

## Investigation on Using Amine Split Flow in the Fajr-Jam Refinery Absorption Tower for Control Corrosion Rate

Abdollah Irandoost<sup>1</sup>, Hassan Zare Aliabadi<sup>1\*</sup>, Mojtaba Saei Moghaddam<sup>1</sup>

1-Chemical Engineering Department, Quchan University of Technology, P.O. Box 94771-67335, Quchan, Iran.

### Abstract

**Research subject:** Regarding temperature effect on the rate of corrosion in absorption tower of gas refineries, it is very useful to examine and invest on new methods to decrease the temperature in mentioned towers.

**Research approach:** By studying different types of corrosion in amine processes and the influence of different variables on them, the dominant effect of temperature on the rate of corrosion in absorption towers was determined. Due to decreasing temperature in the absorption tower the surface tension of amine solvent and corrosion rate decrease. The reduction in surface tension reduces the foaming and flooding in the tower, which reduces the concentration of sour gases CO<sub>2</sub> and H<sub>2</sub>S from the natural gas outlet. Various methods of reducing temperature in the absorption tower such as increasing flow rate of circulation amine solvent, opening the insulated tower wall and injecting amines into the middle of the tower have been studied. Aspen-HYSYS software was used to investigate the effects of amine injection into the middle of the tower.

**Main result:** Based on the simulation results, reduction in the maximum temperature of the absorption tower with two and three feed streams, were about 3°C and 10°C, respectively. Due to the reduction in CO<sub>2</sub> and H<sub>2</sub>S content of the exhaust gas, the Spent Caustic and catalyst levels also decreased. Finally, it was found that among the above methods, injection of amine into the middle of the tower had the highest efficiency in decreasing its temperature of it. However, a combination of the above mentioned methods can be used to further reduce the temperature in the tower.

### key words

Absorption Tower

Amines

Acidic Gases

Corrosion

Maximum Temperature

\*To whom correspondence should be addressed:  
hzare@qiet.ac.ir

# پژوهش‌های کاربردی مهندسی شیمی - پلیمر

بررسی چند شاخه ای شدن جریان آمین در برج جذب پالایشگاه فجر  
جم برای کنترل خوردگی

عبدالله ایران‌دوست<sup>۱</sup>، حسن زارع علی آبادی<sup>۱\*</sup>، مجتبی ساعی مقدم<sup>۱</sup>

۱- گروه مهندسی شیمی، دانشگاه صنعتی قوچان، قوچان، ایران، کد پستی ۶۷۳۳۵-۹۴۷۷۱

فصلنامه علمی - پژوهشی بین رشته ای  
سال چهارم، شماره ۲، نسخه ۱  
تابستان ۱۳۹۹، صفحه ۱۱۷-۱۰۷

## چکیده

با مطالعه انواع خوردگی در فرآیندهای آمینی و بررسی تأثیر عوامل مختلف بر روی آنها، اثر غالب دما در خوردگی در برج های جذب مشخص شد. کاهش دما منجر به کاهش خوردگی در برج جذب، تأثیر بر روی کشش سطحی آمین و در نتیجه کاهش کف زایی و طغیان در برج و کاهش گازهای ترش  $\text{CO}_2$  و  $\text{H}_2\text{S}$  از جریان خروجی گاز طبیعی خواهد شد. در این تحقیق شیوه های مختلف کاهش دما از جمله افزایش دبی آمین در گردش، باز نمودن عایق دیواره و تزریق آمین به میانه برج مورد بررسی قرار گرفته است. برای بررسی اثر تزریق آمین به میانه برج از نرم افزار Aspen-HYSYS استفاده شد. براساس نتایج شبیه سازی، در برج جذب دوخورا که دمای بیشینه در برج در حدود  $3^\circ\text{C}$  و در حالت سه خورا که دمای بیشینه حدود  $10^\circ\text{C}$  کاهش یافت. همچنین با توجه به کاهش غلظت گازهای  $\text{CO}_2$  و  $\text{H}_2\text{S}$  از جریان خروجی گاز، میزان سودسوزآور مصرفی در قسمت تحتانی برج نیز کاهش می یابد که در نهایت میزان مصرف کاتالیزور واحد مراکس را پایین خواهد آورد. براساس نتایج حاصله تزریق آمین به میانه برج نسبت به سایر روش های اشاره شده بالاترین بازده را برای کاهش دمای برج نشان می دهد. گر چه برای کاهش بیشتر دما در برج می توان ترکیبی از روش های یاد شده را استفاده نمود.

## کلمات کلیدی

برج جذب

آمین

گازهای اسیدی

خوردگی

دمای بیشینه

\*عهده دار مکاتبات:

hzare@qiet.ac.ir

## ۱. مقدمه

ها در فاز مایع استفاده می کند و به فشار جزئی این آلاینده ها بستگی دارد. بازسازی حلال های فیزیکی به حداقل انرژی نیاز دارد و می تواند از طریق نوسان فشار، نوسان خلا و یا فرایند نوسان درجه حرارت به دست آید [۲].

