10.22034/jrenew.2025.206062

سال دوازدهم، شماره اول، بهار و تابستان ۱۴۰۴، ص ص 166- 172

فصل‌نامه علمی انرژی‌های تجدیدپذیر و نو

jrenew.ir

Online ISSN 2676-2994 Print ISSN 2423-4931

مقاله ترویجی

تاریخ دریافت: ۱۴۰۲/۱۱/۲۸

تاریخ پذیرش: ۱۴۰۳/۰۴/۰۴

آیا سوخت هیدروژنی، انرژی آینده جهان است؟

سروش رحمتیان[1*]، ویدا ورهرامی[2]

۱- دانشجوی کارشناسی ارشد، اقتصاد نظری، دانشکده اقتصاد و علوم سیاسی دانشگاه شهید بهشتی تهران، ایران

۲- دانشیار، گروه اقتصاد، دانشکده اقتصاد و علوم سیاسی دانشگاه شهید بهشتی، تهران، ایران

* تهران، ۱۴۶۳۶۶۳۶۵۱، soroushrahmatian93@gmail.com

چکیده

امروزه جهان به دنبال بحران‌های محیط زیست و کاهش منابع انرژی فسیلی در دسترس، به دنبال گذر از انرژی‌های موجود و روی آوردن به انرژی‌های تجدیدپذیر، نو و پاک می‌باشد. هیدروژن به عنوان یک انرژی تجدیدپذیر و نو برای جایگزینی سوخت‌های فسیلی توجه‌ها را به سمت خود جلب کرده است. در این مقاله به معرفی و مقایسه کشورهای پیشران در این حوزه پرداخته شده است. ژاپن اولین کشور طراحی‌کننده‌ی اقتصاد هیدروژنی می‌باشد که برنامه‌های خود را از سال ۲۰۱۷ بیان کرده است و بنا دارد تا سال ۲۰۵۰، هیدروژن را به طور کامل جایگزین انرژی‌های فعلی کند. پس از آن چین و کره جنوبی مورد بررسی قرار گرفته‌اند. چین با تولید ۳۳ میلیون تن هیدروژن یکی از تولیدکنندگان اصلی است و از سال ۲۰۲۰ اهمیت هیدروژن را در برنامه‌های خود لحاظ کرده است و در جهت اقتصاد هیدروژنی گام برمی‌دارد. کره جنوبی با سرمایه‌گذاری در ۳۶ میلیاردی در این حوزه قصد دارد تا ۳۰ شرکت و ۵۰۰ هزار شغل در حوزه هیدروژن ایجاد کند. اتحادیه اروپا نیز در سال ۲۰۲۰، هیدروژن را ابزاری برای رسیدن به هدف عدم انتشار کربن معرفی کرده است و قصد دارد تا در سه مرحله تا سال ۲۰۵۰ هیدروژن را جاگزین سوخت‌های کنونی خود کند. کانادا نیز با تولید ۵ درصد از هیدروژن جهان در میان ده تولیدکننده برتر قرار دارد و آمریکا نیز با تولید هیدروژن به قیمت ۲ دلار بر کیلوگرم سعی در رقابت در این عرصه دارد. در نهایت در میان کشورها برتری در تولید هیدروژن سبز وجود ندارد و همه کشورها برنامه خود را مبتنی بر تولید هیدروژن آبی و خاکستری آغاز کرده‌اند؛ اما کشورهای آسیایی در استفاده از هیدروژن در زندگی روزمره در حال حاضر پیشران هستند.

کلیدواژگان: هیدروژن، اقتصاد هیدروژنی، انرژی تجدیدپذیر، انتشار کربن

Is hydrogen fuel the future energy of the world?

Soroush Rahmatian[1*], Vida Varahrami[2]

1-Master student of theoretical economics, Shahid Beheshti University Name, Tehran, Iran.

2- Associate Professor, Faculty of Economics and Political Sciences, Shahid Beheshti University, Tehran, Iran

* P.O.B. 1463663651 Tehran, Iran, soroushrahmatian93@gmail.com

Received: 17 February 2024 Accepted: 24 June 2024

Abstract

Today, the world is looking for environmental crises and the reduction of available fossil energy sources, looking for transitioning from existing energies and turning to renewable, new and clean energies. Hydrogen as a renewable and new energy to replace fossil fuels draws attention towards has attracted This article introduces and compares the driving countries in this field. Japan is the first country to design a hydrogen economy, which has expressed its plans since 2017, and aims to completely replace current energies with hydrogen by 2050. After China and South Korea, they have been investigated. China is one of the main producers with the production of 33 million tons of hydrogen, and since 2020, it has included the importance of hydrogen in its plans and is taking steps towards a hydrogen economy. With an investment of 36 billion in this area, South Korea plans to create 30 companies and 500,000 jobs in the field of hydrogen. In 2020, the European Union introduced hydrogen as a tool to achieve the goal of zero carbon emissions and plans to replace hydrogen in three stages by 2050. Canada is also among the top ten producers with the production of 5% of the world's hydrogen, and America is also trying to compete in this arena by producing hydrogen at a price of $2 per kilogram. Finally, there is no superiority among countries in the production of green hydrogen, and all countries have started their program based on the production of blue and gray hydrogen; But Asian countries are currently leading the way in using hydrogen in everyday life.

Keywords: Hydrogen, Hydrogen Economy, Renewable Energy, Carbon emission

Authors retain the copyright and full publishing rights. This article is an open access article licensed under the Creative Commons Attribution 4.0 International (CC BY 4.0)

۱- مقدمه

جهان امروز با چالش‌های بسیاری روبه‌رو می‌باشد. یکی از چالش‌های اصلی پیشروی دنیا، مسئله‌ی انرژی می‌باشد. با توجه به این نکته که ذخایر نفت و دیگر منابع انرژی‌های تجدیدناپذیر مورد استفاده در جهان رو به کاهش است، تامین انرژی جمعیت رو به افزون جهان همراه با چالش‌های زیادی است. از طرف دیگر اهیمت بالای محیط زیست در دنیای امروز و آلودگی‌های حاصل از مصرف سوخت‌های فسیلی دستیابی به این مهم را سخت‌تر می‌کند. در سال های اخیر، رویدادهای آب و هوایی که در سراسر جهان رخ داده است، منجر به افزایش دمای کره زمین شده است. برای دستیابی به هدف محدود کردن گرمایش جهانی به ۲ درجه سانتیگراد تا پایان قرن بیست و یکم، بسیاری از کشورها تلاش زیادی برای ترویج و انتقال سیستم انرژی خود از سوخت‌های فسیلی به انرژی‌های کم کربن یا بدون کربن انجام می‌دهند. به ویژه در چارچوب ژئوپلیتیک جهانی پیچیده و درگیری‌های منطقه‌ای-محلی ، ساختار تولید و مصرف جهانی باید از سوخت‌های فسیلی سنتی به سمت منابع انرژی تجدیدپذیر حرکت کند [۱-۳].

