

استفاده از مایعات یونی در سلول‌های خورشیدی حساس شده به مواد رنگزا

علی مهدی زاده^۱، مینا ادیبی^{۲*}

۱- کارشناس ارشد، پژوهشکده علوم و فناوری‌های شیمیایی، پژوهشگاه صنعت نفت، تهران، ایران، صندوق پستی: ۱۴۸۵۷-۳۳۱۱

۲- دانشیار، پژوهشکده علوم و فناوری‌های شیمیایی، پژوهشگاه صنعت نفت، تهران، ایران، صندوق پستی: ۱۴۸۵۷-۳۳۱۱

تاریخ دریافت: ۹۱/۱۱/۱ تاریخ بازبینی: ۹۱/۱۲/۱۲ تاریخ پذیرش: ۹۱/۱۲/۱۵

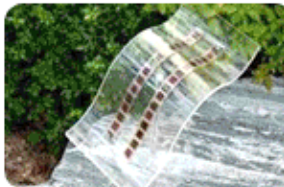
چکیده

در این بررسی کلیات فناوری سلول‌های خورشیدی حساس شده به مواد رنگزا، شامل ساختار کلی و مشخصات اجزای مختلف آن‌ها و نتایج کارهای تحقیقاتی انجام شده اخیر در مورد جایگزینی حلال‌های مورد استفاده در این سامانه‌ها با مایعات یونی ارائه شده است. علاوه بر این انواع مختلف مایعات یونی، مزایای آنها نسبت به حلال‌های مرسوم در این سامانه‌ها و چالش‌های استفاده از آنها و همچنین روش‌های بهینه سازی کارایی مایعات یونی در سلول‌های خورشیدی حساس شده به مواد رنگزا نیز مورد بحث قرار گرفته‌اند.

واژه‌های کلیدی

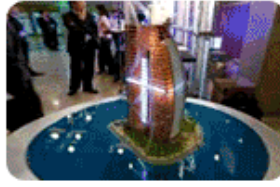
سلول‌های خورشیدی حساس شده به مواد رنگزا، مایعات یونی، الکترولیت، ماده رنگزا.

DSSC انعطاف پذیر برای تلفن همراه



- بکارگیری لایه رسانای بسیار شفاف مولکولی
- مناسب برای استفاده در تلفن همراه
- تولید به شکل ورقه

مدول DSSC با نفوذ بالا برای BIPV



- بکارگیری خمیر TiO_2 با پراکندگی زیاد
- قابلیت عبور ۲۰-۱۰٪ اشعه مرئی
- طراحی ظواهر مختلف به دلیل تغییر ساختار شبکه امکان پذیر است

مدول DSSC با کارایی بالا برای تولید برق



- ۱۰٪ کارایی،
- طول عمر طراحی شده ۲۰ سال
- هزینه تولید پایین

۱- مقدمه

القایی TiO_2 انتقال می‌دهد. حفره‌های مثبت باقیمانده در ماده رنگی توسط الکتروولت به الکتروود شمارشگر انتقال می‌یابند. (مراحل ۱ و ۲ در شکل ۱).

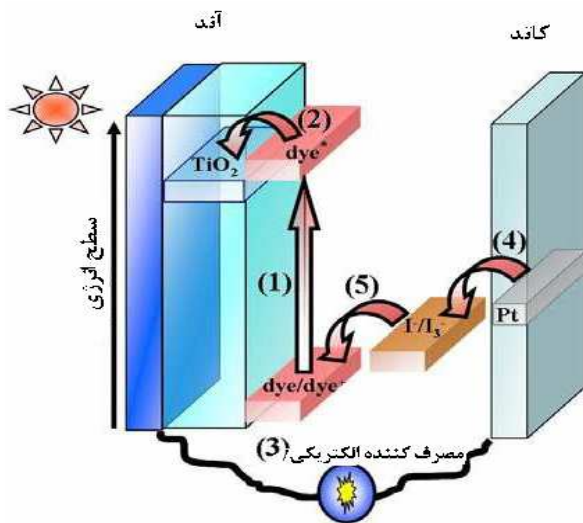
مواد رنگزا عمدتاً کمپلکس‌های فلز روتینیم هستند که از مهم‌ترین و پرکاربردترین آنها می‌توان به موارد زیر اشاره کرد:

$(Ru(2,2'-bipyridyl-4,4'-dicarboxylate)_2(NCS)_2)$ با علامت اختصاری N3 و $(Ru(4,4'-dicarboxylic\ acid-2,2'-bipyridine)(4,4'-dinonyl-2,2'-Z-907)$ با علامت اختصاری $(bipyridine)(NCS)_2)$

(ب) محلول الکتروولت که معمولاً حاوی زوج اکسایشی/کاهش‌ی‌دید-تری دیدید (I/I_3^-) محلول در یک حلال آلی مانند استونیتریل بوده و پس از اکسید شدن ماده رنگزا با اهدای الکترون، آن را احیا می‌کند. (مرحله شماره ۵ شکل ۱).

