موسسه مطالعات بین المللی انرژی

(وزارت نفت جمهوری اسلامی ایران)

بولتن تخصصی فناوری

موسسه مطالعات بین المللی انرژی

شماره یازدهم، مهر ماه ۱۴۰۰

۱۱

بولتن تخصصی فناوری موسسه مطالعات بین المللی انرژی

شماره یازدهم ، مهر 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

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

همکاران این شماره

اعظم محمدباقری، سیدصادق ضرغامی، غلامعلی رحیمی، افسانه رحیمی، حمیدرضا مصطفایی، پیمان نیلچی پور، گروه دورنمای استانی

نشانی: تهران، خیابان ولیعصر(عج)، روبروي پارك ملت، خیابان شهید سلطانی (سایه سابق)، پلاك ٦٥
مؤسسه مطالعات بین‌المللی انرژی، کدپستی ۱۹۶۷۷۴۳۷۱۱، صندوق پستی ۴۷۵۷- ۱۹۳۹۵
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

دراین‌شماره می‌خوانید...

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

مدخلی بر یادگیری ماشین و علم داده در صنعت نفت و گاز — صفحه ۵

با افزایش پویش‌های آب و هوایی، شرکت لوندین اولین محموله‌ی نفت خام کربن خنثی خود را به فروش رساند. — صفحه ۷

مصارف گاز طبیعی بخش خانگی به ازای زیربنای مسکونی — صفحه ۸

فصل اول: محیط زیست و توسعه پایدار

راهکارهای فناورانه دستیابی به انتشار خالص صفر تا ۲۰۵۰ (بر مبنای گزارش IRENA ۲۰۲۱) — صفحه ۹

به‌منظور دستیابی به هدف انتشار خالص صفر، مجموعه‌ای از راهکارهای فناورانه توسط آژانس بین‌المللی انرژی‌های تجدید پذیر پیشنهادشده است که شامل فناوری بکارگیری تجدیدپذیرها بویژه در تولید برق، کارایی انرژی، برقی کردن مصارف نهایی، حمایت از توسعه هیدروژن سبز و استفاده از انرژی‌های زیستی می باشد. ارتقا، نوسازی و توسعه زیرساخت‌های مورد نیاز هر یک از این فناوری ها و نیز سیاست‌گذاری‌ها و اقدامات مناسب در کنار محرک های غیر فناوری نظیر تغییر رفتار مصرف و تغییرات زیرساختی عامل مهمی در جهت گذار انرژی می باشد. در این گزارش هر یک از این فناوری ها و کاربرد آنها در جهت تحقق هدف انتشار خالص صفر معرفی می شود.

فصل دوم: رصد فناوری های انرژی

چالش‌های توسعه صنعت هیدروژن — صفحه ۱۷

با توجه به استقبال گسترده کشورها در خصوص قبول تعهدات زیست محیطی و تدوین راهبردهای مربوطه، حامل های انرژی پاک خصوصا هیدروژن در راس علاقمندی سرمایه گذاران حوزه انرژی قرار گرفته اند. بدلیل ناشناخته بودن وضعیت آینده بازار این صنعت، در این گزارش به بررسی نظرات خبرگان در این خصوص پرداخته ایم.

سرمقاله

بنام خداوند دانایی

در دهه گذشته با افزایش تعهدات و تمایلات جهانی نسبت به حفظ محیطزیست و کاهش انتشار کربن، شتاب بی‌سابقه‌ای جهت گذار انرژی در جهان درحال شکل‌گیری است که دو موضوع رشد سریع فناوری‌ها در استفاده از انرژی‌های تجدیدپذیر (به‌ویژه بادی و خورشیدی) و دیگری برنامه‌های اساسی و بلندپروازانه کشورها در دسترسی به انرژی‌های تجدیدپذیر و استفاده از حامل‌های انرژی پاک این مهم را نشان می‌دهند. در این میان پیشرفت‌های فناوری و حمایت رو به رشد سیاسی به‌عنوان دو عامل برجسته، تغییرات گذار انرژی را تسهیل نموده و باعث شده است کشورها به‌واسطه استفاده از فناوری‌های پیشرفته، نظارت مستمر، متنوع‌سازی سبد انرژی و قیمت‌گذاری انرژی بر اساس هزینه تمام‌شده، بتوانند عملکرد سیستم انرژی خود را بهبود بخشند.

آنچه مسلم است فناوری‌های نوین، توجه جهانی را به‌طورجدی بر روی کربن‌زدایی در سیستم‌های انرژی معطوف نموده اند، ازاین‌رو سرمایه‌گذاری‌ها در حوزه نوآوری‌های فناورانه به‌منظور دستیابی تجاری به فناوری‌های نوظهور بخش انرژی در حال افزایش است تا ضمن تأثیر بر بهره‌برداری صحیح از منابع و حفظ محیطزیست، در افزایش سطح استاندارد و کیفیت زندگی نیز مؤثر باشد.

با عنایت به موارد فوق، هیات تحریریه بولتن تخصصی فناوری آمادگی دارد با انتشار مطالب منتخب کارشناسان و پژوهشگران ارجمند صنعت نفت و انرژی، اساتید و دانشجویان محترم دانشگاه‌ها و متخصصین گرامی مؤسسات پژوهشی و شرکت‌های دانش‌بنیان در خصوص موضوعات مرتبط با مدیریت هوشمندانه فناوری‌های نوین انرژی و ایده‌های راهبردی و تحول‌آفرین این حوزه، ضمن پربارتر نمودن مطالب بولتن، موجبات تصمیم‌سازی‌های مناسب و همچنین ایجاد زمینه‌های مختلف پژوهشی در حوزه تبیین و تدوین راهبردهای فناوری انرژی را فراهم نماید تا این تلاش و همکاری گامی مؤثر در دستیابی به اهداف و رسالت‌های بخش انرژی کشور، باشد.

موسسه مطالعات بین المللی انرژی

فصل سوم: بهره وری انرژی

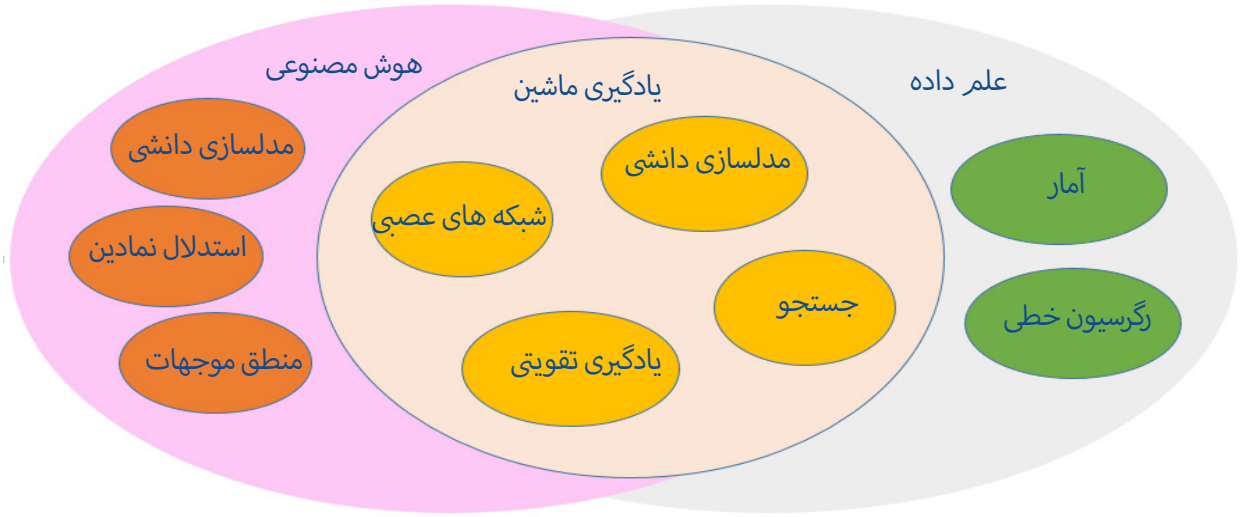
صفحه ۲۴

پتانسیل استفاده از LNG به عنوان سوخت در حمل و نقل دریایی

با توجه به اینکه گاز طبیعی پاک ترین سوخت در میان سوختهای فسیلی است، لذا LNG نیز به عنوان یکی از مناسب ترین سوختها به لحاظ مزایای زیست محیطی در مقایسه با سوختهای سنتی در بخش حمل و نقل به شمار می رود. از LNG می توان به عنوان سوخت در بخش حمل و نقل برای کامیون های سنگین و برای بخش حمل و نقل دریایی استفاده نمود. در صورتیکه LNG در رقابت با گازوئیل، دیزل، سوخت کشتی ها (MGO) و حتی CNG باشد، می توان آن را با در نظر گرفتن یک حاشیه سود مثبت مورد معامله و مبادله قرار داد. در این مطالعه به بررسی وضعیت موجود و چشم انداز استفاده از LNG به عنوان سوخت در بخش حمل و نقل دریایی پرداخته شده است.

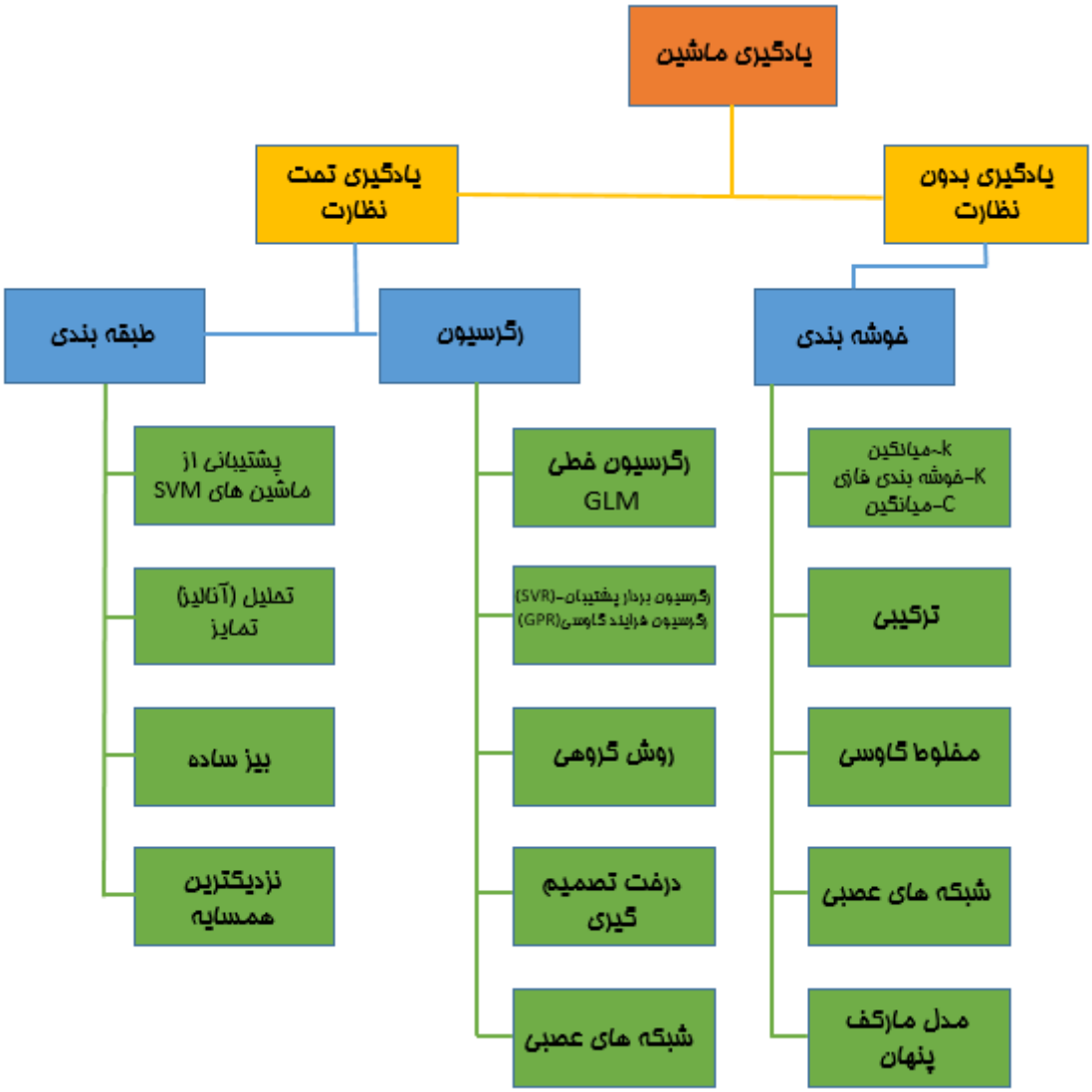
مدخلی بر یادگیری ماشین و علم داده در صنعت نفت و گاز

ما در دنیایی در حال تغییر زندگی می کنیم. علاوه بر این، سرعت تغییر نیز در حال افزایش است. ما وارد دوران گذار جهانی باورنکردنی شده‌ایم که بر جنبه‌های مختلف زندگی ما تأثیر می‌گذارد. امروزه دنیای انرژی و فناوری شاهد تغییرات زیادی هستیم که متأثر از علل در هم تنیده در حال رشد می باشند. تقاضای انرژی، انتقال سریع سیستم‌های انرژی، عوامل سیاسی، تکامل تکنولوژیکی و پیامدهای اجتماعی و فرهنگی. این تغییرات بطور همزمان به نحوه زندگی،کار و حرکت ما بستگی دارد و بر آن تأثیر می‌گذارد. شاید برای نسل امروز هیچ چیز مهمتر از گردهم آوردن قدرت رهبری، تخصص و حوزه دانش و پس از آن آموختن درسهای فراوان از تمدنهای گذشته و انقلابهای صنعتی نباشند. در بخش انرژی، صنعت نفت هنوز مهمترین منبع انرژی و تامین کننده مواد اولیه بسیاری از صنایع است. این صنعت همچنین تحت تأثیر فناوری‌های دگرگون کننده‌ای قرار دارد که پتانسیل فوق‌العاده‌ای برای بازسازی زیرساخت‌های فیزیکی و علاوه بر آن توسعه فضای فکری، مدل‌های تجاری و سیستم‌های مدیریت دارایی را نیز دارند. صنعت نفت با صنایع دیگر بسیار متفاوت است. این صنعت یکی از معدود صنایعی است که به عنوان مولد داده‌های بزرگ در مراحل مختلف از اکتشاف تا توزیع شناخته می‌شود. این صنعت چندین دهه است که انواع داده‌ها را ذخیره می‌کند، زیرا در مدیریت دارایی‌ها و اجرای عملیات خود به شدت به این داده‌ها متکی است. شرکت‌های صنعت نفت به دلیل ماهیت فعالیت خود از ریسک گریزان بوده و دارای استانداردهای ایمنی دقیقی هستند. هیچ یک از این شرکت‌ها نمی‌توانند بدون فرآیندهای تصمیم‌گیری مناسب که به فناوری‌ها، تجربه و تجزیه و تحلیل داده‌های مناسب وابسته هستند، فعالیت کنند. پیشرفت‌های اخیر در دنیای دیجیتال از جمله افزایش قدرت رایانه و پردازش اطلاعات، سرعت ارتباطات و کاهش هزینه ذخیره اطلاعات، اکثر شرکتهای صنعت نفت را با ترغیب نموده تا با هدف استخراج یا ایجاد ارزش جدید و شناسایی فرصتهای بالقوه از داده‌های قدیمی و جدید خود که با مدلهای تجاری موجود یا جدید تقویت شده است، تجارت دیجیتالی خود را تسریع و توسعه دهند.



شکل ۱. رابطه بین زمینه‌های متنوع هوش مصنوعی (AI)، یادگیری ماشین (ML) و علم داده (DS)

اگر مکانیسم شکل ۱ در قالب عددی نشان داده شود و با زبان فرمول‌های ریاضی یا زبان علم داده محصور شود، بسیاری از این فرصت‌ها قابل شناسایی هستند. هدف از علم داده، بدست آوردن، پاکسازی و تنظیم داده‌های لازم و هدف از یادگیری ماشین، تولید فرمول‌ها (یعنی دانش جدید) است. با این دانش جدید، انتظار می‌رود مدیران، عملکرد بهتری داشته باشند.



شکل ۲. مراحل مربوط به یادگیری ماشین

امروزه یادگیری ماشین یکی از پرکاربردترین تکنیک‌های تجزیه و تحلیل داده‌ها در صنایع مختلف از جمله مراقبت‌های بهداشتی، آموزش، تولید خودرو، خرده‌فروشی، امور مالی، تدارکات، حمل و نقل و انرژی از جمله نفت و گاز است. در صورت استفاده مناسب و در مقیاس بزرگ، هیچ‌کس ارزش این فناوری را انکار نمی‌کند. در نهایت نیز هیچ صنعتی وجود نخواهد داشت که با ورود یادگیری ماشین دست نخورده باقی بماند، زیرا این فناوری نرم از توانایی بالقوه‌ای برخوردار است و انسانها را قادر به انجام آنچه می‌کند که در گذشته غیرممکن به نظر می‌رسید.

با افزایش پویش‌های آب و هوایی، شرکت لوندین اولین محموله‌ی نفت خام کربن خنثی خود را به فروش رساند.

شرکت سوئدی لوندین انرژی (Lundin Energy) اولین محموله‌ی نفتی خود را که به گفته‌ی این شرکت دارای گواهی‌نامه‌ی کربن خنثی در نقطه‌ی تولید است به شرکت پالایشگاهی ساراس در ایتالیا فروخته است.

