



امکان سنجی اقتصادی احداث نیروگاه باتری لیتیوم یونی در ایران با هدف کاربرد در خودروهای برقی

مهرداد حسنی

دانشگاه شهید بهشتی

سید سینا سجادی

دانشگاه صنعتی امیر کبیر

امیر نیرومندفام

دانشگاه صنعتی سهند تبریز

شرکت برق و انرژی صبا

چکیده

مزایای زیست محیطی خودروهای برقی منجر به اقبال جهانی به استفاده از این ادوات پربازده در ناوگان حمل و نقل شده است. کشور ایران نیز به دلایل زیست محیطی از سویی و از سوی دیگر باهدف جلوگیری از افزایش روزافزون مصرف سوخت های فسیلی، ناگزیر به استفاده از خودروهای برقی است. باتری های الکتریکی اصلی ترین نقش را در کاهش هزینه و در دسترس قرار گرفتن خودروهای برقی دارند. از آنجایی که تولید باتری جهت استفاده در خودروهای برقی در کشور مورد غفلت قرار گرفته است، در این پژوهش به امکان سنجی اقتصادی احداث کارخانه تولید باتری لیتیوم یون باهدف استفاده در خودروهای برق خواهیم پرداخت. نخست با بررسی بازار جهانی باتری های لیتیوم یونی، به بررسی پیشرفت های فناوری و روند تغییرات قیمت آن پرداخته و سپس به تحلیل بازار مصرف داخلی آن اقدام خواهد شد. با بررسی آینده خودروهای برقی در کشور، میزان مصرف آن در آینده پیش بینی و ظرفیت واحد تولیدی باتری لیتیوم یون مشخص خواهد شد. در بخش نتایج عددی نیز با استفاده از نرم افزار کامفار، نرخ بازده داخلی احداث کارخانه باتری لیتیوم یون با استفاده از دو سناریوی سرمایه گذاری کامل توسط سهام داران و استفاده از وام ارزی به ترتیب برابر با ۲۴٪ و ۳۶٪ محاسبه شدند.

واژگان کلیدی: باتری لیتیوم یون، خودروی برقی، امکان سنجی اقتصادی

مقدمه

باتوجه به مزایای زیست محیطی و بازدهی بالای خودروهای برقی، هرروزه به تعداد ناوگان نقلیه برقی در سطح جهانی افزوده می شود. کشور ایران نیز از این قاعده مستثنا نبوده و دیرپازود خودروهای برقی سهم عمده ناوگان حمل و نقل کشور را به خود اختصاص خواهند داد. شایان ذکر است در کشورهای عضو اتحادیه اروپا میانگین آلایندة منواکسیدکرن در حدود ۹۵ گرم بر کیلومتر است و به سمت ۵۰ گرم حرکت می کند درحالی که این عدد برای کشور ایران برابر با ۱۸۵ گرم است که نشان دهنده ضرورت بیشتر برقی سازی ناوگان حمل و نقل کشور است. علاوه بر آلودگی، خودروهای درون سوز به سوخت باارزش فسیلی متکی هستند و باتوجه به ماهیت غیرقابل تجدید این منابع، استفاده از راهکارهای جایگزین و متکی بر انرژی های تجدیدپذیر الزامی است (Lin, 2023). با مقایسه مصرف بنزین در مرداد سال های اخیر مشخص می شود که مصرف این سوخت از ۱۰۵ میلیون لیتر در ۱۴۰۱ به ۱۴۲ میلیون لیتر در سال ۱۴۰۲ افزایش یافته و ادامه این روند برای سال های آتی نیز پیش بینی می شود که این مهم نیز دلیل و برهان دیگری بر ضرورت فاصله گرفته از خودروهای درون سوز و حرکت به سوی خودروهای برقی برای کشور ایران است (خبرگزاری صدا و سیما).

عمده محدودیت استفاده از خودروهای برقی بحث ذخیره سازی انرژی در این خودروهای است. در این راستا در سال های اخیر پیشرفت های مناسبی جهت افزایش بازدهی و کاهش قیمت تمام شده ذخیره سازهای مورد استفاده در خودروهای برقی رخ داده است. از بین انواع ذخیره سازهای انرژی الکتریکی، باتری های لیتیوم یونی سازگارترین ذخیره ساز برای خودروهای برقی هستند. از این رو، در این مقاله به دنبال بررسی و امکان سنجی تأسیس کارخانه باتری لیتیوم یونی در ایران جهت پاسخگویی به نیاز این ذخیره ساز در خودروهای برقی هستیم.

باتری های لیتیوم یونی، با توانایی ذخیره و انتقال انرژی با کارایی بالا، به یک فناوری های کلیدی در حوزه ذخیره سازی انرژی تبدیل شده اند. این فناوری، تأثیرگذاری قابل توجهی در صنایع مختلف از جمله خودروسازی، الکترونیک مصرفی، و ذخیره سازی انرژی خانگی داشته و در دهه های آینده نیز می تواند نقش بسیار مهمی را در تحولات صنعتی و اقتصادی ایفا کند. ارزش بازار جهانی باتری لیتیوم یون در سال ۲۰۲۴ بیش از ۸۴ میلیارد دلار رسیده که انتظار می رود این بازار تا سال ۲۰۳۳ به رقم در حدود ۴۷۰ میلیارد دلار رشد یابد. دلیل این افزایش بازار را می توان ویژگی های برتر باتری های لیتیوم یونی برشمرد که در ادامه به مهم ترین آن ها اشاره می شود (Bruno, 2024):

- چگالی توان و انرژی بالا
- عدم وجود اثرات حافظه ای
- عملکرد انرژی و جریانی بالا
- اثر خود تخلیه ای کم
- شارژ سریع
- سازگاری با کاربردهای نرخ دشارژ بالا

