

مطالعه اثر الکترولیت بر عملکرد سلول خورشیدی حساس شده به مواد رنگزا بر پایه مواد رنگزای ایندولینی

مژگان حسین‌نژاد^{۱*}، کمال‌الدین قرنجیگ^{۱،۲}

^۱ موسسه پژوهشی علوم و فناوری رنگ و پوشش، گروه پژوهشی مواد رنگزای آلی، تهران، ایران.
^۲ موسسه پژوهشی علوم و فناوری رنگ و پوشش، قطب علمی رنگ، تهران، ایران

تاریخ ثبت اولیه: ۱۳۹۴/۶/۱۸، تاریخ دریافت نسخه اصلاح شده: ۱۳۹۵/۸/۵، تاریخ پذیرش قطعی: ۱۳۹۵/۸/۱۲

چکیده دو ماده رنگزای آلی بر پایه ایندولین به عنوان ماده حساس به نور حاوی فنوتیازین به عنوان گروه الکترون دهنده و آکرلیک اسید (ماده رنگزای ۱) و سیانوآکرلیک اسید (ماده رنگزای ۲) به عنوان گروه الکترون گیرنده تهیه شد. خواص اسپکتروسکوپی مواد رنگزای سنتز شده در محلول و در حالت جذب شده بر روی اکسید روی مورد مطالعه قرار گرفت. طول موج ماکزیمم جذب ماده رنگزای آلی در محلول ۴۱۲ و ۴۲۴ نانومتر و بر روی لایه اکسید روی ۴۳۸ و ۴۲۹ نانومتر است. حداکثر زمان جذب مواد رنگزا بدون تجمع و رسوب بر روی فوتوالکتروکاتود اکسید روی در حدود ۱۰ ساعت است. اثر حضور یون لیتیم و نسبت ترکیب مخلوط ید/تری‌یدید به عنوان الکترولیت بر عملکرد سلول خورشیدی بررسی شد. افزایش غلظت یون‌های لیتیم در الکترولیت سبب کاهش باند هدایت اکسید روی شده که تاثیر مستقیمی در پدیده بازترکیب دارد. بالاترین راندمان تبدیل برای ماده رنگزای ۲ در حضور یون لیتیم با غلظت یک میلی‌مول و در حدود ۵/۱۷٪ به دست آمد.

کلمات کلیدی: ایندولین، سلول خورشیدی حساس شده به مواد رنگزا، اکسید روی، الکترولیت.

Investigation of Effect Electrolyte on Performance of Dye-Sensitized Solar Cells Based on Indoline Dyes

M. Hosseinnezhad^{1,2*}, K. Gharanjig^{1,2}

¹ Institute for Color Science and Technology, Department of Organic Colorants, Tehran, Iran.

² Institute for Color Science and Technology, Center of Excellence of Color Science and Technology, Tehran, Iran.

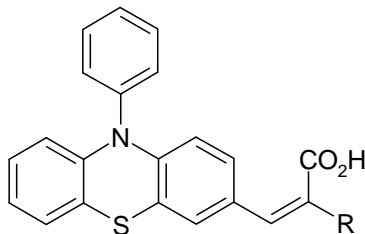
Abstract Two organic dyes based on indoline were prepared as photosensitizer contain phenothiazine as the electron donor group and acrylic acid (Dye 1) and cyanoacrylic acid (Dye 2) as the electron acceptor anchoring. Spectrophotometric measurements of the synthesized dyes in solution and on a ZnO substrate were carried out in order to assess changes in the status of the dyes. The wavelength of maximum absorption of dye 1 and dye 2 in solution are 412 nm and 424 nm and on ZnO films are 429 nm and 438 nm, respectively. Maximum dye adsorption time around 10h could be utilized with minimum aggregation or precipitation of the dye on photoelectrode substrate. The effect of Li ions and composition of the iodide/triiodide based electrolyte on the performance of DSSCs were investigated. A high concentration of Li ions in electrolyte was found to be shift the ZnO conduction band edge to more negative potentials that have a direct effect on recombination phenomena. The Maximum conversion efficiency was achieved for dye 2 in the presence of 1mM Li ions around 5.17%.

Keywords: Indoline, Dye-sensitized solar cell, ZnO, Electrolyte.

