

جداسازی، ذخیره‌سازی و بازیابی دی‌اکسید کربن جهت کاهش تغییرات جهانی آب و هوا

سعید مزینانی*، محمد فارسی، عبدالحسین جهانمیری
شیراز- دانشگاه شیراز- دانشکده مهندسی شیمی، نفت و گاز
SaeedMazinani64@gmail.com

چکیده:

طبق تحقیقات انجام شده حدود ۶۰ درصد از آثار مخرب گازهای گلخانه‌ای مربوط به افزایش غلظت دی‌اکسید کربن در اتمسفر می‌باشد. این امر سبب شده تا این گاز به عنوان مهمترین گاز گلخانه‌ای شناخته شود. یکی از آثار زیان بار ناشی از افزایش میزان دی‌اکسید کربن، تغییرات جهانی آب و هوا می‌باشد. لذا برای جلوگیری از این تغییرات، در سال ۱۹۹۰ اولین مباحث برای تشکیل کنوانسیون گازهای گلخانه‌ای مطرح گردید. سپس در سال ۱۹۹۴ پیمان کنترل تغییر آب و هوا لازم الاجرا شد و نهایتاً در سال ۱۹۹۷ پروتکل کیوتو به تصویب رسید. به طور کلی یک راهکار اساسی جهت کاهش میزان دی‌اکسید کربن، جداسازی آن از گازهای حاصل از احتراق توسط فرآیندهای عملیاتی و سپس ذخیره‌سازی و یا بازیابی آن به عنوان یک ماده خام در دسترس می‌باشد. در این مقاله این راهکار به طور کامل تشریح شده و سپس موانع و مشکلات موجود مورد بررسی و تحلیل قرار گرفته است.

کلمات کلیدی: دی‌اکسید کربن، تغییرات جهانی آب و هوا، گازهای گلخانه‌ای، پروتکل کیوتو، جداسازی دی‌اکسید کربن

۱. مقدمه:

امروزه در مباحث توسعه، توجه خاصی به مسائل زیست‌محیطی شده و جوانب آن در تمام طرح‌های توسعه‌ای در نظر گرفته می‌شود. در گذشته به دلیل توجه یک سویه به رشد و توسعه اقتصادی، مسائل زیست‌محیطی از اهمیت کمی برخوردار بود و آنچه اهمیت داشت رشد و توسعه به هر قیمت بود. اما به تدریج با مشخص شدن تاثیرات منفی توسعه بر محیط‌زیست، زنگ خطر برای جوامع بشری به صدا در آمد و به مرور پروتکل‌های زیست‌محیطی مطرح شد. اولین زمره جهت تشکیل کنوانسیون گازهای گلخانه‌ای در سال ۱۹۹۰ مطرح و در ژوئن سال ۱۹۹۲ در اجلاس زمین در ریودژانیرو تأیید گردید و پیش‌نویس طرحی ارائه شد که به کنوانسیون تغییر آب و هوا شهرت یافت [1]. هدف این کنوانسیون

تثبیت غلظت گازهای گلخانه‌ای در اتمسفر در سطحی بود که از تداخل خطرناک فعالیت‌های بشر با سیستم آب و هوایی جلوگیری نماید. اما برخلاف انتظار، کشورهای بزرگی مثل ایالات متحده و ژاپن هدف تثبیت داوطلبانه را برآورده نساخته و طرف‌های کنوانسیون در سال ۱۹۹۵ وارد مذاکراتی برای برقراری پروتکل خاصی جهت ایجاد پایبندی به محدودسازی و یا کاهش گازهای گلخانه‌ای شدند. از اینرو در ۱۶ فوریه ۱۹۹۷ قرارداد کیوتو به تصویب رسید. طبق این پروتکل کشورها باید میزان انتشار گازهای گلخانه‌ای خود را تا سال ۲۰۱۲-۲۰۰۸ به میزان ۵ درصد زیر میزان انتشار در سال ۱۹۹۰ کاهش دهند. این قرارداد شامل حال کشورهای در حال توسعه نبود اما آنها را تشویق می‌کرد تا به صورت داوطلبانه با کشورهای صنعتی همکاری کنند. در پروتکل کیوتو با تصویب بندهایی به کشورهای متعهد اجازه داده شد تا از طریق سه مکانیسم بتوانند بخشی از کاهش تولید گازهای گلخانه‌ای خود را در کشور دیگر و یا از طریق خرید امتیازات آن محقق نمایند [2]. این سه مکانیسم عبارتند از:

۱- **تجارت انتشار:** با توجه به تعهد کشورهای صنعتی در کاهش انتشار گازهای گلخانه‌ای، در صورت ناتوانی یک عضو در عمل به تعهدات خود، می‌تواند از کشورهای صنعتی دیگر که بیش از سهم تعهد خود کاهش انتشار داشته‌اند مجوز انتشار را خریداری نماید.

