

بهبود کارایی سلول خورشیدی حساس شده با رنگدانه N719 با به کارگیری بسپارهای رسانای پلی پیرول/پلی آنیلین به عنوان الکتروود مقابل

مهسا مهدوی نیا^۱، غلامرضا کیانی^{۲*} و ایوب کریمزاد قویدل^۳

۱. دانشوی دکترا گروه شیمی آلی و بیوشیمی، دانشکده شیمی، دانشگاه تبریز، تبریز، ایران.
۲. دانشیار شیمی آلی گروه شیمی آلی و بیوشیمی، دانشکده شیمی، دانشگاه تبریز، تبریز، ایران.
۳. مربی گروه مهندسی مکانیک، دانشگاه فنی و حرفه‌ای، تهران، ایران.

دریافت: تیر ۱۴۰۱ بازنگری: مهر ۱۴۰۱ پذیرش: آبان ۱۴۰۱



10.30495/JACR.2022.1963489.2048



20.1001.1.17359937.1401.16.3.7.3

چکیده

هدف از این پژوهش، ساخت سلول خورشیدی برپایه نانوساختار تیتانیم دی‌اکسید حساس شده با رنگدانه N719 و بهبود کارایی آن با به کارگیری ساختار هسته-پوسته پلی پیرول/پلی آنیلین به عنوان الکتروود مقابل است. سلول‌های خورشیدی تهیه شده با الکتروود مقابل بسپار با دو روش لایه‌نشانی چرخشی و قطره‌ای در ضخامت‌های متغیر، ساخته و ارزیابی شدند. افزون‌براین، تأثیر غلظت نانوسیم و نانوذره‌های تیتانیم دی‌اکسید، حاضر در فوتوآند بر کارایی سلول خورشیدی بررسی شد. مقدار جذب رنگدانه N719 با طیف‌نورسنج بررسی شد و بیشینه جذب در طول موج‌های ۳۸۰ و ۵۳۰ نانومتر به دست آمد. واکاوی ساختار فوتوآند و الکتروود مقابل، با میکروسکوپ الکترونی روبشی نشان داد که ترکیب نانوذره‌ها و نانوسیم‌های تیتانیم دی‌اکسید با نسبت ۱ به ۹، موجب ایجاد ساختاری متخلخل با نسبت سطح به حجم بالا می‌شود که تأثیر بسزایی در مقدار جذب رنگدانه و بازده سلول خورشیدی دارد. با توجه به اینکه سلول خورشیدی تهیه شده با روش لایه‌نشانی قطره‌ای، کارایی مطلوبی نداشت، تمرکز پژوهش در راستای نمونه تهیه شده با روش لایه‌نشانی چرخشی معطوف شد. نمونه سلول خورشیدی ساخته شده با الکتروود مقابل پلی-پیرول/پلی آنیلین با روش لایه‌نشانی چرخشی، ولتاژ مدار باز ۰/۷۱ ولت و عامل پرشدگی ۵۷/۳۸ را نشان می‌دهد که ولتاژ مدار باز و عامل پرشدگی نسبت به نمونه‌های مشابه، به ترتیب به مقدار ۷/۶ و ۳۵ برابر بهبود یافته‌اند.

واژه‌های کلیدی: سلول خورشیدی حساس شده با رنگدانه، پلی آنیلین، پلی پیرول، بسپار رسانا، الکتروود مقابل بسپار

پلی‌آنیلین، پلی‌پیرول، پلی (۳،۴-تیلن‌دی‌اکسی‌تیوفن) (PEDOT) و غیره ویژگی‌های الکترونیکی و کاتالیستی مناسبی را از خود نشان داده‌اند [۱۱].

بسپارهای رسانا به دلیل ویژگی‌های بی‌همتا همچون ارزان بودن، رسانایی بالا، پایداری خوب، ساختار متخلخل و فعالیت کاتالیستی مطلوب، گزینه مناسبی برای استفاده در الکتروود مقابل DSSC بشمار می‌آیند [۱۱، ۱۲]. پلی‌آنیلین در بین بسپارهای رسانا بیشتر در تولید DSSC مورد توجه بوده است که دلیل آن مربوط به ویژگی‌های مطلوب این بسپار است. سایر بسپارهای رسانا مانند پلی‌پیرول به دلیل پایداری کم و PEDOT نیز به دلیل عدم صرفه اقتصادی چندان مورد استقبال قرار نگرفته است [۱۳ تا ۱۵].

تاکنون مطالعه‌های زیادی برای بهبود کارایی سلول‌های خورشیدی حساس شده با رنگدانه انجام شده است. گروهی از پژوهشگران توانستند از نانوذره‌های پلی‌آنیلین در الکتروود مقابل استفاده کنند و به بازده کلی تبدیل انرژی ۷۱/۵٪ دست یابند که در مقایسه با بازده الکتروود مقابل پلاتینی مقدار چشمگیری بود [۱۱]. در تداوم تلاش پژوهشگران، پنگ^۵ و همکارانش، یک غشای جدید نانولوله پلی‌پیرول با روش خودآرایی^۶ تهیه کردند که این غشاهای پلی‌پیرول، فعالیت کاتالیستی مطلوبی را برای احیای الکتروولیت داشته و بازده تبدیل انرژی ۵۲۷٪ را نشان داد [۱۶]. در بررسی دیگر، تأثیر افزودن طلا به همراه بسپار رسانا بر کارایی سلول خورشیدی رنگدانه‌ای مطالعه شد. در این پژوهش، از فیلم ترکیبی طلا و پلی‌آنیلین که با روش الکترولايه‌نشانی بر زیرلایه فولاد زنگ‌نزن لایه‌نشانی شده بود، به عنوان الکتروود مقابل در سلول خورشیدی رنگدانه‌ای استفاده شد. بازده کلی به دست آمده ۶۷۱٪ گزارش شد که در مقایسه با الکتروود مقابل پلاتینی بهبود چشمگیری داشت

در طی سال‌های اخیر، پژوهشگران در راستای حفظ منابع تجدیدناپذیر و بهره‌مندی از انرژی‌های پاک، مطالعه‌های گسترده‌ای را در زمینه سامانه‌های فتوولتائیک مانند سلول‌های خورشیدی انجام داده‌اند. این سامانه‌ها به‌طور مستقیم، در تبدیل نور خورشید به الکتریسته به کار گرفته می‌شوند [۱ تا ۳]. از جمله فناوری‌های جدید در ساخت سلول‌های خورشیدی نسل سوم، سلول‌های خورشیدی نانو ساختاری حساس شده به رنگدانه است که به دلیل مزایایی همچون، آسانی ساخت، بازده بالا، ارزان بودن، انعطاف‌پذیری و سازگاری با محیط‌زیست توجه زیادی را به خود جلب کرده است و می‌تواند به‌عنوان یک جایگزین اقتصادی به جای سلول‌های خورشیدی سیلیکونی در نظر گرفته شود [۴ و ۵].

