Yazd Branch, Islamic Azad University,

P.O. Box 89195-155, Yazd, Iran

Received: 30 January 2022, Accepted: 19 June 2022

Abstract

This research has been conducted with the objective of multi-functional finishing on cotton fabric for improving different properties such as photocatalytic activity, electrical conductivity, UV blocking, and antibacterial. To this end, in situ synthesis of graphene/zinc stannate nanocomposite was carried out and its effect on the cotton properties was investigated. The structure and morphology of the fabric surface has been examined by field emission scanning electron microscopy (FE-SEM) and its chemical structure has been elucidated by X-ray photoelectron spectroscopy (XPS). The electrical conductivity of coated fabrics was improved significantly due to the presence of graphene on the surface of cotton fabrics. The photocatalytic activity of the treated fabrics with graphene/zinc stannate nanocomposite was tested by degradation of methylene blue in aqueous solution under sunlight irradiation, which demonstrated excellent photocatalytic efficiency of the nanocomposite. The antibacterial activities of the samples against two common pathogenic bacteria including *Escherichia coli* and *Staphylococcus aureus* have been also assessed, which suggested that the graphene/zinc stannate nanocomposite can function effectively as antibacterial agents. Moreover, the nanocomposite finished cotton fabric showed proper UV blocking activity.

Keywords: graphene/zinc stannate nanocomposite, cotton fabric, photocatalytic activity, electrical conductivity, antibacterial

(*) To whom correspondence should be addressed.

E-mail: p.valipour@qaemiau.ac.ir

سنتر نانوکامپوزیت گرافن-روی استانات بر پارچه پنبه‌ای برای دستیابی به خواص چندگانه

کزال ابراهیمی^۱، پیمان ولی‌پور^{۱*}، محمد میرجلیلی^۲، حبیب‌الله طیبی^۱
۱- قائم شهر، دانشگاه آزاد اسلامی، واحد قائم شهر، دانشکده مهندسی نساجی، صندوق پستی ۳۵۹۵۳-۶۱۳
۲- یزد، دانشگاه آزاد اسلامی، واحد یزد، دانشکده مهندسی نساجی، صندوق پستی ۱۵۵-۸۹۱۹۵

دریافت: ۱۴۰۰/۱۱/۱۰، پذیرش: ۱۴۰۱/۳/۲۹

چکیده

واژه‌های کلیدی: نانوکامپوزیت گرافن-روی استانات، پارچه پنبه‌ای، فعالیت نورکاتالیزی، رسانندگی الکتریکی، ضدباکتری

۱ مقدمه

در دهه‌های اخیر، پیشرفت بسیاری در صنعت نساجی با استفاده از نانوفناوری انجام گرفته است. این صنعت، بیشترین بهره را از این فناوری برده و پیش‌بینی‌ها، حاکی از رشد بالقوه زیاد نانوفناوری در صنایع نساجی است. نانوفناوری در بهبود خواصی مانند فعالیت ضد میکروب، نرمی، ماندگاری، جذب آب و کندسوز کردن الیاف و پارچه‌ها مؤثر است [۱-۵]. پارچه تولیدی از الیاف پنبه دارای ویژگی‌های مطلوبی چون قابلیت جذب رطوبت زیاد، تنفس‌پذیری، راحتی و نرمی برای پوشاک هستند. اما، خواص مکانیکی ضعیف الیاف، اشتعال‌پذیری زیاد، رشد آسان میکروارگانیسم‌ها، چروک‌پذیری و چرک‌شدن آسان باعث محدود شدن کاربرد آن در صنایع مختلف شده است [۶،۷]. بدین دلیل، انجام تکمیل ویژه برای بهبود خواص پارچه پنبه‌ای از اهمیت زیادی برخوردار است. در سال‌های اخیر، استفاده از نانو مواد با خاصیت نورکاتالیزی برای دستیابی به منسوجات پنبه‌ای با ویژگی‌های چندمنظوره همچون خودتمیزشوندگی، ضد میکروب، بوزدایی و محافظت در

این مطالعه با هدف عملیات تکمیل ویژه برای بهبود خواص کالای پنبه‌ای و ایجاد ویژگی‌های چندمنظوره همچون فعالیت نورکاتالیزی، رسانندگی الکتریکی، ممانعت از تابش فرابنفش و ضدباکتری انجام شده است. بر این اساس، سنتر درجای نانوکامپوزیت گرافن-روی استانات روی پارچه پنبه‌ای انجام و تأثیر آن بر خواص کالا بررسی شده است. شکل‌شناسی سطح پارچه به وسیله تصاویر میکروسکوپ الکترونی پویشی گسیل میدانی (FE-SEM) و ساختار شیمیایی آن به کمک طیف‌نگاری نورالکترونی تابش ایکس (XPS) مطالعه شده است. وجود نانوصفحه‌های گرافن در سطح پارچه پنبه‌ای سبب بهبود رسانندگی الکتریکی پارچه‌های تکمیل‌شده با نانوکامپوزیت گرافن-روی استانات شده است. فعالیت نورکاتالیزی پارچه‌های تکمیل‌شده از طریق رنگ‌بری محلول رنگ‌زای متیلن بلو تحت پرتو دهی نور خورشید بررسی شده و بازده نورکاتالیزی زیاد پارچه‌های تکمیل‌شده تأیید شده است. همچنین، فعالیت ضد میکروبی پارچه‌های تکمیل‌شده به کمک باکتری گرم مثبت *Staphylococcus aureus* و باکتری گرم منفی *Escherichia coli* بررسی و تأیید شده است. افزون بر این، عمل‌آوری پارچه پنبه‌ای با نانوکامپوزیت گرافن-روی استانات سبب افزایش درخور ملاحظه خاصیت ممانعت از تابش فرابنفش شده است.

اکسید و تیتانیم دی‌اکسید دارد [۲۸،۲۹]. انرژی نوار شکاف بیشتر، موجب جذب بهتر تابش فرابنفش و فعالیت نورکاتالیزی با بازدهی بیشتر در نورکاتالیزگرها می‌شود. همچنین، روی استانات به علت داشتن خواص منحصر به فردی چون جابه‌جایی الکترونی و رسانندگی الکتریکی زیاد، ویژگی‌های نوری ممتاز و پایداری عالی در زمینه‌های مختلف مانند سلول‌های خورشیدی، الکترودهای رسانا، باتری یون لیتیم، نورکاتالیزگرها و حسگرها مورد توجه پژوهشگران قرار گرفته است [۳۰-۳۳]. برای سنتز نانوساختارهای روی استانات، روش‌های مختلف مانند گرمایی، سل-ژل، گرمای زیاد و حلال‌گرمایی (solvothermal) ارائه شده است [۳۴-۳۷].

پژوهش‌هایی درباره پوشش‌دهی منسوجات با نانوکامپوزیت‌های گرافن-نورکاتالیزگرها همچون گرافن-TiO₂ [۳۸،۳۹]، گرافن-ZnO [۴۰،۴۱]، گرافن-SnO₂ [۴۲،۴۳] و گرافن-ZrO₂ [۴۴] انجام شده و پارچه‌هایی با خواص چندگانه حاصل شده است.

در این مطالعه، به منظور بهره‌گیری هم‌زمان از ویژگی‌های ممتاز گرافن و روی استانات، برای نخستین بار پارچه پنبه‌ای با نانوکامپوزیت گرافن-روی استانات پوشش‌دهی شده است. نانوکامپوزیت گرافن-Zn₂SnO₄ روی پارچه‌های پنبه‌ای سنتز شده و فعالیت نورکاتالیزی، رسانندگی الکتریکی، ویژگی‌های ضدباکتری و ممانعت از تابش فرابنفش پارچه‌های تکمیل شده بررسی شده است. همچنین، اثر هم‌افزایی گرافن و روی استانات بر این خواص و سایر ویژگی‌های پارچه مطالعه شده است.

۲ تجزیه

۲-۱ مواد شیمیایی

از پارچه تافته پنبه‌ای سفید شده با تراکم تار و پود ۳۴ و ۳۰ threads/cm² و وزن ۱۱۸ g/m² استفاده شده است. پودر گرافیت و قلع (IV) کلرید از شرکت Sigma Aldrich تهیه شدند. روی استات، هیدروژن پراکسید، هیدروکلریک اسید، رنگینه متیلن بلو، سدیم هیدروکسید، سولفوریک اسید و پتاسیم پرمنگنات ساخت شرکت Merck استفاده شدند.

۲-۲ دستگاه‌ها

میکروسکوپ الکترونی پویشی گسیل میدانی (FE-SEM) مدل MIRA3 ساخت شرکت TESCAN در مرکز پژوهش متالورژی رازی برای شکل‌شناسی سطحی نمونه‌ها و انجام آزمون‌های

برابر تابش فرابنفش گسترش یافته است [۸-۱۱]. عمل‌آوری و ایجاد پوشش یکنواخت از مواد نورکاتالیزی روی کالای پنبه‌ای به روش‌های مختلف انجام شده و بهره‌گیری از فرایند مؤثر و کارا با بازده زیاد از اهمیت زیادی برخوردار است. برای نمونه، کریمی و همکاران با به‌کارگیری تیتانیم دی‌اکسید و کربوکسیلیک اسیدها، نوعی پارچه پنبه‌ای با ویژگی خودتمیزشوندگی را تولید کردند [۱۲]. در پژوهشی دیگر، معظمی و منتظر ایجاد پارچه پنبه‌ای با ویژگی‌های خودتمیزشوندگی، ضدباکتری و ضدآتش را با استفاده از نانوذرات زیرکونیم دی‌اکسید گزارش کرده‌اند [۱۳]. همچنین، تولید پارچه پنبه‌ای با ویژگی‌های ضد میکروبی و بازدارندگی در برابر تابش فرابنفش با به‌کارگیری نانوذرات روی اکسید توسط شاطری و یزدان‌شناس گزارش شده است [۱۴]. افزون بر این، اخیراً پژوهشگران هندی با سنتز نانوساختار روی استانات موفق به تولید پارچه‌های پنبه‌ای چندمنظوره با ویژگی‌های خودتمیزشوندگی، ضدباکتری، ضدآتش و محافظت در برابر تابش فرابنفش شده‌اند [۱۵].

