

برونداد تخصصی انرژی‌های تجدیدپذیر





برونداد تخصصی

انرژی‌های تجدیدپذیر

ویژه‌نامه ذخیره سازی انرژی

عنوان پروژه: رصد فن آوری به منظور شناخت جدیدترین دستاوردها و فناوری‌های مرتبط با انرژی‌های تجدیدپذیر

کارفرما: سازمان انرژی‌های تجدیدپذیر و بهره‌وری انرژی برق ایران (ساتبا)

پژوهشگر: پژوهشگاه نیرو

گروه پژوهشی پشتیبان: گروه انرژی‌های تجدیدپذیر

پژوهشگده پشتیبان: پژوهشگده انرژی و محیط‌زیست

مدیر پروژه: مهندس ثریا رستمی

مجری پروژه: دکتر حمیدرضا لاری

ناظر پژوهشگاه: دکتر محمد چمنی

ناظر کارفرما: دکتر اکبر شعبانی‌کیا

همکاران این گزارش:

مهندس ثریا رستمی – مهندس سارا جوکار

شماره ۳ – شهریور ماه ۱۴۰۲

| | |
|---------|---|
| ۴..... | نگاه توسعه‌ای وزارت نیرو به انرژی‌های تجدیدپذیر |
| ۶..... | سیر تصاعدی اشتغال در حوزه تجدیدپذیرها |
| ۱۰..... | فناوری‌های ذخیره‌سازی انرژی و افق پیش‌رو |
| ۲۵..... | آینده ذخیره‌سازی در مقیاس شبکه |
| ۲۹..... | راهبرد ذخیره‌سازی انرژی در ایالات متحده |
| ۳۵..... | ذخیره‌سازی انرژی حاصل از پمپاژ سیال آر-۱۹ |
| ۴۰..... | ابزار شبیه‌سازی طول عمر باتری |
| ۴۳..... | برترین شرکت‌های ذخیره‌سازی انرژی |
| ۴۸..... | نقش ذخیره‌سازی در بازار جهانی خودروهای الکتریکی |
| ۵۷..... | سیستم‌های خورشیدی و ذخیره‌سازها |
| ۶۰..... | سه‌م ۳۳ درصدی نیروگاه‌های خورشیدی و بادی در تولید برق جهان |
| ۶۱..... | ظهور موفق هیولای بادی ۱۵ مگاواتی وستاس |
| ۶۳..... | پروژه عظیم خورشیدی-ذخیره‌سازی در فرودگاه بین‌المللی دالس آمریکا |
| ۶۵..... | مکو و نصب سیستم ذخیره‌ساز انرژی برای عبور از بیک سالانه برق |
| ۶۷..... | افتتاح ایستگاه‌های شارژ خودروهای برقی در میدان آزادی |

نگاه توسعه‌ای وزارت نیرو به انرژی‌های تجدیدپذیر



هم‌اکنون یکی از برنامه‌های جدی در وزارت نیرو توجه به تولید انرژی‌های تجدیدپذیر به‌ویژه انرژی خورشیدی و بادی است. به گفته وزیر محترم نیرو آقای مهندس محرابیان، برای توسعه این نیروگاه‌ها در سطوح مختلف اعم از خانگی و نیروگاه‌های بزرگ‌مقیاس و کلان، برنامه‌هایی پیش‌بینی شده است. در این باره می‌توان به نصب پنل‌های خورشیدی تا پنج کیلووات در پشت‌بام و منازل خانوارهای تحت پوشش کمیته امداد امام خمینی (ره) و بهزیستی اشاره کرد که با تأمین برق و درآمد پایدار برای خانواده‌ها همراه خواهد بود. به گفته وی، در کنار تولید برق تجدیدپذیر در بخش خانگی در سطوح دیگر از جمله بخش صنعتی، پروژه‌های متعددی آغاز شده است؛ این پروژه‌ها از چند کیلووات تا ۶۰۰ مگاوات متغیر بوده و در حال اجراست. در این راستا وزیر محترم نیرو از افتتاح نیروگاه‌های تجدیدپذیر ۱۰ و ۲۰ مگاواتی خبر داده‌اند. این نیروگاه‌ها به‌مرور زمان به مرحله بهره‌برداری می‌رسند. برای مثال نیروگاه بادی ۵۰ مگاواتی «میل نادر» سیستان و بلوچستان پس از طی یک دوره آزمایشی به شبکه متصل خواهد شد. در این خصوص وزارت نیرو ابراز امیدواری کرده است که با مجموعه طراحی‌ها، اقدامات و مصوبات و اجرای پروژه‌ها در سال جاری گامی بلند در مسیر توسعه انرژی‌های تجدیدپذیر برداشته شود. با تأیید وزیر محترم، در سال گذشته حدود ۶ هزار مگاوات نیروگاه حرارتی به مرحله بهره‌برداری رسیده است و در کنار آن با اقدامات نرم‌افزاری از نوع دانش‌بنیان بیش از هزار مگاوات به ظرفیت نیروگاه‌های کشور افزوده شده است.

در رابطه با نا ترازی‌های ایجاد شده در تولید و مصرف برق در فصل تابستان نیز با مدیریت صورت گرفته، با حداقل خاموشی برای همه مصرف‌کنندگان مواجه بوده‌ایم. در بخش تولید و صنعت به‌طور کامل در صنایع کوچک و خرد برق تأمین شده و در شهرک‌های صنعتی، با تقسیم‌بندی روزهای تعطیل این امر به‌خوبی مدیریت شد. البته این ناترازی‌ها همچنان ادامه دارد و طبیعتاً برای برطرف کردن آن، باید سال‌ها تلاش کرد. این در شرایطی است که کمتر از نیمی از نیروگاه‌های پیش‌بینی شده بر اساس برنامه ششم به بهره‌برداری رسیده‌اند.

به گفته وزیر محترم نیرو از ابتدای مهرماه سال گذشته برنامه‌های توسعه‌ای و اقدامات مؤثر برای بهبود شرایط با جدیت آغاز شده است و بخشی از این اقدامات در راه‌اندازی نیروگاه‌های جدید، رفع محدودیت‌های نیروگاه‌های موجود، توسعه و اصلاح شبکه، ایجاد پست و احداث خطوط جدید خلاصه می‌شود. اما در کنار این اقدامات، بهره‌مندی از روش‌های نوین مدیریت مصرف به‌صورت جدی پیگیری می‌شود.

سیر تصاعدی اشتغال در حوزه تجدیدپذیرها



در سال ۲۰۲۰ با وجود همه‌گیری کووید-۱۹، مشاغل انرژی‌های تجدیدپذیر به ۱۲ میلیون افزایش یافت. جالب توجه است که انرژی‌های تجدیدپذیر در طول همه‌گیری کووید-۱۹ عملکرد بهتری در مقایسه با انرژی‌های معمولی داشته‌اند. فتولتائیک خورشیدی با در اختیار داشتن ۴ میلیون نیروی کار یا ۳۶ درصد از نیروی کار در سراسر جهان در حوزه تجدیدپذیرها، هم‌چنان پیش‌تاز بازار باقی‌مانده است. مشاغل سوخت‌های زیستی^۱ اندکی از ۲.۵ میلیون به ۲.۴ میلیون کاهش یافت که بیشترین اشتغال در برزیل، اندونزی و ایالات‌متحده بود. کل اشتغال در صنعت برق بادی از ۱.۱۷ به ۱.۲۵ میلیون نفر در سراسر جهان افزایش یافته است، که چین به تنهایی ۴۴ درصد از سهم کل جهان را به خود اختصاص داده است. چین جایگاه خود را به عنوان بزرگ‌ترین کارفرما حفظ کرده است. برزیل هم‌چنان بزرگ‌ترین کارفرمای سوخت‌های زیستی جهان است و پس از آن اندونزی و ایالات‌متحده در رتبه‌های بعدی قرار دارند.

در حال حاضر، مجموعه‌ای از فن‌آوری‌های اثبات‌شده و در حال رشد (عمدتاً بادی، خورشیدی و انرژی زیستی) در بازار اشتغال غالب هستند. با افزایش سرعت انتقال انرژی، تقاضا برای فناوری‌های جدید مانند ذخیره‌سازی باتری^۲ و هیدروژن سبز^۳ در حال افزایش است. ظرفیت جهانی برای تولید سلول‌های باتری لیتیوم یونی^۴ برای اهداف ذخیره‌سازی در دهه منتهی به ۲۰۲۰ هفت برابر شد و می‌تواند تا سال ۲۰۳۰، ۱۰ میلیون شغل ایجاد نماید. همچنین با شروع حمایت کشورها از رشد بازار

¹ Biofuels

² Battery storage

³ Green hydrogen

⁴ Lithium-ion battery cells

هیدروژن سبز، افزایش حدود ۲ میلیون شغل در این بخش از سال ۲۰۳۰ تا ۲۰۵۰ پیش‌بینی می‌شود. در حقیقت روندهای اشتغال تحت تأثیر عوامل متعددی شکل می‌گیرد. یک عامل کلیدی در شکل‌دهی به اشتغال، میزان تولید، نصب و استفاده تجهیزات انرژی‌های تجدیدپذیر است.

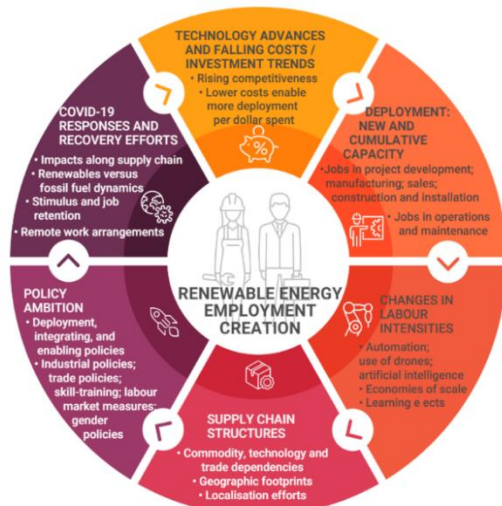


Source: IRENA jobs database.

Global renewable energy employment by technology

اشتغال در تجدیدپذیرها بر اساس فناوری

در طول همه‌گیری، انرژی‌های تجدیدپذیر در مقایسه با انرژی‌های معمولی عملکرد خوبی داشته‌اند. با کاهش هزینه‌ها و سرمایه‌گذاری‌های سالانه نسبتاً ثابت، بیش از ۲۶۰ گیگاوات انرژی‌های تجدیدپذیر در طول سال ۲۰۲۰ نصب شد که ظرفیت



Factors influencing renewable energy employment

عوامل موثر بر اشتغال حوزه تجدیدپذیر

تجمعی را حدود ۱۰٪ افزایش داد. انرژی خورشیدی و بادی عملکرد فوق‌العاده خوبی داشتند و مجموعاً ۲۳۸ گیگاوات از کل انرژی در سال ۲۰۲۰ را به خود اختصاص دادند. در زمانی که محدودیت‌های تردد عرضه برون‌مرزی را مختل می‌کند، ارزش زنجیره‌های ارزش داخلی قوی افزایش می‌یابد. حمایت از سیاست‌هایی که در دسترس بودن مواد و تجهیزات، تضمین کیفیت و مهارت‌ها را در طول زنجیره تضمین می‌کند و صنعت محلی یا منطقه‌ای مبتنی بر انرژی‌های تجدیدپذیر را تقویت می‌کند، امری ضروری می‌باشد. استفاده از ظرفیت‌های محلی،

مهارت‌های موردنیاز را در طول زنجیره ارزش

فناوری‌های مختلف انرژی‌های تجدیدپذیر ارزیابی و مناطقی را با بیشترین پتانسیل برای ایجاد مشاغل محلی شناسایی می‌کند.

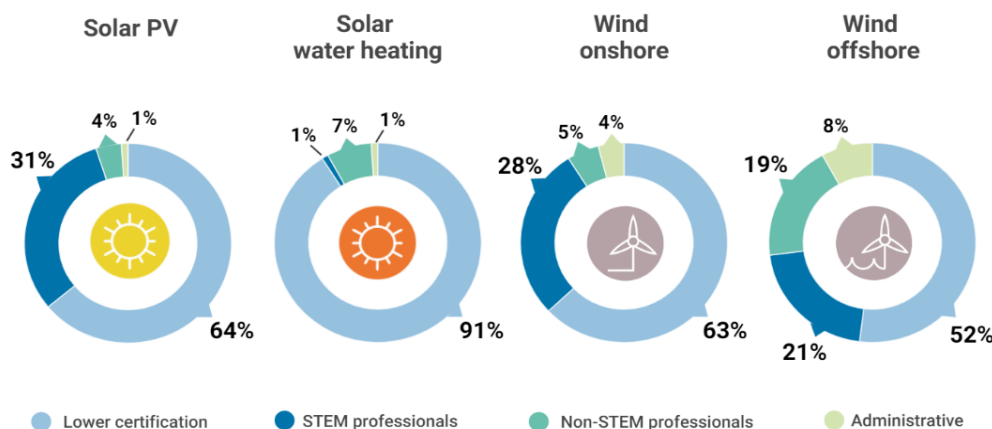
❖ پیش‌بینی ترکیب مهارت‌های شغلی تجدیدپذیر



Skill-delivery pathways

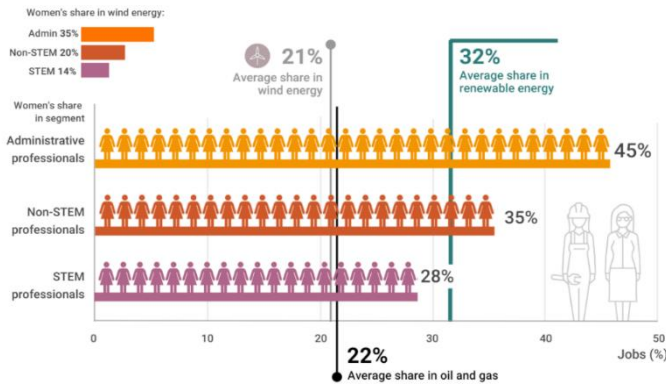
ترکیب مهارت‌ها در اشتغال تجدیدپذیر

کار در بخش سوخت‌های فسیلی مرتبط و در اصل قابل انتقال به بخش انرژی‌های تجدیدپذیر هستند. بنابراین، ارائه مهارت‌ها می‌تواند به روش‌های مختلفی انجام شود.



نیروی انسانی موردنیاز در هر فناوری

❖ تحول انرژی عادلانه و فراگیر



Source: Based on IRENA, 2019, 2020b.

Women's share in oil and gas, renewables, and wind power, with breakdown by STEM, non-stem and administrative positions in renewables

سهم اشتغال زنان در تجدیدپذیر

زنان یک سوم نیروی کار جهانی انرژی‌های تجدیدپذیر را تشکیل می‌دهند، اما مشارکت آن‌ها در بین کشورها و صنایع بسیار متفاوت است. البته همه‌گیری کووید ۱۹ ترکیب حضور زنان را تحت تأثیر قرار داده است چرا که بیشتر از مردان در بخش‌هایی فعالیت دارند که در برابر شوک‌های اقتصادی آسیب‌پذیرتر است. میانگین سهم ۳۲ درصدی زنان در کل مشاغل انرژی‌های تجدیدپذیر، در مقایسه با میانگین سهم ۲۱ درصدی در مشاغل سوخت‌های فسیلی همچنان به‌طور قابل‌توجهی بالاتر است. در نهایت اجرای یک سیاست عادلانه و

فراگیر با هدف ایجاد فرصت‌های کافی و برابر برای زنان، جوانان، اقلیت‌ها و گروه‌های به حاشیه رانده‌شده، لازم و ضروری است. چارچوب‌های سیاستی باید از دستمزدهای مناسب، محل کار ایمن و حقوق نیروی کار حمایت کند.

❖ لزوم اقدام جهت سیاست‌گذاری

در این برهه تعیین‌کننده از تاریخ، دولت‌ها باید تعهداتی را نسبت به اجرای سیاست‌ها داشته باشند. یک رویکرد جامع به سیاست‌گذاری که نه تنها بر سیاست‌ها و برنامه‌ها در بخش انرژی متمرکز است، بلکه بر درک پیچیده‌ای از ارتباطات نزدیک بین انرژی، اقتصاد و پایداری استوار است. این امر مستلزم سیاست‌های انرژی تجدیدپذیر است که با تغییرات ساختاری و تضمین یک گذار عادلانه، همه در چارچوب سیاست جهانی کل‌نگر، مرتبط باشد. پایداری، اشتغال و عدالت اجتماعی باید در پی هم دنبال شوند، نه اینکه به عنوان خواسته‌های رقیب تلقی شوند. نتایج عادلانه و منصفانه تحول عرصه انرژی را افزایش خواهد داد.

منبع: irena.org

فناوری‌های ذخیره‌سازی انرژی و افق پیش‌رو



ذخیره‌سازی انرژی برای توسعه بیشتر منابع انرژی تجدیدپذیر و تمرکززدایی تولید انرژی بسیار مهم است زیرا به رفع متناوب بودن این منابع، مدیریت پیک تقاضا، بهبود پایداری و قابلیت اطمینان شبکه و تسهیل یکپارچه‌سازی انرژی‌های تجدیدپذیر در مقیاس کوچک کمک شایانی دارد.

طیف وسیعی از انواع مختلف گزینه‌های ذخیره‌سازی برای استفاده در بخش انرژی در دسترس می‌باشند و با تبدیل شدن این فناوری به یک جزء کلیدی در سیستم‌های انرژی آینده در سراسر جهان، موارد بیشتری در حال ظهور هستند. همان‌طور که نیاز به ذخیره‌سازی انرژی به‌طور روزافزون افزایش می‌یابد، طیف راه‌حل‌های موجود نیز افزایش چشم‌گیری دارند. چرا که تقاضاها خاص‌تر شده و نوآوری‌هایی با تکیه بر مواد و فناوری‌های پیشرفته نیز توسعه می‌یابند.

سیستم‌های ذخیره‌سازی انرژی می‌توانند به جهت پاسخ‌گویی سریع برای مدیریت شبکه‌ها برای تغییرات غیرقابل‌پیش‌بینی روزانه، هفته‌به‌هفته و تغییرات فصلی قابل‌پیش‌بینی در عرضه و تقاضا باشند. موارد استفاده کلیدی این فناوری‌ها در راستای خدماتی مانند مدیریت کیفیت برق و متعادل کردن بار و همچنین برق پشتیبان برای مدیریت خاموشی است.

❖ دلایل اهمیت سیستم‌های ذخیره‌ساز

- **متناوب بودن منابع انرژی تجدیدپذیر:** منابع انرژی تجدیدپذیر ذاتاً متناوب هستند و تولی انرژی به در دسترس بودن منابع طبیعی مانند خورشید و باد بستگی دارند. به عنوان مثال، در مورد انرژی خورشیدی، حداکثر خروجی معمولاً در ساعات میانی روز است، اما اوج تقاضا اغلب در عصر است. ذخیره انرژی امکان شیفت انرژی اضافی برای ساعات پیک را تسهیل می‌نماید.
- **مدیریت پیک تقاضا:** ذخیره انرژی می‌تواند با ذخیره انرژی اضافی در ساعات غیر اوج مصرف و آزادسازی آن در زمان‌های تقاضای بالا، به مدیریت اوج تقاضا کمک کند. این امر می‌تواند نیاز به ظرفیت تولید اضافی را کاهش دهد و به جلوگیری از خاموشی کمک کند.
- **پایداری و قابلیت اطمینان شبکه:** ذخیره انرژی همچنین می‌تواند پایداری و قابلیت اطمینان شبکه را با تأمین برق پشتیبان در هنگام قطع و متعادل کردن عرضه و تقاضای انرژی بهبود بخشد.
- **عدم تمرکز تولید انرژی:** ذخیره انرژی می‌تواند با اجازه دادن به سیستم‌های انرژی تجدیدپذیر در مقیاس کوچک، مانند پانل‌های خورشیدی روی پشت‌بام، برای ذخیره انرژی اضافی و بازگرداندن آن به شبکه در صورت نیاز، تمرکززدایی تولید انرژی را تسهیل کند. این امر می‌تواند استقلال انرژی را افزایش دهد و شبکه‌های هوشمند را تقویت کند.

❖ محرک‌های کلیدی بهره‌گیری از سیستم‌های ذخیره انرژی

- **یکپارچه‌سازی انرژی‌های تجدیدپذیر:** استفاده روزافزون از منابع انرژی تجدیدپذیر یک محرک اصلی برای سیستم‌های ذخیره‌سازی انرژی است. با توجه به ماهیت متناوب منابع انرژی تجدیدپذیر، سیستم‌های ذخیره‌سازی انرژی برای کمک به ذخیره انرژی اضافی در زمان‌های تولید بالا و آزادسازی آن در صورت نیاز، کلیدی هستند و انرژی تجدیدپذیر را قابل اطمینان‌تر و سازگارتر می‌کنند.
- **نوسازی شبکه:** زیرساخت‌های قدیمی و تقاضای فزاینده برای برق نیاز به نوسازی شبکه را برانگیخته است. سیستم‌های ذخیره‌سازی انرژی می‌توانند به بهبود قابلیت اطمینان و پایداری شبکه، کاهش نیاز به نیروگاه‌های جدید و پشتیبانی از یکپارچه‌سازی منابع انرژی توزیع‌شده و همچنین تمرکززدایی از تولید کمک کنند.
- **استقلال انرژی:** سیستم‌های ذخیره‌سازی انرژی می‌توانند به توانمندسازی مصرف‌کنندگان و کسب استقلال کمک کنند زیرا در هنگام قطع برق، برق پشتیبان را تأمین می‌کنند و وابستگی به شبکه را کاهش می‌دهند.
- **دغدغه‌های زیست‌محیطی:** نیاز به کاهش انتشار گازهای گلخانه‌ای و کاهش اثرات تغییرات آب و هوایی باعث رشد منابع انرژی تجدیدپذیر و سیستم‌های ذخیره انرژی می‌شود. ادغام و نوآوری در این بخش می‌تواند به مبارزه با رقابت برای کاهش اتکا به سوخت‌های فسیلی و ارتقای آینده انرژی پایدارتر کمک کند.

