

## مدیریت پسماندهای گازی در شرکت مجتمع گاز پارس جنوبی

### با اجرای پروژه کنترل CO<sub>2</sub>

محمد رضا حامد غفاریان<sup>۱</sup>، مهدی پورافشاری چنار<sup>۲</sup>، هادی کیهان<sup>۳</sup>، علیرضا نجومی<sup>۴</sup>

Mohamedreza.hamedghafarian@Gmail.Com

M.Hamedghafarian@nigc-spgc.ir

#### چکیده

مدیریت پسماندهای گازی بویژه در حجم انبوه از جمله موضوعات مهم در هر صنعت بزرگ است. بخش عمده ای از پسماندهای گازی را CO<sub>2</sub> تشکیل می دهد، حدود ۹۹.۸ درصد. در کار حاضر حذف CO<sub>2</sub> از جریان گازهای دودکش در شرکت مجتمع پارس جنوبی در مرکز توجه قرار گرفت. انواع روش های حذف CO<sub>2</sub> و کاربرد هر کدام مورد بررسی قرار گرفت. مونواتانول آمین، MEA، به عنوان کاربردی ترین حلال انتخاب شد و دو واحد آماده سازی گاز دودکش و حذف CO<sub>2</sub> از جریان گازهای دودکش توسط نرم افزار Aspen Hysys شبیه سازی شد. با انجام محاسبات موازنه جرم و در نظر گرفتن بازده ۸۵٪ برای فرآیند جذب شیمیایی با MEA روزانه 6.5 MMscmd دی اکسید کربن تولید می شود. که می توان با مدیریت آن برای تزریق به میادین نفتی، عرضه در بازار و یا پرورش برخی گونه های جلبک دریایی ضمن درآمد زایی از محیط زیست منطقه نیز صیانت کرد.

**کلمات کلیدی:** پسماند گازی، کنترل CO<sub>2</sub>، جذب شیمیایی با MEA، میادین نفتی، گونه های آبی.

۱- کارشناس ارشد مهندسی شیمی، S.P.G.C.، بهره برداری فازهای ۶، ۷ و ۸.

۲- دکترای مهندسی شیمی، استاد یار گروه مهندسی شیمی - دانشگاه فردوسی مشهد.

۳- کارشناس ارشد مهندسی شیمی، S.P.G.C.، مسئول پالایش فازهای ۶، ۷ و ۸.

۴- دانشجوی دکترای مهندسی شیمی، S.P.G.C.، رئیس HSE.



## ۱. مقدمه

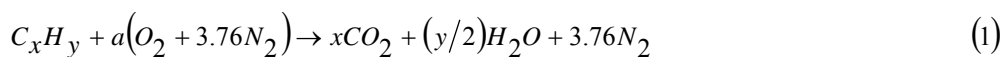
یکی از نکات مهم در طراحی هر فرآیند تولیدی میزان سازگاری آن فرآیند با زیست محیط است. گرمایش کره‌ی زمین در اثر انتشار گازهای گلخانه‌ای بویژه کربن دی اکسید نتیجه‌ی عدم توجه به پسماندهای گازی در صنایع بزرگ است.

در هر پالایشگاه گاز مقدار قابل توجهی پسماند گازی تولید می‌شود که ناشی از عملکرد تجهیزاتی همچون کوره‌های فرآیندی، توربین‌های گازی تولید برق، توربو کمپرسورهای سیکل تبرید و توربو کمپرسورهای صادرات است. تلاشهای زیادی در دنیا برای اجرای پروژه‌های کنترل CO<sub>2</sub> انجام شده است [1]، [2]، [3]، [4] و [5].

در تمامی کارهای انجام شده تا کنون از کنترل CO<sub>2</sub> به صورت نقاط تولید پراکنده صحبتی به میان نیامده است. در این کار پس از محاسبه تولید پسماند های گازی در پنج پالایشگاه گازی انواع روش های کنترل CO<sub>2</sub> بررسی شده است. سپس فرآیند منتخب شبیه سازی گشته و اندازه تجهیزات عملیات واحد با نرم افزار Aspen Hysys تعیین شده است.

