



دانشگاه تربیت مدرس  
دانشکده فنی و مهندسی  
بخش مهندسی شیمی

پایان نامه کارشناسی ارشد

جداسازی دی اکسید کربن توسط حلال مناسب از مخلوط گازهای خروجی  
مجتمع ذوب آهن اصفهان

علیرضا جهانگیری

استاد راهنما:

دکتر حسن پهلوانزاده

استاد مشاور:

دکتر مهرداد منطقیان

شهریور ۸۷

بِسْمِ اللَّهِ الرَّحْمَنِ الرَّحِيمِ

## تقدیم

به پاس تجویر معظم و انسانی شان از کجای این بار و از خود که گشتی

به پاس عطفه بر مرثا و کرمای امینش و جودشان که در این برودتین روزگاران به تهرین پستیان ارست.

به پاس قلاب های بزرگشان که فریادرس ارست و هر که درانی و ترس در پناهشان به شجاعت می گراید.

و به پاس جبرست های بی درنه شان که هرگز فرگاشد می کند.

ای صبر و عدل به پدر و مادر عزیزم آخیم می گزم.

و به یاد هر مرن عزیز

... هلی نشد که روبروی وضوح که و تران نشیند

و زنت تا باب پنج

و زنت حوصله زور تا در اگر کشید

و نازت که مادر میان پریشانی تلفظ در دنا

برای خوردن یک سب

حقدتہ ناماندرہ ارم  
پ

## تقدیر قشاکر

حد و ریاس خدای که به انسان جان بخشید و با زینت عرق جان درخیزند و در آن فون که مدد لطف جیش به بارش زینت و تاد و بهای رعادت  
در واسطه مهرش بر سر مرم بال و پر که ترانیده است، درست به قام نیش بر دم و به سگانه لطفش جیدین به سجاده سگرمی سلیم و از لطف پر که لطفش  
پاسگاری من کنم.

لازم میدانم که انجربت و بذل بی شائبه. ل تا د ابر ندیم، جناب آقای که ترحم پهلوان ناده که در تعلق در حال انجام این پایان نامه را به نای  
اینجانب در بر عهده گرفتند و در سایه راهنمایی و حمایت های ایشان، تلاش بدم به بارش زینت، کمال تشکر و قدردانی نموده و برای ایشان و خانواده  
محترمشان آرزوی توفیق روز افزون و سلامت، از خداوند منان من نیلیم.

از جناب آقای که ترحم و دامن تیان که مشاوره اینجانب در انجام پایان نامه بر عهده داشتند تشکر و قدردانی من کنم. به هم چنین انهر کالان محترم  
در آزمایشگاه جداسازی دانشگاه تربیت مدرس بویژه آقای ابوظضال جمیدی، به هم اتفق های مهر بدم و تعلق دورتان خبم که در این مدت با اینجانب  
همکاری داشتند تشکر و قدردانی من نیلیم.

از مدیریت محترم واحد های تحقیق و توسعه، آزمایشگاه مرکزی، ای بی و خدمات آتش نشانی و پرسنل محترم واحد تعمیرات و ترمیم ذوب آهن  
اصفهان کمال قدردانی قشاکر دارم.

همچنین بجز ترمیم ذوب آهن اصفهان جهت حمایت های از این پایان نامه کمال تشکر و قدردانی به حال من آید.

امید دارم آنچه در قالب رساله حاضر ارائه من شود، در لاکه ترمش علم موثر بوده و لاکه شامی ادامه تحقیقات و بررسی های بیشتر در این زمینه مشکلات و

کلیتی های موجود در صنعت فولاد کشور باشد.



