

## مروری بر جداکنندههای باتریهای لیتیوم یون در باتریهای مورد استفاده در خودروهای برقی

هانیه السادات میران موسوی<sup>۱\*</sup>، سید محمود موسوی<sup>۲</sup>، مهدی نجم آبادی<sup>۳</sup>

<sup>۱</sup> کارشناس مرکز نوآوری و شتابدهی گروه صنعتی پارت لاستیک، مشهد، ایران

<sup>۲</sup> استاد گروه مهندسی شیمی، دانشگاه فردوسی مشهد، ایران

<sup>۳</sup> کارشناس ارشد مدیریت استراتژیک، دانشگاه تهران، شرکت همگرتوس، ایران

\*پست الکترونیکی نویسنده مسئول: shirin\_miranmousavi@yahoo.com

### چکیده

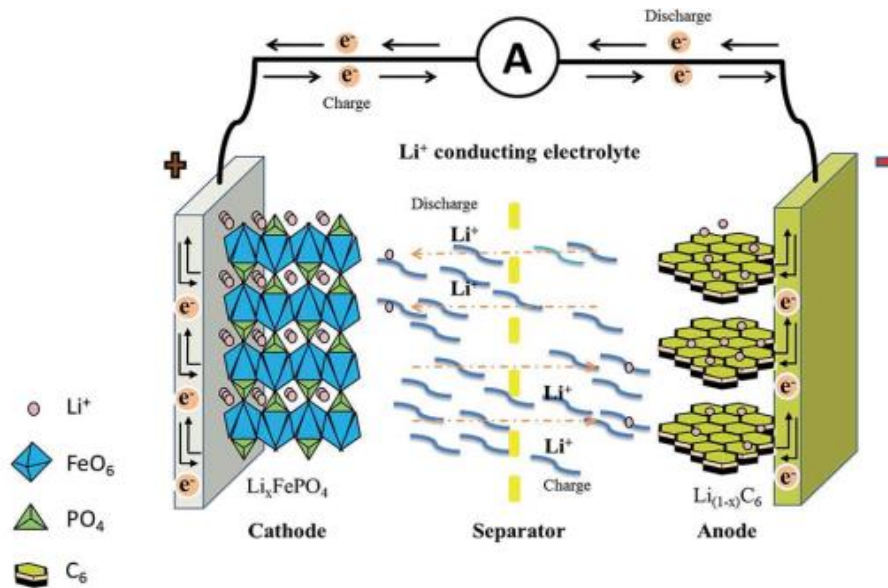
در این مقاله، تحولات اخیر و ویژگی جداکنندهها برای استفاده در باتریهای لیتیوم یون بررسی شده است. در سالهای اخیر تلاشهای شدیدی برای تولید و پیشرفت جداکنندهها در باتریهای لیتیوم یون قابل شارژ برای کاربردهای مختلف مانند الکترونیک، وسایل نقلیه برقی (خودرو برقی) و ذخیره انرژی برای شبکههای برق صورت گرفته است. جداکننده یکی از اجزای حیاتی برای باتری لیتیوم یون است زیرا مانع فیزیکی بین الکترودهای مثبت و منفی است و اتصال کوتاه جلوگیری می کند. جداکننده همچنین به عنوان مخزن الکترولیت برای انتقال یون ها در طول چرخه های شارژ و تخلیه باتری عمل می کند. عملکرد باتریهای لیتیوم یون بسیار تحت تاثیر مواد و ساختار جداکنندهها می باشد. در این مقاله الزامات و ویژگیهای اصلی جداکنندهها، انواع آنها و همچنین به طور خلاصه فرآیند ساخت و تکنولوژی آنها معرفی شده و چشم انداز آینده بررسی شده است.