ساختار سلول‌های خورشیدی حساس شده با رنگدانه، متشکل از یک لایه نیم‌رسانا برای جمع‌آوری و برداشت نور، لایه حساس‌کننده (رنگ)، الکتروولیت و یک لایه کاتالیستی (به‌طور عمده پلاتین) است که بین دو بستر رسانا (به‌طور معمول شیشه‌ای با پوشش^۱ FTO) قرار گرفته است [۶ و ۷]. فلز کمیاب پلاتین مورد استفاده در ساختار الکتروود مقابل^۲، به‌عنوان مؤثرترین و کارآمدترین ماده کاتالیستی برای کاربرد در سلول خورشیدی سنتز شده با رنگ (DSSC^۳) به حساب می‌آید [۷]. الکتروود مقابل، وظیفه پذیرش الکترون‌ها از مدار بیرونی و بازسازی الکتروولیت‌ها را عهده‌دار است [۸]. محدود بودن و ماهیت گران‌قیمت پلاتین، امکان به‌کارگیری آن را در DSSC محدود می‌کند و به‌عنوان یکی از موانع اصلی در تجاری‌سازی این فناوری تلقی می‌شود [۹ و ۱۰]. پژوهش‌های گسترده‌ای برای استفاده از ترکیب‌های متفاوت به‌عنوان جایگزین مناسب، به جای فلز پلاتین انجام شده است [۹]. در این راستا، بسپارهای رسانایی مانند

1. Fluorine doped tin oxide

2. Counter electrode

3. Dye-sensitized solar cell (DSSC)

4. Poly 3,4-ethylenedioxythiophene (PEDOT)

5. Peng

6. Self-assembly

[۱۷]. همچنین، گزارشی مبنی بر به کارگیری فیلم‌های ترکیبی نانوگرافیت/پلی‌پیرول بر زیرلایه FTO به عنوان الکتروود مقابل ارایه شد. یافته‌های این پژوهش نشان داد که فعالیت کاهندگی الکتروولت با این فیلم‌ها مطلوب بود و بازده تبدیل انرژی معادل ۷٫۴٪ برای آن‌ها به دست آمد [۱۸]. در مطالعه‌ای دیگر، رشد فیلم پلی‌اتیلن دی‌اکسی تیوفن بر شبکه‌های تیتانیوم دی‌اکسید با روش ولت‌آمپرسنجی چرخه‌ای بررسی شد. نتیجه‌های این مطالعه نشان داد که استفاده از این الکتروود مقابل، سبب بهبود فعالیت احیای الکتروولت شد و بازده تبدیل انرژی ۶٫۳۳٪ را به همراه داشت [۱۹].

بر پایه مطالعه‌هایی که در منابع علمی در زمینه بهبود کارایی سلول‌های خورشیدی حساس شده با رنگدانه صورت گرفته است، رفع محدودیت استفاده از فلز گران قیمت پلاتین در الکتروود مقابل یک ضرورت بشمار می‌رود. این پژوهش در تلاش بود تا برای رفع محدودیت یادشده از ساختار هسته پوسته پلی‌پیرول/پلی‌اتیلن در الکتروود مقابل و رنگدانه N719 بهره برد. به کارگیری این ساختار و نیز بررسی تأثیر روش‌های متفاوت لایه‌نشانی بر ضخامت لایه در الکتروود، به کارگیری درصدهای مناسبی از نانوسیم و نانوذره‌های تیتانیوم دی‌اکسید در فوتوآنود برای بهبود کارایی سلول خورشیدی از دیگر هدف‌های این پژوهش بود.

بخش تجربی

مواد و دستگاه‌ها

در این پژوهش، بستر شیشه رسانای شفاف FTO (ساخت شرکت ایرانی شریف سولار) به عنوان زیرلایه و خمیر پلاتینیوم (ساخت مرک) برای استفاده در الکتروود مقابل به کار گرفته شد. همچنین، از پودر نانوذره‌های تیتانیوم دی‌اکسید (فاز آناتاز با اندازه ذره‌های ۲۰ نانومتر)، تریتون

X100، استیک اسید، پلی‌اتیلن گلیکول، دی‌متیل - سولفوکسید، اتانول، سدیم هیدروکسید و تیتانیوم تتراکلرید (ساخت مرک)، برای ساخت فوتوآنود بهره گرفته شد. برای تهیه الکتروولت از پودر پتاسیم یدید، محلول استونیتریل و ید (ساخت مرک) استفاده شد. از پودر رنگدانه تجاری N719 خریداری شده از شرکت ایرانی سان لب) به عنوان رنگدانه و از مونومر پیرول، متیل اورانژ و آهن کلرید (ساخت مرک)، برای تهیه نانولوله‌های پلی‌پیرول استفاده شد. برای تهیه پلی‌اتیلن نیز از مونومر آنیلین، ساخت شرکت Scharlau اسپانیا بهره گرفته شد. برای آب‌بندی سلول خورشیدی، از بسپار سرلین (ساخت شرکت ایرانی سان لب) و از سدیم هیدروکسید، هیدروکلریک اسید ۳۷٪ (ساخت مرک) برای تهیه و شستشوی نانوسیم‌ها استفاده شد. برای مشخصه‌یابی و بررسی کارایی سلول خورشیدی تهیه‌شده، میکروسکوپ الکترونی روبشی (SEM) مدل Tescan Mira3، طیف‌نورسنج ساخت شرکت طیف‌سنج پیشرو پژوهش مدل Photonix AR 2015 و دستگاه شبیه‌ساز طیف خورشید، ساخت شرکت ایرانی شریف سولار به کار گرفته شدند. نمودار جریان-ولتاژ سلول خورشیدی با دستگاه رقمی شرکت شریف سولار به دست آمد. توان نور شبیه‌سازی شده تا ۱۰۰ میلی‌وات بر سانتی‌مترمربع با سلول خورشیدی سیلیکونی به عنوان مرجع، کالیبره شد.

تهیه سلول خورشیدی حساس شده با رنگدانه N719

برای آماده‌سازی زیرلایه‌ها برای تهیه فوتوآنود، از شیشه‌های رسانای FTO در ابعاد ۱۵×۲۰ mm و ضخامت ۲/۲ mm استفاده شد. برای استفاده از این شیشه‌ها به عنوان الکتروود مقابل، روی تعدادی از آن‌ها سوراخ ایجاد شد. همچنین، برای رفع آلودگی و ناخالصی از زیرلایه‌های FTO، شیشه‌ها به ترتیب درون محلول آب یون‌زدوده و اتانول با دماهای ۶۵ °C و ۴۰ به مدت ۱۵ دقیقه شسته و سپس، در دمای اتاق خشک شدند.

دقیقه)، ۳۲۰ (۲۰ دقیقه) و ۵۰۰ °C (۳۰ دقیقه) گرمادهی شدند. پس از پایان مراحل گرمادهی، شیشه‌های لایه نشانی شده به مدت ۳۰ دقیقه درون محلول $TiCl_4$ قرار گرفتند. سپس با آب مقطر و اتانول شسته و در دمای اتاق خشک شدند. به منظور تثبیت خمیر لایه‌نشانی شده بر FTO، دوباره گرمادهی در داخل کوره با دمای ۵۰۰ °C به مدت ۳۰ دقیقه انجام شد.

