

Polymerization  
Quarterly, 2015  
Volume 5, Number 1  
Pages 33-42  
ISSN: 2252-0449

# An Overview on Applications of ZnO Nanostructures in Polymer Industries

Ali Olad\*, Rahimeh Nosrati

Polymer Composite Research Laboratory, Department of Applied Chemistry, Faculty of Chemistry, University of Tabriz, Tabriz, Iran

Received: 17 February 2014, Accepted: 22 June 2014

## Abstract

Nowadays polymeric materials are an important part of human life around the world. Polymer materials are used to manufacture different substances from commonly used instruments to complex and precise scientific tools. Additives are commonly used in polymer industry to improve the properties of polymer materials and reduce their costs. Nano-scaled additives, due to their small dimensions and enormous surface area, produce improved properties compared to larger structures. Zinc oxide (ZnO) is an n-type inorganic semiconductor with a band gap energy of 3.37 eV which due to good stability, environmental friendly feature, high ultraviolet absorption and low cost are commonly used in polymer industry as inorganic additive. Therefore, ZnO nanostructures can produce various hybrid, blends or combination of composite materials in polymer matrixes and improve their properties. In this study, applications and the role of various nanostructures of zinc oxide in polymer productions are reviewed.

## Key Words

zinc oxide,  
nanostructure,  
polymer,  
polymer nanocomposite,  
technology

(\*) To whom correspondence should be addressed.  
E-mail: a.olad@tabrizu.ac.ir

## مروری بر کاربردهای نانوساختارهای روی اکسید در صنایع پلیمری

علی اولاد\*، رحیمه نصرتی

تبریز، دانشگاه تبریز، دانشکده شیمی، گروه شیمی کاربردی، آزمایشگاه کامپوزیت‌های پلیمری

دریافت: ۱۳۹۲/۱۱/۲۸، پذیرش: ۱۳۹۳/۴/۱

امروزه، استفاده از مواد پلیمری جزئی از زندگی بشر شده است، به طوری که تصور جهان پیشرفته کنونی بدون وجود پلیمرها مشکل است. از این مواد در ساخت اشیای مختلف، از وسایل عمومی مصرفی تا ابزارهای دقیق و پیچیده پزشکی و علمی استفاده می‌شود. به منظور بهبود خواص مواد پلیمری و کاهش قیمت آنها از مواد افزودنی مختلف در صنایع پلیمری به وفور استفاده می‌شود. استفاده از مواد پرکننده در مقیاس نانومتری، به دلیل اندازه کوچک ذرات افزودنی و سطح بزرگ آنها نسبت به افزودنی‌های مشابه در مقیاس اندازه ذرات بزرگتر دارای مزایایی است. روی اکسید به علت پایداری زیاد، سازگاری با محیط زیست و قیمت کم به عنوان یک پرکننده معدنی پرمصرف در ساخت قطعات پلیمری مختلف استفاده شده است. بنابراین، امروزه از نانوساختارهای روی اکسید در تهیه انواع کامپوزیت‌ها، هیبریدها و آمیخته‌های پلیمری به منظور بهبود خواص آنها استفاده می‌شود. در مقاله حاضر، نقش و کاربرد انواع نانوساختارهای روی اکسید در تهیه محصولات پلیمری بررسی می‌شود.

### چکیده



علی اولاد



رحیمه نصرتی

### واژگان کلیدی

روی اکسید،  
نانوساختار،  
پلیمر،  
نانو کامپوزیت پلیمری،  
فناوری

## مقدمه

شیمیایی خود را حفظ می‌کند و مخلوطی با خواص بهتر به وجود می‌آید. بیش از سی سال است که مواد کامپوزیتی در صنایع مختلفی چون صنایع فضایی، راکتورسازی، الکترونیکی و ساختمان‌سازی و غیره به عنوان مواد برتر، جایگزین مواد معمولی شده و نیاز آنها را در تغییر گسترده خواص مواد برآورده کرده‌اند. کامپوزیت‌های ساخته شده را براساس نوع فاز زمینه می‌توان به سه گروه اصلی تقسیم کرد:

- کامپوزیت‌های زمینه فلزی،
- کامپوزیت‌های زمینه پلیمری و
- کامپوزیت‌های زمینه سرامیکی [۲].

## کامپوزیت‌های پلیمری

کامپوزیت‌های پلیمری دارای ماتریسی از پلیمراند که فاز تقویت کننده در آن توزیع شده است [۱۱]. این کامپوزیت‌ها رایج‌ترین دسته از کامپوزیت‌ها هستند که بیش از ۹۵٪ مصرف جهانی را به خود اختصاص داده‌اند [۲]. خواص کامپوزیت‌ها به عوامل مختلفی از قبیل نوع مواد سازنده و ترکیب درصد آنها، شکل و آرایش تقویت کننده و چگونگی اتصال دو جزء به یکدیگر بستگی دارد. از لحاظ نظری تمام پلیمرهای تجاری اعم از گرماسخت‌ها و گرمانرم‌ها قابلیت استفاده به عنوان ماتریس‌های پلیمری را در کامپوزیت‌ها دارند. البته عملاً پلیمرهای مشخصی به لحاظ فنی و اقتصادی دارای اهمیت هستند [۱۰].

## نانو کامپوزیت‌های پلیمری

مواد نانوکامپوزیتی به آن دسته از مواد چندفازی اطلاق می‌شود که یکی از فازهای آن در یک، دو یا سه بعد دارای اندازه نانومتری (کمتر از ۱۰۰ nm) بوده یا فاصله بین فازهای تشکیل دهنده آن در مقیاس نانو باشد [۱۲]. محصولات تهیه شده از نانوکامپوزیت‌های پلیمری، قابلیت استفاده در صنایع شیمیایی، خودروسازی، ساختمان‌سازی، صنایع نظامی، پزشکی، لوازم خانگی، ورزشی و کشاورزی را دارند. استفاده از آنها در این صنایع، باعث کاهش مصرف سوخت و انرژی، افزایش مقاومت و ایمنی در برابر زلزله و آتش‌سوزی، افزایش عمر سازه‌ها، کاهش خسارات ناشی از زمان نگهداری مواد غذایی و محصولات کشاورزی و کاهش خسارات ناشی از خوردگی شده است که به طور خلاصه، استفاده بهینه از منابع موجود را می‌تواند به همراه داشته باشد [۱۳].

