وزارت نیرو
سازمان انرژی‌های تجدیدپذیر
بهره‌وری انرژی برق (ساتبا)

پژوهشگاه نیرو

برونداد تخصصی

انرژی‌های تجدیدپذیر

شماره ۵ – آبان ۱۴۰۲

برونداد تخصصی

انرژی‌های تجدیدپذیر

ویژه‌نامه پیل سوختی و هیدروژن (۲)

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 حمیدرضا لاری

ناظر پژوهشگاه: دکتر محمد چمنی – دکتر حمید عبدلی

ناظر کارفرما: دکتر اکبر شعبانی‌کیا

همکاران این گزارش:

مهندس ثریا رستمی – مهندس سارا جوکار

شماره ۵– آبان‌ماه ۱۴۰۲

فهرست مطالب

لزوم توجه به توسعه زیرساخت‌های انرژی‌های تجدیدپذیر ٤

کربن‌زدایی مصرف نهایی انرژی به کمک تجدیدپذیرها..... ٦

معرفی ۱۰ محورشاخص هیدروژن و استارت‌آپ‌های نوآور ۱۳

فناوری‌های پیل سوختی و افق پیش‌رو ۲٦

استراتژی و نقشه راه ملی هیدروژن پاک ایالات‌متحده ۳۳

بزرگ‌ترین پروژه هیدروژن سبز چین ۳۸

ساختمانهای انرژی خالص صفر ٤۰

آینده سبز پیل‌سوختی هیدروژنی در چین..... ٤۲

آزمایش نخستین اتوبوس پیل سوختی هیدروژنی سبز در هند ٤٦

تولید هیدروژن سبز با بهره‌گیری از نیروی باد و خورشید ٤۸

تولید هیدروژن سبز برای صنایع فولاد اتحادیه اروپا با انرژی باد ۵۰

شتاب گیری احداث نیروگاه‌های تجدیدپذیر در کشور..... ۵۲

صنایع بزرگ و انرژی‌بر مکلف به ایجاد نیروگاه حرارتی و تجدیدپذیر ۵۳

کاهش ٤۵ مگاواتی مصرف برق در گلخانه‌ها به کمک انرژی‌های تجدیدپذیر ۵٤

سخن آغازین

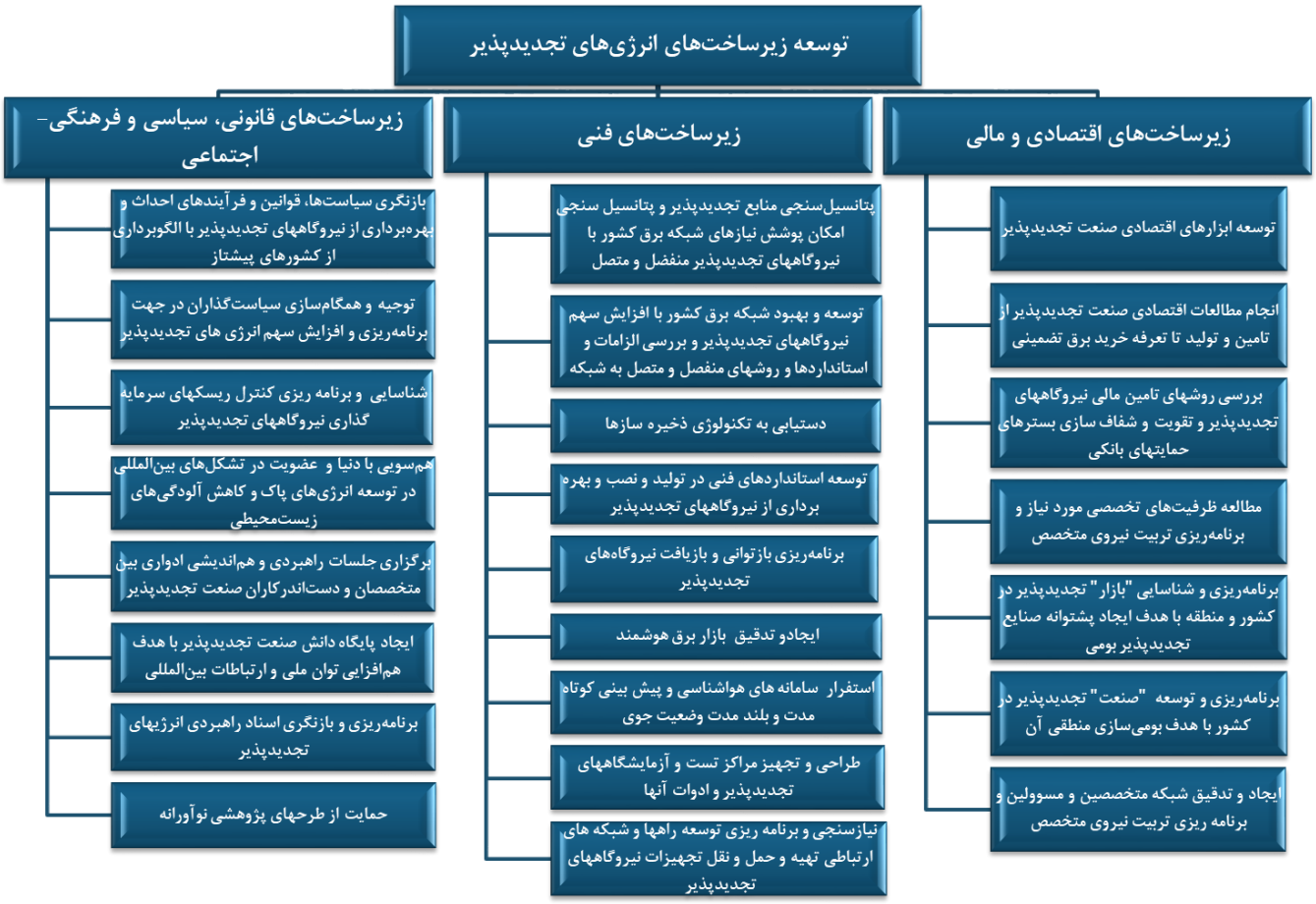
لزوم توجه به توسعه زیرساخت‌های انرژی‌های تجدیدپذیر

امروزه در سیستم جهانی تامین انرژی، پیوسته سهم انرژی‌های تجدیدپذیر رو به رشد است و در راستای توسعه پایدار جهانی در برنامه‌ها و سیاست‌های بین‌المللی از جمله در رویکردهای نوین سازمان ملل متحد نقش ویژه‌ای به منابع تجدیدپذیر انرژی محول شده‌است. در کشور ایران نیز توسعه انرژی‌های تجدیدپذیر به‌صراحت در اسناد و قوانین ملی بالادستی و سیاست‌های ابلاغی مسوولین بلندپایه کشور مدنظر قرار گرفته است. اما چرا علیرغم تأکید مسوولین و ایجاد سازمان‌ها و برگزاری رویدادها و انجام پروژه‌های گوناگون تحقیقاتی و اجرایی، متأسفانه حصول نتایج مورد انتظار تاکنون در کشور محقق نشده است. در یک نگاه تحلیلی و جمع‌بندی از تجارب متعدد، به نظر می رسد عدم وجود زیرساخت‌های لازم و ناهماهنگی و حتی در پاره‌ای موارد تضاد عملکرد ساختارها در گذشته می‌تواند به عنوان دلیلی در خور توجه بررسی گردد. در حقیقت برای تحقق این هدف یک نگاه متعالی و جامع و ملی‌گرایانه لازم است تا کلیه سازمانها و نهادهای ذی‌ربط را برای همکاری و ایجاد زیرساختهای گوناگون مورد نیاز موظف نماید. زیرساختهای انرژی‌های تجدیدپذیر، بر توسعه سه زیرساخت اصلی یعنی ۱- زیرساخت‌های فنی، ۲- زیرساخت‌های اقتصادی و مالی، ۳- زیرساخت‌های قانونی، سیاسی، فرهنگی و اجتماعی دلالت دارد. چراکه برای توسعه ظرفیت‌های تجدیدپذیر لازم است هم‌زمان بسترهای مشارکتی برای حمایت و وضع قوانین تسهیلگرانه حقوقی، پژوهش و تربیت متخصصان و آماده سازی صنعت برای رفع چالش‌های فنی، ملاحظات و دیدگاه‌های اقتصادی برای حفظ سودآوری این صنعت در کشور و هم‌راستایی و همگامی با دنیا برای حفظ محیط‌زیست و پیشبرد صحیح این تکنولوژی‌ها در کشور مدنظر قرار بگیرد.

لذا با تأکید اساتید و متخصصان این حوزه، به نظر می‌رسد تلاش برای ایجاد زیرساخت‌های فنی، اقتصادی، قانونی و فرهنگی توسعه انرژی‌های تجدیدپذیر با هدف برنامه‌ریزی مستمر و پویا، ایجاد شبکه متخصصان این حوزه، ارتباط

سرمایه‌گذاران و سیاست‌گذاران و متخصصان و هم‌دلی و هم‌سویی ایشان، برنامه‌ریزی توسعه متخصصان این حوزه، فرهنگ‌سازی و وضع قوانین حامیانه و تسهیل‌گرانه، مطالعات اقتصادی و توسعه ابزارهای نرم‌افزاری و سخت‌افزاری مرتبط در کنار ملاحظات فنی نظیر توسعه استانداردها، ملاحظات شبکه، پتانسیل‌سنجی و غیره باید مدنظر قرار گیرد.

در ساختار زیر که برگرفته از نتایج یک پژوهش در پژوهشگاه نیرو در زمینه توسعه انرژی‌های تجدیدپذیر در کشور است، در یک نگاه جامع، ابعاد و محورهایی که لازم است برای تحقق این اهداف در کشور مدنظر و برنامه‌ریزی قرار بگیرند به تصویر کشیده شده است. امید که با کمک خداوند و در سایه برنامه‌ریزی‌ها و حمایت‌های گسترده متخصصان و مسوولین این حوزه، این مهم تحقق باید.

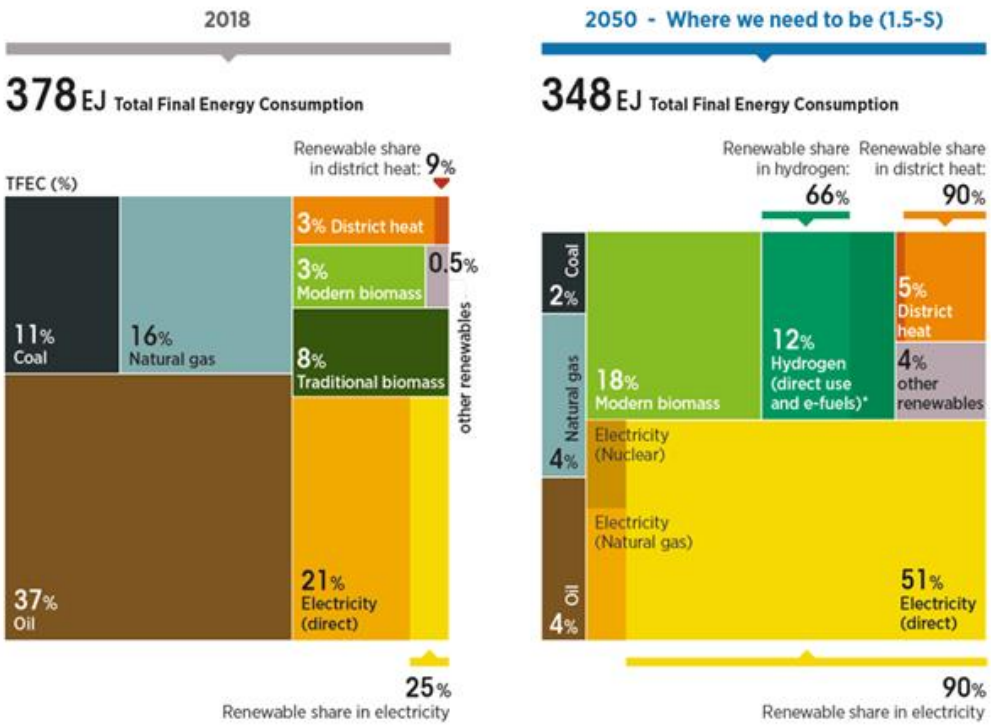


ثریا رستمی

پژوهشگر حوزه مدیریت انرژی‌های تجدیدپذیر و مدیر پروژه

تحولات راهبردی

کربن‌زدایی مصرف نهایی انرژی به کمک تجدیدپذیرها



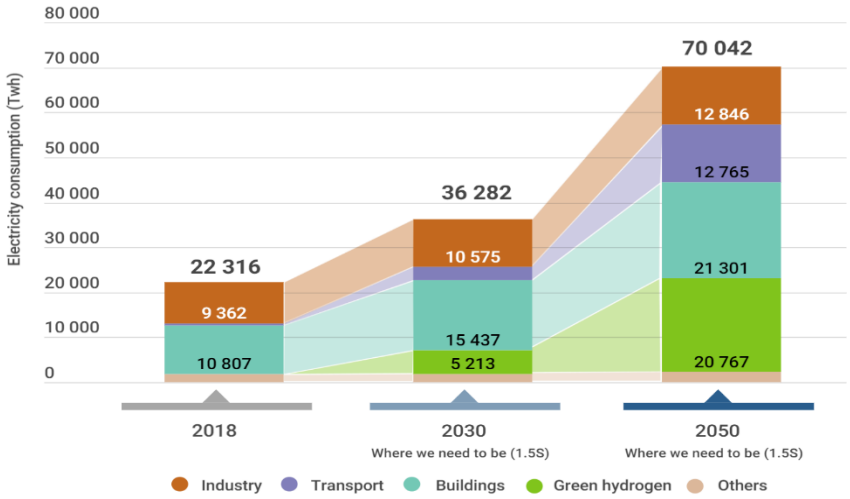
ترکیب انرژی نهایی در سال ۲۰۱۸ – ۲۰۵۰

برقی‌سازی[1] کلید دستیابی به اهداف جهانی است. بر اساس سناریوی ۱.۵ درجه سانتی‌گراد ایرنا[2]، سهم برق در انرژی مصرفی نهایی باید از ۲۱ درصد در سال ۲۰۱۹ به ۵۱ درصد تا سال ۲۰۵۰ افزایش یابد. این امر می‌تواند با توسعه فناوری‌های الکتریکی، که بسیاری از آن‌ها امروزه در دسترس هستند، به دست آید. در حقیقت دولت‌ها در سراسر جهان باید برقی‌سازی را به‌عنوان فرصتی بزرگ برای کربن‌زدایی بخش‌های مصرف نهایی، بهبود امنیت انرژی و قابلیت اطمینان و کاهش مواجهه با نوسانات قیمت سوخت‌های وارداتی ببینند.

[1] Electrification
[2] IRENA

❖ برقی‌سازی انبوه با یک رویکرد هوشمندانه

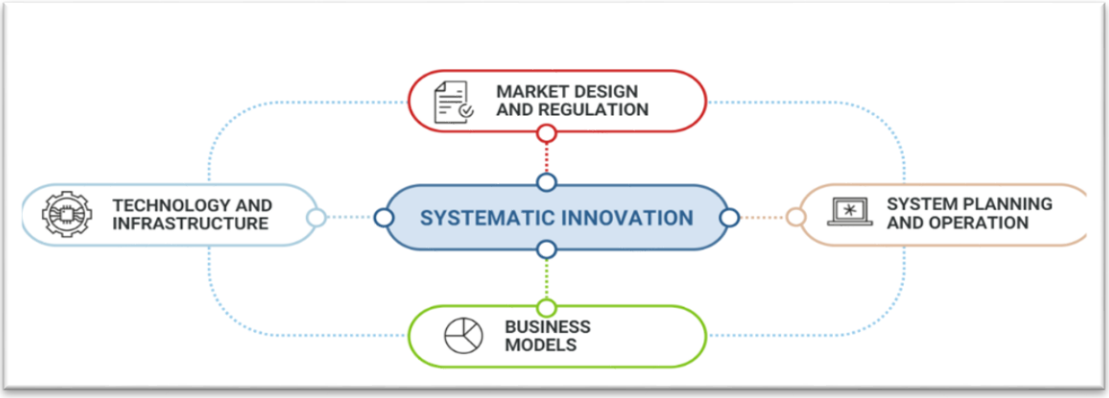
برقی‌سازی هوشمند یک مسیر کربن‌زدایی مقرون‌به‌صرفه برای سیستم‌های انرژی است. این امر شامل برقی‌سازی بخش‌های مصرف نهایی با ترکیب سهم بزرگی از انرژی‌های تجدیدپذیر است. نوآوری، به موتور تحول انرژی جهانی به‌سوی آینده‌ای بدون کربن و همچنین نیروی محرکه برای برقی‌سازی هوشمند بخش‌های مصرف نهایی است.



مصرف برق بر اساس بخش‌های مختلف، ۲۰۱۸، ۲۰۳۰ و ۲۰۵۰ بر اساس سناریوی ۱.۵ درجه سانتی‌گراد

❖ نوآوری سیستماتیک تسریع‌کننده گذار انرژی

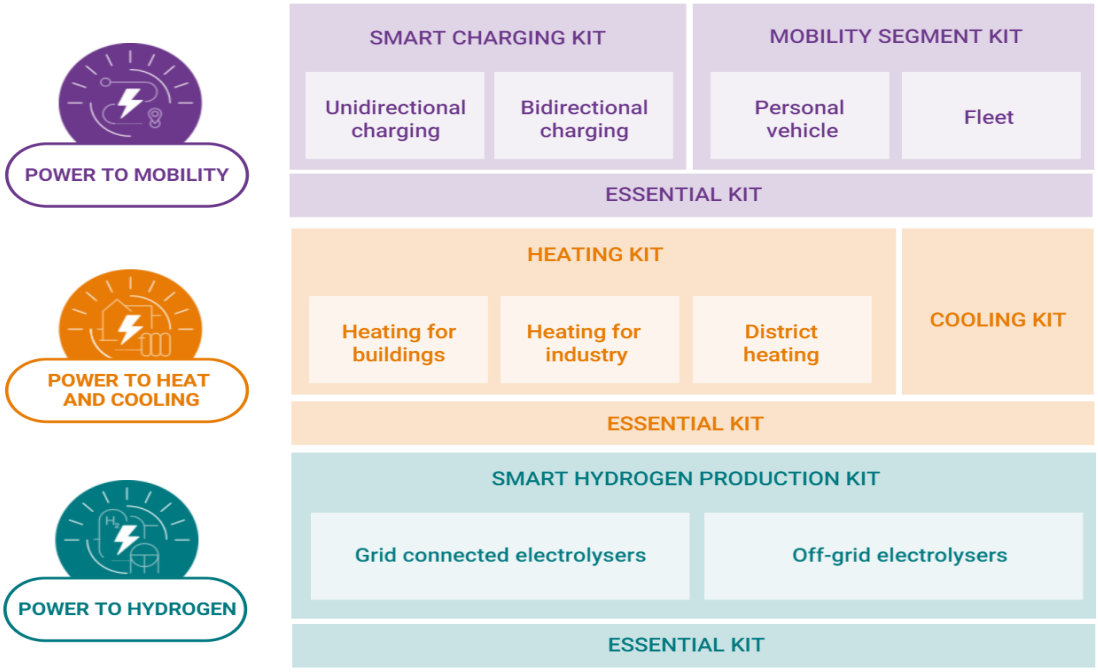
راه‌حل‌های نوآورانه فراتر از مرزهای فناوری هستند و می‌بایست شامل طراحی بازار، برنامه‌ریزی و مدل‌های تجاری نیز باشند و همه بازیگران و ذینفعان مرتبط را شامل شوند. به این شیوه نوآوری سیستمی گفته می‌شود.



نوآوری سیستماتیک

❖ عدم وجود یک راه‌حل «به یک اندازه مناسب برای همه» در راستای برقی‌سازی هوشمند

استراتژی‌های شارژ هوشمند و نحوه اجرای آن‌ها در میان کشورها متفاوت است. راهکارها به ویژگی‌های خاص سیستم‌های برق و بخش‌های مصرف نهایی و همچنین عوامل اجتماعی و فرهنگی بستگی دارند. گزارش چشم‌انداز نوآوری ۲۰۲۳ ایرنا[3]، جعبه‌ابزاری از ۱۰۰ نوآوری ارائه می‌دهد که می‌تواند برای طراحی استراتژی‌های کربن‌زدایی برای حمل‌ونقل، گرمایش و سرمایش و تولید هیدروژن مورداستفاده قرار گیرد. با استفاده از این ابزار، دولت‌ها می‌توانند استراتژی‌های برقی‌سازی هوشمند را سفارشی‌سازی نمایند.