## ۲. موازنه جرم پیرامون گازهای آلاینده

گاز سوختی شرکت مجتمع گاز پارس جنوبی از خط لوله‌ای سراسری گرفته می‌شود. ترکیب درصد این گاز توسط واحد دیسچینگ گزارش می‌شود. این گاز برای مصرف در بویلرها، توربین‌های گازی، کوره‌ها و توربو کمپرسورها مورد استفاده قرار می‌گیرد. میزان هوای تئوری برای سوختن این گاز بر طبق رابطه‌ی زیر به دست می‌آید،



که در آن  $a = x + y/4$  است.



$$(Air/Fuel)_{Stoic} = (m_{air}/m_{fuel})_{Stoic} = (4.76a/1)(MW_{air}/MW_{fuel}) \quad (2)$$

از این رو

در کار حاضر هوای تئوری لازم توسط نرم افزار Aspen Hysys محاسبه شده است [6].

هوای اضافی موردنیاز که به منظور احتراق کامل بکار می رود بسته به نوع تجهیز و روش به کار رفته در آن برای کنترل آلاینده‌ها متفاوت است و توسط سازنده ارائه می شود [7] و [8]. از جمله آلاینده‌های حاضر در گازهای دودکش می توان به CO، NO<sub>x</sub>، SO<sub>x</sub> و CO<sub>2</sub> اشاره کرد [8]. این آلاینده‌ها توسط شرکت IKS به صورت دوره‌ای اندازه گیری شده است [9] و به سازمان محیط زیست، شرکت ملی گاز ایران و شرکت مجتمع گاز پارس جنوبی گزارش می شود.

بر طبق این داده‌ها میزان آلاینده‌های آلاینده‌های SO<sub>x</sub> و NO<sub>x</sub> از دودکش‌های احتراقی در حد استاندارد بوده است [9]. به دلیل احتراق کامل در تجهیزات میزان CO در دودکش‌ها پایین و در حدود صفر است. مقدار هیدروکربن‌های نسوخته (UHC) به طور میانگین 1000 ppm است.

در شرکت مجتمع گاز پارس جنوبی روزانه 8 MMscmd گاز سوختی مصرف می شود [10]. با توجه به ترکیب گاز سوختی محاسبات را با نرم افزار Aspen Hysys انجام شده و نتایج در جدول ۱ آمده است.

جدول ۱: محاسبه ترکیب درصد گازها در دودکش

توربوکمپرسور <sup>۱</sup>	بویلر <sup>۲</sup>	کوره <sup>۳</sup>	توربین گازی <sup>۱</sup>	تجهیز احتراقی
درصد ترکیبات در گاز دودکش (میانگین هوای اضافی برای ۱-۳۰۰٪، ۲-۴۰٪، ۳-۲۵٪، ۴-۳۰۰٪)				
۲.۵۵	۷.۷	۷	۲.۵۵	CO <sub>2</sub>



H <sub>2</sub> O	۵.۱۱	۱۴	۱۵.۵	۵.۱۱
O <sub>2</sub>	۱۵.۳۴	۵.۵	۳.۸	۱۵.۳۴
N <sub>2</sub>	۷۷	۷۳	۷۳	۷۷

### ۰۳ روشهای حذف CO<sub>2</sub> از گازهای دودکش

فرآیندهای گوناگونی برای جداسازی CO<sub>2</sub> از جریان گازهای دودکش وجود دارد که از آن میان می توان به فرآیندهای جذب سطحی، غشایی، کرایونیک، حلالهای فیزیکی و حلالهای شیمیایی اشاره کرد.

۳-۱- فرآیندهای جذب سطحی: در این فرآیندها CO<sub>2</sub> به صورت انتخابی از جریان گاز دودکش توسط جاذبهایی که دارای سطح تماس بالایی هستند جذب می شود و این جاذبهها خود قابل احیا می باشند. از نوع این جاذب می توان به زئولیت های طبیعی و مصنوعی، آلومینا، کربن فعال و غربال های مولکولی و پلیمرها اشاره کرد. احیای جاذب می تواند با PSA، TSA، و ESA انجام شود. ظرفیت پایین و میزان انتخاب پذیر بودن جاذبههای حاضر باعث شده است که این فرآیندها برای مقیاس بزرگ مورد استفاده قرار نگیرند [۱]. ضمن اینکه انرژی مورد نیاز برای فشرده سازی در فرآیند PSA توجیه پذیر نیست.

