

# مروری بر الکترولیت‌های پلیمری مورد استفاده در سلول‌های خورشیدی حساس به ماده رنگزا

مژگان حسین‌نژاد<sup>۱\*</sup>، شهره روحانی<sup>۲</sup>

۱- استادیار، الف) گروه پژوهشی مواد رنگزای آلی؛ ب) قطب علمی رنگ، موسسه پژوهشی علوم و فناوری رنگ و پوشش، تهران، ایران، صندوق پستی: ۶۵۴-۱۶۷۶۵۴.

۲- دانشیار، الف) گروه پژوهشی مواد رنگزای آلی؛ ب) قطب علمی رنگ، موسسه پژوهشی علوم و فناوری رنگ و پوشش، تهران، ایران، صندوق پستی: ۶۵۴-۱۶۷۶۵۴.

\* hosseinnezhad-mo@icrc.ac.ir

## چکیده

امروزه بحران انرژی یکی از مهمترین دغدغهای بشر است. با رشد روزافزون جمعیت نیاز به انرژی پایدار و کم خطر بیش از پیش احساس می‌شود. یکی از منابع در دسترس و تجدیدپذیر انرژی، خورشید است. برای تبدیل انرژی خورشید به انرژی الکتریکی از سلول‌های خورشیدی استفاده می‌شود. تاکنون سلول‌های خورشیدی تهیه شده به سه نسل کلی سلول‌های خورشیدی سیلیکونی، سلول‌های خورشیدی لایه نازک و سلول‌های نسل سوم تقسیم می‌شوند. سلول‌های خورشیدی حساس شده به مواد رنگزا، یک طبقه مهم از سلول‌های خورشیدی نسل سوم بوده که دارای پنج جزء اصلی شامل الکتروود آند، ماده رنگزا، اکسید فلزی، الکترولیت و الکتروود مقابل است. یک جزء مهم در سلول‌های خورشیدی حساس شده به مواد رنگزا، الکترولیت‌ها بوده که نقش تامین الکترون ماده رنگزا برای بازگشت به حالت پایه را دارد. الکترولیت‌های مورد استفاده در سلول‌های خورشیدی به دو طبقه الکترولیت‌های مایع و الکترولیت‌های پلیمری تقسیم می‌شوند. الکترولیت‌های پلیمری یک فناوری مورد توجه برای افزایش پایداری سلول‌های خورشیدی حساس شده به مواد رنگزا است. الکترولیت‌های پلیمری به چهار طبقه پلیمرهای ترموپلاست، پلیمرهای ترموست، کامپوزیت‌ها و مایع‌های یونی پلیمری تقسیم می‌شوند. هدف از این مقاله معرفی و تشریح انواع الکترولیت‌های پلیمری شامل مواد، اجزاء و اتصال آن‌ها است. در نهایت مختصری درباره عملکرد و چشم‌انداز الکترولیت‌های پلیمری در ساختار سلول خورشیدی بحث می‌شود.

**واژه‌های کلیدی:** سلول‌های خورشیدی حساس شده به مواد رنگزا، الکترولیت پلیمری، الکترولیت ژل مانند، الکترولیت مایع.

## Review on polymer electrolyte for dye-sensitized solar cells

Mozhgan Hosseinnezhad<sup>a, b\*</sup>, Shohreh Rouhani<sup>a, b</sup>

a) Department of Organic Colorants; Institute for Color Science and Technology, Tehran, P. O. Box. 16765-654.

b) Center of Excellence for Color Science and Technology, Institute for Color Science and Technology, Tehran, P. O. Box. 16765-654.

## Abstract

Today's energy crisis is one of the most important concerns of mankind. As the population grows, the need for sustainable and low-energy energy is felt more and more. One of the most accessible and renewable sources of energy is the sun. Solar cells are used to convert solar energy to electrical energy. So far, solar cells have been divided into three generations of silicon solar cells, thin-film solar cells, and third generation solar cells. Dye-sensitized solar cells, also known as an important category of third-generation solar cells, have five main components, including the anode electrode, dye, metal oxide, electrolyte, and counter electrode. An important component in dye-sensitized solar cells (DSSCs), electrolytes, is the role of dye electron supply to return to the ground state. Electrolytes used in dye-sensitized solar cells are divided into two classes of liquid and polymer electrolytes. Polymer electrolytes are an interesting technology for increasing of fastness of dye-sensitized solar cells. There are four main kinds of polymer electrolytes as thermoplastic polymers, thermosetting polymer, composites and ionic liquid polymers. The aim of this article is introduce and describe the components of the polymer electrolyte including materials and components. Finally, some brief performance and outlook of the polymer electrolytes are presented.

**Key words:** Dye-sensitized solar cells, polymer electrolytes, Gel electrolyte, Efficiency, Liquid electrolyte.

## ۱- مقدمه

یکی از چالش‌های مهم و مورد توجه در جهان، انرژی و تامین آن برای مصارف خانگی و صنعتی است. با توجه به جمعیت روبه رشد انسان‌ها، نگرانی‌ها برای یافتن منابع انرژی پایدار افزایش یافته است. از آنجاکه منابع انرژی مرسوم شامل سوخت‌های فسیلی و هسته‌ای از یک طرف روبه پایان بوده و از طرف دیگر آلاینده محیط زیست هستند، توجه به

سوی منابع انرژی تجدیدپذیر که پایان‌ناپذیر باشند و مشکلات زیست محیطی نیز نداشته باشند، جلب شده است [۱]. یکی از مهمترین منابع انرژی تجدیدپذیر خورشید است. که برای استفاده از آن، سلول‌های خورشیدی که براساس جذب نور و جدایش بار کار می‌کنند، معرفی شده‌اند. به طور کلی سلول‌های خورشیدی به سه نسل طبقه‌بندی می‌شوند که عبارتند از: سلول‌های خورشیدی سیلیکونی، سلول‌های خورشیدی لایه نازک و سلول‌های خورشیدی نسل سوم [۲]. سلول‌های خورشیدی نسل سوم به دلیل قیمت پایین و سهولت تولید مورد توجه قرار گرفته‌اند. سلول‌های خورشیدی حساس شده به مواد رنگزا یکی از انواع سلول‌های خورشیدی نسل سوم بوده که یکی دارای اجزاء مختلفی بوده که عبارتند از: فوتوالکترو (زیرایندهادی و اکسید فلزی)، ماده رنگزا، الکترولیت و الکتروود مقابل. شمایی از اجزاء و نحوه عملکرد آن‌ها در شکل ۱ نشان داده شده است [۲]. نقش الکترولیت‌ها تولید الکترون مورد نیاز برای بازگشت ماده رنگزا به حالت پایه و تکرار فرایند تهییج است. بنابراین عملکرد طولانی مدت سلول‌های خورشیدی حساس شده به مواد رنگزا وابسته به بخش الکترولیت می‌باشد [۳]. الکترولیت‌های مورد استفاده در سلول‌های خورشیدی به دو طبقه کلی الکترولیت‌های مایع و الکترولیت‌های پلیمری تقسیم‌بندی می‌شوند [۴]. اولین بار در سال ۱۹۹۱ گراتزل و همکارانش، یک سلول خورشیدی با استفاده از الکترولیت مایع تهیه نمودند. اما معایب الکترولیت‌های مایع مانند تبخیر، احتمال نشت حلال، خوردگی و عدم پوشش‌دهی کامل سبب معرفی و کاربرد الکترولیت‌های پلیمری گردید. اگرچه سلول‌های خورشیدی حساس شده به مواد رنگزا حاوی الکترولیت‌های پلیمری عملکرد و بازده کمتری نسبت به سلول‌های حاوی الکترولیت‌های مایع دارند، ولی این الکترولیت‌ها پایداری بیشتر و قابلیت آب‌بندی بهتری دارند. بنابراین طراحی و تولید الکترولیت‌های جدید با انتقال بسیار موثر حامل‌های بار و پایداری طولانی مدت هنوز در دست بررسی است [۵].