در این پژوهش با توجه به ویژگی جذب نوری و بازده بالا از رنگدانه N719 برای حساس‌سازی فوتوناندا استفاده شد. برای تهیه محلول رنگدانه نخست، ۰/۳ mmol/l از پودر رنگدانه به ۱۰۰ میلی‌لیتر از اتانول افزوده شد و به مدت ۲۰ دقیقه، برای دستیابی به محلول همگن، در شرایط بدون نور با همزن مغناطیسی هم‌زده شد. برای حساس‌سازی، فوتوناندا به آرامی در داخل بشر حاوی محلول رنگدانه قرار گرفتند و در مکانی تاریک به مدت ۲۴ ساعت نگهداری شدند. پس از این مدت، به منظور حذف رنگدانه‌های اضافی از سطح لایه تیتانیوم دی‌اکسید و جلوگیری از تأثیر منفی بر جریان سلول، ۱۵ دقیقه در داخل اتانول نگهداری شدند و با آب یون‌زدوده شسته شدند [۶۳].

برای تهیه محلول الکترولیت، ۰/۸۳ گرم از پتاسیم یدید و ۰/۱۲۷ گرم از ید به همراه ۱۰ میلی‌لیتر استونیتریل مخلوط شدند. برای یکنواخت‌شدن، این مخلوط به مدت ۳۰ دقیقه با همزن مغناطیسی هم‌زده شد. از آنجایی که سرعت حل شدن پتاسیم یدید در حلال استونیتریل کند است، برای تسریع در این روند در حین هم‌زدن چند قطره آب یون‌زدوده نیز افزوده شد [۲۰].

در تهیه ساختار هسته-پوسته پلی‌پیرول/پلی‌آنیلین به عنوان الکترود مقابل، ابتدا برای سنتز نانولوله‌های پلی‌پیرول، پس از تهیه محلول ۳۰ میلی‌لیتر از متیل اوراتر، ۰/۲۴۳ گرم از آهن (III) کلرید را به محلول الکترولیت تهیه شده افزوده و پس از ۱۵ دقیقه رسوبی پرمانند در ته

برای تهیه نانوسیم‌های تیتانیوم دی‌اکسید برای استفاده در فوتوناندا، نخست ۶ گرم از نانوذره‌های تیتانیوم دی‌اکسید به ۳۳ میلی‌لیتر محلول ۱۶ مولار از سدیم هیدروکسید افزوده شد. سپس، این محلول به داخل دم‌فشار^۱ ریخته شد و به مدت ۳ روز در کوره با دمای ۱۷۰ °C نگهداری شد. پس از ۳ روز، دم‌فشار از درون آن خارج و برای سرد شدن سریع داخل یخچال قرار داده شد. پس از سرد شدن کامل دم‌فشار، برای جداسازی رسوب‌های حاوی نانوسیم‌های تیتانیوم دی‌اکسید، فراورده به دست‌آمده گریزانه شد. برای خالص‌سازی نانوسیم‌ها و حذف سود از آن‌ها و نیز ایجاد محیط اسیدی، فراورده چندین بار با محلول ۵۰ مولار هیدروکلریک اسید به مدت ۳ دقیقه و با دور ۱۸۰۰ r.p.m گریزانه شد. رسوب به‌جای‌مانده، در داخل کوره با دمای ۶۰ °C به مدت ۳ روز قرار داده شد تا نانوسیم‌ها به‌طور کامل خشک شوند.

برای تهیه فوتوناندا، از یک لایه ترکیبی متشکل از نانوذره‌ها و نانوسیم‌های TiO_2 با نسبت ۱ به ۹ استفاده شد. برای تهیه این لایه، نخست ۰/۴۵ گرم از نانوذره‌های TiO_2 به همراه ۰/۰۵ گرم از نانوسیم‌های TiO_2 ، به ۰/۲ گرم پلی‌اتیلن گلیکول (برای ایجاد تخلخل مورد نیاز در لایه تیتانیوم دی‌اکسید) افزوده شدند. برای ایجاد ویژگی چسبندگی در خمیر به دست‌آمده، ۱۰۰ میکرولیتر از تریتون X100 به همراه ۳ میلی‌لیتر از استیک اسید ۰/۱ مولار به مخلوط افزوده و به مدت ۹۰ دقیقه هم‌زده شدند. در پایان خمیر به دست‌آمده، به مدت ۲۴ ساعت در بخش ایزوله آزمایشگاه نگهداری شد. لایه‌نشانی تیتانیوم دی‌اکسید بر فوتوناندا، با روش دکتر بلید^۲ انجام شد. بدین ترتیب که اطراف شیشه‌ها با چسب احاطه شدند و مقداری از خمیر TiO_2 تهیه‌شده با میله شیشه‌ای به فضای خالی باقی‌مانده در وسط شیشه، لایه‌نشانی شد و پس از ۲۰ دقیقه چسب‌ها جدا و در کوره با دماهای ۱۵۰ (۱۵)

داده شد و ۱۵ قطره از محلول بسیار تهیه شده با قطره چکان به آرامی در وسط شیشه چکانده شد و دستگاه با سرعت مناسبی تحت چرخش قرار گرفت تا بسیار به صورت پوششی کامل و یکنواخت در کل بستر پخش شود. سپس بستر شیشه‌ای پوشش داده شده به مدت ۳ روز در دمای 50°C در داخل آون قرار گرفت تا حلال آن تبخیر شود. ضخامت لایه به دست آمده با این روش لایه‌نشانی ۱۱ میکرومتر اندازه‌گیری شد.

لایه نشانی به روش لایه‌نشانی قطره‌ای^۳

در این روش لایه نشانی، بستر شیشه‌ای FTO پس از شستشو، در داخل یک بشر در حالت زاویه‌دار قرار گرفت و قطره‌ای از محلول بسیار بر شیشه چکانده شد. این عمل به منظور پوشش کامل سطح FTO با بسیار، ۴ بار تکرار شد. سپس نمونه به دست آمده، به مدت ۳ روز در دمای 60°C در داخل آون قرار گرفت تا حلال از بسیار تبخیر شود. اندازه ضخامت لایه به دست آمده با این روش، ۱۹ میکرومتر بود.

برای اتصال فوتوآند و الکترود مقابل به یکدیگر، چندین روش برای درزگیری و تزریق الکترولیت مورد آزمایش قرار گرفت و در پایان، از بسیار سرلین به منظور بستن سلول تهیه شده، استفاده شد. این بسیار در ابعادی کمتر از ابعاد شیشه FTO برش داده شد و وسط آن به اندازه لایه FTO با تیغه‌ای تیز خالی گشت. پس از برش، به کمک یک پنس بر الکترود مقابل گذاشته شد و فوتوآند بر الکترود مقابل قرار گرفت. بدون اینکه دو الکترود روی هم بلغزند، از سمت الکترود مقابل بر روی صفحه داغ در دمای 120°C به مدت ۱۰ ثانیه قرار گرفتند و قسمت‌های دارای سرلین با دست فشار داده شدند تا موجب اتصال الکترودها به یکدیگر شوند. پس از اتصال، الکترولیت از سوراخ موجود در سمت الکترود مقابل تزریق شد و سوراخ با دو تکه سرلین عایق‌بندی شد. شکل

