DOI : 10.22034/jrenew.2024.197540

سال یازدهم، شماره دوم، پائیز و زمستان 1403، ص ص 116- 107

فصل‌نامه علمی انرژی‌های تجدیدپذیر و نو

jrenew.ir

Online ISSN 2676-2994 Print ISSN 2423-4931

مقاله پژوهشی

تاریخ دریافت: 1402/02/12

تاریخ پذیرش: 403/02/10

پتانسیل به‌کارگیری واحدهای CCUS در صنایع کشور با روی‌کرد تحلیل سلسله مراتبی

سبحان حرفت[1]، ابوالقاسم مسیبی جیرهنده[2]، مجید زندی[3*]

1- دانشجوی دکتری، دانشکده مهندسی مکانیک و انرژی، دانشگاه شهید بهشتی، تهران، ایران

2- کارشناسی ارشد، دانشکده مهندسی مکانیک و انرژی، دانشگاه شهید بهشتی، تهران، ایران

3- دانشیار، دانشکده مهندسی مکانیک و انرژی، دانشگاه شهید بهشتی، تهران، ایران

* تهران، صندوق پستی 1658953571، m_zandi@sbu.ac.ir

چکیده

درخواست روزافزون انرژی در کشورها و استفاده از سوخت‌های فسیلی، باعث افزایش نگرانی جهانی برای انتشار گازهای گل‌خانه‌ای در جو شده است. به‌عنوان یکی از راه‌حل‌ها برای تحقق کاهش انتشار گازهای گل‌خانه‌ای در دنیا استفاده از فناوری جذب کربن به‌خصوص CCUS بوده که توجه کارشناسان در زمینه‌های مختلف را به خود جلب کرده است. بااین‌حال، استفاده از تاسیسات CCUS به چند دلیل به‌طور مطلوب پیش نرفت. گزینه‌های فنی متعدد، استفاده در صنایع متنوع و سامانه‌های ارزیابی پیچیده CCUS از دلایل مهم هستند. استفاده از این فناوری نکته دیگر نگرانی‌های متنوع ذی‌نفعان درگیر است که منجر به ایجاد مشکل در تصمیم‌گیری می‌شود. بنابراین، در این پژوهش برای کشور ایران با استفاده از روی‌کرد تحلیل سلسله‌مراتبی، شش معیار از منظر قیمت تمام‌شده، جذابیت فناوری، توانمندی فناوری، فرهنگی، پدافند غیرعامل و زیست‌محیطی، تعریف و مقایسه و ارزیابی شده است. نتایج ارزیابی و تفسیرهای مربوطه از دیدگاه‌های گوناگون موردبررسی قرار گرفت. با اتخاذ این روش ارزیابی و ایجاد یک مدل جامع، تصمیم‌گیرندگان می‌توانند ضرورت‌های خود را تعیین و ارزیابی چند بعدی انجام دهند و برای قضاوت یا تصمیم‌گیری‌های مربوطه برای اجرای پایلوت پروژه‌های CCUS ایده بگیرند. از نتایج این پژوهش می‌توان به رتبه اول تاسیسات CCUS نسبت به سایر تاسیسات در سه کاربری مورد مطالعه اشاره کرد.

کلیدواژگان: گازهای گل‌خانه‌ای، فناوری جذب کربن، تحلیل سلسله مراتبی، قیمت تمام‌شده، جذابیت فناوری، CCUS

The potential of using CCUS units in the Iran's industries with an Analytic Hierarchy Process (AHP)

Sobhan Herfat[1], Abolghasem Mosayyebi Jirhandeh[2], Majid Zandi[3*]

1-Ph.D.Student, Faculty of Mechanical Engineering, Shahid Beheshti University, Tehran, Iran

2- MS.c, Faculty of Mechanical and Energy Engineering, Shahid Beheshti University, Tehran, Iran

3- Associate Professor, Faculty of Mechanical and Energy Engineering, Shahid Beheshti University, Tehran, Iran

* P.O.B. 1658953571 Tehran, Iran, m_zandi@sbu.ac.ir

Received: 2 April 2023 Accepted: 29 April 2024

Abstract

The increasing demand for energy in many countries and the use of fossil fuels have increased global concern about the emission of greenhouse gases into the atmosphere. As one of the solutions to reduce greenhouse gas emissions in the world, the use of Carbon Capture Technology, especially CCUS, has attracted the attention of experts in various fields. However, the use of CCUS facilities did not go well for several reasons. Multiple technical options, use in diverse industries and complex evaluation systems of CCUS are important reasons. The use of this technology is another point of various concerns of the involved stakeholders, which leads to problems in decision-making. Therefore, in this research, using the Analytic Hierarchy Process for Iran, six criteria have been defined, compared, and evaluated from the point of view of total price, technological attractiveness, technological capability, cultural, passive, and environmental defense. The evaluation results and related interpretations are examined from different perspectives. By adopting this evaluation

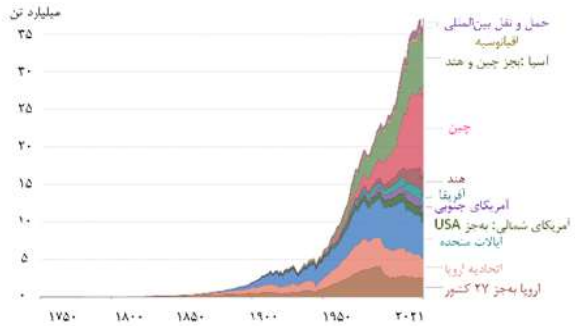
method and creating a comprehensive model, decision-makers can determine their needs and carry out multi-dimensional evaluation and get ideas for judgment or relevant decisions for the implementation of CCUS pilot projects. From the results of this research, we can mention the first rank of CCUS facilities compared to other facilities in the three studied uses.

Keywords: Greenhouse gases, Carbon Capture Technology, Analytic Hierarchy Process, stakeholders, CCUS

1- مقدمه

استفاده از سوخت‌های فسیلی از عامل‌های مهم تولید و انتشار گازهای گل‌خانه‌ای است. افزایش غلظت گازهای گل‌خانه‌ای در جو، میزان جذب اشعه مادون‌قرمز از سطح زمین را افزایش داده و باعث گرم شدن زمین می‌شود. دی‌اکسیدکربن (CO_2) به‌عنوان یکی از مهم‌ترین گازهای گل‌خانه‌ای در تغییر اقلیم نقش دارد [1].

بخش اعظم CO_2 توسط بخش انرژی تولید می‌شود. بدین سبب و بنابر نیاز رشد مصرف انرژی در افزایش ثروت جهانی، کاهش انتشار CO_2 و کاهش تغییر آب و هوایی، مستلزم چاره‌اندیشی است. از طرفی با توجه به رشد روزافزون مصرف انرژی در دنیا، محدودیت منابع سوخت‌های فسیلی و افزایش آلایندگی‌های زیست‌محیطی، نیاز به جای‌گزینی روش‌های نو در استفاده از منابع اولیه انرژی مصرفی امری ضروری و حیاتی است. استفاده از فناوری‌های جذب دی‌اکسیدکربن از جمله ایده‌هایی است که در سال‌های اخیر توسط پژوهش‌گران مورد مطالعه قرار گرفته است. شکل 1 نمودار انتشار دی‌اکسیدکربن و سهم انتشار آن در مناطق مختلف جهان را بین سال‌های 1750-2021 میلادی نشان می‌دهد. با توجه به شکل زیر، بیش‌ترین میزان سهم انتشار دی‌اکسیدکربن مربوط به چین و آمریکای شمالی هست.

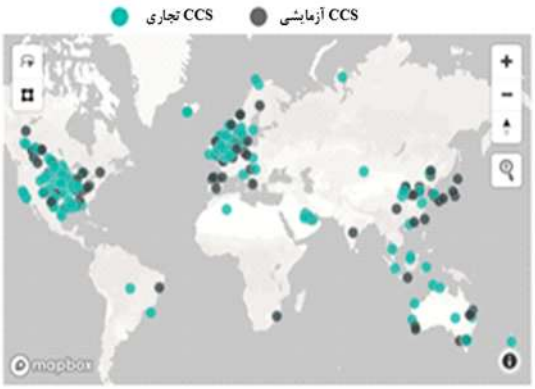


شکل 1 میزان انتشار دی‌اکسیدکربن در مناطق مختلف جهان [1]

برنامه اصلی جذب گاز دی‌اکسیدکربن از تولیدکنندگان بزرگ این گاز از قبیل نیروگاه‌های برق، صنایع و پالایشگاه هست. جذب گاز دی‌اکسیدکربن از منابع کوچک و متحرک در بخش حمل‌ونقل و نیز ساختمان‌های مسکونی و تجاری نسبت به تولیدکنندگان بزرگ بسیار مشکل و پرهزینه هست. بنابراین اغلب از آن صرف‌نظر شده و به‌طور کلی تمرکز بر جداسازی گاز از منابع بزرگ منتشرکننده CO_2 است.

