پژوهشگاه نیرو

NRI-ER-772-PEAPN16-00-F

بررسی باتری خودروهای برقی در گذشته و حال و نیازپژوهی

استفاده از باتری‌ها برای خودروهای برقی در ۲۰ سال آینده



مدیر پروژه: سهیلا دلیریان

مجری: محمد اسکویی

DOI: 10.30503/nripress.2020.314


بسم الله الرحمن الرحيم

بررسی باتری خودروهای برقی در گذشته و حال و نیازپژوهی استفاده از باتری‌ها برای خودرو برقی در ۲۰ سال آینده

مدیر پروژه:

سهیلا دلیریان

مجری:

محمد اسکویی

انتشارات پژوهشگاه نیرو

۱۴۰۰

کد گزارش: NRI-ER-772-PEAPN16-00-F

DOI: 10.30503/nripress.2020.314

ایران. وزارت نیرو. پژوهشگاه نیرو. مرکز توسعه فناوری خودروی برقی

بررسی باتری خودروهای برقی در گذشته و حال و نیازپژوهی استفاده از باتری‌ها برای خودرو برقی در ۲۰ سال آینده/ مدیر پروژه: سهیلا دلیریان. کارفرما: پژوهشگاه نیرو، ۱۴۰۰.

۴۶۵ ص.: مصور، نمودار، جدول

۱. نام خانوادگی دلیریان، نام، همکار/همکاران پروژه. ۲. نام خانوادگی، نام، مجری. ۳. نام ویراستار ۴. محور/ محورهای اصلی پروژه. ۵. محور/ محورهای فرعی پروژه.

انتشارات پژوهشگاه نیرو

مرکز توسعه فناوری خودروی برقی

کلیه حقوق قانونی این اثر متعلق به پژوهشگاه نیرو است.

نشانی: تهران،شهرک‌غرب،انتهای‌بلوارشهیددادمان،پژوهشگاه‌نیرو، کدپستی: ۱۴۶۸۶۱۳۱۱۳

تلفن: ۹-۸۸۰۷۹۴۰۱

نمابر: ۸۸۰۷۸۲۹۶

وبگاه: www.nri.ac.ir

پست الکترونیک انتشارات: publications@nri.ac.ir

فرم تعهدنامه اصالت اثر

اینجانب سهیلا دلیریان متعهد می‌شوم که مطالب مندرج در این گزارش حاصل کار پژوهشی اینجانب و همکاران به شرح زیر است و به دستاوردهای پژوهشی دیگران که در این پژوهش از آن استفاده شده است، مطابق مقررات ارجاع و در فهرست منابع و مآخذ ذکر گردیده است.

کلیه حقوق مادی و معنوی این اثر متعلق به پژوهشگاه نیرو است.

پیشگفتار

بهبود فناوری‌های ذخیره سازی انرژی تأثیر مستقیم و عمیقی بر روی جنبه‌های مختلف و متعددی از وضعیت دنیای امروز داشته است. در این بین باتری‌های لیتیم یون به دلیل قابلیتهای بالای خود توانسته‌اند با سرعت بالایی رشد کرده و در کاربردهای متعددی نقشی مهم را ایفا کنند. با اینحال محققان پیش‌بینی می‌کنند که این فناوری در حال نزدیک شدن به مرزهای خود بوده و در سالهای آینده امکان بهبود بیشتر برای آن میسر نیست. از دیگر سو باتری‌های فعلی در بسیاری از کاربردها، جوابگوی تقاضای روزافزون مصرف‌کنندگان مرتبط با صنعت برق نبوده و نیازمند بررسی بیشتر هستند. از همین رو تلاش برای دستیابی به فناوری‌های جایگزین در سطح وسیعی در حال پیگیری است. در این گزارش به صورت کلی برخی از اصلی‌ترین فناوری‌های جایگزین که با عنوان باتری‌های پسا لیتیم یون شناخته می‌شوند، معرفی شده و نقاط ضعف و قوت و همچنین برخی از روشهایی که برای رفع مشکلات آنها در حال پیگیری است، آورده شده است. در نهایت نیز این فناوری‌ها با یکدیگر مقایسه شده و بر اساس زمان احتمالی ورود به بازار دسته‌بندی شده‌اند. در مجموع پیش‌بینی می‌شود تا قبل سال ۲۰۳۰ حداقل یکی از این فناوری‌ها در سطح گسترده وارد بازار شود که در این صورت تحولات وسیعی در حوزه‌های انرژی، صنعت برق و خودروهای برقی به وجود خواهد آمد.

گزارش حاضر چکیده فعالیت‌های صورت گرفته در اولین گام پروژه "بررسی باتری خودرو های برقی در گذشته و حال و نیازپژوهی استفاده از باتری‌ها برای خودرو برقی در ۲۰ سال آینده" است که با عنوان مرحله اول: بررسی و مرور شرکتهای سازنده باتری خودرو برقی در دنیا، ارائه می گردد. در اینجا از زحمات همکاران پرتلاشم آقایان دکتر معبودی، دکتر سیدین و مهندس دهقان که اینجانب را در گردآوری و تهیه این گزارش یاری نمودند تشکر ویژه دارم. همچنین از مجری محترم آقای مهندس اسکویی و نماینده گرامی ایشان سرکار خانم مهندس علی بخشی به جهت هدایت و راهنمایی ازرنده شان قدردانی می گردد.

سهیلا دلیریان

مدیر پروژه

فهرست مطالب

فصل اول: بررسی و مرور شرکت‌های سازنده باتری خودروبرقی در دنیا ۱

۱-۱- مقدمه ۱

۱-۲- اصول کارکرد باتریها ۲

۱-۳- باتری‌های لیتیم یون ۴

۱-۴- مطالعه و شناسایی شرکتهای معروف و مطرح سازنده باتری خودروهای برقی در سطح دنیا ۷

۱-۴-۱- میزان فروش شرکت‌های مطرح در زمینه باتری خودرو برقی بر حسب MWh ۸

۱-۵- باتری‌های نسل آینده ۹

۱-۵-۱- باتری‌های آند سیلیکون ۱۰

۱-۵-۲- باتری‌های لیتیم فلز ۱۳

۱-۵-۳- باتری‌های حالت جامد ۱۴

۱-۵-۴- باتری‌های لیتیم سولفور ۱۶

۱-۵-۵- باتری‌های لیتیم هوا ۱۹

۱-۵-۶- باتری‌های غیر لیتیمی ۲۱

۱-۵-۷- مقایسه بین فناوری‌ها ۲۳

۱-۶- نقشه راه کشورهای توسعه یافته و پتانسیل برای توسعه فناوری باتری ۲۴

۱-۶-۱- برنامه کشورهای مختلف در خصوص باتریهای فلز- هوا ۲۵

۱-۶-۲- برنامه آمریکا [۲۷] ۲۷

۱-۶-۳- ژاپن ۲۸

۱-۶-۴- اروپا ۲۹

۱-۶-۵- کره جنوبی ۳۰

۱-۶-۶- فاصله تا بازار ۳۱

۱-۷- شناسایی وضعیت و پتانسیل موجود در داخل کشور ۳۳

۱-۷-۱- اطلاعات کلی در زمینه کارخانه های تولید کننده باتری در کشور ۳۳

۱-۷-۲- خلاصه ای از وضعیت تولید باتری در کشور ۳۷

۱-۷-۳- فعالیت مراکز و موسسات آموزشی پژوهشی در خصوص باتری خودرو برقی در کشور ۳۸

۸-۱- نتیجه‌گیری ۴۲
۱-۱- منابع ۴۴
۲- فصل دوم: شناسایی و بررسی ساخت انواع باتری‌های مورد مصرفخودروهای برقی در گذشته و حال ۴۷
۱-۲- مقدمه ۴۷
۲-۲- بررسی پتنت‌های داخلی و خارجی در حوزه باتری خودرو برقی ۴۷
۱-۲-۲- پتنت‌های داخلی ۴۷
۲-۲-۲- پتنت‌های خارجی ۴۹
۳-۲- بررسی و تحلیل پتنت ۵۲
۱-۳-۲- روند افزایشی درخواست ثبت اختراع ۵۳
۲-۳-۲- توزیع جغرافیایی ۵۴
۳-۳-۲- مالکان بیش‌ترین پتنت‌ها ۵۵
۴-۳-۲- برترین مخترعان ۵۵
۵-۳-۲- طبقه‌بندی پتنت CPC ۵۶
۶-۳-۲- پر استنادترین پتنت‌ها ۵۸
۷-۳-۲- پر استنادترین پتنت ۵۹
۸-۳-۲- پتنت‌های مربوط به باتری‌های برگزیده ۶۰
۹-۳-۲- جمع‌بندی تحلیل پتنت ۶۴
۴-۲- استانداردهای باتری خودروهای برقی ۶۵
۱-۴-۲- موضوع استاندارد ۶۶
۲-۴-۲- آزمون‌های عملکردی ۶۷
۵-۲- ظرفیت، حجم و وزن پکیج باتری‌های مورد استفاده در انواع خودروهای برقی ۶۹
۱-۵-۲- بی ام دبلیو (BMW): ۷۲
۲-۵-۲- نیسان (Nissan Leaf) و شورلت (Chevy Bolt) ۷۴
۳-۵-۲- شرکت تسلا ۷۵
۶-۲- روش‌های آزمون باتری‌های خودرو برقی ۷۷
۱-۶-۲- آزمون عملکرد (کارایی) باتری خودرو برقی ۷۸
۷-۲- آزمایشگاه‌های مرتبط با حوزه باتری ۹۶
۱-۷-۲- آزمایشگاه صبا باتری (توان) ۹۶

۲-۷-۲- آزمایشگاه باتری پژوهشکده خودرو دانشکده فنی دانشگاه تهران ۹۸
۳-۷-۲- آزمایشگاه باتری دانشگاه خواجه نصیرالدین طوسی ۹۸
۴-۷-۲- آزمایشگاه باتری دانشگاه علم و صنعت ایران ۹۹
۵-۷-۲- آزمایشگاه باتری صنایع انفورماتیک ۹۹
۶-۷-۲- آزمایشگاه باتری سینا آزمای بندر ۱۰۰
۷-۷-۲- آزمایشگاه باتری پژوهشگاه فضایی ایران ۱۰۰
۸-۷-۲- مجتمع آزمایشگاهی چرخه طبیعت سبز ۱۰۱
۹-۷-۲- آزمون‌های باتری شرکت مهندسی ثمین افزار ۱۰۱
۱۰-۷-۲- آزمایشگاه‌های باتری پژوهشگاه مواد و انرژی ۱۰۲
۸-۲- جمع‌بندی ۱۰۲
۳- فصل سوم: مطالعه برنامه‌ریزی‌های انجام شده در کشور در خصوص باتری خودروهای پیشرفته در افق ۲۰ ساله ۱۰۴
۱-۳- تاریخچه استفاده از باتری خودروها ۱۰۴
۲-۳- ویژگی‌های مورد انتظار باتری خودروهای برقی جدید ۱۰۴
۱-۲-۳- بررسی روند قیمت باتری‌ها ۱۰۵
۲-۲-۳- دمای بهره‌برداری باتری ۱۰۶
۳-۲-۳- بازیافت مواد اولیه باتری‌ها ۱۰۷
۳-۳- باتری‌های متداول ۱۰۹
۱-۳-۳- باتری‌های سرب-اسید ۱۰۹
۲-۳-۳- باتری‌های نیکل-کادمیم ۱۱۰
۳-۳-۳- باتری‌های نیکل-متال هیدرید ۱۱۰
۴-۳-۳- باتری‌های لیتیم-یون ۱۱۰
۵-۳-۳- باتری‌های لیتیم-پلیمر ۱۱۱
۶-۳-۳- ابرخازن‌ها ۱۱۱
۷-۳-۳- باتری سدیمی ۱۱۳
۴-۳- آینده فناوری باتری‌های خودرو برقی ۱۱۶
۱-۴-۳- باتری پیشرفته نیکل-آهن ادیسون ۱۱۶
۲-۴-۳- باتری پیشرفته سرب-اسید ۱۲۰
۳-۴-۳- باتری لیتیم-یون حالت جامد ۱۲۱

۴-۴-۳- باتری‌های نانوسیم طلا ۱۲۱
۵-۴-۳- باتری‌های گرافین ۱۲۲
۶-۴-۳- میکروابرخازن‌ها ۱۲۳
۷-۴-۳- باتری‌های فلز هوا ۱۲۳
۵-۳- ویژگی‌های باتری‌ها ۱۲۵
۶-۳- مقایسه‌ی ویژگی‌های باتری‌ها ۱۲۶
۱-۶-۳- هدف‌گذاری برای مشخصات و ویژگی‌های باتری‌های مورد نیاز در خودرو برقی ساخت داخل ۱۲۸
۲-۶-۳- الزامات و چالش‌های تولید خودروهای برقی در ایران ۱۳۱
۳-۶-۳- برنامه شرکتهای خودروساز فعال در زمینه استفاده از باتری فلز- هوا ۱۳۳
۷-۳- بررسی برنامه‌های کشورهای مطرح در زمینه باتری خودروهای برقی ۱۳۷
۱-۷-۳- فن‌آوری باتری و هزینه آن ۱۳۷
۲-۷-۳- خودرو برقی در چین (۲۰۱۸) ۱۳۹
۳-۷-۳- خودرو برقی در کره (۲۰۱۲) ۱۴۰
۴-۷-۳- خودرو برقی در آمریکا ۱۴۰
۵-۷-۳- چشم انداز بهبود فناوری باتری خودرو برقی [۹] ۱۴۲
۶-۷-۳- خودرو برقی باتری‌دار و خودرو برقی هیبریدی پلاگین ایرلند تا سال ۲۰۵۰ ..... ۱۴۲
3-7-7- حمل و نقل برقی در آلمان، چشم انداز ۲۰۲۰ و فراتر از آن [۱۰] ۱۴۳
۸-۷-۳- نقشه راه استفاده از خودرو برقی در سنگاپور ۱۴۴
۹-۷-۳- نقشه راه باتری خودرو برقی مربوط به کشور بلژیک [۱۲] ۱۴۵
۱۰-۷-۳- برنامه ژاپن برای ارتقاء خودروهای برقی در آینده ۱۴۸
۸-۳- باتری لیتیوم یون ۲۰۱۵، برنامه ریزی وزارت فدرال آموزش و پژوهش ۱۴۸
۱-۸-۳- باتری‌ها ۱۴۸
۲-۸-۳- باتری سرچشمه فناوری (نمونه‌های انتخابی) ۱۴۹
۹-۳- نقشه راه آژانس بین المللی انرژی در خصوص خودروهای برقی و پلاگین تدوین شده در 2011 ..... ۱۵۲
3-10- نقشه راه‌های فناوری باتری خورو برقی در دنیا [۱۳] ۱۵۲
3-10-1- تراکم انرژی ۱۵۳
۲-۱۰-۳- هزینه ۱۵۴
۳-۱۰-۳- تراکم توان ۱۵۵

۴-۱۰-۳- طول عمر ۱۵۵
۵-۱۰-۳- باتری‌های خودروبرقی پلاگین هیبرید ۱۵۶
۶-۱۰-۳- تاثیرات احتمالی ۱۵۶
۱۱-۳- چشم انداز تحقیق و توسعه باتری خودرو در چین، آلمان، ژاپن و ایالات متحده آمریکا [15] ۱۵۷
۱-۱۱-۳- بازیافت ۱۶۲
3-11-2- برنامه‌ریزی برای تعیین نوع و مواد تشکیل‌دهنده باتری ۱۶۳
۱۲-۳- نقشه راه، مفهوم فناوری و تولید خودرو برقی در اروپا، در سال ۲۰۱۱ ..... ۱۶۵
۱۳-۳- باتری‌های فلز –هوا ۱۶۸
۱-۱۳-۳- بازار حال وآینده باتری‌های فلز-هوا ۱۶۸
جمع‌بندی ۱۶۹
۲-۱۳-۳- دلایل استفاده از باتری‌های فلز-هوا ۱۶۹
۳-۱۳-۳- معرفی باتری فلز هوا ۱۷۲
۴-۱۳-۳- آند باتری فلز- هوا ۱۷۲
۱۴-۳- باتری روی-هوا ۱۷۹
۱-۱۴-۳- ساختار باتری روی- هوا ۱۸۰
۲-۱۴-۳- ویژگی‌های باتری روی- هوا ۱۸۱
۳-۱۴-۳- بررسی اجزا ۱۸۲
۱۵-۳- باتری لیتیم هوا ۱۹۵
3-15-1- تاریخچه ۱۹۶
۲-۱۵-۳- باتری‌های لیتیم- هوا آپروتیک ۱۹۸
۳-۱۵-۳- باتری‌های لیتیم-هوا با الکترولیت آبی ۲۰۰
3-15-4- باتری‌های لیتیم-هوا با ساختار هیبریدی (مخلوطی از آبی و آپروتیک) ۲۰۱
3-15-5- باتری‌های لیتیم-هوا با الکترولیت جامد ۲۰۲
۶-۱۵-۳- الکترو آند ۲۰۳
۷-۱۵-۳- مزایا و معایب انواع باتری‌های لیتیم – هوا ۲۰۴
۸-۱۵-۳- چالشهای باتری لیتیم–هوا ۲۰۵
۹-۱۵-۳- شرکت‌ها و موسسات فعال در زمینه باتری لیتیم–هوا ۲۱۰
۱۶-۳- باتری آلومینیم-هوا ۲۱۳

۱-۱۶-۳- خوردگی آلومینیوم wt% ۹۹/۹۹۹ در محلول‌های قلیایی ۲۱۵
۲-۱۶-۳- انتخاب الکترولیت برای باتری‌های آلومینیوم-هوا ۲۱۵
۳-۱۶-۳- آلیاژهای آلومینیوم ۲۱۶
۴-۱۶-۳- تاثیر افزودنی‌های الکترولیت روی آند آلومینیومی ۲۱۶
۵-۱۶-۳- الکترود نفوذ دهنده هوا ۲۱۷
۱۷-۳- مراجع ۲۲۰
۴- فصل چهارم: بررسی طراحی باتری‌های منتخب ۲۲۳
۱-۴- مقدمه ۲۲۳
۱-۱-۴- الکترولیت ۲۲۶
۲-۱-۴- جداسازها ۲۲۷
۲-۴- بررسی اجزاء باتری روی- هوا ۲۲۸
۱-۲-۴- آند باتری روی- هوا ۲۲۸
۲-۲-۴- الکترولیت باتری روی- هوا ۲۳۲
۳-۲-۴- جدا کننده باتری روی- هوا ۲۳۲
۴-۲-۴- اتصال دهنده‌های رایج در باتری روی – هوا و بررسی اثر آن‌ها در مورفولوژی آند ۲۳۳
۵-۲-۴- کاتد (الکترود هوا) باتری روی- هوا ۲۳۴
۶-۲-۴- خلاصه مواد تشکیل دهنده باتری روی- هوا ۲۳۷
۳-۴- بررسی اجزاء باتری آلومینیوم- هوا ۲۳۷
۱-۳-۴- آند باتری آلومینیوم-هوا ۲۳۷
۲-۳-۴- کاتد باتری آلومینیوم-هوا ۲۳۹
۳-۳-۴- الکترولیت باتری آلومینیوم-هوا ۲۴۱
۴-۳-۴- خلاصه مواد تشکیل دهنده باتری آلومینیم- هوا ۲۵۵
۴-۴- بررسی اجزاء باتری لیتیم-هوا ۲۵۶
۱-۴-۴- باتری‌های لیتیم- هوا با الکترولیت آبی ۲۶۱
۲-۴-۴- باتری‌های لیتیم- هوا با ساختار هیبریدی (مخلوطی از آبی و آپروتیک) ۲۶۳
۳-۴-۴- باتری‌های لیتیم- هوا با الکترولیت جامد ۲۶۴
۴-۴-۴- خلاصه مواد تشکیل دهنده باتری لیتیم- هوا ۲۶۶
۵-۴-۴- باتری سدیم هوا ۲۶۶

۴-۵- مقایسه کارایی باتری‌های فلز-هوا ۲۶۸
۴-۶- ابرخازن ۲۶۹
۴-۶-۱- خلاصه مواد تشکیل دهنده ابرخازن ۲۷۱
۴-۷- هیبرید ابرخازن-باتری ۲۷۲
۴-۸- باتری‌های جریانی ۲۷۶
۴-۸-۱- عمر مفید باتری جریانی ۲۷۸
۴-۸-۲- قیمت باتری جریانی ۲۷۸
۴-۸-۳- معایب باتری جریانی برای استفاده در خودرو برقی ۲۷۹
۴-۸-۴- راه آینده ۲۷۹
۴-۸-۵- فناوری جدید باتری جریانی برای استفاده در خودرو برقی ۲۸۰
۴-۸-۶- باتریهای جریانی نوظهور آلومینیم-آهن ۲۸۲
۴-۸-۷- جمه‌بندی ۲۸۳
۴-۹- ساخت باتری و مواد شیمیایی تشکیل دهنده اجزاء باتری ۲۸۴
۴-۹-۱- مراحل تولید الکترود و سلول ۲۸۶
۴-۹-۲- بررسی اجزاء پکیج باتری‌ها ۲۸۶
۴-۹-۳- اجزاء تشکیل دهنده سلول باتری خودرو برقی ۲۸۷
۴-۹-۴- اجزای ماژول‌های باتری خودرو ۲۸۹
۴-۹-۵- اجزاء باتری خودرو برقی ۲۹۰
۴-۹-۶- مونتاژ ماژول- فرایند تولید ۲۹۲
۴-۹-۷- سیستم مدیریت باتری (BMS) ۲۹۳
۴-۹-۸- زنجیره ارزش باتری خودرو برقی ۲۹۵
۴-۱۰- پیشرفت فناوری باتری خودرو برقی ۲۹۶
۴-۱۰-۱- ایمنی ۲۹۶
۴-۱۰-۲- طول عمر ۲۹۷
۴-۱۰-۳- کارایی ۲۹۸
۴-۱۰-۴- انرژی ویژه ۲۹۸
۴-۱۰-۵- توان ویژه ۲۹۹
۴-۱۰-۶- زمان شارژ ۲۹۹

۷-۱۰-۴- چالش هزینه ۲۹۹
۱۱-۴- بررسی ابعاد، اندازه‌ها و ظرفیت‌های مورد نیاز ۳۰۸
۱۲-۴- برآورد قیمت تمام شده تقریبی باتری‌های منتخب براساس فرآیند ساخت مواد اولیه ۳۰۹
۱۳-۴- بررسی ملاحظات زیست محیطی هریک از باتری‌های منتخب ۳۱۱
۱-۱۳-۴- اثرات مخرب باتری‌ها در محیط زیست ایران ۳۱۳
۲-۱۳-۴- فلزات سنگین ۳۱۳
۳-۱۳-۴- اثرات فلزات سنگین موجود در باتری‌ها ۳۱۵
۴-۱۳-۴- باتری‌های مورد استفاده در خودروی برقی ۳۱۶
۵-۱۳-۴- مخاطرات زیست محیطی دفع باتری‌ها ۳۱۸
۶-۱۳-۴- ضرورت جمع‌آوری و بازیافت باتری ۳۱۸
۷-۱۳-۴- بررسی نحوه مدیریت صحیح زیست محیطی باتری‌های فرسوده ۳۱۹
۸-۱۳-۴- جمع‌بندی ۳۲۲
۱۴-۴- آزمون‌های مورد نیاز برای کنترل کیفیت اجزا و یکیج باتری باتوجه به ویژگی‌های باتری‌های مدرن مورد نیاز برای خودرو برقی ۳۲۳
۱۵-۴- جمع‌بندی و نتیجه‌گیری ۳۲۹
۱-۱۵-۴- هدف گذاری جهانی ۳۳۰
۲-۱۵-۴- شرایط موجود کشور برای تولید باتری لیتیمی ۳۳۱
۳-۱۵-۴- اهداف آینده در ایران ۳۳۲
۵- تدوین نقشه راه ۳۳۸
۱-۵- مقدمه ۳۳۸
۲-۵- اسناد بالادستی ۳۳۹
۱-۲-۵- اسناد راهبردی دیگر ۳۴۲
5-3- مشاوره و رایزنی با شرکته‌های معتبر وپتانسیل‌های توانمند ایرانی جهت مذاکره برای سرمایه‌گذاری مشترک ۳۴۲
۱-۳-۵- مشاوره و رایزنی با شرکت‌های معتبر خارجی ۳۴۲
۲-۳-۵- مشاوره رایزنی با پتانسیل توانمند ایرانی در خصوص ساخت باتری خودروبرقی ۳۴۵
۴-۵- تدوین برنامه عملیاتی بومی کردن دانش فنی و ساخت باتری خودرو ۳۴۶
۱-۴-۵- اقدامات و ملاحظات ۳۴۶
5-4-2- موارد مورد نیاز -اجزای فعال ۳۴۸

۳-۴-۵- مواد مورد نیاز- اجزای غیر فعال ۳۵۴
5-4-4- قطعات مکانیکی ۳۵۶
۵-۴-۵- انجام آزمایش ۳۵۷
۶-۴-۵- ساخت سلول ۳۵۷
۷-۴-۵- بهینه‌سازی کارایی ۳۵۸
۸-۴-۵- ظرفیت ذخیره‌سازی ۳۵۹
۹-۴-۵- اشکالات متداول باتری‌ها ۳۶۳
۱۰-۴-۵- سمیت ۳۶۵
۱۱-۴-۵- ایمنی ۳۶۵
۱۲-۴-۵- هزینه ۳۶۶
۱۳-۴-۵- پشتیبانی و کنترل خارجی ۳۶۶
۱۴-۴-۵- سیستم مدیریت باتری(BMS) ۳۶۶
۱۵-۴-۵- ساخت ۳۶۷
۱۶-۴-۵- مقیاس زمان توسعه ۳۶۸
۱۷-۴-۵- سرمایه‌گذاری ۳۶۸
۱۸-۴-۵- میانبرها ۳۶۹
۱۹-۴-۵- هدف‌های خرد برای رسیدن به باتری مورد نظر ۳۶۹
۵-۵- تدوین برنامه عملیاتی سیاست‌های کوتاه مدت و بلند مدت حاکمیتی در حوزه بسته های حمایتی ۳۷۴
۶-۵- تدوین برنامه عملیاتی سیاست‌های کوتاه مدت وبلند مدت حاکمیتی در حوزه تصویب و اجرای دستورالعمل‌ها و استانداردها ۳۷۹
۷-۵- برگزاری جلسات با نهادهای حاکمیتی، شرکت‌های خصوصی، سازندگان، فعالان اقتصادی، سرمایه‌گذاران و ارایه برنامه عملیاتی و اصلاح آن براساس نظر خبرگان ۳۸۱
۸-۵- ارایه عناوین پروژه، جدول زمانبندی انجام و RFP مربوط به آنها ۳۸۲
۹-۵- جمع‌بندی اقدامات مورد نیاز برای رسیدن به اهداف تعیین شده ۳۸۵
۱-۹-۵- اقدامات فنی ۳۸۶
۲-۹-۵- برنامه‌ریزی در حوزه بسته‌های حمایتی ۳۸۸
منابع و مراجع ۳۸۹

فهرست شکل‌ها

شکل ۱- ۱- تصویر شماتیک عملکرد باتری ۲

شکل ۱- ۲- ساختار اولین باتری لیتیم یون تجاری شده ۵

شکل ۱- ۳- روند بهبود باتری‌های لیتیم یون در طول زمان [۲۹]..... ۶

شکل ۱- ۴- گردش مالی حدود ۴ میلیارد دلاری Si در آینده نزدیک [۶]..... ۱۰

شکل ۱- ۵- مقایسه گزینه‌های جایگزین گرافیت برای آند باتری‌های لیتیم یون [۳۰]..... ۱۱

شکل ۱- ۶- تشکیل کامپوزیت C-Si-Graphene، a,b) تبدیل گرافیت به گرافن، c) پوشش نانو ذرات سیلیکون و d) پوشش نهایی با کربن [۹]..... ۱۲

شکل ۱- ۷- تشکیل دندریت بر روی سطح آند لیتیم [۱۰]..... ۱۳

شکل ۱- ۸- ممانعت از تشکیل دندریت با افزودنی همزمان دو ماده شیمیایی [۱۱]..... ۱۴

شکل ۱- ۹- واکنش سولفور با لیتیم در فرآیند دشارژ باتری‌های لیتیم سولفور و جابجایی پلی سولفیدها [۱۶]..... ۱۷

شکل ۱- ۱۰- استفاده از نانو ساختارهای کربنی گرافن (بالا) و کربن مزو پروس (سمت راست) و الکترولیتهای حالت جامد (سمت چپ) برای بهبود باتری‌های لیتیم سولفور [۱۸]..... ۱۹

شکل ۱- ۱۱- مقایسه بین چگالی انرژی انواع باتری‌های قابل شارژ [۱۹]..... ۲۰

شکل ۱- ۱۲- انواع باتری‌های لیتیم هوا الکترولیت آبی(سمت چپ)و غیرآبی(سمت راست) [۲۰] ۲۱

شکل ۱- ۱۳- میزان ذخایر لیتیم دنیا در کشورهای مختلف [۳۱]..... ۲۲

شکل ۱- ۱۴- چگالی انرژی بالقوه برحسب فناوری‌های مختلف [۲۴]..... ۲۳

شکل ۱- ۱۵- قیمت تخمینی برای فناوری‌های مختلف، ۱. باتری‌های امروزی ۲. آند سیلیکون و کاتد بهبود یافته امروزی ۳. آند لیتیم فلزی و کاتد بهبود یافته امروزی ۴. باتری لیتیوم هوا غیرآبی با آند لیتیم فلزی [۲۴]..... ۲۴

شکل ۱- ۱۶- سه فناوری برای خودروهای الکتریکی، باتری فلز- هوا، باتری لیتیم سولفور، پیل سوختی [۲۶] ۲۶

شکل ۱- ۱۷- برنامه NEDO ژاپن [۲۴] ۲۹

شکل ۱- ۱۸- برنامه کره جنوبی در خصوص ذخیره کننده های انرژی [۲۴]..... ۳۰

شکل ۱- ۱۹- پیش بینی موسسه تحقیقاتی لوکس از سهم بازار فناوری‌های مختلف در آینده [۳۳] ۳۲

شکل ۱- ۲۰- تعداد مقالات ثبت شده در خصوص باتری خودرو برقی در سالهای مختلف [۳۳] ۳۹

شکل ۱- ۲۱- توزیع تعداد مقالات ثبت شده در خصوص باتری خودرو برقی در کشورهای مختلف [۳۳]..... ۳۹

شکل ۱– ۲۲– توزیع مراکز تحقیقاتی دنیا که بیشترین مقالات مربوط به باتری خودرو برقی را منتشر کرده اند [۳۳] .. ۴۰
شکل ۱– ۲۳– تعداد مقالات ثبت شده در خصوص باتری خودرو برقی در سالهای مختلف در ایران [۳۳]..... ۴۱
شکل ۱– ۲۴– توزیع مراکز تحقیقاتی ایران که بیشترین مقالات مربوط به باتری خودرو برقی را منتشر کرده اند [۳۳] ۴۱
شکل ۱– ۲۵– افراد فعال با بیشترین تعداد مقالات منتشر شده در حوزه باتری خودرو برقی در داخل کشور [۳۳]..... ۴۲
شکل ۲– ۱– ساختار بررسی پتنت‌های حوزه باتری خودرو برقی ۵۰
شکل ۲– ۲– تعداد اختراعات ثبت شده در زمینه انواع باتری []..... ۵۱
شکل ۲– ۳– روند افزایشی درخواست ثبت پتنت باتری خودرو برقی در دنیا طی سال‌های مختلف ۵۳
شکل ۲– ۴– توزیع جغرافیایی کشورهای ثبت درخواست پتنت ۵۴
شکل ۲– ۵– درخواست دهندگان بیش‌ترین تعداد ثبت پتنت ۵۵
شکل ۲– ۶– مخترعان با بیش‌ترین تعداد درخواست ثبت شده ۵۶
شکل ۲– ۷– پرتعدادترین کدهای طبقه بندی درخواست پتنت‌های ثبت شده در حوزه باتری خودرو برقی ۵۷
شکل ۲– ۸– درخواست‌های ثبت پتنت با بیش‌ترین تعداد ارجاع ۵۹
شکل ۲– ۹– روند برقی‌سازی خودروها ۷۰
شکل ۲– ۱۰– سلول‌های پریسماتیک شرکت سامسونگ برای کاربرد حمل و نقل برقی ۷۳
شکل ۲– ۱۱– مشخصات فنی سلول Ah ۹۴ شرکت سامسونگ ۷۴
شکل ۲– ۱۲– مشخصات فنی سلول ۱۸۶۵۰ با ظرفیت mAh ۳۴۰۰ ..... ۷۶
شکل ۲– ۱۳– پروفایل تست پالس تک جریانه با استفاده از یک جریان نرمال شده‌ی ۱/۰..... ۸۰
شکل ۲– ۱۴– نمونه‌ای از پاسخ ولتاژ یک باتری به آزمون پالس جریان ۸۰
شکل ۲– ۱۵– آزمون تعیین مشخصات باتری بر روی یک سلول یون لیتیوم، شامل مراحل ابتدایی شارژ و تخلیه برای اندازه‌گیری ظرفیت تخلیه کامل، و سپس آزمایش پالس. یک جفت پالس داده می‌شود، سپس ۱۰٪ از ظرفیت آن تخلیه می‌شود، این فرایند تکرار می‌شود تا سلول تخلیه شود. ۸۱
شکل ۲– ۱۶– چرخه رانندگی در ایالات متحده FTP-75 به مایل در ساعت. ۸۳
شکل ۲– ۱۷– چرخه رانندگی اروپایی NEDC به کیلومتر در ساعت. ۸۳
شکل ۲– ۱۸– مثالی از رژیم تخلیه دینامیک FUDS، بر اساس چرخه رانندگی FTP-75، با حداکثر توان نرمال به ۱.۰ ..... ۸۴

شکل ۲- ۱۹- مثالی از رژیم تخلیه دینامیک DST، بر اساس یک چرخه ساده FUDS، با حداکثر توان نرمال شده به ۱.۰ ..... ۸۴
شکل ۲- ۲۰- مثالی از پروفیل جریان خنثی-خام مورد استفاده برای آزمایش بهره‌وری انرژی. ۸۶
شکل ۲- ۲۱- نمونه‌ای از هد برای ایجاد فشار، مورد استفاده برای شکستن سلول باتری لیتیم یون سیلندری ۹۱
شکل ۲- ۲۲- نمونه‌ای از ایجاد کننده سطح ناهموار با فشار مورد استفاده برای فشردن پک‌های بزرگ باتری ۹۳
شکل ۳- ۱- روند کاهش قیمت باتری لیتیوم-یون در خودروهای برقی و پیش بینی آن تا سال ۲۰۳۰ (گزارش UCSUSA) ۱۰۵
شکل ۳- ۲- باتری لیتیم یون متداول ۱۱۰
شکل ۳- ۳- پک باتری لیتیم یون ۱۱۱
شکل ۳- ۴- ساختار ابر خازن ۱۱۲
شکل ۳- ۵- شارژ و دشارژ باتری آهن نیکل ساخت ادیسون ۱۱۷
شکل ۳- ۶- نمای نانو مقیاس از شیوه شارژ و تخلیه باتری نیکل آهن ساخت محققان دانشگاه استنفورد ۱۱۸
شکل ۳- ۷- باتری سرب اسید پیشرفته هیبرید شده با ابرخازن ۱۲۰
شکل ۳- ۸- شماتیک باتری لیتیم یون حالت جامد ۱۲۱
شکل ۳- ۹- نانوسیم طلا ۱۲۲
شکل ۳- ۱۰- تصویر میکروسکوپی نانوسیم طلا ۱۲۲
شکل ۳- ۱۱- میکروابرخازن ساخته شده در دانشگاه رایس ۱۲۳
شکل ۳- ۱۲- بررسی انرژی ویژه برحسب توان ویژه ذخیره‌سازهای الکتروشیمیایی ۱۲۴
شکل ۳- ۱۳- بررسی دانسیته توان و انرژی ذخیره سازهای الکتروشیمیایی ۱۲۷
شکل ۳- ۱۴- مقایسه باتری‌های متداول ۱۲۷
شکل ۳- ۱۵- بلوغ فناوری‌های باتری ۱۲۸
شکل ۳- ۱۶- سطح آمادگی فناوری برای باتری جهت استفاده در خودرو ۱۳۲
شکل ۳- ۱۷- خودروی مولن دارای باتری لیتیم – هوا ۱۳۴
شکل ۳- ۱۸- موتورسیکلت هرو-آیون ۱۳۵
شکل ۳- ۱۹- انواع باتری: انرژی ویژه و قیمت [۷] ۱۳۸
شکل ۳- ۲۰- هدف تولید باتری ۱۴۰

شکل ۳- ۲۱- قیمت و دانسیته انرژی باتری خودرو برقی در آمریکا[9] ۱۴۲
شکل ۳- ۲۲- نقشه راه باتری‌های مبتنی بر لیتیوم یون در حال حاضر تا بیش از ۱۰ سال [۱۲]..... ۱۴۶
شکل ۳- ۲۳- اجزاء کلیدی زنجیره ارزش [۱۰] ۱۵۱
شکل ۳- ۲۴- چگالی انرژی هدف از نقشه‌های جهانی فناوری [۱۳]..... ۱۵۳
شکل ۳- ۲۵- اهداف هزینه باتری از نقشه‌های راهبردی کشورهای جهان [۱۳] ۱۵۵
شکل ۳- ۲۶- سالانه خودرو برقی پلاگین در سراسر جهان در مقایسه با سهم کل بازار خودرو جهانی (ارزش سال ۲۰۱۷ بر اساس سه ماهه اول سال، یعنی ژانویه–سپتامبر ۲۰۱۷ برآورد شده است؛ منبع: www .ev-volumes.com؛ مطابق با شماره‌های اخیر منتشر شده توسط بلومبرگ انرژی جدید). ۱۵۸
شکل ۳- ۲۷- فروش خودروهای برقی (ضرب در ۱۰۰۰) در نیمه اول سال ۲۰۱۶ (پانل سمت چپ) و ۲۰۱۷ (پانل سمت راست) به وسیله بازارهای منطقه ای، یعنی چین، ژاپن، اروپا، ایالات متحده آمریکا و سایر کشورها، (www.ev-volumes.com) ۱۵۹
شکل ۳- ۲۸- روند کلی برای اهداف تحقیق و توسعه باتری خودرو در حال حاضر با توجه به مواد آند، الکترولیت و مواد کاتد مورد استفاده ۱۶۰
شکل ۳- ۲۹- برآورد میزان باتری‌های مستعمل تا سال ۲۰۲۵ ..... ۱۶۳
شکل ۳- ۳۰- روند قیمت سلول‌های باتری با افزایش تولید باتری..... ۱۶۶
شکل ۳- ۳۱- ده شرکت بزرگ تولید کننده باتری خودرو برقی (بر اساس فروش ۲۰۱۷) ۱۶۷
شکل ۳- ۳۲- رشد مصرف باتری فلز- هوا تا سال ۲۰۱۸..... ۱۶۸
شکل ۳- ۳۳- نمونه‌هایی از باتری فلز–هوا ۱۷۰
شکل ۳- ۳۴- مقایسه دانسیته‌ی انرژی انواع باتری‌ها با باتری‌های فلز–هوا [۲۸]..... ۱۷۱
شکل ۳- ۳۵- انواع جداساز ۱۷۶
شکل ۳- ۳۶- نمونه‌هایی از باتری روی–هوا..... ۱۷۹
شکل ۳- ۳۷- سلول روی – هوا ۱۷۹
شکل ۳- ۳۸- قسمتهای مختلف یک باتری روی – هوا ۱۸۱
شکل ۳- ۳۹- نمایی از اجزای داخلی باتری روی–هوا..... ۱۸۱
شکل ۳- ۴۰- شکل‌های مختلف مواد روی که با روش‌های مختلف تولید شده اند[38] ۱۸۳
شکل ۳- ۴۱- نمایشی از اجزای سلول روی–اکسیژن ۱۹۰

شکل ۳- ۴۲- استک باتری روی- هوا ۱۹۰
شکل ۳- ۴۳- منحنی ولتاژ- جریان در طی پلاریزاسیون جریان بالا در سه نقطه در ۱۰۰ درصد عمق دشارژ ۱۹۱
شکل ۳- ۴۴-نمونه ۲۱ سلولی باتری روی— هوا به عنوان منبع تولید توان پهپاد ۱۹۳
شکل ۳- ۴۵- اتوبوس دارای باتری روی — هوا ۱۹۳
شکل ۳- ۴۶- ماژول روی— هوای استفاده شده در اتوبوس ۱۹۴
شکل ۳- ۴۷- طرح شماتیکی از باتری لیتیم- هوا ۱۹۶
شکل ۳- ۴۸- چهار ساختار مختلف باتری لیتیم-هوا. سه الکترولیت مایع شامل سیستم‌های آپروتیک، آبی، مخلوط آپروتیک-آبی و ساختار کاملا حالت جامد [۵۲] ۱۹۷
شکل ۳- ۴۹- سیستم‌های ذخیره‌سازی با دانسیته انرژی بالا[۵۱] ۱۹۸
شکل ۳- ۵۰- پیکربندی یک باتری لیتیم- هوا آپروتیک [۵۸] ۱۹۹
شکل ۳- ۵۱- پیکربندی باتری لیتیم- هوا با الکترولیت آبی ۲۰۱
شکل ۳- ۵۲- پیکربندی باتری‌های لیتیم- هوا با الکترولیت آپروتیک/آبی ۲۰۲
شکل ۳- ۵۳- پیکربندی باتری‌های لیتیم- هوا با الکترولیت جامد ۲۰۳
شکل ۳- ۵۴- مقایسه لیتیم—یون با لیتیم-هوا ۲۰۷
شکل ۳- ۵۵- پروژه باتری ۵۰۰ ..... ۲۰۹
شکل ۳- ۵۶- ساعت با باتری لیتیم- هوا ۲۱۰
شکل ۳- ۵۷- ایستگاه هواشناسی ۲۱۳
شکل ۳- ۵۸- شماتیک سل آلومینیوم هوا ۲۱۴
شکل ۴- ۱- پارامترهای موثر در باتری خودرو برقی ۲۲۶
شکل ۴- ۲- طبقه‌بندی انواع جداسازهای مورد استفاده در باتری ۲۲۷
شکل ۴- ۳- شکل‌های مختلف مواد روی که با روش‌های مختلف تولید شده‌اند [۷] ۲۳۰
شکل ۴- ۴-(الف) نانولوله‌های کربنی تک دیواره، (ب) نانولوله‌های کربنی چند دیواره، (پ) گرافن (طرح واره)، (ت) صفحه گرافنی مچاله شده. ۲۴۰
شکل ۴- ۵- چهار ساختار مختلف باتری لیتیم-هوا. سه الکترولیت مایع شامل سیستم‌های آپروتیک، آبی، مخلوط آپروتیک-آبی و ساختار کاملا حالت جامد [۲۴] ۲۵۸

شکل ۴- ۶- پیکربندی یک باتری لیتیم- هوا آپروتیک [۳۰] ۲۵۹
شکل ۴- ۷- پیکربندی باتری لیتیم- هوا با الکترولیت آبی ۲۶۲
شکل ۴- ۸- پیکربندی باتری‌های لیتیم- هوا با الکترولیت آپروتیک/آبی ۲۶۳
شکل ۴- ۹- پیکربندی باتری‌های لیتیم- هوا با الکترولیت جامد ۲۶۴
شکل ۴- ۱۰- نمونه‌ای از هیبرید باتری و ابرخازن ۲۷۳
شکل ۴- ۱۱- مقایسه کارایی انواع ذخیره سازها ۲۷۳
شکل ۴- ۱۲- اجزای سازنده BSH ها ۲۷۵
شکل ۴- ۱۳- شماتیک یک باتری جریانی ۲۷۷
شکل ۴- ۱۴- مراحل تولید الکترود و سلول باتری [۳۵] ۲۸۶
شکل ۴- ۱۵- نمونه‌ای از سلول، ماژول و پک یا بسته باتری [۳۵] ۲۸۷
شکل ۴- ۱۶- اجزاء تشکیل دهنده سلول باتری خودرو برقی [۳۵] ۲۸۸
شکل ۴- ۱۷- اجزاء تشکیل دهنده ماژول باتری خودرو برقی ۲۹۰
شکل ۴- ۱۸- اجزاء باتری خودرو برقی ۲۹۲
شکل ۴- ۱۹- خط مونتاژ ماژول ۲۹۳
شکل ۴- ۲۰- سیستم مدیریت باتری ۲۹۴
شکل ۴- ۲۱- زنجیره ارزش باتری خودروهای برقی ۲۹۵
شکل ۴- ۲۲- دو سناریو برای همکاری در صنعت خودرو برقی [۳۷] ۳۰۵
شکل ۴- ۲۳- فناوری‌های باتری برای استفاده در خودرو [۳۶] ۳۰۸
شکل ۵- ۱- اقدامات ضروری برای تولید سلول در زمان حداقل ۱۰ سال ۳۴۷
شکل ۵- ۲- ملاحظات کارایی سلول در طول توسعه باتری ۳۵۸
شکل ۵- ۳- تعیین هدف برای سلول و باتری خودرو برقی[۸] ۳۷۲

فهرست جدول‌ها

جدول ۱– ۱– لیست شرکت های تولیدکننده باتری خودرو برقی در دنیا ۷

جدول ۱– ۲– سهم شرکت های مختلف تولید کننده باتری از بازار جهانی (۲۰۱۷) [۳۴] ۹

جدول ۱– ۳– ویژگیهای مربوط به مواد الکترولیتی مختلف [۱۵] ۱۵

جدول ۱– ۴– رصد فناوری‌های باتری توسط شرکت‌ها و موسسات معتبر ۲۴

جدول ۱– ۵– فعالیت‌های مراکز مرتبط با سازمان BES [۲۷] ۲۷

جدول ۱– ۶– برنامه‌های کشور آلمان در خصوص باتریهای نسل آینده [۲۴] ۳۰

جدول ۱– ۷– دسته بندی فناوری‌های مختلف از منظر زمان ورود به بازار ۳۱

جدول ۲– ۱– پتنت‌های داخلی ثبت شده در حوزه باتری خودرو ۴۸

جدول ۲– ۲– کدهای طبقه بندی پرتعدادترین درخواست پتنت‌های ثبت شده در حوزه باتری خودرو برقی ۵۷

جدول ۲– ۳– استانداردهای باتری ۶۷

جدول ۲– ۴– مشخصات باتری استفاده شده در خودروهای برقی شده روز ۷۱

جدول ۲– ۵– مشخصات سلول (سمت چپ) و پک باتری (سمت راست) در خودروی برقی نیسان ۷۵

جدول ۲– ۶– آزمایش‌های استفاده نامناسب الکتریکی مطرح در استانداردهای انتخاب شده ۸۸

جدول ۲– ۷ – آزمون‌های مخرب مکانیکی موجود در استانداردهای انتخاب شده ۹۲

جدول ۲– ۸– آزمون‌های مخرب حرارتی موجود در استانداردهای انتخاب شده ۹۵

جدول ۳– ۱– مقایسه دمای بهره‌برداری باتری‌ها ۱۰۶

جدول ۳– ۲– ارزش اقتصادی بازیافت به ازای یک تن باتری ۱۰۸

جدول ۳– ۳– ویژگی‌های باتری‌های متداول ۱۲۵

جدول ۳– ۴– ویژگی‌های باتری‌های پایه لیتیمی ۱۲۶

جدول ۳– ۵– مقایسه خودروی مولن دارای باتری لیتیم – هوا با خودروی تسلا دارای باتری لیتیم – یون ۱۳۴

جدول ۳– ۶– مشخصات موتورسیکلت هرو–آیون ۱۳۶

جدول ۳– ۷– تقاضای باتری در سناریوی خودرو برقی (GWh) [7] ۱۳۹

جدول ۳– ۸ – اهداف فنی برای باتری خودرو برقی[8] ۱۴۰

جدول ۳– ۹– ولتاژ بهره‌برداری باتری[8] ۱۴۱

جدول ۳- ۱۰- پارامترهای عملکرد کلیدی برای مدل‌های متداول خودرو برقی [۱۱] ۱۴۴
جدول ۳- ۱۱- مواد کاتدی، دانسیته انرژی، قیمت و طول عمر مواد کاتدی [۱۲] ۱۴۷
جدول ۳- ۱۲- بررسی اجمالی از مواد شیمیایی سلولی که برای محاسبه هزینه استفاده می‌شود. باتری اول به عنوان باتری NMC و باتری دوم لیتیوم یون بر پایه سیلیکون است. [۱۲]..... ۱۴۷
جدول ۳- ۱۳- ویژگی‌های شیمیایی باتری لیتیوم یون ۱۵۲
جدول ۳- ۱۴- درجه‌بندی الکتریکی شدن خودرو [14] ۱۵۶
جدول ۳- ۱۵- برنامه‌ریزی برای سال ۲۰۳۵[14]..... ۱۶۱
جدول ۳- ۱۶- خلاصه روند فرایند تولید باتری از جمله مواد ورودی و خروجی[۱۲]..... ۱۶۱
جدول ۳- ۱۷- لیستی از باتری‌های فلز- هوای متداول به همراه پارامترهای الکتریکی سلول [۲۸] ۱۷۳
جدول ۳- ۱۸- مزایا و معایب فلزات قابل بکارگیری در باتری فلز-هوا ۱۷۳
جدول ۳- ۱۹- شرکتهای سازنده باتری روی- هوا [44]..... ۱۸۷
جدول ۳- ۲۰- زمان‌بندی فازهای انجام پروژه..... ۱۸۹
جدول ۳- ۲۱- مشخصات باتری روی – هوا در هواپیمای بدون سرنشین..... ۱۹۲
جدول ۳- ۲۲- مشخصات ماژول روی –هوا در اتوبوس..... ۱۹۴
جدول ۳- ۲۳- مقایسه انواع الکترولیت باتری‌های لیتیم – هوا [۵۶]..... ۲۰۴
جدول ۳- ۲۴- مقایسه باتری ها در خودرو ۲۰۸
جدول ۳- ۲۵- دانشگاه‌ها و مراکز فعال در زمینه باتری‌های لیتیم هوا..... ۲۱۲
جدول ۳- ۲۶- خواص کاتدهای مورد استفاده در باتری آلومینیوم-اکسیژن..... ۲۱۷
جدول ۳- ۲۷- شرکتهای سازنده باتری آلومینیوم–هوا ۲۱۹
جدول۴- ۱- انواع مواد افزودنی به الکترود روی در باتری روی-هوا [۸] ۲۳۰
جدول۴- ۲- انواع کاتالیست‌های مورد استفاده در کاتد باتری روی-هوا بر اساس الکترولیت و کارایی باتری [۸]... ۲۳۶
جدول۴- ۳- کارایی کاتالیست‌های مختلف در کاتد باتری آلومینیم هوا [۲۳]..... ۲۴۱
جدول۴- ۴- انواع الکترولیت‌های اسیدی مورد استفاده در باتری‌های آلومینیم هوا [۱۲] ۲۴۳
جدول۴- ۵- الکترولیت‌های نمکی مورد استفاده در باتری‌های آلومینیوم- هوا [۱۳] ۲۴۶
جدول۴- ۶- الکترولیت‌های قلیایی مورد استفاده در باتری‌های آلومینیوم- هوا [۱۳]..... ۲۴۹

جدول۴- ۷- الکترولیت‌های قلیایی مورد استفاده در باتری‌های آلومینیوم- هوا [۱۳] ۲۵۲
جدول۴- ۸- الکترولیت‌های حالت جامد مورد استفاده در باتری‌های آلومینیوم- هوا [۱۳] ۲۵۳
جدول۴- ۹- انواع کربن‌های استفاده شده در باتری لیتیم- هوا و مشخصات آن‌ها ۲۵۶
جدول۴- ۱۰- انواع کاتالیست‌های استفاده شده در باتری لیتیم- هوا و مشخصات آن‌ها ۲۵۷
جدول۴- ۱۱- انواع حلال‌های آلی استفاده شده در باتری لیتیم- هوا و مشخصات آن‌ها ۲۶۰
جدول۴- ۱۲- انواع الکترولیت‌های مورد استفاده در باتری لیتیم- هوا و مشخصات آن‌ها ۲۶۲
جدول۴- ۱۳- انواع الکترولیت‌های جامد مورد استفاده در باتری لیتیم- هوا ۲۶۵
جدول۴- ۱۴- مشخصات یک نمونه باتری جریانی[۶۶] ۲۸۱
جدول۴- ۱۵- شیمی باتری‌های مطرح کنونی به همراه مزایا و معایب هریک ۲۸۵
جدول۴- ۱۶- مقایسه برآورد قیمت باتری ۳۱۰
جدول۴- ۱۷- آزمون‌های استاندارد باتری‌ها ۳۲۴
جدول۴- ۱۸- آزمایش‌های استفاده نامناسب الکتریکی مطرح در استانداردهای انتخاب شده ۳۲۵
جدول۴- ۱۹- آزمون‌های مخرب مکانیکی موجود در استانداردهای انتخاب شده ۳۲۶
جدول۴- ۲۰- آزمون‌های مخرب حرارتی موجود در استانداردهای انتخاب شده ۳۲۷
جدول۴- ۲۱- آزمون‌های ضروری مربوط به سلول و پک باتری موجود در ایران ۳۲۸
جدول۴- ۲۲- روند پیشرفت فناوری باتری در دنیا ۳۳۱
جدول ۵- ۱- جمع بندی روش اکتساب فناوری ۳۴۱
جدول ۵- ۲- پتانسیل استاندارد گونه‌های اکسنده ۳۴۹
جدول ۵- ۳- نقشه راه باتری خودرو برقی ۳۷۲
جدول ۵- ۴-مشوق‌های مالی، زیرساخت و تحقیق و توسعه ۳۷۶
جدول ۵- ۵- برنامه‌ریزی پروژه‌ها از نقطه آغاز انتخاب شیمی باتری تا تولید تجاری آن ۳۸۲

۱- فصل اول: بررسی و مرور شرکت‌های سازنده باتری خودروبرقی در دنیا

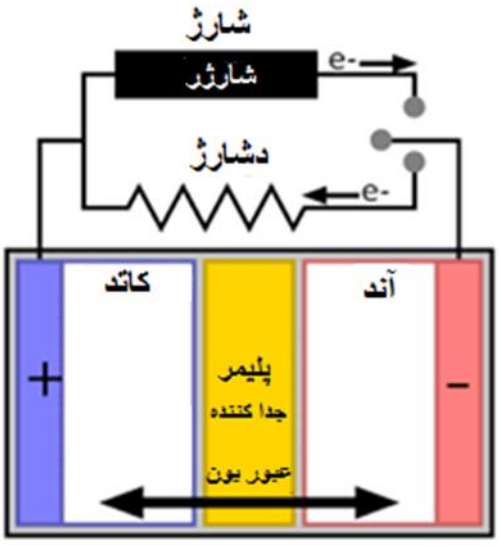
۱-۱- مقدمه

در عصر حاضر صنعت الکترونیک پیشرفت چشمگیری نموده است و به دلیل گسترش ارتباطات و فناوری اطلاعات وسایل الکترونیکی قابل حمل همچون گوشی‌های تلفن همراه، لب‌تاپ‌ها و ... توسعه یافته‌اند. تامین انرژی به صورت آسان و مطلوب برای توسعه این وسایل یک ضرورت مهم و انکارناپذیر است. این تا به حدی است که می‌توان باتری را قلب وسایل الکترونیک قابل حمل دانست. همچنین امروزه به دلیل مشکلات ایجاد شده به دلیل آلودگی هوا شرکت‌های بزرگ خودروسازی سالانه هزینه‌های زیادی را صرف ساخت خودروهای الکتریکی و هیبریدی می‌نمایند که از مهمترین چالش‌ها در ساخت این خودروها تامین انرژی الکتریکی مورد نیاز آن‌ها می‌باشد. بهترین گزینه برای رفع این مهم استفاده از باتری‌های قابل شارژ جهت ذخیره‌سازی انرژی الکتریکی در این خودروها می‌باشد. با توجه به موارد ذکر شده در بالا تحقیقات وسیعی در زمینه باتری‌های قابل شارژ در مراکز تحقیقاتی دنیا صورت می‌پذیرد که باعث پیشرفت بسیار سریع باتری‌های قابل شارژ در چند دهه اخیر شده است. در حال حاضر، باتری‌های لیتیم-یون در نوک قله این پیشرفت قرار دارند؛ به‌طوری که در اغلب وسایل الکترونیکی امروزی از باتری‌های لیتیم-یون استفاده می‌شود و گروه‌های تحقیقاتی زیادی در سراسر دنیا در حال تحقیق جهت بهبود عملکرد این نوع باتری‌ها هستند [۱]. با این حال سرعت بالای رشد فناوری در حوزه‌های مختلف و وابستگی بسیاری از این فناوری‌ها به باتری (به‌عنوان اصلی‌ترین منبع تأمین انرژی) باعث شده تا نیاز به باتری‌هایی ارزانتر، بادوامتر، قدرتمندتر و با کارایی بهتر روزبه‌روز بیشتر احساس شود. پیش‌بینی می‌شود فناوری‌های موجود امروزی (حتی در صورت بهبود عملکرد و انواع بهینه سازیها) جوابگوی نیازهای فعلی و آینده در زمینه ذخیره‌سازی انرژی نبوده و باید نسلهای جدیدی از ذخیره‌سازهای انرژی توسعه داده شوند. به طور مثال چگالی انرژی باتری‌های امروزی در حال نزدیک شدن به حد نظری خود است و از همین رو بهبود بیشتر این ویژگی در این نوع باتری‌ها به سختی ممکن است. در این گزارش به معرفی مهمترین فناوری‌هایی می‌پردازیم که پیش‌بینی می‌شود در آینده جایگزین باتری‌های لیتیم یون امروزی شوند. این فناوری‌ها که اصطلاحاً پسا لیتیم یون[1] نامیده می‌شوند به‌صورت بالقوه توانایی بهبود قابل توجهی را در وضعیت باتری‌های امروزی دارند اما هر یک از آنها با مشکلاتی مواجه هستند که امکان تجاری‌سازی در مقیاس وسیع را از آنها گرفته است و تلاش برای رفع این مشکلات به‌طور جدی در مراکز تحقیقاتی مختلف دنیا در حال پیگیری است.

[1] Post Lithium ion

۲-۱- اصول کارکرد باتری‌ها

باتری وسیله‌ای است که انرژی شیمیایی را به طور مستقیم به انرژی الکتریکی تبدیل می‌کند. در واقع یک باتری شامل یک یا چند پیل ولتایی (Voltaic Cell) است که بر اثر واکنش‌های شیمیایی اکسید و احیا مولد جریان الکتریسیته هستند. هر پیل ولتایی از دو الکترود تشکیل شده است که بین آن‌ها با الکترولیت پر می شود. الکترولیت محلولی رسانا شامل یون‌ها است. ترکیبات الکتروفعال درون الکترولیت منتقل شده و با الکترودها واکنش شیمیایی می‌دهند و انرژی شیمیایی را با انتقال بار در سطح مشترک الکترود–الکترولیت به انرژی الکتریکی تبدیل می‌کنند (شکل ۱–۱). ولتاژ خروجی یک باتری به طور مستقیم با ماهیت شیمیایی واکنش الکتروشیمیایی پیل در ارتباط است. به عنوان مثال در باتری‌های سرب–اسید، واکنش شیمیایی هر پیل ۲ ولت را تولید می‌نماید. در باتری‌های لیتیمی واکنش الکتروشیمیایی صورت گرفته ولتاژ تقریبی ۳ ولت را تولید می نماید که تولید این ولتاژ یکی از ویژگی‌های مهم این نوع باتری‌ها است. بنابراین با بهره گیری از واکنش های لیتیمی می‌توان با به کارگیری تعداد پیل کمتر به ولتاژ بالاتر دست یافت.



شکل ۱- ۱- تصویر شماتیک عملکرد باتری

در هر الکترود باتری غالبا دو نوع مواد فعال و مواد غیرفعال وجود دارد. مواد فعال موادی هستند که در واکنش اکسیداسیون شرکت می‌کنند و ظرفیت و ولتاژ باتری از آنها ناشی می‌شود. مواد غیر فعال موادی هستند که به دلایل دیگر همچون رسانش بهتر، ایجاد استحکام مکانیکی بین ذرات پودر و جلوگیری از واکنش‌های ناخواسته به الکترود اضافه می‌شوند. هرچه مقدار مواد غیرفعال بیشتر باشد، ظرفیت باتری کمتر خواهد بود. توان یک باتری طبق رابطه P=IV به

صورت مستقیم به مقدار جریان وابسته است. هرچه توان یک باتری بیشتر باشد، باتری این توانایی را خواهد داشت که سریع‌تر شارژ و دشارژ شود. سریع‌تر شارژ شدن یک حسن مهم است. دشارژ سریع نیز توان تحویلی بالاتری را در پی خواهد داشت که در بسیاری از کاربردها مثل خودروهای الکتریکی، صنایع نظامی و ... یک مزیت محسوب می‌شود. هرچه جریان باتری بیشتر شود، بدلیل ماهیت باتری، موجب کاهش ولتاژ دو سر باتری طبق رابطه $V=E - Ir$ می‌شود. در این رابطه I جریان باتری، r مقاومت داخلی، E ولتاژ ایده‌آل یا همان نیروی محرکه الکتروموتوری[1] (EMF) و V ولتاژی است که در دو سر باتری ایجاد می‌شود. جریان‌های بالا موجب می‌شود که نتوان از کل ظرفیت یک باتری استفاده کرد. با افزایش جریان، ظرفیت باتری کاهش می‌یابد، بنابراین بین جریان و ظرفیت رابطه معکوسی وجود دارد، اما بر خلاف دیگر موارد رابطه ریاضی مشخصی بین این دو وجود ندارد که به مکانیزم عملکرد باتری‌ها برمی‌گردد. با افزایش جریان، ظرفیت و ولتاژ باتری کاهش می‌یابد، بنابراین روی‌هم‌رفته افزایش جریان، کاهش انرژی را در پی دارد. لذا رابطه عکسی بین افزایش توان و افزایش انرژی وجود دارد و ما نمی‌توانیم از هر دو مزیت در آن واحد استفاده کنیم مگر اینکه مشخصات الکتروشیمیایی خود باتری را با طراحی ساختار آن با نانوفناوری و یا تغییر ترکیب شیمیایی ارتقا دهیم. پتانسیل تئوری باتری با رابطه نرست به انرژی آزاد مرتبط است. بر طبق بحث‌های ترمودینامیکی (تعریف انرژی آزاد و قانون دوم ترمودینامیک)، انرژی آزاد یک واکنش، حداکثر کار مفید قابل تحویل است که آن هم در حالت تعادل (تغییرات دیفرانسیلی) حاصل می‌شود. وجود جریان در باتری یعنی خروج از حالت تعادل، چون برای تولید جریان باید واکنش‌های الکتروشیمیایی صورت گیرد؛ یعنی واکنش به یک سمت پیش رود و از تعادل خارج شود. چون حداکثر کار قابل تحویل به شکل الکتریکی توسط باتری در حالت جریان دیفرانسیلی (نزدیک به تعادل) شکل می‌گیرد و این علت ترمودینامیکی کمتر بودن ولتاژ کاری یک باتری از حالت تئوری آن است. ولی علاوه بر دلیل ترمودینامیکی، پتانسیل به علل سینتیکی هم کاهش می‌یابد که اصطلاحا به آنها پتانسیل بیش از حد (Overpotential) گفته می‌شود. این پتانسیل موجب می‌شود که در حالت دشارژ، ولتاژی که از باتری می‌گیریم کمتر از حالت ایده‌آل باشد و در هنگام شارژ نیز نیاز به ولتاژ بالاتری برای انجام شارژ باشد. چون این حوزه به عواملی مانند رسانش الکتریکی و یونی و... برمی‌گردد، نانوفناوری می‌تواند در این زمینه به ما کمک کند.

[1] نیروی محرکه الکتریکی مقدار انرژی‌ای است که مولد به یک کولن بار می‌دهد تا به واسطهٔ آن انرژی، واحد بار الکتریکی بتواند در مدار جاری شود.

۳-۱- باتری‌های لیتیم یون

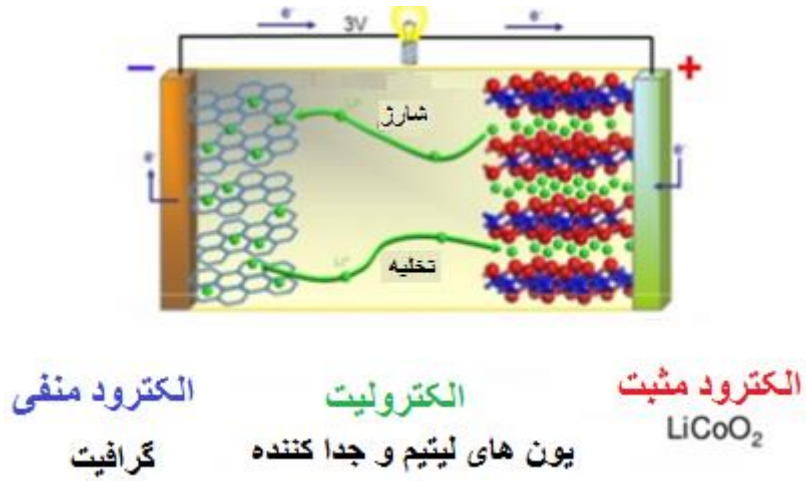
در باتری‌های لیتیم یون، از اشکال مختلفی از کربن و مخصوصاً از گرافیت به عنوان آند، از انواع مختلف ساختارهای کریستالی از جنس اکسید یا فسفات فلزهای واسطه[۱] به عنوان کاتد و از محلولی آلی حاوی نمک لیتیم (غالبا $LiPF_6$) به عنوان الکترولیت استفاده می‌شود [۲و ۳]. گرافیت ساختاری لایه‌ای دارد و در حالت شارژ کامل باتری، اتمهای لیتیم در میان این لایه‌ها جای دارند. در این حالت سطح انرژی اتم لیتیم بالا بوده و طبیعتاً تمایل به از دست دادن انرژی دارد. حال اگر بین آند و کاتد اتصال الکتریکی برقرار شود، این اتمها با از دست دادن الکترون به یون لیتیم یک بار مثبت تبدیل شده و می‌توانند در الکترولیت حرکت کرده و خود را به کاتد برسانند. از دیگر سو جریان الکترونها (که از اتمهای لیتیم جدا شده‌اند) با عبور از مدار الکتریکی خارجی، از آند به سمت کاتد به راه می‌افتد. در باتری‌های لیتیم یون، کاتد ساختاری کریستالی دارد که درون آن مکان‌هایی خالی وجود دارد که توانایی جذب و جا دهی لیتیم در آنها وجود دارد، لذا یونهای لیتیم وارد این مکان‌های خالی شده و الکترونها نیز پس از عبور از مدار الکتریکی خارجی به کاتد وارد می‌شوند و در نتیجه یون لیتیم دوباره به صورت اتم لیتیم در ساختار بلوری کاتد جای می‌گیرد. در این نوع باتری‌ها با آنکه ماده اصلی بکار رفته لیتیم می‌باشد، به طور مستقیم از لیتیم فلزی استفاده نشده و تنها یون لیتیم بین کاتد و آند رفت و برگشت می‌کند از همین رو این نوع باتری را لیتیوم یون نامیده‌اند. فرآیند جاگیری یونها درون ساختارهای آند و کاتد باتری‌های لیتیوم یون، میان گذاری[۲] گفته می‌شود که اساس این باتری‌ها را تشکیل داده است. در شکل زیر فرآیند شارژ و دشارژ باتری‌های لیتیم یون- برای کاتد لیتیم اکسید کبالت که یکی از پر استفاده‌ترین انواع کاتدها می‌باشد، نشان داده شده است.

---

[۱] مهم‌ترین آنها عبارتند از:

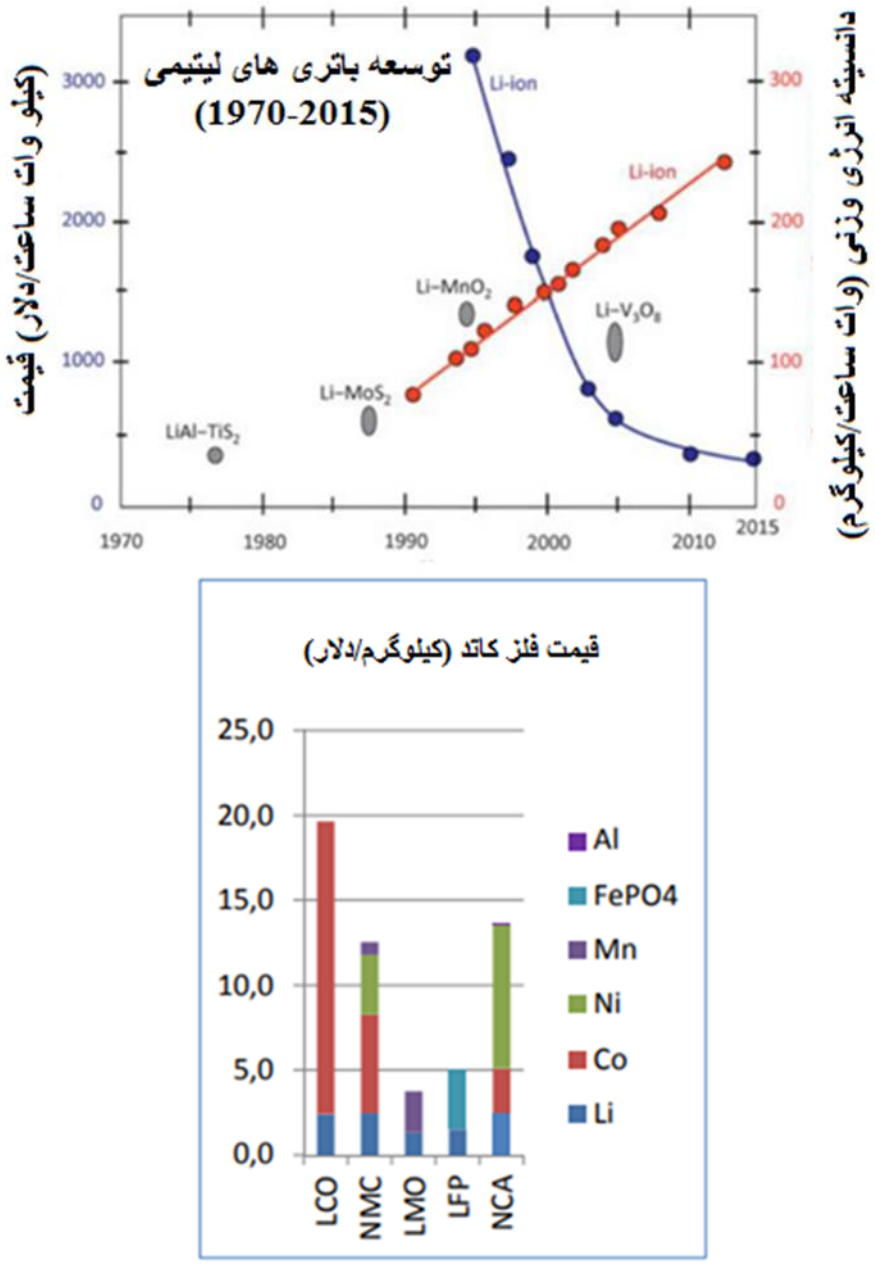
NMC (Lithium Nickel Manganese Cobalt Oxide), LFP (Lithium Iron Phosphate), LCO (Lithium Cobalt Oxide), NCA (Lithium Nickel Cobalt Aluminum Oxide) and LMO (Lithium Manganese Oxide).

[2] Intercalation



شکل ۱- ۲- ساختار اولین باتری لیتیم یون تجاری شده

عنصر لیتیم کوچکترین اتم فلزی است و این قابلیت باعث می‌شود تا بتواند با سهولت بیشتری در الکترولیت حل شود یا درون ساختار آند و کاتد نفوذ پیدا کند. علاوه بر این، به دلیل تمایل بالای لیتیم به انجام واکنش و از دست دادن الکترون، باتری‌های ساخته شده بر مبنای این فلز دارای پتانسیل الکتریکی بالایی هستند و همین امر باعث می‌شود چگالی انرژی باتری‌های لیتیم یون بیشتر باشد. به دلیل بالا بودن ولتاژ این باتری‌ها و الکترولیز آب در ولتاژ کاری این باتری‌ها، امکان استفاده از الکترولیتهای آبی در باتری‌های لیتیم یون وجود ندارد. باتری‌های لیتیم یون نسبت به سایر انواع باتری‌های قابل شارژ در بسیاری از ویژگیها عملکرد بسیار بهتری دارند. به طور مثال این باتری‌ها نسبت به سایر انواع باتری‌های قابل شارژ دارای چگالی انرژی چند برابری، عمر بالاتر، سرعت شارژ و تخلیه بیشتر، نرخ تخلیه خود به خودی کمتر و ولتاژ کاری بالاتر می‌باشند. با اینحال قیمت بالا و مشکلات ایمنی دو عیب بزرگ باتری‌های لیتیم یون در مقایسه با سایر انواع باتری‌های قابل شارژ می‌باشد. همچنین باتری‌های لیتیم یون توانسته‌اند با گذشت زمان بهبود قابل توجهی نیز پیدا کنند. به طور مثال روند افزایش چگالی انرژی و کاهش قیمت این باتری‌ها نسبت به سایر انواع باتری‌های قابل شارژ در طول زمان در نمودارهای زیر نشان داده شده است.



شکل ۱- ۳- روند بهبود باتری‌های لیتیم یون در طول زمان [۲۹]

در حال حاضر نیز بیشتر خودروهای برقی تولید شده در جهان از باتری‌های لیتیم یون به عنوان تامین کننده نیرو محرکه موتور الکتریکی استفاده می‌کنند (برخی از پیل سوختی نیز استفاده می‌کنند) که در ادامه با شرکتهای تولید کننده آشنا می‌شویم. البته لازم به توضیح است که اکثر شرکتهای خودروساز فعلا در تعامل با شرکتهای تولید کننده باتری فعالیت می‌کنند و بیشتر در حال بررسی روند بازار خودروهای برقی هستند ولی همانطور که در بخش‌های بعدی این گزارش آمده است، برای

مستقل بودن در تامین باتری خودروها در طی ۲۰ الی ۳۰ سال آینده، گروه‌های تحقیقاتی مختلفی در زمینه باتری‌های پیشرفته پسا لیتیم یون فعال شده است.

۴-۱- مطالعه و شناسایی شرکتهای معروف و مطرح سازنده باتری خودروهای برقی در سطح دنیا

با توجه به پژوهش Shenzhen-Guangdong Industry، CATL[1] بزرگترین تولیدکننده باتری لیتیم یون برای وسایل نقلیه الکتریکی با ظرفیت ۱۲ گیگاوات ساعت است. پس از آن پاناسونیک و BYD قرار دارند. طبق گزارش این پژوهش، CATL در سال گذشته ۱۱/۸ گیگاوات ساعت تولید انبوه باتری داشته که در مقایسه با سال ۲۰۱۶ بیش از ۷۴٪ افزایش داشته است. پاناسونیک ژاپن با میزان ۱۰ گیگاوات ساعت دومین شرکت بزرگ و BYD با ۷/۲ گیگاوات ساعت سومین شرکت بزرگ بود. کمپانی OptimumNano Energy یکی دیگر از سازندگان چینی و LG Chem کره جنوبی با تولید ۵/۵ و ۴/۵ گیگاوات ساعت در رتبه ۴ و ۵ قرار داشتند [۴].

جدول ۱- ۱- لیست شرکت های تولیدکننده باتری خودرو برقی در دنیا

ردیف	سازنده خودرو	تولیدکننده باتری	نوع باتری
۱	BMW, China	CATL	لیتیم یون
۲	General Motors, Mercedes-Benz, Wanxiang	A123 Systems	لیتیم یون (لیتیم آهن فسفات LFP[2])
۳	Chinese companies	Optimum nano Energy	لیتیم یون (لیتیم آهن فسفات)

[1] Contemporary Amperex Technology
[2] Lithium Iron Phosphate

۴	Phoenix Motorcars	Altairnano	لیتیم یون تیتانات
۵	Jaguar Cars, Land Rover	Axeon	لیتیم آهن فسفات
۶	BAIC, SAIC, JAC Motors, Zoyte, Kinglong	Guoxuan High-Tech (Gotion Inc.)	لیتیم آهن فسفات و NMC
۷	Fiat	Bosch/Samsung	لیتیم یون
۸	Beijing Automotive Group, Saab Automobile	Boston Power	لیتیم یون
۹	BYD	BYD	لیتیم یون
۱۰	Daimler AG, Ford	Johnson Controls	لیتیم یون
۱۱	Daimler AG	Li-Tec Battery GmbH	لیتیم یون
۱۲	Nissan; Automotive Energy Supply (AESC) is Nissan's joint venture	NEC	لیتیم یون NCM/LMO
۱۳	Tesla Motors	Panasonic	لیتیم یون NCA[1]
۱۴	Future Toyota products	Primearth EV Energy Co, a joint venture between Toyota and Matsushita Electric Industrial Co	لیتیم یون
۱۵	BMW and Volkswagen	Samsung SDI	لیتیم یون
۱۶	Honda, Ford	Sanyo	نیکل فلز هیدرید
۱۷	Kia, Daimler A.G, Hyundai	SK Innovation	باتری لیتیم یون پلیمر
۱۸	Mitsubishi	GS Yuasa	لیتیم یون
۱۹	Marine application	XALT Energy	لیتیم یون
۲۰	Renault, General Motors, Ford, Volvo	LG	لیتیم یون NCM
۲۱	Tianneng	Tianneng Battery	LFP
۲۲	Benz	ACCUmotive	لیتیم یون
۲۳	China	CALB	LFP
۲۴	China	Lishen	لیتیم یون
۲۵	China	Beijing Pride Power	LFP

۱-۴-۱- میزان فروش شرکت‌های مطرح در زمینه باتری خودرو برقی بر حسب MWh

جدول ۱-۲ سهم شرکت های مختلف تولید کننده باتری را از بازار جهانی در سال ۲۰۱۷ نشان می‌دهد که همان‌طوری که مشاهده می‌گردد شرکتهای کشورهای چین، ژاپن و کره به ترتیب بیشترین سهم را دارند.

[1] Nickel Cobalt Aluminium

جدول ۱- ۲- سهم شرکت های مختلف تولید کننده باتری از بازار جهانی (۲۰۱۷) [۳٤]

شرکت	سهم بازار ٪ (۲۰۱۷)	ظرفیت تولیدی(GWh)	کشور
CATL	۱۹	۱۲	چین
Panasonic	۱۶	۱۰	ژاپن
BYD	۱۲	۷/۲	چین
OptimumNano	۹	۵/۵	چین
LG Chem	۷	۴/۵	کره
Guoxauan High-Tech	۵	۳/۲	چین
Samsung SDI	۴	۲/۸	کره
Beihing National Battery Technology	۳	۱/۹	چین
BAK	۳	۱/۶	چین
Funeng Technology	۲	۱/۳	چین
سایر	۲۰	۱۲/۶	-

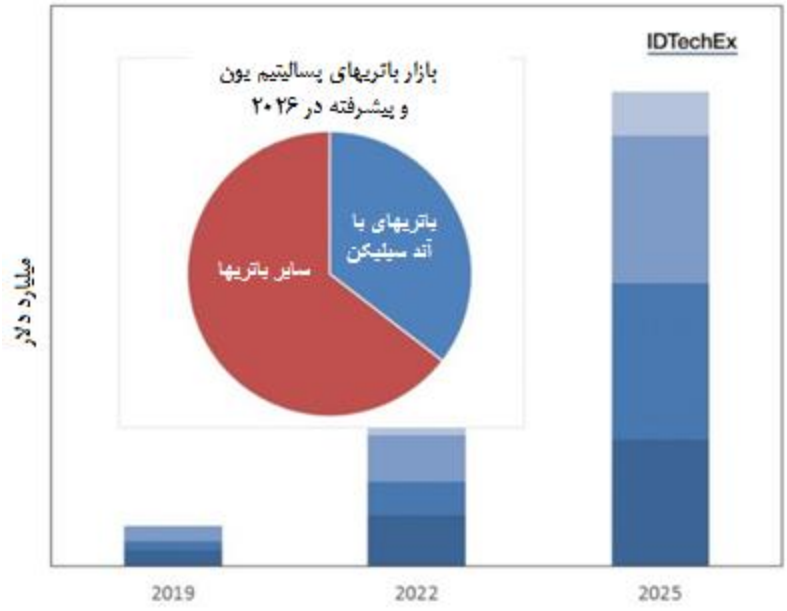
۵-۱- باتری‌های نسل آینده

با آنکه باتری‌های لیتیم یون توانسته‌اند پیشرفت قابل توجهی را در زمینه ذخیره‌سازی انرژی الکتریکی به وجود آورند، سرعت پیشرفت فناوری در بسیاری از حوزه‌هایی که به باتری نیاز دارند به حدی است که باتری‌های موجود جوابگوی نیازهای آنها نیستند. به طور مثال گوشی‌های تلفن همراه امروزی به دلیل قابلیتهای فراوانشان، مصرف انرژی الکتریکی بالایی دارند. از دیگر سو سبک و نازک بودن گوشی یکی از اصلی ترین پارامترهای مورد توجه خریداران است لذا باتری‌ها که حجم بزرگی از تلفن‌های همراه امروزی را به خود اختصاص داده‌اند معمولاً تنها جوابگوی یک روز کاری بوده و باید هر روز شارژ شوند. بخش بزرگی از وزن خودروهای الکتریکی نیز به باتری این خودروها اختصاص داده شده و این امر بر عملکرد این خودروها تأثیر منفی دارد. قیمت بالای باتری در خودروهای الکتریکی نیز پارامتر بسیار مهم دیگری است که اصلی ترین مانع بر سر راه گسترش خودروهای الکتریکی به شمار می‌رود [۵]. در بسیاری حوزه‌های دیگر از جمله رباتهای متحرک یا پوشیدنی، وسایل پزشکی قابل حمل، ادوات نظامی، پرنده‌های بدون سرنشین سبک و غیره نیز باتری‌ها یکی از مهمترین چالشهای توسعه هستند. از همین رو محققان سالهاست در حال تحقیق بر روی گزینه‌های جایگزین برای

باتری‌های لیتیم یون هستند و به آنها لقب باتری‌های پسا لیتیم یون داده‌اند. در ادامه به معرفی اصلی ترین این فناوری‌ها که در مراجع مختلف از آنها به عنوان مهمترین گزینه‌های پیش رو یاد می‌شود، خواهیم پرداخت.

۱-۵-۱- باتری‌های آند سیلیکون[۲]

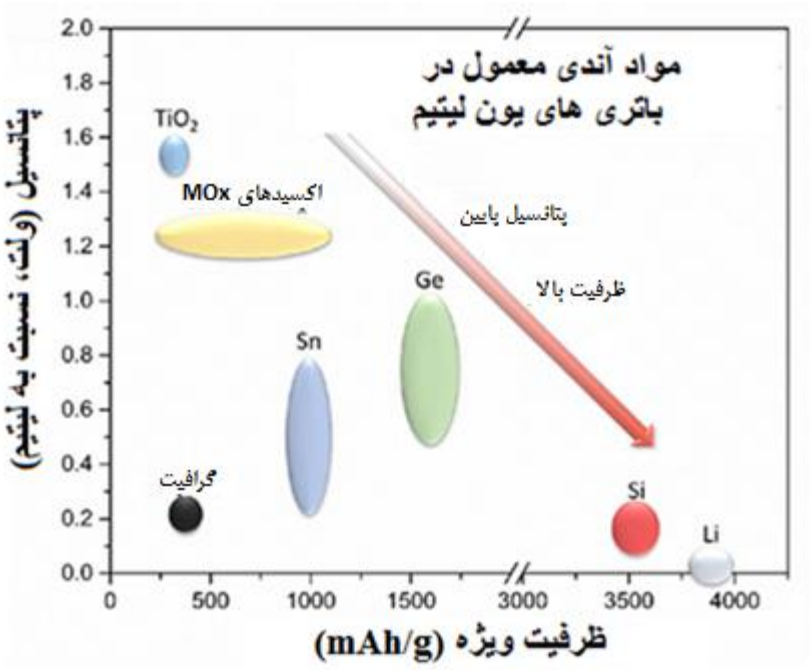
الون ماسک در مورد استفاده از سیلیکون توسط تسلا در باتری های خودروی خود اعلام کرد: "این فقط یک گام کوچک در جهت استفاده از سیلیکون در آند است، اما ما استفاده از آن را افزایش خواهیم داد". این نظر در کنار اهمیت فوق العاده سیلیکون، موجب تمدید علاقه مندی به موضوع باتری آند سیلیکونی شده است به نحوی که میزان گردش مالی ۴ میلیارد دلاری را تا سال ۲۰۲۶ تخمین زده‌اند [۶].



شکل ۱- ٤- گردش مالی حدود ٤ میلیارد دلاری Si در آینده نزدیک [٦]

[۲] در برخی منابع باتریهای لیتیم سیلیکون را در دسته باتریهای لیتیم یون بهبود یافته (یا پیشرفته) قرار داده‌اند و نه باتری‌های پسا لیتیم یون در این گزارش این باتریها به دلیل اهمیت آن ذیل عنوان باتریهای پسا لیتیم یون معرفی شده‌اند.

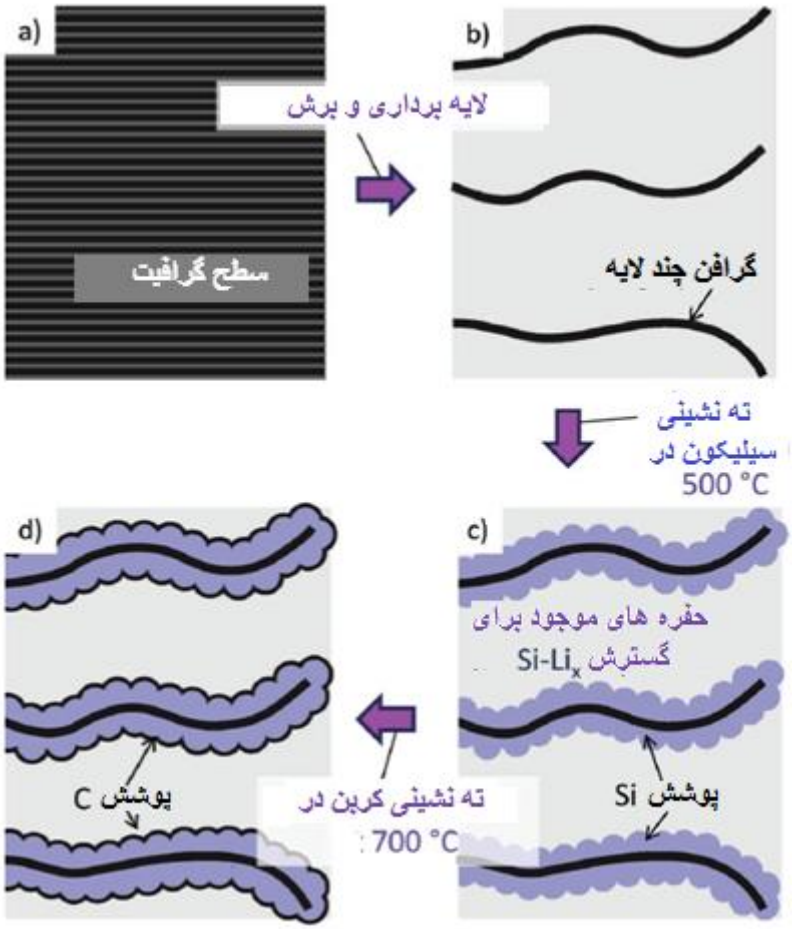
در این باتری‌ها بجای گرافیت از سیلیکون استفاده می‌شود که توانایی جذب لیتیم آن حدود ۱۲ برابر گرافیت است. در این نوع آندها، در حالت ایده‌آل به ازای هر اتم سیلیسیم می‌توان ۴/۴ اتم لیتیم را جذب نمود و به فرمول کلی $Li_{22}Si_5$ رسید. این در حالی است که در گرافیت به ازای هر ۶ اتم کربن حداکثر یک اتم لیتیم جذب می‌شود (LiC_6). علاوه بر این، ولتاژ کاری سیلیکون نیز برای استفاده به عنوان آند در باتری‌های لیتیمی مناسب است. در نتیجه استفاده از این نوع آند می‌تواند تأثیر بسزایی در بالا رفتن چگالی انرژی باتری‌های لیتیمی داشته باشد. شکل ۱–۵ گزینه‌های بالقوه برای جایگزینی آندهای فعلی نشان داده شده‌اند [۷]. همانطوریکه مشاهده می‌شود Si ظرفیت نزدیکی به لیتیم دارد.



شکل ۱– ۵- مقایسه گزینه‌های جایگزین گرافیت برای آند باتری‌های لیتیم یون [۳۰]

ولی با وجود اینکه آندهای سیلیکونی ظرفیت‌های بالقوه بالایی برای ارتقای باتری‌های لیتیم یون امروزی دارند، مشکلاتی مانع از تجاری‌سازی آنها در سطح گسترده شده و دانشمندان مختلفی در حال تلاش برای رفع این مشکلات هستند. مهمترین مشکل سیلیکون، افزایش حجم این ماده در اثر جذب لیتیم می‌باشد که تا ۴۰۰ درصد نیز می‌رسد [۸]. در نتیجه این تغییر حجم، با هر بار شارژ و تخلیه باتری، ماده آندی دچار یک انقباض و انبساط شدید شده و پس از چند بار تکرار این چرخه ساختار ماده تخریب شده و ظرفیت باتری بشدت کاهش می‌یابد و از همین رو عمر چرخه‌ای این نوع باتری‌ها اندک است. لذا در سالهای اخیر برخی گروه‌های تحقیقاتی برای توسعه باتری با دانسیته انرژی بالا، استفاده از

کامپوزیت‌های گرافن- سیلیکون برای آند باتری را پیشنهاد کرده‌اند و برای مثال در کاری توسط گروه آقای یوشین[1] [۹] اثبات شده است که کامپوزیت حاصله با افزایش سطح به میزان ۵ m^2/g ظرفیت ۲۰۰۰ mAh/g را پس از ۱۵۰ چرخه و با حفظ بازده کولنی ۹۹٪ تحویل داد که این ظرفیت از ظرفیت نظری گرافیت و گرافن بالاتر بود (شکل ۱-۶).

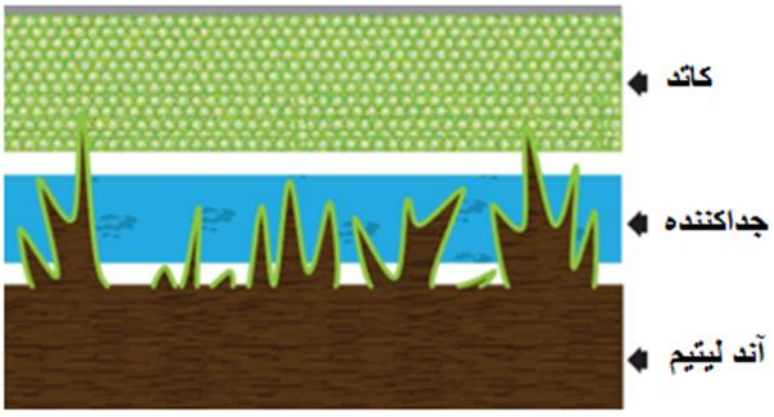


شکل ۱- ٦- تشکیل کامپوزیت C-Si-Graphene، a,b) تبدیل گرافیت به گرافن، c) پوشش نانو ذرات سیلیکون و d) پوشش نهایی با کربن [۹]

[1] Yushin

۲-۵-۱- باتری‌های لیتیم فلز

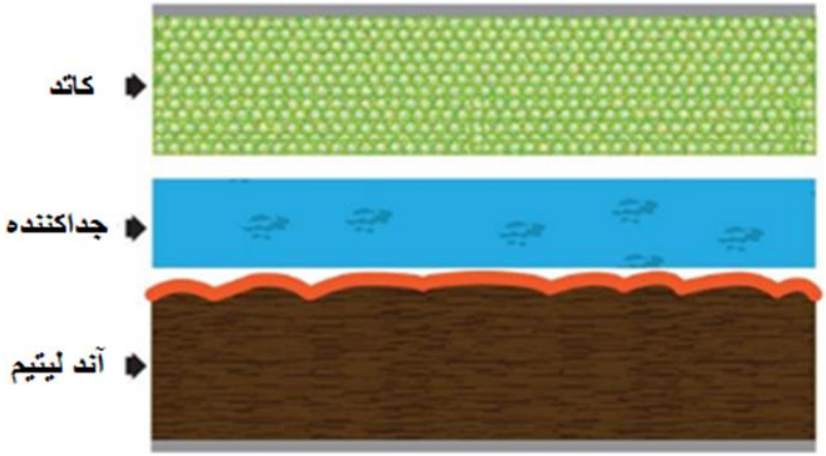
همانطوریکه در شکل ۱-۵ مشاهده می‌گردد، فلز لیتیم بالاترین ظرفیت را برای استفاده در آند باتری‌ها دارد. در باتری‌های لیتیم فلز از یک لایه نازک از فلز لیتیم به عنوان آند استفاده می‌شود و از آنجاییکه هیچ ماده غیرفعالی (نظیر گرافیت در آندهای معمولی) در آند حضور ندارد، بهترین نوع ممکن آند برای باتری‌های لیتیمی قابل شارژ همین نوع آند می‌باشد که ظرفیت را تا بیش از ۱۰ برابر آندهای فعلی افزایش می‌دهد. همچنین در آندهای گرافیتی، به دلیل کند بودن فرآیند نفوذ یونها درون ساختار لایه‌ای این آندها، امکان شارژ باتری سریعتر از حدی مشخص وجود ندارد لذا با حذف این ساختار می‌توان باتری را با سرعت‌های بیشتری شارژ نمود. استفاده از آندهای فلزی در باتری‌های لیتیمی غیرقابل شارژ از ده‌ها سال قبل متداول بوده اما در باتری‌های لیتیمی قابل شارژ استفاده از لیتیم فلزی با مشکل رشد دندریت همراه است به این صورت که در زمان شارژ باتری که یونهای لیتیم از کاتد به سمت آند کوچ می‌کنند، به طور یکنواخت روی سطح آند فلزی قرار نمی‌گیرند و تشکیل رگه‌هایی از فلز لیتیم می‌دهند که به آنها دندریت گفته می‌شود. این رگه‌ها از روی سطح فلز لیتیم شروع به رشد کرده و درون الکترولیت پیشروی می‌کنند. ادامه یافتن رشد این دندریتها و رسیدن آنها به سطح کاتد سبب اتصال کوتاه باتری از درون شده و موجب تولید حرارت و در نتیجه امکان ورود اکسیژن و ترکیب آن با لیتیم شده و سبب آتش گرفتن باتری می‌شود [۱۰].



شکل ۱- ۷- تشکیل دندریت بر روی سطح آند لیتیم [۱۰]

کوی و همکارانش [۱۱] گزارش دادند که یک باتری هوشمند باتری لیتیم فلزی ایجاد کرده‌اند که شروع تشکیل دندریت را حس می‌کند و بنابراین باتری را ایمن نگاه می‌دارد. این تحقیق به فن آوری های باتری مربوط می‌شود که تاکنون به بازار

نرسیده است و بر مبنای اضافه کردن مواد شیمیایی به الکترولیت برای جلوگیری از تشکیل دندریت می‌باشد. گزینه اول نیترات لیتیم می‌باشد که به مدت طولانی به عنوان یک افزودنی برای بهبود عملکرد باتری مورد بررسی قرار گرفته است. گزینه بعدی پلی سولفید لیتیم می‌باشد که در زمان تجزیه یک الکترود گوگرد ایجاد می شود و به الکترودهای فلزی لیتیم منتقل می شود و آن را تخریب می کند. این تیم تحقیق از اثر ترکیبی آنها بهره‌مند شد و اثبات گردید که به طور بالقوه می‌توانند با فلز لیتیم واکنش نشان داده تا یک رابط پایدار و جامد بین الکترود و الکترولیت ایجاد کنند.



شکل ۱- ۸- ممانعت از تشکیل دندریت با افزودنی همزمان دو ماده شیمیایی [۱۱]

۳-۵-۱- باتری‌های حالت جامد

الکترولیتهایی که در باتریهای یون لیتیم استفاده می‌شوند، باید دارای ویژگیهای خاصی باشند که از جمله می‌توان به موارد ذیل اشاره کرد; هدایت یونی زیاد، افزایش نفوذ یونهای لیتیمی، پایداری الکتروشیمیایی زیاد، جلوگیری از انجام واکنشهای جانبی میان الکترودها و الکترولیت، دمای تبخیر، ایمنی زیاد، قیمت مناسب، سازگاری با مواد الکترود، سازگار با محیط زیست یعنی فرایند تولید آنها غیرآلاینده بوده و هنگام استفاده نیز غیرسمی باشند [۱۲]. الکترولیت‌های مایع مسائل و مشکلاتی را از قبیل اشتعال پذیری بالا و ایمنی کم دارند که به ممنوع شدن حمل و نقل هوایی باتری‌های لیتیم یون منجر شده است. همچنین بین الکترولیت و الکترودها (بخصوص آند) واکنشهای جانبی شکل می‌گیرد که در بلند مدت موجب

کاهش عمر باتری می‌شود. همچنین الکترولیتهای امروزی توانایی تحمل ولتاژهای بالا را نیز ندارند و همین امر امکان استفاده از مواد ولتاژ بالا را که به افزایش چگالی انرژی می‌انجامد، محدود می‌کند. همچنین مایع بودن الکترولیت موجب می‌شود با کاهش یا افزایش بیش از حد دما، این الکترولیت از فاز مایع خارج شده و باتری آسیب ببیند که این امر بازه دمای کاری باتری‌ها را محدود می‌کند. البته تلاش برای رفع این مشکلات در الکترولیتهای مایع در جریان است اما برخی از محققین در تلاش‌اند تا با استفاده از الکترولیتهای حالت جامد این مشکلات را مرتفع نمایند. پلی اتیلن اکسید (PEO) نخستین پلیمری است که رسانندگی یونی قابل قبول در دمای زیاد نشان داده است [۱۳]. الکترولیتهای پلیمری افزون بر قیمت کم، دارای ویژگیهای خوبی از قبیل بازده، تعداد چرخه و چگالی انرژی بیشتر نسبت به الکترولیتهای مایع، افزایش مقاومت در برابر اشتعال و درنتیجه افزایش ایمنی را دارا هستند. همچنین، طراحی و ساخت باتریهای پلیمری بسیار ساده تر از باتریهای دارای الکترولیت مایع است، به گونه ای که با استفاده از این الکترولیتها تولید باتری با فیلمهای نازکتر امکانپذیر است، زیرا در این حالت پلیمر هم نقش الکترولیت و هم نقش جداکننده را دارد. باید توجه داشت رسانش PEO نسبت به یون لیتیم تنها در دماهای بیش از $70\ ^{\circ}C$ امکانپذیر است. همچنین، رسانش در این پلیمرها اغلب به دلیل حرکت آنیونها بوده و تعداد لیتیم انتقال یافته با کمک این پلیمرها کم است. استفاده از الکترولیتهای پلیمری دارای نانوذرات پرکننده سرامیکی همچون SiO_2، Al_2O_3 و TiO_2 در درون ماتریس پلیمر مطلوب است. درحقیقت، نانوذرات نقش نرم کننده را در زنجیر ایفا کرده و افزون بر جلوگیری از ایجاد فاز بلوری، موجب افزایش گستره مفید رسانش الکترولیت می‌شوند. همچنین، پرکننده‌های سرامیکی با برهمکنش اسید و باز لوئیس که بین سطح سرامیک و بخشهای زنجیر پلی‌اتیلن اکسید اتفاق میافتد، تعداد یون لیتیم انتقالی را افزایش می‌دهند. تاکنون مواد مختلفی برای به کارگیری به عنوان الکترولیت حالت جامد مورد بررسی قرار گرفته‌اند که هر یک از آنها دارای مزایا و معایبی هستند [۱۴]. در جدول ۳-۱ این ویژگیها برای گروههای مختلف از این الکترولیتها آورده شده است.

جدول ۱- ۳- ویژگیهای مربوط به مواد الکترولیتی مختلف [۱۵]

دسته بندی ماده	نمونه	مزایا	معایب
اکسیدها	LISICON	پایداری شیمیایی بالا مقاومت مکانیکی بالا دامنه ولتاژ کاری بالا	غیر انعطاف‌پذیر هزینه بالای تولید
سولفیدها	Li_2S-P_2S_5	هدایت یونی بالا مقاومت مکانیکی بالا	پایداری اکسیداسیون اندک حساس به رطوبت

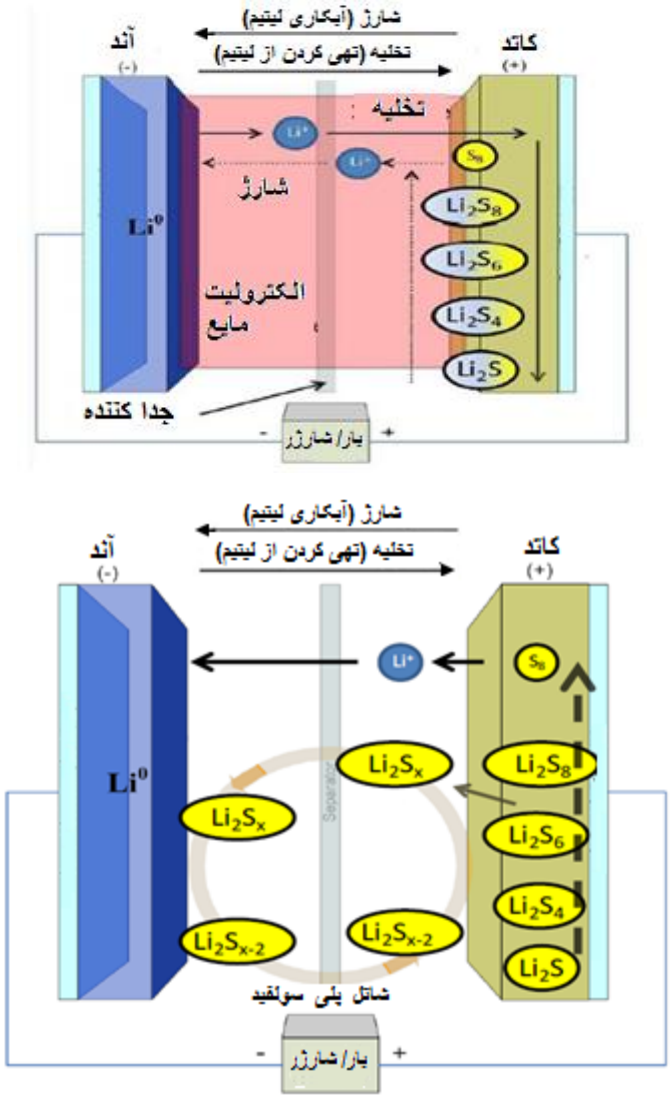
		انعطاف پذیری خوب	ناسازگاری با کاتد
هیدرید	$LiBH_4$	پایدار با لیتیم فلزی مقاومت مکانیکی بالا انعطاف پذیری خوب	حساس به رطوبت سازگاری با کاتد
هالید	LiI	پایدار با لیتیم فلزی مقاومت مکانیکی بالا انعطاف پذیری خوب	حساس به رطوبت ولتاژ اکسیداسیون کم هدایت یونی کم
بورات یا فسفات	$Li_2B_4O_7$	روش تولید آسان ماندگاری خوب	هدایت یونی نسبتا کم
لایه نازک	LIPON	پایدار با لیتیم فلزی پایدار با کاتد	هزینه بالای تولید
پلیمر	PEO	پایدار با لیتیم فلزی انعطاف پذیر تولید آسان	پایداری دمایی اندک ولتاژ اکسیداسیون کم

انتظار می‌رود پس از معرفی باتری لیتیم حالت جامد برای استفاده و کاربری در پهپادها، در سال ۲۰۱۹ شاهد کاربرد این باتری در گجت‌های پوشیدنی باشیم. طبق پیش بینی‌های به عمل آمده، انتظار می‌رود تا سال ۲۰۲۱ میلادی، باتری لیتیم حالت جامد راه خود را در خودروهای الکتریکی ادامه دهد. فناوری به‌کار گرفته شده در طراحی و تولید باتری حالت جامد به دلیل مقاومت بیشتر در مقابل تشکیل دندریت‌ها، استفاده از آند لیتیم خالص را نیز پشتیبانی می‌نماید که سبب افزایش میزان انرژی ذخیره شده در باتری می‌شود.

۴-۵-۱- باتری‌های لیتیم سولفور

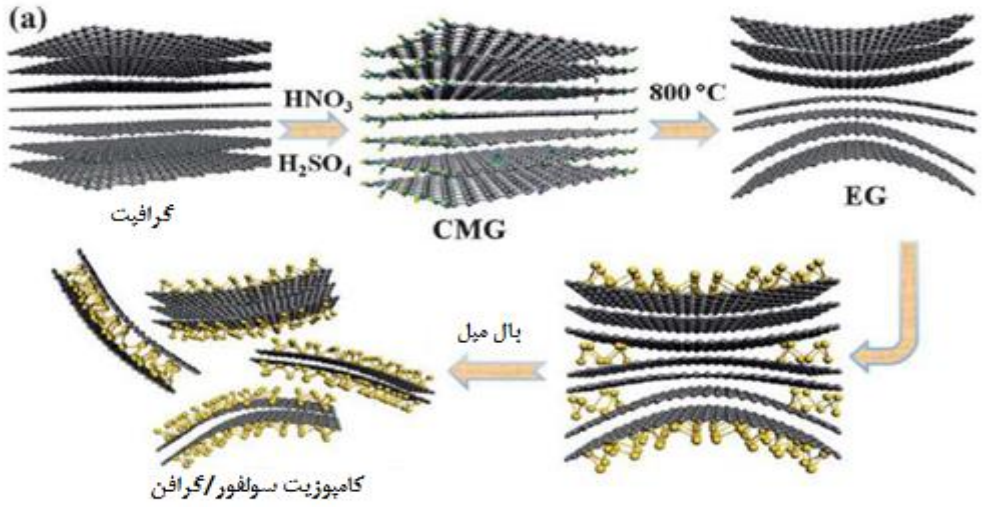
در این باتری‌ها از سولفور به عنوان کاتد استفاده می‌شود که ظرفیتی حدود ۵ برابر ظرفیت کاتدهای امروزی دارد. این ماده همچنین به وفور در طبیعت یافت می‌شود و قیمت ناچیزی دارد. از آنجاییکه ظرفیت این نوع کاتد بالا می‌باشد، آندهای استفاده شده برای باتری‌های لیتیم- سولفور نیز باید ظرفیت بالایی داشته باشند از همین رو در بسیاری از تحقیقات این نوع باتری‌ها معمولاً با آندهای لیتیم فلزی یا بعضاً سیلیکونی مورد بررسی قرارگرفته‌اند [۱۶]. در این نوع کاتدها با ورود یون لیتیم به داخل کاتد، سولفور که در ابتدا به صورت حلقه‌ای ۸ اتمی از اتمهای گوگرد می‌باشد، باز شده و به صورت رشته‌ای درمی‌آید که در دو سمت آن اتمهای لیتیم متصل شده‌اند. با ادامه پیدا کردن این روند به تدریج تعداد اتمهای گوگرد رشته کم می‌شود تا حدی که در حالت دشارژ کامل، ماده Li_2S به دست می‌آید (شکل ۱-۹). به ساختاری رشته‌ای از اتمهای گوگرد

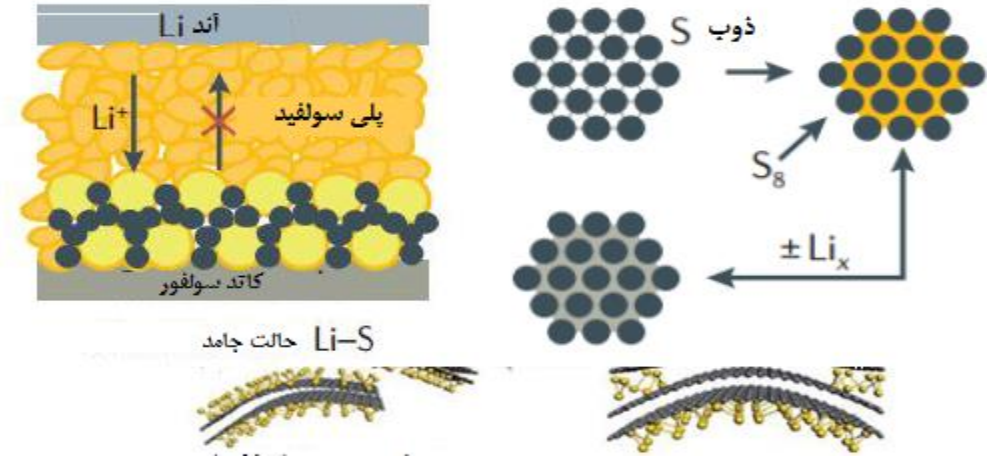
که در دو سمت آن اتم لیتیم قرار گرفته باشد، پلی سولفید لیتیم گفته می‌شود. رشته‌های بلند پلی سولفید لیتیم دارای قابلیت انحلال بالایی هستند و درون الکترولیت حل می‌شوند. این رشته‌ها در ادامه می‌توانند خود را به آند برسانند و با آن واکنشهای ناخواسته‌ای بدهند که در مجموع موجب آسیب دیدن باتری و کاهش ظرفیت آن می‌شود. پایین بودن هدایت الکتریکی سولفور، انبساط حجمی سولفور (تا ۸۰ درصد)، ولتاژ پایین سلول (حدوداً ۲ ولت) و مشکلات تشکیل دندریت (که در بخش باتری‌های لیتیم فلز به آنها اشاره شد) از دیگر مشکلات این نوع باتری‌ها هستند.



شکل ۱- ۹- واکنش سولفور با لیتیم در فرآیند دشارژ باتری‌های لیتیم سولفور و جابجایی پلی سولفیدها [۱۶]

استفاده از نانوساختارهای کربنی برای بالا بردن هدایت الکتریکی و جلوگیری از حل شدن پلی سولفیدها درون الکترولیت یکی از اصلی‌ترین روندها برای بهبود این نوع باتری‌هاست [۱۷]. همچنین اضافه کردن الکترولیت هایی که با تشکیل لایه‌ای بر روی آند از آن محافظت می‌کنند و یا بکار بردن برخی افزودنی‌ها (نظیر اکسیدهای فلزی) به کربن بکار رفته در کاتد برای بهبود جلوگیری از حل شدن در الکترولیت از دیگر روشهای بکار رفته می‌باشد. استفاده از الکترولیت حالت جامد نیز یکی از روشهایی است که از حل شدن پلی سولفیدها جلوگیری کرده و امکان استفاده همزمان از آند لیتیم و کاتد سولفور را فراهم می‌کند و از همین رو بسیار مورد توجه است. علاوه بر این محبوس کردن سولفور درون محفظه‌هایی متخلخل (معمولاً از جنس کربن) برای قرارگیری سولفور درون آنها به نحوی که پلی سولفیدهای حل شده نتوانند از آن خارج شده و خود را به آند برسانند، یکی دیگر از روشهای مورد توجه می‌باشد [۱۸].

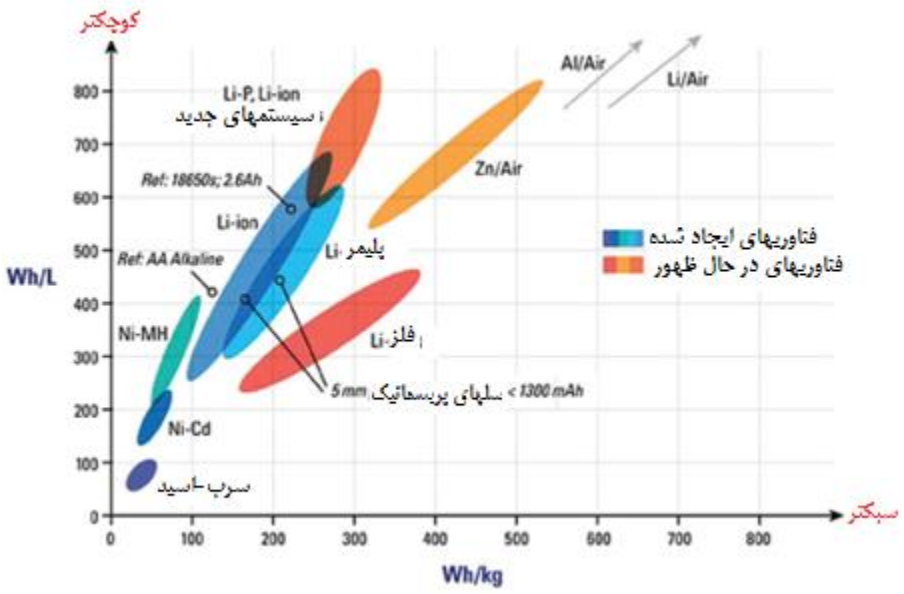




شکل ۱- ۱۰- استفاده از نانو ساختارهای کربنی گرافن (بالا) و کربن مزو پروس (سمت راست) و الکترولیتهای حالت جامد (سمت چپ) برای بهبود باتری‌های لیتیم سولفور [۱۸]

۱-۵-۵- باتری‌های لیتیم هوا

باتری‌های لیتیم هوا در میان همه گزینه‌های مطرح شده بیشترین چگالی انرژی ممکن را به دست می‌دهند. در این باتری‌ها از اکسیژن به عنوان ماده فعال کاتدی استفاده می‌شود که معمولاً بر روی بستری از کربن متخلخل در واکنش شرکت می‌کند. از آنجاییکه ظرفیت کاتد در این باتری‌ها بسیار بالاست اصلی‌ترین گزینه مطرح برای آند این باتری‌ها، استفاده از لیتیم فلزی است. چگالی انرژی عملی این باتری‌ها تا حدود ۴ تا ۵ هزار وات ساعت بر کیلوگرم نیز اعلام شده است که حدود ۲۰ برابر باتری‌های لیتیم یون امروزی است. در شکل ۱-۱۰ چگالی انرژی نظری و عملی باتری‌های قابل شارژ مختلف با یکدیگر مقایسه شده است [۱۹و۲۰].



شکل ۱- ۱۱- مقایسه بین چگالی انرژی انواع باتری‌های قابل شارژ [۱۹]

باتری‌های الکترولیت آبی و الکترولیت غیرآبی دو نوع اصلی از باتری‌های لیتیم هوا می‌باشند. در باتری‌های الکترولیت آبی در حالت تخلیه باتری، اتم لیتیم پس از وارد شدن به کاتد در واکنش کلی زیر شرکت می‌کند.

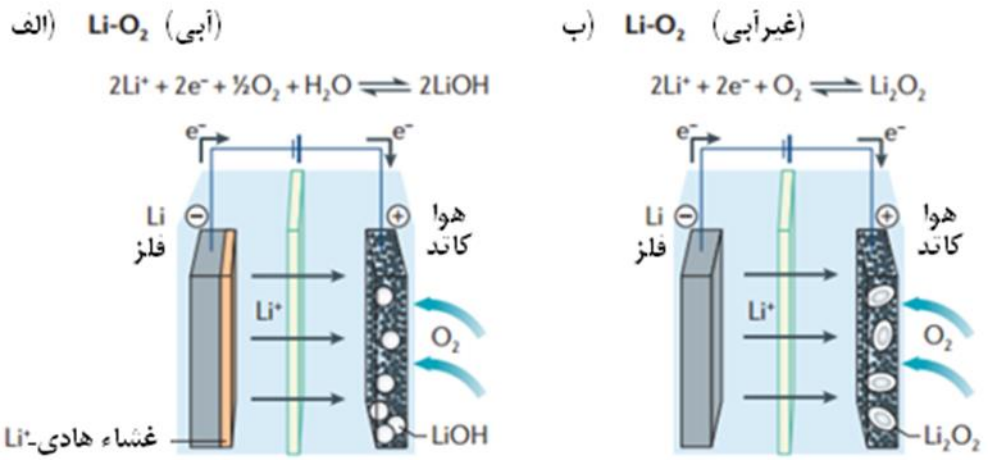
$$2Li^{+} + 2e^{-} + H_2O + 1/2O_2 \rightarrow 2LiOH \qquad \text{۳/۴۵ ولت}$$

محصول این واکنش لیتیم هیدروکسید می‌باشد که در آب انحلال پذیر است اما این ماده در حالت شارژ (عکس واکنش بالا) به راحتی تجزیه نمی‌شود و علاوه بر این در غلظتهای بالا رسوب می‌کند که مشکلاتی را ایجاد می‌نماید. مشکل بزرگتر این باتری‌ها واکنش پذیری بالای آند لیتیمی با آب است که برای جلوگیری از آن و همچنین جلوگیری از تشکیل دندریت باید لایه‌ای محافظ بر روی آند قرار داد که با چالشهایی همراه است. به دلیل مشکلات ذکر شده در سالهای اخیر توجهات بیشتر به سمت باتری‌های الکترولیت غیرآبی لیتیم هوا معطوف شده است. در این نوع باتری‌ها در حالت دشارژ در کاتد واکنش کلی زیر رخ می‌دهد:

$$2Li^{+}+2e^{-}+O_2 \leftrightarrows Li_2O_2 \qquad \text{۲/۹۶ ولت}$$

بزرگترین چالش این نوع باتری‌ها بهبود بازگشت پذیری واکنش فوق است که بهبود بازدهی تجزیه Li_2O_2 و همچنین جلوگیری از به وجود آمدن واکنشهای جانبی ناخواسته که منجر به کاهش بازگشت پذیری و در نتیجه کاهش عمر باتری

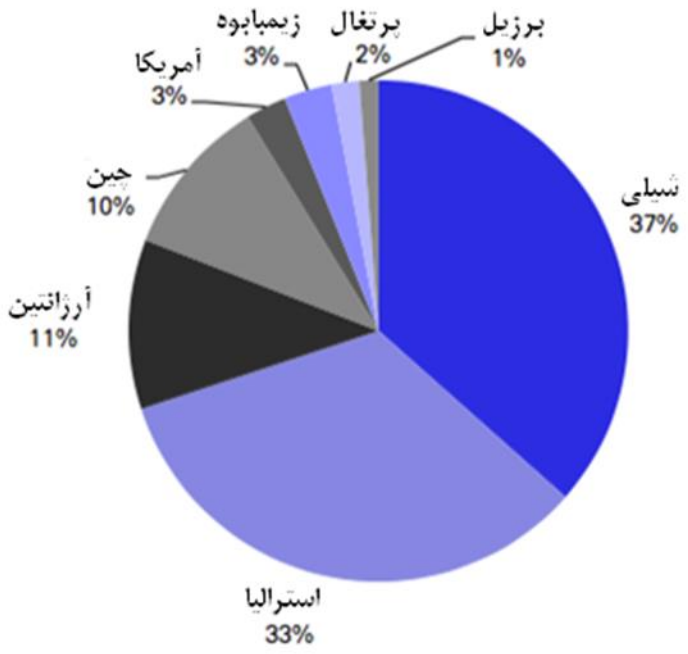
می‌شود از مهمترین رویکردها در این زمینه می‌باشد. به منظور بهبود بازدهی تجزیه Li_2O_2 استفاده از کاتالیستهای نانو ساختار مورد توجه قرار گرفته است اما پیدا کردن کاتالیست مناسبی که دستخوش تجزیه نیز نشود چالشی حل نشده است. همچنین یافتن الکترولیتی که در برابر تجزیه مقاوم باشد نیز از دیگر چالشهای موجود است. شکل ۱۲-۱ انواع باتری‌های لیتیم هوا الکترولیت آبی و غیرآبی را نشان می دهد.



شکل ۱- ۱۲- انواع باتری‌های لیتیم هوا الکترولیت آبی(سمت چپ)و غیرآبی(سمت راست) [۲۰]

۶-۵-۱- باتری‌های غیر لیتیمی

ذخایر فلز لیتیم در دنیا محدود بوده و بخش بزرگی از آن تنها در چند کشور متمرکز است. طبق گزارش منتشر شده توسط وزارت کشور ایالات متحده آمریکا، ذخایر اثبات شده لیتیم دنیا ۱۴/۵ میلیون تن برآورد شده که حدوداً ۹۹ درصد آن در کشورهای شیلی، چین، آرژانتین و استرالیا قرار دارد.

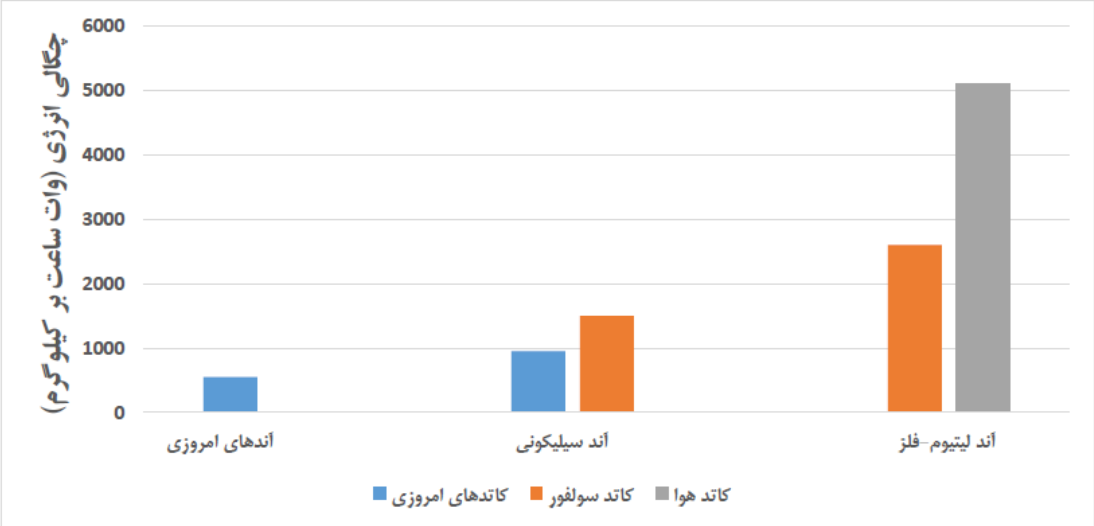


شکل ۱- ۱۳- میزان ذخایر لیتیم دنیا در کشورهای مختلف [۳۱]

البته پیش‌بینی می‌شود کل منابع لیتیم دنیا که هنوز به طور دقیق ارزیابی نشده‌اند بیش از این مقدار و مجموعاً حدوداً ۴۰ میلیون تن باشد. تخمین زده می‌شود تنها در کشور بولیوی حدود ۹ میلیون تن لیتیم موجود باشد. با توجه به منابع محدود و متمرکز لیتیم، احتمال به مخاطره افتادن تأمین امن این ماده استراتژیک برای صنایعی مثل خودروهای برقی وجود دارد. البته باید توجه داشت با توجه به میزان فعلی برداشت از منابع لیتیم (۳۵ هزار تن در سال) دنیا تا سالها با کمبود این ماده مواجه نخواهد شد اما روند روزافزون رشد تقاضا در سالهای اخیر نگران کننده است. این امر در کنار قیمت بالای این ماده محرکی است در جهت تلاش برای جایگزین کردن این فلز با عناصری مانند سدیم، منیزیم، آلومینیوم و روی که در زمینه ذخیره سازی انرژی قابلیتهای خوبی دارند [۲۳-۲۱]. همچنین گزینه‌های آلومینیم، روی و منیزیم به دلیل توانایی جابجا کردن همزمان چند بار الکتریکی به صورت بالقوه این قابلیت را دارند که مبنای ساخت باتری‌هایی با چگالی انرژی بیش از باتری‌های لیتیم یون امروزی باشند. تلاشها در این زمینه در حال پیگیری است اما مانند سایر موارد مطرح شده، موانع و مشکلات در این حوزه نیز بسیار است.

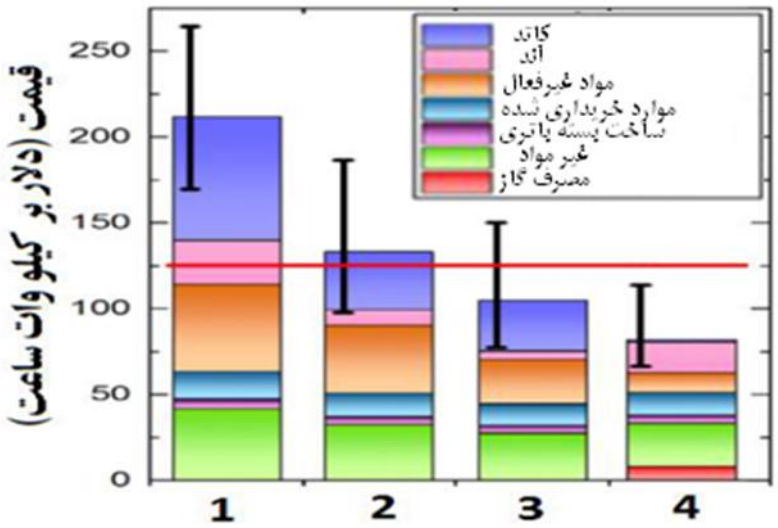
۷-۵-۱- مقایسه بین فناوری‌ها

از آنجاییکه فناوری‌های فوق در سطح وسیع تجاری نشده‌اند و تنها برخی از آنها به صورت محدود و برای کاربردهای خاص تولید می‌شوند، ارائه مقایسه های دقیق و قابل اتکا بین آنها دشوار است. با اینحال به صورت تخمینی مقایسه‌هایی بین آنها انجام شده است. در شکل زیر تأثیر بالقوه استفاده از فناوری‌های پسا لیتیم یون بر روی چگالی انرژی آورده شده است [۲۴و ۲۵].



شکل ۱- ۱٤- چگالی انرژی بالقوه برحسب فناوری‌های مختلف [۲٤]

با توجه به عدم قطعیتهای موجود، ارائه تخمینی دقیق از قیمت تمام شده باتری برای فناوری‌های مطرح شده تقریباً غیر ممکن است با این حال در اسناد منتشر شده توسط وزارت انرژی آمریکا و ذیل برنامه تحقیق و توسعه باتری‌های پیشرفته، تخمین زیر با کمک مدلسازی‌هایی صورت گرفته که شامل همه فناوری‌های مطرح شده نیز نمی‌باشد. همچنین لازم به ذکر است که این تخمین قیمت در سطح پک باتری خودروهای برقی انجام شده و نه در سطح سلول باتری.



شکل ۱- ۱۵- قیمت تخمینی برای فناوری‌های مختلف، ۱. باتری‌های امروزی ۲. آند سیلیکون و کاتد بهبود یافته امروزی ۳. آند لیتیم فلزی و کاتد بهبود یافته امروزی ٤. باتری لیتیوم هوا غیرآبی با آند لیتیم فلزی [۲٤]

۱-۶- نقشه راه کشورهای توسعه یافته و پتانسیل برای توسعه فناوری باتری

با توجه به پیش‌بینی‌هایی که در زمینه رشد نیاز جهان به باتری‌های پیشرفته در سالهای آینده می‌شود، کشورها و شرکتهای بزرگ و پیشرو جهان به منظور دستیابی به رشد اقتصادی و مزیتهای رقابتی و همچنین با توجه به جنبه‌های استراتژیک این محصول، در تلاش‌اند تا با توسعه تحقیقات در زمینه باتری‌های پیشرفته از رقبای خود پیشی بگیرند. از همین رو در اخبار منتشر شده و یا برنامه‌ها و نقشه راههای خود از توسعه نسلهای آینده باتری‌های پیشرفته نامبرده‌اند که در جدول زیر به تعدادی از آنها و فناوری ذکر شده در آنها اشاره شده است. علاوه بر برنامه شرکتها و دولتها پیش بینی برخی از مؤسسات رصدگر نیز در جدول ۴-۱ آورده شده است.

جدول ۱- ٤- رصد فناوری‌های باتری توسط شرکت‌ها و موسسات معتبر

سند	نوع باتری
نقشه راه وزارت انرژی آمریکا	لیتیم-فلز، لیتیم-سولفور، لیتیم-هوا
نقشه راه ژاپن (NEDO)	سدیم-یون، فلز-هوا، لیتیم-سولفور، آند فلزی (کلسیم، آلومینیم، منیزیم)

نقشه راه موسسه فرانهوفر آلمان	با کاتد ولتاژ بالا
Toyota	حالت جامد، لیتیم–هوا
BMW	لیتیم–سولفور، لیتیم–هوا، لیتیم–فلز با کاتد ولتاژ بالا
Nissan	حالت جامد
Honda	حالت جامد
Sony	لیتیم–سولفور
Samsung	حالت جامد، لیتیم–هوا
Panasonic	حالت جامد
Bosch	لیتیم–سولفور، لیتیم–هوا
Dyson	حالت جامد
NASA	لیتیم–سیلیکون، لیتیم–سولفور
Volkswagon	حالت جامد
BASF	لیتیم–سولفور
گزارش موسسه Idtechex	لیتیم–سیلیکون، لیتیم–سولفور، حالت جامد، سدیم–یون، لیتیم–هوا، منیزیم–یون
گزارش موسسه Lox Research	لیتیم–سولفور، حالت جامد
گزارش موسسه Avicenne	لیتیم–سیلیکون، لیتیم–سولفور
رصدخانه موسسه Nature	لیتیم–سولفور، لیتیم–هوا، لیتیم–فلز، حالت جامد

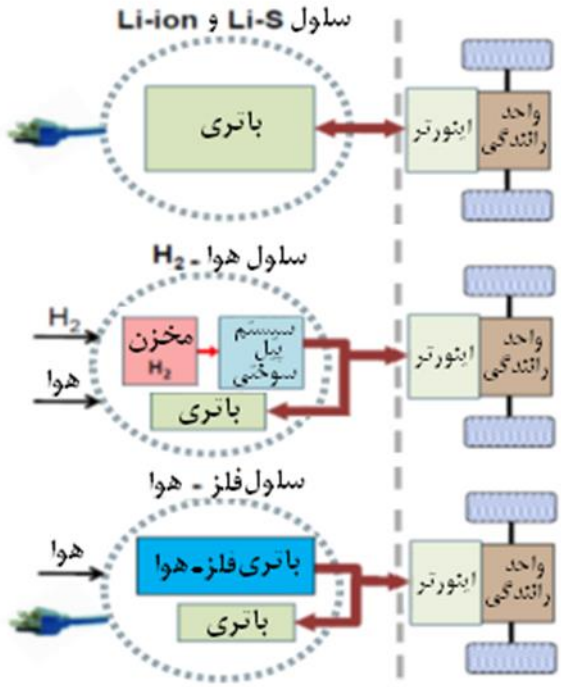
۱-۶-۱- برنامه کشورهای مختلف در خصوص باتری‌های فلز- هوا

با توجه اهمیت باتری فلز هوا به عنوان اصلی‌ترین گزینه باتری ۲۰ سال آینده، منابع [۲۶و ۲۷] سند توسعه کشورهای مختلف را به صورت مختصر منتشر کرده است. بر اساس مطالعات و تجربیات به دست آمده، دلایل زیر برای برنامه ریزی در زمینه استفاده از باتری‌های فلز- هوا بیشتر به چشم می‌خورد.

۱-۱-۶-۱- کاهش آلودگی‌های زیست محیطی

آلودگی‌های زیست محیطی و گرم شدن کره زمین در اثر تولید گازهای گلخانه‌ای مشکلات فراوانی برای زندگی بشر ایجاد خواهد کرد. گازهای گلخانه‌ای در اثر احتراق سوخت‌های فسیلی ایجاد می‌شود و یکی از مهمترین دلایل تولید این گازها دود خروجی از اگزوز اتوموبیل‌ها است. خودروهای الکتریکی یکی از راه‌های مناسب جهت کاهش تولید این آلودگی‌ها

هستند. در **Error! Reference source not found.**ساختار منابع تولید توان برای خودروهای الکتریکی معرفی شده است [۲۶].



شکل ۱- ۱٦- سه فناوری برای خودروهای الکتریکی، باتری فلز- هوا، باتری لیتیم سولفور، پیل سوختی [۲٦]

۲-۱-۶-۱- کاهش قیمت خودروهای الکتریکی

یکی از دلایلی که خودروی الکتریکی هنوز نتوانسته است رقیب سرسختی برای خودروی موتور احتراقی باشد، قیمت بالای آن می‌باشد. قیمت خودروی الکتریکی شرکت مولن با باتری لیتیم – هوا حدود ۴۰٪ باتری لیتیم یون برآورد شده است. این مطلب نشاندهنده این است که کاهش قیمت خودروهای بدون آلاینده اهمیت فراوانی دارد.

۳-۱-۶-۱- افزایش راندمان سیستم تولید توان برای کاربری نظامی

برای محیط‌های نظامی دانسیته انرژی بالا (تولید توان برای مدت زمان زیاد در کمترین وزن) از اهمیت بالایی برخوردار است. باتری فلز- هوا به دلیل اینکه ماده فعال الکترودی در سمت کاتد در آن ذخیره نشده و از محیط اطراف به دست میآید دارای وزن پائینی است، علاوه بر ان از فلزات الکتروپوزیتیو استفاده می‌شود بنابراین مدت زمان اهدای الکترون ان بالاست و برای محیط نظامی بسیار مناسب است.

۴-۱-۶-۱- کاهش خطر استفاده در محیط های نظامی

رقبای اصلی باتری‌های فلز– هوا، باتری لیتیم – یون و پیل‌های سوختی متانولی و هیدروژنی است. خطرات انفجار هیدروژن و آتش گیری باتری لیتیم – یون و متانول باعث شده باتری فلز–هوا جهت افزایش امنیت کاربرها مورد توجه قرار گیرد.

۲-۶-۱- برنامه آمریکا [۲۷]

برخلاف جورج بوش که برنامه تحقیقاتی خود را بر اساس هیدروژن و پیل سوختی قرار داده بود برنامه اباما بیشتر بر اساس باتری‌های نوع دو قرار دارد.

دو سازمان در وزارت انرژی آمریکا روی این باتری‌ها کار می‌کنند:

سازمان Basic Energy Science (BES)

سازمان Renewable Energy Efficiency & Renewable energy (EERE)

۱-۲-۶-۱- سازمان BES

تمرکز این سازمان روی تحقیقات بنیادی و کشف مواد و مفاهیم جدید در حوزه ذخیره سازی انرژی است. این سازمان از سال ۲۰۱۲ تا ۲۰۱۴ حدود ۱۳۰ میلیون دلار هزینه کرده است مراکز مرتبط با این سازمان به همراه بودجه آنها در جدول ۱– ۵ توضیح داده شده است.

جدول ۱– ۵– فعالیت‌های مراکز مرتبط با سازمان BES [۲۷]

ردیف	نام سازمان	بودجه (میلیون دلار)	دوره تحقیقات	زمینه تحقیقات
۱	Center for electrical energy storage	۱۹	۵ ساله	تحقیقات بر روی مکانیسم واکنش‌های الکتروشیمیایی مورد نیاز برای توسعه مواد جدید ذخیره انرژی
۲	Northeastern chemical energy storage center	۱۷	۵ ساله	معرفی واکنش های جدید و توسعه مواد جدید جهت افزایش کارکرد باتری های نوع دوم

۳	Center for electrocatalysis	۱۵	۵ ساله	تحقیقات خلاقانه برای توسعه سیستم های جدید ذخیره کننده انرژی با ترکیب باتری‌های سوختی[۱] و باتری‌های جریانی[۲]

۲-۲-۶-۱- سازمان (EERE)

سازمان EERE حدود ۱/۵ میلیارد دلار در مورد پروژه های ساخت باتری‌های قابل شارژ هزینه کرده و در این خصوص در طی سالهای ۲۰۰۹ و ۲۰۱۰، پنج پروژه را در خصوص باتری های فلز- هوا حمایت مالی نموده است که شامل عناوین ذیل می‌باشند.

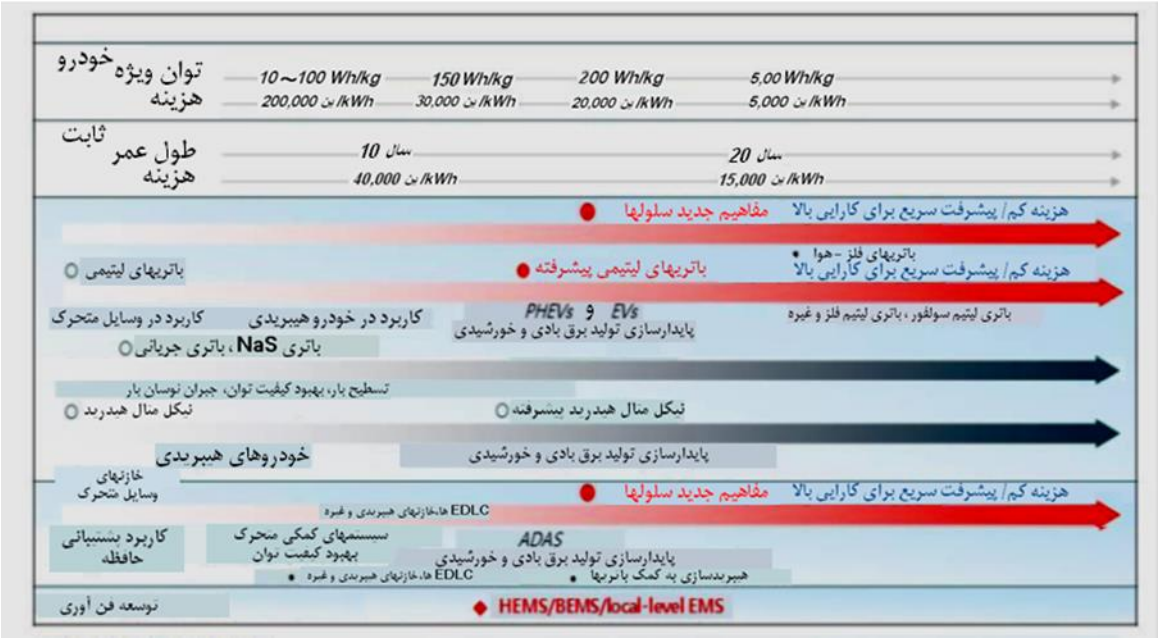
- باتری‌های فلز- هوا با کارایی بالا[۳]، با دانسیته انرژی بالا و کم هزینه (در دانشگاه آریزونا)
- توسعه باتری لیتیم – هوا با دانسیته انرژی بسیار زیاد بر اساس الکترود لیتیم محافظت شده (شرکت پلی پلاس)
- کاتد با کارایی بالا برای باتری لیتیم – هوا (دانشگاه میسوری)
- باتری روی – هوای جریانی[۴] (شرکت رولت)[۵]
- باتری آهن – هوای قابل شارژ بزرگ مقیاس[۶] و با هزینه کم (دانشگاه کالیفرنیای جنوبی)

۳-۶-۱- ژاپن

برنامه ژاپن در راستای کاهش ۵۰٪ از تولید گازهای گلخانه ای تا سال ۲۰۵۰ می‌باشد. بر این اساس ۲۱ تکنولوژی جدید تحت سرپرستی NEDO[7] پایه گذاری شده است که بودجه کلی آن ۲/۶ میلیارد دلار می‌باشد که حدود ۹/۷٪ آن به باتری‌های قابل شارژ اختصاص دارد [۲۴].

