

# اثر شفافیت الکترولیت بر پس‌پراکنندگی نور از لایه پس‌پراکننده نوری در سلول‌های خورشیدی رنگدانه‌ای

نفیسه شریفی\*

پژوهشکده علوم و فناوری نانو، دانشگاه کاشان

(دریافت مقاله: ۱۳۹۳/۰۳/۱۵ - دریافت نسخه نهایی: ۱۳۹۳/۰۷/۰۲)

**چکیده** - در سلول‌های خورشیدی رنگدانه‌ای، طور متداول، لایه‌های متشکل از ذرات پراکننده نوری کار می‌کنند تا میزان نور در این نوع سلول‌ها افزایش یابد. در این مطالعه، از دو نوع الکترولیت، سدیم سولفات و پتاسیم سولفات، استفاده شد تا اثر شفافیت الکترولیت بر پراکنندگی نور پس‌پراکننده شده از لایه پراکننده و اثر آن بر عملکرد سلول‌های خورشیدی رنگدانه‌ای بررسی شود. دلال جذب نور در الکترولیت، مقدار جریان الکتروکاتولیک تلف شده برای الکترولیت و بر کبالت و برابر با  $\text{mA/cm}^2$  / و  $\text{mA/cm}^2$  / است. بنابراین از نظر و پتانسیل نوری، استفاده از الکترولیت سدیم سولفات به دلیل جریان شده کم، مناسب‌تر است. از طرف دیگر بازه نانومتر در حال حاضر الکترولیت کبالت عبور ۱۰٪ دارد، مقدار اندکی جذب برای الکترولیت مشاهده شد. برخلاف سلول‌های خورشیدی حاوی الکترولیت بازده کوانتوم خارج سلول‌های حاوی الکترولیت کبالت در این محاسبات کم‌تر از نانومتر، با استفاده از لایه پراکننده افزایش یافت. باید که ناشی از عبوری است که الکترولیت کبالت در این محاسبات نوری آن دهد که در بازه نانومتر که رنگدانه جذب‌کننده قابل عبور ۱۰٪ و ۱۰٪ نور در الکترولیت کبالت جذب و تلف می‌شود.

واژگان کلیدی: سلول خورشیدی رنگدانه‌ای، الکترولیت، پراکنندگی نور، پتانسیل الکتروشیمیایی

## Transparency Effect of Electrolyte on Light Back-Scattering in Dye-Sensitized Solar Cells

N. Sharifi\*

Institute of Nanoscience and Nanotechnology, University of Kashan, Kashan, Iran

\* مسئول مکاتبات، پست الکترونیکی: sharifi@kashanu.ac.ir

**Abstract:** Conventionally, a film of  $TiO_2$  particles of  $\sim 300$  nm size is employed in DSCs as the back reflector film to enhance the light harvesting. In this study, two electrolytes with different transparencies, iodide-based and cobalt-based electrolytes, were used to investigate the transparency effect of electrolytes on light back-scattering from back scattering layer and also to study its effect on the performance of DSCs. The use of cobalt-based electrolyte is recommended from the view point of optical properties as due to the light absorption in electrolytes, the current density losses are  $2.9\text{mA/cm}^2$  and  $4.2\text{mA/cm}^2$  in cobalt- and iodide-based electrolytes, respectively, and the transmission of 100% is observed for cobalt-based electrolyte in 500-600 nm in spite of iodide-based electrolyte. Use of light back-scattering layer, unlike iodide-based cell, causes external quantum efficiency in cobalt-based cell to increase for the wavelengths lower than 350 nm since cobalt-based electrolyte has transparency in this region. In addition, optical calculations demonstrate that in the range 400-500 nm, in which dye has a noticeable absorption, absorption loss is 40% and 30% for iodide- and cobalt-based electrolytes, respectively.

**Keywords:** Dye-sensitized Solar Cells, Electrolyte, Transparency, Light Back-scattering,  $TiO_2$

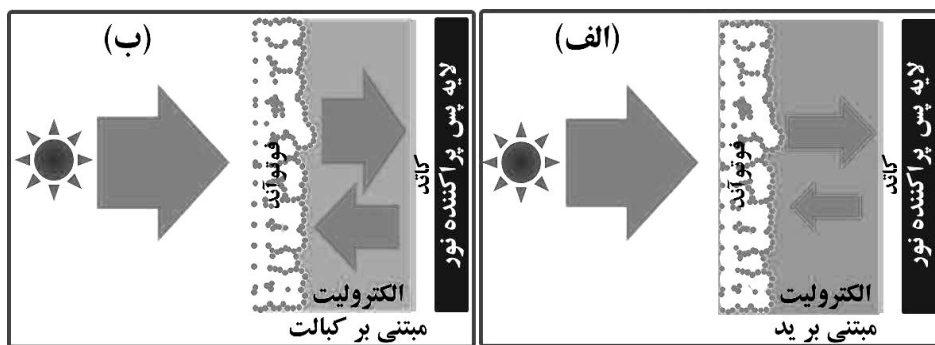
## ۱- مقدمه

شوند [۲، ۳] و در عین حال ضخامت این لایه باید به اندازه کافی کوچک باشد تا به دلیل کاهش مساحت سطح در تماس با الکترولیت، میزان باز ترکیب الکترون‌ها با الکترولیت کاهش یابد و الکترون انتقال یافته به تیتانیم دی‌اکسید به‌طور موثر جمع‌آوری و به مدار خارجی هدایت شود. پس به‌منظور جذب موثر نور در این نوع سلول خورشیدی به‌خصوص سلول‌هایی که متشکل از لایه شفاف و نازک هستند، استفاده از بازتاب کننده‌ها و یا پراکننده‌ها ضروری است.