گرافن، تک‌لایه‌ای از اتم‌های کربن با ویژگی‌های ممتازی چون جابه‌جایی بار زیاد، مقاومت الکتریکی کم، رسانندگی گرمایی عالی، پایداری شیمیایی بسیار زیاد و خواص مکانیکی عالی است [۱۶-۱۸]. مطالعات زیادی بر استفاده از گرافن و مشتقات آن در تکمیل منسوجات متمرکز شده‌اند. برای نمونه، Fugetsu و همکاران از گرافن اکسید به‌عنوان رنگینه استفاده کرده و پارچه آکرلیکی رسانای الکتریکی را با کاهش شیمیایی گرافن اکسید تولید کردند [۱۹]. در پژوهش مشابهی، Molina و همکاران تولید پارچه پلی‌استر رسانای الکتریکی را گزارش کردند [۲۰-۲۲]. در مطالعه دیگری، شاطری و یزدان‌شناس پارچه پنبه‌ای ابرآب‌گریز و رسانای الکتریکی را با استفاده از گرافن و پلی‌متیل سیلوکسان تولید کردند [۲۳]. همچنین، اثر کاهش شیمیایی را بر رسانندگی الکتریکی پارچه پنبه‌ای پوشش‌یافته با گرافن اکسید بررسی و گزارش کردند، پارچه کاهش‌یافته با سدیم هیدروسولفید، از بیشترین میزان رسانندگی و بهترین خواص مکانیکی برخوردار است [۲۴].

Javed و همکاران، از تابش فرابنفش برای کاهش گرافن اکسید و تولید پارچه رسانا استفاده کردند [۲۵]. Qu و همکاران با به‌کارگیری گرافن، پارچه پنبه‌ای با ویژگی ممانعت از تابش فرابنفش را تولید کردند [۲۶]. افزون بر این Zhao و همکاران، پارچه پنبه‌ای را با گرافن اکسید پوشش دادند و خواص ضد میکروب عالی آن را گزارش کردند [۲۷].

نانوساختار روی استانات، اکسید فلزی نیمه‌رسانای نسبتاً تازه کشف شده است که انرژی نوار شکاف بیشتری نسبت به روی

۲-۳ روش‌ها

۲-۳-۱ سنتز گرافن اکسید

برای مبنای روش Hummers [۴۵]، ابتدا ۲ g گرافیت به ۵۰ mL سولفوریک اسید اضافه و به مدت ۲۴ h در دمای محیط هم‌زده شد. سپس، ۷ g پتاسیم پرمنگنات در حمام یخ با دمای زیر ۱۰ °C به محلول اضافه و به مدت ۱۲۰ min در دمای ۵۰ °C هم‌زده شد. آنگاه، ۱۴۰ mL آب مقطر و ۱۰ mL هیدروژن پراکسید به محلول اضافه و به مدت ۳۰ min هم‌زده شد. محصول جداسازی شده و ۱ مرتبه با هیدروکلریک اسید و ۳ مرتبه با آب مقطر شست‌وشو داده شد. گرافیت اکسید حاصل در حمام فراصوت به مدت ۶۰ min در دمای ۵۰ °C لایه‌لایه‌شده و با استفاده از روش خشک‌کردن انجام‌دای پودر گرافن اکسید حاصل شد.

۲-۳-۲ پوشش‌دهی گرافن اکسید روی پارچه‌های پنبه‌ای

پارچه‌های پنبه‌ای در محلول‌های تعلیقی گرافن اکسید با غلظت‌های متفاوت (۰/۱، ۰/۲، ۰/۳ و ۰/۵ wt %) به مدت ۴۵ min در دمای ۷۰ °C به روش غوطه‌ای پوشش یافتند. سپس، نمونه‌های عمل‌آوری‌شده در گرما در دمای ۸۰ °C به مدت ۳۰ دقیقه خشک شدند.

۲-۳-۳ سنتز نانوکامپوزیت گرافن-روی استانات روی پارچه پنبه‌ای

کاهش گرافن اکسید و سنتز نانوذرات روی استانات به‌طور هم‌زمان در یک مرحله انجام شد. ابتدا، پارچه پوشش‌یافته با گرافن اکسید در حمام حاوی ۱۰۰ mL آب، ۲ g روی استات و ۱ g قلع کلرید به مدت ۱۰ min هم‌زده شد. سپس، مقادیر مختلف از سدیم هیدروکسید (۱، ۲، ۳ و ۴ wt %) به حمام اضافه شد. دمای حمام به تدریج از ۲۵ °C به ۸۵ °C افزایش و عملیات سنتز به مدت ۶۰ min ادامه یافت. در انتها، نمونه‌ها با آب مقطر آبکشی و در گرم‌خانه در دمای ۷۵ °C به مدت ۱۵ min خشک و در دمای ۱۳۰ °C به مدت ۳ min پخت شدند. همچنین، سنتز نانوذرات روی استانات، مشابه با روش ارائه‌شده بدون وجود گرافن اکسید انجام شد.

۲-۳-۴ بررسی فعالیت نورکاتالیزی

فعالیت نورکاتالیزی پارچه‌های پنبه‌ای به‌کمک رنگ‌بری محلول رنگینه متیلن بلو زیر تابش نور خورشید ارزیابی شد. پارچه‌های پنبه‌ای (۴×۶ cm²) به ۱۰۰ mL محلول رنگینه متیلن بلو (۱۰ mg/L) اضافه شد. به‌منظور دستیابی به حالت تعادل جذب-واجذب،

عنصریابی، میکروسکوپ الکترونی عبوری (TEM) مدل EM208 از شرکت Phillips برای بررسی شکل‌شناسی نانوصفحه‌های گرافن اکسید و دستگاه پراش پرتو X مدل STADI MP ساخت شرکت STOE در دانشگاه آزاد اسلامی واحد علوم و تحقیقات و برای بررسی بلورهای روی استانات دستگاه طیف‌نگاری نورالکترونی تابش ایکس (XPS) مدل ۸۰۲۵ شرکت BesTec در دانشگاه صنعتی شریف برای بررسی ساختار شیمیایی نمونه‌ها به‌کار گرفته شده‌اند. از طیف نورسنج UV-Vis عبوری دانشگاه آزاد اسلامی واحد یزد مدل LAMBDA 35 شرکت Perkin-Elmer برای بررسی قابلیت پارچه‌ها در ممانعت از تابش فرابنفش استفاده شده است. مؤلفه‌های رنگی پارچه‌های تکمیل‌شده با استفاده از طیف نورسنج UV-Vis انعکاسی مدل Cary 500 شرکت Varian استرالیا در فضا رنگ CIELAB بررسی شده‌اند. منبع نور D65 و زاویه مشاهده، ۱۰° انتخاب شده است. همچنین، اختلاف رنگ نمونه‌های تکمیل‌شده و پارچه خام از معادله (۱) محاسبه شده است:

$$\Delta E_{ab}^* = [(\Delta L^*)^2 + (\Delta a^*)^2 + (\Delta b^*)^2]^{1/2} \quad (1)$$

در فضا رنگ CIELAB، محور a* نشانگر حدود مقدار رنگ قرمز (مثبت) یا سبز (منفی)، محور b* نشانگر حدود مقدار رنگ زرد (مثبت) یا آبی (منفی) و L* مشخصه روشنایی است.

مقاومت ویژه سطحی پارچه‌ها طبق استاندارد AATCC 76-2005 با استفاده از مولتی‌متر مدل UT61E شرکت UNI-T بررسی شد. اندازه‌گیری مقاومت الکتریکی سطح نمونه پارچه‌ها با دستگاهی متشکل از یک جفت الکتروود (مسی) مستطیلی موازی با هم با ابعاد ۳۰ mm×۲۰ mm به فاصله ۲۰ mm و یک سطح رویه عایق همراه با یک وزنه ۱۰ N استوانه‌ای انجام شده است. نمونه پارچه‌ای روی سطح عایق به‌طور کاملاً صاف قرار می‌گیرد و دستگاه روی آن قرار داده می‌شود. مقدار مقاومت الکتریکی نمونه‌ها، ۲ min پس از قرارگیری دستگاه روی سطح نمونه‌ها با مولتی‌متر اندازه‌گیری شد. اندازه‌گیری‌ها در راستای تار و پود پارچه و در دمای محیط انجام و میانگین ۳ بار تکرار آزمایش گزارش شد. مقاومت ویژه سطحی به‌کمک معادله (۲) محاسبه شده است:

$$\rho_s = R_s \cdot L / d \quad (2)$$

در این معادله، ρ_s مقاومت ویژه سطحی (Ω/square)، R_s مقاومت الکتریکی (Ω)، L عرض نمونه‌ها و d فاصله دو الکتروود است.