### شکل ۱

در این مقاله به طور مبسوط به نقش الکترولیت‌های پلیمری در سلول‌های خورشیدی حساس شده به مواد رنگزا پرداخته می‌شود. انواع الکترولیت‌های پلیمری معرفی شده و درباره مواد انتقال دهنده الکترون و حفره در آنها بحث خواهد شد. در پایان پیشنهادات برای بهبود مواد و طراحی الکترولیت‌های مورد استفاده در سلول‌های خورشیدی حساس شده به مواد رنگزا ارائه می‌گردد.

## ۲- الکترولیت‌های پلیمری

الکترولیت‌های پلیمری در واقع کوپلیمرهای پیچیده حاوی گروه‌های عاملی قطبی بر روی زنجیر اصلی پلیمر بوده که با برهم کنش‌های درون مولکولی گونه‌های یونی را منتقل می‌کند. در واقع انتقال بار توسط نفوذ یون‌های جدا شده و عبور از میان فضاهای خالی ماتریکس پلیمر انجام می‌شود. الکترولیت‌های پلیمری علاوه بر خواص انسجمی حالت جامد دارای خواص نفوذی حالت مایع نیز هستند، یعنی الکترولیت‌های پلیمری پایداری طولانی بیشتری نسبت به الکترولیت‌های مایع داشته و در عین حال ویژگی‌های الکترولیت‌های مایع مانند هدایت یونی بالا و خاصیت تماس بین سطحی عالی را نیز دارند. به همین دلیل الکترولیت‌های پلیمری به طور گسترده در سلول‌های خورشیدی حساس شده به مواد رنگزا و سایر افزاره‌های الکترونیکی و الکتروشیمیایی مانند باطری‌های ثانویه، سلول‌های سوختی، حسگرها و محرک‌ها، ابرخازن‌ها و صفحه نمایش‌های الکتروکرومیک استفاده می‌شود [۶]. ویژگی‌های یک الکترولیت پلیمری مناسب عبارتند از:

- ۱- بعد از اینکه ماده رنگزا الکترون را به دی‌اکسید تیتانیم انتقال داد، باید قادر به انتقال حفره از ماده رنگزای حساس کننده باشد و لبه بالایی باند ظرفیت نیمه هادی‌های نوع p باید بالاتر از سطح انرژی حالت پایه ماده رنگزا باشد.
- ۲- باید در حالت بی‌شکل قادر به نشانش در فیلم متخلخل دی‌اکسید تیتانیم باشد. زیرا بلورینگی الکترولیت مانع از پرشدن مناسب منافذ فیلم دی‌اکسید تیتانیم متخلخل خواهد شد که عامل محدود کننده اصلی در عملکرد سلول است.
- ۳- تحرک حفره باید به اندازه کافی بالا باشد. زیرا تحرک کم حفره عامل محدود کننده دیگری برای عملکرد افزاره است.

- ۴- باید در محدوده مرئی شفاف باشد و ماده رنگزای حساس کننده را در طی فرآیند نشانش تخریب یا حل کند [۶].

امروزه برای تهیه الکترولیت‌های پلیمری، انواع متنوعی از پلیمرها مانند پلی‌اتیلن اکساید، پلی‌متیلن متاکریلات، پلی‌اتیلن گلیکول، پلی‌اتیلن گلیکول متیل‌اترمتاکریلات، پلی‌آکریلونیتریل و پلی‌وینیل کلراید استفاده می‌شود. اخیراً، پلی-ساکاریدها، پلی‌ساکاریدهای اصلاح شده مانند سلولز و کاراگیران به دلیل هدایت بالای یونی در دمای محیط مورد توجه قرار گرفته‌اند. بعلاوه، الکترولیت‌های پلیمری آلی غیرارگانیک هیبریدی نیز در حال مطالعه و ارزیابی هستند [۷].

اولین بار در سال ۱۹۹۵، الکترولیت پلیمری در ساختار سلول خورشیدی استفاده شد و راندمان عملکرد ۰/۷۴ درصد به

دست آمد، سپس کاربرد این فناوری در سلول خورشیدی گسترش یافت [۸]. در این مقاله الکترولیت‌های پلیمری مورد استفاده در سلول‌های خورشیدی به دو دسته پلیمرهای حالت جامد و ژل‌مانند تقسیم شده و هریک مورد بررسی قرار می‌گیرد.

## ۲-۱- الکترولیت‌های پلیمری جامد

اولین بار در سال ۱۹۹۵ کائو<sup>۱</sup> و همکارانش الکترولیت‌های پلیمری ترموپلاستیک را در سلول‌های خورشیدی حساس شده به مواد رنگزا استفاده نمودند. الکترولیت‌های پلیمری ترموپلاستیک تولید شده با وارد نمودن الکترولیت‌های ید در پلیمر پلی‌اکریلونیتریل تهیه شد. نتایج نشان داد که بازده این الکترولیت در ساختار سلول خورشیدی مشابه سلول‌های الکترولیت مایع پایین‌تر است اما پایداری آن بسیار بیشتر از الکترولیت مایه ید مرسوم بود [۹]. در این پژوهش و اغلب الکترولیت‌های پلیمری جامد، معمولاً روش ریخته‌گری برای اعمال در ساختار سلول خورشیدی استفاده می‌شود. به این ترتیب که محلول الکترولیتی پلیمر به صورت مستقیم بر روی اکسید فلزی حساس شده به مواد رنگزا اعمال می‌گردد [۷]. ریخته‌گری یک روش ساده برای تهیه فیلم‌های نازک است که به تجهیزات پیچیده نیاز ندارد. در این فناوری، محلولی از محلول مناسب ریخته‌گری تهیه شده و بر روی سطح زیرلایه اعمال می‌گردد و در نهایت خشک می‌شود. نکته مهم در این فناوری کنترل ضخامت فیلم بوده که نسبتاً دشوار است [۱۰]. در سال ۲۰۰۴ از پلی(اتیلن‌اکسیددی‌متیل‌اتر) با وزن مولکولی ۵۰۰ حاوی نانوذرات دی‌اکسید تیتانیم با استفاده از روش ریخته‌گری در ساختار سلول خورشیدی اعمال گردید و بازده ۴/۵ درصد به دست آمد. مقدار فوتوجریان به دلیل هدایت یونی بالا و انتقال بار سریع با افزایش چشمگیری در حدود  $9/5 \text{ mAcm}^{-2}$  به دست آمد [۱۱]. روش دیگر برای کاربرد الکترولیت پلیمری جامد قراردادن یک غشاء نازک به عنوان الکترولیت بر روی اکسید فلزی حساس شده به مواد رنگزا است. در سال ۲۰۱۰ یک لایه نازک متشکل از کوپلیمرهای زیستی به همراه آمونیوم و کیتوسان در دمای اتاق تهیه گردید و در ساختار سلول خورشیدی اعمال گردید. مقدار فوتوجریان و فوتوولتاژ سلول خورشیدی تهیه شده به ترتیب  $0/23 \text{ V}$  و  $0/07 \text{ mAcm}^{-2}$  گزارش شد