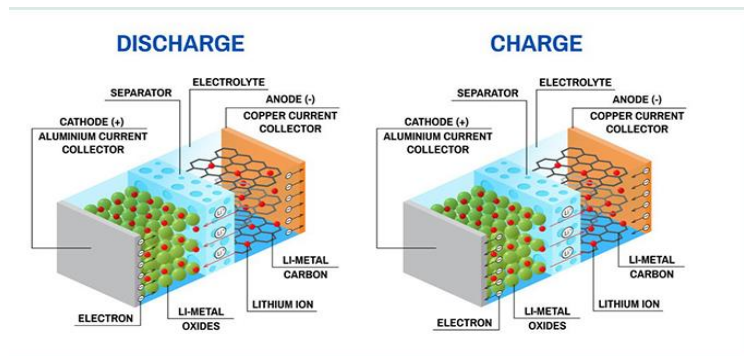
• چرخه عمر طولانی

• فناوری بالا با ترکیبات شیمیایی متنوع و سرعت رشد فناوری بالا

• هزینه تعمیر و نگهداری پایین

شکل ۱ نحوه شارژ و دشارژ انرژی الکتریکی را در باتری های لیتیوم یونی نشان می دهد. این باتری های دارای اجزای اصلی قطب مثبت (کاتد)، قطب منفی (آند) و جداکننده هستند که در هنگام شارژ، یون های لیتیوم از قطب مثبت به سمت قطب منفی و در هنگام دشارژ از قطب منفی به مثبت حرکت می کنند. در این باتری های الکترولیت شامل محلول نمک لیتیوم است که بستر انتقال یون ها را بین این دو قطب مهیا می کند. جداکننده نیز غشایی پلیمری است که به عنوان عایق الکتریکی بین کاتد و آند عمل کرده و در عین حال امکان انتقال یون های لیتیوم را مهیا می کند (Chen, 2012).

در این بخش به مروری بر فناوری لیتیوم یون پرداخته شد و در بخش دوم به بررسی بازار جهانی لیتیوم اختصاص داده شده است. بخش سوم نیز عرضه و تقاضای کنونی و آینده باتری لیتیوم یون را برای کشور ایران مورد بررسی قرار خواهد داد. در بخش های ۴ و ۵ نیز به ترتیب به امکان سنجشی احداث کارخانه تولید باتری و نتایج عددی انجام شده در نرم افزار کامفار گنجانده شده است. سرانجام، مقاله در بخش ۶ جمع بندی شده است.



شکل ۱ طرز کار باتری لیتیوم یونی

بازار جهانی لیتیوم

جهت استخراج لیتیوم دو منبع استخراج از شوراب و سنگ معدن در دسترس است که بیشترین ذخیره شوراب مربوط به کشورهای آمریکای جنوبی بولیوی، آرژانتین و بیشترین ذخیره سنگ نیز در کشور استرالیا قرار دارند به نحوی که ۷۵٪ کل استخراج لیتیوم در دو کشور استرالیا و شیلی صورت می گیرد. همچنین عمده فراوری لیتیوم (۵۸٪) در کشور چین انجام می شود و این کشور سرمایه گذاری عظیمی جهت استخراج این ماده معدنی در قاره آفریقا انجام داده است (Farahbakhsh, 2023).

توسعه باتری های لیتیوم یونی در حال حاضر یکی از پر رشدترین فناوری ها بوده و بازار پرونقی را ایجاد کرده است. ارزش بازار این باتری ها در سال ۲۰۲۰ به تقریباً ۳۶ میلیارد دلار رسید و پیش بینی می شود در سال های آتی نیز به طور قابل توجهی افزایش یابد. بر اساس تحلیل های اقتصادی، ارزش بازار باتری های لیتیوم یونی تا سال ۲۰۳۰ به بیش از ۱۱۰ میلیارد دلار افزایش خواهد یافت. جدول ۱

پیش بینی رشد بازار باتری های لیتیوم یونی بر اساس بخش های مختلف صنعتی تا سال ۲۰۳۰ را نشان می دهد. این پیش بینی ها نشان می دهد که بازار باتری های لیتیوم یونی به ویژه در صنایع خودروسازی و ذخیره سازی انرژی به سرعت رشد خواهند کرد (Li, 2023).

جدول ۱ پیش بینی بازار جهانی باتری لیتیومی تا سال ۲۰۳۰

بخش صنعتی	پیش بینی بازار تا سال ۲۰۵۰ (میلیارد دلار)
خودروسازی	۳۰
ادوات الکترونیکی	۲۰
ذخیره ساز انرژی	۲۰
صنایع جدید	۴۰
مجموع	۱۱۰

توسعه باتری های لیتیوم یونی به دنبال تحولات فناورانه بسیاری بوده است. از این تحولات می توان به افزایش ظرفیت، بهبود کارایی، کاهش هزینه تولید، و کاربردهای جدید این باتری ها اشاره کرد. به عنوان مثال، تحقیقات در زمینه باتری های با طول عمر بیشتر، باتری های سریع شارژ، و باتری های سبک تر و با حجم کوچک تر برای کاربردهای متنوع در دستگاه های الکترونیکی قابل حمل مورد توجه قرار گرفته اند.

