اویل ایندستری
Oilindustry.ir
CLICK HERE

بازیافت CO_2 از دودکش نیروگاه‌ها جهت افزایش برداشت نفت

علی اصغر روحانی[۲]، [i]

[۱]دانشجوی کارشناسی ارشد، دانشگاه آزاد اسلامی، واحد شاهرود، گروه مهندسی شیمی ، شاهرود، ایران؛ Fazellian.mostafa@gmail.com
[۲] استادیار، پژوهشگاه صنعت نفت، تهران، ایران ؛ Rouhani_aa@yahoo.com

چکیده

امروزه با توجه به شرایط اقتصادی دنیا و نقش مهم صنعت نفت و صنایع وابسته آن، برداشت نفت یکی از مهمترین مسائل روز دنیا میباشد. با توجه به برداشت‌های بی‌رویه و در نتیجه افت فشار میادین نفتی در کل دنیا و علی الخصوص کشور ایران،کشورها در صدد سهولت برداشت نفت و افزایش برداشت برآمده‌اند.دراینجا با مروری بر مبانی تکنیکی و نیز مباحث اقتصادی جمع آوری و بازیافت CO_2 در واحدهای صنعتی، فناوری‌های دریافت دود از استک و انجام عملیات بازیافت CO_2 به روش جذب توسط حلال مونو اتانول آمین را مورد بحث قرار داده و پتانسیل‌های بهبود، توسعه و مشکلات موجود در انجام آن بررسی می‌گردد.

در این مقاله عملیات انجام شده بر روی CO_2 بازیافتی در مراحل استحصال دود ، پالایش گاز، خشک کردن و تراکم درانجام پروژه های عملی بررسی می گردد. مهمترین شرط انجام پروژه‌های ازدیاد برداشت نفت، تامین CO_2 مورد نیاز می‌باشد. نکته‌ی بسیار مهم در این موضوع تزریق CO_2 بازیافت شده (از استک نیروگاه ها یا واحدهای پتروشیمی) می‌باشد . چرا که حجم بالای CO_2 مورد نیاز برای استفاده در پروژه های ازدیاد برداشت فقط از طریق بازیافت (Recovery) تامین می‌گردد و به دلیل هزینه‌های بسیار بالا و منافات با قوانین زیست محیطی به هیچ وجه امکان تولید CO_2 و استفاده از آن امکان‌پذیر نمی‌باشد.

کلمات کلیدی

انرژی، محیط زیست، بازیافت، جذب شیمیایی، منواتانول آمین، ازدیاد برداشت نفت

Capture of Co_2 from Stack of Power Plants aim to Enhanced Oil Recovery

ABSTRACT

Today, due to the world economic situation and the important role the oil industry and related industries, the oil recovery is one of the most important issues in the world. Recovery resulting pressure drop due to improper oil fields in the world and especially in Iran, tend to facilitate oil recovery. Let us first review the basics of technical and economic issues in the collection and recycling of industrial CO_2, CO_2 recovery technology to get the stack flue gas and operation of mono-ethanol amine solvent absorption method are discussed and improve potential, development and problems in its implementation is monitored.

In this paper, the operations performed on the recycled CO_2 in the flue gas extraction, refining and dry, specify the density and carrying out practical projects is investigated. The main criteria for the Enhanced Oil Recovery projects CO_2 supply is needed. A very important point in this thread recycling CO_2 injection is (the stack power plant or petrochemical plants) extrusion. Because the amount of CO_2 required for projects EOR only through recovery will be provided and the cost was very high, and comply with environmental laws in any way possible to produce CO_2 and its use is not possible.

KEYWORDS

Energy, Environment, Recovery, Chemical Absorption, MEA, Enhanced Oil Recovery

[i] مصطفی فاضلیان، دانشگاه آزاد اسلامی واحد شاهرود، تلفن: ۰۹۱۳۶۷۷۲۹۵۵، نمابر: ۰۳۸۱-۳۳۳۰۵۳۴

۱- مقدمه

با توجه به برداشت‌های بی‌رویه و در نتیجه افت فشار میادین نفتی همه کشورها در صدد سهولت برداشت نفت و افزایش برداشت برآمده‌اند. چرا که با شروع استخراج نفت از مخازن، فشار مخزن رو به کاهش میگذارد مگر آنکه این فشار توسط جریان سیالی دیگر تامین گردد. بنابراین چاه نفت نیازمند به کارگیری روش‌های دیگری جهت برداشت می‌باشد.

روشهای متداول جهت ازدیاد برداشت نفت:

۱- تزریق مواد شیمیایی (نظیر مواد قلیایی، محلول رقیق برخی پلیمرها)
۲- ازدیاد برداشت به کمک مواد میکروبی (به دلیل قیمت بالا کاربرد کمی دارد)
۳- تزریق گاز به چاه نفت (گاز طبیعی، CO_2، نیتروژن)

یکی از این روش‌ها تزریق گاز به مخازن نفتی و تامین فشار لازم جهت استخراج می‌باشد که به علت قابلیت اجرا در مقیاس‌های بزرگ و عدم نیاز به احیای تجهیزات و مواد اولیه و همچنین هزینه‌های کمتر و بهره‌وری بالا متداولتر می‌باشد.

امروزه، CO_2 جداسازی شده از واحدهای هیدروژن سازی، از واحدهایی که با سوخت گاز طبیعی کار می کنند و دود خروجی از اگزوزهای بزرگ صنعتی، غالباً به مصرف تولید اوره، ازدیاد برداشت نفت و صنایع غذایی می رسد. به هر حال تجربه‌های کمی نیز در مورد واحدهای بزرگ بازیافت CO_2 وجود دارد. بازیافت و ذخیره سازی CO_2 در سطح جهان بسیار کم صورت گرفته است و می‌توانبه پروژه Sleipner اشاره کرد که به خوبی شناخته شده است.

(Jessen, kovscek, &jr.F.M., 2005)

بر اساس تحقیقات مهم انجام شده در این پروژه، Statoile به محققان اروپایی پیشنهاد داد که کمیته‌ای چندگانه جهت تحقیق و بررسی این موضوع تشکیل شد (با عنوان SACS) که این کمیته با حمایت اتحادیه اروپا، تشکیل شده تا موضوع تزریق CO_2 را بررسی کرده و مشکلات ناشی از آن را پیش بینی کند. در U.S.A (ایالات متحده آمریکا) پروژه‌های تجاری زیادی وجو دارد که مقادیر عظیم CO_2 به اعماق چاههای نفت تزریق شده و با هدف ازدیاد برداشت نفت، پروژه ای که با نام EOR شناخته می‌شود.

