

بررسی فرایندهای جداسازی گاز CO₂ از جریان گاز دودکش و امکان استفاده از این فرایندها در واحدهای احیاء مستقیم میدرکس

ابوالفضل عزیزی، حسین زرین پور، جواد زارع، احمد کریمی
کارشناس تحقیق و توسعه، شرکت فناوران فولاد آبتین، azizimail87@gmail.com
کارشناس تحقیق و توسعه، شرکت فناوران فولاد آبتین، hzarrinpour@aut.ac.ir
مهندس فرایند، شرکت فناوران فولاد آبتین، zareajavad@yahoo.com
مدیر تولید، شرکت فناوران فولاد آبتین، ahmadkarimi.a@gmail.com

چکیده

تامین انرژی در صنایع بزرگی همچون صنعت آهن و فولاد، سیمان، نفت، پتروشیمی و غیره اغلب از طریق سوخت‌های فسیلی صورت می‌گیرد. استفاده از سوخت‌های فسیلی منجر به تولید گاز سوختی می‌شود که ورود برخی از اجزای این گاز به اتمسفر مشکلات زیست محیطی را در پی دارد. از جمله این گازها کربن‌دی‌اکسید است که جزو گازهای گلخانه‌ای و آلاینده محیط زیست محسوب می‌شود. جداسازی این گاز از گاز سوختی در صنایع مختلف نه تنها به حفظ محیط زیست کمک می‌کند که به عنوان محصول جانبی، قابلیت جمع‌آوری و فروش دارد. روش‌های مختلفی مانند استفاده از غشاها، جذب سطحی، محلول‌های جاذب و روش تبرید و فشرده‌سازی برای جمع‌آوری گاز سوختی از تاسیسات صنعتی وجود دارد. در این مقاله تکنولوژی‌ها و همچنین پژوهش‌های صورت گرفته در زمینه جداسازی گاز CO₂ از جریان گاز دودکش واحد میدرکس مورد بررسی قرار گرفت و مشخص شد پارامترهای مختلفی همچون میزان انرژی مصرفی، شرایط گاز سوختی، ملاحظات اقتصادی، نرخ بازیابی CO₂ و عوامل دیگری از این قبیل بر انتخاب روش مناسب تاثیر گذار است. در نهایت بررسی این عوامل در واحدهای میدرکس نشان داد که محلول جاذب آمینی به دلیل نرخ بالای بازیابی CO₂، استفاده از حرارت گاز خروجی از ریفرمر احیاء و عواملی از این دست می‌تواند به عنوان روشی مؤثر در واحدهای احیاء مستقیم استفاده شود.

واژه‌های کلیدی: فرآیند جداسازی CO₂، گاز دودکش، غشا و جاذب سطحی، محلول جاذب آمینی، میدرکس

مقدمه

احتراق سوختهای فسیلی نظیر گاز طبیعی با هوا منجر به تولید مخلوط گازی شامل N₂ و CO₂ و مقادیر ناچیزی گازهای دیگر می شود که اصطلاحاً به آن «گاز دودکش» می گویند. عوامل غیر طبیعی تولید کننده گاز دودکش شامل منابع متحرک مانند وسایل نقلیه زمینی و هوایی و منابع ثابت نظیر نیروگاههای برق فسیلی و زغال سنگی، کارخانه های تولید سیمان و فولاد، پالایشگاهها و غیره است. با توجه به حجم بالای گاز تولیدی در این صنایع، نیاز است که برخی از ترکیبات مشکل ساز آن به خصوص CO₂ قبل از ورود به اتمسفر، جمع آوری شود.

