

برونداد تخصصی انرژی‌های تجدیدپذیر





برونداد تخصصی

انرژی‌های تجدیدپذیر

ویژه‌نامه بازیافت حرارت و فناوری‌های نوظهور تجدیدپذیر

عنوان پروژه: رصد فن‌آوری به‌منظور 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

پژوهشکده پشتیبان: پژوهشکده انرژی و محیط‌زیست

مدیر پروژه: مهندس ثریا رستمی

مجری پروژه: دکتر ابوالفضل موسوی ترشیزی

ناظر پژوهشگاه: دکتر محمد چمنی

ناظر کارفرما: دکتر اکبر شعبانی‌کیا

همکاران این گزارش:

مهندس ثریا رستمی – مهندس سارا جوکار

شماره ۱۵ – شهریورماه ۱۴۰۳

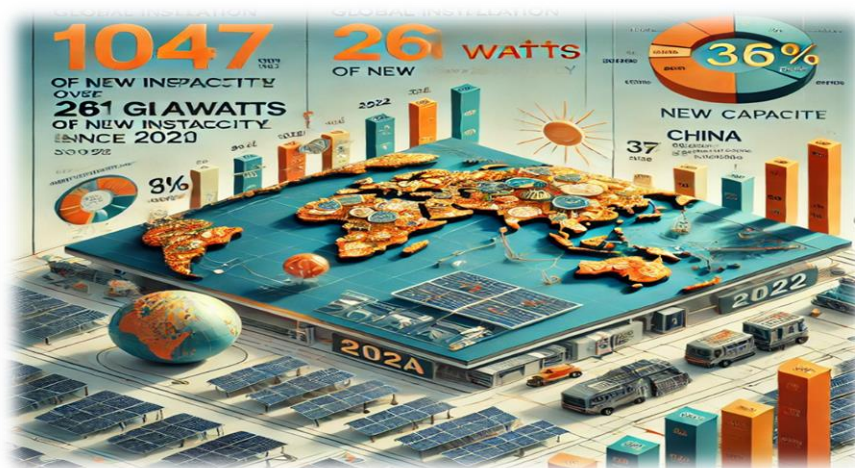
۴	لزوم توجه به تجدیدپذیرها در دولت جدید
۵	ارزیابی بازار قیمتی انرژی فتوولتائیک طی سال‌های ۲۰۱۰ تا ۲۰۲۲
۲۰	ده راه‌کار نوظهور بازیابی حرارت
۲۰	مروری بر فناوری‌های بازیافت حرارت
۳۵	راهکارهای نوین بازیابی حرارت اتلافی صنایع از دیدگاه مکنزی
۴۰	گروه برود، پیشرو در فناوری بازیابی حرارت اتلافی
۴۵	فناوری بازیافت حرارت اتلافی در مراکز داده در استکهلم
۴۶	ده روند و نوآوری برتر ذخیره‌سازی انرژی در سال ۲۰۲۴
۵۷	پیشرفت‌های انقلابی در فناوری سلول‌های خورشیدی انعطاف‌پذیر سایرو
۵۹	بازیافت حرارت در گلخانه‌های مدرن
۶۱	حمایت انجمن انرژی‌های تجدیدپذیر ایران از برنامه‌های دکتر علی‌آبادی برای تحول در صنعت برق و انرژی
۶۲	حمایت از اجرای طرح‌های بازیافت حرارت در نیروگاه‌های کوچک مقیاس

لزوم توجه به تجدیدپذیرها در دولت جدید



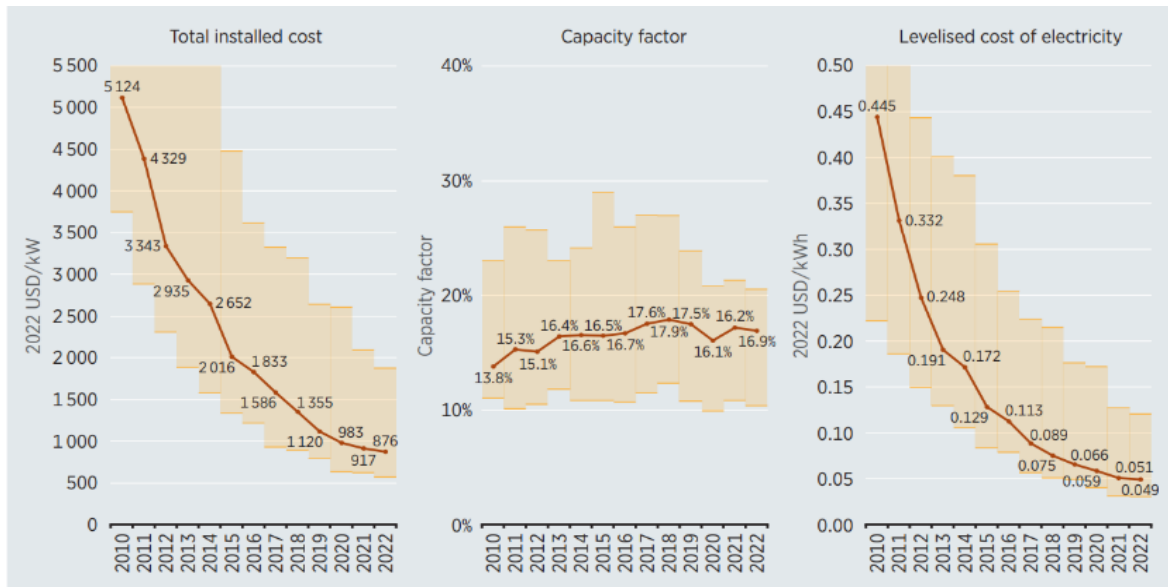
دکتر علی آبادی، وزیر نیرو در دولت چهاردهم، با اشاره به برنامه‌های خود در زمینه انرژی‌های تجدیدپذیر و هسته‌ای گفت: ما چاره‌ای نداریم جز اینکه به انرژی‌های تجدیدپذیر و هسته‌ای برای تولید برق نگاه راهبردی و کلیدی داشته باشیم؛ کشور ما اساساً کشوری آفتابی است و این یعنی ظرفیتی که بسیاری از کشورها از آن بی‌بهره هستند. از طرف دیگر نیز حداکثر مصرف ما در ظهر تابستان است که با بیشترین میزان تولید نیروگاه‌های خورشیدی هم‌زمان است؛ بنابراین بدون شک سهم تولید برق خورشیدی در دولت چهاردهم افزایش خواهد یافت. در کنار بهره‌گیری از ظرفیت‌های مذکور وزارت نیرو با تدبیر مدل‌های اقتصادی جذب حداکثری سرمایه‌گذاران در این حوزه را دنبال خواهد کرد؛ این رمز کاهش وابستگی به سوخت‌های فسیلی و کاهش آلودگی‌های محیط زیستی است که ان‌شاءالله با قدرت دنبال خواهیم کرد. دکتر علی‌آبادی ادامه داد: باور داشتن به ارزش واقعی انرژی در دنیای امروز یک پیش‌نیاز برای مدیریت مصرف است. اعتقاد دارم که می‌توانیم مبتنی بر فناوری‌های روز، شرایطی را فراهم نماییم که به جای گران فروختن برق به مردم از ایشان سهمیه یارانه برق را به قیمت واقعی بخریم و مردم مخیر باشند که برقشان را مصرف کنند یا به قیمت‌های بین‌المللی یا صنعتی گران بفروشند و به این ترتیب به ارزش واقعی آنچه در اختیار دارند پی ببرند. وی ادامه داد: ما در وزارت نیرو به حول و قوه الهی در مقام تنظیم‌گری تلاش خواهیم کرد. زیرساخت چنین فرایندی را طراحی و تشکیل دهیم که به مردم اجازه دهند خود مستقیماً از مزایای صرفه‌جویی در یک بازار رقابتی بهره‌مند گردند. وزارت نیرو از جایگاه واسطه‌گری برای خرید و فروش برق خارج خواهد شد و به جایگاه واقعی سیاست‌گذاری و نظارتی خود بر خواهد گشت تا تولیدکننده و مصرف‌کننده بتوانند با قواعد عادلانه و منصفانه و تدریجی که طراحی می‌شود، ظرفیت‌ها و فعالیت‌های خود را تنظیم کنند. البته هم‌وطنان عزیز ما در همه روستاها و شهرهای کوچک و بزرگ باید اطمینان داشته باشد که این مکانیزم‌ها زندگی و معیشت روزمره میان مدت و بلندمدت آن‌ها را سخت‌تر نمی‌کند. بلکه به امید خدا سهل‌تر نیز خواهد کرد.

ارزیابی بازار قیمتی انرژی فتوولتائیک طی سال‌های ۲۰۱۰ تا ۲۰۲۲



تا پایان سال ۲۰۲۲، بیش از ۱۰۴۷ گیگاوات سیستم‌های فتوولتائیک خورشیدی در سطح جهانی نصب شده است. این میزان نشان‌دهنده رشد تقریباً ۲۶ برابری این فناوری از سال ۲۰۱۰ است. تنها در سال ۲۰۲۲، سیستم‌های جدید با مجموع ظرفیت حدود ۱۹۱ گیگاوات به بهره‌برداری رسیدند که این مقدار ۳۶ درصد بیشتر از سال ۲۰۲۱ و نشان‌دهنده بیشترین افزایش سالانه در ظرفیت نصب‌شده پس از رشد ۵۰ درصدی از سال ۲۰۱۵ تا ۲۰۱۶ است. این افزایش ظرفیت جدید، بالاترین میزان در میان تمام فناوری‌های انرژی تجدیدپذیر در آن سال بود و این وضعیت از سال ۲۰۱۶ برای فتوولتائیک خورشیدی برقرار است.

از سال ۲۰۱۳، آسیا در نصب فتوولتائیک‌های خورشیدی پیشرو بوده است. با ادامه این روند، آسیا حدود ۵۹ درصد از تمامی نصب‌های جدید جهان را به خود اختصاص داد. سهم آسیا از نصب‌های جدید در سال ۲۰۲۱ حدود ۵۳ درصد و در سال ۲۰۲۰ حدود ۶۰ درصد بوده است. در سال ۲۰۲۲، چین نقش عمده‌ای در رشد این منطقه داشت و حدود ۷۷ درصد از تمامی نصب‌های جدید آسیایی (و حدود ۴۵ درصد از نصب‌های جهانی) را به خود اختصاص داد. در مجموع، آسیا در سال ۲۰۲۲ به میزان ۱۱۲ گیگاوات رشد داشت (در مقایسه با ۷۵ گیگاوات در سال ۲۰۲۱) و افزایش ظرفیت عمده‌ای در چین (۸۶ گیگاوات) و هند (۱۳.۵ گیگاوات) صورت گرفت. ژاپن نیز ۴.۶ گیگاوات به ظرفیت خود افزود که کمی بیشتر از سال ۲۰۲۱ بود. بازارهای قدیمی خارج از آسیا نیز به رشد خود ادامه دادند و به مقیاس بزرگ‌تری دست یافتند. ایالات متحده در سال ۲۰۲۲ حدود ۱۷.۶ گیگاوات، برزیل ۹.۹ گیگاوات و هلند و آلمان به ترتیب ۷.۷ و ۷.۲ گیگاوات ظرفیت خورشیدی اضافه کردند.



میانگین جهانی وزنی هزینه‌های کل نصب، فاکتور ظرفیت و هزینه ترانزنده تولید برق فتوولتائیک در سال‌های ۲۰۲۲-۲۰۱۰

❖ هزینه‌های احداث

روند کاهش هزینه‌های ماژول‌های فتوولتائیک خورشیدی از عوامل مهم بهبود رقابت‌پذیری این فناوری بوده است و این فناوری بالاترین نرخ یادگیری^۱ را در میان تمامی فناوری‌های انرژی تجدیدپذیر نشان داده است. از دسامبر ۲۰۰۹ تا دسامبر ۲۰۲۲، قیمت ماژول‌های سیلیکونی کریستالی در اروپا بسته به نوع ماژول، بین ۸۸ تا ۹۴ درصد کاهش یافته و میانگین وزنی کاهش هزینه در این بازه زمانی حدود ۹۱ درصد بوده است. در دسامبر ۲۰۲۲، ماژول‌های معمولی^۲ به قیمت ۰.۳۳ دلار به ازای هر وات فروخته می‌شدند. با این حال، طیف گسترده‌ای از هزینه‌ها بسته به نوع فناوری ماژول متفاوت است. هزینه‌ها از ۰.۲۲ دلار به ازای هر وات برای ماژول‌های با هزینه کمتر تا ۰.۴۴ دلار به ازای هر وات برای ماژول‌های با بازده بالا متغیر بوده‌اند که حد پایین این محدوده هزینه ۲ درصد بیشتر از دسامبر ۲۰۲۱ و حد بالا ۸ درصد کمتر از دسامبر ۲۰۲۱ بود.

ماژول‌های فیلم نازک^۳ که در سال ۲۰۲۲ حدود ۵ درصد از بازار را به خود اختصاص دادند، در دسامبر ۲۰۲۲ با قیمت ۰.۲۳ دلار به ازای هر وات فروخته شدند. هزینه ماژول‌های کریستالی دووجهی^۴ نیز در همین مدت ۵ درصد افزایش یافت. قیمت ماژول‌های کریستالی دووجهی در دسامبر ۲۰۲۰، ۳۹ درصد بیشتر از ماژول‌های تک‌وجهی معمولی بود. این اختلاف هزینه در دسامبر ۲۰۲۱ بدون تغییر باقی ماند اما در دسامبر ۲۰۲۲ به ۲۳ درصد کاهش یافت. این موضوع نشان می‌دهد که هزینه‌های ماژول دووجهی بیشتر تحت تأثیر نوع معماری سلول‌های استفاده‌شده برای ساخت آن‌هاست (تا طراحی دووجهی خود آن). به دلیل کاهش فاصله هزینه و پتانسیل بازده بیشتر به ازای هر وات

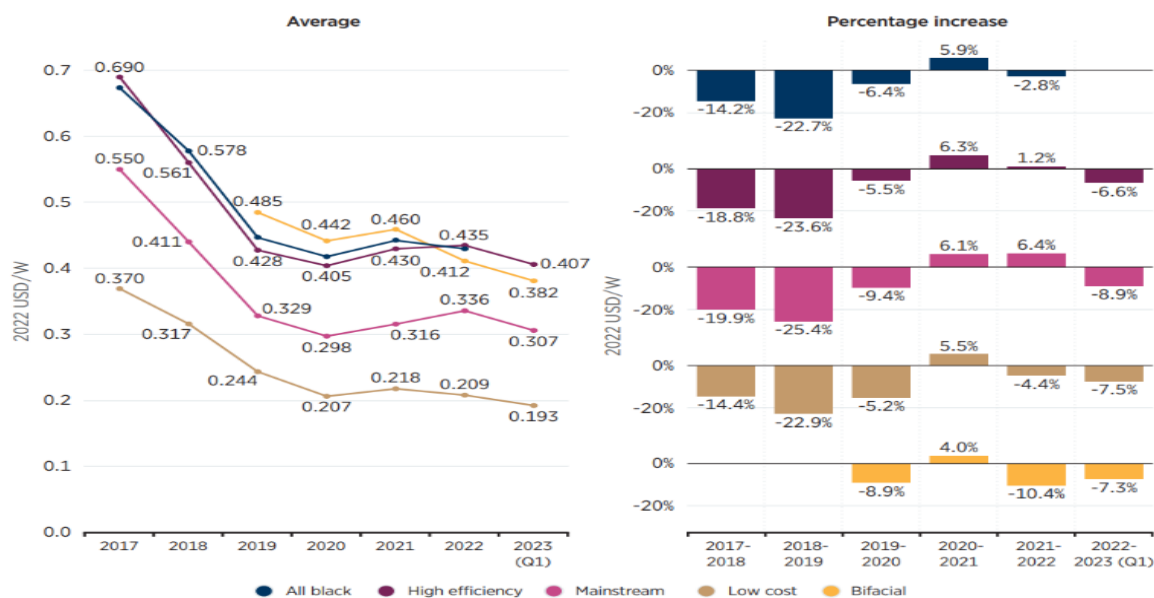
¹ Learning rates

² Mainstream modules

³ Thin film modules

⁴ Crystalline bifacial modules

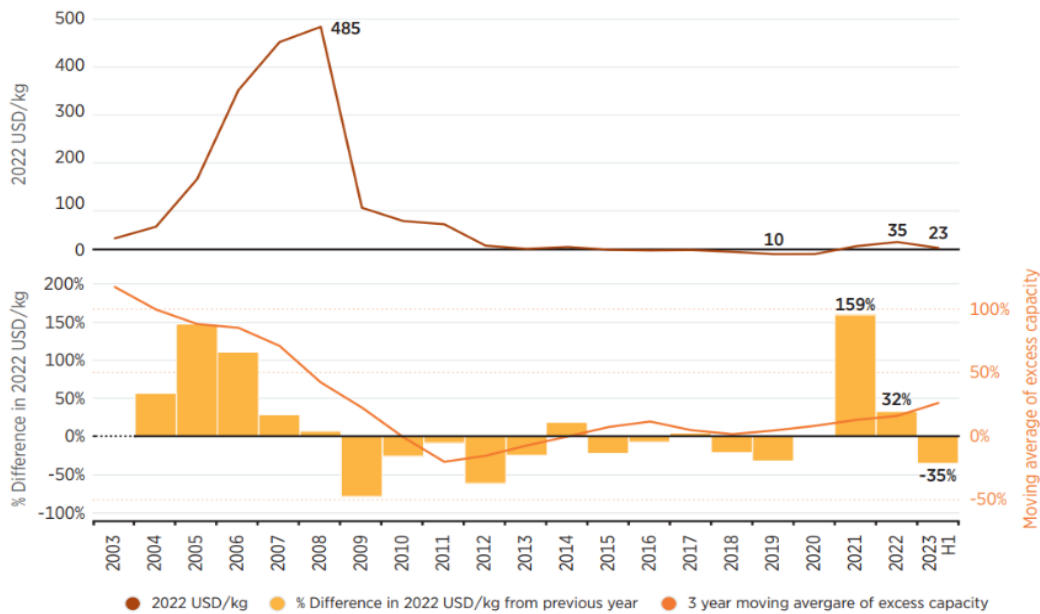
در مقایسه با فناوری‌های تک‌وجهی، ماژول‌های دووجهی به رشد سهم خود در بازار ادامه می‌دهند. در سال ۲۰۱۹، سهم بازار این ماژول‌ها حدود ۸ درصد بود که در سال ۲۰۲۰ به حدود ۲۷ درصد، در سال ۲۰۲۱ به ۲۸ درصد و در سال ۲۰۲۲ به ۳۰ درصد رسید.



میانگین قیمت سالانه ماژول‌های خورشیدی فتوولتائیک بر اساس فناوری فروخته‌شده در اروپا، ۲۰۱۰ تا ۲۰۲۱ و سه‌ماهه اول ۲۰۲۲: میانگین (سمت چپ) و درصد افزایش (سمت راست)

پس از یک دهه کاهش مداوم، قیمت ماژول‌های خورشیدی فتوولتائیک در سال ۲۰۲۱ به دلیل اختلالات زنجیره تأمین و افزایش هزینه‌های مواد اولیه یا کاهش دسترسی، افزایش یافت. در اروپا، قیمت ماژول‌های کریستالی بین ۴ تا ۷ درصد افزایش داشته و از ۰.۲۰ تا ۰.۴۴ دلار به ازای هر وات به ۰.۲۲ تا ۰.۴۶ دلار به ازای هر وات رسیده است. در سال ۲۰۲۲ این روند شروع به معکوس شدن کرد، اما قیمت ماژول‌های معمولی که ۵۵ درصد بازار را تشکیل می‌دادند، افزایش مشابهی داشت و به ۰.۳۴ دلار به ازای هر وات رسید. داده‌های اولیه سه‌ماهه اول ۲۰۲۳ نشان می‌دهد که این قیمت به ۰.۳۱ دلار رسیده است، که شبیه به دوران پیش از اختلالات زنجیره تأمین است. دلایل افزایش قیمت که از سال ۲۰۲۱ آغاز شده، متعدد است، اما عامل اصلی افزایش قیمت، افزایش قیمت پلی‌سیلیکون بوده است. ظرفیت محدود پلی‌سیلیکون در چین باعث شد که قیمت آن از حدود ۱۲ دلار به ازای هر کیلوگرم در ابتدای ۲۰۲۱ به بیش از ۳۳ دلار در پایان همان سال برسد. با این حال، با گسترش ظرفیت تولید و بهبود فناوری‌های تولید، قیمت پلی‌سیلیکون در سال ۲۰۲۲ تثبیت شده و در نیمه اول ۲۰۲۳ به ۲۳ دلار به ازای هر کیلوگرم کاهش یافته است، که نشان‌دهنده بازگشت به یک روند نزولی پایدار است.

با بهبود کارایی، بهینه‌سازی فرآیندهای تولید و نوآوری در طراحی، پیش‌بینی می‌شود که رقابت‌پذیری فناوری فتوولتائیک خورشیدی در بلندمدت افزایش یابد و این عوامل بتوانند افزایش موقتی هزینه‌ها در سال‌های اخیر را جبران کنند. مثال‌هایی از این روند شامل پذیرش بیشتر فناوری‌های دووجهی با سلول‌های کارآمدتر است.



قیمت پلی‌سیلیکون به ازای هر کیلوگرم، درصد تغییر سالانه و میانگین تحرک سه‌ساله ظرفیت تولید مازاد پلی‌سیلیکون، ۲۰۰۳- نیمه اول ۲۰۲۳

بازدهی متوسط ماژول‌های کریستالی از ۱۴.۷ درصد در سال ۲۰۱۰ به ۲۰.۹ درصد در ۲۰۲۱ افزایش یافته و در ۲۰۲۲ به ۲۱.۱ درصد رسیده است. این افزایش عمدتاً به دلیل گذار بازار از محصولات چند کریستالی به محصولات تک کریستالی و استفاده از معماری پرک^۵ بوده است. انتظار می‌رود بازدهی ماژول‌های پرک به حدود ۲۲ درصد برسد و به حد نهایی (ایده‌آل) خود نزدیک شود. فناوری‌های جدیدتر مانند هیتروجانکشن^۶ و تاپ‌کان^۷ برای کاهش تلفات تماس یا «IBC»^۸ برای کاهش سایه‌اندازی در قسمت جلویی سلول‌ها می‌توانند کارایی را بیشتر افزایش دهند. در سطح طراحی ماژول، فناوری‌هایی مانند سلول‌های نیم‌سلول (هف‌سل)^۹، باس‌بارهای چندگانه^{۱۰}، و پک سلولی با چگالی بالا^{۱۱} (مثل شینگلینگ^{۱۲}) باعث افزایش توان خروجی ماژول‌ها شده‌اند و انتظار می‌رود استفاده از این فناوری‌ها در آینده بیشتر شود. طراحی‌های ماژول جدید به سمت استفاده از قالب‌های بزرگ‌تر ویفر (۱۸۲ تا ۲۱۰ میلی‌متر) حرکت کرده‌اند، که باعث رشد چشمگیر توان خروجی ماژول‌ها شده است. برای مثال، در سال ۲۰۱۷ توان خروجی ماژول‌های برتر ۳۵۰ وات بود، در حالی که اکنون ۵۰۰ وات استاندارد جدید است و ماژول‌هایی با خروجی بالای ۶۰۰ وات نیز در بازار موجود هستند. با این حال، با تنوع طراحی‌های ماژول، «کارایی ماژول» همچنان مهم‌ترین معیار عملکرد باقی مانده است. توسعه سریع طراحی‌ها و فناوری‌های جدید نشان‌دهنده تمرکز صنعت بر به حداکثر رساندن توان خروجی و بهبود رقابت‌پذیری کلی است.

⁵ Passivated Emitter and Rear Contact (PERC)

⁶ Heterojunction (HJT)

⁷ Tunnel oxide passivated contact (TOPCon)

⁸ Interdigitated back contact (IBC)

⁹ Half-cut cells

¹⁰ Multi-busbars

¹¹ High-density cell packing pathways

¹² Shingling

با رشد بازار جهانی فتوولتائیک خورشیدی، پایداری مواد استفاده شده در ماژول‌های فتوولتائیک خورشیدی اهمیت بیشتری پیدا کرده است. صنعت در حال تمرکز بر کاهش مصرف پلی‌سیلیکون و نقره است که تحت تأثیر محدودیت‌های زنجیره تأمین در سال ۲۰۲۱ قرار گرفته است. فناوری‌های بهبودیافته برش ویفر مانند برش سیم الماس^{۱۳}، به طور قابل توجهی اتلاف پلی‌سیلیکون را کاهش داده‌اند. همچنین، استفاده از نقره در متالیزاسیون سلول‌ها کاهش یافته است و با پیشرفت در طراحی‌های باسبار چندگانه و باسبارهای نازک‌تر، این کاهش بیشتر شده است. در حالی که از مس به عنوان جایگزین نقره استفاده می‌شود، چالش‌های فنی همچنان باقی مانده‌اند. علاوه بر این، پذیرش فناوری سلول‌های دووجهی که امکان ورود نور از جلو و پشت سلول را فراهم می‌کند، باعث افزایش رقابت پذیری فتوولتائیک خورشیدی شده است زیرا بازدهی انرژی بالاتری را ارائه می‌دهد.

دو طرفه بودن ماژول‌های خورشیدی به ساختار سلول و ماژول بستگی دارد، اما افزایش انرژی ماژول‌های دووجهی نسبت به ماژول‌های تک‌وجهی تحت تأثیر عوامل خارجی مانند نوع نصب، مکان، جهت‌گیری ماژول، زاویه شیب، بازتابندگی زمین (آلبدو)، ارتفاع ماژول و تابش پراکنده است. این عوامل بر نحوه رسیدن نور به پشت ماژول تأثیر می‌گذارند. ماژول‌های دووجهی به طور فزاینده‌ای در نیروگاه‌های با مقیاس کاربردی با ردیاب تک‌محوری استفاده می‌شوند. در سال ۲۰۲۲، ماژول‌های دووجهی ۳۰ درصد از بازار را در اختیار داشتند.

