



مؤسسه آموزش عالی غیر دولتی غیر انتفاعی انرژی

دانشکده فنی و مهندسی

پایان نامه دوره کارشناسی ارشد

مهندسی مکانیک - تبدیل انرژی

**عنوان:**

## **شبیه سازی و بهینه سازی فرایند نمدایی از گاز طبیعی**

**استاد راهنما:**

**دکتر حیدر مداح**

**نام دانشجو:**

**حمید صابری**

**آبان ماه ۱۳۹۹**



مؤسسه آموزش عالی غیر دولتی غیر انتفاعی انرژی  
دانشکده فنی و مهندسی  
پایان نامه دوره کارشناسی ارشد  
مهندسی مکانیک - تبدیل انرژی

**عنوان:**

## **شبیه سازی و بهینه سازی فرایند نمدایی از گاز طبیعی**

**استاد راهنما:**

**دکتر حیدر مداح**

**استاد مشاور:**

**دکتر میرزایی**

**نام دانشجو:**

**حمید صابری**

**آبان ماه ۱۳۹۹**

بِسْمِ اللَّهِ الرَّحْمَنِ الرَّحِيمِ

# تأییدیه‌ی صحت و اصالت نتایج

## باسمه تعالی

اینجانب حمید صابری به شماره دانشجویی دانشجوی رشته مهندسی مکانیک-تبدیل انرژی مقطع تحصیلی کارشناسی ارشد تأیید می‌نمایم که کلیه‌ی نتایج این پایان‌نامه/رساله حاصل کار اینجانب و بدون هرگونه دخل و تصرف است و موارد نسخه‌برداری شده از آثار دیگران را با ذکر کامل مشخصات منبع ذکر کرده‌ام. در صورت اثبات خلاف مندرجات فوق، به تشخیص دانشگاه مطابق با ضوابط و مقررات حاکم (قانون حمایت از حقوق مؤلفان و مصنفان و قانون ترجمه و تکثیر کتب و نشریات و آثار صوتی، ضوابط و مقررات آموزشی، پژوهشی و انضباطی ...) با اینجانب رفتار خواهد شد و حق هرگونه اعتراض درخصوص احقاق حقوق مکتسب و تشخیص و تعیین تخلف و مجازات را از خویش سلب می‌نمایم. در ضمن، مسئولیت هرگونه پاسخگویی به اشخاص اعم از حقیقی و حقوقی و مراجع ذی‌صلاح (اعم از اداری و قضایی) به عهده‌ی اینجانب خواهد بود و دانشگاه هیچ‌گونه مسئولیتی در این خصوص نخواهد داشت.

نام و نام خانوادگی: حمید صابری

امضا و تاریخ:

## مجوز بهره‌برداری از پایان‌نامه

بهره‌برداری از این پایان‌نامه در چهارچوب مقررات کتابخانه و با توجه به محدودیتی که توسط استاد راهنما به شرح زیر تعیین می‌شود، بلامانع است:

- ☐ بهره‌برداری از این پایان‌نامه/ رساله برای همگان بلامانع است.
- ☐ بهره‌برداری از این پایان‌نامه/ رساله با اخذ مجوز از استاد راهنما، بلامانع است.
- ☐ بهره‌برداری از این پایان‌نامه/ رساله تا تاریخ ..... ممنوع است.

نام استاد یا اساتید راهنما: دکتر حیدر مداح

تاریخ:

امضا:

تقدیم بہ:

آنان کہ خوب زیستہم آموختند

پروماد عزیزم

## تشکر و قدردانی:

سپاس بیکران خداوند یکتا را که توانایی و توفیق انجام این پایان نامه را به من عطا فرمود.  
با تشکر و قدردانی از استادان گرانقدرم جناب آقایان دکتر حیدر مداح و دکتر میرزایی که در مراحل انجام  
پایان نامه از هیچ مساعدتی دریغ نفرمودند.

## چکیده

گاز طبیعی محبوب‌ترین سوخت فسیلی در عصر کنونی و نیز آینده است. گاز طبیعی در مخازن زیرزمینی وجود دارد بنابراین ممکن است حاوی بسیاری از ترکیبات غیر هیدروکربنی مانند هیدروژن سولفید، نیتروژن و بخار آب باشد. این ناخالصی‌ها ترکیبات نامطلوبی هستند و چندین مشکل فنی مانند خوردگی و آلودگی محیط‌زیست ایجاد می‌کنند. بنابراین مقدار این ناخالصی‌های موجود در جریان گاز طبیعی باید کاهش یافته و یا حذف شوند. بنابراین هدف از این مطالعه شبیه‌سازی فرآیند احتمالی نم‌زدایی از گاز خورمالا است. فرایند شبیه‌سازی موفق شد محتوای آب را به کمتر از ۰,۱ ppm کاهش دهد و با استفاده از چندین نوع خشک‌کننده مانند تری اتیلن گلیکول (TEG) و دی اتیلن گلیکول (DEG) به بهینه‌سازی فرایند دست یابد. همچنین مطالعه حاضر رابطه بین نوع جاذب و سرعت گردش آن با تلفات هیدروکربن برج احیاکننده گلیکول را مطالعه می‌کند.