❖ طبقه‌بندی سیستم‌های ذخیره‌ساز

به‌طور کلی سیستم‌های ذخیره‌ساز از نظر ظرفیت توان و زمان پاسخ و مدت زمان ذخیره‌سازی در دسته‌بندی‌های گوناگون مقایسه می‌گردند. به این ترتیب، سیستم‌های با ظرفیت کمتر از ۱ مگاوات کوچک‌مقیاس، ۱۰ تا ۱۰۰ مگاوات متوسط مقیاس و بیش از ۳۰۰ مگاوات بزرگ‌مقیاس تلقی می‌شوند. جدول زیر کاربرد هر یک را بیان می‌دارد. به عنوان مثال به منظور استفاده مؤثر از انرژی خورشیدی و سایر منابع انرژی، سیستم‌های ذخیره‌سازی انرژی در مقیاس بزرگ که تعادل برق در شبکه را مختل نمی‌کنند، موردنیاز هستند.

| Category | Applications | Power Rating |
|--------------|---|---------------|
| Small Scale | Mobile Devices, Electric Vehicles, Satellites, etc. | ≤ 1 MW |
| Medium Scale | Office buildings, Remote communities, etc. | 10–100 MW |
| Large Scale | Power Plants, etc. | ≥ 300 MW |

❖ فن‌آوری‌های ذخیره‌سازی انرژی

سیستم‌های ذخیره‌سازی انرژی موضوعی پرطرفدار برای نوآوری انرژی در سال ۲۰۲۳ هستند، زیرا ادغام منابع انرژی تجدیدپذیر را تسهیل می‌نمایند و تمرکززدایی شبکه برق را ترویج می‌کنند. انواع شیمیایی^۵، الکتریکی^۶، جنبشی^۷، پتانسیل^۸ و حرارتی^۹ همگی می‌توانند برای ذخیره انرژی استفاده شوند. سیستم‌های ذخیره انرژی الکتریکی و حرارتی دو نوع رایج انرژی برای ذخیره‌سازی هستند. بسته به کاربرد، نوآوری‌ها و در دسترس بودن، انواع مختلفی از فناوری‌های ذخیره انرژی در حال حاضر رایج هستند. برخی از این نمونه‌ها عبارت‌اند از:

۱. باتری‌ها
۲. ذخیره‌سازی مبتنی بر انرژی حرارتی
۳. ذخیره‌سازی مکانیکی
۴. فناوری تلمبه-ذخیره‌ای
۵. ذخیره‌سازی مبتنی بر هیدروژن

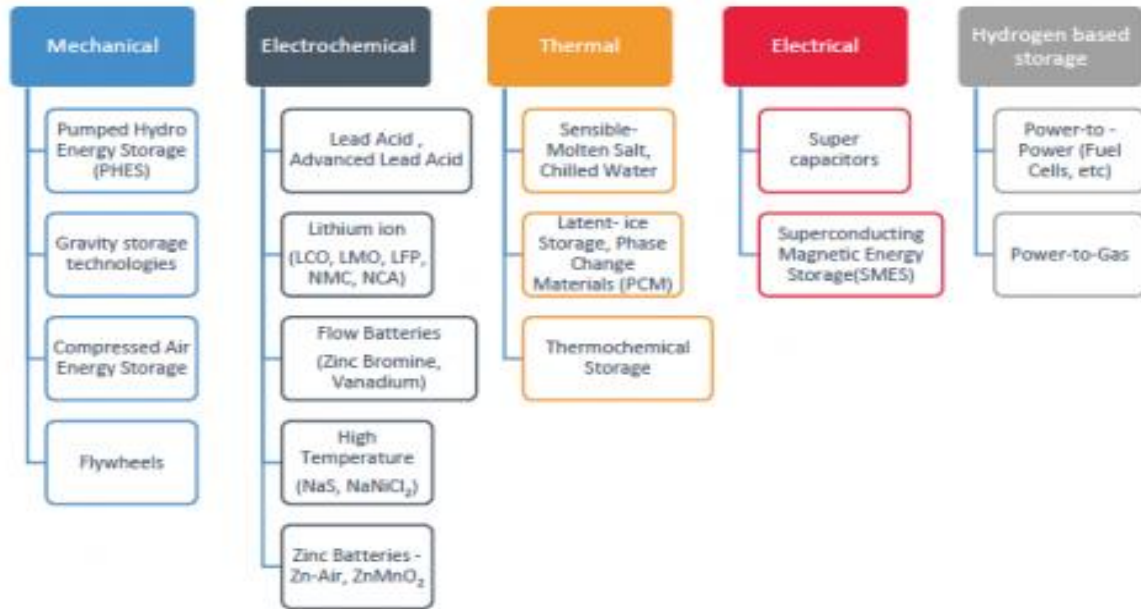
⁵ Chemical

⁶ Electrical

⁷ Kinetic

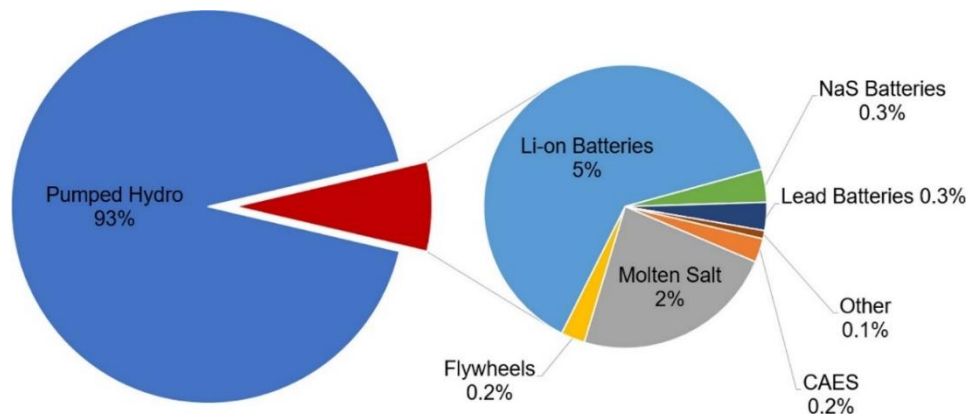
⁸ Potential

⁹ Thermal



طبقه‌بندی فناوری‌های ذخیره‌سازی انرژی

در شکل زیر درصد تفکیکی فناوری‌های ذخیره‌سازی انرژی پیاده‌سازی شده در جهان آورده شده است. همان‌طور که در شکل مشاهده می‌شود، دو فناوری ذخیره‌سازی انرژی با توجه به حوزه‌های استفاده از آن‌ها متمایز می‌شوند. اولین مورد فناوری تلمبه-ذخیره‌ای (PHES) و دومی باتری لیتیوم یون (LIB) برای کاربردهای متحرک است. در ادامه به توضیح اجمالی هر یک از سیستم‌های ذخیره‌ساز فوق‌الذکر پرداخته خواهد شد.



درصد تفکیکی فناوری‌های ذخیره‌سازی انرژی

۱. باتری‌ها

باتری‌ها، قدیمی‌ترین، رایج‌ترین و در دسترس‌ترین شکل ذخیره‌سازی و یک فناوری الکتروشیمیایی هستند که از یک یا چند سلول با یک ترمینال مثبت به نام کاتد و ترمینال منفی یا آند تشکیل شده است. باتری‌ها طیف وسیعی از مواد شیمیایی را در بر می‌گیرند. شناخته‌شده‌ترین و رایج‌ترین باتری در وسایل الکترونیکی و وسایل نقلیه قابل حمل، لیتیوم یون و اسید سرب هستند. انواع دیگر باتری‌های جامد نیکل-کادمیم^{۱۰} و سدیم-گوگرد^{۱۱} هستند، در حالی که باتری‌های روی-هوا^{۱۲} در حال ظهور است. دسته دیگر باتری‌های جریان^{۱۳} با محلول‌های الکترولیت مایع از جمله ردوکس وانادیوم^{۱۴} و ترکیبات شیمیایی آهن-کروم^{۱۵} و روی-برم^{۱۶} هستند. ابرخازن‌ها، اگرچه باتری نیستند، اما با توجه به کاربرد آن‌ها به‌ویژه برای پاسخ‌گویی در سطح زیر دقیقه، می‌توانند به عنوان یک فناوری الکتروشیمیایی طبقه‌بندی شوند. در ادامه به توضیح برخی از این انواع باتری‌ها می‌پردازیم.

• باتری لیتیوم یون^{۱۷}

امروزه *LIB* رایج‌ترین گزینه ذخیره‌سازی انرژی غیرثابت^{۱۸} است که نزدیک به ۹۰ درصد صنعت ذخیره‌سازی باتری شبکه جهانی را به خود اختصاص می‌دهد. *LIB* چگالی انرژی بالایی دارد و نسبت به سایر باتری‌های جایگزین سبک‌تر است. به دلیل این مزایا و کاهش روزبه‌روز هزینه‌های تولید، اغلب در وسایل نقلیه الکتریکی ترجیح داده می‌شود. توانایی *LIB* در ارائه جریان‌های بالا به سیستم به‌طور مداوم آن‌ها را به خط مقدم رقابت برای سیستم‌های ذخیره انرژی برق سوق داده است. یکی از پارامترهای مهم در هنگام تعریف ویژگی‌های *LIB*، نرخ C^{19} است و این پارامتر شامل اندازه‌گیری جریان شارژ و دشارژ با توجه به ظرفیت اسمی آن است. مطالعات و تحقیق و توسعه در حال انجام برای افزایش نرخ C در خودروهای الکتریکی از ۱ به ۴ یا بالاتر ادامه دارد. *LIB* به لطف فناوری‌های جدید از جمله جایگزینی گرافیت با سیلیکون برای بهبود ظرفیت باتری، با هدف ذخیره‌سازی طولانی‌مدت، رقابتی‌تر شده است. شایان‌ذکر است، امروزه، باتری‌های لیتیوم یونی به‌طور فزاینده‌ای برای ذخیره انرژی ثابت نیز مورد استفاده قرار می‌گیرند زیرا چگالی انرژی بالایی ارائه می‌دهند و می‌توانند مقادیر زیادی انرژی را در یک فضای نسبتاً کوچک ارائه دهند. باتری‌های لیتیوم یونی طول عمر بالاتری نسبت به اسید سرب دارند و همین امر، آن‌ها

¹⁰ Nickel-cadmium

¹¹ Sodium-sulphur

¹² Zinc-air

¹³ Flow battery

¹⁴ Vanadium redox

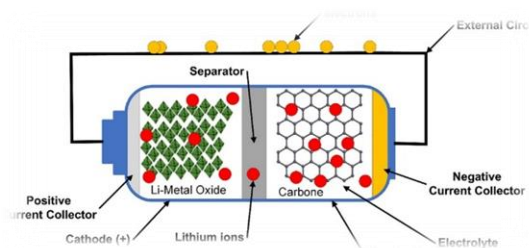
¹⁵ Iron-chromium

¹⁶ Zinc-bromine

¹⁷ Lithium-ion battery

¹⁸ Nonstationary

¹⁹ C-rate



را به راه حل مقرون به صرفه تری در طول عمر پروژه تبدیل می کند. علاوه بر این، محدوده دمای عملیاتی بالاتر آن‌ها نسبت به سایر باتری‌های شیمیایی، انعطاف‌پذیری طراحی بیشتری را هنگام گنجاندن ذخیره انرژی ثابت در سیستم‌های جدید یا موجود فراهم می‌سازد. به طور کلی، باتری‌های لیتیوم یونی به دلیل

ویژگی‌های منحصر به فردشان، گزینه‌ای عالی برای ذخیره‌سازی انرژی هستند و بازدهی بالا و چرخه عمر طولانی‌تری را ارائه می‌کنند. عناصر اصلی *LIB* ها در شکل نمایش داده شده است، که عبارت‌اند از:

- کلکتور جریان منفی: کلکتور جریان منفی الکترون‌ها را از مدار خارجی تخلیه کننده خازن دریافت می‌نماید.
- کلکتور جریان مثبت: کلکتور جریان مثبت الکترون‌ها را از مدار خارجی شارژ کننده خازن دریافت می‌نماید.
- کاتد: هنگامی که باتری در حال شارژ است، لیتیوم را ذخیره و یون‌های لیتیوم را منتشر می‌نماید.
- آند: همان‌طور که باتری در حال تخلیه است، لیتیوم را ذخیره و یون‌های لیتیوم را منتشر می‌نماید.
- جداکننده: یون‌های لیتیوم اجازه دارند آزادانه از آند به کاتد حرکت کنند و بالعکس. همچنین از جریان الکتریکی در داخل سیستم باتری جلوگیری می‌نماید.
- الکترولیت: مایع یا ژلی که به عنوان یک حامل لیتیوم یون عمل می‌نماید.

• باتری سرب اسید^{۲۰}



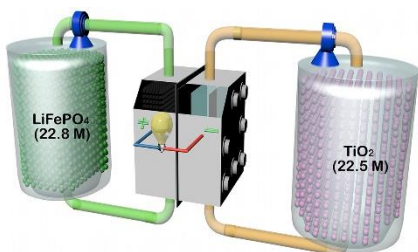
سرب اسید یکی از اولین و رایج‌ترین باتری‌هایی است که در فناوری‌های ذخیره انرژی مورد استفاده قرار می‌گیرد. اگرچه، به دلیل چگالی انرژی ضعیف و چرخه استفاده کم و طول عمر محدود، برای ذخیره انرژی شبکه در اولویت نیستند. در فرآیند اولیه، به دلیل هزینه‌هایشان برای خودروهایی الکتریکی ترجیح داده می‌شدند. اما اخیراً با عمر طولانی‌تر و چگالی انرژی بالا تا حد زیادی با *LIB* جایگزین شده است. با

وجود این معایب، به دلیل هزینه کم، جایگزین مهمی برای سیستم‌های ثابت است. علاوه بر این، داشتن تجربه قابل توجه در تولید و استقرار از جمله ویژگی‌های مثبت باتری‌های سرب اسیدی است. باتری‌های سرب اسید معمولاً برای ذخیره الکتریسیته اضافی مورد استفاده قرار می‌گیرند زیرا نسبت چگالی به وزن بسیار خوبی دارند و همچنین نگهداری از آن‌ها نسبتاً آسان است. باتری‌های سرب اسید معمولاً از دو الکتروود تشکیل شده‌اند. الکتروود مثبت که از دی‌اکسید سرب تشکیل شده است و الکتروود منفی که از سرب خالص تشکیل شده است. این الکتروودها با یک الکترولیت واکنش نشان می‌دهند که بار الکتریکی

²⁰ Lead-acid battery

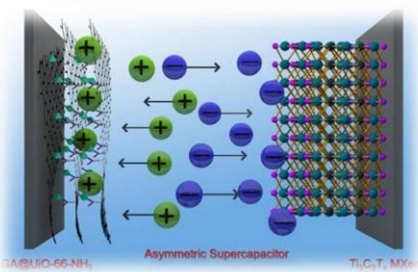
از آن‌ها اعمال شود یا از آن‌ها برداشته شود و در نتیجه انرژی ذخیره یا آزاد شود. اگرچه این نوع باتری‌ها به دلیل طول عمر کوتاهشان ممکن است فقط چند سال دوام بیاورند، اما پیشرفت‌های فناوری منجر به گزینه‌های ماندگارتر با کارایی کلی بیشتر نسبت به مدل‌های قبلی شده است.

• باتری جریان^{۲۱}



باتری جریان را می‌توان به عنوان یک رقیب *LIB* در نظر گرفت. باین‌حال، به دلیل معایب آن مانند چگالی انرژی کم، جایگزین ضعیفی به نظر می‌رسد. به همین دلیل، ممکن است جایگاه بسیار کمی در بازار، در کاربردهایی که به دوره‌های ذخیره انرژی طولانی‌مدت و عمر طولانی نیاز دارند، پیدا کنند. بنابراین، برای کاربردهایی که نیاز به انرژی مداوم دارند، مناسب هستند.

• ابرخازن^{۲۲}



ابرخازن (SC) برای ذخیره انرژی استفاده می‌شود و می‌تواند بار الکتریکی بسیار بیشتری را در مقایسه با خازن‌های الکترولیتی و خازن‌های معمولی ذخیره کند. SC انرژی را مانند خازن‌های سنتی ذخیره می‌نماید، اما برای آزادسازی و ذخیره‌سازی سریع انرژی مناسب‌تر است. SC انرژی الکتریکی را با استفاده از دو مکانیسم ذخیره می‌کند: خازن‌های دولایه^{۲۳} و شبه خازن^{۲۴}.

دولایه یا فوق خازن اصطلاحاتی هستند که در ادبیات برای توصیف آن‌ها استفاده می‌شود. SC یک فناوری ذخیره انرژی مهم و امیدوارکننده میان باتری‌ها و خازن‌های معمولی است. SC از نظر چرخه عمر نسبت به LIB ها دارای یک مزیت مهم است. LIB ها به‌طور متوسط دارای چرخه عمر ۵۰۰ تا ۱۰۰۰۰ سیکل هستند، درحالی‌که SC ها به‌طور متوسط دارای چرخه عمر ۱۰۰۰۰۰ تا ۱ میلیون سیکل می‌باشند. فناوری SC سریعاً در حال توسعه است و پتانسیل آن بسیار بالا است. SC به دلیل چگالی توان بالا و عملکرد موفقیت‌آمیز در دمای پایین، فناوری انتخابی برای برق پشتیبان^{۲۵}، شروع سرد^{۲۶}، دوربین‌های فلاش^{۲۷}، ترمز احیاکننده^{۲۸} و خودروهای الکتریکی هیبریدی^{۲۹} خواهد بود. رشد آتی فناوری SC تا حد زیادی به پیشرفت‌هایی

²¹ Flow battery

²² Supercapacitor

²³ Double-layer capacitance

²⁴ Pseudo capacitance

²⁵ Backup power

²⁶ Cold start

²⁷ Flash cameras

²⁸ Regenerative braking

²⁹ Hybrid electric vehicles

بستگی دارد که منجر به ارتقا چگالی انرژی، عمر چرخه و مهم‌تر از همه، کاهش هزینه تولید می‌گردد. با وجود این مزایا، SCها معایب قابل توجهی نیز دارند. در مقایسه با سایر فناوری‌های محبوب ذخیره‌سازی انرژی مانند LIB، میزان خود تخلیه^{۳۰} بیشتر است. این فناوری برای ذخیره انرژی طولانی‌مدت مناسب نیست، چرا که روزانه ۱۰ تا ۲۰ درصد از شارژ خود را برای این میزان خود تخلیه بالا از دست می‌دهد. مقایسه بین LIB و SC در جدول زیر آورده شده است.

| <i>Function</i> | <i>Supercapacitor</i> | <i>Lithium-ion battery</i> |
|----------------------------------|------------------------------|----------------------------|
| <i>Charge time</i> | <i>1-10 s</i> | <i>10-60 min</i> |
| <i>Cycle time</i> | <i>1 million or 30.000 h</i> | <i>500 and higher</i> |
| <i>Cell voltage</i> | <i>2.3-2.75 V</i> | <i>3.6-3.7 V</i> |
| <i>energy (Wh/kg) Specific</i> | <i>5 (typical)</i> | <i>100-200</i> |
| <i>Specific power (W/kg)</i> | <i>Up to 10 000</i> | <i>1000-3000</i> |
| <i>Cost per Wh</i> | <i>\$20</i> | <i>\$0.5-\$1.00</i> |
| <i>Service life (in vehicle)</i> | <i>10-15 years</i> | <i>5-10 years</i> |
| <i>Charge temperature</i> | <i>-40°C to 65°C</i> | <i>0°C to 45°C</i> |
| <i>Discharge temperature</i> | <i>-40°C to 65°C</i> | <i>-20°C to 60°C</i> |

۲. ذخیره‌سازهای حرارتی

اساس ذخیره‌سازی انرژی در سیستم‌های ذخیره انرژی حرارتی از نظر مفهومی با سیستم‌های ذخیره انرژی الکتروشیمیایی یا مکانیکی متفاوت است. ذخایر حرارتی در اصل شامل جذب و انتشار گرما یا سرما در یک جامد، مایع یا هوا است و به‌طور بالقوه شامل تغییراتی در وضعیت محیط ذخیره‌سازی است، به عنوان مثال از گاز به مایع یا جامد به مایع و بالعکس. این نوع از ذخیره‌سازها شامل ذخیره انرژی با نمک مذاب^{۳۱} و هوای مایع^{۳۲} یا ذخیره‌سازی برودتی^{۳۳} هستند. به عنوان مثال نمک مذاب با استفاده از انرژی خورشیدی متمرکز، از نظر تجاری قابل کاربرد و توجیه است. در ادامه به توضیح برخی انواع ذخیره‌سازهای حرارتی پرداخته خواهد شد.

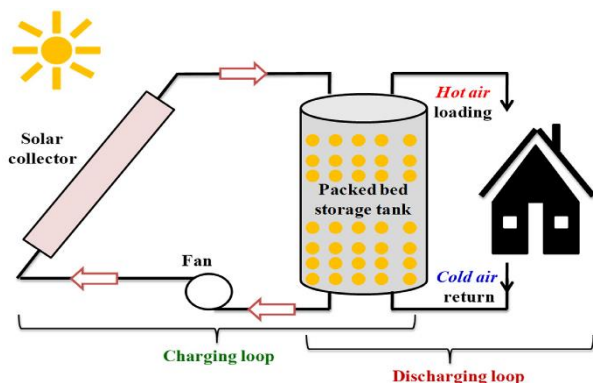
³⁰ Self-discharge

³¹ Molten salt

³² Liquid air

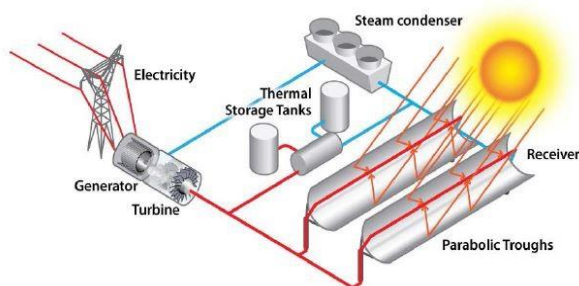
³³ Cryogenic storage

• ذخیره‌سازی حرارت محسوس^{۳۴}



انرژی موجود به شکل افزایش یا کاهش دمای یک ماده ذخیره می‌شود که می‌تواند برای تأمین نیاز گرمایش یا سرمایش استفاده شود. یکی از شناخته‌شده‌ترین فناوری‌ها از این نوع ذخیره‌سازی به کمک نمک مذاب است. این نوع ذخیره‌سازی عموماً در نیروگاه‌های انرژی خورشیدی متمرکز^{۳۵} (CSP) صورت می‌پذیرد، که در آن گرمای تولیدشده برای افزایش دمای نمک مذاب استفاده می‌شود. یکی دیگر از فناوری‌های مهم در این فضا ذخیره آب گرم و سرد است. این روش مخصوصاً در مواردی که بخش بزرگی از بار الکتریکی برای کاربردهای گرمایش یا سرمایش فضا مصرف می‌گردد، مناسب است.

• ذخیره‌سازی گرمای نهان^{۳۶}



در این سیستم‌ها، انرژی در ماده‌ای ذخیره می‌شود که با ذخیره و آزادسازی انرژی، دچار تغییر فاز (انتقال بین جامد و مایع) می‌شود. به عنوان مثال می‌توان به مخازن ذخیره یخ برای کاربردهای خنک‌کننده خانگی یا صنعتی اشاره کرد. در طول دوره‌های انرژی اضافی و تقاضای کم (معمولاً در شب)، آب مایع به یخ تبدیل شده و در مخازن بزرگ ذخیره می‌گردد. هنگامی که بار خنک‌کننده^{۳۷} در طول روز و بعد از ظهر

افزایش می‌یابد، یخ ذوب می‌شود تا خنک‌کننده فضا برای ساختمان‌های متصل فراهم شود. دو شرکت فعال در این فضا Calmac و Ice Bear Energy Systems هستند. نوع دیگری از فناوری در این دسته مواد تغییر فاز^{۳۸} (PCM) است. PCM ها ترکیبات خاصی از مواد هستند که در دمای خاصی ذوب می‌شوند.

• ذخیره‌سازی ترموشیمیایی^{۳۹}

³⁴ Sensible Heat Storage

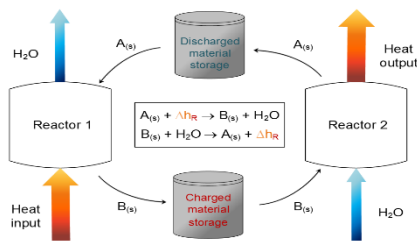
³⁵ Concentrated Solar Power

³⁶ Latent Heat Storage

³⁷ Cooling load

³⁸ Phase change materials

³⁹ Thermochemical Storage

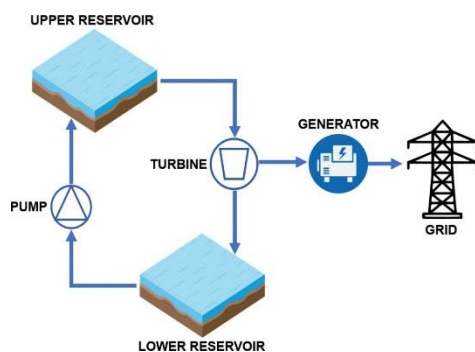


دسته سوم ذخیره‌سازی حرارتی شامل ذخیره انرژی در واکنش‌های شیمیایی برگشت‌پذیر است. در مقایسه با دو فناوری دیگر، این فناوری بسیار فشرده‌تر و سبک‌تر هستند. انواع مختلفی از این فناوری وجود دارد که اکثر آن‌ها در حال حاضر در مرحله توسعه نمونه اولیه هستند.