میزان مصرف رنگدانه که از مولفه‌های گران قیمت است با کاهش ضخامت لایه تیتانیم‌دی‌اکسید، کاهش می‌یابد. از طرفی به‌منظور پراکنده کردن نور در داخل لایه تیتانیم‌دی‌اکسید و افزایش مسیر نور در این لایه، به‌طور متداول از ذره‌های  $300$  نانومتری تیتانیم‌دی‌اکسید استفاده می‌شود [۴]. در این مطالعه، از دو نوع الکترولیت مبتنی بر ید و مبتنی بر کبالت که شفافیت‌های مختلفی دارند استفاده شد تا اثر شفافیت الکترولیت بر میزان نور پس‌پراکنده‌شده از لایه پس‌پراکننده و اثر آن بر عمل‌کرد سلول خورشیدی رنگدانه‌ای بررسی شود. ذره‌های  $300$  نانومتری تیتانیم‌دی‌اکسید با فاز روتایل تهیه، و لایه‌ای که شامل این نانوذره‌ها است، به‌روش بلید تهیه شد. موقعیت این لایه، همان‌طور که در شکل ۱ نشان داده شده است، در بخش خارجی سلول خورشیدی و در کنار کاتد است.

امروزه سلول‌های خورشیدی رنگدانه‌ای [۱] به‌دلیل باصرفه بودن از نظر اقتصادی، جایگزین مناسبی برای سلول‌های خورشیدی سیلیکونی محسوب می‌شوند. سلول خورشیدی رنگدانه‌ای، متشکل از فوتوآند و الکتروود مقابل (کاتد) است که فوتوآند مجموعه شیشه‌ی رسانا پوشش داده شده با لایه تیتانیم‌دی‌اکسید و رنگدانه جذب شده بر روی سطح تیتانیم‌دی‌اکسید است. الکتروود مقابل دارای نانوذره‌های پلاتین است که به‌عنوان کاتالیزور در انجام واکنش شیمیایی که در داخل الکترولیت روی می‌دهد، عمل می‌کند. رنگدانه وظیفه حساس کردن لایه متخلخل تیتانیم‌دی‌اکسید نسبت به نور خورشید را دارد که با پیوند شیمیایی به سطح تیتانیم‌دی‌اکسید متصل می‌شود تا با جذب نور خورشید، تحریک شود و الکترون رنگدانه به تیتانیم‌دی‌اکسید تزریق شود. الکترون تزریق شده از رنگدانه به‌داخل لایه‌ی تیتانیم‌دی‌اکسید، از میان شبکه ذره‌های تیتانیم‌دی‌اکسید می‌گذرد و به زیر لایه‌ی شفاف و رسانا منتقل می‌شود. فضای میان دو الکتروود و حفره‌های داخل لایه متخلخل تیتانیم‌دی‌اکسید با الکترولیت مایعی که دارای گونه‌های اکسایشی-کاهشی است، پر می‌شود که حفره را از مولکول رنگ اکسید شده به الکتروود مقابل منتقل می‌کنند.

ضخامت لایه تیتانیم‌دی‌اکسید بایستی به‌اندازه کافی زیاد باشد تا تمام فوتون‌های فرودی به‌وسیله رنگدانه‌ها جذب



شکل ۱- طرح‌واره سلول خورشیدی رنگدانه‌ای اصلاح شده حاوی: الف) الکترولیت مبتنی بر ید با شفافیت کم تر و ب) الکترولیت مبتنی بر کبالت با شفافیت بیش تر. در هر دو لایه پس پراکننده نور در خارج از سلول، به منظور هدایت و برگشت نور جذب نشده و عبور کرده از لایه حساس شده به رنگدانه به داخل سلول خورشیدی و افزایش طول مسیر نور در داخل لایه تیتانیم دی‌اکسید حساس شده به رنگ قرار داده شده است.

## ۲- مواد و روش‌های ساخت

در ادامه، تهیه نانوذره‌های ۳۰۰ نانومتری تیتانیم‌دی‌اکسید و ساخت لایه پس پراکننده و هم‌چنین نحوه ساخت سلول خورشیدی رنگدانه‌ای شرح داده می‌شود.

### ۲-۱- تهیه نانوذره‌های تیتانیم‌دی‌اکسید ۳۰۰ نانومتری

ذره‌های تیتانیم‌دی‌اکسید با فاز روتایل از رنگ سفید تجاری استخراج شدند و خمیری متشکل از ۱۵٪ وزنی پراکننده‌های غیرفلزی تیتانیم دی‌اکسید و ۹٪ وزنی اتیل سلولز<sup>۱</sup> در تریپتول<sup>۲</sup> تهیه شد [۵].

### ۲-۲- ساخت لایه‌های پس پراکننده نور متشکل از ذرات

#### ۳۰۰ نانومتری تیتانیم‌دی‌اکسید

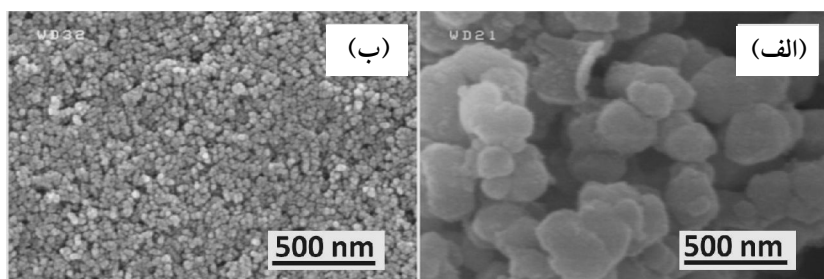
لایه پراکننده‌ی نانوذره‌ای تیتانیم‌دی‌اکسید به‌روش بلید ساخته شدند و با گرمادهی در دمای ۵۰۰ درجه سانتی‌گراد به مدت ۳۰ دقیقه پخت شدند.