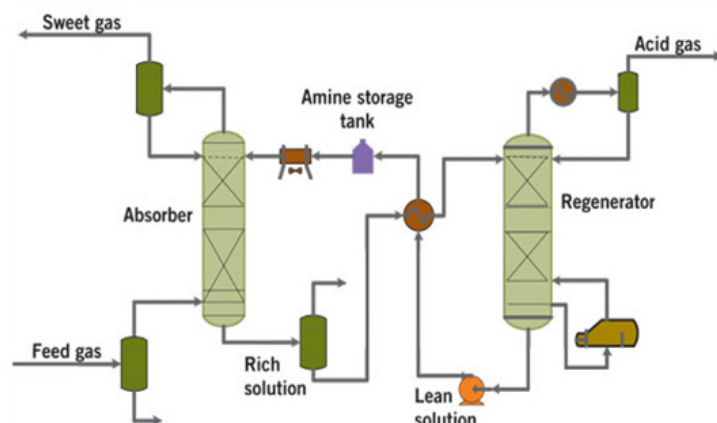
از آنجا که بخش زیادی از فرایند شیرین سازی گاز در برج های جذب اتفاق می افتد، این تجهیز در پالایشگاه های گاز نقش به سزایی داشته و توجه ویژه ای را می طلبد. از این رو استفاده از روش هایی که علاوه بر بازدهی بالاتر، عمر دستگاه را نیز افزایش می دهند، برای بهینه سازی سامانه بسیار مهم است. با در نظر گرفتن میزان خوردگی در قسمت میانی برج های جذب شرکت گاز فجر جم، اعمال تغییراتی در راستای کاهش خوردگی در این منطقه در راستای افزایش طول عمر مفید برج، در پالایشگاه گاز فجر جم غیر قابل اجتناب می نمود. از این رو بررسی دقیق این تغییرات و تاثیر آنها بر نقاط بالا دستی و پایین دستی جریان مورد توجه قرار گرفت [۶].

پدیده خوردگی در برج یک فرآیند کاملاً پیچیده با

شیرین سازی گاز فرایندی حیاتی است که آلاینده های اسیدی مانند کربن دی اکسید، هیدروژن سولفید و سولفید کربنیل را از مخلوط گاز طبیعی که شامل اتان، متان و سایر هیدروکربن ها است را حذف می کند تا آن را برای حمل و نقل به سایر خطوط یا در تولید مواد شیمیایی آماده نمایند [۲ و ۱]. در شکل ۱ طرح واره فرایند شیرین سازی گاز را مشاهده می کنید [۳].

استفاده از آمین ها عملیات کلیدی در تاسیسات فرآوری گاز، عملیات های پالایشگاه، کارخانجات پتروشیمی و صنایع دیگر با هدف حفظ عملکرد موثر و برآورده کردن مشخصات مناسب برای فروش است. سامانه آمین به عنوان یک سیستم مدار بسته و در درجه اول برای حذف سولفید هیدروژن، دی اکسید کربن و سایر اجزای اسیدی از جریان های هیدروکربن گازی طراحی شده است که به دلیل فشار زیاد برای بهداشت محیط و کیفیت بالای دفع گاز اسیدی، توجه زیادی را به خود جلب کرده است [۳].

بدین منظور از جذب شیمیایی با حلال های آمین به



شکل ۱. شماتیک واحد شیرین سازی گاز

Figure 1. Schematic of the gas sweetening unit

طور گسترده ای برای دفع گاز اسیدی در صنایع فرآوری گاز استفاده می شود. پیکربندی متداول این فرایند شامل دو ستون است: جاذب در جایی که حلال های آمین گاز های اسیدی را جذب می کنند و بازسازی کننده ای که در آن با استفاده از گرمای خارجی عملیات دفع را انجام می دهد و حلال آمین را برای استفاده مجدد در جذب کننده آماده می کند [۴]. همچنین لازم به ذکر است که فناوری های جایگزین مانند استفاده از جذب فیزیکی نیز در دسترس هستند [۵].

ساز و کار جذب، بسته به پیوندهای بین مولکولی تشکیل شده در فرایند جذب، به عنوان جذب فیزیکی یا شیمیایی طبقه بندی می شود. جذب فیزیکی از نیروهای بین مولکولی ضعیف مانند وندروالس و برهم کنش های دو قطبی-قطبی برای نگه داشتن آلاینده

مولفه های زیاد بوده بطوری که تغییر هر کدام از آنها علاوه بر تغییر میزان خوردگی بر سایر مولفه ها نیز تاثیر گذار است. لذا بایستی با تغییر یک پارامتر، تاثیر آن بر سایر پارامترها مورد بررسی قرار گیرد. با مقایسه پارامترهای موجود در برج که شامل فشار، سرعت سیال، دما، بار گاز اسیدی، میزان pH آمین و غیره است، تغییرات خوردگی به نسبت تغییرات دما در برج بیشتر از همه جلب توجه می نمود؛ به این صورت که در طول برج با افزایش دما، سرعت خوردگی نیز افزایش یافته و با کاهش آن سرعت خوردگی کاهش می یابد. از این رو یافتن روش هایی برای کاهش دمای بیشینه برج مد نظر قرار گرفت [۷].

