

## باتری‌های لیتیوم یونی: چشم انداز فناوری های حال، آینده و هیبرید شده

## چکیده

باتری‌های لیتیوم-یون<sup>۱</sup> (LIBs) به دلیل چگالی انرژی بالا، خاصیت خودتخلیه‌کنندگی کم، اثر حافظه تقریباً صفر، ولتاژ مدار باز بالا و طول عمر طولانی همچنان به‌عنوان یک فناوری ذخیره انرژی امیدوارکننده توجه زیادی را به خود جلب می‌نمایند. به‌طور خاص، باتری‌های لیتیوم-یون با چگالی بالا به‌عنوان منبع انرژی ایده‌آل برای خودروهای الکتریکی<sup>۲</sup> (EVs) و وسایل نقلیه الکتریکی هیبریدی<sup>۳</sup> (HEVs) در صنایع خودروسازی در سال‌های اخیر در نظر گرفته شده است. این بررسی جنبه‌های کلیدی فناوری باتری فعلی و آینده را بر اساس کارکرد الکتروود مورد بحث قرار می‌دهد. سپس در مورد چگونگی تکامل باتری‌های لیتیوم-یون در ظرفیت شارژ بالا و پایداری الکتروود برای پاسخگویی به تقاضای رو به رشد بحث و بررسی گردیده است. همچنین در این بررسی، گزارشی از یک دستگاه انرژی مستقل (سیستم خارج از شبکه<sup>۴</sup>) که فناوری برداشت انرژی را با باتری لیتیوم-یون ترکیب می‌نماید، نیز ارائه شده است. بحث اصلی در سه منظر از جمله تکامل از LIBهای معمولی به پیشرفته (به‌عنوان مثال، باتری‌های اکسید فلز<sup>۵</sup> واسطه غنی از لیتیوم و اکسید فلز واسطه غنی از نیکل)، به LIBهای پیشرفته (مثلاً، باتری‌های<sup>۶</sup> Li-Air،<sup>۷</sup> Li-Sulfur، باتری‌های الکتروود آلی، باتری‌های حالت جامد و باتری‌های<sup>۸</sup> Li-CO<sub>2</sub> و به LIBهای هیبرید شده (مانند باتری‌های پروسکایت متال هالید<sup>۹</sup>) تفکیک شده است.

## نتیجه‌گیری و چشم انداز آینده

تکامل باتری‌های لیتیوم-یون به شدت بر توسعه کارکرد الکتروودها تکیه دارد. با وجود اینکه بررسی فعلی تعداد محدودی از انواع الکتروود را پوشش می‌دهد، مطالعات مطمئناً به چشم‌انداز جامع پیشرفت فناوری‌های باتری می‌افزایند. در دوره اولیه، رده‌های مختلفی از مواد الکتروود مانند الیوین<sup>۱۰</sup>، اسپینل<sup>۱۱</sup> و مواد لایه‌ای پیشنهاد گردیده

<sup>1</sup> Lithium – ion batteries (LIBs)

<sup>2</sup> Electric vehicles (EVs)

<sup>3</sup> Hybrid electric vehicles (HEVs)