[1] Fuel battery
[2] Flow battery
[3] sustainable
[4] Zinc flow air battery
[5] Revolt
[6] Grid scale
[7] New Energy and Industrial Technology Development Organization

در این برنامه که در شکل ۱-۱۷ نمایش داده شده است، نقش باتری‌های فلز- هوا به عنوان یکی از پایه های تولید انرژی با هزینه کم و دانسیته انرژی بالا به خوبی مشخص است. در زمینه خودروهای برقی، هدف رسیدن به دانسیته انرژی ۵۰۰ وات ساعت بر کیلوگرم و هزینه ۵۰۰۰ ین به ازای هرکیلو وات ساعت تا سال ۲۰۳۰ در نظر گرفته شده است [۲۴].



شکل ۱- ۱۷- برنامه NEDO ژاپن [۲۴]

۴-۶-۱- اروپا

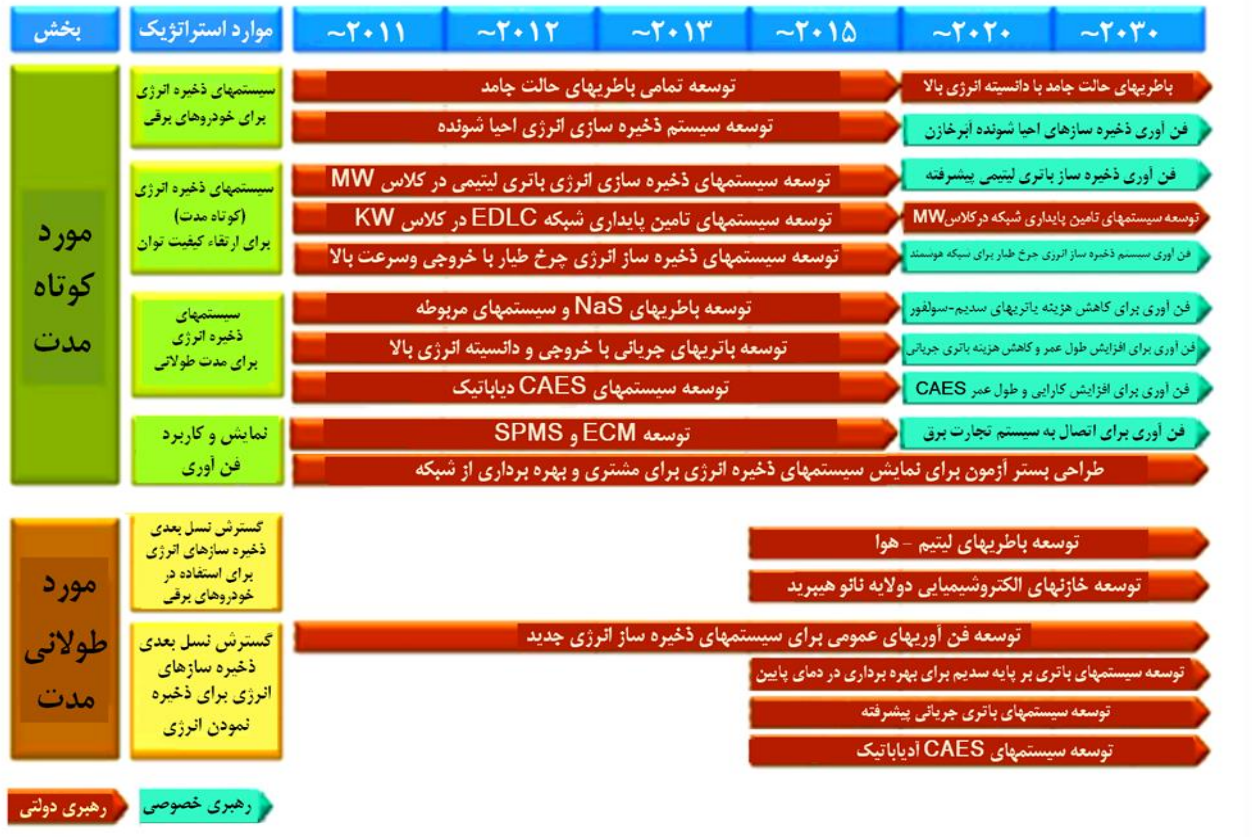
در بین کشورهای اروپایی، کشور آلمان سهم بسیار عمده ای در زمینه تحقیق و توسعه بر روی باتری‌های پیشرفته دارد در اصلی‌ترین آنها را در جدول ۱-۶ آورده شده است. به طور کلی ۴۲۰ میلیون یورو به عنوان گرنت برای توسعه تکنولوژی باتری از سال ۲۰۰۸ تا ۲۰۱۱ در نظر گرفته شد. همچنین وزارت اقتصاد و تکنولوژی فدرال آلمان حدود ۳۵ میلیون یورو از سال ۲۰۰۹ تا ۲۰۱۲ به عنوان گرنت اهدا کرد. به علاوه ۶ پروژه در آلمان در خصوص باتری‌ها از سال ۲۰۰۹ تا ۲۰۱۱ به مبلغ ۳۱۰ میلیون یورو انجام شد [۲۴].

جدول ۱- ٦- برنامه‌های کشور آلمان در خصوص باتریهای نسل آینده [٢٤]

ردیف	نام برنامه	بودجه (میلیون یورو)
۱	LISA	۱/۷
۲	REALIBATT	۱/۲
۳	LIHEBE	۲/۲

۵-۶-۱- کره جنوبی

برنامه کشور کره جنوبی برای توسعه ذخیره کننده‌های انرژی در **Error! Reference source not found.**-۱ ۱۸ نشان داده شده است که در زمینه باتری، باتری‌های لیتیمی و سدیمی از اهمیت ویژه‌ای برخوردار هستند.



شکل ۱- ۱۸- برنامه کره جنوبی در خصوص ذخیره کننده های انرژی [٢٤]

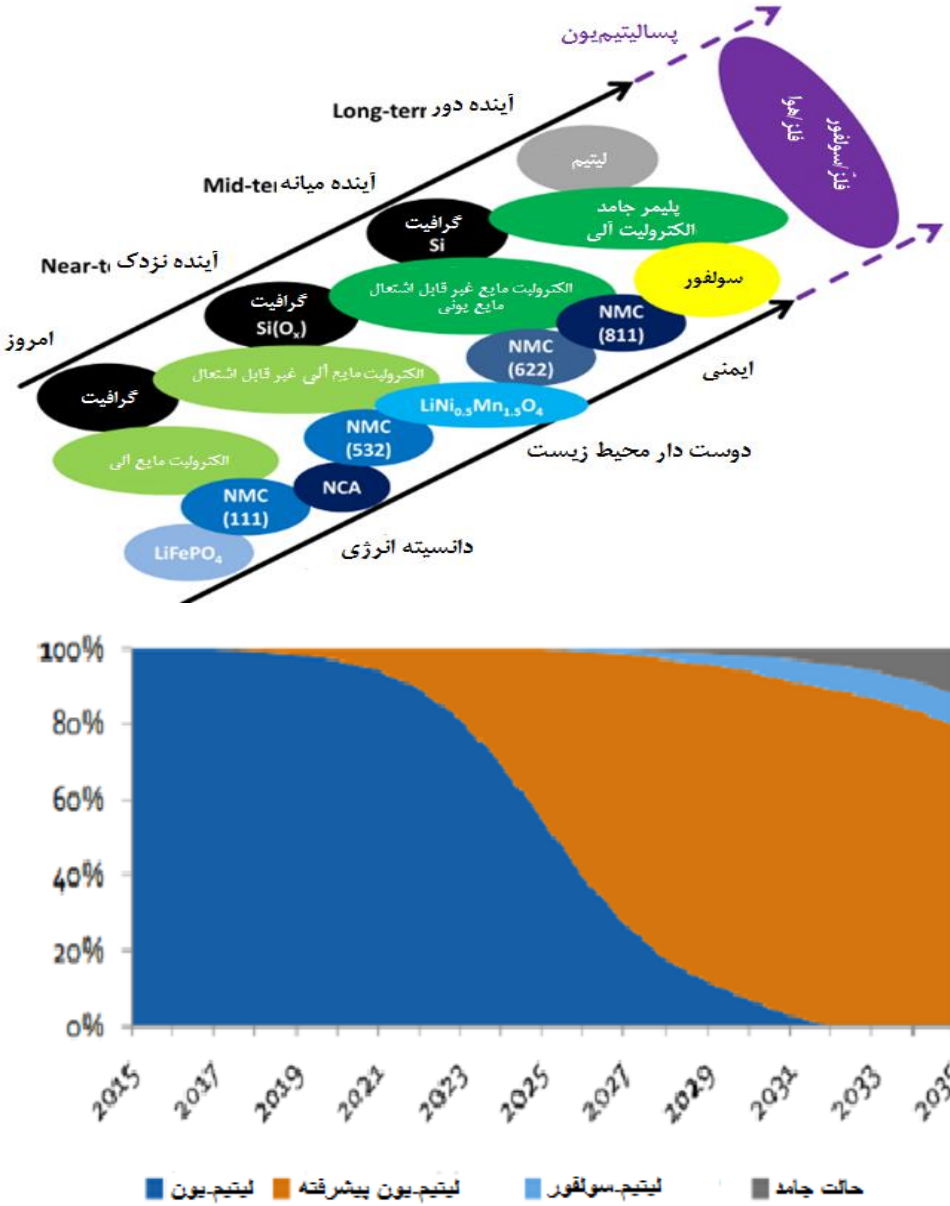
۶-۶-۱- فاصله تا بازار

شاید مهم‌ترین و دشوارترین پارامتری که برای تصمیم گیری در مورد استراتژی توسعه فناوری باید مورد ارزیابی قرار گیرد، پیش‌بینی زمان ورود فناوری‌های بالقوه به بازار است. به این منظور بایستی مطالعه جامع و دقیقی بر روی فناوری‌های مطرح صورت گرفته و با در نظر گرفتن نظرات نخبگان این حوزه تصمیم گیری نمود. در این گزارش چنین اقداماتی انجام نشده اما با در نظر گرفتن اطلاعات به دست آمده از منابع مختلف ازجمله مقالات مجلات برتر از جمله نیچر، برنامه‌های اعلامی از سوی کشورهای پیشرو، سخنرانیهای برترین دانشمندان حوزه باتری‌های لیتیمی و پیش‌بینی مؤسسات رصدگر فناوری، فاصله فناوری‌های مختلف تا بازار در سه سطح کوتاه مدت، میان مدت و بلند مدت به صورت زیر تقسیم بندی می‌شود:

جدول ۱- ۷- دسته بندی فناوری‌های مختلف از منظر زمان ورود به بازار

کوتاه مدت	میان مدت	بلند مدت
باتری لیتیم یون پیشرفته سیلیکون	باتری حالت جامد باتری لیتیم سولفور باتری لیتیم- فلز	باتری لیتیم هوا باتری غیر لیتیمی

بر اساس این دسته بندی تخمین زده می‌شود فناوری‌های میان مدت تا ۵ سال آینده، فناوری‌های میان مدت تا ۱۰ سال آینده و فناوری‌های بلند مدت بعد از این زمان به تدریج وارد بازار خواهند شد. باتری‌های لیتیم یون پیشرفته، بهبود یافته باتری‌های لیتیم یون فعلی هستند که در آنها چگالی انرژی، قیمت، عمر یا پارامترهای دیگر بهبود یافته است. مهمترین گزینه‌های مطرح در این زمینه استفاده از کاتدها و الکترولیتهای ولتاژ بالا (۵ ولت) و همچنین استفاده از ماده کاتدی نیکل منگنز کبالت (NMC) غنی شده با نیکل یا منگنز می‌باشد که دارای ظرفیت بیشتری نسبت به کاتدهای NMC امروزی هستند اما فعلاً با مشکل ناپایداری مواجه‌اند. به عنوان نمونه در شکل زیر پیش بینی موسسه تحقیقاتی لوکس آورده شده است. البته به نظر می‌رسد در این پیش بینی باتری‌های سیلیکونی نیز تحت عنوان باتری‌های لیتیم یون پیشرفته در نظر گرفته شده باشند.



شکل ۱- ۱۹- پیش بینی موسسه تحقیقاتی لوکس از سهم بازار فناوری‌های مختلف در آینده [۳۳]

۱-۷- شناسایی وضعیت و پتانسیل موجود در داخل کشور

۱-۷-۱- اطلاعات کلی در زمینه کارخانه های تولید کننده باتری در کشور

۱-۱-۷-۱- سازمان توسعه منابع انرژی (توان)

این سازمان در زمینه‌های مختلف انرژی اقدام به تحقیق و آزمایش نموده است که بسیاری از این موارد به فاز توسعه رسیده اند.

الف- باتری سرب اسیدی

- شبیه سازی فرآیندی باتریهای سرب اسیدی
- تولید شبکه باتری به روش الکترو فورمینگ پیوسته
- بررسی اثرنانولوله های کربنی بررفتارالکتروشیمیایی صفحات مثبت ومنفی باتری سرب اسید
- بررسی نقش افزودنیهای سرامیکی در صفحات مثبت باتری سرب اسید (فازاول- سیلیسیم)
- بررسی تاثیرچندماده آلی برخوردگی شبکه مثبت باتریهای سرب اسیدی استارتر
- بررسی فرآیند پیرسختی (Ageing) بر خوردگی، ظرفیت، طول عمر و استحکام آلیاژهای شبکه مثبت باتریهای هیبریدی .
- بررسی اثرنانولایه های پلیمری برکارآیی باتری سرب اسید
- کاهش پدیده سولفاته شدن صفحات مثبت ومنفی باتری سرب اسید با بکارگیری مواد فعال سطحی آنیونی
- شبیه سازی پارامترهای عملکردی در باتری استارتر با استفاده از شبکه عصبی .
- جایگزینی وانیسپرز تولید داخل بجای نمونه خارجی آن.
- بررسی و شناسایی باتریهای اسپیرال و تولیدآزمایشگاهی آن.
- بهبود و بهینه سازی فرآیند کیورینگ برروی صفحات مثبت و منفی باتریهای سرب اسید
- محاسبه مشخصه های شیمی- فیزیکی صفحات مثبت ومنفی باتریهای سرب اسید.

ب- باتری لیتیمی

- توسعه و بومی سازی مواد اولیه شیمیایی و اجزای سلول های لیتیمی از قبیل کاتد، آند، سپراتور، الکترولیت و ...
- مشارکت و پیگیری و طرح کلان ملی با عنوان کسب دانش فنی، بومی سازی و تولید صنعتی باتری‌های لیتیمی در شورای عطف وزارت علوم
- اکتساب دانش فنی طراحی وساخت انواع پک وسیستم های مدیریت باتری‌های لیتیمی

۲-۱-۷-۱- شرکت نیان باتری خاوران

شرکت نیان باتری خاوران از توان فنی- مدیریتی مجموعه نیان الکترونیک استفاده نموده و نسبت به عقد قرارداد جهت راه اندازی خط تولید باتری های سیلد اسید، با دانش فنی و تحت لیسانس شرکت شوانگ دنگ (Shuangdeng)که اصلی ترین تامین کننده باتری های مخابراتی برای شرکت های HUAWEI و ZTE می باشد، اقدام نموده است. شرکت نیان باتری خاوران خط تولید خود را در کمتر از دوازده ماه در حوزه تولید انواع باتری های سیلد اسید صنعتی با آخرین تکنولوژی روز دنیا در سال ۱۳۹۱ راه اندازی نمود و و با جدیدترین دستگاه های روز دنیا به تولید ۹۰۰۰۰ باتری در سال رسیده است.

۳-۱-۷-۱- شرکت پاسارگاد صنعت باتری

شرکت پاسارگاد صنعت باتری در سال ۱۳۸۷ با هدف تولید سالیانه ۱۰۰۰۰۰۰ دستگاه انواع باتری های شارژ در جلد با پایه سرب کلسیم تاسیس گردید.

۴-۱-۷-۱- برنا باتری

شرکت تولیدی برنا باتری در سال ۱۳۶۹ با توجه به کمبود شدید باتری خودرو در کشور و در شرایطی که تنها یک تولید کننده باتری خودرو دولتی در کشور وجود داشت تاسیس و به بهره برداری رسید. این شرکت ضمن مشارکت در تدوین استاندارد ملی باتری استارتر، اولین واحد دریافت کننده گواهینامه استاندارد ملی ایران در زمینه باتری خودرو بوده و نیز دارای گواهینامه‌های ISO 9001:2008 و ISO/TS 16949:2009 از شرکت IMQ ایتالیا و همچنین گواهینامه‌های متعدد ملی و بین المللی در خصوص کیفیت محصولات تولیدی میباشد.در حال حاضر مجموعه کارخانجات برنا باتری در مساحتی بالغ بر ۳۰.۰۰۰ متر مربع واقع در شهرک صنعتی مبارکه انواع باتری خودرو با ظرفیت های ۵۰ تا ۲۰۰ آمپرساعت را تولید و به بازار عرضه مینماید.

۵-۱-۷-۱- شرکت پلاتین ایران

- واحد ساخت باتری ساکن و صنعتی

این واحد از دو بخش تشکیل شده است:

الف. بخش تولید انواع باتریهای ۲ ولت ساکن آب اسیدی (تر) شامل: بخش ریخته گری سرب و تولید پلیت، پردازش(curing) وشکل دهی (formation)، شارژ، مونتاژ.

این بخش انواع باتریهای مورد نیاز مخابرات، راه آهن، واگن های مسافری، انواع لیفتراک های برقی، پست های برق و آب رسانی تا ظرفیت ۳۰۰۰ آمپر ساعت را تولید می نماید.

ب. بخش تولید انواع باتریهای ۲ ولت و ۱۲ولت سیلد (خشک) انواع باتری ۱۲ ولت مورد نیاز UPS انواع سایت های مخابراتی، بانک ها و سیستم های رایانه‌ای را تامین می نماید و باتریهای ۲ ولت سیلد مصارف پستهای برق، سیستمهای مخابرات و سایت های خطوط لوله، نفت و پتروشیمی و مشابه را پوشش می دهد.

این واحد همچنین با کمک بخش مهندس تحقیق و توسعه (R&D) و همراهی یک شرکت معتبر چینی موفق به مونتاژ انواع باتریهای نیکل کادمیوم (Ni-Cd) گردیده که می تواند نیازهای سیستم‌های مترو و بخشی از راه‌آهن، سیستم های انرژی‌های خورشیدی و پتروشیمی و صنعت را تامین نماید.

۶-۱-۷-۱- کارخانه باتری سازی دامغان

این شرکت سومین کارخانه فعال کشور در بخش باتری سرب اسیدی است. میزان تولید این واحد صنعتی ماهانه بیش از ۱۲ هزار باتری اعلام شده است. در این واحد صنعتی با سرمایه‌گذاری یکصد میلیارد ریال، روزانه بیش از ۴۵۰ عدد انواع باتری های صنعتی تولید می شود. تولیدات این واحد صنعتی علاوه بر باتری‌های موتورسیکلت، ۲۰ نوع باتری ۶ و ۱۲ ولت در آمپرهای مختلف سیلد اسید و مخابراتی است که در نیروگاه های خورشیدی، ماشین های شارژی، سیستم های خورشیدی، اعلام حریق و برق های اضطراری کاربرد دارد.

۷-۱-۷-۱- آذر باتری ارومیه

شرکت تولیدی آذرباتری (سهامی عام) در سال ۱۳۷۷ با اخذ مجوزهای لازم در شهر ارومیه واقع در استان آذربایجان غربی فعالیت خود را در زمینه تولید انواع باتری استارتر خودرو شروع کرد. این واحد تولیدی ابتدا با ظرفیت ۵۰۰۰۰ عدد باتری در سال فعالیت تولیدی خود را با برند آذر آغاز نمود و توانست به سرعت پس از سه سال ظرفیت خود را به دو برابر افزایش دهد. پس از ۱۷ سال از آغاز فعالیت، در حال حاضر شرکت با اجرای چند طرح توسعه، احداث سالن های تولید و پشتیبانی جدید، خرید ماشین آلات بروز دنیا و همچنین تجهیز منابع انسانی خود توانایی تولید ۸۰۰۰۰۰ عدد باتری را در سال کسب کرده است. این واحد بزرگ تولیدی دارای انبار، سالن فرایند تولید، سالن مونتاژ محصول نهایی،واحد اسید سازی و آب مقطرگیری، آزمایشگاه شیمی، اتاق تست محصول نهایی مجهز، ساختمان اداری و قسمت تعمیرات و نگهداری و تاسیسات می باشد.

شرکت اذر باتری ارومیه دارای بهترین و مجهزترین آزمایشگاه تست باتری بوده و به عنوان یکی از آزمایشگاههای همکار اداره استاندارد و تحقیقات صنعتی در منطقه شمالغرب است که آماده ارائه هر گونه خدمات در زمینه تولید باتری می باشد. شرکت های مختلفی با این مجموعه همکاری دارند که از جمله می توان به شرکت دریا پلاستیک (تولید کننده جعبه و درب باتری) و واحد تصیفه سرب که بخشی از مواد اولیه اصلی شرکت را تامین می کند اشاره کرد. این شرکت در سالهای اخیر با تکیه بر دانش بومی متخصصان خود و همت کارگران توانسته است در زمره بهترین تولید کنندگان باتری استارتر خودرو در کشور قرار گیرد.

۸-۱-۷-۱- مجتمع باتری آران نیرو

یکی از زیر مجموعه های گروه بزرگ صنعتی آمیکو می باشد که در زمینه تولید انواع مختلف باتری های خودرو فعالیت می نماید. این شرکت فعالیت خود را از سال ۱۳۷۹ در منطقه ازاد تجاری – صنعتی ارس در استان آذربایجان شرقی آغاز نمود. شرکت آران نیرو اولین دارنده گواهینامه استاندارد باتری موتورسیکلت در ایران و از تولیدکنندگان با کیفیت و دانشی باتری خودرو در شمال غرب و غرب کشور می باشد. این شرکت مجهز به آزمایشگاه استاندارد که دارای گواهینامه تایید صلاحیت آزمایشگاه آزمون همکار اداره استاندارد در سطح ملی می باشد و تنها آزمایشگاه مستقر در استان آذربایجان شرقی است که یکی از آزمایشگاه های تایید شده در غرب کشور می باشد و محصولات خود را بر اساس استانداردهای (پژو–سیتروئن)PSA، (ایران) EN، ISIRI ، (کیاموتورز) KES و تحت سیستم تضمین کیفیت ۱۶۹۴۹:۲۰۰۹ ISOTS تولید

می نماید. در این راستا کیفیت مطلوب، قیمت مناسب، تحویل بموقع و ارج نهادن به نیروی انسانی سرلوحه کاری شرکت می باشد. باتری های این شرکت از نوع استارتر (SLI) بوده و با ماشین آلات پیشرفته و استاندارد خارجی و با بهره گیری از کادر مجرب و فنی و مهندسی تولید می شود. همچنین این شرکت OEM (تامین کننده اصلی) خودروهای تولیدی شرکت ارس خودرو دیزل (آمیکو) می باشد. به دلیل موقعیت ممتاز جغرافیایی (همجواری با کشورهای ترکیه، آذربایجان و ارمنستان) و استقرار درمنطقه آزاد تجاری صنعتی ارس و نیز استقرار در یکی از مرزهای پرتردد کشور، این شرکت قادر خواهد بود با انجام مستمر طرح های توسعه ای، علاوه بر تامین نیاز داخلی، افق تازه ای را برای نفوذ به بازارهای بین المللی داشته باشد.

۹-۱-۷-۱- شرکت فراز پنداران آریا موج (فرپام)

فرپام به عنوان یکی از شرکت‌های صنعتی با هدف کارآفرینی و جلوگیری از خروج ارز از کشور، اقدام به راه‌اندازی خط تولید باتری‌های سرب–اسید (VRLA) با ظرفیت ۴۰۰,۰۰۰ بلوک باتری در سال نموده است .کارخانهٔ تولیدی فرپام در مجموعه‌ای به مساحت ۱۳,۰۰۰ متر مربع در سال ۱۳۹۳ افتتاح شده است. در حال حاضر فرپام با بهره‌گیری از نیروی کارآزموده و مجرب در تولید و کنترل کیفیت می‌تواند باتری‌های ۱۲ ولت ۴/۵ الی ۲۰۰ آمپر ساعت و ۲ ولت ۱۰۰ الی ۳۰۰۰ آمپر ساعت را به مشتریان خود عرضه کند.

۱-۷-۲- خلاصه ای از وضعیت تولید باتری در کشور

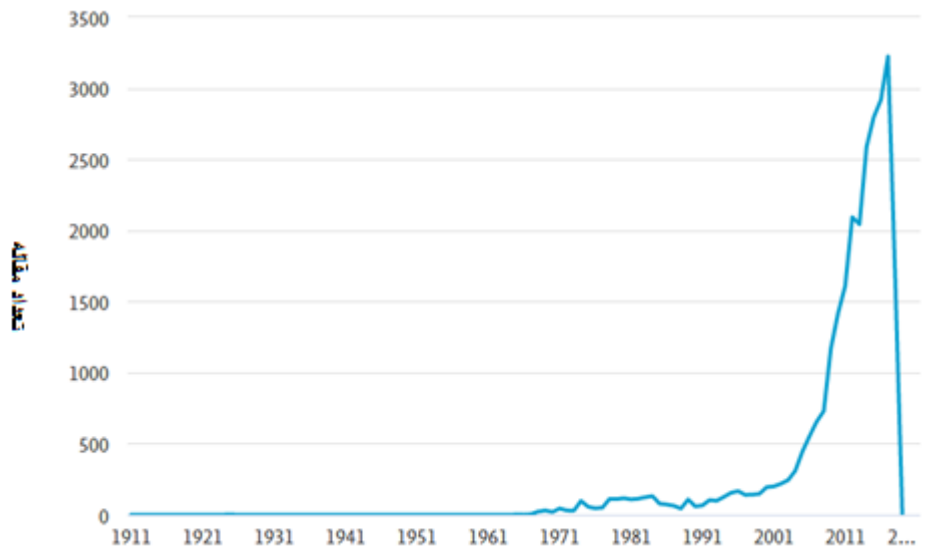
باتری های اسیدی برای مدت زمانی طولانی نقش مهمی را در صنایع اتومبیل و موتور سیکلت ایفا نموده اند. کاربردهای دیگر باتری های سرب اسیدی در سیستم های تامین برق اضطراری (UPS)، تجهیزات پزشکی و خودروهای برقی می باشد. این محصول همچنان بزرگترین بازار را در بین تجهیزات ذخیره ساز انرژی الکتریکی دارا می باشد. از میان تمامی کاربردهای باتری های اسیدی، هنوز هم استفاده از آن ها برای راه اندازی خودرو ها و موتور سیکلت ها، کاربرد عمده است که نزدیک ۶۰٪ از بازار را به خود اختصاص می دهد. به دلیل دوره طولانی توسعه و تکنولوژی بالغ و با ثبات، بازار باتری های اسیدی در حال چرخش از تعقیب پیشرفت تکنولوژی به سمت رقابت بر سر قیمت و پایداری باتری می باشد. پیش از انقلاب اسلامی تنها یک کارخانه تولید کننده باتری تحت نام باتری نیرو در کشور وجود داشت اما هم اکنون بیش از ۲۰ کارخانه در کشور انواع باتری خودرو و باتری های صنعتی تولید می کنند. این واحد ها تقریبا با بهره گیری از ۶۰ درصد توان اسمی تولید خود، سهم ۸۰ درصدی از بازار باتری های خودرو در داخل کشور را دارند. استانهای آذربایجان شرقی، آذربایجان غربی، اصفهان،

البرز، تهران، خراسان رضوی، زنجان، سمنان، سیستان و بلوچستان، قزوین، قم، گلستان و استان مرکزی در صنعت باتری فعال هستند. این صنعت توانسته با سرمایه گذاری حدود ۲۴۰ میلیون دلاری به صورت مستقیم وغیر مستقیم بیش از ۴۰ هزار شغل ایجاد کند این درحالی است که تولید کنندگان داخلی تنها از ۶۰ درصد ظرفیت اسمی خود بهره می برند و میزان تولید کنونی حدود ۹ میلیون عدد در سال می باشد. ظرفیت اسمی تولید باتری در حال حاضر حدود ۱۵ میلیون عدد می باشد که با توجه به پروانه های تولید صادر شده توسط وزارت صنعت معدن و تجارت، تا ۱۸ میلیون عدد در حال افزایش است. با توجه به تعداد خودروهای موجود در کشور که تا کنون بیش از ۱۶ میلیون دستگاه گزارش شده است و در نظر گرفتن متوسط عمر باتری خودرو در حدود ۲۰ ماه، میزان نیاز کشور در سال ۱۲میلیون عدد برآورد می گردد که ۹ میلیون آن را تولید کننده داخلی در شرایط نابرابر تامین می کند حدود ۶۰۰ تا ۷۰۰ هزار عدد آن از طریق مبادی رسمی و حدود ۲/۵ میلیون از آن به صورت قاچاق وارد کشور می شود.

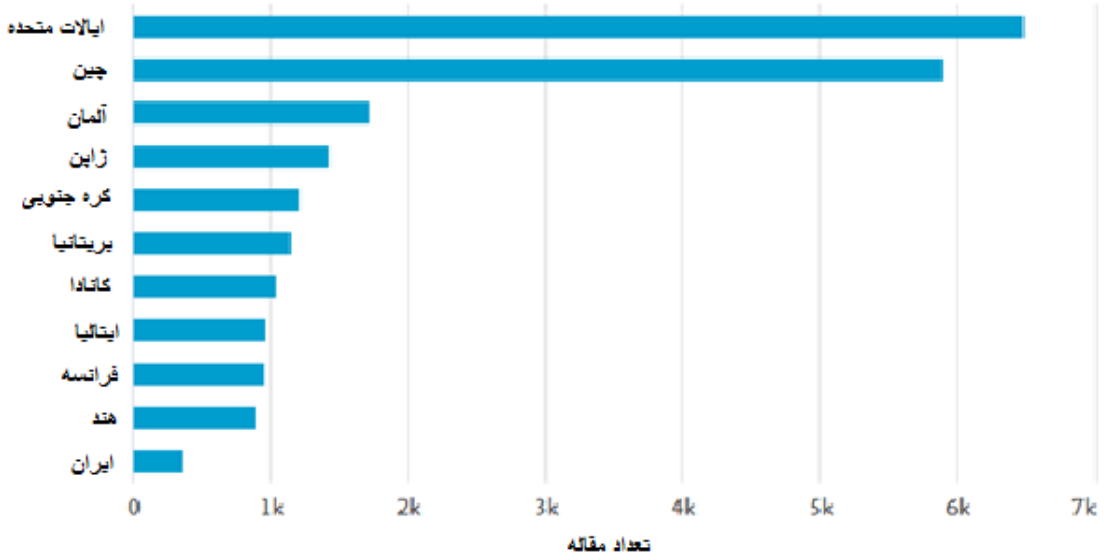
۱-۷-۳- فعالیت مراکز و موسسات آموزشی پژوهشی در خصوص باتری خودرو برقی در کشور

مطابق جستجوهای صورت گرفته به منظور شناسایی مراکز و موسسات آموزشی-پژوهشی مرتبط با خودروی برقی، مرکز یا موسسه مطرحی یافت نشد. لذا برای بررسی پتانسیل و توانمندی پژوهشی داخل کشور در این حوزه با نظر به خروجی مقالات معتبر منتشر شده در مجلات بین المللی در پایگاه های مربوطه جستجو انجام گرفت که در ادامه به نتایج آن پرداخته می شود.

با جستجو در مقالات منتشر شده در پایگاه اطلاعاتی Scopus تعداد مقالات ثبت شده در این پایگاه اطلاعاتی در حوزه باتری خودرو برقی طی سال های مختلف روند رو به رشدی مانند **Error! Reference source not found.** داشته است.



شکل ۱- ۲۰- تعداد مقالات ثبت شده در خصوص باتری خودرو برقی در سالهای مختلف [۳۳]

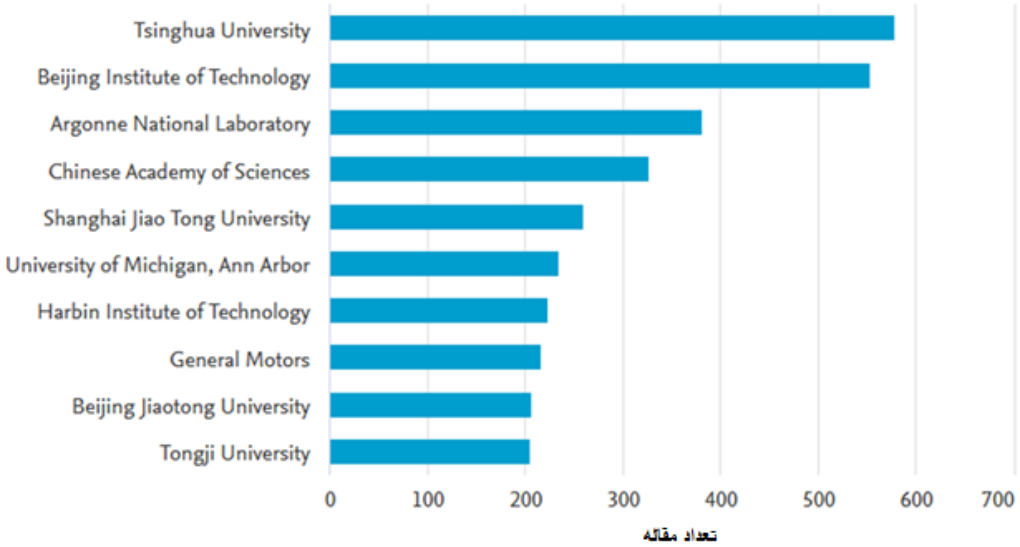


شکل ۱- ۲۱- توزیع تعداد مقالات ثبت شده در خصوص باتری خودرو برقی در کشورهای مختلف [۳۳]

توزیع این تعداد مقالات در کشورهای مختلف مطابق نمودار زیر است. همانگونه که مشاهده می گردد به ترتیب آمریکا، چین و آلمان بیشترین تعداد مقالات را منتشر نموده اند.

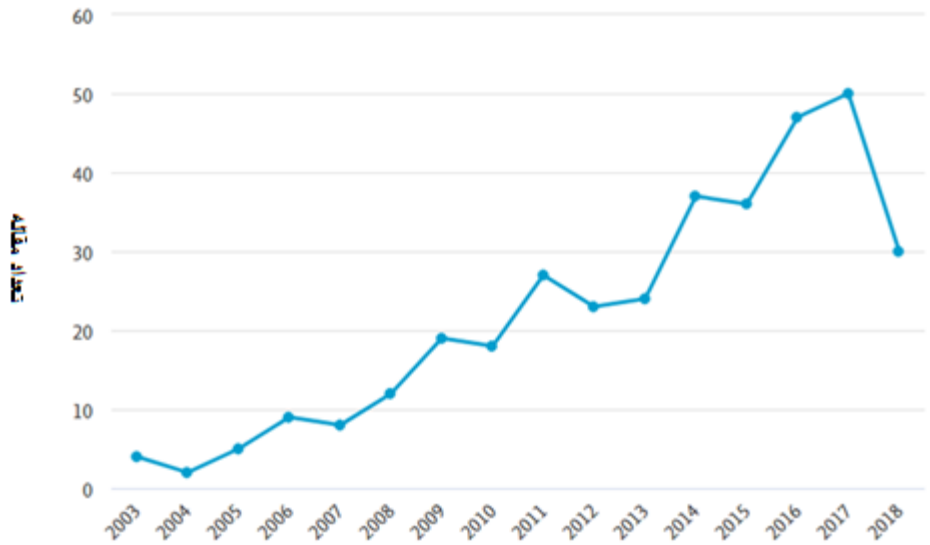
از نظر تعداد مقالات ثبت شده، ایران با تعداد ۳۵۱ مقاله در رتبه چهاردهم قرار دارد.

همچنین مراکز تحقیقاتی مطرح در دنیا که بیشترین تعداد مقالات منتشره را داشته اند در **Error! Reference source not found.** ارائه شده است.

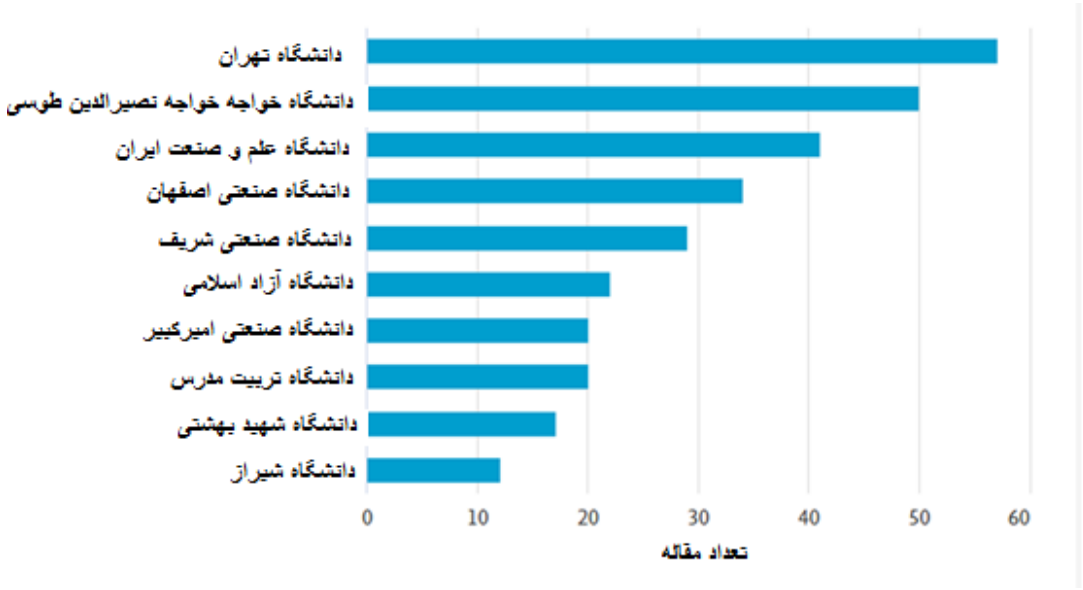


شکل ۱- ۲۲- توزیع مراکز تحقیقاتی دنیا که بیشترین مقالات مربوط به باتری خودرو برقی را منتشر کرده اند [۳۳]

در ایران روند مقالات ثبت شده در این پایگاه اطلاعاتی در حوزه باتری خودرو برقی طی سال های مختلف روند رو به رشدی مانند **Error! Reference source not found.** داشته است. همانگونه که مشاهده می شود سیر صعودی نمودار تعداد مقالات تولید شده از سال ۲۰۰۴ تا ۲۰۱۷ قابل توجه و چشمگیر است. بررسی های صورت گرفته نشان داد که تحقیق و پژوهش منتج به این تعداد مقالات در مراکز دانشگاهی و پژوهشی گوناگونی انجام شده است که از میان آنها به ترتیب دانشگاه تهران، دانشگاه صنعتی خواجه نصیر الدین طوسی، دانشگاه علم و صنعت ایران، دانشگاه صنعتی اصفهان و دانشگاه صنعتی شریف بیشترین مقاله ثبت شده را دارند. این اطلاعات در **Error! Reference source not found.** مشاهده می گردد.

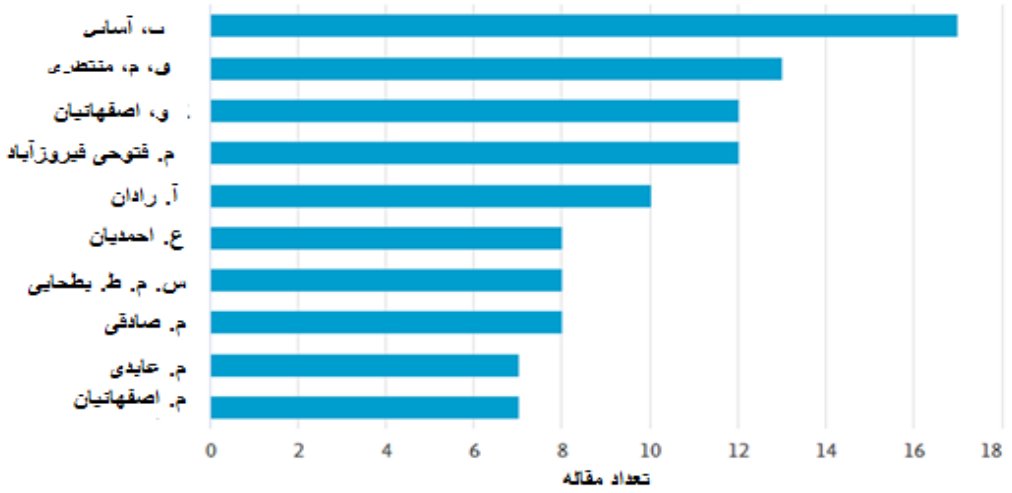


شکل ۱- ۲۳- تعداد مقالات ثبت شده در خصوص باتری خودرو برقی در سالهای مختلف در ایران [۳۳]



شکل ۱- ۲٤- توزیع مراکز تحقیقاتی ایران که بیشترین مقالات مربوط به باتری خودرو برقی را منتشر کرده اند [۳۳]

همچنین با بررسی نویسندگان مقالات ثبت شده، اطلاعات مربوط به افراد فعال با بیشترین تعداد مقالات منتشر شده در این حوزه در داخل کشور استخراج در **Error! Reference source not found.** طبقه بندی شد.



شکل ۱- ۲۵- افراد فعال با بیشترین تعداد مقالات منتشر شده در حوزه باتری خودرو برقی در داخل کشور [۳۳]

۸-۱- نتیجه‌گیری

فناوری باتری‌های قابل شارژ پیشرفته در چند دهه اخیر بهبود مستمر و قابل توجهی را تجربه کرده است. در اثر همین بهبود مستمر بوده است که امکان توسعه ابزارهای الکترونیکی قابل حمل نظیر موبایلها، تبلتها، دوربینهای عکاسی، کامپیوترهای قابل حمل و غیره به وجود آمده است. شواهد حاکی از آن است که این روند همچنان ادامه پیدا خواهد کرد و با نزدیک شدن فناوری غالب موجود (باتری‌های لیتیم یون) به مرزهای خود، فناوری‌های جدید و برتر به تدریج جایگزین آن خواهند شد. در این گزارش ضمن معرفی محتمل‌ترین گزینه‌ها در این حوزه سعی شد تا دورنمایی کلی از وضعیت این فناوری‌ها ارائه شود. البته دورنمای ترسیم شده با عدم قطعیت‌ها و نقص‌هایی روبروست که رفع آن‌ها بررسی‌های مفصل‌تری را می‌طلبد. مسلماً با فراگیر شدن هر یک از این فناوری‌ها، جهشی در زمینه ذخیره سازی انرژی الکتریکی به وجود خواهد آمد که تأثیرات عمیقی بر آینده صنعت برق و حمل و نقل الکتریکی بیست سال آینده خواهد گذاشت.

تولید باتری در ایران قدمتی بیش از ۵۰ سال دارد. این بدین معنی است که از حدود بیش از ۵۰ سال پیش در ایران باتری های مورد نیاز صنایع بویژه خودرو ها تولید شده است. لذا خطوط تولید و تجهیزات و امکانات آزمایشگاهی مورد نیاز در این زمینه در کشور ما موجود است بویژه که متخصصانی نیز در این حوزه مشغول به کار هستند. ولی واقعیت مسلم این است که دنیا با شتابی بسیار بالا به منظور دستیابی به دانش فنی باتری‌های بسیار پیشرفته جهت ذخیره سازی انرژی در کاربردهای

گوناگون از جمله صنعت خودرو برقی در حرکت است. ولی در کشور ما بزرگترین کارخانه موجود در این زمینه یعنی "سازمان توسعه منابع انرژی توان" برنامه ریزیها و پژوهشهایی در زمینه باتری خودرو برقی انجام داده است. در دانشگاهها و مراکز تحقیقاتی نیز تعداد مقالات منتشر شده در سالهای اخیر رو به افزایش است و این خود نشان میدهد که این موضوع اخیرا مورد توجه مجامع علمی و پژوهشی کشور قرار گرفته است.

۱-۱- منابع

1. Tarascon, J. M. and Armand, M. 2001. Nature. 414: 359 -367.

2. Armand, M. and Tarascon, J. M. 2008. Nature. 451: 652 –657.

3. Goodenough JB, Kim Y. Challenges for rechargeable Li batteries.Chem Mater 2010;22:587‑603.

4. Beyond Lithium-Ion: A Roadmap for Next- Generation Batteries. 2013 Lux Research, Inc. Copyright strictly enforced.

5. Andre D, Kim S-J, Lamp P, et al. Future generations of cathode materials: an automotive industry perspective. J Mater Chem A, 2015; 3:6709‑32.

6. Grande L, and Gonzalez F, Advanced Li-ion & Beyond Li-ion Batteries 2018-2028.

7. Cen Y, Sisson RD, Qin Q, Liang J, Current Progress of Si/Graphene Nanocomposites for Lithium-Ion Batteries, C 2018; 4: 18.

8. Kim JS, Pfleging W, Kohler R, et al. Three-dimensional silicon/carbon core‑shell electrode as an anode material for lithium ion batteries. J Power Sources 2015; 279:13‑20.

9. Evanoff K, Magasinski A, Yang J, Yushin G, Nanosilicon-Coated Graphene Granules as Anodes for Li-Ion Batteries, Adv. Energy Mater 2011; 1: 495–498.

10. Wang X, Zeng W, Hong L, Xu W, Yang H, Wang F, Duan H, Tang M, Jiang H, Stress-driven lithium dendrite growth mechanism and dendrite mitigation by electroplating on soft substrates, Nature Energy 2018; 3: 227–235.

11. Li W, Yao H, Yan K, Zheng G, Liang Z, Chiang YM, Cui Y, The synergetic effect of lithium polysulfide and lithium nitrate to prevent lithium dendrite growth, Nature communications 2015; 6: 7436.

12. Armand M. and Tarascon M., Building Better Batteries, Nature, 2008; 451; 652-657.

13. Croce F, Appetecchi G, Persi L, and Scrosati B, Nanocomposite Polymer Electrolytes for Lithium Batteries, Nature 1998; 394: 456-458.

14. Notten PHL, Roozeboom F, Niessen RAH, Baggetto L. 3-D integrated all-solid-state rechargeable batteries. Adv Mater 2007; 19: 4564‑7.

15. Manthiram A, Yu X, Wang S, Lithium battery chemistries enabled by solid-state electrolytes

Nature Reviews Materials 2017; 2: 16103.

16. Ji, L., Rao, M., Zheng, H., Zhang, L., Li, Y., Duan, W., Guo, J., Cairns, E. J., Zhang, Y. 2011. J Ame Chem Soc. 133, 18522–18525.

17. Wang, H., Yang, Y., Liang, Y., Robinson, J. T., Li, Y., Jackson, A., Cui, Y., Dai, H. 2011. Nano lett. 11: 2644–26477.

18. Lin, T., Tang, Y., Wang, Y., Bi, H., Liu, Z., Huang, F., Xie, X., Jiang, M. 2013. Energy & Environ Sci. 6: 1283- 1290.

19. Zhang LL , Wang ZL, Xu D , Zhang XB, Wang LM, The development and challenges of rechargeable non-aqueous lithium–air batteries, International Journal of Smart and Nano Materials 2013; 4

20. G. Girishkumar, B. McCloskey, A. C. Luntz, S. Swanson, and W. Wilcke. Lithium-Air Battery: Promise and Challenges. |J. Phys. Chem. Lett. 2010, 1, 2193–2203.

21. J.A. Hunter, G.M. Scamans, W.B. O'Callaghan, P.A. Wycliffe, Aluminium batteries. United States Patent 5,004,654, 2 April 1991.

22. V. Neburchilov, H. Wang, J.J. Martin, W. Qu, J. Power Sources 2010; 195; 1271.

23. Harting K, Kunz U, Turek T, Zinc-Air Batteries: Prospects and Challenges for Future Improvement, Phys. Chem. 2012; 226

24. Lithium-air battery technology trend and commercialization forecast, SNe research, Jan 2013.

25. Ye R, Bell J, Patino D, Ahmed K, Ozkan M, Ozkan CS, Advanced Sulfur-Silicon Full Cell Architecture for Lithium Ion Batteries, Scientific Reports 2017; 7: 17264.

26. Teranishi R, Si Q, Mizukoshi F, Kawakubo M, Matsui M, Takeda Y, Yamamoto O, Imanishi N. Silicon anode for rechargeable aqueous lithium–air batteries. J. Power Sources 2015; 273: 538–543.

27. Thomas Greszler. Li-air and Li-sulfur in an automotive system context. Beyond lithium ion 5, Berkeley, CA 2012.

28. Alessandro Varotto. Air-Electrode Batteries: Materials, Technologies and Global Markets. Mar 2014. By BCC Research.

29. G. Crabtree, E. Kocs, L. Trahey, The energy-storage frontier: Lithium-ion batteries and beyond, MRS Bull. 40 (2015) 1067–1078.

30. Y. Cen, R. Sisson, Q. Qin, J. Liang, Current Progress of Si/Graphene Nanocomposites for Lithium-Ion Batteries, C. 4 (2018) 18.

31. www.fifighter.com/lithium/2016/05/lithium-is-clayton-valley-worth-the-effort

32. Liu P., Ross R., Newman A., Long-range, 2015. MRS Energy & Sustainability 2.

33. www.scopus.com, results until 2018.

34. www.chinaev100.org

۲- فصل دوم: شناسایی و بررسی ساخت انواع باتری‌های مورد مصرفخودروهای برقی در گذشته و حال

۲-۱- مقدمه

خودروهای برقی به طور کلی به عنوان راهی مهم برای حصول اطمینان از امنیت انرژی و حرکت به سوی اقتصاد کم کربن بوده و از اهداف استراتژیک صنعت خودرو در جهان به شمار می‌آیند [۱]. باتری منبع قدرت خودروهای برقی و دستگاه‌های ذخیره انرژی است و سیستم باتری اصلی‌ترین جزء خودروهای برقی است. میزان پیشرفته بودن و بلوغ خودروهای برقی تعیین کننده هزینه و مسافت پیموده شده آن‌ها است که نقطه کلیدی رقابت با وسایل نقلیه دارای سوخت سنتی می‌باشد.

بنابراین امکان استفاده از باتری مقرون به صرفه تاثیر بسیار مهمی در توسعه صنعت خودروهای برقی دارد. کاربردهای ذخیره‌سازی انرژی در خودروهای برقی به طور عمده فناوری ذخیره‌سازی انرژی الکتروشیمیایی، مانند سرب–اسید، نیکل کادمیوم، نیکل–هیدرید فلز، یون لیتیوم، سدیم–سولفور و غیره است [۲].

با مقایسه انواع باتری‌ها می توان دریافت که هنوز هیچ نوع تکنولوژی باتری جایگاه غالب را در کاربردهای مختلف کسب نکرده است. به همین دلیل انواع مختلف این باتری‌ها در کاربرهای خودرو برقی حضور دارند.

۲-۲- بررسی پتنت‌های داخلی و خارجی در حوزه باتری خودرو برقی

یکی از روش‌های مورد استفاده برای شناسایی شرایط فعلی و همچنین بررسی روند تکامل علم و فناوری در یک حوزه مشخص، بررسی پتنت‌های تولید شده در آن حیطه است. در ادامه توضیح بیشتری در خصوص چگونگی جستجو در پتنت‌ها و استفاده از نرم افزارهای موجود ارائه شده است.

۲-۲-۱- پتنت‌های داخلی

به منظور بررسی پتنت‌های داخلی در حوزه باتری، جستجوهایی در پایگاه جستجوی اختراعات سازمان ثبت اسناد و املاک کشور[1] با کلمات کلیدی "باتری" و "خودرو برقی" انجام شد که هیچ موردی در این زمینه یافت نشد. در ادامه،

[1] http://ip.ssaa.ir/Patent

جستجوی دیگری این بار تنها با کلمه کلیدی "باتری" انجام شد که چند مورد ثبت اختراع داخلی یافت شد. نتایج این جستجو در **Error! Reference source not found.** آمده است.

جدول ۲- ۱- پتنت‌های داخلی ثبت شده در حوزه باتری خودرو

عنوان اختراع	نام مخترع/مخترعین	نام مالک/مالکین	تاریخ ثبت اظهارنامه	شماره ثبت	شماره اظهارنامه
ساخت باتری آلکالاین قابل شارژ تکمه ای روی اکسید نقره	سمیه دالوند و اسماعیل ساعی و روح اله شریفی و مصطفی آقازاده	مصطفی آقازاده و سمیه دالوند و روح اله شریفی و اسماعیل ساعی و جهاد دانشگاهی گروه شیمی سبز جهاد دانشگاهی واحد الزهرا(س)	۰۴/۰۲/۱۳۸۵	۳۴۵۸۸	۳۸۵۰۲۰۷۶
باتری سربی اسیدی هوشمند با قابلیت کنترل باتری و سیستم برق خودرو به صورت همزمان و لحظه ای و مجهز به صفحه نمایشگر	مهدی قاسمی طاق وسطانی	مهدی قاسمی طاق وسطانی	۱۱/۱۲/۱۳۹۲	۸۳۱۷۹	۱۳۹۲۵۰۱۴۰۰۰۳۰۱۱۰۰۰
باتری اسید سربی با ولتاژ متغیر	فاطمه ازگلی نژاد و علیرضا نورافکن	علیرضا نورافکن و فاطمه ازگلی	۲۴/۰۹/۱۳۸۶	۴۹۷۲۸	۳۸۶۰۹۷۸۱

		نژاد			
نانوباتری‌های لیتیمی	مرتضی ترابی و سیدخطیب الاسلام صدرنژاد و علیرضا توکلی نیشابوری	سیدخطیب الاسلام صدرنژاد و علیرضا توکلی نیشابوری و مرتضی ترابی	۲۶/۰۶/۱۳۹۳	۸۶۶۴۴	۱۳۹۳۵۰۱۴۰۰۰۳۰۰۶۰۰۰
طراحی و ساخت باتری قابل شارژ دو قطبی بر پایه پلیمر هادی پلی آنیلین	حسن کرمی و میرفضل اله موسوی کوزه کنان و مجتبی شمسی پور	حسن کرمی و میرفضل اله موسوی کرزه کنان و مجتبی شمسی پور	۲۸/۰۴/۱۳۸۲	۲۸۸۲۵	۳۸۲۰۴۱۵۵
ساخت باتری یون لیتیم با استفاده از الکترولیت پلیمر-ژل (GPE)	محمد فریدی و لیلا ناجی	دانشگاه دانشگاه صنعتی امیرکبیر و شعله کاظمی فرد و لیلا ناجی و مهدی رفیع زاده و محمد فریدی	۱۱/۰۲/۱۳۹۴	۸۷۸۹۹	۱۳۹۴۵۰۱۴۰۰۰۳۰۰۱۰۰۰
باتر سرب اسیدی به نانو لایه های پلیمر هادی با قابلیت افزایش عمر باتری	محمد صفی رحمانی فر و سیدعلی موسوی و بهرام چراغی و شهرزاد هاشمی شکفته	سیدعلی موسوی و بهرام چراغی و محمد صفی رحمانی فر و شهرزاد هاشمی شکفته و شرکت باتری سازی نیرو	۰۶/۰۶/۱۳۸۴	۳۳۰۴۸	۳۸۴۰۶۰۶۹
تولید باتری با ظرفیت بالا به کمک کامپوزیت گرافنی	محمدابراهیم حیاتی و امیرحسین فرزین فر	امیرحسین فرزین فر و محمدابراهیم حیاتی	۲۸/۰۲/۱۳۹۲	۸۰۶۱۶	۱۳۹۲۵۰۱۴۰۰۰۳۰۰۱۰۰۰
باتری‌های قابل تعویض وسایل نقلیه برقی و جایگاه تعویض باتری وسایل نقلیه برقی	احسان پرندین	احسان پرندین	۲۳/۰۲/۱۳۹۶	۹۵۱۰۱	۱۳۹۶۵۰۱۴۰۰۰۳۰۰۱۰۰۰
باتری سری اسیدی فومی	–	شرکت خارجی (PLC) باتریسازی نیرو	۲۷/۰۹/۱۳۸۲	۲۹۴۴۷	۳۸۲۰۹۱۵۲
ساخت باتری سرب اسیدی با شبکه پلیمری	–	شرکت خارجی (PLC) باتریسازی نیرو	۰۲/۱۰/۱۳۸۲	۲۹۴۴۶	۳۸۲۱۰۰۱۳

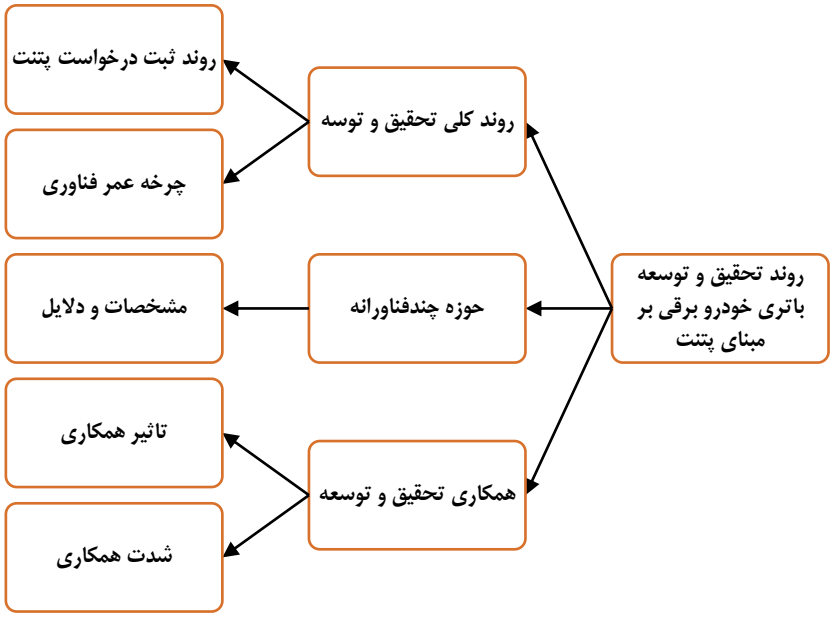
خلاصه اختراع سه نمونه از جدیدترین اختراعات ثبت شده در مرکز مالکیت معنوی اداره ثبت اسناد و املاک کشور در ضمیمه D آمده است.

۲-۲-۲- پتنت‌های خارجی

تقاضای جهانی برای ذخیره‌سازهای انرژی در دنیا از سال ۲۰۰۰ رشد چشمگیری داشته است و این امر سبب ایجاد یک بازار باتری بسیار پویا شده است. کاربردهای باتری بسیار متنوع و در حال رشد است (دستگاه‌های قابل حمل، دستگاه‌های الکترونیکی، خودروهای برقی، شبکه‌های هوشمند، و غیره)، و هر یک از آن‌ها نیاز به ویژگی خاص (ظرفیت، دانسیته انرژی، دانسیته توان، تخلیه خودبه‌خودی، پایداری، دمای عملیاتی)، مورفولوژی/ وزن، ایمنی و ملزومات هزینه‌ای دارد. به همین دلیل، موضوع باتری در طی ۱۰ سال گذشته در تمام سطوح زنجیره تامین (الکترودها، الکترولیت، جداکننده، سلول، بسته و سیستم) توجه پژوهشگران زیادی را به خود جلب کرده و به ثبت تعداد زیاد اختراع منجر شده است. بیش از ۳۰۰،۰۰۰ گروه

پتنت مربوط به باتری در سراسر جهان از اوایل دهه ۱۹۹۰ منتشر شده است. در سال ۲۰۱۷، بیش از ۳۰،۴۰۰ گروه ثبت جدید منتشر شد، بیش از ۳۰،۹۰۰ ثبت اختراع گرنت شده و ۶،۴۰۰ اختراع در این حوزه منقضی شد. در چنین بازار سریع و پویای باتری، رصد ثبت اختراعات به منظور پیش‌بینی تغییرات، شناسایی سریع فرصت های تجاری، شناسایی مناطق جدید و پیشرفت های تکنولوژی پیشرفته، ضروری است [۳].

در ادامه، روند تحقیق و توسعه باتری خودروهای برقی به عنوان جزء اصلی یک خودرو برقی مورد بررسی قرار می‌گیرد. پتنت‌های مرتبط با این حوزه از فناوری با ساختاری مانند **Error! Reference source not found.** مورد ارزیابی قرار گرفتند.



شکل ۲- ۱- ساختار بررسی پتنت‌های حوزه باتری خودرو برقی

در یک مطالعه انجام گرفته در سال ۲۰۱۷ در چین [۴]، ابزار جستجوی دفتر امور مالکیت معنوی دولتی (SIPO[1])، شبکه مالکیت فکری چین (CNIPR[2]) و وب‌سایت SooPat سرویس جستجوی پتنت را ارائه می‌دهند که در آن بین سرویس

[1] State Intellectual Property Office
[2] China Intellectual Property Network

CNIPR که دقیق‌تر و جامع‌تر است، برای جمع‌آوری داده‌ها استفاده شد. با استفاده از اطلاعات و داده‌های فراوان، ترکیب پایه فناوری باتری به این شکل خلاصه شد:

(الف) باتری (باتری سرب اسید، باتری لیتیوم یون، باتری هیدرید نیکل فلز ، پیل‌های سوختی و غیره)؛

(ب) سیستم مدیریت باتری (مدیریت باتری، کنترل شارژ، آزمون حالت شارژر (SOC[1])، و غیره)؛

(ج) بازیافت باتری و دیگر امکانات پشتیبانی

بنابراین، با یک آنالیز جامع، عبارت جستجوی نتایج نهایی عبارت است از: (باتری سرب–اسید و یا باتری نیکل کادمیوم یا باتری نیکل فلز هیدرید یا باتری آهن نیکل یا باتری‌های لیتیوم یون یا پیل‌های سوختی یا سلول‌های هوا یا باتری سدیم کلرید نیکل یا باتری سولفور سولفات یا باتری نقره–روی یا سلول خورشیدی یا باتری چرخ طیار یا مدیریت باتری یا حالت شارژر یا مدیریت حرارتی یا مدیریت ایمنی و یا تعادل شارژ) در عنوان و (باتری خالص الکتریکی یا الکتریکی یا هیبریدی باتری سوختی یا ابرخازن) و (خودرو یا موتور یا وسایل نقلیه) در خلاصه.



شکل ۲- ۲- تعداد اختراعات ثبت شده در زمینه انواع باتری [۵]

در شکل ۲–۲ آمار تفکیکی پتنت‌های تولید شده در خصوص الکترودها، الکترولیت، جدا کننده، سلول و پک انواع باتری ها با استناد به خلاصه‌ای از آخرین مطالعات انجام شده پیرامون این موضوع ارائه شده است. تعداد پتنت‌های موجود در هر یک از انواع باتری‌ها با توجه به جایگاه آن‌ها در منحنی بلوغ فناوری‌ها توجیه پذیر است.

[1] State of Charge

۳-۲- بررسی و تحلیل پتنت

تحلیل پتنت یا تحلیل اطلاعات ثبت اختراع، با استفاده از بانک‌های اطلاعاتی مستندات ثبت اختراع میسر می‌شود. اطلاعات بدست آمده از تحلیل پتنت، در سطوح مختلف سازمانی و همچنین در حوزه‌های مختلف فعالیت‌های پژوهشی مانند فعالیت های سیاست‌گذاری، پشتیبانی، زیربنایی و اجرای دستاوردهای پژوهشی کاربرد دارد. سیاست‌گذاران و مدیران، صنایع و شرکت های خصوصی و محققین و دانشگاهیان، مخاطبان اصلی اطلاعات به دست آمده از تحلیل پتنت هستند.

اطلاعات پتنت در مقایسه با سایر منابع اطلاعاتی ویژگی‌های متمایزکننده‌ای دارد. برخی از این ویژگی‌ها عبارتند از: داشتن کاربرد صنعتی، به روز بودن منبع، امکان آشکارسازی توانایی‌های عملی اختراع، قابل اجرا بودن، ارائه شرح دقیق و اطلاعات متمرکز، ساختار واحد، دسترسی آسان، طبقه‌بندی استاندارد بین المللی، امکان انجام جستجو، مرجع بودن، گستردگی در حوزه‌های مختلف فناوری.

اطلاعات موجود در پتنت‌ها با تقریب بسیار خوبی بیانگر وضعیت فناوری موجود در سطح جهانی است که در منابع اطلاعاتی دیگر از قبیل مقالات نمی‌توان به آن دست یافت.

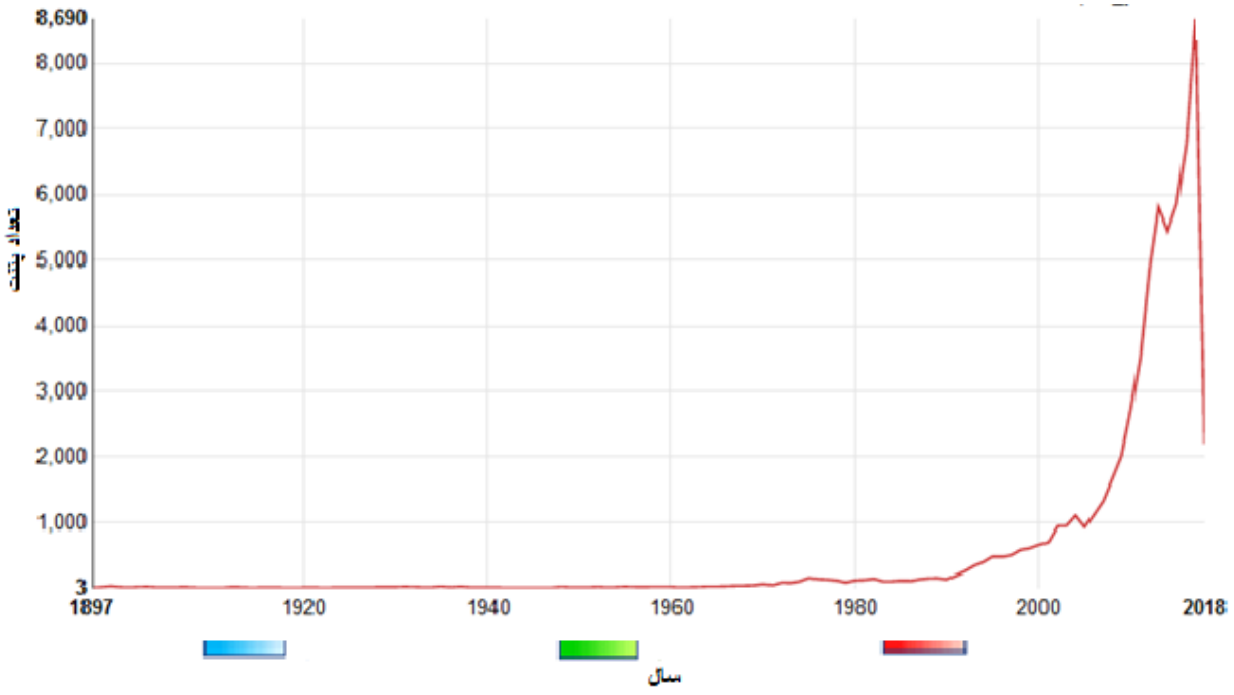
تحلیل پتنت برای شرکت‌ها و سازمان ها، اطلاعات ارزشمندی را ارائه می‌دهد. به طور کلی اهداف تحلیل پتنت به شرح ذیل است: کاهش هزینه‌های پژوهشی، انجام پژوهش در سطوح دانش بالاتر، استفاده از راه حل‌های جدید (شکل‌گیری ایده‌های نو)، توجه به جنبه‌های محافظت از اختراع، آگاهی از روندهای فنی و تجاری فناوری در دیگر کشورها و تعیین زمینه‌های مطمئن برای سرمایه‌گذاری، شناسایی اختراعات آزمایش شده به عنوان رویدادهای جدید.

تحلیل پتنت‌های مربوط به فناوری خاص به منظور دستیابی به اطلاعات استراتژیک، رقابتی و فنی برای تنظیم برنامه بلندمدت طرح‌ها و پیش‌بینی نحوه استفاده از آن در توسعه فناوری و همچنین تهیه یک منبع اطلاعاتی مناسب به منظور دسترسی آسان متخصصان در حوزه فناوری بسیار حائز اهمیت است.

۱-۳-۲- روند افزایشی درخواست ثبت اختراع

با جستجوی واژگان کلیدی "باتری" و "خودروی برقی" در خلاصه پتنت‌های منتشر شده در پایگاه جستجو و تحلیل پتنت Lens[1]، تعداد ۶۴۶۷۰ مورد ثبت شده بین المللی یافت شد که روند انتشار این پتنت‌ها در این حوزه در سال‌های مختلف در **Error! Reference source not found.** آمده است.

همان‌طور که مشاهده می‌شود ثبت درخواست پتنت در حوزه باتری خودرو برقی به ویژه از دهه ۱۹۹۰ روند افزایشی نشان می‌دهد و این افزایش در سال‌های اخیر شتاب بیشتری گرفته است. این نمودار نشان‌دهنده فعالیت فزاینده محققان و صنایع در توسعه این فناوری است.

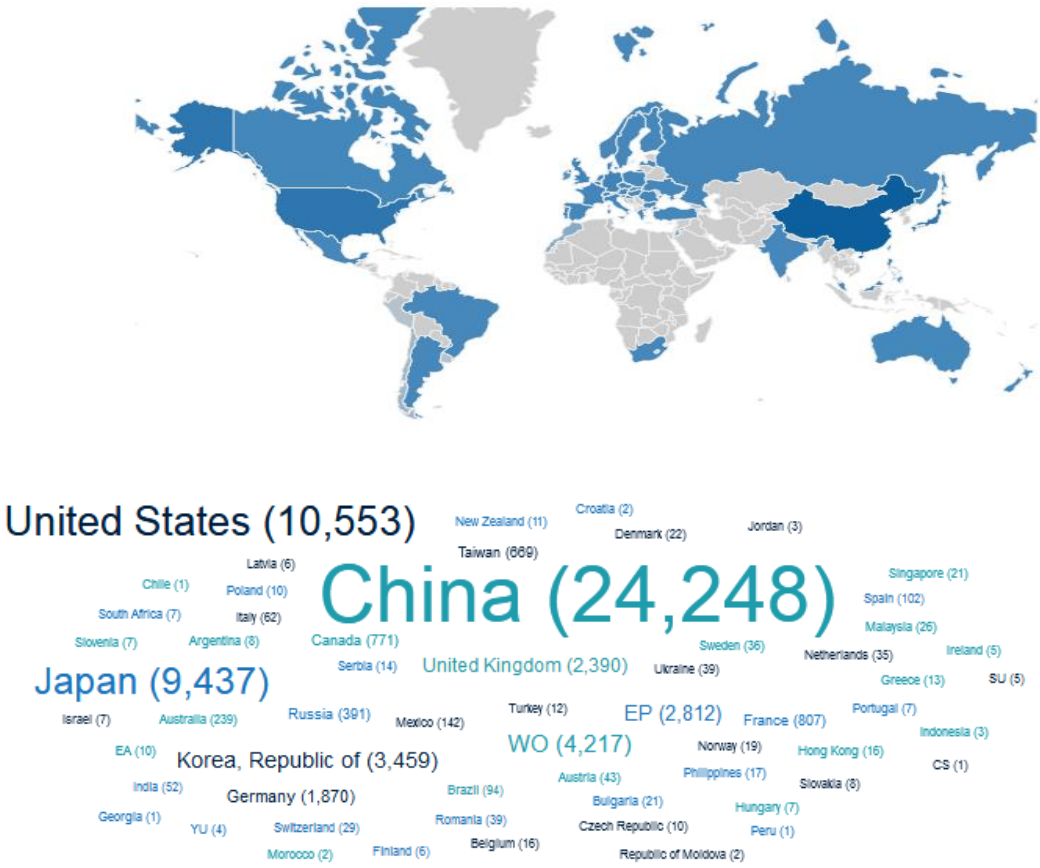


شکل ۲- ۳- روند افزایشی درخواست ثبت پتنت باتری خودرو برقی در دنیا طی سال‌های مختلف

[1] www.Lens.org

۲-۳-۲- توزیع جغرافیایی

توزیع جغرافیایی حوزه‌های قضایی درخواست‌های ثبت اختراع انجام گرفته در این حوزه در پایگاه مذکور در **Error! Reference source not found.** آمده است.

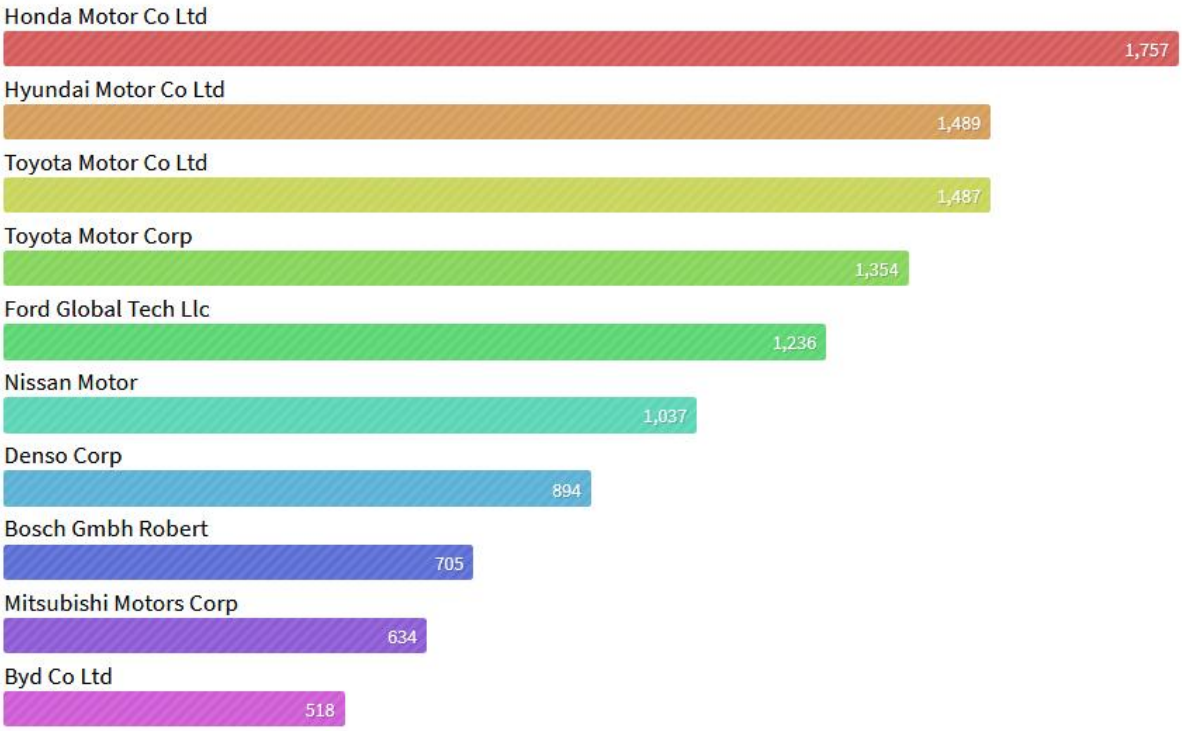


شکل ۲- ٤- توزیع جغرافیایی کشورهای ثبت درخواست پتنت

همان‌طور که در شکل بالا مشاهده می‌شود دو کشور چین و ایالات متحده و سپس ژاپن بیشترین میزبان ثبت پتنت‌های این حوزه هستند که نشان‌دهنده وجود بازار فعال‌تر این فناوری در این کشورهاست.

۳-۳-۲- مالکان بیش‌ترین پتنت‌ها

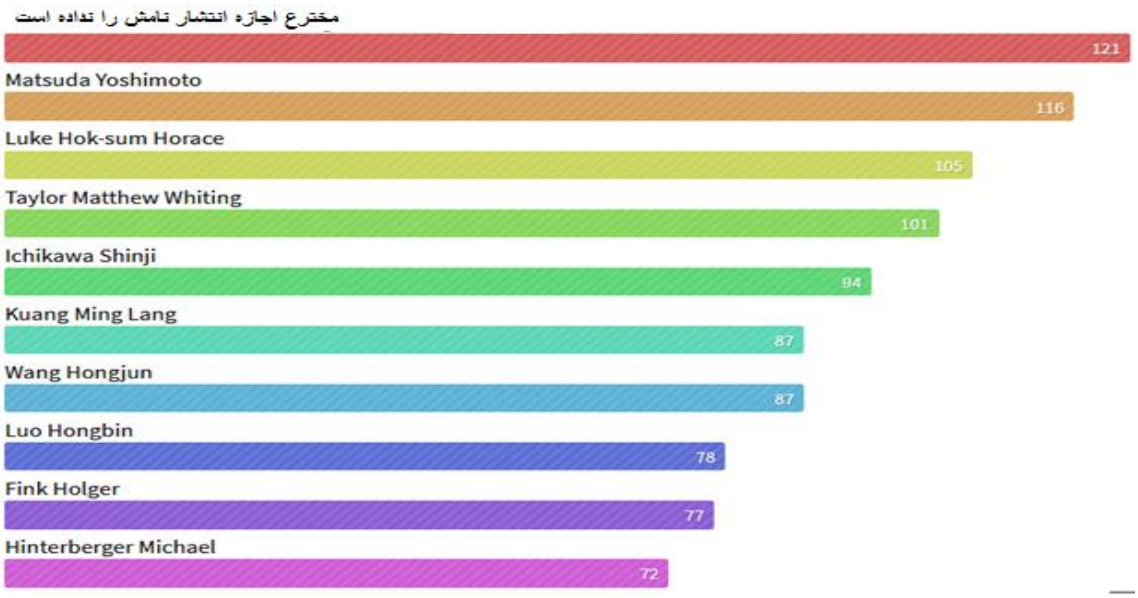
در **Error! Reference source not found.** درخواست دهندگان بیش‌ترین تعداد ثبت پتنت به شکل نمودار ستونی افقی آمده است. همان طور که مشاهده می‌شود شرکت‌های هوندا، هیدوندای، تویوتا، فورد و نیسان بیش‌ترین تعداد ثبت پتنت را داشته‌اند که نشان از پیشتازی این شرکت‌ها در این فناوری است.



شکل ۲- ۵- درخواست دهندگان بیش‌ترین تعداد ثبت پتنت

۴-۳-۲- برترین مخترعان

مخترعان با بیش‌ترین تعداد درخواست ثبت شده در **Error! Reference source not found.** آمده است.



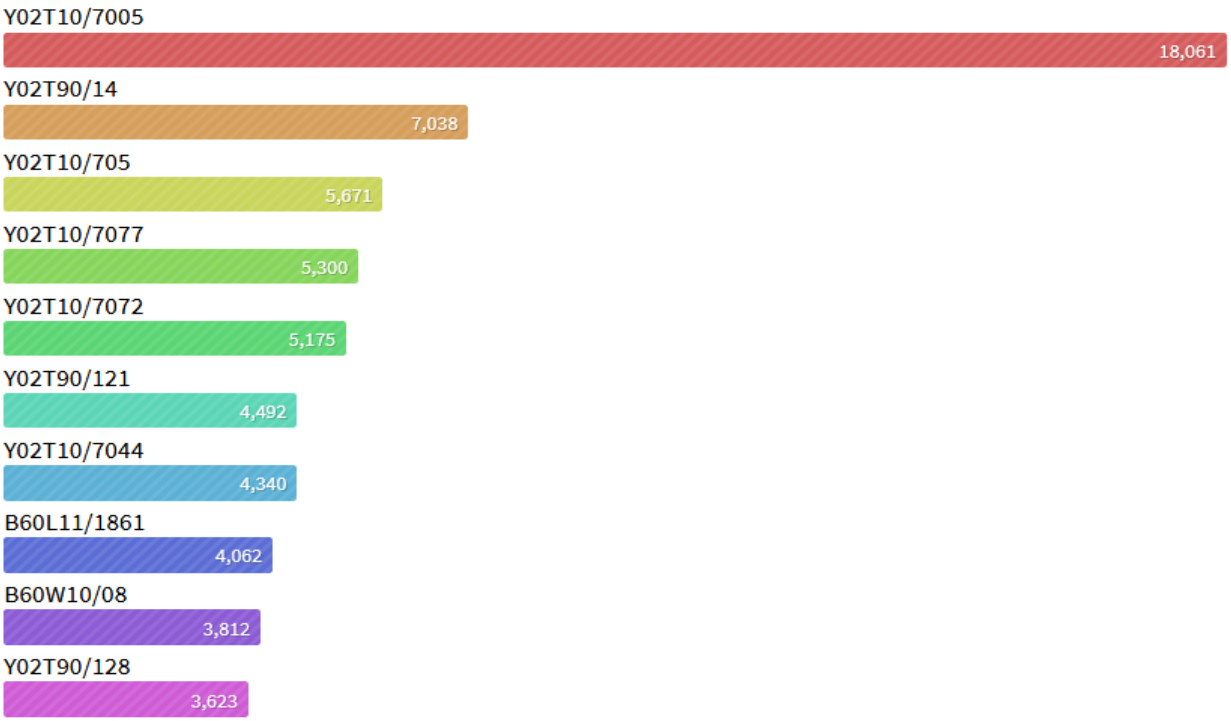
شکل ۲- ٦- مخترعان با بیش‌ترین تعداد درخواست ثبت شده

۲-۳-۵- طبقه‌بندی پتنت CPC[1]

طبقه‌بندی پتنت روشی است که بر اساس آن کارشناسان ثبت اختراع یا سایر افراد، اسناد افشاکننده اختراعات از قبیل تقاضانامه‌های پتنت یا پتنت‌های گرنت شده را با توجه به مشخصه‌های موضوع فنی آن‌ها دسته‌بندی می‌کنند. در واقع هدف اولیه از توسعه سیستم‌های طبقه‌بندی، مرتب کردن اسناد پتنت بود اما امروزه هدف اصلی از طبقه‌بندی پتنت‌ها، ایجاد ابزار جستجوی مفید جهت بازیابی پتنت‌های ثبت شده است. طبقه‌بندی مشترک پتنت CPC، سیستمی است که به طور مشترک توسط اداره ثبت اختراع اروپا و اداره ثبت اختراع و علائم تجاری آمریکا جهت هماهنگ کردن سیستم‌های قبلی طبقه‌بندی پتنت، توسعه داده شده است. این سیستم در آغاز اساساً مبتنی بر سیستم طبقه‌بندی اروپا ECLA[2] بود. البته ECLA هم نسخه‌ای ویژه و با جزئیات بیشتر از سیستم IPC[3] بود. بنابراین سیستم CPC تمام ویژگی‌های سیستم IPC از قبیل سلسله مراتب، عناوین و قابلیت گسترش آن را حفظ کرد. به هر حال در حالی‌که سیستم IPC دارای ۷۰۰۰۰ و سیستم ECLA دارای ۱۶۰۰۰۰ جایگاه طبقه‌بندی است، سیستم CPC بیش از ۲۵۰۰۰۰ جایگاه طبقه‌بندی دارد که سبب می‌شود این سیستم بسیار دقیق باشد [۶]. در **Error! Reference source not found.** پرتعدادترین کدهای طبقه‌بندی

[1] Cooperative *Patent* Classification
[2] European Classification System
[3] International *Patent* Classification

درخواست پتنت‌های ثبت‌شده در حوزه باتری خودرو برقی آمده است. این کدهای طبقه‌بندی به شناسایی پتنت های مرجع و حوزه‌های پر استناد در زمینه باتری خودرو برقی کمک می‌کند.



شکل ۲- ۷- پرتعدادترین کدهای طبقه بندی درخواست پتنت‌های ثبت شده در حوزه باتری خودرو برقی

جدول ۲- ۲- کدهای طبقه بندی پرتعدادترین درخواست پتنت‌های ثبت شده در حوزه باتری خودرو برقی

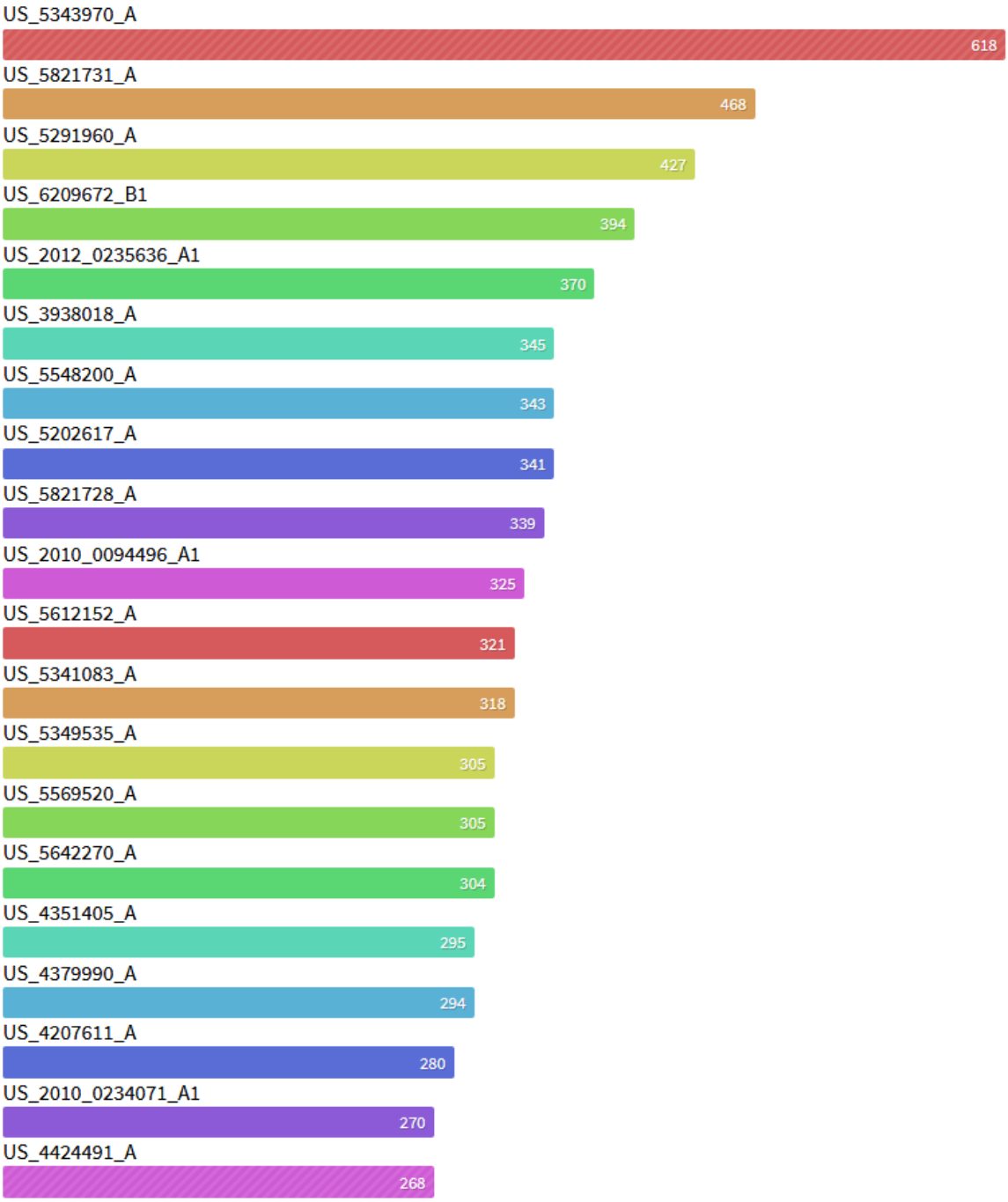
کد طبقه بندی	توضیح کد طبقه بندی
Y02T10/7005	باتری‌ها
Y02T90/14	خودرو برقی پلاگین

کنترل خودروها فقط با یک باتری یا یک خازن	Y02T10/705
نصب شده بر روی خودرو	Y02T10/7077
روش‌ها یا سیستم‌های شارژ باتری‌ها، آلتراخازن‌ها[1]، ابرخازن‌ها[2] یا خازن‌های دولایه مخصوص خودرو برقی (سیستم‌های شارژ کارآمد برای باتری، آلتراخازن، ابرخازن یا خازن دولایه، بطور کلی در حمل و نقل جاده‌ای)	Y02T10/7072
انتقال رسانشی[3] انرژی	Y02T90/121
کنترل حالت شارژ باتری یا خازن	Y02T10/7044
پایش وضعیت یا کنترل حالت شارژ [SOC]	B60L11/1861
کنترل واحدهای نیروی محرکه الکتریکی، به عنوان مثال موتورها یا ژنراتورها	B60W10/08
کنترل یا تعیین ارزش مبادله انرژی	Y02T90/128

۶-۳-۲- پر استنادترین پتنت‌ها

در بین موارد ثبت شده درخواست‌هایی که بیش‌ترین تعداد ارجاع را داشته اند در **Error! Reference source not found.** آمده است.

[1] Ultracapacitors
[2] Supercapacitors
[3] Conductive



شکل ۲- ۸- درخواست‌های ثبت پتنت با بیش‌ترین تعداد ارجاع

۷-۳-۲- پر استنادترین پتنت

اطلاعات مربوط به پتنت با بیش‌ترین تعداد ارجاعات (۶۱۸) در این زمینه در ادامه می‌آید.

این پتنت که در سال ۱۹۹۴ منتشر شده است به عنوان دارا بودن بیش‌ترین ارجاع شناخته می‌شود. عنوان این پتنت خودروی برقی هیبریدی است که در بخش‌هایی از آن به باتری پرداخته شده است. نام نویسندگان آن Hirsch David, Paice Corporation, Paice R و D Limited Partnership و با شماره پتنتUS 5343970A است. اطلاعات تکمیلی شامل خلاصه و ادعاهای این پتنت در پیوست A آمده است.

۸-۳-۲- پتنت‌های مربوط به باتری‌های برگزیده

بر اساس مطالعات انجام شده در مرحله اول پروژه، که در آن روند پیشرفت پژوهش‌ها و مطالعات علمی، تجربی و کاربردی مربوط به باتری بکار رفته در خودروهای برقی مورد بررسی قرار گرفت و چشم‌انداز آینده آن مطالعه شد، آینده باتری مورد استفاده در خودرو برقی، مشخص گردید. می‌توان گفت که در حال حاضر باتری‌های فلز–هوا[1] برترین گزینه‌ها برای آینده به حساب می‌آیند. تامین تقاضای انرژی جهان و در عین حال کاهش انتشار گازهای گلخانه‌ای، یکی از بزرگ‌ترین چالش‌های قرن بیست و یکم است. رسیدن به این هدف نیاز به توسعه کارآمد دستگاه‌های ذخیره انرژی حاصل از منابع تجدیدپذیر دارد. در میان ذخیره‌سازهای انرژی جدید باتری‌های لیتیوم–هوا بسیار جذاب هستند، زیرا دانسیته انرژی نظری آن‌ها به میزان ۱۰ برابر باتری لیتیوم یون فعلی برآورد شده است. اما پیچیدگی شیمیایی آن‌ها تاکنون مانع توسعه این نوع باتری شده است. در عین حال جهت‌گیری مطالعات و پژوهش‌ها به گونه‌ای است که پیش‌بینی می‌شود موانع یاد شده حدوداً در دو دهه آینده برطرف گردد و این نوع از باتری‌ها به بازار عرضه شوند که در این صورت انقلابی در صنعت حمل و نقل خودرویی ایجاد خواهد شد.

لذا در این خصوص با جستجو در پایگاه جستجوی پتنت گوگل، برای باتری‌های آلومینیوم هوا تعداد ۸۴ مورد درخواست ثبت پتنت مرتبط، برای لیتیوم–هوا ۳۷۵۰ مورد و برای باتری روی–هوا ۵۹۸۲ مورد درخواست ثبت شده است[2]. در ادامه به عنوان نمونه به معرفی و بیان مختصری از چکیده این پتنت‌ها برای هر یک از سه نوع باتری اشاره شده پرداخته می‌شود:

۱-۸-۳-۲- باتری آلومینیوم–هوا

Title:	**An aluminium-air cell, an aluminium-air battery and a motor unit comprising an electric motor and an aluminium-air battery**

[1] Metal-air batteries

[2] لیست عنوان پتنت‌های منتخب در پیوست C گزارش ارائه شده است.

WO2016178017A1 (WO Application) Inventor: Trevor Jackson Original Assignee: Metalectrique Aerosystems Limited Priority date: 2015-05-05	
Abstract:	In a first aspect the present invention relates to an aluminium-air cell and to an aluminium-air battery comprising a plurality of the aluminium-air cells. In a second aspect the present invention relates to a motor unit which comprises the aluminium-air cell or the aluminium-air battery of the invention along with an electric motor. An aluminium-air cell (10) comprises: a casing (12) and within the casing: an air cathode (23); an electrode (27) of aluminium or aluminium alloy spaced from the air cathode; an electrolyte chamber (45) defined between the air cathode and the electrode; an electrolyte liquid; a reservoir cavity (36) separate from the electrolyte chamber for storing the electrolyte liquid; a rotatable shaft (15); a delivery conduit (37) connecting the reservoir cavity and the electrolyte chamber; and an impeller device (20) driven by the rotatable shaft to draw the electrolyte liquid out of the reservoir and pump the drawn electrolyte liquid through the delivery conduit into the electrolyte chamber.
خلاصه فارسی	این اختراع شامل دو بخش است بخش اول شامل تک سلول آلومینیوم–هوا و بخش دوم باتری آلومینیوم–هوا است که از چندین سلول آلومینیوم–هوا تشکیل شده است. از جنبه دوم، این اختراع مربوط به یک واحد موتور است که شامل سلول آلومینیوم–هوا یا باتری آلومینیوم–هوا به همراه یک موتور الکتریکی است. یک سلول آلومینیوم–هوا شامل: پوشش و درون پوشش: یک کاتد هوا؛ الکترود آلومینیوم یا آلیاژ آلومینیومی که از کاتد هوا فاصله دارد؛ یک محفظه الکترولیت بین کاتد هوا و الکترود تعریف شده است؛ یک مایع الکترولیت یک فضای مخزن جدا از محفظه الکترولیت برای ذخیره مایع الکترولیت. یک شفت قابل تنظیم؛ یک کانال انتقال ماده که فضای مخزن را به محفظه الکترولیتی متصل می‌کند؛ و وسیله ی پروانه ای که توسط شفت قابل چرخش می چرخد تا مایع الکترولیت را از مخزن بکشد و مایع الکترولیت کشیده را از طریق کانال انتقال به داخل الکترولیت منتقل کند.

۲-۸-۳-۲- باتری لیتیوم–هوا

Title:	**Lithium air battery cell**
WO2012146525A1 (WO Application) Inventor: Bomkamp, Johannes Eicher, Placido Garcia-Juan, Olschimke Original Assignee: Solvay Sa Priority date: 2011-04-26	
Abstract:	A lithium-air battery cell with an electrolyte composition comprising $LiPO_2F_2$ is described. The electrolyte composition comprises an electrolyte solvent, for example, one or more non-fluorinated solvents, e.g. ethylene carbonate, a dialkyl carbonate or propylene carbonate, and/or one or more fluorinated organic solvents, e.g. fluoroethylene carbonate, cis-difluoroethylene carbonate, trans-difluoroethylene carbonate, 4,4-difluoroethylene carbonate, trifluoroethylene carbonate, tetrafluoroethylene carbonate, 4-fluoro-4-methyl-1,3-dioxolane-2-one, 4-fluoro-4-ethyl-1,3-dioxolane-2-one, 2,2,2-trifluoroethyl-methyl carbonate, 2,2,2-trifluoroethyl-fluoromethyl carbonate are preferred. The solvent may further comprise other additives. Also described is a vehicle battery, especially a car battery constituted of a multitude of lithium-air battery cells of the invention. The battery can be used to provide electrical energy to consumers for electric current including an electric motor driving the vehicle.
خلاصه فارسی	در این اختراع یک سلول باتری لیتیوم هوا با ترکیب الکترولیت حاوی $LiPO_2F_2$ توصیف شده است. الکترولیت حاوی یک حلال و یک یا چند ماده افزودنی به آن است، به عنوان مثال، یک یا چند حلال غیر فلوئوره شده، مانند اتیلن کربنات، یک دی‌آلکیل کربنات یا پروپیلن کربنات و/یا یک یا چند حلال آلی فلورئوردار، مانند فلوئورواتیلن کربنات، کربنات سیس

	دیفلوئوروواتیلن، کربنات ترانس دی فنیل اتیلن، کربنات ۴،۴–دی فلوئوروواتیلن، کربنات تری فلوئوروواتیلن، کربنات تترافلوئوروواتیلن، ۴–فلوئورو ۴–متیل–۱،۳–دیوکسولان–۲–یک، ۴–فلوئورو– ۴– اتیل–۱،۳–دیوکسولان–۲–یک، ۲،۲،۲–تری فلئورو اتیل متیل کربنات، ۲،۲،۲–تری فلئورو اتیل–فلئورومتیل کربنات. این حلال ممکن است حاوی مواد افزودنی دیگری نیز باشد. همچنین توضیح داده شده است که می تواند یک باتری خودرو، به ویژه یک باتری ماشین تشکیل شده از بسیاری از باتری های لیتیوم–هوا باشد. این باتری می تواند برای تامین برق به مصرف کنندگان برای جریان الکتریکی از جمله موتور الکتریکی یک وسیله نقلیه استفاده شود.

۳-۸-۳-۲- باتری روی–هوا

Title:	**Zinc-air battery**
US20180287236A1 (US Application) Inventor: Jonathan R. Goldstein Original Assignee: PHINERGY Ltd Priority date: 2009-12-14	
Abstract:	A zinc-air cell, a battery which is a low weight, low volume, or higher energy system, or a combination thereof and an apparatus for recharging the same are disclosed. **Claims (23)** What is claimed is: **1**. An apparatus for charging a zinc-air cell or zinc-air battery, said apparatus comprising: a reservoir comprising a zinc-containing electrolyte fluid; an export feed operationally connected to said reservoir; a fluid drainer; whereby: said apparatus is operationally connectible to said zinc-air cell or zinc-air battery for which charging is desired;

	said reservoir of said apparatus is located externally to said zinc-air cell or zinc-air battery for which charging is desired and said export feed allows for the delivery of said zinc-containing electrolyte fluid from said reservoir to said zinc-air cell or zinc-air battery for which charging is desired; said fluid drainer is operationally connectible to said zinc-air cell or zinc-air battery and facilitates draining of at least a portion of an electrolyte fluid located in a discharged or not fully charged zinc-air cell or zinc-air battery; and said drained electrolyte fluid is conveyed to said external reservoir or to a discharge reservoir; wherein said zinc-air cell comprising: a casing; at least one porous structure capable of absorbing oxygen from the air as the cathode of said cell placed within said casing; a slurry consisting essentially of zinc and electrolyte solution placed within said casing; a separator positioned between said porous structure and said slurry; at least one current collecting electrode placed in said casing and in contact with said slurry;…
خلاصه فارسی	در این اختراع یک سلول روی–هوا، یک باتری که دارای وزن کم، حجم کم و انرژی بالاتر است، یا ترکیبی از آن‌ها و همچنین یک وسیله برای شارژ کردن آن، افشا شده است. **ادعاها:** ادعا شده است: ۱- دستگاهی برای شارژ یک سلول روی–هوا یا باتری روی–هوا باتری. دستگاه شامل: یک مخزن شامل یک مایع الکترولیت حاوی روی؛ یک مسیر خوراک که به طور عملیاتی با مخزن گفته شده مرتبط است؛ یک مسیر تخلیه مایع؛ که به سلول روی–هوا یا باتری روی–هوای قابل شارژ متصل است؛ سلول روی–هوا شامل: یک پوشش؛ حداقل یک ساختار متخلخل که قادر به جذب اکسیژن از هوا به عنوان کاتد از سلول قرار داده شده در داخل پوشش داده شده است؛ یک مخلوط حاوی محلول روی و این محلول الکترولیتی در داخل پوشش ذکر شده است. یک جداساز بین این ساختار متخلخل و الکترولیت قرار داده شده است. حداقل یک الکترود جمع کننده جریان که در محفظه گفته شده قرار داده شده و در تماس با محلول ذکر شده است؛...

۹-۳-۲- جمع‌بندی تحلیل پتنت

همان‌طور که ذکر شد، بررسی پتنت‌ها اطلاعات مفیدی در مدیریت و همچنین بعد فنی حوزه مورد بررسی به دست می‌دهد. تحلیل پتنت سطوح مختلفی دارد و با ابزارهای مختلفی انجام می‌شود. تحلیل پتنت با جزئیات فنی و ابعاد مختلف فناورانه توسط پایگاه‌های تخصصی این حوزه انجام می‌شود که بهره‌مندی از آن‌ها مستلزم داشتن دسترسی و عضویت نهادها در این پایگاه‌هاست. یکی از معروف‌ترین این پایگاه ها، پایگاه Qpat با نام تجاری جدید Orbit است. این پایگاه که قوی‌ترین بانک اطلاعات اختراعات بین المللی ثبت شده در دنیاست، با دسترسی به متن کامل بیش از ۷۰ میلیون سند اختراع از ۹۵ کشور امکان استفاده و دسترسی از گستره‌ی وسیعی از داده‌ها را در حوزه پتنت به دست می‌دهد. ابزارهای تخصصی تحلیل و آنالیز پتنت این پایگاه امکان شناسایی فعالان و رقبای عرصه حوزه‌های مختلف فناوری در دنیا و همچنین ابعاد فنی مندرج در اسناد ثبت شده را فراهم می‌سازد. متأسفانه دسترسی به این پایگاه فراهم نبود و تلاش‌ها برای فراهم‌سازی این امکان به نتیجه نرسید.

بنابراین از نسخه‌های مشابه ابزارهای موجود جستجوی پتنت با دسترسی آزاد و امکانات محدودتر مانند Lense[1] استفاده شد که نتایج آن در بخش قبل ارائه شد. در این سطح، از تعداد پتنت‌های ثبت شده می‌توان روند روبه‌رشد روی آوردن صاحبان صنایع مرتبط با حوزه خودرو برقی را به ثبت پتنت با موضوع باتری به ویژه در آغاز قرن جاری به وضوح مشاهده کرد. این موضوع نشانگر رشد بازار این صنعت و ورود فناوری‌های نوین در این شاخه از صنایع در آینده ی نزدیک است. چرا که صاحبان صنایع به ویژه در کشورهای توسعه یافته پیش از ورود به عرصه تجاری مقدمات مالکیت معنوی اختراعات و طرح‌های آن را فراهم می‌کنند. لذا مطالعه روند پتنت‌ها خبر از رویدادهای واقعی فضای صنعت و فعالیت‌های تجاری در آینده می‌دهد.

از توزیع جغرافیایی کشورهای مقصد درخواست دهندگان ثبت پتنت می‌توان دریافت کدام کشورها صنعت زنده و پویاتری در حوزه باتری خودرو برقی دارند. داده‌های به دست آمده نشان می‌دهد کشورهای چین و ایالات متحده و سپس ژاپن به ترتیب بیش‌ترین جذابیت را برای مخترعین به منظور ثبت و حفظ دارایی‌های فناورانه خود داشته است. این امر ناشی از وجود زمینه مناسب و در واقع آمادگی صنعت این کشورها برای ورود به عرصه فناوری‌های نوین در حوزه باتری خودرو برقی است.

[1] www.lens.org

شناسایی بازیگران اصلی و رقبای صنعت باتری خودرو با مشخص شدن پرتعدادترین شرکت‌های ثبت کننده پتنت میسر می‌شود. نتایج به دست آمده از این بررسی نشان داد شرکت‌های هوندا، هیدوندای، تویوتا، فورد و نیسان بیش‌ترین تعداد ثبت پتنت را داشته‌اند که نشان از پیشتازی این شرکت‌ها در این فناوری است.

بیشترین کدهای طبقه بندی استفاده شده در پتنت‌های ثبت شده در این حوزه نشان‌دهنده شاخص بودن خودروهای برقی پلاگین، خودروهای دارای یک باتری یا خازن، سیستم‌های پایش و کنترل وضعیت شارژ باتری خودرو است.

همانگونه که پیشتر ذکر شد، انجام آنالیزها و تحلیل های با جزئیات فنی بیشتر به داشتن دسترسی به ابزارهای تحلیل پیشرفته‌تر نیاز دارد.

۴-۲- استانداردهای باتری خودروهای برقی

استانداردها اسناد اجماعی هستند که برای یک تکنولوژی، محصول، خدمات یا فعالیت تجاری خاص با ارزش تجاری توسط شرکت‌ها یا سازمان‌ها تهیه می‌شوند. یک استاندارد از ضرورت یافتن ایجاد قوانین پایه برای تکمیل یک فرایند منشأ می‌گیرد. هنگامی که استانداردی منتشر، توزیع و به طور گسترده‌ای دنبال می‌شود، فرایندهای هدف یا محصولات مورد بررسی در برابر این استاندارد ممکن است ناکارامد، کم کیفیت یا در بعضی موارد ناسالم باشد. بنابراین، یک استاندارد، مجموعه‌ای از بهترین شیوه ها برای تولید یک محصول با کیفیت خوب است. هنگامی که یک استاندارد به خوبی به رسمیت شناخته شود، کاربرد آن می‌تواند در صورت درخواست یک دولت یا سازمان تنظیم مقررات اجباری شود. با این حال، در چین، برخی از استانداردهای اجباری وجود دارد که ویژگی نظارتی دارند.

دو مزیت بزرگ از استانداردها بدست می‌آید: (۱) استانداردها چارچوب و مبنایی ایجاد می‌کنند که سازمان‌ها، تولید کنندگان و یا مشتریان مختلف، می‌توانند در هنگام مقایسه محصولات به آن استناد کنند؛ و (۲) آن‌ها اساس سازگاری یا تعویض‌پذیری محصولات را تشکیل می‌دهند. سازمان‌هایی که به یک استاندارد منتشر شده ارجاع می‌دهند، می‌توانند بیان کنند که محصولاتشان مراحل تولید مطلوب را دنبال می‌کنند و در شرایط مشابه تولید از کیفیت مشابه یا بهتر از رقبا برخوردارند، به این ترتیب به مصرف کننده امکان انتخاب یکی از آن‌ها را می‌دهد.

این مورد برای باتری‌های مورد استفاده برای وسایل نقلیه الکتریکی (EVs) نیز مطرح است. همزمان با رشد صنعت، بسیاری از شرکت‌ها توسعه سیستم‌های باتری پیشرفته را برای تامین خواسته‌های این بخش، مانند سطوح خاص دانسیته توان و انرژی، قابلیت اطمینان و ایمنی هدف خود قرار داده‌اند. تولیدکنندگان باتری، سازندگان سیستم‌ها و اسمبلرهای خودرو،

به طور مداوم به دنبال بهبود ویژگی‌های محصولاتی هستند که آن‌ها را در رقابت قرار می‌دهد. استانداردها یک راه برای ارائه یک مبنای مقایسه هستند.

در این بخش فهرستی از استانداردهای متعددی که برای آزمایش باتری در صنعت خودرو برقی همراه با دیگر استانداردهای عمومی باتری معمولاً به آن‌ها اشاره می‌شود، مورد بررسی قرار می‌گیرد.

۱-۴-۲- موضوع استاندارد

استانداردهای خودروهای برقی موضوعات مختلفی مانند: (۱) سیستم انرژی؛ (۲) استفاده از باتری، یعنی سیستم خودرو برقی؛ (۳) رابط بین خودرو برقی و شبکه های برق؛ و (۴) زیرساخت، دارند. در این تقسیم‌بندی، استانداردها در موارد مربوط به دسته (۱) بر روی اجزای جداگانه یعنی سلول الکتروشیمیایی، ماژول، بسته، یا کل سیستم باتری، با اندازه‌گیری ویژگی‌های فیزیکی متمرکزند. در موارد مربوط به دسته (۲) سیستم را به عنوان یک کل در نظر می‌گیرند که شامل سیستم الکترونیک پشتیبانی کنترل، سیستم خنک کننده و ادغام آن با بقیه خودرو مد نظر هستند. موارد مربوط به دسته (۳) ارتباطات و رابط شبکه بین خودروهای برقی و ایستگاه‌های شارژ، شبکه برق، شارژر بی‌سیم، و یا تجهیزات عرضه جریان دو طرفه برق و موارد موجود در دسته (۴) سیستم شارژ را از نقطه نظر تاسیسات انرژی، سیستم پارکینگ الکتریکی، انتقال و مدیریت انرژی توصیف می کنند.

یکی از جنبه‌های مهم استانداردها این است که آزمایش‌های موجود در آن‌ها مشخص می‌کنند که کدام مقیاس سیستم ذخیره‌سازی انرژی برای آن‌ها اعمال می‌شود، یعنی سلول مجزا، مجموعه‌ای از سلول‌های مرتبط (ماژول)، مجموعه‌ای از ماژول‌های متصل (بسته)، یا یک سیستم کامل باتری (احتمالاً با دستگاه‌های کنترل و ایمنی).

کاربردهای در نظر گرفته شده یک سیستم باتری به دو گروه بزرگ تقسیم می‌شود: مصرف توان بالا و مصرف انرژی بالا. در گروه اول، باتری در معرض انفجار کوتاه مدت ناشی از جریان بالا طی شارژ و دشارژ بدون نیاز به نگه داشتن این حالت‌ها برای مدت زمان طولانی است. نمونه‌هایی از این استفاده از باتری در خودروهای هیبریدی، خودروهای پیل سوختی، خودروهای برقی سبک و سایر وسایل نقلیه به کمک الکتریسته و خودروهای با تکنولوژی شروع–توقف است. در این نمونه‌ها، باتری در کنار یک منبع انرژی دیگر برای شروع آن، برای کمک به آن در هنگام شتاب یا کروز، و یا برای جذب انرژی قابل بازیافت از وسیله نقلیه در هنگام ترمز استفاده می‌شود. در گروه دوم، باتری دارای مقدار زیادی از انرژی است و از

آن به طور مداوم اما با نرخ پایین‌تر استفاده می‌کند. این کاربرد مربوط به خودرو برقی باتری است که در آن باتری تنها منبع انرژی برای نیروی محرکه است.

بنابراین، به طور عملی، برخی آزمون‌ها برای خوردروهای هیبریدی و برخی برای خودرو برقی کاربرد دارد. در دسته اول این آزمون‌ها مواردی که در آن‌ها شارژ و تخلیه با جریان بالا صورت می‌گیرد، و در دومین دسته مواردی که بطور مداوم از جریان‌های پایین‌تر استفاده شده و عمر بیشتری دارند، مورد تأکید قرار می‌گیرند.

با توجه به تنوع کاربردها و آزمایش‌ها، ارائه‌ی یک روش واحد برای طبقه‌بندی استانداردها دشوار است. اغلب موارد، یک استاندارد می‌تواند با چندین معیار طبقه بندی سازگار باشد، بنابراین همپوشانی و ارجاع متقابل آزمون‌ها در میان اسناد مختلف غیر معمول نیست.

۲-۴-۲- آزمون‌های عملکردی

در جدول ۲–۳ استانداردهای مربوط به آزمون‌های عملکردی باتری آمده است.

جدول ۲- ۳- استانداردهای باتری

نام استاندارد	سال	عنوان استاندارد	نام موسسه
DOE/ID-10479	۱۹۹۶	راهنمای روش های آزمون باتری خودرو برقی USABC1	United States Advanced Battery Consortium (USABC) for the U.S. Department of Energy
DOE/ID-10597	۱۹۹۷	راهنمای آزمون باتری PNGV2	Partnership for a New Generation of Vehicles (PNGV) for the U.S. Department of Energy
DOE/ID-11069	۲۰۰۳	راهنمای آزمون باتری FreedomCAR برای خودروهای برقی هیبریدی۳	FreedomCAR Program for the U.S. Department of Energy
DOE/ID-11070	۲۰۰۳	راهنمای آزمون باتری ۴۲ ولت FreedomCAR4	FreedomCAR Program for the U.S. Department of Energy
IEC 62660-1	۲۰۱۰	سلول‌های لیتویم یون ثانویه بعنوان نیروی محرکه خودروهای برقی جاده ای- بخش ۱: آزمون عملکرد۵	International Electrotechnical Commission
IEC 61982	۲۰۱۲	سلول‌های ثانویه (به جز لیتیوم) بعنوان نیروی محرکه خودروهای برقی جاده ای- بخش ۱: آزمون عملکرد و پایداری۶	International Electrotechnical Commission
INL/EXT-07-12536 Rev. 2	۲۰۱۰	راهنمای آزمون باتری برای خودروهای برقی هیبریدی پلاگین۷	Idaho National Laboratory for the U.S. Department of Energy
SAE J2288	۲۰۰۸	آزمون چرخه عمر ماژول های باتری خودرو برقی۸	SAE International
SAE J1798	پیش‌نویس	آزمون‌های توصیه شده برای امتیازدهی عملکرد ماژول های باتری خودرو برقی۹	SAE International
ISO 12405-2	۲۰۱۲	خودروهای برقی جاده‌ای- ویژگی‌های پک و سیستم های	International Organization for Standardization

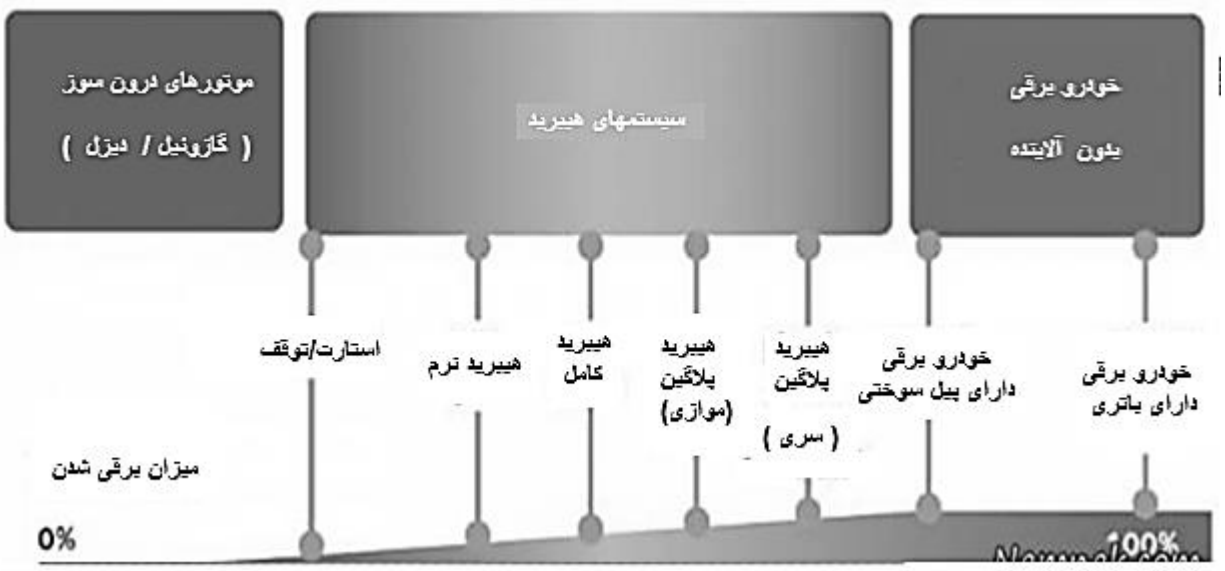
[1] USABC Electric Vehicle Battery Test Procedures Manual
[2] PNGV Battery Test Manual
[3] FreedomCAR Battery Test Manual for Power-Assist Hybrid Electric Vehicles
[4] FreedomCAR 42 V Battery Test Manual
[5] Secondary lithium-ion cells for the propulsion of electric road vehicles—part 1: performance testing
[6] Secondary batteries (except lithium) for the propulsion of electric road vehicles—performance and endurance tests
[7] Battery test manual for plug-in hybrid electric vehicles
[8] Life cycle testing of electric vehicle battery modules
[9] Recommended practice for performance rating of electric vehicle bat- tery modules

	باتری لیتیوم یون- بخش ۲: کاربردهای انرژی بالا[1]		
International Organization for Standardization	خودروهای برقی جاده‌ای- ویژگی‌های پک و سیستم‌های باتری لیتیوم یون- بخش۱: کاربردهای توان بالا[2]	۲۰۱۱	ISO 12405-1
Idaho National Laboratory for the U.S. Department of Energy	راهنمای آزمون بررسی عمر فناوری باتری[3]	۲۰۱۲	INL/EXT-12-27920 Rev. 1
Idaho National Laboratory for the U.S. Department of Energy	راهنمای آزمون باتری برای سیستم‌های ذخیره انرژی با انرژی پایین برای خودروهای برقی هیبریدی[4]	۲۰۱۳	INL/EXT-12-27620
Idaho National Laboratory for the U.S. Department of Energy.	راهنمای آزمون باتری برای خودروهای حرکت-توقف ۱۲ ولت[5]	۲۰۱۵	INL/EXT-12-26503
Idaho National Laboratory for the U.S. Department of Energy	راهنمای تخمین عمر باتری[6]	۲۰۱۲	INL/EXT-08-15136 Rev. 1

۵-۲- ظرفیت، حجم و وزن پکیج باتری‌های مورد استفاده در انواع خودروهای برقی

باتری‌ها به لحاظ کارایی و میزان توان و انرژی خروجی بسته به نوع خودروی برقی اعم از هیبریدی (حرکت- توقف، هیبریدی ملایم و هیبریدی کامل) و تمام برقی (خودروی الکتریکی) متفاوت هستند. وجود زیرساخت‌ها، تمایل رانندگان، کاربردی بودن فناوری‌های موجود در خودروهای مدرن و از همه مهم‌تر منابع تولید برق در انتخاب نوع خودرو در نقاط مختلف جهان تاثیر دارد. خودروهای هیبریدی (برقی شده) درصدی از نیروی یک خودرو را از منابع برقی تأمین می‌کنند. معمولاً این دسته از خودروها در کنار موتور احتراقی خود دارای یک موتور الکتریکی نیز هستند که انرژی خروجی آن در مدل های اشاره شده در **Error! Reference source not found.** متفاوت است.

[1] Electrically propelled road vehicles—test specifications for lithium-ion traction battery packs and systems—part 2: high energy applications
[2] Electrically propelled road vehicles—test specifications for lithium-ion traction battery packs and systems—part 1: high power applications
[3] Battery Technology Life Verification Test Manual
[4] Battery Test Manual for Low-Energy Energy Storage System for Power-Assist Hybrid Electric Vehicles
[5] Battery Test Manual for 12 Volt Start/Stop Vehicles
[6] Battery Calendar Life Estimator Manual



شکل ۲- ۹- روند برقی‌سازی خودروها

برای مثال در خودرویی با فناوری حرکت- توقف[1] از باتری ۱۲ ولتی استفاده می‌شود ولی برای مدل نیمه‌هیبرید[2]، باتری ۴۸ ولتی مناسب است. به منظور افزایش مسافت طی شده توسط موتور برقی از باتری‌های لیتیمی با ظرفیت بیشتر استفاده شده است که توسط برق خانگی و یا ایستگاه‌های شارژ خیابانی، باتری‌های حدود ۱۵ کیلووات ساعت شارژ می‌شدند و به پلاگین هیبرید معروف هستند. باتری‌های با ظرفیت بالا که در ادامه صحبت خواهند شد می‌توانند نیاز روزانه رانندگان را با طی کردن ۳۰۰ کیلومتر در حالت یک بار شارژ جوابگو باشند و بدین منظور ژنراتور متصل به موتور احتراق کوچکی تعبیه شده است که در مدل‌های پریوس جدید و BMW مدل i3 استفاده شده است. ولی امروزه شرکت‌های خودرو سازی به سمت خودروهای برقی بدون موتور احتراقی شتافته‌اند و نمونه‌هایی را نیز شرکت تسلا با مدل‌های S، 3 و جدیدترین مدل (X) ارائه کرده است. این خودروها که صرفاً با موتور الکتریکی و با تکیه بر توان باتری حرکت می‌کنند، توان بالای ۵۰ کیلو وات ساعت را دارا هستند. استفاده از این خودروها درون شهری یکی از راه‌های کاهش آلودگی هوا است اما این خودروها با چالش وزن و حجم زیاد باتری‌ها، قیمت بسیار بالای آن‌ها و زمان شارژ دست و پنجه نرم می‌کنند که تحقیقات در زمینه باتری‌ها را روزافزون کرده است که در گزارش‌های بعدی در مورد باتری‌های نسل آینده لیتیم یون فعلی مفصلا صحبت خواهیم کرد.

بطور خلاصه خودروهای برقی را از لحاظ ظرفیت باتری می‌توان به شکل زیر تقسیم‌بندی کرد:

---

[1] Start- Stop
[2] Mild Hybrid Electric Vehicle (MHEV)

محدوده‌ی کمتر از ۵ کیلو وات ساعت هیبرید نرم، محدوده‌ی ۱۰–۵ کیلو وات ساعت هیبرید کامل، محدوده‌ی ۲۰–۱۰ کیلو وات ساعت پلاگین و محدوده‌ی بیش از ۱۰۰ کیلو وات ساعت مربوط به خودرو برقی کامل است.

جدول ۲- ٤- مشخصات باتری استفاده شده در خودروهای برقی شده روز

مدل	باتری	زمان شارژ
Piriusتویوتا	۴/۴ کیلووات‌ساعت لیتیوم یون، بازه رانندگی ۱۸ کیلومتر	۳ ساعت در ۱۱۵ ولت متناوب ۱۵ آمپر ۱/۵ ساعت در ۲۳۰ ولت متناوب ۱۵ آمپر
PHEVشورلت	۱۶ کیلووات ساعت، لیتیوم منگنز، ۱۸۱ کیلوگرم، بازه رانندگی ۶۴ کیلومتر	۱۰ ساعت در ۱۱۵ ولت متناوب ۱۵ آمپر ۴ ساعت در ۲۳۰ ولت متناوب ۱۵ آمپر
iMiEVمیتسوبیشی	۱۶ کیلووات ساعت، ۸۸ سلول، ۴ ماژول، لیتیوم یون، ۱۰۹ وات ساعت بر کیلوگرم، ۳۳۰ ولت، بازه رانندگی ۱۲۸ کیلومتر	۱۳ ساعت در ۱۱۵ ولت متناوب ۱۵ آمپر ۷ ساعت در ۲۳۰ ولت متناوب ۱۵ آمپر
smart Fortwo ED	۱۶/۵ کیلووات ساعت، یون لیتیوم، بازه رانندگی ۱۳۶ کیلومتر	۸ ساعت در ۱۱۵ ولت متناوب ۱۵ آمپر ۳/۵ ساعت در ۲۳۰ ولت متناوب ۱۵ آمپر
i3بی ام دبلیو	۲۲LMO/NMC ، کیلووات ساعت، باتری سلول پریسماتیک ۶۰ آمپر، بازه رانندگی ۱۳۰ تا ۱۶۰ کیلومتر	۴ ساعت در ۲۳۰ ولت متناوب ۳۰ آمپر، ۵۰ کیلووات ساعت شارژ سریع، ۸۰٪ در ۳۰ دقیقه

۱/۵ ساعت در ۲۳۰ ولت متناوب ۱۵ آمپر		
۸ ساعت در ۱۱۵ ولت متناوب ۱۵ آمپر ۴ ساعت در ۲۳۰ ولت متناوب ۳۰ آمپر	۳۰ کیلووات ساعت، لیتیوم منگنز، ۱۹۲ سلول، خنک کاری با هوا، ۲۷۲ کیلوگرم، بازه رانندگی تا ۲۵۰ کیلومتر	نیسان لیف
۹ ساعت با ۱۰ کیلووات ساعت، شارژ سریع با ۱۲۰ کیلووات ساعت، ۸۰٪ در ۳۰ دقیقه	۷۰ و ۹۰ کیلووات ساعت، سلول‌های نیکل کبالت آلومینیوم، خنک کاری با مایع، باتری ۹۰ کیلووات ساعتی دارای ۷۶۱۶ سلول، ۵۴۰ کیلوگرم، بازه رانندگی تا ۲۵۰ کیلومتر	Sتسلا
۴۰ ساعت در ۱۱۵ ولت متناوب ۱۵ آمپر ۱۰ ساعت در ۲۳۰ ولت متناوب ۳۰ آمپر ۱ ساعت در ۵۰ کیلووات ساعت	۶۰ کیلووات ساعت، ۲۸۸ سلول، ۳۸۳ کیلومتر بازه رانندگی، خنک کاری با مایع	Chevy Bolt

Error! Reference source not found. مشخصات فنی باتری‌های لیتیم یون استفاده شده در خودروهای تمام الکتریکی یا هیبریدی امروزی را نشان می‌دهد که ولتاژ باتری، نوع و ظرفیت سلول استفاده شده، میزان انرژی خروجی و تعداد ماژول‌ها استخراج شده است.

۱-۵-۲- بی ام دبلیو (BMW):

شرکت سامسونگ که تامین کننده انحصاری باتری برای شرکت BMW است، از سلول‌های لیتیم یون پریسماتیک[1] (منشوری) با ظرفیت ۳۰، ۶۰، ۹۰ و اخیرا ۱۲۰ آمپر ساعت (۳/۷ ولت- هنوز تولید انبوه نشده است) برای ساخت ماژول و پک باتری استفاده می‌کند. این سلول‌ها از ترکیب لیتیم منگنز اکسید ($LiMn_2O_4$) با NCM (نیکل- کبالت- منگنز) با فرمولاسیون مشخصی ساخته می‌شوند. در مقابل شرکت تسلا از سلول‌های استوانه‌ای شکل ۱۸۶۵۰ (قطر ۱۸ میلی متر و طول ۶۵ میلی متر) با ظرفیت ۳۴۰۰ میلی آمپر ساعت محصول شرکت پاناسونیک با فرمول NCA (لیتیم نیکل کبالت آلومینیم اکسید) برای ساخت باتری استفاده می‌کند.

[1] Prismatic

سلول‌های تولیدی شرکت سامسونگ برای انواع خودروهای برقی و هیبریدی در شکل ۲-۱۰ آورده شده است. همان گونه که مشاهده می‌گردد برای دانسیته انرژی و مسافت طی شده خودرو با یکبار شارژ، از سلول‌های با ظرفیت بالاتر و برای افزایش جریان لحظه‌ای بالا و نیز کاهش مدت زمان شارژ، از هیبرید باتری و ابر خازن بهره‌مند می‌شوند.



شکل ۲- ۱۰- سلول‌های پریسماتیک شرکت سامسونگ برای کاربرد حمل و نقل برقی

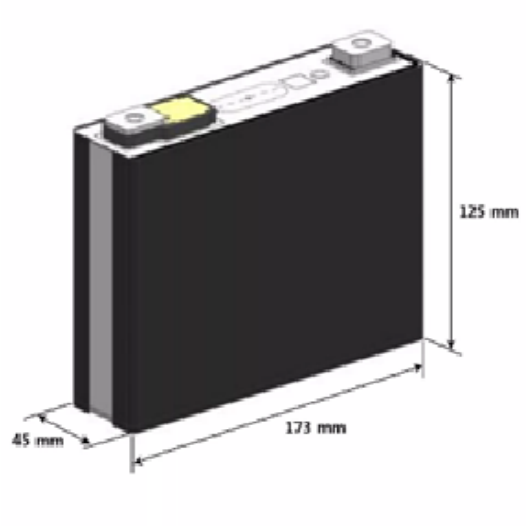
شرکت BMW برای ساخت مدل i3 ابتدا از سلول ۶۰ آمپر ساعت استفاده کرد که در تازه‌ترین مدل خود از سلول ۹۴ آمپر ساعتی و تا چند ماه آینده از سلول ۱۲۰ آمپر ساعت رونمایی خواهد کرد.

باتری از ترکیب سری ۹۶ سلول - 8/3 -Ah 60 ولت تشکیل شده است.

$$۹۶ \text{ cell} \times ۶۰ \text{ Ah} \times ۳/۸\text{volt} = ۲۲ \text{ KWh}$$

لذا باتری با ظرفیت Ah ۶۰ و ولتاژ ۳۶۵ ولت برای طی کردن مسافت حدود ۱۶۰- ۱۳۰ کیلومتر با یکبار شارژ مناسب می‌باشد. همچنین وزن هر سلول حدود ۱۵۰۰ گرم می‌باشد که در پک با لوازم و جعبه باتری به ۲۰۴ کیلوگرم می‌رسد.

مدل سال قبل BMWi3 از سلول ۹۴ Ah شرکت سامسونگ استفاده برای ساخت پک باتری سود جست و توانست به مسافت ۲۰۰ کیلومتر دست یابد. دانسیته انرژی حجمی سلول ۳۵۲ Wh/l و دانسیته انرژی جرمی ۱۷۴ Wh/kg می‌باشد که مشخصات فنی این سلول در **Error! Reference source not found.** آورده شده است.



مشخصات		
ظرفیت نرمال		min. 94 Ah ave. 95.6 Ah
ولتاژ نرمال		3.68 V
متوسط انرژی		350 kWh
ولتاژ(ماکزیمم شارژ)		4.15 V
تخلیه توان (متوسط)	5s at 25 °C, SOC 90%	1546 W
	30s at 25 °C, SOC 90%	1102 W
	30s at 25 °C, SOC 20%	966 W
	30s at -25 °C, SOC20%.	155 W
ابعاد (L x W x H, mm)		173 x 125 x 45
وزن		max. 2.06 kg ave. 2.01 kg

شکل ۲- ۱۱- مشخصات فنی سلول Ah ۹۴ شرکت سامسونگ

اخیرا شرکت سامسونگ سلول ۱۲۰ Ah را معرفی کرده است که انرژی کل باتری را بسیار افزایش می‌دهد که با موازی کردن پک فوق، میزان مسافت طی شده به صورت چشمگیری افزایش پیدا خواهد کرد و به مرز ۴۰۰ کیلومتر خواهد رسید.

۹۶ cell x ۱۲۰ Ah x ۳/۷ volt =۴۲/۸ KWh

۲-۵-۲- نیسان (Nissan Leaf) و شورلت (Chevy Bolt)

همان گونه که در **Error! Reference source not found.** مشاهده می‌گردد شرکت‌های Nissan Leaf و Chevy Volt از سلول‌های پریسماتیک $LiMn_2O_4$ (LMO) برای خودروهای خود استفاده کرده‌اند و برای افزایش میزان مسافت طی شده با یکبار شارژ کامل، به ترتیب دو سری ۹۶ تایی جمعا ۱۹۲ سلول (۹۶ s ۲ p) و سه سری ۹۶ تایی جمعا ۲۸۸ سلول را برای ارتقاء ظرفیت موازی کرده‌اند (۹۶ s ۳ p) و به ترتیب به مسافت‌های ۲۵۰ و ۳۸۳ کیلومتر رسیده‌اند. لازم به توضیح است که انرژی خروجی نیز به ترتیب ۳۰ و ۶۰ کیلو وات بوده است که با تقسیم کردن بر ولتاژ کل ۹۶ سلول (۳۶۰ ولت) نشان می‌دهد نیسان از سلول ۴۲ آمپر ساعتی و شورلت از سلول ۵۵ آمپر ساعتی در پک استفاده کرده است. مدل

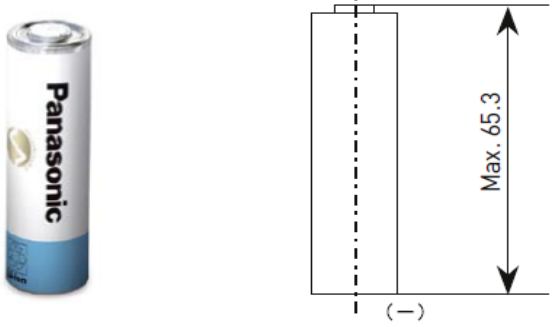
قبلی شرکت نیسان با خروجی انرژی ۲۲ کیلو وات ساعت، از سلول‌های ۳۳ آمپر ساعتی که مشخصات آن به همراه پک باتری در **Error! Reference source not found.** تقدیم می‌گردد.

جدول ۲- ۵- مشخصات سلول (سمت چپ) و پک باتری (سمت راست) در خودروی برقی نیسان

نوع	باتری لیتیم یون لمینیت	نوع سلول	لمینیت
ولتاژ V	۴۰۳/۲	ماده کاتدی	LiNiO2 با LiMn2O4
ولتاژ نامی V	۳۶۰	ماده آندی	گرافیت
ظرفیت کل kWh	۲۴، ۱۶باDoD٪۶۷، ۲۱ (ساختار ظریف)	ظرفیت	۳۳/۱ (۰/۳C) آمپرساعت
خروجی توان kW	بیش از ۹۰	ولتاژ متوسط	۳/۸V
دانسیته انرژی Wh/kg	۱۴۰	طول	۲۹۰ میلیمتر
دانسیته توان kW/kg	۲/۵	عرض	۲۱۶ میلیمتر
ابعاد mm	۲۶۴/۹*۱۱۸۸*۱۵۷۰/۵	ضخامت	۷/۱ میلیمتر
وزن (پوند)	۶۴۸	وزن	۷۹۹ گرم
تعداد ماژولها	۴۸، برای ۴ سلول		

۳-۵-۲- شرکت تسلا

بزرگ‌ترین پروژه دانشی دنیا معروف به پروژه تسلا، با سرمایه‌گذاری ۵ میلیارد دلاری شرکت تسلا و پاناسونیک برای ساخت خودروهای تمام برقی از ۳ سال پیش شروع شده است و در این راستا خودروهای این شرکت بر خلاف شرکت‌های اشاره شده، از سلول‌های استوانه‌ای شکل ۱۸۶۵۰ (اخیرا سایز ۲۱۷۰۰ باتری لیتیم یون را نیز مورد تست قرار داده‌اند) برای خودروهای برقی X، 3، S استفاده می‌کند. مشخصات فنی سلول ۱۸۶۵۰ با ظرفیت ۳۴۰۰ mAh در شکل ۲- ۱۲- آورده شده است.



SPECIFICATIONS

ظرفیت مجاز (در ۲۰°C)		مینیمم ۳۲۰۰ میلی آمپرساعت
ظرفیت نامی (در ۲۵° C)		مینیمم ۳۲۵۰ میلی آمپرساعت
ولتاژ نامی		۳/۶ ولت
روش شارژ		جریان ثابت-ولتاژ ثابت
ولتاژ شارژ		۴/۲ ولت
جریان شارژ		۱۶۲۵ میلی آمپر
زمان شارژ		۴ ساعت
دمای محیط	شارژ	~°
	تخلیه	
	انبارداری	
وزن (ماکزیمم)		۴۷/۵ گرم
ابعاد ماکزیمم اندازه ماکزیمم بدون لوله	(D)	
	(H)	
دانسیته انرژی حجمی		۶۷۶ وات ساعت بر لیتر
دانسیته انرژی وزنی		۲۴۳ وات ساعت بر کیلوگرم

شکل ۲- ۱۲- مشخصات فنی سلول ۱۸۶۵۰ با ظرفیت mAh ۳۴۰۰

خودروی S این شرکت (**Error! Reference source not found.**) حاوی مشخصات ذیل می‌باشد:

- ۹۰ کیلو وات ساعت
- ۳۵۶ ولت
- حدود ۹۹ سلول برای سری کردن نیاز است که در ماژول های ۹ تایی جایگذاری شده‌اند. در کل ۱۱ ماژول بکار گرفته شده است.
- ۲۵۰ Ah
- حدود ۷۵ سلول نیز برای رسیدن به این ظرفیت نیاز است.
- ۲۵۰/۳/۴ = ۷۵ سلول مورد نیاز

- تعداد سلول‌ها در پک باتری
- در مجموع بالای ۷ هزار سلول استفاده شده است.

۷۵*۹۹ =۷۴۲۵

تعداد سلول گزارش شده توسط شرکت تسلا، ۷۶۱۶ سلول است که دلیل این اختلاف تعداد سلول را، به دقیق گزارش نکردن ولتاژ و ظرفیت توسط شرکت‌ها که تمایلی به ارائه جزئیات باتری و حتی سلول ندارند (آخرین دستاورد شرکت تسلا در نمایشگاه ۲۰۱۸، معرفی باتری جدید بود و نه خودروی جدید) و لذا به منظور دستیابی به نتایج ارزنده، از گزارش‌های اعلامی شرکت‌های مختلف استفاده شده است.