۳-۲- فرآیندهای کرایونیک: در این فرآیندها CO<sub>2</sub> بوسیله فشرده سازی، سرمایش، میعان و تقطیر از دیگر اجزا جدا شده و CO<sub>2</sub> مایع تولید می شود. این فرآیند مصرف انرژی بالایی برای سرمایش دارد. و برای جریانهای رقیق از CO<sub>2</sub> کارآمد نیست. افزون بر این آب پیش از فرآیند سرمایش باید از جریان جدا شده باشد. این فرآیندها بیشتر برای احتراق اکسیژن-سوخت و پیش احتراق مناسب می باشند که در آنها فشار جزئی CO<sub>2</sub> بالاست.

۳-۳- فرآیندهای غشایی: جداسازی گازی با غشای انتخاب پذیر بر مبنای سرعت نفوذ اجزای مختلف از یک غشای نازک است. غشاها در فشار جزئی های بالا مناسب هستند اما برای بکارگیری آنها در حالت رقیق نیاز به پیشرفتهایی در زمینه های مختلف فناوری غشایی است که هنوز محقق نشده است. به طور کلی استفاده



گسترده از این تکنولوژی نیازمند پیشرفتهایی در زمینه‌ی انتخاب‌پذیری، نفوذپذیری، و ماندگاری در دمای بالاست [11]. اخیراً برخی محققین روشهایی غشایی هایبرید را توسعه داده‌اند که در آن غشاها با فرآیندها جداسازی دیگر ترکیب می‌شوند.

۳-۴- فرآیندهای جذب فیزیکی: این فرآیندها مصرف انرژی کمی دارند ولی در عوض فشار جزئی CO<sub>2</sub> در جریان باید بالا باشد. برخی از انواع رایج آنها Selexol و Rectisol می‌باشند [12]. در جذب فیزیکی گاز حاوی CO<sub>2</sub> با حلال تماس می‌یابد و CO<sub>2</sub> توسط حلال جذب می‌شود. سپس این حلال از یک مجموعه فلاش درام می‌گذرد که دارای فشارهای مختلفی هستند. در طی این فرآیند CO<sub>2</sub> از حلال جدا می‌شود. این فرآیندها معمولاً در دمای ۴۰ °C انجام می‌شوند و گازهای دودکش باید تا این دما سرد شوند. جذب فیزیکی برای حذف CO<sub>2</sub> در فرآیندهای به کار می‌رود. این فرآیندها معمولاً در دمای ۴۰ °C انجام می‌شوند و گازهای دودکش باید تا این دما سرد شوند. جذب فیزیکی برای حذف CO<sub>2</sub> در فرآیندهای به کار می‌رود.

۳-۵- فرآیندهای جذب شیمیایی: این فرآیندها بیش از شصت سال است که مورد استفاده وسیع هستند [7]. در این فرآیندها CO<sub>2</sub> به صورت شیمیایی با حلال واکنش داده و حلال را اشباع می‌کند. سپس این حلال به برج دفع فرستاده شده و در آنجا با گرم شدن CO<sub>2</sub> را از دست داده و دوباره در چرخه‌ی فرآیند به کار می‌رود [7].

#### ۴. شبیه سازی فرآیند حذف CO<sub>2</sub> از گازهای دودکش

##### ۴-۱- ویژگی های حلال و حلال مناسب

حذف CO<sub>2</sub> از جریان گازی دودکش با تکنولوژی جذب شیمیایی مرسوم‌ترین و صنعتی‌ترین روش کنترل CO<sub>2</sub> است [13]. در فرآیند جذب شیمیایی مهمترین مسئله انتخاب حلالی است که فشار بخار پایین، ظرفیت جذب بالا و خوردگی پایین داشته باشد و در ضمن ارزان قیمت نیز باشد [14].



در حال حاضر مدرن‌ترین حلال صنعتی مونواتانول آمین MEA است که بسته به نوع طراحی با غلظت‌های متفاوتی به کار می‌رود. مزایای MEA عبارتند از: ۱- جذب شیمیایی با MEA یک تکنولوژی تثبیت شده است و واحدهای زیادی در جهان بر اساس آن کار می‌کنند. ۲- سرعت جذب و دفع بالایی دارد. ۳- ظرفیت جذب بالایی دارد، ۴- نسبت به دیگر آمین‌ها بازبایی ارزانی دارد [13].

