

بررسی روش‌های جداسازی و بازیافت CO₂ در صنایع نفت و گاز

شقایق خلیلی تربه‌بر^۱*

۱- دانشجوی کارشناسی ارشد مهندسی شیمی، فرآیندهای جداسازی، دانشگاه گیلان.

Shaghayegh2001khalili@gmail.com

چکیده:

دی اکسید کربن در فرآیند استخراج نفت خام نقش مهمی دارد که ضرورت توسعه بازیافت و یا جداسازی دی اکسید کربن و استفاده مجدد آن در روش افزایش برداشت نفت را فراهم می‌کند. همچنین در صورت ذخیره نکردن دی اکسید کربن در انتهای فرآیند و رهاسازی آن در طبیعت، جنبه‌های منفی مانند افزایش گازهای گلخانه‌ای و در نتیجه افزایش سرعت گرم شدن زمین را در پی دارد. در این مقاله روش‌های اصلی جمع‌آوری و ذخیره‌سازی دی اکسید کربن و جلوگیری از انتشار آن در جو زمین بیان شده‌است تا با بررسی آنها در کنار هم و مزایا و معایب آنها، روش مناسب در هر شرایط را بشناسیم و تحقیقاتی که در این موارد شده‌است را بررسی کنیم.

کلمات کلیدی: جداسازی CO₂، بازیافت CO₂، دی اکسید کربن، برداشت نفت، مخازن نفت

۱. مقدمه

استفاده از دی اکسید کربن برای افزایش برداشت نفت، یکی از روش‌های نوین و کارآمد در صنعت نفت است که با بهره‌گیری از خواص شیمیایی و فیزیکی CO₂، میزان نفت استخراج‌شده از مخازن را افزایش می‌دهد. افزایش برداشت نفت یکی از مهم‌ترین اهداف در مدیریت مخازن نفتی است؛ زیرا حجم زیادی از نفت پس از روش‌های معمول استخراج در مخازن باقی می‌ماند. یکی از پیشرفته‌ترین روش‌های EOR، استفاده از دی اکسید کربن برای افزایش برداشت نفت است. در این روش، CO₂ به عنوان یک ماده تزریقی وارد مخازن نفتی می‌شود تا میزان بازیافت نفت افزایش یابد. [۱]

بسیاری از فناوری‌هایی که نیاز به جذب و ذخیره CO₂ دارند، در مرحله توسعه باقی می‌مانند. علاوه بر این، دو رویکرد متمایز برای جذب و ذخیره کربن برای جلوگیری از تجمع آن در جو وجود دارد: طبیعی و صنعتی. رویکردهای طبیعی شامل احیای جنگل، جنگل کاری و شروع تعدادی دیگر از تغییرات کاربری زمین سازگار با محیط زیست (به عنوان مثال، بازسازی

زمین های کشاورزی و گسترش تالاب ها و باتلاق های ذغال سنگ نارس) است. رویکردهای صنعتی مستلزم ساخت تاسیساتی برای جذب مستقیم CO₂ از هوا و/یا از کارخانه های صنعتی (احتراق قبل و بعد از سوخت) و دفع CO₂ جذب شده در مخازن زیرسطحی، چه سفره های زیرزمینی یا میادین نفت و گاز تخلیه شده است. [۱]

گرم شدن کره زمین به دلیل افزایش انتشار گازهای گلخانه ای از جمله CO₂ است که پیامد آن تغییرات شدید آب و هوایی در کره زمین می باشد از آن جایی که میزان خالص تولید گاز CO₂ در صنایع پالایش به دلیل مصرف سوخت های فسیلی در حدود ۸ الی ۱۸ درصد می باشد، این صنعت پس از نیروگاه ها بیشترین و بزرگ ترین تولید کننده گاز CO₂ در جهان می باشد. جذب و ذخیره سازی CO₂ (CCS)، تکنولوژی است که قابلیت کاهش گازهای گلخانه ای را در مدت زمانی کوتاه فراهم می کند. [۲]

امروزه روش های مختلف به منظور جمع آوری و ذخیره سازی دی اکسید کربن و جلوگیری از انتشار آن در جو زمین، مطرح شده اند. یکی از راه کارهای مطرح شده در نیروگاه های حرارتی مجاور با مخازن زیرزمینی نفت و گاز، جداسازی دی اکسید کربن از محصولات احتراقی دودکش و تزریق آن مخازن به منظور ذخیره سازی بلند مدت در بسترهای زیرزمینی است. [۳]