۳ نتایج و بحث

۳-۱ مشخصه‌یابی

در این مطالعه، برای سنتز گرافیت اکسید از ترکیب پتاسیم پرمنگنات و سولفوریک اسید برای اکسایش گرافیت استفاده شده است. همچنین، به منظور تولید گرافن اکسید، گرافیت اکسید در آب پراکنده و در حمام فراصوت لایه‌لایه شده است. شکل ۱، تصاویر میکروسکوپ الکترونی عبوری صفحه‌های شفاف گرافن اکسید با ابعاد مختلف را نشان می‌دهد. براساس مطالعات انجام شده، نمونه‌های گرافن اکسید با درجه‌های اکسایش متفاوت شفافیت متفاوتی را در تصاویر TEM نشان می‌دهند که با تعداد لایه‌های گرافن اکسید مرتبط است که روی هم قرار گرفته‌اند [۴۶]. بنابراین شفافیت صفحه‌ها، تأییدکننده سنتز گرافن اکسید با تعداد لایه‌های کم و میزان اکسایش زیاد است. در تصاویر به دست آمده، نواحی تیره‌تر نشانگر عبور کمتر الکترون‌ها، به دلیل تجمع صفحه‌های گرافن اکسید است. همچنین تصاویر، نشان‌دهنده چین‌خوردگی صفحه‌های گرافن اکسید بوده که با فراوری آن‌ها در شرایط اسیدی مرتبط است.

وجود گروه‌های عاملی اکسیژنی در سطح گرافن اکسید سبب می‌شود که به خوبی در آب پراکنده شود. زمانی که پنبه در تعلیق یکنواخت گرافن اکسید غوطه‌ور می‌شود، با نانوصفحه‌های گرافن اکسید پوشش می‌یابد. تعداد پرشمار گروه‌های عاملی کربوکسیل و هیدروکسیل در وسط و لبه‌های گرافن اکسید، سبب تشکیل پیوندهای هیدروژنی با گروه‌های هیدروکسیل پنبه شده و اتصالی قوی بین صفحه‌های گرافن اکسید و الیاف به وجود می‌آید [۴۷]. سطح پارچه عمل‌آوری شده با گرافن اکسید، به وسیله گروه‌های عاملی اکسیژنی همچون اپوکسی، هیدروکسیل و کربوکسیل پوشیده شده است. پس از اضافه شدن استات روی و کلرید قلع با وجود هیدروکسید سدیم، گروه‌های اکسیژنی گرافن اکسید کاهش یافته و

محلول رنگینه حاوی نمونه‌ها به مدت ۳۰ min در تاریکی با استفاده از همزن مغناطیسی هم‌زده شدند. سپس، محلول به همراه نمونه‌ها به مدت ۴ روز زیر تابش نور خورشید (تهران، خردادماه) نوردهی شد. جذب محلول‌های رنگ‌بری شده در طول موج بیشینه به وسیله طیف نورسنج UV-Vis مدل Cary 100، ساخت استرالیا اندازه‌گیری شد. پس از نوردهی، مقادیر بازده نورکاتالیزی به کمک معادله (۳) محاسبه شد:

$$(3) \quad (\%) = (C_0 - C_e) / C_0 \times 100$$

در این معادله، C_0 و C_e به ترتیب غلظت اولیه و غلظت ثانویه رنگینه در محلول هستند [۳۸، ۴۱].

۳-۲-۵ فعالیت ضدباکتری

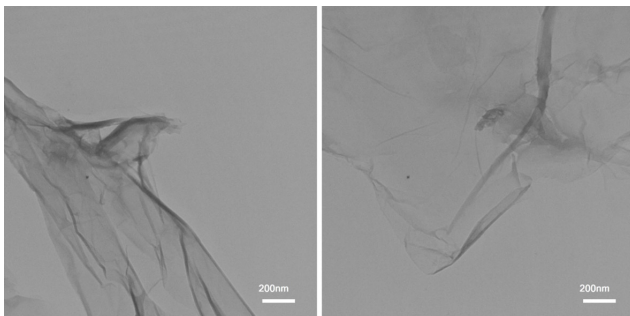
فعالیت ضدباکتری نمونه‌ها با استفاده از باکتری گرم مثبت *Staphylococcus aureus* و باکتری گرم منفی *Escherichia coli* طبق روش استاندارد AATCC 100-2004 ارزیابی شد. درصد کاهش باکتری با استفاده از معادله (۴) به دست آمده است:

$$(4) \quad (R)\% = (A - B) / A \times 100$$

در این معادله، A تعداد کلونی‌های اولیه تعلیق (شاهد)، B تعداد کلونی‌های ثانویه (محلول مجاورشده با کالا) و R درصد کاهش باکتری است.

۳-۲-۶ ارزیابی خواص فیزیکی

استحکام کششی و ازدیاد طول نمونه‌ها براساس روش استاندارد ASTM D 5035-06 ارزیابی شده است. بدین منظور، نمونه‌هایی با ابعاد ۲۵۰×۷۰ mm در جهت تار تهیه شده و با استفاده از روش کشش با سرعت ثابت (۷۰ mm/min) مقادیر استحکام کششی (N) و ازدیاد طول (mm) اندازه‌گیری و میانگین ۳ بار تکرار آزمایش گزارش شده است. زاویه بازگشت از چروک نمونه‌ها طبق استاندارد AATCC 66-2008 اندازه‌گیری شده است. مطابق با این روش ۱۲ نمونه، ۶ عدد در جهت تار و ۶ عدد در جهت پود با ابعاد ۴۰ mm × ۱۵ mm تهیه شد. نمونه‌ها از وسط تا شده و به مدت ۵ min زیر فشار وزنه ۵۰۰ g گرفتند. سپس، به مدت ۵ min رها شده و در ادامه مقدار زاویه بازگشت از چروک تار و پود اندازه‌گیری شده و با هم جمع شدند.



شکل ۱- تصاویر TEM گرافن اکسید سنتز شده.

جدول ۱- مؤلفه‌های رنگی و مقادیر اختلاف رنگ پارچه‌های خام و تکمیل‌شده.

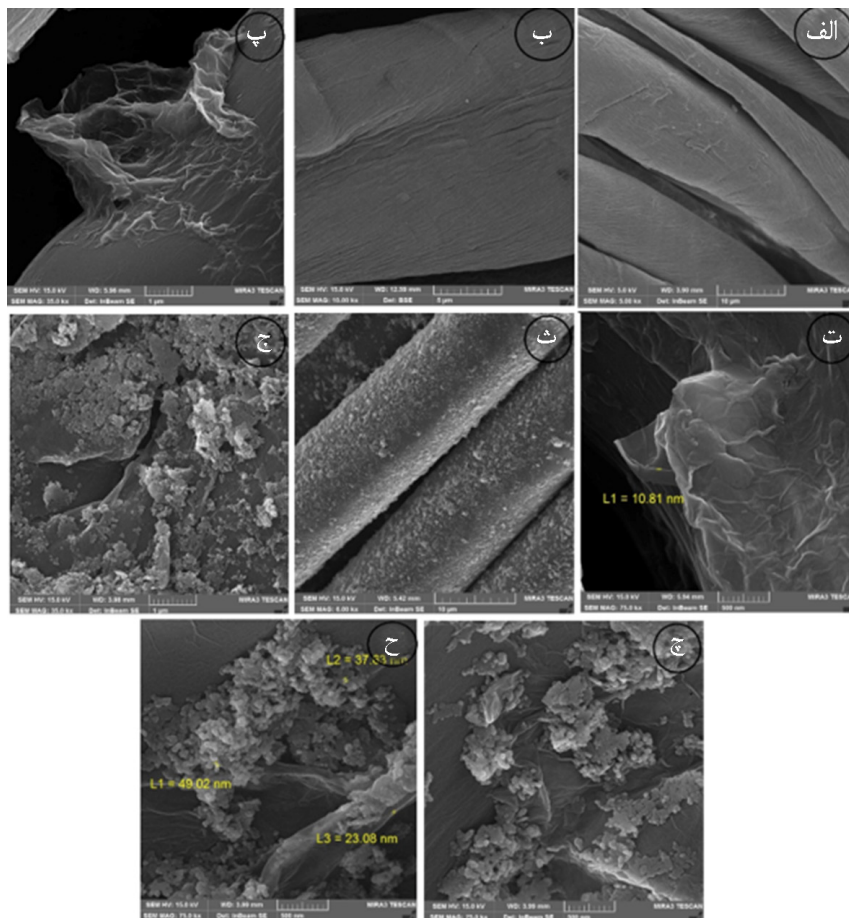
ΔE_{ab}^*	b*	a*	L*	نمونه
-	-۰/۲۶	-۰/۱۱	۸۳/۹۰	پارچه پنبه‌ای خام
۱/۳۵	۰/۲۱	۰/۵۰	۸۵/۰۱	تکمیل‌شده با نانوذرات روی استانات
۲۱/۲۶	۱۲/۰۹	۲/۲۲	۷۵/۶۶	تکمیل‌شده با گرافن اکسید (۰/۵٪)
۳۷/۹۸	۲/۴۸	۰/۴۵	۴۶/۰۲	تکمیل‌شده با نانوکامپوزیت (۰/۵٪ گرافن اکسید و ۴٪ سدیم هیدروکسید)

مقایسه با پارچه خام به وجود نیامده است. افزایش شدید مقدار b^* در پارچه‌های تکمیل‌شده با گرافن اکسید نشانه زردی آن به دلیل وجود نانوصفحه‌های گرافن اکسید است. همچنین، کاهش شدید مقدار روشنایی ($L^*= ۴۶/۰۲$) در پارچه‌های تکمیل‌شده با نانوکامپوزیت گرافن-روی استانات می‌تواند حاکی از کاهش گرافن اکسید و وجود نانوصفحه‌های تیره رنگ گرافن باشد.