بشر تشکیل شد. در این هنگام، 0.105 میلی‌لیتر از تکپار پیروول قطره‌قطره به این مخلوط افزوده و ۲۴ ساعت هم‌زده شد. سپس، به منظور جمع‌آوری رسوب نانولوله‌های پلی‌پیروول، مخلوط به دست آمده گریزانه و پس از جداسازی چندین بار با آب و اتانول شسته شد تا نانولوله‌های پلی‌پیروول خالص به دست آمد [۲۱]. در ادامه، 50 میلی‌لیتر محلول ۱ مولار هیدروکلریک اسید تهیه و 101 میلی‌گرم از تکپار آنیلین به آن افزوده شد. باتوجه به اکسایش بهتر آنیلین در دمای پایین، محلول در حمام یخ هم‌زده شد. پس از آن، نانولوله‌های تهیه شده از پلی‌پیروول به داخل مخلوط ریخته و به مدت ۱۵ دقیقه هم‌زده شدند. سپس، برای تشکیل پوسته پلی‌آنیلین در اطراف نانولوله‌های پلی‌پیروول، مقدار معینی ماده اکسنده آهن کلرید به مخلوط افزوده شد و به مدت ۳۰ دقیقه هم‌زده شدند. برای جداسازی رسوب‌های هسته-پوسته پلی‌پیروول/پلی‌آنیلین، مخلوط به دست آمده گریزانه شد و برای خالص‌سازی، رسوب‌ها چندین مرتبه با اتانول و آب یون‌زدوده شسته شدند. در پایان رسوب‌ها به مدت ۲۴ ساعت در دمای 60°C در داخل آون خشک شدند [۲۲].

لایه نشانی الکترود مقابل با ساختار هسته-پوسته بسیار رسانا برای مقایسه کارایی سلول خورشیدی، سه الکترود مقابل تهیه شد، که دو عدد از این الکترودها از ساختار هسته-پوسته پلی‌پیروول/پلی‌آنیلین به ترتیب با روش لایه‌نشانی پوشش‌دهی چرخشی و پوشش‌دهی قطره‌ای تهیه شدند و الکترود دیگر، الکترود مقابل متداول پلاتینی به عنوان مرجع بود.

لایه‌نشانی به روش پوشش‌دهی چرخشی^۱

در این روش ابتدا، 5 میلی‌لیتر از حلال دی‌متیل سولفوکسید^۲ با 0.127 g از پودر هسته-پوسته تهیه شده مخلوط و برای دستیابی به محلول یکنواخت، ۱۵ دقیقه با فراصوت پراکنده شد. پس از آن، محلول به نسبت غلیظی به دست آمد. بستر FTO بر دستگاه پوشش‌دهی چرخشی قرار

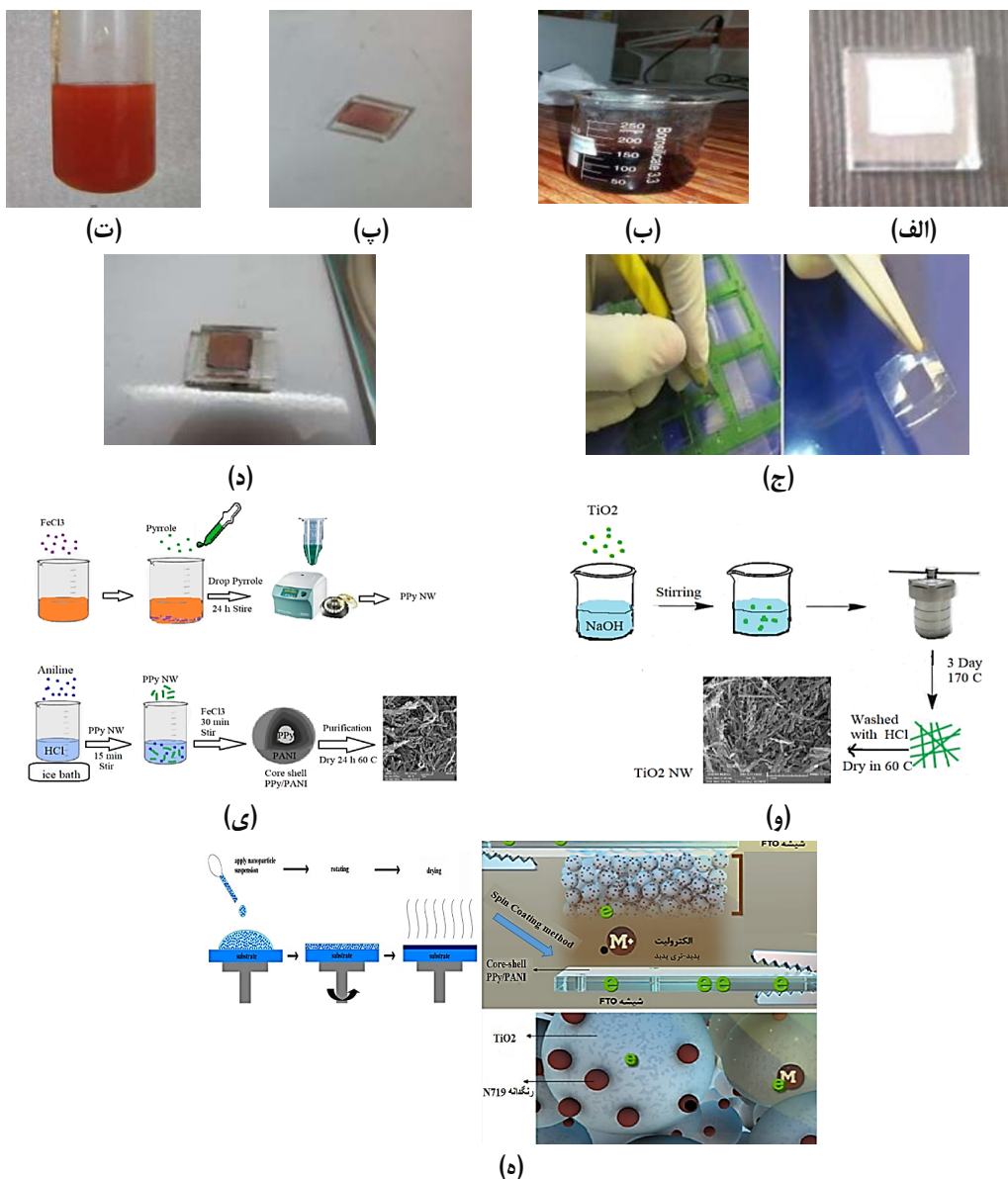
1. Spin coating

2. Dimethyl sulfoxide

3. Drop casting

خورشیدی تهیه شده در پژوهش حاضر است.

۱، نشان دهنده تصاویری از مراحل متفاوت آماده سازی سلول

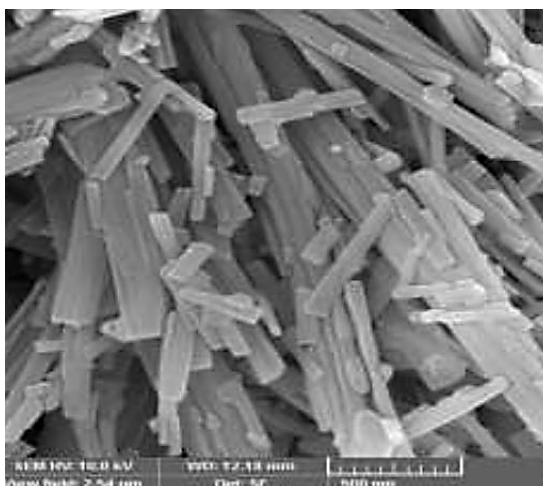


شکل ۱ مراحل آماده سازی سلول خورشیدی حساس شده با رنگدانه: فوتوآند تیتانیوم دی اکسید لایه نشانی شده (الف)، رنگدانه مبتنی بر روتنیم استفاده شده (ب)، فوتوآند حساس شده با رنگدانه (پ)، الکترولیت اکسایش-کاهش تهیه شده (ت)، برش بسیار سربلین (ج)، سلول خورشیدی نهایی تهیه شده (د)، طرحواره سنتز نانوسیم تیتانیوم دی اکسید برای استفاده در فوتوآند (و)، طرحواره سنتز ساختار هسته-پوسته پلی پیرول/پلی آنیلین (ی) و طرحواره کلی سلول خورشیدی (ه)

نتیجه‌ها و بحث

تصویرهای SEM و طیف‌های EDS^۱

در شکل ۲، تصویر SEM نانوسیم‌های تیتانیوم دی‌اکسید سنتز شده، نشان داده شده است. همان‌گونه که مشاهده می‌شود، شکل هندسی ذره‌ها، میله‌ای و توزیع اندازه قطر آن‌ها در حدود ۶۰ تا ۲۲۰ نانومتر است.



