



تحلیل و بررسی الکترولیت‌های پلیمری حالت جامد در باتری‌های لیتیوم پلیمری

میثم کاربخش راوری^{1*}، شهاب جورابچی²، هادی عربی³، میلاد قربان زاده⁵، مسعود یآوری نسب⁶

- 1- کارشناس مرکز توسعه فناوری ذخیره‌سازهای انرژی و الکترونیک قدرت، فیزیک حالت جامد-نانوفیزیک، پژوهشکده هوا خورشید دانشگاه فردوسی، مشهد، ایران
 - 2- کارشناس مرکز توسعه فناوری ذخیره‌سازهای انرژی و الکترونیک قدرت، شیمی- پلیمر، پژوهشکده هوا خورشید دانشگاه فردوسی، مشهد، ایران
 - 3- مشاور مرکز توسعه فناوری ذخیره‌سازهای انرژی و الکترونیک قدرت، فیزیک حالت جامد، پژوهشکده هوا خورشید دانشگاه فردوسی، مشهد، ایران
 - 4- استاد، فیزیک حال جامد، گروه فیزیک، دانشکده علوم، دانشگاه فردوسی، مشهد، ایران
 - 5- مشاور مرکز توسعه فناوری ذخیره‌سازهای انرژی و الکترونیک قدرت، مهندسی مواد، پژوهشکده هوا خورشید دانشگاه فردوسی، مشهد، ایران
 - 6- مدیر مرکز توسعه فناوری ذخیره‌سازهای انرژی و الکترونیک قدرت، مهندسی انرژی، پژوهشکده هوا خورشید دانشگاه فردوسی، مشهد، ایران
- * مشهد، 9177948974، karbakhsh@um.ac.ir

چکیده

بازار باتری‌های قابل شارژ در کشور روبه‌روز در حال گسترش است. در این میان باتری‌های یون - لیتیوم طی دو دهه گذشته به دلیل ویژگی‌های خوب مورد توجه محققان قرار گرفته‌اند. برخی از اصلی‌ترین مشکلاتی که باتری‌های لیتیوم یون امروزی با آن‌ها مواجه هستند ناشی از الکترولیت مایع آن است. این الکترولیت‌ها شدیداً اشتعال‌پذیرند و تاکنون مشکلات ایمنی فراوانی ایجاد کرده‌اند که به ممنوع شدن حمل و نقل هوایی باتری‌های لیتیومی یون منجر می‌شود. همچنین بین الکترولیت‌ها خصوصاً آند و الکترولیت واکنش‌های جانبی شکل می‌گیرد که در بلندمدت موجب کاهش عمر باتری می‌شود. استفاده از الکترولیت‌های حالت جامد این مشکلات را تا حدودی برطرف می‌کند. این الکترولیت‌ها در برابر رشد دندریت مقاومت می‌کنند که امکان استفاده از لیتیوم فلزی به عنوان آند فراهم می‌کند. تا کنون مواد مختلفی برای ساخت الکترولیت حالت جامد مورد بررسی قرار گرفته‌اند که هر یک دارای مزایا و معایبی هستند. یکی از بهترین گزینه‌ها الکترولیت‌های پلیمری حالت جامد هستند.

در این پژوهش، ابتدا چالش‌های و مکانیسم‌های انتقال یون برای الکترولیت پلیمری را ارائه می‌دهیم. در ادامه، الکترولیت‌های پلیمری در دسته‌های مختلف مورد بحث و بررسی قرار می‌دهیم و استراتژی‌های بهبود هدایت یونی و خواص دیگر این نوع از الکترولیت‌ها را مورد بررسی قرار می‌گیریم.

کلیدواژگان

باتری لیتیوم پلیمر، الکترولیت پلیمر، الکترولیت حالت جامد، هدایت یونی

Analysis of solid-state polymer electrolytes in lithium polymer batteries

Meysam Karbakhsh Ravari^{1*}, Shahab Jourabchi², Hadi Arabi^{3,4}, Milad Ghorbanzadeh⁵, Massoud Yavari Nasab⁶

- 1- Sun-Air Research Institute, Ferdowsi University of Mashhad, Mashhad, Iran.
- 2- Sun-Air Research Institute, Ferdowsi University of Mashhad, Mashhad, Iran.
- 3- Sun-Air Research Institute, Ferdowsi University of Mashhad, Mashhad, Iran
- 4- Department of Physics, Faculty of Science, Ferdowsi University, Mashhad, Iran.
- 5- Sun-Air Research Institute, Ferdowsi University of Mashhad, Mashhad, Iran.
- 6- Sun-Air Research Institute, Ferdowsi University of Mashhad, Mashhad, Iran.

* P.O.B. 9177948974 Mashhad, Iran, karbakhsh@um.ac.ir

Abstract

The market for rechargeable batteries in the country is developing day by day. Meanwhile, lithium-ion batteries have attracted the attention of researchers over the past two decades due to their good properties. Some of the main problems that lithium ion batteries face today are due to its liquid electrolyte. These electrolytes are highly flammable and have caused many safety problems nowadays, leading to a ban on air transport of lithium-ion batteries. Adverse reactions also occur between the electrodes, especially the anode, and electrolyte, which in the long run reduce battery life. The use of solid state electrolytes solves these problems to some extent. These electrolytes are resistant to dendritic growth, which allows metal lithium to be used as an anode. So far, various materials have been studied to make solid state electrolytes, each of which has advantages and disadvantages. One of the best options is solid state polymer electrolytes.

In this research, we first present the challenges and ion transfer mechanisms for polymer electrolytes. In the following, polymer electrolytes are discussed in different categories and strategies to improve ionic conductivity and other properties of these types of electrolytes are examined.

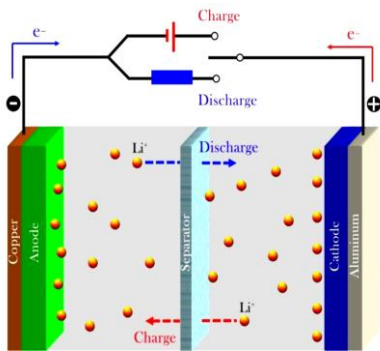
Keywords

Lithium polymer battery, polymer electrolyte, solid state electrolyte, ionic conductivity

1- مقدمه

شده‌اند که الکترولیت به عنوان یکی از اجزای اصلی باتری مسیر انتقال یون‌ها را فراهم می‌کند (شکل 1).

اگر الکترولیت باتری جامد باشد، مزایای منحصربه‌فردی دارد که می‌توان در سه ویژگی بیان کرد: اول، قدرت مکانیکی کافی و پایداری الکتروشیمیایی بیشتر، استفاده از آند فلز لیتیوم با انرژی بالا و کاتدهای با پتانسیل بالا را با محدودیت کمتر فراهم می‌کند که در نتیجه می‌تواند به طور هم‌زمان به ایمنی و چگالی انرژی بالا دست‌یافت [7]. دوم، الکترولیت‌های جامد و ژل به راحتی قابل استفاده هستند. برخلاف باتری با الکترولیت‌های مایع، مجموعه همبسته باتری‌های با الکترولیت جامد را می‌توان به راحتی آماده کرد تا بازده را افزایش دهد، که منجر به افزایش تراکم انرژی حجمی می‌شود و به نوبه خود مشکل طراحی سیستم مدیریت باتری را کاهش می‌دهد. به علاوه بر این، به دلیل عدم وجود محیط مایع، الکترولیت‌های جامد به راحتی بازیافت و بازیابی می‌شوند و هزینه‌ها را کاهش می‌دهند [8]. سوم، پایداری حرارتی و هدایت گرمایی بالاتری نسبت به الکترولیت مایع دارند. در نتیجه، باتری‌های با الکترولیت جامد گرمای کمتری تولید می‌کنند و سیستم خنک‌کننده برای بسته‌بندی آن‌ها لازم نیست و کاهش هزینه لوازم جانبی را در پی دارد [9].