۳. ذخیره‌سازهای مکانیکی

سیستم‌های ذخیره‌سازی مکانیکی بدون شک ساده‌ترین ذخیره‌سازها هستند و از نیروهای جنبشی چرخش^{۴۰} یا گرانش برای ذخیره انرژی استفاده می‌کنند. اما مورد توجه بودن در کاربردهای شبکه امروزی مستلزم استفاده از آخرین فناوری‌ها است. در این زمینه، گزینه‌های اصلی ذخیره انرژی با چرخ‌های طیار^{۴۱} و سیستم‌های هوای فشرده^{۴۲} است، در حالی که انرژی گرانشی یک فناوری نوظهور در دست توسعه است.

• فناوری تلمبه-ذخیره‌ای^{۴۳}



ذخیره‌سازی انرژی با سیستم‌های تلمبه-ذخیره ای مبتنی بر مخازن بزرگ آب به طور گسترده در طول قرن گذشته به کار گرفته شده است تا به رایج‌ترین شکل ذخیره‌سازی در مقیاس صنعتی در سطح جهانی تبدیل شود. چنین سیستم‌هایی نیاز به چرخش آب بین دو مخزن در سطوح مختلف با "ذخیره انرژی" در آب در مخزن بالایی دارند که با رها شدن آب به مخزن پایینی آزاد می‌شود. اصل کار PHES اساساً با تبدیل انرژی پتانسیل و

انرژی جنبشی است. نیروی گرانش در تکنولوژی PHES استفاده می‌شود. در صورت نیاز، آب موجود در مخزن بالا با نیروی گرانش به مناطق کم‌ارتفاع هدایت می‌شود و بنابراین انرژی الکتریکی، با راندن توربین‌ها به دست می‌آید. در فرآیند ذخیره انرژی، این فرآیند برعکس می‌شود. آب در مخزن پایینی به منطقه بالاتر منتقل و به عنوان انرژی پتانسیل در قسمت بالایی ذخیره می‌شود. تصویر سیستم PHES در شکل زیر آورده شده است. در فناوری PHES، پیچیدگی کم و هزینه کم نگهداری، دلیل اصلی هزینه کم عملیات اجرایی روش PHES است.

با آخرین پیشرفت‌های تکنولوژیکی در این زمینه، امکانات PHES نسبت به نیازهای شبکه برق حساس‌تر شده و می‌تواند با توجه به تغییر تقاضای انرژی سریع‌تر پاسخ دهند. علاوه بر این، کنترل سرعت متغیر در حین اجرا در ساختارهای حلقه بسته

⁴⁰ Kinetic forces of rotation

⁴¹ Flywheels

⁴² Compressed air systems

⁴³ Pumped hydroelectric energy storage

نیز مجاز است. سازه‌های پمپاژ حلقه بسته را می‌توان بدون نیاز به منبع آب با جریان مداوم به کار گرفت و بنابراین تحرک بسیار بیشتری را می‌توان برای محلی‌سازی^{۴۴} سیستم‌های ذخیره انرژی فراهم نمود.

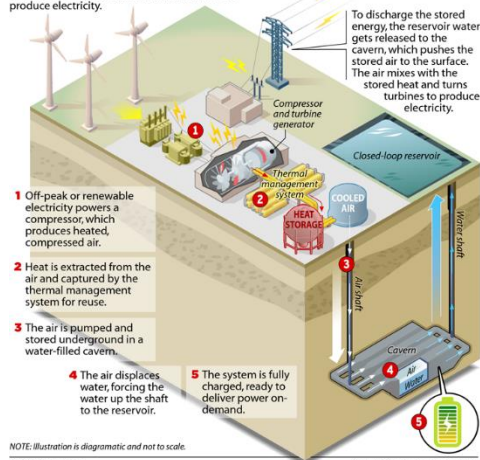
• ذخیره ساز هوای فشرده

Compressed Air Energy Storage

Hydrostor, a Canadian company, is developing a form of compressed air energy storage that can discharge electricity for up to eight hours at a time, with no fossil fuels and no greenhouse gas emissions. This is one of many technologies that are competing to meet the need for long-duration energy storage.

HOW HYDROSTOR'S PLANT WOULD WORK

The plant compresses air and stores it underground, with separate equipment to store heat from the compression process. Later on, the air returns to the surface, mixes with the stored heat and then turns turbines to produce electricity.



NOTE: Illustration is diagrammatic and not to scale.

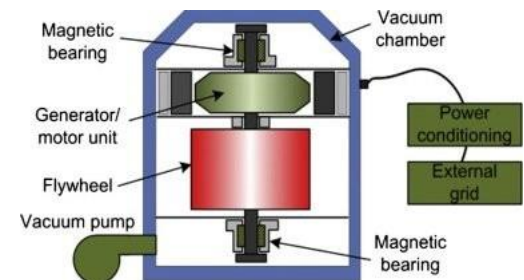
SOURCE: Hydrostor

PAUL HORN / Inside Climate News

ذخیره‌سازی انرژی هوای فشرده (CAES) فناوری است که از فشار هوا برای ذخیره انرژی استفاده می‌نماید. هوا در مواقعی که برق به دلیل تقاضای کم انرژی ارزان است به فضای زیرزمینی که معمولاً غار نمکی^{۴۵} است، پمپ می‌شود. هنگامی که انرژی الکتریکی مورد نیاز است، هوای ذخیره شده به تأسیسات هدایت و در آنجا گرم و منبسط می‌گردد. هوا با گرم شدن آزاد می‌شود تا ژنراتور توربین گازی را به حرکت درآورد. بیشترین سوخت مورد استفاده برای این مکانیسم، گرمایش گاز طبیعی است که منجر به انتشار کربن می‌گردد. از سوی دیگر، CAES می‌تواند سه برابر تولید برق نیروگاه‌های گاز طبیعی تولید داشته باشد. راندمان انرژی تا ۷۰٪ در صورتی حاصل می‌شود که گرمای ناشی از فشار هوا را بتوان با این

سیستم ذخیره انرژی پوشش داد و در غیر این صورت، راندمان ذخیره انرژی این سیستم‌ها بین ۴۰٪ تا ۵۵٪ متغیر است.

• ذخیره ساز چرخ طیار^{۴۶}



برخلاف سایر اشکال ذخیره انرژی که به واکنش‌های شیمیایی در سیستم باتری متکی هستند، فناوری چرخ طیار با استفاده از پره‌های روتور در حال چرخش در داخل خلاء کار می‌کنند. فلاپیول‌ها در مقایسه با بانک‌های باتری معمولی، نرخ پاسخ‌دهی بسیار سریع‌تری را ارائه می‌کنند که در طول زمان تخریب قابل توجهی ندارند. در خانه‌ها به ندرت فلاپیول نصب می‌کنند زیرا می‌توانند فضای قابل توجهی را اشغال کنند.

44 Localization

45 Salt cave

46 Flywheel

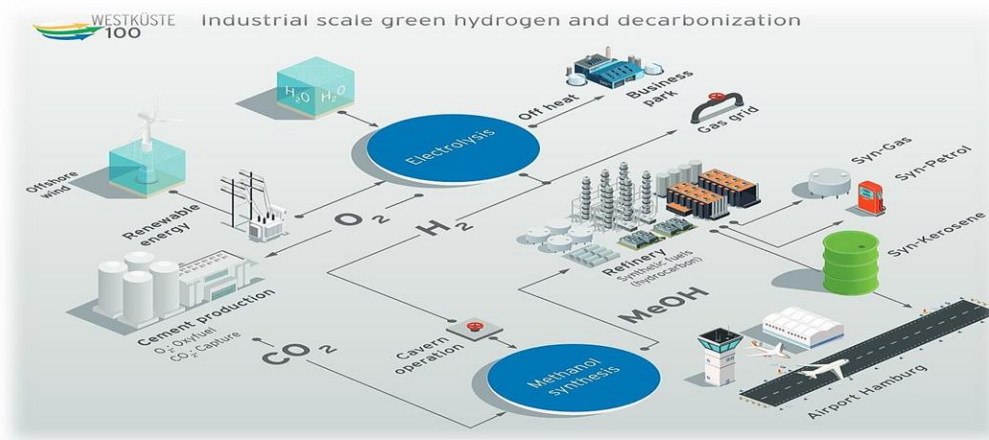
• فن‌آوری‌های ذخیره‌سازی گرانشی^{۴۷}



فن‌آوری‌های ذخیره انرژی مبتنی بر گرانش از همان اصل سیستم‌های PHS استفاده می‌کنند. باین‌حال، تفاوت مهم این است که سیمان یا آجر یا سنگ به عنوان جرم در حال حرکت به سمت بالا یا پایین به جای آب استفاده می‌شود. مزیت مهم این امر این است که اندازه سیستم‌ها به دلیل چگالی بیشتر این جامدات در مقایسه با آب بسیار کوچک‌تر است. علاوه بر این، می‌توان از نیاز به ویژگی‌های خاص زمین‌شناسی اجتناب کرد.

۴. ذخیره‌ساز هیدروژنی

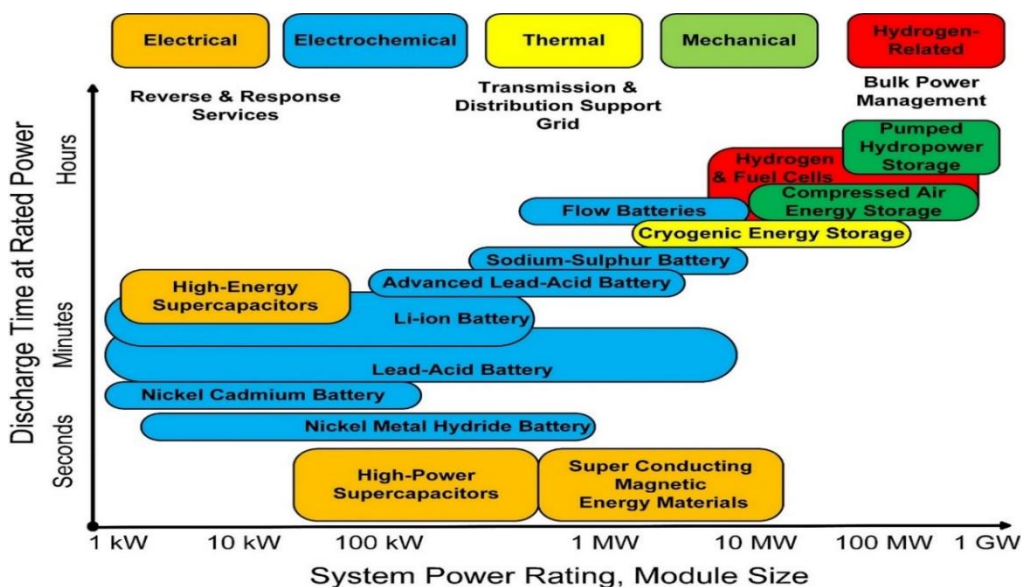
ذخیره انرژی با هیدروژن، هنوز در حال ظهور است. مفهوم اساسی فناوری‌های ذخیره‌سازی هیدروژن استفاده از الکتریسیته برای انجام الکترولیز آب برای تولید هیدروژن و اکسیژن است. هیدروژن تولیدشده در ظروف فشار قوی ذخیره می‌شود و در ادامه می‌تواند به عنوان سوخت برای احتراق مستقیم (کاربردهای پخت‌وپز و گرمایش) یا برای تولید برق از طریق پیل‌های سوختی PEM به منظور عرضه به کاربردهای نوظهور مانند حمل‌ونقل، صنعت یا مسکونی به عنوان مکمل یا جایگزینی برای گاز قرار گیرد، استفاده شود.



⁴⁷ Gravity Storage Technologies

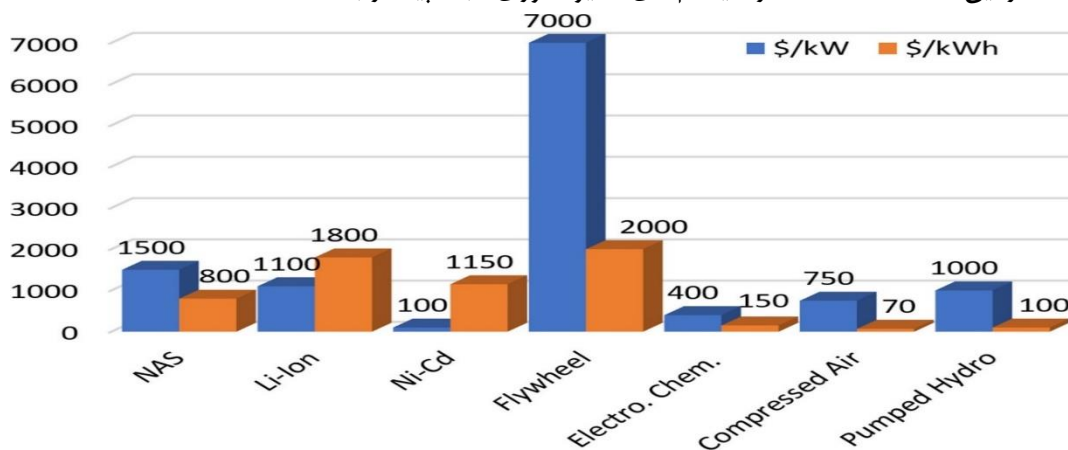
❖ طبقه‌بندی فن‌آوری‌های ذخیره‌سازی انرژی

به منظور طبقه‌بندی فن‌آوری‌های ذخیره‌سازی انرژی چند پارامتر اساسی در نظر گرفته می‌شود، از جمله حوزه مصرف، زمان تخلیه و ظرفیت‌ها که در شکل زیر نمایش داده شده است.



طبقه‌بندی فناوری‌های ذخیره‌سازی برحسب زمان دشارژ و نوع

یکی دیگر از پارامترهای کلیدی در فرآیند انتخاب، هزینه ذخیره انرژی در هر کیلووات است. مقایسه هزینه تکنولوژی‌های متداول ذخیره‌سازی انرژی در شکل زیر بیان شده است. به این ترتیب، PHEs ارزان‌ترین هزینه سرمایه‌گذاری برای ذخیره‌سازی را در پی خواهد داشت. همچنین ظرفیت ذخیره‌سازی و زمان تخلیه بسیار بالایی دارد. با این ویژگی‌های مهم، یک نتیجه قابل انتظار این است که PHEs در سیستم‌های ذخیره انرژی ثابت پیش‌تاز باشد.



طبقه‌بندی فناوری‌های ذخیره‌سازی برحسب هزینه

عوامل زیادی در انتخاب فناوری‌های ذخیره انرژی وجود دارد. همان‌طور که فناوری‌های تولید انرژی روزبه‌روز توسعه می‌یابند، فناوری‌های ذخیره‌سازی نیز مرتباً در حال توسعه هستند. پارامترهای مهمی مانند زمان پاسخ^{۴۸} و کارایی^{۴۹} سیستم ذخیره انرژی، فرآیند انتخاب را به‌طور قابل‌توجهی تحت تاثیر قرار می‌دهند. رایج‌ترین و بزرگ‌مقیاس‌ترین فناوری‌های ذخیره‌سازی انرژی با پارامترهای مشخصه آن‌ها در جدول زیر آورده شده است.

| Energy storage technology | Max power rating (MW) | Discharge time | Max cycles or lifetime | Energy density (Wh/L) | Efficiency |
|---------------------------|-----------------------|----------------|------------------------|-----------------------|------------|
| PHES | 3000 | 4-16 h | 30-60 years | 0.2-2 | 70%-85% |
| CAES | 1000 | 2-30 h | 20-40 years | 2-6 | 40%-70% |
| Molten salt (thermal) | 150 | h | 30 years | 70-210 | 80%-90% |
| LIB | 100 | 1 min-8 h | 1000-10 000 | 200-400 | 85%-95% |
| LAB | 100 | 1 min-8 h | 6-40 years | 50-80 | 80%-90% |
| FB | 100 | hours | 12 000-14 000 | 20-70 | 60%-85% |
| HFC | 100 | min-wk | 5-30 years | 600 (at 200 bar) | 25%-45% |
| Flywheel | 20 | s-min | 20 000-100 000 | 20-80 | 70%-95% |

توانمندی PHES در پارامترهایی مانند راندمان، طول عمر^{۵۰}، حداکثر توان مصرفی^{۵۱}، به چشم می‌خورد. به این ترتیب، نتیجه مورد انتظار این است که PHES در سراسر جهان در برنامه‌های ثابت استفاده شود. بهره‌وری^{۵۲} یکی دیگر از ویژگی‌های مهم برای سیستم EES است و نسبت بهره‌وری انرژی به سیستم PHES حدود ۸۰ درصد می‌باشد. زمان پاسخگویی PHES در حد ثانیه است و با پیشرفت‌های فناوری روزبه‌روز سریع‌تر می‌شود. اما یکی از معایب اصلی PHES هزینه‌های بالای سرمایه‌گذاری است. با توجه به افزایش ساختار شبکه و استفاده از منابع انرژی جایگزین، پیش‌بینی می‌شود که استفاده از سیستم PHES و مطالعات نوآورانه در این زمینه افزایش یابد. از آنجایی که شبکه برق از انواع مختلفی از بارها و منابع انرژی تشکیل شده است، هر راه‌حل ابتکاری برای بهبود کیفیت انرژی مصرف‌کننده نهایی مهم و قابل توجه است. نمایش شبکه برق با سیستم‌های ذخیره انرژی در شکل زیر نمایش داده شده است.

⁴⁸ Response time

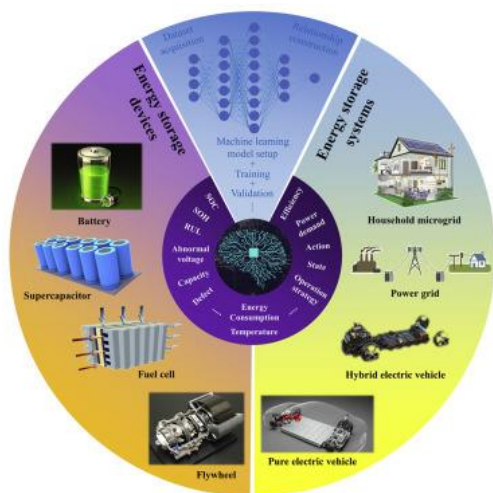
⁴⁹ Efficiency

⁵⁰ lifetime

⁵¹ max power rating

⁵² Efficiency

❖ افق پیش‌روی ذخیره‌سازهای انرژی



همه فن‌آوری‌های ذخیره‌سازی در حال نوآوری برای بهبود کارایی و کاهش هزینه هستند. به عنوان مثال، مواد جدیدی مانند گرافن^{۵۳} و سایر مواد مبتنی بر مفاهیم نانو، چشم‌انداز سطح جدیدی از کارایی را در ابرخازن‌ها و ذخیره‌سازی حرارتی ارائه می‌دهند. رقابت و صرفه‌جویی در مقیاس نیز محرک دیگری برای کاهش هزینه‌ها می‌باشد. کمیسیون گذار انرژی^{۵۴} در برنامه خود پیش‌بینی می‌کند که در آینده به یک سیستم انرژی، صددرصد کاراً در سال ۲۰۵۰ می‌رسد. هم‌چنین طبق اعلام این کمیسیون، سه فناوری ذخیره‌سازی می‌توانند در درازمدت پیش‌تاز باشند. اگرچه بدیهی

است که گزینه‌های دیگر بدون استقبال نخواهند بود، اما ترکیب بهینه فناوری‌ها به موارد استفاده فردی و بازار و شرایط دیگر بستگی دارد. این سه فناوری عبارت‌اند از: لیتیوم یون برای تعادل کوتاه مدت و روزانه، فناوری تلمبه-ذخیره‌ای و ذخیره‌سازهای هیدروژنی برای نیازهای طولانی‌مدت. هم‌چنین این کمیسیون بیان می‌دارد که تا سال ۲۰۴۰، در بحث تعادل فناوری‌های مختلف ذخیره‌سازی انرژی ممکن است سهم بسیار مهمی مختص به فناوری لیتیوم یون باشد. سهم محدودی برای چرخ‌های طیار برای مدت زمان کم و فرکانس‌های تخلیه بالا، سهم مهمی مربوط به فناوری تلمبه-ذخیره‌ای برای بازه ۱۶ تا ۶۰ ساعت، هوای فشرده برای مدت طولانی‌تر و سهمی نیز برای هیدروژن در پیل‌های سوختی پیش‌بینی می‌شود. این بخش نوظهور صنعت در سال ۲۰۲۱ حدود ۲۱۰ میلیارد دلار ارزش‌گذاری شد و طبق پیش‌بینی‌های صورت گرفته، این مقدار تا سال ۲۰۳۰ به حدود ۴۰۰ میلیارد دلار افزایش خواهد یافت. سیستم‌های ذخیره‌سازی انرژی با گذار جهان به آینده انرژی پایدارتر اهمیت بیشتری پیدا می‌کنند. نوآوری در سیستم‌های ذخیره‌سازی انرژی می‌تواند به کاهش انتشار گازهای گلخانه‌ای، بهبود پایداری و قابلیت اطمینان شبکه و افزایش دسترسی و امنیت انرژی کمک کند.

منابع:

- March 20, 2023 - Future Electronics
- *Infineon Estimate 2022e*
- altestore.com
- smart-energy
- etn.news
- Catalbas, MC. Impacts of COVID-19 pandemic on electrical energy storage technologies. *Energy Storage*. 2022

⁵³ Graphene

⁵⁴ Energy Transitions Commission

آینده ذخیره‌سازی در مقیاس شبکه

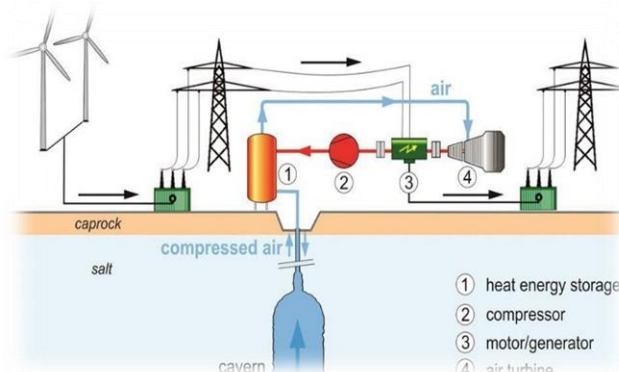


ذخیره‌سازی در مقیاس شبکه به فناوری‌های متصل به شبکه برق اشاره دارد که می‌تواند انرژی را ذخیره کند و سپس آن را در زمان سودمندتر به شبکه برگرداند. به عنوان مثال، با گسترش تولید برق تجدیدپذیر، در شب، زمانی که نور خورشیدی در دسترس نیست، یا در طول یک رویداد آب و هوایی که در تولید برق اختلال ایجاد می‌کند. پرکاربردترین فناوری ذخیره‌سازی تلمبه-ذخیره ای است که در آن آب به یک مخزن پمپ می‌شود و سپس برای تولید برق در زمان متفاوتی رها می‌شود، اما این کار فقط در مکان‌های خاصی قابل انجام است. باتری‌ها در حال حاضر نقش رو به رشدی ایفا می‌کنند، زیرا می‌توانند در هر مکانی با ظرفیت‌های مختلف نصب شوند.

