وزارت نیرو
سازمان انرژی‌های تجدیدپذیر
بهره‌وری انرژی برق (ساتبا)

پژوهشگاه نیرو

رویداد تخصصی

انرژی‌های تجدیدپذیر

شماره ۱۲ – خرداد ۱۴۰۳

برونداد تخصصی

انرژی‌های تجدیدپذیر

ویژه‌نامه زمین‌گرمایی و پمپ حرارتی

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 سید ابوالفضل موسوی ترشیزی

ناظر پژوهشگاه: دکتر محمد چمنی

ناظر کارفرما: دکتر اکبر شعبانی‌کیا

همکاران این گزارش:

مهندس ثریا رستمی – مهندس سارا جوکار

شماره ۱۲– خردادماه ۱۴۰۳

فهرست مطالب

حمایتهای جهادی رئیس‌جمهور شهید در حوزه انرژی‌های تجدیدپذیر ٤

تحلیل روند و ارزیابی اقتصادی انرژی زمین‌گرمایی طی سال‌های ۲۰۱۰ تا ۲۰۲۲ ..... ٦

مروری بر فناوری پمپ‌های حرارتی ١٤

رویکرد جهانی درخصوص پمپ‌های حرارتی از دیدگاه آژانس بین‌المللی انرژی ٢١

منابع و پتانسیل زمین‌گرمایی آمریکا ٣٠

بوش، پیشرو در صنعت پمپ حرارتی ٣٣

وب‌ابزار "ری‌اُپت" اِنرِل برای فناوری تبادل حرارتی هیبریدی زمین‌گرمایی ٤١

سیستم‌های پمپ حرارتی هیبریدی زمین‌گرمایی ٤٤

پوشش تقاضای لیتیوم ایالات‌متحده با نیروگاه‌های زمین‌گرمایی دریاچه سالتون ٤٧

پروژه ذخیره‌سازی حرارتی آبخوان در برلین ٤٨

افتتاح بزرگ‌ترین نیروگاه بادی شرق کشور در استان سیستان و بلوچستان ٤٩

واگذاری ۱۷۲ هکتار از اراضی ملی استان مرکزی برای تولید انرژی پاک ٥٠

سخن آغازین

حمایت‌های جهادی رئیس‌جمهور شهید در حوزه انرژی‌های تجدیدپذیر

با استقرار دولت سیزدهم بلافاصله ۲ اقدام کلان برای رفع ناترازی‌های برق و انرژی در دستور کار قرار گرفت. اول، توسعه ظرفیت نیروگاهی از طیف ساخت نیروگاه‌های حرارتی، ارتقا و بهره‌وری و افزایش توان واحدهای نیروگاهی موجود، ایجاد و گسترش زیرساخت برای انرژی‌های تجدیدپذیر (خورشیدی، بادی،زیست‌توده و غیره) و دیگری در بخش مصرف، با سپردن مدیریت مصرف به مردم با طرح پاداش صرفه‌جویی و تخصیص بیشترین برق به بخش‌های مولد، که برای اولین بار در تاریخ کشور، کاهش مصرف برق در بخش خانگی و درعین‌حال افزایش برق صنایع در همان بازه زمانی را به همراه داشت. اقداماتی که در گرم‌ترین سال‌های کشور از لحاظ آب‌وهوایی رخ داد و منجر به جهش تولید در کشور به‌ویژه در صنایع حساس و انرژی‌بر از جمله فولاد و سیمان و غیره شد تا آنجا که میزان تولید برق در کشور با رقمی بالغ بر ۴ هزار مگاوات در سال افزایش یافت.

اهمیت ویژه به گسترش زیرساخت‌های انرژی‌های نو در نقاط مختلف کشور، از مهم‌ترین محورهای مورد تأکید رئیس‌جمهور فقید شهید کشورمان بود. ریل‌گذاری برای تجهیز کشور به ۳۰ هزار مگاوات انرژی تجدیدپذیر، آینده روشنی را پیش روی کشور در مسئله ناترازی برق قرار داده است. در این مسیر تلاش برای توسعه انرژی‌های تجدیدپذیر از همان روزهای ابتدایی روی کار آمدن دولت سیزدهم موردتوجه جدی دولت قرار گرفته و درپیش‌گرفتن این روند مثبت کار را به

جایی رساند که در ماه‌های پایانی سال گذشته فرصتی برای تولیدکنندگان برق از منابع تجدیدپذیر فراهم شد تا برق تولیدی خود را صادر کرده و به‌این‌ترتیب کشورمان را تبدیل به قطب انرژی منطقه کنند.

مسئله دیگری که دولت سیزدهم بر اجرای آن تأکید دارد کاهش وابستگی به سوخت‌های فسیلی از طریق توسعه انرژی‌های تجدیدپذیر برای تولید انرژی نیروگاه‌ها است، بر اساس ماده ۱۹ قانون هوای پاک قرار بود وزارت نیرو سالانه ۳۰ درصد از توسعه برق را از محل انرژی‌های تجدیدپذیر تأمین کند که متأسفانه در تمام این سال‌ها درمجموع کمتر از ۱ درصد بوده است.

اما اکنون برنامه‌های خوبی از طریق وزارت نیرو ارائه شده که بخشی از آن‌ها اجرا و برخی نیز در دست اجرا است. بر اساس این برنامه‌ها تا پایان ۱۴۰۴ قرار است ۱۰ هزار مگاوات انرژی‌های تجدیدپذیر به ظرفیت انرژی‌های کشور اضافه شود. حتماً یکی از موضوعات مهم و اثربخش این است که بتوانیم برق تولیدی خود را از طریق انرژی‌های تجدیدپذیر تأمین کنیم و با توجه به اینکه سیاست توسعه حمل‌ونقل عمومی بر استفاده از خودروهای هیبریدی و برقی است باید نیاز برقی کشور از نیروگاه‌های تجدیدپذیر تأمین شود.

همه این موارد در شرایطی انجام شد که عدم تمایل سرمایه‌گذاری در نیروگاه‌ها و بدهی‌های انباشته دولت به بخش خصوصی از موانع هرگونه تحرک در حوزه برق بود. درحالی‌که سالانه یک میلیون مشترک به شبکه برق کشور افزوده می‌شد و مدیریت این ناترازی‌ها و شکاف بین تولید و مصرف برق، به‌گونه‌ای انجام شد که کمترین فشار از لحاظ هزینه‌ای یا خاموشی بر مردم عزیز ایران وارد نشد. پیشرفت در حوزه برق و انرژی در نهایت به‌گونه‌ای حادث شد که بخش مهمی از دغدغه‌های مردم رفع شد.

منبع:خبرگزاری ایرنا – ۴ و ۹ خرداد ۱۴۰۳

تحولات اقتصاد و بازار

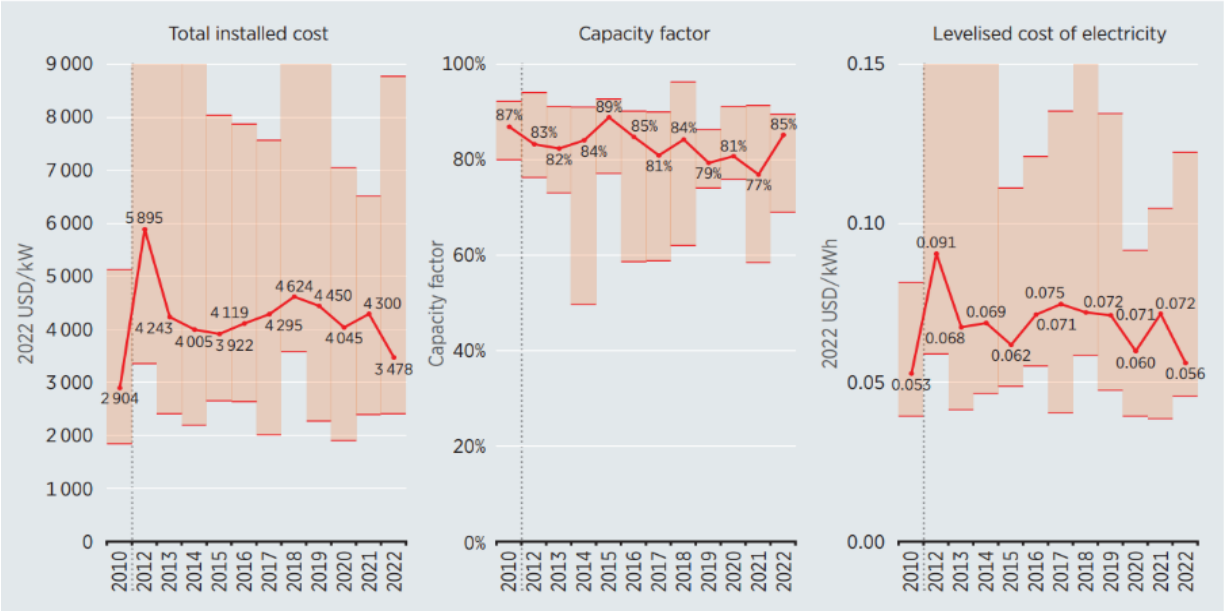
تحلیل روند و ارزیابی اقتصادی انرژی زمین‌گرمایی طی سال‌های ۲۰۱۰ تا ۲۰۲۲

در پایان سال ۲۰۲۲، نیروگاه‌های تولید برق زمین‌گرمایی با ظرفیت نصب‌شده حدود ۱۴.۹ گیگاوات، ۰.۴ درصد از کل ظرفیت تولید برق تجدیدپذیر نصب‌شده در سراسر جهان را به خود اختصاص دادند. هم‌چنین، ظرفیت کل نصب‌شده در پایان سال ۲۰۲۲ نسبت به سال ۲۰۱۰، ۴۵ درصد افزایش یافته است. کشورهایی با بیشترین ظرفیت نصب‌شده عبارت‌اند از: اندونزی، ایتالیا، کنیا، مکزیک، نیوزیلند، فیلیپین، ترکیه و ایالات‌متحده. بهترین منابع زمین‌گرمایی در مناطق زمین‌گرمایی فعال، روی سطح یا نزدیک سطح پوسته زمین یافت می‌شوند. مزیت اصلی این منابع این است که نسبت به منابع در اعماق بیشتر، با هزینه کمتری قابل‌دسترسی هستند. در مناطق زمین‌گرمایی فعال، با حفاری کم‌عمق در سطح زمین می‌توان ارزانتر به بخار یا آب داغ طبیعی دسترسی پیدا کرد که برای تولید برق در توربین‌های بخار و یا تأمین گرما برای خانه‌ها یا صنایع مورد استفاده است.

منابع زمین‌گرمایی از انرژی گرمایی تشکیل شده‌اند که به‌صورت گرما در سنگ‌های پوسته و درون زمین ذخیره می‌شود و در اعماق کم، آب داغ و یا بخاری تولید می‌کند که می‌توان با هزینه نسبتاً کم برای تولید برق از آن بهره برد. این مناطق، با آب یا بخار با دمای بالا، در سطح یا نزدیک به سطح زمین، معمولاً به‌عنوان «مناطق زمین‌گرمایی فعال»[1] شناخته

[1] Active geothermal areas

می‌شوند. در سایر مناطق، انرژی زمین‌گرمایی همچنان با حفاری به اعماق بیشتر و تزریق آب به منطقه داغ از طریق چاه‌ها قابل استخراج است؛ و به‌این‌ترتیب، گرمای موجود در سنگ‌های خشک مهار می‌شود.



میانگین وزنی کل هزینه‌های احداث، ضریب ظرفیت و هزینه تراز شده برای زمین‌گرمایی، ۲۰۱۰–۲۰۲۲

❖ زمین‌گرمایی، یک فناوری بالغ با چالش‌های منحصربه‌فرد

زمین‌گرمایی یک فناوری بالغ و تجاری است. این فناوری می‌تواند انرژی کم‌هزینه و دائمی را در مناطقی با منابع زمین‌گرمایی با دمای بالا و نزدیک به سطح زمین ارائه دهد. بااین‌حال، توسعه منابع غیرمتداول زمین‌گرمایی، با استفاده از رویکرد سنگ‌های داغ خشک[۲] یا زمین‌گرمایی پیشرفته[۳]، بسیار کم‌سابقه‌تر است. در این حالت، پروژه‌ها به دلیل حفاری عمیق موردنیاز، معمولاً با هزینه‌های بسیار بالاتری همراه هستند که باعث می‌شود از لحاظ اقتصادی چنین ابتکاراتی در حال حاضر جذاب نباشد. در این موارد تحقیق و توسعه در مورد تکنیک‌های حفاری نوآورانه‌تر، کم‌هزینه‌تر و روش‌های پیشرفته تحریک مخزن[۴] ضروری است. این امر به کاهش هزینه‌های توسعه و تحقق کامل پتانسیل منابع زمین‌گرمایی پیشرفته، با مقرون‌به‌صرفه کردن آن‌ها کمک می‌کند.

[2] Hot dry rocks
[3] Enhanced Geothermal
[4] Advanced Reservoir Stimulation Methodologies

تحریک مخازن پیشرفته در زمین‌گرمایی به تکنیک‌هایی اشاره دارد که برای افزایش بهره‌وری مخازن زمین‌گرمایی از طریق افزایش نفوذپذیری و جریان سیال درون مخزن استفاده می‌شود. برخی از تکنیک‌های رایج مورد استفاده شامل شکست هیدرولیکی، تزریق بخار یا آب و راهکارهای شیمیایی است.

با توجه به ماهیت نسبتا منحصربه‌فرد منابع زمین‌گرمایی، تولید برق زمین‌گرمایی در مقایسه با سایر فناوری‌های تولید برق تجدیدپذیر ماهیت بسیار متفاوتی دارد. در واقع، توسعه یک پروژه زمین‌گرمایی مجموعه چالش‌های منحصربه‌فردی هنگام ارزیابی منابع و واکنش مخزن پس از شروع تولید در پی خواهد داشت. ارزیابی منابع زیرسطحی و نقشه‌برداری مخازن پرهزینه هستند. پس از تکمیل، این ارزیابی‌ها باید توسط چاه‌های آزمایشی تأیید شوند تا به توسعه‌دهندگان اجازه دهند مدل‌هایی با توجه به اندازه و جریان مخزن و نحوه واکنش آن به استخراج آب و بخار برای تولید برق بسازند. بااین‌حال، تا زمانی که تجربه عملی واقعی به دست نیاید، نکات زیادی در مورد عملکرد مخزن و نحوه مدیریت آن در طول عمر عملی پروژه ناشناخته باقی خواهد ماند. این مسائل علاوه بر افزایش هزینه‌های توسعه، به پروژه‌های زمین‌گرمایی نسبت به سایر فناوری‌های تولید برق تجدیدپذیر ریسک بسیار متفاوتی می‌دهد.

یکی از مهم‌ترین چالش‌های توسعه پروژه‌های تولید برق زمین‌گرمایی، در دسترس بودن نقشه جامع منابع زمین‌گرمایی است. در صورت وجود، ابهاماتی را که توسعه‌دهندگان در طول دوره اکتشاف میدانی با آن مواجه می‌شوند، کاهش می‌دهد که به‌طور بالقوه منجر به کاهش هزینه توسعه می‌گردد. این امر به این دلیل است که نتایج ضعیف‌تر از حد انتظار در فاز اکتشاف (مانند سرعت جریان کمتر از حد پیش‌بینی‌شده یا نفوذپذیری مخزن) ممکن است نشان‌دهنده نیاز به حفاری بیشتر یا استقرار چاه‌ها در منطقه‌ای بسیار وسیع‌تر برای تولید برق مورد انتظار باشد.

دولت‌ها می‌توانند با انجام برخی نقشه‌برداری‌های منابع و در دسترس قرار دادن آن برای توسعه‌دهندگان پروژه، ریسک‌های توسعه پروژه و هزینه‌ها برای مصرف‌کنندگان را کاهش دهند. به‌طور جهانی، حدود ۷۸ درصد از چاه‌های حفرشده موفقیت‌آمیز هستند و میانگین نرخ موفقیت در دهه‌های اخیر نیز بهبود یافته است. این امر احتمالاً به دلیل بهبود فناوری نقشه‌برداری است که می‌تواند با دقت بیشتری بهترین چشم‌اندازها را برای مکان‌یابی چاه‌ها هدف قرار دهد.

علاوه بر این، نیروگاه‌های زمین‌گرمایی از نظر کیفیت منابع و نیازهای مدیریتی متمایز هستند. درنتیجه، تجربه در یک پروژه ممکن است آموزه‌های خاصی را به همراه نداشته باشد که بتوان مستقیماً در توسعه‌های جدید به کار برد. بااین‌حال، چنین تجربه‌ای ممکن است دانش گسترده‌تری از صنعت در اختیار بگذارد که به شناسایی بهتر سایر عوامل، از مدل‌سازی مخزن گرفته تا شیوه‌های بهره‌برداری و نگهداری، کمک کند. با وجود این، پایبندی به بهترین شیوه‌های بین‌المللی برای بررسی و مدیریت، همراه با تجزیه‌وتحلیل دقیق داده‌ها از محل پروژه، بهترین ابزار کاهش ریسک موجود برای توسعه‌دهندگان است و اهمیت آن را نمی‌توان انکار کرد.

یکی دیگر از نقاط تمایز نیروگاه‌های زمین‌گرمایی این است که پس از راه‌اندازی، مدیریت نیروگاه و مخزن آن، در طول زمان، بسیار چالش‌برانگیزتر از نیروگاه‌های بادی یا خورشیدی فتوولتائیک است. فرآیند استخراج و تزریق مجدد سیال مخزن

در طول عمر پروژه، شرایطی پویا ایجاد می‌کند که این امر بر بهره‌وری چاه‌های منفرد تاثیر می‌گذارد. با کسب اطلاعات واقعی و بیشتر از عملکرد سیستم، درک بهره‌برداران از نحوه مدیریت بهتر مخزن نیز به طور مداوم تکامل خواهد یافت.

یکی دیگر از ملاحظات مهم برای نیروگاه‌های زمین‌گرمایی این است که پس از کاهش بهره‌وری چاه‌های موجود، اغلب نیاز به چاه‌های جایگزین است. در نتیجه، هزینه‌های عملیات و نگهداری مادام‌العمر به‌طور متوسط، بالاتر از سایر فناوری‌های تجدیدپذیر است. بااین‌حال، با افزایش ضرایب ظرفیت، می‌توانند در هر کیلووات ساعت هزینه مشابهی داشته باشند.

❖ هزینه‌های کل احداث

پروژه‌های تولید برق زمین‌گرمایی به‌طور متوسط نسبت به برق‌آبی، انرژی خورشیدی فتوولتائیک و بادی در خشکی، هزینه سرمایه‌گذاری نسبتاً بالایی دارند و هزینه‌های احداث آن‌ها بیشتر با باد فراساحلی و نیروگاه خورشیدی متمرکز[5] مطابقت دارد. توسعه پروژه، آماده‌سازی سایت، چاه‌های تولید و تزریق مجدد، ساخت نیروگاه و فعالیت‌های عمرانی مرتبط، هزینه‌های اولیه قابل‌توجهی را به همراه دارد.

پروژه‌های زمین‌گرمایی همچنین تحت تأثیر تغییرات هزینه حفاری قرار دارند که روند آن‌ها اغلب تحت تأثیر چرخه کسب‌وکار در صنعت نفت و گاز است. این نوسانات تأثیر مستقیمی بر هزینه‌های حفاری و در نتیجه هزینه‌های مهندسی، تأمین و ساخت[6] دارد. هزینه‌های احداث نیروگاه زمین‌گرمایی به‌شدت به محل پروژه نیز بستگی دارد. در این رابطه، نیروگاه‌های زمین‌گرمایی اشتراکات بیشتری با پروژه‌های برق‌آبی دارند. به‌طور خاص، هزینه‌های پروژه‌های برق زمین‌گرمایی تحت تأثیر کیفیت مخزن (یعنی دما، سرعت جریان و نفوذپذیری) قرار می‌گیرد زیرا این امر بر نوع نیروگاه و تعداد چاه‌های موردنیاز برای ظرفیت معین تأثیر می‌گذارد. ماهیت و وسعت مخزن، خواص حرارتی آن و سیالات به کار گرفته شده و عمق مورد بهره‌برداری، همگی بر هزینه‌های پروژه تأثیر می‌گذارند.

