مجله مهندسی بهداشت محیط، پاییز ۱۴۰۰، سال ۹، شماره ۱: ۱۰۱-۱۲۴

شبیه سازی سنتز متانول با هیدروژناسیون دی اکسید کربن بازیافت شده از گازهای احتراق واحد کت کراکر پالایشگاه آبادان

نادر نیک اقبالی سی سخت[۱]، مریم محمدی روزبهانی *[۲]، سیما سبزعلیپور[۲]

[۱]گروه مهندسی محیط زیست،واحد اهواز، دانشگاه آزاد اسلامی ، اهواز،ایران

[۲] گروه محیط زیست،واحد اهواز، دانشگاه آزاد اسلامی ، اهواز،ایران

تاریخ دریافت مقاله: ۱۴۰۰/۰۵/۰۱؛ تاریخ پذیرش: ۱۴۰۰/۰۹/۰۲

چکیده

زمینه و اهداف: پالایشگاه‌ها حدودا چهار درصد از انتشار جهانی دی اکسید کربن را تولید می‌کنند، نزدیک به یک میلیارد تن در سال. در سطح جهان، بخش پالایش پس از بخش تولید برق و صنعت سیمان رتبه سوم در بین تولیدکنندگان ثابت دی اکسید کربن را دارد. این گاز گلخانه ای عامل اصلی گرمایش جهانی و تغییر اقلیم می‌باشد و خطری جدی برای سلامت انسان و محیط زیست می‌باشد. یکی از راهکارهای کاهش این گاز گلخانه ای در اتمسفر، کاهش دی اکسید کربن از طریق برگشت پذیر کردن این گاز در چرخه سوخت می‌باشد. واحد کت کراکر یکی از منابع انتشار این گاز گلخانه ای در پالایشگاه آبادان می‌باشد که مقدار ۲۳۰ تن در ساعت گازهای احتراق تولید می‌کند و دارای ۱۲/۷ درصد مولی دی اکسید کربن می‌باشد. شناسایی منابع انتشار گاز دی اکسید کربن در پالایشگاه آبادان و شبیه سازی جذب شیمیایی این گاز گلخانه ای و تبدیل آن به سوخت متانول از اهداف این پژوهش می‌باشد.

روش کار: در این پژوهش میزان غلظت دی اکسید کربن خروجی از منابع انتشار پالایشگاه آبادان توسط دستگاه Testo 350-XL و کروماتوگرافی گازی اندازه گیری شده است. با توجه به اینکه مقدار غلظت دی اکسید کربن در گازهای احتراق واحد کت کراکر بیشترین مقدار را داشت، لذا با استفاده از نرم افزار Aspen Hysys شبیه سازی جذب شیمیایی دی اکسید کربن از گازهای احتراق برج احیاء واحد کت کراکر با حلال دی اتانول آمین ۳۰٪ وزنی انجام و طی یک واکنش هیدروژناسیون به متانول تبدیل شده است. در نهایت محاسبات اقتصادی طرح انجام گردید.

یافته ها: راندمان کلی جذب شیمیایی دی اکسید کربن در شبیه سازی با نرم افزار ۹۲٪ و درجه خلوص CO_2 بازیافتی ۹۴/۶٪ بدست آمده است. با این روش می‌توان ۱۰۰۳ تن در روز دی اکسید کربن واحد کت کراکر را جذب و بازیافت نمود و به محصول متانول تبدیل کرد. در شبیه سازی تبدیل دی اکسید کربن بازیابی شده به سوخت متانول، مقدار ۶۸۶ تن در روز متانول با درجه خلوص ۹۹٪/۸ بدست آمد. محاسبات اقتصادی طرح نشان می‌دهد که هزینه کاهش انتشار هر تن دی اکسید کربن ۱۹ دلار می‌باشد. میزان نرخ داخلی بازگشت سرمایه این طرح ۲۲٪ و ارزش خالص فعلی طرح ۹۲ میلیون دلار می‌باشد. بازگشت سرمایه این طرح ۳ سال می‌باشد.

نتیجه گیری: دی اتانول آمین رلندمان بالایی در جذب دی اکسید کربن از گازهای احتراق دارد. با روش جذب شیمیایی با آمین می‌توان آلاینده دی اکسید کربن را از گازهای احتراق تولیدی در پالایشگاهها بازیافت نمود و بعنوان خوراک ارزان برای تولید سوخت متانول استفاده نمود . با این روش علاوه بر ایجاد ارزش افزوده، از انتشار این گاز گلخانه ای به محیط زیست جلوگیری می‌گردد.

کلمات کلیدی: جذب شیمیایی دی اکسید کربن ، واحد کت کراکر ، دی اتانول آمین، متانول، شبیه سازی با آسپن هایسیس

***نویسنده مسئول:** گروه محیط زیست،واحد اهواز، دانشگاه آزاد اسلامی ، اهواز،ایران

ایمیل: mmohammadiroozbahani@yahoo.com - شماره تماس: ۰۹۱۶۱۶۲۳۵۶۴

مقدمه

فن آوری های جذب دی اکسید کربن، استفاده و یا ذخیره آن به عنوان یکی از اصلی ترین راه های سودمند برای کاهش گرم شدن کره زمین می‌باشد و به طور فعال در سراسر جهان مورد تحقیق قرار گرفته است[۱]. امروزه تکنولوژی های کاربردی زیادی بر روی کاهش گرم شدن کره زمین متمرکز شده است. در این میان سیستم های جذب شیمیایی با آمین عملاً مورد استفاده قرار گرفته و مدام در حال توسعه می‌باشند[۲]. طبق داده های آژانس بین المللی انرژی غلظت دی اکسید کربن جو زمین در سال ۲۰۱۵ به مقدار ppm ۳۹۹ بوده و در نوامبر سال ۲۰۲۰ به ppm ٤۱۲ رسیده است[۳]. فرآیند جذب شیمیایی دی اکسید کربن با آمین از سال ۲۰۰۵ روند تجاری سازی آن آغاز شده است[٤،٥،٦]. براساس گزارش هیات بین المللی تغییر اقلیم در سال ۲۰۱٤ انتظار می‌رود که فن آوری های جذب و جمع آوری کربن نقش مهمی در دستیابی به کاهش غلظت دی اکسید کربن در اتمسفر و کاهش تغییرات آب و هوایی داشته باشند[۷].

فناوری جذب دی اکسید کربن پس از احتراق توسط آمین یکی از گزینه های اصلی برای کاهش انتشار گازهای گلخانه ای است[۸،۹،۱۰]. براساس گزارش هیات بین المللی تغییر اقلیم ، منبع اصلی انتشار دی اکسید کربن مصرف سوخت های فسیلی است و پالایشگاه‌ها سومین تولید کننده گازهای گلخانه ای بعد از صنایع و کارخانه های سیمان می‌باشند[۱۱،۱۲]. براساس گزارشی که توسط آژانس بین المللی انرژی در سال ۲۰۱۳ منتشر شده است، فرآیند جذب و مصرف دی اکسید کربن (Carbon Capture Utilization or Storage)CCUSبرای کاهش این گاز گلخانه ای از واحد های صنعتی مورد نیاز است[۱۳]. یک راه حل مناسب برای کاهش انتشار این گاز گلخانه ای تبدیل کردن آن به محصولات با ارزش مانند سوخت یا مواد شیمیایی مانند اوره و یا تزریق به چاههای نفت جهت افزایش راندمان برداشت نفت می‌باشد. این فن آوری جذب و مصرف کربن نامیده می‌شود[۱٤،۱٥]. مطالعات آژانس بین المللی انرژی نشان می‌دهد که فناوری جذب کربن توانایی ۱٤ درصدی در کاهش انتشار جهانی دی اکسید کربن را دارا می‌باشد[۱٦].

برای کاهش هزینه های عملیاتی کارخانه های جذب و جمع آوری کربن، تلاش های زیادی صورت گرفته است تا از طریق مدل سازی، شبیه سازی فرآیند، به طراحی و بهره برداری مطلوب دست یابند[۱۷]. در بسیاری از تحقیقات صورت گرفته در جذب شیمیایی دی اکسید کربن از گازهای احتراق از شبیه سازی فرایند با نرم افزار آسپن هایسیس(Aspen Hysys) استفاده شده است. در اکثر این مطالعات از آمین نوع اول مونو اتانول آمین(MEA) با غلظت ۳۰٪ وزنی جهت جذب شیمیایی این گاز استفاده شده است [۱۸،۱۹،۲۰،۲۱،۲۲، ۲۳].

پتانسیل جذب و مصرف کربن در کاهش انتشار دی اکسید کربن و هزینه های تولید در مقایسه با فرایند متداول تولید متانول از گاز سنتز نشان می‌دهد که سرمایه مورد نیاز این واحدها از واحد های متداول تولید متانول کمتر است. فرایند جذب و مصرف کربن به عنوان یک راهکار مناسب برای کاهش تغییرات آب و هوا ارائه شده است [۲٥،۲٦،٤۱].

طبق نقشه راه انرژی ۲۰۵۰، سیستم جذب و ذخیره سازی کربن باید در اغلب صنایع مصرف کننده سوخت های فسیلی وجود داشته باشد. برنامه سیاست های آب، هوا و انرژی، کاهش گازهای گلخانه ای را تا سال ۲۰۳۰ نسبت به سال ۱۹۹۰ حداقل ٤۰٪ پیشنهاد کرده است [۲٦].

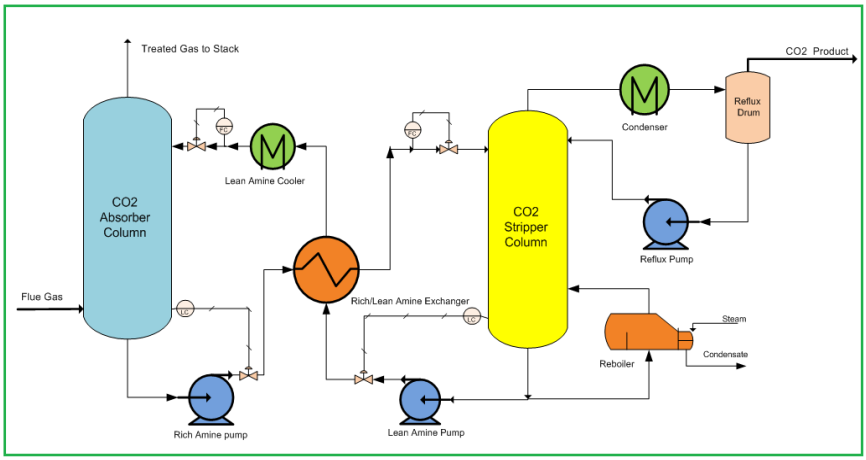
متانول یکی از ده محصول برتر صنعتی با مصرف سالانه ۵۳ میلیون تن در سال ۲۰۱۱ بوده و مقدار آن در سال ۲۰۱۹ به ۹۳ میلیون تن رسیده است[۳۸]. حدود ۸۵٪ از متانول تولید شده برای سنتز مواد شیمیایی یا حلال در صنعت استفاده می‌شود و باقیمانده در بخش سوخت و انرژی استفاده می‌شود. متانول عمدتاً در تولید فرمالدئید (۳۵٪)، متیل ترشیو-بوتیل اتر (۲۵٪) و اسید استیک (۹٪) استفاده می‌شود. همچنین می‌توان متانول را با انواع مختلف بنزین برای اتومبیل‌ها و وسایل نقلیه انعطاف پذیر هیبریدی مخلوط کرد و مصرف نمود [٤۰].

یکی از راهکارهای کاهش گازهای گلخانه ای در اتمسفر، کاهش انتشار دی اکسید کربن از طریق بازگشت پذیر کردن این گاز در چرخه سوخت است. این ایده توسط آقای جرج اولاه برنده جایزه نوبل شیمی مطرح شده است و منجر به ایجاد دانش فنی تولید متانول از دی اکسید کربن شده است. به متانولی که از طریق بازیابی دی اکسید کربن به دست می‌آید متانول سبز اطلاق می‌شود که می‌تواند به عنوان سوخت اصلی و یا مکمل در سیستم های احتراقی به کار رود[۴۱،۳۷،۲۶].