نانومواد به دلیل فعالیت سطحی زیاد، تمایل زیادی برای تجمع و در نتیجه تبدیل به ذرات میکرومتری دارند که باعث خارج

فناوری نانو به کارگیری مقیاس نانو در تمام فناوری‌های پیشرفته است. اولین جرعه آن توسط ریچارد فاینمن در سال ۱۹۵۹ میلادی زده شد. مقیاس نانو به ابعادی از جسم در حدود ۱ تا ۱۰۰ nm اطلاق می‌شود که یک نانومتر برابر قطر ۱۰ اتم هیدروژن است. بنابراین می‌توان گفت، فناوری نانو عبارت از دست‌کاری کوچکترین اجزای ماده در سطوح اتمی است. امروزه ساختارهای در ابعاد نانو به بخش‌های مختلفی تقسیم می‌شوند که نانوکامپوزیت‌ها یکی از این بخش‌هاست [۱]. کامپوزیت‌ها موادی چندجزئی هستند که اجزای مختلف آن ضمن بهبود کارایی یکدیگر، خواص کلی کامپوزیت را تحت تاثیر قرار می‌دهند [۲]. کاهگل اولین ماده کامپوزیتی است که توسط رومیان و ایرانیان باستان برای تقویت سازه‌ها به کار می‌رفت. ولی استفاده از یک فاز ناپیوسته تقویت کننده در فاز پیوسته با هدف بهبود خواص و استحکام آن از اواسط قرن بیستم توسعه یافت. کامپوزیت‌های پلیمری شامل فاز پیوسته پلیمری هستند که مواد تقویت کننده در آن پراکنده شده‌اند [۱]. افزودن پرکننده‌های معدنی، از جمله روی اکسید، به عنوان جزء تقویت کننده به پلیمرها با هدف بهبود ویژگی‌های آنها در صنایع مختلف انجام می‌شود. روی اکسید نیمه‌رسانا با شکاف نواری ۳/۳۷ eV، به دلیل پایداری، حساسیت زیاد نسبت به نور، جذب نور فرابنفش، سازگاری با محیط زیست و قیمت کم در ساخت دستگاه‌های بسیاری مانند نمایشگرهای نشری، حسگرهای گازی، نشرکننده‌های نور فرابنفش، پیژوالکتریک‌ها، سلول‌های خورشیدی و نورکاتالیزورها کاربرد دارد [۳-۹].

## کامپوزیت‌ها

علوم مهندسی در صنایع مختلف، از جمله صنعت هوافضا، کاربردهای زیرآبی، حمل و نقل و امثال آنها، نیازمند تلفیق خواص مواداند و در اکثر موارد امکان استفاده از یک نوع ماده که تمام خواص مورد نظر را فراهم کند، وجود ندارد. استفاده از کامپوزیت‌ها راه حل این مشکل است [۱۰]. کامپوزیت‌ها مواد چندجزئی هستند که اجزای مختلف آنها کارایی و خواص یکدیگر را بهبود می‌بخشند. این بهبود به نحوی است که خواص کامپوزیت تهیه شده در مجموع از خواص هر یک از اجزا به تنهایی بهتر است. به عبارت دیگر، کامپوزیت مخلوط فیزیکی دو یا چند ماده مختلف در مقیاس ماکروسکوپی است که در آن هر ماده خواص فیزیکی و

شدن آنها از توزیع نانومتری در کامپوزیت‌های پلیمری می‌شود. این موضوع یافتن و استفاده از راه‌حلی برای جلوگیری از تجمع نانوذرات در ماتریس‌های پلیمری را اجتناب ناپذیر می‌سازد [۱۴]. برخی روش‌ها که برای جلوگیری از متراکم شدن نانوذرات به کار گرفته شده‌اند، عبارت از رسوب‌دهی در محل نانوذرات، پلیمر شدن در محل با وجود نانوذرات، استفاده از فنون مختلف برای کمک به پراکنش نانوذرات در ماتریس پلیمری است [۱۵].

## روی اکسید

میان خانواده بزرگ اکسیدهای فلزی، روی اکسید به عنوان اکسید فلز واسطه از پر استفاده‌ترین اکسیدهای معدنی در صنعت مواد شیمیایی و مواد پیشرفته است [۱۶]. روی اکسید نیمه‌رسانای نوع n با شکاف نواری پهن (۳/۳۷ eV) و انرژی برانگیختگی زیاد (۶۰ meV) دارای ساختار ورتزیت است. این ماده دارای کاربرد وسیعی در زمینه‌های متعدد مانند صنایع دارویی، رنگدانه‌ها، افزودنی‌های سرامیک و لاستیک، مواد الکترونیکی و افزودنی غذاهاست. روی اکسید ویژگی‌های شیمیایی و فیزیکی جالب توجهی از جمله پایداری شیمیایی، سازگاری با محیط زیست، پایداری زیاد در برابر نور، ثابت دی‌الکتریک کم، نورتایی زیاد و جذب شدید نور فرابنفش دارد.

افزون بر این، ZnO به دلیل داشتن ویژگی‌های عالی نوری، کاتالیزوری، مغناطیسی، پیزوالکتریکی، پایداری دمایی و رسانایی الکتریکی قابل اصلاح، نقش برجسته‌ای در زمینه‌های متعدد علوم و مهندسی ایفا می‌کند. این ماده به علت ماهیت غیرسمی و قابلیت آن در مانع شدن از تابش نور فرابنفش، کاربردهای گسترده‌ای در لوسیون‌های ضدآفتاب، منسوجات و سامانه‌های پوششی دارد. خاصیت ضد میکروبی این اکسید در کنترل بیماری‌های منتقل شونده با هوا به اثبات رسیده است. ZnO به علت ویژگی‌های دارویی به عنوان ضد محرک و قابض استفاده می‌شود. همچنین از این ماده در ساخت دیودهای نشر نوری، آشکارسازهای نوری، سلول‌های خورشیدی، دستگاه‌های پیزوالکتریک، حسگرها، نانولیزرها و کاتالیزور و نورکاتالیزورها استفاده می‌شود. روی اکسید ماده فنی مهمی است که در دمای معمولی نورتایی کارآمدی دارد و عملکرد لیزری فرابنفش برانگیخته‌ای نشان می‌دهد. این خواص، کامپوزیت پلیمر-ZnO را برای کاربردهای فوتونی در ناحیه نور فرابنفش جذاب کرده است. ZnO کاربردهای زیادی در ساخت زیست‌حسگرها دارد و ماتریس مناسبی برای توسعه آنهاست. برای تهیه روی اکسید از روش‌های مختلفی مانند سل-ژل، هیدروترمال و

هم‌رسوبی استفاده می‌شود [۲۶-۱۶].