علاوه بر این، کیفیت منبع زمین‌گرمایی و توزیع جغرافیایی آن، نوع نیروگاه را تعیین می‌کند. انواع نیروگاه‌ها می‌تواند با رویکردهای فلاش[7]، بخار مستقیم[8]، دومداره (باینری)[9]، پیشرفته[10] یا ترکیبی[11] برای تأمین بخاری باشد که توربین را به حرکت درآورده و برق تولید می‌کند. به‌طورمعمول، هزینه‌های نیروگاه‌های دومداره (باینری) که برای بهره‌برداری از منابع با دمای پایین‌تر طراحی شده‌اند، نسبت به نیروگاه‌های بخار مستقیم و فلاش، بالاتر است. هزینه‌های کل احداث نیروگاه‌های

[5] Concentrated Solar Power (CSP)
[6] Engineering, Procurement and Construction (EPC)
[7] Flash
[8] Direct steam
[9] Binary
[10] Enhanced
[11] Hybrid

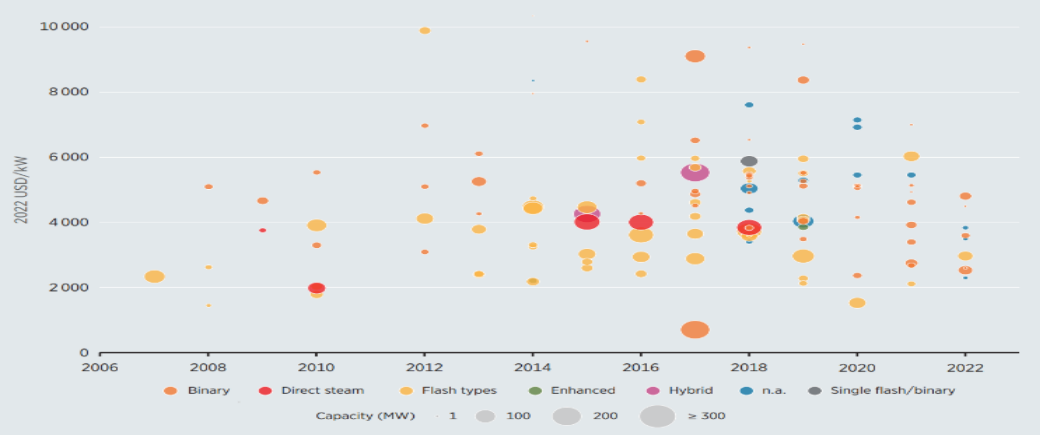
زمین‌گرمایی همچنین شامل هزینه کاوش و ارزیابی منابع (ازجمله بررسی‌های لرزه‌ای[12] و چاه‌های آزمایشی) می‌شود. این دسته هزینه‌ها در مورد منابع خورشیدی و بادی نیز اعمال می‌شود، اما ارزیابی منابع باد و خورشید با ایستگاه‌های هواشناسی بسیار کمتر از ارزیابی‌های لازم برای نیروگاه‌های زمین‌گرمایی هزینه دارد. هزینه اصلی دیگر برای نیروگاه زمین‌گرمایی، هزینه حفاری چاه‌های تولید[13] و تزریق[14] است. اگر نیاز به بهره‌برداری از سایت زمین‌گرمایی وسیعی باشد، هزینه‌های زیرساخت سایت، جمع‌آوری سیال زمین‌گرمایی، سیستم‌های دفع و سایر تأسیسات سطحی نیز می‌تواند قابل توجه باشد.

همسو با افزایش قیمت کالاها و هزینه‌های حفاری، بین سال‌های ۲۰۰۰ تا ۲۰۰۹، کل هزینه‌های احداث برای نیروگاه‌های زمین‌گرمایی بین ۶۰ تا ۷۰ درصد افزایش یافته است. هزینه‌های توسعه پروژه در آن دوره به دلیل افزایش هزینه‌های مهندسی عمران و تأمین و ساخت، افزایش یافت. هم‌چنین، افزایش هزینه‌های حفاری در پی افزایش بازارهای نفت و گاز رخ داد. بااین‌حال، به نظر می‌رسد از آن زمان به بعد، هزینه‌ها تثبیت شده‌اند. شایان ذکر است، به دلیل کم‌رونق بودن بازارها تا سال ۲۰۱۵ نوسانات قابل‌توجهی مشاهده شده است. در سال ۲۰۰۹، کل هزینه‌های احداث پروژه‌های تولید برق زمین‌گرمایی فلاش بین ۲,۰۹۷ تا ۴,۱۸۳ دلار بر کیلووات بود. در همان زمان، نیروگاه‌های دومداره (باینری) گران‌تر بودند و بین ۲,۴۸۱ تا ۶,۰۶۲ دلار بر کیلووات هزینه داشتند.

از سال ۲۰۱۰، اکثر نیروگاه‌های فلاش که ایرنا داده مربوطه آن‌ها را در اختیار دارد، در محدوده ۲,۲۶۰ تا ۵,۵۸۰ دلار بر کیلووات و نیروگاه‌های دومداره (باینری) در محدوده ۲,۸۹۰ تا ۵,۲۱۰ دلار بر کیلووات هزینه داشته‌اند. بر اساس داده‌های موجود در پایگاه داده هزینه‌های تجدیدپذیر ایرنا، هزینه‌های احداث از سال ۲۰۱۰ به بعد به‌طورکلی در محدوده ۲,۰۰۰ تا ۶,۰۰۰ دلار بر کیلووات قرار داشته است.

از سال ۲۰۱۳، میانگین وزنی کل هزینه احداث نسبتاً ثابت بوده است و از ۴,۶۲۴ دلار بر کیلووات در سال ۲۰۱۸ تا ۳,۴۷۸ دلار بر کیلووات در سال ۲۰۲۲، با میانگین حدود ۴,۱۵۰ دلار بر کیلووات، مشاهده شده است. رقم سال ۲۰۲۲، اگرچه به طور قابل‌توجهی کمتر از ۴,۳۰۰ دلار بر کیلووات در سال ۲۰۲۱ بود، اما همچنان از ۲,۹۰۴ دلار بر کیلووات گزارش‌شده در سال ۲۰۱۰ بالاتر بود. در موارد استثنایی‌تر و در پروژه‌هایی که بر ظرفیت یک پروژه برق زمین‌گرمایی موجود می‌افزایند، هزینه یک نیروگاه زمین‌گرمایی می‌تواند تا ۵۶۰ دلار بر کیلووات کاهش یابد. بااین‌حال، این به‌هیچ‌وجه یک امر معمول نیست و در حال حاضر به‌ندرت پروژه‌هایی با هزینه کمتر از ۲,۰۰۰ دلار بر کیلووات مشاهده می‌شود. شکل آتی کل هزینه‌های احداث برق زمین‌گرمایی را بر اساس پروژه، فناوری مورد استفاده و ظرفیت از سال ۲۰۰۷ تا ۲۰۲۲ نشان می‌دهد.

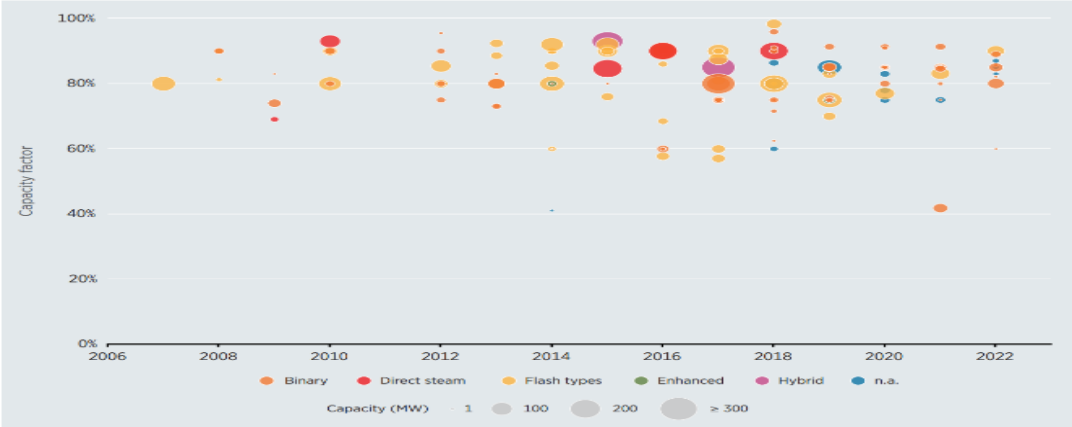
[12] Seismic surveys
[13] Production wells
[14] Injection wells



مجموع هزینه‌های احداث نیروگاه برق زمین‌گرمایی بر اساس پروژه، فناوری و ظرفیت، ۲۰۰۷–۲۰۲۲

❖ ضریب ظرفیت[۱۵]

نیروگاه‌های زمین‌گرمایی با دسترسی به بخار یا آب داغ نزدیک سطح زمین، از یک منبع انرژی مداوم برخوردار هستند و این امکان را دارند در بیشتر ساعات سال کار کنند. داده‌های پایگاه داده هزینه‌های تجدیدپذیر ایرنا برای سال‌های ۲۰۰۷ تا ۲۰۲۲ نشان می‌دهد که نیروگاه‌های زمین‌گرمایی به‌طورمعمول ضریب ظرفیت‌هایی در محدوده ۵۰ تا بیش از ۹۵ درصد داشته‌اند. با این حال، تغییرات قابل‌توجهی در هر پروژه و بین کشورها وجود دارد. این تغییرات ناشی از کیفیت منابع، دینامیک مخزن و همچنین عوامل اقتصادی (به‌عنوان تنها سه مورد از مهم‌ترین عوامل محرک) می‌باشد. شکل زیر ضریب ظرفیت پروژه‌های نیروگاه زمین‌گرمایی را در پایگاه داده هزینه‌های تجدیدپذیر ایرنا بر اساس سال، اندازه پروژه و فناوری نشان می‌دهد.



ضرایب ظرفیت نیروگاه‌های زمین‌گرمایی بر اساس فناوری و اندازه پروژه، ۲۰۰۷–۲۰۲۲

[15] Capacity Factor

میانگین ضریب ظرفیت نیروگاه‌های زمین‌گرمایی با استفاده از بخار مستقیم حدود ۸۵ درصد است، درحالی‌که میانگین برای فناوری‌های فلاش ۸۲ درصد گزارش شده است. انتظار می‌رود نیروگاه‌های زمین‌گرمایی دومداره (باینری) که از منابع با دمای پایین‌تر بهره می‌برند، به طور متوسط به ضریب ظرفیت ۸۰ درصدی دست یابند. در سال ۲۰۲۲، میانگین وزنی جهانی ضریب ظرفیت برای پروژه‌های زمین‌گرمایی راه‌اندازی‌شده جدید، ۸۵ درصد بود که نسبت به ۷۷ درصد در سال ۲۰۲۱ افزایش یافته است. کاهش سال ۲۰۲۱ ناشی از یک نیروگاه ترکیه‌ای با ضریب ظرفیت طول عمر[16] ۴۲ درصد بود.

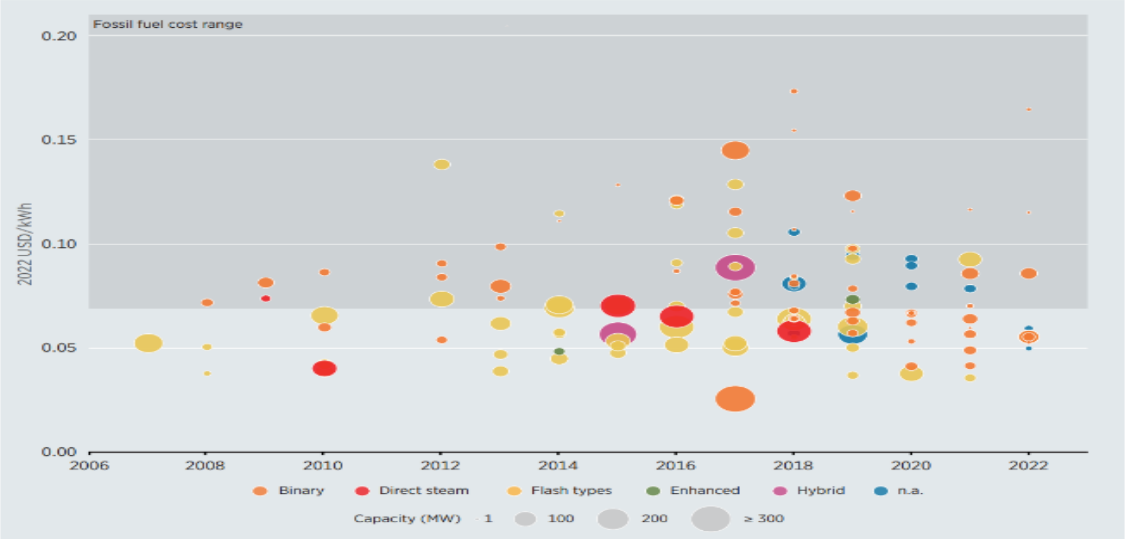
❖ هزینه تراز شده انرژی برق

کل هزینه‌های احداث، میانگین وزنی هزینه سرمایه، عمر اقتصادی و هزینه‌های بهره‌برداری و نگهداری یک نیروگاه زمین‌گرمایی، هزینه تراز شده برق آن را تعیین می‌کند. نیروگاه‌های زمین‌گرمایی در مقایسه با برق‌آبی، برخی نیروگاه‌های زیست‌توده، انرژی خورشیدی فتوولتائیک و پروژه‌های بادی خشکی، هزینه‌های احداث، هزینه‌های بهره‌برداری و نگهداری و ضریب ظرفیت بالاتری دارند. ضریب ظرفیت بالاتر به جبران هزینه‌های سرمایه‌ای و عملیاتی کمک می‌کند، درعین‌حال نشان می‌دهد که نیروگاه در بیشتر ساعات سال کار می‌کند. پروژه‌های برق زمین‌گرمایی حتی بیشتر از فناوری‌های خورشیدی و بادی، در طول عمر خود نیاز به بهینه‌سازی مداوم دارند و مدیریت پیچیده‌ای از مخزن و چاه‌های تولید برای اطمینان از مطابقت خروجی با انتظارات را می‌طلبند. این امر منجر به هزینه‌های بالاتر بهره‌برداری و نگهداری می‌شود.

این تحلیل فرض می‌کند هزینه‌های بهره‌برداری و نگهداری ۱۱۵ دلار بر کیلووات در سال است و عمر اقتصادی پروژه ۲۵ سال است. شکل آتی هزینه تراز شده پروژه‌های برق زمین‌گرمایی را بر اساس فناوری و اندازه برای دوره ۲۰۰۷ تا ۲۰۲۲ نشان می‌دهد. در طول این دوره، هزینه تراز شده برای توسعه مرحله دوم یک سایت موجود از ۰.۰۲۶ دلار بر کیلووات ساعت تا ۰.۱۷۴ دلار بر کیلووات ساعت برای توسعه‌های کوچک در مناطق دورافتاده متغیر بوده است.

هزینه‌های بهره‌برداری و نگهداری برای پروژه‌های زمین‌گرمایی به‌ویژه نسبت به فناوری باد خشکی و انرژی خورشیدی فتوولتائیک زیاد است؛ زیرا به‌مرور زمان فشار مخزن اطراف چاه تولید کاهش می‌یابد که منجر به کاهش نرخ جریان می‌شود. بنابراین راندمان چاه در طول زمان کاهش می‌یابد و درنهایت، اگر اقدامات اصلاحی انجام نشود، تولید برق نیز کاهش خواهد یافت. برای حفظ تولید در ضریب ظرفیت طراحی‌شده، مخزن و عملکرد نیروگاه‌های زمین‌گرمایی نیاز به پایش و مدیریت مداوم دارند که به‌طورمعمول شامل اضافه کردن چاه‌های تولید در طول عمر نیروگاه نیز می‌شود. بنابراین، فرض هزینه بهره‌برداری و نگهداری ۱۱۰ دلار بر کیلووات در سال شامل دو مجموعه چاه برای جبران و تزریق مجدد در طول عمر ۲۵ ساله پروژه برای حفظ عملکرد است.

[16] Lifetime capacity factor



هزینه تراز شده پروژه‌های انرژی زمین‌گرمایی بر اساس فناوری و اندازه پروژه، ۲۰۰۷–۲۰۲۲

میانگین وزنی جهانی هزینه تراز شده در حدود ۰.۰۵۶ دلار بر کیلووات ساعت در سال ۲۰۲۲، تقریباً به رقم ۰.۰۵۳ دلار بر کیلووات‌ساعت در سال ۲۰۱۰ بازگشته است. اگرچه تغییرات سالانه‌ای در میانگین وزنی جهانی ضریب ظرفیت پروژه‌های راه‌اندازی‌شده جدید وجود دارد، اما این میزان اغلب کمتر از زیست‌توده است.

ازآنجایی‌که معمولاً در ضریب ظرفیت تغییرات کمی وجود دارد، هزینه تراز شده پروژه‌های برق زمین‌گرمایی تمایل به پیروی از روند کل هزینه‌های احداث دارد. داده‌های موجود نشان می‌دهد که برای دوره ۲۰۱۶ تا ۲۰۲۱، هزینه تراز شده برای اکثر سال‌ها نسبتاً ثابت بوده است (میانگین وزنی جهانی بین ۰.۰۷۱ و ۰.۰۷۵ دلار بر کیلووات ساعت). تنها استثنا مشاهده شده، سال ۲۰۲۰ بود که با راه‌اندازی یک پروژه بسیار رقابتی در کنیا، به پایین‌ترین رقم ۰.۰۶۰ دلار بر کیلووات ساعت رسید.

منبع:IRENA Renewable power generation costs in 2022

تحولات فناورانه

مروری بر فناوری پمپ‌های حرارتی

پمپ‌های حرارتی زمین‌گرمایی راه‌حلی نوآورانه برای بهره‌مندی از انرژی تجدیدپذیر زمین و ایجاد یک سیستم گرمایش و سرمایش کارآمد و سازگار با محیط‌زیست برای ساختمان‌ها به شمار می‌رود. پمپ‌های حرارتی یک فناوری چندمنظوره[17] هستند که از برق برای انتقال گرما استفاده می‌کنند و امکان گرمایش و سرمایش ساختمان‌ها را فراهم می‌آورند. این پمپ‌ها مانند یک سیستم گرمایش مستقیم (به طور مثال کوره) عمل نمی‌کنند، بلکه به‌عنوان «انتقال‌دهنده» عمل می‌کنند و انرژی حرارتی موجود را از یک مکان به مکان دیگر انتقال می‌دهند. نحوه عملکرد پمپ‌های حرارتی به قرار زیر است:

۱. چرخه مبرد[18]: یک سیستم با حلقه بسته، مبرد را به گردش در می‌آورد، مبرد مایعی است که به‌راحتی گرما را جذب و دفع می‌کند.

۲. جذب گرما[19]: در حالت گرمایش، مبرد گرما را از منبع سرد، به‌طورمعمول هوای بیرون یا زمین (پمپ حرارتی زمین‌گرمایی) جذب می‌کند. مبرد در دمای پایین تبخیر شده و به گاز تبدیل می‌شود.

۳. کمپرسور[20]: کمپرسور، گاز مبرد را فشرده می‌کند که به طور قابل‌توجهی دمای آن را افزایش می‌دهد.

۴. انتشار گرما[21]: گاز داغ و پرفشار به مبدل حرارتی داخلی[22] هدایت می‌شود، جایی که گرمای خود را به سیستم گرمایش هوا یا آب ساختمان منتقل می‌کند. مبرد در این فرآیند دوباره به حالت مایع تبدیل می‌شود.