معایب آن عبارتند از: ۱- انرژی زیادی برای احیای آن موردنیاز است که با بازیافت گرما می‌توان تا حد زیادی آن را پایین آورد. [14]. ۲- فشار بخار بالایی دارد و فرار آن زیاد است که این مشکل با طراحی یک برج شستشودهنده‌ی آبی برطرف شدنی است [16]. ۳- آمین بارگذاری شده باعث خوردگی در کربن استیل شده و تجهیزات همه باید از فولاد زنگ نزن ساخته شوند [7]. ۴- دچار هر دو نوع فساد اکسایشی و حرارتی می‌شود که برای این کار به آن آمین جبرانی و ممانعت‌کننده افزوده می‌شود [17]. با توجه به موارد بالا MEA حلال مناسبی است و تمامی معایب آن نیز با تمهیداتی که در بالا ذکر شد تا حد زیادی از بین می‌رود. برای شبیه‌سازی فرآیند حذف CO<sub>2</sub> یک توربین گازی با خوراک گاز سوختی 4000 kg/h در نظر گرفته شده است.

#### ۴-۲- شبیه‌سازی واحد آماده‌سازی

گاز خروجی از دودکش داغ است و دارای مقداری ذرات گرد و غبار است. بنابر بحث‌های موجود در افزایش مقیاس (scale up) در زمینه‌های متمرکزسازی (intensification) بهتر است که فرآیند سردسازی و حذف ذرات همزمان انجام شوند. تجهیزات دارای فیلترهای تا اندازه 7µm هستند [۱۸] که با توجه به حساسیتی که فرآیند آمین به ذرات معلق دارد و احتمال کف‌زایی، افت فشار، فساد آمین، مجرای شدن برج، گرفتگی تمامی تجهیزات و بالا رفتن هزینه‌های عملیاتی پمپ‌های فرآیند حذف این ذرات تا 5µm مورد توجه جدی است [۷].

طرح فرآیند پیشنهادی در شکل ۲ آمده است. برج نشان داده شده در این شکل برج فرونشاندن (quench tower) نام دارد. برای داشتن حداقل افت فشار و همچنین فضای زیاد برای جوشش در این برج از پرکن برف دانه ای (snowflake) استفاده شده است، که برای این منظور ساخته شده است [۱۹]. دقت شود



که آب در گردش  $CO_2$  را بسیار کم جذب می‌کند و مقدار جذب  $CO_2$  از روابط زیر محاسبه می‌شود [۲۰]، [۲۱]، [۲۲]، [۲۳]، [۲۴].

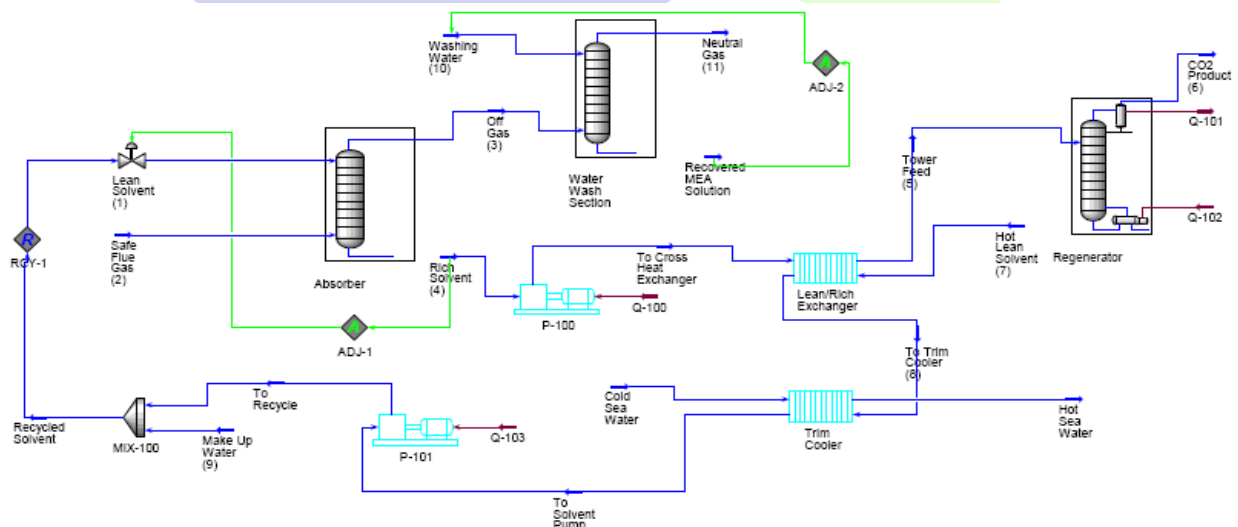
$$\ln(H_{CO_2-H_2O} / MPa) = -6.8346 + 1.2817e4/T - 3.7668e6/T^2 + 2.997e8/T^3 \quad (3)$$

