Archive of SID

مجموعه مقالات ششمین کنفرانس انرژی و محیط زیست
دوم دی ۱۳۹۵، ایران، تهران، مرکز همایش‌های صدا و سیما
۰۹۱۹۷۵۵۶۴۲۴ - (۰۲۱) ۸۸۶۷۱۶۷۶
مجریان: انجمن علمی مهندسی حرارتی و برودتی ایران
و هم اندیشان انرژی کیمیا
www.Energyconf.ir

# بهینه‌سازی زمان واقعی (RTO) واحد شیرین‌سازی گاز؛ نتایج شبیه‌سازی و میدانی

**حامد نجاتیان دارابی:** مهندس فرآورش شرکت بهره‌برداری نفت و گاز گچساران
**علی پورحقیقی:** سرپرست گروه تاسیسات گاز و گاز مایع اداره مهندسی فرآورش شرکت بهره برداری نفت و گاز گچساران
**مرتضی انصاری:** سرپرست تاسیسات گاز اداره مهندسی فرآورش شرکت بهره برداری نفت و گاز گچساران
شرکت ملی مناطق نفت خیز جنوب
hamed.nejatiyan@gmail.com

## چکیده

در این مقاله به شبیه‌سازی و بهینه‌سازی زمان واقعی (RTO) یکی از واحدهای شیرین‌سازی گاز شرکت ملی مناطق نفت‌خیز جنوب پرداخته شده است. شبیه‌سازی و بهینه‌سازی فرآیند با استفاده از نرم‌افزار ASPEN HYSYS انجام شده است. بهینه‌سازی فرآیند با تعریف تابع هدف و محدودیت‌های عملیاتی و طراحی واحد مورد مطالعه با استفاده از زیر صفحه بهینه‌ساز نرم‌افزار انجام شده است. هدف بهینه‌سازی این واحد به حداکثر رساندن سود واحد با بهینه کردن متغییرهای عملیاتی با در نظر گرفتن محدودیت‌های موجود می‌باشد. نتایج به دست آمده از بهینه‌سازی پس از پایش میدانی در واحد مورد نظر اعمال شده و نتایج ذکر شده است.

**واژگان کلیدی:** شیرین‌سازی گاز، بهینه‌سازی، شبیه‌سازی، RTO

www.Energyconf.ir

www.SID.ir

Archive of SID

مجموعه مقالات ششمین کنفرانس انرژی و محیط زیست
دوم دی ۱۳۹۵، ایران، تهران، مرکز همایش‌های صدا و سیما
۰۹۱۹۷۵۵۶۴۲۴ - (۰۲۱) ۸۸۶۷۱۶۷۶
مجریان: انجمن علمی مهندسی حرارتی و برودتی ایران
و هم اندیشان انرژی کیمیا
www.Energyconf.ir

## ۱- مقدمه

بهینه‌سازی زما واقعی[1] (RTO) ارزیابی مجدد پیوسته و تغییر شرایط عملیاتی فرآیندی می‌باشد که در معرض محدودیت-های عملیاتی است، به‌طوری‌که بهره‌وری اقتصادی فرآیند حداکثر شود [۱]. برای این‌که واحد شیرین‌سازی گاز در شرایط بهینه کار کند، مقادیر بهینه برای نقطه تنظیم کنترل‌کننده‌ها توسط بهینه سازی زمان واقعی تعیین می‌شود [۲]. مزایای RTO پایا عبارتند از[۳]:

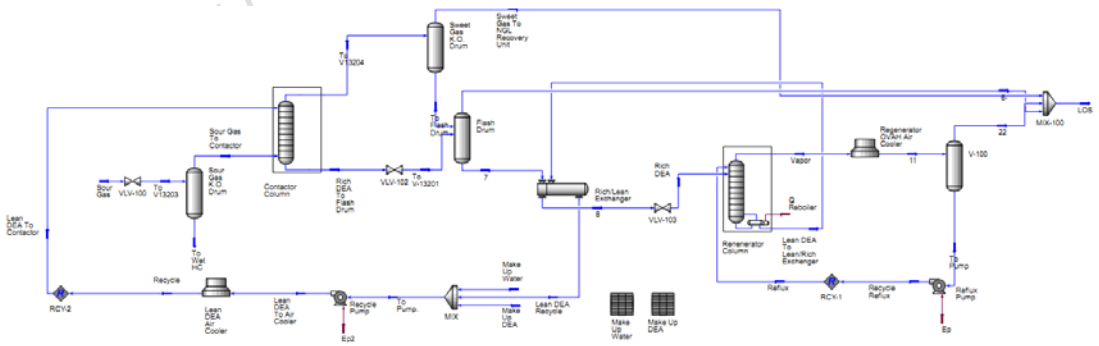
(۱) بهبود بازدهی فرآیند؛
(۲) کاهش مصرف انرژی؛
(۳) افزایش ظرفیت تجهیزات؛
(۴) کاهش هزینه‌های نگهداری تجهیزات؛
(۵) توانایی بهتر مهندسان و اپراتورها به عنوان ابزار نگهداری سیستم؛
(۶) هزینه کم طراحی فرآیند درصورتی که طراحی فرآیند جدید شامل RTO باشد.

نرم‌افزارهای مختلفی به منظور بهینه‌سازی فرآیند مورد استفاده قرار می‌گیرند. در نرم‌افزار ASPEN HYSYS امکانات بهینه‌سازی فرآیند قرار داده شده است که کاربر می‌تواند برای واحد شبیه‌سازی شده، با تعریف تابع هدف و محدودیت‌های موجود و همچنین متغیرهای آزاد بهینه‌سازی، به راحتی بهینه‌سازی را انجام دهد [۴].

در این مقاله یکی از واحدهای شیرین‌سازی گاز شرکت ملی مناطق نفت‌خیز جنوب برای RTO استفاده شده است. در ابتدا واحد با استفاده از HYSYS شبیه‌سازی شده است. بهینه سازی فرآیند با استفاده از بسته بهینه‌سازی این نرم افزار انجام شده است. در نهایت نتایج حاصل از بهینه‌سازی پس از آزمایش میدانی، در واحد مورد نظر اعمال و نتایج به‌دست آمده، ذکر شده است.

## ۲- شبیه‌سازی واحد

با توجه به شرایط میدانی واحد شیرین سازی مورد مطالعه (شرایط ذکر شده در جدول ۱)، شبیه سازی این واحد انجام شده است. مدل شبیه سازی شده در شکل ۱ نشان داده شده است.



**شکل ۱: مدل شبیه سازی شده واحد شیرین سازی گاز.**

[1] Real time optimization

www.SID.ir

Archive of SID

مجموعه مقالات ششمین کنفرانس انرژی و محیط زیست
دوم دی ۱۳۹۵، ایران، تهران، مرکز همایش‌های صدا و سیما
۰۹۱۹۷۵۵۶۴۲۴ - (۰۲۱) ۸۸۶۷۱۶۷۶
مجریان: انجمن علمی مهندسی حرارتی و برودتی ایران
و هم اندیشان انرژی کیمیا
www.Energyconf.ir

**جدول ۱: شرایط عملیاتی واحد شیرین سازی گاز.**

| پارامتر | مقدار | واحد |
|---|---|---|
| مقدار گاز ترش | ۷۰ | MMSCFD |
| دمای گاز ترش | ۳۳/۲ | °C |
| فشار گاز ترش | ۳۳/۳ | bar |
| مقدار $CO_2$ در گاز ترش | ۲۷۰۰۰ | ppm |
| مقدار $H_2S$ در گاز ترش | ۸۵۰۰۰ | ppm |
| مقدار DEA سبک | ۷۵۰۰ | kgmole/h |
| دمای DEA سبک | ۴۵ | °C |
| فشار DEA سبک | ۴۱/۱ | bar |
| مقدار $CO_2$ در DEA سبک | ۱۵۰۰ | ppm |
| مقدار $H_2S$ در DEA سبک | ۵۰۰ | ppm |
| تعداد سینی‌های برج جذب | ۲۴ | |
| بازدهی سینی‌های برج جذب | ۲۸ | % |
| تعداد سینی‌های برج احیاء | ۲۰ | |
| دمای ریبویلر | ۱۲۰/۳ | °C |
| فشار بالای برج احیاء | ۱/۴ | bar |
| فشار پایین برج احیاء | ۱/۷ | bar |
| مقدار بخار آب ورودی به ریبویلر | ۲۶۹۴۰ | kg/h |