شکل ۲ تصویر SEM نانوسیم‌های تیتانیوم دی‌اکسید سنتز شده

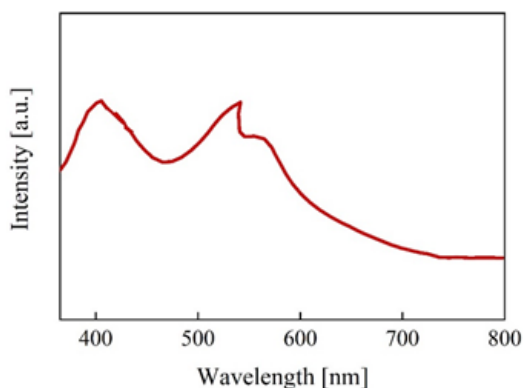
سنتز شده تیتانیوم دی‌اکسید از ناخالصی‌های دیگر است. شکل ۴-ب، نیز طیف EDS پودر هسته-پوسته پلی‌پیرول/ پلی‌آنیلین را نشان می‌دهد. در این طیف نیز پیک‌های مشخصه برای عناصر کربن، اکسیژن و نیتروژن پدیدار شده است که عناصر سازنده بسپارهای رسانای استفاده شده در این پژوهش است. پیک دیگری که معرف وجود عناصر مزاحم در ترکیب باشد مشاهده نمی‌شود و این دلیلی بر خلوص پودر هسته-پوسته سنتز شده است.



شکل ۳ تصویرهای SEM ساختار هسته-پوسته پلی‌پیرول/پلی‌آنیلین تهیه شده

شکل ۳، تصویر SEM پودر هسته-پوسته پلی‌پیرول/ پلی‌آنیلین را نشان می‌دهد. همان‌طور که از شکل مشخص است، این ساختار می‌تواند مسیر مستقیمی را برای گذر الکترون به درون الکترولیت ایجاد کند که موجب کاهش سریع الکترولیت شود. همچنین، ایجاد ساختار متخلخل در الکتروود مقابل، موجب نفوذ بهتر الکترولیت به داخل لایه می‌شود و در نتیجه، الکترولیت سریع‌تر کاهش می‌یابد [۲۲]. شکل ۴-الف، طیف EDS پودر نانوسیم‌های تیتانیوم دی‌اکسید تهیه شده را نشان می‌دهد. برپایه انتظار اولیه، پیک‌های مشخصه تیتانیوم و اکسیژن قابل مشاهده است و پیک دیگری دیده نمی‌شود که بیانگر خلوص نانوسیم‌های

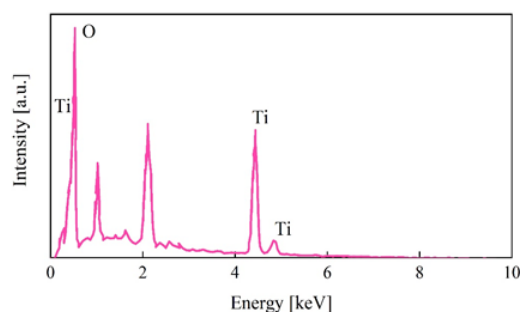
در ساختار پیوند مستحکمی را با سطح TiO_2 برقرار می‌کند و برهم‌کنش الکترونی بزرگی بین لیگاند و نوار رسانش TiO_2 فراهم می‌شود که به تزریق مؤثرتر الکترون از ترکیب روتنیم به TiO_2 کمک می‌کند [۲۷].



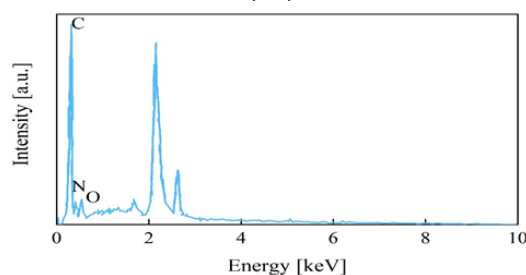
شکل ۵ نمودار طیف جذبی محلول رنگدانه N719

بررسی تأثیر درصد نانوذره‌ها و نانوسیم‌های تیتانیوم دی‌اکسید بر کارایی سلول خورشیدی

در این پژوهش از یک لایه ترکیبی برای تهیه فوتوآند بهره گرفته شد. برای دستیابی به مقادیر بهینه ترکیب نانو-ذره‌ها و نانوسیم‌ها از درصد‌های متفاوتی از نانومواد استفاده شده است. لایه اول شامل ۱۰٪ نانوسیم و ۹۰٪ نانوذره‌ها، لایه دوم شامل ۲۰٪ نانوسیم و ۸۰٪ نانوذره‌ها و لایه سوم شامل ۶۰٪ نانوسیم و ۴۰٪ نانوذره‌ها است. از میان این ترکیب‌ها، سلول خورشیدی که فوتوآند آن از ۴۰٪ نانوذره‌ها و ۶۰٪ نانوسیم تیتانیوم دی‌اکسید تشکیل شده بود، بیشترین بازده تبدیل انرژی را از خود نشان داد. بهینه‌بودن مقدار ترکیب نانوسیم‌ها ضروری است چون مشارکت درصد بالایی از مقدار نانوسیم در ترکیب، موجب افزایش بیش از حد تخلخل لایه می‌شود که به پیروی آن نرخ بازترکیب افزایش می‌یابد و مقدار زیادی الکترولیت وارد لایه می‌شود. در نتیجه افزایش ضخامت لایه را در پی خواهد داشت که موجب



(الف)



(ب)

شکل ۴ طیف‌های EDS پودر نانوسیم‌های تیتانیوم دی‌اکسید (الف) و پودر هسته-پوسته پلی‌پیرول/پلی‌آنیلین (ب)

طیف جذبی رنگدانه

در شکل ۵، طیف جذبی فرابنفش-مرئی محلول رنگدانه N719 آورده شده است. همان‌طور که مشخص است، طیف جذبی رنگدانه N719 استفاده‌شده، به تقریب دامنه گسترده‌ای از منطقه مرئی نور (۴۰۰ تا ۷۵۰ nm) را پوشش داده و پیک‌های جذبی به‌طور تقریبی در نواحی ۳۸۰ و ۵۳۰ نانومتر رخ داده است [۲۵]. از میان رنگدانه‌های موجود، ترکیب‌های شامل روتنیم پلی‌پیریدین به‌عنوان حساس‌کننده نور موردتوجه بسیاری قرار گرفته‌اند [۲۵ و ۲۷]. N719 یکی از مؤثرترین حساس‌کننده‌های TiO_2 است که به دلیل بازده تبدیل بالای انرژی به‌عنوان رنگ شاهد در DSSC استفاده می‌شود. جذب در نواحی فرورسرخ نزدیک و مرئی در این رنگ، به انتقال بار از فلز به لیگاند کمک می‌کند [۲۶]. همچنین، در ترکیب‌های روتنیم، گروه‌های کربوکسیل موجود