**واژه‌های کلیدی:** گاز طبیعی، شبیه‌سازی، تری اتیلن گلیکول، دی اتیلن گلیکول، نم‌زدایی



## فهرست مطالب

۱	فصل ۱: مقدمه
۲	۱-۱- رطوبت زدایی از گاز طبیعی
۳	۱-۲- جاذب های مایع (liquid desiccant)
۴	۱-۳- رطوبت زدایی با محلول گلیکول
۵	۱-۳-۱- تولید دی اتیلن گلیکول
۶	۱-۳-۲- تری اتیلن گلیکول
۷	۱-۲- رطوبت زدایی با ماده خشک کننده جامد
۸	۱-۳- نرم افزار Aspen Hysys
۱۰	فصل ۲: مروری بر منابع و کارهای انجام شده
۱۱	۲-۱- مروری بر منابع
۱۶	۲-۲- واحد آگیری از گاز
۱۷	۲-۳- سیستم های تزریق گلیکول
۱۸	۲-۴- سیستم و عملیات آگیری گلیکول در کارخانه های گاز مایع
۱۹	۲-۵- انتخاب ماده مایع جاذب رطوبت
۲۳	۲-۶- گلیکول ونقش آن در تنظیم نقطه شبنم
۲۵	۲-۷- معرفی واحدها و تجهیزات نم زدایی با گلیکول
۲۵	۲-۶- عملکرد مخزن انبساط
۲۶	۲-۷- اصول طراحی و بهره برداری سیستم احیاء گلیکول
۲۷	۲-۶- کنترل سیستم های گلیکول
۲۹	فصل ۳: روش تحقیق
۳۰	۳-۱- مقدمه
۳۲	۳-۱-۱- معادله حالت مکعبی به اضافه تجمعی (CPA)
۳۳	۳-۱-۲- قوانین اختلاط و ترکیب
۳۴	۳-۱-۳- شرح فرایند نم زدایی گاز با استفاده از گلیکول
۳۶	۳-۱-۴- مدلسازی فرایند نم زدایی گاز در Aspen HYSYS
۳۶	۳-۱-۵- اعتبار سنجی سیستم های دوجزئی
۳۷	۳-۱-۶- داده های تجربی مورد استفاده در این کار
۳۸	۳-۱-۷- مقایسه نتایج محاسبات انجام شده با استفاده از CPA و داده های تجربی
۴۱	۳-۱-۸- اعتبار سنجی الگوهای خواص فیزیکی
۴۳	۳-۱-۹- اعتبار سنجی سیستم های چند جزئی

۱۰-۱-۳- شبیه سازی مدار نم گیری گاز طبیعی بوسیله نرم افزار هایسیس ..... ۴۶

#### فصل ۴: نتایج و تفسیر آنها

۵۶

۴-۱- مقدمه ..... ۵۷

۴-۲- شرایط عملیاتی در برج ..... ۵۷

۴-۳- میزان تلفات هیدروکربن ..... ۵۹

۴-۴- شرایط حاکم بر هر سینی در برج ..... ۶۱

۴-۵- ترکیب درصد آب در گاز خورمالا ..... ۶۵

#### فصل ۵: جمع بندی و پیشنهاد ها

۶۶

۵-۱- مقدمه ..... ۶۷

۵-۲- جمع بندی و پیشنهادات ..... ۶۸

۶۹

مراجع

## فهرست اشکال

- شکل (۲-۱) فرایند معمولی نم زدایی ..... ۱۳
- شکل (۲-۲) شماتیک الگوی جریان عرضی در مدول غشایی ..... ۱۵
- شکل (۲-۳) ساختار غشایی مورد استفاده در نم زدایی گاز طبیعی ..... ۱۵
- شکل (۲-۴) اثر غلظت محلول بر تغییرات وزن مخصوص محلول گلیکول ..... ۲۰
- شکل (۲-۵) اثر غلظت و دما بر روی ویسکوزیته محلول تری اتیلن گلیکول ..... ۲۱
- شکل (۲-۶) حداکثر درجه حرارت مجاز احیاء برای محلول مونو اتیلن گلیکول ..... ۲۲
- شکل (۲-۷) حداکثر درجه حرارت مجاز احیاء برای محلول دی اتیلن گلیکول ..... ۲۲
- شکل (۲-۸) حداکثر درجه حرارت مجاز احیاء برای محلول تری اتیلن گلیکول ..... ۲۳
- شکل (۲-۹) میزان آب موجود در گاز طبیعی ..... ۲۴
- شکل (۲-۱۰) استفاده از گلیکول در سیستم های با درجه حرارت پایین ..... ۲۸
- شکل (۳-۱) شماتیکی از فرایند معمولی نم زدایی گاز طبیعی ..... ۳۵
- شکل (۳-۲) حلالیت متان در فاز تری اتیلن گلیکول ..... ۳۸
- شکل (۳-۳) فشار مخلوط محاسبه شده از ضریب فعالیت ..... ۳۹
- شکل (۳-۴) نمودار T-x مربوط به ناحیه با غلظت بالای تری اتیلن گلیکول در احیا کننده ..... ۳۹
- شکل (۳-۵) ضریب فعالیت رقت بی نهایت آب در تری اتیلن گلیکول ..... ۴۰
- شکل (۳-۶) تعادل بخار-مایع و مایع-مایع سیستم تولوئن-تری اتیلن گلیکول در فشار 1 atm ..... ۴۰
- شکل (۳-۷) روند حلالیت هیدروکربن در فاز گلیکول در دمای ۳۰۰ K ..... ۴۲
- شکل (۳-۸) روند حلالیت بنزن، تولوئن، اتیل بنزن و زایلن ها در فاز گلیکول در دمای ۲۹۵K ..... ۴۲
- شکل (۳-۹) کسر مولی مایع سیستم متان-تولوئن-تری اتیلن گلیکول ..... ۴۳
- شکل (۳-۱۰) تجزیه و تحلیل مقادیر تعادلی ..... ۴۴
- شکل (۳-۱۱) مدار کلی واحد نم زدایی ..... ۴۶
- شکل (۳-۱۲) صفحه properties درون هایسیس ..... ۴۶
- شکل (۳-۱۳) درصد مولی ترکیبات موجود در گاز طبیعی ..... ۴۸
- شکل (۳-۱۴) تعدادی از خصوصیات ترمودینامیکی محاسبه شده ..... ۴۸
- شکل (۳-۱۵) مشخصات جریان های سیستم جدا کننده ..... ۴۹
- شکل (۳-۱۶) منوی برج تمامی دهنده ..... ۵۰
- شکل (۳-۱۷) خصوصیات حاکم در جریان در گذر از شیر VLV-100.2 ..... ۵۱
- شکل (۳-۱۸) شماتیکی از جریانات هیتر E102.2 ..... ۵۲
- شکل (۳-۱۹) تعدادی از خصوصیات ترمودینامیکی محاسبه شده ..... ۵۳