## چکیده

اخیراً کاهش گازهای گلخانه ای بویژه دی اکسید کربن، ناشی از آلودگی‌های صنعتی به عنوان یک چالش مهم و مورد بحث در مجامع علمی مطرح گردیده است. که در این میان گاز  $CO_2$  به خاطر فراوانی و از سویی دیگر ارزش اقتصادی قابل توجه در میان آلاینده‌های صنعتی به عنوان مهمترین هدف مورد توجه می‌باشد. صنعت فولاد به عنوان بزرگترین مصرف کننده انرژی در جهان، مقدار قابل توجهی دی اکسید کربن به محیط زیست وارد می‌کند. از رایجترین روش‌هایی که در صنعت جهت پالایش این آلاینده‌ها مورد استفاده قرار می‌گیرد روش جذب به همراه واکنش شیمیایی با استفاده از آلکانول آمینها می‌باشد که در میان مجموعه آلکانول آمینها، آمینهای با ممانعت فضایی به عنوان نسل جدید این حلالها اخیراً در صنعت مورد توجه قرار گرفته اند. از مهمترین این آمینها، ۲ آمینو ۲ متیل ۱ پروپانول ( $AMP$ ) است که دارای ظرفیت و سرعت جذب بالا در مورد گاز  $CO_2$  می‌باشد. واکنش آمینها با گاز  $CO_2$  منجر به سیستمهای الکترولیت آمینی شده که همزمان تعادلات فازی و شیمیایی در آن بوقوع می‌پیوندد. در این تحقیق میزان حلالیت گاز  $CO_2$  با استفاده از دستگاه اندازه گیری حلالیت در شرایط دمایی و غلظتی متفاوت از حلال  $AMP$  و حلال ترکیبی  $AMP$  و تری اتانول آمین ( $DEA$ ) بر روی مخلوط گازهای نمونه گیری شده از نیروگاه‌های حرارتی و مرکزی مجتمع ذوب آهن اصفهان بررسی شده است. از مدل‌های *Modified Kent* *Eisenberg* و *Deshmakh-Mather* جهت تخمین حلالیت گاز  $CO_2$  در حلال  $AMP$ ، استفاده شد و با استفاده از نتایج تجربی بدست آمده از کارهای آزمایشگاهی پارامترهای مدل‌های مذکور ارائه شد. نتایج حاصل از مدل *Deshmakh-Mather* که در آن اثر ضریب فعالیت به طور مستقیم در نظر گرفته شده است نشان می‌دهد که این مدل تطابق بیشتری با نتایج آزمایشگاهی دارد.

## کلمات کلیدی

دی اکسید کربن،  $AMP$ ،  $DEA$ ، مدل ترمودینامیکی، تعادل فازی و شیمیایی

## فهرست مطالب

عنوان.....	صفحه .....
فصل ۱- مقدمه .....	۱.....
۱-۱- مقدمه .....	۲.....
۲-۱- خواص $CO_2$ .....	۳.....
۳-۱- کاربردهای جداسازی دی اکسید کربن .....	۳.....
۴-۱- تولید دی اکسید کربن .....	۴.....
۱-۴-۱- منابع تولید دی اکسید کربن .....	۴.....
۵-۱- جذب شیمیایی .....	۵.....
۱-۲-۵-۱- آلکانول آمینهای آبی .....	۶.....
۱-۲-۵-۱- مونواتانول آمین (MEA) .....	۷.....
۲-۲-۵-۱- دی اتانل آمین (DEA) .....	۸.....
۳-۲-۵-۱- تری اتانول آمین (DEA) .....	۸.....
۴-۲-۵-۱- دی گلیکول آمین (DGA) .....	۸.....
۵-۲-۵-۱- دی ایزو پروپانل آمین (DIPA) .....	۹.....
۶-۲-۵-۱- متیل دی اتانل آمین (MDEA) .....	۹.....
۷-۲-۵-۱- aMDEA .....	۹.....
۸-۲-۵-۱- واکنش آلکانول آمینها با $CO_2$ .....	۱۰.....
۳-۵-۱- آمینهای با ممانعت فضایی .....	۱۱.....
۱-۳-۵-۱- ۲ آمینو ۲ متیل ۱ پروپانول (AMP) .....	۱۱.....
۲-۳-۵-۱- مکانیزم واکنش محلول آبی $CO_2$ , AMP .....	۱۳.....
۴-۵-۱- مشکلات عملیاتی واحدهای آمین .....	۱۴.....
۵-۵-۱- محلول آمونیاک .....	۱۷.....
۶-۵-۱- آب .....	۱۷.....
۷-۵-۱- آلکانول آمینهای آلی .....	۱۷.....
۶-۱- جذب فیزیکی .....	۱۸.....
۷-۱- سایر روشهای جداسازی گازهای اسیدی .....	۱۸.....
۱-۷-۱- جداسازی با عملیات سرمازایی .....	۱۸.....