است. همچنین، مشخصه‌های مهم به‌دست آمده از این نمودارها در جدول ۱ به‌طور خلاصه آورده شده است. داده‌های نمودار جریان-ولتاژ نشان می‌دهد که بیشترین مقدار ضریب پرشدگی به‌ترتیب متعلق به سلول خورشیدی رنگدانه‌ای ساخته‌شده از الکتروده مقابل پلی‌پیرول/پلی‌آنیلین لایه‌نشانی‌شده با روش پوشش‌دهی چرخشی، الکتروده مقابل پلی‌پیرول/پلی‌آنیلین لایه‌نشانی‌شده با روش پوشش‌دهی قطره‌ای و الکتروده مقابل پلاتینی است.

ضریب پرشدگی به حاصل‌ضرب بیشینه ولتاژ با بیشینه جریان وابسته است. هر چه مقدار این حاصل‌ضرب نزدیک‌تر به حاصل‌ضرب ولتاژ مدار باز با جریان اتصال کوتاه باشد، به همان اندازه ضریب پرشدگی افزایش خواهد یافت [۲۹]. در مورد الکتروده مقابل هسته-پوسته‌ی پلی-پیرول/پلی‌آنیلین، این افزایش را می‌توان به فعالیت کاتالیستی خوب نسبت داد. همچنین، دلیل بزرگتر بودن فاکتور پرشدگی سلول خورشیدی رنگدانه‌ای ساخته‌شده با الکتروده مقابل پلی‌پیرول/پلی‌آنیلین لایه‌نشانی‌شده با روش پوشش‌دهی چرخشی نسبت به روش پوشش‌دهی قطره‌ای، کمتر بودن ضخامت لایه در روش پوشش‌دهی چرخشی (۱۱ میکرومتر) است. با افزایش ضخامت، الکترون مسافت طولانی‌تری را طی می‌کند که منجر به افزایش مقدار نوترکیبی در سطح مشترک بسیار رسانا/زیرلایه و یا بسیار رسانا/الکترولیت می‌شود و کاهش طول عمر الکترون در لایه نیم‌رسانا را در پی خواهد داشت [۳۲ و ۳۳].

همان‌طور که در نتیجه‌های به‌دست آمده مشخص است، سلول‌های خورشیدی رنگدانه‌ای ساخته‌شده از الکتروده مقابل هسته-پوسته پلی‌پیرول/پلی‌آنیلین لایه‌نشانی‌شده با روش پوشش‌دهی قطره‌ای و الکتروده مقابل پلاتینی بازده تقریب یکسانی دارند، ولی بازده سلول خورشیدی رنگدانه‌ای ساخته‌شده از الکتروده هسته-پوسته پلی‌پیرول/پلی‌آنیلین لایه‌نشانی‌شده با روش پوشش‌دهی چرخشی، به‌طور

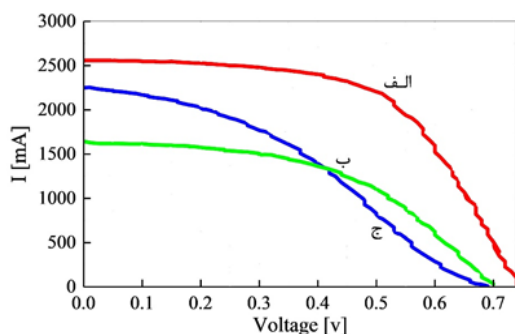
می‌شود، الکترون مسیر طولانی‌تری را برای رسیدن به زیرلایه طی کند [۲۳]. همچنین، نسبت سطح به حجم کاهش می‌یابد و مقدار جذب رنگدانه افت می‌کند. در سوی مقابل، در صورت استفاده از نانوسیم‌ها به مقدار اندک در ترکیب، مقدار تخلخل لایه و نفوذ الکترولیت کاهش می‌یابد و موجب کاهش دیرتر رنگدانه می‌شود [۲۴].

به‌کارگیری درصد مناسبی از نانوذره‌ها و نانوسیم‌های تیتانیوم دی‌اکسید در فوتوآند، سطح موثر بالایی برای بارگذاری رنگدانه ایجاد می‌کند و تخلخل‌های موجود در ساختار، ویژگی پخش‌کنندگی نور را در لایه فوتوآند بهبود می‌بخشد و در نتیجه بازده کل سلول خورشیدی رنگدانه‌ای افزایش می‌یابد. همچنین، ایجاد مسیر انتقال الکترون کوتاه‌تر و تسهیل انتقال الکترون به نوار رسانش نیم‌رسانا، کاهش واکنش‌های نوترکیبی و بهبود پخش‌کنندگی نور در لایه فوتوآند، از مزایای این ساختار است.

استفاده از هسته-پوسته پلی‌پیرول/پلی‌آنیلین با ضخامت مناسب به جای پلاتین، با ایجاد ساختار ناهموار و متخلخل در لایه الکتروده مقابل، موجب افزایش سطح الکتروده و فعالیت کاتالیستی می‌شود و به‌دام‌انداختن الکترولیت مایع در سلول خورشیدی را بهبود می‌بخشد که نفوذ بهتر الکترولیت به داخل لایه الکتروده مقابل را در پی دارد. در نتیجه الکترولیت در زمان کمتری کاهش و بازده کل سلول خورشیدی رنگدانه‌ای بهبود می‌یابد.

مشخصه‌یابی سلول خورشیدی

برای بررسی کارایی سلول خورشیدی، نمودار جریان-ولتاژ سلول خورشیدی به‌کار گرفته شد. از نمودار جریان-ولتاژ می‌توان به عامل‌هایی همچون جریان اتصال کوتاه، ولتاژ مدار باز، ضریب پرشدگی و بازده تبدیل کل انرژی دست یافت که از عامل‌های مؤثر برای تعیین کارایی سلول‌های خورشیدی هستند [۲۸]. این نمودار برای سلول‌های خورشیدی ساخته‌شده در این پژوهش، در شکل ۶ آورده شده



شکل ۶ نمودار جریان-ولتاژ سلول‌های خورشیدی حساس شده با رنگدانه ساخته شده با الکتروود مقابل پلی پیرول/پلی آنیلین لایه‌نشانی شده با روش پوشش دهی چرخشی با ضخامت لایه ۱۱ میکرومتر (الف)، الکتروود مقابل پلی پیرول/پلی آنیلین لایه‌نشانی شده با روش پوشش دهی قطره‌ای با ضخامت لایه تقریبی ۱۹ میکرومتر (ب) و الکتروود مقابل پلاتین (ج)

چشمگیری افزایش یافته است که دلیل آن را می‌توان به فعالیت کاتالیستی عالی لایه هسته-پوسته پلی پیرول/ پلی آنیلین با ضخامت کم نسبت داد [۳۴ و ۳۵]. همچنین، در جدول ۲، مشخصه‌های سلول خورشیدی رنگدانه‌ای ساخته شده در این پژوهش با پژوهش‌های دیگر مقایسه شده است. برپایه جدول ۲، با وجود پایین بودن درصد بازده در پژوهش حاضر، مقدارهای عامل پرشدگی و ولتاژ مدار باز در مقایسه با نمونه پلی آنیلین خالص روند افزایشی داشته است که این نکته دست‌آورد مثبت پژوهش کنونی بشمار می‌رود. تقلیل بازده نمونه‌های تولیدشده در این پژوهش را می‌توان به فعالیت کاتالیستی عالی لایه هسته-پوسته پلی پیرول/پلی آنیلین با ضخامت کم نسبت داد. از سویی دیگر، روند افزایشی بازده سلول خورشیدی تهیه شده در نمونه پلی آنیلین خالص در مرجع [۱۲] به احتمال می‌تواند ناشی از بازده بالای تبدیل انرژی رنگدانه D179 نسبت به N719 باشد.

