موسسه مطالعات بین المللی انرژی

(وزارت نفت جمهوری اسلامی ایران)

بولتن تخصصی فناوری

موسسه مطالعات بین المللی انرژی

شماره نهم، مرداد ماه ۱۴۰۰

۹

بولتن تخصصی فناوری موسسه مطالعات بین‌المللی انرژی

شماره نهم، مرداد ماه ۱۴۰۰

ناشر: **مؤسسه مطالعات بین‌المللی انرژی**

مدیرمسئول

عقیل براق

ناظران علمی

عرفان ریاحی، مهدی احمدخان بیگی

سر دبیر

سیدفرهنگ فصیحی

مدیر داخلی

شیرین رضایی عدل

هیأت تحریریه

حامد حوری‌جعفری، رامش زروانی، مهدی شریف زاده، عقیل براق، زینب حجار، عباس زراءنژاد، امیرحسین فاکهی، سیدصادق ضرغامی، غلامعلی رحیمی، حمیدرضا مصطفایی، اعظم محمدباقری، طاهر خرم‌روز

همکاران این شماره

اعظم محمدباقری، غلامعلی رحیمی، مهدی کریلایی

نشانی: تهران، خیابان ولیعصر(عج)، روبروي پارك ملت، خیابان شهید سلطانی (سایه سابق)، پلاك ٦٥
مؤسسه مطالعات بین‌المللی انرژی، کدپستی ۱۹۶۷۷۴۳۷۱۱، صندوق پستی ٤٧٥٧- ١٩٣٩٥
تلفن :۹-۲۲۰۲۹۳۵۱ نمابر: ۲۲۰۵۴۸۵۳

www.iies.ac.ir

دریافت فایل الکترونیکی و همچنین دسترسي به سایر شماره‌های بولتن از طریق سایت موسسه امکان‌پذیر است. اساتید و پژوهشگران محترم می توانند مقالات خود را در فرمت word به آدرس پست الکترونیکی IIEStechbulletin@mop.ir ارسال نمایند

در این شماره می‌خوانید...

مهمترین اخبار و رویدادهای علمی در حوزه فناوری انرژی(تازه ها)

تأکید رهبران GV بر کاهش تغییر اقلیم — صفحه ۵

فناوری تبدیل ضایعات پلاستیکی به سوخت جت در یک ساعت — صفحه ۶

معرفی طرح‌های برتر حوزه فناوری اطلاعات — صفحه ۷

تأملی در ابعاد مختلف نقشه راه انتشار خالص صفر در جهان — صفحه ۸

تکنولوژی تبدیل برق به گاز (پتانسیل ذخیره‌سازی انرژی) — صفحه ۱۵

فصل اول: محیط زیست و توسعه پایدار

رسیدن به هدف محدود نمودن افزایش گرمای زمین به ۱/۵ درجه تا سال ۲۰۵۰ نیازمند اقدامات جدی و اساسی همراه با ضمانت اجرایی است. روندهای فعلی انتشار و نیز کمک‌های کشورهای توسعه‌یافته به پروژه‌های کاهش انتشار کشورهای درحال‌توسعه گواه آن است که جهان از هدف موردنظر فاصله زیادی دارد و بدون سیاست‌های انگیزشی دستیابی به این اهداف امکان‌پذیر نخواهد تردیدی نیست که جهان برای مبارزه با تغییر اقلیم نیازمند ایجاد تغییر و تحول کامل بخش انرژی است. لیکن نقشه راه انتشار خالص صفر آژانس بین‌المللی انرژی که در آن هرگونه سرمایه‌گذاری جدید در میادین نفت و گاز جدید را منع نموده نه‌تنها می‌تواند موجب نوسانات قیمتی در بازار نفت و گاز و بی‌ثباتی آن شود بلکه کشورهای دارنده این منابع را با مشکلات جدی مواجه خواهد کرد. به‌طورکلی دستیابی به نقاط عطف مدنظر آژانس برای رسیدن به انتشار صفر نیازمند منابع مالی و سرمایه‌گذاری‌های کلان، افزایش مقیاس فناوری‌های کم‌کربن و جهش نوآوری در این فناوری‌ها و نیز حمایت سیاست‌گذاران و تغییر نگرش و رفتار مصرف‌کنندگان است؛ ازاین‌رو بهتر است هر کشور با توجه به شرایط خود و با توجه به سهمی که در انتشار گازهای گلخانه‌ای دارد، نقشه راه رسیدن به هدف کاهش انتشار خود را تهیه و در دستور کار قرار دهد. همچنین دستیابی به این هدف برای کشورهای درحال‌توسعه و کمتر توسعه‌یافته نیازمند کمک‌های بین‌المللی، حمایت‌های فنی و مالی است و باید گفت بدون همکاری‌های بین‌المللی در زمینه‌های مختلف تأمین مالی و انتقال فناوری، جهان تا سال ۲۰۵۰ به انتشار خالص صفر دست نخواهد یافت.

فصل دوم: رصد فناوری های انرژی

روش‌های متنوعی در خصوص ذخیره‌سازی انرژی برق وجود دارد که می‌توان بر اساس آن‌ها انرژی را در ساعات غیر پیک ذخیره نمود. منابع فسیلی محدود بوده و در تمام مناطق جهان یافت نمی‌شود، لذا به‌عنوان منابع نامطمئن شناخته می‌شوند. بر این اساس، امروزه کشورهای توسعه‌یافته از سیستم‌های انرژی که به مقدار قابل‌توجهی بر مبنای سوخت‌های فسیلی هستند، دور شده‌اند و به سمت کاربردهای انرژی‌های تجدیدپذیر که در دسترس بوده و تولید آلایندگی ناچیز دارند پیشرفته‌اند. ماهیت نوسانی تولید برق از منابع تجدید پذیر انرژی، لزوم توسعه سیستم‌های توزیع با ظرفیت بالا و همچنین امکان ذخیره‌سازی متناوب انرژی را اجتناب‌ناپذیر نموده است. در این مطالعه ساختار فنی تکنولوژی تبدیل برق به گاز موردبررسی قرار می‌گیرد. پس از ارائه یک مقدمه در مورد مفهوم تکنولوژی تبدیل برق به گاز،

کارایی‌ها و پتانسیل‌های هم‌افزایی(سینرژی) این تکنولوژی تجزیه‌وتحلیل خواهد شد. علاوه بر این، مقدمه بسیار کوتاهی در مورد مفاهیم مشابه ارائه‌شده و همچنین چالش‌ها و محدودیت‌های فنی و تکنولوژیکی تزریق هیدروژن به شبکه گاز مورداشاره قرار خواهد گرفت.

فصل سوم: رصد فناوری های انرژی

صفحه ۲۷

استفاده از زیرساخت‌های انتقال گاز طبیعی برای انتقال هیدروژن

گاز طبیعی ازجمله مهم ترین حامل‌های انرژی کشورمان است که در بخش های مختلف مصرف کننده انرژی کشور نقش حیاتی ایفا می کند. ایران با داشتن ۱۷% از ذخایر اثبات‌شده گاز جهان، دومین کشور دارنده منابع گازی در جهان است. با توجه به اینکه روند افزایش تولید گاز در آینده نه‌چندان دور در حال نزدیک شدن به مقدار پیک خود می‌باشد، در صورت فقدان سرمایه‌گذاری کافی و عدم راه‌اندازی به‌موقع فازهای پارس جنوبی، مهاجرت گاز از پارس جنوبی به سمت گنبد شمالی حادث خواهد شد که با کاهش فشار و مهاجرت گاز، پیک تولید از میدان پارس جنوبی زودتر از زمان مورد انتظار اتفاق خواهد افتاد که کشور واردکننده گاز طبیعی خواهد شد، بنابراین تنوع‌بخشی سبد عرضه انرژی کشور موضوعی راهبردی است که می‌بایست به آن پرداخته شود.

سرمقاله

بنام خداوند دانایی

امروزه سبد عرضه و تقاضای انرژی جهان با کمک فناوری‌های نوین بسیار متنوع شده که بر اساس آن تولید و انتقال حامل‌های انرژی بیشتری در آستانه اقتصادی شدن قرار می‌گیرند، به عبارتی پارادایم‌های جدید حاکم بر بازار انرژی جهانی، تنوع‌بخشی به سبد عرضه و تقاضای انرژی را با رویکرد ارتقای امنیت انرژی و در نظر داشتن مصالح و منافع ملی هر کشور، مدنظر قرار داده است. آنچه مسلم است تنوع‌بخشی با به‌کارگیری فناوری‌های نوین، ضمن ایجاد بستر مناسب جهت آزادسازی ظرفیت برخی حامل‌های انرژی با مزیت رقابتی بالاتر، فرصت‌آفرینی دیگری به‌منظور افزایش درآمدهای ناشی از صادرات حامل‌های انرژی که در کشور دارای ارزش‌افزوده بالاتری هستند، می‌نماید. ازاین‌رو، بهره‌برداری بهینه از سبد منابع انرژی با در نظر داشتن ملاحظات فنی، اقتصادی و زیست‌محیطی در گرو تغییر نگرش بنیادین به مقوله فناوری از تولیدگرایی و منابع محوری به کسب توانمندی و دانش‌محوری می‌باشد که می‌تواند به‌عنوان نمادی از خودباوری و شکوفایی مردم یک کشور تلقی گردد.

یکی از موادی که در سال‌های اخیر موردتوجه ویژه پژوهشگران و برنامه‌ریزان بخش انرژی جهانی قرارگرفته است، هیدروژن می‌باشد. هیدروژن متداول‌ترین عنصر جهان می‌باشد که سمی، خورنده و خودسوز نیست و با سوختن خود تبدیل به بخارآب می‌شود. بنابراین، یک حامل انرژی پاک بوده و کمک شایانی به کاهش آلاینده‌های زیست‌محیطی می‌نماید. ازاین‌رو و با توجه به نتایج پژوهش‌های موسسات معتبر بین‌المللی، جایگاه مهمی در گذار انرژی و آینده سبد انرژی جهان خواهد داشت. هیدروژن در بسیاری از صنایع، پالایشگاه‌ها و پتروشیمی‌ها جهت تولید محصولات باارزش افزوده بالاتر، به‌عنوان ماده اولیه مورداستفاده قرار می‌گیرد. در این شماره از بولتن تلاش گردیده تا توضیحات تفصیلی در خصوص جذابیت‌های استفاده از هیدروژن ارائه گردد.

هیات تحریریه بولتن آمادگی دارد مطالب منتخب کارشناسان و پژوهشگران ارجمند صنعت نفت و انرژی، اساتید و دانشجویان محترم دانشگاه‌ها و متخصصین گرامی مؤسسات پژوهشی و شرکت‌های دانش‌بنیان را در خصوص موضوعات مرتبط با مدیریت هوشمندانه فناوری‌های نوین انرژی و ایده‌های راهبردی و تحول‌آفرین این حوزه را بررسی و منتشر نماید. امید است که این همکاری‌ها، ضمن پربارتر نمودن مطالب بولتن، موجبات ایجاد زمینه‌های مختلف پژوهشی در حوزه تبیین و تدوین راهبردهای فناوری انرژی را فراهم نموده تا بتوانیم در دستیابی به اهداف و رسالت‌های بخش انرژی کشور، نقشی مؤثر داشته باشیم.

موسسه مطالعات بین المللی انرژی

تأکید رهبران G۷ بر کاهش تغییر اقلیم

چهل و هفتمین اجلاس G۷ از ۱۱ تا ۱۳ ژوئنُ ۲۰۲۱ در کورنوال انگلیس با حضور رهبران هفت کشور ایالات‌متحده، انگلیس، کانادا، فرانسه، آلمان، ایتالیا و ژاپن برگزار گردید که اولین اجلاس این گروه بعد از شیوع ویروس کرونا بوده است. در این اجلاس اعضا توافق کردند که انتشار گازهای گلخانه‌ای خود را تا سال ۲۰۳۰ نسبت به سال ۲۰۱۰ از طریق تسریع در استفاده از زغال‌سنگ پاک، حذف یارانه سوخت‌های فسیلی و نیز توقف به‌کارگیری وسایل نقلیه بنزینی و دیزلی به نصف کاهش دهند. علاوه بر این، هفت اقتصاد پیشرفته جهان دوباره بر تعهدات مالی تغییر اقلیم خود تأکید کرده و موافقت نمودند تا کمک‌های معوق ۱۰۰ میلیارد دلار در سال را برای کمک به سازگاری و کاهش انتشار کشورهای کمتر توسعه‌یافته و آسیب‌پذیر از تغییر اقلیم تأمین نمایند.

نخست‌وزیر انگلیس در کنفرانس خبری حاشیه اجلاس اعلام کرد «کشورهای G۷، ۲۰ درصد انتشار کربن جهان را به خود اختصاص داده‌اند و لذا تسریع در اقدامات کاهش انتشار برای تحقق اهداف کاهش ۱/۵ درجه گرمای زمین از این کشورها باید آغاز گردد». وی که کشورش میزبان اجلاس COP۲۶ سازمان ملل در ماه نوامبر سال جاری است بیان کرد که رابطه مستقیمی میان انتشار گازهای گلخانه‌ای، بازیابی طبیعت، ایجاد اشتغال و اطمینان از رشد اقتصادی در بلندمدت وجود دارد و G۷ می‌خواهد یک انقلاب جهانی صنعتی سبز برای تغییر شیوه زندگی ایجاد کند.

در بیانیه مشترک این اجلاس آمده است که تغییر اقلیم یکی از چالش‌ها و فرصت‌های تعیین‌کننده زمان ماست و پاسخ فناوری محور کاهش انتشار رویکرد اصلی برای حفظ اشتغال و رشد اقتصادی کشورها هم‌زمان با تلاش برای رسیدن به هدف انتشار خالص صفرتا سال ۲۰۵۰ است.

G7 nations agree to boost climate finance, Jun 13, 2021

فناوری تبدیل ضایعات پلاستیکی به سوخت جت در یک ساعت

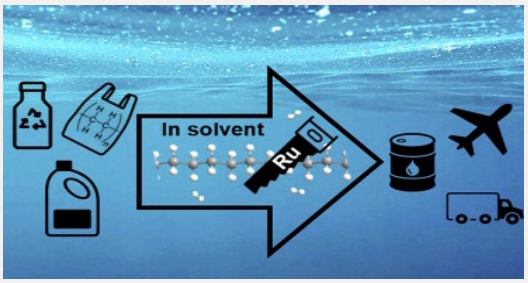
محققان جهت تبدیل انواع پلاستیک به مواد تشکیل‌دهنده‌ی سوخت جت و محصولات با ارزش دیگر، به یک‌راه حل نوآورانه دست پیداکرده‌اند. با این روش، استفاده مجدد از پلاستیک‌ها آسان‌تر و به‌صرفه‌تر خواهد شد. این محققان موفق شده‌اند در یک واکنش شیمیایی، در مدت یک ساعت و در درجه حرارت ملایم، ۹۰% پلاستیک را به سوخت جت و دیگر محصولات با ارزش هیدروکربنی تبدیل کنند. آن‌ها توانسته‌اند فرآیند تولید محصولات موردنظر خود را به‌خوبی و با دقت تنظیم کنند.

در دهه‌های اخیر، تجمع ضایعات پلاستیکی موجب بروز بحران های محیط زیستی، ازجمله آلودگی اقیانوس‌ها و مناطق بکر در سراسر دنیا شده است. با پوسیده شدن این مواد، ذرات ریز و میکروسکوپی حاصل از آن‌ها وارد زنجیره‌ی غذایی شده و در صورت عدم‌تشخیص، تبدیل به دلیل بالقوه‌ای برای تهدید سلامت انسان خواهند شد.

در عین حال، بازیافت پلاستیک نیز، خود یک موضوع مسئله‌ساز بوده است، چرا که در بیشتر روش‌های مکانیکی بازیافت، پلاستیک‌ها ذوب و مجدداً قالب‌گیری می‌شوند که منجر به کاهش ارزش اقتصادی و کیفیت آن می‌شود. با استفاده از بازیافت شیمیایی می‌توان محصولات باکیفیت‌تری تولید کرد، ولی این امر مستلزم حرارت واکنشی بالا و زمان فرآیند طولانی است، که هزینه‌های سنگینی را به صنایع تحمیل می‌کند. در آمریکا هرساله، به دلیل این محدودیت‌ها، تنها ۹% از مواد پلاستیکی ضایعاتی بازیافت می‌شوند.

حال، محققان در آزمایش‌های اخیر خود توانسته‌اند با ایجاد یک فرآیند کاتالیزوری و روشی بهینه، پلی‌اتیلن را به سوخت جت و مواد روان‌کننده‌ی با ارزش تبدیل کنند. پلی‌اتیلن، که با نام پلاستیک شماره یک نیز شناخته می‌شود، یک ماده معمول در تولید طیف وسیعی از محصولات پلاستیکی است.

این محققان در تلاش هستند، فرآیند مذکور را برای رسیدن به مرحله‌ی تجاری‌سازی بهبود بخشند. آن‌ها معتقدند این فرآیند در آینده با استفاده از انواع دیگر پلاستیک نیز قابل انجام خواهد بود.



منبع: خبرگزاری ساینس دیلی

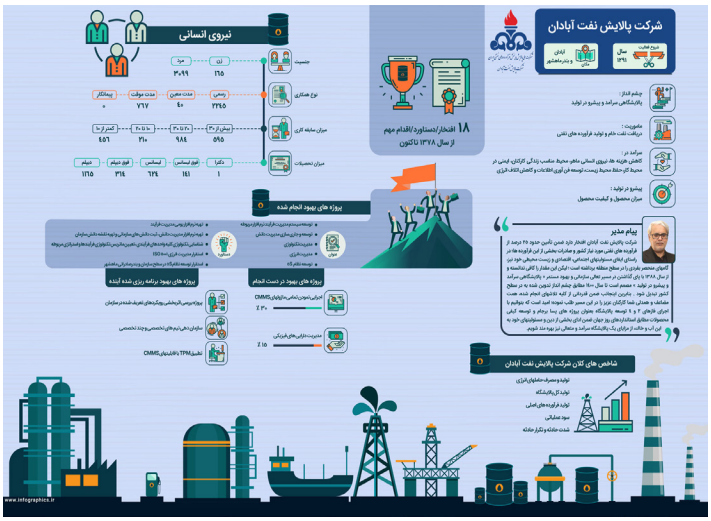
معرفی
طرح‌های برتر
حوزه فناوری اطلاعات
و ارتباطات صنعت نفت
در سال ۱۳۹۹

۱ – داشبورد مدیریت فرآیندهای شرکت پالایش نفت آبادان:

با اجرای این پروژه، پس از شناسایی و ترسیم کلی فرآیندها، فرآیندهای موازی حذف و فرآیندهای کاربردی جدید طراحی می‌گردد. سپس شاخص‌های کارایی، اثربخشی، بهره‌وری و سودآوری کلیه فرآیندها تعیین و ارزیابی می‌شوند. مبنای این پروژه مدل APQC می‌باشد که بر اساس الگوبرداری از ۲۷ پالایشگاه شرکت Royal Dutch Shell در اروپا انتخاب‌شده است. دستاوردهای این پروژه عبارتند از:

- شناسایی فعالیت‌های جاری
- طبقه‌بندی فرآیندها و ترسیم نقشه‌های فرآیندها
- مستندسازی فرآیندها
- اندازه‌گیری، تحلیل و بهبود فرآیندها

سیستم نرم‌افزاری طراحی‌شده دارای قابلیت دریافت داده‌های پایه و انجام پردازش‌های موردنیاز برای محاسبه شاخص‌های موردنظر بر اساس ماه می‌باشد و خروجی محاسبات با توجه به وزن دهی صورت گرفته برای شاخص‌ها و محدوده‌های مجاز و غیرمجاز تعیین‌شده نرم‌افزار پس از انجام محاسبات در قالب جدول و مجموعه ای از نمودارهای مختلف از قبیل (نمودار خطی، رادار چارت، گیج و...) نمایش داده می‌شود. یکی دیگر از قابلیت‌های مهم این نرم‌افزار امکان استفاده از بستر اتوماسیون اداری برید (که در اکثر شرکت‌های نفتی استفاده می‌شود) می باشد که هم برای دسترسی به نرم‌افزار و هم ارجاع موارد موردنیاز از طریق کارتابل آن به‌صورت یکپارچه و خودکار می‌باشد که از ارائه کارتابل جداگانه به مدیران سیستم جلوگیری می‌کند.



