

# آینده‌پژوهی توسعه خودروهای برقی و آثار آن بر صنایع معدنی

معاونت پژوهش‌های زیربنایی و امور تولیدی  
دفتر: مطالعات انرژی، صنعت و معدن

کد موضوعی: ۳۱۰  
شماره مسلسل: ۱۶۹۲۴  
اسفندماه ۱۳۹۸

## به نام خدا

### فهرست مطالب

|         |                                                                       |
|---------|-----------------------------------------------------------------------|
| ۱.....  | خلاصه مدیریتی.....                                                    |
| ۴.....  | مقدمه.....                                                            |
| ۵.....  | ۱- چشم‌انداز توسعه بازار خودروهای برقی در دنیا.....                   |
| ۵.....  | ۱-۱. آینده خودروهای برقی در دنیا.....                                 |
| ۸.....  | ۱-۲. انواع خودروهای برقی.....                                         |
| ۹.....  | ۱-۳. کشورهای توسعه‌یافته در حوزه خودروهای برقی.....                   |
| ۱۰..... | ۱-۴. بازار خودروهای برقی.....                                         |
| ۱۲..... | ۱-۵. خودروهای سنگین برقی.....                                         |
| ۱۳..... | ۱-۶. محرک‌های خودروهای برقی.....                                      |
| ۱۸..... | ۲. باتری خودروهای برقی و تأثیر آن بر آینده صنایع معدنی.....           |
| ۱۹..... | ۲-۱. زنجیره ارزش باتری خودروهای برقی.....                             |
| ۲۱..... | ۲-۲. ترکیبات فلزی مورد استفاده در باتری‌ها.....                       |
| ۲۳..... | ۲-۳. تقاضای باتری در بخش‌های مختلف.....                               |
| ۲۴..... | ۲-۴. عرضه و تقاضای فلزات کلیدی در تولید باتری خودروهای برقی.....      |
| ۳۱..... | ۳. ساخت بدنه خودروهای برقی و تأثیر آن بر آینده صنایع معدنی.....       |
| ۳۴..... | ۴. خودروهای برقی در ایران؛ چالش‌های متعدد و چشم‌انداز پرابهام.....    |
| ۳۶..... | ۵. برآورد مواد معدنی مورد نیاز برای خودروهای برقی با الگوی ترکیه..... |
| ۳۸..... | جمع‌بندی و نتیجه‌گیری.....                                            |
| ۴۲..... | منابع و مآخذ.....                                                     |



## آینده پژوهی توسعه خودروهای برقی و آثار آن بر صنایع معدنی

### خلاصه مدیریتی

#### چشم‌انداز خودروهای برقی در جهان

در عصر کنونی، پیشران‌های مهمی مانند کاهش ردپای کربن و افزایش حساسیت‌های زیست‌محیطی، منجر به توسعه شتابناک خودروهای برقی شده است. فراگیری خودروهای برقی در سطح دنیا به قدری بوده که در سال ۲۰۱۷ میلادی با ۵۴ درصد رشد نسبت به سال قبل از آن، فروش این خودروها از مرز ۱ میلیون دستگاه عبور کرد و در همین سال، میزان فروش خودروهای برقی، حدود ۵ درصد کل بازار خودروهای سبک سواری بوده است. براساس پیش‌بینی مؤسسات بین‌المللی، رشد فروش خودروهای برقی سواری، به ۴ میلیون در سال ۲۰۲۰، ۱۲ میلیون تا سال ۲۰۲۵ و نهایتاً ۲۱ میلیون دستگاه در سال ۲۰۳۰ خواهد رسید. علاوه بر این، پیش‌بینی می‌شود که تا سال ۲۰۳۰ از هر ۵ خودروی سبک سواری در خیابان‌ها، یک خودرو تمام برقی باشد و به‌صورت تجمعی نزدیک به ۳۴۰ میلیون خودروی برقی وارد بازار شود.

#### فعال شدن صنایع بالادست برای تأمین نیازهای تولید خودروی برقی

خودروهای برقی به‌عنوان یک بازار بزرگ تقاضا، نیازهایی را به صنایع بالادست خود منعکس کرده‌اند که متأثر از موضوعات «ذخیره انرژی» و «استحکام و سبکی بدنه» این خودروهاست. مواد اصلی مورد نیاز باتری خودروهای برقی، مواد معدنی لیتیم، کبالت و نیکل و بدنه آن نیازمند آلومینیم و فولادهای پر استحکام پیشرفته است. برای مثال در سال ۲۰۱۹ ارزش کل منابع لیتیم، کبالت و نیکل (سه ماده اولیه اصلی تهیه باتری) در جهان، ۵ میلیارد دلار تخمین زده شده است. منابع کبالت بیشترین سهم را در این میان داشته و بعد از آن منابع لیتیم و نیکل کلاس ۱ (مناسب باتری‌ها) در رده‌های بعدی قرار دارند. انتظار می‌رود با افزایش تقاضای این محصولات جهت تولید باتری، ارزش این مواد خام تا سال ۲۰۲۵ به ۴۶ میلیارد دلار و تا سال ۲۰۳۰ به ۱۳۴ میلیارد دلار برسد. با در نظر گرفتن میزان انرژی مورد نیاز، تخمین زده می‌شود که مجموع استفاده از باتری‌ها با رشد سالیانه ۳۳ درصدی، در سال ۲۰۲۵ به ۱۰۰۰ گیگاوات ساعت برسد. این پیش‌بینی برای سال ۲۰۳۰ رقم ۲۹۰۰ گیگاوات ساعت را نشان می‌دهد. انتظار می‌رود تقاضای باتری برای وسایل حمل‌ونقل برقی در سال ۲۰۲۵ به ۷۳۵ گیگاوات ساعت و در سال ۲۰۳۰ به ۱۸۹۰ گیگاوات ساعت (دو - سوم تقاضای کل) برسد.

همچنین پیش‌بینی می‌شود که تا سال ۲۰۲۵ نزدیک به ۸۰ درصد مصرف لیتیم برای ساخت باتری

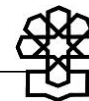
مصرف شود. تولید «کبالت» در سال ۲۰۲۵ باید نسبت به مقدار مشابه در سال ۲۰۱۶ دو برابر شود. نکته اینکه هم‌اکنون بیش از ۶۰ درصد تولید کبالت دنیا از جمهوری کنگو تأمین می‌شود. کشوری که به دلیل ناپایداری‌های سیاسی، دارای چالش‌های متعددی در حوزه تجارت است. همچنین عمده کبالت تولیدی، محصول جانبی تولید نیکل و مس است. بنابراین سرمایه‌گذاری برای تولیدات جدید نیازمند توجه به بازارهای مس و نیکل است. با وجود اینکه در حال حاضر چالش جدی‌ای در بازار برای تأمین «نیکل» کلاس ۱ وجود ندارد، اما پیش‌بینی می‌شود که تأمین این فلز در سال ۲۰۲۵ با مشکل روبه‌رو خواهد شد. در حال حاضر عمده تقاضای نیکل مربوط به صنعت فولاد بوده و تنها ۳ درصد از تقاضای نیکل کلاس ۱ برای باتری‌هاست. اما با رشد بازار خودروهای برقی و افزایش تقاضای نیکل برای ساخت باتری‌های لیتیومی، این رقم تا سال ۲۰۲۵ تا ۴۰ درصد افزایش پیدا خواهد کرد. همچنین انتظار می‌رود با افزایش تقاضا، فاصله قیمتی بین نیکل کلاس ۱ و ۲ افزایش یابد.

شایان ذکر است به واسطه توسعه خودروهای برقی، علاوه بر افزایش مصرف لیتیم، تقاضای مس نیز افزایش چشمگیری خواهد داشت. پیش‌بینی می‌شود تا سال ۲۰۲۷، تقاضای مس، ۵۶۰ هزار تن افزایش داشته باشد. با در نظر گرفتن تولید جهانی حدود ۲۰ میلیون تن، این میزان افزایش سهمی معادل ۲/۵ درصد کل تولید جهانی خواهد بود.

درخصوص بدنه خودروهای برقی نیز به نظر می‌رسد آینده این خودروها استفاده از «فولادهای پیشرفته با استحکام بالا» است. شایان ذکر است فولادهای پیشرفته یک تجربه ناموفق در صنعت خودروسازی داشته‌اند، اما پیشرفت فناوری‌های تولید فولاد، استفاده از این آلیاژ مستحکم، با چقرمگی بالا و از همه مهم‌تر سبک را دوباره به صنعت خودروسازی وارد کرده است.

### توسعه خودروهای برقی و بازارهای مستعد برای صنایع معدنی ایران

چشم‌انداز توسعه خودروهای برقی در ایران تا حدودی مبهم است و این درحالی است که نیاز به این پارادایم جدید در حوزه حمل‌ونقل، مسئله‌ای جدی و راهبردی است. احتمالاً صنعت ایران با یک تأخیر زمانی، الگوی یکی از کشورهای با صنعت و اقتصاد مشابه را برای توسعه خودروهای برقی پیاده خواهد کرد و لذا انتظار می‌رود نیاز به مواد معدنی و صنایع معدنی خاص این خودروها ایجاد شود. البته در صورتی که این اتفاق نیز رخ ندهد، همچنان تولید محصولات ارزشمند و با ارزش افزوده بالا (در اینجا مواد معدنی مرتبط با باتری‌ها و بدنه خودروهای برقی) و صادرات آنها، برای کشور جذاب خواهد بود. براساس برآوردهای انجام شده با الگو قرار دادن کشور ترکیه، لیتیم مورد نیاز برای ساخت باتری خودروهای برقی تا سال ۲۰۳۰ در کشور ترکیه حدوداً ۲۸ هزار تن خواهد بود. مقایسه این رقم با میزان تولید جهانی لیتیم در سال ۲۰۱۸ که برابر ۸۵ هزار تن است، نشان‌دهنده بازار مستعد این کشور برای لیتیم است. همچنین نیاز این کشور به حدود ۵۰۰ هزار تن آلومینیم و بیش از ۱ میلیون تن فولاد



پیشرفته استحکام بالا، برای تولید خودروهای برقی، می‌تواند ترکیه را به بازاری برای صادرات لیتیم، آلومینیم و فولادهای پیشرفته ایران تبدیل کند.

### توصیه‌های سیاستی

به‌منظور سیاستگذاری و تعیین راهبردهای ایران در زمینه تأمین مواد اولیه خودروهای برقی باید در کل زنجیره ارزش حوزه ذخیره انرژی، بین تمامی ذی‌نفعان با محوریت وزارت صمت و سازمان‌های توسعه‌ای ایمیدرو و ایدرو، همکاری راهبردی انجام شود و استراتژی‌های مربوطه و نقشه راه توسعه برای مواد معدنی مذکور با حضور دیگر ذی‌نفعان از صنعت و دانشگاه ترسیم و اجرایی شود. به‌ویژه لازم است اهمیت توسعه این مواد معدنی در اسناد بالادستی (مانند برنامه هفتم توسعه کشور) انعکاس یابد. همچنین از ظرفیت بنگاه‌های بزرگ معدن و صنایع معدنی مانند زنجیره فولاد، مس و... استفاده شده و مشوق‌های لازم برای جهت‌دهی آنها به کنشگری در حوزه مواد معدنی باتری‌های لیتیمی، اعمال شود. علاوه بر این، با توجه به کلیدی بودن بحث «توسعه فناوری» در زنجیره ارزش باتری‌های لیتیمی، همکاری هدفمند صنعت، دانشگاه، شرکت‌های فناور و اکوسیستم استارت‌آپی برای دستیابی به دانش فنی مورد نیاز، الزامی است و باید در دستور کار کارگروه‌های ویژه و نهادهای فرابخشی مانند معاونت علمی و فناوری ریاست جمهوری قرار گیرد.

با توجه به مأموریت ذاتی سازمان ایمیدرو (و سایر سازمان‌های توسعه‌ای مانند ایدرو)، این سازمان‌ها باید کانون تمرکز خود را از صنایع بالغ و توسعه‌یافته مانند فولاد، مس و آلومینیم، به سمت صنایع پیشرفته و حساس آینده تغییر دهند و این امر در اسناد بالادستی (مانند برنامه هفتم توسعه) انعکاس لازم را پیدا کند.

به‌طور خاص و طبق نتایج این گزارش انتظار می‌رود که سازمان زمین‌شناسی و اکتشافات معدنی کشور با همکاری ایمیدرو، در زمینه شناسایی و اکتشاف منابع معدنی جدید برای موضوع ذخیره انرژی برنامه‌ریزی کند. همچنین فراهم کردن بسترهای لازم برای دستیابی به دانش فنی فراوری مواد معدنی مذکور از دیگر راهکارهایی است که می‌تواند توسط سازمان‌های توسعه‌ای صنعت و معدن مورد توجه قرار گیرد. رصد و پایش مستمر تحولات فناورانه و نوآورانه در حوزه ذخیره انرژی، فناوری‌ها و نیازمندی‌های مربوطه و ارزیابی تأثیرات آن بر معادن و صنایع معدنی و تدوین برنامه‌های میان‌مدت و بلندمدت از دیگر راهکارهای توسعه صنایع بالادستی خودروهای برقی است.

## مقدمه

گسترش صنعت تولید خودروهای برقی<sup>۱</sup> و موضوع ذخیره انرژی از روندهای مهم و تأثیرگذار آینده جهان به‌شمار می‌آید. این صنعت در کنار تحولات فناورانه‌ای مانند هوش مصنوعی، رباتیک، اینترنت اشیا، بلاکچین و مواد پیشرفته، توجهات زیادی را به خود جلب کرده است. تعدادی از گزارش‌های معتبر جهانی در حوزه فناوری‌های آینده؛ مانند گزارش مؤسسه مکنزی،<sup>۲</sup> فناوری‌های مرتبط با ذخیره انرژی را در دسته فناوری‌های برافکن بخش انرژی قرار داده‌اند.<sup>۳</sup> فناوری‌های یاد شده در چشم‌اندازهای مختلف، ابعاد تحولی گسترده‌ای دارند و مشخصاً در زنجیره ارزش خود، موجب تحولات شگرف اقتصادی و خلق مدل‌های کسب‌وکاری جدید می‌شوند.

به‌عنوان یک پیشران کلیدی، تلاش برای کاهش ردپای کربنی انسان در صنعت خودروسازی، باعث جذابیت مجدد خودروهای برقی شده است. توسعه فناوری در زمینه منبع انرژی خودروهای برقی یعنی «باتری‌ها» و «کاهش وزن خودرو برای کم‌کردن میزان مصرف انرژی»، دو عامل اصلی گسترش این خودروهاست. همچنین عمومی‌تر شدن استفاده از این نوع وسایل نقلیه، تقاضا برای باتری‌های پربازده و آلیاژهای سبک‌تر را افزایش داده است. بدیهی است که توسعه این خودروها، بر صنایع بالادست آن تأثیر قابل توجهی خواهد داشت. به‌طور خاص برای مواد معدنی و فلزی مورد نیاز در صنعت خودروهای برقی، چالش کمبود منابع، بالا رفتن ارزش مواد اولیه و توسعه صنایع جدید، قابل بررسی و تحلیل است.

از دو منظر کلی می‌توان به روند توسعه صنعت خودروهای برقی پرداخت. نخست، اهمیت صنعت خودروهای برقی و فناوری‌های مربوط به آن و دوم، تأثیر آن در صنایع بالادست به‌ویژه صنایع معدنی. شاید در حال حاضر آمادگی فناورانه برای تولید خودروهای برقی و ذخیره انرژی در کشور وجود نداشته باشد، اما بازارهای صادراتی و رشد تقاضای محصولات با ارزش افزوده بالا می‌تواند به‌طور جدی در دستور کار راهبردهای بخش معدن و صنایع معدنی ایران قرار گیرد. زمانی که در کشورهای همسایه ایران مانند ترکیه، راهبردها و برنامه‌های جدی و جاه‌طلبانه برای تولید خودروهای برقی وجود دارد و اقدامات کشورهای آسیایی مانند چین<sup>۴</sup> و هند، بازار بزرگ و پیشران مهمی برای این صنعت فراهم کرده است، ضروری است تا آثار توسعه خودروهای برقی بر صنایع معدنی ایران مورد بررسی قرار گیرد تا شکاف‌ها و کمبودهای موجود و پیش‌رو برجسته شوند. موضوع ذخیره انرژی، فراتر از صنعت خودروهای برقی، مبحثی راهبردی بوده و با در نظر گرفتن تحریم‌های بین‌المللی در حوزه فناوری و مواد پیشرفته و

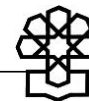
---

1. Electric Vehicle

2. McKinsey &amp; Company

3. Frankel, David and Wagner, Amy. Battery Storage: The Next Disruptive Technology in the Power Sector. s.l.: McKinsey &amp; Company, 2017.

۴. برای مثال به اخبار اخیر و برنامه تولید خودروهای برقی شرکت تسلا در چین توجه شود.



کلیدی<sup>۱</sup> لازم است تا به‌طور ویژه توسط نهادهای سیاستگذار، اجرایی و بنگاه‌های بزرگ معدنی و صنایع معدنی پیگیری و توسعه داده شود.

گزارش پیش‌رو، بر ابعاد تحولی صنعت خودروهای برقی بر بخش معادن و صنایع معدنی ایران متمرکز شده است. در این گزارش تأثیر گسترش تولید خودروهای برقی بر بخش تقاضا و توسعه معادن و صنایع معدنی مورد بررسی قرار گرفته است. همچنین موضوع توسعه خودروهای برقی از منظر توسعه معادن و صنایع معدنی ایران بر مبنای تقاضای جهانی و عرضه محصولات با ارزش‌افزوده بالا و دارای قابلیت صادراتی بررسی شده است. بخش معادن و صنایع معدنی ایران عموماً در دو حوزه، تحت تأثیر فراگیر شدن خودروهای برقی قرار خواهد گرفت؛ نخست، از منظر باتری‌ها و منابع ذخیره انرژی و دوم از منظر بدنه خودروهای برقی. با توجه به پیش‌فرض توسعه این خودروها در ایران و کشورهای همسایه، بازارهای محتمل برای بخش ذخیره انرژی خودروهای برقی و چالش‌های موجود برای پاسخگویی به این بازار بالقوه، مورد تحلیل قرار گرفته است. در بخش پایانی این گزارش، پیشنهادهای سیاستی و اجرایی برای بخش معادن و صنایع معدنی، به‌منظور ارائه پاسخ بهنگام و کارآمد به این بازار ارزشمند و فراگیر در جهان، ارائه شده است.

### ۱. چشم‌انداز توسعه بازار خودروهای برقی در دنیا

#### ۱-۱. آینده خودروهای برقی در دنیا

صنعت خودروسازی در دنیا در حال تحولات اساسی است و خودروهای برقی به بخش جدایی‌ناپذیر این تحولات تبدیل شده‌اند. این مسئله نویدبخش دستیابی به بهره‌وری بالا در مصرف انرژی و همچنین کاهش گازهای گلخانه‌ای است. افزایش نگرانی‌های زیست‌محیطی در کنار ابتکارات نوآورانه و طرح‌های مطلوب دولت‌ها در مواجهه با نیازها و محدودیت‌های انرژی در دنیای آینده، شرایط رشد این بازار را فراهم کرده است. رقابت فناوری‌های نوظهور در زمینه بهره‌وری انرژی نیز از دیگر عوامل رشد بازار است. از منظر تاریخی، در دهه‌های قبل، خودروهای برقی برای اولین بار در آمریکا و در اواسط قرن نوزدهم میلادی ظهور کردند. از مشکلات این خودروها «هزینه ساخت بالا»، «سرعت نهایی پایین» و «ظرفیت پایین باتری» در مقایسه با خودروهای با موتور احتراق داخلی بود. این مشکلات باعث کاهش استفاده از این نوع خودروها و عدم استقبال گسترده از آنها شد. در حالی که به‌نظر می‌رسید، پیشران‌ها و روندهای مساعدی برای توسعه این دست خودروها وجود ندارد و عرصه یکه‌تازی خودروهای احتراقی بی‌پایان خواهد بود، مجموعه‌ای از تحولات زیست‌محیطی و فناوریانه در جوامع بشری رخ داد که عملاً به

۱. برای مثال به اخبار اخیر در زمینه تحریم الکتروکتریسیته و کک نفتی توسط آمریکا توجه شود. همچنین به تحولات دولت برکنار شده بولیوی که به‌عقیده رئیس‌جمهور سابق این کشور به سبب دسترسی به منابع لیتیم این کشور و توسط آمریکا، اتفاقی مانند کودتا در این کشور رخ داده است.

