



Original Article

Investigation of Physical and Electrochemical Properties of Separator Used in High Drain Lithium-ion Battery

Ashkan Nahvibayani ^{*,1}, Shaghayegh Baktashian ²
Mohsen Babaiee³, Rahim Eqra⁴

Journal of
Space Science, Technology
& Applications (Persian)

Vol. 2, No. 1, pp.: 23-33
2022

DOI:

10.22034/JSSTA.2022.327568.1061

Article Info

Received: 2022-2-1
Accepted: 2022-2-28

Keywords

Lithium-ion battery,
High power battery,
High drain battery,
Composite separator,
Battery design.

How to Cite this article

Ashkan Nahvibayani,
Shaghayegh Baktashian,
Mohsen Babaiee, Rahim
Eqra,” Investigation of
Physical and
Electrochemical Properties
of Separator Used in High
Drain Lithium-ion Battery”,
*Journal of Space Science,
Technology and
Applications*, vol 2 (1), p.:
23-33, 2022.

1,*. Institute of Mechanics, Shiraz, Iran,

ashkaan.bayani@gmail.com, Corresponding author

2. Institute of Mechanics, Shiraz, Iran, shaghayegh.baktashian@yahoo.com

3. Institute of Mechanics, Shiraz, Iran, babaiee.mohsen@gmail.com

4. Institute of Mechanics, Shiraz, Iran, eqra_1343@yahoo.com

Abstract

One of the reasons for the increasing popularity of lithium- ion batteries is the improvement of their rate capability and power density. All components of a battery, including the anode, cathode, electrolyte, and separator, can limit the capability of lithium-ion batteries. While most efforts have focused on the new electrode architecture and electrolyte formulation to improve battery performance, studies on separators have focused mainly on their mechanical and physical properties and little attention has been paid to their effect on the performance of lithium-ion batteries. In this study, a comprehensive study of the physical, thermal and electrochemical properties of disassembled high drain lithium- ion battery separator (HDLIB) with high discharge rate capability and commercial polyethylene separator with a thickness of 16 μ m (G16) is reported. According to the research, it has been shown that HDLIB separator has 26% less contact angle and better wettability than commercial polyethylene separator. Also, HDLIB separator at 150°C has shrunk by 55.6% less than G16, which may be due to the presence of boehmite ceramic particles in its structure. In addition, it shows that HDLIB separator can play an important role in improving the rate performance and safety of lithium- ion batteries.

بررسی خصوصیات فیزیکی و الکتروشیمیایی غشاء مورد استفاده در باتری لیتیوم- یون توان بالا

اشکان نحوی بیانی^{۱*}، شقایق بکتاشیان^۲، محسن بابایی^۳، رحیم اقرء^۴

۱. *، پژوهشکده مکانیک، شیراز، ایران، ashkaan.bayani@gmail.com (نویسنده مسئول)

۲. پژوهشکده مکانیک، شیراز، ایران، shaghayegh.baktashian@yahoo.com

۳. پژوهشکده مکانیک، شیراز، ایران، babaiee.mohsen@gmail.com

۴. پژوهشکده مکانیک، شیراز، ایران، eqra_1343@yahoo.com



دسترس پذیر در نشانی:
Journal.isrc.ac.ir

دو فصلنامه
علوم، فناوری و
کاربردهای فضایی

سال دوم، شماره ۱، صفحه ۳۳-۲۳
پاییز و زمستان ۱۴۰۰

DOI:
10.22034/JSSTA.2022.327568.1061

تاریخچه داوری

دریافت: ۱۴۰۰/۱۱/۱۲

پذیرش: ۱۴۰۰/۱۲/۰۹

واژه‌های کلیدی

باتری لیتیوم-یون، باتری توان
بالا، نرخ دشارژ بالا، غشاء
کامپوزیتی، طراحی باتری

نحوه استناد به این مقاله

اشکان نحوی بیانی، شقایق بکتاشیان،
محسن بابایی، رحیم اقرء. "بررسی
خصوصیات فیزیکی و الکتروشیمیایی
غشاء مورد استفاده در باتری لیتیوم-
یون توان بالا"، دو فصلنامه علوم،
فناوری و کاربردهای فضایی، جلد دوم،
شماره اول، صفحات ۲۳-۳۳، ۱۴۰۱.

چکیده

یکی از دلایل افزایش استقبال از باتری‌های لیتیوم-یون، بهبود قابلیت نرخ‌پذیری و چگالی توان آن‌ها است. تمام اجزای یک باتری از جمله آند، کاتد، الکتrolیت و غشاء می‌توانند منجر به محدود شدن قابلیت نرخ‌پذیری باتری‌های لیتیوم-یون شوند. درحالی‌که اکثر تلاش‌ها بر روی معماری جدید الکتروود و فرمولاسیون الکتrolیت به منظور بهبود قابلیت نرخ‌پذیری باتری متمرکز شده‌اند، مطالعات روی غشاها به طور عمده به خواص مکانیکی و فیزیکی آن‌ها محدود شده و توجه کمی به تأثیر آن‌ها بر عملکرد نرخ‌پذیری باتری‌های لیتیوم-یون شده است. در این پژوهش، یک بررسی جامع از خواص فیزیکی، حرارتی و الکتروشیمیایی غشاء باتری دمونتاژ شده با قابلیت نرخ دشارژ بالا و غشاء تجاری پلی‌اتیلنی با ضخامت ۱۶ میکرون گزارش شده است. با توجه به پژوهش انجام‌شده، نشان داده شده است که غشاء HDLIB به میزان ۲۶٪ از زاویه تماس کمتر و ترشوندگی بهتری نسبت به غشاء تجاری پلی‌اتیلنی برخوردار است. همچنین، غشاء HDLIB در دمای $C150^{\circ}$ به میزان ۵۵/۶٪ کمتر از غشاء پلی‌اتیلنی دچار انقباض شده است که این موضوع می‌تواند از حضور ذرات سرامیک بوهمایت در ساختار آن نشأت گرفته باشد. علاوه بر این، این موضوع نشان می‌دهد که غشاء HDLIB می‌تواند نقش مهمی در بهبود قابلیت نرخ‌پذیری و ایمنی باتری‌های لیتیوم-یون ایفا کند.

۱- مقدمه

با کاهش سوخت‌های فسیلی و در نتیجه افزایش اهمیت استفاده از منابع انرژی تجدیدپذیر، ذخیره انرژی الکتریکی نقش اساسی در بهبود عملکرد سیستم‌های برق ایفا می‌کند. تحقیقات و پیشرفت‌های زیادی در حوزه فناوری باتری و سلول‌های سوختی انجام شده است. به همین دلیل، انواع مختلف باتری از جمله باتری‌های پایه لیتیومی طی چند دهه گذشته با هدف کاربردهای گوناگون توسعه یافته‌اند [۱].