طبق اعلام شرکت لوندین حوزه‌ی نفتی گریگ در دریای شمال تنها ۳/۸ کیلوگرم دی‌اکسید کربن به ازای معادل هر بشکه نفت انتشار می‌دهد که پنج برابر کمتر از متوسط جهانی است. این شرکت همچنین بیان داشته است که مقدار دی‌اکسید کربن باقی‌مانده از تولید این محموله‌ی ۶۰۰,۰۰۰ بشکه‌ای به ۲/۳۰۲ تن بالغ می‌شود که معادل آن توسط یک پروژه‌ی کاشت درخت در مکزیکو توسط شرکت نچرال کپیتال پارتنرز مستقر در لندن، جذب می‌شود.

شرکت لوندین پیش‌ازاین گفته بود که ۳۹,۰۰۰,۰۰۰ دلار در یک پروژه برای کاشت ۸,۰۰۰,۰۰۰ درخت در شمال اسپانیا و غنا به‌عنوان بخشی از برنامه‌ی وسیع‌تر ۷۵۰,۰۰۰,۰۰۰ دلاری خود جهت کربن‌زدایی از محصولاتش سرمایه‌گذاری خواهد کرد.

این شرکت همچنین ابراز داشته پروژه‌ی مذکور که توسط شرکت احیای جنگل لند لایف مستقر در آمستردام اجرا می‌شود باید به این شرکت در دست‌یابی به هدف کربن خنثی در تولید محصولاتش کمک کند.

تحلیل گران شرکت خدمات مالی و سرمایه‌گذاری جفریز به مشتریان خود اعلام کرده‌اند که فروش اولین محموله نفتی دارای گواهینامه‌ی کربن خنثی در جهان نقطه‌ی عطفی است که تعداد کمی از تولیدکنندگان نفت قادر خواهند بود در زمانی نزدیک آن را تکرار کنند.

محموله‌های بیشتر

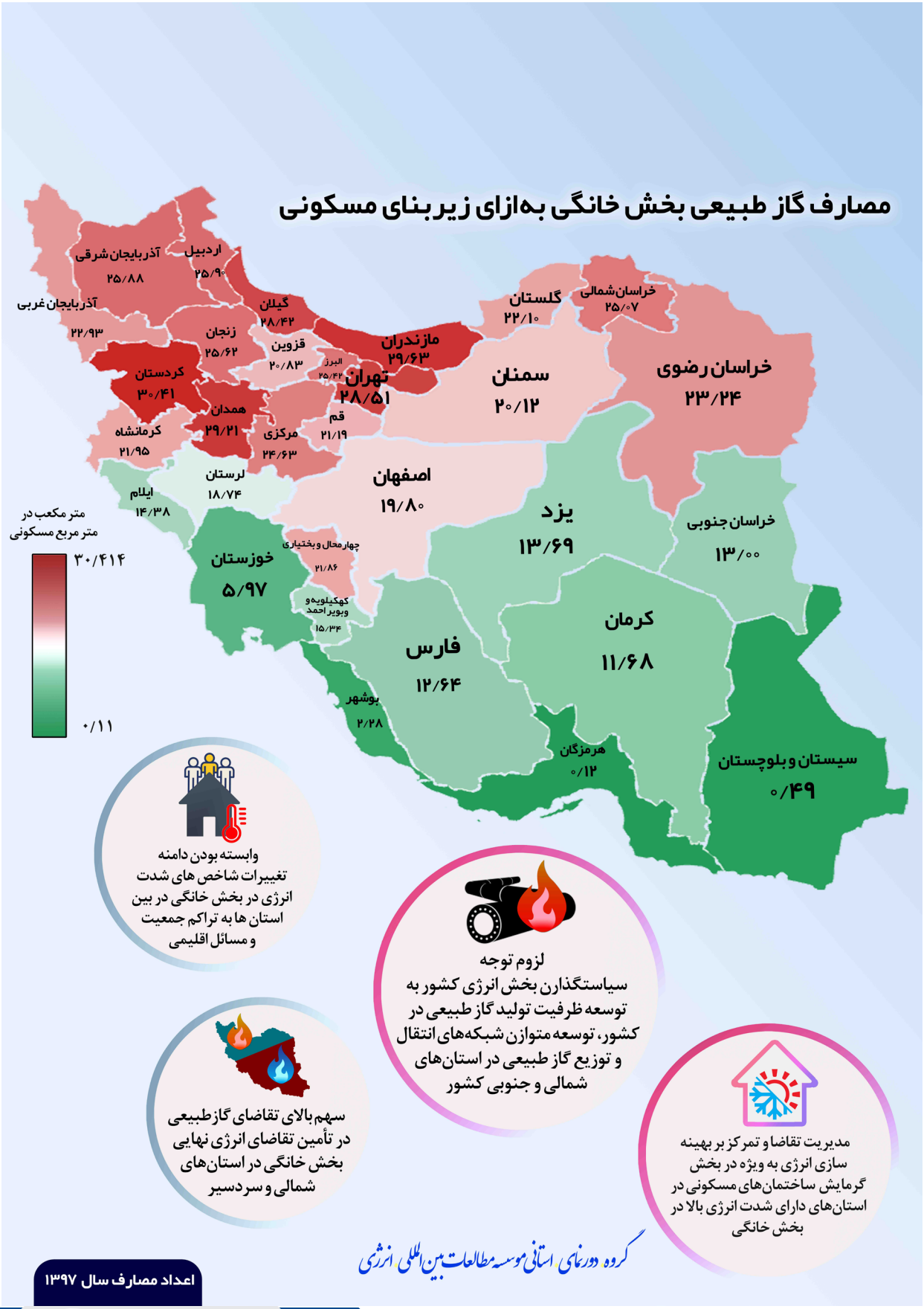
سخنگوی شرکت لوندین گفته است: «این فروش برای یک‌بار صورت گرفت، اما ما در نظر داریم محموله‌های کربن خنثی بیشتری را پس از اخذ گواهی‌نامه، از محل میدان‌های نفتی ادوارد گریگ و ژوهان سوردراپ بفروشیم.»

گروه اینترتک در اظهار نظر جداگانه‌ای در مورد محموله‌ی نفتی شرکت لوندین این‌گونه اعلام کرده بود: «این فروش با آرم کربن صفر گواهی‌شده‌ی گروه اینترتک صورت خواهد گرفت و جزئیات آن و تمام گواهی‌نامه‌های قابل رهگیری آن به‌صورت عمومی در فهرستی برای سرمایه‌گذاران، بازرگانان، ناظران و دیگر سهامداران و ذی‌نفعان اعلام می‌شود.»

شرکت اوکسیدنتال پترولیوم مستقر در تگزاس در ژانویه سال جاری اعلام کرده بود که اولین محموله‌ی نفت خام صد در صد کربن خنثی را فروخته است. آن‌ها اعلام کرده بودند که خنثی‌سازی انتشار کربن را از طریق خرید اعتبار کربن (Carbon Credit)* از بازار انجام داده‌اند، هرچند نقل‌وانتقال وجه آن به‌عنوان خرید اعتبار کربن برای خنثی‌سازی کربن از سوی هیچ مرجع ثالثی گواهی نشد. (برخلاف رویه معامله‌ی شرکت لوندین با شرکت ساراس).

لینک خبر:

https://www.reuters.com/business/sustainable-business/lundin-sells-its-first-carbon-neutral-oil-climate-activism-grows-2021-04-26/


مصارف گاز طبیعی بخش خانگی به‌ازای زیربنای مسکونی
آذربایجان شرقی ۲۵/۸۸
اردبیل ۲۵/۹۰
آذربایجان غربی ۲۲/۹۳
گیلان ۲۸/۴۲
زنجان ۲۵/۶۲
قزوین ۲۰/۸۳
البرز ۲۵/۴۲
مازندران ۲۹/۶۳
گلستان ۲۲/۱۰
خراسان شمالی ۲۵/۰۷
کردستان ۳۰/۴۱
تهران ۲۸/۵۱
سمنان ۲۰/۱۲
خراسان رضوی ۲۳/۲۴
همدان ۲۹/۲۱
قم ۲۱/۱۹
کرمانشاه ۲۱/۹۵
مرکزی ۲۴/۶۳
لرستان ۱۸/۷۴
اصفهان ۱۹/۸۰
ایلام ۱۴/۳۸
یزد ۱۳/۶۹
خراسان جنوبی ۱۳/۰۰
متر مکعب در متر مربع مسکونی
۳۰/۴۱۴
۰/۱۱
چهارمحال و بختیاری ۲۱/۸۶
خوزستان ۵/۹۷
کهگیلویه و بویراحمد ۱۵/۳۴
کرمان ۱۱/۶۸
فارس ۱۲/۶۴
بوشهر ۲/۲۸
هرمزگان ۰/۱۲
سیستان و بلوچستان ۰/۴۹
وابسته بودن دامنه تغییرات شاخص های شدت انرژی در بخش خانگی در بین استان ها به تراکم جمعیت و مسائل اقلیمی
لزوم توجه سیاستگذاران بخش انرژی کشور به توسعه ظرفیت تولید گاز طبیعی در کشور، توسعه متوازن شبکه‌های انتقال و توزیع گاز طبیعی در استان‌های شمالی و جنوبی کشور
سهم بالای تقاضای گاز طبیعی در تأمین تقاضای انرژی نهایی بخش خانگی در استان‌های شمالی و سردسیر
مدیریت تقاضا و تمرکز بر بهینه سازی انرژی به ویژه در بخش گرمایش ساختمان‌های مسکونی در استان‌های دارای شدت انرژی بالا در بخش خانگی
گروه دورنمای استانی موسسه مطالعات بین المللی انرژی
اعداد مصارف سال ۱۳۹۷

راهکارهای فناورانه برای دستیابی به انتشار خالص صفر تا ۲۰۵۰ (بر مبنای گزارش IRENA ۲۰۲۱)

اعظم محمدباقری پژوهشگر ارشد موسسه مطالعات بین المللی انرژی

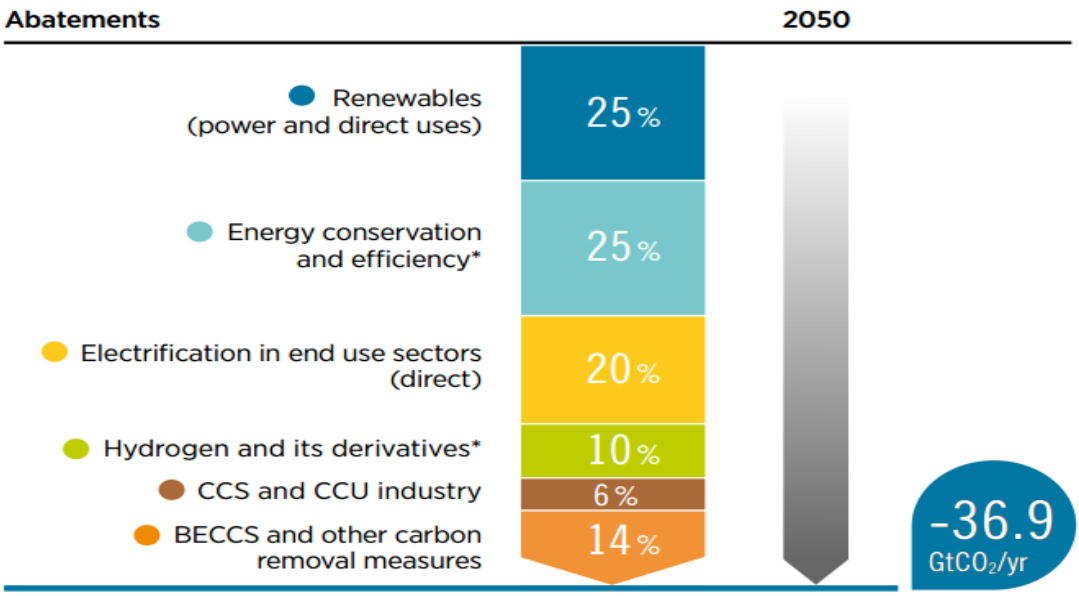
۱. مقدمه

بر اساس اهداف توافقنامه پاریس، محدود نمودن افزایش گرمای زمین بین ۱/۵ تا ۲ درجه نیازمند آن است که خالص انتشار گازهای گلخانه‌ای در جهان تا سال ۲۰۵۰ به صفر برسد. قرار گرفتن جهان در یک مسیر پایدار و با انتشار خالص صفر نیازمند مجموعه‌ای از فناوری‌ها در کلیه بخش‌های اقتصادی است. اغلب این فناوری‌ها برای دستیابی به انتشار خالص صفر در بخش انرژی معرفی‌شده‌اند، هرچند که همه آن‌ها هنوز به‌صورت کاربردی مورداستفاده قرار نگرفته‌اند. آژانس بین‌المللی انرژی در چشم‌انداز فناوری‌های ۲۰۲۰ بیان می‌کند که هدف انتشار خالص صفر بدون فناوری و سازگاری آن با سیستم انرژی امکان‌پذیر نخواهد بود و بدین منظور کاهش هزینه و بهبود عملکرد در طیف وسیعی از این فناوری‌ها بسیار ضروری است. ازآنجاکه توسعه فناوری‌های جدید و تجاری‌سازی آن‌ها یک فرایند طولانی‌مدت است و پیش‌بینی فناوری‌ها و ایده‌هایی که منجر به تولید فناوری می‌شوند، امکان‌پذیر نیست، لذا در سناریوی توسعه پایدار؛ مجموعه‌ای از فناوری‌ها را در نظر گرفته و مسیر دستیابی و مقیاس تجاری آن‌ها را همراه با اطلاعات عملکرد و هزینه‌های مربوطه در دسترس قرار داده است. در این سناریو بیان شده که با بهره‌گیری از چهار رویکرد اصلی فناورانه «استفاده از برق در بخش‌های مصرف‌کننده نهایی مانند گرمایش و حمل‌ونقل، استفاده از فناوری‌های جذب و ذخیره‌سازی کربن، استفاده از سوخت‌های کم‌کربن و استفاده از انرژی‌های زیستی» می‌توان حدود نیمی از انتشار تجمعی جهان را کاهش داد. البته رویدادهای غیرمنتظره در آینده و نحوه پاسخگویی شرکت‌ها، سرمایه‌گذاران و حتی دولت‌ها می‌تواند بهره‌مندی از این فناوری‌ها را به تعویق انداخته و یا استفاده از آن‌ها را با اختلال مواجه کند. بدین ترتیب قسمت عمده‌ای از کاهش انتشار می‌تواند از طریق استقرار فناوری‌های اثبات‌شده موجود و تجاری در سطح جهان و در چهار بخش کلیدی؛ انرژی، صنعت، حمل‌ونقل و ساختمان اتفاق بیافتد که این امر می‌تواند حدود دوسوم انتشار را کاهش دهد. چنانچه تمایل دولت‌ها و شرکت‌ها بر آن باشد که با سرعت بیشتری به هدف انتشار خالص صفر دست یابند، باید زمینه لازم جهت تسریع و پیشرفت فناوری‌هایی که در مراحل اولیه و آزمایشگاهی هستند را فراهم نمایند. پیش‌بینی‌ها نشان می‌دهد که با توجه به ریسک‌های شناسایی‌شده و هزینه‌بر بودن هدف کاهش انتشار خالص صفر در سال ۲۰۵۰، باید سرمایه‌گذاری‌ها در حوزه نوآوری در تولید فناوری‌هایی که هم‌اکنون در مراحل آزمایشگاهی و اولیه هستند، متمرکز شوند، زیرا سرعت نوآوری در دهه‌های آتی به‌طور مستقیم متأثر از سیاست‌هایی است که دولت‌ها در شرایط فعلی پیش‌رو قرار داده‌اند، به‌ویژه باوجود بحران اخیر «پاندمی کووید- ۱۹» که سبب تأخیر در تجاری‌سازی و استفاده از فناوری‌ها شده است، فناوری‌های جدید نیازمند حمایت افزونتر دولت‌ها به‌منظور قابلیت رقابت‌پذیری بیشتر خواهند بود. آژانس بین‌المللی انرژی‌های تجدید پذیر-ایرنا (IRENA) در گزارش اخیر خود با عنوان «چشم‌انداز گذار انرژی جهان؛ مسیر ۱/۵ درجه» مجموعه‌ای از راهکارهای فناورانه را برای دستیابی به هدف انتشار خالص صفر جهان تا سال ۲۰۵۰

معرفی نموده و به کشورها توصیه می‌کند که استفاده از این راهکارها نیازمند سیاست‌گذاری‌ها و اقدامات مناسب در کنار محرک‌های غیر فناوری نظیر تغییر رفتار مصرف و تغییرات زیرساختی است. در ادامه، مجموعه فناوری‌هایی که در این گزارش آمده است موردبررسی قرار می‌گیرد.

۲. راهکارهای فناورانه برای دستیابی به اهداف آب‌وهوایی

تجزیه‌وتحلیل ایرنا نشان می‌دهد که بیش از ۹۰ درصد راهکارهای فناورانه کاهش انتشار گازهای گلخانه‌ای تا سال ۲۰۵۰ شامل استفاده از انرژی‌های تجدید پذیر، افزایش برقی کردن مصارف نهایی، بهبود کارایی انرژی، هیدروژن سبز و تلفیق بیوانرژی با CCS با موفقیت همراه خواهند بود. این فناوری‌ها که کربن‌زدایی سیستم‌های انرژی را به دنبال دارند در صورت مناسب بودن سیاست‌ها و اقدامات موردنیاز می‌توانند به‌سرعت و در مقیاس مطلوب بکار گرفته شوند. میزان تأثیرگذاری هر یک از این فناوری‌ها در کاهش انتشار ۳۶/۹ گیگا تنی در سال ۲۰۵۰ در شکل ۱ نشان داده‌شده است. بر این اساس سهم استفاده از انرژی‌های تجدید پذیر و کارایی انرژی در کاهش انتشار سال ۲۰۵۰ هر یک ۲۵ درصد، برقی شدن مصارف نهایی ۲۰ درصد، استفاده از هیدروژن ۱۰درصد، فناوری‌های CCS و CCU، ۶درصد و سایر فناوری‌های حذف کربن و انرژی زیستی در تلفیق با CCS، ۱۴ درصد خواهد بود. بدین ترتیب بازارها و مدل‌های کسب‌وکار این فناوری‌ها همچنان درحال‌توسعه بوده و با همین گزینه‌های موجود، می‌توان به پیشرفت‌های قابل‌ملاحظه‌ای دست‌یافت بی‌آنکه نیازی به ارائه راهکارهای جدید باشد. بااین‌حال پیشبرد فناوری‌های گذار انرژی در سطوح معین و با سرعتی سازگار باهدف ۱/۵ درجه، نیازمند سیاست‌ها و اقدامات هدفمند خواهد بود.



