سال سوم، شماره اول، تابستان ۱۳۹۵، ص ص ۶۴ - ۷۰
فصل‌نامه علمی – ترویجی انرژی‌های تجدیدپذیر و نو
renemag.ir

مقاله
تاریخ دریافت: ۱۳۹۴/۰۴/۳۰
تاریخ پذیرش: ۱۳۹۴/۰۶/۲۸

چرخه کرایوژنیکی جداسازی دی اکسید کربن از محصولات احتراقی نیروگاه‌های حرارتی

محمد امین صادقی[۱]، مصطفی مافی[۲*]

۱- فارغ التحصیل کارشناسی ارشد مهندسی مکانیک- تبدیل انرژی، دانشگاه بین المللی امام خمینی(ره)
۲- استادیار گروه مهندسی مکانیک، دانشگاه بین المللی امام خمینی(ره)
*قزوین، کدپستی ۳۴۱۴۸-۹۶۸۱۸، m.mafi@eng.ikiu.ac.ir

چکیده

پیش‌بینی‌ها حاکی از این است که دمای کره زمین تا پایان قرن بیست و یکم حدود ۱/۴ الی ۵/۸ درجه سانتیگراد افزایش می‌یابد. این گرمایش ناشی از تولید و انتشار گازهای گلخانه‌ای نظیر دی‌اکسید کربن در جو زمین است. سهم دی‌اکسید کربن در میان گازهای گلخانه‌ای در گرمایش زمین، ۵۵٪ تا ۶۷٪ است و بخش نیروگاهی با سهم ۲۴٪ در مقایسه با سایر بخش‌های صنعتی و ساختمانی، پیشتاز صنایع آلاینده می‌باشد. امروزه روش‌های مختلف به منظور جمع‌آوری و ذخیره‌سازی دی‌اکسید کربن و جلوگیری از انتشار آن در جو زمین، مطرح شده‌اند. یکی از راه‌کارهای مطرح شده در نیروگاه‌های حرارتی مجاور با مخازن زیرزمینی نفت و گاز، جداسازی دی اکسید کربن از محصولات احتراقی دودکش و تزریق آن مخازن به منظور ذخیره‌سازی بلند مدت در بسترهای زیرزمینی است. تزریق دی‌اکسید کربن به این مخازن، سبب ازدیاد برداشت علی‌الخصوص در بسترهای رو به اتمام خواهد شد. ، در این مقاله، چرخه کرایوژنیکی جداسازی و جمع‌آوری دی اکسید کربن از محصولات احتراق در نیروگاه‌های حرارتی معرفی می‌شود. در روش پیشنهادی در این مقاله، دی‌اکسید کربن پس از جداسازی به مخازن زیرزمینی جهت افزایش برداشت تزریق می‌شود. نتایج مدلسازی بیانگر این موضوع است که توان مصرفی این چرخه جداساز نسبت به توان تولیدی کل نیروگاه، حدود ۲٪ می‌باشد.

کلیدواژگان: جداسازی دی اکسید کربن، چرخه کرایوژنیکی، نیروگاه حرارتی

Cryogenic carbon dioxide capturing cycle from combustion product of thermal power plants

Mohammad Amin Sadeghi, Mostafa Mafi*

Department of Mechanical Engineering, Imam Khomeini International University, Qazvin, Iran
* Postal code: 34148– 96818, Qazvin, Iran, m.mafi@eng.ikiu.ac.ir
Received: 21 July 2015, Accepted: 19 September 2015

Abstract

Predictions suggest that global temperatures by the end of the twenty-first century will increase by 1.4 to 5.8 °C. The contribution of carbon dioxide in world global warming is about 55% to 67%. The power sector with a share of 24% is leading industrial pollutants. Todays, collection and storage of carbon dioxide is an important issue in environmental issues. Based on the foregoing, this study attempted to capture carbon dioxide emissions from the flue gas of a typical combined cycle power plant and to store it in oil reservoirs. In this paper, cryogenic carbon dioxide capturing cycle from flue of thermal power plat is first introduced and then, this cycle will be adapted with hydrocarbon's wells in order to CO_2 storing and increase oil gaining. The results show that power consumption of the capturing cycle is about 2% of total power of thermal plant.