۲- **اجرای مشترک:** پروژه‌هایی که به منظور اجرای تعهد یا اخذ گواهی توسط کشورهای صنعتی به دلیل داشتن تجارب تکنولوژیکی در سایر کشورهای توسعه یافته اجرا می‌گردد.

۳- **مکانیسم توسعه پاک:** پروژه‌هایی که کشورهای توسعه یافته جهت تحقق تعهدات خود در کاهش میزان انتشار و همچنین کمک به توسعه پایدار در کشورهای در حال توسعه اجرا می‌نمایند. ماده ۱۲ پروتکل کیوتو بر مکانیسم توسعه پاک اشاره دارد که هدف آن بدین شرح است:

الف) مشارکت در توسعه پایدار کشورهای در حال توسعه

ب) کمک به اعضای تحت پروتکل کیوتو برای برآورده ساختن اهداف آنها

به کمک این راهکار، کشورهایی که خود را هدف برنامه کاهش گازهای گلخانه‌ای تحت پروتکل کیوتو می‌دانند، می‌توانند در تأمین مالی پروژه‌های کشورهای در حال توسعه شرکت کنند. این پروژه‌ها بایستی در راستای توسعه پایدار، میزان تولید گازهای گلخانه‌ای را در کشورهای میزبان کاهش دهد. برای دستیابی به این هدف، امکان خریداری پروژه توسط اعضای متعهد وجود دارد.

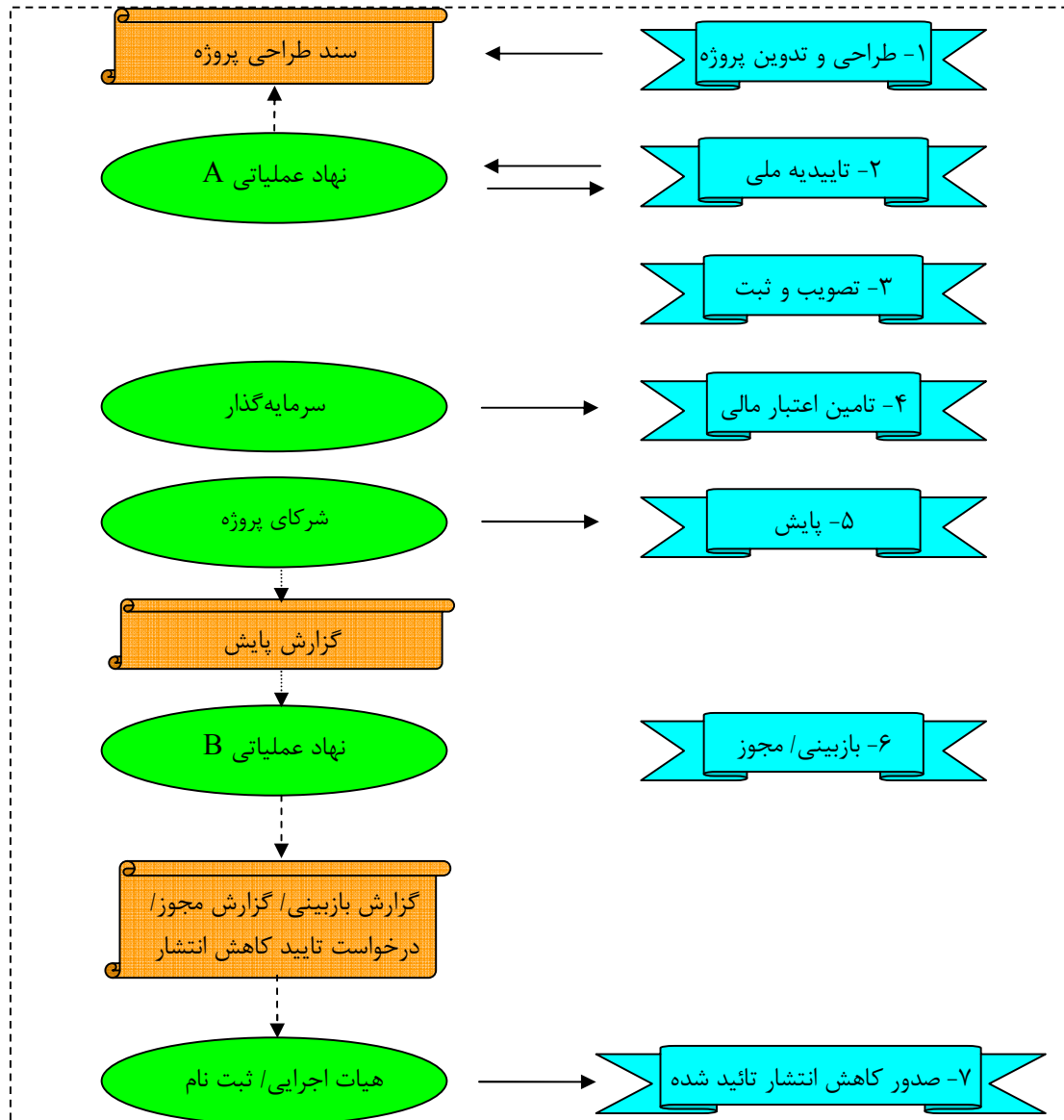
هدف از اجرای پروژه‌های مکانیسم توسعه پاک، کمک به کشورهای در حال توسعه در دستیابی به توسعه پایدار بوده و این امر مزیتی برای کشورهای میزبان مانند ایران به شمار می‌آید. بطور کلی باید در هر پروژه توسعه پاک، معیارهای توسعه پایدار آن کشور اعم از اقتصادی، تکنولوژی، زیست محیطی و اجتماعی رعایت شوند. جهت شرکت در این مکانیسم تمامی کشورهای عضو و غیر عضو باید حائز شرایط زیر باشند:

۱- مشارکت داوطلبانه

۲- قبولی پروتکل کیوتو

۳- انتخاب مرجع صلاحیت‌دار ملی

در نمودار زیر چرخه پروژه‌های مکانیسم توسعه پاک نشان داده شده است.



شکل ۱: چرخه پروژه‌های مکانیسم توسعه پاک

همان‌گونه که در نمودار فوق نشان داده شده است چرخه پروژه مکانیسم توسعه پاک دارای هفت مرحله اصلی می‌باشد که چهار مرحله اول قبل از اجرای پروژه و سه مرحله بعد در طول دوره زمانی اجرای پروژه انجام می‌گیرد. کشور ما در سال ۱۹۹۲ به کنوانسیون تغییر آب و هوا پیوست و سپس پروتکل

کیوتو را در مرداد ماه سال ۱۳۸۴ امضاء کرد و سازمان محیط زیست نیز در ۱۸ آذر ماه ۱۳۸۵ به عنوان مرجع صلاحیت‌دار ملی تعیین شد.

۲. دی‌اکسید کربن و اثرات زیست‌محیطی

به طور کلی گازهای گلخانه‌ای شامل دی‌اکسید کربن (CO_2)، متان (CH_4)، اکسیدهای نیتروژن (N_2O)، هیدروفلوروکربن‌ها (HFC)، پرفلوروکربن‌ها (PFC) و هگزا فلرید سولفور (SF_6) می‌باشند. در جدول ۱ طول عمر این گازها در اتمسفر و سهم هر یک از آنها در گرمایش زمین نشان داده شده است.

جدول ۱: خصوصیات گازهای گلخانه‌ای [3]

گازهای گلخانه‌ای	سهم در گرمایش زمین (درصد)	طول عمر در اتمسفر (سال)
دی‌اکسید کربن	۷۶	متغیر
متان	۱۲	۱۲
اکسیدهای نیتروژن	۱۱	۱۲۰
هیدروفلوروکربن‌ها	<۱	۱-۲۰۰
پرفلوروکربن‌ها	<۱	۳۰۰-۵۰۰
هگزا فلرید سولفور	<۱	۳۲۰۰

جدول ۱ نشان می‌دهد در میان گازهای گلخانه‌ای، دی‌اکسید کربن عمده‌ترین سهم را در گرمایش زمین دارا می‌باشد. اولین نظریه در مورد دی‌اکسید کربن و اثرات زیست محیطی آن توسط تی.سی.چمبرلین در اواخر قرن ۱۹ ارائه شد. بر اساس نظریه وی تغییر در حجم دی‌اکسید کربن اتمسفری در تغییرات وسیع آب‌وهوایی تأثیر بسزایی داشته و فعالیت‌های صنعتی مسئول اصلی افزایش حجم دی‌اکسید کربن در اتمسفر می‌باشند. Lee و همکاران در سال ۲۰۰۰ مطالعه‌ای روی گازهای گلخانه‌ای در هنگ‌کنگ انجام داده و نشان دادند دی‌اکسید کربن مسئول انتشار ۹۰ درصد از گازهای گلخانه‌ای در آن کشور است [4]. Ayhan Demirbas در سال ۲۰۰۲ مطالعه‌ای روی گازهای گلخانه‌ای در ترکیه انجام داد و عنوان کرد که دی‌اکسید کربن بیشترین سهم را در پدیده گرمایش جهان دارا می‌باشد [4]. مطالعات انجام شده در کشور ما حاکی از آنست که دی‌اکسید کربن حدود ۷۵-۸۰ درصد از گازهای گلخانه‌ای را شامل می‌شود [4]. از اینرو دی‌اکسید کربن را می‌توان مهمترین گاز گلخانه‌ای دانست که به همین دلیل دانشمندان و کارشناسان محیط‌زیست معتقدند در صورت ممانعت از انتشار دی‌اکسید کربن به جو زمین، اثرات زیست محیطی گازهای گلخانه‌ای را می‌توان به مقدار قابل توجهی کاهش داد.