(ج) یک الکتروود دوم مانند پلاتین که به همراه محلول الکتروولت بالا تشکیل یک سلول فتو الکتروشیمیایی را می‌دهد.

حلال‌های آلی به کار رفته در محلول الکتروولت DSC اغلب فشار بخار بالایی داشته، آتش‌گیر بوده، و نشستی یا تبخیر آنها موجب بروز مشکلات زیست محیطی می‌شود، بنابراین در دراز مدت دارای پایداری و ایمنی نیستند. تابش خورشید روی سلول سبب تبخیر حلال آلی شده و باعث بوجود آمدن مشکلات عملی در ساختار و دوام دستگاه می‌شود. بنابراین بایستی سلول کاملاً آب‌بندی شده تا از نشت حلال و تخریب اجزای پلاستیکی ممانعت به‌عمل آید.



شکل ۱- ساختار یک واحد DSC

عمده‌ترین شاخص کمی کارایی سامانه الکتروولتی در DSC ضریب تبدیل انرژی^۳ است. هر چه این عدد بالاتر باشد، کارایی سامانه مربوطه بیشتر خواهد بود. در حال حاضر بالاترین مورد گزارش شده ضریب تبدیل انرژی در DSCها ۱۶/۳٪ است [۵].

هم‌زمان با کاهش ذخیره سوخت‌های فسیلی، افزایش قیمت این سوخت‌ها، آلودگی‌های ناشی از استفاده آن‌ها و افزایش تغییرات آب و هوایی کره زمین، روش‌های جایگزین تامین نیازهای انرژی بشر از طریق فناوری‌های سازگار با محیط زیست مانند انرژی‌های باد، آب و خورشیدی مورد توجه وسیعی قرار گرفته‌اند. یکی از این فناوری‌ها سلول‌های خورشیدی حساس شده به مواد رنگزا^۱ (DSC) هستند که انرژی خورشیدی را به انرژی الکتریکی تبدیل می‌کنند.

مقدار انرژی خورشیدی قابل بهره‌برداری توسط کره زمین $10^{24} \times 3$ ژول در سال است. این بدان معنی است که وجود سلول‌های خورشیدی با بازده ۱۰٪ در فقط ۰/۱٪ از سطح زمین نیاز فعلی بشر به انرژی را مرتفع خواهند کرد [۱]. بنابراین انرژی خورشیدی پایدارترین انرژی برای نسل‌های بعدی خواهد بود.

DSCها سلول‌های فتوولتایی هستند که با کمک ترکیبات رنگی حساس به نور، مثل کمپلکس بی‌پیریدیل روتینیم عمل فتوسنتز را تقلید می‌کنند.

در حقیقت ترکیب رنگی همان نقش کلروفیل را در گیاهان ایفا می‌کند و نور را به دام می‌اندازد. هزینه پایین ساخت DSCها و انعطاف‌پذیری این دستگاه‌ها سبب شده تا به عنوان جایگزین‌های امیدوارکننده‌ای در مقایسه با سلول‌های خورشیدی بر پایه بلور سیلیکونی موجود، در نظر گرفته شوند.

سلول‌های خورشیدی حساس شده به مواد رنگزا در واقع نسل جدید سلول‌های خورشیدی هستند که نسبت به سایر انواع اولیه این سلول‌ها دارای مزایایی از قبیل ارزان‌تر بودن و بازده بالاتر هستند [۲]. به دلیل همین ویژگی‌های منحصر به فرد اخیراً مطالعات متعددی برای معرفی کلی این تکنولوژی صورت گرفته است [۳، ۴].

