

# بهینه‌سازی و ارزیابی واحد شیرین‌سازی گاز با استفاده از روش ژنتیک الگوریتم با جستجوی مجذوری

ترانه جعفری بهبهانی<sup>۱\*</sup>، ایرج مشرفی<sup>۲</sup>  
۱- ایران، تهران، استادیار پژوهشگاه صنعت نفت، پژوهشکده توسعه فناوری های پالایش و فراورش  
۲- شرکت نفت فلات قاره ایران  
نویسنده مسئول، ایمیل: jafarit@ripi.ir

تاریخ دریافت: ۹۴/۱۲/۲۲ تاریخ پذیرش: ۹۵/۰۲/۰۹

## چکیده:

گاز همراه نفت خام حاوی سولفید هیدروژن است و باید با استفاده از محلول‌های آمین شیرین شود. در این پژوهش الگوریتم ژنتیک با استفاده از روش جستجوی مجذوری توسعه یافته و واحد شیرین‌سازی گاز با استفاده از روش توسعه یافته پیشنهادی، مورد ارزیابی قرار گرفته است. ژنتیک الگوریتم با جستجوی مجذوری، یک روش ترکیبی برای بهینه‌سازی اقتصادی یک واحد فرآیندی مدل شده با نرم‌افزارهای شبیه‌سازی فرآیند است. از طریق ترکیب الگوریتم ژنتیک عادی با الگوریتمی بر اساس جستجوی مجذوری می‌توان تعداد محاسبات مربوط به توابع هدف را کاهش داد. روش پیشنهادی شامل مزایای ژنتیک الگوریتم عادی و تکنیک‌های جستجوی مجذوری است. از جمله این مزایا، تعیین بهینه مطلق توابعی با احتمال ناپیوستگی بالا و با همگرایی بیشتری نسبت به ژنتیک الگوریتم عادی است. در این پژوهش بهینه‌سازی اقتصادی واحد شیرین‌سازی گاز با استفاده از ژنتیک الگوریتم با جستجوی مجذوری و ژنتیک الگوریتم عادی با یکدیگر مقایسه شده اند. نتایج نشان می‌دهد در صورت استفاده از پارامترهای ژنتیکی یکسان، همگرایی ژنتیک الگوریتم با جستجوی مجذوری و همچنین دقت روش پیشنهادی بهتر از ژنتیک الگوریتم عادی است. نتایج نشان می‌دهد که افزایش غلظت دی اتانول آمین سبب افزایش جذب گازهای اسیدی، مصرف برق و بخار و آب شده و در نتیجه هزینه عملیاتی افزایش می‌یابد. همچنین افزایش دمای آمین ورودی به برج جذب سبب کاهش جذب سولفید هیدروژن می‌شود. این امر سبب کاهش مصرف برق و افزایش آب شده و هزینه عملیاتی را کاهش می‌دهد. افزایش مقدار جریان آمین در گردش و مقدار جریان بالاسری از برج دفع که در واقع افزایش در بار حرارتی ریبویلر است سبب افزایش جذب گازهای اسیدی، مصرف برق و بخار شده و در نتیجه هزینه عملیاتی را افزایش می‌دهد.

کلمات کلیدی: آمین، بهینه‌سازی، جستجوی مجذوری، ژنتیک الگوریتم، شیرین‌سازی گاز، گاز ترش

## ۱- مقدمه:

خوردگی، تنظیم ترکیب استاندارد محصولات گاز و مایع، پرهیز از تشکیل هیدرات در دماهای پایین، کاهش هزینه‌های تقویت فشار گاز، جلوگیری از مسمومیت کاتالیزورهای کارخانجات دریافت کننده محصولات گاز یا مایع و بالاخره رعایت حد مجاز انتشار مواد آلاینده محیط زیست، الزامی است. جداسازی سولفید هیدروژن و دی اکسید کربن به منظور کاهش خطرات ناشی از مسمومیت، مسائل زیست محیطی و بالا بردن ارزش حرارتی گاز صادراتی صورت می‌گیرد که اصطلاحاً شیرین‌سازی گاز نامیده می‌شود. چنانچه گاز سولفید هیدروژن در مقادیر بالاتر از ۴ ppm و یا (۵/۷ mg/Nm<sup>3</sup>)

معمولاً گاز طبیعی و یا گاز همراه نفت حاوی برخی ناخالصی‌ها مانند سولفید هیدروژن<sup>۱</sup>، دی اکسید کربن<sup>۲</sup>، بخار آب و هیدروکربن‌های سنگین مانند مرکاپتان‌ها است. از ترکیب سولفید هیدروژن و دی اکسید کربن با آب، ترکیباتی نظیر اسیدسولفوریک و اسیدکربونیک تولید می‌گردد. از این رو این ترکیبات به گازهای اسیدی معروفند و گاز حاوی این مواد را گاز ترش می‌نامند. تصفیه گاز طبیعی و جداسازی ناخالصی‌های درون گازها و مایعات از نقطه نظر ایمنی، کنترل

1. H<sub>2</sub>S
2. CO<sub>2</sub>



در گاز طبیعی وجود داشته باشد، آن را گاز ترش در نظر می‌گیرند (Abdel-Aal, 2003). بنابراین قبل از استفاده از گاز، سولفید هیدروژن و دی اکسید کربن از آن جدا می‌شوند. در برخی موارد، خالص‌سازی مورد نظر گاز، به وسیله چندین فرآیند مختلف امکان‌پذیر است. تخمین اینکه کدام روش می‌تواند برای برخی از شرایط خاص بهترین انتخاب باشد نیازمند بررسی هزینه و تجزیه و تحلیل بازدهی آن است.

### ۱-۱ فرایندهای شیرین‌سازی

بیش از ۳۰ فرایند برای شیرین‌سازی گاز وجود دارد. مهمترین این فرایندها را می‌توان به صورت زیر دسته‌بندی نمود (Abdel-Aal, 2003):

- ۱- جذب ناپیوسته بستر جامد<sup>۱</sup>: مانند آهن اسفنجی، جاذب مولکولی و اکسید روی
- ۲- حلال‌های واکنش‌گر: مثل ترکیبات آمین، کربنات پتاسیم داغ و حلال‌های مخلوط
- ۳- حلال‌های فیزیکی: Selexol, Rectisol, Purisol و Flour
- ۴- اکسیداسیون مستقیم گوگرد: Sulferox, LOCAT, Claus و Stretford
- ۵- غشاءها

### فرایند گاز-مایع (فرایند آمینی)

این فرایند یکی از متداول‌ترین روش‌ها برای عملیات گازهای اسیدی است. در این فرایند حلال‌های شیمیایی به صورت محلول‌های آبی به کار گرفته می‌شوند تا با سولفید هیدروژن و دی اکسید کربن واکنش‌های برگشت‌پذیری صورت دهند و محصولاتی را پدید آورند که بتوان آنها را با تغییر دما و فشار و یا هر دو احیاء نمود.

### بررسی ساختار مولکولی آمین‌ها

آلکانول آمین‌ها، مواد آلی نیتروژن‌دار هستند که از ترکیب مواد آلی مخصوص با آمونیاک به دست می‌آیند. در واکنش اصلی، یکی از هیدروژن‌های آمونیاک با رادیکال ماده شیمیایی آلی تعویض می‌گردد. کلمه آمین در حقیقت به طور عام به چنین ترکیباتی اطلاق می‌شود. در صنعت شیمی، تعداد زیادی از انواع آمین‌ها مورد استفاده واقع می‌شوند. آلکانول آمین‌ها به طور عام برای تصفیه گازها و مایعات نفتی ترش به کار گرفته می‌شوند. همانطوری که از نام این مواد معلوم می‌شود

می‌توان آنها را ترکیبی از الکل و آمونیاک به حساب آورد. آلکانول آمین‌ها به عنوان جذب کننده گازهای اسیدی، توسعه یافته‌اند (Agarwal and Sharma, 2010). از آلکانول آمین‌هایی که برای جداسازی سولفید هیدروژن و دی اکسید کربن از گاز در واحدهای متداول مورد استفاده قرار گرفته‌اند، می‌توان به مونواتانول آمین<sup>۲</sup>، دی اتانول آمین<sup>۳</sup> و متیل دی اتانول آمین<sup>۴</sup> اشاره نمود. آمین‌هایی که دو اتم هیدروژن متصل به اتم نیتروژن دارند، مانند منو اتانول آمین، آمین‌های نوع اول نامیده می‌شوند. آمین‌هایی مانند دی اتانول آمین که یک اتم هیدروژن متصل به اتم نیتروژن دارند آمین‌های نوع دوم و تری اتانول آمین<sup>۵</sup> و متیل دی اتانول آمین که هیچ اتم هیدروژن متصل به نیتروژن ندارند، آمین‌های نوع سوم نامیده می‌شوند. هر کدام یک گروه هیدروکسیل و یک گروه آمین دارند که گروه هیدروکسیل باعث کاهش فشار بخار و افزایش حلالیت در آب می‌شود، در حالیکه گروه آمین خاصیت قلیایی لازم را در محلول آبی، جهت جذب گازهای اسیدی فراهم می‌سازد.

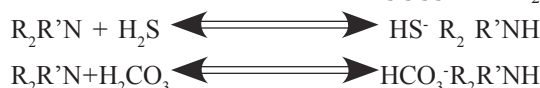
### فرایند متیل دی اتانول آمین

این حلال از آمین‌های نوع سوم بوده که امتیاز اصلی آن نسبت به آمین‌های دیگر در جذب انتخابی  $H_2S$  در حضور  $CO_2$  است. در این حلال، محدوده غلظت محلول، ۴۰ تا ۵۰ درصد وزنی است (Anisimov and Tarakanova, 2009). استفاده از حد ماکزیمم غلظت و بار گازهای اسیدی آمین غنی در سیستم‌های جداسازی انتخابی  $H_2S$  در حضور  $CO_2$ ، موجب کاهش قابل ملاحظه حجم سرمایه‌گذاری و هزینه‌های عملیاتی (به واسطه کاهش دبی آمین در گردش) می‌گردد. به دلیل پایین بودن گرمای مورد نیاز احیاء‌سازی حلال MDEA، انرژی مصرفی عملیات احیاء‌سازی محلول در گردش، بسیار پایین است. به گونه‌ای که در صورت تعویض حلال DEA به MDEA، انرژی مصرفی سیستم را می‌توان تا میزان ۷۵٪ کاهش داد. یکی دیگر از کاربردهای این حلال، در استخراج گاز  $H_2S$  از درون مخلوط گازها با درصد بالای  $CO_2$  در پروژه‌های تزریق گاز به میادین نفتی، جهت ازدیاد برداشت نفت خام است. استفاده از این حلال برای گازهای ترشی که میزان  $CO_2$  درون آنها کمتر یا برابر حد مجاز  $CO_2$  در گاز شیرین (استاندارد) است توصیه می‌شود. از حلال MDEA جهت تصفیه گاز سوخت نیز استفاده می‌شود.

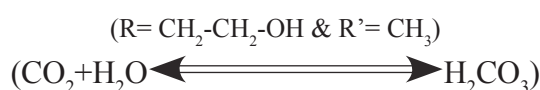
2. MEA
3. DEA
4. MDEA
5. TEA

### 1. batch solid bed absorption

حلالیت ترکیبات هیدروکربونی در حلال MDEA بالاتر از حلال‌های MEA و DEA و DGA<sup>۱</sup> است. همچنین قیمت این حلال از حلال‌های فوق‌الذکر بیشتر است. واکنش MDEA با H<sub>2</sub>S که سرعت آن نیز نامحدود است و سپس با CO<sub>2</sub> به فرار زیر است:



سرعت واکنش ۲ بی‌نهایت کند بوده ولی سرعت واکنش ۱ به مراتب بیشتر از واکنش ۲ است.



مدت زمان تماس فازهای مایع و گاز در داخل برج، برای جذب تمامی H<sub>2</sub>S و میزان محدودی از CO<sub>2</sub>، اهمیت ویژه ای دارد. نظر به تجربیات عملیاتی موجود، کف نکردن حلال و پایین بودن هرزرفت آن در مقایسه با آمین‌های نوع اول و دوم (به واسطه عدم تجزیه حلال) از ویژگی‌های این حلال محسوب می‌شود. هزینه‌های عملیاتی و سرمایه‌گذاری حلال MDEA در مقایسه با حلال DEA پایین‌تر است. هزینه سرمایه‌گذاری پایین MDEA ناشی از به کارگیری سینی‌های کمتری در برج تماس، پایین بودن میزان آمین در گردش، کوچکتر بودن اندازه تجهیزات و غیره بوده که خود به علت جذب انتخابی H<sub>2</sub>S توسط MDEA است (Brieva et al, 2010).

### بهینه‌سازی واحد شیرین‌سازی

نرم‌افزارهای تجزیه‌سازی شبیه‌سازی فرآیند مانند ASPEN<sup>®</sup>HYSYS و PRO II، کاربرد گسترده و توسعه پرشتابی در شبیه‌سازی‌های صنعتی پیدا کرده‌اند که مهم‌ترین دلیل آن توانایی این شبیه‌سازها در ایجاد مدل‌های دقیق بر پایه ترمودینامیک و نیز مدل‌هایی قابل انعطاف برای تجهیزات فرآیندی است که باعث ساده‌تر شدن رویه شبیه‌سازی فرآیند، برای مهندسين فرآیند شده است. هنگامی که از یک شبیه‌ساز فرآیند، برای بهینه‌سازی فرآیند استفاده می‌شود، لازمه همگرایی کل فرآیند، محاسبه مقادیر مربوط به تابع هدف بوده و با توجه به این نکته که کل فرآیند شامل چندین واحد مستقل است، معمولاً تنها در صورت همگرایی

تک تک واحدهای مستقل و به کار بردن تکنیک‌های مناسب برای همگرایی جریان‌ها، همگرایی کل فرآیند حاصل می‌شود (Ismagilov et al, 2010). این ویژگی شبیه‌سازی‌های فرآیند سبب شده که استفاده از روش‌های بهینه‌سازی که پایه آنها براساس گرادیان است، با مشکلات فراوانی مواجه شوند. زیرا در این حالت ممکن است که داده‌های لازم برای محاسبه گرادیان، همواره وجود نداشته باشد و از طرف دیگر این احتمال وجود دارد که قسمت‌های مختلفی از فرآیند، از خود یک رفتار غیر خطی نمایش دهند که در این حالت حل مساله بهینه‌سازی می‌تواند دارای چندین بهینه محلی باشد. روش‌هایی نظیر ژنتیک الگوریتم و الگوریتم‌های تکامل تدریجی که پایه آنها بر اساس گرادیان نیست عموماً برای حل مسائل بهینه‌سازی که دارای چندین بهینه محلی بوده و یا فاقد داده‌های لازم برای محاسبه گرادیان هستند، مورد استفاده قرار می‌گیرند. ژنتیک الگوریتم، از جمله پرکاربردترین الگوریتم‌هایی است که از الگوریتم جستجوی اتفاقی استفاده می‌کند و در کلاس خاصی از مسائل بهینه‌سازی نظیر مسائل بهینه‌سازی در فضاهای غیر محدب، بر سایر روش‌هایی که دارای پایه گرادیانی هستند ترجیح داده می‌شود. با این حال ژنتیک الگوریتم این عیب را نیز دارد که به علت طبیعت اتفاقی این روش نمی‌توان تعداد مراحل لازم برای رسیدن به یک دقت مشخص را تعیین نمود که این عامل ممکن است سبب به وجود آمدن حجم زیادی از محاسبات ریاضی شود. در صورتی که برای بهینه‌سازی یک فرآیند از ژنتیک الگوریتم به همراه یک شبیه‌ساز فرآیند استفاده شود، تعداد محاسبات مربوط به تابع هدف، عامل مهمی در تعیین حجم محاسبات انجام شده است، به این دلیل که تعیین هر کدام از اعضای جمعیت ژنتیک الگوریتم، نیاز به همگرایی کل فرآیند دارد و از آنجا که زمان محاسبات لازم برای همگرایی کل فرآیند در شبیه‌سازی خیلی بیشتر از زمان محاسبات انجام شده توسط ژنتیک الگوریتم است، انتخاب و به کار بردن یک الگوریتم جستجوی کارآمد که کمترین نیاز را به محاسبه تابع هدف داشته باشد، از اهمیت زیادی برخوردار است. هیبریداسیون<sup>۲</sup> به معنای ترکیب ژنتیک الگوریتم با الگوریتمی با پایه گرادیانی برای افزایش کارایی عملیات جستجو است. یکی از پرکاربردترین روش‌ها در این مورد، الگوریتمی است که از ژنتیک الگوریتم به منظور جستجوی پاسخ در تمام فضا استفاده می‌کند. زمانی که از جستجو با پایه گرادیان برای تعیین کردن بهینه محلی با شروع از