Keywords: Co_2 capturing, Cryogenic cycles, Thermal power plant

۱- مقدمه

آنچه این روزها از آن به عنوان گرمایش جهانی نام برده می‌شود، در حقیقت افزایش میانگین درجه حرارت زمین در نزدیکی سطح آن است. تحقیقات دانشمندان نشان می‌دهد در طول صد سال گذشته، میانگین دمای هوا در نزدیکی سطح زمین بین ۰/۱۸ تا ۰/۷۴ درجه سلسیوس افزایش یافته است. افزایش مشاهده شده در درجه حرارت متوسط جهانی از اواسط قرن بیستم، به دلیل افزایش غلظت گازهای گلخانه‌ای در جو زمین است. پیش‌بینی‌های مجمع بین‌المللی تغییرات اقلیمی (IPCC) حاکی از این است که تا پایان قرن بیست و یکم میانگین، دمای زمین ۱/۴ الی ۵/۸ درجه سلسیوس افزایش خواهد یافت[۱].

گاز گلخانه‌ای به گازی گفته می‌شود که در محدوده مادون قرمز به جذب و انتشار پرتوها می‌پردازد. زمانی‌که نور خورشید به سطح زمین می‌رسد، مقداری از آن جذب شده و زمین را گرم می‌کند. چون زمین از خورشید سردتر است، انرژی گرمایی را با طول موج‌های بلندتری نسبت به امواج خورشید، از خود باز می‌تاباند. مقداری از این انرژی تابشی، به‌وسیله گازهای گلخانه‌ای در جو زمین جذب می‌شوند. گازهای گلخانه‌ای، این انرژی تابشی را هم به سمت سطح زمین و هم به سمت خارج از سطح زمین می‌تابانند. به فرایند بازتابش این انرژی به سمت سطح زمین که توسط جو انجام می‌شود، اثر گلخانه‌ای می‌گویند. بخار آب، دی‌اکسید کربن، متان، و ازن موثرترین گازهای گلخانه‌ای طبیعی موجود در جو زمین هستند. بدون این گازهای گلخانه‌ای، میانگین دمای سطح زمین حدود ۱۵ درجه سلسیوس سردتر از میانگین حاضر خواهد شد. لازم به ذکر است که گازهای گلخانه‌ای موجود در جو زمین فقط محدود به موارد فوق‌الذکر نیستند که به عنوان مثال می‌توان به اکسید نیتروژن، هگزا فلوراید گوگرد، هیدروفلوروکربن‌ها، پرفلوروکربن‌ها و کلروفلوروکربن‌ها اشاره کرد. اجزای اصلی جو یعنی نیتروژن و اکسیژن، گازهای گلخانه‌ای نیستند، زیرا مولکول‌های دوتایی با هسته‌های یکسان، تشعشع فروسرخ را نه جذب می‌کنند و نه منعکس می‌کنند، در نتیجه هیچ تغییر شبکه‌ای در گشتاور دوقطبی در این مولکول‌ها رخ نمی‌دهد [۱].

متاسفانه در یکصد سال اخیر، فعالیت‌های بشری سبب افزایش غلظت گازهای گلخانه‌ای در جو زمین شده است. استفاده روزافزون از سوخت‌های فسیلی، اصلی‌ترین دلیل افزایش غلظت این گازها در جو و در نتیجه گرمایش زمین می‌باشد. گزارش‌ها حاکی از آن است که ۱۰ مورد از گرم‌ترین سال‌های زمین، تنها از سال ۱۹۹۰ تا سال ۲۰۰۷ به ثبت رسیده‌اند که طی ۱۵۰ سال گذشته بی‌سابقه است. محققان سهم دی اکسید کربن را در گرمایش زمین ۵۵٪ تا ۶۷٪ می‌دانند و این در حالی است که روز به روز بر میزان انتشار آن در جو افزوده می‌شود. تنها در سال ۲۰۱۳ به میزان ۷۷۸ میلیون تن به حجم گاز دی اکسید کربن موجود در جو افزوده شده است. نتایج جدیدترین تحقیقات بیانگر این موضوع است که دی‌اکسید کربن تولیدی ناشی از فعالیت‌های انسانی، اصلی‌ترین دلیل افزایش دمای زمین می‌باشد[۲].

در حال حاضر، سه کشور آمریکا، چین و هندوستان بیشترین سهم در تولید دی‌اکسید کربن را به خود اختصاص داده و به‌تبع، بیشترین سهم را در افزایش دمایش کره زمین داشته‌اند. براساس آمارهای جهانی، تنها ۲۴ کشور از میان دویست کشور دنیا در سال گذشته توانسته‌اند روند تولید گازهای آلاینده خود را کنترل کرده و به رشد منفی برسانند. این در حالی است که هنوز در هر ثانیه نزدیک به ۳ میلیون کیلوگرم دی اکسید کربن در سراسر دنیا تولید می‌شود[۲].