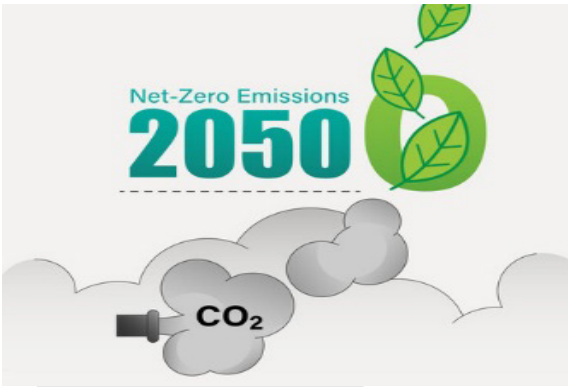
تأملی در ابعاد مختلف نقشه راه انتشار خالص صفر در جهان

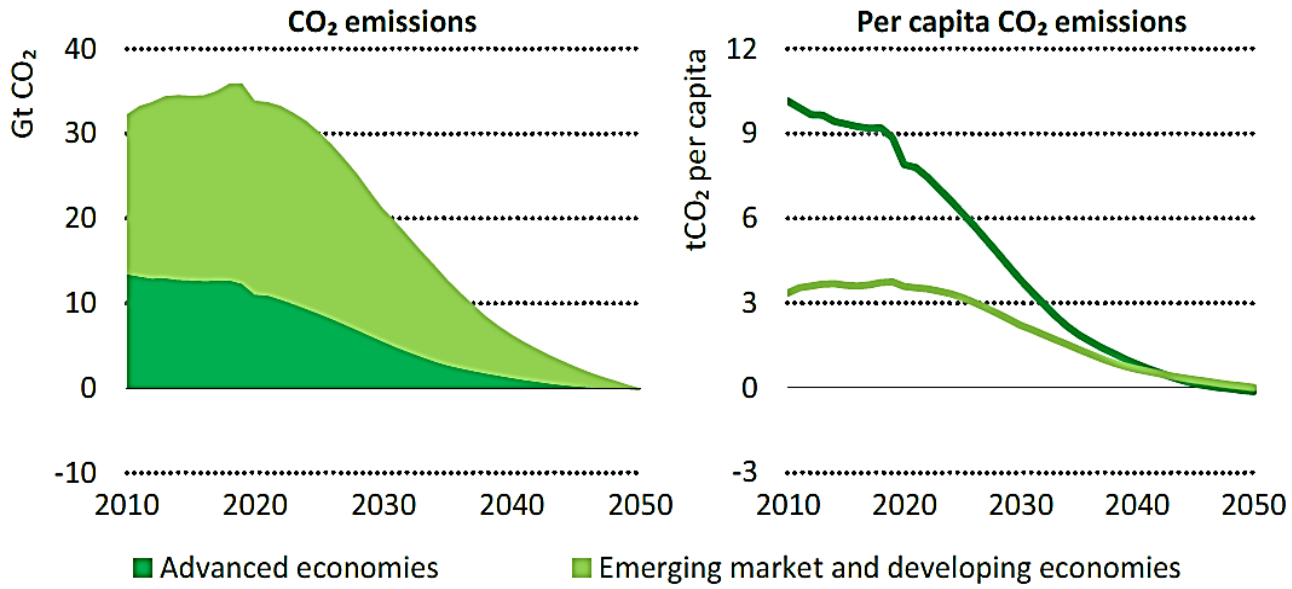
اعظم محمدباقری پژوهشگر ارشد مؤسسه مطالعات بین‌المللی انرژی

مقدمه

امروزه تغییر اقلیم و اثرات آن بزرگ‌ترین چالش پیش روی جهانیان است. بخش انرژی، منبع سه‌چهارم انتشار گازهای گلخانه‌ای در جهان و مسئول اصلی انتشار محسوب می‌شود. دستیابی به هدف محدود نمودن گرمای جهانی تا ۱/۵ درجه سانتی‌گراد در سال ۲۰۵۰، تلاش جدی برای حرکت در مسیر انتشار خالص صفر در جهان را به‌واسطه ایجاد تغییر کامل در مراحل مختلف تولید، انتقال و مصرف انرژی می‌طلبد. اجماع سیاسی برای رسیدن به این هدف یک رویکرد خوش‌بینانه و در زمره اهداف جاه‌طلبانه کاهش انتشار است، چراکه آنچه در واقعیت تاریخی جوامع اتفاق افتاده، تحقق این هدف را با ابهام مواجه کرده است. بااین‌حال آژانس بین‌المللی انرژی نقشه راه دستیابی به انتشار خالص صفر تا سال ۲۰۵۰ را در قالب یک سیستم انرژی پاک و انعطاف‌پذیر که مزایای عمده‌ای را برای جوامع بشری به لحاظ کاهش اثرات تغییر اقلیم به دنبال دارد، ترسیم کرده است.

در گزارش نقشه راه انتشار خالص صفر آمده است که در مسیر رسیدن به این هدف، دولت‌ها باید سیاست‌های انرژی خود را هماهنگ با سیاست‌ها و تعهدات تغییر اقلیم ارائه دهند. زیرا تعهدات انجام‌شده تا به امروز بسیار کمتر از نیاز دستیابی به انتشار خالص صفر است. هرچند تعداد کشورهایی که متعهد به کاهش انتشار شده‌اند به‌سرعت در حال افزایش است، اما بیشتر این تعهدات تحت حمایت سیاست‌های کوتاه‌مدت قرار نگرفته‌اند و از این‌رو حتی اگر انجام گیرند، در سال ۲۰۵۰ میزان انتشار گاز CO_2 در جهان به ۲۲ میلیارد تن خواهد رسید که این میزان گرمای جهانی را تا پایان قرن به بیش از ۲ درجه افزایش خواهد داد. بنابراین با تأخیر بیشتر در اقدامات کاهش انتشار، هدف انتشار صفر تحقق نمی‌یابد و اقدامات جدی‌تر نیاز است. بنابراین نقشه راه آژانس، شروط اساسی برای رسیدن به انتشار خالص صفر در بخش انرژی تا سال ۲۰۵۰ را با تکیه بر حداکثر نمودن امکانات فنی، مقرون‌به‌صرفه بودن، پذیرش اجتماعی و هم‌زمان اطمینان از ادامه رشد اقتصادی و امنیت عرضه انرژی برجسته می‌کند و بیان می‌دارد که میزان انتشار CO_2 در اقتصادهای پیشرفته تا سال ۲۰۴۵ به صفر رسیده و مابقی جهان تا سال ۲۰۵۰ به انتشار خالص صفر دست خواهد یافت و انتشار سرانه نیز از سال ۲۰۴۰ مسیر خالص صفر را طی خواهد نمود. (شکل ۱)





شکل ۱. میزان انتشار CO_2 جهان تا سال ۲۰۵۰

انتشار گزارش نقشه راه انتشار خالص صفر با مجموعه‌ای از انتقادها در جهان همراه شده است و بسیاری از کارشناسان نگرانی‌های خود را در مورد این گزارش ابراز داشته‌اند. در این گزارش ضمن بررسی ابعاد مختلف نقشه راه، نگرانی‌های موجود در این زمینه مورد بحث و تحلیل قرار می‌گیرد.

نوآوری در انرژی‌های پاک تا سال ۲۰۵۰

دستیابی به انتشار خالص صفر تا سال ۲۰۵۰ مستلزم استفاده سریع‌تر از فناوری‌های موجود و استفاده گسترده از فناوری‌هایی است که هنوز در بازار قرار نگرفته‌اند. سرعت بخشیدن به نوآوری در این دهه موجب می‌شود که فناوری‌های جدید به بازار عرضه شوند. بیشترین میزان کاهش انتشار جهانی CO_2 تا سال ۲۰۳۰ درنتیجه استفاده از فناوری‌هایی است که امروز به‌راحتی در دسترس هستند و در سال ۲۰۵۰ تقریباً نیمی از کاهش‌ها حاصل فناوری‌هایی خواهد بود که اکنون در مرحله نمونه اولیه می‌باشند. بزرگ‌ترین فرصت‌های نوآوری مربوط به باتری‌های پیشرفته، الکترولایزرهای هیدروژن و نیز جمع‌آوری و ذخیره‌سازی مستقیم هوا است. این سه حوزه فناوری در کاهش انتشار CO_2 طی سال‌های ۲۰۳۰ تا ۲۰۵۰ نقش بسیار مهمی خواهند داشت. نوآوری طی ۱۰ سال آینده نه تنها از طریق تحقیق و توسعه (R&D) بلکه از طریق استقرار زیرساخت‌های با مقیاس بزرگ فناوری نظیر خطوط انتقال CO_2 جمع‌آوری‌شده و سیستم‌های انتقال هیدروژن امکان‌پذیر خواهد بود.

استفاده بیشتر از انرژی‌های تجدید پذیر

در نقشه راه انتشار خالص صفر، تقاضای انرژی جهان در سال ۲۰۵۰ در حدود ۷ درصد کمتر از امروز است اما اقتصاد دو برابر بزرگ‌تر و جمعیت آن ۲ میلیارد بیشتر از امروز است. استفاده کارآمدتر از انرژی، کارایی منابع و تغییرات رفتاری، مقدار افزایش در تقاضای خدمات انرژی را جبران می‌کند، به‌طوری‌که رشد اقتصادی و دسترسی به انرژی در کل جهان افزایش می‌یابد. در این زمان بخش انرژی مبتنی بر به‌کارگیری انرژی‌های تجدید پذیر است و دوسوم کل انرژی مورد نیاز در سال ۲۰۵۰ از منابع انرژی باد، خورشید، سوخت‌های زیستی، زمین‌گرمایی و انرژی برق‌آبی تأمین خواهد شد. درواقع انتشار خالص صفر به معنای کاهش بسیار شدید در استفاده از سوخت‌های فسیلی است که به یک‌پنجم سقوط می‌کنند.

با رواج فناوری CCUS یا (Carbon capture utilisation and storage) در بخش‌هایی که ناگزیر از به‌کارگیری سوخت فسیلی است، انتشارات کاهش می‌یابد. انرژی برق در حدود ۵۰ درصد کل انرژی مصرفی را در سال ۲۰۵۰ به خود اختصاص می‌دهد و نقش کلیدی در تمامی بخش‌ها خواهد داشت و تولید آن بیش از ۲۵ برابر افزایش خواهد یافت. در آن زمان هیچ‌گونه سرمایه‌گذاری جدیدی برای نیروگاه‌های با سوخت زغال‌سنگ صورت نخواهد گرفت و ۹۰ درصد برق از منابع تجدید پذیر تولید می‌شود. (نزدیک به ۷۰ درصد از خورشید و باد و مابقی از هسته‌ای). از سال ۲۰۳۰ با افزایش تحقیق و توسعه و ورود فناوری‌های جدید پاک به بازار، جهان بیشتر از قبل در مسیر عملی شدن اهداف انتشار صفر حرکت خواهد کرد. از سال ۲۰۳۰ در هرماه، ۱۰ کارخانه صنعتی سنگین مجهز به فناوری CCUS شده و سه کارخانه مبتنی بر سوخت هیدروژن و ۲ گیگاوات ظرفیت الکترولیز به آن اضافه خواهد شد. سیستم حمل‌ونقل شهری مجهز به ماشین‌های الکتریکی، حمل‌ونقل جاده‌ای مجهز به پیل‌های سوختی و برق و در حمل‌ونقل هوایی از سوخت‌های زیستی و سوخت‌های مصنوعی استفاده خواهد شد .

عدم سرمایه‌گذاری جدید در سوخت‌های فسیلی

بر مبنای نقشه راه انتشار خالص صفر در سال ۲۰۵۰، به غیر از پروژه‌های نفت و گازی که در سال ۲۰۲۱ تصویب‌شده‌اند، هیچ سرمایه‌گذاری جدیدی برای میادین نفت و گاز صورت نخواهد گرفت و هیچ معدن جدید زغال‌سنگ تأمین مالی نخواهد شد. سیاست تغییر اقلیم متمرکز بر کاهش شدید تقاضای سوخت‌های فسیلی و لذا کاهش تولیدکنندگان نفت و گاز خواهد بود. تقاضا برای زغال‌سنگ به‌شدت کاهش‌یافته و تنها یک درصد از تأمین انرژی دنیا را بر عهده خواهد داشت. تقاضای گاز با ۵۵ درصد کاهش به ۱۷۵۰ میلیارد مترمکعب خواهد رسید و تقاضای نفت با ۷۵ درصد کاهش به ۲۴ میلیون بشکه در روز کاهش خواهد یافت. درحالی‌که سرمایه‌گذاری در زیرساخت‌های فناوری‌های پاک به‌ویژه تولید برق از منابع انرژی پاک به‌شدت افزایش می‌یابد.

سرمایه‌گذاری در انرژی پاک

بر مبنای این نقشه راه، سرمایه‌گذاری سالانه انرژی به ۵ تریلیون دلار تا سال ۲۰۳۰ افزایش می‌یابد درحالی‌که ۰,۴ درصد به رشد تولید ناخالص داخلی جهانی در هرسال اضافه می‌کند. این میزان افزایش در سرمایه‌گذاری، منافع اقتصادی قابل‌توجهی را برای جهانی که با بحران بزرگ Covid 12 مواجه بوده است به ارمغان می‌آورد. میلیون‌ها شغل در نتیجه استفاده از انرژی پاک، کارایی انرژی و نیز در صنایع مهندسی، تولید و ساخت‌وساز ایجاد می‌شود و تولید ناخالص داخلی ۴ درصد بیشتر از اکنون خواهد بود.

دولت‌ها نقش مهمی در امکان‌پذیری سرمایه‌گذاری و اطمینان از رشد اقتصادی دارند که مزایای آن در تمامی جهان به اشتراک گذاشته می‌شود. تفاوت بزرگی در اثرات اقتصاد کلان بین مناطق وجود دارد اما سرمایه‌گذاری دولتی و سیاست‌های عمومی، پایه و اساس جذب مقادیر بزرگی از سرمایه خصوصی و کمک به جبران کاهش در درآمد سوخت‌های فسیلی بسیاری از کشورهایی است که به این درآمدها وابسته بوده‌اند. تلاش‌های عمده نوآوری برای تولید فناوری‌های انرژی پاک جدید و معرفی آن‌ها به بازار نیازمند سرمایه‌گذاری دولت‌ها و هم‌زمان افزایش رشد اقتصادی است.

نگرانی‌های امنیت انرژی

کاهش تولید نفت و گاز پیامدهای بسیاری را برای کشورها و شرکت‌های تولیدکننده این سوخت‌ها به همراه خواهد داشت. در نقشه راه انتشار خالص صفر، هیچ میدان جدید نفت و گاز طبیعی وجود نداشته و تولید متمرکز بر تعداد کمی از تولیدکنندگان کم‌هزینه خواهد بود. سهم اوپک در جهان، کاهش زیادی خواهد یافت. درآمد سالانه اقتصادهای تولیدکننده حدود ۷۵ درصد افت خواهد کرد که خود اثرات اجتماعی بسیاری را به دنبال خواهد داشت. در این شرایط، اصلاحات ساختاری اساسی در این کشورها برای جبران کاهش درآمدهای نفتی نیاز است. وضعیت مشابهی نیز برای گاز و زغال‌سنگ وجود دارد. علاوه بر این، چنین تغییراتی، نگرانی‌های جدیدی را در مورد

امنیت انرژی ازجمله نوسانات قیمت و هزینه‌های اضافی برای انتقال به منابع کم‌کربن انرژی ایجاد می‌کند. برقی شدن سریع بخش‌ها، تمرکز بیشتر بر امنیت انرژی جهان را نسبت به امروز می‌طلبد. انعطاف‌پذیری سیستم برق با توجه به کاهش تولید از منابع متعارف کاهش می‌یابد و لذا نیازمند انعطاف بیشتر در منابع دیگر در پاسخ به تقاضای رو به افزایش برق خواهد بود. ضمن اینکه نیروگاه‌های برقی نیز نیازمند شبکه‌های برق هوشمند و دیجیتال و مجهز به سیستم‌های مدافع در برابر حملات سایبری و دیگر تهدیدات نوظهور می‌باشند.

مشارکت همگانی

حرکت در مسیر انتشار خالص صفر بدون حمایت و مشارکت مداوم شهروندان امکان‌پذیر نیست زیرا این تغییرات بر جنبه‌های مختلف زندگی مردم از حمل‌ونقل، سیستم‌های گرمایشی و پخت‌وپز گرفته تا برنامه‌ریزی شهری و مشاغل تأثیر خواهد گذاشت. برآورد آژانس در نقشه راه انتشار خالص صفر حاکی از آن است که در حدود ۵۵ درصد از کاهش انتشارات تجمعی مرتبط با انتخاب مصرف‌کنندگان مانند خرید ماشین‌های الکتریکی، مقاوم‌سازی خانه‌ها با فناوری‌های صرفه‌جویی انرژی و یا نصب پمپ‌های حرارتی است. تغییرات رفتاری به‌ویژه در اقتصادهای پیشرفته مانند استفاده از حمل‌ونقل عمومی، دوچرخه‌سواری، پیاده‌روی بجای استفاده از ماشین حدود ۴ درصد از کاهش انتشار تجمعی را تأمین خواهد کرد. کاهش انتشار گازهای گلخانه‌ای باید با تلاش برای اطمینان از دسترسی به انرژی برای همگان تا سال ۲۰۳۰ همگام شود و لذا تأمین برق حدود ۷۸۵ میلیون نفر در جهان که دسترسی به برق ندارند بخش اساسی نقشه راه آژانس بین‌المللی انرژی است. دولت‌ها باید این اطمینان را ایجاد کنند که انتقال انرژی پاک برای شهروندان عادلانه و مقرون‌به‌صرفه است، زیرا افزایش سریع دسترسی به انرژی و تقاضا برای خدمات انرژی مدرن، هزینه انرژی خانوارها را به‌عنوان سهمی از درآمد مصرفی افزایش خواهد داد. مقرون‌به‌صرفه بودن انرژی برای تقاضای خانوارها نیازمند به‌کارگیری ابزارهای سیاستی مناسب مانند اعتبارات، وام‌ها و هدفمندی یارانه‌ها می‌باشد.

همکاری بین‌المللی برای دستیابی به انتشار خالص صفر

یک سیستم با انتشار خالص صفر نیازمند ایفای نقش تمامی ذینفعان است. اقدامات گسترده اتخاذشده توسط دولت‌ها در تمامی سطوح مسیر انتشار صفر به چارچوب‌بندی، تأثیرگذاری و تشویق مصرف‌کنندگان و سرمایه‌گذاران در داخل کشور و خارج از آن کمک می‌کند. روش‌های تولید و نحوه تأمین خدمات انرژی و غیره همگی تحت تأثیر تصمیماتی است که توسط دولت‌ها اتخاذ می‌شود. طراحی کارآمد نقشه‌های ملی و منطقه‌ای برای رسیدن به خالص انتشار صفر خواستار همکاری تمامی بخش‌ها در یک کشور است و الزاماً وزارتخانه‌های انرژی یا محیط‌زیست به‌تنهایی قادر به اقدام در رسیدن به این هدف نخواهند بود. مدیریت کاهش درآمدهای حاصل از سوخت‌های فسیلی نیز نیازمند برنامه‌ریزی بلندمدت و اصلاحات بودجه است. مسیر انتشار خالص صفر به‌شدت نیازمند همکاری بین‌المللی در بین کشورها به‌ویژه در زمینه نوآوری و سرمایه‌گذاری می‌باشد.