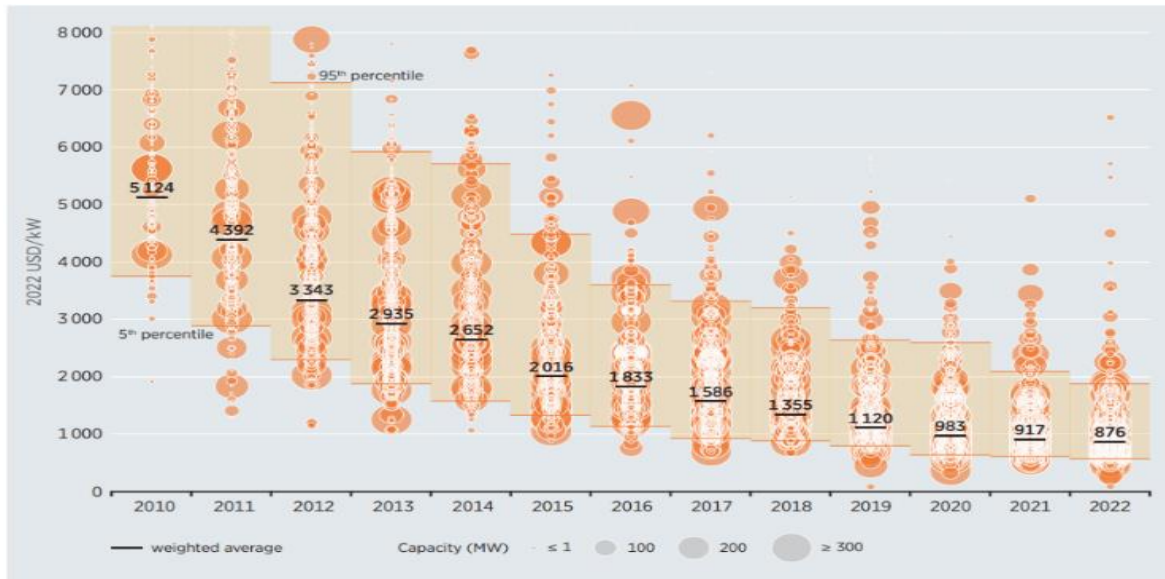
در سال ۲۰۲۲، میانگین جهانی هزینه احداث پروژه‌های خورشیدی با مقیاس کاربردی^{۱۴} به ۸۷۶ دلار در هر کیلووات رسیده است که نشان‌دهنده کاهش ۴ درصدی نسبت به سال ۲۰۲۱ و کاهش ۸۳ درصدی از سال ۲۰۱۰ بوده است. محدوده هزینه پروژه‌ها به طور قابل توجهی متفاوت بوده است، به طوری که صدک پنجم به ۵۶۹ دلار در هر کیلووات و صدک ۹۵ به ۱۸۷۸ دلار در هر کیلووات رسیده است، که هر دو کاهش‌های چشمگیری را نشان می‌دهند. بین سال‌های ۲۰۱۰ تا ۲۰۲۲، کشورهایمانند آلمان و هند کاهش هزینه‌هایی به ترتیب ۷۶ درصد و ۸۹ درصد را تجربه کرده‌اند. به ویژه در شیلی و ترکیه در سال ۲۰۲۲ کاهش‌های قابل توجهی در هزینه‌ها رخ داده است که این امر به دلیل رشد قوی بازار و عبور از ۱ گیگاوات در ظرفیت‌های جدید برای دومین سال متوالی بوده است.

با این حال، برخی کشورها مانند مکزیک، ژاپن و چین در سال ۲۰۲۲ افزایش‌های متوسطی در هزینه‌های احداث را تجربه کرده‌اند، به طوری که هلند با رشد ۱۲ درصدی مواجه شده است زیرا بازار خورشیدی این کشور در سال ۲۰۲۲ نسبت به سال قبل دو برابر شده است. اختلالات در زنجیره تأمین در سال ۲۰۲۱ روند کاهش هزینه‌ها را کند کرده است، که این امر به افزایش هزینه‌ها در برخی بازارها در سال ۲۰۲۲ منجر شده است و این افزایش‌ها از ۲ درصد تا ۳۴ درصد متغیر بوده‌اند. با وجود این چالش‌ها، چندین بازار همچنان کاهش هزینه‌ها را تجربه کرده‌اند و در شش بازار از ۱۵ بازار بررسی شده، کاهش‌هایی بین ۴ درصد تا ۲۲ درصد مشاهده شده است. هزینه‌ها در انگلستان به طور سالانه ثابت مانده است.

¹³ Diamond Wire Sawing (DWS)

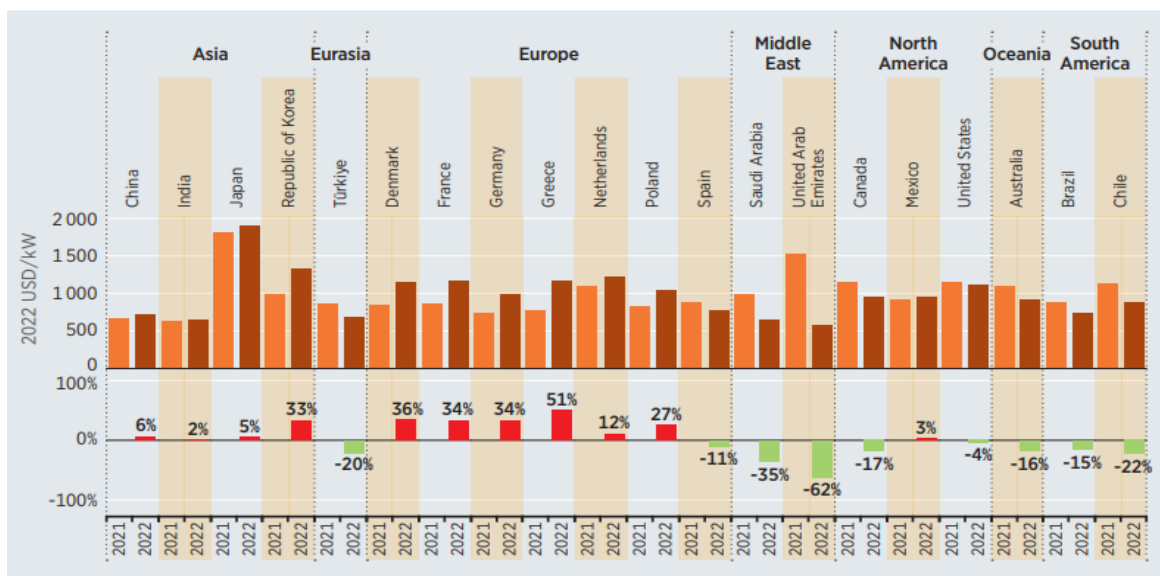
¹⁴ Utility-scale

برونداد تخصصی انرژی‌های تجدیدپذیر

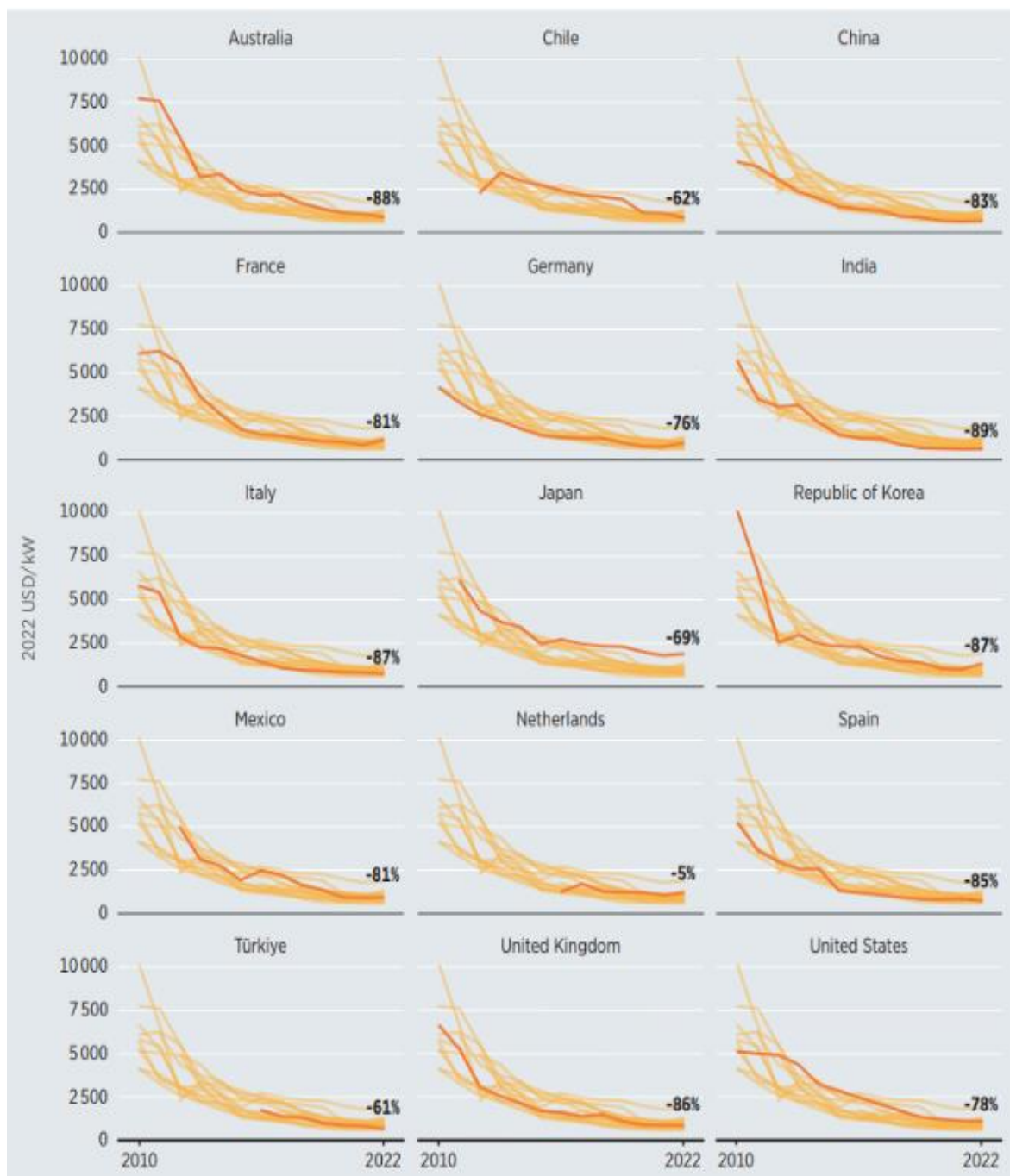


مجموع هزینه سیستم فتوولتائیک احداث شده به تفکیک پروژه و میانگین وزنی برای سیستم‌های مقیاس کاربردی، ۲۰۲۲-۲۰۱۰

در سال ۲۰۲۲، تحلیلی از ۲۰ بازار برتر جهانی بر اساس ظرفیت جدید احداث شده نیروگاه‌های خورشیدی در مقیاس کاربردی، نشان‌دهنده تغییرات قابل توجه منطقه‌ای در هزینه‌های احداث بوده است. در حالی که اکثر بازارهای اصلی اروپایی افزایش هزینه‌هایی بین ۱۲ درصد در هلند تا ۵۱ درصد در یونان را تجربه کرده‌اند، بازارهای اصلی آسیایی افزایش‌های کمتری بین ۲ درصد تا ۶ درصد داشته‌اند؛ با این حال، کره جنوبی استثنایی بوده که افزایش‌هایی مشابه با اروپا داشته است. شایان ذکر است که ۱۱ بازار از ۲۰ بازار بزرگ، شاهد افزایش هزینه‌ها بوده‌اند، در حالی که خاورمیانه، به‌ویژه امارات متحده عربی، بیشترین کاهش هزینه‌ها را تجربه کرده و با کاهش ۶۲ درصد نسبت به سال قبل، به میانگین هزینه نصب ۵۷۸ دلار بر کیلووات رسیده است.

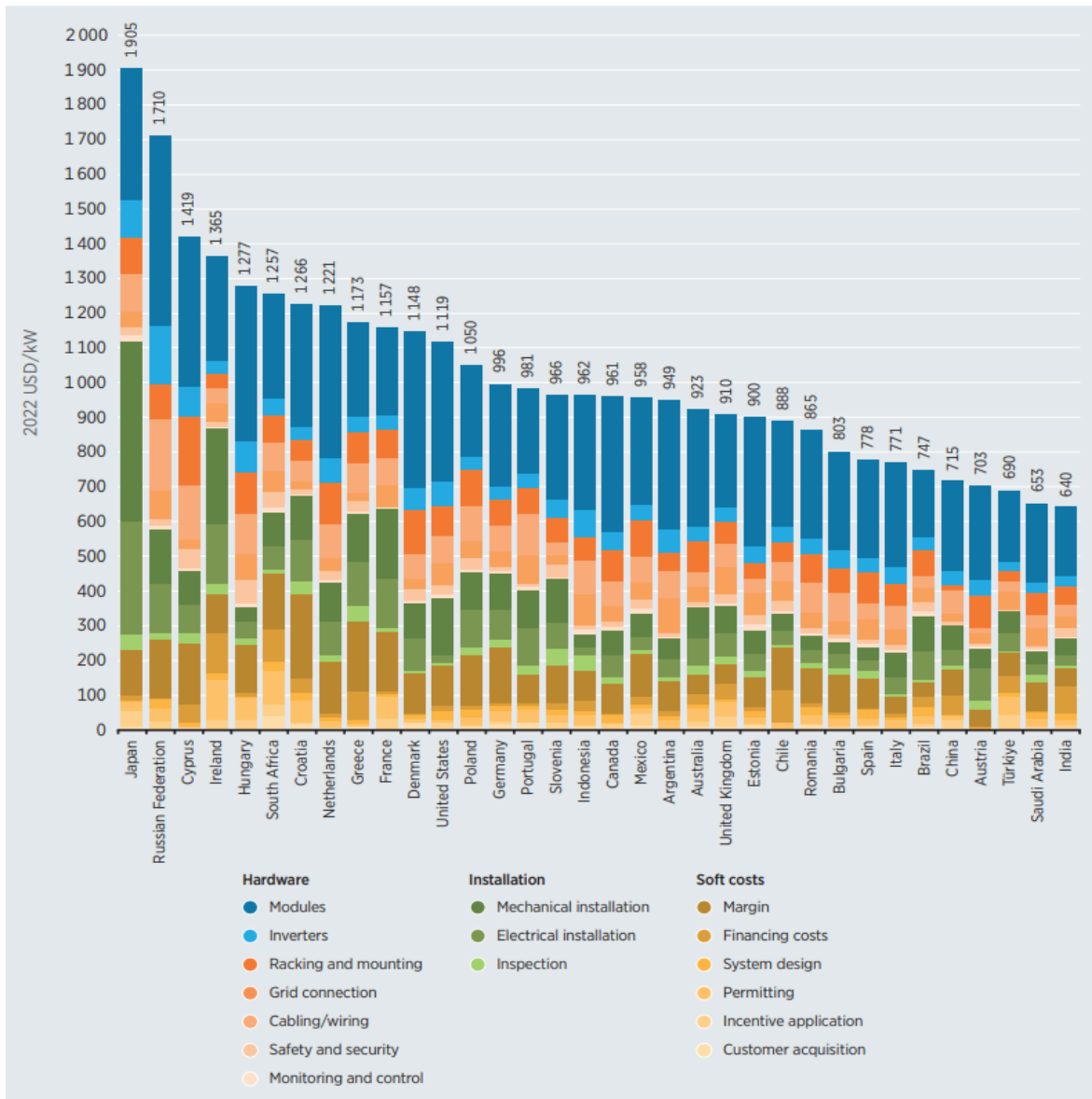


روندهای هزینه‌های احداث انرژی خورشیدی فتوولتائیک در مقیاس کاربردی در ۲۰ بازار برتر، ۲۰۲۲-۲۰۲۱



روند هزینه احداث خورشیدی فتولتائیک در مقیاس کاربردی در کشورهای منتخب، ۲۰۲۲-۲۰۱۰

با وجود اینکه فناوری خورشیدی فتولتائیک به مرحله بلوغ رسیده است، تفاوت‌های منطقه‌ای در هزینه‌ها همچنان باقی مانده است. در سال ۲۰۲۲، میانگین هزینه‌های احداث بین ۶۴۰ دلار بر کیلووات در هند تا ۱۹۰۵ دلار بر کیلووات در ژاپن متغیر بوده است. شکاف هزینه‌ها بین بازارهای بالاترین و پایین‌ترین هزینه در حال کاهش بوده و نسبت بالاترین به پایین‌ترین هزینه از ۳.۵ در سال ۲۰۱۹ به ۳.۰ در سال ۲۰۲۲ کاهش یافته است، که نشان‌دهنده همگرایی هزینه‌های احداث در بازارهای اصلی است.

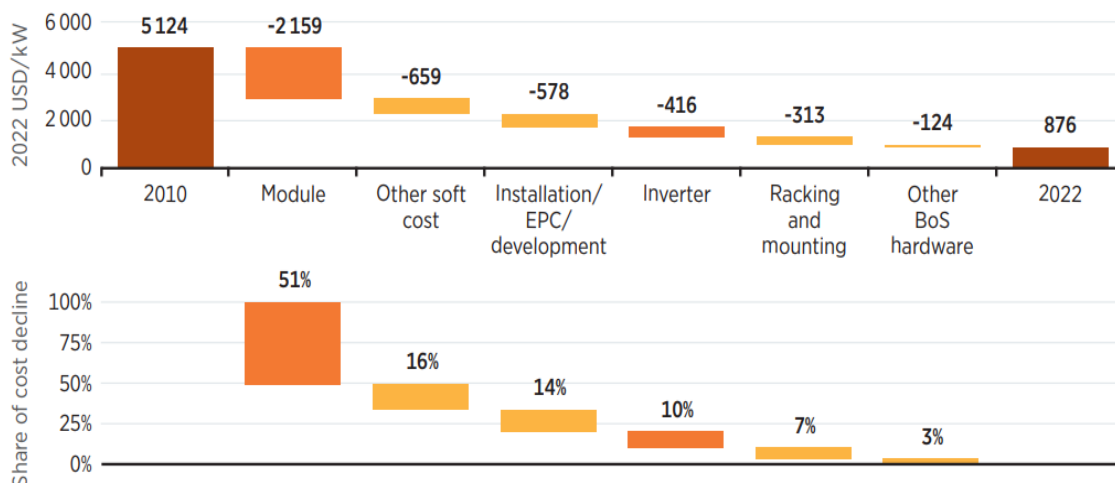


تفکیک تفصیلی کل هزینه‌های احداث فتوولتائیک خورشیدی در مقیاس کاربردی بر اساس کشور، ۲۰۲۲

کاهش هزینه‌های احداث سیستم‌های فتوولتائیک خورشیدی در مقیاس کاربردی از سال ۲۰۱۰ تا ۲۰۲۲ توسط چندین عامل هدایت شده است. به صورت جهانی، کاهش هزینه‌های ماژول‌ها ۵۱ درصد و اینورترها ۱۰ درصد به کاهش کلی هزینه‌ها کمک کرده‌اند. با کسب تجربه بیشتر توسط توسعه‌دهندگان پروژه و گسترش زنجیره‌های تأمین، هزینه‌های بالانس سیستم^{۱۵} نیز کاهش یافته و سیستم‌های فتوولتائیک را در بسیاری از بازارها رقابتی‌تر کرده است. هزینه‌های بالانس سیستم شامل سخت‌افزارهای غیرماژولی مانند کابل‌کشی، سیستم‌های نگهداری و نصب، اقدامات ایمنی و امنیتی، اجزای اتصال به شبکه و سیستم‌های نظارتی است. بخش نصب شامل وظایف مکانیکی و الکتریکی مانند دسترسی به جاده‌ها، آماده‌سازی کابل‌کشی، نصب سیستم‌ها و تست‌های الکتریکی، همچنین نظارت

¹⁵ Balance of System

بر ساخت و بازرسی‌های ایمنی است. علاوه بر این، هزینه‌های نرم مربوط به درخواست‌های مشوق‌ها، اخذ مجوز، طراحی سیستم، جذب مشتری، تأمین مالی و حاشیه سود برای شرکت مهندسی، تأمین و ساخت (EPC) یا توسعه‌دهنده پروژه نیز مورد بحث قرار می‌گیرد. بنابراین این هزینه، به تمام اجزاء و هزینه‌های یک سیستم خورشیدی فتوولتائیک به غیر از ماژول‌های خورشیدی اشاره دارد و شامل سایر سخت‌افزارها، نصب و هزینه‌های عملیاتی می‌شود. درحالی‌که ماژول‌ها و اینورترها مسئول ۶۷ درصد کاهش هزینه‌ها بین سال‌های ۲۰۱۰ تا ۲۰۱۶ بوده‌اند، سهم آن‌ها بین سال‌های ۲۰۱۶ تا ۲۰۲۲ به ۳۷ درصد کاهش یافته است. در این دوره، هزینه‌های بالانس سیستم نقش مهم‌تری ایفا کرده و حدود یک‌چهارم کاهش هزینه را تشکیل داده‌اند. این تغییر، اهمیت رو به رشد هزینه‌های بالانس سیستم در رقابت‌پذیری پروژه‌های فتوولتائیک خورشیدی در مقیاس کاربردی را برجسته می‌کند.



میانگین وزنی کل هزینه‌های احداث جهانی سیستم‌های فتوولتائیک در مقیاس کاربردی و کاهش هزینه بر اساس منبع، ۲۰۲۲-۲۰۱۰

❖ ضریب ظرفیت^{۱۶}

از سال ۲۰۱۰ تا ۲۰۲۲، میانگین وزنی جهانی ضریب ظرفیت برای پروژه‌های فتوولتائیک خورشیدی جدید در مقیاس کاربردی از ۱۳.۸ درصد به ۱۶.۹ درصد افزایش یافت و در سال ۲۰۱۸ به نقطه اوج خود معادل ۱۷.۹ درصد رسید. این افزایش عمدتاً به دلیل احداث در مکان‌های با تابش بیشتر و پیشرفت‌های تکنولوژی، از جمله پذیرش پنل‌های دووجهی و سیستم‌های ردیاب بود. با این حال، پس از سال ۲۰۱۸، روند معکوس شد و منجر به کاهش جزئی در سال ۲۰۲۲ نسبت به سال‌های گذشته گردید. روند ضریب ظرفیت تحت تأثیر ترکیبی از عوامل است. در ابتدا، رشد به دلیل استقرار پروژه‌ها در مناطق با تابش بالا و استفاده از دستگاه‌های ردیاب پشتیبانی شده بود؛ اما با گذشت زمان، پیشرفت‌های تکنولوژی و کاهش در تلفات سیستم نیز نقش داشت. با وجود این پیشرفت‌ها، ضریب ظرفیت نوساناتی را تجربه کرد، به طوری که در صدک ۹۵ از ۲۶.۹ درصد در سال ۲۰۱۸ به ۲۰.۵ درصد در سال ۲۰۲۲ کاهش یافت، درحالی‌که در صدک ۵ به طور ملایم‌تری از ۱۲.۴ درصد به ۱۰.۳ درصد در همان دوره کاهش یافت.

¹⁶ Capacity Factor

نوسانات ضریب ظرفیت نشان‌دهنده تعامل پیچیده عواملی نظیر تکنولوژی ردیابی، موقعیت پروژه و حضور بازار مازول‌های دووجهی است. این عناصر در بازارهای مختلف به شیوه‌های متفاوتی تعامل دارند که منجر به تأثیرات متنوعی بر ضریب ظرفیت در سطح جهان می‌شود. درک این دینامیک‌ها برای ارزیابی روندهای ضریب ظرفیت جهانی فتوولتائیک خورشیدی ضروری است.

Year	5 th percentile	Weighted average	95 th percentile
2010	11.0%	13.8%	23.0%
2011	10.1%	15.3%	26.0%
2012	10.5%	15.1%	25.6%
2013	11.9%	16.4%	23.0%
2014	10.8%	16.6%	24.4%
2015	10.8%	16.5%	29.0%
2016	10.7%	16.7%	25.9%
2017	11.5%	17.6%	27.0%
2018	12.4%	17.9%	26.9%
2019	10.7%	17.5%	23.9%
2020	9.9%	16.1%	20.8%
2021	10.8%	17.2%	21.3%
2022	10.3%	16.9%	20.5%

میانگین وزنی ضریب ظرفیت جهانی برای سیستم‌های فتوولتائیک در مقیاس کاربردی بر اساس سال بهره‌برداری، ۲۰۱۰-۲۰۲۲

❖ هزینه‌های عملیات و نگهداری^{۱۷}

در دهه گذشته، هزینه‌های عملیات و نگهداری برای نیروگاه‌های خورشیدی در مقیاس کاربردی به طور قابل توجهی کاهش یافته است که عمدتاً به دلیل بهبودهای صورت گرفته در کارایی مازول و طراحی سیستم بوده است. پیشرفت‌هایی مانند تمیزکاری رباتیک^{۱۸} و تحلیل داده‌های کلان^{۱۹} این هزینه‌ها را با کاهش زمان‌های غیرعملیاتی و امکان پذیر کردن نگهداری پیشگیرانه، کاهش داده‌اند. در ایالات متحده، هزینه‌های عملیات و نگهداری برای یک گروه از پروژه‌ها از ۲۰۱۱ تا ۲۰۲۱ به میزان ۵۸ درصد کاهش یافته است و تخمین‌های اخیر نشان می‌دهد که این هزینه‌ها در محدوده بین ۱۱ تا ۲۰ دلار در هر کیلووات در سال است. نگهداری پیشگیرانه و تمیزکاری مازول‌ها اکنون بخش عمده‌ای از هزینه‌های عملیات و نگهداری را تشکیل می‌دهند.

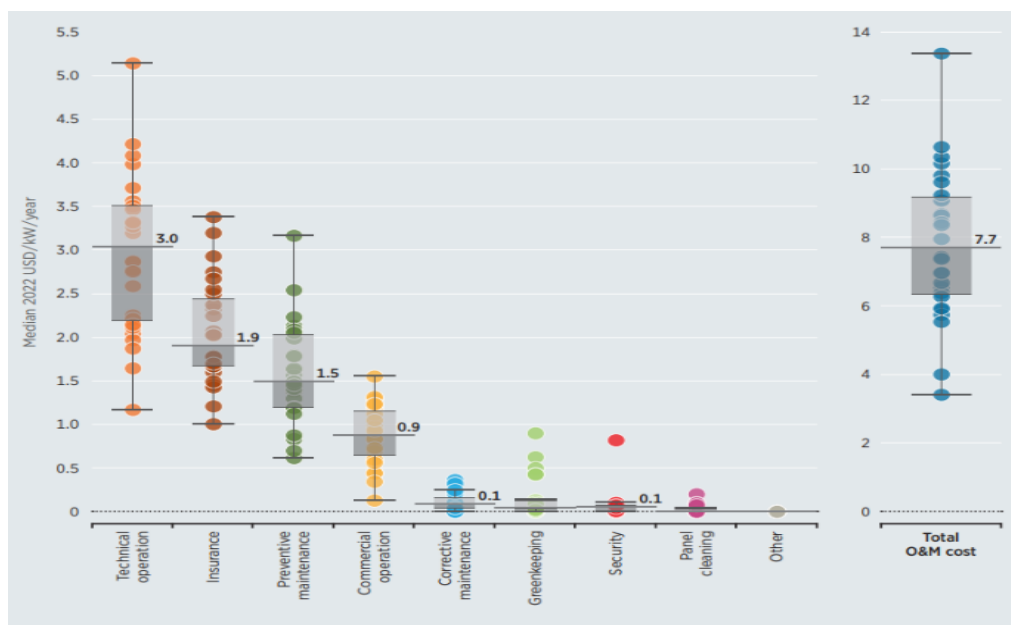
در اروپا، هزینه‌های متوسط عملیات و نگهداری برای نیروگاه‌های مقیاس کاربردی نیز کاهش یافته است و هزینه‌های گزارش شده در حدود ۱۰ دلار در هر کیلووات در سال بوده و کاهش قابل توجهی به میزان ۸۵ درصد در آلمان از ۲۰۰۵ تا ۲۰۱۷ ثبت شده است. تا سال ۲۰۲۲، میانگین وزنی هزینه عملیات و نگهداری برابر با ۱۳.۲ دلار در هر کیلووات در سال بوده که کاهش ۵۱ درصد از سال ۲۰۱۰ را نشان می‌دهد. با وجود این کاهش‌ها، چالش‌هایی در دستیابی به داده‌های جامع و دقیق هزینه‌های عملیات و نگهداری در مناطق مختلف وجود دارد.