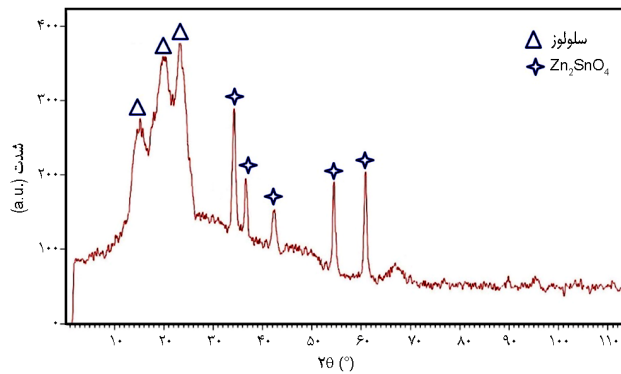
تصاویر میکروسکوپ الکترونی پویشی گسیل میدانی پارچه پنبه‌ای خام، پارچه‌های تکمیل‌شده با گرافن اکسید و نانوکامپوزیت گرافن-روی استانات در شکل ۲ نشان داده شده است. در حالی

به‌طور هم‌زمان اکسایش یون‌های روی و قلع سبب تشکیل نانوذرات روی استانات در سطح صفحه‌های گرافن شده است. همچنین، کاهش گرافن اکسید و تشکیل نانوذرات روی استانات موجب تغییر رنگ پارچه تکمیل‌شده از قهوه‌ای به خاکستری شد.

مؤلفه‌های رنگی نمونه‌ها در فضا رنگ CIELAB و مقادیر اختلاف رنگ نمونه‌ها با پارچه خام در جدول ۱، گزارش شده است. پارچه تکمیل‌شده با نانوذرات روی استانات دارای بیشترین مقدار روشنایی ($L^*= ۸۵/۰۱$) و مقادیر کم a^* و b^* بوده که نشانگر رنگ سفید پارچه است. بنابراین، تغییر محسوسی در ظاهر آن در



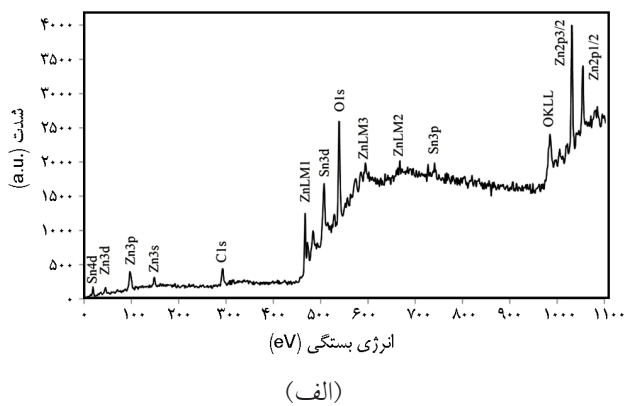
شکل ۲- تصاویر FE-SEM پارچه‌های پنبه‌ای: (الف و ب) خام، (پ و ت) پوشش‌یافته با گرافن اکسید و (ت-ح) عمل‌آوری‌شده با نانوکامپوزیت گرافن-روی استانات.



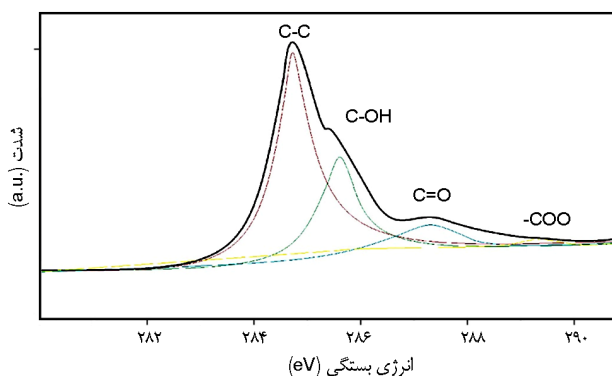
شکل ۴- طیف XRD پارچه پنبه‌ای عمل‌آوری‌شده با نانوکامپوزیت گرافن-روی استانات.

نانوکامپوزیت گرافن-روی استانات از طیف‌سنجی نورالکترونی تابش ایکس استفاده شده است. مطالعه طیف شناسایی (شکل ۵الف) پارچه تکمیل‌شده، وجود اتم‌های کربن، اکسیژن، روی و قلع را در سطح کالا نشان می‌دهد. وجود اتم‌های روی و قلع را می‌توان با سنتز موفقیت‌آمیز روی استانات مرتبط دانست.

طیف C1s پارچه تکمیل‌شده با نانوکامپوزیت (شکل ۵ب) قله



(الف)



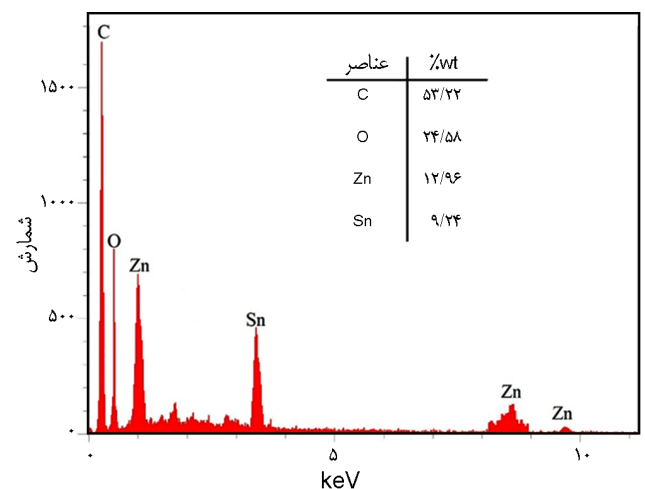
(ب)

شکل ۵- طیف‌سنجی نورالکترونی تابش ایکس پارچه پنبه‌ای تکمیل‌شده با نانوکامپوزیت گرافن-روی استانات: (الف) طیف شناسایی و (ب) طیف C1s.

که سطح الیاف پارچه پنبه‌ای (شکل ۲الف و ب) صاف است، برآمدگی‌ها و چین‌خوردگی‌هایی در سطح الیاف پارچه تکمیل‌شده با گرافن اکسید (شکل ۲پ و ت) دیده می‌شود که وجود نانوصفحه‌های گرافن اکسید را در سطح الیاف تأیید می‌کند. در تصویر نمونه عمل‌آوری‌شده با نانوکامپوزیت گرافن-روی استانات (شکل ۲ث) مشاهده می‌شود، سطح الیاف با لایه متراکمی از نانوکامپوزیت به‌طور کاملاً یکنواخت پوشش یافته است. براساس شکل (۲ج) نانوذرات روی استانات به‌طور یکنواخت و متراکم سطح نانوصفحه‌های گرافنی و الیاف پنبه‌ای را پوشش داده‌اند. تصاویر با بزرگ‌نمایی بیشتر، نانوذرات روی استانات را با اندازه تقریبی ۳۰-۵۰ nm روی سطح نشان می‌دهند (شکل ۲چ و ح). الگوی طیف EDS نمونه عمل‌آوری‌شده با نانوکامپوزیت گرافن-روی استانات، وجود عناصر کربن، اکسیژن، روی و قلع را روی کالا تأیید می‌کند. نسبت عناصر به‌شکل درصد وزنی گزارش شده است که نشان از وجود مقدار درخور ملاحظه روی و قلع روی کالا دارد (شکل ۳).

طیف پراش پرتو ایکس پارچه پنبه‌ای عمل‌آوری‌شده با نانوکامپوزیت گرافن-روی استانات در شکل ۴ آمده است. در شکل ۳، قله در زوایای ۱۵، ۱۹ و ۲۳° مشاهده می‌شود که مربوط به صفحه‌های بلوری سلولوز است. سنتز موفقیت‌آمیز نانوذرات روی استانات بر پارچه پنبه‌ای با وجود قله‌های مرتبط با بلورهای روی استانات تأیید شده است. پیک‌های ۲θ در نواحی ۳۴/۳، ۳۵/۲، ۴۱/۶، ۵۱/۹ و ۶۰/۳° ظاهر شده‌اند که به صفحه‌های بلوری روی استانات با ساختار مکعبی اسپینلی مربوط است.

به‌منظور بررسی شیمیایی سطح پارچه‌های تکمیل‌شده با



شکل ۳- طیف EDS پارچه پنبه‌ای عمل‌آوری‌شده با نانوکامپوزیت گرافن-روی استانات.

جدول ۲- بازده نورکاتالیزی و مقاومت الکتریکی نمونه پارچه‌های پنبه‌ای.