نقد و بررسی نقشه راه انتشار خالص صفر

بر اساس گزارش نقشه راه انتشار خالص صفر تا سال ۲۰۵۰، سیستم‌های انرژی باید به‌طور کامل متحول شوند. استفاده از سوخت‌های فسیلی به‌شدت کاهش یابد و استفاده از انرژی‌های تجدید پذیر به‌ویژه در بخش برق به حداکثر برسد. در ابتدا باید گفت روندهای فعلی نشان می‌دهد که جهان از هدف انتشار خالص صفر فاصله بسیار زیادی دارد و بدون سیاست‌های قوی و سرمایه‌گذاری‌های بزرگ، دستیابی به این هدف دور از انتظار است. بااین‌حال گزارش آژانس از دو منظر فنی و اقتصادی قابل‌تأمل و بررسی است. آژانس بین‌المللی انرژی توصیه می‌کند که از سال ۲۰۲۱

هیچ کارخانه جدید زغال‌سنگ و نیروگاهی که به فناوری کم‌کربن دست نیافته و هیچ میدان نفت و گاز جدید توسعه نیابد. این دیدگاه غیرواقعی برای حذف سوخت‌های فسیلی از سبد انرژی جهان نگرانی‌هایی را برای کشورهایی که سیستم انرژی آن‌ها به این سوخت‌ها وابسته است به دنبال داشته است. همچنین ادامه رشد تقاضای انرژی و عدم وجود مکانیسم‌های بازاری برای قیمت‌گذاری کربن و حتی برق در بسیاری از کشورها دستیابی به این اهداف را دور از انتظار می‌داند.

نقشه راه آژانس تأکید بسیار زیادی بر تولید برق از انرژی‌های تجدید پذیر دارد و بیان می‌کند تا سال ۲۰۵۰، ۷۰ درصد تولید برق از منابع تجدید پذیر باشد. هرچند هزینه استفاده از انرژی‌های تجدید پذیر در تولید برق از سال ۲۰۱۹ روند نزولی داشته و رقابتی‌تر شده است اما نباید فراموش کرد که کشورهای توسعه‌یافته به‌عنوان بخشی از فرآیند صنعتی شدن خود به انرژی‌های تجدید پذیر نزدیک‌تر می‌شوند. همچنین کشورهایی که دارای منابع تجدید پذیر فراوان هستند می‌توانند از فناوری‌های تجدید پذیر به‌عنوان ابزاری برای تسریع در توسعه صنعتی خود بهره‌مند گردند؛ اما این اصل که کشورها در مراحل مختلف توسعه صنعتی قرار داشته و هر یک مزیت نسبی در بهره‌مندی از برخی منابع انرژی را دارند، گویای فاصله هزینه‌ای است که تولید برق از انرژی‌های تجدید پذیر در مقایسه با تولید آن از منابع سوخت‌های فسیلی در این کشورها خواهد داشت. ازاین‌رو تغییر سریع به انرژی‌های تجدید پذیر می‌تواند منبع بی‌ثباتی در بازار سوخت‌های فسیلی باشد و بر نحوه سرمایه‌گذاری شرکت‌ها تأثیر قابل‌توجهی بگذارد.

همچنین برخی از صنایع نظیر فولاد، سیمان و آلومینیوم به‌سختی خود را با سوخت برق سازگار کرده و در بسیاری از فرآیندهای این صنایع تنها از سوخت‌های فسیلی استفاده می‌شود. فناوری‌های زیادی برای کربن‌زدایی این بخش‌ها مانند استفاده از هیدروژن بجای زغال کک و یا به‌کارگیری فناوری CCUS وجود دارد ولی هنوز در مراحل اولیه توسعه قرار داشته و هزینه بالاتری را نیز به همراه خواهند داشت. به‌طور مثال تولید فولاد با کربن صفر می‌تواند ۲۰ تا ۲۵ درصد به هزینه هر یکتن فولاد اضافه کند. بنابراین باید در نظر داشت که هرچند ممکن است بسیاری از راه‌حل‌های کم‌کربن ازنظر فنی اثبات‌شده باشند اما برای استفاده انبوه باید ازنظر اقتصادی نیز مقرون‌به‌صرفه باشند. ضمن آنکه توسعه این فناوری‌ها نیازمند حمایت‌های سیاستی و مشوق‌های قانونی زیادی خواهد بود.

موضوع متوقف نمودن روند اکتشاف و توسعه منابع جدید نفت و گاز از مهم‌ترین مباحث در مجمع جهانی اقتصاد سن‌پترزبورگ (۵-۲ ژوئن ۲۰۲۱) بوده است و الکساندر نواک (Alexander Novak) – معاون نخست‌وزیر روسیه- در این مجمع اعلام کرد که «آژانس بین‌المللی انرژی با استناد به محاسبات معکوس به نتایج خود برای انتشار خالص صفر جهان تا سال ۲۰۵۰ رسیده است و این یک رویکرد ساده‌انگارانه است که تا سال ۲۰۵۰ سوخت‌های فسیلی از سبد انرژی جهان حذف شود. وی بیان کرد «بدون شک جهان باید در انرژی‌های سبز سرمایه‌گذاری کرده و به سمت برنامه‌های سبز حرکت کند اما باید مشخص شود که با چه منابعی این برنامه قابل انجام است و منبع هزینه‌ای آن کجاست. وی همچنین این اطمینان را ایجاد کرد که استراتژی روسیه همچنان سرمایه‌گذاری در نفت و گاز و زغال‌سنگ است و هم‌زمان در انرژی‌های تجدید پذیر، هیدروژن و وسایل نقلیه الکتریکی سرمایه‌گذاری می‌کند و لذا دهه آینده ترکیبی از انرژی‌های تجدید پذیر و سوخت‌های فسیلی را در سبد انرژی خود دارد».

لی ژنگ (Li Zheng) معاون اجرایی رئیس مرکز انرژی و تغییر اقلیم دانشگاه تسینگوای (Tsinghua) چین نیز در رابطه با تولید برق بدون کربن گفته است «تولید برق با خالص انتشار خالص صفر بسیار چالش‌برانگیز است زیرا برای رسیدن به این هدف، سوخت‌های فسیلی به‌سرعت باید حذف شوند. درحالی‌که منابع انرژی فسیلی و غیر فسیلی رقیب یکدیگر نبوده و تولید برق از انرژی باد و خورشید باید توسط سوخت‌های فسیلی پشتیبانی شود. رشد تقاضای انرژی در چین نیازمند عرضه سوخت‌های فسیلی است و این موضوع فرآیند خنثی‌سازی انتشار کربن را تحت‌فشار قرار می‌دهد».

در نقشه راه انتشار خالص صفر، توجه ویژه‌ای به فناوری‌های کم‌کربن و نوآوری برای جهش آن‌ها شده است. در این زمینه نکته قابل‌توجه آن است که هرچند فناوری‌های موردنیاز کم‌کربن شناسایی‌شده‌اند اما برخی از آن‌ها قبل از اینکه به مرحله تجاری رسیده و در مقیاس وسیع مورداستفاده قرار گیرند به پیشرفت‌های چشمگیری نیاز دارند درحالی‌که زمان کمی برای جهان تا رسیدن به هدف موردنظر باقی‌مانده است. همچنین سرمایه‌گذاری‌های موردنیاز برای فناوری‌های جدید نیز باید افزایش چشمگیری داشته باشد تا بتوانند هدف کربن‌زدایی کامل را محقق نماید. در این حوزه، نابرابری برخورداری کشورهای مختلف از فناوری‌ها نیز قابل‌تأمل است. بانک جهانی در گزارش اخیر خود با اشاره به این موضوع بیان می‌کند که «بین سال‌های ۱۹۹۰ تا ۲۰۱۵، نرخ رشد سالیانه ثبت اختراع در فناوری‌های کم‌کربن به‌طور متوسط در حدود ۸ درصد در سال بوده است که این میزان دو برابر نرخ رشد متوسط کل فناوری‌ها بوده است. کشورهای با درآمد بالا حداقل ۸۰ درصد از نوآوری‌ها را در تمامی زمینه‌های فناوری در طی دوره موردنظر تولید کرده‌اند. درحالی‌که کشورهای با متوسط درآمد و کشورهای کم‌درآمد تقریباً هیچ نوآوری در تولید به‌ویژه فناوری‌های کم‌کربن در طول این دوره نداشته‌اند. علاوه بر این، تنها درصد کمی از ثبت اختراعات فناوری‌های کم‌کربن از کشورهای با درآمد بالا به کشورهای با درآمد متوسط انتقال‌یافته است و تقریباً هیچ فناوری به کشورهای با درآمد پایین منتقل نشده است. بنابراین اینکه تمامی کشورها قابلیت برخورداری از فناوری‌های کم‌کربن را برای رسیدن به هدف انتشار خالص صفر خواهند داشت، موضوع بحث‌برانگیزی خواهد بود.

هرچند فناوری‌های کم‌کربن نقش بسزایی در کربن‌زدایی سیستم انرژی خواهند داشت اما فناوری به‌تنهایی نمی‌تواند موجب کاهش انتشار شود و در کنار ابتکارات نظارتی و مالی، تحریک تقاضا و استفاده از ابزارهای انگیزشی به‌منظور تغییر نگرش مصرف‌کنندگان نسبت به استفاده ازمحصولات کم‌کربن بسیار مهم است. به‌طورکلی مشتریان و مصرف‌کنندگان عمده نقش مهمی را در ایجاد تقاضا برای محصولات و خدمات سبز دارند. چنانچه تولیدکنندگان خودرو متعهد شوند که در تولیدات خود به‌طور مثال از فولاد کم‌کربن استفاده خواهند کرد، می‌توانند انگیزه بزرگی را برای تغییر ایجاد کنند. همچنین با توجه به اینکه فناوری‌های کم‌کربن هزینه تولید را افزایش داده و تأثیر بر قدرت خرید مصرف‌کنندگان خواهند گذاشت، در مقیاس فناوری باید تمرکز اولیه بر بازارهایی باشد که در آن مصرف‌کنندگان نهایی قادر به پرداخت هزینه بیشتر خواهند بود. به‌طور مثال چنانچه صنعت هواپیمایی مجهز به سوخت‌های بیولوژیکی و سوخت مصنوعی شود قیمت بلیت ۱۰ تا ۲۰ درصد افزایش خواهد داشت. همچنین باید در نظر داشت که چنانچه تعادل میان عرضه و تقاضای انرژی برقرار نگردد، هزینه‌ها افزایش خواهد یافت. به‌طور مثال شرکت‌های حمل‌ونقل متعهد به استفاده وسیع از سوخت‌های زیستی نمی‌شوند مگر آنکه اطمینان داشته باشند که عرضه این سوخت‌ها در مقیاس گسترده انجام خواهد گرفت از سوی دیگر تولیدکنندگان این سوخت‌ها نیز باید از مقدار تقاضای خود به‌منظور سرمایه‌گذاری‌های کلان آینده خود اطمینان داشته باشند.

موضوع مهم دیگر قیمت کربن و سازوکار بازار برای آن است که از ابزارهای مهم تشویقی تولیدکنندگان و مصرف‌کنندگان بخش انرژی است. به‌ویژه قیمت کربن و مقررات سخت‌گیرانه کاهش کربن، چنانچه تنها در یک کشور و یا یک بخش در نظر گرفته شود می‌تواند موقعیت تولیدکنندگان مستقر در آن کشور را در مقابل رقبای بین‌المللی خود تضعیف کند.

جمع‌بندی و نتیجه‌گیری

رسیدن به هدف محدود نمودن افزایش گرمای زمین به ۱٫۵ درجه تا سال ۲۰۵۰ نیازمند اقدامات جدی و اساسی همراه با ضمانت اجرایی است. روندهای فعلی انتشار و نیز کمک‌های کشورهای توسعه‌یافته به پروژه‌های کاهش انتشار کشورهای درحال‌توسعه گواه آن است که جهان

از هدف موردنظر فاصله زیادی دارد و بدون سیاست‌های انگیزشی دستیابی به این اهداف امکان‌پذیر نخواهد بود.

تردیدی نیست که جهان برای مبارزه با تغییر اقلیم نیازمند ایجاد تغییر و تحول کامل بخش انرژی است. لیکن نقشه راه انتشار خالص صفر آژانس بین‌المللی انرژی که در آن هرگونه سرمایه‌گذاری جدید در میادین نفت و گاز جدید را منع نموده نه‌تنها می‌تواند موجب نوسانات قیمتی در بازار نفت و گاز و بی‌ثباتی آن شود بلکه کشورهای دارنده این منابع را با مشکلات جدی مواجه خواهد کرد. توصیه برای توقف سریع سرمایه‌گذاری در معادن جدید زغال‌سنگ و نیروگاه‌های با سوخت فسیلی در جهانی که کشورهای آن در مراحل مختلف توسعه قرار دارند، اندازه جمعیت متفاوت داشته و هر یک با توجه به مزیت نسبی خود از منابع انرژی برخوردارند بسیار موضوع بحث‌برانگیزی است که تحقق اهداف بزرگ و جاه‌طلبانه انتشار صفر را با ابهام مواجه می‌کند.

در شرایطی که هنوز بخش عمده‌ای از نیروگاه‌های برق در جهان از سوخت‌های فسیلی استفاده می‌کنند، تغییر سریع به استفاده از انرژی‌های تجدید پذیر در تولید برق و انبوه‌سازی آن با توجه به نیاز به سرمایه‌گذاری‌های کلان در زیرساخت‌ها دور از انتظار است.

به‌طورکلی دستیابی به نقاط عطف مدنظر آژانس برای رسیدن به انتشار صفر نیازمند منابع مالی و سرمایه‌گذاری‌های کلان، افزایش مقیاس فناوری‌های کم‌کربن و جهش نوآوری در این فناوری‌ها و نیز حمایت سیاست‌گذاران و تغییر نگرش و رفتار مصرف‌کنندگان است؛ اما اینکه هر کشور قابلیت دسترسی به این عوامل را تحت چه شرایطی خواهد داشت از موضوعات مهمی است که باید در نظر گرفته شود. بر این اساس اصل «مسئولیت‌های مشترک اما متفاوت» که از اصول اصلی کنوانسیون تغییر اقلیم است، همواره باید موردتوجه باشد زیرا کشورهای توسعه‌یافته در طی سال‌های صنعتی شدن خود از سوخت‌های فسیلی استفاده کرده و موجبات گرم شدن زمین را فراهم آورده‌اند و با سرمایه‌گذاری در انرژی‌های تجدید پذیر و فناوری‌های کم‌کربن، اکنون در شرایطی قرارگرفته‌اند که با کاهش هزینه به تولید انبوه رسیده و قادر به جایگزینی انرژی‌های تجدید پذیر با سوخت‌های فسیلی هستند. درحالی‌که کشورهای درحال‌توسعه به‌ویژه کشورهایی که درآمد آن‌ها به سوخت‌های فسیلی وابسته است، هنوز در مراحل اولیه رشد و توسعه اقتصادی خود بوده و تغییر به انرژی‌های تجدید پذیر و برخورداری از فناوری‌های کربن زدا برای آن‌ها طی این مدت باقیمانده تا سال ۲۰۵۰ امکان‌پذیر نخواهد بود. ازاین‌رو بهتر است هر کشور با توجه به شرایط خود و با توجه به سهمی که در انتشار گازهای گلخانه‌ای دارد، نقشه راه رسیدن به هدف کاهش انتشار خود را تهیه و در دستور کار قرار دهد. همچنین دستیابی به این هدف برای کشورهای درحال‌توسعه و کمتر توسعه‌یافته نیازمند کمک‌های بین‌المللی، حمایت‌های فنی و مالی است و باید گفت بدون همکاری‌های بین‌المللی در زمینه‌های مختلف تأمین مالی و انتقال فناوری، جهان تا سال ۲۰۵۰ به انتشار خالص صفر دست نخواهد یافت.

منابع:

- هفته‌نامه بررسی تحولات انرژی و تغییر اقلیم، شماره ۹۰، ۲۵ خرداد ۱۴۰۰
- بولتن تحولات نفت و گاز، مؤسسه مطالعات بین‌المللی انرژی، شماره ۹، هفته سوم خرداد ۱۴۰۰
- Net Zero by 2050 A Roadmap for the Global Energy Sector, International Energy Agency | Special Report, 2021
- Ivy Yin and Eric Yep, “Feature: IEA's net-zero roadmap is unrealistic, lacks localized approach - Chinese experts”, S&P Global, Platts,June 11, 2021.
- The road to net zero in 4 charts, World Economic Froum, 26 May 2021
- Achieving net-zero emissions by 2050 will rest on these 3 pillars, World Economic Froum, 17 Jan 2020
- Technology Transfer and Innovation for Low-Carbon Development, World Bank Group, 2020

تکنولوژي تبدیل برق به گاز
(پتانسیل ذخیره‌سازی انرژی)

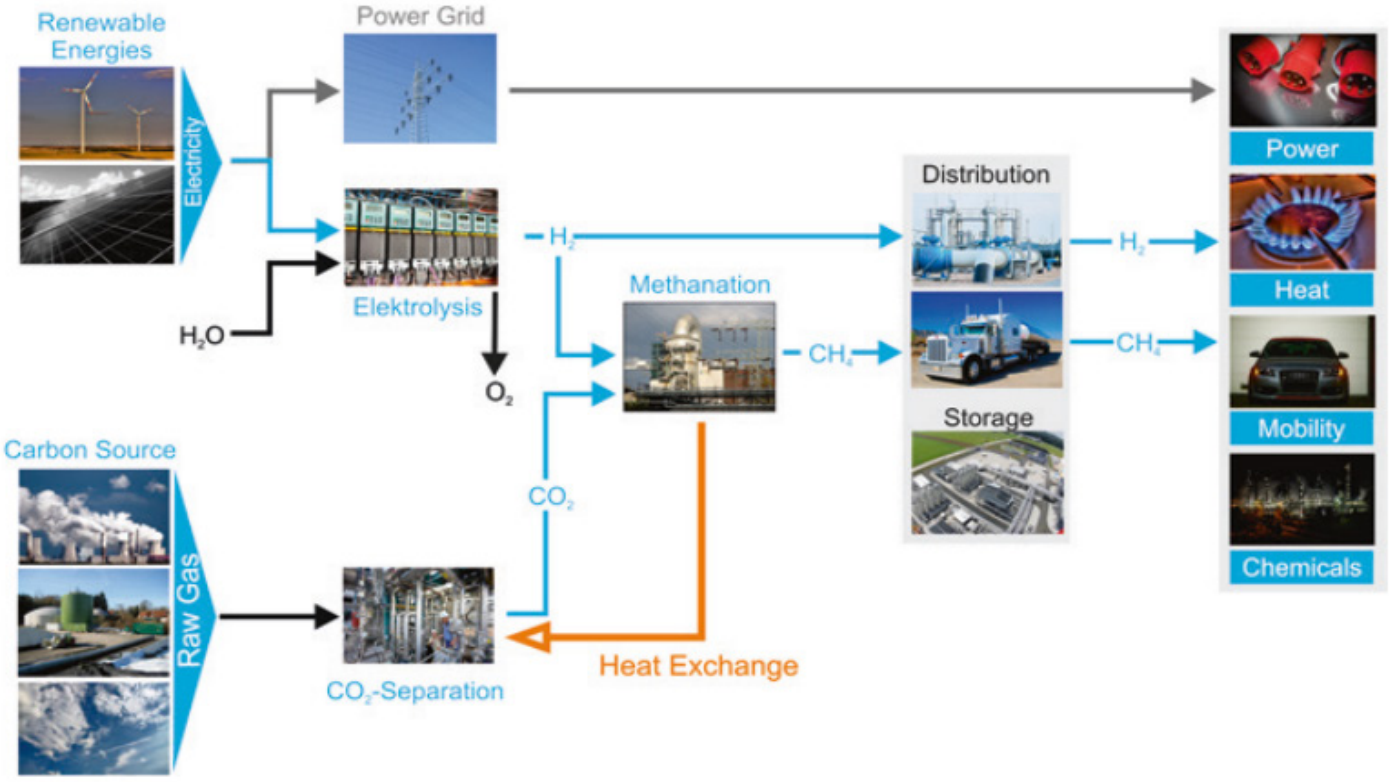
غلامعلی رحیمی عضو هیئت‌علمی موسسه مطالعات بین‌المللی

چکیده

روش‌های متنوعی در خصوص ذخیره‌سازی انرژی برق وجود دارد که می‌توان براساس آن ها انرژی را در ساعات غیر پیک ذخیره نمود. منابع فسیلی محدود بوده و در تمام مناطق جهان یافت نمی شود، لذا به‌عنوان منابع نامطمئن شناخته می شوند. بر این اساس، امروزه کشورهای توسعه‌یافته از سیستم‌های انرژی که به مقدار قابل‌توجهی برمبنای سوخت‌های فسیلی هستند، دور شده‌اند و به سمت کاربردهای انرژی‌های تجدیدپذیر که در دسترس بوده و تولید آلایندگی ناچیز دارند پیشرفته‌اند. ماهیت نوسانی تولید برق از منابع تجدید پذیر انرژی، لزوم توسعه سیستم‌های توزیع با ظرفیت بالا و همچنین امکان ذخیره‌سازی متناوب انرژی را اجتناب‌ناپذیر نموده است. در این راستا، تکنولوژی تبدیل برق به گازهای شیمیایی قابل ذخیره نظیر هیدروژن ($H2$) و متان ($CH4$) پاسخ مناسبی برای تقاضای ذخیره‌سازی متناوب انرژی به شمار می‌رود.

