شبیه‌سازی واحد شیرین‌سازی گازطبیعی با محلول آمین با نرم‌افزار PROMAX

ترانه جعفری بهبهانی[*1]، ایرج مشرفی[2]

[1]عضو هیئت علمی پژوهشگاه صنعت نفت، پژوهشکدهٔ توسعهٔ فناوری‌های پالایش و فراورش نفت، تهران، استان تهران، ایران، صندوق پستی 137-14665

[2]دانشگاه آزاد اسلامی، واحد تهران شمال، گروه مهندسی شیمی، تهران، ایران

دریافت: 94/6/1 پذیرش: 95/12/1

چکیده

در این تحقیق با استفاده از نرم‌افزار Promax واحد شیرین سازی گاز ترش شبیه‌سازی شده و تاثیر تغییر پارامترهای فرایندی مورد بررسی قرار گرفته است. برای مقایسه داده‌ها نیز شبیه‌سازی فرایند با برنامه Hysys نیز انجام شده است پارامترهای فرایندی که روی میزان مصرف انرژی و کیفیت گاز شیرین تولیدی تاثیر می‌گذارند دمای آمین ضعیف ورودی به برج جذب، میزان آمین در گردش، غلظت آمین، دمای گاز خوراک ورودی به برج جذب، میزان فشار برج جذب و برج احیا، میزان جریان بخار مصرفی در ری‌بویلر برج احیا یا دمای بالای برج احیا می‌باشند نتایج این تحقیق نشان می‌دهد که وجود آمونیاک در گاز ترش ورودی تاثیری بیش‌تری بر حضور دی‌اکسیدکربن نسبت به هیدروژن سولفاید در گاز شیرین شده دارد. نتایج نشان می‌دهد که میزان خطای نرم‌افزار promax در محاسبه غلظت ترکیبات سبک در گاز شیرین کم‌تر از نرم‌افزار hysys است

کلمات کلیدی: شیرین‌سازی گاز، آمین، پارامترهای فرآیندی، Promax

مقدمه

در دنیای رقابتی امروز شرکت‌های طراحی و تولیدی فرآیندهای نفتی، نیازمند سرعت و دقت فراوان در طراحی بهینه فرایندها هستند. این عمل باید به صورتی انجام گیرد که حداقل تکرار محاسبات را نیز به دنبال داشته باشد. شبیه‌سازی فرایند ابزاری است مفید و موثر برای دست‌یابی به اهدافی مانند:

* jafarit@ripi.ir

- انتخاب بهینه و درست تجهیزات مطابق با اهداف طراحی [1].؛
- ارزیابی صحیح تغییرات خوراک، نوسانات و خارج از سرویس نمودن تجهیزات [2].؛
- ایمنی، قابلیت اعتماد و سودمندی در طول عمر مجتمع [3].؛
- در اختیار قراردادن داده‌هایی از سیستم که اندازه‌گیری آنها در شرایط واقعی دشوار و یا حتی غیرممکن است [4 و 5].

نرم‌افزارهای شبیه‌سازی به‌گونه‌ای برنامه‌نویسی شده‌اند که صحت و سرعت شبیه‌سازی را با سادگی کار تلفیق می‌کنند. برای طراحی‌های جدید، این نرم‌افزارها قادر هستند به سرعت مدل‌ها را برای ارزیابی گزینه‌های متعدد به‌وجود آورند. پس از گزینش چند طرح برتر، می‌توان مدل‌هایی بسیار واقع‌بینانه بر مبنای آن‌ها ایجاد نمود که تجهیزات اضافی و جزئیات فرآیند نیز در آن‌ها در نظر گرفته شده باشد. با کمک نرم‌افزارهای شبیه‌ساز می‌توان عملیات مجتمع را به سرعت بهبود بخشید و نیز از درستی کارکرد دستگاه‌ها اطمینان حاصل کرد. برای مثال در تشخیص نقص دستگاه‌ها مانند میزان جرم گرفتگی مبدل‌ها و پدیده طغیان در برج‌های تقطیر می‌توان از آن استفاده نمود. نرم‌افزارهای متعددی برای شبیه‌سازی فرایندها در سال‌های اخیر به بازار عرضه گردیده است. به کمک این نرم‌افزارها می‌توان حتی واحدهای پیچیده‌ای چون پالایشگاه‌ها را به‌منظور طراحی، توسعه، بهبود عملیات و رفع تنگناها به راحتی در مدت زمان بسیار کوتاهی شبیه‌سازی و بهینه‌سازی نمود. در این میان از نرم‌افزارهایی چون PROMAX، HYSYS، ASPEN، PRO/II می‌توان نام برد که در دنیا کاربرد وسیعی دارند. مقایسه‌ی قابلیت‌های هر یک از نرم‌افزارهای موجود و انتخاب نرم‌افزار مناسب، به میزان وسعت اطلاعات کتابخانه‌ای و میزان دقت فراوانی داده‌های ترموفیزیکی موجود در آن وابسته است [6]. به طور کلی در شبیه‌سازی یک فرایند شیمیایی مهم‌ترین قسمت انتخاب مدل‌های خواص فیزیکی برای پیش‌بینی خواص فیزیکی و ترمودینامیکی سیستم است [7]، زیرا خواص فیزیکی در محاسبات مربوط به تمامی مدل‌های توصیف کننده‌ی سیستم دخالت دارند و هر نوع خطای احتمالی در انتخاب یک مدل مناسب برای هر خاصیت فیزیکی موجب بروز خطا در نتایج شبیه‌سازی کل سیستم خواهد شد [8]. در این میان مهم‌ترین خواص مورد نیاز برای انجام محاسبات اصلی بر اساس یک معادله‌ی حالت به دست می‌آید. این خواص شامل حجم مولی، آنتالپی، انرژی آزاد گیبس و ضرایب فوگاسیته برای کلیه‌ی مواد موجود در فرایند می‌گردند. به همین خاطر انتخاب یک معادله‌ی حالت مناسب برای توصیف رفتار ترمودینامیکی مواد موجود در فرایند قسمت عمده‌ای از یک شبیه‌سازی را تشکیل می‌دهد [9].

Al-Musleh فرآیند دفع گازهای اسیدی را با استفاده از محلول MDEA، با استفاده از نرم‌افزار Aspen Plus با مدل تعادلی RadFrace را شبیه‌سازی نموده است [10]. در این تحقیق از مدل الکترولیتی NRTL برای فاز مایع و از معادله ردلیش-گوانگ-ساو و نیز از قانون هنری برای برای فاز گاز استفاده است. ذر این تحقیق برای

تست نتایج از داده‌های واقعی کارخانه‌ای در قطر و نیز نتایج حاصل شده از برنامه شبیه‌ساز Promax که متعلق به شرکت Bryan Research and Engineering است، استفاده گردیده است [10].

مدل‌سازی فرایند

منظور از مدل‌سازی فرایند توصیف ماهیت سیستم تولید (موازنه‌های جرم و انرژی) در قالب معادلات ریاضی است. مدل‌ها اغلب به سه دسته‌ی تئوری، نیمه‌تجربی و تجربی تقسیم می‌شوند. مدل‌های تئوری به‌طور کامل بر اساس قوانین تئوری استوار هستند مانند راکتور هم‌زن‌دار که در صنعت کاربرد کم‌تری دارد. مدل‌های نیمه تجربی بر پایه‌ی روابط تئوری و با استفاده از نتایج اصلاحات به‌وجود می‌آیند. معادلات حالت از این دسته‌اند. مدل‌های تجربی صرفاً بر اساس روابط تجربی شکل گرفته‌اند. معادلات ریاضی در مدل‌ها عموماً غیرخطی و به شکل معادلات جبری، دیفرانسیلی و یا مخلوط آنهاست که همگی به صورت اطلاعات کتابخانه‌ای در نرم‌افزارهای شبیه‌سازی ذخیره شده‌اند که از کنار هم قراردادن این معادلات، مدلی از فرایند ساخته می‌شود [11].

شبیه‌سازی فرایند

منظور از شبیه‌سازی فرایند به دست آوردن اطلاعات خروجی (به طور مثال مشخصات محصول) از طریق حل مدل‌های فوق بر اساس اطلاعات ورودی (برای نمونه مشخصات خوراک) و اطلاعات مربوط به مشخصات دستگاه‌های فرایندی که بخشی از آن‌ها توسط کاربر به نرم‌افزار داده می‌شود، است.

