کربن دی‌اکسید: مهار، مدیریت و استفاده بهینه از آن

احمد شعبانی*[1]

چکیده

ایران تا سال ۲۰۲٤ بیش از ۲۰ میلیارد تن کربن دی‌اکسید منتشر کرده است و با سهمی دو درصدی، در رتبه ششم جهان قرار دارد. تخمین زده می‌شود از ۷۱ میلیارد مترمکعب گاز مصرفی در نیروگاه‌های تولید برق، سالانه معادل ۱۱۸ میلیون تن کربن دی‌اکسید با ارزش اقتصادی تقریباً برابر با کل صادرات فرآورده‌های پتروشیمی ایران، یعنی ۱۱/۸ میلیارد دلار، وارد جو می‌شود. همچنین، با توجه به اینکه برای تولید هر تن سیمان، حدود یک تن کربن دی‌اکسید منتشر می‌شود و میزان تولید سالانه سیمان در کشور حدود ۷۲ میلیون تن است، ارزش اقتصادی کربن دی‌اکسید در این صنعت بالغ بر ۷/۲ میلیارد دلار برآورد می‌شود. علاوه‌بر ارزش اقتصادی کربن دی‌اکسید، از منظر مسئولیت و وجدان اجتماعی، ملاحظات زیست‌محیطی، تغییرات آب‌وهوایی، الزامات قانونی و محدودیت‌های احتمالی آینده در فروش محصولات با منبع کربنی، مهار و مدیریت انتشار این گاز امری ضروری به‌نظر می‌رسد. کربن دی‌اکسید ماده اولیه‌ای ارزشمند با کاربردهای گسترده و متنوع در صنایع غذایی، شیمیایی، پتروشیمی، دارویی، ساختمان‌سازی، صنایع سرمایشی و از همه مهم‌تر در صنعت نفت برای ازدیاد برداشت استفاده می‌شود. بنابراین، اتخاذ تدابیر مناسب برای استفاده بهینه از این منبع ارزشمند، اهمیتی دوچندان می‌یابد. در این مقاله، جایگاه کربن دی‌اکسید در ایران و جهان، روش‌های مدیریت و بهره‌برداری بهینه از آن بررسی شده و پیشنهادهایی برای استفاده از این ثروت ملی ارائه شده است.

واژگان کلیدی: گازهای گلخانه‌ای، مهار، مدیریت، کربن دی‌اکسید، مالیات کربن، ازدیاد برداشت، کربن صفر، توافقنامه پاریس

* عهده‌دار مکاتبات: استاد ، تلفن: ۲۹۹۰۴۳۶۲ (۹۸۲۱)، دورنگار: ۲۲۴۳۱۶۷۱ (۹۸۲۱) ، آدرس الکترونیکی : a-shaabani@sbu.ac.ir

[1] دانشکده شیمی دانشگاه شهید بهشتی، تهران، ایران.

مقدمه

کربن دی‌اکسید از زمان کشف آن توسط جوزف بلک[1] در سال ۱۷۵۵ موردتوجه بوده است [۱].[2] کربن دی‌اکسید خوراک دو فرایند چرخه‌ای حیات در طبیعت یعنی فتوسنتز- تنفس سلولی است که از آن به‌عنوان کیمیایی‌ترین (سبزترین) و پایدارترین فرایند شیمیایی-بیوشیمیایی در طبیعت یاد می-شود. در دنیای صنعتی امروز، بشر با تولید بیش‌از مصرف کربن دی‌اکسید در طبیعت، سبب اختلال در این فرایند کیمیایی و پایدار شده و چالشی بزرگ برای جامعه علمی در جهت کاهش آن در جو ایجاد کرده است. اثرات مخرب افزایش غلظت کربن دی‌اکسید باعث عدم‌تعادل در اکوسیستم، عوارض و آسیب‌هایی از قبیل افزایش دمای متوسط زمین، تأثیر بر الگوها و میزان بارندگی، کاهش پوشش یخی و برفی، افزایش سطح دریا و اسیدیته اقیانوس‌ها را به‌دنبال داشته است [۲]. در چند دهه اخیر، مدیریت کربن که به جذب، استفاده و ذخیره‌سازی کربن دی‌اکسید اتلاق می‌شود، به‌دلایل متعددی از جمله عوارض محیط زیستی، مسئولیت و وجدان اجتماعی، جنبه اقتصادی و الزامات قانونی (محدودیت در ایجاد صادرات محصولات و تولیدات کربنی) همه کشورها را ملزم به مهار و بهره‌برداری از آن نموده است.

با توجه به اینکه کربن دی‌اکسید یک ماده بسیار ارزشمند و کاربردهای وسیعی در صنایع غذایی، شیمیایی، پتروشیمیایی، دارویی، صنعت ساختمان، صنایع سرمایشی و از همه مهمتر در صنعت نفت برای ازدیاد برداشت دارد، لذا ضروری است اقدامات مقتضی در مهار، مدیریت و استفاده بهینه از آن اندیشیده شود. البته علاوه‌بر ارزش اقتصادی کربن دی‌اکسید، از جنبه مسئولیت اجتماعی، محیط زیستی، و الزامات و قوانین بین‌المللی، اهمیت موضوع را دو چندان می‌کند. اولین اقدام در احداث واحدهای صنعتی انتشار دهنده کربن دی‌اکسید، داشتن پیوست محیط‌زیستی در مهار آن با تقلید از الگوهای طبیعت است. به‌طوری‌که طراحی چرخه‌ای بودن فرایند و استفاده بهینه از کربن دی‌اکسید تولیدی به‌عنوان خوراک تجدیدپذیر با انرژی تجدیدپذیر (خورشید) که سبب پایداری طبیعت می‌شود، جزء لاینفک آن باشد. افکار عمومی نسبت به مسائل زیست‌محیطی بسیار حساس و با توجه به الزام رعایت قوانین، ایران متعهد شده است تا ۴ درصد از گازهای گلخانه‌ای (یکی از پایه‌های اصلی گازهای گلخانه‌ای کربن دی‌اکسید است) را تا سال ۲۰۳۰ کاهش دهد (۱). راهبردهای فراوانی برای به حداقل رساندن انتشار کربن دی‌اکسید ناشی از فعالیت‌های صنعتی ارایه شده است: الف-جلوگیری یا کاهش انتشار کربن دی‌اکسید از طریق استفاده از منابع انرژی تجدیدپذیر مانند انرژی‌های خورشیدی، هسته‌ای، آبی و بادی، ب- افزایش بهره‌وری در تولید انرژی با استفاده از فناوری‌های پیشرفته، پ-کاهش کربن دی‌اکسید در جو از طریق جنگل‌کاری، ت- ذخیره‌سازی زمین‌شناسی در رسوبات اعماق دریا یا ذخایر زیرزمینی، ث-استفاده از کربن دی‌اکسید بدون تبدیل و یا تبدیل آن به فراورده‌های شیمیایی با ارزش افزوده بالا، و ج- توسعه واکنش‌های شبه حیاتی مانند فتوسنتز مصنوعی. در حال حاضر هیچ فناوریی به‌تنهایی قادر به کاهش کربن دی‌اکسید تا سطح مورد نیاز پروتکل کیوتو نیست و مستلزم رویکرد تلفیقی با استفاده از فناوری‌های مختلف می‌باشد.

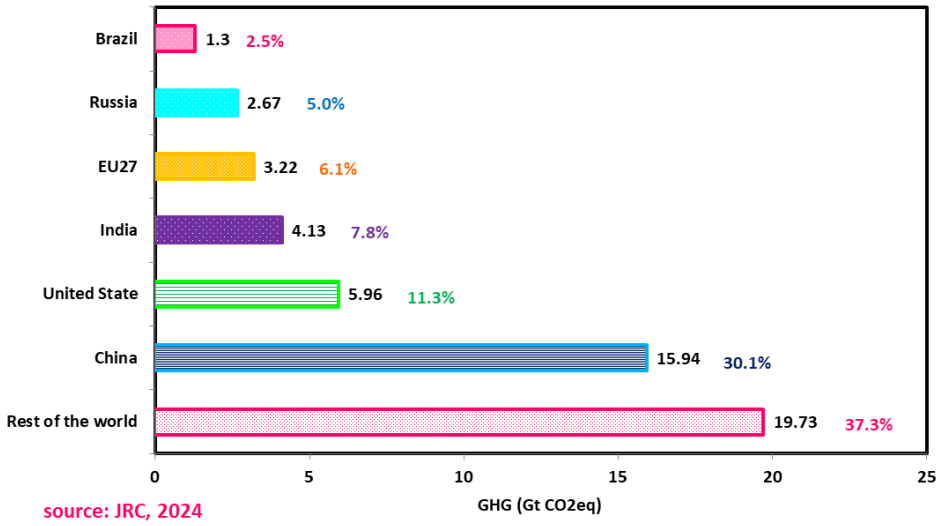
انتشار جهانی گازهای گلخانه‌ای از سال ۱۹۷۰ تا ۲۰۲۳

سهم شش کشور صنعتی بزرگ و سایر کشورهای تولیدکننده گازهای گلخانه‌ای[3] در نمودار (۱) ارایه شده است. چین، ایالات متحده، هند، اتحادیه اروپا، روسیه و برزیل بزرگترین تولیدکنندگان گازهای گلخانه ای در سال ۲۰۲۳ بودند. آنها جمعا ۴۹/۸ درصد از جمعیت جهان، ۶۳/۲ درصد از تولید ناخالص داخلی جهانی، ۶۴/۲ درصد از مصرف سوخت‌های فسیلی و ۶۲/۷ درصد از انتشار گازهای گلخانه‌ای جهانی را به خود اختصاص می‌دهند. در میان

[1] Joseph Black

[2] شماره وبگاه در پرانتز و شماره رفرنس در کروشه ارائه شده است.

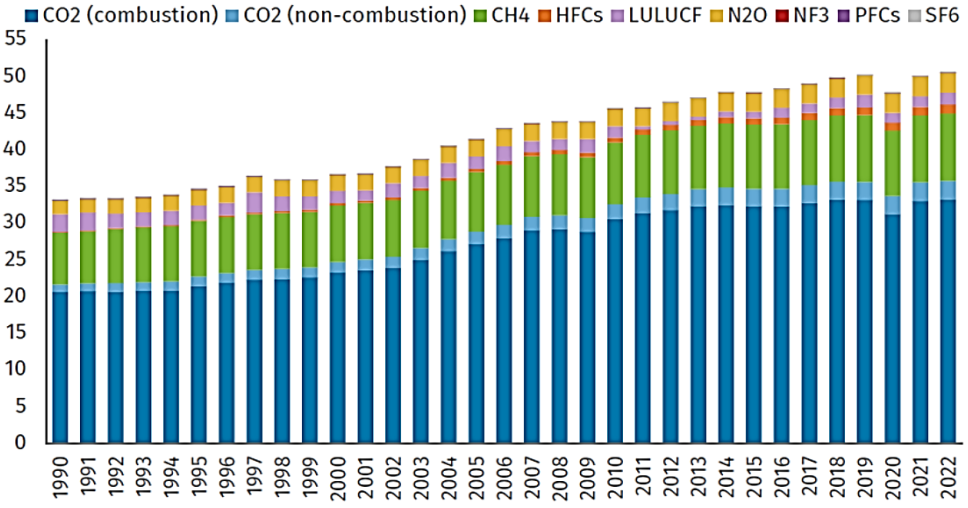
[3] اثر گلخانه ای به فرایندی که سطح زمین را گرم می کند اتلاق می شود. در اثر تابش انرژی خورشید به جو زمین بخشی از آن به با گازهای گلخانه ای جذب و انرژی جذب شده سبب گرمایش جو و سطح زمین می شود. به عبارتی گازهایی که گرما را در جو به دام می اندازند، گازهای گلخانه ای نامیده می شوند.