در سال ۱۹۹۷، سازمان ملل متحد، اجلاسی را در شهر کیوتوی ژاپن برگزار کرد. نتیجه این اجلاس تنظیم معاهده‌ای در مورد کاهش گازهای گلخانه بود (پیمان کیوتو). بر اساس این پیمان‌نامه، کشورهای توسعه یافته ملزم شدند که میزان خروج گازهای گلخانه‌ای خود را تا سال ۲۰۱۲ میلادی تا ۵/۲ درصد کاهش دهند. مبنای این کاهش، میزان تولید گاز گلخانه‌ای در سال ۱۹۹۰ در آن کشورها بود. جدول ۱، فهرست برآورد تولید دی اکسید کربن در نوزده کشور اول آلاینده صنعتی دنیا را ارائه می‌دهد. این اطلاعات توسط کمیسیون محیط زیست اتحادیه اروپا و با همکاری آژانس ارزیابی محیط زیست هلند در سال ۲۰۱۲ ارائه شده است[۲].

جدول ۱ میزان تولید دی اکسید کربن در نوزده کشور اول آلاینده صنعتی دنیا [۲]

نام کشور	تولید سالانه برحسب تن	تولید سرانه (کیلوگرم به ازاء هر نفر)
چین	9,860,000	7.1
ایالات متحده آمریکا	5,190,000	16.4
هندوستان	1,970,000	1.6
روسیه	1,770,00	12.4
ژاپن	1,320,000	10.4
آلمان	810,000	9.7
کره جنوبی	640,000	13.0
کانادا	560,000	16.0
انگلستان	490,000	7.7
مکزیک	490,000	4.0
اندونزی	490,000	2.0
عربستان سعودی	460,000	16.2
برزیل	460,000	2.3
استرالیا	430,000	18.8
ایران	410,000	5.3
ایتالیا	390,000	6.3
فرانسه	370,000	5.8
آفریقای جنوبی	330,000	6.3
هلند	320,000	6.3
سایر کشورهای دنیا	34,500,000	4.9
حمل و نقل جهانی	1,060,000	—

نیروگاه‌های تولید برق، حمل و نقل جاده‌ای و استفاده از اتومبیل، کامیون و اتوبوس برای حمل و نقل مسافری و بار و مجتمع‌های تولید نفت و گاز، به ترتیب سه منبع عمده تولید گازهای گلخانه‌ای در سطح دنیا قلمداد می‌شوند. همانطور که در جدول ۱ ملاحظه می‌گردد، ایران در رده پانزدهم تولید آلاینده دی‌اکسید کربن قرار دارد. این در حالی است که با توجه به گسترش صنایع داخلی و همچنین افزایش رشد اقتصادی، این انتظار می‌رود که ایران باید در زمینه کاهش دی‌اکسید کربن از جو کره زمین، نقش فعال‌تری به عهده گیرد.

حل معضل گرمایش زمین از روش‌های متعددی قابل حصول است. راه‌کار اول، افزایش بازدهی وسایل و دستگاه‌های مصرف‌کننده سوخت‌های فسیلی است. به طور مثال، ارتقاء صنعت اتوموبیل‌سازی به منظور تولید موتورهای احتراقی با میزان مصرف سوخت کم‌تر و یا توسعه استفاده از موتورهای هیبریدی، نمونه‌ای بارز از فعالیت‌های به ثمر نشسته در راستای

