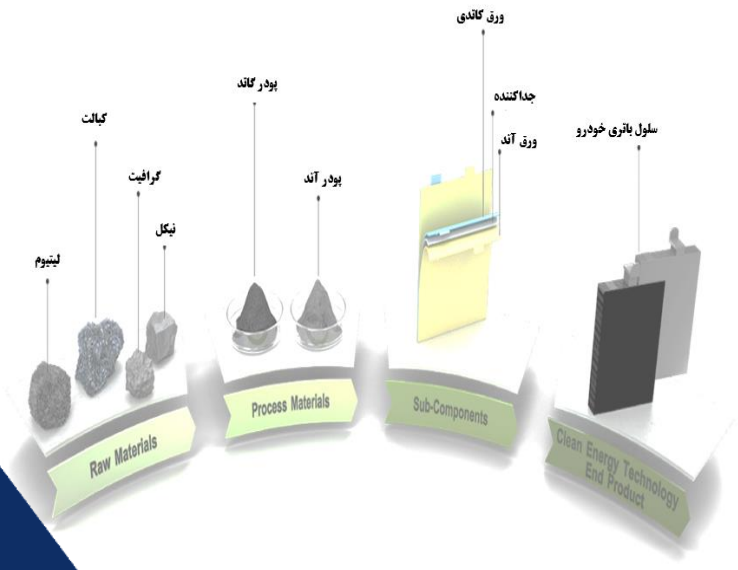


بررسی زنجیره ارزش لیتیوم در جهان؛ چالش‌ها و ظرفیت‌های ایران برای مشارکت در آن

معاونت بررسی‌های اقتصادی

اتاق بازرگانی، صنایع، معادن و کشاورزی تهران

تهیه کننده: محمود نصیری

معاونت بررسی‌های اقتصادی

اتاق بازرگانی، صنایع، معادن و کشاورزی تهران

شهریور ۱۴۰۲

از طریق پست الکترونیکی زیر می‌توانید پیشنهادها و نظرات اصلاحی خود را به واحد مربوطه منعکس نمایید:

economic.tccim@gmail.com

استفاده از مطالب این گزارش با ذکر منبع بلامانع است.

خلاصه مدیریتی

توسعه روزافزون تولید و استفاده از ماشین‌های برقی در کنار تقاضای برق آسای استفاده از گوشی‌های تلفن همراه، تبلت، لپ تاپ، دوربین که نیازمند منبع ذخیره انرژی به ویژه از نوع لیتیومی هستند در کنار ضرورت کاهش انتشار گازهای گلخانه‌ای و حرکت به سمت انرژی‌های پایدار، اهمیت عنصر لیتیوم را روزبه روز افزایش داده است.

تقاضای فزاینده برای باتری‌های لیتیومی در کاربردهای مختلف آن همچون ذخیره‌سازی برق و مهمتر از همه وسایل نقلیه، تقاضا برای مواد معدنی ساخت این باتری‌ها را به شدت افزایش داده و باعث شده است که قیمت محصولات فرآوری شده از آن به شدت افزایش یابد که این افزایش تقاضا می‌تواند یک تغییر بازی در توسعه اقتصادی کشورهای دارای ذخایر این مواد معدنی باشد.

آمارها و پیش‌بینی‌ها همگی حکایت از دو برابر شدن تقاضا برای لیتیوم تا سال ۲۰۲۵ دارند. برای درک اهمیت لیتیوم و ارزش اقتصادی آن برای ایجاد دستاوردهای بهتر در آینده، ورود به زنجیره‌های ارزش باتری‌های لیتیوم یونی در مراحل مختلف از اکتشاف و استخراج مواد معدنی، فرآیندهای پالایش، تولید الکترود، سلول‌ها و باتری، ضرورت می‌یابد.

با نگاهی به ظرفیت های ایران به لحاظ منابع طبیعی و ظرفیت‌های اکتشاف شده معادن لیتیوم، در کنار ذخایر معدنی سایر مواد اولیه مورد نیاز در چرخه تولید باتری‌های لیتیوم یونی از جمله کبالت، مس، آلومینیوم، آهن، نیکل، منگنز و فسفات، می‌توان چشم اندازی برای ورود ایران به این زنجیره ارزش گسترده، ترسیم نمود. لذا نظر به ضرورت اقتصادی و محیط‌زیستی باتری‌های لیتیوم یونی برای آینده و منابع معدنی موجود، امکان توسعه زنجیره ارزش آن وجود دارد و می‌توان با پیوستن به این زنجیره، ارزش افزوده بالایی برای رشد و توسعه کشور ایجاد نمود. بر این اساس در این گزارش ضمن بررسی زنجیره ارزش جهانی لیتیوم، ظرفیت‌های کشور، با تمرکز بر جایگاه ایران در این چرخه مورد بررسی قرارگرفته است و در نهایت توصیه‌های سیاستی برای توسعه این زنجیره در کشور، ارائه شده است.

فهرست مطالب

مقدمه: ۵

زنجیره ارزش لیتیوم ۶

زنجیره ارزش باتری‌های لیتیوم یونی (LIB)..... ۸

وضعیت ایران ۱۴

جمع‌بندی ۱۵

توصیه‌های سیاستی..... ۱۶

منابع ۱۷

فهرست نمودارها

نمودار ۱: موارد مصرف لیتیوم ۵

نمودار ۲: پیش‌بینی عرضه و تقاضای لیتیوم..... ۵

نمودار ۳: زنجیره ارزش لیتیوم و بازیگران اصلی در هر مرحله از زنجیره ارزش ۶

نمودار شماره ۴: چشم انداز تقاضای فلز از باتری‌های لیتیوم یون ۷

نمودار شماره ۵: مقدار مصرف باتری‌های لیتیوم یونی در کاربردهای مختلف ۷

فهرست شکل‌ها

شکل شماره ۱: زنجیره ارزش باتری لیتیوم یونی ۸

شکل شماره ۲: بازیگران اصلی در زنجیره ارزش باتری‌های لیتیوم یونی..... ۹

شکل شماره ۳: زنجیره ارزش باتری لیتیوم یونی بر حسب دلار آمریکا ۱۰

شکل شماره ۴: مدل زنجیره ارزش باتری‌های لیتیوم یونی و بازیافت آن‌ها..... ۱۰

شکل شماره ۵: پیش‌بینی ارزش افزوده در هر مرحله از زنجیره ارزش باتری‌های لیتیوم یونی در صورت بازیافت ۱۱