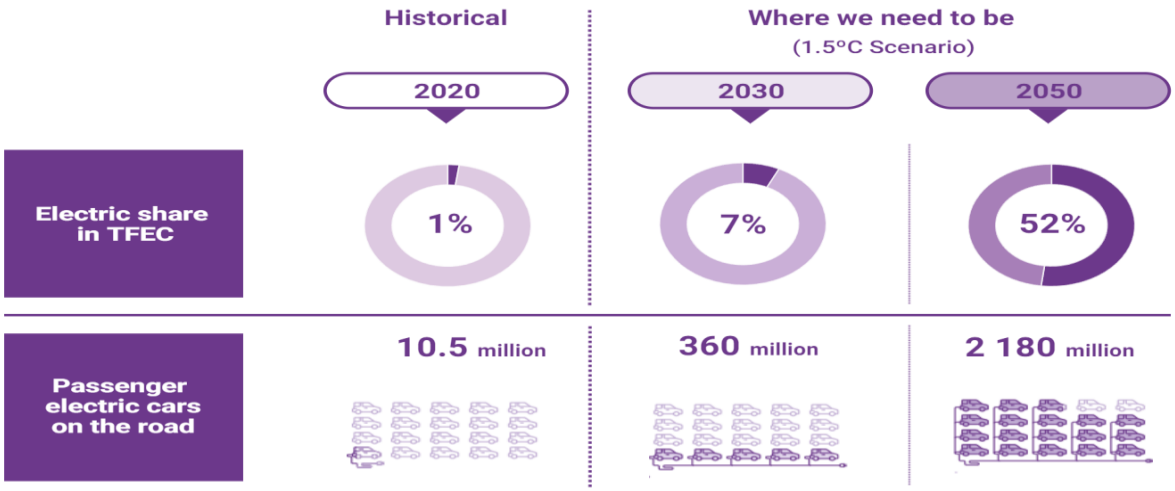
جعبه‌ابزار برای استراتژی‌های هوشمند برقی‌سازی

❖ چالش‌های برقی‌سازی حمل‌ونقل

ایرنا تخمین زده است که تا سال ۲۰۵۰، ۱۷۸۰ میلیون خودروی الکتریکی در معابر وجود خواهد داشت، درحالی‌که این رقم در سال ۲۰۱۹ تنها ۱۸ میلیون بود. این امر، مطالبات بی‌سابقه‌ای را برای سیستم برق به وجود می‌آورد. بنا بر تخمین ایرنا، برقی‌سازی بخش حمل‌ونقل تا سال ۲۰۳۰ به ۱۰ درصد و تا سال ۲۰۵۰ به ۵۰ درصد خواهد رسید. بنابراین، پذیرش گسترده وسایل نقلیه الکتریکی به شبکه‌های برقی نیاز دارد که بتوانند این تقاضا را با استفاده از برق مبتنی بر انرژی‌های تجدیدپذیر

[3] IRENA's 2023 Innovation Landscape Report

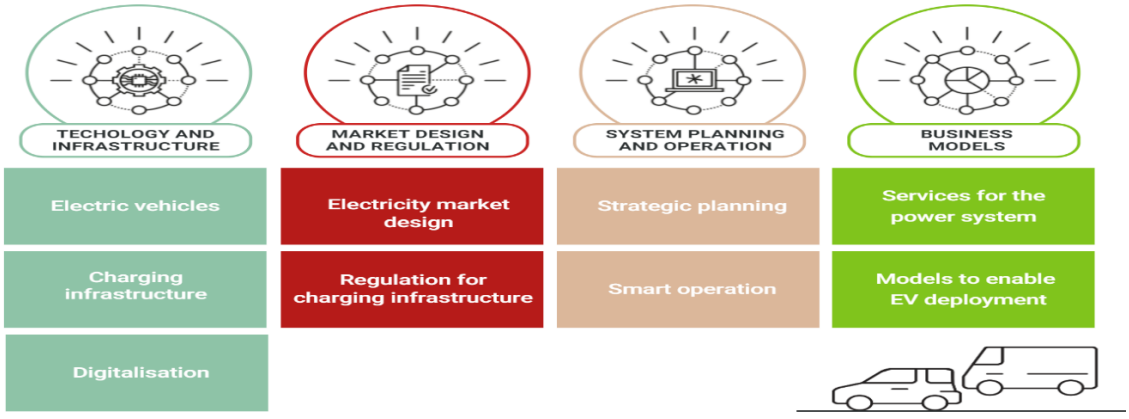
برآورده سازند. استراتژی‌های برقی‌سازی هوشمند می‌توانند امکان ادغام انرژی‌های تجدیدپذیر گوناگون را فراهم نمایند و درعین‌حال بارهای اوج و نیازهای سرمایه‌گذاری شبکه را کاهش دهند.



سهم برق در حمل‌ونقل و سهم خودروهای الکتریکی در سناریوی ۱.۵ درجه ایرنا

❖ انتخاب بهترین استراتژی شارژ هوشمند

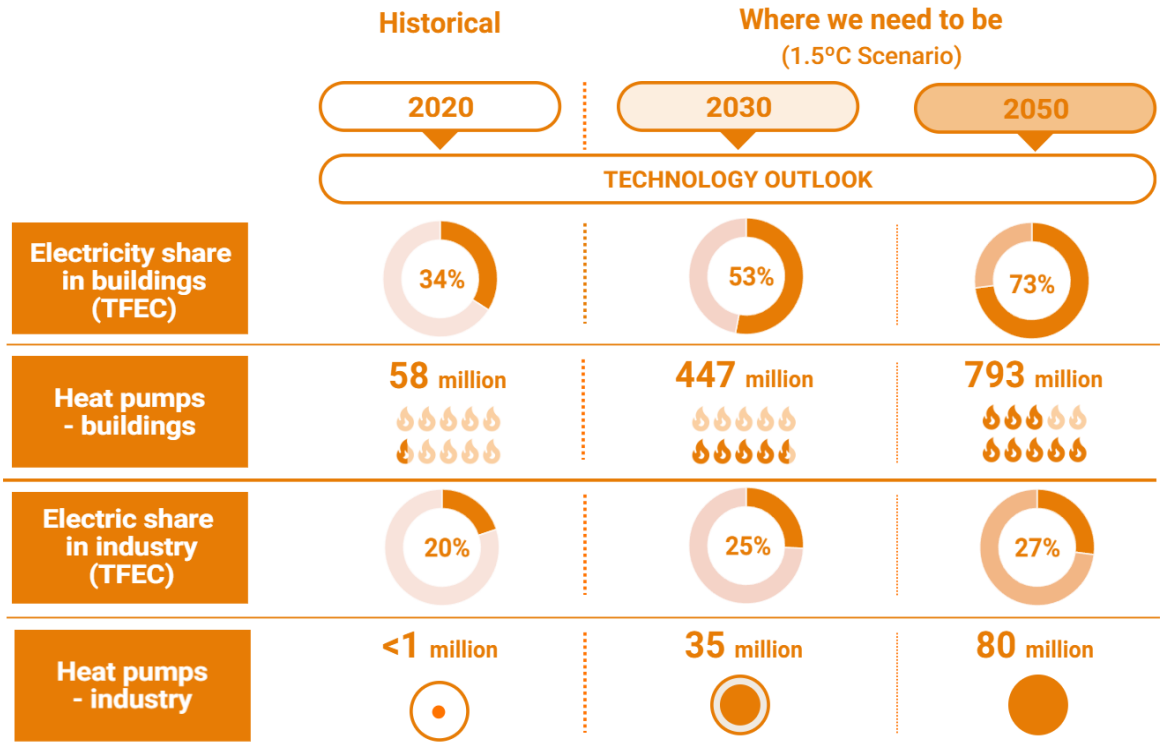
طراحی یک استراتژی هوشمند الکتریکی مؤثر به متغیرهای زیادی مانند انعطاف‌پذیری سیستم برق، ظرفیت شبکه و نیازهای حمل‌ونقل بستگی دارد. یک استراتژی هوشمند ویژه را می‌توان با استفاده از یک جعبه‌ابزار از ۳۵ نوآوری برای حمل‌ونقل برقی طراحی کرد. جعبه‌ابزار نوآوری را می‌توان برای ساخت استراتژی‌های برقی‌سازی هوشمند برای بخش‌های مختلف حمل‌ونقل مانند اتومبیل‌های سواری، دو و سه‌چرخه، وسایل نقلیه تجاری سبک، وسایل نقلیه سنگین و اتوبوس‌ها استفاده کرد.



جعبه‌ابزار نوآوری برای برقی‌سازی هوشمند بخش حمل‌ونقل

❖ راه‌حل‌های هوشمند برای گرمایش و سرمایش

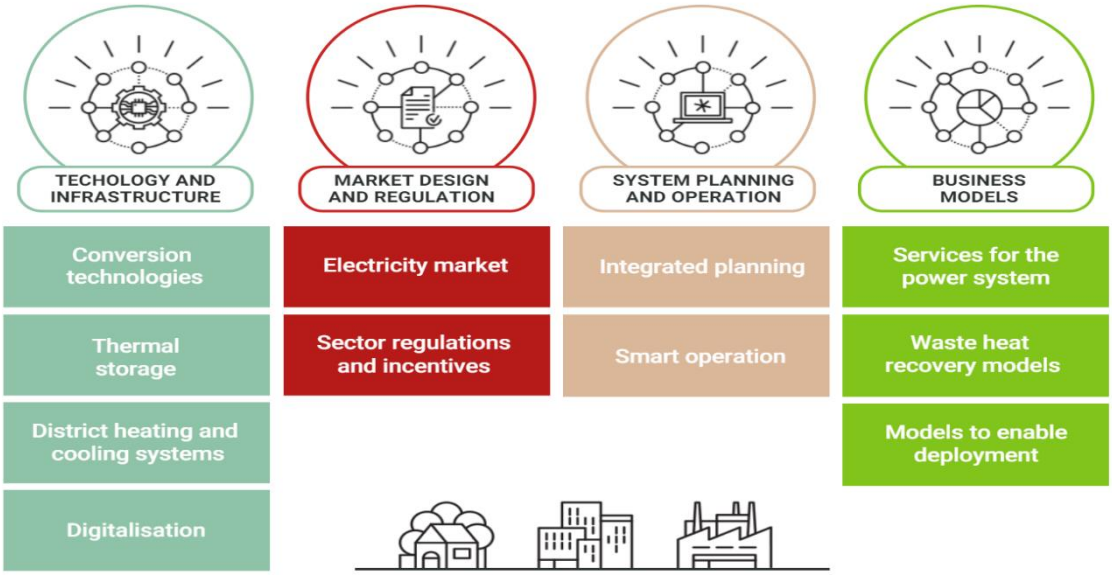
گرمایش و سرمایش تقریباً نیمی از مصرف نهایی انرژی جهانی را تشکیل می‌دهند و بیش از ۴۰ درصد از انتشار دی‌اکسیدکربن مرتبط با انرژی جهانی را تولید می‌کنند. استراتژی‌های برقی‌سازی هوشمند، ادغام بیشتر انرژی تجدیدپذیر، کاهش بارهای پیک، افزایش انعطاف‌پذیری سیستم برق و اجتناب از سرمایه‌گذاری در تولید، انتقال و توزیع اضافی را ممکن می‌سازد. به‌طور خلاصه، به‌شدت وابستگی به سوخت‌های فسیلی و هزینه‌ها و اثرات زیست‌محیطی را کاهش می‌دهند.



سهم برق و عرضه پمپ‌های حرارتی در بازار تحت سناریوی ۱.۵ درجه سانتی‌گراد ایرنا برای بخش‌های صنعت و ساختمان

❖ ایجاد یک استراتژی هوشمند الکتریکی برای گرمایش و سرمایش

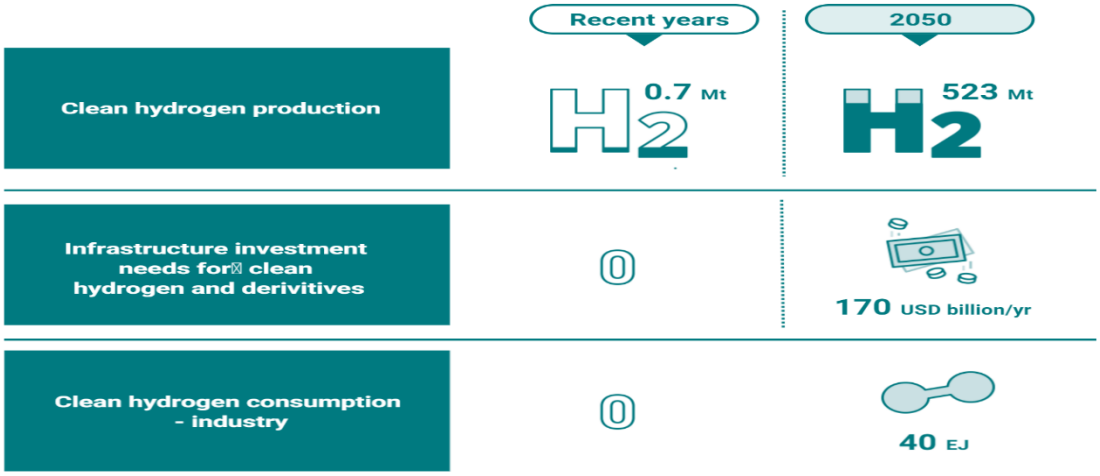
استراتژی‌های برقی‌سازی هوشمند به‌شدت وابسته به کاربرد مربوطه هستند. هیچ راه‌حل «یک اندازه مناسب برای همه» وجود ندارد. هدف ایجاد سیستم‌های گرمایش و سرمایش تمیز، کارآمد و هوشمندانه با سیستم‌های برق است. نوآوری سیستماتیک برای شکستن وظایف میان ذینفعان ازجمله شرکت‌های برق، اپراتورهای شبکه برق، شرکت‌های گرمایش و سرمایش منطقه‌ای و مدیران انرژی بخش مسکونی و صنعتی موردنیاز است. با استفاده از جعبه‌ابزار، استراتژی‌های هوشمند برقی‌سازی را می‌توان برای گرمایش و سرمایش منطقه‌ای، ساختمان‌ها و صنعت طراحی نمود.



جعبه‌ابزار نوآوری برای برقی‌سازی هوشمند گرمایش و سرمایش

❖ نقش کلیدی هیدروژن سبز در بخش‌هایی که به‌سختی کربن‌زدایی می‌شوند

برقی‌سازی مستقیم در برخی از بخش‌های مصرفی نهایی مانند فولادسازی، تولید مواد شیمیایی، حمل‌ونقل هوایی در مسافت‌های طولانی و کشتیرانی دریایی دشوار است. بااین‌حال، هیدروژن سبز و مشتقات آن می‌توانند راه‌حل‌های مناسبی برای کربن‌زدایی در این بخش‌ها ارائه دهند. هیدروژن همچنین می‌تواند به‌عنوان یک محیط ذخیره انرژی مورداستفاده قرار گیرد. بر اساس سناریوی ۱.۵ درجه سانتی‌گراد ایرنا، تولید هیدروژن سبز و مشتقات آن از سطح ناچیز امروزی به ۳۱ میلیون تن تا سال ۲۰۵۰ افزایش خواهد یافت.



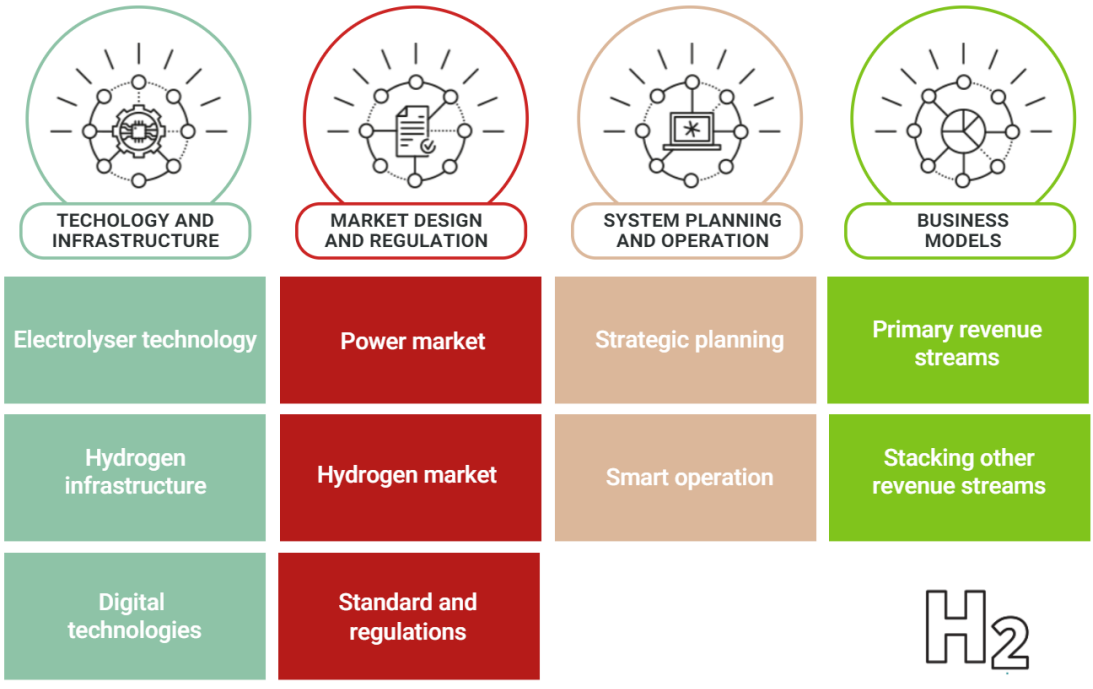
تولید، سرمایه‌گذاری و مصرف هیدروژن سبز در سناریوی ۱.۵ درجه سانتی‌گراد ایرنا

❖ تسریع هوشمندانه تولید هیدروژن سبز

برای تحقق پتانسیل کامل هیدروژن سبز، نوآوری قابل‌توجهی در زمینه‌های مختلف موردنیاز است:

- افزایش سریع تولید الکترولیز.
- ایجاد زیرساخت موردنیاز برای تولید، ذخیره و انتقال هیدروژن و مشتقات آن.
- ایجاد مدل‌های تجاری جدید، طرح‌های بازار و مقررات برای بازار رو به رشد هیدروژن.

یک جعبه‌ابزار از ۳۰ نوآوری را می‌توان برای طراحی یک استراتژی هوشمند برای تولید هیدروژن سبز استفاده کرد که نشان‌دهنده ویژگی‌های خاص سیستم انرژی و همچنین نحوه تولید و استفاده از هیدروژن باشد.



جعبه‌ابزار نوآوری برای هوشمندسازی بخش هیدروژن

منبع:irena.org

تحولات فناورانه

معرفی۱۰ محورشاخص هیدروژن و استارت‌آپ‌های نوآور

ایجاد اقتصاد هیدروژنی مدت‌هاست که در حال انجام است، اما به دلایل متعددی مانند کمبود فناوری، زیرساخت‌ها یا سرمایه‌گذاری‌ها، صنعت با این گذار انرژی دچار چالش است. در طول دهه گذشته، فشار جهانی به سمت کربن‌زدایی، همراه با پیشرفت در فناوری‌های موجود، روندهای هیدروژنی را تسریع کرده است. پیل‌های سوختی هیدروژنی بیشترین تأثیر را دارند و به خودروهای سنگین بدون آلایندگی کمک شایانی نموده‌اند که در حال حاضر سهم مهمی در انتشار گازهای گلخانه‌ای[۴] دارند. ۱۰ محور اصلی اقتصاد هیدروژنی زیر وابستگی انسان به سوخت‌های فسیلی را کاهش می‌دهد و کارایی عملیات صنعتی را تسهیل می‌سازد.