کلمات کلیدی: جداکننده؛ باتریهای لیتیوم یون؛ قابل شارژ؛ خودرو برقی

## مقدمه

زندگی امروزه بشر بدون باتری تصور ناپذیر است. انرژی ذخیره شده به بخشی جدایی ناپذیر از زندگی روزمره ما تبدیل شده است. بدون این فناوری که بیش از صد سال قدمت دارد، داستان موفقیت لپ تاپ ها، تلفن های همراه و تبلت ها ممکن نبود. در این میان موضوع جدیدتری به نام حمل نقل و خودرو نیز مطرح می شود. حمل و نقل در آینده نیازمند ایده های جدیدی است که بین نیازهای هر جابه جایی، استفاده پایدار از منابع و حفاظت از محیط زیست تعادل ایجاد کند. همچنین با توجه به تغییرات اقلیمی و محدودیت سوخت های فسیلی، برای کاهش انتشار  $CO_2$ ، نیاز به تلاش بیشتری است. در این راستا صنعت خودرو در حال حاضر در دنیا با بهینه سازی فناوری موتور و معرفی سامانه های اتوماتیک شروع / توقف موتور و بازیابی انرژی ترمز، پیشرفت قابل توجهی بدست آورده است. این تلاش ها در فناوری محرکه معمولی ادامه دارد. با این حال، فناوری جدید محرکه لازم است تا انتقال از سوخت فسیلی که مدت زمان زیادی مورد استفاده بوده اند را به سوخت هایی بر پایه انرژی های تجدید پذیر انجام دهد. از دیدگاه امروز، برقی سازی نیروی محرکه در خودروهای هیبریدی، هیبریدی با شارژ خارجی و برقی، ابزار دستیابی به این هدف است که توسط جامعه، سیاست و صنعت تایید شده است. صرف نظر از میزان برقی سازی، سامانه های ذخیره سازی انرژی الکتریکی یعنی باتری ها نقش حیاتی را در این تغییرات فناورانه ایفا می کنند [1-3]. باتری نوعی سامانه ذخیره سازی برای برق نیست بلکه نوعی مبدل انرژی الکتروشیمیایی است و در دهه های اخیر توسعه آن به واسطه طی کردن مسیر پیچیده ای بوده است. این سامانه های ذخیره سازی الکتروشیمیایی به دو دسته سامانه های اولیه که به طور کلی نمی توانند دوباره شارژ شوند یا فقط به صورت محدود شارژ می شوند و سامانه های ثانویه که قابل شارژ بوده و در میان انواع آنها امروزه توجه ویژه به باتری های لیتیوم - یون که به دلیل تنوعشان اغلب نیازمندی ها را برطرف خواهند کرد و جایگزین تعدادی از سامانه های متداول موجود باتری خواهند شد، وجود دارد [5-6]. این باتری ها (لیتیوم - یون) به عنوان محبوب ترین سیستم ذخیره سازی انرژی برای انواع وسیعی از دستگاه های الکترونیکی سبک از جمله لپ تاپ ها، دوربین های دیجیتال و تلفن های همراه با بازار جهانی با ارزش حدودی ده میلیون دلار مورد توجه قرار گرفته اند آنها همچنین یکی از کاندیدهای امیدوار کننده به عنوان منبع بزرگ انرژی (توان) برای وسایل نقلیه الکتریکی و شبکه های هوشمند در حال ظهور هستند زیرا آنها دارای مزایای مهم متعددی از قبیل تراکم انرژی بالا، تاثیر حافظه، عمر طولانی مدت و خود تخلیه شونده کمی می شوند [7]. باتری های لیتیوم - یون شامل سه جزء عملکردی از جمله آند (الکترودهای منفی)، کاتد (الکترودهای مثبت) و الکتrolیت (شکل ۱) می باشد. هنگامی که باتری تخلیه می شود یون های لیتیوم از آند به کاتد از طریق الکتrolیت غیر آبی حرکت می کند و جریان را حکم می کند [4,6]. در طی شارژ شدن یک منبع انرژی الکتریکی خارجی نیرو را به جریان در جهت معکوس منتقل می کند و یون های لیتیوم از کاتد به آند در برابر الکتrolیت مهاجرت می کنند [8]. جداساز بین آند و کاتد قرار دارد. در یک باتری لیتیومی عملکرد اصلی جداساز جلوگیری از تماس فیزیکی الکترودهاست در حالیکه به عنوان مخزن الکتrolیتی عمل می کند تا امکان انتقال یونی را فراهم کند. در این مقاله بررسی به بررسی جداسازها، ویژگی ها و الزامات آنها و همچنین میزان مصرف آنها در بازار جهانی باتری های لیتیوم یون قابل شارژ مورد استفاده در خودرو پرداخته شده است.