در این مطالعه ساختار فنی تکنولوژی تبدیل برق به گاز مورد بررسی قرار می‌گیرد. پس از ارائه یک مقدمه در مورد مفهوم تکنولوژی تبدیل برق به گاز، کارایی‌ها و پتانسیل‌های هم‌افزایی (سینرژی) این تکنولوژی تجزیه‌وتحلیل خواهد شد. علاوه بر این، مقدمه بسیار کوتاهی در مورد مفاهیم مشابه ارائه‌شده و همچنین چالش‌ها و محدودیت‌های فنی و تکنولوژیکی تزریق هیدروژن به شبکه گاز مورداشاره قرار خواهد گرفت. ماهیت نوسانی تولید برق از منابع تجدید پذیر انرژی، لزوم توسعه سیستم‌های توزیع با ظرفیت بالا و همچنین امکان ذخیره‌سازی متناوب انرژی را اجتناب‌ناپذیر نموده است. در این راستا، تکنولوژی تبدیل برق به گازهای شیمیایی قابل ذخیره نظیر هیدروژن ($H2$) و متان ($CH4$) پاسخ مناسبی برای تقاضای ذخیره‌سازی متناوب انرژی به شمار می‌رود. شمای کلی تکنولوژی تبدیل برق به گاز در شکل زیر نشان داده‌شده است.

همان‌طور که در شکل ۱ مشخص است برق تولیدی انرژی‌های تجدید پذیر معمولاً وارد شبکه برق می‌شود. برق تولیدی انرژی‌های تجدید پذیر ازیک طرف ممکن است با محدودیت انتقال از طریق شبکه برق به دلیل مواجهه با مازاد عرضه در شبکه و از سوی دیگر با محدودیت دسترسی به شبکه مناسب جهت انتقال به دلیل واقع‌شدن در مناطق دورافتاده مواجه باشد.



شکل ۱ . شمای کلی تکنولوژی تبدیل برق به گاز

برق تجدید پذیر تولیدی می‌تواند در تأسیسات الکترولیز آب مورداستفاده قرارگرفته و از آب هیدروژن و اکسیژن تولید نماید. اکسیژن تولیدی این تأسیسات می‌تواند در اتمسفر رها شده و یا اینکه به مصرف واحدهای صنعتی متقاضی اکسیژن نظیر واحدهای شیمیایی و یا صنایع مرتبط با متالورژی برسد. البته مصرف اکسیژن تولید تأسیسات الکترولیز شدیداً به شرایط محیطی تأسیسات و خصوصاً میزان فاصله آن از مصرف‌کنندگان بالقوه و حجم تقاضای مصرف‌کنندگان مذکور بستگی دارد. در واقع محصول اصلی تولیدی تأسیسات الکترولیز هیدروژن است که می‌تواند از طریق شبکه انتقال یابد و یا تزریق به شبکه خطوط لوله گاز طبیعی به مصرف برسد. روش دیگر است که به شکل مایع، به وسیله کامیون و یا قطار انتقال داده شود. همچنین هیدروژن تولیدی می‌تواند در مخازن ویژه‌ای که به این منظور طراحی‌شده‌اند و یا به همراه گاز طبیعی در مخازن ویژه ذخیره‌سازی گاز طبیعی، ذخیره‌سازی شود.

هیدروژن ذخیره‌شده بعداً می‌تواند برای تولید برق در نیروگاه، به‌عنوان سوخت در خودروها و همچنین خوراک واحدهای صنعتی انتقال داده شود. در حال حاضر واحدهای شیمیایی، پتروشیمیایی و متالورژی مقادیر متنابهی هیدروژن مصرف می‌کنند (حدود ۶۰۰ میلیارد مترمکعب در سال) که از طریق فرآیند ریفرمینگ (بهسازی) متان (MSR) یا (Methane Steam Reforming) تولید می‌شوند.

بنابراین هیدروژن اولین محصول نهایی ممکن تولیدی زنجیره عرضه تکنولوژی تبدیل برق به گاز (PtG) می‌باشد. البته میزان هیدروژن تولیدی نیز با توجه به ظرفیت زیرساخت‌های انتقال، ذخیره‌سازی و سطح تقاضای مصرف‌کنندگان نهایی هیدروژن و همچنین محدودیت تزریق آن به شبکه گاز، با محدودیت مواجه است.

بر این اساس دومین محصول-البته اختیاری و انتخابی- تولیدی زنجیره عرضه تکنولوژی تبدیل برق به گاز، متان است. از ترکیب هیدروژن و دی‌اکسید کربن به‌واسطه واکنش شیمیایی و یا کاتالیست بیولوژیکی، متان تولید می‌شود. متان تولیدی تحت عنوان گاز سنتز (ترکیبی) و یا گاز جایگزین (SNG) یا (Synthetic or Substitute Natural Gas) نامیده می‌شود. محصول جانبی این واکنش، بخارآب (H_2O) است. دی‌اکسید کربن موردنیاز در این فرآیند از طریق جمع‌آوری دی‌اکسید کربن خروجی از فرآیندهای تولید صنعتی، نیروگاهی تولید برق فسیلی، واحدهای بیوگاز و یا از اتمسفر و همچنین آب دریا قابل استحصال است. عملیات تأمین دی‌اکسید کربن انرژی بر بوده و لذا فرآیند جذب کربن نقش مهم و تأثیرگذاری هم به لحاظ فنی و هم به لحاظ اقتصادی در تکنولوژی تبدیل برق به گاز ایفاء می‌نماید. مزیت اصلی تولید متان به‌عنوان محصول نهایی در تکنولوژی تبدیل برق به گاز، قابلیت استفاده نامحدود آن در زیرساخت‌های شبکه گاز است. درواقع گاز سنتز تولید یک ارتباط دوطرفه میان شبکه برق و شبکه گاز ایجاد می‌نماید. در حال حاضر زیرساخت‌های موجود انتقال و ذخیره‌سازی شبکه گاز برای انتقال برق تجدید پذیر تولیدی به شکل گاز سنتز، مورداستفاده قرار می‌گیرند. تأسیسات بزرگ ذخیره‌سازی گاز در اروپا قابلیت حفظ و نگهداری متناوب انرژی تجدید پذیر تا سقف ۱۰۰۰ TWh را دارا می‌باشند. علاوه بر این زیرساخت‌های مربوط به مصرف متان نیز در حال حاضر وجود داشته و به‌خوبی توسعه‌یافته‌اند. در کنار استفاده از متان برای تولید برق در نیروگاه‌های سیکل ترکیبی، به‌عنوان سوخت در خودروها و یا به‌عنوان خوراک در واحدهای صنعتی، از آن برای گرمایش نیز استفاده می‌شود. خواص فیزیکی و شیمیایی گاز سنتز و گاز طبیعی بسیار شبیه به یکدیگر بوده و نیاز به اصلاح و تغییر فنی و تکنیکی در سیستم‌های مصرف‌کننده نهایی نمی‌باشد و تقریباً هیچ‌گونه سرمایه‌گذاری جدید در زیرساخت‌های انتقال، ذخیره‌سازی و مصرف موردنیاز نیست. این مسئله نه‌تنها موجب صرفه‌جویی اقتصادی شده بلکه به لحاظ زمانی نیز حائز اهمیت بوده و نیازمند دریافت مجوزهای جدید جهت احداث زیرساخت‌های جدید نمی‌باشد. تبدیل برق به متان و هیدروژن امکان انتقال انرژی‌های تجدید پذیر را خارج از شبکه برق فراهم نموده و همچنین شرایط ذخیره‌سازی انبوه و بلندمدت انرژی‌های تجدید پذیر را در اختیار می‌گذارد. حامل‌های انرژی شیمیایی نظیر هیدروژن و متان را می‌توان به انرژی برق تبدیل نمود ولی علاوه بر آن آلترناتیوهای فراوانی برای استفاده از این محصولات وجود دارد که سطوح کارایی متفاوتی را برای کل سیستم رقم می‌زنند.

کارایی انرژی در فرآیندهای تکنولوژی تبدیل برق به گاز

ازآنجاکه هر فرآیند تبدیل با تلفات انرژی همراه است، لذا می‌بایست سعی شود در زنجیره عرضه تکنولوژی تبدیل برق به گاز تا حد امکان از فرآیند تبدیل غیرضروری جلوگیری به عمل آید. درصورتی‌که ظرفیت کافی در شبکه برق وجود داشته باشد، بایستی برق تولیدی انرژی‌های تجدید پذیر به‌صورت برق مورداستفاده قرار گیرد. برق مازاد موجود در شبکه در وهله اول می‌تواند با ایجاد تقاضای اضافی برای برق به‌طور مثال از طریق برقی نمودن برخی فرآیندهای صنعتی مورداستفاده قرار گیرد. در غیر این صورت و در صورت عدم توسعه شبکه برق، برق مازاد می‌بایست از طریق تبدیل به گاز ذخیره‌سازی شود. در زنجیره تبدیل برق به گاز اولین محصول مورداستفاده گاز هیدروژن است. همان‌طور که قبلاً نیز ذکر گردید بخش‌های شیمیایی، پتروشیمیایی و صنایع متالورژی متقاضی اصلی هیدروژن تولیدی تأسیسات PtG به شمار می‌روند. البته می‌بایست تأسیسات متقاضی هیدروژن در مجاورت تأسیسات الکترولیز آب توسعه‌یافته باشند و یا اینکه زیرساخت‌های انتقال هیدروژن به‌خوبی توسعه‌یافته باشند.

علاوه بر مخازن ذخیره‌سازی هیدروژن در زیرزمین، ظرفیت

شبکه گاز نیز به‌عنوان یک آلترناتیو قابل‌توجه برای جذب هیدروژن تولیدی به شمار می‌روند. البته چالش‌ها و محدودیت‌های شبکه گاز نیز در ادامه مطالعه موردبررسی قرار خواهند گرفت.

در فرآیند تولید متان، هیدروژن از طریق ترکیب با دی‌اکسید کربن به گاز سنتز تبدیل می‌شود. در روش شیمیایی تولید متان میزان کارایی فرآیند تبدیل در حدود ۸۵-۷۰ درصد گزارش‌شده است، درحالی‌که میزان این کارایی در فرآیند بیولوژیکی بیش از ۹۵ درصد خواهد بود. مزیت تولید گاز سنتز قابلیت بالای شبکه گاز برای جذب آن و همچنین وجود سایر روش‌های مصرف آن در بخش حمل‌ونقل، صنعت و ... می‌باشد.

همچنین گاز سنتز تولیدی را می‌توان در نیروگاه‌های سیکل ترکیبی مجدداً به برق تبدیل نموده و در مناطقی که به شبکه برق متصل نیستند و یا از منابع تولید برق تجدید پذیر دور هستند استفاده نمود. در این روش گاز سنتز تولیدی ابتدا از طریق زیرساخت‌های موجود انتقال گاز انتقال‌یافته و سپس در نیروگاه‌ها به برق تبدیل‌شده و مورداستفاده قرار می‌گیرد. البته میزان کارایی این روش کمترین میزان در میان سایر کاربردها می‌باشد.

سوخت تولیدی	راندمان	شرایط تولید
فرآیند تولید:تبدیل برق به گاز		
هیدروژن	۵۴ درصد الی ۷۲درصد	۲۰۰ Bar فشرده سازی
متان	۴۹ درصد الی ۶۴درصد	
هیدروژن	۵۷ درصد الی ۷۳درصد	۸۰ Bar فشرده سازی
متان	۵۰ درصد الی ۶۴درصد	
هیدروژن	۶۴ درصد الی ۷۷درصد	بدون فشرده سازی
متان	۵۱ درصد الی ۶۵درصد	
فرآیند: تبدیل الکتریسیته به گاز و مجدداً به الکتریسیته		
هیدروژن	۳۴ درصد الی ۴۴درصد	۸۰ Bar فشرده سازی و تا ۶۰درصد راندمان تولید مجدد برق
متان	۳۰ درصد الی ۳۸درصد	
فرآیند: تبدیل الکتریسیته به گاز و تبدیل مجدد به برق و حرارت (تولید همزمان)		
هیدروژن	۴۸ درصد الی ۶۲درصد	۸۰ Bar فشرده سازی و راندمان ۴۰درصد تا ۴۵درصد تولید همزمان
متان	۴۳ درصد الی ۵۴درصد	

جدول ۱. کارایی اجزای مختلف زنجیره تبدیل برق به گاز (PtG)

در فرآیند تبدیل هیدروژن به الکتریسیته میزان کارایی کمی بهتر از فرآیند تولید برق از متان است. در این روش از توربین‌های گازی و پیل‌های سوختی می‌توان برای تبدیل هیدروژن به الکتریسیته استفاده نمود.

از هیدروژن برای تولید برق خودروهای برقی از طریق پیل سوختی نیز می‌توان استفاده نمود. ولی مشکل اصلی اینجاست که تکنولوژی این نوع خودروها هنوز به‌خوبی توسعه نیافته و زیرساخت‌های مربوط به ذخیره‌سازی و سوخت‌گیری هیدروژن در تمامی مناطق وجود ندارند.

به‌طورکلی کارایی فرآیند تبدیل برق به گاز زمانی که بتوان از انرژی گرمایی ایجادشده در فرآیند برای گرمایش محیط و یا صنایع مجاور نیز استفاده نمود، افزایش می‌یابد. همچنین سطح فشار مورد نیاز در هنگام تولید

گازهـای فشـرده نیـز بـر کارایـی سیسـتم تبدیـل تأثیـر قابل‌توجهـی دارد. میـزان سـطح فشرده‌سـازی موردنیـاز بـه مشـخصات تأسیسـات انتقال و ذخیره‌سـازی گاز تولیدی بستگی دارد و لـذا از یـک ناحیـه بـه ناحیـه دیگـر متفاوت خواهـد بـود. روش‌هـای اسـتفاده از فرآینـد تبدیـل بـرق بـه گاز را نمی‌تـوان فقـط به‌تنهایـی بـر اسـاس کارایـی سیسـتم رتبه‌بنـدی نمـود، بلکـه می‌بایسـت سـایر عوامـل تأثیرگـذار نظیـر جنبه‌هـای اقتصـادی و تأثیـرات اقتصـاد کلان آن را نیـز مدنظـر قـرارداد. ایـن عوامـل در ادامـه به‌تفصیـل مـورد تجزیه‌وتحلیـل قـرار خواهنـد گرفـت. کارایـی سیسـتم تبدیـل می‌توانـد بـا پیشـرفت‌های تکنولوژیکـی در هـر یـک از فرآیندهـای تبدیـل نظیـر فرآینـد الکترولیـز آب و تولیـد متـان و همچنیـن هم‌افزایـی (Synergy) ناشـی از مجـاورت تأسیسـات تبدیـل بـرق بـه گاز بـا مجتمع‌هـای صنعتـی (اسـتفاده از انـرژی گرمایـی ایجادشـده در فرآیندهـای تبدیـل)، افزایـش یابـد. برخـی از ایـن مـوارد در ادامـه مطالعـه مورداشـاره قـرار می‌گیـرد.

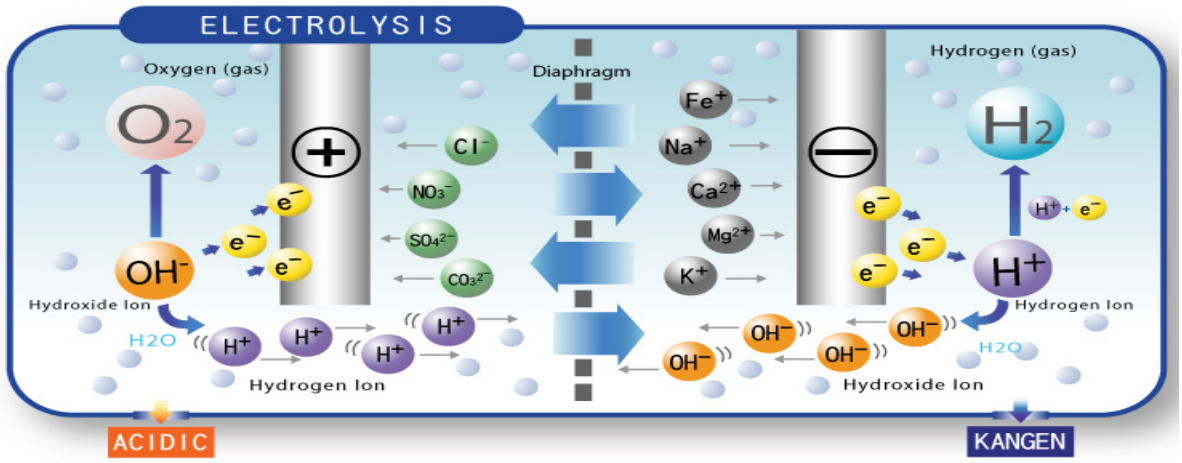
الکترولیز آب

اصلی‌تریـن قسـمت سیسـتم‌های تبدیـل بـرق بـه گاز و اولیـن قـدم آن، الکترولیـز آب به‌منظـور تولیـد هیـدروژن اسـت. جهـت الکترولیـز آب می‌بایسـت از آب بـا درجـه خلـوص بـالا اسـتفاده نمـود. بـا توجـه بـه ایـن مـورد لازم اسـت از روش‌های تصفیـه آب ماننـد روش اسـمز معکـوس، قبـل از انجـام الکترولیـز اسـتفاده کـرد. همچنیـن بـرای گرفتـن یون‌هـای آب نیـز از جاذب‌هـای یـون اسـتفاده می‌نماینـد. روش‌هـای مختلفـی بـرای الکترولیـز آب وجـود دارد کـه عبارتنـد از:

- الکترولیـز قلیایـی آب (به‌صـورت تجـاری مورداسـتفاده قـرار می‌گیـرد)
- الکترولیـز تبـادل غشـاء پروتـون (کـه روش معمولی‌تـری می‌باشـد)
- الکترولیـز بـه روش اکسـید جامـد (کـه در حـال بررسـی می‌باشـد و هنـوز به‌طـور عمومـی مورداسـتفاده قـرار نگرفتـه اسـت)

الکترولیز قلیایی

اسـتفاده از روش الکترولیـز قلیایـی بـه دلیـل پایـداری و کامـل بـودن روش انجـام کار و همچنیـن هزینـه پاییـن، به‌طـور بسـیار گسـترده مورداسـتفاده قـرار می‌گیـرد. محلـول الکترولیـز در ایـن روش KOH غلیـظ می‌باشـد. مـوردی کـه لازم اسـت در ایـن روش موردتوجـه قـرار گیـرد، نـرخ شـیب تولیـد پاییـن ایـن روش می‌باشـد و اینکـه زمـان راه‌انـدازی ایـن روش در حالـت سـرد، کنـد می‌باشـد کـه البتـه ایـن مـورد وابسـته بـه میـزان خلـوص موردنیـاز هیـدروژن نیـز بـوده و می‌توانـد تـا ۱۰ دقیقـه نیـز برسـد.