جمع آوری گاز CO₂ در این واحدها با سه استراتژی کلی: پیش احتراق^۱، پس احتراق^۲ و احتراق اکسیژنی^۳ صورت می گیرد که در هرکدام از این سه مورد، از تکنولوژی خاصی برای بازیابی CO₂ استفاده شده است [۱]. علاوه بر عوامل زیست محیطی که جمع آوری CO₂ را توجیه می کند، دی اکسید کربن جمع آوری شده قابلیت استفاده در صنایع مختلف از جمله صنایع غذایی و بسته بندی، صنایع پزشکی، کارخانه های تولید بستنی، تولید کپسول های اطفاء حریق، تولید اسفنج لاستیکی و پلاستیکها، صنایع ریخته گری، تمیز کردن تجهیزات صنعتی (به صورت یخ خشک)، تولید متانول و اوره، فرآیند کاغذ سازی و غیره را دارد. در نوشابه ها معمولاً به ازای ۱ لیتر نوشابه چیزی در حدود ۵ تا ۸/۸ گرم کربن استفاده می شود که نشان دهنده مصرف بالای CO₂ در این صنعت است و می توان آن را بزرگترین صنعت مصرف کننده دی اکسید کربن دانست. معمولاً کارخانه های نوشابه سازی گاز مورد نیاز خود را از سوزاندن ترکیبات هیدروکربنی نظیر گازوئیل تامین می کنند [۲].

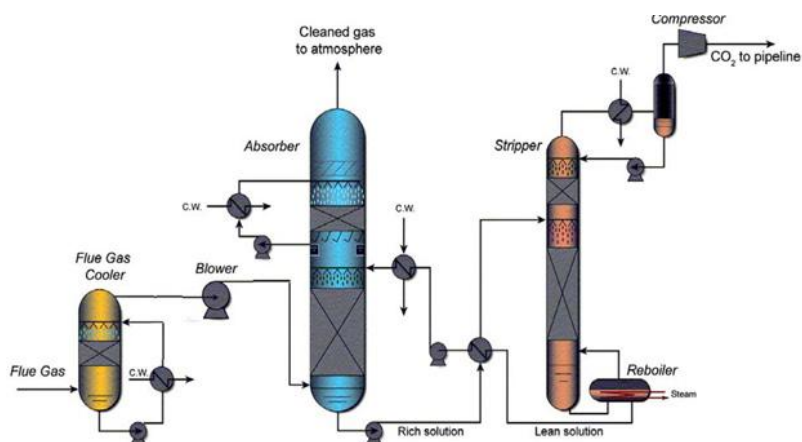
جمع آوری گاز CO₂

به عملیات جمع آوری گاز دی اکسید کربن از واحدهای صنعتی که سبب جلوگیری از انتشار آن به اتمسفر می شود، اصطلاحاً «جمع آوری کربن»^۴ می گویند. تحقیقات صورت گرفته در زمینه جذب کربن تا به امروز منجر به ارائه چهار تکنولوژی برای جداسازی CO₂ شده است که عبارتند از: استفاده از محلول جاذب مایع (اتیل آمین)، استفاده از روش جذب سطحی، استفاده از غشای تراوا و استفاده از روش تبرید و مایع سازی [۳].

الف) استفاده از محلول جاذب مایع (MEA)

منو اتیل آمین (MEA) ترکیبی است که توانایی بالایی در جذب ترکیباتی مانند H₂S و CO₂ از جریانهای گازی مانند گاز طبیعی و یا گاز دودکش دارد و از حدود ۶۰ سال پیش تاکنون استفاده از آن به عنوان بهترین و کارآمدترین روش جداسازی CO₂ در صنایعی مانند نفت و گاز و همچنین نیروگاههای زغال سنگ، رایج بوده است. این روش ظرفیت بالایی در بازیابی CO₂ دارد ولی در مقایسه با روش های دیگر بسیار انرژی بر می باشد به گونه ای که تقریباً ۴ تا ۶ گیگا ژول انرژی برای بازیابی هر تن CO₂ مورد نیاز است [۴]. شکل ۱ شمای کلی این روش را نشان می دهد.

¹ pre combustion
² post combustion
³ Oxy-fuel combustion
⁴ Carbon capture



شکل ۱- شمای کلی فرآیند جذب با محلول MEA، [۵]

جاذب MEA در دمای حدود ۴۰°C عملکرد مناسبی را از خود نشان می دهد. بنابراین گاز ورودی باید به دمای ۵۰-۴۰ برسد. در صورتی که دمای گاز دودکش بالا باشد باید آن را به گونه ای سرد کرد. یکی از روش های متداول برای سرد کردن گاز دودکش، عبور دادن گاز خوراک از یک برج خنک کن است که در آن گاز دودکش و آب سرد به صورت جریان متقابل در محیط پر شده از پکینگ در تماس با هم قرار می گیرند و با تبخیر آب، جریان گاز خنک می شود. بعد از این مرحله گاز دودکش قبل از ورود به برج جذب باید توسط یک اسکرابر تمیز شود تا NO_x و SO_x و ترکیبات مشابه آن حذف شود. حضور این ترکیبات در گاز دودکش تاثیر نامطلوبی دارد زیرا این ترکیبات واکنش های برگشت ناپذیری با حلال آمینی می دهند.