❖ چالش‌های ذخیره‌سازی باتری

ذخیره‌سازی باتری در مقیاس شبکه باید به‌طور قابل توجهی رشد کند تا در مسیر سناریوی *Net Zero* قرار گیرد. در حالی که هزینه‌های باتری در سال‌های اخیر به دلیل افزایش تولید خودروهای الکتریکی به شدت کاهش یافته است، اختلالات بازار و رقابت از سوی سازندگان خودروهای الکتریکی منجر به افزایش هزینه‌ها برای مواد معدنی کلیدی مورد استفاده در تولید باتری، به‌ویژه لیتیوم شده است. اکنون آشکار شده است که کاهش بیشتر هزینه‌ها نه تنها به نوآوری‌های تکنولوژیکی، بلکه به قیمت مواد معدنی باتری نیز بستگی دارد.

❖ شرایط فعلی ذخیره‌سازی در مقیاس شبکه



ذخیره‌سازی در مقیاس شبکه نقش مهمی در سناریوی انتشار خالص صفر تا سال ۲۰۵۰ ایفا می‌کند و خدمات سیستمی مهمی را ارائه می‌دهد که از ذخایر تعادلی و عملیاتی کوتاه‌مدت، خدمات جانبی برای پایداری شبکه و به تعویق انداختن سرمایه‌گذاری در خطوط جدید انتقال و توزیع تا ذخایر تعادلی طولانی مدت را شامل می‌شود. فناوری تلمبه-ذخیره ای پرکاربردترین فناوری ذخیره-

سازی است و پتانسیل اضافی قابل توجهی در چندین منطقه دارد. باتری‌ها مقیاس‌پذیرترین نوع ذخیره‌سازی در مقیاس شبکه هستند و بازار آن در سال‌های اخیر رشد زیادی داشته است. سایر فناوری‌های ذخیره‌سازی مانند هوای فشرده و ذخیره‌سازی گرانشی، نقش نسبتاً کمی در سیستم‌های برق فعلی دارند. علاوه بر این، هیدروژن یک فناوری نوظهور است که پتانسیل ذخیره‌سازی فصلی انرژی‌های تجدیدپذیر را دارد. در حالی که پیشرفت ذخیره‌سازها قابل مشاهده است، اما رشد پیش‌بینی شده در ظرفیت ذخیره‌سازی در مقیاس شبکه در حال حاضر مطابق با سناریوی خالص صفر نیست و به تلاش‌های بیشتری نیاز دارد.

❖ کشورهای پیشرو در ذخیره‌سازی در مقیاس شبکه

- کشورها و مناطقی که پیشرفت قابل توجهی برای پیشبرد توسعه دارند عبارت‌اند از:
- در ژوئیه ۲۰۲۱، چین برنامه‌های خود را برای نصب بیش از ۳۰ گیگاوات ذخیره انرژی تا سال ۲۰۲۵ (به استثنای نیروگاه‌های تلمبه-ذخیره ای) اعلام کرد که افزایش بیش از سه برابری ظرفیت نصب‌شده آن تا سال ۲۰۲۲ است. چین در سال ۲۰۲۲ با نصب و راه‌اندازی سالانه نزدیک به ۵ گیگاوات، بازار را در زمینه افزایش ذخیره‌سازی باتری در مقیاس شبکه رهبری کرد.
 - این امر با جدیت توسط ایالات متحده دنبال شد که در یک سال (۲۰۲۲) معادل ۴ گیگاوات را راه‌اندازی نمود. قوانین جدید و تصمیمات اتخاذ شده نویدبخش افزایش بیشتر استقرار در آینده است.
 - در پیش‌نویس طرح ملی برق هند که در سپتامبر ۲۰۲۲ منتشر شد، این کشور اهداف بلندپروازانه‌ای را برای توسعه ذخیره انرژی باتری با ظرفیت تخمینی بین ۵۱ تا ۸۴ گیگاوات نصب‌شده تا سال ۲۰۳۱-۳۲ در نظر گرفته است.
 - در مارس ۲۰۲۳، کمیسیون اروپا مجموعه‌ای از توصیه‌ها را در مورد اقدامات سیاستی برای حمایت از استقرار بیشتر ذخیره‌سازی برق در اتحادیه اروپا منتشر کرد.

- در دسامبر ۲۰۲۲، آژانس انرژی‌های تجدیدپذیر استرالیا (ARENA) حمایت مالی را برای مجموع ۲ گیگاوات/۴.۲ گیگاوات ساعت ظرفیت ذخیره‌سازی در مقیاس شبکه، مجهز به اینورترهای تشکیل‌دهنده شبکه برای ارائه خدمات ضروری سیستمی که در حال حاضر توسط نیروگاه‌های حرارتی عرضه می‌شود، اعلام کرد. فناوری تلمبه-ذخیره ای همچنان پرکاربردترین فناوری ذخیره‌سازی است، اما باتری‌های در مقیاس شبکه در حال افزایش هستند. مجموع ظرفیت نصب‌شده فناوری تلمبه-ذخیره ای در حدود ۱۶۰ گیگاوات در سال ۲۰۲۱ بود. ذخایر جهانی این فناوری در سال ۲۰۲۰ حدود ۸۵۰۰ گیگاوات ساعت بود که بیش از ۹۰ درصد کل ذخیره‌سازی جهانی برق را تشکیل می‌داد. بزرگ‌ترین ظرفیت جهان در ایالات‌متحده یافت می‌شود. اکثر نیروگاه‌هایی که امروزه در حال کار هستند برای تأمین تعادل روزانه استفاده می‌شوند. با این حال، باتری‌های در مقیاس شبکه در حال افزایش هستند. اگرچه در حال حاضر بسیار کوچک‌تر از ظرفیت فناوری تلمبه-ذخیره ای است، پیش‌بینی می‌شود که باتری‌های در مقیاس شبکه بیشترین رشد ذخیره‌سازی در سراسر جهان را به خود اختصاص دهند. باتری‌ها معمولاً برای بالانس ساعتی و روزانه استفاده می‌شوند. مجموع ظرفیت ذخیره‌سازی باتری در مقیاس شبکه نصب‌شده در پایان سال ۲۰۲۲ نزدیک به ۲۸ گیگاوات بود که بیشتر آن در طول ۶ سال گذشته اضافه شد. در مقایسه با سال ۲۰۲۱، تأسیسات در سال ۲۰۲۲ بیش از ۷۵ درصد افزایش یافت، زیرا حدود ۱۱ گیگاوات به ظرفیت ذخیره‌سازی اضافه شد. ایالات‌متحده و چین رهبری بازار را به عهده داشتند و هرکدام در مقیاس گیگاوات به افزایش ظرفیت دست یافتند.
- ترکیب فناوری باتری در مقیاس شبکه در سال ۲۰۲۲ تا حد زیادی نسبت به سال ۲۰۲۱ بدون تغییر باقی ماند. ذخیره‌سازی باتری لیتیوم یون همچنان به‌طور گسترده مورد استفاده قرار می‌گرفت و اکثر ظرفیت جدید نصب‌شده را تشکیل می‌داد. افزایش سریع مقیاس سیستم‌های ذخیره‌سازی انرژی برای رسیدگی به تنوع ساعت‌به‌ساعت تولید برق بادی و خورشیدی *PV* در شبکه بسیار مهم است، به‌ویژه که سهم آن‌ها از تولید به‌سرعت در سناریوی Net-Zero افزایش می‌یابد. برآورده کردن نیازهای افزایش انعطاف‌پذیری در حالی است که کربن‌زدایی تولید برق یک چالش اصلی برای بخش برق است. بنابراین باید از همه منابع انعطاف‌پذیر، از جمله تقویت شبکه، پاسخ طرف تقاضا، باتری‌های در مقیاس شبکه و فناوری تلمبه-ذخیره‌ای استفاده شود.
- ذخیره‌سازی باتری در مقیاس شبکه به‌طور خاص نیاز به رشد قابل‌توجهی دارد. در سناریوی خالص صفر، ظرفیت ذخیره‌سازی باتری در مقیاس شبکه نصب‌شده بین سال‌های ۲۰۲۲ تا ۲۰۳۰، ۳۵ برابر افزایش می‌یابد و به نزدیک به ۹۷۰ گیگاوات می‌رسد. تنها در سال ۲۰۳۰ حدود ۱۷۰ گیگاوات به ظرفیت اضافه می‌شود که از ۱۱ گیگاوات در سال ۲۰۲۲ افزایش یافته است. برای دستیابی به سناریوی Net-Zero، اضافه شدن سالانه باید به میزان قابل‌توجهی افزایش یابد و به‌طور متوسط نزدیک به ۱۲۰ گیگاوات در سال در دوره ۲۰۲۳-۲۰۳۰ برسد.

❖ نوآوری و سرمایه‌گذاری

در حالی که نوآوری در باتری‌های لیتیوم یون ادامه دارد، کاهش هزینه بیشتر به قیمت‌های معدنی حیاتی بستگی دارد. بر اساس ملاحظات هزینه و چگالی انرژی، باتری‌های فسفات آهن لیتیوم^{۵۵}، زیرمجموعه‌ای از باتری‌های لیتیوم یونی، هنوز انتخاب ارجح برای ذخیره‌سازی در مقیاس شبکه هستند. مواد شیمیایی متراکم انرژی برای باتری‌های لیتیوم یون، مانند آلومینیوم نیکل کبالت (NCA) و کبالت نیکل منگنز (NMC)، برای ذخیره‌سازی انرژی خانگی و سایر کاربردها که فضا محدود است، محبوب هستند.

علاوه بر باتری‌های لیتیوم یونی، باتری‌های جریان می‌توانند به‌عنوان یک فناوری پیشرفت‌کننده برای ذخیره‌سازی ثابت ظاهر شوند، زیرا به مدت ۲۵ تا ۳۰ سال کاهش عملکرد را نشان نمی‌دهند و می‌توانند با سرمایه‌گذاری محدود بر اساس نیازهای ذخیره‌سازی انرژی متناسب شوند. در ژوئیه ۲۰۲۲ بزرگ‌ترین باتری جریان ردوکس وانادیوم جهان در چین با ظرفیت ۱۰۰ مگاوات و حجم ذخیره‌سازی ۴۰۰ مگاوات ساعت راه‌اندازی شد.

علاوه بر این، تأثیرات جنگ روسیه و اوکراین در بازار فلزات باتری نیز آشکار است. هر دو مواد کاتدی (نیکل و کبالت) و آند (گرافیت) تحت تأثیر قرار می‌گیرند. روسیه بزرگ‌ترین تولیدکننده نیکل کلاس ۱ برای باتری^{۵۶} است که ۲۰ درصد از استخراج معدنی جهان را به خود اختصاص می‌دهد. هم‌چنین به ترتیب دومین و چهارمین تولیدکننده کبالت و گرافیت است. از اسپودومن^{۵۷} استخراج‌شده تا کربنات و هیدروکسید لیتیوم با خلوص بالا، قیمت هر جزء از زنجیره ارزش لیتیوم از ابتدای سال ۲۰۲۱ افزایش یافته است. این مقدار در مقایسه با سال ۲۰۲۱، ۷ درصد افزایش یافته است. تنها در سه‌ماهه اول سال ۲۰۲۳ مقداری سکون مشاهده شد.

سرمایه‌گذاری در مقیاس شبکه برای ذخیره‌سازی باتری در اقتصادهای پیشرفته از جمله چین افزایش یافته است، در حالی که سرمایه‌گذاری در نیروگاه‌های تلمبه-ذخیره‌ای بیشتر در چین انجام می‌شود. سرمایه‌گذاری جهانی در ذخیره‌سازی انرژی باتری در سال ۲۰۲۲ از ۲۰ میلیارد دلار فراتر رفت، عمدتاً در استقرار در مقیاس شبکه، که بیش از ۶۵ درصد از کل هزینه‌ها در سال ۲۰۲۲ را تشکیل می‌داد. این مقدار بر اساس خط راهبرد پروژه‌ها و اهداف ظرفیت جدید تعیین شده توسط دولت‌ها، در سال ۲۰۲۳ از ۳۵ میلیارد دلار فراتر می‌رود.

منابع:

- energy.ec.europa.eu
- iea.org

55 Lithium iron phosphate
56 Battery-grade Class 1 nickel
57 Spodumene

راهبرد ذخیره‌سازهای انرژی در ایالات متحده



مطالعه آینده ذخیره‌سازی^{۵۸} (SFS) بسته به نحوه عملکرد آن‌ها و خدماتی که برای شبکه ارائه می‌دهند، قابل تحلیل است. در این زمینه NREL بطور اساسی ذخیره‌سازی انرژی را در حفظ انعطاف‌پذیری شبکه برق ایالات متحده تا سال ۲۰۵۰ تجزیه و تحلیل کرد. در این مطالعه چندساله، تحلیل‌گران از پروژه‌ها، داده‌ها و ابزارهای ذخیره‌سازی انرژی NREL برای بررسی نقش و تأثیر فناوری‌های ذخیره‌سازی انرژی مرتبط و نوظهور در بخش برق ایالات متحده در طیف وسیعی از سناریوهای بالقوه هزینه و عملکرد آینده تا سال ۲۰۵۰ استفاده کردند.

SFS که توسط چالش بزرگ ذخیره‌سازی انرژی وزارت انرژی ایالات متحده^{۵۹} پشتیبانی می‌شود، برای بررسی تأثیر بالقوه پیشرفت فناوری ذخیره‌سازی انرژی بر استقرار ذخیره‌سازی در مقیاس کاربردی و همچنین پیامدهای عملکرد آینده سیستم برق طراحی شده است. تیم SFS هفت گزارش منتشر کرد که آموخته کلیدی در مورد ذخیره‌سازی انرژی در دهه‌های آینده را نشان می‌دهد. تمامی گزارشات حاکی از پتانسیل قابل توجه برای استقرار ذخیره‌سازهای انرژی تا سال ۲۰۵۰ می‌باشند.

⁵⁸ Storage Futures Study

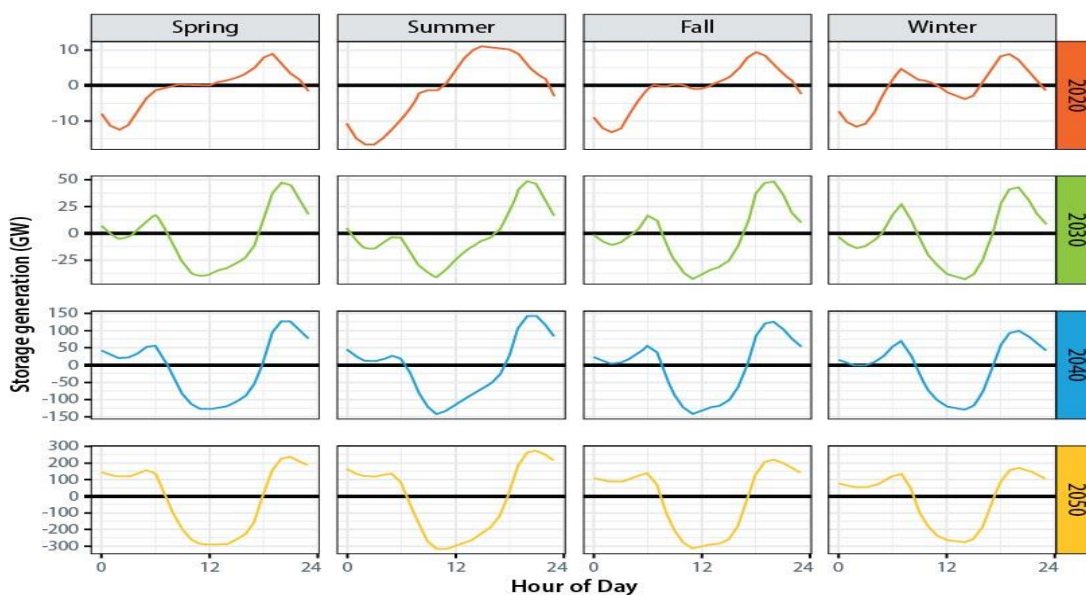
⁵⁹ U.S. Department of Energy's Energy Storage Grand Challenge

❖ یادگیری‌های کلیدی برای دهه‌های آینده^{۶۰}

گزارش نهایی این مجموعه که در آوریل ۲۰۲۲ منتشر شد، با تکیه بر تجزیه و تحلیل دوساله، هشت آموخته کلیدی در مورد دهه‌های آینده ذخیره انرژی را بیان می‌کند. نتیجه‌گیری کلیدی این تحقیق این است که استقرار ذخیره‌سازی انرژی پتانسیل افزایش قابل توجهی دارد. این مقدار تا سال ۲۰۵۰ به حداقل پنج برابر ظرفیت امروزی می‌رسد. همچنین، ذخیره‌سازی احتمالاً نقش مهمی در تعیین ترکیب شبکه با هزینه بهینه^{۶۱} در آینده ایفا خواهد کرد. این نکات کلیدی می‌تواند به سیاست‌گذاران، توسعه‌دهندگان فناوری و اپراتورهای شبکه کمک کند تا برای موج آینده استقرار ذخیره‌سازی آماده باشند.

❖ تأثیرات عملیاتی گسترش شبکه ذخیره‌سازی^{۶۲}

ششمین گزارش این مجموعه که ژانویه ۲۰۲۲ منتشر شد، بر نحوه عملکرد شبکه با سطوح بالای ذخیره انرژی متمرکز است. NREL از مدل سیستم استقرار انرژی منطقه‌ای^{۶۳} (ReEDS) برای شناسایی کم‌هزینه‌ترین نمونه‌های تولید، ذخیره و انتقال انرژی استفاده کرد. سپس، بهره‌برداری از این اطلاعات با استفاده از مدل هزینه تولید تجاری موجود به نام PLEXOS شبیه‌سازی شد. مدل‌سازی، ارزش بالای ذخیره انرژی را در کاربردهای کنترل پیک^{۶۴} نشان می‌دهد. ذخیره‌سازی همچنین در شرایط کاهش تولید بیش‌ازحد PV و باد و کاهش استقرار ژنراتورهای حرارتی پرهزینه، کارایی را افزایش می‌دهد.



⁶⁰ Key Learnings for the Coming Decades

⁶¹ cost-optimal grid mix

⁶² Grid Operational Impacts of Widespread Storage Deployment

⁶³ Regional Energy Deployment System (ReEDS) model

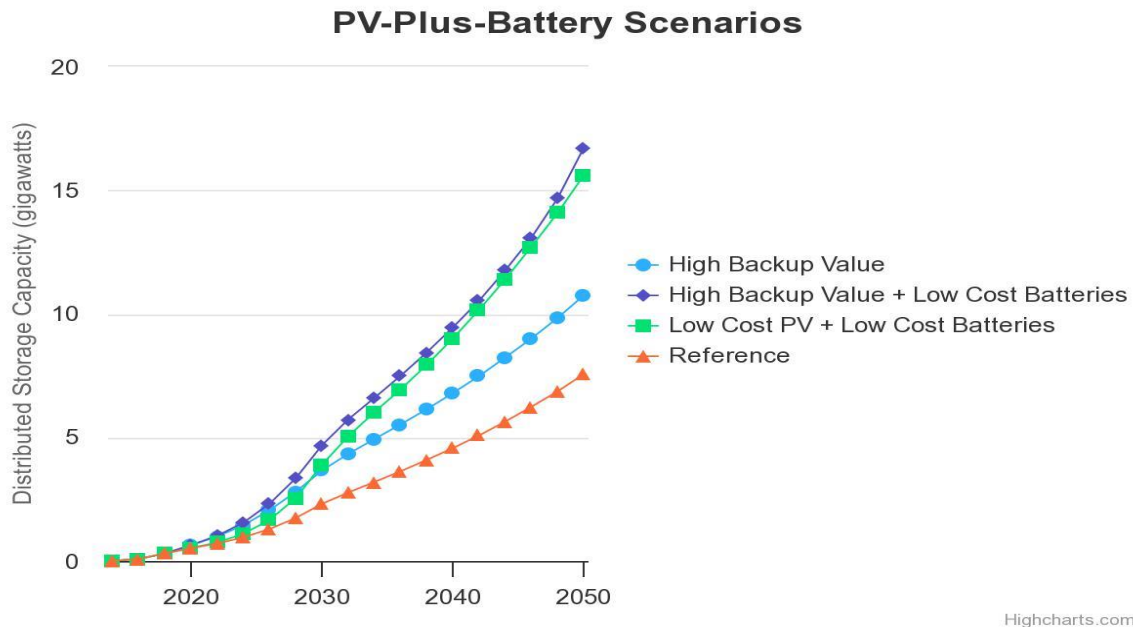
⁶⁴ peaker-type

❖ چالش تعریف ذخیره انرژی طولانی مدت^{۶۵}

پنجمین گزارش از این مجموعه که در نوامبر ۲۰۲۱ منتشر شد، چالش یک تعریف واحد برای ذخیره‌سازی انرژی طولانی‌مدت^{۶۶} یا LDES را توصیف می‌کند که هم مدت زمان و هم کاربرد انرژی ذخیره‌شده را منعکس می‌کند. NREL قادر به تعیین یک تعریف یکسان برای LDES برای توصیف مدت زمان و کاربرد نبود و نتیجه می‌گیرد که ممکن است امکان تطبیق این دو وجود نداشته باشد. این تیم پیشنهاد می‌کند که هرگونه استفاده از اصطلاح LDES باید با یک توصیف کیفی کوتاه همراه باشد تا قصد استفاده از این اصطلاح را روشن کند اما این تیم برای این منظور بازه ۱۰ تا ۱۰۰ ساعت را توصیه می‌کند.

❖ چشم‌انداز ذخیره‌سازی و PV

چهارمین گزارش از این مجموعه، که در ژوئیه ۲۰۲۱ منتشر شد، به بررسی عوامل مؤثر در پذیرش ذخیره‌سازها توسط مشتری می‌پردازد. تحلیل‌گران قابلیت‌های مدل تقاضای مشتری در مورد پذیرش ذخیره‌سازهای توزیع‌شده همراه شده با PV را در سناریوهای مختلف گسترش دادند.



