

مواد رنگزای آلی برای استفاده در سلول خورشیدی

مژگان حسین‌نژاد^{۱*}، سیامک مرادیان^۲

۱- دانشجوی دکترا، دانشکده مهندسی پلیمر و رنگ، دانشگاه صنعتی امیرکبیر، تهران، ایران، صندوق پستی: ۴۴۱۳-۱۵۸۷۵

۲- استاد، دانشکده مهندسی پلیمر و رنگ، دانشگاه صنعتی امیرکبیر، تهران، ایران، صندوق پستی: ۴۴۱۳-۱۵۸۷۵

تاریخ پذیرش: ۹۰/۱۰/۱۴

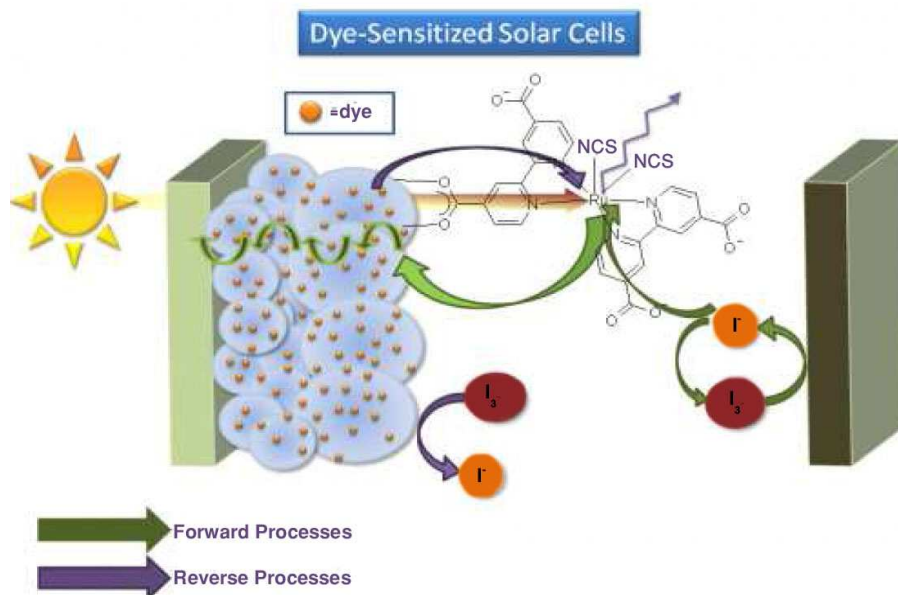
تاریخ دریافت: ۹۰/۱۰/۴

چکیده

امروزه سلول خورشیدی حساس‌شده به مواد رنگزا بر اساس مواد رنگزای آلی به دلیل قیمت پایین تولید و بازده نسبتاً بالایی تبدیل نور به جریان الکتریسیته بسیار مورد توجه قرار گرفته است. تعدادی از طبقات مواد رنگزای آلی به دلیل ساختارهای شیمیایی خاص و ویژگی‌های فوتولتایی برای استفاده در سلول خورشیدی پیشنهاد شده‌اند. برای به‌دست آوردن شرایط بهینه برای تولید سلول خورشیدی حساس‌شده به مواد رنگزا، لازم است یک ساختار آلی مناسب طراحی شود تا علاوه بر تولید قابل قبول الکتریسیته و ثبات نوری بالا دارای جذب مناسب بدون ایجاد تجمع روی لایه‌های اکسید تیتانیوم نیز باشد. در اینجا هدف ارائه ساختارهای مواد رنگزای آلی مطلوب در تهیه سلول خورشیدی حساس‌شده به مواد رنگزا می‌باشد.