۱- مقدمه

اکسیدرویی، افزایش پایداری لایه نانو اکسید روی در تماس با محلول ماده رنگزا است. در زمانهای طولانی غوطه‌وری، امکان تخریب این لایه بالا می‌رود بنابراین زمان مناسب غوطه‌وری تاثیر چشمگیری بر روی بهبود عملکرد سلول خورشیدی دارد [۱۱ و ۱۲].

ما در این مقاله برای اولین بار دو ماده رنگزای آلی عاری از فلز بر پایه ایندولین را در سلول خورشیدی حساس شده به مواد رنگزا حاوی فوتوالکتروکود اکسید روی به کار برده و خواص نوری آن را بررسی نموده‌ایم. در این مواد رنگزا N- فنیل فنوتیازین به عنوان بخش الکترون دهنده و آکرلیک اسید و سیانوآکرلیک اسید به عنوان واحد الکترون گیرنده استفاده می‌شود. شکل (۱) پس از تهیه و خالص‌سازی، خواص جذبی و نشری هر یک از مواد رنگزای سنتز شده در حلال و در حالت لایه‌نشانی شده بر روی اکسید روی بررسی می‌شود. در نهایت مواد رنگزای خالص‌سازی شده در ساختار سلول خورشیدی نانو ساختار حاوی فوتوالکتروکود اکسیدرویی و ترکیب متنوعی از الکتروولت اعمال گردیده و خواص فوتولتاییک و راندمان تبدیل هر یک از آنها مطالعه می‌شود.



Dye 1: R=H
Dye 2: R=CN

شکل ۱. مواد رنگزای آلی به کار رفته.

۲- روش تحقیق

۲-۱ مواد و تجهیزات مورد استفاده

مواد اولیه مصرفی در این مقاله شامل دی‌متیل فرمامید، مالانویک اسید، سیانوآستیک اسید و پی‌پیریدین همه از نوع آزمایشگاهی، از شرکت مرک تهیه گردید. مواد رنگزای مورد استفاده طبق روش‌های استاندارد تهیه و خالص‌سازی گردید [۱۱]. برای بررسی مشخصات جذبی و نشری مواد رنگزای سنتز شده به ترتیب از دستگاه اسپکتروفوتومتر در ناحیه مرئی - فرابنفش Double beam CECIL ۹۲۰۰ و دستگاه

از سال ۱۹۹۱ که برای اولین بار سلول‌های خورشیدی حساس به مواد رنگزا (DSSCs) توسط گراتزل و همکارانش معرفی گردید [۱] تا امروز تحقیقات گسترده‌ای در این حوزه در حال انجام است. سلول‌های خورشیدی حساس به مواد رنگزا به دلیل راندمان تبدیل بالا و قیمت پایین نسبت به سلول‌های خورشیدی سیلیکونی بسیار مورد توجه قرار گرفته‌اند [۲]. اولین سلول خورشیدی حساس شده به مواد رنگزا با استفاده از کمپلکس روتنیوم به عنوان ماده رنگزا تهیه گردید. سلول تهیه شده از کمپلکس روتنیوم و سایر ترکیبات آلی - معدنی اغلب دارای بازده کوانتومی بالایی بوده (۱۰٪ تا ۱۴٪) و گستره وسیعی از طول موج نور مرئی را جذب می‌کنند اما این ترکیبات به دلیل فرایند پیچیده تهیه و خالص‌سازی بسیار بالا است [۳] به همین دلیل ساختارهای آلی بدون فلز که دارای قیمت تمام شده پایین بوده و همزمان دارای راندمان تبدیل و پایداری نزدیک به کمپلکس‌های آلی - معدنی باشند مورد توجه قرار گرفته‌اند [۴]. ساختارهای شیمیایی متنوعی مانند پرلن‌ها، کومارین‌ها، سیانین‌ها، تیوفن‌ها، ایندولین‌ها و ... به عنوان مواد رنگزا در سلول‌های خورشیدی به کار می‌روند [۵، ۶]. نقش مواد رنگزا تولید الکترون با دریافت نور فرودی می‌باشد. هرچند ارائه یک ساختار شیمیایی مناسب جهت حداکثر تولید الکترون دارای اهمیت بسزایی است اما انتقال الکترون‌های تولید شده به لایه اکسید فلزی نیز نقش تعیین کننده‌ای دارد [۷]. اکسید روی به دلیل موقعیت باند هدایت و تشابه ترازهای انرژی با دی‌اکسید تیتانیم، یک اکسید فلزی رایج برای کاربرد در سلول‌های خورشیدی حساس شده به مواد رنگزا است [۸]. برخلاف سلول‌های خورشیدی تهیه شده براساس فوتوالکتروکود دی‌اکسید تیتانیم، تحقیقات کمتری روی افزاره‌های بر پایه اکسید روی انجام شده است [۹]. بهترین راندمان تبدیل گزارش شده برای سلول‌های خورشیدی حاوی فوتوالکتروکود اکسیدرویی در حدود ۴ تا ۶٪ است [۱۰]. فرایندهای تولید اکسیدرویی دارای تنوع بالایی بوده بنابراین مورفولوژی‌های متعددی از نانوذرات اکسیدرویی به آسانی به دست می‌آید، اما تنها برخی از این پیکربندی‌ها برای استفاده در سلول‌های خورشیدی کاربرد دارند [۱۱]. یکی از نکات مهم در تهیه سلول‌های خورشیدی با استفاده از فوتوالکتروکودهای