شکل 1 طرحواره یک باتری یون-لیتیوم یون [5]

در باتری‌های لیتیوم یون تجاری فعلی از الکترولیت‌های آلی مایع استفاده می‌شود. که دارای مزایای هدایت یونی بالا و ترشوندگی عالی در سطح الکتروکود هستند. با این حال، چالش‌های واضح و اجتناب ناپذیر الکترولیت‌های مایع، بی‌ثباتی‌های الکتروشیمیایی و ایمنی پایین، عدد انتقال یون لیتیوم پایین می‌باشد. در مقایسه با الکترولیت‌های مایع، الکترولیت‌های جامد از ایمنی و پایداری حرارتی بالاتری برخوردار هستند، زیرا می‌توانند یک لایه، مانع فیزیکی، برای جداسازی الکترودهای مثبت و منفی ایجاد کنند تا از فرار حرارتی تحت دمای بالا یا ضربه جلوگیری شود. علاوه بر این، الکترولیت جامد به دلیل کاهش مؤثر رشد دندریت در آند لیتیومی، امکان استفاده از آند فلز لیتیوم را فراهم می‌کند [5]. لذا جایگزینی الکترولیت‌های آلی مایع با الکترولیت‌های جامد یا الکترولیت‌های ژل، به عنوان یک ایده عملی برای کاهش مشکلات فوق پیشنهاد شده است [6].

الکترولیت‌های پلیمری جامد به دلیل کاربرد در باتری‌های پلیمری یون لیتیوم قابل شارژ، سلول‌های سوختی، دستگاه‌های نمایش الکتروکرومیک و صنایع الکترونیکی، هوافضا، اتومبیل و صنایع الکترونیکی، در چند سال گذشته از اهمیت بالایی برخوردار گشته‌اند. تهیه الکترولیت‌های پلیمری با استفاده از پلیمرهای مختلف مانند پلی‌اتیلن اکسید، پلی‌وینیلیدن دی‌فلوراید، پلی‌(اکریلونیتریل)، پلی‌متیل متاکریلات) و غیره مورد مطالعه قرار گرفته‌اند. در نهایت، چالش‌ها و چشم اندازه‌ها برای توسعه آینده الکترولیت حالت جامد باتری‌های لیتیوم-پلیمر با کارایی بالا پیشنهاد شده است.

2- معرفی باتری‌های حالت جامد پلیمری

باتری به وسیله‌ای گفته می‌شود که انرژی شیمیایی را به‌طور مستقیم به انرژی الکتریکی تبدیل می‌کند. سازوکار یک باتری بر اساس واکنش‌های الکتروشیمیایی می‌باشد که این واکنش‌ها در داخل یک سلول انجام می‌گیرد. باتری‌های یون لیتیوم از دو الکتروکود (آند و کاتد) و یک الکترولیت تشکیل

² Polyethylene oxide

¹ Fenton

مکانیسم هدایت لیتیوم یون در الکترولیت پلیمری کامپوزیتی¹ (CPE) ممکن است بسته به اجزای اضافه شده متفاوت باشد [11] و پرکننده‌ها می‌توانند این مشکل را بهبود بخشند.

2-3 عدد انتقال Li^+

میزان انتقال Li^+ که با عبارت t_{Li^+} نشان داده می‌شود، یک عامل اساسی برای ارزیابی نسبت بار حمل شده توسط یون‌های لیتیوم به کل بار منتقل شده در الکترولیت است. از آنجاکه آنیون‌ها در واکنش‌های الکتروشیمیایی برگشت پذیر در باتری شرکت نمی‌کنند، بار منتقل شده توسط حرکت آنیون به شارژ خروجی باتری کمک نمی‌کند؛ بنابراین، نه تنها رسانایی یونی بالا مهم است، بلکه میزان انتقال بالای Li^+ برای عملکرد باتری ضروری است. به خصوص در چگالی‌های جریان بالا اهمیت آن بیشتر می‌شود. میزان انتقال Li^+ را می‌توان به ترتیب از طریق روش الکتروشیمیایی و تشدید مگنترون هسته‌ای² (NMR) تعیین کرد [12].

3-3 پایداری الکتروشیمیایی

سازگاری الکترولیت با الکترودهای مثبت و منفی بر عملکرد باتری تأثیر می‌گذارد. الکترولیت به دلیل محدودیت ترمودینامیکی، باعث کاهش بازده کولنیک و حتی مانع فرایندهای شارژ/دشارژ می‌شود؛ بنابراین، پنجره الکتروشیمیایی گسترده‌تر الکترولیت می‌تواند عملکرد بهتر را از نظر بازده کولنیک و حفظ ظرفیت را به دست دهد. روش کلی برای ارزیابی پنجره الکتروشیمیایی از طریق ولتامتری خطی یا حلقوی است. برای باتری‌های حالت جامد یا شبه حالت جامد، لایه غیر فعال بین الکترودها و الکترولیت نیز می‌تواند وجود داشته باشد و ممکن است به همان اندازه نقش مهمی در عملکرد باتری داشته باشد.

4-3 جذب الکترولیت

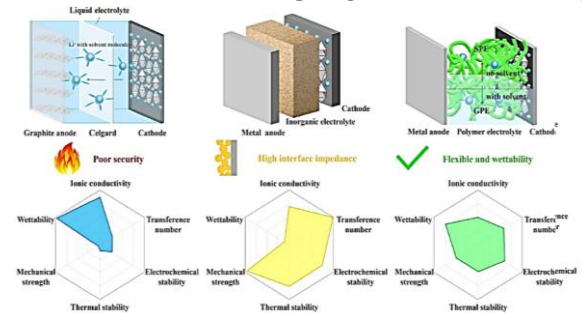
جذب الکترولیت یک هدف ویژه برای الکترولیت پلیمری است. از آنجا که هدایت یون لیتیوم در مایع بسیار سریع‌تر از پلیمر است، جذب الکترولیت بیشتر به معنی هدایت بالاتر یون لیتیوم است. برای قراردادن الکترولیت بیشتر، ماتریس پلیمر باید تخلخل مناسب داشته باشد و اندازه و توزیع منافذ نیز نقش مهمی دارند. وابستگی خوب بین پلیمر و الکترولیت مایع برای افزایش جذب الکترولیت مفید است [11].