سناریوپردازی در افزودن باتری به سیستم فتولتائیک

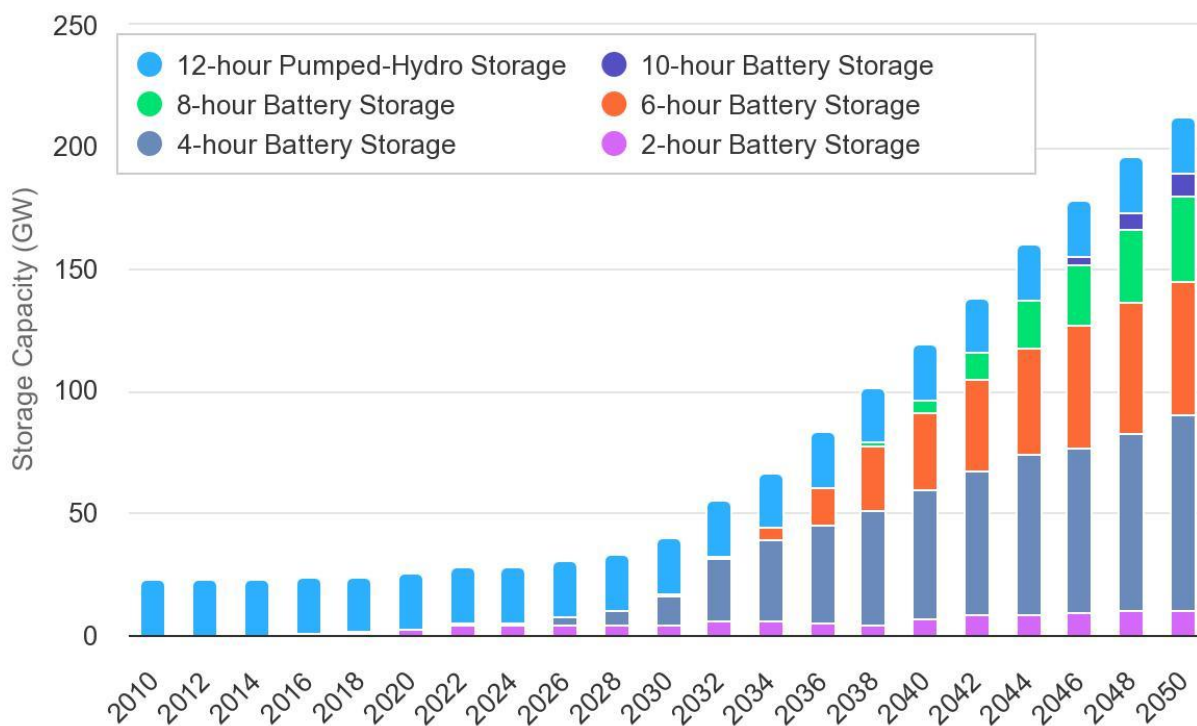
⁶⁵ The Challenge of Defining Long-Duration Energy Storage

⁶⁶ long-duration energy storage

❖ پتانسیل اقتصادی ذخیره‌سازی روزانه در بخش برق ایالات متحده^{۶۷}

سومین گزارش از این سری که در می ۲۰۲۱ منتشر شد، تکامل ذخیره‌سازی روزانه (کمتر از ۱۲ ساعت) را در بخش برق ایالات متحده تا سال ۲۰۵۰ با استفاده از چارچوب بهینه‌سازی کم‌هزینه^{۶۸} مدل‌سازی می‌کند. تحلیل‌گران با استفاده از فرضیات هزینه و عملکرد مختلف برای ذخیره‌سازی، باد، فتوولتائیک خورشیدی (PV) و گاز طبیعی، پتانسیل بازار قابل توجهی را برای ذخیره انرژی روزانه در سناریوهای مختلف مدل کردند. در تمام سناریوهای مدل‌سازی شده، استقرار ذخیره‌سازی انرژی تا سال ۲۰۵۰ از ۱۲۵ گیگاوات فراتر می‌رود، که بیش از پنج برابر افزایش نسبت به ظرفیت نصب‌شده ۲۳ گیگاواتی (که همه آن‌ها فناوری تلمبه-ذخیره‌ای هستند) در سال ۲۰۲۰ است. بسته به سیر تغییر هزینه و سایر متغیرها، استقرار ذخیره‌سازی در سال ۲۰۵۰ در مجموع تا ۶۸۰ گیگاوات، عمدتاً به دلیل انعطاف‌پذیری سیستم و نفوذ بیشتر PV در شبکه خواهد بود.

Reference Case



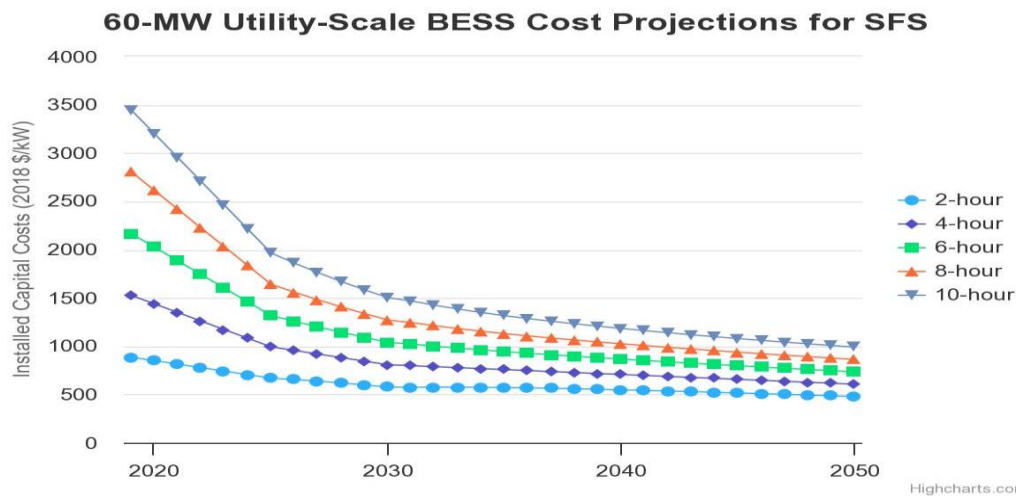
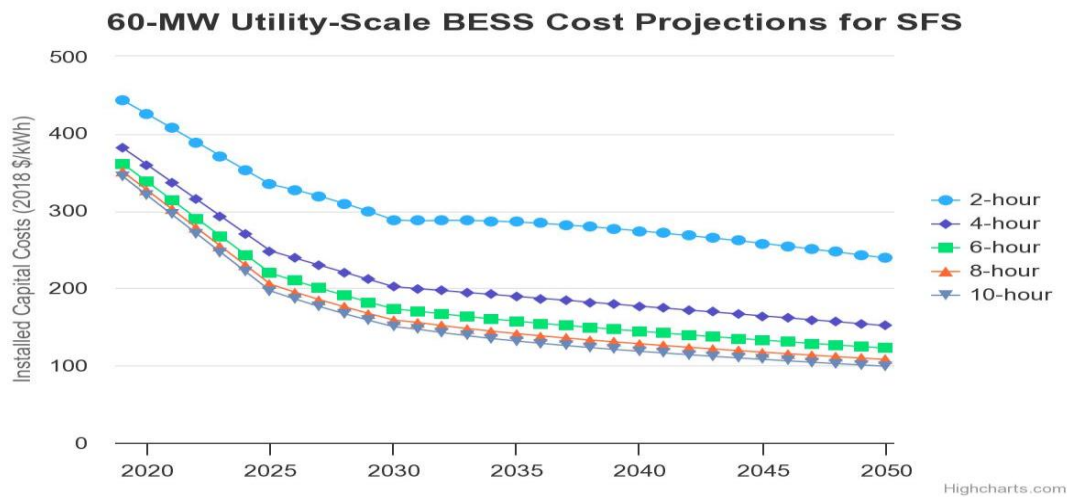
تکامل ذخیره‌سازی روزانه (کمتر از ۱۲ ساعت) را در بخش برق ایالات متحده تا سال ۲۰۵۰

⁶⁷ Economic Potential of Diurnal Storage in the U.S. Power Sector

⁶⁸ least-cost optimization framework

❖ داده‌های ورودی مدل‌سازی فناوری ذخیره‌سازی انرژی^{۶۹}

گزارش دوم از این مجموعه، که در می ۲۰۲۱ منتشر شد، نمای وسیعی از فناوری‌های ذخیره‌سازی انرژی و ورودی‌ها برای گزارش‌های آتی ارائه می‌دهد که شامل تحلیل سناریو می‌شود. این گزارش همچنین ترکیبی از هزینه‌های فعلی و ویژگی‌های عملکرد فناوری‌های ذخیره‌سازی انرژی را برای مدت زمان ذخیره‌سازی از چند دقیقه تا ماه‌ها ارائه می‌کند و شامل فناوری‌های ذخیره‌سازی مکانیکی، حرارتی و الکتروشیمیایی برای بخش برق است. علاوه بر این، برای مجموعه کوچک‌تری از فناوری‌ها مثل باتری‌های لیتیوم یونی. این گزارش روند هزینه‌های فعلی و آتی را تا سال ۲۰۵۰ ارائه می‌نماید.



مدل‌سازی فناوری ذخیره‌سازی انرژی

⁶⁹ Energy Storage Technology Modeling Input Data

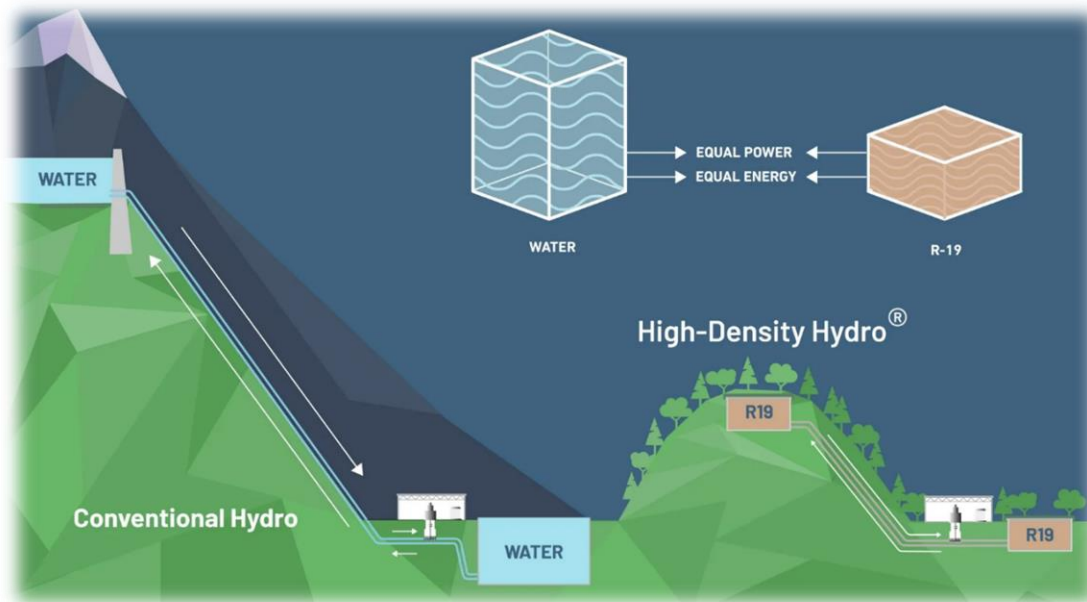
❖ چهار فاز استقرار ذخیره‌سازی انرژی در مقیاس کاربردی در سیستم قدرت ایالات متحده

اولین گزارش از سری SFS که در ژانویه ۲۰۲۱ منتشر شد، اولین چارچوب چشم‌انداز برای تکامل احتمالی صنعت ذخیره‌سازی انرژی را ارائه می‌دهد. این چشم‌انداز چهار مرحله را از مدت زمان ذخیره‌سازی کوتاه‌تر به طولانی‌تر ترسیم می‌نماید، که می‌تواند منجر به صدها گیگاوات ظرفیت نصب‌شده و تغییر قابل توجهی در شبکه برق شود و به شرکت‌های برق، تنظیم‌کننده‌ها و توسعه‌دهندگان کمک کند تا برای آینده برنامه‌ریزی مناسبی داشته باشند.

| Summary of the Four Phases of Storage Deployment | | | |
|--|--|----------------|-------------------------|
| Phase | National Deployment Potential (Capacity) in Each Phase | Duration | Response Speed |
| Deployment prior to 2010 | 23 GW of pumped storage hydropower | Mostly 8–12 hr | Varies |
| 1 | <30 GW | <1 hr | Milliseconds to seconds |
| 2 | 30–100 GW, strongly linked to photovoltaics deployment | 2–6 hr | Minutes |
| 3 | 100+ GW; depends on both Phase 2 and deployment of variable renewable energy resources | 4–12 hr | Minutes |
| 4 | Zero to more than 250 gigawatts | >12 hr | Minutes |

منبع: NREL.gov

ذخیره‌سازی انرژی حاصل از پمپاژ سیال آر-۱۹



مقایسه عملکرد سیستم پمپاژ آب سنتی و سیستم با سیال آر-۱۹

شرکت بریتانیایی ری‌انرجایز^{۷۰} در حال ارائه یک رویکرد جدید و جالب به منظور نیروگاه‌های تلمبه-ذخیره ای با هدف ظرفیت حداقل ۱۰۰ مگاوات تا سال ۲۰۳۰ است. این روش به جای کوه‌ها با تپه‌های کوچک کار می‌کند، بنابراین در بسیاری از مناطق مناسب است.

❖ نحوه عملکرد تلمبه-ذخیره ای شرکت ری‌انرجایز

ذخیره‌سازی انرژی به شکل تلمبه-ذخیره ای قدمت بیش از یک قرن دارد که برای متعادل کردن تولید بار با تقاضای متغیر استفاده می‌شود. این روش یکی از ساده‌ترین راه‌ها برای ذخیره انرژی و بازیابی آن در صورت نیاز است. به این ترتیب، از انرژی ارزان در طول روز برای پمپ کردن مقداری آب از بالای یک تپه بزرگ به مخزن استفاده می‌گردد، سپس آب ذخیره‌شده، به آرامی در شب رها شده و به کمک نیروی جاذبه و یک توربین، تولید انرژی صورت می‌پذیرد. اما ری‌انرجایز با افزودن یک

⁷⁰ RheEnergise

ترفند ساده، تغییر چشم‌گیری در این روش ایجاد کرده است. ری انرجایز از آب استفاده نمی‌کند. بلکه از یک سیال اختصاصی با فناوری پیشرفته به نام آر-۱۹^{۷۱} بهره می‌برد که هم از نظر محیطی خنثی است و هم ۲.۵ برابر آب چگالی دارد. در زمان تقاضای انرژی کم، سیال آر-۱۹ به مخازن ذخیره‌سازی بالا پمپ می‌شود. با افزایش تقاضای انرژی، آر-۱۹ آزاد می‌شود و از میان توربین‌ها عبور و برق را برای تأمین برق شبکه تولید می‌نماید. راندمان رفت‌وبرگشت ~۸۳٪ است. این سیستم جدید^{۷۲} سیال با چگالی بالا^{۷۳} نام دارد.

سیستم ذخیره‌سازی ری انرجایز از سیالی استفاده می‌کند که ۲.۵ برابر چگال‌تر از آب است (از نظر ویسکوزیته مشابه کرم می‌باشد)، که در نتیجه می‌تواند در مقایسه با سیستم‌های برق‌آبی معمولی که به آب متکی هستند، ۲.۵ برابر انرژی بیشتر ارائه کند. به دلیل چگالی ۲.۵ برابری این مایع در مقایسه با آب، پروژه‌های ری انرجایز می‌توانند بر روی تپه‌های کم ارتفاع به جای کوه‌های مرتفع احداث شوند. به این ترتیب، تپه‌ها به نوعی باتری‌های طبیعی و قدرتمند تبدیل می‌شوند که توانایی ذخیره انرژی را برای مدت طولانی داشته و در زمان‌های با تقاضای بیشتر انرژی، آن را تخلیه می‌کنند. این بدان معناست که ری انرجایز می‌تواند سیستم خود را، متشکل از مخازن ذخیره‌سازی مدفون در زیرزمین و متصل به لوله‌های زیرزمینی، در زیر سطح تپه‌ها به جای کوه‌ها مستقر نماید و در نتیجه فرصت‌های تجاری بیشتری را فراهم آورد. ری انرجایز برآورد کرده است که پروژه‌ها می‌توانند با ارتفاعات عمودی تا ۱۰۰ متر یا کمتر کار کنند.

سیال با چگالی بالا هم‌چنین به این مفهوم است که پروژه‌ها می‌توانند با همان بازده ۲.۵ برابر کوچک‌تر شوند. ۶۵ درصد از هزینه‌های پروژه ذخیره‌سازی انرژی پمپاژ شده، هزینه‌های عمرانی است، که پروژه‌های ۲.۵ برابر کوچک‌تر فرصت صرفه-جویی زیادی را ارائه می‌دهند.

پروژه‌های ری انرجایز توان ۱۰ تا ۵۰ مگاوات و ظرفیت ذخیره‌سازی ۲ تا ۱۶ ساعت را ارائه می‌دهند. بنابراین از قابلیت اتصال به زیرساخت‌های شبکه موجود برخوردار هستند و می‌توانند با سایر پروژه‌های انرژی تجدیدپذیر هم‌مکان شوند.

❖ راه‌اندازی سیستم

۱. مخازن ذخیره‌سازی در بالا و پایین یک تپه کوچک قرار دارند.
۲. مخازن ذخیره توسط لوله‌های زیرزمینی به نام پنستاک^{۷۳} به هم متصل می‌شوند.
۳. در کنار مخازن ذخیره پایینی یک نیروگاه وجود دارد که حاوی پمپ‌ها و توربین‌ها است.

⁷¹ HD Fluid R-19

⁷² High-Density Hydro[®]

⁷³ Penstocks

❖ سیال پیشرفته آر-۱۹

فرمول این سیال محرمانه و مخفی است. اما این سیال حاصل از ترکیب یک ماده پودری فوق‌العاده ارزان و آب می‌باشد. سرانجام آر-۱۹ خمیری شکل با چگالی ۲.۵ برابری در مقایسه با آب به دست می‌آید. آر-۱۹ از نظر محیطی خنثی، غیر سمی، غیر خورنده و غیر واکنشی است. این سیال، یک جامد معلق در آب است.

❖ مزایای سیال با چگالی بالا

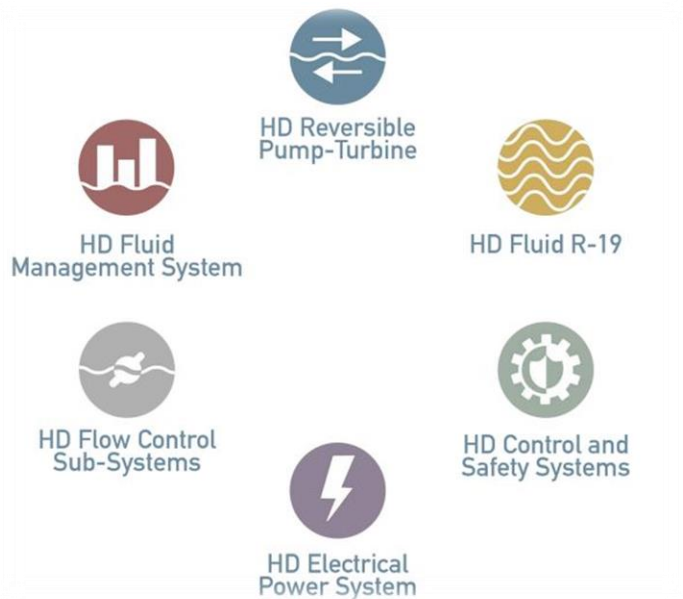
- سیستم با سیال آر-۱۹ را می‌توان تقریباً در هر مکانی نصب نمود، از جمله در مناطق کم آب مانند آب‌وهوای بیابانی.
- راندمان این پروژه برخلاف باتری‌ها تحت تأثیر هوای گرم قرار نمی‌گیرد.



سیال پیشرفته آر-۱۹ با چگالی ۲.۵ برابری در مقایسه با آب

- پروژه‌ها را می‌توان بر روی تپه‌هایی با ۲.۵ برابر پایین‌تر از یک پروژه با استفاده از آب نصب کرد و هم‌چنان به همان انرژی دست یافت. تپه‌های بسیار بیشتری در ارتفاع ۱۵۰ متری نسبت به ارتفاع ۳۷۵ متری وجود دارد.
- ۲.۵ برابر کوچک‌تر از نظر حجم، به معنی کاهش چشم‌گیر هزینه‌های ساخت، زمان ساخت سریع‌تر و محوطه‌سازی است.
- زمان استفاده از زمین و ساخت‌وساز با نیروگاه‌های گازسوز و پروژه‌های باتری لیتیوم-یون قابل مقایسه است و به‌طور قابل توجهی کوتاه‌تر از ساخت‌وساز نزدیک به یک دهه مرتبط با تلمبه-ذخیره ای سنتی است.
- این روش از انتشار کربن‌دی‌اکسید و آلودگی مرتبط با نیروگاه‌های گاز و گازوئیل و تعهدات پایان عمر مرتبط با باتری‌ها جلوگیری می‌نماید.
- از مسائل اجتماعی و زیست‌محیطی مرتبط با تلمبه-ذخیره ای سنتی از جمله دره‌های سیلابی جلوگیری می‌نماید.

- برای هر راه‌حل ذخیره انرژی، هزینه‌ها، اثرات زیست‌محیطی و طول عمر بسیار مهم است. تجزیه و تحلیل‌ها نشان می‌دهد که هزینه‌ها در روش استفاده از سیال با چگالی بالا حدود ۴۰٪ کمتر از پروژه باتری لیتیوم یونی و ۱۵٪ پایین‌تر از نیروگاه‌های گاز است.
راه‌حل ذخیره انرژی ری انرجایز دارای نوآوری‌هایی از جمله در شش زیرسیستم حیاتی است:



نوآوری‌های ذخیره انرژی از طریق پمپاژ سیال آر-۱۹

❖ قراردادهای

ری انرجایز به تازگی قراردادی را با شرکت بریتانیایی مرکیا پاور ریسپانس^{۷۴} امضا کرده است که هدف آن استقرار ۱۰۰ مگاوات ذخیره انرژی مبتنی بر آر-۱۹ تا سال ۲۰۳۰ در اتصالات شبکه فعلی و تأسیسات برنامه‌ریزی شده مرکیا است. اواخر امسال، ری انرجایز کار بر روی ساخت یک نمایشگر ۲۵۰ کیلووات بر ۱ مگاوات ساعت (چهار ساعت) سیستم ذخیره انرژی هیدرولیک با چگالی بالا را در سایتی نزدیک پلیموث، دوون آغاز خواهد کرد و در نظر دارد اولین ۵ مگاوات خود را در مقیاس شبکه داشته باشد. این پروژه طی سه تا پنج سال آینده به بهره‌برداری تجاری می‌رسد.

⁷⁴ Mercia Power Response

❖ فرصت‌ها

پتانسیل سنجی و تجزیه و تحلیل نقشه دیجیتال ری انرجایز نشان می‌دهد که ۶۶۰۰ فرصت در بریتانیا، ۱۱۶۰۰۰ در اروپا، ۳۴۵۰۰۰ در شمال آمریکا، ۶۱۵۰۰ در استرالیا، ۳۶۵۰۰ در اندونزی، ۴۴۵۰۰۰ در آفریقا و ۷۴۰۰۰۰ در خاورمیانه وجود دارد. به‌طور کلی می‌توان گفت تقریباً در همه‌جا سایت‌های مناسبی برای این فناوری وجود دارد.



نقشه دیجیتال پتانسیل سنجی ری انرجایز

منابع:

- rheenergise.com
- newatlas.com
- hydroreview.com
- RheEnergise Introduction brochure_V3.3

ابزار شبیه‌سازی طول عمر باتری



مجموعه ابزار تحلیل و شبیه‌سازی طول عمر باتری^{۷۵} (BLAST) با همراه کردن مدل‌سازی تخریب باتری است. تحقیقات در NREL در حال بهینه‌سازی باتری‌های لیتیوم یون (Li-ion) مورد استفاده در وسایل نقلیه الکتریکی (EVs) و کاربردهای ذخیره انرژی ثابت برای افزایش طول عمر و عملکرد سیستم‌های باتری است. مدل‌سازی پیش‌بینی طول عمر باتری، متغیرهای متعددی را در نظر می‌گیرد که باعث تخریب باتری در طول استفاده و ذخیره‌سازی می‌شوند، از جمله دمای محیط^{۷۶}، خود گرمایش سلولی^{۷۷} و مدیریت حرارتی، تقویم شارژ، سطوح جریان الکتریکی^{۷۸} و تعادل سلولی در بسته‌ها و ماژول‌ها.