در اکتبر ۲۰۰۰، کمپانی Encana ، مقادیر قابل توجهی از CO_2 (5000TPD) از طریق لوله km320 (که از کمپانی Dakota شمالی تأمین می شود) را به منابع نفتی Weybwnc در کانادا به منظور ذخیره CO_2 و نیز افزایش تولید نفت تزریق کرده.

(Tzimas, Georgakaki, Cortes, &Peteves, 2005)

در western، آمریکا و کانادا، گازهای اسید (مخلوطی از CO_2، H_2S ، که CO_2 بین ۱۵ تا ۹۸٪ متغیر است) از گازهای طبیعی جداسازی شده و به اعماق چاههای نفت تزریق شده است.

دراینجا با مروری بر مبانی تکنیکی و نیز مباحث اقتصادی جمع آوری و بازیافت CO_2 در واحدهای صنعتی، فناوری‌های دریافت دود از استک و انجام عملیات بازیافت CO_2 به روش جذب توسط حلال مونو اتانول آمین را مورد بحث قرار داده و پتانسیل‌های بهبود، توسعه و مشکلات موجود در انجام آن بررسی می‌گردد.

مهمترین شرط انجام این پروژه‌ها تامین CO_2 مورد نیاز می‌باشد. نکته‌ی بسیار مهم در این موضوع تزریق CO_2 بازیافت شده (از استک نیروگاه ها یا واحدهای پتروشیمی) می‌باشد . چرا که حجم بالای CO_2 مورد نیاز برای استفاده در پروژه‌های ازدیاد برداشت فقط از طریق بازیافت (Recovery) تامین می‌گردد و به دلیل هزینه‌های بسیار بالا و منافات با قوانین زیست محیطی به هیچ وجه امکان تولید CO_2 و استفاده از آن امکان‌پذیر نمی‌باشد.

۲- متن

۲-۱- Capture (CO_2 بازیافت)

فناوری بازیافت CO_2، در صنایع مختلف جهت جداسازی CO_2 از دود خروجی از دودکش، فرایند شیرین سازی گاز طبیعی و یا تولید

هیدروژن (از گاز سنتز) به صورت گسترده انجام می شود. CO_2 گرفته شده جهت ازدیاد برداشت نفت، یا تولید CO_2 خالص جهت صنایع غذایی و نوشابه سازی مصرف می‌شود.

تجربه‌های صنعتی بازیافت CO_2 می‌تواند جهت طراحی پلنت‌های بزرگ، با اهداف ذخیره سازی، مورد استفاده قرار گیرد. در بسیاری از این فرایندها CO_2، با غلظت کم، انتشار یافته، که باید با بازیافت از منابع دیگر جریان غلیظی از CO_2 تأمین شود. البته این امکان وجود دارد که هر کدام از این جریانهای منفرد، منتقل شده و در یک محل تزریق شود اما این مسأله غیر اقتصادی است زیرا حجم عظیمی باید متراکم شده و تزریق شود و غیر قابل پیش بینی است زیرا حجم مخازن زیر زمینی قابل طراحی نیست.

در برخی فرایندهای صنعتی (مانند فرایند تولید اتیلن اکسید، تولید هیدروژن، در پالایشگاهها، و یا تولید آمونیاک) جداسازی CO_2 لازم نیست. از آنجا که CO_2 تقریباً خالص به عنوان محصول جانبی تولید شده و این واحدهای صنعتی را جهت ذخیره سازی CO_2، ایده آل می سازد. برخی منابع مهم دیگر که در آنها بازیافت CO_2 نسبتاً با قیمت پایینی صورت می پذیرد شامل فرآیند شیرین سازی گاز، تولید سیمان، صنایع استیل و آهن، که در آنها CO_2 خروجی دارای غلظت بسیار بالایی در مقایسه با دود خروجی از دودکش نیروگاهی باشد. به هر حال جهت رسیدن به هدف کاهش انتشار CO_2، بازیافت CO_2 از نیروگاهها شاید امری اجتناب ناپذیر باشد. نیروگاهها تولید برق، شاید اصلی‌ترین گزینه‌های بازیافت CO_2 باشند. زیرا سهمی که آنها در انتشار CO_2 دارند در مقایسه با دیگر صنایع بسیار بیشتر است (بیش از ۴۳٪).

۲-۲- بازیافت CO_2 از نیروگاهها

روشهای بازیافت CO_2 از نیروگاهها به سه دسته تقسیم می شود:

۱- پس از احتراق

۲- پیش از احتراق

۳- احتراق با اکسیژن (یا تبدیل بدون نیتروژن)

۲-۲-۱- بازیافت به روش پس از احتراق

بازیافت CO_2 در این روش بر جداسازی CO_2 از دودکش در فشار پایین استوار است. و نیز در صد CO_2 پایین (۲۰٪-۳٪) این روش در تعداد زیادی از نیروگاهها قابل اجرا است. نظیر نیروگاههایی که با زغال سنگ تحت فشار کار می کنند (PC)، نیروگاه سیکل ترکیبی گاز طبیعی (NGCC) و نیز سل‌های سوختی که با اکسیدهای جامد کار می کنند (SOFC). در این فرایند میزان کاهش بازده نیروگاه در اثر بازیافت CO_2 بسیار مهم است. پارامترهای مهم در فرایند پس از احتراق شامل جذب شیمیایی، جذب فیزیکی، جذب به روش فوق سرما و روش غشایی می‌باشند.

اما برخی از این روشها (بجز جذب شیمیایی) گران قیمت می‌باشد (از لحاظ هزینه به مصرفی نیستند به هر حال، تحقیقات گسترده تری جهت کاهش هزینه های بازیافت نیاز است.