۱) پیل‌های سوختی هیدروژنی
۲) هیدروژن تجدیدپذیر
۳) الکترولیز پیشرفته
۴) X-to-Hydrogen-to-X
۵) حامل‌های هیدروژن
۶) جذب کربن، استفاده و ذخیره‌سازی
۷) توزیع هیدروژن

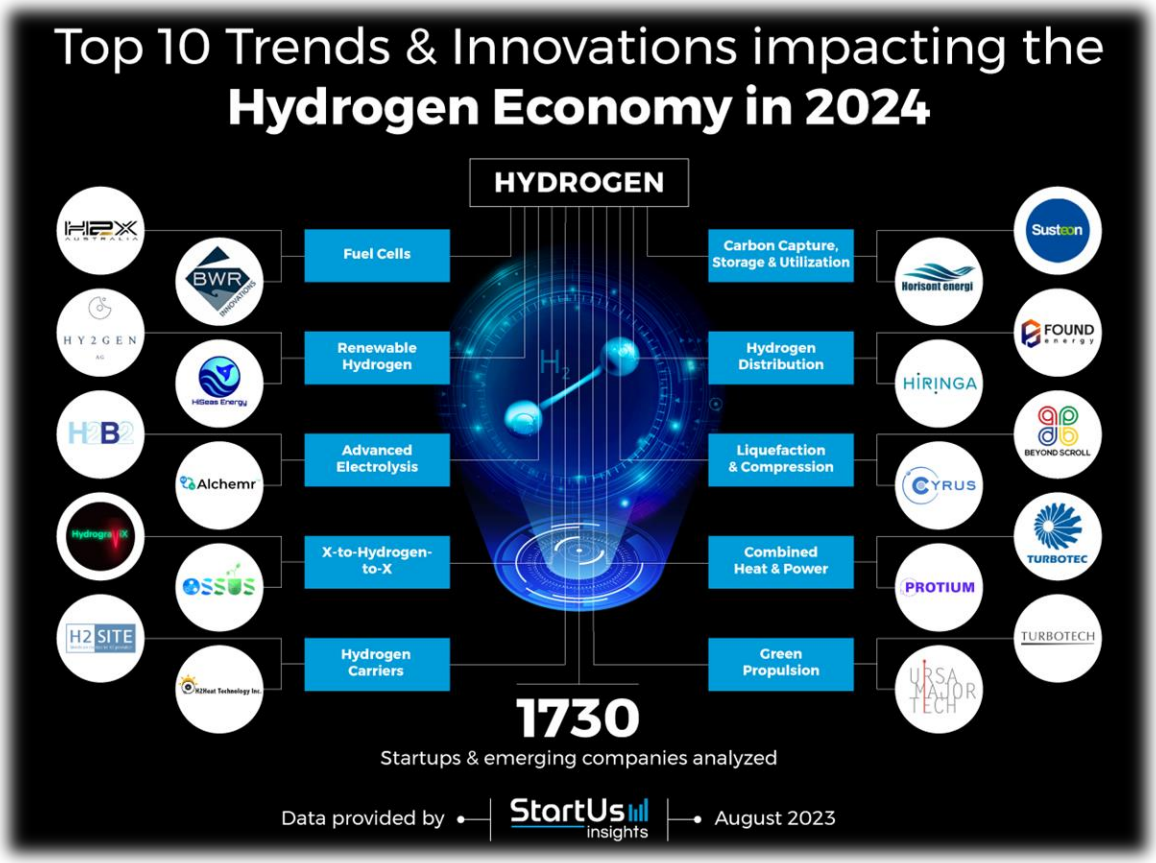
[4] Greenhouse Gas (GHG)

۸) مایع‌سازی و فشرده‌سازی هیدروژن

۹) حرارت و برق ترکیبی

۱۰) پیشرانه هیدروژنی

برای این تحقیق مبتنی بر داده و هوش مصنوعی، در مورد روندهای برتر هیدروژن و استارت‌آپ‌ها، نمونه‌ای از ۱۷۳۰ استارت‌آپ جهانی تحلیل شده است و با ارائه یک دید کلی از فناوری‌های نوظهور در صنعت هیدروژن، تصمیم‌گیری استراتژیک را بهبود می‌بخشد. نقشه نوآوری زیر، ۱۰ روند برتر هیدروژن و ۲۰ استارتاپ امیدوارکننده را مشخص می‌کند.

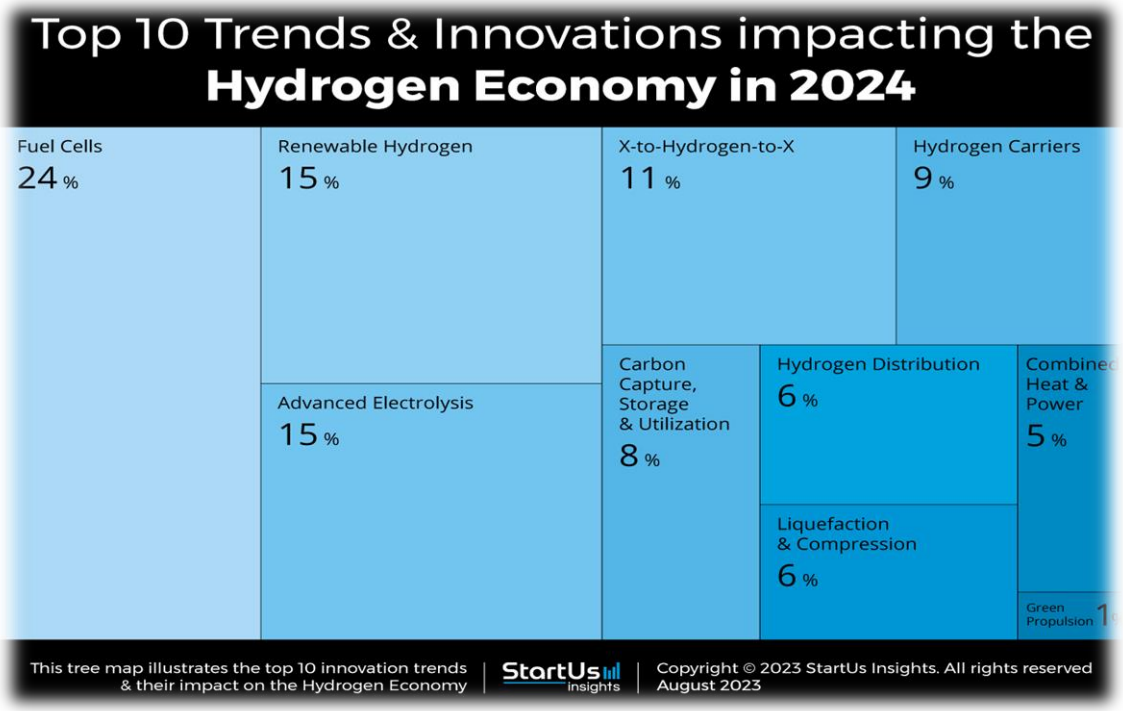


نقشه نوآوری شامل ۱۰ ترند برتر هیدروژن و ۲۰ استارتاپ امیدوارکننده

نقشه درختی بالا تأثیر ۱۰ روند برتر اقتصاد هیدروژنی را بر شرکت‌ها در سال ۲۰۲۴ نشان می‌دهد. اقتصاد هیدروژنی با استفاده از پیل‌های سوختی، خودروهای پیل‌سوختی و تقاضای انرژی تقویت خواهد شد. به‌طور خاص، جذب، استفاده و ذخیره‌سازی هیدروژن و کربن تجدیدپذیر[5] به دلیل ارتباط متقابل با تولید هیدروژن پاک، تأثیر عمده‌ای بر سایر روندها دارد.

[5] Carbon Capture, Utilization, and Storage (CCUS)

فناوری‌های زیست‌توده، در میان مجموعه‌ای از فناوری‌های X-to-Hydrogen-to-X، روش پایدار دیگری برای تولید هیدروژن فراهم می‌کند. علاوه بر این، توزیع و ذخیره هیدروژن به یکدیگر مرتبط هستند، زیرا توزیع مستقیماً به قابلیت‌های ذخیره‌سازی و جابجایی مناسب سوخت بستگی دارد. در نهایت، دیگر کاربردهای مهم هیدروژن شامل حرارت و توان ترکیبی[۶] و نیروی محرکه سبز[۷] است که همه‌کاره بودن[۸] هیدروژن را به‌عنوان یک حامل انرژی نشان می‌دهد.

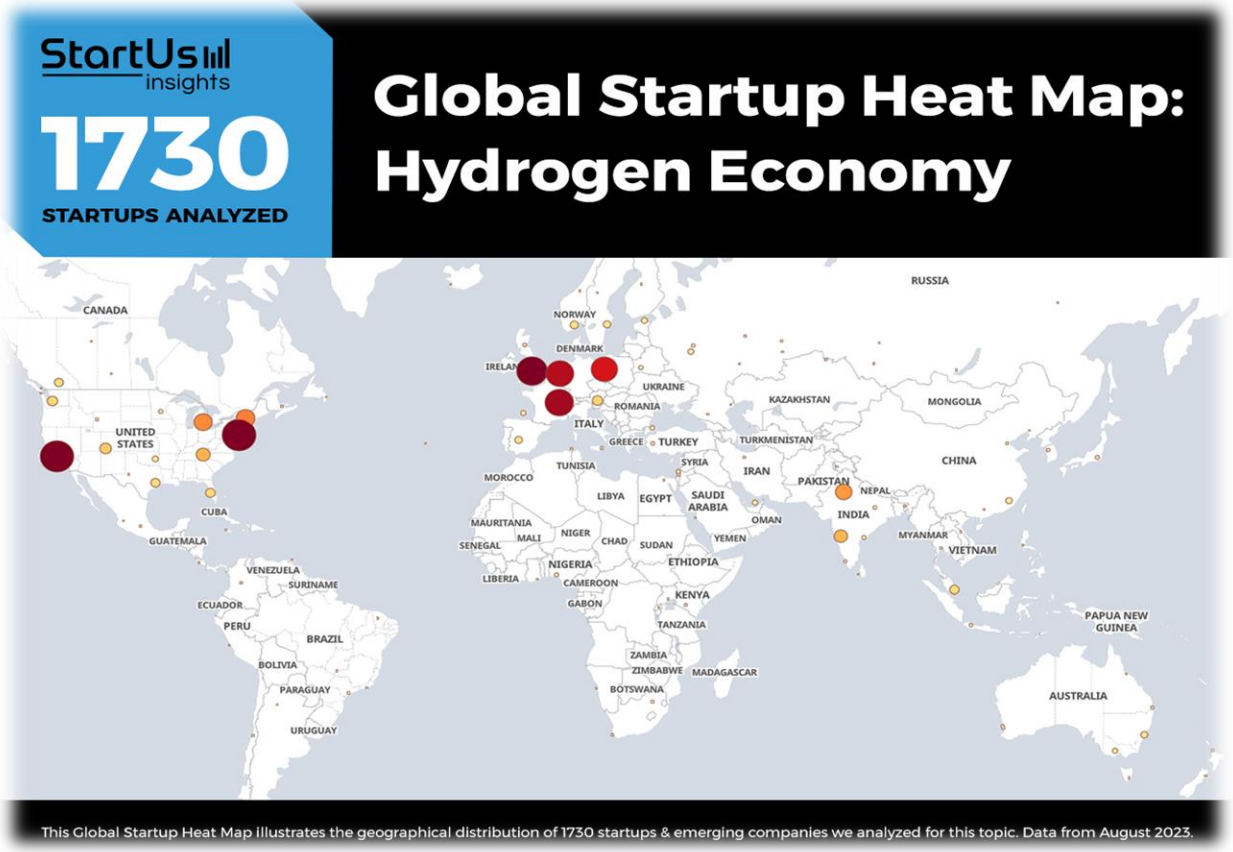


نمودار درختی و تأثیر ۱۰ روند نوآوری هیدروژن بر اقتصاد هیدروژنی

نقشه حرارتی[۹] استارتاپ‌ها در زیر، توزیع جهانی ۱۷۳۰ استارتاپ نمونه که برای این تحقیق تجزیه‌وتحلیل شده است، نشان می‌دهد. مطابق این نقشه، ایالات‌متحده و اروپا محل اکثر این شرکت‌ها هستند درحالی‌که شاهد افزایش آنها در هند هستیم.

در ادامه، ۲۰ مورد از میان ۱۷۳۰ استارت‌آپ امیدوارکننده و همچنین راه‌حل‌هایی که توسعه می‌دهند، تشریح می‌گردد. این استارت‌آپ‌های جدید فناوری هیدروژن بر اساس معیارهایی مانند سال تأسیس، مکان، بودجه جمع‌آوری‌شده و موارد دیگر انتخاب شدند.

[6] Combined Heat and Power (CHP)
[7] Green Propulsion
[8] Versatility
[9] Heat Map



نقشه حرارتی ۱۷۳۰ استارت‌آپ هیدروژنی

❖ ۱. پیل‌های سوختی هیدروژنی[10]

پیل‌های سوختی هیدروژنی امکان تولید برق آنی را فراهم می‌سازند و همچنین به پاسخگویی به تقاضا کمک می‌کنند. هیدروژن، شکاف بین نوسانات تولید برق برای سیستم‌های انرژی تجدیدپذیر[11] و شبکه‌ای که تنها از انرژی‌های تجدیدپذیر تغذیه می‌شود، برطرف می‌سازد. پیل‌های سوختی هیدروژنی مشکلات پاسخ به تقاضا را به‌عنوان منبع انرژی و همچنین ذخیره انرژی برای ماه‌ها حل می‌کنند.

پیل‌های سوختی همچنین برای عملیات‌های دریایی، زمینی و هوانوردی و همچنین در کشتی‌ها، قطارها، هواپیماها، هواپیماهای بدون سرنشین، اتومبیل‌ها، کامیون‌ها و اتوبوس‌ها مورداستفاده قرار می‌گیرند. به‌طور خاص، وسایل نقلیه صنعتی سنگین به دلیل سهم قابل‌توجهی که در انتشار گازهای گلخانه‌ای دارند، به نقطه کانونی اصلی در اقتصاد هیدروژن تبدیل می‌شوند.

[10] Hydrogen Fuel Cells
[11] Renewable Energy Systems (RES)

- **H2X وسایل نقلیه پیل‌سوختی هیدروژنی را طراحی می‌کند.**

استارت‌آپ استرالیایی H2X خودروهایی با پیل‌سوختی هیدروژنی را طراحی و توسعه می‌دهد. وسایل نقلیه این استارتاپ از هر دو فن‌آوری پیل‌سوختی هیدروژنی و باتری الکتریکی استفاده می‌کنند و به حمل‌ونقل بدون آلایندگی دست می‌یابند. این وسایل تنها به ۵ دقیقه برای سوخت‌گیری نیاز دارند و همچنین برد بیشتری را در هر بار شارژ کردن نسبت به خودروهای دارای باطری دارند. علاوه بر این، وسایل نقلیه دارای پوشش ضد میکروبی بر روی تمام سطوح لمسی معمولی هستند که ایمنی بیشتری را برای همه سرنشینان تضمین می‌کند. محصولات H2X شامل خودروهای پیل‌سوختی هیدروژنی، ون و خودروهای صنعتی سنگین است.

- **BWR Innovations پیل‌سوختی هیدروژن قابل‌حمل را توسعه می‌دهد.**

استارت‌آپ مستقر در ایالات‌متحده BWR Innovations راه‌حل‌های قابل‌حمل پیل‌سوختی هیدروژنی را ارائه می‌دهد. ژنراتور پیل‌سوختی SFC110 محصول ضدعفونی‌کننده با پیل سوختی BWR Innovations است. این یک ژنراتور و بخاری پیل‌سوختی قابل‌حمل است که انواع آلاینده‌های بیولوژیکی ازجمله ویروس‌ها، باکتری‌ها، انگل‌ها و قارچ‌ها را غیرفعال می‌سازد. این دستگاه اتاق‌های تا ۶۰۰ فوت مربع را بدون باقی ماندن مواد شیمیایی یا سموم ضدعفونی می‌کند. این امکان ضدعفونی بدون انتشار و تجهیزات، ازجمله تجهیزات حفاظت فردی پزشکی[۱۲] را فراهم می‌کند. کاربران می‌توانند از طریق رایانه یا تلفن همراه بر این محصولات نظارت داشته باشند.

❖ ۲. هیدروژن تجدیدپذیر[۱۳]

تولید هیدروژن از منابع تجدیدپذیر انرژی، کربن‌زدایی در مقیاس بزرگ را امکان‌پذیر می‌سازد. استفاده از سیستم‌های انرژی تجدیدپذیر برای تولید هیدروژن سبز، انتشار کربن را که معمولاً در تولید هیدروژن معمولی از سوخت‌های فسیلی رایج است، حذف می‌کند. انرژی خورشیدی گزینه‌هایی را برای تولید هیدروژن ارائه می‌دهد، به‌عنوان‌مثال، از طریق تجزیه فوتوکاتالیستی آب[۱۴] یا تجزیه ترموشیمیایی آب[۱۵]. با استفاده از متمرکزکننده‌های خورشیدی در این فرآیند، استارتاپ‌ها به سطوح بالایی از تشعشع برای تجزیه آب به هیدروژن و اکسیژن دست می‌یابند. علاوه بر این، توربین‌های بادی نیز از طریق الکترولیز به تولید هیدروژن سبز کمک می‌کنند. منابع تجدیدپذیر همراه با پیل‌های سوختی یا حامل‌های هیدروژنی، پاسخگویی مؤثر به تقاضای برق را امکان‌پذیر می‌سازند. لازم به ذکر است، در حال حاضر در مقیاس کوچک‌تر، برخی از شرکت‌ها از انرژی آبی برای تولید هیدروژن بهره می‌برند.

[12] Personal Protective Equipment (PPE)
[13] Renewable Hydrogen
[14] Photocatalytic Water Splitting
[15] Thermochemical Water Splitting

- **HiSeas Energy از سکوهای توربین بادی فراساحلی برای تولید هیدروژن استفاده می‌کند.**

استارت‌آپ HiSeas Energy مستقر در ایالات‌متحده، توربین‌های بادی فراساحلی را برای برق‌رسانی به الکترولایزرها توسعه می‌دهد. پلتفرم توربین بادی فراساحلی شناور آزاد[16] یک پلتفرم کم‌هزینه، سبک و پایدار برای مزارع تا ۴۰ مگاوات فراهم می‌کند. تحویل انرژی به ساحل با استفاده از حامل‌های هیدروژن آلی مایع[17]، با هیدروژن سبز که از الکترولیز آب تأمین می‌شود، تکمیل می‌گردد. هر پلتفرم الکترولیز حامل‌های آلی مایع هیدروژن، از طریق کابل‌های برق کف دریا به توربین‌های تامین کننده برق متصل می‌شود.

- **HY2GEN هیدروژن خورشیدی تولید می‌کند.**

استارت‌آپ آلمانی HY2GEN از انرژی خورشیدی برای تولید هیدروژن سبز استفاده می‌کند. پروژه این استارت‌آپ، SUNRHYSE، نیروگاه ۳۰ مگاواتی الکترولیز را با استفاده از برق سبز از طریق پنل‌های خورشیدی تأمین می‌کند. در این فرآیند، HY2GEN هیدروژن را برای بخش‌های حمل‌ونقل و دریایی فراهم می‌آورد. هدف این پروژه امکان قیمت‌گذاری رقابتی هیدروژن، اطمینان از حمل‌ونقل و توزیع، و همچنین ایجاد تأسیسات ذخیره انرژی برای تکمیل شبکه است. این استارتاپ در چندین پروژه دیگر، مانند HYNOVERA، که سوخت‌های الکترونیکی[18] را از طریق گازسازی زیست‌توده از طریق هیدروژن سبز سنتز می‌کند، مشارکت دارد.

❖ ۳. الکترولیز پیشرفته[19]

توسعه فناوری‌های الکترولیز پیشرفته در درجه اول امکان مقیاس‌پذیری بیشتر واحدهای تولید هیدروژن را فراهم می‌سازد. به دلیل کاهش هزینه‌های عملیاتی و همچنین هزینه‌های سرمایه‌ای، الکترولایزرهای غشایی مبادله پروتون[20] یا غشای الکترولیت پلیمری[21] به‌طور فزاینده‌ای موردتوجه قرار می‌گیرند که هم برای اهداف صنعتی و هم برای مسکونی کاربرد دارند.

الکترولایزرهای اکسید جامد[22] و الکترولایزرهای غشایی تبادل آنیون[23] برخی از انواع رایج الکترولایزرها هستند. به دلیل دمای عملیاتی پایین، الکترولایزرهای اکسید جامد از فلزات گران‌بها به‌عنوان کاتالیزور استفاده نمی‌کنند، درحالی‌که الکترولایزرهای غشایی تبادل آنیون از یون‌های هیدروکسید برای جریان در سراسر غشاء بهره می‌برند. کارایی کلی الکترولایزرها به صفحات دوقطبی، مواد الکترودها و کاتالیزورهای مورداستفاده در واکنش بستگی دارد.