سود فرایند توسعه این خودروها منجر شد.

با گذشت زمان و از آغاز قرن ۲۱ میلادی، نگرانی‌های زیست‌محیطی پیرامون گرمایش کره زمین افزایش یافت و به بحث اصلی بسیاری از دولت‌ها تبدیل شد. نتایج حاصل از گزارش‌های مرتبط با تغییرات اقلیمی، نشان داد که فعالیت‌های انسانی، عامل اصلی آثار مخرب محیط‌زیست است. مشخص شد که با رشد شهری‌نشینی و صنعتی‌شدن جوامع، بسیاری از صنایع مصرف‌کننده سوخت‌های فسیلی توسعه یافته و موجب تشدید آلودگی هوا شده‌اند.

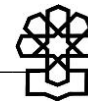
در این میان آلودگی ناشی از خودروها غیرقابل چشم‌پوشی است. این آلودگی که شامل دی‌اکسید و مونواکسید کربن، اکسیدهای نیتروژن و ذرات ریز است، به‌عنوان یکی از اصلی‌ترین عوامل نشر گازهای گلخانه‌ای و به‌تبع آن تغییر اقلیمی زمین قلمداد شده که علاوه بر گرمایش زمین، عامل ایجاد انواع مختلف سرطان و برخی بیماری‌های خطرناک دیگر نیز است. از طرفی بخش حمل‌ونقل مصرف‌کننده تقریباً نیمی از منابع نفتی دنیاست.<sup>۱</sup> با توجه به روند کنونی مصرف منابع نفتی موجود، ادعاهای مختلفی مبنی بر اتمام ذخایر نفتی بین ۳۰ تا ۵۰ سال آینده مطرح شده است،<sup>۲</sup> همچنین استدلال شده است که در صورت وجود ذخایر نفتی در بازه زمانی بیش از این، به‌دلایل متعدد زیست‌محیطی، احتمال محدود شدن استخراج منابع هیدروکربنی بالا خواهد بود و درحال حاضر نیز شواهدی از سیاستگذاری دولت‌ها و وضع قوانین برای کنترل این فعالیت‌ها دیده می‌شود. علاوه بر این کاهش هزینه تولید انرژی از منابع جایگزین و تجدیدپذیر، جایگاه سوخت‌های فسیلی را به‌عنوان منبع اصلی تأمین انرژی به‌خطر انداخته است. نمودار ۱ که از گزارش ماه نوامبر ۲۰۱۹ مؤسسه مشاوره مالی لازارد<sup>۳</sup> اقتباس شده است، گواه این مدعاست و نشان می‌دهد که هزینه تولید انرژی از منابع تجدیدپذیر طی ۱۰ سال اخیر با کاهش شدیدی مواجه بوده است. بنابراین جایگزینی منابع تجدیدناپذیر انرژی با منابع تجدیدپذیر و استفاده از فناوری‌های کاهنده مصرف انرژی غیرقابل اجتناب است. با توجه به چشم‌اندازهای ذکر شده به‌نظر می‌رسد در موضوع حمل‌ونقل، خودروهای برقی راه‌حلی بالقوه برای حل مشکلات زیست‌محیطی مربوط به بخش حمل‌ونقل به‌شمار می‌آید.

1. <https://www.iea.org/statistics/kwes/consumption/>

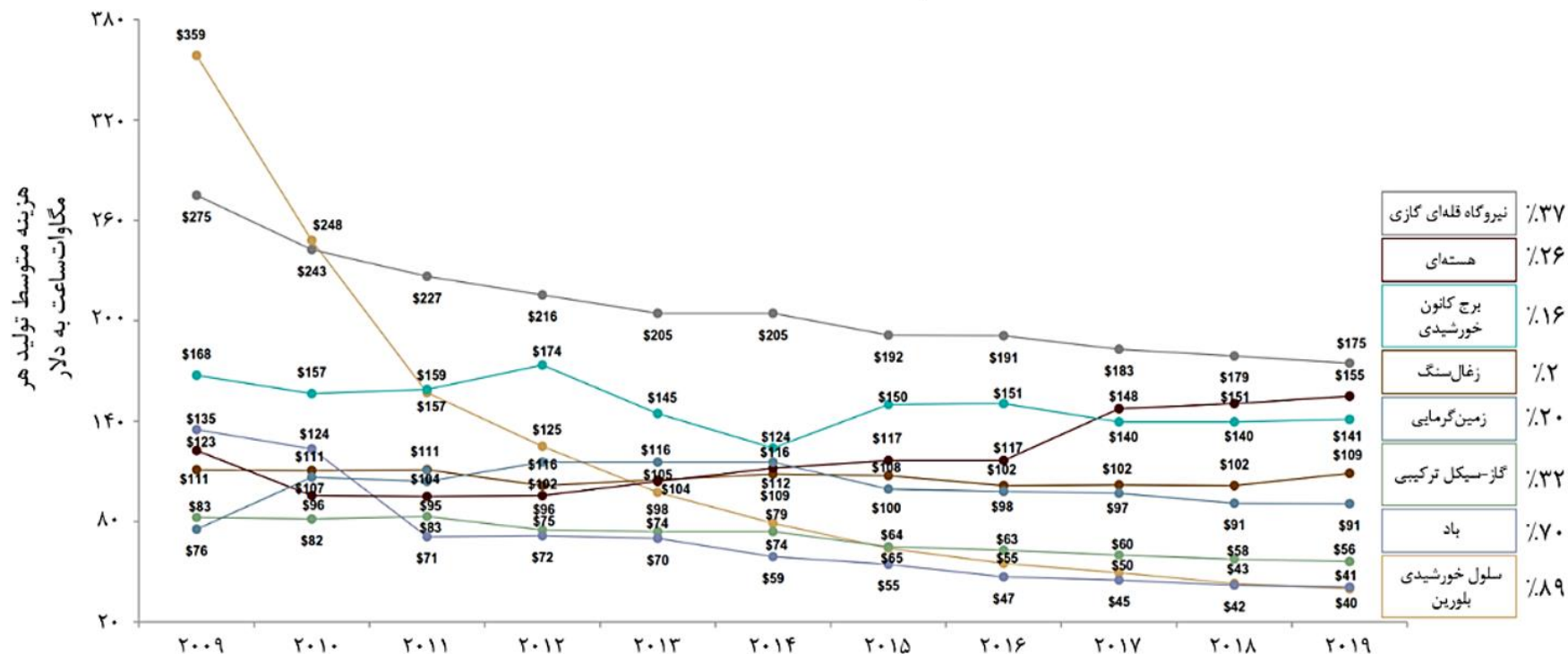
2. <https://www.zacks.com/stock/news/287141/how-much-oil-is-left-in-the-earth>.

3. Lazard





نمودار ۱. هزینه متوسط تولید هر مگاوات ساعت انرژی با فناوری‌های مختلف\*



Source: Lazard's Levelized Cost of Energy Analysis - Version 13.0. s.l.: Lazard, 2019.

\* هزینه‌ها نشان‌دهنده متوسط قیمت بدون سوبسید هر فناوری در سال مربوطه و درصدها بیانگر تغییرات هزینه‌ای در بازه ۱۰ ساله مورد بررسی است.

مؤسسه ارنست یانگ<sup>۱</sup> در گزارشی<sup>۲</sup> آینده صنعت خودروسازی را در توسعه «وسایل نقلیه خودران»، «اعمال فناوری اینترنت اشیا و اتصال در خودروها»، «حمل و نقل سبز» و «حمل و نقل اشتراکی» می‌بیند. پیشرفت ابعاد فنی مختلف علم و مهندسی، رسیدن به این آینده را ممکن کرده است. در این میان، توسعه سبز ناوگان حمل و نقل با کاهش اتکا به سوخت‌های فسیلی و حرکت به سمت باتری‌ها، به عنوان تأمین کننده نیروی پیشران خودروها، ممکن می‌شود. شواهد متعدد بیانگر آن است که صنعت خودروهای برقی، صنعتی رو به رشد بوده و بیشتر شرکت‌های بزرگ تولید خودرو پا در این مسیر گذاشته‌اند.

شکل ۱. آینده صنعت خودروسازی بر پایه چهار مفهوم



Source: Electric Vehicles – Global Scenario. s.l.: EY, 2017

## ۱-۲. انواع خودروهای برقی

اگرچه در حال حاضر سهم خودروهای برقی از بازارهای جهانی، میزان قابل توجهی نیست، اما پیش‌بینی‌ها حکایت از تغییر این روند دارد. خودروی برقی به خودرویی اطلاق می‌شود که تمام یا بخشی از نیروی پیشران خود را از طریق انرژی الکتریسیته تأمین می‌کند. این خودروها با توجه به درجه استفاده از برق به عنوان منبع انرژی، به سه دسته اصلی تقسیم‌بندی می‌شوند. نخست «خودروهای تمام برقی (بی‌ای‌وی)»<sup>۳</sup>، دوم «خودروهای هیبریدی قابل اتصال به پمپ شارژ (پی‌اچ‌ای‌وی)»<sup>۴</sup> و سوم «خودروهای برقی هیبریدی (اچ‌ای‌وی)»<sup>۵</sup>.

1. Ernst & Young
2. Electric Vehicles – Global Scenario. s.l.: EY, 2017.
3. Pure Electric Vehicles (BEVs)
4. Plug-in Hybrid Electric Vehicles (PHEV)
5. Hybrid Electric Vehicles (HEV)



دسته نخست یا بی‌ای‌وی‌ها؛ برای تأمین انرژی، تماماً از انرژی الکتریسیته استفاده می‌کنند و موتور احتراق داخلی سنتی در این ماشین‌ها وجود ندارد. دسته دوم و سوم خودروهای برقی، با یک موتور برقی و یک موتور احتراق داخلی (بنزینی یا دیزلی) طراحی شده‌اند. خودروهای برقی دسته دوم، برای طی مسافت‌های کوتاه از انرژی الکتریسیته استفاده می‌کنند و در سفرهای طولانی‌تر موتور احتراق داخلی خودرو شروع به کار می‌کند. این دست از خودروها مانند خودروهای تمام برقی با اتصال به شبکه برق شارژ می‌شوند. اما خودروهای برقی هیبریدی، برای شارژ به شبکه برق وصل نمی‌شوند. این خودروها غالباً از موتور احتراق داخلی خود استفاده می‌کنند و فقط در سرعت‌های پایین یا در شرایط کم باری، موتور برقی به تنهایی پیشرانی خودرو را انجام می‌دهد.

### ۳-۱. کشورهای توسعه‌یافته در حوزه خودروهای برقی

صرفنظر از نوع خودروهای برقی، بسیاری از کشورهای توسعه‌یافته دنیا، در پی گسترش این نوع از خودروها هستند. در همین راستا و برای سنجش ارزیابی توسعه صنعت و بازار خودروهای برقی، شاخصی به نام «شاخص خودرو برقی مکنزی»<sup>۱</sup> یا «EVI» توسط مؤسسه مکنزی طراحی شده و به‌واسطه این شاخص، فعالیت‌های ۱۵ کشور اصلی این حوزه ارزیابی می‌شود. این شاخص دو بعد اصلی «بازار و تقاضا» و «صنایع و تأمین» را دربرمی‌گیرد و به بسیاری از سازمان‌های فعال در صنعت خودرو، حمل‌ونقل و انرژی کمک می‌کند تا به درک صحیحی از تکامل خودروهای برقی و روندهای پیش روی این خودروها دست یابند. همچنین شاخص EVI عواملی مثل سوبسیدها، زیرساخت‌های موجود و سطح خودروهای برقی موجود را نیز مورد بررسی قرار می‌دهد.<sup>۲</sup> همان‌طور که در نمودار ۲ نشان داده شده است، در میان ۱۵ کشور پیشرو که مورد بررسی این شاخص قرار می‌گیرند، کشور چین نسبت به سایر رقبا پیشی گرفته است و در سال ۲۰۱۷، ناوگان خودروهای برقی کشور چین تبدیل به بزرگ‌ترین ناوگان در دنیا شد. شایان ذکر است از ۸۷۳ هزار خودروی برقی تولید شده در سال منتهی به ۲۰۱۷، حدود ۴۳ درصد توسط تولیدکنندگان چینی انجام شده است. در همین راستا، شرکت آمریکایی تسلا نیز بخشی از تولید خودروهای برقی خود را به چین منتقل کرده است. سایر تولیدکنندگان بزرگ خودرو مانند ژاپن، آلمان، آمریکا، کره جنوبی و فرانسه نیز از نظر صنعتی، امتیاز بالایی در صنعت خودروهای برقی کسب کرده‌اند.

1. Electric Vehicle Index (EVI)

2. Hertzke, Patrick, Nicolai, Müller and Stephanie, Sche. The Global Electric-vehicle Market is Amped up and on the Rise. s.l.: McKinsey Global Institute, 2018.

## نمودار ۲. شاخص بازار و صنعت خودروهای برقی EVI در کشورهای مختلف\*



Source: Dynamics in the global electric-vehicle market, McKinsey Global Institute, 2017.

\* کشورهای بدون داده، یا تولیدکننده داخلی ندارند و یا تولید کمتر از آن بوده است که در شاخص امتیاز گنجانده شود. هر چه امتیاز به عدد ۵ نزدیک‌تر باشد نشانگر رشد کشور مورد نظر در شاخص‌های توسعه خودروهای برقی است.

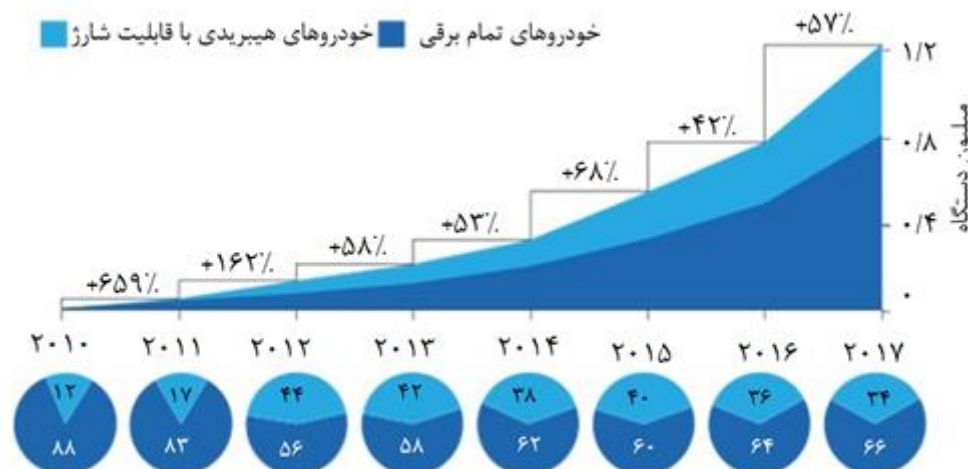
### ۱-۴. بازار خودروهای برقی

توجه کشورهای توسعه‌یافته به خودروهای برقی، گسترش تولید این خودروها را به دنبال داشته است. فراگیری خودروهای برقی در سطح دنیا به قدری بوده که در سال ۲۰۱۷ میلادی با ۵۴ درصد رشد نسبت به سال قبل از آن، فروش خودروهای برقی از مرز ۱ میلیون دستگاه عبور کرد.<sup>۱</sup> آمار مؤسسه مکنزی درخصوص میزان فروش خودروهای برقی بین سال‌های ۲۰۱۰ تا ۲۰۱۷ در نمودار نشان داده شده است. این رقم در سال ۲۰۱۷، حدود ۵ درصد کل بازار خودروهای سبک سواری است و در این بین خودروهای بی‌ای‌وی، ۶۶ درصد سهم بازار جهانی خودروهای برقی را به خود اختصاص داده‌اند و رشد فروش خودروهای تمام برقی سریع‌تر از رشد فروش خودروهای هیبریدی دارای قابلیت شارژ بوده است. شایان ذکر است که بازارهای مختلف ترجیحات متفاوتی دارند و این ترجیحات متأثر از موارد قانونی، انتخاب مشتری و در دسترس بودن زیرساخت‌های تسهیل استفاده و مدل خاص خودروهاست.

1. Electric Vehicle Market Outlook – Growth, Trends, and Forecast (2019 – 2024). s.l.: Mordor Intelligence, 2019.

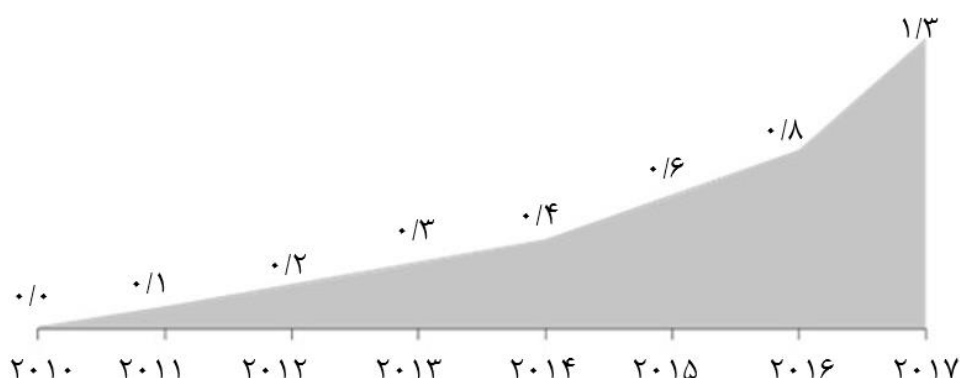


نمودار ۳. فروش جهانی خودروهای برقی در سال‌های ۲۰۱۰ تا ۲۰۱۷ (نرخ رشد سالیانه)



Source: Dynamics in the global electric-vehicle market, McKinsey Global Institute, 2017.

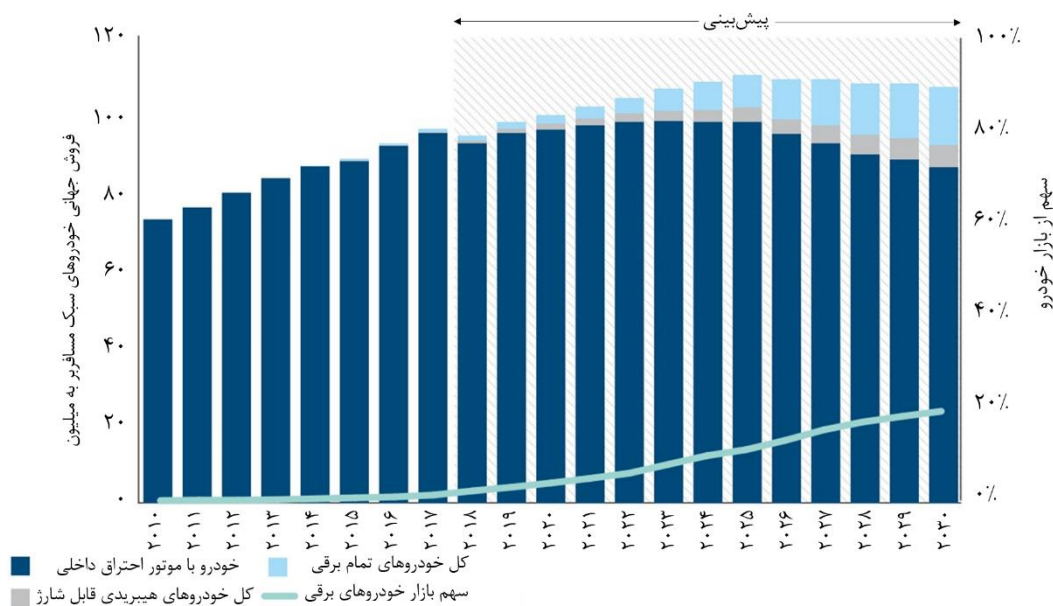
نمودار ۴. فروش جهانی خودروهای برقی از سال ۲۰۱۰ تا ۲۰۱۷ (درصد سهم از تمام خودروها)



Source: Dynamics in the global electric-vehicle market, McKinsey Global Institute, 2017.