۱۸	..... جذب سطحی.....	۱-۷-۲
۱۹	..... روش‌های تصفیه تکمیلی گازهای اسیدی.....	۱-۸-۸
۱۹	..... واکنشهای فاز گازی (مانند متاناسیون).....	۱-۸-۱
۱۹	..... جامد نظیر $ZnO$ (یا $Fe_2O_3$ ).....	۱-۸-۲
۱۹	..... مقایسه کیفی مصرف انرژی واحدهای مختلف تصفیه $CO_2$ .....	۱-۹-۹
۲۰	..... تفاوت‌های اساسی و مزیت‌های حلال‌های فیزیکی و شیمیایی بر یکدیگر.....	۱-۱۰-۱
۲۰	..... مزیت‌های اساسی حلال‌های شیمیایی بر حلال‌های فیزیکی.....	۱-۱۰-۱
۲۱	..... مضرات حلال‌های شیمیایی.....	۱-۱۰-۲
۲۱	..... مشخصات گازهای دودکش.....	۱-۱۱-۱
۲۲	..... اثرات و راه‌های دفع آلاینده‌های موجود در گازهای دودکش.....	۱-۱۱-۱
۲۳	..... دفع ذرات گرد و غبار.....	۱-۱۱-۲
۲۳	..... دفع اکسید نیتروژن ( $NO_x$ ).....	۱-۱۱-۳
۲۴	..... دفع $SO_x$ .....	۱-۱۱-۴
۲۴	..... انتخاب حلال مناسب.....	۱-۱۲-۱
۲۵	..... نرخ حلال در گردش.....	۱-۱۲-۱
۲۵	..... نرخ انتقال جرم.....	۱-۱۲-۲
۲۶	..... میزان خورندگی حلال.....	۱-۱۲-۳
۲۶	..... قیمت حلال.....	۱-۱۲-۴
۲۷	..... مدل‌های ترمودینامیکی.....	۲-۲
۲۸	..... مقدمه.....	۱-۲
۲۸	..... مروری بر کارهای گذشته.....	۲-۲
۳۰	..... حلالیت.....	۳-۲
۳۱	..... تاثیر دما روی حلالیت گازها.....	۱-۳-۲
۳۳	..... تاثیر فشار بر روی حلالیت گازها.....	۲-۳-۲
۳۴	..... روش‌های محاسبات تعادل فاز- شیمیایی.....	۴-۲
۳۵	..... تعادل فاز.....	۱-۴-۲
۳۵	..... تعادل شیمیایی.....	۲-۴-۲
۳۶	..... مدل‌های ضرایب فعالیت سیستم‌های الکترولیت.....	۵-۲
۳۶	..... مدل <i>Kent Eisenberg</i> .....	۱-۵-۲

۳۷	.....۲-۵-۱-۱- تعادلات شیمیایی وفازی
۳۹	.....۲-۵-۲- مدل <i>Deshmakh-Mather</i>
۴۰	.....۲-۵-۳- مدل <i>Li-Mather</i>
۴۱	.....۲-۵-۳-۲- بیان ترمودینامیکی مدل
۴۴	.....۲-۵-۴- مدل <i>Pitzer</i>
۴۶	.....۲-۵-۵- مدل <i>Chen</i>
۵۱	..... فصل ۳- معرفی دستگاه حلالیت و روش انجام آزمایش
۵۲	.....۳-۱- مقدمه
۵۲	.....۳-۲- دستگاه‌های اندازه‌گیری حلالیت
۵۳	.....۳-۲-۱- دستگاه ناپیوسته اندازه‌گیری حلالیت گازها در مایعات
۵۶	.....۳-۲-۲- دستگاه پیوسته اندازه‌گیری حلالیت گازها در مایعات
۶۰	.....۳-۳- مواد مورد نیاز برای انجام آزمایشات
۶۱	.....۳-۴- نمونه‌گیری
۶۲	.....۳-۵- روش آزمایش
۶۴	..... فصل ۴- نتایج و بحث
۶۵	.....۴-۱- مقدمه
۶۵	.....۴-۲- کالیراسیون پمپ تزریق حلال
۶۶	.....۴-۳- محاسبه حلالیت و بار مولی
۶۹	.....۴-۴- نتایج آزمایشات در صورت استفاده از حلال <i>AMP</i>
۷۰	.....۴-۵- نتایج آزمایشات در صورت استفاده از مخلوط حلال‌های <i>AMP</i> و <i>DEA</i>
۷۱	.....۴-۶- بررسی اثر غلظت بر روی حلالیت
۷۲	.....۴-۷- بررسی اثر دما بر روی حلالیت
۷۳	.....۴-۸- بررسی اثر فشار جزئی $CO_2$ بر روی حلالیت
۷۷	.....۴-۹- بررسی اثر افزودن <i>DEA</i> به <i>AMP</i> در میزان حلالیت
۷۹	.....۴-۱۰- مدل‌سازی سیستم بر اساس مدل <i>Kent Eisenberg Modified</i>
۸۷	.....۴-۱۱- مدل‌سازی سیستم بر اساس مدل <i>Deshmukh-Mather</i>
۹۳	..... فصل ۵- نتیجه‌گیری و پیشنهادها برای ادامه کار
۹۴	.....۵-۱- نتیجه‌گیری
۹۴	.....۵-۲- پیشنهادها برای ادامه کار