مقدمه

در طی سال‌های اخیر استفاده از لیتیوم در صنعت جهانی به شدت افزایش یافته و عمده‌ترین استفاده آن در باتری‌های قابل‌شارژ است؛ از یک سو باتری گوشی‌های همراه، تبلت، لپ تاپ، دوربین و نیز بسیاری از وسایل الکترونیکی لیتیومی است و از سوی دیگر به خاطر آلودگی‌های زیست‌محیطی ناشی از مصرف سوخت‌های فسیلی، استفاده از انرژی‌های تجدیدپذیر و نیاز به باتری‌های ذخیره‌سازی انرژی به سرعت در حال رشد و توسعه است. این باتری‌ها به دلیل نقشی که در حمل و نقل و متعادل کردن شبکه‌های برق دارند به عنوان یک عنصر حیاتی در گذار به آینده‌ای پایدارتر اهمیت دارند. با این حال استفاده از باتری تنها محدود به از بین بردن انتشار گازهای گلخانه‌ای خودروها در دنیایی که با تغییرات آب و هوایی دست و پنجه نرم می کند نیست، بلکه افزایش تولید آن‌ها، فرصت‌های ارزش آفرین قابل توجهی را برای تولیدکنندگان ایجاد می‌کند، مشاغل جدیدی و متنوع بوجود می‌آورد که درآمد بالایی دارند و در نتیجه باعث افزایش رشد اقتصادی ملی می‌شود(ANRC, 2021).

باتری لیتیومی به دلیل وزن و حجم سبک (حدود ۵ تا ۹ سبک‌تر از دیگر باتری‌ها)، قابلیت شارژ سریع، نرخ پایین خود تخلیگی، عمر طولانی، چگالی انرژی بالا و نقطه ذوب بسیار پایین برای وسایل الکتریکی بسیار مناسب است (Rahn, 2013 and Austrade, 2018). همچنین تقاضای فزاینده برای این باتری‌ها در کاربردهای دیگری چون ذخیره‌سازی برق و مهمتر از همه برای وسایل نقلیه، تقاضا برای مواد معدنی ساخت این باتری‌ها را به شدت افزایش داده و باعث شده است که قیمت محصولات فرآوری شده آن‌ها به سطوح نجومی برسد. این افزایش تقاضا می‌تواند یک تغییر بازی در توسعه اقتصادی کشورهای دارای ذخایر این مواد معدنی باشد (ANRC, 2021). به پیش فرض توسعه فناوری حمل و نقل الکترونیکی، پیش‌بینی می‌شود که جهان تا سال ۲۰۲۵ سالانه بین ۶۰۰ هزار تا ۱ میلیون تن کربنات لیتیوم نیاز خواهد داشت. بر اساس مطالعات سازمان زمین‌شناسی ایالات متحده[1]، لیتیوم بر اساس اهمیت آن در فناوری‌های سبز به عنوان یکی از عناصر حیاتی ذکر شده است. به نقل از این سازمان، «تولید باتری دارای بیشترین پتانسیل رشد در بین بخش‌های مختلف صنعت لیتیوم است (USGS, 2020).

در همین حال، با تغییر جهان به سمت انرژی‌های تجدیدپذیر، بخش‌های بیشتری باید الکتریکی شوند و انتظار می‌رود تقاضا برای لیتیوم تا سال ۲۰۲۵ دو برابر شود. بلومبرگ[2] گزارش داده است در حالی که در سال ۲۰۱۸ دو میلیون خودروی الکتریکی (EV) خریداری شده بود، جهان انتظار دارد که فروش سالانه خودروهای برقی مسافربری به ۱۰ میلیون در سال ۲۰۲۵، ۲۸ میلیون در سال ۲۰۳۰ و ۵۶ میلیون تا سال ۲۰۴۰ افزایش یابد (Bloomberg, 2020). همچنین شرکت مکنزی[3] در یک مطالعه پیش‌بینی کرده است که کل زنجیره باتری لیتیوم یون (Li-ion)، از استخراج تا بازیافت، می‌تواند از سال ۲۰۲۲ تا ۲۰۳۰ سالانه بیش از ۳۰ درصد رشد کند؛ بازاری به ارزش بیش از ۴۰۰ میلیارد دلار آمریکا[4](McKinsey, 2023).

اهمیت این باتری‌ها در بازار جهانی آنقدر است که در پاسخ به آن، مجمع جهانی اقتصاد[5] اتحاد جهانی باتری (GBA) را تأسیس کرده است. این مجمع می‌گوید: «فناوری موبایل و آینده کم‌کربن بعنوان یک عامل فناورانه برای انقلاب صنعتی چهارم، بدون باتری غیرممکن است» و افزود: «اتحاد جهانی باتری به عنوان یک پلتفرم همکاری جهانی، اقداماتی را در جهت ایجاد زنجیره ارزش باتری با مسئولیت اجتماعی، پایدار از نظر زیست محیطی و نوآورانه برای قدرت بخشیدن به انقلاب صنعتی چهارم تسریع خواهد کرد»

[1] United States Geological Survey
[2] Bloomberg
[3] McKinsey & Company
[4] Equal to 4.7TWH
[5] World Economic Forum

(ANRC, 2021). زنجیره ارزش باتری‌های لیتیوم یونی مراحل مختلف از اکتشـــاف و اســـتخراج مواد معدنی، فرآیندهای پالایش، تولید الکترود، سلول‌ها و باتری را به صورت زنجیرگون شامل می‌شود و در هر کدام از مراحل این فرآیند، ارزش افزوده جدیدی خلق می‌شود. در این فرآیند، فرآوری مواد معدنی و سایر مراحل تولید باتری در اختیار بازیگران متفاوتی است. استرالیا، شیلی و آرژانتین سه بازیگر اصلی در قسمت ابتدای زنجیره هستند و چین بازیگر اصلی در سمت میانی تا مرحله نهایی زنجیره ارزش است. ژاپن و کره جنوبی، غول‌های الکترونیک، نیز در بخش نهایی زنجیره ارزش، یعنی تولید سلول و باتری هستند.