در چشم‌انداز مؤسسه دیلویت،<sup>۱</sup> رشد فروش خودروهای برقی سواری از ۲ میلیون دستگاه در سال ۲۰۱۸ به ۴ میلیون در سال ۲۰۲۰، ۱۲ میلیون تا سال ۲۰۲۵ و نهایتاً ۲۱ میلیون دستگاه در سال ۲۰۳۰ پیش‌بینی شده است. باید توجه داشت سهم خودروهای تمام برقی در حال حاضر از خودروهای هیبریدی قابل شارژ بیشتر است و انتظار می‌رود با گذشت زمان این سهم بیشتر شود. پیش‌بینی‌ها نشان می‌دهد که در سال ۲۰۳۰، سهم خودروهای تمام برقی از بازار خودروهای برقی به بیش از ۷۰ درصد برسد. همچنین با رشد فروش خودروهای برقی پیش‌بینی می‌شود که از سال ۲۰۲۴ به بعد فروش خودروهای احتراق داخلی با روند نزولی روبه‌رو شود اگرچه همچنان سهم عمده فروش خودرو را خواهد داشت.

### نمودار ۵. وضعیت فروش جهانی خودروهای سبک سواری به تفکیک نوع پیشران



Source: Battery Electric Vehicles, Deloitte, 2019.

### ۵-۱. خودروهای سنگین برقی

خودروهای برقی وارد صنعت حمل‌ونقل سنگین نیز شده‌اند. اتوبوس‌ها، کامیون‌ها و بسیاری دیگر از وسایل حمل‌ونقل سنگین دیگر، توسط شرکت‌های بزرگ تولیدی در حال توسعه هستند. شرکت‌های بزرگی مانند تسلا، بی‌وای‌دی،<sup>۱</sup> ولوو و فرایت‌لایندر،<sup>۲</sup> همگی برنامه‌های توسعه‌ای برای خودروهای برقی دارند و نمونه‌هایی نیز به بازار عرضه کرده‌اند. حتی در بخش معادن نیز وسایل حمل‌ونقل برقی راه خود را باز کرده است. کاهش آلاینده‌گی صوتی و زیست‌محیطی وسایل حمل‌ونقل در معادن به‌خصوص در معادن زیرزمینی یکی از مزیت‌های جذاب خودروهای برقی برای معادن است. از همین رو بسیاری از تولیدکنندگان تجهیزات معدنی در همکاری با شرکت‌های معدنی اقدام به تولید خودروهای برقی سنگین و سبک کرده‌اند. برای مثال شرکت معدنی بولیدن<sup>۳</sup> در همکاری با شرکت کوماتسو،<sup>۴</sup> اولین نسل از دامپ‌تراک‌های برقی را وارد ناوگان حمل‌ونقل اروپا کرد. از این کامیون‌ها برای اولین بار در معدن نیکل کویستا در شمال فنلاند استفاده شد و قرار است ۱۷ دستگاه از این کامیون‌ها تا سال ۲۰۲۰ تحویل شرکت بولیدن شود.<sup>۵</sup> در نمونه‌ای دیگر شرکت کاترپیلار،<sup>۶</sup> اولین لودر تمام برقی خود را در ماه آوریل

1. BYD (تولیدکننده چینی اتوبوس، دوچرخه شارژی، اتوبوس، لیفتراک، باتری قابل شارژ، کامیون و ...)

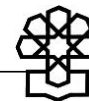
2. Freightliner Trucks (تولیدکننده آمریکایی کامیون)

3. Boliden AB (شرکت معدنی سوئدی که فعالیت اصلی آن، بر تولید مس، روی، سرب، طلا و نقره متمرکز می‌باشد)

4. Komatsu

5. <https://www.miningmagazine.com/fleet/news/1367283/kevitsa-receives-komatsu-electric-trucks>

6. Caterpillar Inc.



سال ۲۰۱۹ ارائه داد. طبق ادعای کاترپیلار، این محصول با توجه به آلاینده‌گی کمتر، کاهش هزینه‌های عملیاتی می‌تواند تأثیرات مهمی بر اقتصاد معدن کاری زیرزمینی بگذارد. نمونه همکاری‌های از این دست در بخش معادن بسیار است و این شواهد نشانگر گسترش خودروهای برقی در این حوزه است.

## ۶-۱. محرک‌های خودروهای برقی

به‌طور کلی رشد فروش خودروهای برقی در سال‌های اخیر و پیش‌بینی افزایش آن در سال‌های آتی، نشئت گرفته از دو عامل محرک «سیاست‌ها و مقررات» و «تقاضای مشتری» است. این دو عامل در ادامه تشریح شده‌اند.

### الف) عامل سیاست‌ها و مقررات

سیاست‌گذاران در کشورهای مختلف با توجه به ملاحظات محیط‌زیستی و با اعمال قوانین و مقررات، موجب توسعه خودروهای برقی شده‌اند. «اقتصاد مبتنی بر کاهش مصرف سوخت و آلاینده‌گی»، «مشوق‌های مالی» و «محدودسازی دسترسی به خودروهای بنزینی و دیزلی» از جمله این قوانین و مقررات است. برای نمونه ۱۰ کشور پیشرو در زمینه خودروهای برقی از جمله چین، ایالات متحده آمریکا، نروژ، آلمان، ژاپن، بریتانیا، فرانسه، سوئد، کانادا و هلند، طیف وسیعی از سیاست‌ها را برای ترویج استفاده از وسایل نقلیه برقی در نظر گرفته‌اند. نمونه‌های اولیه این برنامه‌ها و ابتکارات شامل «برنامه‌های دولتی تسهیل خرید» و «مشوق‌های مالی برای تسهیل در تولید و استفاده از خودروهای برقی و کاهش هزینه استفاده از آنها»<sup>۱</sup> است. همچنین از منظر محدودسازی خودروهای احتراقی، این کشورها به‌واسطه انواع سیاست‌های نظارتی در سطوح مختلف، از جمله «استانداردهای مصرف سوخت» و «محدودیت در گردش وسایل نقلیه براساس تولید گازهای گلخانه‌ای»، توسعه بازار این خودروها را مدیریت می‌کنند.<sup>۲</sup> برای مثال در اتحادیه اروپا برای دستیابی به اهداف سیاست‌های مربوط به آلاینده‌گی دی‌اکسید کربن، خودروهای برقی باید تا سال ۲۰۳۰ حدود ۲۲ درصد از کل بازار خودروسازی را به‌دست آورند. مشوق‌های مالی دولتی از جمله سوبسیدها و معافیت‌های مالیاتی موجب می‌شود تا هم سازندگان و هم مشتریان توانایی مشارکت در بازار خودروهای برقی را داشته باشند. محدودسازی دسترسی شهری به خودروهای احتراق داخلی نیز در برنامه بسیاری از شهرهای دنیا به چشم می‌خورد. علاوه بر این، نزدیک به ۲۰ شهر دنیا برنامه‌های خود را مبنی بر منع عبور خودروهای غیربرقی از سال ۲۰۳۰ یا حتی زودتر اعلام کرده‌اند. به‌طور مثال پاریس قصد دارد تا تردد خودروهای بنزینی و دیزلی در مرکز شهر را تا سال ۲۰۳۰ متوقف نماید. لندن و بسیاری از مراکز شهر در سراسر بریتانیا نیز تا سال ۲۰۲۵ «مناطق بدون

۱. به‌عنوان مثال، با ارائه پارکینگ رایگان.

2. Electric Vehicle Market Outlook – Growth, Trends, and Forecast (2019 – 2024). s.l.: Mordor Intelligence, 2019.

آلایندگی»<sup>۱</sup> خواهند داشت. همچنین شهر پکن با اجرای طرح‌هایی در پی جلوگیری از پلاک شدن خودروهای با موتور احتراق داخلی است.<sup>۲</sup> برخی از این دست سیاست‌ها برای دو کشور ایالات متحده آمریکا و چین در جدول ۱ مشاهده می‌شود. به‌طور کلی بیشتر کشورهای پیشرو در تولید خودروهای برقی، سیاست‌هایی در قالب تشویق خریداران و تولیدکنندگان و همچنین منع تردد خودروهای سوخت فسیلی وضع کرده‌اند. حتی کشورهای در حال توسعه‌ای مانند سریلانکا و کاستاریکا نیز طرح‌های برای منع تردد خودروهای سنتی تا سال ۲۰۵۰ دارند.

جدول ۱. طرح‌ها و سیاست‌های مربوط به خودروهای برقی در ایالات متحده و چین

| ردیف | کشور   | طرح                                | شرح                                                                                                                                                                                                                                                                                                                          |
|------|--------|------------------------------------|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| ۱    | آمریکا | طرح‌های مربوط به تولیدکنندگان      | - معافیت‌های مالیاتی برای تولیدکنندگان جهت تولید خودروهای هیبریدی دارای قابلیت شارژ از ابتدای سال ۲۰۱۰، به میزان ۲۵۰۰ تا ۷۵۰۰ دلار برای هر دستگاه، براساس ظرفیت باتری و وزن خودرو                                                                                                                                            |
|      |        | طرح‌های مربوط به خریداران          | - معافیت‌های مالیاتی و تخفیف برای خرید خودروهای هیبریدی دارای قابلیت شارژ ایالت‌های مختلف بین ۲۰۰۰ تا ۳۰۰۰ دلار                                                                                                                                                                                                              |
|      |        | محدودیت تردد خودروهای احتراق داخلی | - تلاش برای ایجاد محدودیت تحت قانون هوای پاک                                                                                                                                                                                                                                                                                 |
| ۲    | چین    | طرح‌های مربوط به تولیدکنندگان      | - «سیاست اعتبار دوگانه» <sup>۳</sup> که در آن تولیدکنندگان خودرو با دو معیار مصرف سوخت و تولید خودروهای با سوخت‌های غیرفسیلی و ذخیره انرژی ارزیابی می‌شود                                                                                                                                                                    |
|      |        | طرح‌های مربوط به خریداران          | - معافیت مالیات خرید خودروهای برقی تا سال ۲۰۲۰ با امکان تمدید<br>- برنامه سوبسید برای مشتریان، سوبسیدهای ۴۰ تا ۶۰ درصدی<br>- برنامه‌ی دولت‌های محلی در شهرهای بزرگ مثل پکن و شانگهای، مشابه برنامه دولت مرکزی، رقم حمایتی در این برنامه‌ها می‌تواند تا سقف ۵۰ درصد رقم حمایتی برنامه‌های دولتی باشد.                         |
|      |        | محدودیت تردد خودروهای احتراق داخلی | - طرحی مبنی بر منع تردد خودروهای سوخت فسیلی در سال ۲۰۱۷ اعلام شد، اما تاریخ مشخصی برای اجرایی شدن در سطح ملی تعیین نشده است. با این حال برخی از شهرهای کشور چین تاریخ‌های مشخصی برای منع تردد تعیین کرده‌اند. برای نمونه تردد تمام وسایل نقلیه با موتور احتراق داخلی در استان هاینان، <sup>۴</sup> از سال ۲۰۳۰ ممنوع می‌شود. |

Source: <https://www.eesi.org>, <https://qz.com>, <https://thecityfix.com>.

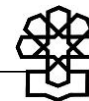
1. Zero Emission Zones

2. Wu, Hao, Alberts, Geneviève and Hooper, James. New Market. New entrants. New Challenges. Battery Electric Vehicles. s.l.: Deloitte, 2019.

3. Dual-credit Policy

4. Hainan





## ب) عامل تقاضای مشتری

با وجود طرح‌های حمایتی و مشوق‌های دولتی در حمایت از رشد خودروهای برقی، کماکان موانع متعددی برای تغییر سلیقه مشتری به سمت این خودروها وجود دارد. اگرچه خودروهای تمام برقی مدرن مزایای متعددی را ارائه می‌دهند، اما با وجود این بسیاری از مشتریان، نگرانی‌های بنیادی در این رابطه دارند. از جمله این نگرانی‌ها می‌توان به «پیمایش»، «هزینه خرید»، «نبود زیرساخت مناسب برای شارژ خودروها» و «زمان زیاد لازم برای شارژ خودروها» اشاره کرد.

در راستای ارزیابی این نگرانی‌ها، نظرسنجی انجام شده توسط مؤسسه مشاوره دیلیوت در کشورهای اصلی استفاده‌کننده خودروهای برقی نشان می‌دهد که بیشترین سطح نگرانی‌ها مربوط به برد مسافت، هزینه و نبود زیرساخت‌هاست. باید توجه داشت مزیت‌هایی چون عملکرد، فناوری به‌روز، دسترسی کامل شهری، سواری کم‌صداتر، هزینه‌های جاری کمتر، طراحی خاص بیرونی و فضای داخلی مناسب، تا حدودی برای پوشش‌دادن این نگرانی‌ها مؤثر بوده‌اند.

شکل ۲. نگرانی‌های مشتریان در رابطه با خودروهای برقی

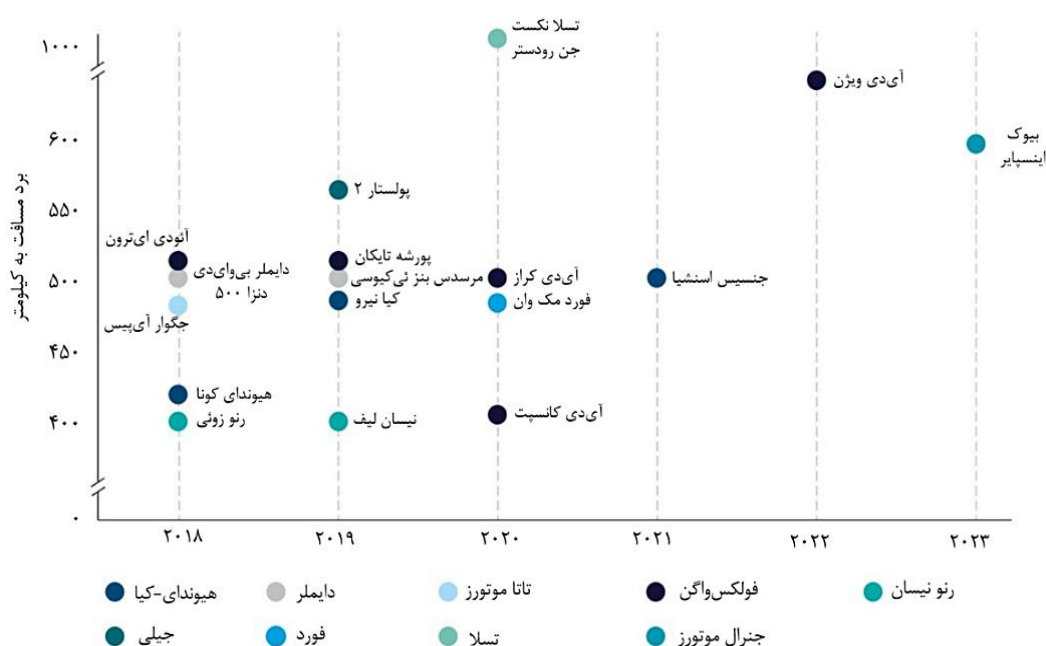


Source: Wu. Et al, New Market. New Entrants. New Challenges, Battery Electric Vehicles. s.l.: Deloitte, 2019.

### – نگرانی اول: پیمایش کوتاه

انتظار می‌رود با ظهور نسل جدید خودروهای تمام برقی، نگرانی‌ها پیرامون برد مسافتی این خودروها از بین برود. حتی طبق ادعای برخی از تولیدکنندگان، برد خودروهای برقی از خودروهای احتراق داخلی نیز بیشتر خواهد شد. در، برد مسافتی چند مدل از خودروهای برقی آمده است. همان‌طور که مشخص است، خودروهای با برد نزدیک به ۱۰۰۰ کیلومتر تا حداکثر ۵ سال دیگر تجاری شده و به‌صورت انبوه در اختیار مشتریان قرار خواهد گرفت.

### نمودار ۶. پیمایش مدل‌های مختلف خودروهای برقی



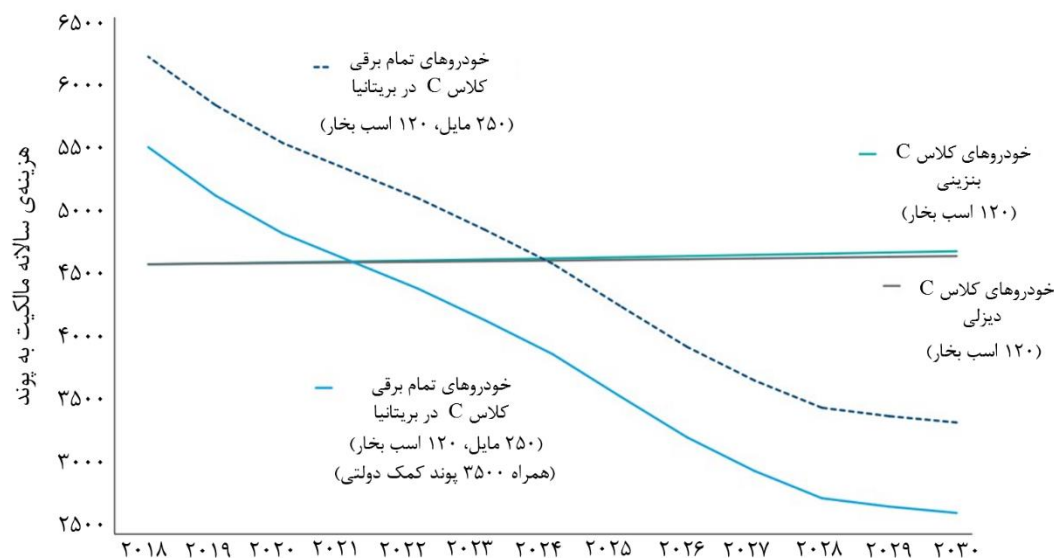
Source: Ibid.

### – نگرانی دوم: قیمت بالای خودروهای برقی

اگر متقاضیان خودروهای برقی بتوانند از نگرانی‌های فنی حول خودروهای برقی صرف‌نظر کنند، قیمت این خودروها می‌تواند یک عامل بازدارنده باشد. البته این نگرانی با گذشت زمان و پیشرفت فناوری رو به کاهش است. برای مثال، نمودار تحولات قیمت خرید یک خودرو احتراق داخلی را با یک خودرو برقی (با برد مسافتی ۴۰۰ کیلومتر) در بریتانیا مقایسه کرده است. این نمودار که با فرض مشوق‌های دولتی تدوین شده توسط دولت بریتانیا ارائه شده است، نشان می‌دهد که قیمت خودروهای برقی با کاهش قابل توجهی تا سال ۲۰۲۱ به قیمت خودروهای احتراق داخلی نزدیک می‌شود. در صورتی که مشوق ۳۵۰۰ پوندی دولت بریتانیا در نظر گرفته نشود، برابری قیمت مذکور تا سال ۲۰۲۴ حاصل خواهد شد. برای سایر کشورهای توسعه‌یافته نیز می‌توان این را انتظار داشت.