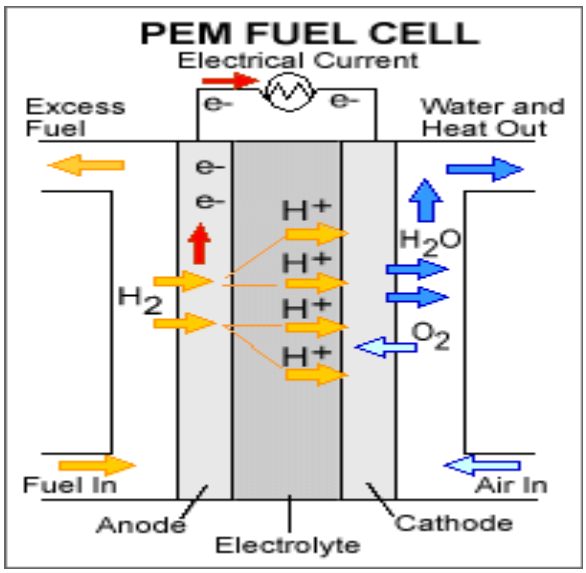


شکل۲. شمای کلی ساختار الکترولیز قلیایی آب به‌منظور تولید هیدروژن

الکترولیز قلیایی آب به‌خوبی قادر است در توان‌های بین ۵ درصد تا ۱۰۰ درصد به‌خوبی عمل نماید. راندمان این روش بین ۶۲ درصد تا ۸۲ درصد می‌باشد.

الکترولیز تبادل غشاء پروتون

مناسب‌ترین روش برای جایگزینی الکترولیز به روش قلیایی، الکترولیز تبادل غشاء پروتونی می‌باشد. در این روش از آند (تولید اکسیژن)، کاتد (تولید هیدروژن) و غشاء تبادل پروتون در بین آن‌ها که یک پلیمر رسانای پروتونی است، استفاده می‌شود. این روش به‌وفور در پیل سوختی مورداستفاده قرار می‌گیرد. راندمان این روش ۸۷-۷۴ درصد می‌باشد و طبق پیش‌بینی‌ها با توسعه آن تا سال ۲۰۲۰ راندمان این روش به ۹۳-۸۷ درصد خواهد رسید.



شکل ۳. شمای کلی ساختار الکترولیز تبادل غشاء پروتون به‌منظور تولید هیدروژن

الکترولیز اکسید جامد

این روش الکترولیز به لحاظ تکنولوژی متمایز با روش‌های دیگر می‌باشد. این روش قادر به تولید گازهای سینتتیک ($CO,H2$) می‌باشد. همچنین درجه حرارت در این روش به‌طور مشخص بالاتر از روش‌های دیگر است (۷۰۰ تا ۱۰۰۰ درجه سانتی‌گراد). راندمان واکنش در این روش نیز بالاتر بوده و نزدیک به ۱۰۰ درصد است (البته به جزء در نظر گرفتن انرژی صرف شده برای رساندن درجه حرارت موردنیاز واکنش). با در نظر گرفتن این مورد راندمان این روش بین ۵۰ تا ۹۰ درصد خواهد بود. عمده تمرکز بر استفاده از این روش در نیروگاه‌های هسته‌ای و استفاده از حرارت تلف‌شده در آن‌ها می‌باشد و بر همین اساس می‌توان در محاسبه راندمان، از حرارت لازم برای رساندن درجه حرارت به مقدار موردنیاز در این روش، صرف‌نظر کرد. یکی از مواردی که کاربرد این روش را در استفاده از سیستم تبدیل برق به گاز با مشکل مواجه خواهد ساخت، عدم انعطاف‌پذیری آن می‌باشد به‌طوری‌که این روش برای شرایط پایدار کاربرد دارد. همچنین زمان راه‌اندازی این روش درحالت سرد بیش ازیک ساعت می‌باشد.

اندازه تأسیسات و پتانسیل‌های هم‌افزایی سیستم

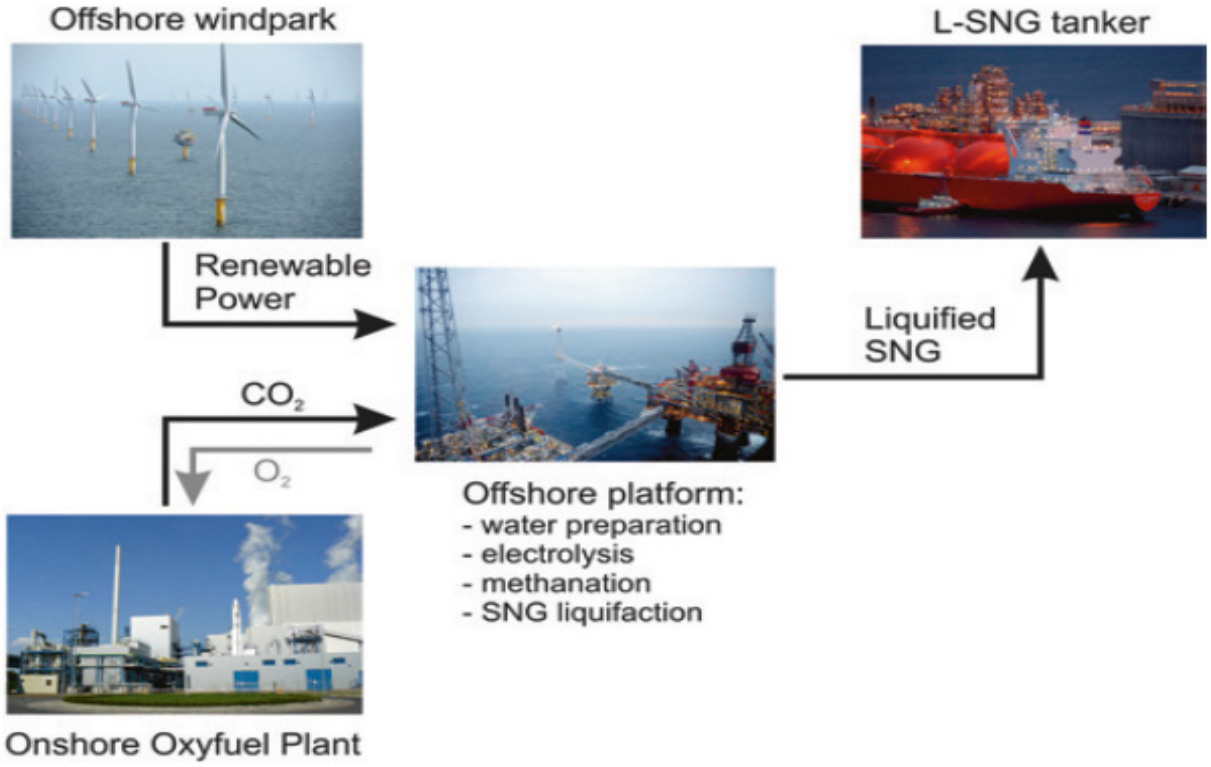
اندازه تأسیسات تکنولوژی تبدیل برق به گاز از حداقل چند صد کیلووات تا چند صد مگاوات و حتی گیگاوات متفاوت است، لذا برای اجرای هر یک از پروژه‌های مذکور شرایط منحصربه‌فردی حکمفرما بوده و موارد کاربرد هر یک نیز متفاوت می‌باشد. شرایط مختص هر پروژه بر انتخاب نوع محصول نهایی تولیدی، هیدروژن و یا متان، تأثیر گذاشته و به‌این‌ترتیب منبع دی‌اکسید کربن مصرفی، نحوه استفاده از محصولات جانبی (خصوصاً اکسیژن و گرمای تولیدی هم‌زمان در تأسیسات) و همچنین نحوه توزیع و ذخیره‌سازی محصول نهایی نیز متفاوت خواهد بود. بااین‌حال هدف اصلی راه‌اندازی تأسیسات تبدیل برق به گاز می‌تواند شامل موارد متفاوت زیر باشد:

- استفاده از انرژی مازاد تولیدی بخش انرژی‌های تجدید پذیر
- ایجاد موازنه در شبکه برق
- انتقال انرژی تولیدی تجدید پذیر از طریق شبکه گاز
- ذخیره‌سازی بلندمدت انرژی‌های تجدید پذیر

علاوه بر این نوع استفاده از محصول نهایی تولیدی نیز بر ظرفیت تولیدی تأسیسات تبدیل برق به گاز و نحوه بهره‌برداری آن‌ها (سطح فشار، میزان ساعات بهره‌برداری سیستم و غیره) تأثیر می‌گذارد. بنابراین، سیستم‌های آتی تبدیل برق به گاز به لحاظ نحوه و نوع بهره‌برداری و اندازه تأسیسات کاملاً متفاوت خواهند بود. درنتیجه تکنولوژی تبدیل برق به گاز می‌بایست انعطاف‌پذیری لازم را جهت تغییر ظرفیت بهره‌برداری و تطابق با شرایط خاص محیطی را دارا باشد. هزینه‌های سرمایه‌گذاری و عملیاتی تأسیسات تبدیل برق به گاز تحت تأثیر عوامل متعددی است و هزینه نهایی محصول تولیدی، هیدروژن و یا متان، فقط تحت تأثیر قیمت واقعی برق مصرفی نمی‌باشد. در حقیقت، میزان ساعات بهره‌برداری سالیانه تأسیسات تأثیر به‌مراتب بیشتری نسبت به قیمت برق مصرفی در هزینه تولید محصول نهایی دارد. همچنین ساختار هزینه‌ای و تکنولوژیکی تأسیسات به نحوه استفاده از محصولات جانبی بستگی دارد. محصول جانبی تکنولوژی تبدیل برق به گاز عمدتاً شامل حرارت تولیدی در فرآیند تبدیل هیدروژن به متان و همچنین اکسیژن تولیدی در فرآیند الکترولیز می‌باشد. تولید متان یک واکنش حرارت‌زا بوده و لذا در زنجیره عرضه تکنولوژی تبدیل برق به گاز مقادیری حرارت مازاد نیز تولید می‌شود. این حرارت تولیدی می‌تواند در بخش فرآیند جذب کربن که دی‌اکسید کربن موردنیاز فرآیند تولید متان را تأمین می‌کند، مورداستفاده قرار گیرد. در فرآیندهای شیمیایی جذب کربن با محلول آمین، عمده تقاضای انرژی برای گرمایش مایعات شستشو می‌باشد. در برخی موارد حرارت مازاد بر نیاز بخش جذب کربن می‌تواند برای تولید برق نیز مورداستفاده قرار گیرد. اکسیژن تولیدی در فرآیند الکترولیز می‌تواند در واحدهای صنعتی مجاور تأسیسات نظیر صنایع شیمیایی و متالورژی مورداستفاده قرارگیرد. نیروگاه‌های خاص تولید برق نظیر تکنولوژی احتراق اکسیژن (oxy-fuel)(ستفاده از اکسیژن خالص به‌جای هوا در فرایند احتراق موجب افزایش راندمان حرارتی شده و دمای شعله را افزایش می‌دهد. امروزه از این فرایند به‌عنوان راه‌حلی جهت افزایش عملکرد احتراق و کاهش آلودگی NOX (به دلیل نبود N2) در نیروگاه‌های حرارتی یاد می‌شود) نیز مقادیر قابل‌توجهی اکسیژن مصرف می‌کنند. مطالعات بسیاری در زمینه اجرای تأسیسات تبدیل برق به گاز در محیط‌های صنعتی و مزایای آن و همچنین ایجاد هم‌افزایی در کل سیستم انجام‌شده است. نتایج مطالعات حاکی از هم‌افزایی قابل‌توجه در این سیستم‌ها است. به‌عنوان‌مثال دریکی از این مطالعات میزان هم‌افزایی و منافع حاصل از احداث تأسیسات تبدیل برق به گاز در کنار واحدهای تولید فولاد بررسی‌شده است. در این روش اکسیژن موردنیاز مجتمع فولاد از تأسیسات تبدیل برق به گاز تأمین‌شده و گرمای مازاد تولیدی تأسیسات نیز قابل‌استفاده خواهد بود. همچنین از گازهای تولیدی مجتمع فولاد می‌توان برای تأمین دی‌اکسید کربن موردنیاز تأسیسات تبدیل برق به گاز استفاده نمود. البته این نتایج برای تأسیسات نسبتاً بزرگ‌مقیاس با ظرفیت چند مگاوات قابل حصول خواهد بود. در شکل زیر ساختار یک تأسیسات کامل تبدیل برق به گاز در مناطق فراساحلی به تصویر کشیده شده است. در این تأسیسات، یک نیروگاه بادی فراساحلی، برق موردنیاز تأسیسات را تأمین نموده و برق تولیدی آن به سکوی مجاور انتقال داده می‌شود. در این سکو یک واحد الکترولیز برق تولیدی را به هیدروژن تبدیل نموده و سپس هیدروژن تولیدی به گاز سنتز تبدیل می‌شود. آب موردنیاز فرآیند الکترولیز ازتولید متان و همچنین تبخیر آب دریا تأمین می‌شود. گرمای موردنیاز جهت تبخیر آب دریا نیز به نوبه خود از حرارت تولیدی واکنش گرمازای تولید متان تأمین می‌شود. دی‌اکسید کربن موردنیاز در یک نیروگاه احتراق اکسیژن در ساحل تولیدشده و از طریق یک خط لوله به سکوی موردنظر انتقال داده می‌شود. در مقابل، اکسیژن تولیدی فرآیند الکترولیز از طریق خط لوله به نیروگاه احتراق اکسیژن منتقل می‌شود. به همین دلیل دیگر نیازی به احداث واحد جداسازی هوا در نیروگاه احتراق اکسیژن نبوده و صرفه‌جویی قابل‌توجهی در این زمینه صورت خواهد پذیرفت.

علاوه بر این نیروگاه احتراق اکسیژن ساحلی می‌تواند به‌طور پیوسته به تولید برق پرداخته و بار پایه شبکه برق را تأمین نماید. نهایتاً گاز سنتز تولیدی در روی سکو به مایع تبدیل‌شده (L-SNG) و توسط کشتی‌های انتقال LNG انتقال داده می‌شود.

شکل ۴، آینده توسعه تکنولوژی تبدیل برق به گاز را نشان می‌دهد. اگرچه در حال حاضر از واقعیت دور است، ولی با توجه به پیشرفت‌های آتی، این صنعت می‌تواند پتانسیل‌های روبه رشد این بخش را در سال‌های آتی نشان دهد. در این روش گاز تولیدی از منابع کاملاً تجدید پذیر تولید می‌شود.



شکل ۴. ساختار آتی تأسیسات کامل تبدیل برق به گاز در مناطق فراساحلی

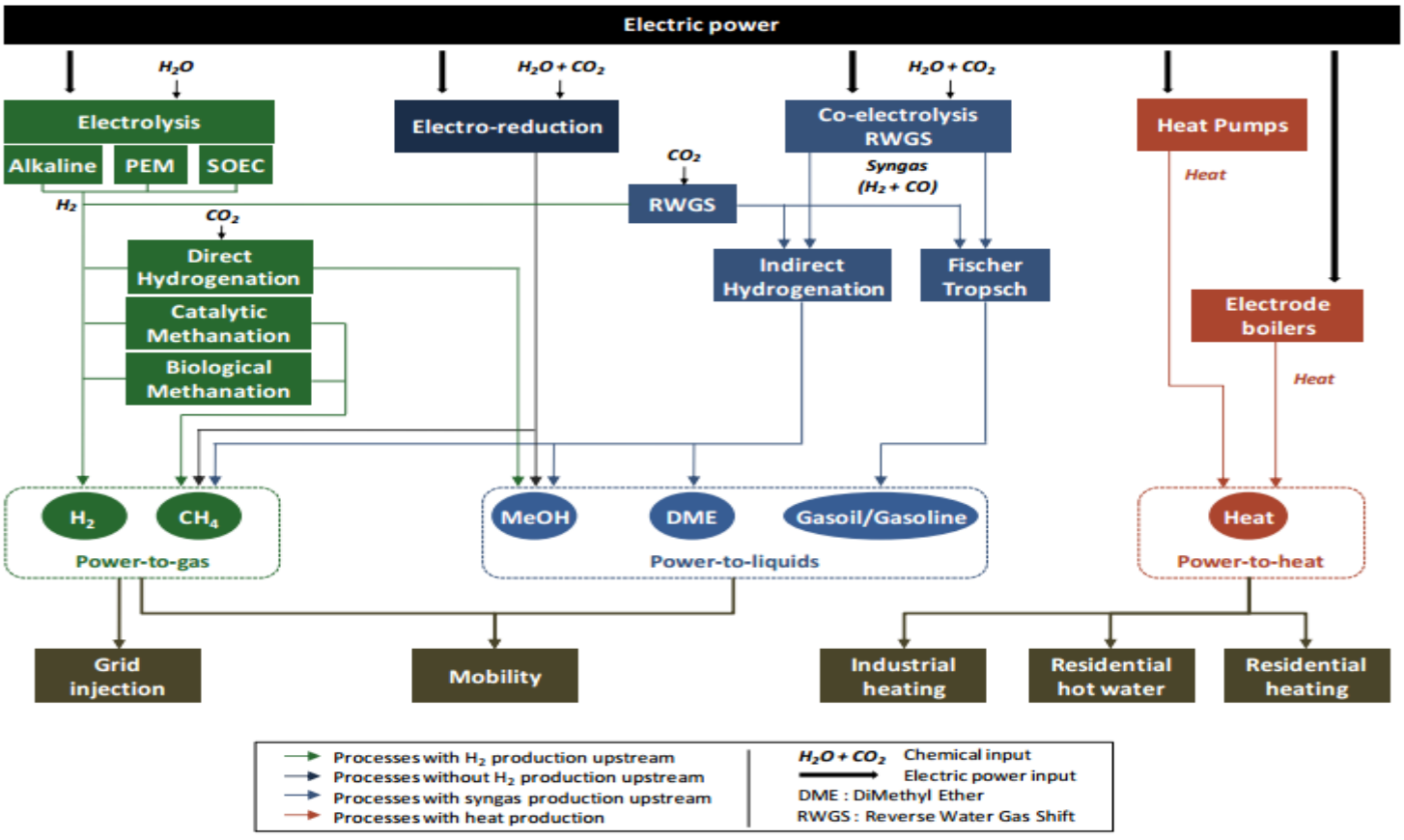
تکنولوژی تبدیل برق به گاز تنها گزینه تبدیل انرژی‌های تجدید پذیر به حامل‌های شیمیایی انرژی نیست. در کنار تولید گازهای متان و هیدروژن امکان تولید سایر حامل‌های انرژی نظیر متانول، اسید فرمیک و سایر سوخت‌ها نیز وجود دارد. این قابلیت تبدیل انرژی برق به سایر سوخت‌ها تحت عناوین «تبدیل برق به سوخت‌های مایع- «تبدیل برق به سوخت‌های مایع-PtL» یا (Power-to-Liquids)) و یا گاهی اوقات «تبدیل برق به سوخت-PtF» یا (Power to-Fuels) نیز نامیده می‌شود. هیدروژن تولیدی این تأسیسات از طریق تبدیل کاتالیستی قابل‌تبدیل به متانول بوده و همچنین با استفاده از فرآیند فیشر تروپس به سوخت‌های مایع تبدیل می‌شود. ساختار فنی این تأسیسات نیز مشابه تأسیسات تبدیل برق به گاز است. در فرآیند تبدیل برق به سوخت‌های مایع، برق تولیدی انرژی‌های تجدید پذیر به سوخت‌های مایع قابل‌حمل با تانکر (جاده‌ای، ریلی و دریایی) تبدیل‌شده و نیازی به وجود شبکه توسعه‌یافته خطوط لوله گاز نمی‌باشد. همانند فرآیند تبدیل برق به گاز، در روش تبدیل برق به سوخت‌های مایع نیز روش‌های استفاده از متانول و سوخت‌های مایع در سایر بخش‌ها نظیر صنایع شیمیایی و بخش حمل‌ونقل به‌خوبی توسعه‌یافته‌اند.