علاوه بر افزایش دمای کره‌ی زمین، آلودگی هوا نیز یکی از دغدغه‌های اصلی و مشکلات بزرگ محیط زیست است، که لازمه‌ی حل آن تلاش همگانی است. آلاینده‌های حاصل از مصرف سوخت‌های فسیلی یکی از منابع بزرگ انتشار کربن است که منجر به آلودگی هوا می‌شود. به همین سبب، اجماع جهانی مبنی بر کاهش سطح انتشار کربن تا سال ۲۰۵۰ میلادی به میزان حداقل ۷۰ درصد در مقایسه با سال ۲۰۰۸ میلادی شکل گرفته است. در نتیجه چالش‌های موجود، یکی از راهکارها می‌تواند حرکت به سمت انرژی‌های تجدیدپذیر و نو باشد. انرژی‌های تجدیدپذیر هم می‌توانند که چالش کمبود انرژی را حل کنند؛ هم قادر خواهند بود که جلوی انتشار کربن و آلاینده‌ها را بگیرند. یکی از این قبیل انرژی‌ها که مورد توجه جامعه جهانی قرار گرفته است، انرژی حاصل از سوختن هیدروژن است. تلاشهای متعددی در سطح بین‌المللی به منظور اجبار یا تشویق مردم و کشورها به استفاده از منابع انرژی تجدیدپذیر توسط نهادها و ذیل توافقنامه‌هایی انجام شده است. انرژی‌های تجدیدپذیری به حدی توجه جهان را به خود جلب کرده است که در سال ۲۰۱۹، ۱۱ درصد از انرژی مورد نیاز دنیا از انرژی‌های تجدیدپذیر تامین شده است [۴-۶].

در سال ۱۹۷۰، جان باکریس[1] اولین کسی بود که عبارت اقتصاد هیدروژنی[2] را در ارائه مرکز فنی جنرال موتورز در میامی معرفی کرد. هدف اصلی اقتصاد هیدروژنی تولید هیدروژن در درجه اول از منابع انرژی در دسترس به منظور جایگزینی سوخت های فسیلی است تا در حمل و نقل، صنعت، کاربردهای خانگی و تجاری استفاده شود. اقتصاد هیدروژنی به‌عنوان جایگزینی کامل برای انرژی موجود در مقیاس جهانی ارائه نمی‌شود، بلکه به‌عنوان تمجید از یک استراتژی هوشمند و کم کربن برای اهداف و زمینه‌های خاص است. در نتیجه، تبدیل به یک اقتصاد هیدروژنی در سراسر جهان بعید است در آینده نزدیک رخ دهد [۷،۸].

هیدروژن سبکترین و فراوان‌ترین عنصر کشف شده‌ی جهان، در دمای اتاق گازی بی رنگ و بی بو می‌باشد. حدود ۷۵ الی ۹۰ درصد جهان از هیدروژن تشکیل شده است. در دمای ۵۰۰ درجه سانتیگراد خود به خود مشتعل و در دمای منفی ۲۵۳ درجه سانتیگراد مایع می‌شود. هیدروژن عنصر فعال و واکنش‌پذیری است به همین جهت به طور خالص وجود ندارد و همواره در ترکیب با دیگر عناصر است. انرژی حاصل از سوختن یک کیلوگرم هیدروژن معادل ۱۴۱.۸ مگاژول است [۹،۱۰].

بشر در ابتدا از چوب برای سوختن استفاده می‌کرده است، سپس به ذغال، نفت، پروپان و متان روی آورده است. این روند تحول در استفاده از مواد سوختی نشان می‌دهد که حرکت به سمت موادی که کربن کمتر و هیدروژن بیشتری در ترکیب خود دارند، سوخت کاراتر و پاک‌تری را ارائه می‌دهند. حال اگر از خود هیدروژن به صورت مستقیم استفاده کنیم، می‌توانیم کاراترین و پاکترین حالت را داشته باشیم. در واکنش سوختن هیدروژن تنها بخار آب تولید و مقدار زیادی انرژی به صورت گرما آزاد می‌شود به این سبب که هیدروژن عنصری فعال است، در مواد زیادی در اطراف ما وجود دارد و روش‌های مختلفی برای تولید آن وجود دارد. اما از طرفی جداسازی و ذخیره‌سازی آن با چالش روبه‌رو می‌باشد [۱۱،۱۲].

هیدروژن را می‌توان با روش‌های مختلفی تولید کرد که به دو شیوه کلی تقسیم می‌شوند: تولید هیدروژن با استفاده از سوخت‌های فسیلی و تولید هیدروژن با استفاده از انرژی‌های تجدیدپذیر. در تولید هیدروژن از سوخت‌های فسیلی می‌توان از ذغال سنگ و گاز متان استفاده کرد. در تولید هیدروژن با استفاده از انرژی‌های تجدیدپذیر، رکن اصلی آب است که از آن در فرآیندهای الکترولیز[3] یا برقکافت و فوتولیز[4] استفاده می‌شود. هیدروژن تولیدی از روش‌های مختلف بر حسب میزان انتشار کربن در فرآیند تولید، به سه دسته تقسیم می‌شود. هیدروژن سبز، هیدروژن تولیدی در روشی است که انتشار کربن ندارد. در روش‌هایی که انتشار کربن وجود دارد به هیدروژن حاصل، هیدروژن خاکستری می‌گویند. اگر بتوان در فرآیند تولید همه یا بخشی از کربن را جذب کرد به هیدروژن حاصل، هیدروژن آبی می‌گویند. از هیدروژن می‌توان به صورت مستقیم در حالت گاز به عنوان سوخت استفاده کرد؛ که نیاز به اصلاح ساختار ندارد. از روش‌های دیگر استفاده هیدروژن، پیل سوختی[5] می‌باشد. پیل سوختی در واقع به گونه‌ای عکس عملیات الکترولیز آب است. در پیل سوختی هیدروژن با اکسیژن درون هوا واکنش داده و تبدیل به آب و انرژی الکتریسیته می‌شود. مزیت پیل سوختی ان است که مشکل ذخیره انرژی الکتریسیته را حل می‌کند [۱۱-۱۴].