## نمودار ۷. مقایسه قیمت خودروهای موتور احتراق داخلی با خودروهای برقی در بریتانیا



Source :Ibid.

### – نگرانی سوم: نبود زیرساخت مناسب شارژ خودروهای برقی

زیرساخت کنونی شارژ خودروهای برقی متناسب با نیاز آینده روبه رشد این صنعت نیست. اما نگرانی حول این امر به دو دلیل در آینده نزدیک کمتر خواهد شد. اول اینکه همان‌طور که پیش‌تر اشاره شد، نسل جدید خودروهای برقی، برد مسافتی بیشتری از مدل‌های کنونی خواهند داشت، به همین دلیل امکان شارژ خانگی خودروها فراهم می‌شود. دوم، کاهش زمان لازم برای شارژ خودروها، امکان شارژ سریع و فوق سریع در ایستگاه‌های شارژ را فراهم می‌کند. ایده دیگر استفاده از صفحات خورشیدی بر سقف خودروها برای شارژ باتری است. اگرچه ایلان ماسک<sup>۱</sup> مدیرعامل شرکت تسلا به‌دلایلی از این ایده استقبال نکرده است، اما شرکت‌های هیوندای و تویوتا در پی پیاده‌سازی این مفهوم جدید در خودروهای برقی هستند.<sup>۲</sup> البته این موارد صرفاً موجب کاهش نگرانی‌ها شده و همچنان دغدغه‌های مربوط به شارژ خودروهای برقی وجود خواهد داشت. برای نمونه شارژ خانگی برای آن دسته از مشتریانی که امکان پارک در منزل را ندارند، ممکن نیست و شارژ سریع و فوق سریع نیز می‌تواند بر باتری خودروها (و به تبع آن پیمایش آنها) اثر منفی داشته باشد.

1. Elon Musk

2. Douglas, Jacob. Tesla's Musk says Solar Panels on Cars Make Little Sense, But that's not Stopping Toyota, Hyundai. CNBC. [Online] September 2019. <https://www.cnbc.com/2019/09/28/teslas-musk-rejects-solar-on-cars-its-not-stopping-toyota-hyundai.html>.

## – نگرانی چهارم: زمان لازم برای شارژ کردن

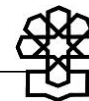
با بهره‌گیری از پیشرفت‌های فناوری ساخت باتری‌ها، زمان لازم برای شارژ خودروها تا ۱۰ سال آینده کاهش قابل توجهی را تجربه خواهد کرد. پیش‌بینی می‌شود که تا سال ۲۰۲۵، زمان لازم برای شارژ ۸۰ درصدی باتری ۶۰ کیلووات ساعتی (معادل برد مسافتی ۳۲۰ کیلومتر) به ۳۰ دقیقه برسد که این زمان برای مشتری قابل قبول است.

همان‌طور که اشاره شد، تقریباً نگرانی‌های عمده مشتریان خودروهای برقی، با پیشرفت ابعاد مختلف فناوری‌های مربوط به این خودروها مرتفع خواهد شد. برنامه‌های راهبردی و مهم در حوزه خودروهای برقی توسط تولیدکنندگان بزرگ خودروهای برقی، موجب تغییر چشم‌اندازهای تولید در این صنعت شده است. سیاست‌ها، هزینه، زمان رانندگی، بهبود فناوری باتری‌ها و زیرساخت‌ها، استفاده از خودروهای برقی را جذاب‌تر کرده است و پاسخ بازار به این پدیده پاسخ مثبتی بوده است.

## ۲. باتری خودروهای برقی و تأثیر آن بر آینده صنایع معدنی

پیشرفت فناوری خودروهای برقی از میزان مورد انتظار سریع‌تر بوده است. این تحولات منجر به تغییر مداوم پیش‌بینی‌ها در صنایع مرتبط شده است و به دلیل ظهور زنجیره تأمین جدید، صنایع غیرمرتبط به هم متصل شده‌اند. ارتباط و تعامل «صنایع معدنی»، «صنایع تولید باتری» و «صنایع خودروسازی» با یکدیگر روز به روز در حال افزایش است. بخشی از این پیشرفت‌ها به سیاست‌های چین و کشورهای غربی برمی‌گردد و بخشی دیگر مربوط به کاهش هزینه‌های مربوط به ساخت باتری‌های مورد استفاده در خودروهای برقی در سال‌های اخیر است. در عین حال، افزایش تقاضا برای باتری‌های خودروهای برقی، باعث رشد قیمت مواد اولیه شده و نگرانی‌هایی پیرامون کمبود فلزاتی چون کبالت، نیکل و لیتیم را به دنبال داشته است. انتظار می‌رود زنجیره تأمین روبه رشد خودروهای برقی، تا سال ۲۰۳۰، به صورت تجمعی نزدیک به ۳۴۰ میلیون دستگاه (انواع خودروهای شخصی سواری، کامیون و اتوبوس) را وارد بازار کند. آثار ورود صنعت خودروسازی به بخش برقی بر صنایع معدنی از منظر تأمین مواد اولیه مورد نیاز، بسیار چشمگیر خواهد بود. در سال ۲۰۱۹ ارزش کل منابع لیتیم، کبالت و نیکل (سه ماده اولیه اصلی تهیه باتری) در جهان، ۵ میلیارد دلار تخمین زده می‌شود. منابع کبالت بیشترین سهم را در این میان دارد و بعد از آن منابع لیتیم و نیکل کلاس ۱ (مناسب باتری‌ها) در رده‌های بعدی قرار دارند. انتظار می‌رود با افزایش تقاضای این محصولات جهت تولید باتری، ارزش این مواد خام تا سال ۲۰۲۵ به ۴۶ میلیارد دلار و تا سال ۲۰۳۰ به ۱۳۴ میلیارد دلار برسد.<sup>۱</sup>

1. Eddy, James and Mulligan, Chris. Metal Mining Constraints on the Electric Mobility Horizon. s.l.



## ۲-۱. زنجیره ارزش باتری خودروهای برقی

در حال حاضر بخش عمده‌ای از باتری‌های خودروهای برقی با استفاده از فناوری باتری‌های یون - لیتیم تولید می‌شوند. با توجه به قابلیت‌های فنی باتری‌های لیتیمی، این فناوری ذخیره انرژی، به‌عنوان اصلی‌ترین روش در دنیا مطرح شده است. تأمین فلزات اصلی تولید این نوع از باتری‌ها مثل لیتیم، کبالت، نیکل، آلومینیم و منگنز به یکی از اصلی‌ترین نگرانی‌های صنعت باتری‌سازی تبدیل شده است.<sup>۱</sup> از آنجایی که پیش‌بینی می‌شود حجم تقاضا برای این باتری‌ها در خودروهای برقی و دیگر دستگاه‌ها، به‌شدت افزایش یابد و در نتیجه جهان با کمبود لیتیم و سایر فلزات حیاتی در ساخت باتری و افزایش قیمت باتری‌های لیتیمی مواجه شود، محققان رویکردهای جایگزین لیتیم در ساخت باتری‌ها را مورد توجه قرار داده‌اند. برای مثال والما<sup>۲</sup> و همکارانش در پژوهشی که در مجله معتبر نیچر<sup>۳</sup> چاپ شده است، به بررسی این مهم پرداخته‌اند و باتری‌های یون - سدیم به‌سبب قیمت کمتر، فراوانی بیشتر و آثار سمی کمتر را به‌عنوان جایگزین مناسب مورد بحث قرار داده‌اند. همچنین خواص شیمیایی نزدیک لیتیم و سدیم این جایگزینی را ممکن کرده است. نتایج پژوهش مذکور نشان می‌دهد که در نگاه اول، جایگزینی لیتیم با سدیم مستقیماً بر قیمت تمام شده باتری‌ها اثری نمی‌گذارد، اما در صورت مواجهه با کمبود لیتیم در آینده و به‌تبع آن افزایش قیمت این فلز، جایگزینی لیتیم با سدیم مزایای هزینه‌ای قابل توجهی را به‌دنبال خواهد داشت. از طرف دیگر جایگزینی کالکتورهای جریان مسی باتری‌های فعلی با آلومینیم در باتری‌های یون - سدیم ممکن می‌شود و این مسئله اثر قابل توجهی بر قیمت نهایی باتری دارد. علاوه بر این، استفاده از آلومینیم می‌تواند موجب کاهش جرم کل باتری و حمل‌ونقل ایمن‌تر آن شود.<sup>۴</sup> به‌طور کلی این پژوهش‌ها نشان می‌دهند که موضوع افزایش تقاضا و شدت گرفتن شکاف میان عرضه و تقاضا درخصوص باتری‌های لیتیمی، موضوعی بسیار جدی بوده و در ارزشمند و راهبردی بودن این عنصر و سایر عناصر مورد استفاده در ساخت باتری‌های لیتیمی مؤثر است.

با توجه به مطالب عنوان شده، چشم‌انداز کوتاه‌مدت و میان‌مدت برای ذخیره انرژی در خودروهای برقی، استفاده از باتری‌های یون-لیتیم است. بنابراین در حال حاضر بررسی زنجیره ارزش این نوع از باتری‌ها از اهمیت بالایی برخوردار است. زنجیره ارزش باتری خودروهای برقی شامل هفت بخش بوده و همان‌طور که در شکل مشاهده می‌شود، این زنجیره با تولید آند و کاتد این باتری‌ها شروع می‌شود و با بازیافت آن به اتمام می‌رسد.

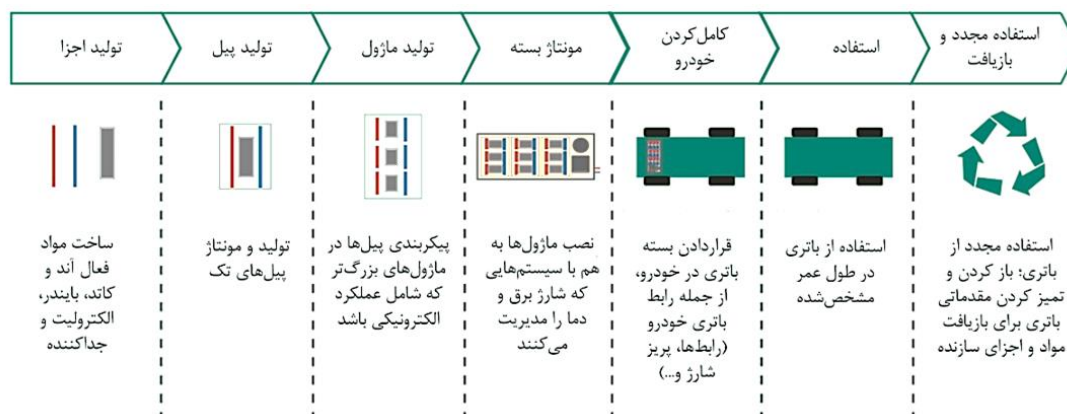
1. McKinsey Global Institute, 2018.

2. Christoph Vaalma

3. Nature Journal

4. A cost and Resource Analysis of Sodium-ion Batteries. Vaalma, Christoph, et al. s.l.: Nature Reviews Materials, 2018, Vol. 3.

### شکل ۳. زنجیره ارزش باتری‌های خودروهای برقی



Source: Dinger, 2010.

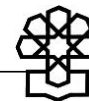
شایان ذکر است، تولید باتری بدون در نظر گرفتن ظرفیت‌های بازیافت می‌تواند مشکل‌ساز باشد. برای مثال پیش‌بینی می‌شود، یک میلیون خودروی برقی فروخته شده در سال ۲۰۱۷ نهایتاً منجر به تولید حدود ۲۵۰ هزار تن باتری از رده خارج شود. اگر این باتری‌ها مانند زباله‌های شهری، به حال خود رها شوند، اولین و ساده‌ترین مشکل ناپایداری حرارتی<sup>۱</sup> و امکان انفجار این باتری‌هاست (مسئله ایمنی این باتری‌ها از جمله نگرانی‌هایی بود که توسط کاربران و در شکل اشاره شده است)، اما این امکان انفجار تنها دلیل بازیافت باتری‌های قدیمی نیست. از این باتری‌ها می‌توان دوباره استفاده کرد و عدم بازیافت آنها مانند سوزاندن اسکناس است. این باتری‌ها مشابه باتری‌های تلفن‌های همراه، توانایی ذخیره انرژی خود را به صورت تدریجی از دست می‌دهند. به همین دلیل مصرف‌کنندگان خودروهای برقی، بعد از مدتی باتری خودرو را تعویض می‌کنند، اما باید به این نکته توجه داشت که باتری‌های کارکرده را می‌توان تا ۸۰ درصد توانایی ذخیره انرژی در زمانی که نو بوده‌اند، شارژ کرد. بازیافت مواد اولیه موجود در باتری‌ها و یا استفاده مجدد از این باتری‌ها برای اهداف دیگر، از جمله راهکارهای مدیریت باتری‌های مستعمل است.<sup>۲</sup> برای نمونه شرکت تویوتا طرحی را راه‌اندازی کرده است که به موجب آن از باتری‌های مستعمل خودروهای برقی، برای ذخیره انرژی حاصل از صفحات خورشیدی فروشگاه‌های سون - الون<sup>۳</sup> در ژاپن استفاده شود.<sup>۴</sup>

1. Thermal Runaway

2. Recycling lithium-ion Batteries from Electric Vehicles. Harper, Gavin, Sommerville, Roberto and Kendrick, Emma. s.l.: Nature, 2019, Vol. 575, PP: 75-86.

3. 7-Eleven Store. فروشگاه‌های زنجیره‌ای در سطح بین‌المللی که از ساعت ۷ صبح تا ۱۱ شب باز هستند.

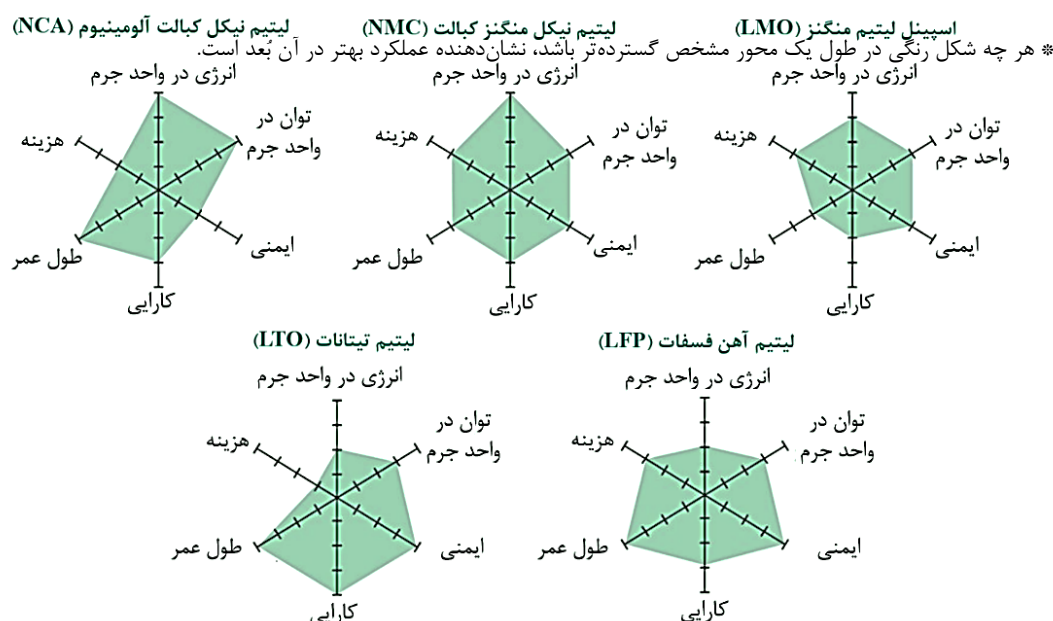
4. <https://www.theverge.com/2019/11/6/20951807/electric-vehicles-battery-recycling>.



## ۲-۲. ترکیبات فلزی مورد استفاده در باتری‌ها

باتری‌های لیتیومی ترکیبات شیمیایی مختلف دارند. هر ترکیب مزایا و معایب خاص خود را از نظر ایمنی، عملکرد، هزینه و سایر عوامل دارد. ترکیبات شیمیایی غالب برای استفاده در باتری‌های صنعت خودرو، «لیتیوم - نیکل - کبالت - آلومینیم»<sup>۱</sup>، «لیتیوم - نیکل - منگنز - کبالت»<sup>۲</sup>، «اسپینل لیتیوم - منگنز»<sup>۳</sup>، «تیتانات لیتیوم»<sup>۴</sup> و «فسفات آهن - لیتیوم»<sup>۵</sup> هستند. تمام ترکیبات باتری‌های مورد استفاده در خودروها نیاز به نظارت کامل، موازنه و سیستم‌های خنک‌کننده برای کنترل انرژی آزاد شده دارند تا از ناپایداری حرارتی و انفجار باتری‌ها جلوگیری شود و طول عمر باتری‌ها افزایش یابد. ویژگی‌های عمومی ترکیبات مختلف باتری‌های لیتیومی را نشان می‌دهد.

### شکل ۴. ویژگی‌های انواع مختلف باتری‌های مورد استفاده در خودروهای برقی\*



Source: Dinger, 2010.

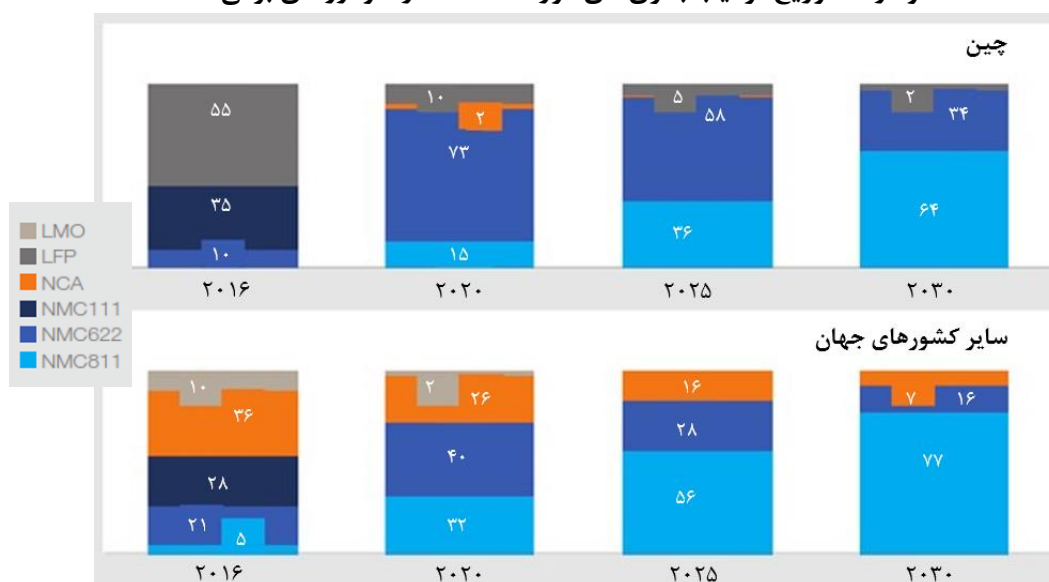
1. Lithium-Nickel-Cobalt-Aluminum (NCA)
2. Lithium-Nickel-Manganese-Cobalt (NMC)
3. Lithium-Manganese Spinel (LMO)
4. Lithium Titanate (LTO)
5. Lithium-Iron Phosphate (LFP)

همان‌طور که ملاحظه می‌شود، هر کدام از این ترکیب‌ها مزایا و معایبی نسبت به ترکیب دیگر دارند. ترکیبات باتری نیکل - منگنز - کبالت (به‌خصوص ترکیبات با میزان کبالت کمتر) در صنعت خودرو به‌علت چگالی بالای انرژی محبوبیت بیشتری نسبت به سایر ترکیبات دارد.