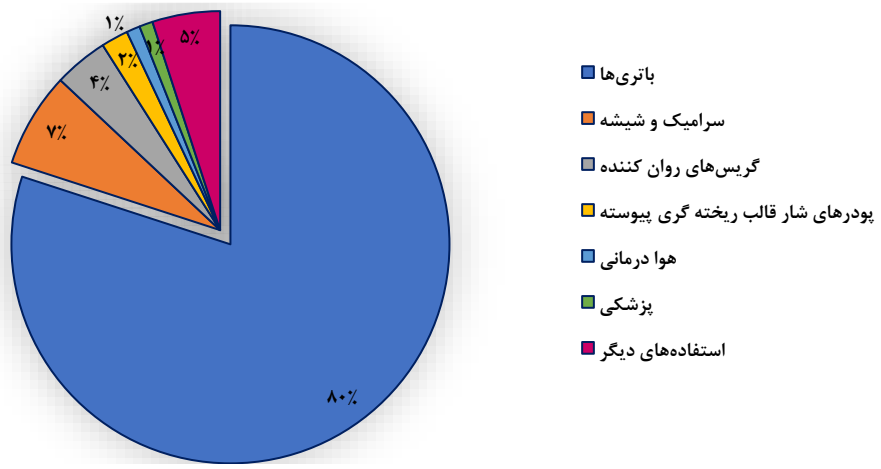
ایران کشـوری اسـت که از یک سـو واردکننده لیتیوم و همینطور باتری‌های لیتیومی اسـت و از سـوی دیگر به لحاظ منابع طبیعی دارای مزیت اسـت؛ بخصـوص در مواد اولیه مورد نیاز در چرخه تولید باتری‌های لیتیوم یونی شـامل لیتیوم، کبالت، مس، آلومینیوم، آهن، نیکل، منگنز و فسفات دارای ذخایر معدنی است. این واقعیت، پله اول در نردبان زنجیره ارزش است. بنابراین بر اساس اهمیت اقتصـادی و محیط‌زیسـتی باتری‌های لیتیوم یونی برای آینده و منابع معدنی موجود، امکان توسـعه زنجیره ارزش آن وجود دارد و با تکمیل آن، ارزش افزوده بالای برای رشـد و توسـعه کشـور ایجاد خواهد شـد. بر این اسـاس در ادامه این گزارش تلاش می‌شـود تا زنجیره ارزش جهانی لیتیوم بررسی شود و سپس بر اساس جایگاه ایران در این چرخه، توصیه‌های سیاستی برای توسعه این زنجیره ارائه خواهد شد.

زنجیره ارزش لیتیوم

لیتیوم دارای ویژگی‌های شـیمیایی و فیزیکی منحصـربه‌فردی اسـت که آن را در بسـیاری از پیشـرفت‌های فن‌آورانه از جمله صـنعت باتری‌های قابل شارژ قابل استفاده کرده است. یک فلز قلیایی سفید مایل به خاکستری با درخشندگی فلزی در حالت خام است، اما بسـیار واکنش‌پذیر اسـت، به سـرعت به رنگ خاکسـتری نقره‌ای مات و سـپس در هوا به دلیل اکسـیداسـیون سـیاه می‌شـود؛ آنقدر واکنش‌پذیر است که هرگز به شکل عنصری آن یافت نمی‌شود. لیتیوم رسانایی الکتریکی بالایی دارد و یکی از فلزاتی است که دارای بیشـترین الکترونگاتیوی[6] اسـت. همچنین یک فلز بسـیار سـبک اسـت که این خواص آن را برای اسـتفاده در باتری‌های سـبک وزن مناسب می‌کند. لیتیوم به دلیل انقلاب باتری‌های لیتیوم یونی یکی از کالاهای مورد تقاضا در سراسر جهان است(ANRC, 2021). مصـرف لیتیوم برای باتری‌ها در سـال‌های اخیر به طور قابل توجهی افزایش یافته اسـت (نمودار های شـماره ۱ و ۲) زیرا باتری‌های لیتیومی قابل شـــارژ به طور گســـترده در بازار رو به رشـــد خودروهای الکتریکی و دســـتگاه های الکترونیکی قابل حمل، ابزارهای الکتریکی و ذخیره سازی استفاده می‌شوند. بر اساس مطالعات سازمان زمین شناسی ایالات متحده، موارد مصرف به شرح زیر برآورد شدند: باتری، ۸۰ درصد؛ سرامیک و شیشه ۷ درصد؛ گریس‌های روان کننده، ۴ درصد؛ پودرهای شار قالب ریخته گری، ۲ درصد؛ تصـفیه هوا، ۱ درصـد؛ پزشـکی، ۱درصـد؛ و موارد دیگر، ۵ درصـد. این در حالی اسـت که در سـال ۲۰۱۶، ۳۵ درصـد لیتیوم در باتری‌سازی، ۳۲ درصد در صنعت سرامیک شیشه و ۹ درصد در گریس به کار برده می‌شدند (USGS,2023).

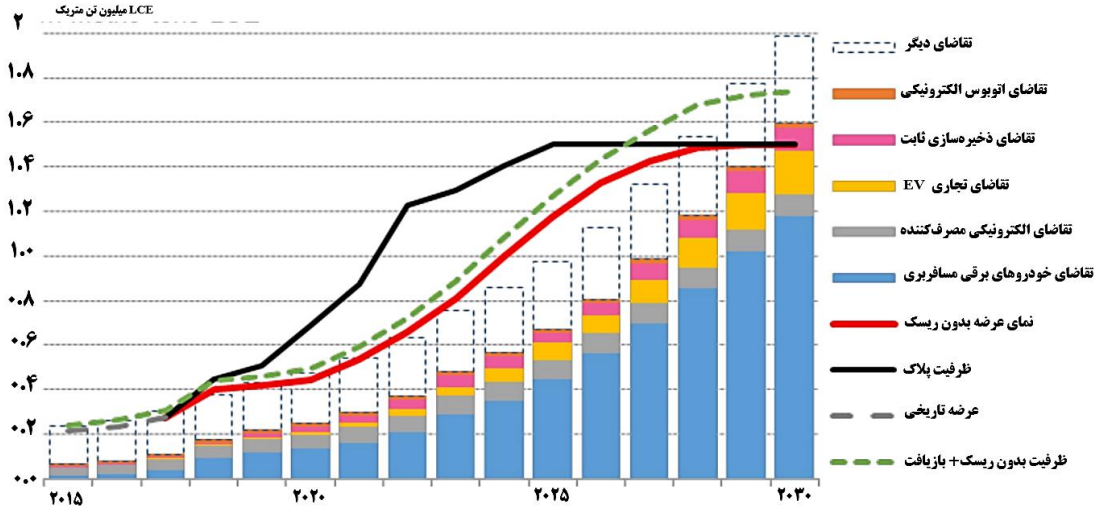
[6] Electronegativity

نمودار ۱: موارد مصرف لیتیوم. ۲۰۲۳



منبع:USGS,2023

نمودار۲: پیش بینی عرضه و تقاضای لیتیوم



منبع: Bloomberg 2019 به نقل از ANRC, 2021

بر اساس زنجیره ارزش لیتیوم، مشخص است که اکثر مصرف این ماده معدنی در صنعت باتری‌سازی استفاده می‌شود و این سهم به خاطر تقاضای رو به رشد باتری‌ها در حال افزایش است. در واقع می‌توان گفت برای درک زنجیره ارزش لیتیوم و ارزش اقتصادی که می‌تواند در آینده تولید کند بهتر است زنجیره ارزش باتری‌های لیتیوم یونی بررسی شود.