یک راه جای‌گزین برای جلوگیری از انتشار گاز دی‌اکسیدکربن از این منابع کوچک، استفاده از حامل‌های انرژی پاک‌تر همانند هیدروژن و الکتریسیته تولیدشده در نیروگاه‌هایی با پایه سوخت‌های فسیلی یا استفاده از انرژی‌های تجدیدپذیر است. امروزه به‌دلیل نگرانی‌های ناشی از تغییر اقلیمی و گرم شدن تدریجی کره زمین، پروژه‌های متعدد جذب و ذخیره‌سازی کربن در دنیا در حال بهره‌برداری و اجرا هست. این پروژه‌ها در شکل 2 نمایش داده‌شده که نشان‌دهنده بیش‌ترین تمرکز این واحدها در اروپا و آمریکا است. در جدول 1 اطلاعات مربوط به پروژه‌های فعال نشان داده‌شده در شکل 2 آورده شده است. هم‌چنین در شکل 3 تاسیسات عملیاتی و برنامه‌ریزی شده برای جذب CO_2 بر اساس منطقه، در سال 2022 میلادی نمایش داده‌شده است.

شکل 2 پروژه‌های جذب کربن در دنیا [2]

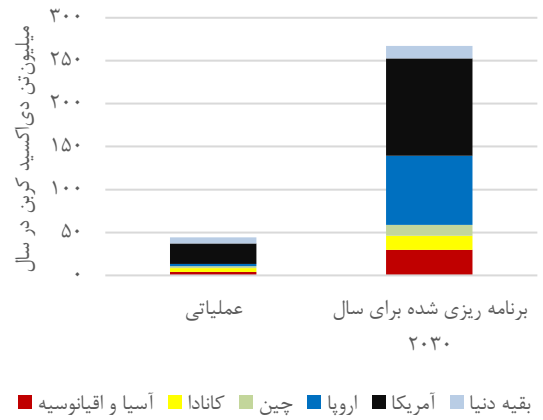


در برخی از مقاله‌ها و پژوهش‌ها، ذخیره‌سازی و جذب کربن، تحت عنوان CCS مطرح می‌شوند. اما استفاده از نام ذخیره‌سازی و استفاده در جذب کربن CCUS مرسوم‌تر است.

جدول 1 پروژه‌های فعال جذب کربن در دنیا [2]

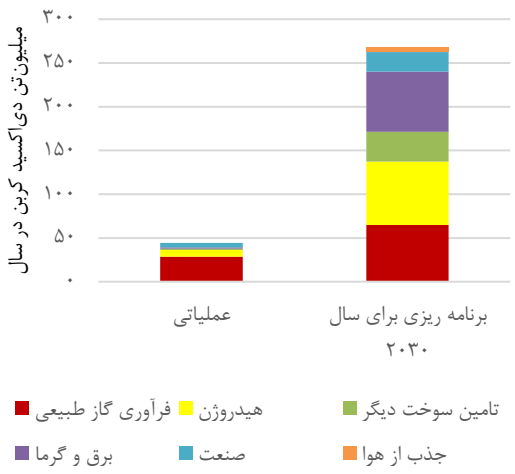
ردیف	محل قرارگیری	عملیاتی	توسعه پیشرفته و درحال‌توسعه	تکمیل‌شده	در حال ساخت

1	آسیا و اقیانوسیه	4	15	-	4
2	اوراسیا	-	1	-	-
3	خاورمیانه	3	3	1	1
4	اروپا	4	82	-	5
5	آمریکای جنوبی	1	1	1	-
6	آمریکای شمالی	20	83	1	2
8	آفریقا	-	-	1	-



شکل 3 تاسیسات عملیاتی و برنامه‌ریزی‌شده برای جذب CO_2 بر اساس منطقه، 2022 میلادی [3]

تاسیسات جذب دی‌اکسیدکربن در دسته‌بندی دیگری با توجه به نوع سوخت تولیدکننده کربن در شکل 4 نمایش داده‌شده است.



شکل 4 تاسیسات عملیاتی و برنامه‌ریزی‌شده با جذب CO_2، در سال 2022میلادی [4]

در سال‌های اخیر پژوهش‌هایی روی تاسیسات جذب، استفاده و ذخیره‌سازی کربن انجام شده است اما در اکثر این پژوهش‌ها فقط فناوری جذب و ذخیره‌سازی دی‌اکسیدکربن مدنظر بوده است. از معدود پژوهش‌های انجام‌شده در زمینه جذب، استفاده و ذخیره‌سازی کربن می‌توان به پژوهش بژانو و همکاران اشاره کرد. بژانو و همکاران [۵] به بررسی چشم‌انداز فنی و اقتصادی پروژه‌های CCUS در روسیه پرداختند. آن‌ها اشاره کردند که CCUS تنها راهی است که روسیه می‌تواند به اهداف توافق آب‌وهوایی پاریس دست یابد. شرکت‌های دیگر هنوز پروژه‌های جدید را به‌طور گسترده در روسیه اعلام نکرده‌اند، اما مشخص است که در نیروگاه‌های جدید و پروژه‌های گاز طبیعی مایع به‌احتمال‌زیاد از فناوری CCUS استفاده می‌شود. ویژال و همکاران [۶] درک فرصت‌های اولیه و چالش‌های کلیدی برای استقرار CCUS در هند را به روش سطح آمادگی فناوری مورد تحلیل و بررسی قراردادند. هدف آن‌ها ارائه راه‌کاری برای ذی‌نفعان در جهت کاهش دی‌اکسیدکربن در جو بود. یانگ و همکاران [۷] در پژوهشی پیشرفت فناوری CCUS در صنعت آهن و فولاد را به‌روش جذب نوسانی فشار و جذب نوسانی دما بررسی کردند. درنهایت آن‌ها، چهار نوع طرح برای CCUS در صنعت آهن و فولاد توسط آن‌ها پیشنهاد دادند. این طرح‌ها شامل، استفاده شیمیایی از منابع هیدروژن و CO_2، کانی‌سازی از CO_2 خروجی از صنعت فولاد، استفاده از کربن در دفع زباله، تثبیت کربن بیولوژیکی ریز جلبک‌ها بود. خسروآبادی و همکاران [۸] در پژوهشی به تجزیه‌وتحلیل فناوری‌های ذخیره‌سازی دی‌اکسیدکربن و دگرگونی‌های فناوری آن‌ها پرداختند. نتایج با نرم‌افزار VOSviewer نشان داد که تامین انرژی از منابع انرژی تجدیدپذیر و استفاده از سیاست‌های کلان انرژی، روش‌های تصمیم‌گیری و روش‌های تجاری‌سازی می‌تواند به‌طور قابل‌توجهی به توسعه و تکامل فناوری‌های جذب کربن کمک کند. هم‌چنین، تعداد بالای اختراع‌های ثبت‌شده توسط شرکت‌های فناور نشان می‌دهد که فناوری‌های جذب کربن در راه تجاری‌سازی هستند. ادموند و همکاران [۹] مشوق‌های اجباری کنگره بر اساس برنامه اعتبار مالیاتی 45Q آمریکا (برنامه 45Q از کد درآمد داخلی ایالات متحده، یک اعتبار مالیاتی برای ذخیره CO_2 هست) منجر به استفاده از تاسیسات CCUS را بررسی کردند. در نهایت این پژوهش نتیجه می‌گیرد که