نگرانی از کمبود مواد اولیه برای ساخت باتری‌ها باعث شده تا بخشی از تمرکز پژوهش‌ها و ابتکارات به سمت ایجاد ترکیبات متفاوت برای باتری‌ها سوق پیدا کند. شایان ذکر است هم‌اکنون تنها ۲۰ درصد از هزینه کل باتری‌ها صرف تأمین مواد اولیه می‌شود، اما با افزایش تقاضا و به سبب کمبود منابع انتظار می‌رود این سهم نسبت به باقی هزینه‌ها بیشتر شود. به‌دلیل افزایش قیمت مواد اولیه و ایجاد چالش در تأمین مواد اولیه، بازیگران بازار باتری در تلاش هستند تا از آسیب‌های کمبود مواد اولیه، به‌خصوص کبالت، در امان بمانند.

ارزیابی مؤسسه مکنزی از نیاز مواد اولیه نشان از تغییر چشمگیر در ترکیب باتری‌ها تا سال ۲۰۳۰ دارد (نمودار ۸). درحالی که هم‌اکنون ترجیح تولیدکنندگان چینی با بقیه کشورها متفاوت است (۵۵ درصد از بازار سهم ترکیب باتری فسفات آهن - لیتیوم)، پیش‌بینی می‌شود که تا سال ۲۰۳۰ ترجیح تمام دنیا به سمت باتری‌های لیتیومی با ترکیب نیکل - منگنز - کبالت (NMC)<sup>۱</sup> سوق پیدا کند. ترکیبات NMC811 و NMC622 بیش از ۹۰ درصد بازار باتری‌های لیتیومی را تا سال ۲۰۳۰ به خود اختصاص خواهند داد.

نمودار ۸. توزیع ترکیب باتری‌های مورد استفاده در خودروهای برقی



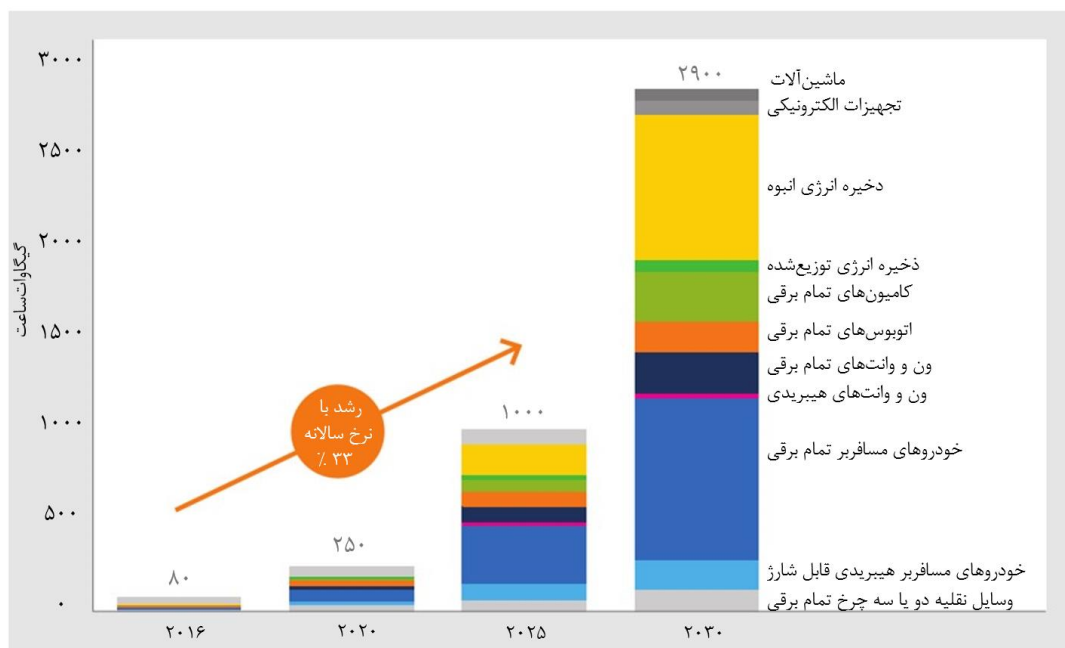
Source: Eddy, 2018.

۱. باتری‌های لیتیومی با ترکیب نیکل، منگنز و کبالت به‌طور مخفف NMC خطاب می‌شوند. سه عدد بعد این عبارت، نسبت ترکیب نیکل به منگنز و کبالت را نشان می‌دهد. برای مثال در ترکیب باتری NMC811، جرم نیکل ۸ برابر منگنز و کبالت می‌باشد.



### ۳-۲. تقاضای باتری در بخش‌های مختلف

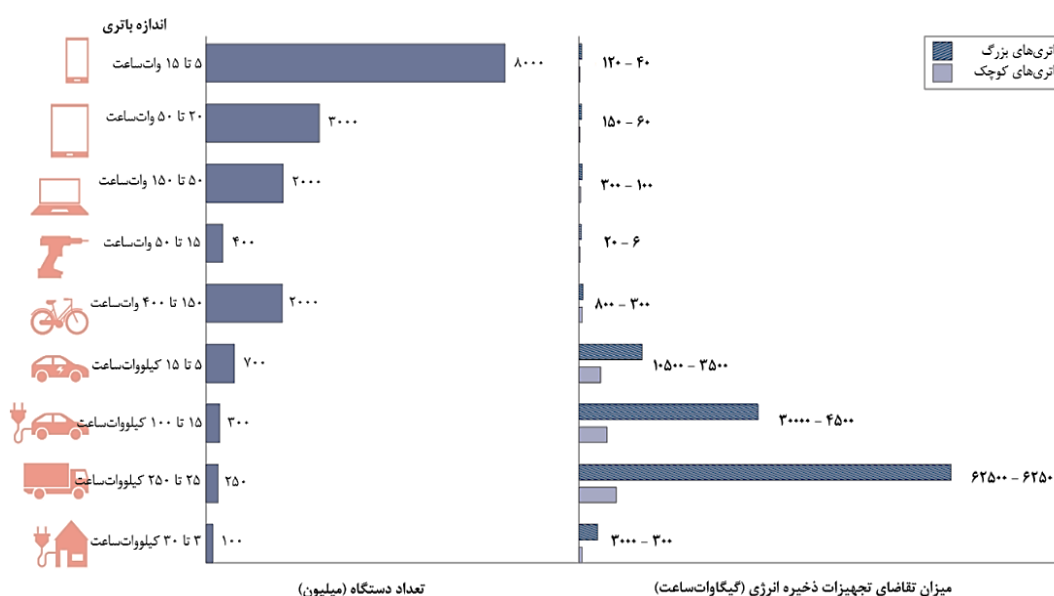
نمودار ۹. تقاضای سالیانه باتری در بخش‌های مختلف



۱. پایین بودن چگالی انرژی به معنای برد مسافتی کمتر خودروهای برقی است. با توجه به کمبود ایستگاه‌های شارژ و زمان‌بر بودن این فرایند، فاکتور چگالی انرژی از مهم‌ترین ترجیحات خریداران خودروهای برقی به‌حساب می‌آید.

نمودار ۹، نشان‌دهنده پیش‌بینی مؤسسه مکنزی برای ذخیره باتری تا سال ۲۰۳۰ است. تخمین زده می‌شود که مجموع استفاده از باتری‌ها با رشد سالیانه ۳۳ درصدی، در سال ۲۰۲۵ به ۱۰۰۰ گیگاوات ساعت برسد. این پیش‌بینی برای سال ۲۰۳۰ رقم ۲۹۰۰ گیگاوات ساعت را نشان می‌دهد. انتظار می‌رود تقاضای باتری برای وسایل حمل‌ونقل برقی در سال ۲۰۲۵ به ۷۳۵ گیگاوات ساعت و در سال ۲۰۳۰ به ۱۸۹۰ گیگاوات ساعت (دو - سوم تقاضای کل) برسد. این رقم معادل ۱۰ درصد مصرف ماهیانه برق ایران<sup>۱</sup> است. پیش‌بینی می‌شود که تا سال ۲۰۳۰ از هر ۵ خودروی سبک سواری در خیابان‌ها، یک خودرو تمام برقی باشد و میزان فروش این خودروها تا سال ۲۰۴۰ از خودروهای احتراق داخلی بیشتر شود.

نمودار ۱۰. تعداد دستگاه‌ها و تقاضای انرژی مرتبط با آنها بین سال‌های ۲۰۱۶ تا ۲۰۵۰



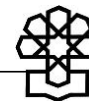
Source: Vaalma et al, 2018.

براساس نتایج پژوهش والما و همکارانش در ارتباط با مصرف انرژی دستگاه‌های مختلف، خودروهای برقی بیشترین سهم از دستگاه‌های ذخیره انرژی را خواهند داشت. همان‌طور که در نمودار فوق مشاهده می‌شود، تقاضای باتری برای خودروهای تمام برقی، هیبریدی دارای قابلیت شارژ و خودروهای سنگین برقی قابل مقایسه با سایر دستگاه‌ها نیست و درصد قابل توجهی متعلق به این خودروهاست.

## ۲-۴. عرضه و تقاضای فلزات کلیدی در تولید باتری خودروهای برقی

براساس پیش‌بینی‌های انجام شده، توسعه خودروهای برقی در آینده با چالش تأمین فلزات کبالت و نیکل

۱. کل فروش برق ایران در سال ۱۳۹۷، براساس آمار شرکت توانیر، حدود ۲۶۲۰۰۰ میلیون کیلووات ساعت است. به عقیده بسیاری از کارشناسان مصرف سرانه برق کشور تقریباً ۲ برابر میانگین سرانه مصرفی دنیاست.



کلاس ۱ مواجه خواهد بود و تحلیل‌ها نشان می‌دهد که بازار کبالت فشرده خواهد ماند و کمبود این فلز از نگرانی‌های اصلی بخش ساخت باتری است. حال این سؤال مطرح می‌شود که آیا تمایل به باتری‌های با کبالت کمتر می‌تواند این مشکل را برطرف کند. تمرکز بر روی باتری‌های با نیکل بیشتر، مشکل کمبود مواد اولیه را کمتر نمی‌کند و چالش موجود را از کمبود کبالت به کمبود نیکل تغییر می‌دهد. به همین دلیل موضوع تأمین عناصر کلیدی برای ساخت باتری‌ها باید به صورت متوازن مورد توجه قرار گیرد. شایان ذکر است، برای برنامه‌ریزی توسعه صنایع تأمین مواد اولیه مورد نیاز باتری، لازم است مسئله تأمین فلزات دیگر مانند منیزیم، آلومینیم، مس و مواردی از این دست نیز مد نظر قرار گیرد. برای نمونه در نتایج منتشر شده یک پژوهش<sup>۱</sup> در سال ۲۰۱۸، اعلام شده است که با پیشرفت فناوری خودروهای برقی، علاوه بر افزایش مصرف لیتیم، تقاضای مس نیز افزایش چشمگیری خواهد داشت. پیش‌بینی می‌شود تا سال ۲۰۲۷، تقاضای مس، ۵۶۰ هزار تن افزایش داشته باشد. با در نظر گرفتن تولید جهانی حدود ۲۰ میلیون تن، این رقم افزایشی در حدود ۲/۵ درصد خواهد بود که با توجه به وضعیت رکود نسبی بازار این فلز، این بازار تحول مطلوبی را تجربه خواهد کرد. در این بخش به بررسی سه فلز عمده مورد استفاده در باتری خودروهای برقی پرداخته شده است.

#### ۱-۴-۲. کبالت

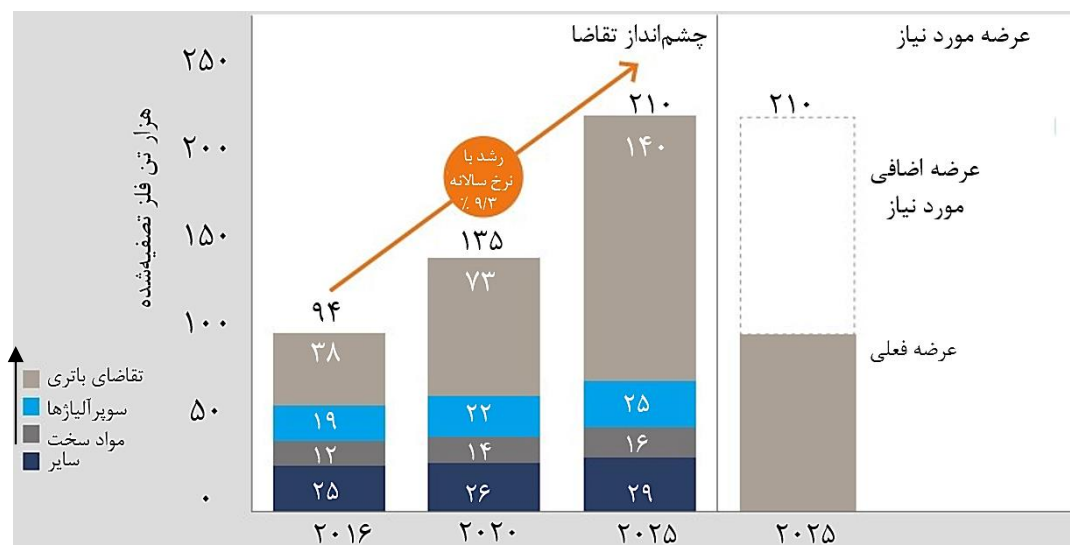
فلز کبالت یکی از مواد کلیدی برای توسعه خودروهای برقی است. در آینده، گسترش خودروهای برقی بیشترین اثر را بر بازار این فلز خواهد داشت. برای رسیدن به میزان تقاضای مورد انتظار، تولید کبالت در سال ۲۰۲۵ باید نسبت به مقدار مشابه در سال ۲۰۱۶ دو برابر شود. هرگونه تأخیر در اجرای پروژه‌های معدنی مرتبط، موجب از بین رفتن توازن عرضه و تقاضا خواهد شد. در صورتی که تغییر به سمت سایر ترکیبات باتری (ترکیبات با کبالت کمتر) با سرعت مورد انتظار پیش نرود، به احتمال زیاد صنعت با کمبود کبالت مواجه خواهد شد.

مجموع تقاضای کبالت با رشد سالیانه ۱۰ درصد مواجه خواهد بود و تا سال ۲۰۲۵ به رقم ۲۱۰ هزار تن می‌رسد. دلیل اصلی این امر، رشد سریع تقاضای بخش ساخت باتری، با رقم رشد سالیانه تقریباً ۱۶ درصد است. تقاضای کبالت برای سوپرالیاژها و سرمته‌ها<sup>۲</sup> رشد سالیانه ۳ درصدی خواهد داشت، درحالی که سایر موارد استفاده این فلز یا با کاهش مواجه خواهند شد و یا رشد بسیار کندی را تجربه می‌کنند. بدین ترتیب انتظار می‌رود تا سال ۲۰۳۰ بخش باتری، دوسوم تقاضای کبالت را به خود اختصاص دهد.

1. <https://www.miningglobal.com/>

۲. نوعی کامپوزیت که از طریق متالورژی پودری تولید می‌شود و فاز غالب در آن سرامیک و جزء فلزی در اقلیت است.

## نمودار ۱۱. پیش‌بینی توازن عرضه و تقاضای فلز کبالت



Source: Eddy, 2018.

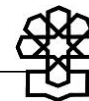
برای مقابله با چالش کمبود عرضه، لازم است تا ظرفیت تولید کبالت به میزان ۱۱۶ هزار تن در مقایسه با سال ۲۰۱۶ بیشتر شود. هم‌اکنون بیش از ۶۰ درصد تولید کبالت دنیا از جمهوری کنگو تأمین می‌شود. کشوری که به دلیل ناپایداری‌های سیاسی، دارای چالش‌های متعددی در حوزه تجارت است. علاوه بر این، تقریباً ۱۵ تا ۲۰ درصد تولید کشور کنگو در معادن کوچک انجام می‌شود که در برخی موارد به صورت غیرقانونی و با استفاده از کودکان کارگر است.

یکی دیگر از پیچیدگی‌های بازار کبالت این است که بیشتر کبالت تولیدی، محصول جانبی تولید نیکل و مس است. بنابراین سرمایه‌گذاری برای تولیدات جدید نیازمند توجه به بازار مس و نیکل است. بیشتر منابع کبالت از معادن مس تأمین می‌شود و پیش‌بینی می‌شود تا سال ۲۰۲۵، سهم کبالت تولیدی از معادن کبالت از ۱۵ به ۵ درصد کاهش پیدا کند.

با توجه به فراوانی نسبی منابع مس در ایران، توجه به تولید کبالت به عنوان محصول جانبی تولید این فلز می‌تواند در دستور کار قرار گیرد. براساس آمار و اطلاعات موجود، در حال حاضر اکتشافات سیستماتیک برای فلز کبالت انجام نشده و تمام تلاش‌ها به سرمایه‌گذاری‌های محدود سال‌های قبل از انقلاب بر روی این فلز برمی‌گردد.<sup>۱</sup> طبق گزارش سازمان توسعه و نوسازی معادن و صنایع معدنی ایران (ایمیدرو)، تا زمان تهیه این گزارش، پژوهشی پیرامون شناسایی محدوده‌های اکتشافی کبالت توسط این سازمان انجام نشده است.<sup>۲</sup> به نظر می‌رسد کانسارهای تیپ اسکارن وابسته به توده‌های نفوذی اسیدی در

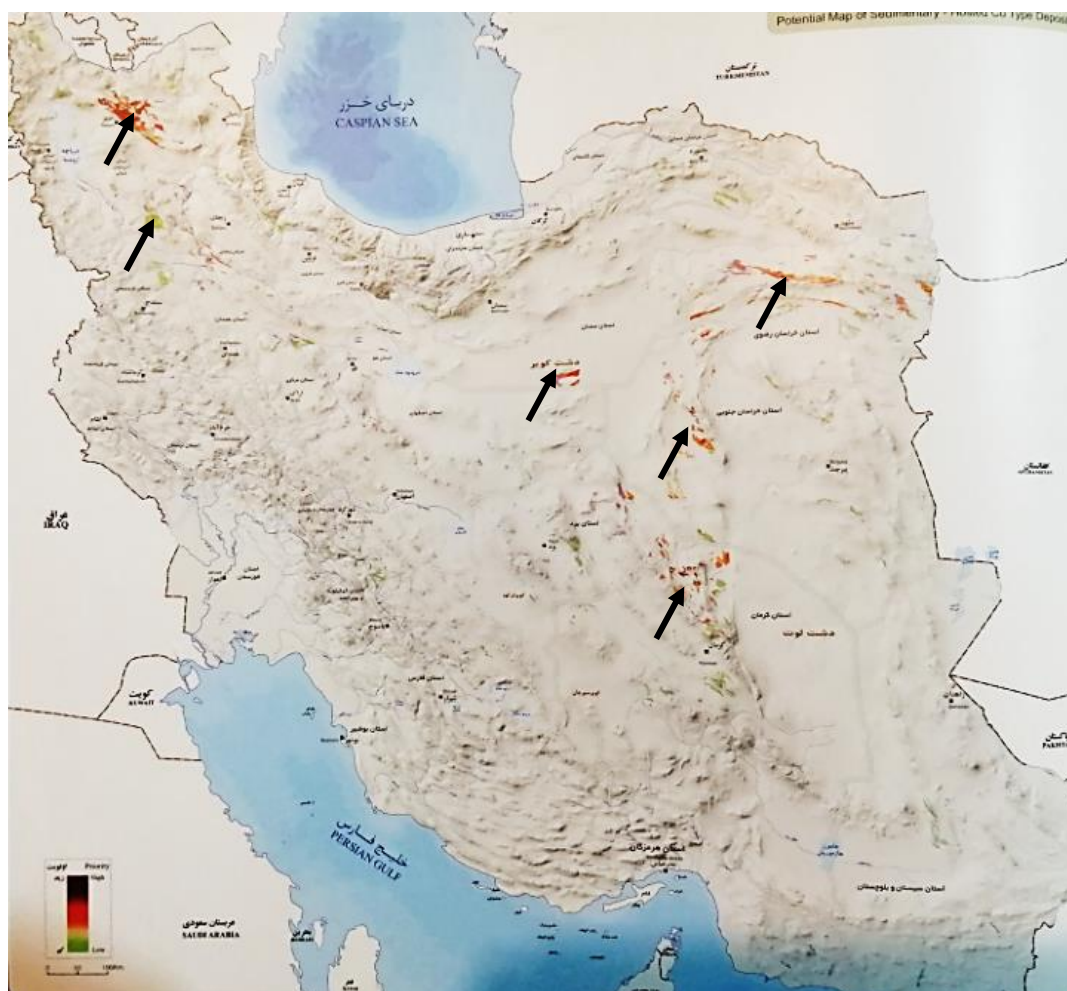
۱. <http://asremadan.com/>

۲. آمار و اطلاعات ارائه شده از سوی سازمان توسعه و نوسازی معادن و صنایع معدنی ایران (ایمیدرو)، دی‌ماه ۱۳۹۸.