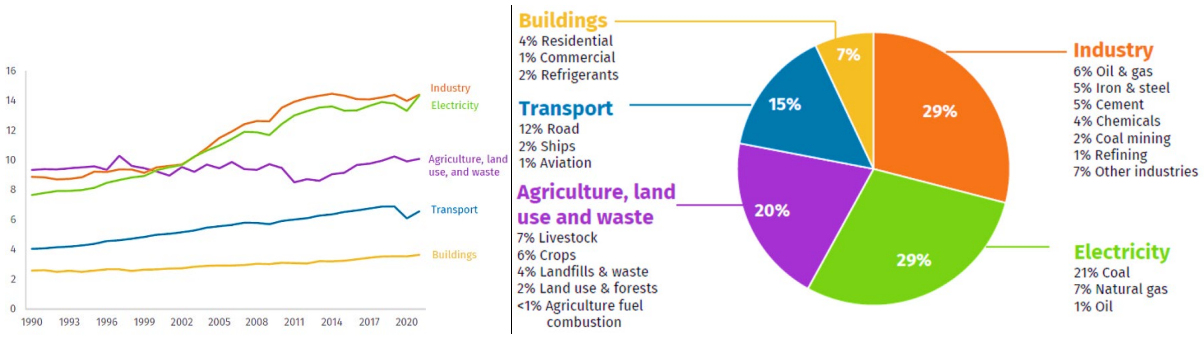
نمودار ۱: سهم شش کشور صنعتی بزرگ در مقایسه با سایر کشورهای انتشار دهنده گازهای گلخانه‌ای(گیگاتن کربن دی‌اکسید معادل[1] و درصد از کل) (۲)

آنها چین، هند، روسیه و برزیل بیشترین افزایش انتشار گازهای گلخانه‌ای را در سال ۲۰۲۳ در مقایسه با سال ۲۰۲۲ داشته‌اند.گازهای گلخانه‌ای از قرن ۲۱ به‌دلیل افزایش سوخت‌های فسیلی در چین و هند، روبه فزونی است و در سال ۲۰۲۳ نسبت به سال ۲۰۲۲، حدود ۲ درصد افزایش و به ۵۳ گیگاتن کربن دی‌اکسید معادل رسیده است. بخش قابل‌ملاحظه‌ای از گازهای گلخانه‌ای را کربن دی‌اکسید (۷۴ درصد) و در رتبه‌های بعدی به‌ترتیب متان (۱۹ درصد)، نیتروز اکسید (۴/۷ درصد) و گازهای فلوئوردار (۲/۷ درصد) تشکیل می‌دهد (نمودار ۲).

لازم به ذکر است هر یک از گازهای گلخانه‌ای در سال ۲۰۲۳ نسب به سال ۱۹۰۰ به‌ترتیب کربن دی‌اکسید ۷۲ درصد، متان ۲۸/۲ درصد، نیتروز اکسید ۳۲/۴ درصد، و گازهای فلوئورینه چهار برابر یعنی ۲۹۴ درصد افزایش یافته است. روند انتشار جهانی گازهای گلخانه‌ای در فاصله زمانی ۲۰۲۱-۱۹۹۰ و همچنین سهم هر یک از بخش‌های اصلی انتشار دهنده در سال ۲۰۲۱ به‌ترتیب الکتریسیته یا نیروگاه‌های برق ۲۹ درصد، صنعت ۲۹ درصد، کشاورزی۲۰ درصد، حمل‌ونقل ۱۵ درصد، ساختمان ۷ درصد، در نمودار ۳ (سمت راست) ارایه شده است و بخش‌های صنعت و الکتریسیته با شتاب بیشتری رو به فزونی می‌باشد (نمودار ۳، سمت چپ)(۳).



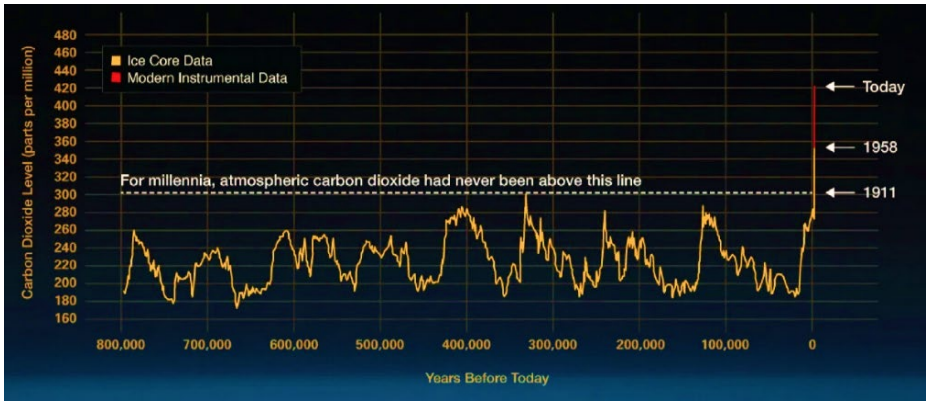
نمودار ۲: سهم هر یک از گازهای شش‌گانه[1] از گازهای گلخانه‌ای (۳).



نمودار ۳: سهم هر یک از بخش‌های الکتریسیته یا نیروگاه‌های برق، صنعت، کشاورزی، حمل‌ونقل و ساختمان (۳).

انتشار کربن دی‌اکسید در جهان

نرخ رشد انتشار کربن دی‌اکسید در جو از حدود سال ۱۸۵۰، همزمان با انقلاب صنعتی، شروع به تغییر می‌کند. این امر به‌دلیل انتشار مستقیم کربن دی‌اکسید از سوختن منابع انرژی فسیلی مانند نفت، زغال‌سنگ و چوب، و همچنین تأثیرات جنگل‌زدایی و تغییر کاربری زمین بوده است. در دوران پیشاصنعتی، غلظت کربن دی‌اکسید جو در حالت تعادل و در حدود ۲۸۰ قسمت در میلیون بوده، اما از آن زمان تاکنون باعث افزایش بی‌سابقه انتشارآن شده است، به‌طوری‌که غلظت کنونی آن در جو از ۴۲۰ قسمت در میلیون فراتر رفته است (نمودار ۴).



نمودار ۴: روند کربن دی‌اکسید در ۸۰۰۰۰۰ سال گذشته[۱] [۳].

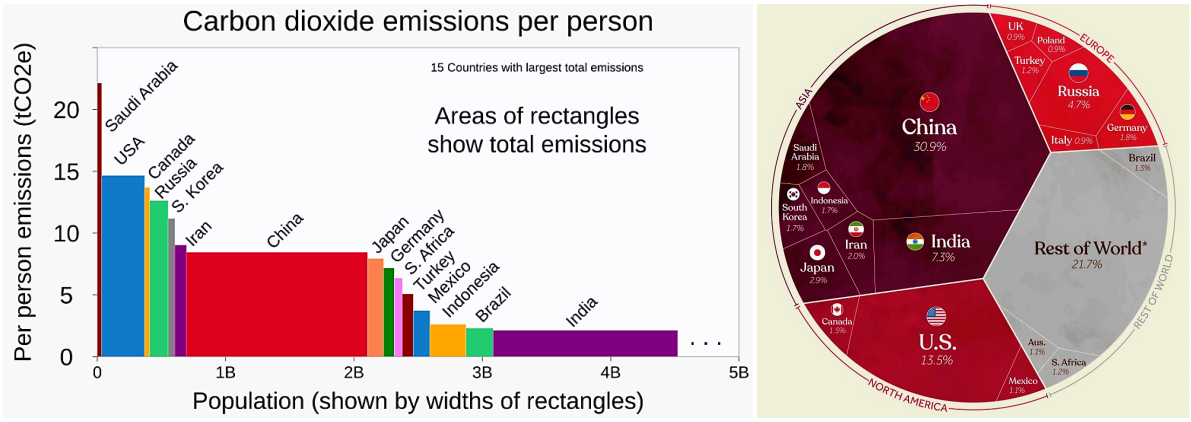
سهم کشورها و سهم سرانه پانزده کشور با بیشترین انتشار کربن دی‌اکسید در نمودار ۵ ارایه شده است. میزان انتشار کربن دی‌اکسید در سال ۲۰۲۴ حدود ۴۱/۶ میلیارد تن پیش‌بینی شده است، که نسبت به ۴۰/۶ میلیارد تن در سال گذشته یک میلیارد تن افزایش یافته است. براساس اطلس جهانی کربن، بزرگ‌ترین کشورهای آلاینده جهان چین، هند و آمریکا هستند که در سال ۲۰۲۱ سهم ۵۲ درصدی از انتشار کربن دی‌اکسید در جهان را داشتند و سهم هر یک به ترتیب ۳۰/۹، ۱۳/۵ و ۷/۳ درصد بوده است. این کشورها که بیشترین جمعیت را دارند، انتشار سرانه کربن دی‌اکسید آنها در آمریکا با ۱۵/۳۲ تن در رتبه اول و چین و هند به ترتیب با ۷/۴۴ و ۱/۸۹ تن در رتبه‌های بعدی قرار دارند. به لحاظ تاریخی، آمریکا بزرگ‌ترین انتشار دهنده کربن بوده و از زمان انقلاب صنعتی تاکنون ۴۲۲ میلیارد تن کربن دی‌اکسید به جو زمین منتشر کرده است. این مقدار معادل تقریباً یک‌چهارم کل کربن دی‌اکسید انتشار یافته از سوخت‌های فسیلی و فعالیت‌های صنعتی است. با توجه به جمعیت زیاد کشورهای چین و هند و این واقعیت که آنها در مسیر توسعه‌اند، پیش‌بینی می‌شود حتی انتشار کربن دی‌اکسید به بیش از مقادیر مذکور نیز افزایش یابد. به‌طوری‌که آژانس بین‌المللی انرژی[۲]

[۱] اندازه‌گیری روند کربن دی‌اکسید از طریق تحلیل هسته‌های یخی انجام می شود. دانشمندان با حفاری در یخ‌های ضخیم قطب جنوب به لایه‌های یخی می‌رسند که طی صدها هزار سال شکل گرفته‌اند و در آن‌ها حباب‌های هوا به دام افتاده‌اند. با جدا کردن این حباب‌ها، میزان کربن دی‌اکسید، متان و سایر گازها با استفاده از روش رادیوایزوتوپی و یا سایر روش ها اندازه‌گیری می شود.

[2] International Energy Agency (IAE)

پیش‌بینی کرده سهم هند از انتشار جهانی تا سال ۲۰۳۰ به ۱۰ درصد افزایش خواهد یافت. البته تولیدکنندگان اصلی کربن یعنی آمریکا، چین و هند برای کاهش انتشار کربن دی‌اکسید و دست‌یابی به کربن صفر به ترتیب سال ۲۰۵۰، ۲۰۶۰ و ۲۰۷۰ هدف گذاری و تعیین کردند.

سهم کشورهایی از قبیل عربستان سعودی، روسیه، کانادا، کره جنوبی و ایران از انتشار کربن دی‌اکسید به ترتیب ۱/۸، ۴/۷، ۱/۵، ۱/۷ و ۲ درصد می‌باشد، اما براساس انتشار سرانه رتبه جهانی آنها از چین و هند بالاتر و به‌ترتیب در رتبه‌های اول، سوم، چهارم، پنجم و ششم قرار می‌گیرند.



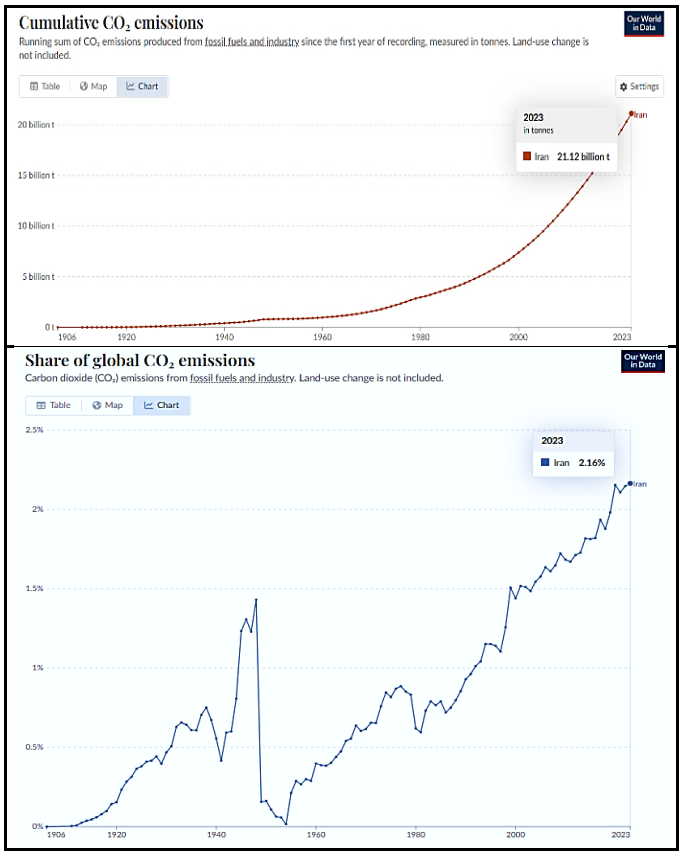
نمودار ۵: سهم کشورهای مختلف از انتشار کربن در سال ۲۰۲۱ (سمت راست) و سهم سرانه پانزده کشور با بیشترین انتشار (سمت چپ) (۵، ۴).