جذب کننده مورد استفاده در واقع نوعی برج پر شده است که سطحی مناسب و کافی را برای جذب CO₂ فراهم می کند. مخلوط گازی از پایین و محلول جاذب از بالا وارد می شود و بعد از تماس با یکدیگر و گذشت زمان کافی، جریان آمین غنی شده از CO₂ از پایین برج خارج می شود. جریان غنی از پایین برج جذب خارج شده و به وسیله پمپ به یک مبدل گرمایی فرستاده می شود تا پیش گرمایش لازم برای عملیات دفع انجام شود. جریان غنی که در مبدل، پیش گرم شده است به سمت برج دفع حرکت می کند. این برج یک برج تقطیر پر شده است که از دو قسمت پکینگ دار تشکیل شده است و گرمای مورد نیاز خود را از یک ریبولر دریافت می کند. آمین غنی به ناحیه بالای پکینگ وارد می شود و به سمت پایین جریان می یابد و جریان بالا رونده که در مسیر خود غنی از CO₂ و H₂O شده است به ناحیه پکینگ بالایی وارد می شود. گاز که اکنون مخلوطی از CO₂ و H₂O است در ادامه مسیر خود از بالای برج خارج شده و وارد یک چگالنده می شود تا در آنجا جریان فلش شده و آب و دی اکسید کربن از هم جدا شوند [۸-۶].

ب) استفاده از غشای تراوا

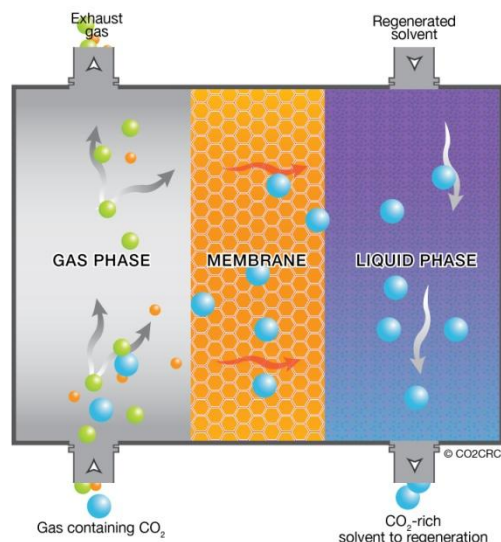
غشاهای در واقع غریبال های میکروسکوپی هستند که با ساختارهای مختلف به عنوان جاذب مورد استفاده قرار می گیرند و با اعمال شرایط عملیاتی خاص به روی آنها، می توان مولکولهایی با اندازه های مشخص را از میان آنها عبور داد. معمولاً نیرو محرکه لازم برای جدایش در این فرآیند از دو نوع: فشار هیدرواستاتیک و اختلاف غلظت است. دو نوع مکانیسم برای بررسی نحوه کار غشاهای می تواند بیان شود که عبارتند از:

- غشاهای جدا کننده گاز

• غشاهای جذب کننده گاز

در غشای نوع اول یک فشار هیدرواستاتیک اعمال می شود و تفاوت در نفوذپذیری مغناطیسی گونه ها، منجر به جدایش گازها از یکدیگر می شود. هرچند که استفاده از این نوع غشاها برای جداسازی CO₂ از هیدروکربن های سبک در صنایع گاز و پتروشیمی مناسب می باشد اما برای جداسازی CO₂ از گاز دودکش، ممکن است کارآیی لازم را نداشته باشد و دلیل آن را میتوان پایین بودن فشار جزئی CO₂ در قبال حجم بالای گاز دودکش و همچنین انرژی بالای مورد نیاز برای فشرده سازی گاز دانست.