$$y_{CO_2} \phi_{CO_2} P = x_{CO_2} \gamma_{CO_2} P_{H_2O}^{sat} \quad (4)$$

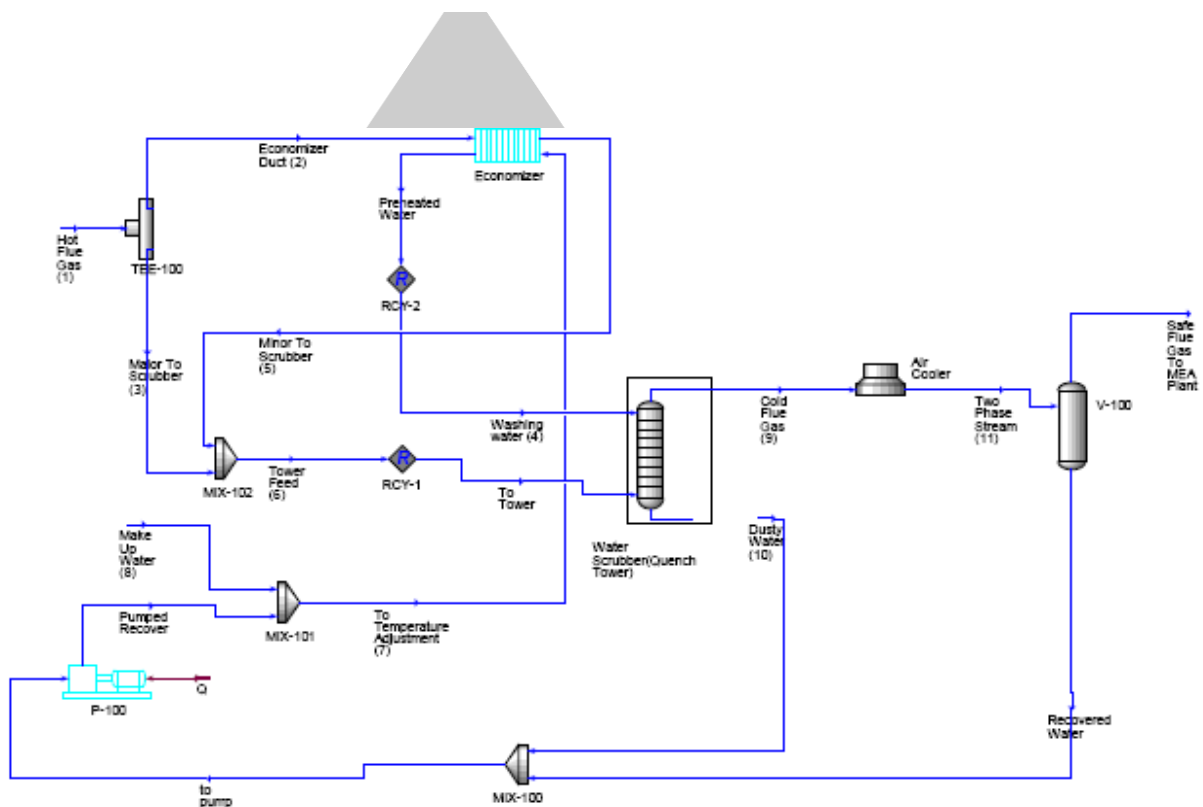
در رابطه (3) بر کلین و ضریب اکتیویته یک است و ضریب فوگاسیته از معادله حالت SW محاسبه می‌شود [۲۵]. از آنجا که حذف ذرات گرد و غبار نیز مدنظر است لذا  $6.5m^3$  آب اضافه در نظر گرفته شده است. لذا می‌توان محاسبات تعادل فازی را در دمای فاز ناپیوسته‌ی حلال یعنی  $80^\circ C$  انجام شود.