انتشار کربن دی‌اکسید در ایران

سهم ایران از تولید و انتشار دی اکسیدکربن تا سال ۲۰۲۴، بیش از دو درصد و حدود ۲۱ میلیارد تن گزارش شده است (نمودار ۶). میزان انتشار فقط در سال ۲۰۲۳ حدود ۸۱۸ میلیون تن بوده که نسبت به دو دهه پیش یعنی ۲۰۰۳، دو برابر شده و سرانه انتشار حدود ۹ تن می‌باشد. ایران رتبه ششم را در جهان پس از چین، امریکا، هند، روسیه، و ژاپن در انتشار کربن دی اکسید دارد و در سرانه انتشار نیز با رتبه شش پس از عربستان سعودی، آمریکا، کانادا، روسیه و کره جنوبی قرار می‌گیرد.

۱. میزان انتشار گاز کربن دی‌اکسید از مصرف گاز طبیعی در نیروگاه‌های تولید برق ایران

ایران با مصرف ۲۴۱/۱ میلیارد مترمکعب گاز طبیعی که معادل ۶ درصد کل مصرف جهان در سال ۲۰۲۱ است، به‌عنوان چهارمین مصرف‌کننده بزرگ گاز جهان در این سال شناخته شده است. تنها سه کشور آمریکا با مصرف ۲۰/۵ درصد ، روسیه با ۱۱/۸ درصد و چین با ۹/۴ درصد،

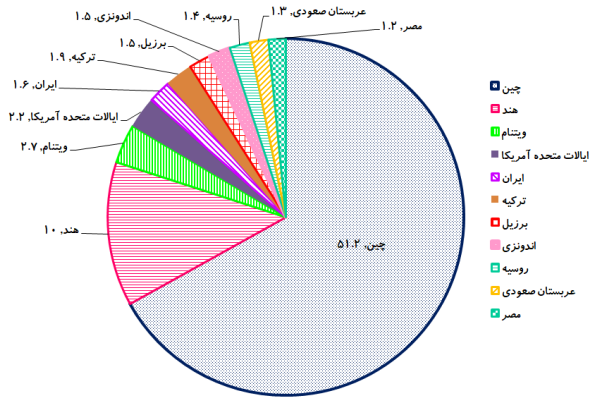


نمودار ۶: مقدار و سهم ایران از انتشار کربن دی‌اکسید در جهان در سال ۱۹۰۶-۲۰۲۳ (سمت راست مقدار و سمت چپ درصد) (۶).

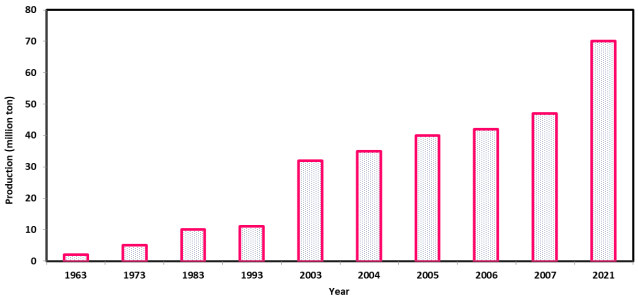
مصرف گاز بیشتری نسبت به ایران در سال ۲۰۲۱ داشته‌اند که وسعت و جمعیت هر کدام از آنها چندین برابر ایران می‌باشد. همچنین مصرف گاز طبیعی در ایران، حدوداً معادل نصف کل مصرف گاز طبیعی در قاره اروپا است. مصرف گاز در سال ۱۴۰۱ به حدود ۲۴۲ میلیارد متر مکعب و معادل مصرف روزانه ۶۶۳ میلیون متر مکعب بوده است (در فصل سرما حدود ۸۵۰ میلیون مترمکعب در روز است.). سهم گاز مصرفی در نیروگاه‌ها ۲۸ درصد و لذا حدود ۷۰ میلیارد مترمکعب در سال می‌باشد. نیروگاه‌های حرارتی در طول یکسال اخیر به‌طور متوسط روزانه یک میلیون مگاوات ساعت (یا یک میلیارد کیلووات ساعت) انرژی تولید کرده‌اند. با توجه به اینکه برای تولید هر کیلووات ساعت برق حرارتی ۳ متر مکعب گاز مصرف (بهره تبدیل گاز به برق در کشور حدود ۳۵ درصد است) و به عبارتی هر کیلووات ساعت برق حرارتی، نیم کیلو کربن دی‌اکسید تولید می‌کند، لذا برای تولید یک میلیارد کیلووات ساعت برق، ۵۰۰ میلیون کیلوگرم در روز (۵۰۰ هزار تن در روز) و در سال حدود ۱۸۰ میلیون تن کربن دی‌اکسید انتشار می‌یابد [۴].

۲. میزان انتشار گاز کربن دی‌اکسید از مصرف گاز طبیعی درصنعت سیمان

بر اساس آمارهای ارایه شده در رابطه با صنعت سیمان در جهان، در سال ۲۰۲۳ کشور چین بیش‌از نیمی از تولیدات سیمان (۵۱/۲ درصد) را به خود اختصاص داده است (نمودار۷). این کشور در سال گذشته ۲/۱ میلیارد تن سیمان تولید کرده است. پس از آن هند با میزان تولید ۴۱۰ میلیون تن سیمان، دومین رتبه را در میان تولیدکنندگان بزرگ کسب کرد. ایران با ظرفیت اسمی سالانه ۸۹ میلیون تن سیمان، در میان ۱۰ تولیدکننده برتر سیمان دنیا قرار دارد. ایران در سال ۱۴۰۲، ۷۱/۴ میلیون تن یعنی ۸۴ درصد از ظرفیت اسمی تولید داشته است. با توجه به اینکه تولید هر تن سیمان حدود ۰/۸ تا ۰/۹ تن انتشار کربن دی‌اکسید تولید می‌کند، لذا ایران در سال ۱۴۰۲ برای تولید ۷۱/۴ میلیون تن سیمان (نمودار ۸)، حدود ۷۰ میلیون تن کربن دی‌اکسید انتشار داده است. براساس گزارش رسمی مرکز پژوهش‌های مجلس، در تمامی شرکت‌های تولیدکننده سیمان حاشیه سود ناخالص فروش داخلی از حاشیه فروش صادراتی بیشتر است و به‌عبارتی صادرات سیمان در شرکت‌های مورد بررسی، صرفاً برای حفظ سطح تولید و درآمد شرکت و ایجاد درآمدهای ارزی انجام می‌شود [۵-۷].



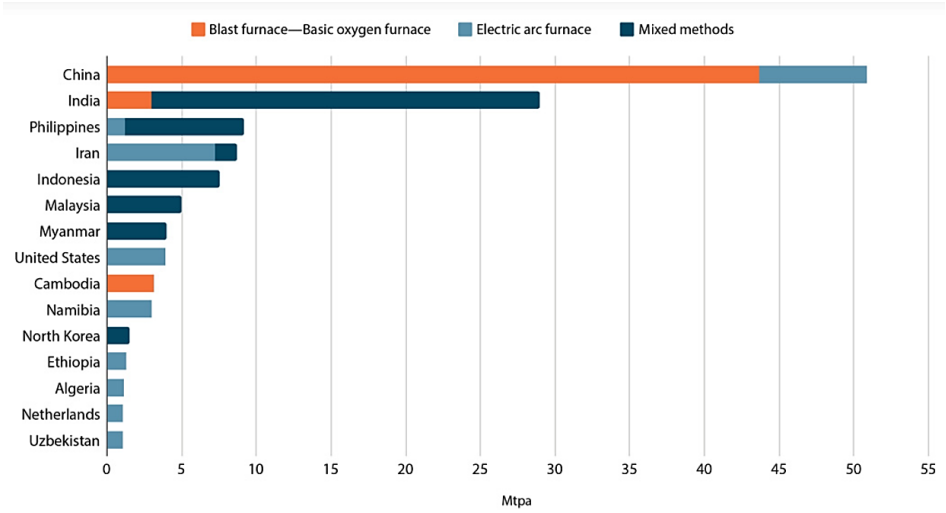
نمودار ۷: سهم کشورهای مختلف از جمله ایران در تولید سیمان (۷).



نمودار ۸: روند تولید سیمان در ایران ۲۰۲۱-۱۹۶۳[۴].

۳. میزان انتشار گاز کربن دی‌اکسید از مصرف گاز طبیعی در صنعت فولاد

سهم صنعت آهن و فولاد ۱۱ درصد از انتشار کربن دی‌اکسید جهانی است و برای همسویی با اهداف آب‌وهوایی باید این میزان به سرعت کاهش یابد. ظرفیت کارخانه‌های فولاد در سراسر جهان، برای کشورهای با تولید بیش‌از یک میلیون تن در سال در نمودار ۹ ارایه شده است. این کشورها سالیانه ۳ میلیارد تن کربن دی‌اکسید را که معادل ۹٪ جهانی است، انتشار می‌دهند. کشورهای چین و هند با فاصله زیادی از سایر کشورها رتبه‌های اول و دوم را دارند. ایران بعد از فیلیپین رتبه چهارم در تولید فولاد را دارد و میزان انتشار کربن دی‌اکسید ناشی از تولید فولاد، ۷ الی ۸ میلیون تن در سال می‌باشد (۸).



نمودار ۹: ظرفیت کارخانه‌های فولاد در سراسر جهان (کشورهای با تولید بیش‌از یک میلیون تن فولاد در سال) (۸).

ارزش اقتصادی کربن دی‌اکسید انتشار یافته در ایران و جهان

بیل گیتس [1] در سال ۲۰۲۱، میزان تولید گاز گلخانه‌ای کربن دی‌اکسید در جهان را بالغ بر ۵۱ میلیارد تن تخمین و ارزش اقتصادی آن را با بهای جهانی۱۰۰ دلار برای هر تن، برابر با ۵/۱ تریلیون دلار تقویم نموده است [۸]. لازم به ذکر است، گردش مالی سالیانه صنایع شیمیایی، پتروشیمیایی و دارویی در جهان معادل همین میزان یعنی حدود ۵ تریلیون دلار در سال می‌باشد[۴]. به‌عبارتی ارزش اقتصادی سالیانه کربن دی‌اکسید انتشار یافته با کل فروش محصولات شیمیایی، پتروشیمیایی و دارویی در جهان برابر است.

با یک محاسبه سرانگشتی نیروگاه‌های حرارتی تولید برق، صنعت سیمان و فولاد به ترتیب ۱۱۸، ۷۱/۴ و ۷ میلیون تن و جمعاً ۲۰ حدود ۲۰۰ میلیون تن کربن دی‌اکسید منتشر می‌کنند. لذا ارزش اقتصادی کربن دی‌اکسید انتشار یافته در سه بخش نیروگاه‌های حرارتی، سیمان و فولاد در ایران، براساس قیمت جهانی هر تن ۱۰۰ دلار، بالغ بر ۲۰ میلیارد دلار می‌باشد که تقریباً با کل صادرات فراورده‌های پتروشیمیایی در کشور برابری می‌کند (صادرات فراورده‌های پتروشیمیایی ۱۲ الی ۲۰ میلیارد دلار تخمین زده می‌شود) [۴]. لازم به ذکر است اگر قیمت هر تن سیمان در ایران به‌طور متوسط ۳۰ میلیون تومان و بهای کربن دی‌اکسید معادل یک صد دلار (ده میلیون تومان بر مبنای دلار یک صد هزار تومانی) فرض شود، ارزش اقتصادی کربن دی‌اکسید انتشار یافته از صنعت سیمان برابر با یک سوم ارزش اقتصادی سیمان تولید شده می‌باشد. با توجه به اینکه ایران حدود ۱۰ درصد از ذخایر نفت و ۱۸ درصد از گاز جهان دارد و بخش عمده‌ای از اقتصاد ایران مبتنی بر آنها می‌باشد. لذا توجه ویژه به اقتصاد کربن به‌دلیل محدودیت‌های که در آینده گریبانگیر ایران خواهد شد، ضروری است ضمن محور قرار دادن توسعه اقتصادی کشور مبتنی بر صنایع شیمیایی و پتروشیمیایی، با بهره‌گیری هوشمندانه از کربن دی‌اکسید و منابع طبیعی گاز و نفت که مهمترین مزیت رقابتی برای کشور در عرصه رقابت بین‌المللی محسوب می‌شود، جایگاه تولید ناخالص ملی را ارتقا دهد.