مالکیت معنوی این مقاله تحت گواهی بین المللی تخصیص 4 کریتیو کامنز محفوظ است

اعتبارهای مالیاتی می‌تواند باعث تشویق استفاده از تجهیزات CCUS فراتر از حال حاضر شود. چن و همکاران[۱۰] در پژوهشی به بررسی استقرار و تجزیه‌وتحلیل ریسک با سامانه پشتیبانی تصمیم برای استفاده از CCUS به سمت بی‌طرفی کربن پرداختند. بنابر این پژوهش، چالش‌ها، شامل نرخ بالای شکست پروژه‌ها، فقدان حمایت مالی و محرک‌های بازار و هم‌چنین چارچوب مقررات ناقص از جمله دشواری‌های اجرای CCUS است. در نهایت، این مقاله به جهت‌گیری بالقوه پژوهش‌های بیش‌تر و به‌دنبال آن مفاهیم و توصیه‌های سیاستی اشاره می‌کند. راخیمه و همکاران [۱۱] در پژوهشی به بررسی اقتصادی زنجیره CCUS-EOR در اندونزی پرداختند. آن‌ها، بعد از تجزیه‌وتحلیل به‌روش ارزش خالص کنونی قابلیت اقتصادی را برای استفاده از CO_2 در جهت استفاده برای ازدیاد برداشت نفت به‌عنوان یک فرصت اولیه برای استقرار CCUS در اندونزی تایید می‌کنند. البارودی و همکاران [۱۲] در پژوهشی دیگر، مروری بر حمل‌ونقل دریایی در مقیاس بزرگ و مدیریت انتشار گاز CO_2 برای استفاده از CCUS را بررسی کردند. بررسی دقیق آن‌ها از تحول های احتمالی آینده، این واقعیت را برجسته می‌کند که با وجود برخی از چالش‌های موجود، حمل‌ونقل CO_2 برای حمایت از اجرای CCUSها در سراسر جهان بسیار مهم است. لیو و همکاران [۱۳] در پژوهشی، وضعیت جهانی فناوری‌های CCUS و توسعه و چالش‌ها آن‌ها در چین را بررسی کردند. آن‌ها نتیجه گرفتند که فناوری‌های CCUS پتانسیل بالایی در چین دارند. در این بررسی، آن‌ها نتیجه گرفتند که تنها با غلبه بر چالش‌های فنی و اجتماعی می‌توان از این تاسیسات استفاده‌کرد. حترمیزی و همکاران [۱۴] حرکت به‌سمت CCUS برای کاهش CO_2 در مالزی را پیشنهاد کردند. آن‌ها برای ذخیره‌سازی CO_2، چندین حوزه حیاتی به‌ویژه فناوری حفاری چاه، تزریق CO_2، فناوری ذخیره‌سازی شامل مدل و اندازه‌گیری میدان‌های ژئومکانیک و ژئوشیمی و هم‌چنین فناوری‌های نظارت و تایید برای CO_2ذخیره‌شده را مطالعه کردند. در مطالعه آن‌ها هم‌چنین، فناوری کانی‌سازی CO_2 نیز برای تبدیل CO_2 به محصول ارزش‌مند بررسی گردید. جون هو و همکاران [15] فناوری جذب و استفاده از کربن بدون تصفیه و فشار دی‌اکسیدکربن را بررسی کردند. در این مطالعه، تفاوت‌های بین خلوص CO_2 و فشار بررسی شد. سپس دشواری‌های تصفیه و فشار CO_2 در پیشرفت‌های اخیر جذب و استفاده کربن (CCU) بررسی و سپس چندین نمونه امیدوارکننده از فناوری‌های CCU بدون فشار CO_2 یا خالص‌سازی ارائه دادند. ویلبرفورس و همکاران [۱۶] به بررسی پیشرفت در فناوری‌های جذب کربن پرداختند. این بررسی یک تحلیل کامل از فناوری‌های مختلفی را ارائه می‌کند که می‌توان برای جذب دی‌اکسیدکربن به کار گرفت. در مطالعه آن‌ها، هزینه‌های مربوط به جذب، حمل‌ونقل و ذخیره‌سازی دی‌اکسیدکربن مورد بحث قرارگرفت. جنبه‌های اجتماعی و اقتصادی فناوری‌های جذب و ذخیره کربن نیز در این بررسی ارائه شده‌است. روسانالی و همکاران [۱۷] در پژوهشی، به ارزیابی نصب تاسیسات جذب و ذخیره کربن با استفاده از روش‌های ارزش فعلی خالص و محاسبه سالانه، در صنعت ارائه نمودند. آن‌ها، برای برآورد هزینه واقعی به‌جای استفاده از هزینه ثابت برای حمل‌ونقل و ذخیره دی‌اکسیدکربن، برآورد هزینه، نحوه حمل‌ونقل، فاصله آن و نوع ذخیره‌سازی را در نظر گرفتند. هم‌چنین توصیه‌هایی در مورد عواملی ارائه دادند که باید هنگام ارزیابی فناوری CCS در کاربردهای صنعتی مختلف در نظر گرفته شود. در این موضوع و هنگام ارزیابی احتمال‌های هزینه و عدم قطعیت مهم است. نینک کنک و همکاران [۱۸] به مشاهده ذخایر فناوری جذب و ذخیره کربن از طریق داده‌های ثبت اختراع با استفاده از مدل LDA و FCFP پرداختند. در نتایج آن‌ها، نوآوری جهانی فعلی فناوری CCUS در حدود ۳۲۵ گروه ثبت اختراع IPC دیده شده است. پژوهش آن‌ها بر ذخایر فناوری برای جذب CO_2 به‌طور عمده بر حلال‌های جداساز شیمیایی، جذب فیزیکی و جداسازی مخلوط هیدروکربنی متمرکز است. پژوهش آن‌ها مبتنی بر ذخایر فناوری برای جداسازی و استفاده از CO_2 برای افزایش بازیافت نفت و گاز، سنتز، آماده‌سازی ترکیب‌های آلی و کانی‌سازی است. چونگ لاو و همکاران [۱۹] به تحلیل نقش جذب و ذخیره کربن در انتقال انرژی در سنگاپور پرداختند. آن‌ها به این نتیجه رسیدند که اجرای CCS با سرعت آهسته موجب نگرانی است. این موضوع، به‌دلیل عدم وجود سیاست تشویقی برای ذخیره‌سازی CO_2 در ساختار زمین‌شناسی، اقبال پایین جامعه برای پذیرش این فناوری، سیاست انرژی و مقررات CCS و هزینه سرمایه‌گذاری بالا است. سپس آن‌ها برای تسریع اجرای CCS راه‌حل‌هایی پیشنهاد دادند. از جمله، آن‌ها برای صرفه‌جویی استفاده از ایجاد کریدورهای CCS منطقه‌ای، قیمت‌گذاری کربن، مشارکت بخش دولتی و خصوصی برای تامین مالی و انتقال فناوری را پیشنهاد دادند.

بررسی پژوهش‌های انجام‌شده نشان‌می‌دهد که تاسیسات CCUS در اکثر کشورها اجرا شده‌است. در این پژوهش، پتانسیل به‌کارگیری واحدهای CCUS در ایران مورد تحلیل و بررسی قرار گرفته است. از نتایج دیگر این پژوهش در استفاده از واحدهای CCUS برای سه کاربری نیروگاه، صنعت و پالایشگاه در ایران و تبدیل تهدید گازهای گل‌خانه‌ای به یک فرصت، برای تولید ثروت است.

1-1- سهم بخش‌های مختلف در انتشار دی‌اکسید کربن در ایران

احتراق سوخت‌های فسیلی جهت تولید حرارت یا تولید کار مکانیکی برای مصارفی نظیر ناوگان حمل‌ونقل یا نیروگاه‌های تولید برق عمده‌ترین بخش از عمل‌کرد سامانه‌های انرژی را تشکیل می‌دهد به‌طوری‌که می‌توان گفت که گردش چرخه اقتصاد در اغلب اقتصادهای دنیا هم‌چنان به احتراق سوخت‌های فسیلی وابسته‌است.

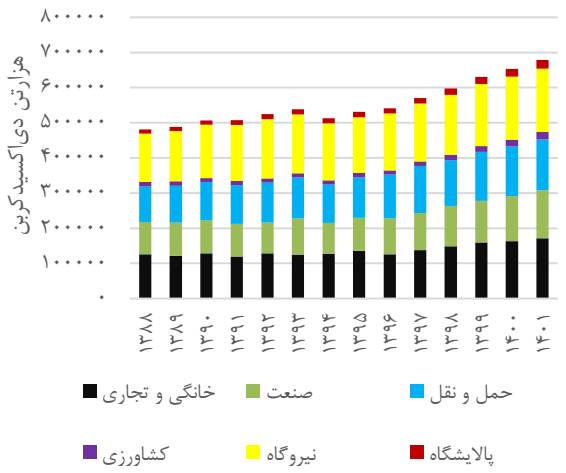
طی فرآیند احتراق، اتم‌های کربن و هیدروژن مربوط به مولکول‌های سوخت‌های فسیلی با ترکیب با اکسیژن هوا به دی‌اکسیدکربن (CO_2) و آب (H_2O) تبدیل می‌شوند و انرژی شیمیایی سوخت به‌صورت گرما آزاد می‌شود. این گرما در برخی موارد به‌صورت مستقیم در فرآیندها مورداستفاده قرار می‌گیرد و در بسیاری از موارد با تبدیل تلفات به کار مکانیکی، نیروی موردنیاز برای گردش موتورها، توربین‌ها و ژنراتورها تامین می‌گردد. گاز دی‌اکسیدکربن به‌عنوان مهم‌ترین محصول، احتراق نقش قابل‌توجهی در پدیده گرمایش جهانی دارد و ازاین‌رو به‌عنوان مهم‌ترین گاز گل‌خانه‌ای شناخته‌شده است. در جدول ۲ به میزان انتشار دی‌اکسیدکربن در بخش‌های مختلف مصرف در ایران اشاره‌شده است. همان‌گونه که قابل مشاهده است، بیش‌ترین سهم در انتشار دی‌اکسیدکربن مربوط به بخش‌های نیروگاهی و خانگی و تجاری هست. آمارهای رسمی تا سال ۱۳۹۸ شمسی وجود دارد و در این مقاله ترند انتشار دی‌اکسیدکربن برای سه سال ۱۳۹۹ ، ۱۴۰۰ و ۱۴۰۱ شمسی در کادر مستطیلی به‌صورت جداگانه در بخش‌های مختلف به‌روش رگرسیون غیرخطی به‌دست‌آمده است.