## فهرست شکل‌ها

عنوان.....	صفحه
شکل (۱-۱) نمایی از واحد تولید دی اکسید کربن.....	۶
شکل (۲-۱) مشخصات ترکیب درصد‌های گوناگون گازهای دودکش در صنایع مختلف.....	۲۱
شکل (۳-۱) مشخصات نمونه گازهای مجتمع ذوب آهن اصفهان.....	۲۲
شکل (۴-۱) نمایی از روند پاکسازی گاز دودکش قبل از ورود به واحد آمین.....	۲۳
شکل (۱-۳) نمایی از دستگاه حلالیت نا پیوسته.....	۵۴
شکل (۲-۳) نمایی از دستگاه حلالیت پیوسته.....	۶۰
شکل (۱-۴) اثر غلظت بر حلالیت در فشار جزئی $5/3 \text{ Kpa}$ .....	۷۲
شکل (۲-۴) اثر غلظت بر حلالیت در فشار جزئی $10 \text{ Kpa}$ .....	۷۲
شکل (۳-۴) اثر دما بر حلالیت در فشار جزئی $10 \text{ Kpa}$ .....	۷۳
شکل (۴-۴) اثر دما بر حلالیت در فشار جزئی $5/3 \text{ Kpa}$ .....	۷۳
شکل (۵-۴) اثر فشار جزئی بر حلالیت در غلظت ثابت $M 2$ .....	۷۴
شکل (۶-۴) اثر فشار جزئی بر حلالیت در غلظت ثابت $M 2/8$ .....	۷۴
شکل (۷-۴) اثر فشار جزئی بر حلالیت در غلظت ثابت $M 3/4$ .....	۷۵
شکل (۸-۴) اثر فشار جزئی $CO_2$ بر روی حلالیت در مخلوط $1/5$ درصد $DEA$ و $28/5$ درصد $AMP$ .....	۷۵
شکل (۹-۴) اثر فشار جزئی $CO_2$ بر روی حلالیت در مخلوط $3$ درصد $DEA$ و $27$ درصد $AMP$ .....	۷۶
شکل (۱۰-۴) اثر فشار جزئی $CO_2$ بر روی حلالیت در مخلوط $4/5$ درصد $DEA$ و $25/5$ درصد $AMP$ .....	۷۶
شکل (۱۱-۴) اثر فشار جزئی $CO_2$ بر روی حلالیت در مخلوط $6$ درصد $DEA$ و $24$ درصد $AMP$ .....	۷۷
شکل (۱۲-۴) اثر افزودن $DEA$ به $AMP$ در فشار جزئی $5/3 \text{ kpa}$ .....	۷۸
شکل (۱۳-۴) اثر افزودن $DEA$ به $AMP$ در فشار جزئی $10 \text{ kpa}$ .....	۷۸