شیوه‌های مدیریت در کاهش انتشار کربن دی‌اکسید

بدیهی است علاوه‌بر ارزش اقتصادی گاز کربن دی‌اکسید، کلیه کشورها به‌دلیل مسئولیت‌های اخلاقی، اجتماعی، سیاسی و الزامات قانونی برای جلوگیری از عواقب مسائل محیطزیستی و تغییرات آب‌وهوایی ناشی‌از گازهای گلخانه‌ای که بخش عمده‌ای از آن را کربن دی‌اکسید تشکیل می‌دهد، موظفند انتشار کربن دی‌اکسید را کاهش دهند. به‌طوری‌که در اغلب کشورها پیش‌بینی شده است، میزان انتشار کربن دی‌اکسید در سال ۲۰۵۰ به‌سمت صفر کاهش یابد. لذا برای دست‌یابی به کربن صفر، انواع شیوه‌ها طراحی و در حال اجرا می‌باشد. به‌طور کلی سیاست‌های کاهش انتشار متشکل از نظارتی، اقتصادی و مشوقی دسته‌بندی می‌شود. ابزارهای اقتصادی از همه کارآمدتر هستند که مهم‌ترین سیاست آن قیمت‌گذاری کربن است. مشوق‌های کاهش

[1] Bill Gates

انتشار کربن و کاهش یارانه سوخت‌های فسیلی هم سیاست‌های مؤثر بعدی هستند؛ حدود ۶۰ درصد اقتصاد دنیا اکنون قیمت‌گذاری کربن شده است. بازارهای کربن یکی از بزرگ‌ترین ابزارها علیه تغییرات اقلیم محسوب می‌شوند و حجم تجارت در این بازارها در سال گذشته ۱۶۴درصد رشد داشته و به ۸۹۷ میلیارد دلار رسیده است. ایران در زمینه کربن نه‌تنها قیمت‌گذاری نکرده بلکه مالیاتی هم در نظر نگرفته است.

۱. الزامات قانونی و توافقنامه پاریس[1]

در سال ۲۰۱۵، یکصد و نود و شش کشور توافقنامه پاریس را در کنفرانس تغییرات آب‌وهوایی سازمان ملل متحد در پاریس امضا کردند؛ نتیجه این توافقنامه به یک معاهده اقدام اقلیمی الزام‌آور و قانونی تبدیل شد (۹). ازآن زمان، کشورهای سرتاسر جهان اقداماتی را برای محدود کردن افزایش میانگین دمای جهانی به کمتر از ۲ درجه سانتی‌گراد بالاتر از سطح قبل از صنعتی‌شدن و در حالت ایده‌آل زیر یک‌ونیم درجه سانتی‌گراد اندیشیدند. محدود کردن گرمایش جهانی به ۱/۵ درجه سانتی‌گراد، مستلزم کاهش ۴۳ درصدی انتشار گازهای گلخانه‌ای تا سال ۲۰۳۰ می‌باشد. لذا، تمرکز اصلی بر کاهش انتشار و کربن‌زدایی در سطح جهانی است و پیش‌بینی شده تا سال ۲۰۵۰ به کربن صفر دست یافت. به‌طوری‌که سرمایه‌گذاری جهانی در افزایش انرژی‌های تجدیدپذیر از سال ۲۰۱۰ تا ۲۰۱۹ توسط کشورهای مختلف به جد دنبال می‌شود و چین (۷۵۸ میلیارد دلار)، آمریکا (۳۵۶ میلیارد دلار)، ژاپن (۲۰۲ میلیارد دلار)، آلمان (۱۷۹ میلیارد دلار) و انگلیس (۱۲۲ میلیارد دلار)، پیشتاز مسابقه کاهش کربن هستند. ایران در بین ۱۰ کشور با بالاترین سهم در انتشار کربن را دارد و بر اساس آمارهای سال ۲۰۱۹، ۱۰ کشور چین، آمریکا، هند، روسیه، ژاپن، آلمان، کره جنوبی، ایران، کانادا و عربستان سعودی بیشترین میزان انتشار کربن را داشتند و این آمار نشان می‌دهد ایران در مسیر کربن زدایی چندان موفق نبوده است. راهبردهای مختلفی برای دستیابی به هدف توافقنامه پاریس ارایه شده است: الف–محدود کردن و کاهش انتشار کربن دی اکسید و سایر گازهای گلخانه‌ای که با اقداماتی از قبیل استفاده از سوخت‌های پایدار، فناوری باتری، فناوری‌های خورشیدی و گرمایشی فراهم می‌شود. ب–جذب انتشار کربن دی‌اکسید ناشی از احتراق از طریق فناوری‌های جذب کربن دی اکسید که در حال حاضر، جذب کربن دی‌اکسید در مقیاس نسبتاً کمی انجام می‌شود. به‌طوری‌که در سال ۲۰۲۲، در جهان ۳۷ گیگاتن کربن دی‌اکسید منتشر شده و فقط ۴۶ مگاتن آن از طریق جذب و ذخیره‌سازی کاهش یافته که کمتر از ۰/۱ درصد است. برای سال ۲۰۳۰، آژانس بین‌المللی انرژی انتظار دارد، انتشار کربن دی‌اکسید به ۲۴ گیگاتن کاهش یابد درصورتی‌که ظرفیت کلی جذب (شامل پروژه‌های عملیاتی در حال ساخت و برنامه‌ریزی شده) ۳۲۱ مگاتن می‌باشد که معادل ۱/۳ درصد در برنامه کاهش انتشار می‌باشد. گرچه این میزان از کاهش، پیشرفت قابل‌توجهی در ظرفیت جذب نسبت به سال ۲۰۲۲ محسوب می‌شود، اما همچنان سهم بسیار کوچکی از کاهش کربن دی‌اکسید در مقایسه با کل انتشار می‌باشد. و ج– جذب کربن دی‌اکسید و سایر گازهای گلخانه‌ای از جو که به آن جذب مستقیم از هوا نیز گفته می‌شود. بدیهی است برای دست‌یابی به سطح کربن صفر، استفاده ترکیبی از هر سه روش، ضروری است. لازم به ذکر است، ایران عضویت در پیمان کیوتو[2-3] در سال ۱۳۸۴ و برنامه مشارکت ملی[4] در زمینه کاهش انتشار گازهای گلخانه ای را پذیرفته و براساس آنها تعهدات کشـــور کاهش ۴ درصدی (مشروط به رفع تمام تحریم‌های بین‌المللی) با تأمین سرمایه‌گذاری مورد نیاز از منابع بین‌المللی است. درضمن دولت ایران توافقنامه پاریس را تأیید (هیئت وزیران ایران این توافق را درسال ۲۰۱۶ تأیید کردند.)، اما تاکنون در مجلس به تصویب نرسیده است. همچنین در مذاکرات بین‌المللی آب‌وهوا، ایران عضو گروه جی–۷۷[5] و گروه همفکر کشورهای درحال‌توسعه[6] می‌باشد (۱۰،۱۱).

۲. مالیات کربن[7]

مالیات کربن ابزار جدیدی است که اتحادیه اروپا با ایجاد محدودیت‌های تجاری وضع کرده است. به‌طوری‌که این اتحادیه، از ابتدای سال ۲۰۲۶ میلادی، براساس میزان انتشار گازهای گلخانه‌ای، کالاها در فرآیند تولید، مشمول پرداخت مالیات کربن خواهند شد. این

[1] The Paris Agreement
[2] Kyoto Protocol
[3] پیمان کیوتو به منظور کاهش انتشار گازهای گلخانه‌ای، که عامل اصلی گرم‌شدن زمین است، کشورهای صنعتی در سال ۱۹۷۷ متعهد شدند ظرف ده سال آینده میزان انتشار گازهای گلخانه‌ای خود را ۵ درصد کاهش دهند.
[4] G77
[5] Intended Nationally Determined Contribution (INDC)
[6] Like-Minded Group of Developing Countries (LMDC)
[7] carbon tax

مالیات در راستای برنامه اروپا برای کاهش ۵۵ درصدی انتشار گازهای گلخانه‌ای تا سال ۲۰۳۰ میلادی در مقایسه با سال ۱۹۹۰ در دستورکار قرار گرفته است. براساس قانونی که پارلمان اروپا تصویب کرده است، چند قلم کالا برای ورود به خاک این قاره باید گواهی کربن عرضه کنند و چنانچه از میزان استاندارد تعیین‌شده بیشتر باشد، باید مبلغی به‌عنوان جریمه و مالیات پرداخت کنند. اگرچه اروپا سردمدار این کار به‌شمار می‌رود؛ اما شواهد حاکی است که بقیه مناطق جهان نیز به این‌سو در حرکت‌اند. اتحادیه اروپا از وضع این مالیات، دو هدف را دنبال می‌کند؛ در ابتدا این مالیات به افزایش رقابت‌پذیری صنایع داخلی اتحادیه اروپا در کاهش کربن منجر می‌شود و در وهله دوم تقویت تجارت با کشورهایی که سیاست‌های کربن‌زدایی مشابه اتحادیه اروپا دارند را درپی خواهد داشت. ایران از نظر مقدار انتشار کربن در رتبه نهم و از نظر سرانه انتشار در رتبه ششم جهان قرار می‌گیرد. حال اگر همین ارزیابی به ازای هر دلار تولید ناخالص داخلی محاسبه شود، ایران به رتبه اول انتشار در جهان صعود می‌کند که اصلا رتبه خوبی نیست و جهان در آینده با آن کنار نخواهد آمد و در روابط تجاری و بین‌المللی با مشکل مواجه خواهد شد.

۳. اعتبار کربن[1]

اعتبار کربن عبارتست از هر نوع مجوز یا گواهی قابل‌معامله برای خروج یک تن کربن دی‌اکسیدیا هر نوع گاز گلخانه‌ای دیگر که حجمی معادل یک تن کربن دی‌اکسیددارد. به عبارتی اعتبار کربن به یک کشور یا سازمان اجازه می‌دهد مقدار معینی انتشار کربن داشته باشد و اگر کل سهمیه استفاده نشود، این اعتبار می‌تواند معامله شود. فعالیت‌هایی که نمی‌توانند بدون انتشار کربن دی‌اکسیدانجام شوند، یکی از شیوه‌ها استفاده از اعتبار کربنی است. به‌طوری‌که اگر یک واحد صنعتی نتواند انتشار کربن دی‌اکسیدخود را متوقف کند، در عوض می‌تواند از واحد دیگری بخواهد انتشار کربن خود را کاهش دهد تا در مجموع، مقدار کربن موجود در جو کاهش یابد. لذا، شرکت‌ها با پرداخت هزینه به دیگران برای کاهش انتشار گازهای گلخانه‌ای یا جذب کربن، می‌توانند اثرات تخریب زیست‌محیطی خود را جبران کنند. سه نوع اعتبار کربنی تعریف شده است. الف-کاهش انتشار (معمولاً از طریق افزایش بهره‌وری فرایند، جذب، ذخیره‌سازی و استفاده در تولید سایر مواد شیمیایی و صنعتی مورد نیاز جامعه)، ب-حذف انتشار (مانند جذب کربن و کاشت جنگل‌ها) و ج-اجتناب از انتشار (مثلاً خودداری از قطع درختان جنگل‌ها). به عبارتی اعتبارات کربن از طریق جنگل‌کاری، انرژی‌های تجدیدپذیر، جذب و ذخیره کربن، جمع‌آوری متان و خرید از بازارهای معاملاتی اعتبارات کربن به‌دست می‌آیند.

۴. تجارت کربن[2]

طی سالیان اخیر تجارت انتشـــار گازهای گلخانه‌ای پاسخ مدیریتی و سیاستی کارآمد به تغییرات اقلیمی بوده که در سطح جهان مورد توجه قرار گرفته است. قیمت‌گذاری کربن، روشی است که در آن بر آلودگی‌های ناشی از کربن هزینه اعمال می‌شود تا صنایع آلاینده به کاهش تولید گازهای گلخانه‌ای ترغیب شوند [۹].

۵. سیاست‌های تشویقی

ارایه مشوق‌های اقتصادی در کاهش مصرف انرژی و بالطبع کاهش تولید کربن دی‌اکسید، استفاده از انرژی خورشیدی، عایق‌کاری ساختمان ها، جنگل کاری، و ... بسیار مؤثر خواهند بود.