2. Hybridization

1. Di glycol amine

اعضای جمعیت استفاده می‌شود، ترکیب جدیدی از ژنتیک الگوریتم بر اساس تکامل تدریجی<sup>۱</sup> داروین<sup>۲</sup> و لامارکین<sup>۳</sup> ارائه شده است که در آن برزندگی<sup>۴</sup> برای نسل‌های جدید<sup>۵</sup> تولید شده با اپراتورهای عمومی ژنتیک، با به‌کار بردن روش سنتی hill-climbing اصلاح می‌شود و سپس نسل‌های جدید برای انتخاب به عنوان اعضای نسل بعدی با مولدهای خود به رقابت می‌پردازند. ترکیب شناخته شده دیگر، استفاده هم‌زمان از ژنتیک الگوریتم و برنامه‌نویسی خطی است جایی که در آن از ژنتیک الگوریتم برای یافتن پاسخ‌های محتمل در فضای سیستم استفاده شده و سپس به وسیله برنامه نویسی خطی<sup>۶</sup> و با استفاده از پاسخ‌های ژنتیک الگوریتم به عنوان نقاط ابتدایی، بهینه‌سازی انجام می‌شود. ترکیب دیگر رایج و مورد استفاده، به‌کارگیری هم‌زمان ژنتیک الگوریتم و روش پاول<sup>۷</sup> است که در این ترکیب از ژنتیک الگوریتم و روش پاول اصلاح شده به طور متناوب و با توجه به یک سری معیارهای مشخص استفاده می‌شود. کاربردهای ژنتیک الگوریتم ترکیبی، تمام رشته‌های مهندسی از مهندسی شیمی گرفته تا مهندسی هوانوردی را شامل می‌شود. ژنتیک الگوریتم با جستجوی مجذوری ترکیبی از ژنتیک الگوریتم عادی با یک زیر مجموعه بهینه ساز بوده که بر اساس الگوریتم جستجوی مجذوری، از اعضای نزدیک به پاسخ بهینه تقریبی استفاده می‌کند. این تکنیک ممتاز در ژنتیک الگوریتم به صورت ذاتی سبب می‌شود که نتایج به سمت یک خوشه، اطراف بهینه مطلق یا یک بهینه محلی مورد نظر، هدایت شوند. این خاصیت اغلب سبب ایجاد همگرایی نارس در ژنتیک الگوریتم عادی می‌شود. ژنتیک الگوریتم با جستجوی مجذوری از اعضای جمعیت خوشه<sup>۸</sup> اطراف بهینه مطلق برای ایجاد یک مدل مجذوری استفاده کرده که با یک روش صریح ریاضی قابل حل است. فرض اساسی در این تکنیک، خوشه‌ای است که احتمالاً در ناحیه محدب، اطراف بهینه مطلق حضور دارد و کوچک‌ترین شعاع این خوشه که نزدیک‌ترین پاسخ به بهینه مطلق است، توسط مدل مجذوری تعیین می‌شود. در نتیجه‌ی این خواص، ژنتیک الگوریتم با جستجوی مجذوری، تعداد محاسبات مربوط به مقادیر تابع هدف را به منظور تعیین بهینه‌ای با دقت قابل قبول، به طور قابل توجهی کاهش

می‌دهد. در این پژوهش با استفاده از چهار تابع آزمایشی، بهینه‌سازی اقتصادی واحد بازیابی گاز طبیعی مایع، با استفاده از ژنتیک الگوریتم با جستجوی مجذوری و ژنتیک الگوریتم عادی، با یکدیگر مقایسه شده اند.

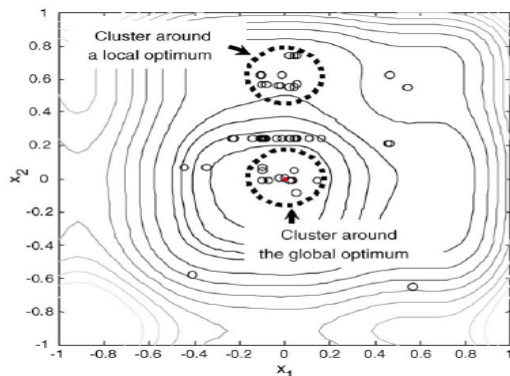
## ۱-۲- ژنتیک الگوریتم

از ژنتیک الگوریتم در مسائل بهینه‌سازی متنوعی استفاده می‌شود که دلیل آن قابلیت انعطاف زیاد و پیشرفت‌های اخیر حاصله در تئوری پشتیبان این روش است. موارد استفاده از ژنتیک الگوریتم در علوم اجتماعی، بیولوژی، پزشکی، کامپیوتر و مهندسی است و همچنین ژنتیک الگوریتم کاربردهای فراوانی در عرصه‌های مختلف مهندسی شیمی نظیر کنترل فرآیند، طراحی خطوط لوله گاز، مدل‌سازی فرآیندهای چند متغیره، بهینه‌سازی پارامترهای مربوط به سرعت واکنش‌های شیمیایی، طراحی واحدهای شیمیایی ناپیوسته چند منظوره و زمان‌بندی دارد. ژنتیک الگوریتم برای حل مسایل بهینه‌سازی از روش‌های انتخاب طبیعی و ژنتیک طبیعی استفاده می‌کند و آغاز به‌کار آن از طریق یک جمعیت ابتدایی تولید شده بر اساس اتفاق است و تا زمان حاصل شدن پاسخ، جمعیت‌های جدید به طور مکرر از جمعیت‌های مادر ساخته می‌شوند. بر اساس تئوری تنازع و بقا داروین، تنها اشخاصی که با محیط طبیعی تطابق پیدا می‌کنند توانایی لازم برای حضور در نسل‌های بعدی<sup>۱۰</sup> را دارند. ژنتیک الگوریتمی که در مقاله حاضر مورد استفاده قرار می‌گیرد مطابق الگوریتم عمومی است. با این حال چند تغییر در ژنتیک الگوریتم عادی برای برقراری تنوع جمعیت در هر نسل ایجاد شده است. جمعیت ابتدایی به صورت اتفاقی انتخاب می‌شود و مسائل بهینه‌سازی مقید، نیاز به یک سری تکنیک‌های کنترل قید نظیر اپراتورهای ژنتیکی دارند. نسل‌های جدید توسط اپراتورهای ژنتیکی، اپراتور قطع و جهش و یک ضریب اتفاقی برای بهبود تنوع جمعیت و روش‌های متنوع برای انتخاب اتفاقی اشخاص حاضر در نسل جدید، تولید می‌شوند. اکثریت نسل جدید تولید شده، حاصل اپراتور قطع بوده و مابقی آن نیز از اپراتور جهش و اپراتور اتفاقی نتیجه می‌شود. نسل‌های جدید تولید شده، در محلی به عنوان استخر جمعیت<sup>۱۱</sup> به همراه مولدهای خود ذخیره می‌شوند و تعداد زیادی از اشخاص نسل آینده از استخر جمعیت و با استفاده از روش چرخ رولت<sup>۱۲</sup> انتخاب می‌شوند. شرح جزئی مطالب اشاره شده به همراه کدهای برنامه نویسی آنها در مراجع وجود دارد. استفاده از این روش سبب می‌شود اشخاصی که دارای شانس بیشتری برای بقا هستند به همراه

10. Next Generation
11. Population Pool
12. Roulette Wheel

1. Evolution
2. Darwin
3. Lamarckian
4. Fitness
5. Offspring
6. Parent
7. Simplex
8. Powell
9. Cluster

دارای برازندگی بیشتری نسبت به تابع هدف هستند انتخاب می‌شوند.



شکل ۱: نمونه از خوشه‌های تشکیل شده حول بهینه مطلق و محلی

در اپراتور ژنتیکی متقاطع برای تولید اعضای نسل جدید، ابتدا دو رشته مولد انتخاب می‌شوند و سپس این دو رشته، از یک نقطه که به صورت اتفاقی انتخاب می‌شود به دو قسمت تقسیم شده، سپس قسمت‌های جدا شده از رشته‌های مختلف به یکدیگر متصل شده و دو عضو نسل جدید حاصل می‌شوند. در اپراتور ژنتیکی جهش یافته نیز برای تولید اعضای نسل جدید، ابتدا یک رشته مولد توسط روش چرخ رولت به صورتی اتفاقی انتخاب شده، سپس یک تغییر در رقم دودویی موجود در قسمتی از رشته که به صورت اتفاقی انتخاب می‌شود ایجاد می‌گردد که نتیجه آن تولید یکی از اعضای نسل جدید است. اگر یکی از اعضای ایجاد شده توسط اپراتورهای ژنتیک در نسل جدید، شبیه یکی از اشخاص جمعیت مادر خود باشد، از بین می‌رود و عملیات تا زمانی که اعضای نسل جدید هیچ‌گونه شباهتی با اشخاص حاضر در جمعیت مادر خود نداشته باشد ادامه پیدا می‌کند، که این خاصیت سبب ایجاد تنوع بیشتر در نسل حاضر می‌شود و از آنجا که الگوریتم مورد استفاده، اجازه انتقال یک شخص از یک نسل به نسل دیگر را می‌دهد، لذا به تولید چندین عضو با ژن‌های یکسان نیازی نیست. در شکل (۱) دو خوشه یکی حول بهینه مطلق و دیگری حول بهینه محلی به نمایش در آمده است. در حالتی که خوشه حول بهینه مطلق تشکیل شده باشد، جستجوی مجذوری منجر به نزدیک شدن پاسخ به بهینه مطلق می‌گردد. با توجه به فرض اساسی موجود در روش جستجوی مجذوری، زمانی که اندازه خوشه به حد کافی کوچک می‌شود، فضای متعلق به خوشه می‌تواند توسط یک مدل مجذوری، تقریب زده شود و پاسخ حاصل شده در این حالت، بسیار نزدیک به بهینه واقعی در توابع هدف پیوسته است.

عناصر اتفاقی وارد نسل جدید شوند. این الگوریتم بهترین اشخاص را برای حضور در نسل جدید به کار می‌برد. همچنین در این الگوریتم، تعداد محدودی از اشخاص، بدون در نظر گرفتن برازندگی، به‌طور اتفاقی انتخاب شده و برای حفظ و ایجاد تنوع، وارد نسل جدید می‌شوند. نسل تولید شده توسط عناصر اتفاقی، عمدتاً دارای برازندگی کمتری بوده و از شانس کمتری برای حضور در نسل آینده برخوردار است اما زمانی که از روش انتخاب اتفاقی در مقایسه با روش چرخ رولت استفاده می‌شود، اشخاصی که دارای برازندگی کمتری هستند ممکن است دارای یک شانس بهبود یافته برای حضور در نسل آینده باشند. بعد از کامل شدن تعداد مشخصی از نسل‌ها، بهینه‌ی آخرین نسل تولید شده به عنوان پاسخ مساله بهینه‌سازی، در نظر گرفته می‌شود. (Seeberger and Jess, 2010)

### معرفی اشخاص

یک رشته عددی متشکل از ارقام صفر و یک، کروموزوم<sup>۲</sup> نامیده می‌شود که در واقع معرف یک شخص است. هر کروموزوم شامل چندین ژن بوده که قسمت‌های اصلی تشکیل دهنده هر رشته هستند. هر کدام از ژن‌ها متعلق به یکی از متغیرهای سیستم بوده و کروموزوم نیز می‌تواند مشخص کننده بردار سیستم باشد. از آنجا که یک دسته از ارقام ناپیوسته، متغیرهای سیستم را مشخص می‌کنند لذا عامل تعیین کننده دقت، تعداد ژن‌های موجود در هر رشته است.

### اپراتورهای ژنتیک

اپراتورهای ژنتیک رایج و پرکاربرد، اپراتورهای متقاطع<sup>۳</sup> و جهش یافته<sup>۴</sup> هستند که از اپراتور متقاطع به منظور بهبود کیفیت متوسط یک جمعیت و از اپراتور جهش یافته به منظور ایجاد تنوع و پوشش دادن کل فضای متغیرها استفاده می‌شود. علاوه بر اپراتورهای ژنتیک رایج، استفاده از یک اپراتور اتفاقی می‌تواند تنوع را در هر نسل برقرار کند. انتخاب اپراتورهای ژنتیک برای تولید نسل جدید به صورت اتفاقی و بر اساس نوع تولید نسل در هر حلقه صورت می‌گیرد. اپراتورهای متقاطع و جهش یافته، نیاز به انتخاب جفت مولد/مولد برای تولید نسل جدید را دارند، درحالی‌که اپراتورهای ژنتیک اتفاقی می‌توانند بدون حضور مولد، اقدام به تولید نسل جدید کنند. انتخاب جفت مولد/مولد، برای اپراتورهای ژنتیکی متقاطع و جهش یافته، با استفاده از روش چرخ رولت، بر اساس برازندگی متناظر با برازندگی مقدار تابع هدف صورت می‌گیرد و در این حالت، اغلب اشخاصی که

1. String
2. Chromosome
3. Crossover
4. Mutation

## محاسبه برازندگی

روش‌های متنوعی برای محاسبه برازندگی اعضای یک جمعیت وجود دارد و انتخاب هرکدام از این روش‌ها، بر نحوه گزینش مولدها برای اپراتورهای ژنتیکی تاثیرگذار است. تاکنون روش‌های گوناگونی برای محاسبه برازندگی اعضای یک جمعیت بررسی شده است و در این مقاله ترکیبی از روش‌های Normalization و Ranking مورد استفاده قرار گرفته است. برازندگی حاصل از ترکیب این دو روش، همان‌طور که در ادامه شرح داده می‌شود از یک ثابت تناسب استفاده می‌کند. برازندگی یک عضو حاصل از روش Normalization مطابق زیر است:

$$\bar{f}_k^n = \frac{f_{\max} - f_k}{f_{\max} - f_{\min}}$$

(۱)

که در آن  $\bar{f}_k^n \in [0,1]$  و:

$$f_{\min}: \text{کمترین مقدار تابع}$$

$$f_{\max}: \text{بیشترین مقدار تابع}$$

برازندگی یک عضو حاصل از روش Ranking مطابق زیر است:

$$\bar{f}_k^r = \frac{r^k}{n_p}$$

(۲)

که در آن  $\bar{f}_k^r \in (0,1]$  و:

$$r_k: \text{رتبه به ترتیب کاهش اعضا}$$

$$n_p: \text{اندازه جمعیت}$$

و با توجه به روابط بالا، برازندگی نهایی هر کدام از اعضای جمعیت از رابطه زیر حاصل می‌شود:

$$\bar{f}_k = \alpha \bar{f}_k^n + (1 - \alpha) \bar{f}_k^r$$

(۳)

که در آن  $\alpha \in (0,1)$

## کنترل و مدیریت قید

مسائل بهینه‌سازی که دارای قیدهای ساده‌تر هستند نسبت به مسائلی که قیدهای پیچیده‌تری دارند با استفاده از ژنتیک

الگوریتم، راحت‌تر حل می‌شوند که این ناشی از عناصر اتفاقی حاضر در اپراتورهای ژنتیکی قطع و جهش بوده که ممکن است سبب قرار گرفتن نسل‌های جدید در مناطق غیر قابل قبول در مسائلی با قیدهای سخت باشد. یک راه مناسب برای برخورد با این نوع مسائل، فرمول‌بندی مجدد این نوع مسائل به صورتی است که قیدهای موجود به صورت توابع جریمه در تابع هدف ظاهر شوند. این فرمول‌بندی جدید سبب می‌شود که اعضای نسل جدید که باعث نقض شدن قیود می‌شوند، دارای برازندگی کمتری شده و نتوانند ژن‌های خود را به نسل بعدی انتقال دهند.

## جستجوی مجذوری

اگر چه تعداد زیادی از کاربردهای موفق ژنتیک الگوریتم نشان دهنده این موضوع است که ژنتیک الگوریتم روش مناسبی برای برخورد با مسائل بهینه‌سازی ناپیوسته و بهینه‌سازی‌های ترکیبی است، با این حال هزینه‌های زیاد مربوط به محاسبات کامپیوتری این روش همواره به عنوان یکی از مشکلات اساسی آن مطرح بوده است. ژنتیک الگوریتم با جستجوی مجذوری، یک روش ترکیبی از بهینه‌سازی جبری و اتفاقی است که می‌تواند هزینه مربوط به محاسبات پرحجم این روش را تا مقدار قابل ملاحظه‌ای کاهش دهد. جستجوی مجذوری، تعداد محاسبات مربوط به میزان تابع هدف را تا رسیدن به مقدار بهینه کاهش می‌دهد. جستجوی مجذوری که در پایه یک جستجوی جبری است می‌تواند سرعت همگرایی ژنتیک الگوریتم عادی را افزایش دهد که دلیل آن جمعیت خوشه‌های ایجاد شده اطراف یک یا چند بهینه محلی بعد از چندین مرتبه تکرار است. هر چند همگرا شدن به مقدار دقیق بهینه محلی در روش ژنتیک الگوریتم عادی نیاز به تولید تعداد قابل توجهی نسل‌های جدید دارد.

```

START
Generate initial population;
k=0;
Repeat
k=k+1;
i=0;
Repeat
i=i+1;
Choose genetic operator at random;
if (mutation selected); perfume mutation;
    
```

به تعیین یک مدل مجذوری با استفاده از اعضای متعلق به خوشه‌های اطراف نقاط بهینه می‌کند که بهینه این مدل‌های مجذوری از طریق تحلیلی قابل تعیین شدن است.

#### ۱- بهینه‌سازی اقتصادی واحد فرآیندی

در این قسمت، از الگوریتم توسعه یافته ژنتیک با جستجوی مجذوری برای بهینه‌سازی اقتصادی واحد شیرین‌سازی گاز طبیعی استفاده می‌شود. نمای کلی یک فرآیند شیرین‌سازی گاز طبیعی در حال تحقیق در شکل (۴) نشان داده شده است.