محاسبات نشان می‌دهد که حجم فعلی دی‌اکسید کربن در جو حدود ۳۶۵ ppm بوده و احتمالاً تا پایان قرن بیست‌ویکم به ۴۰۰ ppm خواهد رسید [5]. در صورت افزایش به همین منوال، حدود سال‌های

۲۰۴۰ غلظت دی‌اکسیدکربن به دو برابر مقدار فعلی خواهد رسید و در نتیجه درجه حرارت کره زمین به طور متوسط دو درجه سانتیگراد افزایش خواهد یافت. این افزایش دما باعث ایجاد تغییرات زیان‌آوری در آب و هوا از جمله تغییر در الگوی وزش بادهای، میزان بارندگی، افزایش سطح آب اقیانوس‌ها و دریاها، ایجاد سیل‌ها و خشکسالی‌های شدید می‌شود. از طرفی افزایش دما موجب افزایش روند ذوب یخ‌ها و پوشش‌های برفی خواهد شد. این موارد باعث تغییرات اکولوژیکی شده و تهدیدی جدی برای تولیدات کشاورزی و جنگل‌ها می‌باشد. بنابراین آثار مخرب افزایش دی‌اکسیدکربن فقط محدود به گرم شدن جهانی نخواهد بود.

سوخت‌های فسیلی عمده‌ترین منبع انتشار دی‌اکسیدکربن به اتمسفر هستند. بر مبنای تخمین آژانس حفاظت از محیط زیست (EPA^۱) میزان تولید دی‌اکسیدکربن در اتمسفر سالیانه بیش از ۶ گیگا تن بوده که نیمی از آن توسط صنایع و نیروگاه‌های با منبع سوخت فسیلی تولید می‌شود [6]. از آنجا که مصرف این سوخت‌ها به طور قطع تا چندین دهه دیگر مهمترین منبع تولید انرژی خواهد بود و از طرفی با توجه به رشد جمعیت در آینده، مصرف انرژی در دنیا در سطحی خواهد بود که مصرف هیچ نوع انرژی را نمی‌توان نادیده گرفت. بنابراین روند رو به رشد دی‌اکسیدکربن همچنان ادامه خواهد داشت و توجه بیشتر به کنترل میزان انتشار این گاز گلخانه‌ای لازم و ضروری به نظر می‌رسد.

در سال‌های اخیر تحقیقات زیادی بر روی روش‌های کاهش دی‌اکسیدکربن در اتمسفر انجام شده است. یک راهکار اساسی جهت کاهش میزان دی‌اکسیدکربن، جداسازی آن از گازهای احتراق توسط فرآیندهای عملیاتی و سپس ذخیره‌سازی آن در زیرزمین، اعماق دریاها و اقیانوس‌ها و یا استفاده از آن به عنوان یک ماده خام ارزان و در دسترس می‌باشد. در این مقاله راهکار فوق به طور کامل شرح داده شده و موانع و مشکلات موجود مورد بررسی و تحلیل قرار گرفته است.

۲. روش‌های جداسازی، ذخیره‌سازی و استفاده از دی‌اکسیدکربن:

۱.۲. روش‌های جداسازی دی‌اکسیدکربن:

در این بخش روش‌های حذف دی‌اکسیدکربن از گازهای حاصل از احتراق بیان می‌شود:

۱.۱.۲. جذب سطحی توسط جامد:

این روش بر مبنای جذب فیزیکی بین اجزای گاز و فضاها فعال بر روی سطح جامد انجام می‌شود [7]. از این روش در محیط‌های بسته و فضاها کوچک مانند هواپیماها، زیردریایی‌ها و ... استفاده می‌شود که به مکانیسم‌های زیر تقسیم می‌گردد:

۱.۱.۱.۲ جذب دی‌اکسیدکربن توسط جامد با مکانیسم PSA:

در روش^۱ PSA گاز در فشار بالا جذب و در فشار پائین دفع می‌گردد در حالیکه دما در طی فرآیند دفع و جذب ثابت می‌ماند. کربن اکتیو، غربال‌های مولکولی و زئولیت طبیعی از انواع جاذب‌هایی هستند که معمولاً برای جدا کردن دی‌اکسیدکربن استفاده می‌شوند. دما حدود ۲۵ درجه سانتیگراد و فشار در بالاترین حد به ۳۰۰ psi می‌رسد. در این روش عمل دفع به طور کامل صورت نمی‌گیرد مگر اینکه فشار تا نزدیکی خلا پایین آورده شود. از مزایای این روش می‌توان به گزینش‌پذیری بالای جذب اشاره کرد.