- شکل (۳-۲۰) مشخصات حاکم بر برج احیا تری اتیلن گلیکول ..... ۵۴
- شکل (۴-۱) تغییرات دمایی در برج با عبور از سینی ها ..... ۵۷
- شکل (۲-۴) ( محتوای آب موجود در گاز نم زدایی شده با استفاده از جاذب های مختلف ..... ۵۸
- شکل (۴-۳) رابطه بین تلفات هیدروکربن از احیا کننده گلایکول ..... ۵۹
- شکل (۴-۴) دبی مولی بخار عبوری از هر سینی بر حسب  $\text{kgmol/hr}$  ..... ۶۰
- شکل (۴-۵) دبی مولی مایع عبوری از هر سینی بر حسب  $\text{kgmol/hr}$  ..... ۶۱
- شکل (۶-۴) ( دبی جرمی مایع عبوری از هر سینی بر حسب  $\text{lb/hr}$  ..... ۶۲
- شکل (۴-۷) دبی حجمی مایع عبوری از هر سینی بر حسب  $\text{Lit/hr}$  ..... ۶۲
- شکل (۴-۸) ترکیب درصد آب در هر سینی ..... ۶۴
- شکل (۴-۹) شرایط کلی حاکم بر برج ..... ۶۴
- شکل (۴-۱۰) ( ترکیب درصد جریانات درون برج نم گیر گاز طبیعی ..... ۶۵

## فهرست جداول

- جدول (۳-۱) داده‌های تجربی مربوط به سیستم دوجزئی متان-تری اتیلن گلایکول..... ۳۷
- جدول (۳-۲) داده‌های تجربی مربوط به سیستم دوجزئی آب-تری اتیلن گلایکول..... ۳۷
- جدول (۳-۳) داده‌های تجربی مربوط به سیستم دوجزئی تولوئن-تری اتیلن گلایکول..... ۳۸
- جدول (۳-۴) مقایسه بین داده‌های تجربی..... ۴۵
- جدول (۳-۵) ترکیب گاز طبیعی خام خورمالا و شرایط عملیاتی..... ۴۷
- جدول (۴-۱) شرایط حاکم بر هر سینی در برج..... ۵۷
- جدول (۴-۲) ترکیب درصد مواد در هر سینی..... ۶۳

# فصل ١ :

## مقدمه

## ۱- مقدمه

## ۱-۱- رطوبت‌زدایی از گاز طبیعی

جریان گاز طبیعی خروجی از مخازن زیر زمینی در اغلب موارد بخار آب به‌همراه خود دارد و در پاره ای موارد آب آزاد (Free Water) نیز همراه این جریان تشکیل می‌شود. دمای گاز هنگام حرکت از زیر زمین تا سطح آن باعث افت فشار و تبادل حرارت هدایتی با لوله درون چاه و دیواره های خنک تر سازند کاهش می‌یابد و آنجا که توان گاز در نگهداری بخار آب با دما رابطه مستقیم دارد بنابراین گاز طبیعی تولید شده وقتی به سطح زمین می‌رسد تقریباً اشباع از بخار آب است. کاهش دمای مضاعف این گاز اشباع از بخار آب باعث تشکیل آب آزاد خواهد شد. با خنک تر شدن بیشتر آن تشکیل هیدرات صورت می‌گیرد که باعث آسیب های جدی به تجهیزات فرآیندی، محدودیتهای جریان و انتقال گاز خواهد شد. و اینجاست که آگیری از گاز طبیعی اهمیت خود را نشان میدهد.

نم‌زدایی یا رطوبت‌زدایی یکی از مراحل پالایش گاز طبیعی است. پس از تفکیک نفت با گاز مقداری آب آزاد همراه با گاز طبیعی وجود دارد که بیشتر آن توسط روش‌های جداسازی ساده در سر چاه یا در نزدیکی آن از گاز جدا می‌شود. در حالیکه بخار آب موجود در محلول گاز میبایست طی فرایندی بسیار پیچیده تحت عنوان عملیات نم‌زدایی یا رطوبت‌زدایی از گاز طبیعی تفکیک گردند. در این فرایند بخار آب متراکم و موجود در سطح توسط ماده نم‌زدا جذب و جمع‌آوری می‌گردد. بطور کلی عمل رطوبت‌زدایی یا نم‌زدایی از گاز طبیعی جهت جلوگیری از خسارات ناشی از وجود آن، توسط روش‌های مختلفی انجام می‌گیرد. در ادامه به دو روش متداول نم‌زدایی از گاز طبیعی اشاره شده است. در ادامه تحقیق نیز بطور مفصل تر در مورد نم‌زدایی از گاز طبیعی با استفاده از محلول گلیکول پرداخته شده است و شبیه‌سازی واحد مذکور انجام شده است. همانند جذب آب توسط یک اسفنج، گلیکول نیز آب همراه گاز طبیعی را جذب نموده، آن را از جریان گاز خارج می‌نماید. با مخلوط شدن گاز طبیعی مرطوب و گلیکول، آب جذب گلیکول شده از جریان گاز خارج می‌گردد.

یکی از قسمت‌های فرایند نم‌گیری از گاز طبیعی تقطیر است. در فرآیند تقطیر، با حرارت دادن گلیکول، آب همراه آن جدا می‌شود. گلیکول تا دمای حدود ۲۲۴ درجه سانتیگراد شروع به جوشش نمی‌کند. آب در ۱۰۰ درجه سانتیگراد می‌جوشد. تقطیر آب از گل‌یکول با حرارت دادن مخلوط آب - گلیکول در محدوده دمایی ۱۹۷ تا ۲۰۴ درجه سانتیگراد باعث جدا شدن آب بصورت بخار می‌شود.

اگر دو ظرف یکی محتوی آب گرم و دیگری آب سرد با هم تماس داده شوند دمای آب گرم‌تر کاهش و دمای آب سردتر افزایش می‌یابد. تغییر دمای دو ظرف نتیجه فرآیندی بنام (( انتقال حرارت )) است.

در فرآیند نم‌زدایی، کنترل دمای سیال در محدوده‌ای مشخص جهت بهینه‌سازی کارایی آن اهمیت بسزایی دارد. بنابراین جهت کنترل دمای سیال (گلیکول) استفاده از مبدل‌های حرارتی مد نظر قرار می‌گیرد.

## ۱-۲- جاذب‌های مایع (Liquid desiccants)

مایعات زیادی قدرت جذب آب را دارند اما در فرآیندهای صنعتی ضوابط و معیارهای ویژه‌ای جهت کاربرد یک مایع جذب‌کننده آب وجود دارد که عبارتند از:

- ۱- قدرت جذب آب بالایی داشته باشد.
- ۲- در غلظت‌های بالا جامد نشود.
- ۳- خورنده نباشد.
- ۴- با گاز فراورش شونده تشکیل رسوب ندهد.
- ۵- احیاء آن در غلظت‌های بالا آسان باشد.
- ۶- جداسازی آن آسان باشد.
- ۷- ذاتاً (اساساً) در هیدروکربن‌های مایع محلول نباشد.
- ۸- در شرایط عملیاتی در حضور ترکیبات گوگردی و دی‌اکسید کربن نسبتاً پایدار و مقاوم باشد.