#### شرح فرآیند

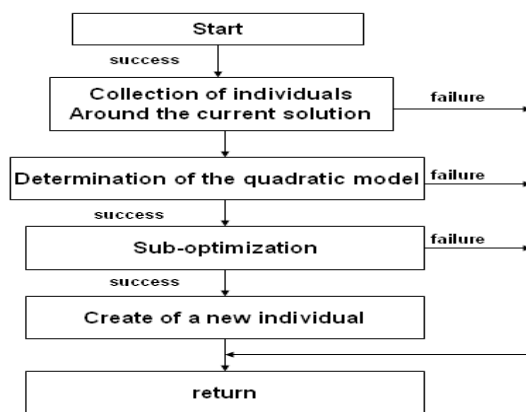
جهت تامین گاز شیرین مصرفی، یک سیستم تصفیه و شیرین‌سازی گاز به ظرفیت ۴۰ میلیون فوت مکعب گاز ترش در روز در نظر گرفته شده است. سیستم شیرین‌سازی گاز در این مجتمع براساس فرآیند جذب شیمیایی انتخابی  $H_2S$  و  $CO_2$  با استفاده از ماده متیل دی اتانول آمین طراحی شده است. از آنجایی که نرخ واکنش  $CO_2$  با MDEA خیلی کمتر از سرعت واکنش  $H_2S$  با این ماده است، بنابراین تنها بخشی کمی از  $CO_2$  موجود در گاز ترش در مقایسه با مقدار زیاد  $H_2S$  جذب شده در MDEA، جدا می‌گردد. به این ترتیب واحد شیرین‌سازی گاز مجتمع قادر است تا با جداسازی  $H_2S$  از گاز ترش و رسانیدن غلظت آن به زیر ۴ ppm در محصول نهایی (گاز شیرین)، سوخت مورد نیاز مصرف‌کننده‌ها را تامین کند. فرآیند شیرین‌سازی گاز در برج جذب آمین انجام می‌شود. این برج یک برج سینی‌دار با ۱۸ عدد سینی از نوع (Valve Tray - 2 Pass) است. گاز ترش ورودی از پایین وارد برج جذب شده و با عبور از میان محلول آبی MDEA که از بالا وارد برج شده است در یک فرآیند انتقال جرمی، مقادیر زیادی از  $H_2S$  همراه خود را از دست می‌دهد. ماهیت عمل شیرین‌سازی گاز در این برج، یک فرآیند جذب شیمیایی است. مناسب‌ترین فشار و دما برای این فرآیند به ترتیب ۲۵ barg / ۹ و  $61^\circ C$  در بالای برج است. از آنجایی که حضور هیدروکربن مایع در این فرآیند می‌تواند منجر به بروز پدیده تشکیل کف (Foaming)، در حین فرآیند در برج جذب شود، توجه به این نکته ضروری است که محلول آبی MDEA باید در دمایی بالاتر از دمای نقطه شبنم گاز وارد برج شود تا از عدم تشکیل میعان‌ات هیدروکربنی اطمینان حاصل گردد. به منظور پرهیز از ورود هر نوع هیدروکربن مایع به همراه گاز، ابتدا یک مبدل حرارتی که با آب خنک می‌شود دمای گاز ورودی را پایین آورده و سپس یک ظرف

```

if (crossover selected);perfume
crossover;
i=i+1;
if (random selected);perfume random;
if (i=population size-1);perfume
mutation
Until (i<population size)
Update the optimal point;
Select individuals for the next
population
Until (k < desired number of generation)
Print the optimal point
END
    
```

شکل ۲: برنامه ژنتیک الگوریتم با جستجوی مجذوری

شکل (۲) نشان دهنده یک برنامه ساده برای ژنتیک الگوریتم با جستجوی مجذوری است. یک مزیت عمده جستجوی مجذوری یافتن بهینه مطلوب برای یک تابع هدف مجذوری با یک بار تکرار است که نتیجه مستقیم آن کاهش قابل توجه تعداد محاسبات مربوط به تابع هدف است. علاوه بر این ژنتیک الگوریتم می‌تواند به راحتی با جستجوی مجذوری تعامل داشته باشد بدون اینکه هیچ کدام از خواص منحصر به فرد خود را از دست بدهد.



شکل ۳: فلوچارت جستجوی مجذوری

فلوچارتی که شرح دهنده مراحل مختلف جستجوی مجذوری است در شکل (۳) مشخص شده است. ژنتیک الگوریتم با جستجوی مجذوری از این خاصیت استفاده کرده و اقدام



مایع گیر<sup>۱</sup> در نظر گرفته شده است. این ظرف علاوه بر Mesh Demister، مجهز به تعداد ۷۰ عدد کارتریج فیلتر در فضای بالای Wire Mesh است که می‌توانند ذرات بسیار ریز مایع تا قطر ۰/۳ میکرون را از گاز جدا نمایند. جریان گاز شیرین خروجی از بالای برج جذب آمین جهت مصرف، پس از عبور از ظرف مایع‌گیر به شبکه مصرف‌کننده‌های گاز شیرین ارسال می‌شود. آمین غنی شده<sup>۲</sup> از H<sub>2</sub>S، از پایین برج جذب خارج شده و جهت تبادل حرارتی و پیش گرم شدن، پیش از آنکه به برج احیاء آمین هدایت گردد، وارد مبدل حرارتی می‌شود.

### برج احیاء آمین

این برج، یک برج سینی‌دار با تعداد ۲۳ عدد سینی از نوع Valve Tray و هر سینی دارای دو مسیر (2Pass) برای سرریز مایع است. محلول آمین غنی شده خروجی از برج جذب، پس از گرم شدن در مبدل حرارتی از بالا وارد برج احیاء می‌شود. محل ورود آمین به برج احیاء، بین سینی اول و دوم است. فشار عملیات در برج احیاء نزدیک به فشار اتمسفر است. آمینی که از روی سینی‌ها به سمت پایین برج سرازیر می‌گردد، در محفظه ای ناودانی شکل در زیر آخرین سینی و تقریباً در فضای میانی برج جمع گردیده و به سمت ریویولر این برج هدایت می‌شود. ریویولر، یک سیستم گرم‌کننده از نوع Kettle type است که کار تامین انرژی حرارتی برج احیاء آمین را برعهده دارد. حرارت مورد نیاز این ریویولر با استفاده از جریان بخار آب کم فشار (حدود ۲/۵ Barg)، تامین می‌شود. به منظور تنظیم دمای بخار ورودی به ریویولر، یک De-super heater در ورودی بخار به این ریویولر نصب شده است. در نهایت محلول آمین داخل ریویولر تا دمای حدود ۱۳۰ °C داغ می‌شود و در این بین بخشی از آن نیز تبخیر شده و در این فرآیند مقدار زیادی از گاز H<sub>2</sub>S همراه آمین آزاد می‌گردد. بخارات حاصل پس از خروج از ریویولر از پایین وارد برج شده و از زیر سینی‌ها به سمت بالا جریان می‌یابد و با محلول آمینی که بر روی سینی‌ها و به سمت پایین جریان دارد تبادل گرمی و حرارتی انجام می‌دهد. در طی این بخش از فرآیند، مقدار بیشتری H<sub>2</sub>S آزاد می‌شود. گازهای اسیدی از بالای برج خارج و پس از سرد شدن در یک مجموعه متشکل از کولرهای هوایی<sup>۳</sup> سرد شده و بخشی از آن مایع شده که توسط ظرف رفلاکس، به سینی اول برج احیاء

برگردانده می‌شود. کار این جریان برگشتی، تثبیت دمایی حدود ۱۰۲ درجه سانتیگراد در بالای برج و جلوگیری از هدر رفت آمین در گازهای خروجی از برج است.

### مخزن ذخیره آمین

برای ذخیره و نگهداری متیل دی اتانول آمین مورد استفاده در فرآیند شیرین سازی گاز، یک مخزن در نظر گرفته شده که دارای مزایایی به شرح زیر است:

۱. هر واحد شیرین سازی گاز دارای هدر رفت آمین است. وجود یک مخزن جهت افزودن محلول آمین جبرانی<sup>۴</sup> به واحد شیرین سازی بسیار ضروری است.
۲. مخزن ذخیره، نقش موثری در گرفتن نوسانات ناشی از عملکرد شیرهای کنترل سطح در برج‌ها، به علت پدیده‌های رایج فرآیندی در این سیستم‌ها (نظیر فومینگ) دارد و افزون بر جلوگیری از انتقال مجدد این نوسانات به واحد، همواره عملکرد پمپ‌های انتقال آمین به برج جذب را در شرایط عالی تضمین می‌کند.
۳. جهت کنترل هرچه بهتر فرآیند باید، غلظت محلول آمین تقریباً ثابت باشد. به همین منظور مسیری برای افزودن آب به مخزن برای کنترل غلظت در نظر گرفته شده است. هرچه مقدار آمین موجود در مخزن بیشتر باشد، کار کنترل غلظت محلول آمین به دلیل تغییرات کمتر، راحت تر صورت می‌پذیرد. از آنجایی که محلول MDEA به اکسیژن و ترکیبات دارای اکسیژن بسیار حساس است و در واکنش با آنها ترکیبات اسیدی تولید می‌کند، مخزن به گونه‌ای ساخته شده است تا آمین ذخیره شده در آن هیچگونه تماسی با هوا نداشته باشد. به همین دلیل از نیتروژن به عنوان گاز پتویی<sup>۵</sup> استفاده می‌شود.

### واحد فیلتراسیون آمین

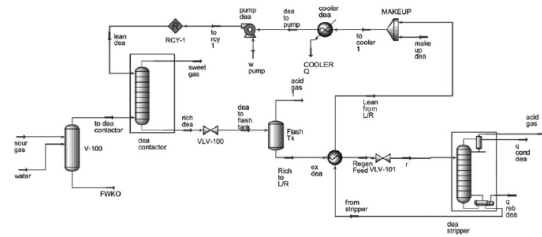
برای جداسازی و حذف ذرات جامد، هیدروکربن‌های کم محلول و سایر آلاینده‌ها که حضورشان سبب خوردگی در سیستم یا مشکلاتی همانند فومینگ (کف کردن) در فرآیند می‌شوند، یک واحد فیلتراسیون بسته در نظر گرفته شده است تا بتوان محلول آمین را به طور پیوسته فیلتر نمود. ظرفیت این واحد فیلتراسیون ۱۰٪ کل جریان نامی محلول آمین در گردش در واحد شیرین سازی است.

1. Knock – Out Drum
2. Rich Amine
3. Air condenser

4. Amine make up  
5. Blanketing Gas



RGas: قیمت سالانه محصول گاز  
 RLiq: قیمت سالانه محصول مایع  
 CCap: هزینه سرمایه گذاری کلی به صورت سالانه  
 COpx: هزینه عملیاتی به صورت سالانه



شکل ۴- شبیه سازی فرآیند شیرین سازی گاز

مشخصات آمین مصرفی:

*Methyldiethanolamine* (MDEA)

MW MDEA = 119 kg/mol

Density = 1041.8 kg/m<sup>3</sup>

محلول آمین در گردش دارای غلظت ۴۵ درصد وزنی است.

مشخصات گاز شیرین:

C <sub>1</sub>	۸۴/۳۶۳
C <sub>2</sub>	۸/۲۱۵
C <sub>3</sub>	۳/۰۲۳
iC <sub>4</sub>	۰/۴۵۶
nC <sub>4</sub>	۱/۰۰۰۸
iC <sub>5</sub>	۰/۲۷۶

Minimize:

(۶)

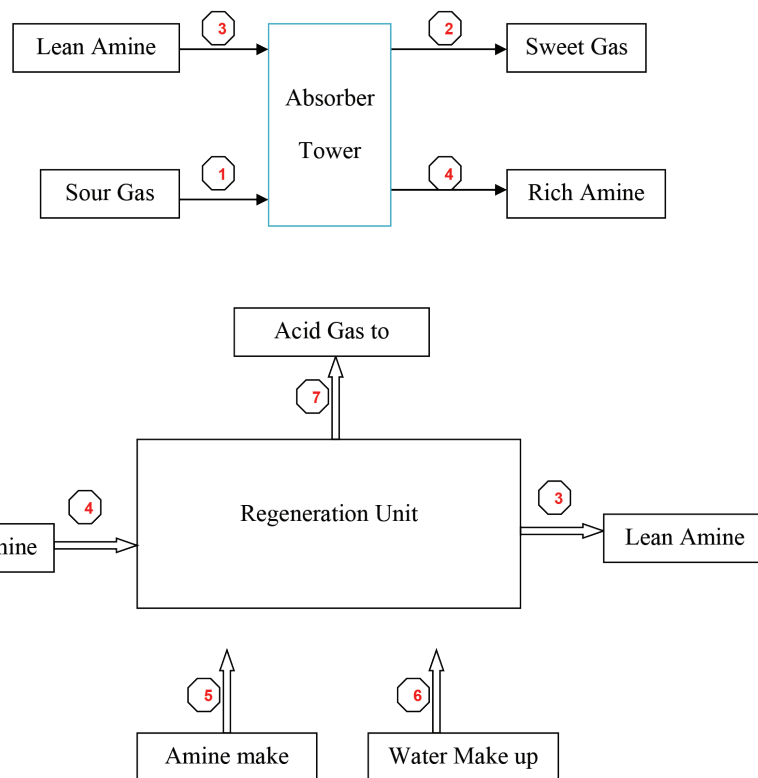
$$J(x) = -R_{Gas}(x) - R_{Liq}(x) + C_{Cap} + C_{Opr}(x)$$

Subject to:

$$-D \leq x_1 \leq 0 \quad 600 \leq x_2 \leq 1100$$

$$400 \leq x_3 \leq 600 \quad 260 \leq x_4 \leq 300$$

که در آن:



شکل ۵- واحدها و جریان های در نظر گرفته شده در محاسبات بهینه سازی





$nC_5$	۰/۳۱۸
$C_6^+$	۰/۳۸۱
$CO_2$	۱/۷۴
$N_2$	۰/۲۲
$H_2S$	TRACE
MW	۱۹/۸

### روابط بهینه‌سازی واحد آمین

عملیات شیرین‌سازی واحد آمین شامل برج جذب و برج احیا است. در شکل ۵، واحدها و جریان‌های در نظر گرفته شده در محاسبات بهینه‌سازی، نشان داده شده است.

### تابع هدف

در اینجا تابع هدف، میزان سود سالیانه واحد در نظر گرفته شده است.

(۷)

$$F(x) = 8760(X_2.P_2 - X_1.P_1 - X_5.P_3 - X_2.P_4)$$

### قیود:

$$\text{Total Material Balance: } X_1 + X_3 = X_2 + X_4 \quad \&$$

$$X_4 + X_5 + X_6 = X_3 + X_7$$

$$\text{Material Balance for } H_2S : X_1.Y_1 + X_3.Y_3 = X_2.Y_2 + X_4.Y_4 \quad \&$$

$$X_4.Y_4 = X_3.Y_3 + X_7.Y_7$$

$$\text{Material Balance for other: } X_1*(1-Y_1) =$$

$$X_2*(1-Y_2) \quad \& \quad X_3*(1-Y_3) = X_4*(1-Y_4)$$

در روابط فوق مقادیر به صورت زیر تعریف شده اند:

$$X_1: \text{میزان فلوی گاز ترش ورودی (sm}^3/\text{hr)}$$

$$X_2: \text{میزان فلوی گاز شیرین تولیدی (sm}^3/\text{hr)}$$

$$X_3: \text{میزان فلوی آمین ورودی به برج جذب (m}^3/\text{hr)}$$

$$X_4: \text{میزان فلوی آمین غنی خروجی از برج جذب (m}^3/\text{hr)}$$

$$X_5: \text{میزان فلوی آمین جبرانی (amine make up flow) (m}^3/\text{hr)}$$

$$X_6: \text{میزان فلوی آب جبرانی به سیستم (water make up (m}^3/\text{hr)flow)}$$

$$X_7: \text{میزان فلوی گاز اسیدی خروجی به سمت فلر جهت سوزاندن (m}^3/\text{hr)}$$

$$P_1: \text{قیمت گاز ترش خریداری شده (دلار به ازای مترمکعب استاندارد)}$$

$$P_2: \text{قیمت گاز شیرین قابل فروش (دلار به ازای مترمکعب استاندارد)}$$

$P_3$ : قیمت آمین خریداری شده (دلار به ازای مترمکعب استاندارد)

$P_4$ : هزینه کلی واحد شیرین‌سازی به ازای  $sm^3$  از گاز تولیدی بر حسب دلار

$Y_1$ : جزء وزنی گاز  $H_2S$  در جریان گاز ترش

$Y_2$ : جزء وزنی گاز  $H_2S$  در جریان گاز شیرین

$Y_3$ : جزء وزنی گاز  $H_2S$  در جریان آمین ورودی به برج جذب

$Y_4$ : جزء وزنی گاز  $H_2S$  در جریان آمین غنی خروجی از ته برج جذب

$Y_5$ : جزء وزنی گاز  $H_2S$  در جریان آمین خریداری شده که مقدار آن صفر است. ( $Y_5=0$ )

$Y_6$ : جزء وزنی گاز  $H_2S$  در جریان آب جبرانی که مقدار آن صفر است. ( $Y_6=0$ )

$Y_7$ : جزء وزنی گاز  $H_2S$  در جریان گاز اسیدی به سمت فلر که مقدار آن نزدیک به یک است.