۲-۲-۲- بازیافت به روش پیش از احتراق

در این روش، سوخت فسیلی به گاز سنتز تبدیل شد که مخلوطی از Co و H_2 می‌باشند. گاز سنتز می تواند از زغال یا اکسایش جزیی گاز طبیعی به دست آید. CO بر اثر واکنش با بخار تولید CO_2 و هیدروژن بیشتر می کند و این واکنش در راکتور گاز ـ آب صورت می گیرد. بعد از آن که CO_2 از هیدروژن جدا می شود به دلیل فشار جزئی بالای CO_2 (۴۰-۱۵٪ در فشار ۴۰-۱۵)، جداسازی CO_2 از هیدروژن نیاز به انرژی کمتری دارد و نسبت به روش پس از احتراق، مقرون به صرفه تر است. بهبود و ارتقاء سوخت زغال سنگ تولید گاز سنتزی در توربین های گازی با عنوان سیکل ترکیبی زغال سنگ پیشرفته (IGCC) شناخته می شود. در سپتامبر ۲۰۰۱ فقط چهار سیستم IGCC، به صورت عملیاتی کار کرده اند و تعداد زیادی پروژه طراحی شده اند. در ایالت Nevada واحد Pinonpine به دلیل

مشکلاتی که در زمان روشن کردن دستگاه رخ داد، در حالت Steady – State باقی ماند. Gasification، زغال سنگ تکنولوژی کاملاً پیچیده است، اگرچه برخی تجربیات در زمینه Gasification، زغال سنگ تکنولوژی کاملاً پیچیده است، اگرچه برخی تجربیات در زمینه Gasification، زغال سنگ، نفت سنگین در صنایع شیمیایی در این زمینه وجود دارد. باعث می‌شود که هزینه کلی طرح، و میزان برق مصرفی، در این پروژه ها به نسبت دیگر طرحها نظیر PC و NGCC بسیار بیشتر باشد. از طرف دیگر توربین های گازی که در این زمینه استفاده می شود جهت ورود هوا و نیز سوختهای سبک نظیر گاز طبیعی طراحی شده اند و هنوز توربین جهت ورود هیدروژن طراحی شده است.

در فرایند IGCC، که سیستمی جهت جداسازی CO_2 دارد، علاوه بر آن هیدروژن نیز تولید می شود که بر اساس فرآیند احتراق میزان خلوص هیدروژن تولیدی متغیر است، چنین طراحی در توربین گازی نیاز به تحقیقات بیشتری دارد. وقتی که هیدروژن در توربین گازی سوخته می شود، بخار یا نیتروژن جهت تزریق نیاز است تا از تولید NOx در چمبر احتراق جلوگیری کند. میزان کاهش راندمان که به واسطه بازیافت CO_2 ایجاد می شود، بستگی به نوع gas fire دارد.

اپتیمم فشار جزئی برای توربینهای CO_2 بالاتر از توربینهای معمولی است. در حالیکه بازده این توربینها نسبت به توربینهای معمولی کمتر می باشد. نمونه های آزمایشگاهی در مورد زغال سنگ تحت فشار، نشان می‌دهد که می تواند احتراق به روش Dxy fule در این مورد به آسانی صورت گیرد. Mc Donald و Palks طی محاسبات خود نشان دادند که بازده بویلر به این روش احتراق افزایش می یابد. زیرا میزان inert gas (هوای بی اثر) در این روش پایین تر از روش معمول است که نشان دهنده سرعت بالاتر انتقال حرارت می باشد. برخی از تجهیزات که جهت حذف ذرات از دود خروجی از دودکش به کار می روند (نظیر سولفورزدایی) می تواند بدین روش از سیستم حذف شوند.

۲-۳- تکنولوژی جداسازی

جذب شیمیایی

بسته به فشار جزئی، جذب فیزیکی و یا شیمیایی می تواند مورد استفاده قرار گیرد. همچنین مخلوطی از حلالهای فیزیکی و شیمیایی که در فشار جزئی بالا مانند حلال فیزیکی و در فشار جزئی پایین مانند حلال شیمیایی عمل می کند، می تواند مورد استفاده قرار گیرد.

جذب شیمیایی جهت غلظت هایی از CO_2 که دارای فشار جزئی $\pm$5bar هستند مورد استفاده قرار می‌گیرد.

رایج ترین حلال جهت جذب شیمیایی MEA مونواتانول آمین می باشد. دیگر حلالی که به صورت تجاری در دسترس می‌باشد DEA است. TEA، MDEA، K_2CO_3 نیز استفاده می‌گردد.

MEA تاریخچه موفقی جهت تولید CO_2 با خلوص بالا در نیروگاهها و بویلرهای صنعتی و کوره ها در مقیاسی در حدود TPD ۱۲۰۰ دارد. برخی واحدهای بزرگ که جهت EOR طراحی شده و پروژه های موفقی بودند، به دلیل افت قیمت نفت در دهه ۱۹۸۰ متوقف شدند. به منظور کاهش انتشار گازهای گلخانه ای تجربیات وسیعی جهت احداث خط بازیافت در مقیاس بزرگ لازم است. به طور مثال برای بازیافت ۹۰٪ CO_2 منتشر شده از یک نیروگاه MW ۴۰۰، نیاز به ایجاد واحدی به ظرفیت TPD ۳۲۰۰ است که این ظرفیت حداقل ۳ برابر خط تولید عملیاتی اجرا شده تا کنون می باشد. اما به هر حال تجربیات به دست آمده از این خطوط تولید کوچک دانش عظیمی در زمینه طراحی مهندسی این پروژه ها ایجاد کرده است. برخی از پروژه های عظیم با چنین رویکردی در کشورهای کانادا، کره و نروژ در حال اجرا و طراحی می‌باشند. CO_2 از طریق واکنش شیمیایی در برج جذب، از دود ورودی گرفته شده و سپس از طریق پمپ به برج جدا کننده (استریپر) وارد می‌شود. دما در این برج تا حدود ۱۲۰ درجه سانتیگراد بالا رفته و CO_2 آزاد می شود. که اگر این واحد یک واحد نیروگاهی اجرا شود، بخار مورد نیاز از بخار خارج شده

از توربین تأمین می شود. حلال جاذب احیاء شده به برج جذب برگردانده می‌شود و CO_2 جمع آوری شده نیز متراکم شده و جهت انتقال آماده می‌شود. سیستم Econamin FG از MEA30%، به عنوان حلال استفاده می‌کند که قادر به بازیافت ۹۵-۸۵٪ CO_2 موجود در دود با میزان خلوص ۹۵-۹۹٪ می باشد. بازده جذب CO_2 با تغییر میزان حرارت ریبویلر تغییر می کند.در این سیستم که در کانادا اجرا شده جهت کاهش میزان انرژی مورد نیاز در ریبویلر موفق نبوده است و تلاش جهت ثابت کردن میزان حرارت و نیز کاهش میزان انرژی همچنان ادامه دارد.