برای جذب و جداسازی دی اکسید کربن از گازهای احتراق خروجی از دودکش صنایع و پالایشگاهها معمولا از جذب شیمیایی توسط آمین استفاده می‌شود. حلالهای MEA (Monoethanolamine)، DEA (Diethanolamine) و MDEA (Methyldiethanolamine) استفاده بیشتری دارند[۳۲،۳۱،۳۰،۲۹،۲۸].

گازهای احتراقی معمولا در فشار اتمسفری از دودکش صنایع خارج می شوند، در این فشار کم، از حلال های مونواتانل آمین و دی اتانول آمین می‌توان جهت جذب دی اکسید کربن استفاده نمود[۳۴،۳۳].

فرایند استاندارد جذب شیمیایی شامل تماس گازهای احتراق با حلال مناسب در یک برج جذب و جداسازی جزء جذب شده از حلال در برج عریان ساز می‌باشد[۲۸،۱۸،۹]. روش استاندارد جذب و دفع که برای گرفتن یک جزء از جریان گاز مورد استفاده قرار می‌گیرد در شکل ۱ آمده است.

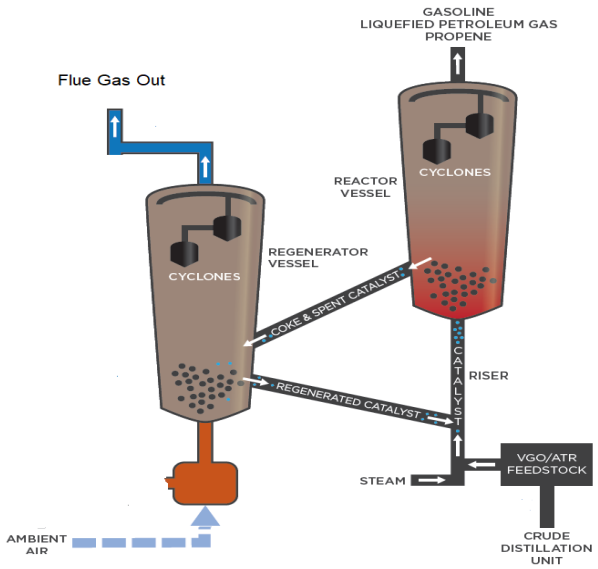


شکل ۱: نقشه شماتیک روش متداول جداسازی یک جزء از جریان گاز

شرح کلی فرایند صنعت مورد مطالعه

واحد کت کراکر جدید پالایشگاه آبادان دارای تکنولوژی شرکت UOP (Universal Oil Products) و از مدل شکست مولکولی در رایزر می‌باشد. این واحد دارای ظرفیت ۴۵۰۰۰ بشکه در روز می‌باشد و ۵۷ درصد حجمی خوراک آن تبدیل به بنزین با اکتان ۹۳ می‌گردد. در این واحد گازوئیل سنگین واحد تقطیر در خلاء در مجاورت کاتالیست زئولیت در دمای ۵۲۰ °C و فشار ۲/۵ bar در راکتور شکسته شده و محصولات گاز، گاز مایع ، بنزین اکتان بالا ، گازوئیل سبک و نفت زلال شده تولید می شود. ضمن واکنش کراکینگ هیدروکربن‌ها مقدار ۴/۲ درصد وزنی از خوراک واحد در راکتور تبدیل به کک می‌گردد. در عملیات کک سوزی و احیاء کاتالیست در برج احیاء و در دمای ۷۰۰ °C مقدار ۲۳۰ تن در ساعت گازهای احتراق تولید می‌گردد. گازهای احتراق تولیدی دارای ۱۲/۷ درصد مولی آلاینده دی اکسید کربن می‌باشد[۲۷].

گازهای سوخته پس از کاهش دما در بویلر بازیافت حرارت با دمای ۲۸۸ ^{o}C به سمت اسکرابر گاز مرطوب ارسال می‌گردد تا عمل کنترل و کاهش آلاینده های گازی دی اکسید گوگرد و دی اکسید کربن توسط فرایند جذب با آمین انجام شده و در نهایت از طریق دودکش که دارای قطر ۱/۸ متر و ارتفاع ۵۵ متر می‌باشد به اتمسفر ارسال گردد[۲۷]. شمای کلی بخش راکتور و برج احیاء واحد کت کراکر جدید پالایشگاه آبادان در شکل ۲ آمده است.



شکل۲: شمای کلی بخش راکتور و برج احیاء واحد جدید کت کراکر پالایشگاه آبادان

تولید متانول به روش هیدروژناسیون مستقیم دی اکسید کربن بازیافت شده از گازهای احتراق

متانول به طور کلی از واکنش میان CO_2 و H_2 تولید می گردد. متانول بسته به منبع تولید دی اکسید کربن و هیدروژن ، بر پایه سوختهای فسیلی و یا به صورت تجدید پذیر تولید می گردد. چنانچه واکنش دهنده های هیدروژن و دی اکسیدکربن از منابع دیگری غیر از روش متداول استفاده از سوخت فسیلی بدست آیند، متانول بدست آمده تجدید پذیر محسوب شده و به آن متانول سبز اطلاق می گردد[۳۷،۲۶].

بهترین روش تولید دی اکسید کربن پاک بازیابی این گاز از دودکش نیروگاهها، پالایشگاهها، واحدهای پتروشیمی ،کارخانه های فولاد و سیمان می باشد [۴۰،۳۷،۲۶].

برای تولید متانول دو روش اصلی وجود دارد. روش اول هیدروژناسیون مستقیم دی اکسید کربن در یک واکنش کاتالیستی هتروژن است و روش دوم یک روش دو مرحله ای برای تبدیل دی اکسید کربن به متانول می‌باشد[۳۷،۲۶]. در این تحقیق هیدروژناسیون مستقیم دی اکسید کربن بازیافتی از واحد کت کراکر جهت تولید متانول سبز استفاده شده است.

در این فرایند واکنش دهنده های دی اکسید کربن و هیدروژن با نسبت مولی ۱ به ۳ به راکتور سنتز متانول تزریق می شوند. کاتالیست موجود در راکتور غالبا بر پایه مس/ اکسید روی می باشد که با اکسید زیرکونیوم نیز به کار می رود. مقدار زیادی از مونوکسید کربن نیز در طی این فرایند تولید میشود اما، انتخاب پذیری واکنش نسبت به متانول بیشتر است. علاوه بر مونوکسید کربن دیگر محصولات جانبی این فرایند دی متیل اتر و متان می باشد [۳۷،۲۶].

واکنشهای انجام گرفته در این راکتور عبارتند از:

$$CO_2 + 3H_2 \rightarrow CH_3OH + H_2O \qquad (۱)$$

$$2CH_3OH \rightarrow CH_3OCH_3 + H_2O \quad (۲)$$

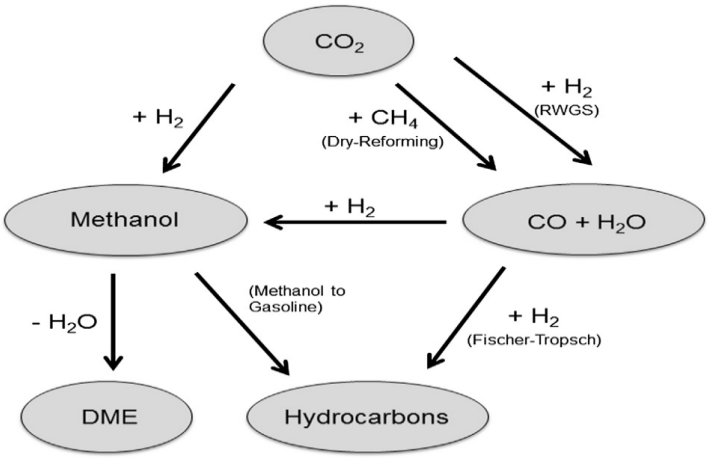
$$CO_2 + 4H_2 \rightarrow CH_4 + 2H_2O \quad (۳)$$

$$CO_2 + H_2 \rightarrow CO + H_2O \quad (٤)$$

جریان خروجی از این راکتور شامل مواد واکنش نداده، متانول، آب و مونوکسیدکربن هستند. این جریان ابتدا سرد شده و وارد یک جداساز فلش برای تفکیک به دو فاز می شود. فاز گازی حاصل به سه جریان تقسیم می شود .جریان غالب به راکتور بازگردانده می شود در حالیکه، قسمت دوم به منظور سنتز متانول بیشتر به راکتور دوم فرستاده می شود. فاز گازی حاصل از جداکننده فلش به گونه ای تقسیم می شود تا با نسبت مناسب به راکتور دوم فرستاده شود. این جریان در واقع یک گاز سنتز است که غنی از دی اکسید کربن می باشد. کاتالیست مورد استفاده در راکتور دوم مشابه راکتور اول است. جریان خروجی از این راکتور نیز ابتدا سرد شده و سپس به همان جداکننده فلش فرستاده میشود تا فاز گازی و مایع آن جدا شوند. این مایع به برج تقطیر فرستاده می شود. در این مرحله آب از متانول و سایر محصولات جانبی جدا شده و متانول بسیار خالص با غلظت ٪ ۹۹ بدست می‌آید[۳۷،۲۶].

در فرایند تولید متانول دو کاتالیست $Cu/ZnO/Al_2O_3$ و Pd/ZnO مورد توجه بوده و کاربرد بیشتری دارند. در فرایند تولید متانول به روش سنتز گاز طبیعی معمولا از کاتالیست مس/ اکسید روی استفاده می‌شود. در تکنولوژی های جدید و در تبدیل مستقیم دی اکسید کربن به متانول از کاتالیست پالادیم / اکسید روی استفاده شده است[۳۸].

هیدروژناسیون دی اکسید کربن به متانول بر روی کاتالیست پالادیم/روی/اکسید آلومینیوم به دما و مقدار فلز پالادیم روی کاتالسیت بستگی دارد. نتایج نشان می‌دهد که انتخابیت متانول با این کاتالیست به مقدار آلیاژ پالادیم و روی و دستورالعمل های آماده سازی و پیش تصفیه کاتالیست بستگی دارد[۴۰،۳۹]. روشهای مصرف دی اکسید کربن و تبدیل آن به سوخت متانول و محصولات دیگر در شکل ۳ نشان داده شده است.



شکل ۳: نمودار مصرف سودمند دی اکسید کربن در تبدیل به متانول[۳۷]

نرم افزار آسپن هایسیس یکی از پرکاربردی ترین نرم افزار های شبیه سازی است که با استفاده از آن می‌توان یک فرایند را در حالت پایا و پویا شبیه سازی نمود. از این نرم افزار برای طراحی و شبیه سازی واحد های فرایندی، پایش عملکرد ، عیب یابی، بهبود عملکرد و مدیریت درآمد و هزینه استفاده می‌گردد. همچنین از این نرم افزار می‌توان در طراحی فرایند های جدید در واحدهای صنعتی، طراحی فرایند جایگزین، بهینه سازی فرایند ، تخمین کارکرد و راندمان تجهیزات فرایندی استفاده

کرد. با توجه به اینکه در این تحقیق امکان بررسی عملکرد آمین نوع دوم دی اتانول آمین در جذب دی اکسید کربن در یک واحد صنعتی وجود ندا شت، همچنین جهت کاهش هزینه های عملیاتی و رسیدن به نتایج مورد نیاز طراحی، برای استفاده از آمین جدید از این نرم افزار در شبیه سازی فرایند جذب و دفع دی اکسید کربن توسط دی اتانول آمین و تبدیل آن به متانول استفاده شده است.