در گونه دوم از یک مایع جاذب برای انتقال مولکولهایی که از غشا عبور کرده اند استفاده می شود و نیرو محرکه لازم، اختلاف غلظت موجود در دو طرف است و در نتیجه نیازی به اعمال فشار هیدرواستاتیک نیست. در اینجا غشا به عنوان یک سطح، بین مایع جاذب و گاز خوراک قرار می گیرد و می تواند سطح تماس مناسبی را برای دو فاز فراهم کند [۱۰،۹،۴]. شکل ۲ مکانیسم جداسازی این نوع غشاها را نشان می دهد.



شکل ۲- شمای کلی از نحوه جدایش در غشاها [۹]

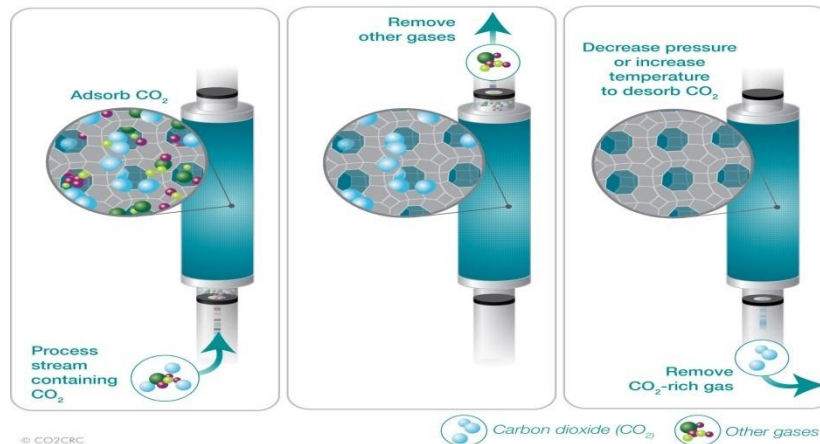
همانطور که مشاهده می کنید، تنها CO₂ می تواند از غشا عبور کند و علت آن انتخاب پذیری حلال برای CO₂ است. توانایی کنترل مستقل جریانهای گاز و مایع، کاهش مشکلاتی نظیر کانال زنی، طغیان و فومینگ، نیاز به تجهیزاتی در ابعاد نسبتاً کوچک و بازدهی نسبتاً بالای انرژی در مقایسه با جذب آمینی از مزایای این روش است در حالی که ظرفیت پایین بازیابی در صورت تک مرحله بودن، آسیب پذیری در برابر ناخالصی ها و آب، عملکرد ضعیف برای جریانهایی با حجم بالا و غلظت پایین CO₂ و نیاز به انرژی زیاد برای فشرده سازی گاز خوراک از معایب آن به شمار می رود.

بیان این نکته ضروری است که غشاها برای اینکه ظرفیت جدایش کافی را داشته باشند باید به شکل چند مرحله ای استفاده شوند و یا برای آنها جریان برگشتی تعریف شود. برخی مواقع نیاز است که برای افزایش خلوص CO₂ از چندین غشا با مشخصات فیزیکی و شیمیایی و ساختاری متفاوت استفاده شود [۱۱،۱۲].

ج) جداسازی به روش جذب سطحی

جذب سطحی به دو روش جذب فیزیکی و جذب شیمیایی تقسیم بندی می شود. سیستم جذب سطحی فیزیکی از سه

مرحله جذب CO₂، تخلیه ناخالصی هایی همچون N₂ و مرحله تخلیه CO₂ تشکیل می شود که در شکل ۳ نشان داده شده است.



شکل ۳- مراحل جدایش در سیستم جذب سطحی [۵]

نخست جریان خوراک که ترکیبی از گازهای مختلف از جمله CO₂ و N₂ است وارد بستر می شود و عملیات جذب آغاز شده تا اینکه بستر کاملاً اشباع شود و به نقطه رخنه خود برسد. در ادامه، ورود جریان به بستر متوقف شده و عملیات تخلیه (احیاء بستر) آغاز می شود [۷]. اما در جذب شیمیایی از ترکیبات گوناگونی مانند کلسیم کربنات می توان استفاده کرد. به این طریق که اگر کلسیم کربنات (سنگ آهک) را تا دمای ۸۵۰°C حرارت دهیم به دو ترکیب CO₂ و CaO تبدیل می شود. CaO تولید شده توانایی واکنش مجدد با CO₂ در دمای ۶۵۰°C دارد. این ماده دارای ظرفیت بالایی برای جذب CO₂ است ولی با گذشت زمان، توانایی آن کاهش می یابد. گونه دیگری از جاذب های شیمیایی نیز وجود دارند که بر پایه فلزات قلیایی مانند سدیم هستند [۱۰].