کاهش تولید آلایندگی می‌باشد. استفاده از انتگراسیون حرارتی[1] و بازیافت انرژی‌های تلف شده راه‌کاری دیگری است که می‌تواند نقش موثری در افزایش بازدهی نیروگاهها و کاهش انرژی مصرفی موردنیاز صنایع پتروشیمیایی و نفت و گاز ایفاء نماید. هر چند این گونه بهینه‌سازی‌ها، کمک شایانی به کاهش میزان دی‌اکسیدکربن تولیدی به ازاء محصول به دست آمده خواهد نمود اما انتظار نمی‌رود چنین بهسازی‌هایی بتواند غلظت آلایندگی‌های موجود در جو زمین را به سطوح قابل قبولی تقلیل دهد. دلیل آن عمدتا بر این امر استوار است که تقاضای انرژی کشورهای در حال توسعه‌ای مانند چین و هند، به طور سالیانه در حال افزایش است. بنابراین اقدامات دیگری مورد نیاز است. راه حل کلیدی این مساله در استفاده از انرژی‌های تجدیدپذیر مانند انرژی خورشید، بیوماس و باد نهفته است. استفاده از منابع انرژی تجدیدپذیر نه تنها نقش موثری در کاهش غلظت آلاینده منتشر شونده در جو زمین خواهد داشت، بلکه موجب تقلیل وابستگی صنایع مصرف کننده انرژی به سوخت‌های فسیلی می‌گردد. علی‌رغم توسعه استفاده از منابع انرژی تجدیدپذیر در سطح دنیا، هنوز این منابع قدرت رقابت با سوخت‌های فسیلی – که امروزه در صنایع به صورت گسترده مورد استفاده قرار می‌گیرند – را ندارد. راه‌کار دیگر، استفاده از انرژی هسته‌ای می‌باشد. اما مسائل ایمنی مرتبط با آن و همچنین زباله‌ها و پسماندهای اتمی بجا مانده از نیروگاههای هسته‌ای، امروزه خود در حال تبدیل شدن به یک مساله زیست محیطی بغرنج هستند.

با توجه به مباحث فوق‌الذکر، به نظر می‌رسد که سوخت‌های فسیلی همچنان نقش مهم خود را به عنوان تامین کننده انرژی مورد نیاز جهان تا دهه‌های بعد ادامه خواهند داد. لذا یکی از راه‌های موثر در کاهش آلودگی‌های زیستی و گرمایی زمین، جمع‌آوری و ذخیره‌سازی دی‌اکسید کربن[2] می‌باشد. در این راه‌کار، دی‌اکسید کربن به طور پیوسته از منابع ثابت تولید کننده آلاینده جمع‌آوری می‌گردد. دی‌اکسیدکربن جمع‌آوری شده یا در صنایع مرتبط مورد استفاده قرار می‌گیرد و یا در در مکانی خاص جهت جلوگیری از انتشار در جو زمین، ذخیره می‌شود. امروزه اصطلاح "فناوری جمع‌آوری و ذخیره‌سازی دی‌اکسید کربن (CCS)"، به مجموعه فناوری‌های اطلاق می‌گردد که قادر هستند بیش از ۹۰٪ دی‌اکسیدکربن تولیدی در واحدهای تولید توان یا صنایع مختلف را جهت عدم انتشار در جو زمین را جمع‌آوری ذخیره نمایند.

همانطور که پیش از این اشاره شد، میزان انتشار دی اکسید کربن در حال افزایش است. این فعالیت‌ها عمدتا ناشی از سوزاندن سوخت‌های فسیلی برای مصارف تولید توان، حمل و نقل، فرآیندهای صنعتی و مجتمع‌های مسکونی و تجاری می‌باشد. یکی از راه‌های موثر در کاهش آلودگی‌های زیستی و گرمایی زمین، جمع‌آوری و ذخیره‌سازی دی‌اکسید کربن از منابع ثابت آلاینده مانند نیروگاههای حرارتی، صنایع نفت و گاز و پتروشیمی و صنایع تولید سیمان ،فولاد و فراورده‌های معدنی می‌باشد. در این تحقیق، بخش‌های خانگی، ساختمان‌های تجاری و حمل و نقل مدنظر نیستند؛ چرا که آلودگی ناشی از آن‌ها بسیار کوچک و ناشی از منابع متحرک می‌باشد که اغلب برای جمع‌آوری و ذخیره‌سازی مناسب نمی‌باشد. نتایج مطالعات نشان می‌دهد که در ۵۰کیلومتری بسترهای انرژی (نفت،گاز و ذغال سنگ)، میزان تولید دی اکسید کربن در حدود ۳۶۰ مگاتن در سال در سراسر دنیا بوده است. این میزان قابل توجه تولید دی‌اکسیدکربن در مجاورت مخازن نفت؛ برای افزایش ضریب برداشت[3]، بسیار مناسب می‌باشند. بخش نیروگاهی در جهان یکی از مستعدترین صنایع در کاربری روش CCS می‌باشد. نیروگاهها بعد از بخش خانگی، تجاری و عمومی و همچنین بخش حمل و نقل در رده سوم قرار دارد. اما آنچه بازیافت گاز CO_2 را از نیروگاهها توجیه‌پذیر می‌سازد آن است که در بخش‌های قبلی در سطح وسیعی گاز CO_2 منتشر می‌شود که در عمل کار جمع‌آوری و بازیافت آن را ناممکن می‌سازد. در حالی که در بخش نیروگاهی عمده گاز منتشر شده از دودکش نیروگاه بوده و بنابراین کار بازیافت گاز مذکور از نیروگاه به علت میزان انتشار آن از یک منبع مشخص امکان‌پذیرتر می‌باشد. در سال ۸۲ کل برق تولید شده بوسیله نیروگاههای وزارت نیرو ۱۴۶۹۶۲/۶ میلیون کیلووات ساعت می‌باشد که ۵۸/۱ درصد از این مقدار بوسیله نیروگاههای بخاری، ۲۲/۴ درصد بوسیله نیروگاههای سیکل ترکیبی، ۱۱/۸ درصد بوسیله نیروگاههای گازی، ۷/۵ درصد بوسیله نیروگاههای آبی و ۰/۲ درصد بوسیله نیروگاههای دیزلی تولید شده است. در جدول ۲ مقدار انتشار گازهای گلخانه‌ای و آلاینده به تفکیک نوع نیروگاه در سال ۸۲ ارائه شده است.

