دانشگاه آزاد اسلامی واحد اهر
فصلنامه‌ی کاربرد شیمی در محیط زیست

سال پنجم، شماره‌ی ۲۰
پاییز ۱۳۹۳، صفحات ۱۸-۱۳

شبیه‌سازی واحد شیرین‌سازی گاز پالایشگاه بید بلند با استفاده از نرم افزار HYSYS

بهنام آرام*
گروه مهندسی شیمی، دانشکده فنی، دانشگاه آزاد اسلامی اهر، اهر، ایران

رامین زادغفاری
گروه مهندسی شیمی، دانشکده فنی، دانشگاه صنعتی سهند، تبریز، ایران

چکیده

یکی از کلیدی‌ترین نیازهای بشر امروز گاز طبیعی است.گاز طبیعی همواره با مقادیری از ناخالصی‌ها که مهم‌ترین آن‌ها گازهای اسیدی هستند توأم است. مسایل زیست‌محیطی، خوردگی، کاهش ارزش حرارتی گاز طبیعی و مشکلات مربوط به انتقال گاز حکم می‌کند که مقدار هیدروژن سولفید و دی‌اکسیدکربن گاز تولید شده به ترتیب کم‌تر از ppm ۳ و ppm ۲ باشد. متداول‌ترین روش حذف گازهای اسیدی استفاده از محلول‌های آبی آلکانول آمین‌ها است و در این میان دی اتانول آمین به‌خاطر جذب انتخابی هیدروژن سولفید کاربرد وسیعی یافته است. به‌علت کاربرد وسیع این واحدها، همواره نیاز به تحقیقات گسترده، صنعتی و کاربردی در این موارد احساس می‌گردد. بنابراین با بررسی کارهای انجام شده در سال‌های اخیر و تحلیل موارد مورد نیاز، سعی در انجام پژوهشی کاربردی گردیده است. بدین ترتیب که گاز ترش پالایشگاه بیدبلند و مشکلات ایجاد شده در اثر کاربرد این گاز ترش ابتدا بررسی گردیده است. سپس برای بررسی دقیق‌تر امکان سنجی احداث واحد جدید شیرین‌سازی در این پالایشگاه، کاربرد گاز پس از شیرین‌سازی در واحد حساس و اقتصادی گاز مایع مورد بررسی قرار گرفته است. بدین منظور با وارد کردن مباحث اقتصادی در این طرح، سعی بر بررسی اقتصاد مسئله و ایجاد تحلیل جامع‌تر گردیده است. در نرم افزار شبیه‌ساز پارامترهای حیاتی در اقتصاد، مقایسه آمین‌های مختلف و بازده برج شناسایی و تغییرات آن به‌طور خاص در هنگام تغییرات دیگر پارامترها بررسی شده است و به‌منظور ایجاد شبیه‌سازی دقیق‌تر، پیشگوهای نرم‌افزاری به صورت محافظه کارانه‌ای تنظیم گردیده‌اند. پس از شناخت دقیق مسئله و به‌دست آوردن شرایط بهینه عملکردی برج مطابق داده‌های ورودی در مورد واحد نمونه مورد بررسی، نتایج تحلیل، قبل و بعد از شبیه‌سازی برج‌های مذکور باهم مقایسه و تحلیل گردیده است.