## ۳-۱- رطوبت زدایی با محلول گلیکول

نوع متداول نم‌زدایی جذب (absorption) با عنوان نم‌زدایی گلیکول که ماده اصلی این فرایند می‌باشد شناخته می‌شود. در این فرایند، از مایع نم‌زدای خشک‌کننده حاوی گلیکول برای جذب بخار آب از جریان گاز استفاده می‌شود. در این نوع فرایند اغلب از دو محلول گلیکول باسامی دی اتیل گلیکول (DEG) یا تری اتیل گلیکول (TEG) استفاده می‌گردد.

خواص ملکولی ماده گلیکول شباهت بسیاری با آب دارد بنابراین چنانچه در تماس با جریانی از گاز طبیعی قرار گیرد، رطوبت آب موجود در جریان گاز را جذب و جمع‌آوری می‌نماید. ملکول‌های سنگین شده گلیکول در انتهای تماس دهنده جهت خروج از نم‌زدا جمع و خارج می‌شوند سپس گاز طبیعی خشک نیز از جانب دیگر به بیرون از نم‌زدا انتقال می‌یابد.

محلول گلیکول را از میان دیگ بخار به منظور تبخیر نمودن آب محلول در آن و آزاد کردن گلیکول جهت استفاده مجدد آن در فرایندهای بعدی نم‌زدایی عبور می‌دهند. این عمل با بهره‌گیری از پدیده فیزیکی یعنی وجود اختلاف در نقطه جوش آب تا ۲۱۲ درجه فارنهایت (۱۰۰ درجه سانتیگراد) و گلیکول تا ۴۰۰ درجه فارنهایت صورت می‌گیرد.

DEG ترکیبی آلی، شفاف، نم‌گیر، بی‌بو و همچنین مایعی روغنی شکل، بی‌رنگ، شیرین و رطوبت پسند می‌باشد. این ماده با آب و حلال‌های آلی امتزاج پذیر است. دی اتیلن گلیکول دارای دو گروه اتیلن است که بوسیله یک اتم اکسیژن به یکدیگر متصل شده‌اند. دو اتیلن گلیکول مانند سایر الکل‌های دو عاملی دارای دو گروه عاملی OH است. این ترکیب آلی قابل احتراق و سمی بوده و قابلیت انحلال در آب، الکل، اتر، استون و اتیلن گلیکول را داراست.

دی اتیلن گلیکول ترکیب شیمیایی آلی است دی اتیلن گلیکول در شرایط عادی بوی مشخصی ندارد ولی در غلظت بالای بخار آن ممکن است بوی شیرینی ملایمی داشته باشند. دی اتیلن گلیکول در آب، اتانول، دی اتیل اتر و استون قابل حل می‌باشد.

اتیلن گلیکول (EG) ساده ترین عضو خانواده ی گلیکول ها می باشد. که انواع اتیلن گلیگول عبارتند از : دی اتیلن گلیکول (DEG) ، منو اتیلن گلیکول (MEG) ،تری اتیلن گلیکول (TEG)

مشخصات کلی دی اتیلن گلیکول

- نام شیمیایی : دی اتیلن گلیکول – Diethylene glycol
- فرمول شیمیایی :  $\text{HOCH}_2\text{CH}_2\text{OCH}_2\text{CH}_2\text{OH}$  یا  $\text{C}_4\text{H}_{10}\text{O}_3$
- نقطه ذوب: ۱۰ درجه سانتی‌گراد
- نقطه جوش: ۲۴۵ درجه سانتی‌گراد
- دمای خود آتشگیری: ۲۲۴ درجه سانتی‌گراد
- جرم مولی: ۱۲۰/۱۰۶ گرم بر مول

### ۱-۳-۱- تولید دی اتیلن گلیکول

این ماده از اتیلن به وسیله واسطه ای به نام اتیلن اکساید تولید می شود. در این فرآیند EO و آب با هم واکنش داده و اتیلن گلیکولها شامل MEG، DEG و TEG (تری اتیلن گلیکول) تولید خواهند شد. یکی از نکات جالب در مورد این واکنش این است که واکنش را در محیط هایی با pH متفاوت می توان انجام داد اما برای دست یابی به بازده های بالاتر انجام واکنش در محیط اسیدی و یا خنثی همراه با مقادیر اضافه آب توصیه شده است.

## ۲-۳-۱- تری اتیلن گلیکول

تری اتیلن گلیکول مایعی بی‌رنگ و ویسکوز و با بویی کم است. غیرقابل اشتعال، تقریباً سمی و بدون خطر در نظر گرفته می‌شود. این ماده ترکیبی ویسکوز و بدون رنگ است و قابلیت جذب رطوبت از مواد اطراف خود را دارا می‌باشد. TEG حلالی مایع است و به دلیل داشتن خواص هیگروسکوپی و توانایی برای جذب رطوبت مایعات شناخته می‌شود. این ماده به عنوان یک محصول مشترک از اکسیداسیون اتیلن در دمای بالا در حضور کاتالیست اکسید نقره و سپس هیدراسیون EO برای به دست آوردن مونو، دی و تری از خانواده ی اتیلن گلیکول ها به دست می آید.

این ماده از سری همولوگ های دی هیدرو کسی الکل هاست. به دلیل نوسان پذیری پایین تر و نقطه جوش بالاتر نسبت به مونو اتیلن گلیکول و دی اتیلن گلیکول در رطوبت زدایی از گاز طبیعی بسیار از آن استفاده می‌شود. تری اتیلن گلیکول در اسید استیک، الکل ها، گلیسرین و آلدهید ها محلول می باشد اما در دی اتیل اتر به مقدار اندک حل می شود. TEG در چربی ها، روغن و اکثر هیدروکربن ها نامحلول است.