واژه‌های کلیدی

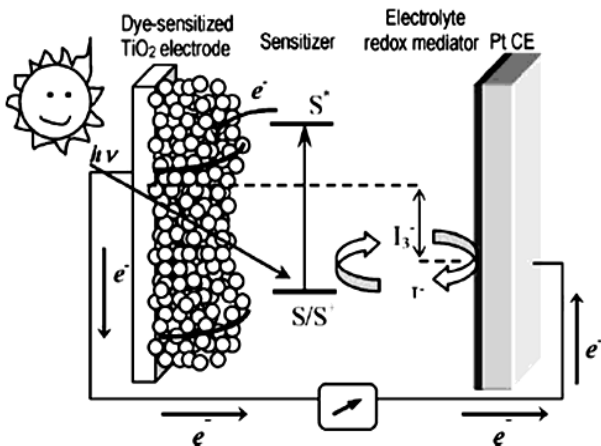
سلول خورشیدی، مواد رنگزا، فوتولتایی، اکسید تیتانیوم، ایندولین.



*Corresponding author: kntu@aut.ac.ir

۱- مقدمه

۳- الکتروود برای جمع‌آوری الکترون‌ها که معمولاً یک لایه اکسید رسانای شفاف مانند $\text{SnO}_2:\text{F}$ است.
 ۴- محلول الکتروولیت که باید متشکل از یک زوج یون قابل احیا باشد، برای این منظور محلولی شامل زوج یون‌های (I_3^- / I^-) مناسب است.
 ۵- یک الکتروود احیاکننده که می‌تواند طلا، پلاتین یا گرافیت باشد. سلول‌های خورشیدی حساس شده با مواد رنگزا^۱ یا سلول‌های گراتزل^۲ به دلیل هزینه کم تولید انرژی، هزینه کم مواد اولیه مصرفی و بازدهی بالا در تبدیل انرژی خورشیدی به الکتریسیته توجه جامعه علمی دنیا را به صورت قابل توجهی برانگیخته است. این سلول‌ها توانسته‌اند تأییدیه ۱۰/۴٪ بازدهی انرژی خورشیدی را کسب کنند. بازدهی این سلول‌ها از سلول‌های کلاسیک سیلیکونی و نسل جدید فیلم‌های نازک حالت جامد کمتر است. با این وجود، فناوری DSSC به دلیل قیمت‌های بسیار کمتر است و همچنین کمترین اثرات نامطلوب محیط زیستی بسیار مورد توجه هستند. البته این فناوری نوین دارای مشکلاتی نیز می‌باشد که یکی از مهم‌ترین این نواقص امکان نشت الکتروولیت از این سلول‌ها می‌باشد که عدم سیل شدن مناسب سلول خورشیدی این امر را تسریع می‌کند. کاملاً مشخص است که با نشت الکتروولیت عملکرد سلول خورشیدی متوقف شده و سلول باید تعویض گردد. امروزه برای رفع این مشکل استفاده از الکتروولیت‌های نیمه جامد و جامد آغاز شده است [۵].



شکل ۱- سل خورشیدی حساس شده به ماده رنگزا.

تبدیل انرژی در یک DSSC بر پایه انتقال (تزییق) یک الکترون از حالت برانگیخته نوری ماده رنگزا حساس‌کننده به داخل باند هدایت (پایه) نیمه هادی بلوری شده است (TiO_2) تاکنون بیشترین نیمه هادی اکسیدی است که مورد استفاده قرار گرفته است). این سلول‌ها همچنین از یک الکتروولیت مایع بهره می‌جویند (معمولاً یک زوج یدید/تری یدید فعال- ردوکس حل شده داخل حلال آلی است) که برای کاهیدن خلاء ماده رنگزا مورد استفاده است (به عبارت دیگر دوباره حالت پایه ماده رنگزا را ایجاد می‌کند). تشکیل مجدد یون‌های یدید که در این واکنش به تری یدید