¹⁷ Operation & Maintenance (O&M)

¹⁸ Robotic cleaning

¹⁹ Big data analysis

بررسی‌های اخیر نشان‌دهنده تنوع قابل توجهی در هزینه‌های عملیات و نگهداری بر اساس مناطق جغرافیایی است. در آسیا، پایین‌ترین میزان هزینه یعنی ۳۶ دلار در هر کیلووات در سال است، در حالی که آمریکای شمالی بالاترین هزینه را با ۹۰۱ دلار در هر کیلووات در سال نشان می‌دهد. اروپا و اوراسیا مقادیر میانه‌ای دارند که به ترتیب ۸۰۴ دلار در هر کیلووات در سال برای اروپا و ۶۰۶ دلار در هر کیلووات در سال برای اوراسیا است.



هزینه‌های عملیات و نگهداری متوسط برای نیروگاه‌های خورشیدی مقیاس بزرگ بر اساس دسته هزینه و کشور، ۲۰۲۰-۲۰۲۲

❖ هزینه‌ی تراز شده برق تولیدی^{۲۰}

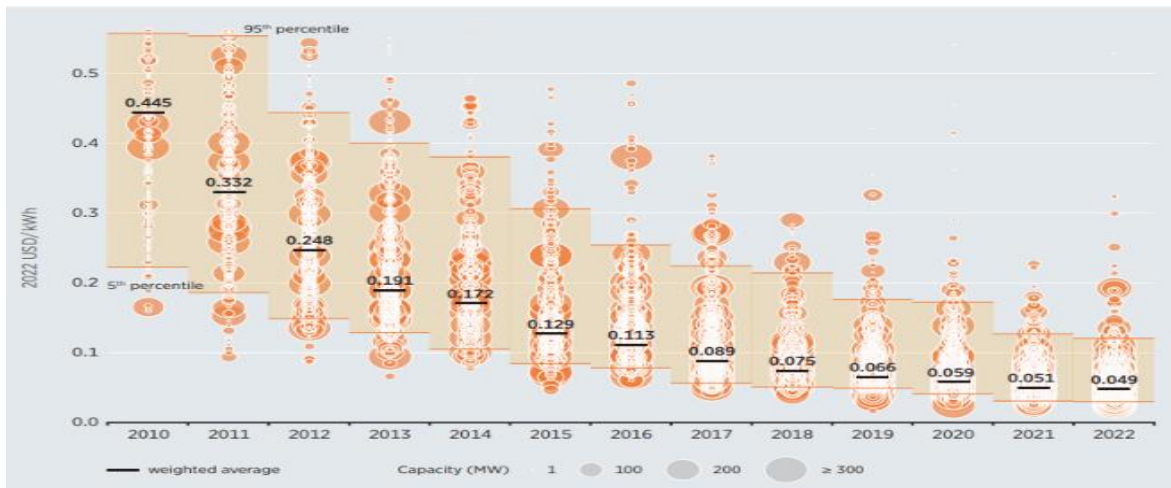
هزینه‌ی تراز شده برق تولیدی برای نیروگاه‌های فتوولتائیک در مقیاس کاربردی، کاهش جهانی چشم‌گیری داشته است و از سال ۲۰۱۰ تا ۲۰۲۲، ۸۹ درصد کاهش یافته و به ۰۰۰۴۹ دلار بر کیلووات ساعت رسیده است. این کاهش نشان‌دهنده بهبود مستمر هزینه‌ها بوده است و کاهشی ۳ درصدی از ۲۰۲۱ تا ۲۰۲۲ مشاهده شده است. دامنه هزینه‌های تراز شده برق فتوولتائیک در سطح جهانی نیز کاهش یافته است که نشان‌دهنده‌ی روندی به‌سوی قیمت‌گذاری یکنواخت‌تر است، به‌طوری‌که مقادیر صدک پنجم و نود و پنجم از سال ۲۰۱۰ به بعد کاهش‌های قابل توجهی داشته‌اند. به‌ویژه، بین سال‌های ۲۰۲۱ و ۲۰۲۲، دامنه هزینه تراز شده برق فتوولتائیک کمترین فاصله خود را تجربه کرده است. کاهش هزینه تراز شده برق برای نیروگاه‌های خورشیدی با مقیاس کاربردی از سال ۲۰۱۰ تا ۲۰۲۲ تحول مهم در بخش تولید برق بوده است. این کاهش به دلیل پیشرفت‌های فناوری در زنجیره ارزش انرژی خورشیدی رخ داده است، از جمله احداث کارخانه‌های بزرگ‌تر پلی‌سیلیکون، بهبود روش‌های رشد اینگوت^{۲۱}، استفاده

²⁰ LEVELISED COST OF ELECTRICITY

²¹ Improved ingot growth methods

روش‌های بهبود یافته رشد اینگوت به فناوری‌های پیشرفته‌ای اشاره دارد که برای تولید اینگوت‌های سیلیکونی با کیفیت بالاتر و با هزینه کمتر به کار گرفته می‌شوند. اینگوت‌ها بلوک‌های بزرگ و تک کریستالی یا چند کریستالی از سیلیکون هستند که به عنوان ماده اولیه برای ساخت ویفرهای خورشیدی استفاده می‌شوند.

از تکنیک‌های جدید برش با الماس و معماری‌های جدیدتر سلول‌ها، این نوآوری‌ها به طور جمعی منجر به کاهش قابل توجه هزینه ترازشده برق فتوولتائیک خورشیدی شده‌اند و انرژی خورشیدی را در سطح جهانی رقابتی‌تر کرده‌اند. بین سال‌های ۲۰۱۰ و ۲۰۲۲، هزینه ماژول‌های خورشیدی به‌تنهایی ۴۵ درصد از کاهش هزینه ترازشده برق را شامل شده و اینورترها نیز ۹ درصد دیگر را اضافه کرده‌اند. همچنین، سایر اجزای سخت‌افزاری مانند رکینگ (سیستم‌های نگهدارنده)^{۲۲}، نصب و استقرار^{۲۳} و سایر سخت‌افزارهای بالانس سیستم نیز نقش مهمی در کاهش هزینه‌ها ایفا کرده‌اند.



هزینه‌ی تراز شده انرژی و دامنه‌ی آن برای پروژه‌های فتوولتائیک خورشیدی در مقیاس کاربردی در سطح جهانی، ۲۰۱۰-۲۰۲۲

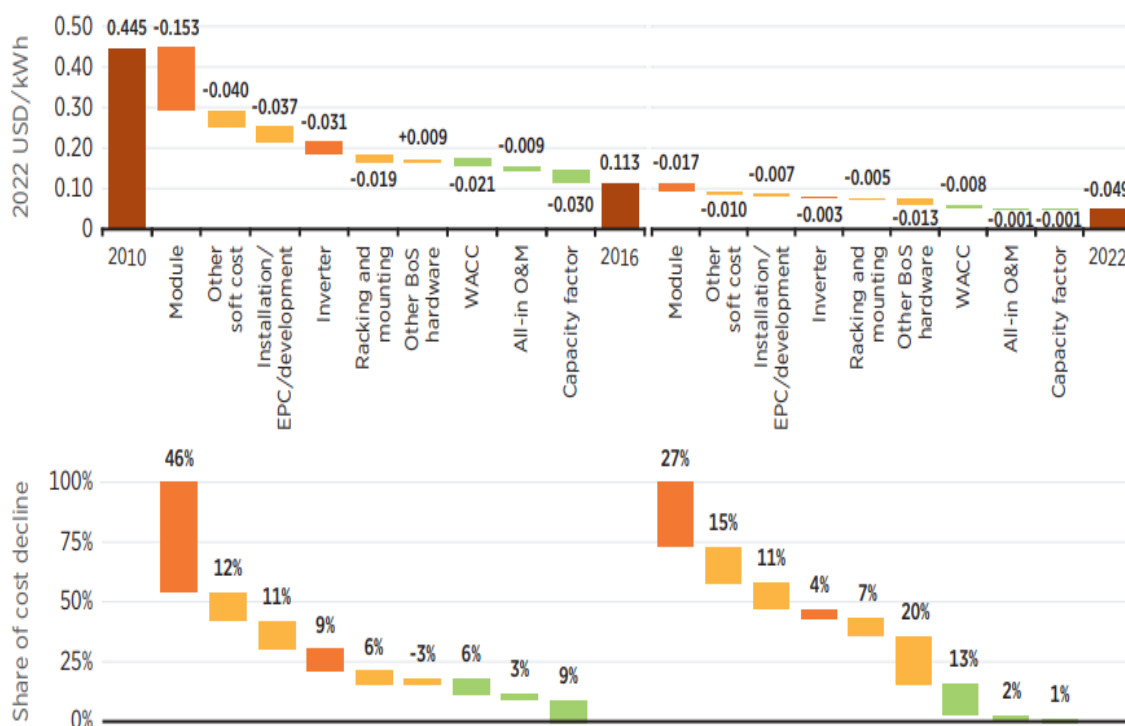
با رشد فناوری انرژی خورشیدی، اهمیت هزینه‌های سیستم‌های جانبی افزایش یافته است، زیرا هزینه‌های ماژول و اینورتر با نرخ بالاتری کاهش یافته و این بخش، سهم بیشتری از هزینه‌های کل نصب را به خود اختصاص داده‌اند. از سال ۲۰۱۰ تا ۲۰۲۲، هزینه‌های مهندسی، تأمین و ساخت^{۲۴}، نصب، هزینه‌های توسعه و سایر هزینه‌های نرم مجموعاً ۲۶ درصد از کاهش هزینه ترازشده برق فتوولتائیک را شامل شده‌اند. بهبود شرایط مالی، کاهش هزینه‌های عملیات و نگهداری و افزایش میانگین وزن دار جهانی ضریب ظرفیت نیز به کاهش هزینه ترازشده برق فتوولتائیک، به‌ویژه در بازارهایی که منابع خورشیدی بهتری دارند، کمک کرده‌اند. در دوره ۲۰۱۰ تا ۲۰۱۶، هزینه ترازشده برق فتوولتائیک به‌طور کلی ۷۵ درصد کاهش یافته که عمدتاً توسط کاهش هزینه‌های ماژول و اینورتر هدایت شده است. اما از ۲۰۱۶ تا ۲۰۲۲، سهم هزینه‌های بالانس سیستم در کاهش هزینه ترازشده برق فتوولتائیک بیشتر شده است، در حالی که نقش ضریب ظرفیت کاهش یافته است.

^{۲۲} سیستم‌های نگهدارنده (Racking) سازه‌هایی هستند که پنل‌های خورشیدی را به صورت ایمن روی سطح موردنظر (مانند سقف، زمین یا سازه‌های دیگری) نگه می‌دارند. این سازه‌ها معمولاً از مواد مقاوم مانند آلومینیوم یا فولاد ضدزنگ ساخته می‌شوند تا در برابر شرایط جوی مختلف مقاومت کنند.

^{۲۳} فرآیند نصب و استقرار (Mounting) به چگونگی اتصال و تثبیت پنل‌ها به سیستم‌های نگهدارنده اشاره دارد. این شامل استفاده از پیچ‌ها، قلاب‌ها و دیگر اجزای اتصالی است که پنل‌ها را به سیستم نگهدارنده متصل می‌کند.

^{۲۴} Engineering, Procurement and Construction (EPC)

نقش تأمین مالی در کاهش هزینه ترزاشده برق فتوولتائیک بین سال‌های ۲۰۱۶ و ۲۰۲۲ اهمیت بیشتری پیدا کرده و شرایط مالی بهبودیافته ۱۳ درصد از کاهش هزینه ترزاشده برق را در این دوره شامل شده‌اند، که نسبت به دوره قبلی افزایش قابل توجهی داشته است. هزینه سرمایه^{۲۵} برای فناوری‌های تولید برق تجدیدپذیر، مانند انرژی خورشیدی، یک عامل تعیین‌کننده در هزینه برق است. ایرنا^{۲۶} بر اهمیت داده‌های قابل اعتماد هزینه سرمایه تأکید کرده است، زیرا کاهش هزینه‌های وام و رشد بلوغ فناوری‌های خورشیدی و بادی به تأثیرگذاری بر هزینه ترزاشده برق ادامه می‌دهند.



عوامل کاهش میانگین وزنی جهانی هزینه ترزاشده انرژی در نیروگاه‌های فتوولتائیک در مقیاس کاربردی، ۲۰۱۰-۲۰۱۶ و ۲۰۱۶-۲۰۲۲

در کشورهای مختلف، روند نزولی هزینه ترزاشده برق متفاوت بوده است، به طوری که چین و هند در سال ۲۰۲۲ به پایین‌ترین هزینه معادل ۰.۰۳۷ دلار بر کیلووات ساعت دست یافته‌اند و کاهش‌هایی معادل ۸۹ و ۹۰ درصد از سال ۲۰۱۰ را نشان می‌دهند. سایر کشورها مانند استرالیا و شیلی نیز کاهش‌های قابل توجهی تجربه کرده‌اند، به طوری که هزینه ترزاشده برق به ترتیب به ۰.۰۴۱ دلار و ۰.۰۴۲ دلار بر کیلووات ساعت در سال ۲۰۲۲ رسیده است. با این حال، علیرغم اینکه اسپانیا افزایش جزئی در هزینه ترزاشده خود داشته است، همچنان رقابتی باقی مانده و به ۰.۰۴۶ دلار بر کیلووات ساعت رسیده است. ایالات متحده کاهش ملایم ۱ درصدی را تجربه کرده است، در حالی که ژاپن افزایش ۵ درصدی در هزینه ترزاشده برق از ۲۰۲۱ تا ۲۰۲۲ داشته است.

²⁵ Cost of Capital (CoC)

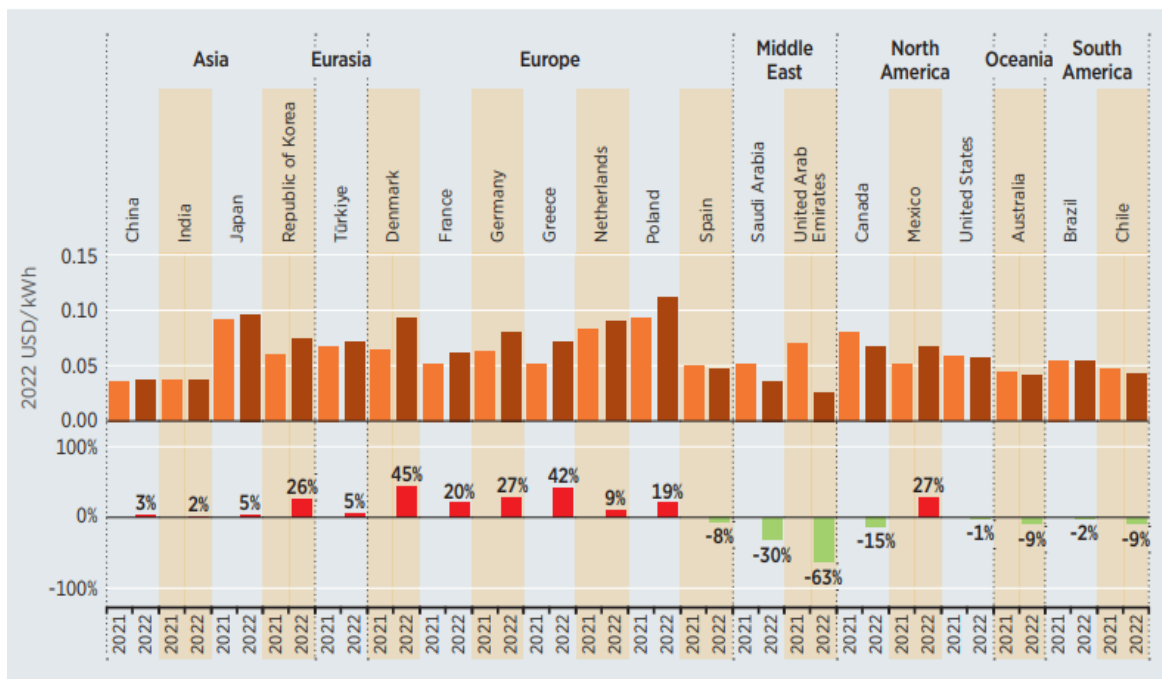
²⁶ IRENA



میانگین وزنی هزینه برق ترازشده از نیروگاه‌های خورشیدی فتوولتائیک در مقیاس کاربردی در کشورهای منتخب، ۲۰۲۲-۲۰۱۰

در خاورمیانه، کاهش هزینه ترازشده برق به‌طور ویژه‌ای چشم‌گیر بوده است، به‌طوری‌که امارات متحده عربی و عربستان سعودی بیشترین کاهش‌ها را در میان ۲۰ بازار برتر در مقیاس کاربردی داشته‌اند. هزینه ترازشده برق در امارات متحده عربی ۶۳ درصد کاهش یافته است و در سال ۲۰۲۲ به ۰.۰۲۶ دلار بر کیلووات ساعت رسیده است که آن را به رقابتی‌ترین بازار جهانی تبدیل کرده است. همچنین، هزینه ترازشده برق عربستان سعودی ۳۰ درصد کاهش یافته و در سال ۲۰۲۲ به ۰.۰۳۶ دلار بر کیلووات ساعت رسیده است. این کاهش‌ها برتری منطقه خاورمیانه در انرژی

خورشیدی فتوولتائیک به دلیل هزینه‌های نصب پایین‌تر و شرایط مطلوب خورشیدی را برجسته می‌کند. برعکس، بسیاری از بازارهای اروپایی، به‌ویژه دانمارک و هلند، در همین دوره افزایش‌هایی در هزینه ترازشده برق تجربه کرده‌اند که نشان‌دهنده تفاوت‌های منطقه‌ای در روند هزینه‌ها است.



روند میانگین وزنی هزینه ترازشده انرژی نیروگاه‌های خورشیدی فتوولتائیک در مقیاس کاربردی در ۲۰ بازار برتر، ۲۰۲۲-۲۰۲۱

RENEWABLE POWER GENERATION COSTS IN 2023 : منبع

مروری بر فناوری‌های بازیافت حرارت



با توجه به تلاش‌های جهانی برای مقابله با تغییرات اقلیمی و کاهش انتشار گازهای گلخانه‌ای، بازیافت حرارت^{۲۷} به‌عنوان یکی از راه‌حل‌های مؤثر برای افزایش بهره‌وری انرژی و کاهش تأثیرات زیست‌محیطی به‌طور فزاینده‌ای مورد توجه قرار گرفته است. این فناوری، که حوزه‌ای پیشرفته در جذب و استفاده مجدد از حرارت تلف شده در فرآیندهای صنعتی، تجاری و خانگی است، در دهه‌های گذشته عمدتاً در صنایع و نیروگاه‌ها به کار گرفته شده است. در این صنایع، نظیر فولاد، سیمان و پالایش نفت که به دلیل انتشار حرارت زیاد شناخته شده‌اند، حرارت اضافی تولید شده در فرآیندهای مختلف جمع‌آوری و به انرژی قابل استفاده تبدیل می‌شود. این حرارت می‌تواند برای تولید برق، گرم کردن آب، یا تأمین انرژی برای فرآیندهای دیگر مورد استفاده قرار گیرد. فناوری بازیافت حرارت نه تنها به بهبود بهره‌وری انرژی کمک می‌کند، بلکه تأثیرات زیست‌محیطی را نیز کاهش می‌دهد.

مفهوم بازیافت حرارت به اوایل انقلاب صنعتی و در زمانی که مهندسان به اهمیت حفظ انرژی در موتورهای بخار و سایر سیستم‌های صنعتی پی بردند، بازمی‌گردد. اولین مبدل‌های حرارتی در قرن ۱۹ میلادی برای بهبود بهره‌وری در فرآیندهای صنعتی توسعه یافتند. با پیشرفت فناوری، در اواسط قرن بیستم (به‌ویژه پس از بحران نفتی دهه ۱۹۷۰ که نیاز به بهره‌وری انرژی را افزایش داد)، سیستم‌های بازیافت حرارت پیشرفته‌تری توسعه یافتند. از آن زمان تاکنون، فناوری بازیافت حرارت به طور قابل توجهی تکامل یافته و در بسیاری از کاربردهای صنعتی و تجاری ادغام شده است.

²⁷ Heat Recovery Technology

❖ انواع فناوری‌های بازیافت حرارت

- مبدل‌های حرارتی^{۲۸}: این دستگاه‌ها برای انتقال حرارت بین دو یا چند سیال بدون مخلوط کردن آن‌ها طراحی شده‌اند. انواع رایج شامل مبدل‌های پوسته و لوله^{۲۹}، مبدل‌های صفحه‌ای^{۳۰} و مبدل‌های خنک‌کننده هوا^{۳۱} هستند. این تجهیزات به طور گسترده در صنایعی مانند پتروشیمی، فرآوری مواد غذایی و سیستم‌های تهویه مطبوع کاربرد دارند. مبدل‌های صفحه‌ای، در کاربردهای مختلف از سیستم‌های گرمایش، تهویه و تهویه مطبوع^{۳۲} تا فرآیندهای صنعتی، به دلیل طراحی کوچک، راندمان حرارتی بالا و سهولت تعمیر و نگهداری، یک انتخاب ارجح هستند. این مبدل‌های حرارتی به دلیل سازگاری و مقرون‌به‌صرفه بودن، به طور فزاینده‌ای در حال گسترش هستند.
- سیستم‌های بازیافت حرارت از گازهای خروجی^{۳۳}: این سیستم‌ها حرارت گازهای خروجی از فرآیندهای احتراق مانند نیروگاه‌ها یا بویلرها را بازیافت می‌کنند. حرارت بازیافت شده می‌تواند برای پیش‌گرمایش هوا یا آب استفاده شود و بهره‌وری کلی را بهبود بخشد.
- سیستم‌های تولید برق و حرارت ترکیبی^{۳۴}: این سیستم‌ها که به نام تولید هم‌زمان نیز شناخته می‌شوند، به طور هم‌زمان برق و حرارت مفید را از یک منبع انرژی تولید می‌کنند. این سیستم‌ها بسیار کارآمد هستند و در محیط‌های مختلفی از جمله کارخانه‌ها، بیمارستان‌ها و دانشگاه‌ها استفاده می‌شوند. در بخش‌های بعدی به کاربرد این سیستم پرداخته خواهد شد.
- سیستم‌های تهویه با بازیافت حرارت^{۳۵}: این سیستم‌ها در ساختمان‌ها برای بازیافت حرارت از هوای خروجی و انتقال آن به هوای تازه ورودی استفاده می‌شوند. این کار کیفیت هوای داخل ساختمان را بهبود می‌بخشد و نیاز به گرمایش یا سرمایش را کاهش می‌دهد.
- سیستم‌های بازیافت حرارت اتلافی^{۳۶}: این سیستم‌ها حرارت اتلافی ناشی از فرآیندهای صنعتی، مانند ذوب فلزات یا تولید مواد شیمیایی را بازیافت و مجدداً استفاده می‌کنند.

❖ چالش‌های فناوری بازیافت حرارت

هزینه‌های اولیه بالا، پیچیدگی فنی، نگهداری و قابلیت اطمینان، و محدودیت‌های بهره‌وری از جمله چالش‌های اصلی سیستم‌های بازیافت حرارت هستند. سرمایه‌گذاری اولیه برای نصب این سیستم‌ها می‌تواند قابل توجه باشد، که به‌ویژه برای کسب‌وکارهای کوچک و متوسط مانعی مهم ایجاد می‌کند. علاوه بر این، طراحی و ادغام این سیستم‌ها

²⁸ Heat Exchangers

²⁹ shell and tube heat exchanger

³⁰ Plate heat exchanger

³¹ Air-cooled heat exchanger

³² HVAC

³³ Flue Gas Heat Recovery Systems

³⁴ Combined Heat and Power Systems (CHP)

³⁵ Heat Recovery Ventilation Systems (HRV)

³⁶ Waste Heat Recovery Systems

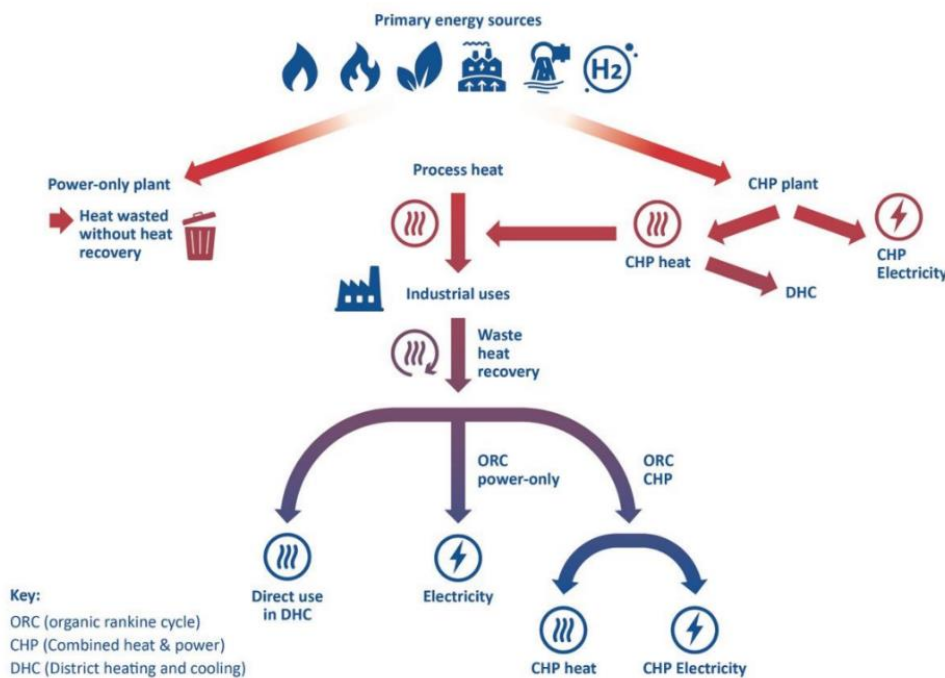
در فرآیندهای موجود نیاز به تخصص فنی بالایی دارد و هر سیستم باید بر اساس نیازهای خاص هر تأسیسات سفارشی‌سازی شود که این کار می‌تواند پیچیده و زمان‌بر باشد. همچنین، سیستم‌های بازیافت حرارت نیاز به نگهداری منظم دارند تا به‌طور مؤثر عمل کنند. بهره‌وری این سیستم‌ها نیز گاهی توسط دما و دبی حرارت اتلاف‌شده محدود می‌شود، زیرا همه جریان‌های حرارت اتلافی برای بازیافت مناسب نیستند.