[17] Polyvalent
[18] Refrigerant Cycle
[19] Heat Absorption
[20] Compression
[21] Heat Release
[22] Indoor heat exchanger

۵. کاهش فشار[۲۳]: شیر انبساط فشار مبرد را کاهش می‌دهد، دمای آن را پایین می‌آورد و برای یک چرخه دیگر جذب گرما آماده می‌کند.

❖ انواع پمپ‌های حرارتی

- پمپ حرارتی هوا به هوا[۲۴]: این نوع رایج‌ترین نوع است که برای گرمایش از هوای بیرون گرما می‌گیرد و برای سرمایش گرما را به بیرون منتقل می‌کند.
- پمپ حرارتی زمین‌گرمایی[۲۵]: این نوع پمپ حرارتی از دمای ثابت زمین حتی در اعماق کم استفاده می‌کند. در زمستان، گرما را از زمین برای گرم کردن ساختمان‌ها استخراج می‌کند و در تابستان، این فرآیند را برای خنک کردن آن‌ها معکوس می‌کند.
- پمپ حرارتی آب به آب[۲۶]: این پمپ‌های کم‌مصرف‌تر، گرما را از توده آبی نزدیک مانند دریاچه یا چاه استخراج می‌کنند.
- انواع دیگری از پمپ‌های حرارتی نیز وجود دارند؛ مانند: پمپ‌های حرارتی هیبریدی[۲۷]، پمپ‌های حرارتی خورشیدی[۲۸]، پمپ‌های حرارتی هوای خروجی[۲۹]، پمپ‌های حرارتی آبشاری[۳۰].

❖ فناوری‌های پیشرفته پمپ حرارتی

امروزه نوآوری‌هایی عملکرد پمپ‌های حرارتی را بهبود می‌بخشد:

- کمپرسورهای دوسرعته[۳۱]: برخلاف کمپرسورهای استاندارد که فقط می‌توانند با ظرفیت کامل کار کنند، کمپرسورهای دوسرعته به پمپ‌های حرارتی این امکان را می‌دهند که نزدیک به ظرفیت گرمایش یا سرمایش موردنیاز در هر دمای بیرونی خاص کار کنند و با کاهش عملکرد روشن/خاموش و سایش کمپرسور در مصرف انرژی صرفه‌جویی کنند. پمپ‌های حرارتی دو سرعته نیز با سیستم‌های کنترل منطقه‌ای[۳۲] به‌خوبی کار می‌کنند. سیستم‌های کنترل منطقه‌ای، که اغلب در خانه‌های بزرگ‌تر یافت می‌شوند، از دمپرهای خودکار[۳۳] استفاده می‌کنند تا به پمپ حرارتی اجازه دهند اتاق‌های مختلف را در دماهای مختلف نگه دارد.

---

[23] Pressure Release
[24] Air-source heat pumps یا air-to-air heat pumps
[25] Geothermal heat pumps
[26] Water-source heat pumps
[27] Hybrid heat pumps
[28] Solar assisted heat pumps
[29] Exhaust air heat pumps
[30] Cascaded heat pumps
[31] Two-Speed Compressors
[32] Cascaded heat pumps
[33] Automatic dampers

- موتورهای با سرعت متغیر یا دو سرعته[۳۴]: برخی از مدل‌های پمپ‌های حرارتی مجهز به موتورهای با سرعت متغیر یا دو سرعته بر روی فن‌های داخلی (دمنده)، فن‌های خارجی یا هر دو هستند. کنترل سرعت متغیر برای این فن‌ها باعث می‌شود تا هوا را با سرعتی مناسب در حرکت نگه‌دارند و صرفه‌جویی در مصرف برق را به حداکثر برسانند. همچنین صدای دمنده که با سرعت کامل کار می‌کند را به حداقل می‌رسانند.
- دی‌سوپرهیتر[۳۵]: برخی از پمپ‌های حرارتی با راندمان بالا مجهز به دی سوپرهیتر هستند که گرمای هدررفته را از حالت خنک‌کننده پمپ حرارتی بازیابی می‌کند و از آن برای گرم کردن آب استفاده می‌کند. یک پمپ حرارتی مجهز به دی‌سوپرهیتر می‌تواند آب را ۲ تا ۳ برابر مؤثرتر از یک آبگرمکن برقی معمولی گرم کند.
- کمپرسور اسکرول[۳۶]: پیشرفت دیگر در فناوری پمپ حرارتی کمپرسور اسکرول است که از دو اسکرول مارپیچی شکل تشکیل شده است. یکی ثابت می‌ماند، درحالی‌که دیگری به دور آن می‌چرخد و مبرد را با فشار دادن آن به مناطق کوچک‌تر فشرده می‌کند. در مقایسه با کمپرسورهای پیستونی معمولی، کمپرسورهای اسکرول عمر طولانی‌تری دارند و صدای کمتری تولید می‌کنند. بر اساس برخی گزارش‌ها، پمپ‌های حرارتی با کمپرسورهای اسکرول، ۱۰ تا ۱۵ درجه فارنهایت (۵.۶ تا ۸.۳ درجه سانتی‌گراد) هوای گرم‌تری را در حالت گرمایش در مقایسه با پمپ‌های حرارتی موجود با کمپرسورهای پیستونی فراهم می‌کنند.
- سیستم‌های دوگانه‌سوز یا هیبریدی[۳۷]: اگرچه اکثر پمپ‌های حرارتی از هیترهای مقاومت الکتریکی[۳۸] به‌عنوان پشتیبان برای هوای سرد استفاده می‌کنند، اما پمپ‌های حرارتی را می‌توان در ترکیب با یک کوره گازی نیز برای تکمیل پمپ حرارتی مجهز کرد. این امر به حل مشکل پمپ حرارتی با کارایی کمتر در دماهای پایین کمک می‌کند و استفاده از برق را کاهش می‌دهد. این‌گونه سیستم‌ها یک سیستم دوگانه‌سوز یا هیبریدی نامیده می‌شوند.

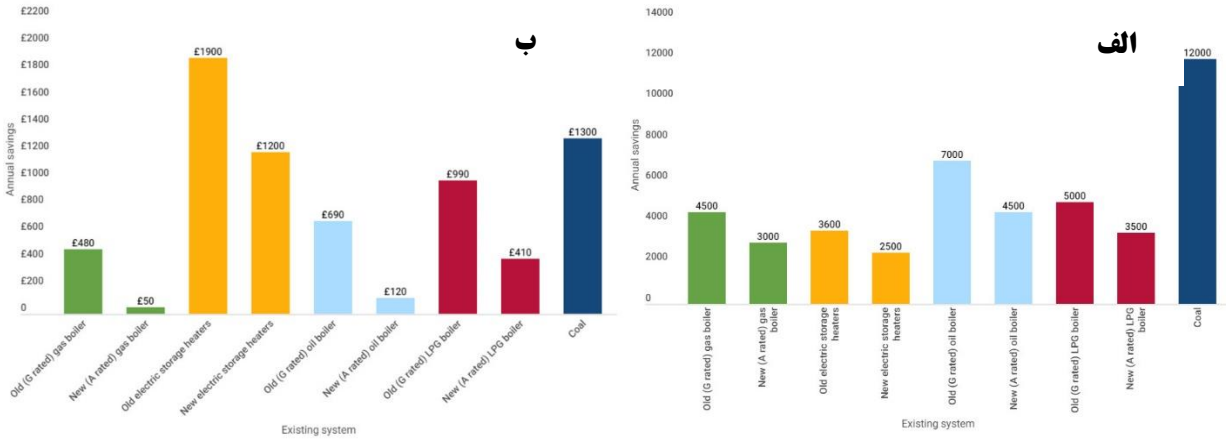
❖ مزایای پمپ‌های حرارتی

- بهره‌وری انرژی: پمپ‌های حرارتی، به‌ویژه در مناطق معتدل، می‌توانند از سیستم‌های گرمایش یا تهویه مطبوع الکتریکی مقاومتی سنتی بسیار کارآمدتر باشند.

[34] Variable-Speed or Dual-Speed Motors
[35] Desuperheater
[36] Scroll Compressor
[37] Dual-Fuel or Hybrid Systems
[38] Electric resistance heaters

- عملکرد دوگانه[۳۹]: یک واحد هر دو قابلیت گرمایش و سرمایش را فراهم می‌کند و در مقایسه با سیستم‌های گرمایش و سرمایش جداگانه، هزینه نصب و نگهداری را کاهش می‌دهد.
- سازگار با محیط‌زیست: پمپ‌های حرارتی نسبت به سیستم‌های سنتی برق کمتری مصرف می‌کنند که منجر به کاهش انتشار گازهای گلخانه‌ای می‌شود.

تصاویر زیر، میزان صرفه‌جویی در صورتحساب سوخت (پوند/سال) و همچنین صرفه‌جویی در میزان انتشار گاز گلخانه‌ای کربن‌دی‌اکسید (کیلوگرم در سال) را نشان می‌دهد. این صرفه‌جویی در هنگام جایگزینی سیستم گرمایشی موجود در یک خانه چهار خوابه معمولی با عایق‌کاری خوب با نصب پمپ حرارتی زمین‌گرمایی متوسط و ارتقاء رادیاتور در صورت لزوم، حاصل شده است.(منطقه مطالعاتی: انگلستان، اسکاتلند و ولز)



الف) صرفه‌جویی در میزان انتشار گازهای گلخانه‌ای کربن‌دی‌اکسید (کیلوگرم در سال). ب) میزان صرفه‌جویی در صورتحساب سوخت (پوند/سال).

❖ نحوه عملکرد پمپ‌های حرارتی زمین‌گرمایی

همانند سایر پمپ‌های حرارتی، پمپ‌های حرارتی زمین‌گرمایی نیز از یک چرخه تبرید برای انتقال گرما استفاده می‌کنند:

در زمستان (حالت گرمایش):

- برخلاف پمپ‌های حرارتی با منبع هوا، که از هوای بیرون گرما می‌گیرند، پمپ‌های حرارتی زمین‌گرمایی از دمای ثابت زیر زمین (معمولاً کمتر از ۱۰۰ متر) برای استخراج گرما استفاده می‌کنند.
- یک سیال مخصوص (مبرد) درون لوله‌هایی که به‌صورت افقی یا عمودی در زمین کار گذاشته‌شده‌اند، گردش می‌کند. این لوله‌ها از پلاستیک بادوام و مقاوم ساخته‌شده‌اند.
- مبرد گرما را از زمین با دمای ثابت جذب می‌کند. حتی در زمستان، دمای زمین در اعماق کم نسبتاً ثابت است.
- کمپرسور پمپ حرارتی، سیال سرد را فشرده می‌کند که باعث افزایش دما و انتقال گرما به داخل ساختمان می‌شود.

[39] Dual Functionality

- مبرد داغ در مبدل حرارتی داخلی، گرما را به سیستم گرمایش هوا یا آب ساختمان منتقل می‌کند. به‌این‌ترتیب گرمای منتقل‌شده از طریق یک سیستم توزیع‌کننده مانند فن کویل یا گرمایش از کف به فضاهای داخلی ساختمان منتقل می‌شود.

در تابستان (حالت سرمایش):

- در تابستان، فرآیند معکوس می‌شود. پمپ حرارتی گرما را از ساختمان گرفته و به سیال درون لوله‌ها منتقل می‌کند و سپس آن را به زمین منتقل می‌کند تا فضا خنک شود. این قابلیت در همه‌جا کاربرد ندارد و وابسته به نوع خاک و شرایط اقلیمی است.

❖ مزایای پمپ‌های حرارتی زمین‌گرمایی

- انرژی تجدیدپذیر: گرمای زمین یک منبع انرژی تجدیدپذیر است که به طور مداوم توسط هسته زمین تأمین می‌شود.
- بازده انرژی بالا: پمپ‌های حرارتی زمین‌گرمایی بسیار کارآمدتر از سیستم‌های گرمایش و سرمایش سنتی هستند و می‌توانند به میزان قابل‌توجهی در مصرف انرژی صرفه‌جویی کنند. این سیستم‌ها با استفاده از گرما با دمای ثابت زمین، بسیار کارآمدتر از سیستم‌های الکتریکی یا سوزاندن سوخت‌های فسیلی برای گرمایش عمل می‌کنند.
- هزینه‌های عملیاتی پایین: پس از نصب اولیه، هزینه‌های عملیاتی پمپ‌های حرارتی زمین‌گرمایی نسبتاً کم است زیرا از انرژی زمین با دمای ثابت استفاده می‌کنند.
- کاهش انتشار آلاینده‌ها: کاربرد انرژی زمین‌گرمایی انتشار گازهای گلخانه‌ای و سایر آلاینده‌های هوا را کاهش می‌دهد.
- سیستم بادوام و کم‌صدا: پمپ‌های حرارتی زمین‌گرمایی سیستم‌های بادوامی هستند که با حداقل صدا کار می‌کنند و برای مناطق مسکونی مناسب هستند.

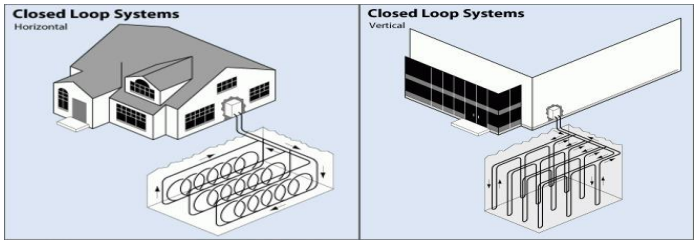
❖ انواع پمپ‌های حرارتی زمین‌گرمایی

دو نوع اصلی سیستم پمپ حرارتی زمین‌گرمایی وجود دارد که بر نحوه استخراج گرما از زمین تأثیر می‌گذارد:

- **سیستم‌های حلقه بسته**[40]

۱. در این نوع رایج، لوله‌های حاوی مبرد در یک حلقه بسته در زمین کار گذاشته می‌شوند. این لوله‌ها می‌توانند به‌صورت افقی (در ترانشه‌های کم‌عمق) یا عمودی (در چاه‌های حفرشده) نصب شوند.

[40] Closed-Loop Systems

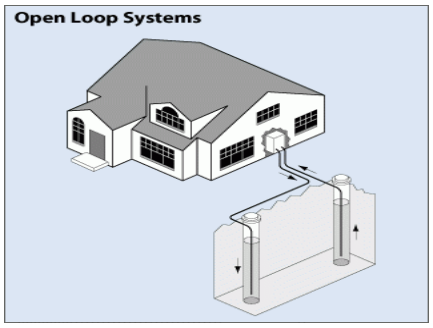


نصب افقی(تصویر چپ) و عمودی(تصویر راست) لوله‌های حاوی مبرد در پمپ حرارتی زمین‌گرمایی

۲. مبرد گرما را از زمین جذب کرده و توسط پمپ حرارتی فشرده می‌شود تا دما و قابلیت انتقال حرارت آن افزایش یابد.

۳. گرما به سیستم توزیع حرارت ساختمان منتقل می‌شود و درنهایت، مبرد خنک شده دوباره به حلقه بسته بازمی‌گردد تا چرخه تکرار شود.

- **سیستم‌های حلقه باز**[41]



سیستم حلقه باز در پمپ حرارتی زمین گرمایی

این نوع سیستم پمپ‌های حرارتی زمین‌گرمایی رواج کمتری دارند و مستلزم دسترسی به یک منبع آب زیرزمینی با دمای مناسب هستند.

۱. به‌منظور استفاده از چنین سیستمی، چاهی حفر می‌شود تا به آب زیرزمینی با دمای بالا دست یابد. آب گرم از طریق لوله‌هایی پمپاژ می‌شود و گرمای خود را به مبرد داخل مبدل حرارتی منتقل می‌کند.

۲. پس از انتقال گرما، آب زیرزمینی از طریق چاه دیگری به زمین تزریق می‌شود تا مانع آلودگی منابع آب زیرزمینی شود.

❖ مزایا و معایب سیستم‌های حلقه باز و بسته

سیستم‌های حلقه بسته:

- مزایا: نیاز به تعمیر و نگهداری کمی دارد، با اکثر مکان‌ها سازگار است و آلودگی آب زیرزمینی را به حداقل می‌رساند.
- معایب: هزینه اولیه نصب به دلیل حفر و لوله‌کشی گسترده ممکن است کمی زیاد باشد.

سیستم‌های حلقه باز:

- مزایا: بازده بیشتری در مقایسه سیستم‌های حلقه بسته دارد، چراکه به دمای بالاتر آب‌های زیرزمینی دسترسی دارد.
- معایب: نیاز به منبع آب زیرزمینی مناسب دارد که در هر جغرافیا در دسترس نیست. هم‌چنین مقررات زیست‌محیطی سختگیرانه‌ای برای اطمینان از مدیریت پایدار آب در احداث این سیستم‌ها وجود دارد. زیرا سیستم‌های حلقه باز، در صورت نشتی آلودگی آب‌های زیرزمینی را در پی دارند.

[41] Open-Loop Systems

❖ آینده پمپ‌های حرارتی زمین‌گرمایی

روندهای آینده پمپ‌های حرارتی زمین‌گرمایی عبارتند از:

- کاهش هزینه‌ها: نوآوری در فناوری حفاری و مواد اولیه به کاهش هزینه‌های نصب سیستم‌های پمپ‌های حرارتی زمین‌گرمایی کمک می‌کند و باعث افزایش نفوذ آن‌ها در بازار می‌شود.
- سیستم‌های ترکیبی: ترکیب پمپ‌های حرارتی زمین‌گرمایی با سایر فناوری‌های انرژی‌های تجدیدپذیر مانند انرژی خورشیدی، پتانسیل ایجاد سیستم‌های گرمایش و سرمایش بسیار کارآمد و با قابلیت اطمینان بالا را فراهم می‌کند.
- سیستم‌های پیشرفته: تحقیقات بر روی مبردهای جدید با کارایی بالاتر و سیستم‌های کنترل هوشمند در حال انجام است که منجر به بهبود عملکرد و قابلیت اطمینان پمپ‌های حرارتی زمین‌گرمایی می‌شود.
- سیستم‌های سایز کوچک: توسعه سیستم‌های پمپ‌های حرارتی زمین‌گرمایی با ابعاد کوچک‌تر، امکان استفاده از این فناوری را در پروژه‌های نوسازی ساختمان‌ها و اماکن با فضای محدود را فراهم می‌کند.
- حمایت‌های دولتی: بسیاری از کشورها با ارائه یارانه‌های مالی و مشوق‌های مالیاتی، از نصب سیستم‌های پمپ‌های حرارتی زمین‌گرمایی حمایت می‌کنند. این حمایت‌ها باعث افزایش تقاضا برای این فناوری می‌شود.
- کاربردهای گسترده‌تر: انتظار می‌رود استفاده از پمپ‌های حرارتی زمین‌گرمایی فراتر از ساختمان‌های مسکونی گسترش یابد و در بخش‌های تجاری و صنعتی نیز به کار گرفته شوند.

❖ چالش‌های پیش روی پمپ حرارتی زمین‌گرمایی

- محدودیت‌های جغرافیایی: مناسب بودن سیستم‌های پمپ حرارتی زمین‌گرمایی به شرایط زمین‌شناسی محل بستگی دارد. دسترسی به دمای زیرزمینی مناسب برای عملکرد مؤثر این سیستم‌ها ضروری است.
- هزینه اولیه بالا: هزینه اولیه نصب سیستم‌های پمپ حرارتی زمین‌گرمایی ممکن است از سیستم‌های گرمایشی و سرمایشی سنتی بالاتر باشد. اما با در نظر گرفتن صرفه‌جویی بلندمدت در مصرف انرژی، این هزینه قابل توجیه است.

با غلبه بر این چالش‌ها و با توجه به روندهای نوظهور، انتظار می‌رود پمپ‌های حرارتی زمین‌گرمایی به عنوان یک راه‌حل کلیدی در تأمین انرژی پاک و پایدار برای آینده‌ای با انتشار کربن کمتر، نقش مهمی ایفا کنند.