کاربردهای یک نرم‌افزار جامع در مهندسی فرایند

1- مطالعه و بررسی گزینه‌های مختلف خط تولید از نظر افزایش ظرفیت واحد با هدف طراحی و ساخت آن؛
2- جلوگیری از اشتباهات پر خرج در طراحی و ساخت واحد؛
3- استفاده از اطلاعات حاصل از شبیه‌سازی در طراحی دستگاه‌ها، تجهیزات مکانیکی و پایپینگ، ابزاردقیق، سیستم‌های برقی و سازه و ساختمان و قابلیت اتصال نرم‌افزارهای شبیه‌سازی به نرم‌افزارهای طراحی این سیستم‌ها و انتقال اطلاعات به آن‌ها؛
4- پیش‌بینی عملکرد فرایند در شرایط مختلف عملیاتی و تعیین نقطه‌ی بهینه‌ی عملکرد فرایندی از لحاظ کاهش هزینه‌های عملیاتی (مصرف آب، انرژی و ...)، تعیین حداکثر ظرفیت‌های تولید فرایند، بررسی صحت عملکردهای سیستم‌های کنترل موجود و تنظیم مجدد آن‌ها و غیره؛
5- تبادل اطلاعات با نرم‌افزارهای دیگر به صورت دو طرفه، توانایی دست‌ورزی در اطلاعات کتابخانه‌ای، افزودن مدل‌های دلخواه کاربر و اجرای برنامه طبق روش دلخواه کاربر [12].

معرفی نرم‌افزار PROMAX

در سال 1974 شرکت BR&E[1] توسعه‌ی نرم‌افزار شبیه‌سازی برای واحدهای بازیافت سولفور[2] را شروع کرد. در سال 1976 این برنامه تحت عنوان Sulfur عرضه شد [13]. در سال 1978 پکیج‌های شبیه‌سازی واحدهای آمین به آن اضافه شد و نرم‌افزار جدید به نرم‌افزار Tsweet تغییر نام داد. دومین محصول این شرکت در سال 1980 تحت عنوان Dehy برای مدل‌سازی واحدهای رطوبت زدایی از گاز با گلیکول تولید شد. در سال 1983 پکیج فرآورش گاز طبیعی[3] به برنامه‌ی Dehy اضافه شد و نرم‌افزار جدید به نرم‌افزار Prosim تغییر نام داد. هر دو نرم‌افزار Tsweet و Prosim برنامه‌های تحت MS-Dos بودند در سال 1988 شرکت BR&E یک برنامه‌ی گرافیکی را توسعه داد که با هر دوی این نرم‌افزارها ارتباط داشت [14]. برای اولین بار در سال 2005 نرم‌افزار Promax که حاصل ادغام دو نرم‌افزار Tsweet و Prosim بود در محیط Microsoft Visio به بازار عرضه شد[15]. نرم‌افزار شبیه‌سازی Promax در حال حاضر یک نرم‌افزار استاندارد برای طراحی واحدهای شیرین‌سازی گاز با آمین و رطوبت‌زدایی از گاز با گلیکول است. و این نرم‌افزار برای شبیه‌سازی و بهینه‌سازی فرایندهای گاز، پالایش و تاسیسات شیمیایی استفاده می‌شود. به این منظور پکیج‌های ترمودینامیکی متنوعی در این نرم‌افزار متناسب با طبیعت فرایندهای گفته شده وجود دارد. در این نرم‌افزار به ترکیبی از 50 بسته‌ی ترمودینامیکی و بالای 2300 ترکیب و مشخصه‌های نفت خام دسترسی وجود دارد. تجهیزات مختلفی در این نرم‌افزار از قبیل خط لوله، تجهیزات دوار، مبدل‌های حرارتی، ظروف، برج‌های تفکیک، راکتورها، غشاها، شیرها و مانند آن به‌منظور شبیه‌سازی وجود دارد. از مزایای دیگر این نرم‌افزار اتصال ساده‌ی آن با نرم‌افزار Excel و کنترل غیرمستقیم تمام اطلاعات از طریق جریان‌ها و بلاک‌ها است [16].

روش حل معادلات در PROMAX

حل دسته معادلات ریاضی (جبری، دیفرانسیلی، خطی یا غیرخطی) حاصل از موازنه‌های جرم و انرژی مربوط به مدل‌سازی تجهیزات مختلف فرایندی همراه با معادلات ترمودینامیکی و سایر معادلات دیگر به روش حل پی درپی (Sequential Modular) است.

ترمودینامیک جامع

مجموعه‌ای معتبر و جامع از خواص مواد خالص (2300 ماده خالص) در این نرم‌افزار قرار داده شده است. همچنین معادلات حالات مختلف، معادلات ضرایب اکتیویته و داده‌های کتابخانه‌ای لازم با 50 بسته

[1] - Brayn Research and Engineering
[2] -Sulfur Recovery
[3] - Natural gas processing

ترمودینامیکی برای مدل‌سازی سیستم بخار، فرایندهای هیدروکربنی و سیستم‌های شیمیایی بسیار غیرایده‌آل نیز وجود دارد. روش‌های ترمودینامیکی مخصوصی برای سیستم‌های غیرایده‌آل در فشار زیاد دارا است.
کتابخانه جامع ترکیبات خالص آنها قابلیت افزودن ترکیبات اختصاصی با استفاده از داده‌های شخصی و یا تهیه ترکیباتی با استفاده از گروه‌های UNIFAC را دارد. همچنین ترکیبات نفتی را با استفاده از داده‌های تقطیر ASTM استاندارد می‌توان به وجود آورد.

واحدهای عملیاتی جامع

در این نرم‌افزار واحدهای عملیاتی متعدد و گوناگونی مانند انواع مبدل‌های حرارتی، تجهیزات دوار مانند پمپ و کمپرسور، جداکننده‌ها، برج‌های تقطیر، راکتورها، عملیات جداسازی جامدات و عمل‌گرهای منطقی موجود است. واکنش‌های شیمیایی یک بار نوشته شده و در طول برنامه در هرجا که مورد نیاز باشند مورد استفاده قرار می‌گیرند. واکنش‌های تکی یا گروهی را می‌توان در انواع واحدهای عملیاتی، نظیر برج‌های تقطیر به‌کار گرفت. در نرم‌افزار Promax قابلیت شبیه‌سازی فرایندهای فرآورش گاز از قبیل جداسازی، شیرین‌سازی و رطوبت‌زدایی از گاز، فرایند مرکاپتان زدایی، فرایند بازیافت گوگرد، فرایند شیرین سازی آب ترش و مانند آن وجود دارد. هم چنین به کمک **این** نرم‌افزار می‌توان محاسبات هیدرولیکی شبکه**ی** خطوط لوله**ی** تولید را انجام داد.

سازگار با فناوری اتوماسیون OLE[1]

بهره‌مندی نرم‌افزار از فن‌آوری اتوماسیون OLE در برگیرنده مزایای زیر برای کاربر است:

1. به‌راحتی می‌توان نتایج محاسبات را به نرم‌افزارهای عمومی نظیر Excel و Word منتقل کرد.
2. چون Promax در محیط Microsoft visio نوشته شده با این برنامه ارتباط کاملی دارد.
3. امکان اتصال با سایر برنامه‌های کاربردی برای جمع‌آوری و تجزیه و تحلیل داده‌ها را فراهم می‌کند. اطلاعات را می‌توان به صورت دستی و یا از طریق ارتباط با سایر برنامه‌های کاربردی پردازش نمود.

به جای صفحات جدای از هم و فایل‌های متعدد ورودی، در این نرم‌افزارها یک فایل تمام داده‌های ترمودینامیکی، متغیرهای عملیاتی موجود و نتایج محاسبه را در خود ذخیره می‌کند. نمودار جریان‌های فرایندی را می‌توان برای استفاده در سایر برنامه‌ها تهیه کرد. مسیرها و محل‌های گوناگون و متنوع برای وارد کردن داده‌ها و مشاهده نتایج محاسبات، امکانات ترسیمی گسترده برای تجسم بهتر نتایج، امکان دسترسی به اطلاعات کتابخانه‌ای برنامه، امکان اجرای برنامه در حالت‌های مختلف و ذخیره‌سازی نتایج تمامی حالت‌ها، بهینه‌سازی متغیرهای عملیاتی، اتصال به صفحه گسترده نظیر Excel، پیش‌بینی خصوصیات ترموفیزیکی مواد خالص و

[1] Object Linking and Embedding

مخلوط‌ها به صورت تابعی از فشار و دما و بسیاری موارد کاربردی دیگر از جمله امکانات جانبی این نرم‌افزار به کاربر است.

بسته ترمودینامیکی

برای شبیه‌سازی یا مدل‌سازی فرایندها و به‌منظور انجام محاسبات تعادلی فازی یا شیمیایی باید مدل ترمودینامیکی مناسبی را انتخاب نمود. انتخاب روش ترمودینامیکی مناسب یکی از مهم‌ترین پارامترها در موفقیت شبیه‌سازی فرایند است. معادلات حالت مانند PR (Peng Robinson) اصولا برای سیستم‌های هیدروکربن گازی مناسب می‌باشند. برای سیستم‌های شیمیایی غیرایده‌آل معمولا بهتر است سیستم ترمودینامیکی دوگانه استفاده نمود. در این روش یک معادله حالت برای پیش‌بینی ضرایب فوگاسیته بخار (معمولا سیستم گاز ایده‌آل، یا معادله حالتی مانند PR) و یک مدل ضریب فعالیت برای فاز مایع استفاده می‌شود. تنظیم پارامترهای مدل ضریب فعالیت باید با یک نمونه از داده‌های تجربی انجام گیرد.