هدف اصلی این تحقیق شبیه سازی جذب شیمیایی دی اکسید کربن از گازهای احتراق با استفاده از حلال دی اتانول آمین و امکان سنجی تبدیل آن به سوخت متانول بوده است. دیگر اهداف این تحقیق شناسایی وضعیت کمی و کیفی انتشار آلاینده دی اکسید کربن در پالایشگاه آبادان و کاهش این آلاینده در جهت بهبود پدیده گرمایش جهانی بوده است. همچنین محاسبات اقتصادی طرح انجام و مورد بررسی قرار گرفته شده است.

مواد و روش ها

برای رسیدن به اهداف تحقیق ابتدا منابع انتشار گاز دی اکسید کربن در پالایشگاه آبادان شناسایی گردید و از گازهای احتراق خروجی از دودکش‌ها نمونه برداری گردید و میزان دی اکسید کربن منابع انتشار دی اکسید کربن مشخص شد. بر اساس میزان گاز طبیعی مصرفی در کوره ها، بویلرها، نیروگاه برق و محاسبات سوخت و احتراق میزان دی اکسید کربن تولیدی در بخش های مختلف پالایشگاه محاسبه شد. میزان دی اکسید کربن در واحد کت کراکر بر اساس محاسبات سوخت و احتراق کک در برج احیاء بدست آمد. با توجه با اینکه بیشترین غلظت دی اکسید کربن مربوط به گازهای احتراق خروجی از برج احیای واحد کت کراکر بود لذا جذب شیمیایی دی اکسید کربن گازهای احتراق این واحد توسط حلال دی اتانول آمین ۳۰٪ و تبدیل آن به سوخت متانول توسط نرم افزار آسپن هایسیس شبیه سازی شد و در نهایت محاسبات اقتصادی برای این طرح انجام گردید .

تعداد نمونه های مورد نیاز جهت نمونه برداری از دودکش واحد کت کراکر از رابطه (۵) بدست آمده است.

$$n = \frac{Z^2 * \sigma^2}{d^2} \qquad (۵)$$

در این رابطه n (تعداد نمونه مورد نیاز)، d (دامنه تغییرات) وσ (انحراف معیار) می‌باشد. میزان انحراف معیار(Standard Deviation) از رابطه (٦) بدست آمده است.

$$\sigma = \sqrt{\frac{\sum(x_i - \bar{x})}{N}} \qquad (٦)$$

با جایگزینی مقادیر (α= d= 0.95 , Z=1.645, σ =1.84 , 0.05) در رابطه ۵ تعداد نمونه های مورد نیاز ۱۰ بدست آمده است.

جهت آنالیز گازهای احتراق واحد کت کراکر ، دودکش های کوره‌ها و بویلرها و توربین های گازی نیروگاه ۳ پالایشگاه از دستگاه Testo 350-M/XL ساخت کشور آلمان که بر اساس استانداردهای EPA عمل می‌کند استفاده شده است. همچنین برای تعدادی از آنالیزها از دستگاه کروماتوگرافی گاز مدل Agilent 7890B استفاده شده است. روش آزمایش بر اساس استاندارد UOP 172 و UOP 539 بوده است.

بر اساس محاسبات سوخت و احتراق و با توجه به میزان مصرف گاز طبیعی در بخش های مختلف پالایشگاه آبادان و همچنین میزان کک سوزی در برج احیاء واحد کت کراکر هنگام احیاء کاتالیست مقدار تولید سالیانه این گاز گلخانه ای محاسبه شد. همچنین سهم هر یک از منابع انتشار در تولید گاز گلخانه ای دی اکسید کربن در پالایشگاه آبادان مشخص شده است.

با استفاده از فرمولهای ۷ تا ۱۲ و بر اساس نتایج حاصل شده از شبیه سازی فرایند، میزان دی اکسید کربن جذب شده، راندمان جذب و میزان کاهش انتشار این گاز گلخانه ای در واحد کت کراکر محاسبه گردید. همچنین میزان دی اکسید

کربن تولیدی منابع انتشار پالایشگاه آبادان مانند کوره های فرایندی، بویلرها و نیروگاه گازی شماره ۳ مشخص گردید.

محاسبه میزان دی اکسید کربن خروجی از برج احیاء:

$$G_{CO2}\left(\frac{Kg}{hr}\right) = \frac{(G_{flue\ gas} * Y_{CO2}) * CO_2\ MW}{Flue\ Gas_{MW}} \quad (۷)$$

محاسبه میزان دی اکسید کربن موجود در گاز تصفیه شده:

$$G_{CO2}\left(\frac{Kg}{hr}\right) = \frac{(G_{treated\ gas} * Y_{CO2}) * CO_2\ MW}{Flue\ Gas_{MW}} \quad (۸)$$

محاسبه میزان دی اکسید کربن جذب شده:

$$G_{CO2}\ Capture\left(\frac{ton}{day}\right) = G_{CO2.in} - G_{CO2.out} \quad (۹)$$

محاسبه راندمان برج جذب:

$$CO_2\ Capture\ Efficiency\ \% = ((Y_(CO2.in) - Y_CO2.out))/Y_CO2.in * 100 \quad (۱۰)$$

محاسبه میزان دی اکسید کربن بازیابی شده از برج دفع :

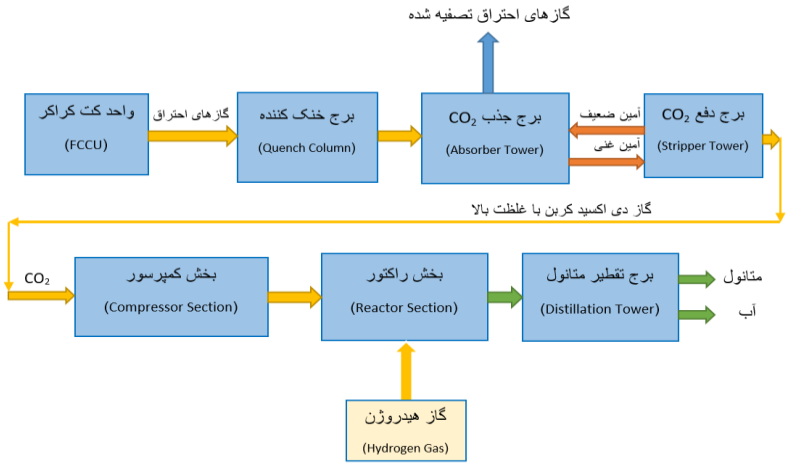
$$CO_2\ Reduction\left(\frac{Kg}{hr}\right) = G_{CO2} * CO_2\ purity * CO_2\ MW \quad (۱۱)$$

محاسبه راندمان بازیابی دی اکسید کربن در برج دفع:

$$CO_2\ Recovery\ \% = \frac{G_{CO2.out}}{G_{CO2.in}} * 100 \quad (۱۲)$$

در این فرمول‌ها تعداد مولهای دی اکسید کربن ورودی به برج جذب با (Yco_2 in) و تعداد مولهای دی اکسید کربن خروجی از برج جذب با (Yco_2 out) و مقدار دبی گاز ورودی با (Gco_2 in) و مقدار دبی گاز خروجی با (Gco_2 out) نشان داده شده است.

نمودار کلی جذب شیمیایی دی اکسید کربن از گازهای سوخته و تبدیل آن به سوخت پاک متانول در شکل ٤ آمده است. در این شکل مراحل اصلی فرایند جذب دی اکسید کربن و تبدیل آن به سوخت متانول نشان داده شده است. واحد هایی که عمل جذب و بازیابی دی اکسید کربن و تبدیل آن به محصول متانول را انجام می‌دهند با نام اختصاری CCUP (Carbon Capture Utilization Plant) شناخته می‌شوند.

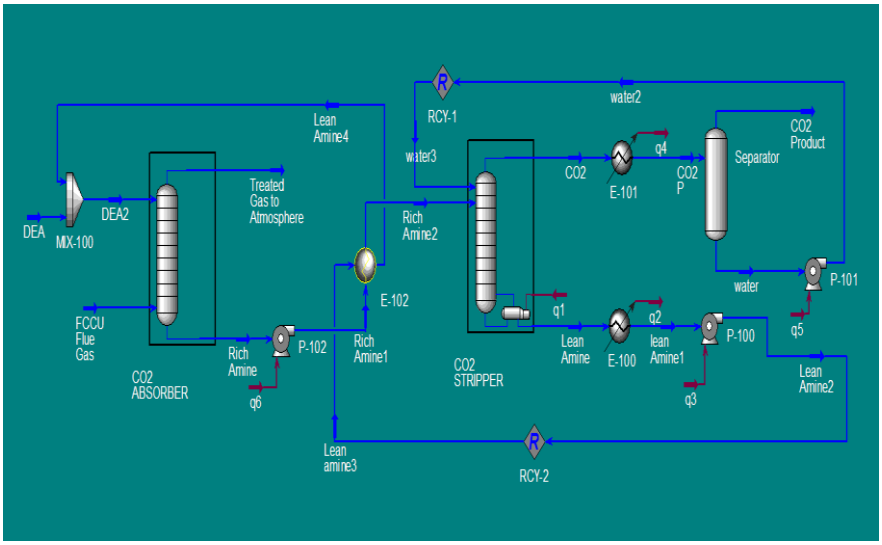


شکل ٤: نمودار جعبه ای جذب و تبدیل دی اکسید کربن به محصول متانول

شبیه سازی فرایند جذب و دفع توسط نرم افزار آسپن هایسیس(Aspen Hysys)

شبیه سازی فرایند جذب شیمیایی دی اکسید کربن از جریان گازهای سوخته با استفاده از حلال دی اتانول آمین(DEA) ۳۰٪ انجام شده است. در این تحقیق از نسخه V.6.5 نرم افزار آسپن هایسیس که دارای بسته ترمودینامیکی مخصوصی به نام بسته آمینی(Amine Package) می‌باشد و تمام شرایط مورد نیاز برای شبیه سازی با حلال آمینی و واکنش های مربوطه را به صورت پیش فرض دارد استفاده شده است. از مدل ترمودینامیکی کنت-ایزنبرگ(Kent-Eisenberg) برای محلولهای آمین در این بسته آمینی استفاده شده است[۲۱،۲۳،۳۶].

صفحه اصلی فرایند سیستم جذب و دفع دی اکسید کربن توسط حلال دی اتانول آمین که توسط نرم افزارآسپن هایسیس شبیه سازی شده در شکل۵ نشان داده شده است. شرایط فرایندی برجهای جذب و دفع که در شبیه سازی فرایند در نظر گرفته شده در جدول۱ آمده است. شرایط عملیاتی براساس کارهای مشابه قبلی و همچنین شرایط عملیاتی واحد های تجاری شده و داده های علمی از کتابهای مرجع در نظر گرفته شده است[۲۱،۲۳،۲۴]. در این شکل تجهیزات اصلی مورد نیاز فرایند جذب و بازیابی دی اکسید کربن مانند برج جذب، برج دفع ، پمپ های آمین ضعیف و غنی، مبدل،کولر، ظرف جدا کننده و مسیرهای فرایندی ارتباطی نشان داده شده است.