[16] Free-Floating Offshore Wind Turbine (FFWOT)
[17] Liquid Organic Hydrogen Carriers (LOHC)
[18] E-Fuels
[19] Advanced Electrolysis
[20] Proton Exchange Membrane
[21] Polymer Electrolyte Membrane (PEM)
[22] Solid Oxide Electrolyzers (SOE)
[23] Anion-Exchange Membrane (AEM)

- **Alchemr الکترولیزهای غشایی تبادل آنیون طراحی می‌کند.**

استارت‌آپ مستقر در ایالات‌متحده Alchemr الکترولایزرهای غشایی تبادل آنیون را برای تولید هیدروژن ارائه می‌دهد. فناوری غشایی تبادل آنیون امکان تخریب الکترولیت کم با استفاده از غشاهای بادوام نازک را فراهم می‌آورد و درنتیجه تولید هیدروژن بهینه را به همراه دارد. این الکترولایزرها به فلزات نجیب به‌عنوان کاتالیزور نیاز ندارند، بنابراین هزینه‌های سرمایه‌ای را کاهش می‌دهند. الکترولایزرهای غشایی تبادل آنیون به ورودی‌های برق سیستم‌های انرژی تجدیدپذیر متصل می‌شوند یا برای تولید هیدروژن در اندازه بزرگ، با ظرفیت تا ۱۰۰ مگاوات، مقیاس‌بندی شده‌اند.

- **H2B2 الکترولیزهای مقیاس بزرگ طراحی می‌کند.**

استارت‌آپ اسپانیایی H2B2 الکترولایزرهای مقیاس‌پذیر را برای مصارف مسکونی و صنعتی توسعه می‌دهد. EL580N الکترولایزر در مقیاس بزرگ این استارت‌آپ است که ظرفیت تولید ۱۲۵۱ کیلوگرم هیدروژن در روز را دارد. این استارت‌آپ الکترولایزر را طبق استانداردهای منطقه‌ای می‌سازد و آن را در یک مخزن ۴۰ فوتی ادغام می‌کند. دارای علامت CE و همچنین مطالعات خطر و عملکرد[۲۴] است. علاوه بر این، این استارت‌آپ مجموعه وسیعی از الکترولایزرهای دیگر را تولید می‌نماید که از مقیاس کوچک تا متوسط را شامل می‌شود.

❖ ۴. X-to-Hydrogen-to-X

اقتصاد هیدروژن نه تنها به هیدروژن بلکه به واسطهای شیمیایی سوخت نیز بستگی دارد. سوخت‌های الکترونیکی، مانند متانول الکترونیکی[۲۵](که انتشار کربن کمی دارد) از هیدروژن سرچشمه می‌گیرند و مستقیماً در موتورهای احتراق داخلی[۲۶] استفاده می‌شوند.

متانول و متان مواد شیمیایی دیگری هستند که محصولات فرعی تولید هیدروژن هستند و هیدروژن را مجدداً به چرخه وارد می‌کنند. به‌ویژه ازنظر کربن‌زدایی، تبدیل زباله به هیدروژن بسیار مهم است. امروزه استارت‌آپ‌ها از طریق گازسازی[۲۷]، پیرولیز[۲۸]، تخمیر[۲۹] و فرآیندهای اصلاح[۳۰] به این مهم دست می‌یابند. هدف راه‌حل‌های تبدیل زباله به هیدروژن، حل بحران زباله در عین تولید هیدروژن با انتشار کربن صفر یا کم است.

[24] Hazard and Operability Studies (HAZOP)
[25] E-Methanol
[26] Internal Combustion (IC) Engine
[27] Gasification
[28] Pyrolysis
[29] Fermentation
[30] Reforming Processes

- **Hydrogravix یک ژنراتور برق انتقال جرم موازی[۳۱] را توسعه می‌دهد.**

Hydrogravix هیدروسایکلر[۳۲] را توسعه می‌دهد، فناوری که در یک سیستم سیکل بسته عمل می‌کند. این سیستم از الکترولیز برای تجزیه آب به هیدروژن و اکسیژن و سپس ترکیب مجدد آن‌ها برای تولید برق و تولید آب بهره می‌برد. این سیستم یک چرخه خودپایدار[۳۳] تأمین انرژی و آب ایجاد نموده است. هیدروسایکلر یک مولد برق موازی انتقال جرم است.

- **Ossus Biorenewables از فاضلاب برای تولید هیدروژن استفاده می‌کند.**

استارتاپ هندی Ossus Biorenewables بیوهیدروژن را از فاضلاب تولید می‌کند. دستگاه این استارت‌آپ، OB HYDRACEL، یک دستگاه خودتوان[۳۴] است که هیدروژن را از پساب‌های موجود در سایت‌های صنعتی تولید می‌نماید OB HYDRACEL به‌طور مستقیم به خطوط لوله پساب در کارخانه‌ها و مکان‌های صنعتی متصل می‌شود. این دستگاه هم تصفیه فاضلاب و هم تولید هیدروژن در سایت‌های صنعتی را امکان‌پذیر می‌سازد.

❖ ۵. حامل‌های هیدروژن[۳۵]

هرچند هیدروژن معمولاً به شکل مایع یا گاز انتقال می‌یابد، اما محدودیت‌های جابجایی و عملیاتی هیدروژن خالص فشار زیادی بر مخازن ذخیره‌سازی وارد می‌آورد. حامل‌های هیدروژن، هیدریدها یا ترکیبات هیدروژن هستند که از واکنش شیمیایی یک فلز یا یک ماده شیمیایی با هیدروژن تشکیل می‌شوند. به‌طورمعمول، جابه‌جایی آن‌ها در مسافت‌های طولانی آسان است.

ذخیره‌سازی این حامل‌ها نیز آسان است و با تحقیق و توسعه بیشتر در خصوص حامل‌های هیدروژنی، استارت‌آپ‌ها به دنبال افزایش خلوص و کارایی فرآیند جداسازی برای بازیابی هیدروژن هستند. هیدریدهای فلزی، مانند هیدریدهای منیزیم، ظرفیت بیشتری برای ذخیره شیمیایی هیدروژن در شبکه فلزی خود دارند. حامل‌های هیدروژن آلی مایع، هیدریدهای شیمیایی و نانوساختارها نیز برای انتقال هیدروژن در دست بررسی و توسعه هستند.

- **H2SITE تولید هیدروژن در محل را تسهیل می‌کند.**

استارت‌آپ H2SITE در اسپانیا راه‌حل‌های تولید هیدروژن در محل را ارائه می‌دهد که هیدروژن تجدیدپذیر را برای شرکت‌های کوچک و متوسط تولید می‌کند. این استارتاپ از مواد اولیه مانند آمونیاک و متانول به عنوان حامل هیدروژن بهره می‌برد. فناوری راکتور غشایی این استارت‌آپ به صنایع، ژنراتورهای برق و وسایل نقلیه اجازه می‌دهد تا با تولید هیدروژن در

[31] Parallel Mass Transfer Electric Power Generator
[32] Hydrocycler
[33] Self-Sustaining Cycle
[34] Self-Powered
[35] Hydrogen Carriers

محل، هزینه‌های هیدروژن را کاهش دهند. H2SITE همچنین به نیازهای بخش‌های گاز طبیعی، حمل‌ونقل و منابع انرژی توزیع‌شده پاسخ می‌دهد.

- **H2Heat از آلیاژهای فلزی به‌منظور ذخیره هیدروژن استفاده می‌کنند.**

استارتاپ کانادایی H2Heat آلیاژهای فلزی را برای ذخیره هیدروژن فراهم می‌کند. سیستم این استارت‌آپ اتم‌های هیدروژن را در یک نانوکامپوزیت حالت جامد بر پایه آلیاژهای فلزی پیچیده با استفاده از پیوندهای اتمی و یک سیستم انتقال حرارت میکرو ذخیره می‌کند. گاز H2 از یک صفحه مخصوص عبور می‌کند تا مولکول‌های هیدروژن را به اتم‌های هیدروکسید تجزیه کند. علاوه بر این، هیدروژن با چگالی ذخیره‌سازی بالاتر نسبت به هیدروژن فشرده، با خلوص بالا ذخیره می‌شود. از آن‌جایی که در فشار کمتری این فرآیند صورت می‌پذیرد، پلتفرم جایگزین امن‌تری نسبت به سیستم‌های ذخیره‌سازی سنتی است.

❖ ۶. جذب کربن، استفاده و ذخیره‌سازی[۳۶]

تولید هیدروژن فعلی عمدتاً بر سوخت‌های فسیلی متکی است و همین امر هیدروژن تولیدشده را ناپایدار می‌سازد. روش‌های رایج مانند اصلاح متان بخار[۳۷] و گازی‌سازی زغال‌سنگ[۳۸] به انتشار گازهای گلخانه‌ای منجر می‌شود. تا زمانی که جایگزین‌ها مقرون‌به‌صرفه نباشند، منابع اصلی تولید هیدروژن به همین شکل باقی خواهند ماند. ترکیب CCUS یا فن‌آوری‌های هیدروژن آبی[۳۹] تأثیر زیست‌محیطی روش‌های تولید مرسوم را به‌شدت کاهش می‌دهند.

این فناوری‌ها در مکان‌های تولید هیدروژن در مقیاس بزرگ به‌منظور کاهش انتشار کربن یا تبدیل آن‌ها به مواد اولیه قابل‌استفاده برای سایر فرآیندها وجود دارند. به‌عنوان‌مثال، CCUS امکان تولید کود را فراهم می‌سازد و در افزایش بازیافت نفت[۴۰] مفید است. علاوه بر این، تشکیل محصولات جانبی کربن جامد یک روش مؤثر برای استفاده مجدد از ضایعات تولید هیدروژن است. هم‌چنین، هدایت مجدد انتشار کربن گازی برای استفاده در سایر فرآیندهای صنعتی، تضمینی برای حلقه‌های انتشار[۴۱] و ضایعات صفر[۴۲] خواهد بود.

- **Susteon از CCUS برای تولید هیدروژن آبی استفاده می‌کند.**

استارت‌آپ مستقر در ایالات‌متحده، Susteon، هیدروژن آبی را با استفاده از فناوری CCUS ارائه می‌کند. این استارت‌آپ ژنراتورهایی را توسعه می‌دهد تا هم‌زمان با جذب کربن‌دی‌اکسید، هیدروژن تحت‌فشار با خلوص بالا تولید نماید. این فناوری

[36] Carbon Capture, Utilization and Storage
[37] Steam Methane Reforming
[38] Coal Gasification
[39] Blue Hydrogen Technologies
[40] Enhanced Oil Recovery (EOR)
[41] Emission Loops
[42] Zero Waste

مبتنی بر یک پلاسمای غیرحرارتی کاتالیزوری است که متان را برای تولید گاز سنتز فعال می‌کند. گاز سنتز برای تولید هیدروژن با فشار بالا، خلوص بالا و بدون کربن، خالص و فشرده می‌شود. این استارت‌آپ همچنین قابلیت تولید نانو کاتالیزورهایی را برای تجزیه متان بدون کربن و تولید هیدروژن آبی در دست دارد.

- **Horisont Energi از CCUS برای سنتز هیدروژن آبی و آمونیاک آبی استفاده می‌کند.**

استارتاپ نروژی Horisont Energi هیدروژن آبی تولید می‌کند. Arctic Blue Hydrogen محصول این استارت‌آپ است که به رساندن هیدروژن آبی به اقتصاد هیدروژن کمک شایانی دارد. این شرکت با شیوه ذخیره‌سازی کربن خود به نام Polaris، از هیدروژن برای تولید آمونیاک آبی برای حمل‌ونقل و ذخیره‌سازی بهره می‌برد و امکان استفاده گسترده از هیدروژن آبی را فراهم می‌سازد. آمونیاک در مقصد به هیدروژن تبدیل می‌شود.

❖ ۷. توزیع هیدروژن[۴۳]

یک مانع بزرگ در ایجاد اقتصاد هیدروژنی، حمل‌ونقل و توزیع سوخت است. بسته به محل تولید و استفاده، روش‌های مختلف توزیع در حال بررسی است. توزیع منطقه‌ای هیدروژن از طریق خطوط لوله جدید یا مقاوم‌سازی خطوط لوله گاز طبیعی فعلی در حال پیشرفت است. قطارها و کشتی‌ها نیز هیدروژن را به‌صورت مایع یا گاز در سراسر مناطق حمل می‌کنند.

تریلرهای لوله‌ای و تانکرهای مایع راه‌حل‌های مناسبی برای توزیع هیدروژن در بزرگراه‌ها هستند. جابجایی مخازن ذخیره هیدروژن به دلیل اشتعال‌پذیری و ماهیت شکنندگی مواد مهم است. ایستگاه‌های سوخت‌گیری هیدروژن همچنین بزرگراه‌های هیدروژنی را پدید می‌آورند و چالش‌های سوخت‌گیری خودروهای پیل‌سوختی هیدروژنی، به‌ویژه در کامیون‌ها و اتوبوس‌ها را کاهش می‌دهند.

- **Found Energy سیستم‌های توزیع انرژی هیدروژن را توسعه می‌دهد.**

استارت‌آپ آمریکایی Found Energy فناوری‌ای را توسعه می‌دهد که از آلومینیوم فلزی برای تولید هیدروژن در صورت تقاضا برای انتقال انرژی بهره می‌برد. فرآیند آن به‌طور ایمن انرژی را از طریق خوردگی سریع آلومینیوم هنگام قرار گرفتن در معرض آب استخراج می‌کند. فناوری Found Energy شکاف در توزیع را برطرف می‌سازد و در حال آزمایش راه‌حل خود در مقیاس صنعتی ۱–۱۰ مگاواتی از طریق بسته‌های سوخت مدولار قابل تنظیم و خلوص بالا است. همین امر، انرژی‌های تجدیدپذیر را قادر می‌سازد تا با سوخت‌های فسیلی، به‌عنوان‌مثال در کاربردهای صنایع سنگین، رقابت نماید.

- **Hiringa Energy یک شبکه سوخت‌رسانی هیدروژنی ایجاد می‌کند.**

[43] Hydrogen Distribution

استارت‌آپ Hiringa Energy مستقر در نیوزیلند با توسعه یک شبکه سوخت‌گیری هیدروژن در سراسر نیوزیلند، اقتصاد هیدروژن را تسریع می‌نماید. این استارتاپ که عمدتاً بر بازار خودروهای سنگین متمرکز است، یک طرح سه فازی برای ساخت شبکه سوخت‌رسانی طراحی کرده است. هدف نهایی این است که تا سال ۲۰۳۰، دسترسی به بیش از ۱۰۰ جایگاه سوخت‌رسانی فراهم شود. شبکه سوخت‌رسانی شامل واحدهای تولید متمرکز با سوخت‌گیری پراکنده، تولید پراکنده و تولید شخص ثالث با تخلیه است.

❖ ۸. مایع‌سازی و فشرده‌سازی هیدروژن[۴۴]

نیاز به توسعه مخازن ذخیره‌سازی هیدروژن برای مقیاس‌پذیری اقتصاد هیدروژن بسیار مهم است. رایج‌ترین شکل ذخیره‌سازی هیدروژن مایع در مخازن برودتی است که به نام دوار[۴۵] نیز شناخته می‌شوند. این مخازن هیدروژن مایع را در دمای ۲۵۳- درجه سانتی‌گراد بدون نشتی و به‌صورت خالص نگه می‌دارند. بسته به مواد موجود در مخازن برودتی(دوار) و ظرفیت حمل آن‌ها، انواع مختلفی از دوار از نوع I تا نوع IV وجود دارد.

علاوه بر این، مخازن ذخیره گاز فشرده برای ذخیره گاز هیدروژن با فشار بالا مفید هستند. گاز هیدروژن در مقایسه با هیدروژن مایع به دلیل محدودیت‌های دمایی هیدروژن، نسبتاً ساده‌تر است. بااین‌حال، برای استفاده در کاربردهای صنعتی آماده نیست. هیدروژن فشرده‌شده[۴۶] با فشار بالا شامل ذخیره‌سازی هیدروژن با فشار بالا برای کاهش جوشش پس از قرار گرفتن در اتمسفر است که کار با آن را آسان و مقرون‌به‌صرفه می‌سازد.

- **Beyond Scroll کمپرسورهای اسکرول بدون روغن[۴۷] را توسعه می‌دهد.**

استارت‌آپ سوئیسی Beyond Scroll کمپرسورهای اسکرول بدون روغن می‌سازد تا تولید هیدروژن سبز را کارآمدتر و مقرون‌به‌صرفه‌تر نماید. فن‌آوری این استارت‌آپ، هیدروژن را از فشار اتمسفر بدون آلودگی فشرده می‌سازد و اجزای سیستم و هزینه‌های تعمیر و نگهداری را کاهش می‌دهد. کمپرسورهای Beyond Scroll در سرعت‌های بالا از فشار کم تا متوسط با تنها ۱۲۰ کیلووات توان ورودی کار می‌کنند که یکی از محدودیت‌های اصلی فناوری فشرده‌سازی را برطرف می‌سازد.

- **CYRUS کمپرسورهای هیدروژن را توسعه می‌دهد.**

استارتاپ یونانی CYRUS کمپرسورهای هیدروژن هیدرید فلزی[۴۸] را برای کاربردهای حمل‌ونقل طراحی می‌کند. کمپرسورهای هیدروژن هیدرید فلزی که با انرژی حرارتی تأمین می‌شوند، هیدروژن را در فشار و دمای پایین جذب و سپس با افزایش دما با یک منبع حرارتی خارجی، آن را در فشار بالاتر دفع می‌کنند. این کمپرسورها برای کار در تأسیسات حرارتی

[44] Hydrogen Liquefaction and Compression
[45] Dewars
[46] Cryo-Compressed Hydrogen
[47] Oil-Free Scroll Compressors
[48] Metal Hydride Hydrogen Compressors (MHC)

سیستم انرژی تجدیدپذیر یا تأسیسات حرارتی زباله‌های صنعتی مناسب هستند و از مواد اولیه حیاتی استفاده نمی‌کنند. علاوه بر این، به دلیل تولید صدای صفر و اثرات زیست‌محیطی کم، کمپرسورها را می‌توان در مناطق مسکونی نصب کرد.

❖ ۹. حرارت و برق ترکیبی (تولید همزمان حرارت و برودت)[۴۹]

کربن‌زدایی بخش تولید همزمان حرارت و برودت یکی از اهداف اقتصاد هیدروژنی است. روش‌های فعلی شامل ترکیب هیدروژن در خطوط لوله گاز طبیعی موجود برای گرم کردن فضاهای صنعتی و مسکونی است. هیدروژن ترکیبی همچنین در توربین‌های گاز ثابت[۵۰] و ژنراتورها مفید است زیرا انتشار گازهای گلخانه‌ای را در طول تولید برق کاهش می‌دهد. علاوه بر این، انواع جدید دیگ‌های بخار احتراق و پمپ‌های حرارتی هیبریدی نیز از هیدروژن برای دستیابی به گرمایش پایدار استفاده می‌کنند.

- **Turbotec توربین‌های گاز هیدروژنی را طراحی می‌کند.**

استارت‌آپ بلژیکی Turbotec توربین‌های گاز هیدروژنی را برای CHP تولید می‌کند. توربین گاز هیدروژنی این استارت‌آپ، TURBOTEC HyTG-550، به عنوان یک نیروی محرکه و ژنراتور دریایی طراحی شده است. این موتور ۵۵۰ کیلووات توان الکتریکی دارد و از یک واحد تولید همزمان حرارت و برودت که تا ۹۵۰ کیلووات توان حرارتی را ارائه می‌دهد، برخوردار است. این توربین مدولار است و می‌تواند در یک کانتینر حمل‌ونقل مکعبی به ارتفاع ۲۰ فوت قرار گیرد.

همچنین برای موازی‌سازی[۵۱] با هدف به دست آوردن توان خروجی مطلوب در یک سیستم هیبریدی–الکتریکی بزرگ‌تر مناسب است. علاوه بر این، این استارت‌آپ HyTG-100، یک ژنراتور توربین گازی با سوخت هیدروژنی ارائه می‌نماید که برای هوانوردی سبک هیبریدی–الکتریکی و تولید برق در واحدهای تولید همزمان حرارت و برودت یا فراساحلی مناسب است.

- **Protium Green Solutions راه‌حل‌های گرمایش صنعتی مبتنی بر هیدروژن را توسعه می‌دهد.**

استارتاپ Protium Green Solutions مستقر در بریتانیا، یک شرکت خدمات انرژی هیدروژن سبز، راه‌حل‌های CHP را برای گرمایش صنعتی مبتنی بر هیدروژن پیاده‌سازی می‌کند. پروژه HyLADDIE پروژه آزمایشی این استارتاپ است که گرمایش صنعتی بدون انتشار را اجرا نموده است. این پروژه بر نصب و راه‌اندازی محفظه‌های احتراق دینامیکی[۵۲] که از هیدروژن به عنوان سوخت استفاده می‌کنند، متمرکز است.