به‌طور کلی دو روش φ-φ و γ-φ برای مدل‌کردن فرایندهای شیمیایی وجود دارد که در صورت انتخاب معادله حالت[1] (EOS) نرم‌افزار تمامی خواص دو فاز مایع و گاز را با معادله حالت انتخاب شده، محاسبه خواهد کرد. البته برای هر معادله حالت می‌توان برخی از موارد را به‌طور جداگانه تنظیم نمود.

یک سیستم دو فازی (مایع و بخار) چند جزئی را در نظر بگیرید. شرط تعادل این دو فاز، برابری پتانسیل شیمیایی تمامی مواد در دو فاز است $\left(\mu_i^l = \mu_i^v\right)$. تغییرات پتانسیل شیمیایی از $-\infty$ تا $+\infty$ است و برخلاف مهندسی برق، نمی‌توان مفهوم فیزیکی روشنی را برای پتانسیل شیمیایی بیان نمود. به همین دلیل فوگاسیته - به مفهوم تمایل به فرار مولکول‌ها- به عنوان شرط تعادل پیشنهاد گردید. به علاوه فوگاسیته از جنس فشار است و مفهوم فیزیکی دارد و دامنه تغییرات آن از صفر تا $+\infty$ است. فوگاسیته بخار را می‌توان با رابطه $f_i^v = y_i P \phi_i$ محاسبه کرد. ولی برای تعریف فوگاسیته مایع برحسب مقدار هر ماده در فاز، دما و فشار مخلوط، از دو رابطه مختلف استفاده می‌شود و برهمین اساس دو روش کلی ترمودینامیکی نیز برای بررسی و ارزیابی تعادلات فازی مایع و بخار ارائه شده است. در ترمودینامیک گفته شد که معادلات حالت سوم، توانایی پیش‌بینی خواص مایع را نیز دارند. به همین دلیل می‌توان از معادله حالتی که برای فاز بخار استفاده می‌شود، برای فاز مایع استفاده نمود. در این صورت فوگاسیته فاز مایع با رابطه $f_i^l = x_i P \phi_i$ محاسبه می‌شود.

$$f_i^l = f_i^v \Rightarrow x_i P \phi_i = y_i P \phi_i \Rightarrow x_i \phi_i = y_i \phi_i \qquad (1)$$

به این روش ترمودینامیکی بررسی فرایندها φ-φ گفته می‌شود که استفاده از آن فقط با معادلات حالت درجه سوم و برای موادی مناسب است که انحراف زیادی از حالت ایده‌آل ندارند. موادی مانند الکل، اسید و غیره انحراف زیادی از حالت ایده‌آل دارند و در صورت حضور آن‌ها در هر فرایند یا سیستمی، دیگر نمی‌توان فوگاسیته

[1] Equation Of State

مواد در فاز مایع را از معادله حالت محاسبه کرد و برای در نظرگرفتن انحراف زیاد فاز مایع از حالت ایده‌آل، مدل‌های ضرایب فعالیت را باید به‌کار برد. بنابراین فوگاسیته فاز مایع از رابطه زیر محاسبه می‌گردد [17].

$$f_i^l = f_i^v \Rightarrow x_i P_i^{sat} \phi_i^{sat} \gamma_i \exp\left(\int_{P_i^{sat}}^{P} \frac{v_l^i}{RT} dP\right) = y_i P \phi_i \qquad (2)$$

به عبارت دیگر برای نشان دادن انحراف فازهای مایع و بخار از حالت ایده‌آل، به ترتیب از مدل ضریب فعالیت و معادله حالت گاز استفاده می‌شود. به این روش ترمودینامیکی بررسی فرایندها γ-φ گفته می‌شود. به بیان دیگر می‌توان گفت:

- معادلات حالت برای ترکیبات هیدروکربنی در بازه‌ی وسیعی از شرایط عملیاتی مناسب می‌باشند اما کاربرد آن‌ها محدود به سیستم‌های غیرقطبی یا مواد مختصر قطبی است.
- برای سیستم‌های شیمیایی غیرایده آل یا قطبی بهتر است از سیستم ترمودینامیکی دوگانه استفاده گردد. در این حالت یک معادله‌ی حالت برای پیش‌بینی ضرایب فوگاسیته‌ی فاز بخار (معمولاً سیستم IDEAL GAS یا معادلات حالت SRK، PK، PR) و یک مدل ضریب فعالیت برای فاز مایع انتخاب می‌شود.
- مدل‌های اکتیویته برای محدوده‌ی فشارهای معمولی و برای مواقعی استفاده می‌شوند که رفتار سیستم به تغییرات فشار وابستگی زیادی نشان دهد. در این حالت انتخاب این مدل‌ها برای شبیه‌سازی باید با دقت و احتیاط زیادی انجام شود و تنظیم پارامترهای **این** مدل‌ها باید بر اساس نمونه‌های مشاهده شده از داده‌های تجربی انجام شود و لذا این مدل‌ها را نمی‌توان برای شرایط عملیاتی آزمایش نشده استفاده کرد.
- برای سیستم‌هایی که فشار یا دمای عملیاتی بالاتر از دما یا فشار بحرانی یک یا چند جزء باشد بهتر است حتی در صورت وجود مواد قطبی از معادلات حالت استفاده کرد.

در PROMAX مدل‌های ترمودینامیکی مورد نظر در (PROPERTY PACKAGE) به چهار صورت معادلات حالت ایده‌آل، معادلات حالت، معادلات ضریب فعالیت و معادلات ترمودینامیکی برای سیستم‌های خاص دسته‌بندی می‌شوند. جدول 1 مقایسه‌ی کاربردی مدل‌های اکتیویته و معادلات حالت و جدول 2 معادلات ترمودینامیکی پیشنهادی PROMAX برای فرایندهای مختلف را نشان می‌دهد.

جدول 1. مقایسه‌ی کاربردی مدل‌های اکتیویته و معادلات حالت [17]

مدل‌های اکتیویته	معادلات حالت
برای مایعات به شدت غیرایده آل می‌توانند استفاده شوند.	برای محلول‌های غیرایده‌آل مناسب نیستند.
در نواحی بحرانی ناسازگار هستند.	در نواحی بحرانی سازگار هستند.
تنها برای فاز مایع سازگار هستند و برای فاز گاز از معادله حالت باید استفاده کرد.	برای هر دو فاز مایع و گاز می‌توانند استفاده شوند.
پارامترهای دوتایی به شدت وابستگی دمایی دارند.	جهت برون‌یابی پارامترها با دما به خوبی عمل می‌کند.

جدول 2. معادلات ترمودینامیکی پیشنهادی PROMAX برای فرایندهای مختلف [17]

Process	Property Package	Comment
Amine Sweetening	Amine Sweetening Electrolytic ELR	User either SRK or PR for vapor Phase properties
Sour Water Stripping	Amine Sweetening Electrolytic ELR	User either SRK or PR for vapor Phase properties
Caustic Treating	Caustic Treating	User either SRK or PR for vapor Phase properties
Sulfur Recovery	Sulfur	User either SRK or PR for vapor Phase properties
Physical Solvent Acid Gas Removal or Dew Point Control using DEPG	SRK or PR	
Physical Solvent Acid Gas Removal using NMP or Methanol	SRK polar or PR polar	NMP is N-Methyl-2-Pyrrolidone
Gas Processing	SRK or PR	
Gas Processing with Methanol Injection	SRK polar or PR polar	When methanol is present, the polar version of the property package must be used for accurate predictions
Refrigerant Systems(e. g. R13/R22, Propane, etc.)	SRK or PR	
Fractionation	SRK or PR	
Lean Oil Absorption	SRK or PR	
Glycol Dehydration	SRK or PR	

Dehydration/Hydrocarbon Removal using Methanol	SRK polar or PR polar	
Crude Oil Distillation/Fractionation	SRK or PR	
Air Separation	SRK or PR	
Chemicals	Any non-Electrolytic Gibbs Excess/Activity Coefficient Model (e. g. DUNIFAC, TK Wilson, UNIQUAC, etc.)	Example – separation of Acetone/Acetic Acid/Acetic Anhydride
Steam Systems: Turbines, Condensers, Superheaters	NBS Steam Tables	
Hot Oil System	Heat Transfer Fluid	Heat transfer fluid cannot be mixed in the same circuit.

ادامه جدول 2. معادلات ترمودینامیکی پیشنهادی PROMAX برای فرایندهای مختلف [17]

ماژول‌های تعبیه شده در نرم‌افزار Promax

- Saturator: از این بلاک در شبیه‌سازی برای اشباع کردن یک جریان با هر ترکیب و با هر درصد اشباع سازی می‌توان استفاده کرد. جریان چندفازی را نمی‌توان وارد این بلاک کرد و پیش از آن باید جداسازی صورت گیرد. این بلاک دما و فشار جریان خروجی را برابر با دما و فشار جریان اصلی ورودی قرار می‌دهد و اثر گرمای حاصل از اختلاط را در دمای جریان اشباع کننده لحاظ می‌کند.