استان‌های اصفهان، قم، مرکزی و همدان و کانسارهای تیپ مس با میزبان رسوبی که عمدتاً در استان‌های کرمان، خراسان جنوبی، خراسان رضوی، سمنان، زنجان و آذربایجان شرقی شناسایی شده‌اند، ظرفیت‌های موجود کشور برای انجام مطالعات اکتشافی برای فلز کبالت باشند.

شکل ۵. پتانسیل‌های کانه‌زایی تیپ مس با میزبان رسوبی در ایران



مأخذ: اطلس ملی نقشه‌های پتانسیل مواد معدنی در ایران، سازمان زمین‌شناسی و اکتشافات معدنی کشور، ۱۳۹۶.

## ۲-۴-۲. نیکل

با وجود اینکه در حال حاضر چالشی جدی در بازار برای تأمین نیکل کلاس ۱ وجود ندارد، اما پیش‌بینی می‌شود که تأمین این فلز در سال ۲۰۲۵ با مشکل روبه‌رو خواهد شد. لذا نگرانی‌های پیرامون تأمین نیکل تبدیل به یکی از چالش‌های اصلی شرکت‌های تولید خودرو از جمله شرکت معروف تسلا شده است.

جهت رفع این چالش و تأمین ماده اولیه مناسب برای باتری‌ها، باید تمرکز بازار نیکل به سمت نیکل کلاس ۱ سوق داده شود.

براساس گزارش وب‌گاه فوربز<sup>۱</sup> ارزش نیکل طی بازه دو ماهه در تابستان ۲۰۱۹ افزایش ۳۰ درصدی را تجربه کرده است. انتظار می‌رود این میزان با افزایش تقاضای این فلز و ناتوانی صنعت جهت تأمین، افزایش یابد. در حال حاضر عمده تقاضای نیکل مربوط به صنعت فولاد بوده و تنها ۳ درصد از تقاضای نیکل کلاس ۱ برای باتری‌هاست. اما با رشد بازار خودروهای برقی و افزایش تقاضای نیکل برای ساخت باتری‌های لیتیومی، این رقم تا سال ۲۰۲۵ تا ۴۰ درصد افزایش پیدا خواهد کرد. همچنین انتظار می‌رود با افزایش تقاضا، فاصله قیمتی بین نیکل کلاس ۱ و ۲ افزایش یابد.

#### نمودار ۱۲. پیش‌بینی توازن عرضه و تقاضای نیکل کلاس ۱



Source: Ibid.

در حال حاضر، ذخایر قابل توجهی از نیکل در ایران اکتشاف نشده است و تنها سه معدن دارای پروانه بهره‌برداری در استان‌های سیستان و بلوچستان، فارس و اصفهان وجود دارد که غیرفعال هستند.

#### ۳-۴-۲. لیتیم

تقاضا برای لیتیم در مقایسه با نیکل و کبالت، با رشد سریعی (با نرخ سالیانه ۱۴/۶ درصد) تا سال ۲۰۲۵ مواجه خواهد بود. میزان تقاضا از ۷۰ هزار تن اکی‌والان کربنات لیتیم در سال ۲۰۱۶ به ۵۰۰ هزار تن در سال ۲۰۲۵ خواهد رسید. پیش‌بینی می‌شود که تا سال ۲۰۲۵ نزدیک به ۸۰ درصد مصرف لیتیم در ساخت باتری باشد. شایان ذکر است در حال حاضر ظرفیت عرضه لیتیم از تقاضای این فلز بیشتر است.



در مورد عرضه لیتیم و شکاف آن با تفاضا بحث‌های متعدد و بعضاً با جهت‌گیری‌های کاملاً متمایزی در محافل علمی و اقتصادی در جریان است. ازسویی با توجه به اینکه پیش‌بینی‌ها نشان می‌دهد که بازار لیتیم با بیشترین میزان رشد تقاضا مواجه باشد، ادعا شده است که صنعت این فلز در بازه زمانی کوتاه یا میان‌مدت با کمبود تأمین مواجه نخواهد شد. بدین معنی که برخلاف نگرانی‌های اخیر پیرامون کاهش عرضه و اوج گرفتن قیمت به‌علت کمبود ظرفیت تصفیه این فلز، بازار لیتیم هم‌اکنون به خوبی تأمین شده است و انتظار می‌رود افزایش ظرفیت تولید، میزان رشد تقاضا را پوشش دهد. علاوه بر این نرخ جهانی به‌کارگیری ظرفیت تولید معادن فقط ۵۰ درصد است و این رقم برای کشوری مثل چین ۱۵ تا ۲۰ درصد گزارش شده است. انتظار می‌رود در آینده با شروع پروژه‌های بهره‌برداری از معادن، تولید با ظرفیت بالاتری انجام شود. حتی اگر برخی از پروژه‌های در نظر گرفته شده برای این پیش‌بینی عملی نشوند، این فلز باز هم با کمبود مواجه نخواهد شد. درمجموع می‌توان گفت که با توجه به پیش‌بینی‌های عرضه بیش از تقاضا، انتظار می‌رود قیمت‌های بالای کنونی لیتیم در آینده پایدار نمانده و روند نزولی پیدا کند.

### نمودار ۱۳. پیش‌بینی توازن عرضه و تقاضای لیتیم

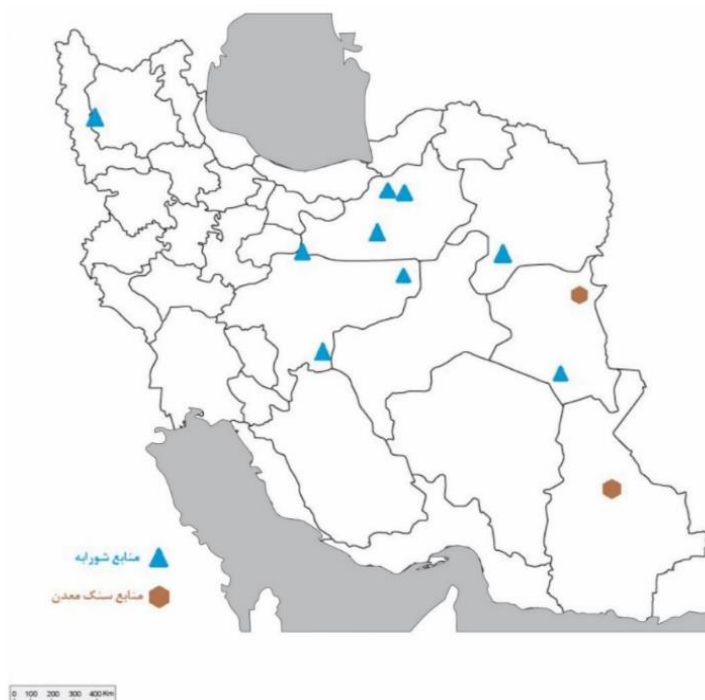


Source: Eddy, (2018).

ازسوی دیگر برخی معتقدند شکاف بین عرضه و تقاضای لیتیم افزایش خواهد یافت و احتمال کمبود عرضه این فلز وجود دارد. یکی از عوامل پیچیده برای پیش‌بینی بازار آینده لیتیم، قرار گرفتن عمده منابع این فلز در کشورهای شیلی، بولیوی و آرژانتین است که فقدان ثبات سیاسی و اقتصادی نسبی در این کشورها، نگرانی‌هایی را برای تأمین این فلز در آینده ایجاد کرده است. پژوهش‌ها و آمار، که پیش‌تر به آن اشاره شد، در راستای همین نگرانی‌ها بوده و تلاشی برای یافتن جایگزین لیتیم برای تولید باتری‌ها در صورت کاهش عرضه جهانی این فلز است.

با توجه به تمرکز فعالیت‌های بخش باتری‌سازی ایران، تحقیقات در رابطه با استحصال و استفاده از فلز لیتیم به مراتب بیشتر از سایر فلزات کلیدی در تولید باتری بوده است. همچنین شناسایی منابع این فلز در کشور نیز انجام شده است. شکل ۶، منابع مستعد اکتشاف و استحصال لیتیم در کشور را نشان می‌دهد. در سال‌های اخیر مطالعاتی به‌منظور بررسی امکان استحصال لیتیم از برخی منابع شورابه‌ای ایران انجام شده است. البته این مطالعات در سطح پروژه‌های دانشجویی بوده و در هیچ یک از موارد با حمایت سازمانی برای پژوهش در مقیاس بالاتر همراه نبوده است. در رابطه با منابع سنگ معدن لیتیم نیز اقداماتی در قالب همکاری سازمان توسعه و نوسازی معادن و صنایع معدنی ایران و یک شرکت خارجی در حال انجام است. اکتشاف اولین ذخایر سنگ معدن لیتیم توسط ایمیدرو و در سال ۱۳۹۵ به‌وقوع پیوست. به نقل از مدیر اکتشاف این سازمان در سال ۱۳۹۷، محدوده‌ای در شرق کشور واقع در خراسان جنوبی به نام «دق پترکان» به‌عنوان نخستین محدوده لیتیم ایران کشف شده است. پتانسیل‌های ایران برای تولید لیتیم به‌عنوان یکی از مواد مهم در حوزه ذخیره انرژی در گزارش مرکز پژوهش‌های مجلس شورای اسلامی که در سال ۱۳۹۷ منتشر شده است به تفصیل مورد بررسی قرار گرفته است.<sup>۱</sup>

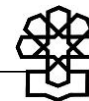
شکل ۶. توزیع منابع مستعد اکتشاف و استحصال لیتیم در ایران



مأخذ: مسعود نعمتی و همکاران، مرکز پژوهش‌های مجلس، ۱۳۹۷.

۱. مسعود نعمتی و همکاران، بررسی پتانسیل‌های کشور جهت اکتشاف، استحصال و بازیافت فلز لیتیم به‌عنوان مهم‌ترین ذخیره‌ساز انرژی در دنیا، مرکز پژوهش‌های مجلس شورای اسلامی، ۱۳۹۷.





### ۳. ساخت بدنه خودروهای برقی و تأثیر آن بر آینده صنایع معدنی

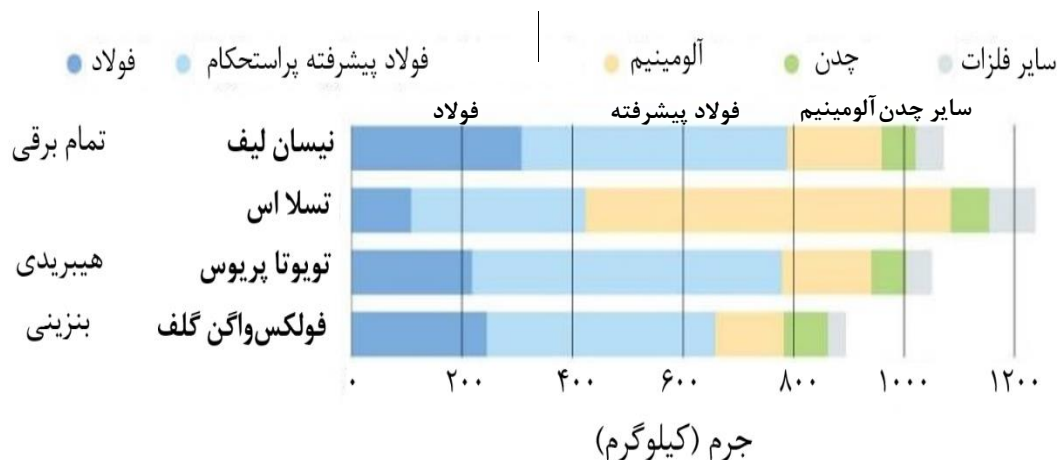
شرکت‌های خودروسازی، به‌خصوص شرکت‌های بزرگ و پیشرو، همواره در تلاش برای کم کردن وزن محصولات خود هستند. کاهش وزن خودرو به اندازه یک‌دهم می‌تواند ۶ تا ۸ درصد مصرف سوخت آن را کاهش دهد.<sup>۱</sup> جایگزینی فلزات اصلی مورد استفاده در خودرو با آلومینیم و برخی کامپوزیت‌ها امکانپذیر است، اما فولاد به‌علت قیمت پایین‌تر، کماکان گزینه اصلی تولیدکنندگان خودرو است. چالش اصلی در صنعت خودرو، دستیابی به آلیاژی سبک‌تر و مستحکم‌تر نسبت به فولاد است. در بخش خودروهای برقی، کاهش وزن امری حیاتی بوده و با توجه به ظرفیت محدود ذخیره انرژی در باتری این خودروها، تلاش برای کاهش مصرف با شتاب بیشتری در حال انجام است.

آلومینیم و فولاد دو فلز اصلی و رقیب برای استفاده در بدنه خودروهای برقی هستند. البته تلاش‌هایی برای استفاده از آلیاژهای پایه منیزیم نیز انجام شده است. آلومینیم در توسعه خودروهای برقی یک فلز کلیدی محسوب می‌شود. چگالی کم این فلز سبب کاهش وزن خودرو شده و به عامل مهمی در افزایش بهره‌وری انرژی و برد مسافتی تبدیل شده است. استفاده از این فلز در خودروهای تمام برقی ایدئال است. اما قیمت پایین‌تر فولاد نسبت به آلومینیم (قیمت فولاد حدوداً ۲۵ درصد قیمت آلومینیم است) استفاده از آن را مقرون به‌صرفه کرده است. نمودار ۱۴، میزان استفاده مواد مختلف در چهار مدل خودرو را نشان می‌دهد. در مدل‌های اولیه خودروهای تمام برقی، مانند مدل اس‌۱ تسلا<sup>۲</sup>، از آلومینیم بیشتری استفاده شده است، اما مدل‌های جدیدتر این خودروها، مثل نیسان لیف<sup>۳</sup> به سمت استفاده از گزینه ارزان‌تر فولاد رفته‌اند. با وجود این، آلومینیم در کنار فولاد همچنان به‌عنوان ماده اولیه اصلی برای تولید خودروهای تمام برقی قرار دارد.

---

1. <https://www.scientificamerican.com>  
2. Tesla Models  
3. Nissan Leaf

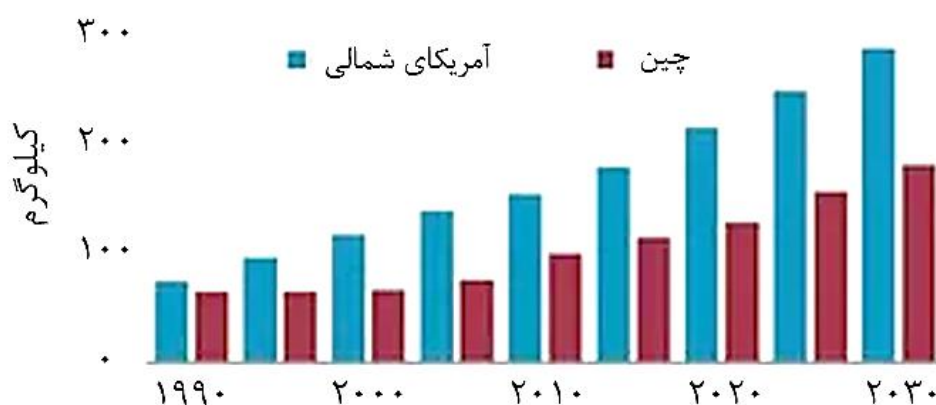
نمودار ۱۴. مقایسه آلیاژهای مورد استفاده در خودروهای تمام برقی، هیبریدی و بنزینی



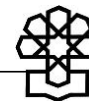
Source: <https://matmatch.com>

نمودار ۱۵. میانگین مصرف آلومینیم در یک خودرو سبک سواری را طی دهه‌های مختلف در آمریکای شمالی و چین نشان می‌دهد. این آمار نشان‌دهنده روند افزایشی استفاده از این فلز در خودروهاست. پیش‌بینی شده است که تا سال ۲۰۲۵ مصرف آلومینیم در صنعت خودروسازی با ۱۰۰ درصد رشد، به ۱/۵ میلیون تن در سال می‌رسد. همچنین با توجه به استفاده از آلومینیم در موتور و سیستم انتقال قدرت خودروهای هیبریدی، انتظار افزایش تقاضای این فلز در بازار خودروهای برقی می‌رود.

نمودار ۱۵. میانگین استفاده از آلومینیم در خودروهای سبک سواری



Source: <https://www.spotlightmetal.com>



با وجود چگالی کم آلومینیم، بالاتر بودن هزینه استفاده از آن در مقایسه با فولاد، این فلز را به یک عامل محدودکننده در کاهش قیمت تمام شده خودروهای برقی تبدیل کرده است. به نظر می‌رسد آینده خودروهای برقی در استفاده از «فولادهای پیشرفته با استحکام بالا (ای‌اچ‌اس‌اس)»<sup>۱</sup> است. فولادهای پیشرفته یک تجربه ناموفق در صنعت خودروسازی را داشته‌اند، اما پیشرفت فناوری‌های تولید فولاد، استفاده از این آلیاژ مستحکم، با چقرمگی بالا و از همه مهم‌تر سبک را دوباره به صنعت خودروسازی وارد کرده است. با توجه به روند روبه رشد خودروهای سبک، توانمندی کشورها برای تولید این آلیاژ با ارزش افزوده بالا، می‌تواند کمک شایانی به ارزش‌افزایی اقتصاد کند. در شکل، توزیع مواد مورد استفاده در بدنه خودروی شرکت تسلا مدل ۳ نشان داده شده است. به دلیل استحکام بالای فولادهای پیشرفته آلیاژی، می‌توان با کاهش ضخامت، وزن را به حداقل میزان ممکن رساند. به عنوان مثال، فولادی با دو برابر مقاومت کششی، امکان کاهش ضخامت را فراهم می‌کند و در نتیجه وزن قطعه تا ۳۰ درصد کاهش می‌یابد.

شکل ۷. توزیع مواد مورد استفاده در بدنه خودروی شرکت تسلا مدل ۳



آلومینیم

فولاد

فولاد استحکام بالا

فولاد استحکام بسیار بالا

Source: <https://matmatch.com>

دسته دیگری از مواد که به دلیل اهمیت کم وزن بودن خودروها برای افزایش برد مسافتی، برای برخی تولیدکنندگان جذاب شده است، مواد کامپوزیتی هستند. به عنوان مثال فولکس‌واگن از پلی‌پروپیلن تقویت‌شده با فیبر شیشه‌ای<sup>۲</sup> برای محل قرارگیری باتری در خودروی ای‌گلف<sup>۳</sup> خود استفاده می‌کند.