جدول ۲ مقدار انتشار گازهای گلخانه‌ای (برحسب تن در سال) و سایر آلاینده‌ها به تفکیک نوع نیروگاههای کشور در سال ۸۲ [۳]

نوع نیروگاه	NOx	SO2	CO2	SO3	CO	CH	SPM
بخار	۷۸۴۷۹	۲۳۲۴۴۴	۵۱۴۴۴۴۲۵	۳۵۴۹	۱۰۴	۳۰۰۱	۹۰۹۸
گازی	۲۱۷۹۹	۱۴۹۰۴	۱۴۰۴۴۰۹۰	۲۲۷	۳۱	۶۲۱	۲۲۴۱
ترکیبی	۲۳۲۲۸	۵۷۱۵	۱۵۵۵۲۲۵۳	۸۷	۳۶	۵۱۹	۲۰۰۲
دیزلی	۴۴۷	۱۳۵۰	۲۲۷۷۲۸	۲۱	۰/۳	۲۷	۸۶
برقآبی	-	-	۷۳۱۹۴	-	-	-	-

۲- موارد کاربرد دی اکسید کربن در صنعت

در منابع کتابخانه‌ای، از دی اکسید کربن به عنوان یک ماده خام در سنتز مواد شیمیایی استفاده می‌گردد. به هر حال، مولکول دی اکسید کربن از نظر ترمودینامیکی بسیار پایدار و نسبتا غیر قابل واکنش است. یکی از محتمل‌ترین روش‌های استفاده، کاربرد آن در گلخانه‌ها می‌باشد. این دقیقا همان روشی است که شرکت شل[4] در کشور هلند اجرا می‌کند. به علاوه از آن به عنوان مواد اولیه در رشد جلبک‌ها برای کاربردهای دارویی و صنعتی استفاده می گردد. عمده موارد کاربرد دی اکسید کربن عبارتند از: صنایع نوشابه‌سازی؛ انجماد سریع گوشت و میوه؛ خشک کردن ناگهانی مواد غذایی؛ ضدعفونی کردن دانه‌ها؛ کشتارگاهها؛ تبدیل آب آشامیدنی به آب معدنی؛ فرایند تولید تنباکو؛ گاز اطفاء حریق؛ جزء ترکیبی در حفاظ گازی در عملیات جوشکاری؛ سخت‌کننده قالبهای ریخته‌گری؛ به‌عنوان دارو با سایر گازها در موارد مشکلات تنفسی، بیهوشی و بی‌حس کننده؛ تولید متانول و اوره؛ خنثی کننده مواد قلیایی اضافی در صنعت نساجی؛ خنثی کننده پسابهای قلیایی؛ بهبود کیفیت پوست‌ها و چرم‌ها در عملیات دباغی چرم؛ کربناته کردن آب جهت جلوگیری از جرم گرفتن؛ تولید کربنات سرب، کربنات آمونیوم و پتاسیم و بی‌کربناتها.