جدول ۲ انتشار دی‌اکسیدکربن در بخش‌های مختلف مصرف در ایران[۲۰]

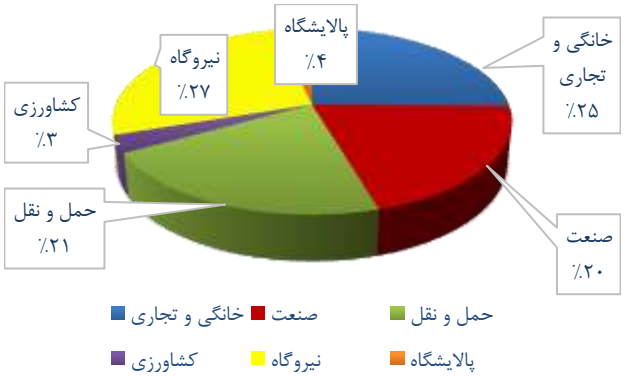
سال	صنعت	حمل‌ونقل	کشاورزی	نیروگاه	پالایشگاه	خانگی و تجاری
۸۸	۹۱۶۷۶	۱۰۰۸۹۳	۱۲۵۲۴	۱۳۸۰۱۱	۱۱۹۲۲	۱۲۶۳۰۲
۸۹	۹۴۷۲۷	۱۰۴۹۸۵	۱۲۵۲۹	۱۴۲۹۴۹	۱۱۷۸۹	۱۲۱۳۸۵
۹۰	۹۴۸۶۰	۱۰۷۶۶۶	۱۱۳۳۱	۱۵۲۰۷۲	۱۱۷۸۴	۱۲۸۸۰۳
۹۱	۹۳۰۳۲	۱۱۰۷۶۷	۱۱۵۵۵	۱۵۹۳۰۸	۱۳۶۷۰	۱۱۹۱۲۹
۹۲	۸۷۴۵۲	۱۱۴۳۶۱	۱۱۸۱۲	۱۶۸۱۰۷	۱۴۵۰۸	۱۲۸۳۷۰
۹۳	۱۰۲۴۹۹	۱۱۶۹۰۹	۱۱۳۹۰	۱۶۷۳۸۸	۱۴۸۴۴	۱۲۵۳۹۱
۹۴	۸۷۶۶۰	۱۰۹۳۷۱	۱۱۴۳۷	۱۶۲۷۴۰	۱۴۳۲۶	۱۲۷۴۳۸
۹۵	۹۳۸۹۸	۱۱۴۶۳۸	۱۲۵۷۲	۱۵۹۰۷۹	۱۵۰۵۱	۱۳۵۷۶۷
۹۶	۱۰۲۶۱۳	۱۲۴۰۲۸	۱۱۹۱۹	۱۶۱۵۹۶	۱۵۱۴۷	۱۲۶۰۷۸
۹۷	۱۰۵۸۵۵	۱۳۳۲۲۸	۱۳۳۳۷	۱۶۴۰۸۵	۱۶۲۴۸	۱۳۷۹۴۷
۹۸	۱۱۵۱۳۱	۱۳۰۲۱۷	۱۵۳۲۵	۱۷۰۴۷۸	۱۷۷۶۳	۱۴۸۴۲۸
۹۹	۱۱۸۵۲۰	۱۳۹۲۲۰	۱۶۷۵۵	۱۷۶۶۶۰	۱۹۵۹۵	۱۵۹۴۰۵
۰۰	۱۲۸۲۵۰	۱۴۱۹۰۱	۱۸۷۵۵	۱۷۹۲۹۰	۲۱۶۲۹	۱۶۳۱۲۵
۰۱	۱۳۶۹۰۰	۱۴۴۷۹۲	۲۰۵۶۱	۱۸۰۳۹۳	۲۴۱۹۱	۱۷۱۵۱۷

یافته‌های این مطالعه نشان می‌دهد که در بازه زمانی مورد بررسی، روند انتشار دی‌اکسیدکربن در تمامی بخش‌های کشور افزایشی بوده است. این موضوع در نمودار 5 مقاله که روند انتشار را در بخش‌های مختلف نشان می‌دهد، به وضوح قابل مشاهده است. افزایش مداوم انتشار دی‌اکسیدکربن در ایران، خطرهای قابل توجهی را برای محیط زیست و سلامت انسان به همراه دارد. این گاز گل‌خانه‌ای، عامل اصلی گرمایش جهانی و تغییرهای آب و هوایی است که پیامدهای ناگوار متعددی از جمله افزایش سطح دریاها، خشک‌سالی، سیل، طوفان و دیگر تغییرهای ناخواسته اقلیمی را به دنبال دارد.

در شکل ۶ میزان انتشار دی‌اکسیدکربن در سال ۱۴۰۱ شمسی نمایش داده‌شده که تاییدکننده بیش‌ترین سهم انتشار دی‌اکسیدکربن مربوط به بخش‌های نیروگاهی و خانگی و تجاری است.



شکل ۵ روند تغییر انتشار دی‌اکسیدکربن (ناشی از احتراق سوخت) در بخش‌های مختلف در سال‌های ۱۴۰۱-۱۳۸۸ [۲۰]



شکل ۶ سهم مصرف هر یک از بخش‌های مصرف در انتشار دی‌اکسیدکربن (ناشی از احتراق سوخت) در سال ۱۴۰۱ [۲۰]

۲-معرفی فناوری‌های جذب کربن

در این بخش به معرفی انواع فناوری‌های جذب کربن پرداخته می‌شود. در مرحله اول به انواع فناوری جذب گاز دی‌اکسیدکربن، سپس استفاده و درنهایت ذخیره‌سازی پرداخته می‌شود، در مرحله دوم نیز تاسیسات ذخیره و استفاده از کربن جذب شده، شرح داده می‌شود.

2-1- روش‌های جذب گاز دی‌اکسیدکربن

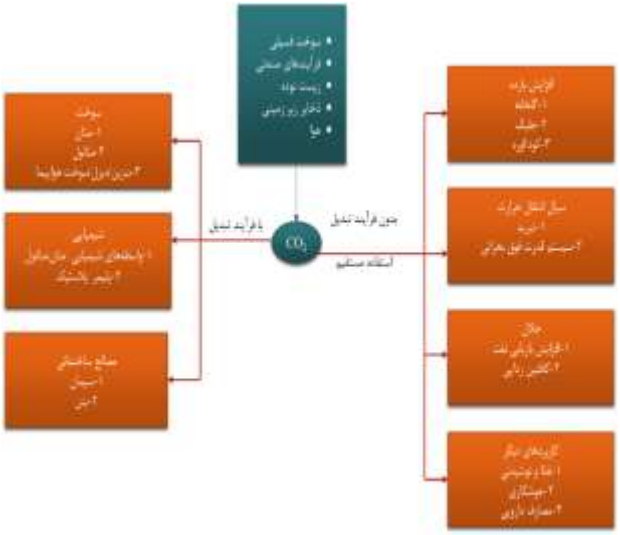
با توجه به احتراق سوخت‌های فسیلی سه سامانه پایه برای جذب دی‌اکسیدکربن از گازهای خروجی از منابع تولید این گاز وجود دارد، روش‌های جذب دی‌اکسیدکربن شامل موارد زیر است.

- فناوری جداسازی دی‌اکسیدکربن پس از احتراق
- فناوری احتراق اکسیژنی
- فناوری جداسازی دی‌اکسیدکربن پیش از احتراق

2-2- استفاده از دی‌اکسیدکربن

در شکل 7 کاربردهای ناشی از جذب گاز دی‌اکسیدکربن ارائه شده است.

مالکیت معنوی این مقاله تحت گواهی بین المللی تخصیص 4 کریتیو کامنز محفوظ است



شکل ۷ کاربردهای دی‌اکسیدکربن در صنایع متفاوت[۲۱]

2-3- ذخیره‌سازی

به‌طور کلی دو روش عمده برای ذخیره‌سازی دی‌اکسیدکربن وجود دارد که شامل موارد زیر است:

2-3- 1-ذخیره‌سازی در ساختارهای زمین‌شناسی

2-3- 2-ذخیره‌سازی در اقیانوس

مکانیسم ذخیره‌سازی به دو صورت سطحی و غیر سطحی است. ذخیره‌سازی گاز به‌صورت سطحی در مخازن مصنوعی، در جهت استفاده در صنعت کاربرد دارد و در مقیاس بزرگ نمی‌توان برای ذخیره‌سازی دی‌اکسیدکربن استفاده‌کرد. هدف از ذخیره‌سازی زیرسطحی حفظ محیط‌زیست با جلوگیری از انتشار دی‌اکسیدکربن به جو هم‌چنین گاهی اوقات استفاده از فواید جانبی آن مانند ازدیاد برداشت مواد هیدروکربوری هست نکته قابل‌توجه در ذخیره‌سازی زیرسطحی گاز دی‌اکسیدکربن افزایش چگالی آن با افزایش عمق تزریق است

2-3- 1- ذخیره‌سازی در ساختارهای زمین‌شناسی

ساختارهای زمین‌شناسی از مهم‌ترین گزینه‌های ذخیره‌سازی گاز دی‌اکسیدکربن در طولانی مدت است. ذخیره‌سازی در این ساختارها به‌صورت ترکیبی از روش‌هایی از قبیل تغییر ساختار سیال، به‌وسیله‌ی دی‌اکسیدکربن، انحلال دی‌اکسیدکربن در سیال و واکنش‌های شیمیایی دی‌اکسیدکربن با کانی‌های موجود در ساختار صورت‌می‌گیرد که در طولانی‌مدت واکنش دی‌اکسیدکربن با کانی‌های حاوی کلسیم باعث به وجود آمدن ترکیبات پایدار کربنات کلسیم می‌شوند. ذخیره‌سازی زیرزمینی دی‌اکسیدکربن به یک سنگ مخزن متخلخل که روی آن یک لایه سخت و مقاوم سنگ غیرقابل نفوذ قرار گرفته، نیاز دارد. اهمیت این لایه در این است که جابجایی دی‌اکسیدکربن شناور، آب‌شور و سایر مواد موجود را مهار می‌کند که این مواد به ساختارهای فوقانی نشت نکنند.

2-3- 2- ذخیره‌سازی دی‌اکسیدکربن در اقیانوس

ذخیره دی‌اکسیدکربن در اقیانوس‌ها به‌صورت هیدرات است که به‌کمک فشار ناشی از وزن آب که فشار قابل‌توجهی است در کف اقیانوس نگه‌داشته می‌شود.