1. Advanced high-strength steels (AHSS)
2. Glass fibre-embedded polypropylene
3. e-Golf

بی‌ام‌دبلیو آی<sup>۱۳</sup> و آی<sup>۲۸</sup> نیز استفاده از کامپوزیت‌های فیبرکربنی را در خودروهای برقی خود آغاز کرده است. با وجود نسبت بسیار خوب مقاومت به وزن کامپوزیت‌ها و همچنین دارا بودن پتانسیل تشکیل بخش بزرگی از خودروهای برقی، هزینه بالای این مواد در مقایسه با فولاد سبب محدودیت در استفاده آنها شده است.

#### ۴. خودروهای برقی در ایران؛ چالش‌های متعدد و چشم‌انداز پرابهام

با توجه به مطالب و آمار ارائه شده در بخش‌های قبل، پیش‌بینی آینده تمام برقی برای صنعت خودروسازی دور از ذهن نیست و شرکت‌ها و دولت‌ها راهی جز پیروی از این روند ندارند. این مسئله باید به‌عنوان یکی از راهبردهای اصلی کشورهایی که دارای صنایع خودروسازی هستند، قرار گیرد. توسعه خودروهای برقی در ایران نیز همانند بسیاری از کشورهای در حال توسعه منطقه، همواره جزء دغدغه‌های فعالان این صنعت بوده است، اما موانع مختلف سیاسی، بین‌المللی، اقتصادی و مدیریتی، همکاری شرکت‌های پیشرو در این حوزه را با ایران محدود و سرعت توسعه فناوری‌های مرتبط با خودروهای برقی را کم کرده است.

برخی نمونه‌های غیرتجاری از خودروهای برقی توسط محققان کشور توسعه داده شده است. برای نمونه تلاش محققان دانشگاه آزاد اسلامی واحد قزوین منجر به ساخت خودروی برقی دو سرنشین «یوز» شد. طبق ادعای سازندگان، این خودروی کوچک توانایی طی مسافت ۱۲۰ کیلومتری را با ۳ ساعت شارژ دارد و سرعت نهایی آن ۸۰ کیلومتر بر ساعت است. در نمونه‌ای دیگر محققان دانشکده‌های برق و مکانیک دانشگاه خواجه نصیرالدین طوسی در تلاش برای ساخت خودروی برقی ایرانی «فاصدک نصیر» هستند. مهندسان طراح ادعا کرده‌اند که این خودرو با یک بار شارژ می‌تواند ۱۰۰ کیلومتر را با سرعت ۸۰ کیلومتر در ساعت بپیماید. تلاش‌های مشابهی در سایر دانشگاه‌های کشور از جمله دانشگاه تهران و دانشگاه صنعتی شریف نیز انجام شده است.

شرکت‌های بزرگ خودروسازی ایران نیز در اقداماتی در تلاش برای ساخت نمونه‌های اولیه خودروهای برقی بوده‌اند. برای نمونه شرکت سایپا در سال ۱۳۹۷ از نمونه برقی خودروی ساینا در نمایشگاه خودروی تهران رونمایی کرد که بنا بود اولین خودرو تولید انبوه برقی ایران باشد، اما در حال حاضر این مدل در حد یک نمونه باقی مانده است. در جدول ۲ قیمت برخی مدل‌های برقی شرکت‌های خودروسازی ایرانی آمده است. البته این آمار مربوط به پژوهش انجام شده در سال ۱۳۹۵ است. علاوه بر این تلاش‌های گروه مپنا در حوزه خودروهای برقی منجر به ایجاد «مرکز توسعه خودروی برقی و

1. BMW i3

2. BMW i8



زیرساخت‌های گروه مپنا» شد. این مرکز به‌منظور توسعه حمل‌ونقل برقی با تمرکز بر توسعه زیرساخت‌های شارژ و پیش‌رانه برقی در «شرکت مهندسی و ساخت برق و کنترل مپنا» (مکو) تأسیس شد. این مرکز هم‌اکنون در حوزه طراحی و ساخت انواع شارژرها فعال است و کلیه سرویس‌های کاربران و پشتیبانی از ایستگاه‌های شارژر مپنا زیر نظر این مرکز صورت می‌گیرد. نخستین جایگاه تأمین توان خودرو و موتورسیکلت برقی در ایران نیز توسط این گروه در برج میلاد تهران در زمینی به مساحت بیش از ۷۰۰ متر مربع در خرداد ۱۳۹۸ افتتاح شد. علاوه بر این شرکت مپنا مدعی است که کلیه طراحی‌های لازم به‌منظور ایجاد زیرساخت برای تبدیل خودروهای موجود به خودروهای برقی را انجام داده است. در ادعایی دیگر شرکت مپنا اعلام کرده است که می‌تواند اولین خودروی برقی ایرانی را تولید کند و این فناوری را در اختیار سازمان تاکسیرانی قرار می‌دهد. قرار بر این شده است که در اولین مرحله به‌صورت آزمایشی، ۸۰ هزار تاکسی فعال در تهران، با استفاده از کیت‌های مخصوص، توسط شرکت مپنا برقی شوند. قیمت کیت مخصوص هیبریدی و برقی مپنا بین ۲ تا ۸ هزار دلار است.

جدول ۲. مقایسه وسایل نقلیه معمولی با برقی در ایران

| نوع وسیله نقلیه                   | قیمت فروش نوع معمولی<br>(میلیون تومان) | قیمت فروش نوع برقی<br>(میلیون تومان)                                                   | توضیحات                                                       |
|-----------------------------------|----------------------------------------|----------------------------------------------------------------------------------------|---------------------------------------------------------------|
| موتورسیکلت<br>(طرح ویو - جهان‌رو) | ۳                                      | ۵/۵ تا ۶                                                                               | براساس ادعای شرکت باتری<br>لیتیومی سازمان توسعه انرژی<br>توان |
| رانا                              | ۳۳                                     | تیراژ زیر ۲۰,۰۰۰ دستگاه<br>۹۶<br>تیراژ بالای ۲۰,۰۰۰ دستگاه<br>حداقل دوبرابر نوع معمولی | براساس ادعای کارشناسان مرکز<br>تحقیقات موتور ایران خودرو      |
| تیبا                              | ۲۴                                     | تیراژ زیر ۲۰,۰۰۰ دستگاه<br>۶۰<br>تیراژ بالای ۲۰,۰۰۰ دستگاه<br>حداقل دوبرابر نوع معمولی | براساس ادعای کارشناسان مرکز<br>تحقیقات سایپا                  |

مأخذ: بررسی تولید خودرو برقی در ایران، مرکز پژوهش‌های مجلس شورای اسلامی، ۱۳۹۵.

براساس آنچه شرح داده شد، صنعت تولید خودروهای برقی در ایران راه طولانی را برای تولید انبوه خودروی برقی در پیش دارد و بررسی دقیق آینده این صنعت نیازمند مطالعات کارشناسی بیشتر بوده و هدف این گزارش نیست. شایان ذکر است که مطالعات کارشناسی مرکز پژوهش‌های مجلس شورای

اسلامی در قالب گزارش‌های مختلفی در این حوزه در سال‌های ۱۳۹۳ و ۱۳۹۷ منتشر شده است.<sup>۱</sup> آنچه مد نظر این گزارش است این است که در کنار راهبردهای کشور برای توسعه خودروهای برقی، مزیت‌های کشور در زمینه تأمین بخشی از مواد اولیه مورد نیاز برای تولید خودروهای برقی می‌تواند ایران را به کشوری برای تأمین نیازهای ایران و سایر کشورها به محصولات معدنی و فلزی برای ساخت خودروهای برقی تبدیل کند که در بخش‌های بعدی گزارش مورد بررسی قرار گرفته است.

#### ۵. برآورد مواد معدنی مورد نیاز برای خودروهای برقی با الگوی ترکیه

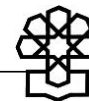
چشم‌انداز توسعه خودروهای برقی در ایران تا حدودی مبهم است و این درحالی است که نیاز به این پارادایم جدید در حوزه حمل‌ونقل، مسئله‌ای جدی و راهبردی است. پیش‌بینی می‌شود در ایران با یک تأخیر زمانی، الگوی یکی از کشورهای مشابه در توسعه خودروهای برقی پیاده خواهد شد و به همان نسبت، نیاز به مواد معدنی و صنایع معدنی مرتبط تغییر خواهد کرد. در این زمینه بررسی کشور ترکیه به‌عنوان یک الگوی مشابه می‌تواند امکان پیش‌بینی کیفیت و کمیت مواد معدنی و فلزی مورد نیاز برای تولید خودروهای برقی را فراهم کند. در صورتی که حتی روند توسعه خودروهای برقی در ایران با چالش‌هایی روبه‌رو باشد، نیاز کشورهای منطقه به‌ویژه ترکیه به مواد اولیه و محصولات معدنی، بازار بزرگی برای صنایع معدنی ایران ایجاد خواهد کرد. این موضوع، فرصتی برای صادرکنندگان محصولات با ارزش‌افزوده بالا در حوزه صنایع معدنی ایران خواهد بود. با توجه به اینکه که در برنامه‌های کشور ترکیه برای تولید خودروهای برقی، موضوع تولید باتری‌ها نیز لحاظ شده است. لذا انجام برآوردی از میزان بازار صنایع معدنی مرتبط با خودروهای برقی این کشور مشخص است که راهنمایی برای سیاست‌گذاران و فعالان بخش صنایع معدنی کشور محسوب می‌شود.

هدف نهایی صنعت خودروسازی ترکیه گذر از صنعت مونتاژ و رسیدن به فرایند تولید کامل است. همکاری‌های خودروسازان ترک با شرکت‌های بین‌المللی مطرح، مسیر توسعه خودروهای برقی را برای این کشور هموار کرده است. به‌طوری که در روزهای پایانی سال ۲۰۱۹ رجب طیب اردوغان؛ رئیس‌جمهور کشور ترکیه از خودروی ملی برقی با نام «تاگ»<sup>۲</sup> رونمایی کرد و انتظار می‌رود تا سال ۲۰۲۲ این خودرو به بازار عرضه شود.<sup>۳</sup> این طرح برای کشور ترکیه نزدیک به ۳ میلیارد دلار هزینه داشته است و هدف از آن، تولید ۵ مدل مختلف از خودروهای برقی تا ۱۵ سال آینده است. یکی از نکات حائز اهمیت در تولید

۱. امیر محمودی و همکاران، دورنمای خودروهای الکتریکی در جهان (درس‌هایی برای صنعت خودروسازی ایران)، مرکز پژوهش‌های مجلس شورای اسلامی، ۱۳۹۷- ارس شیخی و همکاران، تحلیلی بر فناوری‌ها و ایستگاه‌های شارژ خودروهای برقی و چالش‌های پیش رو، مرکز پژوهش‌های مجلس شورای اسلامی، ۱۳۹۷ - امید عطایی، تولید خودروهای الکتریکی در ایران (الزامات و چالش‌ها)، مرکز پژوهش‌های مجلس شورای اسلامی، ۱۳۹۳.

2. TOGG

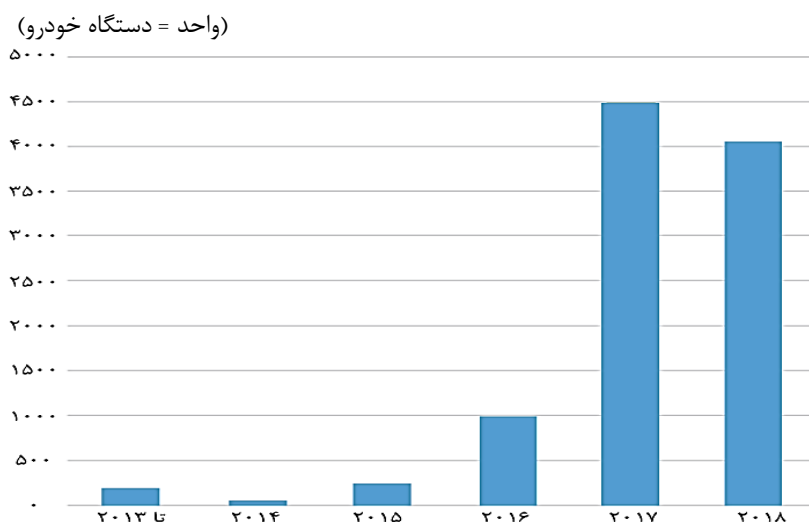
3. <https://www.euronews.com>



این خودرو، همکاری ۵ شرکت بزرگ خودروساز تحت یک کنسرسیوم است که نشان‌دهنده اهمیت مشارکت شرکت‌های توانمند در پیشبرد اهداف ملی است. در این مسیر، همکاری‌های بین‌المللی صنعت خودروسازی ترکیه نقش مهمی را ایفا کرده است، همچنین مراکز تحقیق و توسعه متعدد شکل گرفته حول بخش خودروسازی و فناوری‌های برقی کردن خودروها نیز حائز اهمیت است. برای نمونه شرکت «فورد اتوسان»<sup>۱</sup> که تحت مالکیت مشترک شرکت آمریکایی فورد و شرکت ترکیه‌ای «کوچ هولدینگ»<sup>۲</sup> است، از طرح خود برای تولید کامیون هیبریدی دارای قابلیت شارژ خبر داده است. قرار است باتری این کامیون‌ها نیز در ترکیه تولید شود. همکاری‌های از این نوع با شرکت‌های بزرگ خودروسازی در ترکیه متعدد است. این کشور تلاش‌هایی برای ایجاد ایستگاه‌های شارژ سریع نیز انجام داده است.<sup>۳</sup>

درمجموع، ادغام همکاری‌های بین‌المللی و اقدامات ملی موجبات حرکت به سمت توسعه خودروهای برقی را در ترکیه به همراه داشته است. نمودار ۱۶، میزان فروش خودروهای برقی در سال‌های مختلف را در کشور ترکیه نشان می‌دهد. در حال حاضر تقریباً ۱۰ هزار خودروی برقی در ترکیه وجود دارد و هدف ترکیه برای سال ۲۰۳۰، رسیدن این رقم به ۲/۵ میلیون دستگاه است. این به‌معنای افزایش فروش با نرخ میانگین سالیانه ۴۴ درصد تا سال ۲۰۳۰ است.<sup>۴</sup>

نمودار ۱۶. فروش خودروهای برقی در ترکیه در سال‌های اخیر



Source: SHURA Energy Transition Center, (2019).

1. Ford Otosan
2. Koç Holding
3. Turkey - Hybrid Electric Vehicles. s.l.: IEA HEV, 2019.
4. Transport sector transformation: Integrating electric vehicles into Turkey's distribution grids. s.l.: SHURA Energy Transition Center, 2019.

با در نظر گرفتن اهداف و برنامه‌های کشور ترکیه برای سال ۲۰۳۰ جهت تولید ۲/۵ میلیون دستگاه خودروی برقی، می‌توان برآوردی از میزان مواد معدنی و فلزی مورد نیاز برای تولید این خودروها انجام داد. برآوردی از مواد اولیه مورد نیاز برای ساخت یک باتری به ظرفیت ۱۰۰ کیلووات ساعت با برد مسافتی ۳۵۰ کیلومتر، بدنه و سایر قطعات خودروهای برقی در جدول ۳ آمده است.

جدول ۳. بازار فلزات اصلی ساخت خودروهای برقی در ترکیه تا سال ۲۰۳۰

| فلز           | متوسط فلز مورد استفاده برای یک دستگاه خودرو برقی | متوسط فلز مورد نیاز برای چشم انداز ۲۰۳۰ تولید خودروهای برقی در ترکیه (تن) |
|---------------|--------------------------------------------------|---------------------------------------------------------------------------|
| لیتیم         | ۱۱,۲۷۱ گرم                                       | ۲۸,۱۷۷                                                                    |
| کبالت         | ۳۱,۰۵۴ گرم                                       | ۷۷,۶۳۵                                                                    |
| نیکل          | ۱۰۳,۶۷۵ گرم                                      | ۲۵۹,۱۵۷                                                                   |
| منگنز         | ۱۰۱,۵۰۰ گرم                                      | ۲۵۳,۷۵۰                                                                   |
| فولاد         | ۲۰۰ کیلوگرم                                      | ۵۰۰,۰۰۰                                                                   |
| آلومینیم      | ۲۰۰ کیلوگرم                                      | ۵۰۰,۰۰۰                                                                   |
| فولاد پیشرفته | ۵۰۰ کیلوگرم                                      | ۱,۲۵۰,۰۰۰                                                                 |

Source: Vaalma, et al., Nature Reviews Materials, (2018) and <https://matmatch.com>.

براساس این برآورد، لیتیم مورد نیاز برای ساخت باتری خودروهای برقی تا سال ۲۰۳۰ در کشور ترکیه حدوداً ۲۸ هزار تن خواهد بود. مقایسه این رقم با میزان تولید جهانی لیتیم در سال ۲۰۱۸ که برابر ۸۵ هزار تن است، نشان‌دهنده بازار مستعد این کشور برای لیتیم است. همچنین نیاز این کشور به حدود ۵۰۰,۰۰۰ تن آلومینیم و بیش از ۱ میلیون تن فولاد پیشرفته برای تولید خودروهای برقی، می‌تواند ترکیه را به بازاری برای صادرات آلومینیم و فولادهای خاص ایران تبدیل کند.

### جمع‌بندی و نتیجه‌گیری

در سال‌های اخیر، تبعات مصرف انرژی‌های فسیلی و نگرانی‌های زیست‌محیطی منجر به رشد توسعه خودروهای برقی شده است و کشورهای توسعه‌یافته به دنبال پیاده‌سازی برنامه‌هایی برای ایجاد محدودیت دسترسی خودروهای احتراق داخلی هستند. هدف از این برنامه‌ها، تشویق تولیدکنندگان و مشتریان برای استفاده از خودروهای برقی است. البته نگرانی‌هایی برای هزینه‌های ناشی از قیمت این خودروها وجود دارد که به‌نظر می‌رسد توسعه فناوری تولید خودروهای برقی، این نگرانی‌ها را به حداقل خواهد رساند.

مواد معدنی و فلزی مورد نیاز در تولید خودروهای برقی، شامل فلزات مورد استفاده در باتری این خودروها و فلزات تشکیل‌دهنده بدنه، سایر اجزا و قطعات خودروهاست. از مهم‌ترین این فلزات می‌توان





به فولادهای پیشرفته آلیاژی با استحکام بالا، آلومینیم، لیتیم، کبالت و نیکل اشاره کرد. در این میان، فلزات لیتیم، کبالت و نیکل اجزای اصلی سازنده باتری‌های لیتیومی خودروهای برقی هستند. براساس آمار و اطلاعات موجود، پیش‌بینی می‌شود تأمین لیتیم مورد نیاز این صنعت در دنیا تا سال ۲۰۲۵ با چالشی روبه‌رو خواهد بود. این درحالی است که مشکلات موجود برای تأمین کبالت باعث شده تا توسعه فناوری باتری‌های با نیکل بیشتر در اولویت قرار گیرد. در همین رابطه، چشم‌انداز عرضه و تقاضای فلز نیکل نیز نشان‌دهنده کمبود عرضه جهانی در سال ۲۰۲۵ است. به‌منظور به حداقل رساندن مصرف انرژی، کاهش وزن خودروهای برقی یکی دیگر از دغدغه‌های این صنعت است. با توجه به اینکه پیمایش و قیمت دو عامل اصلی تعیین‌کننده در تولید خودروهای برقی هستند، استفاده از فلز آلومینیم و اخیراً فولادهای پیشرفته آلیاژی مورد توجه تولیدکنندگان خودروهای برقی قرار گرفته است. نظر به توسعه بخش معادن و صنایع معدنی و وجود ظرفیت‌های بالقوه منابع معدنی در ایران، در این گزارش، آثار ظهور خودروهای برقی در ایران و دنیا بر بخش معادن و صنایع معدنی مورد بررسی قرار گرفت. همچنین مهم‌ترین نتایج حاصله و پیشنهادهای مربوطه در دو بخش «ذی‌نفعان و نقش‌آفرینان کلیدی» و «سازمان ایمیدرو» تدوین شده و به‌شرح زیر است.