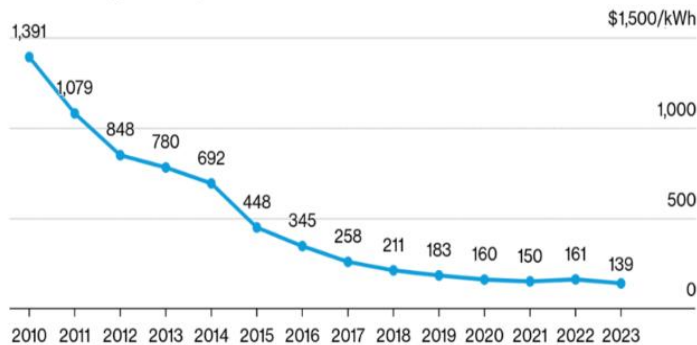
در سال های اخیر، تلاش های مستمر برای افزایش ظرفیت و کارایی باتری های لیتیوم یونی، از طریق استفاده از مواد جدید، بهبود فرایندهای تولید، و توسعه فناوری های جدید، به واقعیت پیوسته است. این افزایش ظرفیت و کارایی باعث افزایش کاربردهای این باتری ها در صنایع مختلف شده است. جدول ۲ تحولات صورت پذیرفته اخیر جهت توسعه ذخیره سازهای لیتیوم یون را نشان می دهد (Sharmili, 2023).

جدول ۲ تحولات رخداد در صنعت باتری لیتیوم یون

سال	تحولات در فناوری باتری های لیتیوم یونی
۲۰۱۰	افزایش ظرفیت و کارایی باتری های برای کاربردهای خانگی و اداری
۲۰۱۵	توسعه باتری های با طول عمر بیشتر و استفاده گسترده در صنایع خودروسازی
۲۰۲۰	بهبود فرایندهای تولید و کاهش هزینه های تولید باتری های لیتیوم یون
۲۰۲۵	استفاده گسترده از باتری های سریع شارژ و کم وزن در دستگاه های الکترونیکی قابل حمل



این تحولات منجر به کاهش معنادار قیمت تمام شده باتری های لیتیوم یونی شده که شکل ۲ روند کاهش قیمت جهانی این باتری ها را در دهه گذشته نشان می دهد (Zhao, 2023).



شکل ۲ روند کاهش قیمت جهانی باتری های لیتیوم یونی در دهه گذشته

این جداول و اشکال نشان می دهند که توسعه فناوری باتری های لیتیوم یونی به سرعت ادامه دارد و به توانمندی های جدیدی در ذخیره سازی انرژی و کاربردهای مختلف می انجامد.

علی رغم مزایای ذکر شده، صنعت باتری های لیتیوم یونی با چالش هایی نیز روبرو است. این چالش ها شامل مسائل محیط زیستی مرتبط با استخراج و دفع باتری های کارکرده، نیاز به منابع معدنی قابل استرداد و کاهش اعتماد به منابع معدنی در دسترس موجود و مشکلات مرتبط با ایمنی و پایداری باتری ها هنگام استفاده می شوند.

وضع موجود عرضه و تقاضای باتری لیتیوم یون کشور

جهت تبدیل ماده معدنی لیتیوم به باتری و ذخیره ساز انرژی نیاز به طی یک زنجیره فرایندی به صورت زیر است:

- استخراج مواد اولیه از معدن
- فراوری اولیه (تبدیل سنگ معدن یا نمک شوراب به نمک لیتیوم)
- فراوری نهایی و تولید فعال کاتدی
- ساخت سل
- ساخت ماژول و پک
- بازیافت باتری مستعمل

گسترش سریع بازار خودروهای الکتریکی چالش ها و فرصت های متعددی را در خط مقدم حمل و نقل پایدار به ارمغان آورده است. محور اصلی این انقلاب، زیرساخت های پشتیبانی از خودروهای الکتریکی، یعنی ایستگاه های شارژ است. اپراتورهای ایستگاه شارژ با چالش ایجاد زیرساخت های بهینه برای افزایش تعداد وسایل نقلیه الکتریکی مواجه هستند زیرا اتصال به شبکه برق ممکن است در دسترس باشد، اما این دسترسی همیشه با ظرفیت کافی برای پشتیبانی از شارژر با توان بالا مهیا نیست. ایستگاه های شارژ مبتنی بر سیستم های ذخیره انرژی شارژر را با تأمین برق برای خودروهای برقی در هر زمان معین، حتی در شبکه های کم مصرف، ایجاد می کند. افزایش در تعداد

خودروهای الکتریکی باعث افزایش شدید تقاضا برای برق می شود. از این رو، باتری های لیتیوم یونی علاوه بر قابلیت استفاده در خودروهای برقی، پتانسیل مناسبی جهت استفاده در قالب ذخیره سازهای انرژی مقیاس بزرگ را نیز دارا هستند که این امر توجیه پذیری اقتصادی سرمایه گذاری در صنعت تولید باتری لیتیومی را افزایش می دهد. باتوجه به ظرفیت های مختلف ذخیره سازی، باتری ها از جمله باتری های لیتیوم یونی در سل های استاندارد ساخته و بسته به ظرفیت مورد نیاز در مقیاس های مختلفی پک می شوند.

ظرفیت تولید باتری لیتیوم یونی در حال حاضر در کشور بسیار محدود بوده و پاسخگوی نیاز خودروهای برقی را ندارد. جدول ۳ واحدهای فعال کنونی تولید باتری لیتیوم یون در کشور ایران را نشان می دهد. بخش عمده ظرفیت موجود تولید باتری لیتیوم یونی کشور جهت استفاده در ادوات الکترونیکی است و در حال حاضر ظرفیت تولید باتری های خودروهای برقی در داخل کشور بسیار ناچیز است. جدول ۴ نیز واحدهای دارای مجوز تولید باتری های لیتیوم-یون را نشان می دهد. این واحدها نیز علی رغم در اختیار داشتن مجوز، پیشرفتی در احداث واحد تولیدی نداشته اند (آمار وزارت صنعت، معدن و تجارت).