صنایع هوافضا از مهم‌ترین کاربردهای باتری‌های لیتیوم- یون محسوب می‌شود. درحالی‌که عمر طراحی برخی از ماهواره‌های کوچک تنها یک یا دو سال است، اما اکثر فضاپیماهای بزرگ‌تر باید ۷ تا ۱۵ سال (GEO) و ۳ تا بیش از ۸ سال (LEO) کار کنند و مدت مأموریت افزایش یابد. علاوه بر این، برای تأمین انرژی در هنگام پرتاب و پس از پرتاب تا زمان استقرار پنل‌های خورشیدی، برای پرتاب راکت به منظور کنترل وضعیت، در طول ناهنجاری‌های کروز یا مانورهای کنترل مسیر فضاپیما، در دوره‌های خورشیدگرفتگی، برای آزمایش در شب یا زمان خسوف، برای ارتباطات و انتقال داده‌ها و برای نگهداشتن تجهیزات الکترونیکی در محدوده دمایی مشخص، باتری‌های لیتیوم- یون قابل شارژ با توان بالا از اهمیت بسیار زیادی برخوردار خواهند بود. باین وجود، فاکتورهای متعددی از جمله چگالی انرژی و توان، طول عمر سیکلی و ایمنی عملکرد این باتری‌ها را با محدودیت مواجه کرده است. در سال‌های اخیر، بیشتر تلاش محققین برای بهبود عملکرد الکتروشیمیایی، چگالی انرژی و قابلیت نرخ‌پذیری باتری‌های لیتیوم یون بر روی بهبود ساختار الکترودها، بهینه‌سازی مواد فعال کاتدی و آنودی، جمع‌کننده جریان، فرمولاسیون الکتrolیت، مهندسی باتری و پروتکل‌های مختلف شارژ بنا شده است [۲-۵].

به منظور ادامه پیشرفت‌های حاصل‌شده در این حیطه، باید سایر اجزای باتری نیز بیشتر مورد توجه قرار گیرند. هر باتری لیتیوم یون از یک آند، یک کاتد، غشاء و الکتrolیت تشکیل شده است که به عنوان اجزای اصلی آن شناخته می‌شوند. غشاء باتری با وجود عدم شرکت در واکنش‌های شیمیایی، باعث عایق‌سازی جریان

الکتریکی می‌شود و علاوه بر این، نقش محیطی را ایفا می‌کند که امکان انتقال و کنترل یون‌های لیتیوم را بین الکترودهای باتری فراهم می‌کند. اما، بیشتر تحقیقات درباره تأثیر غشا بر عملکرد باتری‌های لیتیوم یون به خواص فیزیکی و مکانیکی آن‌ها معطوف شده است [۶، ۷]. تاکنون توجه کمی به میزان تأثیر غشاهای مختلف بر نرخ‌پذیری و نقش حیاتی آن‌ها برای دستیابی به باتری‌های لیتیوم یون توان بالا شده است که در این پژوهش تلاش شده است که این کمبود برطرف شود. غشاهای تجاری باتری‌های لیتیوم یون از یک یا چند لایه متخلخل پلی‌الفینی یا پارچه نبافته تشکیل شده‌اند که علاوه بر عایق‌سازی جریان الکتریکی، امکان انتقال یون‌های لیتیوم را بین الکترودهای باتری فراهم می‌کنند [۸، ۹]. در غشاهای غیرتجاری، علاوه بر پلی‌الفین‌ها، پلیمرهای مختلف با ویژگی‌هایی مانند مقاومت در برابر دمای بالا، ترشوندگی بالا و مقاومت در برابر شعله‌پذیری نیز می‌توانند مورد استفاده قرار گیرند. هر سمت این غشاهای پلیمری می‌توانند توسط یک لایه سرامیکی پوشش داده شوند تا باعث بهبود برخی خواص زیرلایه خود از جمله استحکام مکانیکی، پایداری حرارتی و مقاومت در برابر شعله شوند [۱۰]. انتخاب صحیح غشاء می‌تواند نقش به‌سزایی در بهبود عملکرد الکتروشیمیایی و بهینه‌سازی دانسیته توان و انرژی باتری لیتیوم یون در کنار حفظ ایمنی آن داشته باشد. فاکتورهای متعددی در انتخاب درست غشاء باتری لیتیوم یون تأثیرگذار است که از جمله آن‌ها می‌توان به ضخامت غشاء، تخلخل، نگهداشت الکتrolیت، رسانایی یونی، ترشوندگی، رفتار حرارتی و مکانیکی اشاره کرد [۱۱، ۱۲]. برقراری ارتباط بین این پارامترها و خواص الکتروشیمیایی باتری در شرایط مختلف می‌تواند تأثیر بسیار مهمی بر عملکرد باتری داشته باشد. تاکنون، اکثر پژوهش‌های صورت‌گرفته درباره نحوه بهینه‌سازی غشاء به روش‌های مختلف به‌منظور بهبود ترشوندگی، پایداری حرارتی و استحکام مکانیکی بوده است، درحالی‌که همچنان بیشتر غشاهای مورد استفاده در وسایل الکترونیکی مختلف و خودروهای برقی از میان چهار دسته غشاهای پلی‌اتیلنی، پلی‌پروپیلنی، سه‌لایه و غشای پلی‌الفینی پوشش داده شده با نانوذرات سرامیکی انتخاب می‌شوند [۱۳]. به همین دلیل، انتخاب صحیح از میان این غشاهای

علاوه بر شرایط خود سل، محیط دمونتاز نیز مهم است. برخی اجزای سل‌های لیتیوم-یون با اکسیژن و آب واکنش می‌دهند که این واکنش‌ها هم می‌توانند اجزای سازنده را دچار تغییر یا تخریب کنند. از طرفی دیگر، محصولات این واکنش‌ها می‌توانند برای سلامتی افراد و تجهیزات مضر باشند. در نتیجه، فرایند دمونتاز در محیط کنترل‌شده گلاوباکس^۴ با اکسیژن و آب کم‌تر از ۱ ppm صورت گرفت.

نکته‌ای که در حین دمونتاز سل باید به آن توجه داشت اتصال کوتاه داخلی و خارجی است و باید از آن اجتناب کرد. اتصال کوتاه هنگام برش دادن بدنه سل، یا نفوذ در مجموعه الکترودها و تغییر شکل آن یا به‌وسیله فشار مکانیکی ممکن است اتفاق بیفتد. علاوه بر دقت زیاد در حین دمونتاز، به حداقل رساندن استفاده از ابزار غیررسانا نیز می‌تواند مؤثر باشد. در حین دمونتاز، از قیچی فلزی و پنس‌های پلاستیکی استفاده شد.