مایع محبوس شده در ماتریس پلیمری می‌تواند نشت و تبخیر مایع را به حداقل برساند و ایمنی باتری را افزایش دهد. اندازه‌گیری میزان جذب الکترولیت ساده است. یک ماتریس الکترولیت پلیمری با زمان کافی در یک الکترولیت مایع خیس می‌شود و پس از حذف الکترولیت باقیمانده روی سطح خارج ماتریس الکترولیت تغییر وزن ماتریس الکترولیت پلیمری پس از خیساندن، میزان جذب الکترولیت را تعیین می‌کند. با این حال، جذب زیاد الکترولیت معمولاً باعث کاهش قدرت مکانیکی الکترولیت پلیمری می‌شود [13]. علاوه بر این، برای حفظ هدایت یونی بالا با عملکرد چرخه‌ای بالا باتری‌ها، باید پایداری CPE های دارای مایع زیاد نیز مورد توجه قرار گیرد [11].

5-3 خصوصیات حرارتی

خصوصیات حرارتی CPE ها مانند T_g ، درجه تبلور و دمای تخریب از عوامل مهم تأثیرگذار بر عملکرد آن‌ها هستند.

با این حال، در دو دهه گذشته، در تجاری‌سازی باتری‌های یون-لیتیومی مبتنی بر الکترولیت پلیمر خشک و جامد که انتقال یون ضعیف به‌عنوان یک مانع وجود داشته است. به‌منظور بهبود رسانایی یونی و / یا تعداد انتقال Li^+ ، سایر سیستم‌های الکترولیت پلیمر جامد از جمله سیستم پلیمر در نمک (الکترولیت لاستیکی)، الکترولیت پلیمر رسانای تک یونی ایجاد شده است. علاوه بر این، استراتژی‌هایی مانند اصلاح ماتریس پلیمر، جستجوی انواع جدید نمک لیتیوم و ترکیب مواد پرکننده معدنی در الکترولیت‌های پلیمری مورد بررسی قرار گرفته است که به نتایج خوبی دست پیدا کرده‌اند.



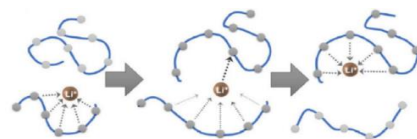
شکل 2- ویژگی‌های سه مدل از الکترولیت‌ها در باتری‌های یون-لیتیوم [9]

در این گزارش، ابتدا چالش‌های و مکانیسم‌های انتقال یون برای الکترولیت پلیمر را ارائه می‌دهیم. در ادامه، الکترولیت‌های پلیمری در دسته‌های مختلف مورد بحث و بررسی قرار می‌دهیم و استراتژی‌های بهبود هدایت یونی و خواص دیگر این نوع از الکترولیت‌ها را مورد بررسی قرار می‌گیریم.

3- تحلیل الکتروشیمیایی و مبانی الکترولیت پلیمری

1-3 مکانیسم هدایت یونی

رسانایی یونی یک ویژگی بسیار مهم الکترولیت‌های پلیمری است که تعیین می‌کند آیا می‌توان از آن‌ها در دستگاه‌های عملی استفاده کرد یا خیر. از آنجا که سرعت هدایت یون لیتیوم در الکترولیت‌های پلیمری چندین مرتبه کمتر از الکترولیت مایع است، بهبود هدایت یون لیتیوم به یکی از اهداف اصلی برای توسعه الکترولیت‌های پلیمری تبدیل می‌شود. مکانیسم هدایت یونی در الکترولیت‌های پلیمری برای چندین دهه مورد مطالعه قرار گرفته است. مکانیسم پذیرفته شده، جهش یون‌های لیتیوم از یک مکان به مکان دیگر در یک زنجیره پلیمری یا بین بخش‌های پلیمری می‌باشد. پس از حل شدن نمک‌های لیتیوم در ماتریس پلیمر، یون‌های جدا شده لیتیوم می‌توانند با گروه‌های قطبی موجود در پلیمر مانند $-O-$ ، $-S-$ ، $-N \equiv C-$ و غیره هماهنگ شوند. یون‌های لیتیوم قرار گرفته در زنجیره پلیمری با میدان الکتریکی خارجی بین مکان‌های هماهنگ جهش پیدا می‌کنند [11]. در شکل 3 ارائه طرح‌واره مکانیسم‌های معمول انتقال یون لیتیوم در الکترولیت پلیمر جامد ارائه شده است.



شکل 3 طرح‌واره مکانیسم انتقال یون لیتیوم در الکترولیت پلیمر جامد [9]

² Nuclear magnetic resonance

¹ Composite polymer electrolytes

3. عدم فراریت
4. تعداد انتقال کاتیونی بالا (t_{ion})
5. پایداری‌های عالی شیمیایی، حرارتی و مکانیکی
6. سازگاری خوب با مواد الکتروود
7. انرژی فعال‌سازی کم برای هدایت یونی
8. دامنه عملکرد گسترده دمایی
9. دوستدار محیط‌زیست
10. ایمنی بالا و ارزان
11. سمیت کم، وزن پایین و در دسترس بودن
12. دمای انتقال شیشه‌ای (T_g) پایین

الکترولیت پلیمری از نظر انعطاف پذیری شکل، اندازه و وزن، بر بسیاری از ایرادات موجود در الکترولیت‌های مایع غلبه می‌کند. انتقال یون سریع در مقایسه با فاز بلوری در فاز آمورف با دو یا سه مرتبه هدایت بالاتر انجام می‌شود. الکترولیت‌های پلیمری جامد^۳ (SPE) به دلیل کاربرد در باتری‌های پلیمری یون لیتیوم قابل شارژ، سلول‌های سوختی، دستگاه‌های نمایش الکتروکرومیک و صنایع الکترونیکی، هوافضا، اتومبیل و صنایع الکترونیکی، در چند سال گذشته از اهمیت بالایی برخوردار گشته‌اند [17-18].

الکترولیت‌های پلیمری به‌طور کلی به سه دسته تقسیم می‌شوند.

4-1 الکترولیت‌های پلیمر مایع (LPE)

الکترولیت‌های مایع از یک نمک لیتیوم محلول در یک حلال آلی و یک جداکننده تشکیل شده است که از اتصال کوتاه الکتروودها جلوگیری می‌کند. یون‌های لیتیوم در طی سیکل‌های شارژ و دشارژ باتری در داخل سلول بین الکتروودهای مثبت و منفی مهاجرت می‌کنند. نمک‌های لیتیوم که بیشتر مورد استفاده قرار می‌گیرند LiClO₄، LiPF₆ و LiBF₄ هستند. بسته به حلال مورد استفاده، می‌توان آن را بیشتر به مایع غیرآبی^۴ (NALE) و الکترولیت مایع آبی^۵ (ALE) تقسیم کرد. هدایت یونی NALE نسبت به الکترولیت پلیمر جامد زیاد است و با حل شدن نمک‌های قلیایی در حلال‌ها (اتیلن کربنات^۶ (EC)، پروپیلن کربنات^۷ (PC)، دی اتیل کربنات^۸ (DEC)، دی متیل کربنات^۹ (DMC) و ...) به دست می‌آید. آن‌ها دارای خصوصیات ویژه‌ای مانند هدایت یونی بالا، پایداری حرارتی در شرایط محیطی، پنجره پایداری الکتروشیمیایی نسبتاً بزرگ و سهولت در کاربری هستند [19-20].