راندمان روش های جداسازی سطحی نسبت به بقیه پایین است و در مقایسه با جذب آمینی و یا جذب غشایی، دارای خلوص پایین تری از محصول می باشند.

د) تکنولوژی سرد سازی و مایع سازی

در تکنولوژی برودتی از دماهای پایین برای سردسازی، مایع سازی و خالص سازی CO₂ از جریان گازی استفاده می شود. دمای بحرانی CO₂ و نقطه سه گانه آن به ترتیب ۳۱/۶°C و ۵۶/۸°C- است. در دمایی بین این دو دما، CO₂ می تواند به وسیله فشرده سازی و سرد سازی، به مایع تبدیل شود.

این روش می تواند برای جریان های گازی با غلظت CO₂ متوسط استفاده شود. روش های برودتی به دو دسته کلی تقسیم

می شوند:

- سردسازی در دمای پایین: جریان گاز تحت فشار بالا به نقطه زیر صفر (دمای جوش CO₂) می رسد و CO₂ مایع شده و از بقیه اجزاء جدا می گردد.
- تشکیل هیدرات در دمای پایین: آب سرد از میان جریان گازی سرد شده عبور می کند و CO₂ و H₂O با یکدیگر یخ می زنند و تشکیل بلورهای شبیه به کریستال های یخ می دهند که حاوی CO₂ می باشد. در ادامه این هیدرات ها گرفته شده و گرم می شوند تا CO₂ از آنها آزاد شود.

از معایب این روش می توان به مصرف انرژی بالای این سیستم به خصوص در قسمت های فشرده سازی و سرد سازی اشاره کرد همچنین نیاز آن به خوراکی با غلظت بالای CO₂ که در ادامه به آن اشاره می شود. بنابراین در کل می توان نتیجه گرفت که سردسازی، یک فرآیند جداسازی با خلوص بالا اما بسیار انرژی بر می باشد [۱۳و۱۵].
به صورت خلاصه می توان جمع بندی کلی از روش هایی که در بالا گفته شد را در جدول ۱ مشاهده کرد.

جدول ۱- مقایسه بین انرژی، نرخ بازیابی و کاربردهای روش های مختلف جذب CO₂ [۷, ۱۰, ۱۴, ۱۵]

روش جداسازی	انرژی مورد نیاز (MJ/KgCO ₂)	نرخ بازیابی CO ₂ از جریان گاز (%)	شرایط استفاده
محلول جاذب فیزیکی	۰/۱	۶۰-۸۰	فشارهای بالا مثل ۵۲۵kPa
محلول جاذب شیمیایی	۴-۶	۹۰-۹۹	فشارهای پایین مثل ۲۱kPa
جذب روی سطح جامد	۲/۹	۸۰	جریان های گاز با دبی کم
سردسازی و تبرید	۴/۳۵	۹۰	جریان های غلیظ (CO ₂ > 90 %)
استفاده از غشا	۰/۵-۱	۹۰	هنوز به شکل صنعتی استفاده نشده است

بررسی امکان جداسازی و جذب CO₂ از گاز دودکش واحد احیاء مستقیم میدرکس

در حال حاضر بیش از ۵۰ درصد آهن اسفنجی جهان با استفاده از فرآیند میدرکس تولید می شود. این فرآیند برای تولید گاز احیایی مورد نیاز، از یک ریفرمر استفاده می کند. واکنش های تولید گاز احیایی (CO, H₂) از گاز طبیعی (CH₄) در کل واکنش های گرماگیری هستند، بنابراین داخل ریفرمر از مشعل هایی با سوخت گاز طبیعی برای فراهم کردن گرمای مورد نیاز واکنش ها استفاده می شود. این امر موجب تولید حجم بالای گاز حاصل از احتراق در فضای ریفرمر می شود. این گاز به طور عمده شامل CO₂، N₂ و H₂O می باشد که به ترتیب ۶۴٪، ۱۵٪ و ۲۱٪ حجمی از جریان را تشکیل می دهند [۱۶].