۲.۱.۱.۲ جذب دی‌اکسیدکربن توسط جامد با مکانیسم TSA:

مکانیسم دیگر^۲ TSA نام دارد که فشار در حین عملیات ثابت نگه داشته شده ولی دما در هنگام جذب پایین و در هنگام دفع گاز افزایش می‌یابد. معمولاً عمل جذب در دمای ۳۰ درجه سانتیگراد و دفع در دمای ۱۲۰ درجه سانتیگراد صورت می‌گیرد. مکانیسم TSA برای غلظت‌های پایین قابل کاربرد بوده و هزینه عملیاتی آن به مراتب از روش PSA بیشتر می‌باشد.

۲.۱.۲ تقطیری:

در این روش ابتدا مخلوط گازی مایع شده و سپس جزء مورد نظر که دمای جوش آن نسبت به بقیه بالاتر بوده توسط عملیات تقطیر از جریان گازی جدا شده و به این طریق خالص می‌گردد [8]. استفاده از این روش برای جداسازی دی‌اکسیدکربن از گازهای حاصل از احتراق به دلیل پایین بودن میزان درصد دی‌اکسیدکربن مقرون به صرفه نمی‌باشد.

۳.۱.۲ غشائی:

در فرآیندهای غشائی به واسطه خواص فیزیکی و شیمیایی، برخی از مولکول‌های گازی سریعتر از غشاء عبور کرده و دیگر اجزاء گاز قابلیت عبور را نخواهند داشت [9]. به طور کلی نفوذپذیری گازهای مختلف به اندازه مولکول و ساختار غشاء بستگی دارد. غشاءهایی از جنس مواد غیر آلی، فلزی و سرامیکی پتانسیل بالایی در جداسازی گازها از خود نشان داده‌اند. از مزایای این روش می‌توان به کوچکی دستگاه‌ها و تجهیزات عملیاتی و انرژی مورد نیاز کم و از معایب آن به هزینه بالای برخی غشاءها و در دسترس نبودن آنها اشاره کرد.

۴.۱.۲ جذب فیزیکی توسط حلال:

1- Pressure Swing Adsorption
2- Temperature Swing Adsorption

در این روش، جداسازی دی‌اکسیدکربن از مخلوط گازی به طور فیزیکی و بدون انجام واکنش شیمیایی توسط یک حلال جاذب انجام می‌شود [10]. از حلال‌هایی که معمولاً در این روش استفاده شده می‌توان به دی‌متیل‌اتر از پلی‌اتیلن‌گلیکول^۱، متانول سرد و کربنات پلی‌پروپیلن^۲ اشاره کرد. این حلال‌ها باید ظرفیت مناسبی را برای جذب دی‌اکسیدکربن در چند مرحله داشته و در کنار آن سایر مواد موجود در جریان گاز را جذب نکنند. معمولاً دفع دی‌اکسیدکربن جذب شده با کاهش فشار و افزایش دمای عملیاتی و به آسانی انجام می‌شود.

۵.۱.۲. جذب شیمیایی توسط حلال:

در فرآیند جذب شیمیایی، دی‌اکسیدکربن با یک حلال جاذب واکنش داده و از مخلوط گازی حذف می‌گردد [10]. حلال‌های مورد استفاده در این روش به دو دسته آلی و غیر آلی تقسیم می‌شوند. حلال‌های آلی به طور عمده شامل آمین‌ها می‌باشند که در این میان، جذب با مونو اتانول آمین از سایر آمین‌ها متداول‌تر بوده و در صنعت بیشتر مورد استفاده قرار می‌گیرد. حلال‌های غیر آلی شامل مخلوطی از کربنات سدیم یا پتاسیم با آمونیاک می‌باشند که کربنات پتاسیم بیشترین کاربرد را دارا می‌باشد. در جدول ۲ شرایط عملیاتی مناسب برای روش‌های مختلف جداسازی نشان داده شده است.

جدول ۲: شرایط عملیاتی مناسب برای روش‌های مختلف جداسازی

روش جداسازی	غلظت دی‌اکسیدکربن	فشار گاز (مگا پاسکال)	دمای عملیاتی (سانتیگراد)
جذب فیزیکی	> ۲۰	> ۲	۵۰
جذب شیمیایی	> ۳	> ۱	پایین تا ۱۰
جذب سطحی	> ۳۰	متوسط	پایین تا متوسط
تقطیری	> ۵۰	متوسط	پایین
غشائی	> ۱۵	> ۷	دمای خوراک

۲.۲. روش‌های ذخیره‌سازی دی‌اکسیدکربن:

بعد از جداسازی دی‌اکسیدکربن از گازهای حاصل از احتراق توسط روش‌های فوق باید آن را به مصرف رساند یا در محلی ذخیره کرد تا از انتشار آن به اتمسفر جلوگیری شود. لذا در این بخش روش‌های ذخیره‌سازی دی‌اکسیدکربن بیان می‌شود. این راهکار می‌تواند در مناطقی که دسترسی کافی به انرژی‌های جایگزین ندارند مناسب باشد.