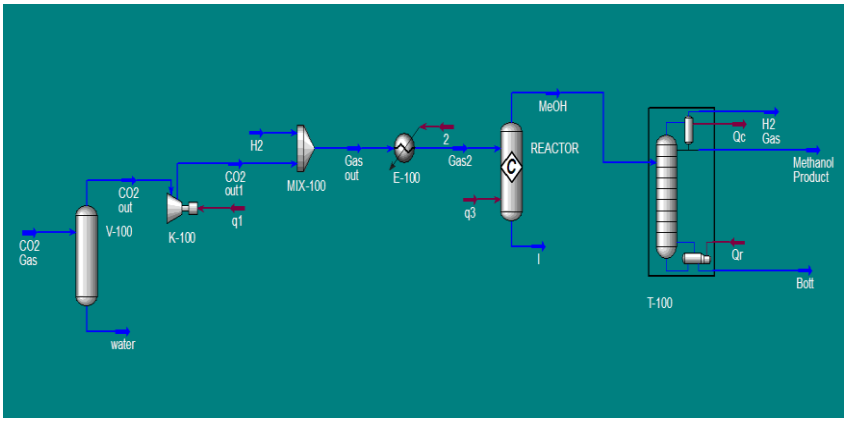
شکل ۵ : صفحه اصلی فرایند سیستم جذب و دفع دی اکسید کربن با نرم افزار Aspen Hysys

جدول ۱: شرایط فرایندی برج های جذب و دفع دی اکسید کربن در شبیه سازی با نرم افزار **Aspen Hysys**

شرایط عملیاتی	واحد	مقدار
شرایط عملیاتی برج جذب		
فشار	bar	۱.۱
دمای بالای برج	^0C	۳۹
دمای پایین برج	^0C	٦۸
تعداد مراحل تعادلی	-	۱۵
دمای آمین ضعیف	^0C	٤۰
نسبت مایع به گاز (L/G)	–	۳.۵
شرایط عملیاتی برج دفع		
فشار	bar	۱.۹
دمای جوشاننده	^0C	۱۲۵
دمای آمین غنی	^0C	۱۰۰
شرایط گازهای احتراق		
مقدار جریان جرمی	Ton/hr	۲۳۰
دما	^0C	٦۰
وزن مولکولی	Kg/kg mole	۲۸
غلظت دی اکسید کربن	mole	۱۲.۷
شرایط جاذب (DEA)		
غلظت دی اتانول آمین (DEA)	$Wt^{\%}$	۳۰

شبیه سازی فرایند تبدیل دی اکسید کربن بازیابی شده به سوخت متانول توسط نرم افزار Aspen Hysysy

در این تحقیق از نسخه V-6.5 نرم افزارآسپن هایسیس برای شبیه سازی فرایند تبدیل دی اکسید کربن بازیابی شده گازهای احتراق به محصول متانول استفاده شده است. این نرم افزار دارای واکنش های مورد نیاز برای شبیه سازی این فرایند می‌باشد. گاز دی اکسید کربن که توسط جذب شیمیایی با دی اتانول آمین ۳۰٪ بدست آمده بود و به درجه خلوص ۹۵٪ رسیده بود را با نسبت مولی ۱ به ۳ با هیدروژن خالص مخلوط شده و در دمای ^oC ۲۷۰ و فشار bar ۳۰ در راکتور به محصول متانول تبدیل شده است. پس از وارد کردن اطلاعات مورد نیاز نرم افزار، آن را اجرا کرده و با همگرا شدن آن نشان داد که شبیه سازی حل شده است. صفحه اصلی سیستم تبدیل توسط نرم افزار آسپن هایسیس در شکل٦ نشان داده شده است. در این شکل تجهیزات اصلی مورد نیاز فرایند تبدیل مانند راکتور تبدیل دی اکسید کربن به متانول، برج تقطیر متانول، کمپرسور، مبدل، ظرف آب گیر و مسیرهای فرایندی ارتباطی نشان داده شده است. مقادیر جرمی خوراک ورودی (دی اکسید کربن و هیدروژن) و محصول متانول تولیدی در جدول ۵ آمده است.

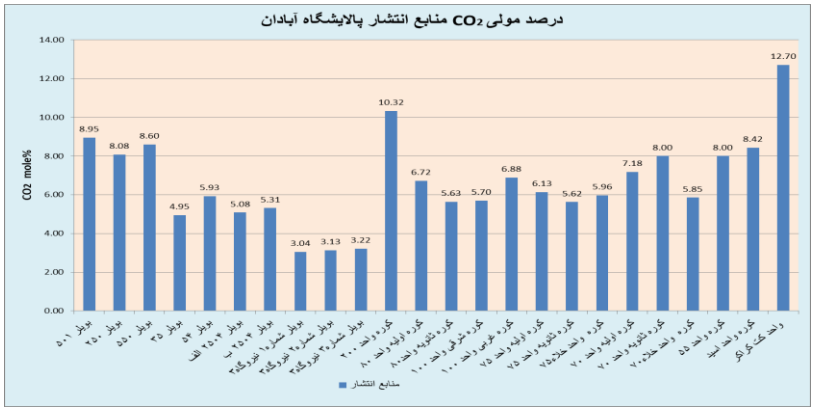


شکل ۶: صفحه اصلی شبیه سازی تبدیل دی اکسید کربن به متانول با نرم افزار Aspen Hysys

یافته‌ها

نتایج اندازه گیری غلظت گازهای احتراق کوره ها، بویلرها و نیروگاه برق پالایشگاه آبادان

جهت مشخص نمودن درصد مولی دی اکسید کربن گازهای احتراق منابع انتشار پالایشگاه آبادان اقدام به اندازه گیری و آنالیز گازهای احتراق منابع انتشار دی اکسید کربن در این پالایشگاه گردید. میزان غلظت دی اکسید کربن در بخش های مختلف پالایشگاه آبادان در شکل ۷ نشان داده شده است. برای اندازه گیری غلظت دی اکسید کربن از دستگاه Testo350-XL (ساخت کشور آلمان) و دستگاه کروماتوگرافی گاز استفاده شد.

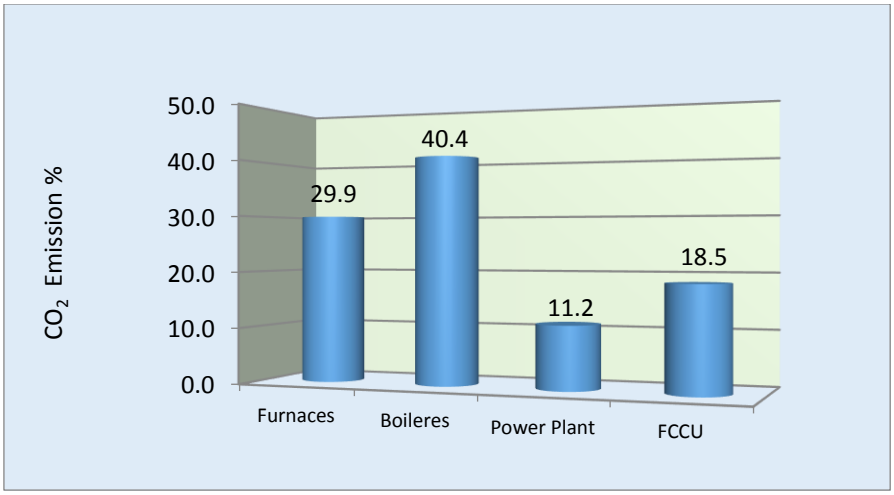


شکل ۷: میزان غلظت دی اکسید کربن منابع انتشار پالایشگاه آبادان

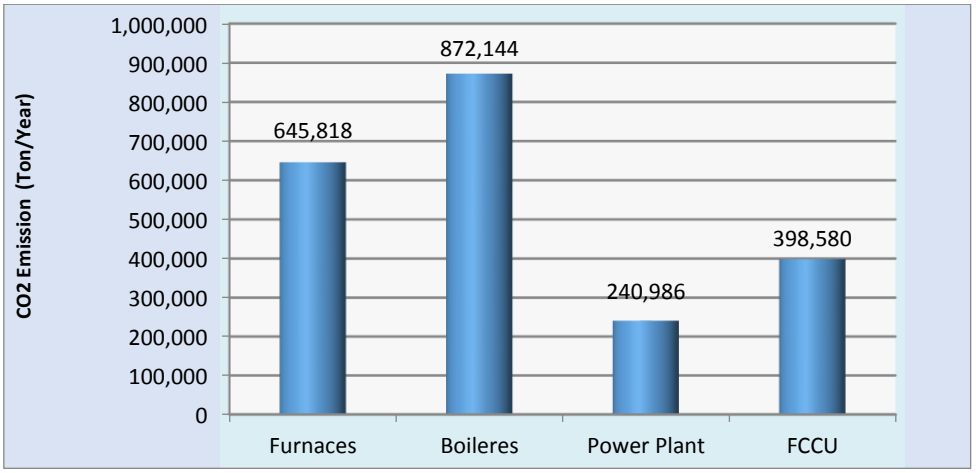
سهم منابع انتشار دی اکسید کربن در بخش های مختلف پالایشگاه آبادان بر اساس محاسبات سوخت و احتراق محاسبه شده و در شکل ۸ نشان داده شده است. بیشترین سهم انتشار مربوط به بویلر های تولید بخار آب و کمترین سهم انتشار مربوط به نیروگاه شماره ۳ پالایشگاه آبادان می‌باشد. واحد جدید کت کراکر سهم انتشار ۱۸/۵ درصدی را به خود

اختصاص داده است که مربوط به کک سوزی در برج احیاء این واحد می‌باشد. با توجه به تعداد زیاد بویلرهای تولید بخار و کوره های فرایندی در پالایشگاه سهم قابل توجهی از تولید دی اکسید کربن را این تجهیزات به خود اختصاص داده اند. بیشترین مقدار گاز طبیعی مصرفی در پالایشگاه آبادان هم به این تجهیزات اختصاص دارد.

میزان انتشار دی اکسید کربن از منابع انتشار مختلف پالایشگاه آبادان بر اساس محاسبات سوخت و احتراق محاسبه شده و در شکل ۹ آمده است. بیشترین سهم مربوط به بویلر های تولید بخار آب و کمترین سهم مربوط به نیروگاه شماره ۳ پالایشگاه آبادان می‌باشد. محاسبات انجام شده نشان می‌دهد که پالایشگاه آبادان با ظرفیت ٤٠٠ هزار بشکه در روز میزان ۲ میلیون تن در سال آلاینده دی اکسید کربن به اتمسفر منتشر می‌کند.



شکل ۸: سهم انتشار دی اکسید کربن در بخش های مختلف پالایشگاه آبادان



شکل ۹: میزان انتشار گاز دی اکسید کربن در بخش های مختلف پالایشگاه آبادان

نتایج اندازه گیری گازهای احتراق برج احیاء واحد جدید کت کراکر پالایشگاه آبادان

برای مشخص شدن میزان دی اکسید کربن و دیگر ترکیبات موجود در جریان گازهای سوخته خروجی از برج احیاء واحد جدید کت کراکر اقدام به نمونه گیری از گازهای احتراق خروجی از برج احیاء این واحد گردید و سپس آنالیز آن توسط دستگاه کروماتوگرافی گاز(GC) مدل Agilent 7890B انجام شد. نتایج بدست آمده از اندازه گیری گازهای سوخته ناشی از کک سوزی و احیاء کاتالیست در واحد جدید کت کراکر در جدول ۲ آمده است. از آنالیز گازهای خروجی از واحد کت کراکر مشخص شد که غلظت دی اکسید کربن در گازهای سوخته خروجی واحد کت کراکر در محدوده ۱۰ تا ۱۵ درصد حجمی می‌باشد.

نتایج حاصل از شبیه سازی فرایند جذب و دفع با نرم افزار Aspen Hysys

پس از ایجاد صفحه نمودار جریان فرایندی برای سیستم جذب و دفع استاندارد در نرم افزار آسپن هایسیس و تکمیل داده های مورد نیاز تجهیزات استفاده شده، این نرم افزار برای ۱۰ نمونه با درصد های حجمی مختلف CO_2 از گازهای سوخته واحد جدید کت کراکر اجرا شده و همگرا و حل شده است. نتایج حاصل شده از شبیه سازی فرایند جذب دی اکسید کربن با حلال دی اتانول آمین دارای غلظت ۳۰٪ وزنی توسط نرم افزار آسپن هایسیس برای نمونه های مورد مطالعه در جدول ۳ آمده است.