CO_2 در حالت مایع چگال‌تر از آب دریا هست و به‌صورت مایع متراکم در کف اقیانوس قرار می‌گیرد و گودی‌های بستر آن را پر می‌کند و با آب به‌طور کامل در تماس است، به‌علت غلظت بالای CO_2 و دمای پایین موجود در بستر اقیانوس تمایل به تشکیل هیدرات از دیدگاه تئوری وجود خواهد داشت، از رفتار هیدرات CO_2 پیش‌بینی می‌شود که این هیدرات می‌تواند گزینه خوبی جهت رهایی طولانی‌مدت از آلودگی CO_2 باشد به‌علاوه این‌که انتقال هیدراتCO_2 در مقایسه با انتقال CO_2 در حالت‌های مایع و جامد، به‌دلیل ۱۸۰ برابری حجم نفوذ CO_2 به حجم هیدرات، آسان‌تر است. رسوب هیدرات CO_2 در کف دریا اگر که شرایط لازم برای نگهداری فشار جزئی CO_2 که مهم‌ترین عامل پایداری رسوب هیدرات است، به‌اندازه کافی باشد، می‌تواند برای مدت‌زمان طولانی پایدار باشد.

2-4- فناوری انتقال کربن

انتقال کربن اغلب در ۳ دسته‌بندی مختلف قرار می‌گیرد:

خطوط انتقال کربن، از آن‌جایی‌که استفاده از خطوط انتقال گاز CO_2 برای بازیافت چاه‌های نفت سال‌ها قدمت دارد این فناوری امروزه شناخته‌شده و به‌راحتی قابل‌اجرا و تجاری‌سازی است. فناوری‌های مربوط به تشخیص و پیشگیری از نشتی نیز در سال‌های گذشته تا حدودی توسعه‌یافته و مورد بهره‌برداری قرار گرفته است. امروزه انتقال گاز CO_2 با خطوط لوله به‌عنوان اقتصادی‌ترین و محتمل‌ترین گزینه بیان می‌شود.

انتقال با کشتی، انتقال گاز CO_2 با استفاده از خطوط کشتیرانی همانند انتقال گاز مایع فشرده‌است. فناوری‌های مربوطه همانند خطوط انتقال کربن مطرح شده و در سال‌های گذشته مورد استفاده قرار گرفته‌است. هزینه کلی انتقال با خطوط لوله پایین‌تر از انتقال با کشتی است و در اصل حمل گاز CO_2 با کشتی در فواصل بسیار طولانی مقرون‌به‌صرفه است. انتقال جاده‌ای و ریلی گزینه‌های مناسبی برای انتقال در مقیاس کوچک هستند. باید توجه داشت که برای حجم بالای گاز CO_2 به‌کارگیری این راه‌حل چندان اقتصادی نیست.

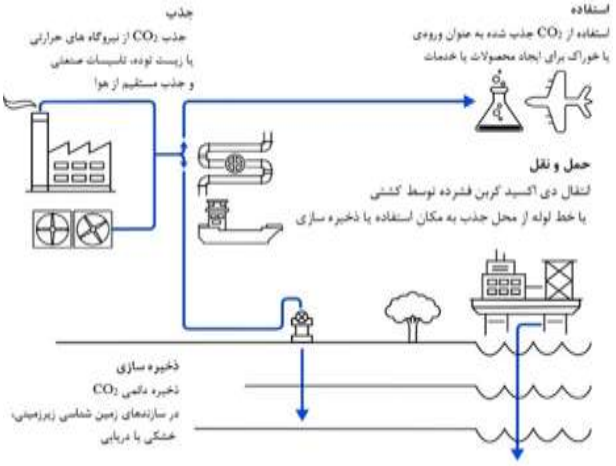
2-5- فناوری CCUS

ذخیره و استفاده از کربن جذب شده (CCUS) به مجموعه‌ای از فناوری‌ها اطلاق می‌شود که می‌توانند نقش متنوعی در تحقق اهداف جهانی انرژی و آب‌وهوا داشته باشند. این فناوری شامل جذب CO_2 از منابع نقطه‌ای بزرگ، مانند تولید برق یا تاسیسات صنعتی است که از سوخت‌های فسیلی یا زیست‌توده استفاده می‌کنند، که در شکل ۸ نمایش داده‌شده است.

دی‌اکسیدکربن هم‌چنین می‌تواند به‌طور مستقیم از جو گرفته شود، روش‌های متفاوتی برای جذب مستقیم هوا وجود دارد، از جمله:

- جذب شیمیایی: CO_2 به مواد شیمیایی خاصی جذب می‌شود که سپس CO_2 را از هوا جدا می‌کند.
- جذب فیزیکی: CO_2 روی سطح مواد جاذب مانند سیلیکاژل جذب می‌شود.
- غشاهای جاذب: CO_2 از هوا از طریق غشاهای خاصی عبور می‌کند که آن‌ها را از گازهای دیگر جدا می‌کند.

دی‌اکسیدکربن جذب‌شده توسط خط لوله، کشتی، راه‌آهن یا کامیون حمل می‌شود تا در طیف وسیعی از کاربردها مورداستفاده قرار گیرد، یا به سازند زمین‌شناسی عمیق (از جمله مخازن نفت و گاز یا سفره‌های آب‌نمک تخلیه‌شده) تزریق شود.



شکل ۸ ساختار یک فرآیند CCUS [۲۲]

3-متدولوژی

روش‌شناسی یا متدولوژی وسیله شناخت هر علم است. روش‌شناسی در مفهوم مطلق خود به روش‌هایی می‌گویند که برای رسیدن به شناخت علمی از آن‌ها استفاده می‌شود و روش‌شناسی هر علم نیز روش‌های مناسب و پذیرفته آن علم برای شناخت هنجارها و قواعد آن است.

3-1- معرفی روش و نرم‌افزار

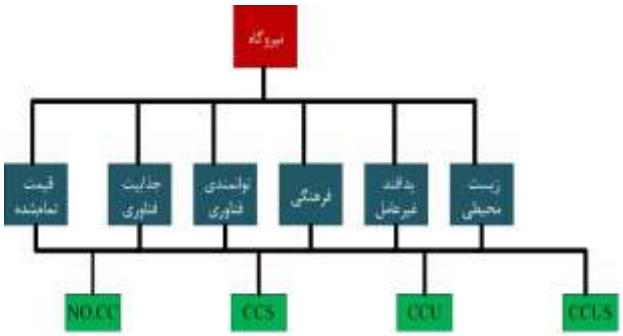
AHP یک روش تصمیم‌گیری است که توسط محقق آمریکایی A. L. Satty در دهه 1970 پیشنهاد شد. AHP روشی است که فرآیند تصمیم‌گیری توسط اشخاص خبره را در مورد مسائل پیچیده، مدل‌سازی و کمی سازی می‌کند. اصل اساسی روش AHP تجزیه مسئله به سطوح مختلف با توجه به ماهیت مسئله، هدف کلی و سپس تشکیل ساختار یک مدل تحلیلی در چند سطح است.

در این پژوهش از نرم‌افزار متن‌باز سوپردسیژن[1] که شامل مدل AHP و ANP و تحلیل حساسیت استفاده‌شده است[23].

3-2- مدل استفاده شده

شکل ۹ سامانه ارزیابی اجرای CCUS برای نیروگاه جهت جذب CO_2 را نشان می‌دهد. هدف مدل سلسله مراتبی در این پژوهش انتخاب مسیر فناوری مناسب برای جذب دی‌اکسیدکربن در سه کاربری نیروگاه، صنعت و پالایشگاه را با توجه به شاخص‌های اتخاذشده در سطح معیار از طریق بهترین گزینه توسط روش AHP است. جمعیت گروهی خبرگی شامل اعضایی از، صاحبان صنایع، اساتید هیات علمی، خبرگان بین صنعت، دانشگاه و دانشجویان دکتری بوده‌اند که در بصورت عضو دائم و وابسته در مرکز پژوهش انرژی دانشگاه شهید بهشتی حضور دارند.

در این پژوهش، در مرحله اول با توجه به ویژگی‌های نیروگاه و عوامل مختلفی که بر توسعه آن تاثیر می‌گذارند، از ۶ شاخص معیار و ۴ شاخص ارزیابی برنامه به‌روش AHP استفاده‌شده است. معیارهای قضاوت در مورد عملکرد یک مسیر فنی نیروگاه با زنجیره کامل را می‌توان به شاخص‌های قیمت تمام‌شده، جذابیت فناوری، توانمندی فناوری، فرهنگی، پدافند غیرعامل و زیست‌محیطی تقسیم کرد. این شاخص‌ها برای ۴ حالت بدون جذب کربن (NO.CC)، جذب کربن و ذخیره‌سازی (CCS)، جذب کربن و استفاده (CCU) و جذب کربن، استفاده و ذخیره‌سازی (CCUS) بررسی می‌شود.



شکل ۹ سامانه ارزیابی نیروگاه بر اساس AHP

3-3- شاخص‌های معیار

در این بخش انواع شاخص‌های معیار استفاده‌شده در روش AHP بیان می‌شود.

۱. بهای تمام‌شده

بهای تمام‌شده کالا به معنی محاسبه هزینه‌های مستقیم موثر در تولید کالا یا ارائه یک خدمت است که این هزینه‌ها شامل دستمزد نیروی انسانی، مواد اولیه و هزینه‌های سربار ساخت است.

۲. جذابیت فناوری

اهمیت یک فناوری از منظر راهبردی یا عملیاتی برای یک سازمان یا کشور که اولویت‌های سرمایه‌گذاری در بخش مربوط را تعیین می‌کند

۳. توانمندی فناوری

توانمندی شامل میزان تسلط بر فناوری، از بهره‌برداری تا خلق شیوه‌های نو است.