### ۲-۳- ساخت سلول خورشیدی رنگدانه‌ای اصلاح شده با

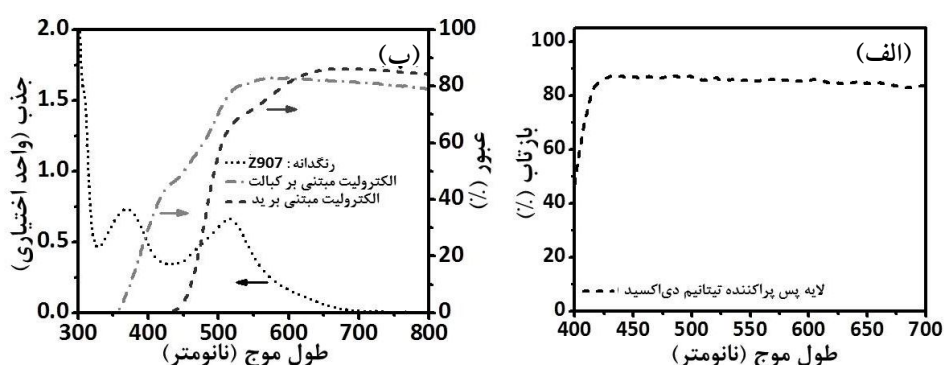
#### لایه‌های پراکننده نوری

الکترو نوری شامل نانوذره‌های ۲۵ نانومتری تیتانیم‌دی‌اکسید<sup>۳</sup> به‌روش بلید با ضخامت نهایی ۱/۷ میکرومتر ساخته شد. پیش و پس از قرار گرفتن این لایه میکرومتری تیتانیم‌دی‌اکسید روی

زیرلایه شیشه‌ای، با هیدرولیز محلول تتراکلرید تیتانیم در دمای ۷۰ درجه سانتی‌گراد به مدت ۳۰ دقیقه، پوشش نازکی از تیتانیم‌دی‌اکسید به‌ترتیب روی شیشه و روی لایه تیتانیم‌دی‌اکسید قرار می‌گیرد. این پوشش میزان باز ترکیب الکترون تزریق شده با الکترولیت را روی شیشه شفاف و رسانا که می‌تواند در تماس با الکترولیت باشد و فرایند نامطلوبی است، کاهش می‌دهد، زیرا تشکیل تک‌لایه‌ای از تیتانیم‌دی‌اکسید روی شیشه رسانا مانع از تماس شیشه‌ی رسانا با الکترولیت می‌شود. تشکیل لایه نازک تیتانیم‌دی‌اکسید روی لایه تیتانیم‌دی‌اکسید ۱/۷ میکرومتری نیز منجر به بهبود انتقال الکترون در داخل این لایه می‌شود. سپس فوتوکاتد در دمای ۵۰۰ درجه سانتی‌گراد به مدت ۳۰ دقیقه گرما دیده تا ذره‌های تیتانیم‌دی‌اکسید بلوری و در یک‌دیگر سینتر شوند. الکترو د مقابل (کاتد) با پخش کردن ۱۰ میکرولیتر محلول ۳ میلی‌مولار  $H_2PtCl_6$  روی شیشه رسانا و گرمادهی آن در دمای ۴۰۰ سانتی‌گراد ساخته شد. بعد از جذب شیمیایی رنگدانه Z907، الکترو نوری و الکترو د مقابل به‌کمک پلاستیکی گرمایی با ضخامت ۲۵ میکرومتر به یک‌دیگر متصل شدند. سپس فضای میان دو الکترو د و حفره‌های داخل لایه فعال تیتانیم‌دی‌اکسید با الکترولیت پر شد که در یکی، از الکترولیت مبتنی بر کبالت، Z1147، و در دیگری، از الکترولیت مبتنی بر ید، Z959، استفاده شد. الکترولیت مبتنی



شکل ۲- تصویر میکروسکوپ الکترونی روبشی: الف) پراکننده‌های ۳۰۰ نانومتری تیتانیم دی‌اکسید و ب) نانوذره‌های تیتانیم دی‌اکسید ۲۵ نانومتری



شکل ۳- الف) طیف بازتاب پخش‌ی لایه پس‌پراکننده تیتانیم دی‌اکسید و ب) طیف جذب رنگدانه Z907 که از سطح الکتروود نوری در دی‌متیل‌فرمامید واجذب شده است (نقطه‌چین) و طیف عبور الکتروولیت Z959 (مبتنی بر ید) (خط‌چین) و Z1147 (مبتنی بر کبالت) (نقطه-خط‌چین)

### ۳-۱- مشخصه‌های ساختاری ذره‌های تیتانیم دی‌اکسید

تصویر میکروسکوپ الکترونی روبشی ذره‌های تیتانیم دی‌اکسید روتایل ۳۰۰ نانومتری و ۲۵ نانومتری به ترتیب در شکل ۲- الف و شکل ۲- ب مشاهده می‌شود.