با کمی دقت در ترکیب درصد های بیان شده، متوجه می شویم که میزان CO₂ موجود در جریان می تواند قابل توجه باشد و ما را برای بررسی مسئله جداسازی CO₂ از آن، توجیه کند. به عنوان مثال برای تولید ظرفیت اسمی واحد احیاء مستقیم غدیر ایرانیان یعنی ۱۰۴ ton/hr آهن اسفنجی، در حدود ۱۹۳۰۰۰ Nm³/hr گاز دودکش و ۲۸۹۵۰ Nm³/hr گاز CO₂ به وسیله مشعل های ریفرمر ایجاد می شود. بنابراین استفاده از یک تکنولوژی مناسب و جدایش CO₂ از این جریان می تواند هم از لحاظ زیست محیطی و هم از جنبه اقتصادی به بهره وری بیشتر کارخانه کمک کند. در ادامه به بررسی روش های ممکن جمع آوری CO₂ در واحد میدرکس خواهیم پرداخت.

الف) روش تبرید و مایع سازی

این روش زمانی کارآمد است که جریان خوراک ورودی به آن دارای غلظت بالایی از CO₂ باشد به گونه ای که این غلظت به بیش از ۹۰٪ برسد. لذا با توجه به اینکه غلظت این ترکیب در جریان گاز خروجی از دودکش در فرآیند میدرکس در حدود ۱۵٪ است، استفاده از این روش چندان موثر نخواهد بود. از طرفی این روش یک روش نسبتاً انرژی بر می باشد و نیاز به کاهش دمای جریان به حدود ۶۰°C - درجه دارد.

(ب) روش استفاده از غشاء

استفاده از غشاء به منظور جداسازی ترکیبات موجود در یک سیال از یکدیگر، یک فناوری تقریباً جدید است و استفاده از آن به ویژه برای جداسازی CO₂ از جریان گاز دودکش در مقیاس صنعتی تاکنون صورت نگرفته است و در مقیاس نیمه صنعتی و آزمایشگاهی در دست تحقیق و بررسی است. دارا بودن تکنولوژی ساخت غشاء دارای اهمیت ویژه‌ای است چرا که در صورت عدم توانایی تولید غشاهای مناسب، این روش کارآیی خود را از دست خواهد داد. به عنوان مثال در جداسازی CO₂ از H₂ از غشایی از جنس پالادیوم استفاده می‌شود که هزینه ساخت آن بالا و تکنولوژی آن نسبتاً پیچیده است. از طرفی مشکل دیگر این روش، ظرفیت پایین آن و در واقع کند بودن فرآیند است که برای جبران این نقیصه نیاز به استفاده از تعداد بالایی از المنت های غشایی داریم و محاسبات زیر این مسئله را بیان می‌کند. [۱۷]

- (۱) دبی جرمی CO₂ در جریان گاز دودکش: $28950 \text{ Nm}^3/\text{hr}$ یا 56843 kg/hr
- (۲) مساحت یک عدد المنت غشایی کامل: 100 m^2
- (۳) نرخ جذب CO₂ در هر متر مربع از المنت: $0.5 \text{ kg/m}^2/\text{hr}$
- (۴) نرخ جذب CO₂ یک المنت غشایی کامل: $(100 / 0.5) = 50 \text{ kg/hr}$
- (۵) تعداد المنت های غشایی مورد نیاز: $(56843 / 50) = 1137$

طبق محاسبات صورت گرفته، ۱۱۳۷ عدد المنت با مساحت 100 m^2 مورد نیاز است که عدد نسبتاً بالایی است. لذا استفاده از این روش در واحدهای احیاء مستقیم با توجه به حجم بالای جریان گاز، عملاً منتفی است.