هیدروژن امروزه به عنوان مسیری برای جایگزینی سوخت‌های فسیلی در جهان مطرح است. کشورهای مختلفی در سال‌های اخیر به مسئله هیدروژن و چگونگی تولید و مصرف آن مشغول شده‌اند. در این مقاله تلاش بر آن است که تصویری از وضعیت جهان به صورت مقایسه‌ای و در کنار هم از فعالیت کشورها در حوزه هیدروژن و اهمیت آن و تجربه کشورهای پیشران در این زمینه ارائه شود. هیدروژن از دیرباز در فعالیت‌های نظامی، در ساخت بمب‌های هیدروژنی و یا در فعالیت‌های فضانوردی مانند سوخت موشک، مورد توجه بود، اما استفاده از هیدروژن به عنوان سوخت در زندگی روزمره، اولین بار توسط ژاپن بیان شد و به دنبال آن کشورهای آسیایی مانند چین و کره جنوبی وارد به این حوزه شدند و پس از آن توجه اتحادیه اروپا، کانادا، آمریکا و دیگر کشورها به آن جلب شد. در مقاله حاضر کشورهایی مورد بررسی قرار گرفته‌اند که نه تنها در

1. John Backris
2. Hydrogen Economy
3. Electrolysis
4. Photolysis
5. Fuel Cell

برنامه‌های آتی خود قرار است هیدروژن را جایگزین سوخت‌های فسیلی کنند، بلکه در حال حاضر نیز اقدامات چشم‌گیری انجام داده‌اند. به عنوان مثال در کشورهای آسیایی، خودروهای هیدروژنی در حال تولید است و یا در اکثر این کشورهای یاد شده، ایستگاه‌هایی جهت عرضه هیدروژن وجود دارد. در انتها این مقاله بر آن است تا جایگاه این کشورها را در تولید هیدروژن مقایسه کند [۱۵].

در ادامه این مقاله، ابتدا تصویری از اهمیت و توجه جهان به تولید هیدروژن ارائه می‌گردد. سپس به طور جزئی به کشورهای پیشتاز این حوزه به مانند چین، ژاپن، کره جنوبی و... پرداخته خواهد شد. پس از آن مقایسه شرایط و قیمت تولید هیدروژن و وضعیت کشورها ارائه خواهد شد. در ادامه جمع‌بندی و نتیجه گیری ارائه خواهد شد.

۲- تصویر جهان

هیدروژن در دهه‌های اخیر در حوزه‌های مختلفی مورد استفاده قرار گرفته است. انرژی هیدروژن به طور عمده در صنایعی از جمله صنایع نفت و شیمیایی و صنعت فرآوری فولاد استفاده می شود. در بخش نفت و مواد شیمیایی، بیشتر هیدروژن برای هیدروژناسیون[1]، هیدروکراکینگ[2] و گوگردزدایی استفاده می شود. از هیدروژن در تهیه آمونیاک و متیل الکل در صنایع شیمیایی نیز استفاده می شود که در این میان هیدروژن بیشترین حجم را در سنتز آمونیاک به خود اختصاص می دهد. ۶۰ درصد هیدروژن در جهان برای سنتز آمونیاک استفاده می شود و این نسبت در چین به ۸۰ درصد می رسد. استفاده از هیدروژن در پالایش نفت جایگاه دوم استفاده از هیدروژن را به خود اختصاص می‌دهد. در فرآیند تولید فولاد، هیدروژن به عنوان محصول میانی عمل می کند. این روش تولید هیدروژن مقرون به صرفه است، اما هیدروژن تولید شده اغلب برای کمک به احتراق در کوره استفاده می شود و مقدار کمی از آن را می توان به بیرون ارائه کرد [۱۶،۱۷].

در حال حاضر نیز علاوه بر استفاده‌های صنعتی از هیدروژن به صورت عمومی نیز استفاده می‌شود. به عنوان مثال در حمل و نقل و خودروهایی که با پیل سوختی کار می‌کنند. تعداد جایگاه‌های افتتاح شده برای عرضه‌ی هیدروژن در کشورها نشان دهنده‌ی این موضوع می‌باشد. ۱۴۲ ایستگاه جدید هیدروژن در سراسر جهان در سال ۲۰۲۱ افتتاح شده است که با احتساب آن در مجموع ۶۸۵ ایستگاه در سراسر جهان فعال است. آسیا بیشترین تعداد ایستگاه های سوخت گیری هیدروژن، ۳۶۳ جایگاه را دارد که به طور عمده در چین، ژاپن و کره جنوبی قرار دارند. ۲۲۸ ایستگاه در اروپا وجود دارد که در آلمان، فرانسه، بریتانیا، سوئیس و هلند توزیع شده اند [۲].

استفاده از هیدروژن در جهان در حال افزایش است. عموم کشورها، اهداف خود را در میان‌مدت برای سال ۲۰۳۰ و در بلندمدت برای سال ۲۰۵۰ برنامه‌ریزی کرده‌اند. پیشبینی‌های مختلفی برای میزان تقاضای هیدروژن در این سال‌ها صورت گرفته است. برخی از پیشبینی‌ها حاکی از آن است که بسته به سناریوی مختلف از ۷۳ تا ۱۵۸ میلیون تن در سال ۲۰۳۰، ۷۳ تا ۳۰۰ میلیون تن در سال ۲۰۴۰ و ۷۴ تا ۵۶۸ میلیون تن در سال ۲۰۵۰ متغیر است. گسترش و اهیمت هیدروژن باعث شده است که سازمان‌های مختلف جهانی و سازمان‌هایی در کشورها، جهت پرداختن به این امر تشکیل شود. در جدول ۱ اسامی مربوط به این سازمان‌ها و کشورهای مرتبط به آن ذکر شده است. در کشور آمریکا بیش از یک سازمان برای هیدروژن تاسیس شده است و در سطح جهانی نیز سه سازمان بین المللی در این حوزه فعالیت می‌کنند، که نشان دهنده‌ی اهمیت فراوان استفاده از هیدروژن در جهان آینده است. در ادامه به طور جداگانه به برنامه کشورهای پیشران این حوزه پرداخته خواهد شد [۱۸].

جدول ۱ سازمان‌های مرتبط با هیدروژن و محل استقرار آن‌ها[۱۸]

نام سازمان	محل
شورای هیدروژن	جهانی
انجمن بین المللی انرژی هیدروژن	جهانی
هیدروژن آژانس بین المللی انرژی	جهانی
مرکز بین المللی انرژی هیدروژنی	سازمان توسعه صنعتی ملل متحد
هیدروژن اروپا	اروپا
صنعت هیدروژن و پیل سوختی کانادا	کانادا
هیدروژن آفریقای جنوبی	آفریقا
انجمن استرالیایی انرژی هیدروژنی	استرالیا
انجمن انرژی پیل سوختی و هیدروژن	ایالات متحده آمریکا
انجمن ملی هیدروژن	ایالات متحده آمریکا
برنامه هیدروژن و پیل سوختی	ایالات متحده آمریکا
بنیاد هیدروژن	اسپانیا

۳- آسیا

۱-۳- ژاپن

می توان گفت که ژاپن قهرمان انرژی هیدروژنی جهان است. به عنوان یک کشور از لحاظ اقتصادی و فناوری پیشرفته بدون منابع طبیعی فراوان، جهت‌گیری ملی به سمت منابع طبیعی و هیدروژن یک راه مطلوب برای تضمین استقلال انرژی، پایداری بلندمدت و پایه های پایدار برای توسعه آینده باشد. ژاپن استراتژی پایه هیدروژن خود را در دسامبر ۲۰۱۷ اعلام کرد و نقشه راه تا سال ۲۰۵۰ را ارائه کرد. اجزای اصلی نقشه راه شامل ایجاد یک زنجیره تامین هیدروژن بین المللی با استفاده از منابع انرژی استفاده نشده از خارج از کشور، مانند زغال سنگ قهوه ای استرالیا، و همچنین ارائه یک روش تولید هیدروژن است که به طور فعال از انرژی های تجدیدپذیر و منابع منطقه ای استفاده نشده استفاده می کند [۱۳،۱۹،۲۰].