4-2 الکترولیت‌های پلیمری ژل (GPE)

الکترولیت‌های پلیمری ژل (GPE) نسل سوم الکترولیت‌های پلیمری هستند که از یک ماتریس پلیمر بی‌اثر تشکیل شده‌اند که در آن یک ترکیب با وزن مولکولی کم و یک نمک لیتیوم حل می‌شوند. ژل‌ها را می‌توان به دو دسته طبقه‌بندی کرد [21 و 22].

1- ژل‌های فیزیکی: الکترولیت مایع در یک ماتریس پلیمری محبوس شده است بدون اینکه بین پلیمر و حلال پیوند ایجاد شود، به‌عنوان مثال، LiClO₄ / EC / PC در پلی(متیل متاکریلات) (PMMA).

در حال حاضر، وزن‌سنجی حرارتی^۱ (TG) و گرماسنجی روبشی تفاضلی^۲ (DSC) از تکنیک‌های موثر برای تجزیه و تحلیل این خصوصیات هستند. منحنی TG به‌طور کلی اطلاعات مربوط به کاهش و افزایش جرم نمونه را در یک پروتکل حرارتی کنترل شده اندازه‌گیری می‌کند که از روی آن دمای تبخیر، تجزیه و یا سایر فعل و انفعالات شیمیایی و فیزیکی را مشخص می‌کند و به تعیین محتوای برخی از اجزا در CPE ها کمک می‌کند. سایر خصوصیات حرارتی را نیز می‌توان از منحنی DSC به دست آورد [11، 14].

3-6 خاصیت مکانیکی

خاصیت مکانیکی همچنین یک پارامتر مهم برای الکترولیت‌ها پلیمری است. خاصیت مکانیکی خوب می‌تواند یک غشا CPE مجزا و مستقل را تضمین کند؛ بنابراین، CPE می‌تواند به‌عنوان یک جداکننده عمل کند و از معرفی جداکننده اضافی جلوگیری می‌کند که این بیشتر از ناسازگاری CPE و جداکننده و مقاومت انتقال یونی که توسط جداکننده اضافی ایجاد می‌شود جلوگیری می‌کند. علاوه بر این، گزارش شده است که استحکام مکانیکی بالا اثر کاهش و محدود کردن رشد دندریت لیتیوم را نشان می‌دهد [15]. در نتیجه، مقاومت مکانیکی بالا برای CPE مطلوب است.

4- الکترولیت‌های پلیمری

الکترولیت‌های پلیمری (PES) دسته‌ای از مواد هستند که در دهه 1970 معرفی شده‌اند و به‌عنوان کاندیدای امیدوارکننده مواد هدایت یونی در دستگاه‌های ذخیره‌سازی یا تبدیل انرژی (دارای هدایت یونی بالا، بهبود خواص پایداری و ایمنی در مقایسه با الکترولیت‌های مایع آلی) شناخته می‌شوند. الکترولیت‌های پلیمری از یک ماتریس ماکرومولکول تشکیل شده است که دارای نمکی (انرژی شبکه‌ای کم) حل شده در آن با یک ویسکوزیته کم و همچنین دارای حلال‌های آلی با ثابت دی‌الکتریک بالا می‌باشند. این نوع الکترولیت‌ها خواصی مانند هدایت یونی خوب، پایداری شیمیایی بالا، هزینه کم و ایمنی بالا دارند. اساس هدایت یونی در الکترولیت‌های پلیمری، تشکیل پیوند کووالانسی بین ساختار کلی پلیمر و یونیزه شدن گروه‌های عاملی است. در ابتدا، قسمت الکترون دهنده در پلیمر در جز ترکیبات کاتیون موجود در نمک غلیظ کننده آزاد می‌شود و سپس جداسازی یون را تسهیل می‌کند و منجر به ایجاد مکانیسم پرش یونی می‌شود که رسانایی یونی را تولید می‌کند.

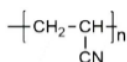
الکترولیت‌های پلیمری مزایای زیادی مانند هدایت یونی بالا، چگالی انرژی زیاد، در محیط فاقد حلال، پایداری ساختاری، فراریت کم، پنجره پایداری الکتروشیمیایی گسترده، سهولت تشکیل و سبک‌وزن بودن دارند. الکترولیت‌های پلیمری محلول‌هایی از نمک‌های جدا شده در بستر پلیمر با گروه اهداکننده الکترون هستند. از آنجایی که الکترولیت‌های پلیمری هم به‌عنوان یک جداکننده و هم یک الکترولیت در یک پیکربندی حالت جامد نقش دوگانه دارند، باید دارای بسیاری از مشخصات ضروری الکتروشیمیایی باشد که در زیر ذکر شده‌اند [16].

1. رسانایی یونی بالا در دمای اتاق
2. حداقل رسانایی الکترونیکی

⁶ Ethylene carbonate
⁷ Propylene carbonate
⁸ Diethyl carbonate
⁹ Dimethyl carbonate

¹ Thermogravimetric analysis
² Differential scanning calorimetry
³ Solid polymer electrolyte
⁴ Non aqueous liquid electrolyte
⁵ Aqueous liquid electrolyte

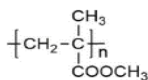
پلی (اکریلونیتریل) (PAN) (شکل 5) به دلیل دو عامل اصلی آن به عنوان پلیمر میزبان مورد بررسی قرار گرفت: 1- مقاومت حرارتی کم و 2- رفتار بازدارنده شعله. این ماده همچنین یک فیلم الکترولیت ترکیبی همگن در حضور نرم کننده و نمک فراهم می کند. کاربردهای آن ها در باتری های لیتیوم پلیمر قابل شارژ به دلیل عدم ثبات سطح میانی الکتروکود لیتیوم کمتر است. هدایت یونی الکترولیت ژل مبتنی بر PAN بین 10^{-3} S.Cm $^{-1}$ تا 10^{-3} S.Cm $^{-1}$ است و مقدار یون لیتیوم منتقل شده بیشتر از الکترولیت ژل پلیمری مبتنی بر PEO است.



شکل 5 ساختار مولکولی پلی اکریلونیتریل

3-4-4 پلی (متیل متاکریلات) (PMMA)

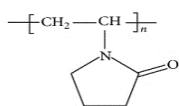
الکترولیت های پلیمری مبتنی PMMA نیز به دلیل هزینه کمتر و افزایش پایداری سطح میانی نسبت به سایر بسترهای پلیمری در دست بررسی هستند. اما انعطاف پذیری مکانیکی ضعیف این فیلم، استفاده از آن را به عنوان الکترولیت در دستگاه های ذخیره انرژی محدود می کند. با این حال، برخی مطالعات گزارش کردند که کو پلیمریزاسیون PMMA با یک پلیمر دیگر باعث بهبود خواص مکانیکی و الکتریکی الکترولیت پلیمری می شود. ساختار مولکولی PMMA در شکل 6 مشاهده می کنید.