کلیدواژه: شیرین‌سازی گاز، شبیه‌سازی، امکان سنجی اقتصادی، پالایشگاه بید بلند

*Email: Behnam_aram@yahoo.com

مقدمه

در پالایشگاه‌ها حضور مقدار شدید H_2S در خوراک اولیه واحدها سبب بروز مشکلات زیادی می‌شود. یخ زدگی لوله‌ها در زمستان و افزایش توان ریبویلر به دلیل افزایش انرژی مصرفی به‌منظور جلوگیری از حضور H_2S در محصولات پایین برج‌های مصرف‌کننده این خوراک و هم-چنین افزایش میزان پروپان و بوتان در بالای این برج به‌دلیل افزایش مقدار توان مصرفی برج که سبب شده این پروپان و بوتان به فلر[۱] رفته و سوخته شوند. نتیجه آن از دست دادن سرمایه‌ای بزرگ است. از دیگر مشکلات به‌وجود آمده افزایش خوردگی تجهیزات در اثر حضور H_2S، صرف هزینه بیش‌تر به‌منظور ساخت خطوط انتقال گاز حجیم‌تر به منظور انتقال گاز به پالایشگاه‌های دیگر در نتیجه حضور ناخالصی‌های گازی، آلودگی‌های شدید سوختی برای گاز تولیدی از بالای برج و کاهش ارزش حرارتی این گاز سوختی می‌باشد (توضیح آن که CO_2 مقداری از گرمای تولیدی را برای بالا بردن دمای خود جذب می‌کند و منجر به کاهش ارزش حرارتی گاز می‌شود. هم‌چنین H_2S هر چند بهتر از متان می‌سوزد ولی خود و محصول حاصل از سوختن آن یعنی SO_2 به شدت سمی بوده و باید تا زیر حد مجاز کاهش یابند). برای جلوگیری از این مشکلات بر آن آمده‌ایم تا علت بروز این موارد را دقیق‌تر بررسی کرده و برای رفع آن‌ها راه‌کاری بیابیم. حضور شدید H_2S در خوراک پالایشگاه بید بلند مشکل اصلی بوده و راهکار پیشنهادی پیشگیری از حضور آن در این واحدها با استفاده از تصفیه و خارج‌سازی H_2S می‌باشد. به همین منظور فرآیند تصفیه گاز در این پالایشگاه به‌وسیله نرم‌افزار HYSYS مورد شبیه‌سازی قرار می‌گیرد و پارامترهای مختلف موثر بر عملکرد برج جذب این پالایشگاه بررسی می‌شود. هم‌چنین به‌منظور ایجاد اطلاعات و نتایج کاربردی‌تر، به مطالعه و بررسی تأثیر این تغییرات در جریان گاز بر عملکرد یک واحد نمونه، واحد آمین در پالایشگاه اراک، که از این جریان گاز به عنوان خوراک استفاده می‌کند، خواهیم پرداخت. در نتیجه واحد مورد بررسی را قبل بعد از شیرین‌سازی این گاز، توسط نرم افزار HYSYS مورد بررسی قرار داده تا با مشخص کردن تغییرات در مؤلفه‌های فرآیندی مهم، مانند میزان ذخیره‌سازی پروپان و کاهش بار حرارتی تجهیزات برج، مباحث اقتصادی را با دیدی کاربردی مورد بررسی قرار دهیم. تغییرات در مؤلفه‌های فرآیندی مهم، مانند میزان ذخیره‌سازی پروپان و کاهش بار حرارتی تجهیزات برج و مباحث اقتصادی مورد بررسی است که کم‌تر مورد توجه قرار گرفته است. شبیه-سازی و امکان سنجی واحد آمینی جدید جهت حصول خوراکی با مقدار H_2S مطلوب و در نتیجه آن مشخص کردن تغییرات در مؤلفه‌های فرآیندی مهم، مانند میزان ذخیره‌سازی پروپان و کاهش بار حرارتی تجهیزات برج از اهداف این تحقیق است که علاوه بر نیاز علمی موجود در گسترش این مباحث به‌علت مقادیر بالای H_2S در خوراک پالایشگاه‌های کشور، کاربردی بودن این مباحث و ذکر مباحث اقتصادی نیز مورد توجه قرار می‌گیرد[۹]. علاوه بر این، خوردگی در تاسیسات فرآورش گاز توسط آلکانول آمین‌ها حاصل می‌شود می‌توان از طریق طراحی مناسب واحد، انتخاب پارامترهای عملیاتی صحیح و پایش مکرر عملیات برای فرآیندهای طراحی نشده به حداقل رسانید. هم‌چنین میزان حذف گاز اسیدی در محلول آمین مورد نظر توسط نرم افزار HYSYS و شبیه‌سازی واحد شیرین-سازی گاز توسط این نرم افزار، در بیش‌تر موارد افزایش بازده برج و کاهش هزینه‌ها را باعث می‌گردد. لذا در این نوع شبیه سازی، استفاده از نرم افزار HYSYS پیشنهاد شده است. پس از بررسی‌های انجام شده و انتخاب واحد آمین، به‌طور خلاصه می توان ذکر کرد که خوراک واحد آمین[۲] در پالایشگاه اراک از ترکیب جریان‌های خروجی از دو واحد تأمین می‌گردد. به بیان دیگر گازمایع حاصل از واحد CCR و گازمایع حاصل از HCU به هم می‌پیوندند