تتراکسی کلرید لیتیوم، ۰/۵ مول ۴- تترابوتیل پیریدین، ۰/۱ مول ید در ۳- متوکسی پروپونیتریل و الکترولیت ۳: ۰/۷: ۰/۱ مول یدیدتترابوتیل آمونیوم، ۰/۵ مول ۴- تترابوتیل پیریدین، ۰/۱ مول ید در ۳- متوکسی پروپونیتریل.

۳- نتایج و بحث

مواد رنگزای آلی عاری از فلز شکل (۱) مطابق روش استاندارد سنتز گردید [۱۱]. در این ترکیبات N-فنیل فنوتیازین به عنوان گروه الکترون دهنده و آکرلیک اسید و سیانو آکرلیک اسید به عنوان گروه‌های الکترون کشنده در نظر گرفته شدند. مواد رنگزای سنتز شده پس از خالص‌سازی به روش کروماتوگرافی صفحه‌ای، توسط روش‌های آنالیز دستگاهی شناسایی شده و صحت ساخت آنها مورد تایید قرار گرفت.

مواد رنگزای سنتز شده در استونیتریل حل گردیدند تا خواص جذبی و نشری آنها بررسی شود (جدول ۱). طول موج بیشینه جذب (λ_{max}) و ضریب جذب مولی (ϵ_{max}) برای مواد رنگزا مهم می‌باشد. طول موج بیشینه جذب نوار مرئی، فام ماده رنگزا را مشخص می‌کند. شدت نوار مرئی یا ϵ_{max} قدرت رنگی ماده رنگزا را تعیین می‌کند. هرچه مقدار ضریب جذب مولی ماده رنگزا بیشتر باشد قدرت رنگی آن بالاتر است [۱۱]، [۱۳]. میزان جذب مولار مواد رنگزای سنتز شده به ترتیب $24125 \text{ l mol}^{-1} \text{ cm}^{-1}$ و $24829 \text{ l mol}^{-1} \text{ cm}^{-1}$ است. در این مواد رنگزا یک نوار جذبی شدید در محدوده مرئی دیده می‌شود (شکل ۲) که به جابجایی $n \rightarrow \pi^*$ نسبت داده می‌شود [۱۴]. ویژگی‌های نشری مواد رنگزای سنتز شده در حلال استونیتریل با غلظت $10^{-4} \text{ mol l}^{-1}$ اندازه‌گیری شد. جدول (۱) هرچه مولکول قطبی‌تر باشد ممان دوقطبی بالاتر بوده و بر هم‌کنش با حلال قطبی بالاتر رفته و جابجایی استوکس افزایش می‌یابد [۱۵]. نشر فلورسنس به دلیل انتقال بار از گروه الکترون دهنده به گروه الکترون گیرنده است، بنابراین هر چه گروه الکترون دهنده، قوی‌تر باشد نشر ساده‌تر انجام شده و طول موج ماکزیم نشر جابجایی باتوکرومیک نشان خواهد داد. از مقایسه مواد رنگزای سنتز شده برپایه آکرلیک اسید و سیانوآکرلیک اسید مشخص می‌شود که مواد رنگزای حاوی گروه سیانو که یک گروه الکترون گیرنده قوی است [۱۰]، دارای جابجایی باتوکرومیک هستند. طول موج بیشینه جذب مواد رنگزای سنتز

فلورومتر ۲۰۰۰flg Ocean Optics Usb2000flg استفاده گردید. منحنی مشخصه چگالی جریان-ولتاژ هر سلول تحت روشنایی، با استفاده از یک شبیه‌ساز خورشیدی با شدت 1000 W/m^2 و دستگاه مشخصه‌یاب جریان-ولتاژ (Cassy-e ۵۲۴۰۰۰) اندازه‌گیری شد.