❖ کاربردهای بازیابی حرارت اتلافی

بازیابی حرارت اتلافی، راه‌حلی چندمنظوره را در بخش‌های مختلف با استفاده از کاربردها و فناوری‌های متنوع ارائه می‌دهد. حرارت بازیابی‌شده می‌تواند برای تأمین نیازهای گرما، برق، یا ترکیبی از هر دو استفاده شود، چه برای مصرف در محل و چه برای توزیع از طریق شبکه‌های انرژی مانند سیستم‌های گرمایش منطقه‌ای و شبکه‌های برق. در ادامه به برخی کاربردهای این فناوری پرداخته می‌شود.

• استفاده حرارتی از حرارت اتلافی در سیستم‌های گرمایش منطقه‌ای

سیستم‌های گرمایش و سرمایش منطقه‌ای^{۳۷} شامل بیش از ۱۰,۰۰۰ شبکه گرمایش در اروپا می‌شوند که ۱۳ درصد از بازار گرما را پوشش داده و به بیش از ۶۰ میلیون نفر خدمات ارائه کرده‌اند. با پیشرفت‌های راهبردی، سیستم‌های گرمایش و سرمایش منطقه‌ای می‌توانند تا سال ۲۰۵۰ بین ۳۰ تا ۵۰ درصد از تقاضای گرمای اتحادیه اروپا را تأمین کنند، درحالی‌که این رقم در حال حاضر ۱۳ درصد است.



منابع و کاربردهای کلیدی حرارت اتلافی

³⁷ District Heating and Cooling (DHC)

در مناطق شهری، ادغام هوشمندانه منابع حرارت اتلافی موجود در شهرها به شبکه‌های گرمایش منطقه‌ای، فرصت قابل توجهی برای بهبود بهره‌وری انرژی فراهم کرده است. این رویکرد می‌تواند به طور چشمگیری استفاده از سوخت‌های فسیلی را کاهش داده یا حتی کاملاً جایگزین کند.



استفاده مستقیم از حرارت اتلافی صنعتی در سیستم‌های گرمایش و سرمایش منطقه‌ای

• بازیابی حرارت اتلافی برای تولید برق و گرما

فراتر از استفاده مستقیم در سیستم‌های گرمایش و سرمایش منطقه‌ای، بازیابی حرارت اتلافی می‌تواند برای تولید برق یا تولید هم‌زمان برق و گرما^{۳۸} نیز به کار گرفته شود. یکی از روش‌های مؤثر برای بهره‌برداری از حرارت اتلافی در فرآیندهای صنعتی، استفاده از فناوری چرخه رانکین ارگانیک/آلی^{۳۹} است که می‌تواند به چندین شکل پیکربندی شود:

- پیکربندی چرخه رانکین آلی برای تولید برق: در این تنظیم، حرارت اتلافی از فرآیندهای صنعتی فقط برای تولید برق استفاده می‌شود. برق تولیدی می‌تواند در محل مصرف شود یا به شبکه فروخته شود.



کاربرد حرارت اتلافی برای تولید برق

- پیکربندی تولید برق تنها از طریق فناوری گسترش‌دهنده/منبسط‌کننده گاز^{۴۰} با توجه به نقش مهم شبکه توزیع گاز و پتانسیل بالای آن در بهبود بهره‌وری، فناوری گسترش‌دهنده/منبسط‌کننده گاز اخیراً در اروپا توسعه یافته است. گسترش‌دهنده/منبسط‌کننده گاز از انرژی‌ای که در غیر این صورت از طریق شیرهای فشارشکن^{۴۱} از دست می‌رفت، استفاده می‌کند. به این ترتیب، کاهش فشار گاز طبیعی به عنوان "نیروی محرکه" برای تولید برق عمل می‌کند. گسترش‌دهنده/منبسط‌کننده گاز قادر بوده است تا برق با قدرت ۱۵۰ کیلووات^{۴۲} تا ۲ مگاوات^{۴۳} با بازدهی بیش از ۶۵٪ تولید کند.

³⁸ CHP

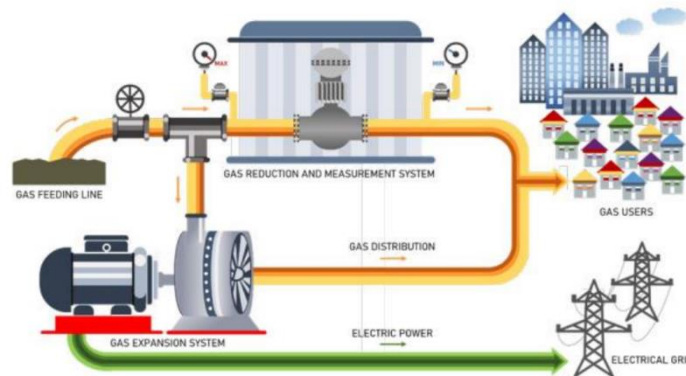
³⁹ Organic Rankine Cycle (ORC)

⁴⁰ Gas Expander technology (GEX)

⁴¹ Throttling valves

⁴² kW_e

⁴³ MWe

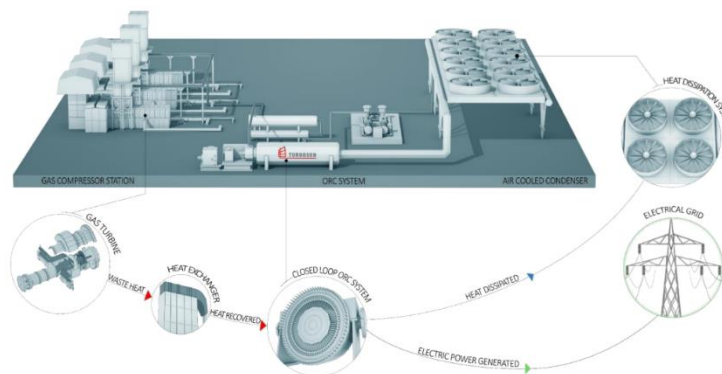


عملکرد فناوری انبساط گاز

در صورتی که برق تولیدشده توسط منبسط‌کننده گاز به صورت مؤثر قابل استفاده نبوده یا به شبکه منتقل نشود، می‌تواند برای تولید هیدروژن سبز از طریق الکترولیزها و همچنین از طریق فناوری چرخه رانکین آلی استفاده شود.

○ پیکربندی تولید برق از طریق ایستگاه کمپرسور گاز^{۴۴}

در سراسر شبکه وسیع انتقال و توزیع گاز اروپا، ایستگاه‌های کمپرسور گاز در هر ۱۰۰-۲۰۰ کیلومتر برای حفظ فشار کافی گاز از طریق توربین‌های گازی مورد نیاز بوده‌اند. در سراسر اروپا، بیش از ۷۵۰۰ مگاوات توربین گازی در ایستگاه‌های کمپرسور گاز نصب شده‌اند که مقدار قابل توجهی حرارت اتلافی تولید می‌کنند. از آنجایی که این ایستگاه‌ها معمولاً در نزدیکی مناطق شهری پرتدد قرار ندارند، بهترین استفاده از حرارت اتلافی، تبدیل آن به برق از طریق فناوری چرخه رانکین آلی برای تغذیه شبکه است. برآوردها نشان داده‌اند که پتانسیل نصب ۱.۳ گیگاوات برق در نیروگاه‌های گاز اروپا، با تولید برق تا ۱۰.۴۳ تراوات ساعت در سال وجود دارد، که به موجب آن از انتشار ۳.۷ میلیون تن گازهای گلخانه‌ای جلوگیری می‌شود.



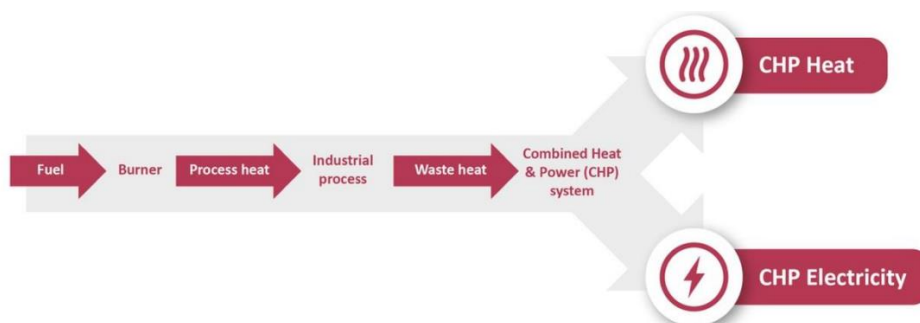
نحوه عملکرد چرخه رانکین آلی در یک ایستگاه کمپرسور گاز

⁴⁴ Gas Compressor Station

○ تولید هم‌زمان برق و حرارت^{۴۵} / پیکربندی ORC-CHP (تولید هم‌زمان):

این پیکربندی برای به حداکثر رساندن بهره‌وری انرژی با تولید هم‌زمان برق و گرما طراحی شده است. خروجی‌ها می‌توانند متناسب با تقاضای فصلی تنظیم شوند و برق و گرمای تولیدی یا در محل استفاده شوند یا به مصرف‌کنندگان نزدیک از طریق شبکه‌های گرمایش منطقه‌ای منتقل شوند. تولید برق از حرارت اتلافی، منبع مهمی از انرژی بدون کربن و قابل تنظیم را فراهم کرده است. تولید هم‌زمان برق و حرارت به مفهوم بازیابی و استفاده از حرارت اتلافی به روش‌های مختلف مرتبط است و عموماً به‌عنوان تولید هم‌زمان برق و حرارت از یک منبع انرژی حرارتی (مانند گاز، زیست‌توده، هیدروژن، زمین‌گرمایی) تعریف می‌شود. با افزایش اهمیت تاب‌آوری سیستم برق و امنیت تأمین انرژی، ارزش این رویکرد نیز افزایش خواهد یافت.

تولید هم‌زمان برق و حرارت از هدررفت گرما در تولید برق حرارتی جلوگیری کرده است. CHP عموماً به‌عنوان یک راه‌حل تبدیل با بهره‌وری بالاتر در نظر گرفته می‌شود که برق را از هر نوع سوخت موجود تولید کرده و گرمایی را که در تولید برق تنها هدر می‌رفت، جذب می‌کند. در مکان‌هایی که تقاضای کافی برای برق و حرارت وجود دارد، مانند شهرهای بزرگ، اجرای CHP به دلیل بهره‌وری انرژی بالا و قابلیت اطمینان آن، راه‌حلی بهینه است. استفاده از حرارت اتلافی از منابع نزدیک و تولید برق قابل توزیع^{۴۶} از طریق نیروگاه‌های برق تنها (که باز هم حرارت اتلافی تولید می‌کنند) ممکن است به نتیجه‌ای کمتر کارآمد و پرهزینه منجر شود.

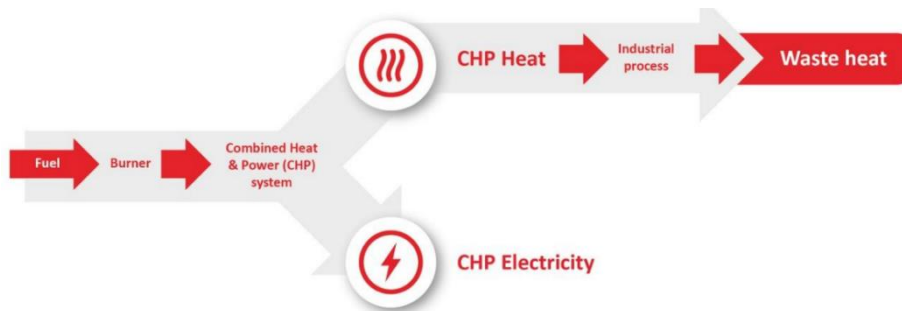


استفاده از حرارت اتلافی در کاربرد CHP برای تولید مؤثر گرما و برق

تولید هم‌زمان برق و حرارت می‌تواند از حرارت اتلافی به‌عنوان منبع استفاده کند. فناوری چرخه رانکین آلی که در حالت تولید هم‌زمان کار می‌کند، می‌تواند هم برق تولید کند و هم گرمای باقی‌مانده را هر زمان که تقاضای گرما در نزدیکی وجود داشته است (مانند تقاضای گرمایش فصلی یا آب گرم)، جذب کند. این امر اجرای راه‌حل‌های چرخه رانکین آلی برای بازیابی حرارت اتلافی را بهبود بخشیده است.

⁴⁵ Combined Heat & Power (CHP)

⁴⁶ Dispatchable



استفاده از حرارت اتلافی در برنامه CHP برای تولید مؤثر گرما و برق

❖ نوآوری‌های جدید

نوآوری‌های جدید شامل مولدهای ترموالکتریک با بازده بالا، سیستم‌های پیشرفته تهویه‌های بازیافت حرارت، سیستم‌های بازیافت حرارت ماژولار و بهینه‌سازی با استفاده از هوش مصنوعی هستند. مولدهای ترموالکتریک که حرارت ضایعات را به طور مستقیم به برق تبدیل می‌کنند، بهبودیافته و برای کاربردهای صنعتی مناسب‌تر شده‌اند. سیستم‌های پیشرفته تهویه بازیافت حرارت با استفاده از مواد و پیکربندی‌های نوآورانه، بهره‌وری تبادل حرارت را افزایش داده و از دست دادن انرژی در ساختمان‌ها را کاهش می‌دهند. طراحی‌های ماژولار جدید، نصب و مقیاس‌بندی سیستم‌های بازیافت حرارت را آسان‌تر کرده و با کاهش هزینه نصب، انعطاف‌پذیری بیشتری را فراهم می‌کنند. همچنین، الگوریتم‌های هوش مصنوعی و یادگیری ماشینی برای بهینه‌سازی عملکرد سیستم‌های بازیافت حرارت به صورت آبی به کار گرفته می‌شوند که منجر به صرفه‌جویی قابل توجه در انرژی و بهبود عملکرد عملیاتی می‌شوند.

❖ آینده فناوری بازیافت حرارت

- آیندهی فناوری بازیابی حرارت هدررفته امیدوارکننده به نظر می‌رسد و پیشرفت‌ها و نوآوری‌های جاری مرزهای آن را گسترش می‌دهند. چندین توسعه کلیدی در حال شکل‌گیری هستند که این بخش را متحول خواهند کرد:
- ادغام بازیابی حرارت هدررفته با منابع انرژی تجدیدپذیر یک توسعه جذاب و رو به رشد است. این فناوری‌ها به طور فزاینده‌ای با سیستم‌هایی مانند انرژی حرارتی خورشیدی، بادی، و زمین‌گرمایی ترکیب می‌شوند تا راه‌حل‌های انرژی پایدارتر و قابل اعتمادتری ایجاد کنند. با این ترکیب، می‌توان به تأمین انرژی پایدارتر دست یافت و وابستگی به سوخت‌های فسیلی را کاهش داد.
 - محققان به طور فعال در حال بررسی و توسعه مواد جدیدی هستند که می‌توانند بهره‌وری سیستم‌های بازیافت حرارت هدررفته را افزایش دهند. این پیشرفت‌ها شامل توسعه نانومواد و پوشش‌های حرارتی پیشرفته است که بهره‌وری سیستم‌ها را بهبود داده و هزینه‌ها را کاهش می‌دهد. به عنوان مثال، استفاده از مواد ترموالکتریک که حرارت را مستقیماً به برق تبدیل می‌کنند، امکانات جدیدی برای بهره‌برداری از حرارت هدررفته فراهم می‌آورد.

- کوچک‌سازی سیستم‌های بازیابی حرارت هدررفته امکان ادغام آن‌ها را در دستگاه‌ها و وسایل مختلف فراهم می‌کند. این رویکرد می‌تواند به تولید انرژی بیشتر و تمرکززدایی منجر شود و به خانه‌ها و کسب‌وکارها این امکان را بدهد که برق خود را از حرارت هدررفته تولیدشده به‌صورت محلی تأمین کنند.
- سیستم‌های هوشمند و خودکار که با استفاده از حسگرهای اینترنت اشیا و هوش مصنوعی ایجاد می‌شوند، به سیستم‌های بازیافت حرارت امکان می‌دهند تا نظارت آنی، نگهداری پیش‌بینی‌شده، و بهینه‌سازی مصرف انرژی را فراهم کنند. این امر حداکثر بهره‌وری را تضمین کرده، زمان‌های غیرکاری را به حداقل می‌رساند و فناوری را اقتصادی‌تر می‌کند.
- همچنین با افزایش هزینه‌های انرژی و نگرانی‌های زیست‌محیطی، انتظار می‌رود که کشورهای در حال توسعه به‌ویژه در صنایع انرژی‌بر، از این فناوری‌ها استفاده بیشتری کنند. آلمان، ژاپن، ایالات‌متحده، و چین از جمله کشورهای پیشرو در این حوزه هستند؛ آلمان با بازار قدرتمند خود در بخش‌های صنعتی و ساختمانی، ژاپن با پیشرفت‌های خود در سیستم‌های تولید برق و حرارت ترکیبی و فناوری‌های بازیافت حرارت اتلافی، ایالات‌متحده با کاربردهای بزرگ‌مقیاس صنعتی و سیستم‌های گرمایش منطقه‌ای و چین (به‌عنوان بزرگ‌ترین مصرف‌کننده انرژی در جهان) با پذیرش سریع فناوری‌های بازیافت حرارت برای بهبود بهره‌وری صنعتی و کاهش انتشار آلاینده‌ها در این زمینه کمک خواهند کرد.
- حرارت اتلافی از وسایل نقلیه، به‌ویژه از موتورهای احتراق داخلی، منبع مهمی است که هنوز به‌خوبی استفاده نشده است. پیشرفت‌های اخیر در فناوری بازیافت حرارت اتلافی، راه را برای بهبودهای چشمگیر در کارایی و تأثیرات زیست‌محیطی وسایل نقلیه هموار کرده است. سیستم‌های بازیافت حرارت اتلافی در حال توسعه هستند تا حرارتی که توسط موتورهای احتراق داخلی، تولید می‌شود را به انرژی قابل‌استفاده تبدیل کنند، که این انرژی می‌تواند برای تأمین نیروی سیستم‌های مختلف درون وسیله نقلیه یا حتی شارژ مجدد باتری‌ها در خودروهای هیبریدی و الکتریکی مورداستفاده قرار گیرد. این فناوری با اخذ حرارتی که از طریق اگزوز یا سیستم‌های خنک‌کننده وسیله نقلیه هدر می‌رود و تبدیل آن به نیروی الکتریکی از طریق ژنراتورهای ترموالکتریک^{۴۷} یا سایر روش‌های تبدیل، کار می‌کند.
- تولیدکنندگان خودرو، تحت تأثیر دو هدف: کاهش انتشار کربن و بهبود بهره‌وری سوخت، به طور فزاینده‌ای این سیستم‌ها را در طراحی‌های خود ادغام می‌کنند. به‌عنوان مثال، برخی از تولیدکنندگان خودروهای لوکس در حال بررسی استفاده از مواد پیشرفته و بهبودهای طراحی برای حداکثر کردن کارایی سیستم بازیافت حرارت اتلافی هستند، که می‌تواند به کاهش قابل‌توجهی در مصرف سوخت و انتشار گازهای گلخانه‌ای منجر شود.

⁴⁷ Thermoelectric Generator (TEG)

این پیشرفت‌ها نه تنها برای موتورهای احتراق داخلی سنتی بلکه برای خودروهای هیبریدی و الکتریکی نیز امیدوارکننده است، چرا که جذب و استفاده مجدد از حرارت اتلافی می‌تواند برد و کارایی خودرو را افزایش دهد و آن‌ها را با خودروهای سنتی رقابتی‌تر کند.

فناوری بازیافت حرارت اتلافی نشان‌دهنده مسیری امیدوارکننده برای نوآوری در بخش خودروسازی است که می‌تواند به کاهش قابل توجه مصرف جهانی انرژی و انتشار گازها کمک کند. با ادامه تحقیقات و توسعه در این زمینه، می‌توان انتظار داشت که این فناوری در آینده نزدیک به‌طور گسترده‌تری در خودروهای سواری و تجاری به کار گرفته شود.

منابع:

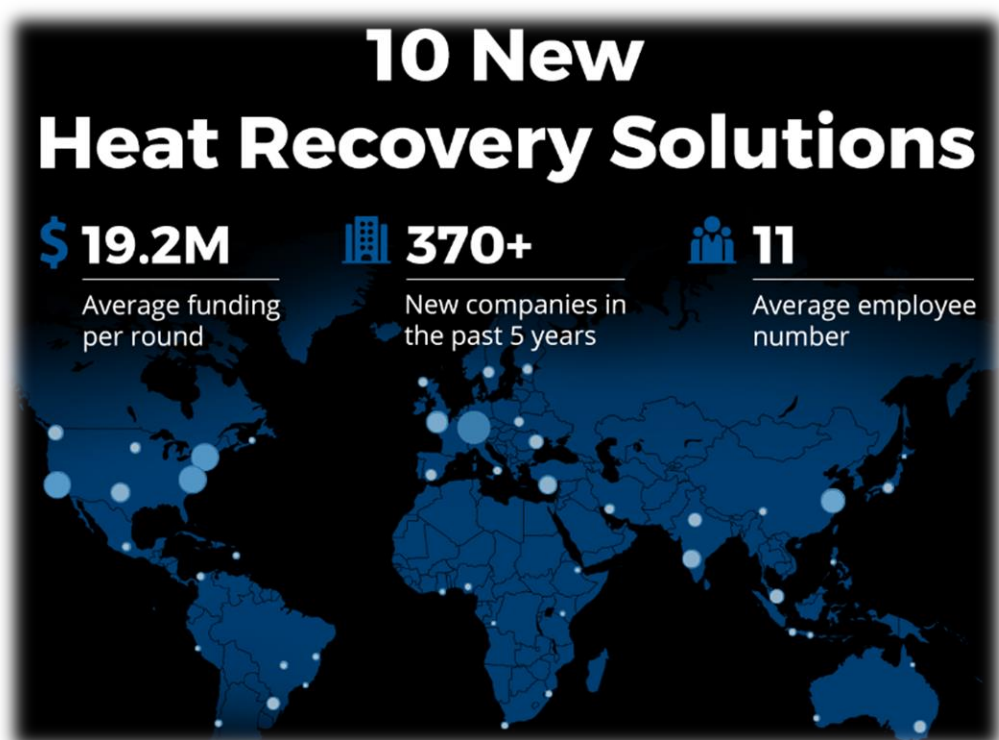
- Energytechreview – the future of waste heat recovery- 25 September 2023⁴⁸
- jgbksaseo.medium.com - The Future of Heat Exchangers: Innovations and Emerging Technologies – 12 July 2023⁴⁹
- HEATLEAP - Waste Heat Recovery Potentials, applications and recommendations for better policies – 7 June 2023⁵⁰

⁴⁸ <https://www.energytechreview.com/news/the-future-of-waste-heat-recovery-nwid-1216.html>

⁴⁹ <https://jgbksaseo.medium.com/the-future-of-heat-exchangers-innovations-and-emerging-technologies-69ed01642157>

⁵⁰ https://heatleap-project.eu/wp-content/uploads/2023/06/HEATLEAP_Policy_Paper_7-June-2023.pdf

ده راه کار نو ظهور بازیابی حرارت



این مطلب به تحلیل ده راه حل نوآورانه بازیابی حرارت از میان بیش از ۳۷۰ راه حل جدید پرداخته است. شرکت های بازیابی حرارت تکنولوژی هایی ارائه می دهند که شامل جبران انتشار کربن، کربن زدایی حرارت صنعتی و ارائه انرژی تجدیدپذیر پایدار می شود. فناوری های معرفی شده شامل سیستم های مدیریت حرارتی پیشرفته، واحدهای بازیابی حرارت ائتلافی و جذب و ذخیره سازی کربن هستند. هر شرکت رویکردهای خاصی برای بهینه سازی مصرف انرژی و کاهش اثرات زیست محیطی ارائه می دهد. روندهای اصلی صنعت بازیابی حرارت، از جمله سیستم های ماژولار، فناوری های هیبریدی، مواد تغییر فاز، بویلرهای حرارتی ائتلافی و چرخه رانکین آلی هستند.

صنعت بازیابی حرارت شامل بیش از ۸,۳۰۰ سازمان در سطح جهانی است. به طور میانگین، در هر یک از ۳۷۰ شرکت جدید تأسیس شده در پنج سال گذشته، حدود ۱۱ نفر استخدام شده اند و سال ۲۰۲۰ به عنوان سال میانگین تأسیس این شرکت ها شناخته می شود. همچنین، متوسط بودجه دریافت شده توسط صنعت بازیابی حرارت در هر دور سرمایه گذاری در این بازه زمانی ۱۹.۲ میلیون دلار است.

❖ ۱۰ شرکت جدید بازیابی حرارت و حوزه فعالیت



- پیرامپ – حرارت اتلافی به الکتریسیته^{۵۱}
- آنتروپی – سیستم جذب حرارت^{۵۲}
- گرین‌تک – خنک‌کننده غوطه‌ور^{۵۳}
- فوتراهیت – فناوری توربو کمپرسور^{۵۴}
- سی‌بک‌سل – سلول‌های ترموالکتریک مبتنی بر مایع^{۵۵}
- هیتریکس – گرمای فرآیند کربن خنثی^{۵۶}
- سوناکسر – پوشش‌های جذب‌کننده گرما^{۵۷}
- سیستم‌های اسپار – حرارت اتلافی به الکتریسیته
- کلینوژن – تولید هیدروژن سبز در محل^{۵۸}
- ژئوترم الکتریک – دوقلوهای دیجیتال برای بازیابی گرما^{۵۹}

در این بخش، ۱۰ شرکت جدید بازیابی گرما معرفی می‌شوند که راه‌حل‌هایی مانند محاسبات خنک‌کننده غوطه‌وری، سلول‌های ترموالکتریک مایع، گرمای فرآیند کربن خنثی و دوقلوهای دیجیتال را ارائه می‌دهند. این شرکت‌ها به تولید هیدروژن سبز در محل، شبکه‌های بازیابی حرارت اتلافی و سیستم‌های مدیریت حرارتی پیشرفته پرداخته‌اند. یکی از معیارهای خاصی که برای هر شرکت در این مقاله ارائه می‌شود، قدرت سیگنال است. این معیار میزان نفوذ یک شرکت در اکوسیستم جهانی استارت‌آپ‌ها، اسکیل‌آپ‌ها و شرکت‌های نوظهور را اندازه‌گیری می‌کند و به‌عنوان راهنمایی ارزشمند برای درک جایگاه شرکت‌ها در بازار گسترده‌تر عمل می‌کند.

❖ پیرامپ^{۶۰}

(سال تاسیس: ۲۰۱۹ - مکان: ایرلند - قدرت سیگنال: متوسط)

پیرامپ از فناوری ترموفوتوولتائیک^{۶۱} برای تبدیل حرارت اتلافی صنعتی به برق استفاده می‌کند. این فناوری با بهره‌گیری از ماده انتشار طیفی انتخابی ثبت‌شده خود، کارایی تبدیل حرارت اتلافی به نیروی الکتریکی را بهبود

⁵¹ Waste Heat to Electricity

⁵² Heat Capture System

⁵³ Immersion cooling

⁵⁴ Turbo Compressor Technology

⁵⁵ Liquid-based Thermoelectric Cells

⁵⁶ Carbon-Neutral Process Heat

⁵⁷ Heat Absorbing Coatings

⁵⁸ On-site Green Hydrogen Production

⁵⁹ Digital Twins for Heat Recovery

⁶⁰ Pyramp

⁶¹ Thermophotovoltaic (TPV) technology

می‌بخشد. سیستم ترموفتولتائیک همچنین حرارت اتلافی تابشی را بدون تماس مستقیم بازیافت می‌کند. این سیستم با رویکرد ماژولار و نیاز به نگهداری کم، در صنایع با دمای بالا مانند سیمان، فولاد، شیشه و سرامیک کاربرد دارد و به کاهش مصرف انرژی صنعتی و انتشار کربن‌دی‌اکسید کمک می‌کند.