بر اساس بررسی‌های انجام‌شده در سیستم‌های با ظرفیت بالا استفاده از تکنولوژی تبدیل برق به سوخت‌های مایع مناسب‌تر است، درحالی‌که در ظرفیت‌های کوچک‌تر تکنولوژی تبدیل برق به گاز توصیه می‌شود.

یک تکنولوژی بسیار جالب و امیدبخش دیگر در این زمینه تکنولوژی «تبدیل برق به مواد شیمیایی–PtC» یا (Power-to-Chemistry)است. در این روش همانند تکنولوژی‌های تبدیل برق به گاز و تبدیل برق به سوخت‌های مایع، برق تولیدی تجدید پذیر به هیدروژن از طریق فرآیند الکترولیز تبدیل نمی‌شود، بلکه با استفاده از یک کوره قوسی متان به استیلن و هیدروژن تبدیل می‌شود. معادله این فرآیند به‌طور ساده به‌صورت زیر است:

$$3H2 + C2H2 \rightarrow 2CH4 \quad H0R\Delta = +376.8 \text{ kJ/mol}$$

محصول جانبی این واکنش اتیلن $(C2H4)$ است. میزان مصرف انرژی این فرآیند مناسب بوده و در زمان کمتر از یک دقیقه قابل‌راه‌اندازی است. کارایی این فرآیند در حدود ۹۰ درصد است. برای افزایش انعطاف‌پذیری سیستم می‌توان چند واحد تبدیل برق به مواد شیمیایی را به‌صورت موازی مورد بهره‌برداری قرارداد. استیلن یک محصول میانی بسیار مهم در صنایع شیمیایی از دهه ۱۹۶۰ به شمار می‌رود و در حال حاضر با اتیلن و پروپیلن تولیدی در واحدهای شکست حرارتی با بخارآب (steam crackers)، جایگزین شده است. در حال حاضر بازارهای مصرفی استیلن شناخته‌شده و موجود هستند. مزیت دیگر این تکنولوژی این است که در طی فرآیند تبدیل متان $(C1)$ به استیلن $(C2)$ هیدروژن به‌عنوان یک محصول جانبی تولید می‌شود که محصول شیمیایی بسیار ارزشمندی است. همچنین در این تکنولوژی نیازی به دی‌اکسید کربن نبوده و لذا صرفه‌جویی قابل‌توجه در کل سیستم صورت می‌پذیرد. در این روش برق تولیدی تجدید پذیر به محصولات شیمیایی تبدیل‌شده و عملاً کمک شایانی به شبکه برق نمی‌کند چراکه سیستم یک‌طرفه بوده همانند فرآیند تبدیل برق به گاز دارای کاربردهای متفاوتی نمی‌باشد.



شکل ۵. شمای کلی تکنولوژی‌های تبدیل برق تجدید پذیر به گاز و سوخت‌های مایع

جمع‌بندی و نتیجه‌گیری

روش‌های متنوعی در خصوص ذخیره‌سازی انرژی برق وجود دارد که می‌توان انرژی را در ساعات غیر پیک ذخیره نمود. منابع فسیلی محدود است و در همه مناطق دنیا یافت نمی شود و این باعث می‌شود که به‌عنوان منابع نامطمئن شناخته شوند. بر این اساس، امروزه کشورهای توسعه‌یافته از سیستم‌های انرژی که به مقدار قابل‌توجهی برمبنای سوخت‌های فسیلی هستند، دور شده‌اند و به سمت کاربردهای انرژی‌های تجدیدپذیر که تولید آلایندگی ناچیز دارند پیش رفته‌اند. تحقیقات نشان می‌دهد حدود ۸۰ درصد الکتریسیته‌ای که در سطح جهان با استفاده از منابع تجدید پذیر تولید می‌شود، به‌روش‌های هیدروالکتریک (برق‌آبی) به دست می‌آید) ۱۶ درصد از کل انرژی تولیدشده). در این میان، سهم منابع بادی و فتوولتائیک به ترتیب فقط ۲ و ۳ درصد می‌باشد. با توجه به اینکه این مقادیر سهم ناچیزی از کل می‌باشند، ضرورت دارد که در سطح جهان بر استفاده از فناوری‌های نوین ذخیره‌سازی انرژی تمرکز و سرمایه‌گذاری شود.

فناوری تولید گاز از برق یکی از این فناوری‌های نو در زمینه ذخیره‌سازی انرژی به شمار می‌رود. بنابراین با به‌کارگیری این فناوری می‌توان به تولید و ذخیره‌سازی هیدروژن و متان پرداخت. طبق بررسی‌های به‌عمل‌آمده، فناوری مذکور به‌خوبی تمام پارامترهای مهم در ذخیره‌سازی را پاسخگو است؛ به‌طوری‌که این فناوری ضمن داشتن بازدهی انرژی مناسب، بسته به سطح کاربرد آن، می‌تواند پاسخگوی ظرفیت‌های پایین)مقیاس کیلووات) تا بالا (مقیاس مگاوات) و مدت ذخیره‌سازی بالا باشد.

مهم‌ترین بخش فناوری PtG تولید هیدروژن است که روش‌های گوناگون برای تولید آن ابداع‌شده است. تولید هیدروژن و نحوه انتقال و توزیع آن متناسب با شرایط و مزایای جغرافیایی متفاوت می‌باشد. اگرچه طبق بررسی‌های به‌عمل‌آمده بخش اعظمی از هیدروژن تولیدی در سطح جهان از سوخت‌های فسیلی به دست می‌آید، اما با توجه به نیاز روزافزون استفاده از منابع انرژی تجدید پذیر و نو، در پژوهش‌های جدید تأکید بر تولید هیدروژن از طریق روش الکترولیز می‌باشد.

مناطق دورافتاده پتانسیل بالایی در تولید منابع انرژی تجدید پذیر (همانند بادی و خورشیدی) دارند؛ زیرا در این مناطق غالباً تقاضای مصرف انرژی الکتریسیته بالا وجود ندارد، بنابراین در این مناطق استفاده از انرژی الکتریکی جهت استفاده به‌عنوان توان اولیه بسیار مناسب است. بدین‌صورت می‌توان انرژی را در سیستم مناطق دورافتاده تولید و انرژی تولیدشده به مراکز تقاضا منتقل نمود. نتیجه اینکه به‌جای انتقال مستقیم انرژی الکتریکی تولیدشده توسط منابع تجدید پذیر به مراکز تقاضا، می‌توان با به‌کارگیری یک سیستم PtG انرژی الکتریکی تولیدی را به هیدروژن یا متان تبدیل کرد و با تغذیه به خطوط انتقال گاز طبیعی آن را به مراکز تقاضا انتقال داد. جمهوری اسلامی ایران با توجه به شرایط مساعد جغرافیایی از ظرفیت و پتانسیل بالایی برای بهره‌وری از انرژی‌های تجدید پذیر برخوردار است.

استفاده از انرژی باد در مقایسه با سایر منابع انرژی به دلیل کاهش هزینه‌های تولید برق، اشتغال‌زایی و نبود آلودگی محیط‌زیست در کشورهای پیشرفته و بسیاری از کشورهای دیگر، در میان منابع تجدید پذیر، توانسته است به‌عنوان یک منبع جدید تأمین برق در سطح جهان مطرح شود. در ایران نیز، انرژی بادی دومین منبع تولید برق از منابع انرژی تجدید پذیر محسوب می‌شود. بر اساس پروژه پتانسیل سنجی بادی در ایران، پتانسیل بادی قابل استحصال در کشور حدود ۱۰۰ گیگاوات است. در انتهای سال ۱۳۹۱ ظرفیت نیروگاه‌های در حال بهره‌برداری کشور ۱۰۶/۱ مگاوات بوده است.

رتبه‌های یکم تا پنجم تولید برق خورشیدی دنیا را کشورهای ژاپن، چین، آلمان، تایوان و آمریکا در اختیار دارند. این کشورها با سیاست‌گذاری‌ها و مکانیسم‌های حمایتی مناسب توانسته‌اند ظرفیت‌های برق خورشیدی خود را در طول زمان افزایش دهند. کاهش هزینه احداث نیروگاه‌های خورشیدی در طول زمان قابل‌توجه است، به‌طوری‌که در سال ۱۹۷۵ هزینه آن ۱۰۰ دلار به ازای هر وات بوده است که این میزان در پایان سال ۲۰۱۰ به حدود یک دلار رسیده است و معادل هزینه‌های نیروگاه برق‌آبی است.

جمهوری اسلامی ایران یکی از کشورهای مناسب در جهت تابش خورشید، تعداد روزهای آفتابی، درجه حرارت مناسب در نقاط مختلف با تابش خوب و شبکه‌های گسترده برق برای جابجایی تولید انرژی الکتریکی از خورشید است، زیرا در بین مدارهای ۲۵ تا ۴۰ درجه عرض شمالی قرارگرفته و میزان تابش خورشیدی آن بین ۱۸۰۰ تا ۲۲۰۰ کیلووات ساعت بر مترمربع در سال تخمین زده‌شده است که بالاتر از میزان متوسط جهانی است.

جمهوری اسلامی ایران با وجود داشتن مناطق بادخیز مستعد و قرارگرفتن در مسیر جریان‌های عمده هوایی، در حال حاضر، دارای بستر مناسبی جهت گسترش بهره‌برداری از توربین‌های بادی جهت تولید برق است. با توجه به اطلس باد کشور، پتانسیل بهره‌برداری از باد در برخی از استان‌ها مانند زنجان، قزوین، سمنان، سیستان و بلوچستان و خراسان شمالی بیشتر از سایر نقاط است. همچنین در دنیا، برق بادی در میان منابع تجدید پذیر از لحاظ اقتصادی قابل‌رقابت با قیمت‌های الکتریسیته تولیدی از منابع متداول و متعارف می‌باشد. انرژی باد برخی مزیت‌های بسیار روشن به‌عنوان یک منبع هیدروژن را دارد. این منبع انرژی دو محرک اصلی اقتصاد هیدروژن را برآورده می‌کند که عباتند از: ذخیره منابع هیدروکربنی برای نسل‌های آینده و کاهش انتشار گازهای گلخانه‌ای. علاوه بر آن تنها فناوری تجدید پذیر است که با فرض تداوم در کاهش هزینه‌های آن، همچنان در حال گسترش است. اگرچه فناوری بادی تجاری‌ترین و توسعه‌یافته‌ترین فناوری‌های تجدید پذیر است، هنوز با موانع زیادی برای گسترش به‌عنوان یک سیستم تولید هیدروژن مواجه است و نیاز به توسعه سیستم‌های بهینه باد–هیدروژن وجود دارد.

نقاط قوت، نقاط ضعف، فرصت‌ها و تهدیدات تزریق هیدروژن و یا متان به شبکه داخلی گاز در ادامه مورداشاره قرارگرفته است.

نقاط قوت

- وجود زیرساخت‌های وسیع ذخیره‌سازی گاز طبیعی
- وجود ارتباط مناسب میان فعالیت‌های بخش برق و گاز
- عدم وجود محدودیت برای تزریق متان به شبکه گاز
- هزینه کمتر انتقال انرژی بر اساس مگاوات ساعت در صورت انتقال آن به‌صورت گاز با خط لوله در مقایسه با انتقال از طریق شبکه برق

نقاط ضعف

- وجود محدودیت در میزان درصد تزریق هیدروژن به خطوط لوله گاز
- حساسیت احتمالی به (متغیر) غلظت هیدروژن برای کاربردهای خاص (توربین‌های گازی،...burners) که نیازمند آنالیزهای بیشتری است.
- محدودیت در حجم هیدروژن تزریقی به دلیل نوسان مصرف گاز در زمستان و تابستان

فرصت‌ها

- شرکت‌های متعددی (شرکت‌های خدماتی، توزیعی و یا شرکت‌های عرضه‌کننده) در هر دو بخش برق و گاز فعال می‌باشند.
- ارتباط نزدیک و سینرژی میان این بخش و بخش جذب و استفاده دی‌اکسید کربن
- کاربرد گسترده‌تر CNG به‌عنوان سوخت در بخش حمل و نقل
- ارتباط و سینرژی با بخش تولید بیوگاز (ارتقاء آن به بیومتان)
- با افزایش قیمت انتشار دی‌اکسید کربن استفاده از تکنولوژی تبدیل برق به گاز جذاب‌تر نیز خواهد شد.

چالش‌ها

- در تانکرهای نسل اول CNG فقط تا سقف ۲ درصد حجمی CNG امکان تزریق هیدروژن وجود دارد.
- توانایی ذخیره‌سازی زیرزمینی برای پذیرش بیش از ۲% هیدروژن هنوز اثبات نشده است و در حال حاضر تحت بررسی در اتریش است.
- تولید متان نیازمند منبع دی‌اکسید کربن بوده و لذا امکان‌پذیری و هزینه‌های آن را باید در نظر گرفت.

منابع و مآخذ

1. Lehner, Markus et al, 2014, Power-to-Gas: Technology and Business Models, Springer.
2. Vesa Vartiainen, SCREENING OF POWER TO GAS PROJECTS, Lappeenranta University of Technology, 2016.
3. Capela, Sandra, 2013, Power to Gas – A new way to valorize electricity overproduction. Retrieved 10.5.2016.
4. Liese, Thoren, Experiences and Results from the RWE Power-to-Gas-Projekt at Niederaussem site, AGSC, München, 2013. Retrieved 12.4.2016.
5. Viessmann Group, First PtG-plant with biological methanation goes live, 14.4.2015, Hannover Messe. Retrieved 12.4.2016.
6. Paulus, Johannes, Power-to-Gas – Erhöhung der Wasserstofftoleranz im Gasnetz – Machbarkeit und Chancen, 2013. Retrieved 19.4.2016.
7. Abengoa Hidrógeno S.A. 2016, Integration of an alkaline electrolyser with a hydrogen storage system based on metal hydride technology and a fuel cell system for electricity generation, Campus Palmas Altas. Retrieved 4.4.2016.
8. DNV GL, Technical assumptions, technology demonstration and results P2G project, 31.5.2015. Retrieved 16.3.2016.
9. DNV GL, Power-to-Gas Demonstration Project Rozenburg, Workshop Power2Gas: From Theory2Practice, 18.11.2014. Retrieved 16.3.2016.
10. Götz, Manuel et al, 2015, Renewable Power-to-Gas: A technological and economic review, Renewable Energy, Vol. 85, pp. 1371-1390.
11. Hashimoto, K. et al, 2014, The production of renewable energy in the form of methane using electrolytic hydrogen generation, Energy, Sustainability and Society, Vol 4, issue 17, Springer.
12. Hofstetter, Dominic, 2014, Biocatalytic Methanation with Methanogenic Archaea for Power-to-Gas Energy Storage, Biomass for Swiss Energy Future Conference 2014. Retrieved 28.4.2016.
13. National Renewable Energy Laboratory, Harrison, Kevin et al. 2014 DOE Hydrogen and Fuel Cells Program Review, Renewable Electrolysis Integrated System Development & Testing, 18.6.2014. Retrieved 3.4.2016.
14. Feito, Noel Gancedo, 2013, Feasibility of Wind-H2 Systems in Spain within the current RES Framework (Royal Decree-law 9/2013), Master's Thesis, University of Strathclyde, Engineering.
15. Grond, Lukas; Schulze, Paula and Holstein, Johan, 2013, Systems Analyses Power to Gas: Deliverable 1: Technology Review. Final Report, DNV KEMA Energy & Sustainability.
16. Pearson, Richard J. et al, 2011, Energy Storage via Carbon-Neutral Fuels Made From CO2, Water, and Renewable Energy, Proceedings of the IEEE, Vol. 100, No. 2, February 2012, pp. 440-460.
17. Gahleitner, Gerda, 2013, Hydrogen from renewable electricity: An international review of power-to-gas pilot plants for stationary applications. International journal of hydrogen energy, Vol. 38, pp. 2039-2061.