۲-۲ بررسی ویژگی‌های جذبی و نشری مواد رنگزای سنتز شده

برای تعیین ویژگی‌های جذبی و نشری هر یک از مواد رنگزا از روش‌های اسپکتروفتومتری در ناحیه مرئی- ماوراء بنفش استفاده شد. برای این کار مقدار معینی از هر یک از مواد رنگزای سنتز شده در مقدار مشخصی از استونیتریل حل شد و پروفیل نوار جذبی و نشری برای هر یک از آنها به دست آمدند. بدین ترتیب شکل نوار جذبی، نشری، ماکزیم طول موج جذب و نشر به دست آمدند.

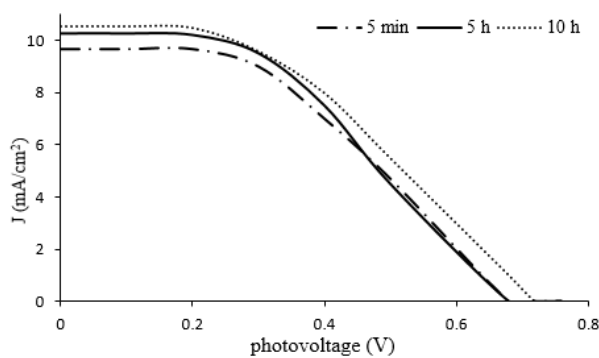
۲-۳ تهیه سلول خورشیدی با استفاده از مواد رنگزای سنتز شده

خمیر شفاف حاوی نانوکریستال اکسیدروی با قطر ۲۰ نانومتر در محلولی حاوی ۶۶٪ اتانول، ۳۳٪ آب و ۱٪ اسید استیک دیسپرس شده و به روش اسکرین پرینت بر روی شیشه هادی FTO اعمال شده (۲۰ میکرومتر) و سپس به مدت ۳۰ دقیقه در دمای 350°C خشک گردید. سپس فیلم خشک شده تا دمای 100°C سرد شد. فیلم اکسیدروی به مدت ۱۰ ساعت در محلول ماده رنگزای مورد نظر غوطه‌ور شده و سپس به مدت ۱۵ دقیقه در اتانول قرار گرفت تا ماده رنگزای جذب نشده برطرف گردد. الکتروود آند، الکتروود مقابل (شیشه FTO پلاتینه شده) و یک فیلم Sealing به روش اعمال حرارت مجتمع گردید. یک قطره از محلول الکترولیت درون حفره ایجاد شده روی الکتروود مقابل ریخته و با ایجاد خلاء، کل سیستم پر شد و در نهایت حفره با یک تکه شیشه اضافی مسدود گردید. عملکرد سلول‌های خورشیدی تهیه شده تحت نور AM ۱/۵ بررسی شد [۱۲]. ترکیب الکترولیت‌های به کار رفته در این جا عبارتند از: الکترولیت ۱: ۰/۱ مول یدید لیتیوم، ۰/۶ مول یدیدتترابوتیل آمونیوم، ۰/۵ مول ۴-تترابوتیل پیریدین، ۰/۱ مول ید در ۳- متوکسی پروپونیتریل؛ الکترولیت ۲: ۰/۷ مول یدیدتترا بوتیل آمونیوم، ۰/۰۱ مول

مواد رنگزای آلی سنتز شده به عنوان تولید کننده جریان بر روی لایه نانوکریستال اکسیدروی تهیه شده و رفتار فوتولتائیک آن‌ها بررسی گردید. در مورد بهینه‌سازی الکترولیت، مشاهده شد که عملکرد سلول‌های خورشیدی تهیه شده با فوتوالکتروکاتود اکسید روی بر پایه مواد رنگزای ایندولینی به صورت مشخصی وابسته به غلظت یون لیتیم است.