- Make-up/Blow-down: اگر در یک شبیه‌سازی در جریان‌های بازگردشی اتلاف ماده‌ای وجود داشته باشد باید برای ثابت نگه داشتن بالانس جرمی آن از جریان تزریقی make up استفاده کرد. در نرم‌افزار Promax به این منظور از بلاک Make-up/Blow-down استفاده می‌شود. در عمل هم اپراتورها طی یک عملیات ناپیوسته از روی آنالیز جریان بازگردشی و یا تغییرات سطح مایع داخل تانک تصمیم می‌گیرند تا چه مقدار جریان سیکل بازگردشی را تخلیه نموده و چه میزان جریان تازه به سیستم تزریق نمایند تا غلظت جریان بازگردشی به مقدار مورد نظر برسد. به عنوان نمونه در این بلاک به کاربر اجازه داده می‌شود تا غلظت جریان خروجی از تانک را در مسیر جریان بازگردشی روی مقدار معینی تنظیم نماید، در این صورت برنامه خود میزان جریان تزریقی و میزان جریان تخلیه از تانک را محاسبه می‌کند.

- Process Recycle: از این مدل برای شبیه‌سازی جریان برگشتی به واحد و محاسبات هم‌گرایی آن‌ها استفاده می‌شود. برای شروع حل باید مشخصات جریان ورودی این مدل مانند دبی، دما، فشار و ترکیب درصدها به عنوان حدس اولیه تعریف شوند. یک حدس اولیه خوب منجر به هم‌گرایی سریع برنامه خواهد شد. تعداد تکرارهای حل جریان برگشتی تا زمانی که اختلاف مقادیر پارامترهای محاسباتی (دبی، دما، فشار و آنتالپی و مانند آن) جریان‌های قبل و بعد مدل، کم‌تر از میزان تلورانس تعریف شده شوند، ادامه پیدا خواهند کرد. در این بلاک درجه‌ی حساسیت پارامترها به صورت پیش‌فرض برابر یک است که قابل تغییر است. مقادیر بالا حساسیت بالا را نشان می‌دهد.

- Amine Analysis: این قابلیت امکان آن را فراهم می‌کند که اطلاعات مربوط به Amine Loading برای دی‌اکسیدکربن، هیدروژن‌سولفید و کل گاز اسیدی به همراه مقدار اسیدیته‌ی PH و مولاریته برای جریان مورد نظر نمایش داده شود.

- Simple Specifier: از Specifier برای تنظیم مقدار یک پارامتر بر اساس مقدار متغیرها یا ثوابت معلوم استفاده می‌شود.

- Simple Solver: زمانی از Simple Solver در نرم‌افزار Promax استفاده می‌شود که برنامه برای رسیدن به یک هدف معین تکرارهای متعددی را برای اجرای برنامه لازم داشته باشد.

- User Value Set: به کمک User Value Set در نرم‌افزار Promax می‌توان متغیر جدیدی را که در برنامه قابل محاسبه نیست تعریف نمود.

روش‌های مختلف حل برج‌ها در نرم‌افزار Promax

روش‌های مختلف حل برج‌ها در نرم‌افزار Promax در برنامه به شرح زیر قابل انتخاب است:

- Equilibrium
- Polar Liquid
- Nonpolar Liquid
- TSWEET Kinetics
- TSWEET Alternate Stripper

این روش‌ها فقط برای تعادل فاز بخار و تک فاز مایع (VLE) در مراحل برج‌ها کاربرد دارد.

- Equilibrium: این روش برای بسیاری از کاربردها استفاده می‌شود و قادر است بر اساس معادله‌ی ترمودینامیکی انتخاب شده‌ی مناسب، خواص فاز مایع شامل ترکیبات قطبی یا غیرقطبی را محاسبه نماید.
- Polar Liquid: این روش باعث می‌شود تا تمام خواص ترمودینامیکی فاز مایع، حتی اگر مایع غیرقطبی باشد، با استفاده از مدل Polar محاسبه شود. انتخاب این روش برای برج‌هایی که در آن فاز گازی غیرقطبی در تماس با فاز مایع قطبی است (برای مثال تزریق متانول برای بازدارندگی تشکیل هیدرات در فرایندهای سرد) مفید است.
- Non-polar Liquid: انتخاب این روش باعث می‌شود تا تمام خواص ترمودینامیکی فاز مایع، حتی اگر مایع قطبی باشد، با استفاده از مدل Non-polar Liquid محاسبه شود. استفاده از این روش برای برج‌هایی که در آن فاز مایع قطبی جریان دارد منجر به نتایج اشتباه خواهد شد، اگر چه به هم‌گرایی حل برج کمک می‌شود. برای مثال در محیط‌های الکترولیتی با انتخاب مدل Non-polar Liquid به طور موثر واکنش‌های تشکیل یون در نظر گرفته نمی‌شود و این کار به هم‌گرایی حل برج کمک می‌کند. در ادامه با تغییر روش حل برج به Polar Liquid واکنش تشکیل یون فعال شده و در حل برج در نظر گرفته می‌شوند. در این حالت از نتایج روش حل Non-polar Liquid به عنوان حدس اولیه‌ی روش حل Polar Liquid استفاده می‌شود.
- TSWEET Kinetics: این روش فقط زمانی که معادله ترمودینامیکی Electrolytic انتخاب شده باشد قابل استفاده است. این مدل برای شبیه‌سازی کلیه‌ی برج‌های جذب آمین شامل CO_2 قابل استفاده است. این مدل برای تصفیه و شیرین‌سازی مایعات نمی‌تواند استفاده شود. همان‌طور که می‌دانیم واکنش CO_2 با آمین‌ها به طرز محسوسی کندتر از واکنش H_2S با آمین‌هاست. مدل TSWEET Kinetics به صورت هم‌زمان محاسبات تقطیر و واکنش شیمیایی آرام CO_2 با آمین‌ها را محاسبه می‌کند. زمان تماس کل مهم‌ترین فاکتور در محاسبه‌ی میزان جذب CO_2 با آمین است. زمان تماس زیاد منجر به جذب بیش‌تر آمین می‌شود و بر عکس. این موضوع برای تمام آمین‌ها صادق است. در برج‌های سینی‌دار، زمان اقامت مایع روی سینی‌های واقعی برج بر اساس هندسه سینی محاسبه می‌شود. برای محاسبه‌ی زمان کل تماس، زمان اقامت یک سینی در تعداد کل سینی‌های تعادلی و نسبت سینی واقعی به سینی ایده آل ضرب می‌شود. این نسبت در برج‌های جذب آمین معمولاً برابر 3 و در برج‌های احیا (دفع) آمین معمولاً برابر 2 است.
- TSWEET Alternate Stripper: این روش فقط زمانی که معادله ترمودینامیکی Electrolytic انتخاب شده باشد قابل استفاده است. و نمی‌تواند برای برج‌های جذب آمین استفاده شود و تنها باید