زنجیره ارزش باتری‌های لیتیوم یونی (LIB)

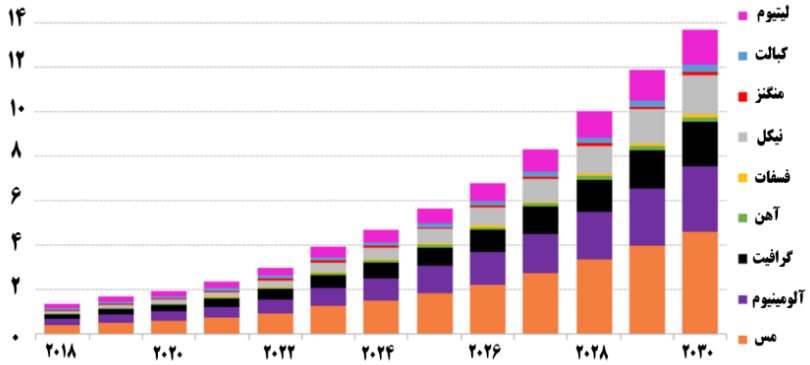
باتری لیتیوم یونی به خاطر ویژگی های منحصر به فردی مثل وزن و حجم سبک، قابلیت شارژ سریع و عمر طولانی به عنوان مناسب‌ترین منبع ذخیره انرژی برای استفاده در وسایل نقلیه الکتریکی، گوشی‌های همراه، تبلت، وسایل الکتریکی مصرفی و برای ذخیره برق از انرژی باد، خورشید و جزر و مد شناخته می‌شود. این باتری‌ها از چندین ماده معدنی، از جمله لیتیوم، کبالت، منگنز، نیکل، آلومینیوم، گرافیت، آهن، مس و همچنین فسفات ساخته می‌شود. لیتیوم، کبالت و نیکل در مجموع مواد کاتدی باتری را تشکیل می‌دهند و گران‌ترین بخش یک بسته باتری هستند. چین بزرگترین مصرف‌کننده مواد معدنی است و بیش از ۵۰ درصد از سهم بازار را به خود اختصاص داده است. باقی مانده بین سایر کشورهای توسعه یافته تقسیم می شود. (ANRC, 2021)

به منظور توسعه زنجیره ارزش این باتری‌ها، پویایی بازار باید به وضوح درک شود. در چنین تحلیلی دو سوال اساسی وجود دارد که باید پاسخ داده شود: ۱) آیا بازاری برای کالا وجود دارد؟ و ۲) در صورت موجود بودن بازار، آیا منبع تامین کالا وجود دارد؟ پاسخ مثبت به هر دو سوال محیطی را برای ایجاد توسعه زنجیره ارزش ایجاد می‌کند.

پیش‌بینی می‌شود بازار باتری لیتیوم یونی تا سال ۲۰۳۰ به طور متوسط سالانه بیش از ۲۰ درصد رشد خواهد کرد و به حداقل ۳۶۰ میلیارد دلار در سطح جهان خواهد رسید. همچنین یک سناریوی واقع بینانه وجود دارد که در آن رشد بازار شتاب می‌گیرد و تا سال ۲۰۳۰ به ۴۱۰ میلیارد دلار می‌رسد (McKinsey, 2022). بر اساس پیش‌بینی‌های بولومبرگ، انتظار می‌رود عرضه باتری‌های لیتیوم یونی تا سال ۲۰۳۰ بیش از ۱۰ برابر شود و خودروهای الکتریکی بیش از ۷۰ درصد این تقاضا را تشکیل دهند (Bloomberg, 2020). در واقع بازار باتری‌های لیتیوم یونی تا حد زیادی به نیاز به ایجاد آینده ای کم‌کربن برای جهان بستگی دارد و نوع این آینده کم‌کربن به سیاست‌ها و فناوری‌هایی بستگی دارد که جهان برای کاهش میزان انتشار گازهای گلخانه‌ای در جو اتخاذ می‌کند.

همانطور که در نمودار شماره ۳ مشخص شده است به واسطه پیش‌بینی رشد بازار باتری‌های لیتیوم یونی، تقاضای تمام مواد معدنی مورد نیاز آن نیز افزایش خواهد یافت.

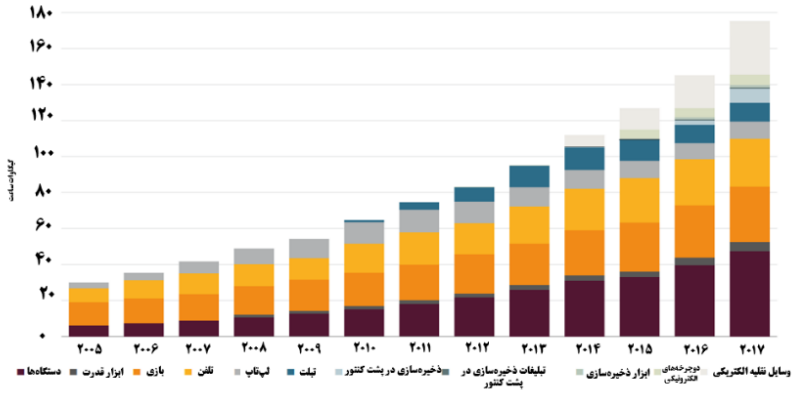
نمودار شماره ۳: چشم انداز تقاضای فلز از باتری‌های لیتیوم یون بر حسب میلیون تن (۲۰۱۸-۲۰۳۰)



منبع: **Bloomberg** به نقل از **ANRC, 2021**

بر اساس نمودار ۴ میزان مصرف باتری‌های لیتیوم یونی در جهان تا سال ۲۰۱۷ حدود ۱۸۰ گیگا وات ساعت بوده است ولی این میزان مصرف تا سال ۲۰۲۲ حدود ۴ برابر شده و به ۷۰۰ گیگاوات ساعت رسیده است و پیش بینی می‌شود تا سال ۲۰۲۵ به ۱۷۰۰ و در سال ۲۰۳۰ به ۴۷۰۰ برسد(Bloomberg, 2022). همچنین عمده مصرف باتری‌های لیتیوم یونی در وسایل الکترونیکی، گوشی‌های همراه و وسایل بازی بوده است اما پیش‌بینی می‌شود در کنار رشد تقاضای این وسایل، سهم وسایل نقلیه الکتریکی به بیش از ۵۰ درصد برسد (ANRC, 2021).