جدول ۲. اثر زمان غوطه‌وری بر ویژگی‌های فوتولتائیک سلول خورشیدی بر پایه ماده رنگزای ۱.

زمان غوطه‌وری	Voc (V)	Jsc (mA.cm ⁻²)	FF (%)	η (%)
۵ دقیقه	۰/۶۸	۹/۶۷	۰/۵۵	۳/۴۲
۵ ساعت	۰/۶۹	۱۰/۲۶	۰/۵۰	۳/۵۴
۱۰ ساعت	۰/۷۶	۱۰/۵۶	۰/۵۳	۴/۰۳



شکل ۳. نمودار فوتوجریان-فوتولتاژ سلول خورشیدی حاوی ماده رنگزای ۱ در زمان‌های مختلف غوطه‌وری.

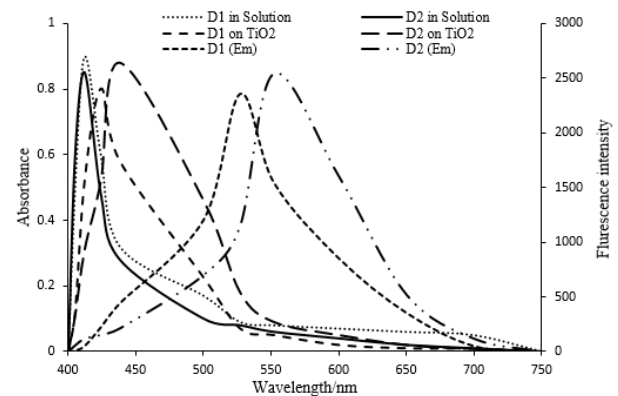
در آزمایشگاه سه الکترولیت با سه غلظت مختلف از یون لیتیم تهیه شد و در ساختار سلول خورشیدی به کار رفت. نمودارهای فوتوجریان-فوتولتاژ برای سلول‌های خورشیدی تهیه شده از مواد رنگزای آلی سنتز شده در شکل (۴) نشان داده شده است و پارامترهای فوتولتائیک در جدول (۳) آورده است. نتایج نشان داد که کاهش غلظت یون لیتیم سبب افزایش راندمان تبدیل سلول خورشیدی می‌گردد. با این حال حضور کمی یون لیتیم در حدود ۰/۰۰۱ مول سبب بهبود عملکرد سلول خورشیدی می‌شود. جدول (۳)

در مورد سلول‌های خورشیدی حساس شده به مواد رنگزا بر پایه فوتوالکتروکاتود اکسیدروی، یون‌های لیتیم جذب سطحی لایه اکسیدروی می‌شود. بنابراین به دلیل بار سطحی ایجاد شده بر روی فوتوالکتروکاتود، تراز انرژی باند هدایت کاهش می‌یابد. به علاوه بار سطحی ایجاد شده سبب آشفستگی در انتقال

شده در حالت اعمال شده بر روی لایه اکسیدروی بررسی گردید (جدول ۱). نتایج نشان داد که طول موج بیشینه جذب مواد رنگزا بر روی لایه اکسیدروی نسبت به حالت محلولی به ترتیب دارای ۱۷ نانومتر و ۱۴ نانومتر شیفت باتوکرومیک بوده که ناشی از تجمع J مواد رنگزا بر روی لایه اکسیدروی است [۱۱].

جدول ۱. طول موج ماکزیم جذب و نشر مواد رنگزای سنتز شده.

ماده رنگزا	λ _{max} (nm) (محلول)	λ _{max} (nm) (اکسید روی)	λ _F (nm)
۱	۴۱۲	۴۲۹	۵۲۷
۲	۴۲۴	۴۳۸	۵۵۲



شکل ۲. طیف جذبی در حالت محلول و جذب شده بر روی لایه اکسیدروی و طیف نشری مواد رنگزا.