پژوهشی توسط بائه و همکاران [۸] در سال ۲۰۱۱ بر روی شبیه سازی جریان چند خوراک در فرایند شیرین

جوشاننده و کاهش هزینه ۷/۴۴ درصدی در حذف CO<sub>۲</sub> با حلال آبی ترکیبی مایع یونی و مونواتانول آمین در مقایسه با ۳۰ درصد وزنی حلال مونواتانول آمین را نشان داد. پائوچی چن و یان لین لای [۱۵] در سال ۲۰۱۹ پژوهشی در مورد اثر پارامترهای مختلف از قبیل غلظت حلال مصرفی، مقدار حلال مصرفی و دما جوش آور برج بر راندمان جداسازی گازهای ترش انجام داده و شرایط بهینه فرایندی و ترکیب درصد مناسب از ترکیب آمین ها برای جداسازی گاز CO<sub>۲</sub> مشخص کردند.

نایف قاسم [۱۶] در سال ۲۰۱۹ در پژوهشی تاثیر استفاده از نانوذرات مختلف مثل اکسید الومینیوم، اکسید سیلیس و اکسید آهن همراه با نانولوله های کربنی را در محلول های آمینی بر میزان جذب شیمیایی گاز CO<sub>۲</sub> را بررسی نمود. نتایج تحقیق نشان داد در صورت افزایش ۵ درصد وزنی از نانوذرات در محلول آمینی MDEA می توان افزایش بازدهی ۲۰ درصدی را در جذب CO<sub>۲</sub> انتظار داشت.

در این پژوهش روش هایی همچون باز کردن عایق برج برای تبادل حرارت با محیط، افزایش فاصله سینی ها، پایین آوردن دمای گاز ورودی یا آمین ورودی و تزریق آمین به قسمت میانی برج مورد بررسی قرار گرفته و با مقایسه آنها از نظر فرایندی روشی مناسب برای واحد شیرین سازی گاز پیشنهاد می شود.

## ۲. شبیه سازی

گازهای اسیدی با آمین های نوع اول، دوم و سوم واکنش داده و تولید نمک های برگشت پذیر می نمایند. واکنش H<sub>۲</sub>S با انواع آمین ها یک مرحله ای و سریع است ولی سازوکار واکنش CO<sub>۲</sub> با آمین های نوع سوم، نسبت به واکنش CO<sub>۲</sub> با آمین های نوع اول و دوم متفاوت است. این امر به دلیل عدم وجود هیدروژن در ساختمان مولکولی آمین نوع سوم می باشد. آمین نوع اول و دوم سریعاً با CO<sub>۲</sub> ترکیب شده و تشکیل یون کاربامات می دهند. سپس یون کاربامات به کندی با آب ترکیب شده و یون کربنات تشکیل می شود. حال آنکه این امر برای آمین نوع سوم به دلیل عدم وجود هیدروژن متصل به ازت در ساختمان مولکولی خود امکان پذیر نیست. در این نوع آمین ها، ابتدا CO<sub>۲</sub> باید با آب تشکیل یون کربنات یا بی کربنات بدهد. این امر با عنایت به حلالیت کند CO<sub>۲</sub> در آب و کنترل کننده گی جذب CO<sub>۲</sub> در آمین های نوع سوم است. همه واکنش های انجام شده گرما زا هستند. از آنجا که بیشترین واکنش درون برج روی سینی ها اتفاق می افتد، در این محل ها گرمای آزاد شده باعث بالا رفتن دمای گاز، آمین، سینی ها و بدنه برج می شود. مقدار گرمای آزاد شده تابع سرعت انجام واکنش، نوع آمین، میزان گاز های اسیدی محلول در گاز ترش، سرعت گاز و آمین است [۱۳]. در جدول ۱ گرمای واکنش گازهای

سازی گاز طبیعی انجام شد. در این تحقیق، شبیه سازی فرایند شیرین سازی گاز طبیعی با جریان تقسیم شده بر اساس فرایند جذب/دفع با محلول های آلکانوآمین، مونواتانول آمین و دی گلیکول آمین با استفاده از Aspen Plus انجام شد. تاثیر پارامترهایی مانند غلظت گازهای ترش در گازهای خوراک بررسی شده است. نتایج شبیه سازی نشان می دهد که فرایند شیرین سازی انشعاب دار می تواند وظیفه جوش آور یک برج دفع را بهتر از فرایند شیرین سازی معمولی گاز با توجه به غلظت CO<sub>۲</sub> در گاز را کاهش دهد. کو و همکاران [۹] در سال ۲۰۱۳ به بررسی شبیه سازی یک فرایند جذب CO<sub>۲</sub> با حلال متیل دی اتانول آمین و پیپرازین به عنوان یک فعال کننده پرداختند. نتایج نشان داد که غلظت پیپرازین تاثیر معنی داری در عملکرد فرایند دارد. در غلظت های پایین پیپرازین، هر ۱ درصد وزنی افزایش پیپرازین باعث بهبود حدود ۱۰ درصد CO<sub>۲</sub> می شود. در نهایت نتایج نشان داد که بیشترین مقدار جذب در حالت محلول ۴۵ درصد متیل دی اتانول آمین و ۵ درصد پیپرازین رخ می دهد.