### ۳-۲- مشخصه‌های نوری لایه‌های پس‌پراکننده‌ی نور و مشخصه‌های نوری الکتروولیت مبتنی بر ید و الکتروولیت مبتنی بر کبالت

بازتاب پخش‌ی لایه پس‌پراکننده تیتانیم دی‌اکسید در شکل ۳- الف مشاهده می‌شود که در محدوده ۴۲۰ تا ۷۰۰ نانومتر بازتابی بین ۸۰ تا ۹۰ درصد دارد. بیش جذب رنگدانه واجذب شده از سطح لایه تیتانیم دی‌اکسید با ضخامت ۱/۷ میکرومتر در شکل ۳- ب نشان داده شده است. با در نظر گرفتن مساحت سطحی ۱/۷۳ نانومتر مربع برای مولکول‌های رنگدانه Z907، مقدار ۱۱۴

بر کبالت حاوی ۰/۲۲ مولار  $\text{Co(L)}_3(\text{PF}_6)_2$ ، ۰/۳۳ مولار  $\text{Co(L)}_3(\text{PF}_6)_3$ ، ۰/۱ مولار لیتیم کلرات<sup>۴</sup> و ۰/۲ مولار ترش‌بوتیل پیریدین<sup>۵</sup> در حلال استونیتریل<sup>۶</sup> است که L بیانگر لیگاند  $[\text{Co}(\text{bpy})_3]^{2+/3+}$  است [۶]. الکتروولیت مبتنی بر ید نیز حاوی ۱/۰ مولار ۱، ۳- دی‌متیل‌ایمیدازولیوم آیداید<sup>۷</sup>، ۳۰ میلی‌مولار ید<sup>۸</sup>، ۰/۵ مولار ترت-بوتیل پیریدین، و ۰/۱ مولار گوآنیدینیوم تیوسیانیات<sup>۹</sup> در حلال استونیتریل و ولرنیتریل<sup>۱۰</sup> به نسبت حجمی ۸۵ به ۱۵ است [۷]. لایه‌های پس‌پراکننده‌ی نوری نیز در بخش خارجی سلول خورشیدی و در کنار کاتد قرار داده شدند.

### ۳- نتایج و بحث

در این بخش، نتایج به دست آمده از بررسی لایه پس‌پراکننده، الکتروولیت‌ها و سلول‌های خورشیدی ساخته شده ارائه می‌شود.

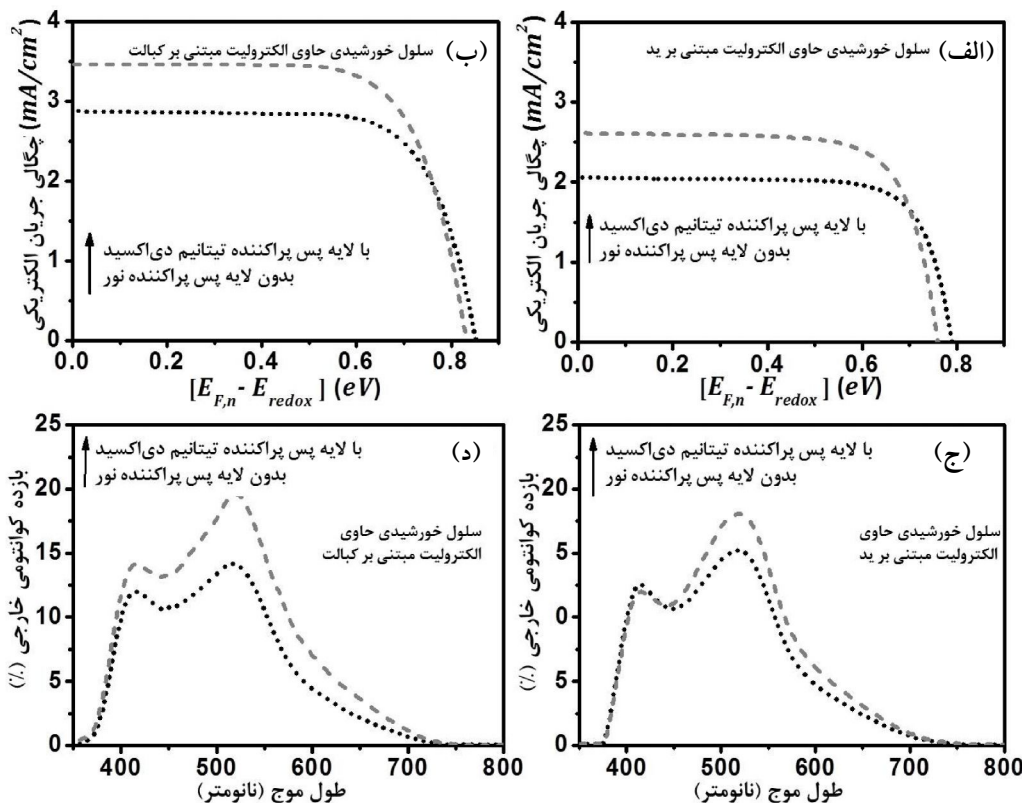
برای عامل زبری<sup>۱۱</sup> (نسبت مساحت میکروسکوپی لایه به مساحت هندسی یا مساحت بخشی از زیرلایه که با لایه تیتانیم دی‌اکسید پوشش یافته است) لایه تیتانیم دی‌اکسید ۲۵ نانومتری به دست آمد. طیف عبور هر دو الکترولیت مبتنی بر کبالت و ید برای ضخامتی برابر با ۲۵ میکرومتر در شکل ۳-ب نمایش داده شده است. هر دو الکترولیت در محدوده ۴۰۰-۵۰۰ نانومتر جذب نور دارند که میزان این جذب در مورد الکترولیت یدی بیش تر است و نورهای با طول موج‌های کوتاه تر از ۴۰۰ نانومتر به طور کامل جذب شده، میزان عبور صفر می‌شود. در این محدوده، میزان عبور بعد از گذشت از الکترولیت‌هایی با ضخامت ۲۵ میکرومتر، به طور متوسط برابر با ۰.۳۳٪ برای الکترولیت مبتنی بر ید و ۰.۵۴٪ برای الکترولیت مبتنی بر کبالت است. با در نظر گرفتن این نکته که فوتون‌های محدوده ۴۰۰-۵۰۰ نانومتر در صورتی که یک بار از الکترولیت عبور کنند، می‌توانند جریان الکتریکی  $6/3 \text{ mA/cm}^2$  تولید کنند، مقدار تلف شدن جریان الکتریکی برای الکترولیت مبتنی بر کبالت و ید به ترتیب برابر با  $2/9 \text{ mA/cm}^2$  و  $4/2 \text{ mA/cm}^2$  است. بنابراین از نظر ویژگی‌های نوری، استفاده از الکترولیت مبتنی بر کبالت به دلیل تلف‌شدگی کم‌تر توصیه می‌شود. از طرفی در بازه ۵۰۰-۶۰۰ نانومتر در حالی که الکترولیت کبالتی عبور ۱۰۰٪ دارد، مقدار اندکی جذب برای الکترولیت یدی مشاهده می‌شود.