میزان تولید گاز شیرین در این واحد، حداکثر ۴۰ میلیون فوت مکعب استاندارد در روز<sup>۱</sup> و حداقل جریان گاز می‌تواند ۱۶ mmscfd باشد. با در نظر گرفتن این مسئله که فقط  $H_2S$  از گاز ترش حذف می‌شود میزان دبی گاز ترش را نیز در همین محدوده در نظر می‌گیریم و چون فلوها بر حسب  $m^3/hr$  هستند خواهیم داشت:

$$40000000 \text{ft}^3/\text{day} * (.3048)^3 \quad m^3/1 \quad \text{ft}^3 * 1$$

$$\text{day}/24 \text{ hr} = 47194 \text{ m}^3/\text{hr}$$

$$16000000 \text{ft}^3/\text{day} * (.3048)^3 \quad m^3/1 \quad \text{ft}^3 * 1$$

$$\text{day}/24 \text{ hr} = 18878 \text{ m}^3/\text{hr}$$

$$18878 < X_1 < 47194$$

$$18878 < X_2 < 47194$$

مطابق دستورالعمل کاری ارائه شده توسط شرکت توتال فلوی، آمین در گردش بین  $m^3/hr$  ۸۰ تا ۲۱۰ است، پس:

$$80 < X_3 < 210$$

$$80 < X_4 < 210$$

مطابق استانداردهای گاز طبیعی شیرین حداکثر  $m^3$  برابر ppmv ( 0.25grain/100ft3 ) ۴ است. البته به دلیل استفاده شدن گاز شیرین تولیدی در کارخانه و مصرف آن در خود کارخانه میزان حداکثر  $H_2S$  را شرکت توتال ppmv 200 ( 12/grain/100ft35 ) در نظر گرفته است، پس:

1. mmscfd

سنت به ازای هر متر مکعب)

قیمت فروش گاز شیرین، ۰/۲ دلار به ازای هر مترمکعب در نظر گرفته شده است.

$$P_2 = 0.2 \text{ \$/m}^3$$

قیمت خرید گاز ۹ سنت به ازای هر متر مکعب در نظر گرفته شده است و همچنین قیمت گاز برای خوراک پتروشیمی ها به ۱۲ تا ۱۴ سنت رسیده است.  
قیمت خرید، ۰/۱ دلار به ازای هر مترمکعب در نظر گرفته شده است.

$$P_1 = 0.1 \text{ \$/m}^3$$

(۱) قیمت خرید آمین به صورت فوب به ازای هر تن، ۲۵۰۰ دلار در نظر گرفته شده است.

$$P_3 = 2500 \text{ \$/ton MDEA} * 1.0418 \text{ ton MDEA/} \\ \text{m}^3 = 2604.5 \text{ \$/m}^3$$

(۲) بهای تمام شده هر بشکه نفت در خارگ ۳۰۶۷۸ ریال به میزان تولید سالیانه ۱۰۷۴۶۰۲۶۲ بشکه در نظر گرفته شده است. هزینه واحد آمین به ازای هر یک میلیون فوت مکعب استاندارد، به مقدار زیر است.

$$\text{هزینه سالیانه واحد شیرین سازی} \\ = 219778 \text{ \$/year}$$

$$\text{هزینه واحد شیرین سازی به ازای مترمکعب گاز شیرین شده} \\ = 1.25 * 10^{-3} \text{ \$/m}^3$$

این هزینه محاسبه شده برای سال ۸۹ است که با احتساب تورم ۳۰ درصدی برای سالهای ۹۰، ۹۱ و ۹۲، هزینه واحد شیرین سازی به ازای یک متر مکعب گاز شیرین شده ۱۰\*۲۷۵۶ دلار خواهد شد.

### روش حل معادلات و نتایج آنها

حل معادلات فوق با استفاده از نرم افزار MATLAB انجام گردید و جهت حدس اولیه از الگوریتم ژنتیک استفاده شد که به نتیجه زیر منجر گردید.

$$X_1 = 18878 \text{ m}^3/\text{hr}$$

$$X_2 = 18883 \text{ m}^3/\text{hr}$$

$$X_3 = 147 \text{ m}^3/\text{hr}$$

$$X_4 = 142 \text{ m}^3/\text{hr}$$

$$X_5 = 4.48 * 10^{-4} \text{ m}^3/\text{hr}$$

$$X_6 = 12.89 \text{ m}^3/\text{hr}$$

$$\text{For } 4 \text{ ppmv: } Y_2 = \frac{.25 \text{ grain}}{100 \text{ ft}^3} * \frac{.25 \text{ grain}}{100 \text{ ft}^3} * \\ \frac{1 \text{ lb}}{7000 \text{ grain}} * \frac{1 \text{ lb}}{7000 \text{ grain}} * \frac{\text{ft}^3}{.05225 \text{ lb}} * \frac{\text{ft}^3}{.05225 \text{ lb}} \\ = 6.835 * 10^{-6}$$

$$\text{For } 200 \text{ ppmv: } Y_2 = \frac{12.5 \text{ grain}}{100 \text{ ft}^3} * \frac{12.5 \text{ grain}}{100 \text{ ft}^3} * \\ \frac{1 \text{ lb}}{7000 \text{ grain}} * \frac{1 \text{ lb}}{7000 \text{ grain}} * \frac{\text{ft}^3}{.05225 \text{ lb}} * \frac{\text{ft}^3}{.05225 \text{ lb}} \\ = 3.42 * 10^{-4}$$

$$\text{For } 4 \text{ ppmv: } 0 < Y_2 < 6.835 * 10^{-6}$$

$$\text{For } 200 \text{ ppmv: } 0 < Y_2 < 3.42 * 10^{-4}$$

غلظت متیل دی اتانول آمین در گردش، بین ۴۰ تا ۵۵ درصد وزنی، و بار گازهای اسیدی که در اینجا فقط H2S بوده در آمین غنی (mole acide gas / mole MDEA) ۰/۴-۰/۲ است. ضمناً حداکثر غلظت H2S در آمین ورودی (mole acide gas / mole MDEA) ۰/۰۱ می تواند باشد.

$$\text{For lean amine: } 0.01 \text{ mol H}_2\text{S/mol MDEA} * \frac{34 \text{ Kg/mol H}_2\text{S}}{119 \text{ Kg/mol MDEA}} * \frac{34 \text{ Kg/mol H}_2\text{S}}{119 \text{ Kg/mol MDEA}} \\ * .45 = 1.3 * 10^{-3}$$

$$\text{For rich amine: } 0.4 \text{ mol H}_2\text{S/mol MDEA} * \frac{34 \text{ Kg/mol H}_2\text{S}}{119 \text{ Kg/mol MDEA}} * \frac{34 \text{ Kg/mol H}_2\text{S}}{119 \text{ Kg/mol MDEA}} \\ * .45 = 0.05$$

$$\text{For lean amine: } 0 < Y_3 < 1.3 * 10^{-3}$$

$$\text{For rich amine: } 0 < Y_4 < 0.05$$

میزان غلظت H2S در جریان های ۵ و ۶ برابر با صفر و در جریان شماره ۱ و ۷ به صورت زیر است:

$$Y_5 = 0 \text{ \& } Y_6 = 0 \text{ \& } 0.05 < Y_1 < 1 \text{ \& } 0.5 < Y_7 < 1$$

میزان هدررفت آمین در طول سال، ۴ تن در نظر گرفته می شود.

$$\text{Amine loss: } 4 \text{ ton/year} * 1/1.0418 \text{ m}^3/$$

$$\text{ton} * 1/8760 \text{ year/hr} = 4.38 * 10^{-4} \text{ m}^3/\text{hr}$$

$$\text{Amine loss } X_5 = 4.38 * 10^{-4} \text{ m}^3/\text{hr}$$

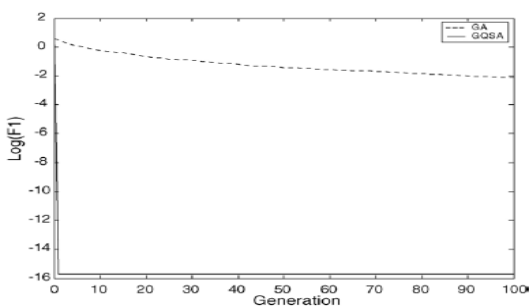
قیمت گاز طبیعی صادراتی ایران به ترکیه در سال ۲۰۱۳ برابر با ۴۹۰ دلار به ازای هزار متر مکعب برآورده شده است. (۴۹

به هزینه موجود برای محاسبات ریاضی در هر نسل توسط ژنتیک الگوریتم عادی قابل محاسبه نیست.

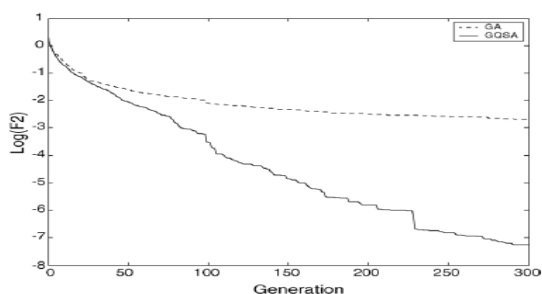
### مقایسه کارایی ژنتیک الگوریتم عادی و ژنتیک الگوریتم با جستجوی مجذوری

برای مقایسه کارایی دو روش مذکور، از چهار تابع امتحانی مختلف استفاده شده است که هر کدام از متغیرهای آنها با یک کروموزم دوازده ژنی در ژنتیک الگوریتم مشخص شده اند و تمامی متغیرها دارای حدود بالا و پایین هستند. مساله به گونه‌ای فرمول‌بندی شده است که تمامی دوازده ژن موجود به طور دقیق، کل پهنای متغیر را پوشش دهند و در این صورت این اطمینان حاصل می‌شود که کل اعضای جمعیت تولیدی توسط ژنتیک الگوریتم، امکان‌پذیر هستند. مقایسه بین این دو روش بر اساس بهترین اعضای موجود در هر نسل صورت می‌گیرد. الگوریتم مورد استفاده در این مقاله با نرم افزار MATLAB نسخه 6.0 برنامه‌نویسی شده است.

نتایج حاصل از شبیه‌سازی با هر دو روش در نمودارهای ۶ تا ۹ نمایش داده شده اند و از آنجایی که برای تعیین مدل مجذوری  $F_1$ ، جمعیت ابتدایی به اندازه‌ی کافی بزرگ انتخاب شده است، ژنتیک الگوریتم با جستجوی کوادراتیک می‌تواند مدل مجذوری مربوط به تابع  $F_1$  را محاسبه کرده و به سرعت اقدام به تعیین بهینه تابع نماید و این در حالی است که ژنتیک الگوریتم عادی برای یافتن بهینه تابع  $F_1$ ، نیاز به تولید نسل‌های بیشتری دارد.



شکل ۶: مقایسه کارایی هر دو روش برای تابع  $F_1$

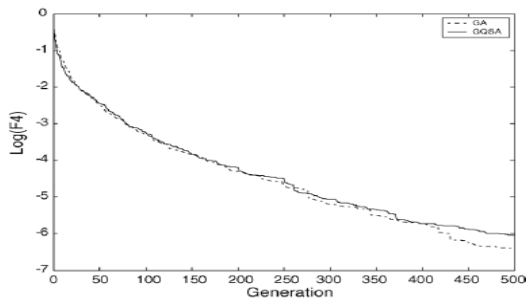


شکل ۷: مقایسه کارایی هر دو روش برای تابع  $F_2$

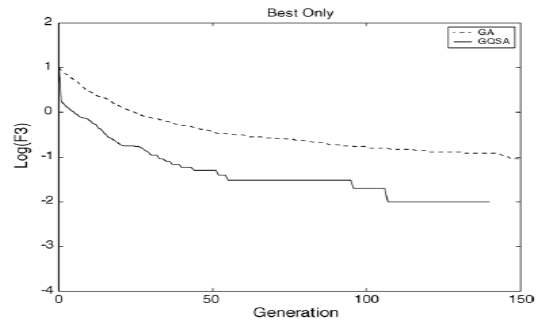
$$\begin{aligned} X_7 &= 7.89 \text{ m}^3/\text{hr} \\ Y_1 &= 0.05 \\ Y_2 &= 6.835 \times 10^{-6} \\ Y_3 &= 6.9 \times 10^{-9} \\ Y_4 &= 0.05 \\ Y_7 &= 0.9 \\ F(X) &= 1.608 \times 10^7 \text{ \$/year} \end{aligned}$$

### ۲- بحث و نتیجه گیری:

در این مقاله یک هیبرید جدید از الگوریتم ژنتیک، تحت عنوان ژنتیک الگوریتم با جستجوی مجذوری از ترکیب ژنتیک الگوریتم عادی با الگوریتم جستجوی مجذوری، بررسی شده است. ژنتیک الگوریتم با جستجوی مجذوری و ژنتیک الگوریتم عادی از طریق نرم افزار MATLAB نسخه 6.0 کدنویسی شده و به نرم افزار شبیه‌ساز ASPEN plus جهت بهینه‌سازی اقتصادی فرآیند شیرین‌سازی گاز متصل شده است. از این الگوریتم جدید برای بهینه‌سازی چهار تابع امتحانی و بهینه‌سازی اقتصادی یک واحد فرآیندی از طریق اتصال به یک شبیه‌ساز استفاده شد. از آنجا که محاسبه میزان تابع هدف در مسایل بهینه‌سازی که در آن یک شبیه‌ساز با یک بهینه‌ساز خارجی در ارتباط است شامل حجم محاسبات خیلی بالایی است، لذا انتخاب و به‌کار بردن یک الگوریتم جستجوی کارآمد به منظور کاهش تعداد دفعات محاسبه تابع هدف، از اهمیت بسیار بالایی برخوردار است و این در حالی است که ژنتیک الگوریتم با جستجوی مجذوری، تمامی این شرایط را به علت ترکیب کردن مزایای ژنتیک الگوریتم و الگوریتم جستجوی مجذوری دارا است. همچنین این روش می‌تواند بهینه مطلق با احتمال ناپیوستگی بالا را به خوبی بهینه‌سازی غیر محدب و با همگرایی بهتر از ژنتیک الگوریتم عادی تعیین کند. کارایی ژنتیک الگوریتم با جستجوی مجذوری و ژنتیک الگوریتم عادی برای حل مسایل بهینه‌سازی مربوط به چهار تابع امتحانی نشان داده شده در جدول (۱) مبین این موضوع است که همگرایی ژنتیک الگوریتم با جستجوی مجذوری در تمامی موارد بهتر و حداقل قابل مقایسه با ژنتیک الگوریتم عادی است و در مورد بهینه‌سازی اقتصادی واحد فرآیندی بازیابی گاز طبیعی مایع نیز ژنتیک الگوریتم با جستجوی مجذوری، کارایی بیشتری نسبت به ژنتیک الگوریتم عادی از خود نشان می‌دهد. قسمت جستجوی مجذوری در ژنتیک الگوریتم با جستجوی مجذوری در بسیاری از مواقع به عنوان یک اپراتور ژنتیک نظیر جهش و قطع عمل کرده که سبب کاهش تعداد نسل‌های مورد نیاز برای تعیین بهینه با سطح دقت مشخص می‌شود که در همان زمان مشخص با توجه



شکل ۹: مقایسه کارایی هر دو روش برای تابع  $F_4$



شکل ۸: مقایسه کارایی هر دو روش برای تابع  $F_3$

جدول (۱) توابع امتحانی

نام تابع	تابع	محدوده	مینیمم
$F_1$	$\sum_{i=1}^3 x_i^2$	$-x_i < 5.12 > 5.12$	0 at $\forall x_i = 0$
$F_2$	$100(x_1^2 - x_2)^2 + (1 - x_1)^2$	$-x_i < 2.048 > 2.048$	0 at $\forall x_i = 1$
$F_3$	$25 + \sum_{i=1}^3 \text{integer}(x_i)$	$-x_i < 5.12 > 5.12$	0 at $\forall x_i$
$F_3$	$\sum_{i=1}^5 ix_i^4$	$-x_i < 1.28 > 1.28$	0 at $\forall x_i = 0$

جدول (۲) پارامترهای استفاده شده در ژنتیک الگوریتم عادی و ژنتیک الگوریتم با جستجوی مجذوری

PE	$F_4$	$F_3$	$F_2$	$F_1$	
الگوریتم ژنتیک					
30	60	60	20	30	Population size
15	30	30	10	15	Number of offspring
100	500	150	300	100	Number of generations
12	12	12	12	12	Number of binary digits in each gene

0/05	0/05	0/05	0/05	0/05	Probability of mutation
0/05	0/05	0/05	0/05	0/05	Probability of random
0/09	0/09	0/09	0/09	0/09	Probability of crossover
0/05	0/05	0/05	0/05	0/05	Probability of the random Selection of parents in crossover
0/7	0/7	0/7	0/7	0/7	Rate of fitness based Individual selection for the next generation
0/3	0/3	0/3	0/3	0/3	Rate of random individual selection for the next generation
<b>الگوریتم مجذوری</b>					
1/5	1/2	1/2	1/2	1/2	Factor for the number of data (w)
10	10	10	10	10	Number of past generations for quadratic modeling

PE: بهینه سازی اقتصادی فرآیند

از صد شبیه‌سازی انجام شده است و تمامی پارامترهای مورد استفاده در این الگوریتم بهینه سازی، برابر مقادیر رایجی هستند که در این گونه بهینه‌سازی‌ها مورد استفاده قرار می‌گیرند. علاوه بر نسل‌های جدیدی که توسط ژنتیک الگوریتم عادی تولید می‌شود، جستجوی مجذوری، خود منجر به تولید یک نسل جدید می‌شود که تا زمان موفق بودن این روش جستجو،

توابع مورد استفاده در جداول (۱) و (۲) نشان داده شده اند و تمامی پارامترهای مربوط به هر دو روش و در هر تابع امتحانی نیز در این جدول آمده است که این پارامترها شامل تمامی نسل‌های جدید، منجر شده از اپراتورهای ژنتیکی قطع، جهش و انتخاب اتفاقی، بر اساس احتمال استفاده از هر کدام از این اپراتورها است. هر کدام از نقطه‌های نشان داده شده در واقع متوسطی

(۵)

$$F = \begin{bmatrix} f_1 \\ \vdots \\ f_m \end{bmatrix}, \quad B = \begin{bmatrix} b_1 \\ \vdots \\ b_{\frac{(n+1)(n+2)}{2}} \end{bmatrix}$$

در صورتی که  $X^T X$  یک مقدار مثبت تعریف شده باشد مدل مجذوری می‌تواند توسط روش حداقل مربعات تخمین زده شود که در واقع مبین این مطلب است که رتبه  $X$  برابر  $n$  است. بعد از تعیین پارامترهای بردار  $B$ ، نتایج بهینه‌سازی جزئی به صورت زیر است:

برای حل بهینه‌سازی جزئی، هر دو روش برنامه نویسی مجذوری و برنامه نویسی مجذوری متوالی مناسب هستند ولی برای انتخاب یکی از این روش‌ها باید به عواملی نظیر نوع قيود موجود (خطی، غیرخطی و ناپیوسته و...) توجه نمود. جستجوی مجذوری می‌تواند روش برنامه نویسی مجذوری را برای بهینه‌سازی مسائلی که تنها دارای قيود خطی هستند به کار برد، در غیر این صورت باید از برنامه نویسی خطی متوالی و یا سایر روش‌های بهینه‌یابی استفاده کرد.