منبع:

- energy.gov - Geothermal Heat Pumps[42]
- energysavingtrust.org.uk - Ground source heat pumps[43]

[42] https://www.energy.gov/energysaver/geothermal-heat-pumps#:~:text=Geothermal%20heat%20pumps%20(GHPs)%2C,of%20the%20outside%20air%20temperature

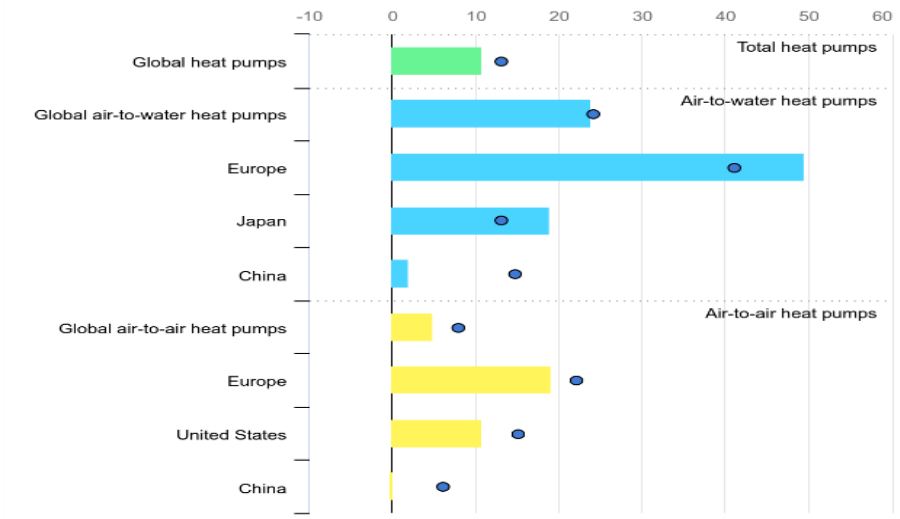
[43] https://energysavingtrust.org.uk/advice/ground-source-heat-pumps/?_gl=1*yo3rh8*_up*MQ..*_ga*MTM0MDQ0NTIzMC4xNzE2NjE5MjY2*_ga_GPY%E2%80%A6

تحولات راهبردی

رویکرد جهانی درخصوص پمپ‌های حرارتی از دیدگاه آژانس بین‌المللی انرژی

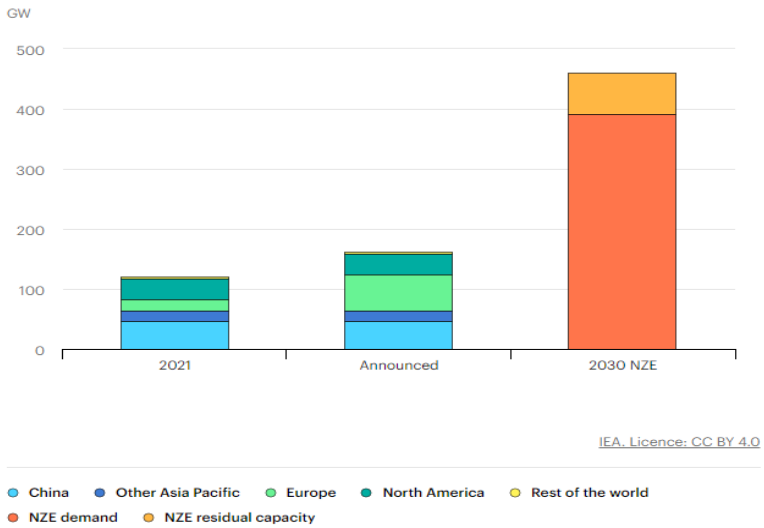
پمپ‌های حرارتی به‌طور فزاینده‌ای به‌عنوان یک فناوری حیاتی برای کربن‌زدایی گرما شناخته می‌شوند و در سال‌های گذشته از حمایت‌های سیاستی فزاینده‌ای در چندین کشور برخوردار شده‌اند. آژانس بین‌المللی انرژی تخمین می‌زند که پمپ‌های حرارتی در سطح جهان پتانسیل کاهش انتشار کربن‌دی‌اکسید جهانی را به میزان حداقل ۵۰۰ میلیون تن در سال ۲۰۳۰ دارند که برابر با انتشار سالانه دی‌اکسید کربن تمام خودروهای امروزی در اروپا است.

یک پمپ حرارتی از فناوری مشابهی که در یخچال یا تهویه مطبوع به کار گرفته می‌شود، استفاده می‌کند؛ اما به طور برعکس، گرما را از یک منبع استخراج می‌کند، سپس گرما را تقویت می‌کند و به جایی که نیاز است، منتقل می‌کند. مدل‌های فعلی ۳ تا ۵ برابر بیشتر از دیگ‌های گاز کارآمد هستند و فروش پمپ‌های حرارتی جهانی در چند سال گذشته رشد دورقمی داشته است. پمپ‌های حرارتی به‌طور فزاینده‌ای به‌عنوان یک فناوری حیاتی برای کربن‌زدایی گرما شناخته می‌شوند و در سال‌های گذشته در چندین کشور از حمایت سیاست‌گذاری متمرکز برخوردار شده‌اند. در سال ۲۰۲۲ رشد بی‌سابقه‌ای در فروش پمپ حرارتی در اروپا و ایالات‌متحده به ثبت رسید و سال ۲۰۲۳ نیز از رشد این فناوری خبر داد؛ به‌عنوان‌مثال آلمان و سوئد به ترتیب شاهد رشد بیش از ۱۰۰ و ۲۰ درصدی بودند.



رشد سالانه فروش پمپ‌های گرمایشی در ساختمان‌ها در سراسر جهان و در بازارهای انتخابی، ۲۰۲۱ و ۲۰۲۲.

با این حال، پمپ‌های حرارتی هنوز تنها حدود ۱۰ درصد از نیاز جهانی گرمایش در ساختمان‌ها را برآورده می‌کنند. برای دستیابی به سناریوی انتشار خالص صفر تا سال ۲۰۵۰، پمپ حرارتی جهانی باید تا سال ۲۰۳۰ تقریباً سه برابر شود تا حداقل ۲۰ درصد از نیازهای گرمایش جهانی را پوشش دهد. حمایت بیشتر در سیاست‌گذاری و نوآوری فنی نیز موردنیاز است، تا اهداف کاهش هزینه‌های اولیه و حذف موانع بازار برای نوسازی، بهبود عملکرد، توسعه بیشتر محصولات و سیستم‌های مبرد با اثرات آب و هوایی و محیطی کمتر محقق گردد.



ظرفیت تولید پمپ حرارتی بر اساس کشور یا منطقه بر اساس پروژه‌های اعلام‌شده و در سناریوی خالص صفر

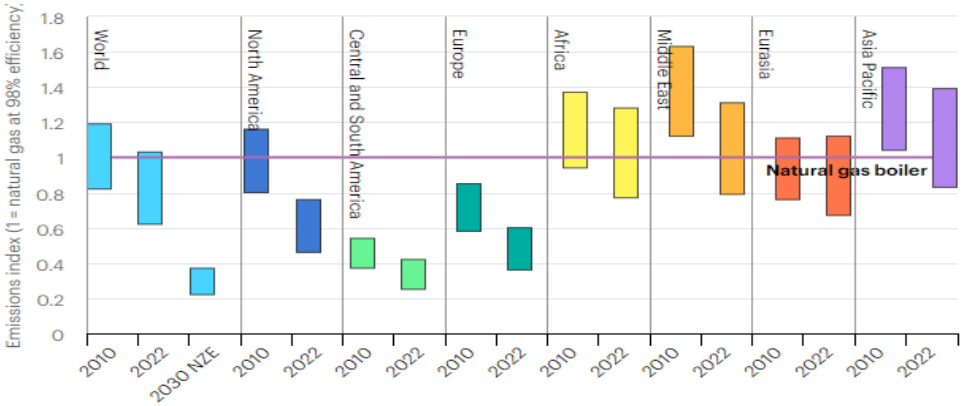
❖ نکات برجسته کشوری و منطقه‌ای

پمپ‌های حرارتی در بسیاری از کشورها، به‌ویژه در اروپا، شاهد رشد قوی بوده‌اند.کشورها و مناطقی که پیشرفت قابل‌توجهی در پیشرفت پمپ‌های حرارتی دارند عبارت‌اند از:

- در اروپا، پمپ‌های حرارتی در سال ۲۰۲۲ رکوردی را تجربه کردند و فروش آن‌ها نزدیک به ۴۰ درصد رشد کرد. فروش واحدهای هوا به آب تقریباً ۵۰ درصد افزایش یافت. در برخی از بازارها، مانند لهستان، فروش بیش از ۱۰۰ درصد رشد کرد که ناشی از سیاست‌های بلندپروازانه و طرح‌های حمایتی بود.
- فروش پمپ حرارتی هوا به هوا به طور تقریبی ۱۱٪ در سال ۲۰۲۲ در ایالات‌متحده افزایش یافت و پس از سال‌ها رشد تقریباً مساوی، از فروش بویلرهای گازی پیشی گرفت.
- واحدهای هوا به آب در سال ۲۰۲۲ در ژاپن ۱۹ درصد رشد داشت که عمدتاً توسط پمپ‌های حرارتی آب‌گرمکن بوده است.
- در سال ۲۰۲۲، فرانسه سطوح یارانه‌ها را افزایش داد و به دنبال آن ایالات‌متحده، ایرلند و اتریش در اوایل سال ۲۰۲۳، استقرار پمپ حرارتی پایدار را پایه‌گذاری کردند.

❖ انتشار گاز کربن‌دی‌اکسید

با استفاده از پمپ‌های حرارتی به‌جای بویلرهای گازی[۴۴]، می‌توان اکثر تقاضای فعلی گرمایش آب و فضا را با انتشار کمتر کربن‌دی‌اکسید برآورده کرد.



میزان انتشار کربن‌دی‌اکسید نسبی از عملکرد پمپ‌های حرارتی هوا نسبت به بویلرهای گازی چگالشی[۴۵] بر حسب منطقه در سناریوی صفر، ۲۰۳۰–۲۰۱۰

[44] Gas Boilers
[45] condensing gas boilers

کاهش سریع انتشار گازهای گلخانه‌ای ناشی از تأمین برق و افزایش کارایی فناوری در سناریوی انتشار خالص صفر به این معنی است که در همه مناطق، پمپ‌های حرارتی قبل از سال ۲۰۲۵ انتشار کربن‌دی‌اکسید کمتری نسبت به بویلرهای گازی چگالشی با سوخت گاز طبیعی ثبت می‌کنند. تعمیر و نگهداری تخصصی، بازیافت و استفاده از مبردهای جایگزین می‌تواند به میزان قابل‌توجهی انتشار گازهای گلخانه‌ای ناشی از نشت مبرد را کاهش دهد.

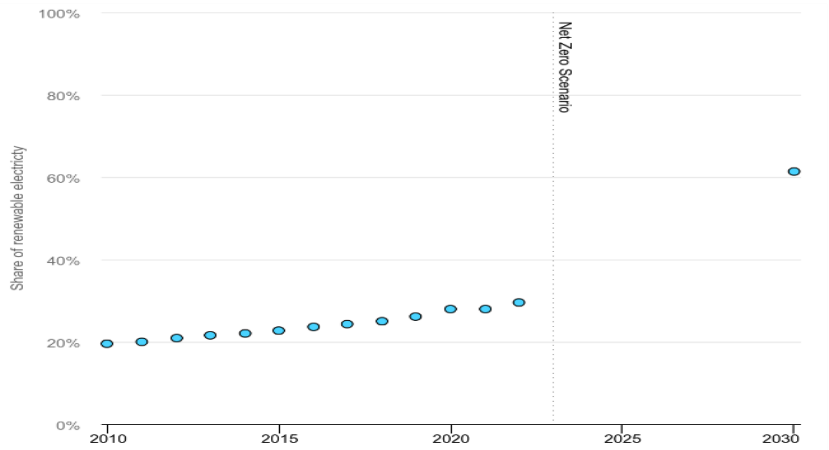
در ارتباط با بهره‌گیری از پمپ‌های حرارتی، خطر انتشار تصادفی مبردها در حین ساخت، استفاده یا توقف وجود دارد. در حال حاضر، بیشتر پمپ‌های حرارتی از هیدروفلوئوروکربن[۴۶] به‌عنوان مبرد استفاده می‌کنند. هیدروفلوئوروکربن‌ها عمر کوتاهی در اتمسفر دارند، اما پتانسیل گرمایش جهانی بالایی دارند. هیدروفلوئوروکربن حدود ۲.۵ درصد از انتشار گازهای گلخانه‌ای جهانی در سال ۲۰۱۹ را به خود اختصاص داد. اگر تغییراتی در استفاده از مبردها صورت نگیرد، پمپ حرارتی جهانی در سناریوی انتشار خالص صفر در سال ۲۰۳۰ تقریباً اثری معادل ۷۴۰ میلیون تن کربن‌دی‌اکسید ناشی از هیدروفلوئوروکربن در پی خواهد داشت. این مقدار بیشتر از انتشار مستقیم فعلی در تمام ساختمان‌های چین است؛ اما به دلیل عمر کوتاه در جو، تأثیر اقلیمی کوتاه‌مدتی دارد. البته عملکرد کارآمد در تعمیر و نگهداری و بازیافت، در سطح جهان، می‌تواند از انتشار حدود یک‌سوم این هیدروفلوئوروکربن‌ها جلوگیری کند؛ اما این تخمین بسته به منطقه جغرافیایی و مدل پمپ حرارتی بسیار متفاوت است. مبردهای نسل جدید هیدروفلوئوروکربن دارای پتانسیل گرمایش جهانی کمتری نسبت به هیدروفلوئوروکربن‌های معمولی هستند، اما همچنان قوی‌تر از هیدروکربن‌ها یا هیدروفلورولفین‌ها[۴۷] هستند که جایگزین‌های احتمالی برای هیدروفلوئوروکربن‌ها در نظر گرفته می‌شوند. با این حال، هیدروکربن‌ها نیاز به اقدامات احتیاطی ایمنی بیشتری برای اشتعال‌پذیری دارند و هیدروفلورولفین‌ها به تحقیقات بیشتر در زمینه سمی‌بودن و تجزیه در اتمسفر نیاز دارند.

❖ انرژی

بر اساس سناریوی انتشار خالص صفر، خروجی حرارت از پمپ‌های حرارتی تا سال ۲۰۳۰ حداقل دو برابر افزایش می‌یابد. در سال ۲۰۲۲، پمپ‌های حرارتی حدود ۱۰ درصد از نیاز جهانی به گرمایش در ساختمان‌ها را برآورده کردند. این میزان، تقریباً نیمی از آنچه در انتشار خالص صفر تا سال ۲۰۳۰ موردنیاز است را شامل می‌شود.

[46] Hydrofluorocarbon(HFC)
[47] Hydrofluorolefins(HFO)
HFO ها نوعی مبرد هستند که به عنوان جایگزینی برای HFC ها (هیدروفلوئوروکربن‌ها) که پتانسیل گرمایش جهانی بالایی دارند، استفاده می‌شود. HFO ها تأثیرات زیست‌محیطی کمتری دارند و در صنایع مختلف به دلیل کاهش تأثیرشان بر تغییرات آب‌وهوا مورد استفاده قرار می‌گیرند.

در برخی از بازارها مانند ژاپن و اتحادیه اروپا و تا حدودی کره جنوبی، گرمای تامین‌شده از پمپ‌های حرارتی به‌عنوان انرژی تجدیدپذیر در نظر گرفته می‌شود و این امر باعث می‌شود که برای حمایت تحت برخی طرح‌های سیاست انرژی تجدیدپذیر واجد شرایط باشند. در سال ۲۰۲۲ چین نیز پمپ‌های حرارتی را به‌عنوان یک فناوری انرژی تجدیدپذیر در سطح ملی به رسمیت شناخت.

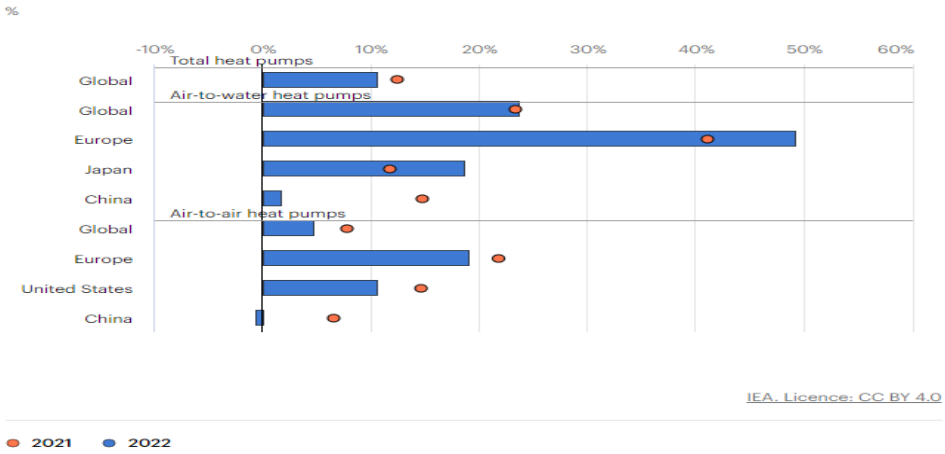


سهم برق تجدیدپذیر در مصرف پمپ حرارتی در سرمایش فضاهای ساختمانی در سناریوی انتشار صفر خالص، ۲۰۱۰–۲۰۳۰

❖ استقرار فناوری

فروش پمپ حرارتی در سال ۲۰۲۲ بیش از ۱۱ درصد در سطح جهان افزایش یافت. در اروپا که بزرگ‌ترین بازارها فرانسه، آلمان و ایتالیا هستند، فروش سالانه حدود ۴۰ درصد رشد کرد و به تقریباً ۳ میلیون دستگاه رسید. در ایالات‌متحده، فروش واحدهای هوا به هوا نسبت به سال قبل ۱۱ درصد رشد داشته است. در چین در سال ۲۰۲۲ با وجود کاهش نرخ رشد فروش، بیش از هر کشور دیگری پمپ حرارتی فروخته شد. پمپ‌های حرارتی هوا به آب که عمدتاً برای گرمایش فضا استفاده می‌شوند و بخش کوچکی از بازار چین را تشکیل می‌دهند، اما در سال ۲۰۲۲ بیش از ۲۰ درصد رشد داشته‌اند. حدود ۴۰ درصد از کل پمپ‌های حرارتی در چین تولید می‌شوند و همین امر، این کشور را به بزرگ‌ترین تولیدکننده و صادرکننده این فناوری تبدیل می‌کند که بیشتر صادرات آن به اروپا است.

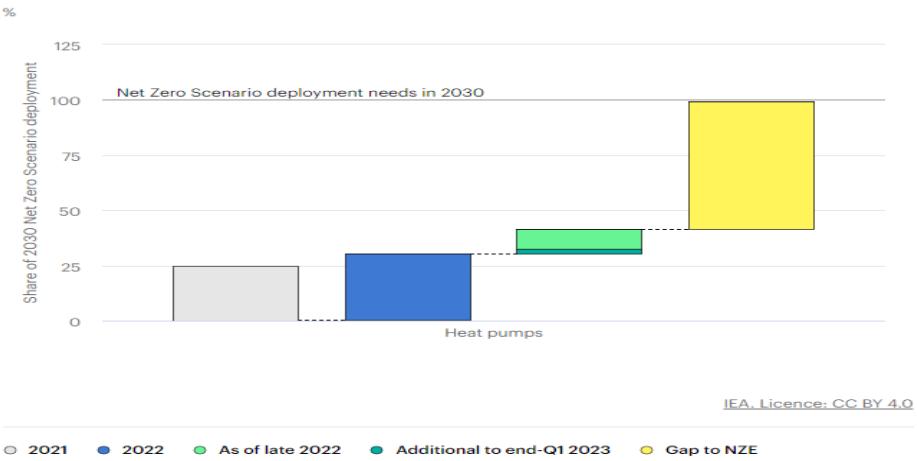
در ژاپن، فروش پمپ‌های حرارتی هوا به هوا تا حد زیادی در سال ۲۰۲۲ ثابت بود، زیرا بیشتر واحدهای فروخته‌شده جایگزین تأسیسات موجود بودند، که معمولاً یک‌سوم کمتر از مدل‌های جدید کارآمد هستند، اما واحدهای هوا به آب (پمپ حرارتی آب‌گرمکن)، ۱۹ درصد رشد کرد. علیرغم روندهای امیدوارکننده بازار، فروش جهانی باید بیش از ۱۵ درصد در سال در دهه پیش‌رو افزایش یابد تا با سناریوی انتشار خالص صفر هماهنگ شود.