[۱] Flare

[۲] LPG Recovery

و خوراک اولیه این واحد را تأمین می‌نمایند. اطلاعات فرآیندی نشان‌دهنده آلودگی زیاد گازمایع حاصل از HCU توسط H_2S می‌باشد. حضور این مقدار H_2S در خوراک اولیه واحد آمین سبب بروز مشکلات عدیده‌ای می‌باشد، یخ زدگی لوله‌ها در زمستان (که برای رفع این مشکل می بایست با گاز[۱] زدن بر روی این لوله‌ها از این موضوع جلوگیری کرد) افزایش بار حرارتی ریبویلر[۲] (و کندانسور به‌طوری‌که در بخش‌های آتی این امر دقیق‌تر نشان داده خواهد شد و در مورد آن بحث می‌شود) که دلیل این افزایش انرژی مصرفی است و نیز جلوگیری از حضور H_2S در محصولات پایین برج می‌باشد. مشکل دیگر افزایش میزان پروپان و بوتان در بالای برج به دلیل افزایش این مقدار بار حرارتی می‌باشد که سبب شده این پروپان و بوتان به فلر رفته و سوخته شود، که نتیجه آن از دست دادن سرمایه ای بزرگ است. برای جلوگیری از این مشکلات بر آن آمده ایم تا علت بروز این موارد را دقیق‌تر بررسی کرده و برای رفع آن‌ها راه‌کارهایی بیابیم. در قسمت‌های بعد، به شبیه سازی واحد آمین جهت حصول خوراکی با مقدار H_2S مطلوب پرداخته و توسط نرم افزار HYSYS مورد بررسی قرار خواهیم داد. نشان خواهیم داد که هزینه کردن سرمایه برای شیرین‌سازی این گاز در مقابل سرمایه‌های از بین رونده در این واحد کم‌تر می‌باشند. می‌توانیم این موضوع را بیان کنیم که انجام گرفتن تغییرات در واحد آمین علاوه بر مسائل محیط زیستی و مدیریت HSE، موضوعی اقتصادی نیز می‌باشد[۵] ،[۶].

انتظار می‌رود با تغییر در برخی پارامترهای عملیاتی، مقدار مواد گوگرد دار موجود در واحد گازمایع کاهش قابل ملاحظه ای یابد و در نتیجه آن هزینه‌های عملیاتی به میزان چشم‌گیری کاهش یابد. با افزایش خلوص گاز مایع تا ppm ۱۰ نه تنها قیمت فروش محصول به میزان ۳ الی ۴ دلار به ازای هر تن افزایش می‌یابد، بلکه درهای بازار جهانی نیز بر روی این محصول باز می‌گردد. حال آن‌که تنها مشتریان گاز مایع تولیدی کشورهای چین و هند می‌باشند[۷]، [۸].

مواد و روش‌ها

با توجه به این‌که امروزه عوامل اقتصادی چه از نظر ساخت و چه از نظر بهره‌برداری طراحان را ملزم به رعایت دقت محاسباتی بالا می‌نماید، هر وسیله و ابزاری نظیر نرم افزارهای مختلف شبیه‌سازی که یک مکانیسم مناسب برای طراحی فرآیند و پیش‌بینی شرایط فرآیندی ارائه می دهد، بسیار مفید خواهد بود. به عبارت دیگر شبیه‌سازی یکی از راه‌های تعیین دقیق پارامترهای کلیدی فرآیند می‌باشد که برای تأیید و بهینه‌سازی روش‌های طراحی مقدماتی ارائه شده بکار گرفته می‌شود. در طراحی فرآیندهای جدید نظیر جذب انتخابی، به‌دلیل محدود بودن تجربه‌های عملیاتی، قواعد مشخصی برای طراحی فرآیند وجود نداشته، به‌کار گرفتن نرم افزارهای شبیه‌ساز بسیار مفید و تنها راه چاره می‌باشد[۱]،[۲]،[۳]،[۴].