۶. هزینه‌های اجتماعی کربن دی‌اکسید

هزینه اجتماعی کربن‌دی‌اکسید[3] ارزش پولی خسارات تحمیل‌شده به جامعه ناشی از انتشار هر تن اضافی از کربن دی‌اکسید اندازه‌گیری و سنجش می‌شود و شاخص کلیدی برای سیاست‌های اقلیمی محسوب می‌شود. این شاخص بیش از یک دهه است توسط دولت‌ها و سایر تصمیم‌گیرندگان در تحلیل هزینه-فایده استفاده می‌شود و برمبنای علوم اقلیمی، اقتصاد، جمعیت‌شناسی و دیگر رشته‌ها برآورد می‌شود. برآورد میانگین ترجیحی برای هزینه اجتماعی کربن دی‌اکسیدبرابر با ۱۸۵ دلار به‌ازای هر تن کربن دی‌اکسید محاسبه می‌شود [۱۰]. آلودگی هوا دومین عامل اصلی مرگ‌ومیر در سراسر جهان است. برای حفظ سلامت عمومی، به‌روزرسانی استانداردهای کیفیت هوا، بهره‌گیری از ابزارهای پیشرفته و ایجاد شبکه‌های همکاری ضروری است تا ارزیابی کیفیت هوا متناسب با نیازهای قرن بیست‌ویکم انجام شود. یکی از چالش‌های اصلی به‌روزرسانی شاخص کیفیت هوا[4] است. این شاخص که توسط آژانس حفاظت از محیط‌زیست ایالات متحده توسعه یافته، معیار جهانی کلیدی برای اطلاع‌رسانی در مورد کیفیت هوا محسوب می‌شود. اما متأسفانه تعداد محدودی از آلاینده‌ها را شامل و هزاران ترکیب آلی فرار و دیگر سموم که در جو شناسایی شده‌اند

[1] carbon credit
[2] carbon trade
[3] The social cost of carbon dioxide (SC-CO_2)
[4] The Air Quality Index (AQI)

را شامل نمی‌شود. به‌عنوان نمونه، در آتش‌سوزی سال ۲۰۲۵ لس‌آنجلس در کالیفرنیا، قرائت‌های شاخص کیفیت هوا، کیفیت هوا را در وضعیت خوب نشان می‌دادند، زیرا دود مرئی به‌سمت دریا حرکت کرده بود و این شاخص به‌طور گمراه‌کننده‌ای نشان می‌داد که هوا ایمن است، درحالی‌که سموم نامرئی همچنان در حال انتشار بودند. در شکل کنونی، شاخص کیفیت هوا نمی‌تواند به‌درستی خطرات ناشی از سموم منتشرشده در چنین آتش‌سوزی‌های شهری را نشان دهد. انتظار می‌رود با یکپارچه‌سازی داده‌های هواشناسی، داده‌های سلامت، سیستم‌های زیست‌شناسی محاسباتی و هوش مصنوعی در یک سامانه نقشه‌برداری جهانی، مبانی اولیه تعیین و ناهنجاری‌ها شناسایی و ترکیبات آلاینده‌ای که خطرات جدی برای سلامت دارند را مشخص کرد [۱۱].

اصلاح فرایندهای صنعتی در کاهش کربن دی‌اکسید در ایران

صنعت برق یکی از بزرگترین مصرف‌کننده گاز طبیعی در کشور محسوب می‌شود و با افزایش بهره‌وری در نیروگاه‌های حرارتی می‌توان میزان انتشارکربن دی‌اکسید را کاهش داد. درحال حاضر نیروگاه‌ها از ۷۵ درصد سوخت گاز، ۲۰ درصد گازوئیل و نزدیک به ۵ درصد از مازوت استفاده می‌کنند. به‌طوری‌که ۹۵ درصد تولید برق نیروگاه‌ها با سوخت گاز تأمین می‌شود. میزان گاز مصرفی نیروگاه‌ها در شرایط فعلی ۲۶۰ میلیون مترمکعب در روز می‌باشد. از ابتدای سال ۱۴۰۰ تا ۲۳ مهر سال ۱۴۰۰، ۳۶ درصد از ۶۷۳ میلیون متر مکعب گاز مصرف‌شده در کشور در واحدهای تولید برق بوده است. از سال ۹۵ به بعد سالانه بیش‌از ۶۰ میلیارد مترمکعب گاز طبیعی در بخش نیروگاهی مصرف شده که در سال ۱۴۰۰ این مقدار به ۷۱ میلیارد مترمکعب افزایش یافته است.

لازم به ذکر است ظرفیت قابل‌توجهی از نیروگاه‌های گازی با متوسط راندمان ۳۵ درصد قابل تبدیل به سیکل ترکیبی‌اند که با اجرایی شدن آن، راندمان نهایی نیروگاه‌های سیکل ترکیبی به حدود ۵۰ درصد افزایش خواهد یافت. با توجه به عدم‌نیاز واحدهای سیکل ترکیبی به مصرف سوخت اضافی، احداث این واحدها سالانه ۱۲ میلیارد مترمکعب صرفه‌جویی در مصرف گاز و منجر به کاهش ۱۲/۶ میلیون تن کربن دی‌اکسید خواهد شد. بدیهی است زمینه برای افزایش بهره‌وری به‌منظور صرف‌جویی در مصرف گاز طبیعی و کاهش انتشار کربن دی‌اکسید در صنعت سیمان و فولاد نیز وجود دارد.

کاربردهای کربن دی‌اکسید

کربن دی‌اکسید یک ترکیب شیمیایی ارزشمند است و کاربردهای متنوع و متعددی دارد (۱۴-۱۲). فناوری برخی از کاربردهای کربن دی‌اکسید در دسترس هستند، اما هنوز پرهزینه می‌باشند، مانند تولید سوخت‌های مصنوعی (سنتزی)و انرژی‌های تجدیدپذیر (مثل تولید متانول و اتانول از کربن دی‌اکسید و...). برخی کاربردهای کربن دی‌اکسید در سطوح اولیه آمادگی فناوری قرار دارند، مانند استفاده از آن در کشت جلبک‌ها. برخی دیگر مانند استفاده از کربن دی اکسید در تولید بلوک های ساختاری ترکیبات شیمیایی[۱۴-۱۲]، ازدیاد برداشت نفت و گاز [۱۵]. و ذخیره‌سازی آن برای طولانی‌مدت از طریق ذخیره‌سازی زمین‌شناختی که فناوری آنها به مرحله بلوغ رسیده‌اند [۱۶،۱۷]. به‌طوری‌که در سطح جهانی، سالانه حدود ۲۳۰ میلیون تن از آن مورد استفاده قرار می‌گیرد و بزرگ‌ترین مصرف‌کننده، صنعت کودهای شیمیایی است که۱۳۰ میلیون تن برای تولید اوره

شکل ۱: کاربردهای کربن دی‌اکسید به‌طور مستقیم یا طی تبدیلات شیمیایی

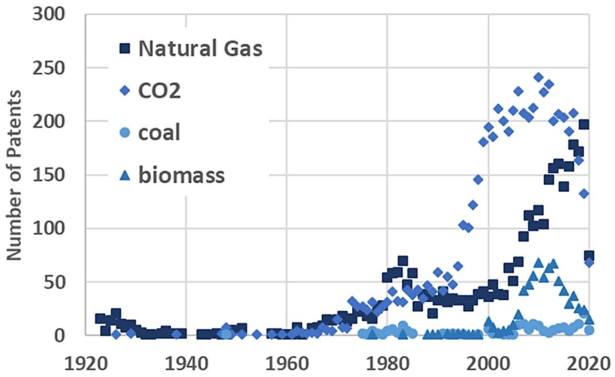
استفاده می‌شود. پس‌از آن، صنعت نفت و گاز است که ۷۰ تا ۸۰ میلیون تن برای ازدیاد برداشت نفت مصرف می‌شود. برخی دیگر از کاربردهای تجاری فناوری‌ها شامل تولید مواد غذایی و نوشیدنی، ساخت فلزات، سیستم‌های خنک‌کننده، مهار آتش و تحریک رشد گیاهان در گلخانه‌ها است که اغلب از آن به‌طور مستقیم استفاده می‌شود (شکل ۱).سرمایه گذاری در حوزه پژوهش و فناوری در جهت استفاده از کربن دی‌اکسید به‌عنوان یکی از مواد پایه پتروشیمی و همچنین تدوین نقشه راه کربن دی‌اکسید همانند کشور چین از جمله مسائل مهمی می‌باشند که باید در اولویت قرار گیرد [۲۰-۱۸].

کاربرد راهبردی کربن دی‌اکسید در مرزهای دانش

از جمله روش‌های نوین، تبدیل کربن دی‌اکسید به سوخت‌ها، مواد شیمیایی و مصالح ساختمانی است که مورد توجه روزافزون دولت‌ها، صنعت و مراکز تحقیقاتی قرار گرفته، اما اکثر آنها هنوز در مراحل اولیه توسعه بوده و توجیه اقتصادی ندارند. فرایندهای تولید سوخت و مواد شیمیایی مبتنی بر کربن دی‌اکسید از نظر انرژی پرمصرف است، اما مسیرهای کم‌هزینه‌تر شامل واکنش کربن دی‌اکسید با مواد معدنی یا پسماندهایی مانند سرباره آهن است که منجر به تشکیل کربنات‌ها برای مصالح ساختمانی است. در میان روش‌های نوین تبدیل کربن دی‌اکسید به مواد با ارزش افزوده بالا، تولید متانول و اتانول بیشتر مورد توجه قرار گرفته است. متانول خوراک طیف وسیعی از مواد شیمیایی از قبیل اسید استیک، الفین‌ها، وینیل استات، اتیل استات، اتانول، اتیلن گلیکول و الکل‌های سنگین‌تر می‌باشد. البته ضروری است برای این فرآیندها، کاتالیزورهای مؤثرتری با گزینش‌پذیری بالاتری نسبت به الفین‌های ارائه و معرفی شود. علاوه‌بر این، از کربن دی‌اکسید در تولید پلیمرهایی مانند پلی‌یورتان‌ها و پلی‌کربنات‌ها نیز استفاده می‌شود. بازارهای با ارزش بالا، از جمله مواد ساختمانی (جایگزین شیشه، فولاد و سیمان در برخی موارد)، کامپوزیت‌های مورد استفاده در صنایع هوافضا، قطعات الکترونیکی، الکترولیت‌های باتری، مواد حسگر و تشخیصی، از جمله کاربردهای بالقوه این مواد هستند. کاتالیزورهای جدید نه‌تنها می‌توانند بهره‌وری تولید را افزایش دهند، بلکه تعداد محصولات جدیدی که می‌توان تولید کرد را نیز افزایش خواهند داد.

۱. تبدیل کربن دی اکسید به متانول

برای تولید صنعتی متانول از زغال سنگ، زیست توده و گاز طبیعی استفاده می‌شود. برای تبدیل گاز طبیعی به گاز سنتز، از یک عامل اکسیدکننده قوی مانند اکسیژن یا یک عامل ضعیف‌تر مانند بخار آب استفاده می‌شود. هر یک از این رویکردها مزایا و معایب خاص خود را دارند. در فرآیند ریفرمینگ خشک از کربن دی‌اکسید به‌عنوان عامل اکسیدکننده گاز طبیعی استفاده می‌شود. در طی این فرآیند، اکسیدشده‌ترین شکل کربن، یعنی کربن دی‌اکسید، با کاهش‌یافته‌ترین شکل آن، یعنی متان، واکنش داده و گاز سنتز را به‌دست می‌دهد. از نظر ترمودینامیکی، واکنش ریفرمینگ خشک در مقایسه با دو واکنش دیگر چندان مطلوب نیست. علاوه‌بر مانع ترمودینامیکی که چالشی بزرگ محسوب می‌شود، این فرآیند به یک منبع خالص و پایدار از کربن دی‌اکسید نیاز دارد که خوشبختانه در کشور قابل‌دسترس است. با استفاده از سیستم‌های کاتالیستی، امکان کاهش انرژی مصرفی این فرآیند و نزدیک‌تر شدن آن به یک فرآیند اقتصادی وجود دارد. همان‌طور که در شکل ۲ نشان داده شده است، تعداد اختراعات ثبت‌شده در زمینه تولید متانول از خوراک‌هایی مانند گاز طبیعی، کربن دی‌اکسید ، زغال‌سنگ و زیست‌توده، در مورد کربن دی‌اکسید بیشترین مقدار را دارد که این امر نشان‌دهنده اهمیت این حوزه و پیشرو بودن آن در مرزهای دانش و فناوری است [۲۱،۲۲].



شکل ۲: توزیع اختراعات بر حسب نوع خوراک در تولید متانول [۲۲].