مفهوم هیدروژن در ژاپن به طور محدود تنها بر روی یک راه حل ذخیره انرژی الکتریکی متمرکز نیست، بلکه در تمام بخش‌ها متمرکز است و اگر نقشه راه موفقیت آمیز باشد، هیدروژن به سوخت اصلی برای حرکت اقتصادی تبدیل خواهد شد. تولید هیدروژن بر اساس ترکیبی از اصلاح بخار نفت و تبدیل به گاز زغال سنگ و تولید هیدروژن سبز از طریق الکترولیز آب استوار است کاربردها در صنعت، تولید برق و پیل‌های سوختی ثابت برای مصارف مسکونی راه‌حل‌های اولیه برای پیاده‌سازی هیدروژن در جامعه هستند. . بخش عمده بعدی حمل و نقل است که در آن تمرکز بر فناوری هیدروژن مایع، هیدریدها، آمونیاک به عنوان حامل هیدروژن، هیدروژن فشرده و تکیه بر شبکه داخلی خطوط لوله و کامیون ها است. از هر سه خودروساز پیشرو جهان در حوزه‌ی

1. Hydrogenation

2. Hydrocracking

تولید خودروهای پیل سوختی[1] دو نفر از ژاپن هستند[2]. ژاپن بنا دارد تا آستانه سال ۲۰۳۰ میلادی سطح انتشار کربن خود را به میزان ۲۶ درصد نسبت به سال ۲۰۰۵ و در سال ۲۰۵۰ به میزان ۸۰ درصد کاهش دهد. برنامه‌ی او برای تحقق این هدف استفاده و جاگزین کردن هیدروژن است. لیست اهداف او برای جایگزینی هیدروژن در جدول ۲ ارائه شده است [۱۳،۲۱،۲۲].

جدول ۲ اهداف هیدروژنی ژاپن

اهداف/ سال	۲۰۳۰	۲۰۵۰
مصرف سالانه (تن)	۳۰۰ هزار	۱۰-۵ میلیون
قیمت (دلار/کیلوگرم)	۳	۲
جایگاه سوخت هیدروژنی	۹۰۰	جایگزینی کامل
وسایل نقلیه هیدروژنی	۸۰۰ هزار	جایگزینی کامل
اتوبوس هیدروژنی	۱۲۰۰	جایگزینی کامل
لیفتراک هیدروژنی	۱۰ هزار	جایگزینی کامل
سلول سوخت هیدروژنی	۵.۳ میلیون	جایگزینی کامل

۲-۳- چین

چین از سال ۲۰۰۹ به دومین واردکننده خالص نفت در جهان تبدیل شده است. علاوه بر این، ساختار اقتصادی چین نیز تأثیر عمده ای بر انتشار گازهای گلخانه ای و رویکرد متعاقب آن برای رسیدگی به تغییرات آب و هوایی دارد. به همین سبب برای استقلال در حوزه انرژی و حل چالش‌های محیط زیستی، چین نیز نیاز به گذر از انرژی‌های فعلی را احساس کرد و هیدروژن را به عنوان یک نامزد امیدوار کننده برای حل نگرانی‌های خود در نظر گرفت. در دسامبر ۲۰۲۰، کنفرانس کاری اقتصادی مرکزی چین، کاهش انتشار کربن را به عنوان یکی از هشت اولویت کاری اصلی در سال ۲۰۲۱ تعیین کرد. صنعت هیدروژن می‌تواند فضای بزرگی را برای توسعه چین ایجاد و مشکلاتش را حل کند. به همین سبب چین طرح جامعی را برای انرژی هیدروژنی تهیه کرده است. در ابتدا، فناوری تولید هیدروژن از زغال‌سنگ آغاز شده است و هنوز قادر به تولید هیدروژن در مقیاس بزرگ از انرژی‌های تجدیدپذیر در کوتاه مدت نیست و ساختار صنعت تولید هیدروژن با تولید هیدروژن سوخت فسیلی به عنوان بدنه اصلی شکل گرفته است، تولید هیدروژن الکترولیز آب و انرژی های تجدیدپذیر به عنوان منابع تکمیلی تشکیل خواهد شد. تولید هیدروژن چین از سوخت های فسیلی مانند زغال سنگ، گاز طبیعی و نفت نزدیک به ۷۰ درصد است. در بلندمدت، با توجه به مزایای چین در انرژی‌های تجدیدپذیر، مانند انرژی‌های خورشیدی به دلیل پهناوری و انرژی بادی، چین باید به تدریج تولید هیدروژن خود را از روش‌هایی که با تولید کربن همراه است کاهش داده و از زغال سنگ عبور کند و روی به هیدروژن سبز بیاورد [۲،۲۳].

چین به عنوان یکی از پیشرانان در حوزه تولید هیدروژن از ۹۰ میلیون تن هیدروژن تولیدی در سطح جهان حدود ۳۳ میلیون تن را تولید می‌کند. همین امر باعث شده است تا در چین هیدروژن بتواند جایگاهی در زندگی روزمره پیدا کند و باعث شود که چین با احداث چین ۶۹ جایگاه عرضه هیدروژن پس از ژاپن و آلمان با ۱۵۴ و ۹۱ جایگاه در رتبه سوم داشتن ایستگاه‌های هیدروژن قرار گیرد. پیش‌بینی می‌شود که در سال ۲۰۵۰، انرژی هیدروژن در چین بازاری به ارزش ۸۲۵۰ میلیارد یوان داشته باشد و چین بتواند اهداف کاهش ۲۰ درصدی انتشار گازهای گلخانه‌ای و تأمین ۱۸ درصد انرژی برای پایانه‌ها را برآورده کند [۲،۱۶،۲۴].

۳-۳- کره جنوبی

در ژانویه ۲۰۱۹، کره جنوبی چشم انداز خود را برای تبدیل شدن به یک کشور پیشرو در کلاس جهانی در اقتصاد هیدروژنی تحت عنوان نقشه راه فعال‌سازی اقتصاد هیدروژنی را اعلام کرده است. به طور کلی استقرار یک سیستم تولید و عرضه هیدروژن اقتصادی و پایدار بر اساس ایجاد یک اکوسیستم صنعتی ارائه شد که می‌تواند به اقتصاد هیدروژن در بخش‌های حمل و نقل و تولید برق منجر شود. در اکتبر ۲۰۱۹، یک نقشه راه توسعه فناوری هیدروژن بین وزارتی برای حمایت از اجرای اقتصاد هیدروژن با بهبود رقابت فناوری داخلی در انرژی هیدروژن ایجاد شد. در ۷ اکتبر ۲۰۲۰، چشم انداز تبدیل شدن به یک کشور پیشرو در اقتصاد هیدروژنی اعلام شد که نشان دهنده انتخاب صنعت هیدروژن برای دستیابی به هدف کاهش انتشار کربن تا سال ۲۰۵۰ است. از طریق این اطلاعیه، دولت کره جنوبی برنامه های خود را برای ایجاد یک سیستم تولید داخلی هیدروژن پاک با ظرفیت ۱ میلیون تن سالانه را ارائه کرد. با سرمایه‌گذاری ۳۶ میلیارد دلار، دولت کره جنوبی قصد دارد تا سال ۲۰۳۰، ۳۰ شرکت جهانی هیدروژن تاسیس کند و ۵۰۰ هزار شغل مرتب با هیدروژن ایجاد کند [۲۴،۲۵].