## ۳- بهینه‌سازی فرآیند

### ۳-۱- تعریف تابع هدف و محدودیت‌ها

معمولاً تابع هدف برای RTO بیان کننده مدل اقتصادی فرآیند است که به پارامترهای اثر گذار عملیاتی محدود و در آن هزینه‌های ثابتی مانند هزینه آزمایشگاه نادیده گرفته می‌شود. تابع هدف سود شامل جمع قیمت محصول منهای هزینه‌های خوراک و واحد Utility است. تابع هدف سود برای واحد مورد مطالعه طبق معادله (۱) تعریف می‌شود [۱]:

$$Max\{\sum_{i=1}^{n} C_{Product} - C_{feed} - C_{utilities}\} \quad (1)$$

که،

$C_{Product}$= هزینه جریان محصول ($/h)

www.SID.ir

Archive of SID

مجموعه مقالات ششمین کنفرانس انرژی و محیط زیست
دوم دی ۱۳۹۵، ایران، تهران، مرکز همایش‌های صدا و سیما
۰۹۱۹۷۵۵۶۴۲۴ - (۰۲۱) ۸۸۶۷۱۶۷۶
مجریان: انجمن علمی مهندسی حرارتی و برودتی ایران
و هم اندیشان انرژی کیمیا
www.Energyconf.ir

$C_{Feed}$= هزینه جریان خوراک ($/h)

$C_{utilities}$= کل هزینه Utility ($/h)

بهینه‌سازی اقتصادی واحد شیرین‌سازی گاز یک مساله بهینه‌سازی غیر خطی، پایا و محدود شده است. مطابق معادله (۱) تابع هدف برای واحد به صورت معادله (۲) خلاصه می‌شود:

$$Max\{C_{sweet\ gas} - C_{sour\ gas} - (Electerical\ Cost + Steam\ Cost)\} \quad (۲)$$

هزینه گاز شیرین، گاز ترش و Utility از شرکت ملی نفت ایران (انجمن بین‌المللی مطالعات انرژی ایران) به‌دست آمده و در جدول (۲) نشان داده شده است [۱]. برای حل معادله فوق باید محدودیت‌های عملیاتی نیز، در نظر گرفته شود. علاوه بر محدودیت‌های ثابتی که در مدل شبیه‌سازی اعمال شده است، ۵ محدودیت نابرابری دیگر لازم است. این محدودیت‌های نابرابری از بهینه‌سازی اقتصادی خارج از محدوده‌های ایمنی واحد، مشخصه‌های کیفیت محصول و دیگر محدودیت‌های عملیاتی جلوگیری می‌کند. محدودیت‌های نابرابری اعمال شده در واحد مورد مطالعه در جدول (۳) نشان داده شده است.

**جدول ۲: هزینه جریان‌ها و Utility واحد [۱].**

| پارامتر | قیمت | واحد |
|---|---|---|
| گاز ترش | ۰/۳ | $/m$^3$ |
| گاز شیرین | ۰/۴۲ | $/m$^3$ |
| الکتریسیته | ۰/۱۰۵ | $/kWh |
| بخار | ۱۱ | $/ton |
| آب | ۰/۳ | $/m$^3$ |

**جدول ۳: محدودیت‌های نابرابری مورد نیاز برای بهینه‌سازی.**

| پارامتر | حد پایین | حد بالا | واحد |
|---|---|---|---|
| میزان $H_2S$ در گاز شیرین | ۰ | ۴ | PPM |
| میزان $CO_2$ در گاز شیرین | ۰ | ۲۰ | PPM |
| فشار برج احیاء آمین | ۱/۴ | ۱/۷ | bar |
| بارگذاری گازهای اسیدی در آمین سبک خروجی برج احیاء | ۰/۰۲ | ۰/۱ | - |
| دمای پایین برج | ۱۱۵ | ۱۲۵ | °C |

### ۳-۲- اثر RTO بر واحد شیرین‌سازی گاز

www.SID.ir

Archive of SID



بعد از شبیه‌سازی واحد توسط نرم افزار HYSYS، واحد بر اساس تابع سود تعریف شده (معادله ۲) بهینه‌سازی شده است. روش SQP[1] به عنوان روش بهینه‌سازی استفاده می‌شود، این روش برای بهینه‌سازی با محدودیت مساوی و نامساوی به‌کار می‌رود [۴]. پارامترهایی که مورد بهینه سازی قرار گرفته است، عبارتند از:

- دمای بالا و پایین برج احیاء،
- فشار بالا و پایین برج احیاء،
- دبی مولی آمین در گردش،
- بارگذاری گازهای اسیدی برای آمین سبک خروجی برج احیاء،
- دمای آمین سبک ورودی به برج تماس.