جدول ۳ واحدهای فعال در زمینه تولید باتری لیتیوم-یون

نام واحد	شهرستان	ظرفیت تولید (عدد)	اشتغال (نفر)
مانا فراز پنداران آرتا مهر	سمنان	۳,۵۰۰	۱۲
تولیدی کارا باطری آریا	سلفچگان	۴,۷۵۰,۰۰۰	۱۰۳
تولیدی کارا باطری آریا	پیام	۳۰۰,۰۰۰	۵۸

منبع: اطلاعات منتشر شده توسط وزارت صنعت، معدن و تجارت تا پایان خرداد ۱۴۰۱

جدول ۴ واحدهای دارای مجوز در زمینه تولید باتری لیتیوم-یون

نام واحد	شهرستان	ظرفیت تولید (عدد)	اشتغال (نفر)
شرکت توان پردازان برنا صنعت	شیراز	۲۴,۰۰۰	۷
شرکت منابع انرژی توان	رباط کریم	۱,۸۰۰,۰۰۰	۷۰۰
مطالعاتی سالمی	اربیل	۶,۰۰۰	۴

منبع: اطلاعات منتشر شده توسط وزارت صنعت، معدن و تجارت تا پایان خرداد ۱۴۰۱

باتوجه به بررسی های صورت گرفته می توان گفت روندی برای تولید باتری خودروهای برقی در داخل کشور وجود نداشته و ظرفیت های موجود در کشور با بهره گیری از فناوری های دیگر که بسیار محدود است به شرح زیر است:

- شرکت توسعه منابع انرژی توان (صبا باتری): ظرفیت کارخانه ۱۶ مگاوات عمدتاً برای کاربردهای نظامی
- شرکت کارا باتری آریا (کاراسل): محصولات این شرکت کاربری صرفاً پاوربانک دارد و ظرفیت آن بسیار محدود است.

به دلیل عدم تولید داخلی، باتری‌های موردنیاز لیتیوم یونی عمدتاً از طریق واردات تأمین می‌شوند. این باتری‌های به دو صورت استوانه‌ای و غیر استوانه‌ای و بر اساس کدهای گمرکی جدول زیر به کشور وارد می‌شوند (آمار گمرک جمهوری اسلامی ایران).

باتوجه به اطلاعات منتشرشده توسط گمرک جمهوری اسلامی ایران واردات سل لیتیومی استوانه‌ای شکل بالاتر از ۲ آمپرساعت، سل لیتیومی تخت بالاتر از ۲.۵ آمپرساعت با کد تعرفه ۸۵۰۷۶۰۱۰ و سایر انباره‌های برقی لیتیوم یونی با کد تعرفه ۸۵۰۷۶۰۹۰ بین سال‌های ۱۳۹۷ تا ۱۴۰۱ به ترتیب به شرح جداول ۶ و ۷ است.

جدول ۵ کدهای گمرکی باتری لیتیوم-یون

شرح	کد تعرفه	حقوق ورودی
سل لیتیوم استوانه‌ای بالاتر از ۲ آمپرساعت، سل لیتیومی تخت بالاتر از ۲.۵ آمپرساعت	۸۵۰۷۶۰۱۰	۵٪
سایر انباره‌های برقی لیتیومی یونی	۸۵۰۷۶۰۹۰	۵٪

جدول ۶ میزان واردات سل لیتیوم-یون کد گمرکی ۸۵۰۷۶۰۱۰

سال	وزن (کیلوگرم)	ارزش ریالی (میلیون ریال)	ارزش دلاری (هزار دلار)
۱۳۹۷	۶۴۳	۱،۳۱۷	۳۱
۱۳۹۸	۳۸،۵۰۰	۱۵،۴۸۵	۳۶۹
۱۳۹۹	۷،۱۹۰	۷،۲۰۱	۱۷۱
۱۴۰۰	۳۴،۹۸۳	۲۹،۰۲۸	۶۹۱
۱۴۰۱	۴۷۶،۴۴۵	۱،۶۰۸،۶۹۱	۱۱،۱۵۸

جدول ۷ میزان واردات سل لیتیوم-یون کد گمرکی ۸۵۰۷۶۰۹۰

سال	وزن (کیلوگرم)	ارزش ریالی (میلیون ریال)	ارزش دلاری (هزار دلار)
۱۳۹۷	۴۶۶،۴۶۸	۷۱۰،۶۱۳	۱۷،۰۶۷

۹,۸۸۱	۴۱۵,۰۱۰	۳۴۰,۲۸۵	۱۳۹۸
۶,۳۲۲	۲۶۵,۵۱۴	۲۶۲,۷۴۱	۱۳۹۹
۷,۶۸۲	۳۲۲,۶۶۰	۳۴۳,۸۷۱	۱۴۰۰
۱۲,۶۸۰	۲,۸۸۵,۸۶۰	۴۵۳,۷۱۵	۱۴۰۱

با توجه با جداول بالا، افزایش واردات باتری از سال ۱۳۹۹ به بعد با جهش روبه رو بوده است که می توان دلایل آن را به صورت زیر بیان کرد:

- کاهش تعرفه واردات باتری از ۱۵٪ به ۵٪
- واردات باتری برای اتوبوس های برقی
- واردات باتری برای موتورسیکلت های برقی

با توجه به سیاست های کشور برای برقی سازی صنعت حمل و نقل به نظر می رسد طی سال های آتی شاهد افزایش نیاز کشور به باتری خواهیم بود که بدین ترتیب باید منتظر افزایش درخواست ها و گسترش بازار باتری باشیم. در جدول ۸ واردات سال ۱۴۰۱ به تفکیک کشورهای مبدأ آورده شده است.