#### ۳-۴- شبیه سازی فرآیند حذف $CO_2$ از گازهای دودکش

شکل ۱ فرآیند حذف  $CO_2$  از گازهای دودکش را نشان می‌دهد. حلال و گاز سرد در برج با یکدیگر تماس پیدا کرده و  $CO_2$  جذب حلال می‌شود. گاز تصفیه شده از بالا و حلال بارگذاری شده از پایین خارج می‌شوند. حلال بارگذاری شده پس از پیش گرم شدن در مبدل بازیافت گرما وارد برج دفع شده و در آنجا ضمن احیا شدن  $CO_2$  را از دست می‌دهد. برای شبیه واکنش شیمیایی موجود در فرآیند از مدل کنت-آیزنبرگ استفاده شده است [۲۶]. از آنجا که مقداری از حلال فرار می‌کند برای جلوگیری از هدر رفت آن از یک برج شستشو دهنده استفاده شده است [۷].



شکل ۱: شبیه سازی واحد حذف  $CO_2$  از گاز خروجی از دودکش



شکل ۲: شبیه سازی واحد آماده سازی گاز خروجی از دودکش

اطلاعات مربوط به جریانها و تجهیزات در جداول ۲، ۳ و ۴ آمده است.

جدول ۲: مشخصات جریان ها در شبیه سازی واحد بازیافت کربن دی اکساید

شماره جریان	۱	۲	۳	۴	۵	۶	۷	۸	۹	۱۰	۱۱
کسر مولی											





N <sub>2</sub>	0	0.74 2	0.76	0	0	0	0	0	0	0	0.74 2
O <sub>2</sub>	0	0.14 8	0.15 1	0	0	0	0	0	0	0	0.14 8
CO <sub>2</sub>	0.00 6	0.02 4	0.00 5	0.03	0.03	0.8 86	0.0 06	0.0 06	0	0	0.00 5
H <sub>2</sub> O	0.88 8	0.08 5	0.08 4	0.86 6	0.86 6	0.1 13	0.8 86	0.8 86	1	1	0.10 5
MEA	0.10 5	0	0.00 033	0.10 4	0.10 4	0	0.1 07	0.1 07	0	0	0
دبی (Kg/h)	1.94 e5	2.84 e5	2.75 e5	1.99 e5	1.99 e5	923 7	1.9 e5	1.9 e5	33 00	27 00	2.79 e5
دما (°C)	40	50	54	51.6	100	50	113	57	40	40	51
فشار (KPa)	112	112	110	112	165	165	170	130	11 2	11 0	108

جدول ۳: مشخصات جریان ها در واحد آماده سازی گازهای خروجی از دودکش

شماره جریان	۱	۲	۳	۴	۵	۶	۷	۸	۹	۱۰	۱۱
	کسر مولی										
N <sub>2</sub>	0.77	0.77	0.77	0	0.77	0.77	0	0	0.59	0	0.59
O <sub>2</sub>	0.15 3	0.15 3	0.15 3	0	0.15 3	0.15 3	0	0	0.11 7	0	0.11 7
CO <sub>2</sub>	0.02 55	0.02 55	0.02 55	0	0.02 55	0.02 55	0	0	0.02	0	0.02
H <sub>2</sub> O	0.05 1	0.05 1	0.05 1	1	0.05 1	0.05 1	1	1	0.27 3	1	0.27 3
MEA	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
دبی (Kg/h)	2.78 e5	5.56 e4	2.22 e5	6e 4	5.56 e4	2.78 e5	6e 4	68 00	3.32 e5	62 00	3.32 e5



دما (°C)	500	500	500	80	372	475	48	48	70	70	50
فشار (KPa)	115	115	115	114	114	114	115	115	114	114	113

جدول ۴: اطلاعات مربوط به عملیات واحدها

عملیات واحد	برج جذب	برج دفع	برج شستشوی آمین	برج فرونشاننده
پارامتر فیزیکی				
قطر/m	5.5	5.5	5.5	6
طول/m	8.5	14	3.5	4.5
نوع پرکن	IMTP	IMTP	Raschig Ring	Snowflake
جنس پرکن	فلزی	فلزی	فلزی	پلاستیکی
سایز پرکن	# 40	# 40	3 inch	2 inch