در ۲۶ نوامبر ۲۰۲۱، اولین طرح اقتصاد هیدروژنی اعلام شد. این طرح شامل ۱۵ وظیفه اجرایی بر اساس چهار استراتژی اصلی تولید هیدروژن پاک داخلی و خارج از کشور، ایجاد زیرساخت های فشرده، استفاده از هیدروژن در زندگی روزمره و تقویت پایه های اکوسیستم بود. دولت کره جنوبی برنامه‌هایی را برای انتقال تولید هیدروژن داخلی و خارجی به سیستم‌های تامین هیدروژن پاک اعلام کرد و بنا دارد که تا سال ۲۰۵۰، ۲۷.۹ میلیون تن هیدروژن سبز و آبی به طور سالانه تولید کند. علاوه بر تولید، تجاری‌سازی تولید برق هیدروژنی برای گسترش عرضه تأسیسات تولید برق پیل‌سوختی انجام خواهد شد. برای بخش حمل و نقل، تولید خودروهای هیدروژنی تا سال ۲۰۵۰ از طریق بهبود عملکرد خودروهای هیدروژنی به سطوحی برابر با خودروهای موتور احتراق داخلی تا سال ۲۰۳۰ و گسترش کاربرد هیدروژن در انواع مختلف، به ۵.۲۶ میلیون خودرو در سال افزایش خواهد یافت. فرآیندهای صنعتی که مقادیر زیادی گازهای گلخانه ای تولید می کنند، مانند تولید فولاد، پتروشیمی و سیمان، به فرآیندهای مبتنی بر هیدروژن تبدیل خواهند شد. در حالی که سوخت و مواد خام با هیدروژن جایگزین خواهد شد. تحقیق و توسعه هیدروژن بین وزارتخانه‌ای و تربیت نیروی انسانی حرفه‌ای نیز برنامه‌ریزی شده است، که اجرای متناظر آن منجر می‌شود که هیدروژن ۳۳ درصد از سبد مصرف انرژی کره جنوبی و ۲۳.۸ درصد از تولید برق را تا سال ۲۰۵۰ تشکیل دهد [۲۳،۲۵].

پیشبینی کره جنوبی از تعداد وسایل نقلیه هیدروژنی و تعداد جایگاه‌های عرضه سوخت هیدروژن برای سال‌های ۲۰۳۰ و ۲۰۴۰ در جدول ۳ و جدول ۴ ارائه شده‌اند.

جدول ۳ پیشبینی تعداد وسیله‌های نقلیه هیدروژنی کره جنوبی [۲۶]

1. Fuel cell energy vehicles

2. سومین مورد از کره جنوبی

وسیله*/سال	۲۰۳۰	۲۰۴۰
خودروهای سواری	۸۱۰	۲۷۵۰
تاکسی	۱۰	۸۰
اتوبوس	۲۰	۴۰
کامیون	۱۰	۳۰

*واحد تعداد وسایل نقلیه هزار فروند می‌باشد.

جدول ۴ پیشبینی تعداد جایگاه‌های سوخت هیدروژن کره جنوبی [۲۷]

محل جایگاه/سال	۲۰۳۰	۲۰۴۰
جاده‌های عمومی	۳۳۶	۸۰۱
بزرگراه‌ها	۶۰	۷۸
مناسب برای اتوبوس	۲۱۱	۲۹۰
مجموع	۶۰۷	۱۱۶۹

۴- اروپا

اتحادیه اروپا استراتژی جایگزینی هیدروژن را برای اروپای بدون انتشار کربن را در جولای ۲۰۲۰ اعلام کرد. هیدروژن به عنوان یک فناوری موثر و مناسب برای کاهش کربن در نظر گرفته شد و به عنوان یک فناوری ضروری برای دستیابی به هدف عدم انتشار کربن تا سال ۲۰۵۰ معرفی شد. اتحادیه اروپا اتحاد هیدروژن پاک اروپا را تأسیس کرد که یک نقشه راه استراتژیک برای حوزه هیدروژن ارائه می کند و همکاری بین نهادهای عمومی، صنعت و جامعه مدنی را ترویج می‌کند. نقشه راه هیدروژن ۲۰۵۰ اتحادیه اروپا بر تولید هیدروژن سبز تمرکز دارد، اما به هیدروژن آبی وخاکستری به عنوان یک مرحله انتقالی میان مدت نیازد دارد. برنامه سال ۲۰۵۰ برای تکمیل اکوسیستم هیدروژن اروپا به سه مرحله تقسیم شده است. مرحله اول، از سال ۲۰۲۰ تا ۲۰۲۴، کربن‌زدایی از کارخانه های صنعتی و تجاری سازی در مقیاس بزرگ را با نصب سلول های الکترولیتی هیدروژن سبز با حداقل ۶ گیگاوات و حداکثر تولید یک میلیون تن هیدروژن سبز سالانه هدف قرار داد. با توجه به سیاست‌ها، اقداماتی برای معرفی یک چارچوب نظارتی بازار هیدروژن و احیای بازار هیدروژن و همچنین روش‌هایی برای حمایت از ایجاد یک برنامه سرمایه‌گذاری قوی گنجانده شده است. در مرحله دوم، از سال ۲۰۲۵ تا ۲۰۳۰، با هدف نصب حداقل ۴۰ گیگاوات سلول الکترولیتی و تولید حداقل ۱۰ میلیون تن هیدروژن سبز سالانه می‌باشد. مرحله سوم، از سال ۲۰۳۰ تا ۲۰۵۰ کربن‌زدایی از تمام زمینه‌ها از طریق فناوری هیدروژن سبز که وارد بلوغ شده است [۲۴،۲۸].

برای کشورهای اروپای مرکزی و شرقی، توسعه هیدروژن که از حدود دهه ۱۹۶۰ آغاز شد، در پایان قرن بیستم به دلیل تغییر رژیم سیاسی متوقف شد که به طور قابل توجهی برنامه های تحقیق و توسعه ملی آنها را کند کرد. در جمهوری چک، با تأسیس پلتفرم فناوری هیدروژن چک در سال ۲۰۰۷، علاقه به هیدروژن شروع به رشد کرد. آنها انتظار دارند با سرمایه گذاری در توسعه فناوری هیدروژن، تأثیری بر کاهش انتشار کربن تولیدی ایجاد کنند، با توجه به کاربرد هیدروژن شرایط را بهبود بخشند و تأثیر مثبتی بر رشد اقتصادی داشته باشند. وضعیت مشابهی در کشورهایی مانند لهستان، رومانی و اوکراین وجود دارد که در آن سازمان‌های ترویج هیدروژن در آغاز قرن بیست و یکم ایجاد شدند [۲۱،۲۹].