<sup>1</sup>Cao

[۱۲]. در سال ۲۰۰۰ نوگیرا<sup>۲</sup> و همکارانش یک الکترولیت پلیمری الاستومری بر پایه کمپلکس‌های کوپلیمر پلی (اتیلن اکسید-CO-اپی کلروهیدرین) با نمک‌های سدیم یا یدید لیتیوم تهیه نمودند. بازده سلول‌ها در حدود ۱/۶ تا ۲/۶ درصد بود. تحقیقات انجام شده نشان داد که پایداری طولانی مدت الکترولیت حالت جامد نسبت به الکترولیت‌های مایع برتری چشمگیری دارد [۱۳]. روش‌های دیگری مانند پوشانش دورانی و پلیمریزاسیون فوتوشیمیایی نیز برای تهیه الکترولیت‌های جامد پلیمری استفاده می‌شود. ترکیباتی مانند پلی پیرول (PPy)، ۳-(پیرول-۱-یل متیل) پیریدین، پلی آنیلین (PANI) و پلی آنیلین دوپه شده PANI-DBSA با این دو روش تهیه شده و در ساختار سلول خورشیدی اعمال گردیدند. به علاوه، این سلول‌ها پس از انبارداری به مدت ۳ ماه با قرار گرفتن در معرض نور و هوا ثبات خوبی از خود نشان دادند. اخیراً تحقیقاتی در زمینه جایگزینی الکترولیت‌های سستی با اتصال ناهمگون<sup>۳</sup> P3HT/PCBM در سلول‌های خورشیدی حساس شده به مواد رنگزا گزارش شده است. نتایج بررسی‌ها نشان دادند که پیوندهای ناهمگون P3HT یا P3OT نه تنها می‌توانند جایگزین الکترولیت‌ها بشوند، بلکه می‌توانند جایگزین مواد رنگزای حساس کننده در سلول‌های خورشیدی حساس شده به مواد رنگزا هم باشند. این گزینه‌های جدید رسانای بدون یدید یا تری یدید مزایایی مانند ساخت آسان و هزینه پایین تهیه سل را دارا هستند. با جایگزین کردن P3HT با یک پلی (الکیل تیوفن) مانند پلی (۲،۶-۴،۴-بیس (۲-اتیل هگزیل)-۴H-سیکلوپنتا-[۱،۲-b'،۳،۴،b'-دی تیوفن])<sup>۴</sup>، بازده تبدیل بیشتر و تا حدود ۶/۳٪ افزایش می‌یابد [۱۴]. پلیمرهای مزدوج مانند پلی-۴،۳-اتیلن دی اکسی تیوفن<sup>۵</sup> که دارای شفافیت بالا در محدوده مرئی، رسانش بالای حفره (تا  $550 \text{ S} \cdot \text{cm}^{-1}$ ) و پایداری قابل توجه در دمای اتاق هستند، انتخاب مناسبی برای الکترولیت در سلول خورشیدی می‌باشند. نوع دیگری از پلیمرهای مزدوج نوع p مانند پلیمرهای مبتنی بر تری آرل آمین، پلی تیوفن (PT) و پلی-۲-متوکسی-۵-(۲-اتیل هگزوفیل)-۴،۱-فنیلن وینیلن<sup>۴</sup>، نیز به عنوان الکترولیت پلیمری حالت جامد استفاده می‌شوند. اما به دلیل پرکردن محدود منافذ، راندمان تبدیل سیستم‌های حاوی این ترکیبات به ندرت

<sup>۲</sup>Nogueira

<sup>۳</sup>heterojunction

<sup>۴</sup> poly(2,6-(4,4-bis(2-ethylhexyl)-4H-cyclopenta-[2,1-b;3,4-b']dithiophene)-alt-4,7(2,1,3-benzothiadiazole)(PCPDTBT)

<sup>۵</sup> poly(3,4-ethylenedioxythiophene) (PEDOT)

از ۱٪ تجاوز می‌کند [۶]. خلاصه‌ای از ویژگی‌های فوتولتائیک الکترولیت‌های جامد پرمصرف در جدول ۱ آورده شده است. ساختار شیمیایی برخی از این پلیمرها در شکل ۲ نشان داده شده است [۱۵].

## جدول ۱

## شکل ۲

### ۲-۲- الکترولیت‌های ژل پلیمری

برای تهیه الکترولیت‌های پلیمری ژل مانند سه روش کلی وجود دارد که عبارتند از:

۱- الکترولیت‌های مایع با استفاده از ژل کننده‌های پلیمری آلی به شکل جامد در می‌آیند تا الکترولیت‌های پلیمری

ترموپلاستیک یا الکترولیت‌های پلیمری ترموست شکل بگیرند (شکل ۱).

۲- الکترولیت‌های مایع با ژل کننده‌های معدنی مانند دی‌اکسید زیرکونیم، دی‌اکسید تیتانیم و دی‌اکسید سیلیسیم و پودر

نانو خاک رس به حالت جامد در می‌آیند و تشکیل الکترولیت‌های پلیمری کامپوزیتی را می‌دهند.

۳- الکترولیت‌های مایع یونی با ژل کننده‌های معدنی یا پلیمرهای آلی جامد می‌شوند و الکترولیت‌های مایع یونی نیمه

جامد تشکیل می‌شود [۶].

## شکل ۳

بطور کلی، الکترولیت‌های ژل پلیمری شامل پلیمر یا الیگومر، حلال آلی و نمک (های) معدنی هستند. نمک‌های معدنی

خود گاهی اوقات دارای افزودنی می‌باشند. نقش اصلی پلیمر یا الیگومر به عنوان ماتریس یا چارچوبی برای ژل شدن،

سفت شدن، جذب شدن، متورم شدن، نگه داشتن و برهم کنش با الکترولیت مایع (حاوی حلال و نمک) است. پلیمر

غالباً به عنوان ژل کننده یا جاذب سطح نامیده می‌شود و حلال معمولاً نرم کننده ایست. حلال فضا و محیطی برای

مهاجرت نمک‌های یونی فراهم می‌نماید و تبلور و دمای شیشه‌ای شدن الکترولیت‌ها را کاهش می‌دهد. زیرا حلال، بین

زنجیرهای پلیمر مجاور وجود دارد و برهم کنش پلیمر-پلیمر را کاهش و حجم آزاد و تحرک قطعه‌های زنجیر<sup>۶</sup> پلیمر را

افزایش می‌دهد. هنگامی که ماتریس پلیمر با الکترولیت مایع مخلوط می‌شود، سیستم به تدریج از سیستم ناهمگن رقیق به

سیستم همگن ویسکوز (چسبناک) و یا به عبارت دیگر از یک حالت سل به حالت ژل تبدیل می‌شود. در این فرآیند ژل