۲-۱- مشخصه‌یابی‌ها

در این پژوهش، مورفولوژی سطحی غشاء باتری لیتیوم-یون توان بالا (HDLIB) و غشاء تجاری پلی‌اتیلنی با ضخامت ۱۶ میکرون (G16) تولید شرکت گِلک به کمک میکروسکوپ الکترونی روبشی (SEM، MIRA3 TESCAN) مشاهده و مورد بررسی قرار گرفت. برای این منظور، غشاها به نگهدارنده نمونه چسبانده شده و برای افزایش هدایت الکترونیکی از اعمال روکش طلا روی آن‌ها استفاده شد. ضخامت غشاها نیز با استفاده از ریزسنگ دیجیتال با دقت ۰/۰۰۱ میلی‌متر اندازه‌گیری و میانگین آن‌ها پس از سه مرتبه تکرار گزارش شدند. ترکیب شیمیایی غشاها با استفاده از طیف‌سنجی فروسرخ تبدیل فوریه (FT-IR) و آنالیز بازتاب کلی تضعیف شده (ATR) در محدوده عدد موج $4000-400\text{ cm}^{-1}$ و همچنین توسط آنالیز طیف‌سنجی پراش انرژی پرتوایکس (EDX) تعیین شد. آنالیز تفرق پرتوایکس (XRD) غشاها نیز توسط پراش سنج پرتو ایکس Bruker D8 (تابش $\text{Cu K}\alpha$ ، $\lambda = 1.54178$ Å) انجام شد.

و درک کامل از تأثیر آن‌ها بر عملکرد الکتروشیمیایی باتری می‌تواند کمک زیادی به بهبود کارایی باتری‌های لیتیوم یون در شرایط واقعی باشد.

به‌منظور بررسی اجزای سازنده باتری‌های لیتیوم-یون و همچنین طراحی و ساخت آن‌ها، دمونتاز سل‌ها و آنالیز اجزای سازنده آن بسیار حائز اهمیت است. شرایط باز کردن سل، نحوه نمونه‌برداری و آنالیز آن‌ها نیازمند دقت بالایی است تا از آسیب، آلودگی و تغییرات در اجزای تشکیل‌دهنده سل جلوگیری شود و اطلاعات مفیدی حاصل شود.

در این پژوهش، نحوه دمونتاز و نمونه‌برداری از باتری لیتیوم-یون توان بالا^۱ با ظرفیت ۵ آمپر ساعت (HDLIB) ارائه شده است و در ادامه آن نیز نتایج حاصل از آنالیزهای صورت‌گرفته روی غشاء باتری مذکور و مقایسه آن با غشاء تجاری پلی‌اتیلنی جمع‌آوری و ارائه شده است تا استراتژی لازم به منظور طراحی غشاء باتری با قابلیت دشارژ با نرخ بالا به‌دست آید.

۲- روش آزمایشگاهی

باتری لیتیوم-یون توان بالای مورد بررسی در این پژوهش تولید شرکت گریپو^۲ و متشکل از اکسید لیتیوم نیکل-منگنز-کبالت به عنوان کاتد و گرافیت به عنوان آند است که هر دو ماده جزء کاتد و آند متداول باتری‌های لیتیوم-یون به‌حساب می‌آیند. قبل از دمونتاز، باید مشخص شود سل مربوطه در چه حالتی از شارژ (SOC)^۳ قرار دارد. از لحاظ ایمنی، هرچه SOC سل بالاتر و در نتیجه انرژی سل بیشتر باشد، در صورت وقوع یک اتصال کوتاه ناخواسته، مهارگسیختگی حرارتی ناشی از دشارژ عمیق را به‌دنبال خواهد داشت. پس از این‌رو، ولتاژ پایین و SOC کمتر مطلوب خواهد بود. از طرف دیگر، ولتاژ سل نباید خارج از بازه عملیاتی متداول آن باشد تا از تغییرات ناخواسته مواد جلوگیری شود. از این‌رو قبل از دمونتاز، سل لیتیوم-یون توان‌بالا با جریان پایین (C/20) تا ولتاژ نهایی دشارژ معادل ۲/۷ ولت (SOC معادل صفر درصد) دشارژ شد.

^۱ عموماً ۵ آمپر ساعت به‌عنوان معیار یک باتری لیتیوم-یون برای توان بالا به حساب می‌آید.

2 Grepow
3 State of Charge
4 Glovebox

در نهایت دشارژ با جریان ثابت تا ولتاژ نهایی ۲/۸ ولت انجام پذیرفت.

۳- تحلیل نتایج

جدول (۱) خواص عمومی غشاء HDLIB و غشای تجاری پلی اتیلنی G16 شامل ضخامت، نفوذپذیری هوا (عدد گرلی) و خواص ترشوندگی شامل زاویه تماس را بیان می کند. ضخامت کمتر هردو غشاء نسبت به غشاهای تجاری متداول (ضخامت ۲۵ میکرون) و همچنین عدد گرلی نسبتاً پایین آن‌ها نشان می دهد که طراحی غشاهای مذکور در راستای بهبود انتقال یون‌های لیتیوم بین الکترودهای باتری بوده است. هرچه عدد گرلی کمتر و در نتیجه میزان نفوذپذیری هوای غشاء بیشتر باشد، بیانگر مسیر کوتاه‌تر یون‌های لیتیوم برای عبور از تخلخل‌های غشاء و جابه‌جا شدن بین الکترودها است که این موضوع می تواند تأثیر قابل توجهی بر بهبود نرخ پذیری باتری‌های متشکل از این غشاها باشد.

جدول ۱. خواص عمومی، ترشوندگی و نفوذپذیری هوای غشاء تجاری HDLIB و غشاء G16 پلی اتیلنی

زاویه تماس (°)	عدد گرلی (s/100 ml air)	ضخامت (μm)	
۸۴/۷۵	۳۲۰/۷	۲۱	غشای HDLIB
۱۱۹/۷۸	۲۰۶/۹	۱۶	غشای تجاری G16

همچنین، شکل (۱) مورفولوژی هر دو سطح غشاء HDLIB و غشاء G16 را در بزرگ‌نمایی ۷۵۰۰۰ برابر نشان می دهد. با توجه به شکل (۱)، ساختار همسان گرد غشاء HDLIB به همراه شکل متقارن حفرات و عدم کشیدگی آن‌ها در یک راستا، مانند غشاء تجاری پلی اتیلنی G16، بیان گر تولید این غشاء به روش تر است. همچنین، پیک‌های طیف EDX نشان داده شده در شکل (۲) و نتایج کمی حاصل از آن (جدول ضمیمه شکل ۲) نشان می دهند که هر دو سطح غشاء HDLIB به ظاهر از جنس پلی الفین و به طور مشخص پلی اتیلن (PE) است.