در سال‌های اخیر، پژوهش‌های زیادی روی نیمه‌رساناها در اندازه نانو انجام گرفته است. دانشمندان توانسته‌اند، مواد هیبریدی آلی-معدنی تولید کنند که ترکیب و اندازه ذرات آنها می‌تواند مهندسی شود [۶]. ترکیب نانو ساختارهای ZnO با پلیمر به دلیل اندازه کوچک، سطح مخصوص زیاد، اثر کوانتومی و برهم‌کنش بین سطحی قوی میان پلیمر آلی و نانوذرات معدنی، می‌تواند در صنعت پوشش، لاستیک، پلاستیک، درزگیر، پارچه و غیره به کار رود [۲۱].

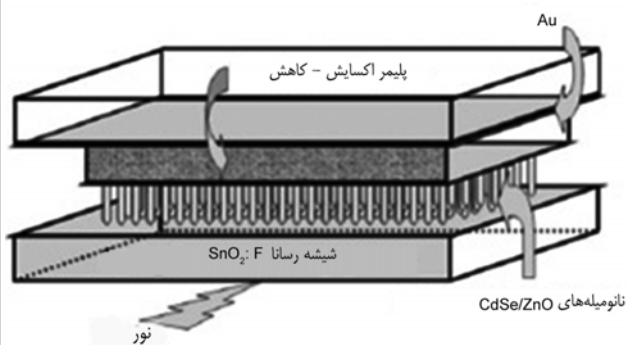
## کاربرد نانو ساختارهای روی اکسید در ترکیبات پلیمری

### پوشش‌ها

پوشش‌ها فیلم‌های نازکی هستند که معمولاً با استفاده از روش‌های بر پایه استفاده از حلال‌های ارزان قیمت مثل روش ریزشی، پاششی، ریسندگی، پرتاب الکتروستاتیکی و ... روی سطوح مختلف اعمال می‌شوند [۲۷].

خوردگی فرایندی طبیعی است که هنگام استفاده از فلزات برای انسان آزاردهنده است. بنابراین، تلاش‌ها در زمینه ایجاد روش‌های کارآمد و مورد قبول محیط زیست برای جلوگیری از خوردگی در حال پیشرفت است. معمولاً از سه روش حفاظت کاتدی، روئین کردن (حفاظت آندی)، پوشش‌های محافظ (که به شکل مانع در برابر نفوذ عوامل خوردنده عمل می‌کنند) برای کاهش سرعت خوردگی استفاده می‌شود [۲۸].

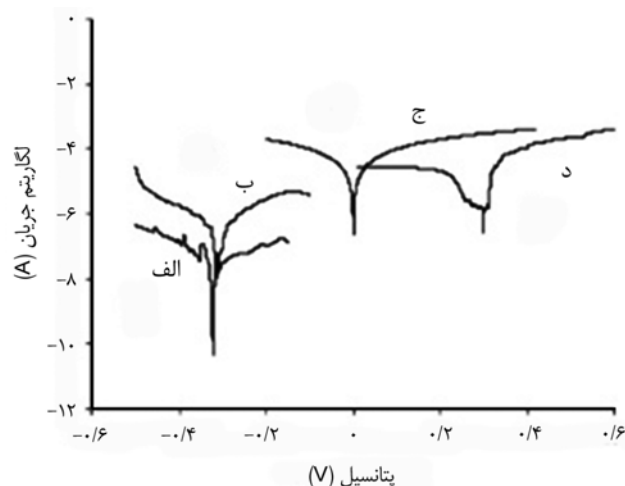
در حالت استفاده از پرکننده‌های مناسب در پوشش‌ها، خواص حفاظت از خوردگی آنها در کنار خواص مکانیکی، گرمایی و رسانایی الکتریکی بهبود می‌یابد [۲۹]. علاوه بر این اثبات شده است، ذرات نانومقیاس به عنوان پرکننده در غلظت کم، خواص حفاظتی بهتری نسبت به افزودنی‌های معمول در اندازه میکرو نشان می‌دهند [۳۰]. اخیراً پلی‌آنیلین (PANI) به دلیل تولید پوشش‌های هوشمند به عنوان ماده اثرگذار در حفاظت از خوردگی مورد توجه قرار گرفته است. رادهاکریشن و همکار [۳۰] پوشش‌های هیبرید کامپوزیتی پلی‌آنیلین و نانوذرات ZnO با ماتریس پلی‌وینیل استات (PVAc) تهیه کردند که بهبود قابل توجهی در حفاظت از خوردگی فولاد در آب نمک نشان داد. در سازوکار حفاظت از خوردگی با پوشش‌های پلی‌آنیلین، به اثبات رسیده است که این ماده هم به عنوان پوشش محافظ به حالت سدی در برابر عبور و نفوذ عوامل خوردنده عمل می‌کند و هم دارای سازوکار حفاظت الکتروشیمیایی است. افزودن نانوذرات روی اکسید با بهبود خاصیت سدگری پوشش پلی‌آنیلین و ایجاد اتصال p-n موجب بهبود خاصیت ضد خوردگی



شکل ۲- سلول نورولتایی SnO<sub>2</sub>:F/نانومیله‌های CdSe/ZnO/پلیمر اکسایش-کاهش/Au که در آن پلیمر اکسایش-کاهش، نفیون Ru(bpy)<sub>3</sub><sup>2+/3+</sup> یا [PEG, Fe(bpy)<sub>3</sub>]<sup>2+/3+</sup> است [۲۲].

گوناهگونی نظیر تحرک بار کم، طول پخش برانگیختگی کوتاه و مشکل ضخامت لایه فعال محدود می‌شوند، ولی این مشکلات با استفاده از اکسیدهای نانوساختار مثل نانومیله‌های ZnO یا نانوسیم‌های Si قابل حل هستند. زیرا این مواد، تحرک الکترونی عالی و طول پخش شدگی بزرگی دارند [۳۳].