۶-۲- روش‌های آزمون باتری‌های خودرو برقی

روش‌های آزمون باتری خودرو برقی دو دسته "تست‌های عملکردی" و "تست‌های ایمنی" طبقه‌بندی شود. در "تست‌های عملکردی" رفتار الکتریکی یک باتری در شرایط نرمال در یک خودرو برقی آزمایش می‌شود. این آزمون‌ها را می‌توان به دو بخش تقسیم کرد، یکی "آزمون‌های ورودی" که باید برای مشخص کردن سلول‌ها و باتری‌های تازه تولید شده به اندازه کافی جامع باشد و دومی، "آزمون‌های طول عمر" که پارامترهای خاصی را اندازه گیری می‌کنند (مثلا ظرفیت). این آزمون‌ها به صورت دوره‌ای در طول هفته‌ها، ماه‌ها یا سال‌ها، چگونگی عملکرد و کارایی باتری را بر اساس پارامتر مورد نظر (به عنوان مثال، از دست‌دادن ظرفیت یا نگه‌داری انرژی) اندازه‌گیری می‌کنند. تست‌های ایمنی: معمولاً آزمایش‌های مخرب است و بر اساس پاسخ باتری به خرابی ناشی از تحریک‌های درونی یا بیرونی شناختی از باتری به دست می‌دهد [۷].

۱-۶-۲- آزمون عملکرد (کارایی) باتری خودرو برقی

برای اندازه‌گیری عملکرد و کارایی یک باتری، یک سری آزمون با شارژ و تخلیه باتری در حالت‌های از پیش تعریف شده در شدت جریان یا توان مشخص انجام می‌شود. نتایج به دست آمده برحسب مقادیر اسمی ظرفیت (آمپر ساعت [Ah])، انرژی (وات ساعت [Wh]) ، حداکثر جریان (آمپر [A]) و توان (وات [W]) ارزیابی می‌شود.

اغلب تست های عملکرد برای سیستم های کامل باتری است. یعنی بسته‌های باتری آماده برای استفاده در یک خودرو برقی، که در آن ولتاژ و توان ممکن است بالاتر از ۳۰۰ ولت و ۲۵ کیلو وات باشد و شامل دستگاه‌های کنترل الکترونیکی و ایمنی است. با این حال، اگر طرف‌های حاضر در آزمون علاقه‌مند به اطلاعات جزئی‌تر باشند، ممکن است مقیاس آزمون‌ها به بسته‌های کوچک‌تر، ماژول ها و سلول‌های منفرد کاهش یابد. آزمایش‌ها معمولا در این مقیاس‌ها در مقادیر ثابتی مانند ۴۰۰ ولت و یا ۸۰ آمپر انجام نمی‌شوند؛ در عوض آن‌ها از مقادیر مرجعی مانند "حداکثر ولتاژ"، "حداقل ولتاژ قطع[1]"، "حداکثر جریان شارژ"، "جریان ۱C"، "۷۵ درصد حداکثر جریان تخلیه" و غیره استفاده می‌کنند که می تواند بسته به باتری خاص مورد آزمون تنظیم شود.

۱-۱-۶-۲- تست‌های معمول

تخلیه جریان ثابت و ظرفیت استاتیک: در این آزمون، باتری به طور کامل شارژ شده و سپس با جریان ثابت بر اساس ظرفیت اسمی "C" سلول و برنامه در نظر گرفته شده به سادگی تخلیه می‌شود تا زمانی که به "ولتاژ قطع" تعیین شده توسط سازنده باتری برسد. اگر استفاده از باتری به توان زیاد نیاز داشته باشد، جریان تخلیه ممکن است متناظر با ۱C (IEC 62660-1) یا حتی ۱۰C (ISO 12405-1) سلول باشد. اگر استفاده از باتری نیاز به توان پایین اما انرژی بالا داشته باشد، نرخ جریان تخلیه ممکن است متناظر با C/۳ (IEC 62660-1)، یا حتی نرخ‌های ۱C و ۲C (ISO 12405-2) باشد. نرخ "C" عبارت از جریان بر حسب آمپر متناظر با ظرفیت یک ساعت بر حسب آمپر ساعت است ؛ اگر ظرفیت معادل با ۱۰ آمپرساعت باشد، میزان ۱C برابر با ۱۰ آمپر خواهد بود. هدف این آزمایش پاسخ به این سوال است که آیا ظرفیت اندازه گیری شده بر حسب آمپر ساعت و مقدار انرژی متناظر با آن بر حسب وات ساعت با مقادیر داده شده توسط سازنده باتری تطابق دارد یا خیر. این آزمون به طور معمول اولین آزمون قبل از انجام هر تست دیگر است، زیرا ظرفیت موثر باتری را تعیین می‌کند و در صورت افت ظرفیت باتری، مقایسه این مقدار با نتایج تست‌های دیگر وضعیت باتری را آشکار می‌سازد. این

[1] Minimum Cutoff Voltage

آزمایش برای دمای پایدار محیط ۳۰–۲۵ درجه سانتی‌گراد در نظر گرفته شده است، اما می تواند در دماهای ثابت در محدوده ۲۰– تا ۴۰ درجه سانتی گراد برای تخمین ظرفیت خودروهای برقی در شرایط مختلف آب و هوایی انجام شود.

تعیین مشخصات قدرت پالس و مقاومت داخلی: اساس این آزمون این است که باتری در معرض پالس‌های جریان بالا قرار می‌گیرد، یکی در زمان تخلیه و در ادامه آن در زمان شارژ. هدف این است که بخشی از پروفایل جریانی که ممکن است باتری خودرور برقی تجربه کند –شامل زمان شتاب (تخلیه) و همچنین ترمز (شارژ بازسازی کننده)– شبیه‌سازی و رفتار توان دینامیک باتری، که ممکن است شامل افت و افزایش ولتاژ سریع به ترتیب در طول تخلیه و شارژ باشد، اندازه‌گیری شود. این آزمون به عنوان "مشخصه‌یابی توان پالسی هیبریدی" (HPPC[1]) شناخته شده. پالس تخلیه به طور معمول از ۱۰۰٪ مقدار جریان نرمال شده استفاده می‌کند؛ پالس شارژ کمتر است، حدود ۷۵ درصد (یعنی انرژی در بخش ترمز شبیه سازی شده به طور کامل احیا نشده است). پالس ممکن است برای کاربردهای توان بالا ۰/۱ تا ۲۰ ثانیه (ISO 12405-1) و برای کاربردهای با انرژی بالا تا ۱۲۰ ثانیه (ISO 12405-2) به طول انجامد، با پالس شارژی که به طور کلی کوتاه‌تر است. موارد مختلف این آزمون با مقادیر مختلف و دوره های زمانی متفاوت پالس‌هاست.

در آزمون توان پالس تغییر ولتاژ ΔV با جریان ΔI مشاهده شده و در نتیجه نسبت زیر در هنگام شارژ و تخلیه سیستم باتری مقاومت اهمی R را در طول شارژ و تخلیه سیستم باتری به دست می‌دهد.

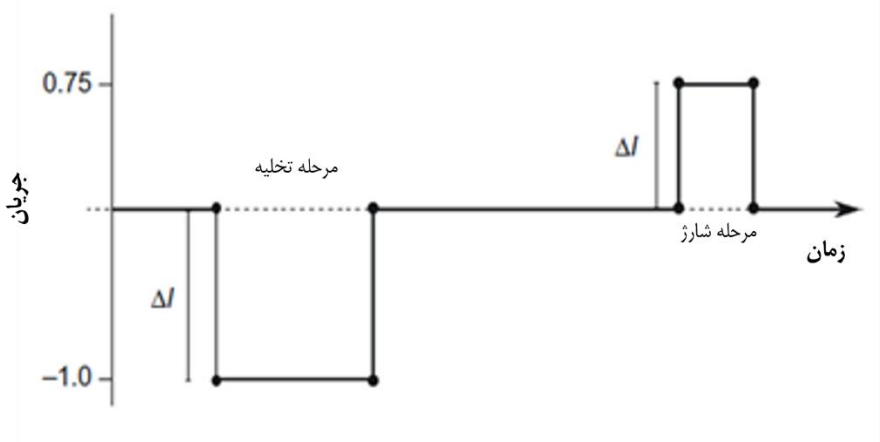
$$R = \frac{\Delta V}{\Delta I}$$

این موضوع در **Error! Reference source not found.** و **Error! Reference source not found.** نشان داده شده است، که در آن یک پروفیل جریان پالس به یک پروفیل ولتاژ اندازه گیری شده مربوط به آن منجر می‌شود.

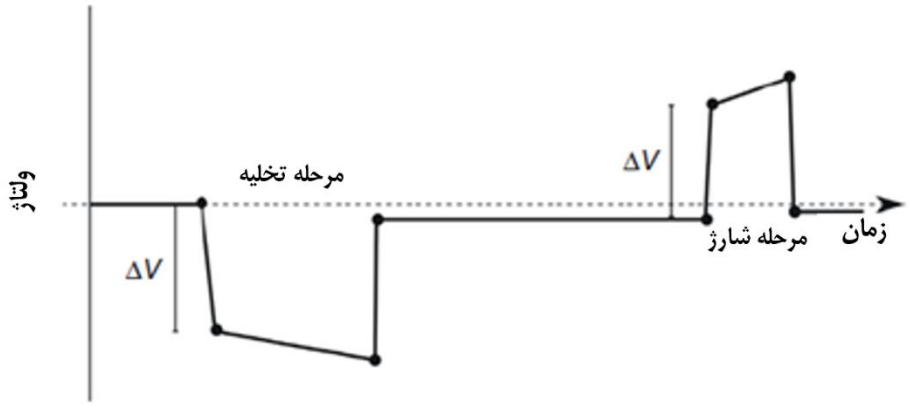
$$P = \Delta V . \Delta I$$

حاصل‌ضرب جریان و ولتاژ همچنین مقادیر لحظه ای توان شارژ و تخلیه P را به دست می‌دهد. منحنی های ولتاژ، توان محاسبه شده و مقادیر مقاومت، مقادیر ثابت زمانی پاسخ را در هنگام مراحل تخلیه، استراحت و شارژ ارائه می‌دهند، که بعداً می تواند در مدل‌های سطوح مدار[2] برای بسته باتری در خودروهای برقی مورد استفاده قرار گیرد.

[1] hybrid pulse power characterization
[2] circuit-level models



شکل ۲- ۱۳- پروفایل تست پالس تک جریانه با استفاده از یک جریان نرمال شده‌ی ۱/۰

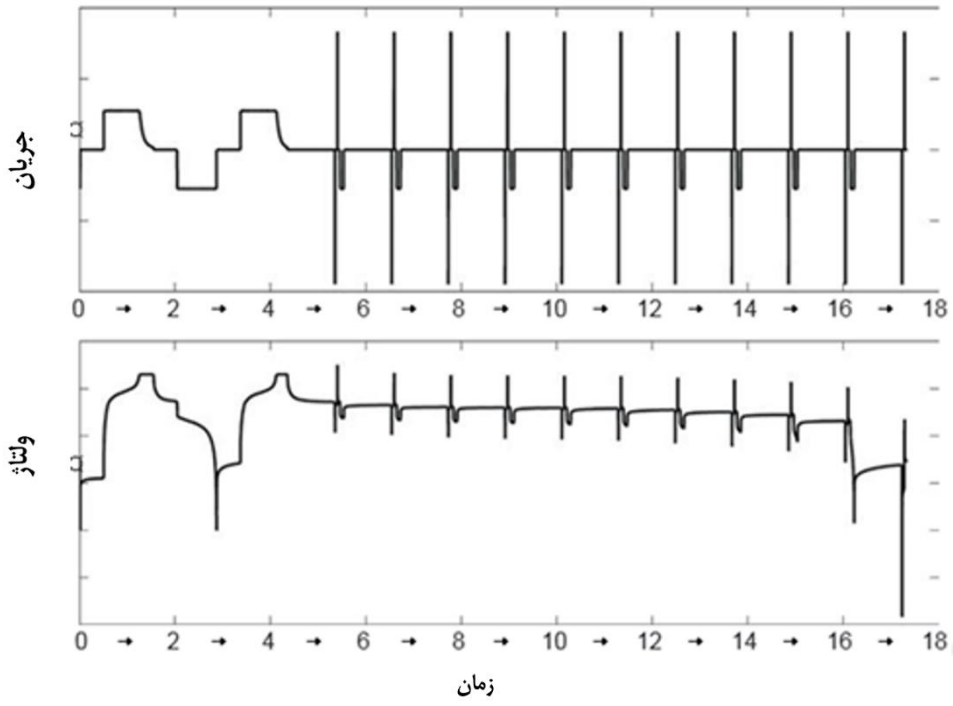


شکل ۲- ۱٤- نمونه‌ای از پاسخ ولتاژ یک باتری به آزمون پالس جریان

از آنجایی که انتقال جریان و ولتاژ سریع است، هنگام انجام این آزمون، نقطه‌های اندازه‌گیری باید با فرکانس‌پذیری مناسب تعیین شوند، به عنوان مثال، هر ۵۰ میلی ثانیه یا بیشتر در طول دوره‌های مورد علاقه در نظر گرفته شود.

با بسیاری از آزمایش‌ها، می‌توان مشخصه‌یابی پالس را در حالت‌های مختلف شارژ و دما انجام داد تا چگونگی تاثیر این عوامل بر سیستم باتری را بررسی کرد. کتابچه راهنمای (INL / EXT-07-12536 Rev.2) اشاره به انجام آزمایش HPPC در هر مرحله ۱۰٪ حالت شارژ (SOC) دارد، این موضوع در **Error! Reference source not found.** نشان داده شده است.

چرخه رانندگی و رژیم تخلیه توان متغیر: در این آزمون، باتری با یک پروفیل توان متغیر یا پروفیل جریان متغیر، بر اساس یک چرخه رانندگی داده شده تحت آزمایش قرار می‌گیرد. یک چرخه رانندگی اطلاعاتی در مورد سرعت خودرو برقی ارائه می‌دهد (که خود نشان می‌دهد که خودرو در حالت افزایش شتاب، کاهش شتاب، حرکت بدون شتاب و توقف است)، اما به طور کلی نمی‌تواند توان مورد نیاز باتری آن را نشان دهد، زیرا این پارامتر وابسته به وزن و دانسیته خودرو و همچنین پیکربندی درایو آن (موتور الکتریکی، مبدلها، یکسو کننده ها، و اجزای دیگر) است. رایج‌ترین تست‌های چرخه‌های رانندگی مواردی هستند که خودروهایی را هدف قرار می‌دهند که در محیط شهری تردد می‌کنند، مانند فرایند آزمون فدرال (FTP-75) از آژانس حفاظت از محیط زیست ایالات متحده، چرخه رانندگی اروپا (NEDC) توسط کمیسیون اقتصادی اروپا سازمان ملل متحد (UNECE) و JC08 توسط وزارت انرژی ژاپن.



شکل ۲- ۱۵- آزمون تعیین مشخصات باتری بر روی یک سلول یون لیتیوم، شامل مراحل ابتدایی شارژ و تخلیه برای اندازه‌گیری ظرفیت تخلیه کامل، و سپس آزمایش پالس. یک جفت پالس داده می‌شود، سپس ۱۰٪ از ظرفیت آن تخلیه می‌شود، این فرایند تکرار می‌شود تا سلول تخلیه شود.

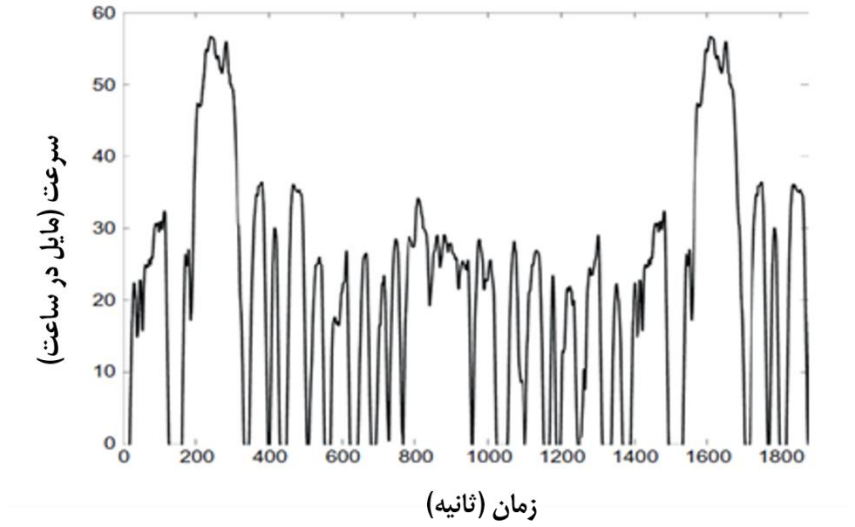
FTP-75 براساس "برنامه رانندگی دینامومتر شهری"[1] توصیف شده و در **Error! Reference source not found.** نشان داده شده است. NEDC در UNECE R101 (۲۰۱۳) شرح داده شده است و در **Error! Reference source not found.** نشان داده شده است. این پروفیل‌های محرکه در اصل برای اندازه‌گیری مصرف سوخت و انتشار آلاینده‌ها توسط خودروهای بنزینی در نظر گرفته شده‌اند، اما همچنین می‌توانند برای برآورد مصرف انرژی الکتریکی و محدوده رانندگی خودروهای برقی استفاده شوند.

یک چرخه رانندگی تنها می‌تواند به شکل کلی به خودرو اعمال شود و یا در صورت موجود بودن، به مدل‌های کامپیوتری که مصرف انرژی خودرو را نشان می‌دهند، اعمال شود. برای آزمایش باتری‌های یک خودرو برقی، یک چرخه رانندگی ضرورتا باید به یک رژیم تخلیه توان یا جریان متغیر تبدیل شود.

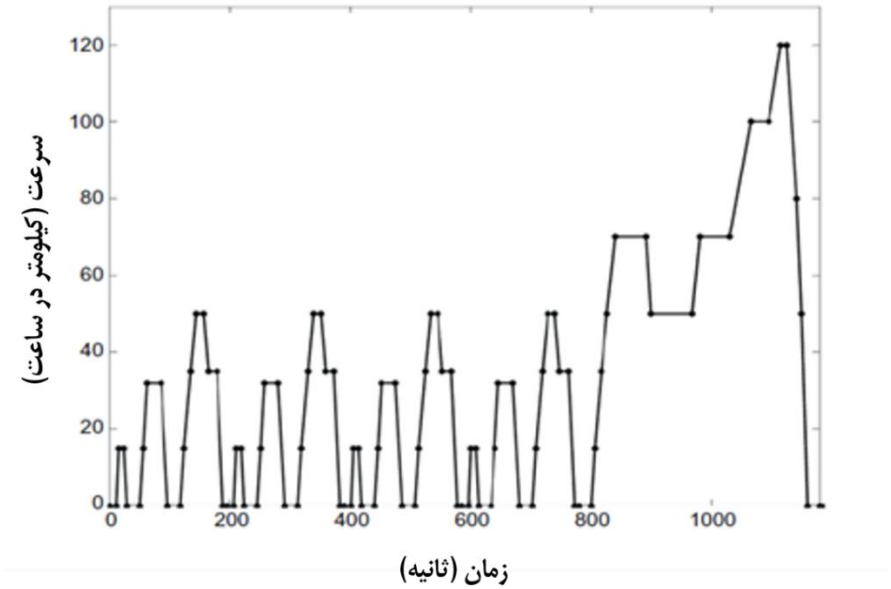
برخی از رژیم‌ها به منظور نشان دادن مصرف انرژی یک خودرو برقی شامل برنامه‌ریزی رانندگی شهری فدرال ایالات متحده (FUDS) و آزمون استرس دینامیکی (DST) طراحی می‌شوند. FUDS خود شامل FTP-75 چرخه رانندگی استفاده شده برای یک خودرو برقی خاص به منظور به دست آوردن میزان برق مورد نیاز، و DST یک نسخه ساده از FUDS با همان مقدار متوسط تخلیه توان (USABC، 1996) است. برای هر دوی این رژیم‌ها، حداکثر توان به مقدار مشخصی در W/kg یا A/kg ارجاع داده می‌شود، که امکان افزایش یا کاهش اندازه مقیاس الگو را بر اساس نوع خودرو به آن می‌دهد. FUDS در

[1] Urban Dynamometer Driving Schedule, https://www.epa.gov/emission-standards-reference-guide/epa-urban-dynamometer-driving-schedule-udds.

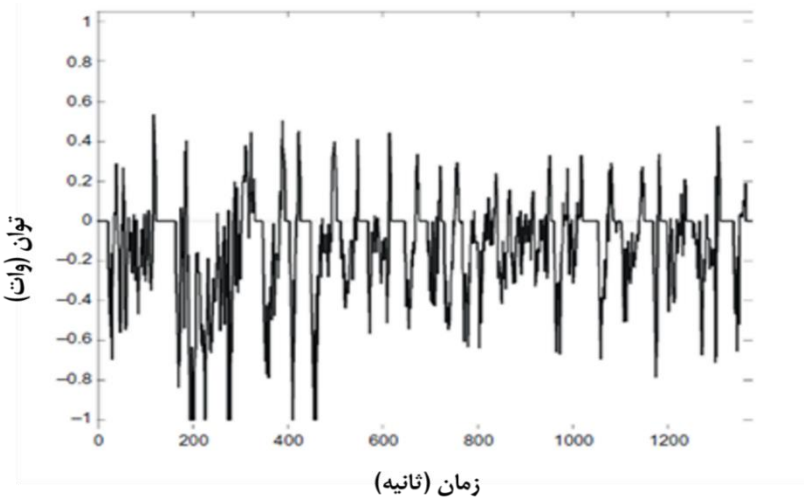
و DST در **Error! Reference source not found.** نشان داده شده است. در این نمودارها حداکثر توان به عنوان مقدار نرمال (۱/۰) در نظر گرفته شده است. این رژیم‌های توان متغیر، دارای هر دو حرکت منفی و مثبت توان هستند، که نشان‌دهنده دوره تخلیه (شتاب‌گیری خودرو) و شارژ (ترمز و صرفه‌جویی در انرژی) است.



شکل ۲- ۱۶- چرخه رانندگی در ایالات متحده FTP-75 به مایل در ساعت.



شکل ۲- ۱۷- چرخه رانندگی اروپایی NEDC به کیلومتر در ساعت.



شکل ۲- ۱۸- مثالی از رژیم تخلیه دینامیک FUDS، بر اساس چرخه رانندگی FTP-75، با حداکثر توان نرمال به ۱.۰



شکل ۲- ۱۹- مثالی از رژیم تخلیه دینامیک DST، بر اساس یک چرخه ساده FUDS، با حداکثر توان نرمال شده به ۱.۰.

با وجود بازیابی انرژی، اینها پروفیل‌های تخلیه خالص هستند، به این معنی که در پایان چرخه باتری شارژ کمتری نسبت به ابتدا دارند، در موارد خاص، در صورتی که مقدار پیک عدد ۱ باشد، این پروفیل‌ها دارای متوسط تخلیه ثابتی به میزان ۰.۱۲۵ مقدار پیک هستند. یک آزمایش کامل شامل تکرار بدون مکث پروفیل، تا زمانی که باتری به طور کامل تخلیه شود، است که می تواند با کاهش ولتاژ آن به حداقل مقدار آن، یا عدم توانایی نگه‌داری یک مرحله تخلیه، یا عبور از برخی

محدودیت‌های دیگر تعریف شود. تعداد چرخه‌های مورد نیاز در این مورد به SOC اولیه باتری و رفتار خاص آن در شرایط انتقال توان دینامیک بستگی دارد.

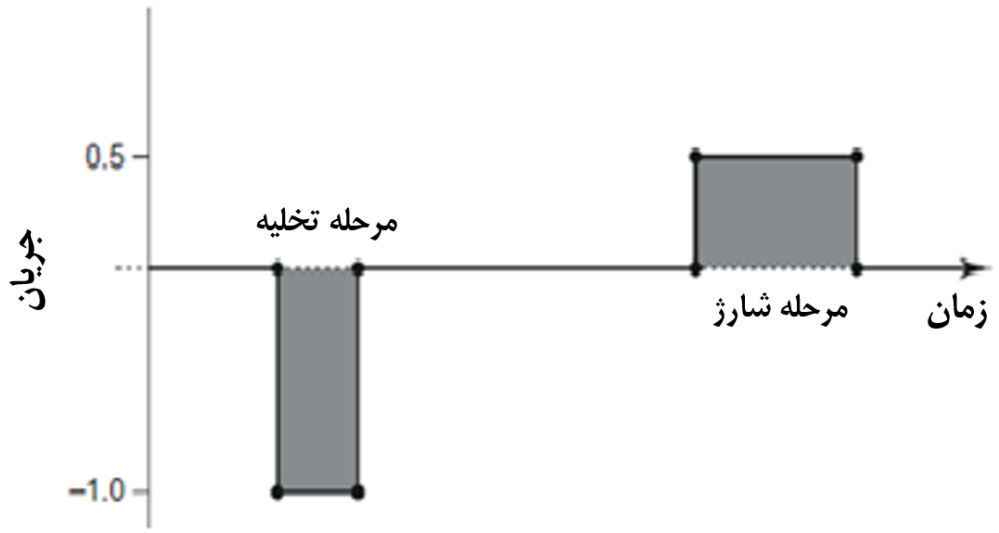
روش‌های آزمون باتری‌های خودرو برقی: در این آزمون، باتری تا یک SOC خاص شارژ شده و برای یک دوره طولانی مدت، در دمای محیط، بدون استفاده قرار می‌گیرد. ظرفیت تخلیه در ابتدا با تخلیه جریان ثابت و در پایان دوره ذخیره سازی اندازه‌گیری می‌شود تا میزان شارژ نگه داشته شده و میزان تلفات احتمالی ناشی از شارژ مشاهده گردد. بسته به سیستم باتری خاص، باتری می‌تواند تنها برای کنترل‌های کمکی (وضعیت بدون بار) انرژی مصرف کند، و یا برق به طور کامل قطع می‌شود (وضعیت ذخیره سازی). SOC اولیه ممکن است در محدوده ۵۰–۱۰۰٪ باشد و دوره ذخیره‌سازی به مدت ۱، ۷، ۳۰، یا حتی ۹۰ روز (QC / T 743-2006)، در دمای ۲۵ (IEC 61982، QC / T 743-2006) یا ۴۵ درجه سانتی‌گراد (IEC 62660-1، ISO 12405) باشد. از دست دادن شارژ ممکن است نشانه‌ای از تخلیه خودبخودی قابل بازگشت عادی باشد یا حتی تلفات ظرفیت دائمی باشد.

توان کرانکینگ: در این آزمون، SOC باتری کم است، به عنوان مثال ۲۰٪ و یا پایین‌ترین سطحی که می‌تواند مطابق معیارها قرار گیرد؛ سپس باتری چند بار به مدت کوتاهی، با پالس جریان بالا تخلیه می‌شود. توانایی باتری برای استارت یا جایگزینی یک سیستم انرژی دیگر تست می‌شود و بنابراین بیشتر برای باتری‌های مورد نیاز برای خودروهای برقی هیبرید به جای خودروهای برقی کامل استفاده می‌شود. پالس‌ها ممکن است ۲ تا ۵ ثانیه و با فاصله زمانی ۱۰ ثانیه‌ای طول بکشد. آزمایش معمولا برای دمای سرد زیر صفر درجه سانتیگراد است، زیرا در دمای پایین‌تر، قابلیت شارژ و تخلیه سلول‌های الکتروشیمیایی کاهش می‌یابد، بنابراین بدترین حالت پیش‌بینی می‌شود. با این حال، حداقل یک استاندارد انجام تست کرانکینگ در ۵۰ درجه سانتی گراد را توصیه می‌کند (ISO 12405-1).

شارژ و بهره وری انرژی: هدف از این آزمون اندازه‌گیری نسبت ظرفیت تخلیه (انرژی خروجی) به ظرفیت شارژ (انرژی ورودی) است. این تست را می‌توان با شارژ کامل و تخلیه در حالت جریان ثابت و یا با استفاده از یک پروفایل جریان پالسی که شارژ خنثی است، به جای تخلیه کامل باتری (۱۰۰–۰٪ SOC و بازگشت) پالس‌های کوتاه مدت ۱ تا ۲۰ ثانیه در مدت زمان صرف شده برای تخلیه و شارژ تنها یک بخش از انرژی باتری است. در این آزمون، مساحت زیر منحنی‌های تخلیه و شارژ باید همان‌طور که در **Error! Reference source not found.** نشان داده شده باشد؛ به عنوان مثال، ۱۰– آمپر در ۱۰ ثانیه و ۵+ آمپر در ۲۰ ثانیه یک چرخه خنثی است. این آزمون را می‌توان در 100 SOC٪ انجام داد، اما استانداردها نیز اشاره به انجام آن در سطوح دیگر، به عنوان مثال ۶۵٪، ۵۰٪ و ۳۵٪ (ISO 12405-1) و یا حتی برای هر

دهه ۱۰٪ (ISO 12405-2) . بازده شارژ سریع باتری را می‌توان به این طریق اندازه‌گیری کرد، به عنوان شارژ در ۱ C، 2C یا یکی دیگر از مقادیر بالای C بالا انجام می‌شود، در حالی که تخلیه را در حد مقادیر نرمال، کم پایین نگه دارید.

آزمون حرارتی: بسیاری از اسناد آزمایشی دارای یک تست حرارتی هستند، که اساسا شامل هر تست عملکردی است که در دمای خاصی در محدوده ۳۰- تا ۶۵ درجه سانتیگراد انجام می‌شود تا عملکرد خودرو برقی در شرایط مختلف را شبیه سازی کند.



شکل ۲- ۲۰- مثالی از پروفیل جریان خنثی-خام مورد استفاده برای آزمایش بهره‌وری انرژی.

در این آزمایش‌ها یک محفظه آب و هوایی با ظرفیت حجمی، گرمایشی و خنک‌سازی کافی، لازم است تا بطور کلی حاوی باتری باشد، و دما را در درجه حرارت مورد نیاز تنظیم و نگهداری کند. بسته به اندازه، وزن و ویژگی‌های حرارتی آن، باتری باید در داخل محفظه برای یک دوره مناسب از ۱ ساعت تا یک روز تمام باقی بماند، تا هر قسمت از آن قبل از انجام هر آزمون عملکردی به دمای مورد نظر برسد و تثبیت شود. با این حال، ممکن است در آزمایش واقعی، گرما تولید شده توسط باتری وجود داشته باشد، و شرایط شروع باید حاوی سیستم تثبیت حرارت باشد. در بعضی موارد، زمانی که آزمایش دارای دوره های استراحت باشد، و نه شارژ یا تخلیه باتری، این دوره می‌تواند به اندازه کافی افزایش یابد تا باتری بتواند یک بار دیگر در دمای تنظیم شده قرار گیرد.

۲-۱-۶-۲- آزمون برای عمر باتری

سرعت بخشیدن به پیری. در این آزمون، یک یا چند پارامتر که باعث پیر شدن باتری هستند، شناسایی می‌شوند. سپس آن‌ها به طور مداوم برای تسریع پیری و تخریب باتری تحت استرس قرار می‌گیرند. مراقبت‌های لازم باید انجام شود به طوری که استرس باعث کاهش طول عمر، و نه شکست ناگهانی شود. به عنوان مثال، دماهای بالاتر باعث پیری باتری می‌شود، اما اگر دما بیش از حد بالا باشد، ممکن است فرایند حرارتی ایجاد شود؛ لذا این آزمون همانطور که در نظر گرفته شده بود، ایمنی باتری را و نه عمر آن را ارزیابی می‌کند. دستورالعمل USABC (۱۹۹۶) یک "آزمون چرخه عمر پایه" متشکل از یک سری از چرخه های DST (آزمایش‌های دینامیکی استرس[1]) با مقیاس ۸۰ درصد از مقدار پیک تا زمانی که باتری تخلیه شود، شارژ مجدد باتری، و سپس ادامه آزمایش با شرایط آزمایش‌های دینامیکی استرس (DST) همه در شرایط اجتناب از محدودیت حرارتی و ایمنی است. در فواصل دوره‌ای، برای مثال، هر هفته یا پس از تعداد معینی از چرخه DST، تست متوقف می‌شود، و آزمون مرجع برای ارزیابی عمر باقی مانده باتری انجام می‌شود. آزمون مرجع می‌تواند هر یک از آزمون‌های عملکرد کوتاه مدت مانند آزمون HPPC، برای محاسبه ظرفیت انرژی و شارژ، مقاومت اهمی، قابلیت توان پیک، و غیره باشد. پس از آزمون مرجع، رژیم مداوم DST تا پایان عمر باتری ادامه می‌یابد. عمر باتری معمولا به گونه‌ای تعریف می‌شود که پایان عمر یک باتری هنگامی است که تنها ۸۰٪ از ظرفیت انرژی اولیه را داشته باشد.

تقویم پیری. آزمایش ساده و سریع تست پیری با نگهداری باتری در دمای بالا از ۳۵ تا ۶۰ درجه سانتیگراد، به عنوان مثال، برای چند هفته یا چند ماه انجام می‌شود. آزمون‌های مرجع باید در فواصل معین برای مشاهده تخلیه خودبخودی، از دست دادن ظرفیت، افزایش مقاومت درونی و سایر اثراتی که نشان‌دهنده عمر کوتاه‌تر است، انجام شود.

استفاده واقعی از چرخه عمر. بر خلاف آزمایش پیری تسریع شده که در بالا توضیح داده شده است، در این آزمایش، روند پیری تلاش می‌کند تا مسیر مصرف واقعی باتری را شبیه‌سازی کند. این آزمایش ممکن است در مدت زمان طولانی‌تری انجام شود، اما همچنین اعتبار سنجی برای روند پیری سریع‌تر را فراهم می‌کند. دستور العمل USABC (۱۹۹۶) به طور مداوم چرخه طولانی‌تر FUDS را با مقیاس ۸۰٪ توان پیک استفاده می‌کند، تا تخلیه کامل باتری، و پس از آن بلافاصله شارژ می‌شود. این فرایند (یک تخلیه در روز) ۵ روز در هفته انجام می‌شود، این الگو تا پایان عمر باتری تکرار می‌شود و ادامه می‌یابد. در طی آزمایش، درجه حرارت باید بین ۸- و ۳۸ درجه سانتیگراد باشد تا شبیه‌سازی تغییرات شرایط محیط به علت

[1] Dynamic Stress Tests

تغییرات فصلی و موقعیت جغرافیایی که در آن باتری مورد استفاده قرار گیرد، رعایت شود. درجه حرارت باید به طور مساوی در طول زمان آزمایش توزیع شود، بیشتر در محدوده ۱۰–۳۰ درجه سانتیگراد. اگر باتری برای استفاده در خودروهای برقی در هوای سردتر یا گرمتر هدف قرار گیرد، محدوده مرکزی را می توان براساس آن تنظیم کرد، به عنوان مثال، –۸ تا ۲۰ درجه سانتیگراد برای هوای سردتر، و ۱۰–۳۸ درجه سانتیگراد برای هوای گرمتر. همانند آزمون‌های پیری تسریع شده، همچنین باید یک مکث کوتاه مدت و یک آزمون عملکرد مرجع با دمای ۲۵ درجه سانتی‌گراد برای اندازه‌گیری وضعیت تخریب باتری، شامل احتباس انرژی و قابلیت توان پالس وجود داشته باشد.

۳-۱-۶-۲- آزمون ایمنی باتری

ایمنی یک باتری مفهومی است که می توان در مورد آن بحث کرد، به گونه‌ای که حوادث مربوط به باتری ممکن است در نتیجه دلایل مختلف، داخلی (نقص در خود باتری) و خارجی (آسیب خارجی) باشد. نکته این است که طراحی ایمنی انجام می‌شود تا شرایطی را که سیستم باتری در معرض آن قرار می‌گیرد، شبیه‌سازی کند، و حتی فراتر از حد مجاز را نشان دهد به گونه ای که زمانی که یک باتری معین در شرایط خطرناک باشد یا به طور دائمی آسیب دیده باشد مشخص گردد.

سه دسته بندی وجود دارد:

آزمایش‌های قابلیت اطمینان: در این سری آزمون‌ها، شرایط عملیاتی که انتظار می‌رود باتری بدون مشکل کار کند را شبیه سازی می‌کنند، مانند لرزش و تغییرات دمای خارجی.

آزمایش‌های ایمنی مناسب: در این سری آزمون‌ها شرایط غیر طبیعی مانند بارگذاری بیش از حد، تخلیه بیش از حد و ولتاژ بیش از حد، که ممکن است در عمل رخ دهد، و شرایطی که باتری ممکن است بدون یک ریسک بالا، سالم باقی بماند.

جدول ۲- ٦- آزمایش‌های استفاده نامناسب الکتریکی مطرح در استانداردهای انتخاب شده

استاندارد	غیرمعمول،شارژ بیش از حد	اتصال کوتاه خارجی	تخلیه بیش از حد	داخلی، اتصال کوتاه جزیی
BATSO 01	بله	بله		
Freedom CAR SAND 2005-3123	بله	بله	بله	بله
IEC 62133	بله	بله	بله	

IEC 62281	بله	بله	بله	
IEC 62660-2	بله	بله	بله	
IEEE 1625-2008	بله	بله	بله	
IEEE 1725-2011	بله	بله	بله	
ISO 12405-1	بله	بله	بله	
ISO 12405-2	بله	بله	بله	
JIS C8714	بله	بله	بله	بله
NEMA C18.2M, Part 2	بله	بله	بله	
QC/T-743-2006	بله	بله	بله	
SAE J2464 NOV2009	بله	بله	بله	
SAE J2929 FEB2011	بله	بله	بله	
UL 1642	بله	بله	بله	
UL 2054	بله	بله	بله	
UL 2575	بله	بله	بله	

- آزمایش‌های استفاده نامناسب: این سری آزمایش‌ها مخرب هستند، مانند قرار گرفتن در معرض شعله مستقیم، نفوذ جسم تیز و خرد شدن، که معمولاً در شرایط بهره برداری عادی رخ نمی دهد، اما می‌تواند نشان‌دهنده شرایط حدی و خطرات موجود در استفاده از سیستم‌های باتری مورد آزمایش باشد.

روش‌های تست ایمنی با خواص فیزیکی آن‌ها، عموما به سه گروه برقی، مکانیکی و حرارتی دسته‌بندی می‌شوند و این طبقه‌بندی در این بخش استفاده خواهد شد. یک مرور کلی از آزمایش‌های ایمنی در **Error! Reference source not found.** ارائه شده است.

۴-۱-۶-۲- آزمایش‌های ایمنی الکتریکی

آزمایش‌های الکتریکی آن‌هایی هستند که پایانه های الکتریکی سیستم باتری را هدف قرار می‌دهند؛ که اساسا به موارد زیر اشاره دارند:

شارژ غیر عادی، شارژ بیش از حد یا ولتاژ بیش از حد: در این آزمایش، باتری بدون پیروی از روش شارژ معمولی که توسط سازنده باتری تعیین شده است، شارژ می‌شود، که شامل: تامین شارژ (Ah) یا ولتاژ بیشتر نسبت به مقادیر اسمی است. در برخی از مستندات استفاده از دو برابر ولتاژ اسمی پیشنهاد شده است.

اتصال کوتاه خارجی "سخت" یا "نرم": در این آزمایش ترمینال‌های باتری از طریق یک مدار با مقاومت کم، برای ایجاد یک اتصال کوتاه به یکدیگر متصل می‌شوند. اگر مقاومت خارجی در مقایسه با مقاومت داخلی باتری نسبتا کوچک باشد، اتصال کوتاه "سخت" است؛ در بیشتر موارد این به معنی ۵ mΩ یا کمتر و یا حداقل ۱/۱۰ مقاومت باتری (SAND 2005-3123) است. اتصال کوتاه "نرم" با استفاده از یک مقاومت خارجی با میزان مقاومت مشابه با باتری مورد آزمایش قرار می‌گیرد و باید بالاتر از ۱۰ mΩ باشد (SAE J2464). از آنجا که جریان تولید شده در اتصال کوتاه بطور قابل توجهی بالا است، میزان قدرت این مقاومت و سیم‌های اتصال آن باید به حدی باشد که این جریان را به به مدت کافی تحمل کند (به عنوان مثال، ۱۰ دقیقه) تا شکست و خرابی در خود باتری مشاهده گردد و نه در سیم های واسط.

تخلیه اجباری، تخلیه بیش از حد یا انحراف ولتاژ: در این آزمایش‌ها، باتری بیش از حد مشخص شده توسط تولید کننده تخلیه می‌شود، که ممکن است باعث کاهش ولتاژ و قطبش در پایانه‌های آن شود.

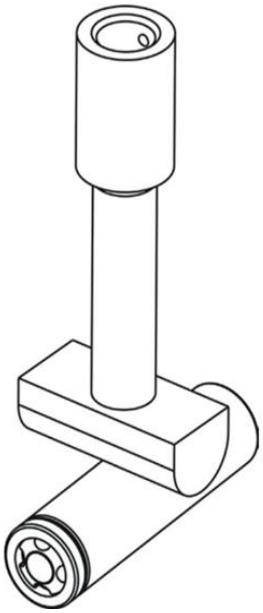
۵-۱-۶-۲- آزمایش‌های ایمنی مکانیکی

تست‌های مکانیکی تست‌هایی هستند که فشارهایی به بدنه باتری وارد می‌کنند. در ادامه به برخی از این موارد اشاره می‌شود.

شکستن کنترل شده: در این آزمون، با یک دستگاه پرس، و استفاده از شکل خاصی از هد[1] برای ایجاد فشار، باتری را خرد کرده، تا زمانی که باتری به مقدار معینی تغییر شکل یابد و نیروی وارد شده برای این تغییر شکل اندازه‌گیری شده و مقدار آن مشخص باشد. در بهترین شرایط تحلیل‌گران در خصوص دو ایده اختلاف نظر دارند که: یا تمرکز بر روی دستگاه

[1] Head

تحت آزمایش باشد، یعنی مقدار تغییر شکل ایجاد شده در باتری که اندازه‌گیری آن مشکل است و به شکل و جهت قرارگیری آن بستگی دارد، یا اینکه تمرکز در نیروی عرضه شده توسط تجهیزات آزمایش باشد، که مستقل از دستگاه تحت آزمایش است. بهترین راه این است که هر دو رویکرد در یک زمان در نظر گرفته شود، یعنی آزمایش آغاز شود و هنگامی پایان پذیرد که یک تغییر شکلی خاص رخ می‌دهد یا نیروی اعمال شده توسط تجهیزات آزمایش یک واکنش مورد نظر اندازه‌گیری می‌شود.



شکل ۲- ۲۱- نمونه‌ای از هد برای ایجاد فشار، مورد استفاده برای شکستن سلول باتری لیتیم یون سیلندری

در (۲۰۰۹) SAE J2464 توصیه می‌شود که ۱۵٪ از باتری تخریب گردد و تغییر شکل یابد، دستگاه پرس برای مدتی نگه داشته شود، و سپس تا زمانی‌که تخریب و تغییر شکل ۵۰٪ حاصل شود ادامه یابد، در حالی‌که نیروی وارد شده محدود به ۱۰۰۰ برابر جرم باتری است. (۲۰۱۱) SAE J2929 مربوطه به یک روش جایگزین اشاره می‌کند که در آن شکست و تخریب ادامه می‌یابد تا نیروی ۱۰۰kN تولید شود. به طور مشابه، در استاندارد (۲۰۱۰) IEC 62660-2 نیرو تا زمانی اعمال می‌شود که تخریب و تغییر شکل به ۱۵٪ برسد یا نیروی اعمال شده به ۱۰۰۰ برابر جرم سلول باتری برسد. در **Error! Reference source not found.** آزمون‌های مخرب مکانیکی موجود در استانداردهای انتخاب شده آورده شده است.

جدول ۲- ۷ - آزمون‌های مخرب مکانیکی موجود در استانداردهای انتخاب شده

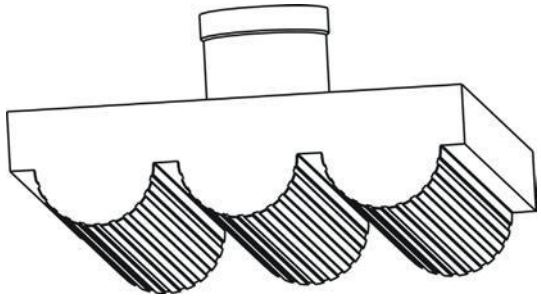
استاندارد	فشردن کنترل شده	پرتاپ	فشار پایین	ضربه مکانیکی	شوک مکانیکی	نفوذ میخ	ارتعاش
BATSO 01	بله	بله	بله		بله		بله
Freedom CAR SAND 2005-3123	بله	بله			بله	بله	بله
IEC 62133	بله	بله	بله		بله		بله
IEC 62281		بله	بله	بله	بله		بله
IEC 62660-2	بله				بله		بله
IEEE 1625-2008	بله		بله	بله	بله		بله
IEEE 1725-2011	بله		بله	بله	بله		بله
ISO 12405-1							
ISO 12405-2					بله		بله
JIS C8714	بله	بله	بله		بله		بله
NEMA C18.2M, Part 2	بله	بله	بله	بله	بله		بله
QC/T 743-2006	بله					بله	
SAE J2464 NOV2009	بله	بله			بله	بله	
SAE J2929 FEB2011	بله	بله			بله		بله
UL 1642	بله		بله	بله	بله		بله
UL 2054	بله			بله	بله		بله
UL 2575	بله		بله		بله		بله
UL Subject 2271	بله	بله	بله	بله	بله	بله	بله
UL Subject 2580	بله	بله	بله	بله	بله	بله	بله
UN 38.3		بله	بله		بله		بله

برای آزمایش سلول، سر خرد کننده باید دارای ابعادی قابل مقایسه با سلول باشد. **Error! Reference source not found.** یک نمونه از یک دستگاه تست را نشان می‌دهد که یک سلول استوانه‌ای را در راستای طول آن فشرده

می‌کند. برای خرد کردن ماژول‌ها و کل پک‌های باتری، استانداردهایی مانند SAE J2464 و SAND 2005-3123 استفاده از یک سطح برش بافتی مانند تصویر نشان داده شده در **Error! Reference source not found.** را توصیه می‌کنند، که به اندازه کافی بزرگ باشد تا باعث ایجاد خرابی و شکست قابل توجهی در ساختار واحد مورد آزمایش شود.

سقوط یا تأثیر مکانیکی. در این آزمایش، باتری از یک ارتفاع معین (به عنوان مثال، ۲ متر) سقوط می‌کند و یا به صورت افقی در معرض ضربه قرار می‌گیرد به طوری که ضربه وارد شده باعث تولید سرعت و شتاب معکوس تولید می‌کند (SAE J2464). در برخی از استانداردها، این آزمون با سقوط باتری از بالای یک سیلندر سفت و سخت (SAND 2005-3123) یا قرار دادن سیلندر بر روی باتری و سقوط یک وزنه بر روی هر دو (UN 38.3) انجام می‌شود.

شبیه‌سازی کم فشار یا ارتفاع. در این آزمایش، باتری در یک محفظه قرار می‌گیرد که فشار اتمسفری ۱۱/۶ kPa یا کمتر (UN 38.3) را تولید می‌کند که مربوط به سناریویی است که باتری توسط هواپیما در ارتفاع ۱۰،۰۰۰ متر و یا بیشتر در سطح دریا حمل می‌شود .



شکل ۲- ۲۲- نمونه‌ای از ایجاد کننده سطح ناهموار با فشار مورد استفاده برای فشردن پک‌های بزرگ باتری

شوک مکانیکی: در این آزمایش، باتری در یک دستگاه قرار می‌گیرد که قادر به حرکت و شتاب دادن به آن با سرعت بالا برای یک دوره زمان بسیار کوتاه است. استانداردهای مختلف مقادیر مختلفی بسته به اندازه دستگاه تحت آزمون یا شرایط: ۵۰۰ m/ s2، با مدت ms 6 (ISO 12405)، 25 G (245 m / s2) برای(SAE J2464) 15 ms برای بسته ها، ۱۵۰ گرم برای ۶ میلی ثانیه (UN 38.3) برای سلول‌های تکی، یا ۲۵ گرم برای ۳۰ میلی ثانیه (SAND 2005-3123)

برای شوک کم ماژول‌ها پیشنهاد می‌کنند. انتظار می‌رود الگوی شوک مشابه موج نیم سینوسی باشد، به این معنی که شتاب افزایش می‌یابد، به اوج می‌رسد، و سپس کاهش می‌یابد.

نفوذ جسم تیز یا میله: در این آزمایش باتری بوسیله یک جسم تیز با قطر کوچک یا بزرگ (۳ میلیمتر برای سلول و ۲۰ میلیمتر برای ماژول‌ها و بسته‌ها که در استانداردهای SAE J2464 و SAND 2005-3123 ذکر شده است) با سرعت خاصی مانند ۸ cm/s سوراخ می‌شود. جسم تیز لایه‌های باتری را خراب می‌کند، آن‌ها را در تماس قرار می‌دهند و باعث ایجاد اتصال کوتاه می‌شود. تحلیلگران در مورد این که آیا این آزمایش واقعا برای ارزیابی ایمنی یک سیستم باتری مفید است یا خیر، با یکدیگر اختلاف نظر دارند، چرا که پارامترهای بسیاری مانند قطر، سرعت و جنس مواد تشکیل دهنده جسم تیز، موقعیت باتری و دیگر موارد برای کنترل وجود دارد. تغییر در هر یک از این عوامل به طور بالقوه می‌تواند نتیجه‌های مختلفی را به دست آورد که در پژوهش انجام شده توسط شیه و وو (۲۰۱۳) نشان داده شده است.

ارتعاش: در این آزمون، باتری در یک صفحه یا دستگاه ایجاد کننده ارتعاش قرار می‌گیرد که در یک حرکت سینوسی (در جهت‌های مثبت و منفی) ارتعاش ایجاد می‌کند، در حالی که فرکانس در حال افزایش است. فرکانس ارتعاش با کاهش شتاب پیک از ۱۰ تا ۲۰۰ هرتز افزایش می‌یابد (SAND 2005-3123 و UN 38.3). در حالت ایده آل، آزمون در هر یک از سه جهت مختصات (X، Y، Z) و همچنین در ترکیب آن‌ها (ارتعاش تصادفی) تکرار می‌شود.

۶-۱-۶-۲- آزمون‌های ایمنی حرارتی

آزمایش‌های ایمنی حرارتی تست‌هایی هستند که سیستم باتری را در معرض تغییرات دمای شدید قرار می دهند.

مقاومت در برابر آتش: در این آزمون، به منظور شبیه‌سازی مستقیم تماس با آتش، باتری در معرض دمای بسیار بالا قرار می‌گیرد. دو استاندارد (SAND 2005-3123 و SAE J2464) استفاده از یک بخاری مخصوص یا تابشی مخصوص را توصیه می‌کنند که می‌توانند گرمایشی غیر تماسی از دمای محیط تا دمای ۸۹۰ درجه سانتیگراد در مدت ۹۰ ثانیه و نگهداری آن دما تا ۱۰ دقیقه را برای باتری ایجاد نمایند. در استاندارد SAE J2929، باتری باید در شعله های آتش قرار گیرد و سوزانده شود تا زمانی که شعله ها خاموش شوند.

گرمای خارجی یا پایداری حرارتی: در این آزمایش، باتری در داخل محفظه تحت کنترل دما در چندین مرحله گرم می‌شود. در هر مرحله، باتری به مدت زمان مشخصی برای تثبیت باقی می‌ماند و سپس با سرعت ۵ درجه سانتی‌گراد بر

دقیقه یا بیشتر به مرحله بعدی وارد می‌شود. گرمایش مرحله به مرحله ادامه می‌یابد تا به درجه حرارتی برسد که باعث فرار حرارتی باتری شود. در برخی از استانداردها دمای نهایی برای سلول‌های تک باتری ۱۳۰ درجه سانتی‌گراد است (IEC 62660-2, IEC 62133, UL,), (IEC 62660-2، ، ، در حالی‌که استانداردهای دیگر به ۸۵ درجه سانتی‌گراد (QC / T 423-2006) یا ۳۰۰–۲۰۰ درجه سانتی‌گراد بالاتر از حد دستگاه اشاره کرده‌اند (SAND 2005-3123، SAE J2464). در این آزمون، استفاده از یک کالری‌متر آدیاباتیک برای کنترل مراحل گرمایش و جبران هرگونه تلفات گرما در سیستم توصیه می‌شود.

شوک حرارتی: در این آزمایش، باتری در یک محیط گرم قرار می‌گیرد، تا زمانی که شرایط آن تثبیت گردد، سپس به شرایطی با دمای سرد منتقل می‌شود، تا زمانی که شرایط آن تثبیت گردد، و سپس مجددا به محیط داغ منتقل می‌شود. این چرخه چندین بار تکرار می‌شود. دمای گرم ممکن است بین ۷۰ تا ۸۰ درجه سانتی‌گراد باشد و دمای سرد در حدود ۴۰- درجه سانتیگراد باشد. حرکت از محیط گرم به محیط سرد باید سریعاً رخ دهد تا شوک دمایی ایجاد شود. این فرایند را می‌توان با استفاده از یک محفظه تنها با ظرفیت‌های گرمایش و سرمایش بالا یا دو محفظه با دماهای مخالف اشاره شده انجام داد.

در **Error! Reference source not found.** آزمون‌های مخرب حرارتی موجود در استانداردهای انتخاب شده آورده شده است.

جدول ۲- ۸- آزمون‌های مخرب حرارتی موجود در استانداردهای انتخاب شده

استاندارد	مقاومت در برابر آتش	پایداری حرارتی	چرخه شوک حرارتی
BATSO 01			بله

FreedomCAR SAND 2005-3123	بله	بله	بله
IEC 62133		بله	بله
IEC 62281			بله
IEC 62660-2		بله	بله
IEEE 1625-2008		بله	بله
IEEE 1725-2011		بله	بله
ISO 12405-1			
ISO 12405-2			بله
JIS C8714		بله	بله
NEMA C18.2M, Part 2		بله	بله
QC/T 743-2006			
SAE J2464 NOV2009	بله	بله	بله
SAE J2929 FEB2011	بله	بله	بله
UL 1642		بله	بله
UL 2054		بله	بله
UL 2575		بله	بله
UL Subject 2271		بله	بله
UL Subject 2580		بله	بله
UN 38.3			بله

۲-۷- آزمایشگاه‌های مرتبط با حوزه باتری

امروزه با توجه به تولید و استفاده فراگیر باتری در کشور، موسسات و سازمان‌هایی نیز برای انجام آزمون‌های مورد نیاز باتری‌ها وجود دارند که البته امکانات موجود در آن‌ها لزوماً برای انجام آزمون‌های مورد نیاز در خصوص ساخت و کنترل کیفیت و باتری‌های پیشرفته کافی نیستند. در این بخش مطالعاتی برای شناسایی امکانات آزمایشگاهی موجود در کشور در این زمینه انجام شده، که در ادامه جمع‌بندی آن ارائه می‌گردد.

۱-۷-۲- آزمایشگاه صبا باتری (توان)

صبا باتری یکی از بزرگ‌ترین تولیدکنندگان انواع باتری در خاورمیانه است. این شرکت با ۴ مجموعه صنعتی با سابقه ۴۰ ساله در تولید انواع مختلف باتری‌های خودرو محصولات خود را مطابق استانداردهای بین المللی به بازارهای داخلی و خارجی عرضه می‌کند. این شرکت هم اکنون فعالیت وسیعی در زمینه تولید انواع باتری‌های خودرو از ۳۶ آمپر–ساعت تا ظرفیت ۲۰۰

آمپر–ساعت و توان تولید ۲/۵ میلیون دستگاه در سال (باتری‌های سرب اسیدی) و نیز باتری‌های سیلد[1] بی نیاز از سرویس و مراقبت، ویژه نسل جدید خودروها با ظرفیت تولید ۱/۵ میلیون دستگاه در سال را دارد. آزمایشگاه آزمون باتری گروه باتری سازی این شرکت توسط موسسه استاندارد و تحقیقات صنعتی ایران به عنوان یکی از مراکز تست باتری از سال ۱۹۹۸ مورد تأئید قرار گرفت به نحوی که هم اکنون به عنوان معتبرترین آزمایشگاه تست باتری در کشور در حال فعالیت است.

این شرکت ضمن اخذ گواهینامه ایزو ۹۰۰۲ – ۱۹۹۴ از لویدز رجیستر با تائید موسسه یوکاس انگلستان و گواهینامه ایزو ۹۰۰۱ – ۲۰۰۰ از شرکت مذکور در دسامبر ۲۰۰۲ موفق شد تا همسو با نیاز شرکت‌های خودرو ساز، با استقرار سیستم مدیریت کیفیت ویژه صنایع خودروسازی به دریافت گواهینامه ایزو TS ۱۶۹۴۹ از موسسه اعتبار دهی URS نیز نائل گردد. در این سیستم شاخص‌های کیفی مهم محصول از قبیل ولتاژ اولیه باتری، قابلیت شارژپذیری، دوام، قابلیت استارت و نیز شاخصهای کیفی فرایند تولید و پارامترهای فرایندی کیفی از قبیل کاهش ضایعات، کاهش دوباره‌کاری‌ها در کلیه بخش‌های فرایند تولید، به طور مستمر اندازه گیری و پایش می‌شوند.

لازم به ذکر است که با توجه به اینکه شرکت توان بزرگترین سازمان در خصوص تولید باتری در کشور است و تنها خط تولید فعال باتری لیتیمی در این شرکت راه‌اندازی و بهره‌برداری شده است، مکاتباتی با این شرکت انجام شد و در ادامه جلساتی با مسئولین آزمایشگاه‌های مربوطه برگزار شد تا بستری برای همکاری‌های آینده فراهم گردد. فهرستی از آزمون‌های مورد استفاده توسط این مجموعه در حوزه باتری در ادامه آورده شده است:

۱-۱-۷-۲- آزمون‌های مربوط به سلول و پک باتری:

- تعیین ظرفیت
- اندازه‌گیری مقاومت
- اندازه‌گیری ولتاژ
- تست شارژ بیش از حد[2]
- تعیین عمر چرخه ای
- سنجش ویسکوزیته و هدایت الکترولیت باتری[3]
- سنجش اتصال کوتاه باتری[4]
- تست ضربه[5]

[1] Sealed
[2] Overcharge
[3] Conductivity and Viscosity of Electrolyte
[4] Battery Short Circuit Test
[5] Fail Test

- آزمون شکستن[1]
- آزمون دشارژ کردن با نرخ بالا[2]
- آزمون مه نمکی[3]
- آزمون استحکام باتری[4]
- آزمون مقاومت در برابر سوراخ شدن[5]
- آزمون مقاومت در برابر ارتعاشات الکترو مغناطیسی[6]
- آزمون نقطه اشتعال پلیمرهای سازنده باتری[7]
- آزمون درب باتری[8]
- آزمون دما[9]

۲-۱-۷-۲- آزمون‌های مربوط به ویژگی‌ها، مشخصات و ساختار مواد تشکیل‌دهنده باتری:

- آزمون‌های عنصری
- آزمون‌های ساختاری
- آزمون‌های تعیین خلوص مواد

۲-۷-۲- آزمایشگاه باتری پژوهشکده خودرو دانشکده فنی دانشگاه تهران

در این آزمایشگاه توسط سیستم مدیریت باتری، تمام سلول‌های مجموعه باتری همواره تحت نظارت دقیق و لحظه به لحظه قرار دارند. این سامانه از بالاترین سطح کیفی از لحاظ ایمنی و قابلیت اطمینان قرار دارد. هر مجموعه متشکل از سلول‌ها ، سیستم خنک کاری، سیستم مدیریت باتری و اجزای حفاظتی است. این سامانه قابلیت خواندن دما و ولتاژ سلول‌ها و جریان باتری و ارسال آن روی شبکه ارتباطی و هچنین بالانس کردن سلول‌ها به شکل غیر فعال را دارد.

۲-۷-۳- آزمایشگاه باتری دانشگاه خواجه نصیرالدین طوسی

این آزمایشگاه دارای چهار دستگاه تستر باتری برای پک های باتری کوچک، با حد اکثر مشخصاتی در حدود ۵۰ ولت و یک کیلووات می‌باشد. این دستگاهها قادر به انجام آزمونهای شارژ، تخلیه و دما هستند.

---

[1] Battery Crush Test
[2] High Rate Discharge Test
[3] Salt Spray Test
[4] Impact Test
[5] Battery Nail Penetrating Test
[6] Battery Nail Penetrating Test
[7] Flash Point
[8] Cap Test
[9] Temperature Test

در ضمن آزمایشگاه مذکور تجربه مفیدی درساخت باتریهای روی–اکسید نقره، روی–هوا، وانادیمی، و سرب–اسید ژل را دارد. و همچنین جدیدترین تجربه این آزمایشگاه ساخت باتری لیتیمی است که در حال حاضر در جریان است.

۲-۷-٤- آزمایشگاه باتری دانشگاه علم و صنعت ایران

این دانشگاه دارای دانشکده مهندسی خودرو است. قابلیت های دانشکده مهندسی خودرو در زمینه باتری به شرح زیر است:

- مدل‌سازی دینامیک رفتار باتری در نرم‌افزارهای مختلف
- سایزینگ باتری در سیکل‌های کاری مختلف متناسب با شبیه‌سازی نیاز خودرو
- طراحی چیدمان داخلی جعبه باتری
- طراحی مدارهای برقی جعبه باتری و حفاظت‌های الکتریکی
- طراحی سامانه مدیریت باتری
- آزمون سیکلی باتری با امکان شارژ و تخلیه در یک سیکل
- تخمین وضعیت‌های باتری (سطح شارژ، سطح سلامت و سطح توان)
- ترکیب باتری و ابرخازن در کاربری‌های خاص
- تحلیل ارتعاشات سلول و جعبه باتری

۲-۷-۵- آزمایشگاه باتری صنایع انفورماتیک

این آزمایشگاه آزمون‌های ایمنی و عملکرد انواع باتری و سلول ثانویه لیتیوم قابل شارژ و انواع باتری اسید سربی قابل حمل را مطابق با استانداردهای ملی شماره ۶۶۱۸ ، ۹۴۸۱، ۱۰۲۱۸، ۴۲۸۰ و ۲–۴۲۸۰ براساس گواهینامه تایید صلاحیت ایزو ۱۷۰۲۵ از مرکز ملی تایید صلاحیت ایران به انجام می‌رساند.

برخی از آزمون‌های ایمنی و عملکرد، به شرح زیر است:

- آزمون‌های عملکرد دشارژ در دمای ۲۰ درجه
- آزمون‌های عملکرد دشارژ در دمای ۲۰– درجه
- آزمون‌های عملکرد دشارژ سریع در دمای ۲۰ درجه
- آزمون‌های مقاومت داخلی
- آزمون‌های تخلیه الکتروستاتیک
- آزمون شارژ پیوسته
- آزمون تنش بدنه در دمای بالا

۲-۷-۶- آزمایشگاه باتری سینا آزمای بندر

آزمایشگاه باتری سینا آزمای بندر با بهره‌گیری از مدرن ترین دستگاه‌ها، قادر به تست انواع باتری‌های اولیه (غیر قابل شارژ) اعم از باتری‌های لیتیوم و موبایل، قلمی، کتابی و انواع باتری‌های ثانویه (باتری‌های وسایل نقلیه‌ی سبک و سنگین) مطابق با استاندارد شامل: آزمون دوام و بقای باتری، لرزش، راه‌اندازی سرد باتری و ابعادی است.

۲-۷-۷- آزمایشگاه باتری پژوهشگاه فضایی ایران

عنوان توانمندی: انجام آزمون‌های باتری، تحلیل نتایج و مشاوره

- نوع توانمندی
  - خدمات آزمایشگاهی
  - خدمات تخصصی
  - خدمات مشاوره‌ای و آموزشی

گروه ذخیره‌سازهای انرژی با توجه به تجربیات فراوان قادر است در ارتباط با ساخت، انجام آزمون‌ها، تحلیل نتایج و مشاوره در ارتباط با انواع مختلف باتری مانند باتری‌های روی- اکسید نقره، لیتیمی و وانادیومی با صنایع مختلف، مراکز علمی و دانشگاهی و شرکت‌ها همکاری نماید. علاوه بر این، گروه قادر به طراحی مفهومی اینگونه باتری‌ها نیز خواهد بود. از مشخصات و ویژگی‌های خدمات آزمایشگاهی و فناوری باتری می‌توان موارد زیر را اشاره کرد:

- مشاوره در ارتباط با انتخاب نوع باتری جهت کاربردهای مختلف
- امکان‌سنجی ساخت و طراحی اجزاء مختلف انواع باتری‌ها با شدت‌های دشارژ متفاوت
- انجام آزمون‌های شارژ-دشارژ در محدوده‌های مختلف جریان و ولتاژ و ارائه نتایج مختلف از جمله ظرفیت و انرژی باتری
- بررسی قابلیت عملکرد اجزاء باتری با استفاده از آزمون‌های الکتروشیمیایی
- بررسی عوامل عدم کارکرد مناسب باتری
- طراحی سیستم تزریق الکترولیت

همچنین از صنایع مرتبط به این آزمایشگاه و فناوری می‌توان به صنایع خودروسازی، صنایع کشتی‌سازی، صنایع هوایی و صنایع فضایی اشاره کرد.

۸-۷-۲- مجتمع آزمایشگاهی چرخه طبیعت سبز

در این آزمایشگاه آزمون های ویژگی های نشانه‌گذاری، ظرفیت واقعی، چرخه‌های دوام باتری، ابعاد، عملکرد دشارژ، بقای شارژ باتری، انبارش، مقاومت داخلی و ... بر روی انواع باتری خودرو، باتری UPS[1] باتری اسید سربی قابل حمل، باتری اسید سربی ساکن، باتری لپ تاب، باتری پاوربانک، دستگاه UPS باتری ماشین شارژی، باتری دوربین عکاسی، باتری تلفن، باتری بی‌سیم، باتری موبایل، باتری قلمی، باتری نیم قلمی، باتری سکه‌ای، باتری ساعت، باتری متوسط، باتری بزرگ، باتری کتابی، باتری بزرگ غیرقابل شارژ، باتری نیکل کادمیوم، سیستم قدرت بدون وقفه، باتری مخابراتی، باتری اسکوتر، باتری لیتیوم، باتری نیکل متال، مسواک شارژی، بادکن سیار و... مورد آزمون قرار می‌گیرند.

۹-۷-۲- آزمون‌های باتری شرکت مهندسی ثمین افزار

شرکت مهندسی ثمین افزار در سال ۱۳۷۴ با هدف فعالیت در زمینه کیفیت قطعات خودرو تاسیس گردید. فعالیت این شرکت در دهه اول معطوف به ساخت تجهیزات مورد نیاز برای کنترل کیفی قطعات در آزمایشگاه‌ها و خطوط تولید بود، اما از سال ۱۳۸۲ امور خدماتی مرتبط از جمله خدمات آزمون نیز به آن اضافه گردید. آزمایشگاه آزمون متناسب با اعلام نیاز خودرو سازها و قطعه سازها و تحت نظارت ایشان اقدام به توسعه کمی و کیفی خدمات آزمون کرده است. جهت پاسخ‌گویی به برخی نیازهای تجاری، از سال ۱۳۸۹، این شرکت نسبت به اخذ تاییدیه از مراجع رسمی نیز اقدام کرده است.

دستگاه‌های آزمون باتری

- دستگاه تست عمومی باتری P081C
- دستگاه دشارژر جریان بالا P080D
- دستگاه آزمون مقاومت اهمی جوش (خط تولیدی) P115B
- دستگاه آزمون مقاومت اهمی جوش (تک پروب) P115A
- دستگاه آزمون مقاومت مکانیکی جوش P089A
- دستگاه آزمون دوام ارتعاش باتری P099A
- دستگاه دشارژر باتری

[1] Uninterruptible power supply

۲-۷-۱۰- آزمایشگاه‌های باتری پژوهشگاه مواد و انرژی

فضای آزمایشگاهی و نرم افزارهای موجود در پژوهشکده های سرامیک و نیمه هادی پژوهشگاه مواد و انرژی، شرایطی را فراهم نموده است که این پژوهشگاه فعالیت‌هایی همچون ساخت نمونه های از پیل سوختی، باتری لیتیمی و ابرخازن را در کارنامه دارد. این مجموعه دارای کادر پژوهشی و فضای علمی و تحقیقاتی کافی برای انجام پژوهش در در زمینه باتری‌ها است. همچنین همکاری این پژوهشگاه با شرکت توان، تجربه و امکاناتی نسبتا مناسب را برای ادامه فعالیت پژوهشی در زمینه ساخت باتری‌ها فراهم نموده است. نمونه‌هایی از دستگاه‌های موجود عبارتند از پتانسیوستات، باتری سایکلر، گلاوباکس، و وسایل سنتز مانند راکتور، کوره و . . .

۲-۸- جمع‌بندی

بررسی پتنت‌ها اطلاعات مفیدی در شناسایی، مدیریت و برنامه ریزی در زمینه باتری‌های مناسب برای استفاده در خودروهای برقی فراهم می نماید. ابزارهای تخصصی تحلیل و آنالیز پتنت در پایگاه‌های تخصصی این حوزه امکان شناسایی فعالان و رقبای مطرح در عرصه های گوناگون فناوری در دنیا و همچنین ابعاد فنی مندرج در اسناد ثبت شده را فراهم می‌سازد. از بررسی پتنت‌های ثبت شده می‌توان به روند رشد سریع اختراعات ثبت شده توسط صاحبان صنایع خودرو برقی، بویژه در آغاز قرن جاری، پی برد. که خود بیانگر اقبال جهانی در این خصوص است. کشورهای پیشرو، کارخانجات فعال، افراد شاخص و باتری‌های برگزیده با استفاده از این ابزار قابل شناسایی هستند. ولی همانطور که پیشتر اشاره شد، انجام آنالیزهای با جزئیات بیشتر، نیاز به دسترسی به پایگاه‌ها و ابزارهای پیشرفته تر دارد، که البته دسترسی به آنها در شرایط کنونی کشور، چندان ساده و سهل الوصول نمی‌نماید.

در این گزارش با استفاده از حداکثر امکانات قابل دسترس، اطلاعات مذکور در خصوص باتری‌های مورد استفاده در خودروهای برقی مورد بررسی قرار گرفت. در قدم بعد استانداردهای موجود برای آزمایش باتری‌ها در صنعت خودرو برقی مورد بررسی و شناسایی قرار گرفت. سپس ظرفیت، حجم و وزن پکیج باتری‌های مورد استفاده در خودروهای برقی ساخته شده توسط شرکت‌های مطرح، تجزیه و تحلیل گردید. در گام بعدی روش‌های آزمون باتری های مورد نظر بررسی و ارائه شد. در نهایت به منظور برآورد امکانات سخت افزاری و آزمایشگاهی موجود در کشور برای انجام مراحل ساخت و آنالیز باتری خودرو برقی، آزمایشگاه‌های مورد نظر در کارخانجات، مراکز تحقیقاتی و دانشگاه‌های شاخص کشور در این خصوص شناسایی و معرفی شدند.

۳- فصل سوم: مطالعه برنامه‌ریزی‌های انجام شده در کشور در خصوص باتری خودروهای پیشرفته در افق ۲۰ ساله

۳-۱- تاریخچه استفاده از باتری خودروها

در ابتدا خودروهای ساخته شده در دنیا الکتریکی بوده‌اند و برق تولید شده از باتری را مصرف می‌کردند. در آن زمان باتری‌های گوناگونی توسعه یافته بود. باتری نیکل آهن با الکترولیت پتاس توسط ادیسون ساخته شد که در آن زمان به عنوان آینده باتری‌های قابل شارژ لقب گرفت زیرا تصور می‌شد که عمر بی نهایت داشته و همچنین در شرایط بهره برداری نامناسب عملکرد قابل قبولی داشته است. ولی به علت کاربرد آهن در ساخت آن، سنگین است و همچنین دانسیته توان پایینی دارد. پس از اینکه خودروهای بنزینی ابداع شد، تحقیق و توسعه این نوع باتری متوقف شد. اکنون پس از یک بازه صد ساله، به علت وجود آلودگی‌های زیست محیطی و محدودیت سوخت‌های فسیلی این باتری و همچنین انواع پیشرفته باتری‌ها تولید این دسته از این باتری‌ها دوباره رونق پیدا کرده است.

۳-۲- ویژگی‌های مورد انتظار باتری خودروهای برقی جدید

همانگونه که در گزارش‌های پیشین عنوان شد خودروهای برقی انواع گوناگونی دارند: خودروهای برقی هیبریدHEV ، خودروهای برقی هیبرید پلاگین PHEV و خودروهای برقی کامل FEV.

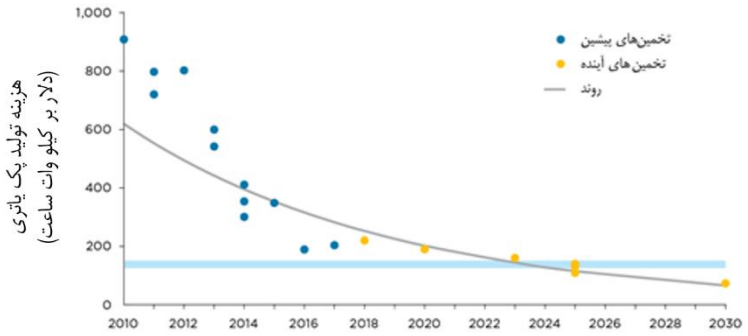
بطور کلی چالش‌هایی که باتری در خودرو با آنها روبرو است عبارتند از: وزن و حجم بالای باتری‌های موجود برای تامین توان و انرژی مورد نیاز، بطوریکه برای استفاده آنها در خودرو نیاز به بهبود پارامترهایی چون:

- کاهش وزن و حجم پک باتری،
- افزایش انرژی ویژه ودانسیته انرژی باتری،
- افزایش توان ویژه و دانسیته توان باتری،
- افزایش چرخه عمر و کاهش تخلیه خودبخودی، باتری‌ها باید ۴ تا ۵ سال دوام داشته باشند،
- کاهش زمان شارژ، عبارت است از زمان شارژ باتری در حد زمان صرف شده برای پر کردن باک بنزین خودرو بنزینی باشد، وجود دارد.

۱-۲-۳- بررسی روند قیمت باتری‌ها

در حال حاضر قیمت باتری تقریبا نصف قیمت خودرو برقی را تشکیل می‌دهد، و همچنین اکنون قیمت باتری‌های متداول حدود دو برابر شرایط مطلوب است. یکی از ویژگی‌هایی که باتری برای کاربرد در خودرو برقی باید داشته باشد مقرون به صرفه بودن آن است. بر اساس شکل ۳-۱ (روند کاهش قیمت باتری لیتیوم-یون در خودروهای برقی و پیش بینی آن) تا زمانی که قیمت باتری های تولیدی کمتر از حدود ۱۸۰ دلار نشود استفاده از خودروهای برقی مطلوبیت چندانی از دیدگاه اقتصادی نخواهد داشت.

اگر کاهش هزینه‌های باتری به دلیل افزایش تولید خودروهای برقی ادامه یابد و در چند سال آینده به هدف ۱۲۵ تا ۱۵۰ دلار برسد، احتمالا باعث می‌شود خودروهای برقی بتوانند با وسایل نقلیه معمولی بنزینی رقابت کنند.



شکل ۳- ۱- روند کاهش قیمت باتری لیتیوم-یون در خودروهای برقی و پیش بینی آن تا سال ۲۰۳۰ (گزارش UCSUSA)

قیمت باتری‌های لیتیم یون در بازار جهانی به شدت کاهش یافته است، زیرا مقیاس تولید آنها افزایش یافته است و تولید کنندگان روش‌های ارزان‌تر را توسعه داده‌اند.

هنگامی که اولین خودروهای برقی در سال ۲۰۱۰ وارد بازار شد، بسته‌های باتری آن‌ها حدود ۱۰۰۰ دلار برای هر کیلووات ساعت هزینه داشت. امروزه بسته باتری مدل Tesla با قیمت ۱۹۰ دلار به ازای هر کیلووات ساعت و باتری شورلت

بولت ۲۰۱۷ با قیمت ۲۰۵ دلار برای هر کیلووات ساعت تخمین زده می‌شود، که نشان دهنده افت بیش از ۷۰٪ قیمت یک کیلووات ساعت در این مدت کوتاه است.

پیش بینی می‌شود خودروهای برقی هزینه‌ای مشابه یا کمتر از خودروی قابل مقایسه با بنزین داشته باشند، زمانی که قیمت بسته باتری بین ۱۲۵ تا ۱۵۰ دلار برای هر کیلووات ساعت می‌رسد. تحلیلگران پیش بینی می‌کنند که این رقم قیمت ممکن است تا اوایل سال ۲۰۲۰ به دست آید، در حالی که مطالعات دیگر پیش بینی می‌کند قیمت بسته‌ی باتری لیتیوم یونی تا سال ۲۰۳۰ به ۷۳ دلار برسد.

۲-۲-۳- دمای بهره‌برداری باتری

یکی دیگر از مسائل مهم در استفاده از خودرو برقی دمای بهره برداری باتری است و تلاش می‌شود محدوده‌ایی از ۳۰- درجه تا حداکثر ۷۰ درجه سانتیگراد را پوشش دهد تا بتوان از خودروهای برقی در شرایط آب و هوای گوناگون بر روی کره زمین استفاده نمود. انواع باتری‌های متداول و پیشرفته در محدوده‌های دمایی وسیعی بهره‌برداری می‌شوند، جدول ۳-۱ مربوط به دمای بهره‌برداری باتری‌های مختلف است که از منابع مختلفی استخراج شده است.

جدول ۳- ۱- مقایسه دمای بهره‌برداری باتری‌ها

نوع باتری	دمای بهره برداری (سانتیگراد)
سرب-اسید[1]	-30_50
نیکل-کادمیم[1]	-20_65

[1] Electrical Craft Principles Volume 1 (4th Edition), John Whitfield, the Institute of Electrical Engineers (2001). Solar Electricity (2nd Edition), Edited by Tomas Markvart, John Wiley & Son Ltd (2000)

نیکل–متال‌هیدرید	-20_65
نیکل–روی[۲]	-20_65
لیتیمی	-20_60
لیتیم–آهن–فسفات[۳]	-20_60
لیتیم–سولفور	-20_60
لیتیم–هوا[۴]	تا 140
سدیم سولفور[۵]	270_350

۳-۲-۳- بازیافت مواد اولیه باتری‌ها

یکی دیگر از چالش‌های مهم در باتری خودرو برقی امکان بازیافت مواد اولیه و کلیدی از باتری‌های مستعمل است. باتری‌های اسقاط شده شامل مواد خطرناکی هستند که برای محیط زیست بسیار مضر هستند و تا قبل از پروسه پاکسازی نمی‌توانند وارد سایت‌های دفن زباله شوند، حتی رها کردن آن‌ها در اطراف و حومه شهر غیر قانونی می‌باشد، بنابراین موثرترین شیوه برای نظم دادن آن‌ها در واقع بازیافت می‌باشد. بازیابی این مواد می‌تواند منشاء مواد اولیه ارزان قیمت باشد اما متاسفانه هزینه بازیافت این باتری‌ها، به‌خصوص باتری‌های کوچک بسیار بالا بوده به‌طوری که این هزینه از درآمد حاصل از به دست آوردن مواد بازیافت شده بیشتر خواهد شد.

---

[1] Ellis, G. B., Mandel, H., and Linden, D. "Sintered Plate Nickel–Cadmium Batteries". Journal of the Electrochemical Society, The Electrochemical Society, september (1952).

2 NI-ZN BATTERY SPECIFICATION, Conrad Electronic SE · Klaus-Conrad-Str.1 · 92240 Hirschau

3 Lithium Iron Phosphate ($LiFePO_4$) Battery Charge.

Management Controller with Input Overvoltage Protection, 2009 Microchip Technology Inc. DS22191A-page.

4 Lithium-Air Battery Stably Working at High Temperature with High Rate Performance. Small. (2018) Feb;14(6). doi: 10.1002/smll.201703454. Epub 2017 Dec 4.

5 Power System Energy Storage Technologies, Paul Breeze, in Power Generation Technologies (Second Edition), (2014).

از آنجا که باتری سرب اسید متداول‌ترین نوع باتری در جهان بوده و اکنون نیز کاربردهای وسیعی دارد، از گذشته مسئله بازیافت آن بطور وسیعی مورد مطالعه و بررسی قرار گرفته و در این زمینه در جهان تجربه کافی وجود دارد. لذا می‌توان گفت باتری‌های سرب – اسید در میان اقتصادی‌ترین نوع باتری‌ها جهت بازیافت قرار دارند. جدول زیر ارزش اقتصادی بازیافت به ازای یک تن باتری را نشان می‌دهد.

جدول ۳- ۲- ارزش اقتصادی بازیافت به ازای یک تن باتری

ارزش فلز (در هر تن)	شیمی باتری
$25,000	Lithium cobalt oxide
$400	Lithium iron phosphate
$1,500	Lead acid

فرایند بازیافت معمولا با جداسازی مواد قابل اشتعال نظیر پلاستیک‌ها و عایق‌ها از طریق سوزاندن آن‌ها آغاز می‌گردد. یک اسکرابر باقیمانده مواد حاصل از احتراق را جمع آوری می‌کند و سل فلزی تمیز جدا می‌گردد. سپس سل ها قطعه قطعه شده و حرارت می‌بینند تا بصورت فلز مذاب درآیند. سایر ناخالصی‌های غیرفلزی بصورت سرباره روی سطح کوره مذاب جمع‌آوری خواهد شد. آلیاژهای فلزی مختلف بر اساس اختلاف وزن مخصوص بطور لایه‌ای روی هم قرار می‌گیرند و سپس بصورت کف‌گیری (Skimming) لایه‌های مختلف از هم جدا می‌شوند.

برخی مراکز بازیافت، فلزات را از یکدیگر جدا نمی‌کنند و در عوض آن‌ها را بصورت شمش‌هایی خنک می‌کنند. این شمش‌ها به کارخانه‌های تولید فلزات ارسال شده و جهت تولید نیکل، کروم، آهن و فولاد آلیاژی مورد استفاده قرار می‌گیرند.

فرایند بازیافت فلز از باتری شدیدا انرژی بر بوده و ۶ تا ۱۰ برابر استخراج از معدن یا سایر روش‌ها نیاز به انرژی می‌باشد. این هزینه‌ها نیاز به حمایت دولتی دارند.

اکثر انواع باتری‌ها می‌توانند بازیافت شوند. با این حال، برخی از باتری‌ها به راحتی از سایرین بازیافت می‌شوند، مانند باتری‌های خودروی سرب اسید (تقریبا ۹۰٪ بازیافت می‌شوند، نیکل کادمیوم(Ni-Cd) ، هیدرید فلزی نیکل-Ni) (MH، لیتیوم یون (لیتیم) و نیکل روی (Ni-Zn) نیز می‌توانند بازیافت شوند.

مزایای بازیافت عبارتند از:

- کاهش ضایعات
- حفاظت از منابع طبیعی، مانند فلزات و مواد معدنی
- کمک به جلوگیری از آلودگی با کاهش نیاز به جمع‌آوری مواد خام جدید
- صرفه‌جویی در انرژی
- کاهش انتشار گازهای گلخانه‌ای

در خصوص باتری‌های سرب–اسید، از آنجا که تعداد این نوع از باتری‌ها که در صنعت و زندگی روزمره استفاده می‌شوند بسیار فراوان است و لذا سالانه تعداد زیادی از این باتری‌ها مستعمل می‌شوند، فرایند بازیافت به خوبی انجام می‌شود و در جهان کارخانه‌های جمع‌آوری و استحصال سرب این باتری‌ها به خوبی انجام می‌شود.

۳-۳- باتری‌های متداول

در اینجا مهم‌ترین انواع باتری‌هایی که تاکنون مورد استفاده قرار گرفته‌اند برشمرده شده است.

۱-۳-۳- باتری‌های سرب–اسید

مخترع این باتری گستون پلنت است. این باتری پرفروش‌ترین نوع باتری در دنیا است.

مزایا: ارزان، بازیابی عالی بیش از ۹۵٪

معایب: سنگین است، زمان شارژ طولانی و در حدود ۲ تا ۳ ساعت دارد، طول عمر نسبتا پایین دارد، تخلیه خودبخودی دارد و همچنین چگالی جریان آن نسبت به باتری‌های Li-ion پایین است.

۲-۳-۳- باتری‌های نیکل-کادمیم

مخترع این نوع باتری والدمر جانگنر[1] سوئدی در سال ۱۸۹۹ است.

مزایا: چرخه عمر خوب در حدود ۲۰۰۰ به بالا دارد، دانسیته توان بالا دارد، زمان شارژ کم دارد،

معایب: گران قیمت است، مواد سمی دارد، اثر حافظه دارد، تخلیه خودبخودی زیادی دارد.

۳-۳-۳- باتری‌های نیکل-متال هیدرید

این باتری در سال ۱۹۶۷ در اوهایو Battelle-Geneva Research Center ساخته شده است.

مزایا: دانسیته انرژی بالا، و شدت تخلیه بالا دارد،

معایب: گران است، در شرایط شارژ نامناسب افت ظرفیت دارد، زمان شارژ طولانی دارد.

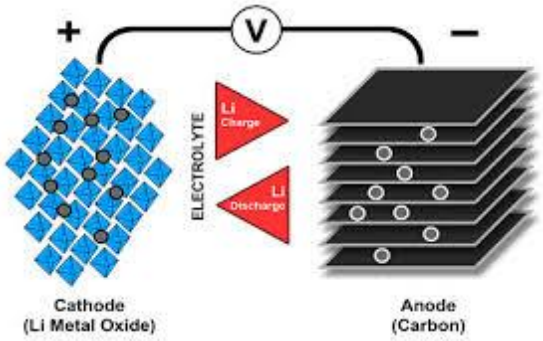
۴-۳-۳- باتری‌های لیتیم-یون

این باتری در دهه ۱۹۷۰ در دانشگاه Stanley Whittingham ساخته شده است.

سیستم شیمیایی این باتری از نوع Insertion یا Intercalation است که کاتد آن از کربن لایه لایه تشکیل شده است که مواد شیمیایی وارد آن می‌شوند به این ترتیب دانسیته انرژی بالایی را ایجاد می‌کنند.

مزایا: چرخه عمر طولانی، بدون اثر حافظه، ولتاژ بالا، دانسیته بالای توان و انرژی،

معایب: گران است، زمان شارژ طولانی دارد، محدود بودن لیتیم در جهان، ایمنی کم.



شکل ۳- ۲- باتری لیتیم یون متداول

[1] Waldemar Jungner



شکل ۳- ۳- پک باتری لیتیم یون

۳-۳-۵- باتری‌های لیتیم-پلیمر

این باتری از جنبه شیمیایی با باتری لیتیم یون یکسان است، با این تفاوت که در این نوع باتری از الکترولیت پلیمری استفاده شده است.

مزایا: دانسیته توان بالا، بدون اثر حافظه، هزینه کم نسبت به باتری لیتیوم یون، احتمال نشت الکترولیت کمتر، همچنین باتری‌های لیتیوم پلیمری به طور کلی قوی و انعطاف‌پذیر هستند، به خصوص زمانی که آن‌ها را از نظر شکل و اندازه ساخت‌شان بررسی کنیم. آن‌ها سبک وزن هستند و اندازه جمع و جوری دارند.

معایب: قابلیت انفجار، عمر کم، هزینه بالا، تخلیه خودبخودی.

۳-۳-۶- ابرخازن‌ها

شرکت جنرال الکتریک[1] این نوع ذخیره‌ساز **را** ابداع نموده و در این زمینه فعالیت‌های پژوهشی انجام داده است [1].

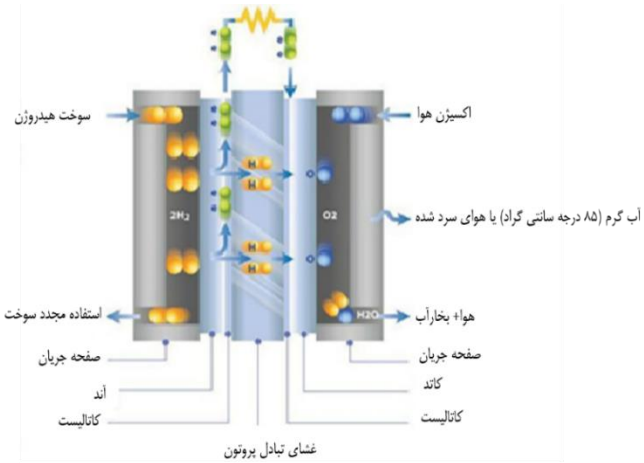
[1] GE Fact Sheet: Businesses, Locations, Awards, Leadership". *GE company, website*. Retrieved May 25, 2011.

مزایا: شارژ و تخلیه بسیار سریع، توان ویژه و دانسیته توان بسیار بالا، چرخه عمر بسیار بالا در حد ۱۰هزار تا ۲۰ هزار بار، مقاومت داخلی بسیارکم و راندمان زیاد.

معایب: انرژی ویژه و دانسیته انرژی بسیارکم است، گران است.

ابرخازن‌ها در مقیاس‌های کوچک برای ذخیره انرژی بهره‌برداری می‌شوند و در صورت پیشرفت در افزایش چگالی انرژی آن‌ها می‌توان انتظار داشت جای باتری‌های الکتروشیمیایی را بگیرند. در حال حاضر چگالی انرژی ابرخازن‌ها در حدود چند وات ساعت بر کیلوگرم است [2].

ساختار یک ابر خازن را نشان می‌دهد.



شکل ۳- ٤- ساختار ابر خازن [1]

با توجه به اینکه چشم‌انداز انرژی در جهان در حال تغییر است، توسعه و اصلاح سامانه‌های کارامدتر ذخیره ساز انرژی، بهبود، اصلاح و انتخاب مواد فعال الکتروشیمیایی موجود در وسائل ذخیره کننده انرژی بیشتر مد نظر قرار گرفته است. خصوصا ساخت این مواد در مقیاس نانو که موجب افزایش چگالی توان و چگالی انرژی به عنوان دو مشخصه مهم سامانه‌های ذخیره کننده انرژی خواهد شد.

در این ارتباط اگرچه باتری‌ها نسبت به ابرخازن‌ها از توانایی ذخیره بیشتری برخوردار می‌باشند ولی خصوصا در سال‌های اخیر، ابرخازن‌ها به خاطر قدرت تخلیه بار بیشتر یا زمان شارژ و تخلیه کوتاهتر و دارا بودن تعداد چرخه‌های شارژ/تخلیه بسیار بالا و عمر طولانی‌تر در مقایسه با باتری‌ها، از توجه بیشتری برخوردار شده‌اند. ابرخازن‌ها اجزاء الکترونیکی تقویت شده‌ای هستند

که قابل باردار شدن می‌باشند و طبق پیش‌بینی‌ها، انرژی را به شکل قابل اعتمادی برای زمان‌های طولانی در خود ذخیره می‌کنند. در اینگونه وسائل، آن‌ها توان الکتریکی را در یک میزان هموار و پایداری که برای به کارگیری در ابزارهای الکترونیکی حساس مناسب است، عرضه می‌کنند.

خازن‌های الکتروشیمیایی سبکتر و دارای چگالی توان بالاتری نسبت به باتری می‌باشند. ابرخازن‌ها یا خازن‌های الکتروشیمیایی از لحاظ میزان انرژی و توان در میان باتری‌ها و خازن‌های متداول دی الکتریک قرار می‌گیرند. در مقایسه با خازن‌های دی الکتریک، ابرخازن‌ها با توان کمتر قادر به ذخیره‌سازی انرژی بیشتری می‌باشند. همچنین، سامانه‌های مبتنی بر ابرخازن بیشتر مورد اعتماد بوده و آلودگی کمتری برای محیط زیست به همراه دارند این مزیت‌ها موجب شده است تا در سال‌های اخیر تلاش‌های انجام گرفته در زمینه تحقیقات علمی در مورد ابرخازن‌ها، تا حد زیادی ظرفیت ذخیره انرژی در این سامانه‌ها را افزایش داده طوریکه که امروزه ابرخازن‌ها به عنوان تجهیزات مکمل باتری‌ها یا حتی در بسیاری از کاربردهای خانگی و صنعتی جایگزین باتری‌ها شده‌اند.

امروزه ابرخازن‌ها این پتانسیل را پیدا کرده‌اند که به عنوان تکنولوژی امیدوارکننده‌ی ذخیره‌ی انرژی شناخته شوند. ساختار کلی ابرخازن‌ها در واقع مشابه خازن‌های معمولی است با این تفاوت که سطح ویژه الکترودها بسیار وسیع‌تر و دی الکتریک آن‌ها نازک‌تر و به علت وجود الکترولیت در سیستم و ایجاد لایه دوگانه الکتریکی، دسترسی به ظرفیت‌های بالاتر امکانپذیر شده بصورتیکه این خازن‌ها می‌توانند ظرفیت چندین هزار برابری خازن‌های متعارف معمولی را داشته باشند و به علت طراحی الکترودها و ساختار مناسب‌تر، حجم و وزن کمتر، چگالی انرژی بیشتری نسبت به خازن‌های معمولی و چگالی توان بیشتری نسبت به باتری‌ها فراهم می‌شود.

۷-۳-۳- باتری سدیمی

یافته‌های علمی اخیر نشان می‌دهند که باتری‌های سدیم–یون از جنبه‌های مختلف برتری قابل‌توجهی بر رقبای لیتیوم–یونی خود دارند. چرا که استفاده از نمک سدیم نه تنها ارزان و فراوان است، بلکه به همان اندازه باتری‌های لیتیومی کارایی دارد.

با این حال، سدیم بسیار حساس است و بلافاصله پس از قرارگیری در معرض آب، مشتعل شده و به خاکستر تبدیل می‌شود.

مطالعات اخیر راهی برای جلوگیری از انفجار باتری‌های سدیم–یونی پیدا کرده است. با این حال دانشمندان هنوز در تلاش برای کشف چگونگی کنترل یون سدیم از نابود شدن پس از شارژ برای چند بار اول هستند.

پژوهشگران مقاله‌ای را با عنوان «باتری‌های سدیم–یون جدید با ظرفیت بالا که می‌توانند جایگزین باتری‌های شارژ شونده‌ی لیتیومی شوند» در «نشریه‌ی علمی جامعه‌ی شیمی ایالات‌متحده» به چاپ رسانده‌اند و در این مقاله به بزرگ‌ترین مشکل پیش روی این باتری‌ها اشاره کرده‌اند. در باتری‌های لیتیوم–یون از لایه‌های گرافیت کربن استفاده می‌شود؛ اما مشکل این است که یون‌های سدیم به‌اندازه‌ای بزرگ هستند که نمی‌توانند در میان چنین لایه‌هایی قرار گیرند.

یکی از راهکارهای پیشنهاد شده در این زمینه، استفاده از بسترهای شیشه‌ای است؛ با این حال در حال حاضر پیشرفت چندانی در زمینه‌ی یادشده صورت نگرفته؛ اما مطالعه‌ی انجام شده توسط پژوهشگران دانشگاه بیرمنگام از فسفر به‌عنوان بهترین عنصر میانجی در این باتری‌ها نام می‌برد. انتخاب فسفر به‌عنوان عنصر میانجی، حاصل اجرای مدل‌های کوانتومی پیچیده با استفاده از چندین ابررایانه در سال ۲۰۱۶ بوده و پس از آن نیز پژوهش‌هایی در رابطه با این انتخاب صورت گرفته است.

تحقیقات آتی ممکن است نشان دهنده‌ی این مسئله باشند که ترکیب فسفر و سدیم–یون، احتمالا مشکلات مربوط به عدم پایداری باتری‌های لیتیوم–یون و گرایش آن‌ها به آتش گرفتن و انفجار را هم حل خواهند کرد؛ بدین معنی که باتری‌های سدیم–یون، نه‌تنها ضرر کمتری به طبیعت وارد می‌کنند و ارزان‌تر هستند؛ بلکه خطرات انسانی مستقیم و غیرمستقیم آن‌ها هم کمتر است.

باید به‌خاطر داشت که هنوز هم به انجام تحقیقات بیشتر در این زمینه وجود دارد و تنها در صورتی که همه‌ی این تحقیقات به نتایج مطلوب برسند، باتری‌های سدیم–یون به منبع انرژی بعدی در دستگاه‌های الکترونیکی تبدیل خواهند شد.

مشکل اولیه‌ای که در کاربرد یون‌های سدیم یافت می‌شود این است که در طول چند بار شارژ اول، یون‌های سدیم به آند باتری می‌چسبند، در حالی که آن‌ها باید به سمت کاتد باتری نقل مکان کنند تا شارژ به درستی انجام شود.

به طور معمول تشکیل رابط الکترولیت جامد مطلوب است، زیرا از ذرات کربن در مقابل الکترولیت اسیدی باتری محافظت می‌کند. اما تولید بیش از حد این رابط، موجب نابودی یون‌های سدیم می‌شود که برای شارژ باتری نیاز است.

محققان دانشگاه پردو استفاده از سدیم به شکل پودر را بعنوان راه چاره‌ای برای مقابله با از دست رفتن یون‌های سدیم پیشنهاد داده‌اند. آن‌ها برای ساخت پودر سدیم، از امواج فراصوت استفاده کرده تا ذرات را به یک مایع بنفش تبدیل کنند که سپس سرد می‌شود و به پودر تبدیل می‌شود.

متیو مک دل، استاد دانشکده مهندسی W.Woodruff، در این خصوص اعتقاد دارد: «یکی از بزرگترین موانع برای تولید باتری‌های حاوی سدیم و پتاسیم، این است که آن‌ها سریع‌تر فرسوده و تضعیف می‌شوند و انرژی کمتری را نسبت به نسخه‌های لیتیومی حفظ می‌کنند. اما از نظر این دانشمند مشکل مذکور قابل رفع است.»

در مطالعه‌ای که اخیرا منتشر شده و توسط بنیاد ملی علوم و وزارت انرژی ایالات متحده تایید گردیده است، تیم تحقیقاتی به بررسی این موضوع پرداخت که چگونه سه یون مختلف لیتیوم، سدیم و پتاسیم، با ذرات سولفید آهن که پیریت نامیده می‌شود، واکنش نشان می‌دهند.

در هنگام شارژ و تخلیه باتری، یون‌ها بطور مداوم با ذرات تشکیل‌دهنده الکترودهای باتری واکنش می‌دهند. این فرآیند باعث تغییر حجم قابل توجه در الکترود می‌شود و اغلب آن‌ها را به قطعات کوچکتری تقسیم می‌کند. از آنجایی که یون‌های سدیم و پتاسیم بیشتر از لیتیوم هستند، تصور می‌شد که واکنش با ذرات، باعث تخریب بیشتر آن‌ها شود. این تیم در آزمایش‌های خود ، واکنش‌هایی که درون باتری اتفاق می‌افتاد را به طور مستقیم در داخل میکروسکوپ الکترونی مشاهده نمود و دریافت که ذرات سولفید آهن، نقش الکترودهای باتری را ایفا می‌کنند. محققان همچنین دریافتند که سولفید آهن در واکنش با سدیم و پتاسیم پایدارتر از لیتیوم است. این یافته‌ها نشان دهنده آن است که باتری‌های حاوی سدیم یا پتاسیم می‌توانند عمر طولانی‌تری داشته باشند.

لازم به ذکر است که تفاوت بین نحوه واکنش یون‌های مختلف کاملا چشمگیر بود. زمانی که سولفید آهن در معرض لیتیوم قرار گرفت، چنین به نظر می‌رسید که ذرات سولفید آهن در زیر میکروسکوپ الکترونی منفجر می‌شدند. برعکس، سولفید آهن در هنگام واکنش با سدیم و پتاسیم مانند یک حباب گسترش می‌یافت [4 و3].

ولی مجموعا باتری‌های لیتیوم یون هنوز رایج‌ترین نوع باتری‌ها هستند چون بیشترین تراکم انرژی را دارند و امکان ذخیره‌سازی حداکثر انرژی در کم‌ترین فضا را فراهم کرده‌اند. باتری سدیم یون یا باتری پتاسیم یون هنوز چنین قابلیتی ندارند اما بر پایه عناصری ساخته می‌شوند که فراوانی آن‌ها به مراتب بیشتر از لیتیوم است. در نتیجه این باتری‌ها در آینده به مراتب

ارزان‌تر خواهند بود و همین موضوع آن‌ها را به گزینه بهتری برای ذخیره انرژی در مقیاس بزرگ – باتری‌های خانگی و صنعتی – تبدیل می‌کند.

۴-۳- آینده فناوری باتری‌های خودرو برقی

امکان ایجاد تنوع در ابداع باتری‌ها بسیار زیاد است. به نسبت ترکیب تمام مواد شیمیایی موجود در دنیا می‌توان باتری ساخت. اما در اینجا تعدادی از فعالیت‌های پژوهشی انجام شده برای ساخت باتری‌ها در سال‌های اخیر در دانشگاه‌ها و مراکز تحقیقاتی در جهت دستیابی به دانش فنی ساخت باتری‌هایی با ویژگی‌های مورد نیاز خودروهای برقی، ارائه می‌گردد.

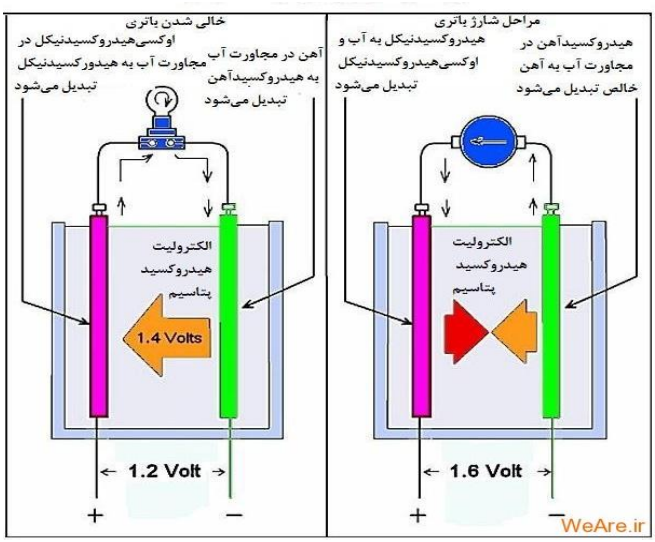
۱-۴-۳- باتری پیشرفته نیکل-آهن ادیسون

این نوع باتری در دانشگاه استنفورد مورد پژوهش و آزمایش قرار گرفت. الکترودهای این باتری با استفاده از نانوسیم‌های کربنی آبکاری شده با نیکل و آهن ساخته می‌شود. ترکیب نیکل و آهن با نانولوله کربنی باعث شده است تا باتری تولید شود که در عرض ۲ دقیقه شارژ می‌شود و در حدود ۳۰ ثانیه تخلیه می‌شود. این باتری ارزان‌تر از باتری‌های پیشرفته امروزی است ولی بسیار سریع خراب می‌شود، لذا عمر مفید کوتاهی دارد.

اولین دوره تولید خودروهای برقی از حدود سال ۱۸۹۰ تا ۱۹۳۰ آغاز شد. در این دوره اولین خودروی الکتریکی که به موفقیت تجاری دست پیدا کردند، توسط ویلیام موریسون و در سال ۱۸۹۱ساخته شدند. سازندگان خودرو باید فکری هم برای باتری‌های قابل شارژ می‌کردند که برای ذخیره انرژی الکتریکی به آن‌ها نیاز داشتند. اولین باتری‌های قابل شارژ که مورد استفاده قرار گرفتند، باتری سرب‌اسیدی بودند که در سال ۱۸۵۹ اختراع شدند. این باتری‌ها تا سال ۱۹۰۰ که جای خود را به نمونه‌های بهتری دادند در اغلب خودروهای الکتریکی زمان خود استفاده شدند. یکی از بهترین این باتری‌های تازه که در ذخیره انرژی شرایط به مراتب بهتری داشت، باتری نیکل‌آهنی ساخته توماس ادیسون بود. این باتری عمر مفید تقریبا نامحدود و چگالی انرژی تا ۴۲ درصد بیشتر داشت؛ اما در مقابل هزینه تولید بالاتر، تراکم نیروی کمتر و ولتاژ پایین نقاط ضعف آن به شمار می‌رفتند. این نقاط ضعف باعث می‌شدند در صورت جایگزینی بسته باتری سرب‌اسیدی با باتری نیکل‌آهنی به فضایی دو برابر نیاز باشد و وزن بسته تقریبا دو برابر شود. این بسته حجیم نسبت به نمونه پیشین ۶۰۰ دلار نیز گران‌تر بود که اگر بخواهیم با قیمت‌های فعلی مقایسه کنیم، چیزی حدود ۱۰ هزار دلار و قابل مقایسه به قیمت خودرو می‌شود.

با این حال این دو باتری تا زمانی که موتورهای بنزین‌سوز وارد بازار شدند، از جایگاه خوبی در میان خریداران برخوردار بودند. پس از آن باتری‌های سرب‌اسیدی کوچک به عنوان منبع نیرو برای استارت موتورهای احتراقی درون‌سوز مورد استفاده قرار گرفتند و باتری‌های نیکل‌آهن کم‌ترین استفاده را نسبت به قبل داشتند.

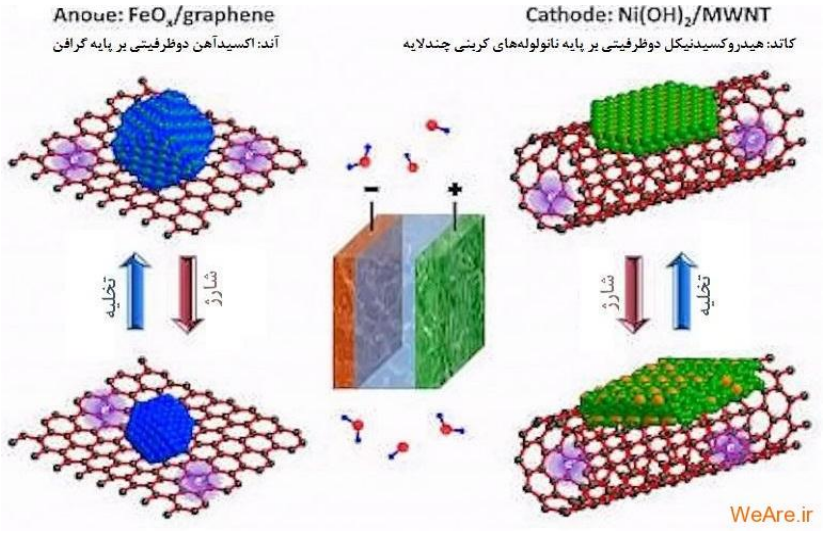
این باتری‌های نیکل‌آهن از الکترولیت‌های هیدروکسید پتاسیم یا سدیم استفاده می‌کردند و در آن‌ها از فلزات سنگین مانند سرب خبری نبود. از سوی دیگر احتمال ریزش اسید وجود نداشت و سازگار با محیط‌زیست بودند. حجم الکترولیت‌های این باتری‌ها با شارژ و دشارژ مداوم تغییر نمی‌کرد، در هر دو مرحله از انتقال اکسیژن از یک الکترود به دیگری استفاده می‌شد و ولتاژ ایجاد شده نتیجه تغییر پتانسیل اکسیداسیون میان دو الکترود بود.



شکل ۳- ۵- شارژ و دشارژ باتری آهن نیکل ساخت ادیسون[1]

گروهی از محققان دانشگاه استنفورد به تازگی موفق شده‌اند باتری‌های نیکل‌آهنی تولید کنند که به شکل چشمگیری سریع عمل می‌کنند. این باتری‌ها می‌توانند طی تنها ۲ دقیقه شارژ و در کمتر از ۳۰ ثانیه دشارژ شوند. این باتری‌های تازه برای ذخیره انرژی در هنگام ترمز در ترمزهای بازیافت انرژی ایده‌آل هستند.

[1]Weare.ir



شکل ۳- ٦- نمای نانو مقیاس از شیوه شارژ و تخلیه باتری نیکل آهن ساخت محققان دانشگاه استنفورد[1]

این گروه برای ساخت باتری جدید، نانوکریستال‌های اکسیدآهن را روی صفحات تک‌لایه گرافن رشد داده و برای حفظ نانوبلورهای هیدروکسید نیکل از نانولوله‌های کربنی با دیواره چندلایه استفاده کرده است. در نتیجه پیوند شیمیایی قوی بین این نانوکریستال‌های فلزی و ساختار کربنی ایجاد و ترکیب بخش‌های کربنی با یکدیگر باعث شده معبری با مقاومت پایین برای جریان الکتریکی فراهم شود تا بتواند به سادگی بین نانوکریستال‌ها (جایی که شارژ و دشارژ انجام می‌شود) حرکت کند. دای یکی از محققان ارشد این پروژه می‌گوید: «نتیجه تلاش ما نسخه فراسریع باتری نیکل–آهن است که می‌تواند ظرف چند ثانیه شارژ و دشارژ شود. این باتری بر خلاف باتری‌های یون‌لیتیوم در چنین سرعتی از تخلیه و شارژ مجدد نه آتش می‌گیرد و نه منفجر می‌شود. اگرچه نمی‌توان باتری‌های نیکل– آهن را بطور ۱۰۰٪ دوستدار محیط زیست دانست، اما به مراتب اثر سوء بسیار کمتری نسبت به سایر انواع باتری‌ها دارد.

محققان با استفاده از نانوکریستال‌های فلزی و نانوصفحه‌ها و نانولوله‌های کربنی، باتری نیکل آهن ساخت ادیسون را بازسازی و این باتری سازگار با محیط زیست را به یک نمونه فراسریع که برای ذخیره انرژی ظرف چند ثانیه ایده آل است، تبدیل کرده‌اند.

[1] weare.ir/interesting/scientific

باتری‌های آهن – نیکل به نسبت باتری‌های لیتیومی بسیار ارزان‌تر هستند، زیرا لیتیوم در سطح زمین بسیار کمیاب‌تر است. علاوه بر این الکترولیت سیال موجود در الکترودهای آهن و نیکل قابل اشتعال نیستند، بنابراین از امنیت بالاتری نسبت به باتری‌های لیتیومی که خطر انفجار دارند برخوردار است.

باتری نیکل آهن یک باتری قابل شارژ است که دارای صفحات مثبت هیدروکسید نیکل (III) و صفحات منفی آهن با یک الکترولیت از هیدروکسید پتاسیم است. این باتری بسیار قوی است به گونه‌ای که در مقابل استفاده نامناسب تحمل زیادی دارد. این باتری کاربردهای ایستگاهی دارد و اغلب در شرایط پشتیبان استفاده می‌شود. می‌توان این باتری را به مدت ۲۰ سال به طور مداوم شارژ کرد. با توجه به کم بودن انرژی ویژه، قابلیت اطمینان پایین و هزینه بالای تولید می‌توان باتری نیکل آهن را جایگزین انواع باتری‌های قابل شارژ نمود. باتری‌های نیکل آهن برای استفاده به عنوان باتری‌های ترکیبی و الکترولیز برای تولید هیدروژن برای خودروهای دارای پیل سوختی و ذخیره‌سازی مورد بررسی قرار می‌گیرند.

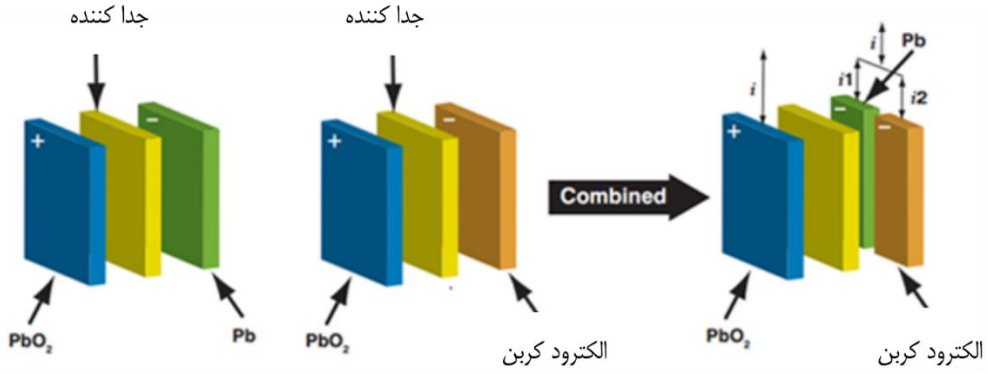
ولی تاکنون استفاده از این باتری‌ها به شکل تجاری در خودروهای برقی کابردی نداشته است. بر این اساس مکاتبه‌ای با شرکت تولید کننده این باتری‌ها (Iron Edison Battery Co) صورت گرفت و از آن‌ها خواسته شد تا در خصوص امکان استفاده از این نوع باتری‌ها در خودروهای برقی اعلام نظر نمایند که جواب دریافت شده عینا در اینجا آورده میشود:

این باتری ها به دلایل مسایل ایمنی در خودروهای برقی قابل استفاده نیست. زیرا آن‌ها یک باتری حاوی سیال هستند و استفاده از آن‌ها با خطر ریخته شدن الکترولیت همراه است.

علاوه بر این، این نوع باتری‌ها گاز هیدروژن منتشر می‌کنند و می‌تواند در صورت عدم تهویه مناسب در یک فضای بسته منجر به آتش سوزی شوند.

۲-۴-۳- باتری پیشرفته سرب-اسید

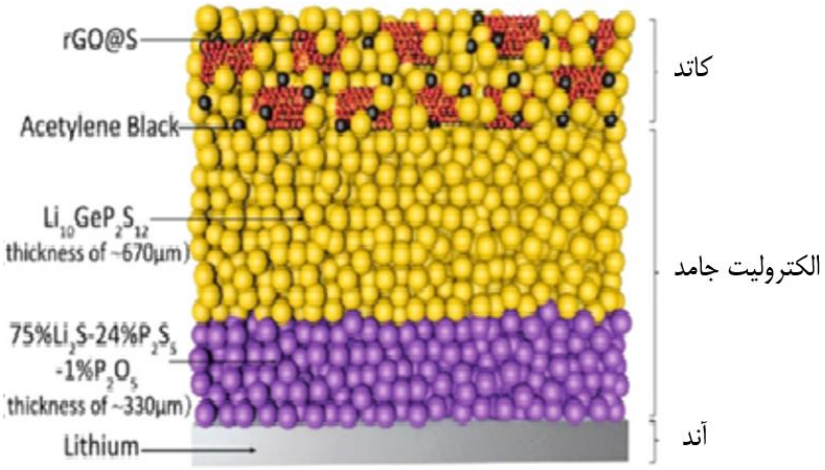
این باتری در سازمان تحقیقات علمی و صنعتی مشترک المنافع استرالیا ابداع و مورد مطالعه قرار گرفته است. از مزایای آن می‌توان به موارد زیر اشاره نمود، ارزان است، سرعت شارژ بالایی دارد، دارای چرخه عمر طولانی است. عیب این باتری این است که افت ولتاژ شدید الکترود منفی (اثر خازن) در آن مشاهده می‌شود.



شکل ۳- ۷- باتری سرب اسید پیشرفته هیبرید شده با ابرخازن

۳-۴-۳- باتری لیتیم-یون حالت جامد

شرکت تویوتا[1]فعالیت‌های پژوهشی قابل توجهی در خصوص این باتری انجام داده است. سپراتور باتری به شکل حالت جامد طراحی شده است و در این باتری از هادی‌های سولفید سوپریونیک استفاده شده است. این باتری می‌تواند در سطح ابرخازن بهره‌برداری شود با ظرفیت باتری لیتیمی که می‌تواند در ۷ دقیقه شارژ شود و هچنین مشکلات احتراق و انفجار در این باتری برطرف شده است. از دمای منفی ۳۰ درجه تا ۱۰۰ درجه سانتی گراد کار می‌کند. ولی الکترولیت این باتری هنوز به پایداری مورد نیاز نرسیده است.



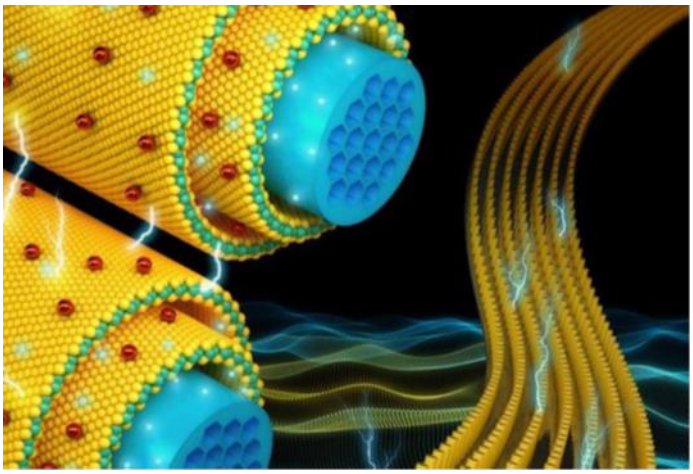
شکل ۳- ۸- شماتیک باتری لیتیم یون حالت جامد

۳-۴-۴- باتری‌های نانوسیم طلا

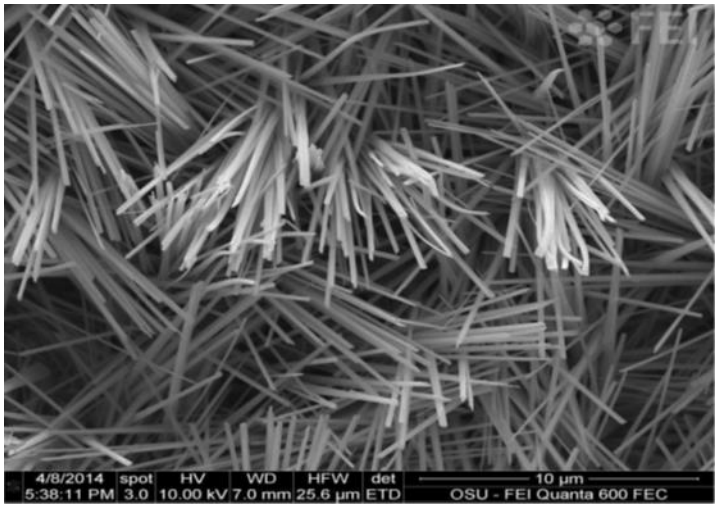
این نوع باتری در دانشگاه کالیفرنیا اروین ابداع و مورد مطالعه و پژوهش قرار گرفت.

نانوسیم‌های بکار رفته در این فناوری ۱۰۰۰ برابر نازک‌تر از موی انسان هستند. اما شکنندگی بالایی دارند و در هنگام شارژ شکسته می‌شوند. در این روش برای جلوگیری از شکستن نانوسیم‌های طلا، در کنار آن‌ها از الکترولیت ژلاتینی استفاده بعمل آمده است. این نوع باتری عمر بسیار طولانی دارد. در تست شارژ و تخلیه به تعداد ۲۰۰,۰۰۰ هزار چرخه (در مدت ۳ ماه) هیچگونه افت کیفیتی مشاهده نشد. عیب آشکار این نوع باتری گران قیمت بودن آن است.

[1] https://www.toyota-global.com/company/profile/overview/



شکل ۳- ۹- نانوسیم طلا



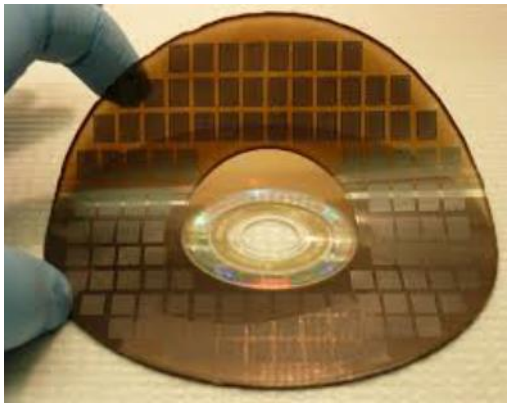
شکل ۳- ۱۰- تصویر میکروسکوپی نانوسیم طلا

۵-۴-۳- باتری‌های گرافین

این باتری‌ها توسط شرکت گرابات تولید و بررسی شده‌اند. ویژگی آن‌ها این است که خودرویی که این باتری‌های را استفاده می‌کند با هر بار شارژ مسافتی به میزان ۸۰۰ کیلومتر طی می‌کند. زمان شارژ و تخلیه آن نیز ۳۳ برابر کوتاه‌تر از باتری لیتیم یون است و توان بسیار بالایی دارد. این ذخیره ساز در مرحله آزمایشگاهی ساخته شده است و هزینه بالایی دارد و هنوز راه طولانی برای رسیدن به مراحل تجاری دارد.

۳-۴-۶- میکروابرخازن‌ها

این ذخیره سازها در دانشگاه رایس تولید شده‌اند. آند و کاتد آن‌ها توسط لیزر ساخته شده است. این مواد بر روی ورقه‌های پلاستیکی آبکاری می‌شود. در نتیجه این ذخیره‌ساز قابلیت انعطاف قابل توجهی دارد. این ذخیره‌ساز می‌تواند ۵۰ بار سریع‌تر از باتری‌های کنونی شارژ شود. این نوع ذخیره‌ساز که در واقع ترکیبی از باتری (با ظرفیت انرژی بالا) و خازن‌های سنتی (با توان بالا) هستند در مرحله آزمایشگاهی ساخته شده است و هزینه بالایی دارد و هنوز راه طولانی برای رسیدن به مراحل تجاری دارد[1].

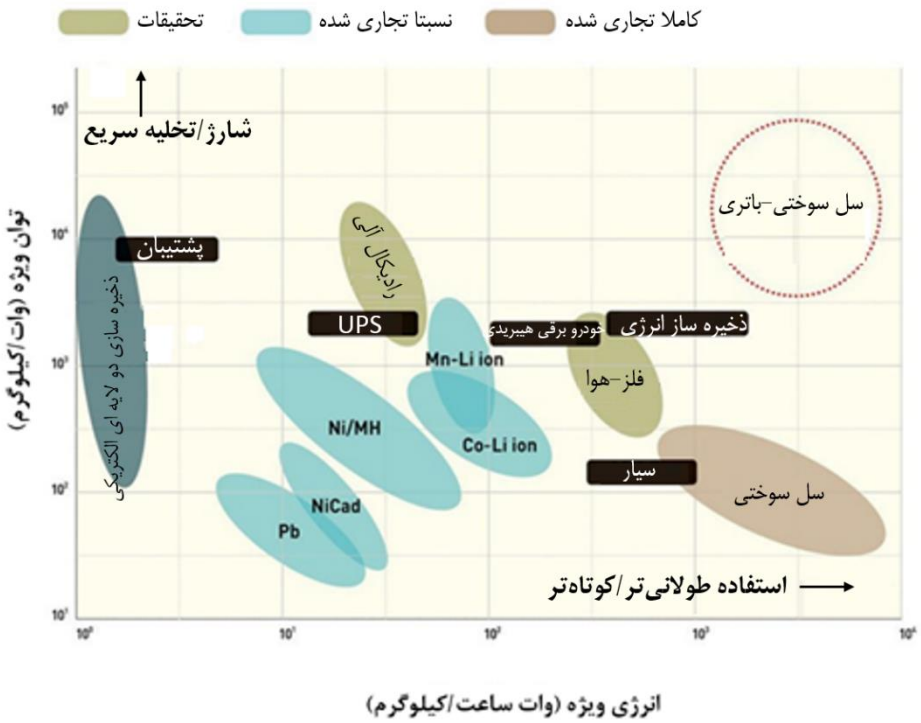


شکل ۳- ۱۱- میکروابرخازن ساخته شده در دانشگاه رایس

۳-۴-۷- باتری‌های فلز هوا

در این باتری از انواع فلزهایی مانند لیتیم، سدیم، روی و آلومینیم به عنوان آند استفاده شده است. این نوع از باتری‌ها خواصی بسیار بهتر از باتری‌های لیتیم متداول دارد. باتری‌های فلز هوا به دلیل دارا بودن بالاترین دانسیته انرژی در میان انواع باتری‌ها توجه زیادی را به عنوان یک روش جایگزین به خود جلب کرده‌اند. شکل ۳-۱۲ موقعیت باتری‌های گوناگون از جمله باتری‌های فلز هوا را بر اساس دانسیته انرژی و دانسیته توان آن‌ها نشان می‌دهد.

[1] Rice University (www.rice.edu)



شکل ۳- ۱۲- بررسی انرژی ویژه برحسب توان ویژه ذخیره‌سازهای الکتروشیمیایی

۸-٤-۳- باتری‌های سدیم- هوا

نسل جدید از مخلوط الکترولیت آبی در کاتد و الکترولیت غیرآبی در آند استفاده می‌گردد تا محصولات دشارژ روی کاتد رسوب نکنند.

تفاوت‌های عمومی باتری‌های بر پایه لیتیم و سدیم:

دمای ذوب پایین‌تر سدیم (۹۸ درجه سانتی‌گراد) در مقایسه با لیتیم (۱۸۱ درجه سانتی‌گراد) و واکنش‌پذیری بیشتر آن منجر به ایمنی کمتر باتری‌های سدیمی می‌گردد. در مقابل طراحی سل با آند ذوب شده منجر به سینتیک بهتر گشته و از تشکیل دندریمر جلوگیری می‌کند.

سدیم نسبت به لیتیم نرم‌تر بوده که کار با آن‌را سخت‌تر می‌کند ولی در مقابل جلوگیری از تشکیل درندریت با اعمال فشار مکانیکی برای سدیم آسان‌تر است.

سدیم نسبت به لیتیم کاهندگی کمتری[1] دارد و این موضوع باعث می‌شود که مواد در تماس با آن به لحاظ ترمودینامیکی پایدارتر بوده و لذا واکنش‌های جانبی انجام نشود. این موضوع بخصوص در طراحی غشاهای حالت جامد مزیت بزرگی محسوب می‌شود. به عنوان مثال در باتری‌های یون- لیتیم حالت جامد تماس مستقیم لیتیم با الکترولیت حالت جامد منجر به تخریب آن می‌گردد ولی در مقابل بتا آلومینا الکترولیت حالت جامد مناسبی برای باتری‌های سدیم-یون محسوب می‌شود.

تعداد ترکیبات شناخته شده سدیم نسبت به لیتیم بیشتر است بنابراین واکنش‌های سل ممکن است دارای حد واسط‌های بیشتر یا مراحل بیشتری باشد. به عنوان مثال لیتیم با آلومینیوم ترکیب شده و تشکیل آلیاژ می‌دهد بنابراین از مس به عنوان اتصال دهنده در باتری‌های لیتیمی استفاده می‌شود که نسبت به آلومینیوم گران‌تر است. در مقابل سدیم با آلومینیوم تشکیل آلیاژ نداده و لذا این فلز به عنوان اتصال دهنده در باتری‌های سدیمی استفاده می‌شود. افزون بر این برخلاف لیتیم که با نیتروژن هوا تشکیل نیترید می‌دهد، سدیم در مجاورت نیتروژن هوا پایدار بوده و این مسئله در تهیه باتری‌های سدیم-هوا و لیتیم-هوا از اهمیت بالایی برخوردار است.

اندازه بزرگ‌تر سدیم و یون آن نسبت به لیتیم منجر به تخریب الکترودهای آن می‌گردد.

ترکیبات سدیم و لیتیم انحلال پذیری متفاوتی در حلال‌های مختلف دارند. بنابراین، محصولات دشارژ این دو باتری به صورت‌های مختلف حل می‌شوند و محلول‌های الکترولیت گوناگونی برای هر یک نیاز است.

۵-۳- ویژگی‌های باتری‌ها

ویژگی‌های باتری‌های متداول و باتری‌های پایه لیتیمی بترتیب در جدول 3-3 و جدول 3-4 آورده شده است.

جدول ۳- ۳- ویژگی‌های باتری‌های متداول

نوع باتری	انرژی ویژه Wh/Kg	دانسیته انرژی Wh/L	توان ویژه W/Kg	چرخه عمر سیکل
سرب-اسید	۴۲-۳۳	۶۰-۱۱۰	۱۸۰	۵۰۰-۸۰۰
نیکل-کادمیم	۴۰-۶۰	۵۰-۱۵۰	۱۵۰	۲۰۰۰
نیکل-متال‌هیدرید	۶۰-۱۲۰	۱۴۰-۳۰۰	۲۵۰-۱۰۰۰	۵۰۰-۲۰۰۰

[1] Less reducing

نیکل–روی	۱۰۰	۲۸۰	بیش از ۳۰۰۰	۴۰۰–۱۰۰۰

جدول ۳- ٤- ویژگی‌های باتری‌های پایه لیتیمی

نوع باتری	انرژی ویژه Wh/Kg	دانسیته انرژی Wh/L	توان ویژه W/Kg	چرخه عمر سیکل
لیتیم–یون	۱۰۰–۲۶۵	۲۵۰–۶۲۰	۲۵۰–۳۴۰	۴۰۰–۱۲۰۰
لیتیم–پلیمر	۱۰۰–۲۶۵	۲۵۰–۷۳۰		
لیتیم–آهن–فسفات	۹۰–۱۱۰	۲۲۰	۲۴۰۰	۲۰۰۰
لیتیم–سولفور	۵۰۰	۳۵۰		
لیتیم–هوا	۱۱،۴۰۰ (تئوری، بدون وزن اکسیژن) ۵۲۱۰ (با وزن اکسیژن)	–	–	–
سدیم–هوا	۱۶۷۷	–	–	–
منیزیم–هوا	۲۷۸۹	–	–	–
پتاسیم–هوا	۹۳۵	–	–	–

۶-۳- مقایسه‌ی ویژگی‌های باتری‌ها

دانسیته انرژی: باتری سرب اسید دارای کمترین و باتری‌های لیتیمی دارای بیشترین دانسیته انرژی هستند (۷۳۰ Wh/L).

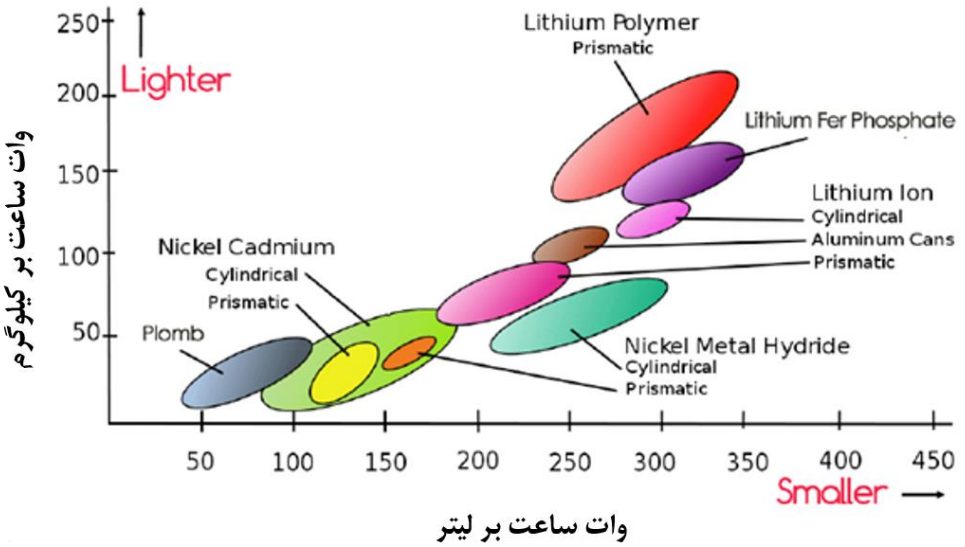
انرژی ویژه: باتری سرب اسید دارای کمترین (۴۲ وات‌ساعت بر کیلوگرم)، و باتری لیتیمی دارای بیشترین انرژی ویژه (۵۰۰ وات‌ساعت بر کیلوگرم) می‌باشند. در حالی که پیشرفته‌ترین باتری‌ها از نوع لیتیم هوا از نظر تئوری می توانند انرژی ویژه ۱۱،۴۰۰ وات‌ساعت بر کیلوگرم داشته باشند که قادر به برابری با بنزین است.

توان ویژه: برای باتری نیکل کادمیم کمترین توان ویژه (۱۵۰ وات بر کیلوگرم) و برای باتری لیتیم یون فسفات بیشترین توان ویژه (۲۴۰۰ وات بر کیلوگرم) گزارش شده است. ولی در خصوص باتری‌های پیشرفته ای مانند لیتیم هوا اختلاف نظر وجود دارد.

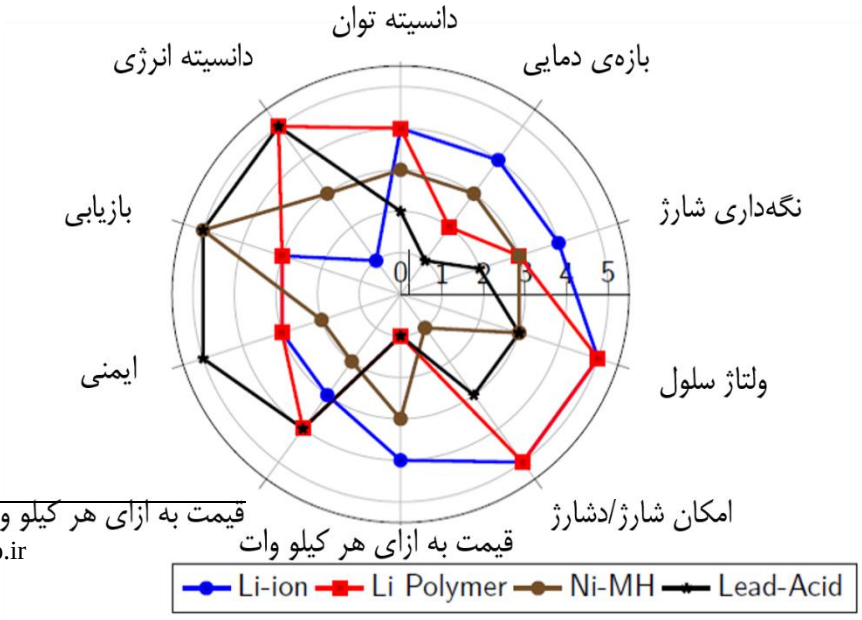
دانسیته توان: کمترین و بیشترین دانسیته توان را به ترتیب باتری‌های سرب اسید و باتری‌های لیتیمی دارند. برای اینکه باتری‌ها برای استفاده در خودرو برقی آماده شوند نیاز به افزایش توان باتری‌ها وجود دارد. در این خصوص استفاده از ویژگی توان بالای ابرخازنها راه حلی مناسب است.

چرخه عمر: باتری سرب اسید و باتری لیتیمی به ترتیب دارای کمترین (۸۰۰) و بیشترین (۲۰۰۰) چرخه عمر هستند. در این میان باتری‌های پیشرفته دارای چرخه های عمر تئوری بالاتری اند.

شکل ۱۳-۳ و شکل ۱۴-۳ مقایسه ویژگی‌های باتری‌ها را نشان می‌دهند.



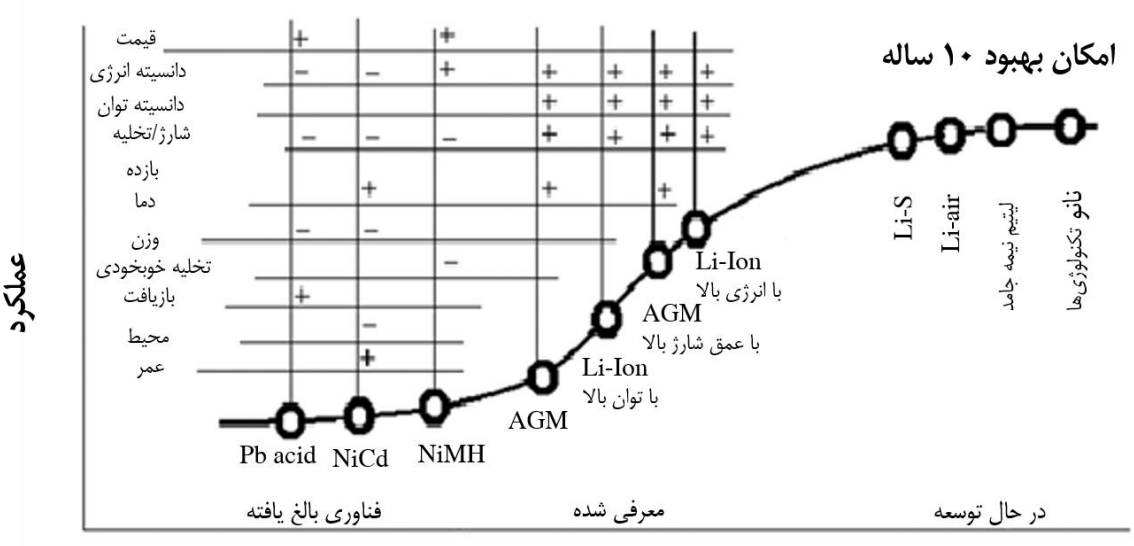
شکل ۳- ۱۳- بررسی دانسیته توان و انرژی ذخیره سازهای الکتروشیمیایی[1]



شکل ۳- ۱٤- مقایسه باتری‌های متداول

[1] http://ato.co.ir

بلوغ فناوری: باتری‌های سرب اسید، نیکل کادمیم و نیکل متال هیدرید، فناوری‌های بلوغ یافته هستند، انواع باتری‌های لیتیم یون و باتری AGM یا جداکننده‌ی جذبی[1] در مرحله معرفی شده و تجاری قرار دارند و باتری‌های لیتیم سولفور، لیتیم هوا، انواع باتری‌های فلز هوا، و باتری‌هایی که از نانوفناوری بهره می‌برند در مرحله مطالعه و تحقیقات تجربی قرار دارند (شکل۳-۱۵).



شکل ۳- ۱۵- بلوغ فناوری‌های باتری

۱-۶-۳- هدف‌گذاری برای مشخصات و ویژگی‌های باتری‌های مورد نیاز در خودرو برقی ساخت داخل

تغییر سبد انرژی با توجه به آثار مخرب آلایندگی زیست محیطی در کشور که تحمیل کننده هزینه‌های اجتماعی، زیست محیطی و درمانی جبران ناپذیری به شهروندان خصوصاً کلان شهرها شده است یکی از ضرورت‌های اجتناب‌ناپذیر است.