[49] Combined Heat and Power
[50] Stationary Gas Turbines
[51] Parallelization
[52] Dynamic Combustion Chambers (DCC)

❖ ۱۰. نیروی محرکه هیدروژنی[۵۳]

استفاده از هیدروژن به عنوان سوخت برای نیروی محرکه فضایی امیدوارکننده است زیرا نسبت انرژی به چگالی مناسبی در شکل مایع دارد. نیروی محرکه مستلزم استفاده مستقیم از سوخت هیدروژن برای نیرو دادن به راکت‌ها، هواپیماها و جت‌ها با سیستم‌های اکسیژن مایع–هیدروژن است. پیشرفت‌های اخیر در فناوری فضایی شامل ترکیب هیدروژن با سوخت‌های دیگر برای نیرو دادن به توربین‌ها و پیشرانه‌ها در راستای دستیابی به نیروی محرکه سبز است. سیستم‌های هیبریدی–الکتریکی ازنظر دستیابی به حمل‌ونقل کم آلاینده، قابل‌توجه هستند. پراکسید هیدروژن[۵۴]، مشتقی از هیدروژن، یک سوخت جایگزین تحت تحقیق برای کاربرد بالقوه به عنوان پیشرانه وسایل نقلیه فضایی است.

- **Turbotech، توربوژنراتورهای هیدروژنی را توسعه می‌دهد.**

استارت‌آپ فرانسوی Turbotech سیستم‌های محرکه هیبریدی–الکتریکی را برای هواپیماها و وسایل نقلیه متحرک الکتریکی–عمودی[۵۵] طراحی می‌کند. TG-R55 و TG-R90 توربوژنراتورهای این استارت‌آپ هستند که نیروی الکتریکی را در داخل هواپیما تولید می‌نمایند. هنگامی‌که این محصولات همراه با باتری‌ها استفاده می‌شوند، تا ۱۰ برابر بیشتر از سیستم‌های هواپیمای تمام الکتریکی برد دارند. توربوژنراتورها ژنراتورهای الکتریکی و توربین‌ها را با مبدل‌های حلقوی یکپارچه که امکان بازیابی انرژی گازهای خروجی را فراهم می‌سازند، ترکیب می‌کنند. با وجود توربوژنراتورهای این استارتاپ، وزن کمتری برای وسیله نقلیه صرف می‌شود و درنتیجه کارایی سفر افزایش می‌یابد. این استارتاپ همچنین یک موتور توربوپراپ کم‌آلاینده[۵۶] به نام TP-R90 طراحی کرده است.

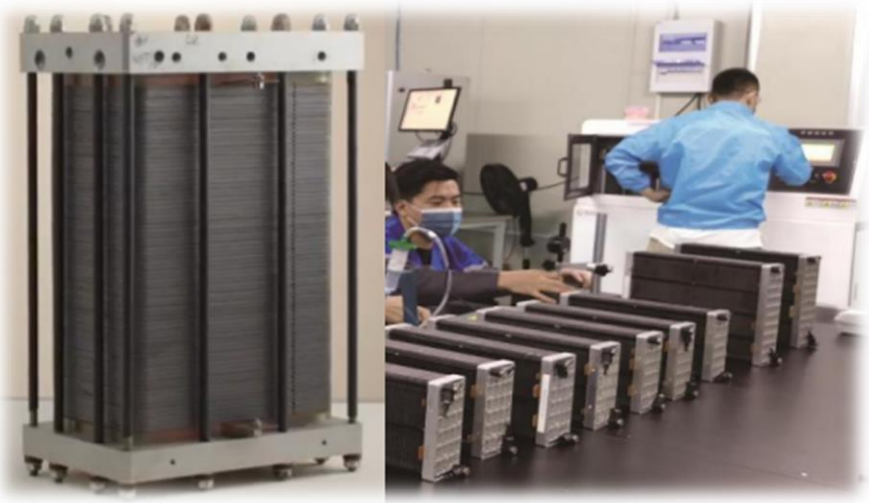
زمینه‌های متعددی جهت نوآوری در ذخیره‌سازی و توزیع هیدروژن وجود دارد. حامل‌های توسعه‌یافته با استفاده از فناوری نانو نقش بزرگی ایفا خواهند کرد. خط لوله هیدروژن متشکل از محلول‌های هیدروژنی مخلوط، با خطوط لوله مقاوم‌سازی شده یا یک شبکه جدید توسعه‌یافته در افق بررسی و توسعه است. هدف این روندهای هیدروژنی ایجاد جایگزینی برای استفاده از سوخت فسیلی برای مصرف‌کنندگان، فعالیت‌های تجاری و صنعتی است.

منبع : startus-insights.com – آگوست ۲۰۲۳

[53] Hydrogen Propulsion
[54] Hydrogen peroxide
[55] Electric-Vertical Take-Off and Landing (E-VTOL)
[56] Low-Emission Turboprop Engine

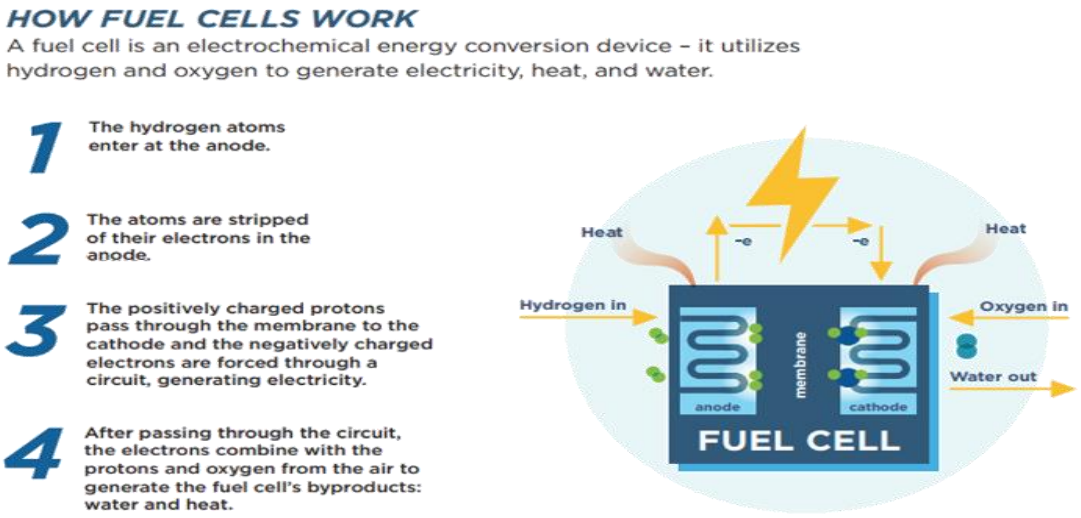
تحولات فناورانه

فناوری‌های پیل سوختی و افق پیش‌رو



پیل سوختی هیدروژنی یک مولد برق الکتروشیمیایی است که هیدروژن و اکسیژن را برای تولید الکتریسیته ترکیب می‌کند وآب و گرما به عنوان محصولات جانبی به همراه دارد. به زبان ساده، سلول‌های سوختی هیدروژنی انرژی تولید می‌کنند که می‌توان از آن برای تأمین انرژی از خودروهای تجاری گرفته تا پهپادها استفاده کرد. هنگامی‌که هیدروژن به داخل آن پمپ می‌شود، از طریق یک سری اجزا (یک آند، یک کاتد و یک الکترولیت) به پروتون و الکترون تقسیم می‌گردد. پروتون‌ها از طریق الکترولیت به کاتد برده می‌شوند، درحالی‌که الکترون‌ها به مدار خارجی فرستاده می‌شوند. این مدار خارجی جریان الکتریکی تولید شده را نگه می‌دارد. بنابراین پیل‌های سوختی هیدروژن را به الکتریسیته تبدیل می‌کنند. این الکتریسیته می‌تواند انرژی هر چیزی را از یک وسیله نقلیه الکتریکی پیل سوختی، یک کامیون نیمه تریلر بزرگ یا حتی یک مجتمع مسکونی را تأمین نماید. پیل‌های سوختی به‌تنهایی الکتریسیته بسیار کمی تولید می‌کنند. به همین دلیل است که معمولاً در به‌اصطلاح «پشته‌های پیل‌سوختی[۵۷]» در کنار هم قرار می‌گیرند.

[57] Fuel Cell Stacks



نحوه کار پیل‌سوختی

❖ مزایای پشته‌های پیل سوختی

پشته‌های پیل‌سوختی مزایای زیادی نسبت به منابع برق سنتی دارند. درحالی‌که بیشتر منابع انرژی سوخت فسیلی سوخت را با نرخی در حدود ۳۲ تا ۳۵ درصد به الکتریسیته تبدیل می‌کنند، پشته‌های پیل سوختی می‌توانند تا ۵۹ درصد یا حتی بیشتر کارایی داشته باشند. به‌عنوان‌مثال، پشته پیل‌سوختی H-1000 XP به بازدهی در حدود ۵۹ درصد در آزمایش‌های دنیای واقعی دست یافته است. کارایی پشته‌های پیل‌سوختی به این معنی است که انرژی بیشتری از سوخت به برق قابل‌استفاده تبدیل می‌شود. بنابراین انتشار گازهای گلخانه‌ای کمتر، در ازای دریافت برق بیشتر را در پی خواهد داشت.

پشته‌های پیل‌سوختی در کاربردهای مختلفی قابل‌استفاده هستند. ژنراتورهای سوخت فسیلی می‌توانند صداهای بسیار بلند و آزاردهنده داشته باشند، درحالی‌که گازهای خطرناک نیز منتشر می‌کنند، پیل‌های سوختی چیزی جز گرما و آب به عنوان محصولات جانبی تولید نمی‌کنند. به‌این‌ترتیب می‌توان برق را در مکان‌هایی که نصب ژنراتورهای سوخت فسیلی غیرممکن است، تأمین کنند.

فناوری پیل‌سوختی هیدروژنی در برابر شرایط سخت نیز کارایی مناسبی دارد، از جمله محیط‌های سرد تا ۴۰- درجه فارنهایت، محیط‌های آب و هوایی مانند بیابان‌ها و طوفان‌های زمستانی.

طبق گفته وزارت انرژی ایالات‌متحده، پیل‌های سوختی هیدروژنی معمولاً بین ۴۰ تا ۶۰ درصد بازده انرژی دارند. این محدوده با موتور احتراق داخلی معمولی یک خودرو مقایسه می‌شود که حدود ۲۵ درصد بازده مصرف انرژی دارد.

مزایای استفاده از یک محصول مدولار قابل‌توجه است، ازجمله: قابلیت اطمینان بیشتر و قابلیت سرویس‌دهی آسان‌تر. اما مهم‌ترین مزایای پیل‌سوختی ممکن است مقیاس‌پذیری باشد. این محصولات ممکن است دقیقاً برای پاسخگویی به نیازهای مختلف مشتری، چه برای وسایل نقلیه الکتریکی در جاده، ناوگان حمل مواد یا برق ثابت، مهندسی شوند. لذا هزینه میتواند کاملا منطقی باشد.

در مقایسه با باتری‌ها و ژنراتورهای احتراق داخلی، پیل‌های سوختی در هزینه‌ها صرفه‌جویی می‌کنند. پیل‌های سوختی نیاز به تعویض، شارژ و مدیریت باتری‌ها را از بین می‌برند و متعاقباً نیروی کار، زمان، مکان و نیازهای اوج انرژی را کاهش می‌دهند. این واحدها بیشتر از باتری‌های سرب اسید کار می‌کنند و می‌توانند در کمتر از سه دقیقه سوخت‌گیری کنند، که به‌طور قابل‌توجهی زمان ازکارافتادن خودرو و پرسنل را کاهش می‌دهد. علاوه بر این، تعمیر و نگهداری ساده و بازدیدهای کمتر از محل در مقایسه با ژنراتورهای احتراق برای برق ثابت، تا ۸۴ درصد هزینه‌های عملیاتی کمتری را به همراه دارد. قابلیت اطمینان قوی نیاز به بازدیدهای فصلی تعمیر و نگهداری سایت را از بین می‌برد و پرسنل سایت را بر روی وظایف حیاتی خود متمرکز می‌کند.

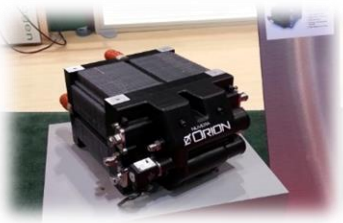
❖ انواع پیل‌های سوختی

- **پیل سوختی متانولی مستقیم [58]**

پیل‌های سوختی مستقیم متانول مانند پیل‌های سوختی با غشای تبادل پروتون[59] از غشای پلیمری به عنوان الکترولیت و معمولاً یک کاتالیزور پلاتین استفاده می‌کنند. بااین‌حال، برخلاف پیل‌های سوختی با غشای تبادل پروتون، پیل‌های سوختی متانولی مستقیم به‌جای استفاده از سوخت هیدروژن مستقیم، هیدروژن را از متانول مایع می‌گیرند. همچنین این محصولات در دمای نسبتاً خنک، بین ۱۲۵ تا ۲۵۰ درجه فارنهایت کار می‌کنند. کاربردهای آن‌ها از وسایل الکترونیکی کوچک مانند شارژرهای باتری و لپ‌تاپ‌ها تا کاربردهای بزرگ‌تر مانند برق ثابت برای پشتیبانی از مخابرات را شامل می‌شود.

[58] Direct Methanol Fuel Cells (DMFCs)
[59] Proton-Exchange Membrane Fuel Cells (PEMFC)

- **پیل‌سوختی غشای تبادل پروتون**



پیل‌های سوختی با غشای تبادل پروتون از یک غشای پلیمری برای الکترولیت خود و از یک فلز گران‌بها، معمولاً پلاتین، برای کاتالیزور خود استفاده می‌کنند. آنچه این پیل‌های سوختی را از سایر پیل‌های سوختی متمایز می‌کند، توانایی آن برای عملکرد در دمای خنک‌تر نسبت به سایر انواع پیل‌های سوختی (بین ۸۰ تا ۲۰۰ درجه فارنهایت) است. گاز هیدروژن خالص به دلیل استفاده از فلزات گران‌بها و دمای عملیاتی پایین، سوخت معمولی برای پیل‌های سوختی غشایی تبادل پروتون است.

پیل‌های سوختی غشایی تبادل پروتون بین ۴۰ تا ۶۰ درصد راندمان دارند و می‌توانند تغییرات بزرگ و ناگهانی در توان خروجی را مدیریت کنند. این نوع پیل‌های سوختی برای اتومبیل‌ها و سایر وسایل نقلیه تخصصی مانند لیفتراک‌هایی که نیاز به راه‌اندازی یا شتاب سریع دارند، مناسب هستند. علاوه بر این، می‌توان این محصولات را در کاربردهای ثابت برای استفاده در ارتباطات راه دور، مراکز داده و بازارهای مسکونی مقیاس‌بندی نمود.

- **پیل‌سوختی اکسید جامد[60]**

پیل‌های سوختی اکسید جامد با بالاترین دما (در حدود ۸۰۰ درجه سلسیوس) کار می‌کنند. این نوع پیل‌ها از یک لایه متراکم سرامیک به عنوان الکترولیت استفاده می‌کنند که در دماهای بالا امکان هدایت یون‌های اکسیژن را فراهم می‌کند. مشابه پیل سوختی کربنات مذاب[61]، همچنین از یک کاتالیزور غیرپلاتینی با استفاده از رفرم داخلی استفاده می‌کنند و معمولاً توسط گاز طبیعی تأمین سوخت می‌شوند. از طریق این فرآیند، این نوع پیل‌های سوختی می‌توانند بازده الکتریکی بین ۵۰ تا ۶۰ درصد و ۷۰ تا ۸۰ درصد در کاربردهای تولید همزمان حرارت و برودت [62] به دست آورند. پیل‌های سوختی اکسید جامد در طیف وسیعی از کاربردها، از واحدهای برق کمکی کوچک مسکونی که گرما و برق خانه‌ها را تأمین می‌کنند، تا ژنراتورهای برق ثابت در مقیاس بزرگ برای ساختمان‌ها و مشاغل بزرگ‌تر مورداستفاده قرار می‌گیرند.

- **پیل‌سوختی اسید فسفریک[63]**

پیل‌سوختی اسید فسفریک از اسید فسفریک مایع و الکترولیت سرامیکی و یک کاتالیزور پلاتین استفاده می‌کند. این پیل‌های سوختی از نظر فیزیکی شبیه به پیل‌سوختی با غشای تبادل پروتون و در سطح کارایی مشابه عمل می‌کنند. بااین‌حال، پیل‌های سوختی اسید

[60] Solid Oxide Fuel Cells (SOFC)
[61] Molten-Carbonate Fuel Cells (MCFCs)
[62] Combined Heat Power(CHP)
[63] Phosphoric Acid Fuel Cells (PAFC)

فسفریک در دمای بالاتری کار می‌کنند. پیل‌های سوختی اسید فسفریک معمولاً در حالت تولید هم‌زمان نه تنها برای تولید الکتریسیته، بلکه برای جذب گرما (جهت کمک به گرمایش و سرمایش) استفاده می‌شوند. پیل‌های سوختی اسید فسفریک اغلب در برنامه‌های کاربردی با تقاضای انرژی بالا، مانند بیمارستان‌ها، مدارس و مراکز تولید و پردازش دیده می‌شوند.

- **پیل سوختی قلیایی[64]**

پیل‌های سوختی قلیایی بیشتر به خاطر نقششان در مأموریت آپولو ناسا برای تأمین آب و برق برای خدمه شناخته می‌شوند. این پیل‌های سوختی از الکترولیت‌های متخلخل اشباع‌شده با محلول قلیایی استفاده می‌کنند و همان‌طور که از نامش پیداست دارای غشای قلیایی هستند. پیل‌های سوختی قلیایی یکی از کارآمدترین انواع پیل‌های سوختی است که دارای پتانسیل ۶۰ درصد راندمان الکتریکی و ۸۰ تا ۹۰ درصد در کاربردهای الکتریکی–حرارتی است. پیل‌های سوختی قلیایی از هیدروژن به عنوان منبع سوخت استفاده می‌کنند، ازآنجاکه این محصولات بسیار حساس هستند و در صورت قرار گرفتن در معرض دی‌اکسید کربن می‌توانند از کار بیفتند، در درجه اول در کاربردهای کنترل شده هوافضا و زیر آب استفاده می‌شوند.

- **پیل‌سوختی کربنات مذاب**

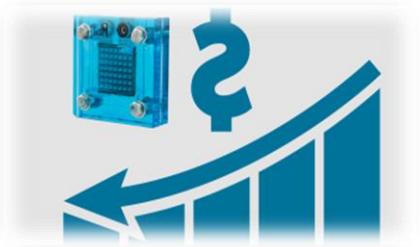
پیل‌های سوختی کربنات مذاب در دمای بالاتر از ۱۲۰۰ درجه فارنهایت کار می‌کنند و از مخلوط کربنات–نمک مذاب معلق در زمینه سرامیکی به عنوان الکترولیت استفاده می‌کنند. این دمای بالا به پیل‌های سوختی کربنات مذاب اجازه می‌دهد تا از کاتالیزورهای غیر پلاتینی از طریق فرآیندی به نام "رفرم داخلی[65]" استفاده کنند و هزینه کلی سیستم را کاهش دهند. این نوع از پیل‌های سوختی همچنین می‌توانند از گاز طبیعی به‌طور مستقیم به عنوان منبع سوخت خود استفاده کنند. MCFCها می‌توانند به بازدهی ۶۰–۵۰٪ و ۸۰–۷۰٪ در کاربردهای حرارتی–الکتریکی برسند. این پیل‌های سوختی معمولاً در کاربردهای ثابت مستقر می‌شوند و برق اولیه و پشتیبان با کیفیت بالا را برای شرکت‌ها فراهم می‌آورند.

[64] Alkaline Fuel Cells (AFC)
[65] Internal Reforming

❖ آینده پیل‌های سوختی

چند روند می توان متصور شد که در سال‌های آینده در انتظار پیل‌های سوختی است.

- **قیمت‌های پایین‌تر**



انتظار می‌رود که پشته‌های سلول سوختی ارزان‌تر شوند. در حال حاضر، یک پشته پیل‌سوختی بزرگ می‌تواند چندین هزار دلار هزینه داشته باشد. اما با پیشرفت تکنولوژی، قیمت پیل‌سوختی به میزان قابل‌توجهی کاهش خواهد یافت. به‌عنوان‌مثال یک پشته پیل سوختی ۱ کیلوواتی را در نظر بگیرید. قیمت این محصول در دهه گذشته بیش از ۵۰۰۰ دلار کاهش یافته است. انتظار می‌رود این کاهش قیمت در طول این دهه نیز ادامه یابد.