انقباض حرارتی غشاها با اندازه‌گیری تغییرات ابعادی مبتنی بر سطح آن‌ها پس از قرار گرفتن در معرض عملیات حرارتی در دماهای مختلف ۱۳۰°C و ۱۵۰°C به مدت ۱ ساعت ارزیابی شد.

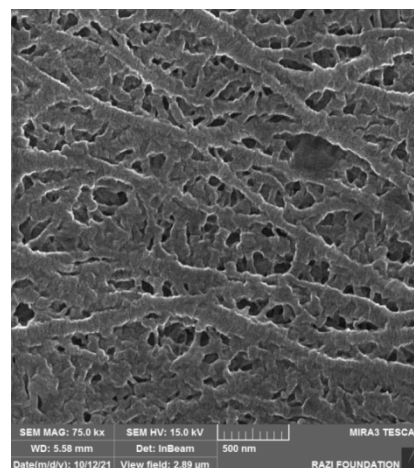
استحکام سوراخ‌شدگی نیز با آزمون سوراخ‌شدگی و لودسل ۵۰۰ نیوتن تعیین شد. عرض و طول نمونه‌های آزمایشی بر اساس استاندارد ASTM F1306-90، ۷۶ میلی‌متر در نظر گرفته شد. استحکام مکانیکی غشاها نیز با دستگاه آزمون کشش Gotech و لودسل ۵۰۰ نیوتن مورد بررسی قرار گرفت. نفوذپذیری هوا نیز با استفاده از دستگاه آنالیز گر گرلی^۱ و با اندازه‌گیری زمان لازم برای عبور هوا با حجم معین (۱۰۰ سی سی هوا) از غشاء تحت فشار معین به دست آمد. لازم به ذکر است که مقادیر میانگین به دست آمده از آزمون‌های مکانیکی و نفوذپذیری هوا پس از سه مرتبه تکرار گزارش شدند.

کالری متری روبشی تفاضلی (DSC)^۲ تحت اتمسفر N₂ از دمای محیط تا ۳۰۰°C و با نرخ ۱۰ درجه بر دقیقه به منظور بررسی پایداری حرارتی غشاها انجام پذیرفت. زاویه تماس، به عنوان معیار مهمی از ترشوندگی غشاء، با استفاده از دستگاه زاویه‌سنج اندازه‌گیری شد. برای این منظور، یک قطره آب با حجم حدود ۵ μL از نوک سوزن دستگاه روی سطح غشاء رها شده و به کمک یک دوربین و آنالیز تصاویر قطره، زوایای تماس با استفاده از نرم افزار دستگاه محاسبه و بررسی شد. در این پژوهش، به واسطه عدم وجود حرکت بین مرزهای فاز سه‌گانه‌ی هوا، آب و غشا و همگن بودن نمونه و عدم تورم در اثر حضور آب از آزمون زاویه تماس استاتیک استفاده شد. همچنین آزمون زاویه تماس استاتیک برای غشاهای باتری‌های لیتیوم- یون آزمون مرسوم در مقالات معتبر است.

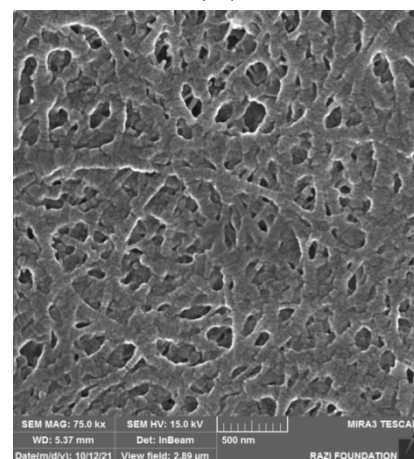
آزمون الکتروشیمیایی باتری توان بالا در بازه ولتاژ ۲/۸ تا ۴/۲ ولت و توسط پروتکل شارژ با جریان ثابت تا ولتاژ نهایی ۴/۲ ولت و سپس شارژ با ولتاژ ثابت تا زمانی که جریان به مقدار ۵۰ C و

ساختار شیمیایی هر دو سطح غشاء HDLIB توسط آنالیز بازتاب کلی تضعیف شده (ATR)^۱ مورد بررسی قرار گرفته است که طیف حاصل از آن در شکل (۳) نشان داده شده است. با توجه به این شکل، پیکهای اصلی غشاء تجاری پلی اتیلنی G16 در 2847 و 2913 cm^{-1} به کشش پیوند C-H در CH_2 مرتبط است. علاوه بر این، پیکهای 720 و 1471 cm^{-1} نیز به ترتیب بیانگر خمش خارج از صفحه پیوند C-H و خمش درون صفحه این پیوند هستند که هر دو از پیکهای اصلی پلی اتیلن به حساب می آیند و خود تأییدی بر آزمونهای دیگر در راستای تعیین ترکیب شیمیایی غشاء HDLIB هستند. همچنین با توجه به حضور پیکهای اصلی در طیفهای هر دو سطح غشاء HDLIB می توان دریافت که از لحاظ ترکیب شیمیایی هر دو سطح آن شرایط یکسانی دارند. وجود پیکهای متفاوت در طیف FTIR غشاء HDLIB نسبت به غشاء تجاری G16 و مقایسه آن با طیف XRD آن در شکل (۴) نشان می دهند که غشاء HDLIB با ذرات سرامیکی بوهمایت ($\gamma\text{-AlO(OH)}$) بهینه شده است و تمام پیکهای مشخصه بوهمایت در هر دو طیف FTIR و XRD غشاء HDLIB قابل مشاهده هستند. با توجه به نتیجه به دست آمده و رجوع به تصاویر SEM غشاء HDLIB می توان دریافت که به احتمال زیاد بوهمایت روی سطح پوشش داده نشده است و به صورت کامپوزیت در حین فرایند اکستروژن و ریخته گری یا فیلم دمشی در ساختار پلی اتیلن وارد شده است.