## مشخصات کلی تری اتیلن گلیکول

- نام شیمیایی: تری اتیلن گلیکول ( Triethylene glycol ( TEG )

- فرمول شیمیایی:  $C_6H_{14}O_4$

- چگالی: ۱,۱۲۵ در ۶۸ درجه فارنهایت

- نقطه ذوب: ۲۴,۳ درجه فارنهایت

- نقطه جوش: ۵۴۵ درجه فارنهایت

- ویسکوزیته: ۴۷,۸ سانتی پویز

- شکل ظاهری: مایعی بی‌رنگ و ویسکوز و با بویی کم

## ۴-۱- رطوبت زدایی با ماده خشک کننده جامد

رطوبت زدایی با ماده خشک کننده جامد که معمولاً مؤثرتر از نم زدهای گلیکول هستند نیز با استفاده از روش جذب سطحی صورت می‌گیرد. جهت این کار به حداقل دو برج یا بیشتر نیاز می‌باشد که به کمک یک ماده خشک کننده جامد شامل آلومینا یا ماده سیلیکا ژل پر شده است.

نم زدایی با ماده خشک کننده جامد اولین شیوه نم زدایی گاز طبیعی با استفاده از روش جذب سطحی است گاز طبیعی از داخل این برج‌ها، از بالا به پایین عبور داده می‌شوند. گاز طبیعی در این فرایند ضمن عبور از اطراف ذرات ماده خشک کننده رطوبت‌های موجود در جریان گاز طبیعی به سطح ذرات ماده خشک کننده جذب می‌گردد و با تکمیل این فرایند تقریباً تمام آب توسط ماده خشک کننده جامد جذب شده و نهایتاً گاز خشک از انتهای برج خارج شود.

این نوع از سیستم نم زدایی از آنجاییکه در رابطه با حجم فراوان گاز تحت فشارهای بالا مناسب هستند معمولاً در انتهای یک خط لوله در یک ایستگاه کمپرسور قرار دارند. در این سیستم نیز همانند گلیکول در روش اول ماده خشک کننده جامد بعد از اشباع شدن از آب جهت احیاء و استفاده‌های مکرر از سیستم‌های گرمکن با درجه حرارت بالا جهت تبخیر بخار آب موجود در گلیکول بکار گرفته می‌شوند.

گاز طبیعی اینک با طی تمام مراحل تصفیه به‌طور کامل فرآوری و برای مصرف آماده گردید بنابراین در پایان با تقویت فشار آن تا حدود ۱۰۰۰ psi و پس از محاسبه حجم آن توسط سیستم اندازه‌گیری به خط لوله خروجی پالایشگاه هدایت و تحویل مدیریت منطقه عملیات انتقال گاز مربوطه می‌گردد.

در بهره‌برداری از خطوط لوله گاز طبیعی، انسداد یا نشتی باعث تلفات گران‌قیمت در تولید، آسیب دیدن تجهیزات و خطرات ایمنی می‌شود. به‌عنوان مثال در صورت وجود آب، خصوصاً در دمای پایین و فشار زیاد هیدرات‌های گازی تشکیل می‌شوند که یک مسدودکننده یخی در مخلوط گاز طبیعی می‌سازند. با وجود آب، دی‌اکسید کربن و هیدروژن سولفید، گازهای اسیدی در خطوط لوله تولید می‌شوند که باعث خوردگی می‌شوند و می‌توانند به تجهیزات پایین دست آسیب برسانند. به‌منظور ایجاد عملیات ایمن و قابل اعتماد، سازمان‌ها نیاز به حذف آب آزاد از گاز طبیعی دارند.

## ۵-۱- نرم افزار هایسیس

نرم افزار مورد استفاده در این تحقیق، نرم افزار مهندسی Aspen HYSYS است. نرم افزار هایسیس از نرم افزارهای قدرتمند مهندسی شیمی به شمار می رود. این نرم افزار ساخت شرکت نرم افزاری مشهور AspenTech می باشد که در زمینه شبیه سازی فرآیندهای پالایشگاهی، پتروشیمی، الکترولیتی و مواد جامد بسیار قدرتمند و دقیق می باشد. دقت بالای نرم افزار و قدرتمندی آن که ناشی از بسته های خواص مربوط به مواد مختلف می باشد، سبب شده است تا این نرم افزار مدل های بسیار واقعی را ارائه دهد. Hysys محاسبات طولانی و پیچیده مهندسی را در کمترین زمان و توسط دقیق ترین روش ها محاسبه نموده و در اختیار کاربر قرار می دهد. در ایران شرکت هایی که در زمینه صنایع نفت، گاز، پالایشگاه ها و پتروشیمی ها فعالیت دارند، بیشترین استفاده را از این نرم افزار دارند. به کمک نرم افزار هایسیس علاوه بر شبیه سازی واحدهای شیمیایی، می توان هریک از تجهیزات فرآیندها را نیز به صورت جداگانه شبیه سازی و بررسی نمود.

نرم افزار Hysys با توجه به پردازشگر قدرتمندی که دارد، مسائل دشوار و پیچیده مهندسی را در کمترین زمان حل نموده و دقیق ترین تحلیل ها را ارائه می دهد.

نرم افزار Hysys دارای مجموعه ای کامل از مواد شیمیایی خالص و بسته خواص آن ها می باشد. همچنین معادلات ترمودینامیکی مختلف و ضرایب اکتیویته و بسیاری از داده های ترمودینامیکی دیگر در کتابخانه Hysys موجود می باشد که به کمک آن ها می توان بسیاری از سیستم های ایده آل، شبه ایده آل و غیر ایده آل با فشار های بالا را به راحتی و با دقت بالا شبیه سازی کرد. همچنین هایسیس این قابلیت را نیز فراهم کرده است تا موادی که در کتابخانه آن وجود ندارد را به راحتی درون نرم افزار اضافه کرده و نرم افزار خواص فیزیکی و شیمیایی آن را پیش بینی می کند. نرم افزار هایسیس قابلیت شبیه سازی بسیاری از تجهیزات فرآیندی نظیر انواع راکتور ها، برج های تقطیر و استخراج، مبدل های حرارتی، میکسر، پمپ ها و کمپرسور ها، تجهیزات جداسازی مواد مختلف، انواع عملیات منطقی و... را دارا می باشد. همچنین می توان با دقت بالایی فرآیند های شیمیایی را شبیه سازی نموده و به تحلیل و بررسی آن پرداخت.