شکل ۱: سهم فناوری‌های مختلف در کاهش کربن سال ۲۰۵۰ در سناریوی ۱/۵

۲-۱-استقرار انرژی‌های تجدیدپذیر

سیاست‌هایی که از به‌کارگیری فناوری‌ها و راهکارهای انرژی تجدید پذیر حمایت می‌کنند، با توجه به سطح توسعه هر بخش متفاوتند. ازاین‌رو انتخاب ابزار و طراحی آن باید با توجه به سطح توسعه بخش و ساختار سازمانی سیستم و اهداف گسترده‌تر سیاست‌گذاری صورت گیرد. افزایش استفاده از انرژی‌های تجدید پذیر در تولید برق مستلزم تنظیم مقررات و قیمت‌گذاری است. ابزارها و سیاست‌های استقرار منابع تجدیدپذیر در تولید برق

از اوایل سال ۲۰۰۰ میلادی در بخش برق توسعه یافته‌اند. با تحولات بازار و با تغییر سطح بلوغ فناوری‌ها و بازارها، این ابزارها نیز با شرایط سازگار شده و هم‌زمان با رشد سهم برق تجدید پذیر، یکپارچگی، انعطاف‌پذیری و ابعاد طراحی بازار برق نیز توسعه‌یافته است. این ابزارها می‌توانند کاربرد تجدیدپذیرها را در مقایسه با استفاده از سوخت‌های فسیلی در تولید برق رقابت‌پذیر کرده و مقرون‌به‌صرفه نماید. سیاست‌های قیمت‌گذاری مانند تعدیل سطح تعرفه‌ها می‌توانند به کاهش هزینه‌های فناوری مورداستفاده و رشد آن کمک کند. در غیر این صورت باید قیمت‌ها را از طریق رقابت تعیین کرد که به‌این‌ترتیب قدرت رقابت برق با توجه به شرایط خاص هر کشور تعیین خواهد شد.

۲-۱-۱-انگیزه‌های مالی افزایش استفاده از تجدید پذیرها در مصارف نهایی

انگیزه‌های مالی نظیر یارانه‌ها، کمک‌های بلاعوض یا وام، معافیت‌های مالیاتی و غیره برای حمایت از گذار انرژی در مصارف نهایی بسیاری از حوزه‌ها موردنیاز است. این ابزارها مکمل مقررات و مکانیسم‌های قیمت‌گذاری است که با بهبود دسترسی به سرمایه و کمک به تأمین مالی، مسیر گذار انرژی را به‌طور عادلانه برای همه مصرف‌کنندگان نهایی هموار خواهند کرد. به‌عنوان‌مثال معافیت‌های مالیاتی نقش مهمی را در توسعه انرژی خورشیدی و بادی در ایالات‌متحده داشته است. البته اعتبارات تسهیلات باید برای جذب سرمایه‌گذاری‌های پایدار بلندمدت باشد تا عدم قطعیت‌ها به‌واسطه چرخه‌های متعدد رکود و رونق کاهش یابد. یارانه‌های سرمایه‌ای برای تکنولوژی‌های برق تجدیدپذیر به‌منظور کاهش هزینه‌های اولیه در زمان استقرار کمک قابل‌توجهی به مصرف‌کنندگان نهایی به‌ویژه گروه هدف با درآمد پایین خواهد نمود. علاوه بر این، کمک‌های مالی به‌منظور حمایت از تحقیق و توسعه برای استقرار گسترده‌تر فناوری‌ها و یکپارچه‌سازی انرژی‌های تجدیدپذیر در بخش برق می‌تواند نتیجه‌بخش باشد.

بااین‌حال هرچند در بخش برق ابزارهای حمایتی به میزان مؤثرتری بکار گرفته‌شده‌اند، اما این ابزارها برای استفاده مستقیم از انرژی‌های تجدیدپذیر در سیستم‌های گرمایش، سرمایش و حمل‌ونقل هنوز به سطح قابل قبولی نرسیده‌اند. در سیستم‌های گرمایش و سرمایش، راهکارهای متمرکز مانند استفاده از انرژی‌های تجدیدپذیر و راهکارهای غیرمتمرکز مانند آبگرم‌کن‌های خورشیدی خانگی در مقایسه با سوخت‌های فسیلی هنوز از صرفه اقتصادی برخوردار نیستند. استفاده از این ابزارها در حمل‌ونقل نیز نیازمند مشوق‌های به‌کارگیری سوخت‌های زیستی و تحقیق و توسعه در این زمینه است. در سال ۲۰۱۶ کشور آرژانتین معافیت مالیاتی برای تولید سوخت های زیستی وضع کرد و سوئد مالیات بر اتانول و بیودیزل را کاهش داد. ازاین‌رو بسیار مهم است که سیاست جامعی اتخاذ شود که چارچوب کلی اجتماعی – اقتصادی و اقدامات مختلف سیاست‌گذاری در جهت گذار انرژی را مدنظر داشته باشد.

۲-۱-۲-سرمایه‌گذاری در ایجاد زیرساخت‌ها

با توجه به شرایط خاص هر منطقه، سرمایه‌گذاری نقش اساسی در ارتقا و گسترش شبکه‌های برق و به‌طورکلی استقرار تجدیدپذیرها در تولید برق، سیستم‌های گرمایش، سرمایش و حمل‌ونقل دارد. در صورت هم‌راستا بودن چرخه‌های سرمایه‌گذاری با اهداف انتشار خالص صفر، بازار بزرگی برای فناوری های جدید ایجاد می‌شود و حجم عظیمی از انتشارکاهش می‌یابد. ازاین‌رو در برخی از بخش‌های انرژی، زمان محقق شدن سرمایه‌گذاری و در دسترس قرار گرفتن فناوری جدید بسیار حائز اهمیت است. افزایش بودجه تحقیق و توسعه در حوزه فناوری‌های کم‌کربن و سرمایه‌گذاری در پروژه‌های کلیدی که به فاز اجرایی وارد شده‌اند نیز از دیگر چالش‌های پیش‌رو در این بخش‌ها است. پیش‌بینی‌ها نشان می‌دهد درصورتی‌که فناوری‌های مناسب در بخش‌های تولید فولاد، سیمان (با عمر مفید به‌طور متوسط ۴۰ سال) و مواد شیمیایی (با عمر مفید به‌طور متوسط ۳۰ سال) به‌موقع و در زمان مناسب وارد چرخه نوسازی ۲۵ ساله شوند، از انتشار تقریباً ۶۰

گیگاتن دی‌اکسید کربن (معادل ۳۸ درصد کاهش انتشار) جلوگیری خواهد شد. به این منظور در این بخش‌ها با توجه به عمر مفید تجهیزات در طی این چرخه ۲۵ ساله، تجهیزات اولیه با تجهیزات پاک جایگزین می‌شوند و فناوری‌های جدید به‌صورت تجاری در دسترس قرار خواهند گرفت.

۳-برقی شدن مصارف نهایی

تا سال ۲۰۵۰، برق اصلی‌ترین حامل انرژی خواهد بود و سهم آن از ۲۱ درصد در مصرف نهایی انرژی سال ۲۰۱۸ به ۵۰ درصد در سال ۲۰۵۰ افزایش خواهد یافت. قسمت عمده این افزایش درنتیجه استفاده از برق تجدیدپذیر به‌جای سوخت‌های فسیلی در مصارف نهایی است. با وقوع این تغییر، نرخ رشد سالانه فناوری‌های تجدیدپذیر هشت برابر زمان کنونی خواهد بود. برقی شدن مصارف نهایی چندین بخش ازجمله حمل‌ونقل با ورود بیشتر وسایل نقلیه برقی تغییر شکل خواهد داد، به‌طوری‌که ۸۰ درصد کل فعالیت‌های حمل‌ونقل در سال ۲۰۵۰ را شامل می‌شود. برقی شدن مصارف نهایی رکن مهمی از گذار انرژی را نشان می‌دهد. اهداف انرژی تجدید پذیر باید تقاضای رو به افزایش برقی شدن مصارف نهایی را هم‌زمان با اهداف بلندمدت کربن‌زدایی در نظر بگیرد.

– برقی شدن سیستم‌های گرمایش و سرمایش

تحقیقات نشان می‌دهد که پمپ‌های حرارتی دو تا چهار برابر کارآمدتر از سیستم‌های گرمایش و سرمایش متداول فعلی بوده و استفاده از آن‌ها بیشتر به‌واسطه ایجاد انگیزه‌های مالی و مشوق‌های مالیاتی پشتیبانی می‌شود. به‌عنوان‌مثال، دانمارک مالیات سیستم‌های گرمایشی مبتنی بر برق را به‌عنوان بخشی از برنامه کاهش سوخت‌های فسیلی تا سال ۲۰۵۰ کاهش داده است. برنامه مشوق بازار آلمان نیز ۳۶۰ میلیون دلار در سال کمک و وام برای سیستم‌های حرارتی تجدید پذیر در نظر گرفته است. چین نیز یارانه دولتی ۱۰ درصدی برای پمپ‌های حرارتی بسته به ظرفیت و راندمان گرمایش آن‌ها اختصاص داده است.

– برقی شدن حمل‌ونقل

در بخش حمل‌ونقل به‌کارگیری وسایل نقلیه الکتریکی به کمک سیاست‌های توانمندسازی همچنان در حال رشد است. اهداف بسیاری در زمینه استفاده از وسایل نقلیه برقی در سطح ملی و زیر بخش‌ها در نظر گرفته‌شده است. به‌عنوان‌مثال کاستاریکا قصد دارد که ۱۰۰ درصد فروش خودروها تا سال ۲۰۵۰ با انتشار صفر باشند و هدف ژاپن آن است که همه خودروها را تا سال ۲۰۵۰ برقی کند. در چین به دلیل هدف برقی کردن خودروها تا سال ۲۰۲۵، مشوق‌های مالی زیادی برای حمایت از جذب خودروهای برقی ارائه‌شده است. آلمان اخیراً برای خریداران خودروهای برقی پاداش در نظر گرفته است. البته نباید فراموش کرد که سیاست‌های حمایتی مرتبط با گذار فناوری‌ها اغلب موقت بوده و زمانی که این فناوری‌ها به برابری قیمت برسند و توسعه و استقرار آن‌ها در سازگاری با اهداف بلندپروازانه گذار انرژی قرار گیرد، پایان می‌یابند. ازجمله ابزارهای سیاستی دیگر، اخذ مالیات از خودروها بر اساس میزان آلایندگی آن‌ها است. از طرفی برقی کردن حمل‌ونقل همچنین مستلزم سرمایه‌گذاری قابل‌توجه در زمینه ایجاد زیرساخت‌ها می‌باشد، به‌خصوص برای شارژ وسایل نقلیه برقی که بیش از ۸۰ درصد کل حمل‌ونقل جاده‌ای را تا سال ۲۰۵۰ به خود اختصاص می‌دهد. ورود این وسایل برقی به بازار منوط به سرمایه‌گذاری‌های بسیار زیاد در زیرساخت‌ها و شبکه‌های برق‌رسانی است. وسایل نقلیه سنگین مانند کامیون‌های حمل بار در مسیرهای طولانی، کشتی‌ها و هواپیماها بعید است که به‌طور کامل برقی شوند و نیاز به سرمایه‌گذاری‌های زیاد در زیرساخت‌ها و استفاده از راهکارهای تجدیدپذیر مبتنی بر سوخت‌های زیستی و هیدروژن سبز دارند.

۴-بهبود کارایی انرژی

صرفه‌جویی و بهره‌وری انرژی حدود یک‌چهارم کاهش انتشار موردنیاز در بخش انرژی را در مسیر ۱/۵ درجه تأمین می‌کند.

کارایی انرژی، اقدامات مربوط به کاهش تقاضا و بهبود کارایی در صنعت، ساختمان و بخش حمل‌ونقل است. تکنولوژی‌ها و اقدامات مربوط به بهره‌وری انرژی، راه‌حل‌های در دسترس هستند. سیاست‌ها و اقدامات افزایش صرفه‌جویی در مصرف انرژی و بهره‌وری برای کاهش مصرف نهایی انرژی بسیار حیاتی است و این رقم باید از ۳۷۸ EJ (exajoule) در سال ۲۰۱۸ به ۳۴۸ EJ در سال ۲۰۵۰ کاهش یابد که بیانگر کاهش ۶۰ درصدی شدت انرژی تا این سال می‌باشد. سهم مهمی از کاهش مصرف انرژی نیز درنتیجه تغییرات رفتاری و ساختاری خواهد بود که حدود یک‌دهم بهبود کارایی انرژی را به خود اختصاص خواهد داد.

۴-۱-افزایش کارایی و صرفه‌جویی انرژی در سرمایش و گرمایش

سیاست‌های بهره‌وری انرژی برای گذار انرژی در ساختمان‌ها و فرایندهای صنعتی مانند پشتیبانی از مقاوم‌سازی ساختمان، سیاست‌های برچسب انرژی و استانداردهای لوازم‌خانگی و غیره در افزایش بهره‌وری انرژی بسیار مهم هستند. این روش‌ها اغلب در میان‌مدت مقرون‌به‌صرفه بوده و می‌توانند رقابت هزینه‌های گرمایش و سرمایش با منبع تجدیدپذیر را افزایش دهند. به‌منظور ارتقای شبکه‌های قدیمی گرمایش و سرمایش منطقه‌ای با کارایی پایین و درجه حرارت بالا (مبتنی بر سوخت‌های فسیلی) به سرمایه‌گذاری بالایی نیاز است، زیرا بسیاری از این سیستم‌ها با فناوری‌های تجدیدپذیر سازگار نیستند و نیاز به فناوری‌های جدید دارند. ازاین‌رو مشوق‌ها و انگیزه‌های مالی به‌منظور تأمین هزینه‌های بالای سرمایه‌ای و کاهش ریسک‌های مالی در این بخش ضروری است. به‌طورکلی افزایش دانش و آگاهی کاربران نهایی نیز نقش مهمی در اثربخشی اقدامات مربوط به بهره‌وری انرژی ایفا می‌کنند.

۴-۲-افزایش صرفه‌جویی انرژی در بخش حمل‌ونقل

کربن‌زدایی بخش حمل‌ونقل، مستلزم تغییر از روش‌های انرژی‌بر به روش‌های کم‌کربن است. یک تغییر کیفی می‌تواند به میزان قابل‌ملاحظه‌ای کارایی انرژی بخش حمل‌ونقل را به‌ویژه در بافت شهری بهبود دهد. تغییرات ساختاری و سیاست‌های رفتاری در بخش حمل‌ونقل می‌توانند از طریق ترویج استفاده از حمل‌ونقل عمومی و سایر خدمات و تغییر الگوی فعالیت (به‌عنوان‌مثال دورکاری) تأثیر چندوجهی داشته باشد. کاهش حجم ترافیک، تقاضای سوخت‌های تجدیدپذیر شامل سوخت‌های زیستی و برق را برای شارژ خودروهای برقی کاهش می‌دهد. طراحی مناسب مراکز تجاری و مسکونی به دلیل بهبود دسترسی می‌تواند نیازهای غیرضروری حمل‌ونقل را به میزان قابل‌توجهی کاهش داده و یا حتی از بین ببرد. فاصله کم فعالیت‌های تجاری می‌تواند حتی از حمل‌ونقل عمومی نیز کم کرده و استفاده از خودروهای شخصی را نیز کاهش دهد. سیاست‌های تشویقی برای حداکثر نمودن توسعه شهری، همراه با مسکن، مراکز تجاری، مؤسسات و فعالیت‌های سرگرمی در یک منطقه خاص شهری می‌توانند تحولات جدیدی ایجاد کنند و در شهرهای متراکم با تعداد زیاد ساکنین و مشاغل (در هر کیلومترمربع)، فاصله سفر را کاهش دهند. الگوهای جدید فعالیت نظیر دورکاری و آموزش آنلاین نیز به این امر کمک می‌کند.