<sup>1</sup> Low self- discharge<sup>2</sup> Non- aqueous



شکل ۱. شماتیک اجزای باتری و نحوه انتقال یون‌ها [8]

## ۱- جداکننده‌ها<sup>۳</sup>

جداکننده‌های باتری، مواد مسطحی هستند که بین الکترودهای مثبت و منفی سلول باتری قرار می‌گیرند. عملکرد آن‌ها جلوگیری از تماس فیزیکی و اتصال کوتاه است. در عین حال آن‌ها باید یون‌ها را به آزادانه‌ترین شکل در الکترولیت بین الکترودها عبور دهند. این موضوع برای یکنواخت سازی شارژ و عملکرد سلول الکتروشیمیایی ضروری است. جداسازها معمولاً یک غشای پلیمری<sup>۴</sup> هستند که یک لایه میکرو متخلخل را تشکیل می‌دهند. این غشاها بایستی پایداری شیمیایی و الکتروشیمیایی با توجه به مواد الکترولیت داشته باشند. همچنین استحکام و پایداری مکانیکی کافی برای مقاومت در برابر تنش‌های بالا در طی ساخت باتری داشته باشند. به عبارتی مورفولوژی جداسازها و خواص عملکردی آن‌ها بر عملکرد باتری از جمله میزان انرژی و تراکم باتری، عمر چرخه و ایمنی آن تاثیر می‌گذارد [8].

### ۱-۱ تاریخچه جداکننده

در این بخش به بخش کوتاهی از تاریخچه باتری و جداسازها پرداخته شده است:

در سال ۱۸۰۰ دانشمند آلمانی Alessandro Volta برای اولین بار باتری را معرفی کرد. در سال ۱۸۶۰ باتری‌های سربی-اسیدی<sup>۵</sup> اختراع شدند و در سال ۱۸۸۰ با پیشرفت تکنولوژی به بازار معرفی شدند. در دهه ۱۹۶۰-۱۹۷۰ باتری‌های لیتیومی معرفی شدند که سه محقق Michael Armand، Robert Huggins، Stanley Wittgham در این زمینه کار کردند. در سال ۱۹۹۰ باتری‌های فلزی لیتیومی قابل شارژ معرفی شد و یک سال بعد یعنی در سال ۱۹۹۰ به باتری‌های لیتیوم یونی<sup>۶</sup> معروف شدند [9]. در جداکننده‌های پلیمری بر خلاف بسیاری از انواع تکنولوژی‌ها، جداسازهای پلیمری به طور خاص برای باتری‌های توسعه یافته نبودند. بنابراین با توجه به شرایط موجود آن زمان، از تکنولوژی‌هایی استفاده کردند که برای این مورد استفاده و بهینه نمی‌شد. حتی اگر این موضوع به نظر نامطلوب باشد اکثر جداسازهای پلیمری می‌توانند با هزینه کم تولید شوند. زیرا آن‌ها براساس اشکال موجود از فناوری‌ها

<sup>3</sup> Separator  
<sup>4</sup> Polymer membrane  
<sup>5</sup> Lead Acid  
<sup>6</sup> Lithium ion battery

هستند. Yoshino و همکارانش در شرکت Asahikasei (یکی از بزرگترین شرکت های صنعتی تولید محصولات غشایی)، در سال ۱۹۸۳ برای اولین بار، مواد اولیه باتری لیتیومی ثانویه (LIBs) را توسعه دادند. با این حال قبل از اینکه باتری های لیتیوم یونی بتوانند تولید انبوه شوند، نگرانی های امنیتی مانند گرمای بیش از حد و پتانسیل بیش از حد بایستی مورد توجه قرار گیرد. Yoshino یک جداساز غشایی پلی اتیلن میکرو متخلخل با عملکرد Fuse ایجاد کرد. در مورد تولید گرمای غیر طبیعی درون سلول باتری، جدا کننده مکانیسم خاموش شدن را فراهم می کند. تخلخل ها در اندازه میکرون توسط ذوب شدن بساه می شوند و جریان یونی متوقف می شود. در سال ۲۰۰۴ یک جداساز پلیمری الکترواکتیو با عملکرد حفاظت شارژ فوق العاده بالا اختراع شده بود و اولین بار توسط Denton و همکاران پیشنهاد شد [9].