(ج) روش جذب سطحی

روش جذب CO₂ روی سطوح جامد بیشتر در محیط‌های بسته مانند هواپیماها و زیردریایی ها و غیره کاربرد دارد. در روش جذب سطحی با مکانیسم نوسان فشاری (PSA)، گاز در فشار بالا (مثلاً ۳۰۰ psi) و دمایی در حدود ۲۵°C جذب و در فشارهای پایین دفع می‌گردد. معمولاً در این روش، دفع به طور کامل صورت نمی‌گیرد مگر اینکه فشار تا نزدیکی خلاء پایین بیاید و این نیازمند صرف هزینه بسیار بالایی است. همچنین تحقیقات نشان داده است که خلوص محصول حاصل از این فرآیند در عمل چیزی در حدود ۵۰٪ است که چندان مطلوب نمی‌باشد. هر چند از نظر تئوری پتانسیل رسیدن به ۹۰٪ را نیز دارد [۱۸].
به علاوه به دلیل وجود حجم عظیم گاز دودکش در فرآیند میدرکس متعاقباً نیاز به حجم بالایی از مواد جاذب و همچنین تجهیزات نسبتاً بزرگی است که سبب می‌شود استفاده از این روش در واحدهای احیاء مستقیم چندان صرفه اقتصادی نداشته باشد.

(د) جذب فیزیکی یا شیمیایی توسط محلول مایع

دی اکسید کربن را می‌توان با استفاده از جذب فیزیکی یا شیمیایی از جریان‌های گاز جدا نمود. جذب فیزیکی توسط حلال در غلظت‌های بالا کاربرد دارد. یعنی در مخلوطهایی که فشار جزئی CO₂ در آنها بیش از ۵۲۵ kPa باشد. این در حالی است که فشار جزئی CO₂ در جریان گاز دودکش فرآیند میدرکس در حدود ۲۱ kPa است. و لذا استفاده از محلول جاذب فیزیکی دارای راندمان خوبی نخواهد بود. اما از سوی دیگر محلول‌های جاذب شیمیایی مانند منو اتیل آمین وجود دارند که در شرایط فشاری و عملیاتی حاکم بر گاز دودکش، عملکرد بسیار مناسبی از خود نشان می‌دهند و با توجه به هزینه تولید و هزینه‌های فرآیند، از

سایر حلال ها مقرون به صرفه ترند. روش جذب شیمیایی علیرغم وجود مشکلاتی که در قسمت های قبل به برخی از آنها اشاره شد، دارای مزیت های خاصی نیز می باشد که به چند نمونه از آن ها اشاره می شود:

- دارای ظرفیت خوراک بالا است و می تواند دبی بالایی از گاز را جداسازی کند.
- محصول نهایی آن دارای خلوصی بیش از ۹۹٪ بوده که این کیفیت محصول مورد نیاز اکثر واحدهای مصرف کننده CO₂ می باشد.
- تکنولوژی ساخت تجهیزات، مواد مورد نیاز و دانش طراحی سیستم برای ظرفیت های مختلف در داخل کشور وجود دارد.
- در صورت کاهش مصرف انرژی در قسمت احیاء حلال غنی شده، هزینه های مربوط به این تکنولوژی به شدت کاهش می یابد.

به عنوان مثال اگر از گاز خروجی از سیستم بازیاب حرارتی واحد احیاء مستقیم (قبل از ورود آن به دودکش) که دارای دمایی در حدود ۴۷۶ °C است به منظور تهیه بخار فشار پایین (بخار LP با فشار ۳ bar و دمای ۱۵۰ °C) مورد نیاز در ریبولر استفاده شود، آنگاه هزینه های عملیاتی به شدت کاهش خواهد یافت و عملاً اصلی ترین مشکل این فرآیند که نیاز به انرژی بالا برای تولید بخار مورد نیاز ریبولر است، با استفاده از انرژی خود سیستم مرتفع می گردد.

نتیجه گیری

بر اساس مطالب بیان شده، می توان نتیجه گرفت که :