۲. تبدیل کربن دی‌اکسید به اتانول

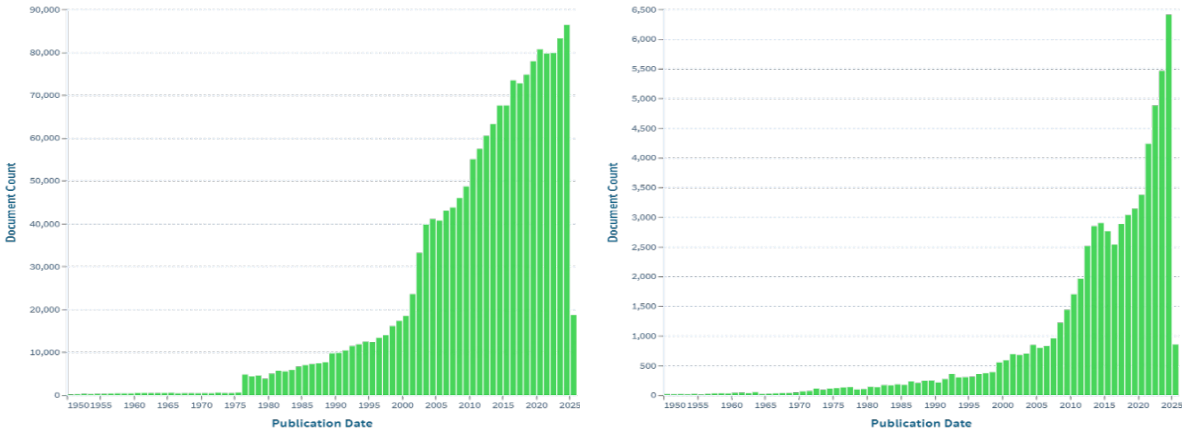
هیدروژناسیون کربن دی‌اکسید و تبدیل آن به مواد شیمیایی با ارزش افزوده بالا با استفاده از هیدروژنی که از طریق فوتوالکترولیز آب تأمین می‌شود، روشی امیدوارکننده در کاهش انتشار کربن است. اخیراً، هیدروژناسیون کربن دی‌اکسید در تبدیل به فراورده‌هایی مانند سوخت‌های مایع، الفین‌های سبک و مواد آروماتیک، به‌طور گسترده مورد بررسی و تحقیق قرار گرفته است. کماکان چالش‌های این فرایند کاتالیستی، بازده پایین و انتخاب‌پذیری محصول مورد نظر با ارزش افزوده بالاست. اتانول، به‌عنوان یک ماده شیمیایی پرکاربرد که ارتباط نزدیکی با زندگی روزمره دارد، عمدتاً از طریق تخمیر زیست‌توده

سلولزی یا آبدار شدن[1] اتیلن حاصل از سوخت‌های فسیلی تولید می‌شود. با توجه به تقاضای بالای زیست‌توده سلولزی برای تأمین غذا و کاهش منابع غیرقابل‌تجدید (مانند زغال‌سنگ و نفت خام)، جستجوی یک راهبرد جایگزین برای سنتز اتانول امری بسیار ضروری است. هیدروژناسیون کربن دی‌اکسید به اتانول توجه زیادی را به خود جلب کرده است، زیرا این روش می‌تواند همزمان گاز گلخانه‌ای کربن دی‌اکسید را حذف و مواد شیمیایی با ارزش افزوده بالا به‌دست دهد [۲۳].

جایگاه ایران و جهان در انتشار مقاله و ثبت اختراع در حوزه کربن دی‌اکسید

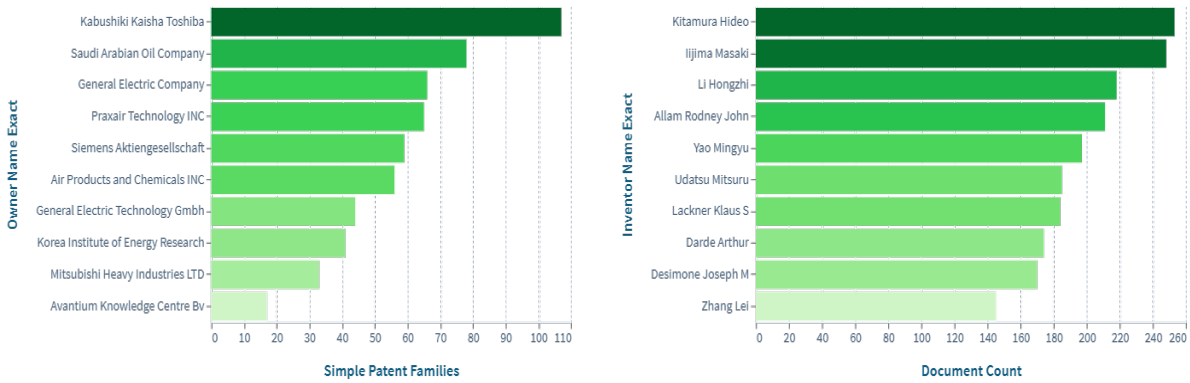
۱. اختراع

تعداد اختراع ثبت‌شده در جهان،[2] با کلید واژه «کربن دی‌اکسید»[3] بالغ بر یک میلیون و هفت صد هزار می‌باشد که در دو دهه اخیر با شتاب تندتر و به‌طور نمایی رشد داشته است (نمودار ۱۰، سمت چپ). با محدود کردن بررسی به «عنوان»[4]، تعداد اختراع به حدود



نمودار ۱۰: اختراعات ثبت‌شده با کلیدواژه کربن دی‌اکسید در هر جای اختراع (سمت چپ) و عنوان (سمت راست) اختراع ۲۰۲۵-۱۹۵۰

۶۷ هزار کاهش می‌یابد (نمودار۱۰، سمت راست). لازم به ذکر است، با مالکیت ایران اختراعی در مورد کربن دی‌اکسید به ثبت نرسیده است. با توجه به اینکه استفاده ازکربن دی‌اکسید از جنبه اقتصادی بسیار حائز اهمیت است، تعداد اختراعات ثبت شده با کلید واژه «کربن دی‌اکسید+کاربرد»[5] و «کربن دی‌اکسید+ تثبیت»[6] در عنوان، به ترتیب به ۲۰۹۳ و ۳۲۱ می‌باشد. در نمودار ۱۱، ده شرکت با بیشترین مالکیت ثبت اختراع (سمت چپ) که ۹۰ درصد آنها شرکت‌های صنعتی و فقط یک مورد مرکز تحقیقاتی است (مرکز تحقیقات انرژی کره) و همچنین ده مخترع با بیشترین ثبت اختراع (سمت راست) ارایه شده است.



نمودار ۱۱: ده شرکت و مخترع به ترتیب با بیشترین مالکیت (سمت چپ) و اختراع (سمت راست) ۲۰۲۵-۱۹۵۰

[1] hydration

[2] این بررسی در سامانه اختراعات lens.org که دانش جهانی علم و فناوری را در لینک https://www.lens.org/ کاوش می کند انجام شده است.

[3] carbon dioxide

[4] Title

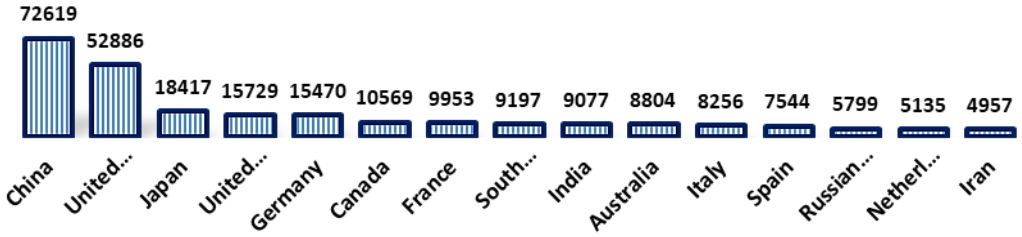
[5] carbon dioxide+applications

[6] carbon dioxide+fixation

۲. اسناد علمی

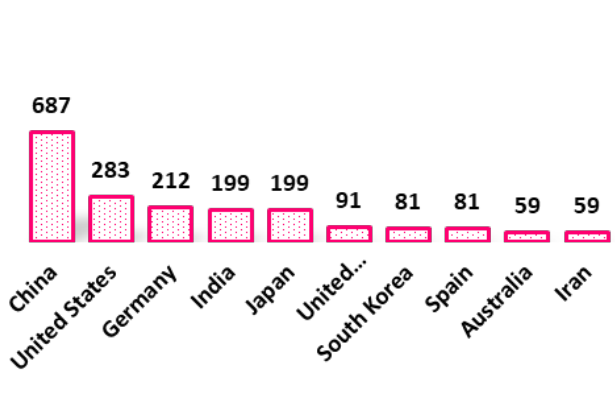
تعداد اسناد علمی (مقالات و...)[1] منتشر شده در جهان با کلیدواژه «کربن دی‌اکسید یا CO_2»[2] در عنوان، بالغ بر دویست و هفتاد و یک هزار است که بیش از ۸۰ درصد آنها را مقالات تشکیل می‌دهد. آمریکا، چین و ژاپن به‌ترتیب رتبه اول تا سوم و ایران با ۴۹۵۷ سند علمی که بیش از ۴۵۰۰ مورد آن مقاله است رتبه پانزدهم را دارد (نمودار ۱۲).

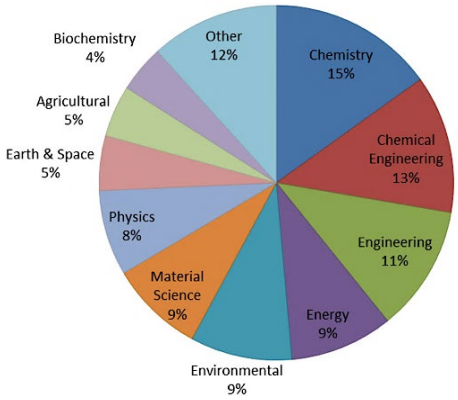
در ضمن میان بیست نویسنده برتر که هریک بیش از ۱۳۵ سند علمی در عنوان با کلیدواژه کربن دی‌اکسید یا CO_2 منتشر کرده، نویسنده‌ای از ایران مشاهده نمی‌شود. در ضمن بررسی با کلید واژه «کربن دی‌اکسید» در عنوان، چکیده و کلیدواژه تعداد اسناد در جهان بیش از ۶۵۰ هزار و ایران با حدود ده هزار وچهار صد سند رتبه هفدهم را دارد.



نمودار ۱۲: پانزده کشور با بیشترین اسناد علمی منتشر شده در مورد کربن دی‌اکسید در عنوان

یکی از حوزه های مهم مهار کربن دی‌اکسید طی فرایند تثبیت[3] است. بررسی با کلید واژه «تثبیت CO_2»[4] در عنوان، نشان می‌دهد بیش از دو هزار و یکصد مقاله در جهان به چاپ رسیده که کشورهای چین، آمریکا و آلمان به‌ترتیب رتبه‌های اول تا سوم را دارند (نمودار ۱۳، سمت چپ) و توزیع موضوعی آنها به‌ترتیب شیمی، مهندسی شیمی، بیوشیمی، محیط‌زیست، کشاورزی، علوم مواد، انرژی و... می‌باشد (نمودار ۱۳، سمت راست). ایران با چاپ ۵۹ مقاله که از این تعداد ۵۰ مقاله تحقیقی و ۶ مقاله مروری است،





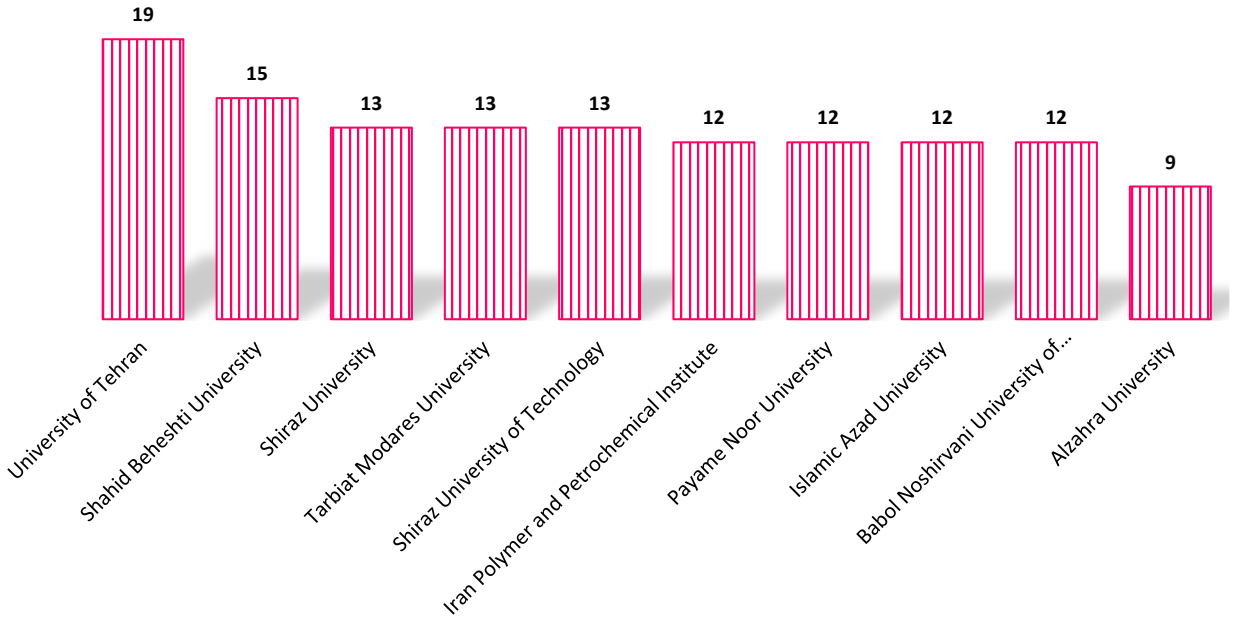
نمودار ۱۳: ده کشو برتر در انتشار اسناد علمی (عنوان، چکیده و کلیدواژه) در زمینه تثبیت کربن (سمت چپ) و توزیع موضوعی آنها (سمت راست)