امروزه با رشد فن‌آوری رایانه‌ای در بخش‌های سخت افزاری و نرم افزاری آن، به نحو گسترده‌ای از نرم افزارهای شبیه‌سازی در زمینه طراحی فرآیندها استفاده می‌شود

شبیه‌سازی در سه مرحله انجام شد. برای شبیه‌سازی واحد آمین، با سه آمین مختلف (مونواتانول آمین، دی اتانول آمین، متیل‌دی اتانول‌آمین) شبیه‌سازی صورت گرفت. هم‌چنین شبیه‌سازی در دو برج جذب مختلف و شرایط کاری مختلف، یکی در شرایط فشار بالا و دیگری در فشار پایین انجام گرفت. برای بررسی میزان بازده و درصد حذف H_2S و CO_2، عملکرد این سه نوع آمین بررسی شد. در قسمت دوم شبیه‌سازی به این موضوع خواهیم پرداخت که اگر بخواهیم خوراک واحد آمین را تا این مقدار مطلوب شیرین‌سازی کنیم، واحد آمین مورد نیاز برای این مهم به چه خصوصیاتی با این خوراک ورودی معلوم نیازمند است و بدین ترتیب مقدار H_2S جذب شده

[۱] Steam

[۲] Reboiler heat duty

و خروجی از این واحد را با شبیه‌سازی یک واحد آمین محاسبه خواهیم کرد.

جریانی گازی همان‌طور که در جدول ۱ (ترکیبات خوراک واحد آمین) موجود است، به واحد شیرین‌سازی انتقال یافته و به‌عنوان خوراک وارد برج جذب می‌شود. در شبیه‌سازی این فرآیند از مونواتانول‌آمین، دی‌اتانول‌آمین و متیل دی اتانول آمین به‌عنوان جاذب استفاده شده‌است. جریان غنی از آمین در برج جذب، فلش شده و پیش از ورود به مبدل آمین، قسمت اعظم گازهای هیدروکربنی جذب شده خود را آزاد می‌کند. در مبدل، جریان غنی آمین تا دمای ورودی به Regenerator گرم می‌شود. هم‌چنین گاز اسیدی از Regenerator برگشت داده شده و آمین رقیق نیز سرد شده و به برج جذب برگشت داده می‌شود.

قابل توجه است که برای این شبیه‌سازی از اطلاعات زیر استفاده شده‌است:

Property package: Amines

Thermodynamic mode: Li-Mather/Non-I دی اتانول آمین

1.

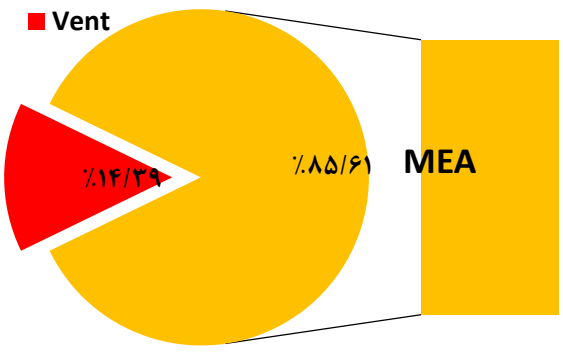
هم‌چنین در این شبیه‌سازی برای گاز ترش از نسبت مولی استفاده می‌شود.

جدول ۱: خوراک‌های ورودی واحد آمین

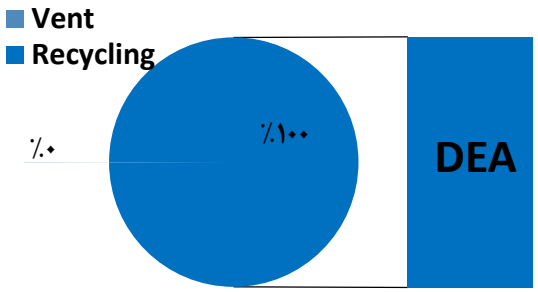
STREAM NAME		SOUR GAS 1	SOUR GAS 2	MEAmine
Composition Mole Fraction	CO_2	0.0029	0.1342	-
	H_2S	0.0966	0.1296	-
	N_2	0.2175	0.0062	-
	C1	0.3865	0.4937	-
	C2	0.2886	0.09	-
	C3	0.0019	0.1149	-
	i-C4	0.001	0.0057	-
	n-C4	0.002	0.0086	-
	i-C5	0.001	0.0029	-
	n-C5	0.001	0.0057	-
	n-C6	0.0006	0.0086	-
	H_2O	-	-	0.5
	MEAmine/DEAmine/ MDEAmine	-	-	0.5