پال و همکاران [۱۰] در پژوهش دیگری در سال ۲۰۱۵ به نقش محلول متیل دی اتانول آمین به عنوان حلال در واحد شیرین کننده گاز طبیعی و آلودگی های فرآوری شده در مسیر واکنش احتمالی آن پرداختند. آن ها بیان کردند که محلول متیل دی اتانول-آمین به عنوان حلال در واحد شیرین کننده گاز طبیعی استفاده می شود که کیفیت آن با افزایش سولفید هیدروژن و کربن دی اکسید کاهش می یابد و باعث ایجاد خوردگی و کف می شود. رضا کاظمی و همکاران [۱۱] در سال ۲۰۱۷ به بررسی سامانه های ترکیبی شامل ترکیب فناوری غشایی و جذب برای حذف گازهای اسیدی سولفید هیدروژن و کربن دی اکسید از گاز طبیعی پرداختند. این فرایند ترکیبی به این دلیل استفاده شد که از هر دو مزیت سامانه استفاده شود. سه فرایند شیرین سازی مختلف محلول های آمین ۳۰ درصد وزنی دی اتانول آمین، غشای فیبر توخالی و فرایند ترکیبی (آمین + غشا) در اینجا در نظر گرفته شد. فرایند غشایی برای اولین بار برای از بین بردن گازهای اسیدی از گاز طبیعی استفاده شد و فرایند آمین بیشتر برای تکمیل تصفیه مورد استفاده قرار گرفت تا به استانداردهای خط لوله برسد.

آکینولا و وانگ [۱۲] در سال ۲۰۱۹ حذف CO<sub>۲</sub> در فرایند گاز طبیعی با استفاده از مخلوط مایع یونی و مونواتانول آمین را به وسیله شبیه سازی فرایند بررسی کردند. آن ها مدلی مبتنی بر نرخ هر دو حلال مونواتانول آمین (۳۰ درصد وزنی) و مایع یونی (۳۰ درصد وزنی) تهیه کردند برای ارزیابی هر عملکرد فنی و اقتصادی با استفاده از Aspen Plus این دو را مخلوط کردند. نتایج حاصل از این مطالعه مصرف انرژی حدود ۱۵ درصد در

جدول ۱. گرمای واکنش گازهای اسیدی و آمین  
Table 1. Heat of reaction acidic gases and amines

heat of reaction(kj/kg)	DEA	MDEA
H <sub>2</sub> S	1510	1420
CO <sub>2</sub>	1190	1050

جدول ۲. مشخصات برج جذب  
Table 2. Absorption tower specifications

Type of tray	Valve tray
Column diameter	3.7 m
Tray spacing	61 cm
Number of passes for each tray	Even trays=2 Odd trays=3
Percentage of tower tray area	%85

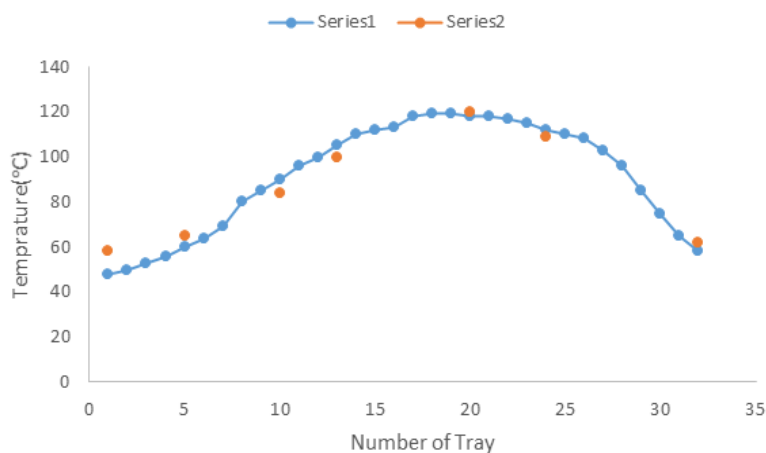
های بدست آمده از شبیه سازی با نرم افزار با دقت خوبی به واقعیت نزدیک است، شرایط برج جذب در یک روز تابستانی اندازه گیری شده و سپس داده های اندازه گیری شده ( توسط آزمایشگاه و دماهای اندازه گیری شده در محل) با نتایج شبیه سازی شده توسط نرم افزار مقایسه شد. سپس با داده های موجود در نقشه های فرایندی پالایشگاه در شرایط طراحی، و سپس این وضعیت برای فصل زمستان و در زمان بیشترین تولید شبیه سازی شده و مورد مطالعه قرار گرفت. در ادامه با توجه به آنچه در قبل در مورد رابطه خوردگی با دما در برج گفته شد، این روش ها نیز شبیه سازی شده و با هم مقایسه شد. در جدول ۲

اسیدی و آمین قابل مشاهده است.

### ۳. نتایج و بحث

#### ۳-۱ شبیه سازی واحد شیرین سازی و بررسی برج جذب

برای مقایسه برج جذب با یک جریان آمین و برج جذب با خوراک چندگانه از شبیه سازی این برج توسط نرم افزار Aspen-HYSYS استفاده شده است. برای هر یک از حالت های مختلف توزیع دما، ترکیب درصد گاز تصفیه شده خروجی از برج جذب و میزان طغیان بر روی هر سینی مورد بررسی قرار گرفته است. در ابتدا برای رسیدن به این اطمینان خاطر که داده



شکل ۲. توزیع دما بدست آمده از نتایج شبیه سازی در طول برج و دماهای اندازه گیری شده (سری ۱: داده های تجربی، سری ۲: نتایج شبیه سازی)