۲- ساختار سلول‌های خورشیدی حساس شده به مواد رنگزا

ساختار DSCها به طور معمول شامل الکتروود شمارشگر پلاتین و نانو ذرات دی اکسید تیتانیوم نیمه هادی پراکنده شده در یک لایه نازک الکتروولت جامد و یا مایع است. ترکیب رنگی حساس به نور در این ساختار بر روی ذرات TiO_2 پوشش داده شده است. در شکل ۱ ساختار یک واحد DSC نشان داده شده است. به‌طور کلی سلول‌های خورشیدی حساس شده به مواد رنگزا شامل اجزای زیر هستند:

(الف) یک لایه نانو اکسید فلزی مزومتخلخل^۲ (معمولاً TiO_2) با ضخامت $10-15 \mu m$ که به واسطه پوشش داده شدن توسط یک ترکیب جاذب نور (ماده رنگزا)، نسبت به نور مرئی حساس شده است. فوتون‌های پرشتاب نور، الکترون‌های ماده جاذب نور را برانگیخته و آنها را به نوار

¹ Dye sensitized solar cells

² Mesoporous

³ Energy conversion

۳- استفاده از مایعات یونی در سامانه‌های DSC

استفاده از مایعات یونی به عنوان حلال‌های سبز دوست‌دار محیط زیست برای جایگزینی حلال‌های مرسوم الکترولیت در سلول‌های خورشیدی حساس شده به مواد رنگزا از اوایل سال ۲۰۰۰، مقوله جدیدی را پیش روی تحقیق قرار داده است.

پاره‌ای از خصوصیات منحصر به فرد مایعات یونی که آنها را به عنوان جایگزین حلال‌های آلی در DSC مطرح می‌کند به قرار زیر هستند:

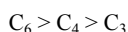
- هدایت پذیری^۱ بالا به لحاظ ساختار یونی
- پنجره وسیع پایداری الکتروشیمیایی^۲
- نقطه ذوب پایین و در بسیاری موارد کمتر از دمای محیط
- فشار بخار تقریباً ناچیز
- عدم قابلیت اشتعال [۶]

اغلب مایعات یونی به کار رفته به عنوان حلال در سامانه‌های الکترولیت DSCها از خانواده ۱- آلکیل-۳- متیل ایمیدازولیم دیدها، [Rmim]I، هستند. مایعات یونی دیگری نیز در این خصوص مورد استفاده قرار گرفته‌اند که از آن جمله می‌توان به مایعات یونی پایه فسفونیم، پیریدینیم، سولفونیم و مورفولینیم اشاره کرد. تحقیقات بسیاری در این زمینه توسط گروهی به سرپرستی گراتزل^۳ که از پیشگامان توسعه DSCها هستند صورت گرفته است [۷]. اصولاً اغلب این مطالعات بر استفاده از مایعات یونی دارای آنیون دیدید متمرکز شده است. اغلب این مایعات یونی به عنوان حلال رنگ به کار برده می‌شوند و آنیون آنها به عنوان منبعی از دیدید برای زوج اکسایشی/کاهشی دیدید- تری دیدید (Γ/I_3^-) مورد استفاده قرار می‌گیرد.

در تحقیقاتی که در سال ۲۰۰۲ گزارش شده است، گروه گراتزل نشان دادند که می‌توان یک سلول خورشیدی شبه حالت جامد شامل نانو بلور TiO_2 حاوی رنگ حساس شده^۴ ساخت که در آن از یک ژل پلیمری یونی حاوی [pmim]I و یک پلیمر به عنوان الکترولیت استفاده شود [۸]. در این سلول بازده تبدیل نور جذب شده به انرژی معادل ۵٪ است که مشابه سطح بازده سلول‌های فتوولتایی منبع تغذیه ماشین حساب به شمار می‌رود. سپس این گروه نانو ذرات سیلیکاژل که از نظر الکتروشیمیایی پایدار شده‌اند را برای ژل نمودن همان مایع یونی استفاده کردند که DSC شبه حالت جامد حاوی این الکترولیت ژل، دارای بازده ۷٪ بود [۹]. در سال ۲۰۰۳، گراتزل و همکاران، بازده تبدیل انرژی خورشیدی به الکتریسیته قابل قبولی را برای DSC حاوی الکترولیت مایعات یونی [pmim]I و [emim][N(CN)₂] و دیدید لیتیم گزارش کردند [۱۰]. در جدول ۱ مهم‌ترین موارد استفاده از مایعات یونی به عنوان الکترولیت سامانه‌های DSC طی سالیان اخیر نشان داده شده است. در این جدول مایع یا مایعات یونی استفاده شده به همراه ماده رنگزا مربوطه در سامانه DSC و ضریب تبدیل انرژی نشان داده شده است. ملاحظه می‌شود که ضریب تبدیل انرژی در این سامانه‌ها در اکثر موارد بین ۴-۸٪ گزارش شده است.