در مورد تابع  $F_2$ ، هر دو روش همگرایی یکسانی را پس از سی نسل نشان می‌دهند، در حالی که در نقطه branch-off بعد از سی نسل، همگرایی ژنتیک الگوریتم عادی به طور قابل توجهی کاهش پیدا کرده و این در حالی است که همگرایی ژنتیک الگوریتم با جستجوی مجذوری، سرعت بیشتری پیدا می‌کند. همان طور که در قسمت قبلی توضیح داده شد، کارایی جستجوی مجذوری، زمانی افزایش پیدا می‌کند که خوشه‌ای از اعضای موجود، حول بهینه‌ی مطلق تشکیل شود. برخلاف تابع  $F_1$  بهینه‌سازی تابع  $F_2$  نیاز به تولید نسل‌های بیشتر برای ایجاد خوشه‌ای دارد که حاوی بهینه‌ی مطلق باشد و دلیل آن این است که  $F_2$  یک تابع مجذوری نیست، بنابراین در حالی که خوشه حول بهینه‌ی مطلق تشکیل شده است ولی جستجوی مجذوری قادر به یافتن سریع بهینه‌ی مطلق نیست زیرا تنها در یک همسایگی کوچک اطراف بهینه، رفتار مجذوری مشاهده می‌شود.  $F_3$  تابعی بوده که علاوه بر متغیرهای پیوسته شامل متغیرهای ناپیوسته نیز هست. در این مورد نیز ژنتیک الگوریتم با جستجوی مجذوری، بسیار بهتر از ژنتیک الگوریتم عادی عمل کرده و همگرایی آن نیز حتی در نسل‌های ابتدایی بسیار سریع‌تر است که دلیل آن مجذوری بودن تابع  $F_3$  است. نمودار موجود در شکل (۶)

در استخر جمعیت حضور دارند. جستجوی مجذوری دارای چهار الگوریتم زیر مجموعه مهم است که شامل جمع‌آوری اطلاعات لازم، تعیین مدل مجذوری، انجام یک بهینه‌سازی جزئی بر اساس مدل مجذوری و ایجاد یک سری اعضای جدید بر اساس پاسخ بهینه‌سازی مجذوری است. با توجه به اطلاعات مشخص شده در شکل، تولید هر عضو جدید، که نیاز به یک بار محاسبه میزان تابع هدف دارد، قبل از تکمیل موفقیت آمیز تمام الگوریتم‌های زیر مجموعه دیگر صورت نمی‌گیرد. تمامی داده‌های لازم برای ایجاد یک مدل مجذوری، از اعضای حاضر در نسل قبلی و بر اساس فاصله این اعضا با بهینه جاری فراهم می‌شود. اعضای که کمترین فاصله را با بهینه جاری داشته باشند برای ایجاد مدل مجذوری مورد استفاده قرار می‌گیرند. هر چند به علت ذخیره شدن اعضای نسل قبلی در حافظه، نیازی به نگه‌داری این اعضا در نسل جاری نیست ولی به سبب نیاز به یک جمعیت بزرگ برای انجام بهینه‌سازی چند بعدی و اطمینان از این موضوع که تعداد اعضای تشکیل دهنده خوشه برای تعیین مدل مجذوری کافی باشد، این عمل صورت می‌گیرد. برای ایجاد یک مدل مجذوری، حتماً باید تعداد اعضای مورد استفاده در تعیین مدل، از تعداد پارامترهای لازم برای شناخت مدل مجذوری، بیشتر باشد. تعداد نقاط مورد نیاز از طریق رابطه زیر تعیین می‌شود:

(۴)

$$m = \min \left\{ g \in N \mid g \geq \omega \frac{(n+1)(n+2)}{2} \right\}$$

جایی که:

$m$ : کمترین تعداد نقاط مورد نیاز

$n$ : بعد سیستم

$\omega$ : عددی حقیقی که بزرگتر یا مساوی واحد است.

بعد از محاسبه تعداد داده‌های لازم، می‌توان مدل مجذوری را به صورت زیر نمایش داد:

$$F = XB$$

جایی که:

$F$ : بردار مربوط به مقادیر تابع هدف با در نظر گرفتن اعضای به کار رفته در مدل مجذوری.

$X$ : شامل قسمت‌هایی از مدل مجذوری می‌باشد که وابسته به اعضا هستند.

$B$ : بردار مربوط به پارامترهای مدل مجذوری است.

جدول ۳: دقت الگوریتم‌های مورد مطالعه

الگوریتم	دقت
ژنتیک	91%
مجذوری	97%

بهینه‌سازی واحد شیرین‌سازی، در حقیقت افزایش سود را برای تولید کننده به وجود می‌آورد. برای دست یافتن به این مهم باید دو فاکتور اصلی، یکی رسیدن غلظت  $\text{CO}_2$  و  $\text{H}_2\text{S}$  به زیر مقدار مجاز جهت تزریق به خطوط لوله گاز شیرین و دیگری حداقل مصرف انرژی در واحد را مد نظر قرار داد. عواملی که در قسمت زیر در مورد آنها بحث شده است هر یک تاثیرات خود را روی مصرف انرژی و تغییر غلظت  $\text{H}_2\text{S}$  و  $\text{CO}_2$  در گاز تولیدی بیان می‌کند که جهت بهینه‌سازی سیستم، باید سیستمی را انتخاب کرد که دارای حداقل مصرف انرژی و غلظت مجاز  $\text{CO}_2$  و  $\text{H}_2\text{S}$  در گاز شیرین تولیدی باشد.

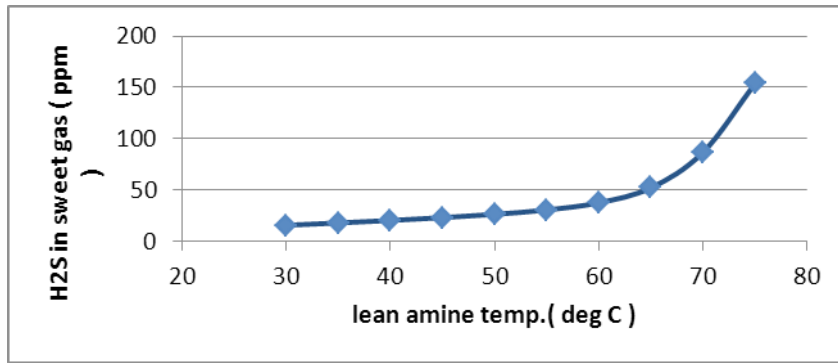
نشان می‌دهد که ژنتیک الگوریتم با جستجوی مجذوری بعد از صدوچهل نسل، به مقدار بهینه رسیده است در حالی که ژنتیک الگوریتم عادی هنوز همگرا نشده است. تابع  $F_4$  رفتاری متفاوت از سه تابع قبلی از خود نشان می‌دهد که دلیل آن این نکته است که تابع  $F_4$  اطراف نقطه بهینه، دارای شیب کمی بوده که باعث ایجاد تداخل در جستجوی مجذوری می‌شود زیرا در این حالت امکان ایجاد یک مدل مجذوری مناسب وجود ندارد، با این حال باز هم کارایی این روش قابل مقایسه با ژنتیک الگوریتم عادی است. نتایج بهینه‌سازی نشان می‌دهد که همگرایی ژنتیک الگوریتم با جستجوی مجذوری، به طور قابل ملاحظه ای سریع‌تر از ژنتیک الگوریتم عادی به خصوص بعد از چند نسل ابتدایی است. متوسط بیشترین سود حاصل در ژنتیک الگوریتم با جستجوی مجذوری  $10^7 \times 2756$  دلار در سال و در ژنتیک الگوریتم عادی  $10^7 \times 16$  دلار در سال است. جدول شماره ۳ دقت توابع هدف را نشان می‌دهد.

جدول ۴- تاثیر دمای ورودی آمین به برج جذب

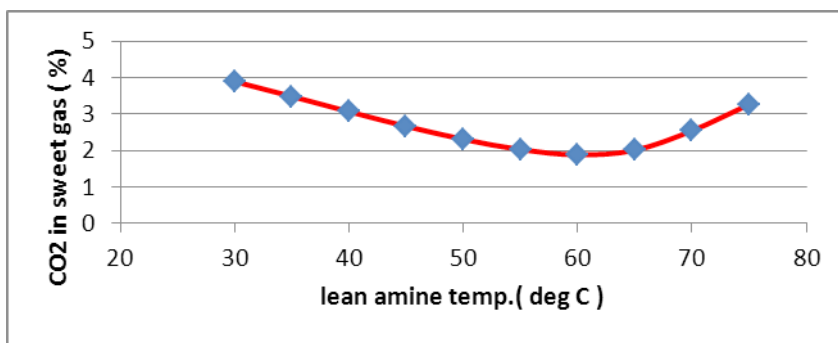
میزان بارگذاری گازهای اسیدی در جریان آمین غنی	انرژی مصرفی در کل واحد	بخار مصرفی در ریپولر	گاز شیرین تولیدی		دمای آمین ضعیف
			$\text{CO}_2$ (%)	$\text{H}_2\text{S}$ (ppm)	
Mol AG/mol MDEA	kJ/h	kg/hr			°C
0.3873	96716422	23809	3.267	153.99	۷۵
0.4046	101225029	24551	2.547	86.87	۷۰
0.4171	104576858	25072	2.010	52.23	۶۵
0.4201	105995177	25200	1.884	37.68	۶۰
0.4172	106223831	25085	2.028	30.69	۵۵
0.4112	105825666	24844	2.309	26.41	۵۰
0.4035	105046197	24528	2.667	23.19	۴۵
0.3948	104016576	24163	3.068	20.45	۴۰
0.3857	102860700	23778	3.484	18.01	۳۵
0.3766	101671119	23390	3.893	15.73	۳۰



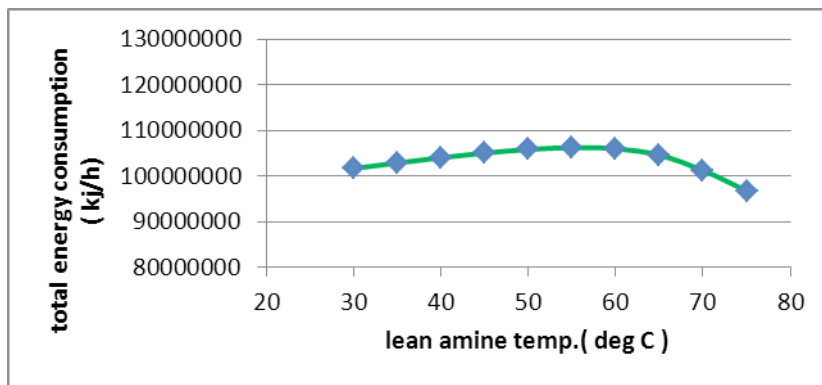




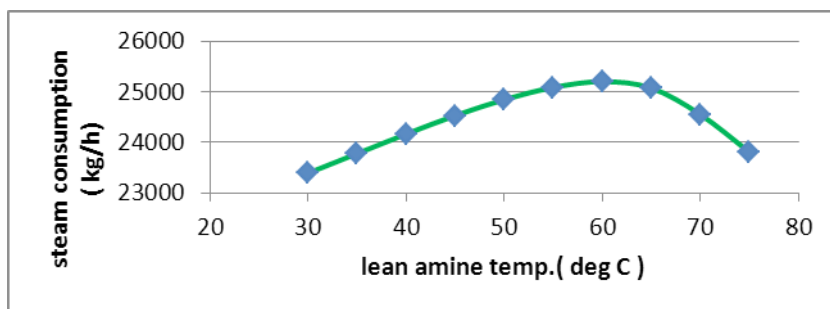
شکل ۱۰- تاثیر دمای آمین ضعیف ورودی به برج جذب روی میزان  $S_2H$  گاز شیرین تولیدی



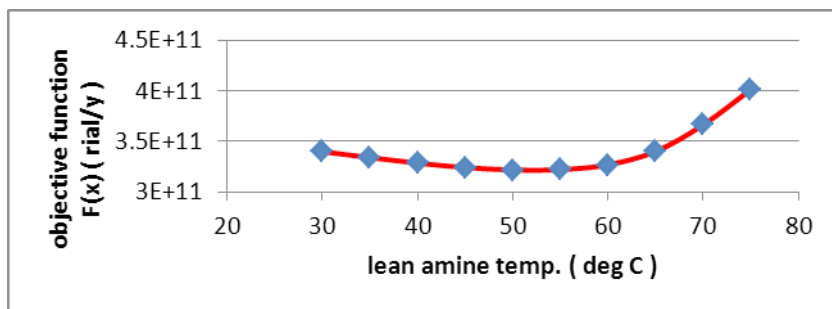
شکل ۱۱- تاثیر دمای آمین ضعیف ورودی به برج جذب روی میزان  $CO_2$  گاز شیرین تولیدی



شکل ۱۲- تاثیر دمای آمین ضعیف ورودی به برج جذب روی میزان مصرف کل انرژی واحد



شکل ۱۳- تاثیر دمای آمین ضعیف ورودی به برج جذب روی میزان مصرف بخار در ریبویلر



شکل ۱۴-تأثیر دمای آمین ضعیف ورودی به برج جذب روی تابع هدف

### دمای ورودی آمین ضعیف به برج جذب

جدول ۴ و شکل های ۱۰ تا ۱۴ چگونگی تأثیر تغییرات دمای آمین ضعیف را بر روی میزان سولفید هیدروژن و دی اکسید کربن در گاز شیرین تولیدی و انرژی مصرفی کل واحد و بخار مصرفی در ریویلر برج احیاء و نیز تابع هدف اقتصادی تعریف شده، نشان می دهد.

با توجه به نمودارهای شکل ۱۰ و ۱۱ می توان دریافت که با افزایش دمای آمین ورودی به برج جذب، میزان جذب  $H_2S$  در طول برج کاهش یافته و میزان آن در جریان گاز شیرین خروجی بیشتر می شود. با افزایش دمای آمین تا  $60^\circ C$ ، جذب دی اکسید کربن در طول برج زیاد و میزان آن در گاز شیرین خروجی کاهش می یابد و از دمای  $60^\circ C$  به بالا، جذب کاهش یافته و میزان  $CO_2$  در گاز خروجی بیشتر می شود.

جهت تنظیم دمای بهینه آمین باید همواره این نکته را نیز مورد توجه قرار داد که برای جلوگیری از میعان شدن

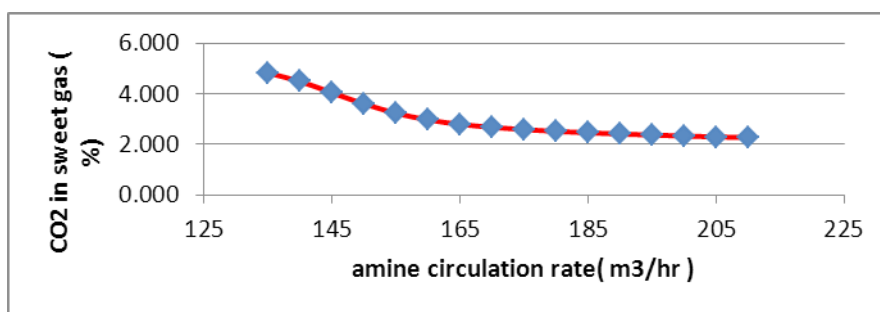
ترکیبات سنگین هیدروکربوری در آمین، دمای آمین ۷ الی ۱۰ درجه سانتیگراد بالاتر از دمای گاز ترش ورودی به برج جذب نگه داشته شود. از نمودارهای ۱۲ و ۱۳ نیز دیده می شود که بیشترین تغییر در انرژی مصرفی مربوط به تغییر میزان بخار ریویلر است و برای رسیدن به مقدار پایین  $H_2S$  و  $CO_2$  بایستی انرژی بیشتری مصرف نمود. با توجه به شکل ۱۴، افزایش در هزینه های عملیاتی و یا کاهش سودآوری فرایند به علت افزایش بار حرارتی ریویلر و خنک کننده آمین برگشتی به ظرف رفلکس بالای برج احیاء با بالا رفتن دمای آمین تا  $60^\circ C$  و سپس کاهش هزینه های عملیاتی و یا افزایش سودآوری واحد در دمای بالاتر از  $60^\circ C$  دیده می شود. نهایتاً محدوده دمای  $60-50^\circ C$  برای دمای آمین ورودی به برج جذب با توجه به میزان گازهای اسیدی در گاز شیرین تولیدی توصیه می شود.