یافته‌ها

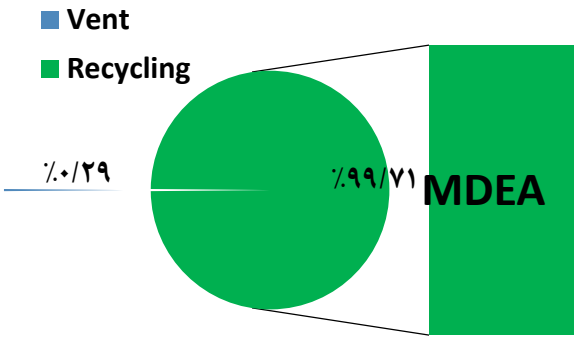
میزان اتلاف و هدررفت برای هر سه آمین در شکل‌های ۱ و ۲ مقایسهٔ شده و میزان هدررفت آمین‌های مختلف برای برج جذب را نشان می‌دهد. همان‌طورکه در سه شکل زیر دیده می‌شود، میزان اتلاف دی‌اتانول‌آمین کم‌تر از دو تا آمین دیگر است و میزان اتلاف مونواتانول‌آمین بیش‌تر از دو تا آمین دیگر است. همان‌طورکه قبلاً گفته شد، دلیل این امر این است که دی اتانول آمین یک آمین نوع دوم بوده و نسبت به دو آمین دیگر باز ضعیف‌تری است و نسبت به دو آمین دیگر با H_2S انتخابی‌تر عمل میکند و با CS_2 واکنش نمی‌دهد. از طرف دیگر مونو اتانول آمین یک آمین نوع اول بوده و باز قوی‌تری است و برای واکنش با H_2S نسبت به دو آمین دیگر انتخاب پذیری کم‌تری دارد و با CS_2 واکنش می‌دهد. ضمناً چون باز قوی‌تری است به دمای بیش‌تری در واکنش بازیابی نیاز دارد. هم‌چنین چون میزان شیرین‌سازی که دی‌اتانول آمین انجام می‌دهد از دو آمین دیگر بیش‌تر است، در نتیجه میزان آمین بیش‌تری از پایین برج جهت بازیافت جریان می‌یابد. پس میزان آمینی که در بالای برج (اتلاف) جریان می‌یابد نیز کم‌تر خواهد بود. در نتیجه از لحاظ اقتصادی استفاده از دی‌اتانول‌آمین به دلیل هدررفت و اتلاف کم، صرفه اقتصادی دارد.



شکل ۱: میزان اتلاف مونواتانول‌آمین در برج جذب



شکل ۲: میزان اتلاف دی‌اتانول‌آمین در برج جذب



شکل ۳: میزان اتلاف مونودی‌اتانول‌آمین در برج جذب

بحث و نتیجه‌گیری

در این تحقیق به نحوه تأثیر تغییر در پارامترهای طراحی یک واحد شیرین‌سازی گاز از قبیل غلظت آمین، دما و فشار آمین ضعیف و تغییر نوع آمیرفی بر بازدهی جداسازی و کاهش هزینه عملیاتی آن واحد پرداخته شده که نتایج زیر به‌دست آمده است:

- ✓ افزایش غلظت دی اتانول آمین سبب افزایش جذب گازهای اسیدی – افزایش در مصرف برق – بخار و آب جبرانی شده و در نتیجه هزینه عملیاتی افزایش می‌یابد.
- ✓ افزایش دمای آمین ضعیف سبب کاهش جذب H_2S در مقابل افزایش جذب CO_2 می شود . این امر هم-چنین سبب کاهش در مصرف برق و افزایش در مقدار آب جبرانی شده و در نهایت هزینه عملیاتی را کاهش می‌دهد.
- ✓ افزایش فشار آمین ضعیف باعث افزایش جذب گازهای اسیدی – افزایش جزئی در مصرف برق و کاهش در میزان آب جبرانی به سیستم شده و در مجموع هزینه عملیاتی را کاهش می‌دهد.
- ✓ افزایش مقدار جریان آمین در گردش سبب افزایش جذب گازهای اسیدی شده – افزایش در مصرف برق، بخار و کاهش ناچیز در مقدار آب جبرانی به سیستم شده و در نهایت هزینه عملیاتی افزایش می‌یابد.
- ✓ افزایش در مقدار جریان بالاسری از برج عریان‌ساز که در واقع افزایش در بار حرارتی ریبویلر می‌باشد باعث افزایش در جذب گازهای اسیدی – افزایش در مصرف برق و بخار می‌شود، در نتیجه هزینه عملیاتی افزایش می‌یابد.
- ✓ میزان اتلاف دی‌اتانول‌آمین کم‌تر از دو تا آمین دیگر است و میزان اتلاف مونواتانول‌آمین بیش‌تر از دو تا آمین دیگر است. در نتیجه از لحاظ اقتصادی استفاده از دی‌اتانول‌آمین به دلیل هدر رفت و اتلاف کم، صرفه اقتصادی دارد.