تحقیقات نشان می‌دهد که مرحله جذب ماده رنگزا بر روی فوتوالکتروکاتود اکسیدروی یک مرحله تعیین کننده در ساخت یک سلول خورشیدی بهینه بر پایه اکسیدروی است [۱۶، ۱۷]. در اینجا سه زمان مختلف ۵ دقیقه، ۵ ساعت و ۱۰ ساعت برای غوطه‌وری ماده رنگزای ۱ در نظر گرفته شد. سپس سلول‌های خورشیدی نانو ساختار تهیه گردید. ویژگی‌های فوتولتائیک سلول‌های خورشیدی تهیه شده در جدول (۲) و شکل (۳) آورده شده است. نتایج نشان می‌دهد که افزایش زمان غوطه‌وری سبب کاهش راندمان تبدیل سلول خورشیدی نمی‌شود. با افزایش زمان غوطه‌وری میزان پوشش دهی ماده رنگزا بر روی لایه فوتوالکتروکاتود افزایش یافته بنابراین دانسیته جریان مدار بسته (J_{sc}) افزایش می‌یابد. در این تحقیق برای تهیه سلول خورشیدی از زمان غوطه‌وری ۱۰ ساعت که دارای بالاترین راندمان تبدیل بود، استفاده گردید. در نهایت سلول‌های خورشیدی نانو ساختار با استفاده از

[۲۱]. کاهش طول عمر الکترون سبب کاهش امکان انتقال الکترون از ماده رنگزای تهیج شده به فوتوالکتروود نانوکریستالی می‌گردد به عبارت دیگر پدیده بازترکیب را افزایش می‌دهد [۲۲].

۴- نتیجه گیری

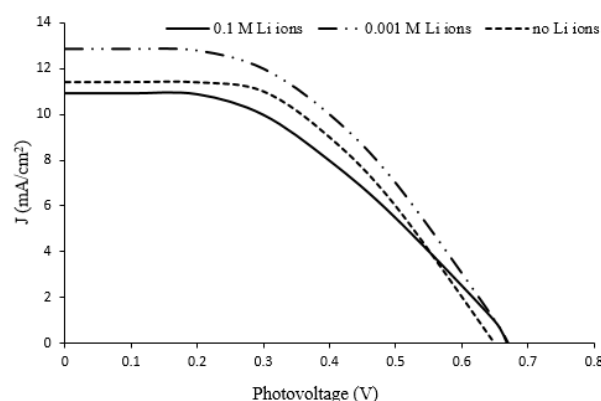
دو ماده رنگزای آلی بر پایه ایندولین به عنوان ماده حساس به نور انتخاب شد و در ساختار سلول خورشیدی حساس به ماده رنگزا دارای فوتوالکتروود اکسیدروی اعمال گردید. خواص اسپکتروسکوپی جذبی و نشری مواد رنگزای سنتز شده به ترتیب در استونیتریل مورد بررسی قرار گرفت. نتایج نشان دادند که مواد رنگزای سنتز شده در فاز محلول دارای طول موج ماکزیمم جذب در حدود ۴۱۲ و ۴۲۴ نانومتر و در حالت جذب شده بر روی لایه اکسیدروی دارای طول موج ماکزیمم جذب در حدود ۴۲۹ و ۴۳۸ نانومتر هستند. طول موج ماکزیمم نشر مواد رنگزای سنتز شده ۵۲۷ و ۵۵۲ نانومتر است که ماده رنگزای ۲ نسبت به ماده رنگزای ۱ به دلیل حضور گروه الکترون کشنده سیانو در سمت دیگر مولکول و سهولت جریان بار در طول سیستم مزدوج دارای جابجایی باتوکرومیک می‌باشد. در این تحقیق ۱۰ ساعت به عنوان زمان بهینه غوطه‌وری برای به دست آوردن بالاترین راندمان تبدیل انتخاب شد.

در نهایت سلول‌های خورشیدی نانو ساختار با استفاده از مواد رنگزای آلی سنتز شده به عنوان تولید کننده جریان بر روی لایه نانو بلور اکسیدروی تهیه شده و رفتار فوتولتائیک آن‌ها در حضور الکتروولیت‌های مختلف بررسی گردید. راندمان تبدیل ماده رنگزای ۱ در حضور یون لیتیم ۰/۱M، ۰/۰۰۱M و بدون یون لیتیم به ترتیب ۴/۰۲٪، ۴/۸۲٪ و ۴/۱۱٪ است. راندمان تبدیل ماده رنگزای ۲ در حضور یون لیتیم ۰/۱M، ۰/۰۰۱M و بدون یون لیتیم به ترتیب ۴/۵۵٪، ۵/۰۵٪ و ۶/۶۳٪ است. بنابراین استفاده از الکتروولیت‌های حاوی غلظت‌های پایینی از یون لیتیم سبب بهبود راندمان تبدیل سلول خورشیدی می‌شود. ماده رنگزای ۲ به دلیل حضور گروه الکترون کشنده سیانوآکرلیک اسید اتصالات موثرتری با لایه اکسیدروی ایجاد می‌کند در نتیجه راندمان تبدیل بالاتری نسبت به ماده رنگزای ۱ با گروه الکترون کشنده آکرلیک اسید دارد.