جدول ۸ واردات سال ۱۴۰۱ به تفکیک کشور واردکننده (وزن-کیلوگرم)

کد تعرفه	۸۵۰۷۶۰۱۰	۸۵۰۷۶۰۹۰
چین	۴۶۸,۶۰۹	۱۸۸,۹۴۶
امارات متحده عربی	۶,۷۱۸	۱۹۶,۹۳۴
ترکیه	۸۲۰	۵۶,۶۷۳
عمان	۰	۷,۳۳۰
هنگ کنگ	۰	۳,۵۷۰
آلمان	۲۳۳	۱۷۲
استرالیا	۰	۸۸
اتریش	۰	۲

لیختن اشتاین	۴۸	۰
ویتنام	۱۷	۰
مجموع	۴۷۶،۴۴۵	۴۵۳،۷۱۵

تاکنون واردات باتری های لیتیوم یون عموماً برای مصارف تلفن همراه، تبلت و دیگر وسایل الکترونیک عمدتاً از کشورهای چین و امارات متحده عربی انجام شده است. جهت پاسخگویی به نیاز کشور، ۱۸ شرکت مجوز احداث واحد تولیدی باتری لیتیوم-یون در کشور را گرفته اند که از بین این ۱۸ شرکت صرفاً دو شرکت شروع به احداث کارخانه نموده اند که جدول ۹ اطلاعات این دو شرکت را نشان می دهد.

جدول ۹ واحدهای در دست احداث زمینه تولید باتری لیتیوم-یون

نام واحد	شهرستان	ظرفیت تولید (عدد)	اشتغال (نفر)
شرکت آلتین باتری سبلان	اردبیل	۳۰۰،۰۰۰	۵۰۰
توسعه برقی سازی و ذخیره سازی انرژی مپنا	رباط کریم	۲،۵۰۰،۰۰۰	۳۵۰

امکان سنجی احداث واحد تولیدی باتری لیتیوم یون در کشور

پیش از ورود به بحث امکان سنجی اقتصادی احداث واحد تولیدی باتری لیتیوم یونی، نخست باید بازار هدف آن مورد بررسی قرار گیرد. بازار هدف تولید باتری های لیتیوم یونی استفاده در خودروها و موتورسیکلت های برقی است از این رو، نخست به پتانسیل سنجی موجود بازار مصرف این باتری در کشور می پردازیم. باتوجه به مطالعات صورت گرفته و بررسی های میدانی در بخش خصوصی، هم اکنون شرکت های کرمان خودرو و گروه بهمن برنامه ریزی وسیعی برای ورود به حوزه خودروهای برقی را دارند به نحوی که شرکت کرمان خودرو هم اکنون ۵ هزار خودروی جک جی ۴ برقی را در دست ساخت دارد که این تعداد خودرو حدود ۲۵ مگاوات ساعت باتری نیاز دارد. همچنین دولت نیز طرح "حمل و نقل درون شهری عمومی و پاک" (پایگاه اطلاع رسانی قوانین و مقررات کشور) را در دست اقدام دارد که توسط وزارت کشور و باهدف برقی سازی ناوگان حمل و نقل عمومی ابلاغ شده است که جزئیات آن به صورت زیر است:

- تقاضای حدود ۲.۲ گیگاوات ساعت (۴۵۰ هزار موتورسیکلت برقی)
- تقاضای حدود ۲ گیگاوات ساعت (۵۰ هزار خودروی سواری برقی) جهت استفاده عمومی درون شهری
- تقاضای حدود ۳۰۰ مگاوات ساعت (۱۰،۰۰۰ دستگاه اتوبوس برقی) جهت استفاده عمومی درون شهری

همچنین خودروسازهای داخلی نیز برنامه‌ای برای برقی‌سازی برخی از محصولات خود را اعلام کرده‌اند که در ادامه به تشریح آن‌ها می‌پردازیم:

شرکت ایران خودرو (پروژه تارا دستی)

- اطلاعات پک باتری 350 V, 47 kWh

شرکت سایپا (پروژه SP 100 EV)

- اطلاعات پک باتری 350 V, 35 kWh

شرکت کرمان موتور (پروژه Jack 4)

- اطلاعات پک باتری 355 V, 40 kWh

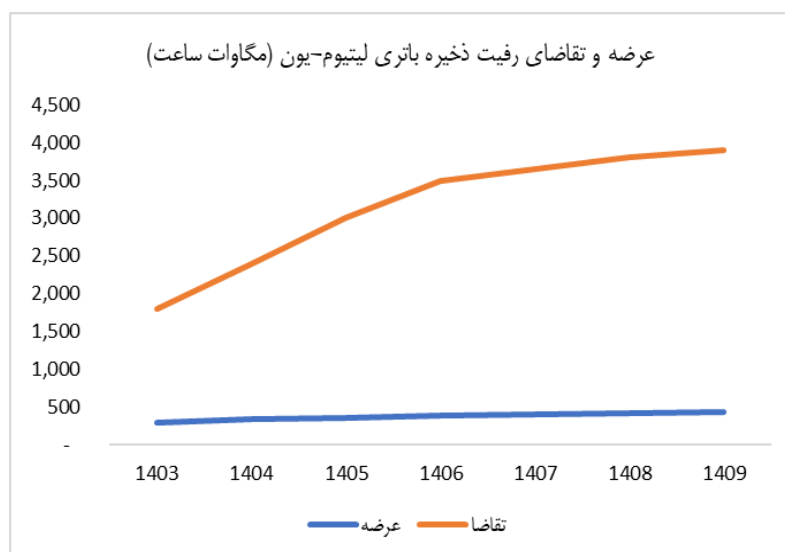
شرکت بهمن موتور (پروژه باتری موتور برقی)

- اطلاعات پک باتری 72 V, 3-4 kWh

علاوه بر بازار داخلی، امکان صادرات باتری‌های تولیدی نیز وجود دارد که در ادامه به تشریح بازارهای هدف صادرات می‌پردازیم. کشورهای روسیه، سوریه و عراق برای صادرات پتانسیل بالایی دارند، البته برای سایر کشورهای حوزه MENA هم می‌توان برنامه‌ریزی نمود. بازار کشورهای فوق‌الذکر وابستگی شدیدی به توسعه زیرساخت استفاده از خودروی برقی دارد.