۵-حمایت از توسعه هیدروژن سبز

هیدروژن و ترکیبات آن تا سال ۲۰۵۰، ۱۲ درصد مصرف نهایی انرژی را به خود اختصاص خواهند داد. آن‌ها نقش بسیار مهمی را در کربن‌زدایی و بخش‌های انرژی‌بر مانند فولاد، مواد شیمیایی، حمل نقل با مسافت دور، کشتیرانی و هواپیمایی دارند. هیدروژن به تعادل عرضه و تقاضای برق تجدیدپذیر کمک می‌کند. حدود ۵۰۰۰ گیگاوات ظرفیت الکترولایزر تا سال ۲۰۵۰ موردنیاز خواهد بود که بسیار بیشتر از ۰/۳ گیگاوات امروز است. این مقیاس رشد بر اهمیت هیدروژن کم‌کربن تأکید می‌کند. در سال ۲۰۵۰، دوسوم کل هیدروژن به دلیل تولید از برق تجدیدپذیر سبز می‌شود و یک‌سوم آبی خواهد شد که از محل تلفیق با CCS خواهد بود. به‌منظور به رسمیت شناختن نقش هیدروژن سبز در پیشبرد گذار انرژی، چندین کشور سیاست‌های ویژه‌ای

را برای حمایت از آن معرفی کرده‌اند. تا سال ۲۰۱۹، ۱۵ کشور و اتحادیه اروپا سیاست‌های هیدروژن سبز را اجرا کرده‌اند که حدود دوسوم آن‌ها بر بخش حمل‌ونقل متمرکز بوده است. بااین‌حال حمل‌ونقل تنها یک بخش مصرف‌کننده نهایی در زنجیره ارزش هیدروژن است. هر قسمت از زنجیره ارزش هیدروژن شامل الکترولایزر، حمل‌ونقل، ذخیره‌سازی، تبدیل به سایر حامل‌های انرژی و خوراک (آمونیاک، متانول، سوخت‌های مصنوعی) تا سطح موردنیاز برای گذار انرژی ضروری است و مستلزم اقدامات سیاستی و اختصاصی برای هر بخش از زنجیره ارزش هیدروژن است. با توجه به این واقعیت که هیدروژن سبز در طیف وسیعی از مصارف نهایی انرژی کاربرد دارد، بسیاری از کشورها به تدوین استراتژی ملی هیدروژن سبز پرداخته‌اند که می‌توانند به‌عنوان یک نقطه عطف برای جذب سرمایه‌گذاری بخش خصوصی باشد. بااین‌حال باید در نظر داشت که هیدروژن نمی‌تواند جایگزین کامل سوخت‌های فسیلی باشد بلکه یکی از گزینه‌های کربن‌زدایی است که باید در تعیین اولویت‌ها در نظر گرفته شود. اتخاذ سیاست‌ها و اقدامات توانمندسازی برای ایجاد فضای اقتصادی- اجتماعی که بر پایداری و سرعت گذار انرژی تأثیر می‌گذارد، به هیدروژن سبز اجازه می‌دهد که بخشی از سیستم انرژی شود.

۶-استفاده پایدار از انرژی زیستی

انرژی زیستی پایدار یک فناوری مهم برای گذار انرژی است و ۱۸ درصد کل مصرف نهایی انرژی را در سال ۲۰۵۰ به خود اختصاص خواهد داد. افزایش تولید پایدار و استفاده از بیوماس در کل سیستم انرژی ضروریست و استفاده بیشتر از آن نقش مهمی را برای برآورده نمودن اهداف کربن‌زدایی در بخش‌های مصرف‌کننده نهایی شامل برق، گرمایش/ سرمایش و حمل‌ونقل ایفا خواهد کرد. در مسیر ۱/۵ درجه، انرژی زیستی برای فراهم نمودن گرما در فرایندهای صنعتی، پخت‌وپز، گرمایش فضا و به‌عنوان سوخت حمل‌ونقل به‌ویژه حمل‌ونقل هوایی استفاده خواهد شد. همچنین به‌عنوان خوراک در صنعت پتروشیمی برای تولید مواد شیمیایی و پلاستیک کاربرد خواهد داشت. تلفیق بیوانرژی با □□□ در بخش برق و برخی از بخش‌های صنعتی، خالص انتشار منفی را در راستای دستیابی به هدف انتشار خالص صفر ارائه می‌دهد. به‌طورکلی چارچوب سیاست‌گذاری برای انرژی زیستی پایدار، باید ابعاد استراتژی بلندمدت، حمایت مالی، دسترسی بازار و حمایت از نوآوری را برای اطمینان از رعایت استانداردهای مرتبط با اثرات اجتماعی، اقتصادی و زیست‌محیطی در نظر بگیرد.

۷-جمع‌بندی و نتیجه‌گیری

به‌منظور دستیابی به هدف انتشار خالص صفر، مجموعه‌ای از راهکارهای فناورانه توسط آژانس بین‌المللی انرژی‌های تجدید پذیر پیشنهادشده است که مبتنی بر بخش انرژی است. درحالی‌که این راهکارها شرایط را برای گذار انرژی به‌طور یکپارچه فراهم کرده‌اند، سیاست‌ها و اقدامات خاصی برای افزایش به‌کارگیری فناوری‌های مختلف شامل استفاده از تجدیدپذیرها در تولید برق و به‌صورت استفاده مستقیم، کارایی انرژی و ترویج فرهنگ مصرف بهینه آن، برقی کردن مصارف نهایی، حمایت از توسعه هیدروژن سبز و استفاده از انرژی‌های زیستی، موردنیاز است. درواقع، سطوح استقرار موردنیاز این فناوری‌ها تا سال ۲۰۳۰ با سیاست‌های حمایت‌کننده و راه‌حل‌های بازار، همراه با کاهش هزینه‌ها و افزایش سرمایه‌گذاری مطابق با نیازهای گذار انرژی محقق شده و در مسیر اجرا تا سال ۲۰۵۰ قرار می‌گیرد.

بر مبنای این گزارش، مقرون‌به‌صرفه شدن پتانسیل استفاده از انرژی‌های تجدیدپذیر در جهان، آن‌ها را به گزینه‌ای رقابت‌پذیر با سوخت‌های فسیلی و بخش جدایی‌ناپذیر از گذار انرژی تبدیل کرده است. تأکید بر استفاده از انرژی‌های تجدیدپذیر در بخش برق و نیز استفاده از آن‌ها به‌صورت مستقیم، بخش قابل‌توجهی از راهکارهای گذار انرژی در راستای تحقق سیاست ۱/۵ درجه است؛ به‌طوری‌که سرعت بخشیدن به گذار انرژی مستلزم تمرکز مداوم بر بخش برق همراه با تلاش زیاد در بخش‌های گرمایش، سرمایش و حمل‌ونقل است و لذا

راهکارهای بسیاری برای برقی کردن مصارف نهایی در بخش‌های گرمایش، سرمایش و نیز حمل‌ونقل پیشنهادشده است.

تأکید بعدی این گزارش بر فناوری‌هایی است که منجر به کاهش تقاضای انرژی می‌شوند و هم‌افزایی‌های بیشتری را با توجه به اصول توسعه پایدار به همراه دارند. این فناوری‌ها عمدتاً شامل بهبود کارایی انرژی هستند که می‌توانند ۲۵ درصد از کاهش انتشار در سال ۲۰۵۰ را به خود اختصاص دهند. سایر راهکارهای فناورانه نیز هر یک تأثیر قابل‌توجهی در مسیر انتشار خالص صفر آژانس بین‌المللی انرژی‌های تجدید پذیر دارند. لذا آنچه مهم است ارتقا، نوسازی و توسعه زیرساخت‌ها در دهه آینده به‌منظور حمایت از این فناوری‌ها در راستای گذار انرژی است. توسعه‌های زیرساختی نیز باید با برنامه‌های بلندمدت هم‌تراز شده و منعکس‌کننده استراتژی‌های حضور در بازار باشند. نکته قابل‌توجه آن است که اگرچه مقیاس و سرعت استقرار فناوری‌های انرژی چالش‌برانگیز هستند، لیکن باید از منظر امکان‌سنجی و کارایی اقتصادی توجیه‌پذیر باشند و علاوه بر آن پذیرش اجتماعی را نیز همراه خود داشته باشند.

با توجه به تأکید جهان بر استفاده از فناوری‌های گذار انرژی به‌منظور کاهش انتشار گازهای گلخانه‌ای، وضعیت کشور از منظر استفاده از این فناوری‌ها، به شرح زیر قابل‌تأمل است:

– تردیدی نیست که سناریوی ۱/۵ درجه و هدف دستیابی به انتشار خالص صفر به معنی تغییر ترکیب انرژی جهان به نفع انرژی‌های تجدیدپذیر و کاهش تدریجی سوخت‌های فسیلی تا سال ۲۰۵۰ است. این سناریو به‌عنوان تهدیدی جدی برای کشورهای دارنده منابع نفت و گاز ازجمله کشور ما که عمده درآمدشان وابسته به این منابع است، محسوب شده و زنگ خطری جدی است که باید در برنامه‌ریزی‌های کلان به این نکته توجه شود.

– رشد سریع فناوری‌های افزایش کارایی انرژی تأثیر بسیار مطلوبی بر کاهش شدت مصرف انرژی و به‌تبع آن کاهش انتشار گازهای گلخانه‌ای خواهد داشت. ازآنجاکه به‌کارگیری این فناوری‌ها برای کشور در دسترس‌تر و به لحاظ هزینه مقرون‌به‌صرفه‌تر می‌باشد، ازاین‌رو بهترین راهکار در این شرایط، ایجاد زیرساخت‌های لازم، سیاست‌گذاری‌های منسجم و نظارت بر نحوه اجرای آن‌ها به‌منظور بهبود کارایی انرژی در بخش‌های مختلف به‌ویژه بخش انرژی است تا بتواند از شدت مصرف انرژی در کشور بکاهد.

– هرچند در اغلب موارد فعلا استفاده از تجدیدپذیرها در کشور در مقایسه با سوخت‌های فسیلی از مزیت اقتصادی قابل‌توجهی برخوردار نیست، لیکن تنوع شرایط آب و هوایی کشور، پتانسیل بالایی در به‌کارگیری انرژی‌های تجدیدپذیر ازجمله انرژی خورشیدی، انرژی باد و نیز انرژی زمین‌گرمایی دارد، لیکن بهره‌برداری از آن‌ها و دستیابی و توسعه فناوری‌های مربوطه در کشور بسیار محدود می‌باشد.

– استفاده از فناوری‌های با بازدهی بالا در بخش برق نیز از دیگر عوامل مؤثر در بهینه‌سازی مصرف انرژی در جهت کاهش انتشار گازهای گلخانه‌ای کشور و حائز توجه بیشتر است.

– ایجاد تحول و کاهش مصرف انرژی در سیستم حمل‌ونقل کشور نیز موضوعی بسیار مهم است. راهکارهایی برای مهار رشد مصرف بنزین در کشور و معضلات متعاقب آن، مشتمل بر راهکارهایی نظیر تولید خودروهای با مصرف سوخت و آلایندگی کمتر، توسعه زیرساخت‌های گذار انرژی در این بخش، تغییر الگوهای رفتاری و شغلی حمل و نقل، از رده خارج نمودن خودروهای فرسوده و ... میباشند. در این بخش، ساز و کارهای حمایتی برای توسعه فناوری‌های برقی‌سازی خودروها بسیار مورد تاکید است.

منابع:

1. H. Waisman, H. De Coninck and J. Rogelj." Key technological nablers for ambitious climate goals: insights from the IPCC special report on global warming of 1.5 °C", Environ. Res. Lett.14(2019)111001
2. IRENA (2021), World Energy Transitions Outlook: 1.5°C Pathway, International Renewable Energy Agency, Abu Dhabi.
3. IPCC, "Special Report on Global Warming of 1.5 °C, Chapter 2 ,Mitigation Pathways Compatible with 1.5°C in the Context of Sustainable Development", 2018

چالش‌های توسعه صنعت هیدروژن

سید صادق ضرغامی پژوهشگر موسسه مطالعات بین‌المللی انرژی

مقدمه

هشیاری جهانی در خصوص لزوم توجه به مسائل زیست‌محیطی و جلوگیری از افزایش دمای متوسط زمین و وقوع حوادث ناگوار طبیعی، کشورهای جهان را بر آن داشته است تا به دنبال توسعه منابع و حامل‌های انرژی پاک باشند. هیدروژن به دلیل ویژگی‌هایی که به‌عنوان یک حامل انرژی پاک دارد، موردتوجه بسیاری از کشورهای دنیا قرارگرفته است. هیدروژن، فراوان‌ترین عنصر جهان و در بین تمام گازها سبک‌ترین آن‌ها است. ساده‌ترین حالت مولکولی آن آب می‌باشد و با سوختن خود بدون تولید گاز دی‌اکسید کربن، تبدیل به بخارآب می‌شود. این ماده هم به‌عنوان سوخت (در بخش‌های تقاضای انرژی) و هم به‌عنوان ماده اولیه یا خوراک (در پالایشگاه‌ها و صنایع پتروشیمی.) مورد استفاده قرار میگیرد. یکی از ویژگی‌های این ماده قابلیت ذخیره‌سازی انرژی‌های تجدید پذیر و انتقال آن به بخش‌های مختلف مصرف می‌باشد.

در سال‌های اخیر، افزایش تعهدات و تمایلات جهانی نسبت به حفظ محیطزیست و کاهش انتشار کربن ازیک‌طرف و کاهش هزینه‌های تولید هیدروژن پاک به دلیل رشد فناوری‌ها و گسترش اقتصادی انرژی‌های تجدید پذیر از سوی دیگر، سبب شده است که استقبال بی‌نظیری از توسعه صنعت هیدروژن به عمل آید. در همین راستا، شرکت DNV چالش‌های توسعه این صنعت را به کمک هم‌اندیشی با بیش از ۱۱۰۰ خبره حوزه‌های مختلف صنعت هیدروژن در ۸۰ کشور، مورد بررسی قرار داده است. قبل از پرداختن به موضوع، بهتر است نگاهی بر دسته‌بندی جهانی انواع هیدروژن از منظر انرژی مصرفی جهت تولید آن‌ها، داشته باشیم.

انواع هیدروژن تولیدی با توجه به منبع انرژی مصرفی

هیدروژن سبز: هیدروژن سبز از طریق الکترولیز آب تولید می‌شود. برق این فرایند از منابع انرژی تجدیدپذیر تأمین می‌شود که یک سوخت پاک است ولی در حال حاضر تولید آن گران تمام می‌شود. انتظار می‌رود هزینه دستگاه‌های الکترولیز و انرژی‌های تجدیدپذیر در سال‌های آتی کاهش یابد که در این صورت، استفاده از انرژی سبز بیشتر توسعه پیدا خواهد کرد.

هیدروژن آبی: هیدروژن آبی از سوخت‌های فسیلی تولید می‌شود اما در این روش برای جلوگیری از انتشار کربن از فناوری‌های جذب و ذخیره‌سازی کربن (CCS) یا (Carbon Capturing and Storage) استفاده می‌شود. وجود گاز طبیعی و زغال‌سنگ فراوان، سبب توسعه هیدروژن آبی و درنتیجه توسعه اقتصاد هیدروژنی می‌شود. با این‌وجود، این روش به استفاده گسترده و اقتصادی از فناوری‌های جذب و ذخیره‌سازی کربن وابسته است.

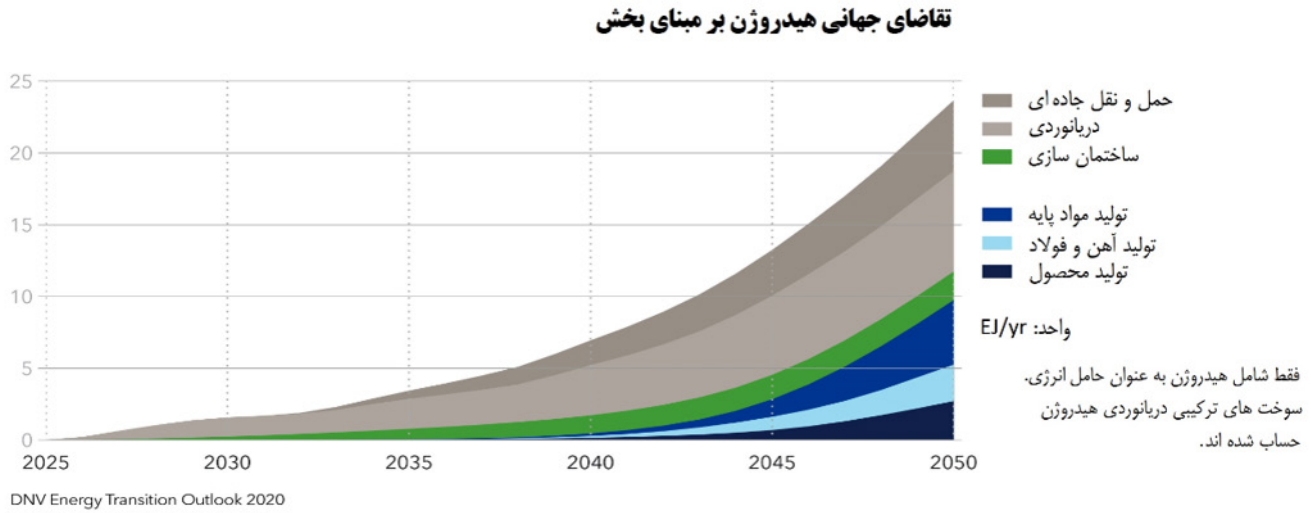
هیدروژن خاکستری/قهوه‌ای: هیدروژن خاکستری به‌طورمعمول در فرایندی با عنوان ریفرمینگ بخار متان(SMR) یا (Steam Methane Reforming) و هیدروژن قهوه‌ای با استفاده از فرایند گازی‌سازی زغال‌سنگ تولید می‌شوند.

این روش‌ها در حال حاضر به‌طور گسترده و فراگیر مورداستفاده قرار می‌گیرند و نسبتاً ارزان هستند، ولی موجب انتشار مقدار قابل‌توجهی دی‌اکسید کربن می‌شوند.

برای بخش حمل‌ونقل دریایی آغاز گردد. از سال ۲۰۳۰ عرضه آن در بخش ساختمان و حمل‌ونقل جاده‌ای شروع و از سال ۲۰۴۰ در بخش‌های تولید مواد پایه‌ای، آهن، فولاد و محصولات، مورداستفاده قرار خواهد گرفت. رشد تولید هیدروژن برای بخش‌های مذکور به‌صورت افزایشی ادامه خواهد یافت.