توسعه سلول‌های خورشیدی پلیمری بر پایه ساختار اتصال ناهمگن توده، توجه زیادی را به خود جلب کرده‌اند. این سامانه‌ها شامل یک شبکه پذیرنده الکترون و ماتریس پلیمری به عنوان دهنده هستند. از پذیرنده‌های الکترون معمول که در این نوع سامانه‌های نورولتایی استفاده می‌شوند، می‌توان به C<sub>60</sub> و نانوبلورهای معدنی مثل TiO<sub>2</sub>, CdSe و ZnO اشاره کرد [۳۴]. ZnO به دلیل پایداری، ارزانی، راحتی استفاده، تحرک زیاد حامل‌های بار، شکاف نواری مناسب و ویژگی‌های نورولتایی عالی بیشتر مورد توجه است [۳۲]. پلیمرهای رسانا نیز به عنوان مواد انتقال دهنده بار در سلول‌های نورولتایی عمل می‌کنند. فنگ و همکاران [۳۲] نوع جدیدی از سلول‌های نورولتایی هیبریدی آلی-معدنی پایدار را بر پایه پلیمرهای اکسایش-کاهش و نیمه‌رساناهای معدنی نانوساختار معرفی کردند. پلیمرهای اکسایش-کاهش بر پایه نفیون و کمپلکس‌های فلزی برای اولین بار در سلول‌های نورولتایی استفاده شدند. نفیون پلیمر خطی پرفلوئوروسولفونات، رسانای پروتون و زیست‌سازگار است که قابلیت زیادی در تشکیل فیلم‌های نازک نشان می‌دهد [۳۵]. این پلیمرهای اکسایش-کاهش با ویژگی انتقال بار خوب، به عنوان ماده انتقال دهنده حفره و الکترولیت جامد در سلول‌های نورولتایی عمل می‌کنند. فیلم‌ها و نانومیله‌های ZnO-نانوذرات CdSe به عنوان مواد دریافت کننده نور در سامانه‌های نورولتایی استفاده شده‌اند. [۳۲]. شکل ۲ نمایی از ساختار و عملکرد سلول نورولتایی را که در آنها از نانوساختارهای ZnO استفاده شده است، نشان می‌دهد.



شکل ۱- منحنی تافل: (الف) پلی‌وینیل استات، (ب) پلی‌وینیل استات-روی اکسید، (ج) پلی‌وینیل استات-روی اکسید-پلی‌آنیلین (۲٪)، (د) پلی‌وینیل استات-روی اکسید-پلی‌آنیلین (۵٪) در محلول سدیم کلرید ۳/۵٪ [۱۹].

آن می‌شود.

شکل ۱ منحنی‌های تافل مربوط به پوشش‌های هیبریدی و کامپوزیتی بر پایه PVAc و پلی‌آنیلین را نشان می‌دهد. بر طبق منحنی‌های تافل، نانوکامپوزیت (۵٪) (PVAc/ZnO/PANI) بیشترین پتانسیل خوردگی را نشان می‌دهد و از نظر ترمودینامیکی مناسب‌ترین پوشش ضد خوردگی است. اگرچه لازم است که چسبندگی و اثر سدگری این پوشش افزایش یابد تا کارایی آن برای حفاظت از خوردگی بیشتر شود [۳۱].

افزودن رنگدانه به پوشش‌ها یک عمل صنعتی معمول است. رنگدانه‌ها افزون بر جنبه زیبایی به بهبود سایر ویژگی‌های پوشش‌ها از جمله مقاومت در برابر نور فرابنفش، مقاومت در برابر خوردگی و بهبود ویژگی‌های مکانیکی مثل بهبود مقاومت در برابر ساییدگی و خراش کمک می‌کنند. از نانوذرات معمول استفاده شده در پوشش‌ها می‌توان به ZnO, TiO<sub>2</sub>, SiO<sub>2</sub>, Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> و CaCO<sub>3</sub> اشاره کرد [۲۶].

### سلول‌های نورولتایی موجود در سلول‌های خورشیدی

سلول‌های نورولتایی به عنوان جایگزین و منبع انرژی تمیز توجه بسیاری به خود جلب کرده و در دهه‌های گذشته به طور گسترده مطالعه و بررسی شده‌اند. تا به حال، طرح‌ها و سامانه‌های جدید متعددی برای دستگاه‌های نورولتایی پیشنهاد شده‌اند [۳۲]. سلول‌های خورشیدی تشکیل شده از فیلم‌های نازک آلی گزینه‌های مناسبی برای تبدیل انرژی نور خورشیداند، زیرا ارزان، سبک و انعطاف‌پذیر هستند. اگرچه عملکرد این ساختارهای آلی با عوامل

نشر نوری حالت جامد قدیمی‌تر، نقاط کوانتومی نیمه‌رسانای فسفر به قالب لامپ‌های دیودی اضافه می‌شد. ولی در این کار، نانوکامپوزیت‌های تهیه شده به عنوان مواد پرکننده استفاده شدند و دیگر نیازی به استفاده از فسفرهای معمول نیست.

#### وسایل الکتریکی با ثابت دی‌الکتریک زیاد

کامپوزیت‌های پلیمری با ثابت دی‌الکتریک زیاد برای استفاده در وسایل الکتریکی نیازمند ثابت دی‌الکتریک زیاد، مثل مبدل‌ها، پیزوحسگرها، هیدروفن‌ها و آنتن‌های الکترومغناطیسی قابل استفاده هستند [۳۹].

پاتل و همکاران [۴۰] اثر پرکننده‌های نانومقیاس آلومینا ( $Al_2O_3$ )،  $TiO_2$  و ZnO را روی جریان‌های قطبی و غیرقطبی در کامپوزیت‌های بر پایه اپوکسی مطالعه کردند. پرکننده‌های نانومقیاس روی ویژگی‌های دی‌الکتریک محصولات، به دلیل سطح برهم‌کنش مشترک بزرگ بین ماده پرکننده و ماتریس پلیمری اثر قابل ملاحظه می‌گذارند. به منظور تعیین سازوکار دوقطبی شدن، جریان‌های جذب و واجذب با پارامترهای گوناگونی مثل زمان برق‌رسانی، دما و مواد استفاده شده در الکتروود مطالعه شده‌اند. بررسی‌ها نشان دادند، افزودن پرکننده‌های نانومقیاس رفتار رسانایی کامپوزیت را به طور قابل توجهی تغییر می‌دهد. کامپوزیت‌های پر شده با  $Al_2O_3$ ، ZnO و  $TiO_2$  به ترتیب کمترین جریان‌های جذبی را نشان دادند. بنابراین، میان پرکننده‌های بررسی شده، ZnO بهتر از بقیه عمل می‌کند.

نانوکامپوزیت الیافی پلی‌وینیلیدن فلوراید (PVDF)-ZnO به منظور ساخت ماده‌ای با ثابت دی‌الکتریک زیاد قابل استفاده است. بررسی‌ها نشان می‌دهد، ثابت دی‌الکتریک نانوکامپوزیت تهیه شده در بسامدهای کم نسبت به مواد پایه (ZnO توده‌ای شکل و PVDF) بیش از ۱۰ برابر است [۳۹].