به عنوان کشور پیشرو اروپا در استقرار و سرمایه‌گذاری در فناوری هیدروژن، استراتژی ملی هیدروژن آلمان می تواند به عنوان یک راهنما برای سایر کشورهای اروپایی باشد. استراتژی آن‌ها با چشم‌انداز اتحادیه اروپا درباره آینده هیدروژن ادغام شده است. اهداف استراتژی ملی آن‌ها بر ادغام هیدروژن در صنعت و جامعه متمرکز است. استراتژی شامل دو مرحله است. در مرحله اول تفصیلی، دولت فدرال ۳۸ اقدام را با توجه به تولید هیدروژن، حمل و نقل، بخش صنعتی، زیرساخت‌ها، تحقیق، آموزش، نوآوری و تمرکز بر همکاری در سطوح اروپایی و بین المللی با در نظر گرفتن بازار و مشارکت اقتصادی انجام خواهد داد. فاز دوم با اهداف تثبیت بازار داخلی جدید، شکل‌گیری ابعاد اروپایی و بین‌المللی هیدروژن، صورت خواهد گرفت [۲۱].

۵- آمریکای شمالی

در سال ۲۰۰۲، وزارت انرژی ایالات متحده آمریکا نقشه ملی توسعه انرژی هیدروژنی را منتشر کرد. فناوری‌های آماده‌سازی و ذخیره انرژی هیدروژن را تفسیر و هدفی را برای اقتصاد هیدروژن در سال ۲۰۴۰ پیشنهاد کرد. این طرح چشم انداز بلندمدت صنعت هیدروژن و پیل سوختی آینده و همچنین پیشنهادهای سیاستی برای دستیابی به آن را با توجه به مراحل توسعه فناوری و بلوغ بازار با توجه به جدول زمانی سیاست های ۲۰۳۰ و ۲۰۵۰ ارائه داد. ایالات متحده یک سیاست هیدروژنی را به رهبری ایالت کالیفرنیا دنبال می کند، جایی که ایالت و دولت فدرال یک مشارکت خصوصی-عمومی برای ترویج سیاست های انرژی هیدروژن تشکیل داده‌اند. وزارت انرژی ایالات متحده آمریکا همچنین علاقه قابل توجهی به توسعه هیدروژن نشان داده است تا هزینه های منابع مختلف انرژی را کاهش دهد و در عین حال تولید و استفاده از منابع انرژی داخلی را بهبود بخشد. برای آمریکا نیز هیدروژن تولید شده از سوخت های فسیلی عنصر مهمی در گذار به اقتصاد کم کربن است. هیدروژن آبی در آمریکا جایگاه ویژه‌ای دارد، زیرا با قیمت حدود دو دلار در کیلوگرم، در مقایسه با سوخت های فسیلی، در رقابت است. در داخل ایالات متحده آمریکا، اکثر تقاضا توسط پالایش نفت و تولید آمونیاک تشکیل می‌شود؛ اما انتظار می‌رود که تقاضای هیدروژن در مقیاس‌های بزرگ حتی در زمینه‌های تولید برق، ساختمان‌ها و حمل‌ونقل تا سال ۲۰۵۰ افزایش یابد [۱۷،۲۴].

کانادا جز ده تولیدکننده برتر جهانی هیدروژن است که چهار میلیون تن هیدروژن در سال معادل پنج درصد تولید جهانی را تولید می‌کند. گاز طبیعی یک ماده اولیه برای تولید هیدروژن خاکستری یا آبی است، بنابراین کانادا با توجه به فراوانی ذخایر گاز طبیعی[1] موقعیت خوبی برای تبدیل شدن به یک صادرکننده پیشرو هیدروژن را دارد. در همین راستا، دولت کانادا با تکیه بر هدف اقلیمی خود برای انتشار گازهای گلخانه‌ای خالص صفر تا سال ۲۰۵۰، استراتژی هیدروژنی را منتشر کرد که برنامه هایی را برای اقتصاد ملی هیدروژن و تبدیل شدن به یک رهبر در تجارت بین المللی هیدروژن کم کربن توصیف می‌کند [۳۰].

1. میزان ذخایر گاز طبیعی کانادا ۷۳ تریلیون فوت مکعب تخمین زده شده است.

۶- مقایسه‌ها

در این بخش از مقاله چند مطلب تکمیلی- مقایسه‌ای که ترکیبی از وضعیت کشورهای مختلف در کنار هم است، ارائه می‌شود. جدول ۵، چند تخمین از قیمت تولید هیدروژن کشورهای آمریکا، کانادا و لیبی در روش‌ها و مقیاس‌های مختلف را ارائه می‌دهد. به طور میانگین تولید هیدروژن با استفاده از نیروی برق و فناوری‌های مختلف در آمریکا، هزینه‌ای معادل ۴.۲۲ دلار بر کیلوگرم دارد. در کانادا تولید هیدروژن با استفاده از نیروی باد در مقیاس متوسط و الکترولیز در جا، ۹ دلار بر کیلوگرم هزینه دارد. در لیبی با روشی مشابه کانادا، هزینه تولید هیدروژن ۱۰ پوند بر کیلوگرم تمام می‌شود. گران‌ترین هزینه تولید هیدروژن ۵۱ دلار بر کیلوگرم است که در آمریکا با روش استفاده از زیست توده‌ها، تولید می‌شود. پیشبینی می‌شود که در سال‌های آینده این رقم به ۵.۶ دلار بر کیلوگرم، کاهش یابد[1] [۳۱].

جدول ۵ مقایسه هزینه تولید هیدروژن در کشورها با روش‌های مختلف تولید [۳۱]

نام کشور	روش/مقیاس تولید	هزینه تولید (واحد)
آمریکا	برق، الکترولیز/بزرگ	۴.۲-۵.۱۱ (دلار بر کیلوگرم)
آمریکا	برق، الکترولیز اکسید جامد/بزرگ	۳.۸۲-۴.۹۶ (دلار بر کیلوگرم)
آمریکا	برق، الکترولیز/کوچک	۴.۲۳-۵.۱۴ (دلار بر کیلوگرم)
آمریکا	برق، پیل سوختی کربنات مذاب/کوچک	۲.۵۸-۳.۷۱ (دلار بر کیلوگرم)
آمریکا	زیست توده/بزرگ	۵۱ (دلار بر کیلوگرم)
لیبی	نیروی باد، الکترولیز/کوچک	۹.۳-۱۰.۴ (پوند بر کیلوگرم)
کانادا	نیروی باد، الکترولیز/متوسط	۹ (دلار بر کگیلوگرم)

در جدول ۶، قیمت تولید هیدروژن از روش‌های با انتشار کربن مثل استفاده از زغال سنگ یا گاز طبیعی گزارش شده است. تولید هیدروژن با روش‌های با انتشار کربن به مراتب ارزان‌تر از روش‌های الکترولیز و استفاده از نیروهای تجدیدپذیر است. اما مسئله اصلی این روش‌ها انتشار کربن است که باید به گونه‌ای جذب و دفع شود که در جدول ۶ می‌توان هزینه تولید را با جذب کربن و بدون جذب آن مقایسه کرد.