[1] Absorbed Glass Mat

یکی از راهکارهایی که امروزه مورد توجه دولت‌ها قرار گرفته است استفاده از وسایل نقلیه برقی به‌عنوان یکی از فناوری‌های جایگزین فناوری‌های موجود در صنعت خودروسازی است. مهم‌ترین چالش‌های سد راه تولید و توسعه خودروهای برقی در ایران قیمت تمام شده، نبود تضمین لازم برای وجود تقاضا و نبود متولی واحد هستند. شرکت‌های خودروساز مدعی هستند در صورت برطرف شدن چالش تضمین مشتری، توانمندی تولید خودروهای برقی در کشور وجود دارد. کاهش اختلاف قیمت تمام شده خودروهای برقی با نوع بنزینی آن و تشویق مردم به خرید این نوع خودرو، تنها در صورت کمک دولت در قالب یک بسته سیاستی ـ حمایتی همراه با تدوین نقشه راه توسعه کاربری وسایل نقلیه برقی (در مرحله اول؛ دوچرخه و موتورسیکلت) با مشارکت تمامی ذینفعان و تشکیل کمیته فنی اجرایی مشترک با حضور وزارتخانه‌های صنعت و معدن و تجارت، نیرو، نفت، سازمان حفاظت محیط زیست، دفاع، کشور، شهرداری‌ها، اداره استاندارد و سایر نهادهای ذیربط به‌منظور تهیه برنامه‌های عملیاتی قابلیت اجرا دارد.

اهمیت کیفیت هوای شهری در سال‌های اخیر، استفاده از وسیله نقلیه برقی را به‌عنوان یکی از راهکارهای خط مقدم استراتژی‌ها و فناوری‌های کاهنده تأثیرات مخرب سلامتی و محیطی در حوزه حمل ونقل شهری، در میان بزرگ‌ترین راهکارهای کاهنده آلودگی هوای شهری و نیز آلودگی‌های گاز گلخانه‌ای قرار داده است .آلودگی صفر، اندازه کوچک و موتور بیصدا، خودروهای برقی را به‌عنوان نوشداروی حمل‌ونقل شهری معرفی کرده است اما قیمت بالا (قیمت باتری بیشترین سهم را دارد) و کافی نبودن زیرساخت‌ها در این زمینه، مهم‌ترین چالش‌های استقبال اگرچه رو به رشد اما نسبتاً کم دنیا بوده است که البته با راهکارهای ارائه شده و تحقیقات منسجمی که در این خصوص صورت میگیرد، روز به روز قیمت آن‌ها کاهش یافته و درحال نزدیک شدن به قیمت خودروهای احتراقی با کلاس مشابه می‌باشد. از دیگر سو، این خودروها به دلیل آلودگی‌هایی که به‌وسیله نیروگاه‌ها برای تولید الکتریسته ایجاد می‌شود به‌عنوان » خودروهای تولیدکننده آلودگی در جای دیگر »نامیده می‌شوند. لذا بحث در مورد استفاده یا عدم استفاده از خودروی برقی با در نظر گرفتن همه ابعاد تحت تأثیر آن، مثبت یا منفی باید مورد بررسی قرار گیرد.

الزامات و چالش‌های تولید خودروهای برقی در ایران و وضعیت تولید باتری در ایران، سنجش میزان دانش فنی شرکت‌های خودروساز داخلی و آمادگی آن‌ها برای تولید و پیش‌بینی قوانین تأثیرگذار حکومتی به‌عنوان اثرگذارترین عوامل در تولید خودروی برقی مورد بررسی قرار می‌گیرد.

تغییر سبد انرژی با توجه به آثار مخرب آلایندگی زیست محیطی در کشور که تحمیل کننده هزینه‌های اجتماعی، زیست محیطی و درمانی جبران ناپذیری به شهروندان خصوصاً کلان شهرها شده است یکی از

ضرورت‌های اجتناب‌ناپذیر است. یکی از راهکارهایی که امروزه مورد توجه دولت‌ها قرار گرفته است استفاده از وسایل نقلیه برقی به‌عنوان یکی از فناوری‌های جایگزین فناوری‌های موجود در صنعت خودروسازی است.

مهم‌ترین چالش‌های سد راه تولید و توسعه خودروهای برقی در ایران قیمت تمام شده، نبود تضمین لازم برای وجود تقاضا و نبود متولی واحد هستند. شرکت‌های خودروساز مدعی هستند در صورت برطرف شدن چالش تضمین مشتری، توانمندی تولید خودروهای برقی در کشور وجود دارد. کاهش اختلاف قیمت تمام شده خودروهای برقی با نوع بنزینی آن و تشویق مردم به خرید این نوع خودرو، تنها در صورت کمک دولت در قالب یک بسته سیاستی ـ حمایتی همراه با تدوین نقشه راه توسعه کاربری وسایل نقلیه برقی (در مرحله اول؛ دوچرخه و موتورسیکلت) با مشارکت تمامی ذینفعان و تشکیل کمیته فنی اجرایی مشترک با حضور وزارتخانه‌های صنعت و معدن و تجارت، نیرو، نفت، سازمان حفاظت محیط زیست، دفاع، کشور، شهرداری‌ها، اداره استاندارد و سایر نهادهای ذیربط به‌منظور تهیه برنامه‌های عملیاتی قابلیت اجرا دارد.

اهمیت کیفیت هوای شهری در سال‌های اخیر، استفاده از وسیله نقلیه برقی را به‌عنوان یکی از راهکارهای خط مقدم استراتژی‌ها و فناوری‌های کاهنده تأثیرات مخرب سلامتی و محیطی در حوزه حمل ونقل شهری، در میان بزرگ‌ترین راهکارهای کاهنده آلودگی هوای شهری و نیز آلودگی‌های گاز گلخانه‌ای قرار داده است .آلودگی صفر، اندازه کوچک و موتور بیصدا، خودروهای برقی را به‌عنوان نوشداروی حمل‌ونقل شهری معرفی کرده است اما قیمت بالا (قیمت باتری بیشترین سهم را دارد) و کافی نبودن زیرساخت‌ها در این زمینه، مهم‌ترین چالش‌های استقبال اگرچه رو به رشد اما نسبتاً کم دنیا بوده است که البته با راهکارهای ارائه شده و تحقیقات منسجمی که در این خصوص صورت میگیرد، روز به روز قیمت آن‌ها کاهش یافته و درحال نزدیک شدن به قیمت خودروهای احتراقی با کلاس مشابه می‌باشد. از دیگر سو، این خودروها به دلیل آلودگی‌هایی که به‌وسیله نیروگاه‌ها برای تولید الکتریسته ایجاد می‌شود به‌عنوان » خودروهای تولیدکننده آلودگی در جای دیگر »نامیده می‌شوند. لذا بحث در مورد استفاده یا عدم استفاده از خودروی برقی با در نظر گرفتن همه ابعاد تحت تأثیر آن، مثبت یا منفی باید مورد بررسی قرار گیرد.

الزامات و چالش‌های تولید خودروهای برقی در ایران و وضعیت تولید باتری در ایران، سنجش میزان دانش فنی شرکت‌های خودروساز داخلی و آمادگی آن‌ها برای تولید و پیش‌بینی قوانین تأثیرگذار حکومتی به‌عنوان اثرگذارترین عوامل در تولید خودروی برقی مورد بررسی قرار می‌گیرد.

۲-۶-۳- الزامات و چالش‌های تولید خودروهای برقی در ایران

یکی از وجوه اشتراک تمامی کشورهای تولیدکننده خودروی جهان بعد از ایمنی، کیفیت، راحتی، رعایت توأمان دو اصل کلیدی سازگاری با طبیعت و کاهش آلایندگی خودروها و اقتصادی بودن منابع انرژی مورد مصرف در خودروهاست. با توجه به وضعیت مصرف سوخت خودروهای برقی، این خودروها در ناوگان شهری می‌تواند کمک شایان و قابل ملاحظه‌ای به کاهش مصرف سوخت در داخل شهرها و انتشار آلایندگی کند. فرهنگ‌سازی و ایجاد مشوق برای مصرف کننده جزء جدایی‌ناپذیر نیروی محرکه تغییر رویکرد به سمت یک فناوری جدید است، لذا به‌نظر می‌رسد قبل از اینکه استفاده از این خودروها یک انتخاب و یا الزام برای تولیدکننده و یا مصرف کننده باشد، یک الزام از منظر استانداردهای مصرف سوخت و آلایندگی است. البته حمایت دولت در هر دو رکن تولیدکننده و مصرف کننده نقش اساسی در توسعه این دسته از خودروها ایفا می‌نماید. در عین حال، در صورتیکه قیمت سوخت در کشور اصلاح شده و واقعی گردد قطعاً می تواند به‌عنوان یک تصمیم برای مصرف کننده در نظر گرفته شود.

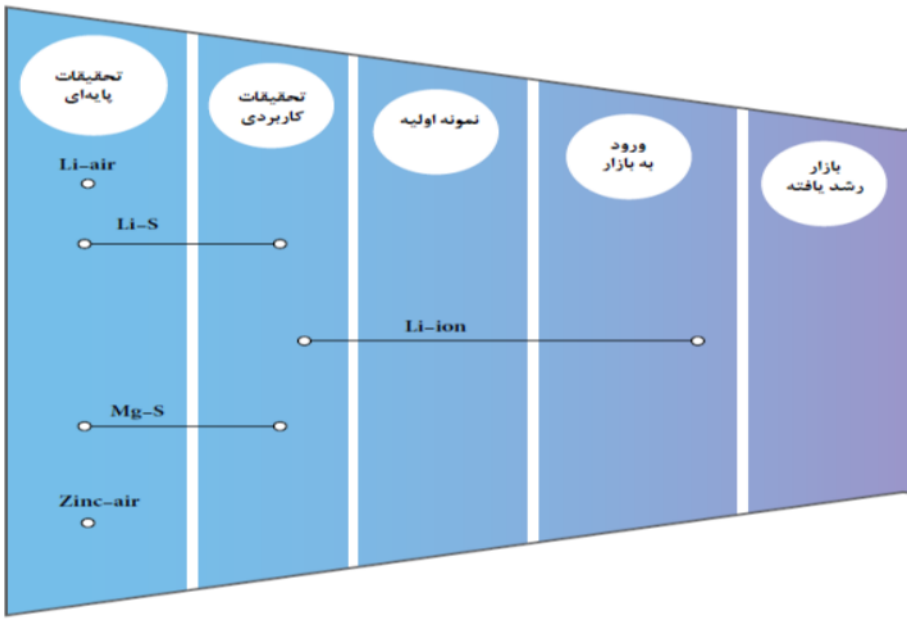
درسال ۲۰۲۰، میزان تقاضا برای باتری‌های مورد استفاده در خودروهای برقی به ۷۰ میلیون کیلووات ساعت و هزینه هر کیلووات ساعت به ۲۵۶ دلار خواهد رسید. طبق پیش بینی‌های انجام شده، بازار این باتری‌ها به ۱۷ میلیارد دلار خواهد رسید.. شرکت BASF [1] پیش بینی کرده است که در سال‌های ۲۰۲۰ تا ۲۰۳۰ ظرفیت باتری‌های لیتیم–سولفور به میزان۵۰۰ وات ساعت بر کیلوگرم خواهد رسید؛ این میزان معادل مسافت ۵۰۰ کیلومتر است. مراکز تحقیق و توسعه شرکت BASF بر روی فناوری باتری‌های لیتیم–هوا و دیگر فناوری‌ها مطالعات گسترده‌ای انجام می‌دهند. این شرکت اعلام کرده است که تا قبل از سال‌های ۲۰۳۰ تا ۲۰۴۰ امکان ورود باتری‌های لیتیم–هوا به بازار فراهم نخواهد شد. بر اساس اظهارات شرکت Thierry koskas به ازای هر ده سال کارکرد باتری (۱۰۰۰ تا ۲۰۰۰ چرخه) هزینه‌های خودرو برقی به مقدار ۲۰۰

[1] BASF SE is a German chemical company and the largest chemical producer in the world. The BASF Group comprises subsidiaries and joint ventures in more than 80 countries and operates six integrated production sites and 390 other production sites in Europe, Asia, Australia, the Americas and Africa.

پوند در هر کیلو وات ساعت از هزینه‌های خودروهای با موتور درون‌سوز کمتر خواهد شد. پایداری انرژی، طول عمر و کاهش قیمت باتری‌ها از جمله پارامترهایی است که در کاهش آن‌ها و قیمت‌های نهایی تاثیر مهم و قابل توجهی خواهد داشت. شرکت فورد بر کاهش اندازه و وزن باتری‌ها، در عین حفظ ظرفیت، متمرکز شده است.

دست اندر کاران شرکت فورد اعتقاد دارند این شرکت به سمت تولید باتری‌های جدید روی–هوا و لیتیم–هوا با وزن ۵۵ کیلوگرم و حجم ۶۰ لیتر حرکت می‌کند. رسیدن به این هدف کاهش چشمگیری در وزن باتری‌های متداول یون لیتیم، که اکنون ۲۲۵ کیلوگرم وزن و حجمی معادل ۱۲۵ لیتر دارند، خواهد داشت. این شرکت همچنین بر آن است که در آینده، برای باتری‌های لیتیم–سولفور و باتری‌های فلز–هوا به الکترودهایی با چگالی انرژی بالا نیاز است.

تهیه مواد اولیه برای ساخت این باتری‌ها نیز بسیار مهم است برای مثال در گذشته توسعه لیتیم در حال افزایش بود اما در حال حاضر استفاده از سولفور به دلیل اینکه جزو فراورده‌های جانبی صنایع نفت است، ارزش بالایی پیدا کرده است. شکل ۳–۱۶سطح آمادگی فناوری برای باتری جهت استفاده در خودرو را نشان می‌دهد.



شکل ۳– ۱۶– سطح آمادگی فناوری برای باتری جهت استفاده در خودرو

همانطور که در شکل مشخص است تنها باتری که در صنایع خودرو ورود به بازار پیدا کرده باتری لیتیم – یون می‌باشد و بقیه باتری‌ها اکثرا در حال طی تحقیقات پایه‌ای و کاربردی هستند.

در مجموع آنچه که در خصوص باتری خودرو برقی مسلم است این است که در حال حاضر استفاده از باتری‌های لیتیمی در دنیای خودرو برقی در رتبه اول اهمیت قرار دارد. کشورها و شرکت‌های پیشرو در این عرصه برای آینده این فناوری پیشرفت‌های چشم‌گیری ترسیم نموده‌اند که نهایتا به باتری‌های فلز هوا ختم می‌شود. در این میان باتری لیتیم هوا واضح‌ترین نمونه است. ولی از سوی دیگر مسئله قیمت و موجودیت عنصر لیتیم در کره زمین و همچنین مسائل زیست محیطی پیرامون این نوع از باتری‌ها، با بکار گیری اهرم نانوتکنولوژی، پتانسیل پر قدرتی برای یافتن روش‌های کاراتر، فرایندهای مناسب‌تر و مواد مفیدتر برای ارتقاء این باتری‌های به منظور رسیدن به خودرو برقی دوست‌دار محیط زیست با مشخصاتی معادل خودرو بنزینی، فراهم نموده است.

لذا به نظر می‌رسد بهترین نوع باتری خودرو برقی برای کشور ما، همان باتری لیتیمی است. و البته لازم است تا پژوهشگران این عرصه در عین رصد فناوری و پیشرفت‌های حاصل، باتری مورد استفاده در غالب صنایع پیشرفته را الگو قرار دهند. در اینجا این روند بررسی و ارائه شده است.

۳-۶-۳- برنامه شرکت‌های خودروساز فعال در زمینه استفاده از باتری فلز- هوا

- ✓ خودروی مولن[1]:

برنامه‌ریزی‌های انجام شده بر این اساس بوده‌اند که خودرو دارای باتری نانو لیتیم–هوا در سال ۲۰۱۷ روانه بازار شود. این خودرو ویژگی‌های بسیار بارزی نسبت به خودروی ۶۸۳۱ تسلا که از سل باتری یون – لیتیم استفاده می‌کند داراست. در شکل ۳–۱۷ خودروی مولن نشان داده می‌شود. در جدول ۳–۳ مقایسه ویژگی‌های آن با خودروی تسلا انجام شده است [۴].

[1] Mullen



شکل ۳- ۱۷- خودروی مولن دارای باتری لیتیم – هوا

جدول ۳- ۵- مقایسه خودروی مولن دارای باتری لیتیم – هوا با خودروی تسلا دارای باتری لیتیم – یون

ردیف	ویژگی	واحد	مولن	تسلا	درصد مقایسه

۱	انرژی باتری	کیلو وات ساعت	۱۳۶	۸۰	٪۴۲ افزایش
۲	وزن باتری	کیلوگرم	۳۶۴	۶۸۰	٪۴۷ کاهش
۳	حرکت به ازای هر شارژ	کیلومتر	۶۴۰	۴۰۰	٪۳۸ افزایش
۴	قیمت	دلار	۳۹۹۹۵	۱۰۶۲۰۰	٪۶۳ کاهش

- ✓ بی ام دبلیو و تویوتا

شرکت‌های بی‌ام‌دبلیو و تویوتا قرارداد همکاری در زمینه ساخت خودروی الکتریکی با باتری لیتیم – هوا امضا کردند. این قرارداد در سال ۲۰۱۱ امضا شده و قرار است تا سال ۲۰۲۰ نمونه اولیه خودروی الکتریکی با این باتری به بازار عرضه شود.

- ✓ شرکت‌های دیگر:

از جمله شرکت‌های فعال در این زمینه می‌توان به شرکت فولکس واگن اشاره کرد.

۱-۳-۶-۳- موتورسیکلت الکتریکی

طراحی مفهومی موتورسیکلت الکتریکی هرو–آیون[1] در هند انجام شد و در نمایشگاه موتور سیکلت سال ۲۰۱۴ به نمایش در آمد. این موتورسیکلت از ترکیب باتری لیتیم – هوا و ابرخازن برای حرکت استفاده می‌کند [۶].



شکل ۳- ۱۸- موتورسیکلت هرو–آیون

مشخصات این موتور سیکلت به شرح زیر است.

[1] Hero-ion

جدول ۳- ٦- مشخصات موتورسیکلت هرو-آیون

ردیف	ویژگی		مقدار	واحد
۱	سرعت بیشینه		۳۰۰	کیلومتر بر ساعت
۲	سرعت متوسط		۱۶۰	کیلومتر بر ساعت
۳	ابعاد	طول	۱۹۶۲	میلی متر
		عرض	۴۳۱	
		ارتفاع	۹۵۵	
۴	وزن		۱۰۰	کیلوگرم
۵	قیمت		۷۵۰۰۰	روپیه

۲-۳-۶-۳- کاهش قیمت خودروهای الکتریکی

یکی از دلایلی که خودروی الکتریکی هنوز نتوانسته رقیب سرسختی برای خودروی موتور احتراقی باشد، قیمت بالای آن است. همانطور که در بخش قبل مشاهده شد قیمت خودروی الکتریکی با باتری لیتیم – هوا حدود ۴۰٪ باتری لیتیم –یون است. این مطلب نشان دهنده این است که کاهش قیمت خودروهای بدون آلاینده اهمیت فراوانی دارد.

۳-۳-۶-۳- افزایش راندمان سیستم تولید توان

باتری فلز– هوا به دلیل اینکه ماده فعال الکترودی در سمت کاتد در آن ذخیره نشده و از محیط اطراف به دست می‌آید دارای وزن پایینی است، علاوه بر آن از فلزات الکتروپوزیتیو استفاده می‌شود بنابراین مدت زمان اهدای الکترون آن بالاست. از این رو برای محیط‌هایی که نیاز به دانسیته انرژی بالا (تولید توان برای مدت زمان زیاد در کمترین وزن) وجود دارد، استفاده از این نوع باتری از اهمیت بالایی برخوردار است.

رقبای اصلی باتری‌های فلز– هوا، باتری لیتیم – یون و پیل‌های سوختی متانولی و هیدروژنی است. خطرات انفجار هیدروژن و آتش‌گیری باتری لیتیم – یون و متانول باعث شده باتری فلز–هوا جهت افزایش امنیت کاربرها مورد توجه قرار گیرند.

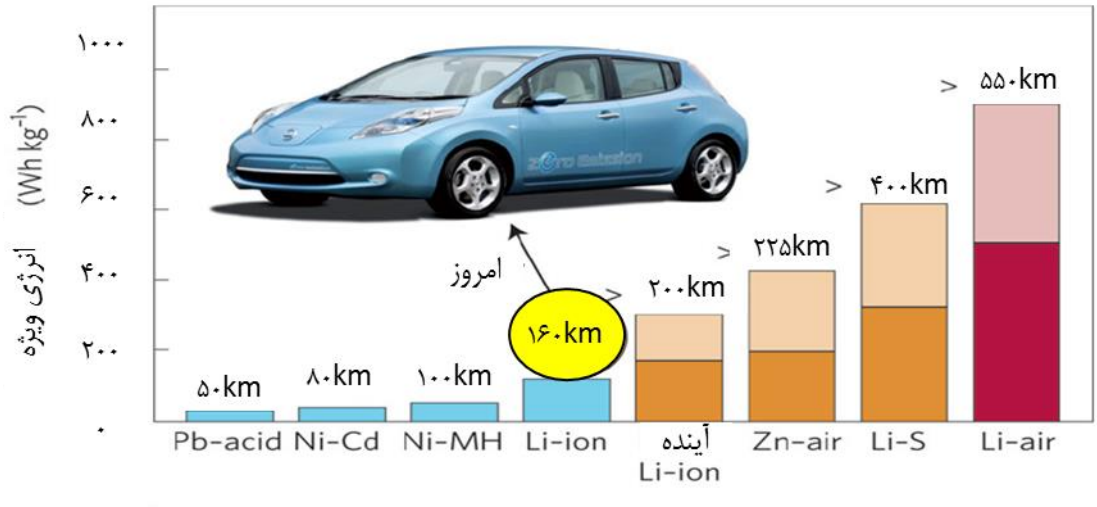
۳-۷- بررسی برنامه‌های کشورهای مطرح در زمینه باتری خودروهای برقی

یکی از راه‌های کلیدی برای جلوگیری از انتشار گازهای آلاینده از طریق توسعه و استفاده از فن‌آوری های کم کربن (IPCC، 2007) است. در زمینه کاهش آلاینده‌های ناشی از حمل و نقل، گسترش کاربرد خودروهای برقی (EVs) یکی از گزینه‌ها برای کاهش CO_2 تولیدی در ناوگان ناوبری سبک است. به منظور رسیدن به هدف جهانی کاهش دمای کره زمین به میزان ۲ درجه سانتی گراد تا سال ۲۰۵۰، سه چهارم تمام وسایل نقلیه کم مصرف که در سال ۲۰۵۰ فروخته می‌شود، باید خودرو برقی باشند (IEA، 2013). از آنجایی‌که کم‌ترین میزان انتشار گازهای گلخانه‌ای را در میان کلیه گزینه‌ها، وسایل نقلیه برقی دارند (.Sims et al، 2014)، کاهش هزینه‌های خودرو برقی در آینده می‌تواند به طور قابل توجهی با کاهش هزینه‌های باتری و کاهش میزان مصرف برق تامین شود. با توجه به نگرانی‌های بین المللی و ملی پیرامون تغییرات آب و هوا، چندین کشور به سیاست‌های بلند پروازانه برای افزایش سهم وسایل نقلیه جایگزین اقدام کرده‌اند [۷].

۱-۷-۳- فن‌آوری باتری و هزینه آن

باتری مهم‌ترین جزء یک خودرو الکتریکی است و به طور معمول حدود نیمی از هزینه و وزن خودرو را تشکیل می‌دهد. انتخاب باتری به چگالی انرژی، وزن و هزینه بستگی دارد. دوچرخه‌های الکتریکی و موتورهای کم مصرف دارای باتری ساده‌ای هستند در حالیکه ماشین‌های الکتریکی تعداد زیادی باتری دارند.

به طور سنتی، اکثر خودروهای الکتریکی از باتری‌های سرب اسید، به عنوان یک تکنولوژی بالغ، قابلیت دسترسی آسان و هزینه کم استفاده می‌کنند. با این حال، از دهه ۱۹۹۰ فناوری باتری به طور قابل ملاحظه‌ای پیشرفت کرده است و چند نوع باتری جدید تولید شده است. به تازگی، باتری‌های نوین با استفاده از ترکیبی از یون لیتیوم و تغییرات آن به دلیل کارایی بهتر، کاهش وزن، زمان شارژ، خروجی بهتر، عمر طولانی‌تر و کاهش اثرات زیست محیطی مربوط به باتری مستعمل، پذیرفته شده است. چهار نوع باتری در حال حاضر در خودروهای برقی معمولا استفاده می‌شود: ۱) اسید سرب ۲) نیکل کادمیوم(NiCd) ۳) هیدرید فلز نیکل(NiMH) و ۴) لیتیم یون (لیون). باتری‌های لیتیوم یون نسبت به انواع دیگر باتری‌ها موفقیت بیشتری داشته‌اند. در آینده، انتظار می‌رود نوآوری‌های فناوری با استفاده از Li-ion و دیگر فناوری‌ها، باتری‌هایی با انرژی خاص و هزینه‌های پایین‌تر داشته باشند (شکل ۳-۱۹) [۷].



شکل ۳- ۱۹- انواع باتری: انرژی ویژه و قیمت [۷]

مدیریت پایان دادن به عمر و بازیافت باتری خودروهای برقی در محیط زیست ایمن باید از طریق سیاست‌های موثر محیط زیست و اجرای آن مورد رسیدگی قرار گیرد. در چندین کشور، سیاست‌ها و مقرراتی جهت حفظ محیط زیست وضع شده است. به عنوان مثال، در ایالات متحده، وزارت انرژی ۹/۵ میلیون دلار برای ساخت یک مجتمع بازیافت اختصاص داده است [7].

میانگین هزینه یک بسته باتری از حدود ۱۰۰۰ دلار بر کیلووات ساعت در سال ۲۰۱۰ به ۶۰۰ دلار بر کیلووات ساعت در سال ۲۰۱۴ کاهش یافته است و انتظار می‌رود تا سال ۲۰۳۰ به ۱۵۰ دلار در هر کیلووات ساعت برسد (Bloomberg New Energy Finance 2013). دولت فدرال برای حمایت از تعهد ملی برای ساخت وسایل الکتریکی و بسیاری از اجزای آن‌ها در ایالات متحده، ۲/۴ میلیارد دلار از امکانات تولید برق و نزدیک به ۸۰ میلیون دلار برای تحقیق و توسعه باتری خودروهای برقی (CRS، 2013) سرمایه‌گذاری کرده است [۷].

موانع فنی شامل مسائل مربوط به بهره‌وری باتری، زمان شارژ و مسافت رانندگی است. یکی از موانع اصلی، پایین بودن دانسیته انرژی است که اکثر باتری‌های مورد استفاده در خودروهای برقی دارند. بنابراین برای رسیدن به مسافت رانندگی معقول، نیاز به باتری‌های بزرگ و سنگین وجود دارد که موجب افزایش وزن کلی خودرو برقی است. برای مقابله با این مسئله، تولید کنندگان باتری در حال کار بر روی باتری‌های با تراکم انرژی ویژه مانند باتری لیتیوم یون و باتری لیتیوم گوگرد هستند که می‌توانند وزن باتری را در آینده کاهش دهند. برخی از دیگر نگرانی‌های مربوط به خودروهای برقی مربوط به مسافت رانندگی و زمان شارژ باتری‌ها است[۷].

جدول ۳- ۷- تقاضای باتری در سناریوی خودرو برقی (GWh) [7]

	۲۰۳۰-۳۵	۲۰۲۰-۳۰	۲۰۱۵-۲۰۲۰
خودروهای دارای دو چرخ	۴۱	۷۹	۹۴
خودروهای دارای چهار چرخ	۷۹	۶۶	۱
اتوبوس‌ها	۱۸	۲۴	۶
مجموع	۱۳۸	۱۶۹	۱۰۰

کشورهایی که دارای منابع لیتیوم قابل توجهی نیستند، نیاز به ایجاد یک منبع تامین قابل اعتماد دارد. علاوه بر این، امکانات برای جمع‌آوری و بازیافت باتری‌ها مورد نیاز است. سیاست‌هایی برای ارتقای ابتکارات خصوصی و عمومی برای رسیدگی به این نیازها برای پشتیبانی از ملزومات خودرو برقی در کشور ضروری است.

یکی دیگر از عوامل موثر در گسترش خودروهای برقی جدید هزینه آن است. با وجودی که هزینه‌های دراز مدت وسایل نقلیه الکتریکی به اندازه خودروهای درونسوز (بر اساس هزینه نگهداری و هزینه‌های پایین) بزرگ نیست، هزینه خرید به دلیل قیمت بسته باتری قابل توجه است. بنابراین اطمینان از قیمت خرید رقابتی، تا حد زیادی به تکامل هزینه‌های باتری (هزینه اصلی در این وسایل نقلیه) بستگی دارد. پیش بینی هزینه‌های باتری از شرکت به شرکت متفاوت است، اما به نظر می‌رسد در آینده روند قیمت باتری‌ها سیر نزولی قابل توجهی خواهد داشت. با این حال، در حال حاضر، و در آینده نزدیک، هزینه باتری یکی از موانع اصلی برای تایید و گسترش وسیله نقلیه الکتریکی باقی می‌ماند. به نظر می‌رسد هزینه باتری مانعی برای گسترش وسایل نقلیه الکتریکی است و منجر به مداخله بخش دولتی از طریق یارانه برای خرید وسایل نقلیه و حمایت از تحقیق و توسعه برای کاهش هزینه‌های باتری است.

۲-۷-۳- خودرو برقی در چین (۲۰۱۸)

از آنجا که خودروهای برقی جدید علاوه بر اینکه به عنوان وسیله حمل و نقل سازگار با محیط زیست مطرح شده‌اند، برای امنیت انرژی چین نیز بسیار مهم هستند، دولت چین تلاش‌های زیادی را برای معرفی و ارتقاء آن‌ها انجام داده است. هدف چین رسیدن به بیش از ۵۰۰،۰۰۰ خودرو برقی باتری‌دار (BEV) و خودرو هیبریدی پلاگین (PHEVs) است.

دولت مرکزی چین مبلغ یارانه‌ای را تا ۵۰،۰۰۰ یوان برای هر مصرف کننده که PHEV را خریداری می‌کند و ۶۰،۰۰۰ یوان برای یک وسیله نقلیه الکتریکی و یا باتری الکتریکی (BEV) پرداخت می‌کند.

فلزات مورد استفاده: بر اساس برآوردهای انجمن بین المللی مس، مقدار مس مورد نیاز برای ساخت یک خودرو برقی باتری‌دار (BEV) و خودرو برقی هیبریدی (HEV) به ترتیب حدود چهار برابر و دو برابر مقدار مورد نیاز برای یک خودرو با موتور احتراق داخلی (ICEV) است. انتظار می‌رود که فلزات دیگر مانند فولاد ضد زنگ پیشرفته و آلومینیوم بر روند خودرو برقی متمرکز شوند، زیرا این فلزات به طور گسترده‌ای توسط خودروسازان استفاده می‌شود تا وزن خودروهای برقی را کاهش، و عملکرد باتری را افزایش دهد.

۳-۷-۳- خودرو برقی در کره (۲۰۱۲)

این کشور "توسعه یک باتری لیتیومی پرتوان برای وسیله نقلیه هیبریدی" را از سپتامبر ۲۰۰۹ در برنامه دارد.



شکل ۳- ۲۰- هدف تولید باتری

هدف تولید باتری با کارایی بالا و قیمت پایین بوده است که از سال ۲۰۱۱ تا ۲۰۱۵ توان باتری به گونه‌ای افزایش یابد که با یک بار شارژ از ۱۴۰ کیلومتر به ۲۰۰ کیلومتر افزایش یابد. برنامه‌های تشویقی و حمایتی در کره وجود داشته است.

۳-۷-۴- خودرو برقی در آمریکا

برنامه ایالات متحده برای مسافت طی شده با یک بار شارژ (۲۰۰ مایل (۳۲۰ کیلومتر) تا سال ۲۰۲۰ و بیش از ۳۰۰ (۴۸۰) برای ۲۰۲۵).

جدول ۳- ۸ - اهداف فنی برای باتری خودرو برقی[8]

هدف			
تغییر	۲۰۲۵	۲۰۲۰	سال

۲۵٪ کاهش قیمت	۶	۸	قیمت($/kW)
۸۸٪ کاهش حجم	۳۳	۴.۰	دانسیته توان(kW/L)

مقایسه وضعیت فعلی با اهداف فنی ۲۰۲۵ برای باتری خودرو برقی[8]

هدف	شرایط جاده‌ای	R&D۲۰۱۵ هدف	R&D۲۰۲۵ هدف	vs.۲۰۲۵ On-road	vs.۲۰۲۵ ۲۰۱۵
قیمت $/kW	۱۸	۱۲	۶	67%	-50%
دانسیته توان kW/L	۶	۳.۵		67%	+843%

جدول ۳- ۹- ولتاژ بهره‌برداری باتری[8]

قابلیت تغییر مقیاس	**نامی**	**وضعیت فعلی**	**نیاز**
975 (850 – 1,100)	650 (525 – 775)	325 (200 – 450)	**ولتاژ بهره برداری باتری (Vdc)**

۱-۴-۷-۳- برنامه آمریکا برای ارتقاء خودروهای برقی در آینده

باتری‌های فلز– هوا با کارایی بالا[1]، با دانسیته انرژی بالا و کم هزینه (در دانشگاه آریزونا)

توسعه باتری لیتیم – هوا با دانسیته انرژی بسیار زیاد بر اساس الکترود لیتیم محافظت شده (شرکت پلی پلاس)

کاتد با کارایی بالا برای باتری لیتیم – هوا (دانشگاه میسوری)

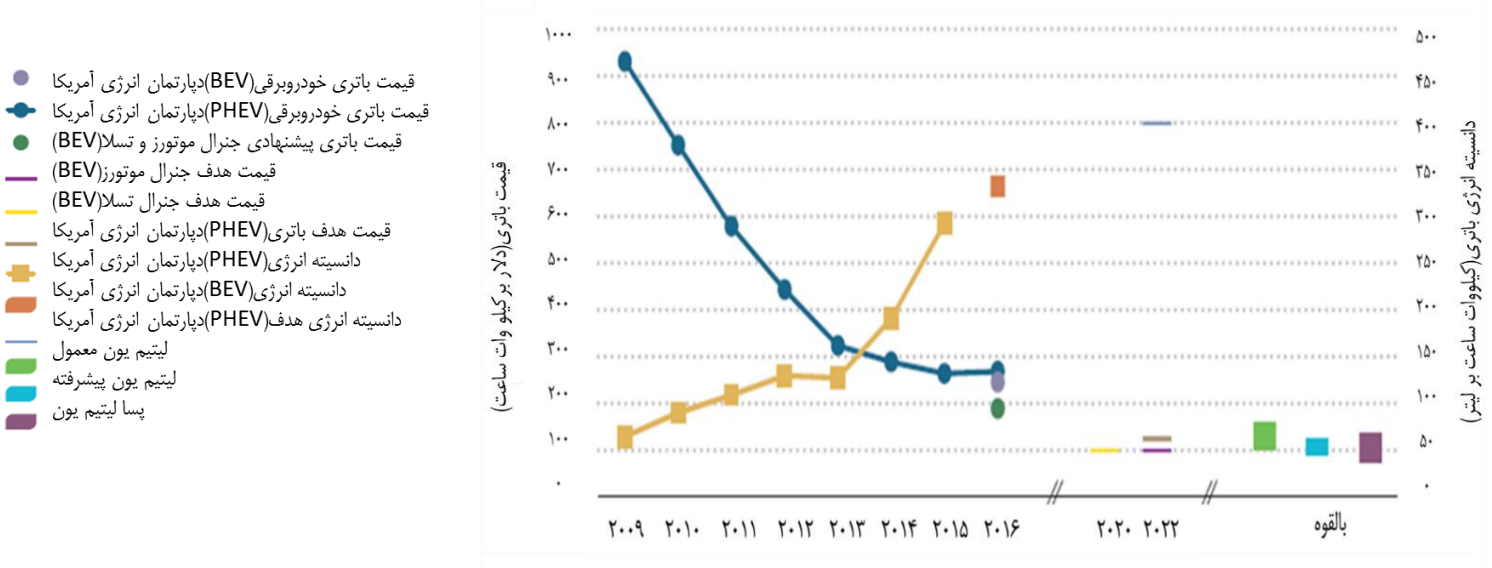
باتری روی – هوای جریانی[2] (شرکت رولت)[3]

باتری آهن – هوای قابل شارژ در مقیاس شبکه[4] و با هزینه کم (دانشگاه کالیفرنیای جنوبی)

[1]sustainable
[2] Zinc flow air battery
[3] Revolt
[4] Grid scale

۳-۷-۵- چشم انداز بهبود فناوری باتری خودرو برقی [۹]

از سال ۲۰۰۹، هزینه‌های باتری به میزان تقریبا یک چهارم کاهش یافته و تراکم انرژی باتری افزایش شش برابر داشته است. شکل ۳-۲۱ قیمت و دانسیته انرژی باتری خودرو برقی در آمریکا را در سال‌های مختلف نشان می‌دهد.



شکل ۳- ۲۱- قیمت و دانسیته انرژی باتری خودرو برقی در آمریکا[9]

نکته کلیدی:

روند دانسیته انرژی باتری و هزینه آن در دهه گذشته، نشانه‌های بهبود را دارد.

امکان دستیابی به اهداف تعیین شده توسط خودروسازان و وزارت انرژی ایالات متحده (US DOE) برای ۲۰۲۰ و ۲۰۲۲ و نزدیک شدن به کم‌ترین هزینه برای فن‌آوری‌های مختلف وجود دارد.

۳-۷-۶- خودرو برقی باتری‌دار و خودرو برقی هیبریدی پلاگین ایرلند تا سال ۲۰۵۰

بر اساس کاهش هزینه‌های پیش بینی شده برای تولید باتری، خودروهای برقی ممکن است در آینده از ۲۰۱۹ تا ۲۰۲۵ هزینه مالکیت ۱۰ ساله ارزان‌تری نسبت به هزینه مالکیت خودروهای متداول با سوخت فسیلی داشته باشند و بدون مشوق‌های مالی ارائه شوند.

تکنولوژی باتری لیتیوم یون و لیتیم پلیمر تجاری با تراکم انرژی ۱۰۰ تا ۱۵۰ وات/کیلوگرم با پیشرفت فناوری طراحی، منجر به کاهش هزینه‌های باتری خواهند شد. (۲۰۲۰-۲۰۱۰)

الکترودهای دارای ظرفیت تشدید جریان و با استفاده از الکترولیت پیشرفته با تراکم انرژی ۱۵۰ تا ۳۰۰ وات/کیلوگرم می‌تواند برای کاربردهای تکمیلی نیز مناسب باشد. (۲۰۱۵-۲۰۲۵)

نانوفیبرهای لیتیوم/کربن پیشرفته، اجازه می‌دهد که تراکم انرژی ۳۰۰ تا ۶۰۰ وات/کیلوگرم برسد. (۲۰۳۵-۲۰۲۵)

از طریق باتری‌های بهتر و نرخ تخلیه بالاتر با کمک احتمالی خازن‌ها در خودرو برقی عملیات اتصال به شبکه فعال می‌شود. (۲۰۵۰-۲۰۳۰)

۷-۷-۳- حمل و نقل برقی در آلمان، چشم انداز ۲۰۲۰ و فراتر از آن [۱۰]

سیستم باتری از سلول‌ها تشکیل شده است، سیستم مدیریت باتری (از جمله نظارت بر سلول)، سیستم‌های الکتریکی و سنسور، عناصر ایمنی، محیطی خنک کننده، شیمی سلول‌های باتری و طراحی سلول عامل تعیین کننده در عملکرد و کارایی سیستم می‌باشند.

طراحی سلول‌ها و سیستم‌های باتری نسل اول و دوم باعث شده که سطح چگالی انرژی با میزان تقریبی ۱۶۰ وات در هر لیتر در حدود ۳۰۰ یورو برای هر کیلووات ساعت تولید شود.

۱-۷-۷-۳- فناوری باتری لیتیوم یون

در حال حاضر، صنعت خودرو تقریبا به طور انحصاری از باتری‌های نیکل متال هیدرید (NiMH) برای کاربردهای با کارایی بالا (ترکیبی) استفاده می‌کند. با این حال باتری‌های لیتیوم یون دارای چندین برابر چگالی انرژی نسبت به باتری‌های NiMH در سطح سیستم هستند. به همین علت، فناوری باتری لیتیوم یون به طور گسترده‌ای به عنوان فناوری باتری با بهترین چشم انداز دراز مدت به علت کم بودن وزن، چگالی انرژی بالا و دوام طولانی به عنوان فناوری باتری شناخته شده است. به همین دلیل، صنعت متعهد به تکامل فناوری لیتیوم یون شده است تا تعدادی از راهبردهای حمل و نقل وسایل نقلیه الکتریکی (به عنوان مثال BEV، REEV) برای افزایش رانندگی در حالت تمام الکتریکی ایجاد شود. مقدار انرژی ذخیره شده نیازمند آن است که سلول‌های الکتریکی و باتری‌ها از شرایط ایمنی سختگیرانه برخوردار باشند.

چشم انداز رشد فوق العاده‌ای در بازار یون لیتیوم وجود دارد، زیرا تولید کنندگان و تامین کنندگان باتری تلاش می‌کنند راه‌حل‌های باتری ارزان، قابل اعتماد و بی خطر را با تراکم انرژی افزایش دهند که وسایل ترکیبی و الکتریکی را یک گزینه مصرف کننده واقعی می‌دانند. با این وجود، فعالیت R&D شدید برای تکامل فن‌آوری لیتیوم و توسعه فن‌آوری‌های پس از لیتیم یون مورد نیاز است. ضروری است که درک مکانیسم‌های زنجیره باتری و تولید مواد، سلول‌ها و اجزای باتری برای باتری‌های لیتیوم یون‌های نسل اول و دوم در کوتاه مدت و میان مدت برقرار شود.

باتری‌های مورد قبول در آلمان:

- باتری لیتیم یون
- التراخازن

آلمان تا سال ۲۰۲۵ به عنوان بخشی از توسعه تکنولوژیکی نسل سوم و چهارم باتری، تراکم حجمی باتری را ۲۸۰ تا ۳۰۰ وات/لیتر هدف‌گذاری کرده است. هزینه‌های سیستم باتری به کمتر از ۲۰۰ یورو برای هر کیلووات ساعت ادامه خواهد یافت (به لطف تعداد تولید بیشتر و شیمی سلولی اقتصادی)، و باعث افزایش تقاضای بازار و افزایش میزان پذیرش بازار خواهد شد.

۸-۷-۳- نقشه راه استفاده از خودرو برقی در سنگاپور

در مدل‌های متداول خودروهای برقی اکثا از باتری‌های لیتیمی استفاده بعمل آمده است و مسافتی که با هر بار شارژ می‌توان با این خودروها طی نمود از ۱۳۱ کیلومتر تا ۱۹۹ کیلومتر است. ظرفیت این باتری‌ها از ۱۸ تا ۲۸ کیلووات ساعت متغیر است.

جدول ۳- ۱۰- پارامترهای عملکرد کلیدی برای مدل‌های متداول خودرو برقی [۱۱]

مدل	مسافت (km)	قیمت ($)	نوع باتری	ظرفیت (kWh)	زمان شارژ
	۱۹۹	۴۹۰۰۰	لیتیم یون	۲۸	230V/13A: 9 - 21h 400V/16A: 4.4h
خودرو برقی کیا سئول (هیوندا-	۱۴۹	۳۳۷۰۰	لیتیم یون پلیمر	۲۷	6.6kW: 5h

کیا)					
i3 (BMW)	۱۸۹	۴۶۷۰۰	لیتیم یون	۱۸/۸	2.4kW/10A: 7h for 80% SOC 7.4kW/32A: 3h for 80% SOC 50kW/125A: 0.5h for 80% SOC
Leaf (Nissan)	۱۳۵	۲۹۰۱۰	لیتیم یون	۲۴	6.6kW: 5h
Chevrolet Spark, EV (GM)	۱۳۱	۲۵۹۹۵	لیتیم یون	۱۸/۴	120V: 20h 240V: 7h SAE Combo DC Fast Charger: 50 minutes for 0-80% SOC
Fit EV (Honda)	۱۳۱	۳۶۶۲۵	لیتیم یون	۲۰	120V: 15h 240V: 3h
ZOE (Renault)	۱۹۴	۲۰۴۸۲	لیتیم یون	۲۲	3kW /16A: 6 to 9h 22kW/32A:1hfor80% SOC 43kW/63A:0.5hfor80% SOC

بر این اساس در کشور سنگاپور موضوع پژوهش اصلی، یافتن راه حل برای ذخیره‌سازی انرژی خودرو برقی به عنوان اولویت شناخته شده و در زمینه‌های پژوهش فرعی مرتبط با "مواد جدید مورد استفاده در باتری‌ها" و "باتری‌های لیتیمی پیشرفته" برنامه‌ریزی شده است.

۹-۷-۳- نقشه راه باتری خودرو برقی مربوط به کشور بلژیک [۱۲]

نیاز به افزایش طول عمر و چگالی انرژی/توان باتری خودرو برقی همیشه رو به فزونی است، تا طول مدت استفاده از باتری را افزایش دهد. از این رو برنامه‌ریزی برای تحقیق و توسعه مداوم برای بهبود باتری‌های مورد استفاده در خودرو برقی از جمله باتری لیتیوم یونی ضرورت دارد. در نمودار شکل ۳-۲۳ روند مورد انتظار پیش رو در طول دهه‌های آینده برای دنیا و کشور بلژیک ترسیم شده است، در این نمای کلی انواع باتری‌های لیتیومی در نظر گرفته شده است. انواع دیگر مانند سدیم یون، هوا روی، لیتیم هوا هنوز در فاز بسیار اولیه هستند که در برنامه‌ریزی‌های کوتاه مدت حذف می‌شوند ولی در آینده دورتر، از دیدگاه تحقیق و توسعه ارزشمند هستند.



شکل ۳- ۲۲- نقشه راه باتری‌های مبتنی بر لیتیوم یون در حال حاضر تا بیش از ۱۰ سال [۱۲]

دنیای باتری‌ها بسیار سریع در حال تغییر است، لذا پیش بینی شایسته‌ترین مواد باتری بسیار سخت است. اگر یک روش شیمیایی جدید و یا یک ترکیب جدید در علوم مواد با خواص برتر کشف شود، باید آن‌را جایگزین روش‌ها و مواد فعلی نمود. با این حال برخی از روندها در فرایند پیشرفت باتری‌های لیتیومی قابل مشاهده است.

اولین روند روشن، استفاده از الکترودهای مختلف است که دارای ظرفیت نظری قابل توجهی مانند گوگرد [۱] 1672 mAh/g، سیلیکون 4200[2] mAh/g و فلز لیتیوم 3860[۳] mAh/g است و تراکم انرژی سلول را افزایش می‌دهد.

روند دوم این است که محدودیت ولتاژ یک سلول را به حدود ۵ ولت افزایش دهد، زیرا مقدار ولتاژ هماهنگ شده مورد استفاده در زمینه الکترونیک است. این روند همچنین، تراکم انرژی سلول را افزایش می‌دهد که می‌تواند به صورت یکپارچه از ظرفیت واقعی و ولتاژ واقعی نمایش داده شود.

روند سوم این است که به الکترولیت‌های حالت جامد بپردازیم زیرا استفاده از الکترولیت‌های مایع می‌تواند باعث نگرانی از مشکلات ایمنی شود. به طور کلی می‌توان نتیجه گرفت که در آینده نزدیک چگالی انرژی و ایمنی دو موضوع کلیدی خواهند بود، که در طی دهه آینده می‌تواند بهبود قابل ملاحظه‌ای یابد.

---

[1] Preefer, M. *Lithium-Sulfur Batteries and Discharge Products from Cycling Why Li-S Batteries?* Technical Report; Materials Research Laboratory at UCSB: Santa Barbara, CA, USA, 2016.

[2] Su, X.; Wu, Q.; Li, J.; Xiao, X.; Lott, A.; Lu, W.; Sheldon, B.W.; Wu, J. Silicon-Based Nanomaterials for Lithium-Ion Batteries: A Review. *Adv. Energy Mater.* **2013**, *4*, 1–23.

[3] Xu, W.; Wang, J.; Ding, F.; Chen, X.; Nasybulin, E.; Zhang, Y.; Zhang, J.G. Lithium metal anodes for rechargeable batteries. *Energy Environ. Sci.* **2014**, *7*, 513–537.

پیش‌بینی نزدیک به واقعیت برای بیش از یک دهه، بسیار دشوار است، اما پس از لیتیوم، منیزیم ارزش بررسی را دارد. این ماده دارای دانسیته انرژی بالاتری بوده و به میزان زیادی در دسترس است، اما مطالعات در این زمینه هنوز در فاز بسیار اولیه است.

در این تحقیق، برآورد قیمت تا سال ۲۰۳۰ انجام شده است. بهترین شیمی باتری در سال ۲۰۱۵، (6:2:2) NMC به عنوان کاتد و گرافیت به عنوان آند به دلیل دانسیته انرژی بالا و طول عمر مناسب آن‌ها انتخاب شده‌اند. می‌توان در بسیاری از مطالعات تحقیقاتی در خصوص سلول‌ها نقش سیلیکون را نیز مشاهده نمود. بنابراین در سال ۲۰۳۰ آلیاژهای سیلیکون به عنوان آند و (6:2:2) NMC به عنوان کاتد برای به حداکثر رساندن مقدار انرژی باتری به احتمال زیاد در بازار خواهد بود. یک مرور کلی از دو شیمی باتری و دانسیته انرژی بسته آن نشان داده شده است. این دو نوع باتری به عنوان باتری I و باتری II اشاره می‌شود.

جدول ۳- ۱۱- مواد کاتدی، دانسیته انرژی، قیمت و طول عمر مواد کاتدی [۱۲]

مواد کاتدی	دانسیته انرژی	هزینه	طول عمر
$LiCoO_2$ (LCO)متوسط	546		متوسط
$LiMn_2O_4$ (LMO)کم	410–492		کم
$LiNiMnCoO_2$ (NMC)زیاد	610–650		زیاد
$LiFePO_4$ (LFP)متوسط	518–587		زیاد
$LiNiCoAlO_2$ (NCA)زیاد	680–760		متوسط

جدول ۳- ۱۲- بررسی اجمالی از مواد شیمیایی سلولی که برای محاسبه هزینه استفاده می‌شود. باتری اول به عنوان باتری NMC و باتری دوم لیتیوم یون بر پایه سیلیکون است. [۱۲]

	باتری اول	باتری دوم
الکترود مثبت	NMC (6:2:2)	NMC (6:2:2)
الکترود منفی	155 Wh/kgگرافیت	
دانسیته انرژی بسته		

باتری دوم	باتری اول	
NMC (6:2:2)	NMC (6:2:2)	الکترود مثبت
205 Wh/kgآلیاژ سیلیکون	155 Wh/kgگرافیت	الکترود منفی
		دانسیته انرژی بسته

۱۰-۷-۳- برنامه ژاپن برای ارتقاء خودروهای برقی در آینده

یک برنامه طولانی مدت تا سال ۲۰۵۰ تحت سرپرستی NEDO[1] منتشر شده است که در این برنامه باتری‌های پایه لیتیم و جدید وجود دارد. در این برنامه نقش باتری‌های فلز- هوا به عنوان یکی از پایه های تولید انرژی با هزینه کم و دانسیته انرژی بالا به خوبی مشخص است.

در مورد خودروهای جدید الکتریکی در ژاپن ۴۳ پروژه تعریف شده است. هدف نهایی این پروژه ها رسیدن به دانسیته انرژی ۵۰۰ وات ساعت بر کیلوگرم و هزینه ۴۵ دلار به ازای هرکیلووات ساعت در سال ۲۰۳۰ است. ۲۷ مورد از این پروژه ها مربوط به منبع تولید توان آن می‌باشد. در این ۲۷ پروژه ۱۸ مورد مربوط به باتری لیتیم پیشرفته، ۳ مورد مربوط به فلز- هوا، ۲ مورد مربوط به لیتیم – گوگرد، ۲ مورد مربوط به کاتیون‌های چند ظرفیتی و ۲ مورد مربوط به تکنیک‌های جدید تجزیه‌ای می‌باشد.

۸-۳- باتری لیتیوم یون ۲۰۱۵، برنامه ریزی وزارت فدرال آموزش و پژوهش

یک کنسرسیوم از شرکت‌هایی از جملهBASF، BOSCH، EVONIK، LiTec و Volkswagen تعهد کرده‌اند که در سال‌های آینده به میزان۳۶۰ میلیون یورو بر روی باتری‌های لیتیوم یون سرمایه‌گذاری نمایند. سهم وزارت فدرال آموزش و پژوهش نیز در این زمینه مبلغ ۶۰ میلیون یورو است.

۱-۸-۳- باتری‌ها

پروژه تحقیق و توسعه باتری، به نام لایت هاوس (lighthouse) برای کمک به آلمان جهت رسیدن به هدف رهبری جهانی در فن‌آوری سلول و باتری با قابلیت تولید داخلی تا سال ۲۰۲۰ راه اندازی شده است. هدف آلمان رسیدن به چگالی حجمی باتری ۲۸۰ تا ۳۰۰ وات ساعت بر لیتر تا سال ۲۰۲۵ به عنوان بخشی از توسعه فناوری نسل سوم و چهارم باتری است.

اهداف مهم زیر را در چارچوب فعالیت فعلی تحقیق و توسعه باتری خودرو برقی شناسایی کرده است:

- تعداد چرخه شارژ: حداقل ۱۲۰۰ چرخه اطمینان داده شود.
- ظرفیت شارژ سریع: ۸۰ درصد شارژ در کمتر از ۱۵ دقیقه قابل دستیابی است.

[1] New energy and industrial technology development organization

- مواد باتری باید اجازه دهد که اسپینل‌های با ولتاژ بالا در آینده مستقر شوند.
- شیمی سلول "هوشمند": فعالیت‌های تحقیق و توسعه در زمینه الکترولیت‌های افزودنی، جامدات یونی و الکترولیت های جامد هدایت می‌شود.
- کاتد: توسعه مواد با درجه حرارت کم با سطوح چگالی انرژی و عملکرد بالا.
- حفظ ایمنی و قابلیت اطمینان سیستم‌های باتری به استانداردهای صنعتی بالا با وجود کاهش قیمت‌ها و افزایش سطح چگالی انرژی باتری‌های لیتیوم یون.
- اکتشاف، بهینه‌سازی و حفاظت از فرایندهای بازیافت برای فرایندهای سلولی و باتری جدید.
- استاندارد سازی ماژول‌های سلولی که به عنوان بخشی از فعالیت‌های انجمن صنایع خودروسازی آلمان دنبال می‌شود.

۲-۸-۳- باتری سرچشمه فناوری (نمونه‌های انتخابی)

مواد، توسعه و فناوری سلول

پروژه: KoMBat ،E-Lab ،Lithium Metall ،ALPHA-Lion

توسعه سلول‌های نسل سوم و چهارم با استفاده از مواد با انرژی بالا.

تسهیلات آزمایش برای تهیه پودر فلز لیتیوم پوشش داده شده برای پردازش مطلوب.

آزمایشگاه الکترولیتی، سنتز با کارایی بالا (الکترولیت تجزیه کننده خودکار)

مواد کربنی برای باتری‌های لیتیوم نسل بعدی. مقیاس آزمایشگاهی

طراحی نوآورانه باتری

پروژه: KPPP ،Lithium / Luft-Bat. ،FutureBat

تحقیق در سیستم‌های باتری نسل بعدی (سلول‌های کیفی استاندارد)

توسعه و تولید باتری لیتیوم هوا قابل حمل تجاری.

تولید محصولات مقرون به صرفه، فرآیند و تولید دستگاه‌های ذخیره انرژی لیتیومی.

ایمنی و آزمایش

پروژه: SafeBatt، BALSAC، K-LIB

اقدامات غیر فعال/ فعال برای ایجاد سیستم‌های باتری سالم با عمر طولانی

آزمایشگاه باتری با امکانات آزمایشی برای توسعه و تولید دستگاه‌های ذخیره‌سازی انرژی،

تحقیق در روش‌های آزمون و استانداردهای ارزیابی ایمنی.

آنالیز و مدل سازی عمر باتری

پروژه: Balanse، E-DriveBattery، Lastkollektive

مکانیزم‌های پیری در باتری‌های لیتیوم یون

طرح‌های هوشمند کنترل و اتصال برای سیستم‌های باتری خودرو برقی

ایجاد یک سند مشخصات صنعتی در طول عمر باتری وسایل نقلیه الکتریکی.

فن‌آوری‌های فرآیند تولید انبوه

پروژه: صلاحیت E، PEB، SSLBa، π-Lion، K-LIB، NP-LIB، CHaR-Li، iFaaB

برپایی "کارخانه تحقیق" برای دستگاه‌های ذخیره انرژی الکتریکی آینده و سیستم‌های درایو

مرکز توسعه فناوری تولید باتری

توسعه فرآیند هسته برای تولید سلول

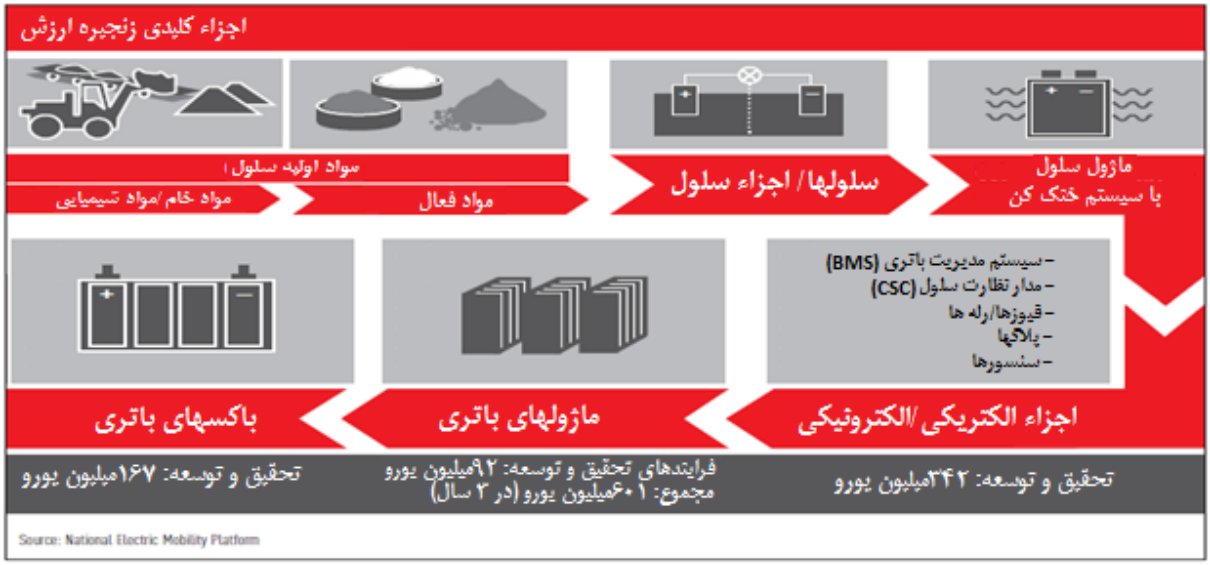
پروسه‌ها و امکانات برای تولید باتری‌های حالت جامد با ضخامت ترمودینامیکی پایدار

تولید سلول‌های یون لیتیوم با کارایی بالا

تسهیلات برای تحقیق و بهینه‌سازی تولید سلول‌های یون لیتیوم

امکانات تست برای مواد باتری با کارایی بالا

مفهوم تولید یکپارچه برای باتری‌های پیشرفته خودرو.



شکل ۳- ۲۳- اجزاء کلیدی زنجیره ارزش [۱۰]

اقدامات فعال و غیرفعال برای باتری‌های لیتیوم یون بی ضرر

ژوئن ۲۰۱۲ تا پایان ماه ژوئن ۲۰۱۵.

این پروژه قصد داشته است با استفاده از تحقیق، توسعه و معرفی مواد جدید، باتری‌های مدل و سنسورهای لیتیوم یون را قابل اعتماد سازد. به طور موازی، به اصطلاح "گذرنامه باتری دیجیتال" از طریق جمع‌آوری، ارزیابی و مستند سازی پارامترهای باتری بحرانی ایجاد می‌شود.

در حال حاضر در آلمان برنامه تولید برای نسل دوم سلول‌های لیتیوم یون (لیتونی) وجود دارد. گسترش بیشتر تولید این سلول‌ها در آلمان، از دیدگاه فعلی، از لحاظ اقتصادی امکان پذیر نیست. لازم است تا تولید سلول و مواد مورد استفاده، گسترش قابل توجهی یابند، زیرا تعداد خودروهای الکتریکی در مرحله شروع بازار افزایش می‌یابد. تولید داخلی سلول‌های نسل سوم و چهارم، به عنوان یک محل کسب و کار، به نفع آلمان است. تلاش‌های تحقیق و توسعه در زمینه مواد، سلول‌های باتری و سیستم‌ها و همچنین بهینه‌سازی فرایندهای مربوط به تولید آن‌ها باید در جهت تحقق این امر صورت گیرد.

۳-۹- نقشه راه آژانس بین المللی انرژی در خصوص خودروهای برقی و پلاگین تدوین شده در 2011

جدول ۳- ۱۳- ویژگی‌های شیمیایی باتری لیتیوم یون

لیتیم یون فسفات ($LiFePO_4$)	لیتیم پلیمر ($LiMn_2O_4$)	نیکل منگنز کبالت (NMC)	نیکل، کبالت و آلومینیم (NCA)	اکسید آلومینیم کبالت ($LiCoO_2$)	
ضعیف	متوسط	خوب	خوب	خوب	انرژی LuیWh/kg
متوسط	خوب	خوب	خوب	خوب	توان
متوسط	خوب	خوب	خوب	خوب	دمای پایین
ضعیف بالاتر از 30°C	ضعیف	خوب	خیلی خوب (اگر در ولتاژ ۴ شارژ شود)	متوسط	طول عمر تقویمی
متوسط	متوسط	خوب	خیلی خوب (اگر در ولتاژ ۴ شارژ شود(	متوسط	طول عمر چرخه ای
خوب	متوسط	ضعیف	ضعیف	ضعیف	ایمنی*
بالا	بالا	بالا	بالا	بالاتر	هزینهkWh/
بالا	بالا	بالا	بالا	بالا	بلوغ

۳-۱۰- نقشه راه‌های فناوری باتری خورو برقی در دنیا [۱۳]

شاخص‌های کلیدی عملکرد باتری‌ها چگالی انرژی، هزینه، چگالی توان و دوام هستند.

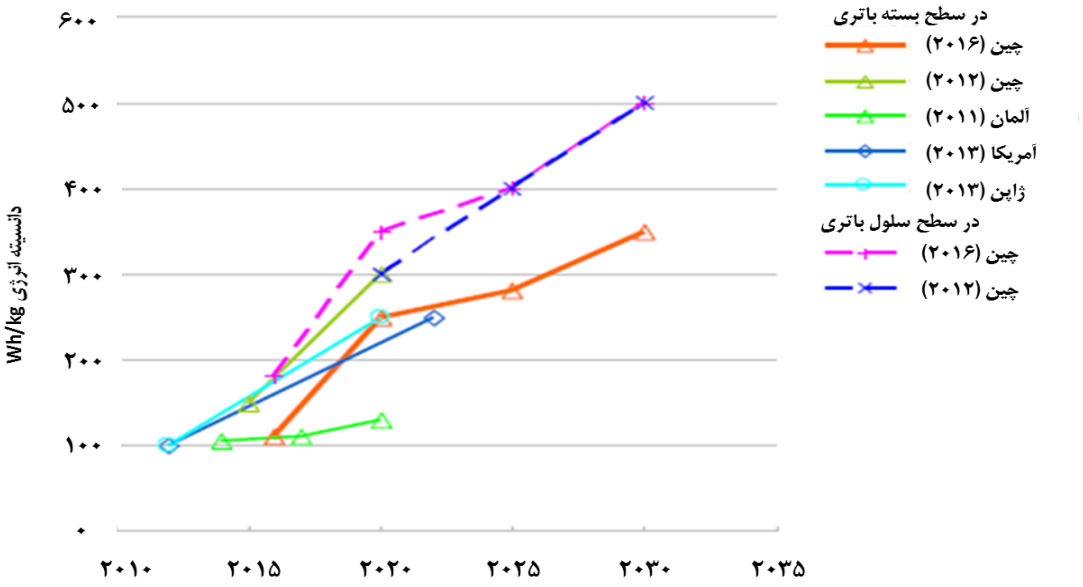
این شاخص‌ها در نقشه راه فناوری جدید چین پوشش داده شده است. انتظار بر این است که خودرو برقی با ظرفیت مسافت ۴۰۰ کیلومتر با یک بار شارژ، در سال ۲۰۲۰ هزینه مشابهی با هزینه مالکیت و نگهداری در کل چرخه عمر خودروی متعارف با موتور احتراق داخلی داشته باشد.

در تحول شیمیایی باتری، به منظور بهبود تکنولوژی آن، پیش بینی می‌شود که شیمی باتری لیتیوم یون فعلی به ماهیت شیمیایی فراتر از لیتیوم مانند باتری لیتیوم سولفور و نهایتا باتری روی–هوا برود.

۱-۱۰-۳- تراکم انرژی

همانگونه که قبلا نیز اشاره شده است، تراکم انرژی (Wh/L یا Wh/kg) به مقدار انرژی ذخیره شده در واحد حجم یا جرم اشاره دارد. با توجه به مقایسه‌پذیری کشورهای مختلف، در این مطالعه دو سطح تراکم انرژی مورد بررسی قرار می‌گیرند که عبارتند از تراکم انرژی در سطح بسته و تراکم انرژی در سطح سلولی. تراکم انرژی سطح بسته به تراکم انرژی بسته باتری اشاره دارد، در حالی که تراکم انرژی در سطح سلول، تراکم انرژی سلول باتری است. شکل ۱ اهداف چگالی انرژی از نقشه راه کشورهای چین، آلمان، آمریکا و ژاپن را نشان می‌دهد.

در حال حاضر در چین، چگالی انرژی در سطح بسته در حدود ۱۱۰ وات بر کیلوگرم است و تراکم انرژی سلولی حدود ۱۸۰ وات بر کیلوگرم است.



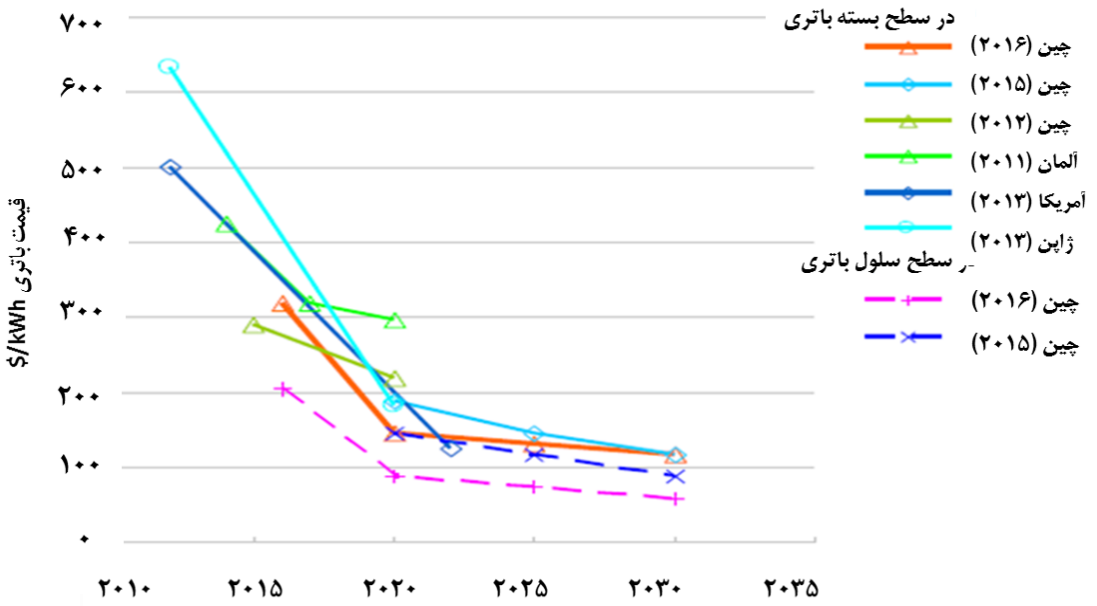
شکل ۳- ۲٤- چگالی انرژی هدف از نقشه‌های جهانی فناوری [۱۳]

با توجه به نقشه راه چینی جدید، چگالی انرژی سطح بسته از ۱۱۰ وات بر کیلوگرم به ترتیب به ۲۵۰ وات بر کیلوگرم، ۲۸۰ وات بر کیلوگرم و ۳۵۰ وات بر کیلوگرم در سال‌های ۲۰۲۰، ۲۰۲۵ و ۲۰۳۰ افزایش خواهد یافت. فرض بر این است که این تغییرات با بهبود شیمی باتری در حال حاضر و در کوتاه مدت و همچنین استفاده از مواد شیمیایی باتری نسل بعدی در دراز مدت صورت پذیرد. در مقایسه با اهداف پیشین چین برای سال ۲۰۲۵، اهداف جدید در کوتاه مدت با افزایش میزان

چگالی انرژی در سال ۲۰۲۰ از ۳۰۰ وات ساعت بر کیلوگرم به ۳۵۰ وات ساعت بر کیلوگرم افزایش می‌یابد. به عنوان یک مقایسه، هدف ژاپن برای ۲۰۲۰ و هدف ایالات متحده برای ۲۰۲۲ هر دو ۲۵۰ وات بر کیلوگرم است، که منطبق با هدف چین در سال ۲۰۲۰ است. هدف آلمان به طور قابل توجهی پایین‌تر از سایر کشورها است. کشورهای عمده‌ای در طرح‌ریزی چگالی انرژی باتری به طور کلی توافق دارند. گرچه اهداف چین برای چگالی انرژی باتری بسیار جاه‌طلبانه هستند، ولی باقی کشورها با اهداف آمریکا و ژاپن در همان دوره هماهنگ هستند.

۲-۱۰-۳- هزینه

همانند تراکم انرژی، هزینه باتری نیز به ترتیب از دیدگاه سطح بسته و سطح سلولی محاسبه می‌شود. شکل ۲ اهداف هزینه باتری را از نقشه‌های تکنولوژی کشورهای مطرح نشان می‌دهد. باز هم، اهداف جدید چین در کاهش هزینه باتری خیلی بیشتر از اهداف پیشین آن‌ها است. در وضعیت فعلی، هزینه بسته باتری در چین حدود ۳۱۹ دلار در کیلووات ساعت است در حالیکه هزینه سلول در حدود ۲۰۳ دلار در هر کیلووات ساعت است. با توجه به نقشه راه فناوری جدید، هزینه بسته به ترتیب به ۱۴۵ دلار به ازای هر کیلووات ساعت، ۱۳۱ دلار به ازای هر کیلو وات و ۱۱۶ دلار به ازای هر کیلووات ساعت به ترتیب در ۲۰۲۰، ۲۰۲۵ و ۲۰۳۰ کاهش خواهد یافت. می‌توان دریافت که کاهش هزینه باتری تا سال ۲۰۲۰ کاملا قابل توجه است. این بهبود با تکیه بر بهینه‌سازی سیستم تولید فعلی و معرفی شیمی نسل بعدی باتری جامه عمل خواهد پوشید. از سوی دیگر، هزینه پیش‌بینی شده برای پس از سال ۲۰۲۰ بسیار مقرون به صرفه است. به عنوان مقایسه، هدف ژاپن در میزان مصرف باتری در سال ۲۰۲۰ به ۱۸۱ دلار در kWh و هدف ایالات متحده در سال ۲۰۲۲ به ۱۲۵ دلار در kWh است. این اهداف عموما با اهداف چین مطابقت دارند. اهداف آلمان کاملا محافظه کارانه هستند، که بیشتر به دلیل این واقعیت است که نقشه راه فناوری آلمان در اوایل سال ۲۰۱۱ بنا نهاده شد، زمانی که تکنولوژی باتری با سرعت‌های بسیار زیاد مانند امروز پیشرفت نکرده بود.



شکل ۳- ۲۵- اهداف هزینه باتری از نقشه‌های راهبردی کشورهای جهان [۱۳]

۳-۱۰-۳- تراکم توان

چگالی توان (W/L یا W/kg) به مقدار توان در واحد حجم یا جرم اشاره دارد. در این مطالعه تنها تراکم توان بر حسب جرم (W/kg) به دلیل دسترسی به داده‌ها در نظر گرفته می‌شود. در نقشه راه فناوری جدید چین، شاخص تراکم توان برای اولین بار پوشش داده شده است. چگالی توان باتری تا سال ۲۰۲۰ از میزان کنونی ۴۲۰ به ۷۰۰ وات بر کیلوگرم افزایش خواهد یافت و بعد از آن ثابت خواهد شد. به عنوان یک مقایسه، هدف ایالات متحده ۲۰۰۰ وات بر کیلوگرم تا سال ۲۰۲۲ است و هدف ژاپن تا سال ۲۰۲۰ ۱۵۰۰ وات بر کیلوگرم است. در مقایسه با این اهداف، اهداف چین کمی محافظه‌کارانه هستند.

۴-۱۰-۳- طول عمر

با توجه به چالش جدید فناوری چین، عمر باتری‌های خودرو برقی به ترتیب به ۱۰ سال، ۱۲ سال و ۱۵ سال در ۲۰۲۰، ۲۰۲۵ و ۲۰۳۰ خواهد رسید. یک نکته کلی از این طرح این است که افزایش طول عمر باتری باعث ایجاد دوام در طول عمر خودروهای برقی می‌شود. اهداف کشورهای دیگر به طور کلی مشابه هستند. به عنوان مثال، تحت نقشه راه فناوری ژاپن، عمر باتری‌های کششی تا سال ۲۰۲۰ به ۱۰ تا ۱۵ سال خواهد رسید.

۵-۱۰-۳- باتری‌های خودروبرقی پلاگین هیبرید

چگالی توان مهم‌ترین شاخص برای باتری‌هایی است که به عنوان یک واحد توان کمکی در PHEV بکار می‌روند. با توجه به چالش جدید فناوری چین، چگالی توان بسته باتری‌های PHEV از اکنون تا سال ۲۰۲۰ تا ۸۰۰ وات بر کیلوگرم و تا سال ۲۰۲۵ به ۱۰۰۰ وات بر کیلوگرم خواهد رسید. این اهداف در مقایسه با سایر کشورها بسیار محافظه‌کارانه است. به عنوان مثال، در نقشه راه فناوری ژاپن، چگالی توان تا سال ۲۰۲۰ به ۲۵۰۰ وات بر کیلوگرم خواهد رسید. سایر عوامل کلیدی باتری‌های PHEV عبارتند از چگالی انرژی و هزینه. با توجه به نقشه راه فناوری، چگالی انرژی در سطح بسته باتری‌های PHEV در حال حاضر ۷۰ وات بر کیلوگرم است و پیش بینی می‌شود که تا ۱۲۰ وات بر کیلوگرم در سال ۲۰۲۰ و ۱۵۰ وات بر کیلوگرم در سال ۲۰۲۵ افزایش یابد. تخمین زده می‌شود که هزینه بسته‌بندی باتری‌های PHEV از سطح کنونی ۴۳۵ دلار به ازای هر کیلووات ساعت به ۲۱۸ دلار به ازای هر کیلووات ساعت در سال ۲۰۲۰ و ۱۸۸ دلار برای kWh در سال ۲۰۲۵ کاهش یابد.

۶-۱۰-۳- تاثیرات احتمالی

اگر اهداف مشخص شده در نقشه راه فناوری جدید چین محقق شود، انتظار می‌رود که خودرو برقی با ظرفیت مسافت ۴۰۰ کیلومتر برای هر بار شارژ در سال ۲۰۲۰ هزینه‌های مالکیت و نگهداری در چرخه عمر مشابهی را با خودروهای متداول با سوخت فسیلی به دست آورد (SAE-China، 2016). در چنین شرایطی، رقابت بازار خودروهای برقی به طور قابل ملاحظه‌ای افزایش خواهد یافت. اگر چین به اهداف بلند پروازانه خود برسد، میزان نفوذ فروش خودروهای برقی تا سال ۲۰۲۰ (حدود ۲ میلیون)، ۱۵٪ در سال ۲۰۲۵ (حدود ۵ میلیون) و ۴۰٪ در سال ۲۰۳۰ (حدود ۱۵ میلیون) (SAE-China، 2016) تحقق خواهد یافت. این موضوع پیامدهای بسیار گسترده‌ای برای جهان خواهد داشت.

جدول ۳- ۱٤- درجه‌بندی الکتریکی شدن خودرو [14]

خودرو برقی	موتور احتراقی	موتور الکتریکی	مشخصات باتری
متداول	100kW- Full transient	موتور استارتر	12V,3kW,1kWh,
نیمه هیبرید	90-100kW- Full transient	kW۳-۱۳ Torque boost/re-gen	12-48V,5-15kW, 1kWh
هیبرید کامل	60-80kW-Less transient	۲۰-۴۰kW خودرو برقی محدود	100-300V,20-40kW,2kWh

پلاگین هیبرید	40-60kW-Less transient	۶۰-۴۰kW خودرو برقی قویتر	300-600V,40-60kW, 5-20kWh
خودرو برقی با محدوده وسیع	30-50kW-No transient	۱۰۰kW خودرو برقی کامل	300-600V,100kW,10-30kWh
خودرو برقی	بدون موتور	۱۰۰kW خودرو برقی کامل	300-600V,100kW,20-60kWh

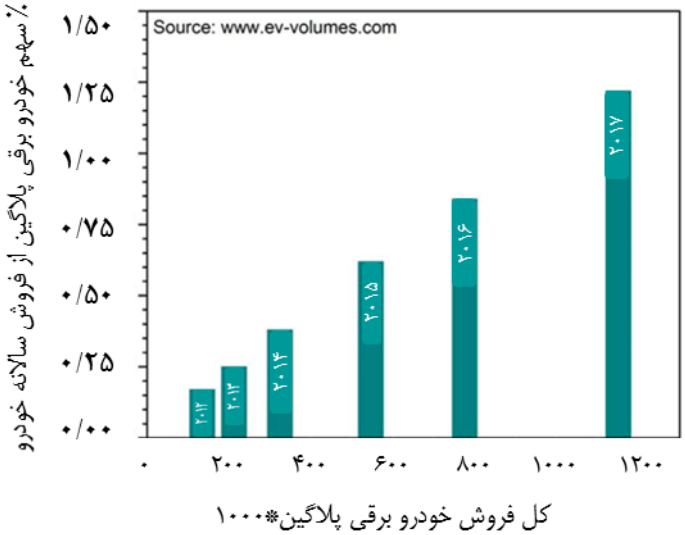
۱۱-۳- چشم انداز تحقیق و توسعه باتری خودرو در چین، آلمان، ژاپن و ایالات متحده آمریکا [15]

در اکتبر ۲۰۱۷ خلاصه فعالیت‌های تحقیق و توسعه باتری‌های فعلی و آینده در کشورهای چین، آلمان، ژاپن و ایالات متحده آمریکا به شرح زیر ارائه شده است.

انتقال به منابع انرژی تجدیدپذیر یکی از بزرگ‌ترین چالش‌های نسل ما و آیندگان است. اساسا، هدف این است که به جای سوخت‌های فسیلی مانند زغال سنگ، نفت و گاز، از زیست توده، باد و انرژی خورشیدی، استفاده بعمل آید. زیرا آن‌ها به طور بالقوه در میلیون‌ها سال نامحدود هستند. به این ترتیب، به نظر می‌رسد که این انتقال ساده بوده و فقط یک سوئیچ از یک منبع انرژی به دیگری است. در حقیقت، نفت، زغال سنگ و گاز اساسا از زیست توده و انرژی خورشیدی بدست آمده و طی چند میلیون سال تشکیل شده است. استفاده از انرژی‌های تجدید پذیر مورد نیاز جامعه به توسعه فن‌آوری های ذخیره سازی مناسب انرژی برای جایگزینی "مخازن ذخیره‌سازی انرژی" فسیلی نیازمند است. باتری‌های قابل شارژ [۱۵–۸]. به خصوص، تکنولوژی باتری لیتیوم یون با پیشرفت فوق العاده‌ای در خودروهای برقی تجربه شده‌اند.

این باتری‌ها با توجه به تراکم انرژی و قدرت فوق العاده‌ای که ایجاد می‌کنند، به عنوان برترین تکنولوژی باتری برای بررسی و تحقیق مطرح شده‌اند [۱۲و۱۱و۹]. در نتیجه، باتری‌های لیتیوم یون در حال حاضر فن‌آوری منتخب برای جایگزینی سوخت‌های فسیلی در حمل و نقل مدرن هستند [۱۵]. این جایگزینی، با این حال، با توجه به ویژگی‌های وسایل نقلیه دارای موتور درونسوز به خصوص با توجه به مسافتی که با هر بار سوخت‌گیری طی می‌کنند، هزینه و زمان سوخت‌گیری، به معنی یک چالش بزرگ است، و تعجب‌آور نیست که فروش اولیه وسایل نقلیه الکتریکی پلاگین (PEVs) شامل تمام خودروهای الکتریکی (EVs) و وسایل نقلیه الکتریکی هیبریدی پلاگین (PHEVs) در ابتدای این دهه با حدود ۱۳۴،۰۰۰ PEVs در سراسر جهان در سال ۲۰۱۲ به فروش می‌رسد (نگاه کنید به شکل ۳–۲۶). با این حال، پیشرفت بزرگ در مورد مواد استفاده

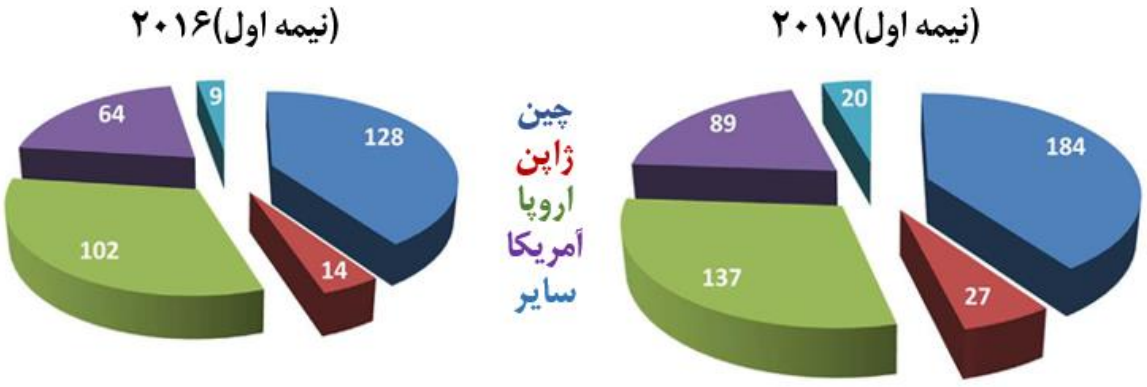
شده و بهینه سازی بیشتر با استفاده از باتری‌های هوشمند در ترکیب با مشوق‌های دولتی – به ویژه در کشورهایی مانند چین، نروژ و اخیرا ایالات متحده آمریکا و آلمان طی پنج سال گذشته رشد قابل توجهی داشته است. در واقع، فروش جهانی خودرو برقی در سال ۲۰۱۷ برای اولین بار بیش از ۱،۰۰۰،۰۰۰ واحد افزایش یافته است که بیش از ۱٪ کل فروش خودرو می‌باشد.



شکل ۳- ۲۶- سالانه خودرو برقی پلاگین در سراسر جهان در مقایسه با سهم کل بازار خودرو جهانی (ارزش سال ۲۰۱۷ بر اساس سه ماهه اول سال، یعنی ژانویه-سپتامبر ۲۰۱۷ برآورد شده است؛ منبع: www .ev-volumes.com؛ مطابق با شماره‌های اخیر منتشر شده توسط بلومبرگ انرژی جدید).

در واقع، مقدار ۱٪ برای شروع کافی به نظر نمی‌رسد، اما با توجه به رشد چشمگیر آن در سال‌های گذشته، تخمین زده می‌شود که از ۲۰۱۶ تا ۲۰۱۷ بیش از ۵۰٪ افزایش داشته باشد، و این افزایش پیوسته در فروش به زودی سهم قابل توجهی از بازار را تشکیل می‌دهد، در نهایت اجازه می‌دهد تا یک حمل و نقل زمینی به طور کامل بدون انتشار گازهای آلاینده تحقق

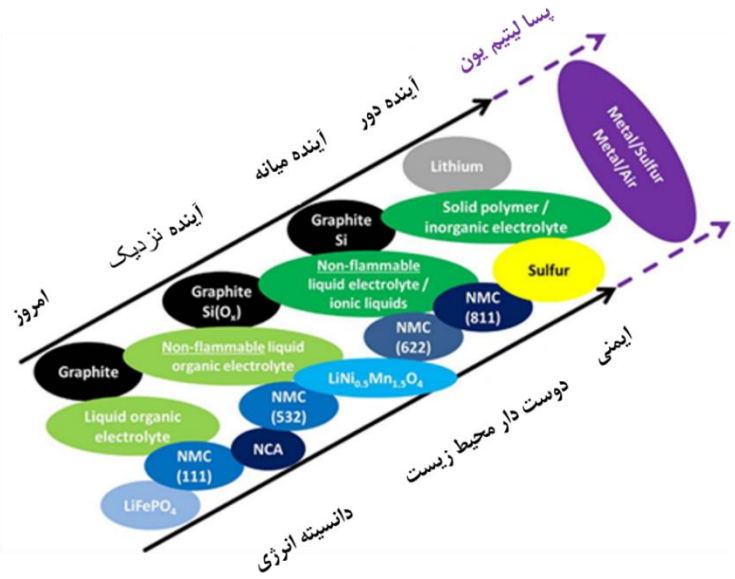
پذیرد. به این ترتیب، هدف برخی از کشورهای اروپایی افزایش درصد خودروهای بدون انتشار گازهای گلخانه‌ای به میزان ٪۱۰۰ تا سال ۲۰۳۰ (هلند) یا ۲۰۴۰ (فرانسه، آلمان، U.K.) به نظر می‌رسد کاملا غیر واقعی نیست – هرچند که مطمئنا بلندپروازانه است. در مقایسه با هر بازار دیگر، بازار چینی در مقایسه با نیمه اول سال ۲۰۱۶ و ۲۰۱۷ نسبت به فروش جهانی خودرو برقی با افزایش ۶۰ درصدی همراه است (شکل۳-۲۷)، همراه با افزایش تعداد ایستگاه‌های شارژ حدود ۶،۰۰۰ در هر ماه در سال ۲۰۱۷، به جمع‌آوری حدود ۴۵۰،۰۰۰ ایستگاه‌های شارژ عمومی و خصوصی در سراسر کشور (منبع: newsletter@elec-trive.com). علاوه بر این، به خصوص اروپا، بازار ایالات متحده و بازار ژاپن، رتبه دوم، سوم و چهارم، به ترتیب به میزان زیادی به این توسعه کمک می‌کند، در حالی که کشورهای دیگر (هنوز) پیشرفت قابل مقایسه‌ای نداشته‌اند.



شکل ۳- ۲۷- فروش خودروهای برقی (ضرب در ۱۰۰۰) در نیمه اول سال ۲۰۱٦ (پانل سمت چپ) و ۲۰۱۷ (پانل سمت راست) به وسیله بازارهای منطقه ای، یعنی چین، ژاپن، اروپا، ایالات متحده آمریکا و سایر کشورها، (www.ev-volumes.com)

به دنبال مطالعات اخیر نیکویست و نیلسون، همچنان رشد شدید خودروهای الکتریکی که باعث تأسیس کارخانجات تولید باتری در مقیاس بزرگ می‌شوند، ممکن است هزینه بسته باتری را در آینده نزدیک حتی بدون پیشرفت بیشتر سلول شیمیایی، اما صرفا به علت افزایش تقاضا و تولید بیشتر، به کمتر از ۲۰۰ دلار برای هر کیلووات ساعت برساند. با این وجود، هدف وزارت انرژی ایالات متحده، برای مثال، کاهش هزینه‌ها به کمتر از ۱۰۰ دلار برای هر کیلووات ساعت و در نهایت ۸۰ دلار برای هر کیلووات ساعت است که نشان می‌دهد پیشرفت بیشتر علاوه بر صرفه‌جویی در مقیاس نیز ضروری است.

علاوه بر این، به طور کلی پذیرفته شده است که بهبود بیشتر در مورد ایمنی (به عنوان مثال، با جایگزینی الکترولیت‌های آلی مایع که به راحتی قابل اشتعال است)، و هدف قرار دادن ۵۰۰ کیلومتر (به عنوان مثال، حدود ۳۰۰ مایل) با یک بار و زمان شارژ (در حدود ۱۰ تا ۱۵ دقیقه ایده‌آل است، در نتیجه، با زمان سوخت‌گیری برای خودروی موتور احتراق قابل مقایسه است). در واقع، استراتژی‌های کلی، چگونگی دستیابی به این اهداف، تا حد زیادی متضاد از دیدگاه مواد فعال هستند، اما چندین چالش وجود دارد که باید از نقطه نظر علمی، تکنولوژیکی، سیاسی و اجتماعی و اقتصادی بررسی شود. شکل ۳–۲۸ روند کلی برای اهداف تحقیق و توسعه باتری خودرو در حال حاضر با توجه به مواد آند، الکترولیت و مواد کاتد مورد استفاده را نشان می‌دهد. باید توجه داشت که این روند بیشتر نشان‌دهنده مسیر پیشرفت است و نه برنامه مشخص، زیرا اهداف دقیق هر کشور و شرکت ممکن است متفاوت باشد.



شکل ۳– ۲۸– روند کلی برای اهداف تحقیق و توسعه باتری خودرو در حال حاضر با توجه به مواد آند، الکترولیت و مواد کاتد مورد استفاده

جدول ۳- ۱۵- برنامه‌ریزی برای سال ۲۰۳۵[14]

	سلول		بسته باتری	
	۲۰۱۵	۲۰۳۵	۲۰۱۵	۲۰۳۵
هزینه ($/kWh)	۱۳۰	۲۸۰	۵۰	۱۰۰
دانسیته انرژی (Wh/l)	۷۰۰	۱۴۰۰		
دانسیته انرژی (Wh/kg)	۲۵۰	۵۰۰		
دانسیته توان (kW/kg)			۳	۱۲
دما (درجه سانتیگراد)	۲۰- تا ۶۰	۴۰- تا۸۰		
طول عمر (سال)			۸	۱۵
قابلیت بازیافت (٪)			۱۰-۵۰	۹۵
ایمنی	در ۲۰۳۵ افزایش مخرب و بیش از حد دما در سطح بسته باتری با کاهش پیچیدگی آن، حذف خواهد شد			
قابلیت پیش‌بینی	مدل‌های پیش‌بینی کامل برای عملکرد و پیری باتری			

جدول ۳- ١٦- خلاصه روند فرایند تولید باتری از جمله مواد ورودی و خروجی[۱۲]

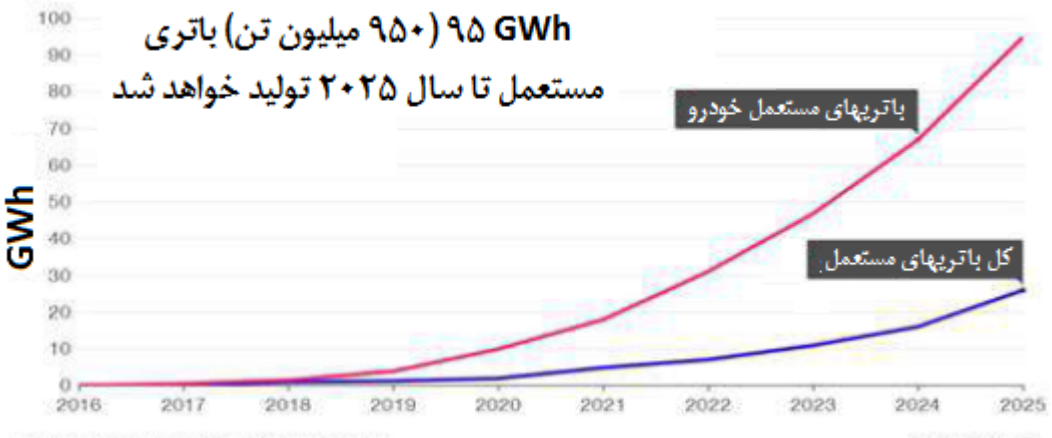
فرایند ساخت		**مواد شیمیایی مورد استفاده**
ساخت الکترود		ماده فعال +

	اختلاط مواد	عامل هدایت کننده + حلالها + بایندر +
	پوشش دهی	Al/Cu foil
	خشک کردن	- حلالها
	اولویت بندی زمانی	
	برش دادن	Al /Cu foil باقیمانده +
مونتاژ سلول	دسته بندی/پیچیدن	+ Separator + Adhesive Tape + Al/Cu tabs
	بسته بندی (کیسه / کیف)	+ Pouch Foil/casing
	آب بندی موقت	+ Solvents
	خشک کردن	
	پر کردن	– Remaining Al /Cu foil
	آب بندی دائمی	
شکل دادن	شکل دادن	
	آزمایش سلول	

۱-۱۱-۳- بازیافت

- بسته باتری خودرو برقی با وزن ۳۰۰ تا ۹۰۰ کیلوگرم است
- طول عمر معمولی ۸–۱۰ سال
- هزینه خالص در حدود ۱۰۰۰ پوند
- طراحی بسته باید امکان برچیدن آسان را داشته باشد.
- فرآیندهای جدید مورد نیاز برای بازیابی مواد سلولی
- و استقرار در مقیاس مورد نیاز است.

تا سال ۲۰۲۵ ، ۹۵ میلیون تن (۹۵۰ گیگاوات ساعت) باتری‌های قراضه از خودرو خارج خواهند شد شکل۳–۲۹. [14]



شکل ۳- ۲۹- برآورد میزان باتری‌های مستعمل تا سال ۲۰۲۵

۲-۱۱-۳- برنامه‌ریزی برای تعیین نوع و مواد تشکیل‌دهنده باتری

برنامه‌ریزی کوتاه مدت تا متوسطه:

- بهبود کاتد لیتیوم یون
- آندهای سیلیکون/گرافن
- بایندرها/حلال‌ها
- افزودنی‌های الکترولیتی/الکترولیت جامد
- مواد جداکننده

برنامه‌ریزی بلند مدت:

- شیمی باتری سدیم یون
- باتری لیتیم سولفور
- آند فلز لیتیم

ویژگی‌های سلول

شکل سلول:

- سیلندر
- کیسه

- منشور
- اندازه، مواد، نسبت ابعاد
- ویژگی‌های اتصالات

سلول‌های هوشمند:

- ویژگی‌های خنک کننده یکپارچه (توان بالا)
- اندازه‌گیری آتش سوزی
- توزیع BMS با سنسورهای یکپارچه

بسته‌بندی

ماژول‌ها:

- طراحی برای ساخت/جداسازی قطعات
- ترکیبات خنک کننده سلولی
- جوش سلولی (غیر جوش داده شده)
- طراحی برای پایان عمر

بسته‌ها:

- سیستم‌های BMS برای به حداکثر رساندن عمر و استفاده از SoC
- ترکیبات خنک کننده و حرارت دادن
- ادغام ساختاری با وسیله نقلیه
- ملاحظات ساختاری سقوط
- محدودیت انتشار آتش‌سوزی

جمع‌بندی

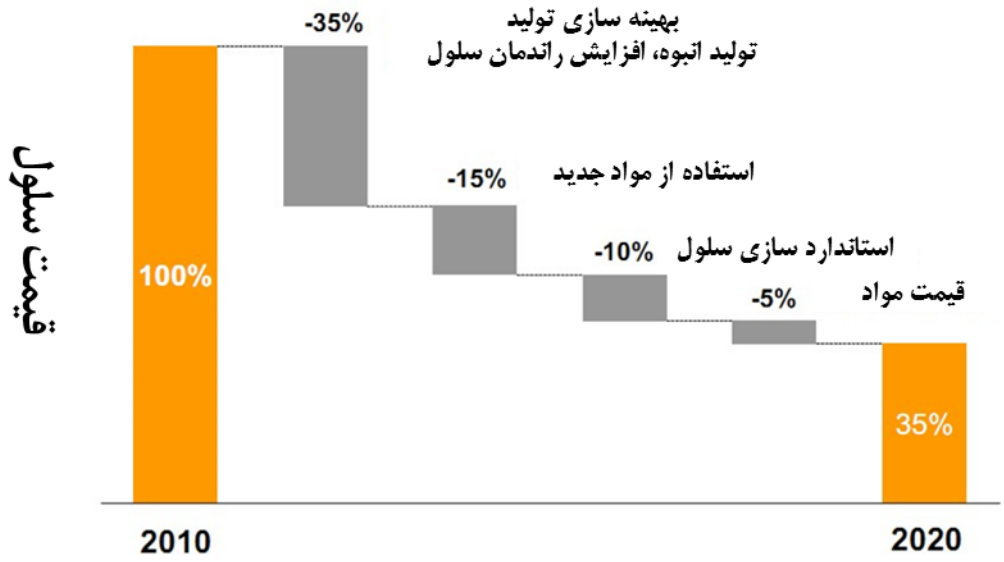
خودروهای برقی باتری‌دار در سال ۲۰۱۰ بیش از فروش خودروهای هیبریدی پلاگین در اکثر کشورهای جهان به فروش رسیده اما فروش خودروهای الکتریکی هیبریدی در سال‌های اخیر به سرعت افزایش یافته و از اوایل سال ۲۰۱۶ تقریبا برابر با BEV بوده است.

با وجود پیشرفت‌های عملکرد باتری و کاهش هزینه‌ها، خودروهای برقی همچنان با موانع بالقوه مهم مواجه هستند. مدل‌های جدید که معرفی می‌شوند قادر خواهند بود تا در هر شارژ تا ۳۰۰ کیلومتر رانندگی کنند، اما بسته‌های باتری تا ۶۰ کیلووات ساعت، حتی اگر هزینه‌های باتری از میزان فعلی خود در حدود ۳۵۰ دلار/kWh به ۱۵۰ کیلووات ساعت در آینده، با هزینه ۹۰۰۰ دلار برسد، بسیار بیشتر از قیمت خودروهای با موتور درونسوز است. صرفه جویی در مصرف سوخت، به ویژه برای پیمودن مسافت‌های طولانی، مفید خواهد بود.

تمام خودروهای برقی مدرن بر برخی از انواع باتری لیتیوم یون متکی هستند. باتری‌های لیتیوم یون انرژی نسبتا بالایی را تامین می‌کنند. پیشرفت‌های زیادی در چند سال گذشته صورت گرفته است و باتری‌های لیتیوم یون را فشرده‌تر، سبک‌تر، با دوام‌تر (طول عمر وسیله نقلیه) و همچنین باتری‌های پیشرفته قادر هستند ظرف چند دقیقه به طور کامل شارژ شوند.

۱۲-۳- نقشه راه، مفهوم فناوری و تولید خودرو برقی در اروپا، در سال ۲۰۱۱

کاهش قیمت سلول‌های باتری با افزایش تولید باتری در شکل ۳۰-۳ نشان داده شده است.

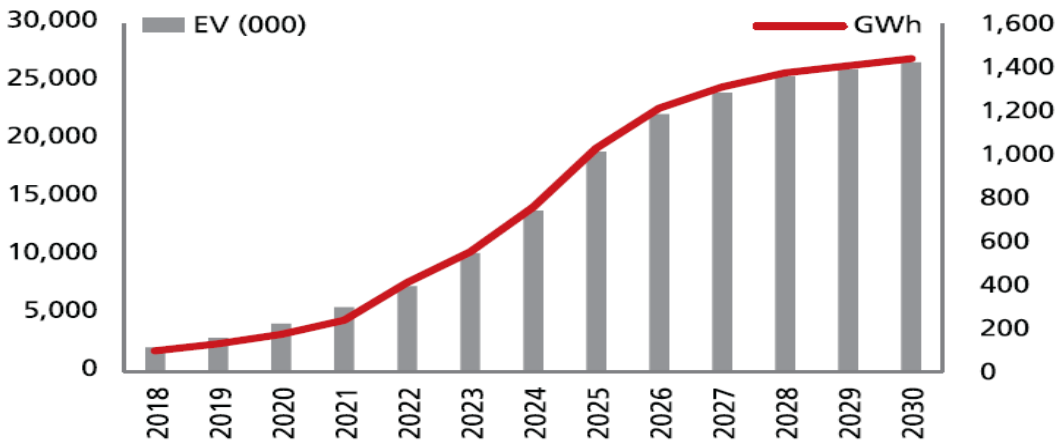


شکل ۳- ۳۰- روند قیمت سلول‌های باتری با افزایش تولید باتری

تأثیر بر روی بازار باتری

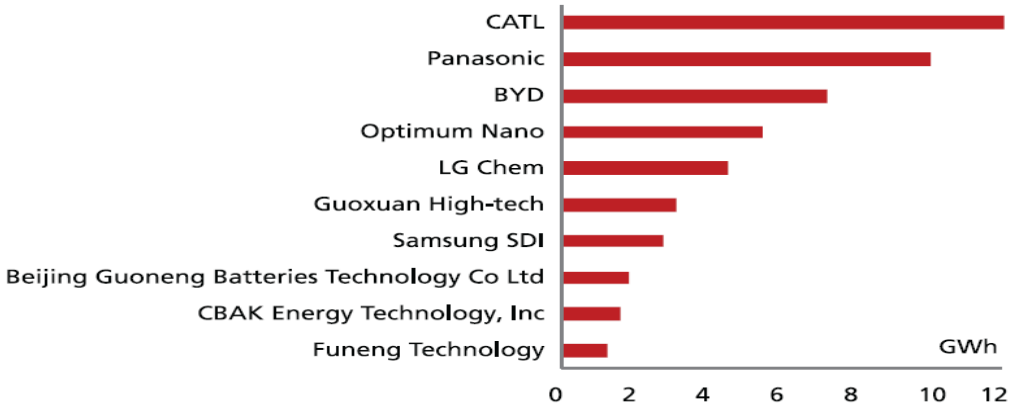
با افزایش رشد خودروهای برقی، انتظار می‌رود تقاضا برای باتری‌های خودرو افزایش یابد. شرکت‌های خودروساز باید کیفیت خاص باتری‌های خودرو، از جمله تراکم باتری خودرو، ایمنی، زمان شارژ (شارژ سریع)، طول عمر باتری، فاصله سفر در هر بار شارژ، و غیره را در نظر بگیرند.

به همین ترتیب، تولید کنندگان به طور مداوم به دنبال راه‌هایی برای افزایش عملکرد و دوام باتری ماشین هستند. باتری لیتیوم نیکل منگنز کربن اکسید (NMC) به طور گسترده در خودروهای برقی در سراسر جهان استفاده می‌شود. از این رو، مواد اولیه کلیدی باتری‌های NMC مهم است. این مواد اولیه شامل مس، نیکل و کبالت است که در سال‌های اخیر شاهد افزایش شدید قیمت آن‌ها بخصوص کبالت هستیم.



شکل ۱-۳ تقاضای جهانی باتری خودرو برقی

در سال ۲۰۱۷، کل مصرف باتری خودروبرقی به میزان ۶۹ گیگاوات ساعت (GWh) بوده است که نشان دهنده رشد ۴۰٪ است. تعداد ده شرکت تولیدکننده باتری در جهان تقریبا ۷۰ درصد کل سهم تولید باتری بازار را دارند. در سال ۲۰۱۷، (Amperex Technology Ltd CATL) بزرگترین تولید کننده باتری خودرو برقی در جهان شد.

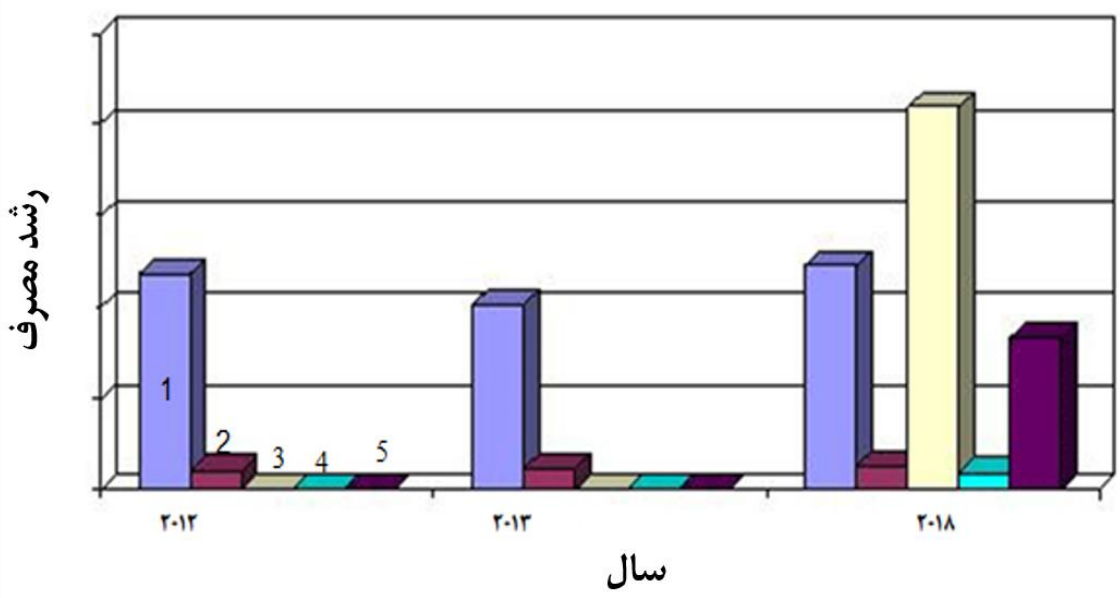


شکل ۳- ۳۱- ده شرکت بزرگ تولید کننده باتری خودرو برقی (بر اساس فروش ۲۰۱۷)

۳-۱۳- باتری‌های فلز –هوا

۳-۱۳-۱- بازار حال وآینده باتری‌های فلز–هوا

مطالعاتی در خصوص بازار باتری‌های فلز– هوا در آمریکا انجام شده و مختصری از آن در سایت خبری [1] انتشار یافته است. این پروژه در سال ۲۰۱۴ انجام شده و طبق مطالعات سال ۲۰۱۲ و ۲۰۱۳ سهم باتری‌های فلز– هوا را در سال ۲۰۱۸ حدود ۱/۷ میلیارد دلار تخمین می‌زند. بر اساس این مطالعات باتری روی – هوا حدود ۸۴۱ میلیون دلار از این مقدار را به خود اختصاص می‌دهد. در شکل۳–۳۳ میزان رشد مصرف آن در سال ۲۰۱۲، ۲۰۱۳ و پیش‌بینی سال ۲۰۱۸ نشان داده می–شود[۱۶]. موارد کاربرد این باتری‌ها طبق نمودار از چپ به راست شامل تجهیزات کمک شنوایی (۱)، سیستم‌های ذخیره انرژی (۲)، وسایل نقلیه الکتریکی (۳)، کاربری نظامی (۴) و دوچرخه الکتریکی(۵) است.



شکل ۳– ۳۲– رشد مصرف باتری فلز– هوا تا سال ۲۰۱۸

[1] BCC research

جمع‌بندی

همانگونه که در بخش‌های پیشین اشاره شد نیاز مبرم آینده حمل و نقل دنیا خودرو های برقی است. باتری این خودروها اصلی‌ترین بخش آن‌ها بوده و به منظور رفع اشکالات موجود در خودروهای برقی کنونی، بایستی نقاط ضعف موجود در باتری از قبیل قیمت، وزن و حجم بالا، زمان شارژ و تخلیه خودبخودی بالا، دانسیته انرژی و توان پایین، چرخه عمر و زمان تخلیه پایین، ایمنی کم و امکان بازیابی کم مواد اولیه به گونه ای بهبود یابد که بتوان خودرو برقی را از همه جهات برتر از خودرو های با سوخت فسیلی دانست. از این رو با توجه به مطالعات و پژوهش‌های گسترده صورت گرفته در دنیا تا حدود ۳۰ سال آینده باتری‌های فلز–هوا، با بهره‌گیری از فناوری‌های نوین و نانوتکنولوژی، حدودا خواهند توانست کلیه چالش‌های اشاره شده را برطرف نمایند. لذا بهترین گزینه برای آینده خودروهای برقی انواع باتری های فلز–هوا خواهند بود. که در ادامه به تشریح بیشتر این رده از باتری‌ها پرداخته خواهد شد.

۲-۱۳-۳- دلایل استفاده از باتری‌های فلز–هوا

در حال حاضر ۳۴٪ کل منبع انرژی جهان از نفت به دست می‌آید و محاسبات نشان می‌دهد که ۴۰٪ میزان انتشار گاز دی‌اکسیدکربن که علت اصلی ناپایداری جغرافیایی (گرمایش جهانی و تغییر اقلیم، اثر گلخانه ای) است، از همین منبع مصرف نفت ایجاد می‌شود. از طرفی نوسان قیمت نفت و تاثیر آن بر گرم شدن کره‌ی زمین سبب شده است تا به دنبال سیستم‌های ذخیره کننده‌ی انرژی جایگزین، سیستم‌های تبدیل نظیر شبکه‌های هوشمند باشیم. این شواهد ناشی از تقاضای جهان برای انرژی است که منجر به بحران انرژی و افزایش قیمت آن به دلیل کاهش ذخایر سوخت‌های فسیلی می‌شود. انتظار می‌رود تقاضای انرژی دنیا تا سال ۲۰۵۰ دو برابر شود، بنابراین با افزایش رشد نگرانی‌ها برای آب و هوا، علاقه‌ی قابل توجه‌ای به استفاده از انرژی‌های تجدید پذیر نظیر انرژی باد و خورشید وجود دارد. از آنجاییکه این انرژی‌ها به صورت اتفاقی و متغیر هستند مدیریت آن‌ها بسیار مشکل است. آشکار است که توسعه‌ی تکنولوژی ذخیره‌ی انرژی برای بهره برداری موثر منابع انرژی تجدید پذیر در آینده بسیار مهم است [۱۷–۱۹]. یکی از بهترین تکنولوژی‌های ذخیره‌کننده‌ی انرژی باتری‌های لیتیم یون هستند که یک منبع توان مناسب در کاربردهای متنوع از قبیل لپ‌تاپ و تلفن همراه به شمار می‌روند. کل فروش باتری‌های لیتیم یون در سال ۲۰۰۷ تقریبا ۸ میلیارد دلار بود [۲۰–۲۳].

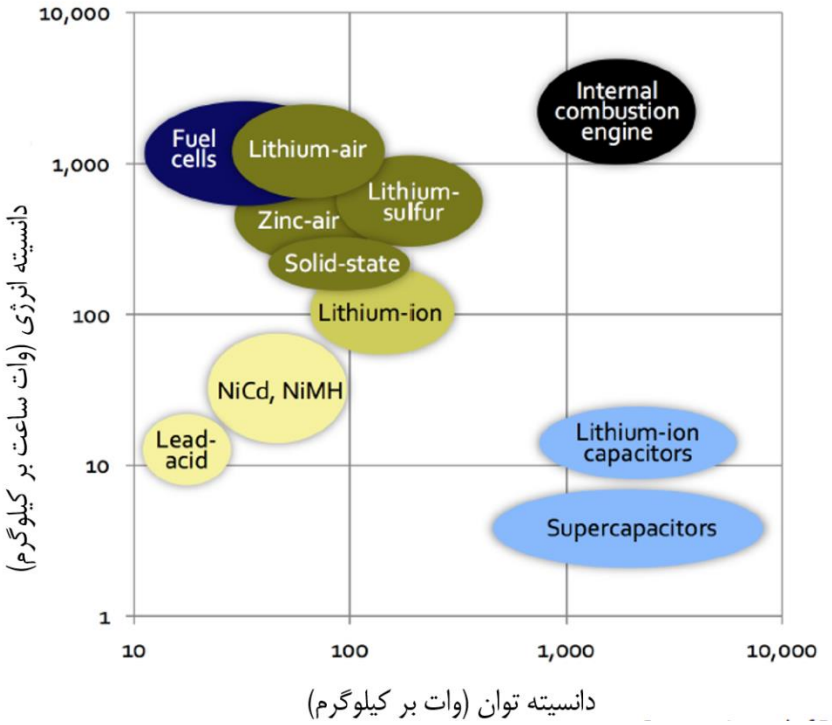


شکل ۳- ۳۳- نمونه‌هایی از باتری فلز-هوا

باتری‌های لیتیم یون به دلیل ویژگی‌هایی نظیر ولتاژ بالا، دانسیته انرژی بالا و چرخه عمر طولانی‌تر در مقایسه با سایر باتری‌های متداول قابل شارژ نظیر باتری‌های سرب اسید و نیکل- فلز هیدرید جایگاه مناسبی را در بازار بدست آورده‌اند. دانسیته انرژی باتری‌های لیتیم یون به وسیله‌ی آند گرافیتی (۱۷۰ mAh/g) و کاتد لیتیم اکسید فلزات نظیر $LiCoO_2$ (۱۳۰mAh/g) محدود شده و بین ۹۰ تا ۱۹۰Wh/kg بسته به نوع مواد الکترو فعال متفاوت است [۲۶-۲۳]. این عدد با توجه به تقاضای انرژی در آینده جوابگو نمی‌باشد و برای مثال در مورد خودروی برقی قادر به پیمایش حدود ۲۵۰ کیلومتر با یکبار شارژ می‌باشد که نیاز به افزایش حدود دو الی سه برابری دارد که در این زمینه کشورهای مختلف برنامه‌های تحقیقاتی و سرمایه گذاری کلانی را در مورد فناوری‌های پسا لیتیم یون مدون کرده‌اند و امید است که تا سال ۲۰۳۰ حداقل یکی از این فناوری‌های پیشرفته، به مرحله تجاری سازی برسد و روانه بازار الکترونیک، حمل و نقل برقی گردد. گزارش حاضر با توجه به اهمیت باتری‌های فلز-هوا به عنوان آینده باتری در طی ۳۰ سال آینده، این نوع فناوری را تشریح کرده و انواع آن و مزایا و معایب هر کدام را مورد بحث قرار داده است. باتری‌های فلز-هوا به دلیل دارا بودن بالاترین دانسیته انرژی در میان انواع باتری‌ها توجه زیادی را به عنوان یک روش جایگزین به خود جلب کرده است و در این گزارش سعی شده در مورد مهم‌ترین آنها نظیر لیتیم-هوا، آلومینیم-هوا و روی-هوا اطلاعاتی جمع آوری و ارائه گردد. باتری‌های روی-هوا غیر قابل شارژ به صورت تجارتی در دسترس هستند و در وسایلی همچون سمعک که انرژی ویژه و سرعت دشارژ پایین مد نظر است، کاربرد دارند. باتری‌های روی-هوا دانسیته‌ی انرژی بالایی را در مقایسه با باتری‌های اولیه‌ی متداول از لحاظ ولتاژ دشارژ پایدار، زمان عمر طولانی، ایمنی بالا و هزینه‌ی کمتری را نشان دادند. در عین حال دانسیته‌ی انرژی باتری‌های روی-هوا هنوز نیازمندی‌های بسیاری از کاربردهای پرانرژی را نمی‌تواند برآورده کنند[27]. باتری آلومینیوم- هوا نیز به صورت باتری نوع اول غیر قابل شارژ، برای تامین توان زیردریایی بدون سرنشین و اخیرا خودروی الکتریکی (توسط شرکت رنو) استفاده

شده است. باتری‌های قابل شارژ لیتیم–اکسیژن یا لیتیم–هوا تاکنون در بین فناوری‌های ذخیره کننده‌ی انرژی مبتنی بر روش‌های الکتروشیمیائی، بالاترین دانسیته‌ی انرژی را نشان داده و تحقیقات نشان می‌دهد که با بنزین (حدود ۱۱۰۰۰Wh/kg) قابل رقابت است. به طور کل دانسیته‌ی انرژی وسیع باتری‌های فلز–هوا از این حقیقت ناشی می‌شود که اکسیدکننده‌ی اکسیژن، در الکترود ذخیره نمی‌شود و به راحتی از محیط اطراف به دست می‌آید. در شکل ۳–۳۵ محدوده دانسیته انرژی باتری‌های فلز– هوا با سایر باتری ها مقایسه شده است.

این شکل نشان می‌دهد با وجود اینکه دانسیته انرژی باتری‌های فلز– هوا بالاست اما دانسیته توان آن‌ها در محدوده پایین‌تری از باتری‌های تجاری موجود لیتیم–یون قرار دارد.



شکل ۳– ۳٤– مقایسه دانسیته‌ی انرژی انواع باتری‌ها با باتری‌های فلز–هوا [۲۸]

۳-۱۳-۳- معرفی باتری فلز هوا

اولین باتری فلز–هوا در سال ۱۸۶۸ توسط لکلنچ[1] ساخته شد که در آن کاتدی از جنس MnO_2/C به کار رفته بود. این ابداع، فضایی را برای مخترعان بعدی نظیر هیز[2] و شوماخر[3] فراهم کرد تا طراحی‌های مدرنتر و تجاری در سال ۱۹۳۲ را سبب شد. این دو نفر با استفاده از آندی کربنی، باتری فلز–هوای تجاری را ساختند که ویژگی‌های منحصر به‌فرد آن مورد توجه محققان در این زمینه قرار گرفت و هنوز هم اصول آن در باتری‌های روی–هوا امروزی استفاده می‌گردد [۲۹]. اولین باتری روی–هوا قابل شارژ در سال ۱۹۹۶ توسط یک مخترع اهل اسلوونی ابداع گردید. تا قبل آن باتری‌های از این نوع حجم بسیار بزرگی را داشتند اما این اختراع سبب کاهش حجم این باتری‌ها تا حد قابل قبولی گردید [۳۰].

در ادامه در مورد اجزاء این باتری‌ها صرف نظر از نوع آنها که شامل کاتد، آند، الکترولیت، جداکننده و پوشش یا محفظه می‌باشد، بحث خواهد شد.

۳-۱۳-۴- آند باتری فلز– هوا

باتری‌های فلز–هوا را می‌توان بر اساس نوع آند در شش گروه تقسیم بندی کرد [۳۱].

- لیتیم – هوا
- کلسیم – هوا
- منیزیم – هوا
- روی – هوا
- آهن – هوا
- آلومینیوم – هوا

با توجه به ویژگی‌های ذاتی فلزات همچون الکتروپوزیتیوی، این فلزات در باتری فلز– هوا دانسیته انرژی تئوری متفاوتی دارند. در جدول ۳–۱۶ لیستی از باتری‌های فلز– هوا به همراه پارامترهای الکتریکی سلول مربوط به آن‌ها ارائه شده است [۲۸].

[1] Leclanch
[2] Heise
[3] Shudmacher

جدول ۳- ۱۷- لیستی از باتری‌های فلز- هوای متداول به همراه پارامترهای الکتریکی سلول [۲۸]

باتری فلزی-هوا	انرژی خاص تئوری (کیلووات ساعت بر کیلوگرم)	ظرفیت تئوری شامل اکسیژن (آمپر ساعت بر کیلوگرم)	ولتاژ تئوری	ولتاژ عملی
آلومینیوم-هوا	۸۰۴۶	۲۹۸۰	۲/۷	۱/۶
کلسیم-هوا	۴۵۴۷	۱۳۳۷	۳/۴	۲
لیتیم-هوا	۱۲۷۴۱	۳۸۶۱	۳/۳	۲/۴
منیزیم-هوا	۶۸۳۷	۲۲۰۵	۳/۱	۱/۴
روی-هوا	۱۳۱۲	۱۰۹۰	۱/۶	۱/۱

۱-۴-۱۳-۳- بررسی فلزات استفاده شده در باتری فلز- هوا

در جدول ۳-۱۷ مزایا و معایب انواع فلزات مورد استفاده در باتری‌های فلز-هوا مورد بررسی قرار گرفته است [۲۸].

جدول ۳- ۱۸- مزایا و معایب فلزات قابل بکارگیری در باتری فلز-هوا

ردیف	نوع فلز	مزایا	معایب
۱	لیتیم - کلسیم	دانسیته انرژی بالا	حساس به رطوبت ساخت آنها با الکترولیت‌های آبی سخت است صفحه شدن سخت است منابع اولیه فلز لیتیم محدود است گران است ظرفیت ناپایدار دارد
۲	آلومینیوم- منیزیم	ولتاژ سلول بالا	بازیافت سخت مستعد خوردگی و تولید هیدروژن
۳	روی- آهن	خوب صفحه می‌شود ارزان است مقاومت به خوردگی بالا	تشکیل دندریت

۲-۴-۱۳-۳- جداکننده (سپراتور)

وظیفه جداکننده انتقال یون فلزی بین آند و کاتد و جلوگیری از اتصال بین آند و کاتد است. یک جداکننده معروف کاغذ واتمن[1] است که در ضخامت‌ها و قطرهای متفاوت برای ساخت باتری فلز – هوا مورد استفاده قرار می‌گیرد.

قدیمی‌ترین مواد جداساز شناخته شده مربوط به اولین آزمایش‌های الکساندر ولتا[2] در پایان قرن هجدهم است. ولتا از یک پارچه به عنوان جداساز که در الکترولیتی از سدیم کلرید خیسانده شده بود استفاده کرد [۵]. در ادامه، انواع مختلفی از مواد جداکننده ساخته شده از درختان سدر، کاغذهای سلولزی، چوب، سلفون، پارچه‌های غیر بافته، فوم‌ها و غشاهای پلیمری میکروپروس معرفی و بکار برده شدند [۳۲ و ۱۹–۱۷].

اصطلاح جداساز بر عملکرد آن تاکید می‌کند که آند را از کاتد جدا می‌کند. عملکرد جداساز در واقع جلوگیری از تماس الکتریکی بین دو الکترود است که باعث تخلیه خودبخودی می‌شود، اما به طور همزمان اجازه عبور یون را که به عنوان مبنای تحویل انرژی است، می‌دهد. جریان یون را می‌توان از طریق جداساز یا الکترولیت‌های مایع انجام داد که منافذ یک غشای جداکننده را پر می‌کند. بر این اساس، جداسازها را می‌توان به عنوان هدایت کننده یون (الکترولیت جامد) یا نفوذپذیر نسبت به یون (غشاهای قدیمی) طبقه بندی کرد (شکل ۳۷–۳).

به طور کلی یک جداساز ایده‌آل باید دارای ویژگی‌های زیر باشد:

- هدایت یونی بالایی داشته باشد تا بتواند به راحتی یون‌ها را عبور دهد.
- هدایت الکترونی پایینی داشته باشد تا از شارژ خودبخودی باتری جلوگیری کند.
- در مقابل واکنش‌های اکسایش–کاهش مقاوم باشد و با الکترودها و الکترولیت واکنش ندهد.
- تخلخل کافی و مقاومت کششی بالایی داشته باشد.
- خمش مناسب
- پایداری حرارتی در محدوده دمایی باتری داشته باشد.

[1] Whatman
[2] A Volta

به عنوان مثل جداسازهای بر پایه پلی آمید و پلی ایمید و یا ترکیب آن‌ها با سایر پلیمرها دارای پایداری حرارتی بالایی بوده و خطر آتش گرفتن باتری در دماهای بالا را کاهش می‌دهند. جداسازهای آلی پوشیده شده با لایه اکسید دارای پایداری حرارتی بالاتری نسبت به جداسازهای پلیمری می‌باشند.

جداسازهای یون تراوا به موارد زیر تقسیم می شوند:

- فیلم‌های میکرو متخلخل پلیمری صنعتی که نظیر پلی پروپیلن، پلی اتیلن، پلی تترافلوئورواتیلن (PTFE)
- کامپوزیت‌ها که ترکیبی از مواد معدنی و آلی هستند، نظیر پلیمرهای آلی پوشیده شده با SiO_2 Al_2O_3 و ZrO_2
- مواد طبیعی نظیر سلولز و کائوچو[1] و ....

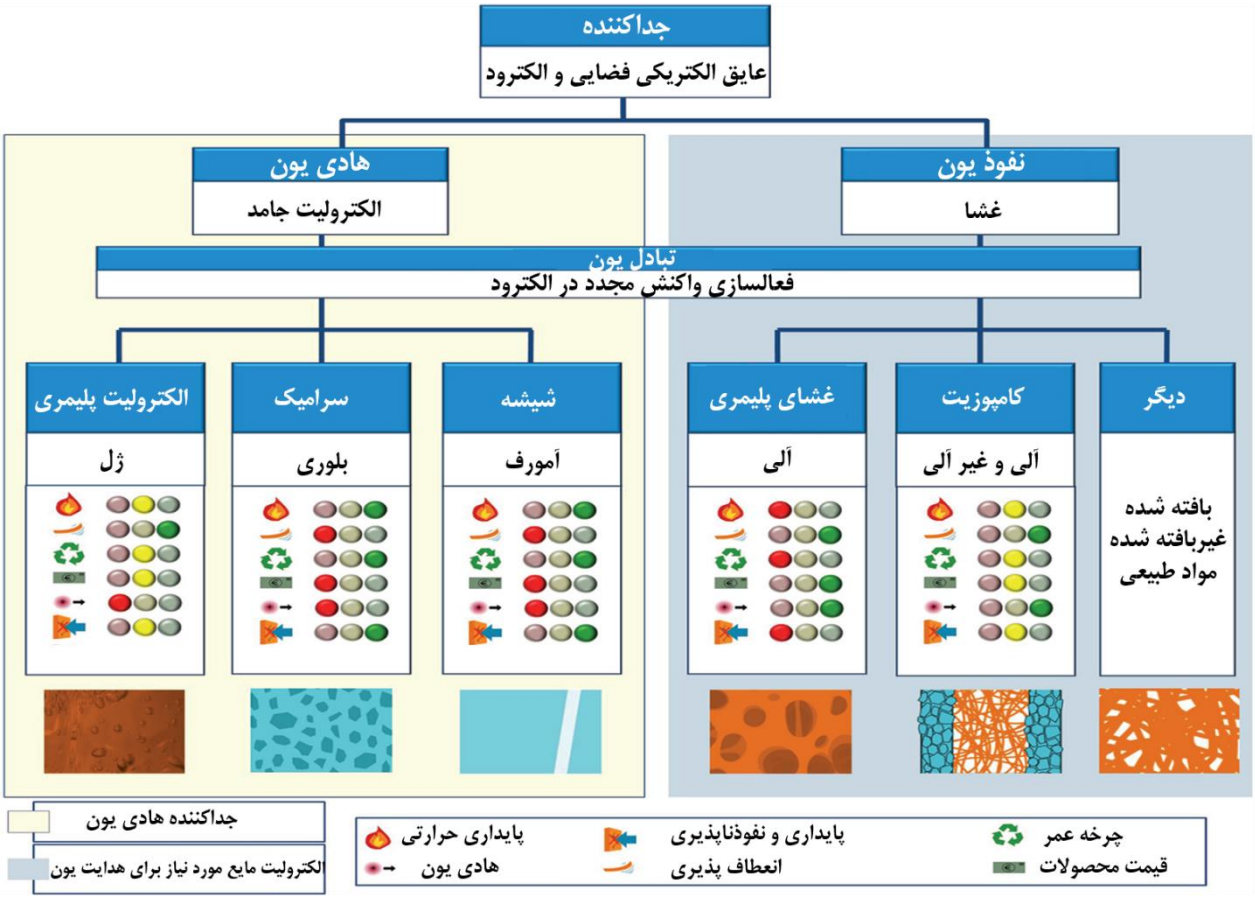
مواد پلیمری اشاره شده در بالا پایداری حرارتی بالایی ندارند و علاوه بر این نسبت به جداکننده‌های نسل جدید عمر کوتاه‌تری دارند. عیب دیگر این مواد پایداری مکانیکی کمتر آن‌هاست. با این حال هدایت یونی خوبی داشته و هزینه تولید آن‌ها پایین است. کامپوزیت‌ها در مقایسه با پلیمرهای اشاره شده پایداری حرارتی و مکانیکی بهتری دارند و ساختار آن‌ها از انعطاف پذیری بیشتری برخوردار است. با این حال هزینه تولید مواد کامپوزیتی نسبت به پلیمرهای سنتزی بیشتر است.

دسته دوم جداسازها از نوع هدایت کننده یون حالت جامد می‌باشند. این جداسازها مسئله ناپایداری حرارتی را حل نموده و واکنش‌های جانبی با دیگر اجزای باتری را کاهش می‌دهند و امکان استفاده از ولتاژهای بالا را فراهم می‌کنند. این موضع به ویژه در رابطه با باتری‌های فلز–هوا مورد استفاده در خوردروهای برقی بسیار حائز اهمیت است تا از واکنش بین آند فلزی و الکترولیت و همچنین تولید محصولات ناخواسته جلوگیری کند. این مواد شامل پلیمر، سرامیک و شیشه می‌شوند. این مواد دارای ساختارهای تک کریستال[2]، پلی کریستالی و یا آمورف (بی شکل) هستند که اغلب از خانواده اکسیدها (نظیر آلومینیوم اکسید)، سولفیدها (نظیر $Li_{10}GeP_2S_{12}$) و فسفات‌ها (نظیر $LiZr_2P_3O_{12}$) می‌باشند.

حسن دیگر الکترولیت‌های حالت جامد که در واقع جداساز نیز می‌باشند این است که به هنگام تهیه شامل مرحله وقت گیر پر کردن الکترولیت نمی‌باشند و افزون بر این ساختار و طراحی باتری با استفاده از این جداسازها ساده‌تر می‌گردد.

[1] Rubber
[2] Single crystal

تاکنون شرکت‌های مختلفی نظیر Cymbet, Front Edge Technology, Infinite Power Solutions Energy Systems, Quantum Scape, Toyota, Planar Energy, Solid Sakti3, SEEO, از الکترولیت‌های حالت جامد برای تولید باتری‌های لیتیمی بهره برده‌اند. شکل ۳-۳۶ انواع جداسازها را نشان می‌دهد.

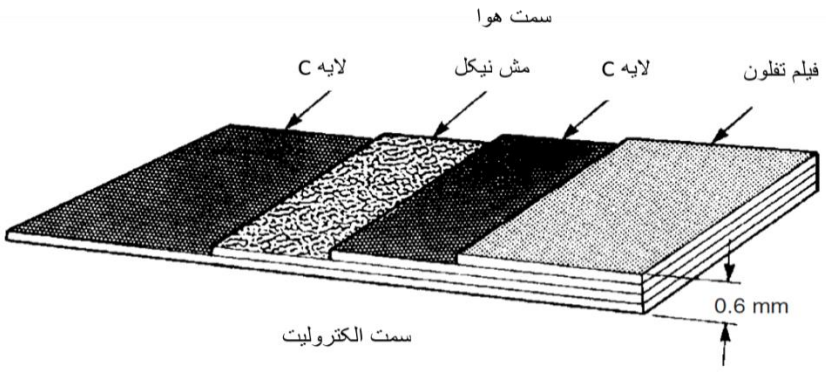


شکل ۳- ۳۵- انواع جداساز

۳-۴-۱۳-۳- کاتد

کاتد مورد استفاده در این باتری‌ها که همان الکترود هوا می‌باشد شامل چند قسمت می‌باشد. عملکرد مناسب و موفق تا حد زیادی در این باتری‌ها به کاتد بستگی دارد. تحقیقات روی الکترود هوا با چند هدف انجام می‌گیرد که می‌توان بهبود سرعت، ضخامت کمتر الکترود، کاتالیست های بهتر، ساختار فیزیکی با عمر طولانی‌تر و روش تولید با هزینه کمتر را برشمرد. الکترود هوا شامل لایه متخلخل آبگریز (تفلن گزینه‌ای مناسب برای این لایه می باشد)، لایه کاتالیست (مانند وصل کننده و

کربن فعال) و یک جمع کننده جریان (در اکثر موارد نیکل) می‌باشد [۳۱]. نمونه‌ای از این الکترود در شکل ۳-۳۷ نشان داده شده است.



شکل ۲-۳ ساختار کاتد در باتری فلز- هوا [۳٤]

۴-۴-۱۳-۳- شیمی باتری‌های فلز – هوا

واکنش‌های آندی و کاتدی که در حین شارژ و دشارژ در این باتری‌های انجام می‌شود، در شکل ۳-۱۸ آورده شده است.

جدول ۱-۳ واکنش‌های آندی ، کاتدی و کلی در باتری‌های فلز –هوا [۳۱]

واکنش کاتدی	$O2 + 2H_2O + 4e^- \leftrightarrow 4OH^-$
واکنش آندی	$M \leftrightarrow Mn^+ + ne^-$
واکنش کلی	$4M + nO_2 + 2nH_2O \leftrightarrow 4M(OH)_n$

این واکنش‌ها با در نظر گرفتن یک باتری روی–هوا نیز در جدول ۳-۱۹ آورده شده است.

جدول ۲-۳ واکنش‌های انجام شده برای یک باتری روی–هوا [۳۱]

نوع واکنش	واکنش	پتانسیل استاندارد
واکنش آندی	$Zn+4OH^- \leftrightarrow Zn(OH)_4^{2-} + 2e$	$E^\circ = -0.625v$
واکنش کاتدی	$O_2+2H_2O+4e \leftrightarrow 4OH^-$	$E^\circ = 0.4v$
واکنش کلی	$2Zn+O_2 \leftrightarrow 2\ ZnO$	$E^\circ = 1.65v$

۵-۴-۱۳-۳- عوامل موثر بر عملکرد باتری‌های فلز- هوا

این باتری‌ها به دلیل نفوذ اکسیژن و محدودیت‌های دیگر، افت ولتاژ بیشتری را در برابر جریان‌های بالا از خود نشان می‌دهند. همچنین از آنجاییکه سلول باز است، قابلیت جذب دی اکسید کربن را دارد. جذب دی اکسید کربن سبب تشکیل کریستال‌های کربن در حفرات می‌شود و در نتیجه مسدود شدن حفرات، آسیب مکانیکی و کاهش راندمان عملکردی باتری بوجود می‌آید.

از سوی دیگر به علت باز بودن سلول، احتمال خروج آب وجود دارد. خروج آب باعث افزایش غلظت الکترولیت و بنابراین خشک شدن و از کار افتادن آن می‌گردد. از طرف دیگر جذب آب سبب رقیق شدن الکترولیت می‌شود. این مقدار اضافی آب باعث تورم و بیرون ریختن آن خواهد شد. در نتیجه پلاریزاسیون الکترود به علت عدم توانایی هوا برای رسیدن به مکان‌های واکنش اتفاق خواهد افتاد.

اکسیداسیون کاتالیست و الکترود در حین عملیات شارژ می‌تواند سبب یک مشکل برای سیستم‌های با قابلیت شارژ الکتریکی شود. به طور کلی مزایا و معایب این نوع از باتری‌ها در جدول ۳-۲۰ آورده شده است.

جدول ۳-۳ مزایا و معایب باتری‌های فلز – هوا [۳۰و۳۱و۳٤]

مزایا	معایب
دانسیته انرژی بالا	توان خروجی محدود
ولتاژ دشارژ مسطح و صاف	محدوده دمای کارکرد پایین
طول عمر مناسب	احتمال کربوناسیون الکترولیت قلیایی
عاری از مضرات زیست محیطی	بر اثر خوردگی آند گاز هیدروژن متصاعد می‌شود

در بخش‌های بعدی راجع به سه نوع باتری فلز- هوای متداول (لیتیم، آلومینیوم و روی) – هوا بیشتر توضیح داده می‌شود.

۳-۱۴- باتری روی–هوا



شکل ۳- ۳٦- نمونه‌هایی از باتری روی–هوا

باتری‌های روی–هوا با ترکیب اکسیژن و فلز روی در الکترولیت مایع، الکتریسیته تولید می‌کنند و چگالی انرژی بالاتری نسبت به باتری‌های لیتیم–یون موجود تجاری دارند. با وجود اینکه آلومینیوم نسبت به سایر فلزات از لحاظ دانسیته انرژی و ظرفیت پیشتاز است ولی روی فراوان تر و نسبتا ارزان است و ظرفیت باتری به راحتی با افزایش محتوی فلز افزایش می‌یابد. و همچنین تکنولوژِی ساخت Al-Air بسیار سخت تر و پیچیده تر از بقیه فلزات متداول ساخت باتری می‌باشد.

۳–40 آند و کاتد باتری روی – هوا را نشان می‌دهد.



الف– کاتد دارای منافذ ریز است ب– آند دارای سطح کوچکتر

شکل ۳- ۳۷- سلول روی – هوا

۱-۱۴-۳- ساختار باتری روی- هوا

به طور کلی سلول روی – هوا شامل قسمت‌های زیر است:

آند: پودر گرانول روی مخلوط با الکترولیت است که بعلاوه بر آن از یک عامل ژل مانند نیز که تماس بین الکترولیت و دانه‌های روی را حفظ کند تشکیل شده است.

کاتد: جدا کننده، یک لایه کاتالیست، مش فلزی، غشای هیدروفوب، غشای نفوذی و لایه‌ای برای توزیع هوا در ساختار کاتد استفاده می‌شود. لایه کاتالیست شامل مخلوط کربن و منگنز است و با افزودن ذرات تفلون آبگریز می‌شوند.

الکترولیت: ممکن است مایع باشد یا به واسطه افزودنی‌ها حالت خمیری داشته باشد.

جداکننده: از اتصال کوتاه بین آند و کاتد جلوگیری می‌کند.