هدف بهینه‌سازی واحد بهینه کردن پارامترهای فوق به‌گونه‌ای است که تابع سود در حداکثر مقدار ممکن قرار گیرد. مقدار این پارامترها و همچنین مقدار سود واحد قبل و بعد از بهینه‌سازی در جدول (۴) نشان داده شده است. بهینه‌سازی فرآیند به‌گونه انجام شده است که فشار بالای برج از مقدار ۱/۴ بار به مقدار ۱/۷ بار افزایش یافته است. افزایش فشار باعث کاهش مصرف بیهوده بخار آب در ریبویلر برج احیاء آمین می‌شود. با توجه به اینکه تولید بخار دارای هزینه‌ی بالایی در واحد Utility می‌باشد، کاهش میزان بخار مصرفی به کاهش کل هزینه واحد شیرین‌سازی منجر می‌شود. علاوه بر این بهینه‌سازی انجام شده منجر به کاهش دبی در گردش آمین از مقدار ۷۵۰۰ Kgmole/h به ۵۶۴۴ Kgmole/h شده است. کاهش دبی در گردش آمین علاوه بر کاهش هزینه‌های پمپاژ و خنک سازی آن، به کاهش میزان بخار مصرفی برای احیاء آن و کاهش هزینه Utility منجر می‌شود.

دمای مطلوب آمین ورودی به برج تماس باید به گونه‌ای باشد که از دمای گاز ۵ تا ۱۰ درجه فارنهایت بالاتر باشد. تحت دمای ثابت گاز ۳۳/۳ درجه سانتی‌گراد، بهینه‌سازی فرآیند منجر به افزایش دمای آمین سبک از ۴۵ درجه سانتی‌گراد به ۶۰ درجه سانتی‌گراد شده است. در این حالت بدون خارج شدن شرایط گاز شیرین از شرایط استاندارد، توان مصرفی خنک کننده آمین کاهش می‌یابد و درنتیجه باعث کاهش هزینه الکتریسیته مصرفی می‌شود.

همان‌طور که از جدول (۴) مشاهده می‌شود، بهینه‌سازی به گونه‌ای انجام شده است که مقدار سود از مقدار ۶۳۳۲/۵ $/h به ۷۷۲۴/۲۵ $/h افزایش یافته است. پس از بهینه نمودان پارامتراهای مختلف ذکر شده، این پارامترها در واحد شیرین‌سازی مورد مطالعه به صورت میدانی اعمال شده است.

**جدول ۴: مقدار پارامترها و سود قبل و بعد از بهینه‌سازی فرآیند.**

| پارامتر | قبل از بهینه‌سازی | بعد از بهینه‌سازی | واحد |
|---|---|---|---|
| میزان $H_2S$ در گاز شیرین | ۲/۸ | ۳/۹ | PPM |
| میزان $CO_2$ در گاز شیرین | ۲۴ | ۱۹/۹ | PPM |
| فشار بالای برج احیاء | ۱/۴ | ۱/۷ | Bar |
| فشار پایین برج احیاء | ۱/۷ | ۱/۷ | Bar |
| بارگذاری گازهای اسیدی در آمین سبک | ۰/۰۲ | ۰/۰۲ | - |

[1]Sequential quadratic programming

www.SID.ir

Archive of SID



| | | | |
|---|---|---|---|
| دمای بالای برج احیاء | ۱۰۴ | ۱۰۰ | C |
| دمای پایین برج احیاء | ۱۲۰/۳ | ۱۱۹/۷ | C |
| دبی جرمی بخار LP | ۲۶۹۴۰ | ۱۳۵۶۰ | Kg/h |
| دبی مولی آمین درگردش | ۷۵۰۰ | ۵۶۴۴ | Kgmole/h |
| دمای آمین سبک ورودی به برج تماس | ۴۵ | ۶۰ | C |
| مقدار تابع سود | ۶۳۳۲/۵ | ۷۷۲۴/۲۵ | $/h |