جدول ۵- تأثیر میزان آمین در گردش

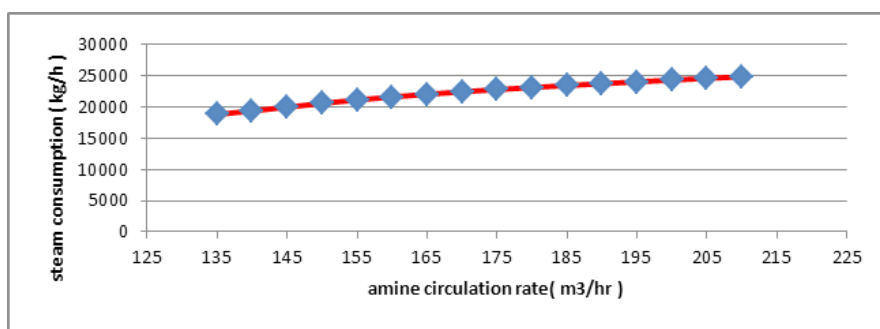
میزان بارگذاری گازهای اسیدی در جریان آمین غنی	انرژی مصرفی در کل واحد	بخار مصرفی در ریویلر	گاز شیرین تولیدی		آمین در گردش
			$CO_2$ (%)	$H_2S$ (ppm)	
Mol AG/mol MDEA	kJ/h	kg/hr	$CO_2$ (%)	$H_2S$ (ppm)	$m^3/h$
0.412	105907792	24883	2.264	26.92	210
0.421	104727433	24617	2.295	26.67	205
0.431	103521092	24346	2.328	26.44	200
0.441	102280808	24067	2.365	26.21	195



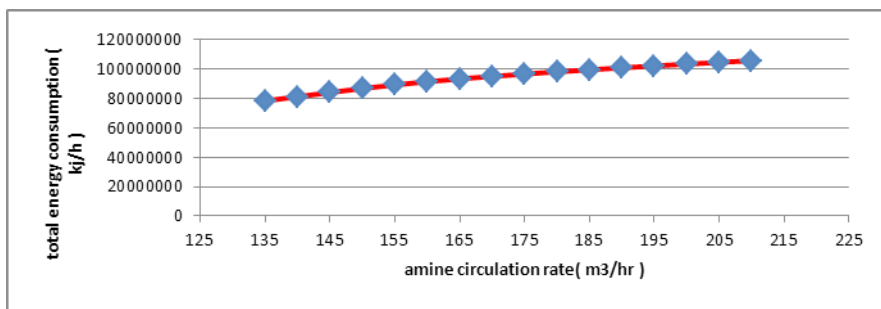
0.451	100998260	23778	2.407	26.08	190
0.462	99661582	23477	2.455	26.03	185
0.473	98256185	23161	2.511	26.08	180
0.485	96764536	22825	2.581	26.28	175
0.496	95165512	22466	2.670	26.69	170
0.508	93430907	22076	2.792	27.45	165
0.518	91514295	21646	2.966	28.76	160
0.527	89341981	21161	3.228	31.01	155
0.532	86866854	20610	3.597	34.55	150
0.536	84155745	20012	4.035	39.30	145
0.539	81326387	19398	4.482	44.85	140
0.546	78465156	18844	4.819	51.39	135



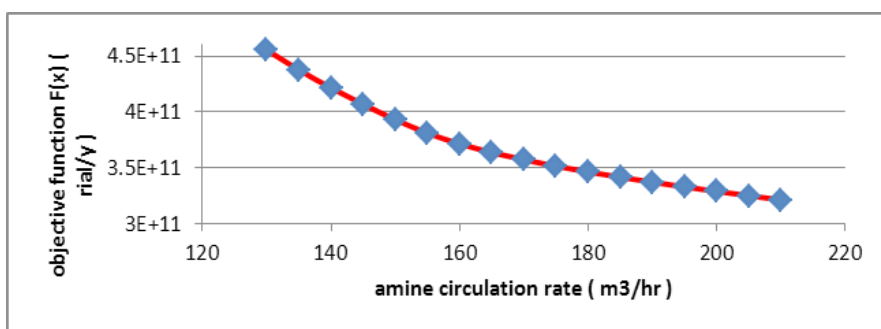
شکل ۱۶- تاثیر میزان آمین در گردش روی میزان CO<sub>2</sub> گاز شیرین تولیدی



شکل ۱۷- تاثیر میزان آمین در گردش روی میزان مصرف کل انرژی واحد



شکل ۱۸- تاثیر میزان آمین در گردش روی میزان مصرف بخار در ریویلر



شکل ۱۹- تاثیر میزان آمین در گردش روی تابع هدف

دید شده نمی‌شود. شکل‌های ۱۷ و ۱۸ نیز بیان می‌دارند که با افزایش میزان آمین در گردش، مقدار انرژی و بخار مصرفی در واحد افزایش می‌یابد که باعث افزایش در هزینه‌های عملیاتی می‌گردد. شکل ۱۹ نیز کاهش سودآوری واحد را با افزایش این پارامتر نشان می‌دهد. مقدار بهینه این پارامتر، کمترین مقدار آمین در گردش است تا شرط استاندارد بودن گازهای اسیدی در گاز شیرین خروجی رعایت گردد (محدوده  $160-180 \text{ m}^3/\text{hr}$ ).

#### میزان غلظت آمین

جدول ۶ و شکل‌های ۲۰ الی ۲۴، چگونگی تاثیر تغییرات میزان غلظت آمین بر روی میزان سولفید هیدروژن و

#### میزان آمین در گردش

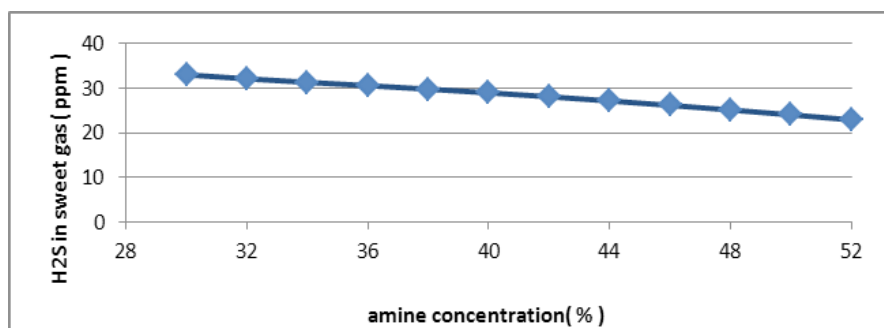
جدول ۵ و شکل‌های ۱۵ الی ۱۹، چگونگی تاثیر تغییرات میزان آمین در گردش را بر روی میزان سولفید هیدروژن و دی‌اکسید کربن در گاز شیرین تولیدی و انرژی مصرفی کل واحد و بخار مصرفی در ریویلر برج احیاء و نیز تابع هدف اقتصادی تعریف شده نشان می‌دهد. با افزایش مقدار آمین در گردش، (به دلیل زیاد شدن مقدار مول آمین) مقدار جذب گازهای اسیدی توسط آمین در برج جذب، زیاد شده و همانطور که در شکل‌های ۱۵ و ۱۶ دیده می‌شود میزان  $\text{H}_2\text{S}$  و  $\text{CO}_2$  در گاز شیرین تولیدی کاهش می‌یابد. در میزان  $\text{H}_2\text{S}$  از دبی  $165 \text{ m}^3/\text{hr}$  به بالا و در میزان  $\text{CO}_2$  از دبی  $180 \text{ m}^3/\text{hr}$  به بالا، تغییر چندانی

جدول ۶- تاثیر میزان غلظت آمین

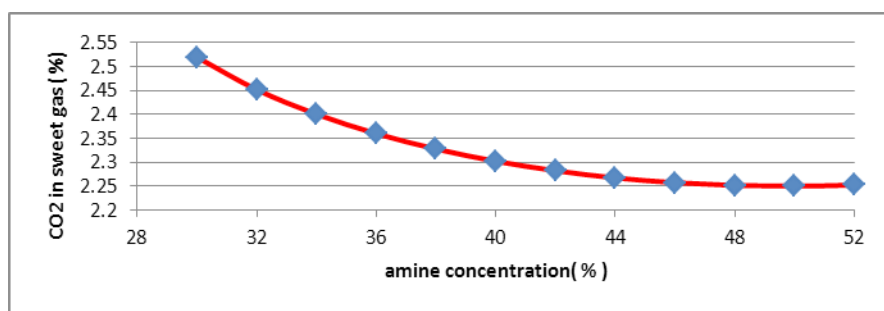
میزان بارگذاری گازهای اسیدی در جریان آمین غنی	انرژی مصرفی در کل واحد	بخار مصرفی در ریویلر	گاز شیرین تولیدی		غلظت آمین wt%
			$\text{CO}_2$ (%)	$\text{H}_2\text{S}$ (ppm)	
Mol AG/mol MDEA	kJ/h	kg/hr			



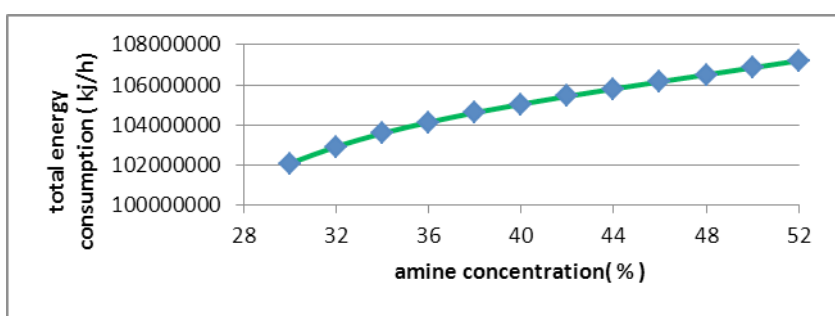
0.608	102071822	24014	2.520	33.06	30
0.572	102910791	24205	2.452	32.17	32
0.539	103578808	24357	2.401	31.38	34
0.510	104132278	24482	2.360	30.63	36
0.484	104610005	24590	2.328	29.85	38
0.460	105036851	24687	2.303	29.03	40
0.438	105429243	24775	2.283	28.15	42
0.418	105800458	24859	2.268	27.22	44
0.412	105907792	24883	2.264	26.92	44.6
0.399	106155813	24939	2.258	26.23	46
0.382	106506267	25017	2.252	25.18	48
0.367	106855887	25095	2.250	24.09	50
0.352	107209786	25174	2.253	22.96	52



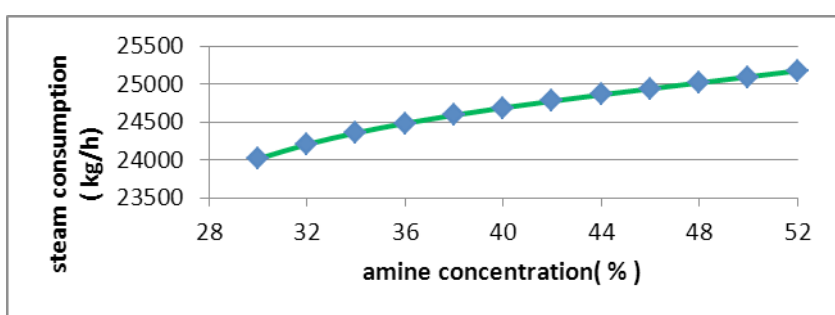
شکل ۲۰ - تاثیر میزان غلظت آمین روی میزان  $H_2S$  گاز شیرین تولیدی



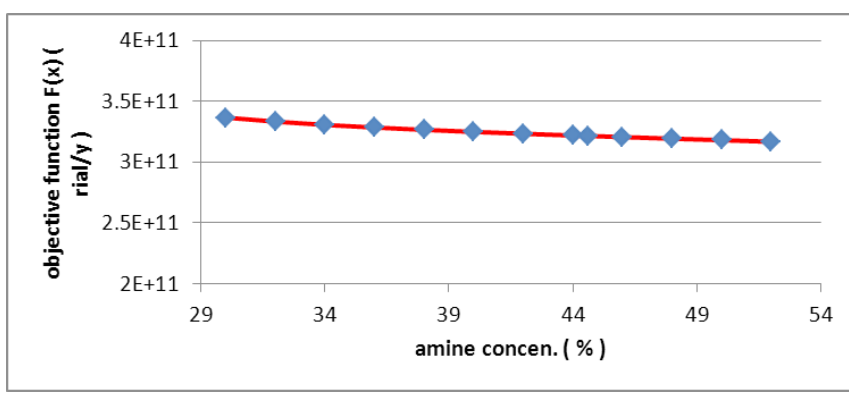
شکل ۲۱ - تاثیر میزان غلظت آمین روی میزان  $CO_2$  گاز شیرین تولیدی



شکل ۲۲- تاثیر میزان غلظت آمین روی میزان مصرف کل انرژی واحد



شکل ۲۳- تاثیر میزان غلظت آمین روی میزان مصرف بخار در ریپولر



شکل ۲۴- تاثیر میزان غلظت آمین روی تابع هدف

میزان  $H_2S$  و  $CO_2$  در گاز شیرین تولیدی کاهش می‌یابد. اما در مورد دی اکسید کربن این تغییرات زیاد نیست زیرا مکانیسم جذب  $CO_2$  به این صورت است که ابتدا در محلول آمین هیدرولیز شده که سرعت واکنش پایینی دارد و سپس با آمین واکنش می‌دهد. شکل‌های ۲۲ و ۲۳ نیز بیان می‌دارند که با افزایش میزان غلظت آمین، میزان گازهای اسیدی در آمین خروجی از برج جذب بیشتر شده در نتیجه مقدار انرژی و بخار مصرفی در واحد افزایش یافته است که

دی‌اکسیدکربن در گاز شیرین تولیدی و انرژی مصرفی کل واحد و بخار مصرفی در ریپولر برج احیاء و نیز تابع هدف اقتصادی تعریف شده را نشان می‌دهد. با افزایش غلظت آمین، (به دلیل زیاد شدن مقدار مول آمین) مقدار جذب گازهای اسیدی توسط آمین در برج جذب زیاد شده و همانطور که در شکل‌های ۲۰ و ۲۱ دیده می‌شود،

باعث افزایش در هزینه‌های عملیاتی می‌گردد. شکل ۲۴ نیز کاهش سودآوری واحد را با افزایش این پارامتر نشان می‌دهد. مقدار بهینه این پارامتر کمترین مقدار آمین در گردش است تا شرط استاندارد بودن گازهای اسیدی در گاز شیرین خروجی رعایت گردد. باید به این نکته نیز توجه نمود که با افزایش غلظت و زیاد شدن بار اسیدی آمین، مقدار خوردگی در واحد نیز بالا می‌رود. نهایتاً برای رسیدن به شرایط بهینه، کمترین غلظت آمین را باید انتخاب نمود به شرطی که میزان  $H_2S$

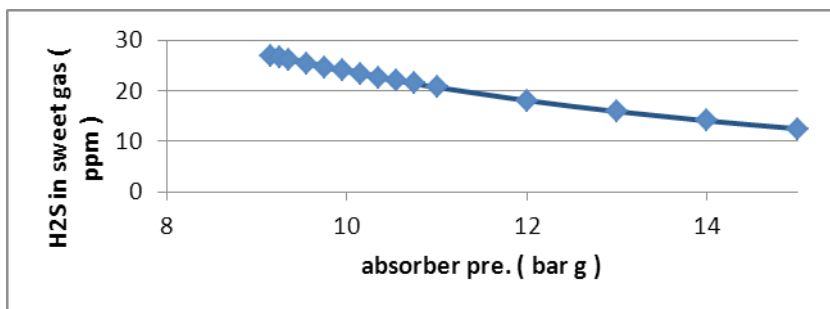
و  $CO_2$  در گاز خروجی در حد استاندارد مورد نظر باشد. با توجه به موارد فوق و مسایل خوردگی، غلظت آمین بین ۵۰-۴۰ درصد وزنی مناسب است.