<sup>4</sup> off-grid system

<sup>5</sup> Metal oxide batteries

<sup>6</sup> Lithium – air batteries

<sup>7</sup> Lithium – sulfur batteries

<sup>8</sup> Lithium-carbon dioxide batteries

<sup>9</sup> Metal halide perovskite batteries

<sup>10</sup> Olivine

<sup>11</sup> Spinel

است. این طبقه‌بندی بر اساس نوع مسیرهای انتشار یون لیتیوم<sup>۱۲</sup> ( $\text{Li}^+$ ) به جای ترکیبات شیمیایی می‌باشد. از زمان تجاری سازی موفقیت آمیز  $\text{LiCoO}_2$ ، توسعه باتری‌های متعادل در ظرفیت تخلیه، پایداری حرارتی، حفظ ظرفیت و طول عمر به موضوع اصلی تحقیقات باتری تبدیل گردیده است. این امر منجر به توسعه کاتد اکسید فلز انتقالی مخلوط شده (به عنوان مثال  $\text{NMC}^{14}$ ) گردید که می‌تواند مزایای هم‌افزایی را نسبت به یک کاتد فلز واسطه ایجاد نماید. با این حال، تقاضای رو به رشد برای باتری‌های لیتیوم-یون برای عملکرد با ظرفیت‌های تخلیه بالاتر و تعداد چرخه‌های طولانی‌تر، علاقه‌مندی مجدد به طراحی الکترود  $\text{NMC}$  موجود را تشدید نموده است. توسعه کاتد اکسید لایه‌ای غنی از لیتیوم (یا دارای لیتیوم مازاد)، اغلب به عنوان  $x\text{Li}_2\text{MnO}_3(1-x)\text{LiTO}_2$  ( $\text{T} = \text{Mn, Ni, Co}$ ) ذکر می‌شود، به دلیل ظرفیت تئوری برتر (بیشتر از 250 میلی آمپر بر ساعت) با ولتاژ عملیاتی بالا (بیشتر از 4/6 ولت در مقابل  $\text{Li}^0$ ) توجه زیادی را به خود جلب نموده است. همانطور که بحث شد، منشأ ظرفیت شارژ بالایی که در این سیستم باتری است را می‌توان با ادغام کلاً بین (001) سطوح از  $\text{Li}_2\text{MnO}_3$  و (003) سطوح از  $\text{LiTO}_2$  با فاصله بین لایه ای حدود 4/7 انگستروم توسط لایه های فشرده<sup>۱۵</sup> توضیح داد. به سادگی، این امر می‌تواند به‌عنوان کاتد  $\text{NMC}$  با تقویت کننده  $\text{Li}^+$  توسط  $\text{Li}_2\text{MnO}_3$  در نظر گرفته شود. توسعه کاتد اکسید فلز واسطه غنی از لیتیوم  $\text{T}$  شامل تغییرات ترکیبی و ساختاری مواد معمولی می‌باشد. بازارهای رو به رشد وسایل نقلیه الکتریکی (EVs و HEVs) اکنون به شدت به دنبال منابع انرژی با چگالی انرژی بالاتر هستند. در این راستا، باتری‌های اکسید لایه‌ای غنی از  $\text{Ni}$  به دلیل ظرفیت تخلیه بالای آن (حدود 220 میلی آمپر ساعت) احتمالاً یک راه‌حل امیدوارکننده برای پاسخگویی به تقاضای فوری هستند. تغییرات اکسیداسیون دو مرحله‌ای بین  $\text{Ni}^{2+}/\text{Ni}_3$  و  $\text{Ni}^{3+}/\text{Ni}_4$  به‌طور قابل توجهی به مکانیسم جبران بار کمک می‌نماید و بنابراین زمانی که کاتد  $\text{NMC}$  حاوی غلظت بالاتری از نیکل باشد، می‌توان به ظرفیت‌های اضافی دست پیدا نمود. اگرچه ویژگی ظرفیت بالا از  $\text{LiNiO}_2$  معمولی مشتق شده است، اما در مطالعات اخیر تلاش نموده‌اند تا نسبت استوکیومتری دقیق و بهینه بین نیکل (غلظت بالا)، منگنز و منواکسید کربن را برای ایجاد یک باتری با کارایی بالا، پایداری بهبود یافته و یا قابلیت با نرخ خوب پیدا نمایند. بنابراین، در این مقاله، ظهور اکسیدهای لایه‌ای غنی از لیتیوم و نیکل به‌عنوان تکامل اولیه در جهت فناوری‌های پیشرفته برای باتری‌های لیتیوم-یون با انرژی و چگالی نیروی بالا در نظر گرفته می‌شود. با این حال، اشکالات مهمی نیز در این سیستم‌های باتری وجود دارد. باتری‌های اکسید

<sup>12</sup> Lithium- ionic

<sup>13</sup> Lithium-cobalt-oxide ( $\text{Li}_x\text{CoO}_2$ , Cathode active material)

<sup>14</sup> Nickle- manganese-cobalt (Cathode active material)