تقاضای جهانی هیدروژن در بخش‌های مختلف

پیش‌بینی می‌شود عرضه انبوه هیدروژن از سال ۲۰۲۵



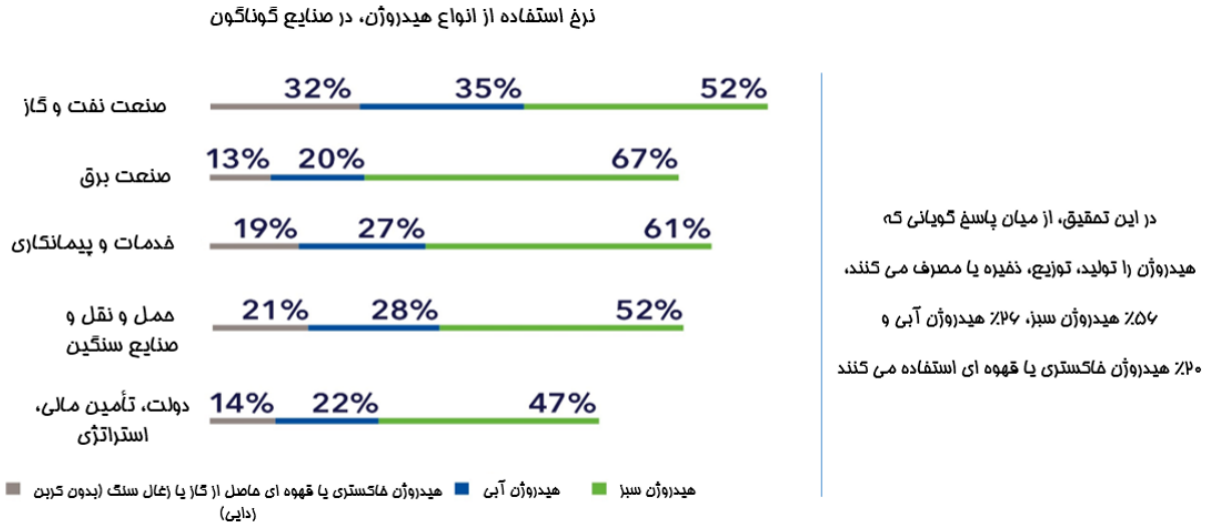
شکل ۱ : پیش‌بینی تقاضای جهانی هیدروژن در بخش‌های مختلف

به‌عنوان‌مثال، در بخش عرضه، در حال حاضر سهم برق از کل تقاضای انرژی ۲۰% می‌باشد. پیش‌بینی می‌شود میزان این سهم به‌عنوان بخشی از تقاضای کلی انرژی تا سال ۲۰۵۰ دو برابر شده و به حدود ۴۰% برسد. این نیاز جهانی منجر به افزایش تقاضای قابل‌توجهی برای حامل های انرژی های مختلف خواهد شد. با توجه تعهدات زیست‌محیطی جهانی، این تقاضای عظیم، به‌جای سوخت‌های فسیلی، باید با منابع انرژی کربن‌زدایی شده یا پاک مانند هیدروژن پوشش داده شود. در بخش تقاضا نیز، صنعت آهن و فولاد یکی از صنایعی است که می‌تواند تقاضای عظیمی برای هیدروژن ایجاد کند. بیش از شش میلیون تن سنگ‌آهن هرروز در سراسر جهان استخراج می‌شود که سالانه بالغبر دو میلیارد تن می‌شود. این صنعت عظیم کماکان در حال رشد است و پیش‌بینی می‌شود تولید سنگ‌آهن بین سال‌های ۲۰۲۱ تا ۲۰۲۵، ۵,۱% رشد پیدا کند. در فرآیند احیاء سنگ‌آهن، آهن‌خام که ماده اولیه تمام انواع فولاد است تولید می‌شود. این فرایند، آلاینده‌ترین بخش این صنعت است و همچنین حوزه‌ای است که هیدروژن می‌تواند بیشترین کمک را در کاهش آلاینده‌ها بنماید.

میزان مشارکت صنایع بزرگ در تولید انواع هیدروژن

صنایع بزرگ با توجه به ارزیابی خود از آینده بازار انرژی و میزان منابع در دسترس، در توسعه انواع هیدروژن مشارکت خواهند داشت. برآورد میزان این مشارکت (طبق پیش‌بینی خبرگان) در شکل ۲ نمایش داده‌شده است. همان‌طور که ملاحظه می‌شود بیشترین مشارکت‌ها به ترتیب در بخش تولید هیدروژن سبز، آبی و خاکستری می‌باشد. کشورهایی که دارای منابع نفت و گاز هستند،

ابتدا بخش تولید هیدروژن خاکستری و آبی را گسترش خواهند داد، ولی کشورهایی که منابع انرژی فسیلی قابل‌توجهی نداشته باشند، مستقیماً به دنبال توسعه انرژی‌های تجدیدپذیر و بالطبع هیدروژن سبز خواهند رفت.

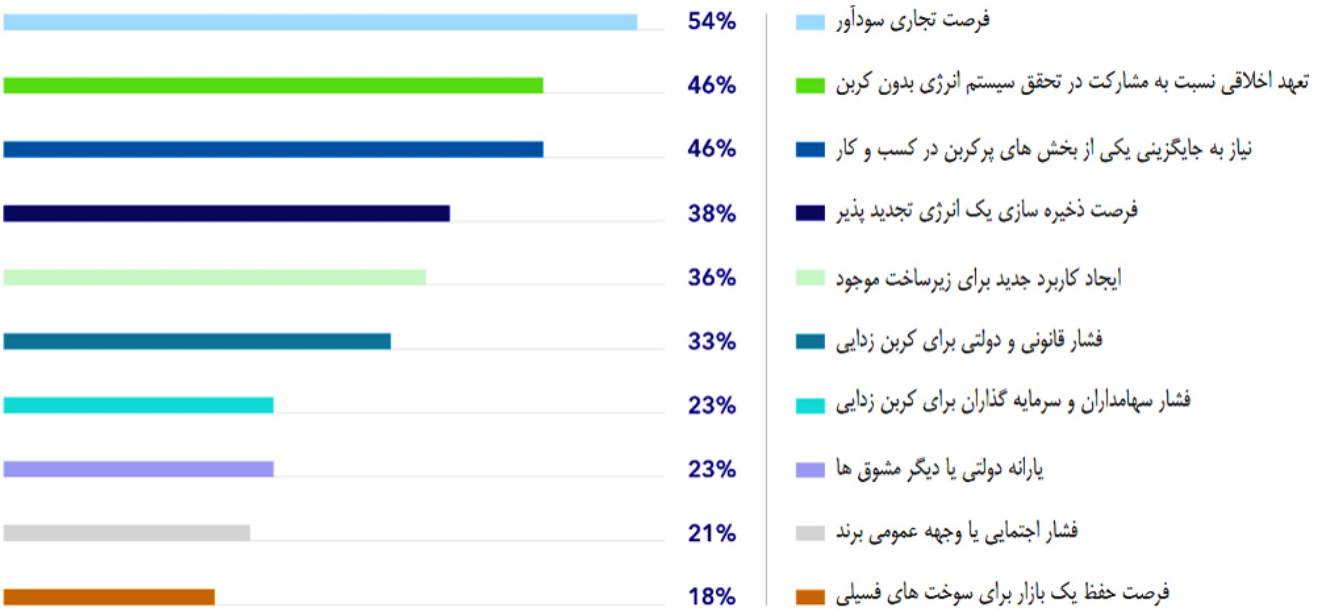


در این تحقیق، از میان پاسخ گویانی که هیدروژن را تولید، توزیع، ذخیره یا مصرف می کنند، ۵۶٪ هیدروژن سبز، ۲۶٪ هیدروژن آبی و ۲۰٪ هیدروژن خاکستری یا قهوه ای استفاده می کنند

شکل ۲: مشارکت صنایع بزرگ در توسعه مصرف انواع هیدروژن

انگیزه‌های توسعه هیدروژن

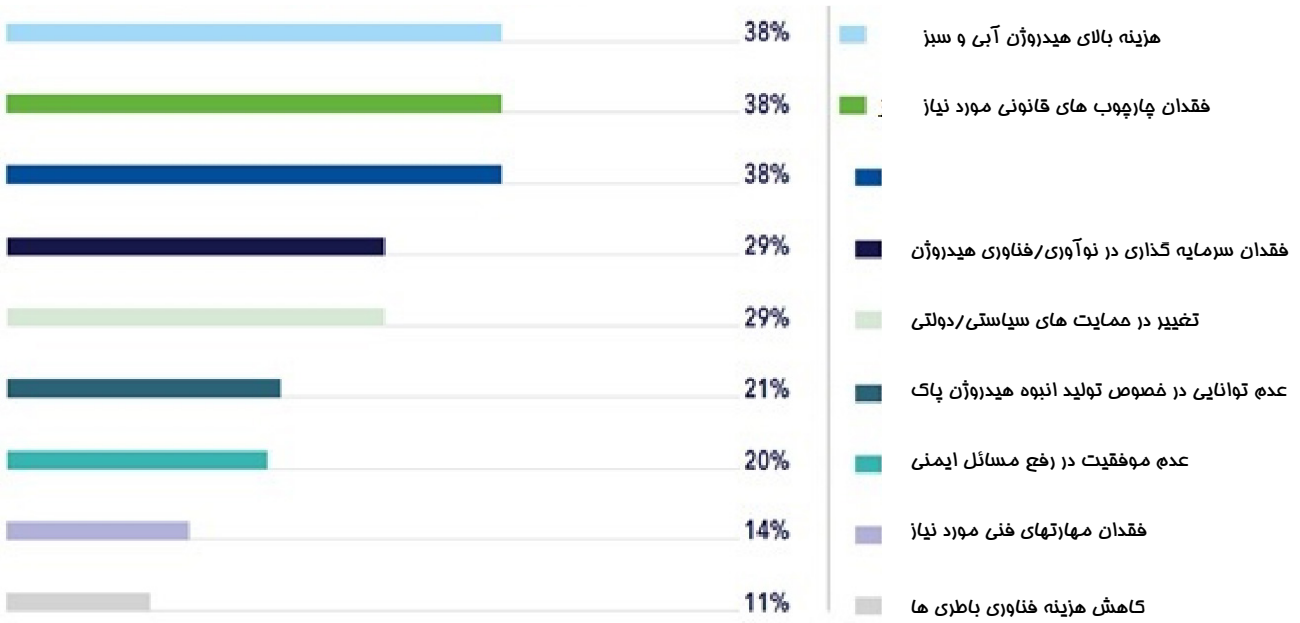
انگیزه‌های توسعه صنعت هیدروژن به ترتیب اولویت در شکل ۳ نمایش داده‌شده است. همان‌طور که مشاهده می‌شود انگیزه‌های اصلی توسعه، به ترتیب، ایجاد فرصت تجاری سودآور برای آینده و پایبندی به تعهدات زیست‌محیطی می‌باشد. کمک به گسترش استفاده از انرژی‌های تجدیدپذیر و فشارهای قانونی و اجتماعی، در اولویت‌های بعدی انگیزه توسعه هیدروژن قرار دارند.



شکل ۳: انگیزه‌های توسعه صنعت هیدروژن

مهم‌ترین ریسک‌ها در مسیر پیشرفت هیدروژن

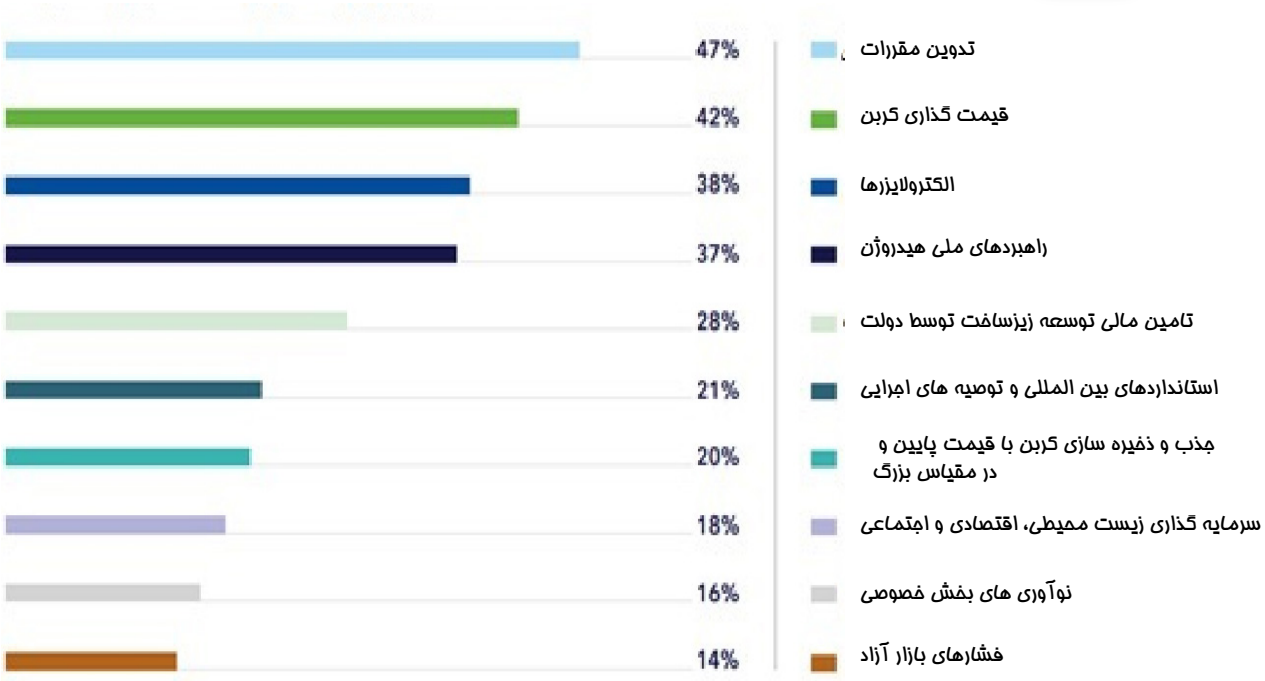
مهم‌ترین ریسک‌ها طبق نظر خبرگان، هزینه بالای کنونی تولید هیدروژن آبی و سبز، فقدان چارچوب‌های قانونی موردنیاز و فقدان سرمایه‌گذاری‌های لازم جهت توسعه زیرساخت‌ها می‌باشد. در اولویت‌های بعدی، به فقدان حمایت‌های دولتی، ملاحظات ایمنی، کمبود مهارت‌های فنی و بالا بودن هزینه فناوری پیل‌های سوختی، اشاره‌شده است (شکل ۴).



شکل ۴: فهرست ریسک‌های مهم در توسعه هیدروژن

مهم‌ترین توانمندسازهای هیدروژن تا سال ۲۰۳۰

خبرگان صنعت معتقدند که مهم‌ترین توانمندسازهای توسعه هیدروژن عبارتند از: تدوین مقررات، قیمت‌گذاری کربن، شرایط اقتصادی تولید هیدروژن توسط دستگاه‌های الکترولیز و تدوین راهبردهای ملی. عوامل مذکور برای جلب سرمایه‌گذاران و شفاف شدن محیط کسب‌وکار جهت توسعه هیدروژن بسیار حائز اهمیت می‌باشد. در قوانین و مقررات فعلی، چارچوب‌های حمایت‌های دولتی، سازوکارهای اجرای پروژه‌ها و ضمانت‌ها و تعهدات مشخص نیست. چنانچه کشوری به تعهدات زیست‌محیطی پایبند نباشد و به انتشارات کربن اهمیت ندهد و آن را جریمه‌گذاری ننماید، تولید هیدروژن، به‌صرفه نخواهد بود. برای تولید هیدروژن سبز، نیاز به توسعه انرژی‌های تجدیدپذیر و دستگاه‌های الکترولیز با قیمت اقتصادی می‌باشد. اهداف کلان و راهبردهای ملی نیز باید تدوین‌شده باشند تا سرمایه‌گذاران میزان تمایل کشورها به استفاده از هیدروژن و تعهدات زیست‌محیطی آن‌ها را بسنجند و سپس اقدام به سرمایه‌گذاری نمایند. علاوه بر عوامل مذکور، حمایت‌های مالی دولتی جهت توسعه زیرساخت‌ها، تدوین استانداردها، توسعه سیستم‌های جذب و ذخیره‌سازی کربن و فشارهای بازار آزاد، نیز جزء توانمندسازها ذکرشده‌اند (شکل ۵).



شکل ۵: اهم توانمندسازهای توسعه هیدروژن تا سال ۲۰۳۰

زیرساخت و هزینه بزرگ‌ترین موانع توسعه هیدروژن و تدوین قوانین مناسب به همراه سیاست‌های مناسب قیمت‌گذاری کربن، به‌عنوان مهم‌ترین توانمندسازها فرض می‌شوند. بررسی و ارائه راه‌حل‌های مناسب جهت فائق آمدن بر چالش‌های ایمنی نیز کلید گسترش اقتصاد هیدروژن می‌باشد. زیرساخت هیدروژن باید در مقیاس به‌اندازه کافی بزرگ، هزینه به‌اندازه کافی پایین و سرعت به‌اندازه کافی بالا، توسعه یابد تا اطمینان حاصل شود که اقتصاد آن می‌تواند نقش کلیدی در دوره گذار انرژی بازی کند. جهت انطباق و پذیرش هیدروژن، صنایع و رگولاتوری‌ها باید استانداردهای ایمنی مشخص برای کاربردهای مختلف این ماده تدوین نمایند.

قیمت‌گذاری هیدروژن

هیدروژن شامل ویژگی‌هایی است که آن را هم شبیه به برق و هم شبیه به سوخت‌های فسیلی می‌نماید. قیمت‌های برق معمولاً توسط رگولاتوری‌ها تعیین می‌شوند که هدفشان حفاظت از مصرف‌کنندگان و تضمین یک نرخ بازگشت سرمایه پایدار برای ارائه‌دهندگان خدمات می‌باشد. قیمت‌های سوخت‌های فسیلی اغلب توسط مؤلفه‌های بازار آزاد مشخص می‌شوند که سبب می‌شود ثبات نداشته باشند.