قبل از ورود دود به ابزوربر (برج جذب) دود نیازمند خنک کاری می‌باشد (که می تواند وارد برج آب یا برج سولفورزا شود) همچنین سایر ناخالصی های آن گرفته شود. کاهش میزان SO_X و NO_X تا پایین ترین حد ممکن ضروری است، از آنجا که این ترکیبات باعث ایجاد و تشکیل نمکهای پایدار حرارتی می شود که این نمکها، خاصیت خورندگی دارند و باعث ایجاد مشکلات جدی در سیستم و نیز از دست رفتن و فساد حلال می شود. SO_3 مشکلات بیشتری ایجاد می‌کند زیرا تشکیل H_2SO_4 داده که بسیار خورنده می‌باشد. ذرات معلق باعث ایجاد کف کردن در ابزوربر و استریپر شده، علاوه بر آن ایجاد سایش، خوردگی و نیز از دست دادن مقادیر بیشتری از حلال می‌شود. بنابراین سیستم‌هایی‌که از سوخت زغال سنگ استفاده می کنند، باید به یک سیستم DeNOx مجهز شوند.

بر طبق نظریه‌های Chaple (1999) قرار دادن واحد جداسازی SO_x از دود نسبت به از دست رفتن حلال ارزان تر است. در چنین سیستمی میزان SO_2 به ۱۰ ppm رسانده می‌شود که شاید با روشهای معمول سولفورزدایی امکان پذیر نباشد. یک اسکرابر اسپری که با سود یا کاستیک سودا کار می کند می‌تواند میزان So_x را به کمتر از ppm ۱۰۰ برساند.

همچنین اکسیژن باعث تخریب حلال و ایجاد خوردگی در کربن استیل می شود. بنابراین مقداری مواد افزودنی جهت کاهش تخریب حلال و به حداقل رساندن خوردگی نیاز است. دود خروجی باید دارای ۱/۵٪ اکسیژن باشد تا جهت فعال کردن inhibitor در این سیستم موثر واقع شود.

به هر حال سیستم جذب شیمیایی جهت بازیافت CO_2 در مقیاس‌های بسیار وسیع هنوزطراحی دقیق نشده است. مهمترین چالش پیش رو، انرژی مورد نیاز جهت بازیافت CO_2 می‌باشد. به منظور بازیافت CO_2، به میزان ۹۰٪، 4GJ بخار به ازای هر تن CO_2 مورد نیاز است. یکی دیگر از مشکلات، مصرف بالای حلال و بالا بودن هزینه ساخت و نصب می‌باشد. با توسعه و بررسی حلالهایی که میزان بیشتری CO_2را جذب می‌کنند (high loading) و نیز میزان انرژی کمتری جهت آزاد سازی نیاز دارند (low binding enthalpy).

مقدار بخار مصرفی تا حد زیادی کاهش می‌یابد. ارتقاء سطح ریبویلر و کاهش افت فشار در پکینگ های ابزوبر نیز می تواند انرژی مورد نیاز را کاهش دهند. (همچنین هزینه های عملیاتی (operating حلالهای جدید بر ای آمینهای شاخه دار پیچیده (KS1) که به صورت تجاری در دست می باشد در خط تولید 200TPD در مالزی بکار گرفته شده است و با رویکرد کاهش انرژی عمل می کند. این حلال در نیروگاه Nanko در ژاپن جهت بازیافت دود حاصل از سوخت زغال سنگ به کار گرفته شده است KS-1 به میزان حلال در چرخش پایین‌تری نیاز دارد، به دلیل آنکه CO_2 (میزان اختلاف CO_2 بکارگیری شده در حلال سنگین و حلال سبک) نسبت به MEA بیشتر است. همچنین به دمای کمتری جهت احیا نیاز دارد و انرژی پیوند آن با CO_2، ۱۵-۱۰٪ کمتر از MEA است. TNO-MEP اخیراً از نمکهای آبکی آمینواسیدها به عنوان حلال استفاده کرده که به دلیل جذب CO_2 ایجاد رسوب می‌کنند. بر اساس مطالعات TNO-MEP میزان انرژی مورد نیاز در قیاس با MEA، ۴۵٪ کاهش می‌یابد. به

دلیل میزان loading بالا هزینه سوخت (capex) می تواند با به کار گیری مواد دیگر جهت ساخت ابزوربر، شستشوی دود، کاهش سایز ایزوبر و نیز بکارگیری افزودنی هایی جهت کاهش خوردگی کاهش یابد. همچنین می توان capex را با قرار دادن یک استریپر و چندین ایزوربر، کاهش داد. گفتنی است کاهش میزان بخار مصرفی باعث پایین آمدن capex شود زیرا سایز ریبولیر و اورهد کندانسور کوچکتر می‌گردد. استفاده از تماس دهنده های غشایی، آنها را جهت استفاده در فرآیندهای گاز طبیعی مناسب می‌سازد اما به هر حال میزان انرژی مصرفی و مصرف حلال و نیز تخریب آن کاهش یافته و مشکلات ناشی از کف کردن، یا فرار حلال از سر ابزوربر Entrainment بسیارناچیز می گردد.این کنتاکتورها در نروژ و ژاپن به صورت آزمایشی در دست بررسی می باشند.