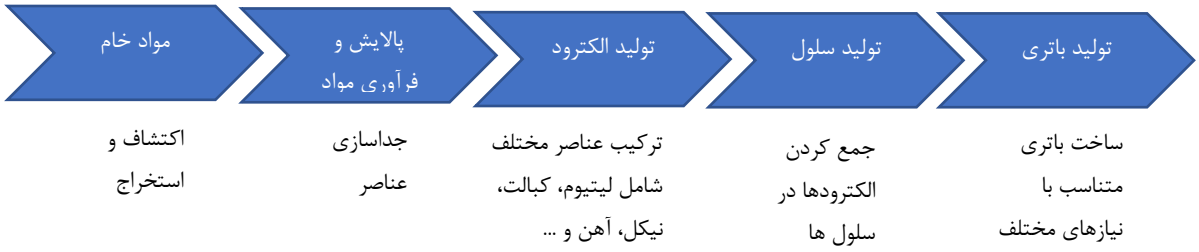
نمودار شماره ۴: مقدار مصرف باتری‌های لیتیوم یونی در کاربردهای مختلف بر حسب گیگا وات ساعت



منبع: **Austrade, 2018**

زنجیره ارزش باتری‌های لیتیوم یونی با اکتشاف مواد معدنی و سپس استخراج از معدن آغاز می‌شود. سنگ معدن پس از استخراج و خرد کردن از طریق فرآیندهای پالایش می‌شود و سپس طی سپری کردن مراحل تولید الکترود، سلول‌ها و نهایتاً باتری‌های مختلف تولید می‌شوند. این زنجیره را می‌توان به پنج مرحله تقسیم کرد که در شکل زیر نشان داده شده است.

شکل شماره ۱: زنجیره ارزش باتری لیتیوم یونی



۱- انتهای بالادستی زنجیره ارزش شامل اکتشاف، استخراج و بهره‌برداری است که محصولات اصلی آن کنسانتره معدنی لیتیوم و کبالت و سایر کنسانتره‌های معدنی است که بخشی از یک جزء باتری را تشکیل می‌دهند.

۲- بخش میانی شامل فرآیندهای هیدرو متالورژیکی برای تولید کربنات لیتیوم و سایر فرآیندهای متالورژیکی برای سایر اجزای معدنی است. کبالت که محصول جانبی فلزات دیگر است، بسته به نوع فرآیند کانی اصلی، مسیر پردازش متفاوتی دارد. هر مسیری که دنبال شود، نتیجه هیدروکسید کبالت، کربنات لیتیوم یا هیدروکسید لیتیوم است.

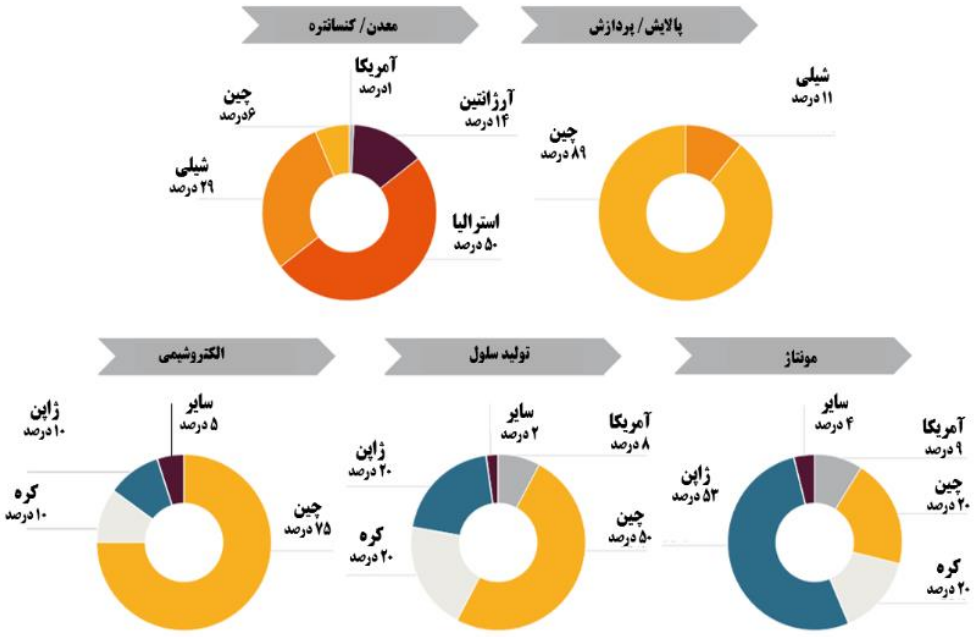
۳- محصولات مرحله ۲ ماده خام برای ساخت الکترودها را تشکیل می‌دهند.

۴- الکترودها در یک سلول جمع می شوند که ساده ترین واحد باتری است.

۵- مرحله پنج با بسته‌های سلولی متفاوت بسته به استفاده و مصرف نهایی، برای مصرف کننده طراحی می‌شود.

فرآوری مواد معدنی و سایر مراحل تولید باتری در اختیار بازیگران متفاوتی است. استرالیا، شیلی و آرژانتین سه بازیگر اصلی در قسمت بتدای زنجیرع هستند (شکل شماره ۲) و چین بازیگر اصلی در سمت میانی تا مرحله نهایی زنجیره ارزش (شامل پالایش، تولید الکتروشیمیایی و تولید سلولی) است. ژاپن و کره جنوبی، غول‌های الکترونیک، نیز در بخش نهایی زنجیره ارزش، یعنی تولید سلول و باتری هستند.

شکل شماره ۲: بازیگران اصلی در زنجیره ارزش باتری‌های لیتیوم یونی



منبع: **Austrade, 2018**

شـکل ۳ پنج مرحله خلق ارزش افزوده را در تولید یک کیلو وات سـاعت نشـان می‌دهد. هر یک از این مراحل یک واحد تجاری با ساختارهای تجاری سازی خاص خود است.

فاز ۱: مرحله مواد خام، که شامل استخراج مواد معدنی کالاهای مختلف مورد استفاده در تولید باتری، با کنسانتره معدنی به عنوان محصـول تجاری اسـت. میانگین ارزش محقق شـده در مرحله اسـتخراج و بهره‌برداری با فروش کنسـانتره به صـنایع شـیمیایی یا متالورژی ۵۰ دلار برآورد شده است که معادل ۱۲ درصد ارزش کل زنجیره ارزش (۴۱۶ دلار) است.