۴۱% خبرگان معتقدند که هیدروژن مانند نفت و گاز قیمت‌گذاری خواهد شد و مؤلفه‌های بازار، قیمت و نرخ بازگشت سرمایه را مشخص خواهند نمود و ۴۳% آن‌ها بر این باورند که هیدروژن مانند برق توسط رگولاتوری‌ها قیمت‌گذاری خواهد گردید و نرخ بازگشت سرمایه تنظیم‌شده و پایداری خواهد داشت.۱۶% باقی‌مانده شامل نظرات متفرقه بودند.

هیدروژن‌وبرقی‌شدن(الکتریکی‌سازی)(Electrification)

مسئله رقابت بین هیدروژن و الکتریکی‌سازی و اینکه کدامیک قادر خواهند بود سهم بیشتری از بازار آینده انرژی را از آن خود نمایند بحث چالش برانگیزی است. عده‌ای معتقدند که بازارهای آینده متعلق به باطری‌های الکتریکی خواهد بود و عده‌ای بالعکس معتقدند هیدروژن گوی سبقت را خواهد ربود. برخی نیز معتقدند این دو حامل انرژی باهم در تعامل بوده و مکمل یکدیگر می‌باشند. در شکل ۶ نظر خبرگان در این خصوص نمایش داده‌شده است.

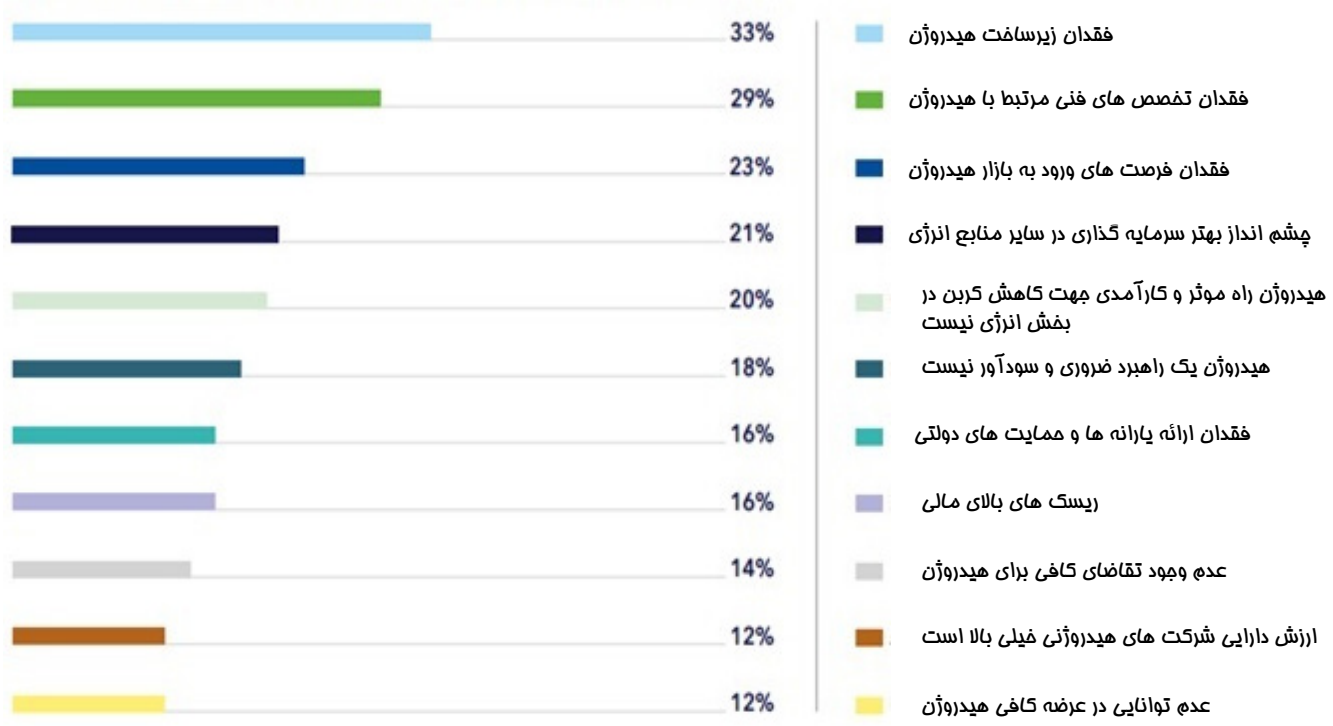
16%
هیدروژن و الکتریکی سازی جهت بدست آوردن سهم بیشتر در سبد انرژی به رقابت خواهند پرداخت

80%
هیدروژن و الکتریکی سازی در تعامل سازنده با یکدیگر خواهند بود و جهت رسیدن به تولید انبوه با یکدیگر همکاری می نمایند

شکل ۶: رقابت بین هیدروژن و الکتریکی‌سازی (ناحیه خاکستری‌رنگ شامل نظرات متفرقه می‌باشد)

دلایل اصلی که برخی از کشورها تمایلی به سرمایه‌گذاری در صنعت هیدروژن ندارند

برخی کشورها تمایلی به توسعه هیدروژن ندارند. مهم‌ترین عوامل ازنظر خبرگان، فقدان عواملی نظیر زیرساخت‌های لازم، تخصص‌های فنی موردنیاز، فرصت‌های ورود به بازار و چشم‌انداز بهتر سرمایه‌گذاری در سایر صنایع انرژی می‌باشند (شکل ۷). آنچه مسلم است باید نگاهی بلندمدت به این صنعت داشت و از تجربیات دیگر کشورها و دانش شرکت‌های بزرگ مشاوره‌ای استفاده نمود تا بتوان در بازارهای آینده انرژی موفقیت کسب نمود. قطعاً کشورهایی که زودتر فرآیند توسعه را شروع نمایند، در آینده سهم بیشتری از بازار را به دست خواهند آورد.



شکل ۷: دلایل اصلی عدم تمایل کشورها به سرمایه‌گذاری در توسعه صنعت هیدروژن

نتیجه‌گیری

در جمع‌بندی این پژوهش در خصوص آینده صنعت هیدروژن، درمی‌یابیم که این صنعت هم‌راستا با توسعه انرژی‌های تجدیدپذیر به دلیل تعهدات و سیاست‌های کلان زیست‌محیطی کشورها به‌سرعت در حال رشد می‌باشد. توسعه این صنعت در کشورهای دارای منابع غنی فسیلی به‌صورت گام‌به‌گام صورت می‌پذیرد و از مرحله تولید هیدروژن خاکستری به مرحله تولید هیدروژن سبز سوق می‌یابد. عواملی مانند راه‌اندازی بازارهای کربن، مالیات‌های سبز و مشوق‌های دولتی جهت توسعه انرژی‌های تجدیدپذیر، می‌توانند به این امر سرعت ببخشند. علل تردید ورود به این صنعت شامل مسائل ایمنی هیدروژن، هزینه آن در مقایسه با سایر حامل‌ها، دانش و مهارت‌های فنی و میزان عرضه و تقاضای بازار برای این حامل انرژی می‌باشند که باید به‌دقت موردمطالعه و بررسی قرار گیرند. برای کشورهایی مانند ایران که دارای منابع غنی فسیلی و پتانسیل‌های فراوان توسعه انرژی‌های تجدیدپذیر هستند و زیرساخت‌های توسعه هیدروژن به دلیل مشابهت با گاز طبیعی نیز تا حد زیادی فراهم است، سرمایه‌گذاری برای این حامل انرژی پاک منطقی به نظر می‌رسد.

منابع:

Rising to the challenge of a hydrogen economy, the outlook for emerging hydrogen value chains, from production to consumption, DNV, 2020

The future of hydrogen, seizing today's opportunities, IEA, 2019

Hydrogen insights, a perspective on hydrogen investment, market development and cost competitiveness, 2021

پتانسیل استفاده از LNG به عنوان سوخت در حمل و نقل دریایی

غلامعلی رحیمی عضو هیات علمی موسسه مطالعات بین المللی انرژی
افسانه رحیمی پژوهشگر موسسه مطالعات بین المللی انرژی

چکیده

با توجه به اینکه گاز طبیعی پاک ترین سوخت در میان سوختهای فسیلی است، لذا LNG نیز به عنوان یکی از مناسب‌ترین سوختها به لحاظ مزایای زیست محیطی در مقایسه با سوختهای سنتی در بخش حمل و نقل به شمار می رود. از LNG می‌توان به عنوان سوخت در بخش حمل و نقل برای کامیون‌های سنگین و برای بخش حمل و نقل دریایی استفاده نمود. در صورتیکه LNG در رقابت با گازوئیل، سوخت دیزل دریایی (MGO) و حتی CNG باشد، می‌توان آن را با در نظر گرفتن یک حاشیه سود مثبت مورد معامله و مبادله قرار داد. یکی از کاربردهای LNG در مقیاس کوچک استفاده از آن به عنوان سوخت در بخش حمل و نقل دریایی است که دارای بیشترین تقاضا و یکی از محرک‌های اصلی توسعه LNG کوچک مقیاس در منطقه اسکاندیناوی و بالتیک به شمار می‌رود. یکی از دلایل استفاده از LNG به عنوان سوخت در بخش حمل و نقل دریایی، الزام صاحبان و اجاره‌کنندگان کشتی‌ها، به تبعیت از قوانین وضع شده در محدوده‌های کنترل انتشار گوگرد (SECA) می باشد.

حمل و نقل دریایی به دو بخش حمل و نقل در محدوده کنترل آلایندگی (ECA) و کشتیرانی در آبهای بین‌المللی تقسیم‌بندی می‌شود. استفاده از کشتی‌های LNG سوز برای منطقه ECA گزینه خوبی به شمار می‌رود، چراکه هم دارای مزیت قیمت در مقایسه با دیزل دریایی (MGO) بوده و هم اینکه موتورهای LNG سوز دارای آلایندگی کمتر اکسیدهای نیتروژن می‌باشند. کشتی‌های با سوخت نفت‌کوره سنگین که دارای تجهیزات کاهش و یا حذف اکسیدهای گوگرد باشند به دلیل نیاز به مدیریت پسماند و فضای مورد نیاز، از جذابیت کمتری برای مشتریان برخوردارند. توسعه‌ی کشتی‌های LNG سوز به عوامل متعددی از جمله موارد زیر بستگی دارد:

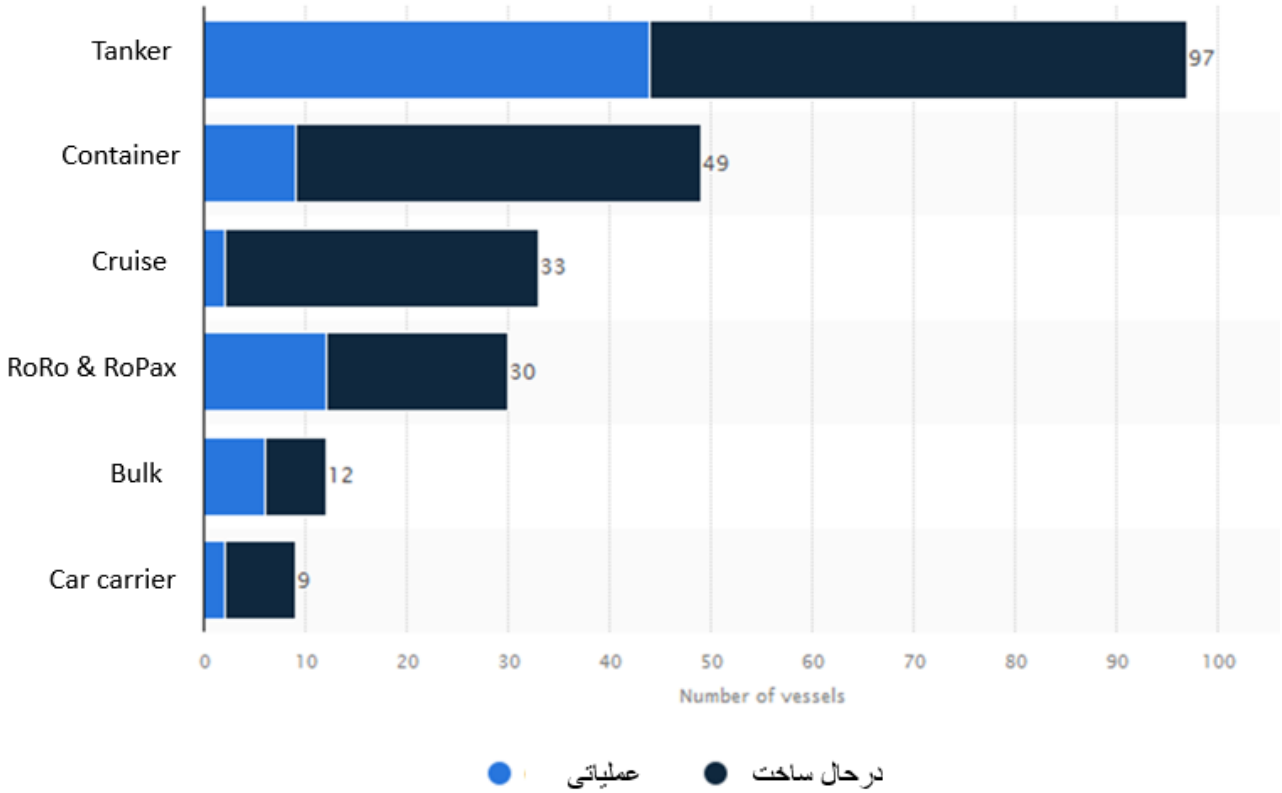
- تعداد کشتی‌های جدید
- سهم LNG از کشتی‌های جدید و همچنین کشتی‌هایی که موتور خود را تعویض نموده‌اند.
- تعداد کشتی‌های دیزلی قدیمی که از رده خارج می شوند.

کلمات کلیدی: سوخت، LNG، حمل و نقل دریایی، گازوئیل، دیزل

وضعیت موجود و چشم انداز کشتی‌های LNG سوز در جهان

در آغاز سال ۲۰۲۰، ۱۷۵ کشتی با سوخت LNG در حال فعالیت بودند که این رقم بدون در نظر گرفتن ۶۰۰ کشتی انتقال LNG که اکثر آنها LNG سوز هستند، می‌باشد و بیش از ۲۰۰ کشتی انتقال LNG نیز در حال ساخت هستند. عمده کشتی‌های در حال بهره‌برداری جهان متعلق به کشور نروژ می‌باشند.

نمودار ۱ . وضعیت کشتی های LNG سوز جهان به تفکیک در حال بهره برداری و در حال ساخت در سال ۲۰۱۹



همچنین حدود ۵۵ کشتی جدید LNG سوز نیز جهت ساخت در سالهای آتی برنامه‌ریزی شده‌اند و لذا تا قبل از سال ۲۰۲۵ در صورت بهره‌برداری از آنها، کل کشتی‌های درحال ساخت و برنامه‌ریزی شده، با سوخت LNG در جهان به بیش از ۴۳۰ کشتی خواهد رسید.

چشم انداز استفاده از LNG به عنوان سوخت کشتی ها در آمریکا

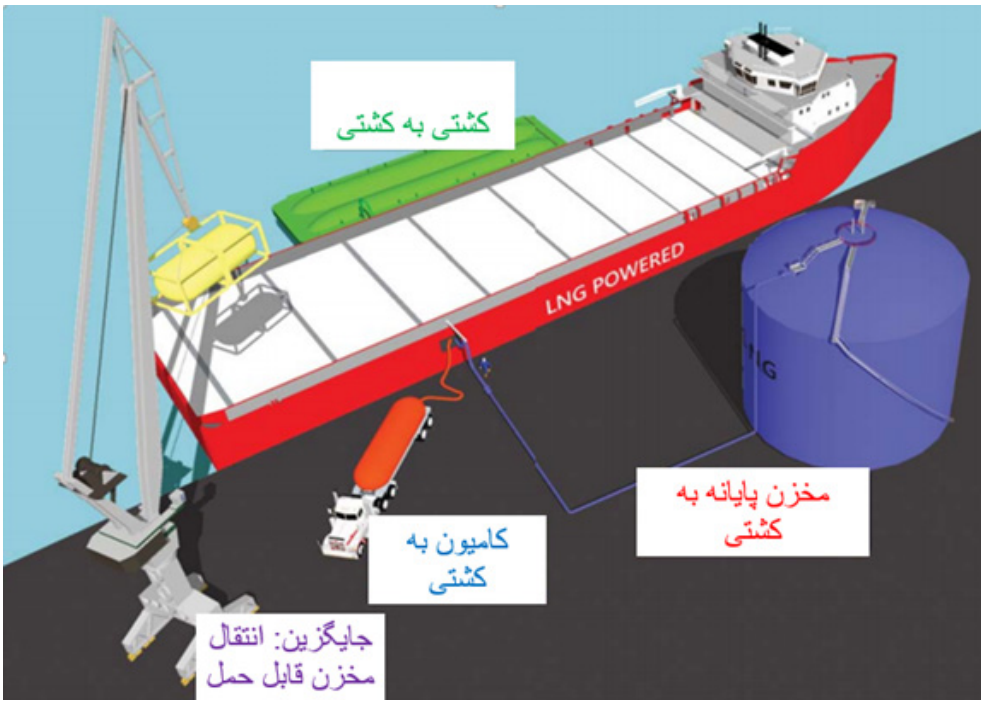
تا سال ۲۰۱۵ کل تعداد کشتی‌های LNG سوز در حال ساخت و برنامه‌ریزی شده آمریکا در حدود ۲۸ کشتی بود که در این میان تعداد کل کشتی‌های جدید در حال ساخت ۱۷ کشتی و تعداد کشتی‌های تغییر سوخت داده شده ۱۱ کشتی تخمین زده شده است.