رتبه دهم را دارد. توزیع موضوعی مقالات ایرانی شامل ۳۲ درصد شیمی، ۲۳ درصد مهندسی شیمی و ۱۶ درصد را علوم مواد تشکیل می‌دهد. همین بررسی در عنوان، چکیده و کلیدواژه نشان می‌دهد در جهان ۱۴۴۱۸ و در ایران ۱۷۷ سند علمی (۱۴۳ مقاله، ۲۳ مقاله مروری و ۶ فصلی از کتاب) منتشر شده و رتبه ایران نوزدهم می‌باشد. توزیع موضوعی اسناد ایرانی شامل ۲۱ درصد مهندسی شیمی، ۲۰ درصد شیمی، ۱۶ درصد محیط‌زیست، ۱۰ درصد مواد، ۷ درصد مهندسی، ۵ درصد انرژی، بیوشیمی، کشاورزی و فیزیک هر کدام حدود ۴ درصد

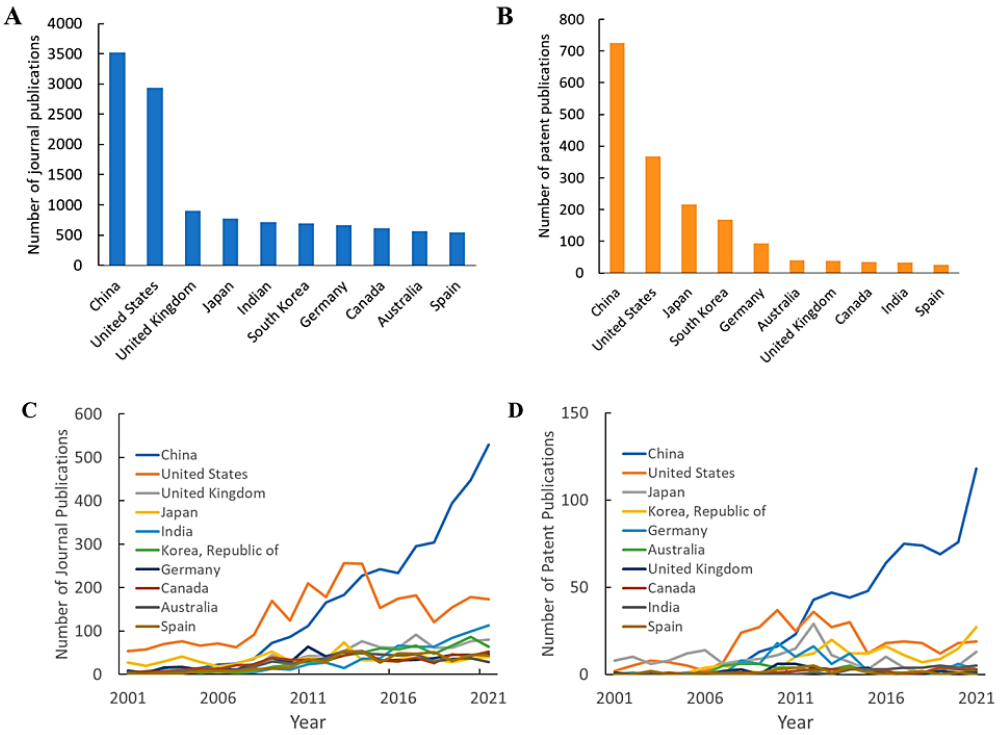
[1] مقالات منتشر شده در سامانه Scopus که در لینک https://www.scopus.com کاوش می کند استخراج و بررسی شده است.
[2] carbon dioxide or CO_2
[3] fixation
[4] CO_2 fixation

و پزشکی ۲ درصد می‌باشد. ده دانشگاه با بیشترین اسناد علمی در تثبیت کربن در نمودار ۱۴ ارایه شده است.

یکی دیگر از حوزه‌های مهم مهار کربن دی‌اکسید طی فرایندهای جذب و ذخیره‌سازی است. ده کشور با بیشترین مقالات و اختراعات با موضوع جذب و ذخیره‌سازی کربن دی اکسید از سال ۲۰۰۱ تا ۲۰۲۱ در نمودار ۱۵ ارایه شده است، که در هر دو مورد کشورها یکسان و فقط در رتبه‌بندی موقعیت آنها جابه‌جا شده است. چین در هر دو مورد نه‌تنها رتبه اول را به‌خود اختصاص داده بلکه روند رشد آن نیز با شیب بسیار تند از بقیه کشورها جلوتر می‌باشد.



نمودار ۱۴: ده دانشگاه با انتشار بیشترین اسناد علمی در حوزه تثبیت کربن در ایران



نمودار۱۵: ده کشور برتر در جذب و ذخیره‌سازی کربن دی‌اکسید از نظر تعداد و مقایسه روند رشد مقالات و اختراعات (رتبه‌بندی کشورها در تعداد مقالات (A)؛ رتبه‌بندی کشورها در تعداد اختراع (B)؛ روند رشد مقالات ۱۰ کشور برتر (C)؛ و روند رشد اختراعات ۱۰ کشور برتر (D)) [۲۴،۲۵].

نتیجه‌گیری و ارایه پیشنهادات

در دنیای علم و فناوری که نیازهای جامعه بشری به منابع ملی افزایش می‌یابد، نگاه به کربن دی‌اکسید به‌عنوان یک زباله یا پسماند نه‌تنها یک زیان اقتصادی است بلکه جوامع بشری را با آسیب‌ها و چالش‌های گوناگون گرفتار می‌کند. انتظار می‌رود با بررسی روند تحقیقات در حوزه کربن دی‌اکسید، دیدگاه واقع‌بینانه‌ای به کاربردهای بالقوه آن شود و در آینده با توسعه فناوری‌های تجاری، زمینه برای ایجاد یک اقتصاد مبتنی بر کربن دی‌اکسید فراهم شود. امروز حذف کربن دی‌اکسید نه‌تنها یکی از موضوعات مهم پژوهشی و فناورانه است، بلکه در کنار کاهش انتشار گازهای گلخانه‌ای، یک ضرورت برای مقابله با تغییرات اقلیمی محسوب می‌شود. جای تعجب نیست، که ۲/۶ تریلیون دلار بودجه تحقیقاتی در سراسر جهان طی هشت سال گذشته (۲۰۱۵–۲۰۲۳) در اختیار دانشمندان و محققان قرار گرفته تا علوم و فناوری‌های نوینی برای پیشگیری از انتشار، کاهش، حذف، ذخیره و استفاده به‌عنوان ماده اولیه از کربن دی‌اکسید ارایه و توسعه دهند [۳].

در این مقاله کوشش شد تا نشان داده شود که کربن دی‌اکسید سرمایه ملی عظیمی است که به آن بی‌توجهی می‌شود، علیرغم اینکه روش‌های مختلفی برای استفاده از آن بدون تبدیل و به‌طور مستقیم مانند استفاده از آن در استخراج و فرآوری مواد، ازدیاد برداشت نفت، ذخیره‌سازی و یا از طریق فرآیندهای تبدیلی به‌عنوان خوراک برای تولید مواد شیمیایی با ارزش افزوده بالا، سوخت‌ها و تولید زیست‌توده از طریق کشت جلبک وجود دارد. در ضمن اشاره شد علاوه‌بر ارزش اقتصادی کربن دی‌اکسید، از جنبه‌های مسئولیت اجتماعی، زیست محیطی، تغییرات آب‌وهوایی و الزامات قانونی، و محدودیت‌هایی که فروش محصولات با منبع کربنی در آینده خواهند داشت، اهمیت مدیریت، مهار و استفاده بهینه از کربن دی اکسید را دوچندان می‌کند. لازم به ذکر است، علیرغم اینکه کربن دی‌اکسید ظرفیت‌های کاربردی بسیار بالایی دارد، اما بدلیل فعالیت شیمیایی پایین آن که در بالاترین سطح اکسایش کربن قرار دارد، محدودیت‌ها و چالش‌هایی در فرایندهایی تبدیلی به‌دلیل مصرف انرژی بالا دارد (۱۵). یقینا با تحقیق و پژوهش و با طراحی و معرفی کاتالیست‌های جدید می‌توان بر این محدودیت‌ها فائق آمد.

پیشنهادات

ایران با در اختیار داشتن به‌طور متوسط ۱۵ درصد ذخایر نفت و گاز جهان، باید محور اصلی پیشرفت اقتصادی کشور را صنایع شیمیایی، دارویی و پتروشیمیایی قرار دهد و با بهره‌گیری هوشمندانه از این منابع طبیعی و از جمله کربن دی‌اکسید که در شرایط فعلی زباله و پسماند صنعت نفت و گاز تلقی می‌شود و ارزش اقتصادی خام آن در کشور بیش‌از ۲۰ میلیارد دلار می‌باشد، به‌عنوان مهمترین مزیت رقابتی برای کشور در عرصه رقابت بین‌المللی، جایگاه ایران را در تولید ناخالص ملی ارتقا داد.

- اختراعات ثبت شده در جهان در موضوع کربن دی‌اکسید اغلب توسط شرکت‌های دانش‌بنیان، صنعتی و تولیدی برای دست‌یابی به فناوری‌های نوین در افزایش بهره‌وری به ثبت رسیده است. علیرغم اینکه قوانین خوبی در کشور برای سرمایه‌گذاری صنایع در حوزه پژوهش و فناوری تصویب شده است، اما عملکرد بسیار ضعیف است. به‌طوری‌که با بیش‌از ۱/۵ میلیون اختراع ثبت شده با موضوع کربن دی‌اکسید در جهان، حتی یک اختراع با مالکیت ایرانی در میان آنها دیده نمی‌شود. به‌عبارتی کماکان تولید ثروت در کشور مبتنی بر خام‌فروشی و با بهره‌وری بسیار پایین از منابع طبیعی (نفت، گاز، فراوردهای پتروشیمی و...) استوار می‌باشد. لذا ضروری است برای دست‌یابی به تولید ثروت دانش و فناوری بنیان، هزینه‌ها و حق‌آبه پژوهش و تولید فناوری در جهت بهبود و ارتقای بهره‌وری در استفاده از منابع طبیعی، در چارچوب قوانین مصوب اجرایی شود [۲۶–۲۸].

- مکلف نمودن صنایع جدیدالتأسیس به ایجاد همزمان صنعت جذب و ذخیره‌سازی کربن دی‌اکسید با مشارکت بخش خصوصی به صورت ساخت، بهره‌برداری و واگذاری[1]، تأسیس بورس کربن داخلی و وضع مالیات کربن برای واحدهای صنعتی انتشار دهنده کربن دی‌اکسید از قبیل نیروگاه‌های حرارتی، صنایع سیمان، فولاد و پتروشیمی‌ها در جهت کاهش آن و هزینه‌کرد بخشی از درآمد حاصل، به‌عنوان مشوق‌های کاهش کربن و در تحقیق و توسعه به‌منظور مهار، مدیریت و استفاده بهینه از کربن دی‌اکسید هزینه شود.

تقدیر و تشکر

از استاد ارجمند جناب آقای دکتر محمد علی زلفیگل رئیس محترم هیات‌مدیره مؤسسه تحقیق و توسعه دانشمند که با حوصله پیش‌نویس این مقاله را به‌دقت مطالعه، و پیشنهادات ارزنده و نوآورانه‌ای در جهت ارتقای کیفی آن ارائه فرمودند و از همکار

[1] Build–Operate–Transfer (B.O.T)

محترم سرکار خانم دکتر مهسا باغبان صالحی عضو محترم هیات علمی دانشکده مهندسی شیمی پژوهشگاه شیمی و مهندسی شیمی ایران که پیشنهادات ارزنده‌ای در جهت اصلاح متن و به‌ویژه در ارتقای کیفی شکل‌ها و نمودارها ارایه نمودند، کمال تشکر و امتنان را دارم. همچنین از استاد ارجمند جناب آقای دکتر موسوی موحدی که با حوصله پیش‌نویس این مقاله را به دقت مطالعه، و پیشنهادات ارزنده‌ای در جهت ارتقای کیفی آن ارائه فرمودند، کمال امتنان و تشکر را دارم.