## فهرست جدول‌ها

عنوان.....	صفحه .....
جدول (۱-۱) مشخصات دی اکسید کربن.....	۳.....
جدول (۲-۱) مشخصات آلکانول آمینها.....	۷.....
جدول (۱-۴) داده‌های مربوط به کالیبراسیون پمپ تزریق.....	۶۶.....
جدول (۲-۴) ترکیب درصد نمونه گاز مجتمع ذوب آهن اصفهان در شرایط آزمایش.....	۶۸.....
جدول (۳-۴) خواص بحرانی ترکیبات موجود در نمونه گاز.....	۶۸.....
جدول (۴-۴) محاسبه پارامترهای $a, b, m$ .....	۶۸.....
جدول (۵-۴) روند محاسبه $v$ (حجم مولی) بر حسب دما برای ترکیب درصد نیروگاه مرکزی.....	۶۹.....
جدول (۶-۴) روند محاسبه $v$ (حجم مولی) بر حسب دما برای ترکیب درصد نیروگاه حرارتی.....	۶۹.....
جدول (۷-۴) محاسبه بار مولی گاز $CO_2$ برای نمونه گازی نیروگاه حرارتی.....	۷۰.....
جدول (۸-۴) محاسبه بار مولی گاز $CO_2$ برای محلول $AMP$ و نمونه گازی نیروگاه مرکزی.....	۷۰.....
جدول (۹-۴) محاسبه بار مولی گاز $CO_2$ برای مخلوط، $DEA$ ، و $AMP$ و نمونه گازی نیروگاه حرارتی.....	۷۱.....
جدول (۱۰-۴) محاسبه بار مولی گاز $CO_2$ برای مخلوط، $AMP, DEA$ و نمونه گازی نیروگاه مرکزی.....	۷۱.....
جدول (۱۱-۴) مقادیر ثابت‌های تعادل.....	۸۰.....
جدول (۱۲-۴) ضرایب معادله (۲۴-۴).....	۸۵.....
جدول (۱۳-۴) مقایسه بین مقادیر بار مولی محاسباتی و بار مولی آزمایشگاهی.....	۸۶.....
جدول (۱۴-۴) ضرایب ثابت تعادل $K_I$ .....	۸۸.....
جدول (۱۵-۴) مقادیر پارامترهای برهمکنش دو جزئی.....	۹۱.....
جدول (۱۶-۴) مقایسه بار مولی محاسباتی و بار مولی آزمایشگاهی.....	۹۲.....

## نمادها

$A$	آنیون، پارامتر بر هم کنش مولکول - مولکول
$Ax$	پارامتر دبای - هوکل
$A\varphi$	پارامتر اصلی پیتزر
$B$	پارامتر بر هم کنش یون - یون رابطه دبای هوکل
$C$	کاتیون، غلظت مولی مواد
$D$	ثابت دی الکتریک
$F$	فוגاسیته، تابع هدف
$G$	انرژی گیبس، پارامتر تنظیمی
$g$	انرژی مولی گیبس
$H$	ثابت هنری
$Ix$	قدرت یونی
$K$	ثابت ترمودینامیکی تعادل شیمیایی
$P$	فشار جزئی
$R$	ثابت عمومی گازها
$S$	آنتروپی
$T$	دمای کلوین
$W$	پارامتر تنظیمی مدل جفت یون - مولکول
$x$	کسر مولی
$Z$	عدد کئوردینانس سیستم
$z$	ظرفیت یونی

### نشانه‌های یونانی

$\alpha$	میزان بارگیری گاز اسیدی، پارامتر غیر تصادفی مدل NRTL
$\gamma$	ضریب فعالیت (اکتیویته)
$\lambda$	پارامتر تنظیمی
$\nu$	ضریب استوکیومتری
$\rho$	: پارامتر نزدیکترین فاصله مدل پیتزر - دبای - هوکل

$\tau$	پارامتر تنظیمی (بر همکنش)
$\varphi$	ضریب فوگاسیته
	<b>بالا نویس ها</b>
$E$	مشخصه مازاد
$C$	بخش ترکیبی
$LR$	برد بلند
$R$	بخش پسماند
$SR$	برد کوتاه
	<b>زیر نویس ها</b>
$Exp$	آزمایشگاهی
$Cal$	محاسباتی
$i, j$	اجزای سیستم
$n, m$	اجزای مولکولی
$s$	حلال