- **افزایش بهره‌وری**

در آینده، پشته‌های پیل‌سوختی کارآمدتر خواهند شد. برخی از سیستم‌ها در حال حاضر می‌توانند ۶۰ درصد راندمان را به دست آورند، اما این میزان به‌زودی تغییر خواهد کرد. انتظار می‌رود سطوح ۷۰٪ و حتی بالاتر در اواخر این دهه قابل‌دستیابی باشد. این پیشرفت به دلیل مواد و طرح‌های جدیدی که محققان درحال‌توسعه هستند، قابل پیش‌بینی است.

- **پذیرش بیشتر**

سیتم های پیل‌سوختی در حال حاضر برای تأمین انرژی خودروها و اتوبوس‌ها استفاده می‌شوند، اما این میزان در آینده به‌طور چشم‌گیری افزایش خواهد یافت. شرکت‌هایی مانند تویوتا، هوندا و هیوندای در حال حاضر سرمایه‌گذاری زیادی در سیستم‌های حمل‌ونقل پیل‌سوختی نموده‌اند. درحالی‌که امروزه بیش از ۱۰۰۰۰ خودروی پیل‌سوختی در معابر وجود دارد، کارشناسان پیش‌بینی می‌کنند این تعداد تا سال ۲۰۳۰ به بیش از ۱۳ میلیون خودرو برسد. از آن‌جایی که دولت‌ها در سراسر جهان اهداف بلندپروازانه‌ای برای کاهش انتشار گازهای گلخانه‌ای وضع می‌نمایند، پیل‌های سوختی به‌طور فزاینده‌ای به‌جای سوخت‌های فسیلی جایگزین خواهند شد.

- **یکپارچه‌سازی بین سیستم‌های انرژی تجدیدپذیر**

سیستم‌های انرژی تجدیدپذیر فعلی متناوب هستند. این بدان معنا است که برای تولید انرژی به منابع انرژی مانند خورشید، باد و آب متکی هستند. مشکل این منابع انرژی این است که فقط گاهی اوقات در دسترس هستند (آب‌وهوای ابری یا بدون باد منجر به بی‌برقی می‌شود). پیل‌های سوختی بخش مهمی از غلبه بر این چالش هستند. انرژی اضافی تولید شده در هنگام حضور آفتاب و باد می‌تواند به عنوان هیدروژن ذخیره گردد و هنگامی‌که باد متوقف می‌شود یا روزی ابری است، برای تولید برق از پیل‌های سوختی استفاده شود.

- **پیشرفت در تولید هیدروژن**

هیدروژن رایج‌ترین سوخت مورداستفاده در پیل‌های سوختی است. بااین‌حال بیشتر این هیدروژن در حال حاضر از گاز طبیعی (سوخت فسیلی) تولید می‌شود. دانشمندان در حال حاضر روی توسعه فناوری‌های جدید برای تولید هیدروژن کارآمدتر از منابع تجدیدپذیر مانند آب و زباله‌های بیولوژیکی متمرکز هستند. این توسعه منجر به افزایش فوق‌العاده‌ی پذیرش پیل‌های سوختی خواهد شد.

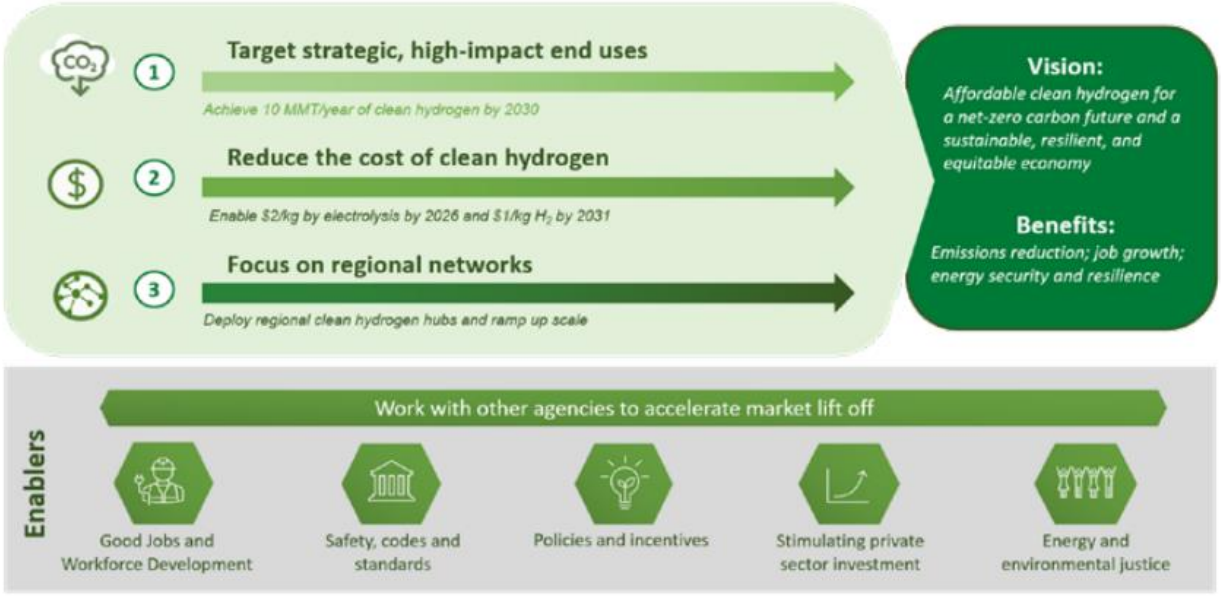
- **سرمایه‌گذاری دولتی**

دولت‌ها در سراسر جهان در حال حاضر سرمایه‌گذاری هنگفتی بر روی فناوری پیل‌سوختی انجام می‌دهند، اما حتی این سرمایه‌گذاری‌ها نیز در آینده به‌طور چشمگیری افزایش خواهد یافت. با ادامه سرمایه‌گذاری دولت‌ها در تحقیق و توسعه پیرامون پیل‌های سوختی، پذیرش این سیستم‌ها افزایش خواهد یافت. دولت ایالات‌متحده در دو سال گذشته بیش از ۷ میلیارد دلار در تحقیق و توسعه هیدروژن سرمایه‌گذاری کرده است. هدف این سرمایه‌گذاری، ترویج استارت‌آپ‌های پیل‌سوختی، صنعت و مؤسسات تحقیقاتی این حوزه است. چالش‌هایی در تحقیقات پیل‌سوختی هنوز وجود دارد، اما سرمایه‌گذاری دولت سیستم‌های پیل‌سوختی را برای مصرف‌کنندگان بسیار رایج‌تر و ارزان‌تر خواهد کرد. آینده پیل‌های سوختی درخشان پیش‌بینی می‌شود. پیشرفت‌های بزرگی در یکپارچه‌سازی سیستم‌های انرژی تجدیدپذیر، نوآوری در تولید هیدروژن و حتی بیشتر سرمایه‌گذاری دولتی وجود خواهد داشت. در یک دهه آینده، پیل‌های سوختی در مرکز سیستم انرژی‌های تجدیدپذیر جهان قرار خواهند گرفت.

منبع: fchea.org

تحولات راهبردی

استراتژی و نقشه راه ملی هیدروژن پاک ایالات‌متحده



استراتژی‌ها و توانمندسازی‌ها برای دستیابی به چشم‌انداز هیدروژن پاک

استراتژی و نقشه راه ملی هیدروژن پاک ایالات‌متحده یک چارچوب ملی جامع برای تسهیل تولید، پردازش، تحویل، ذخیره‌سازی و استفاده از هیدروژن پاک در مقیاس بزرگ برای کمک به تحقق اهداف کربن‌زدایی در تقریباً تمام بخش‌های اقتصاد است. توسعه استراتژی و نقشه راه با بازخورد گسترده ذینفعان اطلاع‌رسانی شده است و طبق قانون زیرساخت دوحزبی[۶۶] حداقل هر سه سال یک‌بار به‌روزرسانی می‌شود. این استراتژی و نقشه راه با اهداف دولت همسو است، از جمله:

- کاهش ۵۰ تا ۵۲ درصدی انتشار گازهای گلخانه‌ای ایالات‌متحده از سال ۲۰۰۵ تا سال ۲۰۳۰
- برق ۱۰۰٪ بدون آلودگی کربن تا سال ۲۰۳۵
- انتشار خالص گازهای گلخانه‌ای صفر حداکثر تا سال ۲۰۵۰
- ۴۰ درصد از مزایای سرمایه‌گذاری فدرال آب‌وهوا به جوامع محروم ارائه می‌شود.

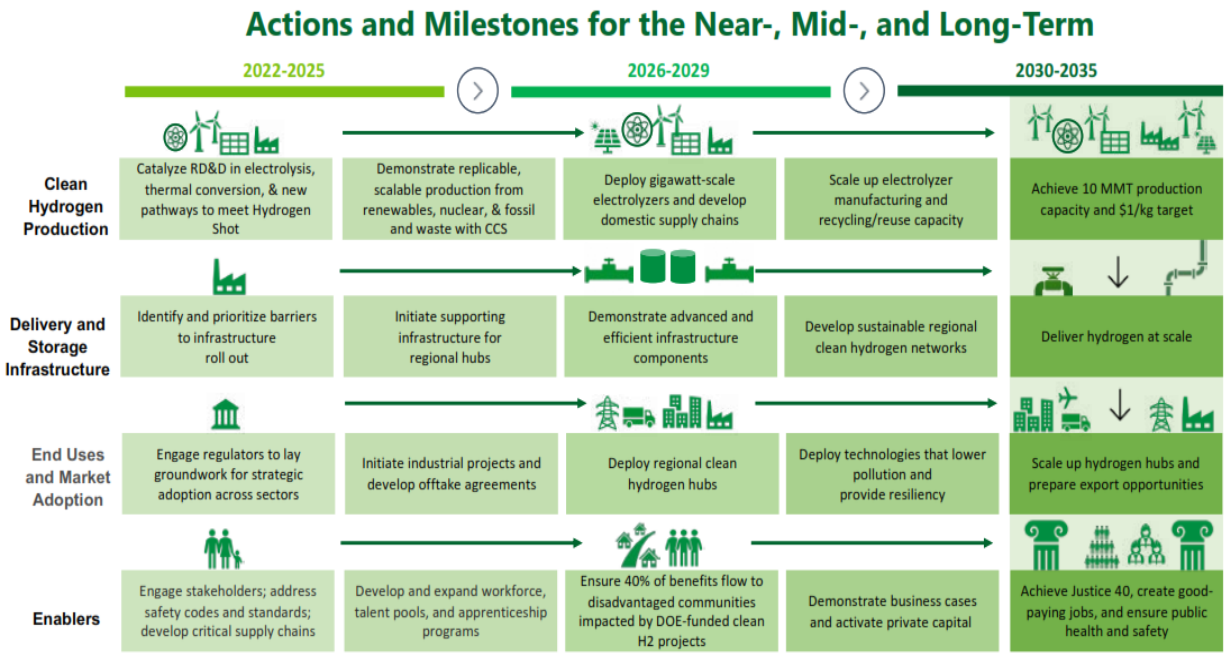
[66] Bipartisan Infrastructure Law

❖ فرصت‌ها

- **تولید هیدروژن پاک**
  - ۱۰ میلیون متریک تن[۶۷] تا سال ۲۰۳۰
  - ۲۰ میلیون متریک تن تا سال ۲۰۴۰
  - ۵۰ میلیون متریک تن تا سال ۲۰۵۰

- **کاهش گازهای گلخانه‌ای**
  - کاهش ۱۰ درصدی در کل اقتصاد

- **اثر اقتصادی**
  - ۱۰۰۰۰۰ شغل جدید مستقیم و غیرمستقیم تا سال ۲۰۳۰



اقدامات و نقاط عطف برای کوتاه‌مدت، میان‌مدت و بلندمدت

[67] Million Metric Tonne(MMT)

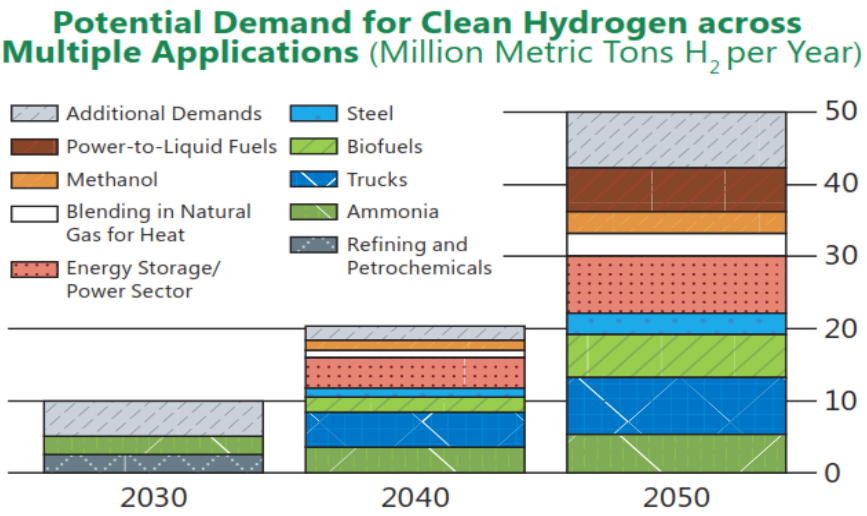
❖ استراتژی‌هایی برای تحقق چشم‌انداز هیدروژن پاک

استراتژی و نقشه راه، سه استراتژی کلیدی را اولویت‌بندی می‌کند تا اطمینان حاصل شود که هیدروژن پاک به عنوان یک ابزار کربن‌زدایی مؤثر توسعه‌یافته و مورداستفاده قرار می‌گیرد.

- **استراتژی ۱: استفاده‌های استراتژیک و با تأثیر بالا از هیدروژن پاک**

آژانس‌های فدرال برای رسیدگی به بخش‌های کربن‌زدایی دشوار اقتصاد، بر هیدروژن پاک تمرکز می‌نمایند.

- کاربردهای صنعتی: مواد شیمیایی، فولادسازی، حرارت صنعتی.
- حمل‌ونقل: وسایل نقلیه متوسط و سنگین، دریایی، هوانوردی، ریلی.
- کاربردهای بخش برق: تولید برق، ذخیره انرژی، برق ثابت و پشتیبان.



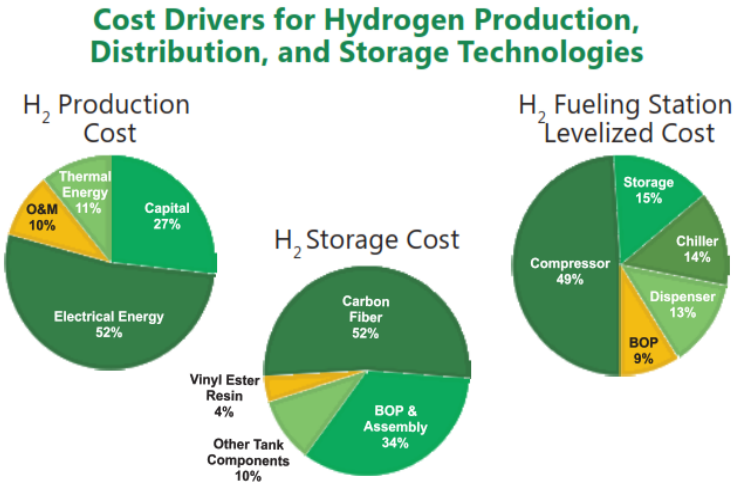
تقاضای بالقوه برای هیدروژن پاک در چندین کاربرد (میلیون تن متریک هیدروژن در سال)

- **استراتژی ۲: کاهش هزینه هیدروژن پاک**

کاهش هزینه‌ها می‌بایست در زنجیره ارزش اولویت‌بندی شود.

- هزینه تولید هیدروژن
  - تا سال ۲۰۲۶ : ۲ دلار به ازای هر کیلوگرم
  - تا سال ۲۰۳۱ : ۱ دلار در هر کیلوگرم
- هزینه ذخیره‌سازی داخلی
  - تا سال ۲۰۳۰ : ۹ دلار در هر کیلووات ساعت (۷۰۰ بار)

- هزینه تحویل و توزیع
  - تا سال ۲۰۳۰ : ۲ دلار به ازای هر کیلوگرم



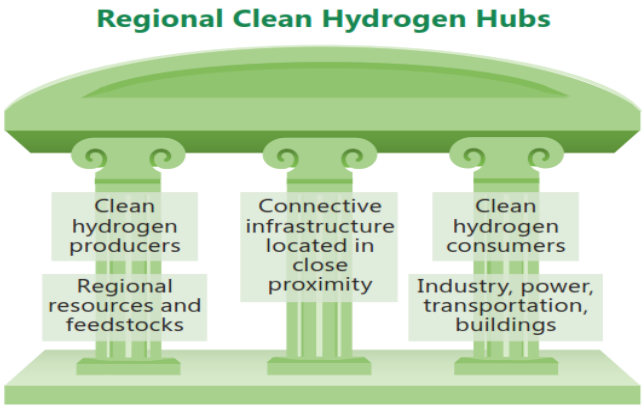
محرک‌های هزینه برای فناوری‌های تولید، توزیع و ذخیره‌سازی هیدروژن

- **استراتژی ۳: تمرکز بر شبکه‌های منطقه‌ای**

شبکه‌های منطقه‌ای، تولید هیدروژن پاک در مقیاس بزرگ را در نزدیکی کاربران هیدروژن ممکن می‌سازد. هم‌چنین امکان توسعه و به اشتراک گذاشتن توده حیاتی زیرساخت را فراهم می‌آورد.

- هاب‌های هیدروژن پاک منطقه‌ای
  - تولید هیدروژن پاک در مقیاس بزرگ را در نزدیکی کاربران نهایی
  - توسعه زیرساخت‌های جامپ استارت[۶۸]
- مزایای اقتصادی
  - ایجاد مشاغل با درآمد خوب و درآمد مالیاتی برای اقتصادهای منطقه
  - ایجاد شبکه‌ای از تولیدکنندگان و مصرف‌کنندگان هیدروژن

[68] Jump-Start Infrastructure Development



هاب‌های هیدروژن پاک منطقه‌ای

❖ اصول راهنما

با استفاده از هشت اصل راهنما، آژانس‌های فدرال با مشارکت دولت‌های ایالتی، محلی و سهامداران، برای توسعه و استقرار فناوری‌ها برای تضمین اقتصاد هیدروژن پاک پایدار، انعطاف‌پذیر و عادلانه اقدام خواهند کرد.

۱. کربن‌زدایی عمیق از طریق استفاده‌های استراتژیک و با تأثیر بالا.

۲. تسریع نوآوری و سرمایه‌گذاری.

۳. تقویت تولید داخلی و زنجیره تأمین قوی.

۴. تمرکز بر جامع‌نگری.

۵. تمرکز بر مقرون‌به‌صرفه بودن و همه‌کاره بودن هیدروژن.

۶. پیشبرد انرژی و عدالت زیست‌محیطی.

۷. تقویت تنوع، برابری، شمول و دسترسی.

۸. رشد مشاغل باکیفیت.

منبع :

U.S. National Clean Hydrogen Strategy and Roadmap at a Glance – جولای ۲۰۲۳

غول‌های فناوری

بزرگ‌ترین پروژه هیدروژن سبز چین

پروژه آزمایشی هیدروژن سبز سین کیانگ کوکا سینوپک و توسعه هیدروژن سبز در چین

شرکت نفت و شیمی چین[۶۹] اعلام کرد، پروژه هیدروژن سبز که توسط این شرکت در شهر کوکا[۷۰] در استان آکسو، منطقه خودمختار سین کیانگ اویغور ساخته‌شده است، در ۳ ژوئیه ۲۰۲۳ شروع به کار کرده است. بهره‌برداری رسمی از نیروگاه، که از انرژی خورشیدی برای تولید هیدروژن سبز استفاده می‌کند، یک گام بزرگ روبه‌جلو در اکتشاف فن‌آوری سینوپک برای تولید هیدروژن پاک است، زیرا این کشور را برای تحول به‌سوی یک سیستم انرژی سبزتر و پایدارتر توانمند می‌سازد.

این پروژه بزرگ که توسط شرکت نیواستار سینوپک[۷۱] هدایت می‌شود، بزرگ‌ترین پروژه انرژی خورشیدی به هیدروژن در جهان و اولین در نوع خود در چین است که مجهز به مجتمع تولید برق فتوولتائیک، خطوط انتقال و تبدیل برق و همچنین تأسیسات برای تولید هیدروژن حاصل از الکترولیز آب، ذخیره و حمل‌ونقل هیدروژن و محصولات پشتیبانی از تولید کمکی می‌باشد.