۲-۴- انتقال CO_2

انتقال مقادیر عظیم CO_2 می تواند به کمک لوله و یا تانک صورت گیرد. لوله های انتقال CO_2 و یا تانکر شبیه لوله های فشار قوی انتقال گاز طبیعی و یا تانکر LPC می باشند. CO_2 می‌تواند در حد تجاری جهت ازدیاد برداشت نفت CO_2 -EOR مورد استفاده قرار گیرد. جهت ظرفیت ۴۵ Mt/yr نیاز به ۳۱۰۰ کیلومتر لوله می باشد که در US مورد مطالعه و بررسی قرار گرفته است. برخی از این لوله ها از سال ۱۹۸۰ در حال کار هستند. CO_2 با فشار ۱۴۰-۱۲۰ بار، در این لوله ها در حال جریان است. مواد مورد استفاده معمولاً کربن استیل می باشد، اما مواد دیگر نظیر استیل با ۱۳٪ کرم، آلیاژهایی با درصد استیل بالا می تواند مورد استفاده قرار گیرد که نسبت به خوردگی تحمل بالایی دارند. جریان گاز عبوری ممکن است حاوی مقادیری از آب و یا H_2S باشد که خورنده می باشند، که بستگی به فرایند رطوبت زدایی قبل از ورود به لوله ها دارد. آزمایشات و مطالعات نشان می دهد که میزان سرعت خوردگی در دمای ۳۰ درجه سانتیگراد، کمتر از ۰/۱ mm/y (همراه با افزودنی های خوردگی) می باشد.

شدیدترین ریسکی که در انتقال CO_2 در لوله ها ممکن است اتفاق افتد، شکستگی یا ترکیدگی لوله ها در طول مسیر می باشد که باعث آزاد شدن CO_2 می شود که می تواند برای کسانی که در مجاورت لوله ها قرار دارند، کشنده باشد. در خط لوله های CO_2 در آمریکا از سال ۱۹۹۰ تا ۲۰۰۱، ۱۰ حادثه رخ داد که هیچ کدام منجر به مرگ و میر نشده است. میزان تصادفات و فرکانس آنها بر حسب کیلومتر در سال گزارش شده است. میزان این وقایع شامل ۳۵٪ ناشی از تنشهای خارجی، ۳۲٪ خوردگی و شکستگی، ۱۳٪ تخریب از محل جوش، ۳٪ اشتباهات ناشی از عملکرد اپراتور و ۱۷٪دیگر اتفاقات می‌باشد. از آنجا که CO_2 قابل انفجار و یا آتش سوزی نیست. صدمات ناشی از آن نسبت به دیگر گازها نظیر گاز طبیعی کمتر است. تفاوت دیگر CO_2 با گاز طبیعی آنست که سنگین تر از هوا بوده و می تواند در سطح پایین تر جمع شده و ایجاد خفگی کند زیرا CO_2 می تواند در منافذ و روزنه‌ها جمع شود.

جهت جلوگیری از چنین اتفاقاتی می توان در طول مسیر لوله، والوهای کنترلی قرار داد که هنگام هر حادثه جریان گاز را قطع کند.ایمن ترین فاصله جهت انتقال، مقدار ۲۵۰ تن در ساعت مایع CO_2، در فشار ۶۰ بار می باشد. شیر اطمینان باید در فواصل ۱۵۰ تا ۶۰۰ متر در یک مسیر ۳ کیلومتر قرار گیرند. تانکرهای CO_2 می‌توانند، CO_2 را از منابع مختلف جمع آوری کرده و به مصرف کنندگان متعدد برساند. معمولاً مخازن ۱۵۰۰ مترمکعب موجود هستند و می تواند CO_2 را با فشار نقطه سه گانه منتقل کند. و طراحی و ساخت مخازن بزرگتر ۲۰۰۰۰ مترمکعب، جهت مصرف CO_2 برای EOR در دست مطالعه هستند که می‌توان به نکات ذیل اشاره کرد.

۱- جهت انتقال CO_2 روشهای پیشرفته وجود دارد.

۲- انتقال CO_2 با کشتی که می‌توان مقادیر عظیمی از CO_2 را با شرایط متعادل جابجا کرد.

۳- چالش پیش رو ناخالصی های موجود در گاز است که ممکن است باعث خوردگی تجهیزات شود.

۴- مهمترین ریسک شکستگی لوله هاست اما در مقایسه با گاز طبیعی شرایط مناسبتری جهت CO_2 پیش بینی می شود.

۲-۵- ذخیره CO_2 در منابع زیر زمینی

تکنولوژی ذخیره CO_2 در مخازن زیر زمینی، تکنولوژی کاملاً جوانی است و تجربیات عملیاتی در این مورد بسیار کم می باشد. اما تجربیات متنوعی جهت تزریق انواع گازها نظیر CO_2 گاز طبیعی و یا گازهای اسیدی به مخازن زیر زمینی وجود دارد. در آمریکا به منظور افزایش برداشت نفت در چند دهه اخیر، CO_2 در مقادیر عظیم به چاههای نفت تزریق می شود. در کانادا، گازهای اسیدی از گازهای طبیعی جدا شده و به ذخایر زیر زمینی تزریق می شود. دیگر راههایی که جهت ذخیره CO_2 وجود دارد، تزریق به کف اقیانوسها می‌باشد اما تا کنون اجرایی نشده است. تنها هدف جهت این تزریق کاهش گاز گلخانه ای و غلظت CO_2 در اتسمفر است. برخی ایده ها نظیر تبدیل CO_2 به مواد معدنی، نیز جهت مصرف CO_2 وجود دارد که در این موارد برخی مواد فاقد کلسیم یا منیزیم سیلیکات با CO_2 وارد واکنش می شود تا تشکیل کربناتهای پایدار بدهد. این واکنش گرمازاست. اما در شرایط عادی بسیار کند است که با بهبود شرایط واکنش، سرعت واکنش می تواند افزایش پیدا کند و مقادیر عظیمی از CO_2 را به مواد معدنی تبدیل کرد.

۲-۶- سیستم های تزریق

با استفاده ازتکنیکهای موجود در صنایع نفت و گاز می‌توان شرایط را برای تزریق CO_2 فراهم کرد. اصول آن مشابه تزریق آب به چاهها می‌باشد، البته برخی مشکلات را در نظر گرفت که CO_2 ماهیت خورنده دارد، و نیز اینکه CO_2 در فشار خیلی بالا تزریق می‌شود. مهمترین ریسک جهت انتقال و تزریق CO_2 خرابی چاه نفت می‌باشد که در مقایسه با آب، CO_2 از دانسیته بیشتری برخوردار بوده و به راحتی به پایین جریان نمی یابد. به دلیل ظرفیت پایین معمولاً عملیات تزریق به راحتی صورت نمی گیرد جهت کنترل وضعیت چاه نفت و یا مخزن ذخیره زیرزمینی نیازمند کنترل دقیق شرایط در حین و بعد از تزریق می باشد. اگر در حین تزریق CO_2، میزان CO_2 آزاد شود باعث خطراتی جهت اپراتور می شود. با قرار دادن یک سری والو می توان در حین هرگونه عملیات اضطراری با باز و بسته کردن والو جریان قطع شود.