#### جاذب نور فرابنفش

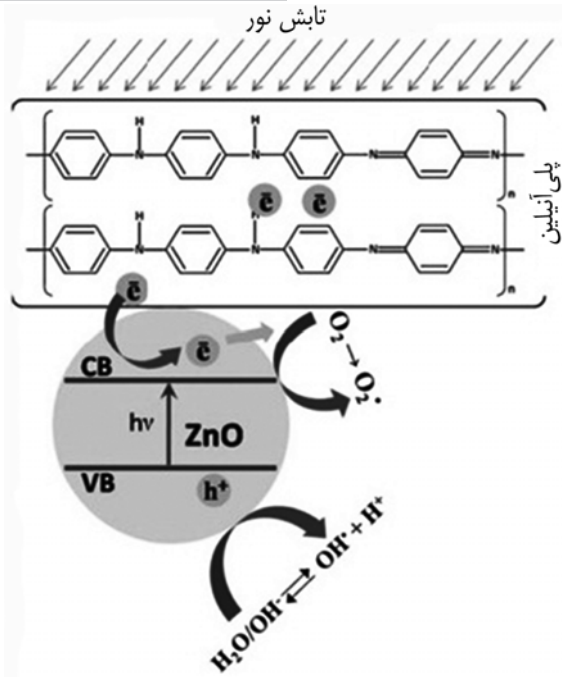
طی سال‌های متممادی نانوذرات روی اکسید به عنوان عامل جاذب یا پراکندن تابش فرابنفش در صنایع پوششی، آرایشی و بهداشتی استفاده شده‌اند [۲۰]. ایواساکی و همکاران [۴۱] برای تهیه عامل رقیق کننده نور فرابنفش کارآمد برای استفاده در انواع رنگ‌ها و پودرهای آرایشی، پودر روی اکسید در اندازه نانومتری را در سطح صفحه بلور پلی‌سالیسیلیک اسید تثبیت کردند. اثر رقیق‌کنندگی نور فرابنفش در ناحیه UVA (۳۲۰-۴۰۰ nm) به اثبات رسید، با عمل‌آوری ماده پس از تثبیت با گرما، شفافیت زیادی برای نور

نیمه‌رساناهای آلی می‌توانند برای ساخت انواع حسگرهای اندازه‌گیر متغیرهای فیزیکی، شیمیایی و زیستی استفاده شوند. برخی نیمه‌رساناهای آلی نسبت به رطوبت، دما و انواع مختلف گازها مثل آمونیاک بسیار حساس‌اند [۳۶]. بنابراین، حسگرهای بر پایه نیمه‌رساناهای آلی مانند پلیمرهای رسانا زمینه بسیار خوبی برای مطالعه و بررسی تحت شرایط مختلف هستند. استفاده از نانوساختارهای روی اکسید با ایجاد کامپوزیت پلیمر رسانا- روی اکسید در ساخت حسگرهایی مانند حسگرهای رطوبتی، زیست‌حسگرها و حسگرهای آمونیاک می‌تواند عملکرد آنها را بهبود بخشد. عموماً حسگرهای رسانای تهیه شده از پلی‌آنیلین بر اساس واکنش برگشت‌پذیر اسید- باز استوارند. بر اساس این سازوکار پاسخ رسانایی پلی‌آنیلین، وقتی در معرض اسید قرار می‌گیرد، افزایش یافته و با قرارگیری در محیط بازی کاهش می‌یابد. خان و همکار [۳۷] نانوکامپوزیت پلی‌آنیلین-ZnO را با رسانایی الکتریکی بیشتر نسبت به پلی‌آنیلین خالص تهیه کردند. آنها دریافتند، این نانوکامپوزیت، وقتی در معرض غلظت‌های مختلفی از  $NH_3$  در دمای معمولی قرار می‌گیرد، حساسیت و تکرارپذیری مناسبی نسبت به محلول آمونیاک آبی نشان می‌دهد.

#### دیود

مدت‌هاست، حباب‌های تابان و لامپ‌های هالوژن برای روشنایی خانه‌ها، ادارات و چراغ‌های راهنمایی استفاده می‌شوند. اما این نوع لامپ‌ها، کاستی‌هایی نظیر مصرف نسبتاً زیاد انرژی، اعتمادپذیری کم و طول عمر کوتاه دارند. بنابراین، دیودهای نشر نوری حالت جامد (LEDs) به علت برتری‌هایی نظیر بازده توانی، اعتمادپذیری و طول عمر زیاد که نسبت به لامپ‌های یادشده دارند، مورد توجه قرار گرفته‌اند [۲۲]. زنگ و همکاران [۳۸] دیودهای نشر نوری پلیمری حاوی نانوموله‌های ZnO را تهیه کردند که ولتاژ آستانه کمتر، شارش بار بیشتر و اثر الکترون‌تابی بهتری نشان می‌دهند. در فناوری ساخت دیودها، رزین‌های اپوکسی شفاف به علت شفافیت خوب، دمای انتقال شیشه‌ای زیاد، جذب آب کم و فرایندپذیری استاندارد، کاربرد زیادی دارند. روی اکسید نیز دارای طیف نشری پهن نورتایی در منطقه آبی- زرد بوده که این ماده را برای کاربرد در دیودها مناسب ساخته است [۲۲]. ینگ و همکاران [۲۲]، نانوکامپوزیت‌های اپوکسی-ZnO را سنتز کردند. این نانوکامپوزیت‌ها می‌توانند نورتایی شدیدی داشته و شفافیت زیادی را در محدوده نور مرئی نشان دهند. از سوی دیگر، در دیودهای





مرئی به دست آمد.

لی و همکاران [۴۲] با پخش نانوذرات ZnO در محلول آبی حاوی مخلوطی از پلیمرهای زیست تخریب پذیر پلی وینیل الکل و پلی اتیلن اکسید نانوکامپوزیتی متشکل از مواد مزبور تهیه کرده و به روش قالب گیری به شکل فیلم درآوردند. سپس، آنها خواص مکانیکی و گرمایی این نانوکامپوزیت را بررسی کردند. این کامپوزیت عبور کمی در ناحیه طول موج ۳۰۰-۲۶۰ nm و عبور بسیار زیادی در طول موج های بیش از ۳۰۰ nm نشان داد. بنابراین، کامپوزیت تهیه شده توانست به عنوان فیلم شفاف جاذب نور فرابنفش عمل کند که به راحتی و بدون به کار گرفتن ترکیبات آلی فرار تهیه می شود و ترکیبات پلیمری موجود در آن برای محیط زیست مضر نیستند.