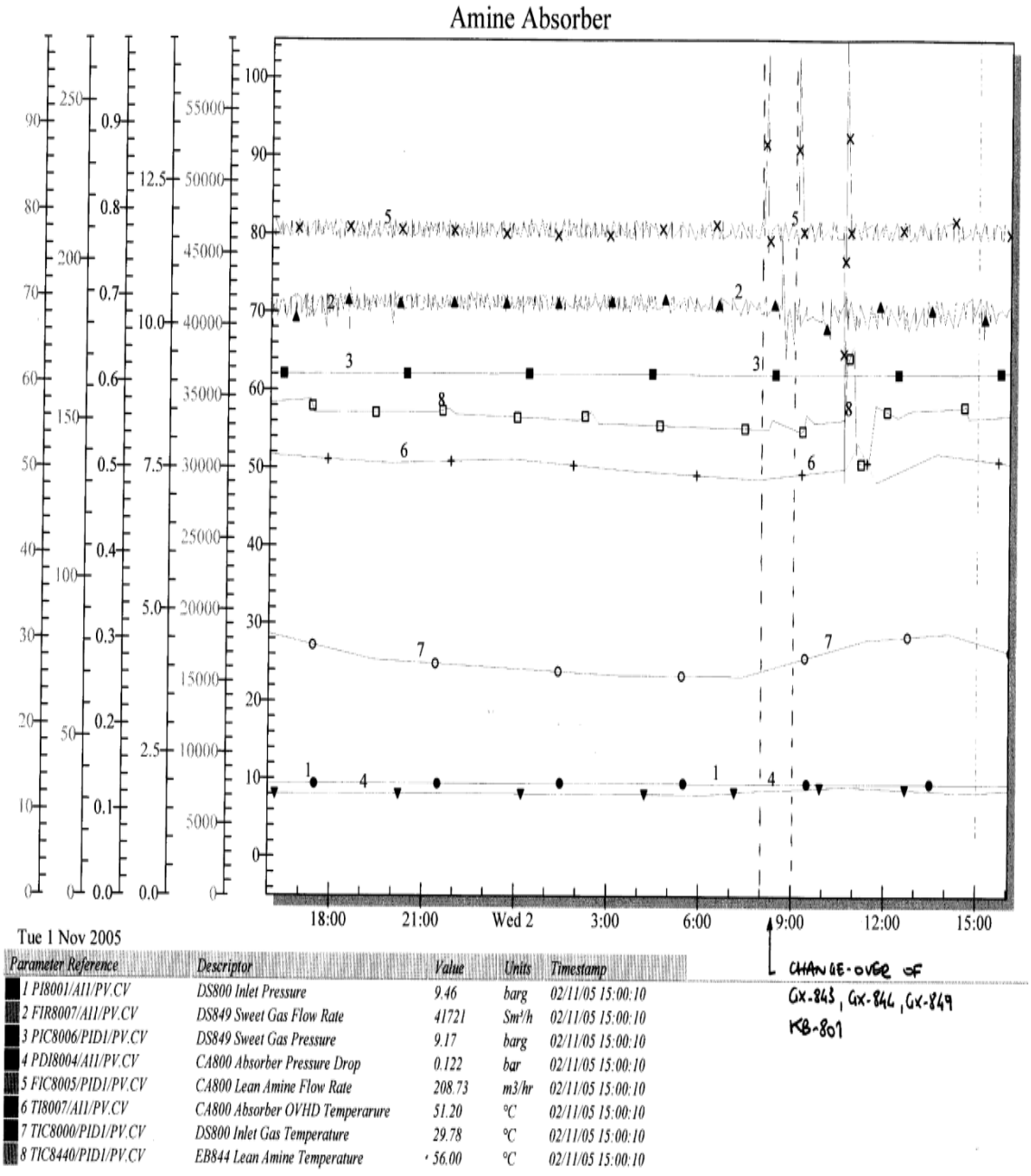
برای آمین‌های نوع اول استفاده شود. در این حالت در مقایسه با انتخاب روش TSWEET Kinetics برج خیلی سریع تر به هم‌گرایی می‌رسد و اختلاف دو روش حل بسیار ناچیز خواهد بود. در صورت استفاده از روش حل TSWEET Kinetics برای آمین‌های نوع اول باید زمان اقامت مایع در سینی‌ها توسط کاربر وارد شود یا با دادن مشخصات برج از قبیل قطر، فاصله‌ی سینی‌ها و ارتفاع بند سینی و مانند آن به برنامه، زمان اقامت مایع روی سینی‌ها محاسبه می‌شود. در این روش زمان حل استریپر افزایش قابل توجهی خواهد یافت.

شبیه‌سازی واحد با برنامه Promax

مهم‌ترین قدم در پروژه‌های شبیه‌سازی واحدهای صنعتی استخراج داده‌ها و مشخصات جریان‌ها است. صحت و دقت **این** اطلاعات که به‌عنوان داده‌های اولیه برای ترسیم و تحلیل شبکه است بسیار حائز اهمیت بوده و کاربردی شدن طراحی وابسته به این مرحله است. برای رسیدن به **این** منظور شبیه‌سازی خوب واحد بسیار تاثیرگذار است. مهم‌ترین عامل در شبیه‌سازی نزدیک بودن هرچه بیش‌تر به شرایط واقعی و انعطاف‌پذیری[1] آن جهت پاسخ‌گویی سریع به تغییرات به‌وجود آمده و شرایط عملیاتی مختلف یک واحد واقعی است.

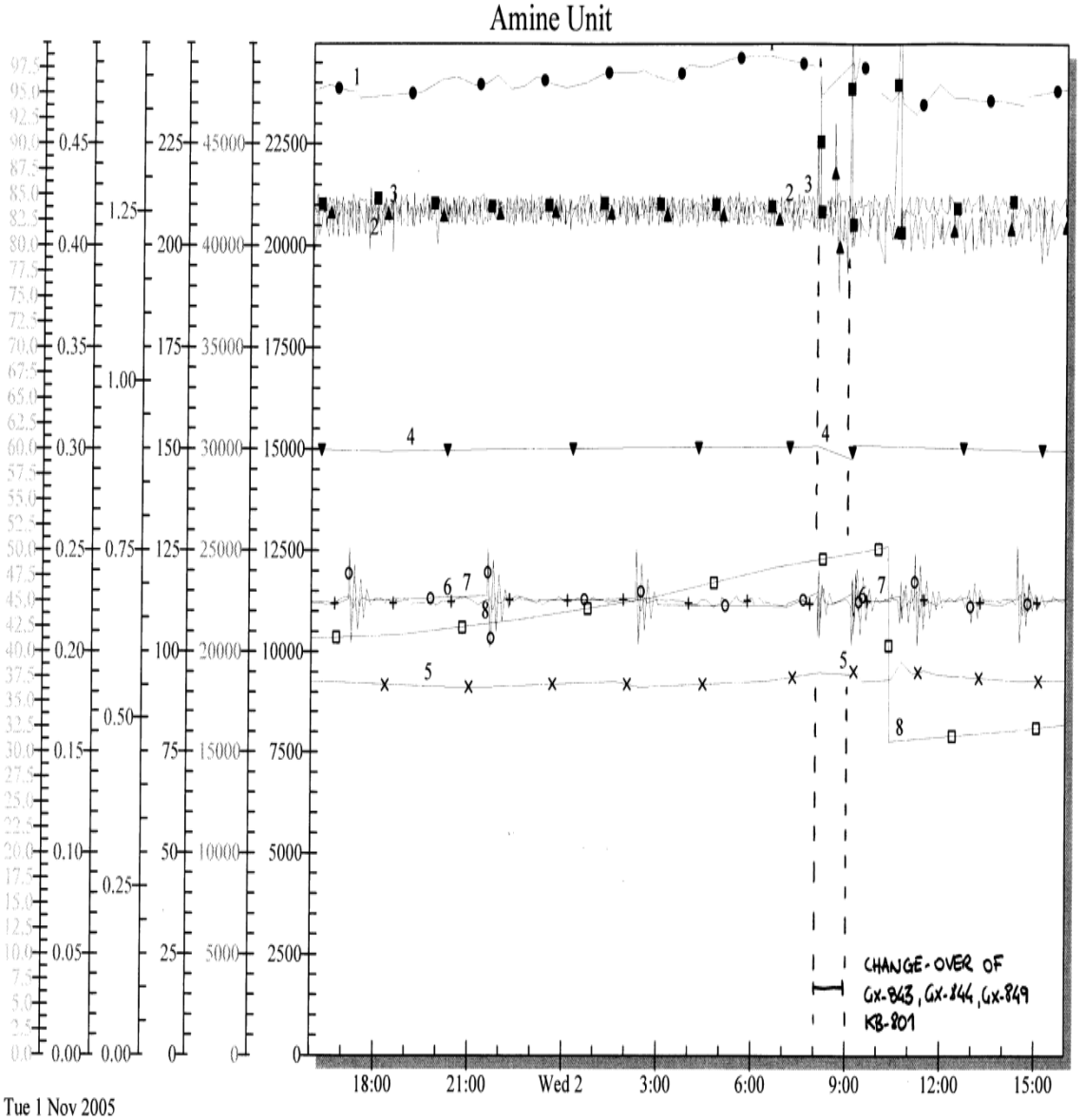
در شبیه‌سازی واحد شیرین سازی گاز مجتمع درود 3 شرکت فلات قاره**ای**ران، از اطلاعات واقعی تست عملکرد (Performance Test) که توسط شرکت Total فرانسه در تاریخ 31 اکتبر الی سوم نوامبر 2005 انجام گردیده است، استفاده شده است.اطلاعات استخراج شده از تست مذکور از بازه زمانی انتخاب شده است، که واحد تقریباً در حالت پایا است نمودارهای شکل 1 و 2 و 3 مربوط یه تست انجام شده این شرایط را نشان می‌دهند.