1. Heat Integration
2. Carbon Dioxide Capture and Storage (CCS)
3. Enhanced Oil Recovery (EOR)
4. Shell

اگرچه موارد کاربرد دی‌اکسیدکربن بسیارند و می‌توانند نقش مهمی در مصرف دی‌اکسید کربن انتشار یافته داشته باشند، اما مقادیر انتشار دی اکسید کربن بسیار بیشتر از کاربردهای اشاره شده هستند. بنابراین ضروری است که دی اکسید کربن در مکانی ذخیره سازی شود تا اینکه کاربردی برای آن پیدا شود. مناسب‌ترین این گزینه ها عبارتند از: حبس کردن دی اکسید کربن در منابع زیر زمینی و یا اقیانوسی. این شکل از ذخیرسازی دی اکسید کربن، به CCS معروف است. مشکل استفاده از این روش، نرخ پایین واکنش گاز کربنیک و به تبع آن محدود شدن مناطق برای ذخیره سازی وسیع دی اکسید کربن می‌باشد. ذخیره سازی دریایی و انباشت اقیانوسی بیشتر از انبارش زمین شناختی مورد توجه است. همچنین دی اکسید کربن می‌تواند در مخازن خالی و یا رو به اتمام نفت و گاز و منابع شور و نمکی انبار گردد. به علاوه گاز کربنیک می‌تواند از طریق تزریق به چاه، برای بازیابی نفت (EOR) یا در بازیابی متان از بستر زغال سنگ[1] مورد استفاده قرار گیرد. بدین صورت که با تزریق آن، چاه نفتی از لحاظ فشار به شرایط برداشت باز می‌گردد. تزریق دی اکسید کربن همراه با تجربه، نظیر آنچه توسط شرکت اسلیپنر[2] در نروژ انجام داد، بر عملی بودن این گزینه در کاهش گاز دی اکسید کربن و ذخیرسازی کاربردی آن در لایه‌های پوسته زمین، صحه می‌گذارد.

۳- مروری بر فناوری‌های جداسازی و جمع آوری دی اکسید کربن

همانطور که ذکر شد یکی از روش های کاهش و همچنین تثبیت سطح گازهای گلخانه‌ای بر روی کره‌ی زمین، جمع آوری و ذخیره سازی دی اکسید کربن[3] (CCS) می‌باشد. جمع آوری و ذخیره سازی دی اکسید کربن فرآیندی است که طی آن دی‌اکسید کربن از منابع صنعتی وابسته به انرژی جدا شده و برای ذخیرسازی بلند مدت- به نحوی که از اتمسفر دور بماند- اقداماتی بر روی آن صورت می‌گیرد. ایده اصلی این روش، ذخیرسازی دی‌اکسید کربن در سفره‌های زیرزمینی از قبیل بسترهای نفت و گاز، لایه‌های غیر قابل برداشت ذغال سنگ و همچنین لایه‌های آب شور در اقیانوس‌ها می‌باشد. لازم به ذکر است که تزریق دی‌اکسید کربن به چاه‌های نفتی باعث کاهش ویسکوزیته نفت و افزایش فشار درون چاه نفتی می‌شود و لذا سبب افزایش راندمان چاه و در نتیجه ازدیاد برداشت خواهد شد[۴].

طرح کلی جداسازی دی‌اکسیدکربن از محصولات احتراق واحدهای مصرف‌کننده سوخت‌های فسیلی، بر پایه جداسازی آلاینده از محصولات خروجی دودکش استوار است. از معایب این طرح می‌توان به رقیق بودن دی اکسیدکربن 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 ویژه ای برای افزایش فشار مخلوط مورد نیاز باشد. اما با وجود این معایب، این تکنولوژی قابلیت استفاده در صنایع و نیروگاه‌های امروزی را دارد. عمده تکنولوژی‌های حال و حاضر در این بخش عبارتند از : تکنولوژی سایش[4]، تکنولوژی غشاها[5]، تکنولوژی جذب سطحی[6] و تکنولوژی تکنولوژی کرایوژنیکی [۵].