شکل 6 ساختار مولکولی پلی متیل متاکریلات

4-4-4 پلی وینیل پیرولیدون (PVP)

از پلی وینیل پیرولیدون (PVP) (شکل 7) به دلیل خواصی مانند ماهیت بی شکل (آمورف) و وجود گروه کربونیل (C=O) در زنجیره های جانبی PVP به عنوان بستر پلیمری استفاده می شود. به سرعت در بسیاری از حلال های قطبی حل می شود. به دلیل ماهیت پیوند عرضی می تواند خصوصیات حرارتی و مکانیکی بسیار خوبی را ایجاد کند. علاوه بر این، PVP در حلال های قطبی مانند الکل بسیار محلول است. نقطه ضعف PVP، رطوبت پذیری بالای آن است که ذخیره و کاربری آن را دشوار ساخته است.



شکل 7 ساختار مولکولی پلی وینیل پیرولیدون

4-4-5 پلی (وینیلیدن دی فلوراید) (PVDF)

اخیراً، مطالعات نشان می دهند پلی (وینیلیدن دی فلوراید) (PVDF) که دارای ساختار نیمه بلوری است که به دلیل ثابت دی الکتریک بالا ($\epsilon=8.4$) و وجود عملکرد قوی در جذب الکترون، به عنوان یک پلیمر میزبان برای الکترولیت در سیستم باتری در حال ظهور است. گروه های (C-F) به انحلال بیشتر نمک های لیتیوم کمک و متعاقباً از غلظت بالای حامل های بار پشتیبانی می کنند. از آنجا که ثابت دی الکتریک بالا به انحلال قابل توجه نمک های لیتیوم کمک می کند و در نتیجه از غلظت بالای حامل های بار پشتیبانی می کند، گروه عاملی یک گشتاور دوقطبی ایجاد می کند [27]. اگرچه تحرک GPE های

2- ژل های شیمیایی: یک لینک دهنده عرضی که منجر به تشکیل پیوند شیمیایی بین گروه های عاملی پلیمر و عامل اتصال دهنده عرضی می شود. نمک لیتیوم مسئول هدایت در ماتریس پلیمر است و پلیمر الکترولیت را برای تأمین مقاومت مکانیکی نگه می دارد. GPE با هدایت یونی بهتر، پنجره پایداری الکتروشیمیایی گسترده¹ (ESW) و سازگاری خوبی با الکترودها به دلیل افزایش تحرک یونی نشان می دهند. GPE ها هم خواص انسجام مواد جامد و هم خاصیت انتشار مایعات را دارند و هم از مقاومت مکانیکی خوبی برخوردار هستند [21].

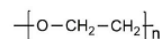
3-4 الکترولیت پلیمری جامد (SPE)

SPE ها به دلیل مزایای زیاد از جمله دوام بالا، ماندگاری زیاد، تراکم انرژی بالا، وزن سبک، انعطاف پذیری بالا برای طراحی سلول، واکنش پذیری کم نسبت به الکترودها، نسبت به LPE و GPE، مشکلات نشت حلال و گاز مضر را برطرف می کنند برای عملیات دمای محیط بالاتر و کاهش هزینه بسته بندی ترجیح داده می شوند همچنین دامنه پایداری الکتروشیمیایی و حرارتی وسیع تر و همچنین نوسان کم را نشان می دهد [23]. الکترولیت پلیمری جامد (SPEs) شامل انحلال نمک در یک ماتریس پلیمری با گروه اهداکننده الکترون است و از مزایای مختلفی مانند انعطاف پذیری در طراحی، امکان کوچک سازی، بهبود ایمنی، سهولت ساخت دستگاه و غیره برخوردار است. یک الکترولیت پلیمری تشکیل شده از یک پلیمر، حلال، نمک، پرکننده و غیره که در زیر به آن ها اشاره شده است.

4-4-4 پلیمرهای رایج مورد استفاده به عنوان الکترولیت

1-4-4 پلی (اکسید اتیلن) (PEO)

از آنجا که در سال 1973 رایت رسانایی یونی را در ترکیب های نمکی PEOLi^+ کشف کرد، به دلیل سهولت ساخت و هدایتی که بین گروه اتر یون های PEO و یون Li وجود دارد، تلاش های تحقیقاتی مهمی بر روی PEO به عنوان پلیمر میزبان انجام شده است. اما مقدار رسانایی کم PEO (10^{-8} S.Cm $^{-1}$) به دلیل ماهیت بلوری در دمای محیط، استفاده از آن را در دستگاه های ذخیره انرژی پیشرفته محدود کرد. با این حال، هدایت یونی ممکن است با افزودن نرم کننده در ترکیب PEO بیشتر بهبود یابد، اما وجود گروه های انتهایی هیدروکسیل باعث کاهش خواص بین سطحی در سطح میانی الکتروکود / الکترولیت می شود [24]. کلی² و همکارانش [25] نقش افزودنی های مختلف را در افزایش رسانایی در سیستم های PEO-Li^+ مطالعه کردند و نتیجه گیری شد که دماهای ذوب و انتقال شیشه ای پلیمر در میانگین وزن مولکولی بالا نسبت به PEO با وزن مولکولی کم، بیشتر است. فایوتوس و همکارانش [26] ثبات الکتروشیمیایی و اندازه گیری هدایت یونی برای الکترولیت های پلیمر جامد مبتنی بر PEO برای دستگاه های الکتروشیمیایی با وزن مولکولی بالا را نشان دادند. بارز ترین علتی که سبب شده است پژوهشگران به سمت استفاده از الکترولیت جدید باشند به هدایت پایین PEO برمی گردد. در شکل 4 ساختار مولکولی PEO مشاهده می شود.



شکل 4 ساختار مولکولی پلی اتیلن اکسید

2-4-4 پلی (اکریلونیتریل) (PAN)

² Kelley

¹ Electrochemical Stability Window

8- در سطوح باردار الکترودها بی اثر باقی بماند

9- ایمن، غیرسمی و اقتصادی باشد

معیار اصلی مورد نیاز برای یک حلال، ثابت بودن دی الکتریک بالا و نقطه اشتعال زیاد است که در جداسازی نمک بیشتر کمک می کند و بعداً ایمنی دستگاه ذخیره انرژی را بهبود می بخشد. کرنات های خطی دی اتیل کرنات و دی متیل کرنات دارای ثابت دی الکتریک کم و ویسکوزیته کم هستند. گر انرژی زیاد به دلیل برهم کنش بالا بین ذرات و حلال است. لی¹ و همکارانش گزارش دادند که ترکیبی از هر دو اتیل کرنات و پروپیلن کرنات با هم می تواند نمک لیتیوم بیشتری را در مقایسه با حلال منفرد حل کند [31].

4-6 خصوصیات نمک الکترولیت

نمک یکی از دو جز اصلی هر الکترولیت است. از جمله خصوصیات که مستقیماً نمک را تحت تأثیر قرار می دهد، حلالیت در حلال برای تشکیل حامل های بار آزاد بیشتر، پنجره پایداری پتانسیل گسترده، ماهیت غیرسمی و ثبات شیمیایی و حرارتی است. ذراتی که به عنوان گونه های رسانا در الکترولیت های پلیمری استفاده می شوند باید دارای خصوصیات زیر باشند:

1- پایداری حرارتی و شیمیایی بالا

2- رسانایی یونی بالا

3- کم هزینه و پردازش آسان

4- آنیون باید در برابر تجزیه اکسید شدن در کاتد پایدار باشد.