مقاومت ویژه سطحی (Ω/square)	بازده نورکاتالیزی (%)	سدیم هیدروکسید (%.wt)	قلع کلرید (g)	روی استات (g)	گرافن اکسید (wt./.)	نمونه پارچه
2×10^9	۲/۶	-	-	-	-	خام
8.7×10^6	۶/۷	۱	-	-	۰/۱	عمل‌آوری شده با گرافن اکسید
6.4×10^6	۶/۸	۲				
3.8×10^6	۶/۵	۳				
3.1×10^6	۶/۵	۴				
7.6×10^6	۱۰/۲	۱	-	-	۰/۲	عمل‌آوری شده با گرافن اکسید
1.98×10^3	۹/۷	۲				
1.07×10^3	۹/۹	۳				
8.6×10^3	۹/۸	۴				
5.8×10^6	۱۳/۷	۱	-	-	۰/۳	عمل‌آوری شده با گرافن اکسید
9.8×10^3	۱۳/۵	۲				
4.3×10^3	۱۳/۵	۳				
2.4×10^3	۱۳/۲	۴				
4.1×10^6	۱۸/۲	۱	-	-	۰/۵	عمل‌آوری شده با گرافن اکسید
2.1×10^3	۱۸/۱	۲				
7.5×10^3	۱۷/۹	۳				
5.9×10^3	۱۷/۴	۴				
7.6×10^6	۶۳/۳	۱	۱	۲	۰/۱	عمل‌آوری شده با نانوکامپوزیت
5.8×10^6	۶۹/۶	۲				
4.4×10^6	۷۴/۵	۳				
4.3×10^6	۷۶/۸	۴				
6.6×10^6	۶۴/۹	۱	۱	۲	۰/۲	عمل‌آوری شده با نانوکامپوزیت
1.73×10^3	۷۳/۱	۲				
9.2×10^3	۸۱/۷	۳				
6.3×10^3	۸۱/۸	۴				
5.9×10^6	۶۶/۳	۱	۱	۲	۰/۳	عمل‌آوری شده با نانوکامپوزیت
1.8×10^3	۷۱/۸	۲				
5.6×10^3	۸۲/۲	۳				
4.7×10^3	۸۳/۶	۴				
5.6×10^6	۶۸/۹	۱	۱	۲	۰/۵	عمل‌آوری شده با نانوکامپوزیت
1.3×10^3	۸۵/۹	۲				
4.9×10^3	۹۱/۱	۳				
1.3×10^3	۹۰/۶	۴				
1×10^9	۶۱/۷	۲	۱	۲	-	عمل‌آوری شده با نانوذرات روی استانات

مثبت، قابلیت کاهش مولکول آب و تولید رادیکال هیدروکسیل را دارد. همچنین، الکترون منفی با مولکول اکسیژن واکنش می‌دهد و آنیون ابراکسید تشکیل می‌شود. با توجه به قدرت اکسندگی زیاد رادیکال هیدروکسیل و آنیون ابراکسید، روی استانات قابلیت تجزیه مولکول‌های رنگینه را دارد [۵۰].

براساس نتایج جدول ۲، با افزودن گرافن اکسید به روی استانات و تولید نانوکامپوزیت گرافن-روی استانات میزان فعالیت نورکاتالیزی پارچه‌های تکمیل‌شده، افزایش یافته است. افزایش غلظت گرافن اکسید در حمام عمل‌آوری، سبب افزایش بازده نورکاتالیزی نمونه‌ها شده است. همچنین، خاصیت نورکاتالیزی پارچه‌ها با افزایش غلظت سدیم هیدروکسید در حمام، افزایش یافته است که علت آن می‌تواند به کاهش مؤثر نانوصفحه‌های گرافن اکسید در غلظت زیاد سدیم هیدروکسید مربوط باشد. نمونه تکمیل‌شده با نانوکامپوزیت گرافن-روی استانات دارای حدود ۹۰٪ قدرت رنگ‌بری بوده است. بنابراین برهم‌کنش و اتصال الکترونیکی میان نانوذرات روی استانات و صفحه‌های گرافن حاصل شده که باعث بهبود خاصیت نورکاتالیزی روی استانات شده است. الکترون‌های تولیدشده در تراز رسانش نانوذرات به سرعت به نانوصفحه‌های گرافن منتقل شده‌اند. از ترکیب مجدد الکترون‌ها و حفره‌ها ممانعت شده که سبب بهبود خاصیت نورکاتالیزی نمونه‌های تکمیلی شده است.

۳-۳ رسانش الکتریکی

گرافن اکسید، عایق الکتریکی بوده که علت این امر، وجود گروه‌های عاملی اکسیژنی در سطح آن است. یکی از روش‌های متداول برای کاهش گرافن اکسید و بازگرداندن رسانش الکتریکی گرافن، روش کاهش شیمیایی است. بنابراین، برای تبدیل پارچه پوشیده‌شده با گرافن اکسید به سطحی رسانا، گرافن اکسید باید کاهش یابد و به گرافن رسانا تبدیل شود.

در مطالعه حاضر، خاصیت رسانش پارچه‌های تکمیل‌شده با مقادیر مختلف گرافن اکسید و سدیم هیدروکسید (به‌عنوان عامل کاهش‌دهنده) ارزیابی و تغییرات مقاومت الکتریکی پارچه‌های پنبه‌ای تکمیل‌شده در جدول ۲ گزارش شده است. مقدار مقاومت ویژه سطحی برای پارچه پنبه‌ای خام و پارچه‌های تکمیل‌شده با نانوذرات روی استانات در محدوده $2 \times 10^9 - 1 \times 10^9 \Omega/\text{square}$ محاسبه شده که نشان می‌دهد، این نمونه‌ها رسانش الکتریکی ندارند. پس از کاهش پارچه‌های پوشش‌یافته با گرافن اکسید به‌وسیله سدیم هیدروکسید، مقاومت ویژه سطحی نمونه‌ها کاهش

در نواحی $2.84/4$ ، $2.85/7$ ، $2.87/5$ و 2.89 eV را نشان می‌دهد که به ترتیب مربوط به پیوندهای C-C، گروه‌های عاملی هیدروکسیل، کربونیل و کربوکسیل در سطح کالای پنبه‌ای است. شدت قله‌های مرتبط با گروه‌های عاملی اکسیژنی کم است که آن را می‌توان به کاهش مؤثر گرافن اکسید در سطح پارچه پنبه‌ای نسبت داد. همچنین، هیچ پیکی مطابق با تشکیل پیوندهای Zn-C و Sn-C مشاهده نشد. بنابراین، برهم‌کنش نانوذرات روی استانات و گرافن اکسید از طریق پیوند الکتروستاتیک یا جذب سطحی انجام شده است. نانوصفحه‌های گرافن سرشار از الکترون هستند و گروه‌های اکسیژنی فراوانی روی سطح گرافن وجود دارند. یون‌های Zn^{2+} و Sn^{4+} از طریق نیروی الکتروستاتیک به صفحه‌های گرافن متصل شده و نانوبلورهای Zn_2SnO_4 را تشکیل می‌دهند [۴۸].

۲-۳ فعالیت نورکاتالیزی

کارایی نورکاتالیزی پارچه‌های تکمیل‌شده از طریق رنگ‌بری محلول رنگینه متیلن بلو تحت پرتودهی نور خورشید بررسی شده است. درصد رنگ‌بری محلول رنگینه متیلن بلو به‌وسیله پارچه‌های پنبه‌ای از معادله (۳) محاسبه شده و در جدول ۲ گزارش شده است. نتایج نشان می‌دهد، تغییر غلظت رنگینه در تماس با پارچه پنبه‌ای خام ناچیز بوده (۲/۶٪) و قابل صرف‌نظر کردن است. همچنین، جذب رنگینه به‌وسیله گرافن اکسید باعث کاهش غلظت متیلن بلو در حمام حاوی پارچه‌های عمل‌آوری‌شده با گرافن اکسید می‌شود. افزایش غلظت گرافن اکسید در فرایند تکمیل کالا با افزایش رنگ‌بری تا حدود ۱۷٪ همراه بوده است.

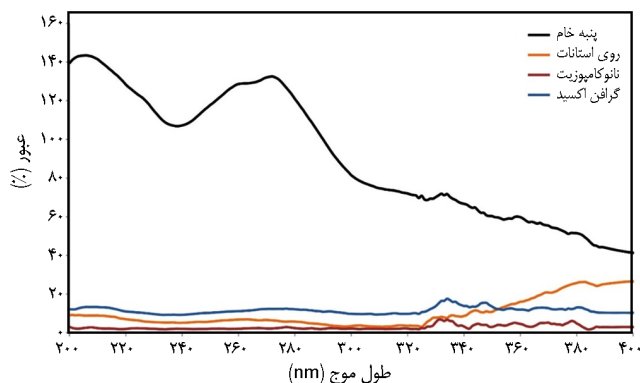
مولکول‌های رنگینه متیلن بلو دارای بار مثبت هستند و برهم‌کنش الکتروستاتیک قوی بین آن‌ها و گروه‌های عاملی اکسیژنی گرافن اکسید از یک سو و برهم‌کنش $\pi-\pi$ ($\pi-\pi$ stacking) بین مولکول‌های رنگینه و نانوصفحه‌های گرافن اکسید از سوی دیگر، باعث جذب سطحی رنگینه روی صفحه‌های گرافن اکسید می‌شود [۴۹]. بنابراین، تخریب نورکاتالیزی متیلن بلو در نمونه‌های پارچه پنبه‌ای خام و تکمیل‌شده با گرافن اکسید رخ نداده و تنها رنگینه جذب شده است.