۴- چالش‌های کاربرد مایعات یونی در سامانه‌های DSC

در سامانه‌های DSC، الکترولیت معمولاً شامل سه جزء حلال، منبع دیدید و تری دیدید می‌باشد. مایعات یونی جایگزین حلال‌های متداول، نقش حلال و منبع دیدید را در این سامانه ایفا می‌کنند. به همین جهت معمولاً از مایعات یونی حاوی آنیون دیدید مانند ۱- آلکیل-۳- متیل ایمیدازولیم دیدید، [Rmim]I، استفاده می‌شود. ولی متأسفانه این‌گونه مایعات یونی دارای گرانیوی بالایی هستند که این یک عامل منفی برای آنها محسوب می‌شود. در بین این دسته از مایعات یونی، ۱- پروپیل-۳- متیل ایمیدازولیم دیدید، [pmim]I، دارای کمترین گرانیوی است. روند کاهش گرانیوی این ترکیبات بر حسب گروه R کاتیون ایمیدازولیم به قرار زیر است:



ملاحظه می‌شود که با افزایش طول زنجیر جانبی در کاتیون (R)، گرانیوی افزایش می‌یابد. علت این امر را بایستی به عوامل موثر بر گرانیوی و مشخصاً برهم‌کنش‌های واندروالسی مرتبط دانست. به این ترتیب که با افزایش طول زنجیر R، جاذبه الکترواستاتیکی بین کاتیون و آنیون کاهش پیدا می‌کند اما نیروهای واندروالسی بین کاتیون‌ها افزایش می‌یابد و در نتیجه گرانیوی بالا می‌رود. با بالا رفتن گرانیوی مایعات یونی از هدایت الکتریکی آنها کاسته می‌شود. زیرا گرانیوی و هدایت الکتریکی با یکدیگر رابطه معکوس دارند. به این ترتیب با کاهش هدایت الکتریکی سامانه الکترولیتی، از بازدهی DSC کاسته خواهد شد.

۵- ارتقاء کیفی مایعات یونی جهت غلبه بر گرانیوی بالای آنها

برای غلبه بر مشکل گرانیوی بالای مایعات یونی در سامانه‌های DSC، تمهیدات به کار رفته به سه دسته تقسیم می‌شوند:

الف- استفاده از مخلوط‌های دو تایی یا چند تایی مایعات یونی

در چنین شرایطی استفاده از سامانه‌های دو تایی مایع یونی با گرانیوی پایین‌تر انجام می‌گیرد که معمولاً علاوه بر مایع یونی حاوی آنیون دیدید از مایعات یونی پایه ایمیدازولیمی نظیر ۱- اتیل-۳- متیل ایمیدازولیم تترا سیانوبورات $[emim][B(CN)_4]$ ، تیوسیانات $[emim][SCN]$ ، تری سیانومتانید $[emim][C(CN)_3]$ ، دی سیانامید $[emim][N(CN)_2]$ ، بیس (تری فلئورومتان سولفونیل) ایمید $[emim][NTf_2]$ ، تترا فلئوروبورات $[emim][BF_4]$ ، هگزا فلئوروفسفات $[emim][PF_6]$ ، بوتیل-۳- متیل ایمیدازولیم هگزا فلئوروفسفات $[bmim][PF_6]$ و تترا فلئوروبورات $[bmim][BF_4]$ و در بعضی موارد مایعات یونی با سایر پایه‌های کاتیونی مانند بوتیل پیریدینیم بیس (تری فلئورومتان سولفونیل) ایمید $[buPy][NTf_2]$ و امثال آن استفاده می‌شود [۱۰]. در سامانه‌های الکترولیتی فوق، زوج اکسایشی/کاهشی شامل آنیون‌های دیدید- تری دیدید (Γ/I_3^-) می‌باشند. اما در بعضی از موارد نیز مایعات یونی بر اساس زوج اکسایشی/کاهشی $(SeCN^-/SeCN)_3$ انتخاب شده‌اند [۲۲].

¹ Conductivity

² Electrochemical stability

³ Grätzel

⁴ Quasi-solid-state dye-sensitized nanocrystalline TiO_2 solar cell

جدول ۱- مهم‌ترین موارد استفاده از مایعات یونی در سلول‌های خورشیدی حساس شده به مواد رنگزا.