جدول ۲: درصد مولی ترکیبات موجود در جریان گازهای احتراق واحد جدید کت کراکر پالایشگاه آبادان

ترکیبات / شماره نمونه	CO_2	O_2	N_2	H_2O	SO_2
۱	۱۲/۷۰	۱/۷۰	٦٦/۲	۱۹/۲	۰/۲۰
۲	۱۱/٤۷	۰/۷٦	٦۸/۰	۱۹/٦	۰/۱۹۲
۳	۱۰/۹٥	۱/٦۸	٦۷/٦	۱۹/٦	۰/۱۸٦
٤	۱٤/۱۹	۱/۰٤	٦٥/۸	۱۸/۹	۰/۱۱۰
٥	۱٥/۲۸	۰/۹۱	٦٥/۷	۱۸/۰	۰/۱۲٥
٦	۱۱/٤٤	۰/۸۲	٦۸/۰	۱۹/۷	۰/۱۳۲
۷	۱٤/۹۰	۰/۸۰	٦٥/۷	۱۸/٦	۰/۱۳۱
۸	۱۰/٦٥	۲/۲۰	٦۷/۰	۲۰/۰	۰/۱۳۱
۹	۱۰/٥۳	۲/٤۲	٦۷/۰	۱۹/۹	۰/۱۳٦
۱۰	۱۰/۸۹	۱/۷۷	٦۸/۰	۱۹/۲	۰/۱۲٦

جدول ۳ : ترکیبات گازهای احتراق واحد کت کراکر پس از جذب شیمیایی CO_2 توسط DEA

ترکیبات / شماره نمونه	CO_2	O_2	N_2	H_2O	SO_2
۱	۰/۰۰۲۵	۰/۰۲٤۸	۰/۹٦٦٥	۰/۰۰۳۲	۰/۰۰۲۹
۲	۰/۰۰۱۸	۰/۰۱۱۰	۰/۹۸۱۳	۰/۰۰۳۲	۰/۰۰۲۸
۳	۰/۰۰۱٥	۰/۰۲٤۱	۰/۹٦۸٥	۰/۰۰۳۲	۰/۰۰۲۷
٤	۰/۰۰٤۸	۰/۰۱٥٤	۰/۹۷٤۹	۰/۰۰۳۳	۰/۰۰۱٦
٥	۰/۰۰۸۷	۰/۰۱۳٥	۰/۹۷۲٦	۰/۰۰۳٤	۰/۰۰۱۹
٦	۰/۰۰۱۸	۰/۰۱۱۸	۰/۹۸۱۳	۰/۰۰۳٤	۰/۰۰۱۹
۷	۰/۰۰۷۹	۰/۰۱۱۹	۰/۹۷٥۰	۰/۰۰۳۳	۰/۰۰۱۹
۸	۰/۰۰۱٤	۰/۰۳٦٥	۰/۹٦۱۹	۰/۰۰۳۲	۰/۰۰۱۹
۹	۰/۰۰۱۳	۰/۰۳٤٦	۰/۹٥۸٥	۰/۰۰۳۲	۰/۰۰۱۹
۱۰	۰/۰۰۱٥	۰/۰۲٥۲	۰/۹٦۸۳	۰/۰۰۳۲	۰/۰۰۱۸

جدول ٤ : نتایج جذب CO_2 با حلال دی اتانول آمین بر اساس شبیه سازی با Aspen Hysys

ردیف	عنوان	واحد	مقدار
۱	میزان گازهای احتراق خروجی از برج احیاء واحد کت کراکر	تن در ساعت	۲۳۰
۲	میزان جریان گاز دی اکسید کربن خروجی از واحد کت کراکر	تن در روز	۱۰۹۲
۳	غلظت دی اکسید کربن در گازهای احتراق ورودی به برج جذب	درصد مولی	۱۲.۷
٤	غلظت دی اکسید کربن در گازهای احتراق خروجی از برج جذب	درصد مولی	۰.٦٦
٥	جریان جرمی دی اکسید کربن خروجی از برج دفع	تن در روز	۱۰۳۸
٦	جریان جرمی دی اکسید کربن ورودی به برج دفع	تن در روز	۱۰٦۱
۷	درجه خلوص دی اکسید کربن بازیافت شده	درصد	۹٤.٥٦
۸	بازده جذب دی اکسید کربن در برج جذب	درصد	۹٤.۸
۹	بازده بازیافت دی اکسید کربن در برج دفع	درصد	۹٥
۱۰	جریان جرمی دی اکسید کربن جذب شده	تن در روز	۱۰۰۳
۱۱	بازده جذب دی اکسید کربن	درصد	۹۲

بر اساس نتایج حاصل شده از شبیه سازی جذب شیمیایی دی اکسید کربن با حلال دی اتانول آمین با غلظت ۳۰٪ توسط نرم افزار آسپن هایسیس و محاسبات انجام شده میزان راندمان جذب و میزان کاهش انتشار گاز دی اکسید کربن در واحد کت کراکر محاسبه شده و در جدول ٤ آمده است.

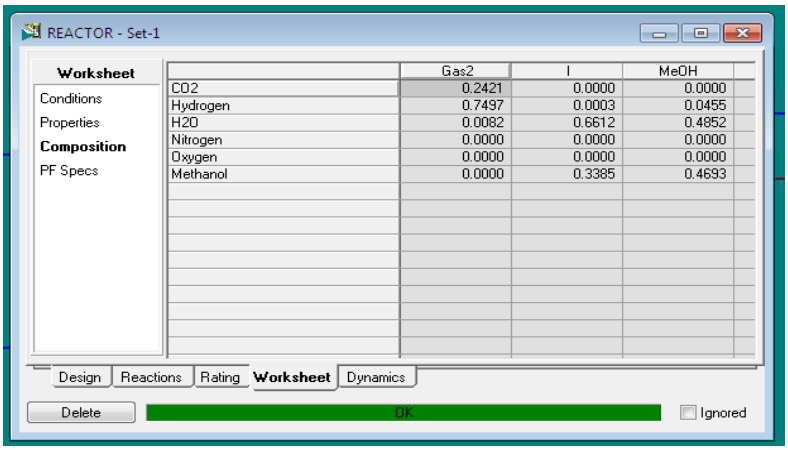
بر اساس غلظت مولی دی اکسید کربن ورودی به برج جذب و خروجی از آن، راندمان جذب دی اکسید کربن از رابطه ۱۰ محاسبه شده و در جدول ٥ آمده است. میانگین راندمان جذب ۹۷.٥ بدست آمده است.

نتایج شبیه سازی فرایند تبدیل دی اکسید کربن به متانول توسط نرم افزار Aspen Hysys

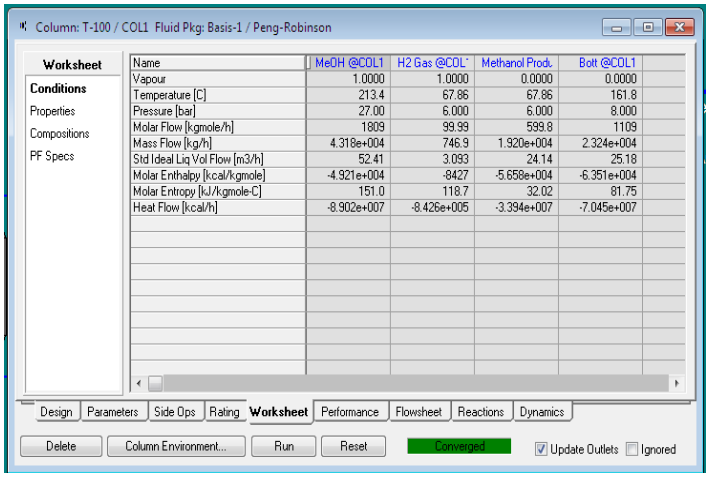
بخشی از نتایج حاصل شده از شبیه سازی فرایند تبدیل دی اکسید کربن به متانول با نرم افزار آسپن هایسیس در شکل های ۱۰ تا ۱۲ آمده است. در شکل ۱۰ ترکیبات مولی جریان های ورودی و خروجی از راکتور آورده شده است. همانطور که دیده می‌شود تمام دی اکسید کربن ورودی به راکتور به متانول تبدیل شده است.

جدول ۵ : راندمان جذب دی اکسید کربن در برج جذب بر اساس شبیه سازی با Aspen Hysys

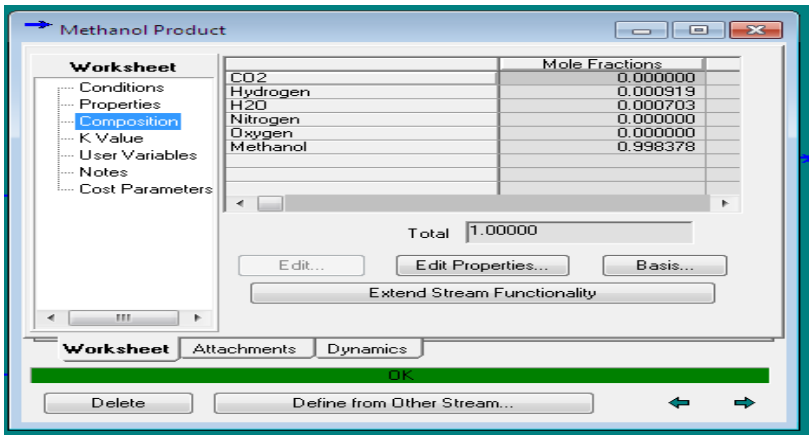
شماره نمونه	CO_2 ورودی به برج جذب	CO_2 خروجی از برج جذب	راندمان جذب
۱	۱۲/۷۰	۰/۲۵	۹۸/۰
۲	۱۱/٤۷	۰/۱۸	۹۸/٤
۳	۱۰/۹۵	۰/۱۵	۹۸/٦
٤	۱٤/۱۹	۰/٤۸	۹٦/٦
۵	۱۵/۲۸	۰/۸۷	۹٤/۳
٦	۱۱/٤٤	۰/۱۸	۹۸/٤
۷	۱٤/۹۰	۰/۷۹	۹٤/۷
۸	۱۰/٦۵	۰/۱٤	۹۸/۷
۹	۱۰/۵۳	۰/۱۳	۹۸/۸
۱۰	۱۰/۸۹	۰/۱۵	۹۸/٦
میانگین	۱۲/۳	۰/۳	۹۷/۵
انحراف معیار (SD)	۱/۸٤	-	-



شکل ۱۰: مشخصات ترکیبات ورودی و خروجی از راکتور تبدیل در شبیه سازی با نرم افزار Aspen Hysys



شکل ۱۱: شرایط عملیاتی جریانهای ورودی و خروجی از برج تقطیر متانول با نرم افزار Aspen Hysys



شکل ۱۲: مشخصات محصول متانول تولیدی با نرم افزار Aspen Hysys

شرایط عملیاتی جریانهای ورودی و خروجی از برج تقطیر متانول مانند دما، فشار، دبی جرمی و حجمی جریانها در شکل ۱۱ آورده شده است. این برج تقطیر دارای ۱۶ مرحله تعادلی می‌باشد. از معادله حالت Peng-Robinson برای شبیه سازی این برج استفاده شده است. در این برج جدا سازی آب از محصول متانول صورت می‌گیرد و محصول متانول به درجه خلوص مورد نظر می‌رسد.

مشخصات محصول متانول تولیدی از گاز دی اکسید کربن در شکل ۱۲ آمده است. همانطور که مشاهده می‌شود با این روش میتوان متانول با درجه خلوص ۹۹/۸٤ درصد بدست آورد.

موازنه جرم برای واکنش تبدیل دی اکسید کربن بازیابی شده به متانول بر اساس ضرایب استوکیومتری واکنش انجام شده و نتایج در جدول ٦ آمده است. بر اساس ضرایب استوکیومتری معادله واکنش و نتایج خروجی از شبیه سازی فرایند تبدیل با نرم افزار آسپن هایسیس میزان متانول تولیدی ٦۸٦ تن در روز می‌باشد. در این جدول ارزش خوراک و محصول محاسبه شده و آمده است. محاسبات نشان از ارزش افزوده بالای محصول متانول تولیدی دارد.