پارچه پنبه‌ای تکمیل‌شده با روی استانات درصد رنگ‌بری بیشتری (۶۱/۷٪) را نشان می‌دهد که علت آن به فعالیت نورکاتالیزی روی استانات تحت پرتودهی و تخریب رنگینه مربوط است. زمانی که نورکاتالیزگر تحت تابش‌دهی قرار گیرد، کاهش نوری انجام می‌گیرد که سبب تولید یک جفت الکترون منفی (e^-) و حفره مثبت (h^+) و آغاز واکنش‌های اکسایش-کاهش می‌شود. حفره

(۰/۵٪) گرافن اکسید و ۴٪ سدیم هیدروکسید) ارائه شده است. پارچه پنبه‌ای خام، محیط مناسبی برای رشد و تکثیر میکروارگانیسم‌هاست. با توجه به دسته‌بندی گرافن اکسید به عنوان ماده زیست‌سازگار، نمونه تکمیل‌شده با گرافن اکسید فاقد فعالیت ضدباکتری بوده است. در نمونه‌های تکمیل‌شده با نانوذرات روی استانات، درصد کاهش باکتری برای باکتری گرم منفی *Escherichia coli*، ۸۲٪ و برای باکتری گرم مثبت *Staphylococcus aureus*، ۷۱٪ محاسبه شده است. واکنش بار مثبت روی سطح نانوذرات دارای بار منفی غشای سلول باکتری‌ها، اساساً سبب پارگی غشا و مرگ سلول می‌شود. براساس نتایج به‌دست‌آمده، افزودن گرافن به نانوذرات روی استانات اثر محسوسی بر خاصیت ضدباکتری پارچه تکمیل‌شده دارد. به‌نظر می‌رسد، افزایش تماس بین باکتری‌ها و نانوذرات روی استانات به‌واسطه وجود گرافن با مساحت سطحی زیاد از یک سو و وجود مقادیر بیشتر نانوذرات روی استانات با توزیع یکنواخت در سطح الیاف از سوی دیگر، سبب بهبود فعالیت ضدباکتری پارچه شده است [۵۱].

۳-۵- خاصیت ممانعت از تابش فرابنفش

قرارگیری در معرض تابش فرابنفش موجب اثرهای نامطلوب بر پوست انسان همچون التهاب، پیری و حتی سرطان می‌شود. همچنین، تابش فرابنفش به منسوجات، سطوح و پوشش‌ها آسیب می‌رساند [۵۲]. بنابراین، تولید منسوجات با خاصیت ممانعت از تابش فرابنفش بسیار مورد توجه است. شکل ۶، طیف‌های عبوری UV برای پارچه‌های پنبه‌ای خام و تکمیل‌شده با روی استانات، گرافن اکسید و نانوکامپوزیت گرافن-روی استانات را نشان می‌دهد. میزان عبور پرتو فرابنفش به‌وسیله نمونه‌های مختلف به‌صورت زیر



شکل ۶- طیف‌های عبوری UV برای پارچه‌های پنبه‌ای خام و تکمیل‌شده.

می‌یابد. علت را می‌توان با کاهش مؤثر گروه‌های اکسیژنی گرافن اکسید مرتبط دانست.

شاطری و یزدان‌شناس، اثر کاهش شیمیایی به‌وسیله دهنده‌های مختلف مانند هیدرازین، سدیم هیدروسولفیت، آسکوربیک اسید و سدیم بوروهیدرید را بر رسانندگی الکتریکی پارچه پنبه‌ای پوشش‌یافته با گرافن اکسید بررسی کردند. آن‌ها مقدار مقاومت ویژه سطحی پارچه‌ها را در محدوده $10^3-10^6 \Omega/cm$ گزارش کردند [۲۴]. در مطالعه مشابهی، از سدیم هیدروسولفیت برای کاهش شیمیایی پارچه آکرلیکی تکمیل‌شده با گرافن اکسید استفاده و مقدار مقاومت ویژه سطحی پارچه‌ها در محدوده $10^3-10^6 \Omega/cm$ محاسبه شده است [۱۹]. در مطالعه دیگری، از روش تابش فرابنفش برای کاهش گرافن اکسید در سطح پارچه‌های پنبه‌ای و پشمی استفاده و مقدار مقاومت ویژه سطحی پارچه‌ها در محدوده $45 \times 10^3-330 \times 10^3 \Omega/square$ گزارش شده است [۲۵].




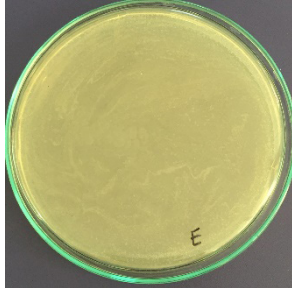
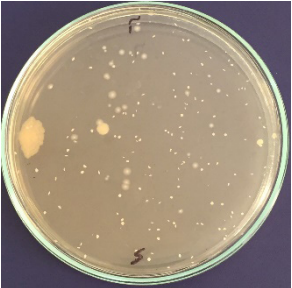
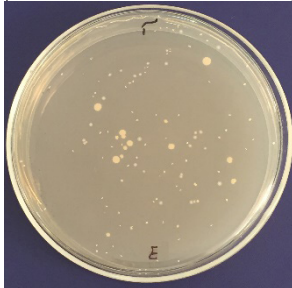
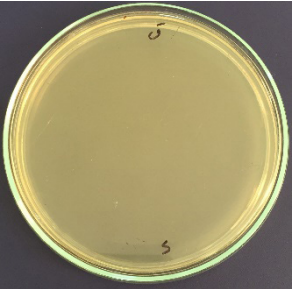
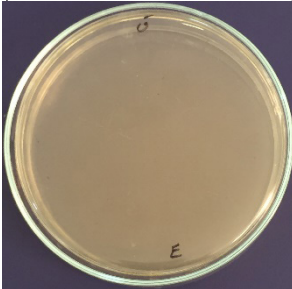
مطابق با جدول ۲، مقدار مقاومت ویژه سطحی به‌دست‌آمده در این مطالعه از $1/3 \times 10^3 \Omega/square$ تا $7/8 \times 10^6 \Omega/square$ متغیر است که با نتایج پژوهش‌های پیشین مطابقت دارد. بنابراین، نتایج نشانگر کاهش مؤثر پارچه تکمیل‌شده با گرافن اکسید به‌وسیله سدیم هیدروکسید است.

براساس نتایج به‌دست‌آمده، افزایش غلظت گرافن اکسید اثر محسوسی بر رسانندگی نمونه‌های تکمیل‌شده دارد. با افزایش غلظت گرافن اکسید در فرایند تکمیل از ۰/۱ wt٪ به ۰/۵ wt٪ مقدار مقاومت ویژه سطحی از $7/8 \times 10^6 \Omega/square$ به $5/9 \times 10^3 \Omega/square$ کاهش می‌یابد. در واقع با افزایش غلظت گرافن، اتصال و تماس میان صفحه‌های گرافن در سطح الیاف بیشتر شده و رسانندگی بهتری حاصل می‌شود. همچنین، رسانندگی الکتریکی پارچه‌ها با افزودن روی استانات به صفحه‌های گرافن، افزایش یافته است که علت آن می‌تواند به وجود ذرات رسانای قلع در سطح صفحه‌های گرافن مربوط باشد.

۳-۴- خاصیت ضدباکتری

خاصیت ضدباکتری نمونه‌های پنبه‌ای در برابر دو گونه متداول باکتری، باکتری گرم مثبت *Staphylococcus aureus* و باکتری گرم منفی *Escherichia coli* بررسی شده است. در جدول ۳، تصاویر و مقادیر کمی آزمون ضدباکتری نمونه‌های پنبه‌ای خام و تکمیل‌شده با گرافن اکسید (۰/۵٪) گرافن اکسید و ۴٪ سدیم هیدروکسید، نانوذرات روی استانات و نانوکامپوزیت گرافن-روی استانات

جدول ۳- تصاویر فعالیت ضدباکتری و درصد کاهش باکتری‌ها در مجاورت با نمونه‌های پنبه‌ای.

درصد کاهش باکتری		نمونه پارچه‌های پنبه‌ای
<i>Staphylococcus aureus</i>	<i>Escherichia coli</i>	
		خام
۰	۰	
		تکمیل شده با گرافن اکسید و سدیم هیدروکسید
۰	۰	
		تکمیل شده با روی استانات
۷۱	۸۲	
		تکمیل شده با نانوکامپوزیت
۹۹	۹۹	

بنابراین، پارچه پنبه‌ای عمل‌آوری شده با نانوکامپوزیت دارای بهترین خاصیت ممانعت از تابش فرابنفش است که علت آن را می‌توان اثر هم‌افزایی دو جزء نانوکامپوزیت بر جذب پرتو

درجه‌بندی شده است:
 پنبه خام < پنبه تکمیل شده با گرافن اکسید < پنبه تکمیل شده با روی استانات < پنبه تکمیل شده با نانوکامپوزیت

جدول ۴- خواص فیزیکی نمونه‌های مختلف.