۴. شاخص فرهنگی

اجرای فناوری‌های جذب CO_2 در جامعه، نیازمند پذیرش و آگاهی از ابعاد آن‌ها و قبول خطرپذیری‌های موجود توسط نهادهای مختلف اجتماعی است. مطالعات نشان می‌دهد که امروزه درصد کمی از مردم حتی در کشورهای توسعه‌یافته از فناوری‌های جذب دی‌اکسیدکربن به‌طور عام و خطرپذیری‌های خطوط انتقال و ذخیره‌سازی به‌طور خاص آگاهی دارند [۲۴]. بدون اقبال اجتماعی فرایندهای انتقال، استفاده و ذخیره‌سازی با مخالفت و اعتراض نهادهای غیردولتی فعال در جامعه همراه خواهد بود.

۵. پدافند غیرعامل

به‌نوعی از دفاع غیرنظامی پدافند غیرعامل می‌گویند که شامل مجموعه اقداماتی است که به جنگ‌افزار نیاز ندارد و با اجرای آن می‌توان از وارد شدن ضررهای مالی به تجهیزات و تاسیسات حیاتی، حساس نظامی و غیرنظامی و مرگ‌ومیر انسانی جلوگیری نموده یا به حداقل ممکن کاهش داد

۶. شاخص زیست‌محیطی

[1] Super Decisions

مالکیت معنوی این مقاله تحت گواهی بین المللی تخصیص 4 کریتیو کامنز محفوظ است

بسیاری از نگرانی‌های زیست‌محیطی به مقوله نشت گاز CO_2 از خطوط انتقال و هم‌چنین نشت از مخازن ذخیره بازمی‌گردد. نشتی این گاز به اتمسفر باعث تغییرهای اقلیمی می‌شود. با توجه به نگرانی‌های تغییر اقلیمی در سطح جهانی نگرانی‌های محیط‌زیستی مهم‌ترین چالش تجاری‌سازی فناوری‌های جذب، استفاده و ذخیره‌سازی کربن است.

۴-نتایج و بحث

در این بخش خروجی روش AHP بر عملکرد تاسیسات پیشنهادی بررسی می‌شود. شایان ذکر است معیارها هم وزن نیستند در مرحله اول یک شاخص معیار و مجموعه‌ای از شاخص معیار انتخاب شده است. در مرحله دوم بر اساس داده‌های گروه خبرگی مجموعه شاخص‌ها نسبت به‌هم وزن دهی شد، هم‌چنین ضریب همبستگی درون طبقاتی در بین خبرگان 0/751 بود که نشان دهنده همبستگی پایدار و پایا است. محاسبات مربوط به تاسیسات در سه کاربری نیروگاه، صنعت و پالایشگاه انجام‌شده است. این محاسبات بر اساس مقداردهی به شاخص‌های معیار و ارزیابی انجام‌شده است. در تحلیل‌ها مقداردهی اعداد بر اساس راهبردها و برنامه‌های موجود توسط گروه خبرگان ارائه‌شده است. نتایج تحلیل سامانه نیروگاه در شکل ۱۰ نشان داده‌شده است.

در این پژوهش بحث ذینفعان و متولیان کاربری‌ها متفاوت مطرح است و بطور اساسی یک متولی واحد ندارد که تصمیم گیری کلان در زمینه جذب کربن صورت پذیرد و آینده این تاسیسات را مشخص کند. یعنی متولیان و ذینفعان مختلف وجود دارد که پیشنهاد این پژوهش برای بخش‌های مختلف مجزا هست. که متولی هرکدام براساس داده‌ها سیاست‌گزاری و تصمیم‌گیری کنند، بنابراین پیشنهاد برای هر بخش مجزا بوده است.

نیروگاه: وزارت نیرو و بخش خصوصی

پالایشگاه: وزارت نفت و بخش خصوصی

صنعت: وزارت صمت و بخش خصوصی

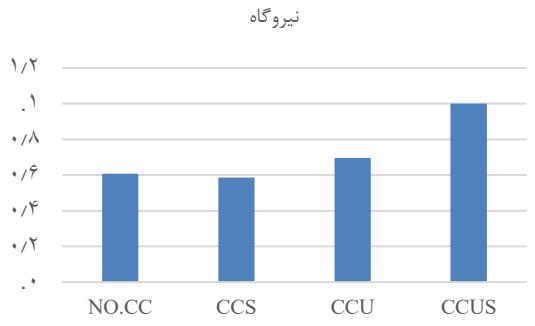
هم‌چنین در اسناد رسمی مانند ترازنامه انرژی میزان انتشار دی‌اکسیدکربن در بخش‌های مختلف بصورت جداگانه مورد تحلیل و بررسی قرار گرفته است و بصورت واحد نیست.

4-1- خروجی‌های نرم‌افزار

در این بخش خروجی‌های نرم‌افزار نشان داده می‌شود.

4-1-1- نیروگاه

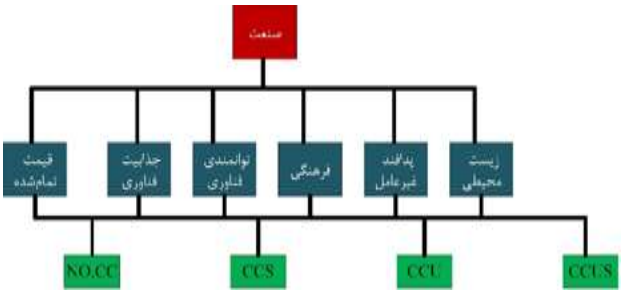
به مجموعه‌ای از روش‌ها و ابزارها که برای اندازه‌گیری و ارزیابی پتانسیل یک سامانه یا فرآیند برای انجام یک کار خاص تعریف می‌شود را سامانه پتانسیل‌سنجی می‌گویند. در شکل10 نتایج تحلیل سامانه پتانسیل سنجی برای کاربری نیروگاه نشان داده شده است که محور عمودی نشان‌دهنده مقادیر مربوط به سامانه پتانسیل‌سنجی و محور افقی، نشان‌دهنده انواع پروژه‌های جذب کربن است.



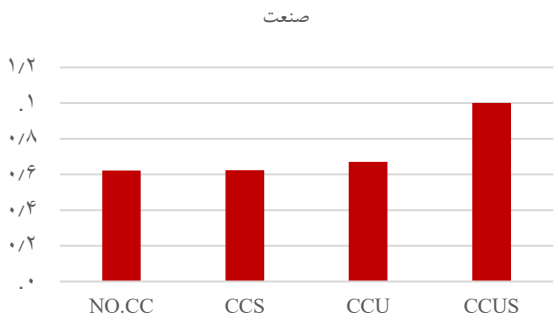
شکل ۱۰ نمودار پتانسیل سنجی نیروگاه

4-1-2- صنعت

شکل ۱۱ سامانه ارزیابی اجرای جذب CO_2 را برای صنعت نشان می‌دهد. نتایج تحلیل سامانه پتانسیل سنجی در شکل ۱۲ارائه شده است.



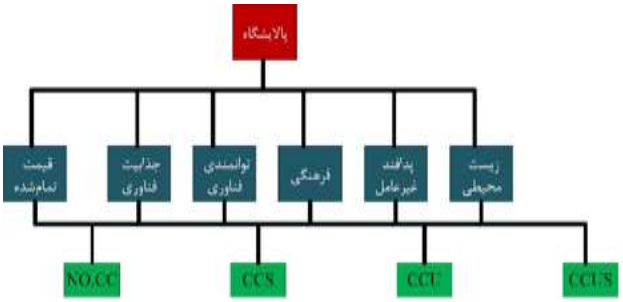
شکل 11 سامانه ارزیابی صنعت بر اساس AHP



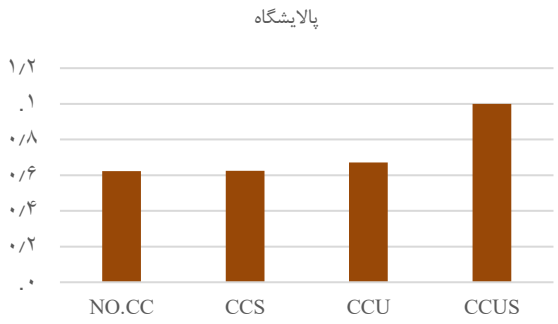
شکل ۱۲ نمودار پتانسیل سنجی صنعت

4-1-3- پالایشگاه

شکل ۱۳ سامانه ارزیابی اجرای جذب CO_2 را برای پالایشگاه نشان می‌دهد. نتایج تحلیل سامانه پتانسیل سنجی در شکل ۱۴ ارائه شده است.



شکل ۱۳ سامانه ارزیابی پالایشگاه بر اساس AHP



شکل ۱۴ نمودار پتانسیل‌سنجی پالایشگاه

4-2- تحلیل نتایج

در این بخش نتایج حاصل از تحلیل سلسله مراتبی بیان می‌شود.

۱-همان‌طور که مشخص است در سه کاربری مختلف تاسیسات CCUS رتبه اول را داراست، زیرا استفاده و ذخیره‌سازی همزمان به‌دلیل عدم اتلاف باعث افزایش کارایی فرآیند جذب کربن می‌شود.

۲-استفاده از فناوری CCU در کاربری‌های اشاره‌شده فوق، به‌دلیل جذب کربن و کاربرد آن در مصارف مختلف که در شکل ۸ به آن اشاره شد مفید فایده است.