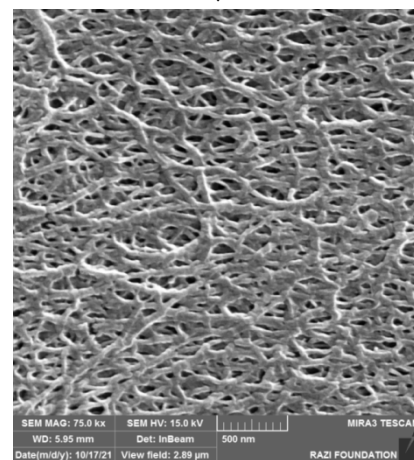
شکل (۵) الف و ب، خواص کششی و استحکام سوراخ شدگی غشاء HDLIB را نشان می دهند. با توجه به منحنیهای این شکل، غشاء HDLIB از استحکام کششی $68/4\text{ MPa}$ در جهت MD (راستای طولی) و $80/8\text{ MPa}$ در جهت TD (راستای عرضی) و همچنین استحکام سوراخ شدگی 557 V/N/mm برخوردار است. در مجموع، این نتایج نشان می دهند که غشاء HDLIB به واسطه حضور ذرات سرامیک به عنوان جزء ثانویه از استحکام مکانیکی کمتری نسبت به غشاء پلی اتیلنی تجاری G16 برخوردار است. با توجه به استانداردهای موجود در زمینه استحکام مورد نیاز اجزای



(الف)



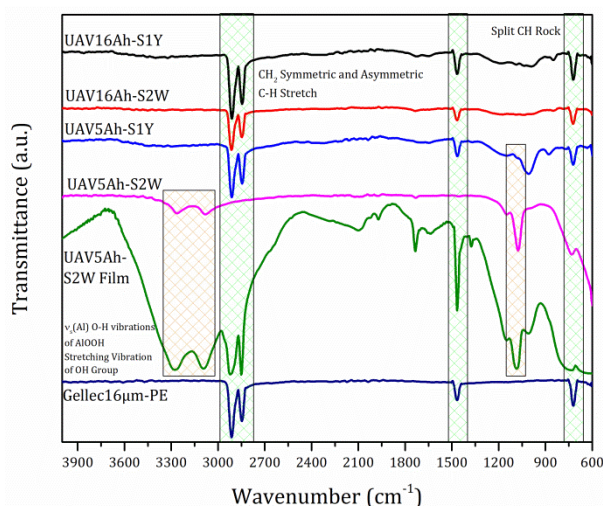
(ب)



(پ)

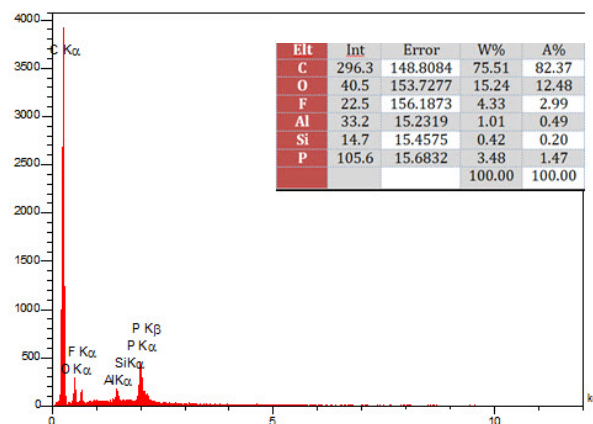
شکل ۱. مورفولوژی سطح الف) غشاء HDLIB (طرف اول)، ب) غشاء HDLIB (طرف دوم) و پ) غشاء پلی اتیلنی تجاری G16

منحنی DSC غشاء HDLIB و مقایسه آن با منحنی DSC غشاء پلی اتیلنی تجاری G16 (شکل ۶)، می توان دریافت که هر دو غشاء یک پیک گرماگیر به واسطه وجود لایه پلی اتیلن را دارا هستند. آزمون DSC هر دو غشاء از دمای محیط تا 300°C ، با نرخ 10°C/min درجه بر دقیقه و در محیط نیتروژن انجام پذیرفته است. نقطه ذوب ابتدایی، میانی، انتهایی و آنتالپی ذوب غشاء HDLIB به ترتیب $131/1^{\circ}\text{C}$ ، $138/1^{\circ}\text{C}$ و $148/1^{\circ}\text{C}$ و $13/88\text{J/g}$ و نقطه ذوب ابتدایی، میانی، انتهایی و آنتالپی ذوب غشاء پلی اتیلنی تجاری G16 به ترتیب $139/0^{\circ}\text{C}$ ، $142/9^{\circ}\text{C}$ ، $150/2^{\circ}\text{C}$ و $18/38\text{J/g}$ محاسبه شده اند. به منظور بررسی کمی انقباض حرارتی، غشاهای مذکور در دو دمای 130°C و 150°C تحت عملیات حرارتی قرار گرفته و به کمک نرم افزار پردازش تصویر کاهش مساحت سطح آنها محاسبه شده است.

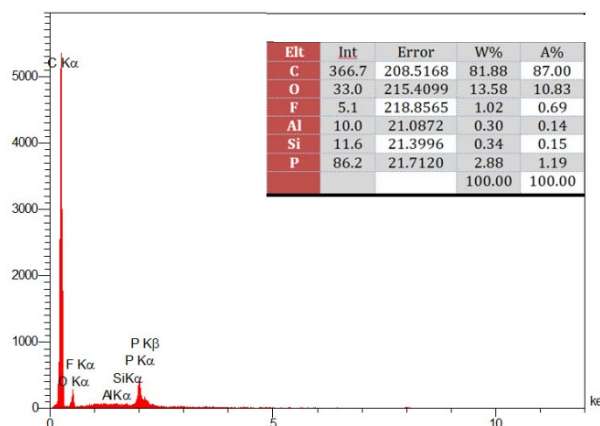


شکل ۳. طیف عبوری آزمون بازتاب کلی تضعیف شده (ATR) به منظور تعیین ساختار شیمیایی هر دو سطح و توده غشاء HDLIB و مقایسه آن با ATR غشاء پلی اتیلنی تجاری G16

باتری در حین فرایند مونتاژ باتری، حداقل استحکام مورد نیاز غشاء برابر با 13 MPa در نظر گرفته شده است که نشان می دهد هر دو غشاء مورد نظر با ضریب ایمنی قابل قبولی از استحکام کافی برای استفاده در باتری های لیتیوم- یون برخوردار هستند.