الکترون تهیج یافته از ماده رنگزا به لایه نانوکریستال شده و در مجموع سبب کاهش راندمان تبدیل می‌گردد [۱۸، ۱۹].

جدول ۳. اثر حضور یون لیتیم بر پارامترهای فوتولتائیک سلول‌های خورشیدی نانو ساختار با استفاده از مواد رنگزای آلی سنتز شده.

یون لیتیم	Voc (V)	Jsc (mA.cm ⁻²)	FF (%)	η (%)
ماده رنگزای ۱				
۰/۱ مول	۰/۶۸	۱۰/۹۴	۰/۵۴	۴/۰۲
۰/۰۰۱ مول	۰/۷۲	۱۲/۸۷	۰/۵۲	۴/۸۲
بدون یون لیتیم	۰/۷۳	۱۱/۴۱	۰/۵۰	۴/۱۱
ماده رنگزای ۲				
۰/۱ مول	۰/۷۰	۱۲/۷۴	۰/۵۱	۴/۵۵
۰/۰۰۱ مول	۰/۷۱	۱۳/۶۷	۰/۵۲	۵/۰۵
بدون یون لیتیم	۰/۷۲	۱۲/۱۳	۰/۵۳	۴/۶۳



شکل ۴. نمودار فوتوجریان-فوتولتاژ سلول خورشیدی حاوی ماده رنگزای ۱ در حضور غلظت‌های مختلف یون لیتیم.

حضور یون لیتیم در غلظت‌های بالا در الکتروولیت سلول‌های خورشیدی حساس شده به ماده رنگزا بر پایه نانوفوتوالکتروود اکسیدروی سبب افزایش تراز انرژی باند هدایت می‌شود اما در غلظت‌های اندک (یک میلی‌مول) معکوس خواهد شد. به عبارتی استفاده از الکتروولیت‌هایی حاوی غلظت کمی از یون لیتیم سبب کاهش تراز انرژی باند هدایت اکسیدروی نسبت به حالتی که یون لیتیم وجود ندارد، می‌گردد [۲۰].

اما از آنجاکه که یون لیتیم بر روی فوتوالکتروود اکسیدروی جذب سطحی نمی‌گردد کاهش سطح تراز انرژی سبب بهبود راندمان تبدیل می‌شود. تحقیقات نشان می‌دهد که حضور غلظت‌های کمی از یون لیتیم در الکتروولیت سبب افزایش زمان طول عمر الکترون‌های تهیج یافته نیز می‌گردد

15. Shaki, H., Gharanjig, K., Rouhani, S., Khosravi, A., Synthesis and photophysical properties of some novel fluorescent dyes based on naphthalimide derivatives, *Journal of Photochemistry and Photobiology A: Chemistry*, 2010, 216, 44-52.
16. Keis, K., Lindgren, J., Lindquist, S.E., Hagfeldt, A., Studies of the Adsorption Process of Ru Complexes in Nanoporous ZnO Electrodes, *Langmuir*, 2000, 16, 4688-4694.
17. Andrienko, D., Cyclic Voltammetry, John Wiley & Sons publication, New York. 2008, 3-12.
18. Redmond, G., Fitzmaurice, D., Spectroscopic determination of flatband potentials for polycrystalline titania electrodes in nanoaqueous solvent, *The Journal of Physical Chemistry*, 1993, 97, 1426-1430.
19. Liu, Y., Hagfeldt, A., Xiao, X.R., Lindquist, S. E., Investigation of influence of redox species on the interfacial energetics of a dye-sensitized nanoporous TiO₂ solar cells, *Solar Energy Materials and Solar Cells*, 1998, 55, 267-281.
20. Fredin, K., Nissfolk, J., Boschloo, G., Hagfeldt, A., The influence of cations on charge accumulation in dye-sensitized solar cells, *Journal of Electroanalytical Chemistry*, 2007, 609, 55-60.
21. Bisquert, J., Fabregat-santiago, F., Mora-Sero, I., Belmonte, G., Gimenez, S., Electron lifetime in dye-sensitized solar cells: Theory and interpretation of measurement, *The Journal of Physical Chemistry*, 2009, 113, 17278-17296.
22. Ching, Y., Chen, R., Shen, P., Chen, P., Guo, T., Extension lifetime for dye-sensitized solar cells through multiple dye absorption/desorption process, *Journal of Power Sources*, 2013, 225, 257-262.