تعداد ۹ کشتی برای بهره‌برداری در حوزه آتلانتیک (فلوریدا-پورتوریکو) و ۶ کشتی نیز برای فعالیت در خلیج مکزیک در نظر گرفته شده است. بطور کلی پیش‌بینی می‌شود تعداد کل کشتی‌های با سوخت LNG در ایالات متحده آمریکا تا سال ۲۰۲۹ به بیش از ۳۷۶ کشتی افزایش یابد.

انواع روشهای سوختگیری LNG در کشتی ها

همانند سوختگیری کشتی‌های معمول با سوخت نفت کوره سنگین و دیزل دریایی، سوختگیری کشتی‌های LNG سوز نیز به روشهای مختلفی صورت می‌پذیرد. در حال حاضر بخش عمده سوختگیری کشتی‌های LNG از طریق سیستم سوختگیری از کامیونهای انتقال LNG و همچنین از طریق ترمینال‌های واسطه کوچک مقیاس صورت می پذیرد. بطور کلی روشهای زیر برای سوختگیری کشتی‌های LNG سوز مورد استفاده قرار می‌گیرد:

- سیستم انتقال از کامیون حمل LNG به کشتی Truck (to Ship) TTS
- انتقال از طریق خط لوله از مخزن ذخیره سازی ترمینال واسطه به کشتی (Intermediate Tank via Pipeline to Ship) ITPS
- سیستم سوختگیری از طریق کشتی حامل LNG به کشتی LNG سوز (Ship to Ship) STS
- سیستم انتقال کانتینرهای LNG به کشتی Container (to Ship) CTS



شکل ۱ . انواع روشهای سوختگیری LNG

سیستم انتقال از کامیون حمل LNG به کشتی

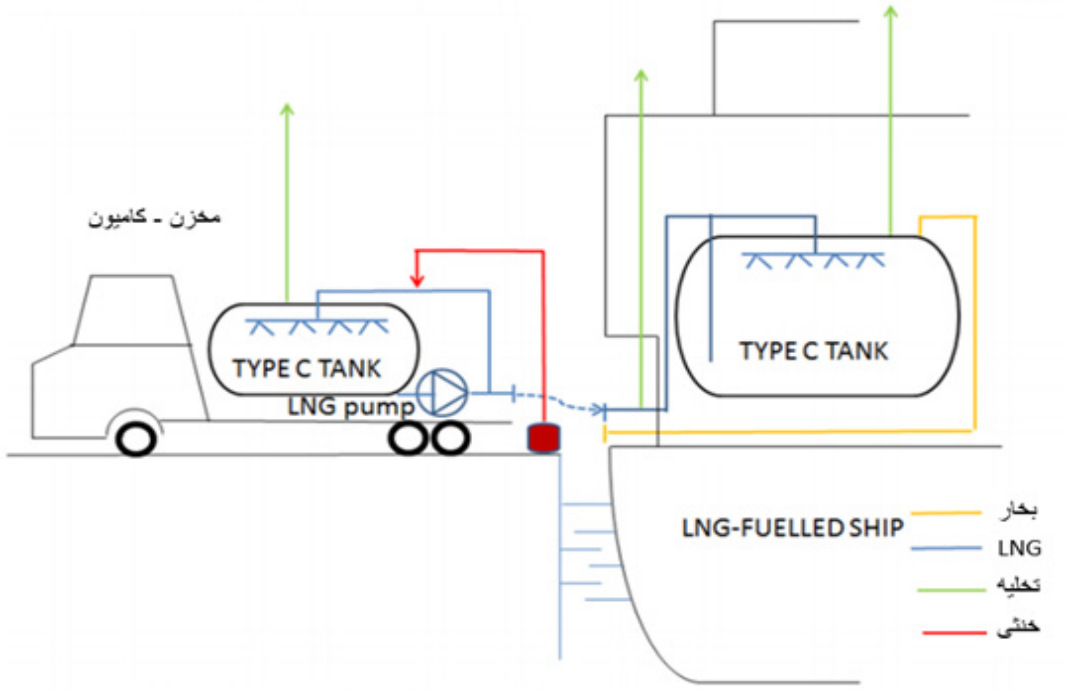
در حال حاضر رایج‌ترین روش سوختگیری LNG روش انتقال از کامیون حمل LNG است. این روش در مواردی که مقادیر سوخت مورد نیاز کم باشد منطقی و قابل قبول خواهد بود. یک کامیون حمل LNG توانایی انتقال حداکثر حدودا ۲۲ تن LNG را دارد. ظرفیت حمل LNG توسط کامیون به عواملی نظیر ظرفیت مخزن، مقررات ملی مربوط به حمل و نقل، زیرساختها و استانداردهای جاده‌ای بستگی دارد. اگر میزان سوخت LNG مورد نیاز کشتی در حال سوختگیری بیشتر باشد (بیش از ۵۰ تن)، در آن صورت معمولا از سایر روشهای سوختگیری استفاده می‌شود.

شکل ۲ . سوختگیری از طریق سیستم انتقال از کامیون به کشتی با استفاده همزمان از دو تریلر حمل LNG (ایستگاه سوختگیری Skangass نروژ)

مهمترین مزیت روش سوختگیری از طریق کامیون حمل LNG سرمایه‌گذاری اولیه مورد نیاز کم و همچنین امکان استفاده از آن برای سایر اهداف نظیر توزیع محلی LNG است. این مزیت باعث شده است تا این روش گزینه مناسبی برای شروع عملیات سوختگیری در آغاز به کارگیری کشتی های LNG سوز باشد. همچنین این روش دارای انعطاف‌پذیری زیادی بوده و انواع کشتی‌های LNG سوز در اسکله‌های مختلف از طریق آن قابل سوخت‌رسانی هستند (به شرط وجود زیر ساخت های لازم).

از سوی دیگر ظرفیت محدود سوختگیری یکی از محدودیتها و معایب این روش به شمار می رود. یکی دیگر از معایب این روش امکان تداخل فعالیت سوختگیری کشتی در اسکله با سایر فعالیت‌های اسکله نظیر بارگیری کالا و مسافر می باشد. مکان سوختگیری LNG محدودیت هایی نیز دارد، چراکه باید محل اسکله سوختگیری، متصل به زیرساختهای حمل و نقل جاده‌ای مناسب انتقال LNG با کامیون باشد.

مخازن ذخیره‌سازی LNG کامیون‌های حمل از نوع مخازن فشرده می‌باشد و لذا سوختگیری از طریق کامیونهای انتقال LNG در دو حالت تحت فشار و در فشار اتمسفر به کشتی‌های LNG سوز امکان پذیر است.



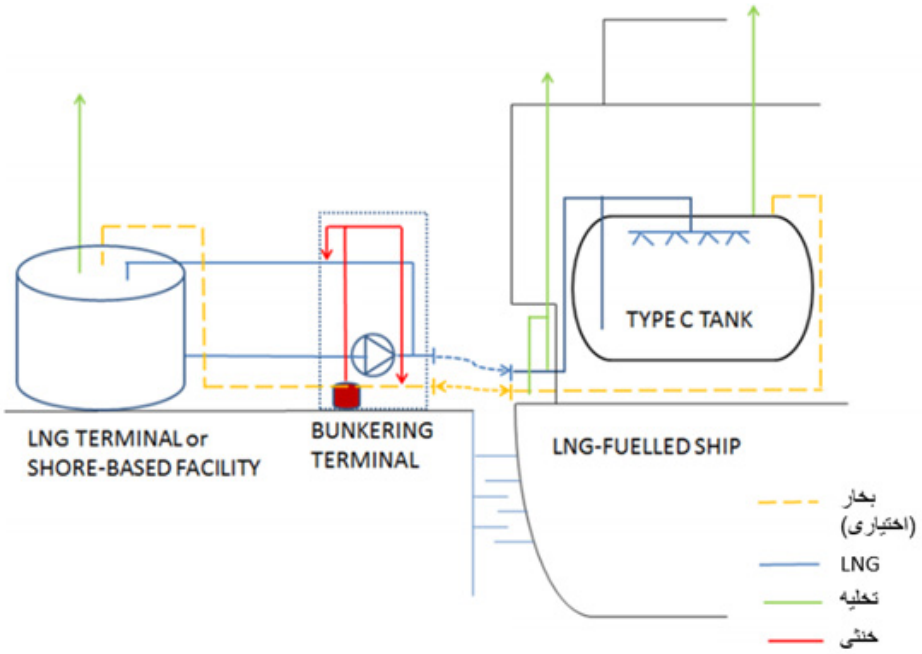
شکل ۳ . شمای کلی تاسیسات سوختگیری LNG از طریق کامیونهای انتقال LNG
(مخزن ذخیره‌سازی LNG کشتی از نوع مخازن تحت فشار است)

انتقال از طریق خط لوله از مخزن ذخیره‌سازی ترمینال واسطه به کشتی

روش رایج دیگر برای سوختگیری LNG انتقال توسط خط لوله از مخزن ذخیره‌سازی ترمینال واسطه به کشتی است. با توجه به حجم LNG مورد نیاز سوختگیری و ظرفیت مخازن ذخیره‌سازی ترمینال‌های واسطه، سوختگیری می‌تواند از مقادیر اندک در حدود چند تن تا بیش از ۵۰۰۰۰ تن متغیر باشد. در این روش، LNG مورد نیاز ترمینال سوختگیری می‌تواند از طریق انتقال با کامیون، شناور کوچک حمل LNG، کشتی‌های بزرگ حمل LNG و یا از طریق خط لوله از تاسیسات محلی مایع‌سازی LNG تامین شود. در این روش حتی می‌توان از ترمینالهای بزرگ مقیاس واردات/صادرات LNG، بطور مستقیم برای سوختگیری LNG استفاده نمود.

شکل ۴ . سوختگیری از طریق خط لوله از مخزن ذخیره‌سازی ترمینال واسطه به کشتی

یکی از محدودیتها و معایب استفاده از این روش برای سوختگیری LNG این است که با توجه به محدودیت فنی و عملیاتی انتقال LNG از طریق خط لوله در فواصل طولانی، مخازن ذخیره‌سازی جهت عرضه LNG برای سوختگیری باید در مجاورت اسکله سوختگیری واقع شده باشند. لذا استفاده از این روش در مواردی که فضای کافی برای تعبیه مخازن ذخیره‌سازی در مجاورت اسکله و سایر تجهیزات ایمنی مربوطه وجود نداشته باشد، امکان پذیر نیست. همچنین با توجه به موارد مذکور میزان انعطاف‌پذیری این تاسیسات اندک است. بنابراین در صورتیکه بازار تثبیت شده با حجم تقاضای تضمین شده قابل توجه برای سوختگیری LNG در منطقه مورد نظر وجود داشته باشد و یا اینکه بتوان از تاسیسات مذکور برای چند منظور بطور همزمان استفاده نمود (توزیع محلی LNG برای مصرف در صنایع و مناطق دور افتاده)، استفاده از این روش ممکن و منطقی خواهد بود. در این روش مخازن ذخیره‌سازی تاسیسات سوختگیری هم می‌توانند از نوع مخازن تحت فشار و هم از نوع مخازن اتمسفری باشد.



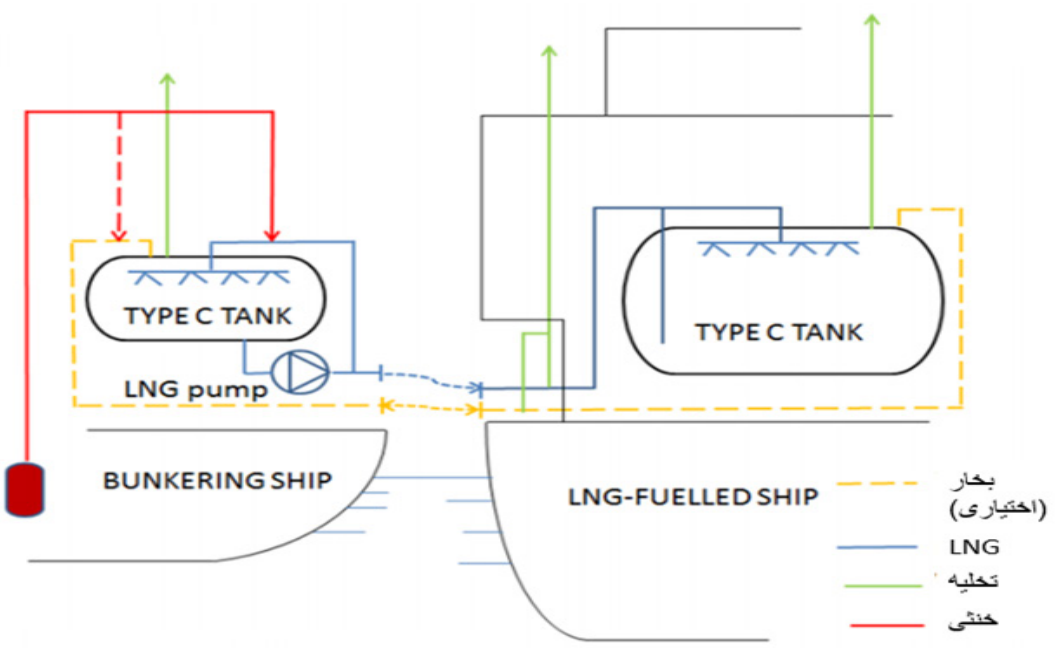
شکل ۵. شمای کلی تاسیسات سوختگیری LNG از طریق خط لوله از مخزن ذخیره‌سازی ترمینال واسطه (مخزن ذخیره‌سازی LNG کشتی از نوع مخازن تحت فشار است)

سیستم سوختگیری از طریق کشتی حامل LNG به کشتی LNG سوز (STS)

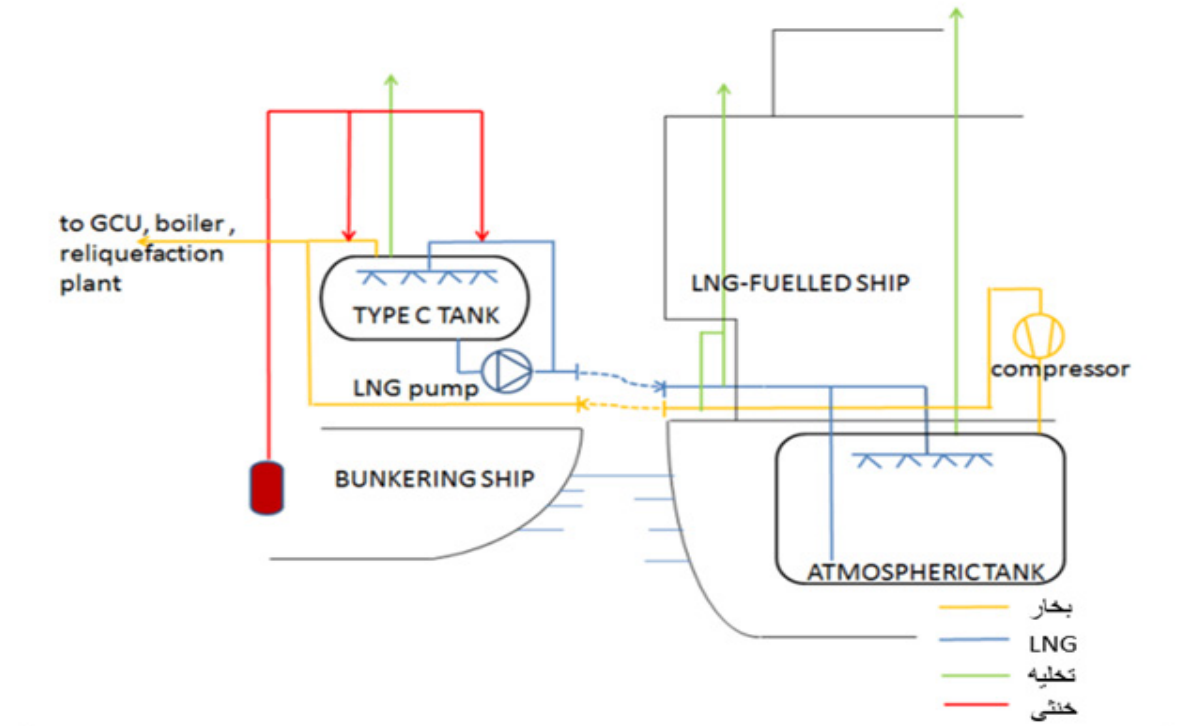
دو روش سوختگیری از طریق کامیون و ترمینال LNG، دارای محدودیتهای مربوط به ظرفیت سوختگیری و عدم انعطاف‌پذیری می‌باشند. لذا جهت جلوگیری و حذف این محدودیت ها روش سوختگیری از طریق کشتی حامل LNG (Ship To Ship) همانند روش سوختگیری کشتی‌های با سوخت نفتکوره و گازوئیل مورد استفاده قرار می‌گیرد. با توجه به امکان انتقال ظرفیت‌های مختلف LNG و در مکانهای متفاوت، این روش سوختگیری از انعطاف پذیری قابل توجهی برخوردار است و تقریبا می توان همه انواع کشتی‌ها و شناورهای با سوخت LNG را سوخت‌رسانی نمود. البته این روش سوختگیری نیز دارای محدودیتهایی است از جمله اینکه هزینه سرمایه‌گذاری اولیه آن قابل‌توجه بوده و در صورت عدم توسعه تقاضای کافی برای سوختگیری LNG، استفاده از آن از توجیه اقتصادی مناسب برخوردار نخواهد بود. همچنین در صورت استفاده از شناورهای بدون موتور برای ذخیره‌سازی LNG جهت انتقال آن از یک مکان به مکان دیگر، به یک یا چند یدککش احتیاج خواهد بود.