در این تحقیق بسیاری از این تجهیزات در فرایند رطوبت زدایی از گاز طبیعی استفاده شده است. توسط Hysys می‌توان فرآیندهای شیمیایی و تجهیزات فرآیندی را شبیه‌سازی و تغییرات دلخواه را روی آن اعمال کرد. با این کار نتایج حاصل از تغییرات فرآیند قابل مشاهده و قابل مقایسه می‌باشند. در بسیاری از موارد از Hysys جهت بهینه‌سازی محصولات و شرایط انجام عملیات استفاده می‌گردد.

## فصل ۲ :

### مروری بر منابع

## ۱-۱- مروری بر منابع

تقاضای بالای گاز طبیعی در دهه اخیر چشمگیر بوده است. گاز طبیعی نقش پررنگی در اقتصاد و توسعه اخیر جهان دارد. باین‌حال، گاز طبیعی در مخازن عمیق زیرزمینی تحت دما و فشار خاصی وجود دارد. بنابراین ممکن است حاوی چندین جز غیر هیدروکربنی مانند دی‌اکسید کربن، نیتروژن و بخار آب باشد. درواقع گاز طبیعی که توسط خطوط انتقال گاز منتقل یا مورد بهره‌برداری قرار می‌گیرد باید از مشخصات خاصی برخوردار باشد. به‌عنوان مثال غلظت هیدروژن سولفید باید به کمتر از ۴ ppm کاهش یابد [۱].

گنبد خورمالا شمالی‌ترین گنبد از سازه میادین نفتی کرکوک است. مساحت گنبد تقریباً ۲۰ کیلومتر در ۸ کیلومتر است. باین‌حال این گنبد تا سال ۲۰۰۳ توسعه نیافته است. امروزه میدان خورمالا به‌عنوان منبع اصلی سوخت منطقه کار کردستان عراق در نظر گرفته شده است [۲]. گاز طبیعی در حال حاضر در این میدان شعله‌ور است. برنامه‌ای برای بازیابی و تجارت این گاز در نظر گرفته شده است تا از آن به‌عنوان منبع تغذیه نیروگاه برق یا فروش آن در بازار جهانی استفاده شود. باین‌حال تجزیه و تحلیل‌های آزمایشگاهی نشان داده است که گاز طبیعی خورمالا دارای مقادیر زیادی هیدروژن سولفید (در حدود ۵,۳ درصد) و کربن دی‌اکسید (در حدود ۴,۴ درصد) است [۳].

در مطالعات زیادی فرآیند شیرین‌سازی گاز خورمالا انجام شده است. باین‌حال گاز شیرین خورمالا هنوز مرطوب است و مقدار قابل‌توجهی بخار آب دارد که ممکن است منجر به چندین مشکل فنی مانند تشکیل هیدرات و خوردگی شود. در حقیقت بخار آب در گاز طبیعی باید کاهش یابد یا حذف شود و دلایل اصلی حذف آب از گاز طبیعی می‌تواند به شرح زیر باشد:

- محتوای آب در گاز طبیعی مقدار گرمای گاز را کاهش می‌دهد.
- آب مایع در خطوط لوله گاز طبیعی به‌طور بالقوه باعث ایجاد شرایط جریان لخته‌ای و در نتیجه کاهش راندمان جریان در خط لوله می‌شود [۴].
- در بیشتر فرآیندهای تجاری هیدروکربنی، وجود آب ممکن است باعث ایجاد واکنش‌های جانبی مانند غیرفعال‌سازی کاتالیزور و تشکیل فوم شود.



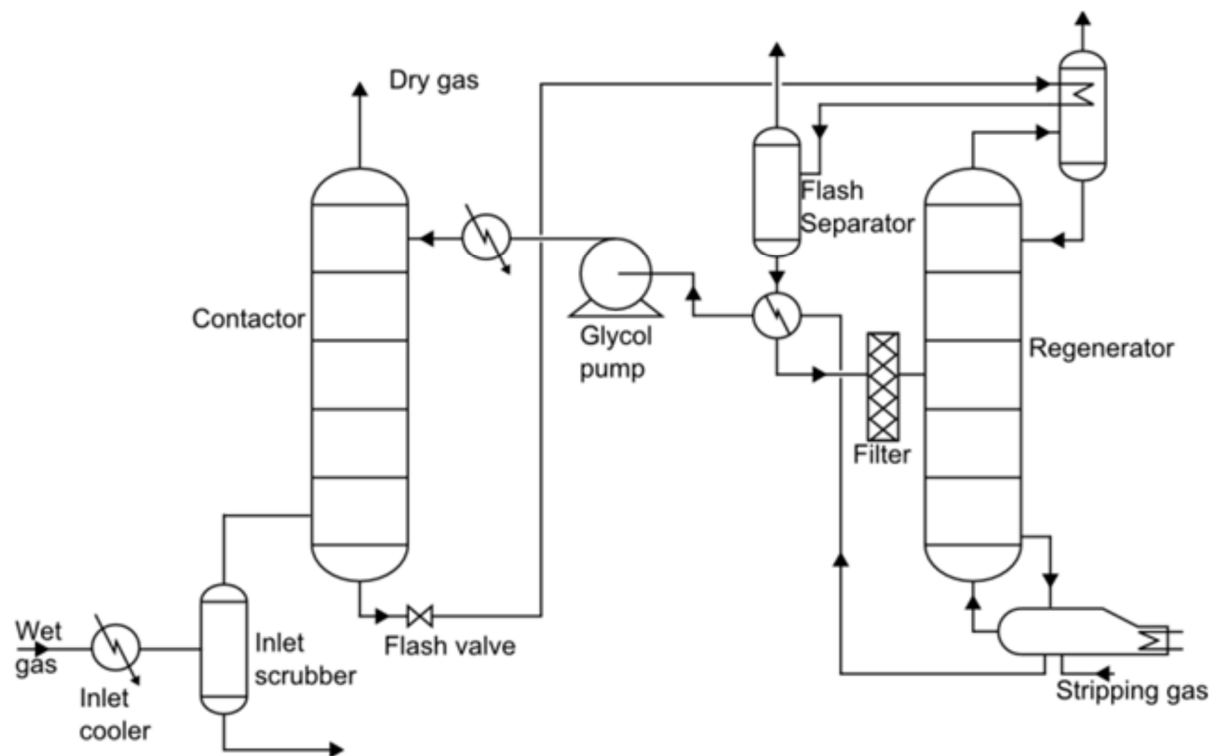
بنابراین برای جلوگیری از چنین مشکلاتی تصفیه گاز طبیعی امری اجتناب‌ناپذیر است. روش‌های مختلفی برای کاهش یا حذف آب موجود در گاز طبیعی مانند جذب سطحی، جذب، فرآیند غشایی، فرآیند متانول و تبرید وجود دارد [۵]. به دو روش کلی از این فرایند در ابتدای این فصل اشاره کلی گردید. از میان روش‌های ذکرشده، جذب که به آن نهم‌زدایی گفته می‌شود و از حلال مایع به‌عنوان جاذب استفاده می‌شود رایج‌ترین تکنیک برای تصفیه گاز طبیعی است [۴] و [۵].