<sup>۶</sup>segmental

شدن، با توجه به برهم کنش ضعیف بین ماتریس‌های پلیمر (ژل کننده) و حلال (نرم کننده)، یک الکترولیت ژل پلیمر، با ژل شدن، جذب سطحی شدن، تورم و درهم رفتن شبکه‌ی پلیمر، در الکترولیت مایع به دست می‌آید [۱۶]. در این فناوری از پلیمرهای خطی به عنوان ژل کننده استفاده می‌شود. به عنوان مثال می‌توان از پلی اتیلن اکسید یا پلی اتیلن گلیکول (PEG یا PEO)، پلی اکریلونیتریل (PAN)، پلی وینیل پیرولیدون (PVP)، پلی استایرن (PS)، پلی وینیل کلرید (PVC)، پلی وینیلیدین استر (PVE)، پلی وینیلیدین فلورید (PVDF)، پلی متیل متاکریلات (PMMA) و غیره نام برد [۱۷]. تحقیقات انجام شده در استفاده از الکترولیت‌های پلیمری ترموپلاستیک نشان داد که علاوه بر راندمان مشابه سلول‌های خورشیدی مایع، پایداری طولانی مدت این افزاره‌ها به شدت افزایش می‌یابد. گرانی، هدایت و حالت فاز الکترولیت‌های پلیمری ترموپلاستیک را می‌توان با تغییر دما و تغییر نوع الکترولیت تنظیم نمود. در سال ۲۰۰۶ یک الکترولیت پلیمری ترموپلاستیک بر پایه با گرانی PEG/PC/KI+I<sub>2</sub> تهیه گردید. این الکترولیت با گرانی Pa.s ۰/۷۶ در دمای بالاتر از ۵۰ درجه سانتی گراد، از یک نفوذ عمیق به درون فیلم دی‌اکسید تیتانیم متخلخل برخوردار است و تماس بین سطحی مطلوبی بین الکترولیت و الکتروود دارد. این الکترولیت در دمای ۲۵ درجه سانتی گراد گرانی ۲/۱۷ Pa.s را نشان می‌دهد [۱۸]. یکی از روش‌های تولید الکترولیت ژل مانند برهمکنش بین اسید و باز لویس است. به عنوان مثال نمک‌های یدید AlI<sub>3</sub> و حلال آلی آنیلین ANI کمپلکس ANI - AlI<sub>3</sub> تشکیل می‌شود که آزمون‌های دستگامی صحت ساخت این کمپلکس را تایید می‌کند. بازده سلول خورشیدی تهیه شده با این الکترولیت در شرایط مشابه در حدود یک درصد بالاتر از کاربرد الکترولیت مایع است [۶]. بطور کلی هدایت یونی الکترولیت‌های ژل پلیمر با افزایش غلظت پلیمر میزبان کاهش می‌یابد. این پدیده به دلیل این واقعیت است که پلیمر میزبان از حرکت یون‌ها ممانعت می‌کند و قفس‌های پلیمری، الکترولیت‌های مایع را به دام می‌اندازند. بنابراین الکترولیت کمی به صورت مایع باقی می‌ماند. با کاهش غلظت پلیمر، الکترولیت هدایت بالایی خواهد داشت، اگر چه مشکلات آب بندی الکترولیت‌ها هنوز هم وجود دارد. از سوی دیگر افزایش میزان پلیمر منجر به کاهش هدایت یونی می‌شود و این نقضی است که محققین در این زمینه با آن روبرو هستند [۱۹]. هدایت الکترولیت‌های ژل پلیمری نخست با افزایش غلظت نمک‌های یونی افزایش یافته و سپس با رسیدن به بیشترین حد هدایت کاهش می‌یابد. افزایش هدایت در مراحل اولیه به راحتی قابل درک است



و کاهش هدایت در مرحله بعد را می‌توان با مدل جفت های یونی و رهایش فازی توضیح داد. غلظت نمک بالا منجر به تغییر حالت بیشتر یون‌ها از حالت یون‌های حلال پوشیده به یون‌های تماسی تبدیل می‌شوند و یون‌های تماسی مشارکت کمتری در هدایت دارند. به عبارت دیگر غلظت بالای نمک منجر به انقباض زنجیرهای پلیمر و رهایش فاز می‌شوند که مانع از انتقال یون می‌گردد. علاوه بر این، غلظت بالای نمک تحرک بخش‌های زنجیرهای پلیمر را محدود می‌کنند که منجر به کاهش هدایت یون می‌شود. با افزایش شعاع یونی کاتیون در الکترولیت ژل پلیمر، ولتاژ نوری سلول خورشیدی حالت جامد افزایش می‌یابد. در مقایسه با الکترولیت‌های مایع این روند آشکارتر است، مانند الکترولیت ژل بر پایه پلی-اتیلن اکساید که مربوط به افزایش سطح فرمی الکترون دی‌اکسید تیتانیم ناشی از کاهش نفوذ یون تری یدید با افزایش شعاع کاتیون است. با افزایش طول زنجیر گروه آلکیل نمک‌های یدید آلی راندمان سلول خورشیدی حالت جامد کاهش می‌یابد زیرا گروه‌های آلکیل طولی‌تر باعث گرانروی بیشتر، ضریب نفوذ و هدایت یونی کمتر می‌شوند [۶].

نوع دیگری از الکترولیت‌های ژل پلیمر، الکترولیت پلیمری ترموست است که در آن الکترولیت با استفاده از مولکول‌های آلی یا اتصال عرضی کووالانسی تشکیل می‌شود و منجر به تشکیل شبکه پلیمری سه بعدی می‌گردد. بنابراین الکترولیت‌های مایع درون این شبکه پلیمری به دام می‌افتد. از آنجا که این نوع از الکترولیت‌های ژل شده با تغییر دما برگشت پذیر نیستند تحت عنوان الکترولیت‌های پلیمری ترموست شناخته شده‌اند. در ظاهر الکترولیت‌های پلیمری ترموست شبیه به الکترولیت‌های حالت جامد هستند. از آنجاییکه مقداری الکترولیت مایع در سیستم باقی می‌ماند آنها تحت عنوان الکترولیت‌های نیمه جامد طبقه بندی می‌گردد. تفاوت اصلی بین الکترولیت پلیمری ترموپلاست و الکترولیت پلیمری ترموست در این موضوع نهفته است که اتصال عرضی در نوع ترموپلاست به صورت فیزیکی است درحالی که در ترموست‌ها به صورت شیمیایی می‌باشد. هر چند که الکترولیت پلیمری ترموپلاست هدایت یونی پایین‌تری نسبت به الکترولیت پلیمری ترموست و الکترولیت‌های مایع دارد ولی پایداری شیمیایی، فیزیکی و حرارتی بهتری نسبت به آنها دارد. بنابراین الکترولیت پلیمری ترموپلاست می‌تواند یک الکترولیت مناسب برای عملکرد ولتاژ نوری بالا و پایداری طولانی مدت در سلول‌های خورشیدی حساس شده به مواد رنگزا باشد [۱۹]. سه روش معمول برای تهیه الکترولیت‌های پلیمری ترموست وجود دارد که عبارتند از پلیمریزاسیون درجا نوری، پلیمریزاسیون درجا حرارتی و