لذا یکی از راه های موثر در کاهش آلودگی های زیستی و گرمایی زمین، جمع آوری و ذخیره سازی دی اکسید کربن است؛ که دی اکسید کربن به طور پیوسته از منابع ثابت تولیدکننده آلاینده جمع آوری می گردد. دی اکسید کربن جمع آوری شده یا در صنایع مرتبط مورد استفاده قرار می گیرد و یا در مکانی خاص جهت جلوگیری از انتشار در جو زمین، ذخیره می شود. امروزه اصطلاح " فناوری جمع آوری و ذخیره سازی دی اکسید کربن (CCS)"، به مجموعه فناوری هایی اطلاق می گردد که قادر هستند بیش از ۹۰٪ کربن دی اکسید تولیدی در واحدهای تولید توان یا صنایع مختلف را جهت عدم انتشار در جو زمین را جمع آوری و ذخیره نمایند. [۳]

یک پروژه آزمایشی جامع شامل جذب و ذخیره دی اکسید کربن (CCS) در نیروگاه Schwarz-Pumpe در شرق آلمان در سال ۲۰۰۸ آغاز شد. اهداف آن پروژه پاسخ به سوالات فنی در مورد امکان سنجی و مقرون به صرفه بودن CCS بود. در آن کارخانه آزمایشی، مشاهده شد که انتشار CO₂ به جو در مقایسه با گیاهان بدون (CCS) تقریباً ۸۰ تا ۹۰ درصد کاهش می یابد. [۱]

از نظر تئوری، اگر CO₂ کافی بتواند از انتشار گازهای گلخانه ای و یا مستقیماً از جو استخراج شود و برای مدت طولانی در زیر زمین ذخیره شود، ممکن است انتشار کربن منفی از بخش های نفت و گاز طبیعی وجود داشته باشد. [۱] یکی از جنبه های مثبت زیست محیطی این روش، ذخیره دائمی CO₂ در مخازن زیرزمینی است. این فرایند نه تنها به افزایش برداشت نفت کمک می کند، بلکه به کاهش میزان CO₂ موجود در اتمسفر و کاهش انتشار گازهای گلخانه ای نیز منجر شود، زیرا CO₂ در مخازن زیرزمینی ذخیره می شود؛ در نتیجه ذخیره سازی CO₂ در مخازن نفتی به عنوان یک استراتژی مهم برای مقابله با تغییرات اقلیمی شناخته می شود. همچنین یکی از مهم ترین مزایای استفاده از CO₂، افزایش میزان نفت استخراجی از مخازن است. این روش می تواند تا ۱۰ تا ۲۰ درصد از نفت باقی مانده را بازیافت کند که به طور قابل توجهی بهره وری مخازن را افزایش می دهد. [۱]

به منظور جلوگیری از انتشار مقادیر زیادی CO₂ در جو از مصرف منابع مختلف، مانند سوخت های فسیلی مورد استفاده در تولید برق و در بسیاری از فرآیندهای صنعتی و تولیدی دیگر (به عنوان مثال، پتروشیمی، پالایش، فولاد، شیشه و کارخانه های سیمان)، باید گرفته شود، مورد استفاده مجدد قرار گیرد و در نهایت ذخیره شود (جدا شود). یکی

از امیدوارکننده ترین راه ها برای انجام این کار، در مقیاس موثر، جذب، انتقال و در نهایت پمپاژ CO₂ به ویژگی های زمین شناسی زیرزمینی است. این پتانسیل را برای ذخیره سازی ایمن طولانی مدت (یعنی هزاران سال) CO₂ جدا شده از جو فراهم می کند و موانع زمین شناسی از نشت طولانی مدت آن به جو جلوگیری می کند. این رویکرد ترسیب ژئومهندسی زیرسطحی همچنین می تواند با حذف مستقیم CO₂ از هوای محیط همراه باشد. [۱]