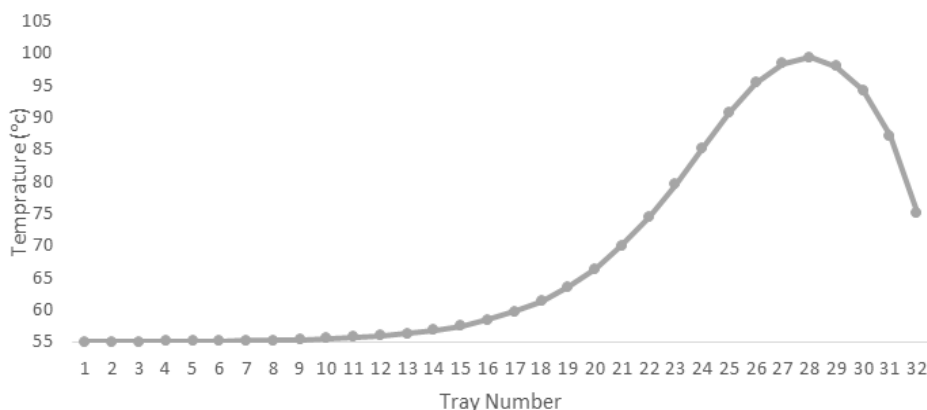
Figure 2. Temperature distribution obtained from simulation results along tower and measured temperatures (Series1: experimental data, Series2: simulation result)

مشخصات برج جذب آمده است.

اندازه گیری شده توسط آزمایشگاه در حدود ۴۳ ppm و میزان  $CO_2$  به دست آمده از شبیه سازی در حدود ۳۵ ppm است. مطابق نمودار ۲ مشاهده می شود که دمای بیشینه در برج جذب براساس نتایج شبیه سازی در حدود ۱۱۶/۵ درجه سانتیگراد و اندازه گیری شده در حدود ۱۲۰/۵ درجه سانتیگراد بوده که هر دو بر روی سینی ۲۰ ام اتفاق می افتد.

### ۲-۳ شبیه سازی واحد شیرین سازی و مقایسه نتایج آن با واحد شیرین سازی پالایشگاه

برای حصول اطمینان از اینکه نتایج شبیه سازی با شرایط واقعی برج انطباق دارد یکی از واحدهای شیرین سازی پالایشگاه فجر جم (واحد ۴۷۰۰) مورد پایش قرار گرفت. گاز ارسالی به پالایشگاه از حوزه های نار

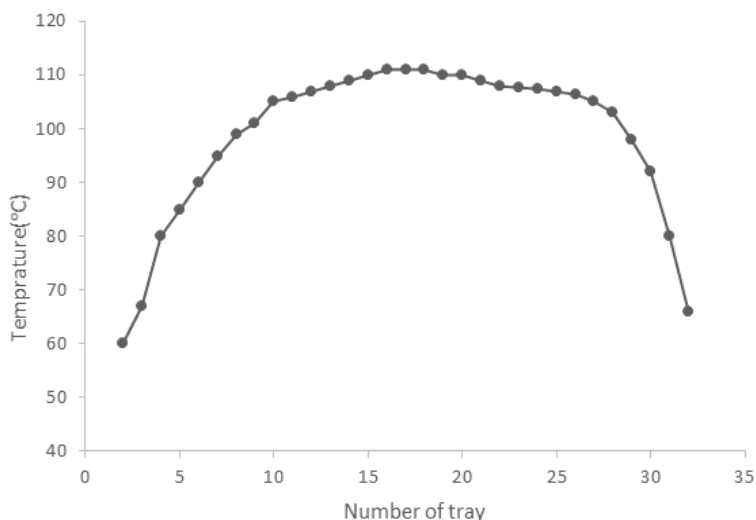


شکل ۳. توزیع دما در طول برج برای شرایط طراحی

Figure 3. Temperature distribution along the tower for design conditions

۳-۳ شبیه سازی برج در شرایط طراحی پالایشگاه با توجه به شرایط طراحی پالایشگاه، گاز ارسالی به پالایشگاه از حوزه های نار و کنگان و آمین (DEA) ورودی به برج جذب هر یک از واحدها به ترتیب ۱۲/۲ MMSCMD و  $340/6 m^3/h$  و میزان  $CO_2$  و  $H_2S$  خوراک به ترتیب ۸۵/۱ % و ۱۵۷ ppm بود، توزیع دما در طول برج مطابق شکل شماره ۳ و بیشینه

و کنگان و دبی گاز و آمین (DEA) ورودی به برج جذب واحد مذکور به ترتیب ۱۳/۵ MMSCMD و  $346 m^3/h$  و میزان  $CO_2$  و  $H_2S$  خوراک به ترتیب ۱/۸۴ mol و ۵۷۹ ppm بود. با مقایسه دماهای اندازه گیری شده در طول برج با نتایج به دست آمده از شبیه سازی، نتایج به دست آمده از شبیه سازی با شرایط واقعی هم پوشانی دارد. همچنین میزان  $CO_2$  گاز شیرین خروجی