جذب الکترولیت مایع (شکل ۲). نخستین روش پلیمریزاسیون، درجا با القای نور است. به عنوان مثال مونومر بدون اتصال عرضی یا الیگومر در الکترولیت مایع حل می‌شود. سپس یک اتصال الکترون دهنده عرضی را به الکترولیت یا الکترودهای سلول‌های خورشیدی حساس شده به مواد رنگزا وارد می‌کنند. بعد از آنکه سل ساخته شد واکنش ایجاد اتصالات عرضی با تابش نور آغاز می‌شود و منجر به تشکیل الکترولیتی با اتصالات عرضی شیمیایی در سلول می‌شود. روش دوم پلیمریزاسیون درجا با القای حرارت می‌باشد که مشابه روش اول است. تفاوت در این است که در این روش واکنش پلیمریزاسیون توسط گرما آغاز می‌شود. روش سوم جذب سطحی الکترولیت مایع است. به عنوان مثال، پلیمر با اتصال عرضی شیمیایی، به عنوان میزبان الکترولیت مایع را جذب سطحی کرده و یا در الکترولیت مایع متورم می‌شود. اگر پلیمریزاسیون به صورت درجا انجام نشود، یکسری فضاهای خالی در فوتوآند و الکتروود مقابل، باقی مانده که باز ترکیب الکترون-حفره و جریان ناخواسته را سبب می‌شود [۶]. بطور کلی در مقایسه با سلول‌های خورشیدی حساس شده به مواد رنگزا بر پایه الکترولیت‌های مایع، سلول‌های بر پایه الکترولیت‌های ژل پلیمر دارای  $J_{sc}$  پایین‌تر و  $V_{oc}$  بالاتری هستند. پایین‌تر بودن  $J_{sc}$  به دلیل پایین بودن هدایت یونی ناشی از تحرک کمتر جفت اکسایش / کاهش و بالاتر بودن  $V_{oc}$  ناشی از کاهش جریان تاریک به وسیله زنجیرهای پلیمر پوشش دهنده سطح الکتروود دی‌اکسید تیتانیوم است [۷].

#### شکل ۴

شرایط ضروری برای تهیه درجای الکترولیت پلیمری با اتصال عرضی شیمیایی عبارتند از:

- ۱- پلیمریزاسیون باید در حضور ید رخ دهد.
- ۲- پلیمریزاسیون باید در دمایی پایین‌تر از تجزیه ماده رنگزا رخ دهد.
- ۳- پلیمریزاسیون باید بدون تشکیل محصولات جانبی که ممکن است عملکرد فوتوولتاییک را کاهش دهد، انجام شود.
- ۴- پلیمریزاسیون بدون آغازگر باید انجام شود، زیرا محصولات جانبی آغازگر ممکن است عملکرد فوتوولتاییک را کاهش دهند.

ترکیبات معدنی مختلفی مانند  $TiO_2$ ,  $SiO_2$ ,  $ZnO$ ,  $Al_2O_3$ ، کربن و غیره می‌توانند به عنوان ژل‌کننده به الکترولیت‌های پلیمری مایع افزوده می‌شوند تا الکترولیت‌های نیمه جامد تحت عنوان الکترولیت‌های پلیمری کامپوزیت تهیه شود. در سلول‌های خورشیدی حساس شده به مواد رنگزا هدف اصلی از افزودن نانوذرات معدنی دستیابی به پایداری و هدایت بیشتر است. زیرا نانوذرات معدنی می‌توانند الکترولیت‌های مایع را به نیمه جامد تبدیل نمایند و بنابراین باعث پایداری الکترولیت شوند. در همین حال یک شبکه آلی یا آلی-معدنی با افزودن نانوذرات معدنی به الکترولیت تشکیل شده و یون‌های یدید/تری یدید قادر به همتراز شدن و انتقال دادن در شبکه ذرات معدنی هستند. این عمل منجر به تسریع دینامیک انتقال بار می‌شود [۲۰]. فالاراس<sup>۷</sup> و همکارانش اثر افزودن نانوذرات دی‌اکسید تیتانیم با اندازه ذره ۲۵ نانومتر را به الکترولیت پلیمری حاوی  $PEO$ ,  $LiI$  و  $I_2$  را بررسی نمودند. زنجیرهای پلیمر جدا شده به وسیله ذرات دی‌اکسید تیتانیم به صورت یک شبکه سه بعدی پایدار آرایش می‌یابند که درون خود فضا و حفره آزاد ایجاد می‌کنند بطوریکه یون‌های یدید و تری یدید به سهولت درون آن مهاجرت می‌کنند [۲۱]. افزودن انواع نانوذرات از قبیل نانوذرات سیلیکا، اکسید سیلیسیم به درون الکترولیت‌های پلیمری به طور وسیعی مطالعه شده‌اند. استفاده از نانوذرات کربنی نظیر نانوخاک رس، نانولوله‌های کربنی تک و چند جداره و الیاف کربنی به دلیل ایجاد نانوکانال‌های هادی، راهی برای انتقال آزادانه ید/تری یدید فراهم می‌کنند و سبب بالا بردن بازده سلول خورشیدی می‌شوند. از آنجا که نانوذرات اکسید روی پوشش‌دار شده با پلیمرهای زنجیر بلند، با حلال برهم‌کنش دارد و کانالی برای انتقال آزادانه یدید/تری یدید فراهم می‌کند، سلول خورشیدی تهیه شده با آن‌ها پایداری بیشتر داشته و بازده تبدیل نهایی آن معادل ۶/۸٪ خواهد بود [۶]. مواد معدنی نانوخاک رس به عنوان ژل‌کننده در الکترولیت مایع، دارای خواص چند منظوره ای مانند پایداری شیمیایی بالا، توانایی تورم بالا، ظرفیت تبادل یون، خاصیت پخش نور و خواص رئولوژیکی ویژه ای هستند که آنها را برای تشکیل الکترولیت پلیمر کامپوزیت حالت نیمه جامد مناسب می‌سازد. به عنوان مثال یک الکترولیت پلیمر کامپوزیت نیمه جامد از ترکیب الکترولیت مایع و نانوخاک رس نیترات هیدروتالکیت سنتزی تهیه و در ساختار سلول خورشیدی اعمال گردید. این افزاره بازده در حدود ۱۰/۱٪ تحت نور کامل آفتاب به ۹/۶٪ را نشان داد که در مقایسه با الکترولیت مایع ۱۰٪ افزایش داشت. این تحقیق نشان می‌دهد که نانوخاک رس نیترات - هیدروتالکیت نه تنها الکترولیت مایع را

<sup>7</sup>Falaras

برای جلوگیری از نشت حلال به حالت نیمه جامد تبدیل می‌کند بلکه سبب بهبودراندمان دستگاه نیز می‌شود [۶]. با استفاده از نانومواد کربنی می‌توان الکترولیت نیمه جامد را از طریق شبکه‌ای نمودن الکترولیت مایع تهیه نمود. حالت فیزیکی این الکترولیت‌ها از طریق تغییر دادن غلظت و نوع نانو مواد کربنی قابل تغییر است. بعلاوه، عملکرد سلول‌های خورشیدی حساس شده به مواد رنگزا با استفاده از این نانومواد با توجه به هدایت خوب و سطح انتقال الکترون وسیع آنها قابل بهبود است. این نانومواد یک اثر کاتالیستی برای کاهش یون‌های تری یدید فرآهم می‌کنند. سلول‌های خورشیدی حساس شده به مواد رنگزا بر پایه الکترولیت کامپوزیت کربنی عملکرد فوق العاده‌ای در مقایسه با الکترولیت‌های مایع یونی یگانه از خود نشان دادند. بنابراین کاربرد مواد کربنی به طور وسیعی به عنوان ژل کننده در الکترولیت‌های پلیمری کامپوزیت مورد توجه قرار گرفته است [۶].