### ۳-۳- مشخصه‌های فوتولتایی و نوری سلول‌های خورشیدی رنگدانه‌ای

منحنی فوتولتایی و مشخصه‌های فوتولتایی سلول‌های خورشیدی به ترتیب در شکل ۴-الف و ب و جدول ۱ نمایش داده شده است. از مقایسه دو سلول مرجع (بدون استفاده از لایه‌های پراکننده) پر شده با الکترولیت مبتنی بر ید و کبالت، مشاهده می‌شود که با تغییر الکترولیت از ید به کبالت، عمل‌کرد سلول خورشیدی بهبود می‌یابد که افزایش در چگالی جریان الکتریکی، ولتاژ مدار باز و بازده ( $\eta$ ) به ترتیب برابر با ۰.۲۸٪، ۸٪ و

۰.۴۳٪ است. بالاترین جریان الکتریکی سلول‌های مرجع متعلق به سلول حاوی الکترولیت مبتنی بر کبالت است که با در نظر گرفتن ویژگی‌های نوری الکترولیت‌ها، الکترولیت مبتنی بر کبالت، در محدوده گسترده‌تری از طیف عبور دارد و نور فرودی کم‌تری را در مقایسه با الکترولیت مبتنی بر ید جذب می‌کند، تا نور فرودی به‌طور مؤثرتر برای تبدیل به جریان الکتریکی مصرف شود. در هر دو نوع سلول، با الکترولیت‌های مختلف، سلول خورشیدی اصلاح شده با لایه پس‌پراکننده تیتانیم دی‌اکسید به دلیل برگشت نور به وسیله لایه پس‌پراکننده، افزایش جمع‌آوری نور<sup>۱۲</sup> جذب نشده به وسیله رنگدانه و برگشت آن به داخل لایه فعال رخ می‌دهد. در نتیجه، افزایش جریان الکتریکی بیش‌تری را با استفاده از این پراکننده نور می‌توان مشاهده کرد.

بازده کوانتومی خارجی سلول‌های خورشیدی بر حسب طول‌موج در شکل ۴-ج و د نمایش داده شده است که اثر برگشت نور به وسیله لایه پس‌پراکننده به داخل لایه فعال و در نتیجه، اثر آن بر افزایش جریان الکتریکی سلول‌های خورشیدی را نشان می‌دهد. بیشینه بازده کوانتومی حدود ۵۲۰ نانومتر مشاهده می‌شود که منطبق بر قله جذب رنگدانه Z907 است. افزایش بازده کوانتومی تنها محدود به این طول‌موج نمی‌شود و در محدوده طول موجی که رنگدانه جذب دارد، افزایش در بازده کوانتومی مشاهده می‌شود. برای سلول‌ها با الکترولیت مبتنی بر کبالت، مقدار افزایش بازده کوانتومی در طول موج ۵۲۰ نانومتر نسبت به سلول مرجع (بدون لایه‌های پس‌پراکننده‌ی نور) برابر با ۱۹٪ و این افزایش در طول‌موج ۶۵۰ نانومتر برابر با ۳۰٪ است. برای سلول‌ها با الکترولیت مبتنی بر ید، این افزایش در طول‌موج ۵۲۰ نانومتر برابر با ۱۹٪ و در طول‌موج ۶۵۰ نانومتر برابر با ۲۸٪ است که نشان می‌دهد در این محدوده‌ها شفافیت دو الکترولیت در میزان پس‌پراکنندگی نور تفاوت قابل ملاحظه‌ای با یکدیگر ندارند. از طرفی استفاده از لایه پس‌پراکننده سبب می‌شود در طول موج‌های بلندتر که رنگدانه جذب کم‌تری دارد، به‌طور کارآمدتر



شکل ۴- منحنی چگالی جریان - ولتاژ سلول‌های خورشیدی رنگدانه‌ای: الف) حاوی الکترولیت مبتنی بر ید، ب) حاوی الکترولیت مبتنی بر کبالت. منحنی بازده کوانتومی خارجی سلول‌های خورشیدی، ج) حاوی الکترولیت مبتنی بر ید و د) حاوی الکترولیت مبتنی بر کبالت. (نقطه چین: سلول خورشیدی رنگدانه‌ای مرجع بدون به کارگیری لایه پس پراکننده نور، خط چین: سلول خورشیدی اصلاح شده با پس پراکننده تیتانیم دی‌اکسید)

جدول ۱- مشخصه‌های فوتولتایی سلول‌های خورشیدی مرجع و سلول‌های خورشیدی اصلاح شده با پس پراکننده تیتانیم دی‌اکسید

| مشخصه‌های فوتولتایی            | سلول خورشیدی حاوی الکترولیت مبتنی بر ید | سلول خورشیدی حاوی الکترولیت مبتنی بر کبالت |
|--------------------------------|---|--|
| $J_{sc}$ (mA/cm <sup>2</sup> ) | ۲/۰۶                                    | ۲/۸۷                                       |
| $V_{oc}$ (mV)                  | ۷۹۰                                     | ۸۳۲  |
| FF <sup>۱۳</sup>               | ۰/۷۵                                    | ۰/۷۲                                       |
| $\eta$ (%)                     | ۱/۲۲                                    | ۱/۷۵                                       |

کبالت برای طول‌موج‌های کم‌تر از ۳۵۰ نانومتر، افزایشی مشاهده می‌شود که ناشی از عبوری است که الکترولیت کبالتی در این ناحیه دارد (شکل ۳- ب). همین تفاوت دلیلی بر عمل‌کرد بهتر سلول خورشیدی مبتنی بر کبالت نسبت به سلول خورشیدی مبتنی بر ید است.