۳-فرآیند CCS اغلب در پالایشگاه‌ها و صنایع کاربردی‌تر است، یکی از مصارف آن جهت تزریق در چاه‌های نفت برای جبران کاهش فشار است که به‌اختصار EOR نامیده می‌شود و در صنایع نیز درآمدزایی را به‌همراه دارد.

4-2-1- نیروگاه

براساس سناریوهای موجود می‌بایست ۱۰٪ ظرفیت نیروگاه‌ها را انرژی‌های تجدیدپذیر تشکیل دهند اما در زمان فعلی کم‌تر از ۱٪ ظرفیت نیروگاه‌ها براساس انرژی‌های تجدیدپذیر است، دلیل این امر آن است که وقتی برنامه اصلی و غیر راهبردی کشور توسعه شبکه گاز طبیعی و جایگزینی با فرآورده‌های نفتی است، تجدیدپذیرها نیز سهم چندانی در اقتصاد کشور ندارند، بنابراین تنوع سازی سبد انرژی کشور مفهومی ندارد، زیرا گاز طبیعی اجازه خودنمایی به تجدیدپذیرها را نخواهد داد. جایگزینی حداکثر گاز طبیعی با فرآورده‌های نفتی، در اغلب بخش‌ها به‌ویژه بخش خانگی، موجب افزایش خالص شدت مصرف انرژی شده است. بنابراین وابستگی سامانه انرژی کشور به یک سوخت غالب‌تر، امنیت انرژی را آسیب‌پذیر ساخته و دسترسی به گاز ارزان قیمت، مانعی برای توسعه منابع انرژی‌های تجدیدپذیر در آینده خواهد شد.

بنابراین با توجه به شرایط موجود، سوخت غالب نیروگاه‌ها و عدم اجرای نیروگاه‌های تجدیدپذیر براساس اهداف تعیین‌شده اجرای پروژه‌های CCUS امری ضروری به نظر می‌رسد. در مرحله بعد استفاده از کربن جذب‌شده برای تولید محصولات مختلف بازگشت سرمایه به‌همراه دارد، اما در نبود قوانین حمایتی و تشویقی برنامه جذب کربن انجام نمی‌شود.

همچنین بر اساس اسناد بالادستی می‌توان با افزایش راندمان شبکه نیروگاهی کشور از طریق جمع‌آوری و ذخیره‌سازی دی‌اکسید کربن، توسعه استفاده از منابع انرژی تجدیدپذیر، سوخت‌های زیستی، کاهش تلفات شبکه انتقال و توزیع برق، توسعه واحدهای CHP و سیکل ترکیبی، بهینه‌سازی انرژی در بخش تقاضا، تولید بیوگاز و تبدیل زباله به انرژی مقدار انتشار دی‌اکسیدکربن را کاهش داد. همچنین در داخل کشور نیز با توسعه مکانیسم‌های صحیح مالی و اقتصاد انرژی همانند کاهش و حذف تدریجی و کامل یارانه‌های انرژی، صندوق ملی محیط‌زیست و توسعه فعالیت بخش خصوصی به‌خصوص در بخش انرژی و بهینه‌سازی از طریق شرکت‌های خدمات انرژی، می‌توان مشوق‌هایی را در نظر گرفت.

4-2-2- صنعت

صنایع به‌طورکلی به‌دنبال زنجیره ارزش هستند. ۱۹٪ از آلودگی‌های کربنی ناشی از صنایع است، بنابراین صنایع می‌تواند براساس کربن تولیدی روی بخش ذخیره‌سازی و استفاده آن تمرکز کند. قانون‌های پشتیبان و بالادستی در ارتباط با محیط‌زیست، می‌تواند برای تامین مالی، بازگشت سرمایه و همچنین قیمت گاز مشوق‌هایی برای صنعت باشد که به‌عنوان نمونه ماده ۲۷ قانون مالیات بر ارزش‌افزوده (قانون مالیات سبز) است.

در کل مالیات‌هایی تحت عنوان مالیات سبز شامل تخفیف می‌شوند. این مالیات‌ها شامل مالیات شرکت‌هایی که کسب‌وکار آن‌ها در زمینه حفظ محیط‌زیست و کاهش آلودگی‌ها است، اما مالیات‌هایی که در این نظام شامل جریمه و افزایش می‌شوند شامل مالیات بر کربن که به‌شکل مالیات بر مصرف سوخت‌های فسیلی، تعرفه واردات کالاهای با مصرف انرژی بالا و مالیات استخراج از معدن است. به‌طورکلی این نظام به‌دنبال کاهش هزینه فعالیت‌های دوست‌دار محیط‌زیست به هر شکل و افزایش هزینه فعالیت‌های آسیب‌رسان به محیط‌زیست است. بنا بر همین دلایل استفاده از تاسیسات CCUS پیشنهاد می‌شود. ممکن است از سوی صنایع با فناوری قدیمی، مخالفتی وجود داشته باشد. که دراین‌باره برای صنایع با فناوری قدیمی می‌توان با اجرای طرح‌های تشویقی به‌مرور زمان، این فناوری را برای آن‌ها اجرا نمود و این مخالفت را از سوی آن‌ها کم کرد. علاوه بر این، می‌بایست برای توسعه صنایع تولیدی جدید با مصرف انرژی کم و راندمان بالا، ارتقای ساختار واحدهای صنعتی و بهبود سطح توسعه اقتصادی صنایع تولید تلاش نمود.

4-2-3- پالایشگاه

قبل از به‌کارگیری هرگونه روش ازدیاد برداشت، جلوگیری از کاهش فشار مخزن تا حد ممکن در اولویت است. تولید نفت خام، اکنون با پدیده کاهش ظرفیت استخراج مواجه است، جمع‌آوری گازهای خروجی، فراورش یا تبدیل حداکثری گازهای همراه و در حال سوختن با رعایت ملاحظه‌های اقتصادی و زیست‌محیطی نیز یکی از اولویت‌ها و راهبردهای صنعت نفت و گاز در بخش

مالکیت معنوی این مقاله تحت گواهی بین المللی تخصیص 4 کریتیو کامنز محفوظ است

بالادستی بوده که برگرداندن این گازها به مخزن نیز یک ضرورت گریزناپذیر است. چرا که سوختن آن‌ها هم محیط‌زیست را آلوده کرده و هم فرصت‌های اقتصادی را از بین می‌برد

همان‌طور که در تحلیل‌ها و اسناد بالادستی مشخص است فناوری CCUS بهترین گزینه جهت استفاده در پالایشگاه‌ها دارد که علاوه بر استفاده مجدد از کربن در مصارف مختلف، به‌عنوان‌مثال ارتقای کمی و کیفی محصول‌های پالایشی و پتروشیمیایی با روی‌کرد ایجاد حداکثر ارزش‌افزوده، از ذخیره‌سازی کربن جهت افزایش بهره‌وری در زنجیره صنعت نفت و گاز کشور استفاده می‌شود، البته شرکت‌ها باید به تعهدات بین‌المللی پایبند باشند ولی با توجه به تحریم‌های صورت گرفته این شرکت‌ها نمی‌توانند در ایران این‌گونه تاسیسات را اجرایی نمایند بنابراین می‌بایست این واحدهای فناوری در کشور بومی‌سازی شوند.

4-2-4- چشم‌انداز

فناوری‌های CCUS در اکثر نقاط جهان و خاورمیانه به مرحله عملیاتی رسیده است ولی متاسفانه در ایران این فناوری هنوز به مرحله پایلوت نرسیده است. با توجه به نیروگاه‌های حرارتی، صنایع، منابع نفتی و گازی فراوان پتانسیل قابل‌توجهی وجود دارد که از این تاسیسات جهت کاهش انتشار گازهای گل‌خانه‌ای و هم‌چنین استحصال بیشتر از کربن موجود در جهت مصارف متفاوت استفاده کرد به‌عنوان‌مثال در نیروگاه‌ها یک موضوع مهم بحث آلودگی شهری هست، به‌دلیل این‌که نیروگاه، آلودگی شهر را تحت تاثیر قرار می‌دهد. بنابراین می‌بایست هزینه‌هایی برای رفع آلودگی شهری و هوای پاک از سوی نهادهای دولتی پرداخت شود زیرا آلودگی تاثیر مستقیم بر سلامتی افراد جامعه دارد. درنتیجه می‌توان استفاده از فناوری CCUS را به‌عنوان یک فرصت درجهت کاهش آلودگی هوا و موضوع سلامت انسان‌ها مورد تحلیل و بررسی قرارداد.

یک کاربرد دیگر این فناوری کاهش مشکل ناترازی شبکه گاز است. در فصل زمستان داخل کشور مشکل ناترازی شبکه گاز وجود دارد و در این فصل بسیاری از نیروگاه‌ها که نزدیک شهرها است از مازوت به‌عنوان سوخت استفاده می‌کنند. و در اینجا واحدهای CCUS علاوه بر ارزش اقتصادی، ارزش راهبردی پیدا می‌کند. به‌طور تقریبی از 548/5 میلیون مترمکعب گاز تولیدی در روز، نزدیک 60897 میلیون مترمکعب گاز در سال را نیروگاه‌ها مصرف می‌کند. اگر در فصل‌های مختلف از مازوت به‌عنوان سوخت استفاده شود، همین مازوت همراه با استفاده از واحد CCUS به یک فرآیند ارزشمند تبدیل می‌شود که همزمان کاهش مصرف گاز را در پی دارد و می‌توان از کربن تولیدی آن استفاده کرد.