نهم‌زدایی از گاز توسط گلیکول قادر است محتوای آب گاز طبیعی را به بیش از ۰٫۱ ppm کاهش دهد [۶]. فرآیند گلیکول موفق‌ترین و رایج‌ترین فرآیند درزمینه صنعت گاز در نظر گرفته می‌شود [۴]. درواقع در این فرآیند از خشک‌کننده مایع گلیکول به‌عنوان یک حلال شیمیایی برای حذف بخار آب از جریان گاز طبیعی استفاده می‌شود.

مایع گلیکول تمایل زیادی به بخار آب دارد و انواع مختلفی از گلیکول مانند مونواتیلن گلیکول (MEG) و دی‌اتیلن گلیکول (DEG) وجود دارد که در فرآیند گلیکول استفاده می‌شود [۴]. فرآیند نهم‌زدایی از چندین واحد عملیاتی شامل برج تماس دهنده، برج احیاکننده و مبدل حرارتی تشکیل شده است. شکل ۱ فرایند معمول نهم‌زدایی گاز را نشان می‌دهد. در طی فرآیند، گلیکول عاری از آب مانند دی‌اتیلن گلیکول از بالا وارد ستون جذب می‌شود. حلال غنی از آب از پایین ستون جمع شده و برای احیا ارسال می‌شود [۷]. گاز مرطوب پس از عبور از اسکرابر به ستون جذب وارد می‌شود. اسکرابر، مایع آزاد و قطرات مایع موجود در گاز که شامل آب و هیدروکربن‌ها است را از جریان گاز طبیعی جدا می‌کند (جداسازی مایع در اسکرابر مقدار آبی که باید در ستون جذب حذف شود را کاهش می‌دهد، این کار باعث کاهش اندازه ستون و در نتیجه کاهش تری اتیلن گلیکول موردنیاز در فرآیند می‌شود). [۶] و [۷]. مبدل‌های حرارتی برای خنک کردن گاز مرطوب قبل از ورود به اسکرابر استفاده می‌شوند.

تری اتیلن گلایکول غنی از آب که به‌عنوان جریان برگشتی (رفلاکس) در بالای ستون جذب استفاده می‌شود از میان یک کویل عبور می‌کند تا دمای آن افزایش یابد. قبل از اینکه حلال غنی از آب وارد احیاکننده شود یک مخزن فلاش سه فازی برای حذف گازهای اسیدی و هیدروکربن‌های جذب‌شده در تری اتیلن گلایکول مورد استفاده قرار می‌گیرد.

ستون احیاکننده در واقع یک ستون تقطیر است که محتوای آب را از تری اتیلن گلایکول جدا می‌کند. تری اتیلن گلایکول غنی از آب قبل از اینکه وارد بخش احیا شود در یک مبدل حرارتی دیگر پیش گرم می‌شود. در انتهای چرخه فرآیند، تری اتیلن گلایکول احیا شده در مبدل حرارتی سوم خنک می‌شود و برای استفاده مجدد به ستون نم‌زدایی برمی‌گردد [۸].



شکل (۲-۱) فرایند معمولی نم‌زدایی

به دلیل خطر تشکیل هیدرات گازی، خوردگی در خطوط لوله و صدمه به تجهیزات پایین‌دست، با حذف آب آزاد از گاز طبیعی می‌توان عملیات ایمن‌تر و قابل‌اطمینان‌تری را فراهم کرد [۱۰] و [۱۱]. بسیاری از دولت‌ها یا آژانس‌های تنظیم‌کننده قوانین و مقررات مربوط به خطوط لوله، محدودیت‌هایی در خصوص محتوای آب موجود در گاز فروشی یا محصول قابل شستشو وضع کرده‌اند. مشخصات معمول در جنوب ایالات متحده  $7\text{lb/MMscf}$ ، در شمال ایالات متحده  $4\text{lb/MMscf}$  و در کانادا  $2\text{lb/MMscf}$  است [۱۲].

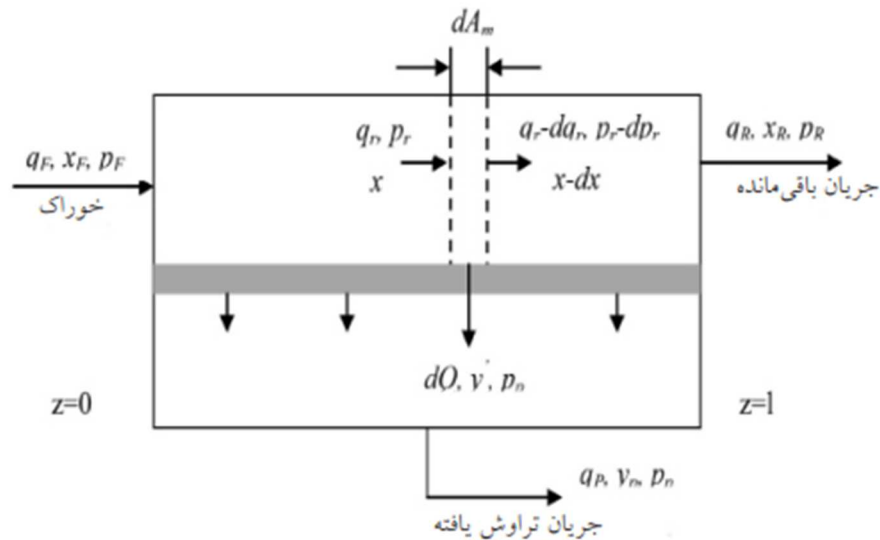
درحالی‌که گزینه‌های زیادی برای حذف آب اضافی وجود دارد، نم‌زدایی با استفاده از گلیکول رایج‌ترین روش مورد استفاده در این زمینه است به‌طوری‌که  $36000$  واحد نم‌زدایی با گلیکول در ایالات متحده وجود دارد، اما دیگر انواع گلیکول‌ها از جمله دی اتیلن گلیکول (DEG) و مونو اتیلن گلیکول (MEG) نیز استفاده می‌شود.