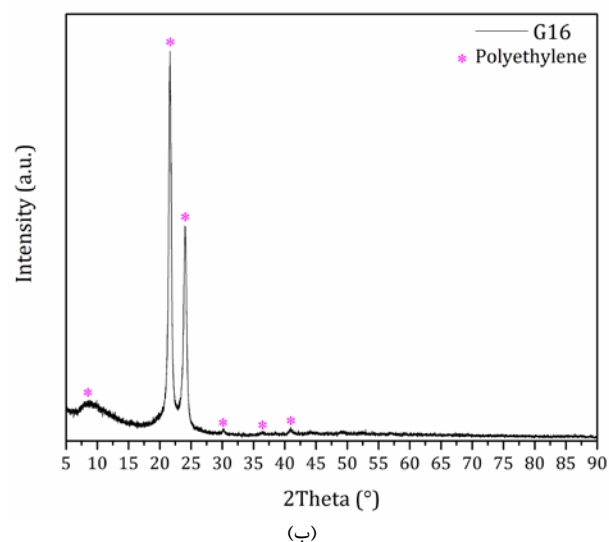
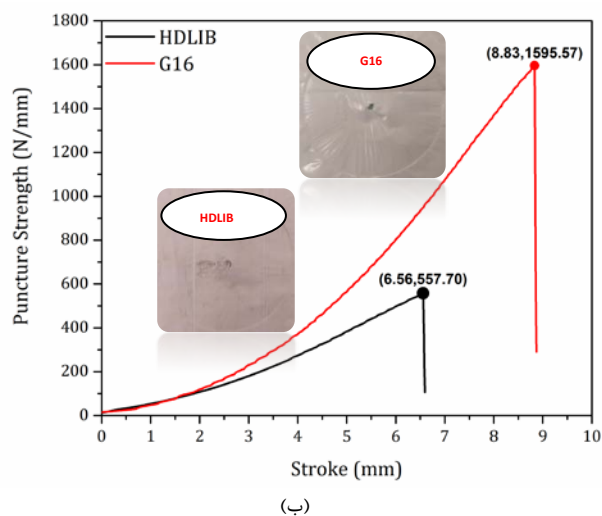
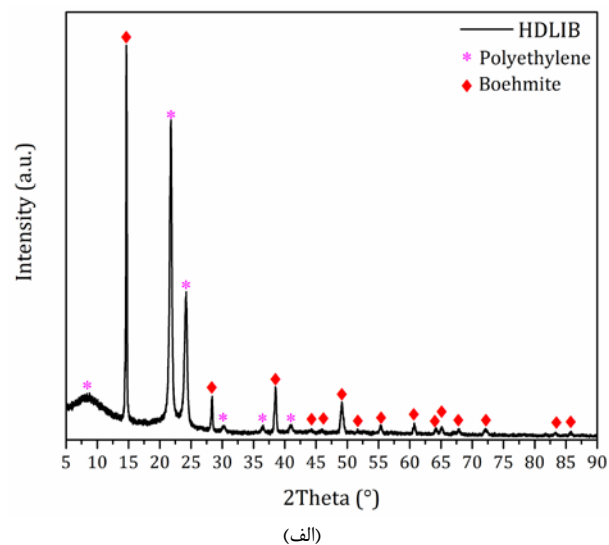
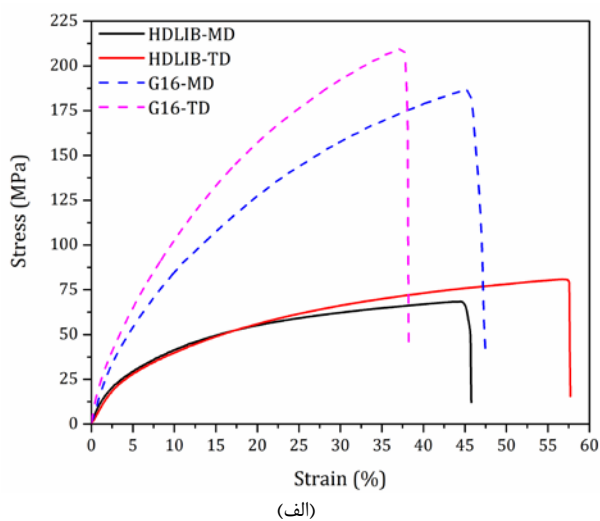
(الف)



(ب)

شکل ۲. طیف EDX و جدول مقادیر درصد اتمی و وزنی (الف) طرف اول غشاء HDLIB و (ب) طرف دوم غشاء HDLIB

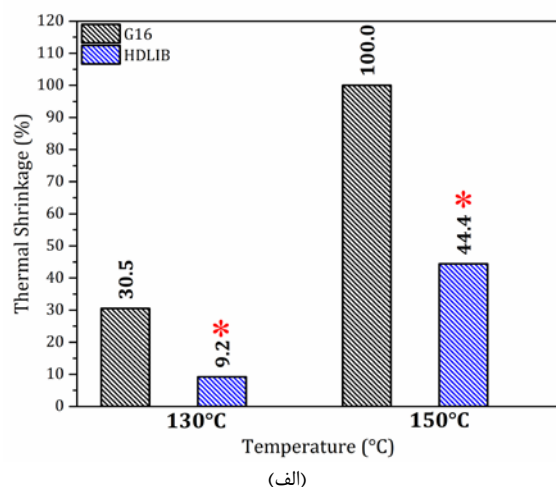
به طور کل، پایداری حرارتی غشاء نقشی حیاتی در جلوگیری از اتصال کوتاه بین الکترودها در هنگام افزایش دمای موضعی باتری ایفا می کند. این موضوع به خصوص برای باتری هایی مانند باتری های توان بالا اهمیتی بیش از پیش پیدا می کند. با بررسی



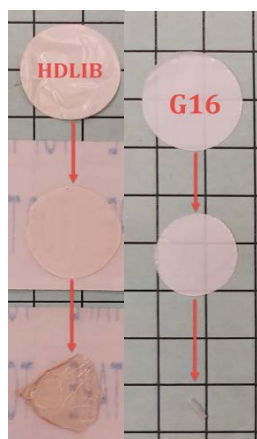
شکل ۵. الف) منحنی‌های تنش- کرنش آزمون کشش در دو جهت MD و TD و ب) منحنی نیرو-جابجایی آزمون سوراخ‌شدگی غشاء HDLIB به همراه تصویر سطح مقطع غشاء پس از گسیختگی

شکل ۴. الف) الگوی XRD غشاء HDLIB و ب) غشاء پلی‌اتیلنی تجاری G16

تماس سطح غشاء HDLIB برابر با $88/23^\circ$ و همچنین زاویه تماس سطح غشاء تجاری پلی اتیلنی G16 برابر با $119/78^\circ$ است که مقادیر این زوایا در جدول (۱) نیز گزارش شده‌اند. نتایج به دست آمده از آزمون زاویه تماس برای غشاء HDLIB با زاویه تماس ترکیب شیمیایی پیش‌بینی شده برای آن، یعنی غشای پلی اتیلنی بهینه شده با ذرات سرامیک، هم‌خوانی دارد.