مطالعات مهندسی بسیار گسترده ای جهت محدود کردن نشر گازهای گلخانه ای، که مسئله ای جدی در جهان است، انجام شده است. فرآیند استفاده از دی اکسید کربن برای افزایش برداشت نفت، شامل چندین مرحله دقیق است که برای به حداکثر رساندن کارایی طراحی شده اند: تزریق دی اکسید کربن تحت فشار بالا، ذوب در نفت برای تسهیل جریان نفت، تحمیل فشار برای هدایت نفت به سمت چاه های تولیدی و در آخر جداسازی دی اکسید کربن از نفت برای استفاده مجدد. [۱]

در این مقاله به بررسی روش هایی که در مرحله آخر این فرآیند انجام می شود می پردازیم بلکه دی اکسید کربنی که پس از تولید نفت، از نفت و گاز همراه جدا می شود را بتوان دوباره برای تزریق مجدد استفاده کرد که این امر هزینه ها را کاهش داده و به کاهش اثرات زیست محیطی کمک می کند. [۱]

۲. روش

برای جمع آوری اطلاعات و تحلیل داده ها در این پژوهش، از روش مطالعات کتابخانه ای و مروری استفاده شده است. این مقالات با دقت مورد بررسی و تحلیل قرار گرفتند. از این مقالات به عنوان منابع اصلی جهت تدوین فرضیات، مدل ها و چارچوب نظری استفاده شده است. در نهایت، یافته ها و نتایج مقالات منتخب با هم مقایسه و تحلیل شدند و نتایج حاصل در قالب بخش های مختلف مقاله ارائه گردید.

دی اکسید کربن (CO₂) در بازیافت نفت افزایش یافته (EOR) به دلیل پتانسیل آن برای افزایش بازیابی نهایی از ذخایر نفت معمولی بالغ مورد توجه قابل توجهی قرار گرفته است. CO₂-EOR در دهه های اخیر به صورت تجاری برای بهبود بازیافت از مخازن نفتی سبک و متوسط در مراحل بعدی توسعه آنها مورد بهره برداری قرار گرفته است. [۱]

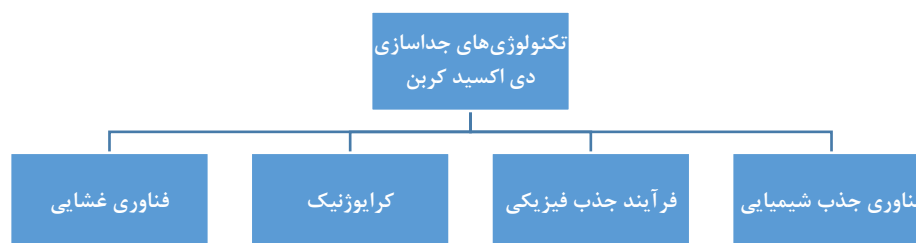
طبق مطالعات، دی اکسید کربن را به عنوان یک ماده خام در سنتز مواد شیمیایی استفاده می کنند. همچنین مولکول دی اکسید کربن از نظر ترمودینامیکی بسیار پایدار و نسبتاً غیرقابل واکنش است. این مولکول کاربرد گسترده ای در گلخانه ها دارد و همچنین می توان کاربردهای دارویی، غذایی و صنعتی آن هم اشاره کرد. اما مشکل این است که مقادیر انتشار دی اکسید کربن بسیار بیشتر از کاربردهای آن است. در نتیجه ذخیره سازی دی اکسید کربن تا هنگامی که کاربردی برای آن پیدا شود، حائز اهمیت است. [۳]

جمع آوری و ذخیره سازی دی اکسید کربن فرآیندی است که طی آن دی اکسید کربن از منابع صنعتی وابسته به انرژی جدا شده و برای ذخیره سازی بلندمدت - به نحوی که از اتمسفر دور بماند- اقداماتی بر روی آن صورت می گیرد. [۳]

طرح کلی جداسازی دی اکسید کربن از محصولات احتراق واحدهای مصرف کننده سوخت فسیلی، بر پایه جداسازی آلاینده از محصولات خروجی دودکش استوار است. از معایب این طرح می‌توان به رقیق بودن دی اکسید کربن در مخلوط گازهای خروجی از دودکش و فشار پایین آن اشاره کرد. این موارد سبب می‌گردند که نیروی محرکه برای جداسازی افزایش یابد و تجهیزات ویژه‌ای برای افزایش فشار مخلوط موردنیاز باشد. اما با وجود این معایب، این تکنولوژی قابلیت استفاده در صنایع و نیروگاه‌های امروزی را دارد. [۳] این عملیات در راستای محدود ساختن انتشار گازهای گلخانه‌ای به نحو قابل ملاحظه‌ای مورد توجه قرار گرفته است. مطالعات متعدد نشان می‌دهد که فرایندهای جذب (از جمله بکارگیری برجهای پرشده و یا تماس دهنده‌های غشایی) بهترین فناوری موجود می‌باشد. [۴]