مرجع	مایع/مایعات یونی	ماده رنگزا	ضریب تبدیل انرژی (%)
۱۰	[pmim]I + [emim][N(CN) ₂]	پلی پیریدیل روتینیم	۶/۶
۹	[pmim]I	Ru (H ₂ dcbpy)(dnbpy)(NCS) ₂ H ₂ dcbpy= 4,4'-dicarboxylic acid-2,2'-bipyridine dnbpy= 4,4'-dinonyl-2,2'-bipyridine (Z-907)	۷
۱۱	[emim][NTf ₂]	Ru (2,2'-bipyridyl-4,4'-dicarboxylate) ₂ (NCS) ₂ (N3)	۴/۵
۱۲	[emim][NTf ₂] [emim][BF ₄] [bmim][PF ₆] [emim][N(CN) ₂] [buPy][NTf ₂]	N3	۵/۵
۱۳	[dmim]I + [emim]I/[amim]I یا [pmim]I + [emim][B(CN) ₄] یا [dmim]I + [emim]I + [emim][B(CN) ₄]	Z-907	۸/۲
۱۴	[pmim]I + [emim][B(CN) ₄]	N3	۷
۱	[emim][B(CN) ₄]	P159	۶
۱۵	[pmim]I + [emim][B(CN) ₄]	5-[[4-[4-(2,2-Diphenylethenyl)phenyl]-1,2,3,3a,4,8b-hexahydrocyclopent[b]indol-7-yl]methylene]-2-(3-ethyl-4-oxo-2-thioxo-5-thiazolidinylidene)-4-oxo-3-thiazolidineacetic acid (D149)	۷
۱۶	[emim][NTf ₂]	N3	۵
۱۷	[emim][SCN] [emim][C(CN) ₃] [emim][N(CN) ₂]	N3	۰/۷-۲/۱
۱۸	[pmim]I + [emim][N(CN) ₂]	Z-907	۶/۶
۱۹	[pmim]I + (CH ₃ O) ₃ SiH	N3	۳/۲
۲۰	[pmim]I + [emim][B(CN) ₄]	Ru (2,2'-bipyridine-4,4'-dicarboxylic acid) (4,4'-bis (2-(4-t-butyloxyphenyl) ethenyl)-2,2'-bipyridine (NCS) ₂	۷/۶
۲۱	[pmim]I+ [bmim][PF ₆]	Z-907	۷-۸

با الکترولیت [emim][SeCN] بازده تبدیل توان ۸/۳-۷/۵٪ را بوجود می‌آورند. الکترولیت‌های زوج اکسایشی/کاهشی مایع یونی با گرانیوی پایین مانند [emim][SeCN] از یک عیب اساسی رنج می‌برند. این ترکیبات در مقابله با نور خورشید به مدت طولانی و در شرایط دمایی بالا ناپایدار هستند [۱۳]. همچنین از تری آلکیل سولفونیم‌هایی مانند [R₂MeS]I (که در آن R ائیل یا بوتیل است) و [Bu₂EtS]I نیز به عنوان الکترولیت استفاده شده است [۲۳].

به عنوان مثال گروه گراتزل، در سال ۲۰۰۴، امکان استفاده از یک الکترولیت مایع یونی بر پایه زوج اکسایشی/کاهشی شبه هالید (SeCN⁻/(SeCN)₃⁻) را مورد آزمون قرار دادند. این گروه نشان داد که بازده تبدیل انرژی خورشیدی به الکتریسته بی‌سابقه‌ای برای الکترولیت‌های اکسایشی/کاهشی بدون حلال با استفاده از مایع یونی ۱- اتیل-۳- متیل ایمیدازولیم سلنوسیانات [emim][SeCN] با گرانیوی پایین به عنوان الکترولیت مایع یونی بدون حلال به دست می‌آید [۲۲]. در دمایی اتاق، [emim][SeCN] خالص، گرانیوی معادل ۲۵ cp دارد که کاملاً قابل مقایسه با گرانیوی ۸۸۰ cp مربوط به [pmim]I است. DSCها

در سال ۲۰۰۸، بهترین عملکرد گزارش شده بر اساس بازده تبدیل و پایداری، برای یک DSC بر پایه الکترولیت بدون حلال، با استفاده از مذاب زودگدازی^۱ متشکل از سه مایع یونی پایه ایمیدازول دی متیل-۳-متیل، ۱-اتیل-۳-متیل و ۱-آلیل-۳-متیل ایمیدازولیم یدید، به ترتیب ([dmim]I)، [emim]I و [amim]I به دست آمده است [۱۳]. یک مخلوط از سه مایع یونی با نسبت مولی ۱:۱:۱ بر اساس گزارش نویسندگان این تحقیق، نقطه ذوبی زیر ۰°C و هدایت فوق‌العاده بالایی در دمای اتاق دارد. بر پایه مشاهدات این گروه یک DSC بر پایه این الکترولیت ۸/۲٪ بازده و پایداری خوبی در نور کامل خورشید از خود نشان می‌دهد. در سال ۲۰۰۷، گراتزل و همکاران نشان دادند که ترکیبی از مایع یونی و یک حلال آلی را می‌توان برای ساخت الکترولیت پایه (I⁻) (I₃⁻ غیر فرار برای DSC با بازده بالا به کار برد [۲۴].