واکنش‌های صورت گرفته به ترتیب ذیل می‌باشند.

$$\text{Anode: } Zn + 4OH^- \longrightarrow Zn(OH)_4^{-2} + 2e^- \quad (E_0 = 1.25\ V)$$

$$\text{Fluid: } Zn(OH)_4^{-2} \longrightarrow ZnO + H_2O + 2OH^-$$

$$\text{Cathode: } O_2 + 2H_2O + 4e^- \longrightarrow 4OH^- \quad (E_0 = 0.4\ V)$$

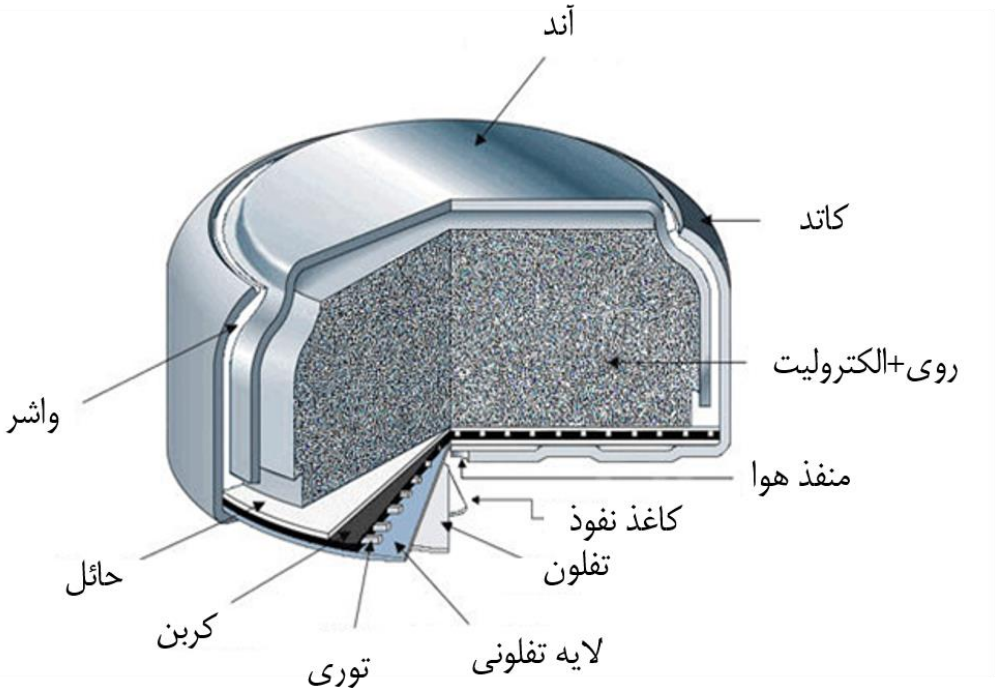
$$\text{Overall: } 2Zn + O_2 \leftrightarrow 2ZnO \quad (E_0 = 1.65\ V)$$

به منظور تجاری‌سازی سلول و اینکه جوابگوی نیازهای مختلف باشد، همانطور که در شکل ۳–۴۰ مشاهده می‌گردد، اجزای داخلی دیگری نیز وجود دارند که به ترتیب A–G چیده شده‌اند. شکل ۳–۴۱ نیز نمایی از نحوه قرارگیری اجزای باتری روی – هوا را مشاهده نشان می‌دهد.

A: محفظه کاتد با حفرات هوا، B: فیلتر هوای تفلون، C: گرافیت و مش فلزی کاتد هوا، D: فیلتر کاغذی دی الکتریک، E: آند پودری روی، F: محفظه آند، G: حلقه عایق



شکل ۳- ۳۸- قسمت‌های مختلف یک باتری روی – هوا



شکل ۳- ۳۹- نمایی از اجزای داخلی باتری روی-هوا

۲-۱۴-۳- ویژگی‌های باتری روی- هوا

- ✓ دارای بالاترین نسبت ظرفیت به حجم برای باتری‌های مینیاتوری
- ✓ منحنی دشارژ نسبتا مسطح
- ✓ ولتاژ پایدارتر در جریانهای بالا نسبت به باتری‌های دیگر
- ✓ مقاومت درونی تقریبا ثابت

- ✓ ولتاژ اسمی‌تا ۱/۶۵ولت
- ✓ وزن کم با ایمنی بالا
- ✓ مهمترین مزیت باتری‌های روی– هوا در محیط قلیایی را می‌توان استفاده از کاتالیستهای فلزی غیر نجیب برای واکنش کاهش اکسیژن نام برد (کاهش قیمت باتری).
- ✓ چگالی ویژه انرژی باتری‌های روی- هوا در مقیاس تئوری Wh/kg ۱۰۸۴ است [35].
- ✓ خطر انفجار به طور قابل توجهی در این باتری‌ها کمتر است.
- ✓ باتری روی – هوا غیر سمی‌است و تجهیزات نگهداری و جابجایی ویژه‌ای ندارد[36].

۳-۱۴-۳- بررسی اجزا

۱-۳-۱۴-۳- آند روی

آند در باتری‌های روی– هوا شامل قسمت‌های عایق پلاستیکی، آنولیت و محفظه آند است. محفظه آند به عنوان یکی از جمع کننده‌های جریان در طی اکسیداسیون روی می‌باشد. انتقال الکتریکی در بخش آند از ذره‌ای به ذره دیگر است تا زمانیکه به سطح داخلی محفظه آند برسد، سپس انتقال الکترون در عرض محفظه رسانای آند رخ می‌دهد [38و37].

نیم واکنش اکسایش آند روی به صورت زیر است:

$$Zn \rightarrow Zn^{+2} + 2e^{-}$$

اکسیداسیون روی در طی دشارژ اتفاق می‌افتد. اگر چه سرعت خوردگی روی خیلی کمتر از آلومینیوم در محیط قلیایی است ولی فرآیند خوردگی مطابق رابطه ذیل (در محیط خنثی و با بخار آب) گاز هیدروژن تولید می‌کند [1](HER). عیب اصلی هر دو نوع باتری روی – هوای اولیه و ثانویه تخریب زود هنگام به علت خوردگی ماده آند روی و بسته شدن کاتد هوا است که بدلیل کربناته شدن الکترولیت KOH ایجاد می‌شود. روی پتانسیل کاهشی منفی‌تری نسبت به هیدروژن دارد، که همزمان منجر به تولید گاز هیدروژن روی سطح ذرات روی می‌شود.

$$Zn + 2H_2O \rightarrow (OH)_2 + H_2$$

۲-۳-۱۴-۳- روش‌های تهیه آند روی و بررسی مورفولوژی آن

آند در سلول‌های روی–کربن به صورت جامد فویلی است ولی برای سلول‌های سوختی (کاتد هوا) به صورت متخلخل است. از جمله مزایای آند متخلخل می‌توان مساحت سطحی بالا برای ذخیره سازی، انحلال محصولات و سرعت بالای

[1] -Hydrogen evolution reaction

واکنش را نام برد. طراحی مناسب الکترود متخلخل باعث دشارژ الکترود در جریان زیاد با کمترین افت ولتاژ می‌شود و طولانی‌ترین بازه دشارژ قبل از غیرفعال شدن را حفظ می‌کند. تخلخل ۸۰ –۶۰ درصد عموما در الکترودهای روی در میان سیستم باتری‌های مختلف یافت شده است و این مقدار با ظرفیت Ah/cm^3 ۱/۲–۲/۲ برای ماده فعال روی تناسب دارد. تخلخل آند روی با روش‌های مختلفی که به مواد و مورفولوژی روی وابسته است، کنترل می‌شود. فرم‌های مختلف مواد که در سیستم‌های مختلف به کار می‌روند، در شکل ۳–۴۲ آمده است.



شکل ۳– ٤٠– شکل های مختلف مواد روی که با روش‌های مختلف تولید شده اند[38]

۳-۳-۱۴-۳- سینتیک واکنش آندی در باتری روی – هوا :

واکنش کلی اکسیداسیون و کاهش روی در روابط زیر آمده است:

واکنش ۱ $Zn + 4\ OH^- \rightarrow Zn(OH)_4^{2-} + 2e^-$

[1] Dendritic powder
[2] Atomized powder
[3] Rolled sheet
[4] Cut wire pellets
[5] Machined threads
[6] Cast ribbon
[7] Cash fibers
[8] Electrodeposited pellets
[9] Cast/chopped pellets

واکنش ۲ $Zn(OH)_4^{2-} \rightarrow ZnO + 2OH + H_2O$

واکنش کلی آند برای اکسیداسیون و کاهش کامل روی با توجه با واکنش‌های بالا به صورت زیر است:

واکنش کلی $2Zn + 4OH^- \rightarrow 2Zn + 2H_2O + 4e^-$

در اولین مرحله واکنش، روی به فرم یون زینکات $Zn(OH)_4^{2-}$ به محلول الکترولیت انتقال می‌یابد. دو الکترون به وجود آمده از ساختار روی به مدار خارجی و متعاقبا محفظه آند هدایت می‌شوند. مرحله دوم واکنش ترسیب اکسید روی است که دو یون هیدروکسید و آب آزاد می‌کند. این مسیر که کاهش دو مرحله ای است، به طور گسترده‌ای بررسی شده و عموما به عنوان مکانیسم دشارژ روی در محلول‌های غلیظ بازی پذیرفته شده است. مکانیسم کامل واکنش به صورت زیر است:

$$Zn + \mathrm{OH}^- \rightarrow Zn(OH) + e^-$$
$$Zn(OH) + OH^- \rightarrow Zn(OH)_2^-$$
$$Zn(OH)_2^- + OH^- \rightarrow Zn(OH)_3^- + e^-$$
$$Zn(OH)_3^- + \mathrm{OH}^- \rightarrow Zn(OH)_4^{2-}$$

مرحله تعیین کننده سرعت در این فرایند واکنش مرحله آخر پیشنهاد شده است.

۴-۳-۱۴-۳- الکترولیت

الکترولیت ماده‌ای است که محلول یا مذاب آن یون‌ها را در حد فاصل الکترودها هدایت می‌کند. الکترولیت ممکن است مایع باشد و یا با افزودن موادی به آن به صورت خمیر در آید. به طور کلی الکترولیت قلب یک باتری محسوب می‌شود و در عملکرد آن نقش اساسی را ایفا می‌نماید [39]. الکترولیت هم مانند دیگر اجزای باتری‌ها سیر تکاملی خود را با سرعت نسبتا بالایی طی نموده است و با پیشرفت‌های جدید به طور کلی متحول گردیده است. به طور مثال در باتری‌های لیتیمی اولیه از الکترولیت‌های مایع استفاده می‌شد. یکی از مشکلات عمده الکترولیت‌های مایع هدایت پایین و به عبارت دیگر مقاومت الکتریکی بالا به دلیل استفاده از حلال‌های آلی است. طی سالیان اخیر، تحقیقات گسترده‌ای برای بهبود و رفع مشکلات آن صورت گرفته تا اینکه نسل جدید الکترولیت‌ها که شامل الکترولیت‌های پلیمری هستند، ساخته شدند که سبب ارتقاء عملکرد باتری‌ها شده است.

۵-۳-۱۴-۳- جدا کننده

اتصال کوتاه بین مواد فعال آندی و کاتدی بوسیله جدا کننده که از جنس مش کاغذی می‌باشد، جلوگیری می‌گردد. با قرار گرفتن جداکننده، احتمال وارد شدن ذرات روی در تماس مستقیم با ماتریس کاتالیست کربن، به صورت معنی داری کاهش می‌یابد. ضخامت جداکننده و چگالی آن برای جلوگیری از نفوذ ذرات روی بایستی بهینه باشد چرا که ضخامت و چگالی بیش از اندازه، اجازه انتقال یونی را نمی‌دهد. جدا کننده می‌تواند کوپولیمری از پلی وینیل الکل PVA و پلی وینیل استات و یا پلی وینیل الکل به تنهایی باشد. جدا کننده رایج در باتری روی–هوا، پلی پروپیلن مثل سلگارد با تخلخل ۲۰– ۱۰ میکرومتر است [40و41].

ویژگی‌های اصلی جداکننده مناسب، پایداری در محلول قلیایی، اندازه روزنه تخلخل مناسب و رسانایی یونی بالا است. از آنجائیکه سلول روی–هوا از مهاجرت یون هیدروکسید استفاده می‌کند و نه یون پروتون, جداکننده‌ها از پلی اتیلن، پلی وینیل الکل، پلی اولفین و پلی پروپیلن درست شده‌اند [38و39]. غیرفعال بودن نسبت به اکسایش، توانایی جذب الکترولیت و نیز تاخیر انداختن در رشد دندریت‌ها، از دیگر خواص جداکننده‌ها به شمار می‌آید.

از آنجائیکه باتری روی– هوا در محیط قلیایی عمل می‌کند و در معرض هوا نیز می‌باشد، الکترولیت در تماس با CO_2 می‌باشد. CO_2 با یون‌های هیدروکسید واکنش داده و کربنات تشکیل می‌دهد که در اثر کاهش غلظت هیدروکسید در طی فرآیند (به شکلی که محلول خنثی می‌ماند)، ظرفیت نیز افت می‌کند. با غلیظ شدن پتاسیم کربنات در الکترولیت یک نزول خطی در ظرفیت سلول روی می‌دهد. در این بین اندازه روزنه جداکننده آبگریز به طور اساسی روی سرعت جذب کربن دی اکسید اثر می‌گذارد.

اثر غلظت CO_2 روی عمر مفید الکترودها در محلول قلیایی با استفاده از جاذب‌های جامد شامل آهک سودا نیز مورد بررسی قرار گرفت که از LiOH و مخلوط LiOH و $Ca(OH)_2$ برای حذف CO_2 استفاده شد و همچنین تکنیک جذب شیمیایی ترکیبی با گرانروی بالا را برای جداسازی CO_2 استفاده کرده‌اند و معلوم شده که پلی پرازین در کاهش غلظت کربن دی اکسید موثر بوده است.

۶-۳-۱۴-۳- اتصال دهنده‌های رایج در باتری روی – هوا و بررسی اثر آن‌ها در مورفولوژی آند

بایندر شامل مواد الکتروشیمیایی غیرفعال است که نقش مهمی در محدود کردن و جلوگیری از تجزیه و پراکندگی مواد فعال دارد [42].

- ✓ پلی تترافلوئورو اتیلن(PTFE):
- ✓ آگار
- ✓ تاپیوکا

۷-۳-۱۴-۳- کاتد (الکترود هوا)

کاتد شامل محفظه کاتد، یک غشای نفوذ هوا، یک یا دو لایه آبگریز، مواد پلیمری مانند پلی تترا فلوئورواتیلن، ماتریس کاتالیست و جداکننده است. غشای نفوذ هوا از کاغذ فیلتر درجه بالا تشکیل شده است. جدا کننده معمولا ماده سلولزی غیر بافته شده است که در محفظه برای ایجاد پخش یکنواخت هوا بر روی کل سطح هندسی ساختار کاتد قرار گرفته است. لایه آزاد PTFE اولین سد برای انتقال بخار آب را ایجاد می‌کند. لایه دوم بر روی سطح کاتالیست همراه با جداکننده روکش شده است و سد نهایی برای انتقال آب است (هر دو برای جلوگیری از ورود و خروج بخار بین هوا و داخل سلول). انتقال بخار آب اثر منفی بر روی عملکرد باتری دارد و باید کنترل شود. ورود زیادی آب می‌تواند منجر به آب گرفتگی باتری و متعاقبا جلوگیری از ورود اکسیژن شود. به علاوه جریان بخار آب به خارج از سلول می‌تواند به خشک شدن محفظه آند منجر شود. هر دوی این مکانیسم‌ها تاثیر زیان‌آور زیادی روی عملکرد کلی باتری دارد [43].

برای استفاده از اکسیژن در باتری روی– هوا، نیاز به الکتروکاتالیست‌های مناسب برای واکنش کاهش اکسیژن[1] (ORR) است که در طراحی کاتد باید در نظر گرفته شود. ORR در یک لایه ساده اتفاق می‌افتد و مواد مصرف شده فقط فلز روی و گاز اکسیژن هستند و چون اکسیژن به طور بی وقفه از اتمسفر هوا تامین می‌شود خود الکترود هوا می‌تواند استفاده شود مگر اینکه آسیب‌های فیزیکی مانند ترک خوردن در کاتد هوا بعد از دشارژ روی داده باشد. ساختار الکترود هوا با تخلخل بالا یک مسیر متفاوتی برای اکسیژن فراهم می‌کند و به عنوان یک لایه برای کاتالیست‌ها عمل می‌نماید و مواد کربنی مانند کربن فعال و نانو لوله‌های کربن به عنوان بستر کاتد استفاده می‌شوند. یک الکترود هوا شامل لایه نفوذ گازی و یک لایه فعال کاتالیست و یک شبکه فلزی به عنوان جمع کننده جریان است.

در کاتد، واکنش چند مرحله‌ای زیر اتفاق می‌افتد:

$$O_2 + H_2O + 2e^- \rightarrow O_2H^- + OH^-$$

[1] Oxygen reduction reaction

$$O_2H^- \rightarrow OH^- + 1/2O_2$$

$$O_2 + 2H_2O + 4e^- \rightarrow 4OH^-$$

۸-۳-۱۴-۳- شرکت‌های سازنده باتری روی – هوا

شرکت‌های سازنده باتری روی–هوا در جدول ۳–۲۱ آورده شده است [44]:

جدول ۳- ۱۹- شرکت‌های سازنده باتری روی- هوا [44]

ردیف	نام شرکت	کشور	آدرس سایت
۱	Panasonic - OEM Battery Sales	آمریکا	http://www.panasonic.com/batteries
۲	Battery Clinic, Inc.	آمریکا	http://www.BatteryClinic.com
۳	Battery Packs Plus Australia	استرالیا	http://batterypacksplus.com.au
۴	Chrome Battery	امریکا	http://www.chromebattery.com
۵	Electric Fuel Corporation	آمریکا	http://www.efbpower.com
۶	ENOVE	تونس	http://www.groupebismuth.com/enove
۷	GP Batteries International Limited	سنگاپور	http://www.gpbatteries.com.sg
۸	GP Batteries USA	امریکا	http://www.gpbatteries.com
۹	Guangzhou Tianqiu Enterprise CO.Ltd.	چین	http://www.gztianqiu.com
۱۰	InTouch USA & InTouch Smartcards	آمریکا	http://www.instant-power.com
۱۱	LAKUDA ApS	دانمارک	http://www.lakuda.dk
۱۲	Micropower Battery Company	آمریکا	http://www.microbattery.com
۱۳	PC & Associates	آمریکا	http://www.pcalink.com

۱۴	Renata Batteries	سوئیس	http://www.renata.com
۱۵	Super Military Battery	چین	http://www.super-military-battery.com
۱۶	Unipower	آمریکا	http://www.unipower.com
۱۷	Zhuhai Zhi Li Battery Co., Ltd.	چین	http://www.zenipower.com
۱۸	Met-air	آمریکا	http://www.metairpower.com

۹-۳-۱۴-۳- معرفی محصولات شرکت های‌سازنده باتری روی – هوا

شرکت Electric fuel battery corporation (EFB)

در ۱۹ سپتامبر سال ۲۰۰۵ Arotech اعلام کرد نوع جدیدی از باتری ۱۲ولتی روی– هوا سازگار با رادیوهای MBITR توسط نیروهای ویژه ایالات متحده، طراحی گردید (BA-8140/U). این باتری غیر قابل شارژ، انرژی ۴۰۰ وات ساعت را ارائه می‌دهد [45].

BA-8180/U به طور معمول با تجهیزات قابل حمل، در مکان‌هایی که در آن انرژی الکتریکی در دسترس نیست و یا در عملیات طولانی استقامتی که تجهیزات مورد نیاز است استفاده می‌شوند، مانند گشت دوربرد و تیم‌های عملیات ویژه. در اینگونه مواقع از بسته باتری روی هوا در یک کوله پشتی قابل حمل به عنوان منبع تغذیه رادیو و بیسیم استفاده می‌شوند.

کاربرد دیگر باتری‌های روی هوا، شارژ کردن باتری‌های قابل شارژ از جمله سلول‌های لیتیم یون است. ارتش ایالات متحده در حال برنامه‌ریزی طرحی به منظور توسعه شارژر پیشرفته از باتری BA-8180/U به عنوان یک منبع انرژی برای باتری‌های قابل شارژ است. منابع دیگر پشتیبانی شده توسط سیستم عبارتند از پنل‌های خورشیدی و باتری خودرو برقی می‌باشد.

فرماندهی ارتباطات الکترونیک ارتش ایالات متحده در سال ۲۰۰۳ بعد از آزمایش‌های فراوان و تجربه مثبت با نیروهای نظامی‌در جریان عملیات در عراق و افغانستان به کاربرد بیشتر این نوع از باتری‌ها روی آورد. بطوری که در نوامبر سال ۲۰۰۳ خرید ۱۵۰۰۰۰ باتری BA-8180/U را سفارش داد که ارزش آن سفارش بالغ بر ۴/۱ میلیون دلار بوده است.

۱۰-۳-۱۴-۳- شرکت Electric fuel

شرکت Electric Fuel در سال ۱۹۹۷ در قراردادی با شرکت Elektronik GmbH از هامبورگ آلمان باتری توان بالای روی – اکسیژن برای اژدرهای سنگین را ساخت [46]. فاز بندی این قرار داد در جدول ۳-۲۲ آمده است.

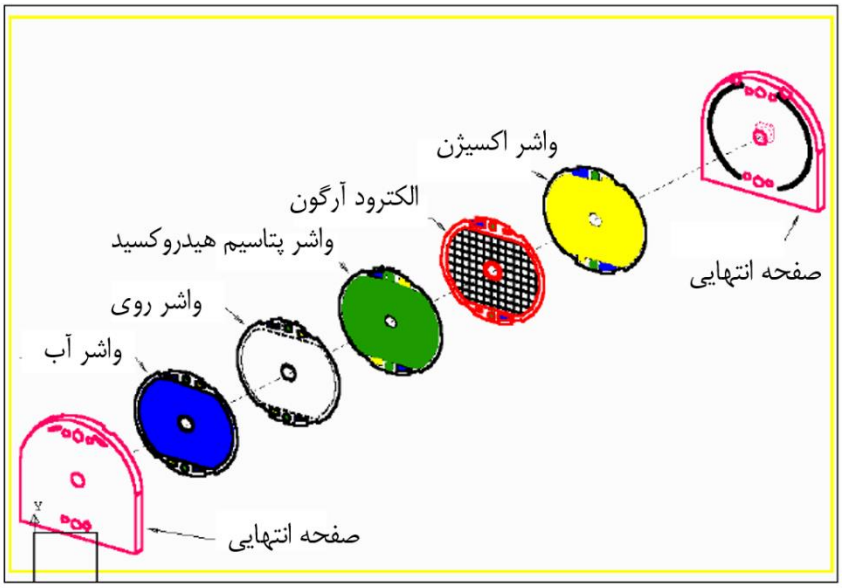
جدول ۳- ۲۰- زمان‌بندی فازهای انجام پروژه

	فازیک				فاز دو			
	تا فصل دوم ۱۹۹۶	تا فصل اول ۱۹۹۶	تا فصل چهارم ۱۹۹۵	تا فصل سوم ۱۹۹۵	تا فصل دوم ۱۹۹۷	تا فصل اول ۱۹۹۷	تا فصل چهارم ۱۹۹۶	تا فصل سوم ۱۹۹۶
فاز یک								
طراحی مفهومی								
ارزیابی یک سلول								
ارزیابی بسته ۵ سلولی								
ارزیابی بسته ۲۱ سلولی								
فاز دوم								
افزایش سایز سلول								
ساخت ابزار								
بسته کامل ۵ سلولی								
بسته کامل ۵۱ سلولی								

- طراحی سلول

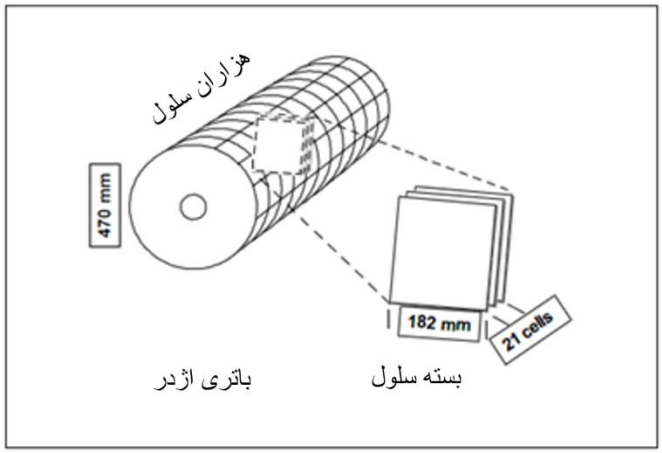
هر سلول شامل تعدادی صفحه است که بوسیله واشرها از هم جدا می‌شوند. واشرها به مسیر دهی و جدا کردن اکسیژن، مایع خنک کننده و الکترولیت کمک می‌کنند.

شمایی از اجزای سل در شکل ۳-۴۳ نشان داده شده است.



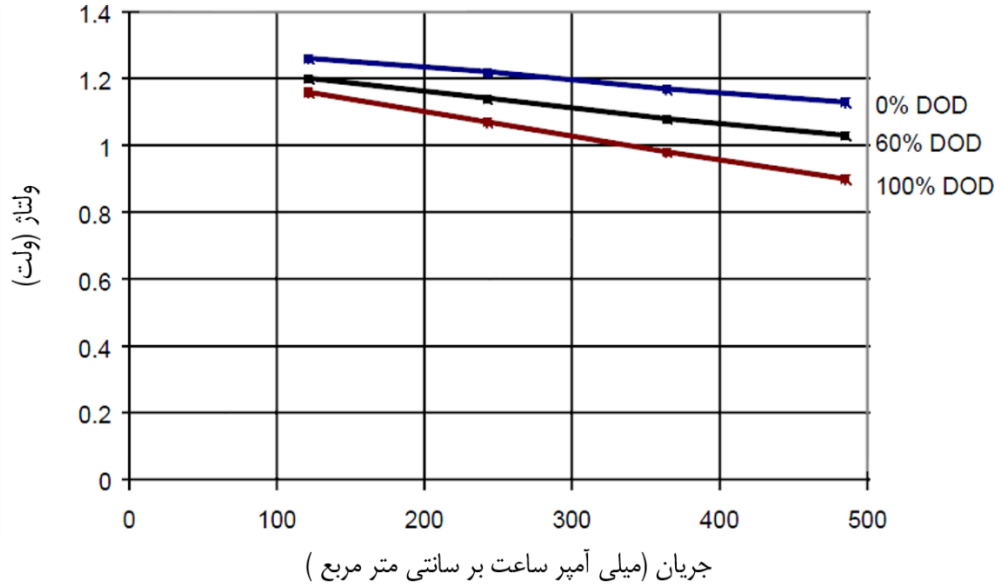
شکل ۳- ٤١- نمایشی از اجزای سلول روی-اکسیژن

هر سلول مربعی است که اندازه هر ضلع آن ۱۸/۲ سانتی‌متر و مساحت فعال آن ۳۳۰ سانتی متر مربع است. شکل ۳-۴۴ رابطه بین استک سلول و هدف طراحی استک سلول برای اژدر را به صورت شماتیک نشان می‌دهد.



شکل ۳- ٤٢- استک باتری روی- هوا

در این پروژه ابتدا سلول تکی مورد ارزیابی قرار گرفت. بیش از ۶۰ سلول در طی چهار ماه دشارژ شد. سلول‌ها در حدود ۴۰ آمپر ساعت در دانسیته جریان بین ۱۳۰ تا ۳۷۵ میلی آمپر ساعت بر سانتی متر مربع شارژ شدند. ولتاژ سلول بین ۱/۴۵ ولت (مدار باز) و ۰/۹ ولت (پایان دشارژ) بود. سپس دشارژها به صورت ۵ سلولی و بعد ۲۱ سلولی و در آخر ۵۱ سلولی انجام شده است. شکل ۳-۴۵ منحنی ولتاژ- جریان را در طی پلاریزاسیون جریان بالا در سه نقطه در ۱۰۰ درصد عمق دشارژ[1] نشان می‌دهد.



شکل ۳- ۴۳- منحنی ولتاژ- جریان در طی پلاریزاسیون جری‌ان بالا در سه نقطه در ۱۰۰ درصد عمق دشارژ

- توسعه اهداف طولانی مدت برای استک اژدرهای سنگین شامل:

- ✓ چگالی جریان بالای ۵۰۰ وات بر کیلوگرم و ۱۰۰ وات بر لیتر
- ✓ چگالی انرژی ۱۷۵ وات ساعت بر کیلوگرم و ۳۵۰ وات ساعت بر لیتر
- ✓ فعال‌سازی استک در طی ۳ ثانیه

در انتهای این گزارش آمده است: استک سلول روی–اکسیژن توان بالا طراحی شده برای کاربرد در اژدر سنگین بهینه‌سازی شد. فناوری روی–اکسیژن نسبت توان و چگالی انرژی را با جابجا کردن نسبت مقادیر جرم روی و فضای

[1] Depth of discharge

اکسیژن کاتد امکان می‌سازد. به عنوان مثال استفاده از آندهای ضخیم‌تر روی، یعنی آند با جرم روی بیشتر به ازای صفحه، چگالی انرژی بیشتر ولی دانسیته توان کمتر برای مجموع استک خواهد داشت.

۳-۱۱-۳-۱۴- ساخت باتری روی–هوا جهت استفاده در هواپیمای بدون سرنشین

در جدول ۳-۲۳ مشخصات باتری روی–هوای بکارگیری شده در هواپیمای بدون سرنشین ساخت شرکت Electric fuel نشان داده شده است.

جدول ۳- ۲۱- مشخصات باتری روی – هوا در هواپیمای بدون سرنشین

ردیف	مشخصه	مقدار	واحد
۱	ویژگی‌های الکتریکی		
۲	توان (شروع)	۳۰۰	وات
۳	توان (در حالت کروز)	۱۰۰	وات
۴	دانسیته انرژی	۲۹۰	وات ساعت بر کیلوگرم
۵	دانسیته توان (شروع)	۴۲۰	وات بر کیلوگرم
۶	دانسیته توان (کروز)	۱۴۰	وات بر کیلوگرم
۷	ولتاژ	۲۴	ولت
۸	ویژگی های مکانیکی		
۹	وزن	۷۲۰	گرم
۱۰	تعداد سلول‌ها	۲۱	عدد
۱۱	ابعاد هر سلول	۳*۵۹*۶۵	میلی متر

در شکل ۳-۴۶ نمونه ۲۱ سلولی باتری روی–هوا جهت استفاده به عنوان منبع تولید توان پهپاد نشان داده شده است [47].



شکل ۳- ٤٤-نمونه ۲۱ سلولی باتری روی– هوا به عنوان منبع تولید توان پهپاد

۱۲-۳-۱۴-۳- ساخت استک باتری روی–هوا در اتوبوس در سال ۲۰۰۰

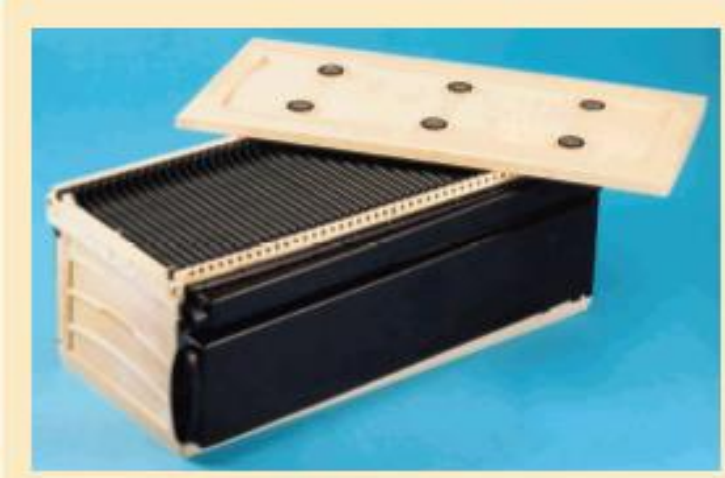
برنامه اتوبوس برقی روی–هوا در اواخر سال ۱۹۹۸، با کمک مالی اداره حمل و نقل فدرال آغاز شد. فاز یک برنامه در ژوئن سال ۲۰۰۰ با موفقیت و تست حرکت یک اتوبوس به اتمام رسید.



شکل ۳- ٤٥- اتوبوس دارای باتری روی – هوا

هر ماژول پیل سوختی شامل ۴۷ سلول روی–هوا است که به صورت سری به هم متصل شده‌اند و می‌توانند با ظرفیت ۱۷/۴ کیلووات ساعت قبل از اینکه با استک تازه روی سوخت گیری مجدد شوند، دشارژ شوند و مسافت ۲۵۰ مایلی را خودرو

طی کند. اتوبوس حمل و نقل Electric fuel، سه بسته که هر کدام شامل ۶ ماژول هستند، را حمل می‌کند. شکل ۳–۴۸ ماژول روی– هوا را نشان می‌دهد [48] .



شکل ۳- ٤٦- ماژول روی– هوای استفاده شده در اتوبوس

در جدول ۳–۲۴ مشخصات ماژول روی–هوا آمده است.

جدول ۳- ۲۲- مشخصات ماژول روی –هوا در اتوبوس

ردیف	مشخصه	مقدار	واحد
۱	تعداد سل	۴۷	–
۲	ولتاژ مدار باز	۶۷	ولت
۳	ولتاژ عملیاتی	۵۷/۴۰	ولت

۴	ظرفیت	۳۲۵	آمپرساعت
۵	ظرفیت انرژی	۱۷/۴	کیلووات ساعت
۶	پیک توان	در ۸۰ ٪ عمق دشارژ- ۸	کیلووات
۷	وزن	۸۸	کیلوگرم
۸	حجم	۷۹	لیتر
۹	دانسیته انرژی	۲۰۰ وات	ساعت بر کیلوگرم
۱۰	ابعاد	۷۲۶*۳۵۰*۳۱۰	میلی متر

۳-۱۳-۳-۱۴- بازار باتری روی هوا

این باتری در توان‌های پایین برای استفاده در داخل سمعک تجاری شده و در بازار ایران موجود است. همچنین شرکت پاورزینک امریکا ادعا دارد نمونه‌ای از باتری روی–هوای قابل شارژ را برای موتورسیکلت ساخته است. اما اکثرا مصارف نظامی داشته و برای تامین توان تجهیزات سرباز (مانند بی سیم) مورد استفاده قرار گرفته است.

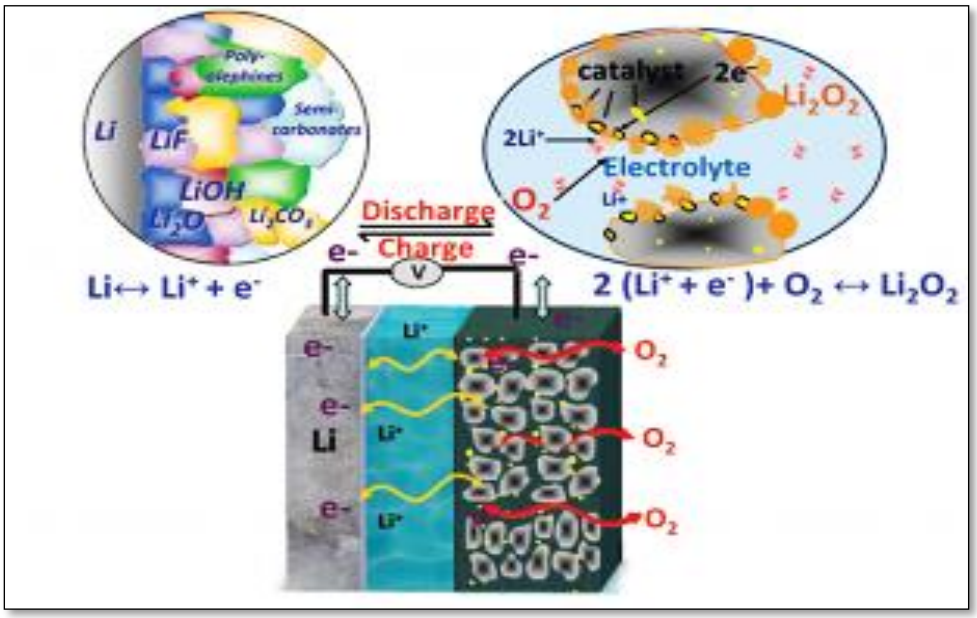
۳-۱۵- باتری لیتیم هوا

تاکنون در بین فناوری‌های ذخیره کننده انرژی مبتنی بر الکترود هوا، باتری‌های لیتیم اکسیژن یا لیتیم هوا بالاترین دانسیته انرژی را نشان داده و با عدد Wh/kg ۱۱۴۰۰ نزدیک‌ترین فاصله را با بنزین دارد. دانسیته انرژی بالای باتری‌های لیتیم- اکسیژن از این حقیقت ناشی می‌شود که اکسیدکننده اکسیژن، در الکترود ذخیره نمی‌شود و به راحتی از محیط اطراف به دست می‌آید. بنابراین دانسیته انرژی تئوری باتری لیتیم–اکسیژن به جرم اتمی پایین فلز لیتیم در آند نسبت داده می‌شود و الکترونگاتیوی پایین فلز لیتیم سبب انتقال راحت الکترون‌ها به یون لیتیم می‌شود [50 , 49] .

شرکت پلی‌پلاس مقایسه‌ای بین باتری لیتیم- هوا (لیتیم–آب دریا) با باتری‌های لیتیمی و پیل سوختی انجام داده است. این مقایسه بیشتر بین سیستم‌هایی صورت گرفته است که دارای دانسیته انرژی بالا هستند که بصورت خلاصه در شکل ۳-۴۹ آورده شده است.

۱-۱۵-۳- تاریخچه

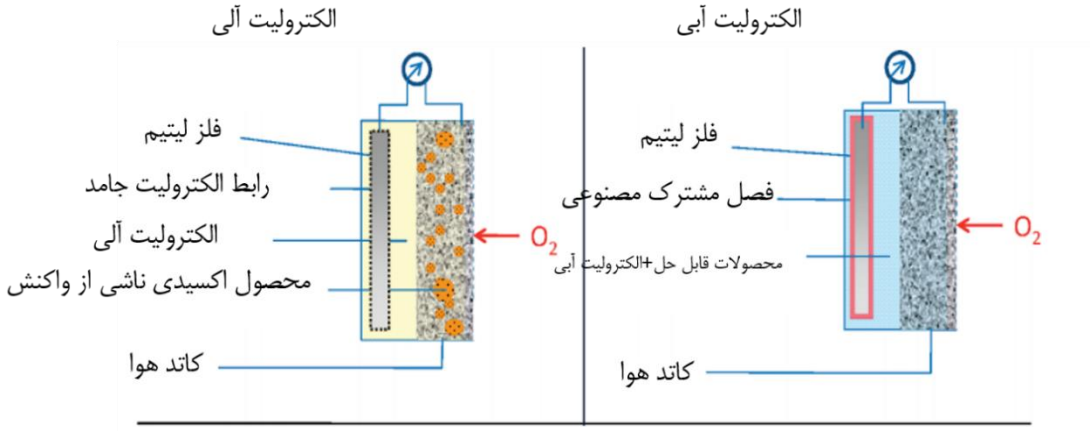
باتری‌های لیتیم–هوا برای اولین بار در سال ۱۹۷۰ برای کاربرد در اتومبیل‌ها پیشنهاد داده شده بود (شکل ۳–۵۰). بار در سال ۱۹۷۶ به وسیله لاکهید ، لیتار و تسای توسعه پیدا کرد. در سال ۱۹۹۶ آبراهام و همکارانش باتری لیتیم– هوا قابل شارژی را معرفی کردند که از فلز لیتیم به عنوان آند و کاتد آن الکترود کربن بود.



شکل ۳- ٤٧- طرح شماتیکی از باتری لیتیم- هوا

چهار پیکربندی شیمیایی براساس الکترولیت بکار رفته برای باتری‌های لیتیم–هوا در سراسر جهان اتخاذ شده است که در شکل ۵۱–۳ نشان داده شده است.

- الکترولیت‌های غیرآبی (آپروتیک)
- الکترولیت‌های آبی
- الکترولیت‌های هیبریدی (سیستم مخلوط با یک کاتد فرورفته در الکترولیت آبی و یک آند فرورفته در الکترولیت آپروتیک)
- الکترولیت‌های جامد



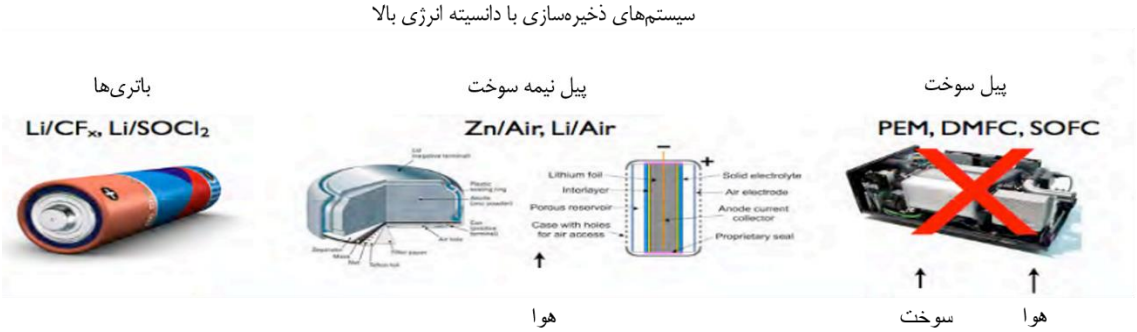
شکل ۳- ٤٨- چهار ساختار مختلف باتری لیتیم-هوا. سه الکترولیت مایع شامل سیستم‌های آپروتیک، آبی، مخلوط آپروتیک-آبی و ساختار کاملا حالت جامد [۵۲]

الکتروشیمی پایه باتری‌ها بستگی به الکترولیت اطراف کاتد دارد. هر چهار سیستم از فلز لیتیم و هوا به عنوان آند و کاتد استفاده می‌کنند. هرچند مکانیسم آن‌ها با توجه به الکترولیت استفاده شده بستگی دارد اما پیکربندی الکترولیت‌های غیرآبی شبیه به باتری‌های لیتیم-یون متداول است. باتری‌های لیتیم-یون متداول از مواد کربنی یا آلیاژها به عنوان آند و از اکسیدهای فلزی لیتیم یا ترکیبات فسفاتی آن به عنوان کاتد و از نمک لیتیم حل شده در حلال آپروتیک به عنوان الکترولیت استفاده می‌کنند. باتری‌های لیتیم-هوا از گاز اکسیژن به عنوان عامل کاتدی استفاده می‌کنند و کربن متخلخل و ترکیبات کاتالیستی به عنوان ذخیره کننده‌های Li_2O_2 در کاتد هستند. همچنین فلز لیتیم به عنوان آند استفاده می‌شود. تفاوت اصلی این دو سیستم این است که باتری‌های لیتیم-هوا به سیستم بازی برای ورود هوا نیاز دارند. این سیستم باز نیازمند به قسمت‌های اضافی نظیر غشاهای جداکننده‌ی آب از هوا می‌باشند [۵۴ و ۵۳].

در سال ۲۰۰۴ لایه‌ی سرامیکی محافظ شیشه‌ای LiSICON برای فلز لیتیم توسط پلی پلاس ارائه شد. این لایه فلز لیتیم را قادر می‌کند تا در برابر آب پایدار بماند. این هادی نسبت به یون‌ها رساناست و در مقابل واکنش‌های شدید با آب مقاوم است. بنابراین پلی پلاس باتری‌های لیتیم-هوا را با استفاده از الکترولیت‌های آبی توسعه داد. سیستم الکترولیت آبی

ترکیبی از آند فلزی لیتیم، الکترولیت آبی، الکترود هوا است. مکانیسم واکنش برای باتری‌های لیتیم–هوای آبی از باتری‌های لیتیم–هوای غیرآبی متفاوت است [۵۶ و ۵۵].

همچنین پلی پلاس یک نوع هیبریدی از الکترولیت‌های آبی به شکل: آند لیتیم// الکترولیت غیرآبی/ غشای سرامیکی–شیشه‌ای‌هادی یون‌ها / الکترولیت آبی// کاتد هوا نشان داد. همچنین انواع لایه‌های محافظ سرامیک–شیشه‌ای به منظور بهبود واکنش‌های انتقال بار بین یون‌های لیتیم و فلز لیتیم و الکترولیت‌های آبی ارائه شد. اخیرا باتری‌های لیتیم–هوای تماما جامد توسط کومار و همکارانش نشان داده شده است [۵۷].

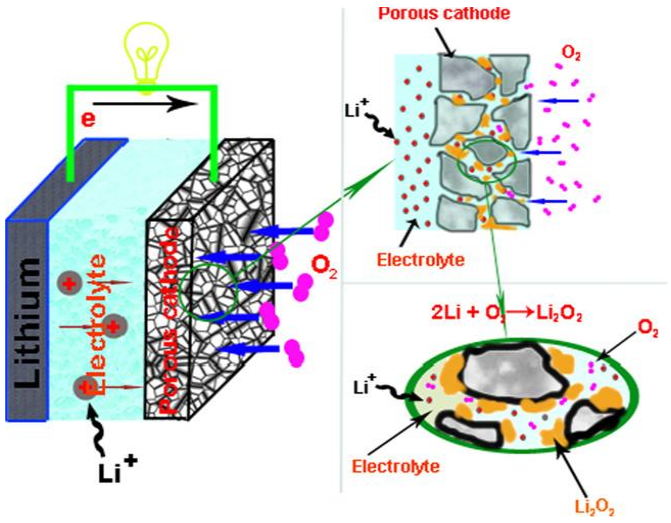


شکل ۳- ۴۹- سیستم‌های ذخیره‌سازی با دانسیته انرژی بالا[۵۱]

همانطوری که در شکل مشاهده می‌شود باتری‌های لیتیم–هوا و روی–هوا کارایی بهتری نسبت به دو سیستم پیل سوختی و باتری‌های لیتیمی دارند که دلیل اصلی آن‌را می‌توان نیاز به محفظه فشار برای استفاده از باتری‌های لیتیمی دانست که همین موضوع باعث کاهش ۵۰٪ چگالی انرژی باتری می‌شود.

۲-۱۵-۳- باتری‌های لیتیم– هوا آپروتیک

در بین انواع مختلف باتری‌های لیتیم– هوا، فقط این نوع است که قابلیت شارژ مجدد را دارد بنابراین از اهمیت ویژه ای برخوردار است. شکل ۳–۵۲ ساختار این باتری را به طور شماتیک نمایش می‌دهد.



شکل ۳- ۵۰- پیکربندی یک باتری لیتیم- هوا آپروتیک [۵۸]

در طول دشارژ در یک باتری لیتیم- هوا آپروتیک، یک واکنش اکسایش در آند رخ می‌دهد. الکترون درون یک مدار بیرونی جریان می‌یابد و یون‌های لیتیم به وجود آمده در اثر این واکنش، به سمت کاتد حرکت کرده و در کاتد با اکسیژن واکنش می‌دهند و پراکسید لیتیم تولید می‌کنند. در کاتد، بر طبق واکنش‌های زیر، اکسیژن به دو یا چهار الکترون کاهش می‌یابد:

$$O_2 + 2e^- + 2Li^+ = Li_2O_2 \qquad (3.10V)$$

$$O_2 + 4e^- + 4Li^+ \rightarrow 2Li_2O \qquad (2.90V)$$

دو واکنش بالا در صورت به کار بردن پتانسیل‌های بیرونی برگشت پذیر می‌باشند. بر اساس بررسی‌های انجام شده توسط آبراهام و بروس با استفاده از طیف سنجی رامان، محصول غالب دو واکنش بالا است. به علاوه، یک مکانیسم در فرآیند شارژ شدن این باتری‌ها توسط بروس پیشنهاد شده است. در طول فرآیند شارژ، به وسیله تجزیه مستقیم، واکنش اکسایش به صورت زیر انجام می‌شود:

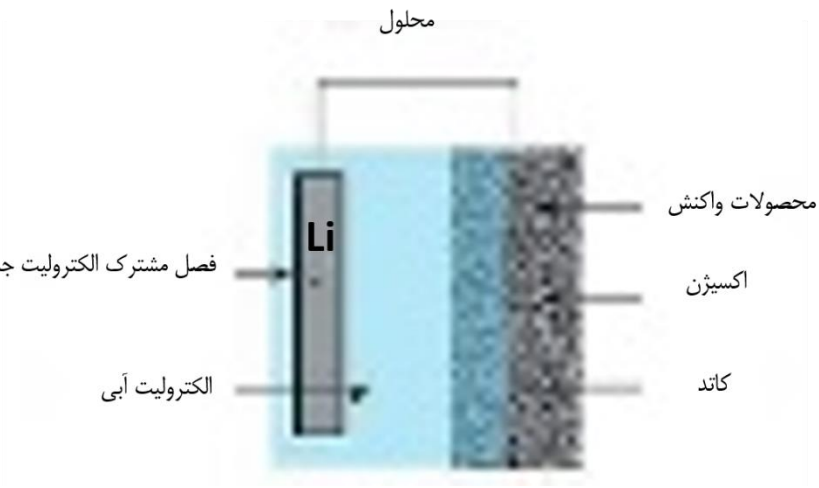
$$Li_2O_2 \rightarrow 2Li^+ + 2e^- + O_2$$

بنابراین می‌توان گفت که مسیرهایی که توسط اکسایش و کاهش دنبال می‌شود متفاوت می‌باشد. در شارژ، در یک واکنش یک مرحله‌ای، Li_2O_2 مستقیماً تجزیه می‌شود تا اکسیژن به دست آید و ماده حد واسط دیگری تولید نمی‌شود. اخیراً، ویسکو و همکارانش [۵۹] یک باتری آپروتیک طراحی کرده‌اند که در آن آند برای محافظت از واکنش با رطوبت با

یک سرامیک مصنوعی که در باتری سطح مشترک بین آند و الکترولیت است پوشانده می‌شود. این سل توانست در هوای حاوی ۵۰ درصد رطوبت نسبی، ۶۰ چرخه در $4/0 \quad mA/cm^2$ شارژ شود. در مورد این نوع پیکربندی و همچنین پیکربندی‌های دیگر، مشکل تکامل دادن یک سیستم تنفسی یک پارچه برای عبور دادن اکسیژن و جلوگیری از ورود ناخالصی‌ها و آلودگی‌های موجود در هوا (مثل آب، دی‌اکسیدکربن، نیتروژن، مونوکسید کربن و غیره) نیز مطرح می‌باشد.

۳-۱۵-۳- باتری‌های لیتیم-هوا با الکترولیت آبی

این نوع از باتری‌ها شامل یک الکترود آند، یک الکترود کاتد و یک الکترولیت آبی می‌باشند. پتانسیل تخلیه بار در این نوع طراحی از پتانسیل تخلیه بار در انواع دیگر بالاتر است. ولی فلز لیتیم با آب شدیداً واکنش می‌دهد و نیاز است که الکترود آند از الکترولیت با استفاده از یک لایه پلیمری یا سرامیکی جدا شود که این امر باعث بالا رفتن مقاومت ظاهری شده و دانسیته انرژی باتری را کاهش می‌دهد. (**Error! Reference source not found.**) این نوع باتری را به طور شماتیک نمایش می‌دهد. این نوع از باتری‌ها به طور کامل توسط پلی پلاس [۶۰] تکامل یافتند. در این نوع از باتری‌ها، تاکنون گزارشی مربوط به قابل شارژ بودن با یک پتانسیل خارجی مطرح نشده است مگر این که محصولات حاصل از واکنش به طور مکانیکی از باتری جدا شوند و واکنش دهنده‌های جدید جایگزین شوند. بزرگترین مزیت این نوع باتری‌ها (و باتری‌های هیبریدی) این است که محصولات حاصل از واکنش دشارژ در آب قابل حل‌اند که این منجر به حذف ناخالصی‌ها در کاتد، جلوگیری از انبساط حجمی و رسیدن به قابلیت هدایت الکتریکی ساختار آپروتیک می‌باشد. یک چالش بزرگ برای این نوع باتری‌ها تکامل یک غشاء با قابلیت هدایت مناسب یون‌های لیتیم است. این غشاء از واکنش آند با آب جلوگیری می‌کند. برای این کار به یک غشاء مصنوعی پایدار در برابر آب و لیتیم نیاز است.



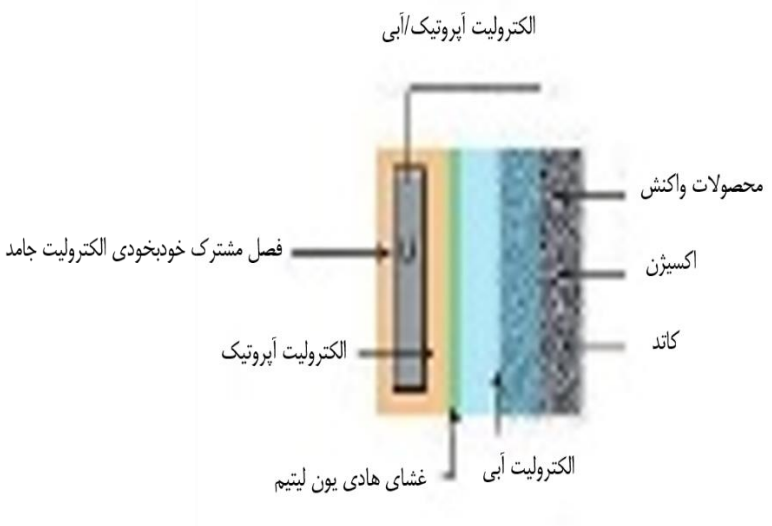
شکل ۳- ۵۱- پیکربندی باتری لیتیم- هوا با الکترولیت آبی

واکنش‌های اصلی که در کاتد این نوع از باتری‌های لیتیم–هوا رخ می‌دهند به صورت زیر است:

$$2Li + (1/2)O_2 + 2H^+ \rightarrow 2Li^+ + H_2O \quad (acidic \quad media)$$
$$2Li + (1/2)O_2 + H_2O \rightarrow 2LiOH \quad (alkaline \quad media)$$

۳-۱۵-۴- باتری‌های لیتیم–هوا با ساختار هیبریدی (مخلوطی از آبی و آپروتیک)

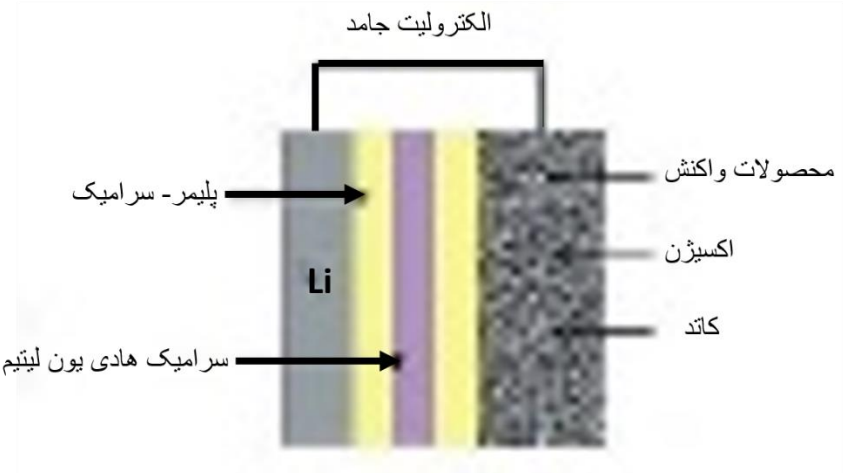
در این نوع ساختار نیز پیکربندی کلی مانند موارد قبل است. در این نوع طراحی سعی شده که از مزیت‌های هر دو نوع الکترولیت استفاده شود. همین مسئله باعث بروز مشکلاتی می‌شود. این نوع ساختار نیاز به یک پیکربندی هیبریدی دارد. به عبارت دیگر، علاوه بر این که باید الکترولیت‌ها از الکترودها به وسیله مواد واسطه جدا شوند، الکترولیت‌ها نیز باید توسط یک سرامیک یا پلیمر از هم جدا شوند. این مسئله باعث بالا رفتن مقاومت ظاهری و متعاقباً باعث پایین آمدن کارایی باتری می‌شود و البته با به کار بردن سرامیک‌ها و پلیمرها با قابلیت هدایت بالای شارژ، می‌توان این مشکل را تا حد زیادی کاهش دهد. همان طور که ذکر شد، یک چالش بزرگ برای این نوع باتری‌ها تکامل یک غشاء با قابلیت هدایت مناسب یون‌های لیتیم است. این غشاء از واکنش آند با آب جلوگیری می‌کند. **Error! Reference source not found.** پیکربندی این نوع باتری را به طور شماتیک نمایش می‌دهد. این نوع باتری توسط پلی پلاس [۵۴] و وانگ [۵۸] تکامل یافتند.



شکل ۳- ۵۲- پیکربندی باتری‌های لیتیم- هوا با الکترولیت آپروتیک/آبی

۳-۱۵-۵- باتری‌های لیتیم-هوا با الکترولیت جامد

این نوع طراحی مشکلات ناشی از تماس بین الکترولیت‌های مایع با الکترودها را از بین می‌برد. همچنین، این نوع از باتری‌ها از نظر ایمنی از بقیه باتری‌های لیتیم-هوا مناسب‌ترند. مثلاً در نوع آپروتیک، به کار بردن الکترولیت آلی در دمای بالا، ممکن است خطراتی به خاطر قابل اشتعال بودن مواد آلی به همراه داشته باشد، ولی در این نوع از باتری‌های لیتیم-هوا با این مشکلات و محدودیت‌های دمایی در کاربردشان مواجه نمی‌شویم. باتری‌های رایج از این نوع، از یک آند لیتیمی، یک الکترولیت سرامیکی یا شیشه‌ای یا ترکیبی از این دو و کاتد شکل گرفته از کربن فعال متخلخل تشکیل شده‌اند. آند و کاتد توسط کامپوزیتی از پلیمر و سرامیک از الکترولیت جدا می‌شوند. به کار بردن کامپوزیت ذکر شده باعث کاهش مقاومت ظاهری این نوع باتری می‌شود. بزرگ‌ترین مانع بر سر این نوع از باتری‌ها، رسانایی پایین اکثر الکترولیت‌های سرامیکی و شیشه‌ای است. اخیراً بیان شده که الکترولیت لیتیم آلومینیوم ژرمانیوم فسفات یک الکترولیت با رسانایی بالا بوده و بازدهی مناسبی در این نوع باتری‌ها خواهد داشت. اما، همچنان رسانایی آن در انتقال یون‌های لیتیم از الکترولیت‌های مایع کمتر می‌باشد. **Error! Reference source not found.** پیکربندی باتری‌های لیتیم-هوا با الکترولیت جامد را نمایش می‌دهد. واکنش الکتروشیمیایی در باتری‌های دارای الکترولیت جامد تاکنون به طور مطلوب شناخته نشده است اما بیان شده که مشابه با باتری‌های آپروتیک است. این نوع باتری‌ها توسط کومار و همکارانش [۶۱] به خوبی بررسی شدند.



شکل ۳- ۵۳- پیکربندی باتری‌های لیتیم- هوا با الکترولیت جامد

۶-۱۵-۳- الکترو آند

مشکلات بسیاری در کاربرد باتری لیتیم–هوا وجود دارد که شامل زوال زودهنگام به دلیل تجزیه و رطوبت ناخواسته است. به خصوص لیتیم که بسیار واکنش‌پذیر است و باید از آبی که از هوای اطراف به قسمت آند نفوذ می‌کند ایزوله گردد. این اصلی‌ترین دلیل برای استفاده از اکسیژن خالص به عنوان ماده فعال در باتری لیتیم–هوا است. حذف آب و هوا در الکترود هوا کار دشواری است. الکترولیت در مدت زمان طولانی ممکن است آلوده گردد. در نتیجه پایداری آند در الکترولیتی که ممکن است حاوی آب باشد از بحرانی‌ترین نکات استفاده در دراز مدت است. اخیرا تلاش‌هایی برای حفاظت از آند لیتیمی از خوردگی توسط آب صورت گرفته است. حفاظت از آند فلز لیتیم در سیستم لیتیم–هوای آپروتیکی به همان روش سیستم آبی صورت می‌گیرد. الکترولیت‌های حالت جامد پایدار آبی مانند NASICON هادی لیتیم و کامپوزیت‌های آن همراه با پلیمرهای پایه PEO و اکسی نیتریدهای فسفرو لیتیم LIPON بکار رفته شده و پایداری بالایی در سیستم‌های الکترولیتی حاوی آب از خود نشان دادند [۶۲].

با این حال هدایت یون لیتیم در الکترولیت حالت جامد باید بهبود یابد همچنین بهبود الکترولیت‌های آب گریز نیز یک روش احتمالا مناسب می‌باشد. کوبوکی [۶۳] مشاهده کرد که الکترولیت مایع یونی آب گریز ۱–اتیل ۳–متیل ایمیدازولیم بیس تری فلورو متیل سولفانیل آمید از تبخیر الکترولیت و هیدرولیز آند جلوگیری می‌کند. باتری لیتیم– هوایی که از این الکترولیت استفاده می‌کند قادر به دشارژ در چگالی جریان mA/cm^2 ۰/۰۱ به مدت ۵۶ روز در هوا با رطوبت ۶۰٪ است.

لیتیم آند می‌تواند با مواد آندی دیگر که در باتری لیتیم –یون استفاده می‌گردد مانند Si یا Sn جایگزین شود. این روش‌ها ممکن است که پایداری آند را بالا ببرند اما مقدار لیتیم در دسترس را کاهش داده و دانسیته انرژی باتری لیتیم –هوا را کاهش می‌دهند.

۷-۱۵-۳- مزایا و معایب انواع باتری‌های لیتیم – هوا

در **Error! Reference source not found.** مزایا و معایب انواع باتری‌های لیتیم– هوا براساس الکترولیت مورد استفاده آورده شده است.

جدول ۳- ۲۳- مقایسه انواع الکترولیت باتری‌های لیتیم – هوا [٥٦]

نوع	واکنش سل	مزایا	معایب
آپروتیک (بدون آب)	$O_2 + 2e^- + 2Li^+ \rightarrow Li_2O_2$ (3.10 V)	دانسیته انرژی تئوری بسیار زیاد، قابل شارژ	محصولات غیر قابل انحلال

آبدار	$O_2 + 4e^- + 4Li^+ \rightarrow 2Li_2O$ (2.90 V) $4Li + O_2 + 2H_2O = 4LiOH$ (alkaline electrolyte) $4Li + O_2 + 4H^+ = 4Li^+ + 2H_2O$ (acid electrolyte)	عدم تشکیل رسوب روی کاتد، عدم تاثیر رطوبت	فقدان یک غشاء هادی یون لیتیم با کارایی بالا، غیر قابل شارژ بودن
هیبریدی	$4Li + O_2 + 2H_2O = 4LiOH$ (alkaline electrolyte) $4Li + O_2 + 4H^+ = 4Li^+ + 2H_2O$ (acid electrolyte)	عدم تشکیل رسوب روی کاتد، عدم تاثیر رطوبت، دانسیته انرژی تئوری بسیار زیاد، قابل شارژ	فقدان یک جامد مناسب هادی یون لیتیم، عدم تعیین رفتار شارژ
جامد	$O_2 + 2e^- + 2Li^+ \rightarrow Li_2O_2$ (3.10 V)	امکان استفاده از هوا، پایداری مناسب، عدم تشکیل دندریت بر روی فلز لیتیم	هدایت پایین یون لیتیم در الکترولیت، دانسیته انرژی مناسب نیست

۸-۱۵-۳- چالش‌های باتری لیتیم–هوا

کمبود منابع لیتیم

به طور کلی منابع لیتیم در دنیا محدود است بنابراین اکثر کارخانجات تولید کننده باتری لیتیمی در تلاش برای جداسازی لیتیم از باتری‌های مستعمل هستند.

دانسیته جریان پایین

با اینکه ولتاژ این باتری بالاست (ولتای نامی ۳/۱ ولت) که نشان دهنده ظرفیت بالاست. اما دانسیته جریان پایین (در حد ۱ میلی امپر بر سانتی متر مربع) می‌دهد. در

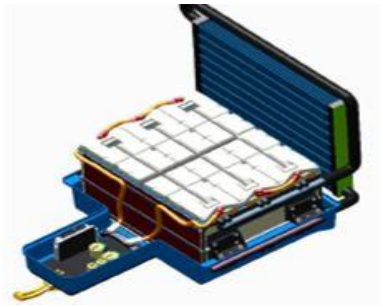
	لیتیم–یون	**لیتیم–هوا**
ولتاژ نامی سلول(ولت)	۳.۷۵	۳.۱

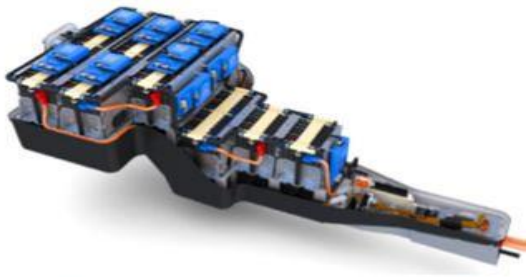
شکل ۳-۵٤- مقایسه لیتیم –

ظرفیت سلول(آمپر ساعت)	۴۱	۳۲۲
پیکربندی	۱۸۰ S1P	۱۴۴ S1P
تعداد سلول	۱۸۰	۱۴۴
ولتاژ نامی بسته (ولت)	۶۷۵	۴۶۴
انرژی نصب شده بسته (کیلو وات ساعت)	۲۸	۱۴۴
شارژ/ دشارژ با توان پیوسته(کیلووات)	۵۵/۸۱	۲/۱
وزن بسته(کیلوگرم)	۲۵۵	۲۶۱
حجم بسته(لیتر)	۲۵۰	۳۱۵
دانسیته وزنی انرژی بسته(وات ساعت بر کیلوگرم)	۱۰۸	۴۹۹
دانسیته حجمی انرژی بسته(وات ساعت بر لیتر)	۱۱۲	۴۵۴
روش مدیریت دمایی	مایع (آب/گلیکول)	مایع (مایع یونی)

یون با لیتیم–هوا

دو باتری لیتیم–یون و لیتیم–هوا با وزن تقریبا مشابه با هم مقایسه شده‌اند. همانطور که در شکل واضح است نمونه لیتیم–یون دارای توان ۵۵ کیلووات و نمونه لیتیم – هوا توان خروجی ۱ کیلووات دارد.





	لیتیم–یون	**لیتیم–هوا**

شکل ۳-۵۴- مقایسه لیتیم_یون با لیتیم-هوا

ولتاژ نامی سلول(ولت)	۳.۷۵	۳.۱
ظرفیت سلول(آمپر ساعت)	۴۱	۳۲۲
پیکربندی	۱۸۰ S1P	۱۴۴ S1P
تعداد سلول	۱۸۰	۱۴۴
ولتاژ نامی بسته (ولت)	۶۷۵	۴۶۴
انرژی نصب شده بسته (کیلو وات ساعت)	۲۸	۱۴۴
شارژ/ دشارژ با توان پیوسته(کیلووات)	۵۵/۸۱	۲/۱
وزن بسته(کیلوگرم)	۲۵۵	۲۶۱
حجم بسته(لیتر)	۲۵۰	۳۱۵
دانسیته وزنی انرژی بسته(وات ساعت بر کیلوگرم)	۱۰۸	۴۹۹
دانسیته حجمی انرژی بسته(وات ساعت بر لیتر)	۱۱۲	۴۵۴
روش مدیریت دمایی	مایع (آب/گلیکول)	مایع (مایع یونی)

چرخه عمر پایین

در موقع دشارژ اکسیژن باید از اکسید لیتیم و دی اکسید لیتیم جدا شود و به دلیل پیوند قوی اکسیژن و لیتیم اینکار کمی مشکل است بنابراین تعداد چرخه شارژ و دشارژ در این باتری پایین است.

کاربرد در خودرو

خودروی هیبریدی

الف: شرکت تویوتا موتور و گروه BMW در حال کار مشترک بر روی باتری‌های نسل بعدی به نام "لیتیم- هوا" برای وسایل نقلیه سبز هستند که برای اولین بار در اواخر سال ۲۰۱۱ اعلام شد.

ب: محاسبات شرکت AMPTRANT نشان می‌دهد (**Error! Reference source not found.** که وزن باتری لیتیم-هوا در خودروی الکتریکی ساخت این شرکت با توان ۱۳۶ کیلووات ساعت حدود نصف وزن باتری لیتیم-یون با توان ۸۵ کیلووات ساعت می‌باشد [۶۴].



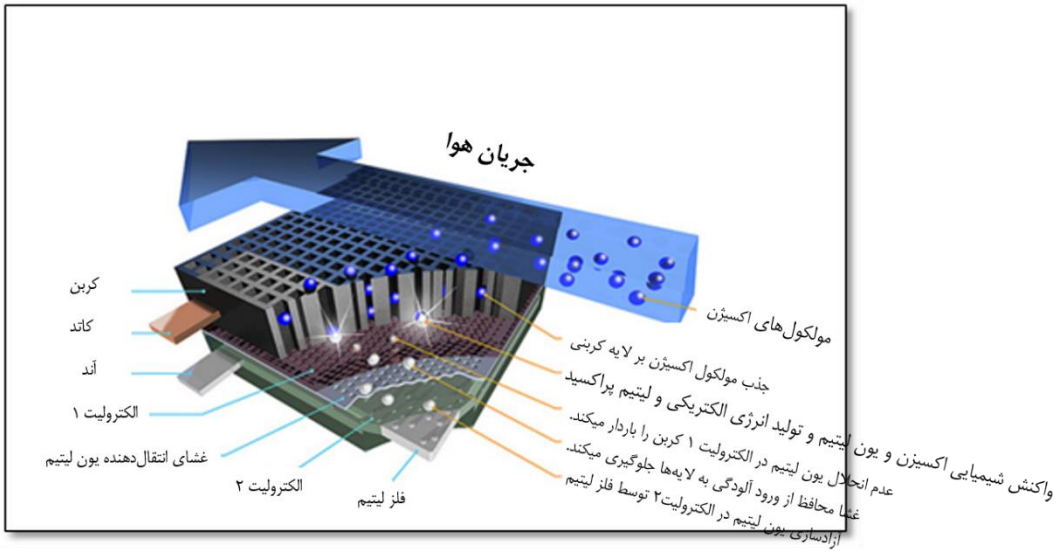
شکل ۳-۳ خودروی هیبریدی امپترانت

Error! Reference source not found. خودروی الکتریکی در حال ساخت شرکت امپترانت را با خودروهای الکتریکی دیگر نشان می‌دهد.

جدول ۳- ۲٤- مقایسه باتری ها در خودرو

نام کمپانی	نام خودرو	توان باتری	وزن باتری	مسافت طی شده با یک بار شارژ	نوع باتری استفاده شده
نیسان	Nissan Leaf	--	---	۷۸ مایل	لیتیم یون
Coda	Coda	--	---	۱۲۵ مایل	لیتیم یون
تسلا	Tesla Model S	۸۵ کیلو وات ساعت	۱۵۰۰ پوند	۲۵۰ مایل	لیتیم- یون
AMPTRANS	AMPTRANS Model T	۱۳۶ کیلو وات ساعت	۸۰۰ پوند	۴۰۰ مایل	لیتیم- هوا

شرکت IBM در حال توسعه باتری لیتیم-هوا برای افزایش برد خودرو به میزان ۸۰۰ کیلومتر است [۶۵]. (نام پروژه (Battery 500 project, IBM



شکل ۳- ۵۵- پروژه باتری ۵۰۰

- کاربردهای فضایی و هواپیمایی

در زمینه استفاده از باتری لیتیم- هوا برای کاربردهای هوافضا سازمان ناسا فعال می‌باشد و در این زمینه هیبریدی از باتری لیتیم-هوا و لیتیم-یون را طراحی کرده است.

- شارژر موبایل و لپ تاپ و تجهیزات الکترونیکی

در شکل ۳-۵۹ ساعت ساخته شده به همراه باتری لیتیم-هوا نشان داده شده است.



شکل ۳- ٥٦- ساعت با باتری لیتیم- هوا

- منبع انرژی در ایستگاه‌های مخابراتی و هواشناسی

با توجه به اینکه برخی از ایستگاههای مخابراتی و هواشناسی از منابع انتقال انرژی به دور هستند لذا باتری‌های لیتیم- هوا با توجه به دانسیته انرژی بالا می‌توانند جایگزین خوبی برای سایر باتری‌ها باشند.

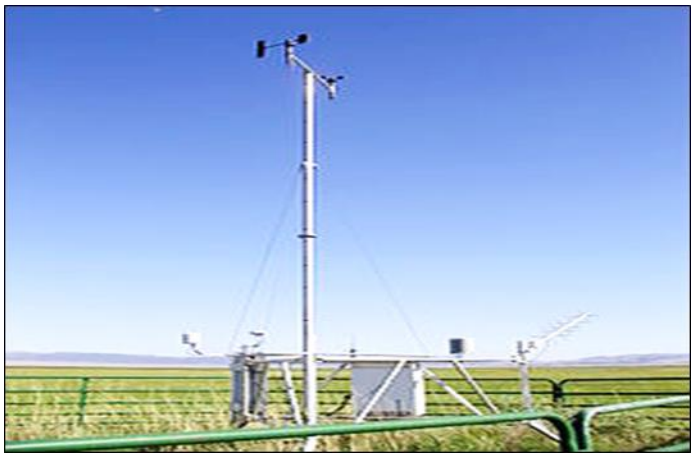
۹-۱۵-۳- شرکت‌ها و موسسات فعال در زمینه باتری لیتیم–هوا

اسامی دانشگاه‌ها و مراکزی که در زمینه باتری‌های لیتیم هوا فعالیت می‌کنند به شرح

است.

جدول ۳- ۲۵- دانشگاه‌ها و مراکز فعال در زمینه باتری‌های لیتیم هوا

ردیف	نام شرکت	کشور	آدرس سایت
۱	Japan Advanced Institute of Science and Technology	ژاپن	http://www.aist.go.jp/index_en.html
۲	International Business Machines Corporation	آمریکا	www.ibm.com
۳	Korea Advanced Institute of Science and Technology	آمریکا	www.kaist.edu
۴	Massachusetts Institute of Technology	آمریکا	web.mit.edu
۵	Pacific Northwest National Laboratory	آمریکا	www.pnnl.gov
۶	polyplus	آمریکا	www.polyplus.com
۷	amsung Advanced Institute of Technology	کره جنوبی	www.sait.samsung.com
۸	toyota	ژاپن	http://www.toyota-global.com/innovation/environmental_technology/next_generation_secondary_.batteries.html
۹	tesla	آمریکا	https://www.teslamotors.com
۱۰	volkswagen	آلمان	http://cleantechnica.com/2014/03/26/lithium-air-batteries-planned-volkswagen/
۱۱	OHARA	ژاپن	www.oharacorp.cpm
۱۲	Teledyne	کانادا	/www.teledynees.com/products

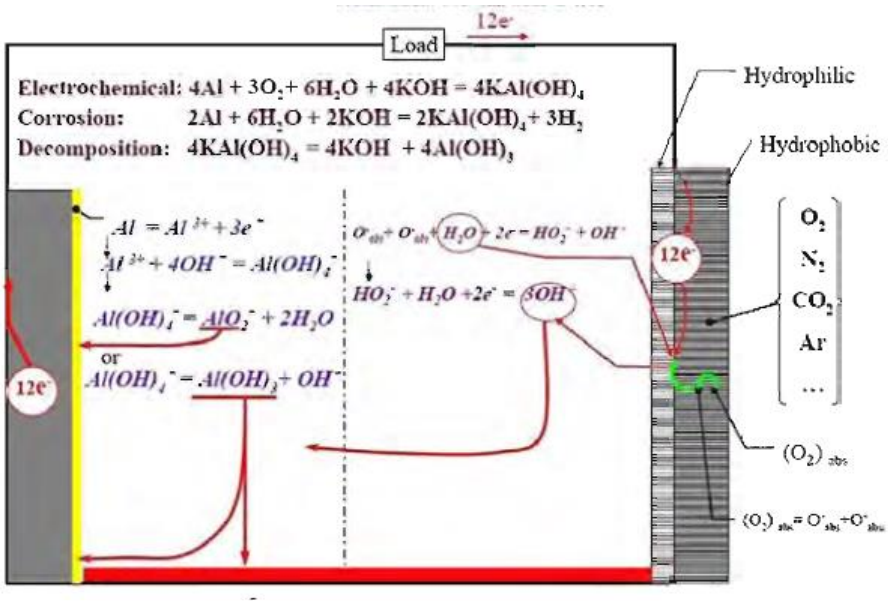


شکل ۳- ۵۷- ایستگاه هواشناسی

۳-۱۶- باتری آلومینیم-هوا

تحقیقات کنونی در زمینه ذخیره سازهای انرژی بر کاهش وزن سیستم جهت افزایش چگالی انرژی متمرکز می‌باشند. وزن کم سیستم‌های ذخیره انرژی آلومینیومی مانند سیستم‌های $AL\text{-}O_2$ یا Al-S سبب شده است تا علاقه‌مندی نسبت به این سیستم ها افزایش پیدا کند. در میان چنین سیستم‌هایی، باتری آلومینیوم هوا با چگالی انرژی ویژه ۴۰۰Wh/kg از باتری‌های لیتیوم یونی پیشی می‌گیرد. سل آلومینیوم هوا (شکل ۳-۶۱) یک باتری فلز هوای نوع اول می‌باشد که از یک آند آلومینیومی و یک کاتد عبور دهنده هوا در تماس با یک الکترولیت مایع مانند سدیم هیدروکسید، سدیم کلرید یا پتاسیم هیدروکسید تشکیل شده است. فراوانی زیاد آلومینیوم، واکنش برگشت پذیر بازیافت و قابلیت شارژ سریع با تعویض آند از مزایای این نوع باتری می‌باشد [۶۶].

پتانسیل استاندارد آلومینیوم در محلول‌های قلیایی با توجه به دیاگرام پوربه ۲/۴- ولت می‌باشد ولی در عمل بدلیل واکنش‌های متفاوتی که در سطح آن رخ می‌دهد پتانسیل به مقدار ۱/۶۶- ولت کاهش پیدا خواهد کرد. از جمله این واکنش‌ها می‌توان به تشکیل و یا انحلال لایه و انتقال الکترون سه گانه و تشکیل، تشکیل محصولات خوردگی و واکنش جانبی تصعید هیدروژن بر اثر احیای آب در مواضع کاتدی موضعی در سطح آند اشاره نمود. خوردگی آلومینیوم در محلول‌های آبی امکان نگهداری باتری‌های آلومینیوم هوای خیس را از بین خواهد برد و بازدهی دشارژ آن را کاهش خواهد داد. تحقیقاتی در زمینه افزایش سرعت اکسیداسیون آلومینیوم و جلوگیری از خوردگی آن در حال انجام می‌باشد.



شکل ۳- ۵۸- شماتیک سل آلومینیوم هوا

تحقیقات در زمینه باتری‌های آلومینیوم هوا به ۵۰ سال قبل برمی‌گردد. این در حالی است که بعضی از آن‌ها بصورت مقالات در اختیار ما قرار دارند و خیلی از آن‌ها در اختیار شرکت‌های خصوصی می‌باشد. بعضی از تحقیقات از دید الکتروشیمیایی به باتری‌های آلومینیوم هوا نگاه می‌کنند. در حالی که بعضی دیگر بر باتری‌های آلومینیوم هوا تمرکز کرده و جزئیات نتایج بدست آمده در فرآیند توسعه این نوع باتری‌ها را ارائه می‌نمایند. بعضی از مقالات به بررسی نقش آلومینیوم در محلول‌های نمکی جهت استفاده از آن بعنوان محافظ کاتدی بدنه زیردریایی‌ها پرداخته‌اند و بعضی دیگر آن را در شرایط مدار باز و در محلول‌های قلیایی در مقایسه با مهندسی هسته ای بررسی کرده‌اند. در حال حاضر، باتری‌های قابل شارژ فلز هوا مانند باتری‌های لیتیم–هوا و روی–هوا توانسته توجه زیادی را به خود جلب نماید.

در حال حاضر، کاربردهای باتری‌های آلومینیوم–هوا در حال گسترش می‌باشد. زیرا این نوع باتری‌ها طراحی ساده‌ای داشته و انرژی زیادی تامین می‌کنند. همچنین مشکلات امنیتی و زیست محیطی باتری‌های لیتیوم–هوا را نخواهند داشت. همچنین قابلیت بازیافت ساده محصولات آلومینیومی نیز از مزایای آن می‌باشد.

تحقیقات زیادی در زمینه آلیاژسازی آلومینیوم خالص با سایر عناصر انجام گرفته است. دلیل این امر فعال‌سازی سطح آند می‌باشد. در این میان بهینه سازی الکترولیت و استفاده از آلومینیوم‌های تجاری می‌تواند سبب کاهش هزینه‌های انجام شده گردد.

۱-۱۶-۳- خوردگی آلومینیوم ۹۹/۹۹۹ wt% در محلول‌های قلیایی

باتری‌های آلومینیومی از نوع باتری‌های غیر قابل شارژ می‌باشند. بدلیل پتانسیل استاندارد این نوع باتری‌ها، تصاعد هیدروژن پیش از هر گونه نشست آلومینیوم در قطب منفی رخ خواهد داد به همین جهت قابلیت شارژ مجدد از طریق جایگزینی آند جدید امکانپذیر می‌باشد. واکنش دشارژ ایده آل کلی بصورت زیر می‌باشد:

$$4\,Al + 3O_2 + 6H_2O \rightarrow Al(OH)_3 \qquad E_{cell} = 2.7\,V$$

الکترود منفی یک الکترود عبور دهنده هوا می‌باشد. بعبارت ساده این نوع الکترودها بستر کربنی هستند که می‌توانند اکسیژن و الکترولیت را در تماس با یک نوع کاتالیست قرار دهند تا سبب احیای اکسیژن شود.

$$O_2 + 2H_2O + 4e^- \rightarrow 4OH^- \qquad E_{cell} = -2.4\,V$$

همزمان با اکسیداسیون آلومینیوم، یک واکنش جانبی تولید هیدروژن در اثر احیای آب خواهیم داشت:

$$\mathrm{H_2}O + e^- \rightarrow 0.5H_2 + OH^- \qquad E_{cell} = -0.93\,V$$

واکنش‌های فوق در حضور یک الکترولیت قلیایی و در سطح آلومینیوم در رقابت با یکدیگر می‌باشند. جریان برآیند که در مدار به گردش در می‌آید حاصل تفاضل جریان انحلال آلومینیوم I_{d} و جریان خوردگی $\mathrm{I_{corr}}$ می‌باشد.

$$I = I_d - I_{corr}$$

می‌توان با بدست آوردن پتانسیل مدار باز و یا پتانسیل خوردگی به بررسی رفتار آلومینیوم و آلیاژهای آن پرداخت.

۲-۱۶-۳- انتخاب الکترولیت برای باتری‌های آلومینیوم-هوا

الکترولیت انتخاب شده برای باتری‌های آلومینیوم هوا معمولا یک محلول آبی قلیایی مانند سدیم هیدروکسید یا پتاسیم هیدروکسید می‌باشد. همچنین محلول‌های خنثی نمکی هم مورد بررسی قرار گرفته‌اند. زیرا چنین محلول‌هایی در مقایسه با سایر محلول‌ها سرعت خوردگی را کاهش داده و اثرات نامطلوب زیست محیطی کمتری دارند حضور کربن دی اکسید در الکترولیت سبب بسته شدن حفرات کاتد خواهد شد و درنتیجه کاتد از کار خواهد افتاد هرچقدر میزان انحلال محصولات خوردگی در الکترولیت و هدایت الکترولیت بیشتر باشد، پتانسیل کاری باتری افزایش پیدا خواهد کرد [۶۷]. این امر از جهت کاربردی برای خودروهای الکتریکی و ربات‌های مکانیکی حائز اهمیت می‌باشد.

۳-۱۶-۳- آلیاژهای آلومینیوم

آلومینیوم خالص در الکترولیت قلیایی بدون ممانعت کننده، شرایط لازم جهت استفاده بعنوان آند چنین باتری‌هایی را نخواهد داشت. زیرا سطح آن توسط لایه پسیو هیدروکسید پوشیده خواهد شد که پتانسیل اضافی زیادی را به همراه خواهد داشت. همچنین جریان‌های خوردگی بدلیل احیای آب در سطح آن و تصعید هیدروژن شدید خواهد بود.

آلیاژسازی آلومینیوم با سایر عناصر سبب فعال نمودن سطح آلومینیوم خواهد شد. هدف از فعال‌سازی کاهش پتانسیل اضافی ناشی از اکسیداسیون در اثر شکسته شدن لایه‌های اکسیدی و افزایش پتانسیل اضافی جهت احیای آب در سطح آلومینیوم و تصاعد هیدروژن می‌باشد.

۴-۱۶-۳- تاثیر افزودنی‌های الکترولیت روی آند آلومینیومی

تهیه آلیاژ آلومینیوم با عناصر آلیاژی همچون قلع و ایندیوم هزینه تمام شده را افزایش خواهد داد. در عوض می‌توان با استفاده از ممانعت کننده‌ها از خوردگی آلومینیوم در الکترولیت‌های قلیایی جلوگیری نمود [۶۸]. از مزایای استفاده از چنین روشی می توان به موارد زیر اشاره نمود:

– امکان استفاده از آلومینیوم‌های متداول و غیر خالص بجای استفاده از آلومینیوم‌های با درجه خلوص بالا در این روش وجود خواهد داشت.

– این یون‌ها سبب خواهند شد تا پتانسیل اضافی تصعید هیدروژن در سطح آند افزایش پیدا کند.

– ممانعت از احیای آب سبب خواهد شد تا پتانسیل مدار باز به مقادیر منفی‌تری منتقل گردد [۵۱].

معمولا عناصر استفاده شده در الکترولیت همان عناصری می‌باشند که در آلیاژسازی با آلومینیوم مورد استفاده قرار می‌گیرند. همچنین می‌توان از عناصری در الکترولیت استفاده نمود که هیدروکسید آلومینیوم را به گونه‌های پودری کریستالی تبدیل کند. بدین ترتیب محصولات خوردگی به درون الکترولیت خواهند ریخت و ادامه واکنش آندی امکانپذیر خواهد بود [۶۹].

مشخص شده است که نمی‌توان از گالیوم بعنوان ممانعت کننده در الکترولیت استفاده نمود زیرا سبب خواهد شد واکنش خوردگی آلومینیوم با سرعت بیشتری افزایش پیدا کند [۶۸]. از محدودیت‌های استفاده از ممانعت‌کننده ها در الکترولیت می‌توان به موارد زیر اشاره نمود:

– تغییر ترکیب الکترولیت.

– تشکیل رسوبات غیر محلول در الکترولیت که می‌تواند سبب بسته شدن حفره‌های کاتد شده و روی سینتیک واکنش کاتدی تاثیر بگذارد [۷۰].

۵-۱۶-۳- الکترود نفوذ دهنده هوا

کاتد (الکترود نفوذ دهنده هوا) از گران قیمت‌ترین اجزای باتری‌های فلز هوا می‌باشد و بازدهی باتری تا حد زیادی به آن بستگی خواهد داشت [۷۱]. تکنولوژی چنین کاتدهایی توسط افراد مختلف بررسی شده است [۸۰–۷۲]. جهت دستیابی به بازدهی بالا می‌بایست با توجه به مشخصات کاتدهای ذکر شده در جدول ۳–۳۰ کاتد مناسب انتخاب و استفاده گردد. با توجه به جدول ۳–۳۰ می‌توان دریافت اکثر کاتدهای هوا دارای ساختار لایه‌ای با دو لایه عبور دهنده هوا و ذرات کاتالیست به همراه توری نیکل در میانشان می‌باشند. نسبت کربن به چسب در اکثر کاتدها مشابه یکدیگر می‌باشد. تخلخل‌های ایجاد شده در سطح کاتد سبب خیس شدن سطح آن بدون نشت الکترولیت به سمت مقابل می‌شود [۸۴–۸۱]. درصد تخلخل به شدت به میزان زینترینگ و فشار اعمال شده حین ساخت کاتد بستگی خواهد داشت.

می‌توان با استفاده از کربن با سطح ویژه بالا، مقاومت کاتد را کاهش داد. همچنین شرایط جهت احیای اکسیژن نیز مناسب تر خواهد بود. اعمال اکسیژن خالص بجای هوا سبب افزایش شدت جریان خروجی خواهد شد. **Error! Reference source not found.** بررسی انواع کاتدهای عبور دهنده هوا را نشان می‌دهد. همه طراحی‌ها شامل یک توری نیکل می‌باشند.

جدول ۳- ۲۶- خواص کاتدهای مورد استفاده در باتری آلومینیوم-اکسیژن

Gas diffusion layer	Catalyst	Preparation of carbon supported catalyst	Active layer composition	I_L/mA cm^{-2}
Perovskite type				
CB, 4.7 m^2 g^{-1}, 30% PTFE	1.9 mg cm^{-2} $La_{0.6}Sr_{0.4}Mn_{0.8}Fe_{0.2}O_3$	Reverse micelle	KB 1270 m^2 g^{-1}, 15% PTFE	500 mA cm^{-2} at −67 mV *vs.* Hg/HgO, oxygen flow
CB 74 m^2 g^{-1}, 15–25% PTFE	3.5–9.9 mg cm^{-2} $La_{0.6}Ca_{0.4}CoO_3$	Amorphous citrate precursor	CB 830 m^2 g^{-1}, 15–25% PTFE	3000 mA cm^{-2} at −125 mV *vs.* Hg/HgO oxygen flow; 166 mA cm^{-2} at −125 mV *vs.* Hg/HgO air flow
70% AB, 30% PTFE	50% $La_{0.6}Ca_{0.4}CoO_3$	Amorphous citrate precursor	35% KB 1300 m^2 g^{-1}, 15% PTFE	300 mA cm^{-2} at −200 mV *vs.* Hg/HgO, air flow
30–50% carbon, 50–70% PTFE	$La_{0.6}Ca_{0.4}CoO_3$	Amorphous citrate & drip pyrolysis	Graphite/graphitised AB, 25% PTFE	1000 mA cm^{-2} at −275 mV *vs.* Hg/HgO, oxygen flow
70% CB 47 m^2 g^{-1}, 30% PTFE	6 mg cm^{-2} $LaMnO_3$	Reverse micelle	85% KB 1270 m^2 g^{-1}, 15% PTFE	300 mA cm^{-2} at −300 mV *vs.* Hg/HgO, air flow
70% CB 47 m^2 g^{-1}, 30% PTFE	6 mg cm^{-2} $LaMnO_3$	Reverse micelle	KB 1270 m^2 g^{-1}, 15% PTFE	400 mA cm^{-2} at −100 mV *vs.* Hg/HgO, air flow
70% CB 47 m^2 g^{-1}, 30% PTFE	$LaMnO_3$, 20–30 nm	NAC-FAS & milling	KB 1270 m^2 g^{-1}, 15% PTFE	300 mA cm^{-2} at −80 mV *vs.* Hg/HgO, air flow
40% AB/active carbon mixture, 60% PTFE	10% $La_{0.6}Sr_{0.4}MnO_3$, 20–50 nm	Sol-gel & ultrasonic dispersion	50% CB, 40% PTFE	324 mA cm^{-2} at −200 mV *vs.* Hg/HgO
70% CB 47 m^2 g^{-1}, 30% PTFE	$La_{0.4}Ca_{0.6}Mn_{0.9}Fe_{0.1}O_3$, 15 nm	Reverse micelle	KB 1270 m^2 g^{-1}, 15% PTFE	500 mA cm^{-2} at −50 mV *vs.* Hg/HgO, oxygen flow
Porphyrin				
65% Vulcan HT, 35% PTFE	Co-TMPP	Sigma Aldrich & dispersion with n-hexane	70% Vulcan, 30% PTFE	500 mA cm^{-2} at −250 mV *vs.* Hg/HgO, air
30–50% carbon, 50–70% PTFE	CoTPP, 10–80 nm	Acetate precursor method	Vulcan 254 m^2 g^{-1}, 10–20% PTFE	1000 mA cm^{-2} at −186 mV *vs.* Hg/HgO, oxygen flow
Spinel				
70% EB, 30% PTFE	25% $LiMn_2Co_1O_4$	Amorphous citrate method	60% CB, 15% PTFE	500 mA cm^{-2} at −400 mV *vs.* Hg/HgO, oxygen flow
70% EB, 30% PTFE	25% $LiMn_{1.4}Co_{0.6}O_4$	Amorphous citrate method	60% CB, 15% PTFE	2500 mA cm^{-2} at −300 mV *vs.* Hg/HgO, oxygen flow
40% AB, 60% PTFE	$MnCo_2O_4$	Nitrate precursor in microwave oven	Acetylene black	250 mA cm^{-2} at −140 mV *vs.* Hg/HgO, air
Catalyst mixtures				
40% Vulcan XC-72, 60% PTFE	9.5 mg cm^{-2} $La_{0.1}Ca_{0.9}MnO_3$/ 1.5 mg cm^{-2} CoTPP	Direct precipitation	Ketjan Black & Vulcan	300 mA cm^{-2} at −190 mV *vs.* Hg/HgO

نحوه تهیه‌سازی کاتالیست می‌تواند از عوامل تاثیر گذار بر کارایی کاتد باشد. برای مثال یکنواختی بهتر توزیع ذرات کاتالیست سبب خواهد شد بازدهی افزایش پیدا کند. روش سنتز هم روی سطح فعال کاتالیست‌ها تاثیرگذار خواهد بود. در بسیاری از روش‌ها، به یک عملیات حرارتی جهت فعالسازی سطح کاتالیست نیاز می‌باشد. بدیهی است پارامترهای پیچیده‌ای در طراحی یک کاتد هوا با مشخصات بهینه وجود خواهد داشت.

زمانی که کاربردهای با چگالی انرژی بالا نیاز باشد، می‌توان از کاتالیست اکسید منگنز استفاده نمود. زیرا فعالیت کاتالیستی آن بالا بوده و پایداری خوبی دارد. همچنین میزان سمیت و قیمت آن نیز پایین می‌باشد. امروزه کاتدهای عبور دهنده هوا با اعمال فشار بین پودر کربن، کاتالیست و توری فلزی تهیه می‌شوند. این بدان معنی است که کاتالیست در تماس مستقیم با توری جمع کننده نمی‌باشد و همین امر سبب کاهش پتانسیل خواهد شد. می‌توان با اتصال مستقیم کاتالیست و توری مقاومت اهمی را کاهش داد. رسوب دهی الکتریکی اکسید منگنز می‌تواند برای این امر استفاده گردد.

جدول ۳- ۲۷- شرکت‌های سازنده باتری آلومینیوم–هوا

ردیف	نام شرکت	کشور	آدرس سایت
۱	Altek	آمریکا	http://www.altekfuel.com
۲	fujipigment	ژاپن	http://www.fuji-pigment.co.jp/en/index.html
۳	evionyx	امریکا	http://www.evionyx.com
۴	Aluminum power	آمریکا	http://www. Aluminum power.com
۵	ALCOA	آمریکا- اسرائیل	http://www.Alcoa.com
۶	Phinergy	رژیم اشغالگر فلسطین	www.phinergy.com

به غیر از ماشین مدل S تسلا با رنج عملکردی ۳۰۰ مایل (۵۰۰ کیلومتر)، اکثر ماشین‌های باتری لیتیم یونی، بازه عملکردی پایین‌تری دارند و بعد از طی مسافت کمتری باید مجددا شارژ شوند. در حال حاضر، چند شرکت در حال کار بر روی نسل بعدی باتری‌ها، یعنی فناوری باتری‌های هوایی هستند و اکثر آن‌ها روی باتری‌های لیتیم– هوایی تمرکز کرده‌اند. به گزارش گروه خودرو هیتنا، باتری‌های آلومینیومی–هوای Phinergy و ALCOA برای تولید برق، از انرژی واکنش آلومینیوم و آب با اکسیژن استفاده می‌کنند. در این واکنش، یک کاتالیزور با پایه نقره و ساختاری منحصر به فرد تنها به مولکول‌های اکسیژن اجازه می‌دهد که وارد سلول باتری شوند و از ورود مولکول های مشکل ساز CO_2 جلوگیری می‌کند. این شرکت ادعا می‌کند که مسافت عملکردی (با یک بار شارژ)، قیمت خرید، عمر و هزینه‌های شارژ این باتری، قابل مقایسه با هزینه تمام شده استفاده از ماشین‌های بنزینی است.

١٧-٣- مراجع

1- Becker, H. Low Voltage Electrolytic Capacitor. U.S. Patent 2,800,616A, 23 July 1957.
2- Espinar, B., Mayer, D., The role of energy storage for mini-grid stabilization, Report, IEAPVPST11-0X, 2011.
3- "About Sodium-Sulfur (NaS) Batteries" The Energy Blog, January 18, 2006.
4- Kevin Bullis, “Sodium-Ion Cells for Cheap Energy Storage”, Technology Review, Published by MIT, Wednesday December 2, 2009.
5- Mullen technologies,INC. AMPTRANS Motor Corporation in conjunction with Mullen Technologies has developed the first Nano Lithium Air Battery (NLAB) Technology.
6- J. Hassoun, A. Fernicola, M. Navarra, S. Panero, B. Scrosati, J. Power Sources, 195 (2010) 574-579.
7- Shukla, P.R.; Dhar, Subash; Pathak, Minal; Bhaskar, Kalyan, Promoting low carbon transport in India, Electric Vehicle Scenarios and a Roadmap for India, 2014.
8- Electrical and Electronics Technical Team Roadmap, US DRIVE, 2017.
9- Global EV Outlook 2017, Two million and counting iea
10- Electromobility in Germany: Vision 2020 and Beyond, Germany, trade & invest, 2016.
11- Lead Agency, Commissioning Agencies, NCCS, National climate change secretar prime ministers office Singapure.
12- Gert Berckmans, Maarten Messagie, Jelle Smekens, Noshin Omar, Lieselot Vanhaverbeke and Joeri Van Mierlo, Cost Projection of State of the Art Lithium-Ion Batteries for Electric Vehicles Up to 2030, MOBI Research Group, Vrije Universiteit Brussel, Pleinlaan 2, 1050 Brussels, Belgium; 2017.
13- Han Hao, Xiang Cheng, Zongwei Liu, Fuquan Zhao, China's traction battery technology roadmap: Targets, impacts and concerns, State Key Laboratory of Automotive Safety and Energy, Tsinghua University, Beijing 100084, China, www.elsevier.com/locate/enpol, 2017.
14- David Greenwood, ROADMAPPING THE EV FUTURE, Battery technology, mass manufacturing and the prospects ahead, WMG, The University of Warwick d.greenwood@warwick.ac.uk, 2017.
15- Perspectives of automotive battery R&D in China, ermany, Japan, and the USA Dominic Bresser, Kei Hosoi, David Howell, Hong Li, Herbert Zeisel, Khalil Amine, Stefano Passerini, Journal of Power Sources, journal homepage: www.elsevier.com/locate/jpowsour.
16- Alessandro Varotto. AIR-ELECTRODE BATTERIES: MATERIALS, TECHNOLOGIES, AND GLOBAL MARKETS. Mar 2014. By BCC Research.
17- M. Mirzaeian, P.J. Hall, J. Power Sources, 195 (2010) 6817-6824.
18- G. Girishkumar, B. McCloskey, A. Luntz, S. Swanson, W. Wilcke, J.Phys. Chem. Lette, 1 (2010) 2193-2203.
19- M. Armand, J.-M. Tarascon, Nature, 451 (2008) 652-657.
20- D.A. Scherson, A. Palencsar, Interface, 15 (2006) 17-22.
21- J. Hassoun, A. Fernicola, M. Navarra, S. Panero, B. Scrosati, J. Power Sources, 195 (2010) 574-579.

22- M.G. Kim, J. Cho, Adv. Funct. Mater., 19 (2009) 1497-1514.
23- Y.G. Guo, J.S. Hu, L.J. Wan, Adv. Mater., 20 (2008) 2878-2887.
24- H. Cheng, K. Scott, J. Power Sources, 195 (2010) 1370-1374.
25- M. Wakihara, Mater. Sci. Eng., 33 (2001) 109-134.
26- P. Sapkota, H. Kim, J. Ind. Eng. Chem., 15 (2009) 445-450.
27- See. K, Hollman.M. Beyond Lithium-Ion: A Roadmap for Next-Generation Batteries. 2013 Lux Research, Inc.
28- http://www.eosenergystorage.com/energy-storage-library/registration . 2012.
29- . J. Martin, V. Neburchilov, H. Wang, and W. Qu, "Air cathodes for metal-air batteries and fuel cells," Electr. Power Energy Conf. (EPEC), 2009 IEEE, pp. 1–6, 2009.
30- P. G. B. Nobuyuki Imanishi, Alan C. Luntz, The Lithium Air Battery: Fundamentals, vol. 1. 2014.
31- P. Pei, K. Wang, and Z. Ma, "Technologies for extending zinc-air battery's cyclelife: A review," Appl. Energy, vol. 128, pp. 315–324, 2014.
32- Hero Ion. Electric wheel rim motors powered by lithium-air battery pack
33- J. J. Martin, V. Neburchilov, H. Wang, and W. Qu, "Air cathodes for metal-air batteries and fuel cells," Electr. Power Energy Conf. (EPEC), IEEE, pp. 1–6, 2009.
34- J.-S. Lee, S. Tai Kim, R. Cao, N. Choi, M. Liu, K. T. Lee, and J. Cho, "Metal-Air Batteries with High Energy Density: Li-Air versus Zn-Air," Adv. Energy Mater., vol. 1, no. 1, pp. 34–50, 2011.
35- S. Muller, F. Holzer, O Hass, C. Schlatter, C. Comninelis, Chimia, 1995. Development of rechargeable monopolar and bipolar zinc/air batteries. 49:27.
36- Katrin Harting∗, Ulrich Kunz, and Thomas Turek, 2012. Zinc-Air Batteries: Prospects and Challenges for Future Improvement, Phys. Chem. 226.
37- Yang, C-C and S.-J. Lin, Journal of power sources, 2002. 112(1): p. 174-183.
38- Zhang, C., et al., Journal of applied electrochemistry, 2001. 31(9): p. 1049-1054.
39- .D.W.Xia, D.Solts, J .smid. 1984. Solid State Jonics, 14,221.
40- C. C. Yang, S.-J. Lin, 2002.Alkaline composite PEO-PVA- glass- fibre- mat polymer electrolyte for zinc battery. J. Power Sources. 112. 497.
41- Y. Kiros, Separation and permeability of zincate ions through membranes. J. PowerSources.62. 117. 1996.
42- C. Chakkaravarthy, A. K. A. Waheed, H. V. K. Udupa, 1981. 'Zinc-air alkaline batteries-A review. J. Power Sources. 6. 203.
43- L. Jörissen, 2006. Bifunctional oxygen/air electrodes. J. Power Sources. 155. 23.
44- Zinc Air Battery Manufacturers in the World.
45- BA-8180/U Battery Specification. www.electric-fuel.com.
46- Binyamin Koretz, Neal Naimer DEVELOPMENT OF A COMPACT HIGH-POWER ZINC-OXYGEN BATTERY FOR A HEAVYWEIGHT TORPEDO. Electric Fuel Limited.
47- Binyamin Koretz, Neal Naimer , Zinc-Air Batteries for UAVs and MAVs.
48- Powering Future Vehicles with the Refuelable Zinc/Air Battery.
49- G. Girishkumar,* B. McCloskey, A. C. Luntz, S. Swanson, and W. Wilcke. Lithium-Air Battery: Promise and Challenges. |J. Phys. Chem. Lett. 2010, 1, 2193–2203.

50- Goojin Jeong,a Young-Ugk Kim,b Hansu Kim,c Young-Jun Kimd and Hun-Joon Sohn. Prospective materials and applications for Li secondary batteries. Energy Environ. Sci., 2011, 4, 1986–2002.
51- Observatory NANO, Transport, Nanotech in next-generation electric car batteries beyond Li-ion, March 2012.
52- Jang-Soo Lee, Sun Tai Kim, Ruiguo Cao, Nam-Soon Choi, Meilin Liu, Kyu Tae Lee, and Jaephil Cho," Metal–Air Batteries with High Energy Density: Li–Air versus Zn–Air," Adv. Energy Mater. 2011, 1, 34–50.
53- G. Girishkumar, B. McCloskey, A. Luntz, S. Swanson, W. Wilcke, J.Phys. Chem. Lette, 1 (2010) 2193-2203.
54- T. Zhang, N. Imanishi, Lithium–Air Batteries, in: T. Osaka, Z. Ogumi (Eds.) Nanoscale Technology for Advanced Lithium Batteries, Springer New York, 2014, pp. 227-241.
55- S.J. Visco, B.D. Katz, Y.S. Nimon, L.C. De Jonghe, in, Google Patents, 2007.
56- S.J. Visco, Y.S. Nimon, B.D. Katz, in, Google Patents, 2010.
57- Y. Wang, H. Zhou, Chem. Commun., 46 (2010) 6305-6307.
58- J. Wang, Y. Li, X. Sun, Nano Energy, http://dx.doi.org/10.1016/j.nanoen.2012.11.014.
59- B. Kumar, J. Kumar, R. Leese, J.P. Fellner, S.J. Rodrigues, K.M. Abraham, J. Electrochem. Soc. 157 (2010) A50–A54.
60- Steven J. Visco, Eugene Nimon, Bruce Katz, May-Ying Chu, and Lutgard De Jonghe. lithium/air semi-fuel cells: high energy density batteries based on lithium metal electrodes.
61- B. Kumar, J. Kumar, R. Leese, J.P. Fellner, S.J. Rodrigues, K.M. Abraham, J. Electrochem. Soc. 157 (2010) A50–A54.
62- Adv. Funct. Mater. 22 (2010) 3373-3382.
63- T. Kuboki, T. Okuyama, T. Ohsaki, N. Takami, Journal of Power Sources 146 (2005) 766–769.
64- www.amptran motor corporation.com
65- IBM 500 BATTERY.
66- M. Pourbaix, Atlas of Electrochemical Equilibria in Aqueous Solutions, Pergamon Press, 1966.
67- J.A. Hunter, G.M. Scamans, W.B. O'Callaghan, P.A. Wycliffe, Aluminium batteries. United States Patent 5,004,654, 2 April 1991.
68- D.D. MacDonald, C. English, J. Appl. Electrochem. 20 (1990) 405.
69- Aluminium-air fuel cell becoming commercially viable, http://aluminum.org/AM/Template.cfm?Section¼Home&template¼/CM/HTMLDisplay.cfm&ContentID15793, (accessed 07.08.12).
70- G. Scamans, B. O'Callaghan, R. Hamlen, N. Fitzpatrick, Power Sources 11 (1986) 267.
71- V. Neburchilov, H. Wang, J.J. Martin, W. Qu, J. Power Sources 195 (2010) 1271.
72- B. Wang, J. Power Sources 152 (2005) 1.
73- S. Litser, G. McLean, J. Power Sources 130 (2004) 61.
74- N. Fujiwara, M. Yao, Z. Siroma, H. Senoh, T. Ioroi, K. Yasuda, J. Power Sources 196 (2011) 808.

75- J.J. Martin, V. Neburchilov, H. Wang, W. Qu, in: Electrical Power & Energy Conference (EPEC), IEEE, 2009, p. 1.
76- F. Cheng, Chem. Soc. Rev. 41 (2012) 2172.
77- L. Jorissen, J. Power Sources 155 (2006) 23.
78- J.S. Spendelow, A. Wieckowski, Phys. Chem. Chem. Phys. 9 (2007) 2654.
79- F. Bidault, D.J.L. Brett, P.H. Middleton, N.P. Brandon, J. Power Sources 187 (2009) 39.
80- A.L. Dicks, J. Power Sources 156 (2006) 128.
81- Watanabe, M. Tomikawa, S. Motoo, J. Electroanal. Chem. 195 (1985) 81.
82- M. Maja, C. Orecchia, M. Strano, P. Tosco, M. Vanni, Electrochim. Acta 46 (2000) 423.
83- K. Tomantschger, K.V. Kordesch, J. Power Sources 25 (1989) 195.
84- S. Muller, K. Striebel, O. Haas, Electrochim. Acta 39 (1994) 1661.

۴- فصل چهارم: بررسی طراحی باتری‌های منتخب

۴-۱- مقدمه

بر اساس مطالعات انجام شده در فصول گذشته بطور کلی چکیده معیارها و پارامترهای تصمیم گیری برای انتخاب باتری خودرو برقی عبارتند از:

دانسیته انرژی: باتری سرب اسید دارای کمترین و باتری‌های لیتیمی دارای بیشترین دانسیته انرژی هستند (۷۳۰ Wh/L).

انرژی ویژه: باتری سرب اسید دارای کمترین (۴۲ وات‌ساعت بر کیلوگرم)، و باتری لیتیمی دارای بیشترین انرژی ویژه (۵۰۰ وات‌ساعت بر کیلوگرم) می‌باشند. در حالی که پیشرفته‌ترین باتری‌ها از نوع لیتیم هوا از نظر تئوری می توانند انرژی ویژه ۱۱،۴۰۰ وات‌ساعت بر کیلوگرم داشته باشند که قادر به برابری با بنزین است.

توان ویژه: برای باتری نیکل کادمیم کمترین توان ویژه (۱۵۰ وات بر کیلوگرم) و برای باتری لیتیم یون فسفات بیشترین توان ویژه (۲۴۰۰ وات بر کیلوگرم) گزارش شده است. ولی در خصوص باتری‌های پیشرفته‌ای مانند لیتیم هوا اختلاف نظر وجود دارد.

طبق شکل ۳-۱۲ (که در گزارش مرحله سوم پروژه آورده شده است) باتری‌های فلز هوا در فاز تحقیقاتی با توان ویژه حدود ۱۰۰۰ وات بر کیلوگرم گزارش شده‌اند.

دانسیته توان: کمترین و بیشترین دانسیته توان را به ترتیب باتری‌های سرب اسید و باتری‌های لیتیمی دارند. برای اینکه باتری‌ها برای استفاده در خودرو برقی آماده شوند نیاز به افزایش توان باتری‌ها وجود دارد. در این خصوص استفاده از ویژگی توان بالای ابرخازنها راه حلی مناسب است.

چرخه عمر: باتری سرب اسید و باتری لیتیمی به ترتیب دارای کمترین (۸۰۰) و بیشترین (۲۰۰۰) چرخه عمر هستند. در این میان باتری‌های پیشرفته دارای چرخه های عمر تئوری بالاتری اند.

شکل ۳-۱۳ و شکل ۳-۱۴ (در گزارش مرحله سوم) مقایسه ویژگی‌های باتری‌ها را نشان می‌دهند.

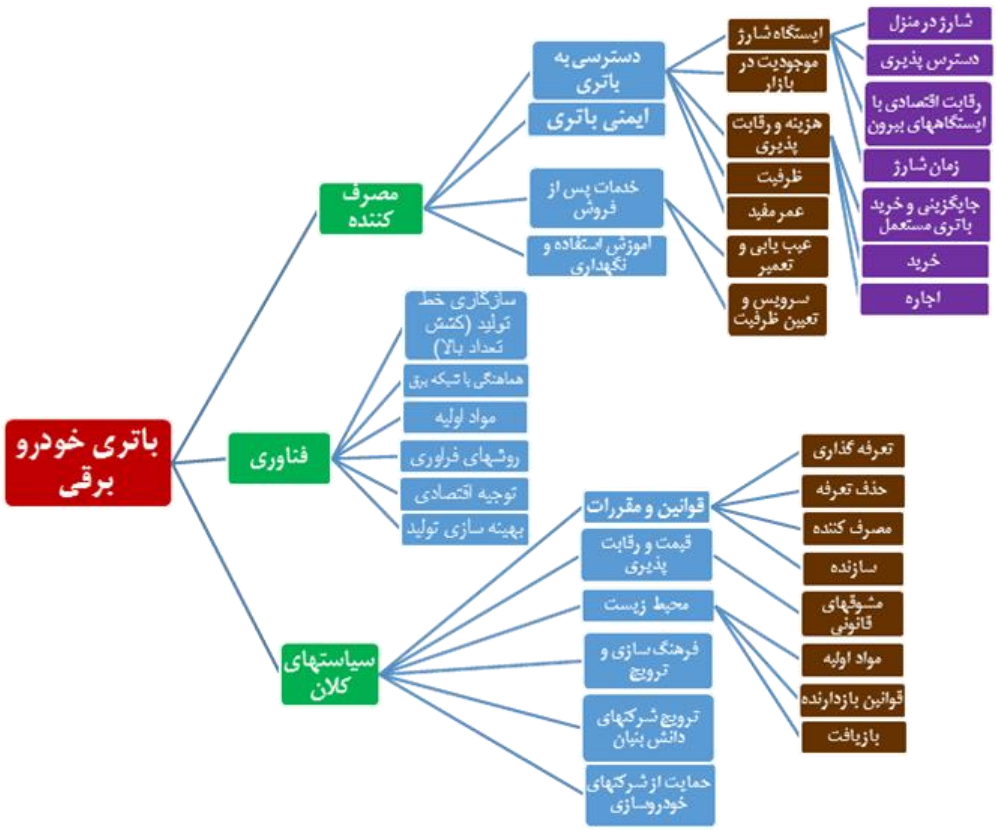
روند ویژگی‌های مورد نظر باتری در خودرو برقی باید بدین گونه باشد:

- افزایش انرژی ویژه ودانسیته انرژی باتری،
- افزایش توان ویژه و دانسیته توان باتری،
- افزایش چرخه عمر و کاهش تخلیه خودبخودی (باتری‌ها باید ۴ تا ۵ سال دوام داشته باشند)،
- کاهش زمان شارژ. معیار موجود در این خصوص مدت زمان پر کردن با بنزین در خودروهای درونسوز است. لذا مدت زمان مطلوب برای شارژ باتری در حد زمان صرف شده برای پر کردن باک بنزین خودرو بنزینی است.
- کاهش قیمت نهایی پک،
- کاهش وزن و حجم پک باتری،
- دمای بهره برداری باتری باید با محیط سازگاری داشته باشد
- زیست سازگار بودن باتری بعد از پایان عمر باتری

- امکان استحصال مواد اولیه باتری بعد از پایان عمر آن
- امکان دستیابی آسان به مواد اولیه تشکیل دهنده باتری

بر اساس مطالعات صورت گرفته در بخش‌های پیشین، در حال حاضر باتریهای لیتیمی بیشترین کاربرد را در خودروهای برقی کنونی دارند. ولی باتری‌های پیشرفته مطرح برای استفاده در خودرو برقی تا بیست سال آینده عبارتند از انواع باتری‌های فلز هوا. در این میان با در نظر گرفتن مطالعات کنونی مطرح‌ترین باتری‌های فلز–هوا به ترتیب باتری‌های روی–هوا، آلومینیم–هوا و لیتیم–هوا است که در ادامه بیشتر مورد بررسی قرار می‌گیرد. به موازات مسیر ترسیم شده برای باتریهای لیتیمی، پسا لیتیمی و فلز هوا، پژوهشهای کاربردی مربوط به انواع دیگر باتریها از جمله باتریهای هیبرید شده با ابرخازن مانند باتری سرب اسیدی پیشرفته، باتریهای سدیمی و باتریهای جریانی به منظور تامین نیروی محرکه خودروهای برقی در جریان است.

به منظور تولید ایده‌ها و پیداکردن راه‌حل‌های خلاقانه در خصوص انتخاب، طراحی، ساخت، کاربرد و بازیابی بهینه باتری برای خودرو برقی از روش طوفان فکری استفاده شد. جمعبندی نتایج حاصل در شکل ۴–۱ خلاصه شده است.



شکل ٤- ١- پارامترهای موثر در باتری خودرو برقی

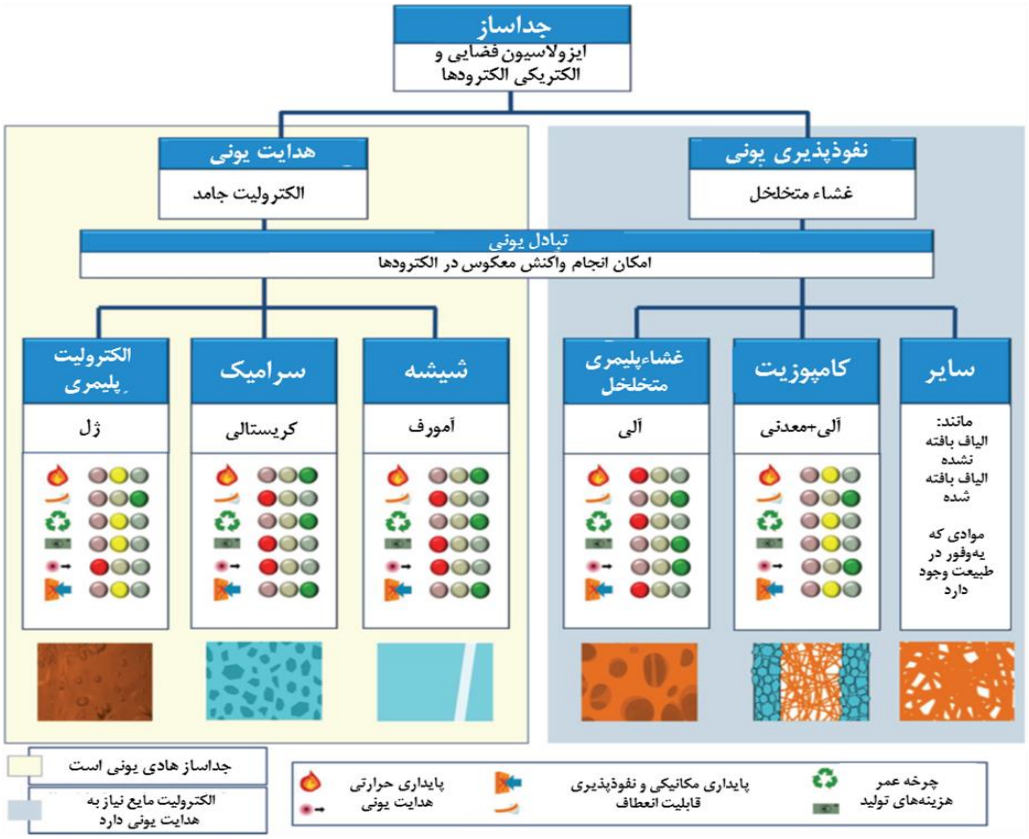
ولی در ابتدا دو مفهوم الکترولیت و جداساز در ساختار باتری‌ها مورد بررسی کلی قرار می‌گیرد و سپس هریک از اجزای باتری‌های اشاره شده و همچنین هیبرید آن‌ها با ابرخازن به اختصار شرح داده خواهد شد.

١-١-۴- الکترولیت

الکترولیت‌ها نقش هدایت یون‌ها را داشته در حالی‌که جداکننده‌ها به عنوان مسدود کننده الکترونیکی در سل‌های الکتروشیمیایی به کار می‌روند. امروزه، عملکرد و هزینه‌های این اجزاء به منظور استفاده تجاری در سلول‌های الکتروشیمیایی رایج و نسل جدید حتی نسبت به مواد الکترودی انتخاب شده از اهمیت بیشتری برخوردار است. از این رو، در حال حاضر، بسیاری از مطالعات در جهت یافتن الکترولیت‌های جامد و الکترولیت مایع/جداکننده ترکیبی مایع انجام می‌شود.

۲-۱-۴- جداسازها

قدیمی‌ترین مواد جداساز شناخته شده مربوط به اولین آزمایش‌های الکساندر ولتا در پایان قرن هجدهم است. ولتا از یک پارچه که در الکترولیتی از سدیم کلرید خیسانده شده بود به عنوان جداساز استفاده کرد [۱]. پس از آن انواع مختلفی از مواد جداکننده ساخته شده از درختان سدر، کاغذهای سلولزی، چوب، سلفون، پارچه‌های غیر بافته، فوم‌ها و غشاهای پلیمری میکرومتخلخل معرفی و بکار برده شدند [۵-۲].



شکل ٤- ۲- طبقه‌بندی انواع جداسازهای مورد استفاده در باتری

اصطلاح جداساز در ارتباط با عملکرد تفکیک نمودن آند از کاتد بکار می‌رود. عملکرد جداساز در واقع جلوگیری از تماس الکتریکی بین دو الکترود (که باعث تخلیه خودبخودی است) می‌شود، اما به طور همزمان اجازه عبور یون را که به عنوان مبنای انتقال انرژی است، می‌دهد. کار دیگر جداساز کنترل مقدار یون تبادلی است که باعث افزایش عمر شارژ باتری می‌شود که از این جهت لازم است منافذ در سطح جداساز توزیع یکنواختی داشته باشند و انحراف از توزیع تخلخل یکنواخت، جریان نامناسبی را ایجاد می‌کند که موجب تشکیل کریستال‌ها بر روی آند می‌شود [۵۸ و۵۷].

جریان یون را می‌توان از طریق جداساز یا الکترولیت‌های مایع که منافذ یک غشای جداکننده را پر می‌کند، برقرار نمود. بر این اساس، جداسازها را می‌توان به عنوان هدایت کننده یون (الکترولیت جامد) یا نفوذپذیر نسبت به یون (غشای متخلخل) طبقه‌بندی کرد (شکل ۴-۱).

با وجود اینکه الکترودها مواد فعال الکتروشیمیایی هستند که چگالی انرژی، قابلیت دسترسی و کارایی یک باتری را تعیین می‌کنند، ولی انتخاب جداساز و الکترولیت اهمیت کمتری از مواد الکترودی ندارد. در واقع، الکترولیت‌ها و جداسازها عمدتا بر پایداری چرخه‌ای و ایمنی یک باتری اثر می‌گذارند. به عنوان مثال در باتری‌های لیتیمی قابل شارژ از جداسازهای پلیمری با حفرات پر شده از الکترولیت مایع آتشگیر استفاده می‌شود که در مجموع ارزان بوده و دانسیته توان بالایی را فراهم می‌کند.

۴-۲- بررسی اجزاء باتری روی- هوا

در این بخش اجزای باتری روی-هوا، شامل آند، کاتد، الکترولیت، جداساز، و . . . و ملاحظات مربوط به آن‌ها بررسی و ارائه می‌گردد.

۴-۲-۱- آند باتری روی- هوا

آند در باتری‌های روی- هوا شامل قسمت‌های عایق پلاستیکی، آنولیت[1] (فاز الکترولیتی در تماس با آند) و محفظه آند است. محفظه آند به عنوان یکی از جمع کننده‌های جریان در طی اکسیداسیون روی می‌باشد. انتقال الکتریکی در بخش آند از ذره‌ای به ذره دیگر است تا زمانیکه به سطح داخلی محفظه آند برسد، سپس انتقال الکترون در عرض محفظه رسانای آند رخ می‌دهد [۶ و ۷].

نیم واکنش اکسایش آند روی به صورت زیر است:

$$Zn \rightarrow Zn^{+2} + 2e^{-}$$

اکسیداسیون روی در طی دشارژ اتفاق می‌افتد. اگر چه سرعت خوردگی روی خیلی کمتر از آلومینیوم در محیط قلیایی است ولی فرآیند خوردگی مطابق رابطه زیر (در محیط خنثی و با بخار آب) گاز هیدروژن تولید می‌کند (HER)[2]. عیب اصلی هر دو نوع باتری روی – هوای اولیه و ثانویه تخریب زود هنگام به علت خوردگی ماده آند روی و بسته شدن کاتد هوا است

[1] Anolyte
[2] Hydrogen evolution reaction

که بدلیل کربناته شدن الکترولیت KOH ایجاد می‌شود. روی پتانسیل کاهشی منفی‌تری نسبت به هیدروژن دارد، که همزمان منجر به تولید گاز هیدروژن روی سطح ذرات روی می‌شود.

$$Zn^{+2}\ 2H_2O \rightarrow Zn(OH)_2 + H_2$$

۱-۱-۲-۴- روش‌های تهیه آند روی و بررسی مورفولوژی آن

آند در سلول‌های روی – کربن به صورت جامد فویلی است ولی برای سلول‌های سوختی (کاتد هوا) به صورت متخلخل است. از جمله مزایای آند متخلخل می‌توان مساحت سطحی بالا برای ذخیره‌سازی، انحلال محصولات و سرعت بالای واکنش را نام برد. طراحی مناسب الکترود متخلخل باعث دشارژ الکترود در جریان زیاد با کمترین افت ولتاژ می‌شود و طولانی‌ترین بازه دشارژ قبل از غیرفعال شدن را حفظ می‌کند. تخلخل ۶۰ –۸۰ درصد عموما در الکترودهای روی در میان سیستم باتری‌های مختلف یافت شده است و این مقدار با ظرفیت Ah/cm^3 ۲/۱–۲/۲ برای ماده فعال روی تناسب دارد. تخلخل آند روی با روش‌های مختلفی که به مواد و مورفولوژی روی وابسته است، کنترل می‌شود. فرم‌های مختلف مواد که در سیستم‌های مختلف به کار می‌روند، در شکل ۴–۲ آمده است.



شکل ٤- ٣- شکل‌های مختلف مواد روی که با روش‌های مختلف تولید شده‌اند [۷]

در جدول ۴-۱ لیستی از انواع مواد افزودنی به الکترود روی ارائه شده که سبب بهبود خواص آند در باتری روی- هوا می‌گردند.

جدول٤- ١- انواع مواد افزودنی به الکترود روی در باتری روی-هوا [۸]

بهبود الکترود روی	اثرات

آلیاژهایی با Pb، Cd،Bi، Sn، In، Mg، Al، یا Ni	مقابله با تولید H_2 ، کاهش تشکیل دندریت، تقویت برگشت پذیری چرخه عمر
یا اکسید لیتیم بورAl_2O_3ایجاد پوشش سطحی با افزودنی‌های معدنی: $Ca(OH)_2$، Bi_2O_3، Ga_2O_3، In_2O_3، $In(OH)_3$، HgO، PbO، CdO، یا سیلیکات‌ها	مقابله با تولید H_2 و تخلیه خودبخودی مقابله با تولید H_2 ، کاهش تشکیل دندریت تقویت کیفیت تخلیه و برگشت پذیری چرخه عمر
افزودنی‌های پلیمری: یونومرها، PEG، PMMA، پلی‌پایرول، پلی‌آنیلین، پلی(وینیل‌استات) یا پلی‌کربنات	محدود کننده انحلال مواد حاصل از تخلیه، کاهش تشکیل دندریت و تغییر شکل
مواد افزودنی فعال سطحی: پرفلوروسورفاکتانت، CTAB، TBABr، تترا آلکیل آمونیم اکسیدها، تری‌اتانول‌آمین یا لیگنوسولفونات	مقابله با تولید H_2 و خوردگی الکترود، کاهش تشکیل دندریت

۲-۱-۲-۴- سینتیک واکنش آندی در باتری روی – هوا

واکنش کلی اکسیداسیون و کاهش روی در روابط زیر آمده است:

واکنش ۱ $Zn + 4\,OH^- \rightarrow Zn(OH)_4^{2-} + 2e^-$

واکنش ۲ $Zn(OH)_4^{2-} \rightarrow ZnO + 2OH + H_2O$

واکنش کلی آند برای اکسیداسیون و کاهش کامل روی با توجه با واکنش‌های بالا به صورت زیر است:

واکنش کلی $2Zn + 4OH^- \rightarrow 2Zn + 2H_2O + 4e^-$

در اولین مرحله واکنش، روی به فرم یون زینکات $Zn(OH)_4^{2-}$ به محلول الکترولیت انتقال می‌یابد. دو الکترون به وجود آمده از ساختار روی به مدار خارجی و متعاقبا محفظه آند هدایت می‌شوند. مرحله دوم واکنش ترسیب اکسید روی است که دو یون هیدروکسید و آب آزاد می‌کند. این مسیر که کاهش دو مرحله‌ای است، به طور گسترده‌ای بررسی شده و عموما به عنوان مکانیسم دشارژ روی در محلول‌های غلیظ بازی پذیرفته شده است. مکانیسم کامل واکنش به صورت زیر است:

$Zn + \mathrm{OH}^- \rightarrow Zn(OH) + e^-$

$$Zn(OH) + OH^- \rightarrow Zn(OH)_2^-$$
$$Zn(OH)_2^- + OH^- \rightarrow Zn(OH)_3^- + e^-$$
$$Zn(OH)_3^- + \mathrm{OH}^- \rightarrow Zn(OH)_4^{2-}$$

مرحله تعیین کننده سرعت در این فرایند واکنش مرحله آخر پیشنهاد شده است.

۲-۲-۴- الکترولیت باتری روی- هوا

الکترولیت ماده‌ای است که محلول یا مذاب آن یون‌ها را در حد فاصل الکترودها هدایت می‌کند. الکترولیت ممکن است مایع باشد و یا با افزودن موادی به آن به صورت خمیر درآید. به طور کلی الکترولیت قلب یک باتری محسوب می‌شود و در عملکرد آن نقش اساسی را ایفا می‌نماید [۹]. الکترولیت هم مانند دیگر اجزای باتری‌ها سیر تکاملی خود را با سرعت نسبتا بالایی طی نموده است و با پیشرفت‌های جدید به طور کلی متحول گردیده است. به طور مثال در باتری‌های لیتیمی اولیه از الکترولیت‌های مایع استفاده می‌شد. یکی از مشکلات عمده الکترولیت‌های مایع هدایت پایین و به عبارت دیگر مقاومت الکتریکی بالا به دلیل استفاده از حلال‌های آلی است. طی سالیان اخیر، تحقیقات گسترده‌ای برای بهبود و رفع مشکلات آن صورت گرفته تا اینکه نسل جدید الکترولیت‌ها که شامل الکترولیت‌های پلیمری هستند، ساخته شدند که سبب ارتقاء عملکرد باتری‌ها شده است.

۳-۲-۴- جدا کننده باتری روی- هوا

اتصال کوتاه بین مواد فعال آندی و کاتدی بوسیله جدا کننده که از جنس مش کاغذی می‌باشد، جلوگیری می‌گردد. با قرار گرفتن جداکننده، احتمال وارد شدن ذرات روی در تماس مستقیم با ماتریس کاتالیست کربن، به صورت معنی‌داری کاهش می‌یابد. ضخامت جداکننده و چگالی آن برای جلوگیری از نفوذ ذرات روی بایستی بهینه باشد چرا که ضخامت و چگالی بیش از اندازه، اجازه انتقال یونی را نمی‌دهد. جدا کننده می‌تواند کوپولیمری از پلی وینیل الکل PVA و پلی وینیل استات و یا پلی وینیل الکل به تنهایی باشد. جدا کننده رایج در باتری روی- هوا، پلی پروپیلن مثل سلگارد با تخلخل ۲۰- ۱۰ میکرومتر است [۱۰ و ۱۱].

ویژگی‌های اصلی جداکننده مناسب، پایداری در محلول قلیایی، اندازه روزنه تخلخل مناسب و رسانایی یونی بالا است. از آنجائی که سلول روی – هوا از مهاجرت یون هیدروکسید استفاده می‌کند و نه یون پروتون، جداکننده‌ها از پلی اتیلن، پلی

وینیل الکل، پلی اولفین و پلی پروپیلن درست شده‌اند [۷ و ۶]. غیرفعال بودن نسبت به اکسایش، توانایی جذب الکترولیت و نیز تاخیر انداختن در رشد دندریت‌ها، از دیگر خواص جداکننده‌ها به شمار می‌آید.

از آنجائیکه باتری روی– هوا در محیط قلیایی عمل می‌کند و در معرض هوا نیز می‌باشد، الکترولیت در تماس با CO_2 می‌باشد. CO_2 با یون‌های هیدروکسید واکنش داده و کربنات تشکیل می‌دهد که در اثر کاهش غلظت هیدروکسید در طی فرآیند (به شکلی که محلول خنثی می‌ماند)، ظرفیت نیز افت می‌کند. با غلیظ شدن پتاسیم کربنات در الکترولیت یک نزول خطی در ظرفیت سلول روی می‌دهد. در این بین اندازه روزنه جداکننده آبگریز به طور اساسی روی سرعت جذب کربن دی اکسید اثر می‌گذارد.

معمول‌ترین جداکننده‌های مورد استفاده در باتری‌های فلز–هوا، لیتیمی و قلیایی عبارتند از پلی پروپیلن (PP)، پلی اتیلن(PE)، پلی وینیل الکل (PVA) و پلی آمید می‌باشند. در باتری‌های روی– هوای تجاری از جدا کننده‌های لایه‌ای نظیر Celgard 5550 استفاده می‌شود که ساختاری به صورت PP/PE/PP دارند.

اثر غلظت CO_2 روی عمر مفید الکترودها در محلول قلیایی با استفاده از جاذب‌های جامد شامل آهک سودا نیز مورد بررسی قرار گرفت که از LiOH و مخلوط LiOH و $Ca(OH)_2$ برای حذف CO_2 استفاده شد و همچنین تکنیک جذب شیمیایی ترکیبی با گرانروی بالا را برای جداسازی CO_2 استفاده کرده‌اند و معلوم شده که پلی پرازین در کاهش غلظت کربن دی اکسید موثر بوده است.

۴-۲-۴- اتصال دهنده‌های رایج در باتری روی – هوا و بررسی اثر آن‌ها در مورفولوژی آند

بایندر شامل مواد الکتروشیمیایی غیرفعال است که نقش مهمی در محدود کردن و جلوگیری از تجزیه و پراکندگی مواد فعال دارد [۵۹]. در واقع اتصال دهنده بخش بسیار کوچکی از ساختار یک باتری را تشکیل می‌دهد اما نقش بسیار مهمی در چرخه پایداری و قابلیت یک باتری دارد.

پلی تترافلوئورو اتیلن[1]:

این نوع اتصال دهنده دارای ساختاری پلیمری بوده و به میزان ۱۰ تا ۱۷ درصد وزنی در باتری‌های روی–هوا استفاده شده است [۶۰].

[1] PTFE

آگار:

تاپیوکا: تاپیوکا: گیاهی است که در بسیاری از کشورهای استوایی یافت می شود. در واقع نشاسته موجود در تاپیوکا از دو ماکرومولکول آمیلوز و آمیلوپکین تشکیل شده است که ساختاری پلیمری دارند. حرارت دادن نشاسته تاپیوکا سبب تشکیل ژلی می شود که قابلیت کاربرد به عنوان اتصال دهنده را دارد. به دلیل این که حل شدن تاپیوکا به راحتی در آب انجام می شود و نیاز به ماده اضافه دیگری وجود ندارد، استفاده از آن به عنوان اتصال دهنده بسیار مناسب است چرا که در صورت نیاز به ماده اضافی ممکن است روی (ماده فعال آندی) درگیر واکنش های جانبی شود.

سدیم سیلیکات:

از این اتصال دهنده در آند باتری روی–هوا استفاده شده است. در یک بررسی مشاهد شد که تغییر اتصال دهنده از پلی کربنات به سدیم سیلیکات کارایی آند کربن/روی افزایش می یابد. دلیل این موضوع به ساختار متخلخل سدیم سیلیکات مربوط می شود که از یک سو ذرات فلزی را به صورت محکم نگه می دارد و از سوی دیگر سبب نفوذ راحت الکترولیت می شود. افزون بر این استفاده از سدیم سیلیکات مسائل ایمنی مربوط به آتش گیر بودن و مضر بودن اتصال دهنده های آلی را از بین می برد و هزینه ساخت را نیز پایین می آورد.

۵-۲-۴- کاتد (الکترود هوا) باتری روی- هوا

کاتد شامل محفظه کاتد، یک غشای نفوذ هوا، یک یا دو لایه آبگریز، مواد پلیمری مانند پلی تترا فلوئورواتیلن، ماتریس کاتالیست و جداکننده است. غشای نفوذ هوا از کاغذ فیلتر درجه بالا تشکیل شده است. جدا کننده معمولا ماده سلولزی غیر بافته شده است که در محفظه برای ایجاد پخش یکنواخت هوا بر روی کل سطح هندسی ساختار کاتد قرار گرفته است. لایه آزاد PTFE اولین سد برای انتقال بخار آب را ایجاد می‌کند. لایه دوم بر روی سطح کاتالیست همراه با جداکننده روکش شده است و سد نهایی برای انتقال آب است (هر دو برای جلوگیری از ورود و خروج بخار بین هوا و داخل سلول). انتقال بخار آب اثر منفی بر روی عملکرد باتری دارد و باید کنترل شود. ورود زیادی آب می‌تواند منجر به آب گرفتگی باتری و متعاقبا جلوگیری از ورود اکسیژن شود. به علاوه جریان بخار آب به خارج از سلول می‌تواند به خشک شدن محفظه آند منجر شود. هر دوی این مکانیسم‌ها تاثیر زیان آور زیادی روی عملکرد کلی باتری دارد [۱۳].

برای استفاده از اکسیژن در باتری روی– هوا، نیاز به الکتروکاتالیست‌های مناسب برای واکنش کاهش اکسیژن (ORR)[1] است که در طراحی کاتد باید در نظر گرفته شود. ORR در یک لایه ساده اتفاق می‌افتد و مواد مصرف شده فقط فلز روی و گاز اکسیژن هستند و چون اکسیژن به طور بی وقفه از اتمسفر هوا تامین می‌شود خود الکترود هوا می‌تواند استفاده شود مگر اینکه آسیب‌های فیزیکی مانند ترک خوردن در کاتد هوا بعد از دشارژ روی داده باشد. ساختار الکترود هوا با تخلخل بالا یک مسیر متفاوتی برای اکسیژن فراهم می‌کند و به عنوان یک لایه برای کاتالیست‌ها عمل می‌نماید و مواد کربنی مانند کربن فعال و نانو تیوب‌های کربن CNT به عنوان بستر کاتد استفاده می‌شوند. یک الکترود هوا شامل لایه نفوذ گازی و یک لایه فعال کاتالیست و یک شبکه فلزی به عنوان جمع کننده جریان است.