### نور کاتالیزور

در طول دهه های گذشته نورکاتالیز ترکیبات آلاینده مانند انواع پاک کننده ها، رنگ ها، حشره کش ها و ترکیبات آلی فرار با استفاده از نیمه رساناهایی مثل  $TiO_2$  و ZnO زیر تابش نور فرابنفش توجه زیادی را جلب کرده است. از آنجا که نانوذرات ZnO فقط کسری از نور فرابنفش را جذب می کنند و نور فرابنفش فقط قسمت کوچکی از نور خورشید را تشکیل می دهد، استفاده از ZnO محدود شده است. از سوی دیگر، استفاده از لامپ های UV گران و پرخاطر است. برای تغییر ناحیه فعالیت نوری ZnO به طرف نور مرئی، اصلاح سطح و حساس کردن آن با استفاده از پلیمرها، به ویژه پلیمرهای رسانا روش مفیدی است [۴۳، ۴۴].

نصرتی و همکاران [۴۵] لایه ای بسیار نازک از پلیمر رسانای پلی آنیلین را روی سطح ZnO نشانده و تخریب نورکاتالیزوری آنتی بیوتیک آمپی سیلین را در شرایط عملکردی مختلف زیر تابش نور خورشید سنجیدند. اولاد و همکار [۴۶] با تهیه نانوکامپوزیت پلی آنیلین-ZnO توانستند ۸۲٪ رنگ آبی متیلن را در مجاورت نانوکامپوزیت تهیه شده زیر تابش نور مرئی تخریب کنند. زو و همکاران [۴۷] ضمن بررسی تخریب رنگ آبی متیلن در مجاورت هیبرید پلی آنیلین-ZnO، زیر تابش نور مرئی و فرابنفش، مقدار مقاومت هیبرید را در برابر نورهای تاییده سنجیدند. شکل ۳ نمایی از سازوکار عملکرد نورکاتالیزوری نانوکامپوزیت PANI/ZnO را زیر نور مرئی نشان می دهد.

کویی و همکاران [۴۹] با استفاده از نورکاتالیزور ZnO-پلی (فلورن-کو-تیوفن) سه آلاینده فنول، رد امین B و متیل نارنجی را زیر تابش نور مرئی حذف کردند. این پژوهشگران در مقاله ای

شکل ۳- نمایی از فعالیت نورکاتالیزوری نانوکامپوزیت پلی آنیلین- روی اکسید زیر تابش نور مرئی [۴۰].

دیگر، عوامل موثر و سینتیک تخریب نورکاتالیزوری فنول را بررسی کردند [۵۰].

### تنظیم کننده pH

کامپوزیت های تهیه شده از پلی آنیلین و ZnO قابلیت تنظیم pH را دارند، به طوری که وقتی مقدار مشخصی از کامپوزیت مورد نظر در محلول های با انواع pH های اسیدی تا بازی ریخته می شود، pH محلول مورد نظر روی ۷ تنظیم خواهد شد. انحلال نانوذرات ZnO در تعلیق های با pH اولیه ۸-۳ و دوپه شدن پلی آنیلین در تعلیق های با pH اولیه ۹-۸ دلیل تنظیم pH آنها در ۷ است [۵۱].

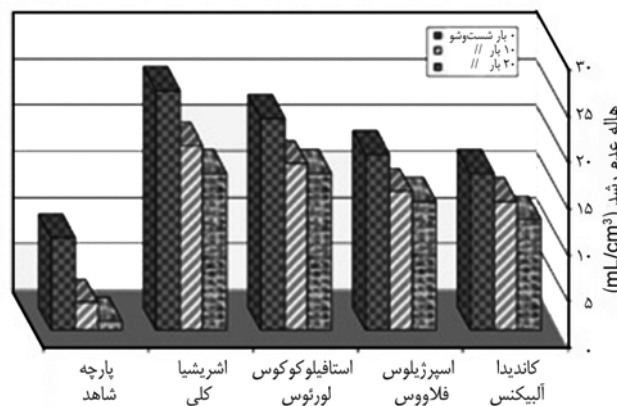
### صنعت پارچه بافی

پلیمر پیش شکل یافته مونوکلروترازینیل  $\beta$ -سیکلودکسترین پیوند خورده با بوتیل آکریلات، وقتی در مجاورت نانوذرات ZnO با پارچه های نخی پیوند می خورد، فعالیت ضدباکتریایی نشان می دهد، به طوری که پس از ۲۰ بار شست و شو ۷۰٪ از فعالیت خود را حفظ می کند. این نوع پارچه ها استحکام بیشتری داشته و چون تنفس بهتری نسبت به پارچه های معمول دارند، به هوا اجازه عبور بیشتری داده و لباس های تهیه شده از آنها راحتی بیشتری دارند. شکل ۴ خاصیت ضد میکروبی نخ های پیوند خورده با پلیمر پیش شکل یافته و نانوذرات ZnO و پارچه های بدون ZnO را وقتی در معرض انواع

فلز واسطه به دلیل پایداری شیمیایی، سازگاری با محیط زیست، پایداری زیاد در برابر نور، نورتایی زیاد و جذب شدید نور فرابنفش یکی از پر استفاده ترین اکسیدهای معدنی در صنایع شیمیایی و مواد پیشرفته است. افزون بر این، ZnO به دلیل داشتن ویژگی های عالی نوری، کاتالیزوری، مغناطیسی، پیزوالکتریکی، پایداری دمایی، رسانایی الکتریکی قابل اصلاح، نقش برجسته ای در جوانب متعدد علوم و مهندسی ایفا می کند. این ماده مانند سایر افزودنی های معدنی می تواند با پیوستن به ماتریس های متعدد پلیمری، مواد هیبریدی، آمیخته یا کامپوزیت تولید کرده و با اثر هم افزایی خواص آنها را بهبود بخشد. ترکیبات پلیمری حاوی نانوساختارهای روی اکسید می توانند در ساخت پوشش های ضد خوردگی و چربی گیر به کار روند و ویژگی های الکتروشیمیایی، مکانیکی و پایداری گرمایی پوشش ها را بهبود بخشند. همچنین در ساخت انواع سلول های نورولتایی، حسگرهای حساس به رطوبت، آمونیاک و زیست حسگرها، دیودها، وسایل الکتریکی با ثابت دی الکتریک زیاد، ترانزیستور، جاذب های نور فرابنفش، نورکاتالیزور و تنظیم کننده های pH به کار رفته یا پسماندهای پلیمری را تجزیه و تخریب می کنند.