شکل ۶. نمونه یک کشتی سوخت‌رسان با ظرفیت ۲۸۰۰ متر مکعب

مخزن ذخیره LNG کشتی‌های سوختگیری LNG هم می‌تواند از نوع مخازن تحت‌فشار یا مخازن اتمسفری باشد. لذا در هریک از انواع فوق زیرساختها و تجهیزات ویژه سوختگیری مورد نیاز خواهد بود. شمای کلی ایستگاه‌های سوختگیری در صورتیکه مخزن کشتی سوخت‌رسان از نوع تحت‌فشار و یا معمولی باشد، در شکلهای زیر نشان داده شده است.



شکل ۷. شمای کلی تاسیسات سوختگیری LNG از طریق کشتی سوخت رسان
(مخزن ذخیره سازی LNG کشتی سوخت رسان و سوختگیر از نوع مخازن تحت فشار است)



شکل ۸ . شمای کلی تاسیسات سوختگیری LNG از طریق کشتی سوخت‌رسان
(مخزن ذخیره‌سازی LNG کشتی سوختگیر از نوع مخازن اتمسفری است)

کشتی‌های سوخت‌رسان LNG معمولا در مواردی مورد استفاده قرار می‌گیرند که مقادیر قابل‌توجهی تقاضای LNG در منطقه مورد نظر وجود داشته باشد. ظرفیت این نوع کشتی‌ها از چند صد مترمکعب تا چند هزار مترمکعب با توجه به حجم تقاضای بازار هدف متغیر است. این نوع کشتی‌ها، در مکان‌های مخصوص که برای آنها ساخته شده و یا ترمینال‌های کوچک دریایی و همچنین ترمینال‌های مخصوص کشتی‌های کوچک مقیاس انتقال و واردات LNG قابل استقرار و جایابی می‌باشند.

سیستم سوختگیری از طریق انتقال کانتینرهای LNG به کشتی

یکی دیگر از روشهای سوختگیری LNG، استفاده از کانتینرهای LNG بر روی کشتی‌های LNG سوز است.

در این روش که هنوز بطور گسترده تجاری‌سازی نشده است، LNG در کانتینرهای مخصوص از تاسیسات مایع‌سازی حمل شده و بر روی کشتی‌های LNG سوز قرار می‌گیرد. با توجه به استفاده از کانتینرهای ایزوله استاندارد، استفاده از زیرساختهای موجود LNG در این روش امکان‌پذیر می‌باشد. یک کانتینر استاندارد ۴۰ اینچ قابلیت حمل و ذخیره ۱۷ تن LNG را داراست.

یکی از مزیتهای این روش، امکان استفاده از زیرساختهای موجود زنجیره عرضه LNG است. مشکل اصلی این روش نیز، هزینه بالا و وزن زیاد کانتینرهای ذخیره LNG برای انتقال به کشتی می‌باشد.

مزایا و معایب هر یک از روشهای سوختگیری مذکور بطور خلاصه در جدول زیر آورده شده است.

جدول ۱ . مزایا و معایب هر یک از روشهای سوختگیری LNG توسط کشتی های LNG سوز

روش سوختگیری	مزایا	معایب
سیستم انتقال از کامیون حمل LNG به کشتی (TTS)	• انعطاف‌پذیری نسبی • هزینه‌های پایین زیرساختهای مورد نیاز	• ظرفیت پایین انتقال LNG • ظرفیت پایین سوختگیری LNG
انتقال از طریق خط لوله از مخزن ذخیره‌سازی ترمینال واسطه به کشتی (ITPS)	• دسترس‌پذیری • ظرفیت بالای سوختگیری • ظرفیت بالای مخازن ذخیره‌سازی LNG	• نیاز به اسکله اختصاصی • اشغال و در اختیار گرفتن بخشی از بندر • هزینه بالای زیرساختهای مورد نیاز • نیاز به پهلوگیری دوم
سیستم سوختگیری از طریق کشتی انتقال LNG به کشتی LNG سوز (STS)	• انعطاف پذیری • ظرفیت بالای سوختگیری • ظرفیت بالای مخازن ذخیره‌سازی LNG • امکان سوختگیری در بندرگاه	• هزینه بالای زیرساختهای مورد نیاز
سیستم انتقال از کانتینرهای LNG به کشتی (CTS)	• نیاز به پشتیبانی و تدارکات ساده‌تر • امکان انتقال منظم کانتینرها • در دسترس بودن	• هزینه بالای تانکرهای مخصوص انتقال LNG • نیاز به عملیات بارگیری و تخلیه گسترده

در حال حاضر ۷ بندر اروپایی خدمات مربوط به سوختگیری کشتی‌ها را ارائه می‌دهند. این بنادر به تفکیک نوع ایتسگاه‌های سوختگیری عبارتند از:

– بندر استکهلم– تاسیسات سوختگیری کشتی به کشتی
– بندر آنتورپ (Antwerp) – تاسیسات سوختگیری کامیون به کشتی
– بندر زیبروگ (Zeebrugge) – تاسیسات سوختگیری کامیون به کشتی
– بندر آمستردام– تاسیسات سوختگیری کامیون به کشتی
– بندر موردیچ (Moerdijk) – تاسیسات سوختگیری کامیون به کشتی
– بندر برانزباتل (Brunsbuttel)– تاسیسات سوختگیری کامیون به کشتی
– بندر هرتشال (Hirtshals) – تاسیسات سوختگیری از طریق ترمینال واسطه LNG

جمع‌بندی و نتیجه‌گیری

بر اساس مطالعه‌ای که در سال ۲۰۱۲ توسط شرکت Lioyds Regidter تحت عنوان «دورنمای LNG برای تقاضاهای جدید کشتی‌های حمل LNG و کشتی‌های LNG سوز تا سال ۲۰۲۵» ، برای پیش‌بینی تقاضای LNG به عنوان سوخت در بخش حمل و نقل دریایی انجام گرفته است، ابتدا مهمترین بندرها و مناطق سوخت‌رسانی به کشتی‌ها بررسی شده و میزان سوختگیری کشتی‌ها در آنها پیش‌بینی شده است. بیش از ۳۵ درصد سوختگیری کشتی‌های LNG جهان در این ۱۰ بندر (منطقه) انجام خواهد شد. در این پیش‌بینی، جمهوری اسلامی ایران در رده دهم جهان قرار دارد و از پتانسیل قابل‌توجهی برای سوخت‌رسانی LNG در سالهای آتی برای کشتی‌های LNG سوز برخوردار خواهد بود.

جدول ۲ . مهمترین بندرهای سوختگیری کشتی‌ها در جهان در سال ۲۰۱۲

بندر	(هزار تن) توان	سهم بازار
Singapore	۳۹۰۱۱	٪۱۷
Rotterdam	۱۳۰۰۰	٪۶
Fujairah	۹۵۰۰	٪۴
Antwerp	۶۱۰۸	٪۳
Hong Kong	۵۴۲۹	٪۲
Gibraltar	۵۰۴۷	٪۲
Korea(Busan)	۴۵۵۹	٪۲
West Africa	۴۱۰۰	٪۲
Tokyo Bay	۳۴۹۴	٪۲
Iran	۳۱۳۵	٪۱
Rest of world	۱۳۸۵۳۰	٪۶۰
جمع کل	۲۳۱۹۱۳	٪۱۰۰

در این مطالعه، نظر صاحبان کشتی‌ها، در مورد اولویت اقدامات آنها برای سازگاری با قوانین کاهش انتشارگوگرد سوال شده است. بر اساس بررسی مذکور، استفاده از نفتکوره با سولفور پایین و همچنین نصب تجهیزات کاهش انتشار سولفور در کشتی‌ها به عنوان راه‌حل کوتاه‌مدت معرفی شده است. استفاده از تکنولوژی‌های کاهش انتشار گوگرد به عنوان راه حل میان مدت و استفاده از کشتی‌های با سوخت LNG یک راه حل بلند مدت در این زمینه بشمار می رود.

در مطالعه مذکور سه سناریوی مختلف برای چشم‌انداز تقاضای LNG در نظر گرفته شده است. در سناریوی مرجع فرض شده است که با توجه به حداکثر مجاز انتشار گوگرد برای منطقه ECA در حال حاضر و همچنین اجرایی شدن حداکثر انتشار گوگرد معادل ۰٫۵ درصد برای کل جهان از سال ۲۰۲۰، تعداد کشتی‌های جدید LNG سوز تا سال ۲۰۲۵ به بیش از ۶۵۳ کشتی افزایش و سطح تقاضای LNG نیز تا بیش از ۲۴ میلیون تن (معادل ۱٫۵ درصد کل تولید جهانی LNG و حدود ۳٫۲ درصد کل مصرف نفتکوره سنگین در بخش کشتیرانی) افزایش یابد.

جدول۳ . چشم انداز تقاضای جهانی LNG برای سوخت کشتی‌ها تا سال ۲۰۲۵ بر اساس سناریوی مرجع پیش‌بینی

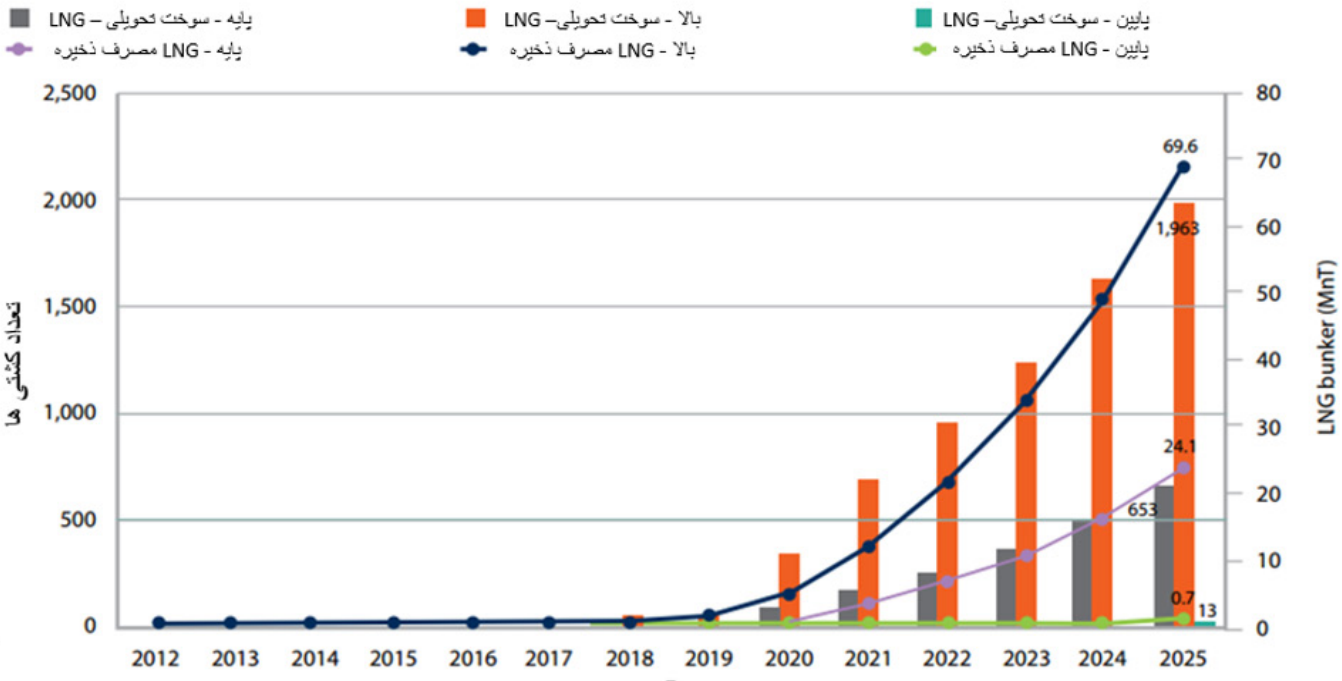
انواع کشتی های دریای عمیق	مصرف تجمعی کشتی های با سوخت نفت کوره سنگین (میلیون تن)	مصرف تجمعی کشتی های با سوخت LNG (میلیون تن)	سهم کشتی های LNG سوز از کل کشتی های با سوخت نفت کوره به تفکیک نوع کشتی
Container ships	۸۰۵	۷/۱۰	۳/۱
Dry bulk carriers	۱۱۷۸	۱/۵	۴/۰
Oil tankers	۳۵۲	۶/۲	۷/۰
Cruise ships	۱۷۹	۳/۳	۸/۱
Chemical tankers	۷۵	۰/۰	۰
LPG tankers	۲۰	۰/۰	۱/۰
General cargo ships	۸۳	۲/۰	۳/۰
Car carriers	۱۲۳	۰/۱	۸/۰
جمع کل	۲۸۱۵	۲۴	۸/۰

در سناریوی رشد تقاضای LNG، فرض شده است که قیمت LNG به میزان ۲۵ درصد نسبت به سناریوی مرجع کاهش یابد و میزان تمایل به ساخت کشتی‌های جدید از نوع LNG سوز به میزان ۷۵ درصد طی دوره ۲۰۲۵-۲۰۲۰ افزایش پیدا کند. بر اساس این سناریو پیش‌بینی می‌شود تعداد کشتی‌های جدید LNG سوز تا سال ۲۰۲۵ به بیش از ۱۹۶۳ کشتی افزایش یافته و سطح تقاضای LNG نیز تا بیش از ۶۶ میلیون تن (معادل ۴,۲ درصد کل تولید جهانی LNG و حدود ۸ درصد کل مصرف نفت‌کوره سنگین در بخش کشتیرانی) افزایش یابد. در سناریوی افت تقاضای LNG فرض شده است که قیمت LNG به میزان ۲۵ درصد نسبت به سناریوی مرجع افزایش یابد و اجرای قوانین مربوط به محدودیت انتشار گوگرد تا سال ۲۰۲۳ به تعویق بیافتد که در این صورت میزان تمایل به ساخت کشتی‌های جدید از نوع LNG سوز به شدت کاهش خواهد یافت. بر اساس این سناریو پیش‌بینی می‌شود تعداد کشتی‌های جدید LNG سوز تا سال ۲۰۲۵ به حدود ۱۳ کشتی افزایش یافته و سطح تقاضای LNG نیز به حدود ۰,۷ میلیون تن (معادل ۰,۰۰۱ درصد کل تولید جهانی LNG و حدود ۰,۰۰۲ درصد کل مصرف نفت کوره سنگین در بخش کشتیرانی) برسد.

جدول ۴. چشم‌انداز تقاضای جهانی LNG برای سوخت کشتی‌ها تا سال ۲۰۲۵ بر اساس سناریوی حداکثری

انواع کشتی دریای عمیق	مصرف تجمعی کشتی های با سوخت نفت کوره سنگین (میلیون تن)	مصرف تجمعی کشتی های با سوخت LNG (میلیون تن)	سهم کشتی های LNG سوز از کل کشتی های با سوخت نفت کوره به تفکیک نوع کشتی
Container ships	۸۰۵	۱/۲۸	۵/۳
Dry bulk carriers	۱۱۷۸	۹/۱۹	۷/۱
Oil tankers	۳۵۲	۹/۸	۵/۲
Cruise ships	۱۷۹	۶/۵	۱/۳
Chemical tankers	۷۵	۱/۰	۲/۰
LPG tankers	۲۰	۱/۰	۳/۰
General cargo ships	۸۳	۹/۰	۱/۱
Car carriers	۱۲۳	۳/۲	۹/۱
جمع کل	۲۸۱۵	۸/۶۵	۳/۲

نمودار ۳. مقایسه چشم‌انداز تقاضای جهانی LNG برای سوخت کشتی‌ها تا سال ۲۰۲۵ بر اساس سه سناریوی حد پایین، مرجع و حد بالای پیش بینی



منابع و ماخذ

1. R. Wurster, W. Weindorf, W. Zittel, P. Schmidt (LBST), C. Heidt, U. Lambrecht (IFEU), A. Lischke, Dr. S. Müller (DLR), LNG as an alternative fuel for the operation of ships and heavy-duty vehicles, Federal Ministry of Transport and Digital Infrastructure (BMVI), Munich/ Ottobrunn, Heidelberg, Berlin, 6 March 201 4.
2. Nikolaos P. Ventikos, LNG as marine fuel, National Technical University of Athens, June 4, 2016.
3. Maarten Bekaert, LNG as fuel for shipping, DNVGL Oil & Gas Belgium, Brussels, 15 September 2016.
4. Gerd -Michael Wuersig, A future of LNG as an alternative fuel in shipping with current oil price challenges? DNV GL, 2016.
5. Jim Sandkvist, Edvard Molitor, Feasibility Study on LNG Fuelled Short Sea and Coastal Shipping in the Wider Caribbean Region, International Maritime Organization, November 2012.
6. LNG bunkering demand and bunkering infrastructure, DNV, 2012.
7. LNG as Fuel, International Gas Union, 2012 – 2015 Triennium Work Report, June 2015.
8. Apostolos Poulovassilis, Lloyd's Register LNG Bunkering Infrastructure Study, 31st October 2012.
9. Bunkering of liquefied Natural Gas-fueled Marine Vessels in North America, ABS, 2016.
10. Assessment of fuel oil availability, international maritime organization, July 2016.
11. Abul Bashar, LNG as a Sustainable Fuel of the Future, Singapore Maritime Technology Conference, 2015.
12. Claus Winter Graugaard, LNG for Shipping – Current status, Small Scale LNG 22nd Oct 2013.
13. Feasibility study on the use of LNG as a fuel for international shipping in the north America ECA, International Maritime Organization, 2016.
14. Jasper Faber, Dagmar Nelissen, Saliha Ahdour, Jorrit Harmsen, Silvia Toma, Layla Lebesque, Study on the Completion of an EU Framework on LNG- fuelled Ships and its Relevant Fuel Provision Infrastructure, December 2015.
15. Guidelines on LNG Bunkering, BUREA VERITAS, Marine & Offshore Division, July 2014.
16. LNG-fueled deep sea shipping – the outlook for LNG bunker and LNG-fueled new build demand up to 2025, August 2012.