عمده تکنولوژی‌های حال و حاضر در این بخش عبارتند از: تکنولوژی سایش، تکنولوژی غشاهای، تکنولوژی جذب سطحی و تکنولوژی کرایونیک. [۳]

در حال حاضر طیف گسترده‌ای از فناوری‌ها برای جداسازی CO₂ از جریان‌های گازی وجود دارد (شکل ۱)، اگرچه آنها برای عملیات در مقیاس نیروگاه طراحی نشده‌اند. آنها بر اساس فرایندهای مختلف فیزیکی و شیمیایی از جمله جذب، جذب، برودتی و غشاهای هستند. انتخاب یک فناوری مناسب به ویژگی‌های جریان گاز دودکش بستگی دارد که عمدتاً به فناوری نیروگاه بستگی دارد. شرایط جداسازی CO₂ در فرایندهای جذب قبل از احتراق کاملاً متفاوت از شرایط جذب پس از احتراق خواهد بود. [۵]



شکل ۱- گزینه‌های فناوری برای جداسازی دی اکسید کربن. [۵]

از آنجایی که CO₂ یک گاز اسیدی است، جذب شیمیایی CO₂ از جریان‌های گازی مانند گازهای دودکش به واکنش‌های خنثی سازی اسید باز با استفاده از حلال‌های اساسی بستگی دارد CO₂. با حلال‌های شیمیایی واکنش داده و یک ترکیب میانی با پیوند ضعیف تشکیل می‌دهد که سپس با اعمال گرما تجزیه می‌شود و حلال اصلی را بازسازی می‌کند و یک جریان CO₂ خالص تولید می‌کند. حلال‌های تخصصی بیش از ۶۰ سال پیش برای حذف CO₂ از گاز طبیعی ناخالص ساخته شدند و عملیات گاز طبیعی امروزه نیز از این حلال‌ها استفاده می‌کند. علاوه بر این، چندین نیروگاه و سایر نیروگاه‌های صنعتی از حلال‌های مشابه یا مشابه برای بازیابی CO₂ از گازهای دودکش برای کاربردها در صنایع شیمیایی و تولید مواد غذایی استفاده می‌کنند. [۵] جذب

CO_2 از یک جریان گازی یک فرآیند خشک است و از این رو هیچ محصول جانبی مانند فاضلاب در فرآیند جذب معمولی ندارد. علاوه بر این، در مقایسه با فرآیندهای برودتی و جذبی، به انرژی کمی نیاز دارد. [۶]

برای جذب فیزیکی، CO_2 طبق قانون هنری از نظر فیزیکی در یک حلال جذب می‌شود، به این معنی که آنها به دما و فشار وابسته هستند. فرآیندهای حلال فیزیکی از حلال‌های آلی برای جذب فیزیکی اجزای گاز اسیدی به جای واکنش شیمیایی استفاده می‌کنند. حذف CO_2 توسط فرآیندهای جذب فیزیکی بر اساس حلالیت CO_2 در حلال‌ها است و توان انحلال آن به فشار جزئی و دمای گاز خوراک بستگی دارد. [۵]

یک مفهوم جذب نسبتاً جدید، استفاده از غشاهای انتخابی برای جداسازی اجزای خاصی از جریان گاز است که می‌تواند CO_2 از گاز دودکش (سیستم پس از احتراق)، CO_2 از گاز طبیعی (پردازش گاز طبیعی) و CO_2 از هیدروژن (سیستم‌های قبل از احتراق) یا اکسیژن از نیتروژن (سیستم احتراق اکسی سوخت) باشد. غشاهای موانع نیمه تراوا هستند که می‌توانند مواد را با مکانیسم‌های مختلف (محلول-انتشار، جذب-انتشار، غربال مولکولی و انتقال یونی) جدا کنند. اینها در انواع مختلفی از مواد موجود هستند که می‌توانند آلی (پلیمری) یا معدنی (کربن، زئولیت، سرامیک یا فلزی) و می‌توانند متخلخل یا غیر متخلخل باشد. [۶]