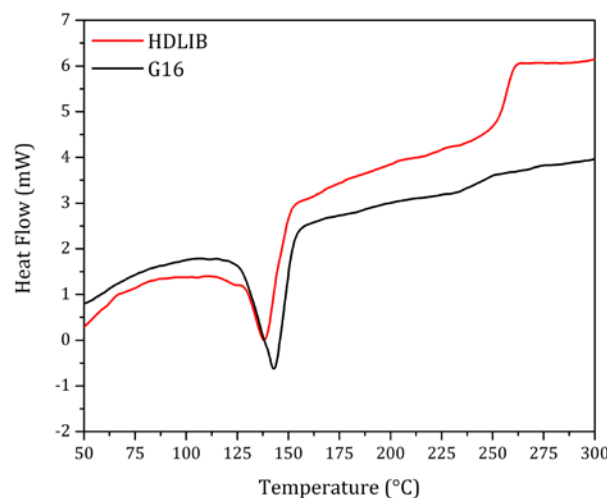
(الف)



(ب)

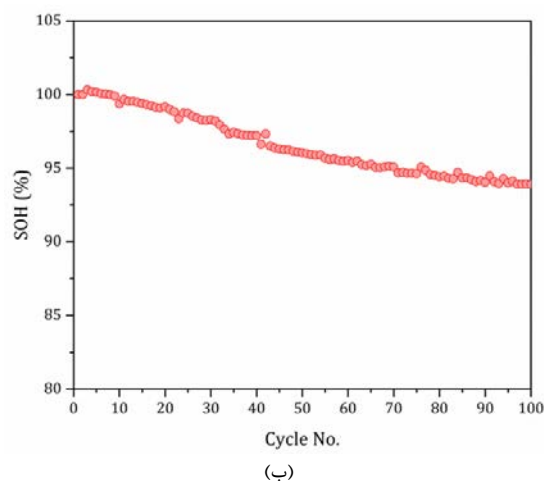
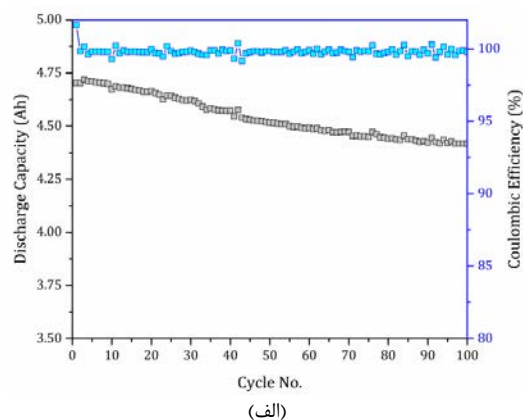
شکل ۷. الف) نمودار ستونی انقباض حرارتی و ب) ابعاد غشاهای HDLIB و G16 پیش و پس از قرارگیری در معرض حرارت در دو دمای 150°C و 130°C

همان‌طور که از شکل (۷) می‌توان دریافت، غشاء پلی اتیلنی تجاری G16 در دمای 130°C به میزان 30.5% و در دمای 150°C تقریباً به‌طور کامل دچار انقباض شده است که همین موضوع تأییدی بر پلی اتیلنی بودن غشای مذکور است؛ چراکه با عبور از دمای 135°C (دمای ذوب پلی اتیلن) غشاء به‌طور کامل منقبض شده است. غشاء HDLIB به‌واسطه حضور ذرات سرامیک بوهامیت در ساختار خود، در دمای 130°C تنها 9.2% و در دمای 150°C نیز به میزان 44.4% دچار انقباض شده است که با مقایسه آن با انقباض حرارتی غشاء تجاری G16 در دمای 150°C می‌توان دریافت که غشای HDLIB به دلیل شرایط متفاوت تولید و استفاده از ذرات سرامیکی درون ساختار خود (به‌جای پوشش روی سطح) به میزان قابل توجهی کمتر دچار انقباض شده است که می‌تواند تأثیر قابل توجهی در شرایط ایمنی و رفتار حرارتی باتری‌های لیتیوم- یون به‌خصوص باتری‌های توان بالا داشته باشد.



شکل ۶. مقایسه طیف DSC غشاء HDLIB و غشاء پلی اتیلنی تجاری G16

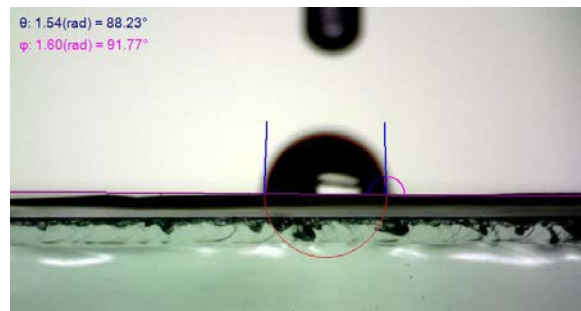
در نهایت، به منظور بررسی میزان ترشوندگی غشاهای HDLIB و G16 از آزمون زاویه تماس استفاده شد. برای این منظور، یک قطره آب با حجم حدود $5\mu\text{L}$ از نوک سوزن دستگاه روی سطح غشاء رها شده و به کمک یک دوربین و آنالیز تصاویر قطره، زوایای تماس با استفاده از نرم‌افزار دستگاه محاسبه و مورد بررسی قرار گرفت. همان‌طور که در شکل (۸) نشان داده شده است، زاویه



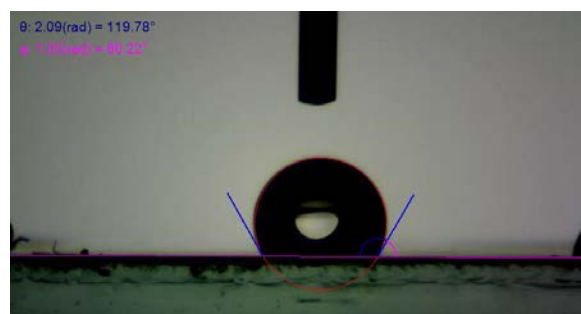
شکل ۹. الف) ظرفیت دشارژ و بازده کولنی باتری لیتیوم- یون توان بالا (HDLIB) برحسب تعداد سیکل و ب) SOH باتری لیتیوم- یون توان بالا (HDLIB) برحسب تعداد سیکل؛ جریان شارژ معادل با ۱C و جریان دشارژ نیز معادل با ۴C در نظر گرفته شده است

۴- نتیجه گیری

در لین پژوهش، خصوصیات فیزیکی، حرارتی و الکتروشیمیایی غشاء باتری لیتیوم- یون توان بالا (HDLIB) مورد بررسی و با غشاء تجاری پلی اتیلنی با ضخامت ۱۶ میکرون (G16) مورد مقایسه قرار گرفته است. هر دو غشاء از مورفولوژی تقریباً یکسانی برخوردار بوده و تخلخلها ساختاری همسان گرد دارند که نشانگر تولید آنها به روش تر است. همچنین، غشاء HDLIB از انقباض حرارتی کمتر در دماهای ۱۳۰°C و ۱۵۰°C و ترشوندگی بهتری نسبت به غشاء تجاری G16 برخوردار است که علت آن حضور ذرات سرامیکی بوهمایت در ساختار غشاء HDLIB است که این موضوع توسط آنالیزهای EDX، XRD و FTIR به اثبات رسید. به واسطه وجود ذرات بوهمایت، استحکام