فصل ۱

مقدمه



سوخته‌های فسیلی منبع عمده انتشار  $CO_2$  به داخل جو هستند که از منابع آلوده کننده هوا به شمار می‌روند. تحقیقات زیست محیطی این نکته را تأیید می‌کنند که میزان  $CO_2$  در جو از  $280 ppm$  در سال ۱۸۰۰ میلادی به  $358 ppm$  در سال ۱۹۹۴ رسیده است (که  $27/86$  درصد افزایش را نشان می‌دهد). در میان کشورهای دنیا روسیه با تولید ۲۷ درصد از  $CO_2$  تولیدی در کل دنیا دارای رتبه اول بوده و آمریکا با ۲۲ درصد، چین ۱۱ درصد و بقیه کشورهای آسیایی ۱۳ درصد، آمریکای لاتین ۴ درصد و آفریقا با ۳ درصد به ترتیب در پشت سر ایستاده‌اند. کشور ایران در سال ۹۹ با تولید ۲۶۳ میلیون تن بالاترین رتبه را در منطقه خاورمیانه دارا بوده است. این مقدار با شاخص رشد  $45/6$  درصد نسبت به سال ۱۹۹۰ افزایش یافته است. که از این میان  $58/4$  میلیون تن آن توسط صنایع شیمیایی کشور تولید شده است [۱].

کشورهای مختلف برای کاهش میزان  $CO_2$  که باعث انباشتگی گازهای گلخانه‌ای و گرم‌تر شدن آب و هوای زمین، بالا آمدن سطح دریاها، خشکسالی‌ها و باران‌های اسیدی می‌شوند، تدابیر متعددی اندیشیده‌اند.

مهمترین زیان  $CO_2$  در جو پدیده گلخانه‌ای است که در اثر افزایش میزان گازهای گلخانه‌ای بوجود می‌آید. این گازها عبارتند از:  $CO_2$ ،  $CH_4$ ،  $N_2O$ ،  $SF_6$ . حجم این گازها در اتمسفر زمین موجب می‌شود که اتمسفر انرژی و گرمای بیشتری را در خود نگه دارد و آسیب زیادی به کشاورزی، آبهای زیرزمینی و حیوانات وارد کند. این گاز در ترکیب با آب در شرایط مساعد جوی موجبات ریزش باران‌های اسیدی را که باعث فرسایش خاک و مصالح ساختمانی می‌گردد؛ فراهم می‌آورد. [۱]. لذا در این فصل پس از آشنایی اجمالی با مشخصات، کاربردها و منابع تولید گاز  $CO_2$ ، مروری بر روش‌های گوناگون جذب گاز  $CO_2$  بویژه با استفاده از حلالهای شیمیایی خواهیم داشت.

## ۱-۲- خواص CO<sub>2</sub>

دی اکسید کربن یک ترکیب تشکیل شده از یک اتم کربن و دو اتم اکسیژن است که در سه حالت گاز، مایع و جامد وجود دارد. در شرایط دما و فشار نرمال گازی بی رنگ و در غلظت بالا دارای بویی تند می باشد. این گاز اگر تحت فشار و یا کاهش دما قرار گیرد تبدیل به مایع می شود و در صورت افزایش بیشتر فشار و یا کاهش بیشتر دما میتواند به صورت یخ خشک در آید [۲].

مشخصات دی اکسید کربن در جدول زیر بیان شده است

جدول ۱-۱ مشخصات دی اکسید کربن [۲]

مقدار	خواص
۶۳/۶۹	دانسیته مایع (at 0 F lb/ft <sup>3</sup> )
۰/۱۲۳۴	دانسیته گاز (at 32 F lb/ft <sup>3</sup> )
دما: ۶۹/۹ F فشار: ۷۵/۱ Psia	نقطه سه گانه
۸۷/۷	دمای بحرانی (F)
۱۰۶۶/۳	فشار بحرانی (Psia)
۲۸/۹۸۵۵	دانسیته بحرانی (lb/ft <sup>3</sup> )
۱۲۲	گرمای نهان تبخیر (at 0 F Btu/lb)
۰/۰۱۵	ویسکوزیته گاز (at 32 F cp)
۰/۱۴	ویسکوزیته مایع (at 0 F cp)
۱/۷۹	حلالیت در آب (ft <sup>3</sup> CO <sub>2</sub> /ft <sup>3</sup> water)

## ۱-۳- کاربردهای جداسازی دی اکسید کربن

کاربردهای عمده جداسازی دی اکسید کربن از مخلوطهای گازی مختلف توسط یک حلال مایع را می

توان در موارد زیر خلاصه نمود [۲].