رشد سالانه فروش پمپ‌های حرارتی در ساختمان‌ها در سراسر جهان و در بازارهای انتخابی، ۲۰۲۱–۲۰۲۲

❖ تولید فناوری

در سال ۲۰۲۲ و اوایل سال ۲۰۲۳، برخی از تولیدکنندگان بزرگ، عمدتاً در اروپا، برنامه‌های توسعه‌ای را اعلام کردند که در صورت تحقق کامل، ظرفیت تولید جهانی را بیش از یک‌سوم افزایش می‌دهد. برای تحقق سناریوی انتشار خالص صفر، ضروری است که ظرفیت تولید جهانی برق تا سال ۲۰۳۰ به طور چشمگیری افزایش یابد و تقریباً به چهار برابر سطح فعلی خود برسد. با این حال، تأسیسات تولیدی می‌توانند نسبتاً سریع (یک تا سه سال) مستقر شوند و پروژه‌های توسعه نیز به طور گسترده اعلام‌نشده‌اند. بنابراین، گسترش تا سال ۲۰۳۰ احتمالاً بسیار بیشتر از آنچه در حال حاضر اعلام شده است، خواهد بود. به نظر می‌رسد موانع دیگر، مانند کمبود نیروهای متخصص نصاب، اولویت‌های مهم‌تری برای تقویت احداث و نصب پمپ حرارتی باشند.



ظرفیت تولید پمپ حرارتی بر اساس پروژه‌های اعلام شده در سناریوی صفر خالص، ۲۰۲۱–۲۰۳۰

❖ نوآوری

نوآوری برای احداث و نصب پمپ حرارتی در بخش‌های چالش‌برانگیز بازار، کلیدی است. تداوم تحقیق و توسعه فناوری‌های پمپ حرارتی کلید تسریع در احداث و نصب آن‌ها است. حوزه‌های اصلی نوآوری در حال انجام عبارت‌اند از:

- سیستم‌های پمپ حرارتی پیشرفته برای استفاده در آب‌وهوای بسیار سرد، مجتمع‌های مسکونی، ساختمان‌های بزرگ غیر خانگی، سیستم‌های حرارتی با دمای بالا تا بسیار بالا و ساختمان‌های موجود به‌طورکلی، و همچنین راه‌حل‌هایی برای اشغال فضای کمتر و فشرده‌تر.
- راه‌حل‌های سیستم‌گرا مانند طراحی الگوریتم برای بهینه‌سازی مصرف انرژی کل ساختمان/منطقه، کنترل‌های فعال یکپارچه، ادغام با ذخیره‌سازی انرژی و شبکه‌های حرارتی، ادغام در محل با فتوولتائیک خورشیدی و حرارت خورشیدی.
- مبردهای سازگار با آب‌وهوا با پتانسیل گرمایش جهانی بسیار کم یا صفر.
- بهبود آکوستیک و زیبایی‌شناسی برای افزایش مقبولیت و گسترش پتانسیل نصب.
- تکنیک‌های مبتکرانه منبع گرما برای کاهش هزینه راه‌حل‌های زمین‌گرمایی مانند چاه‌های انحرافی[۴۸] یا استفاده از گرمای دریاچه‌ها، رودخانه‌ها و سیستم‌های فاضلاب.
- راهکارهای پمپ حرارتی که گرمای تلف‌شده را از تهویه ساختمان یا فاضلاب بازیابی می‌کنند.

طیف وسیعی از جوایز فناوری به شناخت نوآوری‌های پمپ حرارتی و افزایش احداث و نصب آن‌ها کمک می‌کند. به‌عنوان‌مثال می‌توان به جایزه پمپ حرارتی بین‌المللی پیتر ریتر فون ریتینگر[۴۹]، جایزه پمپ حرارتی EHPA[50] در اروپا و چالش پمپ حرارتی آب‌وهوای سرد مسکونی[۵۱] در آمریکای شمالی اشاره کرد.

❖ زیرساخت‌های حمایتی

گسترش سریع استفاده از پمپ‌های حرارتی نیازمند ارتقا زیرساخت‌های پشتیبانی است. به کارگیری سیستم‌های کنترل خودکار، پمپ‌های حرارتی را به یک عنصر ارزشمند و قابل کنترل در شبکه برق تبدیل می‌کند.

هنگامی‌که پمپ‌های حرارتی در ساختمان‌های موجود با سیستم‌های توزیع حرارت هیدرونیک[۵۲] نصب می‌شوند، ممکن است رادیاتورها در برخی موارد نیاز به تعویض داشته باشند تا واحدها در دماهای پایین‌تر کار کنند و در نتیجه از بهره‌وری

---

[48] Deviated wells

چاه‌های انحرافی چاه‌های نفت یا گازی هستند که عمداً در زاویه‌ای از قائم حفر می‌شوند تا به هدفی خاص برسند. این تکنیک معمولاً برای دسترسی به مخازنی که ممکن است دسترسی به آن‌ها با چاه‌های عمودی دشوار باشد یا برای افزایش بهره‌وری کلی چاه استفاده می‌شود.

[49] Peter Ritter von Rittinger International Heat Pump Award

[50] EHPA Heat Pump Award

[51] Residential Cold Climate Heat Pump Challenge

[52] Hydronic heat distribution systems

بیشتر بهره‌مند شوند. هزینه‌های بهبود و نوسازی می‌توانند تا یک‌سوم کل هزینه نصب یک پمپ گرمایشی را تشکیل دهند. دمای پایین‌تر سیستم هیدرونیک را نیز می‌توان با عایق‌سازی اضافی ساختمان‌های موجود به دست آورد و در نتیجه راه را برای بازده بالاتر پمپ حرارتی هموار کرد. بنابراین، مشوق‌های مالی باید به ارتقای سیستم‌های توزیع گرما و ساختمان از طریق بسته‌های نوسازی و بهینه‌سازی بپردازد تا امکان استقرار پمپ حرارتی در ساختمان‌های موجود فراهم شود.

پاسخگویی به افزایش تقاضای برق ناشی از احداث و نصب سریع پمپ‌های حرارتی نیز نیازمند سرمایه‌گذاری برای ارتقای شبکه‌های توزیع، ظرفیت تولید و انعطاف‌پذیری است. پمپ‌های حرارتی به همراه ذخیره‌سازی انرژی و سیستم‌های کنترل فعال، قادر به تعدیل نوسانات تولید برق تجدیدپذیر (مانند باد و خورشید) با توجه به سهم فزاینده آن‌ها در شبکه‌های برق هستند. این فناوری‌ها به عنوان یک راه‌حل منحصر به فرد، انعطاف‌پذیری شبکه را در برابر سیگنال‌های خارجی و قیمت‌ها ارتقا می‌بخشند. اگرچه تعدادی از پروژه‌های آزمایشی با موفقیت، کنترل تقاضای بار ساعات پیک را با پاداش دادن به مشتریان برای سهمشان در کاهش بار نشان داده‌اند.

❖ خط‌مشی

سیاست حمایتی از پمپ‌های حرارتی به‌سرعت در حال افزایش است تا مطالبه‌های کربن‌زدایی و امنیت انرژی برآورده شود. طیفی از سیاست‌ها اخیراً برای تسریع احداث و نصب پمپ‌های حرارتی، به‌ویژه در اروپا و آمریکای شمالی با توجه به قیمت بالای گاز طبیعی در نتیجه جنگ روسیه و اوکراین و تلاش‌ها برای کاهش انتشار گازهای گلخانه‌ای، معرفی یا تقویت‌شده‌اند. ابزارهای کلیدی سیاست عبارت‌اند از:

- اهداف احداث و نصب پمپ حرارتی برای تضمین صنعت: برخی از کشورهای عضو اتحادیه اروپا و همچنین بریتانیا، اهداف بلندپروازانه احداث و نصب تا سال ۲۰۳۰ را اعلام کرده‌اند.
- مشوق‌های مالی برای کاهش هزینه‌های اولیه: کمک‌های بلاعوض، مالیات بر درآمد یا تخفیف مالیات بر ارزش‌افزوده و وام‌های کم‌بهره در حال حاضر در بیش از ۳۰ کشور در سراسر جهان در دسترس هستند. درمجموع، این کشورها بیش از ۷۰ درصد از تقاضای گرمایش جهانی برای ساختمان‌ها را تشکیل می‌دهند.
- اصلاح مالیات بر انرژی و تعرفه‌های پمپ‌های حرارتی برای تشویق به تغییر سوخت فسیلی و افزایش انعطاف‌پذیری: برخی از شرکت‌ها برای مصرف‌کنندگان دارای گرمایش الکتریکی، برق با اندازه‌گیری ویژه یا نرخ‌های ویژه ارائه

سیستم‌های توزیع حرارت هیدرونیک، سیستم‌های گرمایشی هستند که از آب به‌عنوان واسطه انتقال حرارت برای توزیع گرما در سراسر ساختمان استفاده می‌کنند. آب در دیگ بخار گرم می‌شود و سپس از طریق لوله‌ها به رادیاتورها، بخاری‌های قرنیز یا سیستم‌های گرمایش از کف برای تأمین گرما منتقل می‌شود. این نوع سیستم به دلیل کارایی، توزیع یکنواخت گرما و قابلیت پهنه‌بندی آسان برای مناطق مختلف ساختمان مفید شناخته شده است.

می‌دهند، مانند آلمان، که در آن نرخ‌های ویژه هزینه‌های عملیاتی را به طور متوسط ۲۰ درصد کاهش می‌دهند. دولت هلند قصد دارد تا سال ۲۰۲۶ مالیات گاز طبیعی را تا ۴۳ درصد افزایش دهد و درعین‌حال مالیات سوخت‌های گرمایشی پاک را کاهش دهد.

- استانداردها و برچسب‌ها برای احداث و نصب پمپ‌های حرارتی کارآمد: بیش از ۴۵ کشور طرح‌های برچسب‌گذاری اجباری را معرفی کرده‌اند و از استانداردهای اجباری برای اطمینان از حداقل سطوح عملکرد، استفاده می‌کنند. در ایالات‌متحده، پمپ‌های حرارتی جدید باید از سال ۲۰۲۳ الزامات کارایی دقیق‌تری را برآورده کنند.
- ممنوعیت نصب فناوری سوخت‌های فسیلی برای تشویق جایگزین‌های گرمایش پاک: این قانون، در بیش از ۲۰ کشور در سطح ملی یا داخلی اجرا یا اعلام شده است. در سال ۲۰۲۳، ممنوعیت‌های جدیدی در اتریش و اسلوونی اعمال شد. تقریباً ۹۰ دولت محلی در ایالات‌متحده نیازمند این هستند که خانه‌های جدیدشان فقط از برق برای گرمایش فضا و آب و استفاده‌های دیگر تغذیه شوند.

❖ استراتژی‌های بخش خصوصی

تولیدکنندگان میلیاردها دلار برای توسعه ظرفیت تولید پمپ‌های حرارتی سرمایه‌گذاری می‌کنند. از نوامبر ۲۰۲۲، سازندگان بیش از ۴ میلیارد دلار برای افزایش ظرفیت تولید پمپ‌های حرارتی، اجزای آن‌ها و تلاش‌های مرتبط را که عمدتاً در اروپا متمرکزشده‌اند، اعلام کرده بودند. افزایش ظرفیت تولید تا سال ۲۰۳۰ به سطحی که برای آن سال در سناریوی انتشار خالص صفر مشخص شده است، به سرمایه‌گذاری اضافی ۱۵ میلیارد دلاری در سطح جهان نیاز دارد. انتظار می‌رود که اعلامیه‌های تولید بیشتر، با انگیزه‌های جدید برای مصرف‌کنندگان و حمایت مستقیم از تولیدکنندگان در ایالات‌متحده و اتحادیه اروپا انجام شود. تعداد فزاینده‌ای از تولیدکنندگان نیز برنامه‌های آموزشی نصب را برای رفع کمبود نصاب این سیستم‌ها ارائه می‌دهند.

منبع: iea.org - Heat Pumps[53]

[53] https://www.iea.org/energy-system/buildings/heat-pumps

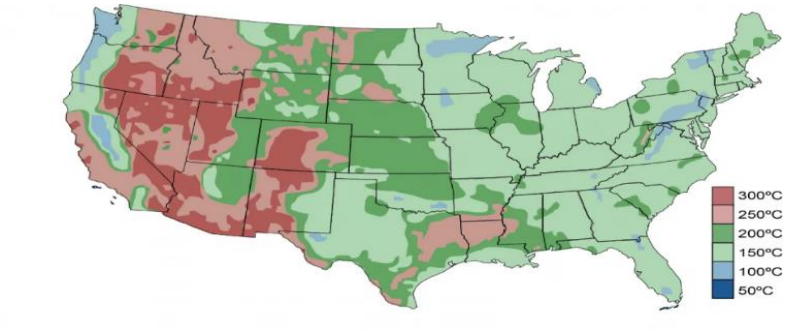
تحولات راهبردی

منابع و پتانسیل زمین‌گرمایی آمریکا

انرژی زمین‌گرمایی یک منبع انرژی تجدیدپذیر است که در سال‌های اخیر در ایالات‌متحده بیشتر موردتوجه قرار گرفته است. انرژی زمین‌گرمایی در حال حاضر ۰.۴ درصد از تولید برق در ایالات‌متحده را تشکیل می‌دهد. در سال ۲۰۲۰، ایالات‌متحده بیشترین برق زمین‌گرمایی را در جهان تولید کرد. میزان تولید برق زمین‌گرمایی در این کشور ۱۸۸۳۱ گیگاوات ساعت بوده است. طبق گفته وزارت انرژی ایالات‌متحده، ممکن است بیش از ۱۰۰ گیگاوات ظرفیت الکتریکی زمین‌گرمایی در قاره آمریکا وجود داشته باشد که تقریباً ۱۰ درصد ظرفیت برق فعلی ایالات‌متحده و ۴۰ برابر ظرفیت زمین‌گرمایی نصب‌شده فعلی است. ایالت‌های غربی مانند کالیفرنیا، نوادا، یوتا و اورگان بیشترین پتانسیل را برای توسعه زمین‌گرمایی دارند .ایالات‌متحده از کمتر از ۰.۷ درصد از منابع برق زمین‌گرمایی جهان برخوردار است. اکثریت این منابع می‌توانند با فناوری سیستم زمین‌گرمایی پیشرفته[54] مورد بهره‌برداری قرار گیرند. ۳۶۹۲ مگاوات نیروگاه برق زمین‌گرمایی در ایالات‌متحده در سال ۲۰۲۱، در حال کار بود که بیشترین میزان در میان تمام کشورها بوده است. توسعه در این کشور با نرخ رشد ۳ درصد در سال مشاهده شده است. پیش‌بینی می‌شود که برق تولیدشده از نیروگاه‌های زمین‌گرمایی از ۱۷ میلیارد کیلووات ساعت در سال ۲۰۲۲ به ۳۷.۲ میلیارد کیلووات ساعت در سال ۲۰۵۰ افزایش یابد.

ایالات‌متحده، اندونزی، فیلیپین، ترکیه، نیوزلند و مکزیک ۷۴ درصد از ظرفیت جهانی نیروگاه زمین‌گرمایی نصب‌شده در سال ۲۰۲۲ را به خود اختصاص دادند. در سال ۲۰۲۱، کالیفرنیا و نوادا با ۹۵ درصد ظرفیت ایالات‌متحده، بیشترین ظرفیت نصب‌شده انرژی زمین‌گرمایی را داشتند.

[54] Enhanced Geothermal System technology



منابع زمین‌گرمایی ایالات‌متحده در عمق ۱۰ کیلومتری

❖ نصب، ساخت و هزینه

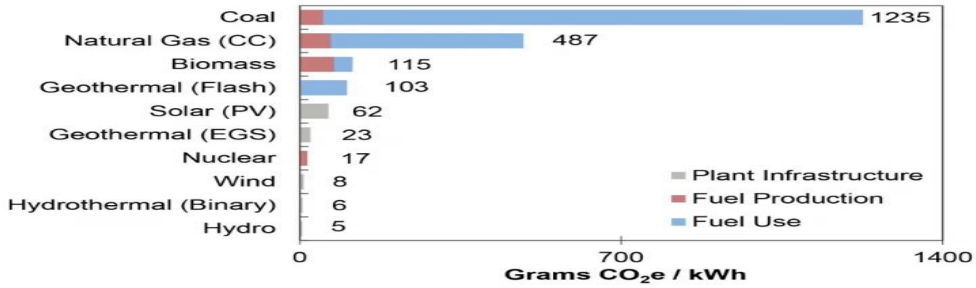
مراحل اصلی توسعه انرژی زمین‌گرمایی عبارت‌اند از اکتشاف منابع، حفاری، توسعه مخزن/نیروگاه، و تولید برق. هزینه‌های سرمایه‌ای برای نیروگاه‌های زمین‌گرمایی معمولی در ایالات‌متحده تقریباً ۲۵۰۰ دلار به ازای هر کیلووات ظرفیت نصب شده است. اگرچه توسعه انرژی زمین‌گرمایی مستلزم سرمایه‌گذاری زیادی است، اما زمین‌گرمایی دارای هزینه‌های عملیاتی پایین و ضریب ظرفیت بیش از ۹۰ درصد است (نسبت تولید برق واقعی به پتانسیل تولید). در سال ۲۰۱۶، برق زمین‌گرمایی بین ۷.۸–۲۲.۵سنت در هر کیلووات ساعت هزینه داشت. از ماه مه ۲۰۲۰، نیروگاه‌های زمین‌گرمایی واجد شرایط اعتبار مالیات بر تولید[55] فدرال شدند. در سال ۲۰۲۲، قانون کاهش تورم، اعتبار مالیات بر تولید را تمدید و گسترش داد تا هزینه برق تولیدشده از منابع زمین‌گرمایی به ۲.۶سنت در هر کیلووات ساعت کاهش یابد.

❖ عملکرد انرژی و اثرات زیست‌محیطی

- یک نیروگاه زغال‌سنگ در ایالات‌متحده تقریباً ۳۵ برابر بیشتر از یک نیروگاه زمین‌گرمایی در هر کیلووات ساعت برق تولیدشده، کربن‌دی‌اکسید منتشر می کند.
- نیروگاه های سیکل باینری[56] و نیروگاه های فلش[57] به ترتیب حدود ۰.۲۴–۴.۲۱ گالن و ۱.۵۹–۲.۸۴ گالن آب در هر کیلووات ساعت مصرف می کنند. نیروگاه های ترموالکتریک در سال ۲۰۱۵، ۱۵ گالن آب در هر کیلووات ساعت مصرف می‌کردند.
- هر ساله برق زمین گرمایی ایالات متحده انتشار ۲۲ میلیون متریک تن کربن‌دی‌اکسید، ۲۰۰ هزار متریک تن اکسید نیتروژن و ۱۱۰ هزار تن ذرات معلق از نیروگاه‌های زغال‌سنگ را جبران می‌کند.