❖ ابزارها

- BLAST-Lite یک نسخه ساده شده از مدل‌های طول عمر باتری برای انواع طرح‌های باتری لیتیوم یونی است که از داده‌های آزمایشگاهی موجود در پایتون یا متلب استفاده شده است. BLAST-Lite را می‌توان به راحتی در ابزارهای تجزیه و تحلیل فنی-اقتصادی بزرگ‌تر پیاده‌سازی کرد. BLAST-Lite از پروفایل‌های بار نمونه^{۷۹} برای ذخیره انرژی ثابت یا کاربردهای خودرویی و پروفایل‌های دما^{۸۰} برای شهرهای ایالات متحده استفاده می‌کند.

⁷⁵ Battery Lifetime Analysis and Simulation Tool Suite

⁷⁶ Ambient temperature

⁷⁷ Cell self-heating

⁷⁸ Electrical current levels

⁷⁹ Example load profiles

⁸⁰ Temperature profiles

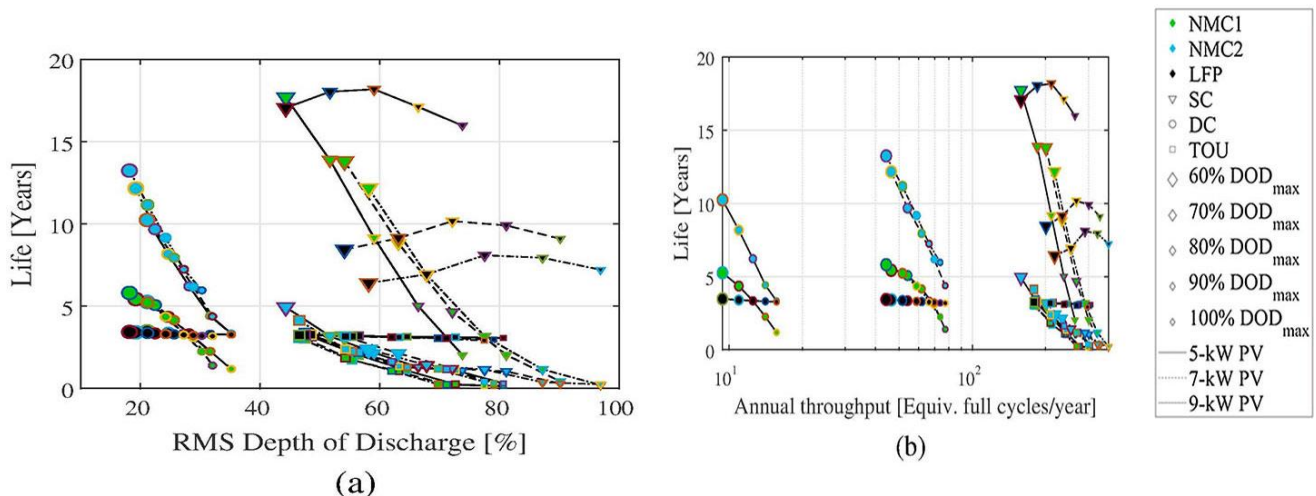
- BLAST-Cell پاسخ الکتریکی و حرارتی یک سلول باتری به اثرات تخریب در طول عمر آن را شبیه‌سازی می‌کند. کاربران می‌توانند یک نمایه بار از پیش تعیین شده را در متلب شبیه‌سازی کنند یا کنترل‌ها و محدودیت‌های جریان، ولتاژ، توان یا مقاومت خاص را برای شبیه‌سازی پاسخ در متلب یا اکسل وارد کنند.
- BLAST-Pack پاسخ الکتریکی و حرارتی ماژول‌ها یا بسته‌های باتری را به اثرات تخریب در طول عمر خود شبیه‌سازی می‌کند و تأثیرات معماری ماژول و بسته را بر عملکرد سلول در خود جای می‌دهد. کاربران می‌توانند یک نمایه بار از پیش تعیین شده را در متلب شبیه‌سازی کنند یا کنترل‌ها و محدودیت‌های جریان، ولتاژ، توان یا مقاومت خاص را برای شبیه‌سازی پاسخ در متلب یا اکسل وارد کنند.

❖ برنامه‌های کاربردی

مجموعه BLAST NREL بینشی در مورد مشکلات تحقیقاتی یا مهندسی مربوط به طراحی، اقتصاد، کنترل‌ها یا مدیریت حرارتی برای موارد استفاده رایج سیستم‌های ذخیره انرژی باتری ارائه می‌دهد.

• سیستم‌های ذخیره انرژی ثابت

محققان می‌توانند از ابزار BLAST برای شبیه‌سازی عملکرد در طول عمر برنامه‌های ذخیره‌سازی انرژی ثابت، مانند سیستم‌های مسکونی، ایستگاه‌های شارژ برای خودروهای برقی و ذخیره‌سازی انرژی استفاده کنند.



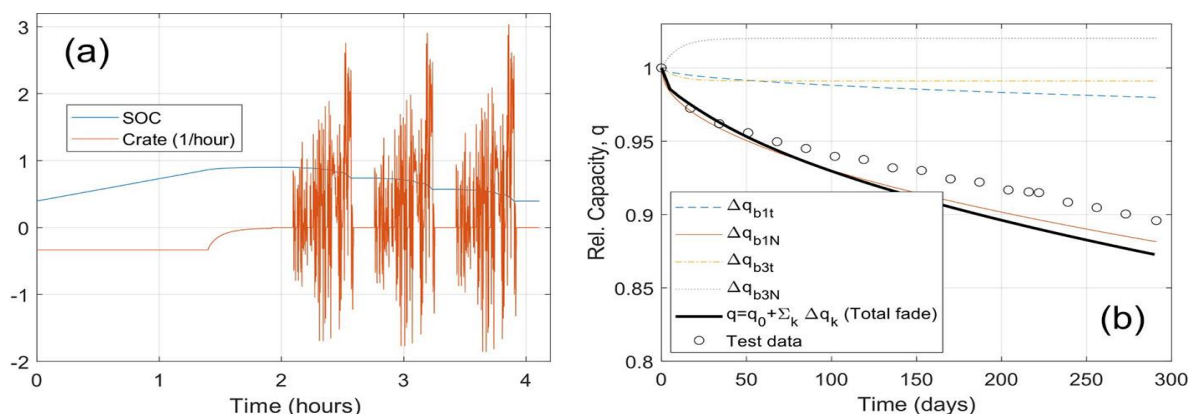
تأثیر شیمی باتری، مشخصات کاربرد، عمق تخلیه شارژ^{۸۱}، و اندازه فتوولتائیک خورشیدی بر طول عمر یک سیستم ذخیره‌سازی انرژی باتری ۱۰ کیلووات ساعتی در فینیکس، آریزونا. تصویری از تجزیه و تحلیل تخریب در سیستم‌های ذخیره‌سازی انرژی باتری مسکونی برای موارد استفاده مبتنی بر نرخ^{۸۲}،

⁸¹ Depth-of-discharge

⁸² Rate-Based Use-Cases

• وسایل نقلیه الکتریکی

ابزارهای BLAST شامل چرخه‌های مبتنی بر الگوهای راندگی واقعی شبیه‌سازی شده‌ای هستند که برای پیش‌بینی طول عمر باتری خودروهای برقی تولید شده‌اند. شبیه‌سازی‌ها می‌توانند اثرات تولید گرما و مدیریت حرارتی بر عملکرد و طول عمر باتری را در بر گیرند



چرخه درایو WLTP برای اعتبارسنجی مدل تخریب باتری لیتیوم یون استفاده می‌شود. (سمت چپ) نتایج آزمایش و پیش‌بینی مدل با استفاده از یک مدل عمر باتری چهار جزئی⁸³. (راست) تصویر از مدل عمر باتری لیتیوم یون با فرآیندهای ترک‌خوردگی الکتروکورد و شکستن اولیه⁸⁴، مجله انجمن الکتروشیمیایی (۲۰۲۱)

❖ ورودی‌ها و خروجی‌های کاربر

ورودی‌هایی مانند مشخصات سخت‌افزاری یعنی مقادیر هزینه به کار گرفته شده در شبیه‌سازی شامل هزینه نصب اولیه، مشوق‌ها، هزینه‌های عملیاتی و تعمیر و نگهداری، همچنین مشخصات تقاضا و سیستم PV یا CSV، ارزش ساختار شامل هزینه‌های انرژی در دوره‌های پیک و غیر پیک و همچنین فصل سال، و سرانجام نرخ بازده داخلی⁸⁵ (IRR) می‌بایست مشخص گردد که بر اساس آن عملکرد اقتصادی سیستم‌های ذخیره‌سازی انرژی ارزیابی می‌شود.

پس از وارد کردن همه ورودی‌ها، الگوریتم بهینه‌سازی شروع به کار می‌نماید. هنگامی که بهینه‌سازی کامل شد، شکلی برای ارائه IRR محاسبه شده برای تمام سیستم‌های ذخیره‌سازی انرژی شبیه‌سازی شده تولید می‌شود و عملکرد دقیق سیستم که بیشترین IRR را ارائه می‌دهد، تولید می‌شود. شایان ذکر است که نرم‌افزار BLAST-BTM برای دانلود و استفاده رایگان است، اما پشتیبانی فنی برای این ابزار در دسترس نیست.

منبع: NREL

⁸³ four-component battery life model

⁸⁴ Early-Life Break-in Processes

⁸⁵ Internal rate of return

برترین شرکت‌های ذخیره‌سازی انرژی



با انتقال به آینده‌ای پایدارتر، شرکت‌های ذخیره‌سازی انرژی نقش مهمی در توسعه فناوری‌های نوآورانه برای مپار و ذخیره انرژی موردنیاز ایفا می‌کنند. این راهنمای جامع، شرکت‌های برتر را که در انقلابی کردن صنعت ذخیره‌سازی انرژی پیشرو هستند، معرفی می‌کند.



(۱) **تسلا**، شرکت (ایالات‌متحدہ آمریکا) - به دلیل وسایل نقلیه الکتریکی خود شناخته شده است، اما همچنین سیستم‌های ذخیره انرژی مانند Powerwall را برای مصارف مسکونی و Powerpack و Megapack را برای مصارف تجاری و کاربردی تولید می‌کند.



(۲) **LG Chem** (کره جنوبی) - یک تولیدکننده عمده باتری‌های لیتیوم یونی است که سیستم‌های ذخیره انرژی آن در کاربردهای مسکونی، تجاری و در مقیاس شهری مورد استفاده قرار می‌گیرد.



(۳) **BYD** (چین) - یک شرکت چینی است که خودروهای الکتریکی، باتری‌ها و سیستم‌های ذخیره‌سازی انرژی تولید می‌کند. طیف وسیعی از سیستم‌های باتری را برای کاربردهای مسکونی و تجاری ارائه می‌دهد.



۴) **فلوئنس انرژی** (ایالات متحده) - سرمایه‌گذاری مشترک بین زیمنس و AES، فلوئنس انرژی بر ارائه راه‌حل‌های ذخیره انرژی برای برنامه‌های کاربردی و تجاری با استفاده از سیستم‌های باتری Advancion و SunFlex تمرکز دارد.



۵) **ESS Inc** (ایالات متحده آمریکا) - متخصص در ذخیره‌سازی انرژی طولانی‌مدت با استفاده از فناوری باتری جریان آهن است که جایگزین امیدوارکننده‌ای برای باتری‌های لیتیوم یون سنتی است.



۶) **Redflow Limited** (استرالیا) - یک شرکت استرالیایی است که باتری‌های جریان روی برم را برای کاربردهای ذخیره‌سازی انرژی مسکونی، تجاری و صنعتی توسعه می‌دهد.



۷) **Highview Power** (بریتانیا) - بر روی توسعه سیستم‌های ذخیره انرژی هوای مایع (LAES) تمرکز دارد که انرژی را به شکل هوای مایع بسیار سرد برای کاربردهای در مقیاس بزرگ و طولانی‌مدت ذخیره می‌کند.



۸) **Energy Vault** (سوئیس) - یک سیستم ذخیره انرژی منحصربه‌فرد مبتنی بر گرانش را توسعه می‌دهد که از بلوک‌های بتنی بزرگ و یک سیستم جرثقیل سفارشی برای ذخیره و آزادسازی انرژی استفاده می‌کند.



۹) **Ice Energy** (ایالات متحده آمریکا) - در سیستم‌های ذخیره‌سازی انرژی حرارتی تخصص دارد که از یخ برای ذخیره انرژی برای کاربردهای تهویه مطبوع و خنک‌کننده استفاده می‌کنند.



۱۰) **ABB** (سوئیس) - یک شرکت چندملیتی است که انواع محصولات الکتریکی و اتوماسیون، از جمله سیستم‌های ذخیره‌سازی انرژی برای کاربردهای شبکه و ریزشبکه را تولید می‌کند.

۱۱) شرکت پاناسونیک (ژاپن) - پاناسونیک یک تولیدکننده پیشرو در لوازم الکترونیکی، همچنین باتری‌های لیتیوم یونی را برای ذخیره انرژی در کاربردهای مسکونی و تجاری تولید می‌کند.

۱۲) Samsung SDI (کره جنوبی) - سامسونگ SDI تولیدکننده عمده باتری‌های لیتیوم یونی و سیستم‌های ذخیره انرژی برای کاربردهای مختلف است.

۱۳) Saft (فرانسه) - یکی از شرکت‌های تابعه TotalEnergies، متخصص در فناوری‌های پیشرفته باتری، از جمله باتری‌های لیتیوم یون و باتری‌های حالت جامد برای راه‌حل‌های ذخیره‌سازی انرژی است.

۱۴) NEC Energy Solutions (ایالات متحده) - سیستم‌های ذخیره‌سازی باتری و خدمات مدیریت انرژی را برای کاربردهای تجاری و صنعتی در مقیاس کاربردی ارائه می‌دهد.

۱۵) انرژی تجدیدپذیر جنرال الکتریک (ایالات متحده آمریکا) - جنرال الکتریک انرژی تجدیدپذیر، بخشی از جنرال الکتریک، راه‌حل‌های ذخیره انرژی را با استفاده از باتری‌های لیتیوم یون و سدیم نیکل برای یکپارچه‌سازی شبکه و انرژی‌های تجدیدپذیر ارائه می‌دهد.

۱۶) Enphase Energy (ایالات متحده آمریکا) - بر توسعه انرژی خورشیدی و راه‌حل‌های ذخیره انرژی، از جمله سیستم ذخیره‌سازی انرژی Ensemble مدولار آن‌ها تمرکز دارد.

۱۷) Sonnen (آلمان) - یک شرکت آلمانی است که سیستم‌های ذخیره انرژی مسکونی را با استفاده از باتری‌های لیتیوم یون تولید می‌کند.

۱۸) Northvolt (سوئد) - یک تولیدکننده باتری اروپایی است که هدف آن تولید باتری‌های لیتیوم یون پایدار برای کاربردهای ذخیره انرژی است.

۱۹) Convergent Energy + Power (ایالات متحده) - راه‌حل‌های ذخیره‌سازی انرژی را برای مشتریان تجاری و صنعتی ارائه می‌دهد، متخصص در ذخیره‌سازی باتری و خدمات مدیریت تقاضا است.



۲۰) **Stem, Inc.** (ایالات متحده آمریکا) - بر ارائه راهکارهای ذخیره و مدیریت انرژی مبتنی بر هوش مصنوعی برای کاربردهای تجاری و صنعتی تمرکز دارد.



۲۱) **Swell Energy** (ایالات متحده آمریکا) - ارائه‌دهنده راه‌حل‌های ذخیره‌سازی انرژی مسکونی، از جمله باتری‌های لیتیوم یون و نرم‌افزار مدیریت انرژی است.



۲۲) **Powin Energy** (ایالات متحده) - سیستم‌های ذخیره انرژی باتری را برای کاربردهای صنعتی و تجاری تولید می‌کند.



۲۳) **EOS Energy Storage** (ایالات متحده) - باتری‌های مبتنی بر روی را برای کاربردهای ذخیره انرژی طولانی‌مدت توسعه می‌دهد.



۲۴) **Leclanché** (سوئیس) - یک سازنده باتری سوئیدی است که باتری‌های لیتیوم یونی را برای ذخیره انرژی و کاربردهای خودروهای الکتریکی تولید می‌کند.



۲۵) **SimpliPhi Power** (ایالات متحده آمریکا) - باتری‌های لیتیوم آهن فسفات (LiFePO4) را برای کاربردهای ذخیره‌سازی انرژی مسکونی، تجاری و صنعتی توسعه می‌دهد.



۲۶) **NantEnergy** (ایالات متحده) - باتری‌های روی-هوا را برای کاربردهای ذخیره‌سازی انرژی طولانی‌مدت توسعه می‌دهد.



۲۷) **Blue Planet Energy** (ایالات متحده) - در باتری‌های لیتیوم آهن فسفات (LiFePO4) برای کاربردهای ذخیره‌سازی انرژی مسکونی و تجاری تخصص دارد.



۲۸) **Invinity Energy Systems** (بریتانیا) - باتری‌های جریان وانادیوم را برای کاربردهای ذخیره‌سازی انرژی طولانی‌مدت توسعه می‌دهد.



۱۴۱۴ degrees (استرالیا) - ۱۴۱۴ درجه بر روی سیستم‌های ذخیره انرژی حرارتی با استفاده از فناوری سیلیکون مذاب برای کاربردهای صنعتی و شبکه تمرکز می‌کند.



۳۰ chakra tec (اسرائیل) - چاکراتک سیستم‌های ذخیره انرژی جنبشی را با استفاده از فناوری چرخ طیار برای کاربردهای مختلف، از جمله ایستگاه‌های شارژ وسایل نقلیه الکتریکی و پشتیبانی شبکه، توسعه می‌دهد.

منبع:

[howtostoreelectricity](http://howtostoreelectricity.com)

نقش ذخیره‌سازی در بازار جهانی خودروهای الکتریکی



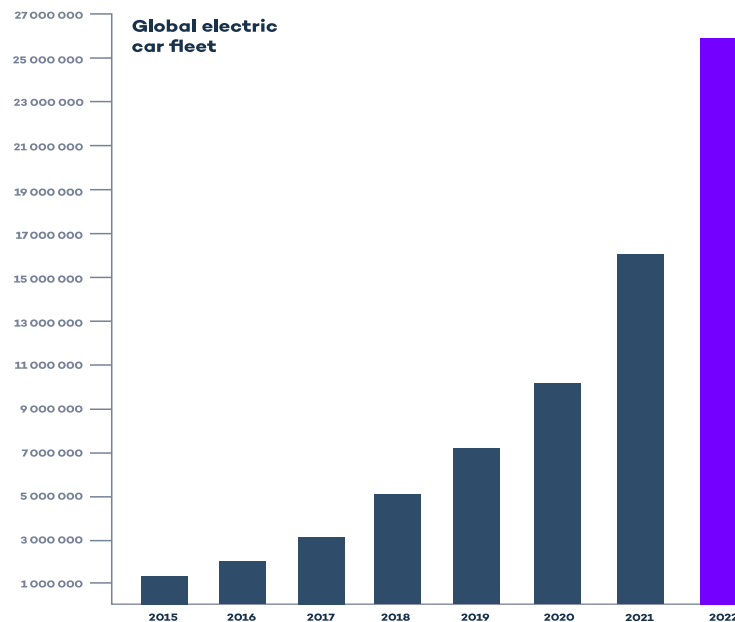
سهم بازار جهانی خودروهای الکتریکی در دهه گذشته جهش فوق‌العاده‌ای داشته است و انتظار می‌رود که این روند در سال‌های آینده شتاب بیشتری بگیرد. اگرچه در گذشته رشد باورنکردنی در تعداد خودروهای برقی در سراسر جهان مشاهده شده است، اما پیش‌بینی‌های صنعت EV نشان می‌دهد که پیشرفت‌های قبلی تنها رشد سطحی بوده است.

❖ داده‌های تاریخی در مورد بازار جهانی خودروهای برقی

سال ۲۰۲۰ رشد قابل توجهی در ثبت‌نام کلی خودروهای جدید مشاهده نشد. بازار جهانی انواع خودروها تحت تأثیر همه‌گیری COVID-19 و رکود اقتصادی پس از آن قرار گرفت. در بحبوحه همه‌گیری، انداز فروش جهانی خودروهای برقی در ابتدای سال کاملاً غیرقابل پیش‌بینی بود. با این حال، سال ۲۰۲۰ به‌طور شگفت‌انگیزی سال مثبتی برای خودروهای برقی بود و فروش جهانی خودروهای برقی ۴۳ درصد نسبت به سال ۲۰۱۹ رشد کرد و سهم بازار جهانی خودروهای الکتریکی به رکورد ۴.۶ درصد در سال ۲۰۲۰ رسید. سال ۲۰۲۱ یک جهش بزرگ برای فروش خودروهای الکتریکی بود. فروش خودروهای الکتریکی نسبت به سال ۲۰۲۰ دو برابر شده و به ۶.۷۵ میلیون دستگاه رسید. تعداد خودروهای برقی فروخته شده در یک هفته در سال ۲۰۲۱ بیشتر از تعداد فروخته شده در کل سال ۲۰۱۲ بود.

❖ سهم جهانی خودروهای برقی

خودروهای برقی قرار است نقشی محوری در هدف بلندپروازانه کاهش آلاینده‌گی تعیین شده برای سال ۲۰۵۰ ایفا کنند و صنعت در حال آماده شدن برای آن است. سال ۲۰۲۲ با شکستن رکوردهای قوی همراه شد. فروش خودروهای برقی از مرز ۱۰ میلیون نفر فراتر رفت و ۱۴ درصد از کل خودروهای جدید فروخته شده برقی بودند که نسبت به ۹ درصد در سال ۲۰۲۱ و کمتر از ۵ درصد در سال ۲۰۲۰ جهش کامل داشت. این امر منجر به تردد بیش از ۲۶ میلیون خودروی الکتریکی در جاده‌های جهانی در سال ۲۰۲۲ شد که نشان‌دهنده افزایش ۶۰ درصدی از سال ۲۰۲۱ است.

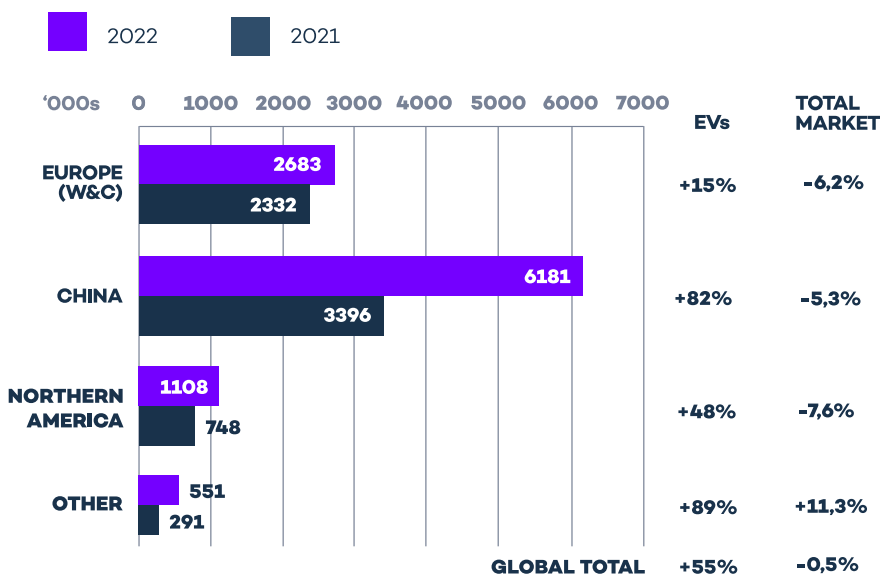


منبع: Global EV Outlook 2023

• بازار خودروهای الکتریکی به سرعت و در همه‌جا در حال رشد است.