[69] Sinopec
[70] Kuqa
[71] Sinopec's New Star Company

هیدروژن سبز توسط تأسیساتی که از منابع انرژی تجدیدپذیر مانند انرژی خورشیدی و بادی تغذیه می‌شوند، تولید می‌گردد و ردپای کربن را در کل فرآیند تولید به حداقل می‌رساند. این پروژه نیز از منابع فتوولتائیک در کوکا برای دستیابی به ۲۰۰۰۰ تن هیدروژن سبز در سال با استفاده از نیروی خورشیدی برای الکترولیز آب به همراه ظرفیت ذخیره ۲۱۰۰۰۰ مترمکعب هیدروژن و انتقال ۲۸۰۰۰ مترمکعب در ساعت بهره می‌برد.

به‌عنوان یک پروژه که در خدمت ایجاد مسیری جدید برای پالایش هیدروژن سبز و ارائه یک مدل نمونه برای تولید هیدروژن سبز در چین است، این پروژه هیدروژن را به پالایشگاه شیمیایی سینوپک[۷۲] عرضه می‌کند تا برق مبتنی بر سوخت فسیلی خود را که برای تولید هیدروژن استفاده می‌شود، حذف نماید. با عملکرد این پروژه، انتظار می‌رود که سالانه ۴۸۵۰۰۰ تن کربن دی‌اکسید کاهش یابد.

هیدروژن سبز تولیدشده در تأسیسات ۳ میلیارد ین (۴۲۵ میلیون دلاری) در شهر کوکا از طریق یک خط لوله به یک پالایشگاه نفت در مجاورت که توسط شرکت فرعی پالایشگاه شیمیایی سینوپک اداره می‌شود، ارسال و جایگزین هیدروژن خاکستری حاصل از گاز طبیعی می‌گردد. هیدروژن در پالایشگاه‌های نفت برای حذف گوگرد از نفت خام و تولید مواد پتروشیمی استفاده می‌شود.

شایان ذکر است، برخورداری از عنوان بزرگ‌ترین سیستم هیدروژن سبز در حال کار برای کوکا، طولانی نخواهد بود. چراکه پروژه دیگری از سینوپک که حدود یک‌سوم بزرگ‌تر از کوکا است در حال حاضر در اردوس[۷۳]، مغولستان داخلی، چین در دست‌ساخت است. اما زمان دقیق بهره‌برداری از آن مشخص نیست. سینوپک قصد دارد تا سال ۲۰۲۵ سالانه بیش از دو میلیون تن هیدروژن سبز تولید کند.

یک قاعده کلی این است که پروژه‌های هیدروژن سبز تقریباً به ۲ مگاوات انرژی تجدیدپذیر برای هر ۱ مگاوات الکترولیزکننده نیاز دارند.

به گفته رسانه‌های چینی، پروژه اردوس ظرفیتی در حدود ۳۹۰ مگاوات خواهد داشت، اگرچه پروژه دوم ظاهراً با انرژی ۴۵۰ مگاوات بادی و ۲۷۰ مگاوات خورشیدی تأمین می‌شود.

منبع: SINOPEC

[72] Sinopec's Refining & Chemical
[73] Ordos

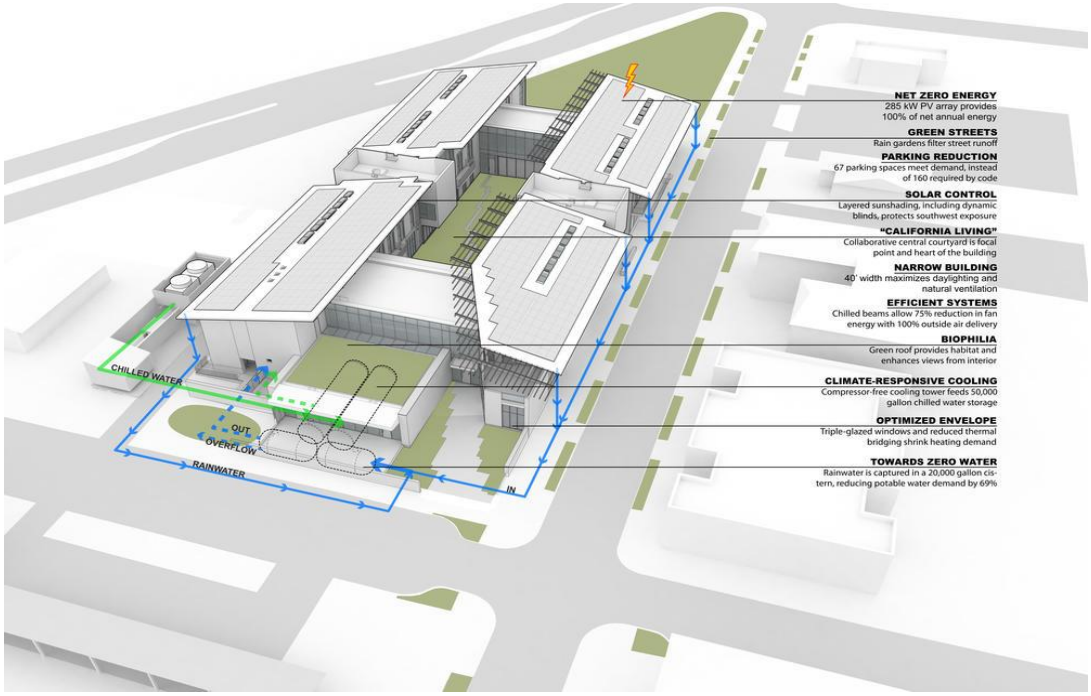
تحولات فناورانه

ساختمان‌های انرژی خالص صفر[۷۴]

ساختمان‌های انرژی خالص صفر سازه‌هایی هستند که برای تولید انرژی به اندازه مصرف انرژی در طول یک سال طراحی شده‌اند. به‌عبارت‌دیگر، مقدار انرژی تولیدشده از طریق منابع تجدیدپذیر در این سازه‌ها برابر یا بیشتر از مقدار انرژی مورد مصرف است. مفهوم انرژی خالص صفر از طریق ترکیبی از طراحی کارآمد انرژی[۷۵] و استفاده از منابع انرژی تجدیدپذیر در محل[۷۶] مانند انرژی خورشیدی، باد یا انرژی زمین‌گرمایی به دست می‌آید. این مفهوم اغلب با اجرای ترکیبی از فن‌آوری‌های ساختمان با انرژی کارآمد[۷۷]، مانند روشنایی کارآمد[۷۸] و سیستم‌های تهویه مطبوع[۷۹]، عایق‌ها و پنجره‌ها که تلفات گرما را به حداقل می‌رسانند، انجام می‌شود. در یک ساختمان انرژی خالص صفر، هر انرژی که مصرف می‌شود اما در محل تولید نمی‌شود، معمولاً با خرید اعتبار انرژی‌های تجدیدپذیر یا جبران کربن[۸۰] از منابع خارج از محل جبران می‌گردد. بنابراین مصرف انرژی کلی ساختمان خنثی است، به این معنی که در انتشار گازهای گلخانه‌ای یا سایر اثرات منفی زیست‌محیطی مرتبط با تولید انرژی نقشی ندارد. ساختمان‌های با انرژی خالص صفر راهی پایدار و کم‌مصرف برای مقابله با تغییرات آب‌وهوا و کاهش اتکا به سوخت‌های فسیلی هستند که در بسیاری از نقاط جهان به عنوان راهی برای ایجاد یک محیط ساخته‌شده پایدارتر رواج می‌یابند.

[74] Zero-Net Energy Buildings یا Net-Zero Energy Buildings
[75] Energy-Efficient Design
[76] On-Site Renewable Energy Sources
[77] Energy-Efficient Building Technologies
[78] Efficient Lighting
[79] Heating, Ventilation, and Air Conditioning
[80] Carbon Offsets

تصویر روبه‌رو، نمونه‌ای از یک ساختمان انرژی خالص صفر، دفتر مرکزی بنیاد دیوید و لوسیل پاکارد[۸۱] در لوس آلتوس، کالیفرنیا است. این ساختمان به‌گونه‌ای طراحی شده است که از نظر انرژی کارآمد باشد و دارای ویژگی‌هایی مانند پوشش ساختمان با کارایی بالا[۸۲]، سیستم‌های روشنایی و تهویه مطبوع کارآمد[۸۳] و سیستم اتوماسیون ساختمان[۸۴] می‌باشد و درنتیجه مصرف انرژی را بهینه می‌سازد. این ساختمان همچنین شامل یک سیستم فتوولتائیک ۱۲۰ کیلوواتی در پشت بام است که انرژی کافی برای برق‌رسانی به ساختمان و حتی انرژی اضافی برای شبکه محلی تولید می‌نماید.



نمونه‌ای از ساختمان انرژی خالص صفر، دفتر مرکزی بنیاد دیوید و لوسیل پاکارد در لوس آلتوس، کالیفرنیا

منبع : PARAMI ENERGY, Prasun Barua

[81] David and Lucile Packard Foundation Headquarters
[82] High-Performance Building Envelope
[83] Efficient Lighting and HVAC Systems
[84] Building Automation System

تحولات فناورانه

آینده سبز پیل‌سوختی هیدروژنی در چین

آزمایشگاه تست و اعتبار سنجی سینوهایکی – دستورالعمل‌های کنترل کیفیت و کاهش ضایعات برای تولید خودرو

دو شرکت سینوسینرژی[85] و سینوهایکی[86] معتقدند در آینده انرژی هیدروژنی و پیل‌سوختی را برای بازارهای ملی چین و جهانی سهم مهمی خواهند داشت. چین متعهد شده است برای اطمینان از اوج انتشار کربن قبل از سال ۲۰۳۰ اقدام کند و قصد دارد تا سال ۲۰۶۰ به هدف کربن خنثی دست یابد. به همین منظور در تلاش هستند تا پیل‌سوختی هیدروژنی را برای استفاده در برنامه‌های کاربردی در سراسر بازارهای جهانی به کار برند. یک سیاست سبز ملی باید با یک تغییر چشمگیر در عادات جمعیت، مثل نحوه حمل‌ونقل حمایت شود. حمل‌ونقل دلیل ۲۴ درصد از انتشار مستقیم دی‌اکسید کربن ناشی از احتراق سوخت‌های فسیلی است و یکی از بزرگ‌ترین چالش‌ها کاهش قابل‌توجه انتشار گازهای گلخانه‌ای در بخش حمل‌ونقل است.

هیدروژن یک گزینه مناسب برای گذار انرژی به انتشار خالص صفر در سیستم‌های حمل‌ونقل است. سینوسینرژی و سینوهایکی با همکاری یکدیگر، در تلاش هستند تا عملکرد و دوام پیل‌های سوختی هیدروژنی را افزایش و درعین‌حال هزینه‌های تولید پیل‌های سوختی را کاهش دهند و در نهایت، پیشرفت‌های فناوری در مقیاس آزمایشگاهی را به تولید در مقیاس کامل در چین تبدیل کنند.

[85] Sinosynergy
[86] SinoHyKey

سینوهایکی یکی از اولین شرکت‌ها در چین بود که در تحقیق و توسعه و تولید سوخت هیدروژنی سرمایه‌گذاری نمود. یه[87] مدیر ارشد فناوری سینوهایکی می‌گوید:«این شرکت متعهد به تولید و تجاری‌سازی غشاهای پوشش داده شده با کاتالیزور [88]با کارایی بالا و مجموعه غشا–الکترود[89] برای پیل‌سوختی هیدروژنی با غشای تبادل پروتون [90]است که هزینه کم و کارایی بالا را برای تولیدکنندگان داخلی و بین‌المللی پیل سوختی ارائه می‌دهد. تولید انبوه مستقل در مقیاس بزرگ هزینه اجزای هسته پیل سوختی را به‌سرعت پایین می‌آورد و پشتیبانی محکمی برای توسعه صنعت پیل سوختی چین فراهم می‌سازد.»

مجموعه الکترودهای غشایی به عنوان تراشه‌های پیل‌سوختی شناخته می‌شوند که عملکرد و هزینه آن‌ها را تعیین می‌کنند. مجموعه غشا–الکترود حدود ۶۵٪ از کل هزینه پشته‌های پیل‌سوختی را تشکیل می‌دهد، اما تولید در مقیاس بزرگ آن‌ها در چین امکان‌پذیر نبود. به‌طور سنتی، آماده‌سازی تراشه‌های پیل‌سوختی شامل اسپری کردن و فرآیند حرارت‌دهی است که ممکن است باعث تأخیرهای پیش‌بینی‌نشده و ناهماهنگی محصول، کاهش سرعت تولید و محدود کردن صنعتی شدن در مقیاس کامل شود. در مواجهه با این چالش‌ها، یه توضیح داد که تیم تحقیق و توسعه سینوهایکی درحال‌توسعه فناوری‌های اصلی غشاهای پوشش داده شده با کاتالیزور و مجموعه غشا–الکترود است که به‌طور مستقل قابل‌کنترل، و همراه با نوآوری‌هایی در پوشش دوطرفه، قابل قالب‌گیری و بسته‌بندی سریع باشند.

فرایند پوشش‌دهی غشاها با کاتالیزور با تکنیک‌های آماده‌سازی جوهر اختصاصی و پوشش دهی سینوهایکی برای تثبیت کاتالیزور

ظرفیت تولید روزانه غشاهای پوشش داده شده با کاتالیزور به ۱۵۰۰۰ قطعه و مجموعه غشا–الکترود به بالای ۱۰۰۰۰ قطعه رسیده است و از بیش از ۷۰ مشتری در سراسر جهان را پشتیبانی می‌کنند. به گفته اتحادیه هیدروژن چین[91]، یک گروه صنعتی تحت حمایت دولت، که تخمین زده است که تا سال ۲۰۲۵، ارزش تولید صنعت انرژی هیدروژن چین به ۱ تریلیون یوان (۱۵۲.۶ میلیارد دلار آمریکا) و تقاضای هیدروژن چین تا سال ۲۰۳۰ به ۳۵ میلیون تن (حداقل ۵ درصد از مصرف انرژی ملی) خواهند رسید. بنابراین تحول شدیدی در داخل کشور رخ خواهد داد.

[87] Siyu Ye
[88] Catalyst-Coated Membranes (CCM)
[89] Membrane Electrode Assemblies (MEA)
[90] Proton-Exchange Membrane (PEM)
[91] China Hydrogen Alliance

یه می‌گوید: «تلاش‌های ما از سطح پیشرو عملکرد و ثبات برای غشاهای پوشش داده شده با کاتالیزور و مجموعه غشا–الکترود فراتر رفته است. برنامه‌هایی برای حمایت از تولید در مقیاس بزرگ مجموعه غشا–الکترود برای الکترولایزر آب با غشای تبادل پروتون، با استفاده گسترده فراتر از وسایل نقلیه از جمله پهپادها و پاوربانک‌های پشتیبان در حال انجام است.»

مجموعه غشا–الکترود توسعه‌یافته توسط سینوهایکی با قابلیت تاب‌آوری در شرایط عملیاتی سخت خودروهای پیل سوختی

یان[۹۲]، معاون مدیرکل سینوسینرژی، می‌گوید:«بر اساس تلاش‌های تیم سینوسینرژی و همچنین فناوری‌های کلیدی سینوهایکی، پشته‌های پیل سوختی در کارخانه‌های تولید محلی در چین مونتاژ می‌شوند تا از تولید مجموعه غشا–الکترود ، صفحات دوقطبی و سایر اجزای کلیدی برای پیل‌های سوختی با غشای تبادل پروتون پشتیبانی کنند. میانگین طول عمر این محصول بیش از ۲۰۰۰۰ ساعت است. پشته‌های پیل‌سوختی شرکت سینوسینرژی، با صفحات دوقطبی گرافیت خود توسعه‌یافته[۹۳]، قدرت بهینه موتور خودرو را در بار و دمای متفاوت ممکن می‌سازد.»

ماژول برق سینوسینرژی دارای پشته‌های سلولی کامل با قابلیت اطمینان بالا و نگهداری آسان

[92] Xiqiang Yan
[93] Self-Developed Graphite Bipolar Plates

یان می‌گوید: «سینوهایکی و سینوسینرژی هر دو در سرمایه‌گذاری بر تحقیق و توسعه خود برای دستیابی به صرفه‌جویی در مقیاس موفق بوده‌اند، که همین امر منجر به کاهش سریع هزینه پیل‌سوختی و شکل دادن به آینده جامعه هیدروژنی چین شده است. به‌عنوان‌مثال، پشته‌های سوخت خود توسعه‌یافته[۹۴] سینوسینرژی نه تنها شکاف تکنولوژیکی بین چین و سایر کشورها را کاهش می‌دهد، بلکه هزینه شرکای صنعتی آن‌ها را نیز کاهش می‌دهد. پشته‌های پیل‌سوختی ما ۶۰ درصد قیمت کمتری نسبت به نمونه‌های وارداتی دارند.»

پشته پیل سوختی سینوسینرژی با قابلیت بار متغیر و عملکرد راه‌اندازی موتورها در دمای پایین

این امر همچنین به‌طور قابل‌توجهی به ایجاد یک اکوسیستم بزرگ‌تر برای پیل‌سوختی هیدروژنی کمک می‌کند و برای انتقال سریع انرژی و طرح تحول صنعت چین آماده می‌شود. محصولات سینوسینرژی به‌تنهایی در ۱۶ استان و ۳۴ شهر چین مورداستفاده قرارگرفته است.

یان می‌گوید: «تا به امروز، وسایل نقلیه پیل‌سوختی هیدروژنی مجهز به محصولات سینوسینرژی، انتشار دی‌اکسید کربن را تا حدود ۵۰۰۰۰۰ تن کاهش داده‌اند، که معادل کاشت ۵۰ میلیون درخت در سال است.

در سال ۲۰۲۵، سینوسینرژی بر گسترش استفاده از پیل‌های سوختی هیدروژنی در حمل‌ونقل عمومی تمرکز خواهد کرد، اما یان معتقد است هر جا که نیاز به برق باشد، استفاده از پیل‌سوختی هیدروژنی پتانسیل زیادی برای جایگزینی انواع سوخت با آلایندگی بالا ارائه می‌دهد.

یه افزود:«سینوهایکی و سینوسینرژی به همراه سایر شرکای انرژی هیدروژنی و پیل‌های سوختی، برای تسریع تجاری‌سازی انرژی هیدروژن و دستیابی به اهداف بی‌نظیر کربن، همکاری نزدیکی خواهند داشت».

منبع: nature.com

[94] Self-Developed Fuel Stacks

خبر خارجی

آزمایش نخستین اتوبوس پیل سوختی هیدروژنی سبز در هند

نمایش اولین اتوبوس پیل‌سوختی هیدروژنی سبز در دروازه هند

هند اولین اتوبوس پیل‌سوختی هیدروژنی سبز را راه‌اندازی نمود. این امر گام مهمی به‌سوی حمل‌ونقل پایدار است. هاردیپ سینگ پوری، وزیر اتحادیه نفت و گاز طبیعی، اولین اتوبوس پیل سوختی هیدروژنی سبز کشور را در دهلی به نمایش گذاشت. این خودروها اکنون آزمایش‌های عملیاتی را در سرتاسر منطقه پایتخت ملی[95] انجام خواهند داد. وی دراین‌باره گفت:«آینده حمل‌ونقل ما بر روی هیدروژن سبز خواهد بود. هند یکی از بزرگ‌ترین شبکه‌های حمل‌ونقل هم‌زمان در جهان را دارد که می‌تواند انرژی‌های تجدیدپذیر متناوب را مدیریت کند و ما به "یک ملت،یک شبکه،یک فرکانس[96]" رسیده‌ایم."

هیدروژن که به عنوان سوخت آینده موردستایش قرار می‌گیرد، پتانسیل بسیار زیادی در کمک به هند در دستیابی به اهداف کربن‌زدایی خود دارد. پیش‌بینی می‌شود که تقاضای جهانی برای هیدروژن تا سال ۲۰۵۰ چهار تا هفت برابر افزایش یابد و به ۵۰۰ تا ۸۰۰ میلیون تن برسد. تقاضا در داخل کشور هند چهار برابر خواهد شد و از ۶ میلیون تن فعلی به ۲۵ تا ۲۸ میلیون تن تا سال ۲۰۵۰ خواهد رسید.