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 جاذب های شیمیایی و فیزیکی، عدم نیاز به وجود اختلاف فشار بسیار بالا در غشاها و درصد خلوص بالای دی اکسید کربن به‌دست آمده. در فشارهای اتمسفری، دی اکسید کربن مستقیما قابل تبدیل از فاز گاز به جامد می باشد. عیب اصلی این تکنولوژی، نیاز به تجهیزات متراکم‌کننده گران قیمت و توان مصرفی بالاست. لازم به ذکر است که هزینه های بالای این تکنولوژی را می‌توان با استفاده از پتانسیل سرد گاز دی‌اکسید کربن حاصله به منظور پیش سرمایش در واحدهای جداساز صنایع پتروشیمی و همچنین واحدهای مایع‌سازی گاز طبیعی (LNG)، به طور قابل ملاحظه‌ای کاهش داد. طبق آمار انستیتو جهانی جمع آوری و ذخیره سازی دی اکسید کربن[7]، حدود ۱۵ پروژه جمع‌آوری و ذخیرسازی دی‌اکسیدکربن اکسیدکربن در مناطق مختلف جهان با استفاده از تکنولوژی کرایوژنیکی در حال انجام است. شمای کلی یک فرآیند جمع آوری دی اکسید کربن با استفاده از تکنولوژی کرایوژنیک در شکل ۱ نشان داده شده است [۴].

در این تحقیق، ابتدا چرخه جمع آوری و ذخیره سازی دی اکسید کربن که با توجه به شرایط عملیاتی یک نیروگاه سیکل ترکیبی ۲۰۲۴ مگاواتی رایج داخل کشور، اصلاح شده است، معرفی می‌گردد. هدف از این چرخه جداسازی گاز دی‌اکسید کربن از محصولات احتراق نیروگاه و افزایش فشار آن جهت تزریق به چاه نفت است.

پیپیتون[8] و بولاند[9][۵] و پوش[10] و هایدر[11] [۶] در مقالات جداگانه‌ی با معرفی چرخه‌های حلقه باز جداسازی دی اکسید کربن به روش کرایوژنیکی[12] را مورد بررسی و تحلیل قرار داده‌اند. در تحقیق حاضر چرخه جداساز دی‌اکسید کربن پیشنهادی پیپیتون و بولاند[۵] با توجه به شرایط و حجم محصولات احتراقی خروجی از یک نیروگاه حرارتی ۲۰۲۴ مگاواتی رایج کشور، اصلاح و مورد مطالعه قرار گرفته است.

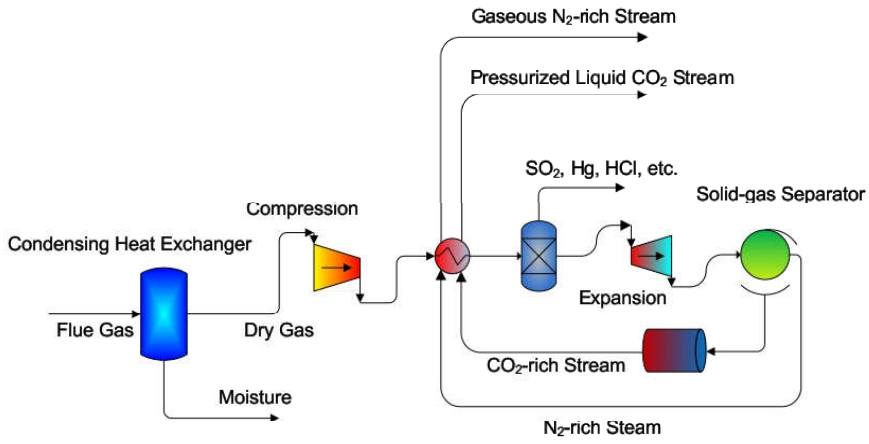
۴- معرفی چرخه جداساز گاز دی اکسید کربن اصلاح شده

شکل ۲ چرخه کرایوژنیکی جداسازی و جمع‌آوری دی اکسید کربن از محصولات احتراق در نیروگاه‌های حرارتی را نشان می‌دهد. این چرخه با استفاده از نرم افزار اسپن-هایسیس ۷/۲[13] شبیه سازی شده است. از معادله حالت پنگ-رابینسون به دلیل دقت مناسب در پیش بینی خواص مواد خالص غیر قطبی و نیز اختلاط غیر متراکم مواد معدنی استفاده شده است [۷].