[1] Flexibility



Parameter Reference	Descriptor	Value	Units	Timestamp
1 PI8001/AI1/PV.CV	DS800 Inlet Pressure	9.46	barg	02/11/05 15:00:10
2 FIR8007/AI1/PV.CV	DS849 Sweet Gas Flow Rate	41721	Sm³/h	02/11/05 15:00:10
3 PIC8006/PID1/PV.CV	DS849 Sweet Gas Pressure	9.17	barg	02/11/05 15:00:10
4 PDI8004/AI1/PV.CV	CA800 Absorber Pressure Drop	0.122	bar	02/11/05 15:00:10
5 FIC8005/PID1/PV.CV	CA800 Lean Amine Flow Rate	208.73	m3/hr	02/11/05 15:00:10
6 TI8007/AI1/PV.CV	CA800 Absorber OVHD Temperarure	51.20	°C	02/11/05 15:00:10
7 TIC8000/PID1/PV.CV	DS800 Inlet Gas Temperature	29.78	°C	02/11/05 15:00:10
8 TIC8440/PID1/PV.CV	EB844 Lean Amine Temperature	56.00	°C	02/11/05 15:00:10

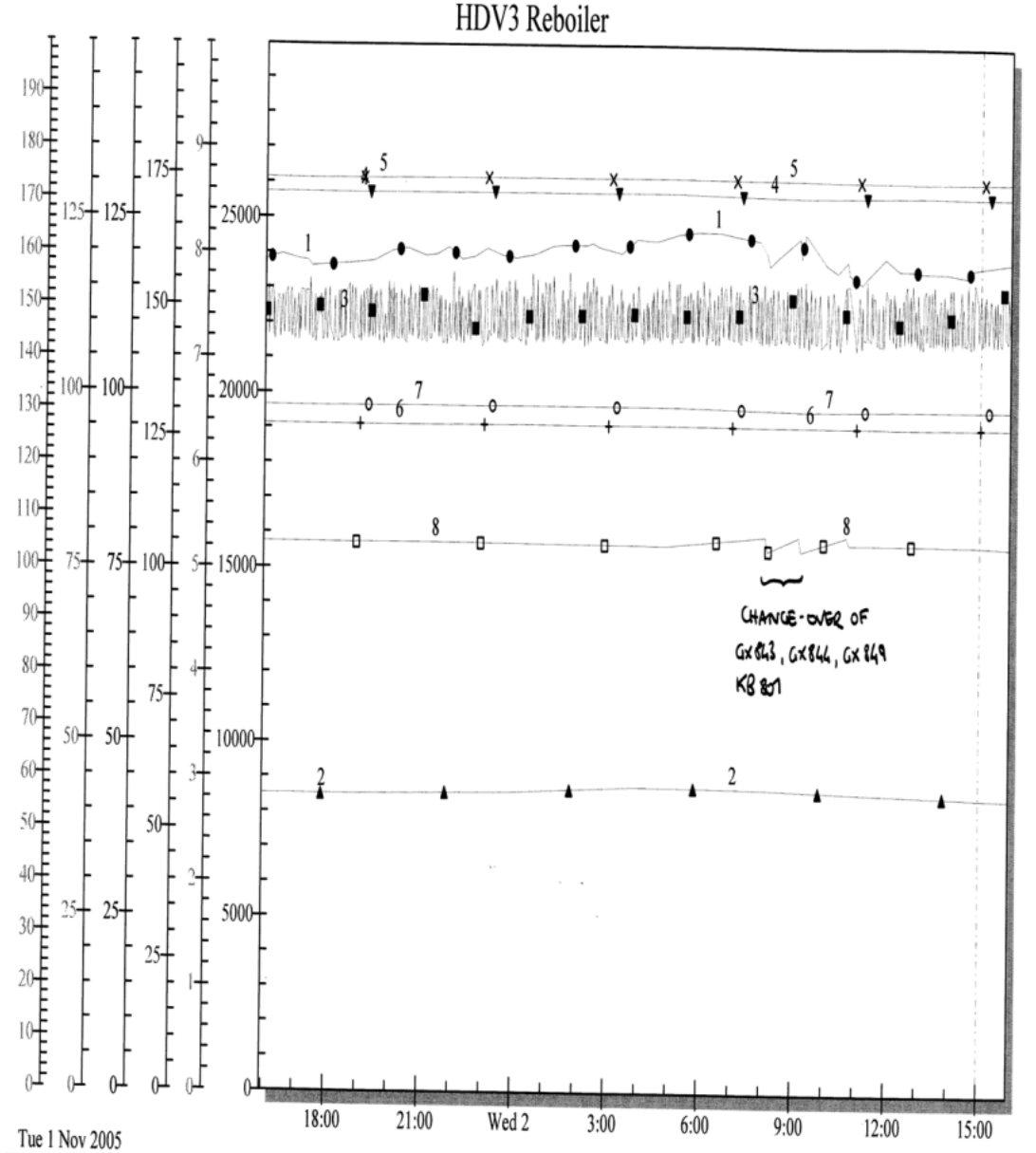
شکل 1. ترند برج جذب



Tue 1 Nov 2005

Parameter Reference	Descriptor	Value	Units	Timestamp
1 FI8425/AI1/PV.CV	EC842 Reboiler Steam Flow Rate	26240	kg/hr	03/11/05 15:58:41
2 FIR8007/AI1/PV.CV	DS849 Sweet Gas Flow Rate	40913	Sm³/h	03/11/05 15:58:41
3 FI8005/AI1/PV.CV	CA800 Lean Amine Flow Rate	209.67	m3/hr	03/11/05 15:58:41
4 PI8432/AI1/PV.CV	DS843 Reflux Drum Pressure	0.897	barg	03/11/05 15:58:41
5 PDI8421/AI1/PV.CV	Regen Pressure Drop	0.182	bar	03/11/05 15:58:41
6 LIC8422/PID1/PV.CV	CA842 Regen Column Level	47.96	%	03/11/05 15:58:41
7 LIC8432/PID1/PV.CV	DS843 Reflux Drum Level	49.74	%	03/11/05 15:58:41
8 LI2201/AI1/PV.CV	DS220 Flare Acid Gas KO Drum Level	42.1	%	03/11/05 15:58:41

شکل 2. ترند واحد آمین



Parameter Reference	Descriptor	Value	Units	Timestamp
1 FI8425/AI1/PV.CV	EC842 Steam Flow Rate	23732	kg/hr	02/11/05 15:00:06
2 PI8427/AI1/PV.CV	EC842 Reboiler Steam Pressure	2.84	barg	02/11/05 15:00:06
3 TIC8429/PID1/PV.CV	HA842 Reboiler Steam Temperature	151.87	°C	02/11/05 15:00:06
4 TI8433/AI1/PV.CV	EC842 Vapor Outlet Temperature	128.56	°C	02/11/05 15:00:06
5 TI8434/AI1/PV.CV	EC842 Liquid Outlet Temperature	130.69	°C	02/11/05 15:00:06
6 TI8435/AI1/PV.CV	EC842 Liquid Inlet Temperature	127.46	°C	02/11/05 15:00:06
7 TI8425/AI1/PV.CV	EC842 Reboiler Bundle Temperature	130.86	°C	02/11/05 15:00:06
8 TI8428/AI1/PV.CV	CA842 Reg OVHD Temperature	105.01	°C	02/11/05 15:00:06

شکل 3. ترند برج احیا

اطلاعات استخراج شده از تست عملکرد واحد جهت شبیه‌سازی واحد شیرین‌سازی با نـرم‌افـزار در جـدول 3 و 4 آمده است.

جدول 3. اطلاعات جریان ورودی و گاز شیرین تولیدی [16]

ظرفیت واحد آمین	Sm^3/h	48581.7
	MMSCFD	41.2
غلظت متیل دی اتانول آمین	%	44.6
درصد ترکیب مولی گاز خوراک ورودی و گاز شیرین تولید شده برپایه گاز خشک (Dry Basis)		
درصد مولی گاز شیرین تولیدی	درصد مولی گاز خوراک	ترکیبات
80.613	67.673	Methane
9.497	7.993	Ethane
4.121	3.497	Propane
0.625	0.532	I-Butane
1.446	1.236	N-Butane
0.397	0.342	I-Pentane
0.448	0.384	N-Pentane
0.519	0.445	C6+
0.0035	11.3	H2S
2.242	6.5	CO2
0.092	0.098	N2

جدول 4. اطلاعات برج جذب و احیا [16]