جدول ۶: موازنه جرم واکنش تبدیل دی اکسید کربن به متانول و ارزش خوراک و محصول متانول

ترکیبات	میزان جریان (روز/تن)	قیمت (تن/دلار)	ارزش (سال/ دلار)
خوراک			
دی اکسید کربن	۱۰۰۳	۳۰	۱۰،۹۸۲،۸۵۰
هیدروژن	۱۳۸	٤۰	۲،۱۰٤،۸۰۰
محصول			
متانول	٦۸٦	۲۰۰	۵۰،۰۷۸،۰۰۰
آب	۳۹۵	۰/۱۵	۲۱،٦۲٦

محاسبات اقتصادی و هزینه کاهش انتشار دی اکسید کربن و راندمان جذب و بازیابی

بر اساس اطلاعات طراحی واحد جدید کت کراکر پالایشگاه آبادان، میزان خورک این واحد ۲۷٤ تن در ساعت می‌باشد و مقدار ٤/۲ درصد وزنی از خوراک واحد در راکتور تبدیل به کک می‌گردد. مقدار کک تولیدی این واحد ۲۷٦ تن در روز می‌باشد.

مقدار کک تولیدی =۲۷۴ ton/hr × ۰.۰۴۲=۱۱.۵ ton/hr = ۲۷۶ تن در روز

کک تولیدی در برج احیاء واحد سوخته شده و۲۳۰ تن در ساعت گازهای احتراق تولید می‌نماید.

میزان دی اکسید کربن خروجی از برج احیاء واحد کت کراکر:

=۲۳۰۰۰۰ kg/hr × ۰/۱۲۷ mole% ÷ ۲۸/۲۵ = ۱۰۳٤ kg mole/hr × ٤٤=٤٥٤۹۵ kg/hr = ۱۰۹۲ ton/day

میزان دی اکسید کربن موجود در گاز تصفیه شده پس از جذب با دی اتانول آمین:

=۱٦٤٦۷۸ kg/hr × ۰/۰۰٦٦ mole% ÷ ۲۸/۲۵ = ۳۸/٤۷ kgmole/hr × ٤٤=۱٦۹۲/۸ kg/hr = ٤۰/٦ Ton/day

میزان دی اکسید کربن جذب شده در برج جذب با آمین:

تن در روز ۱۰۵۱/۴ = ۴۰/۶ - ۱۰۹۲ = مقدار دی اکسید کربن جذب شده

محاسبه راندمان جذب:

$$\text{راندمان جذب } CO_2 = \frac{(CO_2\ in - CO_2\ out)}{CO_2\ in} * 100$$

راندمان جذب = (۱۰۹۲-۴۰.۶) ÷ ۱۰۹۲× ۱۰۰= ۹۶.۳

میزان کاهش انتشار دی اکسید کربن از واحد کت کراکر:

= میزان کاهش انتشار آلاینده دی اکسید کربن

=۱۰۳۸ kg mole/hr × ۰.۹٤٥٦ mole% × ٤۲.٦= ٤۱,۸۱۳ kg/hr = ۱۰۰۳ تن در روز

راندمان بازیابی دی اکسید کربن در برج دفع:

$$\text{راندمان بازیابی } CO_2 = \frac{\text{بازیابی شده } CO_2}{\text{ورودی } CO_2} * ۱۰۰$$

$$= \frac{۱۰۰۳\ (\frac{\text{تن}}{\text{روز}})}{۱۰۵۱.۵\ (\frac{\text{تن}}{\text{روز}})} * ۱۰۰ = ۹۵.۴\%$$

محاسبات اقتصادی طرح جذب دی اکسید کربن و تولید سوخت متانول

ارزیابی اقتصادی بمنظور محاسبه سود آوری سرمایه گذاری در پروژه انجام می‌شود. برای محاسبات اقتصادی این طرح اقدام به محاسبه قیمت خوراک و محصولات گردید. همچنین هزینه های عملیاتی شامل هزینه های مواد شیمیایی مصرفی، آب و برق و بخار، پرسنل، بیمه، استهلاک و هزینه تعمیرات محاسبه شد. سرمایه مورد نیاز طرح بر اساس پروژه های مشابه و با توجه به ظرفیت واحد در نظر گرفته شده است. در محاسبات اقتصادی عمر مفید بهره برداری از واحد جذب دی اکسید کربن و تبدیل به متانول ۲۰ سال و نرخ بهره سالانه در محاسبات میزان کاهش سرمایه ۱۰ درصد در نظر گرفته شده است.

سرمایه ثابت مورد نیاز طرح جذب دی اکسید کربن از گازهای احتراق واحد جدید کت کراکر شامل طراحی ، خرید ، نصب و راه اندازی، ٤٠ میلیون دلار می‌باشد.

کل هزینه های سالانه طرح جذب و تبدیل مورد نیاز این طرح ٦.٨ میلیون دلار در سال می‌باشد. میزان کاهش آلاینده دی اکسید کربن از جریان گازهای احتراق واحد کت کراکر ٣٦٦ هزار تن در سال بدست آمده است. بر اساس این اطلاعات میزان هزینه هر تن کاهش آلاینده دی اکسید کربن از فرمول زیر محاسبه و در جدول ۷ آمده است.

$$\text{هزینه کاهش آلاینده } CO_2 = \frac{\text{هزینه سالانه طرح}}{\text{مقدارکاهش آلاینده درسال}} * ۱۰۰$$

جدول ۷: محاسبات اقتصادی هزینه تن کاهش آلاینده دی اکسید کربن از واحد کت کراکر

ردیف	عنوان	واحد	مقدار
۱	دی اکسید کربن موجود در گازهای احتراق واحد کت کراکر	تن در روز	۱۰۹۲
۲	دی اکسید کربن حذف شده از گازهای احتراق واحد کت کراکر	تن در روز	۱۰۰۳
۳	سرمایه مورد نیاز برای سیستم جذب و دفع	دلار	٤٠،٠٠٠،٠٠٠
٤	هزینه های تعمیرات	دلار در سال	٨٠٠،٠٠٠
٥	هزینه های عملیاتی	دلار در سال	٢،٠٠٠،٠٠٠
٦	کل هزینه های عملیاتی	دلار در سال	٢،٨٠٠،٠٠٠
۷	سرمایه ثابت سالانه	دلار در سال	٤،٠٠٠،٠٠٠
۸	کل سرمایه ثابت	دلار در سال	٦،٨٠٠،٠٠٠
۹	هزینه حذف هر تن دی اکسید کربن از گازهای احتراق	دلار در تن	۱۹

محاسبه زمان بازگشت سرمایه در اثر کاهش انتشار دی اکسید کربن و تولید محصول متانول

سرمایه گذاری برای هر طرحی با اقتصادی بودن آن توجیه پذیر می‌باشد و اولویت بندی پروژه‌ها با شاخص های مالی و اقتصادی انجام می‌شود. تجزیه و تحلیل هزینه و سود شامل شناسایی هزینه های مختلف یک پروژه و مقایسه آن با منافع آن است. تکنیک های اصلی تجزیه و تحلیل هزینه – سود شامل شاخص های اقتصادی مانند زمان بازگشت سرمایه، نرخ داخلی بازگشت سرمایهIRR (Internal Rate of Return) ، ارزش خالص فعلیNPV (Net Present Value) طرح می‌باشد.

محاسبات اقتصادی بودن طرح و زمان بازگشت سرمایه طرح با در نظر گرفتن عمر مفید بهره برداری از کارخانه ۲۰ سال و نرخ بهره ۱۰ درصد انجام شده است. هزینه سرمایه گذاری مورد نیاز طرح بر اساس ظرفیت واحد تولید متانول لحاظ شده است. هزینه های تعمیراتی و عملیاتی بصورت درصدی از سرمایه ثابت در نظر گرفته شده است. معیار اصلی

در نظر گرفته شده در اینجا ارزش خالص فعلی می‌باشد. سرمایه ثابت مورد نیاز طرح جذب دی اکسید کربن و تبدیل آن به محصول متانول شامل طراحی، خرید، نصب و راه اندازی، ۱۰۰ میلیون دلار می‌باشد.

کاهش سرمایه + عمر مفید دستگاه ÷ هزینه ساخت = هزینه سرمایه گذاری سالانه

هزینه سرمایه گذاری سالانه طرح

دلار ۱۵ ,۰۰۰,۰۰۰= ۱۰ ,۰۰۰,۰۰۰ +۵,۰۰۰,۰۰۰ =

= هزینه های عملیاتی+ هزینه سرمایه گذاری سالانه = کل هزینه سالانه طرح

دلار در ۲۰,۰۰۰,۰۰۰=۵,۰۰۰,۰۰۰ +۱۵ ,۰۰۰,۰۰۰ = سال

(هزینه‌ها – فروش محصول) = درآمد خالص طرح

=$۲۰,۰۰۰,۰۰۰ - $ ۵۰,۰۷۸,۰۰۰= درآمد خالص طرح دلار ۳۰,۰۷۸,۰۰۰

$$\text{زمان بازگشت سرمایه} = \frac{\text{کل سرمایه طرح}}{\text{درآمدحاصل از طرح}} =$$

$$\text{سال } ۳ = \frac{\text{۱۰۰,۰۰۰,۰۰۰ دلار}}{\frac{\text{دلار}}{\text{سال}}\text{۳۰,۰۷۸,۰۰۰}}$$

محاسبات اقتصادی این طرح توسط نرم افزار اکسل۲۰۱۳ انجام شده است و نتیجه نهایی محاسبات اقتصادی هزینه جذب آلاینده دی اکسید کربن و تبدیل به محصول متانول برای واحد کت کراکر پالایشگاه آبادان در جدول ۸ آمده است. پارامتر های مورد نیاز تجزیه و تحلیل اقتصادی طرح مانند نرخ بازده داخلی سرمایه و ارزش خالص فعلی و زمان بازگشت سرمایه که نشان دهنده سود آوری می‌باشد برای طرح محاسبه شده و در این جدول آمده است. در صورتیکه ارزش خالص فعلی محاسبه شده با نرخ بهره در نظر گرفته شده مثبت باشد($NPV \geq 0$)، طرح سود آور بوده و توجیح اقتصادی دارد. اگر($NPV \leq 0$) باشد طرح اقتصادی نمی باشد. در این تحقیق مقدار بدست آمده برای ارزش خالص فعلی و نرخ بازده داخلی سرمایه نشان از اقتصادی بودن طرح دارد.

جدول ۸: محاسبات اقتصادی هزینه جذب آلاینده دی اکسید کربن و تبدیل به محصول متانول در واحد کت کراکر

ردیف	عنوان	واحد	مقدار
۱	ظرفیت واحد جذب دی اکسید کربن	تن در روز	۱۰۰۰
۲	ظرفیت واحد تبدیل دی اکسید کربن به متانول	تن در روز	۷۰۰
۳	هزینه سرمایه گذاری طرح	دلار	۱۰۰،۰۰۰،۰۰۰
٤	هزینه تعمیرات (٪۲ سرمایه)	دلار در سال	۲،۰۰۰،۰۰۰
٥	هزینه مواد شیمیایی مصرفی (٪۳ سرمایه)	دلار در سال	۳،۰۰۰،۰۰۰
٦	کل هزینه های عملیاتی در سال(٪۵ سرمایه یا جمع موارد ٤ و ٥)	دلار در سال	۵،۰۰۰،۰۰۰
۷	هزینه سالانه واحد جذب و تبدیل(برای ۱۵ سال و نرخ بهره ٪۱۰)	دلار در سال	۱۰،۰۰۰،۰۰۰
۸	هزینه استهلاک،بیمه و مالیات(٪۵ سرمایه)	دلار در سال	۵،۰۰۰،۰۰۰
۹	کل هزینه های سالانه طرح	دلار در سال	۲۰،۰۰۰،۰۰۰
۱۰	میزان دی اکسید کربن حذف شده	تن در روز	۱۰۰۳
۱۱	میزان محصول متانول تولید شده	تن در روز	٦۸٦
۱۲	هزینه تن کاهش آلاینده دی اکسید کربن	دلار	۱۹
۱۳	قیمت متانول	دلار	۲۰۰

۱٤	میزان درآمد ناخالص	دلار در سال	۵۰،۰۷۸،۰۰۰
۱۵	میزان درآمد خالص	دلار در سال	۳۰،۰۷۸،۰۰۰
۱٦	نرخ بازده داخلی سرمایه(IRR)	درصد	۲۲
۱۷	ارزش خالص فعلی(NPV)	میلیون دلار	۹۲
۱۸	میزان بازگشت سرمایه	سال	۳

جدول ۹: مقایسه داده های شبیه سازی با داده های پیلوت

ردیف	پارامتر	سال تحقیق	داده شبیه سازی	داده پیلوت نیمه صنعتی	درصد خطا
۱	راندمان جذب	۱۳۹۸	۹۷.۵	۹۲.۵	۵٪
۲	راندمان جذب	۱۳۹۰	۹۷.۵	۹۵.۵	۲٪

اعتبار سنجی مدل

در این قسمت برای بررسی و صحت و دقت مدل استفاده شده، نتایج شبیه سازی با داده های پیلوت نیمه صنعتی مقایسه شده است. با توجه به اینکه متغیر های عملیاتی زیادی مانند فشار، دما، غلظت آمین، نسبت مایع به گاز (L/G) در برج جذب در راندمان جذب دی اکسید کربن دخالت دارند و جهت همسان سازی شرایط در اعتبار سنجی لذا راندمان کلی جذب برای اعتبار سنجی انتخاب گردید. میزان انحراف محاسبه شد و در جدول ۹ آمده است. همانطور که در این جدول مشاهده می‌شود میزان خطا ۵٪ و ۲٪ بوده و مدل ارائه شده و نتایج پایلوت مطابقت خوبی دارند.