5- ایمنی بالای سلول و قابلیت سیکل پذیری طولانی مدت، دارای سطح میانی کم بین الکترودها و الکترولیت.

6- در محیط های غیرآبی با تحرک بالا کاملاً حل شده و جدا شوند.

7- هر دو آنیون و کاتیون باید نسبت به سایر اجزای سلول مانند جداکننده / الکترولیت و ذرات الکتروود بی اثر باقی بمانند.

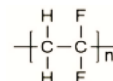
8- آنیون باید غیر سمی، پایدار در آب و پایدار حرارتی باشد.

هدایت یونی در یک الکترولیت پلیمری همیشه به غلظت پلیمر و نمک بستگی دارد که با استفاده از محاسبه استوکیومتری انجام می شود؛ بنابراین انتخاب نوع نمکی که مناسب باشد، لازم است [32].

4-7 پرکننده ها

الکترولیت های پلیمری را می توان با افزودن یا پرکننده ها در ماتریس پلیمر تهیه کرد. افزودن نانو فیلرها نه تنها رسانایی را افزایش می دهد بلکه خصوصیات مکانیکی مانند مقاومت فیزیکی الکترولیت پلیمری را نیز بهبود می بخشد. به طور کلی، پرکننده های معدنی را می توان به چند نوع پرکننده بی اثر و پرکننده فعال، چهارچوب های آلی فلزی، سلولز و غیره طبقه بندی کرد. در شکل 10 انواع پرکننده ها در قسمت بیرونی مشخص شده است.

مبتنی بر PVdF از سایر مواد ماتریس پلیمری بیشتر است، اما هدایت یونی GPE ها هنوز از الکترولیت های مایع کمتر است. معرفی مایعات یونی یا مواد پرکننده نانو در سیستم GPE می تواند به بهبود عملکرد باتری های پلیمری یون لیتیوم کمک کند اگرچه الکترولیت های مبتنی بر PVdF دارای خواص الکتروشیمیایی خوبی هستند، وجود پلیمر فلوئوره شده آن را نسبت به لیتیوم ناپایدار می کند و منجر به کاهش خواص سطحی بین لیتیوم و فلوئور می شود. ساختار مولکولی PVdF را در شکل 8 مشاهده می کنید.

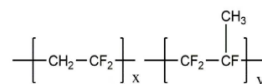


شکل 8 ساختار مولکولی پلی (وینیلیدن دی فلوراید)

4-4-6 پلی (وینیلیدن دی فلوراید هگزا فلوئورورو پروپیلن) (PVDF-HFP)

به عنوان یکی از مهم ترین ماتریس های الکترولیت پلیمری، پلی وینیلیدن فلوراید - هگزا فلوئوروروپروپیلن (PVDF-HFP) با موفقیت در باتری Li-O₂ به کار رفته است، زیرا از خاصیت حلالیت بالا، بلورینگی پایین، خواص الکتروشیمیایی و مکانیکی خوب برخوردار است. الکترولیت ها، در حال حاضر در مورد چالش ها و راه حل های الکترولیت PVDF-HFP برای باتری های LiO₂ تحقیقات ادامه دارد [28].

PVDF-HFP به عنوان یکی از مهم ترین الکترولیت های پلیمری ژل که ویژگی های منسجم معمولی سیستم های جامد را با ویژگی های حمل و نقل مایع ترکیب می کند، توجهات زیادی را به خود جلب کرده است. اخیراً چندین مقاله در رابطه با الکترولیت پلیمری PVDF-HFP برای باتری های Li-air / O₂ ارائه شده است. در شکل 9 ساختار PVDF-HFP آورده شده است.



شکل 9 ساختار مولکولی پلی وینیلیدن فلوراید - هگزا فلوئوروروپروپیلن

4-5 حلال های الکترولیت های پلیمری

الکترولیت پلیمر به عنوان واسطه ای برای انتقال یون عمل می کند و با حل شدن نمک در یک حلال (آلی یا معدنی) تهیه می شود. هر دو گونه رسانا و حلال با برهم کنش دوقطبی یون ارتباط برقرار می کنند [29]. اساس اصل حلالیت، انحلال یک ماده در یک حلال است و در طی این فرایند، مولکول های حلال از طریق برهم کنش دوقطبی یون در سطح مولکولی اطراف مولکول های حل شونده قرار می گیرند. در مورد نمک، نقش حل شونده توسط یک گونه یونی و از حلال قطبی توسط دوقطبی مشخص می شود. خصوصیات اصلی حلال [30] که برای انحلال بیشتر یون ها و تحرک زیاد مورد نیاز است عبارتند از:

1- باید یک ثابت دی الکتریک بالا داشته باشد ($\epsilon > 15$)

2- باید گر انرژی کم داشته باشد.

3- باید دارای نقطه ذوب کم (T_m) باشد

4- باید دارای نقطه جوش زیاد (T_b) باشد

5- فشار بخار کم داشته باشد

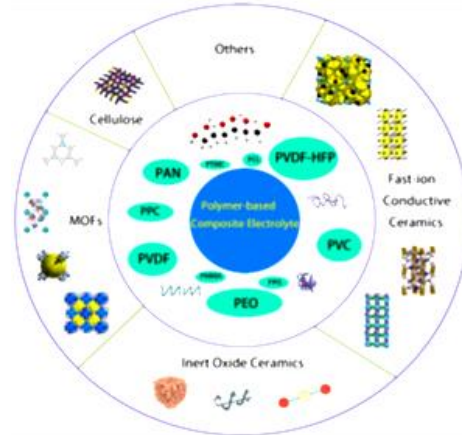
6- باید غیرسمی و اقتصادی باشد

7- بدون واکنش با مواد الکتروود

¹Li

در سیستم‌های الکترولیت منفرد را بهبود می‌بخشد. از این رو می‌توان دریافت که تولید الکترولیت‌های کامپوزیتی یک روش مناسب برای بهبود عملکرد باتری و دستیابی به الکترولیت‌های بهتر است [34].

الکترولیت‌های جامد هیبریدی یک خانواده در حال ظهور از الکترولیت‌های جامد هستند که گزینه‌های امیدوارکننده‌تری برای جایگزینی الکترولیت‌های مایع در باتری‌های حالت جامد با دانسیته انرژی بالا هستند. این الکترولیت‌ها حاوی یک هادی یونی معدنی (سرامیک/شیشه) هستند که در یک پلیمر (آلی) کپسوله شده است. هادی یونی معدنی می‌تواند کریستالیت پلیمر را کاهش دهد و همچنین یک هادی یونی است. هادی یونی معدنی معمولاً ضخیم (بزرگ‌تر از 500 میکرومتر) و تولید آن سخت می‌باشد اما دارای خواص انتقال یون عالی می‌باشند (شکل 12).



شکل 10 دسته‌بندی الکترولیت‌های جامد کامپوزیت بر پایه پلیمر و پرکننده‌ها [33].