این گروه بازده تبدیل فتوالکتریکی تا ۹/۵٪ را با استفاده از نوع جدیدی از رنگ بی پیریدیل روتینیم و یک الکترولیت که حاوی مایع یونی [pmim]I و حلال آلی ۳-متوکسی پروپیلونیتریل است به دست آوردند. DSCهای حاوی این الکترولیت که شامل حلال آلی غیر فرار و مایع یونی است، پایداری طولانی مدت و بی سابقه‌ای حدود ۱۰۰۰ ساعت را به نمایش گذاشتند. همان گونه که در جدول ۱ ملاحظه می‌شود، در اکثر موارد

ب- افزایش نانو ذرات یا ترکیبات پلیمری و ژلاتورها به مایعات یونی ارتقا کیفی مایعات یونی از لحاظ کاهش گرانی و افزایش هدایت الکتریکی با افزایش نانو ذراتی مانند نانو لوله‌های کربنی، نانو ذرات آهن و اکسید تیتانیم نیز گزارش شده است [۱۲].

در روش گزارش شده مایع یونی [emim][NTf₂] همراه با نانو ذره ساییده شده و سپس برای تشکیل الکترولیت نانو کامپوزیتی ژلی از سانتریفیوژ استفاده می‌شود. پلیمرها یا ژلاتورها سبک نیز در تلفیق با مایعات یونی خاصیت هدایت الکتریکی آنها را افزایش می‌دهند.

ج- مشتق سازی با مایعات یونی

محصول واکنش مایع یونی [emim]Cl و اسید فلئوریدیک، یک مایع یونی با گرانی پایین و کارایی بالا خواهد بود [۲۵].

در روش گزارش شده مایع یونی [emim][NTf₂] همراه با نانو ذره ساییده شده و سپس برای تشکیل الکترولیت نانو کامپوزیتی ژلی از سانتریفیوژ استفاده می‌شود. پلیمرها یا ژلاتورها سبک نیز در تلفیق با مایعات یونی خاصیت هدایت الکتریکی آنها را افزایش می‌دهند.

ج- مشتق سازی با مایعات یونی

محصول واکنش مایع یونی [emim]Cl و اسید فلئوریدیک، یک مایع یونی با گرانی پایین و کارایی بالا خواهد بود [۲۵].

^۱ Eutectic mixture

اختصار نویسی	
[Rmim]I	- آلکیل-۳-متیل ایمیدازولیم یدید
[pmim]I	۱- پروپیل-۳-متیل ایمیدازولیم یدید
[emim][B(CN) ₄]	۱- اتیل-۳-متیل ایمیدازولیم تترا سیانوبورات
[emim][SCN]	۱- اتیل-۳-متیل ایمیدازولیم تیوسیانات
[emim][C(CN) ₃]	۱- اتیل-۳-متیل ایمیدازولیم تری سیانومتانید
[emim][N(CN) ₂]	۱- اتیل-۳-متیل ایمیدازولیم دی سیانامید
[emim][NTf ₂]	۱- اتیل-۳-متیل ایمیدازولیم بیس (تری فلئورومتان سولفونیل) ایمید
[emim][BF ₄]	۱- اتیل-۳-متیل ایمیدازولیم تترا فلئوروبورات
[emim][PF ₆]	۱- اتیل-۳-متیل ایمیدازولیم هگزا فلئوروفسفات
[bmim][PF ₆]	۱- بوتیل-۳-متیل ایمیدازولیم هگزا فلئوروفسفات
[bmim][BF ₄]	۱- بوتیل-۳-متیل ایمیدازولیم تترا فلئوروبورات
[buPy][NTf ₂]	بوتیل پیریدینیم بیس (تری فلئورومتان سولفونیل) ایمید
[R ₂ MeS]I	تری آلکیل سولفونیم یدید
[dmim]I	دی متیل-۳-متیل ایمیدازولیم یدید
[emim]I	۱- اتیل-۳-متیل ایمیدازولیم یدید
[R ₂ MeS]I	تری آلکیل سولفونیم یدید
[dmim]I	دی متیل-۳-متیل ایمیدازولیم یدید
[emim]I	۱- اتیل-۳-متیل ایمیدازولیم یدید
[amim]I	۱- آلیل-۳-متیل ایمیدازولیم یدید
[emim]Cl	۱- اتیل-۳-متیل ایمیدازولیم کلرید
(CH ₃ O) ₃ SiH	تری متوکسی سیلان