❖ آنتروپی^{۶۲}

(سال تاسیس: ۲۰۲۱ - مکان: کانادا - قدرت سیگنال: قوی)

سیستم بازیافت حرارت آنتروپی، بهینه‌سازی بازیافت حرارت اتلافی صنعتی را فراهم می‌کند. این فناوری دوره‌های بازگشت سرمایه کوتاه و اقتصاد کم‌خطر را برای کاربردهای صنعتی ارائه می‌دهد. علاوه بر این، سیستم به راحتی با تأسیسات صنعتی موجود ادغام می‌شود تا زمان‌های خاموشی عملیاتی را به حداقل برساند. صنایعی مانند پردازش گاز طبیعی، تولید فولاد و تولید برق از این فناوری برای کاهش هزینه‌های سوخت و بهبود پایداری استفاده می‌کنند.

❖ گرین‌تک تکنولوژی^{۶۳}

(سال تاسیس: ۲۰۲۲ - مکان: سوئیس - قدرت سیگنال: متوسط قوی)

گرین‌تک تکنولوژی، گرین‌باکس^{۶۴} را توسعه می‌دهد که یک مرکز داده ماژولار با خنک‌سازی غوطه‌وری^{۶۵} است و تکنولوژی‌های بازیابی حرارت و بار متعادل را ادغام می‌کند. سیستم گرین‌باکس بدون انتشار کربن و صدا عمل کرده و در عین حال کارایی مصرف برق^{۶۶} را بهینه می‌کند. این تکنولوژی در بخش‌های مختلفی از جمله باغبانی، مراکز داده، خدمات عمومی و شهرهای هوشمند، کارایی انرژی را بهبود می‌بخشد. تکنولوژی مورد استفاده هزینه‌های گرمایش برای باغداران را کاهش داده و هزینه کلی مالکیت مراکز داده را پایین می‌آورد. همچنین به پایداری و ثبات شبکه در خدمات عمومی کمک کرده و با بهینه‌سازی استفاده از منابع و کاهش تأثیرات زیست‌محیطی، از شهرهای هوشمند و صنایع پشتیبانی می‌کند.

❖ فوتراهیت^{۶۷}

(سال تاسیس: ۲۰۲۱ - مکان: انگلستان - قدرت سیگنال: بسیار قوی)

فوتراهیت فناوری کمپرسور «توربو کلاو»^{۶۸} را ارائه می‌دهد که در پمپ حرارتی این شرکت، گرین‌استیم^{۶۹} مورد استفاده قرار می‌گیرد. این پمپ، بخار فرآیندی با دمای بالا تا ۱۵۰ درجه سانتی‌گراد تولید می‌کند و برای

⁶² Entropy

⁶³ GREENTECH Technologies

⁶⁴ GREENBOX

⁶⁵ Modular immersion-cooled data center

⁶⁶ Power usage effectiveness (PUE)

⁶⁷ Futraheat

⁶⁸ TurboClaw

⁶⁹ Greensteam 360

کاربردهای حرارتی با دمای بالا و زیر مگاوات مناسب است. کمپرسور سانتریفیوژ آن با سرعت‌های پایین‌تر کار کرده که موجب کاهش سایش و هزینه‌های عملیاتی می‌شود. طراحی بدون روغن و یاتاقان‌های مغناطیسی توربو کلاو، اطمینان از قابلیت اعتماد و سهولت نگهداری را تضمین می‌کند و آن را برای صنایع نیازمند راه‌حل‌های حرارتی مقرون‌به‌صرفه ایده‌آل می‌سازد.

❖ سی‌بک‌سل^{۷۰}

(سال تاسیس: ۲۰۲۰ - مکان: ایالات متحده آمریکا - قدرت سیگنال: بسیار قوی)

سی‌بک‌سل سلول‌های ترموالکتریک مبتنی بر مایع را ارائه داده است که حرارت اتلافی صنعتی را به برق تبدیل می‌کند. فناوری این شرکت فرآیند تبدیل مستقیم را با استفاده از ماده مصنوعی بهینه‌سازی کرده که نیاز به استخراج از معادن ندارد. ابرخازن ترموالکتریک یونی^{۷۱} آن‌ها انرژی را از اختلاف دما به دست آورده و الکترودهای ابرخازن را شارژ می‌کند. این امر امکان تولید برق در محل برای ابزارهای الکتریکی مختلف را فراهم کرده و کاهش مصرف برق کلی را تسهیل کرده است. صنایع مختلف از جمله وسایل نقلیه الکتریکی با باتری، کشاورزی، و تولید انرژی در فضا از این فناوری بهره‌مند شده‌اند.

❖ هیتریکس^{۷۲}

(سال تاسیس: ۲۰۲۱ - مکان: آلمان - قدرت سیگنال: بسیار قوی)

هیتریکس با تبدیل برق تجدیدپذیر به حرارت فرایندی^{۷۳} با دمای بالا، فرآیندهای گرمایی صنعتی با دمای بالا را بدون کربن کرده است. فناوری این شرکت، گرمای فرآیندی مداوم و بدون کربن‌دی‌اکسید را با قابلیت ذخیره‌سازی حرارتی فراهم کرده است. این فناوری در مقایسه با سوخت‌های فسیلی مقرون‌به‌صرفه‌تر و به‌طور قابل توجهی ارزان‌تر از هیدروژن سبز است. سیستم ماژولار کانتینری این شرکت مقیاس‌پذیری را بهبود داده و ادغام آسان با حداقل نیاز به تغییرات ساختاری را تسهیل کرده است. کاربردهای کلیدی آن شامل فرآیندهای کلسیناسیون^{۷۴}، عملیات حرارتی، سینترینگ، پلت‌سازی و پیش‌گرمایش است.

⁷⁰ SeebeckCell

⁷¹ Ionic Thermolectric Supercapacitor (ITESC)

⁷² Heatrix

⁷³ Process heat

«حرارت فرایندی» به انرژی حرارتی مورد استفاده در فرآیندهای صنعتی برای تولید کالاها یا انجام عملیات خاص اشاره دارد. این نوع حرارت برای کاربردهایی مانند گرمایش، خشک کردن، ذوب کردن یا واکنش‌های شیمیایی ضروری است و در صنایعی مانند فرآوری مواد غذایی و شیمیایی برای کنترل دقیق دما اهمیت دارد. حرارت فرایندی می‌تواند از منابع مختلفی مانند سوخت‌های فسیلی، برق یا انرژی‌های تجدیدپذیر تولید شود.

⁷⁴ Calcination

کلسیناسیون یک فرآیند حرارتی است که در آن مواد به دماهای بالا در حضور هوا یا اکسیژن گرم می‌شوند تا تغییر شیمیایی ایجاد شود. این فرآیند معمولاً برای حذف مواد فرار، از بین بردن رطوبت، یا تبدیل یک ماده به شکل پایدارتر مانند تبدیل کربنات‌های فلزی به اکسیدهای فلزی استفاده می‌شود. کلسیناسیون به‌طور معمول در تولید موادی مانند سیمان و آهک به کار می‌رود.

❖ سوناکسر^{۷۵}

(سال تاسیس: ۲۰۲۱ - مکان: سوئیس - قدرت سیگنال: بسیار قوی)

سوناکسر پوشش‌های جاذب خورشیدی با کارایی بالا را توسعه داده است که بازده کلکتورهای خورشیدی متمرکز را افزایش می‌دهد. این پوشش‌ها از طریق یک فرآیند گرمایی ثبت‌شده، جذب بیشتر خورشید و انتشار حرارتی را بهبود می‌بخشند. عملکرد اپتیک بهبودیافته^{۷۶} و دوام فوق‌العاده در دماهای بالا، به تولیدکنندگان سیستم‌های خورشیدی این امکان را داده است که کارایی این سیستم‌ها را افزایش دهند. شرکت‌های انرژی تجدیدپذیر و خدماتی توانسته‌اند با بهره‌گیری از راه‌حل این شرکت، انتشار کربن را کاهش داده و بازدهی را افزایش دهند.

❖ اسپارسیستمز^{۷۷}

(سال تاسیس: ۲۰۲۲ - مکان: ایالات متحده آمریکا - قدرت سیگنال: بسیار قوی)

اسپارسیستمز از فناوری ژنراتور جریان القایی^{۷۸} استفاده کرده است تا حرارت اتلافی مراکز داده را به برق تبدیل کند. این فناوری، هوای گرم خارج‌شده از سرورها را برای تولید برق جهت مصرف در محل یا توزیع به شبکه محلی، به کار می‌گیرد. سیستم ژنراتور جریان القایی این شرکت همچنین دارای هزینه‌های سرمایه‌گذاری و ترازشده برق تولیدی پایین است. ژنراتور آن در دماهایی که ۱۰ درجه فارنهایت بالاتر از دمای محیط است، عمل کرده و این امر آن را برای اندازه‌های مختلف مراکز داده سازگار و مناسب ساخته است.

❖ کلینوژن^{۷۹}

(سال تاسیس: ۲۰۲۰ - مکان: کانادا - قدرت سیگنال: بسیار قوی)

کلینوژن در زمینه فناوری‌ای تخصص دارد که حرارت اتلافی را به هیدروژن و اکسیژن تبدیل می‌کند. این فرآیند شکافتن آب به روش ترموشیمیایی که بر اساس چرخه Cu-Cl انجام می‌شود، در دمای متوسط بالای ۵۲۵ درجه سانتی‌گراد عمل کرده و مصرف برق را به‌طور چشمگیری کاهش می‌دهد. این رویکرد نوآورانه با استفاده از منابع حرارتی تجدیدپذیر، ضمن تضمین عدم تولید هیچ‌گونه آلاینده‌ای، طراحی مقیاس‌پذیر و ماژولاری را ارائه می‌دهد که در صنایع مختلف قابل تطبیق است. فناوری کلینوژن به بخش‌هایی مانند صنایع سنگین، تولید مواد شیمیایی و بخش انرژی خدمت کرده و راه‌حلی پایدار برای تولید هیدروژن سبز در محل فراهم می‌کند.

⁷⁵ Sunaxer

⁷⁶ Enhanced optical performance

⁷⁷ Spar Systems

⁷⁸ Induced Flow Generator (IFG) technology

⁷⁹ CleanInnoGen

❖ ژئوترم الکتریک^{۸۰}

(سال تاسیس: ۲۰۲۱ - مکان: هلند - قدرت سیگنال: ضعیف)

ژئوترم الکتریک شبکه‌های بازیافت حرارت اتلافی را برای صنایع فرآیندی توسعه می‌دهد. این شرکت با ایجاد یک دوقلوی دیجیتال از منابع و مخازن حرارتی یک کارخانه، مصرف حرارت را بهینه کرده و کاهش کربن‌دی‌اکسید و صرفه‌جویی در انرژی را به حداکثر رسانده است. ژئوترم الکتریک با استفاده از تحلیل‌های پیشرفته، شبکه بازیافت حرارتی بهینه‌ای را طراحی کرده که از روش‌هایی مانند استفاده مجدد، ذخیره‌سازی، ارتقا، و تبدیل برای مدیریت مؤثر حرارت بهره می‌برد. ابزارهای دیجیتال این شرکت، بینش‌هایی در مورد تعادل حرارتی و کاهش احتمالی ژئوترم الکتریک و گازها ارائه داده و به صنایعی مانند تولید مواد شیمیایی و کاغذ کمک می‌کنند.

منبع:

- startus-insights - 10 New Heat Recovery Solutions: Improving Sustainability⁸¹-2024

⁸⁰ Geotherm Electric

⁸¹ <https://www.startus-insights.com/innovators-guide/new-heat-recovery-solutions/>

راهکارهای نوین بازیابی حرارت اتلافی صنایع از دیدگاه مکنزی



بازیابی حرارت اتلافی می‌تواند به شرکت‌های صنعتی در کاهش انتشار گازهای گلخانه‌ای کمک کند، اما این پتانسیل تاکنون تا حد زیادی نادیده گرفته شده است. اکنون زمان آن رسیده که این حرارت به فرآورده مفید تبدیل شود. با توجه به تعهد بسیاری از کشورها برای محدود کردن گرمایش جهانی به ۱.۵ درجه سانتی‌گراد، شرکت‌های زیادی اهداف کربن‌زدایی برای سال‌های ۲۰۲۵ تا ۲۰۳۰ تعیین کرده‌اند. هم‌اکنون حدوداً تنها شش سال فرصت باقی است تا بسیاری از این اهداف محقق شوند. اما شرکت‌های صنعتی اغلب در انتخاب مسیر فنی مناسب برای کاهش فوری گازهای گلخانه‌ای دچار تردید هستند. فناوری‌هایی که دارای ارزش خالص کنونی^{۸۲} مثبت و قابلیت اجرا در کوتاه‌مدت هستند، مانند روش‌های مختلف بهره‌وری انرژی، می‌توانند به شرکت‌ها در دستیابی به این اهداف کمک کنند. بازیابی حرارت اتلافی یکی از راه‌های مؤثر برای کاهش انتشار گازهای گلخانه‌ای است.

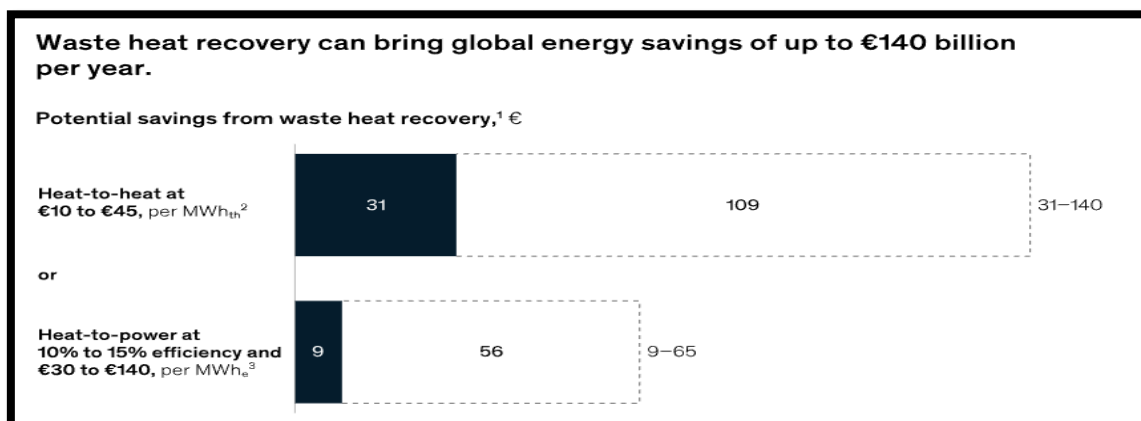
هر سال، جهان بیش از ۴۱۸ اگزاژول یا ۱۱۶۰۰۰ تراوات ساعت انرژی مصرف می‌کند که بیشتر آن از طریق سوزاندن سوخت‌های فسیلی و تولید گرما تأمین می‌شود. بخشی از این گرما برای تولید برق یا انجام واکنش‌های شیمیایی استفاده می‌شود، اما بخش بزرگی از آن به‌عنوان «حرارت اتلافی» از طریق درگاه‌های خروجی گاز و یا پساب به محیط اطراف منتقل می‌شود. بازیابی این گرما می‌تواند مصرف سوخت‌های اولیه و به‌تبع آن انتشار گازهای گلخانه‌ای را کاهش دهد و همچنین انتقال انرژی را آسان‌تر و مقرون‌به‌صرفه‌تر کند. حرارت بازیافتی می‌تواند برای اهداف مختلفی از جمله گرمایش فرآیندهای صنعتی، گرمایش شهری یا تولید برق استفاده شود. با توجه به استفاده از این گرما برای گرمایش یا تولید برق، صرفه‌جویی سالانه جهانی می‌تواند به ۱۴۰ میلیارد یورو برسد که با ارزش کل گاز طبیعی وارداتی اتحادیه اروپا قابل مقایسه است.

⁸² Net Present Value (NPV)

تفاوت بین ارزش فعلی جریان‌های نقدی ورودی و ارزش فعلی جریان‌های نقدی خروجی در یک دوره زمانی مشخص، ارزش خالص کنونی نامیده می‌شود.

در حالی که از حرارت اتلافی برای تولید برق یا تأمین گرمایش در برخی صنایع استفاده شده است، این پتانسیل هنوز به طور کامل مورد بهره‌برداری قرار نگرفته است. علیرغم مزایای بازیافت حرارت، حداقل ۳۱۰۰ تراوات ساعت حرارت اتلافی هنوز بازیابی نشده است. در این مقاله، بررسی می‌شود که چگونه می‌توان به بازیابی حرارت اتلافی دست یافت و شرکت‌ها برای استفاده از این فرصت چه اقداماتی می‌توانند انجام دهند.

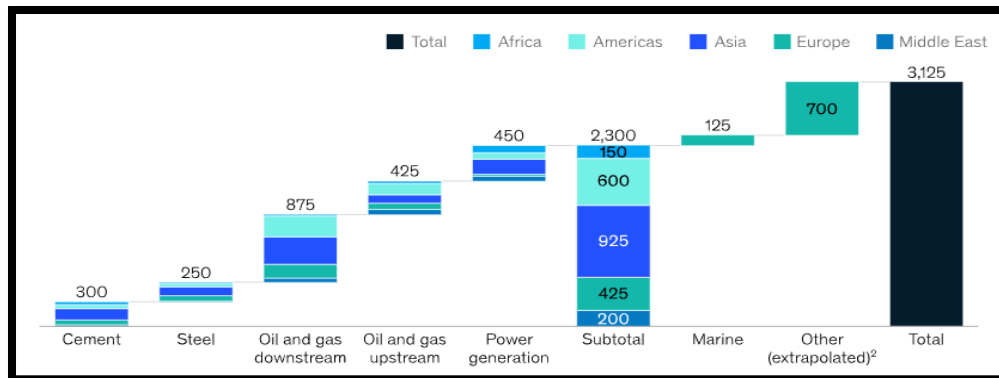
در دهه گذشته، قیمت‌های پایین گاز، برق و کربن‌دی‌اکسید انگیزه کمی برای بازیابی حرارت اتلافی ایجاد کرده بود. زمان بازپرداخت طولانی و عدم فشار فوری برای تحقق اهداف کربن‌زدایی باعث شده بود که شرکت‌ها اولویت خود را بر پروژه‌های دیگر با بازده بالاتر قرار دهند. به‌عنوان مثال، ساخت یک خط تولید جدید به جای صرفه‌جویی در انرژی در خطوط موجود به‌ویژه در شرایطی که محدودیت‌های سرمایه‌گذاری وجود داشت، در اولویت بود. با این حال، پیشرفت‌های تکنولوژیکی اخیر، امکان استفاده از پمپ‌های حرارتی با دمای بالا و فناوری‌های شیمیایی برای افزایش دمای حرارت اتلافی و تولید بخار را فراهم کرده است. همچنین، چرخه رانکین آلی^{۸۳} امکان بازیابی حرارت اتلافی از منابع با دمای پایین‌تر را فراهم کرده و آن را به برق تبدیل می‌کند.



پتانسیل صرفه‌جویی با بازیابی حرارت اتلافی

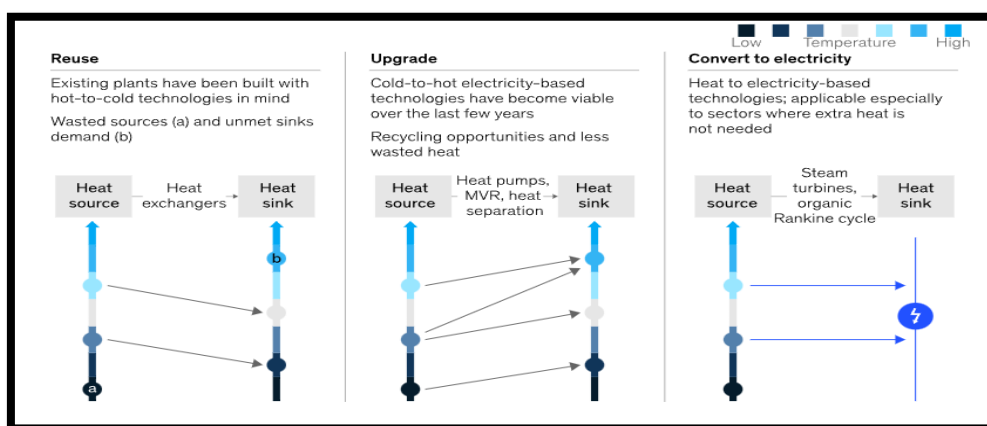
کاهش هزینه‌های بازیابی گرما به دلیل ماژولار شدن تجهیزات و استانداردسازی طراحی باعث شده که این فناوری‌ها اقتصادی‌تر شوند. در بخش ساختمان، عایق بهتر و سیستم‌های گرمایش جدید از کف یا پمپ‌های حرارتی با دمای پایین‌تر، امکان استفاده بهتر از حرارت اتلافی را فراهم کرده‌اند. به طور مثال نسل پنجم سیستم‌های گرمایش منطقه‌ای، با دمای پایین حدود ۴۰ درجه سانتی‌گراد (در مقایسه با سیستم‌های قدیمی که به دمای بالاتر نزدیک به ۱۰۰ درجه سانتی‌گراد نیاز داشتند)، به خوبی کار می‌کنند. هم‌زمان با این تحولات، افزایش قیمت انرژی انگیزه بیشتری برای بازیابی گرما ایجاد کرده است. به‌عنوان مثال، در اروپا، قیمت برق بین ۲۵ تا ۸۰ یورو در هر مگاوات ساعت در سال‌های ۲۰۱۸ و ۲۰۱۹ متغیر بود، اما قیمت‌ها در حال حاضر اغلب بیش از ۱۰۰ تا ۱۵۰ یورو است. به طور مشابه،

قیمت گاز از سال ۲۰۱۸ دو برابر شده و بین ۲۰ تا ۴۰ یورو به ازای هر مگاوات ساعت حرارتی ۸۴ رسیده است، هم‌چنین قیمت کربن‌دی‌اکسید پنج تا ده برابر افزایش یافته و به حدود ۱۰۰ یورو در هر تن (یا ۲۰ یورو به ازای هر مگاوات ساعت گاز طبیعی) رسیده است.



پتانسیل فعلی حرارت اتلافی قابل بازیافت جهانی بر اساس بخش‌ها و مناطق (تراوات ساعت)

در حال حاضر، پمپ‌های حرارتی به دلیل افزایش قیمت انرژی مقرون‌به‌صرفه‌تر شده‌اند. ترکیبی از پیشرفت‌های تکنولوژیکی و تغییرات قیمتی، بازیابی حرارت اتلافی را به فرصتی برای شرکت‌های صنعتی مانند پالایشگاه‌ها و تولیدکنندگان سیمان تبدیل کرده است تا از این فرصت بهره ببرند. به‌عنوان مثال، یک پالایشگاه می‌تواند از حرارت اتلافی برای تولید بخار استفاده کند و به صرفه‌جویی مالی قابل توجهی دست یابد. این منابع گرمایی با دمای ۱۲۰ تا ۲۵۰ درجه سانتی‌گراد و کارایی ۵ تا ۲۵ مگاوات ساعت، می‌توانند مجدداً در پالایشگاه‌ها استفاده شوند. اگر این گرما برای تولید بخار با فشار متوسط ۵ بار استفاده شود، یک تجهیزاتی ۱۰ مگاواتی می‌تواند ۷ تا ۸ تن بخار در ساعت تولید کند که سالانه ارزشی بین ۰.۸ تا ۳.۵ میلیون یورو دارد.



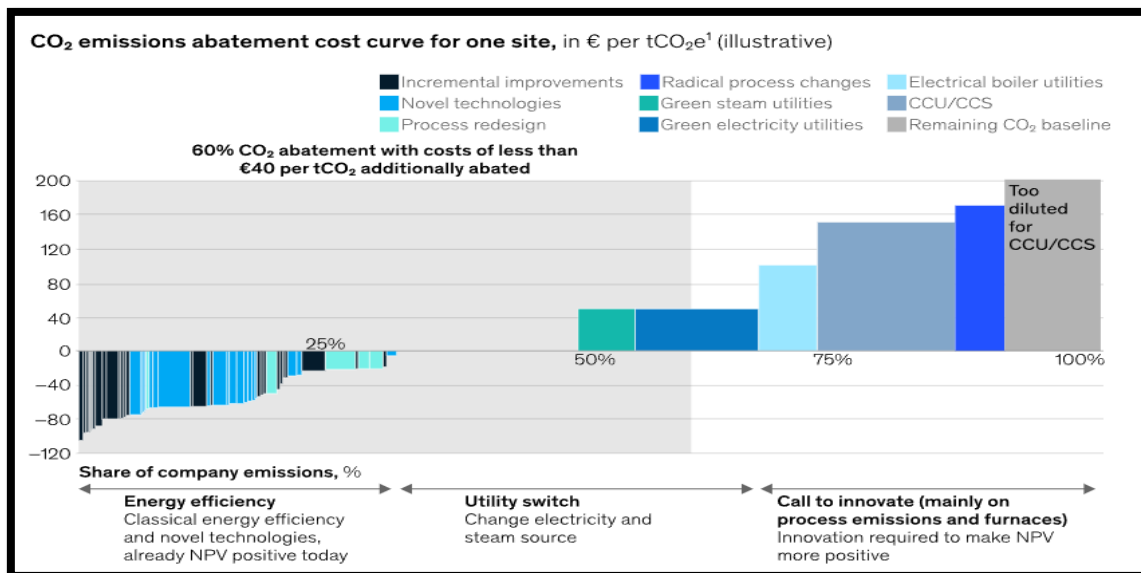
سه رویکرد اصلی در بازیابی حرارت اتلافی

⁸⁴ Thermal Megawatt-hour (MWh_{th})

بخش‌هایی که به بخار با فشار کم یا متوسط نیاز دارند، ممکن است نتوانند از انرژی حرارتی اتلافی به‌طور مناسب استفاده کنند و می‌توانند این گرما را به سیستم‌های گرمایش منطقه‌ای منتقل کنند. در مقابل، برخی صنایع مانند سیمان که به برق نیاز دارند، می‌توانند حرارت اتلافی را بازیابی و در مصرف برق صرفه‌جویی کنند. به‌عنوان مثال، در صنعت سیمان، از هر تن مواد حدود ۲۲۰ کیلووات ساعت حرارت اتلافی قابل بازیابی است که می‌تواند با سیستم چرخه رانکین آلی به برق تبدیل شود. برای یک کارخانه سیمان با تولید سالانه یک میلیون تن، این کار باعث صرفه‌جویی سالانه ۲۲ گیگاوات ساعتی به ارزش ۰.۷ تا ۳.۱ میلیون یورو می‌شود.