### الف) باید‌ها و نبایدهای ذی‌نفعان و نقش‌آفرینان کلیدی

به‌منظور توسعه صنایع راهبردی و پیشرفته مانند باتری‌های لیتیومی باید ذی‌نفعان مختلف در بخش‌های مختلف سیاست‌گذاری تا عملیات و توسعه فناوری، با یکدیگر همکاری کنند. در این میان وزارت صنعت، معدن و تجارت، ایمیدرو، ایدرو، شرکت‌های توسعه‌دهنده و فناور، شرکت‌های دانش‌بنیان و دانشگاه‌ها نقش‌های مهمی را برعهده خواهند داشت. در ادامه به برخی از نتایج و پیشنهادهای مربوطه برای توسعه همکاری بین این ذی‌نفعان اشاره شده است.

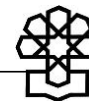
\* مهم‌ترین پیشران حرکت صنایع معدنی کشور در راستای تأمین مواد مورد نیاز تولید خودروهای برقی، چشم‌انداز توسعه این صنعت در ایران است، اما با توجه به ابهامات جدی در برنامه‌های کشور برای توسعه این خودروها، وجود بازارهای منطقه‌ای برای صادرات محصولات معدنی و فلزی با ارزش افزوده بالا، می‌تواند نیروی محرکه لازم را برای گسترش صنایع معدنی مرتبط ایجاد کند. البته حساسیت‌ها نسبت به خام‌فروشی مواد معدنی در بلندمدت، نسبت به صادرات این مواد ارزشمند موانعی ایجاد خواهد کرد و احتمالاً خود این مسئله، موجب رونق صنایع تکمیلی و توسعه فناوری به سمت تولید باتری‌های لیتیومی خواهد شد. لذا سیاست‌گذاری‌ها باید با در نظر گرفتن اهداف کوتاه‌مدت و برای توسعه بخش صنایع معدنی و صادرات آن باشد. توسعه فناوری، تکمیل زنجیره ارزش مواد معدنی و صادرات محصول با ارزش افزوده بالاتر به‌عنوان اهداف میان‌مدت و بلندمدت خواهند بود.

\* تجارب جهانی در توسعه معادن و صنایع معدنی مربوط به باتری‌های لیتیومی، نشان می‌دهد که همکاری کل زنجیره ارزش و تمامی ذی‌نفعان در مسیر توسعه فناوری و فرایند تجاری‌سازی ضروری است. تجارب مربوط به زنجیره ارزش فولاد نیز نشان‌دهنده اهمیت این همکاری است. پیشنهاد می‌شود با عارضه‌یابی و کشف نقاط موفقیت و شکست همکاری در زنجیره‌های ارزش صنایع معدنی در داخل و خارج کشور، سازوکار هماهنگ و الگوی مناسب برای توسعه معادن و صنایع معدنی برای تولید باتری‌های لیتیومی تدوین و اجرایی شود.

\* تجارب جهانی نشان می‌دهد از توان فنی شرکت‌های پیشرو (برای مثال در صنعت فولاد) برای توسعه صنایع راهبردی در حوزه لیتیم استفاده شده است. برای مثال اقدام شرکت بزرگ فولادساز کره‌ای؛ پوسکو، برای استخراج لیتیم در آرژانتین، قابل توجه است. لذا با توجه به اینکه توسعه و انباشت دانش در مجموعه‌های تحقیقاتی، شرکت‌ها و مؤسسات حوزه صنایع مرتبط با باتری‌ها و ذخیره انرژی در کشور شکل نگرفته است، به سیاستگذار و ارکان تصمیم‌ساز در حوزه معادن و صنایع معدنی کشور (به‌ویژه وزارت صمت و سازمان‌های توسعه تابعه آن) پیشنهاد می‌شود از ظرفیت و دانش صنایع بزرگ کشور مانند فولاد، مس، آلومینیم و صنعت خودروسازی و ورود آنها به حوزه‌های جدیدی چون توسعه صنعت لیتیم، کبالت و نیکل استفاده شده و به‌طریق مقتضی (با جهت‌دهی حاکمیتی یا ایجاد مشوق‌ها) این مسیر تسریع و تسهیل شود.

\* همکاری وزارت صنعت، معدن و تجارت با سازمان‌های توسعه‌ای مانند سازمان ایمیدرو و سازمان ایدرو به‌منظور تدوین استراتژی میان‌مدت و بلندمدت کشور در زمینه صنایع پیشرفته ضروری است. به‌طور مشخص در حوزه توسعه صنعت باتری‌های لیتیومی مواردی که باید مشخص شود، شامل «تدوین راهبردها»، «بررسی تشکیل کنسرسیوم‌های متشکل از شرکت‌های بزرگ برای تکمیل زنجیره ارزش تولید محصولات پیشرفته و با ارزش‌افزوده بالا»، «همکاری هدفمند صنعت، دانشگاه، شرکت‌های فناور و اکوسیستم استارت‌آپی برای دستیابی به دانش فنی»، «شناسایی مدل‌های کسب‌وکار خاص این صنعت»، «تدقیق بازارهای صادراتی» و «تأمین منابع مالی خطرپذیر» است.

\* بررسی کاربردهای باتری‌های لیتیومی و موضوع ذخیره انرژی محدود به خودروهای برقی نیست. به همین دلیل، کاربردها و میزان تقاضای عناصر معدنی این باتری‌ها به صنایع متعدد دیگری نیز ارتباط می‌یابد که بعضاً صنایع راهبردی و حساس هستند. پایش گسترده کاربردهای فعلی و آتی عناصری چون لیتیم، کبالت و نیکل و درگیر کردن ذی‌نفعان مختلف آن، امری مهم است که باید به‌صورت بین‌رشته‌ای در صنایع و نهادهای مختلف پیگیری شود تا چالش‌هایی چون «هزینه‌های ریسک»، «سرمایه‌گذاری» و «تجمیع بازار تقاضا» با تشریک مساعی ذی‌نفعان در بخش‌های مختلف به نحو احسن مرتفع شود. در این زمینه وزارت صمت، سازمان‌های توسعه‌ای تابعه با همکاری نهادهای فرابخشی مانند معاونت علمی و فناوری ریاست‌جمهوری نقش کلیدی خواهند داشت و با تشکیل کارگروه‌های ویژه می‌توانند برای این مسئله فرابخشی سیاستگذاری و برنامه‌ریزی کنند.



## ب) بایدها و نبایدهای سازمان ایمیدرو

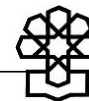
با توجه به مأموریت ذاتی سازمان ایمیدرو (و سایر سازمان‌های توسعه‌ای مانند ایدرو)، این سازمان باید کانون تمرکز خود را از صنایع بالغ و توسعه‌یافته مانند فولاد، مس و آلومینیم، به سمت صنایع پیشرفته و حساس آینده تغییر دهند و این امر در اسناد بالادستی (مانند برنامه هفتم توسعه) انعکاس لازم را پیدا کند. با توجه به اینکه سازمان‌های مذکور به‌خصوص ایدرو، بازوی تخصصی دولت برای برنامه‌ریزی‌های راهبردی، کلان و بلندمدت در صنایع پیشرفته خواهند بود، لذا با تمرکز بر اهمیت سازمان ایمیدرو در توسعه معادن و صنایع معدنی، در ادامه برخی پیشنهاد‌های مربوطه برای اقدامات آتی سازمان ایمیدرو در زمینه تأثیر خودروهای برقی اشاره شده است:

- \* برنامه‌ریزی یکپارچه برای شناسایی و اکتشاف منابع معدنی جدید با هدف تأمین مواد اولیه مورد نیاز صنایع پیشرفته از جمله مواد لازم در باتری‌های لیتیومی، به‌عنوان یک وظیفه حاکمیتی و با استفاده از منابع بودجه عمومی و تسهیلات پیش‌بینی شده در آن با محوریت سازمان زمین‌شناسی و همراهی ایمیدرو؛
- \* برنامه‌ریزی برای دستیابی به دانش فنی فراوری مواد معدنی و تولید محصولات با ارزش افزوده بالا مانند ترکیبات لیتیم، کبالت، نیکل و فولادهای آلیاژی پیشرفته استحکام بالا؛
- \* ایجاد ارتباط منسجم و هم‌افزا با دانشگاه‌ها و مراکز پژوهشی، پارک‌های علم و فناوری، شرکت‌های دانش‌بنیان و اکوسیستم استارت‌آپی به‌منظور تکمیل دانش فنی زنجیره ارزش صنایع پیشرفته به‌ویژه در حوزه ذخیره انرژی و حمایت از ارتقای اکوسیستم استارت‌آپی مقتضی با ویژگی‌های صنایع منبع‌محور؛
- \* شناسایی و معرفی بازارهای صادراتی بر مبنای نیازهای جدید و محصولات با ارزش افزوده بالا به صنایع مادر داخلی برای «تحول در رویکردها، تدوین چشم‌انداز پویا، ارتقای دانش فنی، تکمیل زنجیره ارزش و ایجاد تغییر در بازارهای مرسوم صادراتی» در زمینه باتری‌های لیتیومی و موضوع ذخیره انرژی؛
- \* رصد و پایش مستمر تحولات فناورانه و نوآورانه در حوزه ذخیره انرژی، فناوری‌ها و نیازمندی‌های مربوطه و ارزیابی تأثیرات آن بر معادن و صنایع معدنی؛
- \* جلب توجه صنایع فولاد و آلومینیم به نیازهای فنی و فناورانه خودروهای برقی و تدوین برنامه توسعه فناوری صنایع مذکور بر پایه این نیازها؛
- \* گسترش همکاری‌ها و سرمایه‌گذاری‌های مشترک در خصوص منابع معدنی با کشورهای منطقه مانند منابع لیتیم در افغانستان؛

\* توسعه خودروها و تجهیزات برقی در فرایندهای تولیدی در حوزه صنعت و معدن؛

## منابع و مأخذ

۱. نعمتی، مسعود و پیام، سراج، و امیرحسین، صراف‌پور. بررسی پتانسیل‌های کشور جهت اکتشاف، استحصال و بازیافت فلز لیتیم به‌عنوان مهم‌ترین ذخیره‌ساز انرژی در دنیا، مرکز پژوهش‌های مجلس، ۱۳۹۷.
۲. شجاعی، سعید و همکاران. بررسی تولید خودرو برقی در ایران، مرکز پژوهش‌های مجلس، ۱۳۹۵.
3. Frankel, David and Wagner, Amy. Battery storage: The next disruptive technology in the power sector. s.l.: McKinsey & Company, 2017.
4. Key world energy statistics. Iea. [Online] 2018. <https://www.iea.org/statistics/kwes/consumption/>
5. Ryan, McQueeney. How Much Oil Is Left In The Earth? Zacks. [Online] 2017. <https://www.zacks.com/stock/news/287141/how-much-oil-is-left-in-the-earth>.
6. Lazard's Levelized Cost of Energy Analysis - Version 13.0. s.l.: Lazard, 2019.
7. Electric Vehicles – Global Scenario. s.l.: EY, 2017.
8. Hertzke, Patrick, Nicolai, Müller and Stephanie, Sche. The global electric-vehicle market is amped up and on the rise. s.l.: McKinsey Global Institute, 2018.
9. Patrick, Hertzke, Nicolai, Müller and Stephanie, Schenk. Dynamics in the global electric-vehicle market. s.l.: McKinsey Global Institute, 2017.
10. He, Laura. The first Shanghai-made Teslas are now rolling out across China. CNN. [Online] November 2019. <https://edition.cnn.com/2019/11/21/tech/tesla-china-model-3-factory/index.html>.
11. Electric Vehicle Market Outlook – Growth, Trends, and Forecast (2019 – 2024). s.l.: Mordor Intelligence, 2019.
12. Wu, Hao, Alberts, Geneviève and Hooper, James. New market. New entrants. New challenges. Battery Electric Vehicles. s.l.: Deloitte, 2019.
13. Hanley, Steve. Heavy Duty Electric Trucks Aren't Coming, They're Already Here. Clean Technica. [Online] August 2019. <https://cleantechnica.com/2019/08/13/heavy-duty-electric-trucks-arent-coming-theyre-already-here/>
14. Goodbody, Ailbhe. Kevitsa receives Komatsu electric trucks. Mining Magazine. [Online] July 2019. <https://www.miningmagazine.com/fleet/news/1367283/kevitsa-receives-komatsu-electric-trucks>.
15. Kajastie, Nia. Cat announces first battery-electric LHD. [Online] April 2019. <https://www.miningmagazine.com/technology-innovation/news/1360821/cat-announces-first-battery-electric-lhd>.
16. Comparing U.S. and Chinese Electric Vehicle Policies. EESI. [Online] February 2018. <https://www.eesi.org/articles/view/comparing-u.s.-and-chinese-electric-vehicle-policies>.
17. Coren, Michael J. Nine countries say they'll ban internal combustion engines. So far, it's just words. QUARTZ. [Online] August 2018. <https://qz.com/1341155/nine-countries-say-they-will-ban-internal-combustion-engines-none-have-a-law-to-do-so/>
18. Xue, Lulu. Hainan Bans All Fossil Fuel Vehicles. What does it mean for Clean Transport in China? The City Fix. [Online] September 2019.



- <https://thecityfix.com/blog/hainan-bans-fossil-fuel-vehicles-mean-clean-transport-china-lulu-xue/>
19. Douglas, Jacob. Tesla's Musk says solar panels on cars make little sense, but that's not stopping Toyota, Hyundai. CNBC. [Online] September 2019. <https://www.cnbc.com/2019/09/28/teslas-musk-rejects-solar-on-cars-its-not-stopping-toyota-hyundai.html>.
  20. Lambert, Fred. A new 'electric highway' is going to connect Europe from Norway to Italy. [Online] November 2017. <https://electrek.co/2017/11/13/electric-highway-connect-europe-from-norway-to-italy/>
  21. Eddy, James and Mulligan, Chris. Metal mining constraints on the electric mobility horizon. s.l.: McKinsey Global Institute, 2018.
  22. The Issue of Metal Resources in Li-Ion Batteries for Electric Vehicles. Weil, Marcel, Ziemann, Saskia and Peters, Jens. s.l.: Behaviour of Lithium-Ion Batteries in Electric Vehicles, 2018, pp. 59-74.
  23. A cost and resource analysis of sodium-ion batteries. Vaalma, Christoph, et al. s.l.: Nature Reviews Materials, 2018, Vol. 3.
  24. Recycling lithium-ion batteries from electric vehicles. Harper, Gavin, Sommerville, Roberto and Kendrick, Emma. s.l.: Nature, 2019, Vol. 575, pp. 75-86.
  25. Calma, Justine. The electric vehicle industry needs to figure out its battery problem. The VERGE. [Online] November 2019. <https://www.theverge.com/2019/11/6/20951807/electric-vehicles-battery-recycling>.
  26. Dinger, Andreas and Martin, Ripley. Batteries for Electric Cars Challenges, Opportunities, and the Outlook to 2020. s.l.: Boston Consulting Group, 2010.
  27. Benton, Dale. Plug-in electric vehicles set to drive copper demand by more than 500,000 tonnes by 2027. Mining Global. [Online] May 2018. <https://www.miningglobal.com/technology/plug-electric-vehicles-set-drive-copper-demand-more-500000-tonnes-2027>.
  28. Alves Dias, P., Blagoeva, D. and Pavel, C. Cobalt: demand-supply balances in the transition to electric mobility. s.l.: European Commission, 2019.
  29. <http://asremadan.com/News/3840>
  30. Stringer, David. Future nickel supplies worry Tesla, EV battery makers. Detroit News. [Online] August 2019. <https://eu.detroitnews.com/story/business/autos/mobility/2019/08/05/nickel-supplies-tesla-ev-battery-suppliers/39892385/>
  31. Hinton, Amy. LME WEEK 2019: Nickel market must focus on class 1 material to sate battery appetites. Metal Bulletin. [Online] November 2019. <https://www.metalbulletin.com/Article/3901456/LME-WEEK-2019-Nickel-market-must-focus-on-class-1-material-to-sate-battery-appetites.html>.
  32. Treadgold, Tim. Gold Is Hot But Nickel Is Hotter As Demand Grows For Batteries In Electric Vehicles. Forbes. [Online] August 2019.
  33. <https://www.forbes.com/sites/timtreadgold/2019/08/11/gold-is-hot-but-nickel-is-hotter-as-demand-grows-for-batteries-in-electric-vehicles/#24c460f73610>.
  34. Deng, Boer. New Lightweight Steel Could Improve Cars' Fuel Efficiency. Scientific American. [Online] February 2015.

- [https://www.scientificamerican.com/article/new-lightweight-steel-could-improve-cars-fuel-efficiency./](https://www.scientificamerican.com/article/new-lightweight-steel-could-improve-cars-fuel-efficiency/)
35. Stafford, Benjamin. The Materials Really Driving the EV Industry. Matmatch. [Online] September 28, 2018. [https://matmatch.com/blog/materials-for-electric-vehicles./](https://matmatch.com/blog/materials-for-electric-vehicles/)
36. Djukanovic, Goran. Latest Trends for Aluminium Demand in Automotive Industry. Spotlight Metal. [Online] July 2018. [https://www.spotlightmetal.com/latest-trends-for-aluminium-demand-in-automotive-industry-a-736213./](https://www.spotlightmetal.com/latest-trends-for-aluminium-demand-in-automotive-industry-a-736213/)
37. Advanced steels for lightweight automotive structures. Horvath, C. D. s.l.: Materials, Design and Manufacturing for Lightweight Vehicles, 2010.
38. Erdogan unveils prototypes of 'TOGG' — Turkey's first domestic car. Euronews. [Online] December 2019. <https://www.euronews.com/2019/12/28/erdogan-unveils-prototypes-of-togg-turkey-s-first-domestic-car>.
39. Turkey - Hybrid Electric Vehicles. s.l.: IEA HEV, 2019.
40. Transport sector transformation: Integrating electric vehicles into Turkey's distribution grids. s.l.: SHURA Energy Transition Center, 2019.
41. POSCO CEO Jeong-Woo Choi Visits Lithium Extraction Site in Argentina. Newsroom posco. [Online] 10 30, 2019. [https://newsroom.posco.com/en/posco-ceo-jeong-woo-choi-visits-lithium-extraction-site-in-argentina./](https://newsroom.posco.com/en/posco-ceo-jeong-woo-choi-visits-lithium-extraction-site-in-argentina/)



شناسنامه گزارش

شماره مسلسل: ۱۶۹۲۴

عنوان گزارش: آینده‌پژوهی توسعه خودروهای برقی و آثار آن بر صنایع معدنی

نام دفتر: مطالعات انرژی، صنعت و معدن (گروه معدن و صنایع معدنی و گروه صنعت)

تهیه و تدوین: میلاد سلیمانی خلجی

مدیران مطالعه: بابک بهادری، سعید شجاعی

همکاران: هومن فرزانی، طیبه صالحی، فریبا واعظ قاسمی

اظهار نظر کننده: مسعود عسکری

ناظران علمی: حسین افشین، علی اصغر اژدری

ویراستار تخصصی: ———

ویراستار ادبی: ———

واژه‌های کلیدی:

۱. خودروی برقی

۲. باتری لیتیومی

۳. صنایع معدنی



تاریخ انتشار: ۱۳۹۸/۱۲/۱۹