۶- نتیجه گیری

مایعات یونی مصرفی در این سامانه‌ها، روش‌های بهینه‌سازی کارایی و چالش‌های استفاده از آن‌ها مورد بحث قرار گرفته‌اند. در خصوص قیمت این مواد نسبت به حلال‌های مرسوم بایستی اذعان داشت که یکی از نقاط ضعف این ترکیبات به شمار می‌رود که هزینه سرمایه‌گذاری ثابت را افزایش می‌دهد ولی به دلیل طول عمر بیشتر، پایداری حرارتی و مزایای زیست محیطی در مجموع دارای مزیت رقابتی هستند. در حال حاضر برخی از شرکت‌های سازنده مایعات یونی، توانایی تولید این مواد در مقیاس چند تن را دارا هستند که سبب توسعه تجاری سازی این ترکیبات می‌شود.

ساختار کلی و مشخصات سلول‌های خورشیدی حساس شده به مواد رنگزا و خلاصه نتایج کارهای تحقیقاتی انجام شده اخیر در مورد استفاده از مایعات یونی به عنوان حلال جایگزین در الکترولیت‌های این سامانه‌ها ارائه شده است. استفاده از مایعات یونی به عنوان حلال‌های سبز دوست‌دار محیط زیست و برای جایگزینی حلال‌های مرسوم الکترولیت در سلول‌های خورشیدی حساس شده به مواد رنگزا بدلیل پاره‌ای از خصوصیات منحصر به فرد مایعات یونی که آن‌ها را به عنوان جایگزین حلال‌های آلی در DSC مطرح می‌کند انواع مختلف