جدول ۶ مقایسه قیمت تولید هیدروژن خاکستری و آبی در کانادا [۳۲]

روش تولید	منبع مورد استفاده	هزینه (دلار بر کیلوگرم)
هدیروژن خاکستری	زغال سنگ	۱.۳۵
هیدروژن آبی	زغال سنگ	۱.۶-۲.۰۵
هیدروژن خاکستری	گاز طبیعی	۱.۳۱
هیدروژن آبی	گاز طبیعی	۱.۶۲-۱.۸۳

هیدروژن در واکنش سوختن خود تنها آب تولید می‌کند، به همین سبب مصرف هیدروژن منجر به انتشار کربن نخواهد شد. اما تولید هیدروژن در برخی از روش‌ها منجر به انتشار کربن خواهد شد که در جدول ۷ به مقایسه این امر با انتشار کربن مصرف تعدادی از سوخت‌های فسیلی، پرداخته شده است.

جدول ۷ مقایسه انتشار کربن تولید هیدروژن و مصرف سوخت فسیلی [۳۲]

نام ماده	میزان انتشار کربن	واحد
مصرف هیدروژن	۰	-
تولید هیدروژن خاکستری	۸.۵	کیلوگرم CO_2 بر کیلوگرم H_2
تولید هیدروژن آبی (از زغال سنگ با جذب ۹۰ درصدی کربن)	۲.۴	کیلوگرم CO_2 بر کیلوگرم H_2
تولید هیدروژن آبی (از گاز طبیعی با جذب ۹۰ درصدی کربن)	۱	کیلوگرم CO_2 بر کیلوگرم H_2
مصرف بنزین	۳.۱۵	کیلوگرم CO_2 بر کیلوگرم بنزین
مصرف گازوئیل	۳.۲۴	کیلوگرم CO_2 بر کیلوگرم گازوئیل

۷- جمع‌بندی

هدف انتقال انرژی به سمت جامعه بدون کربن تنها محدود به بخشی از کشورهای پیشرو در جهان نیست، بلکه یک تعهد جهانی مشترک است. در واقع جهان خانه‌ی همه‌ی ما می‌باشد و باید در حل بحران‌های آن و چالش‌هایش کوشا باشیم. همانطور که بیان شد، اهمیت جهان بدون انتشار کربن امروز برای همه‌ی کشورها مشخص است و در تلاش هستند تا در آستانه سال ۲۰۵۰ به هدف خود نزدیک شوند. هیدروژن به عنوان یک جایگزین پاک، برای جهان آینده‌ی بی کربن انتخاب شده است. کشورهای مختلف در حال برنامه‌ریزی و گام برداشتن به سمت آن هستند. این که آیا هیدروژن می‌تواند به زودی جایگزین کامل دیگر انرژی‌ها شود یا خیر، هنوز محل سوال و نامطمئن می‌باشد. زیرا برنامه‌های هیدروژنی کشورها در حال حاضر با تاکید بر هیدروژن خاکستری و آبی، پیش می‌رود و تولید هیدروژن سبز با چالش روبه‌رو است. هزینه تولید آن توان رقابت و جایگزینی را در حال حاضر ندارد. اما تاکید کشورها بر این است تا با استفاده از هیدروژن خاکستری و آبی در ابتدا میزان انتشار کربن را کاهش دهند و همچنین بتوانند زیرساخت‌های لازم استفاده از آن را ایجاد کنند و پس از آن به سمت هیدروژن سبز و جایگزینی کامل آن گام بردارند.

در میان کشورهایی که در حال حاضر، در حوزه تولید هیدروژن وارد شده‌اند و فعالیت می‌کنند؛ شاید نام ژاپن به این سبب که آغازکننده‌ی این امر بوده است، درخشان‌تر از دیگران باشد. اما نمی‌توان پیشرفت چین و کره جنوبی را نادیده گرفت. در حال حاضر با توجه به مطالب بیان شده به نظر می‌آید که صنعت هیدروژن در کشورهای آسیایی از دیگر کشورها بیشتر مورد توجه قرار گرفته است و شرق جهان امروزه در این حوزه در جایگاه بهتری قرار دارد. به این سبب که هر ۳ خودروساز برتری که در حوزه تولید خودروهای هیدروژنی

[1] در زمان نگارش این مقاله میانگین قیمت بنزین در ایالات متحده حدود ۳.۵ دلار در هر گالن است.

فعالیت می‌کنند در آسیا حضور دارند و یا بیش از نیمی از جایگاه‌های عرضه هیدروژن،۳۶۳ جایگاه، در آسیا قرار دارد. از نظر تکنولوژی تولید، شرایط تمام کشورها در وضعیت مشابه تقریبی قرار دارد. در تمامی کشورها تولید هیدروژن سبز با چالش روبه‌رو است و از نظر قیمتی توان رقابت با دیگر سوخت‌ها و انرژی‌ها را ندارد و درحال حاضر در تمام دنیا تاکید بر تولید هیدروژن‌های آبی و خاکستری می‌باشد تا به مرور زیرساخت‌های استفاده از انرژی هیدروژن در جهان شکل گیرد و تولید هیدروژن سبز رقابتی شود. تولید هیدروژن سبز به منابع طبیعی و تکنولوژی وابسته است. به عنوان مثال کشوری مانند ژاپن که دسترسی مناسب‌تری نسبت به کره جنوبی، به آب‌های آزاد دارد، می‌تواند با پیشرفت تکنولوژی تولید هیدروژن سبز خود را در آینده نزدیک‌تری به یک اقتصاد هیدروژنی تبدیل کند.

۸- مراجع

[1] A. Ostadzad, Long-term forecast of the optimal share of renewable energy in total energy in the form of a sustainable growth model, *Journal of Energy Planning and Policy Research*, Vol. 1, No. 1, pp. 1-28, 2013. (In Persian)

[2] C. Zoua , J. Lia , X. Zhangb, *, X.Jina , B. Xionga , H. Yua , X. Liua , S. Wanga , Y. Lia , L. Zhanga , S. Miaoa , D. Zhenga , H. Zhoub , J. Songa & S. Pan, Industrial status, technological progress, challenges, and prospects of hydrogen energy, *ScienceDirect*, Vol. 9, No. 5. pp. 427-447, 2022.

[3] A. Chapman, K. Itaoka, K. Hirose, F. Davidson, K. Nagasawa, A. Lioyd. M. Webber, Z. Kurban. S. Managi, T. Tamaki, M. Lewis, R. Hebner and Y. Fujii. A review of four case studies assessing the potential for hydrogen penetration of the future energy system, *Science Direct*, Vol. 44, No. 13, pp. 6371-6382, 2019.