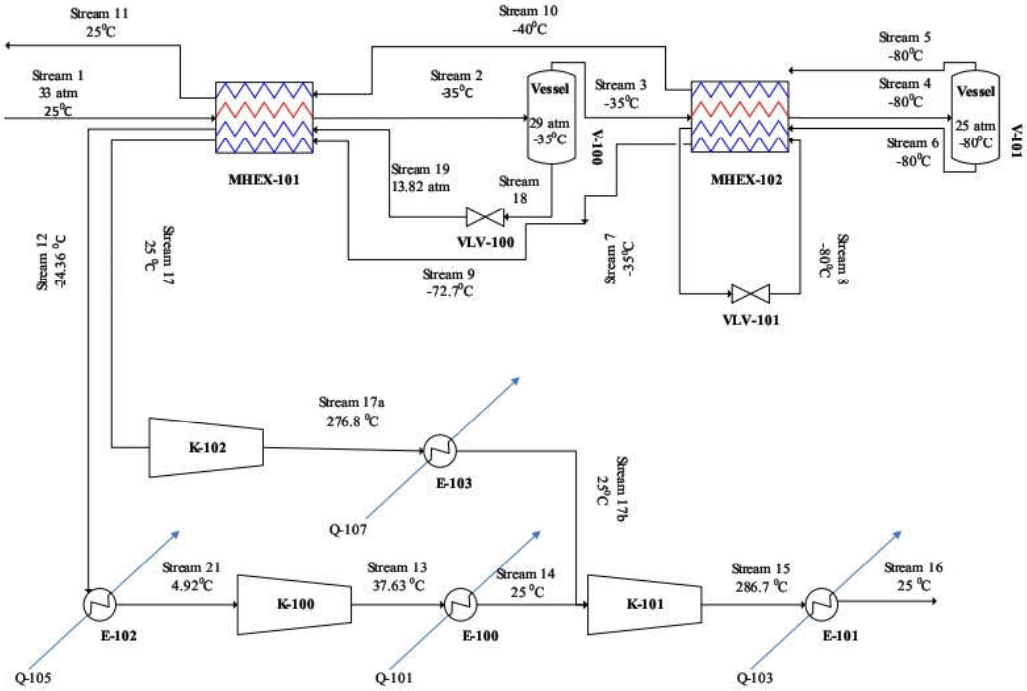
درصد ترکیب و همچنین شرایط عملیاتی محصولات احتراق نیروگاه ۲۰۲۴ مگاواتی مدنظر در تحقیق حاضر، در جدول ۳ ارائه شده است. شایان ذکر است به دلیل مشکلاتی که SO_2 در خورندگی تجهیزات و همچنین در بسترهای زیرزمینی در ذخیره دی اکسید کربن ایجاد می کند، این عنصر توسط آب دریا تا حد کمتر از 50 ppm کاهش یافته است. همچنین به دلیل وجود دماهای مادون سرد (تا ۶۰- درجه سانتیگراد) وجود مولکول های آب (یخ) می‌تواند سبب اختلال در مبدل‌های حرارتی، لوله‌ها، تانک‌های جداساز و تجهیزات دوار چرخه مورد نظر شده و عملیاتی شدن چرخه را به لحاظ فنی زیر سوال برد.

1. Enhanced Coal Bed Methane Recovery(ECBM)
2. Sleipner
3. Carbon Dioxide Capture and Storage
4. Scrubbing Technology
5. Membranes Technology
6. Adsorption Technology

7. Global Ccs Institute
8. Pipitone
9. Bolland
10. Posch
11. Haider
12. Cryogenic
13. Aspen Hysys Software, Version 7.2



شکل ۱ شمای ساده از یک فرآیند کرایوژنیکی جهت جداسازی و جمع‌آوری دی‌اکسیدکربن از گازهای خروجی از دودکش واحدهای صنعتی [۴]



شکل ۲ چرخه کرایوژنیکی جداسازی و جمع‌آوری دی اکسید کربن از محصولات احتراق در نیروگاههای حرارتی و تزریق آن به مخازن نفتی جهت ذخیرسازی بلندمدت گاز دی‌اکسید کربن و افزایش فشار چاه به منظور ازدیاد برداشت [۶]

برای رفع این مشکل، استفاده از جاذب های شیمیایی در دمای بسیار سرد و یا استفاده از روش افزایش فشار و تخلیه آب مایع حاصل شده پیشنهاد می‌گردد. هدف از چرخه پیشنهادی در این تحقیق، جداسازی دی‌اکسید کربن از محصولات احتراقی به منظور تزریق به مخازن هیدروکربنی جهت ازدیاد برداشت می‌باشد. جریان دی‌اکسید کربن تزریقی به چاه باید در فاز گازی و دارای فشاری برابر با ۱۱۰ اتمسفر باشد(جریان شماره ۱۶). لذا همانطور که در شکل ۲ نشان داده شده است، پس از مایع‌سازی و جداسازی دی‌اکسیدکربن از محصولات احتراقی، از اگزرژی سرمایشی آن در مبدل‌های