## ۱-۲ انواع جدا کننده ها

در ساختار سل های باتری های لیتیوم یونی جداکننده ها بیشتر بر پایه پلی الفین<sup>۷</sup> می باشند و می توان آن ها را با توجه به فرآیند فیزیکی و فرآیند ساخت به ۵ گروه تقسیم کرد:

- Microporous membrane separators
- Modified micro porous membrane separators
- Non-woven mat separators
- Composite membrane separators
- Electrolyte membranes

که چند مورد از موارد بالا به صورت مختصر توضیح داده می شود:

### ۱-۲-۱ جداکننده های غشایی میکرو متخلخل

تخلخل در این غشاها در ابعاد میکرومتر می باشد. این غشاها با توجه به تعداد لایه هایشان می توانند در دو طبقه تک لایه و چند لایه قرار گیرند [10]

### ۱-۲-۲ جداکننده های غشایی میکرو متخلخل اصلاح شده

اصلاح در این جداکننده ها از طریق روش هایی نظیر پیوند دادن<sup>۸</sup> با استفاده از پلاسما و تابش یا پوشش با پلیمر مختلف اصلاح شده است [10]

### ۱-۲-۳ جداکننده های نمدی بافته نشده

این جداکننده ها دارای ساختار تار تار هستند که به صورت الیاف در هم تنیده توسط روش های ذوب ریخته گری<sup>۹</sup>، رطوبت و الکترورسی<sup>۱۰</sup> یکدیگر متصل شده اند. از آنجایی که این الیاف دارای قطرهای کوچک هستند، جداسازهای الیاف بافته نشده تخلخل بیشتر از سایر انواع جداسازها را نشان می دهد [10].

### ۱-۲-۴ جداکننده های غشای کامپوزیتی

این جداکننده ها توسط پوشش دهی یا پر کردن غشاهای میکرومتخلخل یا نمد بافته نشده با مواد معدنی تهیه می شوند. بنابراین این جداسازها دارای پایداری حرارتی فوق العاده هستند که سایر انواع این جداکننده ها نمی توانند به آن دست یابند [10].

<sup>7</sup> Polyolefin

<sup>8</sup> Grafting

<sup>9</sup> Melt blow

<sup>1</sup> Wet laid

<sup>1</sup> Electrospinning

0

1

## ۱-۲-۵ جداکننده‌های الکترولیتی

این بخش شامل الکترولیت سرامیکی جامد، الکترولیت پلیمری جامد، الکترولیت پلیمر ژل و الکترولیت کامپوزیت است. این موارد به عنوان جداکننده و الکترولیت عمل می‌کنند و ایمنی باتری را بالا می‌برند [10].

## ۱-۳ ویژگی‌های جداکننده‌ها

جداکننده‌ها باید ویژگی‌های مکانیکی، فیزیکی و شیمیایی زیادی داشته باشند تا قادر باشند کار خود را انجام دهند [8,10]

جدول ۱. ویژگی‌های جداکننده باتری‌های خودرو [7,9]

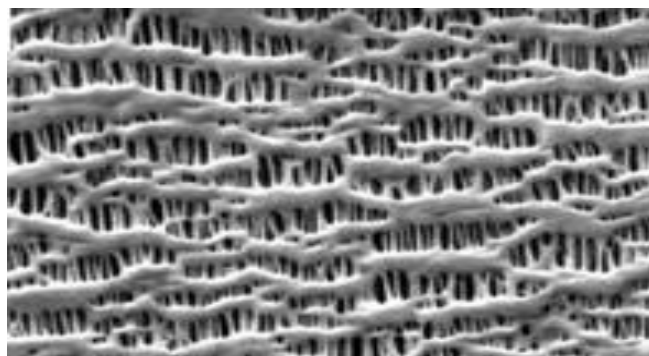
پارامترها	محدوده پذیرش
ضخامت	۳۰-۴۰ μm
مقاومت الکتریکی	< ۸
سایز حفرات	< ۱
تخلخل	۴۰٪
استحکام کششی	< ۲٪
جمع شدگی	< ۵٪
پایداری شیمیایی	مدت زمان طولانی

## ۱-۴ تکنولوژی و فناوری جداکننده

در سلول‌های لیتیوم یون جداکننده‌های باتری عمدتاً از جنس پلی الفین‌ها هستند که در آن‌ها به وسیله یک فرآیند فیزیکی منفذهای بسیار ریزی در حد میکرون ایجاد شده است. فرآیند تولید جداکننده‌های باتری را می‌توان به دو گروه تقسیم کرد: روش خشک<sup>۱</sup>، روش تر<sup>۲</sup> [9].