۳- نتیجه گیری و جمع‌بندی

۳-۱ بررسی فناوری بازیافت گازکربنیک

ویژگیهای تکنولوژی ماشین سازی گازکربنیک شهرکرد برای بازیافت گازکربنیک و امتیازات آن نسبت فناوریهای متداول در دنیا:

هر خط تولید و یا بازیافت CO_2 که در دنیا ساخته میشود عموما دارای چهار بخش اصلی است:

۱- بخش ایجاد یا استحصال گاز CO_2

۲- بخش تراکم گاز CO_2

۳- بخش رطوبت گیری و خشک کن گاز CO_2

۴- بخش میعان و ذخیره سازی مایع CO_2

فناوری ماشین آلات ساخت گاز کربنیک شهرکرد، در هر ۴ بخش اصلی فوق ، نسبت به ماشین آلات متداول در دنیا، دارای تفاوت هائی بنیادی است. این تفاوتها که حاصل سالها تحقیقات و آزمایش بر روی سیستم های تولید و فرآوری گاز CO_2 بوده است با اهداف بسیار مهم زیر انجام شده است:

۱- کاهش مصرف برق

۲- کاهش مصرف آب

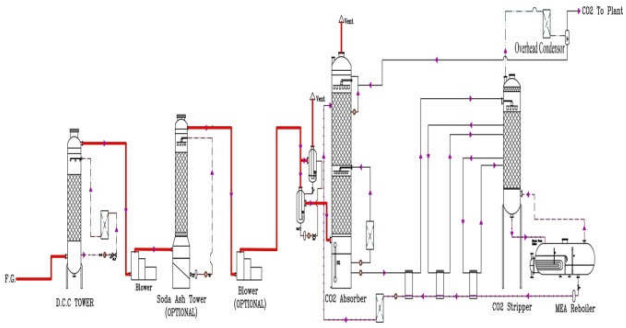
۳- ایجاد تکنولوژی بومی

حاصل این فعالیت در مدت بیش از ۲۷ سال، دست یابی به تکنیک های تولید CO_2 با۵۰ درصد کاهش مصرف برق نسبت به بهترین نمونه های اروپائی و آمریکائی، ۳۰ درصد کاهش در مصرف آب و نیز دست یابی به سیستم ها و قطعات ساده و ارزان برای بهره برداری و نگهداری از ماشین آلات بوده است.

در اینجا هر یک از بخشهای چهارگانه فوق ، به صورت مقایسه فناوریها با یکدیگر شرح داده می شود.

۳-۱-۱ بخش ایجاد یا استحصال گاز CO_2

در این قسمت گاز CO_2 از جریان دود پالایش می شود. برای جدا سازی CO_2، از حلّال های گوناگون استفاده می شود که در بین آنها منواتانول آمین برای فشار جزئی پائین CO_2 در ابزوربر، بهترین حلّال است. سایر حلّالهای مورد استفاده مثل دی اتانول آمین و تری اتانول آمین و نیز حلّالهای ترکیبی مثل FG-PLUS , KS1 هر کدام دارای امتیازات و نیز اشکالاتی است. در صورت پائین بودن غلظت اکسیژن در دود، تقریباً تمام سازندگان ماشین آلات در دنیا ترجیح می دهند که از حلّال منواتانول آمین استفاده کنند. اگرچه در روشهای متداول در دنیا لازم نیست که برای استحصال CO_2 از پس ماند حرارت در واحدهای مورد بازیافت و یا حداکثر از بخار تولیدی آنان ازحلّال جاذب استفاده کرد ، اما در ماشین آلات گاز کربنیک شهرکرد به منظور افزایش درجه خلوص گاز CO_2 و همچنین بالا بردن فشار گاز CO_2 با استفاده از از پس ماند حرارت در واحدهای مورد بازیافت و یا حداکثر از بخار تولیدی آنان، همچنان از حلّال جاذب استفاده می شود . در این بخش، گازکربنیک شهرکرد توانسته است با تغییراتی در سیستم های ریبویلر MEA و نیز افزایش سطح انتقال حرارت آن به منظور کاهش فلوی حرارتی، فشار ریبویلر را افزایش دهد. این فشار که در همه خطوط تولید در دنیا به حدود ۱۰^{Psi} محدود می شود در خط تولید ساخت شهرکرد به راحتی می تواند تا ۸۰^{Psi} افزایش یابد. از آنجا که فشار ریبویلر MEA در واقع همان فشار مکش کمپرسور است بنابراین نسبت تراکم کمپرسورها کاهش یافته و مصرف برق آنها کم می شود. همچنین گاز خروجی از استریپر توسط مبدل هوائی خنک می شود که تاثیر بسزائی در کاهش مصرف آب درکولینگ تاورها خواهد داشت. علاوه بر آن با سرمایه گذاری بیشتر بر روی خنک کاری محلول منو اتانول آمین تا ۳۸ درجه سانتیگراد ، میزان تبخیرآب و منواتانول آمین در ابزوربر کاهش یافته و به این ترتیب وزن آب ورودی به سیستم که همراه دود می باشد با بخار آب خروجی از ابزوربر برابر می شود ،که نه تنها در مصرف آب صرفه جوئی می شود، بلکه از مشکلاتی مثل رسوب گرفتن سیستم و یا کف کردن MEA نیز جلوگیری می‌شود.