**میزان فشار برج جذب**

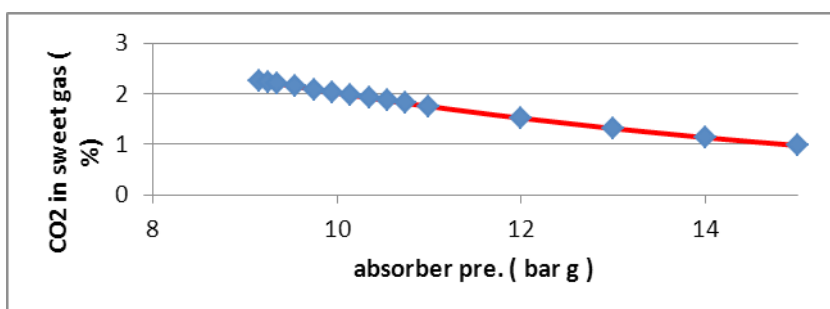
جدول ۷ و شکل‌های ۲۵ الی ۲۹ چگونگی تاثیر تغییرات میزان فشار برج جذب را بر روی میزان سولفید هیدروژن و دی اکسید کربن در گاز شیرین تولیدی و انرژی مصرفی کل

جدول ۷- تاثیر میزان فشار برج جذب

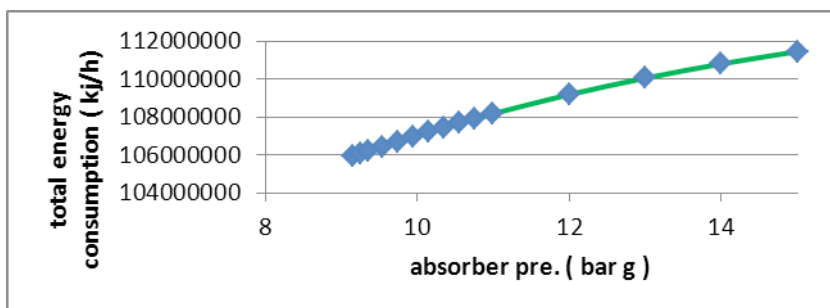
میزان بارگذاری گازهای اسیدی در جریان آمین غنی	انرژی مصرفی در کل واحد	بخار مصرفی در ریبولر	گاز شیرین تولیدی		فشار برج جذب
			$CO_2$ (%)	$H_2S$ (ppm)	
Mole AG/mol MDEA	kj/hr	kg/hr			Bar g
0.412	105907792	24883	2.264	26.92	9.15
0.413	106045791	24914	2.234	26.53	9.25
0.414	106182452	24944	2.203	26.14	9.35
0.415	106448992	25004	2.143	25.38	9.55
0.416	106708882	25062	2.085	24.65	9.75
0.417	106961317	25119	2.027	23.95	9.95
0.419	107207205	25174	1.972	23.28	10.15
0.420	107446128	25228	1.917	22.63	10.35
0.421	107678501	25280	1.864	22.00	10.55
0.422	107904189	25331	1.812	21.40	10.75
0.423	108178138	25392	1.749	20.68	11
0.429	109181808	25618	1.516	18.06	12
0.433	110050921	25815	1.312	15.89	13
0.437	110802769	25985	1.133	14.06	14
0.440	111452062	26133	0.977	12.50	15



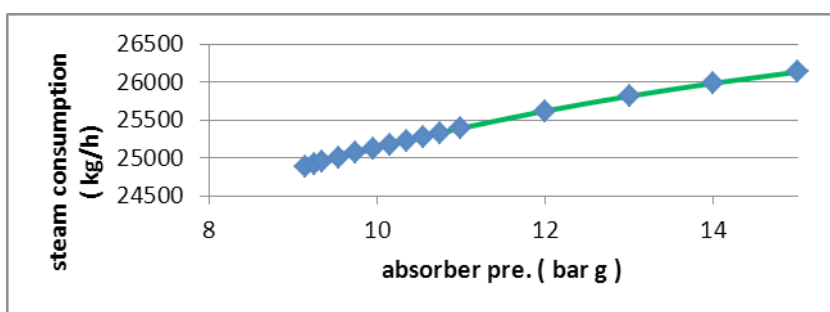
شکل ۲۵- تاثیر میزان فشار برج جذب روی میزان  $H_2S$  گاز شیرین تولیدی



شکل ۲۶- تاثیر میزان فشار برج جذب روی میزان  $CO_2$  گاز شیرین تولیدی

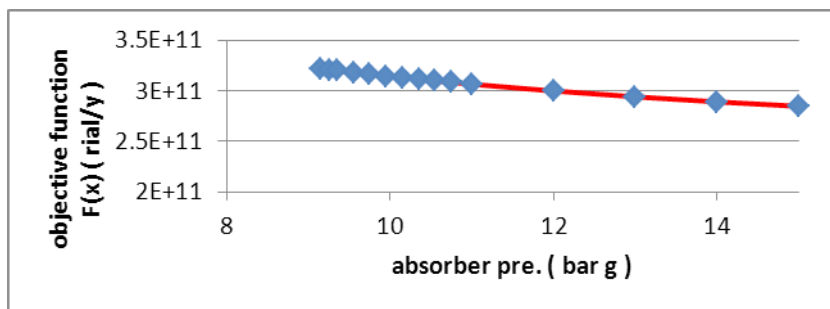


شکل ۲۷- تاثیر میزان فشار برج جذب روی میزان مصرف کل انرژی واحد



شکل ۲۸- تاثیر میزان فشار برج جذب روی میزان مصرف بخار در ریویبلر





شکل ۲۹- تاثیر میزان فشار برج جذب روی تابع هدف

بالاتر از آن افزایش داد. نخست به دلیل فشار طراحی برج و دوم به علت تنظیم فشار تجهیزات بالا دستی گاز ترش برای دریافت کافی جریان گاز. بنا به دلایل فوق، فشار برج جذب مورد مطالعه جهت بهینه‌سازی، در ۹/۱۵ bar g ثابت در نظر گرفته می‌شود.

### دمای بالای برج احیاء آمین

جدول ۸ و شکل‌های ۳۰ الی ۳۴، چگونگی تاثیر تغییرات میزان دمای بالای برج احیاء آمین را بر روی میزان سولفید هیدروژن و دی اکسید کربن در گاز شیرین تولیدی و انرژی مصرفی کل واحد و بخار مصرفی در ریبولر برج احیاء و نیز تابع هدف اقتصادی تعریف شده، نشان می‌دهد.

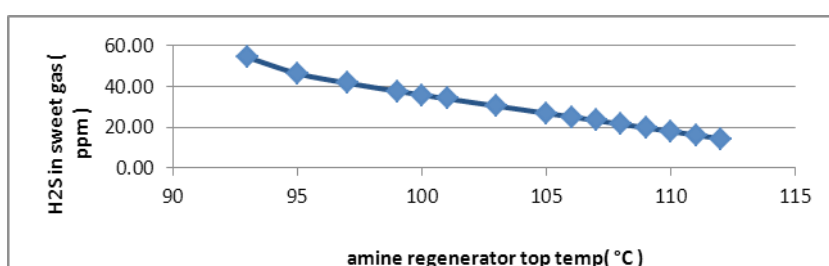
واحد و بخار مصرفی در ریبولر برج احیاء و نیز تابع هدف اقتصادی تعریف شده نشان می‌دهد.

تایچ نشان می‌دهد که با افزایش فشار برج جذب، میزان جذب  $\text{CO}_2$  و  $\text{H}_2\text{S}$  در طول برج افزایش یافته و میزان آن در جریان گاز شیرین خروجی کمتر می‌شود. همچنین با افزایش فشار و جذب بیشتر گازهای اسیدی، میزان مصرف انرژی و بخار در واحد بیشتر شده و هزینه‌های عملیاتی افزایش می‌یابد. شکل ۲۹ سودآوری واحد را نشان می‌دهد که با افزایش فشار برج جذب و زیاد شدن هزینه‌های عملیاتی، کاهش می‌یابد. برای افزایش فشار برج محدودیت‌هایی وجود دارد که نمی‌توان فشار را

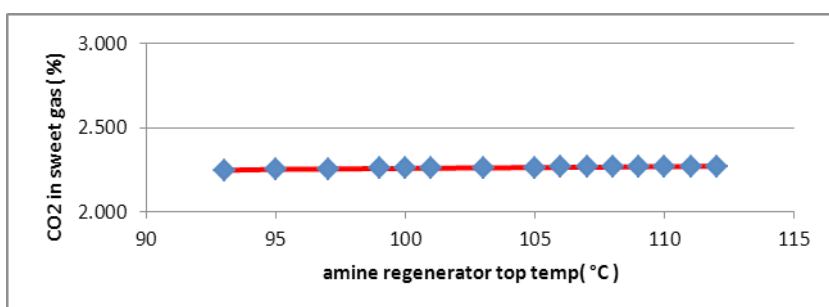
جدول ۸- تاثیر میزان دمای بالای برج احیاء آمین

میزان بارگذاری گازهای اسیدی در جریان آمین ضعیف	انرژی مصرفی در کل واحد	بخار مصرفی در ریبولر	گاز شیرین تولیدی		دمای بالای برج احیاء آمین °C
			$\text{CO}_2$ (%)	$\text{H}_2\text{S}$ (ppm)	
Mole AG/mole MDEA	kJ/hr	kg/hr			
0.00707	82799814	19578	2.249	54.33	93
0.00632	85193289	20128	2.254	46.40	95
0.00585	87972051	20766	2.256	41.74	97
0.00544	91253382	21519	2.258	37.76	99
0.00524	93125876	21949	2.259	35.89	100
0.00505	95182059	22421	2.260	34.07	101
0.00465	99966022	23519	2.262	30.48	103
0.00424	105907747	24883	2.264	26.92	105
0.00403	109447916	25695	2.265	25.15	106

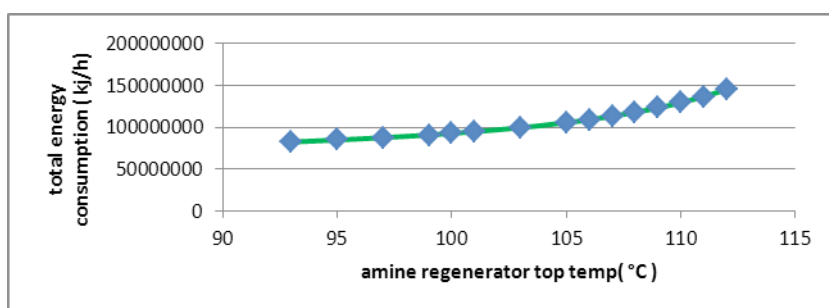
0.00382	113468718	26619	2.267	23.37	107
0.00360	118073741	27676	2.268	21.59	108
0.00337	123398810	28898	2.269	19.80	109
0.00314	129621615	30326	2.270	18.01	110
0.00291	136989911	32018	2.271	16.23	111
0.00266	145847083	34051	2.272	14.44	112



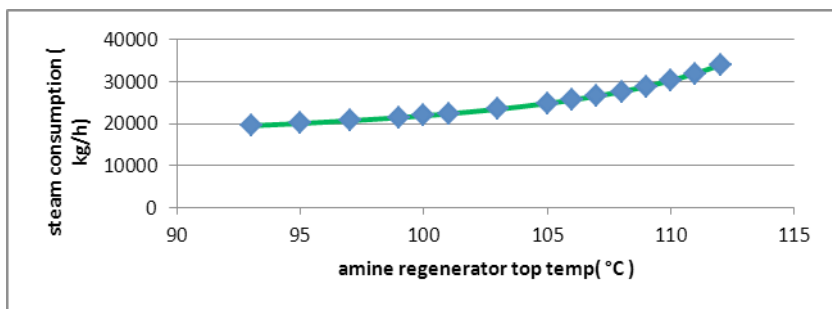
شکل ۳۰- تاثیر میزان دمای بالای برج احیاء آمین روی میزان  $H_2S$  گاز شیرین تولیدی



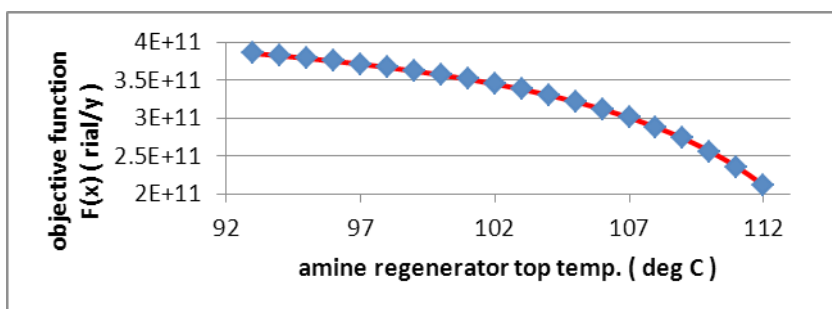
شکل ۳۱- تاثیر میزان دمای بالای برج احیاء آمین روی میزان  $CO_2$  گاز شیرین تولیدی



شکل ۳۲- تاثیر میزان دمای بالای برج احیاء آمین روی میزان مصرف کل انرژی واحد



شکل ۳۳- تاثیر میزان دمای بالای برج احیاء آمین روی میزان مصرف بخار در ریپولر



شکل ۳۴- تاثیر میزان دمای بالای برج احیاء آمین روی تابع هدف

واحد افزایش یافته که باعث بالا رفتن هزینه‌های عملیاتی می‌شود و سودآوری سیستم کاهش می‌یابد. برای رسیدن به شرایط بهینه، کمترین دمایی انتخاب می‌شود که میزان  $H_2S$  آن در حد مورد نظر باشد. با توجه به جدول و نمودارهای فوق، محدوده دمای  $105-112^\circ C$  مناسب است.

### دمای خوراک گاز برج جذب

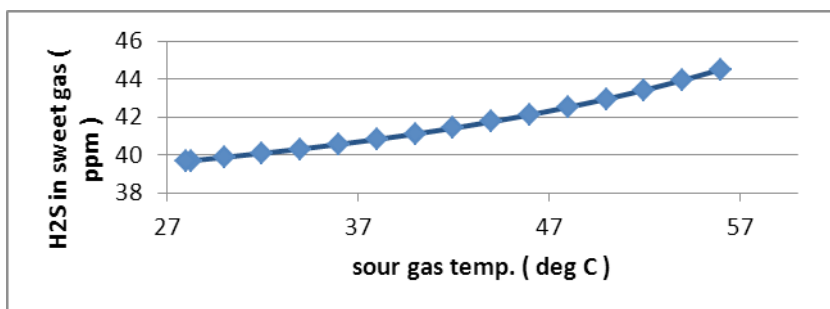
جدول ۹ و شکل های ۳۵ الی ۳۹، چگونگی تاثیر تغییرات میزان دمای گاز خوراک برج جذب آمین را بر روی میزان سولفید هیدروژن و دی‌اکسید کربن در گاز شیرین تولیدی و انرژی مصرفی کل واحد و بخار مصرفی در ریپولر برج احیاء و نیز تابع هدف اقتصادی تعریف شده، نشان می‌دهد.

یکی از پارامترهای تاثیرگذار در برج احیاء (برج دفع)، میزان انرژی مصرفی در ریپولر است. دمای بالای برج که مستقیماً متاثر از ظرفیت ریپولر است، ثابت در نظر گرفته شد. حال با تغییر این پارامتر مطابق نمودارهای فوق، این تاثیر را مشاهده می‌کنیم. نتایج نشان می‌دهد که با افزایش دمای بالای برج دفع، مقدار بار اسیدی گاز سولفید هیدروژن در آمین خروجی از برج احیاء کاهش یافته که سبب می‌شود جذب  $H_2S$  در برج جذب بهتر انجام شود و مقدار  $H_2S$  در گاز شیرین خروجی کاهش یابد. اما همانطور که ملاحظه می‌شود بار اسیدی  $CO_2$  بالا نرفته و تقریباً ثابت است. به همین علت مقدار گاز دی‌اکسید کربن در گاز شیرین ثابت است. میزان مصرف بخار در ریپولر و همچنین مقدار انرژی کل مصرفی

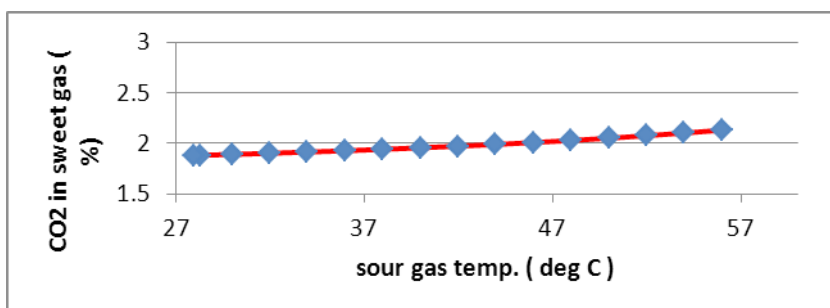
جدول ۹ - تاثیر میزان دمای گاز خوراک برج جذب

میزان بارگذاری گازهای اسیدی در جریان آمین غنی		انرژی مصرفی در کل واحد	بخار مصرفی در ریپولر	گاز شیرین تولیدی		دمای گاز خوراک
Mole $CO_2$ /mole MDEA	Mole $H_2S$ /mole MDEA	kJ/hr	kg/hr	$CO_2$ (%)	$H_2S$ (ppm)	$^\circ C$
0.126	0.294	105835857	25200	1.881	39.7	28.3

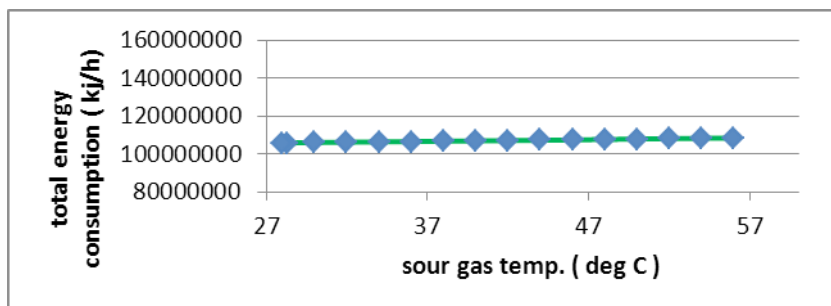
0.126	0.294	105809059	25201	1.879	39.7	28
0.126	0.294	105983146	25192	1.890	39.9	30
0.126	0.294	106159541	25183	1.901	40.1	32
0.126	0.294	106338126	25173	1.914	40.3	34
0.125	0.294	106518839	25162	1.927	40.6	36
0.125	0.294	106702603	25151	1.941	40.8	38
0.125	0.294	106888271	25139	1.956	41.1	40
0.124	0.294	107076557	25125	1.972	41.4	42
0.124	0.294	107267549	25111	1.989	41.8	44
0.123	0.294	107461014	25096	2.008	42.1	46
0.123	0.294	107656876	25079	2.029	42.5	48
0.122	0.294	107855543	25061	2.051	42.9	50
0.122	0.294	108056625	25041	2.075	43.4	52
0.121	0.294	108260016	25019	2.102	43.9	54
0.121	0.294	108465565	24995	2.131	44.5	56