نمونه	استحکام کششی (N)	ازدیاد طول (mm)	زاویه بازگشت از چروک (°)
پنبه خام	۲۹۲/۰۹	۲۰/۳	۱۴۴
تکمیل شده با گرافن اکسید (۰/۵٪ گرافن اکسید و ۴٪ سدیم هیدروکسید)	۲۸۵/۴۰	۲۴/۴	۱۴۲
تکمیل شده با نانوذرات روی استانات (۲٪ سدیم هیدروکسید)	۲۸۶/۵۱	۲۴/۱	۱۴۰
تکمیل شده با نانوکامپوزیت (۰/۵٪ گرافن اکسید و ۴٪ سدیم هیدروکسید)	۲۸۳/۱۲	۲۵/۳	۱۴۰

۴ نتیجه‌گیری

در پژوهش حاضر، پارچه‌های پنبه‌ای با خواص چندگانه‌ای چون فعالیت نورکاتالیزی، رسانندگی الکتریکی، ممانعت از تابش فرابنفش و ضدباکتری با موفقیت به روش پوشش‌دهی پارچه پنبه‌ای با نانوکامپوزیت گرافن-روی استانات تولید شدند. سنتز موفقیت‌آمیز نانوکامپوزیت گرافن-روی استانات روی پارچه پنبه از طریق آزمون‌های پراش پرتو ایکس، عنصریابی و طیف‌سنجی نورالکترونی تابش ایکس تأیید شد. تصاویر FE-SEM نشان‌دهنده پوشش یکنواخت و متراکم نانوکامپوزیت بر سطح الیاف بود. با افزودن گرافن به روی استانات فعالیت نورکاتالیزی پارچه‌های تکمیل شده بهبود و بازده نورکاتالیزی نمونه‌ها با افزایش غلظت گرافن اکسید در حمام عمل‌آوری ارتقا یافته است. همچنین، به‌کارگیری نانوکامپوزیت گرافن-روی استانات اثر ضدباکتری بهتری نسبت به روی استانات در تکمیل پارچه پنبه‌ای نشان داد و از فعالیت ضدباکتری ۹۹٪ در برابر باکتری‌های *Escherichia coli* و *Staphylococcus aureus* برخوردار بود. افزودن بر این، پارچه‌های تکمیل شده با نانوکامپوزیت، رسانندگی الکتریکی و خاصیت ممانعت از UV درخور ملاحظه‌ای نشان داده‌اند.

مراجع

- [1] B.K. Tudu, A. Sinhamahapatra, and A. Kumar, "Surface modification of cotton fabric using TiO₂ nanoparticles for self-cleaning, oil-water separation, antistain, anti-water absorption, and antibacterial properties", *ACS Omega*, vol. 5, no. 14, pp. 7850-7860, 2020.
- [2] A.M. Eid, A. Fouda, G. Niedbala, S.E.D. Hassan, S.S. Salem, A.M. Abdo, H.F. Hetta, and T.I. Shaheen,

فرابنفش در نظر گرفت. زمانی که نورکاتالیزگرها تحت تابش فرابنفش با طول موج مساوی یا بیش از عرض نوار شکاف آن‌ها قرار گیرند، قابلیت تولید جفت‌های الکترون-حفره را خواهند داشت. جفت‌های الکترون-حفره می‌توانند دوباره ترکیب شده و انرژی جذب شده را به شکل گرما آزاد کنند. این سازوکار در توسعه پوشش‌ها و لایه‌های محافظ در برابر تابش فرابنفش استفاده شده است [۵۳].

۳-۶ خواص فیزیکی

ویژگی‌های فیزیکی پارچه‌های پنبه‌ای خام و تکمیل شده از قبیل استحکام کششی، ازدیاد طول و زاویه بازگشت از چروک در جدول ۴ گزارش شده است. در مقایسه با پارچه پنبه‌ای خام، میزان استحکام کششی پارچه‌های پوشش‌یافته با گرافن اکسید و نانوکامپوزیت گرافن-روی استانات کاهش و ازدیاد طول آن‌ها افزایش یافته است. با توجه به شرایط قلیایی حمام عمل‌آوری، کاهش استحکام کششی نمونه‌ها می‌تواند به کاهش پیوندهای هیدروژنی میان زنجیرهای سلولوزی یا تغییر ساختار بلوری الیاف پنبه مربوط باشد [۵۴]. همچنین، زاویه بازگشت از چروک نمونه‌های مختلف آزمون شده و تغییر محسوسی در خاصیت کشسانی پارچه‌های تکمیل شده نسبت به پارچه خام مشاهده نشده است.

- "Endophytic *Streptomyces laurentii* mediated green synthesis of Ag-NPs with antibacterial and anticancer properties for developing functional textile fabric properties", *Antibiotics*, vol. 9, no. 10, pp. 641, 2020.
- [3] C.H. Xue, Y. Wu, X.J. Guo, B.Y. Liu, H.D. Wang, and S.T. Jia, "Superhydrophobic, flame-retardant and conductive cotton fabrics via layer-by-layer assembly

- of carbon nanotubes for flexible sensing electronics”, *Cellulose*, vol. 27, no. 6, pp. 3455-3468, 2020.
- [4] S. Ayazi-Yazdi, L. Karimi, M. Mirjalili, and M. Karimnejad, “Fabrication of photochromic, hydrophobic, antibacterial, and ultraviolet-blocking cotton fabric using silica nanoparticles functionalized with a photochromic dye”, *J. Text. Inst.*, vol. 108, no. 5, pp. 856-863, 2017.
- [5] A. Jafari-Kiyan, L. Karimi, and A. Davodiroknabadi, “Producing colored cotton fabrics with functional properties by combining silver nanoparticles with nano titanium dioxide”, *Cellulose*, vol. 24, no. 7, pp. 3083-3094, 2017.
- [6] S.J. Derakhshan, L. Karimi, S. Zohoori, A. Davodiroknabadi, and L. Lessani, “Antibacterial and self-cleaning properties of cotton fabric treated with TiO₂/Pt”, *Indian J. Fibre Text. Res.*, vol. 43, no. 3, pp. 344-351, 2018.
- [7] A. Nazari, “Superior self-cleaning and antimicrobial properties on cotton fabrics using nano titanium dioxide along with green walnut shell dye”, *Fiber. Polym.*, vol. 20, no. 12, pp. 2503-2509, 2019.
- [8] M. Bekrani, S. Zohoori, and A. Davodiroknabadi, “Producing multifunctional cotton fabrics using nano CeO doped with nano TiO and ZnO”, *Autex Res. J.*, vol. 20, no. 1, pp. 78-84, 2019.
- [9] A. Javed, J. Wiener, A. Tamulevičienė, T. Tamulevičius, A. Lazauskas, J. Saskova, and S. Račkauskas, “One step in-situ synthesis of zinc oxide nanoparticles for multifunctional cotton fabrics”, *Materials*, vol. 14, no. 14, pp. 3956, 2021.
- [10] F. Lessan, M. Montazer, and M.B. Moghadam, “A novel durable flame-retardant cotton fabric using sodium hypophosphite, nano TiO₂ and maleic acid”, *Thermochim. Acta*, vol. 520, no. 1-2, pp. 48-54, 2011.
- [11] A. Javed, M. Azeem, J. Wiener, M. Thukkaram, J. Saskova, and T. Mansoor, “Ultrasonically assisted in situ deposition of ZnO nano particles on cotton fabrics for multifunctional textiles”, *Fiber. Polym.*, vol. 22, no. 1, pp. 77-86, 2021.
- [12] L. Karimi, M. Mirjalili, M.E. Yazdanshenas, and A. Nazari, “Effect of nano TiO₂ on self-cleaning property of cross-linking cotton fabric with succinic acid under UV irradiation”, *Photochem. Photobiol.*, vol. 86, no. 5, pp. 1030-1037, 2010.
- [13] A. Moazami and M. Montazer, “A novel multifunctional cotton fabric using ZrO₂ NPs/urea/CTAB/MA/SHP: introducing flame retardant, photoactive and antibacterial properties”, *J. Text. Inst.*, vol. 107, no. 10, pp. 1253-1263, 2016.
- [14] M. Shateri-Khalilabad and M.E. Yazdanshenas, “Bifunctionalization of cotton textiles by ZnO nanostructures: antimicrobial activity and ultraviolet protection”, *Text. Res. J.*, vol. 83, no. 10, pp. 993-1004, 2013.
- [15] S. Paul, S. Basak, and W. Ali, “Zinc stannate nanostructure: is it a new class of material for multifunctional cotton textiles?”, *ACS Omega*, vol. 4, no. 26, pp. 21827-21838, 2019.
- [16] M.J. Allen, V.C. Tung, and R.B. Kaner, “Honeycomb carbon: a review of graphene”, *Chem. Rev.*, vol. 110, no. 1, pp. 132-145, 2010.
- [17] X. Li, J. Yu, S. Wageh, A.A. Al-Ghamdi, and J. Xie, “Graphene in photocatalysis: a review”, *Small*, vol. 12, no. 48, pp. 6640-6696, 2016.
- [18] W. Yu, L. Sisi, Y. Haiyan, and L. Jie, “Progress in the functional modification of graphene/graphene oxide: a review”, *RSC Adv.*, vol. 10, no. 26, pp. 15328-15345, 2020.
- [19] B. Fugetsu, E. Sano, H. Yu, K. Mori, and T. Tanaka, “Graphene oxide as dyestuffs for the creation of electrically conductive fabrics”, *Carbon*, vol. 48, no. 12, pp. 3340-3345, 2010.
- [20] J. Molina, J. Fernández, J.C. Inés, A.I. Del Río, J. Bonastre, and F. Cases, “Electrochemical characterization of reduced graphene oxide-coated polyester fabrics”, *Electrochim. Acta*, vol. 93, pp. 44-52, 2013.
- [21] J. Molina, J. Fernández, M. Fernandes, A.P. Souto, M.F. Esteves, J. Bonastre, and F. Cases, “Plasma treatment of polyester fabrics to increase the adhesion of reduced graphene oxide”, *Synth. Met.*, vol. 202, pp. 110-122, 2015.
- [22] J. Molina, J. Fernández, A.I. Del Río, J. Bonastre, and F. Cases, “Chemical and electrochemical study of fabrics coated with reduced graphene oxide”, *Appl. Surf. Sci.*, vol. 279, pp. 46-54, 2013.
- [23] M. Shateri-Khalilabad and M.E. Yazdanshenas, “Preparation of superhydrophobic electroconductive graphene-coated cotton cellulose”, *Cellulose*, vol. 20, no. 2, pp. 963-972, 2013.
- [24] M. Shateri-Khalilabad and M.E. Yazdanshenas, “Fabricating electroconductive cotton textiles using graphene”, *Carbohydr. Polym.*, vol. 96, no. 1, pp. 190-195, 2013.
- [25] K. Javed, C.M.A. Galib, F. Yang, C.M. Chen, and C. Wang, “A new approach to fabricate graphene electroconductive networks on natural fibers by ultraviolet curing method”, *Synth. Met.*, vol. 193, pp. 41-47, 2014.
- [26] L. Qu, M. Tian, X. Hu, Y. Wang, S. Zhu, X. Guo, G. Han, X. Zhang, K. Sun, and X. Tang, “Functionalization of cotton fabric at low graphene nanoplate content for ultrastrong ultraviolet blocking”, *Carbon*, vol. 80, pp. 565-574, 2014.
- [27] J. Zhao, B. Deng, M. Lv, J. Li, Y. Zhang, H. Jiang, C. Peng, J. Li, J. Shi, Q. Huang, and C. Fan, “Graphene