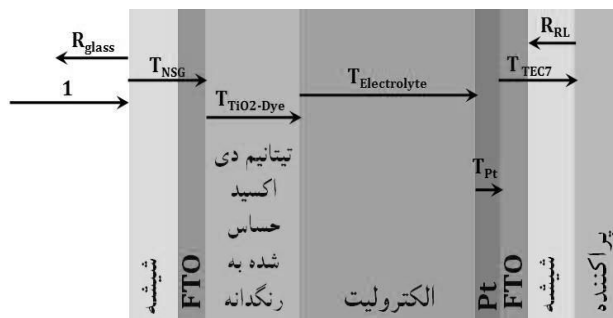
نور فرودی را به جریان الکتریکی تبدیل کنند. سلول‌های حاوی الکترولیت ید، در طول‌موج‌های کم‌تر از ۴۰۰ نانومتر به دلیل جذب کامل نور به وسیله الکترولیت یدی (شکل ۳- ب)، افزایشی در مقدار بازده کوانتومی خارجی خود نشان نمی‌دهند در حالی که در بازده کوانتومی خارجی سلول حاوی الکترولیت

می‌شود (شکل ۵).

تحلیل کمی جذب برای فوتون فرودی به وسیله‌ی اجزای مختلف سلول خورشیدی برای سلول‌ها با دو الکترولیت مبتنی بر ید و مبتنی بر کبالت و در حضور لایه پس‌پراکننده تیتانیم‌دی‌اکسید در شکل ۶ نمایش داده شده است که نشان می‌دهد در هر طول‌موج، چه درصدی از فوتون فرودی به وسیله شیشه شفاف و رسانا (FTO)، لایه‌های تیتانیم‌دی‌اکسید حساس شده به رنگدانه (TiO<sub>2</sub>-dye)، الکترولیت و پلاتین جذب می‌شود. بخش‌های باقی‌مانده که هاشور ندارند، نمایش نور جذب نشده به وسیله اجزای مختلف سلول خورشیدی است. روند جذب فوتون به وسیله لایه تیتانیم‌دی‌اکسید حساس شده به رنگدانه مشابه منحنی‌های بازده کوانتومی خارجی است با این تفاوت که مقادیر بیش‌تری را نشان می‌دهند. این تفاوت به این دلیل است که تمامی نور جذب شده در تولید جریان الکتریکی سهم نیست که می‌تواند ناشی از کاستی در بازده جمع‌آوری الکترون در الکتروود نوری باشد (بازده جمع‌آوری الکترون، کم‌تر از واحد است). با توجه به این نکته که منحنی‌های نمایش داده شده در شکل ۶ برای سلول‌های شکل ۱ محاسبه شده است که نور فرودی دو مرتبه از میان سلول می‌گذرد، مشاهده می‌شود که بخش بزرگی از نور با جذب به وسیله الکترولیت، تلف می‌شود. به‌ویژه در بازه ۴۰۰-۵۰۰ نانومتر که رنگدانه جذب قابل‌ملاحظه‌ای دارد، حدود ۴۰٪ و ۳۰٪ نور به ترتیب در الکترولیت یدی و کبالتی جذب و تلف می‌شود. میزان اتلاف نور در پلاتین در تمامی گستره طول‌موجی به‌جز طول‌موج‌های کوتاه که جذب به وسیله الکترولیت غالب است، حدود ۱۵٪ است. FTO نیز حدود ۲۰٪ نور را در گستره طول موجی نمایش داده شده، جذب و تلف می‌کند.

### ۳-۵- فرایند بازترکیب سلول‌های خورشیدی حاوی الکترولیت‌های مبتنی بر ید و مبتنی بر کبالت

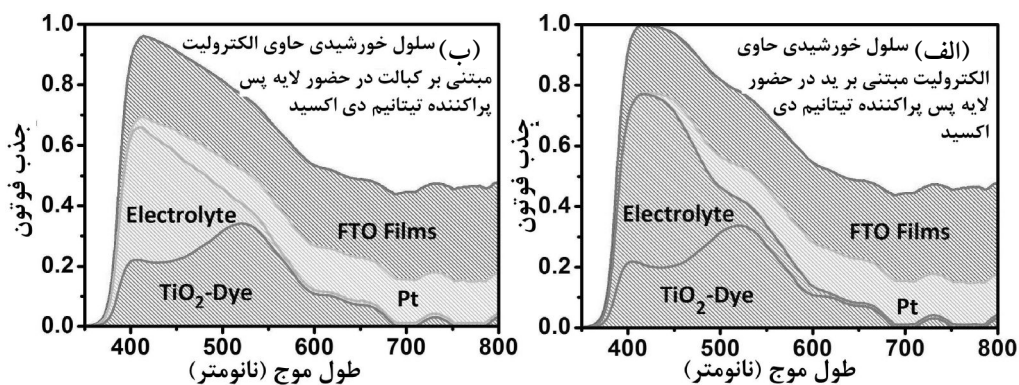
شکل ۷- الف مقاومت بازترکیب سلول‌های حاوی الکترولیت‌های ید و کبالت را برای مقادیر یکسانی از چگالی