شکل ۴. توزیع دما در طول برج برای شرایط فعلی

Figure 4. Temperature distribution along the tower for current conditions

جدول ۳. مشخصات خوراک ورودی  
Table 3. Specifications of feed

Composition of inlet natural gas	Nar	Kangan	Pars	Feed	Dimension
C1	88.24	85.36	87.75	86.54	Mole percent
C2	3.53	4.08	5.27	4.05	Mole percent
C3	1.09	1.32	0.78	1.183	Mole percent
i-C4	0.23	0.29	0.07	0.245	Mole percent
n-C4	0.32	0.41	0.09	0.343	Mole percent
i-C5	0.15	0.2	0.02	0.163	Mole percent
n-C5	0.11	0.15	0.01	0.12	Mole percent
C6	0.16	0.19	0.01	0.16	Mole percent
C <sup>+</sup> 7	0.18	0.23	0.03	0.19	Mole percent
N <sub>2</sub>	4.47	5.88	3.74	5.18	Mole percent
CO <sub>2</sub>	1.52	1.89	1.87	1.77	Mole percent
H <sub>2</sub> S	55	650	5800	1082.36	mg/sm <sup>3</sup>
RSH	10	55	10	35.56	mg/sm <sup>3</sup>
Flow	39	71	15	125	MMSCMD

مشخصات ذکر شده در جدول شماره ۳ باشد. همچنین اطلاعات مورد نیاز برای شبیه سازی در جدول شماره ۴ ذکر شده است. باتوجه به مشخصات فوق و دبی هر واحد MMSCMD ۱۵/۵ میزان آمین خروجی از برج جذب ( حدود ۰/۴ ) دبی آمین در گردش در حدود ۳۵۵ m<sup>3</sup>/h به دست می آید. نمودار توزیع دما در طول برج در شکل شماره ۴ نشان داده شده است. مطابق شکل بیشینه دما در حدود ۱۱۴/۳ °C و بر روی سینی ۲۰

دما در حدود ۹۹ درجه سانتیگراد و بر روی سینی ۲۸ است.

#### ۳-۴ تزریق آمین به میانه برج جذب

##### ۳-۴-۱ برج جذب یک خوراکه ( شرایط فرایندی )

برای بررسی تزریق آمین به میانه برج فرض شده است که گاز ارسالی به پالایشگاه از حوزه نار، کنگان و گاز ارسالی از فاز ۶، ۷ و ۸ پارس جنوبی و مطابق

جدول ۴ اطلاعات مورد نیاز شبیه سازی  
Table 4. Required data for simulation.

55	Inlet amine temperature (°C)
79.5	Inlet amine pressure (barg)
32	Concentration of amine solution (DEA) (wt%)
47	Inlet gas temperature (°C)
80	Inlet gas pressure (barg)

ثانیه است. با توجه به قطر لوله، میزان دبی آمین از خط لوله ۱/۵ اینچ، ۹ مترمکعب بر ساعت به دست می آید. با توجه به حالت های ممکن دمای بیشینه، سینی مربوط به دمای بیشینه و همچنین میزان  $CO_2$  گاز خروجی مطابق جدول شماره ۵ است. مطابق جدول بهترین حالت زمانی است که آمین به سینی های اول و بیست و پنجم تزریق می شود. در این حالت دمای بیشینه در برج در حدود  $3^{\circ}C$  کاهش می یابد. شکل شماره ۵ توزیع دما در برج جذب را برای حالت ششم برج جذب دو خوراکه نشان می دهد.

**۳-۴-۳ برج جذب سه خوراکه**  
در این حالت حلال آمین علاوه بر سینی اول بر روی

است. همچنین میزان  $CO_2$  گاز خروجی از برج جذب در حدود ۱۵ ppm به دست آمد.

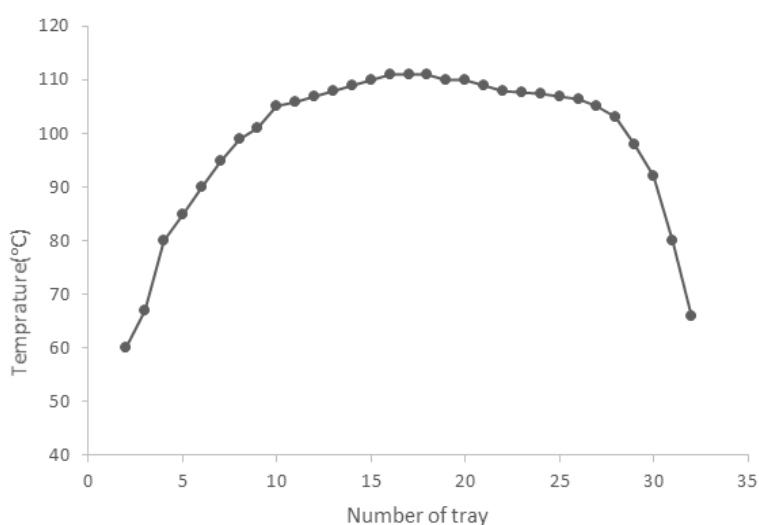
### ۳-۴-۲ برج جذب دو خوراکه

با توجه به اینکه در برج جذب واحد شیرین سازی یک اتصال ۲ اینچی برای نمونه گیری از گاز در بالای سینی هایی که شماره آنها مضربی از پنج می باشد وجود دارد؛ می توان از الگوی جریان چندگانه در این برج استفاده نمود. برای پیشگیری از سایش جداره برج به خاطر ریزش آمین روی بدنه حلال آمین ورودی از طریق یک خط لوله ۱/۵ اینچ استفاده می شود. بر اساس معیارهای طراحی، سرعت مجاز مایع در داخل لوله برابر با ۱/۵ متر بر