جدول ۱ مقایسه عامل‌های به دست آمده از نمودار جریان-ولتاژ سلول خورشیدی حساس شده با رنگدانه با الکتروود مقابل لایه‌نشانی شده به روش‌های متفاوت

بازده (%)	عامل پرشدگی	بیشینه توان خروجی (mW)	توان ورودی (mW)	بیشینه شدت جریان (mA)	جریان اتصال کوتاه (mA)	بیشینه ولتاژ (v)	ولتاژ مدار باز (v)	الکتروود مقابل
۱،۰۵	۵۷،۳۸	۱،۰۶	۱۰۰	۱،۹۶	۲،۵۹	۰،۵۴	۰،۷۱	لایه‌نشانی با پوشش دهی چرخشی
۰،۵۷۶	۴۹،۴۰	۰،۵۸	۱۰۰	۱،۲۰	۱،۷۰	۰،۴۸	۰،۶۹	لایه‌نشانی با پوشش دهی قطره‌ای
۰،۵۸۸	۳۶،۸۶	۰،۵۹	۱۰۰	۱،۴۰	۲،۳۱	۰،۴۲	۰،۶۹	الکتروود مرجع پلاتین

جدول ۲ جدول مقایسه مشخصه‌های سلول خورشیدی رنگدانه‌ای ساخته شده با پژوهش‌های دیگر

مرجع	ساختار الکتروود مقابل	نوع رنگدانه	ولتاژ مدارباز (v)	بیشینه ولتاژ (v)	جریان اتصال کوتاه (mA)	بیشینه شدت جریان (mA)	توان ورودی (mW)	بیشینه توان خروجی (mV)	عامل پرشدگی	بازده (%)
	ساختار هسته-پوسته پی‌پی‌روول/پی‌آنیلین	رنگدانه N719	۰٫۷۱	۰٫۵۴	۲٫۵۹	۱٫۹۶	۱۰۰	۱٫۰۵۸	۵۷٫۳۸	۱٫۰۵
[۱۲]	پی‌آنیلین خالص	رنگدانه D179	۰٫۴۸	عدم گزارش	۴٫۷۱	عدم گزارش	-	عدم گزارش	۰٫۴۵	۱٫۱۴
[۳۱]	پی‌آنیلین/گرافن	رنگدانه N719	۰٫۶۵	عدم گزارش	۱٫۲۰	عدم گزارش	-	عدم گزارش	۰٫۱۷	۱٫۳۰
[۱۸]	نانوگرافیت/پی‌پی‌روول	رنگدانه N719	۰٫۷۷	عدم گزارش	۱۴٫۸۳	عدم گزارش	-	عدم گزارش	۰٫۶۵	۷٫۴۰

نتیجه‌گیری

- به کارگیری درصد مناسبی از نانوذره‌ها و نانوسیم‌های تیتانیم دی‌اکسید در فوتوآنود، به مقدار چشمگیری بازده سلول خورشیدی را بهبود بخشید. همچنین، استفاده از ساختار هسته-پوسته پی‌پی‌روول/پی‌آنیلین با ضخامت مناسب به جای پلاتین اثر مثبتی در بازده کارایی سلول خورشیدی داشت و هزینه تمام شده را به مقدار چشمگیری تقلیل داد.

- سلول خورشیدی تهیه شده با الکتروود مقابل پی‌پی‌روول/پی‌آنیلین به روش پوشش دهی چرخشی، به ترتیب مقادیر ولتاژ مدار باز و جریان اتصال کوتاه ۰٫۷۱۳ و ۲٫۵۸ را ارائه کرد و توانست بازده سلول خورشیدی را تا مقدار ۱٫۰۵٪ نسبت به الکتروود مقابل پلاتینی بهبود ببخشد.

- سلول‌های خورشیدی رنگدانه‌ای ساخته شده از الکتروود مقابل هسته-پوسته پی‌پی‌روول/پی‌آنیلین لایه‌نشانی شده به روش پوشش دهی قطره‌ای و الکتروود مقابل پلاتینی به ترتیب بازده‌های ۰٫۵۷ و ۰٫۵۸ داشتند که نشانگر کارایی نزدیک به هم دیگر است.

در این پژوهش، سلول خورشیدی حساس شده با رنگدانه N719 بر پایه الکتروود مقابل نانو ساختار هسته-پوسته پی‌پی‌روول/پی‌آنیلین برای نخستین بار ساخته شد و تاثیر روش‌های متفاوت لایه‌نشانی بر ضخامت لایه در الکتروود، و بهبود کارایی سلول خورشیدی ارزیابی شد. افزون بر بررسی تاثیر روش لایه‌نشانی بر ضخامت، بررسی تاثیر درصدهای متفاوتی از لایه ترکیبی تشکیل شده از نانوسیم و نانوذره‌های تیتانیم دی‌اکسید در فوتوآنود بر کارایی سلول خورشیدی مذکور انجام شد. مشخصه‌یابی جریان-ولتاژ سلول خورشیدی تهیه شده با سلول خورشیدی رنگدانه‌ای دارای الکتروود مقابل مرجع پلاتینی مقایسه شد. نتیجه‌های ارزیابی‌های می‌تواند به دست آمده از تاثیر مواد استفاده شده در سلول خورشیدی را می‌توان به شرح زیر خلاصه کرد:

مراجع

- [1] Mohiuddin, O.; Obaidullah, M.; Sabah, C.; Opt. Quantum Electron 50, 1-28, 2018.
- [2] Saranya, K.; Rameez, M.; Subramania, A.; Eur. Polym. J. 66, 207-227, 2015.
- [3] Bahramian, A.; Kerami, A.; Vashai, D.; J. Appl. Chem. 13, 73-84, 2019.
- [4] Sharma, S.; Siwach, B.; Ghoshal, S.; Mohan, D.; Renew. Sust. Energ. Rev. 70, 529-537, 2017.
- [5] Kumara, N.; Lim, A.; Lim, C. M.; Petra, M. I.; Ekanayake, P.; Renew. Sust. Energ. Rev. 78, 301-317, 2017.