به دلیل چالش کربن‌زدایی که اکثر کشورهای پیشرو اکنون آن را جدی می‌گیرند و با سیاست‌ها و مشوق‌های مختلف حمایت می‌شوند، فروش جهانی خودروهای برقی در سال ۲۰۲۳ همچنان شتاب می‌گیرد. تنها در سه ماهه اول سال ۲۰۲۳ ۲.۳ میلیون خودروی برقی فروخته شد. این ۲۵ درصد بیشتر از زمان مشابه در سال ۲۰۲۲ است. پیش‌بینی می‌شود تا پایان سال ۲۰۲۳، این صنعت ۱۴ میلیون فروش داشته باشد. خودروهای برقی می‌توانند ۱۸ درصد از کل فروش خودرو را تا آن زمان تشکیل دهند.

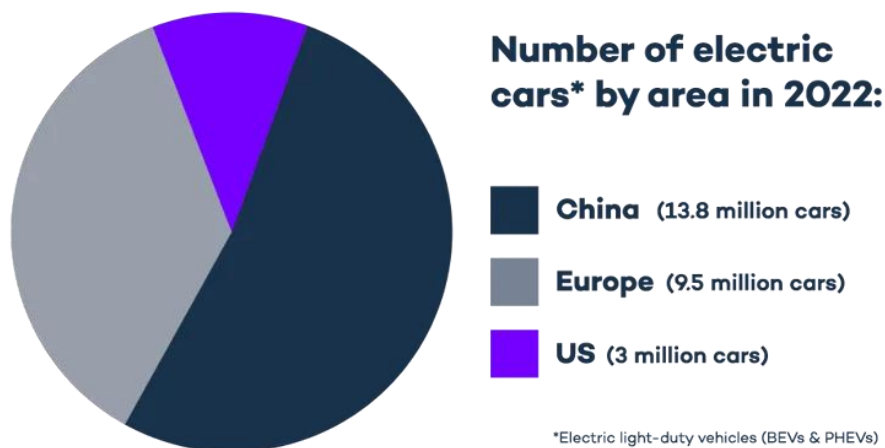
BEV+PHEV Sales and % Growth



منبع: EV volumes

• خودروهای الکتریکی در اروپا

اروپا در سال ۲۰۲۲ در مقایسه با رشد استثنایی که در سال‌های ۲۰۲۰ و ۲۰۲۱ مشاهده شد، رکود در فروش خودروهای برقی تجربه کرد. اما این قاره همچنان دومین بازار بزرگ خودروهای الکتریکی باقی مانده است. فروش خودروهای برقی بیش از ۱۵ درصد نسبت به سال ۲۰۲۱ بیشتر بود و به ۲.۷ میلیون رسید.



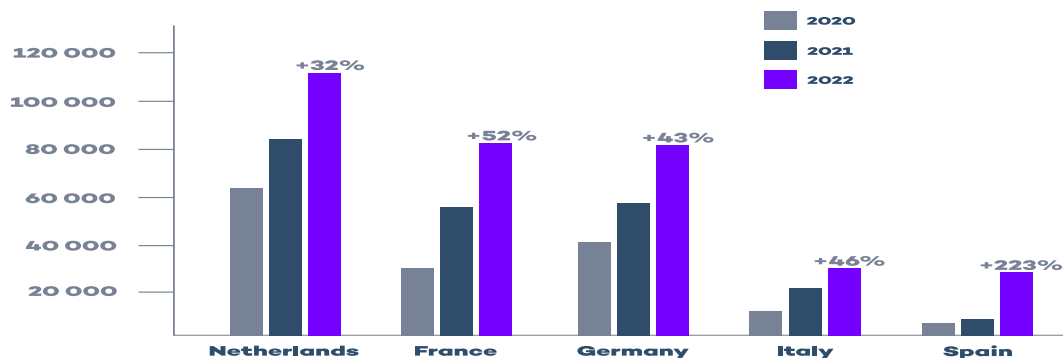
منبع: Global EV Outlook 2023

علیرغم رکود اقتصادهای بزرگ، فروش خودروهای برقی قاره به‌طور پیوسته در حال افزایش است که منعکس‌کننده اجرای اخیر قوانین سخت‌گیرانه‌تر در مورد استانداردهای انتشار CO2 است، مانند کاهش ۱۰۰ درصدی انتشار CO2 برای خودروها و وانت‌های جدید از سال ۲۰۳۵. رشد فروش خودروهای برقی را می‌توان به اقدامات محرکی نیز نسبت داد که توسط بسیاری از دولت‌های اروپایی و مزایای مالیاتی و یارانه‌های مختلف در بازارهای بزرگ اعمال شده است. نروژ، سوئد، هلند و آلمان هم‌چنان، بر اساس چشم‌انداز جهانی EV 2023 توسط آژانس بین‌المللی انرژی، بزرگ‌ترین بازارهای اروپایی هستند. درحالی‌که خودروهای سواری معمولاً اعتبار انقلاب خودروهای الکتریکی را به خود اختصاص می‌دهند، اما لازم است که سایر اشکال حمل‌ونقل را نیز در نظر گرفت که به تدریج سبزتر می‌شوند. از حمل‌ونقل عمومی تا اسکوترهای الکترونیکی. کل صنعت حمل‌ونقل در حال تبدیل شدن به وسایل برقی است.

❖ وضعیت شارژ EV

بیشتر شارژها هنوز در خانه یا محل کار انجام می‌شود، اما هر چه وسایل نقلیه الکتریکی بیشتر در جاده‌ها تردد نمایند، نقاط شارژ عمومی بیشتری برای پشتیبانی از جذب گسترده EV موردنیاز است. در سال ۲۰۲۲، ۲.۷ میلیون نقطه شارژ عمومی در سراسر جهان وجود داشت. ۹۰۰۰۰۰ دستگاه از این تعداد در طول سال نصب شد که رشد ۵۵ درصدی را از سال ۲۰۲۱ به خود اختصاص داده است. هم برای شارژ آهسته AC و هم برای شارژ سریع DC، چین در سال ۲۰۲۲ بر بازار تسلط داشت. در طول سال، ۳۶۰۰۰۰ نقطه شارژ آهسته و تقریباً ۲۹۷۰۰۰ نقطه شارژ سریع در چین نصب شد. در سال ۲۰۲۲، بیش از ۴۵۰۰۰۰ شارژر EV در دسترس عموم در اروپا شمارش شد. تا سال ۲۰۲۵، تخمین زده می‌شود که ۱.۳ میلیون ایستگاه شارژ برای عموم قابل دسترسی باشد و این تعداد تا سال ۲۰۳۰ به ۲.۹ میلیون افزایش یابد. هلند در استقرار زیرساخت‌های شارژ EV پیشتاز است و پس از آن فرانسه و آلمان قرار دارند. ایتالیا و اسپانیا نیز با رشد ۲۲۳ درصدی زیرساخت شارژ عمومی اسپانیا در سال ۲۰۲۲ نسبت به سال قبل، به ۵ کشور برتر راه یافتند.

Publicly accessible charging points in the top 5 European countries



As of: April 2023

منبع: Power2Drive Europe بر اساس رصدخانه سوخت‌های جایگزین اروپایی EAFO

• روند شارژ EV

شارژهای سریع، سفرهای طولانی‌تر را بسیار تسهیل می‌نمایند و ممکن است دلیلی برای کسانی باشد که به شارژر خصوصی دسترسی ندارند. در اروپا شارژهای آهسته با شارژهای سریع و فوق‌سریع جایگزین می‌شوند. در سال ۲۰۲۲، تعداد شارژهای سریع بیش از ۵۵ درصد افزایش یافت و به تقریباً ۷۰۰۰۰ دستگاه رسید. مقررات زیرساخت سوخت جایگزین ۸۶ (AFIR) که در سه ماهه اول سال ۲۰۲۳ بازنگری شد، الزاماتی را برای پوشش شارژ EV در سراسر اروپا تعیین نمود. این مقررات جاه‌طلبی برای توسعه زیرساخت‌های شارژ عمومی در سراسر قاره را برجسته می‌کند. به عنوان مثال، کشورهای عضو اتحادیه اروپا باید اطمینان حاصل کنند که تا سال ۲۰۲۵ در مسیرهای اصلی اروپا در هر ۶۰ کیلومتر در هر جهت سفر، یک دستگاه شارژ سریع وجود دارد.

روند دیگری که به‌طور پیوسته در فضای EV در حال افزایش است، شارژ هوشمند وسایل نقلیه الکتریکی است، مانند استفاده از دستگاه‌های شارژ متصل به ابر^{۸۷} شارژ هوشمند EV برای صاحبان مشاغل و مصرف‌کنندگان به‌طور یکسان، امکان راحتی و کنترل بیشتر بر مصرف برق را فراهم می‌آورد. فناوری V2G^{۸۸} امکان انتقال برق ذخیره شده در باتری‌های وسایل نقلیه الکتریکی را به شبکه به همان روشی که انبارهای ثابت به شبکه متصل می‌شوند، می‌دهد. خدمات V2G در حال حاضر به‌صورت تجاری در دسترس هستند و چندین تولیدکننده شارژر می‌توانند شارژهای V2G را تهیه کنند. پیش‌بینی می‌شود بازار V2G تا سال ۲۰۲۴ به بیش از ۴.۵ میلیارد یورو افزایش یابد. استاندارد اروپایی برای شارژ V2G، ISO 15118-20، که در سال ۲۰۲۰ توسعه یافت، الزامات شارژ دوطرفه را تعریف می‌کند. Virta به عنوان یکی از رهبران جهانی در فناوری V2G شناخته شده است.

❖ توسعه وسایل نقلیه الکتریکی و فناوری شارژ

دیدگاه جالب دیگر مربوط به توسعه قطعات جدید EV و فناوری‌های شارژ است. افزایش ثبت‌نام خودروهای الکتریکی منجر به افزایش تولید باتری‌های لیتیوم یونی خودرو شد. در سال ۲۰۲۲، تقاضای باتری EV نسبت به سال قبل ۶۵ درصد افزایش یافت زیرا فروش خودروهای برقی در همه بازارها، به‌ویژه در چین همچنان به رشد خود ادامه داد. افزایش تقاضای باتری را می‌توان به فروش رو به رشد خودروهای الکتریکی باتری^{۸۹} (BEV) و وسایل نقلیه الکتریکی هیبریدی پلاگین^{۹۰} (PHEV) نسبت داد که در مقایسه با وسایل نقلیه الکتریکی هیبریدی^{۹۱} (HEV) به باتری‌هایی در اندازه بزرگ‌تر نیاز دارند.

⁸⁶ The Alternative Fuels Infrastructure Regulation

⁸⁷ Cloud-connected charging devices

⁸⁸ Vehicle-to-grid (V2G)

⁸⁹ Battery electric vehicles

⁹⁰ Plug-in hybrid electric vehicles

⁹¹ Hybrid electric vehicles

چین همچنان کشور پیشرو در تولید باتری، به ویژه تولید باتری‌های سنگین است. با این حال، اروپا عقب نمانده است. بر اساس گزارش BloombergNEF، سهم اروپا از تولید جهانی باتری تا سال ۲۰۳۰ به ۳۱ درصد افزایش خواهد یافت. واضح است که برای حمایت از تقاضای فزاینده برای خودروهای الکتریکی، عناصر مختلف زنجیره تأمین باتری EV، از استخراج مواد خام مانند لیتیوم یا نیکل گرفته تا خود تولید EV، می‌بایست افزایش یابد.

پیشرفت‌های متنوع در ویژگی‌های باتری، ناشی از تقاضای بالا، مزایای متعددی را برای تجارت خودروهای برقی فراهم می‌کند. برای بازار خودروهای برقی، پیشرفت‌های تکنولوژیکی بیشتر عبارت‌اند از: تغییرات در شیمی باتری، تغییرات در چگالی انرژی، تغییر در اندازه بسته‌های باتری. در نهایت این تغییرات منجر به کاهش هزینه و افزایش راندمان تولید خواهد شد.

❖ تأثیرات زیست‌محیطی EVS

در مجموع خودروهای الکتریکی در سال ۲۰۲۲ تقریباً ۱۱۰ تراوات ساعت برق مصرف کردند که نسبت به سال قبل دو برابر شده است. پیش‌بینی می‌شود در آینده، خودروهای برقی تا سال ۲۰۳۰ کمتر از ۴ درصد از مصرف جهانی برق را به خود اختصاص دهند. با افزایش تقاضای برق برای شارژ وسایل نقلیه الکتریکی، نیاز به محافظت از شبکه برق نیز افزایش می‌یابد. برنامه‌ریزی دقیق زیرساخت‌های برق، استفاده گسترده از شارژ هوشمند و اجرای راه‌حل‌های مدیریت انرژی هوشمند برای مدیریت بار، همگی برای اطمینان از سیستم‌های برق سالم و متعادل بسیار مهم خواهند بود.

در سال ۲۰۲۲، استفاده از EV باعث صرفه‌جویی بیش از ۸۰ میلیون تن در تولید گازهای گلخانه‌ای در سراسر جهان شد. در عمل، همه آلاینده‌های EV ناشی از فرآیند تولید است، در حالی که ما نمی‌توانیم منطق مشابهی را برای خودروهای موتور احتراق داخلی^{۹۲} (ICE) اعمال کنیم. در طرح کلان، می‌توان نتیجه گرفت که بحث عمومی در مورد اثرات زیست‌محیطی خودروهای برقی در مقابل خودروهای ICE به نفع خودروهای برقی است.

پیش‌بینی‌های آینده بر اساس سناریوی سیاست‌های بیان‌شده می‌گویند که در سال ۲۰۳۰، استفاده از خودروهای الکتریکی می‌تواند به جلوگیری از ۷۰۰ میلیون تن دی‌اکسید کربن از انتشار گازهای گلخانه‌ای کمک کند. سناریوی تعهدات اعلام‌شده^{۹۳} این عدد را حتی فراتر می‌برد و بیش از ۷۷۰ میلیون تن را پیش‌بینی می‌کند. تا دهه ۲۰۴۰، وسایل نقلیه الکتریکی بیش از ۳۰ تراوات ساعت ظرفیت ذخیره‌سازی باتری نصب‌شده خواهند داشت. برای شرکت‌های برق، این بدان معناست که خودروهای برقی ذخیره‌سازی انرژی ارزان، بدون سرمایه و هزینه‌های عملیاتی نسبتاً پایین ارائه می‌دهند.

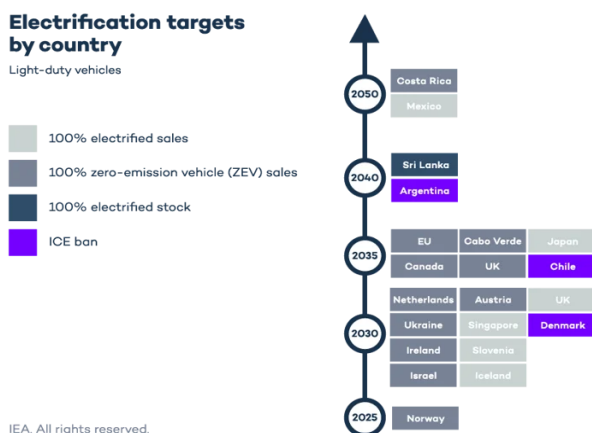
⁹² Internal combustion engine

⁹³ Announced Pledges Scenario

❖ سیاست‌های فعلی مرتبط با EV

سیاست‌های دولتی و محلی نقش بزرگی در تسریع پذیرش EV ایفا می‌کنند. در سال ۲۰۲۲، سیاست‌های مرتبط با خودروهای برقی بیش از ۹۰ درصد از فروش جهانی LDV و ۷۰ درصد از فروش HDV و دو/سه چرخ را به خود اختصاص دادند. بازارهای بزرگ (چین، ایالات متحده، اروپا) که در حال حاضر شاهد رشد سریع فروش خودروهای برقی هستند، سفرهای

خود را با ارائه سیاست‌هایی مانند مشوق‌های خرید خودرو آغاز کردند. این بازارها اکنون از ایجاد انگیزه برای فروش خودروهای الکتریکی به سمت حمایت از حمل‌ونقل سنگین و شارژ EV تغییر می‌کنند. برای مثال انگلستان، یارانه فروش خودروهای الکتریکی را متوقف کرد و ۱۶ میلیارد پوند را به رشد زیرساخت شارژ عمومی اختصاص داد. پیش‌بینی می‌شود تا سال ۲۰۳۰، ۳۰۰۰۰۰ شارژر عمومی در کشور نصب شود. سیاست‌های مرتبط با خودروهای الکتریکی در سوق دادن کشورها به سمت اهداف برقی‌سازی‌شان بسیار



اهداف برقی‌سازی در کشورهای مختلف

مهم است. درحالی‌که برخی از کشورها برای فروش ۱۰۰٪ برقی تلاش می‌کنند، برخی دیگر قصد دارند فروش خودروهای ICE را به‌طور کامل ممنوع کنند.

❖ پاسخ بخش خصوصی به EVs

بخش خصوصی و به‌ویژه خودروسازان به تغییرات جاری در بازار پاسخ مثبت داده‌اند. بسیاری از خودروسازان برقی شدن ناوگان خود را به‌صورت جزئی یا کامل اعلام کرده‌اند. در سمت ناوگان، EV100، یک ابتکار جهانی که از انتقال به حمل‌ونقل بدون آلاینده با ۱۳۰ عضو پشتیبانی می‌کند، متعهد شده است تا سال ۲۰۳۰ کاملاً برقی شود و زیرساخت‌های شارژ را برای کارکنان و مشتریان نصب کند. به‌طور مثال:

- Unilever متعهد شده است که ناوگان بیش از ۱۱۰۰۰ وسیله نقلیه خود را به برق تبدیل کند و شارژ EV در محل کار را برای کارکنان خود نصب کند.
- ABB همچنین قصد دارد برای ۱۱۰۰۰ خودروی ناوگان خود به برق تبدیل شود.
- DHL متعهد شده است که تا سال ۲۰۲۵ به ۷۰ درصد عملیات پاک‌سازی وانت و تحویل آن دست یابد.
- DB Schenker می‌خواهد تا سال ۲۰۳۰ فعالیت‌های حمل‌ونقل خود را در شهرهای اروپایی بدون آلاینده کند.

درحالی که اقدامات فوق‌الذکر فی‌نفسه ارزش توجه دارند، مزیت حاشیه‌ای آن‌ها این است که به عنوان دستگاه‌های سیگنال برای بقیه بازار عمل می‌کنند. به عبارت دیگر، تعهدات عمومی مانند این فشار بر رقبا و ذینفعان برای اقدام سریع‌تر خواهد بود.

Electrification targets of selected major automakers for light-duty vehicles

| Automaker | Target | Region |
|------------|--|--------|
| Ford | 600 000 BEV sales by 2026 | Europe |
| Volkswagen | Fully electric production by 2033 | Europe |
| Toyota | 1 500 000 BEV sales; introduce 10 new models by 2026 | Global |
| Mazda | At least 25% of global sales to be BEV in 2030 | Global |
| Honda | Launch 30 EV models globally by 2030 | Global |
| Nissan | Global target of 44% EV sales by 2026, 55% by 2030 | Global |
| Porsche | 80% of sales to be electric by 2030 | Europe |
| BMW Group | EV sales share to reach 30% by 2025, 50% by 2030 | Global |
| Mitsubishi | 100% EV sales by 2035 | Global |

منبع: Global EV Outlook 2023

❖ پیش‌بینی‌ها: چشم‌انداز بازار خودروهای برقی تا سال ۲۰۳۰ و پس از آن

طبق Global EV Outlook 2023، سه سناریو ممکن وجود دارد:

- سناریوی سیاست‌های بیان شده^{۹۴} (STEPS) نشان می‌دهد که تا سال ۲۰۳۰، موجودی خودروهای برقی جهانی (به استثنای خودروهای دو/سه چرخ) به نزدیک به ۲۴۰ میلیون وسیله نقلیه خواهد رسید و بیش از ۱۰ درصد از ناوگان وسایل نقلیه جهانی را تشکیل می‌دهد.

⁹⁴ The Stated Policies Scenario

- طبق سناریوی کمی بلندپروازانه‌تر، سناریوی تعهدات اعلام‌شده^{۹۵} (APS)، تقریباً ۲۵۰ میلیون خودروی برقی تا سال ۲۰۳۰ در جاده‌های جهانی تردد خواهند کرد و فروش خودروهای برقی بیش از ۳۵ درصد از کل فروش خودرو را تشکیل می‌دهد.
- سناریوی انتشارات صفر خالص تا سال ۲۰۵۰^{۹۶} (NZE) پیش‌بینی می‌کند که موجودی جهانی خودروهای برقی به ۳۸۰ میلیون خودروی برقی خواهد رسید و فروش خودروهای برقی تا ۶۰ درصد از کل فروش خودرو در سال ۲۰۳۰ افزایش خواهد یافت.

❖ چشم‌انداز بازار خودروهای برقی در اروپا

| | EVs (in thousands) | PCP (in thousands) | EVs per PCP |
|----------------|--------------------|--------------------|-------------|
| 2019 | 1 300 | 175 | 7 428 |
| 2025 | 14 000 | 1 300 | 10.76 |
| 2030 (low) | 33 000 | 2 900 | 11.38 |
| 2030 (high) | 40 000 | 2 900 | 13.79 |

چند سال آینده برای اروپا برای حفظ موقعیت پیشروی خود بسیار مهم خواهد بود. مطابق انتظارات، این قاره تا سال ۲۰۲۵ به اولین نقطه عطف ۱۴ میلیون خودروی برقی خواهد رسید. پس از آن، تخمین‌های پایین به ۳۳ میلیون خودروی برقی تا سال ۲۰۳۰ اشاره می‌کنند، درحالی‌که برآوردهای بالا از ۴۰ میلیون خودروی برقی در سراسر اروپا

خبر می‌دهند. از سال ۲۰۳۵ به بعد، نیز ۱۰۰ درصد از خودروهای جدید فروخته شده در اروپا الکتریکی خواهند بود.

منبع:

virta.global

⁹⁵ Announced Pledges Scenario

⁹⁶ Net Zero Emissions by 2050 Scenario

سیستم‌های خورشیدی و ذخیره‌سازها



با افزایش تقاضا برای انرژی‌های تجدیدپذیر، سیستم‌های خورشیدی تجاری به‌طور فزاینده‌ای محبوب شده‌اند. این سیستم‌ها از نیروی خورشید برای تولید برق استفاده می‌کنند و وابستگی کسب‌وکارها به سوخت‌های فسیلی را کاهش می‌دهند. با این حال، یکی از چالش‌های انرژی خورشیدی ماهیت متناوب آن است. راه مقابله با این چالش سیستم‌های ذخیره‌ساز باتری است.

❖ مزایای باتری ذخیره‌ساز در سیستم‌های خورشیدی تجاری

ذخیره‌سازی باتری نقش حیاتی در سیستم‌های خورشیدی تجاری ایفا می‌کند و مزایای بی‌شماری را برای مشاغل ارائه می‌دهد. سه مزیت اصلی ذخیره‌سازهای باتری عبارت‌اند از:

۱. جابجایی بار

جابجایی بار، عمل ذخیره‌سازی برق اضافی تولیدشده در طول روز و استفاده از آن در ساعات اوج تقاضا است. سیستم‌های ذخیره‌سازی باتری، کسب‌وکارها را قادر می‌سازد تا مصرف انرژی خود را بهینه کنند و اطمینان حاصل کنند که انرژی خورشیدی برای مصرف در دسترس است حتی زمانی که خورشید نمی‌تابد. با انتقال بار به زمانی که تقاضای برق در بالاترین حد است، کسب‌وکارها می‌توانند به‌طور قابل‌توجهی اتکای خود به شبکه و همچنین هزینه‌های انرژی خود را کاهش دهند.