یکی دیگر از راه‌های استفاده از دی‌اکسیدکربن، فرآیندهای تولید سوخت مجدد از CO_2 هست که با تبدیل کربن به سوخت‌های مایع، می‌توان آن را ذخیره‌سازی کرد و از متان آن استفاده نمود. بنابراین در جهت رسیدن به فناوری CCUS می‌بایست اقدامات سریعی صورت گرفته و قوانینی تصویب شوند.

درخواست عمومی مردم از دولت جهت تصویب قوانین سخت‌گیرانه محیط زیستی در جهت کاهش انتشار گازهای گل‌خانه‌ای و حرکت به‌سمت برنامه کربن صفر و هم‌چنین ترغیب و مشارکت بخش خصوصی از لحاظ اقتصادی و کاهش مالکیت دولتی در کاربری‌های متفاوت، واقعی‌سازی هزینه‌های مشتقات نفتی و حذف یارانه پنهان انرژی، فرهنگ‌سازی در جامعه برای پذیرش این نوع فناوری، اعمال جریمه برای تولید کربن به بخش‌های مختلف به‌طورکلی اعمال سیاست انرژی، روش‌های تجاری‌سازی و سایر موارد می‌تواند کمک قابل‌توجهی به توسعه و تکامل فناوری‌های جذب کربن داشته باشد درنهایت ایجاد بازار بهینه‌سازی انرژی و محیط‌زیست با اصلاح سیاست‌گذاری انرژی، حذف بنگاه‌داری دولتی و حرکت به‌سمت تنظیم‌گری فرابخشی و تقویت حضور بخش خصوصی و جذب سرمایه‌گذاری خارجی در این عرصه راهگشا خواهد بود.

۵-نتیجه‌گیری

در این مقاله، بر اساس مقایسه و ارزیابی پروژه‌های جذب کربن از دیدگاه‌های مختلف و با ارزیابی نتایج به‌دست‌آمده، پارامترهای ارزشمندی برای روی‌کرد استفاده از تاسیسات CCUS در حوزه‌های مختلف به‌دست آمده است. نتایج استخراج‌شده نشان می‌دهد که ذی‌نفعان کلیدی در بخش‌های مختلف (نیروگاه، صنعت و پالایشگاه) مسیرهای بهینه یکسانی در مورد استقرار اولیه CCUS دارند. از سوی دیگر، می‌بایست پیشران‌های حمایتی اولیه توسط دولت برای استقرار اولیه CCUS فراهم شود. به‌طورکلی به‌دلیل پتانسیل زیاد تولید CO_2 در کشور، برای دستیابی به توافق‌نامه آب و هوایی پاریس باید پروژه‌های جذب کربن اجرا شود یا به‌سمت انرژی‌های تجدیدپذیر حرکت کرد. در کوتاه‌مدت، می‌بایست تحلیل‌های متعددی از جمله فنی، اقتصادی و امکان‌سنجی روی تاسیسات CCUS انجام شود، انتخاب مسیرهای فنی برای پروژه‌های در مرحله پایلوت مستلزم در نظر گرفتن همه‌جانبه عوامل مختلف است. در این مقاله نشان داده شد که ارتباط سازنده بین فناوری، اقتصاد و سیاست امری مهم در سناریوهای توسعه سامانه‌های CCUS است. این سه عامل مستقل از یکدیگر نبوده و ارتباط نزدیکی باهم دارند. در میان آن‌ها، فناوری عامل اصلی است که بر سازگاری جنبه‌های اقتصادی و سیاستی پروژه‌ها تاثیر می‌گذارد. هم‌چنین قابل ذکر است که بدون استفاده از ابزارهایی مانند قیمت کربن در ایران نمی‌توان واحد جذب کربن راه‌اندازی کرد، بنابراین باید در این زمینه سیاست‌های حمایتی کلان اتخاذ شود. در نگاه کلی به نتایج می‌توان گفت که در شرایط فعلی توجیه اقتصادی برای ورود بخش خصوصی به توسعه این واحدها وجود نداشته و تنها در صورتی که از سیاست‌های حمایتی دولتی پیشنهادی بهره گرفته شود توسعه این واحدها قابل نهادینه‌سازی در کشور است. از این رو بکارگیری سیاست‌های حمایتی حاکمیتی به عنوان یک الزام مسیر توسعه سامانه‌های CCUS مطرح است.

۶-مراجع

[1] P. O'Sullivan, M. Jones, M. W. Andrew, R. M. Gregor, et al, Global Carbon Budget 2022, *Earth System Science Data*, Vol.14, No.11, pp.4811-4900,2022.

[2] *CCS facilities Data base*, Accessed 20 February 2023; https://co2re.co/FacilityData.

[3] *Operating and planned facilities with CO_2 capture by region*, Accessed 26 October 2022; https://www.iea.org/data-and-statistics/charts/operating-and-planned-facilities-with-co2-capture-by-region-2022.

[4] *Operating and planned facilities with CO_2 capture by Application*, Accessed 26 October 2022; https://www.iea.org/data-and-statistics/charts/operating-and-planned-facilities-with-co2-capture-by-application-2022.

[5] S. Bazhenov, V. Chuboksarov, A. Maximov, O. Zhdaneev, Technical and economic prospects of CCUS projects in Russia, *Sustainable Materials and Technologies*, Vol.33,p.e00452, 2022.

[6] V. Vishal, D. Chandra, U. Singh, Y. Verma, Understanding initial opportunities and key challenges for CCUS deployment in India at scale, *Resources, Conservation & Recycling*, Vol.175, p.105829, 2021.

[7] Y. Yang, W. Xu, Y. Wang, J. Shen, Y. Wang, et al, Progress of CCUS technology in the iron and steel industry and the suggestion of the integrated application schemes for China, *Chemical Engineering Journal*, Vol.450, p.138438, 2022.

[8] F. Khosroabadi, A. Aslani, K. Bekhrad, Z. Zolfaghari, Analysis of Carbon Dioxide Capturing Technologies and their technology developments, *Cleaner Engineering and Technology*, Vol.5, p.100279,2021.

[9] J. Edmonds, Ch. Nichols, M. Adamantiades, et al, Could congressionally mandated incentives lead to deployment of large-scale CO_2 capture, facilities for enhanced oil recovery CO_2 markets and geologic CO_2 storage?, *Energy Policy*, Vol.164, p.111775, 2020.

[10] S. Chen, J. Liu, Q. Zhang, F. Teng, B. McLellan, A critical review on deployment planning and risk analysis of carbon capture, utilization, and storage (CCUS) toward carbon neutrality, *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, Vol.167, p.112537,2022.

[11] A. Rakhiemah, Y. Xu, Economic viability of full-chain CCUS-EOR in Indonesia, Resources, *Conservation & Recycling*, Vol.179, p.106069,2022.

[12] H. Al Baroudi, A. Awoyomi, K. Patchigolla, et al, A review of large-scale CO_2 shipping and marine emissions management for carbon capture, utilization and storage, *Applied Energy*, Vol.287, p.116510,2021.

[13] H. J. Liu, P. Were, Q. Li, Y. Gou, Z. Hou, Worldwide Status of CCUS Technologies and Their Development and Challenges in China, *Geofluids*, Vol.2017,2017.

[14] H. Hatarmizi, O. Nik Fauziah, et al., Gearing Toward CCUS for CO_2 Reduction in Malaysia, *Offshore Technology Conference Asia*, 2018.

[15] H. Jung Ho, A. Iizuka, E. Shibata, Carbon Capture and Utilization Technology without Carbon Dioxide Purification and Pressurization: A Review on Its Necessity and Available Technologies, *Industrial & Engineering Chemistry Research*, Vol.58, No.21, pp.8941-8954,2019.

[16] T. Wilberforce, A.G. Olabi, E. Sayed, K. Elsaid, M. Abdelkareem, Progress in carbon capture technologies, *Science of the Total Environment*, Vol.761, p.143203,2021.

[17] S. Roussanaly, N. Berghout, Tim Fout, et al, Towards improved cost evaluation of Carbon Capture and Storage from industry, *International Journal of Greenhouse Gas Control*, Vol.106, p.103263, 2021.

[18] J.Ning Kang, Y. Wei, L. Liu, J. Wang, Observing technology reserves of carbon capture and storage via patent data: Paving the way for carbon neutral, *Technological Forecasting & Social Change*, Vol.171, p.120933, 2021.

[19] H. Chung Lau, S. Ramakrishna, K. Zhang, A. Radhamani, The Role of Carbon Capture and Storage in the Energy Transition, *Energy & Fuels*, Vol.35, No.9, pp.7364-7386, 2021.

[20] N. Behrouzi, A. Fakehi, *Hydrocarbon balance sheet*, Institute of International Energy Studies, Tehran, p.310, 2019. (in Persian)

[21] N. Berghout. S. McCulloch, *Putting CO2 to Use*, IEA, Paris, pp.8, 2019.

[22] An IEA CCUS Handbook, *Legal and Regulatory Frameworks for CCUS*, IEA, Paris, pp.10, 2022.

[23] https://www.superdecisions.com/

[24] B. Praetorius, K. Schumacher, Greenhouse gas mitigation in a carbon constrained world: The role of carbon capture and storage, *Energy Policy*, Vol. 37, No.12, pp. 5081-5093, 2009.

مالکیت معنوی این مقاله تحت گواهی بین المللی تخصیص 4 کریتیو کامنز محفوظ است