مایع‌های یونی در سلول‌های خورشیدی حساس به مواد رنگزا دارای کاربردهای متعددی هستند. آنها نه تنها به عنوان حلال برای الکترولیت‌های مایع مورد استفاده قرار می‌گیرند، بلکه به عنوان هدایت کننده یونی باعث تشکیل نمک‌های یدید در الکترولیت‌های نیمه جامد و حتی جامد استفاده می‌شوند. در مقایسه با الکترولیت‌های مایع یونی، الکترولیت‌های مایع یونی نیمه جامد هدایت پایین‌تر و پایداری بهتری نشان می‌دهند. در سال ۲۰۰۲ یک الکترولیت مایع یونی نیمه جامد با اختلاط PVDF-HFP (۱۰٪ وزنی) با الکترولیت‌های مایع یونی حاوی ید و N-متیل بنزایمیدازول (NMBI) در ۱- متیل ۳-پروپیل ایمیدازولیوم یدید (MPII) تهیه گردید و در ساختار سلول خورشیدی اعمال شد. نمودند. بازده این افزاره در حدود ۵/۳٪ بود. نتایج تقریباً مشابهی برای سلول بر پایه الکترولیت مایع شاهد به دست آمد که نشان داد حضور پلیمر هیچ تاثیر منفی بر بازده تبدیل ندارد. این موضوع ممکن است به دلیل مشارکت سازوکار تبادل الکترون در انواع الکترولیت‌های پلیمری باشد [۲۲].

نتایج تحقیقات نشان داده است که عملکرد الکترولیت نیمه جامد، پایداری طولانی مدت سلول‌های خورشیدی حساس شده به مواد رنگزا را بهبود بخشیده است. بازده کلی سلول‌های خورشیدی حاوی الکترولیت نیمه جامد نسبت به سلول‌های خورشیدی حساس شده به مواد رنگزای حاوی الکترولیت مایع پایین‌تر است. این موضوع به دلیل سرعت انتقال جرم پایین جفت‌های اکسایش / کاهش در محیطی با گرانش بالتر و مقاومت انتقال الکترون بالا در بین سطوح

الکترولیت / الکتروود با توجه به تر نشدن کافی منافذ الکتروود با الکترولیت است. انواع الکترولیت‌های نیمه جامد از جمله الکترولیت‌های پلیمری ترموپلاستیک، الکترولیت‌های پلیمری ترموست، الکترولیت‌های پلیمری کامپوزیت و الکترولیت‌های مایع یونی ویژگی‌های متفاوتی دارند. با بهینه‌سازی و طراحی برخی سلول‌های خورشیدی بر پایه الکترولیت‌های نیمه جامد علاوه بر پایداری بهتر نیز عملکرد فوتولتائیک بهتری می‌توان به دست آورد. بر این اساس در آینده الکترولیت‌های نیمه جامد یک گزینه محتمل برای سلول‌های خورشیدی حساس شده به مواد رنگزا با کارایی و پایداری بالا است (جدول ۲) [۶].

## جدول ۲

در مورد الکترولیت‌های نیمه جامد همچنان مشکل اصلی پایداری کم آنها است، زیرا الکترولیت هنوز حاوی حلال بوده و به طور کلی از لحاظ ترمودینامیکی ناپایدار است. در انبارداری طولانی یا قرار گرفتن در معرض هوا، نشت و تراوش حلال اجتناب ناپذیر می‌باشد. در این خصوص الکترولیت‌های حالت جامد برتری‌هایی بر الکترولیت‌های نیمه جامد و مایع به ویژه در مورد سلول‌های خورشیدی حساس شده به مواد رنگزا در کاربردهای واقعی و در مقیاس بزرگ دارند.

## ۳- نتیجه‌گیری

انرژی خورشیدی با استفاده از افزاه‌های فوتولتائیک تحت نام سلول‌های خورشیدی به انرژی الکتریکی تبدیل می‌شوند. الکترولیت‌ها از اجزاء اصلی و مهم سلول‌های خورشیدی بوده که اثر مستقیمی بر عملکرد آنها دارد. الکترولیت‌های مورد استفاده در سلول‌های خورشیدی عبارتند از: الکترولیت‌های مایع و الکترولیت‌های پلیمری که الکترولیت‌های پلیمری خود به دو طبقه الکترولیت‌های ژل مانند و حالت جامد تقسیم می‌شوند. برای تهیه الکترولیت‌های نیمه جامد از ژل‌کننده‌های آلی یا معدنی استفاده می‌شود. الکترولیت‌های پلیمری ژلی به چهار طبقه الکترولیت‌های پلیمری ترموست، الکترولیت‌های پلیمری ترموپلاست، کامپوزیت‌ها و پلیمرهای مایع یونی تقسیم می‌شوند. بالاترین بازده برای سلول خورشیدی با الکترولیت پلیمری ژل با ترکیب مواد  $0.05 \text{ M I}_2$ ,  $0.05 \text{ M TBP}$  in GBL (16.wt %) PMAPII معادل ۸/۱۲ درصد به دست آمده است. سلول‌های خورشیدی تهیه شده با الکترولیت‌های ژل دارای پایداری بالاتری نسبت به

افزازه‌های حاوی الکترولیت‌های مایع هستند اما به دلیل حضور حلال در این مواد، همچنان احتمال تبخیر و نشت الکترولیت وجود دارد. راه حل این مشکل کاربرد الکترولیت‌های پلیمری جامد است. پایداری این مواد به دلیل عدم وجود حلال بسیار بالا است اما عملکرد آن‌ها نسبت به دو طبقه دیگر ضعیفتر است.

#### ۴- منابع

1. Kumavat P.P., Sonar P., and Dalal D.S., An Overview on Basics of Organic and Dye Sensitized Solar Cells, Their Mechanism and Recent Improvements, *Renew. Sust. Energy Rev.*, **78**, 1262-1287, 2017.
2. Hosseinneshad M., and Gharanjig K., Review on Effect of Various Anchoring Groups on Optical and Electronic Properties Dye-sensitized Solar Cells (Persian), *J. Studies Color World*, **6**, 61-70, 2016.
3. Hosseinneshad M., Moradian S., and Gharanjig K., Acid Azo Dyes for Efficient Molecular Photovoltaic: Study of Dye-sensitized solar Cells Performance, *Prog. Color Colorants Coat.*, **9**, 61-70, 2016.
4. Bastianini M., Vivani R., Nocchetti M., Costenaro D., Bisio C., and Oswald F., Effect of Iodine Intercalation in Nanosized Layered Double Hydroxides for the Preparation of Quasi-Solid Electrolyte in DSSC Devices, *Sol. Energy*, **107**, 692-699, 2014.
5. Duan Y., Tang Q., Li R., He B., and Yu L., An Avenue of Sealing Liquid Electrolyte in Flexible Dye-sensitized Solar Cells, *J. Power Sources*, **274**, 304-309, 2015.
6. Wang Y., Recent Research Progress on Polymer Electrolytes for Dye-sensitized Solar Cells, *Sol. Energy Mater. Sol. Cells*, **93**, 1167-1175, 2009.
7. Macaira J., Andrade L., and Mendes A., Review on Nanostructured Photoelectrodes for Next Generation Dye Sensitized Solar Cells, *Renew. Sust. Energy Rev.*, **27**, 334-349, 2013.
8. Sellami M.H., and Loudiyi K., Electrolytes Behavior During Hydrogen Production by Solar Energy, *Renew. Sust. Energy Rev.*, **70**, 1331-1335, 2017.
9. Cao F., Oskam G., Searson P., A Solid State, Dye Sensitized Photoelectrochemical Cell, *J. Phys. Chem.*, **99**, 1701-1703, 1995.
10. Kazamifard S., Naji L., Afshar Taromi F., and Fakharan Z., Polymer Solar Cells and their Performance Mechanism and Characterization (Persian), *Polymerization*, **3**, 33-53, 2015.