استفاده از زیرساخت‌های انتقال گاز طبیعی برای انتقال هیدروژن

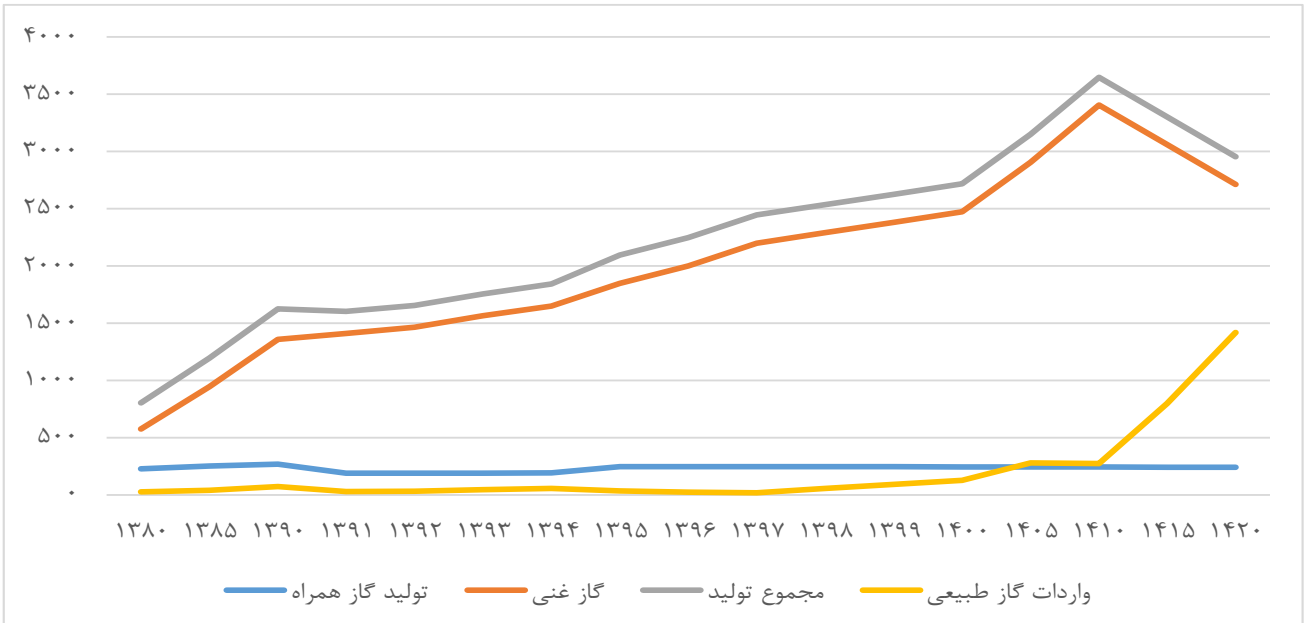
مهدی کربلایی آقا بابایی انرژی

تولید و مصرف گاز در ایران

گاز طبیعی ازجمله مهم ترین حامل‌های انرژی کشورمان است که در بخشهای مختلف مصرف کننده انرژی کشور نقش حیاتی ایفا می کند. ایران دومین کشور دارنده منابع گازی در جهان است. وجود ذخایر عظیم گاز طبیعی در ایران، ارزان بودن آن نسبت به دیگر فرآورده های نفتی و گستردگی شبکه گازرسانی در کشور، مصرف این حامل انرژی را نسبت به سایر حامل های انرژی اقتصادی تر نموده است. تولید گاز طبیعی ایران در سال ۹۷ بیش از ۸۵۰ میلیون مترمکعب در روز بوده است.[۱] نقش گاز در اقتصاد ایران بسیار پررنگ است. به‌طوری‌که در تمام بخش های مصرف‌کننده انرژی کشور حضور گسترده ای دارد و ادامه حیات کشور بدون آن در وضعیت کنونی تقریباً غیرممکن خواهد بود. وجود منابع عظیم گاز و ارزان بودن قیمت آن در کشور از یکسو و سیاست های انرژی کشور از سوی دیگر به رشد فزاینده مصرف گاز طبیعی در کشور آن‌هم در بخش هایی نظیر خانگی و تجاری منجر شده است.

در نمودار ۱ دورنمای تولید و واردات گاز ایران در سناریو روند موجود بر اساس میلیون بشکه معادل نفت خام بین سال های ۱۳۸۰ تا ۱۴۲۰ آورده شده است.

منبع: دورنمای انرژی کشور تا افق ۱۴۲۰



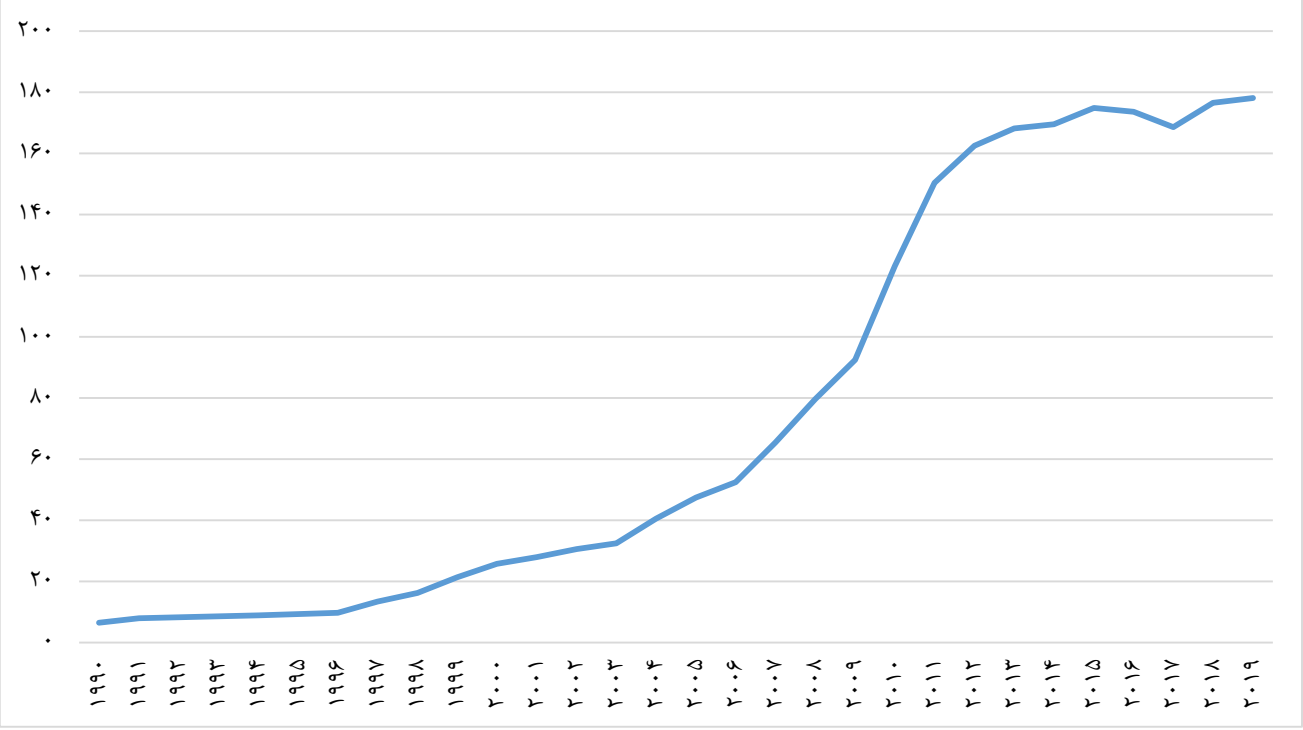
نمودار ۱. دورنمای تولید و واردات گاز ایران

وضعیت ذخایر گاز طبیعی در ایران

ایران ۱۷% از ذخایر اثبات شده گاز جهان را دارا بوده و همچنین سومین تولیدکننده گاز طبیعی در جهان است. با این حجم فراوان از ذخایر و تولید در ایران، بخش زیادی از آن در داخل کشور مصرف می‌شود. کشور ایران از منابع انرژی فراوانی برخوردار است و مبالغ زیادی را به‌عنوان یارانه انرژی متحمل می شود و به واردات حاملهای انرژی تنها به مقادیر اندک نیازمند است. به‌طورکلی منابع فسیلی در جهان نامحدود نیستند و گاز طبیعی نیز به‌عنوان یک منبع انرژی فسیلی همین محدودیت را دارد. بنابراین ایران حتی باوجود ذخایر عظیم گاز و رتبه بالای ذخایر و تولید نیز روزی با کاهش عرضه مواجه خواهد شد. بسیاری از مسائل فنی نیز به این پایان سرعت خواهند بخشید. بخش عظیم تولید گاز طبیعی کشور از میادین مشترک و به‌خصوص میدان پارس جنوبی است. برداشت بهینه و حداکثری با رویکردهای صیانتی یکی از مواردی است که باید در تمامی میادین به‌ویژه میادین مشترک در نظر گرفته شود. در صورت نبود سرمایه‌گذاری کافی و عدم راه‌اندازی به‌موقع فازهای مرزی در پارس جنوبی مهاجرت گاز از پارس جنوبی به سمت گنبد شمالی حادث خواهد شد. موضوع مهم دیگر کاهش فشار در این میدان مشترک است که به نصب کمپرسور و یا روش های دیگر جهت جبران افت فشار نیاز دارد. با کاهش فشار مخزن و مهاجرت گاز پیک تولید از میدان پارس جنوبی زودتر از زمان مورد انتظار اتفاق خواهد افتاد و کشور زودتر از آنچه پیش بینی می شود دچار بحران کمبود گاز خواهد شد. در صورت توسعه مناسب و به‌موقع فازهای پارس جنوبی، روند کاهش تولید از این میدان کندتر خواهد بود، گرچه متوقف نخواهد شد. [۳] [۲]

در قطر همان‌طور که در نمودار ۲ نشان داده است، روند افزایش تولید در حال نزدیک شدن به مقدار پیک خود است و رفته‌رفته با کاهش شیب مثبت و صفر شدن آن در نقطه پیک تولید شاهد کاهش تولید گاز در قطر خواهیم بود.

منبع: سالنامه آماری BP



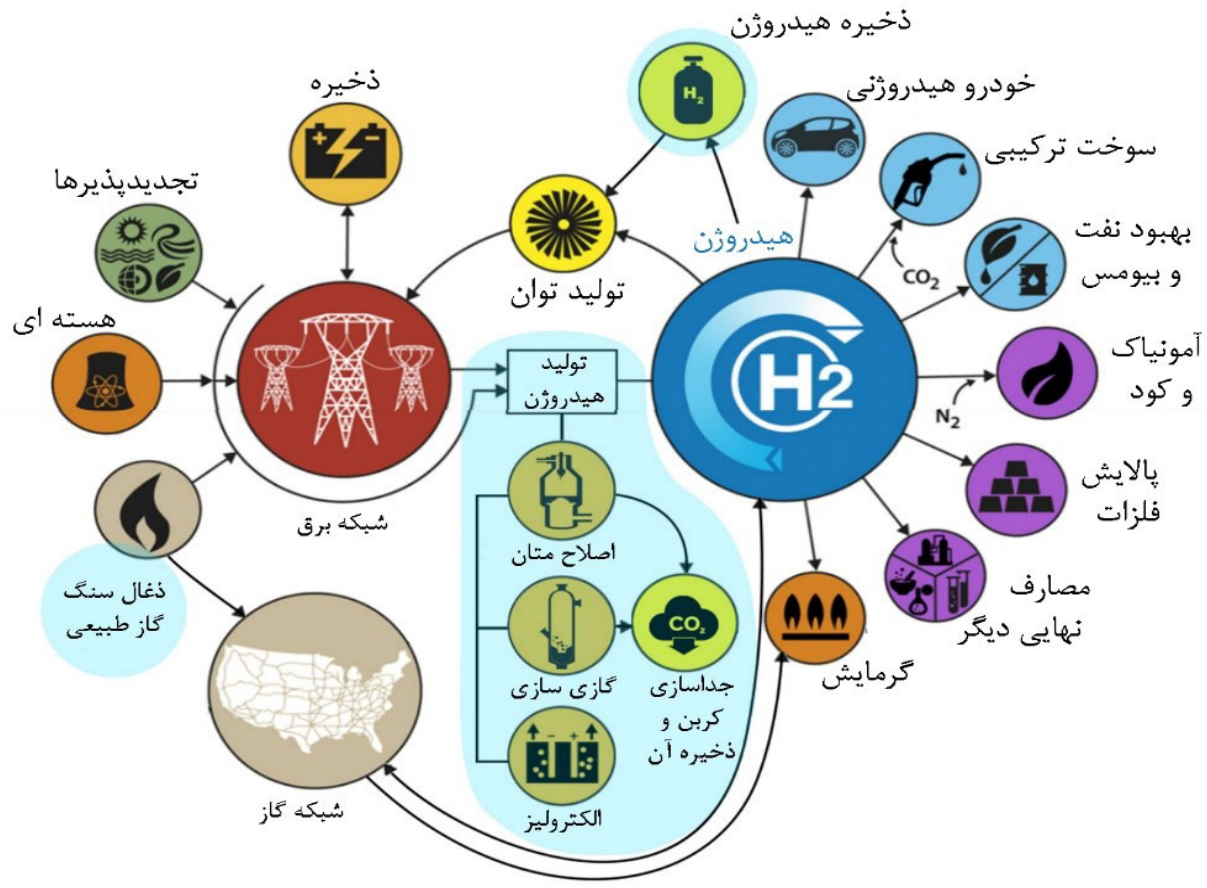
نمودار ۲. تولید گاز طبیعی قطر در سال‌های ۱۹۹۵ تا ۲۰۱۹

هیدروژن

هیدروژن متداولترین عنصر جهان است با جرم مولکولی ۲ که در بین تمام گازها سبک ترین آن ها است. متداول ترین حالت مولکولی آن آب می‌باشد. هیدروژن غیرسمی، غیرخورنده و با اشتغال پذیری بالا است که با سوختن خود تبدیل به بخار آب می–شود.

هیدروژن به دلیل وزن بسیار پایین خود چگالی انرژی پایینی دارد. چگالی انرژی هیدروژن kwh/Nm^3 ۳ است که در مقایسه با متان با چگالی انرژی kwh/Nm^3 ۱۰ به‌طور قابل‌توجهی کمتر است، اما از سوی دیگر ارزش گرمایی آن kwh/kg ۳۳ است که در مقایسه با متان با ارزش گرمایی kwh/kg ۱۴ بسیار بالاتر است. فشرده سازی هیدروژن باعث می شود چگالی انرژی آن تا حد بسیاری به چگالی انرژی گاز طبیعی نزدیک شود. به‌عنوان یک منبع انرژی، در حال حاضر هیدروژن می تواند در صنایع، پیل‌های سوختی برای حمل‌ونقل، کاربردهای گرمایشی و یا استفاده در توربین های با سوخت هیدروژن برای تولید برق مورد استفاده قرار گیرد. همچنین هیدروژن می‌تواند به‌عنوان مواد اولیه بسیاری از صنایع مورداستفاده قرار گیرد.[۷]

منبع: U.S. department of energy



شکل ۱. ادغام انرژی فسیلی با اقتصاد هیدروژنی

گذار انرژی و هیدروژن

ازآنجاکه گذار انرژی و مسائل محیط‌زیستی و تغییرات اقلیم امروزه از مسائل مهم و مورد توجه حوزه انرژی و توسعه پایدار است، در این گذار سطح تولید آلایندگی از عامل های انرژی تمایل دارد که به صفر (zero emission) نزدیک شود. بسیاری از کشورهای پیشرفته برنامه‌های بلندمدت و جامعی برای رسیدن به ردپای کربن(carbon footprint) صفر دارند. از طرفی در این گذار انرژی تقاضای عامل های انرژی با آلایندگی پایین افزایش خواهد یافت. همان‌طور که در جهان تقاضا برای گاز طبیعی به دلیل سبزتر بودن این عامل انرژی در مقایسه با فرآورده های نفتی در سال های اخیر به‌شدت افزایش یافته است. در سوختن هیدروژن تنها آب به‌عنوان فرآورده و حرارت بالا تولید می شود. این موضوع باعث شده هیدروژن جایگاه مهمی در گذار انرژی و آینده سبد انرژی جهان پیدا کند. اگرچه ۹۹/۵ درصد از هیدروژن جهان از انرژی های فسیلی تولید می‌شود (گاز طبیعی ماده اولیه ۷۰ درصد هیدروژن تولیدی را به خود اختصاص می‌دهد)؛ اما با پیشرفت تکنولوژی و اقتصادی شدن روش های سبز تولید هیدروژن مانند الکترولیز آب با استفاده از برق تجدیدپذیر، سهم هیدروژن سبز تولیدی در آینده افزایش خواهد یافت.[۶]

انتقال هیدروژن

چنانچه هیدروژن در محلی غیر از محل مورد مصرف، تولید گردد، نیاز به انتقال دارد. روش های مختلفی برای انتقال هیدروژن وجود دارد. برای مثال استفاده از مخازن تحت فشار، مایع سازی گاز در مخازن عایق حرارتی، تبدیل آن به متانول یا آمونیاک مایع، حل کردن آن به‌صورت محلول های شیمیایی از روش های مورداستفاده برای انتقال هیدروژن هستند. انتقال هیدروژن با خطوط لوله بسیار اقتصادی است. به دلیل بالا بودن ارزش حرارتی و قابلیت فشرده سازی هیدروژن می‌توان به یک چگالی انرژی بالا برای انتقال در خطوط لوله رسید. در حال حاضر در جهان خطوط لوله هایی با طول چند صد کیلومتر در حال استفاده برای انتقال هیدروژن خالص می باشند. ارزان ترین روش انتقال هیدروژن تا به امروز انتقال از طریق خطوط لوله است و یکی از راهکارها در کشور، استفاده از خطوط فعلی انتقال گاز طبیعی برای انتقال هیدروژن و یا ترکیب هیدروژن و گاز است.[۷] خطوط لوله سراسری گاز در ایران از میادین گازی ایران به‌طور گسترده در کل کشور توسعه‌یافته است، به‌طوری‌که در حدود ۹۵% از جمعیت کشور به گاز طبیعی از طریق خطوط لوله گاز دسترسی دارند. طول شبکه گاز در ایران بیش از ۳۵۲ هزار کیلومتر می باشد و تا پایان سال ۹۷ بیش از ۱۱/۵ میلیون انشعاب گاز طبیعی در کشور نصب‌شده است[۱]

منبع: EIA

شکل ۲. شبکه خطوط گاز در ایران

در انتقال گاز طبیعی درون خطوط لوله، گاز در حال انتقال با افت فشار مواجه می شود. در نتیجه نیاز به کمپرسور و تجهیزات افزایش‌دهنده فشار وجود دارد. توان تئوری مورد نیاز برای کمپرسور جهت افزایش فشار گاز درون خطوط لوله و جلوگیری از افت فشار از طریق رابطه زیر محاسبه می شود.

$$\text{توان مفید کمپرسور} = 0.653 \times Z_{ave} \left[\frac{Q_n \times T_1}{E \times \eta}\right] \left[\frac{k}{k-1}\right] \left[\left(\frac{P_2}{P_1}\right)^{\frac{k-1}{k}} - 1\right] \quad (1)$$

که در آن:

Z_{ave} = میانگین ضریب تراکم پذیری

Q_n = دبی نرمال جریان

T_1 = دمای ورودی

E = راندمان مکانیکی

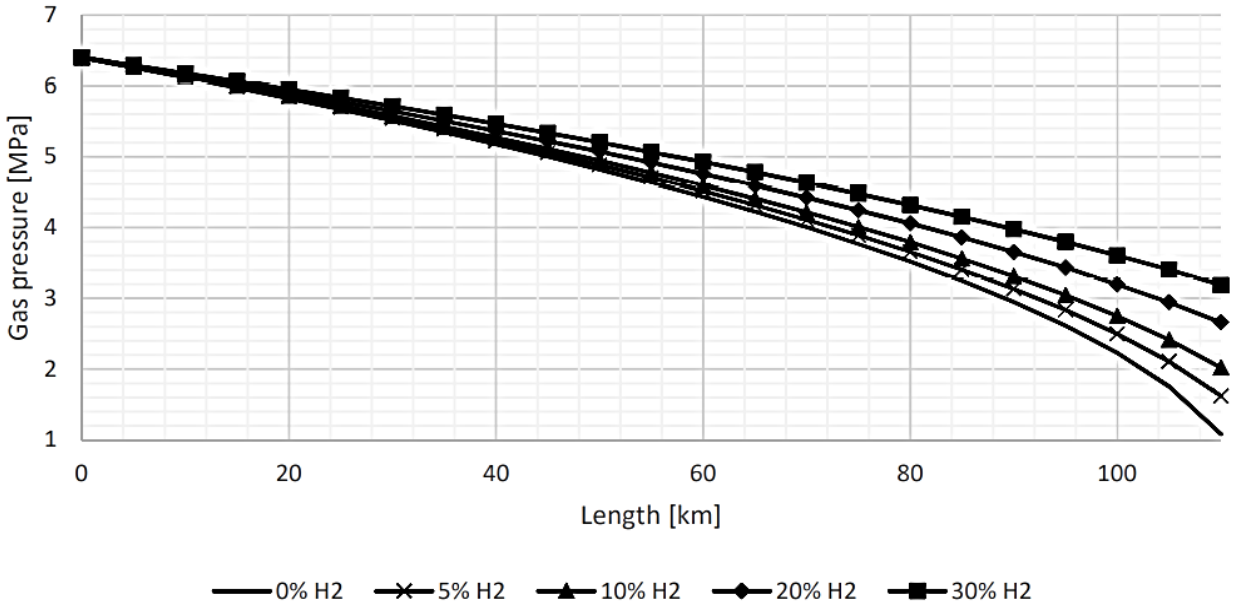
η = راندمان تراکم

k = راندمان تراکم

P_1 ,P_2 = به ترتیب فشار ورودی و خروجی

برای مثال فشار گازی (با توجه به درصدهای متفاوت هیدروژن) با دمای ۷ درجه سانتی‌گراد و فشار اولیه ۶/۴ مگا پاسکال در یک خط لوله با قطر ۶۰۰ میلی‌متر و جریان اسمی ۶۵۰,۰۰۰ مترمکعب در ساعت به‌صورت زیر در فواصل مختلف تغییر می کند. درنتیجه کاهش فشار، نسبت تراکم مورد نیاز برای رسیدن به فشار اولیه و دمای گاز خروجی از کمپرسور با نسبت تراکم مورد نیاز در فواصل مشخص و نسبت‌های مختلف هیدروژن در ترکیب با گاز طبیعی در نمودارهای زیر آورده شده است.[۹]