- [6] Ahmad, M.S.; Pandey, A.K.; Abd Rahim, N.; *Renew. Sust. Energ. Rev.* 77, 89–108, 2017.
- [7] Gong, J.; Sumathy, K.; Qiao, Q.; Zhou, Z.; *Renew. Sust. Energ. Rev.* 68, 234-246, 2017.
- [8] Azimi, J.; Kiani, G.; Karimzad Ghavidel, A.; Mahdavinia, M.; *Karafan Quarterly Scientific Journal* 2022. (In press)
- [9] Tomar, N.; Dhaka, V.S.; Surolia, P.K.; *Mater. Today: Proc.* 43, 2975-2978, 2021.
- [10] Pei, J.; Guo, F.; Zhang, J.; Zhou, B.; Bi, Y.; Li, R.; *J. Clean. Prod.* 288, 125-338, 2021.
- [11] Xia, J.; Chen, L.; Yanagida, S.; *J. Mater. Chem.* 21, 4644-4649, 2011.
- [12] Farooq, S.; Tahir, A.A.; Krewer, U.; Bilal, S.; *Electrochim. Acta* 320, 134544, 2019.
- [13] Li, Q.; Wu, J.; Tang, Q.; Lan, Z.; Li, P.; Lin, J.; Fan, L.; *Electrochem. Commun.* 10, 1299-1302, 2008.
- [14] Ghafoor, U.; Aqeel, A.B.; Zaman, U.K.U.; Zahid, T.; Noman, M.; Ahmad, M.S.; *Energies* 14, 3786, 2021.
- [15] Tas, R.; Can, M.; Sonmezoglu, S.; *IEEE J. Photovolt.* 7, 792-801, 2017.
- [16] Li, Q.; Wu, J.; Tang, Q.; Lan, Z.; Li, P.; Lin, J.; Fan, L.; *Electrochem. commun.* 10, 1299-1302, 2008.
- [17] Pan, L.; Qiu, H.; Dou, C.; Li, Y.; Pu, L.; Xu, J.; Shi, Y.; *Int. J. Mol. Sci.* 11, 2636-2657, 2010.
- [18] Rahman, M.S.; Hamed, W.A.; Yahya, R.B.; Mahmud, H.N.M.E.; *J. Polym. Res.* 23, 1-13, 2016.
- [19] Ghani, S.; Sharif, R.; Bashir, S.; Ashraf, A.; Shahzadi, S.; Zaidi, A.A.; Kamboh, A.H.; *Mater Sci Semicond* 31, 588-592, 2015.
- [20] Yue, G.; Zhang, X.A.; Wang, L.; Tan, F.; Wu, J.; Jiang, Q.; Lan, Z.; *Electrochim. Acta* 129, 229-236, 2014.
- [21] Xiao, Y.; Wu, J.; Yue, G.; Lin, J.; Huang, M.; Lan, Z.; Fan, L.; *Electrochim. Acta.* 85, 432-437, 2012.
- [22] Hagfeldt, A.; Boschloo, G.; Sun, L.; Kloo, L.; Pettersson, H.; *Chem. Rev.* 110, 6595-6663, 2010.
- [23] Upadhyay, J.; Kumar, A.; Gogoi, B.; Buragohain, A.K.; *Mater. Sci. Eng. C.* 54, 8-13, 2015.
- [24] Liang, B.; Qin, Z.; Zhao, J.; Zhang, Y.; Zhou, Z.; Lu, Y.; *J. Mater. Chem.* 2, 2129-2135, 2014.
- [25] Selvapriya, R.; Mayandi, J.; Ragavendran, V.; Sasirekha, V.; Vinodhini, J.; Pearce, J. M.; *Ceram. Int.* 45, 7268-7277, 2019.
- [26] Selvaraj, P.; Roy, A.; Ullah, H.; Sujatha Devi, P.; Tahir, A.A.; Mallick, T.K.; Sundaram, S.; *Int. J. Energy Res.* 43, 523-534, 2019.
- [27] Rodrigues, D.F.; Santos, F.; Abreu, C.M.; Coelho, J.F.; Serra, A.C.; Ivanou, D.; Mendes, A.; *ACS Sustain. Chem. Eng.* 9, 5981-5990, 2021.
- [28] Kalyanasundaram, K.; Grätzel, M.; *Mater. Lett.* 4, 88-90, 2009.
- [29] Hardani, H.; Ridwan Harahap, M.; Suhada, A.; *Int. J. Thin Film Sci. Technol.* 11, 6, 2022.
- [30] Chikate, B.V.; Sadawarte, Y.; Sewagram, B.; *Int. J. Comput. Appl.* 1, 0975-8887, 2015.
- [31] Zhang, X.; Wang, S.T.; Wang, Z.S.; *Appl. Phys. Lett.* 99, 113503, 2011.
- [32] Mi, H.; Zhang, X.; Ye, X.; Yang, S.; *J. Power Sources* 176, 403-409, 2008.
- [33] Cogal, S.; Ali, A.K.; Erten-Ela, S.; Celik Cogal, G.; Kulicek, J.; Micusik, M.; Oksuz, A.U.; *J. Macromol. Sci. A* 55, 317-323, 2018.
- [34] Pradhan, S.C.; Soman, S.; *Surf. Interfaces.* 5, 100030, 2021.
- [35] Theerthagiri, J.; Senthil, A.R.; Madhavan, J.; Maiyalagan, T.; *Chem Electro Chem.* 2, 928-945, 2015.

Improving the Performance of N719 Based Dye-Sensitized Solar Cell by Application of Polypyrrole/Polyaniline Conductive Polymers as a Counter Electrode

M. Mahdavinia¹, G. Kiani^{2,*}, A. Karimzad Ghavidel³

1. Ph.D Student of Department of Organic Chemistry and Biochemistry, Faculty of Chemistry, University of Tabriz, Tabriz, Iran.
2. Associate Prof. of Department of Organic Chemistry and Biochemistry, Faculty of Chemistry, University of Tabriz, Tabriz, Iran.
3. Instructor of Department of Mechanical Engineering, Technical and Vocational University (TVU), Tehran, Iran.

Abstract: The aim of this research is the fabrication of a titanium dioxide nanostructure-based solar cell sensitized with N719 dye, and improving its efficiency with the application of a core-shell structure of polypyrrole/polyaniline as a counter electrode. The solar cells with polymeric counter electrode were fabricated, in variable thicknesses by two spin coating and drop coating methods, and evaluated. In addition, the effect of nanowires and titanium dioxide nanoparticles concentration, present in photo-anode, was investigated on the performance of solar cell. The absorption amount of N719 dye was studied by spectrophotometer, and the maximum absorption was obtained at the wavelengths of 380 and 530 nm. The structural investigation of photo-anode and counter electrode by scanning electron microscope showed that the combination of nanoparticles and titanium dioxide nanowires with 1:9 ratio leads to a porous structure with a high surface-to-volume ratio that has a significant effect on the absorption of the dye and solar cell efficiency. The prepared solar cell by the drop coating method did not have appropriate performance. So, the focus of the research was directed towards the sample prepared by spin coating method. The solar cell sample with the counter electrode, containing polypyrrole/polyaniline, fabricated by spin coating method offers the open circuit voltage of 0.71 V, short circuit current of 2.58 mA, fill factor of 57.38, and efficiency of 1.05, which open circuit voltage and fill factor have been improved by 7.6 and 35 times compared to similar samples, respectively.

Keywords: Dye-Sensitized solar cell, Polyaniline, Polypyrrole, Conductive polymer, Polymer counter electrode.