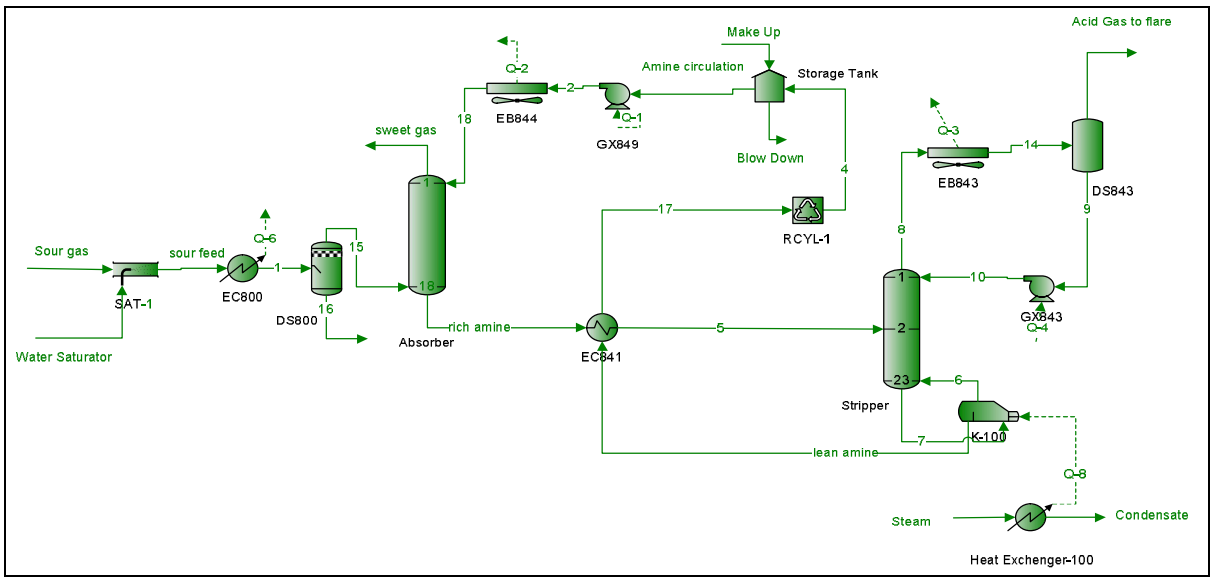
خوراک ورودی به واحد	فشار گاز خوراک	Bar g	9.46
	دمای گاز خوراک	°C	28.3
برج جذب آمین	میزان جریان آمین ورودی به برج	Sm^3/h	210
	اختلاف فشار بالا و پایین برج	Bar	0.12
	دمای بالای برج	°C	50.7
	میزان جریان گاز شیرین تولیدی	Sm^3/h	41128
	فشار بالای برج	Bar g	9.15
برج احیای آمین	دمای بالای برج	°C	105
	فشار بالای برج	Bar g	1.264
	اختلاف فشار بالا و پایین برج	Bar	0.186

در شبیه‌سازی واحد، سه معادله حالت مختلف برای بخش‌های مختلف این فرایند پیش‌بینی و درنظر گرفته شد که در جدول 5 نشان داده شده است.

جدول 5. بسته‌های ترمودینامیکی به‌کار رفته در شبیه‌سازی واحد شیرین سازی گاز

واحد	بسته ترمودینامیکی
شیرین سازی	Amine Sweetening
فاز بخار	Peng-Robinson
فاز مایع	Electrolytic ELR

که نهایتاً واحد با بهره‌گیری از اطلاعات فوق به شکل زیر توسط نرم‌افزار Promax مدل‌سازی و شبیه‌سازی شد.



شکل 4. شبیه‌سازی واحد شیرین سازی گاز با نرم‌افزار Promax

میزان خطای قابل پذیرش بین نتایج شبیه‌سازی و داده‌های واقعی 2% قرار داده شد که میانگین این خطا در شبیه‌سازی کم‌تر از این مقدار (1/99%) گردید. نتایج حاصل از شبیه‌سازی واحد آمین در پیوست (الف) آمده است.

برای شبیه‌سازی این واحد از Data Sheet مربوط به هر تجهیز و اطلاعات کنترلی سیستم بهره برده شده است.

قراردادن پارامترهای کنترل‌کننده در شبیه‌سازی

کنترل شرایط عملیاتی در قسمت‌های مختلف واحد توسط کنترل کننده‌هایی تنظیم می‌شود تا بتوان در شرایط موردنظر قرار داشته باشیم. چند پارامتر مهم در واحد آمین وجود دارد که تنظیم بودن آن‌ها بسیار دارای اهمیت است. در شبیه‌سازی این نقاط به همان صورت شرایط واقعی در نظر گرفته شده تا بتوان همان شرایط کنترل را در شرایط شبیه‌سازی نیز مورد آزمایش قرار داد.

به‌عنوان مثال در برج جذب کیفیت محصول خروجی دارای اهمیت زیادی است و از این‌رو پارامتر کنترل کننده در این برج کیفیت محصول خروجی است. این امر توسط تنظیم میزان جریان آمین برگشتی به درون برج و میزان بار اسیدی آمین ورودی به برج صورت می‌پذیرد. در برج احیا (دفع) میزان جداسازی گازهای اسیدی و حضور پررنگ آن در جریان بالای برج اهمیت فراوانی دارد. از این‌رو با تنظیم بار حرارتی ری‌بویلر و یا تنظیم دمای بالای برج به میزان جداسازی مدنظر می‌رسیم.

اعمال مشخصات تجهیزات به‌کار رفته در شبیه‌سازی

کلیه تجهیزات و دستگاه‌های به‌کار رفته دارای Data Sheet هستند که توسط شرکت‌های سازنده آن تجهیز و یا شرکت Total فرانسه که سازنده کل واحد است، ارایه شده است. بعنوان مثال تعریف پمپ‌های موجود در شبیه‌سازی به‌وسیله فشار خروجی و بازده آن دستگاه در Data Sheet مربوطه مشخص شده، صورت گرفته است. پمپ‌ها را با دو روش می‌توان شبیه‌سازی نمود. در روش اول میزان فشار خروجی و بازده دستگاه در شبیه‌سازی وارد می‌شود. روش دیگر اعمال منحنی مشخصه است که در این روش خود دستگاه براساس دبی و هد مورد نظر بازده لازم را اعمال نموده و فشار خروجی را محاسبه می‌کند. همچنین میزان طراحی بار حرارتی هر مبدل مشخص شده است.

جدول 6 بسته ترمودینامیکی به کار رفته در شبیه‌سازی با نرم‌افزار Hysys را نشان می‌دهد.

جدول 6. بسته‌های ترمودینامیکی به‌کار رفته در شبیه‌سازی با نرم‌افزار Hysys

قسمت	بسته ترمودینامیکی
شیرین سازی	Amine Package
فاز بخار	Peng-Robinson
فاز مایع	Kent-Eisenberg

نتایج و بحث

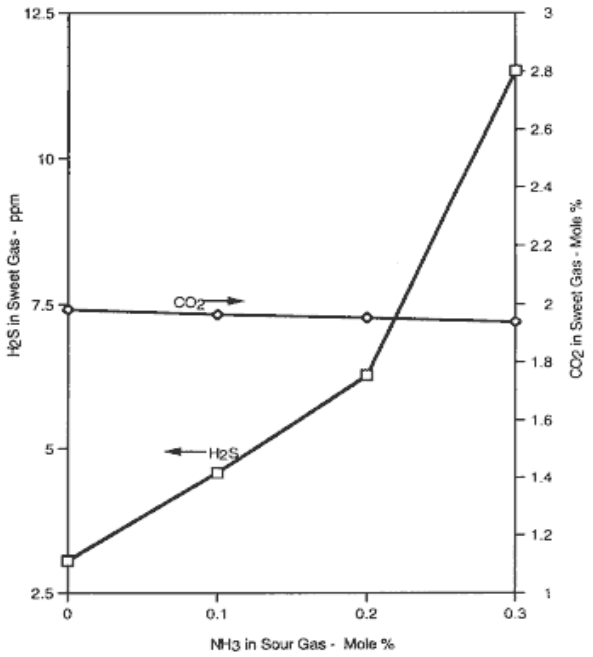
جدول 7 نتایج به‌دست آمده از هر دو نرم‌افزار پرومکس و هایسیس را با تست عملکرد انجام شده توسط شرکت توتال را مقایسه و میزان خطا را نشان می‌دهد. همان‌طور که در جدول مشاهده می‌شود خطای محاسبه شده برای شبیه‌ساز پرومکس و هایسیس به ترتیب 1/99 و 2/2 درصد است. این مسئله نشان می‌دهد که نتایج تجربی و شبیه‌ساز بسیار به‌هم نزدیکند. نتایج موجود در جدول 7 نشان می‌دهد که میزان خطای نرم‌افزار promax در محاسبه غلظت ترکیبات سبک در گاز شیرین کم‌تر از نرم‌افزار hysys است. در حالی‌که خطای نرم‌افزار promax با مقدار 46/26 در صد در مورد ترکیب دی‌اکسیدکربن در گاز شیرین بسیار بیش‌تر از نرم‌افزار hysys به میزان 10/16 درصد است. همچنین نتایج نشان می‌دهد که میزان خطای نرم‌افزار promax در محاسبه غلظت هیدروژن‌سولفاید در گاز شیرین معادل 3/46 درصد میباشد که بسیار کم‌تر از خطای نرم‌افزار hysys به میزان 26/92 در صد است. لذا به‌منظور انجام شبیه‌سازی فرآیند شیرین‌سازی گاز ترش نرم‌افزار promax بسیار تواناتر نسبت به نرم‌افزار hysys است.