- با توجه به حجم گاز خروجی از دودکش واحد احیاء مستقیم غدیر ایرانیان و همچنین میزان CO₂ موجود در آن، استفاده از یک تکنولوژی مناسب به منظور بازیابی CO₂ می تواند کاملاً امکان پذیر و موجه باشد.
- چهار تکنولوژی کاربردی در زمینه بازیابی CO₂ از یک جریان گازی وجود دارد که از این بین، استفاده از محلول جاذب آمینی بهترین گزینه برای استفاده در واحدهای احیاء مستقیم میدرکس می باشد.
- بازیابی CO₂ با خلوص بالا و عرضه آن، می تواند از مصرف سوخت در صنایع دیگر به منظور تولید CO₂ مورد نیاز خود جلوگیری نماید.
- عرضه CO₂ به شکلهای گوناگون مانند یخ خشک و یا کپسولهای پر شده، می تواند از نظر اقتصادی مقرون به صرفه بوده و به عنوان یک محصول جانبی در واحدهای احیاء مستقیم، سودآوری مناسبی داشته باشد.
- بازیابی و جلوگیری از انتشار CO₂ به اتمسفر در واحدهای احیاء مستقیم، می تواند آثار مثبت زیست محیطی به خصوص کاهش آلودگی هوا را به همراه داشته باشد.
- با توجه به وجود دانش بومی و امکان ساخت تجهیزات واحد جذب آمینی از سوی شرکت های داخلی، هزینه های مورد نیاز احداث برای واحد احیاء مستقیم کاهش خواهد یافت و بنابراین قیمت تمام شده تولید CO₂ از این طریق نیز کاهش یافته و امکان عرضه آن به بازارهای داخلی و خارجی راحت تر خواهد شد.

مراجع

۱. امین زاده، علی، شرکت مهندسی و توسعه نفت، "جمع آوری گاز دی اکسید کربن، چرا و چگونه؟"، مجله اکتشاف و تولید، بهمن ۱۳۸۸، شماره ۶۵، صفحه ۷۳-۶۸.

۲. سودمند اصلی ، علیرضا ، " انتخاب روش بهینه جذب و طراحی مورد نیاز CO₂ واحدی برای تولید صنایع نوشابه سازی " ، نهمین کنگره مهندسی شیمی ایران ، دانشگاه علم و صنعت ، آذر ۱۳۸۳ .
3. Murlidhar gupta , "CO₂ capture technologies & opportunities in Canada", Canadian CC&S technology Roadmap workshop , Alberta , September 2003.
4. Roda Bounaceur, Nancy Lape , "Membrane processes for post-combustion carbon dioxide capture: a parametric study" , Groupe ENSIC, INPL, 1 rue Grandville, BP 541, 54001 Nancy, France Received 28 July 2005.
5. www.CO2crc.com
۶. ترابی ، بهزاد ، " طراحی سامانه استحصال CO₂ از دود خروجی واحدهای بخار نیروگاه بعثت " ، شرکت مدیریت نیروگاه بعثت ، ۱۳۸۹ .
7. GCEP Energy Assessment Analysis, "An Assessment of Carbon Capture Technology and Research Opportunities" Spring, 2005.
8. Anusha Kothandaraman , "Carbon Dioxide Capture by Chemical Absorption A Solvent Comparison Study" , Institute of Chemical Technology, University of Mumbai, 2005.
9. Eric Favre , "Membrane processes and post combustion carbon dioxide capture Challenges and prospects" Chemical Engineering Journal , Accepted 3 January 2011.
10. Howard Herzog , Jerry Meldon " Advanced Post-Combustion CO₂ Capture" , Prepared for the Clean Air Task Force , April 2009.
11. dr. H. Brinksma , "membrane technologies for CO₂ capture" , on account of the decision of the graduation committee ,to be publicly defended on Thursday 17th of June 2010.
12. jim karbeen, "experimental studies on CO₂ capture using absorbent in A polypropylene hollow fiber membrane contactor" , School of Sustainable Development of Society and Technology will be published defended on Friday 17 June, 2011.
13. "Cryogenic CO₂ capture using dynamically operated packed beds", M.J. Tuinier , Chemical Engineering Science , 29 January 2009.
14. dr. J. Meuldijk , "Novel Process Concept for Cryogenic CO₂ Capture" , 24th november 2011.
15. Edward S.Rubin , "a technical assesment of amine – based CO₂ capture for power plant greenhouse" , Annual technical progress report , October 2001.
16. www.midrex.com
17. S. James Zhou, Shiguang Li, Dennis Rocha, and Howard Meyer, Yong Ding and Ben Bikson , " Hybrid Membrane/Absorption Process for Post-combustion CO₂ Capture" , NETL CO₂ Capture Technology Meeting July 9, 2012.
18. li voong hong, "Economic Comparison of Three Gas Separation Technologies for CO₂ Capture from Power Plant Flue Gas" , Chinese Journal of Chemical Engineering, 19(4) 615–620 (2011).