فاز ۲: مرحله فرآوری که در آن کنسـانتره معدنی تهیه شـده از مرحله ۱ به عنوان ماده خام، تحت پردازش متالورژیکی قرار می‌گیرد تا محصولات مورد نیاز برای اجزای سلولی که عبارتند از کربنات لیتیم یا هیدروکسید لیتیم و ترکیبات کبالت تولید شود که معادل ۱۱۸ دلار معادل ۲۸ درصد ارزش کل است. یا در صورت بازیافت ۸۴ دلار ، معادل ۲۵ درصد از ارزش کل.

فاز ۳: تولید الکترود برای سـاخت سـلول باتری با اسـتفاده از محصـولات مرحله ۲ که در این فرآیند ۲۸ دلار معادل ۷ درصـد ارزش کل را به دست می‌آورد.

فاز ۴: تولید سـلول‌های باتری با اسـتفاده از محصـولات مرحله ۳، با تحقق ۱۴۶ دلار، معادل ۳۵ درصـد از ارزش کل، ارزش تجمعی ۳۴۲ دلار، معادل ۸۲ درصد از ارزش کل در صورتی که سه مرحله اول به طور متوالی اجرا شوند.

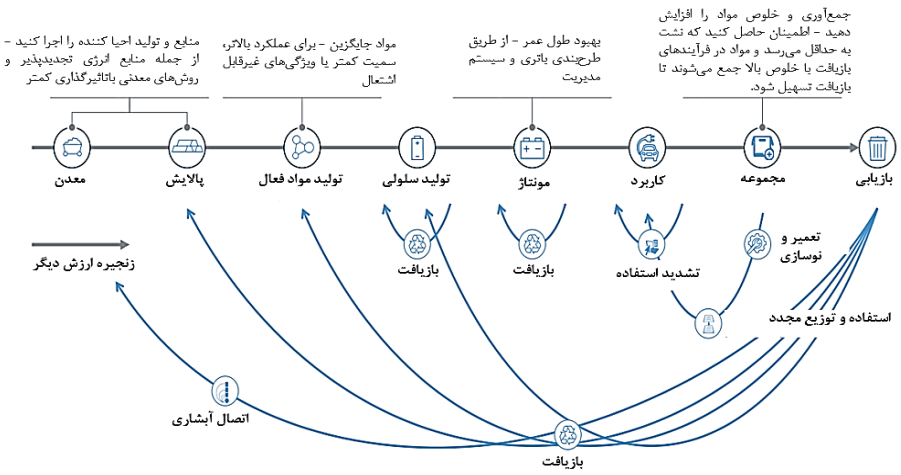
فاز ۵: مونتاژ سلول‌ها از فاز ۴ به یک بسته باتری با ارزش واقعی ۷۴ دلار، معادل ۱۸ درصد از ارزش کل یا در صورت بازیافت معادل ۲۲ درصد است.

شکل شماره۳: زنجیره ارزش باتری لیتیوم یونی بر حسب دلار آمریکا

منبع: **ANRC, 2021**

در این فرایند، ارزش کل ۴۱۶ دلار در کیلو وات ساعت می‌تواند در یک کشور محقق شود اگر تمام فرآیندهای ارزش افزوده بومی سازی شده با استفاده از پایه تامین مواد خام انجام شود. این مدل کسب‌وکار به معنای واقعی رقابتی است و به صورت کامل از مرحله استخراج تا بسته بندی باتری توسط چین و برای تسریع توسعه کشور اتخاذ شد. این حمایت از زنجیره ارزش، توسعه صنعت و خدمات، ایجاد شغل قابل توجه ، رشد تولید ناخالص داخلی و درآمد هنگفت از طریق مالیات به همراه داشته است(ANRC, 2021). در مدل توسعه یافته زنجیره ارزش باتری‌های لیتیوم یونی با هدف حفظ محیط زیست ، بازیافت باتری‌ها مد نظر است که پس از تولید باتری و استفاده توسط مشتریان، جمع‌آوری می‌شوند و پس از بازیافت دوباره به چرخه برمی‌گردند. شکل زیر این فرآیند را به خوبی ترسیم کرده است.

شکل شماره ۴: مدل زنجیره ارزش باتری‌های لیتیوم یونی و بازیافت آنها

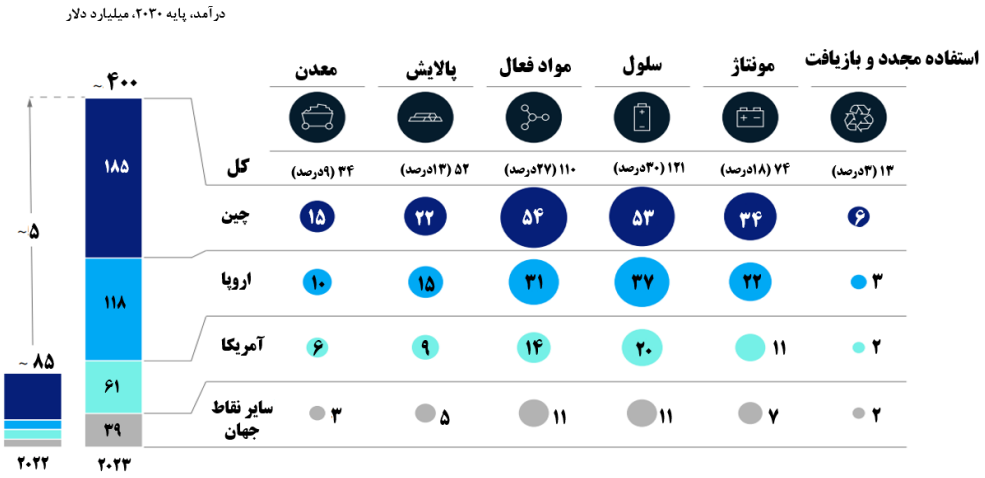


منبع: **McKinsey, 2023**

در حال حاضر باتری‌های لیتیوم یونی بازاری معادل ۸۵ میلیارد دلار آمریکا ارزش افزوده دارد که پیش‌بینی می‌شود در حالت واقع بینانه، این رقم به ۴۰۰ میلیارد دلار در سال ۲۰۳۰ برسد که بازیافت نیز سهم ۳ درصد از این بازار بزرگ خواهد داشت. این پیش‌بینی به همراه بازیگران احتمالی آن در شکل ۲ نشان داده شده است.