۷- مراجع

1. V. Armel, J. M. Pringle, M. Forsyth, D. R. MacFarlane, D. L. Officer, P. Wagner, "Ionic liquid electrolyte porphyrin dye sensitized solar cells", Chem. Commun., 46, 3146-3148, **2010**.
2. J. Wu, Z. Lan, S. Hao, P. Li, J. Lin, M. Huang, L. Fang, Y. Huang, "Progress on the electrolytes for dye-sensitized solar cells", Pure Appl. Chem., 80, 11, 2241-2258, **2008**.
3. S. Moosakhani, A. A. Sabbagh Alvani, A. A. Sarabi, S. Kiani, H. Sameie, "Various generations of solar cells and areas of improvement", J. studies in color world, 2, issue 1, 3, **2012**.
4. M. Hosseinnezhad, S. Moradian, "Organic dyes for Dye-Sensitized solar cells" J. studies in color world, 1, issue 2, 29, **2011**.
5. W. Peng, L. Han, "Hexagonal TiO₂ microplates with superior light scattering for dye-sensitized solar cells", J. Mater. Chem., 22, 20773-20777, **2012**.
6. B. Li, L. Wang, B. Kang, P. Wang, Y. Qiu, "Review of recent progress in solid-state dye-sensitized solar cells", Sol. Energy Mater. Sol. Cells, 90, 549-573, **2006**.
7. B. O'Regan, M. Grätzel, "A low-cost, high-efficiency solar cell based on dye-sensitized colloidal TiO₂ films", Nature, 353, 737-740, **1991**.
8. P. Wang, S. M. Zakeeruddin, I. Exnar, M. Grätzel, "High efficiency dye-sensitized nanocrystalline solar cells based on ionic liquid polymer gel electrolyte", Chem. Commun., 24, 2972-2973, **2002**.
9. P. Wang, S. M. Zakeeruddin, P. Comte, I. Exnar, M. Grätzel, "Gelation of ionic liquid-based electrolytes with silica nanoparticles for quasi-solid-state dye-sensitized solar cells", J. Am. Chem. Soc., 125, 1166-1167, **2003**.
10. P. Wang, S. M. Zakeeruddin, J. Moser, M. Grätzel, "A new ionic liquid electrolyte enhances the conversion efficiency of dye-sensitized solar cells", J. Phys. Chem. B, 107, 48, 13280-13285, **2003**.
11. H. Matsui, K. Okada, T. Kawashima, Tetsuya Ezure, N. Tanabe, R. Kawano, M. Watanabe, "Application of an ionic liquid-based electrolyte to a 100mm x100mm sized dye-sensitized solar cell", J. Photochem. Photobiol., A, 164, 4, 129-135, **2004**.
12. R. Kawano, H. Matsui, C. Matsuyam, A. Sato, M. A. B. H. Susan, N. Tanabe, M. Watanabe, "High performance dye-sensitized solar cells using ionic liquids as their electrolytes", J. Photochem. Photobiol., A, 164, 87-92, **2004**.
13. Y. Bai, Y. Cao, J. Zhang, M. Wang, R. Li, P. Wang, S. M. Zakeeruddin, M. Grätzel, "High-performance dye-sensitized solar cells based on solvent-free electrolytes produced from eutectic melts", Nat. Mater., 7, 626-630, **2008**.
14. M. Berginc, U. O. Krašovec, M. Hočevar, M. Topič, "Performance of dye-sensitized solar cells based on ionic liquids: effect of temperature and iodine concentration", Thin Solid Films, 516, 7155-7159, **2008**.
15. H. Jhong, D. S. Wong, C. Wan, Y. Wang, T. Wei, "A novel deep eutectic solvent-based ionic liquid used as electrolyte for dye-sensitized solar cells", Electrochem. Commun., 11, 209-211, **2009**.
16. H. Usui, H. Matsui, N. Tanabe, S. Yanagida, "Improved dye-sensitized solar cells using ionic nanocomposite gel electrolytes", J. Photochem. Photobiol., A, 164, 97-101, **2004**.
17. Q. Dai, D. B. Menzies, D. R. MacFarlane, S. R. Batten, S. Forsyth, L. Spiccia, Y. Cheng, M. Forsyth, "Dye-sensitized nanocrystalline solar cells incorporating ethylmethylimidazolium-based ionic liquid electrolytes", C. R. Chimie, 9, 617-621, **2006**.
18. B. Li, L. Wang, B. Kang, P. Wang, Y. Qiu, "Review of recent progress in solid-state dye-sensitized solar cells", Sol. Energy Mater. Sol. Cells, 90, 549-573, **2006**.
19. V. Jovanovski, E. Stathatos, B. Orel, P. Lianos, "Dye-sensitized solar cells with electrolyte based on a trimethoxysilane-derivatized ionic liquid", Thin Solid Films, 511-512, 634-637, **2006**.
20. D. Kuang, C. Klein, Z. Zhang, S. Ito, J. Moser, S. M. Zakeeruddin, M. Grätzel, "Stable, high-efficiency ionic-liquid-based mesoscopic dye-sensitized solar cells", Small, 3, 12, 2094-2102, **2007**.
21. Z. Chen, F. Li, H. Yang, T. Yi, C. Huang, "A thermostable and long-term- stable ionic-liquid-based gel electrolyte for efficient dye-sensitized solar cells", Chem. Phys. Chem. 8, 1293-1297, **2007**.
22. P. Wang, S. M. Zakeeruddin, J.-E. Moser, R. Humphrey-Baker, M. Grätzel, "A solvent-free, SeCN⁻/(SeCN)₃⁻ based ionic liquid electrolyte for high-efficiency dye-sensitized nanocrystalline solar cells", J. Am. Chem. Soc., 2004, 126, 7164-7165, **2004**.
23. H. Paulsson, M. Berggrunda, E. Svantesson, A. Hagfeldt, L. Kloo, "Molten and solid metal-iodide-doped trialkylsulfonium iodides and polyiodides as electrolytes in dye-sensitized nanocrystalline solar cells", Sol. Energy Mater. Sol. Cells, 82, 345-36, **2004**.
24. D. Kuang, C. Klein, S. Ito, J.-E. Moser, R. Humphrey-Baker, N. Evans, F. Durliaux, C. Grätzel, S. M. Zakeeruddin, M. Grätzel, "High-efficiency and stable mesoscopic dye-sensitized solar cells based on a high molar extinction coefficient Ruthenium sensitizer and nonvolatile electrolyte", Adv. Mater., 19, 1133-1137, **2007**.
25. R. Hagiwara, T. Hirashige, T. Tsuda, Y. Ito, "Acidic 1-ethyl-3-methylimidazolium fluoride: A new room temperature ionic liquid", J. Fluorine Chem., 99, 1, 1-3, **1999**.