در کاتد، واکنش چند مرحله‌ای زیر اتفاق می‌افتد:

$$O_2 + \mathrm{H_2O} + 2\mathrm{e}^- \rightarrow \mathrm{O_2H}^- + \mathrm{OH}^-$$

$$O_2H^- \rightarrow OH^- + 1/2O_2$$

$$O_2 + 2\mathrm{H_2O} + 4\mathrm{e}^- \rightarrow 4\mathrm{OH}^-$$

خلاصه ای از کاتالیست‌های مورد استفاده در کاتد باتری‌های روی– هوا در جدول (۴–۲) نشان داده شده است.

[1] Oxygen reduction reaction

جدول٤- ٢- انواع کاتالیست‌های مورد استفاده در کاتد باتری روی-هوا بر اساس الکترولیت و کارایی باتری [٨]

کاتالیست‌های هوا	الکترولیت	کارایی باتری
کاتالیست‌ها با عملکرد دوگانه برای باتری‌های قابل شارژ		
MnO_2-NCNT	۶M KOH	۲۰: حدود ۱/۵ ولت، $mA\ cm^{-2}$ ولتاژ پلاریزاسیون در ۸ با ۳۰۰ ثانیه در هرمرحله برای ۵۰ $mA\ cm^{-2}$ قابلیت شارژ و تخلیه: در حدود ۰/۴ افزایش می‌یابدV سیکل، در پایان پلاریزاسیون حدود
MnO_2/Co_3O_4	۶M KOH	۲۰: حدود ۱/۴ ولت، $mA\ cm^{-2}$ ولتاژ پلاریزاسیون در ۱۵ با ۷ دقیقه در هر مرحله برای ۶۰ $mA\ cm^{-2}$ قابلیت شارژ و تخلیه: در ۰/۳ افزایش می‌یابدV سیکل، در پایان پلاریزاسیون حدود
$CoMn_2O_4$/N-Rgo	۶M KOH	۲۰: حدود ۰/۷ ولت، $mA\ cm^{-2}$ ولتاژ پلاریزاسیون در ۲۰ با ۳۰۰ ثانیه در هر مرحله برای ۱۰۰ $mA\ cm^{-2}$ قابلیت شارژ و تخلیه: در ۰/۲ افزایش می‌یابدV سیکل، در پایان پلاریزاسیون حدود
NiCo2O4	۶M KOH	۲۰: حدود ۰/۷ ولت، $mA\ cm^{-2}$ ولتاژ پلاریزاسیون در ۲۰ با ۲۰ دقیقه در هر مرحله برای ۵۰ $mA\ cm^{-2}$ قابلیت شارژ و تخلیه: در ۰/۲ افزایش می‌یابدV سیکل، در پایان پلاریزاسیون حدود
$LaNiO_3$/NCNT	۶M KOH	۲۰: حدود ۱/۲ ولت، $mA\ cm^{-2}$ ولتاژ پلاریزاسیون در ۱۷/۶ با ۳۰۰ ثانیه در هر مرحله برای $mA\ cm^{-2}$ قابلیت شارژ و تخلیه: در حدود ۰/۲ افزایش می‌یابد۰/۱V تا ۷۵V سیکل، در پایان پلاریزاسیون حدود
La_2NiO_4	۶M KOH	۲۰: حدود ۰/۸ ولت، $mA\ cm^{-2}$ ولتاژ پلاریزاسیون در ۲۵ با ۱۵۰ ثانیه در هر مرحله برای $mA\ cm^{-2}$ قابلیت شارژ و تخلیه: در حدود ۰/۴ افزایش می‌یابد۲۰V سیکل، در پایان پلاریزاسیون حدود
کاتالیست‌های مورد استفاده پیکربندی سه الکترودی		
MnO2(Orr)+SS(OER)	۷M KOH	۲۰: کمتر از ۰/۹ ولت، $mA\ cm^{-2}$ ولتاژ پلاریزاسیون در ۵–۱۵ با ۱۵–۱۲ساعت در هر مرحله برای $mA\ cm^{-2}$ قابلیت شارژ و تخلیه: در ۱۲۰ساعت، در پایان ولتاژ تغییر قابل ملاحظه‌ای ندارد

CoO/NCNT(ORR)+NiFe-LDH/CNT (OER)	۶M KOH	اوج دانسیته توان: $mW\ cm^{-2}$، ۲۰: ۰/۷۵ ولت، $mA\ cm^{-2}$ولتاژ پلاریزاسیون در ۲۰ با ۱۰ساعت در هر مرحله برای $mA\ cm^{-2}$قابلیت شارژ و تخلیه: در حدود۲۰۰ساعت، در پایان ولتاژ تغییر قابل ملاحظه‌ای ندارد

۶-۲-۴- خلاصه مواد تشکیل دهنده باتری روی- هوا

آند: روی

کاتد: هوا بعلاوه کاتالیست

الکترولیت: هیدروکسید پتاسیم

جدا کننده: پلی پروپیلن

۳-۴- بررسی اجزاء باتری آلومینیوم- هوا

باتری‌های فلز-هوا از یک فلز فعال به عنوان آند و از مواد کربنی به عنوان کاتد استفاده می‌کنند که در کاتد اکسیژن محیط به عنوان ماده فعال کاتد عمل می‌کند. باتری‌های آلومینیوم-هوا در محیط آبی بر اساس دو نوع الکترولیت بازی و نمکی بنا نهاده شده‌اند.

۱-۳-۴- آند باتری آلومینیوم-هوا

آلومینیوم خالص: آلومینیوم فوق خالص (۹۹/۹۹۹ درصد) در گذشته به عنوان ماده فعال آندی در باتری‌های آلومینیم هوا استفاده می‌شد که دلیل آن ویژگی‌های عالی الکتروشیمیایی و پتانسیل کاری در حدود ۰/۸- ولت نسبت به الکترود کالومل اشباع [1](SCE) در محیط آبی بود. مشکل اصلی آلومینیوم خالص این است که به سرعت خورده می‌شود و لذا نمی‌توان از آن به عنوان آند جهت دستیابی به منابع انرژی جایگزین سوخت‌های فسیلی دست یافت. از دیگر مشکلات

[1] Saturated calomel electrode

عمده‌ای که مانع از کارکرد سلول‌های آلومینیومی می‌شوند، می‌توان به تشکیل لایه‌های هیدروکسید غیرفعال[1] و جریان خوردگی بالا با آزادسازی[2] هیدروژن بر روی سطح فلز آلومینیوم اشاره کرد. در این زمینه از آلیاژ تجاری ۲N۵ با درصد خلوص ۹۹/۵ آلومینیوم به منظور کاهش میزان خوردگی و بهبود عملکرد باتری استفاده شده است [۱۶-۱۴].

آلیاژهای آلومینیوم: اصلاح مواد آندی در باتری‌های آلومینیم-هوا از طریق ساخت آلیاژهای آلومینیوم (با مواد آلیاژی با نسبت کم) به منظور کاهش سرعت خوردگی و افزایش کارایی این سلول‌ها مورد توجه قرار گرفته است. در این رابطه می‌توان به آلیاژهای Al–In, Al–Ga, Al–Sn و Al–Zn اشاره کرد. آلیاژهای آلومینیوم که ترکیبی از اجزای مختلف آلیاژی هستند، با توجه به ویژگی‌های سودمند هر جزء آلیاژی، عملکرد برتری را نشان می‌دهند. به عنوان مثال گالیم (Ga) برای فعال کردن سطح آلومینیوم در محلول کلرید به کار می‌رود. فعال‌سازی مکان‌های سطحی موضعی باعث می‌شود تا از ضخیم شدن لایه اکسیدی در جایی که گالیم قرار دارد ممانعت شود [۱۷-۱۹].

آلیاژ ایندیم و روی با فلز آلومینیوم می‌تواند یک آلیاژ نقطه ذوب پایین تولید کند که قابلیت کاربرد به عنوان آند در دانسیته جریان‌های بالا را دارد. فلز روی با افزایش پتانسیل آزادسازی هیدروژن، آزادسازی این گاز را در سطح آلومینیوم کاهش داده و بنابراین از تخریب آند جلوگیری می‌کند. قلع[3] (Sn) و ایندیم[4] زمانی که به صورت تصادفی روی سطح آلومینیوم رسوب داده می‌شوند[5] باعث افزایش اورولتاژ آزادسازی گاز هیدروژن شده و با کاهش واکنش‌پذیری و افزایش قطبش کاتدی[6] منجر به کاهش رشد هیدروژن در آند می‌گردند. قلع قادر به تسریع انحلال آلومینیوم در یک الکترولیت آبی است و قطبش کاتدی باعث فعال شدن آلیاژ آلومینیوم برای انحلال آندی می‌شود [۲۰].

در این رابطه از آلیاژهای مختلف آلومینیوم با درصد کم فلزاتی نظیر قلع، منیزیم، منگنز، گالیم، روی، آهن و ایندیم و یا ترکیبی از این فلزات با آلومینیوم به عنوان ماده فعال آندی در باتری‌های آلومینیم-هوا استفاده شده است. بالاترین کارایی مربوط به آلیاژ آلومینیوم- قلع با مقدار ۰/۰۲ تا ۰/۴ درصد از قلع است که از حمله قلیایی[7] در سطح آند جلوگیری می‌کند و پتانسیل مدار باز[8] آن بیش از ۱/۴۵- ولت بوده و افزایش پتانسیل غیر فعال و یون کلرید در آن دیده نمی‌شود. افزون بر این،

[1] Passive
[2] Evolution
[3] Tin
[4] Indium
[5] Deposit
[6] Cathodic polarization
[7] Alkali attack
[8] Open circuit potential

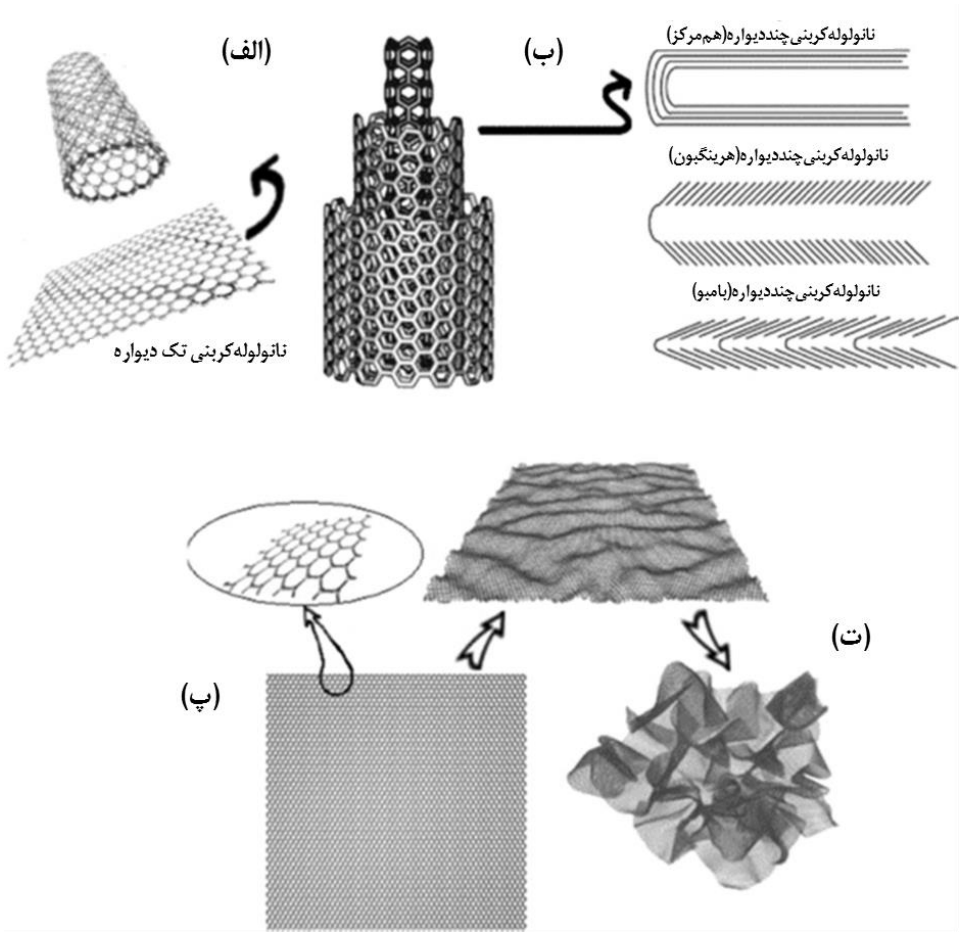
از کامپوزیت‌های پلیمری آلومینیوم نیز به عنوان آند استفاده شده است که دارای دانسیته انرژی ۲۴۰ کیلووات ساعت بر کیلوگرم در مدت ۴۳ ساعت بوده است [۱۴].

۲-۳-۴- کاتد باتری آلومینیوم-هوا

در باتری‌های فلز-هوا کاتد از چندین بخش تشکیل شده است که عبارتند از: افزودنی‌های رسانا (کربن)، کاتالیست، اتصال دهنده[1] (پلیمر) و ماده فعال که در بافتی خمیری قرار گرفته است و در نهایت درون یک فویل فلزی قرار می‌گردد تا الکترود ترکیبی حاصل شود. الکترودهای فلز-هوای ابتدایی شامل مش فلزی نیز بودند. کاتالیست به منظور افزایش سرعت واکنش احیاء اکسیژن[2] (ORR) در کاتد بکار می‌رود. در واقع دلیل کارایی پایین باتری‌های فلز-هوا به مشکلات ناشی از گرفتگی به دلیل انحلال‌ناپذیری کربنات‌ها در محیط بازی، افزایش اورولتاژ و مقاومت الکترود، مساحت سطح پایین کاتالیست برای جذب سطحی و قیمت بالای مواد کاتدی بر می‌گردد. به هر حال تا به امروز فناوری ارزان قیمتی که برای مواد فعال کاتدی در دسترس باشد، وجود ندارد [۱۴].

در این رابطه نانومواد و نانوتیوب‌ها به عنوان کاتالیزور در باتری‌های فلز-هوا استفاده شده‌اند که دلیل این موضوع مساحت سطح بالا و پتانسیل سلولی است که فراهم می‌کنند. مواد فعال کربنی مورد استفاده در شکل ۴-۴ نشان داده شده‌اند. علاوه بر این، نانوساختارهای کربنی دوپه شده (کاشت شده) با نیتروژن نیز به عنوان کاتالیست در کاتد بکار رفته‌اند.

[1] Binder
[2] Oxygen reduction reaction



شکل ٤- ٤-(الف) نانولوله‌های کربنی تک دیواره، (ب) نانولوله‌های کربنی چند دیواره، (پ) گرافن (طرح واره)، (ت) صفحه گرافنی مچاله شده.

موادی دو عملکردی[1] نیز به عنوان کاتالیست مورد استفاده قرار گرفته‌اند که واکنش احیای اکسیژن (ORR) و واکنش آزادسازی اکسیژن[2] (OER) را انجام می‌دهند.

تا به امروز پلاتین بهترین کاتالیست برای استفاده در باتری‌های فلز–هوا می‌باشد چرا که بسیار پایدار بوده و فعالیت الکتروکاتالیستی بالایی[3] دارد. مشکل اصلی پلاتین جهت استفاده در باتری‌های آلومینیوم– هوا قیمت بالا و کمبود منابع این فلز می‌باشد. در جدول ۴–۳ کارایی کاتالیست‌های مختلف در کاتد نشان داده شده است. از جمله کاتالیست‌های مورد استفاده

[1] Bifunctional
[2] Oxygen evolution reaction
[3] Electrocatalytic activity

می‌توان به $Li_{1.35}T_{1.75}Al_{0.25}P_{2.7}Si_{0.3}O_2$, Pt/IrO_2, $Ag–Co_3O_4/C$, $Sm_{0.5}Sr_{0.5}CoO_3$, N-CNT, WC@pt کربن/پلاتین، کربن/ایریدیوم و پلیمر رسانا/نقره پوشش داده شده بر روی سطح کربن اشاره کرد. اخیراً از کاتالیزور دوکاره CoO/N-CNT, MnO_2/N-CNT, MnO_2/N-CNT به منظور استفاده در واکنش احیای اکسیژن و هیدروکسید دوگانه آهن–نیکل/کربن نانوتیوب برای آزادسازی اکسیژن استفاده شده است که کارایی بالاتری نسبت به کاتالیزورهای کربن/پلاتین و کربن/ایریدیوم دارد. افزون بر این، MnO_2/N-CNT نیز عملکردی عالی به عنوان کاتالیست دو عاملی از خود نشان داده است [۱۴، ۲۲–۲۰].

جدول٤- ۳- کارایی کاتالیست‌های مختلف در کاتد باتری آلومینیم هوا [۲۳]

کاتد	گاز مورد استفاده	جریان تخلیه(-۲ mA cm)			
		۰/۱	۰/۴	۰/۷	۱
SC خیس شده	O۲	۱۶۸۰	۷۷۰	۵۷۰	۴۳۰
DC خیس شده	O۲	۲۱۶۰	۱۳۳۰	۸۸۰	۶۳۰
DC جاسازی شده	O۲	۲۳۳۰	۱۳۴۰	۷۴۰	۵۷۰
DC خیس شده	هوا بدون جریان	۱۶۲۰	۳۷۰	۱۷۰	۶۰
DC جاسازی شده	هوا بدون جریان	۱۵۳۰	۹۴۰	۴۵۰	۲۶۰
DC جاسازی شده	هوا با جریان	–	۱۳۸۰	۶۹۰	۵۳۰
		۰/۱	۱	۲	۴
PTFE صیقلی شده	O۲	۱۱۰۰	۱۳۰۰	۶۰۰	۲۰۰

۳-۳-۴- الکترولیت باتری آلومینیوم–هوا

بطور کلی الکترولیت‌های مورد استفاده در این نوع باتری‌ها به سه دسته: الف) الکترولیت‌های آبی، ب) الکترولیت‌های آلی و ج) الکترولیت‌های جامد تقسیم می‌شود.

الف) الکترولیت‌های آبی: این گروه از الکترولیت‌ها انواع مختلفی دارند که می‌توان آن‌ها را به این شکل دسته‌بندی نمود:

الف ۱) الکترولیت اسیدی

الکترولیت‌های اسیدی زمانی کارایی خواهند داشت که آلومینیوم با یک فلز فعال نظیر گالیم، ایندیم و روی آلیاژ شود. در جدول ۴-۴ الکترولیت‌های اسید مورد استفاده در باتری‌های آلومینیوم- هوا خلاصه شده‌اند.

جدول٤- ٤- انواع الکترولیت‌های اسیدی مورد استفاده در باتری‌های آلومینیم هوا [۱۲]

/				(K)	(M)	
فرایند فعال‌سازی بستگی به مقدار ایندیم موجود در سطح آلومینیوم،غلظت واقعیIn^{3+} ، غلظت Cl و pH محلی دارد	تکنیک‌های پتانسیواستاتیک، پتانسیودینامیک و SEM	Al–In	۲۹۸	۰/۵	کلریداسید pH ۳
با افزایش زمان غوطه‌وری در محلول‌های HCl رفتار خازنی سطح پوشش داده شده با اکسید بوسیله رفتار مقاومتی جایگزین شده است، و پدیده حفره‌دار شدن با یون‌های کلرید به راحتی در مقدار بالقوه محیط اسیدی شروع می‌شود: تغییر به منفی تغییر به سمت منفی (بین -۰.۸ تا -۱.۰ V) الکترود کالومل SCE آلیاژهای Al-Zn-Ga در محلول کلرید، به سمت مقادیر منفی‌تر	شیمیایی، اندازه گیری پلاریزاسیون و EIS و SEM	Pure Al, Al–7%Si, Al–11%Si, Al–22%Si	۳۰۳	۰/۵	کلریداسید pH ۲
الکترود کالومل اشباع(SCE) آلیاژهای Al–Zn-Ga در محلول کلراید به سمت مقادیر منفی‌تر Al–4.0 wt.%Zn: -1.02 V Al–4.0 wt.%Zn–0.5 wt.%Ga: -0.97 V Al–4.0 wt.%Zn–2.5 wt.%Ga: -1.26 V Al–4.0 wt.%Zn–5.0 wt.%Ga: -1.27 V SCE آلیاژهایAl–In–Ga در	EDXآنالیزSEM ,	Al–،Al–Zn–Ga In–Ga	دمای اتاق	۰/۵	کلریداسید pH ۳

محلول کلراید					
بین 1.62-و .V 1.73- متغیر است Al–0.2 wt.%In–0.5 wt.%Ga: -1.64 V Al–0.2 wt.%In–2.5 wt.%Ga: -1.78 V Al–0.2 wt.%In–5.0 wt.%Ga: -1.78 V الکترود کالومل اشباء:(V) SCE ,	EDXآنالیز SEM ,	Al-،Al-Zn-Ga	دمای اتاق	۰/۵	کلریداسید pH ۳
Al–4.0 wt.%Zn: -0.80 Al–4.0 wt.%Zn–2.5 wt.%Ga: -0.92 Al–4.0 wt.%Zn–5.0 wt.%Ga: -1 حضور In در تماس الکتریکی واقعی باAl و Zn جذب -Cl را درپتانسیلهای مثبت‌تر از ,V 1.1- افزایش می‌دهد	-	In-Ga آلیاژ سه تایی–Al 5%Zn–0.02%In Al–4.1%Zn– 0.02%In–0.09%Si	۲۹۸	۰/۵	کلریداسید pH ۵
آلیاژ دستخوش دو نوع فرآیند خوردگی محلی می‌شود: خوردگی حفره‌ای نیمکره‌ای و کریستالوگرافیک حفره‌های نیمکره‌ای: روی سطح این ماده تحت یک فرایند ساده در معرض محلول کلرید قرار می‌گیرد حفره‌های کریستالوگرافی: برای پلاریزه شدن آلیاژ	اندازه‌گیری‌های خوردگی خودبخودی، پلاریزاسیون پتانسیودینامیک آزمایش پلاریزاسیون سیکلی، به همراه تکنیک OCP و SEM	Al–(Zn–5.02% Mg– 0.9%% Mn–0.44% Si–0.06% Fe– 0.001%Ti–0.04% Cu–0.03% In–0.02% C–0.05%)	دمای اتاق	۰/۶	کلریداسید pH ۴
پتانسیل مدار باز V 1.0- = پتانسیل مدار باز V 0.57- =	اندازه‌گیریهای خوردگی خودبخودی، پلاریزاسیون پتانسیودینامیک آزمایش پلاریزاسیون سیکلی، به همراه	Al–(Zn–5.02% Mg– 0.9%% Mn–0.44% Si–0.06% Fe– 0.001%Ti–0.04% Cu–0.03% In–0.02% C–0.05%)	دمای اتاق	۱	HCl

				تکنیکOCP وSEM	
آلیاژ در محلول‌های اسیدی و پتانسیل مدار باز= 0.70 V-دستخوش خوردگی حفره‌ای می‌شود	پلاریزاسیون سیکلی، خوردگی خودبخودی و SEM	Al–(Zn–5.02% Mg–1.01% In–0.02% Si–0.09% Fe–0.001%Ti–0.05% Cu–0.02%)	۲۹۸	۱	HCl

الف ۲) الکترولیت‌های نمکی

الکترولیت‌های نمکی مورد استفاده در باتری‌های آلومینیوم- هوا در جدول ۴-۵ گزارش شده‌اند.

جدول٤- ٥- الکترولیت‌های نمکی مورد استفاده در باتری‌های آلومینیوم- هوا [۱۳]

نتیجه/کارایی	آند	دمای بهره‌برداری(K)	غلظت(M)	الکترولیت
ولتاژ تخلیه متوسط:0.399 V دانسیته ظرفیت:2752 mA h g-1 دانسیته انرژی:1096 W h kg-1	Al (99.999%)خالص	298	2	NaCl
مقادیر پتانسیل آلیاژهای Al–In در محلول نمک طبیعی: -1.4 V تا -1.7 V شدت خوردگی آلیاژهادر محلولهای نمک طبیعی نیز در مقایسه با آلومینیم خالص کاهش یافت پتانسیل حاصل منفی‌تر ازپتانسیل مربوط به آلیاژ Al–In شد و پایداری	Al–In و Al–Tl تا(0.2%)	–	–	NaCl
خوردگی بیش از آلیاژ Al–Ga شد. یک اثر تفاوت منفی وابسته به کاتیون نمک خنثی در محلول مشاهده گردید، و کمترین اثر مربوط به محولهای امونیم کلراید بود.	آلیاژ سه تایی Al–0.01 In– , 0.01 Ga	–	–	نمک خنثی
نتیجه حاصل از TH نشان داد که آلیاژ Al-In دارای بالاترین پتانسیل مدار باز منفی در ۰.۶ M NaCl است و مقاومت خوردگی الکترودهای آزمایش شده به ترتیب زیر کاهش می یابد: Al-In <Al-Ga-In <Al	آلیاژهای Al, Al–In و Al–Ga–In	–	0.6	NaCl
Al SCE: '" -0.8 V Al–Ga–In SCE: -1.05 V Al–In SCE: -1.20 V مقدار شارژ با افزایش مقدار Sn در آلیاژ کاهش می یابد. بر اساس جریان آندی–شکل پاسخهای زمانی و مقادیر شارژ نشان میدهد که توقف طولانی تر پتانسیل کاتدی باعث فعال شدن آلیاژها با ۰/۲ تا ۰/۴ Sn باعث انحلال آندی می شود	Al–0.02% Sn, Al– Al, 0.09%خالص Sn, Al–0.20% Sn, Al–0.40% Sn	298	0.5	NaCl
آلیاژ Al–In در مواجهه با بارزترین مشخصات و افزودن ایندیم به آلومینیم به عنوان عامل ایجاد آلیاژ، باعث کاهش پلاریزاسیون، کاهش نرخ رشد هیدروژن و افزایش کارایی آند می شود	Al (98%): Al–0.1% In, Al–0.1% و Al–0.2% Sn In–0.2% Sn	293	2	NaCl
SCE: -0.87 V سطح صاف بدون آسیب دیدگی SCE: -1.45 V مورفولوژی خشن که با انحلال شدید سازگار است SCE: -1.27 V سطح صاف با تعداد زیادی حفره که به شکل نامنظم پراکنده شده اند SCE: -1.46 V سطحی ناهموار با یک فلز درخشان	Al (خلوص(99.8% Al–0.2% Sn Al–0.1% In Al–0.2% Sn–0.1% In	–	2	NaCl

NaCl	2	293	Al–0.5% Mg–0.1% Sn–0.05% Ga Al–0.4% Mg–0.1% Sn	OCP (mV) vs SCE = -800 OCP (mV) vs SCE = -820 OCP (mV) vs SCE = -890 OCP (mV) vs SCE = -1530 OCP (mV) vs SCE = -850 OCP (mV) vs SCE = -1510 OCP (mV) vs SCE = -800
NaCl	2	293	Al–0.4% Mg–0.4% Sn–0.03% Al–0.4% Ga Mg–0.03% Al–0.1% Ga Sn–0.03% Al–0.6% Ga Mg–0.1% Sn–0.05% Ga Al–0.4% Mg– 0.07% Sn–0.05% Ga Al + (0.4 wt.% Mg, 0.07 wt.% Sn و(0.05 wt.% Ga	OCP (mV) vs SCE = -1500 OCP (mV) vs SCE = -1530 OCP (mV) vs SCE = -1530 محدودیت در میزان جریان ثابت از تغییر در ترکیب الکترولیت یا تشکیل یک فیلم روی سطح . محافظ آند انحلال رخ نمیدهد
NaCl	3.5	293	آلیاژ آلومینیم دوپ شده با In Ga, Mn و, Sn, Bi, Pb	می تواند در ۰/۲۹ آمپر، برای مدت ۱۴۰ ساعت ,با ولتاژ کاری بیش از ۱/۱ ولت تخلیه شود نرخ استفاده از آند آلومینیم بیش از ۴۴٪ است و طول عمر باتری طولانیتر از ۲۴۰۰ ساعت است
NaCl	3.5	303	آلیاژ AA5083 (Mg–4.9% Mn– 0.5% Si–0.13% Fe–0.3%Ti–0.03% Cu– 0.08% Cr–0.13)	, پتانسیل خوردگی نمون۰/۷۶۰– ولت ، نزدیک به پتانسیل ایجاد خوردگی حفره ای است , ۰/۷۲۰–: خوردگی موضعی: نیمه کروی و حفره های کریستالوگرافی
NaCl	3.5	–	3A21 (Mg–0.05%% Mn–1.3% Si– 0.6% Fe–0.7%Ti– 0.15% Cu–0.2% Zn–0.1%) 7A09 (Mg–2.5% Mn– 0.15% Si– 0.5% Fe–0.5%Ti–0.1% Cu–1.6% Cr–0.23% Zn–5.5%)	هر دو آلیاژ در معرض خوردگی حفره ای هستند. خوردگی 7A09 بسیار جدی تر از 3A21 است. برای تستهای EIS نشان داد که آلیاژ7A09 به شدت خورده می شود و آلیاژ 3A21 مقاومت مناسبی در برابر خوردگی دارد
NaCl	0.6	Room	Al–(Zn–5.02% Mg– 0.9%% Mn– 0.44% Si– 0.06% Fe–0.001%Ti–	پتانسیل مدار باز = حدودV 1.0- خوردگی موضعی :نیم کروی
NaCl	0.6	298	Al–(Zn-5.02% Mg– 1.01% In– 0.02% Si–0.09% Fe– 0.001%Ti– 0.05% Cu–0.02%)	این آلیاژ با حلالهای طبیعی در معرض خوردگی خفیف حفره ای قرا می‌گیرد و با حلالهای کلریدی طبیعی مقاومت قابل توجهی در مقابل خوردگی نشان می دهد
NaCl	2	298	Al–(Mg–0.5% Ga–	پتانسیل مدار بازV 0.9- = OCP (V) = 1.185

			0.02% Sn–0.1%) Al–(Mg–0.5% Ga– 0.02% Sn–0.1% Mn–0.5%)	OCP (V) = 1.236 پتانسیل خوردگی نمونه۰/۷۶۰– ولت، نزدیک به پتانسیل, – ایجاد خوردگی حفره ای است, :۰.۷۲۰–
NaCl	0.5	303	Al	OCP (V) = 0.66
	1		Al	OCP (V) = 0.67
	2		Al	OCP (V) = 0.65
	3		Al	OCP (V) = 0.75
	4		Al	OCP (V) = 1.1
	5		Al	OCP (V) = 0.92
	6		Al	OCP (V) = 0.81
	7		Al	OCP (V) = 0.74
آب دریا	0.5	293	Al	OCP (V) = 0.68
آب دریا			Al (99.999%;	آلیاژ سه گانه Al(T)–0.1% In–0.1% Tl
			5N) + 0.1%Tl + 0.1%In	به شکل یکنواختی در آب دریا حل می شود و پتانسیل آلن - 0.9V است، (SCE)و دانسیته جریان آن 1–10 mA cm-2. است
آب دریا	شوری آ: 35 g L-1	296	AA1100 (Mg– 0.002%% Mn– 0.004% Si–0.15% Fe– 0.02% Cu– 0.51%Ti– 0.06% Zn–0.002% Cr– 0.001%)	SCEپتانسیل خوردگی(V) -920
		333		-1160
		296	AA5083 (Mg–4.25%% Mn–0.61% Si–0.14% Fe–0.37%Ti– 0.02% Cu– 0.01% Zn–0.01% Cr– 0.17%)	-950
		333		-1185 پتاسیل شکست دو آلیاژ با افزایش دمای آزمایش با مقاومت بهتر در مقابل خوردگی آلیاژ ۱۱۰۰، کاهش یافت

الف ۳) الکترولیت‌های قلیایی

الکترولیت‌های قلیایی مورد استفاده در باتری‌های آلومینیوم– هوا در جدول ۴–۶ گزارش شده‌اند.

جدول٤- ٦- الکترولیت‌های قلیایی مورد استفاده در باتری‌های آلومینیوم- هوا [۱۳]

مرجع	نتیجه/کارایی	آند	دمای بهره‌برداری (K)	غلظت (M)	الکترولیت
آزمایشات کاهش وزن نشان می دهد که افزودن ۰.۱ درصد وزنی به میزان قابل توجهی مقاومت خوردگی آن را بهبود می بخشد. این مطالعه نشان می دهد	آزمایشهای کاهش وزن و اندازه گیر پلاریزاسیون، SEM و اشعه ایکس پراکنده انرژی اسپکترومتری سطح آند	آلومینیم خالص و آلیاژ آلومینیم–ایندیم	253و 333	۴	KOH
تاثیرات غلظت KOH، غلظت آلومینات ها و درجه حرارت بر ویژگی های قطبی شدن،, قابل توجه است، اما هیچ تاثیری در اثر انتقال جرم ندارد	سیلندر آلومینیم گردان الکترود	آلومینیم	333	۴	KOH
متوسط ولتاژ تخلیه: ۱.۳۷ ولت دانسیته ظرفیت: ۲۴۳۹ mA h g-1 دانسیته انرژی: ۳۳۶۴ وات ساعت بر کیلوگرم	تست الکتروشیمیای EIS اندازه گیریهای پلاریزاسیون، SEMتست کارایی باتری	آلومینیم خالص (99.999%)	298	۴	KOH

ولتاژ تخلیه متوسط: ۱.۳۹۸ V دانسیته ظرفیت: ۱۶۴۸ mA h g-1 دانسیته انرژی: ۲۴۲۹ وات ساعت بر کیلوگرم		آلومینیم خالص (99.999%)	298	۴	NaOH
منحنیهای پلاریزاسیون حالت پایدار نشان داد که آلومینیم در دماهای ۲۹۸ و ۳۳۳ درجه کلوین حالت غیر فعال دارد مقدار پتانسیل بدست آمده در حدود ۱/۵- ولت است	خوردگی–انحلال مشخصات آلومینیم خالص, تکنیکهای حالت پایدار و آنالیز ولتامتریک	آلومینیم خالص	298و 333	۴	NaOH
	منحنی پلاریزاسیون آندیSEM, EDAX ,	آلومینیم خالص	دمای اتاق	۴	NaOH
ولتاژ تخلیه متوسط برابر با ۱/۵۳۱ ولت است. دانسیته ظرفیت1-g h mA 2308 :، دانسیته انرژی W h 3525 : kg-1	EISتست الکتروشیمیایی, اندازه گیری پلاریزاسیون, تست کارایی باتری و SEM-EBSD	آلومینیم خالص (99.999%)	دمای اتاق	۴	NaOH
نرخ In, Mn, Sn,و Mg خوردگی آلیاژهای آلومینیم را کاهش می دهند، در حالی که Ga نرخ خوردگی را به میزان قابل توجهی افزایش می دهد و آند را مصرف می کند. آهن برای تقویت خواص الکتروشیمیایی آند آلومینیم سو.دمند نیست. در این شرایط باعث کاهش ولتاژ سلول و کاهش اندک نرخ خوردگی می	تستهای پتانسیودینامیک و پلاریزاسیون و امپدانس الکتروشیمیایی، اسپکتروسکوپی	آلومینیم خالص آلیاژهای پایه آلومینیم Mn+ Fe, وSn, Mg, Ga, In		۴	NaOH

					شود
NaOH	۴	دمای اتاق	Al–1Mg–0.1Sn–0.1Ga–xBi alloys; xBi: 0, 0.05, 0.1, 0.2%	SEM/EDAX تستهای الکتروشیمیایی، خوردگی خودبخودی با استفاده از روش جمع آوری گاز اندازه گیری شد	افزودن Bi فازهای جداگانه را افزایش میدهد که آلیاژها را فعالتر می کند تا پتانسیل مدار باز منفی بیشتری تولید و در عین حال خودرگی خودبخودی افزایش می یابد
NaOH	۴	دمای اتاق	Al–(Zn–5.02% Mg–0.9% Mn–0.44% Si–0.06% Fe–0.001%Ti–0.04% Cu–0.03% In–0.02% C–0.05%)	اندازه گیری خوردگی خودبخودی, پلاریزاسیون پتانسیودینامیک، پلاریزاسیون خودبخودی به همراه تکنیک OCP و SEM,	پتانسیل مدار باز = ۱/۶۷- ولت
NaOH	۴	298	Al–(Zn–5.02% Mg–1.01% In–0.02% Si–0.09% Fe–0.001%Ti–0.05% Cu–0.02%)	پلاریزاسیون سیکلی , خوردگی خودبخودی و SEM.	پتانسیل مدار باز = 1.65- V و آلیاژ تحت تاثیر خوردگی شدید قرار می گیرد. فرایند در محلول‌های قلیایی به علت انحلال شیمیایی
NaOH	۱ تا ۵	دمای اتاق	ورق آلومینیم معمولی مورد استفاده در آشپزخانه ها = خلوص آلومینیم ۹۷/۶درصد وزنی)ناخالصیO : 1.13, 0.59 AgوFe 0.68, wt.%)	حجم و نرخ تکامل هیدروژن جمع آوری شده در سیلندر اندازه گیری می‌شود.	توسط OH- زیر سلول آلومینیومی / هوا دارای ولتاژ مدار باز است ۱.۴۵ V

ب) الکترولیت‌های آلی

این دسته از الکترولیت‌ها با نام الکترولیت‌های آپروتیک معروفند. الکترولیت‌های قلیایی مورد استفاده در باتری‌های آلومینیوم- هوا در جدول ۴-۷ گزارش شده‌اند.

جدول٤- ۷- الکترولیت‌های قلیایی مورد استفاده در باتری‌های آلومینیوم- هوا [۱۳]

	مزایا	مثال نمونه	انواع
تجزیه الکترولیت‌ها	پتانسیل اکسیداسیون بالا (HOMO)	پروپیلن	کربنات‌های آلی

	در ولتاژ ۴/۷ و ویسکوزیته نسبتا پایین	اتیلن	
		دی‌اتیل	
	پایداری بالا با فلز لیتیم، نسبتا بالا	دی‌متیل	
تجزیه الکترولیت‌ها	پتانسیل اکسیداسیون بالا ،	دی‌متوکسی‌اتان (DME) تترااتیلن‌گلیکول	اترها
	بالای ۴/۵ ولت، رقت کم ،	دی متیل اتر	
	پایداری نسبتا بالا تا مقداری Li2O2		
ویسکوزیته بالا و دیفیوژن یونی پایین	پتانسیل اکسیداسیون بالا (5.3 V vs Li+/Li), عدم قابلیت اشتعال، فشار بخار کم	1-Ethyl-3-methylimidazolium bis-(triflouromethanesulfonyl)imide (EMITFSI)	مایعات یونی
	پایداری حرارتی، سمیت کم، نقاط جوش بالا،		
	و حلالیت بالای لیتیم – نمک		
هدایت لیتیم–یون پایین	کاربرد به عنوان جدا کننده و پایداری شیمیایی خوب	Lithium aluminium germanium phosphate	الکترولیت حالت جامد
		glass-ceramic Li3-x PO4-y Ny (LiPON) Lithium aluminium titanium phosphate	
		ceramics, 1-ethyl-3-methylimidazolium	
		bis(trifluoromethanesulfonyl) imide	

ج) الکترولیت‌های جامد

الکترولیت‌های حالت جامد مورد استفاده در باتری‌های آلومینیوم– هوا در جدول ۴–۸ گزارش شده‌اند.

جدول٤– ٨– الکترولیت‌های حالت جامد مورد استفاده در باتری‌های آلومینیوم– هوا [۱۳]

کارایی/نتیجه	روش آنالیز	الکترولیت	میزبان پلیمر
EIS: افزایش علظت PAA باعث افزایش اندازه و نیمدایره و امپدانس انترفیس می شود کارایی بازدارندگی با افزایش غلظت بازدارندهافزایش می یابد	اندازه گیریهای الکتروشیمیاییEIS (FTIR) spectra (KBr pellet) آنالیزAFM	H2SO4 KI-افزودنی	PAA

PAA	KOH ZnO-افزودنی	اندازه گیری هدایت با استفاده از سیستم اندازه گیری هدایت DDSJ-318 از شرکتShanghai Leici Co., Ltd ویژگی های تخلیه با استفاده از NEWARE BTS-	هدایت یونی بالا:.0.460 S cm-1 ترکیب بهینه ۳۶ درصد وزنی KOH و ۶ درصد وزنی AA یرای رسیدن به بالانس میان قدرت مکانیزم و هدایت تایید می شود ظرفیت پیک: تا 1166 mA h g-1 دانسیته انرژی: 1230 mW h g-1
PVA/PAA	KOH	سیستم تست باتریA5V3 . آنالیز خواص حرارتی DSC و TGA این حالت جامد غشاء پلیمری PVA/PAA XRD : بررسی ساختار کریستالی SEM: بررسی مورفولوژی سطح خارجی وسطح مقطع غشاء EIS : اندازه گیری هدایت یونی غشاء الکترولیت پلیمری PVA/PAA با الکترولیت KOH	مزیت: هدایت یونی بالاتر، مقاومت مکانیکی بالاتر و ویژگیهای حرارتی بسیار خوب برایSPE هدایت یونی: 0.301 S cm-1 بر اساس ساختار آمورف، زنجیره پلیمری برای انتقال یونی بسیار قابل انعطاف می شود غشاء پلیمری PVA/PAA با نسبت ۱۰:۵ تعادل خوبی میان هدایت یونی افزایش یافته و خواص معقول مکانیکی برای کاربردهای الکترولیت پلیمری جامد نشان می دهد
عوامل ژلاتینی	KOH	OCV : اندازه گیری بوسیله نگهداری سلول در یک شرایط	مزیت: خواص محلول دارای جذب سریع و فوق العاده
هیدروپونیک		مدار باز در ۲۴ ساعت در دمای ۲۵ درجه سانتیگراد	در غلظت ۰/۶ مول KOH :
(HPG) –	Sb(V)-دوپ شده SnP2O7	با استفاده از پراش اشعه ایکس مشخص می شود(XRD) FESEM : مشاهده شکست آلومینیم آند XRD : شناسایی ساختار کریستالی الکترودآلومینیم پیش از آزمونهای شارژ و تخلیه SEM-EDX : مشاهده اندازه گیری	بالاترین ظرفیت:105.0 mA h g-1 دانسیته توان : 5.5 mW cm-2 ظرفیت تخلیه بالا: 800 mA h g-1 ولتاژ مدار باز : up to 1.6 V

	پلاریزاسیون عناصر Al، O و Si		

با بررسی اجزاء باتری آلومینیوم- هوا می‌توان پی برد استفاده از آلیاژهای دو و سه تایی آلومینیوم به عنوان آند در باتری آلومینیم هوا منجر به افزایش کارایی باتری‌ها خواهد شد. استفاده از کاتد هوای دو عاملی CoO/N-CNT به منظور استفاده در واکنش احیای اکسیژن و هیدروکسید دوگانه آهن-نیکل/کربن نانوتیوب برای آزادسازی اکسیژن نیز باعث افزایش کارایی کاتد در باتری آلومینیوم- هوا می‌گردد. الکترولیت‌های آبی-اسیدی مشکل خوردگی آلومینیوم و آزاد شدن گاز هیدروژن را دارند. الکترولیت‌های قلیایی کارایی بالاتری نسبت به الکترولیت‌های نمکی و الکترولیت‌های آبی-اسیدی دارند. افزودنی‌های بازدارنده‌ها به الکترولیت‌های آبی کارایی را در این محیط‌ها افزایش می‌دهد. در مقابل الکترولیت‌های آپروتیک (آلی) از آزاد شدن هیدروژن و تخریب الکترود جلوگیری می‌کنند و الکترولیت‌های پلیمری از نشت مواد جلوگیری کرده و باعث کاهش ابعاد باتری می‌گردند.

باتری‌های آلومینیوم –هوا به دلیل کمترین قیمت تمام شده و ظرفیت تئوری ویژه بالا ۲/۹۸ Ah/g (پس از لیتیم) بیشترین پتانسیل را برای تولید در مقیاس بالا دارند. افزون بر این آلومینیوم فراوان و ارزان بوده، دوست دار محیط زیست است و قابلیت بازیافت بالایی دارد. این باتری‌ها پتانسیل تئوری بالایی دارند (۲/۷ ولت) و دانسیته انرژی تئوری معادل با ۸/۱ kWh/kg را می‌توانند فراهم کنند و بدین ترتیب می‌توانند از باتری‌های لیتیم-یون کنونی پیشی بگیرند.

این باتری‌ها با محدودیت‌هایی نظیر خوردگی فلزات آلومینیوم، سینیتیک تخلیه آهسته[1]، سرعت بالای تخلیه خود بخودی[2]، عدم توانایی شارژ مجدد و عمر قفسه‌ای کوتاه روبرو هستند. باتری‌های آلومینیوم –هوا با الکترولیت‌های غیر آبی نظیر مایعات یونی توانایی شارژ مجدد را داشته با این حال قیمت بالایی هم دارند.

۴-۳-۴- خلاصه مواد تشکیل دهنده باتری آلومینیم- هوا

آند: آلیاژ حدود ۹۹/۵ آلومینیوم

کاتد: هوا بعلاوه کاتالیست

الکترولیت: HCl, NaCl, KOH, NaOH, PVA, PAA

1 Sluggish discharge kinetics

2 High self-discharge rate

جدا کننده: پلی پروپیلن

۴-۴- بررسی اجزاء باتری لیتیم-هوا

چهار پیکربندی شیمیایی براساس الکترولیت بکار رفته برای باتری‌های لیتیم-هوا در سراسر جهان اتخاذ شده است که در شکل ۴-۵ نشان داده شده است: الکترولیت‌های غیرآبی (آپروتیک)، الکترولیت‌های آبی، الکترولیت‌های هیبریدی (سیستم مخلوط با یک کاتد فرورفته در الکترولیت آبی و یک آند فرورفته در الکترولیت آپروتیک) ، الکترولیت‌های جامد.

در ابتدا مروری بر مواد استفاده شده به عنوان کاتالیست کاتدی و همچنین انواع مواد کربنی مورد استفاده با ساختارهای متفاوتی خواهیم داشت.

جدول٤- ۹- انواع کربن‌های استفاده شده در باتری لیتیم- هوا و مشخصات آن‌ها

ماده کربن	مساحت سطح (m^2g^{-1})	قطر منافذ (nm)	ظرفیت ویژه ($mAhg^{-1}$)
سوپرP	۶۲	۵۰	۱۷۳۶
ولکان XC-72	۲۵۰	۲	۷۶۲
کربن فعال (AC)	۲۱۰۰	۲	۴۱۴
نانولوله‌کربنی (CNT)	۴۰	۱۰	۵۸۳
گرافیت	۶	–	۵۶۰
گرافیت آسیاب شده	۴۸۰	–	۱۱۳۶
کربن مزوسلولی فوم-C	۸۲۴	۳۰	۲۵۰۰

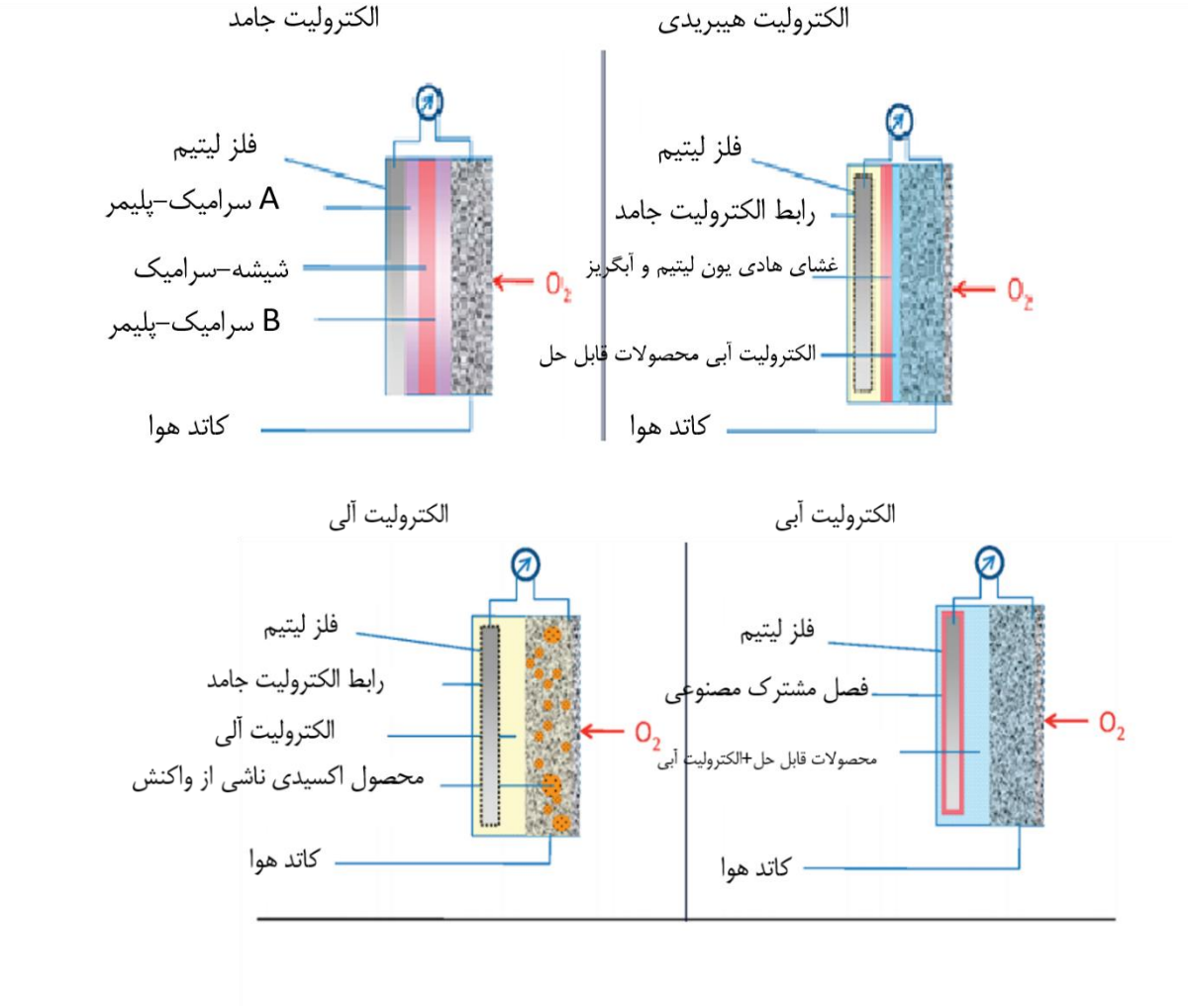
لیستی از کاتالیست‌های مورد استفاده در باتری‌های لیتیم-هوا به همراه کارایی این مواد در شکل ارائه شده است.

جدول٤- ١٠- انواع کاتالیست‌های استفاده شده در باتری لیتیم- هوا و مشخصات آن‌ها

کاتالیست	ظرفیت ($mAhg^{-1}$)		حفظ ظرفیت در هر سیکل (٪)
	سیکل اول	سیکل پنجم	
MnO_2	۲۶۲	۶۵۳	۲۴۸
Co_3O_4	۱۹۹	۳۰۴	۱۵۲
NiO	۲۹۸	۳۶۲	۱۲۱
Fe_2O_3	۲۶۴	۲۸۵	۱۰۸
CuO	۲۹۲	۶۵۸	۲۲۵
V_2O_5	۲۱۶	۸۲۹	۳۸۳
MoO_3	۱۵۲	۱۵۲	۱۰۰
Y_2O_3	۲۳۸	۲۱۳	۸۹

الکتروشیمی پایه باتری‌ها بستگی به الکترولیت اطراف کاتد دارد. هر چهار سیستم از فلز لیتیم و هوا به عنوان آند و کاتد استفاده می‌کنند. هرچند مکانیسم آن‌ها به الکترولیت استفاده شده بستگی دارد اما پیکربندی الکترولیت‌های غیرآبی شبیه به باتری‌های لیتیم-یون متداول است. باتری‌های لیتیم-یون متداول از مواد کربنی یا آلیاژها به عنوان آند و از اکسیدهای فلزی لیتیم یا ترکیبات فسفاتی آن به عنوان کاتد و از نمک لیتیم حل شده در حلال آپروتیک به عنوان الکترولیت استفاده می‌کنند.

باتری‌های لیتیم–هوا از گاز اکسیژن به عنوان عامل کاتدی استفاده می‌کنند و کربن متخلخل و ترکیبات کاتالیستی به عنوان ذخیره کننده‌های Li_2O_2 در کاتد هستند. همچنین فلز لیتیم به عنوان آند استفاده می‌شود. تفاوت اصلی این دو سیستم این است که باتری‌های لیتیم–هوا به سیستم بازی برای ورود هوا نیاز دارند. این سیستم باز نیازمند به قسمت‌های اضافی نظیر غشاهای جداکننده‌ی آب از هوا می‌باشند [۲۵ و ۲۶].



شکل ٤– ٥– چهار ساختار مختلف باتری لیتیم–هوا. سه الکترولیت مایع شامل سیستم‌های آپروتیک، آبی، مخلوط آپروتیک–آبی و ساختار کاملا حالت جامد [٢٤]

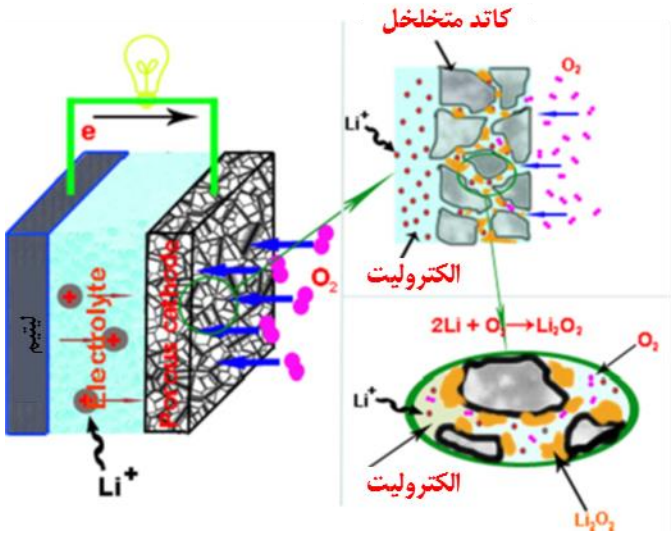
در سال ۲۰۰۴ لایه‌ی سرامیکی محافظ شیشه‌ای LiSiCON برای فلز لیتیم توسط پلی پلاس ارائه شد. این لایه فلز لیتیم را قادر می‌کند تا در برابر آب پایدار بماند. این هادی نسبت به یون‌ها رساناست و در مقابل واکنش‌های شدید با آب

مقاوم است. بنابراین پلی پلاس باتری‌های لیتیم–هوا را با استفاده از الکترولیت‌های آبی توسعه داد. سیستم الکترولیت آبی ترکیبی از آند فلزی لیتیم، الکترولیت آبی، الکترود هوا است. مکانیسم واکنش برای باتری‌های لیتیم–هوای آبی از باتری‌های لیتیم–هوای غیرآبی متفاوت است [۲۷ و ۲۸].

همچنین پلی پلاس یک نوع هیبریدی از الکترولیت‌های آبی به شکل: آند لیتیم// الکترولیت غیرآبی/ غشای سرامیکی–شیشه‌ای‌هادی یون‌ها / الکترولیت آبی// کاتد هوا نشان داد. همچنین انواع لایه‌های محافظ سرامیک–شیشه‌ای به منظور بهبود واکنش‌های انتقال بار بین یون‌های لیتیم و فلز لیتیم و الکترولیت‌های آبی ارائه شد. اخیرا باتری‌های لیتیم–هوای تماما جامد توسط کومار و همکارانش نشان داده شد [۲۹].

باتری‌های لیتیم– هوا آپروتیک

در بین انواع مختلف باتری‌های لیتیم– هوا، فقط این مورد است که قابلیت شارژ مجدد را دارد بنابراین از اهمیت ویژه‌ای برخوردار است. شکل ۴–۶ ساختار این باتری را به طور شماتیک نمایش می‌دهد.



شکل ٤– ٦– پیکربندی یک باتری لیتیم– هوا آپروتیک [۳۰]

در طول دشارژ در یک باتری لیتیم– هوا آپروتیک، یک واکنش اکسایش در آند رخ می‌دهد. الکترون درون یک مدار بیرونی جریان می‌یابد و یون‌های لیتیم به وجود آمده در اثر این واکنش، به سمت کاتد حرکت کرده و در کاتد با اکسیژن واکنش می‌دهند و پراکسید لیتیم تولید می‌کنند. در کاتد، بر طبق واکنش‌های زیر، اکسیژن به دو یا چهار الکترون کاهش می‌یابد:

$$O_2 + 2e^- + 2Li^+ = Li_2O_2 \qquad (3.10V)$$

$$O_2 + 4e^- + 4Li^+ \rightarrow 2Li_2O \qquad (2.90V)$$

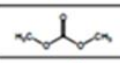
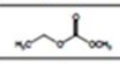
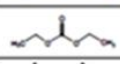
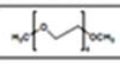
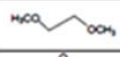
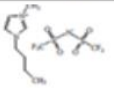
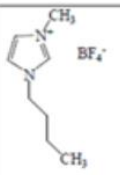
دو واکنش بالا در صورت به کار بردن پتانسیل‌های بیرونی برگشت پذیر می‌باشند. بر اساس بررسی‌های انجام شده توسط آبراهام و بروس با استفاده از طیف سنجی رامان، محصول غالب دو واکنش بالا است. به علاوه، یک مکانیسم در فرآیند شارژ شدن این باتری‌ها توسط بروس پیشنهاد شده است. در طول فرآیند شارژ، به وسیله تجزیه مستقیم، واکنش اکسایش به صورت زیر انجام می‌شود:

$$Li_2O_2 \rightarrow 2Li^+ + 2e^- + O_2$$

بنابراین می‌توان گفت که مسیرهایی که توسط اکسایش و کاهش دنبال می‌شود متفاوت می‌باشد. در شارژ، در یک واکنش یک مرحله‌ای، مستقیماً تجزیه می‌شود تا اکسیژن به دست آید و ماده حد واسط دیگری تولید نمی‌شود. اخیراً، ویسکو و همکارانش [۳۱] یک باتری آپروتیک طراحی کرده‌اند که در آن آند برای محافظت از واکنش با رطوبت با یک سرامیک مصنوعی که در باتری سطح مشترک بین آند و الکترولیت است پوشانده می‌شود. این سل توانست در هوای حاوی ۵۰ درصد رطوبت نسبی، ۶۰ چرخه در $4/0\ mA/cm^2$ شارژ شود. در مورد این نوع پیکربندی و همچنین پیکربندی‌های دیگر، مشکل تکامل دادن یک سیستم تنفسی یک پارچه برای عبور دادن اکسیژن و جلوگیری از ورود ناخالصی‌ها و آلودگی‌های موجود در هوا (مثل آب، دی‌اکسیدکربن، نیتروژن، مونوکسید کربن و غیره) نیز مطرح می‌باشد.

در جدول ۴-۱۱ لیستی از حلال‌های آلی مورد استفاده در الکترولیت‌های مربوط به باتری لیتیم-هوا در محیط غیرآبی و ویژگی های فیزیکی وشیمیایی هر یک ارائه شده است:

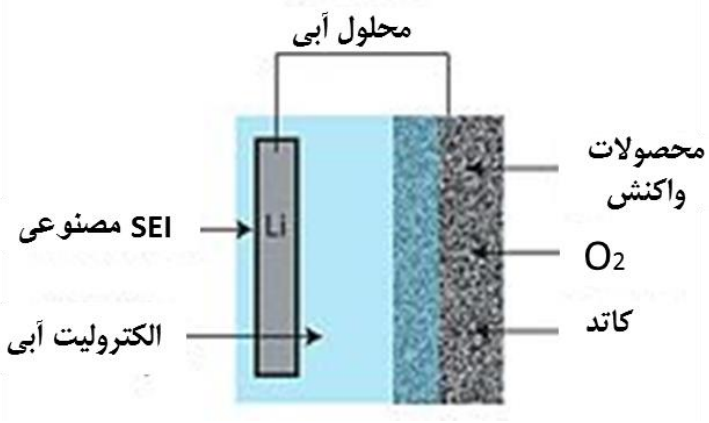
جدول٤- ١١- انواع حلال‌های آلی استفاده شده در باتری لیتیم- هوا و مشخصات آن‌ها

حلال		وزن مولکولی	ساختار	ثابت دی الکتریک (25°C)	گشتاور دوقطبی (μ)	Donor number (kcal mol^{-1})	ویسکوزیته (cP) (25 °C)	حلالیت اکسیژن (mM cm^{-3})	نقطه جوش/ذوب (°C)	فشار بخار (kPa, 25°C)	دانسیته (g cm^{-3}, 25°C)
کربنات	PC	102		64.92	4.94 (18°C)	15.1	2.53	3.2	241.7/-48.8	0.160 (55°C)	1.1951
	EC	88		89.78 (40°C)	4.87 (25°C)	16.4	1.930 (40°C)	1.71	248.2/36.4	3.371 (95.21°C)	1.3383
	DMC	90		3.107		17.2	0.59 (20°C)	7.29	91/4.6	2160	1.063
	EMC	104		2.958			0.65	7.95	110/-53	0.89	1.006
	DEC	118		2.820 (20°C)	0.90 (25°C)	16	0.748	7.92	126.8/-74.3	1.3 (23.8°C)	0.96926
اتر	TEGDME	222		7.79		16.6	4.05	4.43	275/-30	<1.33	1.009
	DME	90		7.2	1.71 (25°C)	20	0.455	9.57	84.5/-58	6.4 (20°C)	0.86370
سولفون	DMSO	78		46.45	4.06 (25°C)	29.8	1.991	2.1	189/18	56	1.1
	TMS	120						1.59	285/28	1.33	1.261
آمید	DMF	73		36.71	3.24 (25°C)	26.6	0.802		153/-61	0.49	0.94387
	DMA	87		37.78	3.71 (30°C)	27.8	0.927		166.1/-20	0.17	0.936337
مایعات یونی	[C4mim][Ntf2]	419.36					44		/-1		1.429
	[C4mim][BF4]	226.02					92		/-71		1.26

۱-۴-۴- باتری‌های لیتیم- هوا با الکترولیت آبی

این نوع از باتری‌ها شامل یک الکترود آند، یک الکترود کاتد و یک الکترولیت آبی می‌باشند. پتانسیل تخلیه بار در این نوع طراحی از پتانسیل تخلیه بار در انواع دیگر بالاتر است. ولی فلز لیتیم با آب شدیداً واکنش می‌دهد و نیاز است که الکترود آند از الکترولیت با استفاده از یک لایه پلیمری یا سرامیکی جدا شود که این امر باعث بالا رفتن مقاومت ظاهری شده و دانسیته انرژی باتری را کاهش می‌دهد. (شکل ۴-۶) این نوع باتری را به طور شماتیک نمایش می‌دهد. این نوع از باتری‌ها به طور کامل توسط پلی پلاس [۲۳] تکامل یافتند. در این نوع از باتری‌ها، تاکنون گزارشی مربوط به قابل شارژ بودن با یک پتانسیل خارجی مطرح نشده است مگر این که محصولات حاصل از واکنش به طور مکانیکی از باتری جدا شوند و واکنش

دهنده‌های جدید جایگزین شوند. بزرگترین مزیت این نوع باتری‌ها (و باتری‌های هیبریدی) این است که محصولات حاصل از واکنش دشارژ در آب قابل حل‌اند که این منجر به حذف ناخالصی‌ها در کاتد، جلوگیری از انبساط حجمی و رسیدن به قابلیت هدایت الکتریکی ساختار آپروتیک می‌باشد. یک چالش بزرگ برای این نوع باتری‌ها تکامل یک غشاء با قابلیت هدایت مناسب یون‌های لیتیم است. این غشاء از واکنش آند با آب جلوگیری می‌کند. برای این کار به یک غشاء مصنوعی پایدار در برابر آب و لیتیم نیاز است.



شکل ٤- ۷- پیکربندی باتری لیتیم- هوا با الکترولیت آبی

واکنش‌های اصلی که در کاتد این نوع از باتری‌های لیتیم- هوا در رخ می‌دهند به صورت زیر است:

$$2Li + (1/2)O_2 + 2H^+ \rightarrow 2Li^+ + H_2O$$ بستر اسیدی

$$2Li + (1/2)O_2 + H_2O \rightarrow 2LiOH$$ بستر بازی

لیستی از الکترولیت‌های مورد استفاده در این نوع از باتری‌ها در زیر نشان داده شده است.

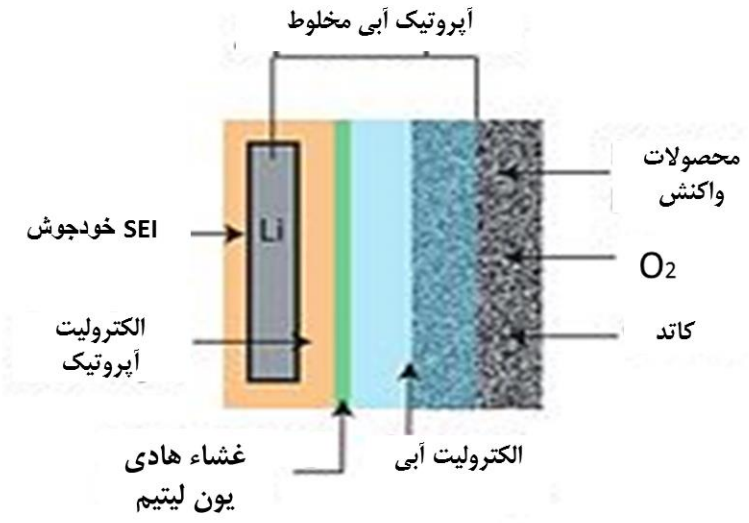
جدول٤- ۱۲- انواع الکترولیت‌های مورد استفاده در باتری لیتیم- هوا و مشخصات آن‌ها

محلول آبی	کمترین مقدار H2O برای ۱ مول از محصول (mol)	ظرفیت ویژه (mA hg-1)	دانسیته انرژی در OCV = 3.69 V (Whkg-1)
LiOH	11.14	129.19	476.70
CH3COOH	8.15	130.97	483.28
HClO3	1.09	262.51	968.68
HClO4	10.07	95.83	353.63
HCOOH	7.35	152.10	561.24
HNO3	3.76	208.49	769.33
H2SO4	17.86	72.73	268.37

HBr	2.67	211.31	779.74
HCl	2.79	316.88	1169.29

۲-۴-۴- باتری‌های لیتیم- هوا با ساختار هیبریدی (مخلوطی از آبی و آپروتیک)

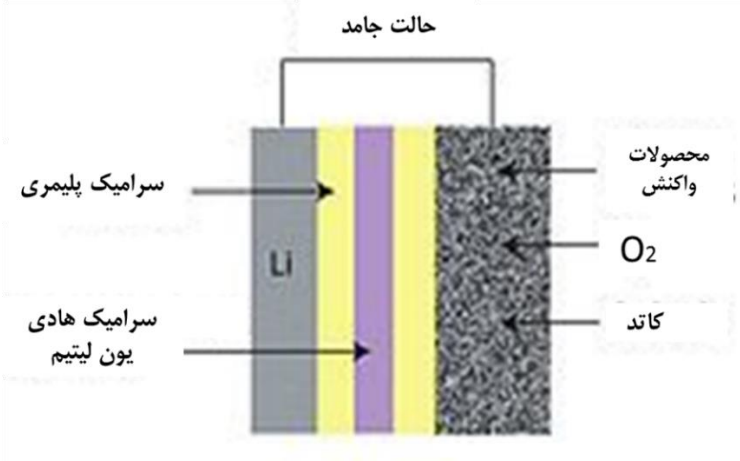
در این نوع ساختار نیز پیکربندی کلی مانند موارد قبل است. در این نوع طراحی سعی شده که از مزیت‌های هر دو نوع الکترولیت استفاده شود. همین مسئله باعث بروز مشکلاتی می‌شود. این نوع ساختار نیاز به یک پیکربندی هیبریدی دارد. به عبارت دیگر، علاوه بر این که باید الکترولیت‌ها از الکترودها به وسیله مواد واسطه جدا شوند، الکترولیت‌ها نیز باید توسط یک سرامیک یا پلیمر از هم جدا شوند. این مسئله باعث بالا رفتن مقاومت ظاهری و متعاقباً باعث پایین آمدن کارایی باتری می‌شود و البته با به کار بردن سرامیک‌ها و پلیمرها با قابلیت هدایت بالای شارژ، می‌توان این مشکل را تا حد زیادی کاهش دهد. همان طور که ذکر شد، یک چالش بزرگ برای این نوع باتری‌ها تکامل یک غشاء با قابلیت هدایت مناسب یون‌های لیتیم است. این غشاء از واکنش آند با آب جلوگیری می‌کند. شکل ۴–۸ پیکربندی این نوع باتری را به طور شماتیک نمایش می‌دهد. این نوع باتری توسط پلی پلاس [۲۶] و وانگ [۳۰] تکامل یافتند.



شکل ٤– ۸- پیکربندی باتری‌های لیتیم- هوا با الکترولیت آپروتیک/آبی

۳-۴-۴- باتری‌های لیتیم- هوا با الکترولیت جامد

این نوع طراحی مشکلات ناشی از تماس بین الکترولیت‌های مایع با الکترودها را از بین می‌برد. همچنین، این نوع از باتری‌ها از نظر ایمنی از بقیه باتری‌های لیتیم- هوا مناسب‌ترند. مثلاً در نوع آپروتیک، به کار بردن الکترولیت آلی در دمای بالا، ممکن است خطراتی به خاطر قابل اشتعال بودن مواد آلی به همراه داشته باشد، ولی در این نوع از باتری‌های لیتیم- هوا با این مشکلات و محدودیت‌های دمایی در کاربردشان مواجه نمی‌شویم. باتری‌های رایج از این نوع، از یک آند لیتیمی، یک الکترولیت سرامیکی یا شیشه‌ای یا ترکیبی از این دو و کاتد شکل گرفته از کربن فعال متخلخل تشکیل شده‌اند. آند و کاتد توسط کامپوزیتی از پلیمر و سرامیک از الکترولیت جدا می‌شوند. به کار بردن کامپوزیت ذکر شده باعث کاهش مقاومت ظاهری این نوع باتری می‌شود. بزرگترین مانع بر سر این نوع از باتری‌ها، رسانایی پایین اکثر الکترولیت‌های سرامیکی و شیشه‌ای است. اخیراً بیان شده که الکترولیت لیتیم آلومینیوم ژرمانیوم فسفات یک الکترولیت با رسانایی بالا بوده و بازدهی مناسبی در این نوع باتری‌ها خواهد داشت. اما، همچنان رسانایی آن در انتقال یون‌های لیتیم از الکترولیت‌های مایع کمتر می‌باشد. شکل ۴-۹ پیکربندی باتری‌های لیتیم- هوا با الکترولیت جامد را نمایش می‌دهد. واکنش الکتروشیمیایی در باتری‌های دارای الکترولیت جامد تاکنون به طور مطلوب شناخته نشده است اما بیان شده که مشابه با باتری‌های آپروتیک است. این نوع باتری‌ها توسط کومار و همکارانش [۳۱] به خوبی بررسی شدند.



شکل ٤- ۹- پیکربندی باتری‌های لیتیم- هوا با الکترولیت جامد

لیستی از الکترولیت‌های مورد استفاده در این نوع باتری‌ها در جدول ۴-۱۳ خلاصه شده است.

جدول٤- ١٣- انواع الکترولیت‌های جامد مورد استفاده در باتری لیتیم- هوا

الکترولیت جامد	هدایت [S cm□1]	مزایا	معایب
پروسکایتLLTO	10□3 (bulk) 10□4 (total)	هدایت الکتریکی بالا ,پایدار در هوا قدرت مکانیکی خوب	ناپایدار با فلز لیتیم مقاومت مرزی بالا تولید انبوه گران قیمت
ضد پروسکایت Li3OX, Li2OHX (X □□Cl, Br, F)	10□7–10□4	پایدار با فلز لیتیم آماده سازی دمای پایین غنی از لیتیم و سبک وزن	هدایت پایین
NASICON LATP, LAGP	10□4–10□3	هدایت متوسط ,پایدار در هوا قدرت مکانیکی خوب دامنه الکتروشیمیایی وسیع	ناپایدار با فلز لیتیم تولید انبوه گران قیمت
Garnet LLZO	10□4–10□3	هدایت متوسط پایدار با فلز لیتیم قدرت مکانیکی خوب دامنه الکتروشیمیایی وسیع	حساس به رطوبت وCO2 تولید انبوه گران قیمت مقاومت ارتباطی بالا با لیتیم
Amorphous Li2S–P2S5	10□4–10□2	هدایت بالای انعطاف پذیر پایدار با فلز لیتیم مقاومت مرزی کم	حساس به رطوبت وO2
Thio-LISICON (crystalline Li2S–P2S5, Li9.54Si1.74P1.44S11.7Cl0.3, Li10GeP2S12)	10□2	هدایت بسیار بالا مقاومت مرزی کم	حساس به رطوبت وO2 ناپایدار با فلز لیتیم
LiPON	10□6	پایدار با فلز لیتیم	هدایت پایین

تولید انبوه گران قیمت	دامنه الکتروشیمیایی وسیع		

باتری‌های قابل شارژ لیتیم–هوا دارای مشکلاتی هستند که از آن جمله می‌توان به موارد زیر اشاره کرد:

- گرفتگی کاتدهای متخلخل کربنی با محصولات دشارژ
- ناپایداری لیتیم در محیط‌های مرطوب
- اطلاعات ناکافی در رابطه با مکانیسم کاتالیستی
- بهره الکتروشیمیایی پایین به دلیل اورولتاژهای شارژ بالا
- محصولات جانبی نظیر لیتیم آلکیل کربنات و لیتیم کربنات

افزون بر این در باتری‌های لیتیم–هوا غیر آبی استفاده از الکترولیت‌های آلی آتش گیر سبب افزایش قیمت و بروز مسائل ایمنی می‌گردد. در مقایسه با این باتری‌ها، باتری‌های آلومینیم هوا بسیاری از این مشکلات را ندارند و از جمله مزایای آن‌ها می‌توان به موارد زیر اشاره کرد:

- دانسیته انرژی و ولتاژ تئوری بالا
- ایمنی بالا
- فراوانی مواد اولیه (خام)

۴-۴-۴- خلاصه مواد تشکیل دهنده باتری لیتیم– هوا

آند: لیتیم

کاتد: هوا بعلاوه کاتالیست

الکترولیت: آپروتیک، جامد

جدا کننده: پلی پروپیلن

۴-۴-۵- باتری سدیم هوا

فعالان صنعت خودروسازی در انتظار ظهور باتری‌هایی هستند که بتوانند خودروهای برقی را مانند بنزین در مسافت‌های نسبتاً طولانی همراهی کنند. هم اکنون باتری‌هایی که در خوردوهای برقی استفاده می‌شوند، از نوع لیتیومی هستند. البته

محققان به طور کلی روی باتری‌های لیتیوم هوا تمرکز کرده اند. زیرا این باتری‌ها از هوا به عنوان کاتد استفاده می‌کنند و نیازی به حمل کاتد ندارند. همچنین چگالی انرژی این باتری‌ها مشابه چگالی انرژی بنزین است. به تازگی دانشمندان در حال بررسی باتری‌های سدیم هوا هستند. زیرا با وجودی که چگالی انرژی کمتری نسبت به باتری‌های لیتیوم هوا دارند، اما از بسیاری جهت‌ها برتری‌هایی دارند. باتری‌های سدیم هوا برخی مشکلات فنی باتری‌های لیتیوم هوا را ندارند و به همین دلیل احتمالا طول عمرشان بیشتر است. گروهی از پژوهشگران دانشگاه واترلو، برای روشن شدن تفاوت میان این دو نوع باتری نقش کاتالیزورهای انتقال فاز را در سازوکارهای واکنش در باتری سدیم هوا کشف کردند. تحقیق آن‌ها به تازگی در ژورنال نیچر شیمی (Nature Chemistry) منتشر شده است.

در باتری‌های سدیمی، سدیم آند است و کربن متخلخل که مولکول اکسیژن را به دام می‌اندازد، کاتد است. وقتی باتری تخلیه شده است (یعنی هیچ پتانسیلی به سیستم اضافه نشده است) سدیم اکسید شده و یون سدیم مثبت را ایجاد می‌کند. این یون مثبت در محلول الکترولیت حرکت می‌کند و به الکترونی می‌رسد که از اکسیژن به دام افتاده توسط کاتد ایجاد شده است. واکنش این دو یون با هم NaO_2 را تولید می‌کند. این فرآیند برگشت‌پذیر است. محققان دانشگاه واترلو با علم به این که کریستال‌های NaO_2 روی کاتد ایجاد می‌شوند، نشان دادند که این فرآیند منحصراً در حضور یک پروتون انتقال فاز به عنوان کاتالیزور اتفاق می‌افتد. شکل‌گیری بلورهای NaO_2 یک بار در حضور سدیم آبدار که آب به عنوان منبع پروتن استفاده می‌شود و یک بار با استفاده از سدیم بدون آب بررسی شد. نتایج نشان می‌دادند که با افزودن مقداری آب به الکترولیت، ظرفیت تخلیه‌ی شارژ باتری تا حد زیادی بالا می‌رود.

پس از تخلیه باتری، اکسیژن در الکترولیت با آب واکنش می‌دهد و فرآورده‌های H_2O و OH^- تولید می‌شوند. H_2O با یون سدیم مثبت واکنش می‌دهد و هسته‌ی Na_2O را تولید می‌کند و باعث تشکیل کریستال‌های H^+ می‌شود. این یون‌ها دوباره با یون‌های اکسیژن منفی واکنش می‌دهند و آب تولید می‌کنند. این چرخه به طور مداوم ادامه دارد.

پژوهشگران واکنش بازگشت، یعنی شارژ باتری را هم بررسی کردند تا مطمئن شوند که یون هیدروژن به عنوان یک کاتالیزور عمل می‌کند. در این مرحله یون‌های H^+ باید با کریستال‌های Na_2O واکنش دهند تا H_2O را تولید کنند. سپس H_2O یون‌های منفی اکسیژن را در سطح کاتد ایجاد می‌کنند. بررسی‌ها نشان می‌دهند که علی‌رغم این که این واکنش برای شروع به اعمال ولتاژ نسبتاً بالایی نیاز دارد، اما در حضور آب به سادگی واکنش آغاز می‌شود. همچنین محققان دریافتند که معادل چنین واکنشی نمی‌تواند برای باتری‌های لیتیوم هوا رخ دهد. زیرا جهت‌های واکنش‌های اولیه و بازگشتی، مسیرهای متفاوتی را دنبال می‌کنند.

مسلم است که باید برنامه ریزیهای زیادی برای ادامه این پژوهش‌ها صورت پذیرد. از جمله باید حضور H_2O در محلول‌های الکترولیت آلی بررسی شود. همچنین دانشمندان تلاش می‌کنند روشی بیابند که باعث شود کریستال‌های Na_2O در محلی غیر از سطح کاتد ایجاد شوند تا بتوان با پیشرفت‌های بعدی ایرادهای موجود در سلول‌های سدیم هوا را رفع نمود. تا این نوع باتری به جایگاه مناسبی برای استفاده در خودروهای برقی برسند.[۹۶، ۹۷، ۹۸]

۵-۴- مقایسه کارایی باتری‌های فلز-هوا

در نهایت باتری‌های فلز- هوای مختلف به لحاظ کارایی و مواد تشکیل دهنده در جدول ۴-۱۴ مقایسه شده‌اند.

سیستم باتری	آهن-هوا	روی-هوا	آلومینیم-هوا	منیزیم-هوا	سدیم-هوا	پتاسیم-هوا	لیتیم-هوا
زمان ابداع	۱۹۶۸	۱۸۷۸	۱۹۶۲	۱۹۶۶	۲۰۱۲	۲۰۱۳	۱۹۹۶
قیمت فلز(kg^{-1})الف	۰/۴۰	۱/۸۵	۱/۷۵	۲/۷۵	۱/۷	۲۰ تقریبا	۶۸
ولتاژ تئوری (V)	۱/۲۸	۱/۶۵	۲/۷۱	۳/۰۹	۲/۲۷	۲/۴۸	۲/۹۶
دانسیته انرژی تئوری ($Wh\ kg^{-1}$)ب	۷۶۳	۱۰۸۶	۲۷۹۶	۲۸۴۰	۱۱۰۶	۹۳۵	۳۴۵۸
الکترولیت برای باتری‌های کاربردی	قلیا	قلیا	قلیا یا آب نمک	آب نمک	آپروتیک	آپروتیک	آپروتیک
ولتاژ کاربردی (V)	تقریبا ۱	۱/۱-۲/۰	۱/۱-۱/۴	۱/۱-۲/۴	تقریبا ۲/۲	تقریبا ۲/۴	تقریبا ۲/۶
دانسیته‌انرژی‌کاربردی ($Wh\ kg^{-1}$)	۸۰-۶۰	۵۰۰-۳۵۰	۵۰۰-۳۰۰	۷۰۰-۴۰۰	نامعلوم‌پ	نامعلوم‌پ	نامعلوم‌پ
اولیه (P)ت یا ثانویه (R)ث	R	R	P	P	R	R	R

الف) منبع: http://metalprices.com
ب) اکسیژن فراگیر
پ) مقادیر گزارش شده در متن بر اساس جرم کاتالیست نرمالیزه شده‌اند.
ت)غیر قابل شارژ
ث)قابل شارژ

باتری روی هوا قدیمی‌ترین باتری از این نوع (۱۸۷۸ میلادی) است و باتری پتاسیم هوا (۲۰۱۳ میلادی) آخرین تجربه می‌باشد. در حال حاضر قیمت باتری آهن هوا از همه ارزان‌تر (۰/۴ دلار بر کیلوگرم) و باتری لیتیم هوا از همه گران‌تر(۶۸ دلار بر کیلوگرم) است. ولتاژ تئوری و کاربردی باتری آهن هوا از همه پایین‌تر (به ترتیب ۱/۲۸ و ۱ ولت)، ولتاژ تئوری باتری

منیزیم هوا از همه بیشتر (۳/۰۹ ولت) بوده، ولی ولتاژ کاربردی باتری لیتیم هوا از همه بیشتر (۲/۶ ولت) است. دانسیته انرژی تئوری و کاربردی باتری آهن هوا از همه پایین‌تر (به ترتیب ۷۶۳ و ۸۰-۶۰ وات ساعت بر کیلوگرم) و دانسیته انرژی تئوری باتری لیتیم هوا از همه بالاتر (۳۴۵۸ وات ساعت بر کیلوگرم) است، ولی دانسیته کاربردی باتری‌های سدیم هوا، پتاسیم هوا و لیتیم هوا نامعلوم است. باتریهای آلومینیم هوا و منیزیم هوا غیر قابل شارژ هستند، در حالی که باقی انواع باتریهای فلز هوا قابل شارژ می‌باشند.

۶-۴- ابرخازن

التراخازن، یا ابرخازن که خازن الکتروشیمیایی نیز خوانده می شود، نوعی سیستم ذخیره انرژی است که در سال های اخیر محبوبیت زیادی پیدا کرده است. می توان ابرخازن را بین یک خازن معمولی و یک باتری تصور کرد، در عین حال ابرخازن با هر دو متفاوت است. دقیقاً مانند یک باتری، سلولهای ابرخازن یک الکترود مثبت و منفی دارند که توسط یک الکترولیت از هم جدا می شوند. اما برخلاف باتری ها، انرژی را بصورت الکترواستاتیک (مانند خازن) ذخیره می کنند (نه به شکل شیمیایی مانند باتری). همچنین ابرخازن یک جداکننده دی الکتریک دارد که الکترولیت را تقسیم می کند – دقیقاً مانند یک خازن. این ساختار سلولی داخلی اجازه می دهد تا ابرخازن در مقایسه با خازن معمولی، از چگالی ذخیره انرژی بسیار بالایی برخوردار باشد. در مقایسه با باتری ها، ابرخازنها انرژی کمتری نسبت به باتری با اندازه مشابه ذخیره می کنند. اما، آنها می توانند خیلی سریعتر انرژی را آزاد کنند زیرا این فرایند بستگی به انجام واکنش شیمیایی درون ابرخازن ندارد.

بر اساس مطالعات انجام شده، کارایی ابرخازن‌ها وابسته به ظرفیت خازنی و میزان مقاومت درونی سیستم است. ظرفیت خازنی خود تحت تأثیر پارامترهایی مانند مساحت سطح موثر، دانسیته و توزیع اندازه حفرات، حضور گروه‌های عاملی و میزان آب‌گریزی سطح قرار می‌گیرد. بهینه‌سازی این پارامترها منجر به افزایش ظرفیت لایه دوگانه الکتریکی و بهبود ظرفیت خازنی می‌شود. فاکتور کلیدی دیگر، میزان مقاومت الکتریکی است که از طریق افزایش هدایت الکتریکی اجزا، کاهش مقاومت تماسی در فصل مشترک الکترود/ الکترولیت و الکترود/ جمع کننده جریان[1] و استفاده از الکترولیت مناسب، تا حد زیادی قابل کنترل است [۳۲].

یکی از مزایای مهم ابرخازن این است که بارها و بارها با کمترین تخریب شارژ می شود (بیش از یک میلیون چرخه شارژ/تخلیه). این امر به این دلیل است که فرایند شارژ و تخلیه هیچ تغییر فیزیکی یا شیمیایی در ابرخازن ایجاد نمی کند.

[1] current collector

بنابر این ابرخازنها عمر بسیار طولانی تری نسبت به باتری ها دارند. باتری معمولی می تواند حدود ۲۰۰۰–۳۰۰۰ چرخه شارژ و تخلیه را تحمل کند، در حالی که ابرخازنها معمولاً می توانند بیش از ۱،۰۰۰،۰۰۰ چرخه داشته باشند. معمولاً در عرض چند ثانیه، شارژرهای ابرخازن بسیار سریعتر از باتری ها شارژ و تخلیه می شوند. بسیاری از ابرخازنها در مقایسه با باتری‌ها دارای طول عمر بسیار طولانی تری هستند. برخی از آنها قادر به بهره برداری به مدت حداکثر ۱۵ سال با کمترین کاهش ظرفیت هستند. همچنین ابرخازنها در پدیده تخلیه خودبه خودی نسبت به باتری ها بسیار کارآمد هستند.

ابرخازنها بسیار ایمن بوده و به طور قابل توجهی کمتر سمی هستند. آنها حاوی هیچ ماده شیمیایی مضر یا فلزات سنگین نیستند و به سادگی منفجر نمی‌شوند.

همچنین ابرخازنها دامنه عملیاتی بسیار گسترده‌ای دارند و می توانند در محدوده بین −۴۰ تا +۶۵ درجه سانتیگراد کار کنند.

باتریها برای کاربردهای با چگالی انرژی بالا مناسب تر هستند و می توانند شرایطی را فراهم کنند که دستگاه به مدت طولانی کار کنند. ابرخازنها چگالی توان بسیار بالاتری نسبت به باتری ها دارند. این امر باعث می شود آنها برای برنامه های پر اضطرار مانند تامین نیروی مورد نیاز خودرویی برای شتاب دهنده ایده آل شوند.

بنا بر این از ابرخازنها در برنامه هایی استفاده می شود که به جای ذخیره طولانی مدت بسته انرژی، نیاز به تعداد زیادی از چرخه های شارژ / تخلیه سریع دارند. همچنین، از آنها در بسته های تقویت کننده خودرو و پاور بانک ها استفاده می شود.

به دلیل چرخه عمر طولانی و دانسیته توان بالا، ابر خازن‌ها برای بسیاری از کاربردهای ذخیره‌سازی انرژی مناسب هستند. از جمله می‌توان به سیستم‌های مخابراتی دیجیتال، منبع تغذیه اضطراری در کامپیوترها، تولیدکننده‌های لیزر پالسی، و وسایل ارتباطی دوربرد اشاره کرد.

آیا ابرخازنها می توانند جایگزین باتریها شوند؟

پاسخ به این سؤال بستگی به کاربرد مورد نظر دارد. هر دو مزایا و معایبی نسبت به دیگری دارند. همانطور که قبلاً نیز گفته شد، باتری ها چگالی انرژی بسیار بالاتری نسبت به ابرخازنها دارند. ابرخازن‌ها در مواجهه با بار الکتریکی همانند یک اسفنج عمل می‌کنند و تمام این فعل و انفعالات در سطح نانو در الکترود کربن دارای ساختار نوین صورت می‌گیرد. طول عمر ابرخازن‌ها را تا ده ها هزار بار شارژ و دشارژ در نظر می‌گیرند که بسیار قابل توجه است. مهم‌ترین ویژگی این فناوری جدید سرعت بالای شارژ است که می‌تواند زمان شارژ را به مقدار قابل توجهی کاهش دهد. باتری‌ها فرایند شارژ را از طریق واکنش های شیمیایی بین الکترودهای فلزی و مایع الکترولیت انجام می‌دهند. از آنجا که این مواد شیمیایی برای واکنش به زمان

احتیاج دارند، عملیات ذخیره سازی و آزادسازی انرژی تقریبا کند انجام می‌شود. این خاصیت ابرخازن‌ها باعث شده است تا در دستگاه‌های مختلفی مورد استفاده قرار بگیرند اما برای اینکه به درون یک خودروی برقی راه پیدا کنند، توان ذخیره زیادی نداشته‌اند و ۲۰ برابر کمتر از باتری‌های لیتیوم یونی می‌توانند انرژی را در خود ذخیره کنند، اما در گزارشهایی از تحقیقات اخیر مواد کربنی خاصی مورد استفاده قرار گرفته‌اند که می‌توانند به شکل یک باتری عمل کنند و انرژی مورد نیاز را فراهم آورند. همچنین در برخی از دانشگاه‌ها تحقیق روی ابرخازن‌ها در جریان است که با ایجاد تغییر در الکترولیت و استفاده از پوششی شبیه به پلاستیک و پلیمری ظرفیت آنها را افزایش داده‌اند.

پیش بینی می‌شود زمان شارژ در ابرخازن‌های آینده که در خودروهای برقی ممکن است استفاده شوند تا ۲ دقیقه کاهش یابد که این موضوع بسیار قابل توجه است و موضوعی انقلابی در ساخت و ترویج خودروهای برقی خواهد بود. البته موضوعی که اهمیت دارد این است که هزینه این فناوری هنوز به حدی بالا است که استفاده از آن در خودروهای برقی روزمره امکان‌پذیر نیست. اما روند علم و فناوری ثابت کرده است که گران‌ترین فناوری‌ها نیز سرانجام روزی به مرحله تولید تجاری می‌رسند. ولی مسلما این موضوع به پژوهش فراگیر، صرف هزینه های فراوان و زمان کافی نیاز دارد.

استفاده از ابر خازن ها در خودروهای الکتریکی

ترمزهای مولد برق[1] در ماشین های برقی جدید در هنگام کاهش سرعت خودرو بجای تبدیل انرژی جنبشی به گرما و اتلاف آن در محیط، آن را به انرژی الکتریکی تبدیل می کنند و برای ذخیره و استفاده مجدد آن در موتور برقی خودرو آن را در یک بانک ابرخازنی متشکل از چند سوپر خازن گرافنی ذخیره می کنند. شرکت های مختلفی مانند تسلا و ژنرال موتور از این سیستم برای بهره وری بیشتر خودروهای برقی و هیبرید خود استفاده می کنند. در اروپا هم شرکت Skeleton Tech در حال تبدیل خودروهای دیزلی به خودروهای هیبرید در ناوگان حمل و نقل بریتانیا است و در این خودرو های از سیستم ترمزهای مولد برق استفاده می شود. [۹۹ ، ۱۰۰]

۱-۶-۴- خلاصه مواد تشکیل دهنده ابرخازن

متداول ترین ماده الکترود برای ابرخازنها کربن به اشکال مختلفی از جمله کربن فعال، پارچه الیاف کربن، کربن مشتق شده از کاربید، آیروژل کربن، گرافیت (گرافن) و نانولوله های کربنی (CNTs) است.

[1] Regenerative Brakes

در ساخت ابرخازن ها از مواد مختلف کربنی، اکسید های فلز و پلیمرهای رسانا استفاده می شود. پیشرفت های حاصل شده در زمینه کار با مواد پایه کربنی مثل گرافن باعث افزایش ظرفیت این نوع خازن ها شده است و اکنون می توان ابر خازن ها را به عنوان رقیب جدید باتری ها در نظر گرفت.

گرافن یک لایه نازک کربنی با شکل لانه زنبوری[1] است که استحکام بسیار بالایی دارد و استفاده از آن در ساخت ابرخازنها باعث افزایش ظرفیت آنها بدلیل وجود مساحت داخلی بیشتر در گرافین شده است.

ابرخازنها می توانند از انواع مواد ساخته شوند، ولی از آنجا که در این گزارش استفاده از ابرخازنها با هدف ترکیب نمودن ساختاری آنها با باتریها و دستیابی به باتریهای نوین هیبریدی بوده است، لذا مثلا در صورتی که هدف افزایش توان باتری سرب اسیدی باشد آنگاه ابرخازن مورد نیاز بدین ترتیب خواهد بود:

آند: دی اکسید سرب

کاتد: کربن متخلخل

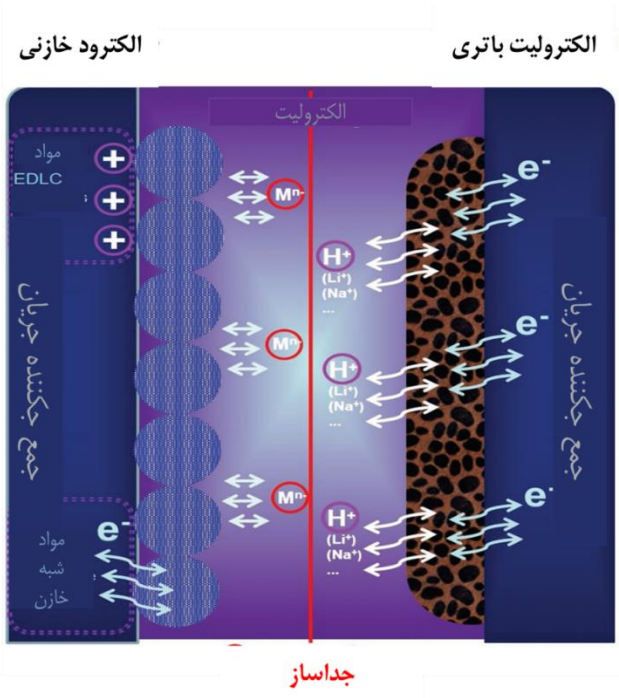
الکترولیت: اسید سولفوریک

جدا کننده: پلی پروپیلن

۷-۴- هیبرید ابرخازن-باتری

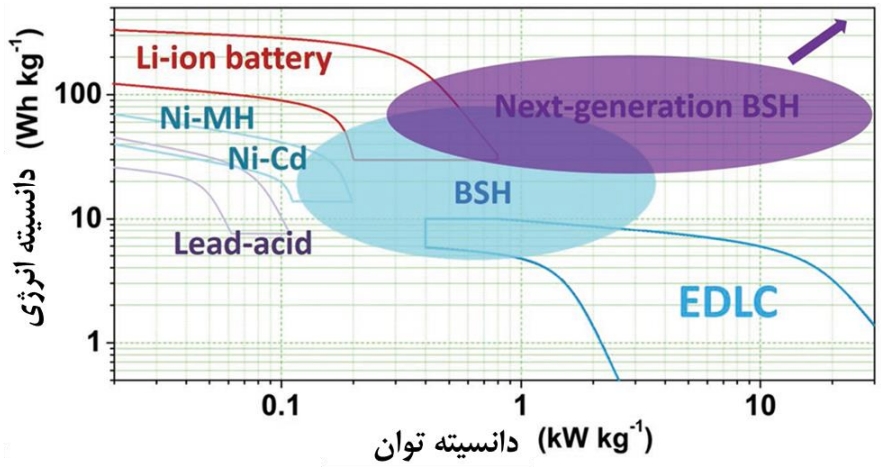
ترکیب ابرخازن- باتری (BSH) دارای ویژگی‌های مطلوب باتری و ابرخازن می‌باشد. این ویژگی‌ها عبارتند از: دانسیته انرژی بالا، دانسیته توان بالا و عمر بالا. ساختار کلی این نوع ذخیره‌سازها و مکانسیم عمل آن‌ها در شکل ۴-۱۰ نشان داده شده است.

[1] Honeycomb



شکل ٤- ١٠- نمونه‌ای از هیبرید باتری و ابرخازن

این ذخیره سازها از یک الکترود باتری با ظرفیت بالا و یک الکترود با ظرفیت بالای خازنی تشکیل می‌گردند. در شکل زیر کارایی انواع ذخیره سازها با یکدیگر مقایسه شده است و همان طور که دیده می‌شود BSHها همزمان دانسیته انرژی بالا و توان بالایی را از خود ارائه می‌دهند که ویژگی بسیار مطلوبی است [۳۲-۳۳].



شکل ٤- ١١- مقایسه کارایی انواع ذخیره سازها

مواد خازنی مورد استفاده از نوع شبه خازنی[1] یا خازن‌های با لایه مضاعف الکتروشیمیایی (EDLC)[2] می‌باشند. در خازن‌های با لایه مضاعف الکتروشیمیایی یا EDLC در حالت ایده‌آل هیچ الکترونی از فصل مشترک الکترودها عبور نکرده و ذخیره بار و انرژی الکتریکی به صورت استاتیک در فصل مشترک الکترود/الکترولیت به وسیله EDLC صورت می‌گیرد. در واقع رفتار سیستم در این حالت غیر فارادیک است. بیشترین ماده مورد استفاده در EDLC مربوط به نانوساختارهای کربنی نظیر گرافن می باشد.

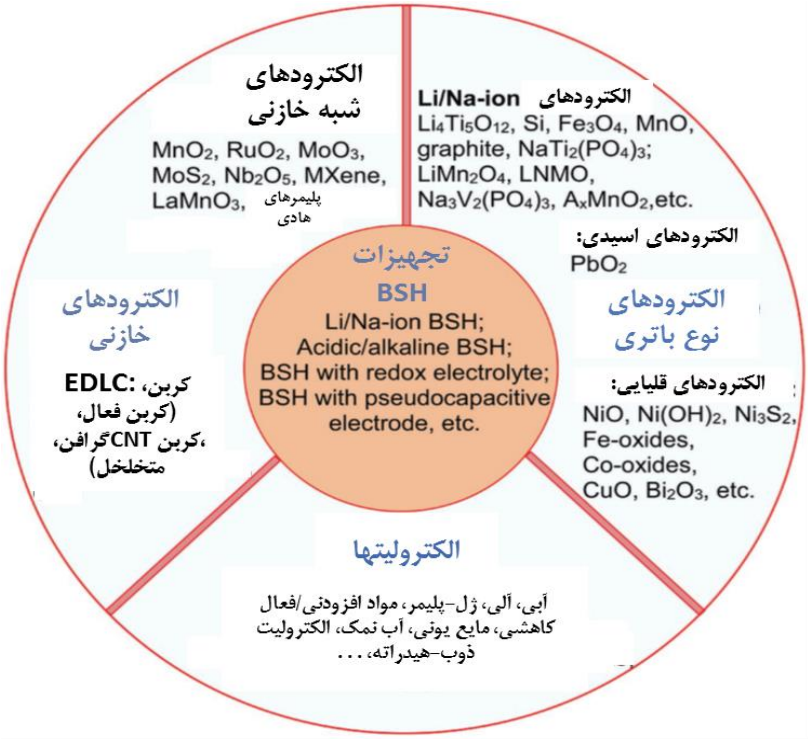
مکانیسم EDLC به صورت مستقیم با مساحت در تماس با محلول متناسب است. امکان ذخیره‌سازی انرژی بیشتری با مکانیسم دوم، رفتار شبه‌خازنی، نسبت به EDLC وجود دارد. با این وجود رفتار شبه‌خازنی دانسیته توان پایین و پایداری چرخه‌ای کمتری دارد. مواد نوعی که دارای رفتار شبه‌خازنی هستند شامل اکسیدها و نیتریدها مانند MnOx ، RuO_x و نیز پلیمرهای هادی مانند پلی‌آنیلین می‌شوند. مکانیسم عملکرد ابرخازن‌ها به نوع ماده الکترود بستگی دارد. فقدان پایداری طولانی مدت در حین چرخه به دلیل تجزیه پلیمرهای الکترواکتیو مشکل اصلی در مورد پلیمرهای هادی است.

در رابطه با انواع BSH ها می‌توان به موارد زیر اشاره کرد [۳۲]:

- هیبرید ابرخازن– باتری لیتیم یون
- هیبرید ابرخازن– باتری سدیم یون
- هیبرید ابرخازن– باتری اسیدی
- هیبرید ابرخازن– باتری قلیایی
- هیبرید ابرخازن– باتری با الکترولیت های ردوکس
- هیبرید ابرخازن– باتری با الکترود شبه خازنی

اجزای سازنده BSH ها در زیر خلاصه شده‌اند.

[1] Pseudocapacitive material
[2] Electric double-layer capacitive



شکل ٤- ١٢- اجزای سازنده BSH ها

در سال ۲۰۰۱ اولین هیبرید ابرخازن-باتری یون لیتیم گزارش شد. الکترولیت مورد استفاده در این نوع از ذخیرسازه‌ها می‌تواند دارای ساختار آلی یا آبی باشد با این حال الکترولیت‌های غیر آبی (آلی) دارای کارایی بیشتری می‌باشند.

- آند

موادی نظیر اکسیدهای تیتانیم، سیلیکون، مگنتیت (Fe_3O_4)، MnO، Nb_2O_5 و کربن فشرده به عنوان آند استفاده شده‌اند.

- کاتد

موادی نظیر Li_2CoPO_4F spinel-$LiMn_2O_4$, $Li_3V_2(PO_4)_3$, $LiNiO.5Mn1.5O_4$ و ترکیب آن‌ها با پلیمرهای رسانا و کربن در این رابطه استفاده می‌شوند.

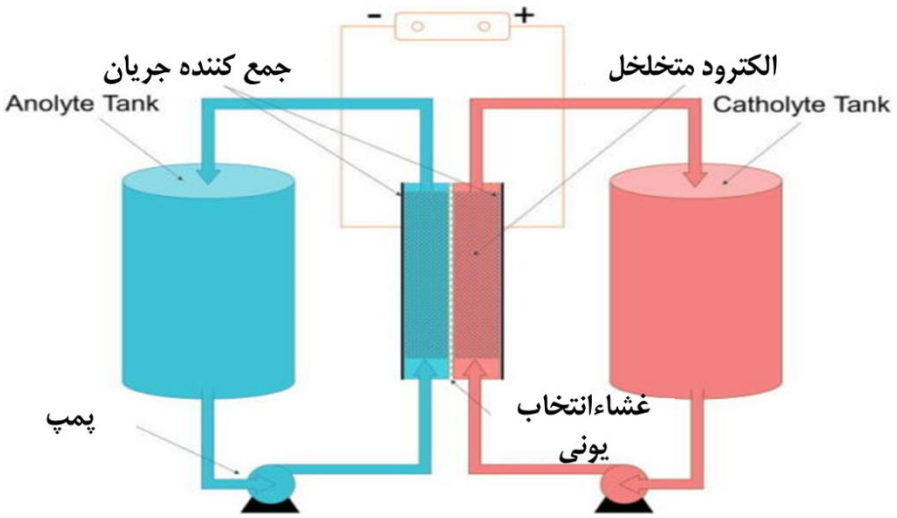
به منظور ساخت هیبرید ابرخازن- باتری یون لیتیم استفاده از گرافیت لیتیم‌دار شده به عنوان آند و کربن فعال به‌عنوان کاتد به‌عنوان بهترین گزینه‌ها معرفی شده‌اند [۳۲ و ۳۴].

۸-۴- باتری‌های جریانی

یکی از بزرگترین اشکالات وسایل نقلیه الکتریکی – که نیاز به ساعت های متمادی برای شارژ شدن دارند –را می توان با بهره گیری از نوع جدیدی از باتری جریانی، برطرف نمود. در حال حاضر یک خودرو برقی معمولی دارای باتری جامد است، و هنگامی که این باتری تخلیه می شود باید شارژ شود. اگر ایستگاه شارژ سریع در دسترس باشد، فرایند شارژ حداقل به بیش از نیم ساعت نیاز خواهد داشت، یا میتوان عملیات شارژ را در خانه و در طول شب انجام داد.[۶۱]

یک نمونه از باتریهایی که تا به حال کاربردهای دیگری داشته است ولی اکنون به دلیل ساختار ویژه‌اش می‌تواند در خودرو برقی نیز کاربرد داشته باشد باتری جریانی است. اکثرا این باتریها به عنوان واحدهای بسیار بزرگ مناسب برای کاربردهای شبکه مانند پیک سایی شناخته شده‌اند، اما اخیرا استفاده از این باتریها درخودرو های برقی مطرح شده است، زیرا قیمت آنها به ۱۰۰ دلار در هر کیلووات ساعت می‌رسد و اندازه و وزن آنها می‌تواند بر حسب محدوده کاربرد تعیین شود. پژوهشگران خودروسازیهای بزرگ مانند تویوتا احتمال کاربردی بودن این باتریها در خودروهای برقی را منتفی نمی‌دانند. [۶۲]

در مقایسه با باتریهای متداول، باتری جریانی ساختار متفاوتی دارد. در این باتری الکترولیت از مایع می تواند در یک مخزن ذخیره شود و در حین کار از الکترودها پمپ شود. به این شکل که هنگامی که باتری تخلیه شود، می توان مایع دشارژ شده را از باتری تخلیه نمود و – مانند بنزین معمولی یا دیزل – مایع شارژ شده جدید را در مخزن پر کرد. این عملیات چند دقیقه طول خواهد کشید. از آنجا که می‌توان از الکترولیت بیشتری استفاده نمود، یک باتری جریانی می تواند توان زیادی تولید کند. لذا هنوز می‌توان گفت روش تولید الکتریسیته در این نوع باتری مشابه سایر انواع است، ولی در این باتری الکتریسیته در شرایطی تولید می‌شود که به جای الکترود جامد، جریان مداوم مایع وجود دارد. [۶۱]



شکل ٤- ١٣- شماتیک یک باتری جریانی

همانگونه که در شکل ۴-۱۳ نشان داده شده است باتری جریانی مورد استفاده در خودرو دارای دو سیستم مخزن مایعات و دو پمپ است که غشایی دو مایع را از یکدیگر جدا می‌کند. این سیستم دقیقاً مانند یک باتری خودرو برقی سنتی می تواند برق را از انرژی شیمیایی تولید کند. این انرژی توانایی راه اندازی یک سیستم ۴۸ ولت غیرمعمول را برای هدایت خودرو ایجاد می‌کند. در مقایسه با اکثر خودروهای برقی، ۴۸ ولت بسیار کم است. به عنوان مثال ، خودرویی مانند نیسان LEAF و مدلهای فعلی تسلا دارای ولتاژ ۳۵۰-۴۲۵ هستند. این ولتاژ کم کار با سیستم را بسیار ساده تر می کند و باعث می شود خودرو در بسیاری از حوزه های قضایی مشمول مقررات ولتاژ بالا نشود. اما ۴۸ ولت معمولاً فقط در خودروهای بسیار ضعیف با کاربردهای محدود مطرح است. [۶۳]

شرکت سازنده[1] معتقد است: از باتریهای جریانی ۴۸ ولت برای مسافت ۱۰۰۰ مایل استفاده خواهد کرد. خودروهای برقی کامل کم وزن و دارای کارایی بالا معمولاً به سمت ولتاژ ۸۰۰ ولت می روند. اراده‌ای بسیار قوی برای حفظ، ارتقاء و قانونی نگه داشتن خودروهای معمول تحت مقرارت محافظت از آلودگی، با ساختن خودروهای هیبرید با شرایط حداقل ۴۸ ولت وجود دارد. باتریهای جریانی ردوکس معمولاً چگالی انرژی بسیار کمی دارند، که تقریباً یک رده پایین تر از بهترین باتری

[1] nanoFlowcell

شرکت nanoFlowcell یک موسسه تحقیق و توسعه واقع در نزدیکی زوریخ ، سوئیس است. این شرکت استانداردهای جدیدی را در زمینه ذخیره انرژی آینده و برنامه های نوآورانه برای فناوری انرژی باتریهای جریانی تدوین کرده است.

لیتیوم یون است. هدف شرکتهایی مانند نانوفلوسل در معرفی فناوری باتری جریانی ردوکس در خودرو با استفاده از شیمی باتریهای غیر قابل شارژ است.[۶۲]

سلول های باتری جریانی ردوکس از مزایایی برخوردارند که سایر باتری ها فاقد آن هستند. در ساده ترین شکل، یک باتری جریانی ردوکس شامل دو مخزن الکترولیت (آنولیت و کاتولیک) است که از طریق واکنش های کاهشی ردوکس (که نام این نوع باتری از آن گرفته شده است) با یکدیگر واکنش می دهند. هنگامی که انرژی موجود در آنولایت و کاتولیک به طور کامل مصرف شود، این مایعات از درون مخازن داخل خودرو تخلیه و با مواد جدید جایگزین می شوند، تقریبا مانند مخزن سوخت در یک خودرو دارای موتور درونسوز که پس از طی نمودن مسافتی مشخص و اتمام سوخت، بایستی با سوختی مانند بنزین دوباره پر شود. بقیه تجهیزات باتری جریانی در داخل خودرو باقی می‌ماند، ولی می‌توان امیدوار بود که الکترولیتهای مصرف شده بازیابی شوند و سپس توسط خودروهای دیگر مجددا مورد استفاده قرار گیرند. اگر مجموع هزینه الکترولیت ها، زیرساخت های سوخت گیری و فرآیند بازیافت الکترولیتها به اندازه کافی پایین باشد ، انتظار می رود شرکت تولید کننده بتواند یک خودرو برقی کامل را که می تواند در چند دقیقه شارژ شود، تولید کند، محدوده مسافت رانندگی مناسبی را ارائه دهد، و یک باتری جایگزین مناسب برای صنعت خودروسازی ارائه دهد.[۶۲]

۱-۸-۴- عمر مفید باتری جریانی

از آنجا که الکترولیت این باتری یک نمک معدنی ساده محلول در آب است، امکان کنترل فرایند پیری در آن وجود دارد. در درون یک باتری لیتیمی نرمال، با گذر زمان سیستم جامد باتری با افت کیفیت روبرو می‌شود، در نتیجه فرایند شارژ با افت و خیز روبرو می‌شود. به همین دلیل است که باتری‌های لیتیمی فقط به میزان تعداد دفعات مشخصی سیکل شارژ و تخلیه را طی می‌کنند. در یک باتری جریانی غیر آلی، از آنجا که نمک غیر آلی بسیار پایدار است پیش بینی می شود فرایند پیری با کندی بیشتری رخ دهد. [۶۱]

۲-۸-۴- قیمت باتری جریانی

الکترولیت های باتری جریانی ردوکس می توانند بسیار ارزان باشند (۰/۱ دلار در کیلوگرم برای مواد آبی) ، به این معنی که آنها حتی در آمریکا می توانند رقیب جدی بنزین باشند. علاوه بر این ، باتری های جریانی ردوکس به دلیل طول عمر بالای خود شناخته شده اند، در این راستا در حال حاضر بسیاری از شرکت های تولید کننده باتری های جریانی ایستگاهی

خود را ۲۰ سال ضمانت می‌کنند. مرحله پایانی ساخت باتری های قابل شارژ جریانی با حذف مرحله بازیابی الکترولیت است. [۶۲]

۳-۸-۴- معایب باتری جریانی برای استفاده در خودرو برقی

از جمله معایب این نوع باتری می‌توان به این نکته اشاره کرد که این باتریها قادر به تولید توان بالایی نیستند، بنابراین ممکن است برای ایجاد شتاب کافی و ترمز احیا کننده در خودرو نیاز به استفاده از ابرخازن‌ها و / یا باتری های لیتیم یون کوچک باشد. [۶۲]

چالشها: باید فعالیتهای مهندسی زیادی برای تکمیل این نوع باتری انجام داد، تا اطمینان حاصل شود که سیستم پیشنهادی با خیال راحت و با اطمینان کار کند. در حال حاضر ، این دانش فنی از مقیاس آزمایشگاهی به نمونه پایلوت آزمایشی ارتقاء یافته است. در این شرایط برنامه ریزیهایی برای ارتقاء دانسیته انرژی تا حد مورد نیاز برای خودرو برقی و مکانیزمهای تخلیه سیال دشارژ شده از درون خودرو و انتقال سیال شارژ شده به درون مخزن خودرو مورد نیاز است. [۶۱]

باتریهای جریانی از گذشته مورد استفاده قرار گرفته اند، ولی مشکل اصلی آنها دانسیته انرژی پایین است.به بیان دیگر، گرچه این باتری امکان تولید توان بالا دارد، ولی در این شرایط نیاز به یک مخزن الکترولیت بزرگ وجود دارد که با کاربردهای متحرک باتری خودرو برقی در تضاد است. [۶۱]

۴-۸-۴- راه آینده

برای مقایسه کارایی باتری جریانی با کارایی باتری‌های خودرو برقی، اگر مثلا تسلای مدل ۳ دارای یک باتری ۷۰ کیلووات ساعت در نظر گرفته شود، محققان ادعا می کنند برای رسیدن به ظرفیتی برابر با آن نیاز به یک باتری جریانی با حداقل ظرفیت ۷۰ لیتر وجود دارد. این حجم تقریبا برابر با حجم مخزن ذخیره بنزین در خودروهای معمولی است. [۶۱]

چرا باتری‌های جریانی در خودروهای برقی موجود بکار نروند، در حالی که قادر به تامین خروجی یکسان هستند و حجمی برابر با سیستم تامین سوخت خودروهای معمولی را اشغال می کنند. در ضمن همه پمپ بنزینها در جهان دارای پمپهای انتقال مایع هستند، لذا بسیاری از زیرساختهای مورد نیاز باتریهای جریانی در حال حاضر در دسترس هستند. مایعاتی که استفاده می‌شوند خورنده هستند، ولی این امکان وجود دارد که شیرآلات و سیستمهای لوله کشی به گونه ای آماوه سازی

شوند که با پدیده خوردگی مقابله نمایند. شاید لازم باشد تا مخازن ذخیره ارتقاء یابند، ولی ایجاد ارتقاء بسیار ارزانتر از ساختن زیرساخت های کاملاً جدید است.

شیمیستها به دنبال یافتن روش افزایش میزان الکترونها (افزایش بار) در باتری جریانی هستند. اگر الکترولیتی ساخته شود که غلظت اکسید فلز آن بسیار بالا باشد، توانایی جذب بار آن به مقداری بسیار بیشتر از پیش بینی ها خواهد بود. در نتیجه اگر دانسیته انرژی باتری جریانی حاصل ۱۰ برابر شرایط قبل شود (۲۲۵ الی ۱۰۰۰ وات ساعت در لیتر)، این پدیده کاربرد باتری جریانی را در خودروهای برقی امکان پذیر خواهد ساخت. لذا در صورتی که دانشمندان موفق شوند نظریه فوق را بطور عملی و کاربردی پیاده کنند، دانسیته انرژی این باتری بسیار بالا خواهد رفت. [۶۱]

۵-۸-۴- فناوری جدید باتری جریانی برای استفاده در خودرو برقی

نوع جدیدی از فن آوری خودروهای برقی که از ترکیبی از باتری جریانی و هیدروژن استفاده می کند قادر خواهد بود آنچنان دانسیته انرژی زیادی را فراهم کند که بتواند به یک خودرو اجازه دهد بیش از ۵۰۰۰ کیلومتر را طی کند و فقط برای تخلیه سریع مایعات الکترولیت و پر کردن مجدد مایعات احیا شده متوقف شود. [۶۴]

در حالی که بحث و گفتگوهای زیادی در مورد جوانب مثبت و منفی استفاده از هیدروژن برای تأمین انرژی وسایل نقلیه با آلایندگی صفر در مقابل خودروهای برقی دارای باتری لیتیوم یونی وجود دارد ، پیشرفت های اینچنینی همچنان این موضوع را مطرح می کند. این فناوری در حال حاضر در سطح دانشگاهی و با استفاده از خودروهای کوچک و ضعیف آزمایش می شود. این سیستم شبیه به فناوری باتری جریانی منعارف است، با این تفاوت که در آن هیچ غشایی وجود ندارد و فقط از یک "مخزن" مایعات استفاده می کند. پژوهشگران این سیستم اعتقاد دارند سیستم تک سیال امکان دستیابی به چگالی انرژی بسیار بیشتر را فراهم می کند. این به معنای باتری های سبک تر با برد بیشتر برای خودروهای برقی است و می تواند باتریهای جریانی را به عنوان یک مدعی جدی برای توانمند سازی خودروهای برقی آینده مطرح سازد.

فناوری جدید اجازه می دهد هیدروژن تولید شده با فشار بسیار کمتری ذخیره شود. این باتری دو کار را انجام می دهد: برق تولید می کند و هیدروژن تولید می کند. این مهم است زیرا اکثر اتومبیل های دارای هیدروژن با یک مخزن ۵،۰۰۰ یا ۱۰،۰۰۰ PSI (پوند در هر اینچ مربع) کار می کنند که می تواند خطرناک باشد این سیستم هیدروژن مورد نیاز را تولید می کند و می تواند آنرا به راحتی و به جای PSI ۱۰،۰۰۰ در فشارهای ۲۰ یا ۳۰ PSI ذخیره کنید. این سیستم تاکنون بر روی اسکوترها و خودروهای ضعیف با محدوده کاربرد کم آزمایش شده است و براساس پیشرفتهای فنی که در حال توسعه

است محققان فکر می کنند که می تواند به ۳۰۰۰–۳،۶۰۰ مایل (حدود ۴،۸۰۰–۵،۸۰۰ کیلومتر) برسد. در این سیستم با پیمایش هر ۴۸۰ کیلومتر نیاز به تعویض مایع باتری وجود خواهد داشت، که این فرایند حدودا زمانی مانند سوخت گیری مجدد برای بنزین خودرو های بنزینی دارد، که در مقایسه با شارژ سریع باتریهای لیتیوم یون مورد نیاز خودروهای برقی (بیش از ۳۰ دقیقه) بسیار سریع است. برخی از دانشمندان معتقدند جهشی که این فناوری در دو سال گذشته به دست آورده، گواهی بر ارزش آن در تغییر روش شارژ و خودرو های برقی است.[۶۴]

با این روش می‌توان نسل جدیدی از خودروهای برقی را تصور نمود زیرا با این روش به بازسازی بسیار گران قیمت شبکه برقی نیازی نیست. در عوض، می توان پمپ بنزین ها را به پمپ الکترولیت تبدیل کرد و امکانات تعویض روغن خودروهای معمول را به ایستگاه های تعویض آند تبدیل کرد. پیش بینی میشود استفاده از این سیستمها راحت تر و ایمن تر بوده و نسبت به سیستم های باتری موجود، سازگاری بیشتری با محیط زیست داشته باشد. پس از مصرف آند – تقریباً در هر ۵۰۰۰ کیلومتر – می توان تقریباً همزمان با تعویض روغن و با هزینه تقریبی ۶۵ دلار آمریکا آند را تعویض نمود. پیش بینی می شود که بتوان با این سیستم باتری جریانی، توان زیادی تولید نمود. [۶۴]

جدول٤- ١٤- مشخصات یک نمونه باتری جریانی[٦٦]

	پارامتر
بدنه بسته سلول	پلیمر پلی وینیل کلراید
محفظه الکترود	100 cm^2
ابعاد بسته سلول	15 cm x 15 cm x 4 cm
غشاء	Nafion® 1135
لایه متخلخل	Carbon felt electrode (Sigratherm GFA5) with effective porosity 0.68 ± 0.07
حجم مخزن	250 mL
غلظت وانادیم	1.4 M (V^{3+} /V^{4+} حل شده در 4 M H_2SO_4)
جریان	جریان ثابت ۱۰ آمپر
شدت جریان حجمی	از طریق هر محفظه 100 cm^3 min^{-1}

۶-۸-۴- باتریهای جریانی نوظهور آلومینیم-آهن

در میان فن آوری های مختلف ذخیره سازی انرژی، باتری های قابل شارژ برای سالها یکی از مهمترین فناوری ها بوده است [۶۷، ۶۸، ۶۹] . به ویژه، باتری جریانی ردوکس به عنوان یک فناوری قابل اتکا برای ذخیره سازی انرژی در مقیاس بزرگ در نظر گرفته می شود[۷۱، ۷۲، ۷۳]. باتریهای جریانی معدنی متعارف، مانند باتری جریانی وانادیومی یا باتری جریانی ردوکس Zn-Br2، تجاری شده اند اما هنوز هم از معایب ذاتی مانند استفاده از عناصر کمیاب و گران قیمت، الکترولیتهای خورنده که نگرانی های ایمنی را ایجاد می کنند و تشکیل دندریت (روی) برخوردارند [۷۴، ۷۵، ۷۶، ۷۷]. از طرف دیگر، برای بهبود دانسیته انرژی در این باتری‌ها، باتری های جریانی هیبریدی (HFBs)[1] مبتنی بر لیتیوم با ولتاژ بهره برداری بالا تولید می‌شود [۷۸، ۷۹، ۸۰، ۸۱]. با این حال، منابع محدود، مشکلات جدی دندریت و الکترولیتهای قابل اشتعال هنوز مانع از استفاده گسترده لیتیوم در باتریهای جریانی هیبرید می‌شود. آلومینیوم به عنوان جایگزینی برای لیتیوم به دلیل کم هزینه بودن، فراوانی زیاد و ظرفیت نظری بالا ($۲/۹۸\ mAh\ g^{-1}$) مطرح است [۸۲، ۸۳]. علاوه بر این، تحقیقات اخیر در مورد باتری های آلومینیم یونی، پایداری انحلال و رسوب آلومینیوم در مایعات یونی (ILs)[2] آلومینیم و مایعات آلومینیمی حلال اوتکتیک عمیق (DES)[3] را بدون تشکیل جدی دندریت نشان داده است [۸۴، ۸۵، ۸۶]. این ویژگیها باعث می شوند تا آلومینیم به عنوان آند برای باتریهای هیبرید جریانی مطرح باشد.

افزایش غلظت گونه های ردوکس، علاوه بر گسترش ولتاژ بهره‌برداری، استراتژی دیگری برای تقویت چگالی انرژی باتریهای جریانی است [۸۷، ۸۸، ۸۹]. در محلول های آبی متداول، یک مولکول قابل انحلال در آب توسط مقادیر زیادی از مولکول های آب احاطه می‌شود تا یک مخلوط قابل انحلال را تشکیل دهد، که خود مانع رسیدن به غلظت زیاد می‌شود و از این رو موجب عدم رسیدن به چگالی انرژی بالا در سیستم آبی می شود [۹۰]. اخیراً بسیاری از DES های مبتنی بر فلزاتی مانند آهن ، کوبالت ، کروم ، آلومینیم ، منیزیم و روی در شرایط محیطی با غلظت بالای گونه های فعال، به راحتی سنتز شده اند، که فرصتی بالقوه برای باتریهای جریانی بر پایه این فلزات است [۹۱، ۹۲، ۹۳، ۹۴]. به ویژه مواد DES بر پایه آهن، به عنوان مواد فعال کاتدی با ویژگیهای ثبات، فراوانی و پتانسیل اکسایش-کاهش بالا (Fe^{2+}/Fe^{3+} در ولتاژ V

[1] Hybrid-flow batteries
[2] Ionic liquids
[3] Deep eutectic solvent

۰/۷۷ در مقابل الکترود هیدروژن معمولی) شناخته شده هستند [۹۵] . در همین حال، یک DES مبتنی برآلومینیم، شامل مزایای استفاده از هر دو فلز و DESs ، در مقایسه با مایعات یونی آلومینیمی، یک انتخاب بهتر برای آنولیت ها خواهد بود. با این حال، به دلیل خاصیت ذاتی DES یا الکترولیتهای آلی، در حال حاضر توانایی پذیرش شدت جریان در آنها با سیستم های آبی قابل مقایسه نیست.

با توجه به مزایای هزینه کم، غلظت بالا و زیست تخریب پذیری بالقوه، مفهوم حلال های اوتکتیک عمیق (DESs) برای تولید باتری های مقرون به صرفه و پایدار با چگالی انرژی بالا مفید است. با ترکیب آلومینیم DES و آهنDES سازگار با محیط زیست، یک باتری مایع ترکیبی Fe-Al سبز طراحی شده است. این باتری با استفاده از خواص نشست و انحلال پایدار و سلب آلومینیم DES و با بکار گیری مقادیر زیاد آهن DES با چرخه های عمر طولانی و استفاده از ۱،۲- دیکلرو اتیان (DCE) و اتیلن گلیکول (EG) به عنوان مواد افزودنی، تهیه گردیده است. باتری هیبریدی Fe-Al چگالی انرژی بالایی تولید می‌کند. علاوه بر این، خصوصیات شیمیایی این باتری نشان می دهد که با عملکرد چرخه ای عالی آهن DES ، باید تفکیک یون های پیچیده بکمک ماده افزودنی اتیلن گلیکول امکان پذیر باشد. بنابراین، استراتژی مواد افزودنی و تأثیر محیط هماهنگ بر عملکرد الکتروشیمیایی بینش جدیدی را در طراحی کاتولیت ها و آنولیت های جدید با استفاده از DES برای باتری های جریانی ردوکس فراهم می کند.

۷-۸-۴- جمع‌بندی

مشخص است که باتری های لیتیوم یونی طی ده سال آینده و احتمالاً تا پانزده سال آینده بر صحنه خودرو برقی حاکم خواهند بود. در این مدت، کاربرد باتریهای سرب اسید متداول در خودروهای برقی بزرگترین افت را خواهد کرد و حتی آن دسته از وسایل نقلیه معمولی که به موجب قوانین کنترل دی اکسید کربن مورد استفاده قرار می‌گیرند، کاملاً از واحدهای لیتیوم یون بهره خواهند جست. با این حال، به این معنی نیست که هیچ باتری مدعی دیگری وجود ندارد. گرچه لیتیوم- سولفور در حال حاضر به عنوان پیشتاز مطرح است، اما با چالش های قابل توجهی برای رسیدن به عمرمفید، وزن، حجم و چگالی انرژی مناسب روبرو است. [۶۲]

از لحاظ تاریخی، باتری های جریانی به دلیل دانسیته انرژی کم در رقابت میان باتریهای مطرح برای خودروهای برقی شرکت نداشتند. به عنوان مثال ، باتری های جریانی معمولی دارای چگالی انرژی در حدود ۲۰ وات ساعت در هر کیلوگرم

هستند. یک باتری لیتیوم یون با ۲۵۰ وات ساعت در هر کیلوگرم کار می کند. ولی ادعا شده است که باتری جریانی مطرح شده برای خودروهای برقی این پتانسیل را دارد که بین سه تا پنج برابر این مقدار کار کند.[۶۴]

موانع موجود: فناوری جدید باتریهای جریانی می‌تواند به عنوان یک اهرم تغییر دهنده قواعد باتری خودرو برقی مطرح باشد، اما موانع بزرگی از جمله هزینه و قابلیت اطمینان بر سر راه آن وجود دارد. از سوی برخی از محققان خودروهای برقی اعتقاد دارند که اینگونه نظریه ها همیشه مطرح می‌شوند و به ندرت به سرانجام مورد نظر دست می‌یابند. اغلب فناوریهای ذخیره سازی انرژی پیشنهادی در خودرو برقی قادر نخواهند بود از میان پارامترهای با اهمیت در خودرو: هزینه ، قابلیت اطمینان و ایمنی را یکجا برای خودرو برقی تامین کنند.

لذا می توان گفت فن آوری باتری جریانی نابالغ است. این فناوری نکات مثبت فراوانی دارد، اگرچه به نظر نمی رسد پمپ کردن مایعات از مخازن درون خودرو کم حجم و قابل اعتماد باشد اما مطالعات و پژوهشهای کاربردی آینده نشان خواهد داد که این فناوری ذخیره سازی انرژی برای خودرو برقی مناسب خواهد بود یا خیر.

۹-۴- ساخت باتری و مواد شیمیایی تشکیل دهنده اجزاء باتری

با مطالعه روند پیشرفت تحقیقات در حوزه ذخیره‌سازهای الکتروشیمیایی، باتری‌های مطرح کنونی و باتری‌هایی که برای آینده صنعت خودرو برقی مناسب و موثر هستند، بر اساس پیشینه مطالعه و پژوهش‌های صورت گرفته به موارد زیر خلاصه شده‌اند:

- باتری‌های حالت جامد
- باتری‌های فلز–هوا
- باتری لیتیم–سولفور
- باتری سدیم–سولفور
- باتری‌هایی با الکترودهای پایه سیلیکونی
- باتری جریانی

در جدول ۴–۱۶ ویژگی‌ها مزایای هر یک از این انواع باتری و همچنین معایب و چالش‌های پیش روی آن‌ها دسته‌بندی شده است.

جدول٤- ١٥- شیمی باتری‌های مطرح کنونی به همراه مزایا و معایب هریک

شیمی باتری	ویژگی‌ها/مزایا	چالش‌های پژوهش
باتری‌های حالت جامد	اجزای جداساز الکترولیت و جامد؛ هیچ نگرانی پیرامون "نشت" مواد وجود ندارد بهبود ایمنی ناشی از کمبود الکترولیت مایع ولتاژ عملیاتی بالا باعث افزایش دانسیته انرژی بالقوه می‌شود سبک‌تر و فضای کارآمد؛ نیاز کم به خنک‌سازی	بهبود رسانایی تولید با حجم بالا و هزینه قابل قبول
باتری‌های فلز–هوا مانند: Li, Al, Zn, Na .	آند فلز خالص و کاتد هوا/O2 ظرفیت نظری بسیار بالا افزایش ایمنی نسبت به لیتیوم یون بدون استفاده از فلزات سنگین	چرخه عمر کوتاه مسائل مربوط به قابلیت شارژ عملی حمل و استفاده از هوا دانسیته انرژی در توان‌های بالا کاهش می‌یابد
لیتیم سولفور (Li-S)	دانسیته تئوری انرژی گرانشی بالا گوگرد کم هزینه و فراوان است ایمنی بهبود یافته	دانسیته انرژی حجمی ضعیف مسائل مربوط به دانسیته توان و میزان تخلیه مسائل مربوط به پایداری چرخه عمر
سدیم یون (Na-ion)	سدیم کم هزینه و فراوان است بهبود ایمنی برای حمل و نقل باتری	مسائل مربوط به انرژی حجمی / گرانشی دانسیته در مقایسه با لیتیوم–یون
الکترودهای پایه سیلیکون (Si)	ظرفیت گرانشی سیلیکون ۱۰ برابر گرافیت است می‌تواند سبک‌تر باشد و یا ذخیره انرژی بیشتری داشته باشد	چرخه عمر طولانی ندارد محدودیت‌های عملی کاربردی دارد
باتریهای جریانی	عمر طولانی، امکان شارژ سریع، امکان استفاده از زیرساختهای فعلی خودروهای بنزینی برای شارژ	دانسیته انرژی و دانسیته توان کم

با جمع‌بندی اطلاعات فوق برای ۳۰ سال آینده باتری‌های فلز هوا به عنوان باتری‌های مطلوب در نظر گرفته شده‌اند. مسلم است که همیشه با استناد به نوآوریها و مطالعات آزمون ایده موجود در سراسر جهان می توان به ایده های نو و روشهای جدید بها داد. لذا برای هر یک از ایده هایی که مطرح می شوند و ارزش مطالعه دارند، نیاز به برنامه‌ریزی و استخراج

مراحل ساخت باتری مورد نیاز خودرو برقی وجود دارد. بایستی همه مراحل از تهیه مواد اولیه تا دستیابی به بسته‌های باتری مورد بررسی و شناسایی قرار گیرد.

۱-۹-۴- مراحل تولید الکترود و سلول

ساخت الکترود باتری شامل مراحل تهیه پودر، همزدن، پوشش‌دهی، رنگ آمیزی، فشردن و بریدن با ابعاد مورد نظر است. ساخت سلول باتری نیز تنظیم ابعاد مورد نظر برای سلول، تولید قطعات مورد نیاز، جوشکاری، بسته‌بندی، جا گذاری الکترودها و جداساز، پر کردن الکترولیت انتخاب شده، شکل‌دهی و آب‌بندی و همچنین انجام آزمون‌های نهایی می‌باشد. خلاصه‌ای از این مراحل در شکل ۴-۱۴ نمایش داده شده است.



شکل ٤- ١٤- مراحل تولید الکترود و سلول باتری [۳۵]

۲-۹-۴- بررسی اجزاء پکیج باتری‌ها

برای شناسایی اجزاء تشکیل‌دهنده باتری خودرو باید از سلول‌های باتری آغاز نمود. "سلول" به عنوان یک واحد مجزا، عملکردهای اولیه یک باتری قابل شارژ را انجام می‌دهد. سلول ها در شکل‌های متنوعی ساخته می‌شوند:

- سلول‌های استوانه‌ای،
- سلول‌های کیسه‌ای،

– سلول‌های پریسماتیک (منشوری).



شکل ٤- ١٥- نمونه‌ای از سلول، ماژول و پک یا بسته باتری [٣٥]

یک "ماژول" از چندین سلول در کنار یکدیگر تشکیل می‌شود، که دارای یک ساختار پشتیبانی مکانیکی، یک رابط حرارتی و پایانه‌های اتصال به یکدیگر است. ماژول‌ها با توجه به فرمت سلول، ولتاژ هدف مورد نیاز پکیج و نیازهای خودرو طراحی می‌شوند.

"بسته" یا پک با اتصال چند "ماژول" به سنسورها و یک کنترل کننده شکل گرفته و سپس این مجموعه درون یک جعبه قرار می‌گیرد. خودروهای برقی به این بسته‌های باتری مجهز می‌شوند.

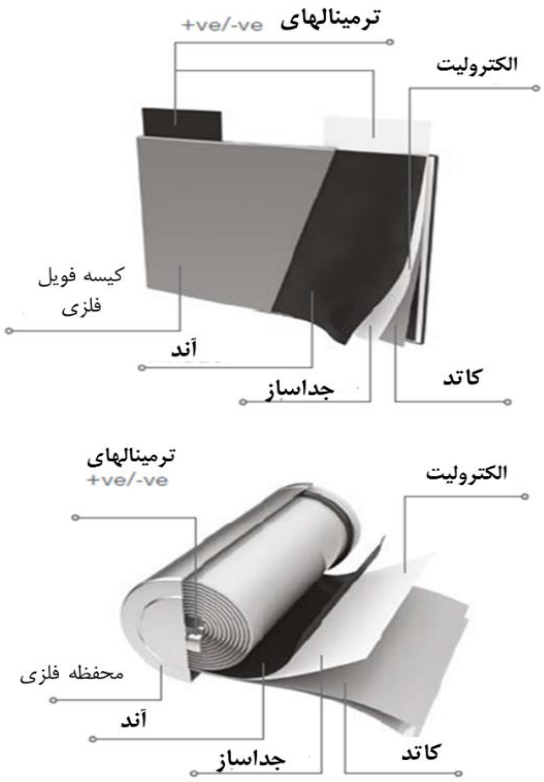
۳-۹-۴- اجزاء تشکیل دهنده سلول باتری خودرو برقی

الکترودهای فعال: دقیقا از قرار گرفتن متناوب ورق های مواد تحت الگوی: کاتد – جداساز – آند تشکیل می‌شوند. که کیفیت و خلوص مواد بر بار کاری و عمر باتری تاثیر دارد.

- کاتد: الکترود دارای بار مثبت در سلول باتری، اغلب از اکسید فلزی مانند اکسید لیتیوم ساخته شده و بر روی یک فویل آلومینیومی (Al) جمع آوری کننده جریان پوشش داده می‌شود.
- آند: الکترود دارای بار منفی در سلول باتری، اغلب از گرافیت ساخته شده و روی یک فویل مس (Cu) جمع آوری کننده جریان پوشش داده شده است.
- پایانه ها: اتصالات مثبت و منفی برای وصل کردن سلول‌ها و ماژول.
- جداساز: لایه نازک پلیمری جلوگیری از اتصال کوتاه، کاتد و آند را بطور الکتریکی از یکدیگر جدا می‌کند. ساختار آن اجازه می‌دهد تا با عبور جریان از درون سلول، یون‌های لیتیوم عبور کنند (میکروپوریزته)

- الکترولیت: محیط انتقال مایع (یا جامد) که الکترود را احاطه کرده و به جداکننده نفوذ می‌کند و اجازه می‌دهد که یون‌های لیتیوم آزادانه جریان یابند.
- مواد افزودنی: خواص الکترود و الکترولیت را می‌توان با افزودن مقادیر کمی از اجزای دیگر، به عنوان مثال مواد افزودنی هادی، تقویت نمود.
- دستگاه ایجاد وقفه در جریان: یک سوپاپ فشار، در صورت ایجاد اضافه بار / ایجاد حرارت بیش از حد، سلول را غیرفعال می‌کند.

شکل ۴-۱۶ اجزاء تشکیل دهنده یک سلول باتری خودرو برقی را بطور شماتیک نشان می‌دهد.



شکل ٤- ١٦- اجزاء تشکیل دهنده سلول باتری خودرو برقی [۳۵]

۴-۹-۴- اجزای ماژول‌های باتری خودرو

۱) پوشش: پوشش فلزی پشتیبانی مکانیکی را برای سلول ها فراهم می‌کند و آن‌ها را برای دستیابی به بهترین عملکرد، تحت فشار کم قرار می‌دهد.

۲) قاب قفل شونده: قاب‌های مهره‌دار فولادی ماژول‌ها را در درون بدنه باتری محافظت می‌کنند.