بحث

مهمترین مسئله ای که امروزه توجه بسیاری از دانشمندان را به خود جلب کرده است گرم شدن کره زمین در اثر گازهای گلخانه ای است. این مسئله جهان را در آستانه یک فاجعه بزرگ انسانی و زیست محیطی قرار داده و دانشمندان عامل اصلی آن را انتشار گاز دی اکسید کربن ناشی از مصرف سوخت های فسیلی کشورهای صنعتی می‌دانند. افزایش مصرف سوخت های فسیلی در صنایع و پالایشگاه های نفت باعث افزایش میزان انتشار دی اکسید کربن در جو زمین شده است و موجب نگرانی جامعه جهانی در افزایش این گاز گلخانه ای و پدیده گرمایش جهانی شده است. در حال حاضر سالانه ۲۷ میلیارد تن گاز دی اکسید کربن در جهان تولید می‌شود که با ادامه روند فعلی در سال ۲۰۵۰ مقدار آن به ۹۰ میلیارد تن در سال خواهد رسید. این در حالی است که کره زمین توان جذب بیش از ۱۲ میلیارد تن آن را ندارد. اگر روند تولید گازهای گلخانه ای همچنان رو به افزایش باشد طی پنجاه سال آینده شاهد افزایش دمای کره زمین به میزان ۳ الی ۵ درجه سانتیگراد خواهیم بود. پالایشگاه آبادان با ظرفیت پالایشی ٤۰۰ هزار بشکه در روز نفت خام

سهم عمده ای در تامین محصول استراتژیک بنزین کشور را بعهده دارد. این پالایشگاه از گاز طبیعی در کوره های فرایندی، بویلرهای تولید بخار و نیروگاه برق استفاده می‌کند که باعث تولید گاز گلخانه ای دی اکسید کربن می‌گردد. بخش دیگری از گاز گلخانه ای این پالایشگاه هنگام کک سوزی و احیاء کاتالیست در واحد کت کراکر تولید می‌شود. در این تحقیق یکی از روشهای کاهش گاز گلخانه ای دی اکسید کربن در جهت بازگشت پذیر کردن آن در چرخه سوخت از طریق جذب شیمیایی آن توسط دی اتانول آمین (DEA) و تبدیل آن به سوخت متانول طی یک واکنش هیدروژناسیون با نرم افزار آسپن هایسیس شبیه سازی شده است.

تحقیقات زیادی برای جذب دی اکسید کربن از گازهای احتراق تولیدی در کارخانه های سیمان، صنایع نفت و گاز، نیروگاه‌ها صورت گرفته است. در اکثر این تحقیقات شبیه سازی فرایند با نرم افزار آسپن هایسیس انجام شده و از مونو اتانول آمین(MEA) با غلظت ۳۰٪ برای جذب دی اکسید کربن استفاده شده و راندمان جذب نزدیک به ۹۰٪ گزارش شده است[۱۸،۱۹،۲۰،۲۱]. در این تحقیق راندمان کلی جذب دی اکسید کربن با دی اتانول آمین ۹۲٪ بدست آمده است که نشان از توانایی این آمین در جذب این گاز دارد.

رحمان دوست و همکاران در سال ۱۳۹۰ تحقیقی در رابطه با جذب دی اکسید کربن دریک پایلوت جذب و دفع با استفاده از محلول ترکیبی آمین انجام داده اند و راندمان جذب گاز دی اکسید کربن به میزان ٪ ۹۵ بدست آمده است[۴۲]. در مطالعه حاضر میزان متوسط جذب دی اکسید کربن توسط دی اتانول آمین در برج جذب ۹۷.۵ بدست آمد.

در این تحقیق مشخص گردید که منابع انتشار دی اکسید کربن در پالایشگاه آبادان شامل کوره های فرایندی با سهم انتشار ۲۹/۹٪، بویلرهای تولید بخار با سهم انتشار ٤۰/٤٪، نیروگاه شماره ۳ با سهم انتشار ۱۱/۲ و واحد جدید کت کراکر با سهم انتشار ۱۸/۵٪ به خود اختصاص دا ده اند. بر اساس شکل ۹ بیشترین سهم انتشار دی اکسید کربن مربوط به بویلر های تولید بخار آب و کمترین سهم مربوط به نیروگاه شماره ۳ پالایشگاه آبادان می‌باشد. محاسبات نشان داد که پالایشگاه آبادان با ظرفیت ٤۰۰ هزار بشکه در روز میزان ۲ میلیون تن در سال آلاینده دی اکسید کربن به اتمسفر منتشر می‌کند.

ضریب انتشار دی اکسید کربن برای پالایشگاه آبادان ۰.۱۱ (تن دی اکسید کربن به تن خوراک) و برای واحد جدید کت کراکر ۰.۱۷(تن دی اکسید کربن به تن خوراک) و برای نیروگاه شماره ۳ برق ۰.٦۱ (تن دی اکسید کربن به مگا وات ساعت) محاسبه شده است. در تحقیقی که در سال ۲۰۰٤ برای پالایشگاههای ایران توسط شرکت شل انجام شده مقدار ضریب انتشار پالایشگاه آبادان ۰.۱۱ (تن دی اکسید کربن به تن خوراک) اعلام شده است. میانگین ضریب انتشار برای پالایشگاهها ۰.۲ مشخص شده است. میانگین ضریب انتشار برای نیروگاهها در محدوده ۰.٤۵ تا ۰.۸ (تن دی اکسید کربن به مگا وات ساعت) می‌باشد. ضرایب انتشار بدست آمده در این تحقیق نشان می‌دهد که شرایط پالایشگاه آبادان و نیروگاه شماره ۳ در محدوده مجاز بوده و نشان از عملکرد مناسب این پالایشگاه دارد.

برای تبدیل گاز گلخانه ای دی اکسید کربن به متانول تحقیقات زیادی انجام شده است. وندال و بوالو در سال۲۰۱۳ اقدام به شبیه سازی فرایند تولید متانول با نرم افزار آسپن پلاس نسخه ۷.۳ کرده اند . برای بخش جذب از مونو اتانول آمین ٪۳۰ استفاده شده است. با این تحقیق مشخص شد که برای تولید هر تن متانول ۱.٦ تن دی اکسید کربن مصرف می‌گردد[۳۷]. در تحقیق حاضر مشخص شد که برای تولید هر تن متانول ۱.٤٦ تن دی اکسید کربن مصرف می‌گردد.

لاریبی و همکاران در سال ۲۰۱۹ برای مدل سازی از نرم افزار آسپن هایسیس نسخه۱۰ استفاده کرده اند. در این تحقیق از مونو اتانول آمین برای جذب استفاده شده است و نتایج شبیه سازی با پایلوت مقایسه شده است[۲۳].

در واکنش تبدیل دی اکسید کربن به متانول نسبت هیدروژن به دی اکسید کربن دارای نقش بسیار مهمی می‌باشد. نسبت مولی بهینه این پارامتر ۳ می‌باشد. اگر این نسبت بیشتر از ۳ باشد منجر به تولید متان می‌گردد که مد نظر نمی باشد و باعث کاهش راندمان تبدیل می‌گردد. اگر این نسبت کمتر از ۳ باشد باعث تولید منو اکسید کربن می‌شود که راندمان تبدیل را کاهش می‌دهد.

محاسبات انجام شده برای پارامتر های اقتصادی این طرح مانند نرخ بازده داخلی سرمایه و ارزش خالص فعلی و زمان بازگشت سرمایه، نشان دهنده سود آوری طرح می‌باشد و برای مدیران صنایع و سرمایه گذاران انگیزه مناسبی ایجاد می‌کند که برای طرح های زیست محیطی سرمایه گذاری بیشتری انجام دهند.

پیشنهادات و راهکارها در ارتباط با نتایج این تحقیق

از نتایج این تحقیق می‌توان در صنایع دیگر مانند صنایع سیمان، صنایع پتروشیمی و نیروگاههای برق استفاده نمود. استفاده از دی اکسید کربن بازیابی شده جهت تامین خوراک ارزان قیمت برای واحد های متانول در صنایع پتروشیمی به جای گاز سنتز گزینه مناسبی می‌باشد.

در پروژه های جدید سیستم های جذب دی اکسید کربن و تبدیل آن به محصولات جزو الزامات زیست محیطی طرح‌ها لحاظ گردد تا به کنترل انتشار گاز گلخانه ای دی اکسید کربن و پدیده گرمایش جهانی کمک شود.

نتیجه گیری

نتایج حاصل از این تحقیق نشان داد که که دی اتانول آمین(DEA) با غلظت ۳۰٪ قابلیت جذب دی اکسید کربن را به میزان ۹۵٪ دارا می‌باشد و گزینه مناسبی برای جذب این گاز گلخانه ای از گازهای احتراق پالایشگاه‌ها می‌باشد. دی اکسید کربن بر اثر حرارت بخوبی از این آمین جدا شده بطوریکه درجه خلوص دی اکسید کربن بازیابی شده از برج دفع ۹۴٪/۶ بدست آمد. راندمان جذب دی اکسید کربن در برج جذب ۹۷.۵ درصد و راندمان کلی سیستم جذب شیمیایی دی اکسید کربن با حلال دی اتانول آمین ۹۲ ٪ می‌باشد. با روش جذب شیمیایی می‌توان۱۰۰۳ تن در روز دی اکسید کربن منتشر شده از واحد جدید کت کراکر پالایشگاه آبادان را تصفیه و بازیابی کرد و از ورود آن به اتمسفر جلو گیری نمود و سپس با واکنش هیدروژناسیون آن را به محصول متانول تبدیل نمود.

شبیه سازی تبدیل دی اکسید کربن بازیابی شده به متانول نشان داد که امکان تبدیل دی اکسید کربن به متانول وجود دارد. متانول بدست آمده از این روش پس از جدا سازی آب همراه آن در برج تقطیر به مقدار ٦٨٦ تن در روز و درجه خلوص آن ۹۹/۸ می‌باشد. بازده این فرایند ٦٨٪ می‌باشد.

محاسبات اقتصادی طرح نشان می‌دهد که هزینه کاهش انتشار هر تن آلاینده دی اکسید کربن ۱۹ دلار می‌باشد. میزان نرخ داخلی بازگشت سرمایه(IRR) این طرح ۲۲٪ و ارزش خالص فعلی (NPV) طرح ۹۲ میلیون دلار و بازگشت سرمایه این طرح ۳ سال می‌باشد. نتایج بدست آمده از محاسبات اقتصادی طرح نشان می‌دهد که این طرح توجیح اقتصادی بسیار خوبی دارد.