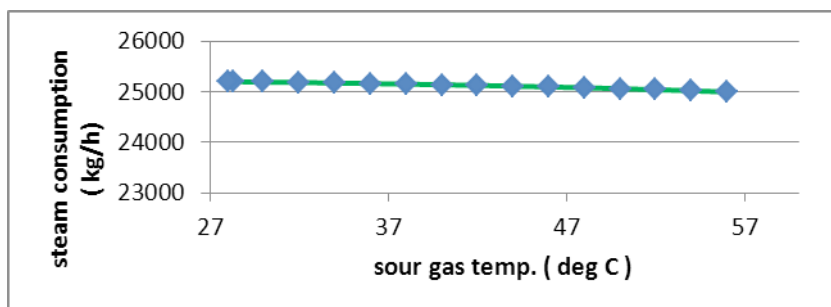
شکل ۳۵- تاثیر میزان دمای گاز خوراک برج جذب روی میزان  $H_2S$  گاز شیرین تولیدی



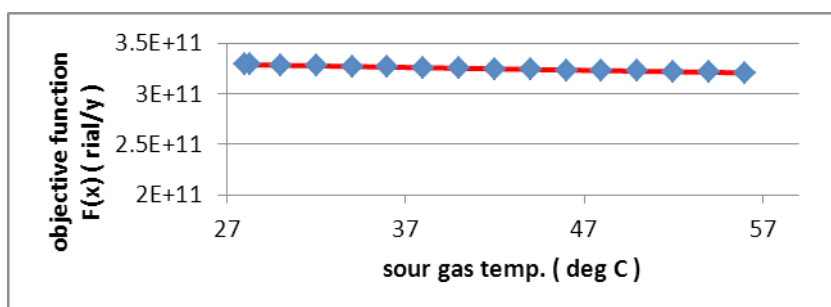
شکل ۳۶- تاثیر میزان دمای گاز خوراک برج جذب روی میزان  $CO_2$  گاز شیرین تولیدی



شکل ۳۷- تاثیر میزان دمای گاز خوراک برج جذب روی میزان مصرف کل انرژی واحد



شکل ۳۸- تاثیر میزان دمای گاز خوراک برج جذب روی میزان مصرف بخار در ریبولر



شکل ۳۹- تاثیر میزان دمای گاز خوراک برج جذب روی تابع هدف

برج جذب، میزان  $H_2S$  در جریان گاز شیرین خروجی بیشتر می‌شود. زیرا با بالا رفتن دما، میزان جذب کمتر می‌شود. نتایج نشان می‌دهد که میزان  $CO_2$  در گاز شیرین شده تقریباً ثابت است. با توجه به مطالب فوق، دمای  $27-45^{\circ}C$  مناسب‌ترین دما برای این پارامتر است.

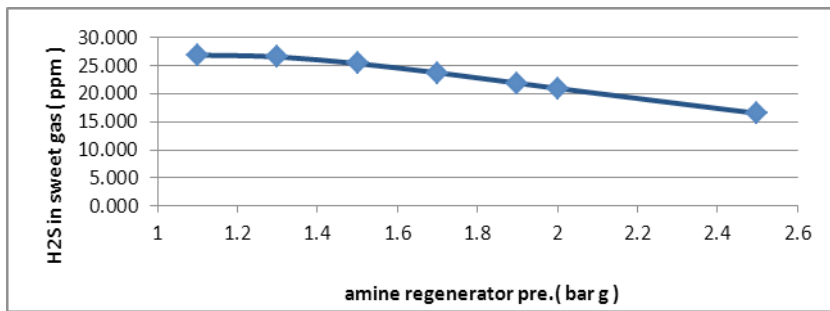
### فشار برج احیاء آمین

جدول ۱۰ و شکل های ۴۰ و ۴۱ چگونگی تاثیر تغییرات میزان فشار برج احیاء آمین را بر روی میزان سولفید هیدروژن و دی‌اکسید کربن در گاز شیرین تولیدی نشان می‌دهد.

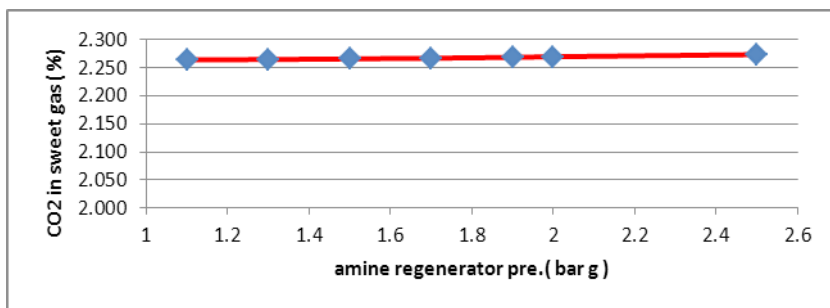
در موقع تغییر این پارامتر باید به این نکته توجه داشت که دمای ورودی آمین ضعیف به برج جذب ۷ تا ۱۰ درجه سانتیگراد بالاتر از دمای ورودی گاز ترش باشد تا هیدروکربن‌های سنگین در آمین مایع نشوند. به همین علت چون تغییرات یک پارامتر روی واحد بررسی می‌شود، دمای ورودی آمین ضعیف  $60^{\circ}C$  در نظر گرفته شد. با توجه به نمودارهای فوق درمی‌یابیم که تغییر دمای گاز خوراک به برج جذب تاثیر گذاری کمتری روی میزان  $H_2S$  و  $CO_2$  گاز شیرین تولیدی، مصرف انرژی کل و بخار واحد می‌گذارد. البته همانطور که مشاهده می‌شود با ازدیاد دمای ورودی گاز به

جدول ۱۰ - تاثیر میزان فشار برج احیاء آمین

دمای ریبویلر °C	میزان بارگذاری گازهای اسیدی در جریان آمین ضعیف		انرژی مصرفی در کل واحد kj/h	بخار مصرفی در ریبویلر kg/hr	گاز شیرین تولیدی		فشار برج احیاء آمین Bar g
	Mol CO <sub>2</sub> /mol MDEA	Mol H <sub>2</sub> S/mol MDEA			CO <sub>2</sub> (%)	H <sub>2</sub> S (ppm)	
129	0.00050	0.00374	105907792	24883	2.264	26.92	1.1
131	0.00051	0.00370	103388728	24294	2.265	26.62	1.3
134	0.00051	0.00356	102811357	24153	2.266	25.43	1.5
136	0.00052	0.00336	103325053	24264	2.267	23.77	1.7
139	0.00053	0.00314	104488152	24526	2.269	21.93	1.9
140	0.00054	0.00302	105229726	24694	2.270	20.99	2
145	0.00056	0.00245	109840229	25744	2.274	16.54	2.5



شکل ۴۰- تاثیر میزان فشار برج احیاء آمین روی میزان H<sub>2</sub>S گاز شیرین تولیدی



شکل ۴۱- تاثیر میزان فشار برج احیاء آمین روی میزان CO<sub>2</sub> گاز شیرین تولیدی



- ۱- با توجه به جدول ۱۰، افزایش فشار در برج احیاء (دفع) باعث بالا رفتن دمای ریبویلر می‌شود. حداکثر دمای ریبویلر برای متیل دی اتانول آمین جهت جلوگیری از تخریب آمین (Amine Degradation)  $130^{\circ}\text{C}$  است. به همین دلیل نمی‌توان فشار برج دفع (بالای برج) را بیشتر از  $2/1\text{ bar g}$  بالا برد. ولی به صورت تئوری همانطور که نمودار نشان می‌دهد با افزایش فشار برج دفع، دمای ریبویلر افزایش و آمین ضعیف با بارگذاری کمتری، از ته برج خارج و نهایتاً به برج جذب وارد می‌شود و راندمان جذب  $\text{H}_2\text{S}$  را افزایش داده و میزان  $\text{H}_2\text{S}$  در گاز شیرین تولید شده، کاهش می‌یابد. اما به دلیل مکانیسم متفاوت جذب  $\text{CO}_2$  در برج جذب، تغییری در این فاکتور مطابق شکل ۴۱ دیده نمی‌شود.

#### ۴- خلاصه

- در این مقاله یک هیبرید جدید از الگوریتم ژنتیک از ترکیب ژنتیک الگوریتم عادی با الگوریتم جستجوی مجذوری بررسی شده است. از این الگوریتم جدید برای بهینه‌سازی اقتصادی یک واحد فرآیند شیرین‌سازی گاز از طریق اتصال به یک شبیه‌ساز استفاده شد. از آنجا که محاسبه میزان تابع هدف در مسایل بهینه‌سازی که در آن یک شبیه‌ساز با یک بهینه‌ساز خارجی در ارتباط است شامل حجم محاسبات خیلی بالایی است، لذا انتخاب و به کار بردن یک الگوریتم جستجوی کارآمد به منظور کاهش تعداد دفعات محاسبه تابع هدف از اهمیت بسیار بالایی برخوردار است. و این در حالی است که ژنتیک الگوریتم با جستجوی مجذوری، تمامی این شرایط را به علت ترکیب کردن مزایای ژنتیک الگوریتم و الگوریتم جستجوی مجذوری دارا است. همچنین این روش می‌تواند بهینه مطلق با احتمال ناپیوستگی بالا را به خوبی بهینه‌سازی غیر محدب و با همگرایی بهتر از ژنتیک الگوریتم عادی تعیین کند. کارایی ژنتیک الگوریتم با جستجوی مجذوری و ژنتیک الگوریتم عادی برای حل مسایل بهینه‌سازی فرآیند شیرین‌سازی گاز نشان می‌دهد که همگرایی ژنتیک الگوریتم با جستجوی مجذوری در تمامی موارد بهتر و حداقل قابل مقایسه با ژنتیک الگوریتم عادی است. قسمت جستجوی مجذوری در ژنتیک الگوریتم با جستجوی مجذوری در بسیاری از مواقع به عنوان یک اپراتور ژنتیک نظیر جهش و قطع عمل کرده که سبب کاهش تعداد نسل‌های مورد نیاز برای تعیین بهینه با سطح دقت مشخص می‌شود که در همان زمان مشخص با توجه به هزینه موجود برای محاسبات ریاضی در هر نسل توسط ژنتیک الگوریتم عادی قابل محاسبه نیست.
- ۲- افزایش میزان آمین در گردش باعث:
- افزایش در میزان جذب  $\text{H}_2\text{S}$  و  $\text{CO}_2$  در برج جذب می‌شود. به این صورت گاز شیرین تولیدی دارای مقدار کمتری گازهای اسیدی خواهد بود.
  - افزایش در هزینه‌های عملیاتی فرایند به علت افزایش بار حرارتی ریبویلر برج دفع و در انرژی مصرفی کل واحد می‌شود.
  - کاهش در سودآوری سیستم به علت افزایش در هزینه‌های عملیاتی فرایند می‌شود.
- ۳- افزایش میزان غلظت آمین باعث:
- افزایش در میزان جذب  $\text{H}_2\text{S}$  و  $\text{CO}_2$  در برج جذب می‌شود. به این صورت گاز شیرین تولیدی دارای مقدار کمتری گازهای اسیدی خواهد بود.
  - افزایش در هزینه‌های عملیاتی فرایند، به علت افزایش بار حرارتی ریبویلر برج دفع و انرژی مصرفی کل واحد می‌شود.
  - کاهش در سودآوری سیستم به علت افزایش در هزینه‌های عملیاتی فرایند می‌شود.

در این تحقیق همانگونه که مشاهده شد تمامی پارامترهای مورد بررسی در محدوده ظرفیت دستگاه‌های موجود در واحد، مورد مطالعه قرار گرفتند تا نتایج به دست آمده از کمترین میزان هزینه برای اعمال بر روی فرایند برخوردار باشند.

#### ۵- منابع

1. Abdel-Aal, H. K., M. Eggour, and M.A.Fahim, 2003. Petroleum and Gas Field Processing, Marcel Dekker, Inc., New York, 43 pp.
2. Agarwal, P., and DK. Sharma, 2010. Comparative studies on the biodesulfurization of crude oil with other desulfurization techniques and deep desulfurization through integrated processes, *Energy Fuels*, 24: 518–524.
3. Anisimov AV, and AV.Tarakanova, 2009, Oxidative desulfurization of hydrocarbon raw materials,
4. *Russian Journal of General Chemistry*, 79: 1264–1273.
5. Brieva G.B., JM. Campos-Martin, SM. Al-Zahrani, and JLG. Fierro, 2010. Removal of refractory organic sulphur compounds in fossil fuels using MOF sorbents, *Glob NEST Journal*, 12: 296–304.
6. Ismagilov, Z., S. Yashnik, M. Kerzhentsev, V. Parmon, A. Bourane, FM. Al-Shahrani, AA. Hajji, and OR. Koseoglu, 2010. Oxidative desulfurization of hydrocarbon fuels, *Catalysis Reviews-science and Engineering*, 53: 199–255.
7. Seeberger A, and A. Jess, 2010. Desulfurization of diesel oil by selective oxidation and extraction of sulphur compounds by ionic liquids: a contribution to a competitive process design, *Green Chemistry*, 12: 602–608.

#### ۴- افزایش فشار برج جذب آمین باعث:

- افزایش در میزان جذب  $H_2S$  و  $CO_2$  در برج جذب می شود. به این صورت گاز شیرین تولیدی دارای مقدار کمتری گازهای اسیدی خواهد بود.
- افزایش در هزینه‌های عملیاتی فرایند، به علت افزایش بار حرارتی ریپویلر برج دفع و انرژی مصرفی کل واحد می شود.
- کاهش در سودآوری سیستم به علت افزایش در هزینه‌های عملیاتی فرایند می شود.

#### ۵- افزایش دمای بالای برج احیاء باعث:

- افزایش در میزان جذب  $H_2S$  در برج جذب، به دلیل کاهش بار اسیدی در آمین ضعیف تولید شده توسط دمای بیشتر در ریپویلر می شود. به این صورت گاز شیرین تولیدی دارای مقدار کمتری  $H_2S$  خواهد بود ولی میزان  $CO_2$  تغییر نمی کند.
- افزایش در هزینه‌های عملیاتی فرایند، به علت افزایش بار حرارتی ریپویلر برج دفع و انرژی مصرفی کل می شود.
- کاهش در سودآوری سیستم به علت افزایش در هزینه‌های عملیاتی فرایند می شود.

#### ۶- افزایش دمای گاز خوراک ورودی به برج جذب آمین باعث:

- کاهش در میزان جذب  $H_2S$  و تا حدودی  $CO_2$  در برج جذب می شود. به این صورت گاز شیرین تولیدی دارای مقدار بیشتری گازهای اسیدی خواهد بود.
- افزایش جرئی در هزینه‌های عملیاتی فرایند، به علت افزایش انرژی مصرفی کل سیستم می شود.
- کاهش جرئی در سودآوری سیستم به علت افزایش در هزینه‌های عملیاتی فرایند می شود.

#### ۷- افزایش فشار برج احیاء باعث:

- افزایش در میزان جذب  $H_2S$  در برج جذب، به دلیل کاهش بار اسیدی در آمین ضعیف تولید شده توسط دمای بیشتر در ریپویلر می شود. به این صورت گاز شیرین تولیدی دارای مقدار کمتری  $H_2S$  خواهد بود. ولی میزان  $CO_2$  تغییر نمی کند.
- افزایش دمای ریپویلر برج دفع می شود و جهت جلوگیری از تخریب آمین به وسیله حرارت، نمی توان فشار برج دفع را از  $1/2$  bar g بالاتر برد.



# Optimization and evaluation gas sweetening unit using genetic algorithm with quadratic search

Taraneh Jafari Behbahani<sup>1\*</sup>, Iraj Mosherefi<sup>2</sup>

<sup>1</sup>Research Institute of Petroleum Industry (RIPI), P.O.Box 14665-1998, Tehran, Iran

## Abstract

Associated Gas with crude oil containing hydrogen sulfide, and amine solutions should be used to sweeten it. The genetic/quadratic search algorithm (GQSA) is a hybrid genetic algorithm (GA) for optimizing plant economics when a process simulator models the plant. By coupling a regular GA with an algorithm based upon a quadratic search, the required number of objective function evaluations for obtaining an acceptable solution decreases significantly in most cases. The GQSA combines advantages of GA and quadratic search techniques, e.g. determining a global optimum for a problem with a high probability for discontinuous as well as non-convex optimization problems while at the same time providing faster convergence than conventional GA. The performance of both the GQSA and the GA was compared using four different test functions and an economic optimization problem for a turbo-expander process. Numerical test results indicate that the convergence of the GQSA is either better than or at least comparable to those of GA for all tests employing the same genetic parameters. Also, the results show that the high concentration of ethanol amine increase acid gas absorption, power, steam and water consumption and thus operating costs increase. Also, high temperature of the inlet amine decreases the H<sub>2</sub>S absorption. It also reduces power consumption and increases the amount of makeup water and ultimately reduces operating costs. Increase the amount of circulating amine and overhead stream from the tower increase the acid gas absorption, electricity consumption and the operational cost.

**Keywords:** Sour gas, Gas sweetening, Amine, Optimization, Genetic algorithm, quadratic search.

<sup>1</sup> \* jafarit@ripi.ir