11. Kim J.H., Kang M.S., Kim Y.J., Won J., Park N.G., and Kang Y.S., Dye Sensitized Nanocrystalline Solar Cells Based on Composite Polymer Electrolyte Containing Fumed Silica Nanoparticles, *Chem. Commun.*, 1662-1663, 2004.
12. Buraidah M.H., Teo L.P., Majid S.R., Yahya R., Taha R.M., and Arof A.K., Characterization of Chitosan-based Polymer Electrolyte Photovoltaic Cells, *Int. J. Photoenergy*, **80**, 1-7, 2010.
13. Nogueira A., and De Paoli M., A Dye Sensitized TiO<sub>2</sub> Photovoltaic Cell Constructed With an Elastomeric Electrolyte, *Sol. Energy. Mater. Sol. Cells*, **61**, 135-141, 2000.
14. Wu J., Lan Z., Lin J., Huang M., Huang Y., Fan L., and Luo G., Electrolytes in Dye-Sensitized Solar Cells, *Chem. Rev.*, **115**, 2136-2173, 2015.
15. Austen Angell C., Polymer Electrolytes Some Principles, Cautions and New Practices, *Electrochim. Acta*, **250**, 368-375, 2017.
16. Wu J., Lan Z., Hao S., Li P., Lin J., Huang M., Fang L., and Huang Y., Progress on the Electrolytes for Dye Sensitized Solar Cells, *Pure Appl. Chem.*, **80**, 2241-2258, 2008.
17. Nogueira A., Longo C., and De Paoli M., Polymers in Dye Sensitized Solar Cells: Overview and Perspectives, *Coord. Chem. Rev.*, **248**, 1455-1468, 2004.
18. Stephan A., Review on Gel Polymer Electrolytes for Lithium Batteries, *Eur. Polym. J.*, **42**, 21-42, 2006.
19. Wu J., Hao S., Lan Z., Lin J., Huang M., Huang Y., Fang L., Yin S., and Sato T., A Thermoplastic Gel Electrolyte for Stable Quasi-Solid-State Dye Sensitized Solar, *Adv. Funct. Mater.*, **17**, 2645-2652, 2007.
20. Lim S., Choi Y., Song K., and Kim D., Quasi Solid State Dye-sensitized Solar Cells Assembled by in-situ Chemical Cross-linking at Ambient Temperature, *Electrochem. Commun.*, **13**, 1284-1287, 2011.
21. Katsaros G., Stergiopoulos T., M.Arabatzis I., G.Papadokostaki K., and Falaras P.J., A Solvent Free Composite Polymer/Inorganic Oxide Electrolyte for High Efficiency Solid State Dye-Sensitized Solar Cells, *Photochem. Photobiol.*, **149**, 191-198, 2002.
22. Wang P., Zakeeruddin S., Exnar I., and Gratzel M., High Efficiency Dye-Sensitized Nanocrystalline Solar Cells Based on Ionic Liquid Polymer Gel Electrolyte, *Chem. Commun.*, 2972-2973, 2002.

جدول ۱- ویژگی‌های فوتولتائیک الکترولیت‌های پلیمری جامد پرمصرف در سلول خورشیدی [۱۵]

I (mWcm <sup>-2</sup> )	J <sub>sc</sub> (mAcm <sup>-2</sup> )	V <sub>oc</sub> (V)	η (%)	σ(×10 <sup>-3</sup> Scm <sup>-1</sup> )	الکترولیت
۱۰۰	۹/۵۰	۰/۶۵	۴/۵۰	۰/۰۰۱	PEOPME/MPII/I <sub>2</sub> /SiO <sub>2</sub>
۱۰۰	۹/۳۲	۰/۶۸	۴/۰۱	۰/۰۰۲	PEO-KI/I <sub>2</sub>
۱۰۰	۱۱/۲	۰/۷۲	۳/۸۴	۰/۰۳	PEO-PPG-KI/I <sub>2</sub>
۱۰۰	۱۰/۴	۰/۶۷	۳/۰۵	۰/۷۴	PU-LiI/I <sub>2</sub>

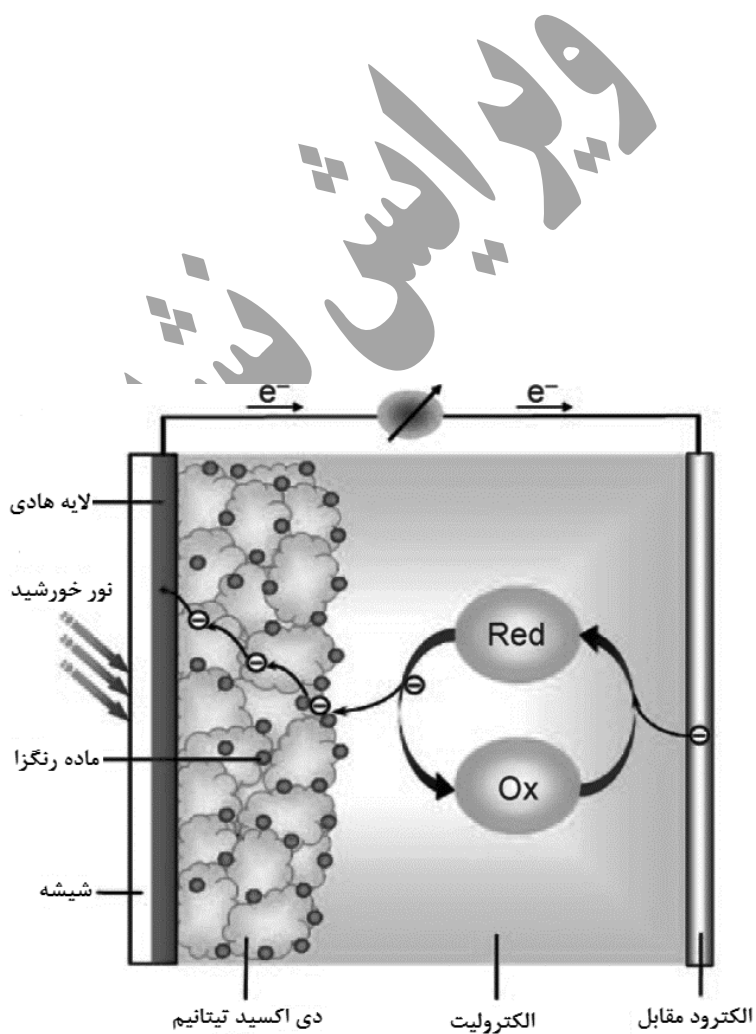
دانشگاه اراک

جدول ۲- ویژگی‌های فوتولتائیک الکترولیت‌های پلیمری نیمه جامد پرمصرف در سلول خورشیدی [۱۵]