جدول ۵. مقایسه حالت های مختلف برای برج جذب دو خوراکه

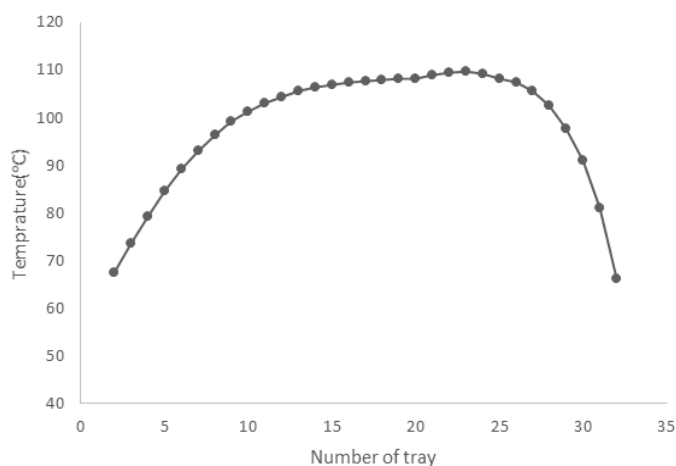
Table 5. Different modes for the absorption tower with two feed streams

case	Row of tray	$CO_2$ (ppm)	Maximum temperature ( $^{\circ}C$ )	Tray number
1	First tray	15	114.3	20
2	The first and fifth trays	14	114.2	21
3	The first and tenth trays	13	114.9	20
4	The first and fifteenth trays	16	113.7	21
5	The first and twentieth trays	11	112.3	23
6	The first, fifth and twentieth trays	11	111.4	20



شکل ۵. توزیع دما در طول برج برای حالت تزریق آمین به سینی اول و بیست و پنجم  
Figure 5. Temperature distribution along the tower for the mode of injection of amines into the first and twenty-fifth trays





شکل ۶. توزیع دما در طول برج برای حالت تزریق آمین به سینی اول، بیست و بیست و پنجم  
 Figure 6. Temperature distribution along the tower for the mode of injection of amines into the first, twenty and twenty-fifth trays

به دو سینی دیگر از یک خط لوله ۳ اینچ استفاده می شود و طول خط لوله یک و نیم اینچ کمتر از آن بوده و از طرفی سرعت حلال آمین جاری در لوله اصلی آمین حدود ۲ m/s است می توان از هر یک از انشعابات حدود ۱۶ m<sup>۲</sup>/h آمین به میانه برج تزریق نمود. در این صورت دمای بیشینه، سینی مربوط به دمای بیشینه

دو سینی دیگر نیز تزریق می شود. با توجه به نتایج شبیه سازی، و حالت های ممکن دمای بیشینه، سینی مربوط به دمای بیشینه و میزان خروجی مطابق جدول شماره ۶ است. مطابق جدول بهترین حالت زمانی است که آمین به سینی های اول، بیست و بیست و پنجم تزریق می شود. از آنجا که برای تزریق آمین

جدول ۶. مقایسه حالت های مختلف برای برج جذب سه خوراکه  
 Table 6. Comparison of different modes for the three-feed absorption tower

Case	Row of tray	CO <sub>2</sub> (ppm)	Maximum temperature (°C)	Tray number
1	First tray	15	114.3	20
2	First tray, fifth and tenth trays	13	114.1	20
3	First tray, fifth and fifteenth trays	11	113.6	21
4	First tray, fifth and twentieth trays	11	112.2	23
5	First tray, fifth and twenty fifth trays	10	111.3	21
6	First tray, fifth and fifteenth trays	10	113.6	21
7	First, tenth and twentieth trays	9	112.2	23
8	First, tenth and twenty fifth trays	9	111.2	21
9	First, fifteenth and twentieth trays	9	112.1	23
10	First, fifteenth and twentieth and twenty fifth trays	9	110.8	22
11	First, twentieth and twenty fifth trays	8	109.6	23

جدول ۷. شرایط بهینه در برج جذب با سه خوراک

Table 7. The best of the three-feed Streams absorption tower

Row of tray	CO <sub>2</sub> (ppm)	Maximum temperature (°C)	Tray number
First tray, twentieth and twenty fifth trays	6	104.7	26

#### ۴. نتیجه گیری

با توجه به رابطه مستقیمی که سرعت خوردگی در برج با دما دارد، استفاده از روشی برای کاهش دمای برج غیر قابل اجتناب می-نماید. در بین روش های پیشنهادی برای کاهش دمای بیشینه برج، تزریق آمین به سینی های میانی دارای بیشترین بازده و هزینه کمتر است. اگر چه برای کاهش بیشتر دما در برج می توان از ترکیبی از روش های یاد شده در بالا نیز استفاده نمود (مانند تزریق آمین به میانه برج و باز نمودن عایق و کاهش دمای گاز و آمین ورودی به برج به صورت همزمان). کاهش دما در برج جذب منجر به، کاهش خوردگی در برج، تأثیر بر روی کشش سطحی آمین و در نتیجه کاهش کف زایی و طغیان در برج جذب و کاهش CO<sub>2</sub> و H<sub>2</sub>S گاز خروجی خواهد شد و با توجه به کاهش CO<sub>2</sub> و H<sub>2</sub>S گاز خروجی، میزان سودسوزآور مصرف شده قسمت تحتانی برج نیز کاهش می یابد که در نتیجه آن، میزان مصرف سودسوزآور و کاتالیزور نیز کاهش خواهند یافت که علاوه بر صرفه اقتصادی، کمک شایانی نیز به محیط زیست خواهد نمود.