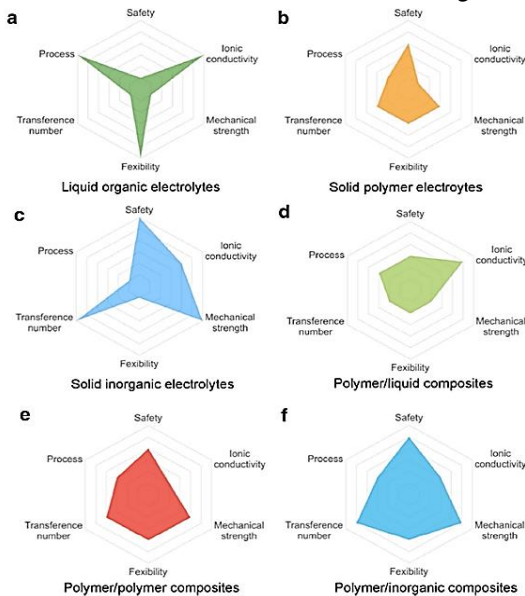
4-8 کامپوزیت‌های پلیمری

انواع مختلفی از الکترولیت‌های کامپوزیتی پلیمری / معدنی طراحی و بررسی شده‌اند و ثابت شده است که اکثریت آن‌ها در ایجاد الکترولیت‌های بهتر برای باتری مؤثر هستند. در مورد الکترولیت‌های کامپوزیتی پلیمری / معدنی با ساختارهای ادغام شده، پرکننده‌های معدنی به طور یکنواخت در یک ماتریس پلیمر پراکنده می‌شوند و هر ذره معدنی در اندازه نانو یا میکرو با پلیمر تماس دارد، منجر به تعاملات قوی بین جزء معدنی و پلیمر می‌شود و بر خواصی مانند هدایت یونی و مقاومت مکانیکی تأثیر می‌گذارند.

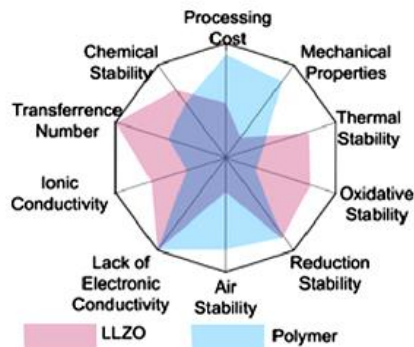
در حال حاضر، تحقیقات در مورد الکترولیت‌های ترکیبی با ساختارهای آمیخته عمدتاً بر تنظیم و کنترل توزیع، نوع و شکل جزء معدنی و همچنین برهم‌کنش‌های درونی مربوط به آن‌ها متمرکز است. با این حال، از منظر عام‌تر، الکترولیت‌های ساختاری آمیخته شده همگن و متقارن هستند و ممکن است به‌طور هم‌زمان پاسخگویی به نیازهای خاص و متفاوت هم کاند و هم آند نباشند. همان‌طور که برای الکترولیت‌های لایه‌ای پلیمر / معدنی، فعل‌وانفعالات بین پلیمر و جزء معدنی محدود است (فقط در سطح میانی)، اثرات هم‌افزایی ساختار لایه‌ای فقط به‌صورت فضایی قابل دستیابی است. علاوه بر این، رسانایی یونی الکترولیت‌های لایه‌ای کوچک‌تر از الکترولیت‌های تک‌لایه‌ای است و افزایش سطح میانی ممکن است باعث مقاومت بیشتر سطح میانی شود. با این وجود، الکترولیت‌های لایه‌ای دارای ساختارهای نامتقارن هستند که می‌توانند استراتژی‌های طراحی را بهبود بخشیده و از پتانسیل بیشتری در کاربردهای عملی باتری‌های برخوردار شوند.

توسعه الکترولیت‌های مطلوب بر اساس تعادل بین نیاز باتری و خصوصیات اجزاء ایجاد می‌شود. خصوصیات انواع مختلف الکترولیت‌ها در شکل 11 خلاصه شده که در آن سیستم‌های فاقد افزودنی نشان داده شده است که همیشه نقاط وضعی قابل توجه دارند و کاربرد آن‌ها را در باتری‌های با چگالی انرژی زیاد محدود می‌کنند. به‌عنوان مثال، الکترولیت‌های مایع آلی از ایمنی ضعیف و اثرات دیواره‌زایی رنج می‌برند، در حالی که الکترولیت‌های پلیمری جامد دارای هدایت یونی کم در دمای اتاق هستند و الکترولیت‌های معدنی جامد به‌سختی پردازش می‌شوند و مقاومت زیادی در سطح میانی دارند.

با این حال، پیشرفت‌های چشمگیری در عملکرد الکترولیت‌های کامپوزیت ساخته شده مشاهده شده است که به‌طور هم‌افزایی نقاط ضعف مشاهده شده



شکل 11 پروفایل‌های میانگین عملکرد الکترولیت‌های متفاوت. نمودارهای راداری از خواص عملکردی a- الکترولیت‌های آلی مایع b- الکترولیت‌های پلیمری جامد c- الکترولیت‌های معدنی جامد d- کامپوزیت‌های مایع / پلیمری e- کامپوزیت‌های پلیمر / پلیمر و f- کامپوزیت‌های معدنی / پلیمر [34].



شکل 12 خلاصه الکترولیت‌های جامد و خصوصیات انتقال یون الکترولیت‌های هیبریدی. نمودار راداری از ویژگی‌های برجسته الکترولیت‌های جامد سرامیکی و پلیمری برای دستیابی به باتری‌هایی حالت جامد با عملکرد بالا. الکترولیت‌های پلیمری هیبریدی می‌توانند بر کاستی‌های انواع مختلف مواد غلبه کنند. توجه داشته باشید که طرح رادار نقاط قوت و ضعف انواع مواد را از نظر کیفی ارزیابی می‌کند [35].