کشور روسیه: باتوجه به جنگ اخیر اوکراین و روسیه و تحریم‌های کشور روسیه از سویی و روابط اقتصادی کشورمان با آن کشور، روسیه بازار مناسبی برای صادرات باتری خواهد بود.

کشور عراق: بیشترین صادرات حوزه خدمات فنی و مهندسی ایران، کشور عراق است. باتوجه به کمبود تولید برق در این کشور، ذخیره‌سازهای انرژی بازار مناسبی در این کشور داشت می‌تواند بازار هدف ایده‌آلی برای باتری‌های تولیدی کشور باشد.



شکل ۳ پیش بینی عرضه و تقاضای باتری لیتیوم یونی با ظرفیت کنونی تولید کشور

شکل ۳ روند عرضه و تقاضا را برای سال های آتی کشور ایران مورد مقایسه قرار می دهد. مطابق این نمودار و با توجه به بازار مصرف تشریح شده از سویی و از سوی دیگر ظرفیت محدود تولید و عدم توسعه واحدهای تولیدی باتری لیتیوم یونی در کشور پیش بینی می شود که عرضه و تقاضا در سال های پیش رو در این حوزه به شدت نامتعادل بوده و احداث کارخانه تولید باتری لیتیوم یون توجه اقتصادی داشته باشد.

مطالعات عددی احداث واحد تولیدی باتری لیتیوم یون در کشور ایران

در ادامه به تشریح مفروضات و نتایج عددی احداث کارخانه تولید باتری لیتیوم یون در کشور می پردازیم.

در این طرح فرض می شود که هدف از سرمایه گذاری در تولید باتری، تأمین باتری مورد نیاز ۱۰ الی ۱۳ هزار خودروی برقی است. برای تأمین باتری این تعداد خودرو نیاز به تولید ۲,۵۰۰,۰۰۰ سل (۵۰۰ هزار کیلووات ساعت) باتری خواهد بود. جهت تولید این تعداد سل فرض می شود که کارخانه به صورت سه شیفت و در ۳۰۰ روز از سال به تولید خواهد پرداخت. همچنین با توجه به مدت زمان از دست رفته در تغییر شیفت ها، فرض می شود که کارخانه ۲۰ ساعت از شبانه روز به تولید باتری خواهد پرداخت. مشخصات سل باتری تولیدی در جدول ۱۰ آورده شده است.

جدول ۱۰ مشخصات باتری تولیدی کارخانه تولید باتری لیتیوم-یون

مقدار	مشخصه
۵۴ آمپر ساعت	ظرفیت نامی
۳.۷ ولت	ولتاژ نامی
۸۰۰ گرم	وزن
۲۱ میلی متر	عرض
۱۶۱ میلی متر	طول
۱۰ میلی متر	ارتفاع
بیش از ۲,۰۰۰ سیکل شارژ و دشارژ	طول عمر

جهت پیاده سازی طرح مذکور نیاز به سرمایه گذاری است که اطلاعات اقلام اصلی آن در جدول ۱۱ آورده شده است. نرخ هر یورو نیز بر اساس یورو مرکز مبادله ای از سایت سناریت (سایت بانک مرکزی) برای آذر سال ۱۴۰۲ برابر با ۴۲۰ هزار ریال فرض شده است.

جدول ۱۱ هزینه های سرمایه گذاری طرح

شرح	هزینه (میلیون یورو)
زمین	۱
محوطه سازی	۰.۵
ساختمان ها	۸.۵
ماشین آلات	۵۰
تأسیسات	۳۵
سایر هزینه ها	۵
جمع	۱۰۰

مواد اولیه باتری در این طرح عمدتاً وارداتی فرض شده است از این رو، هزینه مواد اولیه برابر با هزینه خرید این مواد از مبدأ کشور چین در نظر گرفته شده است. هزینه های بهره برداری نیز شامل هزینه مواد اولیه، هزینه سوخت، هزینه انرژی و هزینه تعمیرات و نگهداری فرض شده است که این اطلاعات نیز در جداول ۱۲ تا ۱۴ آورده شده است. هزینه استهلاک نیز مطابق جدول ۱۵ در نظر گرفته شده است. سرمایه در گردش برای این طرح مطابق جدول ۱۶ فرض شده است. همچنین، هزینه تولید سالیانه و در نتیجه قیمت تمام شده هر سل در جدول ۱۷ آورده شده است. در این طرح فرض شده است که جهت استفاده باتری در خودروهای برقی، از ترکیب سل های باتری در قالب باتری کیسه ای استفاده می شود. درآمدهای فروش سالیانه و قیمت هر باتری کیسه ای در جدول ۱۸ آورده شده است

جدول ۱۲ هزینه تأمین مواد اولیه

شرح	قیمت به ازای هر کیلووات ساعت
مواد اولیه سل باتری	۴۱ یورو

جدول ۱۳ هزینه های حقوق و دستمزد و انرژی

شرح	تعداد نفر	هزینه سالیانه (میلیون ریال)
حقوق و دستمزد	۴۰۰	۱,۰۲۰,۰۰۰
هزینه انرژی (برق، آب و گاز)	-	۱۸۰,۰۰۰

جدول ۱۴ هزینه های تعمیرات و نگهداری

سالیانه	شرح
۱ میلیون یورو	هزینه های تعمیرات و نگهداری

جدول ۱۵ هزینه های استهلاک

شرح	درصد استهلاک	نرخ قرضه
زمین	٪۴	٪۱۰
محوطه سازی	٪۴	٪۱۰
ساختمان ها	٪۱۰	٪۱۰
ماشین آلات	٪۱۰	٪۱۰
تأسیسات	٪۱۰	٪۱۰
سایر هزینه ها	٪۱۰	٪۱۰