#### ۵. مدیریت CO<sub>2</sub> کنترل شده

بحث پیرامون مدیریت پسماند CO<sub>2</sub> در صنایع بزرگ جدا از فروش و بازاریابی این محصول نیست. CO<sub>2</sub> دارای کاربردهای وسیعی در صنایع مخزن سازی، صنایع غذایی، دارویی و ایمنی است. ولی نکته اینجاست که هر یک از این بخشها مشتری موقت هستند و نمی توان در درازمدت به آنها اکتفا کرد. در مدیریت پسماندهایی با حجم انبوه باید پروژه های بلند مدت تعریف شود. چرا که عدم یکنواختی خود می تواند یکی از مهمترین عوامل بروز تأخیر در اجرای این پروژه ها و همینطور به چالش کشیده شدن آنها در حین اجرا و حتی پس از بهره برداری است. با توجه به موقعیت جغرافیایی شرکت مجتمع گاز پارس جنوبی از میان طرحهای متعددی دو طرح می تواند نزدیک تر به واقعیت باشد که در زیر آمده است.



یکی از مؤثرترین روشها در بالا بردن فشارچاه روش تزریق گاز CO<sub>2</sub> به آن است. مقالات زیادی در زمینه‌ی تزریق انواع گازها به مخازن نفتی نوشته شده‌اند که از آن جمله می‌توان به اشاره کرد. از مزایای این طرح می‌توان به موارد زیر اشاره کرد. ۱- ضرورت نیاز به احداث تأسیسات نمکزدایی و فرازآوری با گاز تا حد زیادی کاهش می‌یابد. ۲- افزایش بازدهی سالیانه مخازن و نگهداشت سطح تولید. ۳- جلوگیری از پنج سال تأخیر در تولید نهایی و افزایش بازیافت، به ازای هر یک سال به تعویق افتادن پروژه‌ی تزریق گاز [۲۷]، [۲۸]، [۲۹].

کاربرد دیگر گاز CO<sub>2</sub> در پرورش جلبک‌هایی دریایی و ساحلی است که مورد مطالعه قرار گرفته است [31]. در پرورش جلبک CO<sub>2</sub> نقش اساسی دارد.

## 6. نتیجه گیری

مدیریت پسماندهای گازی بویژه در حجم انبوه از جمله موضوعات مهم در هر صنعت بزرگ است. ۳ از انواع روش های حذف CO<sub>2</sub> روش حلال شیمیایی صنعتی تر است. مونواتانول آمین، MEA، به عنوان کاربردی ترین حلال انتخاب شد و دو واحد آماده سازی گاز دودکش و حذف CO<sub>2</sub> از جریان گازهای دودکش توسط نرم افزار Aspen Hysys شبیه سازی شد. با انجام محاسبات موازنه جرم و در نظر گرفتن بازده ۸۵٪ برای فرآیند جذب شیمیایی با MEA روزانه 6.5 MMscmd دی اکسید کربن تولید می شود. که می توان با مدیریت آن برای تزریق به میادین نفتی، عرضه در بازار و یا پرورش برخی گونه های جلبک دریایی ضمن درآمد زایی از محیط زیست منطقه نیز صیانت کرد.