۱.۲.۲. ذخیره‌سازی در اقیانوس‌ها:

1- Selexol
2- Flour

در این روش دی‌اکسیدکربن به عمق سه هزار متری دریا پمپ شده و سپس زیر بستر اقیانوس تزریق می‌شود [11]. فشار زیاد و دمای پایین در آن عمق، گاز کربن را به مایعی که فشرده‌تر از آب اطراف آن است تبدیل می‌کند. با این عمل، ترکیب‌هایی مانند یخ تشکیل خواهد شد که در آن مولکول‌های دی‌اکسیدکربن را در داخل خود به دام می‌اندازد. و در نتیجه دی‌اکسیدکربن صدها سال در اقیانوس باقی خواهد ماند. در حال حاضر اقیانوس‌ها، بزرگترین بانک ذخیره و حبس دی‌اکسیدکربن در جهان هستند، به نحوی که از مجموع حدود ۵۰ هزار میلیارد تن کربنی که هم‌اکنون در بخش‌های گوناگون کره زمین ذخیره شده است، حدود ۷۸ درصد آن به تنهایی در اقیانوس‌ها جای گرفته است. اما ممکن است فعالیت‌های ژئوتکتونیک و انفجارهایی که در بستر اقیانوس‌ها رخ می‌دهد باعث انتشار این گاز در اقیانوس و اسیدی شدن آب اقیانوس‌ها شود. از طرفی علاوه بر گازهای گلخانه‌ای، معمولاً گازهای سمی دیگری نظیر دی‌اکسیدگوگرد نیز در نیروگاه‌های زغالی تولید می‌شود و ممکن است این گازهای سمی نیز به همراه دی‌اکسیدکربن زیر دریاها دفن شوند که این امر برای آبزیان عواقب وخیمی را در بر خواهد داشت.

۲.۲.۲. ذخیره‌سازی در گیاهان:

گیاهان سبز به هنگام رشد، دی‌اکسیدکربن موجود در جو را جذب می‌کنند. آنها کربن موجود در دی‌اکسیدکربن را با هیدروژن ترکیب کرده، قند ساده تولید می‌کنند و آنرا در بافت خود ذخیره می‌کنند. اکوسیستم‌هایی غنی از زندگی گیاهی، می‌توانند دی‌اکسیدکربن بیشتری در خود حبس نمایند. در حال حاضر مجموع کربن ذخیره شده در زیست توده‌ی گیاهی جهان تقریباً یک هزار میلیارد تن می‌رسد که این میزان در مقایسه با میزان ذخیره در اقیانوس‌ها ناچیز می‌باشد [11]. عیب این روش اینست که پس از مرگ گیاه و با تجزیه آن، گاز دی‌اکسیدکربن متساطع می‌شود.

۳.۲.۲. ذخیره‌سازی در عمق زمین:

یکی از روش‌های پیشنهادی دیگر دفن دی‌اکسیدکربن در عمق زمین می‌باشد. گزینه‌های اصلی جهت ذخیره‌سازی این گاز به صورت زیر می‌باشد:

- ذخیره‌سازی در مخازن نفتی فعال
- ذخیره‌سازی در بسترهای ذغال سنگی
- ذخیره‌سازی در مخازن نفتی و گازی برداشت شده
- ذخیره‌سازی در ساختارهای نمکی زمین

• ذخیره‌سازی در سفره‌های زیرزمینی آب

در جدول ۳ گزینه‌های ذکر شده از لحاظ اقتصادی، ظرفیت ذخیره‌سازی و امکان‌سنجی مورد مقایسه قرار گرفته‌اند. دی‌اکسیدکربن می‌تواند به صورت مستقیم یا غیرمستقیم با مواد معدنی و آلی این ساختارهای زمین‌شناسی واکنش داده تا بخشی از زمینه معدنی ساختار شود.

جدول ۳: مقایسه روش‌های ذخیره‌سازی از لحاظ اقتصادی، ظرفیت ذخیره‌سازی و امکان‌سنجی [12]

روش	ظرفیت	هزینه	میزان امکان‌سنجی	صحت روش
مخازن فعال نفتی	کم	خیلی پایین	بالا	خوب
بسترهای ذغال سنگی	ناشناخته	پایین	ناشناخته	ناشناخته
مخازن نفت و گاز برداشت شده	متوسط	پایین	بالا	خوب
سفره‌های آب زیرزمینی	زیاد	ناشناخته	ناشناخته	ناشناخته
ساختارهای نمکی زمین	بالا	خیلی زیاد	بالا	خوب

۳،۲. بازیابی دی‌اکسیدکربن جدا شده از گازهای حاصل از احتراق:

در حال حاضر از دی‌اکسیدکربن جدا شده در دو مورد اصلی استفاده می‌شود:

۱- **کاربردهای صنعتی دی‌اکسیدکربن:** شامل ازدیاد برداشت نفت خام، انجماد و بسته‌بندی مواد غذایی، نوشابه‌های گازدار، عامل ضد قارچ و باکتری، اطفاء حریق، تولید یخ خشک، جوش الکتریکی، فرآیند کاغذسازی

۲- **کاربرد به عنوان ماده خام در فرآیندهای شیمیایی:** تولید اوره، دی‌متیل‌کربنات، هیدروژن زدایی از اتیل بنزن و تولید استایرن، کربنات‌های معدنی، اسید سالسیلیک، پلی‌کربنات‌ها از اپوکساید و به عنوان افزودنی در تولید متانول

به طور کلی تبدیل دی‌اکسیدکربن به علت مشخصه‌های مولکولی و ترمودینامیکی راحت و ساده نمی‌باشد و به بررسی‌های بیشتری در این زمینه نیاز دارد.