شکل (۱) نقشه طراحی Plant- (PFD)

۳-۱-۲ بخش تراکم گاز CO_2

تقریباً تمام سازندگان ماشین آلات در دنیا برای تراکم گاز CO_2 از کمپرسورهای دو مرحله ای با نسبت تراکم بین ۳ تا ۴ در هر مرحله استفاده می کنند. فشار مکش معمولاً حدود ۵ تا ۱۰^{Psi}و فشار خروجی حدود ۲۵۰ تا ۳۰۰^{Psi} می باشد. کمپرسورها باید از نوع اویل فری (OIL FREE) با رینگ های تفلونی باشد. قطعاتی از کمپرسور که با گاز CO_2 مرطوب تماس پیدا می کند، معمولاً از جنس استیل ۳۰۴ یا ۳۱۶ ساخته می‌شود. در فناوری ماشین سازی گاز کربنیک شهرکرد با افزایش فشار مکش به ۸۰^{Psig} که به دلیل افزایش فشار ریبویلر

MEA صورت می گیرد و نیز کاهش فشار خروجی کمپرسور به ^{bar} ۱۲ (^{Psig} ۱۷۵) که به دلیل استفاده از سیستم جذبی آمونیاکی قابل دست یابی است، می توان از کمپرسور یک مرحله ای و آن هم با نسبت تراکم ۲ استفاده کرد و به این ترتیب مصرف برق کمپرسور به نحو قابل ملاحظه ای کاهش می یابد. سرمایه گذاری بر روی مبدلهای خنک کننده گاز نیز به این امر کمک کرده است.

۳-۱-۳ بخش رطوبت گیری و خشک کن گاز CO_2

در همه خطوط تولید خارجی، تکنولوژی خشک کن CO_2 بر مبنای استفاده از مواد جاذب رطوبت مثل « سیلیکاژل»، «آلومینا» و یا «مولکولارسیو» استوار است. تقریباً همه سازندگان ماشین آلات در دنیا ، یکی از این سه نوع ماده جاذب الرطوبه استفاده می‌کنند. احیای این مواد نیز به کمک المان حرارتی و با تزریق بخشی ازگاز CO_2 تولیدی صورت می گیرد. در حدود ۵ درصد از گاز تولید شده باید برای احیای مخازن خشک کن مصرف شود. در تکنولوژی ابداعی ماشین سازی گاز کربنیک شهرکرد در بخش رطوبت گیری، از هیچ نوع ماده جاذب رطوبت استفاده نمی شود. این خشک کن ها بصورت تبریدی کار می کنند اما نکته جالب در مورد آنها این است که فرآیند تبرید دردرایر ،توسط مایع گازکربنیک تولید شده در خود کارخانه انجام میگردد. گاز CO_2 قبل از مایع شدن وارد یک مبدل لوله ای بسیار بزرگ می شود.

که در داخل تیوب های آن مایع CO_2 با فشار ^{bar} ۱۲ و دمای ۳۴- درجه سانتیگراد قرار دارد. گاز CO_2 در تماس با سطح لوله های سرد به دمای۳۳- درجه سانتیگراد می‌رسد و رطوبت موجود در آن، بصورت برفک در سطح لوله های سرد باقی می ماند. درایر به صورت دوبلکس است و هر ۱۲ساعت یکبار به کمک المانهای الکتریکی بسیار کوچکتری نسبت به انواع متداول، احیا می‌شود. در این سیستم در واقع گاز CO_2 قبل از میعان، با مایع اشباع نظیر فشار خود ، تقریباً هم دما می‌شود و به این ترتیب میزان رطوبت موجود در آن به حدود ^{ppm} ۲۰ (قسمت در میلیون) می رسد که معادل نقطه شبنم ۵۵- درجه سانتیگراد است که بر اساس استاندارد ISBT برای مصرف در صنایع نوشابه سازی مناسب است. به این ترتیب درایر ساخته شده توسط ماشین سازی گاز کربنیک شهرکرد نسبت به همه انواع خارجی دارای تفاوتها و امتیازات مهمی است:

- از هیچ نوع ماده جاذب استفاده نمی‌کند
- برای احیا نیاز به فید بک گاز CO_2 (یا هوای خشک) ندارد
- مصرف انرژی آن برای احیا بسیار کمتر است

۳-۲- مصرف انرژی

مقایسه میزان مصرف انرژی در واحد بازیافت گازکربنیک شهرکرد و شرکتهای مهم دنیا در زیر ارائه شده است:

۱. میزان مصرف انرژی در واحد بازیافت گاز کربنیک (فلوردانیل آمریکا) :
۱.۸Ton steam/ Ton CO_2
۲. میزان مصرف انرژی در واحد بازیافت گاز کربنیک (میتسوبیشی ژاپن) :
۱.۲۲Ton steam/ Ton CO_2
۳. میزان مصرف انرژی در واحد بازیافت گاز کربنیک (شهرکرد):
۱.۱۵ Ton steam/ Ton CO_2

همچنین نوآوریهای این طرح به شرح ذیل می‌باشند:

۱. استفاده از حرارت دود برای میعان گاز کربنیک تولیدی
۲. تعویض محلول MEA هر دو هفته یک بار
۳. بالا بودن فشار ریبویلر MEA جهت کاهش مصرف برق
۴. خشک کن تبریدی با استفاده از مایع CO_2
۵. مخزن تعویض دود
۶. ستون خالص کننده CO_2
۷. پمپ و مبدل اکسترنال برای ابزوربر CO_2

۳-۳- پیشنهادها

همانطور که گفته شد با توجه به اینکه امروزه در کلیه مخازن نفتی دنیا از جمله ایران به‌دلیل استخراج بی‌رویه فشار مخازن رو به کاهش

می‌گذارد (Irawan, 2012) راندمان برداشت نیز به مراتب سیری نزولی را طی خواهد کرد که از این جمله می‌توان به موارد زیر اشاره کرد :

- ۸۰٪ از مخازن تولید نفت کشور در نیمه دوم عمر خود به سر می برند.
- افت تولید نفت در میدان نفتی اهواز (این میدان یک چهارم تولید نفت کشور را در بر دارد.)
- کاهش تولید نفت در میدان نفتی مارون از ۹۲۰ هزار بشکه به ۴۰۰ هزار بشکه.