تکنولوژی کرایوژنیک یکی از گزینه‌های مطرح برای جداسازی دی‌اکسید کربن از گازهای مخلوط دودکش‌ها است. مزایای این تکنولوژی نسبت به سایر روش‌ها عبارتست از: عدم نیاز به جاذب‌های شیمیایی و فیزیکی، عدم نیاز به وجود اختلاف فشار بسیار بالا در غشاهای و درصد خلوص بالای دی‌اکسید کربن به دست آمده. عیب اصلی این تکنولوژی، نیاز به تجهیزات متراکم‌کننده گران قیمت و توان مصرفی بالاست. لازم به ذکر است که هزینه‌های بالای این تکنولوژی را می‌توان با استفاده از پتانسیل سرد گاز دی‌اکسید کربن حاصله به منظور پیش‌سرمایش در واحدهای جداساز صنایع پتروشیمی و همچنین واحدهای مایع‌سازی گاز طبیعی، به طور قابل ملاحظه‌ای کاهش داد. [۳]

ایده جداسازی و جذب CO_2 از گاز دودکش نیروگاه‌ها با نگرانی در مورد اثر گلخانه‌ای آغاز نشد. در عوض، به عنوان یک منبع اقتصادی احتمالی CO_2 ، به ویژه برای استفاده در عملیات بازیافت نفت پیشرفته (EOR) که در آن CO_2 به مخازن نفتی تزریق می‌شود تا تحرک نفت و در نتیجه بهره‌وری مخزن را افزایش دهد، مورد توجه قرار گرفت. [۵]

جدول ۱- مزایا و معایب فناوری‌های جداسازی دی اکسید کربن.

فناوری جداسازی دی اکسید کربن	مزایا	معایب
فناوری جذب شیمیایی	- هیچ محصول جانبی مانند فاضلاب در فرآیند جذب معمولی ندارد. - در مقایسه با فرآیندهای برودتی و جذبی، به انرژی کمی نیاز دارد.	- گزینه پذیرای پایین و ظرفیت جذب موجود برای CO₂ - راندمان حذف کمتر در مقایسه با سایر فناوری‌ها مانند جذب و کرایونیک - بازسازی و قابلیت استفاده مجدد جذب.
فرآیند جذب فیزیکی	مصرف آب و برق کم	در فشارهای بالا مقرون به صرفه تر است.
کرایونیک	- عدم نیاز به جاذب‌های شیمیایی و فیزیکی - عدم نیاز به وجود اختلاف فشار بسیار بالا در غشاها	- نیاز به تجهیزات متراکم کننده گران قیمت - توان مصرفی بالا
فناوری غشایی	- نیازی به انرژی بازسازی نیست. - سیستم ماژولار ساده - بدون جریان زباله	- جلوگیری از خیس شدن غشاء یک چالش بزرگ است. - فناوری از نظر صنعتی ثابت نشده است.

۲-۱. پیشینه پژوهش

تحقیقات استفاده از دی اکسید کربن (CO₂) در بهبود برداشت نفت (EOR) از اوایل قرن بیستم آغاز شده است. با افزایش تقاضا برای نفت و کاهش تولید نفت از مخازن سنتی، نیاز به روش‌های بهبود برداشت نفت افزایش یافته است. دی اکسید کربن به عنوان یک عامل تزریقی در مخازن نفتی مورد توجه بسیاری از پژوهشگران قرار گرفته است. [۱] بررسی روش‌های تخمین و بازیافت دی اکسید کربن (CO₂) در صنایع نفت و گاز برای رسیدگی به نگرانی‌های زیست‌محیطی و افزایش بهره‌وری منابع حیاتی است. این پیشینه تحقیق رویکردها، فناوری‌ها و روش‌های مختلفی را که می‌توان برای بهینه‌سازی مدیریت CO₂ در این بخش‌ها به کار برد، برجسته می‌کند.