- oxide-based antibacterial cotton fabrics”, *Adv. Healthc. Mater.*, vol. 2, no. 9, pp. 1259-1266, 2013.
- [28] M.H. Rasoulifard, M.S. Dorraji, and S. Taherkhani, “Photocatalytic activity of zinc stannate: preparation and modeling”, *J. Taiwan Inst. Chem. Eng.*, vol. 58, pp. 324-332, 2016.
- [29] M. Fakhrazad, A.H. Navidpour, M. Tahari, and S. Abbasi, “Synthesis of Zn₂SnO₄ nanoparticles used for photocatalytic purposes”, *Mater. Res. Express*, vol. 6, no. 9, pp. 095037, 2019.
- [30] J. Dou and Q. Chen, “Zinc stannate nanostructures for energy conversion”, *Chinese J. Chem.*, vol. 39, no. 2, pp. 367-380, 2021.
- [31] E. Keles, M. Yildirim, T. Öztürk, and O.A. Yildirim, “Hydrothermally synthesized UV light active zinc stannate: tin oxide (ZTO:SnO₂) nanocomposite photocatalysts for photocatalytic applications”, *Mater. Sci. Semicond. Proc.*, vol. 110, pp. 104959, 2020.
- [32] S.S. Nalimova, A.I. Maksimov, L.B. Matyushkin, and V.A. Moshnikov, “Current state of studies on synthesis and application of zinc stannate”, *Glass Phys. Chem.*, vol. 45, no. 4, pp. 251-260, 2019.
- [33] S. Sun and S. Liang, “Morphological zinc stannate: synthesis, fundamental properties and applications”, *J. Mater. Chem. A*, vol. 5, no. 39, pp. 20534-20560, 2017.
- [34] B. Ayesha, U. Jabeen, A. Naeem, P. Kasi, M.N.K. Malghani, S.U. Khan, J. Akhtar, and M. Aamir, “Synthesis of zinc stannate nanoparticles by sol-gel method for photocatalysis of commercial dyes”, *Result. Chem.*, vol. 2, pp. 100023, 2020.
- [35] M.K. Lo, S.Y. Lee, and K.S. Chang, “Study of ZnSnO₃-nanowire piezophotocatalyst using two-step hydrothermal synthesis”, *J. Phys. Chem. C*, vol. 119, no. 9, pp. 5218-5224, 2015.
- [36] M. Miyauchi, Z. Liu, Z.G. Zhao, S. Anandan, and K. Hara, “Single crystalline zinc stannate nanoparticles for efficient photo-electrochemical devices”, *Chem. Comm.*, vol. 46, no. 9, pp. 1529-1531, 2010.
- [37] Z. Tian, C. Liang, J. Liu, H. Zhang, and L. Zhang, “Zinc stannate nanocubes and nanourchins with high photocatalytic activity for methyl orange and 2,5-DCP degradation”, *J. Mater. Chem.*, vol. 22, no. 33, pp. 17210-17214, 2012.
- [38] L. Karimi, M.E. Yazdanshenas, R. Khajavi, A. Rashidi, and M. Mirjalili, “Optimizing the photocatalytic properties and the synergistic effects of graphene and nano titanium dioxide immobilized on cotton fabric”, *Appl. Surf. Sci.*, vol. 332, pp. 665-673, 2015.
- [39] M.A. Shirgholami, L. Karimi, and M. Mirjalili, “Multifunctional modification of wool fabric using graphene/TiO₂ nanocomposite”, *Fiber. Polym.*, vol. 17, no. 2, pp. 220-228, 2016.
- [40] J. Wang, T. Tsuzuki, B. Tang, L. Sun, X. J. Dai, G.D. Rajmohana, J.L. Li, and X. Wang, “Recyclable textiles functionalized with reduced graphene oxide@ZnO for removal of oil spills and dye pollutants”, *Aust. J. Chem.*, vol. 67, no. 1, pp. 71-77, 2013.
- [41] A. Nazari, “Preparation of electroconductive, antibacterial, photoactive cotton fabric through green synthesis of ZnO/reduced graphene oxide nanocomposite”, *Fiber. Polym.*, vol. 20, no. 12, pp. 2618-2624, 2019.
- [42] V. Babaahmadi and M. Montazer, “Reduced graphene oxide/SnO₂ nanocomposite on PET surface: synthesis, characterization and application as an electroconductive and ultraviolet blocking textile”, *Colloids Surf. A: Physicochem. Eng. Asp.*, vol. 506, pp. 507-513, 2016.
- [43] V. Babaahmadi and M. Montazer, “Synthesis and daylight photocatalytic properties of graphene/self-doped tin oxide/silver ternary nanocomposite on fabric surface”, *J. Photochem. Photobiol. A: Chem.*, vol. 422, pp. 113561, 2022.
- [44] M. Mohamadiyan, S. Zohoori, and A. Davodiroknabadi, “Enhancing electro conductivity, antibacterial and UV blocking of cotton fabric by using graphene/zirconium dioxide nano composite”, *Indian J. Fibre Text. Res.*, vol. 45, no. 2, pp. 207-210, 2020.
- [45] W.S. Hummers Jr and R.E. Offeman, “Preparation of graphitic oxide”, *J. Am. Chem. Soc.*, vol. 80, no. 6, pp. 1339-1339, 1958.
- [46] K. Krishnamoorthy, M. Veerapandian, K. Yun, and S.J. Kim, “The chemical and structural analysis of graphene oxide with different degrees of oxidation”, *Carbon*, vol. 53, pp. 38-49, 2013.
- [47] K. Krishnamoorthy, U. Navaneethaiyer, R. Mohan, J. Lee, and S.J. Kim, “Graphene oxide nanostructures modified multifunctional cotton fabrics”, *Appl. Nanosci.*, vol. 2, no. 2, pp. 119-126, 2012.
- [48] X. Chu, R. Hu, J. Wang, Y. Dong, W. Zhang, L. Bai, and W. Sun, “Preparation and gas sensing properties of graphene-Zn₂SnO₄ composite materials”, *Sens. Actuators B: Chem.*, vol. 251, pp. 120-126, 2017.
- [49] S.T. Yang, S. Chen, Y. Chang, A. Cao, Y. Liu, and H. Wang, “Removal of methylene blue from aqueous solution by graphene oxide”, *J. Colloid Interface Sci.*, vol. 359, no. 1, pp. 24-29, 2011.
- [50] A.H. Navidpour and M. Fakhrazad, “Photocatalytic activity of Zn₂SnO₄ coating deposited by air plasma spraying”, *Appl. Surf. Sci. Adv.*, vol. 6, pp. 100153, 2021.
- [51] V. Etacheri, G. Michlits, M.K. Seery, S.J. Hinder, and S.C. Pillai, “A highly efficient TiO₂-C_x nano-heterojunction photocatalyst for visible light induced antibacterial applications”, *ACS Appl. Mater. Interfaces*, vol. 5, no. 5, pp. 1663-1672, 2013.

- [52] L. Karimi, M.E. Yazdanshenas, R. Khajavi, A. Rashidi, and M. Mirjalili, "Using graphene/TiO₂ nanocomposite as a new route for preparation of electroconductive, self-cleaning, antibacterial and antifungal cotton fabric without toxicity", *Cellulose*, vol. 21, no. 5, pp. 3813-3827, 2014.
- [53] E. Pakdel, M. Naebe, S. Kashi, Z. Cai, W. Xie, A.C.Y. Yuen, M. Montazer, L. Sun, and X. Wang, "Functional cotton fabric using hollow glass microspheres: focus on thermal insulation, flame retardancy, UV-protection and acoustic performance", *Prog. Org. Coat.*, vol. 141, pp. 105553, 2020.
- [54] A. Sedighi, M. Montazer, and N. Samadi, "Synthesis of nano Cu₂O on cotton: morphological, physical, biological and optical sensing characterizations", *Carbohydr. Polym.*, vol. 110, pp. 489-498, 2014.