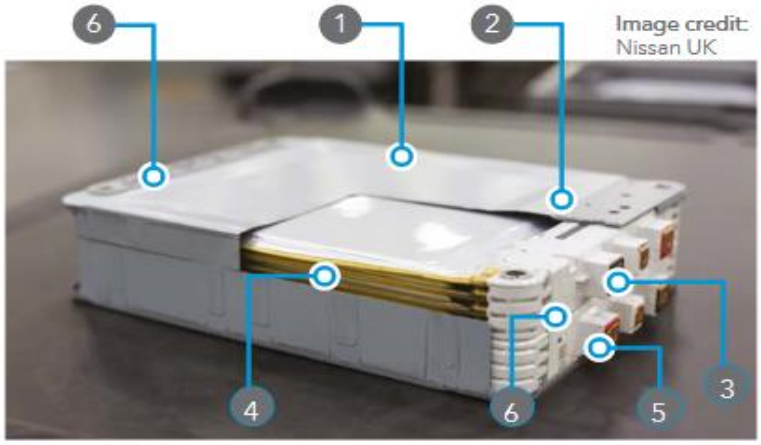
۳) سنسورهای دما: سنسورهای موجود در ماژول‌ها پایش دمای سلول را به عهده دارند تا سیستم مدیریت باتری را قادر به کنترل خنک کاری و انتقال برق در محدوده‌های ایمن باشد.

۴) سلول‌ها: هر ماژول در یک بسته دارای تعداد مشخصی از سلول‌ها است. تعداد سلول‌های درون ماژول‌ها بسته فرمت و شرایط استفاده باتری، متفاوت است.

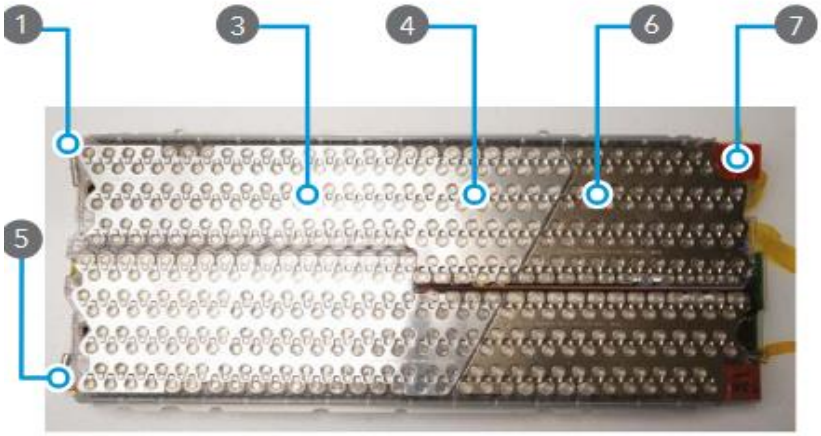
۵) پایانه‌ها: دو پایانه در ماژول اجازه می‌دهد تا از طریق باس–بارها، به شکل الکتریکی به سایر ماژول‌ها وصل شود.

۶) اتصالات درون سلولی: هر سلول دارای دو زبانه، یکی مثبت و دیگری منفی است. این زبانه‌ها به صورت سری به هم جوش داده می‌شوند و سپس به پایانه ها متصل می‌شوند.

۷) کانال‌های خنک کننده: خنک کننده مایع برای حذف گرما و اجتناب از افزایش بیش از حد گرما، بین ردیف سلول‌ها جریان می‌یابد. بسته‌های باتری از نوع دیگر مانند باتری خودرو نیسان لیف، به جای مایع از هوا برای خنک کاری استفاده می‌کنند.



ماژول سلهای کیسه‌ای (Nissan Leaf)



ماژول سلهای سیلندری (Tesla)

(۸

شکل ٤- ۱۷- اجزاء تشکیل دهنده ماژول باتری خودرو برقی

۵-۹-۴- اجزاء باتری خودرو برقی

- پوشش سطح بالایی: پوشش حفاظت از آتش و ضد آب را برای اجزای باتری فراهم می‌کند و از ورود خاک و آلاینده‌ها به داخل باتری جلوگیری می‌کند. همچنین دسترسی کارکنان خدمات را از اجزای ولتاژ بالا محافظت می‌کند.
- ماژول‌های باتری: یک ماژول با اتصال چندین سلول، پشتیبانی از آن سلول‌ها در یک قاب ساختاری و سپس اتصال پایانه‌ها شکل می‌گیرد. ماژول‌ها با توجه به فرمت سلول و نیازمندی‌های خودرو طراحی می‌شوند.

- باس بارها: ماژول‌های باتری را به شکل الکتریکی به یکدیگر متصل می‌کنند و ماژول ها را به کنتاکتورها متصل می‌کنند.
- اتصالات: بسته باتری را از خودرو برقی به شکل الکتریکی جدا می‌کنند. اتصالات به محض اتمام آزمایشات ایمنی بسته شده و در صورت وقوع تصادف یا خطای باتری باز می‌شوند.
- استفاده از فیوز: فیوزها از آسیب دیدن اجزای گران قیمت به دلیل افزایش توان و خطاهای دیگر محافظت می‌کنند.
- جدا کردن: برای ایزولاسیون الکتریکی باتری از وسیله نقلیه در حین تعمیر و نگهداری استفاده می‌شود.
- خنک کاری: ماژول‌ها نیاز به خنک کاری دارند. بسته‌ها را می‌توان با استفاده از هوا، آب یا سیستم تهویه خودرو خنک کرد.
- سیستم مدیریت باتری (BMS): سیستم مدیریت باتری تضمین می‌کند که سلول‌ها در دما و ولتاژ ایمن خود قرار دارند. این سیستم باقی مانده شارژ باتری را اندازه گیری می‌کند و وضعیت سلامتی باتری را گزارش می‌دهد. همچنین تضمین می‌کند که قبل از بسته شدن اتصالات، باتری به درستی به خودرو متصل و ایزولیه شده باشد.
- پوشش پایینی: پوشش ساختاری، جرم بسته باتری را حفاظت نموده و از آسیب آن محافظت می‌کند.

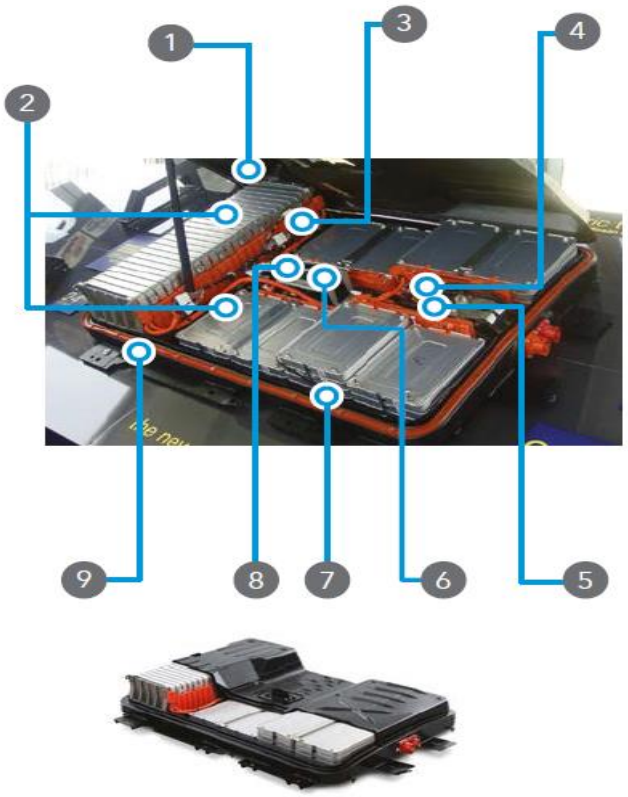


Image credits: Nissan UK

-

شکل ٤- ١٨- اجزاء باتری خودرو برقی

۶-۹-۴- مونتاژ ماژول- فرایند تولید



شکل ٤- ١٩- خط مونتاژ ماژول

مراحل فرایند تولید مونتاژ ماژول باتری خودرو برقی از مرحله تهیه مواد اولیه و تولید سلول، انجام آزمون‌های مورد نیاز، نگهداری و حمل آن‌ها، قرار دادن سلول‌ها در ماژول، جوشکاری آن، انجام آزمون‌های مورد مورد نیاز جهت تایید جوشکاری، انجام جوشکاری اتصالات و آزمون کنترل کیفیت آن و نهایتا اتجام آزمون‌های پایانی کنترل کیفیت ماژول می‌باشد. خلاصه‌ای از این مراحل در شکل ۴-۱۹ نمایش داده شده است.

وظایف اولیه:

- جمع آوری سلول‌ها در یک حامل
- اتصال کنداکتورها (معمولا جوش داده می‌شوند)،
- نصب واحد کنترل ماژول با سنسورهای ولتاژ و دما،
- در صورت لزوم، راه‌اندازی اجزای سیستم خنک کننده،
- تست عملکرد سیستم

با افزایش اتوماسیون سیستم، هزینه‌های بهره برداریکاهش خواهند یافت.

۷-۹-۴- سیستم مدیریت باتری (BMS)

پارامترهای متعددی از سلول‌ها باید تحت پایش و کنترل باشند، از جمله مهمترین این پارامترها می‌توان دما و ولتاژ را نام برد. BMS یک سیستم الکترونیکی است که سلول‌های نصب شده در بسته باتری را مدیریت می‌کند.

تعاریف گوناگونی برای به ترسیم کشیدن روش‌های پایش و کنترل بسته باتری صورت گرفته است:

- بررسی حالت شارژ بسته (SOC)

- بررسی وضعیت سلامت بسته باتری (SOH)

- بررسی وضعیت عملکرد بسته باتری (SOF)

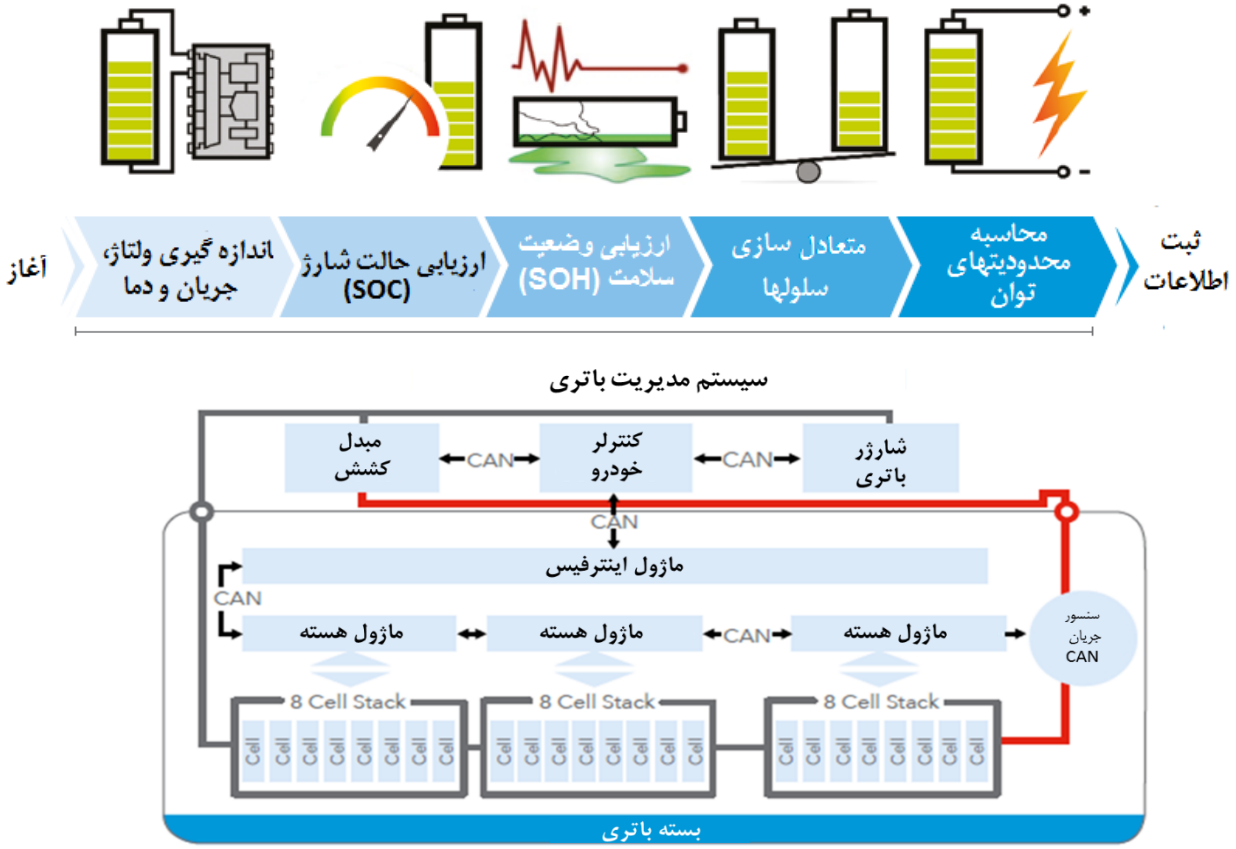
-ایمنی و حفاظت حیاتی

-تعادل بار / بهره وری سلولی

سیستم‌های پیشرفت مدیریت باتری می‌توانند استفاده و کارایی سلول را بهبود بخشند و تعداد باتری مورد نیاز برای هدف مشخص را کاهش دهند (شکل ۴-۲۰).

مسلما سیستم‌های مدرن مدیریت باتری نیاز به تخصص الکترونیک ومهندسی نرم افزار بسیار حرفه‌ای و ماهر دارد.

پروتکل CAN: سیم‌کشی ولتاژ پایین توانایی عملکرد توابع کنترل باتری را فراهم می‌کند و ارتباط بین باتری و وسیله نقلیه را فراهم می‌کند.



شکل ٤- ۲۰- سیستم مدیریت باتری

۸-۹-۴- زنجیره ارزش باتری خودرو برقی

در انواع باتری‌ها، از جمله باتری‌های فلز هوا از ترکیب‌های مختلف مواد آندی و کاتدی استفاده می‌شود. هر ترکیبی دارای مزایا و معایب متمایز از لحاظ ایمنی، عملکرد، هزینه و سایر پارامترها است. در حال حاضر انواع باتری‌های لیتیم یون عمده ترین استفاده را در خودروهای برقی دارند. تکنولوژی که در حال حاضر در برنامه‌های مصرف کننده شایع است، اکسید لیتیوم کبالت ($LiCoO_2$) است که به دلیل خطرات ایمنی ذاتی آن، برای کاربردهای خودرو نامناسب است. تمام مواد شیمیایی باتری خودرو نیاز به نظارت دقیق، متعادل کردن و سیستم‌های خنک کننده، جلوگیری از اتلاف حرارتی و اطمینان از طول عمر مناسب برای سلول‌ها دارد.

زنجیره ارزش باتری خودروهای برقی شامل هفت مرحله می‌شود: تولید قطعات (از جمله مواد خام)؛ تولید سلول؛ تولید ماژول؛ مونتاژ ماژول‌ها در بسته باتری (شامل یک واحد کنترل الکترونیکی و یک سیستم خنک کننده)؛ ادغام بسته باتری در خودرو؛ استفاده در طول عمر وسیله نقلیه؛ و استفاده مجدد و بازیافت. (شکل ۴-۲۱).

۱) تولید قطعات: ساخت مواد فعال برای تولید آند و کاتد، بایندر، الکترولیت و جدا کننده‌ها،

۲) تولید سلول: تولید و مونتاژ سلول‌های منفرد،

۳) تولید ماژول: پیکربندی و اتصال سلول‌ها به یکدیگر برای تولید واحدهای بزرگتر دارای برخی مدیریت‌های الکترونیکی،

۴) مونتاژ بسته باتری: اتصال ماژول‌ها به یکدیگر با سیستمهای مدیریت دما و شارژ،

۵) الحاق به خودرو: الحاق بسته باتری به ساختار خودرو شامل رابط باتری و خودرو (اتصال‌ها، پلاگ‌ها، پایه‌ها)،

۶) کاربرد در خودرو: استفاده از باتری در خودرو برقی در مدت زمان عمر مفید باتری،

۷) کاربرد مجدد و بازیابی: استفاده مجدد از باتری، تخریب و آماده‌سازی آن برای تمیزکاری به منظور بازیابی مواد و اجزاء آن.



شکل ٤- ۲۱- زنجیره ارزش باتری خودروهای برقی

۱۰-۴- پیشرفت فناوری باتری خودرو برقی

پیشرفت‌های چشم گیر اخیر در نوآوری ناشی از نیاز به دستیابی به فناوری‌های برتر باتری جهت یافتن جایگزین برای بنزین در خودرو است. در زمینه فنی، فناوری‌های باتری‌های لیتیومی و سایر باتری‌های ابداع شده را می‌توان در شش بعد مقایسه کرد: ایمنی؛ طول عمر (با توجه به تعداد هر چرخه شارژ و تخلیه و سن باتری)؛ عملکرد (حداکثر قدرت در دماهای پایین، اندازه گیری حالت بحرانی و مدیریت حرارتی)؛ انرژی ویژه (مقدار انرژی که باتری می‌تواند در هر کیلوگرم وزن ذخیره کند)؛ توان ویژه (چقدر توانی که باتری می‌تواند در هر کیلوگرم جرم ذخیره کند)؛ و قیمت. از دیدگاه کسب و کار، بالا بودن قیمت باتری مانع اصلی رشد و گسترش خودرو برقی است.

در حال حاضر، هیچ یک از فناوری‌های موجود در تمام شش ویژگی مطرح شده در بالا در مقایسه با بقیه فناوری‌ها برتری مطلق ندارد. انتخاب فناوری که عملکرد را در یک بعد بهینه سازد، به طور ناگزیر به معنی دستیابی به ابعاد دیگر است. برای مثال، فن‌آوری یک نوع باتری کارایی نسبتا بالایی دارد، اما چالش‌های ایمنی دارد، در حالیکه فن‌آوری دیگر در سطح سلول ایمن‌تر است اما انرژی ویژه پایینی دارد. اما مسلما برخی از ویژگی‌ها ارزش حیاتی دارند. اکنون شش ویژگی فوق مورد بررسی دقیق‌تر قرار می‌گیرد:

۱-۱۰-۴- ایمنی

ایمنی مهمترین معیار برای باتری‌های خودرو برقی است. حتی آتش گرفتن یک باتری به تنهایی می‌تواند نظر مردم را در مورد حمل و نقل الکتریکی منفی کند و توسعه این صنعت را ماه‌ها یا سال‌ها به تعویق اندازد. نگرانی اصلی در این زمینه اجتناب از فرار حرارتی یا ایجاد حرارت در نتیجه واکنش‌های شیمیایی در سلول، تشدید انتشار گرما و امکان بالقوه آتش سوزی می‌باشد. فرار حرارتی می‌تواند به دلیل شارژ بیش از حد باتری، میزان تخلیه بیش از حد آن و یا ایجاد یک اتصال کوتاه باشد. انواع ترکیب‌های شیمیایی در باتری که مستعد ایجاد فرار حرارتی هستند، مانند NCA[1]، NMC[2] و LMO[3] ، باید همراه با اقدامات ایمنی در سطح سیستم شامل سلول‌ها باشد و یا رفتار آنها را نظارت کنند. چنین اقداماتی عبارتند از یک

[1] Lithium Nickel Cobalt Aluminium Oxide
[2] Lithium Nickel Manganese Cobalt Oxide
[3] Lithium Manganese Oxide

جعبه باتری قوی، یک سیستم خنک کننده بسیار کارآمد (برای جلوگیری از مراحل اولیه فرار حرارتی)، و نظارت دقیق وضعیت و تعادل سلولی. سازندگان و تامین کنندگان باتری باید تصمیم بگیرند که چه ترجیحی دارند: انتخاب روش‌های شیمیایی که به طور ذاتی انرژی بالاتری را ارائه می‌دهند اما امنیت کمتری دارند یا انتخاب روش‌هایی که باید همراه با سیستم‌های ایمنی دقیق مورد استفاده قرار گیرند.

با وجود اینکه حفظ ایمنی باتری مسئله بسیار مهمی است، ولی نگرانی‌های موجود در این زمینه قابل مقایسه با چالش‌های ایمنی قابل توجهی که در ابتدا پیرامون موتورهای احتراق داخلی (ICE) و ذخیره سازی بنزین وجود داشت، که عمدتا از طریق پیشرفت‌های طراحی و مهندسی برطرف گردید، می‌باشد.

۲-۱۰-۴- طول عمر

دو روش برای اندازه‌گیری طول عمر باتری وجود دارد: پایداری چرخه و سن کلی. پایداری چرخه تعداد دفعاتی است که باتری می‌تواند به طور کامل شارژ و تخلیه شود تا زمانی که با شارژ کامل به ۸۰ درصد از ظرفیت اصلی خود برسد. سن کامل تعداد سال‌هایی است که می‌توان انتظار داشت که باتری در سطح مفید بهره برداری شود. باتری‌های امروز در شرایط آزمایشگاهی، مطابق با نیازهای پایداری سیکل خودروهای برقی هستند. با این حال، سن کلی باتری به عنوان یک مانع مطرح است، زیرا پیری تحت دمای بالاتر شدت می‌یابد. هنوز مشخص نیست که انواع مختلف باتری در محدوده خاصی از شرایط دمای خودرو با چه سرعتی پیر می‌شوند.

اکثر تولید کنندگان خودرو در حال برنامه‌ریزی برای یک عمر ۱۰ ساله برای باتری، با تخمین افت کیفیت می‌باشند. به عنوان مثال، یک سازنده خودرو که خودرو برقی آن به یک باتری ۱۲ کیلووات ساعت نیاز دارد، به جای آن، یک باتری ۲۰ کیلو وات ساعت را انتخاب می‌کند تا پس از ده سال و ۴۰ درصد افت عملکرد، باتری هنوز ظرفیت انرژی کافی برای بهره‌برداری عادی داشته باشد. البته، این رویکرد باعث افزایش اندازه، وزن و هزینه باتری می‌شود که خود باعث کاهش کارایی در خودروهای برقی می‌شود.

می‌توان گزینه‌های دیگری نیز در نظر گرفت. به عنوان مثال، از باتری‌های کوچکتر با عمر کوتاه‌تر استفاده نمود و هر پنج تا هفت سال آن‌ها را جایگزین کرد (احتمالا تحت یک برنامه ضمانت نامه). استفاده از این روش، به تولید کنندگان اجازه می‌دهد تا در ابتدا از باتری‌های کمتری استفاده کنند و با گذشت زمان و پیشرفت تکنولوژی آن‌ها را به روز رسانی کنند. همچنین اجازه می‌دهد تا باتری‌های با طول عمر کمتر مورد استفاده قرار گیرند. این مدل‌ها عمر باتری را از عمر وسیله نقلیه

جدا می‌کند و هزینه‌های باتری را کاهش می‌دهد. لذا مجموعا می‌توان گفت شرکت‌های تولید کننده می‌توانند تصمیم به نصب باتری‌های کوچکتر با طول عمر کوتاه‌تر داشته باشند و هر پنج تا هفت سال آن‌ها را جایگزین کنند.

۳-۱۰-۴- کارایی

انتظار اینکه صاحب یک خودرو برقی بتواند آن را هم در هوای گرم تابستان و هم در هوای سرد زمستانی رانندگی کند، چالش‌های مهندسی قابل توجهی را به همراه خواهد داشت. باتری‌ها را می‌توان برای هر دو درجه حرارت بالا یا پایین بهینه سازی کرد، اما طراحی مهندسی آن‌ها برای عملکرد در طیف گسترده‌ای از درجه حرارت بدون تحمل افت عملکرد دشوار است. یک راه حل برای تولید کنندگان می‌تواند این باشد که باتری‌ها را برای آب و هوای خاص طراحی کنند. به عنوان مثال، باتری‌های بهینه شده برای عملکرد و استقامت در هوای سرد، بر گرم کردن و عایق بندی تأکید دارند، در حالیکه آن‌هایی که برای هوای گرم طراحی شده‌اند از الکترولیت‌ها و موادی استفاده می‌کنند که اجازه ذخیره‌سازی در دمای بالا را می‌دهند. اما نتیجه این روش رسیدن به باتری هایی با قابلیت‌های بالاتر، ولی با شرایط محدود خواهد بود. با این حال، به دلیل اینکه باتری‌های طراحی شده برای آب و هوای خاص مانع از حرکت وسایل نقلیه در همه مناطق آب و هوایی می‌شود، از حرکت وسایل نقلیه در سراسر مناطق جلوگیری می‌شود. لذا باتری‌ها یا در محدوده دمایی خاصی بهره‌برداری می‌شوند و قیمت پایینی دارند و یا اینکه همه محدوده دمایی را پوشش می‌دهند و در نتیجه قیمت بالاتری خواهند داشت.

۴-۱۰-۴- انرژی ویژه

انرژی ویژه باتری‌ها یعنی ظرفیت آن‌ها برای ذخیره انرژی بر کیلوگرم وزن آن‌ها، تنها ۱ درصد از انرژی ویژه بنزین است. با وجود این که در این خصوص پیشرفت قابل توجهی رخ داده است، ولی باتری‌ها همچنان مسافت رانندگی خودروهای برقی را به حدود ۲۵۰ تا ۳۰۰ کیلومتر (حدود ۱۶۰ تا ۱۹۰ مایل) برای هر شارژ، محدود می‌کنند. سلول‌های باتری امروزه می‌توانند چگالی انرژی اسمی ۱۴۰ تا ۱۷۰ وات ساعت بر کیلوگرم را (در مقایسه با ۱۳۰۰۰ Wh/kg برای بنزین) بدست آورند. انرژی ویژه بسته باتری معمولا ۳۰ تا ۴۰ درصد پایین‌تر است و ۸۰ تا ۱۲۰ وات ساعت بر کیلوگرم است. حتی اگر این ظرفیت انرژی در ده سال آینده دو برابر شود، بسته‌های باتری هنوز تنها ۲۰۰ وات ساعت بر کیلوگرم توان خواهند داشت. فرض بر این است که باتری وزن حدود ۲۵۰ کیلوگرم دارد – حدود ۲۰ تا ۲۵ درصد از وزن کلی خودروهای کوچک امروز– و دو برابر شدن دانسیته انرژی، خودرو برقی را قادر خواهد ساخت تا با هر بار شارژ مسافتی در حدود ۳۰۰ کیلومتر (حدود ۱۹۰ مایل) را طی کند.

۵-۱۰-۴- توان ویژه

توان ویژه، یا میزان قدرتی که باتری‌ها در هر کیلوگرم وزن می‌توانند ارائه دهند، با توجه به تکنولوژی‌های باتری فعلی، نسبتا خوب است. توان ویژه در خودروهای هیبریدی بسیار مهم است، که به سرعت مقدار کمی انرژی را تخلیه می‌کند. در خودروهای برقی، توان ویژه نسبت به انرژی ویژه اهمیت کمتری دارد. سازندگان باتری خودرو برقی پارامترهای طراحی این باتری‌ها را برای بهینه‌سازی تعامل بین انرژی ویژه و توان ویژه طراحی کرده‌اند. در حال حاضر عملکرد باتری از لحاظ توان ویژه برابر است با عملکرد سوخت در خودروهای متداول فعلی. بنابراین محققان تلاش خود را برای افزایش انرژی ویژه باتری برای سطح توان داده شده متمرکز می‌کنند.

۶-۱۰-۴- زمان شارژ

زمان‌های شارژ بلند مدت یکی دیگر از چالش‌های فنی و یک مانع تجاری است که باید مورد توجه قرار گیرد. تقریبا ۱۰ ساعت طول می‌کشد تا باتری ۱۵ کیلو وات ساعت با وصل آن به یک خروجی استاندارد ۱۲۰ ولت شارژ شود. روش‌های شارژ سریع که از ترمینال‌های شارژ پیشرفته‌تر استفاده می‌کنند می‌توانند این زمان را به طور قابل توجهی کاهش دهند. برای مثال، شارژ با یک خروجی ۲۴۰ ولت با افزایش توان (۴۰ آمپر) می‌تواند دو ساعت طول بکشد، در حالی که شارژ کردن در یک ایستگاه شارژر سه فاز تجاری می‌تواند تا ۲۰ دقیقه طول بکشد. این سیستم‌های شارژ هزینه و وزن بیشتری دارند، زیرا آن‌ها نیاز به سیستم‌های خنک کننده پیشرفته‌ای در کنار وسیله نقلیه دارند. پژوهشگران شرکت‌های سازنده پیشرو وعده داده‌اند که در آینده شارژ کامل در کمتر از سه دقیقه را ارائه نمایند. اما چنین رویکردهایی نیاز به موافقت سازندگان دارد تا نیازهای استانداردسازی را تجمیع کنند و پیچیدگی منطقی مورد نیاز را به سیستم اضافه کنند.

۷-۱۰-۴- چالش هزینه

کنسرسیوم پیشرفته باتری ایالات متحده قیمت هدف را ۲۵۰ دلار برای هر کیلووات ساعت تعیین کرده است. اما حتی اگر سازندگان باتری بتوانند چالش‌های فنی که در بالا ذکر شد را برطرف نمایند، احتمالا هزینه باتری بالاتر از این مقدار باشد. واضح است که هزینه‌های باتری نقش مهمی را در تعیین حیات تجاری خودروهای برقی بازی خواهند کرد. برآورد هزینه‌های فعلی و آینده، به طور گسترده‌ای متفاوت است و با توجه به عدم وضوح اطلاعات فنی و اقتصادی در این خصوص نمی‌توان دقیقا هزینه‌ها را تخمین زد. آیا پیش‌بینی قیمت مذکور مربوط به یک سلول منفرد است، یک بسته باتری فروخته

شده به یک تولید کننده خودرو است یا یک باتری جایگزین فروخته شده به مصرف کننده؟ از آنجا که یک سلول ۶۵ درصد هزینه بسته باتری را شامل می‌شود، و چون تولید کننده‌های خودرو می‌توانند ۳۵ تا ۴۵ درصد دیگر به قیمت بسته اضافه کنند، تشخیص هر یک از این موارد از اهمیت قابل توجهی برخوردار است.

۱-۷-۱۰-۴- هزینه‌های کنونی و روش پیش‌بینی

اکثر منابع هزینه‌های فعلی یک بسته باتری لیتیوم یونی خودرو، برای فروش به خودروسازها را از ۱،۰۰۰ تا ۱۲۰۰ دلار در هر کیلووات ساعت تخمین زده‌اند. با توجه به هزینه باتری‌های مصرفی فعلی (حدود ۲۵۰ تا ۴۰۰ دلار برای هر کیلووات ساعت)، پیش‌بینی می‌شود که این قیمت در تولید انبوه به ۲۵۰ تا ۵۰۰ دلار برای هر کیلووات ساعت افزایش یابد. با این حال، باتری‌های مصرفی فعلی ساده‌تر از باتری‌های خودرو هستند و باید به طور قابل ملاحظه‌ای نیازهای کمتر، به ویژه در مورد ایمنی و عمر داشته باشند. با این وجود، ۲۵۰ دلار برای هر کیلووات ساعت به عنوان قیمت هدف برای یک بسته باتری خودرو همچنان پابرجا است. با توجه به گزینه‌های تکنولوژی در حال حاضر، جهان شاهد چالش های مهمی برای دستیابی به این قیمت هدف تا سال ۲۰۲۰ است.

۲-۷-۱۰-۴- باتری مستعمل و قطعات اوراقی آن

نرخ تولید قطعات از باتری مستعمل موضوعی است که می‌تواند فرصتی واضح برای کاهش هزینه‌ها باشد، که در آن طیف گسترده‌ای از کارایی در فرایندهای تولید نیمه مکانیزه قطعات، در سال ۲۰۰۹ قابل مشاهده است. میزات تولید ضایعات در ساختار هزینه صنعت خودرو، حاشیه‌ها و استانداردهای آن، کمتر از ۰.۱ درصد است، اما برآوردها نشان می‌دهد نرخ واقعی تولید قطعات از باتری مستعمل از ۱۰ درصد به میزان ۳۰ تا ۶۰ درصد افزایش یافته است. با افزایش نرخ تولید قطعات از باتری مستعمل احتمالا هزینه‌های باتری به حدود ۱۵۰۰ دلار تا ۱۹۰۰ دلار برای هر کیلووات ساعت می‌رسد.

۳-۷-۱۰-۴- ظرفیت قابل استفاده و قیمت گذاری

مقادیر مورد بحث در بالا با فرض ظرفیت نامی باتری است، که می‌تواند بطور قابل توجهی بالاتر از ظرفیت واقعی قابل استفاده باشد. با توجه به شیمی باتری، ظرفیت قابل استفاده آن در طول عمر ده ساله تنها ۵۰ تا ۸۰ درصد از ظرفیت اسمی آن است. علاوه بر هزینه‌های توضیح داده شده در اینجا هزینه‌های خودروسازها نیز مطرح است. با در نظر گرفتن خودروسازهای معمول و حاشیه‌های فروشنده‌ها، قیمت هایی که کاربران نهایی برای باتری‌ها پرداخت می‌کنند، احتمالا ۴۰ تا

۴۵ درصد بالاتر از قیمت خرید خودروسازها، یا حدود ۱۴۰۰ تا ۱۸۰۰ دلار برای هر کیلووات ساعت خواهد بود. خودروسازها و نمایندگی‌های مجاز می‌توانند این افزایش قیمت را تا حدی در طول دوره‌های راه اندازی سوبسیددار کنند، اما این اعتقاد وجود دارد که باید در دراز مدت این مبلغ وصول شود تا جبران بازاریابی و استفاده از باتری در طول عمر آن باشد.

۴-۷-۱۰-۴- جوانب شیمیایی موضوع

تفاوت‌های موجود در سطح قیمت اجزاء به علت تفاوت مواد تشکیل دهنده، همیشه در تفاوت‌های بین هزینه‌های سلول باتری منعکس نمی‌شود. به عنوان مثال، دو تکنولوژی لیتیوم یون، NCA و LFP[1] را در نظر بگیرید. اگر چه به دلیل هزینه بالای نیکل و کبالت هزینه‌های مواد برای NCA حدود ۵۰ درصد بیشتر از LFP است، اما این نقطه ضعف تا حد زیادی توسط این واقعیت که NCA ها نیاز به مقادیر کمتری از مواد فعال دارند، و همچنین به لطف ۳۰ درصد انرژی ویژه بیشتر و ولتاژ بالاتر (۳.۶ ولت و نه ۳.۲ ولت) برطرف می‌شود. با این وجود، رقابت بین دو تکنولوژی می‌تواند به نفع LFP (با توجه به ظرفیت قابل استفاده بیشتر آن‌ها) باشد.

مواد کاتد فعال (NCA ، LFP و مانند آن) و قطعات خریداری شده تقریبا نیمی از هزینه‌های باتری را در هر دو سطح سلول و بسته دربر می‌گیرند. در حالیکه منابع لیتیوم مؤثر از نظر اقتصادی به لحاظ جغرافیایی تا حدودی متمرکز هستند – همانطور که شرکت‌هایی هستند که مواد را از معادن استخراج می‌کنند – محدودیت‌های عرضه مواد قابل پیش‌بینی نیستند و لذا به طور قابل توجهی قیمت لیتیوم را تحت تاثیر قرار دهد. علاوه بر این، چون لیتیوم کمتر از ۲ درصد از هزینه‌های سلول را تشکیل می‌دهد، هر گونه افزایش قیمت بالقوه تنها یک تاثیر محدود دارد.

۴-۷-۱۰-۵- هزینه‌های باتری در سال ۲۰۲۰

با افزایش حجم تولید، هزینه‌های باتری به شدت کاهش می‌یابد. به لطف تجربه و تاثیرات مقیاس، هر یک از اجزاء تشکیل دهنده باتری ارزان‌تر خواهد شد. هزینه‌های تجهیزات نیز کاهش می‌یابد، و باعث کاهش استحلاک می‌شود. سطح بالاتری از اتوماسیون، با افزایش کیفیت، کاهش میزان ضایعات و کاهش هزینه‌های کار، کل هزینه‌ها را کاهش می‌دهد. با این حال، حدود ۲۵ درصد از هزینه‌های فعلی باتری – به طور عمده هزینه‌های مواد اولیه و استاندارد، قطعات کالاهای خرده

[1] Lithium Iron Phosphate

فروشی – احتمالا نسبت به مدل‌های باتری برای خودروهای برقی نسبتا مستقل باقی می‌ماند و تنها با گذشت زمان تغییر می‌کند.

در پیش‌بینی بازار باتری‌ها، فرض می‌شود ۲۶ درصد از اتومبیل‌های جدید که در سال ۲۰۲۰ فروخته می‌شود (حدود ۱۴ میلیون اتومبیل) دارای توان الکتریکی یا هیبریدی خواهند بود. فرض می‌شود که تمام خودروهای برقی و ۷۰ درصد از خودروهای هیبرید فروخته شده دارای باتری‌های لیتیوم یون هستند. ۳۰ درصد باقی‌مانده از خودروهای هیبرید – وسایل نقلیه کوچکتر و کم هزینه، هنوز از باتری‌های نیکل هیدرید فلزات (NiMH) استفاده می‌کنند. در کل، حدود ۱۱ میلیون اتومبیل جدید که در سال ۲۰۲۰ فروخته خواهند شد به باتری های لیتیوم یون مجهز خواهند شد.

قیمت هدف ۲۵۰ دلار برای هر کیلووات ساعت در سطح سلول یا در سطح پک باتری تا سال ۲۰۲۰ قابل دسترسی است.

در پیش‌بینی هزینه‌های باتری، پیش‌بینی شد که مواد فعال و قطعات قابل خریداری تقریبا نیمی از هزینه‌های باتری را در سال ۲۰۲۰ تشکیل می‌دهند، در حالی که پردازش و استهلاک هر یک ۱۰ درصد هزینه‌ها را دربر می‌گیرد، و تحقیق و توسعه، قیمت‌گذاری و هزینه فروش عمومی و اجرایی با هم ۳۰ درصد باقی مانده را تشکیل می‌دهد. همچنین فرض شد تولید بسیار اتوماتیک و حجم بالا، به خصوص در سطح سلول محقق گردد. و حجم تولید سالانه برای تامین کننده‌ها تقریبا ۷۳ میلیون سلول و ۱.۱ میلیون بسته باتری در نظر گرفته شد.

قابل توجه است که هزینه باتری نسبت به محل تولید حساسیت کمی دارد. مدل ارائه شده تولید را در کره جنوبی فرض می‌کند. با این حال، با توجه به کمبود نیروی کار تولید باتری، ساخت باتری‌ها در ایالات متحده تنها ۶ درصد هزینه‌ها را افزایش می‌دهد، در حالی که ساخت آن‌ها در چین هزینه‌ها را در حدود ۸ درصد کاهش می‌دهد.

تجزیه و تحلیل انجام شده نشان می‌دهد که از سال ۲۰۰۹ تا ۲۰۲۰، قیمتی که شرکت‌های تولید کننده برای باتری NCA پرداخت می‌کنند، تقریبا ۶۰ تا ۶۵ درصد کاهش می‌یابد. بنابراین باتری با ظرفیت ۱۵ کیلووات ساعت NCA که در سال ۲۰۰۹ هزینه ۹۹۰ دلار تا ۱۲۲۰ دلار برای هر کیلووات ساعت داشت، به هزینه ۳۶۰ دلار تا ۴۴۰ دلار برای هر کیلووات ساعت در سال ۲۰۲۰ می‌رسد، یا تقریبا ۶۰۰۰ دلار برای بسته باتری هزینه می‌شود. قیمت برای مصرف کنندگان به طور مشابه از ۱۴۰۰ دلار تا ۱۸۰۰ دلار برای هر کیلووات ساعت به ۵۷۰ تا ۷۰۰ دلار در هر کیلووات ساعت می‌رسد. بر اساس این کاهش قیمت‌ها، هزینه‌های سلول‌ها به طور موازی کاهش خواهد یافت و فقط ۲۷۰ تا ۳۳۰ دلار برای هر کیلووات ساعت خواهد بود. با این حال، هزینه سلول‌ها کمتر از هزینه بسته بندی باتری می‌شود، زیرا حدود ۳۰ درصد از هزینه‌های سلول مستقل از حجم تولید است.

۶-۷-۱۰-۴- چشم انداز پویایی صنعت

رقابت برای مشارکت در حدود ۲۵ میلیارد دلار بازار باتری‌های خودرو برقی برای سال ۲۰۲۰ در حال حاضر در سراسر زنجیره ارزش صنعت در جریان است. رقابت به ویژه در زمینه ساخت سلول باتری شدید است، که منعکس کننده اهمیت حیاتی سلول برای عملکرد کلی باتری است. در میان مدت و بلند مدت، تولیدکنندگان سلول در تعیین بالانس بازار نقش مهمی ایفا خواهند کرد و درآمد کسب شده در این مسیر به اشتراک گذاشته خواهد شد. سوال اصلی این است که تولیدکنندگان سلول با مشارکت با کدام صنعت در این بازار نقش بازی خواهند کرد؟

دو سناریو برای همکاری در صنعت خودرو برقی: دو سناریوی محتمل برای اتحاد قابل توجه استراتژیک در صنعت پیش‌بینی شده است: یکی، که در آن خودروسازها با تولید کنندگان سلول‌ها متحد شوند و دیگری، خرید باتری از تامین کنندگان درجه یک که خود احتمالا با تولید کنندگان سلول متحد هستند صورت گیرد. (شکل ۴-۲۱)

ایجاد همکاری‌های جدید: برخی از خودروسازها OEMs[۱] در حال حاضر از طریق همکاری و یا سهام مالکیت، با تولید کنندگان سلول ارتباطات قوی ایجاد کرده‌اند. مثال‌هایی از این دست تویوتا با پاناسونیک در ژاپن و دایملر با لی-تک در آلمان است. چنین روابطی دسترسی کامل به دانش فنی، تکنولوژی و ظرفیت تولید سازندگان سلول را برای خودروسازها فراهم می‌کند و به آن‌ها اجازه می‌دهد خودروهای خود را از لحاظ تکنولوژی باتری تفکیک و انتخاب کنند. با این وجود، روابطی از این نوع می‌تواند توانایی خودروسازها را برای واکنش سریع به پیشرفت‌های تکنولوژیکی محدود کند.

استفاده از سُنت و تجربه: برخی از تامین کنندگان تراز اول به طور مستقیم با تولیدکنندگان سلول همکاری می‌کنند. مثال‌هایی از جمله قرارداد جانسون کنترل با سفت (Saft) در ایالات متحده و اروپا و SB LiMotive، یک سرمایه‌گذاری مشترک بین سامسونگ (کره جنوبی) و بوش (آلمان) را می‌توان اشاره کرد. روابطی از این نوع به تامین کنندگان درجه اول کمک می‌کند تا تجربه و تخصص خودروسازی را در کسب و کار باتری اعمال کنند و امکان دسترسی تولید کنندگان سلول

---

۱ مخفف Original Equipment Manufacture می‌باشد. مواقعی که شرکتی از قطعات شرکت دیگری در تکمیل محصول خود استفاده می‌کند یا قطعات مربوط به شرکت دیگری را با برند خود به فروش می‌رساند عبارت OEM را بر سر آن قطعه اضافه می‌کند. این عبارت نشان می‌دهد که قطعه با جنس مورد نظر ساخت فروشنده نیست بلکه فروشنده از طرف تولید کننده اقدام به خورده فروشی می‌کند. این عمل در واقع نوعی برون سپاری است.

را به یک مجموعه از خودروسازان (OEMs) از طریق روابط تثبیت شده ایجاد می‌نماید. این مدل، برای خودروسازها، کنترل کمتر و دانش کمتری از تکنولوژی باتری را به دست می‌دهد، اما به آن‌ها اجازه می‌دهد تا از مقیاس اثرات بهره‌برداری از مبادله OEM متقابل استفاده کنند. همچنین اگر نیاز به تغییراتی در تکنولوژی مورد استفاده باشد، این روش هزینه‌های پیش رو و هزینه‌های بالقوه ایجاد تغییرات و جایگزینی تکنولوژی را کاهش می‌دهد. در صورتی که استانداردهایی در سطح بسته (pack) باتری تولید شوند که به موجب انعطاف‌پذیری تکنولوژی باتری شوند، این سناریو برای OEM ها بیشترین مزیت را خواهد داشت.

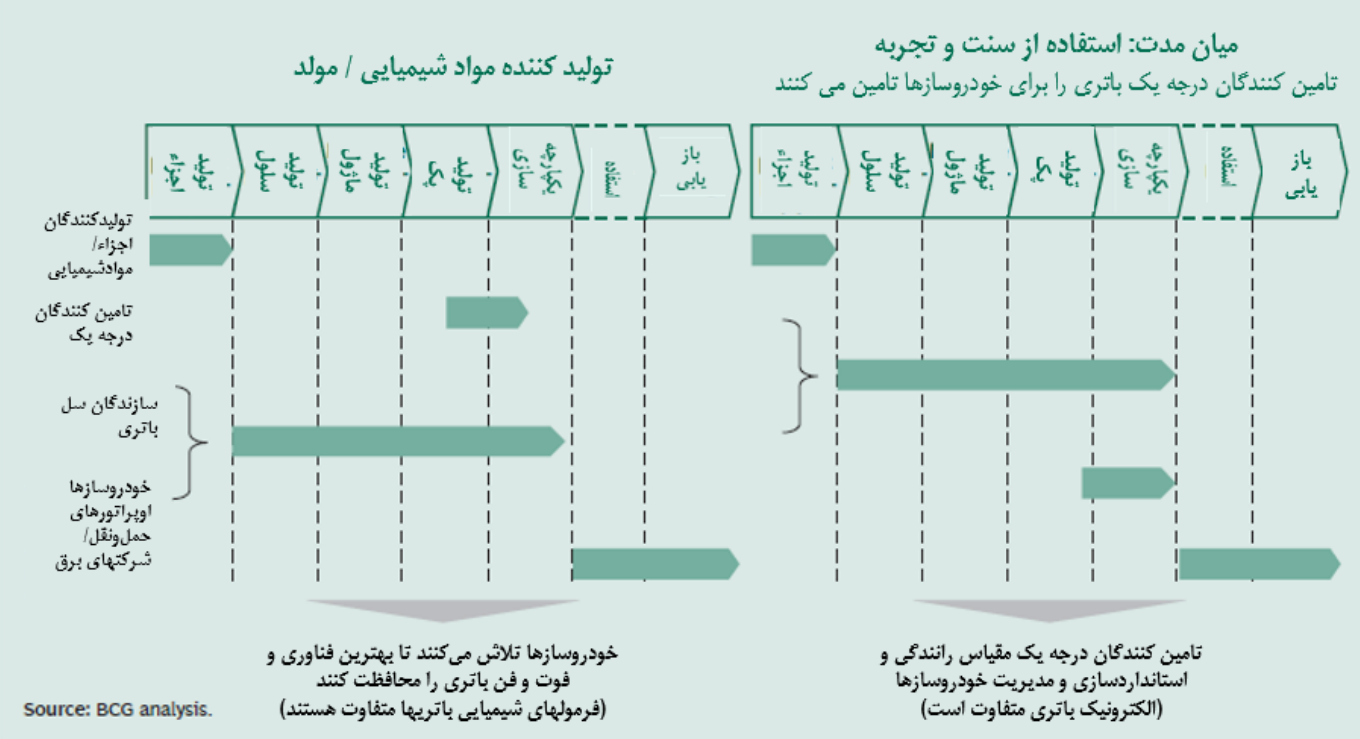
چشم انداز تا سال ۲۰۲۰: یک سوال کلیدی که تکامل صنعت را با توجه به هر یک از دو سناریو که در بالا ذکر شد، تعیین می‌کند، این است که چگونه خودروسازها اختلاف تکنولوژی را در برابر مقیاس و انعطاف پذیری در کوتاه مدت یا میان مدت کنترل خواهد نمود. در کوتاه مدت، ما انتظار داریم که اتحاد بین خودروسازها و سازندگان سلول به گونه‌ای باشد که خودروسازها همچنان به فراگیری فن‌آوری های پایه ادامه دهند و برای رسیدن به مزیت رقابتی اولیه، از طریق ارائه راه حل‌های منحصر به فرد برای بازار از میان خواهد رفت. تاکید بیشتری بر روابط سنتی بین تولیدکنندگان سلول، تامین کنندگان تراز اول و خودروسازها خواهد شد.

مفاهیم و پرسش‌هایی برای فعالان در صنعت. علاوه بر خودروسازها، تولید کننده‌های سلول باتری و تامین کنندگان تراز اول، تجارت باتری خودرو برقی شامل بازیگران دیگری است که در صنعت خودروسازی جدید هستند. در یک انتهای این زنجیره ارزش، شرکت‌های شیمیایی و تولید کنندگان قطعات باتری هستند؛ در انتهای دیگر، اپراتورهای حمل و نقل، مانند Zipcar، و شرکت‌های برق هستند. از آنجا که همه تلاش می‌کنند موقعیت‌های ایمن و ثابتی را در زنجیره ارزش ایجاد کنند، با چالش‌های شدیدی مواجه هستند و همه توسط اینکه کدام دولت‌ها اقدام به ایجاد سرمایه‌گذاری و تقاضا می‌کنند، تحت تأثیر قرار می‌گیرند.

شرکت‌های خودروساز با توجه به بحران مالی فعلی و منابع بسیار محدود، با یک تصمیم فوری مواجه هستند: چگونه در فن‌آوری‌های جدید سرمایه‌گذاری کنند. برای پاسخگویی به این سوال، خودروسازها باید سریعا به توسعه دانش فنی باتری بپردازند. مشاهده می‌گردد که این کار عمدتا از طریق مشارکت با تولیدکنندگان سلول، تامین کنندگان تراز اول و شرکت‌های برق اتفاق می‌افتد. همچنین خودروسازها آموخته‌اند که از ایجاد رابطه مستحکم و اتصال با تامین‌کنندگان تکنولوژیکی یا مالی ضرر ده، دوری کنند. شرکت‌های تولیدی باید پاسخ این سؤالات را بیابند: مبادله و مصالحه مناسب بین مدیریت یادگیری و

مدیریت ریسک چیست؟ در صورتی که فناوری مورد استفاده برای تولید باتری به بلوغ و به پایان برسد، آیا این مبادله و مصالحه تغییر خواهد کرد؟ و اگر چنین باشد، چه شاخص‌های پیشنهادی ممکن است وجود داشته باشد؟ در صورتی که فناوری به بلوغ برسد، چگونه خودر برقی از دیگر خودروهای برقی متمایز خواهد شد؟ اهداف و افق‌های سرمایه‌گذاری مناسب چیست و آیا اهداف و افق‌های سرمایه‌گذاری شرکت مورد نظر در راستای سایر شرکت‌های تولید کننده خودرو برقی موجود در صنعت

است؟ چه میزان همکاری با سایر شرکت‌های تولید کننده، ریسک‌ها را به اندازه کافی پوشش خواهد داد؟ برای رسیدن به موفقیت در کسب و کار در طول زنجیره ارزش، به چه چیزی نیاز داریم؟



شکل ٤- ۲۲- دو سناریو برای همکاری در صنعت خودرو برقی **[۳۷]**

تولیدکنندگان سلول از یک سو تحت فشار بالایی قرار دارند و از سوی دیگر با فرصت فوق العاده‌ای مواجه هستند. از آنجا که دارندگان فناوری برتر برنده مناقصه‌ها می‌شوند و تولید خود را افزایش می‌دهند تا قیمت کاهش یابد، به نظر می‌رسد تنوع محصولات در کوتاه مدت و میان مدت شوک شدیدی در فناوری و هزینه آن ایجاد کند. انتظار داریم که این برندگان بر سازندگان کوچکتر غلبه نمایند و این صنعت را در جهت تثبیت آن هدایت کنند. تولید کنندگان سلول باید سوالات زیر را

پاسخ دهند: چه چیزی تکنولوژی ما را برای خودروساز و مشتری متمایز می‌کند؟ در صورتی که صنعت بالغ شود، چطور می‌توان در کوران رقابت باقی ماند؟ آیا فن‌آوری‌های رقابتی وجود دارد که مکمل فناوری مورد نظر باشند و اگر چنین است، چگونه می‌توان آن‌ها را با سیستم مورد نظر ادغام کرد؟ چه فرض‌هایی در مورد اندازه بازار، برای هدایت سرمایه‌گذاری باید در نظر گرفته شود؟

تامین کنندگان تراز اول در تلاش هستند تا نقش خود را به عنوان یکپارچه‌ساز برای خودروسازها حفظ نمایند، چرا که اولویت‌های صنعت و مراکز هزینه به سمت باتری تغییر می‌کنند. آنها باید این سوالات را در نظر بگیرند: چگونه می‌توان به کارشناسان و خبرگان تکنولوژی باتری تبدیل شد؟ چه ارزشی می‌توان به خودروسازها افزود؟ چطور می‌توان در حالیکه صنعت رشد می‌کند، مقیاس‌ها را هدایت نمود؟ آیا توانایی‌های اصلی برای اینکه زنجیره تامین خودرو برقی قدرت نفوذ کافی داشته باشد حفظ شده است؟

شرکت‌های تولیدی OEM ها باید سریعا با بهره‌گیری از مشارکت با دیگر سهامداران صنعت، دانش فنی باتری را توسعه دهند. شرکت‌های شیمیایی و تولید کنندگان قطعات، تمایل دارند کسب و کار خودرو برقی را به عنوان تنها درصد کمی از درآمد کلی خود داشته باشند. آن‌ها در نهایت مواد فعال، جداسازها و دیگر قطعات کلیدی برای ساخت سلول‌ها را عرضه می‌کنند و احتمالا ترجیح می‌دهند از تولید کنندگان سلول به عنوان واسطه‌ها استفاده کنند تا از محدوده خود محافظت نمایند و از طرف خودروسازها و تامین کنندگان تراز اول تامین شوند. آن‌ها باید بتوانند به سوالات زیر پاسخ دهند: چه مقدار سرمایه‌گذاری در اجزای خاص خودروهای برقی جدید مناسب است؟ کدام یک، راه بهتری برای به حداکثر رساندن سود است، مشارکت با یک تولیدکننده سلول تکی یا فروش محصولات در بازار آزاد؟ استراتژی تجاری سازی شرکت مورد نظر برای مواد و اجزای خودرو برقی جدید چیست؟

اپراتورهای حمل و نقل و شرکت‌های برق مدل‌های کسب و کار جدیدی را بر اساس استفاده از خودروها به جای مالکیت خودرو تعریف می‌کنند. آن‌ها ممکن است با کاهش هزینه‌های بهره‌برداری مشتریان یا ارائه راه حل‌هایی برای محدودیت خودروهای برقی، مانند بازه رانندگی محدود و زمان شارژ طولانی، در نفوذ خودروهای برقی به بازار نقش داشته باشند. این بازیگران باید بتوانند به سوالات زیر پاسخ دهند: آیا با بهبود تکنولوژی باتری و کاهش هزینه‌ها، پرونده کسب و کار ارائه دهنده خدمات، تقویت و یا تضعیف می‌شود؟ چقدر گزینه‌های مختلف برای استفاده مجدد از باتری بالقوه است؟ آیا مکان‌های خاص یا بخش‌های خودرو وجود دارد که در آن یک مدل استفاده مجدد به طور خاص جذاب باشد؟ آیا مدل کسب و کار برای سازمان به تنهایی یا در مشارکت جذاب است؟

دولت‌ها مسئولیت تضمین اینکه شرکت‌های دارای تکنولوژی باتری و خودرو برقی کار کنند و با هدف کاهش هزینه‌ها، حجم زیادی تولید کنند را به عهده دارند. این دو مرحله برای حیات دراز مدت این صنعت ضروری است که به نوبه خود یکی از راه‌های اصلی کاهش وابستگی به نفت است. با توجه به شرایط موجود، انتظار می‌رود که پشتیبانی دولتی کافی برای اجازه دادن به صنعت برای دستیابی به بلوغ تکنولوژیکی و قابلیت هزینه‌های مناسب فراهم شود. دستیابی به این دو نقطه عطف صنعتی، همراستا با خودروهای برقی و توسعه محدوده کاربرد آن برای بدست آوردن سه تا ۵ درصد سهم بازار خودروهای سواری در کشورهای توسعه یافته می‌باشد.

رشد مداوم بازار خودرو برقی به تکنولوژی‌های جدید باتری وتصمیم و اراده دولت‌ها، و همچنین الگوهای رانندگی و اقتصاد کلان و عواملی مانند قیمت بنزین بستگی خواهد داشت. تعدیل کننده‌ها ممکن است تصمیم بگیرند که اقتصاد خالص (و نیازهای زیست محیطی) بازار را هدایت کنند، بنابراین سهم خودروهای برقی محدود شود. یا آن‌ها ممکن است برای حمایت از توسعه بازار بیشتر، اجرای یارانه‌های مالی پایدار و تنظیمات قاطع‌تر برای انتقال هزینه تکنولوژی به مصرف کننده ادامه دهند. تصمیم‌گیری در این عرصه تا سال ۲۰۲۰ تاثیر قابل توجهی در توسعه بازار خواهد داشت، بخصوص در مورد میزان حمایت مالی مورد نیاز.

دولت‌ها باید پاسخ سوالات زیر را بیابند: اهداف و افق‌های سرمایه‌گذاری ما چه هستند؟ آیا باید بر تکنولوژی‌ها یا بخش‌های خاص زنجیره ارزش سرمایه گذاری کنیم؟ چطور و چگونه می‌توانیم بهترین راه حل‌ها را برای ایجاد انگیزه در مصرف کننده برای پیشبرد تقاضا، بیابیم؟ چطور باید اقتصاد مصرف کننده هزینه‌های مربوط به خودروهای برق را با مالیات بر خودروهای غیر برقی متداول تعدیل کنیم؟

کسب و کارهای مربوط به خودرو برقی و باتری‌های خودرو برقی می‌توانند پتانسیل قابل توجهی جهت سود آوری برای هر دو محور و همچنین شرکت ها و بازیگران جدید داشته باشند؛ با این حال، سرمایه‌گذاری در این فن‌آوری‌ها مستلزم خطرات قابل توجه است. مشخص نیست که آیا خودروسازها و تولید کنندگان باتری یا تازه واردان به مرحله بلوغ و پایان فناوری می‌رسند یا خیر. همانطور که امروزه مشاهده می‌شود، این مرحله برای انقلابی در شیمی باتری‌های مختلف، فن‌آوری‌های نیروی برق، مدل‌های تجاری و حتی مناطق گوناگون تنظیم شده است. شرکت‌های خودروساز، تامین کنندگان، شرکت‌های برق و دولت‌ها باید با هم همکاری کنند تا شرایط مناسب برای بازار خودروهای برقی بزرگ و قابل اعتماد ایجاد شود.

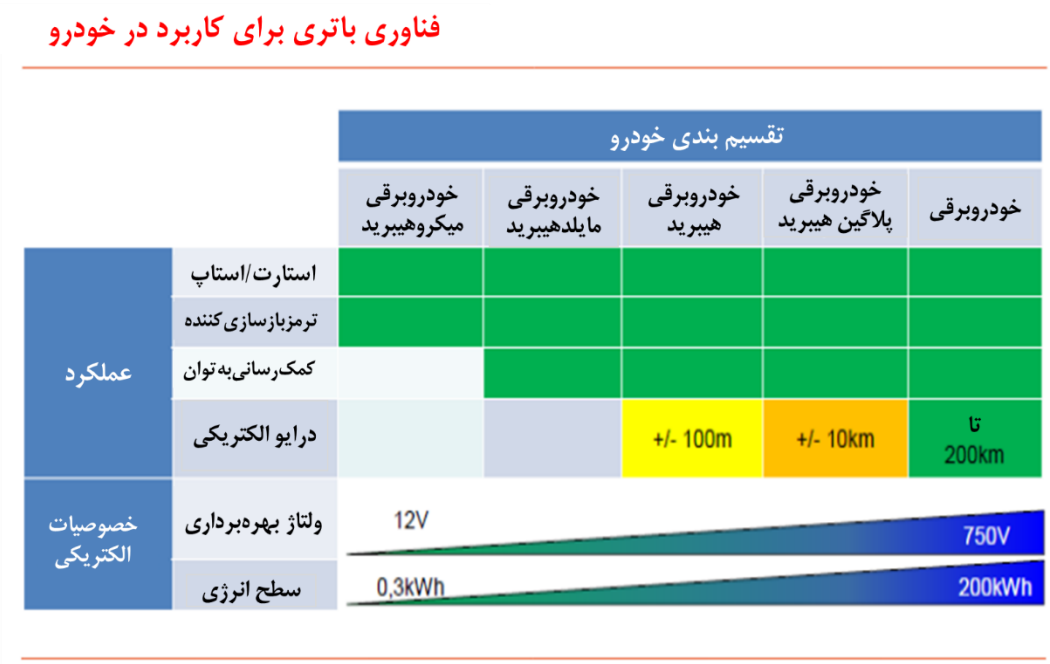
۱۱-۴- بررسی ابعاد، اندازه‌ها و ظرفیت‌های مورد نیاز

تخمین زده می‌شود که از طریق توسعه کاتدهای با ولتاژ بالا یا کاتدهای با ظرفیت بالا چگالی انرژی سلول‌های پسا لیتیوم تا سال ۲۰۳۰ توانایی افزایش دانسیته انرژی الکتریکی از ۱۷۰ Wh/kg به ~ ۲۹۰ Wh/kg را داشته باشند.

دانسیته انرژی با توسعه مواد سازنده الکترود با ظرفیت خاص بالا یا با توسعه شیمی سلول‌ها بهبود می‌یابد. به طور مثال، این امر به طور مستقیم بر محدوده رانندگی خودرو تاثیر می‌گذارد، مثلا انتظار می‌رود تا سال ۲۰۳۰ یک خودروی متوسط مجهز به یک باتری ۲۰۰ کیلوگرمی پسا لیتیومی با یک بار شارژ مسافت ۲۵۰ تا ۳۰۰ کیلومتر را طی نماید.

دانسیته توان: تولید کنندگان باتری تلاش می‌کنند تا دانسیته توان سلول های پسا لیتیومی را افزایش دهند، چیزی که برای برنامه‌های هیبریدی و هیبریدی پلاگین بسیار مهم است. بهبود می‌تواند از طریق طراحی بهینه‌سازی شده، بهبود قابلیت تولید و جمع‌آوری جریان‌های با کارایی بالا حاصل شود.

بدین ترتیب تلاش برای کاهش وزن و حجم باتری و افزایش توان، انرژی و ظرفیت آن برای استفاده در خودرو برقی ادامه دارد، تا جایی که خودرو برقی علاوه بر دوستدار محیط زیست بودن، از جهات دیگر با خودروهای متداول قابل رقابت گردد.



شکل ٤- ٢٣- فناوری‌های باتری برای استفاده در خودرو [٣٦]

۴-۱۲- برآورد قیمت تمام شده تقریبی باتری‌های منتخب براساس فرآیند ساخت مواد اولیه

در سال ۲۰۱۰، دانشمندان دانشگاه فنی دانمارک ۱۰،۰۰۰ دلار برای یک باتری خودرو برقی با ظرفیت ۲۵ کیلو وات ساعت (یعنی ۴۰۰ دلار برای هر کیلووات ساعت) پرداخت کردند [۳۸]. در آن سال تخمین زده شد که حداکثر تا ۱۰ سال بعد قیمت باتری به یک سوم قیمت آن زمان برسد.

بر اساس یک مطالعه سال ۲۰۱۰ توسط شورای تحقیقات ملی آمریکا، هزینه بسته‌بندی باتری لیتیوم یون حدود ۱۷۰۰ دلار در هر کیلو وات ساعت برآورد شده است و با توجه به اینکه خودرو برقی پلاگین – ۱۰ نیاز به حدود ۲ کیلووات ساعت و خودرو برقی پلاگین – ۴۰ نیاز به حدود ۸ کیلووات ساعت دارد، هزینه تولید باتری برای یک خودرو پلاگین –۱۰ حدود ۳۰۰۰ دلار است و برای یک خودرو برقی پلاگین – ۴۰ بالغ بر ۱۴۰۰۰ دلار می‌باشد [۳۹] [۴۰]. بررسی مروری فناوری در دانشگاه MIT هزینه‌های بسته‌های باتری خودرو را تا سال ۲۰۲۰ بین ۲۲۵ تا ۵۰۰ دلار در هر کیلووات ساعت برآورد کرد [۴۱]. مطالعه‌ای در سال ۲۰۱۳ توسط "شورای آمریکایی برای یک اقتصاد انرژی کارآمد" گزارش داد که هزینه‌های باتری از ۱۳۰۰ دلار برای هر کیلووات ساعت در سال ۲۰۰۷ به ۵۰۰ دلار برای هر کیلووات ساعت در سال ۲۰۱۲ کاهش یافته است. وزارت انرژی ایالات متحده هزینه باتری خودروبرقی را ۳۰۰ دلار برای هر کیلووات ساعت در سال ۲۰۱۵ و ۱۲۵ دلار برای هر کیلووات ساعت در سال ۲۰۲۲ پیش بینی کرد. کاهش هزینه‌ها از طریق پیشرفت فن‌آوری باتری و حجم تولید بالاتر باعث خواهد شد که خودروهای الکتریکی با وسایل نقلیه دارای موتور احتراق داخلی رقابت داشته باشد[۴۲]. در سال ۲۰۱۶، ظرفیت جهان برای تولید باتری لیتیوم یون ۴۱.۵۷ GWh بود. [۴۳]

هزینه‌های واقعی برای سلول‌ها موضوع بحث و گفتگو و گمانه زنی است، زیرا اکثر تولید کنندگان خودرو برقی حاضر به بحث در مورد جزئیات این موضوع نیستند. با این حال، در ماه اکتبر ۲۰۱۵، سازنده خودرو GM در کنفرانس جهانی کسب و کار جهانی خود اعلام نمودند که انتظار داشته اند که قیمت سلول های لیتیومی در سال ۲۰۱۶ به ۱۴۵ دلار در هر کیلووات ساعت برسد. این پیش بینی به طور قابل توجهی کمتر از برآورد دیگر تحلیلگران بود. همچنین انتظار می رفت که این هزینه‌ها تا پایان سال ۲۰۲۱ به ۱۰۰ دلار برای هر کیلو وات ساعت برسد [۴۴].

براساس یک مطالعه منتشر شده در فوریه ۲۰۱۶ توسط بلومبرگ Bloomberg New Energy Finance (BNEF) ، قیمت باتری از سال ۲۰۱۰ به میزان ۶۵ درصد کاهش یافته است و تنها در سال ۲۰۱۵ ، این کاهش ۳۵ درصد

بوده است، به گونه‌ای که قیمت باتری به ۳۵۰ دلار برای هر کیلووات ساعت رسیده است. این مطالعه نشان می‌دهد که کاهش هزینه‌های باتری در مسیری است که خودروهای برقی بدون یارانه‌های دولتی تا سال ۲۰۲۲ در اکثر کشورهای جهان به اندازه موتورهای احتراق داخلی مقرون به صرفه شوند. بر اساس پروژه‌های BNEF تا سال ۲۰۴۰، گستره وسیعی از خودروهای برقی با هزینه ای کمتر از ۲۲،۰۰۰ دلار (بر اساس ارزش دلار در سال ۲۰۱۶) تولید شده اند. BNEF انتظار دارد با ابداع روش‌های جدید و کاربرد مواد شیمیایی جدید، هزینه‌های باتری خودرو برقی تا سال ۲۰۳۰ به مراتب پایین‌تر از ۱۲۰ دلار برای هر کیلووات ساعت برسد[۴۶ و ۴۵].

جدول٤- ١٦- مقایسه برآورد قیمت باتری

قیمت($/kWh)	تاریخ	نوع باتری
130-145	۲۰۱۶	لیتیم یون
200–300	۲۰۱۴	لیتیم یون
500–600	۲۰۱۲	لیتیم یون
400	۲۰۱۲	لیتیم یون
520-650	۲۰۱۲	لیتیم یون
752	۲۰۱۲	لیتیم یون
689	۲۰۱۲	لیتیم یون
800–1000	۲۰۱۳	لیتیم یون
750	۲۰۱۰	لیتیم یون
750	۲۰۰۴	نیکل متال هیدرید
500–550	۲۰۱۳	نیکل متال هیدرید
350		نیکل متال هیدرید
256.68		سرب اسید

جدول ۱-٤ مقایسه طول عمر باتری‌ها

نوع باتری	تاریخ برآورد	عمر سیکلی	مسافت (مایل)	زمان (سال)
جریانی	۲۰۱۶	>4000		>10
لیتیم یون	۲۰۱۶	>4000	1,000,000	>10
لیتیم یون			100,000	5
لیتیم یون			60,000	5
لیتیم یون	۲۰۰۲			2-4
لیتیم یون	۱۹۹۷	>1,000		
نیکل متال هیدرید	۲۰۰۱		100,000	4
نیکل متال هیدرید	۱۹۹۹	>90,000		
نیکل متال هیدرید			200,000	
نیکل متال هیدرید	۱۹۹۹	1000	93,205.7	
نیکل متال هیدرید	۱۹۹۵	<2,000		
نیکل متال هیدرید	۲۰۰۲	2000		
نیکل متال هیدرید	۱۹۹۷	>1,000		
نیکل متال هیدرید	۱۹۹۷	>1,000		
سرب اسید	۱۹۹۷	300–500		

۱۳-۴- بررسی ملاحظات زیست محیطی هریک از باتری‌های منتخب

با وجود پیشرفت سریع فناوری در دنیا، متاسفانه بشر هنوز نتوانسته است محیطی را که خود در آن زندگی می‌کند ، مدیریت کند و این مسئله منجر به بحران‌های زیست محیطی شده است ، بحران‌هایی که به اشکال گوناگون مانند : تخریب لایه ازن، گرم شدن کره زمین، تغییرات اقلیمی، آلودگی آب، خاک، هوا و غیره خود را نشان می‌دهد. کشورهای در حال توسعه بر سر دو راهی انتخاب قرار دارند، رشد سریع اقتصادی–صنعتی بدون توجه به عواقب زیست محیطی آن، یا اتخاذ راهبرد توسعه صنعتی پایدار مبتنی بر تلفیق ملاحظات اکولوژیکی و اقتصادی.

در عصر جدید به منظور کاهش انتشار گازهای گلخانه‌ای و حفظ ذخایر انرژی، جایگزینی سوخت‌های فسیلی موضوع بسیاری از تحقیقات قرار گرفته است. تحقیقات جدید روی بهبود چگالی انرژی سوخت‌های جایگزین و کاهش قیمت تمام شده تمرکز دارند. در میان جایگزین‌ها، باتری‌ها به علت آلودگی فوق العاده کمتر و چگالی انرژی مناسب نسبت به سوخت‌های فسیلی در خط اول گزینه‌های جایگزینی قرار دارند. باتری‌های فلز– هوا به علت استفاده از هوا به عنوان ماده‌ی مورد استفاده در کاتد جرم کمتری دارند و این امر باعث شده است که چگالی انرژی این باتری‌ها در مقایسه با چگالی انرژی سوخت‌های فسیلی قابل توجه باشد.

افزایش نگرانی‌های زیست محیطی در دهه اخیر به علت افزایش عناصر سنگین در محیط منجر به وضع قوانینی در مورد پسماندهای خطرناک حاوی عناصر سنگین شده‌اند. باتری‌های مستعمل مثالی از این موارد هستند. باتری‌ها محتوی مواد سمی مانند کادمیوم، سرب، نیکل، جیوه، روی و غیره هستند. برخی از این عناصر می‌توانند از طریق دستگاه تنفسی وارد بدن شوند و برخی دیگر از طریق زنجیره غذایی جذب بدن می شود. میزان جذب عناصر سنگین بستگی به نوع فلز دارد. لذا انسان از طریق زنجیره غذایی و بلع مستقیم ، در معرض این مواد سمی قرار میگیرد.

خصوصیات مواد در مقیاس نانو نسبت به همان مواد در مقیاسهای بزرگ متفاوت است. به‌عنوان مثال، افزایش مساحت سطح ویژه، افزایش خطرات مربوط به جابه‌جایی، و تغییر در حلالیت از جمله خصوصیات نانومواد است. برخی از مواد در مقیاس نانو از لحاظ زیست‌محیطی و تاثیر بر سلامتی انسان، مضر به نظر می‌آیند. هم‌اکنون، اطلاعات و دانش کمی در مورد خطرات ناشی از سمیت و در معرض قرارگرفتن نانومواد در دست است و به تبع آن، ارزیابی‌های درستی نیز صورت نمی‌گیرد. این‌جاست که اهمیت «ایمنی به‌وسیله طراحی» و اهمیت توسعه همراه با مسئولیت‌پذیری، از مرحله آزمایشگاه تا مرحله ورود به بازار و با هدف کاهش خطرات احتمالی بالقوه، بیش از پیش آشکار می‌شود.

در صنعت باتری‌سازی، خطرات احتمالی ناشی از در معرض قرارگرفتن کارگرها در طول فرایند ساخت ایجاب می‌کند که یک سیستم کنترلی قوی برای محافظت کارگران از خطرات بالقوه تدوین و اجرا شود. خطر در معرض قرارگرفتن کارگران و محیط زیست، در فرایند انهدام باتری‌هایی که نیمه‌عمر آن‌ها به پایان رسیده است نیز باید مد نظر قرار بگیرد. شایان ذکر است که هنگام کارکرد باتری‌ها در مدت‌زمان عمر کاریشان خطری متوجه مصرف‌کنندگان نخواهد بود.

۱-۱۳-۴- اثرات مخرب باتری‌ها در محیط زیست ایران

انهدام باتری‌های مصرف شده همراه با پسماندهای جامد شهری باعث آغشته شدن پسماندهای دفن شده به فلزات سنگین می‌شود و شیرابه خروجی از اینگونه محل‌های دفن مواد، مملو از فلزات سنگین می‌باشد و یا اینکه اگر اینگونه پسماندها به منظور تهیه کمپوست استفاده شوند بدلیل دارا بودن عناصر سنگین در ترکیبات خود کیفیت کمپوست تولیدی را پایین می‌آورد. بیش از ۹/۵ میلیون تن در سال زباله جامد شهری در لندفیل‌های تهران دفن می‌شود. ایران کشوری در حال توسعه است و در نتیجه استفاده از تجهیزات فناوری جدید مانند لوازم کامپیوتری، تلفن‌ها، دوربین‌های دیجیتالی و خودروها به شدت گسترش یافته و به تبع آن مصرف باتری‌ها نیز افزایش یافته است. بدلیل معضلات موجود در ارتباط با باتری در پسماندهای شهری که به آن‌ها اشاره شد اخیرا الزاماتی برای حفاظت محیط زیست در این راستا بکار برده شده است. در کشورهای پیشرفته باتری‌های مصرف شده بعنوان پسماندهای خطرناک محسوب می‌شوند و به همین دلیل آژانس‌های حفاظت محیط زیست کشورهای پیشرفته مانند آمریکا نیز به بازیافت باتری‌های مصرف شده توجه کرده و آن‌ها را بعنوان زائدات خطرناک دسته‌بندی کرده است.

ولی با توجه به لزوم استفاده جهانی از خودروهای هیبرید و برقی در آینده و برنامه‌ریزی‌های گسترده بین المللی در این خصوص، کاربرد بسیار مهم و گسترده باتری‌های مناسب برای تامین نیروی محرکه خودروهای برقی در آینده نزدیک گسترش وسیعی خواهد یافت. لذا افزایش نگرانی‌های زیست محیطی در دهه اخیر به علت افزایش عناصر سنگین در محیط منجر به وضع قوانینی در مورد پسماند های خطرناکی که حاوی عناصر سنگین هستند شده است.

۲-۱۳-۴- فلزات سنگین

در جدول تناوبی به آن تعداد از عناصر که وزن اتمی بالائی داشته و در درجه حرارت اتاق خاصیت فلزی دارند فلز سنگین اطلاق می‌شود. از آنجائی که تعاریف مختلفی برای این عناصر شده و در این طبقه عناصر مختلفی قرار داده شده‌اند باید تنها از اصطلاح فلزات و یا شبهه فلزات استفاده نمود. لذا فلزات مس تا بیسموت در جدول تناوبی که دانسیته بیشتر از ۴ دارند به عنوان فلزات سنگین تعریف شده‌اند. در جدول تناوبی به فلزات گروه ۳ تا ۱۶ در تناوب ۴ و ۴ به بعد فلزات سنگین می‌گویند. بسیاری از این عناصر نه تنها برای حیات بیولوژیکی ضروری نیستند بلکه بسیار هم خاصیت سمی دارند. ارگانیسم‌های زنده

به مقادیر بسیار کمی از فلزات سنگین برای ادامه رشد و بقاء نیار دارند که به اصطلاح به آنها عناصر ناچیز[1] می‌گویند مثل آهن، کبالات، مس، منیزیم، مولیبدن، وانادیم، استرنیم و روی و اگر ازآن حداقل مورد نیاز و ضروری افزایش یابند باعث اخلال در رشد می‌گردند. سایر فلزات سنگین مانند جیوه، سرب و کادمیم عناصر حیاتی نبوده و اثرات سود مندی بر حیات ارگانیسم‌های زنده ندارند به طوریکه تجمع آن‌ها در بدن موجودات زنده به خصوص پستانداران باعث بیماری‌های خطرناکی می‌گردد. مسیرهای ورود به بدن پستانداران به طور معمول از طریق هوای آلوده که در مناطق صنعتی پس از بارندگی وارد خاک و آب زیرزمینی می‌شوند و همچنین از طریق دریاها و اقیانوس‌ها می‌باشد.

یکی از اساسی‌ترین مسائل در ارتباط با فلزات سنگین عدم متابولیزه شدن آن‌ها در بدن می‌باشد. در واقع فلزات سنگین پس از ورود به بدن دیگر از بدن دفع نشده بلکه در بافت‌هائی مثل چربی، عضلات، استخوان‌ها و مفاصل رسوب کرده و انباشته می‌گردند که همین امر موجب بروز بیماری‌ها و عوارض متعددی در بدن می‌شود. فلزات سنگین همچنین جایگزین دیگر املاح و مواد معدنی مورد نیاز در بدن می‌گردند. مثلاً در صورت کمبود روی در مواد غذایی کادمیوم جایگزین آن می‌گردد. به طور کلی اختلالات عصبی (پارکینسون، آلزایمر، افسردگی، اسکیزوفرنی) – انواع سرطان‌ها – فقر مواد مغذی – بر هم خوردن تعادل هورمون‌ها – چاقی – سقط جنین – اختلالات تنفسی و قلبی، عروقی – آسیب به کبد، کلیه‌ها و مغز – آلرژی و آسم – اختلالات غدد درون‌ریز–عفونتهای ویروسی مزمن – کاهش آستانه تحمل بدن – اختلال در عملکرد آنزیم‌ها – تغییر در سوخت و ساز – ناباروری – کم خونی – خستگی – تهوع و استفراغ – سردرد و سرگیجه – تحریک پذیری – تضعیف سیستم ایمنی بدن – تخریب ژن‌ها – پیری زودرس–اختلالات پوستی – کاهش حافظه – بی اشتهایی – التهاب مفاصل – ریزش مو – پوکی استخوان و در موارد حاد مرگ از نتایج اثرات ورود فلزات سنگین به بدن انسان می‌باشد. از طرفی خاصیت تجمع‌پذیری فلزات سنگین در گیاهان و ورود آن‌ها به زنجیره غذائی خطرات ناشی از آن‌ها را دو چندان می‌کند. با رشد صنعت و افزایش مصرف مواد شیمیائی ورود آن‌ها در آب، خاک و هوا و آلوده شدن محیط احتمال رویاروئی انسان با خطرات ناشی از آن‌ها بیشتر شده است.

باتری‌های مستعمل از منابع اصلی آلودگی فلزات سنگین می‌باشد. فلزات سنگین مثل سرب، کادمیم و جیوه از طریق پسماندها و فاضلاب‌های حاوی آن‌ها در صنایع، مراکز خدماتی بهداشتی و درمانی، نساجی‌ها، کارخانه‌های رنگسازی صنایع فلزی آهن و فولاد وصنایع فلزی غیر آهنی، زباله‌ها و پسماندهای حاوی *لامپ*های سوخته و باتری‌های مستعمل و ... به

[1] Trace Elements

محیط زیست راه پیدا می‌کنند. با توجه به نقشه راه‌های موجود در خصوص استفاده از خودروهای برقی در آینده نزدیک جهان شاهد انبوه باتری‌های مستعمل خودرو برای استفاده مجدد در صنایع دیگر، دفع و یا یازیابی خواهد بود.

۳-۱۳-۴- اثرات فلزات سنگین موجود در باتری‌ها

باتری‌های نیکل کادمیوم در این بین از موقعیت بحرانی برخوردارند چرا که به میزان زیاد در هواپیماها بکار می‌روند .در حال حاضر اتحادیه اروپا ممنوعیت‌هایی را برای استفاده از این گونه باتری‌ها در نظر گرفته و در حال جایگزینی آن‌ها با باتری‌های نیکل–متال–هیبرید است .آسیب‌های دراز مدت استفاده از باتری‌های نیکل–کادمیوم در صورت استفاده به شکل فعلی نگران کننده خواهد بود.

لیتیم همانند فلزات قلیایی دیگر در حالت خالص، شدیداً آتش‌زا و در معرض هوا و مخصوصاً آب تا حدی انفجاری است. این فلز همچنین خورنده بوده، لذا در استفاده از این فلز باید توجه خاص داشت و از تماس آن با پوست بدن اجتناب کرد. در صورت ذخیره، باید آنرا در هیدروکربن مایع قابل اشتعالی مانند نفت نگهداری نمود. لیتیم، هیچگونه نقش بیولوژیکی نداشته، تا حدی سمی محسوب می‌شود.

مشکلات زیست محیطی در رابطه با روی و منگنز که مواد شیمیایی عمده باتری های مورد نظر هستند مطرح نیست و هر دو به وسیله سازمان غذا و داروی آمریکا (FDA) امن در نظر گرفته شده‌اند. آلاینده بالقوه مهم در باتری‌ها، جیوه است که معمولاً همراه با روی مورد استفاده قرار می‌گیرد و سال‌های زیادی است که برای کمک به هدایت جریان برق و جلوگیری از خوردگی به باتری‌های قلیایی اضافه شده است. در اواسط دهه۱۹۸۰میلادی، باتری‌های قلیایی معمولاً بین پنج و هفت درصد جیوه داشتند. چند سال پیش که مشخص شد جیوه خطر زیست محیطی دارد، تولید کنندگان شروع به پیدا کردن راه‌هایی برای تولید باتری‌های کارآمد بدون جیوه کردند. تکنیک اصلی به کار رفته در این باتری‌ها تمرکز بر کنترل بهتر خلوص مواد تشکیل دهنده بوده است. باتری‌های قلیایی امروزی ممکن است حدود ۰.۰۲۵ درصد جیوه داشت باشند.

روی فلزی نرم به رنگ سفید مایل به آبی است. این عنصر طعم نامطلوب تلخ و گزنده‌ای به آب می‌دهد. روی به مقدار کم در تمام سنگ‌های آتش فشانی وجود دارد. میزان روی طبیعی در خاک، حدود ۱mg/kg تا ۳۰ خاک می‌باشد . فلز روی که بعد از فولاد، آلومینیوم و مس پر مصرف‌ترین فلز صنعتی تلقی می‌شود، به عنوان محافظ فولاد در صنعت آبکاری، به صورت فلز آلیاژ کننده با مس جهت تولید برنج، در ریخته‌گری‌ها و همچنین به صورت ترکیبات شیمیایی در لاستیک و رنگ‌ها به کار می‌رود. همچنین این فلز گزینه‌ای مناسب برای تولید باتری‌های فلز–هوا می‌باشد. روی در بدن انسان، در

غلظت بالا، در پروستات، استخوان، عضله و کبد پیدا شده است. نیمه عمر روی باقیمانده در بدن انسان، یک سال است. روی عنصری حیاتی برای تمامی ارگانیسم‌های زنده است. بعضی از عوارض نامطلوب آن عبارتند از مسمومیت، تب، دل آشوبه، تهوع، استفراغ و اسهال متعاقب مصرف نوشیدنی‌های اسیدی یا غذاهایی که در ظروف گالوانیزه تهیه و نگهداری می‌شوند .

۴-۱۳-۴- باتری‌های مورد استفاده در خودروی برقی

نمی‌توان زندگی امروز بشر را بدون استفاده از باتری‌ها تصور نمود. بویژه یکی از مهمترین کاربردهای آن در خودروهای برقی است که در دنیای سریع و پیشرفته امروزه حتی نمی‌شود نبود آن را تصور کرد و بر اساس برنامه‌ریزی‌ها و نقشه راه‌های کشورها با گذشت زمان فراگیرتر خواهد شد. بحث بازیافت و آینده این نوع باتری‌ها بسیار با اهمیت است و اگر مطالعه و برنامه‌ریزی مناسبی در این خصوص صورت نگیرد، در آینده سلامت جامعه با مشکل جدی مواجه خواهد شد.

انواع و اقسام مختلفی از باتری‌ها درخودروها بکار می‌روند. باتری‌هایی با پایه نیکل که نسل باتری‌های اولیه هستند و باتری‌های لیتیومی که بعدها وارد بازار شدند. با توجه به مشکلات ایمنی در این نوع باتری‌ها، محدودیت‌هایی برای استفاده از آن‌ها وجود دارد. منظور از مشکل ایمنی در باتری‌ها بحث انفجار در زمان شارژ بیش از حد (اورشارژ) است و مشکل دیگر حمل و نقل این نوع باتری‌ها است که به دلیل نوع و احتمال انفجار نمی‌توان این نوع باتری‌ها را با هواپیما حمل و نقل کرد و برای این کار حتما از کشتی استفاده می‌کنند.

باتری‌های خودرو ۳ تا ۴ سال یک بار نیاز به تعویض دارند و ضایعات این باتری‌ها در محیط زیست رها می‌شوند و با یک حساب سرانگشتی، اگر که تعداد خودروهای موجود را در تعداد باتری‌ها ضرب کنیم چند میلیون باتری خواهیم داشت که وزن هرکدام ۲۰ کیلوگرم است. در واقع به همان میزان سرب وارد طبیعت خواهد شد.

ولی در حال حاضر باتری خودروهای برقی عمدتا باتری لیتیمی است و همانطور که در بخش‌های پیشین پروژه بررسی و ارائه گردید به منظور افزایش ظرفیت و راندمان خودروهای برقی بهترین نوع باتری‌های پیشنهاد شده باتری‌های فلز هوا هستند که از لحاظ میزان انرژی و جرم کیفیت قابل قبولی دارند. بزرگترین مشکل این باتری‌ها، مسئله شارژ مجدد آن‌ها است، تعداد باتری‌های تولید شده قابل شارژ بسیار کم است و در تمام دنیا به دنبال تولید باتری‌هایی هستند که بتوان به راحتی آن‌ها را شارژ کرد. که پیش‌بینی می‌شود در صورتی که پیشرفت‌های برنامه‌ریزی شده در این خصوص حاصل شود این باتری‌ها بتوانند در بازار خودروهای برقی پیشتاز شوند.

مشکلی که در باتری‌های روی–هوا وجود دارد، مسئله انفجار به دلیل اتصال کوتاه داخلی است که این پدیده به خواص فلز روی باز می‌گردد. باتری‌های فلز–هوا از لحاظ تئوری، بیشترین پتانسیل جایگزینی در برابر باتری‌های لیتیوم هوا دارند و از این لحاظ مقدار انرژی و واحد جرم آنها با باتری‌های دیگر قابل رقابت است. این پتانسل در باتری لیتیوم هوا وجود دارد که با وزن ۳۰ تا ۴۰ کیلو باتری می توان در بهترین شرایط ۴۰۰ کیلومتر مسیر را طی کرد. بحث داغ امروزه درمورد این نوع باتری ها مسئله بازیافت است.

حدود یک دهه پیش که هنوز خبری از حضور پر رنگ خودروهای هیبریدی یا برقی در خیابان‌ها نبود، امکان بحث گسترده درباره باتری‌های به کار گرفته شده در آنها وجود نداشت. اما اکنون که تعداد آنها بسیار بیشتر از قبل شده، می‌توان به این موضوع پرداخته و انواع باتری‌های موجود را به طور کلی بررسی کرد. در حال حاضر نیسان لیف و تسلا مدل S پرفروش‌ترین خودروهای برقی جهان به شمار می‌روند. مدل ژاپنی تا پایان دسامبر ۲۰۱۶ بیش از ۲۵۰ میلیون دستگاه فروش داشته، در سوی مقابل تسلا موفق به فروش بیش ازصد هزار دستگاه مدل S شده است.

در همین راستا خودروهای برقی به بازار عرضه شدند که دارای باتری‌های لیتیوم یون هستند. هرچند این خودروها به محیط زیست آسیب کمتری می‌رسانند اما تولید آن‌ها نیز بدون مشکل نیست. درحال حاضر تولید کنندگان باتری با مشکل تامین ذخایر مواد اولیه کلیدی باتری‌های بزرگ روبرو هستند. کبالت و لیتیوم دو ماده اصلی هستند که در این باتری‌ها به کار می‌روند که ذخایر مورد نیاز برای این صنعت پرسود را تامین می‌کنند.

شرکت معدنی Trent Mell of First Cobalt در کانادا در این باره می‌گوید: کبالت فلز خطرناکی است زیرا ذخایر اندکی دارد و این صنعت به کشف ذخایر بیشتری از این فلز نیاز دارد. این درحالی است که تولید کنندگان این نوع از خودروهای برقی و شرکت‌های الکترونیکی بدون این فلز نمی‌توانند به فعالیت خود ادامه دهند.

با توجه به نیاز به باتری‌های سبکتر و دارای ظرفیت بالاتر در خودروهای برقی یکی از دلایل اقبال به باتری‌های فلز–هوا کم بودن وزن آنها و کاستن از وزن خودرو و در نتیجه صرفه‌جویی زیاد در مصرف انرژی است. لیتیم، روی، آلومینیم و سیدیم از فلزاتی هستند که می‌توانند به عنوان آند باتری فلز هوا مورد استفاده قرار گیرند.

با پیشرفت این صنعت، در حال حاضر باتری روی هوا از نظر ایمنی جزء باتری‌های قابل قبول بوده و عملکرد مناسبی دارد. از سوی دیگر این نوع از باتری‌ها برای کشور ما می‌تواند بیشتر اهمیت داشته باشد زیرا ایران از نظر معادن روی حداقل رتبه دوم دنیار را دارد و محتاج تامین روی از خارج نیست. این ماده قابلیت بازیابی و استفاده دوباره دارد و از نظر زیست محیطی هم بسیار مفید است.

سال ۲۰۵۰ نیمی از خودروهای جهان برقی می‌شوند:

تحلیلگران موسسه مالی مورگان استنلی پیش‌بینی می‌کنند تا ۲۰۵۰ میلادی فروش جهانی خودروهای برقی سالانه از ۱۳ میلیون دستگاه فراتر می‌رود. همچنین آنها پیش‌بینی می‌کنند تا این تاریخ نزدیک ۴۷ درصد خودروهای جهان برقی باشند. بنابراین با توجه به روند به وجود آمده و کاهش ذخایر لازم برای تولید باتری های لیتیوم یون باید جایگزین‌های مناسب دیگر را نیز به کار گرفت.

درحال حاضر باتری‌های موجود را می‌توان بازیافت و وارد چرخه مصرف کرد اما این مسئله هنوز در خصوص باتری‌های فلز هوا وجود ندارد. این مسئله شاید در نمونه‌های آزمایشگاهی انجام می‌شود اما بطور صنعتی هنوز پیاده نشده است و به نظر می‌رسد کشور سوئیس تنها کشوری در دنیا است که در این مسئله پیش قدم شده است. مسئله مهم در این مورد موضوع عدم توانمندی در بازیافت این نوع باتری‌ها است. در خودروهای برقی بازیافت صنعتی چندان پیشرفت نکرده است و باتری‌های خودروهای برقی موجود از نوع لیتیومی است. اگر نگاه ما به آینده کشور و محیط زیست باشد و اگر ورود و استفاده از این باتری‌ها در کشور تحقق یابد، در بازه زمانی ۱۰ سال آینده یک زباله دانی و یا انباری از باتری‌ها پیش روی ما خواهد بود. لذا مطالعه و برنامه ریزی در خصوص بازیابی و استفاده مجدد از آنها ضرورت دارد.

۴-۱۳-۵- مخاطرات زیست محیطی دفع باتری‌ها

هر ساله فقط در آمریکا سه میلیارد باتری بفروش می‌رسد که بطور متوسط به ازای هر نفر ۱۰ باتری مصرف می‌شود. این باتری‌ها حاوی فلزات سنگینی مانند جیوه و سرب کادمیم و نیکل می‌باشند که اگر این باتری‌ها به شیوه‌ای مناسب دفع نشوند می‌توانند باعث آلودگی محیط زیست شوند. حتی وقتی این باتری‌ها سوزانده می‌شوند برخی فلزات خاص می‌توانند در هوا پراکنده شوند یا بصورت ذرات خاکستر مواد ناشی از احتراق جمع شوند.

۴-۱۳-۶- ضرورت جمع‌آوری و بازیافت باتری

همانگونه که اشاره شد فلزات سمی بکار رفته در باتری‌های قابل شارژ به هیچ وجه با خاک و محیط زیست سازگار نبوده و دوستدار طبیعت نمی‌باشند. باتری‌های قابل شارژ، حاوی فلزاتی هستند که در صورتیکه به شکل مناسبی بازیافت نشوند، برای محیط زیست خطرناکند. به همین دلیل بایستی از گسترده شدن این مواد بر روی زمین جلوگیری نمود.

تمام باتری‌ها دارای دو عنصر عمومی هستند که ترکیب این دو باعث تولید انرژی می‌شود؛ محلول الکترولیت و فلزات سنگین. باتری‌های مستعمل می‌توانند موجب نشر فلزات سنگین در خاک و هوا گردند. با توجه به خاصیت تجمع‌پذیری فلزات سنگین در گیاهان و ورود آن‌ها به چرخه مواد غذایی، تلاش در جهت جمع‌آوری و بازیابی این فلزات اهمیت ویژه‌ای دارد. همچنین مواد بازیافتی حاصل از باتری‌های مستعمل می‌توانند در ساخت یک باتری جدید استفاده شوند. باتری‌های متداول حاوی فلزات سنگینی مانند جیوه، سرب، روی، کادمیوم و نیکل هستند و باتری‌های جدید می‌توانند حاوی فلزاتی مانند لیتیم، روی و آلومینیم باشند. زمانی که باتری‌ها به صورت نامناسب دفع یا سوزانده شوند، ممکن است در هوا آزاد یا در خاکستر تغلیظ شوند. اغلب فروشندگان باتری، باتری‌های فرسوده را جمع‌آوری می‌کنند و برای بازیافت به محل‌های مخصوص می‌فرستند. پلاستیک و فلزات از یکدیگر جدا می‌شوند. در خصوص باتری‌های متداول مانند باتری سرب اسیدی، به صورت معمول ۶۰تا ۸۰ درصد سرب و پلاستیک به‌کاررفته در باتری‌های جدید، بازیافتی هستند. در ایالات متحده قسمت اعظم باتری‌های سرب اسید بازیافت می‌شوند. ۷۰ درصد وزن این باتری‌ها سرب است که بطور کامل قابل استفاده مجدد است لذا بخشی از سرب مصرفی ایالات متحده از طریق بازیافت این گونه از باتری‌ها تامین می‌گردد. در مورد سایر انواع باتری‌ها وضع این گونه نیست و بازیافت آن‌ها به این سادگی نیست. سازمان‌های مختلفی در حال کار روی بازیافت سایر انواع باتری‌ها هستند. البته باید اشاره کرد که نگرانی عمده نیز از ناحیه باتری‌های سربی است و باتری‌های لیتیومی خطر زیست محیطی کمتری دارند.

هدف آن است که ضمن جلوگیری از ورود فلزات سنگین باتریهای مستعمل به چرخهٔ غذایی انسان‌ها و دام‌ها، تا حد امکان از تمامی اجزاء فلزات بکار رفته در باتری‌های قدیمی برای ساخت باتری‌های جدید، استفاده شود و نیاز به منابع جدید این فلزات و کشف معادن بیشتر را از میان بردارد. ایده‌آل آن است که تمامی اجزای تشکیل دهندهٔ این باتری‌ها را بازیافت شوند و از بیشتر آن‌ها برای ساخت و تولید باتری‌های جدید و یا صنایع دیگر استفاده بعمل آید. در واقع، با توجه به اهمیت موضوعات زیست محیطی و تاثیرات سوء باتری‌ها بر محیط زیست، پژوهش برای یافتن مواد جایگزین دوست دار محیط زیست در پیل‌های الکتروشیمیایی در جریان است.

۷-۱۳-۴- بررسی نحوه مدیریت صحیح زیست محیطی باتری‌های فرسوده

براساس برنامه UNEP و نظر به مصرف روز افزون مواد شیمیائی حاوی فلزات سنگین همچنین اثرات سوء آنها بر سلامت انسان و محیط زیست و با توجه به خاصیت انتقال و انتشار آنها در فواصلی بسیار دورتر از منبع تولید کننده آن موجب

شد تا سازمان محیط زیست بین المللی از کشورها درخواست نماید تا در اجرای برنامه فلزات سنگین در سطح ملی و منطقه‌ای مشارکت و همکاری نمایند تا از طریق همکاری‌های منطقه‌ای و بین المللی نقش بیشتری در جلوگیری و کنترل آلودگی‌های ناشی از این فلزات سنگین ایفا نمایند.

در برنامه فوق بر اقداماتی مانند مدیریت پسماندها و فاضلاب‌های حاوی این نوع آلودگی‌ها ، جلوگیری از ورود آنها به منابع آب و خاک و هوا و حفظ سلامت انسان‌ها و محیط زیست از طریق اعمال استانداردهای تخلیه فاضلاب به محیط‌های پذیرنده، پایش منابع آب و خاک و هوا به خصوص کنترل میزان آنها در آب‌های آشامیدنی و آب‌های مصارف کشاورزی ، اجرای قانون مدیریت پسماندها، جداسازی و یا بازیافت زباله‌ها و یا فاضلاب‌های حاوی آنها، استفاده از تکنولوژی‌های پاک در جهت حذف و جایگزینی آنها با مواد بی خطر و یا کم خطر در پروسه‌های تولید تاکید بیشتری شده است. مشارکت در برنامه‌های بین المللی و استفاده از تجارب کشورهای موفق ازجمله اجرای برنامه جیوه و برنامه سرب و کادمیم UNEP، اجرای دقیق کنوانسیون‌ها از جمله سایکم، بازل، آموزش‌های فنی– تخصصی مرتبط در سطوح مختلف کارشناسی، آموزش‌های همگانی (آگاهی‌رسانی عمومی) ، همکاری و هماهنگی ارگان‌های ذیربط به خصوص وزارت بهداشت و درمان و آموزش پزشکی، وزارت صنایع و معادن، شهرداری‌ها ، وزارت جهاد کشاورزی و سایر ارگان‌ها ذیربط نیز می‌تواند به طور موثری کشور را در جهت نیل به اهداف زیست محیطی مرتبط با حفظ محیط زیست و سلامت انسان در مقابل آلودگی‌های ناشی از فلزات سنگین کمک نماید.

بازیافت فلزات سنگین باتری‌های مستعمل و مواد آلی نظیر پلی پروپیلن حاصل از بازیافت آن‌ها به چرخه صنعت امری اقتصادی می‌باشد. ولی به دلیل وجود خطرات مواد مختلف موجود در ساختار آن‌ها بخصوص فلزات سنگین رعایت اصول بهداشتی و زیست محیطی، تکنولوژی‌های نوینی در جمع‌آوری و مراحل پیش بازیافت و بازیافت آن‌ها ابداع گردیده است. اجرای بازیافت زیست محیطی و بهداشتی در کشور نیازمند در نظرگرفتن راهبردها و خط مشی‌هایی می‌باشد که براساس اولویت‌های کشور تعیین و تعریف گردد و در جهت تدوین چارچوبی قانونی جهت جمع‌آوری، حمل و نقل و بازیافت باشد. ایجاد سیستم جمع‌آوری تحت چارچوبی قانونی یکی از اولین مراحل مدیریت صحیح زیست محیطی باتری‌های فرسوده است.

تنها راه برای اجرای یک برنامه بازیافت موفق این باتری‌های فرسوده، ایجاد زیرساختی مؤثر برای جمع‌آوری اصولی آن‌ها است. این زیرساخت به دلیل دخیل نمودن چندین بخش جامعه نظیر فروشندگان قراضه‌ها، فروشندگان باتری‌ها،

فرآوری‌کنندگان و مصرف‌کنندگان مواد بازیابی شده در شبکه‌های سازمان یافته که جریانی مستمر از قراضه‌های فلزات سنگین را برای فرایند بازیافت فراهم می‌آورد، باید به خوبی طراحی شود.

تجربه نشان داده است که به عنوان یک روند کلی، معمولی‌ترین فرایند جمع‌آوری باتری‌های فرسوده طی سیستم دوگانه توزیع- جمع‌آوری صورت می‌گیرد که طی آن تولیدکنندگان، خرده‌فروشان، عمده‌فروشان و یاسایر نقاط فروش جزئی، باتری‌های جدیدی را برای استفاده کنندگان تهیه و باتری‌های فرسوده را برای فرستادن به کارگاه‌های بازیافت نزد خود حفظ می‌کنند یا اوراقچی‌ها آن‌ها را از بدنه خودروهای فرسوده خارج می‌کنند . بقای فرایند مذکور بر ارزش اقتصادی محتوای فلزات سنگین موجود در باتری‌ها مبتنی است. با توجه به موارد مذکور در راستای مدیریت صحیح زیست محیطی باتری‌های فرسوده موارد زیر پیشنهاد می‌شود:

۱ –باتری‌های فرسوده درهنگام جمع‌آوری تخلیه نشوند،

۲–در مکانهای جمع‌آوری مقادیر زیادی از باتری‌های فرسوده انبار نشوند،

۳–باتری‌های خودروهای برقی مستعمل جمع‌آوری شده، برای استفاده مجدد در کاربردهای دیگر مورد بررسی قرار گیرند،

۴–صدور مجوز برای ذوب کنندگان بکار گیرنده اصول مدیریت صحیح زیست محیطی و خودداری جمع‌آوری کنندگان از فروش باتری‌ها به ذوب کنندگان فاقد مجوز،

۵ –باتری‌های فرسوده درون ظروف بخوبی بسته بندی حمل و نقل شوند،

۶–وسیله نقلیه بایستی با نشانه‌هایی مشخص گردند،

۷–استفاده از تجهیزات ایمن و حفاظت کارکنان(PPE) در تماس با باتری‌های مذکور،

۸–به رانندگان و کمک رانندگان تعلیم داده شوند،

۹–برنامه و نقشه حمل و نقل کاملاً مشخص شود،

۱۰–باتری‌ها برای بازیافت تخلیه و مشخص و تفکیک شوند،

۱۱–باتری‌ها در ساختمانی مناسب و یا مکانی بسته انبار شوند،

۱۲–ارتقای روش‌های موجود در کلیه مراحل بازیافت و انطباق آن‌ها با روش‌های نوین و روز دنیا،

۱۳–رعایت مفاد کنوانسیون بازل در واردات و صادرات و حمل ونقل برونمرزی این باتری‌ها،

۱۴–افزایش ابزارهای کنترلی گمرکات بر واردات و صادرات کنترل شده و ایمن و دارای مجوز پسماندهای خطرناک ازجمله باتری‌ها،

۱۵–ارتقای همکاری‌های بین سازمانی،علمی، فنی، صنعتی و محیط زیست .

۸-۱۳-۴- جمع‌بندی

کنترل کیفیت باتری [٤٦]

از آنجایی که فن‌آوری باتری، جدید پیچیدگی‌های خاص خودر را دارد، کیفیت نهایی باتری است که برای رقابت نام‌های تجاری اهمیت دارد. توانایی یک باتری در مقاومت در برابر خوردگی، عملکرد خوب در شرایط گوناگون، حفظ ماندگاری و کاربردهای آن در طول عمرش از نتایج مستقیم کنترل کیفیت است. به این ترتیب باتری‌ها و مواد تشکیل دهنده‌شان در تقریباً تمام مراحل فرایند تولید بررسی و آزمایش می‌شوند و دسته‌های تکمیل شده نیز به طور دقیق آزمایش می‌شوند.

اثرات زیست محیطی، سلامتی، و ایمنی [٤٧]

امروزه مسئله محیط زیست بحثی داغ و با اهمیت است و برای حفظ سلامت آن برنامه‌ریزی‌ها و اقداماتی ویژه مورد نیاز است. در دنیای تکنولوژی امروز نباید فقط به عدم رهاسازی زباله و حفظ نسل حیوانات در محیط زیست و غیره اکتفا کرد و باید تدبیری برای زباله‌های الکترونیکی و بویژه زباله‌هایی که پنهان هستند نیز اتخاذ گردد که با استفاده روز افزون از خودروهای برقی، در سال‌های پیش رو زباله باتری‌ها بارزترین نمونه خواهند بود.

استفاده مجدد و بازیافت باتری

باتری‌های مستعمل در صنعت خودرو برقی قابل استفاده در صنایع دیگر هستند. لذا پس از پایان عمرشان در خودرو، این باتری‌ها در گام اول می‌توانند در صنایع دیگر، در کاربردهای ایستگاهی گوناگون و به مدت طولانی مورد استفاده قرار گیرند. در گام بعدی پس از پایان عمر مجدد این باتری‌ها، بازیافت یکی از اقدامات موثر و پیشگیرانه در زمینه حفظ محیط زیست است. برای بوجود آوردن چرخه بازیافت نیازمند عوامل مختلفی نظیر تلاش صاحبان صنایع، مردم و سازمان‌های مرتبط هستیم. بازیافت باتری به دلیل وجود فلزات سنگین درساختار آن‌ها و نقش این فلزات در آلودگی محیط زیست از اهمیت ویژه‌ای برخوردار است. باید توجه کرد که اجرای بازیافت زیست محیطی و بهداشتی این مواد درکشور نیازمند در نظرگیری راهبردها و خط مشی‌هایی است که بر اساس اولویت‌های کشور تعیین شده و باید در جهت تدوین چارچوبی قانونی برای

جمع‌آوری، حمل‌ونقل و بازیافت صورت گیرد تا اثرات و خطرات زیست محیطی و بهداشتی بازیافت این پسماندها که تحت کنوانسیون بازل هستند، به حداقل کاهش یابد.

تحقیقات نشان می‌دهد بازیافت باتریهای مستعمل و وارد کردن فلزات سنگین و مواد آلی نظیر پلی‌پروپیلن حاصل از بازیافت آن‌ها به چرخه صنعت امری اقتصادی است ولی به دلیل وجود خطرات مواد مختلف موجود در ساختار آن‌ها بویژه فلزات سنگین، رعایت اصول بهداشتی و زیست محیطی، باید استفاده از فناوری‌های نوین و پیشرفته در جمع‌آوری و مراحل پیش‌بازیافت و بازیافت آن‌ها مد نظر گرفته شود. کارشناسان معتقدند اجرای بازیافت زیست محیطی و بهداشتی برای این پسماندهای ویژه در کشور نیازمند درنظرگیری راهبردها و خط مشی‌هایی است که بر اساس اولویت‌های کشور تعیین و تعریف شده و باید در جهت تدوین چارچوبی قانونی برای جمع‌آوری، حمل‌ونقل و بازیافت باشد. باید توجه کرد که ایجاد سیستم جمع‌آوری تحت چارچوبی قانونی یکی از اولین مراحل مدیریت صحیح زیست محیطی باتری‌های فرسوده بویژه باتری‌های خودرو برقی است تا خطرات و اثرات زیست محیطی جانبی آن‌ها به حداقل کاهش یابد.

۱۴-۴- آزمون‌های مورد نیاز برای کنترل کیفیت اجزا و یکیج باتری باتوجه به ویژگی‌های باتری‌های مدرن مورد نیاز برای خودرو برقی

همانگونه که در مرحله دوم پروژه اشاره شد روش‌های آزمون باتری خودرو برقی به دو دسته "تست‌های عملکردی" و "تست‌های ایمنی" طبقه‌بندی می‌شود. در "تست‌های عملکردی" رفتار الکتریکی یک باتری در شرایط نرمال در یک خودرو برقی آزمایش می‌شود. این آزمون‌ها، "آزمون‌های ورودی" که برای سلول‌ها و باتری‌های تازه تولید شده بکار می‌رود و "آزمون‌های طول عمر" که پارامترهای خاصی مانند ظرفیت را اندازه گیری می‌کنند، خود به دو بخش تقسیم می‌شوند. این آزمون‌ها به صورت دوره‌ای در طول هفته‌ها، ماه‌ها یا سال‌ها، چگونگی عملکرد و کارایی باتری را بر اساس پارامتر مورد نظر اندازه‌گیری می‌کنند. تست‌های ایمنی: معمولاً آزمایش‌های مخرب هستند و بر اساس پاسخ باتری به خرابی ناشی از تحریک‌های درونی یا بیرونی شناختی از باتری به دست می‌دهند [۵۴].

با توجه به جستجوهای انجام شده در خصوص آزمونهای کنترل کیفیت مورد نیاز باتریهای برگزیده مشخص گردید که این آزمون‌ها از جامعیت کامل برخوردار بوده و به هیچ وجه به نوع باتری مصرفی ارتباط ندارند و بایستی فارغ از این موضوع و بر اساس استانداردهای تعریف شده در خصوص نیازهای خودرو برقی برای باتری مورد نظر اندازه گیری گردد. لذا لیست آزمونهای استخراج و تدوین شده در مرحله دوم پروژه عینا برای باتریهای برگزیده به شرح زیر صادق می باشد:

جدول٤- ١٧- آزمون‌های استاندارد باتری‌ها

نام استاندارد	سال	عنوان استاندارد	نام موسسه
DOE/ID-10479	۱۹۹۶	راهنمای روش های آزمون باتری خودرو برقی USABC1	United States Advanced Battery Consortium (USABC) for the U.S. Department of Energy
DOE/ID-10597	۱۹۹۷	راهنمای آزمون باتری PNGV2	Partnership for a New Generation of Vehicles (PNGV) for the U.S. Department of Energy
DOE/ID-11069	۲۰۰۳	راهنمای آزمون باتری FreedomCAR برای خودروهای برقی هیبریدی۳	FreedomCAR Program for the U.S. Department of Energy
DOE/ID-11070	۲۰۰۳	راهنمای آزمون باتری ۴۲ ولت FreedomCAR4	FreedomCAR Program for the U.S. Department of Energy
IEC 62660-1	۲۰۱۰	سلول‌های لیتیوم یون ثانویه بعنوان نیروی محرکه خودروهای برقی جاده ای- بخش ۱: آزمون عملکرد۵	International Electrotechnical Commission
IEC 61982	۲۰۱۲	سلول‌های ثانویه (به جز لیتیوم) بعنوان نیروی محرکه خودروهای برقی جاده ای- بخش ۱: آزمون عملکرد و پایداری۶	International Electrotechnical Commission
INL/EXT-07-12536 Rev. 2	۲۰۱۰	راهنمای آزمون باتری برای خودروهای برقی هیبریدی پلاگین۷	Idaho National Laboratory for the U.S. Department of Energy
SAE J2288	۲۰۰۸	آزمون چرخه عمر ماژول های باتری خودرو برقی۸	SAE International
SAE J1798	پیش‌نویس	آزمون‌های توصیه شده برای امتیازدهی عملکرد ماژول های باتری خودرو برقی۹	SAE International
ISO 12405-2	۲۰۱۲	خودروهای برقی جاده‌ای- ویژگی‌های پک و سیستم های باتری لیتیوم یون- بخش ۲: کاربردهای انرژی بالا۱۰	International Organization for Standardization

USABC Electric Vehicle Battery Test Procedures Manual[1]
PNGV Battery Test Manual[2]
FreedomCAR Battery Test Manual for Power-Assist Hybrid Electric Vehicles[۳]
FreedomCAR 42 V Battery Test Manual[4]
Secondary lithium-ion cells for the propulsion of electric road vehicles—part 1: performance [۵] testing
Secondary batteries (except lithium) for the propulsion of electric road vehicles—performance [۶] and endurance tests
Battery test manual for plug-in hybrid electric vehicles[۷]
Life cycle testing of electric vehicle battery modules[۸]
Recommended practice for performance rating of electric vehicle bat- tery modules[۹]
Electrically propelled road vehicles—test specifications for lithium-ion traction battery packs [۱۰] and systems—part 2: high energy applications

ISO 12405-1	۲۰۱۱	خودروهای برقی جاده‌ای- ویژگی‌های پک و سیستم‌های باتری لیتیوم یون- بخش۱: کاربردهای توان بالا[۱]	International Organization for Standardization
INL/EXT-12-27920 Rev. 1	۲۰۱۲	راهنمای آزمون بررسی عمر فناوری باتری[۲]	Idaho National Laboratory for the U.S. Department of Energy
INL/EXT-12-27620	۲۰۱۳	راهنمای آزمون باتری برای سیستم‌های ذخیره انرژی با انرژی پایین برای خودروهای برقی هیبریدی[۳]	Idaho National Laboratory for the U.S. Department of Energy
INL/EXT-12-26503	۲۰۱۵	راهنمای آزمون باتری برای خودروهای حرکت- توقف ۱۲ ولت[۴]	Idaho National Laboratory for the U.S. Department of Energy.
INL/EXT-08-15136 Rev. 1	۲۰۱۲	راهنمای تخمین عمر باتری[۵]	Idaho National Laboratory for the U.S. Department of Energy

جدول٤- ۱۸- آزمایش‌های استفاده نامناسب الکتریکی مطرح در استانداردهای انتخاب شده

استاندارد	غیرمعمول، شارژ بیش از حد	اتصال کوتاه خارجی	تخلیه بیش از حد	داخلی، اتصال کوتاه جزئی
BATSO 01	**بله**	**بله**		
Freedom CAR SAND 2005-3123	**بله**	**بله**	**بله**	**بله**
IEC 62133	**بله**	**بله**	**بله**	
IEC 62281	**بله**	**بله**	**بله**	
IEC 62660-2	**بله**	**بله**	**بله**	
IEEE 1625-2008	**بله**	**بله**	**بله**	
IEEE 1725-2011	**بله**	**بله**	**بله**	
ISO 12405-1	**بله**	**بله**	**بله**	
ISO 12405-2	**بله**	**بله**	**بله**	

[۱] Electrically propelled road vehicles—test specifications for lithium-ion traction battery packs and systems—part 1: high power applications

[۲] Battery Technology Life Verification Test Manual

[۳] Battery Test Manual for Low-Energy Energy Storage System for Power-Assist Hybrid Electric Vehicles

[۴] Battery Test Manual for 12 Volt Start/Stop Vehicles

[۵] Battery Calendar Life Estimator Manual

JIS C8714	بله	بله	بله	بله
NEMA C18.2M, Part 2	بله	بله	بله	
QC/T 743-2006	بله	بله	بله	
SAE J2464 NOV2009	بله	بله	بله	
SAE J2929 FEB2011	بله	بله	بله	
UL 1642	بله	بله	بله	
UL 2054	بله	بله	بله	
UL 2575	بله	بله	بله	

جدول٤- ١٩- آزمون‌های مخرب مکانیکی موجود در استانداردهای انتخاب شده

استاندارد	فشردن کنترل شده	پرتاپ	فشار پایین	ضربه مکانیکی	شوک مکانیکی	نفوذ میخ	ارتعاش
BATSO 01	بله	بله	بله		بله		بله
Freedom CAR SAND 2005-3123	بله	بله			بله	بله	بله
IEC 62133	بله	بله	بله		بله		بله
IEC 62281		بله	بله	بله	بله		بله
IEC 62660-2	بله				بله		بله
IEEE 1625-2008	بله		بله	بله	بله		بله
IEEE 1725-2011	بله		بله	بله	بله		بله
ISO 12405-1							
ISO 12405-2					بله		بله
JIS C8714	بله	بله	بله		بله		بله
NEMA C18.2M, Part 2	بله	بله	بله	بله	بله		بله
QC/T 743-2006	بله					بله	

SAE J2464 NOV2009	بله	بله			بله	بله	
SAE J2929 FEB2011	بله	بله			بله		بله
UL 1642	بله		بله	بله	بله		بله
UL 2054	بله		بله		بله		بله
UL 2575	بله			بله	بله		بله
UL Subject 2271	بله	بله	بله	بله	بله	بله	بله
UL Subject 2580	بله	بله	بله	بله	بله	بله	بله
UN 38.3		بله		بله	بله		بله

جدول٤- ٢٠- آزمون‌های مخرب حرارتی موجود در استانداردهای انتخاب شده

استاندارد	مقاومت در برابر آتش	پایداری حرارتی	چرخه شوک حرارتی
BATSO 01			بله
FreedomCAR SAND 2005-3123	بله	بله	بله
IEC **62133**		بله	بله
IEC 62281			بله
IEC 62660-2		بله	بله
IEEE 1625-2008		بله	بله
IEEE 1725-2011		بله	بله
ISO 12405-1			
ISO 12405-2			بله
JIS C8714		بله	بله
NEMA C18.2M, Part 2		بله	بله
QC/T 743-2006			
SAE J2464 NOV2009	بله	بله	بله
SAE J2929 FEB2011	بله	بله	بله
UL 1642		بله	بله
UL 2054		بله	بله
UL 2575		بله	بله
UL Subject 2271		بله	بله
UL Subject 2580		بله	بله

UN 38.3			بله

همان گونه که در گزارش مرحله دوم اشاره شد، در داخل کشور شرکتهای باتری سازی، مراکز پژوهشی و دانشگاهها بطور پراکنده دارای آزمایشگاههایی هستند که آزمونهای ضروری باتریهای مورد استفاده در خودرو برقی را انجام می‌دهند. در جدول ۴-۲۳ لیستی از آزمونهای ضروری سلول و باتری که در داخل کشور قابل انجام است آورده شده است.

جدول٤- ۲۱- آزمون‌های ضروری مربوط به سلول و پک باتری موجود در ایران

ردیف	آزمون
۱	تعیین ظرفیت
۲	اندازه‌گیری مقاومت
۳	اندازه‌گیری ولتاژ
۴	تست شارژ بیش از حد
۵	تعیین عمر چرخه ای
۶	سنجش‌ویسکوزیته وهدایت الکترولیت
۷	سنجش اتصال کوتاه باتری
۸	تست ضربه
۹	آزمون شکستن
۱۰	آزمون دشارژ کردن با نرخ بالا
۱۱	آزمون مه نمکی
۱۲	آزمون استحکام باتری
۱۳	آزمون مقاومت در برابر سوراخ شدن
۱۴	آزمون مقاومت در برابر ارتعاشات الکترو مغناطیسی

۱۵	آزمون نقطه اشتعال پلیمرهای سازنده باتری
۱۶	آزمون درب باتری
۱۷	آزمون دما

۱۵-۴- جمع‌بندی و نتیجه‌گیری

با توجه به اینکه باتری خودرو برقی باید ویژگیهای زیر را داشته باشد:

- انرژی ویژه ودانسیته انرژی بالا،
- توان ویژه و دانسیته توان بالا،
- چرخه عمر قابل توجه و تخلیه خودبخودی کم (باتری‌ها باید ۴ تا ۵ سال دوام داشته باشند)،
- زمان شارژ کوتاه (در حد مدت زمان پر کردن باک بنزین در خودروهای درونسوز)
- کاهش قیمت نهایی پک باتری،
- کاهش وزن و حجم پک باتری،
- دمای بهره برداری باتری باید با محیط سازگاری داشته باشد
- زیست سازگار بودن باتری بعد از پایان عمر باتری
- امکان استحصال مواد اولیه باتری بعد از پایان عمر آن
- امکان دستیابی آسان به مواد اولیه تشکیل دهنده باتری

بر اساس مطالعات صورت گرفته در بخش‌های پیشین، در حال حاضر باتریهای لیتیمی بیشترین کاربرد را در خودروهای برقی کنونی دارند. ولی باتریهای مطرح در نقشه راه های کشورهای صاحب فناوری باتری‌های پیشرفته خودرو برقی تا بیست سال آینده عبارتند از انواع باتری‌های فلز هوا. در این میان با در نظر گرفتن مطالعات کنونی مطرح‌ترین باتری‌های فلز–هوا به ترتیب باتری‌های روی–هوا، آلومینیم–هوا و لیتیم–هوا است که در این گزارش مورد بررسی قرار گرفت. به موازات مسیر ترسیم شده برای باتریهای لیتیمی، پسا لیتیمی و فلز هوا، پژوهشهای کاربردی مربوط به انواع دیگر باتریها از جمله استفاده از ابرخازن و افزایش توان باتری با ابداع باتریهای هیبرید شده با ابرخازن، کاربرد سدیم به عنوان عنصری با فراوانی و قیمت

ارزان، به جای لیتیم برای ساخت باتریهای سدیمی، استفاده از ایده باتریهای جریانی به گونه ای نو، به منظور تامین نیروی محرکه خودروهای برقی اشاره گردید.

با این حال، با توجه به برتری‌های باتری‌های فلز هوا بر سایر انواع باتری‌های مطرح، بر اساس پیشرفت‌های علمی و فنی و نانوفناوری، اجزاء انواع باتری‌های روی، آلومینیم و لیتیوم هوا مورد بررسی قرار گرفت. مواد اولیه، روش‌های ساخت، مزایا و معایب آن‌ها مرور شد. ساختار کاتد این باتری‌ها بیان گردید. حوزه‌های نانوفناوری شامل بهینه‌سازی هندسه کاتد، کاتالیست‌ها مورد بررسی قرار گرفت. ساختار آند، الکترولیت و جداساز مورد بررسی قرار گرفت. برآورد قیمت و ملاحظات زیست محیطی ارائه گردید و در نهایت آزمون‌های گوناگون ارائه شده در مراحل پیشین پروژه برای انواع برگزیده مورد تایید قرار گرفت.

همچنین با توجه به مطالعات و پژوهشهای صورت گرفته در جهان برای دستیابی به باتریهای مناسب جهت استفاده در خودروهای برقی، مواردی مانند: ۱) ابرخازنها و کاربرد آنها بویژه در ترکیب با انواع باتریها به منظور استفاده از ویژگی عمر طولانی و دانسیته توان بالای این نوع ذخیره ساز، و ۲) باتریهای جریانی و کاربرد ویژگی منحصر به فرد استقلال دانسیته توان و دانسیته انرژی باتری از یکدیگر، در خودروهای برقی، مورد بررسی قرار گرفت.

۱-۱۵-۴- هدف گذاری جهانی

مشخص است که به منظور دستیابی به هدف تبیین شده برای دستیابی به ویژگیهای باتری مناسب انواع خودروهای برقی قابل رقابت با خودروهای بنزینی نیاز به طی نمودن مسیری طولانی وجود دارد. این مسیر بطور کلی در جدول ۴-۲۴ آورده شده است. مقاطع زمانی در این جدول بطور کیفی بیان شده‌اند، زیرا تعیین کمی آن‌ها بستگی به میزان سرمایه‌گذاری مادی و برنامه‌ریزی جهت پژوهش کاربردی در این خصوص دارد. هدف نهایی در این برنامه‌ریزی برای کشورهای پیشرفته اروپایی سال ۲۰۵۰ میلادی تعیین شده است.

مسیر تبیین شده در جدول ۴-۲۴ روندی منطقی داشته و دارای توالی محاسباتی و برنامه ریزی می‌باشد. ولی نظریه پردازیها و مطالعات موازی صورت گرفته در کنار این روند منطقی، نشان می‌دهد که از دیدگاه تئوریک می توان از ذخیره سازهای دیگری همچون التراباتری با استفاده از باتریهای ترکیبی، باتری جریانی با ساختار الکترولیت محور، سلولهای رشته ای لیتیمی نیز برای تامین انرژی و توان مورد نیاز خودروهای برقی استفاده نمود. البته برای بهره برداری از این نظریه پردازیهای نیاز به سرمایه گذاری برای تحقیقات آزمایشگاهی اولیه وجود دارد.

جدول٤- ٢٢- روند پیشرفت فناوری باتری در دنیا

<table>
<tr><th colspan="2">باتری</th><th>حال</th><th>آینده نزدیک</th><th>آینده میانی</th><th>آینده دور</th><th>هدف</th></tr>
<tr><td rowspan="4">باتری لیتیمی و پسالیتیمی</td><td>آند</td><td>گرافیت</td><td>گرافیت SiOx</td><td>گرافیت Si</td><td>لیتیم</td><td>فلز (لیتیم)</td></tr>
<tr><td>کاتد</td><td>LiFePO4
NMO (111)</td><td>NCA
NMC (532)</td><td>LiNi0.5Mn1.5O4
NMC (622)
NMC (811)</td><td>سولفور</td><td>هوا</td></tr>
<tr><td colspan="5">□ LiFePO4 □ NMO (111) □ NCA □ NMC (532) □ LiNi0.5Mn1.5O4 □
□ NMC (811) (622) □NMC سولفور □ هوا</td></tr>
<tr><td>الکترولیت</td><td>مایع آلی</td><td>مایع آلی غیر قابل اشتعال</td><td>مایع غیر قابل اشتعال یونی</td><td>جامد، پلیمر غیر آلی</td><td></td></tr>
<tr><td colspan="7">مطالعات نوین در مرز ورود به فناوری</td></tr>
<tr><td colspan="4">باتری جریانی۱</td><td colspan="3" rowspan="5">دستیابی به باتریهایی با کمترین زمان شارژ و بیشترین مسافت با هربار شارژ (در مقایسه با باتریهای لیتیمی/سوخت)</td></tr>
<tr><td colspan="4">ابرخازن و باتری های هیبرید۲</td></tr>
<tr><td colspan="4">سلولهای رشته ای لیتیمی و پسا لیتیمی۳</td></tr>
<tr><td colspan="4">باتریهای سدیمی۴</td></tr>
<tr><td colspan="4">سایر مطالعات</td></tr>
</table>

۲-۱۵-۴- شرایط موجود کشور برای تولید باتری لیتیمی

در حال حاضر کشور ما (توسط شرکت توان) دارای خط تولید باتری لیتیمی است. در باتری‌های لیتیمی تولیدی در ایران از گرافیت به عنوان آند استفاده شده است و برای تولید کاتد از دو روش استفاده شده است: ۱) لیتیم متال اکسید (LMO) که فلز آن به شکل NCM است، ۲) مدل LFP یا LiFePO4.

1 https://www.osti.gov/servlets/purl/1458246
2 https://onlinelibrary.wiley.com/doi/abs/10.1002/er.3426
3 https://www.tanktwo.com › wp-content
4 https://techxplore.com/news/2015-05-mechanism-aprotic-sodium-air-batteries.html

۳-۱۵-۴- اهداف آینده در ایران

همانگونه که در بخش‌های پیشین بطور مبسوط اشاره گردید و بطور خلاصه در جدول ۴-۲۴ مشاهده می‌شود در آینده‌های نزدیک، میانه و دور باتری‌های پایه لیتیمی از دیدگاه ایمنی، زیست محیطی و کارایی مناسب‌ترین باتری‌ها شناخته شده‌اند. در هدف نهایی که باتری‌های فلزهوا می‌باشند، فلزات دیگری به جز لیتیم مانند روی و آلومینیم مطرح می‌شون. باتری لیتیم هوا به دلیل اینکه دارای دانسیته انرژی تئوریک معادل بنزین می‌باشد، بسیار جذاب است. ولی باتریهای آلومینیم هوا و روی هوا از دیدگاه قیمت، فراوانی مواد اولیه، ایمنی و همچنین مزایای زیست محیطی، در حال حاضر محبوبیت بیشتری دارد.

در این میان برای دستیابی به پیشرفتهای برنامه ریزی شده نیاز به استفاده از فناوریهایی مانند نانو تکنولوژی و ترکیب نمودن ساختار باتری با ابرخازن وجود دارد. از سوی دیگر مفاهیمی مانند سلولهای رشته ای لیتیمی که فرایند شارژ باتری لیتیمی و پسالیتیمی را سریعتر و سهل الوصول تر میکند نیز مطرح هستند.

همچنین توجه به ساختارهای ذخیره سازی انرژی مانند باتری جریانی نیز که در حدود ۱۰ سال اخیر مطرح شده و در حال تکامل است، می تواند افق های جدیدی را پیش روی سازندگان خودرو برقی نمایان کند.

لذا می‌توان تاکید نمود که برای کشور ایران بهترین گزینه‌ها برای سرمایه‌گذاری جهت تولید باتری خودرو هیبریدی و برقی با در نظر گرفتن مواد اولیه و تکنولوژی‌های موجود در کشور و مسائل زیست محیطی، باتری‌های لیتیمی مطرح شده در جدول ۴-۲۴ است. البته ترتیب زمانی ارائه شده در این جدول با توجه به برنامه‌ریزی‌های مورد نیاز قابل تعیین است. ولی در کنار آن توجه به پیشرفتهای صورت گرفته در خصوص استفاده از سلولهای رشته ای لیتیمی، باتری های سدیمی، باتریهای ترکیبی و باتری جریانی در دنیای خودروهای برقی و انجام پژوهشهای کاربردی در این موارد ضرورت دارد.

مراجع

[1] Volta A. On the Electricity excited by the mere Contact of conducting Substances of different kinds. Philos Trans R Soc 1800;2:403

[2] Washburn E. Thirds to f. US Patent 482,444 (1892).

[3] Randell CF, White NC. Separators for electrochemical cells. WO Patent App. PCT/GB1996/001,318 (1996).

[4] Arora P, Zhang Z. Battery separators. Chem Rev. 2004;104:4419.

[5] Daniel C, Besenhard JO. Handbook of battery materials. Weinheim, Germany: Wiley, 2012.

[6] Zhang, C., et al., Journal of applied electrochemistry, 2001. 31(9): p. 1049-1054
[7] D.W.Xia,D.Solts,J.smid. 1984. Solid State Jonics,14,221
[8] Li, Y. and Dai, H., 2014. Recent advances in zinc–air batteries. Chemical Society Reviews, 43(15), pp.5257-5275.
[9] C. C. Yang, S.-J. Lin, 2002.Alkaline composite PEO-PVA- glass- fibre- mat polymer electrolyte for zinc battery. J. Power Sources. 112. 497
[10] Y. Kiros, 1996. Separation and permeability of zincate ions through membranes. J. PowerSources.62. 117
[11] C. Chakkaravarthy, A. K. A. Waheed, H. V. K. Udupa, 1981. 'Zinc-air alkaline batteries-A review. J. Power Sources. 6. 203
[12] L. Jörissen, 2006. Bifunctional oxygen/air electrodes. J. Power Sources. 155. 23
[13] Mokhtar, M., Talib, M.Z.M., Majlan, E.H., Tasirin, S.M., Ramli, W.M.F.W., Daud, W.R.W. and Sahari, J., 2015. Recent developments in materials for aluminum–air batteries: A review. *Journal of Industrial and Engineering Chemistry*, *32*, pp.1-20.
[14] M. Nestoridi, D. Pletcher, R.J.K. Wood, S. Wang, R.L. Jones, K.R. Stokes, I. Wilcock, J.
[15] Power Sources 178 (2008) 445.
[16] Y.-J. Cho, I.-J. Park, H.-J. Lee, J.-G. Kim, J. Power Sources 277 (2015) 370.
[17] S.B. Saidman, J.B. Bessone, Electrochim. Acta 42 (1997) 413.
[18] A.R. Despic´ , D.M. Drazˇic´ , M.M. Purenovic´ , N. Cikovic´ , J. Appl. Electrochem. 6 (1976) 527.
[19] H.A. El Shayeb, F.M. Abd El Wahab, S. Zein El Abedin, Corros. Sci. 43 (2001) 655.
[20] E.S. Takeuchi, A.C. Marschilok, K.J. Takeuchi, Electrochemistry 80 (2012) 700.
[21] L. Jo¨ rissen, J. Power Sources 155 (2006) 23.
[22] F. Cheng, J. Chen, Chem. Soc. Rev. 41 (2012) 2172.
[23] Adams, M. Karulkar, V. Anandan, J. Power Sources 239 (2013) 132.
[24] Y. Zhang, S. Liang, A. Javed, D. Guan, Met. Mater. Int. 19 (2013) 555.
[25] Jang-Soo Lee, Sun Tai Kim, Ruiguo Cao, Nam-Soon Choi, Meilin Liu, Kyu Tae Lee, and Jaephil Cho," Metal–Air Batteries with High Energy Density: Li–Air versus Zn–Air," Adv. Energy Mater. 2011, 1, 34–50.
[26] G. Girishkumar, B. McCloskey, A. Luntz, S. Swanson, W. Wilcke, J.Phys. Chem. Lette, 1 (2010) 2193-2203
[27] T. Zhang, N. Imanishi, Lithium–Air Batteries, in: T. Osaka, Z. Ogumi (Eds.) Nanoscale Technology for Advanced Lithium Batteries, Springer New York, 2014, pp. 227-241.
[28] S.J. Visco, B.D. Katz, Y.S. Nimon, L.C. De Jonghe, in, Google Patents, 2007.
[29] S.J. Visco, Y.S. Nimon, B.D. Katz, in, Google Patents, 2010.

[30] Y. Wang, H. Zhou, Chem. Commun., 46 (2010) 6305-6307.

[31] J.Wang, Y. Li, X. Sun, Nano Energy, http://dx.doi.org/10.1016/j.nanoen.2012.11.014.

[32] B. Kumar, J. Kumar, R. Leese, J.P. Fellner, S.J. Rodrigues, K.M. Abraham, J. Electrochem. Soc. 157 (2010) A50–A54.

[33] Zuo, W., Li, R., Zhou, C., Li, Y., Xia, J. and Liu, J., 2017. Battery-supercapacitor hybrid devices: recent progress and future prospects. Advanced Science, 4(7), p.1600539.

[34] B. Dunn, H. Kamath, J. M. Tarascon, Science 2011, 334, 928.

[35] Professor David Greenwood, Advanced Propulsion Systems, AUTOMOTIVE BATTERIES 101, WMG, University of Warwick, JULY 2018.

[36] Eurobat E-Mobility, Battery R&D RoadMap 2030, Battery thchnology for vehicle applications.

[37] FOCUS, Battery for electric cars, challenges, opportunities, and the outlook to 2020. The Boston consulting group.

[38] Bredsdorff, Magnus (2010-06-22). "Et batteri til en elbil koster 60.000 kroner" [Electrical Vehicle battery costs $10,000]. Ingeniøren (in Danish). Retrieved 2017-01-30.

[39] National Research Council (2010). Transitions to Alternative Transportation Technologies--Plug-in Hybrid Electric Vehicles. The National Academies Press. doi:10.17226/12826. ISBN 978-0-309-14850-4. Archived from the original on 2011-06-07. Retrieved 2010-03-03.

[40] Jad Mouawad and Kate Galbraith (2009-12-14). "Study Says Big Impact of the Plug-In Hybrid Will Be Decades Away". New York Times. Retrieved 2010-03-04.

[41] Tommy McCall (2011-06-25). "THE PRICE OF BATTERIES" (PDF). MIT Technology Review. Retrieved 2017-05-05.

[42] Siddiq Khan and Martin Kushler (June 2013). "Plug-in Electric Vehicles: Challenges and Opportunities" (PDF). American Council for an Energy-Efficient Economy. Retrieved 2013-07-09. ACEEE Report Number T133.

[43] Gibbs, Nick (2017-01-02). "Automakers hunt for battery cell capacity to deliver on bullish EV targets". Automotive News. Archived from the original on 2017-01-09. Retrieved 2017-01-09.

[44]

[45] Cobb, Jeff (2015-10-02). "Chevy Bolt Production Confirmed For 2016". Hybrid cars. Retrieved 2015-12-14.

[46] Randall, Tom (2016-02-25). "Here's How Electric Cars Will Cause the Next Oil Crisis". Bloomberg News. Retrieved 2016-02-26. See embedded video.

[47] Bloomberg New Energy Finance (2016-02-25). "Here's How Electric Cars Will Cause the Next Oil Crisis" (Press release). London and New York: PR Newswire. Retrieved 2016-02-26.

[48] Observatory NANO, Transport, Nanotech in next-generation electric car batteries: beyond Li-ion, March 2012

[49] http://www.madehow.com/Volume-1/Battery.html

[۵۰]علوی مقدم محمدرضا ، مختارانی بابک ، مدیریت مواد زاید خطرناک ، انتشارات پژوهشکده توسعه تکنولوژی ،۱۳۸۶

[۵۱] عبدلی محمدعلی ،زند دریابیگی ، تحلیلی بر پسماندهای رایانه ای ، مجله محیط شناسی شماره ۳۷ ، بهار ۱۳۸۴

[۵۲] کمیته کشوری بهداشت حرفه ای ، عوامل بیماریزا و حدود تماس شغلی ، معاونت بهداشتی علوم پزشکی ایران ، ۱۳۸۱

[۵۳] نقشینه نادر ، بازیافت ضایعات الکترونیکی ، مجله الکترونیکی مرکز اطلاعات و مدارک علمی ایران ، شماره چهارم دوره چهارم ، ۱۴ تیر ۱۳۸۴

[۵۴] شریعت پناهی محمد ، مبانی بهداشت محیط ، انتشارات دانشگاه تهران ، مرداد ۱۳۷۳

[۵۵] عقیلی نژاد ماشاءا...، مصطفایی مسعود ، طب کار و بیماریهای شغلی ، با همکاری اداره کل بهداشت محیط و حرفه ای ، انتشارات ارجمند،۱۶۸

[۵۶] گزارش مرحله دوم پروژه "بررسی باتری خودروهای برقی در گذشته و حال و نیازپژوهی استفاده از باتری‌ها برای خودرو برقی در ۲۰ سال آینده

"[57] Kim, J.Y. and Lim, D.Y. “Surface-Modified Membrane as A Separator for Lithium-Ion Polymer Battery.” Energies 2010, 3(4), 866-885

[58] Yoo, S. H., and C. K. Kim. "Enhancement of the Meltdown Temperature of a Lithium Ion Battery Separator." Industrial and Engineering Chemistry Research 48 (2009): 99335-941.

[59] Chou, S.L., Pan, Y., Wang, J.Z., Liu, H.K. and Dou, S.X., 2014. Small things make a big difference: binder effects on the performance of Li and Na batteries. Physical Chemistry Chemical Physics, 16(38), pp.20347-20359.