برای سال‌های متمادی تا حدود ۳۰۰ سال پیش، بشر از منابع انرژی تجدیدشدنی استفاده می‌کرد. چوب برای گرم کردن، حیوانات برای حمل و نقل و از آب و باد برای ذخیره کردن انرژی مکانیکی استفاده می‌شد. در طی قرن نوزدهم میلادی و نیاز روزافزون انقلاب صنعتی به انرژی، استفاده از زغال‌سنگ به عنوان منبع تولید انرژی آغاز شد. در اوایل قرن بیستم اولین بار برای تأمین انرژی از نفت خام و بعدها از گاز طبیعی نیز بهره‌برداری شد. امروزه، منابع فسیلی در سال حدود ۱۰۵ TWh انرژی تولید می‌کنند که مصرف سوخت‌های فسیلی باعث تولید گازهای گلخانه‌ای مانند: مونواکسیدکربن، متان و ترکیبات آلی فرار و بالا رفتن دمای اقیانوس‌ها و بنابراین افزایش مقدار بخار در اتمسفر می‌شود [۱]. همان طور که می‌دانیم منابع عظیم سوخت‌های فسیلی در تعداد محدودی از کشورها متمرکز شده است، در حالی که تعداد زیادی از کشورهای در حال توسعه و یا توسعه یافته هیچ ذخیره‌ای از این نوع ندارند. این نوع انرژی به یک مشکل بزرگ تبدیل شده است، به طوری که تجزیه آن‌ها در حدود چندین بیلیون سال طول خواهد کشید. درحالی‌که استفاده از هم‌جوشی هسته‌ها دیگر مشکل این زباله‌ها وجود ندارد [۲]. به همین دلیل منابع انرژی‌های تجدیدپذیر مورد توجه قرار گرفته‌اند. اثر فوتوولتایی اولین بار در سال ۱۸۳۹ توسط فیزیکدان فرانسوی الکساندر ادموند بکرل شناخته شد. او کشف کرد که مواد خاصی وجود دارند که هنگامی که در مقابل نور قرار می‌گیرند مقدار کمی جریان تولید می‌کنند. سلول خورشیدی یا سلول فوتوولتایی وسیله‌ای است که انرژی نور را به انرژی الکتریکی تبدیل می‌کند. اولین سلول خورشیدی توسط گراتزل و همکارانش در سال ۱۹۹۱ ارائه شد [۳]. آنها در ساخت سلول خورشیدی از کمپلکس رتنیوم به عنوان ماده رنگزا استفاده کردند. سلول تهیه شده از کمپلکس رتنیوم اغلب دارای بازده کوانتومی بالایی هستند (۱۴٪ تا ۱۰٪) و گستره وسیعی از طول موج نور مرئی را جذب می‌کنند اما در مقابل تهیه و خالص‌سازی آنها دشوار بوده و به همین دلیل قیمت این ترکیبات بسیار بالا است [۴]. از آنجا که کاربرد این فناوری در ادارات، کارخانه‌ها و منازل مسکونی برای تولید انرژی الکتریکی مورد نیاز است، تولید آن‌ها با قیمت مناسب بسیار مهم است [۵]. بنابراین استفاده از ساختارهای آلی عاری از فلز که بازده و پایداری نزدیک به کمپلکس‌های آلی - معدنی دارند مورد توجه قرار گرفته است.

۲- سلول خورشیدی حساس شده به ماده رنگزا

سلول‌های فوتوولتایی برای تبدیل مستقیم نور خورشید به الکتریسیته به کار می‌روند. کاربرد مهم این سلول‌ها در صنعت هوا فضا باعث شهرت آن‌ها شده و استفاده‌های جزئی از آن‌ها در ماشین حساب و ساعت برای همگان شناخته شده است. همان‌طور که در شکل ۱ نشان داده شده است این سلول‌ها متشکل از ۵ قسمت هستند:

- ۱- ماده رنگزا، که معمولاً از جنس کمپلکس‌های آلی - معدنی روتنیوم است.
- ۲- لایه اکسید متخلخل که سطح آن باید زیاد باشد که معمولاً یک لایه نانو بلور TiO_2 با ضخامت $10 \mu\text{m}$ استفاده می‌شود.