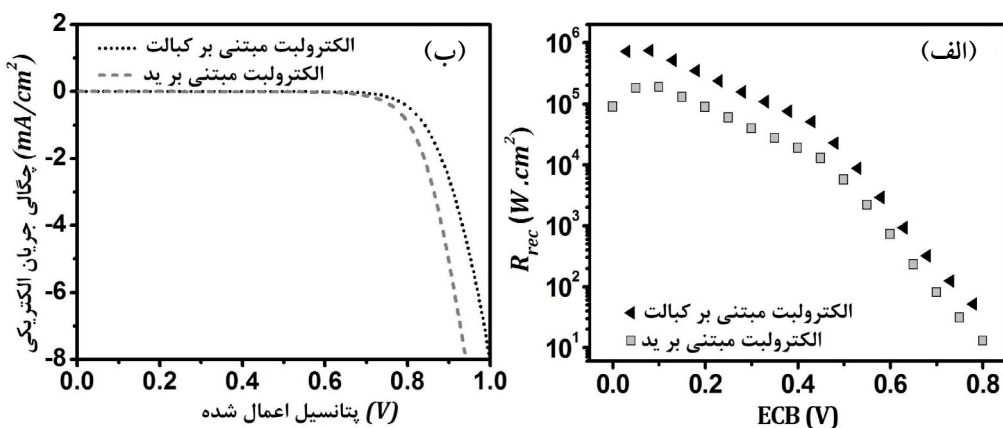
شکل ۵- نمایش عبور و بازتاب بخش‌های مختلف سلول خورشیدی برای محاسبه‌ی درصد فوتون فرودی که در هر طول موج به وسیله شیشه شفاف و رسانا (FTO)، لایه‌ی تیتانیم‌دی‌اکسید حساس شده به رنگدانه (TiO<sub>2</sub>-dye)، الکترولیت و پلاتین جذب می‌شود.

### ۳-۴- محاسبه جذب فوتون فرودی در اجزای مختلف سلول‌های خورشیدی اصلاح شده با لایه پس‌پراکننده نانوذره‌ای تیتانیم‌دی‌اکسید

به‌منظور محاسبه درصد فوتون فرودی که در هر طول‌موج به وسیله شیشه شفاف و رسانا (FTO)، لایه تیتانیم‌دی‌اکسید حساس شده به رنگدانه (TiO<sub>2</sub>-dye)، الکترولیت و پلاتین جذب می‌شود، با استفاده از طیف‌سنجی، کمیت‌هایی مانند عبور نور از شیشه دارای پوشش رسانا (T<sub>glass</sub>)، الکترولیت‌ها (T<sub>Electrolyte</sub>)، تیتانیم‌دی‌اکسید حساس شده به رنگدانه (T<sub>TiO2-Dye</sub>) و پلاتین (T<sub>Pt</sub>)، بازتاب شیشه (R<sub>glass</sub>) و بازتاب لایه پس‌پراکننده (R<sub>RL</sub>)، در محدوده ۳۵۰ تا ۸۰۰ نانومتر اندازه‌گیری شدند. از آنجایی که ضریب شکست تمام مواد داخل سلول تقریباً یکسان است، بازتاب‌های چندگانه<sup>۱۴</sup> روی نمی‌دهد و از این اثر صرف‌نظر شده است. محاسبات بر اساس ساختاری هن در ره‌های ساخته شده است که نور از سمت فوتوآند به سلول وارد می‌شود و بخشی از نور به ترتیب در FTO، لایه تیتانیم‌دی‌اکسید حساس شده به رنگدانه، الکترولیت، پلاتین و FTO جذب می‌شود و سپس نور برگشت داده شده به وسیله لایه پس‌پراکننده، به وسیله‌ی FTO، پلاتین، الکترولیت، لایه تیتانیم‌دی‌اکسید حساس شده به رنگدانه و FTO جذب



شکل ۶- جذب فوتون در سلول‌های حاوی الف) الکترولیت مبتنی بر ید و ب) الکترولیت مبتنی بر کبالت در حضور لایه پس پراکننده نور که نشان می‌دهند در هر طول موج چه درصدی از فوتون فرودی به وسیله شیشه FTO یا لایه‌ی تیتانیم‌دی‌اکسید حساس شده به رنگدانه یا الکترولیت و یا پلاتین جذب می‌شود.



شکل ۷- الف) مقاومت بازترکیب ( $R_{rec}$ ) بر حسب ولتاژ در نوار رسانش معادل ( $V_{ECB}$ ) و ب) جریان تاریک سلول‌های کبالتی و یدی بر حسب ولتاژ اعمال شده به سلول‌ها

جریان، آهنگ کاهش ولتاژ بر حسب زمان ثبت می‌شود. جریان تاریک سلول‌ها نیز نشان می‌دهند که سلول کبالتی در مقایسه با سلول یدی، جریان تاریک کم‌تری تولید می‌کند (شکل ۷- ب) که به این معناست که تمایل برگشت الکترون‌های تزریق شده به تیتانیم‌دی‌اکسید از این ساختار به الکترولیت، برای الکترولیت کبالتی کم‌تر از الکترولیت یدی است یا الکترون‌های تزریق شده به تیتانیم‌دی‌اکسید برای برگشت به الکترولیت کبالتی با مقاومت الکتریکی بیش‌تری مواجه‌اند که این مشاهده، داده‌های مبنی بر مقاومت بازترکیب بیش‌تر سلول کبالتی که در شکل ۷- الف نمایش داده شده است را تأیید می‌کند.