### ۱-۴-۱ روش خشک

در این فرآیند از پلی الفین به صورت گرانول استفاده می‌شود. این گرانول‌ها ذوب شده و سپس عملیات اکسترودر انجام می‌شود. پس از انجام اکسترودر مواد تحت کشش سرد قرار گرفته و فقط در یک جهت کشیده می‌شوند تا در سطح فیلم شکاف‌هایی ایجاد شود (شکل ۲). پس از انجام عملیات فیلم‌های پلیمری جداکننده که دارای حفره می‌باشند برش زده می‌شوند [9].



شکل ۲. شماتیک جداکننده به روش خشک [8]

<sup>1</sup> Dry method

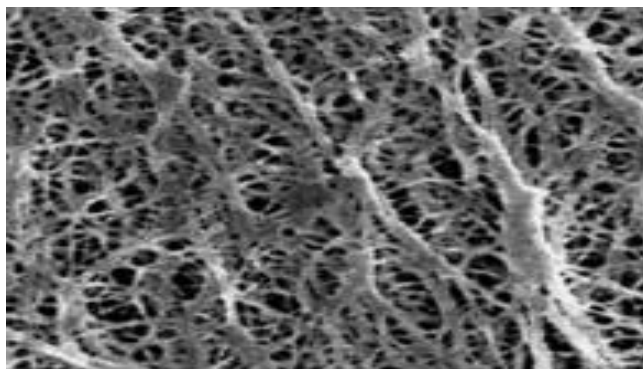
2

<sup>1</sup> Wet method

3

## ۲-۴-۱ روش تر

در این فرآیند، علاوه بر پلی الفین از مواد حفره ساز دیگری نظیر روغن های معدنی استفاده می شود. در این روش پلیمر مصرفی به صورت پودری می باشد که با مواد حفره ساز ترکیب شده و پس از اکستروژن شدن و تشکیل فیلم پلیمری در دو جهت عمود بر هم کشیده می شوند و وارد حمام حلال شده تا مواد حفره ساز (که اغلب واکس و روغن های معدنی) هستند خارج شده و به جای آنها حفرات تشکیل شوند (شکل ۳) [9].



شکل ۳. شماتیک جداکننده به روش تر [9]

## ۲- چشم انداز

نوعی از جداکننده های متداول باتری های لیتیوم- یون، غشاهای پلی الفین هستند که در بازار اغلب کاربردهای مصرفی استفاده می شوند. تعداد قابل توجهی از شرکت های جهان در حال حاضر به شدت در حال توسعه و فناوری های جدید برای اجرای الزامات ایمنی ترکیبات سلول های لیتیوم- یون بزرگ بدون افزایش هزینه های طراحی و هزینه های مواد هستند و این جداکننده ها جزو کاربردهای ایمن کننده باتری های لیتیوم یون به شمار می روند و روند قابل توجهی را در بازارهای جهانی به خود اختصاص داده اند [9, 11].

## مراجع

1. Daniel C, Besenhard JO, "Handbook of battery materials", Wiley-VCH, 2011.
2. Reddy TB, "Linden's handbook of batteries", McGraw-Hill Professional, 2010.
3. Yoshio M, Brodd RJ, Kozawa, A " Lithium-ion batteries science and technologies", Springer, 2009.
4. Huggins RA "Advanced batteries: materials science aspects", Springer 2009.
5. Nazri G-A, Balaya P, Manthiram A, Yang Y "Advanced lithium-ion batteries. New materials for sustainable energy and development", Wiley-VCH, 2014.
6. Candice F. J. Francis, Ilias L. Kyratzis, Adam S. Best "Lithium-Ion Battery Separators for Ionic-Liquid Electrolytes: A Review", Wiley 2020.
7. Park J-K "Principles and applications of lithium secondary batteries", Wiley-VCH, 2012.
8. H. Lee, M. Yanilmaz, O. Toprakci, K. Fu and X. Zhang, "A review of recent developments in membrane separators for rechargeable lithium-ion batteries" Energy & Environmental Science 2014.
9. R. Korthauer, "Lithium ion battery: basics and applications", Springer, 2018

10. P.Arora, Z. John, "Battery Separators", Chemical Reviews, 2004.
11. A. Heidari, H. Mahdavi " Recent Development of Polyolefin-Based Microporous Separators for Li Ion Batteries: A Review", Wiley, 2019.