¹ Dye sensitized solar cells (DSSC)

² Gratzell sell

مورد نیاز برای سیستم آبیاری و گرمایش گلخانه از طریق نور خورشید بدست می‌آید. البته این فناوری در بسیاری از کشورهای اروپایی در خانه‌ها برای تهیه بخشی از انرژی الکتریکی مثلاً در آبگرمکن‌ها استفاده می‌شود [۸]. یکی از کاربردهای صنعتی بسیار جدید این فناوری تولید موبایل و کامپیوترهای قابل حمل توسط شرکت شارپ است. این شرکت سلول خورشیدی کوچکی در پشت موبایل نصب کرده است که با قرار گرفتن در معرض نور خورشید حتی در شرایط ابری و مه قادر است انرژی الکتریکی مورد نیاز موبایل را فراهم نماید [۹]. به نظر می‌رسد این فناوری با توجه به پیشرفت سریعی که دارد قابلیت جایگزینی بسیاری از منابع تولید انرژی الکتریکی را داشته باشد. از آنجا که بخش زیادی از کشور ما در مناطق کویری قرار گرفته و انرژی خورشیدی به مقدار زیاد وجود دارد لازم است صنعت به این انرژی پاک توجه بیشتری کند.

اکسید شده بودند در الکتروود مخالف پلاتینه شده انجام می‌شود. به‌طور خلاصه می‌توان نقش اجزای یک DSSC را این‌گونه در نظر گرفت که ماده رنگزا به‌عنوان تولیدکننده جریان الکتریکی، TiO_2 جمع‌کننده جریان، الکتروولیت جایگزین‌کننده خلاء انرژی ماده رنگزا و الکتروود کاتد نیز تامین‌کننده پایداری چرخه الکتروولیت است [۶]. امروزه این فناوری در جهان در حال استفاده است هر چند در کشور ما پدیده‌ای جدید می‌باشد که هنوز به‌صورت گسترده در دسترس عموم نمی‌باشد. شکل ۲ (الف) یک نمونه خانه پایلوت که در یک شهرک تحقیقاتی در کشور استرالیا ساخته شده است را نشان می‌دهد. در سقف این خانه از صفحات سلول خورشیدی استفاده شده و تمام انرژی الکتریکی مورد نیاز از این طریق تأمین می‌گردد [۷]. شکل ۲ (ب) سقف یک گلخانه در کشور فرانسه را نشان می‌دهد که با استفاده از صفحات سلول خورشیدی پوشیده شده و تمام انرژی الکتریکی



(ب)



(الف)

شکل ۲- نمونه‌هایی از سلول خورشیدی به‌کار رفته در صنعت.

طبقات مواد رنگزای آلی عاری از فلز که قابلیت استفاده در سلول خورشیدی را دارند عبارتند از: کومارین‌ها، تیوفن‌ها، ایندولین‌ها، پلی‌سان‌ها، سیانین‌ها، مروسیانین‌ها، هموسیانین‌ها، پرلن‌ها و فتالوسیانین‌ها. اکنون در این‌جا سه طبقه مهم و مرسوم از مواد رنگزای آلی با قابلیت استفاده در سلول خورشیدی را معرفی خواهیم نمود.

۳-۱- مواد رنگزای آلی بر پایه کومارین

مواد رنگزای آلی بر پایه کومارین یکی از مهم‌ترین مواد رنگزای آلی قابل استفاده در سلول خورشیدی است که ساده‌ترین آن‌ها با قرار دادن یک استخلاف کربوکسیلیک اسید بر روی ساختار کومارین شکل ۳ تهیه شده است. این ترکیب دارای راندمان کوانتومی ۰/۹٪ و طول موج جذب بیشینه ۴۴۲nm است. سایر ترکیبات این طبقه با قرار دادن استخلاف‌های الکترون‌دهنده بر روی حلقه‌های ساختار کومارین و ایجاد گروه سیانو آکرلیک به‌عنوان گروه الکترون‌کشنده ساخته شده که دارای بازده کوانتومی بالاتری نیز خواهند بود [۱۶].