در اینصورت کاهش برداشت ادامه خواهد داشت مگرآنکه نفت استخراجی با جریان سیال دیگری جایگزین گردد.
(Javeed, 2012& ,Amjad, Munawar)

روش ازدیاد برداشت نفت توسط تزریق CO_2 یا به عبارت دیگر (CO_2 Enhanced Oil Recovery) تکنولوژی کاملا شناخته شده‌ای است که در ایالات متحده بصورت گسترده مورد استفاده قرار گرفته است که همانطوریکه در مقدمه اشاره شد تزریق CO_2 مزیت‌های بسیار زیادی را نیز به دنبال خواهد داشت. اما نگاهی به پروژه‌های انجام شده در امریکا نشان میدهد که انجام CO_2-EOR مستلزم چه عملیاتی است:

درحال حاضر در آمریکا صنایع نفت و گاز بر روی ۱۳۰۰۰ چاه نفت از به روش CO_2- EOR فعالیت می کنند که در آن:

۳۵۰۰ مایل لوله های حاوی CO_2 با فشار در حدود ۲۰۰ بار.

و

۶۰۰ میلیون تن در سال CO_2 به چاه نفت تزریق می شود

و

در حدود ۲۴۵۰۰۰۰ بشکه نفت درسال از این طریق تولید می شود.

این آمار به ۲نکته بسیار مهم در انجام این پروژه‌ها اشاره دارد :

۱- حجم بسیار زیادی از CO_2 جهت تزریق به مخازن نفتی:

ایجاد تکنولوژی بومی بازیافت و در دست داشتن تکنیک‌های جمع آوری CO_2 نکته اصلی و نقطه شروع این پروژه‌ها می‌باشد. با توجه به نیاز مبرم به حجم بالای CO_2 در پروژه‌های EOR میتوان عملیات بازیافت را به چند صورت تحقق بخشید :

- طراحی و ساخت دستگاه بازیافت با ظرفیت‌های بالاتر(Scale up).
- ایجاد چندین Plant در نیروگاه‌ها و یا واحدهای پتروشیمی مختلف.
- انجام پروژه‌های موازی بازیافت با ظرفیت‌های کمتر در یک Plant.

که با این تدابیر می‌توان مقادیر مورد نیاز CO_2 را جهت انجام عملیات CO_2- EOR تامین نمود.

۲- انتقال CO_2 بازیافت شده به محل مخزن و تراکم گاز (Gas Compression):

پس از آماده کردن حجم مورد نیاز از گاز CO_2، مسئله انتقال به محل مخزن و فشرده‌سازی گاز تا نزدیکی فشار مخزن (در حدود 200bar) را شامل می‌گردد.

که همه این موارد با شناسایی مخازن رو به کاهش فشار و همچنین تعیین نزدیکترین نیروگاه‌ها و واحدهای پتروشیمی جهت انجام عملیات بازیافت و مطالعات دقیق بر روی انتقال گاز و مسیرهای انتقال و همچنین تراکم و تزریق گاز CO_2 به مخازن بصورت بهینه انجام خواهد پذیرفت.

بنابراین با انجام این پروژه‌ها می‌توان هم از لحاظ استحصال گازکربنیک و جلوگیری از آلودگی محیط زیست و کمک به انجام تعهدات کشور در قبال سازمان محیط زیست جهانی(WEO) و هم از لحاظ اقتصادی و استفاده از CO_2 بازیافت شده در صنایع مختلف کشور و همچنین جهت تزریق به مخازن و ازدیاد برداشت نفت(EOR)، کمک‌های شایانی ارائه نمود .

۴- تقدیر و تشکر

در پایان وظیفه دارم از زحمات بی شائبه آقای مهندس بهروز سلیمی مدیرعامل محترم شرکت ماشین‌سازی گازکربنیک شهرکرد آقای مهندس احمد کاویانی مدیر طراحی شرکت ماشین‌سازی گازکربنیک شهرکرد و سرکار خانم مهندس صفیه کریمی واحد R&D شرکت ماشین‌سازی گازکربنیک شهرکرد به خاطر همفکری‌ها و راهنمایی‌هایی که داشته اند، تشکر نمایم. همچنین، پیشاپیش از اساتید و مؤلفان محترم که نشریه را در ارتقای کیفی آن یاری می‌کنند، سپاسگزارم.

۵- مراجع

[۱] اسکندری, م. (۱۳۸۵, ۴ ۱۷). **آشنایی با برج های خنک کننده و عملکرد آنها**. شرکت پتروشیمی امیرکبیر .

[۲] باغمیشه م .غ ،درستی م .ر&،زاده م .م .(۱۳۸۳) .**مرجع کامل شبیه سازی فرایندهای پایا با HYSYS**. تهران :اندیشه سرا.

[۳] کاویانی ا.(۱۳۸۴) .**آب بند کننده ها** .شرکت گاز کربنیک شهرکرد

[۴] کاویانی, ا. (۱۳۸۵). **تعمیر و نگهداری کمپرسورها**. شرکت گازکربنیک شهرکرد.

[۵] کاویانی ا .(۱۳۸۰) .**مبانی پمپ ها** .شرکت گازکربنیک شهرکرد.

[۶] انتشارات گاز کربنیک شهرکرد .**آنچه باید درباره گاز کربنیک بدانیم**.

[۷] کاویانی, م. ا. (۱۳۹۱). **مبانی طراحی کمپرسورها**. تهران: انتشارات نصیر بصیر.

[۸] Jessen, K., kovscek, A., &jr.F.M., O. (2005). Increasing CO< sub> 2</sub> storage in oil recovery. EnergyConversion andManagement 46, 293-311.

[۹] Amjad, B., Munawar, D., & Javeed, M. (2012). Paper presented at: Carbon Management Technology Conference.

[۱۰] API 653, A.-B. T. (1998). NOVEMBER 1998, ADDENDUM 1, JANUARY.

[۱۱] ASHRAE Handbook, Equipment Volume. (1983).

[۱۲] Faltinson, J. a. (2011). Net CO2 Stored in North American EOR Projects. Journal of Canadian Petroleum Technology 50, 55-60.

[۱۳] Greene, D. a. (2011). Reducing greenhouse gas emissions from US transportation. (Pew Center on Global Climate Change Washington, DC)..

[۱۴] Irawan, F. I. (2012). A Unique Opportunity for Liquid Carbon Dioxide as an Enhanced Oil Recovery Method. Energy Sources. Part A: Recovery, Utilization, and Environmental Effects 34, 654-661.

[۱۵] Kohl, A., & Nielsen, R. (1997). Gas Purification.