<sup>15</sup> Interleaving of close-packed layers

لایه‌ای غنی از لیتیوم در طول چرخه اولیه دچار کاهش ظرفیت غیرقابل برگشت می‌شوند. در یک ولتاژ قطع شده<sup>۱۶</sup> بالاتر (4/5 ولت)، لیتیا<sup>۱۷</sup> ( $\text{Li}_2\text{O}$ ) از  $\text{Li}_2\text{MnO}_3$  با تبدیل فاز استخراج می‌شود، که این امر منجر به محو شدن ظرفیت چشمگیر در طول چرخه شارژ و تخلیه بعدی می‌گردد. همچنین، باتری‌های اکسید لایه‌ای غنی از نیکل متحمل از تخریب الکتروود توسط واکنش‌های رداس<sup>۱۸</sup> ناخواسته با الکتروولیت هستند. بازسازی سطح یا خوشه‌بندی<sup>۱۹</sup> توسط  $\text{NiO}^{20}$  در محدوده‌های ولتاژ بالاتر یکی دیگر از مشکلات اساسی است که باید به آن پرداخته شود. مهندسی مواد فعال با دیگر جایگزین‌های فلزات واسطه یا با استفاده از پوشش‌های سطحی احتمالاً در بهبود عملکرد و پایداری باتری مفید واقع می‌شود. علاوه بر این، جایگزینی الکتروولیت معمولی با الکتروولیت طراحی شده خاص می‌تواند یک راه‌حل معقول برای کاهش تجزیه الکتروولیت تهاجمی در ولتاژ کاری بالا باشد. با این حال، برخی از محدودیت‌های ذاتی به طور مداوم باقی می‌مانند و از استفاده‌ی آنها برای باتری‌هایی با ظرفیت بالا جلوگیری می‌نمایند. از این‌رو، یک فناوری مواد جایگزین، به‌عنوان مثال، الکتروودهای تبدیلی<sup>۲۱</sup> در یک سال اخیر تجدید شده است. این مفهوم قدیمی (شیمی) دوباره در حال ترقی است و منجر به توسعه فناوری‌های ذخیره انرژی جدید مانند باتری‌های  $\text{Li-Sulfur}$ ،  $\text{Li-Air}$  و  $\text{Li-CO}_2^{22}$  می‌گردد. این مسئله به‌عنوان تحولی در فناوری‌های پیشرفته برای باتری‌های لیتیوم-یون شناخته می‌شود. با توجه به مکانیسم تبدیل، ظرفیت تخلیه و چگالی انرژی به‌طور چشمگیری افزایش می‌یابد. با این حال، موانع فنی نیز وجود دارد که تجاری سازی موفقیت‌آمیز این برنامه‌ها را محدود می‌نماید، موانعی از قبیل پتانسیل بیش از حد ( $\text{Li-Air}$  و  $\text{Li-CO}_2$ )، اثر شاتلینگ<sup>۲۳</sup> (لیتیوم-گوگرد)، توانایی سرعت ناچیز، مقاومت در فاز بالا (باتری‌های حالت جامد) و عمر چرخه کم می‌باشد.

همچنین تکامل فناوری‌های باتری لیتیوم-یون به سمت خودکفایی در حال پیش‌بینی می‌باشد، به عبارت دیگر، یک سیستم انرژی مستقل (یا خارج از شبکه) برای دستگاه‌های الکترونیکی اتومات اخیراً توجه زیادی را به خود جلب نموده است. مزیت اصلی استفاده از این فناوری، راندمان انرژی بالا با توان قابل اطمینان و هزینه مناسب است که منجر به تامین برق در مکان‌های دور دست می‌گردد. باتری‌های فوتو- قابل شارژ<sup>۲۴</sup> نمونه خوبی از سیستم

<sup>16</sup> Cut-off

<sup>17</sup> Lithia ( $\text{Li}_2\text{O}$ )

<sup>18</sup> Redox reactions

<sup>19</sup> Surface reconstruction or clustering

<sup>20</sup> Nickel oxide

<sup>21</sup> Conversion electrodes

<sup>22</sup> Lithium-Carbon Dioxide Battery

<sup>23</sup> Shuttling effect

<sup>24</sup> Photo-rechargeable batteries

انرژی مستقل هستند، زیرا مواد حاصل شده از انرژی را با مواد ذخیره انرژی ترکیب می‌نمایند. یک عامل کلیدی که منجر به توسعه موفقیت‌آمیز دستگاه مستقل می‌شود، ادغام یکپارچه منبع تغذیه (به عنوان مثال الکتروود باتری) در برنامه است. پروسکایت ارگانوهالید<sup>25</sup> (به عنوان مثال  $\text{CH}_3\text{NH}_3\text{PbBr}_3$  و  $\text{CH}_3\text{NH}_3\text{PbI}_3$ ) به عنوان یک ماده فتوولتائیک امیدوار کننده برای سل‌های خورشیدی ظهور نموده است. با این حال، هنگامی که تلاشی برای ترکیب پروسکایت ارگانو هالید با جزئی از باتری بدون در نظر گرفتن تراز سطح انرژی شامل نوار رسانایی، نوار ظرفیت، سطح فرمی و عملکرد کار بین الکتروودها انجام شود، ممکن است مشکل ایجاد گردد. هیبریداسیون موفق با باتری‌های لیتیوم-یون به سازگاری خوب بین مواد فعال وابسته می‌باشد.

بررسی حال حاضر تحولات کلیدی را نشان داده است که فناوری‌های باتری لیتیوم-یون را رو به جلو هدایت می‌نمایند. تحقیقات برای اعمال فشار روی محدودیت‌های چگالی انرژی، چگالی توان، قابلیت نرخ، پایداری، ایمنی و هزینه ادامه خواهد یافت. از سوی دیگر، ادغام مستقیم جزء ذخیره‌سازی انرژی برای دستگاه مستقل، روند جدیدی در فناوری‌های باتری خواهد بود. به امید اینکه این بررسی بتواند بینش‌های کلیدی در مورد توسعه نسل بعدی باتری‌های لیتیوم-یون را ارائه نماید.

## Reference

Kim T, Song W, Son DY, Ono LK, Qi Y. Lithium-ion batteries: outlook on present, future, and hybridized technologies. *Journal of materials chemistry A*. 2019;7(7):2942-64.

---

<sup>25</sup> Organohalide perovskite