جدول ۱۶ هزینه های سرمایه در گردش

شرح	هزینه
هزینه مواد اولیه برای شش ماه	۱۱ میلیون یورو
هزینه نیروی انسانی و انرژی برای ۲ ماه	۲۰۰ میلیارد ریال

جدول ۱۷ هزینه تولید سالیانه و قیمت تمام شده هر سل

عنوان	مبلغ
برآورد هزینه تولید سالیانه	۲۶ میلیون یورو
قیمت تمام شده هر سل	۱۱ یورو

جدول ۱۸ قیمت هر باتری کیسه‌ای و درآمد سالیانه

محصول	قیمت فروش (کیلووات ساعت)	درآمد فروش در سال
باتری کیسه‌ای	۱۳۵ یورو	۶۷ میلیون یورو

در این مقاله از نرم‌افزار کامفار نسخه ۳.۵ جهت بدست آوردن نرخ بازده داخلی استفاده شده است. جهت تحلیل اقتصادی طرح و محاسبه نرخ بازده داخلی ۲ سناریو در این مقاله مورد بررسی قرار خواهد گرفت که مفروضات این دو سناریو در جداول ۱۹ و ۲۰ آورده شده است. در سناریو ۲ فرض شده است که ۷۰٪ هزینه سرمایه‌گذاری از طریق وام ارزی از صندوق توسعه ملی تأمین می‌شود. وام‌های این صندوق دارای بهره ۵٪ ارزی و طول دوره بازپرداخت ۷ ساله هستند. مطابق جداول ۱۹ و ۲۰، در صورت تأمین تمامی هزینه مالی نرخ بازده داخلی ۲۵٪ و در صورت استفاده از وام ارزی نرخ بازده داخلی ۳۷٪ خواهد شد.

جدول ۱۹ مفروضات سناریو ۱ تأمین مالی ۱۰۰٪ سهامداران

مقدار	مفروضات سناریو ۱
۱۰۰٪ سهامداران	تأمین مالی
۳ سال	طول دوره ساخت
۶.۵ سال	دوره بهره‌برداری
سل ۵۴ آمپر ساعت	محصول تولیدی
۵۰۰ هزار کیلووات ساعت در سال	ظرفیت تولید
۲۴٪	نرخ بازده داخل

جدول ۲۰ مفروضات سناریو ۲ تأمین مالی ۳۰٪ سهامداران

مقدار	مفروضات سناریو ۲
۳۰٪ سهامداران ۷۰٪ وام	تأمین مالی
۳ سال	طول دوره ساخت

دوره بهره‌برداری	۶.۵ سال
محصول تولیدی	سل ۵۴ آمپرساعت
ظرفیت تولید	۵۰۰ هزار کیلووات ساعت در سال
نرخ بازده داخل	۳۶٪

ریسک‌های سرمایه‌گذاری

در ادامه برای ارائه دید همه‌جانبه نسبت به طرح ارائه‌شده به تحلیل ریسک‌های موجود در قالب چهار ریسک شامل ریسک بازگشت سرمایه‌گذاری، ریسک رقابت‌پذیری، ریسک تقاضا و ریسک تأمین مواد اولیه می‌پردازیم.

ریسک بازگشت سرمایه‌گذاری: در این طرح نرخ فروش برای هر باتری کیسه‌ای ثابت و برابر با ۱۳۵ یورو در نظر گرفته شده است که این عدد بر اساس نرخ کنونی باتری در سطح جهانی تنظیم شده است. با توجه به روند رو به کاهش قیمت باتری‌های لیتیوم یونی در سال‌های اخیر، پیش‌بینی می‌شود این نرخ تا سال ۱۴۰۷ به زیر ۱۰۰ یورو کاهش یابد. با کاهش نرخ محصول نرخ بازده طرح از میزان محاسبه‌شده در جداول ۱۹ و ۲۰ کمتر خواهد شد و پیش‌بینی می‌شود این اعداد به ۱۹٪ و ۲۸٪ کاهش یابند.

ریسک رقابت‌پذیری: توسعه فناوری در تولید باتری‌های لیتیومی یونی با شتاب بسیار بالایی در سطح جهانی در حال پیگیری است. همچنین شرکت‌ها و کشورهای صاحب فناوری سرمایه‌گذاری سنگینی در توسعه این حوزه انجام دادند. از این‌رو، دوازدهمین نیست که فناوری و قیمت تمام‌شده باتری‌های لیتیوم یونی در آینده نزدیک دستخوش کاهش شود. باتوجه به ضعف توسعه فناوری در کشور نسبت به رقبای خارجی، ممکن است فناوری کارخانه تولید باتری منصوب به سرعت از فناوری‌های روز عقب بماند و توان رقابتی خود را از دست دهد.

ریسک تقاضا: در این طرح فرض شده است که در آینده نزدیک خودروهای برقی در کشور مورد استفاده قرار خواهند گرفت. همچنین فرض شده است که باتری‌های تولیدی این طرح قابلیت استفاده در خودروهای برقی موجود را دارا باشند. در صورت عدم تحقق این مفروضات ممکن است تقاضای پیش‌بینی‌شده برای محصولات این کارخانه محقق نشده و منجر به زیان شود.

ریسک تأمین مواد اولیه: باتوجه به عدم سرمایه‌گذاری در استخراج و فراوری لیتیوم در سطح کشور، در این طرح فرض شده است که مواد اولیه لیتیوم از منابع وارداتی به‌ویژه از کشور چین تأمین خواهد شد. باتوجه به تحریم‌های اقتصادی علیه کشور و وابستگی به واردات، تأمین مواد اولیه این طرح دارای ریسک خواهد بود.