سپاسگزاری

نویسندگان از قطب علمی رنگ موسسه پژوهشی علوم و فناوری رنگ و پوشش به دلیل حمایت از این پروژه سپاسگزاری می‌نمایند.

مراجع

1. Xu, H., Tao, X., Wang, D., Zheng, Y., Chen, J., Enhanced efficiency in dye-sensitized solar cells based on TiO₂ nanocrystal/nanotube double-layered films, *Electrochimica Acta*, 2010, 55, 2280-2285.
2. O'Regan, B., Grätzel, M., A low cost, high efficiency solar cell based on dye-sensitized colloidal TiO₂ films, *Nature*, 1991, 353, 737-740.
3. Hosseinneshad, M., Moradian, S., Gharanjig, K., Synthesis and characterization of two new organic dyes for dye-sensitized solar cells, *Synthetic Commun*, 2014, 44, 779-787.
4. Hosseinneshad, M., Moradian, S., Gharanjig, K., Synthesis and application of two organic dyes for dye-sensitized solar cells, *Progress in Color, Colorants and Coatings Journal*, 2013, 6, 107-109.
5. Groningen, R., Fullerene based Organic Solar Cells, *Timisoara, Romaine*, 1978, 154-157.
6. Park, S.S., Won, Y.S., Choi, Y.C., Kim, J.H., Molecular Design of Organic Dyes with Double Electron Acceptor for Dye-Sensitized Solar Cell, *Energy Fuel*, 2009, 23, 3732-3736.
7. Chen, Y., Wu, T.Y., Synthesis, optical and electrochemical properties of luminescent copolymer containing N-hexyl-3,8-iminodibenzyl chromophores, *Polymer*, 2001, 42, 9895-9901.
8. Mishra, A., Fischer, M.K., Bauerle, P., Metal-Free Organic Dyes for Dye-Sensitized Solar Cells: From Structure: Property Relationships to Design Rules, *Angewandte Chemie International Edition*, 2009, 48, 2474-2499.
9. Wang, Z.S., Koumura, N., Cui, Y., Takahashi, H., Sekiguchi, A., Mori, T., Kubo, A., Furube, M., Hara, K., Hexylthiophene Functionalized Carbazole Dyes for Efficient Molecular Photovoltaics: Tuning of Solar-Cell Performance by Structural Modification, *Chemistry of Materials*, 2008, 20, 3993-4003.
10. Wu, T., Tsao, M., Chen, F., Su, S., Chang, C., Wang, H., Lin, Y., Yang, W., Sun, I., Synthesis and Characterization of Organic Dyes Containing Various Donors and Acceptors, *International Journal of Molecular Sciences*, 2010, 11, 329-353.
11. Hosseinneshad, M., Moradian, S., Gharanjig, K., Afshar Taromi, F., Synthesis and characterisation of eight organic dyes for dye sensitised solar cells, *Material Technology*, 2014, 29, 112-117.
12. Quintana, M., Marinado, T., Nonomura, K., Boschloo, G., Hagfeldt, A., Organic chromophore-sensitized ZnO solar cells: Electrolyte-dependent dye desorption and band-edge shifts, *Journal of Photochemistry and Photobiology A: Chemistry*, 2009, 202, 159-163.

۱۳. حسین‌نژاد، م.، مرادیان، س.، قرن‌جیگ، ک.، بررسی خواص فوتولیتیک سلول‌های خورشیدی بر پایه مواد رنگزای ایندولینی، نشریه علمی-پژوهشی علوم و فناوری رنگ، ۱۳۹۴، ۹، ۳۰۷-۳۱۲.

14. Hallas, G., Towns, A.D., Dyes derived from aminothiophenes, *Dyes and Pigments*, 1997, 33, 319-336.