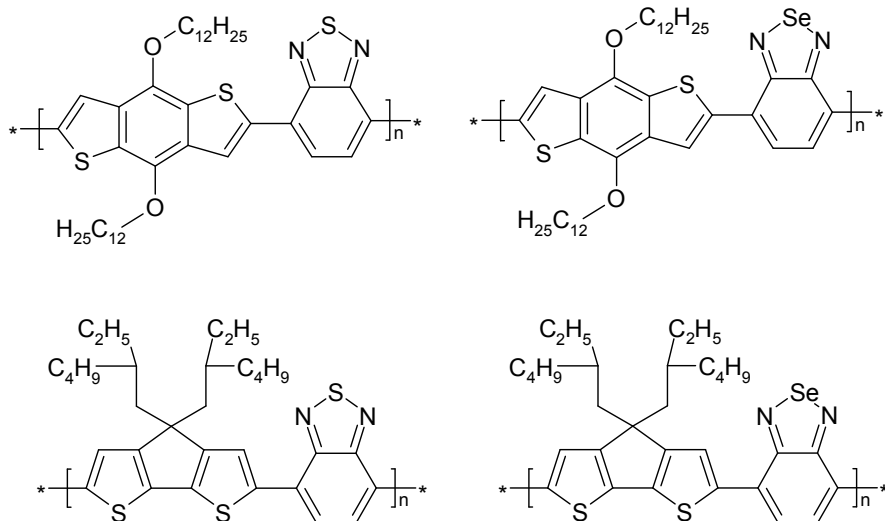
I (mWcm <sup>-2</sup> )	J <sub>sc</sub> (mAcm <sup>-2</sup> )	V <sub>oc</sub> (V)	η (%)	σ(×10 <sup>-3</sup> Scm <sup>-1</sup> )	الکترولیت
۱۰۰	۲/۸۰	۰/۵۸	۳/۶۰	۵/۲۰	PEO-EC/PC-LiI/I <sub>2</sub>
۱۰۰	۱۱/۹	۰/۶۷	۵/۳۰	-	PVdF-HFP-MPII
۱۰۰	۴/۵۳	۰/۶۹	۲/۷۵	۲/۳۷	PAN-co-S/NaI-I <sub>2</sub>
۱۰۰	۹/۲۰	۰/۷۴	۴/۱۰	-	TEOS-PEG-LiI/I <sub>2</sub>



۱۰۰	۹/۹۱	۰/۷۰	۴/۲۵	-	PVdF-HFP-TiO <sub>2</sub> -LiI/I <sub>2</sub>
۱۰۰	۱۰/۰۷	۰/۷۸	۴/۷۸	۶/۸۹	PMMA-EC/PC/DMC-NaI/I <sub>2</sub>
۱۰۰	۱۰/۹۶	۰/۷۱	۳/۷۱	۵/۷۱	PVdF-HFP-TBAI/I <sub>2</sub> -TBP
۱۰۰	۱۴/۰۴	۰/۷۱	۵/۹۷	۷/۱۸	PVdF-HFP-SiO <sub>2</sub> -TBAI/I <sub>2</sub> -TBP
۱۰۰	۱۴/۱۱	۰/۷۴	۶/۱۰	۹/۸۰	PU-LiI/I <sub>2</sub> -BMImI-TBP
۱۰۰	۲/۶۳	۰/۴۷	۰/۷۲	۰/۱۵	PVdF-HFP-EC/PC-NaI

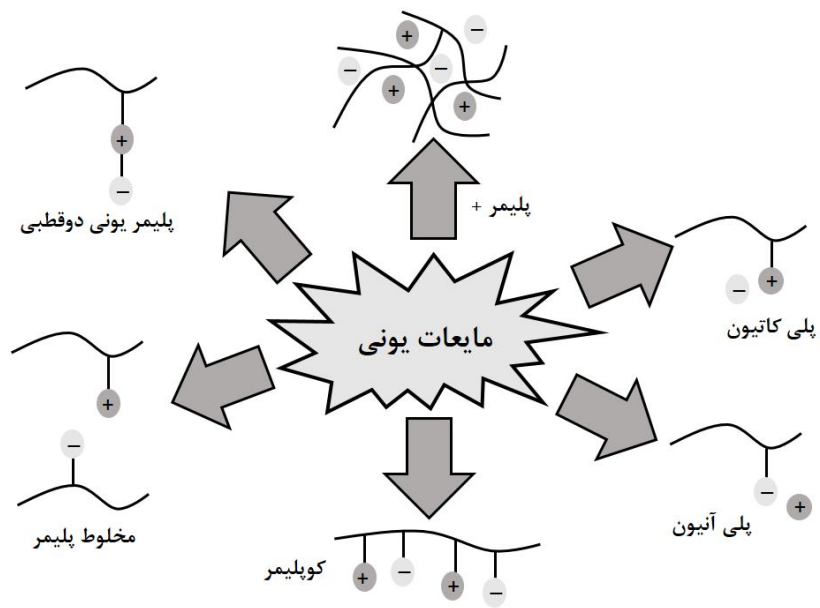


شکل ۱- شمایی از سلول خورشیدی و نحوه عملکرد اجزاء آن [۲].



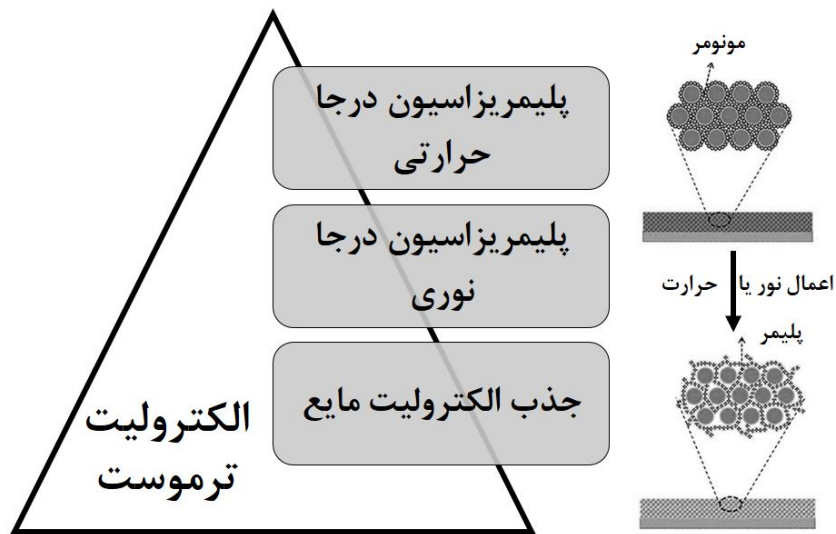
شکل ۲- ساختار شیمیایی برخی از الکترولیت‌های پلیمری پر کاربرد [۶].

فردا پس نشانه



شکل ۳- روشهای پلیمریزاسیون مایعات یونی برای تهیه الکترولیت نیمه جامد [۶].

روزانه  
پایگاه  
نشریه



شکل ۴- روش‌های تهیه الکتروولیت‌های پلیمری ترموست.

موسسه پژوهش‌های پلیمری