۱- جلوگیری از انتشار گازهای گلخانه ای و پدیده گرم شدن زمین

۲- افزایش برداشت نفت (EOR)

۳- صنعت سنتز آمونیاک، یعنی فرایندی که هیدروژن مخلوط شده با دی اکسید کربن به عنوان محصول

جانبی در صنعت زغال سنگ و یا از برشهای نفتی تولید می شود.

۴- فرآورش گاز طبیعی که ممکن است حاوی مقدار زیادی دی اکسید کربن باشد.

۵- بالا بردن کیفیت گاز شهری

۶- تولید متانول

۷- تولید دی اکسید کربن جامد یا یخ خشک (*dry ice*)

۸- تولید دی اکسید کربن جهت مصرف به عنوان خنک کننده در راکتورهای هسته ای

۹- تولید مواد آلی شیمیایی مثل اسید سالیسیلیک و کربنات سدیم

۱۰- ذخیره و نگهداری میوه‌ها در فضای سرد شده کنترل شده

۱۱- کنترل هوا در زیر دریائیه‌ها و سفینه‌های فضایی

#### ۴-۱- تولید دی اکسید کربن

فاکتورهای اصلی برای توجیه اقتصادی ساخت یک مجموعه تولید دی اکسید کربن را می توان قابلیت اعتماد به منابع تولید دی اکسید کربن، درصد خلوص منابع، موقعیت ساخت (فاصله از منبع تولید دی اکسید کربن)، ارزش شرایط عملیاتی و سرمایه گذاری نهایی به ازای هر تن محصول دانست [۳].

#### ۴-۱-۱- منابع تولید دی اکسید کربن

رایجترین منابع تولید دی اکسید کربن عبارتند از [۳]:

۱- منابع با خلوص بالا برای دی اکسید کربن و مایع سازی آن مانند واحد تولید آمونیاک

۲- تولید  $CO_2$  از سوخت‌های هیدروکربنی

۳- بازیابی از گازهای دودکش

۴- بازیابی از منابع گاز طبیعی

روش‌های متفاوتی برای جداسازی دی اکسید کربن می توانند مورد استفاده قرار بگیرند. اما روش جذب در حلالهای مایع معمولاً اقتصادی ترین آنهاست بنا بر ملاحظات اقتصادی، حلال جاذب باید ظرفیت بالایی برای  $CO_2$  داشته باشد. بعلاوه قابلیت بازیابی داشته و از میزان جذب مخصوص نیز برخوردار باشد مایعات استفاده شده برای جذب دی اکسید کربن ممکن است تنها به طور فیزیکی آن را در خود حل کنند و یا ممکن است حاوی ماده ای باشند که با گاز حل شده واکنش شیمیایی بدهد. معمولاً میزان

جذب مخصوص در حلالهای فیزیکی بسیار کمتر از میزان جذب مخصوص در حلالهای شیمیایی است. لذا از نظر اقتصادی استفاده از حلالهای شیمیایی ترجیح دارد. خصوصاً در مواردی که بخواهیم فشار جزئی دی اکسید کربن را به مقادیر خیلی کم کاهش دهیم. در ادامه به بررسی اجمالی روشهای گوناگون جذب دی اکسید کربن می پردازیم [۴].

#### ۱-۵- جذب شیمیایی

ناخالصی (مثل  $CO_2$  و  $H_2S$ ) با حلال شیمیایی در یک برج جذب واکنش می دهد و سپس حلال واکنش کرده<sup>۱</sup> با عملیات تبخیر ناگهانی (شکستن فشار) و یا رفتن به یک برج دفع در مجاورت با بخار و یا ترکیبی از هر دو عملیات بازیابی می شود و مجدداً به برج جذب بازگردانده می شود. معمولاً برای جلوگیری از حمل حلال<sup>۲</sup> در بالای برج جذب، گاز تصفیه شده با آب شسته می شود. این امر در برجهای سینی دار با گذاشتن چند سینی اضافه که آب به آنها وارد می شود انجام می گیرد و در برجهای آکنده با گذاشتن دمیستر<sup>۳</sup> به صورت آکنه خشک و توری‌هایی این کار انجام می شود

---

<sup>۱</sup> Rich Solvent

<sup>۲</sup> carry over

<sup>۳</sup> Demister