نتیجه‌گیری

در این مقاله به تحلیل و بررسی اقتصادی احداث یک کارخانه تولید باتری لیتیوم یون جهت استفاده در خودروهای برقی برای کشور ایران پرداخته شد. جهت این کار بازار جهانی و توسعه فناوری در این حوزه بررسی و در ادامه بازار و تقاضای کشور به باتری لیتیوم یونی

مورد کنکاش قرار گرفت. بررسی ها نشان داند که طرح های استفاده از ناوگان خودروی برقی هم از سوی بخش دولت و هم بخش های خصوصی در حال پیگیری است حال آنکه، ظرفیت تولید باتری برای این ناوگان در حال حاضر نزدیک به صفر بوده و طرح فعالی نیز در دست احداث وجود ندارد. در نتیجه با بررسی نمودار عرضه و تقاضا مشخص شد که احداث کارخانه باتری دارای توجیه اقتصادی است. در ادامه یک کارخانه با ظرفیت تولید ۵۰۰ هزار کیلووات ساعت باتری در طول سال مورد مطالعه قرار گرفت. این کارخانه نیازمند ۱۰۰ میلیون یورو سرمایه گذاری است و با فرض قیمت فروش ۱۳۷ یورو برای هر باتری کیسه ای دارای نرخ بازده داخلی ۲۴٪ است که با بهره گیری ۷۰٪ سرمایه گذاری از محل وام ارزی (با بهره ۵٪ با بازپرداخت ۷ ساله)، نرخ بازده داخلی به ۳۶٪ افزایش می یابد. از این رو، دریافت وام ارزی برای احداث کارخانه توصیه می گردد. همچنین ریسک های بازگشت سرمایه گذاری، ریسک رقابت پذیری، ریسک تقاضا و ریسک تأمین مواد اولیه نیز در طرح مذکور مورد بررسی قرار گرفتند و نشان داده شد که در صورت ادامه دار بودن کاهش قیمت جهانی باتری لیتیوم یون، بازده داخلی به ۱۹٪ کاهش خواهد یافت.

منابع

- Lin, T. Y., Chiu, Y. H., Lin, Y. N., Chang, T. H., & Lin, P. Y. (2023). Greenhouse gas emission indicators, energy consumption efficiency, and optimal carbon emission allowance allocation of the EU countries in 2030. *Gas Science and Engineering*, 110, 204902.
- IRIB NEWS AGENCY, 12 - 6 - 2024, <https://www.iribnews.ir>.
- Bruno, M., & Fiore, S. (2024). Review of lithium-ion batteries' supply-chain in Europe: Material flow analysis and environmental assessment. *Journal of Environmental Management*, 358, 120758.
- Chen, X., Shen, W., Vo, T. T., Cao, Z., & Kapoor, A. (2012, December). An overview of lithium-ion batteries for electric vehicles. In 2012 10th International Power & Energy Conference (IPEC) (pp. 230-235). IEEE.
- Farahbakhsh, J., Arshadi, F., Mofidi, Z., Mohseni-Dargah, M., Kök, C., Assefi, M., ... & Razmjou, A. (2024). Direct lithium extraction: A new paradigm for lithium production and resource utilization. *Desalination*, 575, 117249.
- Li, X., Sengupta, T., Mohammed, K. S., & Jamaani, F. (2023). Forecasting the lithium mineral resources prices in China: Evidence with Facebook Prophet (Fb-P) and Artificial Neural Networks (ANN) methods. *Resources Policy*, 82, 103580.
- Sharmili, N., Nagi, R., & Wang, P. (2023). A review of research in the Li-ion battery production and reverse supply chains. *Journal of Energy Storage*, 68, 107622.
- Zhao, J., Liu, M., Zhang, B., Wang, X., Liu, D., Wang, J., ... & Zhu, Y. (2023). Review of Lithium-Ion Battery Fault Features, Diagnosis Methods and Diagnosis Procedures. *IEEE Internet of Things Journal*.
- Performance report of the Ministry of Industry, Mining and Trade in 1401, <https://www.mimt.gov.ir/>. (In Persian)
- The Islamic Republic of Iran, Customs Administration (IRICA), <https://www.irica.gov.ir/>. (In Persian)
- LAWS AND REGULATIONS PORTAL OF IRAN, The approval of the Economic Council regarding the public and clean intra-city transportation plan, <https://dotic.ir/news/13618>. (In Persian)
- <https://sanarate.ir>

Feasibility study of lithium-ion battery factory in Iran with the aim of utilizing in electrical transportation sector

Mehrdad Hassani

Shahid Beheshti University

Seyed Sina Sajadi

Amir Kabir University of technology

Amir Niromandfam¹

Sahand university of technology

Abstract

The environmental benefits of electric vehicles have led to the global interest in using these high-efficiency machines. Iran is forced to use electric cars due to environmental reasons on the one hand and to prevent the increasing consumption of fossil fuels. Electric batteries play the main role in reducing the cost and availability of electric vehicles. Since the production of batteries for use in electric vehicles has been neglected in Iran, in this research we will look at the economic feasibility of investing on a lithium-ion battery factory for use in electric vehicles. First, by examining the global market of lithium-ion batteries, the technological developments and the trend of its price changes will be investigated, and then the domestic consumption market will be analyzed. By examining the future of electric cars in the country, the amount of its consumption in the future will be predicted and the capacity of the lithium-ion battery production unit will be determined. In the numerical results section, using COMFAR software, the internal rate of return for the construction of a lithium-ion battery factory using two scenarios of full investment by shareholders and the use of loans were calculated as 25% and 37%, respectively

Keywords: Lithium-ion batteries, Electric vehicle, Feasibility study