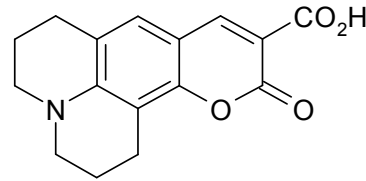
۳- مواد رنگزای آلی جهت استفاده در سلول خورشیدی حساس‌شده به ماده رنگزا

مواد رنگزای آلی که در سل‌های خورشیدی استفاده می‌شوند به‌صورت $D-\pi-A$ نیز نشان داده می‌شوند که در آن D یک گروه الکترون‌دهنده، π یک سیستم مزدوج (پل مزدوج) و A یک گروه الکترون‌گیرنده است [۱۰]. ساختارهایی مانند کومارین‌ها، تیوفن‌ها، ایندولین‌ها و... به‌عنوان مواد رنگزا در سلول‌های خورشیدی به‌کار می‌روند [۱۴-۱۱]. ویژگی‌های مواد رنگزای آلی قابل استفاده در سل‌های خورشیدی عبارتند از [۱۵]:

- ۱- آن‌ها باید دارای گروه‌هایی مانند SO_3H ، CO_2H و PO_3H_2 و OH باشد تا روی سطح TiO_2 جذب شوند.
- ۲- محدوده وسیعی از نور خورشید را جذب کنند تا بازده کوانتومی قابل قبولی داشته باشند.
- ۳- سطح انرژی پایین‌ترین اوربیتال مولکولی خالی LUMO^۱ از باند هدایت (CB) الکتروود TiO_2 بیشتر باشد تا الکترون تهیج یافته به لایه هادی TiO_2 منتقل شود.
- ۴- این ترکیبات باید ثابت نوری متوسط یا بالا داشته باشند.
- ۵- قابلیت بازگشت به حالت اولیه خود را داشته باشند.

^۱ Low unoccupied molecular orbital

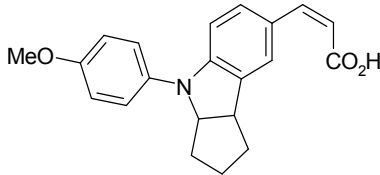
ساده‌ترین ترکیب از این طبقه شکل ۵ دارای بازده کوانتومی ۵/۱٪ می‌باشد اما سایر اعضاء این طبقه اغلب دارای بازده‌های بالاتری هستند. برای اولین بار ماده رنگزایی بر پایه ایندولین با بازده ۱۱٪ سنتز شد که امید جایگزینی کامل مواد رنگزای آلی به‌جای ترکیبات گران قیمت آلی- معدنی را بسیار تقویت کرد [۱۶].



شکل ۳- ساختار کومارین.

۲-۳- مواد رنگزای آلی بر پایه تیوفن

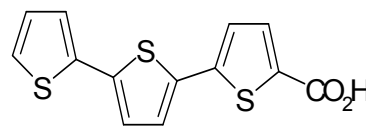
تحقیقات نشان می‌دهد که مواد رنگزای حاوی حلقه تیوفن دارای ثبات نوری خوبی بوده و بازده کوانتومی بالایی دارند، بنابراین طبقه‌ای جداگانه تحت عنوان مواد رنگزا بر پایه تیوفن برای استفاده در سل‌های خورشیدی به وجود آمده است [۱۵]. این ترکیبات از سه یا بیشتر حلقه تیوفن متوالی و یک گروه آکرلیک اسید یا سیانوآکرلیک اسید به‌عنوان گروه الکترون کشنده ساخته می‌شوند. اولین ساختار آلی تهیه شده از این طبقه شکل ۴ دارای بازده کوانتومی ۱/۳٪ می‌باشد اما بیشتر اعضاء این طبقه دارای بازده بیشتر از ۵٪ هستند [۱۶].



شکل ۵- ساختار نوعی از رنگزای آلی بر پایه ایندولین.