Yadi Sunaryadi در سال ۲۰۲۲ درمورد بازیابی نفت پیشرفته (EOR) یافت، CO₂ برای افزایش بازیافت نفت تزریق می‌شود، همچنین مطالعات نشان می‌دهد که فشار امتزاج پذیری برای سیل موثر CO₂ بسیار مهم است. [۷]

Bhavarth Shah و همکاران در سال ۲۰۲۳ در مورد فرآیندهای تبدیل یافتند، CO₂ می‌تواند از طریق تبدیل شیمیایی، کانی‌سازی و روش‌های بیولوژیکی به محصولات با ارزش افزوده تبدیل شود و به پایداری کمک کند. [۸]

M Yu Derevyanov در سال ۲۰۲۴ درباره‌ی تجزیه و تحلیل پوششی داده‌ها یافتند که این روش به انتخاب فناوری‌های بازیافت بهینه بر اساس ایمنی محیطی و بهره‌وری منابع، پرداختن به مسائل سیستمی در بازیافت زباله‌های نفتی کمک می‌کند. [۹]

A Khanifar و همکاران در سال ۲۰۲۳ در مورد توسعه میدان یکپارچه یافتند که تولید همزمان گاز و تزریق CO₂ می‌تواند فاکتورهای بازیابی را در عین مدیریت موثر انتشار CO₂ افزایش دهد. [۱۰]

در حالی که این روش‌ها راه‌حل‌های امیدوارکننده‌ای را برای بازیافت CO₂ ارائه می‌کنند، چالش‌هایی در اجرای آن‌ها از جمله قابلیت اقتصادی و محدودیت‌های تکنولوژیکی باقی مانده است. پرداختن به این چالش‌ها برای دستیابی به شیوه‌های پایدار در صنعت نفت و گاز حیاتی است.

علاوه بر منابع بالا، منابع دیگری نیز در حیطه‌ی پژوهش یافت شده که در جدول زیر به آن اشاره شده است.

عنوان مقاله	نام نویسنده	کنفرانس/همایش	سال انتشار
Carbon Footprint Estimation for an Oil & Gas Industry	Abdul Aleem, Hamid Masood, Sana Ullah Khan	International Journal of Engineering	20 Mar 2021
Investigation of the effects of purge gas recycling for increasing methanol production and carbon dioxide reduction on the environment using dynamic simulation	Maryam Ebrahimzadeh Sarvestani, Francesco Marra	Journal of physics	01 Dec 2022
Recovering Valuable Hydrocarbon Molecules from Used Lubricating Oils via Supercritical CO ₂ Extraction	Chen Huang, Ying Zhang, Shuofan Li, Quan Shi, Suoqi Zhao, Linzhou Zhang	China University of Petroleum, Huaibei Normal University	21 Dec 2023

01 Nov 2023	Yangtze Univrsity	Jianjian Song, Rongyao Chen, Zhongtao Wu, Zhong Yin, Mingbiao Xu	A review of research methods for oil well cement corroded by carbon dioxide
۱۳۹۲	ششمین کنفرانس نیروگاه‌های برق	الهام گروهی	جداسازی CO ₂ از گازهای خروجی دودکش نیروگاه‌ها به روش تماس دهنده غشایی و ساخت پایلوت مربوطه

۲-۲. سوالات پژوهش

چه روش‌هایی برای جداسازی و بازیافت دی‌اکسید کربن در صنایع نفت و گاز وجود دارد؟
چه مزایا و معایبی در استفاده از روش‌های جداسازی مختلف دی‌اکسید کربن وجود دارد؟
انجام جداسازی و بازیافت دی‌اکسید کربن از نفت و گاز چه تأثیراتی بر محیط زیست و اقتصاد دارد؟
چه تحقیقاتی در زمینه جداسازی و بازیافت دی‌اکسید کربن در صنایع نفت و گاز انجام شده است؟

۲-۳. اهداف پژوهش

برای یافتن راهکارهای اقتصادی و پربازده که منجر به کاهش انتشار دی‌اکسید کربن از فرآیندهای صنایع نفت و گاز و در نتیجه کمک به محیط زیست شوند، روش‌های مختلف جداسازی دی‌اکسید کربن مورد مطالعه قرار گرفت.

۲-۴. روش تحقیق

در این مقاله از روش مطالعاتی اسنادی و مراجعه به کتب نشریات و سایت‌های علمی مرتبط و یادداشت برداری، برای رسیدن به نتیجه تحقیق و نتیجه مقاله بهره گرفته شده است.