شکل زیر یک منحنی کاهش انتشار صنعتی معمولی را با گزینه‌هایی برای کاهش انتشار نشان داده است. گزینه‌های با ارزش خالص کنونی مثبت در سمت چپ منحنی، که اغلب ۱۰ تا ۳۰ درصد از کل پتانسیل کاهش را تشکیل داده‌اند، تقریباً به‌طور انحصاری از طرح‌های بهره‌وری انرژی (معمولاً گزینه‌های مختلف بازیابی حرارت) بوده‌اند. این گزینه‌ها نیاز به تلاش حداقلی داشته و به‌سرعت قابل اجرا بوده‌اند (اگرچه بازپرداخت اغلب طولانی‌تر از آن بوده که توسط صنعت پذیرفته شود). این گزینه‌ها به سه دسته تقسیم می‌شوند:

۱. بهبودهای تدریجی^{۸۵}، مانند افزودن مبدل حرارتی یا نصب و بهینه‌سازی کنترل‌های پیشرفته فرایند.
۲. فناوری‌های نوین، از جمله پمپ‌های حرارتی، بازفشرده‌سازی مکانیکی بخار، کیوپینچ^{۸۶}، ذخیره‌سازی انرژی حرارتی، برقی‌سازی مستقیم و تبدیل حرارت اتلافی به برق.
۳. بازطراحی فرایند، مانند تغییر نقطه تنظیم، افزودن یک بازجوش^{۸۷}، بازطراحی خشک‌کن، طراحی جدید راکتور برای بازیابی حرارت اتلافی به‌جای خنک کردن و جایگزینی توربین‌های کندانسور با درایوهای الکتریکی.



منحنی هزینه کاهش انتشار کربن‌دی‌اکسید برای یک سایت، به یورو به ازای هر تن معادل کربن‌دی‌اکسید^{۸۸}

^{۸۵} Incremental improvements

^{۸۶} Q-pinch

^{۸۷} Additional reboiler

^{۸۸} Tonnes (t) of carbon dioxide (CO₂) equivalent (e) (tCO₂e)

برای بهره‌برداری کامل از پتانسیل بازیابی حرارت اتلافی، شرکت‌های صنعتی می‌توانند فراتر از یک کارخانه عمل کرده و کل سایت را در نظر بگیرند، و از مرزهای واحدهای تجاری و شرکت‌ها عبور کنند. این کار نیازمند کنار گذاشتن فهرست استاندارد اقداماتی مانند اضافه کردن مبدل حرارتی و پرداختن عمیق‌تر به فرآیندها و به چالش کشیدن تصورات قبلی است. سه اقدام اصلی که شرکت‌های صنعتی می‌توانند برای بهره‌برداری از پتانسیل بازیابی حرارت اتلافی انجام دهند عبارت‌اند از:

۱. توسعه و اجرای یک برنامه جامع بازیابی حرارت اتلافی: این برنامه شامل نظارت و ارزیابی منظم اثربخشی برنامه می‌شود. همچنین می‌توان آموزش مداوم و افزایش آگاهی کارکنان در مورد مزایای بازیابی حرارت اتلافی و روش‌های اجرای آن را در این برنامه بگنجانند.
 ۲. ارزیابی فناوری‌های پیشرفته بازیابی حرارت: فرصت‌های ادغام حرارت در سطح کارخانه و سایت باید بررسی شود. همکاری با کارشناسان صنعت، شرکت‌های خدماتی و تأمین‌کنندگان فناوری می‌تواند به شرکت‌ها کمک کند تا از پیشرفته‌ترین و مؤثرترین فناوری‌ها و استراتژی‌های بازیابی حرارت اتلافی استفاده کنند.
 ۳. بررسی مدل‌های کسب‌وکار جدید: برای مثال، مدل «انرژی به‌عنوان یک سرویس»^{۸۹} که در آن مشتریان بدون نیاز به سرمایه‌گذاری اولیه، هزینه یک سرویس انرژی (مانند بازیابی حرارت اتلافی) را پرداخت می‌کنند. در این مدل، شرکت خدمات انرژی، تجهیزات و خدمات موردنیاز را ارائه می‌دهد و در مقابل هزینه‌ای توافق شده یا از طریق قرارداد تقسیم صرفه‌جویی^{۹۰}، پرداخت می‌شود.
- درحالی‌که جهان به‌سوی کاهش کربن پیش می‌رود، شرکت‌ها با تعیین اهداف کاهش انتشار و پیاده‌سازی فناوری‌هایی مانند بازیابی حرارت اتلافی، به کاهش انتشار، حمایت از انتقال انرژی و دستیابی به منافع اقتصادی کمک می‌کنند. با افزایش قیمت انرژی و پیشرفت‌های تکنولوژیکی، اکنون زمان مناسبی برای شرکت‌های صنعتی است تا از پتانسیل بازیابی گرمای اتلاف بهره‌برداری کنند و رقابتی باقی بمانند.

منبع:

- mckinsey.com - Waste not: Unlocking the potential of waste heat recovery – 30 November 2023⁹¹

⁸⁹ Energy-as-a-service model

⁹⁰ Savings-sharing agreement

⁹¹ <https://www.mckinsey.com/capabilities/sustainability/our-insights/waste-not-unlocking-the-potential-of-waste-heat-recovery/#>

گروه بروود، پیشرو در فناوری بازیابی حرارت اتلافی



گروه بروود^{۹۲}، که در سال ۱۹۸۸ تأسیس شده و دفتر مرکزی آن در چانگشا، چین قرار دارد، یکی از شرکت‌های پیشرو در زمینه ساختمان پایدار، محصولات با بهره‌وری انرژی بالا و فناوری‌های محیط‌زیستی است. این شرکت که ابتدا به دلیل سیستم‌های تهویه مطبوع بدون برق شناخته شده بود، هم اکنون خدمات خود را به حوزه‌هایی نظیر فناوری‌های بازیافت حرارت اتلافی، سیستم‌های ساختمانی پیش‌ساخته و نوآوری‌های دیگر که به کاهش مصرف انرژی و تأثیرات محیط‌زیستی منجر می‌شود، گسترش داده است.

چشم‌انداز گروه بروود بر ایجاد آینده‌ای پایدار از طریق نوآوری در ساخت‌وساز و راه‌حل‌های انرژی متمرکز است. آن‌ها قصد دارند در گذار جهانی به سمت ساختمان‌های سبز و فناوری‌های کم‌کربن پیشتاز باشند. با ادامه توسعه و به‌کارگیری فناوری‌های پیشرفته، گروه بروود در نظر دارد که ردپای کربنی صنعت ساخت‌وساز را کاهش داده و بهره‌وری انرژی را در سطح جهانی بهبود بخشد.

در سال ۲۰۲۳، گروه بروود به **دستاوردهای مهمی** به‌ویژه در زمینه ساخت‌وساز پایدار و بهره‌وری انرژی دست یافته است. آن‌ها اولین ساختمان بلندمرتبه بدون بتن در جهان را در امارات متحده عربی با استفاده از سیستم ماژولار هولون^{۹۳} که به‌صورت ۱۰۰٪ در کارخانه ساخته می‌شود و مصرف انرژی را نسبت به روش‌های متعارف ۹۰٪ کاهش می‌دهد، به پیش برده‌اند. این گروه، همچنین ساخت اولین ساختمان هولون در نزدیکی اکرون، اوهایو، در ایالات متحده،

^{۹۲} Broad Group

^{۹۳} Holon modular system

را آغاز کرده‌اند. این پروژه‌ها و تمرکز برود بر بازیافت حرارت و فناوری‌های کم‌کربن، تعهدشان به پایداری را نشان می‌دهد. همچنین، پروژه‌های بین‌المللی گروه، به‌ویژه در آمریکای شمالی و خاورمیانه، حضور جهانی آن‌ها را بیشتر تثبیت کرده‌اند.



ساختمان پیش‌ساخته و بدون بتن هولون با قابلیت بازیافت حرارت اتلافی

❖ نمونه‌ای ساختمان بلندمرتبه و بدون بتن هولون

ساختمان هولون یکی از پروژه‌های مهم گروه برود است که تعهد آن به ساخت‌وساز پایدار و صرفه‌جویی در انرژی را نشان می‌دهد. نمونه‌ای از این سازه نوآورانه در شهر چانگشا، چین واقع شده و یک ساختمان ۵۷ طبقه پیش‌ساخته است که در رکورد ۱۹ روز به اتمام رسیده است. ساختمان هولون از فناوری‌های پیشرفته صرفه‌جویی در انرژی گروه برود، از جمله سیستم‌های بازیابی حرارت اتلافی و تصفیه هوا، بهره می‌برد. این پروژه توانایی شرکت را در ساخت سریع ساختمان‌های بلند با حداقل تأثیرات زیست‌محیطی نشان می‌دهد و بر روی پیش‌ساختگی و طراحی ماژولار برای کاهش مصرف انرژی و اتلاف ساختمانی تأکید می‌کند.



ساختمان پیش‌ساخته و بدون بتن هولون با قابلیت کاهش مصرف انرژی

❖ نوآوری‌ها در بازیافت حرارت اتلافی

گروه برود در توسعه سیستم‌های پیشرفته بازیافت حرارت اتلافی پیشگام بوده است. این سیستم‌ها به منظور بازیابی و استفاده مجدد از حرارت تولیدشده در فرآیندهای صنعتی طراحی شده‌اند، که این امر منجر به کاهش هدررفت انرژی و کاهش انتشار کربن می‌شود. نوآوری‌های گروه برود در این حوزه شامل موارد زیر هستند:

۱. چیلرهای غیر الکتریکی^{۹۴}: استفاده از حرارت اتلافی برای تأمین انرژی سیستم‌های خنک‌کننده، که مصرف برق را به طور چشمگیری کاهش می‌دهد.
 ۲. سیستم‌های تهویه مطبوع برود: این سیستم‌ها به جای برق از گاز طبیعی یا حرارت اتلافی استفاده می‌کنند، که آن‌ها را بسیار کارآمد و دوستدار محیط‌زیست می‌سازد.
 ۳. مواد ساختمانی پیش‌ساخته: ادغام سیستم‌های بازیافت حرارت اتلافی در ساختمان‌های پیش‌ساخته به شیوه‌های ساخت‌وساز پایدارتر کمک می‌کند.
- تعهد گروه برود به پایداری در تلاش‌های مداوم آن‌ها برای بهبود فناوری‌های بازیافت حرارت اتلافی مشهود است، که نه تنها از نظر هزینه مؤثر هستند، بلکه به کاهش ردپای کربن جهانی نیز کمک می‌کنند.

❖ پروژه‌های گروه برود در حوزه انرژی‌های تجدیدپذیر

- پروژه نیروگاه خورشیدی برود: در این پروژه از سال ۲۰۱۸ تاکنون، سیستم‌های فتوولتائیک خورشیدی با ظرفیت ۵۰ مگاوات در ساختمان‌های پیش‌ساخته در چندین مکان در چین نصب شده‌اند. هدف این پروژه افزایش بهره‌وری انرژی با استفاده از انرژی خورشیدی بوده است.
- ابتکار انرژی زمین‌گرمایی: این پروژه، با همکاری دولت‌های محلی، شامل راه‌اندازی یک سیستم گرمایش و سرمایش زمین‌گرمایی با ظرفیت ۳۰ مگاوات در شمال چین است. نوآوری این پروژه در ترکیب انرژی زمین‌گرمایی با طراحی‌های ساختمانی برای صرفه‌جویی در انرژی می‌باشد.
- گسترش بازیافت حرارت: گروه برود سیستم‌های بازیافت حرارت با ظرفیت ۱۰۰ مگاوات را در چندین مجتمع صنعتی توسعه داده است. این سیستم‌ها از حرارت صنعتی برای کاهش قابل توجه هدررفت انرژی استفاده می‌کنند. این پروژه‌ها تعهد گروه برود به پیشرفت در حوزه انرژی‌های تجدیدپذیر از طریق فناوری‌های نوآورانه را نشان می‌دهند، که هدف آن‌ها توسعه پایدار و کاهش انتشار کربن است.

❖ گزارش مالی در سال ۲۰۲۳

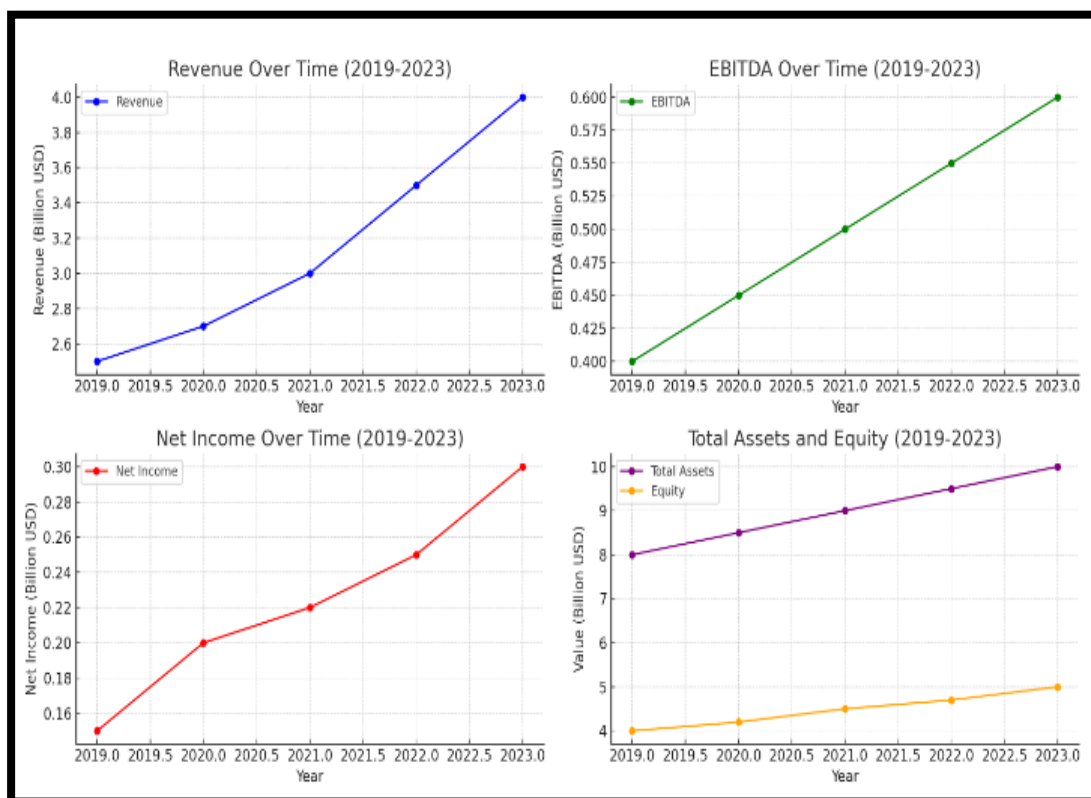
در سال ۲۰۲۳، گروه برود رشد قابل توجهی را تجربه کرده است که ناشی از افزایش تقاضا برای فناوری‌های با بهره‌وری انرژی بالا و راه‌حل‌های ساخت‌وساز پایدار بوده است. این رشد به‌ویژه در بخش‌هایی مانند ساخت‌وساز سبز

⁹⁴ Non-electric absorption chillers

و بازیافت حرارت اتلافی چشمگیر بوده و موفقیت قوی شرکت در بازار را تقویت کرده است. عملکرد مالی گروه برود در این سال نشان‌دهنده سلامت مالی و موفقیت استراتژی‌های آن در بهره‌برداری از تقاضای روزافزون برای راه‌حل‌های پایدار است. تمرکز بر نوآوری و حفاظت از محیط‌زیست، این شرکت را به‌عنوان یکی از پیشروان مطرح کرده است.

- درآمد: گروه برود به درآمدی حدود ۱۵ میلیارد یوان (۲.۳ میلیارد دلار) دست یافته که ناشی از افزایش سهم بازار آن در سیستم‌های بازیافت حرارت و محصولات با بهره‌وری انرژی بالا است. این دستاورد نشان‌دهنده موفقیت استراتژی‌های توسعه و نوآوری شرکت است.

- درآمد قبل از بهره، مالیات، استهلاک و کاهش ارزش^{۹۵}: حاشیه این سنجه در شرکت ۲۵ درصد بوده که منجر به درآمد ۳.۷۵ میلیارد یوان (۵۸۰ میلیون دلار) شده است، که نشان‌دهنده کارایی عملیاتی و سودآوری واحدهای اصلی کسب‌وکار آن است.



عملکرد مالی گروه برود از سال ۲۰۱۹ تا ۲۰۲۳

- ارزش ویژه^{۹۶}: ارزش ویژه شرکت به ۲۰ میلیارد یوان (۳.۱ میلیارد دلار آمریکا) رسیده است که ۱۰ درصد افزایش نسبت به سال گذشته را نشان می‌دهد. این رشد ناشی از سود انباشته قوی و سرمایه‌گذاری‌های استراتژیک در زمینه‌های کلیدی بوده است.

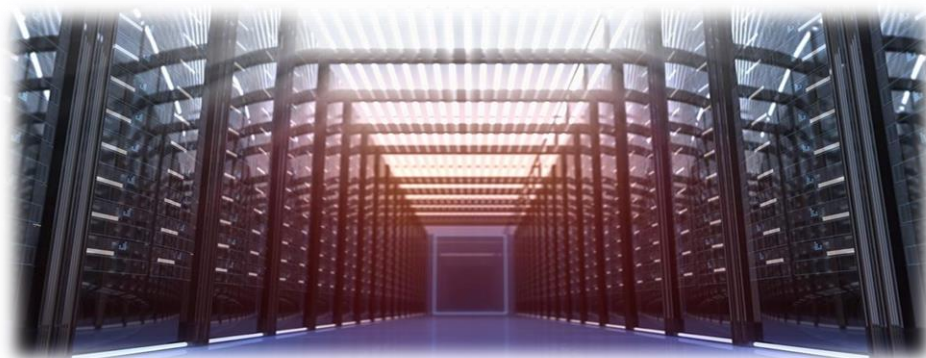
^{۹۵} EBITDA

^{۹۶} Equity

- درآمد خالص: درآمد خالص سال ۲.۵ میلیارد یوان (۳۸۵ میلیون دلار) بوده که حاشیه سود خالص ۱۶.۷ درصد را به همراه داشته است. این افزایش به دلیل تمرکز شرکت بر مدیریت هزینه و نوآوری در فناوری‌های بهره‌وری انرژی بوده است.
 - کل دارایی‌ها: کل دارایی‌های شرکت به ۳۵ میلیارد یوان (۵.۴ میلیارد دلار) رسیده است که رشد ۱۵ درصدی نسبت به سال گذشته را نشان می‌دهد. این رشد به دلیل سرمایه‌گذاری در فناوری‌ها و تأسیسات جدید، به‌ویژه در بخش‌های ساخت‌وساز پایدار و فناوری‌های محیط‌زیست بوده است.
- این نتایج مالی نشان‌دهنده سلامت مالی قوی گروه برود و استراتژی‌های موفق آن بوده است و رهبری آن را در بازار جهانی برای بازیافت حرارت اتلافی و راه‌حل‌های ساخت‌وساز پایدار تقویت می‌کند.

منبع: Broad group annual report 2023

فناوری بازیافت حرارت اقلافی در مراکز داده در استکهلم



مراکز داده^{۹۷} به دلیل وجود تعداد زیادی سرور و تجهیزات الکترونیکی، مقدار زیادی حرارت تولید می‌کنند. فناوری بازیافت حرارت اقلافی در این مراکز برای بهبود بهره‌وری انرژی و کاهش اثرات زیست‌محیطی مورد استفاده قرار گرفته است. یکی از نمونه‌های برجسته، پروژه «استکهلم دیتا پارک»^{۹۸} در سوئد است. در این پروژه، مراکز داده‌ای که در استکهلم قرار دارند، حرارت اقلافی سرورهای خود را بازیافت کرده و آن را به سیستم گرمایش مرکزی شهر منتقل می‌کنند. حرارت اضافی از طریق مبدل‌های حرارتی انتقال یافته و برای گرم کردن ساختمان‌های مسکونی و تجاری در سراسر شهر استفاده می‌شود. استفاده نوآورانه از حرارت اقلافی، نیاز به انرژی گرمایشی اضافی را به طور قابل توجهی کاهش داده و در نتیجه، هم ردپای کربنی و هم هزینه‌های عملیاتی را کاهش داده است.

سیستم بازیافت حرارت در استکهلم به گونه‌ای طراحی شده که تا ۹۰ درصد از انرژی مصرف‌شده توسط مراکز داده را جذب و به حرارت تبدیل کند. این پروژه بخشی از یک ابتکار گسترده‌تر پایداری است که هدف آن تبدیل استکهلم به شهری بدون سوخت‌های فسیلی تا سال ۲۰۴۰ است. با استفاده از حرارت اقلافی مراکز داده، شهر نه تنها نیازهای گرمایشی خود را به صورت پایدارتر تأمین کرده، بلکه بهره‌وری انرژی این مراکز داده را نیز افزایش داده است. این روش یک سناریوی برد-برد محسوب می‌شود، چرا که مراکز داده با تبدیل حرارت اقلافی به یک منبع ارزشمند برای جامعه، به اقتصاد چرخه‌ای کمک کرده‌اند.

منبع:

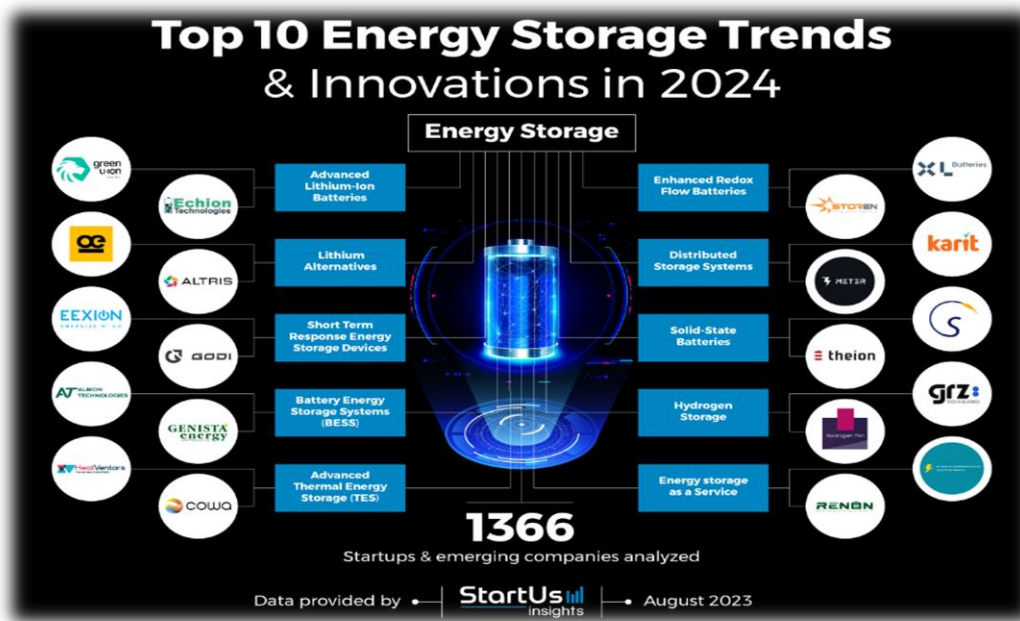
- Stockholmdataparks - Stockholm Data Parks , Green computing redefined⁹⁹-2024

⁹⁷ Data Centers

⁹⁸ Stockholm Data Parks

⁹⁹ <https://www.stockholmdataparks.com/>

ده روند و نوآوری برتر ذخیره‌سازی انرژی در سال ۲۰۲۴

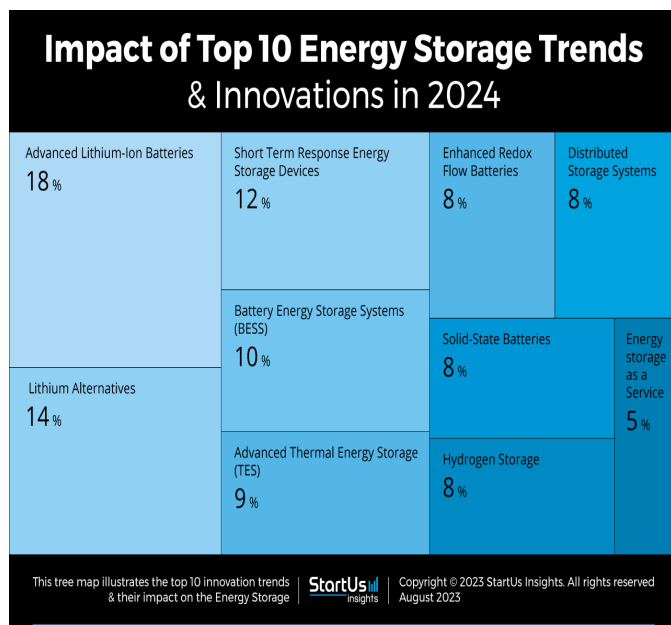


ذخیره‌سازی انرژی در حال تغییرات سریعی است و تحقیقات برای توسعه راه‌حل‌های کارآمد طولانی‌مدت در حال انجام است. این جزء حیاتی در صنایع تولیدی، خدماتی، انرژی‌های تجدیدپذیر و صنایع الکترونیکی قابل‌حمل، کاربردی است. در حال حاضر، ذخیره‌سازی انرژی بر بهبود ظرفیت‌های مصرف انرژی برای اطمینان از عملکرد پایدار و اقتصادی سیستم برق تمرکز دارد. به‌طور کلی، راه‌کارهای ذخیره انرژی را می‌توان به سه مفهوم طبقه‌بندی نمود:

۱. دور شدن از باتری‌های لیتیوم یون سنتی به سمت باتری‌های نوآورانه که پایداری، چگالی و ماندگاری بیشتری را ارائه می‌دهند.
۲. توسعه راه‌حل‌های ذخیره‌سازی که انرژی‌های تجدیدپذیر متناوب را به‌طور کارآمد ذخیره می‌کنند و همچنین آن را برای تأمین انرژی مناطق بزرگ جغرافیایی افزایش می‌دهند.
۳. گذار از ذخیره‌سازی متمرکز انرژی به یک شکل توزیع‌شده قابل‌حمل و انعطاف‌پذیرتر از ذخیره‌سازی انرژی.

برای این تحقیق عمیق در مورد روندها و استارت‌آپ‌های ذخیره انرژی برتر، نمونه‌ای از ۱۳۶۶ استارت‌آپ جهانی تحلیل شدند. نتیجه این تحقیق، با ارائه یک نمای کلی از فناوری‌ها و استارت‌آپ‌های نوظهور در صنعت ذخیره‌سازی انرژی، تصمیم‌گیری استراتژیک را بهبود می‌بخشد.