در این مدل توسعه یافته زنجیره ارزش، صنعت باتری‌های لیتیوم یونی در حین ارزش افزوده بسیار کلان در بازار جهانی، نقش مهمی را در سه زمینه ایفا می کنند: ۱) کربن‌زدایی از حمل و نقل از طریق برق رسانی ۲) امکان انتقال از سوخت فسیلی به تولید انرژی تجدیدپذیر به عنوان منبع قابل توزیع برق و ۳) کمک به دسترسی به برق برای جوامع خارج از شبکه. این بدان معناست که باتری‌ها می‌توانند اساساً انتشار گازهای گلخانه‌ای را در بخش‌های حمل‌ونقل و نیرو، که در حال حاضر تقریباً ۴۰ درصد از انتشار گازهای گلخانه‌ای جهانی را تشکیل می‌دهند، کاهش دهند و به اهداف توسعه پایدار سازمان ملل کمک کنند(WEF, 2019).

شکل شماره ۵: پیش بینی ارزش افزوده در هر مرحله از زنجیره ارزش باتری‌های لیتیوم یونی در صورت بازیافت



منبع: **McKinsey, 2023**

وضعیت ایران

گرچه لیتیوم، کبالت، منگنز، نیکل، آلومینیوم، گرافیت، آهن، مس و فسفات عناصر تولید باتری‌های لیتیوم یونی هستند اما سه عنصر لیتیوم، کبالت و نیکل در این فرآیند از همه گران‌تر و با ارزش ترند.کشورهای استرالیا، آرژانتین، شیلی، چین و آمریکا کشورهای تراز اولی هستندکه ذخایر لیتیوم را در اختیار دارند. کنگو، استرالیا، کوبا و کانادا در ذخایر کبالت، استرالیا، برزیل و کانادا نیز در نیکل رتبه های بالایی دارند.

ایران نیز طبق گفته مقامات رسمی کشور جزو معدود کشورهای است که ذخایر لیتیوم کشف شده دارد و گواهی کشف از وزارت صنعت، معدن و تجارت گرفته است[۷] و ذخایر فلز در فاز نیمه استحصال صنعتی قرار دارند[۸]. در سال ۱۳۹۷ به نقل از مدیر اکتشافات سازمان ایمیدرو، «محدوده‌هایی در شرق کشور نخستین محدوده لیتیم ایران کشف شده است. درحال حاضر اقدامات اکتشافی در زمینه استحصال این فلز با ارزش، با همکاری یک شرکت خارجی در سازمان مذکور در حال انجام است. هرچند این اقدامات به‌ویژه در سالیان اخیر شتاب بیشتری به‌خود گرفته است، اما کماکان نیاز به سرمایه‌گذاری و تخصیص منابع مالی از طرف نهادهای تصمیم‌گیرنده جهت اکتشاف این فلز با ارزش برای سالیان پیش رو به‌شدت ضروری است». همچنین در سالیان اخیر مطالعاتی جهت استحصال لیتیوم از منابع شوراب‌های داخل کشور انجام شده است. نتایج این بررسی‌ها نشان می‌دهد که استخراج فسفات لیتیم و کربنات لیتیوم امکانپذیراست[۹].

علاوه بر لیتیوم به عنوان مهمترین عنصر در تولید باتری‌های لیتیوم یونی، ایران هم اکنون ذخایرکبالت، منگنز، نیکل، آلومینیوم، آهن، مس و فسفات دارد که این مزیت باعث می‌شود تولید این باتری ها با هزینه بسیار کمی انجام شود.

---

[۷] دنیای اقتصاد، میزان دقیق ذخایر لیتیوم ایران چقدر است؟. شماره روزنامه ۵۸۰۹. جمعه ۳ شهریور ۱۴۰۲

[۸] ایرنا، کشف نخستین ذخیره لیتیوم در کشور، اسفند۱۴۰۱

[۹] مرکز پژوهش های مجلس، بررسی پتانسیل‌های کشور جهت اکتشاف، استحصال و بازیافت فلز لیتیوم به عنوان مهم‌ترین ذخیره ساز انرژی در دنیا، ۱۳۹۷

با وجود اینکه مطالعات آماری مشخصی از میزان مصرف لیتیم در داخل کشور وجود ندارد، اما روند روبه رشد تعداد شرکت‌های تولیدکننده تجهیزات الکترونیکی قابل حمل، شرکت‌های تولیدکننده وسایل نقلیه الکتریکی و سیستم‌های ذخیره‌ساز انرژی در کشور حاکی از مصرف قابل توجه این فلز در صنایع مذکور است. از طرفی صنایع نظامی کشور به‌عنوان قطب محرک و اثرگذار صنایع دیگر نیز در سالیان اخیر مطالعات زیادی در حوزه تولید باتری‌های لیتیومی و همچنین بازیافت منابع آن انجام داده‌اند، هر چند کماکان بحث واردات ماده اولیه لیتیوم از کشورهای خارجی به‌ویژه چین، مهمترین معضل شرکت‌های مذکور است[۱۰].

جمع بندی

صنعت باتری‌های لیتیوم یونی نقش مهمی در حفظ محیط زیست وکربن زدایی از طریق خودروهای الکتریکی و امکان انتقال از سوخت فسیلی به تولید انرژی تجدیدپذیر به عنوان منبع قابل توزیع برق دارد. این صنعت می‌تواند انتشار گازهای گلخانه‌ای را در بخش‌های حمل‌ونقل و نیرو، که در حال حاضر تقریباً ۴۰ درصد از انتشار گازهای گلخانه‌ای جهانی را تشکیل می‌دهند، کاهش دهد. در حین حال این صنعت ارزش افزوده بسیار کلان در بازار جهانی ایجاد می‌کند که به همراه آن مشاغل خصوصی و اشغال متنوعی ایجاد خواهد شد.

زنجیره ارزش باتری‌های لیتیوم یونی مراحل مختلف از اکتشاف و استخراج مواد معدنی، فرآیندهای پالایش، تولید الکترود، سلول‌ها و باتری را به صورت زنجیر گون شامل می‌شود و در این هر کدام از مراحل این فرآیند ارزش افزوده جدیدی خلق می‌شود.پیش بینی میشود تا سال ۲۰۳۰ ارزش افزوده این صنعت به بیش از ۴۰۰ میلیارد دلار برسد. در این فرآیند، فرآوری مواد معدنی و سایر مراحل تولید باتری در اختیار بازیگران متفاوتی است. استرالیا، شیلی و آرژانتین سه بازیگر اصلی در قسمت ابتدای زنجیر هستند و چین بازیگر اصلی در سمت میانی تا مرحله نهایی زنجیره ارزش است. ژاپن و کره جنوبی و آمریکا، غول‌های الکترونیک، نیز در بخش نهایی زنجیره ارزش، یعنی تولید سلول و باتری هستند.