۴- نتیجه‌گیری

با توجه به بحران انرژی در جهان و افزایش روزافزون جمعیت در سال‌های آینده باید از منابع انرژی تجدیدپذیر که سازگار با محیط زیست هستند، نسبت به سوخت‌های فسیلی و هسته‌ای استفاده بیشتری شود. یکی از مهم‌ترین انرژی‌های تجدیدپذیر انرژی خورشیدی است. وسیله‌ای که انرژی خورشیدی را به انرژی الکتریکی تبدیل می‌کند سلول خورشیدی نامیده می‌شود. یکی از اجزاء اصلی سلول خورشیدی نسل سوم، مواد رنگزا بوده که وظیفه تولید جریان الکتریکی از نور را بر عهده دارد. در خلال دهه گذشته تلاش‌های زیادی برای گسترش مواد رنگزای آلی برای استفاده در سلول خورشیدی حساس‌شده به مواد رنگزا انجام شده است زیرا مواد رنگزای آلی به‌دلیل قیمت پایین تولید و بازده مطلوب تبدیل نور به جریان الکتریکی بسیار مورد توجه قرار گرفته‌اند. با توجه به مطالعات انجام شده بر روی ساختارهای مختلف شیمیایی، ترکیبات آلی بر پایه کومارین، تیوفن و ایندولین بالاترین بازده تبدیل نور به الکتروسیسته را نشان داده‌اند.



شکل ۴- ساختار رنگزای تیوفن.

۳-۳- مواد رنگزای آلی بر پایه ایندولین

جدیدترین طبقه از مواد رنگزای آلی که برای اولین بار در سال ۲۰۰۴ معرفی شد مواد رنگزای آلی عاری از فلز بر پایه ایندولین می‌باشند. این ترکیبات دارای پایه اصلی ایندولین بوده و با قرار دادن گروه‌های الکترون‌دهنده مناسب بر روی نیتروژن حلقه ایندول و یک گروه آکرلیک اسید یا سیانوآکرلیک اسید به‌عنوان گروه الکترون کشنده ساخته می‌شوند

۵- مراجع

- Kay, "Solar Cell Based on Dye Sensitized TiO₂ Crystals", England, John Wiley & sons, **1994**.
- S. Lu, "Solar Cells Based on Organic Materials May Provide Low-cost Power", China, Hangzhou pbu, **2007**.
- Y. Ooyama, Y. Harima, "Molecular design and synthesis of organic dyes for dye sensitized solar cells", Eur. J. Org. Chem, 102, 2903-2934, **2009**.
- A. E. Becquerel, "Two layer organic photovoltaic cell", England, John Wiley & sons, **2004**.
- T. Borrmann, M. Richardson, "The use of nanostructured calcium silicate in solar cells", Germany, RBG pub., **2009**.
- J. Halme, "Dye-sensitized nanostructures and organic photovoltaic cells: technical review and preliminary tests", New York, Dyers Company Publication Trust, **2002**.
- J. Thomas, <http://www.treehugger.com>, **April 2007**.
- M. Chapa, <http://inhabitat.com/tag/solar-cell>, **May 2008**.
- J. Heimbuch, Technology /Clean Technology, <http://www.treehugger.com>, **January 2010**.
- R. Groningen, "Fullerene based Organic Solar Cells", Romaine, Timisoara, JHG pub, **1978**.
- M. Gratzel, "Conversion of sunlight to electric power by nanocrystalline dye-sensitized solar cells", J. Photo. Photobio. A: Chem, 164, 3-14, **2004**.
- M. Grätzel, "Conversion of light to electricity by cis-X₂bis (2, 2'-bipyridyl-4,4'-dicarboxylate)ruthenium(II)charge-transfer sensitizers on nanocrystalline titanium dioxide electrodes", Inorg. Chem., 44, 6841- 6849, **2005**.
- M. K. Nazeeruddin, A.. Kay, I. Rodicio, R. Humphry-Baker, E. Müller, P. Liska, N. Vlachopoulos, M. Grätzel, "Conversion of Light to Electricity by cis-X_zBis (2,2'-bipyridyl-4,4'-dicarboxylate) ruthenium(II)", J. Am. Chem. Soc., 115, 6382-6390, **1993**.
- N. Robertson, "Catching the Rainbow: Light Harvesting in Dye-Sensitized Solar Cells", Angew. Chem. Int. Ed., 47, 1012-1014, **2008**.
- L. M. Peter, "Dye-sensitized nanocrystalline solar cells", Phys. Chem. Chem. Phys., 9, 2630-2642, **2007**.
- K. R. Millington, K. W. Fincher, A.. L. King, "Photoelec- tric materials and photovoltaic cells" Sol. Energy Mater.Sol. Cells., 91, 1618-1629, **2007**.