یافته‌های جدید در مورد تبدیل دی‌اکسیدکربن:

تبدیل به سنگ:

در تازه‌ترین تحقیقات دانشمندان قصد دارند با ایجاد شرایطی برای واکنش دی‌اکسید کربن و کلسیم، این گاز گلخانه‌ای را به سنگ تبدیل کنند [13]. در این روش از سنگ‌های آتشفشانی خاصی استفاده

خواهد شد که می‌توانند آلودگی‌های کربنی را برای میلیون‌ها سال در خود حفظ کنند. طی این روش دی‌اکسیدکربن تحت فشار بالا در آب حل شده و سپس به درون لایه‌های بازالتی که در عمق ۴۰۰ تا ۷۰۰ متری از سطح زمین واقع شده است پمپ خواهد شد. نتایج آزمایشگاهی نشان می‌دهد محلول دی‌اکسیدکربن با کلسیم موجود در بازالت واکنش داده و کربنات کلسیم جامد به وجود خواهد آورد.

تبدیل به متان:

دانشمندان توانسته‌اند با استفاده از نانولوله‌هایی از جنس تیتانیوم و انرژی خورشیدی، دی‌اکسیدکربن و بخار آب را به متان و سایر هیدروکربن‌ها تبدیل کنند. در واقع به جای ایجاد تغییر در جهت کاهش تولید دی‌اکسیدکربن و یا استفاده از سوخت‌های دیگر، می‌توان دی‌اکسید کربن تولید شده را در یک چرخه احیا قرار داده و آنرا به هیدروکربن‌ها تبدیل کرد. اما این کار زمانی قابل انجام به نظر می‌رسد که از انرژی خورشیدی استفاده شود. بازیافت دی‌اکسیدکربن با استفاده از تبدیل آن به سوختی با محتوای انرژی بالا گزینه جالبی است، اما این فرآیند زمانی مفید واقع خواهد شد که یک منبع انرژی تجدید پذیر مانند خورشید برای این منظور قابل استفاده باشد.

۴. نتیجه‌گیری:

در میان گازهای گلخانه‌ای، دی‌اکسیدکربن به دلیل بالاترین میزان در اتمسفر و بیشترین سهم در پتانسیل گرمایشی زمین، نظر دانشمندان و کارشناسان محیط زیست را به خود معطوف ساخته است. با توجه به اثرات مخرب این گاز گلخانه‌ای که مهمترین آن را می‌توان تغییرات آب و هوایی دانست، لازم است تمهیداتی اتخاذ شده تا از انتشار بی‌رویه آن به اتمسفر جلوگیری گردد. از اینرو در سال ۱۹۹۷ طی پیمانی معروف به کیوتو، کشورهای صنعتی متعهد شدند تا ظرف ده سال آینده میزان انتشار گازهای گلخانه‌ای خود را ۵ درصد زیر میزان انتشار در سال ۱۹۹۰ کاهش داده و همچنین به کشورهای در حال توسعه جهت افزایش استفاده از انرژی‌های تجدیدپذیر نظیر انرژی خورشیدی و بادی، کمک‌های مالی اعطا نمایند. آنچه مسلم است آژانس بین‌المللی حفاظت از محیط زیست و تعهدنامه‌هایی از قبیل پیمان کیوتو در تلاش‌اند تا تمام کشورها را ملزم به اتخاذ تدابیری در جهت کاهش میزان تولید گازهای گلخانه‌ای کنند. در پروتکل کیوتو با تاکید بر کاهش میزان انتشار گازهای گلخانه‌ای توسط اعضا، با تصویب بندهایی به کشورهای متعهد اجازه داده شد تا از طریق سه مکانیسم تجارت انتشار، اجرای مشترک و مکانیسم توسعه پاک بتوانند بخشی از کاهش تولید گازهای گلخانه‌ای خود را در کشور دیگر و یا از طریق خرید امتیازات آن محقق نمایند. در میان این سه مکانیسم، پروژه‌های مکانیسم توسعه پاک با در نظر گرفتن معیارهای توسعه اقتصادی، تکنولوژیکی و اجتماعی