(الف)



(ب)

شکل ۸. اندازه گیری زاویه تماس الف) غشاء HDLIB و ب) غشاء

تجاری پلی اتیلنی G16

شکل (۹)، نتایج آزمون شارژ و دشارژ باتری توان بالا را نشان می دهد. شکل (۹) الف، بازده کولنی و ظرفیت دشارژ سل را در طول ۱۰۰ سیکل ارائه می کند. با توجه به شکل مذکور، ظرفیت سل ۵ آمپرساعت می باشد و بازده کولنی در طول سیکل زنی تقریباً معادل با ۱۰۰٪ باقی مانده است. شکل (۹) ب، ظرفیت باقی مانده سل توان بالا پس از ۱۰۰ سیکل را نشان می دهد. مقدار ظرفیت باقی مانده بعد از ۱۰۰ سیکل دشارژ با نرخ ۴C برابر با ۹۳/۹ درصد است که یکی از دلایل عملکرد مناسب باتری توان بالا در نرخ دشارژ زیاد را می توان غشاء کامپوزیتی به کار گرفته شده در مونتاژ سل در نظر گرفت.

- [6] S. Kalnaus *et al.*, "Strain distribution and failure mode of polymer separators for Li-ion batteries under biaxial loading," *J. Power Sources*, vol. 378, pp. 139–145, 2018, doi: <https://doi.org/10.1016/j.jpowsour.2017.12.029>.
- [7] L. Peng *et al.*, "Three-Dimensional Coating Layer Modified Polyolefin Ceramic-Coated Separators to Enhance the Safety Performance of Lithium-Ion Batteries," *J. Electrochem. Soc.*, vol. 166, no. 10, pp. A2111–A2120, 2019, doi: [10.1149/2.1141910jes](https://doi.org/10.1149/2.1141910jes).
- [8] J. Li, C. Daniel, and D. Wood, "Materials processing for lithium-ion batteries," *J. Power Sources*, vol. 196, no. 5, pp. 2452–2460, 2011, doi: <https://doi.org/10.1016/j.jpowsour.2010.11.001>.
- [9] X. Huang and J. Hitt, "Lithium ion battery separators: Development and performance characterization of a composite membrane," *J. Memb. Sci.*, vol. 425–426, pp. 163–168, 2013, doi: <https://doi.org/10.1016/j.memsci.2012.09.027>.
- [10] A. Nahvi Bayani, M. H. Moghim, S. Bahadorikhalili, and A. Ghasemi, "Aluminum Hydroxide-Based Flame-Retardant Composite Separator for Lithium-Ion Batteries," *J. Renew. Energy Environ.*, vol. 6, no. 2, pp. 15–21, 2019, doi: [10.30501/jree.2019.95923](https://doi.org/10.30501/jree.2019.95923).
- [11] S. S. Zhang, "A review on the separators of liquid electrolyte Li-ion batteries," *J. Power Sources*, vol. 164, no. 1, pp. 351–364, 2007, doi: <https://doi.org/10.1016/j.jpowsour.2006.10.065>.
- [12] V. Deimede and C. Elmasides, "Separators for Lithium-Ion Batteries: A Review on the Production Processes and Recent Developments," *Energy Technol.*, vol. 3, no. 5, pp. 453–468, May 2015, doi: <https://doi.org/10.1002/ente.201402215>.
- [13] P. Arora and Z. (John) Zhang, "Battery Separators," *Chem. Rev.*, vol. 104, no. 10, pp. 4419–4462, Oct. 2004, doi: [10.1021/cr020738u](https://doi.org/10.1021/cr020738u).

کششی و سوراخ‌شدگی غشاء HDLIB نسبت به غشاء تک‌لایه پلی‌اتیلنی کمتر است، با این حال، هر دو غشاء از لحاظ استحکام مکانیکی در محدوده کاملاً استاندارد قرار دارند. در نهایت، یکی از دلایل عملکرد بسیار خوب باتری توان بالا و افت ظرفیت تنها ۶/۱ درصد آن در نرخ دشارژ ۴C را می‌توان به ویژگی‌های قابل توجه غشاء HDLIB نسبت داد. این مطالعه بینش مهمی در زمینه جنبه دشارژ سریع باتری‌های لیتیوم یونی از نقطه‌نظر خصوصیات غشاء را ارائه می‌دهد.

تعارض منافع

هیچ‌گونه تعارض منافع توسط نویسندگان بیان نشده است.

مراجع

- [1] م. زارعی جلیانی، ش. بکتاشیان، م. بابایی، ع. قاسمی، ر. اقرء، بررسی الکتروشیمیایی تشکیل لایه SEI در فرایند فرماسیون آند گرافیت طبیعی در باتری لیتیوم-یون، مواد پیشرفته و پوشش‌های نوین، ۷(۲۶)، ص: ۱۷۷۹–۱۷۸۶، ۱۳۹۷.
- online Available:
<https://www.sid.ir/fa/journal/ViewPaper.aspx?id=502089>.
- [2] M. E. Sotomayor *et al.*, "Ultra-thick battery electrodes for high gravimetric and volumetric energy density Li-ion batteries," *J. Power Sources*, vol. 437, p. 226923, 2019, doi: <https://doi.org/10.1016/j.jpowsour.2019.226923>.
- [3] J. S. Sander, R. M. Erb, L. Li, A. Gurijala, and Y.-M. Chiang, "High-performance battery electrodes via magnetic templating," *Nat. Energy*, vol. 1, no. 8, p. 16099, 2016, doi: [10.1038/nenergy.2016.99](https://doi.org/10.1038/nenergy.2016.99).
- [4] A. M. Colclasure, A. R. Dunlop, S. E. Trask, B. J. Polzin, A. N. Jansen, and K. Smith, "Requirements for Enabling Extreme Fast Charging of High Energy Density Li-Ion Cells while Avoiding Lithium Plating," *J. Electrochem. Soc.*, vol. 166, no. 8, pp. A1412–A1424, 2019, doi: [10.1149/2.0451908jes](https://doi.org/10.1149/2.0451908jes).
- [5] Z. Du, D. L. Wood, and I. Belharouak, "Enabling fast charging of high energy density Li-ion cells with high lithium ion transport electrolytes," *Electrochem. commun.*, vol. 103, pp. 109–113, 2019, doi: <https://doi.org/10.1016/j.elecom.2019.04.013>.



COPYRIGHTS

© 2022 by the authors. Licensee Iranian Space Research Center of Iran. This article is an open access article distributed under the terms and conditions of the Creative Commons Attribution 4.0 International (CC BY 4.0) (<https://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>)