با این روش آلاینده دی اکسید کربن که عامل اصلی گرمایش جهانی می‌باشد به محصول متانول تبدیل می‌گردد و علاوه بر کاهش گازهای گلخانه ای، موجب ایجاد ارزش افزوده بالا می‌گردد. از دی اکسید کربن بازیافتی می‌توان بعنوان خوراک پاک و ارزان قیمت برای واحد های تولید متانول صنایع پتروشیمی استفاده نمود و از تبدیل گاز طبیعی به گاز سنتز که بعنوان خوراک واحد های تولید متانول استفاده می‌گردد جلوگیری نمود.

سپاسگزاری

تحقیق حاضر بخشی از رساله دکتری می‌باشد که در دانشگاه آزاد اسلامی واحد اهواز انجام شده است. بدینوسیله از حمایت های معنوی این دانشگاه تشکر می‌گردد.

Refrence

1. Lee J, Kim J, Kim H, et al. A new modeling approach for a CO_2 capture process based on a blended amine solvent. Journal of Natural Gas Science and Engineering 2019; 61:206-214
2. Machida H, Ando R, Esaki T, et al .Modelling of CO_2 solubility in phase separation solvent composed of Amine/ether/water system for CO_2 capture. Journal of Molecular Liquids 2019; 292:111411
3. Xiao M, Liu H, Gao H, Liang Z, et al .CO_2 absorption with aqueous tertiary amine solutions: Equilibrium Solubility and thermodynamic modeling. J. Chem. Thermodynamics 2018; 122: 170–182
4. Moullec Y, Neveux Th, Azki A, et al .Process modifications for solvent-based post-combustion CO_2 capture. International Journal of Greenhouse Gas Control 2014; 31: 96-112.
5. Ohashi Y, Ogawa T, Suzuki K, et al. Development of CO_2 Removal System from the Flue Gas of Coal fired power plant. Energy Procedia 2011; 4:29 –34
6. Nakamura Sh, Yamanaka Y, Matsuyama T, et al .IHI, s Amine-based CO_2 Capture Technology for Coal fired power plant. Energy Procedia 2013; 37: 1897 –1903
7. Bui M, Tait P, Lucquiaud M, et al. Dynamic operation and modelling of amine-based CO_2 capture at pilot scale. International Journal of Greenhouse Gas Control 2018; 79:134-153
8. Wang M, Joel A, Ramshaw C, et al. Process intensification for post-combustion CO_2 capture with chemical absorption: A critical review. Applied Energy 2015; 158: 275-291.
9. Mazari S. A, Brahim S. A, Badrul M.J, et al. An overview of solvent management and emissions of amine-based CO_2 capture technology. International Journal of Greenhouse Gas Control 2015; 34:129-140.
10. Abdollahi F, Craig I, Neisiani M, et al. CO_2 capture from Sulphur Recovery Unit Tail Gas by Shell Cansolv technology. Energy Procedia 2017; 114: 6266-6271
11. Idem R, Supap T, Huancong Shi, et al. Practical experience in post-combustion CO_2 capture using reactive solvents in large pilot and demonstration plants. International Journal of Greenhouse Gas Control 2015; 40: 6-25
12. Van-Dal E.S, Bouallou Ch, et al. CO_2 Abatement through a Methanol Production Process. Chemical Engineering Transactions. 2012; 29:463-468
13. Dubois L, Thomas D. Comparison of various configurations of the absorption-regeneration process using different solvents for the post-combustion CO_2 capture applied to cement plant flue gases. International Journal of Greenhouse Gas Control 2018; 69:20-35
14. Atsonios K, Panopoulos D, Emmanuel Kakaras, et al. Thermo catalytic CO_2 hydrogenation for methanol and ethanol production: Process improvements. International Journal Hydrogen Energy 2015; 1 -1 5
15. Luu M, Milani D, Bahadori A, et al .A comparative study of CO_2 utilization in methanol synthesis with various syngas production technologies. Journal of CO_2 Utilization 2015; 12:62-76
16. Zhao X, Cui Q, Wang B, et al. Recent progress of amine modified sorbents for capturing CO_2 from flue gas. Chinese Journal of Chemical Engineering 2018; 26: 2292-2302
17. Kalatjari H.R., Haghtalab A, Nasr M.R.J, et al. Experimental, simulation and thermodynamic modeling of an acid gas Removal pilot plant for CO_2 capturing by mono-ethanol amine solution. Journal of Natural Gas Science and Engineering 2019; 72: 103001
18. Erik Øi L, Brathen T, Berg Ch, et al. Optimization of configurations for amine based CO_2 absorption using Aspen Hysys. Energy Procedia 2014; 51: 224 –233
19. Erik Øi L. Comparison of Aspen Hysys and Aspen Plus simulation of CO_2 absorption into MEA from atmospheric gas. Energy Procedia 2012; 23: 360 –369
20. Brikelund E.S.CO_2 Absorption and Desorption Simulation with Aspen Hysys.M.sc thesis, University of Tromso, Norway 2013
21. Dubois L, Thomas D. Simulations of various configurations of the post-combustion CO_2 capture process applied to a cement plant flue gas: parametric study with different solvents. Energy Procedia 2017; 114: 1409 –1423
22. Plaza J.M., Wagener D. V, Rochelle G.T, et al. Modeling CO_2 Capture with Aqueous Mono ethanol amine. Energy Procedia1 2009; 1171-1178

23. Laribi S, Dubois L, Weireld G. D, et.al.Study of the post-combustion CO_2 capture process by absorption regeneration using amine solvents applied to cement plant flue gases with high CO_2 contents. International Journal of Greenhouse Gas Control 2019; 90: 102799

24. Goo shin J, sang kwak .A study of the CO_2 capture pilot plant by amine absorption. Energy 2012; 128: 41-46

25. Perez-Fortes M, Bocin-Dumitriu A, Tzimas E, et al.CO_2 Utilization Pathways: Techno-Economic Assessment and Market Opportunities. Energy Procedia 2014; 63: 7968 – 7975

26. Perez-Fortes M, Schoneberger J. C, Boulamanti A, et al. Methanol synthesis using captured CO_2 as raw material: Techno-economic and environmental assessment. Applied Energy 2016; 161: 718–732

27. Wilson H, et al .Abadan Refinery new FCCU Operating manual book. 2008; 330

28. Kohl A. L, Nielsen R.B. Gas Purification. Fifth Edition.1997; 1414

29. Metz B, Davidson O, Meyer L, et al. IPCC Special Report on CO_2 Capture and Storage. First Edition.2005; 443

30. Maddox R.N .Gas conditioning and processing book. 1982; Vol. 4

31. Vega F, Cano M, Gallego L. M, et al. Evaluation of MEA 5M performance at different CO_2 concentrations of flue gas tested at a CO_2 capture lab-scale plant. Energy Procedia 2017; 114: 6222 – 6228

32. Vega F, Cano M, Camino S, et al. Evaluation of the absorption performance of amine-based solvents for CO_2 capture based on partial oxy-combustion approach. International Journal of Greenhouse Gas Control 2018; 73: 95 – 103

33. Xiao M, Liu H, Idem R, et.al. A study of structure–activity relationships of commercial tertiary amines for post-combustion CO_2 capture. Applied Energy 2016; 184: 219–229

34. Muchan P, Saiwan C, Idem R, et al. screening tests of aqueous alkanol amine solutions based on primary, secondary, and tertiary structure for blended aqueous amine solution selection in post combustion CO_2 capture. Chemical Engineering Science 2017; 170:574–582

35. El Hadri N, Quang D.V, Goetheer E.L.V, et al. Aqueous amine solution characterization for post-combustion CO_2 capture process. Applied Energy 2017; 185: 1433-1449

36. Aspen Technology. Aspen one, Aspen Hysys software, user manual book, Version 6.5; 2006

37. Van-Dal E.S, Bouallou Ch. Design and simulation of a methanol production plant from CO_2 hydrogenation. Journal of Cleaner Production 2013; 57: 38-45

38. Bahruji H, Bowker M, Hutchings G, et al .Pd/ZnO catalysts for direct CO_2 hydrogenation to methanol. Journal of Catalysis 2016; 343: 133–146

39. Xu j, Su Xi, Liu xi, et al. Methanol Synthesis from CO_2 and H_2 over $Pd/ZnO/Al_2O_3$: Catalyst Structure Dependence of Methanol Selectivity. Applied Catalysis A: General. 2016; 514: 51-59

40. Milani. D, Khalilpour R, Zahedi Gh, et al. A model-based analysis of CO_2 utilization in methanol synthesis plant. Journal of CO_2 Utilization 2015; 10: 12–22

41. Saeidi S, Najari S, Fazlollahi F, et al .Mechanisms and kinetics of CO_2 hydrogenation to value-added products: A detailed review on current status and future trends. Renewable and Sustainable Energy Reviews 2017; 80: 1292–1311

42. Rahmandost E, Rozbehani B, Maddahi M.H.Experimental studies of CO_2 capturing from flue gases.Iranian journal of oil& gas science and technology 2014; 4: 01–15

Journal of Environmental Health Engineering, December 2021; Vol. 9, No. 1: 101-124

Simulation of methanol synthesis by hydrogenation of carbon dioxide recovered from combustion gases of Fluid Catalytic Cracking Unit of Abadan Refinery

Nader Nikeghbali Sisakht[1], Maryam Mohammedi Rouzbahani[2]*, Sima Sabzalipour[2]

[1]Department of Environmental Engineering, Ahvaz Branch, Islamic Azad University, Ahvaz, Iran
[2] Department of Environment, Ahvaz Branch, Islamic Azad University, Ahvaz, Iran
E-mail: mmohammadiroozbahani@yahoo.com

Received: 23 July. 2021; Accepted: 23 November. 2021

ABSTRACT

Background: Refineries produce about four percent of the global carbon dioxide emissions, close to one billion tons per year. Globally, the refining sector is the third largest producer of carbon dioxide after the electricity generation and cement industry.This greenhouse gases is a major cause of global warming and climate change and is a serious threat to human health and the environment. One way to reduce this greenhouse gas into the atmosphere is to reduce carbon dioxide by reversing this gas in the fuel cycle.The Fluid Catalytic Cracking unit (FCCU) is one of the emissions sources of this greenhouse gas in Abadan Refinery,which produces 230 tons per hour of combustion gases,it has 12.7% mole of carbon dioxide. Identifying the sources of carbon dioxide emissions in Abadan Refinery and simulating the chemical absorption of this greenhouse gas and converting it into methanol fuel is one of the objectives of this study.

Methods: In this research, the concentration of carbon dioxide emitted from the emission sources of Abadan Refinery has been measured by Testo 350-XL and GC. Due to the fact that the concentration of carbon dioxide in the combustion gases of the FCC unit was the highest amount, so the chemical absorption of carbon dioxide from the combustion gases of this unit by 30 wt% diethanolamine solvent and converted into methanol during a hydrogenation reaction has been simulated with Aspen Hysys software. Finally, the economic calculations of the project were performed.

Results: The overall efficiency of chemical absorption of CO2 in the simulation with software is 92% and the purity of captured CO2 is 94.6%. With this method, 1003 ton per day of carbon dioxide in FCC unit can be absorbed and recovered and also converted into methanol product. In the simulation of the conversion of recovered carbon dioxide into methanol, the amount of 686 ton per day of methanol with a purity of 99.8% was obtained. The economic calculations of the project show that the cost of reducing emissions per ton of carbon dioxide is $ 19. The internal rate of return on the project is 22% and the net present value of the project is $ 92 million. The return time on investment of this project is 3 years.

Conclusion: Diethanolamine has a high efficiency in absorbing carbon dioxide from combustion gases.By chemical absorption method with this amine, carbon dioxide pollutant can be recovered from combustion gases that produced in refineries and used as an inexpensive feed to produce methanol fuel.This method, in addition to creating added value, prevented the emission of this greenhouse gas into the environment.

Keywords: CO2 Chemical Absorption, FCCU, Diethanolamine, Methanol, Aspen Hysys Simulation