[95] National Capital Region(NCR)
[96] One Nation-One Grid-One Frequency
منطقه جنوبی هند در ۳۱ دسامبر ۲۰۱۳ به شبکه مرکزی متصل شد. در نتیجه شعار "یک ملت، یک شبکه، یک فرکانس" محقق گردید. مطابق این شعار تمام تلاش‌ها برای حفظ فرکانس شبکه کل کشور در محدوده ۴۹.۹۰-۵۰.۰۵ هرتز انجام می‌شود.

اتوبوس‌های سبز هیدروژنی فقط آب ساطع می‌کنند و در نهایت یک آزمایش در مسیرهای مشخص‌شده در دهلی، هاریانا[۹۷] و اوتار پرادش[۹۸] انجام خواهند داد. مرکز تحقیق و توسعه شرکت نفت هند در فریدآباد[۹۹] در حال تولید هیدروژن سبز برای آزمایشات است. این تأسیسات می‌تواند هیدروژن سبز تولید شده از طریق الکترولیز با استفاده از پانل‌های فتوولتائیک خورشیدی را سوخت‌گیری کند.

اتوبوس‌ها به چهار سیلندر مجهز شده‌اند که ۳۰ کیلوگرم ظرفیت دارند و می‌توانند اتوبوس‌ها را ۳۵۰ کیلومتر حرکت دهند. زمان سوخت‌گیری مجدد نیز کاهش یافته است و اکنون ۱۰ تا ۱۲ دقیقه طول می‌کشد تا چهار مخزن پر شوند. هیدروژن سبز ۱۰۰٪ پایدار است و در حین احتراق یا تولید، گازهای آلاینده منتشر نمی‌کند.

هم‌چنین سینگ پوری افزود:«دولت ما برنامه‌های بلندپروازانه‌ای در زمینه انرژی پاک و سبز دارد. هند گام‌های زیادی به سمت توسعه کم‌کربن (از طریق سوخت‌های نوظهور مانند هیدروژن و سوخت‌های زیستی) برداشته است. و باید ۲۵ درصد از رشد افزایشی تقاضای جهانی انرژی را در دو دهه آینده به خود اختصاص دهد».

وزارت نفت و گاز طبیعی به‌طور فعال ابتکارات مربوط به هیدروژن سبز، از جمله تولید و استفاده در پالایشگاه‌ها، ترکیب هیدروژن در خطوط لوله گاز طبیعی، بومی‌سازی فناوری‌های مبتنی بر الکترولیز، و ترویج مسیرهای زیستی برای تولید هیدروژن سبز را به‌پیش می‌برد.

به گفته وزیر اتحادیه نفت و گاز طبیعی هند، اخیراً اولین نمونه اولیه خودروی برقی با سوخت انعطاف‌پذیر تحت عنوان Bharat Stage 6 (مرحله دوم) در جهان راه‌اندازی شد. این خودرو هم موتور سوخت انعطاف‌پذیر و هم یک پیشرانه الکتریکی را در برمی‌گیرد که استفاده از اتانول را همراه با بازده سوخت بهتر ارائه می‌دهد. با همکاری صنعت و دولت، هند در راه تبدیل شدن به یک قطب جهانی برای فناوری‌های پاک‌تر و دستیابی به خوداتکایی در انرژی است.

منبع: livemint.com – ۲۵ سپتامبر ۲۰۲۳

[97] Haryana
[98] Uttar Pradesh
[99] Faridabad

خبر خارجی

تولید هیدروژن سبز با بهره‌گیری از نیروی باد و خورشید

بر اساس یک مطالعه علمی جدید، دیدگاهی که به‌طور گسترده پذیرفته‌شده، مبنی بر اینکه الکترولایزرها باید تا حد امکان ۲۴ ساعت در روز در هفت روز هفته کار کنند تا هیدروژن سبز را با کمترین هزینه ممکن تولید کنند، نادرست است.

تیمی به رهبری استاد دانشگاه استنفورد، مارک ز جاکوبسون[100]، دریافتند که کم‌هزینه‌ترین هیدروژن تجدیدپذیر در سال ۲۰۳۵، با فرض یک شبکه برق ۱۰۰ درصد تجدیدپذیر، با ضریب استفاده بهینه از الکترولایزرها و به میزان ۲۰٪ تا ۶۵٪، تولید خواهد شد. شایان‌ذکر است این مقدار به مکان و موارد استفاده نیز بستگی دارد. منظور از ضریب استفاده بهینه از الکترولیزور، مقدار انرژی مصرف‌شده سالانه در مقایسه با حداکثر نظری است.

جاکوبسون و همکارانش در مجله انرژی هوشمند نوشتند:«ازنقطه‌نظر تجاری، یکسوکننده‌ها[101](برای تبدیل AC به برق DC)، الکترولایزرها و کمپرسورها باید تمام وقت کار کنند تا هزینه را به حداقل برسانند. که همین امر موجب استهلاک دستگاه‌ها می‌گردد. اما خوشبختانه با بهره‌گیری از تجدیدپذیرها، تأثیر هزینه‌های سرمایه بالاتر بر هزینه کلی هیدروژن تا حد زیادی با طول عمر طولانی‌تر یکسوکننده‌ها، الکترولایزرها و کمپرسورها با فاکتورهای استفاده کمتر جبران می‌شود».

به‌عبارت‌دیگر، هزینه خرید تجهیزات را می‌توان در مدت‌زمان طولانی‌تری مستهلک کرد، بنابراین هزینه یکسان شده هیدروژن سبز (یعنی هزینه هر کیلوگرم هیدروژن در طول عمر پروژه، شامل تمام هزینه‌های اولیه و عملیاتی) کاهش می‌یابد.

این مقاله اضافه می‌کند که کاهش مدت‌زمان کارکرد تجهیزات هیدروژن همچنین به این معنی است که تعداد کمتری پنل‌های خورشیدی و یا توربین‌های بادی و همچنین حجم کمتری از ذخیره‌سازی هیدروژن موردنیاز است.

[100] Mark Z Jacobson
[101] Rectifiers

درمجموع، کم‌هزینه‌ترین هیدروژن تولیدی ادغام‌شده با ۱۰۰٪ WWS[۱۰۲] رخ می‌دهد. به‌این‌ترتیب، از دیدگاه سیستم کلی، تولید هیدروژن به‌صورت متناوب، به‌جای مداوم، مقرون به‌صرفه‌تر است. نتایج در اینجا مشمول عدم‌قطعیت‌های مدل هستند، اما نتیجه قابل‌اعتماد است.

این مطالعه، تحت عنوان «تأثیرات هیدروژن سبز برای فولاد، آمونیاک و حمل‌ونقل از راه دور بر هزینه تأمین برق، گرما، سرما و تقاضای هیدروژن در ۱۴۵ کشوری که با ۱۰۰٪ باد،آب،خورشیدی کار می‌کنند»[۱۰۳]، نتیجه می‌گیرد که استفاده از انرژی‌های تجدیدپذیر برای تولید هیدروژن به این معنی است که مولدهای بادی، آب یا انرژی خورشیدی نمی‌توانند برای تأمین برق شبکه، گرما یا سرما در زمان اوج به اندازه کافی کارآمد باشند و نیاز به ذخیره‌سازی برق و گرما وجود دارد. صرفه‌جویی در مقیاس نشان می‌دهد که اتصال همه ژنراتورهای بادی، آبی، خورشیدی و اضافه کردن بارهایی (مانند تولید هیدروژن سبز) که می‌تواند الکتریسیته اضافی را جذب نماید، منجر به دستیابی به مقرون به‌صرفه‌ترین سیستم می‌گردد. بنابراین، اپراتورهای شبکه باید تولید هیدروژن سبز متناوب را در برنامه‌ریزی شبکه در نظر داشته باشند.

این مطالعه حول مقدار برق تجدیدپذیر و الکترولیز است که برای پاسخگویی به تقاضای جهانی در سال ۲۰۵۰ برای هیدروژن سبز از سه بخش فولاد، آمونیاک و حمل‌ونقل به راه دور (هوانوردی و کشتیرانی) موردنیاز است. میزان تقاضا در این سه بخش به ترتیب ۷۸.۷ میلیون تن، ۳۱.۷ میلیون تن و ۹۱.۲ میلیون تن در سال اعلام‌شده است که به حداکثر تقاضای انرژی تجدیدپذیر ۷۰۵۷ گیگاوات (شامل استفاده از آن برای فشرده‌سازی هیدروژن) و ۶۲۱۲ گیگاوات برای الکترولیزور نیاز است.

۱۴۵ کشور مسئول بیش از ۹۹.۷ درصد از انتشار سوخت‌های فسیلی در جهان هستند. جاکوبسون و همکاران در این مقاله استدلال می‌کنند که سوخت زیستی و سوخت مصنوعی هواپیما روش‌های کربن‌زدایی معتبر برای کشتی‌ها یا هواپیماها نیستند، زیرا هنوز گازها و ذرات بدی برای سلامت انسان و کره زمین تولید می‌کنند. آن‌ها معتقدند، علیرغم چالش‌های پیاده‌سازی هیدروژن سبز برای هواپیماها و کشتی‌های مسافت طولانی، ارزیابی این راه‌حل مهم است زیرا هیچ راه‌حل انرژی پاک و تجدیدپذیر دیگری در افق نزدیک وجود ندارد.

منبع: Hydrogen Insight و rechargenews.com – ۲۰ ژوئن ۲۰۲۳

[102] Wind-Water-Solar

[103] Entitled Impacts Of Green Hydrogen For Steel, Ammonia, and Long-Distance Transport On The Cost Of Meeting Electricity, Heat, Cold, and Hydrogen Demand in 145 Countries Running on 100% Wind-Water-Solar.

خبر خارجی

تولید هیدروژن سبز برای صنایع فولاد اتحادیه اروپا با انرژی باد

تا به امروز، ۱۲ کارخانه از ۲۰ کارخانه بزرگ فولاد اتحادیه اروپا متعهد شده‌اند که در آینده، آهن را با استفاده از هیدروژن سبز به‌جای زغال‌سنگ از سنگ معدن استخراج کنند. اما بر اساس گزارش جدید سازمان غیرانتفاعی بلونا[۱۰۴] مستقر در اسلو، برای تولید مقدار مورد نیاز هیدروژن سبز به حدود ۸۵ گیگاوات مزارع بادی جدید نیاز است. این میزان معادل بیش از ۵۶ برابر از بزرگ‌ترین مزرعه بادی فراساحلی جهان، پروژه ۱.۵ گیگاواتیHollandse Kust Zuid در دریای شمال هلند است.

تا پایان سال ۲۰۲۲، ۲۷ کشور عضو اتحادیه اروپا ۲۰۴ گیگاوات برق بادی (شامل ۱۶.۷۵ گیگاوات باد دریایی) نصب کرده‌اند. اگرچه طبق برنامه سال گذشته ری‌پاورای‌یو[۱۰۵]، کمیسیون اروپا در مجموع ۵۱۰ گیگاوات باد (و ۵۹۲ گیگاوات خورشیدی) را تا سال ۲۰۳۰هدف قرار داده است.

گزارش بلونا، تحت عنوان هیدروژن DRI برای فولاد در اروپای با منابع محدود[۱۰۶]، همچنین اشاره می‌کند که تولید هیدروژن سبز کافی برای کارخانه‌های فولاد در ایتالیا، هلند، بلژیک، رومانی و فنلاند به انرژی بادی بیشتری نسبت به آنچه هر یک از این کشورها تا به امروز نصب کرده‌اند، نیاز دارد.

[104] Bellona
[105] REPowerEU
[106] Hydrogen DRI for Steel in a Resource-Constrained Europe

بلونا پیشنهاد می‌کند که جایگزینی زغال‌سنگ کک‌ساز با هیدروژن سبز، باید با سه «مسیر جایگزین» دیگر برای کربن‌زدایی تولید فولاد انجام شود: بهینه‌سازی (یا کاهش) استفاده از فولاد، بازیافت بیشتر فولاد و جذب و ذخیره کربن[۱۰۷] (CCS) از جمله استفاده از هیدروژن آبی (ساخته شده از گازهای فسیلی با CCS) و استقرار CCS در کارخانه‌های DRI که از ترکیب متان/هیدروژن استفاده می‌کنند به دلیل کمبود هیدروژن سبز موجود.

این گزارش می‌گوید: «در نظر گرفتن همه این گزینه‌های کربن‌زدایی به‌طور جمعی، به‌ویژه با توجه به اهمیت فولاد به‌عنوان ماده کلیدی برای گذار انرژی، ضروری است».

فولاد یک ماده ضروری برای بخش‌های مختلف انتقال انرژی، مانند توربین‌های بادی، نیروگاه‌های خورشیدی، زیرساخت‌های انتقال و توزیع برق و سیستم‌های ذخیره‌سازی انرژی است.

اما برای ساخت «فولاد سبز[۱۰۸]»، آهن احیاشده مستقیم[۱۰۹] باید با کربن و سایر فلزات در یک کوره قوس الکتریکی[۱۱۰] که صرفاً با انرژی تجدیدپذیر تغذیه می‌شود، ترکیب شود. متأسفانه، گزارش بلونا مقدار انرژی تجدید پذیر اضافی برای تأمین انرژی کوره‌های قوس الکتریکی موردنیاز که می‌تواند برای ذوب و بازیافت فولاد قدیمی نیز استفاده شود، محاسبه نکرده‌است.

اتحادیه اروپا با هدف تجدیدپذیر بودن ۴۲.۵٪ هیدروژن مورداستفاده در صنعت (به‌عنوان‌مثال، تولید آمونیاک و مواد شیمیایی، پالایش نفت و تولید فولاد سبز) موافقت کرده است.

منبع: rechargenews.com

[107] Carbon Capture and Storage (CCS)
[108] Green Steel
[109] Direct Reduced Iron
[110] Electric Arc Furnace

خبر داخلی

شتاب گیری احداث نیروگاه‌های تجدیدپذیر در کشور

به گزارش پایگاه اطلاع‌رسانی وزارت نیرو (پاون)، در حال حاضر ظرفیت نیروگاه‌های تجدیدپذیر در کشور به ۱۱۰۱ مگاوات افزایش یافته است که سالیانه با تولید برق بالغ بر ۲۱۵۴ میلیون کیلووات ساعت، ناترازی برق را خصوصاً در زمان‌های پیک کاهش می‌دهد. همچنین سالانه از مصرف بالغ بر ۶۸۵ میلیون مترمکعب معادل گاز طبیعی و انتشار ۱ میلیون و ۶۶۴هزار و ۵۷۸ هزار تن آلاینده‌های زیست‌محیطی جلوگیری کرده و باعث صرفه‌جویی ۵۳۰.۷۳۵ هزار مترمکعب آب در فرآیند تولید برق می‌شود. بنابر این گزارش امروزه به دلیل مسائل اقتصادی، اجتماعی و زیست‌محیطی، استفاده از انرژی تجدیدپذیر به عنوان جایگزین مناسب برای حامل‌های انرژی فسیلی توصیه می‌شود. همچنین باتوجه به شرایط اقتصادی کشور، احداث نیروگاه‌های حرارتی جدید به دلیل زمان‌بر بودن فرایند احداث و ناترازی سوخت در کشور، به‌تنهایی نمی‌تواند پاسخگوی نیاز فعلی و رشد بار سالیانه شبکه باشد. به همین منظور احداث نیروگاه تجدیدپذیر می‌تواند گزینه مناسبی برای مقابله با این مشکلات بوده و امکان دسترسی به برق پایدار را در کوتاه‌ترین زمان ممکن فراهم سازد.

در این راستا، وزارت نیرو در دولت سیزدهم برنامه‌هایی را برای احداث نیروگاه تجدیدپذیر ارائه کرده است که یکی از آن‌ها برنامه احداث ۱۰ هزار مگاوات نیروگاه تجدیدپذیر است. برنامه‌ای که در آن تولید ۴ هزار مگاوات برق از طریق نیروگاه بادی و خورشیدی و ۳ هزار مگاوات نیروگاه بادی و ۳ هزار مگاوات احداث نیروگاه خود تأمین صنایع در آن پیش‌بینی‌شده است. بر این اساس صندوق توسعه ملی پنج میلیارد دلار برای ساخت نیروگاه‌های تجدیدپذیر اختصاص داد. این تسهیلات برای ساخت ۱۰ هزار مگاوات نیروگاه تجدیدپذیر اختصاص می‌یابد و در گام نخست چهارهزار و ۵۰۰ مگاوات نیروگاه تجدیدپذیر با این تسهیلات ساخته می‌شود. اخیراً نیز احداث ۳۰ هزار مگاوات نیروگاه تجدیدپذیر طی ۵ سال در جلسه شورای عالی انرژی به تصویب رسید که خبر از آینده‌ای روشن در زمینه احداث نیروگاه‌های تجدیدپذیر در کشور می‌دهد.

منبع: ایرنا – پاون ، ۳ آبان ۱۴۰۲

خبر داخلی

صنایع بزرگ و انرژی‌بر مکلف به ایجاد نیروگاه حرارتی و تجدیدپذیر

به گزارش گروه سیاسی خبرگزاری فارس، علی بهادری جهرمی سخنگوی دولت چهارشنبه (۳ آبان) در حاشیه جلسه هیئت دولت در جمع خبرنگاران اظهار کرد: دولت امروز آیین‌نامه اجرایی ماده ۴ قانون مانع‌زدایی از توسعه صنعت برق را تصویب کرد تا انگیزه کافی برای ساخت نیروگاه و حرکت جهشی در تولید برق ایجاد شود.

همچنین مصوبه دیگری برای تأمین منابع خرید برق تولیدی نیروگاه‌های تجدیدپذیر، انجام شد تا از محل صرفه‌جویی همین نیروگاه، منابعی در اختیار آن‌ها قرار بگیرد.

سخنگوی دولت تأکید کرد: با تصویب آیین‌نامه اجرایی توسعه صنعت برق شرایطی را برای صنایع بزرگ و انرژی‌بر فراهم کردیم تا در احداث نیروگاه‌های حرارتی مشارکت داشته باشند. این صنایع موظف شدند تا ۱۰ هزار مگاوات نیروگاه حرارتی و تجدیدپذیر ایجاد کنند. مشوق‌ها و توجیه اقتصادی لازم برای ساخت این نیروگاه‌ها پیش‌بینی‌شده است.

منبع: فارس – ۳ آبان ۱۴۰۲

خبر داخلی

کاهش ۴۵ مگاواتی مصرف برق در گلخانه‌ها به کمک انرژی‌های تجدیدپذیر

به گزارش ایلنا از وزارت جهاد کشاورزی، رئیس سازمان تحقیقات، آموزش و ترویج کشاورزی با بیان این مطلب گفت: قرارداد همکاری میان معاونت باغبانی وزارت جهاد کشاورزی، سازمان انرژی‌های تجدیدپذیر وزارت نیرو، شرکت بهینه‌سازی سوخت وزارت نفت و سازمان تات به‌منظور تأمین انرژی گلخانه‌های استاندارد کشور با استفاده از انرژی‌های تجدیدپذیر از جمله انرژی خورشیدی امضا شده است.

سید مجتبی خیام نکویی افزود: با امضای این قرارداد، کاهش ۴۵ مگاواتی مصرف برق معادل ۴۴ میلیون مترمکعب گاز طبیعی در بخش گلخانه‌های کشور در بازه زمانی چهار سال هدف‌گذاری شده است. وی با بیان این‌که در استفاده از انرژی خورشیدی در بخش کشاورزی از سایر کشورها عقب هستیم، اظهار داشت: استفاده از انرژی خورشیدی به‌جای برق و سوخت‌های فسیلی در بخش کشاورزی با توجه به تغییرات اقلیمی و ضرورت کاهش گازهای گلخانه‌ای، اجتناب‌ناپذیر است و ما در گام نخست تمرکزمان را بر بخش باغبانی گذاشته‌ایم. معاون وزیر جهاد کشاورزی درهمین حال خواستار حمایت از طرح‌های مربوط به کاربرد انرژی‌های تجدیدپذیر به‌ویژه انرژی خورشیدی در بخش کشاورزی برای کاهش مصرف برق و سوخت‌های فسیلی شد. وی درباره توسعه کشاورزی حفاظتی نیز گفت: ما بر کشاورزی حفاظتی در دیم‌زارها با محوریت موسسه تحقیقات دیم متمرکزشده‌ایم و پیش‌بینی می‌کنیم با استفاده از این شیوه، رکوردهای خوبی در تولیدات دیم به دست آید. خیام نکویی افزود: سطح دیم‌زارهای کشور حدود ۴ میلیون و ۲۰۰ هزار هکتار است که قسمت اعظم آن مربوط به کشت گندم است.

منبع: ایلنا — ۳ آبان ۱۴۰۲

برونداد تخصصی

انرژی‌های تجدیدپذیر

شماره ۵ – آبان ۱۴۰۲