❖ ۱۰ روند ذخیره انرژی در سال ۲۰۲۳



- باتری‌های لیتیوم یونی پیشرفته^{۱۰۰}
- جایگزین‌های لیتیوم^{۱۰۱}
- دستگاه‌های ذخیره انرژی با قابلیت پاسخ کوتاه‌مدت^{۱۰۲}
- سیستم‌های ذخیره انرژی باتری^{۱۰۳}
- ذخیره‌سازی پیشرفته انرژی حرارتی^{۱۰۴}
- باتری‌های جریان ردوکس پیشرفته^{۱۰۵}
- سیستم‌های ذخیره‌سازی توزیع‌شده^{۱۰۶}
- باتری‌های حالت جامد^{۱۰۷}
- ذخیره‌سازی هیدروژن^{۱۰۸}
- ذخیره انرژی به‌عنوان یک سرویس^{۱۰۹}

شرکت‌ها و سازمان‌های تحقیقاتی در حال توسعه باتری‌های لیتیومی پیشرفته و جایگزین‌های لیتیوم هستند. این نوآوری‌ها با چالش اوج تقاضای انرژی از شبکه مقابله می‌کنند. نیاز فوری به کنترل این تقاضای انرژی، خاستگاه راه‌حل‌های ذخیره انرژی در مقیاس کاربردی و توزیع‌شده است. وسایل نقلیه الکتریکی و صنعت الکترونیک بسته به شبکه‌های الکتریکی و سایر منابع انرژی توزیع‌شده نیاز به شارژ سریع دارند و از این رو، تقاضای فزاینده‌ای برای دستگاه‌های ذخیره انرژی کوتاه‌مدت^{۱۱۰} وجود دارد. با توجه به دشواری بازیافت و شارژ مجدد باتری‌های لیتیومی، اشکال جایگزین باتری‌ها مانند ردوکس و حالت جامد نیز در حال افزایش هستند. علاوه بر این، فناوری‌های نوآورانه ذخیره‌سازی حرارتی و هیدروژن، ردپای کربن صنعت ذخیره‌سازی انرژی را کاهش می‌دهند. در نهایت، مصرف‌کنندگان انرژی در بخش صنعت از ذخیره انرژی به‌عنوان سرویس برای ترکیب انرژی تجدیدپذیر و رفع نیازهای انرژی بهره‌می‌برند.

¹⁰⁰ Advanced Lithium-Ion Batteries
¹⁰¹ Lithium Alternatives
¹⁰² Short Term Response Energy Storage Devices
¹⁰³ Battery Energy Storage Systems (BESS)
¹⁰⁴ Advanced Thermal Energy Storage (TES)
¹⁰⁵ Enhanced Redox Flow Batteries (RFB)
¹⁰⁶ Distributed Storage Systems
¹⁰⁷ Solid-State Batteries
¹⁰⁸ Hydrogen Storage
¹⁰⁹ Energy Storage as a Service
¹¹⁰ Short-duration energy storage (SDES) devices

۱. باتری‌های لیتیوم یون پیشرفته

باتری‌های لیتیوم یون از مزایایی مانند قابل حمل بودن، شارژ سریع، تعمیر و نگهداری آسان و تطبیق پذیری برخوردار هستند. با این حال، قابلیت اشتعال بالایی دارند و به دماهای بالا حساس هستند و دچار فرسودگی می‌شوند. علاوه بر این، استخراج قطعات برای تولید باتری، پیامد زیست‌محیطی بزرگی در پی خواهد داشت. بنابراین، استارت‌آپ‌ها باتری‌های لیتیوم یونی را اصلاح می‌کنند تا عملکرد و طول عمر آن‌ها را افزایش دهند. برای دستیابی به این هدف، مواد سبک‌تر و با انرژی متراکم مانند لی-پلیمر^{۱۱۱}، لی-ایر^{۱۱۲}، لی-تیتانات^{۱۱۳} و لی-گوگرد^{۱۱۴} جایگزین الکترودهای سنتی لیتیوم-کبالت^{۱۱۵} می‌شوند. علاوه بر این، برخی استارت‌آپ‌ها باتری‌های مستعمل را بازیافت می‌کنند و اقتصاد دایره‌ای را پیش می‌برند.

• گرین‌لی یون^{۱۱۶} بازیافت باتری لیتیوم یون را پیش می‌برد.

گرین‌لی یون یک استارت‌آپ سنگاپوری است که باتری‌های لیتیوم یونی را برای تولید کاتد باتری بازیافت می‌کند. کارخانه‌های فرآوری ماژولار این استارت‌آپ از فناوری هیدرومتالورژی هم‌رسوبی^{۱۱۷} برخلاف فرآیندهای معمولی که از معرف‌های لیچینگ^{۱۱۸} بهره می‌برند، استفاده می‌کنند. این امر منجر به افزایش خلوص و کاهش زمان تولید کاتد نوسازی شده می‌شود.

• اکیون تکنولوژی مواد آند لیتیوم یون تولید می‌کند.

استارت‌آپ اکیون تکنولوژی^{۱۱۹} مستقر در بریتانیا مواد آند باتری لیتیوم یون را برای شارژ فوق‌العاده سریع تولید می‌نماید. مواد آند این استارت‌آپ از یک فناوری اختصاصی اکسید نیوبیم مخلوط^{۱۲۰} استفاده می‌کند که شامل طراحی میکرو کریستال‌هایی با لیتیوم یون منتشر شده است. این امر امکان شارژ سریع را بدون نیاز به استفاده از پودرهای نانو فراهم می‌آورد. به دلیل چگالی انرژی بالا، کاربردهای این آندها از لوازم الکترونیکی مصرفی تا صنعت شارژ خودروی برقی را شامل می‌شود.

¹¹¹ Li-polymer

¹¹² Li-air

¹¹³ Li-titanate

¹¹⁴ Li-sulfur

¹¹⁵ Lithium-Cobalt

¹¹⁶ Green Li-ion

¹¹⁷ Co-Precipitation Hydrometallurgical Technology

¹¹⁸ Leaching reagents

¹¹⁹ Echion Technologies

¹²⁰ Mixed Niobium Oxide(XNO)

۲. جایگزین‌های لیتیوم

باتری‌های لیتیومی سازگار با محیط‌زیست نیستند، بنابراین به‌سختی می‌توانند با افزایش تقاضا برای لیتیوم همراه باشند. این محدودیت‌ها شرکت‌ها را تشویق می‌کند تا به دنبال مواد باتری جایگزینی باشند که نسل بعدی ذخیره‌سازی باتری را تأمین می‌کند. به‌عنوان مثال، باتری‌های روی-هوا^{۱۲۱} با توجه به عرضه فراوان روی، پایداری ذاتی و سمومیت کم، جایگزین مناسبی برای لیتیوم هستند. جایگزین کارآمد دیگر، باتری‌های سدیم سولفور^{۱۲۲} است. این باتری‌ها دارای طول عمر بیشتر، چرخه شارژ-دشارژ بیشتر، چگالی انرژی بالا و از مواد نسبتاً ارزان‌قیمت هستند. برخی دیگر از مواد شیمیایی امیدوارکننده باتری‌ها عبارت‌اند از: باتری‌های یون آلومینیومی، باتری‌های یون منیزیم، باتری‌های نیکل روی و باتری‌های مبتنی بر سیلیکون.

• آف‌گرید انرژی^{۱۲۳} فناوری باتری مبتنی بر روی را توسعه می‌دهد.

استارت‌آپ هندی آف‌گرید انرژی یک فناوری باتری اختصاصی زینک‌ژل^{۱۲۴} را توسعه می‌دهد. این استارت‌آپ از یک الکترولیت روی بسیار رسانا و کاتد مبتنی بر کربن استفاده می‌کند. الکترولیت روی خودترمیم‌شونده^{۱۲۵} و در برابر دما پایدار است و تبخیر نمی‌شود، به همین دلیل طول عمر بیشتری را تضمین می‌کند. سازندگان خودروهای برقی دو چرخ، از این فناوری به‌عنوان جایگزینی ایمن، سازگار با محیط‌زیست، غیرقابل اشتعال و پایدار برای باتری لیتیوم یون استفاده می‌کنند.

• آلتریس^{۱۲۶} کاتدهای سدیم باتری تولید می‌کند.

آلتریس یک استارت‌آپ سوئدی است که Fennac، یک ماده کاتدی را برای استفاده در باتری‌های یون سدیم تولید می‌کند. این استارت‌آپ، Fennac را با استفاده از فناوری سنتز دما و فشار پایین تولید می‌کند. این ماده یک جایگزین کم‌هزینه و پایدار برای سایر مواد الکتروود مانند آلیاژها و کربن سخت ارائه می‌دهد. شرکت‌های تولیدکننده باتری از این راه‌حل برای پیاده‌سازی در خطوط تولید فعلی خود و همچنین استفاده در کاربردهایی مانند پنجره‌های فتوکرومیک بهره می‌برند.

۳. دستگاه‌های ذخیره انرژی با پاسخ کوتاه‌مدت

وسایلی مانند ابرخازن‌ها، فلاپویل‌ها و ذخیره‌سازی مغناطیسی ابررسانا^{۱۲۷} برای مدت بسیار طولانی وجود داشته‌اند. فن‌آوری‌های فعلی باتری از پتانسیل خود در ارائه چگالی توان بالا برای زمان‌های کوتاه‌تر استفاده می‌کنند. حتی اگر

¹²¹ Zinc-air

¹²² Sodium-sulfur

¹²³ Offgrid Energy Labs

¹²⁴ ZincGel

¹²⁵ Self-healing

¹²⁶ Altris

¹²⁷ Superconducting magnetic storage

به سرعت تخلیه شوند، کیفیت و قابلیت اطمینان شبکه برق را در طول دوره‌های گذرا^{۱۲۸} مانند پس از اختلال سیستم، تغییر بار و تعویض خط بهبود می‌بخشند. همچنین از فروپاشی شبکه‌های برق به دلیل ناپایداری ولتاژ جلوگیری می‌کنند. علاوه بر این، چندین استارت‌آپ دستگاه‌های ذخیره انرژی با پاسخ کوتاه‌مدت را در برنامه‌های پیل سوختی ادغام می‌کنند تا چرخه شارژ-دشارژ خودروهای الکتریکی را بهبود بخشند. بسیاری از شهرها نیز سیستم‌های ذخیره‌سازی انرژی خود را به دستگاه‌های ذخیره انرژی با پاسخ کوتاه‌مدت متصل می‌کنند و متوجه بهبودهایی در ذخیره‌سازی انرژی و چرخه‌های شارژ کلی شده‌اند.

• **EEXION** ابرخازن می‌سازد.

استارت‌آپ اسرائیلی EEXION ذخیره انرژی را با استفاده از ابرخازن‌ها امکان‌پذیر می‌سازد. محصول اختصاصی این استارت‌آپ، Energize-N^o-Go، یک سلول شیمیایی دستکاری شده است که از مواد کربن خالص برای دستیابی به شارژ سریع‌تر در مقایسه با باتری‌های قابل شارژ استفاده می‌کند. قابلیت بازیافت و تعداد تقریباً نامتناهی چرخه شارژ-دشارژ، این محصول را برای کاربردهای متحرک الکتریکی^{۱۲۹} مناسب می‌کند.

• **گدی ۱۳۰** خازن‌های هیبریدی تولید می‌کند.

گدی یک استارت‌آپ هندی است که مواد خازن هیبریدی خود را از زباله‌های زیستی تولید می‌کند. خازن این استارت‌آپ از ترکیب کربن فعال و گرافن تولید می‌شود که حداکثر توان کوتاه‌مدت موردنیاز برای شارژ سریع^{۱۳۱} را ارائه می‌کند. گسترش از سلول به سطح ماژول، کاربردهایی را در خودرو، انرژی‌های تجدیدپذیر و ترمز احیاکننده^{۱۳۲} فراهم می‌آورد.

۴. سیستم‌های ذخیره انرژی باتری

اگرچه فناوری‌های انرژی‌های تجدیدپذیر کارآمدتر و مقرون‌به‌صرفه‌تر از همیشه هستند، اما همچنان متغیر هستند. بنابراین، راه‌حل‌های مکمل به‌منظور برطرف کردن شکاف‌های موجود لازم و ضروری است. راه‌حل‌های ذخیره‌سازی انرژی طولانی‌مدت تضمین‌کننده گسترش نیروگاه‌های انرژی تجدیدپذیر است. همان‌طور که منابع انرژی پاک بیشتر و بیشتر به شبکه متصل می‌شوند، زیرساخت‌های برق برای مقابله با تقاضاهای متغیر مناسب‌تر می‌شوند و خطر اختلال نیز به میزان قابل توجهی کاهش می‌یابد. علاوه بر این، ذخیره‌سازی انرژی تجدیدپذیر در مقیاس بزرگ، انعطاف‌پذیری کلی سیستم‌های انرژی را بهبود می‌بخشد و گذار انرژی پاک را سرعت می‌بخشد.

¹²⁸ Transient periods

به‌طور کلی، دوره‌های گذرا نشان‌دهنده یک دوره کوتاه تغییر یا نوسان در انرژی قبل از رسیدن سیستم به حالت پایدار یا تعادل است.

¹²⁹ Electric mobility applications

¹³⁰ GODI

¹³¹ Short-term peak power required for fast charging

¹³² Regenerative braking

• ژنیستائرژی ۱۳۳ طراحی باتری لیتیوم-آهن فسفات

ژنیستائرژی یک استارت‌آپ مستقر در بریتانیا است که یک سیستم ذخیره انرژی باتری مبتنی بر لیتیوم آهن فسفات طراحی می‌نماید. این باتری، از یک محفظه بزرگ با چندین رشته باتری تشکیل شده است. این استارت‌آپ چندین محفظه را به یکدیگر متصل می‌سازد تا یک سیستم مقیاس‌پذیر برای تأمین برق در مکان‌های دور دست به دست آورد. ژنیستائرژی، انرژی را به ساختمان‌های صنعتی و تجاری ارائه می‌دهد و در عین حال مدیریت انرژی‌های تجدیدپذیر و جایگزینی برای ژنراتورهای دیزلی را در خدمات خود دارد.

• آلبیون تکنولوژی ۱۳۴ یک سیستم ذخیره انرژی باتری هوشمند ارائه می‌دهد

استارت‌آپ آلبیون تکنولوژی مستقر در بریتانیا، سیستم‌های ذخیره انرژی باتری می‌سازد که به ارائه‌دهندگان انرژی تجدیدپذیر، توسعه‌دهندگان و اپراتورهای شبکه خدمات می‌دهد. محصول این استارت‌آپ، Smart BESS، یک سیستم کانتینری است که طول عمر باتری را افزایش می‌دهد و بیش از ۹۰٪ انرژی قابل استفاده را ارائه می‌دهد. این راه‌حل انعطاف‌پذیر است و می‌تواند تقریباً در همه‌جا مستقر شود و با واحدهای دیگر ادغام شود تا نیازهای مختلف برق و انرژی را برآورده کند. Smart BESS به تمام اجزای ضروری مانند باتری، اینورتر، گرمایش و تهویه مطبوع^{۱۳۵}، حفاظت در برابر آتش و سیستم‌های کمکی، مجهز است. این استاندارد با استانداردهای شبکه ملی G99 انگلستان مطابقت دارد و ذخیره انرژی پاک از منابع تجدیدپذیر را امکان‌پذیر می‌سازد و در نتیجه انتشار کربن‌دی‌اکسید و مصرف نفت را کاهش می‌دهد.

۵. ذخیره‌سازی پیشرفته انرژی حرارتی

ذخیره‌سازی گرما، چه فصلی و چه کوتاه‌مدت، وسیله‌ای مهم در شبکه برق تجدیدپذیر است. فرآیند ذخیره‌سازی انرژی حرارتی شامل ارائه گرما به سیستم ذخیره‌سازی با هدف استفاده در زمان بعدی می‌باشد. به‌طور متعارف، شرکت‌های گرمایشی، آب گرم یا سرد را در مخازن عایق‌بندی شده ذخیره می‌کنند تا در مواقع افزایش تقاضا از آن برای مدیریت پیک‌ها در گرمایش و سرمایش منطقه‌ای استفاده کنند. با این حال، پیشرفت‌ها در چند سال اخیر استفاده از روش‌های جدید مانند نمک‌های مذاب، یوتکتیک^{۱۳۶} و مواد تغییردهنده فاز^{۱۳۷} را برای ذخیره انرژی گرمایی نشان می‌دهد. رایج‌ترین کاربرد برای ذخیره انرژی حرارتی در سیستم‌های حرارتی خورشیدی است. این امر بر چالش انرژی‌های تجدیدپذیر متناوب غلبه می‌نماید و دسترسی به انرژی خورشیدی ذخیره‌شده در شب را امکان‌پذیر می‌سازد.

¹³³ Genista Energy

¹³⁴ Albion Technologies

¹³⁵ Heating, Ventilation, and Air Conditioning(HVAC)

¹³⁶ Eutectic

¹³⁷ Phase-Changing Materials(PCM)

- **هیئت‌ونتورز^{۱۳۸} ذخیره‌سازی حرارتی مبتنی بر مواد تغییر فاز دهنده ارائه می‌کند.**
استارت‌آپ مجارستانی هیئت‌ونتورز سیستم‌های ذخیره‌سازی انرژی حرارتی مبتنی بر مواد با تغییر فاز تولید می‌کند. محصول این استارت‌آپ، هیئت‌تانک^{۱۳۹}، از ذوب و انجماد مواد تغییر فاز دهنده برای ذخیره انرژی حرارتی استفاده می‌نماید. استفاده از این مواد تغییر فاز دهنده با ایجاد تعادل در راندمان سیستم گرمایش و گرمایش باعث صرفه‌جویی در فضا، انرژی و هزینه نیز می‌گردد. شرکت‌های ارائه‌دهنده سیستم‌های گرمایش، تهویه و تهویه مطبوع^{۱۴۰} از این راه‌حل برای بهبود پایداری و مدیریت عملکرد اوج شبکه استفاده می‌کنند.

- **کوا ترمال سولوشن^{۱۴۱} مخازن کپسولی حرارتی تولید می‌کند.**
کوا ترمال سولوشن یک استارت‌آپ سوئیسی است که مخازن کپسول حرارتی^{۱۴۲} را برای ذخیره انرژی حرارتی تولید می‌نماید. راه‌حل این استارت‌آپ، BOOSTER CAPSULES، از نمک‌های طبیعی به‌عنوان مواد خام استفاده می‌کند. مخازن کپسولی در مقایسه با مخازن معمولی ذخیره آب سه برابر ظرفیت ذخیره‌سازی بدون افت ظرفیت یا پایداری دارند. در نتیجه مخزن گرمایش از انرژی متراکم می‌شود و کمتر به برق اصلی وابسته است. صنعت انرژی از این راه‌حل در ترکیب با یک سیستم فتوولتائیک برای ارائه گرمایش مداوم استفاده می‌کند.

۶. باتری‌های جریان ردوکس پیشرفته

باتری‌های جریان ردوکس به‌عنوان پیل‌های سوختی یا باتری‌های قابل شارژ استفاده می‌شوند. این باتری‌ها، از دو مخزن به‌هم‌پیوسته تشکیل شده‌اند که هر دو حاوی مایعات الکترولیت و الکترودهایی با بار مخالف هستند. یون‌ها از طریق یک غشاء از یک مخزن به مخزن دیگر عبور می‌کنند. باتری‌های جریان ردوکس طول عمر بیشتری نسبت به باتری‌های لیتیومی دارند زیرا عبور جریان از یک مخزن به مخزن دیگر باعث تخریب غشاء نمی‌شود. علاوه بر این، به دلیل طراحی انعطاف‌پذیر و مقیاس‌پذیری آسان، پتانسیل بالایی برای ادغام انرژی‌های تجدیدپذیر در مقیاس کاربردی ارائه می‌دهند. پیشرفت‌ها در این زمینه بر توسعه مواد شیمیایی ردوکس جدید متمرکز است که مقرون‌به‌صرفه هستند و چگالی انرژی بیشتری دارند.

- **XL Batteries باتری‌های جریانی مبتنی بر آب‌شور ارائه می‌دهد.**
استارت‌آپ XL Batteries مستقر در ایالات‌متحده، باتری‌های جریان غیرخورنده مبتنی بر آب‌شور^{۱۴۳} را ارائه می‌دهد. این استارت‌آپ از مولکول‌های ارگانیک حاصل از مواد اولیه ارزان‌قیمت صنعتی، برای ذخیره شارژ در باتری

¹³⁸ HeatVentors

¹³⁹ HeatTank

¹⁴⁰ Heating, Ventilation, and Air Conditioning (HVAC) systems

¹⁴¹ Cowa Thermal Solutions

¹⁴² Capsule-filled heat tanks

¹⁴³ Saltwater-based non-corrosive flow batteries

بهره می‌برد. شیمی ملایم مبتنی بر آب‌نمک نیز باتری را در مقایسه با باتری‌های جریان وانادیوم ارزان می‌کند. صنعت آب و برق از این فناوری به‌عنوان جایگزینی برای باتری‌های لیتیوم یونی گران‌قیمت استفاده می‌نماید.

• *StorEn Technologies* باتری‌های جریان وانادیوم را توسعه می‌دهد.

StorEn Technologies یک استارت‌آپ مستقر در ایالات‌متحده است که فناوری باتری جریان وانادیوم را توسعه می‌دهد. خاصیت وانادیوم امکان تولید باتری‌ها را با تنها یک عنصر الکترواکتیو فراهم می‌کند و آلودگی متقاطع فلزی^{۱۴۴} را از بین می‌برد. این روش چالش پوسیدگی و کاهش ظرفیت در باتری‌های لیتیومی را برطرف می‌سازد. باتری‌های *StorEn Technologies* برای باتری‌های برج‌های مخابراتی مناسب هستند که انرژی را از شبکه برق و انرژی تجدیدپذیر برای مکان‌های خارج از شبکه تأمین می‌کنند.

۷. سیستم‌های ذخیره‌سازی توزیع شده

سیستم‌های تولید و ذخیره انرژی سنتی از معماری متمرکز پیروی می‌کنند. این شیوه، خطرات خرابی شبکه را در طول دوره‌های اوج تقاضا افزایش می‌دهد که ممکن است زنجیره تأمین انرژی را با اختلال همراه سازد. ولی سیستم‌های ذخیره‌سازی توزیع شده، با اجازه دادن به امکانات فردی برای تولید انرژی در محل و حفظ آن برای نیازهای شخصی، این چالش را برطرف می‌کنند. تولیدکنندگان انرژی نیز می‌توانند انرژی مازاد را به شبکه بفروشند. راه‌حل‌های ذخیره‌سازی انرژی توزیع شده مانند خودروهای الکتریکی، ریزشبکه‌ها و نیروگاه‌های مجازی^{۱۴۵} از گسترش تولید انرژی با زغال‌سنگ، نفت و گاز جلوگیری می‌کنند. اتکای بیشتر به انرژی‌های تجدیدپذیر از طریق ادغام راه‌حل‌های ذخیره‌سازی انرژی محلی مانند پنل‌های خورشیدی پشت‌بام و توربین‌های بادی کوچک امکان‌پذیر می‌گردد.

• *MET3R* مدیریت «خودرو به شبکه»^{۱۴۶} را ارتقا می‌دهد.

استارت‌آپ بلژیکی *MET3R* به مدیریت خودرو به شبکه کمک می‌کند. پلتفرم‌های این استارت‌آپ، زن شارژ^{۱۴۷}، زن سایت^{۱۴۸} و زن‌گرید^{۱۴۹}، از هوش مصنوعی برای بهینه‌سازی شارژ ناوگان و کاهش تأثیر شبکه به دلیل سایت شارژ استفاده می‌کنند. علاوه بر این، اطلاعاتی در مورد مدیریت بارهای مربوط به شارژ خودروی الکتریکی ارائه می‌دهند. شرکت‌های توزیع انرژی از پلتفرم این استارت‌آپ برای نظارت بر وضعیت انرژی توزیع شده^{۱۵۰} در شبکه‌های ولتاژ پایین بهره می‌برند.

¹⁴⁴ Metal cross-contamination

آلودگی متقاطع، زمانی اتفاق می‌افتد که فولاد کربنی در مواد دیگر رسوب می‌کند و باعث زنگ‌زدگی می‌شود و منجر به تعمیر یا تعویض پرهزینه می‌گردد.

¹⁴⁵ Virtual Power Plants (VPPs)

¹⁴⁶ Vehicle-to-Grid (V2G)

¹⁴⁷ ZenCharge

¹⁴⁸ ZenSite

¹⁴⁹ ZenGrid

¹⁵⁰ Distributed Energy Resources (DERs)

- **کاریت^{۱۵۱} نیروگاه‌های مجازی ارائه می‌دهد.**

استارت‌آپ استرالیایی کاریت نیروگاه‌های مجازی ارائه می‌دهد. این استارت‌آپ تعدادی از دارایی‌های انرژی توزیع شده مانند سیستم‌های تولید و ذخیره‌سازی را در یک نیروگاه مجازی ترکیب می‌کند. با ادغام انرژی توزیع شده، خرده‌فروشان انرژی از تأمین انرژی کارآمد برای مشتریان و درعین حال انتقال انرژی مازاد به بازار اطمینان حاصل می‌کنند. خرده‌فروشان انرژی و سازمان‌های چندسایتی از نیروگاه‌های مجازی برای فعال کردن ذخیره‌سازی و مدیریت پیش‌بینی انرژی استفاده می‌کنند.

۸. باتری‌های حالت جامد

الکترولیت‌های مایع معمولی بسیار قابل احتراق هستند و در دماهای شدید دارای احتباس شارژ کم و ناکارآمدی عملیاتی هستند. برای رفع این چالش‌ها، باتری‌های حالت جامد، الکترولیت مایع قابل اشتعال را با یک ترکیب جامد جایگزین می‌کنند که حرکت یون‌ها را تسهیل می‌کند. اکنون استارت‌آپ‌ها از الکترولیت‌هایی مانند پلیمرها و ترکیبات آلی بهره می‌برند که رسانایی یونی بالایی دارند. علاوه بر این، الکترولیت‌های جامد از استفاده از مواد با ظرفیت و ولتاژ بالا برای تولید باتری پشتیبانی می‌کنند. این امر چگالی انرژی، قابلیت حمل و ماندگاری بیشتری فراهم می‌آورد. از آنجایی که باتری‌های حالت جامد نسبت توان به وزن^{۱۵۲} بیشتری را ارائه می‌دهند، برای استفاده در خودروهای برقی نیز گزینه ایده‌آلی هستند.

- ***Solid State Battery Incorporated* الکترولیت‌های حالت جامد مبتنی بر پلیمر می‌سازد.**

SSB Incorporated یک استارت‌آپ مستقر در ایالات متحده است که مواد الکترولیت حالت جامد مبتنی بر پلیمر می‌سازد. الکترولیت جامد این استارت‌آپ مواد پلیمری و یونی را برای بهبود حرکت یون ترکیب می‌کند. در مقایسه با الکترولیت‌های مایع معمولی، این ماده دارای چگالی انرژی بالایی است و درعین حال پایداری الکتروشیمیایی و حرارتی را بهبود می‌بخشد. جداکننده حالت جامد امکان بسته‌بندی این الکترولیت‌ها را در باتری‌های لیتیومی و همچنین در کاربردهای بزرگ‌تر مانند وسایل نقلیه یا هواپیماها فراهم می‌سازد.