## مراجع

- Banimahd M., Aghae M., Zareh K., Aghae H., and Ansari R., Synthesis of Electro-active Nanopolymer and Nanocomposites Based on Polyaniline and Investigation the Mechanical Properties, Electrical Conductivity and Thermal Stability, *Islamic Azad University J. Sci.*, **19**, 1-16, 2009.
- Soltani N., *Introduction to Metallic, Polymer and Ceramic Based Composites and their Fabrication Processes*, Jahan Jame-Jam, Tehran, 2008.
- Shen W., Li Z., Wang H., Liu Y., Guo Q., and Zhang Y., Photocatalytic Degradation for Methylene Blue Using Zinc Oxide Prepared by Codiposition and Sol-Gel Methods, *J. Hazard. Mater.*, **152**, 172-175, 2008.
- Peng X., Chen Y., Li F., Zhou W., and Hu Y., Preparation and Optical Properties of ZnO@PPEGMA Nanoparticles, *Appl. Surf. Sci.*, **255**, 7158-7163, 2009.
- He Y., Preparation of Polyaniline/Nano-ZnO Composites via a Novel Pickering Emulsion Route, *Powder Technol.*, **147**, 59-63, 2004.
- Paul G.K., Bhaumik A., Patra A.S., and Bera S.K., Enhanced Photo-Electric Response of ZnO/Polyaniline Layer-by-Layer Self-Assembled Films, *Mater. Chem. Phys.*, **106**, 360-363, 2007.
- Liu P., Facile Preparation of Monodispersed Core/Shell Zinc Oxide@Polystyrene, (ZnO@PS) Nanoparticles via Soapless Seeded Microemulsion Polymerization, *Colloid Surfac. A*, **291**, 155-161, 2006.
- Dhawale D.S., Dubal D.P., More A.M., Gujar T.P., and Lokhande C.D., Room Temperature Liquefied Petroleum Gas (LPG) Sensor, *Sensor. Actuator. B*, **147**, 488-494, 2010.
- Hong R., Pan T., Qian J., and Li H., Synthesis and Surface Modification of ZnO Nanoparticles, *Chem. Eng. J.*, **119**, 71-81, 2006.
- <http://www.khazad.com>, available in February 2011.
- Pandey J.K., Raghunatha Reddy K., Pratheep Kumar A., and Singh R.P., An Overview on the Degradability of Polymer Nanocomposites, *Polym. Deg. Stabil.*, **88**, 234-250, 2005.



شکل ۴- خاصیت ضد میکروبی نخ های پیوند خورده با پلیمر پیش شکل یافته و نانوذرات روی اکسید و پارچه های بدون روی اکسید [۴۴].

میکروب ها قرار می گیرند، نشان می دهد [۵۲].

## نتیجه گیری

میان خانواده بزرگ اکسیدهای فلزی، روی اکسید به عنوان اکسید



12. Ajayan P.M., Schadler L.S., and Braun P.V., Nanocomposite Science and Technology, Wiley and Sons, Germany, 2003.
13. <http://ncp.iut.ac.ir/index.php/2008-11-19-06-04-39.html>, available in February 2011.
14. Lei H., Xu T., and Gao C., Characterization of the Dispersion of Tetrapod-Like Nano-ZnO Whiskers in Acrylic Resin and Properties of the Nano-Composite Coating System, *J. Coat. Technol. Res.*, **7**, 91-97, 2010.
15. Agrawal M., Gupta S., Zafeiropoulos N.E., Oertel U., Habler R., and Stamm M., Nano-Level Mixing of ZnO into Poly(Methyl Methacrylate), *Macromol. Chem. Phys.*, **211**, 1925-1932, 2010.
16. Liu X., Zinc Oxide Nano- and Microfabrication from Coordination-Polymer Templates, *Angew. Chem. Inter. Ed.*, **48**, 3018-3021, 2009.
17. Kang S.Z., Wu T., Li X., and Mu J., A Facile Gelatin-Assisted Preparation and Photocatalytic Activity of Zinc Oxide Nanosheets, *Colloid. Surf. A*, **369**, 268-271, 2010.
18. Lu N., Lu X., Jin X., and Lu Ch., Preparation and Characterization of UV-Curable ZnO/Polymer Nanocomposite Films, *Polym. Inter.*, **56**, 138-143, 2007.
19. Ma W. and Tian D., Direct Electron Transfer and Electrocatalysis of Hemoglobin in ZnO Coated Multiwalled Carbon Nanotubes and Nafion Composite Matrix, *Bioelectrochemistry*, **78**, 106-112, 2010.
20. Al-Hilli S.M. and Willander M., Optical Properties of Zinc Oxide Nanoparticles Embedded in Dielectric Medium for UV Region: Numerical Simulation, *J. Nanoparticle Res.*, **8**, 79-97, 2006.
21. Tang E., Cheng G., Pang X., Ma X., and Xing F., Synthesis of Nano-ZnO/Poly(Methyl Methacrylate) Composite Microsphere Through Emulsion Polymerization and its UV-Shielding Property, *Colloid Polym. Sci.*, **284**, 422-428, 2006.
22. Yang Y., Li Y.Q., Fu Sh.Y., and Xiao H.M., Transparent and Light-Emitting Epoxy Nanocomposites Containing ZnO Quantum Dots as Encapsulating Materials for Solid State Lighting, *J. Phys. Chem. C*, **112**, 10553-10558, 2008.
23. Lai Y., Meng M., and Yu Y., One-Step Synthesis, Characterizations and Mechanistic Study of Nanosheets-Constructed Fluffy ZnO and Ag/ZnO Spheres Used for Rhodamine B Photodegradation, *Appl. Catal. B*, **100**, 491-501, 2010.
24. Samaele N., Amornpitoksuk P., and Suwanboon S., Effect of pH on the Morphology and Optical Properties of Modified ZnO Particles by SDS via a Precipitation Method, *Powder Technol.*, **203**, 243-247, 2010.
25. Wu B., Wang Y., Lee Y.H., Horst A., Wang Z., Chen D.R., Sureshkumar R., and Tang Y.J., Comparative Eco-Toxicities of Nano-ZnO Particles Under Aquatic and Aerosol Exposure Modes, *Environ. Sci. Technol.*, **44**, 1484-1489, 2010.
26. Dhoke S.K., Khanna A.S., and Sinha T.J.M., Effect of Nano-ZnO Particles on the Corrosion Behavior of Alkyd-Based Waterborne Coatings, *Prog. Org. Coat.*, **64**, 371-382, 2009.
27. Liu Z., Zhou J., Xue H., Shen L., Zang H., and Chen W., Poly-aniline/TiO<sub>2</sub> Solar Cells, *Synthetic Metal*, **156**, 721-723, 2006.
28. Olad A. and Naseri B., Preparation, Characterization and Anticorrosive Properties of A Novel Polyaniline/Clinoptilolite Nanocomposite, *Prog. Org. Coat.*, **67**, 233-238, 2010.
29. Olad A., Barati M., and Shirmohammadi H., Conductivity and Anticorrosion Performance of Polyaniline/Zinc Composites: Investigation of Zinc Particle Size and Distribution Effect, *Prog. Org. Coat.*, **72**, 599-604, 2011.
30. Patil R.C. and Radhakrishnan S., Conducting Polymer Based Hybrid Nano-Composites for Enhanced Corrosion Protective Coatings, *Prog. Org. Coat.*, **57**, 332-336, 2006.
31. Olad A. and Rashidzadeh A., Preparation and Anticorrosive Properties of PANI/Na-MMT and PANI/O-MMT Nanocomposites, *Prog. Org. Coat.*, **62**, 293-298, 2008.
32. Feng Z., Zhou J., Xi Y., Lan B., Guo H., Chen H., Zhang Q., and Lin Z., Solid-State Hybrid Photovoltaic Cells with a Novel Redox Polymer and Nanostructured Inorganic Semiconductors, *J. Power Sour.*, **194**, 1142-1149, 2009.
33. Lin C.F., Huang J.S., Syu S.J., Chao J.J., Chou C.Y., Hsiao C.Y., and Lee C.Y., Nano-Structured and Micro-Structured Semiconductors for Higher Efficiency Solar Cells, Photonics-Global@Singapore, *IPGC 2008. IEEE 1*, 2008.
34. Lin Y.Y., Lee Y.Y., Chang L., Wu J.J., and Chen C.W., The Influence of Interface Modifier on the Performance of Nanostructured ZnO/Polymer Hybrid Solar Cells, *Appl. Phys. Lett.*, **94**, 63308, 2009.
35. Lu X., Zhang H., Ni Y., Zhang Q., and Chen J., Porous Nanosheet-Based ZnO Microspheres for the Construction of Direct Electrochemical Biosensors, *Biosens. Bioelectron.*, **24**, 93-98, 2008.
36. Karimov K.S., Cheong K.Y., Saleem M., Murtaza I., Farooq M., and Mohd Noor A.F., Ag/PEPC/NiPc/ZnO/Ag Thin Film Capacitive and Resistive Humidity Sensors, *J. Semiconduct.*,