و همچنین میزان CO<sub>2</sub> گاز خروجی برای بهترین حالت برج جذب سه خوراکه مطابق جدول شماره ۷ خواهد بود. در این حالت دمای بیشینه در برج در حدود ۱۰ °C کاهش یافته و نمودار توزیع دما در برج جذب مطابق شکل شماره ۶ خواهد شد.

#### ۵-۳ افزایش دبی آمین در گردش برج

میزان افزایش دبی آمین در گردش با در نظر گرفتن ۱۰ درجه کاهش دما برای برج، از روش شبیه سازی معکوس با استفاده از نرم-افزار Aspen-HYSYS، ۴۰۳ متر مکعب در ساعت به دست آمد که از حداکثر توان پمپاژ تلمبه های آمین که ۳۷۵ متر مکعب در ساعت است بیشتر است.

#### ۶-۳ باز کردن عایق دیواره برج

با انجام شبیه سازی برای حالتی که برج عایق نداشته باشد، میزان حداکثر دما در برج ۱۱۴ درجه سانتیگراد شد که بیشتر از روش استفاده از جریان چند شاخه ای است.

## مراجع

- [1] Tohid Borhani, Meihong Wang, Role of Solvents in CO<sub>2</sub> Capture Processes: The Review of Selection and Design Methods, *Renewable and Sustainable Energy Reviews* 114 (2019) 109299.
- [2] Jak Tanthana, Aravind Rayer, Vijay Gupta, Paul D. Mobley, Mustapha Soukri, Jim Zhou, and Marty Lail, Experimental Study of a Hydrophobic Solvent for Natural Gas Sweetening Based on the Solubility and Selectivity for Light Hydrocarbons (CH<sub>4</sub>, C<sub>2</sub>H<sub>6</sub>) and Acid Gases (CO<sub>2</sub> and H<sub>2</sub>S) at 298–353K, *Journal of Chemical & Engineering Data* 2019 64 (2), 545-556.
- [3] Walaa Shehata, Abeer Shoaib, Ahmed Bhran, and Mohamed Gaber, Article Open Access Challenges and Solutions of Gas Sweetening Unit in Polypropylene Plant Using Process Simulation: A Case Study, *Pet Coal* (2019); 61(3) 517-532.
- [4] Habin Cho, Michael Binns, Kwang-Joon Min, and Jin-Kik Kim, Automated Process Design of Acid Gas Removal Units in Natural Gas Processing, *Computers and Chemical Engineering* (2015).
- [5] Wanjun Guo, Guchui Song, Jun Xiao, and Fei Feng, Simulation and Energy Performance Assessment of CO<sub>2</sub> Removal from Crude Synthetic Natural Gas via Physical Absorption Process, *Journal of Natural Gas Chemistry* 21(2012)633–638.
- [6] Robert N. Maddox., "Gas Conditioning and Processing", Vol. 4, Third Edition, 1994.
- [7] دکتر مرتضی احسانی، بررسی علل خوردگی بدنه و سینی های برج جذب و احیا و تعیین پوشش مناسب، شرکت پالایش گاز فجر جم
- [8] Hyung Kun Bae, Sung Yaung Kim, and Bomsock Lee, Simulation of CO<sub>2</sub> Removal in a Split-Flow Gas Sweetening Process, *Korean J. Chem. Eng.*, 28(1), 643-648 (2011).
- [9] Sarntharm Mudhasakul, Hong- Ming Ku, and Peter Lewis Douglas, A Simulation Model of a CO<sub>2</sub> Absorption Process with Methyldiethanolamine Solvent and Piperazine as an Activator, *International Journal of Greenhouse Gas Control* 15 (2013) 134–141.
- [10] Priyabrata Pal, Ahmad Abukashabeh, Sameer MR Al Asheh, and Fawzi Banat, Role of Aqueous methyldiethanolamine (MDEA) as Solvent in Natural Gas Sweetening Unit and Process Contaminants with Probable Reaction Pathway, *Journal of Natural Gas Science and Engineering* 24 (2015) 124-131.
- [11] Mashallah Rezakazemi, Isa Heydari, and Zhien Zhang, Hybrid Systems: Combining Membrane and Absorption Technologies Leads to more Efficient Acid Gases (CO<sub>2</sub> and H<sub>2</sub>S) Removal from Natural Gas, *Journal of CO<sub>2</sub> Utilization* 18 (2017) 362–369.
- [12] Toluleke Emmanuel Akinola, Eni Oko, and Meihong Wang, Study of CO<sub>2</sub> Removal in Natural Gas Process Using Mixture of Ionic Liquid and MEA through Process Simulation, *Fuel* 236 (2019) 135–146.
- [13] Alireza Bahadori, *Natural Gas Sweetening, Technology and Engineering Design* 2014, Pages 483-518.