الکترون‌ها نشان می‌دهد که سلول حاوی الکترولیت کبالت مقاومت بازترکیب بیش‌تری (میزان بازترکیب کم‌تری) را نسبت به سلول حاوی الکترولیت یدی نشان می‌دهد. با توجه به این که ساختار الکترولیت نوری در هر دو نوع سلول یکسان است، بازترکیب کم‌تر در سلول کبالتی ناشی از گونه‌هایی است که در داخل الکترولیت کبالتی‌اند به گونه‌ای که تمایل کم‌تری نسبت به گونه‌های الکترولیت یدی در دریافت الکترون منتقل شده به تیتانیم‌دی‌اکسید (بازترکیب) دارند. برای اندازه‌گیری جریان تاریک، با اعمال جریان در حدود یک میلی‌آمپر به سلول‌ها به مدت ۵ ثانیه، ولتاژ دو سر سلول‌ها افزایش می‌یابد تا به ولتاژ مدار باز سلول برسد و سپس با قطع



## ۴- جمع بندی

خارجی در اثر به کارگیری لایه پس پراکنده نور در سلول حاوی الکترولیت کبالت برای طول موج های کم تر از ۳۵۰ نانومتر، نیز مشاهده می شود که ناشی عدم جذب نور به وسیله الکترولیت در این بازه است. محاسبات نوری نشان می دهد که حدود ۴۰٪ و ۳۰٪ نور به ترتیب در الکترولیت یدی و کبالتی جذب و تلف می شود. تمایل برگشت الکترون های تزریق شده در تیتانیم دی اکسید از تیتانیم دی اکسید به الکترولیت؛ برای الکترولیت کبالتی کم تر از الکترولیت یدی است.

## تقدیر و تشکر

نویسنده مقاله وظیفه خود می داند که از آقای دکتر نیما تقوی نیا به خاطر در اختیار قرار دادن امکانات و تجهیزات آزمایشگاهی و تبادل اطلاعات تشکر کند.

به طور متداول، لایه های متشکل از ذرات ۳۰۰ نانومتری به عنوان لایه بازتاب کننده و پس پراکنده نور در سلول های خورشیدی رنگدانه ای به کار گرفته می شود تا میزان جمع آوری نور در این نوع سلول افزایش یابد. به منظور بررسی شفافیت الکترولیت بر میزان نور پس پراکنده شده از لایه پس پراکنده، دو سلول با دو نوع الکترولیت با شفافیت های مختلف ساخته شد. در بازه ۵۰۰-۶۰۰ نانومتر در حالی که الکترولیت مبتنی بر کبالت عبور ۱۰۰٪ دارد، مقدار اندکی جذب برای الکترولیت دیگر که الکترولیت یدی است، مشاهده می شود که به دلیل جذب نور بیش تر در الکترولیت یدی، مقدار تلف شدن جریان الکتریکی برابر با  $4/2 \text{ mA/cm}^2$  است در حالی که این تلف شدن برای الکترولیت کبالتی  $2/9 \text{ mA/cm}^2$  است. افزایش بازده کوانتومی

## واژه نامه

1. Ethylcellulose
2. Terpeneol
3. dyesol paste (DSL 18NR-T)
4.  $\text{LiClO}_4$
5. Tert-butylpyridine (TBP)
6. Acetonitrile
7. 1,3-dimethylimidazolium iodide (DMII)

8. I2
9. Guanidinium Thiocyanate (GNCS)
10. Valeronitrile
11. roughness factor
12. light harvesting
13. Fill Factor
14. multiple reflections

## مراجع

1. O'Regan, B.C. and Graetzel, M., "A Low-Cost, High-Efficiency Solar Cell Based on Dye-Sensitized Colloidal  $\text{TiO}_2$  Films", *Nature*, Vol. 353, pp. 737-740, 1991.
2. Tachibana, Y., Hara, K., Sayama, K. and Arakawa, H., "Quantitative Analysis of Light-Harvesting Efficiency and Electron-Transfer Yield in Ruthenium-Dye-Sensitized Nanocrystalline  $\text{TiO}_2$  Solar Cells", *Solar Cells*, Vol. 14, pp. 2527-2535, 2002.
3. Graetzel, M., "Solar Energy Conversion by Dye-Sensitized Photovoltaic Cells", *Inorganic Chemistry*, Vol. 44, pp. 6841-51, 2005.
4. Ito, S., Murakami, T., Comte, P. and Liska, P., "Fabrication of Thin Film Dye Sensitized Solar Cells with Solar to Electric Power Conversion Efficiency over 10%", *Thin Solid Films*, Vol. 516, pp. 4613-4619, 2008.
5. Sevilla, M. and Fuentès, A.B., "Chemical and Structural Properties of Carbonaceous Products Obtained by Hydrothermal Carbonization of Saccharides", *Chemistry (Easton)*, Vol. 15, pp. 4195-4203, 2009.
6. Feldt, S.M., Gibson, E.A., Gabrielson, E., Sun, L., Boschloo, G. and Hagfeldt, A., "Design of Organic Dyes and Cobalt Polypyridine Redox mediators for High-Efficiency Dye-Sensitized Solar Cells", *Journal of the American Chemical Society*, Vol. 132, pp. 16714-24, 2010.
7. Giribabu, L., Bessho, T., Srinivasu, M., Vijaykumar, C., Soujanya, Y., Reddy, V.G., Reddy, P.Y., Yum, J., Graetzel, M. and Nazeeruddin, M.K., "A New Family of Heteroleptic Ruthenium(II) Polypyridyl Complexes for Sensitization of Nanocrystalline  $\text{TiO}_2$  Films", *Dalton Transactions: An International Journal of Inorganic Chemistry*, Vol. 40, pp. 4497-4504, 2011.