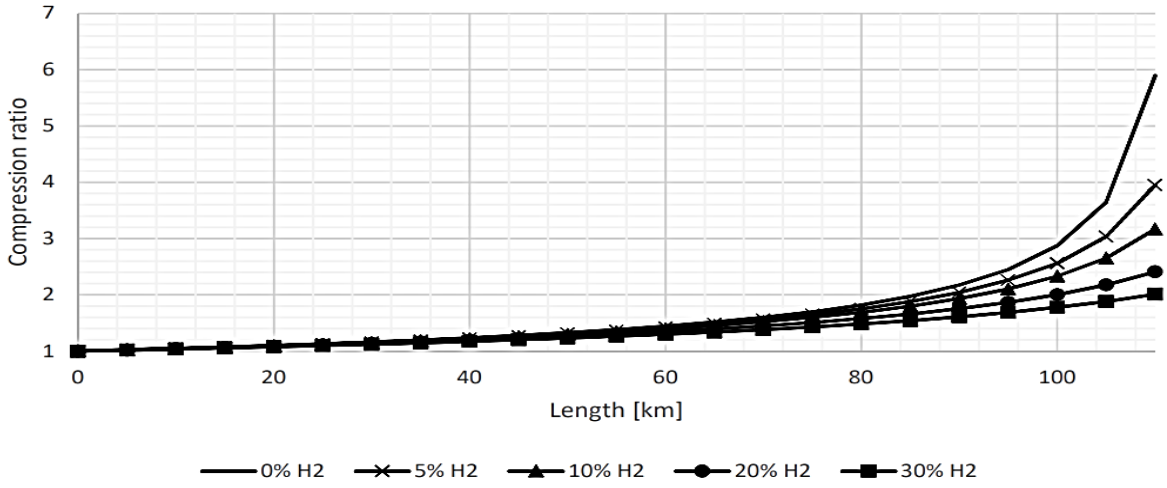
منبع: ۹



نمودار۳.کاهش فشار گاز نمونه در یک مسافت مشخص برای نسبت های مختلف هیدروژن(مولار) در ترکیب با گاز طبیعی

توجه به خواص فیزیکی و شیمیایی هیدروژن در بررسی انتقال آن درون خطوط لوله اهمیت بالایی دارد. ویسکوزیته پایین هیدروژن به نسبت دیگر ترکیبات موجود در گاز طبیعی سبب شده که تأثیر قابل‌ملاحظه‌ای در نرخ کاهش فشار آن توسط اصطکاک بگذارد. همان‌طور که در نمودار بالا مشخص است با افزایش طول خط انتقال، فشار به‌طور پیوسته کاهش می یابد و با افزایش طول خط لوله روند کاهش فشار شتاب بیشتری خواهد گرفت. با افزایش نسبت هیدروژن در ترکیب با گاز طبیعی شیب کاهش فشار در طول خط لوله کاهش می یابد و هر چه نسبت مولی هیدروژن در ترکیب با گاز طبیعی بیشتر باشد افت فشار کمتری را در خطوط لوله شاهد خواهیم بود.

منبع: ۹

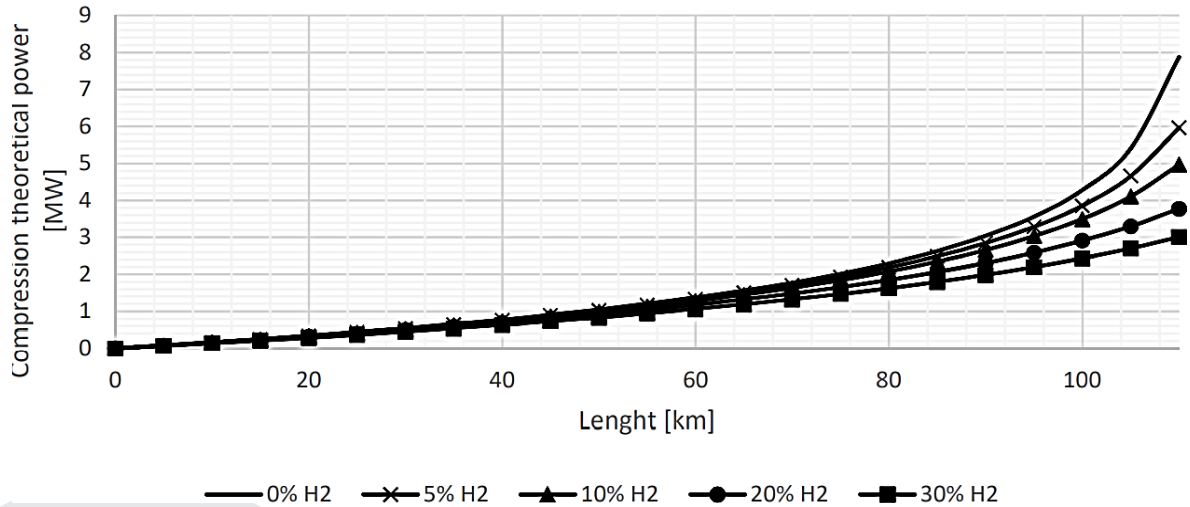


نمودار ۴. نسبت تراکم موردنیاز در ترکیب گاز طبیعی و هیدروژن در فواصل مختلف

هر چه طول خط انتقال افزایش می یابد، تفاوت نسبت تراکم مورد نیاز برای ترکیبات با درصدهای متفاوت هیدروژن افزایش می‌یابد. با افزایش نسبت هیدروژن در ترکیب، نسبت تراکم مورد نیاز برای رسیدن به فشار اولیه کاهش می یابد.

با فرض اینکه فشار مکش کمپرسور ۱ مگا پاسکال و راندمان مکانیکی آن ۷۸% باشد، با توجه به رابطه (۱)، توان مصرفی کمپرسور موردنظر برای رساندن فشار به فشار اولیه در فواصل مختلف برای نسبت های مختلف هیدروژن به ترتیب زیر به دست می آید.

منبع: ۹



نمودار ۵. توان تئوری موردنیاز برای ترکیب گاز طبیعی و هیدروژن در فواصل مختلف

برای گاز طبیعی بدون هیدروژن در ایستگاه افزایش فشاری که در فاصله ۱۱۰ کیلومتری واقع‌شده، کمپرسورها به ۸ مگاوات برای تراکم گاز جهت افزایش فشار آن از ۱/۵ به ۶/۴ مگا پاسکال نیاز دارند. این مقدار توان مصرفی بیشتر از دو برابر توانی است که برای افزایش فشار ترکیبی با ۲۰% هیدروژن به ۶/۴ مگا پاسکال مصرف میشود.

۰۱/۳	۳۶/۳	۷۸/۳	۲۹/۴	۹۷/۴	۹۷/۵	۸۸/۷	توان مصرفی(MW)
٪۳۰	٪۲۵	٪۲۰	٪۱۵	٪۱۰	٪۵	٪۰	درصد هیدروژن در ترکیب

جدول ۱. توان تئوری موردنیاز کمپرسورها در فاصله ۱۱۰ کیلومتری برای ترکیب‌های مختلف

ایمنی انتقال هیدروژن

بررسی های موسسه تکنولوژی گاز (GTI) نشان می‌دهد که افزودن هیدروژن به خطوط انتقال گاز طبیعی، ریسک نشت از خطوط انتقال و توزیع را بالا می برد. اگرچه، ریسک افزودن تا ۲۰% هیدروژن در خطوط سرویس (انشعابات محلی) گاز طبیعی و تا ۵۰% در خطوط لوله انتقال گاز طبیعی بسیار پایین است. اما در بررسی میزان ریسک، پارامترهای متعددی وجود دارند که منحصر به هر مکان و تجهیزات خاص است. اضافه شدن ۱۵% هیدروژن به گاز طبیعی در تولید حرارت بخش خانگی و تجاری هیچ مشکلی ایجاد نمی‌کند و کاملاً امن است. هیدروژن به دلیل تعداد اتم‌های کمتر و اتم هایی با عدد اتمی پایین‌تر، دارای مولکول کوچتری به نسبت متان است، بنابراین نشتی هیدروژن نسبت به متان در خطوط لوله و اتصالات بیشتر است. بررسی های موسسه تکنولوژی گاز نشان می‌دهد که حجم نرخ نشتی هیدروژن سه برابر نشتی گاز طبیعی در خط لوله فولادی است. نشتی گاز در خط توزیع گاز طبیعی آلمان با ترکیب ۱۷% هیدروژن و ۸۳% گاز طبیعی، ۰/۰۰۰۵% از کل هیدروژن ارسالی است. [۶] در کشور آلمان تعدادی از خطوط موجود گاز تبدیل به خطوط انتقال هیدروژن شده اند و تابه‌حال به لحاظ ایمنی عملکرد بسیار مناسبی داشته اند و هیچ مشکلی در استفاده از این خطوط به دلیل تغییر کاربری اتفاق نیفتاده است. مطالعات برای بررسی تأثیرات بلندمدت این تغییرات همچنان ادامه دارد. [۷]

ارزش حرارتی ترکیب هیدروژن و گاز طبیعی

ارزش حرارتی گاز طبیعی با $11\ kwh/Nm^3$ در حدود ۳ برابر ارزش حرارتی هیدروژن ($3/5\ kwh/Nm^3$) است بنابراین در یک فشار یکسان ۳ برابر حجم گاز طبیعی به هیدروژن برای رسیدن به انرژی یکسان نیاز است. از آنجا که گاز طبیعی در اکثر بازارهای جهان بر اساس ارزش حرارتی در حال معامله است. باید این موضوع نیز بسیار موردتوجه قرار گیرد. برای مثال در پنسیلوانیا گاز طبیعی عرضه‌شده باید دارای ارزش حرارتی بالای $950\ btu/ft^3$ و شاخص وب (wobbe index) حداقل ۱۳۱۰ باشد. شاخص وب در یک گاز که برای تولید حرارت مورداستفاده قرار می گیرد که از درون یک دهانه (orifice) عبور می کند به‌صورت زیر است:

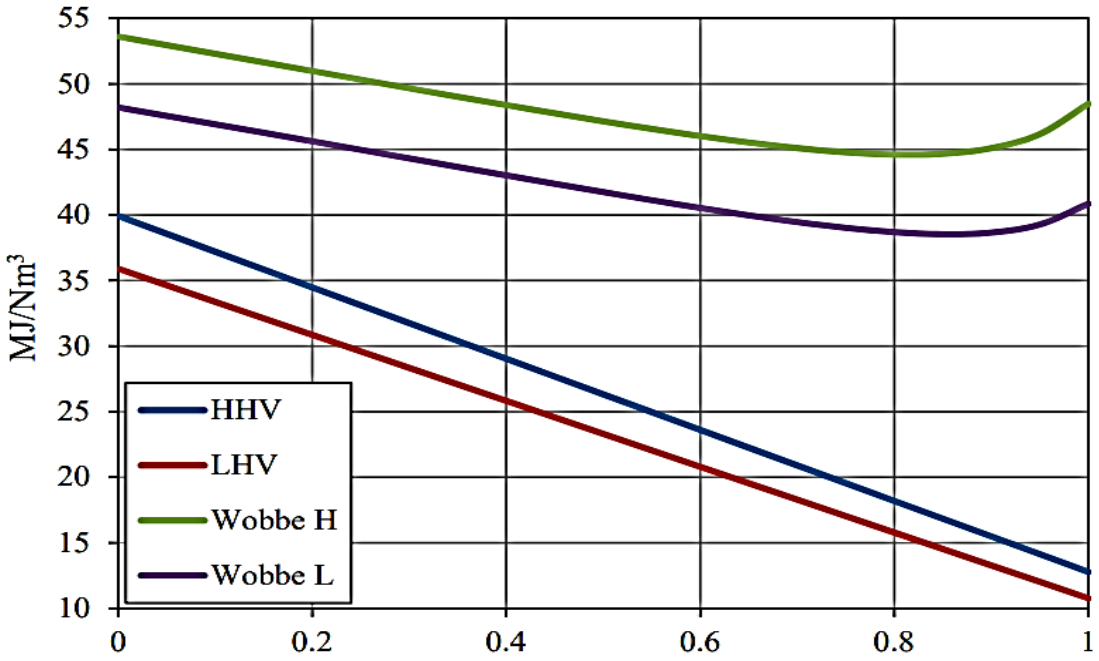
$$\frac{\text{ارزش حرارتی بالا}(higher\ heating\ value)}{\text{وزن مخصوص گاز}}$$

که در اینجا گاز طبیعی و هیدروژن به ترتیب با ارزش حرارتی بالای $1035\ btu/ft^3$ و $323\ btu/ft^3$ و شاخص و وب آن به ترتیب ۱۳۴۶ و ۱۰۱۹ می‌باشد.

بنابراین؛ افزودن هیدروژن به گاز طبیعی ارزش حرارتی بالا و نیز شاخص وب را در یک حجم مشخص کاهش می دهد، درنتیجه با توجه به حداقل میزان ارزش حرارتی موردنیاز در پنسیلوانیا می توان در ترکیب هیدروژن با گاز طبیعی ۱۱ درصد برای هیدروژن سهم اختصاص داد.

زمانی که نسبت هیدروژن اضافه‌شده به گاز ۲۰% است، ارزش حرارتی ترکیب موجود نسبت به حالتی که تماماً گاز طبیعی است ۱۳/۶% کمتر است. [۸]

منبع: ۱۰



نسبت مولی هیدروژن در ترکیب با متان

نمودار ۶. تغییرات ارزش حرارتی و شاخص و وب در ترکیب هیدروژن و گاز طبیعی با نسبت های مولی متفاوت

جمع‌بندی و نتیجه‌گیری

تقاضای گاز طبیعی در کشور به رشد خود ادامه داده است و این تقاضا در سال های آینده نیز افزایش خواهد داشت، درحالی‌که منابع گازی کشور محدود بوده و با توجه به دورنمای انرژی کشور تا افق ۱۴۲۰ از سال ۱۴۱۳ نیاز به واردات گاز طبیعی برای تأمین نیاز داخلی بشدت افزایش می یابد. همچنین مطرح‌شدن مسائل زیست محیطی و حرکت به سمت کربن صفر سبب شده هیدروژن جایگزین مناسبی برای حامل های آینده انرژی در صنایع مختلف مانند زغال‌سنگ و مازوت در آینده مطرح شود. همچنین با توسعه تقاضای گاز طبیعی در بخش های مختلف، هیدروژن می تواند به‌عنوان یک مکمل در کنار گاز طبیعی به خطوط انتقال تزریق شود.

با توجه به روند شدید افزایش روش های نوین تولید و کاهش هزینه های تولید،هیدروژن می تواند به‌عنوان یک حامل انرژی مناسب در داخل کشور با ایجاد ظرفیت های لازم و سرمایه‌گذاری در این زمینه تولید شود و یا با توجه به کاهش هزینه های تولید و درنتیجه کاهش قیمت، به کشور وارد شود و درنهایت به خطوط لوله گاز سراسری به همراه گاز طبیعی تزریق شود. هیدروژن علاوه بر اینکه یک سوخت کاملاً سبز بوده، هیچ آلاینده ای تولید نمی کند، قابل‌انتقال در خطوط لوله گاز بوده و می تواند به‌صورت ترکیبی همراه با گاز طبیعی مورد مصرف قرار بگیرد.

همچنین با توجه به افزایش ظرفیت تجدیدپذیرها یکی از روش های مناسب جهت ذخیره‌سازی برق تولیدی، ذخیره به‌صورت هیدروژن از طریق الکترولیز آب است. ترکیب هیدروژن با گاز طبیعی در جلوگیری از افت فشار هنگام انتقال نقش مثبتی داشته اما از طرفی باعث افت ارزش حرارتی در مقایسه با گاز طبیعی بدون هیدروژن می شود. ایمنی و اتلاف هنگام انتقال نیز از مسائل مهمی است که باید بیشتر به آن پرداخته شود. اگرچه تولید و انتقال هیدروژن نیز مسائل و مشکلاتی دارد، اما در بین حامل های انرژی موجود و با توجه به زیرساخت‌های کشور می تواند سهم قابل توجهی در سبد آینده انرژی ایران داشته باشد.

منابع

۱- "ترازنامه هیدروکربوری کشور سال ۱۳۹۷"، گروه ترازنامه هیدروکربوری موسسه مطالعات بین‌المللی انرژی ، ۱۳۹۹.

۲- مؤیدی، محمود: ابطحی فروشانی، سید تقی «میدان گازی پارس جنوبی و توجهی به آینده» ماهنامه اکتشاف و تولید نفت و گاز، شماره ۱۳۱

۳- صاحب‌هنر، حامد: طاهری فرد، علی «شبیه‌سازی مالی قرارداد فاز ۱۱ پارس جنوبی» مرکز پژوهش‌های مجلس شورای اسلامی ایران، دفتر مطالعات انرژی، صنعت و معدن، شماره ۱۶۰۰۵، ۱۳۹۷.

۴- اقتصاد، امیر سامان: پیله فروش، میثم «درباره یارانه انرژی در ایران یارانه پنهان و ملاحظات آن» مرکز پژوهش‌های مجلس شورای اسلامی ایران، دفتر مطالعات انرژی، صنعت و معدن، شماره ۱۶۶۵۲، ۱۳۹۸.

۵- "دورنمای انرژی کشور تا افق ۱۴۲۰" ، گروه دورنمای انرژی کشور موسسه مطالعات بین‌المللی انرژی ، ۱۳۹۹.

٦- Melania, M.V;Antonia, O; Penev, M "Blending Hydrogen into Natural Gas Pipeline Networks: A Review of Key Issues" NREL, 2013.

۷- Adam, P; Engelshove, S; Heunemann, F; Thiemann, T; Bussche, C " Hydrogen infrastructure – the pillar of energy transition" Siemens Energy, Gascade Gastransport GmbH, Nowega GmbH, 2020.

۸-Chen, T "Hydrogen Delivery Infrastructure Options Analysis" Nexant report, 2006.

۹- Zabrzeski, L; Janusz, P; Liszka, K; Laciak, M; Szurlej, A "Hydrogen-Natural Gas mixture compression in case of transporting through high-pressure gas pipelines" IOP Conference Series Earth and Environmental Science 214(1):012137, 2019.

۱۰- Kuczy´nski, S; Laciak, M; Olijnyk, A; Szurlej, A; Wlodek, T "Thermodynamic and Technical Issues of Hydrogen and Methane-Hydrogen Mixtures Pipeline Transmission" MDPI, 2019.

۱۱- " Total energy supply (TES) by source " BP yearly statistics, 2019.

۱۲- "hydrogen strategy- enabling a low-carbon economy", office of fossil energy, united states department of energy, 2020.