بدین ترتیب مقدار انتخابی برای این امری ساده نمی‌باشد. هم‌چنین با توجه به امکان تغییر و سابقه تغییرات شدید در ترکیب درصد اجزای خوراک ورودی (خصوصاً H_2S) در اثر عوض شدن شرایط نفت ورودی به پالایشگاه به‌دلیل تغییر شرایط نفت استخراجی از سازندهای جنوب در پالایشگاه بیدبلند و هم‌چنین اثر گذاری این تغییرات بر محاسبات و مسائل اقتصادی، انتخاب بهترین مقدار برای این Spec کاری دشوار و پیچیده می‌باشد. هم‌چنین با مقایسه نمودارهای بخش ۱ تا ۳ می‌توان به این نتیجه دست یافت که با کاهش هرچه بیش‌تر میزان H_2S موجود در خوراک واحد آمین برای رسیدن به یک میزان مجاز مشخصی از H_2S در خروجی پایین برج می‌توان به شرایط ایده‌آل ذیل رسید.

- ✓ مقدار REBOILER HEAT DUTY کاهش می‌یابد.
- ✓ مقدار CONDENSER HEAT DUTY کاهش می‌یابد.

- ✓ ترکیبات سبک بیش‌تری به محصولات پایین برج اضافه گشته که باعث بهبود خصوصیات گازمایع تولیدی، نزدیک شدن به استانداردهای جهانی ذکر شده، افزایش ارزش محصول و هم‌چنین افزایش ارزش حرارتی آن می‌شود.

که از این موارد پس از محاسبات دقیق‌تر می توان ضرورت احداث واحد شیرین‌سازی را نتیجه گرفت.

ذکر چند نکته حائز اهمیت است:

هر چند کاهش بسیار زیاد میزان H_2S موجود درخوراک، همان‌طورکه در نمودارها مشخص است سبب ایجاد شیبی تند در کاهش دبی‌های حرارتی و افزایش میزان ترکیبات سبک می‌شود، اما هرچه به سمت مقدارهای کم-تری از H_2S در فرآیند شیرین‌سازی حرکت کنیم به همان میزان هزینه‌های واحد آمین نیز افزایش می‌یابد. بنابراین می بایست مطابق با مسائل اقتصادی، مدیریت پروژه تعادلی کارآمد در این موارد ایجاد شود. ذکر این نکته اهمیت بینش در مسائل اقتصادی و ضرورت انجام آن را خاطر نشان می‌سازد.

منابع

[1] Klaassen, R., Feron, P, and Jansen A.,2008, "Membrane contactor applications," Desalination, pp. 81–87.

[2] Youchang, X., Low, B.T., Hosseini, S.S., Chung, T.S, and Paul D.R.,2009, "The strategies of molecular architecture and modification of polyimide-based membranes for CO2 removal from natural gas-a review," Polymer Science, pp. 129-137.

[3] Brek, D.W., Adams, W, and Geroge, A.,2007, "Zeolite Molecular Sieve," John wiley & Sons, NewYork, pp. 183-191.

[4] Kohl, A. L. and Nielson R., 1997, "Gas Purification," 5Pth P ed. Gulf Publishing.

[5] Ackley, M.W., Rege S.U., and Saxena, H.,2003, Microporous and Macroporous Materials Journal, pp. 25-41.

[6] Kopac, T.,1999, Chemical Engineering & Processing, 38, pp. 45-56.

[7] Ruziska, P.A., Chemical Engineering Program 69, 1999, pp. 67-79.

[8] Nielsen, R. and Arture, K.,1997, Gas Purification, Gulf publishing Company 5th, pp. 12-19.

[9] Mohebi, S., Mousavi, S.M., and Kiani, S.,2009, Modeling and simulation of sour gas adsorption system: influence of operational parameters on species removal, Journal of Natural Gas Science and Engineering, pp. 195-204.