مراجع

۱. N. Tanaka, CO<sub>2</sub> Capture and Storage, OECD/IEA, 2008.

۲. G.T. Rochelle, Carbon Capture and Sequestration, Science magazine, 2009.



- E. Chen, Carbon Dioxide Absorption into Piperazine Promoted Potassium Carbonate using Structured Packing, PhD Thesis, university of Texas at Austin, 2007. .۳
- S. Freguia, Modeling of CO<sub>2</sub> Capture by Aqueous Monoethanolamine, M.S. Thesis, university of Texas at Austin, 2002. .۴
- Desideri, U., Alberto, P. (1999). Performance modeling of a carbon dioxide removal system for power plants, Energy Conversion & Management 40, 1899-1915. .۵
- Aspen Hysys User Manual, Aspen Tech, 2006. .۶
- Kohl, R. Neilsen, Gas Purification, Gulf Publishing, 5<sup>th</sup>, 1997. .A
- S.R. Turns, An Introduction to Combustion Concepts and Applications, 2<sup>th</sup>, McGraw Hill, 2000. .۷
- Monthly Reports on Stack analysis, IKS Co. Ltd., from 1998-2010. .۸
- Daily Reports on Production and Consumption, Dispatching, S.P.G.C. .۹
- CO<sub>2</sub>Net Capturing and Storing Carbon Dioxide: Technical Lessons Learned .۱۰
- September 2004. ([www.co2net.com/infocentre/reports/technical\\_lessons\\_learned\\_final\\_re](http://www.co2net.com/infocentre/reports/technical_lessons_learned_final_report.pdf) .۱۱
- port.pdf) .۱۲
- J.M. Campbell, Gas Conditioning and Processing, Campbell Petroleum, 1984. .۱۳
- E. Chen, Carbon Dioxide Absorption into Piperazine Promoted Potassium Carbonate using Structured Packing, PhD Thesis, university of Texas at Austin, 2007. .۱۴
- R.E. Treybal, Mass Transfer Operation, McGraw Hill, 3<sup>th</sup>, 1980. .۱۵
- م. ر. حامد غفاریان، م. پور افشاری چنار، ع. ر. نجومی، نقش مبدل های حرارتی در امکان پذیری پروژه زیست محیطی بازیافت CO<sub>2</sub> در شرکت مجتمع گاز پارس جنوبی، دومین همایش مبدل های گرمایی، تهران، آبان ۱۳۸۹. .۱۶
- B.A. Oyenekan, Modeling of Strippers for CO<sub>2</sub> Capture by Aqueous Amines, PhD Thesis, university of Texas at Austin, 2007. .۱۷
- by aqueous Rochelle, G. T., S. Bishnoi, et al. (2001). Research needs for CO<sub>2</sub> capture from flue gas absorption/stripping. Austin, The University of Texas. .۱۸
- by aqueous Rochelle, G. T., G. S. Goff, et al. (2002). Research results for CO<sub>2</sub> capture from flue gas absorption/stripping. .۱۹
- Sexton, A. and G. T. Rochelle (2006). Oxidation products of amines in CO<sub>2</sub> capture. 8<sup>th</sup> Trondheim, Norway. International Conference on Greenhouse Gas Control Technologies. .۲۰
- GTC User Manuals, Siemens Co. Ltd. 2005. .۲۱
- R.F. Strigle, Packed tower Design and Application, Gulf Publishing, 1994. .۲۲



۲۳. Carroll, J.J., Slupsky, J.D. and Mather, A.E. "The solubility of carbon dioxide in water at low pressure" J. Phys. Chem. Ref. Data, Vol. 20, 1991, pp. 1201-1209.
۲۴. Crovetto, R. "Evaluation of the solubility data of the system CO<sub>2</sub>-H<sub>2</sub>O from 273K to critical point of water" J. Phys. Chem. Ref. Data, Vol. 20, 1991, pp. 575-589.
۲۵. Akinfiyev, N.N. and Diamond, L.W. "Thermodynamic description of aqueous nonelectrolytes at infinite dilution over a wide range of state parameters" Geochim. Cosmochim. Acta, Vol. 67, 2003, pp. 613-629.
۲۶. Diamond, L.W. Akinfiyev, N.N. "Solubility of CO<sub>2</sub> in water from -1.5 to 100°C and from 0.1 to 100MPa: evaluation of literature data and thermodynamic modeling" Fluid Phase Equilibria, 208, 2003, pp. 265-290.
۲۷. Ghahramani, H., Zamani, H. and Hamedghafarian, M.R. "Thermodynamic evaluation of solubility of carbon dioxide in carbonated soft drinks, investigating the effect of pressure and temperature on Henry's constants, and its effect on the model accuracy and calculation of activity coefficients" Azad Islamic Congress of Firooz Abad University, section of physical chemistry, Article code: PC300, 2007, p. 68. In Persian.
۲۸. س. افشاری، ا.ح. بهنمش، روش های ازدیاد برداشت از مخازن گاز میعانی، اکتشاف و تولید، شماره ۱۳۸۷، ۵۱
۲۹. م. قلیایی زاده، مطالعه و بررسی امکان پذیری تزریق گازهای جایگزین به منظور ازدیاد برداشت از مخازن نفت، اکتشاف و تولید، شماره ۵۶، ۱۳۸۸.
۳۰. ز. همائی، م. نیک آذر، و. ا. سجادیان، مدل سازی تزریق نیتروژن و دی اکسید کربن به کبی از مخازن نفتی شکا فدار در جنوب غربی ایران، اکتشاف و تولید، شماره ۵۵، ۱۳۸۷.
31. K.L. Kadam, POWER PLANT FLUE GAS AS A SOURCE OF CO<sub>2</sub> FOR MICROALGAE CULTIVATION: ECONOMIC IMPACT OF DIFFERENT PROCESS OPTIONS, Energy Convers. Mgmt., vol. 38, 1997.