## ۴- نتایج میدانی

مقادیر بهینه به‌دست آمده برای فشار برج احیاء آمین، دمای DEA سبک ورودی به برج تماس و میزان دبی DEA در گردش در جدول (۴) ذکر شد. با توجه به نتایج مطلوب به‌دست آمده برای میزان $H_2S$ و $CO_2$ گاز خروجی برج جذب و میزان بخار مصرفی ریبویلرهای برج احیاء آمین توسط نرم افزار ASPEN HYSYS بر اساس مقادیر بهینه به‌دست آمده برای پارامترهای مذکور (جدول ۴)، این مقادیر در واحد شیرین سازی مجتمع مورد مطالعه اعمال گردید. نتایج عملیاتی به دست آمده در جدول (۵) آورده شده است. نتایج نشان می‌دهد که با بهینه نمودن پارامترهای ذکر شده با قرار داشتن مقدار $H_2S$ و $CO_2$ گاز شیرین در محدوده مجاز، مقادیر مقدار بخار آب مصرفی ریبویلر برج احیاء آمین و دبی آمین در گردش، کاهش یافته است. کاهش میزان آمین در گردش علاوه بر کاهش مصرف بیهوده بخار برای احیاء آمین در گردش اضافی موجود در سیستم، باعث کاهش هزینه‌ی الکتریسیته (خنک کردن و پمپاژ) نیز می‌گردد.

**جدول ۵: مقایسه مقادیر میدانی میزان $H_2S$ و $CO_2$ گاز خروجی برج جذب، میزان بخار مصرفی ریبویلرهای برج احیاء آمین و میزان دبی آمین در گردش قبل و بعد از بهینه‌سازی.**

| پارامتر فرآیندی | مقدار واقعی عملیاتی تحت شرایط بهینه نشده | مقدار واقعی عملیاتی تحت شرایط بهینه شده |
|---|---|---|
| مقدار $H_2S$ گاز خروجی برج جذب | ۳ ppm | ۲ ppm |
| مقدار $CO_2$ گاز خروجی برج جذب | ۱۰ ppm | ۹ ppm |
| مقدار بخار آب ورودی به ریبویلر | ۲۰۹۳۰ Kg/h | ۱۲۶۰۰ Kg/h |
| دبی آمین در گردش | ۷۵۰۰ Kgmole/h | ۵۹۰۰ Kgmole/h |

## ۵- نتیجه‌گیری

www.Energyconf.ir

www.SID.ir

Archive of SID



در این مقاله به بررسی RTO واحد شیرین‌سازی گاز پرداخته شد. نتایج نشان می‌دهد که بهینه‌سازی فرآیند باعث کاهش میزان بخار مصرفی و دبی آمین در گردش و درنتیجه کاهش هزینه‌های یوتیلیتی شامل هزینه تولید بخار و الکتریسیته تحت محدودیت‌های عملیاتی اعمال شده می‌شود. این بهینه‌سازی منجر به افزایش سود واحد از مقدار ۶۳۳۲/۵ $/h به ۷۷۲۴/۲۵ $/h می‌شود. این افزایش سود تنها با تغییر در شرایط عملیاتی مانند دما، فشار و میزان دبی در گردش آمین حاصل می‌شود.

## قدردانی

نویسندگان کمال تشکر خود را از شرکت ملی نفت ایران و همچنین شرکت ملی مناطق نفت خیز جنوب و شرکت بهره‌برداری نفت و گاز گچساران ابراز می‌نمایند.

## مراجع

1. Asadi, I., Asadi, E., "*Investigation on effect of real time optimization (RTO) on reducing energy consumption in the gas sweetening plant in Iran*".
2. Forbes, J.F., and Marlin T.E., "*Design cost: a systematic approach to technology selection for model based real-time optimization*", Comp. Chem. Eng. 20, 717–734, 1996.
3. Latour, P. R., "*Online computer optimization: Benefits and implementation. Hydrocarbon Process*". 58(7):219-223, 1979.

۴. باغمیشه، غ.، درستی، ر.، مرادزاده، م.، "*مرجع کامل شبیه‌سازی فرآیندهای پایا با HYSYS*"، ۱۳۹۰.

www.Energyconf.ir

www.SID.ir