در نتیجه با روش‌های ذکر شده به مطالعه روش‌های موثر برای جداسازی و بازیافت دی‌اکسید کربن از فرآیندهای تولید و پالایش می‌پردازیم؛ بلکه بتوانیم با به‌کارگیری بهترین روش در هر موقعیت، دی‌اکسید کربن را جداسازی و در صورت توان، بازیافت کنیم.

۳. نتیجه‌گیری

روش‌های اصلی جداسازی و بازیافت دی اکسید کربن در صنایع نفت و گاز که فناوری جذب شیمیایی، فرآیند جذب فیزیکی، کرایونیک و فناوری غشایی هستند، به همراه مزایا و معایب هرکدام بررسی شد، که از میان آنها فناوری جذب شیمیایی در صنعت بیشتر مورد استفاده قرار می‌گیرد؛ چراکه همانطور که گفته شد دارای پساب محیط زیستی کمتر و همچنین در مقایسه با دیگر روش‌ها انرژی کمتری مصرف می‌کند.

جداسازی و بازیافت دی اکسید کربن از نفت و گاز علاوه بر کاهش پساب‌های این صنایع، سبب کمتر تولید شدن گازهای گلخانه‌ای و همچنین کاهش سرعت گرمایش زمین می‌شود، که می‌توان اثر مثبت این فرآیند بر محیط زیست را نتیجه گرفت. که از این طریق باعث کاهش هزینه‌های بازسازی محیط زیست می‌تواند بشود. با گسترش تحقیقات درمورد اهمیت دی اکسید کربن در صنایع نفت و گاز و نیاز به آن در بخش ازدیاد برداشت نفت، بحث چگونگی جداسازی و استفاده مجدد آن در همین صنایع مورد توجه قرار گرفته‌است و تحقیقات برای رسیدن به حداکثر راندمان این فرآیند الزامی است.

۴. مراجع

1. Al-Shargabi, M., Davoodi, S., Wood, D. A., Rukavishnikov, V. S., & Minaev, K. M. (2022). Carbon dioxide applications for enhanced oil recovery assisted by nanoparticles: Recent developments. *ACS omega*, 7(12), 9984-9994.

۲. زال نژاد، ن. (۱۳۹۴)، "شبیه سازی فرآیند جذب و بازیافت دی اکسید کربن (CO_2) توسط محلولهای آمین از گازهای حاصل از احتراق در پالایشگاه تهران"، پایان نامه کارشناسی ارشد، دانشگاه آزاد اسلامی واحد شاهرود.

۳. صادقی، م. مافی، م. (۱۳۹۵)، "چرخه کرایونیک جداسازی دی اکسید کربن از محصولات احتراقی نیروگاه‌های حرارتی"، فصل نامه علمی-ترویجی انرژی‌های تجدیدپذیر و نو، سال سوم، شماره اول، دانشگاه بین المللی امام خمینی (ره)، قزوین.

۴. صدیقیان، غ. (۱۳۸۹)، "مقایسه روش‌های جذب و غشاهای نفوذپذیر برای بازیافت دی اکسید کربن از فرایندهای پسا احتراق"، مجله مهندسی شیمی ایران، سال نهم، شماره چهل و نهم، دانشگاه کاشان، کاشان.

5. Olajire, A. A. (2010). CO₂ capture and separation technologies for end-of-pipe applications—A review. *Energy*, 35(6), 2610-2628.

6. Mondal, M. K., Balsora, H. K., Varshney, P. (2012). Progress and trends in CO₂ capture/separation technologies: A review. *Energy*, 46(1), 431-441.

7. Sunaryadi, Y. (2022). Carbon Dioxide-Oil Minimum Miscibility Pressure Methods Overview. IntechOpen eBooks.

8. Shah, B., Shah, M., Shah, V., Prajapati, M. (2023). An Anatomized study on the progress and prospects of CO₂ utilization technology. *Case studies in chemical and environmental engineering*, 8, 100381.

9. Derevyanov, M. Y. (2024). System analysis of structured complex for oil wastes recycling system. *Vestnik of Samara State Technical University. Technical Sciences Series*, 32(1), 32-55.
10. Khanifar, Ahmad., Tewari, Raj., Masoudi, Rahim., Sedaralit, Mohd., MousaviMirkalaei, Seyed. (2023). Simultaneous Gas Production and CO2 Recycling for Sequestration in an Integrated Field and Storage Development Plan (FSDP): A Case Study. 10.2118/215396-MS.