- 31, 054002, 2010.
37. Khan A.A. and Khalid M., Synthesis of Nano-Sized ZnO and Polyaniline-Zinc Oxide Composite: Characterization, Stability in Terms of DC Electrical Conductivity Retention and Application in Ammonia Vapor Detection, *J. Appl. Polym. Sci.*, **117**, 1601-1607, 2010.
38. Zhang T., Xu Z., Qian L., Tao D.L., Teng F., and Xu X.R., Influence of ZnO Nanorod on the Luminescent and Electrical Properties of Fluorescent Dye-Doped Polymer Nanocomposite, *Optical Mater.*, **29**, 216-219, 2006.
39. Dagdeviren C. and Papila M., Dielectric Behavior Characterization of a Fibrous-ZnO/PVDF Nanocomposite, *Polym. Comp.*, **31**, 1003-1010, 2010.
40. Patel R.R., Kishorekumar B., and Gupta N., Effect of Filler Materials and Pre-Processing Techniques on Conduction Processes in Epoxy-Based Nanodielectrics, *IEEE Electrical Insulation Conference*, Montreal, QC, Canada, 31 May-3 June, 2009.
41. Iwasaki T., Satoh M., Masuda T., and Fujita T., Powder Design for UV-Attenuating Agent With High Transparency for Visible Light, *J. Mater. Sci.*, **35**, 4025-4029, 2000.
42. Lee J., Bhattacharyya D., Easteal A.J., and Metson J.B., Properties of Nano-ZnO/Poly(vinyl Alcohol)/Poly(ethylene Oxide) Composite Thin Films, *Current Appl. Phys.*, **8**, 42-47, 2008.
43. Tian J., Chen L., Yin Y., Wang X., Dai J., Zhu Z., Liu X., and Wu P., Photocatalyst of TiO<sub>2</sub>/ZnO Nano Composite Film: Preparation, Characterization, and Photodegradation Activity of Methyl Orange, *Surf. Coat. Technol.*, **204**, 205-214, 2009.
44. Wang C., Wang X., Xu B.Q., Zhao J., Mai B., Peng P., Sheng G., and Fu J., Enhanced Photocatalytic Performance of Nano-sized Coupled ZnO/SnO<sub>2</sub> Photocatalysts for Methyl Orange Degradation, *J. Photochem. Photobiol. A: Chem.*, **168**, 47-52, 2004.
45. Olad A. and Nosrati R., Preparation, Characterization, and Photocatalytic Activity of Polyaniline/ZnO Nanocomposite, *Res. Chem. Intermed.*, **38**, 323-336, 2012.
46. Nosrati R., Olad A., and Maramifar R., Degradation of Ampicillin Antibiotic in Aqueous Solution by ZnO/Polyaniline Nanocomposite as Photocatalyst under Sunlight Irradiation, *Environ. Sci. Pollut. Res.*, **19**, 2291-2299, 2012.
47. Zhang H., Zong R., Zhu Y., Photocorrosion Inhibition and Photoactivity Enhancement for Zinc Oxide via Hybridization with Monolayer Polyaniline, *J. Phys. Chem. C*, **113**, 4605-4611, 2009.
48. Ameen S., Akhtar M.S., Kim Y.S., Yang O.B., and Shin H.S., An Effective Nanocomposite of Polyaniline and ZnO: Preparation, Characterizations, and its Photocatalytic Activity, *Colloid Polym. Sci.*, **289**, 415-421, 2011.
49. Qiu R., Zhang D., Mo Y., Song L., Brewer E., Huang X., and Xiong Y., Photocatalytic Activity of Polymer-Modified ZnO under Visible Light Irradiation, *J. Hazard. Mater.*, **156**, 80-85, 2008.
50. Qiu R., Song L., Mo Y., Zhang D., and Brewer E., Visible Light Induced Photocatalytic Degradation of Phenol by Polymer-Modified Semiconductors: Study of the Influencing Factors and the Kinetics, *React. Kinet. Catal. Lett.*, **94**, 183-189, 2008.
51. Jeng J., Chen T.Y., Lee C.F., Liang N.Y., and Chiu W.Y., Growth Mechanism and pH-Regulation Characteristics of Composite Latex Particles Prepared from Pickering Emulsion Polymerization of Aniline/ZnO Using Different Hydrophilicities of Oil Phases, *Polymer*, **49**, 3265-3271, 2008.
52. Shafei A.E., Shaarawy S., Hebeish A., Application of Reactive Cyclodextrin Polybutyl Acrylate Preformed Polymers Containing Nano-ZnO to Cotton Fabrics and Their Impact on Fabric Performance, *Carbohydr. Polym.*, **79**, 852-857, 2010.