[4] L. Pomaska and M. Acciaro, Bridging the Maritime-Hydrogen Cost-Gap: Real options analysis of policy alternatives, *Elsevier Ltd*, Vol. 107, 2022 .

[5] Sh. Elahi, J. Gharibi, M. Majidpour and A. Anvari Rostami, The Diffusion of Renewable Energy Technologies: Grounded Theory Approach, *Scientific Quarterly Innovation Management*, Vol. 4, No. 2, pp. 33-56, 2015. (In Persian)

[6] H. Ritchie and M. Roser, *Energy*, Published online at OurWorldInData.org, 2020; 'https://ourworldindata.org/energy'.

[7] Chen, Y.-T.; Hsu, C.-W. The key factors affecting the strategy planning of Taiwan's hydrogen economy. Int. J. *Hydrogen Energy*, Vol. 44, pp. 3290–3305, 2019.

[8] D. Parra, L. Valverde, F. Pino and M. Patel, A review on the role, cost and value of hydrogen energy systems for deep decarbonisation. Renew. *Sustain. Energy Rev*, Vol. 101, pp. 279–294, 2019.

[9] P. Duorak, How Japan's big bet on Hydrogen could revolutionize the Energy Market, *The Wall Street Journal,* 2021.

[10] S. Chai, G. Zhang, G. Li and Y. Zhang, Industrial Hydrogen Production Technolog and Development Status in China: a review, *Clean Techn Environ Policy*, Vol. 23, PP. 1931–1946, 2021.

[11] F. Golmohammadi, A. Fathi, S. Mahdikhani, A. Ghanmi Nesab and F. Saedi, Hydrogen Economy and Reasons for Approaching the Hydrogen Age, *Iran Electrochemistry Education Conference,* Tarbiat Dabir Shahid rajai University, Tehran, Iran, 2016. (in Persian)

[12] A. Hatami and H. Shakouri, Presenting the Model that Determines the Optimal Combination of Hydrogen Gas Production Technologies, *Quarterly Journal of Energy Economics Studies*, No. 24, 2009. (In Persian)

[13] A.Chaube, A Chapman, Y. Shigetomi, K. Huff and J. Stubbins, The Role of Hydrogen in Achieving Long Term Japanese Energy System Goals, *Energies,* 2020.

[14] H. Hassanzadeh, A. Ferdousara and M. Farzad, Hydrogen economy, the inevitable event of the future, *the first conference on non-renewable energies and distributed production in Iran*, 2008. (In Persian)

[15] M. Fotras, A. Aghazadeh and S. Jabraili, the study of the effect of renewable and non-renewable energy consumption on the growth of selected economic developing countries (including Iran), *Quarterly Journal of Energy Economics Studies*, Vol. 9, No. 32, pp. 51-72, 2012. (In Persian)

[16] S. Guoquan, Y. Chunlei, Q. Hui and Z. Zhi-Yin, Development and Commercialization of Clean Fuels Production Technology from Medium and Low Temperature Coal Tars, *Petroleum Processing and Petrochemicals*, Vol. 46(8), pp.12-17, 2015.

[16] P. Aiqiang, L. Jing, L. Zhipeng, Y. Yunwei, Y. Xiu and Z. Meixia, Application of Hydrogen Energy and Review of Current Conditions, *IOP Publishing*, Vol. 526, 2020.

[18] T. Yusaf, M. Laimon, W. Alrefae, K. Kadirgama, H. Dhahad, D. Ramasamy, M. Kamarulzaman and B. Yousif, Hydrogen Energy Demand Growth Prediction and Assessment (2021–2050) Using a System Thinking and System Dynamics Approach, *Applied Sciences*, Vol. 12, No. 2, 2022.

[19] H. Dasha, Toward a Hydrogen Society-Introduction of Representative Projects in Japan, *ECS Trans*, Vol. 91, No. 3, 2019.

[20] J. Yap and B. McLellan, Evaluating the attitudes of Japanese society towards the hydrogen economy: A comparative study of recent and past community surveys, *Science Direct*, Vol. 54, pp. 66-83, 2024.

[21] A .Kovac, M .Paranos and Doria Marcius, Hydrogen in Energy Transition: A review, *Science Direct*, Vol. 46, pp. 10016-10035, 2021.

[22] Q. Hassan, S. Algburi, A. Sameen, M. Salman and M. Jaszczur, Green hydrogen: A pathway to a sustainable energy future, *Science Direct*, Vol. 50, pp. 310-333, 2024.

[23] J .Lu, A .Zahedi, C .Yang, M .Wang and B. Peng, Building the Hydrogen Economy in China: Drivers, resources and technologies, *Elsevier*, Vol. 23, pp. 543-556, 2013.

[24] J. Shin, Hydrogen Technology Development and Policy Status by Value Chain in South Korea, *Energies*, Vol.15, No. 23, 2022.

[25] T. Stangarone, South Korean Efforts to Transition to a Hydrogen Economy. *Clean Technologies and Environmental Policy*, Vol. 23, pp. 509–516, 2020.

[26] H. OH, I. HONG and I. OH, South Korea's 2050 Carbon Neutrality Policy, *East Asian Policy*, Vol. 13, No. 01, pp. 22-46, 2021.

[27] K. Hyunjoon, E. Myungeun and B. Kim, Development of strategic hydrogen refueling station deployment plan for Korea, *International Journal of Hydrogen Energy*, Vol, 45. Pp. 19900-19911, 2020.

[28] European Commission. *A Hydrogen Strategy for a Climate Neutral Europe: European Commission*, 2020.

[29]I. Iordache, K. Bouzek, M. Paidar, K. Stehlík, J. Töpler, M. Stygar, J. Dąbrowa, T. Brylewski, I. Stefanescu, M. Iordache, D. Schitea, A. Grigoriev, N. Fateev and V. Zgonnik, The Hydrogen Context and Vulnerabilities in the Central and Eastern European Countries. *International Journal Hydrogen Energy*, Vol. 44, pp. 19036-19054, 2019.

[30] A. Okunlola, T. Giwa, G. Di Lullo, M. Davis, E. Gemechu, A. Kumar, Techno-Economic Assessment of Low-Carbon Hydrogen Export from Western Canada to Eastern Canada, the USA, the Asia-Pacific, and Europe, *Science Direct*, Vol. 47, pp. 6453-6477, 2022.

[31] Y. Li and F. Taghizadeh-Hesary, *Energy Price and the Economic Feasibility of Using Hydrogen Energy for Road Transport in the People's Republic of China*, Asian Development Bank Institute, Tokyo, 2020.

[32] M. Yu, K. Wang and H. Vredenburg, Insights into low-carbon hydrogen production methods: Green, blue and aqua hydrogen, *International Journal of Hydrogen Energy,* Vol. 46, pp. 21261-21273, 2021.