جدول 7. مقایسه داده‌های گاز شیرین ازبرنامه‌های promax، hysys و آزمایش تجربی

Component	Sweet Gas mass flow Kg/hr			Error	
	Promax	Hysys	Performance test	Real with Promax	Real with hysys
C1	22151.08	22175.35	21908.47	242.62	266.88
C2	4900.00	4909.47	4837.73	62.26	71.73
C3	3144.75	3150.27	3078.46	66.29	71.81
i-C4	630.73	631.97	615.40	15.33	16.57
C4	1464.33	1468.26	1423.79	40.54	44.47
i-C5	503.38	504.30	485.24	18.14	19.06
C5	564.95	566.23	547.57	17.38	18.66
C6+	847.23	783.42	819.34	27.89	35.92
N2	56.07	56.09	43.66	12.41	12.43
H2S	1.59	1.98	2.02	0.43	0.04
CO2	1717.80	1681.70	1671.54	46.26	10.16
MDEA	0.46	0.39	trace	____	____
H2O	391.52	361.71	566.31	174.79	204.60
total	*36373.9*	*36291.1*	*35999.5*	*1.99%*	*2.2%*
H2S in sweet gas	26.9 ppm	33 ppm	26ppm	3.46%	26.92%
CO2 in sweet gas	2.25%	2.20%	---	---	---
Temperature °C	52.3	50.99	50.7	3.15%	0.57%
Pressure bar g	9.15	9.15	9.15	---	---
Flow sm^3/h	41169.6	41079	41128	0.1%	0.11%

تاثیر وجود آلودگی آمونیاکی در گاز ورودی

اگر یک مقدار کم از 0/1 تا 0/3 درصد مولی گاز آمونیاک در گاز خوراک ورودی به واحد باشد مشکلات زیادی در سیستم می‌تواند ایجاد کند. گاز آمونیاک موجود در گاز ترش ورودی در برج جذب کاملاً به محلول آبی آمین جذب شده زیرا آمونیاک در آب حلالیت بالایی دارد. این مسئله باعث افزایش غلظت آمونیاک در آمین در گردش می‌شود و عاملی است که سبب بروز مشکلاتی مانند افزایش H_2S و یا CO_2 در گاز شیرین تولیدی، هدر رفت بیش از حد آب، ایجاد دمای بالا در کندانسور برج احیا، کاهش دما در ری‌بویلر و بالا رفتن غلظت گازهای اسیدی در Lean Amine در برج جذب و احیا آمین می‌گردد. نمودار شکل 5 تاثیر آمونیاک را روی H_2S و CO_2 در گاز شیرین شده را نشان می‌دهد.



شکل 5. تاثیر آمونیاک را روی H_2S و CO_2

همانطور که نتایج موجود در شکل 5 نشان می‌دهد که افزایش غلظت آمونیاک از 1/ در صد مولی به 2/ در صد مولی موجب افزایش 4/ درصد مولی دی‌اکسیدکربن در گاز شیرین می‌شود. همچنین نتایج نشان می‌دهد که افزایش آمونیاک به میزان 1/ درصد مولی در گاز ترش موجب افزایش 1/5 ppm هیدروژن سولفاید در گاز شیرین می‌شود. لذا نتایج این تحقیق نشان می‌دهد که وجود آمونیاک در گاز ترش ورودی تاثیری بیش‌تری بر حضور دی‌اکسیدکربن نسبت به هیدروژن‌سولفاید در گاز شیرین شده دارد.

نتیجه گیری

مهم‌ترین قدم در پروژه‌های شبیه‌سازی واحدهای صنعتی استخراج داده‌ها و مشخصات جریان خوراک ورودی جهت اجرای برنامه است. صحت و دقت این اطلاعات که به‌عنوان داده‌های اولیه برای شبیه‌سازی و نهایتا استفاده از این شبیه‌سازی برای دیدن نتیجه، اعمال تغییرات در واحد و یا بهینه کردن سیستم تولید، بسیار حائز اهمیت بوده و کاربردی شدن طراحی وابسته به این مرحله است. برای رسیدن به این منظور شبیه‌سازی خوب واحد بسیار تاثیرگذار است. مهمترین عامل در شبیه‌سازی نزدیک بودن هرچه بیش‌تر به شرایط واقعی و انعطاف‌پذیری آن جهت پاسخگویی سریع به تغییرات به‌وجود آمده و شرایط عملیاتی مختلف یک واحد واقعی است.

1- نتایج این تحقیق نشان می‌دهد که وجود آمونیاک در گاز ترش ورودی تاثیری بیش‌تری بر حضور دی‌اکسیدکربن نسبت به هیدروژن سولفاید در گاز شیرین شده دارد. لذا بایستی وجود آمونیاک در گاز ترش ورودی به واحدهای شیرین‌سازی به شدت مورد توجه قرار گیرد.

2- نتایج نشان می‌دهد که میزان خطای نرم‌افزار promax در محاسبه غلظت ترکیبات سبک در گاز شیرین کم‌تر از نرم‌افزار hysys است. در حالی‌که خطای نرم‌افزارpromax در مورد ترکیب دی‌اکسیدکربن در گاز شیرین بسیار بیش‌تر از نرم‌افزار hysys است.

3- همچنین نتایج نشان می‌دهد که میزان خطای نرم‌افزار promax در محاسبه غلظت هیدروژن‌سولفاید در گاز شیرین بسیار کم‌تر از خطای نرم‌افزار hysys است. لذا به‌منظور انجام شبیه‌سازی فرآیند شیرین‌سازی گاز ترش نرم‌افزار promax بسیار تواناتر نسبت به نرم‌افزار hysys است.

منابع

[1] H. Abdel-Aal, M. Aggour and M. Fahim, Petroleum and Gas Field Processing, New york. Basel: Marcel Dekker, Inc., 2003.

[2] A. Kohl and R. Nielsen, Gas Purification, 5th ed., Houson, Texas: Gulf Publishing Co., 1997.

[3] Handbook of natural gas transmission and processing.

[4] H. E. Alfadala and E. Al-Musleh, "Simulation of an Acid Gas Removal Process Using Methyl di ethanolamine; an Equilibrium Approach," in Proceedings of the 1st Annual Gas Processing Symposium, 2009.

[5] B. P. Mandal, M. Guha, A. K. Biswas and S. S. Bandyopadhyay, "Removal of carbon dioxide by absorption in mixed amines: modelling of absorption in aqueous MDEA/MEA and AMP/MEA solutions," Chemical Engineering Science, vol. 56, pp. 6217-6224, 2001.

[6] D. Speyer, V. Ermatchkov and G. Maurer, "Solubility of Carbon Dioxide in Aqueous Solutions of N-Methyl di ethanolamine and Piperazine in the Low Gas Loading Region," Chemical Engineering Data, vol. 55, pp. 283-290, 2010.

[7] H.-J. Xu, C.-F. Zhang and Z.-S. Zheng, "Selective H2S Removal by Non aqueous Methyl di ethanolamine Solutions in an Experimental Apparatus," Industrial engineering Chemical Reserch, vol. 41, pp. 2953-2956, 2002.

[8] A. Vrachnos, E. Voutsas, K. Magoulas and A. Lygeros, "Thermodynamics of Acid Gas-MDEA-Water Systems," Industrial Engineering Chemical Research, vol. 43, pp. 2798-2804, 2004.

[9] A. Vrachnos, G. Kontogeorgis and E. Voutsas, "Thermodynamic Modeling of Acidic Gas Solubility in Aqueous Solutions of MEA, MDEA and MEA-MDEA Blends," Industrial Engineering Chemical Reserch, vol. 45, pp. 5148-5154, 2006.

[10] H. E. Alfadalaو E. Al-Musleh, “Simulation of an Acid Gas Removal Process Using Methyl di ethanolamine; an Equilibrium Approach “,Proceedings of the 1st Annual Gas

Processing Symposium, 2009.

[11] K. Qiu, J. Shang, M. Ozturk, T. Li, S. Chen, L. Zhang and X. Gu, "Studies of methyl di ethanolamine process simulation and parameters optimization for high-sulfur gas sweetening," Natural Gas Science and Engineering, vol. 21, pp. 379-385, 2014.

[12] B. Mandal and s. s. Bandyopadhyay, "Simultaneous Absorption of CO2 and H2S Into Aqueous Blends of N-Methyl di ethanolamine and Di ethanolamine," Environ. Sci. Technol., vol. 40, pp. 6076-6084, 2006.

[13] M. M. Ghiasi and A. H. Mohammadi, "Rigorous modeling of CO2 equilibrium absorption in MEA, DEA, and TEA aqueous solutions," Natural Gas Science and Engineering, vol. 18, pp. 39-46, 2014.

[14] O. A. Al-Rashed and S. H. Ali, "Modeling the solubility of CO2 and H2S in DEA–MDEA alkanolamine solutions using the electrolyte–UNIQUAC model," Separation and Purification Technology, vol. 94, pp. 71-83, 2012.

[15] B. Mandal, A. Biswas and S. Bandyopadhyay, "Selective absorption of H2S from gas streams containing H2S and CO2 into aqueous solutions of N-methyl di ethanolamine and 2-amino-2-methyl-1-propanol," Separation and Purification Technology, vol. 35, pp. 191-202, 2004.

[16] Startup and Operating Manual Gas Systems For Dorood Onshore Facilities & New Plant Kharg Island Elf Petroleum Iran, vol. 1, Petrofac International Ltd.

[17] Phase Behavior of petroleum Reservoir Fluids, Karen Schou Pedersen, Peter L. Christensen, Taylor & Francis publisher, 2007.