- **تیون^{۱۵۳} باتری‌های سولفور کریستال حالت جامد ارائه می‌دهد.**

تیون یک استارت‌آپ آلمانی است که باتری‌های سولفور کریستال حالت جامد را ابداع نموده است. این استارت‌آپ از چاپ مستقیم کریستال^{۱۵۴} برای تولید ویفر از گوگرد مذاب استفاده می‌کند. از مزایای این محصول نسبت به باتری‌های

¹⁵¹ Karit

¹⁵² Power-to-Weight Ratio

¹⁵³ Theion

¹⁵⁴ Direct Crystal imprinting(DCi)

معمولی می‌توان به عمر چرخه طولانی، شارژ سریع، هزینه کم و ایمنی اشاره کرد. فناوری این استارت‌آپ در تلفن‌های هوشمند و باتری‌های رایانه تا ذخیره انرژی در اتومبیل‌ها و هواپیماها استفاده می‌شود.

۹. ذخیره‌سازی هیدروژن

هیدروژن بالاترین ارزش حرارتی در واحد جرم را در بین تمام سوخت‌های شیمیایی نشان می‌دهد و درعین‌حال سازگار با محیط‌زیست است. هیدروژن به صورت فیزیکی در حالت‌های گاز یا مایع ذخیره می‌شود. ذخیره‌سازی به‌عنوان گاز معمولاً به مخازن با فشار بالا و ذخیره‌سازی مایع به دماهای برودتی نیاز دارد. برای ذخیره اقتصادی هیدروژن، استارت‌آپ‌ها در حال طراحی فرآیندهای نوآورانه و مخازن ذخیره‌سازی هستند. از نظر انواع ذخیره‌سازی، روندهای اخیر نشان‌دهنده تغییر به سمت جذب هیدروژن در سطوح جامد و از طریق واکنش‌های شیمیایی است. کاربردهای ذخیره‌سازی هیدروژن از استفاده در خودروها به‌عنوان سوخت پاک تا منبع تغذیه قابل حمل برای ساختمان‌هاست.

• *GRZ Technologies* باتری‌های هیدروژنی حالت جامد تولید می‌کند.

استارت‌آپ سوئیسی *GRZ Technologies* سیستم‌های ذخیره‌سازی هیدروژن حالت جامد تولید می‌کند. این استارت‌آپ هیدروژن را به شکل اتمی در یک ساختار فلزی ذخیره می‌نماید. این امر ایمنی بیشتر را تضمین می‌کند و درعین‌حال چگالی حجمی بالا و طول عمر بیشتری را فراهم می‌آورد. پشته‌های^{۱۵۵} استانداردشده، ظرفیت ذخیره‌سازی مطلوبی را برای به دست آوردن برق ثابت و قابل حمل برای صنعت حمل‌ونقل به ارمغان می‌آورد.

• هیدروژن فرست^{۱۵۶} مخازن تحت فشار هیدروژن کامپوزیت طراحی می‌کند.

هیدروژن فرست یک استارت‌آپ لهستانی است که مخازن تحت فشار هیدروژنی کامپوزیت را طراحی می‌نماید. این فناوری باعث کاهش استفاده از الیاف کربن شده و در نتیجه وزن و هزینه ذخیره‌سازی هیدروژن را کاهش می‌دهد. این ظروف کامپوزیتی مسطح، در صنایع هوافضا و خودروسازی برای ذخیره هیدروژن به شکل‌های گازی، مایع، فوق بحرانی یا برودتی کاربرد دارند.

۱۰. ذخیره انرژی به‌عنوان یک سرویس

چندین هزینه مرتبط با نصب زیرساخت‌های ذخیره‌سازی انرژی وجود دارد و مالکیت طولانی‌مدت منجر به مسدود شدن سرمایه و دارایی‌های سرگردان می‌شود. ذخیره انرژی به‌عنوان یک سرویس به کسب‌وکارها این امکان را می‌دهد تا با سرمایه‌گذاری صفر و هزینه اجرای کم، منبع تغذیه قابل‌اعتمادی به دست آورند. این امر افراد را قادر می‌سازد تا ارزش یک راه‌حل ذخیره انرژی را ارزیابی کنند. این رویکرد همچنین حداکثر انعطاف‌پذیری را هنگام تغییر شرایط بازار ارائه می‌دهد. علاوه بر این، ذخیره انرژی به‌عنوان یک سرویس به شرکت‌ها در مدیریت تراکم بار، مدیریت پیک

¹⁵⁵ Stacks

¹⁵⁶ Hydrogen First

تقاضای فصلی و رفع خرابی‌های زیرساخت شبکه کمک می‌کند. همچنین، مصرف‌کنندگان در مکان‌های دور با اتصال ضعیف یا بدون اتصال به شبکه از افزایش انعطاف‌پذیری و کارایی شبکه بهره‌مند می‌شوند.

- **هیبریدگرین تک^{۱۵۷} مدیریت ذخیره انرژی را تسهیل می‌کند.**

استارت‌آپ دانمارکی هیبریدگرین تک، یک پلتفرم مدیریت ذخیره انرژی مبتنی بر هوش مصنوعی ارائه می‌دهد. این پلتفرم، مدل‌های بهینه‌سازی طولانی‌مدت و مدل‌های یادگیری ماشین کوتاه‌مدت را برای تصمیم‌گیری در خصوص عملکرد بهینه ذخیره‌سازی انرژی ترکیب می‌کند. بنابراین، امکان مدل‌سازی دقیق هزینه‌های عملیاتی^{۱۵۸} در توسعه مفهوم اولیه برای اطمینان از بهترین تصمیمات سرمایه‌گذاری فراهم می‌گردد. صنایع مختلفی مانند نیروگاه‌های هیبریدی، ریزشبکه‌ها و حمل‌ونقل الکتریکی^{۱۵۹} از این فناوری برای تحلیل پیشرفته ذخیره انرژی استفاده می‌کنند.

- **رنون ایندیا^{۱۶۰} سیستم‌های مدیریت باتری^{۱۶۱} هوشمند می‌سازد.**

رنون ایندیا یک استارت‌آپ هندی است که ARK را به‌عنوان یک سیستم هوشمند مدیریت باتری توسعه می‌دهد. ARK، تعادل غیرفعال سلول‌ها^{۱۶۲} را با اندازه‌گیری ولتاژ و سنجش دما انجام می‌دهد. این کار ایمنی، کارایی و عملکرد بسته‌های باتری را تضمین می‌کند. این سیستم‌ها، برای باتری‌های ذخیره انرژی خورشیدی در کاربردهای تجاری و صنعتی مناسب هستند.

❖ نتیجه‌گیری

شرکت‌های ذخیره‌سازی انرژی از پیشرفت‌های این بخش برای افزایش ظرفیت ذخیره‌سازی، کارایی و کیفیت استفاده می‌کنند. ذخیره انرژی طولانی‌مدت مانند سیستم ذخیره‌سازی باتری نقش حیاتی در انعطاف‌پذیری سیستم انرژی ایفا می‌کند. از سوی دیگر، سیستم‌های مدیریت انرژی باتری و نیروگاه‌های مجازی، شبکه‌های انتقال و توزیع را تحت تأثیر قرار می‌دهند. علاوه بر این، استانداردهای در سیستم‌های ذخیره‌سازی، همراه با شبکه‌ای از منابع انرژی توزیع‌شده، در نهایت با چالش‌های ناشی از افزایش تقاضای انرژی و انتقال انرژی مقابله خواهد کرد. در میان سایر موارد، جایگزین‌های لیتیوم، اقتصاد هیدروژنی و ابرخازن‌ها این بخش را به شکل جدیدی تغییر خواهند داد. شناسایی فرصت‌های جدید و فن‌آوری‌های نوظهور برای پیاده‌سازی در کسب‌وکار، گام مهمی در کسب مزیت رقابتی است.

منبع:

- startus-insights.com - Top 10 Energy Storage Trends & Innovations in 2024^{۱۶۳}

¹⁵⁷ Hybrid Greentech

¹⁵⁸ Separating Expenses(OPEX)

¹⁵⁹ Electric Mobility

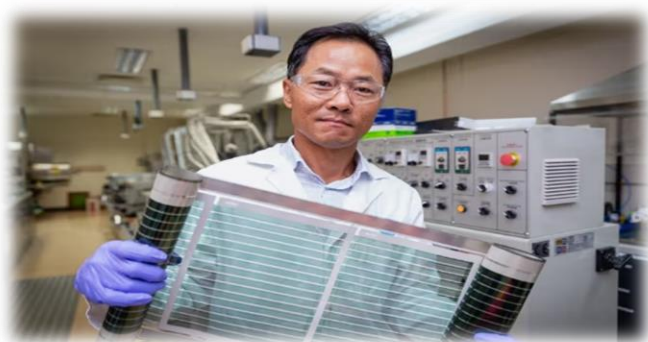
¹⁶⁰ Renon India

¹⁶¹ Battery Management Systems(BMS)

¹⁶² Passive Balancing of Cells

¹⁶³ <https://www.startus-insights.com/innovators-guide/energy-storage-trends-innovation/>

پیشرفت‌های انقلابی در فناوری سلول‌های خورشیدی انعطاف‌پذیر سایرو



در سال ۲۰۲۴، سازمان تحقیقات علمی و صنعتی مشترک‌المنافع استرالیا (سایرو)^{۱۶۴} به رکورد جدیدی در کارایی سلول‌های پروسکایت خورشیدی قابل‌چاپ رول به رول^{۱۶۵} دست یافت. این دستاورد مهم شامل توسعه سلولی با راندمان تبدیل توان ۱۵.۵ درصد در مقیاس کوچک و ۱۱ درصد در یک ماژول ۵۰ سانتی‌متر مربعی بود، که این راندمان‌ها نشان‌دهنده بهبود قابل‌توجهی در فناوری سلول‌های خورشیدی انعطاف‌پذیر (رول به رول / غلتشی) است. یکی از ویژگی‌های برجسته این سلول‌های خورشیدی، استفاده از جوهرهای خورشیدی مبتنی بر کربن بود که توانست هزینه‌های تولید را به‌طور چشمگیری کاهش دهد. این نوآوری به‌ویژه در مقایسه با روش‌های تولید سلول‌های خورشیدی سیلیکونی سنتی که به فلزات گران‌بها نیاز دارند، قابل‌توجه است. استفاده از این جوهرها، نه تنها به کاهش هزینه‌ها کمک کرده، بلکه امکان تولید سلول‌های خورشیدی را در مقیاس بزرگ و به شیوه‌ای سریع‌تر فراهم آورده است.

یکی از مزایای اصلی سلول‌های خورشیدی چاپ‌شده سایرو، انعطاف‌پذیری و وزن کم آن‌هاست که امکان استفاده در محیط‌هایی که نصب پنل‌های سنتی غیرممکن است، را فراهم می‌کند. این سلول‌ها به راحتی بر روی سطوح مختلف از جمله سازه‌های شهری، وسایل نقلیه، و حتی وسایل الکترونیک پوشیدنی^{۱۶۶} قابل‌اعمال هستند و به این ترتیب، می‌توانند دامنه استفاده از انرژی خورشیدی را به‌طور قابل‌توجهی گسترش دهند. سایرو همچنین در توسعه مواد خورشیدی جدید، به‌ویژه پروسکایت، به پیشرفت‌های چشمگیری دست یافته است. این مواد، به دلیل قابلیت چاپ به صورت جوهر، امکان تولید سلول‌های خورشیدی را با هزینه‌های پایین‌تر و با کارایی بالا فراهم می‌کنند.

¹⁶⁴ Commonwealth Scientific and Industrial Research Organisation (CSIRO)

¹⁶⁵ Roll-to-roll printed perovskite solar cells

¹⁶⁶ Wearable electronics



سایرو با توسعه سیستم‌های خودکار برای تولید و آزمایش سریع سلول‌های خورشیدی، مسیر را برای استفاده از یادگیری ماشین در تحقیقات آینده هموار کرده است. این سیستم‌ها به محققان اجازه می‌دهند تا به سرعت پارامترهای بهینه را برای تولید سلول‌های خورشیدی

شناسایی کرده و بهترین شرایط را برای دستیابی به بالاترین راندمان مشخص کنند. این نوآوری‌ها می‌تواند در آینده به تولید انبوه و تجاری‌سازی موفقیت‌آمیز این فناوری منجر شود. به‌عنوان مثال، سایرو تاکنون موفق شده است تا با استفاده از فرآیندهای خودکار و تکنیک‌های یادگیری ماشین، بیش از ۱۰ هزار سلول خورشیدی را در روز تولید و آزمایش کند که این امر به شناسایی شرایط بهینه برای تولید کمک کرده است.

با وجود این پیشرفت‌ها، هنوز چالش‌هایی در زمینه طول عمر و دوام این سلول‌های خورشیدی وجود دارد. به‌ویژه در مقایسه با پنل‌های سیلیکونی سنتی، این سلول‌ها هنوز نیازمند بهبودهایی در زمینه کارایی و مقاومت در برابر شرایط محیطی هستند. اما با ادامه تحقیق و توسعه، انتظار می‌رود که این فناوری به یکی از ارکان اصلی تأمین انرژی در آینده تبدیل شود. در نهایت، سایرو فعالانه به دنبال شرکای صنعتی برای تجاری‌سازی این فناوری است. این تلاش‌ها می‌تواند به ایجاد فرصت‌های اقتصادی و زیست‌محیطی قابل توجهی برای استرالیا و جهان منجر شود. فناوری سلول‌های خورشیدی رول به رول، با ترکیب ویژگی‌های انعطاف‌پذیری، وزن سبک، و هزینه تولید پایین، می‌تواند به یک راهکار انقلابی برای تأمین انرژی‌های تجدیدپذیر تبدیل شود.

منابع:

- pv-tech.org - CSIRO researchers develop printed perovskite solar cell with 15.5% conversion efficiency – 20 march 2024¹⁶⁷
- theguardian.com - CSIRO claims new record for energy efficiency in lightweight printed solar cells – 12 march 2024¹⁶⁸
- csiro.au - CSIRO achieves record efficiency for next-gen roll-to-roll printed solar cells -13 march 2024¹⁶⁹
- pv-tech.org - CSIRO researchers develop printed perovskite solar cell with 15.5% conversion efficiency – 20 march 2024¹⁷⁰

¹⁶⁷ <https://www.pv-tech.org/csiro-printed-perovskite-solar-cell-15-5-conversion-efficiency/>

¹⁶⁸ <https://www.theguardian.com/australia-news/2024/mar/12/csiro-claims-new-record-for-energy-efficiency-in-lightweight-printed-solar-cells#img-1>

¹⁶⁹ <https://www.csiro.au/en/news/all/news/2024/march/csiro-achieves-record-efficiency-for-next-gen-roll-to-roll-printed-solar-cells>

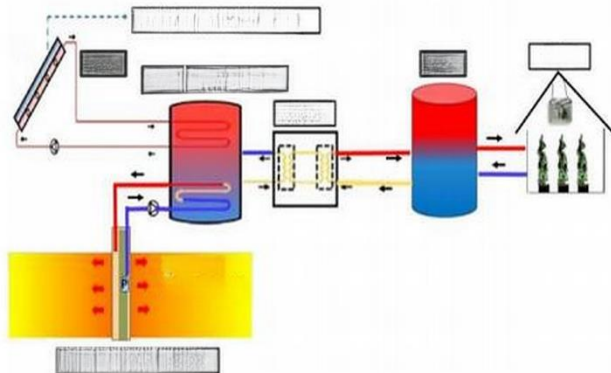
¹⁷⁰ <https://www.pv-tech.org/csiro-printed-perovskite-solar-cell-15-5-conversion-efficiency/>

بازیافت حرارت در گلخانه‌های مدرن



اداره توسعه روستایی کره جنوبی، با همکاری گروهی از دانشمندان برجسته، موفق به طراحی و توسعه سیستمی پیشرفته برای تأمین انرژی گلخانه‌ها شده است. این سیستم از ترکیب پنل‌های فتوولتائیک-حرارتی^{۱۷۱} با پمپ‌های حرارتی منبع زمینی بهره می‌برد که ترکیبی نوآورانه از دو فناوری مهم در حوزه انرژی‌های تجدیدپذیر است. هدف اصلی این سیستم، کاهش هزینه‌های انرژی در گلخانه‌ها و افزایش کارایی آن‌ها با استفاده از منابع انرژی پایدار است. این طرح در راستای تلاش‌های کره جنوبی برای کاهش وابستگی به سوخت‌های فسیلی و حرکت به سوی کربن صفر صورت گرفته است. یکی از ویژگی‌های برجسته این سیستم، استفاده از پنل‌های فتوولتائیک-حرارتی است که علاوه بر تولید برق از انرژی خورشیدی، قادر به تولید حرارت نیز هستند. این حرارت می‌تواند به‌عنوان منبع گرمایی برای پمپ‌های حرارتی استفاده شود. محققان کره‌ای توانسته‌اند با استفاده از این سیستم، کمبودهای معمولی انرژی زمین‌گرمایی را جبران کنند. این مسئله به‌ویژه در مناطقی که استفاده طولانی‌مدت از منابع زمین‌گرمایی باعث کاهش کارایی آن‌ها می‌شود، اهمیت دارد. پنل‌های فتوولتائیک-حرارتی قادر به تولید آب گرم در دماهای بین ۳۰ تا ۴۰ درجه سانتی‌گراد هستند که برای گرمایش گلخانه‌ها بسیار مناسب است. علاوه بر این، سیستم مورد استفاده در این پروژه دارای راندمان کلی ۷۳ درصد است و قادر است تا ۳ کیلووات برق و ۷.۹ کیلووات حرارت تولید کند. این سطح از کارایی با اشغال سطح کوچکی از سقف گلخانه، حدود ۱۸ مترمربع، به‌دست آمده است. وجود پنل‌های فتوولتائیک-حرارتی به این سیستم اجازه می‌دهد تا ظرفیت نصب شده سیستم‌های زمین‌گرمایی موجود را تا ۳۰ درصد کاهش دهد و درعین‌حال، بهره‌وری کلی را افزایش دهد. این بهبود در کارایی و کاهش هزینه‌ها، مزیت قابل توجهی برای گلخانه‌ها ایجاد می‌کند. تحلیل‌های اقتصادی انجام‌شده بر روی این سیستم نشان داده‌اند که استفاده از آن می‌تواند هزینه‌های گرمایش و سرمایش در گلخانه‌ها را تا ۷۸ درصد در مقایسه با ژنراتورهای دیزلی کاهش دهد. همچنین، برآورد شده

¹⁷¹ PVT



شماتیک بازیابی حرارت در گلخانه‌های مدرن

است که بازگشت سرمایه این سیستم به حدود ۴.۴ سال می‌رسد که از نظر اقتصادی بسیار مطلوب است. این سیستم همچنین قادر است تا ۲۰ درصد نرخ صرفه‌جویی در مصرف انرژی گلخانه‌ای را نسبت به سیستم‌های زمین‌گرمایی موجود افزایش دهد، که نشان‌دهنده کارایی بالای این فناوری است. یکی از جنبه‌های مهم این پروژه، امکان استفاده از حرارت تولیدشده توسط پنل‌های فتوولتائیک-حرارتی در

فصل‌های مختلف سال است. در بهار، تابستان و پاییز، هنگامی که نیازی به گرمایش گلخانه‌ها نیست، حرارت تولیدشده به لایه‌های آب زیرزمینی فرستاده و ذخیره می‌شود. این حرارت ذخیره‌شده، در فصل زمستان برای گرمایش گلخانه‌ها به کار می‌رود، که به کاهش هزینه‌ها و افزایش کارایی سیستم کمک می‌کند. این ویژگی باعث می‌شود که این سیستم به‌طور پیوسته و بدون وقفه در تأمین انرژی گلخانه‌ها عمل کند.

اداره توسعه روستایی کره جنوبی نیز به‌طور جدی در حال پیگیری ثبت اختراع این فناوری است و قصد دارد آن را به‌صورت گسترده بین کشاورزان کره‌ای توزیع کند. این اقدام می‌تواند به‌ویژه در شرایطی که قیمت برق برای مصارف کشاورزی در حال افزایش است، به کاهش بار مالی بر مدیریت مزرعه‌ها کمک کند. همچنین، این فناوری با استفاده از منابع انرژی تجدیدپذیر مانند انرژی خورشیدی و زمین‌گرمایی، می‌تواند به تحقق اهداف بلندمدت کره جنوبی در زمینه کاهش انتشار کربن و دستیابی به انتشار خالص صفر یاری رساند.

در نهایت، این پروژه نشان‌دهنده تعهد کره جنوبی به استفاده از فناوری‌های نوین در کشاورزی و افزایش کارایی و پایداری در این بخش است. با ادامه توسعه و بهبود این فناوری، انتظار می‌رود که سیستم‌های مشابه در سایر کشورها نیز مورد استفاده قرار گیرند و به‌طور کلی، نقشی کلیدی در تأمین انرژی پایدار و کاهش اثرات زیست‌محیطی ایفا کنند. این ابتکار عمل می‌تواند الگویی برای کشورهای دیگر باشد که به دنبال کاهش وابستگی به سوخت‌های فسیلی و حرکت به‌سوی آینده‌ای پایدارتر هستند.

منبع:

- pv-magazine.com - PVT-driven geothermal heat pump system for greenhouses – 19 October 2023¹⁷²

¹⁷² <https://www.pv-magazine.com/2023/10/19/pvt-driven-geothermal-heat-pump-system-for-greenhouses/>

حمایت انجمن انرژی‌های تجدیدپذیر ایران از برنامه‌های دکتر علی‌آبادی برای تحول در صنعت برق و انرژی



انجمن انرژی‌های تجدیدپذیر ایران با ارسال نامه‌ای به نمایندگان مجلس شورای اسلامی، حمایت خود را از برنامه‌های وزارت دکتر علی‌آبادی اعلام کرد. در این نامه، انجمن انرژی‌های تجدیدپذیر تأکید کرده که برنامه‌های ارائه‌شده توسط دکتر علی‌آبادی به‌ویژه در زمینه توسعه انرژی‌های تجدیدپذیر، مورد توجه و تأیید انجمن قرار دارد. انجمن معتقد است که این برنامه‌ها می‌تواند به رفع مشکلات فعلی و ناترازی‌های موجود در صنعت انرژی کشور کمک شایانی کند. در بخش دیگری از نامه، به تأکید دکتر علی‌آبادی بر احداث ۱۲ هزار مگاوات نیروگاه تجدیدپذیر طبق برنامه هفتم توسعه اشاره شده است. همچنین، انجمن از پیشنهاد حذف تدریجی قیمت‌گذاری دستوری برق، با در نظر گرفتن قیمت گاز برای افزایش رقابت‌پذیری انرژی‌های تجدیدپذیر با نیروگاه‌های حرارتی، حمایت کرده است. تأکید بر توسعه بورس انرژی و الزام رمز ارزها به تأمین برق خود از منابع تجدیدپذیر نیز از دیگر موارد مهم در برنامه کاری دکتر علی‌آبادی است. ایجاد حساب بهینه‌سازی و تأمین درآمد پایدار برای گواهی‌های صرفه‌جویی در مصرف سوخت و همچنین رفع موانع صادرات برق تجدیدپذیر توسط بخش خصوصی، از دیگر مواردی است که در این نامه به‌عنوان نقاط قوت برنامه دکتر علی‌آبادی مطرح شده است. در ادامه نامه، انجمن انرژی‌های تجدیدپذیر تصریح کرده که شرایط پیچیده و چالش‌های موجود در وزارت نیرو، نیازمند مدیری مدبر و توانمند با سوابق اجرایی روشن است که این ویژگی‌ها در دکتر علی‌آبادی به‌خوبی مشاهده می‌شود. در خاتمه، انجمن از نمایندگان مجلس شورای اسلامی خواسته است تا با رأی قاطع خود، پشتیبان‌های قوی برای تحولات مدنظر دکتر علی‌آبادی در صنعت آب و برق کشور ایجاد کنند.

منبع: ایرنا - ۸ شهریور ۱۴۰۳

حمایت از اجرای طرح‌های بازیافت حرارت در نیروگاه‌های کوچک مقیاس



مجری طرح تولید پراکنده و انرژی‌های نو توانیر از امضای یک تفاهم‌نامه ۵ ساله بین شرکت ملی گاز ایران و انجمن تولیدکنندگان ترکیبی برق، حرارت و برودت ایران برای بازیافت حرارت در نیروگاه‌های کوچک مقیاس خبر داد. زهرا اسماعیل‌زاده با اشاره به این تفاهم‌نامه گفت: این توافق در راستای اجرای مواد ۴۶ و ۴۷ قانون اصلاح الگوی مصرف انرژی و تکالیف قانونی شرکت ملی گاز ایران در حوزه بهینه‌سازی و صرفه‌جویی مصرف گاز طبیعی و همچنین تشویق به اجرای طرح‌های بازیافت حرارت در نیروگاه‌های تولید هم‌زمان برق و حرارت منعقد شده است. بر اساس این تفاهم‌نامه، شرکت ملی گاز ایران متعهد شده است که از قطع گاز نیروگاه‌های تولید هم‌زمان برق و حرارت در زمستان جلوگیری کند، از مزایای بازار بهینه‌سازی مصرف سوخت برای گاز صرفه‌جویی شده بهره‌برداری کند، و نرخ سوخت گاز نیروگاه‌های تولید هم‌زمان برق و حرارت را با قیمت نیروگاهی محاسبه نماید. انجمن نیز متعهد شده است که نیروگاه‌های مقیاس کوچک را برای ایجاد سیستم‌های بازیافت حرارت و برودت تشویق کرده، پیمانکاران و شرکت‌ها را برای بومی‌سازی این فناوری معرفی نماید و با شرکت ملی گاز در زمینه آموزش، تدوین پتانسیل‌های قانونی و استفاده از بازار بهینه‌سازی انرژی همکاری کند. در اجرای این تفاهم‌نامه، پس از توافق طرفین، قراردادهای جداگانه‌ای با هر یک از نیروگاه‌های مشمول منعقد خواهد شد. بر اساس ماده ۴۶ قانون اصلاح الگوی مصرف انرژی، تمامی مجریان طرح‌های نیروگاهی، پالایشگاهی، پتروشیمی، و صنایع پایین‌دستی نفت و گاز موظفاند در مطالعه احداث واحدهای جدید، به بررسی فنی و اقتصادی سامانه‌های بازیافت انرژی مانند تولید هم‌زمان برق، حرارت و برودت و استفاده از توربین‌های انبساط گاز بپردازند. در صورت مثبت بودن نتایج این مطالعات، موظفاند واحدهای جدید را به‌صورت سامانه‌های بازیافت انرژی احداث کنند. همچنین طبق ماده ۴۷، وزارتخانه‌های نیرو و نفت موظفاند دستورالعمل‌های فنی همسان برای طراحی، ساخت، تأمین، نصب و بهره‌برداری از تجهیزات شبکه هوشمند را تعیین و اجرا کنند.

منبع: انجمن صنایع پلیمر ایران - ۳۰ تیر ۱۴۰۳

برونداد تخصصی

انرژی‌های تجدیدپذیر



شماره ۱۵۵ - شهریور ۱۴۰۳