[55] Production Tax Credit (PTC)
[56] Binary cycle power plants
[57] Flash power plants

- دپارتمان انرژی ایالات‌متحده به طور فعال تحقیقاتی را برای ترکیب فناوری جذب و ذخیره کربن[58] با تولید انرژی زمین‌گرمایی تأمین می‌کند. البته خطرات ترسیب کربن[59] طولانی‌مدت و با حجم زیاد هم‌چنان وجوه نامشخصی دارد.
- برخی از تأسیسات زمین‌گرمایی زباله‌های جامد تولید می‌کنند که باید در مکان‌های تائید شده دفع شوند. برخی از محصولات جانبی را نیز می‌توان بازیافت کرد.



انتشار گازهای گلخانه‌ای از تولید برق بر اساس مرحله چرخه حیات

❖ راهکارها و اقدامات پایدار، فرصت‌های تأمین مالی

- در سال ۲۰۱۹، ۱۶ آزمایشگاه ملی و مؤسسه تحقیقاتی در ایالات‌متحده وجود داشت که در زمینه فناوری‌های انرژی زمین‌گرمایی تحقیق می‌کردند.
- با ضریب ظرفیت بیش از ۹۰ درصد، تولید برق زمین‌گرمایی می‌تواند منابعی مانند زغال‌سنگ، گاز طبیعی یا انرژی هسته‌ای را به عنوان تأمین بار پایه در بازار برق پوشش دهد.
- اعتبار مالیاتی فدرال برای صاحبان خانه می‌تواند تا ۳۰٪ از هزینه‌های سیستم پمپ حرارتی زمین‌گرمایی باکیفیت را بسته به تاریخ ساخت از ۲۰۰۶ تا ۲۰۳۴، پوشش دهد. حدود ۸۵۰ شرکت آب و برق در ایالات‌متحده به مصرف‌کنندگان این گزینه را برای خرید انرژی‌های تجدیدپذیر یا برق سبز ارائه می‌دهند.

منبع:

- Center for Sustainable Systems, University of Michigan. 2023. "Geothermal Energy Factsheet." Pub. No. CSS10-10[60].

[58] Carbon Capture and Storage

[59] Carbon Sequestration

ترسیب کربن به فرآیندی اشاره دارد که در آن کربن‌دی‌اکسید جذب و به‌طور دائمی در زیر زمین ذخیره می‌شود تا از ورود آن به اتمسفر و افزایش اثرات گلخانه‌ای جلوگیری شود. این فناوری به عنوان یکی از راهکارهای کاهش تغییرات اقلیمی و گرمایش جهانی مورد توجه قرار گرفته است.

[60] https://css.umich.edu/publications/factsheets/energy/geothermal-energy-factsheet#:~:text=In%202021%2C%20California%20and%20Nevada,with%2095%25%20of%20U.S%20capacity.&text=The%20U.S.%2C%20Indonesia%2C%20Philippines%2C,geothermal%20power%20capacity%20in%202022

غول‌های فناوری

بوش، پیشرو در صنعت پمپ حرارتی

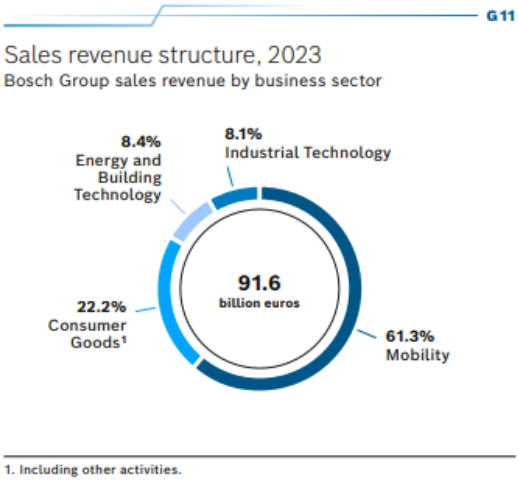
بوش یکی از پیشروترین تولیدکنندگان محصولات گرمایشی در جهان است. رابرت بوش ترموتکنولوژی[۶۱]، بخشی از بوش[۶۲]، یک شرکت فناوری چندملیتی است که دفتر مرکزی آن در اشتوتگارت، آلمان قرار دارد. بوش در زمینه‌های مختلفی از جمله تولید خودرو، فناوری صنعتی و کالاهای مصرفی فعالیت می‌کند. بخش ترموتکنولوژی بر سیستم‌های گرمایش، تهویه مطبوع، انرژی‌های تجدیدپذیر و راه‌حل‌های زیست‌محیطی متمرکز است.

بخش ترموتکنولوژی بوش در سال ۱۹۷۱ ایجاد شد و امروزه یکی از بزرگ‌ترین تولیدکنندگان سیستم‌های گرمایش و تهویه مطبوع[۶۳] و پیشرو در راه‌حل‌های انرژی تجدیدپذیر است. این شرکت طیف گسترده‌ای از سیستم‌های گرمایش و تهویه مطبوع را برای فضاهای مسکونی و تجاری و همچنین راه‌حل‌هایی برای انرژی‌های تجدیدپذیر مانند پنل‌های خورشیدی، کلکتورهای حرارتی و پمپ‌های حرارتی ارائه می‌دهد. راه‌حل‌های تهویه مطبوع بوش به دلیل بهره‌وری انرژی، قابلیت اطمینان و طراحی کاربرپسند شناخته‌شده هستند. این شرکت به طور مداوم در تحقیق و توسعه برای ایجاد محصولات جدید و نوآورانه سرمایه‌گذاری می‌کند که در کاهش ردپای کربن و ترویج آینده‌ای پایدارتر مؤثر است. رابرت بوش ترموتکنولوژی دارای سایت‌های تولیدی در سراسر جهان از جمله در آلمان، ایالات‌متحده، چین و بسیاری کشورهای دیگر است.

[61] Robert Bosch Thermotechnology
[62] Bosch
[63] Heating, Ventilation, and Air Conditioning (HVAC)

❖ استراتژی و مدیریت، پروفایل گروه بوش

گروه بوش یک تأمین‌کننده جهانی فناوری و خدمات است. این شرکت تقریباً ۴۲۹۰۰۰ کارمند در سراسر جهان (تا ۳۱ دسامبر ۲۰۲۳) استخدام کرده است. در سال ۲۰۲۳، این شرکت ۹۱.۶ میلیارد یورو فروش داشته است. عملکرد بوش به چهار بخش تجاری تقسیم می‌شود: حمل‌ونقل[۶۴]، فناوری صنعتی، کالاهای مصرفی و انرژی و فناوری ساختمان. روندهای جهانی مانند اتوماسیون، برقی‌سازی، دیجیتالی‌سازی و حرکت به‌سوی تولید پایدار، به طور فزاینده‌ای تعیین‌کننده عملیات تجاری گروه هستند.

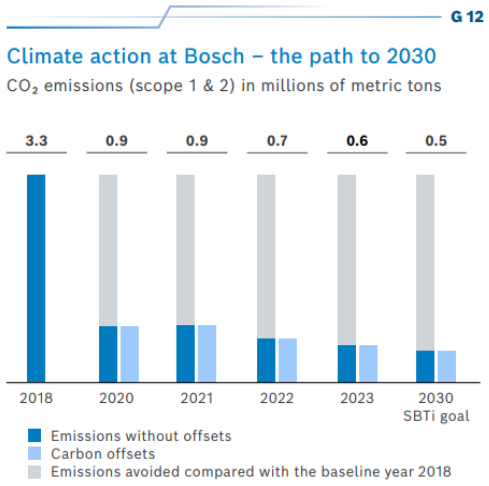


ساختار درآمد بوش در سال ۲۰۲۳

❖ محیط‌زیست

بوش به عنوان بخشی از تعهد خود به محیط‌زیست و آب‌وهوا، به طور مستمر برای بهبود در تمام زمینه‌های فعالیت خود در تلاش است. فعالیت‌های بوش باید تا حد امکان تأثیر کمتری بر محیط‌زیست داشته باشد. بوش می‌خواهد از استراتژی‌های هدفمند برای حفاظت از آب‌وهوا، صرفه‌جویی در مصرف آب و تقویت اقتصاد دایره‌ای استفاده کند.

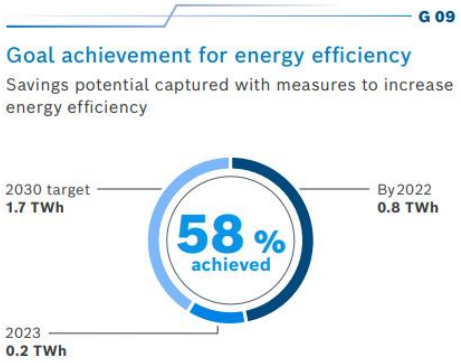
هدف این شرکت افزایش نسبت مواد بازیافتی در محصولات تولیدی است. جاه‌طلبی بوش استفاده، تعمیر و استفاده مجدد از محصولات و مواد تا بیشینه زمان ممکن است.



انتشار گاز گلخانه ای در بوش

[64] Mobility

به طور هم‌زمان، بوش در حال سرمایه‌گذاری در فناوری‌های جدید، با تمرکز فزاینده بر فناوری سبز برای تحولات زیست‌محیطی است و تا سال ۲۰۳۰ قصد دارد بیش از یک میلیارد یورو برای فناوری پمپ حرارتی هزینه کند. هیدروژن همچنین یک بازار استراتژیک مهم است که بوش در آن نقش پیشرو ایفا می‌کند. تعداد کمی از شرکت‌ها می‌توانند چنین مجموعه گسترده‌ای را ارائه دهند؛ اما بوش درحال‌توسعه فناوری‌هایی برای تجزیه آب و همچنین برای تولید، فشرده‌سازی، ذخیره‌سازی و استفاده از هیدروژن در بخش‌های مختلف است.

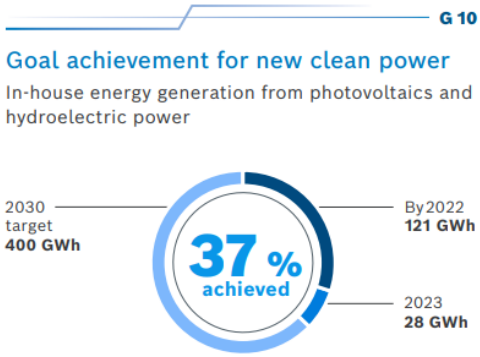


چشم انداز کارایی انرژی در بوش

❖ تحول بازار و بهینه‌سازی سبد محصولات

تغییرات ساختاری گسترده در بازارها یا صنایع، نیازمند تعدیل‌های اساسی در استراتژی‌ها و مدل‌های تجاری یک شرکت است. این فرآیندهای تحولاتی را می‌توان برای بهبود اقدامات اقلیمی مورد استفاده قرار داد.

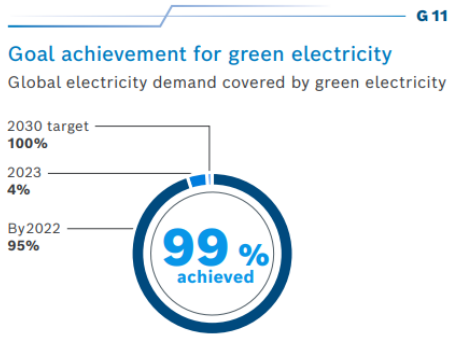
یک مثال فعلی از این امر تبدیل تأمین حرارت به منابع انرژی تجدیدپذیر است. بخش «هوم کامفورت» این توسعه را از طریق گسترش سبد برقی هدایت می‌کند و به‌ویژه در توسعه و ظرفیت تولید پمپ‌های حرارتی سرمایه‌گذاری می‌کند.



چشم انداز انرژی پاک در بوش

بوش به‌عنوان یکی از بزرگ‌ترین تأمین‌کنندگان صنعت خودرو، در حال پیشروی در گذار به الکتروموبیل و استفاده از فرصت‌های موجود است. این شرکت می‌خواهد در سال ۲۰۲۶ فروش شش میلیارد یورویی در این زمینه داشته باشد. تعداد مشتریان بوش در این حوزه، در بازه زمانی ۲۰۱۹ تا ۲۰۲۳ دو برابر شده است. در اوایل سال ۲۰۲۲، بوش توانست تولید قطعات خودروهای الکتریکی را ۵۰ درصد در سال افزایش دهد. تا پایان سال ۲۰۲۳، بوش بیش از ۴.۵ میلیون موتور الکتریکی و بیش از چهار میلیون اینورتر تولید کرده بود.

تحولات بخش انرژی از طریق استفاده از برق سبز، هیدروژن و بیوگاز رخ خواهد داد. به دلیل آن که بسیاری از محصولات، سیستم‌ها و تأسیسات بوش بر اساس برق کار می‌کنند، افزایش نسبت برق سبز در شبکه‌های برق تأثیر مثبت مستقیمی بر کاهش ردپای کربن دارد. بوش در حال انجام سرمایه‌گذاری‌های اولیه در این زمینه است و بین سال‌های ۲۰۲۱ تا ۲۰۲۶، تقریباً ۲.۵ میلیارد یورو در فناوری‌های هیدروژن سرمایه‌گذاری خواهد نمود. هم‌چنین، کسب‌وکار بوش در زمینه حمل‌ونقل الکتریکی در حال به ثمر نشستن است.



چشم‌انداز برق سبز در بوش

❖ پمپ حرارتی زمین‌گرمایی بوش در براگا، پرتغال

در شهر براگا در پرتغال، یک پروژه کربن‌زدایی دوساله در سال ۲۰۲۳ به پایان رسید که شامل جایگزینی گاز طبیعی با برق از منابع تجدیدپذیر بود. این پروژه شامل نصب یک پمپ حرارتی زمین‌گرمایی، واحدهای خنک‌کننده کارآمد با سیستم‌های بازیابی حرارت و یک سیستم مدیریت جامع ساختمان بود. از نوامبر ۲۰۲۳، بوش استفاده از گاز طبیعی را در براگ متوقف کرده و به‌جای آن به انرژی الکتریکی روی آورده است. این شرکت بخشی از این انرژی را مستقیماً در محل با استفاده از حدود ۶۰۰۰ ماژول فتوولتائیک تازه نصب‌شده تولید می‌کند که تقریباً ۱۰ درصد از تقاضای برق سالانه سایت را پوشش می‌دهد.

❖ افزایش استفاده از انرژی خورشیدی

بوش ظرفیت فتوولتائیک خود را در سال ۲۰۲۳ از طریق تعدادی پروژه افزایش داد. به‌عنوان‌مثال، در چین، ظرفیت سایت‌های ووهان[۶۵] و نانجینگ[۶۶] توسط ماژول‌های خورشیدی بیشتر، گسترش یافت. این امر ظرفیت تأسیسات در نانجینگ را با ۱.۵ مگاوات پیک به مجموع ۴.۱ مگاوات پیک افزایش داد، که به این معنی است که تقریباً ۲۳ درصد از تقاضای برق سالانه سایت را می‌توان در آینده پوشش داد. در آینده، ۳.۸۹ مگاوات پیک اضافی در ووهان در دسترس خواهد بود؛ بنابراین ظرفیت تأسیسات به ۴.۹۹ مگاوات پیک افزایش می‌یابد و حدود ۱۷ درصد از تقاضای برق سالانه در محل را پوشش می‌دهد.

[65] Wuhan
[66] Nanjing

سیستم‌های فتوولتائیک موجود نیز در مکان‌های مختلف آلمان در سال ۲۰۲۳ گسترش یافتند. برای مثال، درمجموع ۵۵۵۰ ماژول خورشیدی با ظرفیت ۲.۱ مگاوات پیک در سالزگیتر[۶۷] نصب شد، بنابراین کل خروجی سیستم فتوولتائیک به‌صورت محلی به ۴.۸۵ مگاوات پیک افزایش یافت. در آینده، حدود یک‌چهارم تقاضای برق سالانه محلی از انرژی خورشیدی تولید خواهد شد.

❖ بخش «آسایشِ خانه یا هوم کامفورت»[۶۸] و پمپ حرارتی در بوش

این بخش طیف گسترده‌ای از راه‌حل‌ها را برای گرمایش، سرمایش و رفاه به مشتریان خود ارائه می‌دهد. مجموعه محصولات این بخش شامل پمپ‌های حرارتی الکتریکی[۶۹] و پمپ‌های حرارتی هیبریدی، دیگ‌های چگالشی[۷۰]، سیستم‌های تهویه مطبوع[۷۱]، تجهیزات تهویه[۷۲]، تصفیه‌کننده هوا[۷۳]، سیستم‌های حرارتی خورشیدی[۷۴] و تولید ترکیبی حرارت و برق[۷۵] می‌باشد. هم‌چنین، این بخش در زمینه ساخت نیروگاه تولید بخار و آب گرم تجاری و صنعتی، گرمایش و تهویه مطبوع نیز فعال است. بخش «هوم کامفورت» اهداف و استراتژی خود را با نیازهای رو به رشد پایدار در بخش ساختمان هماهنگ می‌کند. شعار آن «ساخت خانه راحت و سبز»[۷۶]است. این بخش که پیش‌تر «ترموتکنولوژی»[۷۷] نام داشت، در ابتدای آوریل ۲۰۲۳ به «هوم کامفورت» تغییر نام داد. نام جدید برای تأکید بر تغییر سبد محصولات به سمت فناوری گرمایش و تهویه مطبوع پایدار و همچنین سایر محصولات برای راحتی و رفاه در خانه برگزیده شده است

با گذر زمان، برقی‌سازی و انرژی‌های تجدیدپذیر به طور قابل‌توجهی اهمیت بیشتری پیدا می‌کنند. پتانسیل زیادی برای پایداری در پمپ‌های حرارتی و سیستم‌های پمپ حرارتی هیبریدی متشکل از یک پمپ حرارتی و یک دیگ چگالشی مبتنی بر فناوری‌های سوخت فسیلی، وجود دارد. پمپ‌های حرارتی در ساختمان‌های جدید و در ساختمان‌های موجود که عایق‌کاری شده‌اند، استفاده می‌شوند و پمپ‌های حرارتی هیبریدی، جایگزینی برای نوسازی مصرف انرژی در سازه‌های با عایق ضعیف هستند. در چنین سیستم‌هایی، برق مصرفی پمپ‌های حرارتی از منابع پایدار تولید می‌شود. علاوه بر این، پمپ‌های حرارتی علاوه بر گرمایش، راه‌حلی برای موضوع سرمایش نیز هستند.

---

[67] Salzgitter
[68] Home Comfort
[69] Electric heat pumps
[70] Condensing boilers
[71] Air-conditioning systems
[72] Ventilation equipment
[73] Air purifiers
[74] Solar thermal systems
[75] Combined heat and power generation
[76] Make. Home. Comfort. Green
[77] Thermotechnology

بوش برای گسترش بیشتر تجارت پمپ حرارتی خود، در حال سرمایه‌گذاری در شبکه توسعه و تولید اروپا است. به‌عنوان‌مثال، این شرکت در حال برنامه‌ریزی یک سایت جدید برای تولید پمپ‌های حرارتی در دوبرومیرز[۷۸]، لهستان است. در آویرو[۷۹]، پرتغال، بوش در حال سرمایه‌گذاری در آزمایشگاه‌های جدید، دو ساختمان کارخانه و خطوط تولید پمپ حرارتی اضافی است. این غول فناوری پمپ حرارتی، همچنین در حال تقویت مکان‌های موجود خود در اروپا می‌باشد؛ به‌عنوان‌مثال، در محل ایبلسهازن[۸۰] آلمان، در اوایل سال ۲۰۲۳، تولید واحدهای داخلی برای پمپ حرارتی بسیار کم‌صدا و سازگار با محیط‌زیست آغاز شد. این پمپ‌های حرارتی با مبرد طبیعی آر۲۹۰[۸۱](پروپان) کار می‌کند و به طور مشترک توسط تیم‌هایی از ورناو[۸۲](آلمان) و آویرو ساخته شده است و در یک شبکه تولیدی شامل آویرو ، ایبلسهازن و ترانِس[۸۳](سوئد) تولید می‌شود. این دستگاه‌ها با رویکرد تجربه کاربری طراحی‌شده‌اند که متخصصان صنعت گرمایش را در بر می‌گیرد. توسعه این ابزار بر روی طراحی، عملکرد و عملیات بی‌صدا متمرکز شده است.