[60] Gelman, D., Shvartsev, B. and Ein-Eli, Y., 2014. Aluminum–air battery based on an ionic liquid electrolyte. Journal of Materials Chemistry A, 2(47), pp.20237-20242.

[61] Jon Cartwright,Tenfold improvement in liquid batteries mean electric car refuelling could take minutes, Horizon: The EU Research & Innovation Magazine, September 17, 2018

[62] Flow batteries in cars? | IDTechEx Research Article, Oct 13, 2016

[63] Jennifer Sensiba, NanoFlowcell Flow Battery Test Vehicle Surpasses 200,000 Miles, April 24th, 2019 by

[64] New “refillable” battery tech could allow electric cars over 5000km range, https://thedriven.io/2019/02/18/refillable-electric-car-tech-purdue-university/

[65] Jaclyn Jeffrey-Wilensky, New refillable batteries could fuel an electric car revolution, Feb. 23, 2019, https://www.nbcnews.com/mach/science/new-refillable-batteries-could-fuel-electric-car-revolution-ncna974556

[66] Declan Bryans 1,* , Véronique Amstutz 2 , Hubert H. Girault 2 and Léonard E. A. Berlouis, Characterisation of a 200 kW/400 kWh Vanadium Redox Flow Battery, Department of Pure & Applied Chemistry, University of Strathclyde, Glasgow G1 1XL, UK; Ecole Polytechnique Fédérale de Lausanne, EPFL-SB-ISIC-LEPA, Station 6, CH-1015 Lausanne, Switzerland; 2018

[67] 1 Yang, Z., Zhang, J., Kintner-Meyer, M.C., Lu, X., Choi, D., Lemmon, J.P., and Liu, J. (2011). Electrochemical energy storage for green grid. Chem. Rev. 111, 3577–3613.

[68] 2 Liu, J., Zhang, J., Yang, Z., Lemmon, J.P., Imhoff, C., Graff, G.L., Li, L., Hu, J., Wang, C., Xiao, J., et al. (2013). Materials science and materials chemistry for large scale electrochemical energy storage: from transportation to electrical grid. Adv. Funct. Mater. 23, 929–946.

[69] 3 Dunn, B., Kamath, H., and Tarascon, J.-M. (2011). Electrical energy storage for the grid: a battery of choices. Science 334, 928–935.

[70] 4 Soloveichik, G.L. (2015). Flow batteries: current status and trends. Chem. Rev. 115, 11533–11558.

[71] 5 Zhao, Y., Ding, Y., Li, Y., Peng, L., Byon, H.R., Goodenough, J.B., and Yu, G. (2015). A chemistry and material perspective on lithium redox flow batteries towards high-density electrical energy storage. Chem. Soc. Rev. 44, 7968– 7996.

[72] 6 Noack, J., Roznyatovskaya, N., Herr, T., and Fischer, P. (2015). The chemistry of redox-flow batteries. Angew. Chem. Int. Ed. 54, 2–36.

[73] 7 Wang, W., Luo, Q., Li, B., Wei, X., Li, L., and Yang, Z. (2013). Recent progress in redox flow battery research and development. Adv. Funct. Mater. 23, 970–986.

[74] 8 Winsberg, J., Hagemann, T., Janoschka, T., Hager, M.D., and Schubert, U.S. (2016). Redox- flow batteries: from metals to organic redox- active materials. Angew. Chem. Int. Ed. 55, 2–28.

[75] 9 Li, L., Kim, S., Wang, W., Vijayakumar, M., Nie, Z., Chen, B., Zhang, J., Xia, G., Hu, J., Graff, G., et al. (2011). A stable vanadium redox-flow battery with high energy density for large-scale energy storage. Adv. Energy Mater. 1, 394–400.

[76] 10 Wang, W., Nie, Z., Chen, B., Chen, F., Luo, Q., Wei, X., Xia, G., Skyllas-Kazacos, M., Li, L., and Yang, Z. (2012). A New Fe/V redox flow battery using a sulfuric/chloric mixed-acid supporting electrolyte. Adv. Energy Mater. 2, 487–493.

[77] 11 Biswas, S., Senju, A., Mohr, R., Hodson, T., Karthikeyan, N., Knehr, K.W., Hsieh, A.G., Yang, X., Koel, B.E., and Steingart, D.A. (2017). Minimal architecture zinc-bromine battery for low cost electrochemical energy storage. Energy Environ. Sci. 10, 114–120.

[78] 12 Wang, Y., He, P., and Zhou, H. (2012). Li-Redox flow batteries based on hybrid electrolytes: at the cross road between Li-ion and redox flow batteries. Adv. Energy Mater. 2, 770–779.

[79] 13 Zhao, Y., Ding, Y., Song, J., Dong, G., Goodenough, J.B., and Yu, G. (2014). Sustainable electrical energy storage through the ferrocene/ferrocenium redox reaction in aprotic electrolyte. Angew. Chem. Int. Ed. 53, 11036–11040.

[80] 14 Zhao, Y., Ding, Y., Song, J., Peng, L., Goodenough, J.B., and Yu, G. (2014). Reversible Br2/Br- redox couple in aqueous phase as high-performance catholyte for alkali- ion batteries. Energy Environ. Sci. 7, 1990– 1995.

[81] 15 Ding, Y., Li, Y., and Yu, G. (2016). Exploring bio- inspired quinone-based organic redox flow batteries: a combined experimental and computational study. Chem 1, 790–801.

[82] 16 Ambroz, F., Macdonald, T.J., and Nann, T. (2017). Trends in aluminium-based intercalation batteries. Adv. Energy Mater. 7, 1602093.

[83] 17 Elia, G.A., Marquardt, K., Hoeppner, K., Fantini, S., Lin, R., Knipping, E., Peters, W., Drillet, J.F., Passerini, S., Hahn, R., et al. (2016). An overview and future perspectives of aluminum batteries. Adv. Mater. 28, 7564–7579.

[84] 18 Lin, M., Gong, M., Lu, B., Wu, Y., Wang, D.Y., Guan, M., Angell, M., Chen, C., Yang, J., Hwang, B.J., and Dai, H. (2015). An ultrafast rechargeable aluminium-ion battery. Nature 520, 324–328.

[85] 19 Angell, M., Pan, C.J., Rong, Y., Yuan, C., Lin, M.C., Hwang, B.J., and Dai, H. (2017). High Coulombic efficiency aluminum-ion battery using an AlCl3-urea ionic liquid analog electrolyte. Proc. Natl. Acad. Sci. USA 114, 834–839.

[86] 20 Zhang, L., Chen, L., Luo, H., Zhou, X., and Liu, Z. (2017). Large-sized few-layer graphene enables an ultrafast and long-life aluminum-ion battery. Adv. Energy Mater. 7, 1700034.

[87] 21 Hu, B., DeBruler, C., Rhodes, Z., and Liu, T. (2017). Long-cycling aqueous organic redox flow battery (AORFB) toward sustainable and safe energy storage. J. Am. Chem. Soc. 139, 1207–1214.

[88] 22 Sprenkle, V., and Wang, W. (2015). Ambipolar zinc-polyiodide electrolyte for a high-energy density aqueous redox flow battery. Nat. Commun. 6, 6303–6310.

[89] 23 Orita, A., Verde, M.G., Sakai, M., and Meng, Y. (2016). A biomimetic redox flow battery based on flavin mononucleotide. Nat. Commun. 7, 13230–13237.

Gong, K., Fang, Q., Gu, S., Li, S., and Yan, Y. (2015). Nonaqueous redox-flow batteries: organic solvents, supporting electrolytes, and redox pairs. Energy Environ. Sci. 8, 3515–3530.

[90] 24 Abbott, A.P., Capper, G., Davies, D.L., and Rasheed, R. (2004). Ionic liquids based upon metal halide/substituted quaternary ammonium salt mixtures. Inorg. Chem. 43, 3447–3452. Abbott, A.P., Al-Barzinjy, A.A., Abbott, P.D., Frisch, G., Harris, R.C., Hartley, J., and Ryder, K.S. (2014). Speciation, physical and electrolytic properties of eutectic mixtures based on CrCl3 6H2O and urea. Phys. Chem. Chem. Phys. 16, 9047–9055.

[91] 25 Hartley, J.M., Ip, C.M., Forrest, G.C., Singh, K., Gurman, S.J., Ryder, K.S., Abbott, A.P., and Frisch, G. (2014). EXAFS study into the speciation of metal salts dissolved in ionic liquids and deep eutectic solvents. Inorg. Chem. 53, 6280–6288.

[92] 26 Smith, E.L., Abbott, A.P., and Ryder, K.S. (2014). Deep eutectic solvents (DESs) and their applications. Chem. Rev. 114, 11060–11082.

[93] 27 cost-effective rechargeable battery with high energy density based on a deep eutectic catholyte. Energy Environ. Sci. 9, 2267–2272.

[94] 28 Zhang, C., Ding, Y., Zhang, L., and Yu, G. (2017). A sustainable redox-flow battery with an aluminum-based, deep-eutectic-solvent anolyte. Angew. Chem. Int. Ed. 56, 7454–7459.
[95] 29 Hoyt, N.C., Hawthorne, K.L., Savinell, R.F., and Wainright, J.S. (2016). Plating utilization of carbon felt in a hybrid flow battery. J. Electrochem. Soc. 163, A5041–A5048.
[96] TechXplore.com,
[97] Chemists discover key reaction mechanism behind the highly touted sodium-oxygen battery, Waterloo news, 2015
[98] Modelling of a Na-air battery with porous gas diffusion electrode Ukrit Sahapatsombuta, *, Hua Chengb , Keith Scottb, Journal of Energy Storage, 2016
[99] https://www.quora.com/Can-a-1-kWh-supercapacitor-make-pure-EV-even-more-efficient-and-powerful
[100] https://www.quora.com/Can-a-1-kWh-supercapacitor-make-pure-EV-even-more-efficient-and-powerful

۵- تدوین نقشه راه

۵-۱- مقدمه

تامین تقاضای انرژی جهان و در عین حال کاهش انتشار گازهای گلخانه‌ای، یکی از بزرگترین چالش‌های قرن بیست و یکم است. رسیدن به این هدف نیاز به توسعه کارآمد دستگاه‌های ذخیره انرژی حاصل از منابع تجدید پذیر دارد. در میان ذخیره سازهای انرژی جدید مورد استفاده در خودروهای برقی، باتری‌های لیتیوم–هوا بسیار جذاب هستند زیرا دانسیته انرژی نظری آن‌ها به میزان ۱۰ برابر باتری لیتیوم یون فعلی برآورد شده است– اما پیچیدگی شیمیایی آن‌ها تا کنون مانع توسعه این نوع باتری شده است.

تراکم انرژی نظری باتری لیتیومی غیر آبی قابل مقایسه با بنزین است. در باتری لیتیوم–هوا یک آند لیتیومی در شرایط تخلیه، یون Li^+ را به سمت کاتد متخلخل با ورودی گاز هدایت می‌کند. در کاتد Li^+ با اکسیژن واکنش می‌دهد و در نتیجه Li_2O_2 رسوب می‌کند.

باتری لیتیوم هوا توسط جیانگ[1] و آبراهام[2] در سال ۱۹۹۶ [۱] معرفی شد، و تحقیق در این زمینه در سال ۲۰۰۷ با رونمایی از یک باتری $Li\text{-}O_2$ با ۵۰ سیکل تسریع شده و اندازه‌گیری و تایید گاز اکسیژن تولید شده در فرایند شارژ باتری لیتیوم–اکسیژن، که نشان دهنده امکان تولید یک باتری لیتیوم–اکسیژن قابل شارژ بود، ادامه یافت.

[1] Jiang
[2] Abraham

میدان باتری لیتیوم–هوا دارای زمینه‌های تحقیق فعال با پارامترهای متنوع است. برای چند سال اول، رایج‌ترین حلال‌های الکترولیت بر اساس کربنات‌های شناخته شده از باتری‌های لیتیوم–یون بود. در سال ۲۰۱۰، توسط میزونا[1] و همکاران [۲] نشان داده شد که محلول الکترولیت LiTFSI / PC (به ترتیب کربنات پروپیلن و لیتیوم بیس فلوئورو متان سولفونیل ایمید) است. طی مرحله شارژ بر روی کاتد، Li_2O_2 تشکیل شده است. سپس Li_2CO_3 و لیتیم آلکیل کربنات، از واکنش بین Li_2O_2 با محلول الکترولیت بر پایه کربنات یا گاز CO_2 بدست می‌آید. در سال ۲۰۱۱ مک کلوزکی[2] و همکاران دریافتند که ناخالصی‌ها می‌توانند در اثر واکنش‌های ناخواسته با اجزای الکترولیت و یا کاتد شکل بگیرند. مطالب علمی و فنی انتشار یافته در حال حاضر اغلب توسط آزمایش‌های انجام شده و تجزیه و تحلیل صورت گرفته بر روی مواد کاتدی، محصولات تخلیه، گاز خروجی و داده‌های الکتروشیمیایی، تامین می‌شوند. با توجه به اینکه موضوع باتری لیتیم–هوا در حال توسعه است، بسیاری از موضوعات در این خصوص هنوز به بحث و گفتگو گذاشته می‌شوند، از جمله: اهمیت کاتالایزرها، ترکیب الکترولیت‌ها و الکترودها، و امکان تجاری‌سازی این باتری، یا باتری‌های مشابه آن با جایگزینی فلزات دیگر (مانند روی، آلومینیم، سدیم . .) در آینده.

چکیده ارائه شده در سطور فوق و همچنین مطالعات صورت گرفته در خصوص نقشه راههای کشورهای پیشتاز در زمینه باتری خودرو برقی (که در گزارشهای پیشین ارائه گردید) موئید برنامه ریزیهای کوتاه، میان و بلند مدت صورت گرفته برای دستیابی به دانش فنی انواع باتریهای پسالیتیمی و در نهایت باتری فلز–هوا می‌باشد. البته در کنار آن با تکیه بر نوآوریهایی که می توانند کلیه معادلات و محاسبات را تغییر دهند، مطالعه سایر باتریها با رویکرد دستیابی به امکانات کاهش زمان شارژ، افزایش مسافت رانندگی، افزایش دانسیته توان و انرژی و کاهش قیمت، در جریان است.

۵-۲- اسناد بالادستی

سند بالادستی مربوط به پروژه باتری خودرو های برقی عبارت است از: سند راهبردی و نقشه‌راه خودرو برقی. کارفرمای این سند پژوهشگاه نیرو است و مجری آن در ابتدا پژوهشکده کنترل و مدیریت شبکه بوده و از تاریخ ۱۳۹۴ فعالیت خود را آغاز نموده و اکنون توسط مرکز خودرو برقی هدایت و راهبری می‌شود.

[1] Mizuno
[2] McCloskey

از اهداف قابل استنباط از سیاست‌ها و برنامه‌های مصوب بررسی شده در این سند، "دست‌یابی کامل به فناوری سامانه‌های باتری‌های لیتیم-یون در خودروهای هیبریدی و الکتریکی" به چشم می‌خورد.

بخشی از بیانیه چشم‌انداز این سند: تأمین انرژی مورد نیاز خودروهای برقی در قالب ۲۵۰۰ ایستگاه شارژ و تامین ۲/۵۲ گیگاوات انرژی

هدف ۱: کاهش سهم حمل و نقل در میزان آلودگی هوا ، شدت مصرف انرژی و هزینه‌های مصرف سوخت فسیلی

هدف ۲: هدف افزایش توان ظرفیت کشور و به طور خاص وزارت نیرو در پشتیبانی بکارگیری خودروهای برقی

هدف ۳: دستیابی به فناوری‌های اصلی خودروی برقی در کشور

موارد و ویژگی‌های قابل برداشت از قانون که در تدوین بیانیه اولیه چشم‌انداز در نظر گرفته شوند، توسعه سامانه‌های ذخیره‌ساز انرژی به منظور افزایش سازگاری با محیط زیست از طریق تولید خودروهای برقی است.

در بخشی از سند آمده است: نظر به این که نیروی محرکه خودروی تمام برقی موتور الکتریکی است و از طرف دیگر اتصالات و ارتباطات بیشتر از نوع الکتریکی هستند تا مکانیکی، بنابراین ساختار قوای محرکه و کنترل آن بسیار ساده تر از خودروی درون سوز است و فن آوری آن ها در کشور بومی سازی شده است. تنها نکته قابل بحث، ذخیره سازهای انرژی یا همان باتری‌ها هستند که با شروع تولید باتری‌های لیتیوم یون در کشور توسط "شرکت توان"، موانع بومی سازی تولید باتری در کشور در حال برطرف شدن هستند.

خودروهای برقی (سند خودرو برقی)

فناوری‌های لایه دوم خودروهای برقی که عبارتند از باتری، تجهیزات الکتریکی و تجهیزات مکانیکی از سطح آمادگی نسبی در کشور برخوردار هستند . ساخت چند نمونه خودرو برقی در سطح دانشگاه ها و موسسات تحقیقاتی نشان می‌دهد که برای اکتساب این فناوری‌ها در سطوح بین المللی می توان از شیوه همکاری فناورانه و تحقیقات درون زا استفاده نمود و نیازی به خرید فناوری نمی‌باشد و تنها در مورد تجهیزات الکتریکی که از آمادگی پایین‌تری برخوردار است ، بهتر است بجای تحقیقات درون زا تنها از همکاری فناورانه بهره گیری شود.

دوچرخه برقی (سند خودرو برقی)

فناوری‌های لایه دوم دوچرخه برقی نیز مانند خودروهای برقی از سه بخش باتری، تجهیزات الکتریکی و تجهیزات مکانیکی تشکیل شده است . سطح آمادگی فناوری در فناوری دوچرخه برقی تا حدودی بالاتر از خودرو برقی می‌باشد ولی شیوه اکتساب فناوری مانند خودروهای برقی ترکیبی از همکاری فناورانه و تحقیقات درون‌زا می‌باشد با این تفاوت که در بخش تجهیزات الکتریکی فناوری دوچرخه برقی با توجه به اقدامات انجام شده در این بخش بهتر است تنها از تحقیقات درون‌زا استفاده شود.

جدول ۵- ۱- جمع بندی روش اکتساب فناوری[۱]

فناوری		چرخه عمر	پیچیدگی		توانمندی	گستردگی	روش اکتساب		
			اطلس	ACT		حوزه	همکاری فناورانه	تحقیق درونزا	خرید
خودروبرقی	باتری	رشد	۴	۳.۴	پیرو	مشخص	☐	☐	
دوچرخه برقی	باتری	رشد	۳.۹	۶	پیرو	مشخص	☐	☐	

[۱] سند راهبردی و نقشه راه توسعه فناوری زیرساخت خودرو برقی-آقای مهندس اسکویی-۱۳۹۴

۵-۲-۱- اسناد راهبردی دیگر

موضوع باتری‌های پیشرفته نه تنها در صنعت خودروهای برقی، بلکه در صنایع گوناگون دیگر در ایران و جهان کاربرد گسترده‌ای دارد. اگر از دیدگاه صنعت برق به موضوع پرداخته شود به جز خودروهای برقی که از دیدگاه مصرف برق با این صنعت ارتباطی پایدار دارد، استفاده از باتری‌ها به منظور ذخیره‌سازی برق در نیروگاه‌های تجدیدپذیر و همچنین کاربردهای متنوع ذخیره سازی برق در کنترل کیفیت و راهبری صنعت برق و شبکه‌های برق در جهان مورد توجه قرار گرفته است. این موضوع در چندین سند راهبردی تهیه شده در پژوهشگاه نیرو نیز به عنوان پروژه‌های اولویت‌دار مطرح است. بطور مشخص در سند راهبرد ملی و نقشه راه توسعه فناوری های طراحی، ساخت وتدوین دانش فنی ذخیره سازهای انرژی در صنعت برق نیز به وضوح موضوع دستیابی به دانش فنی باتریهای مورد نیاز خودرو برقی هدف گذاری شده است.

همچنین مطالعات صورت گرفته در مرحله سوم این پروژه تحت عنوان نقشه راه‌های تدوین شده در دنیا در خصوص خودروهای برقی و باتری‌های مورد نیاز آن‌ها، نشان می‌دهد که یک عزم قوی در دنیا به منظور مطالعه، ابداع، تولید، استفاده و تجاری‌سازی باتری‌های پیشرفته وجود دارد.

۵-۳- مشاوره و رایزنی با شرکته‌های معتبر وپتانسیل‌های توانمند ایرانی جهت مذاکره برای سرمایه‌گذاری مشترک

جهت دستیابی به اطلاعات بیشتر در رابطه با صنعت باتری خودرو برقی در دنیا و ایران، بر اساس مطالعات انجام شده و اطلاعات تدوین شده در مرحله اول پروژه، تلاش گردید تا با شرکت‌های معتبر خارجی و داخلی تا حد امکان تعامل و تبادل اطلاعات انجام شد.

۵-۳-۱- مشاوره و رایزنی با شرکت‌های معتبر خارجی

با توجه به برنامه‌ریزی‌های قید شده در نقشه راه‌های کشورهای گوناگون جهان برای آینده باتری خودرو برقی [۳]، به نظر می‌رسید گام بعدی برای برنامه‌ریزی برای رسیدن به اهداف تعیین شده، یافتن ارگان‌هایی فعال، پیشرو و به روز در حوزه باتری خودرو برقی باشد تا بتواند گامی در جهت همراه شدن صنعت خودرو برقی ایران با این صنعت در جهان باشد. جهت دستیابی به اطلاعات بیشتر در رابطه با صنعت باتری خودرو برقی در جهان، بر اساس مطالعات انجام شده در مرحله اول پروژه [۴] و با جستجو در اینترنت تعدادی از سایت‌های موجود در فضای مجازی مورد بررسی و انتخاب قرار گرفت. به منظور

تبادل نظر با شرکت‌های سازنده باتری خودرو برقی جهت یافتن همراهانی برای سرمایه گذاری مشترک با هدف تولید باتری مکاتباتی با شرکت‌های زیر انجام شد.

1- Axeon

http://www.jmbatterysystems.com/contact

2- Guoxuan High-Tech

https://guoxuan.en.ecplaza.net/contact

3- BYD

bydauNA@byd.com

4- Boston Power

info@boston-power.com

5- Johnson Controls

https://www.johnsoncontrols.com/contact-us

6- Li-Tec Battery GmbH

https://www.li-tec.de/en/contact

7- Panasonic

https://eu.industrial.panasonic.com/about-us/contact-us

8- XALT energy

https://www.xaltenergy.com/quote-information/

9- LG

https://www.lgchem.com:8443/global/contact-email

10- Tianneng Battery

export@tiannenggroup.com

11- Lishen

webmaster@lishen.com.cn

12- CATL

info@catlbattery.com

13- Samsung SDI

delee@samsung.com

14- AESC

JP.SupportDesk@aescbattery.com@eco-aesc.com

برای این کار متنی به زبان انگلیسی تهیه و به عنوان نامه جهت درخواست اطلاعات به شرکت‌های فوق ارسال گردید:

Dear Sir/ Madam

We are a researching team, in Niroo research institute (NRI), Tehran, Iran, studding on electric car batteries. We have read about your latest development in electric car batteries and would like to request more details. Could you please send your current catalogue and price list for electric car batteries? Please kindly send us any information you can supply. Please also continue to keep me on your mailing list so you can send future catalogs to me as you publish them. Please do not hesitate if you have any question. Thank you in advance for sending the information to me, and I know I will be happy to receive it.

Yours sincerely

که اکثرا بدون جواب ماند و تعداد کمی از آن‌ها طی ایمیلی به درخواست ما جواب منفی دادند. زیرا با توجه به شرایط کنونی کشور و تحریمهای اعمال شده از سوی کشور آمریکا، متاسفانه هیچ یک از شرکتهای مذکور مجاز به همکاری و در اختیار قرار دادن اطلاعات مربوطه نبودند. لذا این بخش از شرح خدمات با اهداف تعیین شده عملا قابل انجام نبود.

۲-۳-۵- مشاوره رایزنی با پتانسیل توانمند ایرانی در خصوص ساخت باتری خودروبرقی

جهت ارزیابی توانمندی‌های داخلی در خصوص ساخت باتری‌های پیشرفته مورد نظر، سازمان‌ها و ارگان‌های متعددی مورد مطالعه قرار گرفتند و موارد زیر جهت بررسی بیشتر انتخاب شدند:

۱. آزمایشگاه صبا باتری (توان)
۲. آزمایشگاه باتری پژوهشکده خودرو دانشکده فنی دانشگاه تهران
۳. آزمایشگاه باتری دانشگاه خواجه نصیرالدین طوسی
۴. آزمایشگاه باتری دانشگاه علم و صنعت ایران
۵. آزمایشگاه باتری صنایع انفورماتیک
۶. آزمایشگاه باتری سینا آزمای بندر
۷. آزمایشگاه باتری پژوهشگاه فضایی ایران
۸. مجتمع آزمایشگاهی چرخه طبیعت سبز
۹. شرکت مهندسی ثمین افزار
۱۰. آزمایشگاه‌های باتری پژوهشگاه مواد و انرژی

۱۱. گروه تحقیقات فناوری نانو در شرکت خدمات مهندسی تابا

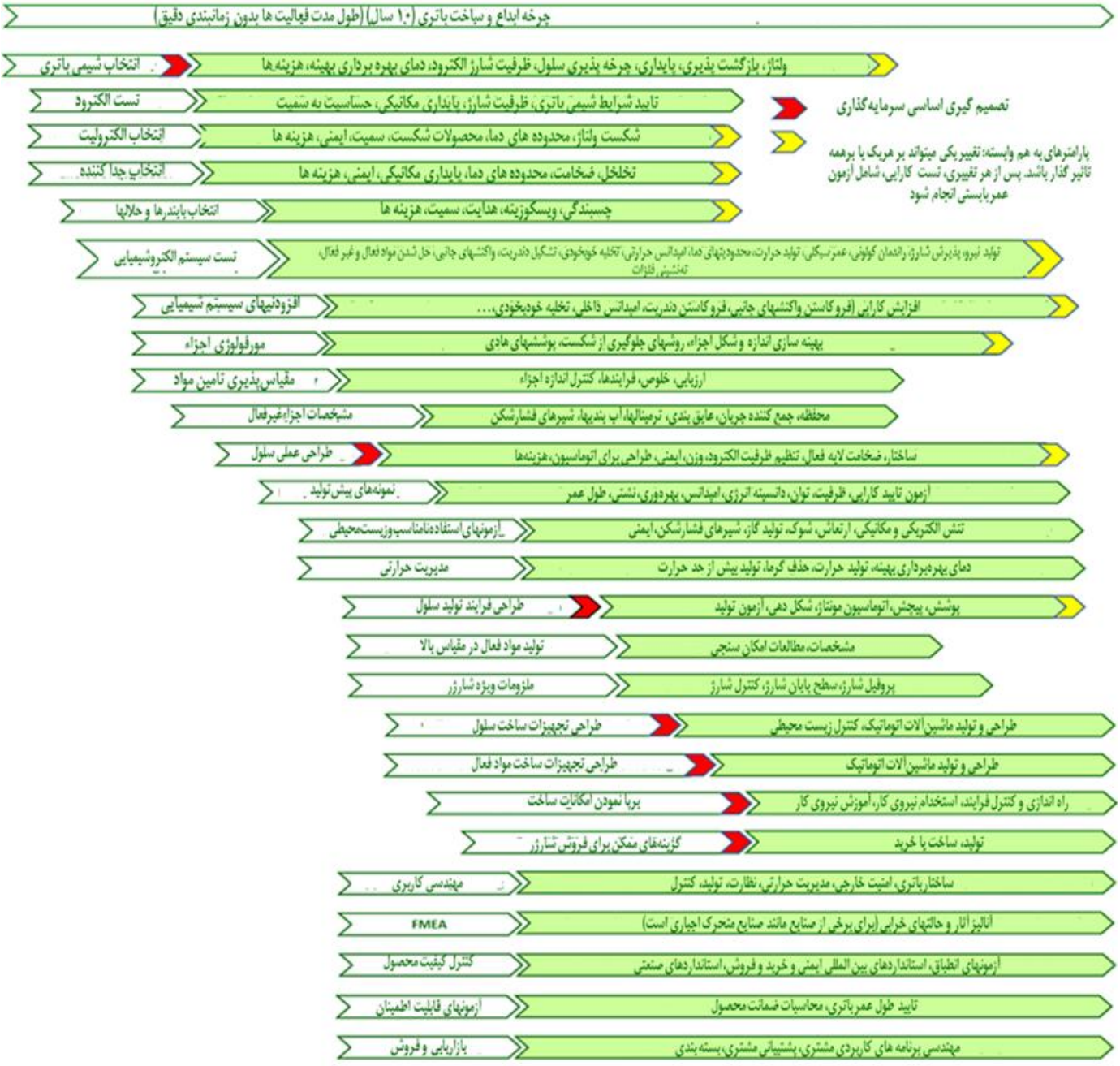
۵-۴- تدوین برنامه عملیاتی بومی کردن دانش فنی و ساخت باتری خودرو

پژوهش‌ها و مطالعات قابل توجهی در خصوص ساخت باتری در دانشگاه‌ها و مراکز پژوهشی گوناگون کشور انجام شده است، ولی آنچه در آزمایشگاه ابداع می شود لزوما به یک محصول تجاری تبدیل نمی‌شود. اگر فناوری واقعا رو به رشد باشد، با صرف زمان و انرژی می توان آن را از مرحله آزمایشگاهی تا نیمه صنعتی و صنعتی پیش برد و نهایتا به بازار عرضه کرد. در کشورهای دارای فناوری ساخت باتری یک دوره فعالیت ده ساله برای ترکیب‌های شیمیایی جدید سلول باتری از آزمایشگاه تا صنعت کاملاً معمولی است. لذا با دیدی خوش بینانه، برای بومی‌سازی یک ترکیب خاص باتری، به عنوان مثال باتری فلز هوا (به طور مشخص باتری روی هوا) یک برنامه فشرده، و منسجم ده ساله و فراگیر در مراکز تحقیقاتی و دانشگاهی مورد نیاز است.

۵-۴-۱- اقدامات و ملاحظات

شکل ۵–۱ لیستی از اقدامات اصلی مربوط به توسعه شیمی باتری جدید را نشان می‌دهد. در اینجا پارامترهای عملکرد کلیدی که باید مورد توجه قرار گیرند و چگونگی تاثیر آن‌ها بر یکدیگر مشخص شده است[۵].

چالش عمده در جستجو برای شیمی سلول بهینه که به طور همزمان تمام الزامات عملکرد سلول را تامین کند این است که: همه پارامترهای عملکردی با یکدیگر مرتبط هستند، به گونه‌ای که بهبود یکی از این پارامترها می‌تواند بر عملکرد یک یا چند مورد دیگر تاثیر منفی بگذارد. روند تست‌های تکرار شونده، به خصوص تست طول عمر، که برای تایید عملکرد آن، هر بار یک تغییر اعمال می‌شود، می‌تواند سال‌ها طول بکشد.



شکل ۵- ۱- اقدامات ضروری برای تولید سلول در زمان حداقل ۱۰ سال[1]

[1] https://www.mpoweruk.com/cell_design.htm

۲-۴-۵- موارد مورد نیاز –اجزای فعال

این بخش شامل انتخاب شیمی سلول، الکترودها و عوامل موثر در انتخاب آن‌ها از قبیل: پتانسیل الکترودها، برگشت پذیری واکنش شیمیایی و ظرفیت آن، دمای بهینه واکنش، ویژگی‌های ذرات الکترود، مورفولوژی کریستال، استرس مکانیکی، غیر فعال شدن، نانومواد، سمیت الکترودها، قیمت انتخاب شیمی سلول از ۱۱۸ عنصر در جدول تناوبی تنها ۷۹ عدد پایدار و نامزدهای ممکن برای استفاده در سلول‌های الکتروشیمیایی هستند. ۳۹ عنصر باقیمانده رادیواکتیو هستند.

۲-۴-۵-۱- الکترودها

به دلایل مختلف همه‌ی ۷۹ نامزد ممکن برای الکترودهای سلول مناسب نیستند. بعضی از عوامل موثر بر انتخاب در زیر آمده است:

۲-۴-۵-۲- پتانسیل الکترود

جدول تناوبی نشان دهنده "پتانسیل" عناصر مورد استفاده در دو الکترود باتری است. عناصر در سمت چپ جدول مازاد الکترون دارند و به عنوان عناصر کاهنده شناخته می شوند. در مقابل، عناصر در سمت راست جدول عناصر اکسیدکننده هستند که کمبود الکترون دارند. مقدار مازاد یا کسری الکترون به عنوان پتانسیل استاندارد الکترود شناخته می‌شود. به طور مشابه، ترکیبات حاوی عناصر تمایل دارند که پتانسیل الکترود مشخصی را نشان دهند که نشان دهنده کاهش یا ظرفیت اکسیداسیون آن‌ها است.

عناصر یا ترکیبات با بیشترین پتانسیل ممکن منفی برای کاتد و عناصر یا ترکیبات با بیشترین پتانسیل ممکن مثبت برای آند انتخاب می‌شوند. ولتاژ ترمینال سلول از تفاوت ولتاژ الکترود عناصر یا ترکیبات تشکیل دهنده کاتد و آند مشخص می‌شود و با حداکثر کردن این تفاوت، حداکثر ولتاژ ممکن ترمینال سلول به دست می‌آید. حداکثر میزان چگالی انرژی سلول از حداکثر میزان ولتاژ سلول به دست می‌آید اما عوامل دیگری مانند ساختار بلوری عناصر و اینکه آیا آن‌ها در دمای محیط گازی هستند یا خیر نیز بر آن موثر است. ولتاژ سلول یا E° سلول (emf[1]) برای محلول دارای غلظت یک مولار: اختلاف پتانسیل استاندارد دو نیم سلول یک سلول الکتروشیمیایی گویند که از رابطه‌ی زیر بدست می‌آید :

$$E^\circ_{cell} = E^\circ_c - E^\circ_a$$

[1] Electromotive force

از جمله عوامل موثر بر ولتاژ سلول، نوع الکترود کاتد و آند، غلظت الکترولیت‌های آند و کاتد و دما هستند. اگر مقدار $E°$ واکنشی مثبت باشد واکنش انجام پذیر است و اگر مقدار $E°$ واکنشی منفی باشد واکنش انجام ناپذیر است. اثر تغییر غلظت بر ولتاژ سلول بدین صورت است که با افزایش غلظت کاتیون در نیم سلول کاتد، ولتاژ سلول افزایش و با کاهش غلظت کاتیون در نیم سلول کاتد ولتاژ سلول کاهش می‌یابد و با تغییر در غلظت کاتیون در نیم سلول آند عکس این اثر اتفاق می‌افتد. پتانسیل استاندارد چند گونه اکسنده در جدول ۵-۲ آورده شده است.

چنانچه غلظت یون‌ها در دو محلول الکترولیت تغییر کند، اختلاف پتانسیل ناشی از آن از رابطه نرنست تبعیت می‌کند:

$$Ec,a=(E°-0.0591/n)\ (\log C_{red}/C_{ox})$$

که در آن n تعداد الکترون‌ها و C غلظت گونه‌های کاهنده و اکسنده است.

جدول ۵- ۲- پتانسیل استاندارد گونه‌های اکسنده [1]

گونه اکسنده	$E°$ (ولت)
Al+3	-۱/۶۶
Zn+2	-۰/۷۶
Na+	-۲/۶۶
Li+	-۳/۰۴
C	+۰/۱۳

[1] APPENDIX H Standard Reduction Potentials

S	+۰/۱۴
Silicon	−۰/۱۴۷

لذا طبق آنچه در بالا گفته شد که با حداکثر کردن تفاوت پتانسیل کاتد و پتانسیل آند، حداکثر ولتاژ ممکن سلول به دست می‌آید، بنابراین بهترین گونه‌های اکسنده‌ی برگرفته از جدول فوق برای ساخت الکترود، Li^+ و S است.

۳-۲-۴-۵- برگشت‌پذیری واکنش شیمیایی

همه زوج الکترودهای بالقوه واکنش برگشت پذیر ندارند. این باعث می شود امکان استفاده از بسیاری از ترکیبات ممکن عناصر در الکترود نباشد.

برای یک باتری قابل شارژ، واکنش‌های شیمیایی بین عناصر درگیر باید برگشت پذیر باشد. این مورد مجموعه ای از جفت های الکترود مناسب برای استفاده را محدودتر می‌سازد. همچنین ممکن است واکنش‌های شیمیایی بین ترکیبات دو الکترود انجام شود که این واکنش‌های جانبی به تدریج مواد شیمیایی فعال را مصرف می‌کنند و بنابراین باید از آن‌ها ممانعت به عمل آورد. اما یک واکنش شیمیایی برگشت پذیر مناسب ممکن است تنها بتواند چند سیکل کار کند. افزایش این چرخه‌های کاری یکی از اقدامات مهم در توسعه محصولات تجاری این حوزه است، که این چرخه را افزایش دهد.

۴-۲-۴-۵- ظرفیت بازگشت پذیری

توانایی مواد الکترود برای جذب و بازگرداندن یون‌ها از الکترولیت به عنوان ظرفیت برگشت پذیر آن‌ها شناخته شده و با واحد میلی آمپرساعت بر گرم (mAh/g) اندازه‌گیری می‌شود. برای به حداکثر رساندن ظرفیت ذخیره‌سازی سلول، مواد الکترود باید از عناصر یا ترکیبات با ظرفیت برگشت‌پذیری بالا انتخاب شوند. برای بهینه‌سازی استفاده از حجم در دسترس در سلول، آند و کاتد باید ظرفیت برگشت پذیر یکسان داشته باشد، اما به دلیل تفاوت در مواد مورد استفاده در دو الکترود، ممکن است بالانس کردن ظرفیت با الکترودهای هم اندازه مقدور نباشد. در این مورد حجم مواد با کمترین ظرفیت برگشت پذیر باید افزایش یابد تا جبران شود. این امر با کنترل ضخامت پوشش الکترود بر روی فویل جمع کننده جریان حاصل می‌شود.

۵-۲-۴-۵- دمای بهینه واکنش

اکثر باتری‌ها به شکلی طراحی می‌شوند که در دمای بین ۱۰ تا ۳۵ درجه سانتیگراد بهترین عملکرد را داشته باشند. عملکرد اکثر باتری‌ها در دماهای بسیار پایین دچار اختلال می‌شود زیرا احتمال انجماد الکترولیت وجود دارد و واکنش‌های شیمیایی کندتر است. آرنیوس نشان داد که به ازای افزایش دمای ۱۰ درجه سانتی گراد سرعت واکنش شیمیایی دو برابر می‌شود. این افزایش دما باعث می شود که باتری توان بیشتری به دست دهد، همچنین ممکن است به دمای تخریب برخی از اجزای شیمیایی نزدیک شده و باتری را از بین ببرد. .بنابراین مواد شیمیایی فعال معمولا به گونه‌ای انتخاب می‌شوند که تحمل حداکثر دمای عملیاتی را داشته باشند.

با این حال عملکرد بعضی از باتری‌ها به نمک های مذاب وابسته است و این حالت مایع فقط در دماهای بسیار بالا رخ می دهد. مانند کلرید نیکل سدیم (NaNiCl) یا باتری Zebra که در دمای بیش از ۲۷۰ درجه سانتیگراد و باتری سدیم سولفور (NaS)که بین ۳۲۰ تا ۳۴۰ درجه سانتی گراد کار می‌کند.

۶-۲-۴-۵- ویژگی ذرات الکترود

کنترل اندازه و شکل ذرات تشکیل دهنده الکترودها احتمالا مهمترین عوامل موثر بر عملکرد سلول است.

مورفولوژی کریستال:

ظرفیت توان سلول‌ها بستگی به سطح الکترودها دارد. به گونه‌ای که این ظرفیت با هرچه ریزتر کردن اندازه ذرات تشکیل دهنده الکترود، افزایش می‌یابد.

امپدانس سلول‌ها به حداکثر سطح تماس بین ذرات بستگی دارد بنابراین شکل‌های منظم کوچک مورد نیاز است.

هدایت الکترود نیز با پوشش ذرات با یک لایه رسانای خیلی نازک و ضخامت چند نانومتر با موادی مانند کربن بهبود می‌یابد.

استرس مکانیکی:

تداخل یون‌های لیتیوم به ساختار بلوری ذرات منفرد تشکیل دهنده الکترود می‌تواند حجم ذرات را افزایش دهد که باعث ایجاد تغییرات ساختاری و استرس در ساختار بلوری می‌شود. هنگامی که مسیر جریان از سلول برعکس می‌شود، ذره به اندازه

اصلی آن بر می‌گردد. چرخه شارژ و دشارژ سلول سبب استرس های پی در پی شده و می‌تواند در نهایت باعث شکستن ذرات شود و سپس سطح تماس بین ذرات کاهش و در نتیجه مقاومت الکتریکی الکترود افزایش یابد.

غیر فعال شدن:

غیر فعال شدن[1] یک شمشیر دو طرفه است. این پدیده موجب شکل گیری یک لایه فصل مشترک بین جامد و الکترولیت[2] بر روی سطح الکترود می‌شود. در بیشتر سلول‌ها این امر ناخوشایند است زیرا از واکنش شیمیایی بین یون‌ها در الکترولیت و مواد الکترود پیشگیری می‌کند و بنابراین امپدانس داخلی سلول را افزایش می‌دهد. اما در برخی از ترکیبات شیمیایی سلول (که بخشی و نه همه آن لیتیوم است)، لایه SEI با جلوگیری از واکنش بیش از حد بین الکترودها و الکترولیت سبب کنترل یا تعدیل انتقال شیمیایی در سلول می‌شود.

نانو مواد:

اندازه کوچک ذرات مواد الکترود معمولا با آسیاب گلوله‌ای پودر الکترود تا اندازه ذرات ۱۰۰ نانومتر یا کمتر تولید می‌شود. برای عملکرد نهایی، تحقیقات اخیر نشان داده است که با استفاده از مواد نانوساختار با ساختارهای بلوری کنترل شده دقیق امکان بهبود بیشتر وجود دارد.

نانولوله‌های کربنی دارای ظرفیت برگشت‌پذیر بسیار بالایی هستند و ساختار خطی آن‌ها باعث می شود سطح آن‌ها به الکترولیت دسترسی بیشتری داشته باشد.

سیلیکون دارای ظرفیت برگشت پذیری بسیار عالی در هنگام استفاده به عنوان یک آند است، اما دارای مشکل تغییر حجم زیاد بلورهای سیلیکون در طول پدیده تداخل[3] است که سبب می‌شود که در طول چرخه های شارژ و تخلیه مکرر سلول‌ها، در کریستال‌های سیلیکون ترک و شکستگی ایجاد شود. این مشکل را می‌توان با استفاده از نانوسیم‌های سیلیکونی که دارای استحکام کششی عالی هستند کاهش داد و به همین دلیل کاتد سیلیکونی نانو ساختار کمتر از مشکل تغییر حجم تاثیر می‌پذیرد.

[1] Passivation
[2] Interphase Solid Electrolyte Interface (SEI Layer)
[3] Intercalation

استفاده از مواد نانو ساختار، نوید دسترسی به باتری‌هایی با چگالی انرژی بیشتر و عمر طولانی‌تر را می‌دهد، اما این مواد نیاز به فرایندهای تولید پیچیده‌تر و گران‌تر از جمله رسوب‌گیری بخار شیمیایی (CVD)[1] دارند و در نتیجه این مواد هنوز به مقدار مورد نیاز برای تولید حجم بالای سلول‌های باتری در دسترس نیستند.

سمیت (الکترودها):

استفاده از برخی از فلزات مانند کبالت و همچنین کادمیوم و حتی سرب که به مدت طولانی در باتری‌ها مورد استفاده قرار گرفته‌اند، متوقف شده است، زیرا دفع کنترل نشده آن‌ها به محیط زیست آسیب می‌رساند. اطلاعات بیشتر در ادامه ارائه خواهد شد.

قیمت:

قیمت تمام شده همیشه به عنوان یک مسئله مهم مطرح است، که استفاده از برخی از مواد خاص را در تولید باتری متوقف می‌کند.

۷-۲-۴-۵- الکترولیت‌ها

الکترولیت‌ها باید هدایت یونی بالا (به ویژه برای کاربردهای با توان بالا) داشته باشند. آن‌ها همچنین باید ویژگی‌های خیس کنندگی خوب داشته باشند. خیس کنندگی توانایی بهبود تماس بین الکترود و الکترولیت در سطح الکترود و همچنین کمک به انتقال یون‌ها از طریق جداساز[2] را فراهم می‌کند.

اکثر باتری‌های موجود در حال حاضر در زیر ۴ ولت کار می‌کنند. در حالی که ممکن است جفت الکترودها به گونه‌ای انتخاب شوند که قادر به ارائه ولتاژ ترمینال ۶ ولت یا بیشتر باشند، این پتانسیل محدود است زیرا بیشتر الکترولیت‌ها تا حدود اختلاف پتانسیل الکترود ۴.۵ ولت تحمل دارند. این موضوع محدودیت دیگری را در انتخاب ترکیبات عناصر موجود در سلول ایجاد می‌کند.

به طور مشابه الکترولیت‌ها دمای بسیار بالا را تحمل نمی‌کنند. شایع ترین مولکول الکترولیتی که در باتری‌های لیتیومی استفاده می‌شود، لیتیوم هگزافلوروفسفات ($LiPF_6$)، در صورت مخلوط شدن با آب و یا در معرض رطوبت، تجزیه می‌شود و هیدروفلوئوریک اسید (HF) تولید می‌کند که بسیار خطرناک است. علاوه بر اینکه برای انسان بسیار سمی است، حضور HF

[1] Chemical Vapour Deposition
[2] separator

در سلول‌های باتری باعث تخریب مواد شیمیایی دیگر در سلول‌ها می‌شود. بنابراین تولید سلول و مونتاژ آن باید در فضای بسته ای با شرایط رطوبت بسیار کم (رطوبت نسبی ۱٪ تا ۱۰٪ RH[1]) که به "اتاق های خشک" معروف است انجام شود تا از تشکیل HF جلوگیری گردد.

در دماهای بسیار پایین برخی از الکترودهای آبی منجمد می‌شوند. برای مثال دمای انجماد الکترولیت اسید سولفوریک در یک باتری سرب–اسید کاملا شارژ شده، حدود ۷۰– درجه سانتیگراد است. با کاهش میزان شارژ، وزن مخصوص الکترولیت کاهش می‌یابد و درصد آب در الکترولیت افزایش می‌یابد به طوری که در حالت شارژ ۴۰٪ الکترولیت در حدود ۹– درجه سانتیگراد منجمد می‌شود.

یکی دیگر از مشکلات الکترولیت‌ها این است که برخی از فلزات مورد استفاده در سلول‌های باتری ممکن است در بعضی از الکترولیت‌ها حل شوند. به عنوان مثال، در سلول های یون لیتیوم، در حالت شارژ کم، هنگامی که ولتاژ سلولی به کمتر از ۲.۵ ولت کاهش می‌یابد، کلکتور جریان آند مسی در الکترولیت حل می‌شود. وقتی که ولتاژ دوباره بالا می‌رود، یون‌های مس در محلول وارد می‌شوند و ذرات فلز مس در درون الکترولیت پخش شده، و احتمالا باعث ایجاد اتصال کوتاه می‌شوند.

۳-۴-۵- مواد مورد نیاز– اجزای غیر فعال

۱-۳-۴-۵- بایندرها(پیونددهنده‌ها)

مواد تشکیل دهنده الکترودها معمولا به شکل پودر عرضه می‌شوند. این مواد برای استفاده در سلول و تشکیل یک توده رسانا، باید بر روی فویل‌های جمع کننده جریان الکترود، (معمولا از جنس آلومینیوم و/ یا مس) در یک لایه همگن، با ضخامت دقیق، پوشش داده شوند. این کار به عهده مواد بایندر یا پیوند دهنده است. بایندرها مواد رسانایی هستند که در یک حلال موقت حل شده‌اند تا یک جسم حامل تشکیل دهند که در آن پودر الکترود مخلوط می‌شود و به فویل می‌چسبد. با قرار دادن فویل‌های پوشش داده شده درون کوره، حلال از بین می‌رود و یک پوشش جامد از مواد الکترود روی فویل‌ها با بایندر ایجاد می‌کند و مسیر هدایت ذرات در الکترود را فراهم می‌کند.

تغییر ترکیب بایندرها می تواند بر ویسکوزیته، چسبندگی الکترود به فویل، هدایت سلول ها و همچنین تخلیه خودبخودی تاثیر بگذارد.

---

[1] *Relative Humidity*

۲-۳-۴-۵- حلال‌ها

علاوه بر حلال‌های مورد استفاده در بایندرها، حلال‌های غیر فعال نیز ممکن است برای حمل الکترولیت ضروری باشند. برای به دست آوردن عملکرد بهینه از این حلال‌ها ممکن است استفاده از مواد سمی ضرورت داشته باشد. ماده: N-Methyl Pyrrolidone (NMP) که برای زنان بارداری که در معرض آن قرا می‌گیرند باعث بروز مشکلاتی در زایمان می‌شود، یکی از این حلال‌هایی است که توسط اکثر تولید کنندگان باتری لیتیومی در استفاده از پوشش بر روی الکترود این باتری‌ها استفاده می‌شود.

۳-۳-۴-۵- مواد افزودنی شیمیایی(دوپینگ)

افزودنی‌های متنوعی را می توان به منظور بهینه کردن کارایی باتری با اهداف زیر، در مخلوط شیمیایی مورد استفاده قرار داد:

۱. ارتقاء لایه SEI
۲. کاتالیزورها برای ترویج واکنش های شیمیایی
۳. بهبود هدایت یا کاهش امپدانس داخلی
۴. بهبود در فرایند مرطوب کردن
۵. کاهش تخلیه خودبخودی
۶. حفاظت از شارژ بیش از حد
۷. سرکوب دندریت
۸. جلوگیری از ترک خوردگی ذرات الکترود
۹. بهبود محدوده دما
۱۰. پوشش سرامیکی ظریف جداکننده برای جلوگیری از اتصال کوتاه
۱۱. مقابله با اشتعال

باید توجه داشت که اضافه کردن هرگونه افزودنی به سلول باتری فضای قابل دسترس برای مواد شیمیایی فعال را کاهش خواهد داد و در نتیجه ظرفیت سلول را کاهش خواهد داد.

۴-۳-۴-۵- جدا کننده

اصطلاح جداساز در ارتباط با عملکرد تفکیک نمودن آند از کاتد بکار می‌رود. عملکرد جداساز در واقع جلوگیری از تماس الکتریکی بین دو الکترود (که باعث تخلیه خودبخودی است) می‌شود، اما به طور همزمان اجازه عبور یون را که به عنوان مبنای انتقال انرژی است، می‌دهد. کار دیگر جداساز کنترل مقدار یون تبادلی است که باعث افزایش عمر شارژ باتری می‌شود که از این جهت لازم است منافذ در سطح جداساز توزیع یکنواختی داشته باشند و انحراف از توزیع تخلخل یکنواخت، جریان نامناسبی را ایجاد می‌کند که موجب تشکیل کریستال‌ها بر روی آند می‌شود [۷ و۶].

جریان یون را می‌توان از طریق جداساز یا الکترولیت‌های مایع که منافذ یک غشای جداکننده را پر می‌کند، برقرار نمود. بر این اساس، جداسازها را می‌توان به عنوان هدایت کننده یون (الکترولیت جامد) یا نفوذپذیر نسبت به یون (غشای متخلخل) طبقه‌بندی کرد.

جدا کننده یک غشاء متخلخل غیر هادی میان آند و کاتد است[۵]. در سلول‌هایی که در دمای محیط، یا کمی بالاتر کار می‌کنند، جدا کننده معمولا یک غشاء به شکل یک فیلم پلاستیکی پلی پروپیلن (PP) یا پلی اتیلن (PE) با میکرو–منافذ خیلی ریز بوده که باید خیلی نازک باشد و در عین حال از نظر مکانیکی در دمای ۱۲۰ درجه سانتیگراد یا بیشتر یا در معرض فشارهای بالا پایداری مکانیکی کافی داشته باشد. ساختن این قطعه از لحاظ فنی بسیار دشوار است و بنابراین یکی از اجزاء گران قیمت باتری است.در باتری‌های نمک مذاب دما بالا از سرامیک به عنوان جداکننده استفاده می‌شود.

۴-۴-۵- قطعات مکانیکی

قطعات مکانیکی شامل فویل جمع کننده جریان الکترود، زاویه‌های کاهش دهنده جریان، پایانه‌های خارجی، بدنه، آب‌بندی‌ها، دریچه‌های فشار و عایق بندی است. اینها همه باید به صورت سفارشی و برای یک سلول جدید طراحی شده و برای هدایت الکتریکی و حرارتی مناسب، مقاومت در برابر خوردگی، وزن و هزینه، بهینه سازی شوند. هر دستگاه ایمنی ضروری مانند دریچه های فشار و دستگاه‌های قطع جریان[1] (CID ها) که ممکن است لازم باشد در سلول ها قرار گیرند تا با اهداف ایمنی تطابق داشته باشد، جایگزین مواد شیمیایی فعال می‌شود و بنابراین ظرفیت بالقوه سلول را کاهش می‌دهد.

[1] Circuit Interrupt Device

۵-۴-۵- انجام آزمایش

انجام آزمایش در مرحله طراحی طیف وسیعی از آزمایش‌ها را برای تجزیه و تحلیل خواص شیمیایی و فیزیکی مواد مورد استفاده و ارزیابی عملکرد الکتریکی، مکانیکی، حرارتی و طول عمر آن‌ها در سلول های تکمیل شده در شرایط محیطی مختلف و شرایط استفاده نامناسب در بر می‌گیرد.

انجام این آزمایش‌ها نیاز به آزمایشگاهی مجهز به تجهیزات مناسب با محفظه‌های ویژه و توانایی آزمایش چرخه سلول‌ها از طریق تکرار شارژ و تخلیه و انجام تجزیه و تحلیل های شیمیایی، کالوریمتری، اندازه‌گیری‌های الکتریکی، آزمایش‌های تنش مکانیکی، میکروسکوپ نوری و الکترونی، طیف سنج جرمی، بازرسی با اشعه ایکس و تجزیه و تحلیل شکست دارد.

۶-۴-۵- ساخت سلول

هنگامی که شیمی سلول مورد موافقت قرار گرفت، می‌توان طراحی سلول را آغاز نمود.

۱-۶-۴-۵- پارامترهای کلیدی طراحی

۱) پایداری مکانیکی و تحمل در مقابل استفاده نامناسب از جمله سفتی، مقاومت در مقابل لرزش، خرد کردن و نفوذ
۲) حذف گرما
۳) مقاومت در برابر خوردگی
۴) عایق بندی
۵) حذف فشار

برنامه‌ریزی‌های انجام آزمایش باید به گونه‌ای گسترش یابد تا طراحی انجام شده ارزیابی شود.

۲-۶-۴-۵- مقیاس پذیری تامین مواد

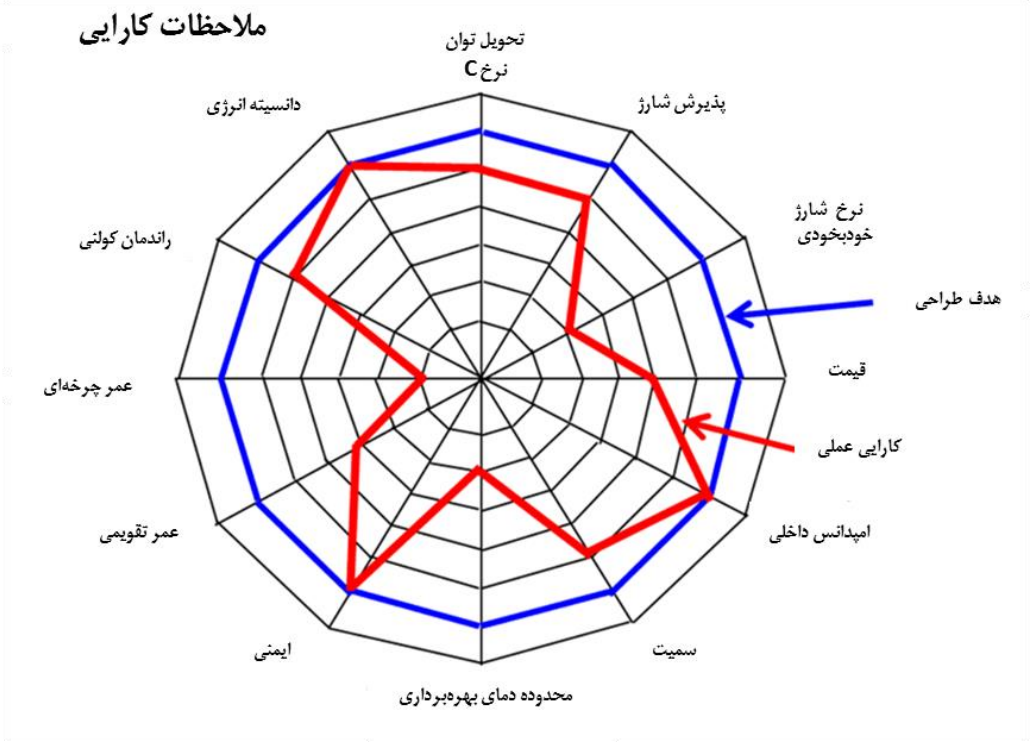
مقیاس پذیری تولید مواد شیمیایی فعال نباید کم ارزش نشان داده شود. ممکن است ساختن چند صد گرم پودر الکترود در آزمایشگاه با استفاده از طیف وسیعی از تجهیزات در دسترس، آسان باشد، اما تولید ده ها تن مواد با ویژگی‌های مورد نظر

با استفاده از فرایندهای نسبتا ساده کار بزرگ مهندسی است. این نیز به در دسترس بودن مواد اولیه مناسب و ارزشمند بستگی دارد.

بایستی فرایندهای ساخت در شرایطی قرار گیرند که اطمینان از خلوص بالا و هماهنگی پودرهای الکترود در حجم بسیار زیاد فراهم گردد، اما بزرگترین چالش این است که توانایی کنترل دقیق اندازه و شکل ذرات وجود داسته باشد و امکان ایجاد پوشش برای هر سطحی که مورد نیاز باشد فراهم گردد. دسترسی به این شرایط ممکن است نیاز به توسعه و نصب امکانات تولید اختصاصی به هزینه ده ها میلیون دلار برای تضمین خلوص و مورفولوژی ذرات و جلوگیری از آلودگی متقابل با سایر محصولات داشته باشد.

۵-٤-۷- بهینه‌سازی کارایی

شکل ۵-۲ یک نمودار عنکبوتی و ابزاری مدیریتی است که در طول توسعه سلول باتری استفاده می‌شود تا وضعیت عملکرد سلول و طراحی های تجاری را نشان دهد. در این شکل، خط آبی نشان دهنده عملکرد سلولی مورد نظر است و خط قرمز نشان دهنده عملکرد واقعی اندازه گیری شده است.



شکل ۵- ۲- ملاحظات کارایی سلول در طول توسعه باتری

مواردی که در زیر اشاره خواهد شد بعضی از پارامترهای مربوط به عملکرد و وابستگی ها به همراه الزامات کلی‌تر و بررسی‌ها و مبادلاتی است که باید در بهینه‌سازی عملکرد یک باتری کامل مورد توجه قرار گیرد. ظرفیت ذخیره‌سازی (چگالی انرژی)، چرخه عمر ، ظرفیت شتاب و تخلیه خودبخودی، شاخص‌های عملکرد کلیدی باتری است و هر بار تغییراتی در مواد یا طراحی ایجاد شود، لازم است تا تأیید شود که این پارامترها تحت تاثیر قرار نمی‌گیرند. نظارت بر چرخه عمر باتری پس از هر تغییر، بسیار وقت‌گیر است.

۵-٤-۸- ظرفیت ذخیره‌سازی

این پارامتر بستگی به ظرفیت برگشت‌پذیری مواد مورد استفاده برای الکترولیت‌ها و حجم مواد شیمیایی فعال در سلول دارد.

۱-۸-۴-۵- چرخه عمر

چرخه عمر به عوامل متعددی شامل موارد زیر بستگی دارد:

۱) پایداری مواد فعال

۲) سرکوب واکنش های جانبی

۳) سرکوب تشکیل دندریت

۴) پیشگیری از نشت

۵) محدوده درجه حرارت بهره برداری

۶) ساخت لایه SEI (در بسیاری از انواع شیمی باتری لیتیوم)

۷) شدت استفاده

۸) استفاده نادرست.

۲-۸-۴-۵- توانایی شتابگیری

عملکرد با شتاب بالا یک پیش شرط برای هر دو مورد توان بالا و شارژ سریع است. این امر بویژه برای باتری های با ظرفیت بالا مانند موارد استفاده شده در باتری های خودروهای الکتریکی که باید نرخ شارژ بالایی داشته باشند تا به زمان شارژ مناسبی دست یابند و همچنین به پالس های جریان بالا برای انرژی ترمز تجدیدپذیر دست یابند، کاربرد دارد.

توانایی باتری برای پذیرش جریان‌های بسیار بالا توسط عوامل زیر تعیین می‌شود:

۱) الکترودهای با مساحت سطح بالا
۲) اندازه ذرات کوچک
۳) تغییر حجم با تداخل کم جهت جلوگیری از تنش مکانیکی بر ساختار کریستالی ذرات، به منظور جلوگیری از شکست ذرات.
۴) امپدانس داخلی کم برای کاهش میزان اتلاف انرژی و تولید گرما در سلول.
۵) هدایت حرارتی داخلی خوب مواد داخل سلول برای هدایت حرارت از هسته سلول به سطح سلول.

۳-۸-۴-۵- تخلیه خودبخودی

تخلیه خودبخودی یک واکنش شیمیایی ناخواسته در باتری است که موجب کاهش شارژ ذخیره شده آن می شود که در حالت خاموش بودن یا بیکاری به علت نشت جریان از طریق الکترولیت، رخ میدهد. این نشت را می توان با کاهش اندازه میکرو حفره های جداساز به حداقل رساند، اما این روش ممکن است امپدانس داخلی سلول را افزایش دهد. همچنین می تواند اثر افزایش هزینه داشته باشد زیرا جداکننده یکی از اجزای گران قیمت در باتری است. مانند اکثر پارامترهای باتری، تخلیه خودبخودی با افزایش دما افزایش می‌یابد.

۴-۸-۴-۵- دانسیته انرژی

کلید دستیابی به باتری های کوچکتر و سبک تر، افزایش دانسیته انرژی سلول ها است. انتخاب عناصر و یا ترکیبات سبک تر برای الکترودهای اولین گام آشکار است و استفاده از مواد با بزرگترین ظرفیت برگشت پذیر گام دوم است.

همانگونه که در گزارش‌های پیشین اشاره شد، گروهی از باتری‌ها که پتانسیل دانسیته انرژی بالا دارند و برای استفاده در خودرو برقی کاندیدای مناسبی می‌باشند شامل باتری‌های فلز هوا هستند که مثالی از آن باتری لیتیوم–هوا است. در این باتری در واقع از اکسیژن به جای هوا به عنوان ماده شیمیایی فعال در ساختار کاتد کربن متخلخل استفاده می‌شود. مزیت اصلی این تکنولوژی این است که ماده کاتد، اکسیژن، درون باتری قرار نمی گیرد، اما اکسیژن مورد نیاز از هوا گرفته می شود و باعث کاهش وزن باتری می‌شود.

هنوز مشکلات بسیاری برای تجاری‌سازی این فناوری وجود دارد. ظرفیت حمل جریان بسیار پایین است، دارای ضریب سیکل‌پذیری ضعیفی بوده و بازده کولمبی پایینی دارد.

یکی دیگر از چالش های عمده شامل ایجاد یک روش جداسازی اکسیژن از هوا است، زیرا رطوبت و CO_2 می توانند الکترود لیتیم را مسموم کنند.

دانسیته انرژی یک سلول کامل باید البته با در نظر گرفتن وزن تمام اجزای غیر فعال سلول شامل بدنه و پایانه ها محاسبه شود.

۵-۸-۴-۵- امپدانس داخلی

امپدانس داخلی نه تنها به دلیل مقاومت مواد فعال درون سلول ایجاد می‌شود، بلکه به کیفیت تماس بین ذرات منفرد الکترود بستگی دارد. به همین دلیل ذرات باید با شکل منظم و با اندازه کوچک باشند. هدایت الکتریکی همانطور که در بالا ذکر شد، با ایجاد پوششی مناسب بر روی این سلول‌ها با یک لایه بسیار نازک از یک ترکیب رسانا و با استفاده از بایندرهای رسانا افزایش می‌یابد. همانطور که در بالا نیز ذکر شد، استفاده از مواد افزودنی می‌تواند ظرفیت سلول را کاهش دهد.

۶-۸-۴-۵- محدوده دمای عملیات

باتری‌های کاربردی ضرورتا محدوده دمای عملیاتی را تا حد ممکن گسترده می‌کنند، اما این محدوده توسط شیمی باتری و دمای شکست برخی از ترکیبات و اجزا محدود شده است. در شرایط آب و هوای بسیار گرم یا بسیار سرد احتمال نیاز به سرمایش یا گرمایش سلول ها به منظور حفظ دمای آن‌ها در محدوده دمای کاری آن‌ها مورد نیاز است.

موضوع دیگری که در طراحی سلول اهمیت دارد، میزان گرمای تولید شده در سلول است. واکنش های اگزوترمیک بین مواد شیمیایی مورد استفاده در سلول و حرارت ژول[1] به علت حرارت I^2R از اجزای سلولی به علت عبور جریان الکتریکی هر دو به افزایش دما در سلول در طول عملیات کمک می‌کند.

۷-۸-۴-۵- حذف گرما

برای حفظ سلول ها در محدوده دمای کاری خود، گرمای تولید شده توسط واکنش‌های شیمیایی و همچنین گرما ژول باید از سلول ها خارج شود. بنابراین مواد مورد استفاده در سلول‌ها باید حداکثر هدایت حرارتی را برای انتقال گرما از هسته سلول به سطح آن داشته باشند. پوشش (بدنه) سلول باید یک هادی حرارتی خوب باشد و باید حداکثر سطح را برای حداکثر انتقال حرارت داشته باشد. سلول‌های سیلندری دارای سطح نسبتا کوچک هستند بنابراین برای انتقال گرما به خارج سلول‌ها، در برخی از طرح ها از یک پین فلزی در درون یک رول ژلاتینی در مرکز سیلندر استفاده می‌کنند تا مسیر هدایت گرمای اضافی به پایه سلول فراهم شود.

٥-٤-٨-٨- کارایی کولمبی

بازده کولمبی که به آن بازده فارادی نیز می‌گویند بیانگر کارایی انتقال بار (الکترون) به یک سیستمی است که در آن واکنش الکتروشیمیایی رخ می‌دهد.

افت کارایی رفت و برگشتی یا کولمبی سلول‌ها در طول یک چرخه شارژ و تخلیه کامل دو علت دارد، تلفات هیسترزیس در طول چرخه و تلفات I^2R حرارتی ژول به علت فلوی جریان از طریق اجزای مقاوم سلول‌ها در طول هر دو فرایند شارژ و تخلیه. هیسترزیس حالت ثابت دارد و جزء ذات شیمی سلولی است، اما امکان اعمال کنترل‌هایی بصورت محدود بر امپدانس سلولی وجود دارد. تلفات هیسترزیس به ویژه در باتری‌های لیتیوم–هوای پیشنهاد شده، بالا است.

٥-٤-٨-٩- شارژرها و شارژ کردن

بازده کولمبی که به آن بازده فارادی نیز می‌گویند بیانگر کارایی انتقال بار (الکترون) به یک سیستمی است که در آن واکنش الکتروشیمیایی رخ می‌دهد.

[1] Joule

افت کارایی رفت و برگشتی یا کولمبی سلول‌ها در طول یک چرخه شارژ و تخلیه کامل دو علت دارد، تلفات هیسترزیس در طول چرخه و تلفات I^2R حرارتی ژول به علت فلوی جریان از طریق اجزای مقاوم سلول‌ها در طول هر دو فرایند شارژ و تخلیه. هیسترزیس حالت ثابت دارد و جزء ذات شیمی سلولی است، اما امکان اعمال کنترل‌هایی بصورت محدود بر امپدانس سلولی وجود دارد. تلفات هیسترزیس به ویژه در باتری‌های لیتیوم–هوای پیشنهاد شده، بالا است.

۵-٤-۸-۱۰- سرکوب واکنش‌های جانبی

واکنش‌های جانبی به واکنش های شیمیایی ناخواسته یا تغییرات فیزیکی گفته می‌شود که می تواند بین هر یک از مواد داخل سلول باشد. این واکنش‌ها سبب از بین رفتن مواد شیمیایی فعال می‌شوند که ممکن است ترکیبات دیگری را تشکیل دهند، بنابراین ظرفیت سلول و چرخه عمر را کاهش می‌دهد. بسیاری از آن‌ها تقریبا غیرقابل تشخیص هستند و منجر به پیر شدن تدریجی باتری می‌شوند. اولین خط دفاع، انتخاب مواد سلولی است که تمایل به واکنش با چندین ترکیب شیمیایی را ندارند. فلزات با چندین حالت اکسیداسیون ممکن است مستعد این مشکلات باشند. به طور کلی، واکنش‌های جانبی با حفظ شرایط داخل سلول و تحت شرایط سخت از جمله درجه حرارت، فشار و میدان الکتریکی یا اضافه کردن مواد شیمیایی درون سلول که منجر به مهار این واکنش‌ها می‌شود کنترل می‌شود.

۵-٤-۹- اشکالات متداول باتری‌ها

در اینجا برخی از رایج‌ترین مشکلات باتری‌ها شرح داده می شود:

۵-٤-۹-۱- انحلال الکترودها

سلول‌های لیتیم سولفور ظرفیت ذخیره سازی انرژی نظری بسیار بالایی دارند اما از واکنش‌های جانبی با الکترولیت‌ها رنج می‌برند. در حالی که هر دوی سولفور و لیتیم دی سولفید در اکثر الکترولیت‌ها نسبتا غیرمحلول هستند، ولی بسیاری از پلی سولفیدهای واسطه‌ای قابلیت انحلال بالایی دارند. حل شدن پلی سولفیدها در الکترولیت‌ها باعث از بین رفتن بازگشت ناپذیر مواد فعال گوگرددار می‌شود که خود باعث کاهش عمر سلول می‌شود. جستجو برای یافتن الکترولیت‌های جایگزین مناسب یا روش تثبیت پلی سولفیدها ادامه پیدا می‌کند تا زمانی که عملکرد قابل قبول سلول‌ها تضمین شود[۹].

۵-٤-۹-۲- تولید گاز

تولید گاز از واکنش‌های شیمیایی درون سلول ممکن است در سلول‌هایی که دارای الکترولیتهای آبی هستند مانند سلولهای نیکل کادمیوم و اسید سرب رخ دهد. این حالت در شرایطی رخ می‌دهد که سلول خارج از حدود معمول خود عمل کند. هنگامی که شارژ کامل می‌شود، ادامه دادن به پمپاژ می‌شود. به همین دلیل تمام سلولهای نیکل کادمیوم و بسیاری از سلول‌های اسید سرب برای حفظ گازهای تولید شده درون سلول و ایجاد شرایط مناسب برای بازگشت به ترکیب اولیه، عایق بندی می‌شوند.

هنگامی که سلول‌ها بیش از حد گرم می شوند، شکل جدی تر تولید گاز اتفاق می افتد. به عنوان مثال در سلولهای لیتیومی گام اولیه به سوی تولید حرارت بیش از حد، تجزیه الکترولیت آلی است که منجر به انتشار گازهای قابل اشتعال می شود. این ان تجزیه غیرقابل برگشت است. بدنه سلول برای جلوگیری از فرار از این گازها عایق بندی شده‌اند، اما فشار در سلول به علت انتشار گازها افزایش می‌یابد و در نهایت منجر به انفجار سلول می شود. به همین علت سلول‌ها دارای دریچه‌های ونت فشار یا دیگر اشکال تعدیل فشار هستند تا اجازه دهند گازها به روشی کنترل شده قبل از اینکه فشار بحرانی شود، خارج شوند.

۵-٤-۹-۳- رسوب فلز

رسوب گذاری فلزات یکی دیگر از واکنش‌های شیمیایی ناخواسته است. در باتری لیتیومی ممکن است دو شکل از رسوب گذاری فلز رخ دهد، آب کاری لیتیوم و نیز انحلال الکترودها.

در طی فرایند شارژ محدودیتی ایجاد می‌شود به این شکل که امکان بروز پدیده تداخل[1] در کاتد کربن رخ می‌دهد. تلاش برای اعمال جریان در فرایند شارژ بیش از حد در سلول می‌تواند از این محدوده عبور کند و در این حالت یون‌های لیتیوم جایی برای رفتن نداشته، و بر روی سطح کاتد به شکل ذرات فلزی رسوب می کنند. این باعث کاهش غیر قابل برگشت ظرفیت در سلول و احتمال بروز اتصال کوتاه می شود. نرخ بالقوه تداخل با افزایش دما کاهش می‌یابد به طوری که این مشکل در دمای پایین‌تر تشدید می‌شود.

[1] intercalation

۵-٤-۹-٤- رشد دندریت

این فرایند عبارت است از رشد بلورین مواد تشکیل دهنده الکترود و تغییر شیمیایی نبوده، بلکه تغییر فیزیکی است که با پیر شدن سلول‌ها رخ می‌دهد. همانطور که کریستال‌ها رشد می‌کنند، ساختار بزرگتر هدایت الکترود و همچنین ظرفیت سلول را کاهش می‌دهد. در نهایت، کریستال‌ها ممکن است در جداکننده نفوذ کنند، احتمالا موجب اتصال کوتاه و تخریب سلول شوند.

این پدیده یک مشکل جدی برای بسیاری از سلول‌هاست، اما این مشکل با استفاده از روش‌های مختلفی مانند اضافه کردن افزودنی‌های شیمیایی به الکترولیت یا الکترودها و استفاده از جداسازهای سخت‌تر حل شده است.

۵-٤-۱۰- سمیت

حضور ناخالصی‌های خاصی در مواد شیمیایی مورد استفاده در سلول می تواند الکترودها را مسموم کند. همانطور که در بالا ذکر شد این مشکل برای الکترودهای مبتنی بر اکسیژن یا هوا مانند سلول های لیتیوم هوا (و همچنین پیل های سوختی) وجود دارد، اما می توان آن را در هر ترکیب شیمیایی مورد بررسی قرار داد.

سمیت فقط شامل مواد تشکیل دهنده الکترود و دفع باتری‌های مستعمل نیست. مشکلات جدی تر از قرار گرفتن در معرض مواد خام خطرناک مانند حلال‌ها و مواد شیمیایی آماده واکنش مورد استفاده در فرایندهای ساخت و تولید بروز می‌کند. همچنین باید قرار گرفتن در معرض انتشار محصولات خطرناک حاصل از تجزیه تصادفی مواد شیمیایی مورد استفاده در سلول‌ها، مورد توجه قرار گیرد. الکترولیتها به طور خاص می‌توانند کاملا خطرناک باشند. در برخی از سلولهای لیتیمی، ماده بسیار فعال هیدروفلوئوریک اسید در تماس با آب تولید می‌شود، اما در تجزیه کنترل نشده سلول ها به دلیل استفاده ناصحیح یا بطور تصادفی، انواع ترکیبات سمی و قابل اشتعال انتشار می یابند. یکی از اهداف طراحی باید به حداقل رساندن این خطرات بالقوه باشد، این مخاطرات ممکن است به مدت طولانی بعد از اینکه سلول کارخانه را ترک کرد، ایجاد شوند.

۱۱-۴-۵- ایمنی

به غیر از سمیت، احتمالات آتش سوزی یا انفجار نیز باید بررسی و به حداقل برسد. یک سری آزمون های سوء استفاده ناصحیح باید بر روی سلول های کامل انجام گیرد تا اطمینان حاصل شود که سلول ها حداقل استانداردهای ایمنی را برآورده می کنند.

برای باتری ها و مدارهای الکترونیکی مورد استفاده در صنایع خودرو سازی و هوافضا، در طول فرایند توسعه، انجام آنالیز اثرات و حالتهای شکست (FMEA)[1]، اجباری است. این یک فرآیند بازبینی طراحی رسمی است که برای شناسایی و جلوگیری از شکست و خرابی‌های احتمالی طراحی شده است.

۵-٤-۱۲- هزینه

یک الزام آشکار این است که مواد شیمیایی فعال باید از مواد کم هزینه و معمولا در دسترس انتخاب شوند.

۵-٤-۱۳- پشتیبانی و کنترل خارجی

سلول‌های متعارف مانند سرب اسید، نیکل کادمیوم و نیکل متال هیدریدها بدون نیاز به حمایت از هر گونه سیستم خارجی، به صورت جداگانه عمل می کنند. اما اخیرا طرح های سلولی که در طی چند سال اخیر از مواد شیمیایی با فعالیت بیشتر که نیاز به سیستم‌های نظارت و کنترل اختصاصی دارند، معرفی شده است.

۵-٤-۱٤- سیستم مدیریت باتری(BMS)

BMS پشتیبانی عملیاتی لازم را برای اطمینان از بهره‌برداری ایمن و عمر طولانی فراهم می‌کند. این سیستم‌ها برای انواع خاص باتری‌ها و برنامه، طراحی شده‌اند. آن‌ها ممکن است هر کدام از این توابع زیر را داشته باشند:

پایش باتری: برای نظارت بر وضعیت فعلی باتری، ولتاژها، دماها و جریان‌ها

حفاظت از سلول: برای مقابله با استفاده ناصحیح از باتری

حفاظت از مصرف کننده: برای محافظت از کاربر در برابر اثرات خرابی باتری

ایزولاسیون سلول: در صورت خرابی

ایجاد تعادل در سلول: برای جلوگیری از تعامل بین سلول ها به علت شکست سلول

[1] Failure Modes and Effects Analysis

کنترل شارژر: برای ایجاد ارتباط با شارژر، برای کنترل پروفیل شارژ و برای تنظیم شرایط قطع شارژ

حالت شارژ (SOC): انجام محاسبه مقدار انرژی باقیمانده در باتری

مدیریت حرارتی: فراهم نمودن سیگنال‌های کنترل برای تنظیم حالت گرمایش یا سرمایش در هنگام نیاز

این همه به هزینه‌های مربوط با ساخت باتری اضافه می شود، اما نه به هزینه ساخت سلول. با این وجود در صورتی که وجود BMS برای عملکرد ایمن باتری ضروری باشد، این هزینه و پیچیدگی BMS مرتبط با آن می‌تواند مانع معرفی تکنولوژی سلول جدید شود.

ساخت

سلول‌های انرژی در تعداد زیاد فروخته می شوند. این یک بازار رقابتی است و در صورتی که دستیابی به اهداف کاهش هزینه و افزایش ایمنی واجب باشد، تولید اتوماتیک در شرایط استفاده از تکنولوژی "اتاق تمیز"[1] ضرورت دارد. علاوه بر این، با استفاده از روش های دستی سنتی دستیابی به استانداردهای بسیار دقیق و کیفیت بالا بسیار دشوار و غیرممکن خواهد بود.

بنابراین، اجزای تشکیل دهنده سلول باید ترجیحا برای استفاده از تجهیزات اتوماسیون صنعتی موجود، و با رعایت اصول سیستم‌های خودکار طراحی شوند. در غیر این صورت باید تجهیزات تولید، مونتاژ و آزمایش اتوماتیک جدید برای محصول طراحی شوند.

۵-۴-۱۵- ساخت

سلول‌های انرژی در تعداد زیاد فروخته می شوند. این یک بازار رقابتی است و در صورتی که دستیابی به اهداف کاهش هزینه و افزایش ایمنی واجب باشد، تولید اتوماتیک در شرایط استفاده از تکنولوژی "اتاق تمیز"[2] ضرورت دارد. علاوه بر این، با استفاده از روش های دستی سنتی دستیابی به استانداردهای بسیار دقیق و کیفیت بالا بسیار دشوار و غیرممکن خواهد بود.

[1] Clean Room (استانداردهای مربوط به اتاق تمیز در پیوست۱ آورده شده است)

[2] Clean Room (استانداردهای مربوط به اتاق تمیز در پیوست۱ آورده شده است)

بنابراین، اجزای تشکیل دهنده سلول باید ترجیحا برای استفاده از تجهیزات اتوماسیون صنعتی موجود، و با رعایت اصول سیستم‌های خودکار طراحی شوند. در غیر این صورت باید تجهیزات تولید، مونتاژ و آزمایش اتوماتیک جدید برای محصول طراحی شوند.

۵-٤-١٦- مقیاس زمان توسعه

پنج پارامتر عمده در تعیین زمان مورد نیاز برای طراحی و توسعه یک محصول باتری جدید تا رسیدن به محصول تجاری و تغذیه بازار، ذکر شده است:

۱) بهینه‌سازی شیمیایی سلول و باتری
۲) آزمایش‌های تکرار پذیر و تایید عملکرد
۳) طراحی سلول
۴) طراحی تجهیزات، ساخت و نصب
۵) توسعه تجهیزات تولید فله مواد

جستجو برای شیمی بهینه که به طور همزمان تمام الزامات عملکرد باتری را تضمین کند و آزمایش های تکرارپذیر مورد نیاز برای تایید عملکرد باتری (این آزمایشها هر بار که یک تغییر در ساختار سلول و باتری اعمال می شود باید مجددا تکرار شوند) را طی کند بسیار وقت گیر است. آزمایش چرخه عمر سلول برای دستیابی به طراحی کاملا تایید شده، باعث تخریب هزاران سلول می شود.

یک دوره توسعه ده ساله برای تکمیل تمام این وظایف در صنعت باتری معمول است.

۵-٤-١٧- سرمایه‌گذاری

به جز هزینه یک برنامه تحقیق و توسعه ده ساله، هزینه های سرمایه گذاری زیادی در راه اندازی یک تاسیسات جدید تولید سلول باتری وجود دارد. هزینه راه اندازی یک تأسیسات تولید سلول جدید معمولا بین ۲۰۰ تا ۵۰۰ میلیون دلار، بعلاوه حدود ۵۰ میلیون دلار (یا بیشتر) برای یک واحد تولید پودر الکترود است. از آنجایی که پیش بینی دقیق و با اطمینان ۱۰ سال آینده غیر ممکن است، در طی دوره توسعه، چندین نقطه تصمیم گیری "برو–نرو" وجود خواهد داشت، که به این ترتیب امکان پذیری آن تایید می‌شود و ریسک آن به طور مداوم کاهش می‌یابد.

پیدا کردن افراد سرمایه گذار برای این سرمایه گذاری عظیم که مدت زمان بازگشت سرمایه آن بیش از ۱۰ سال طول می کشد چالش دیگری است.

۵-٤-۱۸- میانبرها

در صورت امکان طراحی محصول با استفاده از سایزها و تنظیمات سلولی استاندارد و توانایی تولید با استفاده از فرآیندهای تولید استاندارد صنعتی می توان در هزینه های اصلی تولید محصول سلول صرفه جویی نمود، اما این کار از زمان توسعه کلی، زمان زیادی نمی کاهد.

دفعه بعد که یک آزمایشگاه یک پیشرفت در تکنولوژی باتری را اعلام می کند، موارد فوق را در نظر بگیرید و قبل از اینکه تصمیم بگیرید، وضعیت را بررسی کنید و آن را به برنامه های خود اضافه کنید.

۵-٤-۱۹- هدف‌های خرد برای رسیدن به باتری مورد نظر

بررسی روند رشد و هدف گذاری‌های صورت گرفته در دنیا برای دستیابی به دانش فنی باتری‌های مورد نیاز در خودروهای هیبریدی و برقی نشان داد که فناوری باتری‌ها از باتری‌های لیتیمی تا رسیدن به باتری‌های فلز هوا، طی یک برنامه طولانی مدت پیش خواهد رفت. ولی در کنار آن پژوهشهای نوآورانه و پیشنهادهایی با میانبرهای زیرکانه به منظور دستیابی به اهداف تعیین شده برای باتری خودروهای برقی مانند روشهای نوین باتریهای جریانی، باتریهای هیبرید، سلولهای رشته‌ای لیتیمی و . . . نیز مطرح شده‌اند که توجه به آنها و سرمایه گذاری برای آنها شاید منجر به برداشتن گامهای محکمتر و سریعتری برای رسیدن به هدف فراگیر نمودن خودروهای برقی گردد. لذا در کنار سرمایه گذاری برای هدف باتریهای فلز–هوا، برنامه ریزی و سرمایه گذاری برای پژوهشهای یاد شده مانند باتریهای جریانی، هیبریدی و رشته‌ای لیتیمی و . . . نیز ضرورت دارد.

در ضمن مطالعات کاربردی در خصوص تعیین ظرفیت کشور برای بومی سازی تولید مواد اولیه مناسب برای شیمی باتری انتخاب شده نیز ضرورت دارد. مثلا در خصوص باتریهای پایه لیتیم، انجام مطالعات کاربردی استخراج لیتیم از منابع گوناگون از جمله دریاچه های نمک موجود در سطح کشور ضرورت دارد. لازم به ذکر است که در این خصوص فعالیتهای اولیه توسط ارگانهایی مانند معاونت پژوهشهای زیربنایی و امور تولیدی دفتر مطالعات انرژی، صنعت و معدن و مرکز پژوهشهای مجلس شورای اسلامی صورت پذیرفته است.

حال به عنوان هدف نهایی برای دستیابی به خودرو برقی قابل رقابت با خودرو بنزینی، ویژگی‌های اجزاء باتری مورد نظر برای هدف طولانی مدت تعیین می‌گردد. برای رسیدن به هدف تامین انرژی خودرو برقی پیشرفته مواد اولیه مناسب برای اجزاء اصلی سلول یعنی کاتد و آندی با انرژی و کیفیت بالا و الکترولیتی با ولتاژ مناسب مورد نیاز است. با تبدیل ویژگی‌های کیفی به کمی مواد اولیه سلول باید به اهداف زیر برسند [۸]:

اهداف مواد اولیه سلول مورد نیاز:

- ظرفیت آند بیش از ۵۰۰ mAh/g
- ظرفیت کاتد بیش از ۳۰۰ mAh/g
- کاتدها و الکترولیت‌ها تا ولتاژ ۵V پایدار باشند
- الکترولیت‌های حالت جامد باهدایتی بیش از $۱۰^{-۳}$ S/cm

در ارتباط با اهداف تعیین شده برای ظرفیت آند و کاتد، همانگونه که قبلا اشاره شد با وجود اینکه آند و کاتد برای استفاده بهینه از حجم در دسترس سلول، باید ظرفیت برگشت‌پذیری یکسانی داشته باشند، اما به دلیل تفاوت در ویژگیها و مشخصات مواد مورد استفاده در دو الکترود آند (فلز) و کاتد (هوا)، ممکن است یکسان سازی ظرفیت الکترودها مقدور نباشد، لذا هدف گذاری در این زمینه، با استناد به پیشرفت تحقیقات صورت گرفته در خصوص هریک از الکترودها، به شکل فوق مطرح شده است.

سلول باتری مورد نظر باید حداقل ویژگی‌های دانسیته انرژی و عمر مفید را دارا باشند.

اهداف سلول مورد نیاز:

- دانسیته وزنی انرژی: حداقل ۲۰۰–۳۰۰ Wh/Kg
- دانسیته حجمی انرژی: حداقل ۴۰۰–۵۰۰ Wh/L
- چرخه شارژ و تخلیه: حداقل ۵۰۰۰

- عمرمفید: حداقل ۱۰ سال
- قیمت سلول باتری $/kWh ۳۰۰

و در نهایت بسته باتری مورد نیاز برای خودرو برقی قابل رقابت با خودرو بنزینی باید ویژگی‌های زیر را داشته باشد:

اهداف بسته باتری:

- گسترش سلول و ماژول‌های پیشرفته باتری
- گسترش تست و آنالیز سلول ماژول و باتری
- امکانات طراحی باتری
- تمرکز بر کاهش قیمت، و افزایش عمر و کارایی باتری
  - خودرو برقی ۱۰۰ تا ۱۵۰ دلار بر کیلووات ساعت

لذا در مجموع با الگوبرداری از کشورهای پیشرفته و با توجه به شرایط و اولویت‌های ایران، و بر مبنای باتری لیتیم یون متداول در کشور، نقشه راه مورد نیاز پیشنهادی برای کشور برای برنامه زمانی با نقطه آغاز کنونی تا سال ۲۰۳۰ طبق شکل ۳-۵ ترسیم می‌شود.

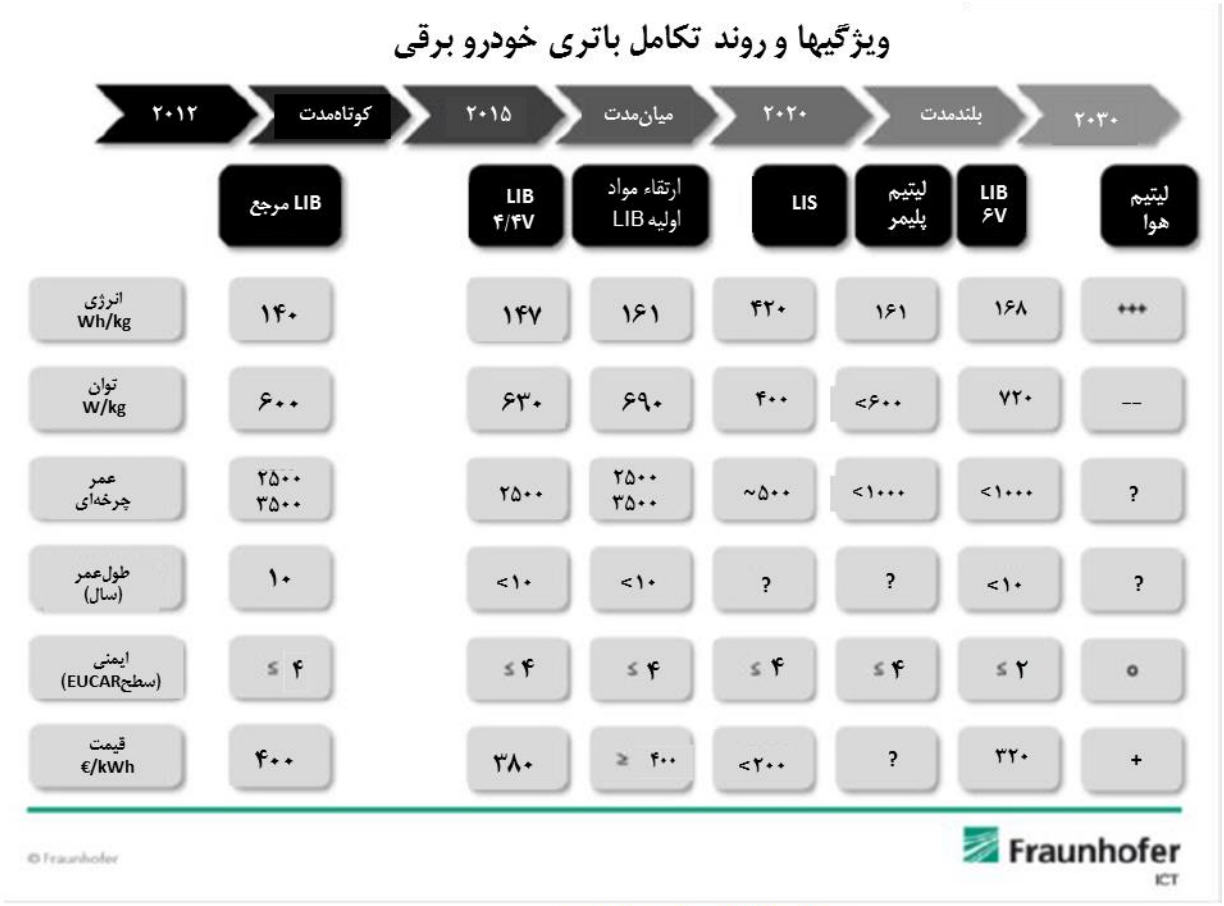


شکل ۵- ۳- تعیین هدف برای سلول و باتری خودرو برقی[۸]

در این نقشه، برنامه‌ریزی به منظور رسیدن به باتری فلز–هوا به گونه ای صورت گرفته است که در این بازه زمانی دانش فنی باتری‌های لیتیم سولفور و لیتیم پلیمر در مقاطع زمانی مورد نظر کسب خواهد شد.

جدول ۵- ۳- نقشه راه باتری خودرو برقی[1]

[1] E-mobility Roadmap for the EU battery industry, The European Association for Advanced Rechargeable Batteries, 2013



Source Fraunhoffer

لازم به توضیح است که نقشه راه باتری خودرو برقی توسط انجمن فرانهوفر[1] تهیه شده است. این انجمن یک سازمان تحقیقاتی آلمانی با ۷۲ موسسه است که در سراسر آلمان گسترش یافته و هر یک در زمینه های مختلف علمی کاربردی متمرکز است.

از برنامه‌ها و نقاط عطف ارائه شده در این برنامه (جدول ۵–۳) نیز می توان طرح های کوتاه مدت، میان مدت و بلند مدتی را به این ترتیب استنتاج نمود:

کوتاه مدت: ساخت باتری لیتیمی با ولتاژ ۴/۴ ولت،

میان مدت:

– ساخت باتری لیتیم سولفور،

- ساخت باتری لیتیم پلیمر،
- ساخت باتری لیتیمی با ولتاژ ۶ ولت،

[1] Fraunhofer

بلند مدت: ساخت باتری لیتیم هوا با مشخصات تعیین شده

در ضمن به موازات برنامه های فوق الذکر،

۱) مطالعات پژوهشی مربوط به امکان یافتن منابع و استحصال و تولید مواد اولیه و همچنین
۲) رصد پژوهشهای نوین در خصوص باتریهایی همچون باتریهای هیبریدی، جریانی و سلولهای رشته ای و انجام پروژه‌های تحقیقات کاربردی در خصوص ارتقاء ویژگیهای باتریهای یاد شده تا رسیدن به ویژگیهای تبیین شده برای باتری خودرو برقی در قالبهای شرح داده شده، نیز ضرورت دارد.

۵-۵- تدوین برنامه عملیاتی سیاست‌های کوتاه مدت و بلند مدت حاکمیتی در حوزه بسته های حمایتی

بحران آب، آلاینده‌های مخرب، هوای نا سالم، مصرف بی رویه منابع و تهدیدات دیگر که زیست بوم یک منطقه را با تغییراتی مواجه می‌کند که ممکن است هیچ راه بازگشتی برای آن وجود نداشته باشد. یکی از این آسیب‌ها، آلودگی مربوط به خودروهای دیزلی و بنزینی است که با بنزین و گازوئیل و گاز کار می‌کنند. وسایل نقلیه‌ای مانند موتور، اتومبیل، کامیون و چیزهایی از این دست. یکی از راه‌حل‌های جلوگیری از مشکل آلودگی خودرو برقی است که برای پاسخ به این نیاز تولید شده است. منطق این کار هم مشخص است : نمی‌توان در «کوتاه مدت» استفاده افراد از وسایل نقلیه را کاهش داد اما می‌توان آن‌ها را به استفاده از وسایل نقلیه بهتر و پاک‌تر تشویق کرد.

با وجود اینکه استفاده از خودروهای برقی از دیدگاه زیست محیطی بسیار ارزشمند است ولی مهمترین مانع و چالش در زمینه به‌کارگیری انواع فناوری‌های خودرو برقی و هیبریدی باتری است. از آنجا که باتریهای متداول در مقایسه با بنزین و ارزش حرارتی و راندمان آن در سطح بسیار پایینتری قرار دارد، در کل دنیا توسعه آن‌ها تا کنون تنها درصد کمی از کل حمل و نقل را پوشش داده است.

فرهنگ سازی مهمترین موضوع در گسترش خودرو برقی است. همانگونه که از تمام بخشهای پیشین گزارش مشخص است، گسترش خودرو برقی در گرو گسترش باتری آن است. فاصله موجود میان راندمان خودروهای دارای سوخت فسیلی و خودرو برقی بسیار قابل توجه بوده و مقابله با قولهای صنعت خودرو های دارای موتورهای درونسوز بسیار دشوار است. ولی با توجه به مشکلات زیست محیطی و همچنین مشکلاتی که مصرف سوختهای فسیلی و تولید گازهای گلخانه ای برای دنیا ایجاد کرده است، سرمایه گزاری و فرهنگ سازی برای گسترش استفاده از خودروی برقی ضرورت نسل کنونی بشر بشمار می‌رود. از این رو برنامه ریزی برای استفاده از بسته های حمایتی برای تولید باتری مناسب و در نتیجه گسترش خودرو برقی

در دستور کار کشورهای پیشرفته قرار گرفته است. بویژه برنامه ریزی انجام شده در نقشه راههای حمل و نقل در اتحادیه اروپا تا ۲۰۳۰ و ۲۰۵۰ نشان میدهد که سرمایه گزاری عظیمی برای حمایت از حمل و نقل برقی صورت پذیرفته است.

بررسی تجربیات اغلب کشورهای پیشرفته و دارای صنعت خودرو، نشان می‌دهد که این کشورها، برنامه جدی و مدونی برای توسعه و تولید انبوه خودروهای الکتریکی دارند و از سال ۲۰۰۹ اغلب کشورهای پیشرفته گرایش قابل توجهی به خودروهای الکتریکی پیدا کرده اند که شاید این اقبال بی ارتباط با رشد فزاینده قیمت جهانی نفت نیز نباشد. موضوع استفاده از خودروهای برقی در اکثر کشورهای توسعه یافته بویژه ایالات متحده آمریکا، آلمان، انگلستان، کانادا و ژاپن و نیز برخی از کشورهای در حال توسعه از جمله چین، هند، تایوان و کره جنوبی اهمیت ویژه ای یافته و برنامه ریزی برای تولید انبوه خودروهای برقی در کشورهای مذکور صورت گرفته است.

یکی از عوامل مهم در جلوگیری از فروش بیشتر خودروهای برقی «قیمت گران‌تر» درمقایسه‌با نمونه‌های مشابه بنزینی است. درواقع، قیمت بسیاری از مدل‌های برقی به‌حدی گران است که متقاضی نمی‌تواند نیازش را برطرف کند. بسیاری از کارشناسان معتقدند اگر فناوری خودروهای برقی و باتری آن با سرعت فعلی توسعه یابد، می‌توان قیمت ارزان‌تر این مدل‌ها را در آینده‌ای نزدیک پیش‌بینی کرد. درصورت وجود شرایط ایده‌آل، تا سال ۲۰۲۴ قیمت خودروهای برقی برابر یا حتی ارزان‌تر از نمونه‌های بنزینی مشابه خواهند شد. باوجود این، پیش‌بینی این فناوری و بازار آینده‌ی آن در وضعیتی که هر ثانیه درحال‌تغییر است، دقیق نیست. با تمام این تفاسیر، درحال‌حاضر می‌توان خودروهای برقی را در برخی کشورهای توسعه‌یافته، نظیر آمریکا، با قیمت تقریبا مقرون‌به‌صرفه‌ای تهیه کرد. در ایالات متحده‌ی آمریکا، قیمت خرید خودروِ صفرکیلومتر به‌طور میانگین ۳۵،۰۰۰ دلار برآورد می‌شود. اگر ۳۵،۰۰۰ دلار را معیار قرار دهیم، هم‌اکنون چند مدل برقی با قیمتی ارزان‌تر فروخته می‌شوند. علاوه‌براین، با درنظرگرفتن اعتبارهای مالیاتی و مشوقهای فدرال آمریکا، قیمت نهایی بسیار ارزان‌تر خواهد بود. اگر خریدار و خودرو شرایط لازم برای دریافت اعتبار ۷،۵۰۰ دلاری فدرال را داشته باشند، قیمت مدل برقی صفرکیلومتر تقریبا به ۱۷،۰۰۰ دلار می‌رسد که مشابه نمونه‌ی بنزینی در کلاس شهری و تولید سال ۲۰۱۹ است. می‌توان مشوق‌های مالی موجود در برخی ایالت‌ها را هم درنظرگرفت تا این قیمت حتی ارزان‌تر هم حساب شود. البته، شرایط تخصیص اعتبار ۷،۵۰۰ دلاری فدرال به این شکل است که این مبلغ فقط برای خرید اولین خودروِ برقی و پلاگین هیبرید هر فرد است و نمونه‌ی دستِ‌دوم شامل آن نمی‌شود. نکته‌ی مهم‌تر این است که فقط ۲۰۰،۰۰۰ دستگاه تولیدی اول هر برند خودروساز این اعتبار را شامل می‌شوند. در سال ۲۰۱۹، ظرفیت استفاده از اعتبار ۷،۵۰۰ دلار برای محصولات برقی و پلاگین هیبرید جنرال موتورز و تسلا

به‌پایان رسیده است. پس از فروش ۲۰۰،۰۰۰ دستگاه، اعتبار مالیاتی فدرال به ۳،۷۵۰ دلار کاهش پیدا می‌کند که حدود ۶ ماه پیش، تسلا

به این ظرفیت رسید[۱۱] .

سیاست‌ها و برنامه‌های برخی از کشورهای عضو EVI[1] در سال‌های ۲۰۱۳ و ۲۰۱۴ میلادی به تفکیک در زیربخش‌های مشوق‌های مالی، زیرساخت و تحقیق و توسعه در جدول ۵-۴ ارائه شده است.

جدول ۵- ٤-مشوق‌های مالی، زیرساخت و تحقیق و توسعه

۲۰۱۳				
ردیف	نام کشور	زیرساخت	مشوقهای مالی	تحقیق و توسعه
۱	چین	اطلاعات موجود نبود	سوبسید خرید خودرو برقی تا ۱۰ هزار دلار	۱۱۴۶ میلیون دلار برای پروژههایRD&D۲
۲	دانمارک	۱۳ میلیون دلار برای زیرساختهای شارژر	معافیت از ثبت نام و مالیات جاده ها	تمرکز روی شبکه هوشمند ایستگاههای شارژ
۳	فنلاند	اختصاص ۵ میلیون یورو به توسعه	اختصاص ۵ میلیون یورو به برنامه های تولید خودرو ملی تا پایان ۲۰۱۳	اطلاعات موجود نبود
۴	فرانسه	اختصاص ۵۱ میلیون یورو برای پوشش نیمی از هزینه های شارژر	اختصاص ۴۵۱ میلیون یورو برای سوبسید خرید خودروهای برقی	اختصاص ۱۴۱ میلیون یورو برای RD&D
۵	آلمان	مشخص کردن ۴ منطقه به عنوان مناطق پایلوت خودروی برقی	معافیت از ثبت نام و مالیات جادهها	کمکهای مالی در خصوص شبکه شارژرها و RD&D
۶	هند	مأموریت ملی برای تسهیل	پرداخت۱۶۰۰دلار یا ۲۰ درصد هزینه	ساخت ظرفیتهای RD&D با
		زیرساختها برای خودرو برقی	و کاهش مالیات مستقیم خودرو	اتصال دولت و بخش خصوصی

[1] Electric Vehicle Initiative
[2] Research, Development, and Deployment (also called Research, Development, and Demonstration)

۷	ایتالیا	اطلاعات موجود نبود	۱/۵ میلیون یورو برای تشویق خریداران	اطلاعات موجود نبود
۸	ژاپن	حمایت برای پرداخت نصف هزینه دستگاههای شارژ تا سقف ۱۵ هزار دلار	حمایت برای پرداخت نصف هزینه بین خودرو برقی و معادل دیزلی آن تا سقف ۱۰ هزار دلار	تمرکز اصلی روی زیرساختهای RD&D
۹	هلند	نصب و راه اندازی۴۱ ۰ محل شارژ خودرو	کاهش مالیات به اندازه ۱۰ تا ۱۲ درصد پرداخت صورت گرفته برای خودرو برقی	تمرکز روی RD&D باتریها
۱۰	اسپانیا	مشوقهای عمومی برای راهاندازی ایستگاههای شارژ	مشوقهایی تا ۲۵ درصد قیمت خودرو تا سقف ۶۰۰۰ یورو.و مبلغ ۲۰۰۰ یورو مشوقهای دیگر	طرح بزرگ RD&D عملی شده است و برای طرح دیگر مشوقهایی وجود دارد
۱۱	سوئد	در سال ۲۰۱۲ ، یک میلیون یورو اختصاص داده شده بود.	۴۵۰۰ یورو پرداخت به خودروهای با تولید کمتر از ۵۰ گرم CO_2 در کیلومتر ۲۰ میلیون یورو تا ۲۰۱۴	۲/۵ میلیون یورو روی باتری
۱۲	انگلستان	۳/۵ میلیون پوند برای ۱۰۰۰ ایستگاه شارژ	ارائه امتیازات ویژه از ابتدای سال۲۰۱۱ شامل۲۵ درصد کمک بلاعوض دولتی تا سقف ۵هزار پوند (معادل ۷۸۰۰ دلار آمریکا)در در نظر گرفته شده است	عریف ۶۱ پروژه توسط انجمن استراتژیک فناوری
۱۳	آمریکا	۳۰درصد هزینه شارژ اعتبار مالیاتی تا سقف ۳۰هزار دلار برای ایستگاههای تجاری وتا سقف ۱۰۰۰ دلار برای خانگی و۳۶۰ میلیون‌دلار برای توسعه ایستگاهها	۷۵۰۰ دلار اعتبار مالیاتی	۲۸۶ میلیون یورو اختصاص بودجه برای تحقیق روی باتریها

۲۰۱۴		
	نام کشور	سیاستهای حمایتی
۱	استرایا	□ تخفیف ۱۰ تا ۲۰ درصدی بیمه‌ها برای سال ۲۰۱۴ میلادی □ سهم سرمایهگذاری ۳۰ درصدی دولت در شرکتهای غیردولتی برای مشارکت در این پروژهها در سال ۲۰۱۴ میلادی
۲	انگلستان	□ حمایت ۴۳ میلیون یورویی برای کمک به زیرساختها در بازه زمانی سالهای ۲۰۱۵ تا ۲۰۲۰ میلادی □ در آپریل ۲۰۱۴ اعلام شد ۶۷۴ میلیون یورو از سال ۲۰۱۵ تا ۲۰۲۰ برای حمایت، توسعه و استفاده از ULEVs [1] هزینه خواهد شد.

[1] خودروی با آلودگی بسیار کم.

۳	کانادا	برنامه Branché au travail در ابتدای سال ۲۰۱۴ میلادی، ۵۰۰۰ دلار کمک هزینه برای خرید و شارژ خودروی برقی در ایالت کبک دارای اعتبار تا انتهای سال ۲۰۱۶ میلادی اختصاص داده است. □□برنامه Drive Electric در ابتدای سال ۲۰۱۲ میلادی برای همه خودروهای برقی و هیبریدی دوشاخه دار جهت خرید و نصب پمپ شارژ خانگی ۲۴ولت به میزان ۸۰۰۰ دلار که به ۴۰۰۰ کاهش یافت(در ایالت کبک با اعتبار تا انتهای سال ۲۰۱۶ میلادی)اختصاص یافته است. □□ایالت آنتاریو از سال ۲۰۱۰ مبلغ ۵ هزار تا ۸۵۰۰ دلار کانادا(تقریباً معادل ۴۹۰۰ تا ۸۳۲۰ دلار آمریکا)را به عنوان تخفیف برای خرید یا اجاره خودروهای برقی اختصاص داده است .همچنین پلاکهای سبزی نیز به این خودروها اختصاص داده شده که براساس آن، دارنده خودرو میتواند بدون هیچ محدودیتی و تا سال ۲۰۱۵ ، در مناطقی از ایالت که شامل محدودیتهای ترافیکی است، تردد نماید.[۱]

پس از بحث فرهنگ‌سازی، در راستای گسترش استفاده از خودرو برقی، مهمترین موضوع، تامین باتری خودروهای برقی است.

در حال حاضر در کشور ما تولید سلول‌های باتری و نیز جعبه باتری با مشکل روبرو است. حداکثر نیمی از قیمت جعبه باتری به سلول‌های باتری اختصاص دارد و همچنین احتمالا هزینه سلول باتری باید برای الزامات مکانیکی، الکتریکی، حفاظتی خنک کاری و مدیریت هزینه شود.

کشورهای پیشگام در تحقیق و ساخت خودروهای برقی، ۱۶ میلیارد دلار طی سالهای ۲۰۰۸ تا ۲۰۱۴ صرف هزینه تحقیق و توسعه، مشوقهای مالی و زیرساخت خودروهای برقی کرده‌اند. از این میزان هزینه، بیشترین سهم به بخش تحقیق و توسعه (حدود ۷/۵ میلیارد دلار) اختصاص یافته، مشوق‌های مالی حدود ۵/۵ میلیارد دلار و زیرساخت در رتبه سوم قرار دارد [۱۲]

بر اساس روند تولید باتری ارائه شده در بخش پیشین حداقل ده سال برنامه ریزی پرکار برای طراحی، ساخت آزمایشگاهی، تولید نیمه صنعتی و صنعتی یک نوع از باتری مورد نیاز است. مسلما برای این کار عزم و اراده حاکمیتی الزامی است. تخصیص بودجه های تحقیقاتی برای انجام پژوهشهای عنوان شده در بخش قبل در مراکز پژوهشی و دانشگاه‌ها (در قالب پایان نامه های دانشگاهی) و . . . امکان پذیر است.

به طور خلاصه برنامه عملیاتی سیاست‌های کوتاه مدت و بلند مدت حاکمیتی در حوزه بسته‌های حمایتی الزامات تولید و استفاده از خودروی برقی در کشور عبارتند از:

الف) برنامه‌های کوتاه مدت:

[۱] مرکز پژوهش‌های مجلس، تولید خودروهای الکتریکی در ایران، ۱۳۹۳

۱) پرداخت کمک هزینه‌های تحقیق و توسعه شرکت‌های خودروساز

۲) پرداخت یارانه به استفاده کنندگان از این خودروها

۳) کاهش تعرفه واردات قطعات خودروهای برقی

۴) پرداخت یارانه به مصرف کننده‌ها برای خرید خودروهای برقی در صورت بومی‌سازی،

۵) ایجاد مشوق هایی برای استفاده از خودروهای برقی

۶) عدم اعمال محدودیت‌های ترافیکی و تردد در سطح شهرها

۷) افزایش عوارض مربوط به خودرو های دارای سوخت فسیلی

ب) برنامه های بلند مدت:

۱) ایجاد زیرساخت های مناسب در سطح شهرها برای استفاده از این خودروها

۲) تقویت بخش خصوصی و یا دولتی برای تولید باتری های مناسب و مورد نیاز خودرو برقی و یا سرمایه گذاری مشترک در این خصوص[۱۳]

۶-۵- تدوین برنامه عملیاتی سیاست‌های کوتاه مدت وبلند مدت حاکمیتی در حوزه تصویب و اجرای دستورالعمل‌ها و استانداردها

پس از تبیین و پذیرش نیاز به استفاده از خودرو برقی در کشور، یکی از مهمترین مراحل در جهت استقرار آن تدوین و تهیه دستورالعمل‌ها و استانداردهای مورد لزوم به منظور استقرار هرچه بهتر آن است. از جمله فعالیت‌های اخیر صورت گرفته در کشور در راستای ترویج استفاده از خودروهای برقی اقدامات مجلس شورای اسلامی است:

مصوبه اخیر مجلس شورای اسلامی در خصوص خودروهای برقی:

بر اساس مصوبات مجلس شورای اسلامی در راستای ساماندهی بازار خودرو واردات خودروهای سواری تمام برقی – بنزینی (تمام هیبریدی) تا زمان تولید آن‌ها در داخل از پرداخت حقوق ورودی معاف است. دولت موظف است زمینه تولید داخل خودروهای مذکور را ظرف مدت پنج سال فراهم نماید. هزینه‌های مالی ناشی از اجرای این ماده از محل درآمدهای ناشی از اجرای این قانون تأمین می‌شود. (یکشنبه ۲۹ اردیبهشت ماه ۹۸)

ماده (۳) این طرح بدین شرح است: وزارت صنعت، معدن و تجارت مکلف است با همکاری وزارتخانه‌های ارتباطات و فناوری اطلاعات، نیرو و راه و شهرسازی و معاونت علمی و فناوری ریاست جمهوری نسبت به تدوین سند راهبردی فناوری‌های نوین در صنعت خودروسازی از جمله خودروهای تمام برقی، تمام هیبریدی (مدل‌هایی که قابلیت شارژ از طریق اتصال به منبع‌های خارجی برق را نیز دارند) و خودران و نیز امکان استفاده از سوخت‌های غیرفسیلی دیگر حداکثر ظرف مدت یک سال پس از لازم‌الاجراء شدن این قانون اقدام نماید. دولت مجاز است ضمن ترویج روش‌های کاهش و بهینه سازی مصرف سوخت، نسبت به وضع عوارض پلکانی بر دارندگان خودروهای پر مصرف (نسبت به حجم سیلندر) و یا تولید خودروهای با مصرف بالاتر از حد مجاز به تشخیص سازمان ملی استاندارد اقدام کند و درآمد حاصل را پس از واریز به حساب خزانه داری کل کشور و درج در بودجه‌های سنواتی به یارانه تسهیلات بانکی جهت گسترش حمل و نقل عمومی اختصاص دهد.

وزارت صنعت، معدن و تجارت مکلف است در افق سند چشم انداز بیست ساله بسترهای لازم را برای ورود فناوری‌های جدید و مستقل تولید خودرو با همکاری شرکت‌های معتبر خودروسازی جهان و یا به صورت سرمایه گذاری مشترک با شرکت‌های فعال موجود فراهم سازد.

همانگونه که اشاره شد یکی از مسائل بسیار با اهمیت در خصوص الزامات و چالشهای تولید خودروهای برقی در ایران موضوع تدوین استانداردهای ملی در حوزه وسایل نقلیه برقی و متعلقات (تطبیق با استانداردهای موجود اروپایی مورد استفاده در کشورها) آن است. مسلما این موضوع در خصوص باتری خودروهای برقی که گران قیمت ترین بخش خودرو است نیز صدق می‌کند.

لذا به موازات برنامه ده ساله تدوین دانش فنی باتری‌های پیشرفته، برنامه ریزی برای به روز رسانی استانداردهای موجود در خصوص باتری‌های نوع دوم، تدوین دستورالعمل‌های تولید، بهره برداری و بازیافت باتری‌های خودرو برقی و همچنین تدوین استانداردهای کنترل کیفیت باتری‌های پیشرفته خودرو برقی ضرورت دارد.

به طور خلاصه برنامه عملیاتی سیاست‌های کوتاه مدت و بلند مدت حاکمیتی در حوزه تصویب و اجرای دستورالعمل‌ها و استانداردهای تولید، نگهداری، بازیابی و استفاده از خودروی برقی در کشور عبارتند از:

الف) کوتاه مدت:

۱) وضع قوانین و دستورالعمل‌های مورد نیاز برای استفاده از خودروهای برقی

۲) استفاده از دستورالعمل‌ها و استانداردهای بین المللی در ارتباط با باتریهای خودرو برقی

ب) بلند مدت:

۱) تشکیل کارگروه رصد موضوع و بررسی موضوع

۲) تدوین دستورالعمل‌ها و استانداردهای ملی باتری‌های خودروهای برقی با الگو برداری از نمونه‌های خارجی و با بهره‌گیری از تجربه استفاده کوتاه مدت از آن‌ها در شرایط خاص کشور.

۷-۵- برگزاری جلسات با نهادهای حاکمیتی، شرکت‌های خصوصی، سازندگان، فعالان اقتصادی، سرمایه‌گذاران و ارایه برنامه عملیاتی و اصلاح آن براساس نظر خبرگان

مراکز و آزمایشگاه‌های پژوهشی و دانشگاهی اشاره شده در بخش "مشاوره و رایزنی با پتانسیل‌های توانمند ایرانی در خصوص ساخت باتری خودرو برقی" از دیدگاه امکانات آزمایشگاهی و همچنین از دیدگاه تجربه و علم موجود در خصوص باتریهای پیشرفته مورد نیاز صنعت خودرو در ایران و یا از دیدگاه دانش فنی پیشرفته موجود در خصوص ساخت مواد و قطعات مورد نیاز در این حوزه قابل تامل می‌باشند. از این رو به منظور فراهم نمودن بستری مناسب جهت استفاده از تمامی امکانات نرم افزاری و سخت افزاری موجود در حوزه باتری در کشور مذاکراتی با هر یک از ارگان‌های برگزیده لیست فوق صورت پذیرفت.

با توجه به نوع باتری انتخاب شده در مراحل پیشین و پتانسیل موجود در دانشگاههای فعال در این حوزه می توان ساخت باتریهای فلز هوا و باتریهای دیگری که مستعد رسیدن به شرایط ایده‌آل برای استفاده در خودرو برقی هستند را بر اساس برنامه ریزی حداقل ده ساله برای رسیدن به یک محصول مناسب جهت دهی نمود.

همچنین با وجود آزمایشگاه‌ها و امکانات مناسب و اراده کافی در شرکت توان در پیشبرد اهداف مشترک، تلاشهایی به منظور امضای تفاهم نامه جهت آغاز همکاری و استفاده از امکانات آن شرکت بعمل آمده و تفاهم نامه همکاری در زمینه استفاده از امکانات آن شرکت به امضا رسیده است.

بعلاوه در صورت نیاز به هر گونه مذاکره برای انجام فعالیت‌های مشترک و سرمایه گذاری مشترک با هدف تولید باتری با هر یک از ارگان‌های مذکور، بستر مناسبی فراهم شده است [۱۳].

۵-۸- ارایه عناوین پروژه، جدول زمانبندی انجام و RFP مربوط به آنها

عناوین پروژه ها:

بر اساس توضیحات ارائه شده در بخش‌های پیشین و با استناد به شکل ۵-۱، فعالیتهای مورد نیاز از نقطه شروع، یعنی مرحله انتخاب شیمی باتری تا مرحله تجاری‌سازی آن، در قالب ۲۶ عنوان پروژه و حدودا ۱۰ سال زمان، تقسیم بندی شده و در جدول ۵-۵ جمعبندی و ارائه شده است. در خصوص باتریهای مطرح در جهان، از آنجا که مراحل اولیه انتخاب شیمی باتری‌ها در دنیا آزمایش شده است (در بخش‌های پیشین به تفصیل در خصوص باتری‌های مطرح و فعالیت‌های پژوهشی انجام شده پیرامون انواع باتری‌ها شرح داده شده است)، در صورتی که عزمی ملی در این خصوص وجود داشته باشد و به تبع آن سرمایه‌گذاری کافی صورت پذیرد، می توان این زمان را کاهش داد.

ارایه عناوین پروژه، جدول زمانبندی انجام، RFP مربوط به آنها

عناوین پروژه‌ها

بر اساس توضیحات ارائه شده در بخش‌های پیشین و با استناد به شکل ۵-۱، فعالیتهای مورد نیاز از نقطه شروع، یعنی مرحله انتخاب شیمی باتری تا مرحله تجاری‌سازی آن، در قالب ۲۶ عنوان پروژه و حدودا ۱۰ سال زمان، تقسیم بندی شده و در جدول ۵-۵ جمعبندی و ارائه شده است. در خصوص باتریهای مطرح در جهان، از آنجا که مراحل اولیه انتخاب شیمی باتری‌ها در دنیا آزمایش شده است (در بخش‌های پیشین به تفصیل در خصوص باتری‌های مطرح و فعالیت‌های پژوهشی انجام شده پیرامون انواع باتری‌ها شرح داده شده است)، در صورتی که عزمی ملی در این خصوص وجود داشته باشد و به تبع آن سرمایه‌گذاری کافی صورت پذیرد، می توان این زمان را کاهش داد.

جدول ۵- ۵- برنامه‌ریزی پروژه‌ها از نقطه آغاز انتخاب شیمی باتری تا تولید تجاری آن

	اقدام	شرح	زمان (ماه)	هزینه (میلیون ریال)
۱	انتخاب شیمی باتری	ولتاژ بازگشت پذیری، پایداری، چرخه پذیری سلول، ظرفیت شارژ الکترود، دمای بهره برداری بهینه، هزینه‌ها	۶	۹۰۰
۲	تست الکترود	تایید شرایط شیمی باتری، ظرفیت شارژ، پایداری مکانیکی و حساسیت به سمیت	۶	۹۰۰

۳	انتخاب الکترولیت	شکست ولتاژ، محدوده های دما، محصولات شکست، سمیت، ایمنی، هزینه ها	۶	۹۰۰
٤	انتخاب جدا کننده	تخلخل، ضخامت، محدوده های دما، پایداری مکانیکی، ایمنی، هزینه ها	۴	۶۰۰
٥	انتخاب بایندرها و حلالها	چسبندگی، ویسکوزیته، هدایت، سمست، هزینه ها	۶	۷۰۰
٦	تست سیستم الکتروشیمیایی	تولید نیرو، پذیرش شارژ، راندمان کولمبی، عمر چرخه ای، تولید حرارت، محدودیت‌های دما، امپدانس حرارتی، تخلیه خودبخودی، تشکیل دندریت، واکنش‌های جانبی، حل شدن مواد فعال و غیر فعال و ته نشینی مواد	۹	۱۲۰۰
۷	اعمال افزودنیهای سیستم الکتروشیمیایی	افزایش کارایی (فروکاستن واکنش‌های جانبی و دندریت . . .)	۶	۱۰۰۰
۸	مورفولوژی اجزاء	بهینه‌سازی اندازه و شکل اجزاء، روش‌های ممانعت از شکست، پوشش‌های هادی	۶	۸۰۰
۹	مقیاس پذیری تامین مواد	ارزیابی، خلوص، فرایندها، کنترل اندازه اجزاء	۶	۶۰۰
۱۰	تعیین مشخصات اجزائ غیر فعال	محفظه، جمع کننده جریان، عایق بندی، ترمینال‌ها، آب بندها، شیرهای فشارشکن	۶	۹۰۰
۱۱	طراحی عملی سلول	ساختار، ضخامت لایه فعال، تنظیم ظرفیت الکترود، وزن، ایمنی، طراحی برای اتوماسیون، هزینه‌ها	۶	۹۰۰
۱۲	تولید نمونه های اولیه برای انجام آزمون	آزمون تایید کارایی، ظرفیت، توان، دانسیته انرژی، امپدانس، بهره وری، نشتی، طول عمر	۶	۹۰۰
۱۳	انجام آزمونهای استفاده نامناسب و زیست محیطی	تنش الکتریکی و مکانیکی، ارتعاش، شوک، تولید گاز شیرهای فشارشکن، ایمنی	۶	۶۰۰
۱٤	بررسی و مدیریت حرارتی سیستم سلول	دمای بهره برداری بهینه، تولید حرارت، حذف گرما، تولید بیش از حد حرارت	۶	۷۰۰
۱٥	طراحی فرایند تولید سلول	پوشش‌ها، پیچش‌ها، شکل دهی به سلول، اتوماسیون مونتاژ، آزمون تولید	۶	۶۰۰
۱٦	تولید مواد فعال در مقیاس بالا	مشخصات، مطالعات امکان سنجی	۶	۶۰۰
۱۷	مطالعات ملزومات ویژه	پروفیل شارژ، سطح پایان شارژ، کنترل شارژ	۶	۶۰۰

	شارژ			
۱۸	طراحی تجهیزات ساخت سلول	طراحی و تولید ماشین آلات اتوماتیک، کنترل زیست محیطی	۱۸	۱۰۰۰۰
۱۹	طراحی تجهیزات ساخت مواد فعال	طراحی و تولید ماشین آلات اتوماتیک	۱۸	۱۰۰۰۰
۲۰	برپا نمودن امکانات ساخت	راه اندازی و کنترل فرایند، استخدام نیروی کار، آموزش نیروی کار	۱۸	۸۰۰۰
۲۱	شارژر	تولید یا خرید	۶	؟*
۲۲	مهندسی کاربری	ساختار باتری، امنیت آن، مدیریت حرارتی، نظارت تولید، کنترل	۱۲	۱۰۰۰۰
۲۳	FMEA	آنالیز آثار و حالتهای خرابی	۱۲	۱۲۰۰۰
۲٤	کنترل کیفیت محصول	آزمون‌های انطباق با استانداردهای بین المللی ایمنی، خرید و فروش و استانداردهای صنعتی	۶	۶۰۰
۲۵	آزمونهای قابلیت اطمینان	تایید طول عمر باتری، محاسبات ضمانت محصول	۶	۶۰۰
۲٦	بازاریابی و فروش	مهندسی برنامه‌های کاربردی مشتری، پشتیبانی مشتری، بسته بندی	۱۲	

*** با توجه به اینکه در خصوص شارژر در مرکز خودرو برقی پژوهشگاه نیرو مطالعات جامعی انجام شده است، برآورد هزینه مورد نیاز آن نیز بر اساس ذخیره ساز منتخب و مستندات تولید شده در آن بخش شارژر انجام خواهد شد.**

: RFP

کلمه RFP[1] یعنی درخواست ارائه پروپوزال و به منظور برگزاری یا شرکت در یک مناقصه تهیه می‌شود، که جزء یکی از مهم ترین بخش ها برای یک مناقصه و همچنین معرفی نوع خدمات برای مشتریان و ارائه برنامه برای پروژه‌هایی که قصد شرکت در آن‌ها وجود دارد، است.

محتوای یک طرح پیشنهادی شامل موارد زیر است[۱۴،۱۵]:

✓خلاصه مدیریتی- خلاصه ای از تمام پروژه که در یک یا چند صفحه اطلاعات کلی و لازم را در اختیار خواننده می‌گذارد.

[1] Request for Proposal

✓شرح ضرورت– تشریح ضرورت انجام پروژه و تاثیرات آن در کسب و کار

✓تشریح پروژه– تشریح چگونگی اجرا و ارزیابی پروژه

✓اطلاعاتی در مورد سازمان

✓برنامه زمانی پروژه

✓بودجه

✓نتایج پروژه

از RFP زمانی استفاده می شود که:

۱- بایستی برای ارزیابی و انتخاب یک خدمات دهنده، فرآیندی کارشناسی، منصفانه و رقابتی صورت گیرد.

۲- برای به انجام رساندن نیازهایی معین و جدید در سازمان نیاز به پاسخ هایی متناسب با شرایط زمانی باشد نه راه حل‌های آماده و در دسترس

۳- قصد داریم با برون سپاری بخشی از فعالیت های سازمان ارتباط کاری مداومی با یک خدمات دهنده داشته باشیم.

چهاچوب‌های استاندارد برای RFP در پیوست۲ بررسی شده است.

۹-۵- جمع‌بندی اقدامات مورد نیاز برای رسیدن به اهداف تعیین شده

در مجموع در مرحله پنجم پروژه "بررسی باتری خودروهای برقی در گذشته و حال و نیازپژوهی استفاده از باتری‌ها برای خودرو برقی در ۲۰ سال آینده" با عنوان: تدوین نقشه راه، ابتدا به منظور برداشتن گام‌های عملیاتی ساخت باتری خودرو برقی، تلاش گردید مشاوره و رایزنی با شرکت‌های معتبر خارجی صورت پذیرد، ولی با توجه به شرایط کنونی و سیاست‌های بین المللی، عملا جواب مناسبی از این مکاتبات حاصل نشد. در خصوص شناسایی پتانسیل‌های توانمند ایرانی جهت مذاکره برای سرمایه‌گذاری مشترک با هدف تولید باتری فعالیت‌هایی صورت پذیرد. همچنین به ترتیب فعالیت‌های: تدوین برنامه عملیاتی بومی کردن دانش فنی و ساخت باتری خودرو، تدوین برنامه عملیاتی سیاستهای کوتاه مدت و بلند مدت حاکمیتی در

حوزه بسته‌های حمایتی، تدوین برنامه عملیاتی سیاست‌های کوتاه مدت و بلند مدت حاکمیتی در حوزه تصویب و اجرای دستورالعمل‌ها و استانداردها بر مبنای اولویت‌های موجود، برگزاری جلسات با نهادهای فعال در این زمینه و ارایه برنامه عملیاتی، ارائه عناوین پروژه، جدول زمانبندی انجام و RFP مربوط به آن‌ها انجام و در این گزارش ارائه شده است.

۱-۹-۵- اقدامات فنی

بر اساس توضیحات داده شده در بخش‌های پیشین -که چکیده ای از آن در شکل ۵-۱ ارائه شده است- از نقطه شروع، یعنی مرحله انتخاب شیمی باتری تا مرحله تجاری‌سازی آن حدودا ۱۰ سال زمان نیاز دارد. از آنجا که مراحل اولیه انتخاب شیمی باتری‌ها در دنیا آزمایش شده است (در بخش‌های پیشین به تفصیل در خصوص باتری‌های مطرح و فعالیت‌های پژوهشی انجام شده پیرامون انواع باتری‌ها شرح داده شده است)، در صورتی که عزمی ملی در این خصوص وجود داشته باشد و به تبع آن سرمایه‌گذاری کافی صورت پذیرد، می توان این زمان را کاهش داد.

- در خصوص پیشنهاد اقدام کوتاه مدت افزایش ولتاژ باتری لیتیم یون موجود، مسلما نیاز به انجام تمامی مراحل ۲۶ گانه پیش بینی شده در شکل ۵-۱ وجود ندارد و این اقدام می‌تواند در زمانی کوتاهتر از ۱۰ سال صورت پذیرد. لذا جدول اقدامات زمان‌بندی شده (جدول ۵-۵) برای پروژه "ارتقاء ولتاژ باتری لیتیمی و تجاری سازی آن" خلاصه‌تر خواهد شد و زمان و هزینه آن به حدود نصف کاهش خواهد یافت. لازم به ذکر است که فعالیت‌های ۲۶ گانه می توانند از نظر زمانی با هم همپوشانی داشته باشند.
- در خصوص پیشنهادهای میان مدت یعنی ساخت باتریهای لیتیم سولفور و لیتیم پلیمر و ارتقاء ولتاژ باتری نیز با وجود تجربه‌های موجود در دنیا و همچنین فعالیتهای پژوهشی انجام شده در دانشگاه‌های کشور، انجام مراحل ۲۶ گانه پیشنهاد شده می تواند با برنامه ریزی و حمایت ارگان‌های ذیربط انجام شود. در مورد هر یک از پروژه‌های "دستیابی به دانش فنی و تجاری‌سازی باتری لیتیم سولفور" و "دستیابی به دانش فنی و تجاری‌سازی باتری لیتیم پلیمر" جدول اقدامات زمانبندی شده (جدول ۵-۵) مناسب است.
- در نهایت با کسب تجربه مفید انجام مراحل ۲۶ گانه پیش‌بینی شده برای فعالیت‌های کوتاه مدت و میان مدت، و ایجاد دانش فنی باتری‌های پسالیتیمی، برنامه اصلی و بلند مدت برای تولید باتری‌های فلز هوا

قابل انجام است. در رابطه با باتری‌های پسالیتیمی موارد مطرح شده در جدول ۵-۵ می‌تواند در زمان بیشتری از ۱۰ سال تکمیل شود.

- در ضمن مطالعات کاربردی در خصوص تعیین ظرفیت کشور برای بومی سازی تولید مواد اولیه مناسب برای شیمی باتری انتخاب شده نیز ضرورت دارد. مثلا در خصوص باتریهای پایه لیتیم، انجام مطالعات کاربردی استخراج لیتیم از منابع گوناگون از جمله دریاچه های نمک موجود در سطح کشور ضرورت دارد. لازم به ذکر است که در این خصوص فعالیتهای اولیه توسط ارگانهایی مانند معاونت پژوهشهای زیربنایی و امور تولیدی دفتر مطالعات انرژی، صنعت و معدن و مرکز پژوهشهای مجلس شورای اسلامی صورت پذیرفته است.
- در خصوص مطالعات نوین مانند باتریهای جریانی و غیره نیز با وجود عدم قطعیتهای موجود، باید در جهت پیاده سازی بندهایی از مراحل ۲۶ گانه اقدام نموده و با بهره گیری از پتانسیل موجود در دانشگاهها و مراکز پژوهشی موجود و تقسیم کار ملی به نتیجه مورد نظر دست یافت.

- بطور قطع گام بعدی آغاز فعالیت‌های عملیاتی بر اساس برنامه ارائه شده و همچنین نظارت و رصد دائمی پیشرفت‌های جهانی می‌باشد.
- ولی مسلما تخصیص منابع مالی مناسب و صرف انرژی کافی برای:
    - مدیریت و هدایت پژوهش‌های کاربردی برنامه ریزی شده و
    - انجام مراحل نظارت داخلی و
    - رصد بین المللی به منظور بازنگری و به روز رسانی دائم، جزء جدایی ناپذیر این برنامه می‌باشد.

برنامه‌ریزی و تدوین دستورالعمل‌ها و استانداردها

به موازات برنامه ده ساله تدوین دانش فنی باتری‌های پیشرفته، برنامه ریزی برای به روز رسانی استانداردهای موجود در خصوص باتری‌های نوع دوم، تدوین دستورالعمل‌های تولید، بهره برداری و بازیافت باتری‌های خودرو برقی و همچنین تدوین استانداردهای کنترل کیفیت باتری‌های پیشرفته خودرو برقی ضرورت دارد.

به طور خلاصه برنامه عملیاتی سیاست‌های کوتاه مدت و بلند مدت حاکمیتی در حوزه تصویب و اجرای دستورالعمل‌ها و استانداردهای تولید، نگهداری، بازیابی و استفاده از خودروی برقی در کشور عبارتند از:

الف) کوتاه مدت:

۱) وضع قوانین و دستورالعمل‌های مورد نیاز برای استفاده از خودروهای برقی

۲) استفاده از دستورالعمل‌ها و استانداردهای بین المللی در ارتباط با باتریهای خودرو برقی

ب) بلند مدت:

۱) تشکیل کارگروه رصد موضوع و بررسی موضوع

۲) تدوین دستورالعمل‌ها و استانداردهای ملی باتری‌های خودروهای برقی با الگو برداری از نمونه‌های خارجی و با بهره‌گیری از تجربه استفاده کوتاه مدت از آن‌ها در شرایط خاص کشور.

۲-۹-۵- برنامه‌ریزی در حوزه بسته‌های حمایتی

به طور خلاصه برنامه عملیاتی سیاست‌های کوتاه مدت و بلند مدت حاکمیتی در حوزه بسته‌های حمایتی الزامات تولید و استفاده از خودروی برقی در کشور عبارتند از:

الف) برنامه‌های کوتاه مدت:

۱) پرداخت کمک هزینه‌های تحقیق و توسعه شرکت‌های خودروساز و باتری ساز

۲) پرداخت یارانه به استفاده کنندگان از این خودروهای برقی

۳) کاهش تعرفه واردات قطعات خودروهای برقی

۴) پرداخت یارانه به مصرف کننده‌ها برای خرید خودروهای برقی در صورت بومی‌سازی،

۵) ایجاد مشوق هایی برای استفاده از خودروهای برقی

۶) عدم اعمال محدودیت‌های ترافیکی و تردد در سطح شهرها

۷) افزایش عوارض مربوط به خودرو های دارای سوخت فسیلی

ب) برنامه های بلند مدت:

۱) ایجاد زیرساخت های مناسب در سطح شهرها برای استفاده از این خودروها

۲) تقویت بخش خصوصی و یا دولتی برای تولید باتری های مناسب و مورد نیاز خودرو برقی و یا سرمایه گذاری مشترک در این خصوص.

منابع و مراجع

1- Abraham, K.M. and Jiang, Z. (1996) A Polymer Electrolyte—Based Rechargeable Lithium/Oxygen Battery. Journal of the Electrochemical Society, 143, 1-5.

2- Mizuno, F., Nakanishi, S., Kotani, Y., Yokoishi, S. and Iba, H. 2010. Rechargeable Li–air batteries with carbonate-based liquid electrolytes. *Electrochemistry*, 78: 403–405.

۳- سهیلا دلیریان، گزارش مرحله سوم پروژه "بررسی باتری خودروهای برقی در گذشته و حال و نیاز پژوهی استفاده از باتری‌ها برای خودرو برقی در ۲۰ سال آینده"

۴- سهیلا دلیریان، گزارش مرحله اول پروژه "بررسی باتری خودروهای برقی در گذشته و حال و نیازپژوهی استفاده از باتری‌ها برای خودرو برقی در ۲۰ سال آینده"

5- New Battery Designs and Chemistries - The Hype and the Reality Bringing New Cell Technology to the Market, Battery and Energy Technologies, 2012.

6- Kim, J.Y. and Lim, D.Y. “Surface-Modified Membrane as A Separator for Lithium-Ion Polymer Battery.” Energies 2010, 3(4), 866-885

7- Yoo, S. H., and C. K. Kim. "Enhancement of the Meltdown Temperature of a Lithium Ion Battery Separator." Industrial and Engineering Chemistry Research 48 (2009): 99335-941.
8- DOE Battery roadmap 2012.
9- Andrew Ulvestad, A Brief Review of Current Lithium Ion Battery Technology andPotentialSolid State Battery Technologies, https://arxiv.org/ftp/arxiv/papers/1803/1803.04317.pdf
10- https://www.zoomit.ir/2019/2/3/312362/cheapest-electric-vehicles-for-2019
11- http://www.iew.ir/1393/11/12/33431
۱۲- بررسی تولید خودرو برقی در ایران، معاونت پژوهشهای زیربنایی و امور تولیدی دفتر: مطالعات انرژی، صنعت و معدن، ۱۳۹۵
۱۳- علی احمدی، علیرضا– برنامه ریزی استراتژیک فناوری اطلاعات و ارتباطات– ۸۳–انتشارات تولید دانش
۱۴- بخیرنیا, سمیه السادات– تهیه Request for Proposal (RFP)
15- Meryl K. Evans -Writing an RFP (Request for Proposal), http://EzineArticles.com/
16- Bruce Morris- How to Write a Request for Proposal for a Web Project - http://brucemorris.com
17- http://www.olcsoft.com/select.htm
18- http://www.farnood.com/persian/itpapers/art51.htm