- [13] Zhu, Ming, et al. "Recent advances in gel polymer electrolyte for high-performance lithium batteries." *Journal of energy chemistry* 37 (2019): 126-142.
- [14] Wang, Xiao-Liang, et al. "Polymer composite electrolytes containing ionically active mesoporous SiO₂ particles." *Journal of Applied Physics* 102.5 (2007): 054907.
- [15] Takada, Kazunori. "Progress and prospective of solid-state lithium batteries." *Acta Materialia* 61.3 (2013): 759-770.
- [16] Marcinek M, Syzdek J, Marczewski M, Piszcz M, Niedzicki L, Kalita M et al (2015) Electrolytes for Li-ion transport—review. *Solid State Ionics* 276:107-126
- [17] Armand M (1983) Polymer solid electrolytes—an overview. *Solid State Ionics* 9:745-754
- [18] Choi NS, Lee YS, Park JK, Ko JM (2001) New polymer electrolytes based on PVC/PMMA blend for plastic lithium-ion batteries. *Electrochim Acta* 46:1453-1459
- [19] Cheon SE, Ko KS, Cho JH, Kim SW, Chin EY, Kim HT (2003) Rechargeable lithium sulfur battery. I. Structural change of sulfur cathode during discharge and charge. *J Electrochem Soc* 150: A796-A799
- [20] Song JY, Wang YY, Wan CC (1999) Review of gel-type polymer electrolytes for lithium-ion batteries. *J Power Sources* 77:183-197
- [21] Sequeira C, Santos D (Eds.) (2010) *Polymer electrolytes: fundamentals and applications*. Elsevier.
- [22] Hedio D, Djabourov M (2006) Physically and chemically crosslinked gelatin gels. In *Macromolecular Symposia* 241(1): 23-27
- [23] Stephan AM (2006) Review on gel polymer electrolytes for lithium batteries. *Eur Polym J* 42(1):21-42
- [24] Bruce PG (1995) Structure and electrochemistry of polymer electrolytes. *Electrochimica Acta* 40:2077-208
- [25] Kelley IE, Owen JR, Steele BC (1985) Ionic conductivity of electrolytes formed from PEO-LiCF₃SO₃ complexes with low molecular weight poly ethylene glycol. *J Power Sources* 14:13
- [26] Fauteaux D, Prud'homme J, Hardey PE (1988) Electrochemical stability and ionic conductivity of some polymer-LiX based electrolytes. *Solid State Ionics* 28:923-928
- [27] Esterly DM (2002) Manufacturing of poly(vinylidene fluoride) and evaluation of its mechanical properties.
- [28] Tong Liua, Zhiwen Changa, Yanbin Yina, Kai Chena, Yu Zhangc, Xinbo Zhanga, The PVPDF-HFP gel polymer electrolyte for Li-O₂ battery, 2017.
- [29] Eiamlamai P (2015). *Polymer electrolytes based on ionic liquids for lithium batteries* (Doctoral dissertation, Université Grenoble Alpes).
- [30] Ponrouch A, Monti D, Boschini A, Steen B, Johansson P, Palacin MR (2015) Non-aqueous electrolytes for sodium-ion batteries. *J Mater Chem A* 3(1):22-42.
- [31] Li T, Balbuena PB (1999) Theoretical studies of lithium perchlorate in ethylene carbonate, propylene carbonate, and their mixtures. *J Electrochem Soc* 146(10):3613-3622.
- [32] Aravindan V, Gnanaraj J, Madhavi S, Liu HK (2011) Lithium-ion conducting electrolyte salts for lithium batteries. *Chem-A Eur J* 17(51):14326-14346.
- [33] Yao, Penghui, et al. "Review on polymer-based composite electrolytes for lithium batteries." *Frontiers in chemistry* 7 (2019): 522.
- [34] Shuang-Jie Tan, Xian-Xiang Zeng, Qiang Ma, Xiong-Wei Wu, Yu-Guo Guo, Recent Advancements in Polymer-Based Composite Electrolytes for Rechargeable Lithium Batteries, *Electrochemical Energy Reviews*, 2018.
- [35] Marm B. Dixit, I. Wahid Zaman, Nicholas Hortance, Stella Vujic, Brice Harkey, Fengyu Shen, Wan-Yu Tsai, Vincent De Andrade, X. Chelsea Chen, Nina Balke, Kelsey B. Hatzell, Nanoscale Mapping of Extrinsic Interfaces in Hybrid Solid Electrolyte, 2020.

در مقابل ، ساخت هادی‌های یونی پلیمری آسان است (کوچک‌تر از 50 میکرومتر) و از نظر شیمیایی در هوا پایدارتر از بیشتر مواد معدنی می‌باشند. باین‌حال، الکترولیت‌های پلیمری دارای عدد انتقال و رسانایی یونی کمتر هستند. هدف از الکترولیت‌های هیبریدی، ترکیب مزایای هر دو نوع رسانایی یونی جامد برای کاربردهای باتری‌های حالت جامد در مقیاس بالا است (شکل 12) [35].

5- نتیجه‌گیری

کاربرد وسیع باتری‌های لیتیوم یون به دلیل ضعیف الکترولیت‌های مایع آلی، محدود شده است. با رشد مستمر انرژی‌های پاک، باید محدودیت مربوط به ایمنی باتری‌ها لیتیوم یون نیز برطرف شود. باتوجه به عدم ثبات الکتروشیمیایی، ناپایداری حرارتی ضعیف و خطر نشت الکترولیت، استفاده از الکترولیت‌های مایع برای ذخیره انرژی خالی از خطر نیست؛ لذا جایگزینی الکترولیت‌های مایع آلی با الکترولیت‌های جامد برای استفاده مؤثر و مفید باتری‌های مختلف مورد توجه است. در نتیجه، استفاده از الکترولیت‌های پلیمری جامد که دارای ویژگی‌های اعطاف‌پذیری عالی، قابلیت پردازش و ایمنی بالا هستند توصیه می‌گردد.

در گزارش مذکور در زمینه باتری‌های لیتیوم پلیمر، به‌طور خاص الکترولیت‌های پلیمری، برخی از الکترولیت‌های پلیمری مورد بررسی قرار گرفته است. علاوه بر آن به پلیمرهای رایج که به‌عنوان ماتریس پلیمر یاد می‌شود و در الکترولیت‌ها به‌کار می‌روند نیز اشاره شده است. همچنین اجزای یک الکترولیت پلیمری مورد بررسی قرار گرفته است. برای بهبود خواص این پلیمرها از پرکننده‌ها استفاده می‌شود.

در پژوهش صورت گرفته برخی از مقالات در مورد استفاده از الکترولیت‌های پلیمری متفاوت و عملکرد باتری‌های لیتیوم- پلیمر، مورد بررسی قرار گرفته است.

منابع

- [1] Renewables, Global Status Report. 2016.
- [2] Lee, Y.C.L., Wind-photovoltaic capacity coordination for a time-of-use rate industrial user. *IE Transactions on Renewable Power Generation*, 2009. 3(2): p. 152-167.
- [3] Ren21, R., Global status report. Renewable energy policy network for the 21st century. <http://www.ren21.net>. Accessed, 2016. 19.
- [4] Scrosati, B. and J. Garche, Lithium batteries: Status, prospects and future. *Journal of Power Sources*, 2010. 195(9): p. 2419-2430.
- [5] Long, Lizhen, et al. "Polymer electrolytes for lithium polymer batteries." *Journal of Materials Chemistry A* 4.26 (2016): 10038-10069.
- [6] Chen, Shimou, et al. "Progress and future prospects of high-voltage and high-safety electrolytes in advanced lithium batteries: from liquid to solid electrolytes." *Journal of Materials Chemistry A* 6.25 (2018): 11631-11663.
- [7] Lin, Dingchang, Yayuan Liu, and Yi Cui. "Reviving the lithium metal anode for high-energy batteries." *Nature nanotechnology* 12.3 (2017): 194.
- [8] Or, Tyler, et al. "Recycling of mixed cathode lithium - ion batteries for electric vehicles: Current status and future outlook." *Carbon Energy* 2.1 (2020): 6-43.
- [9] Wu, Yixin, et al. "Advances and prospects of PVDF based polymer electrolytes." *Journal of Energy Chemistry* (2021).
- [10] Zhang, Qingqing, et al. "Recent advances in solid polymer electrolytes for lithium batteries." *Nano Research* 10.12 (2017): 4139-4174.
- [11] Tang, Shuai, Wei Guo, and Yongzhu Fu. "Advances in composite polymer electrolytes for lithium batteries and beyond." *Advanced Energy Materials* 11, no. 2 (2021): 2000802.
- [12] Evans, James, Colin A. Vincent, and Peter G. Bruce. "Electrochemical measurement of transference numbers in polymer electrolytes." *Polymer* 28.13 (1987): 2324-2328.