۲. اصلاح بار پیک

هزینه‌های ساعات پیک تقاضا می‌تواند بار قابل توجهی برای مؤسسات تجاری باشد. ذخیره‌سازی باتری به کسب‌وکارها این امکان را می‌دهد تا با مصرف انرژی از باتری‌ها در دوره‌های مصرف زیاد برق، این قله‌ها را از بین ببرند. با کاهش اتکای خود به شبکه در زمان اوج مصرف، کسب‌وکارها می‌توانند از هزینه‌های تقاضا جلوگیری کنند و هزینه‌های انرژی خود را بیشتر بهینه کنند.

۳. برق پشتیبان

قابلیت اطمینان برای برخی تجارت‌ها بسیار مهم است. قطعی شبکه یا نگهداری برنامه‌ریزی شده می‌تواند فعالیت‌های تجاری را مختل کند و منجر به زیان‌های مالی شود. سیستم‌های ذخیره‌سازی باتری منبع قابل اعتمادی از انرژی پشتیبان را فراهم می‌کنند و عملکرد بدون وقفه در چنین رویدادهایی تضمین می‌کنند. با داشتن منبع تغذیه پشتیبان، کسب‌وکارها می‌توانند به عملکرد خود ادامه دهند، از تجهیزات ضروری محافظت و رضایت مشتری را حفظ کنند.

❖ باتری‌های رایج

انواع باتری معمولاً در سیستم‌های خورشیدی تجاری استفاده می‌شود. دو گزینه رایج عبارت‌اند از:

• باتری‌های لیتیوم یون

باتری‌های لیتیوم یونی به دلیل مزایای بی‌شماری که دارند به‌طور گسترده در سیستم‌های خورشیدی تجاری استفاده می‌شوند. این باتری‌ها چگالی انرژی بالایی دارند، همچنین طول عمر بیشتری نسبت به سایر باتری‌ها دارند که نیاز به تعویض مکرر را کاهش می‌دهد. علاوه بر این، باتری‌های لیتیوم یونی نیاز به تعمیر و نگهداری کمتری دارند که در درازمدت باعث صرفه‌جویی در هزینه‌ها برای مشاغل می‌شود.

• باتری‌های سرب اسید

باتری‌های سرب اسیدی سال‌ها است که در کاربردهای تجاری مورد استفاده قرار می‌گیرند. این باتری‌ها در مقایسه با باتری‌های لیتیوم یونی هزینه‌های اولیه کمتری دارند. باتری‌های سرب اسید درحالی‌که طول عمر کمتری دارند و نیاز به تعمیر و نگهداری بالاتری دارند، هنوز هم می‌توانند گزینه مناسبی برای کاربردهای تجاری خاص، به‌ویژه با محدودیت بودجه باشند. سایر باتری‌های نوظهور، مانند باتری‌های جریان یا باتری‌های حالت جامد نیز برای کاربردهای تجاری خورشیدی در حال بررسی هستند. این فناوری‌ها مزایای مختلفی را برای موارد استفاده خاص دارند.

❖ تعیین سائز باتری‌های تجاری

هنگام پیاده‌سازی سیستم‌های ذخیره‌سازی باتری برای کاربردهای تجاری، چندین ملاحظات اندازه باید در نظر گرفته شوند:

• الگوی تقاضای انرژی

درک الگوهای مصرف انرژی تأسیسات برای تعیین ظرفیت ذخیره‌سازی مناسب باتری بسیار مهم است. تجزیه و تحلیل مشخصات تقاضای انرژی به کسب‌وکارها اجازه می‌دهد زمان‌های اوج مصرف را شناسایی کرده و سیستم ذخیره باتری را بر اساس آن اندازه بگیرند. این امر تضمین می‌کند که انرژی کافی برای پاسخگویی به تقاضای بار بالا ذخیره می‌شود.

• الزامات اوج تقاضا

سایز دقیق سیستم ذخیره‌سازی باتری برای برآوردن نیازهای حداکثر توان برای کاربردهای تجاری ضروری است. با ارزیابی دقیق نیازهای پیک تقاضای تأسیسات، کسب‌وکارها می‌توانند اطمینان حاصل کنند که سیستم باتری ظرفیت کافی برای تحمل بار در زمان اوج استفاده را دارد. این امر به جلوگیری از بارگذاری بیش‌ازحد باتری‌ها کمک می‌کند و عملکرد قابل‌اعتماد را در زمان مهم، تضمین می‌کند.

• مقیاس پذیری

در نظر گرفتن نیازهای انرژی در آینده هنگام تعیین سایز ذخیره‌سازی باتری برای کاربردهای تجاری ضروری است. کسب‌وکارها باید نیازهای انرژی پیش‌بینی‌شده خود را ارزیابی نموده و اطمینان حاصل کنند که سیستم برای سازگاری با توسعه‌های آینده یا افزایش مصرف انرژی مقیاس‌پذیر است. با انتخاب راه‌حل‌های مقیاس‌پذیر، کسب‌وکارها می‌توانند از ارتقاء یا جایگزینی پرهزینه اجتناب کنند.

سه‌م ۳۳ درصدی نیروگاه‌های خورشیدی و بادی در تولید برق جهان



با افزایش تولید برق بادی و خورشیدی، قیمت انرژی کاهش خواهد یافت. پیش‌بینی می‌شود انرژی باد و خورشید تا سال ۲۰۳۰، ۳۳ درصد انرژی جهان را تولید خواهند کرد. طبق گزارش موسسه راکی ماونتین⁹⁷ (*RMI*)، پروژه‌های بادی و خورشیدی در مسیری قرار دارند که تا سال ۲۰۳۰ بیش از یک سوم برق جهان را به خود اختصاص دهند. این موضوع نویدبخش این است که بخش انرژی می‌تواند به تغییرات موردنیاز برای دستیابی به اهداف جهانی آب‌وهوا دست یابد. سلطان الجابر، رئیس اجلاس بعدی آب‌وهوای سازمان ملل، *COP28*، در اوایل سال جاری خواستار افزایش سه برابری تولید انرژی‌های تجدیدپذیر تا سال ۲۰۳۰ برای مهار انتشار گازهای گلخانه‌ای و کمک به دستیابی به اهداف تعیین‌شده در توافقنامه آب و هوایی پاریس در سال ۲۰۱۵⁹⁸ شد.

رشد تصاعدی در حوزه تجدیدپذیر به این معنی است که پیش‌بینی می‌شود پروژه‌های بادی و خورشیدی حداقل ۳۳ درصد از برق جهانی را تولید کنند. این سهم در حال حاضر حدود ۱۲ درصد است. گزارش *RMI* نشان داد که این رشد منجر به کاهش تولید با سوخت فسیلی و ارزان‌تر شدن انرژی خواهد شد. *RMI*، یک سازمان غیردولتی مستقر در ایالات متحده است که بر انرژی پاک تمرکز دارد. این تحقیق با مشارکت صندوق زمین بزوس⁹⁹ و بودجه ۱۰ میلیارد دلاری برای کمک به تأمین مالی راه‌حل‌های تغییرات آب و هوایی، انجام شده است. انرژی خورشیدی که در حال حاضر ارزان‌ترین شکل تولید برق است، از حدود ۴۰ دلار (۳۵.۷۰ یورو) بر مگاوات ساعت در حال حاضر به ۲۰ دلار (۱۷.۸۰ یورو) بر هر مگاوات ساعت کاهش می‌یابد و در حقیقت هرچه پروژه‌های بیشتری به کار گرفته می‌شوند، صرفه‌جویی در مقیاس بهبود می‌یابد.

منبع: یورونیوز - ۲۰۲۳/۰۸/۰۲

⁹⁷ Rocky Mountain Institute

⁹⁸ 2015 Paris climate agreement.

⁹⁹ Bezos Earth Fund

ظهور موفق هیولای بادی ۱۵ مگاواتی وستاس



Vestas Wind Systems مستقر در دانمارک بیش از نیم قرن است که در تجارت انرژی بادی فعالیت دارد. وستاس به‌عنوان ارائه‌دهنده توربین‌های بادی به ۸۸ کشور و با بیش از ۱۶۰ گیگاوات ظرفیت نصب‌شده، اکنون راه را برای ساخت نسل بعدی توربین‌های بادی با راندمان بالاتر هموار کرده است. در همین راستا، قدرتمندترین توربین بادی جهان، نمونه اولیه، Vestas V236-15.0 MW برای اولین بار به توان کامل ۱۵ مگاوات (MW) خود رسید. توربین بادی ۱۵ مگاواتی وستاس، اولین برق خود را در دسامبر ۲۰۲۲ تولید کرد.

وستاس نصب نمونه اولیه توربین V236-15.0 MW را در مرکز آزمایش ملی Østerild برای توربین‌های بادی بزرگ در غرب جوتلند دانمارک نهایی کرده است. نمونه اولیه اولین کیلووات ساعت خود را با موفقیت تولید کرده است و اکنون تحت یک برنامه آزمایش و راستی‌آزمایی گسترده قرار گرفته است.

V236-15.0 MW که در فوریه ۲۰۲۱ به بازار معرفی شد، دارای قطر روتور ۲۳۶ متر و مساحت بادگیر ۴۳,۷۴۳ متر مربع است و از این رو، عنوان بزرگ‌ترین توربین بادی را به خود اختصاص می‌دهد. این توربین با ۲۸۰ متر بلندترین توربین بادی جهان است. پره‌های ۱۱۵.۵ متری نیز در کارخانه پره Vestas در Nakskov، دانمارک تولید شده است. نمونه اولیه ناسل در کارخانه ناسل دریایی در بندر لیندو در اودنسه توسعه و مونتاژ شده است. برنامه آزمایشی برای یکپارچه‌سازی سیستم ژنراتور، کانورتر و شبکه قبلاً در مرکز آزمایش LORC در دانمارک آغاز گردیده است.

| Power regulation operational data | Pitch regulated with variable speed |
|--------------------------------------|---|
| Rated power | 15,000kW |
| Cut-in wind speed | 3m/s |
| Cut-out wind speed | 31m/s |
| Wind class | IEC S or S,T |
| Standard operating temperature range | from -15°C* to +23°C* with a de-rating interval from +23°C to +45°C |

*high ambient temperature variant available

مشخصات فنی توربین V236-15.0 MW محصول شرکت وستاس

از سابقه خدمات و ایمنی در سطح جهانی Vestas بهره می‌برد و با طول عمر طراحی ۳۰ سال ارائه می‌شود. این توربین با مساحت بادگیر بیش از ۴۳۰۰۰ متر مربع، عملکرد پیشرو در صنعت را ارائه می‌دهد و مرزهای تولید انرژی بادی را به حدود ۸۰ گیگاوات ساعت در سال می‌رساند که برای تأمین انرژی حدود ۲۰۰۰۰ خانوار اروپایی و کاهش انتشار بیش از ۳۸۰۰۰ تن CO2 در سال کافی است.

وستاس تاکنون قراردادهای تأمین‌کننده ترجیحی^{۱۰۰} توربین V236-15.0 MW را برای مجموع بیش از ۸ گیگاوات در پنج بازار مختلف اعلام کرده است. این نیروگاه برای مزرعه بادی فراساحلی سواحل اقیانوس اطلس نیوجرسی و همچنین پروژه‌های Empire Wind 1 و Empire Wind 2 نیویورک انتخاب شده است. شایان ذکر است، این نمونه توربین برای مدت طولانی قوی‌ترین توربین بادی جهان باقی نخواهد ماند، زیرا توربین‌های بادی قدرتمندتری در حال راه‌اندازی هستند.

منابع:

wind-turbine-models.com
vestas.com
kolnegar.ir

¹⁰⁰ preferred supplier agreements

پروژه عظیم خورشیدی-ذخیره‌سازی در فرودگاه بین‌المللی دالس آمریکا



مقامات Dominion Energy و اداره فرودگاه‌های متروپولیتن واشنگتن^{۱۰۱} (MWAA) به همراه رهبران فدرال، ایالتی و محلی به پروژه Dulles Solar and Storage در فرودگاه بین‌المللی دالس پیوستند. پس از تکمیل، این بزرگ‌ترین پروژه انرژی تجدیدپذیر خواهد بود که تاکنون در یک فرودگاه ایالات‌متحده توسعه یافته است. این نیروگاه تا ۱۰۰ مگاوات (MW) انرژی خورشیدی تولید و تا ۵۰ مگاوات انرژی ذخیره خواهد نمود، که انرژی پاک کافی برای تأمین انرژی بیش از ۳۷۰۰۰ خانه در ویرجینیا در زمان اوج مصرف است. تمام انرژی تولیدشده در دسترس مشتریان Dominion Energy خواهد بود. سناتور مارک وارنر گفت: «این پیشگامی آغاز یک دستاورد تاریخی است امیدوارم این مشارکت به عنوان الگویی برای پروژه‌های انرژی‌های تجدیدپذیر آینده در سراسر کشور باشد و راه را برای آینده‌ای سبزتر و مستقل در انرژی هموار نماید. با سرمایه‌گذاری‌های فدرال در حوزه انرژی پاک که توسط قانون زیرساخت‌های دوحزبی^{۱۰۲} و قانون کاهش تورم^{۱۰۳} امکان‌پذیر شده است، من مطمئن هستم که ویرجینیا هم‌چنان به پیشتازی در تولید انرژی پاک نوآورانه ادامه خواهد داد.»

❖ افق نقش وسایل نقلیه برقی و اتوبوس در فرودگاه بین‌المللی دالس

این مشارکت شامل اولین قرارداد اجاره‌ای در نوع خود است که انرژی‌های تجدیدپذیر و وسایل نقلیه الکتریکی را در فرودگاه دالس پیشرفت بیشتری خواهد داد. به جای پرداخت اجاره سالانه به Dominion Energy، MWAA دو کانکس خورشیدی^{۱۰۴} ۱ مگاواتی را توسعه خواهد داد که تا حدی تجهیزات دالس را تأمین می‌نماید و ۱۸ اتوبوس ترانزیت برقی، ۵۰ وسیله نقلیه ناوگان الکتریکی و ایستگاه‌های شارژ خودروهای الکتریکی را برای عملیات فراهم می‌نماید. این پروژه در ۸۳۵ هکتار واقع در جنوب غربی فرودگاه بین‌المللی دالس توسعه خواهد یافت. عملیات ساخت‌وساز در اواخر سال ۲۰۲۳ آغاز می‌گردد

¹⁰¹ Metropolitan Washington Airports Authority

¹⁰² bipartisan infrastructure law

¹⁰³ Inflation Reduction Act

¹⁰⁴ solar carports

و تا اواخر سال ۲۰۲۶ تکمیل خواهد شد. این پروژه علاوه بر انرژی‌های تجدیدپذیر و حمل‌ونقل پاک، مزایای اقتصادی



قابل توجهی برای شهر لودون^{۱۰۵} و منطقه اطراف به همراه خواهد داشت. ساخت این پروژه بیش از ۳۰۰ شغل و ۲۰۰ میلیون دلار فعالیت اقتصادی را پشتیبانی خواهد نمود. این پروژه در اوایل سال جاری پس از بررسی گسترده و چندساله توسط وزارت حمل‌ونقل ایالات متحده^{۱۰۶}، اداره هوانوردی فدرال^{۱۰۷} و

کمیسیون شرکت ایالتی ویرجینیا^{۱۰۸}، در میان سایر آژانس‌های ایالتی و فدرال، تأیید نهایی را دریافت کرد.

منبع: Metropolitan Washington Airports Authority

¹⁰⁵ Loudoun

¹⁰⁶ U.S. Department of Transportation

¹⁰⁷ Federal Aviation Administration

¹⁰⁸ Virginia State Corporation Commission

مکو و نصب سیستم ذخیره‌ساز انرژی برای عبور از پیک سالانه برق



نمایندگان هیئت‌مدیره سندیکای صنعت برق ایران به همراه چند نماینده از کمیته انرژی‌های تجدیدپذیر، روز سه‌شنبه نهم خرداد ۱۴۰۲ با حضور در محل شرکت مکو از نزدیک در جریان فعالیت این شرکت قرار گرفته و از خط تولید آن بازدید کردند. شرکت مهندسی و ساخت برق و کنترل مپنا (مکو) که سال ۱۳۸۳ در منطقه فردیس کرج تاسیس شده، یک بنگاه اقتصادی دانش‌بنیان است که به همراه شرکت‌های زیرمجموعه خود، در زمینه توسعه، طراحی و ساخت انواع سیستم‌های اتوماسیون و کنترل فرآیندهای صنعتی، سیستم‌های حفاظت، تحریک و درایو، تحت عنوان تجهیزات برق و کنترل نیروگاهی، سایت‌های نفت و گاز، زیرساخت‌های حمل‌ونقل ریلی، صنایع فولاد و سیمان فعالیت می‌کند.

سبد محصولات مکو طیف وسیعی از برنامه‌های طراحی، تأمین مالی، ساخت، بهره‌برداری و نگهداری تجهیزات برق و کنترل مدرن در حوزه نیرو، نفت و گاز، صنایع سنگین و نیمه سنگین و شبکه‌های هوشمند را پوشش می‌دهد. سیستم‌های یکپارچه برق و کنترل توربین‌های گاز و بخار، سیستم‌های یکپارچه برق و کنترل توربین‌های بادی، سیستم‌های جامع برق، کنترل و حفاظت مزارع خورشیدی (فتوولتائیک)، سیستم‌های یکپارچه برق و کنترل سایت‌های صنعتی، سیستم‌های مدیریت شبکه‌های هوشمند، سیستم ذخیره‌ساز انرژی مپنا از جمله محصولات تولیدی این شرکت هستند.

توسعه کسب‌وکار در حوزه انرژی، کسب و بومی‌سازی دانش فنی طراحی و تجاری‌سازی محصولات طراحی شده، تنوع محصول از طریق پژوهش و فناوری، تمرکز بر دیجیتال‌سازی، اتوماسیون، کنترل فرآیند و هوشمندسازی و ورود به حوزه اینترنت اشیا که از سر فصل‌های انقلاب صنعتی چهارم می‌باشند از جمله اهداف پیش روی شرکت و در حال اجرا هستند.



سیستم ذخیره‌ساز انرژی یا سیستم BESS مبتنی بر شارژ و دشارژ باتری‌های لیتیوم یون در گروه مپنا با طراحی و ساخت شرکت مکو و برای نخستین بار در ایران انجام شده است. در واقع این سیستم در زمان‌های کم‌باری با اخذ توان از شبکه و ذخیره آن در باتری‌ها، امکان مشارکت در تزریق توان به شبکه برق را در شرایط پرباری فراهم می‌نماید و به این شکل با از میان برداشتن قطع بارهای ناخواسته ناشی از افزونگی مصرف، احتمال بی‌برقی شبکه را کاهش می‌دهد. مبنای طراحی و ساخت این سیستم بر پایه باتری‌های لیتیوم یون با خروجی ولتاژ نهایی ۷۵۰ ولت DC و مبدل‌های دوسویه با قدرت ۲۵۰ کیلووات

است، طراحی ماژولار به‌کارگرفته شده، امکان ساخت و تولید سیستم BESS را در ظرفیت‌های مختلف امکان‌پذیر می‌کند. نخستین سیستم BESS شرکت مهندسی و ساخت برق و کنترل مپنا (مکو) با ظرفیت یک مگاوات ساعت این امکان را فراهم می‌کند که در زمان‌های غیرپیک، انرژی برق را ذخیره کرده و در ساعات پرباری، منبع قابل اطمینانی جهت کمک به تأمین توان مصرفی باشد. ماژولار بودن BESS، امکان سفارش با ظرفیت‌های گوناگون و متناسب با نیاز مصرف‌کننده را فراهم می‌کند. این سیستم علاوه بر امکان استفاده مستقل در صنایع و شبکه‌های توزیع، می‌تواند در مولدهای تجدیدپذیر از جمله مزارع بادی و خورشیدی امکان حصول حداکثر انرژی از منابع تجدیدپذیر را فراهم کند. یکی دیگر از کاربردهای سیستم BESS، تأمین مصارف داخلی شبکه‌های جزیره‌ای مستقل از شبکه سراسری برق است. در واقع صنایع با بهره‌گیری از این سیستم می‌توانند با شارژ باتری‌ها در زمان‌های غیر پیک، منبع قابل اطمینانی را جهت استفاده در شرایط پیک شبکه برق و یا زمانی که استفاده از شبکه برق با محدودیت روبرو هست به‌کار گیرند و با افزایش ضریب اطمینان، از اختلال در تأمین برق مصرفی و در نتیجه مختل شدن تولید در آن صنایع جلوگیری کنند. سیستم BESS شرکت مکو با به‌کارگیری مبدل‌های توان با تکنولوژی روز و تأمین بازدهی بالای ۹۵ درصد، کارایی بالایی در کنترل و تثبیت ولتاژ دارد.

منبع : سندیکای صنعت برق ایران

افتتاح ایستگاه‌های شارژ خودروهای برقی در میدان آزادی



شهردار منطقه ۹ از برگزاری آیین افتتاح ایستگاه‌های شارژ خودروهای برقی در میدان آزادی خبر داد. به گزارش خبرگزاری برنا، سید محمدرحیم مرتضوی شهردار منطقه ۹ تهران گفت: پیرو تفاهم‌نامه فی‌مابین شهرداری تهران و وزارت صمت، مقرر شده به منظور تأمین و توسعه زیرساخت شارژ خودروهای برقی در کلانشهر تهران، ۷۳ ایستگاه شارژ خودرو و موتورسیکلت‌های برقی در ۷۳ نقطه تهران استقرار یابد. این ایستگاه‌ها شامل ۲۳ عدد شارژر *DC* (شارژ سریع) و ۵۰ عدد شارژر *AC* است که توسط شرکت مکو نصب و راه‌اندازی می‌شود. در فاز اول نسبت به نصب و راه‌اندازی ۱۵ ایستگاه شارژ در ۱۵ نقطه تهران هم‌زمان با هفته دولت اقدام شد که بر اساس اولویت‌بندی و جانمایی صورت گرفته توسط معاونت حمل‌ونقل و ترافیک شهرداری تهران و با همکاری معاونت حمل‌ونقل و ترافیک منطقه ۹، دو ایستگاه شارژ احداثی در فاز اول، در منطقه ۹ نصب و راه‌اندازی خواهد شد. در حال حاضر یک ایستگاه در ضلع شمالی رینگ داخلی میدان آزادی و دیگری در ابتدای خیابان آزادی مقابل بانک شهر جانمایی و احداث شده که هر کدام از این دو ایستگاه مجهز به یک شارژر *DC* (شارژ سریع) و ۴ عدد شارژر *AC* می‌باشند. لازم به ذکر است با توجه به برنامه‌ریزی‌های انجام شده این پروژه هم‌زمان با هفته دولت به بهره‌برداری رسیده است تا مالکین خودروهای هیبریدی بتوانند در این مکان‌ها باتری اتومبیل خود را شارژ کنند. همچنین تا پایان سال با اجرایی شدن فازهای دوم و سوم، جمعاً ۵۰۰۰ عدد شارژر خودروی برقی در شهر تهران نصب می‌شود.

منبع: برنا - ۱۴۰۲/۶/۶

برونداد تخصصی

انرژی‌های تجدیدپذیر



شماره ۳ - شهریور ۱۴۰۲