در بخش «هوم کامفورت» نیز، استراتژی دیجیتالی‌سازی سیستماتیک دنبال می‌شود. بوش بیش از یک میلیون دستگاه قابل اتصال را تا پایان سال ۲۰۲۳ فروخته بود. یک «مدیریت‌کننده انرژی بوش»[۸۴]، امکان اتصال پمپ‌های حرارتی و سیستم‌های فتوولتائیک را در خانه فراهم می‌کند و پمپ حرارتی را با توجه به برق فتوولتائیک موجود کنترل می‌کند؛ بنابراین مقدار برق تولیدی محلی را که برای گرمایش، سرمایش و تولید آب گرم استفاده می‌شود، افزایش می‌دهد.

این بخش همچنین به شبکه گسترده قطعه‌سازان خود برای توسعه تجارت پمپ حرارتی تکیه می‌کند و به شرکت‌های گرمایشی کمک می‌کند تا در این فناوری‌های جدید تخصص پیدا کنند و خدمات بیشتری ارائه دهند. ازاین‌رو، برای شرکت‌های شریک، برنامه آموزش و صدور گواهینامه راه‌اندازی کرده است.

تقاضا برای پمپ‌های حرارتی هوا به هوا برای تهویه مطبوع در اروپا، به‌ویژه برای ساختمان‌های مسکونی، رو به افزایش است، در تمام بازارهای اروپایی، هوم کامفورت مجموعه‌ای متنوع برای انواع واحدهای مسکونی و همچنین برای بخش تجاری ارائه می‌دهد. این تجارت قرار است به طور سیستماتیک در اروپا گسترش یابد.

هوم کامفورت همچنین به طور فزاینده‌ای بازار آمریکای شمالی را برای پمپ‌های حرارتی هدف قرار می‌دهد. در آغاز سال ۲۰۲۴، در نمایشگاه لوازم الکترونیکی مصرفی[۸۵] در لاس‌وگاس، نوادا، ایالات‌متحده، پمپ حرارتی هوا به هوا ارائه شد

[78] Dobromierz
[79] Aveiro
[80] Eibelshausen
[81] R290
[82] Wernau
[83] Tranås
[84] Bosch energy manager
[85] Consumer Electtronics

که به طور خاص برای بازار آمریکای شمالی توسعه یافته بود. این پمپ‌ها برای استفاده در آب‌وهوای سردتر، مانند کانادا و شمال ایالات‌متحده، مناسب است و قدرت گرمایش کامل را تا کمینه دمای منفی ۱۵ درجه سانتی‌گراد فراهم می‌کند. به‌این‌ترتیب، الزامات تعیین‌شده توسط وزارت انرژی ایالات‌متحده به عنوان بخشی از چالش فناوری پمپ حرارتی آب‌وهوای سرد مسکونی برآورده می‌شود و اکنون قرار است از آزمایشگاه به مرحله آزمایش میدانی برسد.

تحول مرتبط با برقی‌سازی فناوری گرمایش نیز به اقدامات ساختاری نیاز دارد. به همین دلیل، تنظیماتی در سبد محصولات برای فناوری گرمایش مبتنی بر سوخت فسیلی انجام می‌شود. در آینده، واحد تجاری مربوطه به طور خاص بر راه‌حل‌های هیبریدی و سوخت‌های پایدار مانند هیدروژن، بیومتان و سوخت‌های مصنوعی برای ساختمان‌های مسکونی و تجاری تمرکز خواهد کرد. به‌این‌ترتیب، سبد گسترده امروزی با تغییر نیازهای بازار، فناوری و تقاضا همسو می‌شود.

علاوه بر این، همکاری با «خانه هوشمند رابرت بوش»[۸۶] مستقر در اشتوتگارت، که محصولات مبتنی بر وب را برای خانه ارائه می‌دهد، در سال ۲۰۲۳ تشدید شد. موضوعات مهم این بخش عبارت‌اند از افزودن ترموستات گرمایش از کف و کلید چندکاره به محصول. علاوه بر این، استاندارد اتصال مستقل خانه هوشمند آینده[۸۷]، یک مسئله کلیدی است. عرضه محصولاتی که با این استاندارد مطابقت دارند برای سال ۲۰۲۴ برنامه‌ریزی شده است.

❖ نیروی انسانی در بوش

بوش بیش از ۴۲۹۴۰۰ کارمند در سراسر جهان دارد. برای توانمندسازی کارکنان انعطاف‌پذیر، حدود ۹ درصد از نیروی کار دارای قراردادهای کاری با زمان محدود هستند. به عنوان یک قاعده، این افراد فرصت‌های آموزشی مشابهی با همکاران با قراردادهای دائمی دارند. از دیدگاه بوش، آموزش نه‌تنها در مقابله با کمبود نیروی کار ماهر مؤثر است، بلکه به پاسخگویی بهتر به تقاضا نیز کمک می‌کند. طبق بررسی‌های صورت گرفته، با آموزش مناسب، کیفیت کار افزایش می‌یابد و نصب پمپ‌های حرارتی ۲۰ درصد تسریع می‌گردد. بوش از همکاران خود در ایجاد تعادل بین اهداف شغلی فردی، سبک زندگی شخصی و اهداف خصوصی حمایت می‌کند. با در نظر گرفتن این موضوع، این شرکت در حال کار بر روی انعطاف‌پذیری بیشتر ساعات کار و مکان‌ها مطابق با الزامات قانونی است.

T 09

Part-time associates

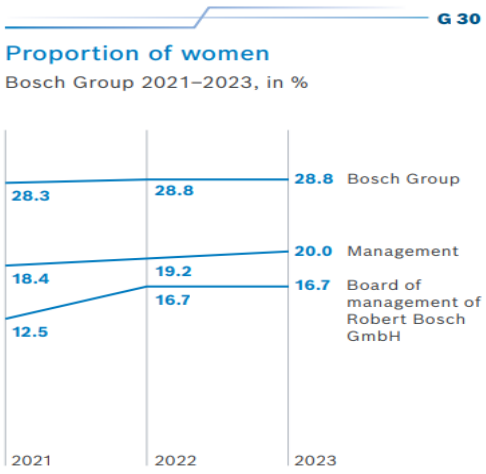
Bosch Group, by region and by gender, as of December 31, 2023

	2023
Bosch Group	**25,875**
By region	
Europe (without Germany)	5,686
Germany	18,905
Americas	626
Asia-Pacific (incl. other countries, also in Africa)	658
By gender	
Female	14,842
Male	11,033

قراردادهای کاری پاره وقت در بوش

[86] Robert Bosch Smart Home GmbH
[87] The Upcoming Manufacturer Independent Smart Home Connection Standard

در حال حاضر نسبت زنان به‌کل نیروی کار در بوش، در حدود ۲۸.۸ درصد است. افزایش این میزان طی سال‌های آتی مورد انتظار است. بوش همچنین در نظر دارد که نسبت زنان در پست‌های مدیریتی را افزایش دهد. این میزان در حال حاضر ۲۰.۰ درصد است که نسبت به ۱۹.۲ درصد در سال گذشته افزایش داشته است. هدف این است که تا سال ۲۰۳۰ حداقل یکی از هر چهار پست مدیریتی در بوش، در سراسر جهان، توسط یک زن اداره شود. بوش سمینارها و برنامه‌های آموزشی جامعی را برای زنانی که دارای پست‌های تخصصی، پروژه‌ای و اجرایی هستند یا می‌خواهند داشته باشند، ارائه می‌کند. همچنین زنان می‌توانند در شبکه‌های اجتماعی این شرکت به تبادل‌نظر و ایده بپردازند و برای زندگی حرفه‌ای روزانه خود الهام بگیرند.



مشارکت زنان در بخش های مختلف بوش

منبع:

- Bosch annual report 2023
- Bosch sustainability report 2023

ابزار ارزیابی اقتصادی

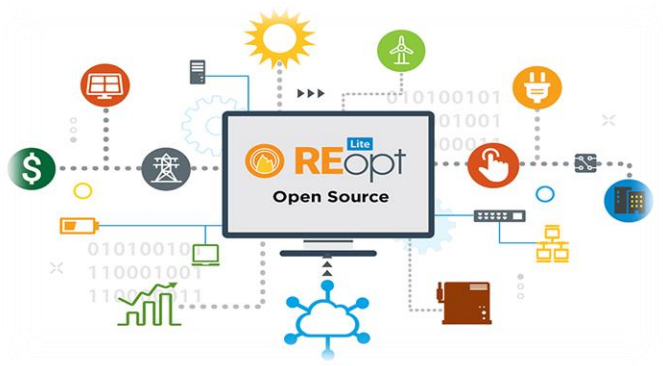
وب‌ابزار "ری‌اُپت" اِنرِل برای فناوری تبادل حرارتی هیبریدی زمین‌گرمایی

آزمایشگاه ملی انرژی‌های تجدیدپذیر (اِنرِل)[88] یک قابلیت جدید به وب‌ابزار «ری‌اُپت»[89] اضافه کرده است تا به صاحبان ساختمان‌های تجاری و مدیران انرژی کمک کند هزینه‌های مرتبط با پروژه‌های پمپ حرارتی زمین‌گرمایی را به طور مؤثرتری ارزیابی کنند. به‌این‌ترتیب، توانایی یکپارچه‌سازی تبادل حرارتی هیبریدی با پمپ حرارتی زمین‌گرمایی به این ابزار افزوده شد. تبادل حرارتی زمین‌گرمایی هیبریدی[90] به سیستمی اطلاق می‌شود که تبادل حرارت زمین‌گرمایی را با منبع گرمایش/خنک‌کننده دیگری مانند پمپ حرارتی منبع هوا یا یک کوره سنتی ترکیب می‌کند. این رویکرد می‌تواند به بهینه‌سازی عملکرد و راندمان کلی سیستم گرمایش و سرمایش کمک کند. پمپ‌های حرارتی زمین‌گرمایی از دمای زیرزمینی به عنوان یک مخزن حرارتی استفاده می‌کنند که گرمایش و سرمایش کارآمد را تأمین می‌کند. ویژگی جدید ری‌اُپت این است که مبدل‌های حرارتی با حفره‌های عمودی را با واحدهای تبادل حرارتی کمکی ارزیابی می‌کند که همین امر، تعداد گمانه‌های موردنیاز برای یک سیستم پمپ حرارتی زمین‌گرمایی را کاهش می‌دهد.

وب ابزار ری‌اُپت در دسترس عموم قرار دارد و یک پلت فرم پشتیبانی تصمیم‌گیری فنی–اقتصادی است که برای بهینه‌سازی سیستم‌های انرژی ساختمان‌ها، دانشگاه‌ها و ریزشبکه‌ها استفاده می‌شود. ری‌اُپت ترکیب بهینه انرژی‌های

[88] National Renewable Energy Laboratory (NREL)
[89] REopt®
[90] Hybrid geothermal heat exchange

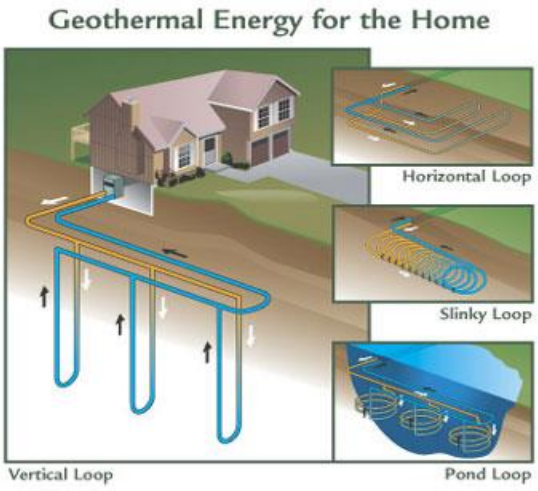
تجدیدپذیر، تولید متعارف، ذخیره‌سازی انرژی، و اکنون فناوری‌های پمپ حرارتی زمین‌گرمایی را برای برآورده کردن اهداف صرفه‌جویی در هزینه، انرژی پاک و انعطاف‌پذیری شناسایی می‌کند.



بهبود پمپ حرارتی زمین‌گرمایی اغلب نیاز به نوسازی سیستم‌های گرمایش و سرمایش یک تأسیسات دارد. بهبود این سیستم‌ها می‌تواند کارایی گرمایش و سرمایش را بهبود بخشد و انتشار کربن مرتبط را کاهش دهد، اما توجیه این فرآیند تنها بر اساس مباحث اقتصادی ساختمان، گاها چالش‌برانگیز است. محققان اِنرِل گزینه دیگری برای طراحی پمپ حرارتی زمین‌گرمایی به ری‌اُپت اضافه کرده‌اند تا به تحلیلگران کمک کند راه‌حل‌های مقرون‌به‌صرفه را شناسایی کنند. فناوری تبادل حرارت زمین‌گرمایی[۹۱] هیبریدی، سیستم‌های پمپ حرارتی زمین‌گرمایی را با واحدهای تبادل حرارتی کمکی ادغام می‌کند و به مالکان و مدیران تسهیلات اجازه می‌دهد تا هزینه‌های سرمایه سیستم تبادل حرارت زمین‌گرمایی را کاهش دهند و درعین‌حال اقتصاد کلی پروژه‌های پمپ حرارتی زمین‌گرمایی را بهبود بخشند. سیستم‌های تبادل حرارتی زمین‌گرمایی هیبریدی شامل یک دستگاه تکمیلی متصل به حلقه زمین، یا یک برج خنک‌کننده[۹۲] یا یک دیگ بخار کوچک است که می‌تواند اندازه و در نتیجه هزینه‌های سیستم تبادل حرارت زمین‌گرمایی را کاهش دهد. این یک گزینه است که کاربران ری‌اُپت می‌توانند هنگام در نظر گرفتن هزینه‌ها و مزایای بازسازی پمپ حرارتی زمین‌گرمایی آن را بررسی کنند.

برای نشان دادن مزایای بالقوه سیستم تبادل حرارت زمین‌گرمایی هیبریدی، اِنرِل یک مطالعه موردی با استفاده از ابزار وب ری‌اُپت انجام داد. این مطالعه یک سیستم غیرهیبریدی پمپ حرارتی زمین‌گرمایی را با یک سیستم تبادل حرارت زمین‌گرمایی هیبریدی در یک ساختمان اداری بزرگ در لاس‌وگاس، نوادا، با مساحت کل ۴۹۸۵۸۸ فوت مربع مقایسه کرد. این تجزیه‌وتحلیل هزینه‌های برق را ۰.۱۰ دلار به ازای هر کیلووات ساعت هزینه انرژی، به‌اضافه ۱۰ دلار بر کیلووات هزینه‌های تقاضای ماهانه و هزینه‌های گاز طبیعی ۱۰ دلار در یک میلیون بی تی یو[۹۳] در نظر گرفت. نتایج مطالعه صرفه‌جویی قابل‌توجهی در هزینه و بهبود عملکرد با سیستم تبادل حرارت زمین‌گرمایی هیبریدی را نشان داد. سیستم تبادل حرارت زمین‌گرمایی غیرهیبریدی به ۳۱۰ گمانه نیاز داشت که هر کدام ۴۰۰ فوت عمق داشت، درحالی‌که سیستم تبادل حرارت زمین‌گرمایی هیبریدی به ۵۶ گمانه به اضافه یک برج خنک‌کننده کمکی با ظرفیت ۲۴۵ تن نیاز داشت.

[91] Geothermal Heat Exchange (GHX)
[92] Cooling Tower
[93] One Million British Thermal Units (MMBtu)



از نظر هزینه‌ها، هزینه سرمایه برای سیستم تبادل حرارت زمین‌گرمایی غیرهیبریدی قبل از مشوق‌ها ۳.۱۸ میلیون دلار بود(۱.۶۳ میلیون دلار پس از احتساب مشوق‌های مالیاتی فدرال)، درحالی‌که هزینه سرمایه سیستم تبادل حرارت زمین‌گرمایی هیبریدی ۱.۸۸ میلیون دلار بود (۰.۹۶ میلیون دلار پس از مشوق‌ها). لذا ارزش فعلی خالص سیستم هیبریدی به ۳.۰۹ میلیون دلار رسیده است که ۴۶۰ هزار دلار از ارزش فعلی خالص سیستم غیرهیبریدی پیشی گرفته است. وقتی به‌صرفه جویی خالص انرژی و کاهش هزینه‌های سرمایه توجه شد، ری‌اُپت تشخیص داد که سیستم هیبریدی گزینه مقرون‌به‌صرفه‌تری در این سناریو است. اکنون هر کاربر ری‌اُپت می‌تواند سیستم‌های پمپ حرارتی زمین‌گرمایی و سیستم تبادل حرارت زمین‌گرمایی هیبریدی را با استفاده از اطلاعات اولیه مانند اندازه سیستم، استفاده موردنظر و هزینه‌های انرژی فعلی برای شناسایی راه‌حل‌های گرمایش و سرمایش با اندازه بهینه مقایسه کند.

پمپ حرارتی زمین‌گرمایی و قابلیت هیبریدی سیستم تبادل حرارت زمین‌گرمایی توسط دفتر فناوری‌های زمین‌گرمایی وزارت انرژی ایالات‌متحده تأمین مالی شدند. اِنرِل با شرکت متخصصان سیستم‌های انرژی حرارتی همکاری کرد و از مدل تبادل حرارت زمینی و قابلیت ترکیبی آن برای افزودن امکانات در طراحی‌های جایگزین پمپ حرارتی زمین‌گرمایی استفاده کرد. وب ابزار ری‌اُپت همچنان در حال تکامل است. با شناسایی سیستم‌های مقرون‌به‌صرفه که با اهداف انرژی کاربران همسو هستند، ری‌اُپت به آینده‌ای پایدارتر کمک می‌کند.

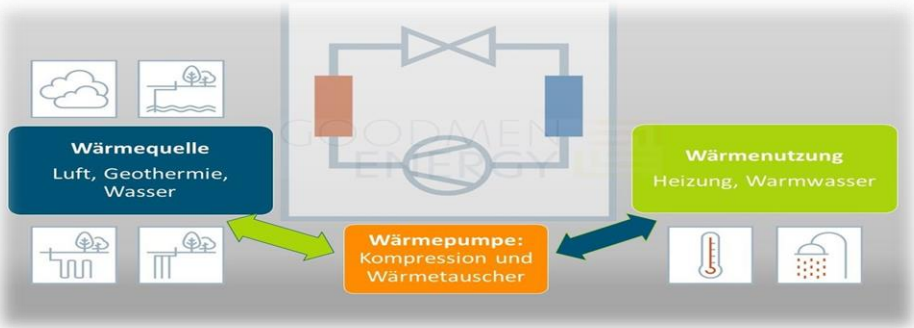
منبع:

- nrel.gov - NREL Enhances REopt Web Tool With Hybrid Geothermal Heat Exchange Technology – 26 september 2023[94]

[94] https://www.nrel.gov/news/program/2023/nrel-enhances-reopt-web-tool-with-hybrid-geothermal-heat-exchange-technology.html

تحولات فناورانه

سیستم‌های پمپ حرارتی هیبریدی زمین‌گرمایی



پمپ حرارتی هیبریدی زمین‌گرمایی نوعی سیستم گرمایش و سرمایش است که پمپ حرارتی سنتی منبع هوا را با پمپ حرارتی زمین‌گرمایی (منبع زمین) ترکیب می‌کند. این سیستم هیبریدی از مزایای هر دو فناوری برای ارائه گرمایش و سرمایش کارآمد و مقرون‌به‌صرفه بهره می‌برد:

- پمپ حرارتی منبع هوا: قسمت منبع هوای سیستم از هوای بیرون به عنوان منبع گرما استفاده می‌کند؛ مشابه آنچه در پمپ حرارتی سنتی منبع هوا اتفاق می‌افتد. این جزء معمولاً در آب‌وهوای معتدل کارآمدتر است.
- پمپ حرارتی زمین‌گرمایی: بخش زمین‌گرمایی سیستم از دمای پایدار زمین یا یک منبع آب مثل یک چاه به عنوان منبع گرما استفاده می‌کند. این سیستم معمولاً در شرایط آب و هوایی خاص مانند دماهای بسیار گرم یا سرد کارآمدتر است.
- جابجایی بین سیستم‌ها: سیستم هیبریدی به طور خودکار بین پمپ‌های حرارتی منبع هوا و زمین‌گرمایی بر اساس دمای هوای بیرون و کارایی سیستم سوئیچ می‌کند. این امر به سیستم اجازه می‌دهد تا در کارآمدترین حالت برای شرایط آب و هوایی فعلی کار کند و صرفه‌جویی در انرژی را به حداکثر برساند.