پایگاه داده های دیده شده در این مقاله

(۱). isna.ir/xcdnLf تعهد ایران برای کاهش۴درصدی گازهای گلخانه‌ای تا ۲۰۳۰

(2). European Commission, Joint Research Centre, Crippa, M., Guizzardi, D., Pagani, F., Banja, M., Muntean, M., Schaaf, E., Monforti-Ferrario, F., Becker, W.E., Quadrelli, R., Risquez Martin, A., Taghavi-Moharamli, P., Köykkä, J., Grassi, G., Rossi, S., Melo, J., Oom, D., Branco, A., San-Miguel, J., Manca, G., Pisoni, E., Vignati, E. and Pekar, F., GHG emissions of all world countries, Publications Office of the European Union, Luxembourg, 2024, https://data.europa.eu/doi/10.2760/4002897, JRC138862.

(3). Global Greenhouse Gas Emissions: 1990-2021 and Preliminary 2022 Estimates: https://rhg.com/research/global-greenhouse-gas-emissions-2022/

(4). INFOGRAPHIC: Visualizing All the World's Carbon Emissions by Country–Visual Capitalisthttps://energynow.ca/2023/11/infographic-visualizing-all-the-worlds-carbon-emissions-by-country-visual-capitalist/

(5). Carbon dioxide emissions per person https://commons.wikimedia.org/wiki/File:20210626_Variwide_chart_of_greenhouse_gas_emissions_per_capita_by_country.svg

(6). Iran: CO2 Country Profile: https://ourworldindata.org/co2/country/iran#

(۷). تحلیل بنیادی صنعت سیمان در ایران -https://enigma.ir/blog/cement-industry

(8). The iron and steel industry is responsible for 11% of global carbon dioxide emissions and will need to change rapidly to align with the world's climate goals. https://www.onlynaturalenergy.com/these-553-steel-plants-are-responsible-for-9-of-global-co2-emissions/

(9). https://www.un.org/en/climatechange/paris-agreement

(۱۰). https://rc.majlis.ir/fa/law/show/97764قانون الحاق دولت جمهوری اسلامی ایران به پروتکل کیوتو در مورد کنوانسیون چارچوب سازمان ملل متحد در مورد تغییر آب و هوا

(11). Kyoto Protocol to the United Nations Framework Convention on Climate Change: https://unfccc.int/resource/docs/convkp/kpeng.pdf

(12). The wide possibilities for using CO_2: https://www.abnamro.com/research/en/our-research/esg-economist-the-wide-possibilities-for-using-co2

(13). Carbon Dioxide Enhanced Oil Recovery: https://www.netl.doe.gov/sites/default/files/netl-file/co2_eor_primer.pdf

(14). Putting CO2 to Use September 2019 Creating value from emissions (International Energy Agency(IAE)publication:https://iea.blob.core.windows.net/assets/50652405-26db-4c41-82dc-c23657893059/Putting_CO2_to_Use.pdf

(15). The potential and limitations of using carbon dioxide: https://royalsociety.org/-/media/policy/projects/carbon-dioxide/policy-briefing-potential-and-limitations-of-using-carbon-dioxide.pdf

منابع و مأخذ

[1]. Foregger, R. (1957). Closed carbon dioxide filtration revisited, Anesthesiology 18, 257-264.

[2]. Song, C. (2006). Global challenges and strategies for control, conversion and utilization of CO_2 for sustainable development involving energy, catalysis, adsorption and chemical processing, Catal. Today, 115, 2-32: https://doi.org/10.1016/j.cattod.2006.02.029.

[3]. Lauren J. Barrett, Samantha Rush, Penny Vlahos (2024). Chemistry of Carbon Dioxide Removal, American Chemical Society, DOI: 10.1021/acsinfocus.7e8006; https://books.google.com/books/about/Chemistry_of_Carbon_Dioxide_Removal.html?id=55wPEQAAQBAJ

[۴]. شعبانی، احمد(۱۴۰۱). جایگاه جهانی صنایع شیمیایی در تولید ناخالص ملی کشورها، نامه علوم پایه، شماره هفتم و هشتم، صفحات ۹۸-۱۱۱.

[5]. Avami, A., Sattari, S. (2007). Energy Conservation Opportunities: Cement Industry in Iran, International Journal of Energy, 1(3), 65-71.

[۶]. فاطمی، سیدعلیرضا، مصطفی پور، علی، پیروی، محمدحسین (۱۴۰۳). تحلیل وضعیت تجارت سیمان در ایران و جهان، مرکز پژوهش های مجلس شورای اسلامی ایران.

[7]. Massoumi Nejad, B., Enferadi, S., Andrew, R. (2025). A comprehensive analysis of process-related CO2 emissions from Iran's, Cleaner Environmental Systems,16,100251: https://doi.org/10.1016/j.cesys.2024.100251

[8]. Bill Gates (2022). How to Avoid a Climate Disaster: https://doi.org/10.1162/desi_r_00674

[۹]. رضائی، مسعود(۱۴۰۲). درآمدی بر اجرای سامانه تجارت انتشار گازهای گلخانهای، مرکز پژوهش های مجلس شورای اسلامی ایران. https://rc.majlis.ir/fa/report/show/1773159

[10]. Rennert, K., et.al. (2022). Comprehensive evidence implies a higher social cost of CO_2, Nature, 610, 691: https://doi.org/10.1038/s41586-022-05224-9

[11]. Prather, K., Barsanti, K. (2025). Is the air we breathe safe? Science, 387 (6738) 1019: 10.1126/science.adx1128.

[12]. Qiang Liu, Lipeng Wu, Ralf Jackstell1 & Matthias Beller (2015). Using carbon dioxide as a building block in organic synthesis, Nature Communications, 6, 5933: https://doi.org/10.1038/ncomms6933.

[13]. Shaheed, N., Nasiriani, T., Shaabani, A. (2024). Post-synthetic modification of NH2-tagged metal-organic framework, A selective, effective, and recyclable heterogeneous catalyst for CO_2 conversion into cyclic carbonates, Journal of the Taiwan Institute of Chemical Engineers, 164,105679: https://doi.org/10.1016/j.jtice.2024.105679.

[14]. Nasiriani, T., Adabi Nigjeh, N., Torabi, S., Shaabani, A. (2024). MIL-88-NH2 (Fe) conjugated pectin through a post-modification Ugi four-component reaction: A robust bio-based catalyst for the synthesis of cyclic carbonate via CO_2 fixation, Carbohydrate Polymers, 342, 122418: https://doi.org/10.1016/j.carbpol.2024.122418.

[15]. Al-Shargabi, M., Davoodi, S., Wood, D. A., Rukavishnikov, V. S., Konstantin M. (2022). Carbon dioxide applications for enhanced oil recovery assisted by nanoparticles: Recent developments, ACS Omega, 7, 9984−9994:https://doi.org/10.1021/acsomega.1c07123.

[16]. Davidson, O., de Coninck, H. C., Loos, M., Meyer, L. A. (eds.) (2005). Carbon ioxide Capture and Storage, Cambridge University Press, Cambridge, United Kingdom.

[17]. Efthymia Ioanna Koytsoumpa, Chistian Bergins, Emmanouil Kakaras (2018). The CO_2 economy: Review of CO_2 capture and reuse technologies, Journal of Supercritical Fluids, 132, 3-16: http://dx.doi.org/10.1016/j.supflu.2017.07.029.

[18]. Chenchen Zou, Minda Ma, Nan Zhou, Wei Feng, Kairui You, Shufan Zhang (2023). Toward carbon free by 2060: A decarbonization roadmap of operational residential buildings in China, Energy, 277, 127689: https://doi.org/10.1016/j.energy.2023.127689

[19]. Yinan Li, Song Lan, Morten Ryberg, Javier Pérez-Ramírez, Xiaonan Wang (2021). A quantitative roadmap for China towards carbon neutrality in 2060 using methanol and ammonia as energy carriers, iScience, 24(6),102313: 10251310.1016/j.isci.2021.102513.

[20]. Lei Li, Ning Zhao, Wei Wei, Yuhan Sun (2013). A review of research progress on CO_2 capture, storage, and utilization in Chinese Academy of Sciences, Fuel, 108, 112-130: https://doi.org/10.1016/j.fuel.2011.08.022.

[21]. Mohamad H. A. (2018). A mini-review on CO_2 reforming of methane. Progress Petrochem Sci. 2(2), 161-165: 10.31031/PPS.2018.02.000532.

[22]. Filippo Bisotti, Matteo Fedeli, Kristiano Prifti, Andrea Galeazzi, Anna Dell'Angelo, Massimo Barbieri, Carlo Pirola, Giulia Bozzano, and Flavio Manenti (2021). Century of technology trends in methanol synthesis: Any need for kinetics refitting? Ind. Eng. Chem. Res., 60, 16032−16053: https://doi.org/10.1021/acs.iecr.1c02877.

[23]. Yang Wang, Kangzhou Wang, Baizhang Zhang, Xiaobo Peng, Xinhua Gao, Guohui Yang, Han Hu, Mingbo Wu, and Noritatsu Tsubaki (2021). Direct conversion of CO_2 to ethanol boosted by intimacy-sensitive, ACS Catal., 11, 11742−11753: https://doi.org/10.1021/acscatal.1c01504.

[24]. Xiang Yu, et.al.(2023). Trends in Research and Development for CO2 Capture and Sequestration, ACS Omega, 8, 11643−11664: https://doi.org/10.1021/acsomega.2c05070

[25]. Xin Li, Ning Gao, Fei Yuan, Lucheng Huang (2024). The development trends, technological competition situations and cooperation status of carbon-negative technology: A patent landscape analysis, Journal of CO2 Utilization, 89, 102966: https://doi.org/10.1016/j.jcou.2024.102966.

[۲۶]. شعبانی، احمد، داوری اردکانی، نگار (۱۳۹۲) . تبیین راهکارهای فرایند تولید ثروت دانش بنیان، نشریه نشا علم، سال چهارم، شماره اول، ۴۲-۳۵.

[۲۷]. شعبانی، احمد(۱۳۹۸). روزآمد نمودن همکاری دانشگاه با صنعت، نشریه نشا علم، سال نهم شماره اول، ۲۰-۱۴.

[۲۸]. شعبانی، احمد(۱۴۰۰). جایگاه علوم شیمی و نقش آن در توسعه پایدار. نامه علوم پایه فرهنگستان علوم، شماره ۱، ۳۶-۲۹

Science and Education

Carbon Dioxide: Containment Issues, Effective Management and Optimal Use In Iran

Ahmad Shaabani[1,*]

Iran has emitted over 20 billion tons of carbon dioxide by the year 2024, ranking sixth globally with a 2% share of total emissions. It is estimated that power plants consume approximately 71 billion cubic meters of gas annually, releasing 118 million tons of carbon dioxide into the atmosphere. The economic value of these emissions is roughly equivalent to Iran's total petrochemical exports, which is $11.8 billion. Additionally, considering that one ton of carbon dioxide is emitted for every ton of cement produced, and Iran's annual cement production stands at approximately 72 million tons, the economic value of carbon dioxide emissions in this sector is estimated to be $7.2 billion. In addition to the economic value of carbon dioxide, it seems essential to control and manage the emission of this gas from the perspective of social responsibility, environmental considerations, climate change, legal requirements, and possible future restrictions on the sale of carbon-based products. Carbon dioxide is a valuable resource with wide and diverse applications in the food, chemicals, petrochemicasl, pharmaceuticals, construction, refrigeration industries, and most importantly in enhancing oil recovery (CO2-EOR). Given its economic and industrial value, adopting effective strategies for carbon dioxide management and utilization is essential. This article explores the status of carbon dioxide emissions in Iran and globally, examines methods for its optimal management and utilization, and proposes strategies for leveraging this national resource.

Keywords: Greenhouse Gases, Containment, Management, Carbon Dioxide, Carbon Tax, Enhanced Oil Recovery, Net-Zero Carbon, Paris Agreement

* Corresponding Author.Professor. Tel:(9821)29904362, Fax :(9821)22431671, Email: a-shaabani@sbu.ac.ir
[1] Faculty of Chemistry, Shahid Beheshti University, G. C., P. O. Box 19396-4716, Tehran, Iran