اعضا در جهت دستیابی کشورهای در حال توسعه به پیشرفت پایدار بوده و از طرفی توانایی بیشتری به کشورهای توسعه یافته می‌دهد تا از طریق این مکانیسم آسان‌تر به تعهدات خود عمل نمایند. در این تحقیق یک راهکار اساسی که شامل سه روش حذف، ذخیره‌سازی و بازیابی دی‌اکسیدکربن می‌باشد جهت کاهش میزان آن پیشنهاد شد و سپس ویژگی‌ها، موانع و مشکلات هر کدام شرح داده شد. به طور کلی انتخاب روش مناسب برای حذف دی‌اکسیدکربن از گازهای حاصل از احتراق، به غلظت دی‌اکسیدکربن در مخلوط گازی بستگی داشته که با توجه به نوع فرآیند هزینه‌های عملیاتی متفاوتی را در بر خواهد داشت. ذخیره‌سازی دی‌اکسیدکربن روشی نوین جهت کاهش این گاز گلخانه‌ای می‌باشد و می‌توان میلیون‌ها تن دی‌اکسیدکربن را در اعماق دریاها و یا زیرزمین به دام انداخت اما علاوه بر هزینه‌های بالا ممکن است در اثر زمین لرزه‌های شدید دی‌اکسیدکربن به دام انداخته شده آزاد شده و زندگی جانوران و آبزیان را به خطر اندازد. بنابراین لازم است تحقیقات بیشتری بر روی آنها انجام گیرد. از طرفی بازیابی دی‌اکسیدکربن روش خوبی برای کاهش غلظت دی‌اکسیدکربن در اتمسفر بوده ولی نمی‌تواند یک راهکار گزینه‌ای برای کاهش آن باشد و در واقع لازم است یک ارزیابی دقیق بر روی مقدار دی‌اکسیدکربن انجام گیرد و مشخص شود تا چه میزان می‌تواند منجر به کاهش انتشار آن شود.

منابع:

[1] عزمی، آئیش، "گازهای گلخانه‌ای و تاثیرات زیست‌محیطی آن بر کره زمین"، مجموعه مقالات نخستین همایش و نمایشگاه تخصصی مهندسی محیط زیست، تهران، اردیبهشت ۱۳۸۶.

[2] <http://www.climate-change.ir>

[3] Demontigny, D., "Post-Combustion Capture", IEA Greenhouse Gas Summer School, August 25, 2008.

[4] منصوری، نبی‌الله، رهبران داد بخش، علی، "پتانسیل کاهش گازهای گلخانه‌ای در ایران"، مجموعه مقالات نخستین همایش و نمایشگاه تخصصی مهندسی محیط زیست، تهران، اردیبهشت ۱۳۸۷.

[5] Stangeland, A., "A Model for CO₂ Capture", International Journal of Greenhouse Gas Control, Vol. 1, pp. 418 429 2008.

[6] محمودزاده، اعظم، حقانی، زهرا، "برآورد میزان تقریبی تولید دی‌اکسیدکربن، منابع و روش‌های بازیابی آن در ایران"، مجله مهندسی شیمی ایران، شماره ۲۶، اسفند ۱۳۸۵، صفحات ۶۳-۵۵.

[7] خوش‌طینت، مریم، مهربانی، ارجمند، "اثرات زیست‌محیطی، منابع تولید و روش‌های کاهش یا حذف دی‌اکسیدکربن"، مجموعه مقالات یازدهمین کنگره ملی مهندسی شیمی ایران، تهران، آذرماه ۸۵.

[8] Victory, D. J., Valencia, J.A., the CFZ Process. "Direct Methane-Carbon Dioxide France Nation", Presented At The 66th Annual Gases Processors Association Convention, Denver, March 1987.

[9] Jansen, E. A, et al., "Membrane Process in Separation and Purification", Kluwer Academic Publisher, Dordrecht, pp. 340 – 356 1994.

[10] سودمند اصلی، علیرضا، فاتحی فر، اسماعیل، "بررسی روش‌های مختلف جذب دی‌اکسیدکربن از گازهای خروجی نیروگاه‌ها"، انتخاب روش بهینه جذب و طراحی مورد نیاز CO₂ واحدی برای تولید صنایع نوشابه‌سازی، یازدهمین کنگره ملی مهندسی شیمی ایران، تهران، دانشگاه علم و صنعت ایران، ۳-۵ آذر ماه ۱۳۸۳، ص. ۲۴۳-۲۳۲.

[11] محمودزاده، اعظم، حاتمی، صادق، "دی‌اکسیدکربن معضل زیست محیطی یا ماده خامی ارزان"، مجموعه مقالات دهمین کنگره ملی مهندسی شیمی ایران، زاهدان، آبان‌ماه ۱۳۸۴، صفحات ۴۱۶۰-۴۱۴۷.

[12] Song, Ch., "Global challenges and strategies for control, conversion and utilization of CO₂ for sustainable development involving energy", Catalysis Today, Vol. 115 pp. 2-32, 2006.

[13] <http://www.ifco.ir>