بر اساس بازار رو به رشد لیتیوم و وابستگی صنعت باتری‌سازی به این فلز، ایران نیز به لیتیوم نیازمند است و در سالهای پیش رو تقاضا برای آن بیشتر خواهد شد. شرکت‌های بسیاری در ایران در حال حاضر در حال تولید باتری هستند و مواد اولیه آن را وارد می‌کنند. به عنوان یک تولیدکننده مواد معدنی مورد نیاز باتری، ذخایر ایران می‌توانند به طور سودآور برای منافع اقتصادی مورد بهره‌برداری قرار گیرند و از این طریق می‌تولند یکی از محورهای زنجیره تامین باتری باشد اما تاکنون این فرصت های تولید با ارزش افزوده را از دست داده است. به نظر می‌رسد که زمان برای رقابت در تولید باتری، بخشی از زنجیره ارزش که بیشتر فرصت‌های ایجاد ارزش و اقتصاد کلان را در اختیار دارد، رو به اتمام است (McKinsey 2022). از این رو ایران اگر قصد ورود به این حوزه مهم و با ارزش افزوده بالا را دارد باید شروع به سیاستگذاری و اقدام نماید. تنها به عنوان یک تخمین ساده می‌توان گفت در یک سناریو جمعیت ایران در حال حاضر بیش از یک درصد جمعیت جهان است و اگر تنها به اندازه یک درصد از بازار باتری‌های لیتیومی را در سال ۲۰۳۰ نصیب خود کند می‌تواند ارزش افزوده ۴ میلیارد دلاری را برای اقتصاد کشور به همراه داشته باشد. ارزش افزوده‌ای که بواسطه طی زنجیره رسته‌ها و شغل های مختلف بخش خصوصی و نیروی کار ماهر را درگیر فرآیند تولید می‌کند و از این رو ارزش افزوده‌ای درون‌زا و ماندگار خواهد بود.

[۱۰] همان

توصیه‌های سیاستی

۱- با توجه به اینکه ایران هنوز منابع لیتیوم خود را استخراج نکرده است بنابراین پیش از هر اقدامی لازم است که مطالعه دقیق و جامع زمین‌شناسی در مورد اکتشاف و شناسایی مناطق مستعد داخل کشور انجام شود؛

۲- انجام مطالعات پیش امکان سنجی برای استخراج لیتیوم : گرچه ایران پتانسیل قابل توجهی در منابع معدنی برای رقابت در مقیاس جهانی دارد، با این حال توسعه منابع معدنی باید مبتنی بر مدل‌های تجاری باشد که حداکثر سود را برای کشور فراهم کند؛

۳- مطالعات زنجیره ارزش تولید باتری در ایران بر اساس قیمت استخراج مواد اولیه و قیمت های جهانی: با توجه به اینکه ایران مواد تشکیل دهنده برای نمونه مختلف تولید باتری لیتیوم یونی را دارد و در حال حاضر تولید این باتری ها به شکل محدودی انجام می‌شود، با این حال به منظور شناسایی موانع و گلوگاه‌های عدم توسعه این باتری‌ها، باید یک مطالعه تحلیل فنی برای ارزیابی آمادگی کشور و نحوه بهره مندی آن از بخش های مختلف زنجیره ارزش انجام شود؛ این مطالعه آمادگی کشور را بر اساس معیارهایی مانند نوآوری، افزایش سرمایه، تولید، انرژی و حاکمیت ارزیابی خواهد کرد. در واقع در این مطالعه علاوه بر فرآیند اصلی استخراخ تا فروش محصول نهایی، نیاز است قوانین و مقررات، توسعه نهادها، آموزش و زیرساختهای مورد نیاز نیز بررسی شوند؛

۴- ضرورت آموزش نیروهای متخصص: پس از مطالعات زنجیره ارزش و شناسایی نیازهای مختلف بخش صنعت در مراحل مختلف استخراج و تولید تا بازاریابی و فروش، ایران اگر قصد ورود به این حوزه را دارد باید از هم اکنون روی آموزش نیروهای تخصصی سرمایه گذاری کند بخصوص در رشته‌های الکتروشیمی و سایر رشته‌های مرتبط با آن؛

۵- ارتقای ارتباط با سایر بخش‌های اقتصادی برای توسعه زنجیره ارزش باتری‌های لیتیوم یونی: تعامل بین بخش‌های مختلف اقتصاد و توسعه زنجیره ارزش باتری تنها در صورتی امکان‌پذیر است که کارکردهای نهادی دولت ارتقا یابند شامل توسعه حکمرانی، سیاست‌های پولی و مالی، توسعه زیرساخت‌ها و لجستیک، شفافیت، آموزش و ارتباطات. اگر هر یک از این عملکردهای دولتی ضعیف باشند، فرآیند توسعه زنجیره ارزش ضعیف خواهند بود. در واقع کشور نیاز به پیاده‌سازی سیستم‌هایی دارند که از توسعه اقتصادی از سطح حکمرانی خوب شروع می شود؛

۶- حمایت مالی، قانونی و مالیاتی از توسعه واحدهای تولید لیتیوم در داخل کشور؛

۷- ترویج سرمایه‌گذاری مشترک با شرکت های خارجی برای توسعه ذخایر و زنجیره ارزش: از آنجایی که این زنجیره ارزش نیازمند سرمایه گذاری، دانش و تکنولوژی بالاست لذا علاوه بر توسعه مؤسسات مالی داخلی با قابلیت تأمین مالی پروژه‌های عظیم، کشور باید از منابع خود برای ایجاد هم‌افزایی با تولید کنندگان عمده باتری استفاده کند. دولت باید کارآفرینان محلی خود را تشویق کند تا با شرکت‌های با تجربه، سرمایه گذاری مشترک انجام دهند؛

منابع

-African Natural Resources Centre (ANRC). 2021. Lithium - Cobalt Value Chain Analysis for Mineral Based Industrialization in Africa. African Development Bank. Abidjan, Côte d'Ivoire.

-Austrade. 2018. The lithium-ion battery value chain: new economy opportunities for Australia. Australian Trade and Investment Commission.

-Bloomberg Finance, 2020. Critical transparency into sustainability. https://www.bloomberg.com/impact/products/bloombergnef/

-McKinsey & Company 2022. https://www.mckinsey.com/industries/electric-power-and-natural-gas/our-insights/capturing-the-battery-value-chain-opportunity

-McKinsey & Company. 2023. Battery 2030: Resilient, sustainable, and circular. y McKinsey in cooperation with the Global Battery Alliance.

-Rahn, C. D., and Wang, C. Y., "Battery Systems Engineering", John Wiley & Sons Ltd, (2013).

-United States Geological Survey (.gov).2023. Lithium Statistics and Information | U.S. Geological Survey.

-USGS, 2020 Mineral Commodity Summaries. https://www. usgs.gov/centers/nmic/rare-earths-statistics-and-information.