سیستم‌های پمپ حرارتی هیبریدی زمین‌گرمایی بسیاری از مزایای سیستم‌های کامل زمین‌گرمایی را ارائه می‌دهند و درعین‌حال، هزینه‌های نصب کمتری در پی دارند. یک سیستم زمین‌گرمایی هیبریدی، عناصر یک سیستم پمپ حرارتی زمین‌گرمایی معمولی را با سیستم منبع هوا ترکیب می‌کند. این کار با هدف کاهش هزینه‌های مبدل حرارتی حلقه زمین‌گرمایی، که بزرگ‌ترین عنصر هزینه یک سیستم زمین‌گرمایی است، انجام می‌پذیرد. سیستم‌های هیبریدی را می‌توان در مواردی که فضای زمینی کافی برای نصب مبدل‌های حرارتی بزرگ وجود ندارد، استفاده کرد. این سیستم‌ها معمولاً از یک خنک‌کننده سیال، برج خنک‌کننده یا سایر دستگاه‌های دفع حرارت استفاده می‌کنند. سیستم‌های هیبریدی، گرمایش

با انرژی کارآمدتری نسبت به پمپ‌های حرارتی منبع هوا ارائه می‌کنند، زیرا بدیهی است که دمای زمین در مقایسه با هوای محیط گرم‌تر است. علاوه بر این، سیستم‌های هیبریدی در مقایسه با پمپ‌های حرارتی منبع هوا، تقاضای پیک زمستانی شدیدی را برای شبکه برق ایجاد نمی‌کنند و هم گرمایش زمستانی و هم سرمایش تابستانی را فراهم می‌سازند که فاکتورهای بار شهری را بهبود می‌بخشد. همچنین، سیستم‌های هیبریدی می‌توانند هزینه اولیه یک حلقه کامل زمین‌گرمایی (بزرگ‌ترین عنصر هزینه یک سیستم زمین‌گرمایی) را گاهی تا ۵۰٪ یا بیشتر کاهش دهند. سیستم‌های زمین‌گرمایی ترکیبی را می‌توان در هر دو کاربرد مسکونی و تجاری یافت.

❖ مزایای سیستم پمپ حرارتی هیبریدی زمین‌گرمایی

- کارایی بیشتر: پمپ‌های حرارتی منبع هوا اغلب در آب‌وهوای سخت کمتر کارآمدتر هستند. عرضه بی‌پایان جریان آزاد هوای بیرون می‌تواند منبع خوبی از همرفت برای زمان‌های طولانی‌تر (بدون تخلیه حرارتی میدان زمین که می‌تواند با واحدهای زمین‌گرمایی رخ دهد)، فراهم کند. سیستم‌های منبع زمینی اغلب در شرایط آب و هوایی سخت کارآمدتر هستند. دمای ثابت و پایدارتر زمین می‌تواند منبع مناسبی برای همرفت فراهم کند؛ البته تا زمانی که میدان زمین بیش‌ازحد مورد بهره‌برداری قرار نگرفته باشد. توانایی استفاده از هر دو منبع یک مزیت منحصربه‌فرد برای دستیابی به راحتی و کارایی است.
- هزینه نصب کمتر: فناوری هیبریدی به حفاری کمتری نیاز دارد تا به همان بی تی یو در ساعت[۹۵] سیستم‌های زمین‌گرمایی معمولی دست یابد. بنابراین، هزینه نصب سیستم کمتر خواهد بود.
- زمان نصب کوتاه‌تر: حفاری کمتر، صرفه‌جویی در مدت‌زمان و سهولت نصب را به ارمغان می‌آورد. به همین ترتیب، زمانی که یک سیستم ناکارآمد نیاز به تعویض سریع داشته باشد، پروژه تعویض به همان سرعتی که نصب سیستم منبع هوا معمولی صرف می‌کند، انجام می‌گیرد.
- ریسک کمتر در خرابی کامل سیستم: درصورتی‌که یکی از بخش‌های زمین‌گرمایی یا منبع هوا دچار آسیب یا خرابی شود، سیستم همچنان می‌تواند گرمایش و سرمایش کافی ایجاد کند.
- رطوبت‌زدایی کارآمدتر سیستم: این سیستم‌ها از یک کمپرسور چند سرعته[۹۶] و همچنین یک موتور فن با سرعت متغیر[۹۷] برای حذف رطوبت ناخواسته در حالت سرمایش استفاده می‌کنند.

---

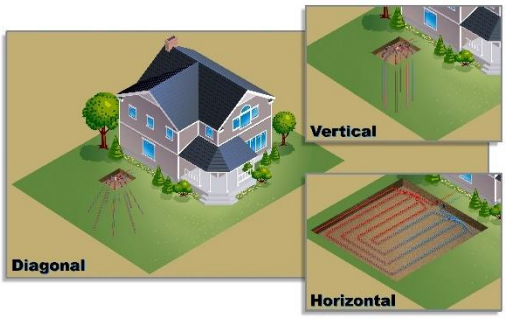
[95] British Thermal Units per Hour(BTUH)

این یک واحد اندازه‌گیری است که برای تعیین مقدار انرژی گرمایی تولیدشده یا حذف‌شده توسط یک سیستم گرمایش/سرمایش در یک ساعت استفاده می‌شود. معمولاً برای اندازه‌گیری ظرفیت گرمایش یا سرمایش سیستم‌های HVAC استفاده می‌شود و به تعیین اندازه و کارایی مناسب سیستم برای یک فضای خاص کمک می‌کند.

[96] Multi-Speed Compressor

[97] Variable Speed Fan Motor

❖ سیستم پمپ حرارتی زمین گرمایی تبادل مستقیم



سیستم پمپ حرارتی زمین‌گرمایی تبادل مستقیم[۹۸] یک سیستم پمپ حرارتی زمین‌گرمایی است که در آن مبرد از طریق لوله‌های مسی قرار داده‌شده در زمین به گردش درمی‌آید. مبرد گرما را مستقیماً از طریق دیواره‌های لوله مسی با خاک مبادله می‌کند. این امر، لوله پلاستیکی آب و پمپ آب را برای گردش آب موجود در پمپ حرارتی زمین‌گرمایی منبع آب حذف می‌کند. این سادگی به سیستم اجازه می‌دهد تا با استفاده از مجموعه نسبتا کوتاه‌تر و کوچک‌تری از لوله‌های مدفون، به راندمان بالایی برسد و هزینه نصب را کاهش دهد. سیستم‌های تبادل مستقیم، مانند سیستم‌های منبع آب، می‌توانند برای گرم کردن آب در خانه برای استفاده در گرمایش با رادیاتورها، آب گرم خانگی و همچنین کاربردهای سرمایشی استفاده شوند. به دلیل اندازه حلقه زمین کوچک، سیستم‌های تبادل مستقیم را می‌توان در مناطق نسبتا کوچک و در خاک نسبتا کم‌عمق نصب کرد. این امر، انعطاف‌پذیری نصب را فراهم می‌کند. یک حلقه زمینی سیستم تبادل مستقیم را می‌توان با یک دکل حفاری کوچک حفر کرد و در حیاط‌های جانبی و باغ‌های کوچک زیر درختان موجود قرار داد. حفاری در مناطقی که سنگ در ۱۵ متر تا ۱۳۰ متر زیر زمین یافت می‌شود، بدون نیاز به حفاری عمیق، برای نصب این سیستم کافی است. سیستم زمین‌گرمایی هیبریدی ژئوفلو[۹۹] توسط شرکت رینای[۱۰۰] و سیستم‌های ارائه شده توسط شرکت اطلس [۱۰۱]، نمونه‌های موفقی از سیستم‌های زمین‌گرمایی هیبریدی هستند. تحقیقات گسترده‌ای نیز برای توسعه سیستم‌های هیبریدی زمین‌گرمایی جدید، مانند پمپ حرارتی زمین‌گرمایی هیبریدی برای خانه‌های تک خانوار در حال انجام است. به‌طورکلی، سیستم‌های زمین‌گرمایی هیبریدی یک رویکرد نوآورانه برای کاهش هزینه‌های انرژی و به حداکثر رساندن راه‌حل‌های گرمایش و سرمایش کارآمد هستند.

منبع:

- atlas4ac.com - Hybrid Geothermal Heat Pump Systems[102]

[98] Direct Exchange (DX) Geothermal Heat Pump System
[99] Geoflo
[100] Rinnai
[101] Atlas L.C.
[102] https://www.atlas4ac.com/hybrid-geothermal-solutions.html

خبر خارجی

پوشش تقاضای لیتیوم ایالات‌متحده با نیروگاه‌های زمین‌گرمایی دریاچه سالتون[۱۰۳]

احداث پروژه زمین‌گرمایی لیتیوم آشپزخانه جهنم[۱۰۴]، دریاچه‌ی سالتون (منبع: CTR)

با افزایش تقاضا برای لیتیوم جهت به‌کارگیری در باتری، ایالات‌متحده به‌شدت به واردات از کشورهای دیگر مانند چین، روسیه، شیلی و آرژانتین وابسته است. این امر زنجیره‌های تأمین لیتیوم موجود را در برابر خطرات ژئوپلیتیکی آسیب‌پذیر می‌کند. یکی از راه‌های توسعه عرضه پایدار لیتیوم داخلی، بهره‌برداری از منابع زمین‌گرمایی این کشور به‌ویژه در دریاچه‌ی سالتون کالیفرنیا است. در نیروگاه دریاچه‌ی سالتون[۱۰۵]، آب‌نمک‌های زمین‌گرمایی حاوی حدود ۳۰ درصد غلظت مواد جامد محلول هستند. اگر پروژه‌های آزمایشی بتوانند لیتیوم را از این آب‌نمک‌ها استخراج نمایند، ۱۱ نیروگاه زمین‌گرمایی موجود در دریاچه‌ی سالتون می‌توانند بیش از ۱۰ برابر نیاز فعلی لیتیوم ایالات‌متحده را تأمین کنند. در ظرفیت کامل تولید، این نیروگاه‌ها می‌توانند حدود ۴۳۲ مگاوات برق و ۲۰۰۰۰ تن لیتیوم در سال تولید کنند. با این حال، زمین‌گرمایی به یک فناوری انرژی راکد در ایالات‌متحده تبدیل شده است. دلیل این موضوع، عدم وجود سیاست‌های حمایتی است. سیاست‌های کاهش ریسک می‌تواند به میزان قابل‌توجهی برای صنعت سودمند باشد. به‌ویژه اگر بتواند هزینه‌های حفاری را کاهش دهد یا مشوق‌های مالیاتی و قراردادهای بلندمدت برق امن‌تر را فراهم کند. افزودن استخراج فلز از آب‌نمک زمین‌گرمایی، می‌تواند به پروژه‌های زمین‌گرمایی مزیت رقابتی جدیدی بیفزاید و به صنعت کمک کند تا سیاست‌های مطلوب‌تری داشته باشد.

منبع:

- thinkgeoenergy.com - Entire US lithium demand can be supplied by Salton Sea geothermal plants – 24 march 2022[106]

---

[۱۰۳] مقاله برایانت جونز از دانشگاه ایالتی بویز و مایکل مک کیین از دانشگاه کالیفرنیا در ریورساید به این موضوع می‌پردازد که چگونه کل تقاضای لیتیوم ایالات‌متحده می‌تواند توسط صنعت زمین‌گرمایی تأمین شود. نویسندگان همچنین به چالش‌هایی اشاره می‌کنند که مانع توسعه بیشتر صنعت زمین‌گرمایی در کشور می‌شود.
https://theconversation.com/how-a-few-geothermal-plants-could-solve-americas-lithium-supply-crunch-and-boost-the-ev-battery-industry-179465

[104] Hell's Kitchen

[105] Salton Sea

[106] https://www.thinkgeoenergy.com/entire-us-lithium-demand-can-be-supplied-by-salton-sea-geothermal-plants/

خبر خارجی

پروژه ذخیره‌سازی حرارتی آبخوان در برلین

دانشمندان مرکز ژئوریسرچ در پوتسدام در حال ارزیابی سطح زیرین زمین در منطقه آدلرشوف در برلین، آلمان، برای یک پروژه ذخیره‌سازی حرارتی آبخوان[۱۰۷] هستند. حفاری آزمایشی تاکنون در عمق ۴۵۰ متری با دسترسی به ماسه‌سنگ مناسب برای ذخیره آب انجام شده است. پروژه ذخیره سازی حرارتی، تکمیل‌کننده تأسیسات پمپ حرارتی است. پمپ‌های حرارتی آب را از رودخانه اسپری[۱۰۸] می‌گیرند و گرما را استخراج کرده و به شبکه گرمایش منطقه‌ای برلین می‌رسانند. با این حال، این سیستم در تابستان انرژی بسیار زیاد و در زمستان بسیار کم تولید می‌کند. در صورت موفقیت‌آمیز بودن پروژه، ذخیره حرارتی آبخوان می‌تواند انرژی اضافی را در تابستان ذخیره کرده و در زمستان در دسترس قرار دهد. آب در صدها متر زیر زمین توسط انواع خاصی از سنگ برای کارکرد چنین سیستمی گرم نگه‌داشته می‌شود. چند سال طول می‌کشد تا تأسیسات ذخیره سازی حرارتی در آدلرشوف به نتیجه برسد. ظرفیت آن نیز در این مدت محدود خواهد بود. این سیستم می‌تواند انرژی کافی برای حدود ۳۰۰۰ خانوار در فصل زمستان را ذخیره کند. برای گسترش این ظرفیت، چندین کمپین حفاری اکتشافی در سراسر برلین موردنیاز است. این امر خطر شکست را به همراه دارد، بنابراین حمایت ایالت برلین در قالب بودجه یا سایر مشوق‌های مالی ضروری خواهد بود. هنگامی‌که تأسیسات ذخیره حرارتی آبخوان آدلرشوف تکمیل شود، بزرگ‌ترین پروژه در نوع خود در برلین خواهد بود. در حال حاضر، یک مرکز ذخیره سازی انرژی زمین‌گرمایی محلی در زیر سطح بوندستاگ[۱۰۹] وجود دارد. پیش‌ازاین نیز طرح‌هایی برای گرمایش منطقه‌ای زمین‌گرمایی در مقیاس بزرگ در برلین اعلام شده بود. در ابتدا سه سایت حفاری اکتشافی احداث‌شده بود که از آن زمان این طرح با ۹ گمانه اکتشافی اضافی و یک بررسی لرزه‌ای سه‌بعدی برای پوشش کل منطقه شهر گسترش‌یافته است.

منبع: thinkgeoenergy.com - Aquifer thermal storage project planned in Berlin, Germany – 11 September 2023[110]

[107] Aquifer Thermal Storage Project
[108] Spree river
[109] Bundestag
[110] https://www.thinkgeoenergy.com/aquifer-thermal-storage-project-planned-in-berlin-germany/

خبر داخلی

افتتاح بزرگ‌ترین نیروگاه بادی شرق کشور در استان سیستان و بلوچستان

طی سفر وزیر نیرو به استان سیستان و بلوچستان، علاوه بر طرح‌های آب و برق، بزرگ‌ترین نیروگاه بادی شرق کشور به ارزش بالغ بر ۳۸۵۰ میلیارد تومان هم به افتتاح رسید. نیروگاه بادی میل نادر به ظرفیت ۵۰ مگاوات شامل ۲۰ واحد توربین بادی ۲.۵ مگاواتی کلاس یک است. کار ساخت این نیروگاه در سال ۱۳۹۹ آغاز شد و پس از انجام عملیات ساختمانی، انتقال به سایت و نصب تجهیزات، با حضور وزیر نیرو افتتاح شد نیروگاه بادی میل نادر به مساحت تقریبی ۱۰۰۰ هکتار در شهرستان نیمروز استان سیستان و بلوچستان و در شمال غرب زابل واقع شده است .

بنا بر این گزارش با احداث این نیروگاه به ازای هر ۱۰۰ مگاوات‌ساعت تولید انرژی تجدیدپذیر سالیانه بیش از ۲۵۰ میلیون لیتر آب و ۳۰ میلیون لیتر گازوئیل صرفه‌جویی می‌شود. توربین‌هایی که در این منطقه به‌کاربرده شده برای سرعت‌های باد بالا مناسب هستند و برای کارکرد در دماهای بالای محیط و شرایط گردوغبار با اجرای آخرین اصلاحات تجهیز شده‌اند همچنین طبق اعلام ساتبا برنامه توسعه انرژی بادی در منطقه میل نادر تا ۷۰۰ مگاوات طی سال‌های پیش رو تدوین شده است.

منبع: پایگاه اطلاع‌رسانی وزارت نیرو – ۱۷ خرداد ۱۴۰۳

خبر داخلی

واگذاری ۱۷۲ هکتار از اراضی ملی استان مرکزی برای تولید انرژی پاک

مدیرکل منابع طبیعی و آبخیزداری استان مرکزی ، عبدالحسین محمدی در جمع خبرنگاران اظهار کرد: ۱۷۲ هکتار از اراضی ملی استان مرکزی برای تولید انرژی پاک به یک واحد تولیدی واگذار شده است. پس از دریافت و درخواست متقاضی احداث نیروگاه انرژی خورشیدی توسط یک شرکت، بازدید و بررسی‌های میدانی از اراضی ملی مستعد واگذاری توسط کارشناسان این اداره و اداره کل شهرستان اراک صورت پذیرفت. وی ادامه داد: این ۱۷۲ هکتار از اراضی پلاک امان آباد و مالک آباد شهرستان اراک در این خصوص شناسایی و اقدامات قانونی لازم برای آن‌ها صورت پذیرفت.

مدیرکل منابع طبیعی و آبخیزداری استان مرکزی تصریح کرد: موافقت اولیه کمیته تخصیص بر واگذاری این اراضی صورت گرفت و به سبب اینکه واگذاری اراضی بالای ۲۰ هکتار نیاز به اخذ مجوز تخصیص بالاتر از حدنصاب واگذاری از طریق سازمان منابع طبیعی و آبخیزداری کشور دارد، این مجوز با مکاتبات صورت گرفته، از سازمان اخذ شد.

محمدی بیان کرد: این واگذاری در راستای حمایت از انرژی‌های پاک و خورشیدی و در قالب طرح‌های غیرکشاورزی ماده ۳۲ و قرارداد ۳۰ ساله واگذار شده که در صورت ادامه فعالیت این نیروگاه، قابل تمدید بوده و موافقت واگذاری اراضی به مدیریت امور اراضی استان جهت سیر مراحل قانونی ابلاغ شده است. وی تصریح کرد: اجرای این طرح ۵ ساله است و یک نیروگاه ۱۰۰ مگاواتی در این محوطه ۱۷۲ هکتاری در راستای تأمین نیاز برق ملی و کاهش آلودگی هوا و کاهش مصرف داخلی برق نیروگاه حرارتی شازند است. محمدی گفت: متقاضیان حقیقی و حقوقی و ادارات دولتی و شرکت‌ها و صنایع استان در راستای کاهش آلودگی هوا و استفاده از انرژی خورشیدی و پاک می‌توانند جهت تخصیص اراضی موردنیاز درخواست خود را مطرح کنند.

منبع:خبرگزاری مهر – ۲۰ اردیبهشت ۱۴۰۳

بروندادتخصصی

انرژی‌های تجدیدپذیر

شماره۱۲- خرداد ۱۴۰۳