بااین‌حال، هنوز هم برخی مشکلات مربوط به واحدهای نم زدا وجود دارد، زیرا اغلب بیش از حد مورد نیاز طراحی می‌شوند در نتیجه سرمایه یا هزینه‌های عملیاتی بالایی نیاز دارند. بر اساس گزارشی از آژانس حفاظت از محیط‌زیست ایالات متحده (EPA)، تری اتیلن گلیکول (TEG) دو یا چند برابر بیشتر از حد لازم در گردش مجدد است [۱۳]. به‌منظور اطمینان از اینکه گزینه‌های طراحی، الزامات مورد نیاز برای صرفه‌جویی در سرمایه، هزینه‌های حلال یا انرژی را برآورده می‌کنند، مدل‌سازی ترمودینامیکی و یک دید کلی از عملیات مورد نیاز است.

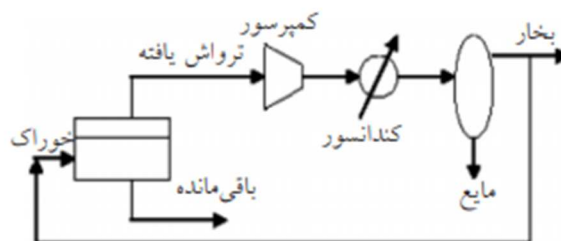
در این تحقیق مدل‌سازی فناوری نم‌زدایی با اسپن‌هایسیس در ورژن ۱۰ و بالاتر مورد بحث قرار گرفته است. اسپن‌هایسیس از نظر تاریخی پکیج خواص گلیکول را برای تری اتیلن گلیکول به کار می‌برد. با افزودن پکیج مکعبی به‌اضافه تجمعی (Cubic-Plus-Association) (CPA) در ورژن ۱۰، می‌توان از اسپن‌هایسیس برای مدل‌سازی نم‌زدایی با تری اتیلن گلیکول، دی اتیلن گلیکول و مونو اتیلن گلیکول استفاده کرد [۱۴] و [۱۵]. در ابتدا، ما معادله حالت مکعبی به‌اضافه تجمعی و بسط پارامترهای مدل را توصیف خواهیم کرد، سپس یک نمای کلی از فرایند نم‌زدایی گاز طبیعی و الزامات انتشار BTEX را ارائه خواهیم داد و در مورد نحوه مدل‌سازی نم‌زدایی در اسپن‌هایسیس بحث خواهیم کرد.

ما با مقایسه نتایج محاسبات با داده‌های تعادلی تجربی سیستم‌های دوجزئی و چندجزئی، اعتبارسنجی پکیج مکعبی به‌اضافه تجمعی (CPA) را بررسی خواهیم کرد. سرانجام از بسته خواص در مدل نم‌زدایی اسپن هایسیس - با تمرکز بر دو مطالعه موردی - استفاده خواهد شد.

با توجه به اهمیت بالای نم‌زدایی از گاز تحقیقات بسیاری در زمینه‌های مختلفی از این فرایند انجام شده است. مهدی پورافشاری و همکاران به مدل‌سازی و شبیه‌سازی سیستم غشایی نم‌زدایی پرداخته‌اند و از لحاظ اقتصادی آن را با سایر روش‌های دیگر مقایسه نموده‌اند. در شکل (۲-۱) شماتیکی از غشا و ساختار آن برای استفاده در نم‌زدایی گاز طبیعی آورده شده است.



شکل (۲-۲) شماتیک الگوی جریان عرضی در مدول غشایی



شکل (۲-۳) ساختار غشایی مورد استفاده در نم‌زدایی گاز طبیعی

پارس جنوبی یکی از پالایشگاههای مدرن و پیشرفته واقع در جنوب ایران در منطقه عسلویه، و در نزدیکی، روستای نخل تقی واقع در ۲۷۰ کیلومتری جنوب شرقی بوشهر در نزدیک ساحل شمال شرقی خلیج فارس می باشد. خلیج فارس می باشد. این پالایشگاه تقریباً در فاصله ۱۰۵ کیلومتری از مخزن هیدروکربونی پارس جنوبی قرار دارد، منابع هیدروکربوری مورد استفاده که به عنوان خوراک استفاده می گردند در حدود ۱۰۰ کیلومتری در عمق دریا قرار دارند که گاز توسط دو لوله ۳۲ اینچی به خشکی و به پالایشگاه فازهای ۲ و ۳ پارس جنوبی فرستاده شده و عملیات تصفیه در این پالایشگاه بر روی آنها صورت می گیرد.

## ۲-۱- واحد آب گیری از گاز

هدف از این واحد، حذف آب از گاز شیرینی است که قرار است خوراک واحد ۱۰۵ یعنی واحد تنظیم نقطه شبنم و حذف مرکپتان از گاز باشد. واحد نم زدایی از گاز، شامل چهار بخش کاملاً مشابه و قرینه می باشد که این چهار واحد به صورت موازی کار می کنند. هر یک از این واحدها شامل سه قسمت اصلی می باشد:

- بخش جذب که در آن آب از فاز گاز و از گاز مرطوب توسط تری اتیلن گلیکول حذف شده و به فاز مایع یعنی محلول تری اتیلن گلیکول می پیوندد. حداکثر غلظت آب در گاز خشک خروجی از واحد باید کمتر از ۴ ppm باشد.

- بخش راکتور حذف جیوه که در آن جیوه موجود در گاز حذف شده و میزان آن در گاز خشک کمتر از ۱۰ نانوگرم در هر نرمال متر مکعب خواهد رسید.

- بخش احیاء گلیکول که در آن آب جذب شده توسط گلیکول برای جداسازی آب از تری اتیلن گلیکول جدا شده و گلیکول مذکور برای جذب مجدد آب از گاز، به برج جذب پمپ می شود.

گاز شیرین و خشک سپس به واحد ۱۰۵ یعنی واحد تنظیم نقطه شبنم و حذف مرکپتان تحویل می شود.

## ۳-۱- سیستم های تزریق گلایکول

سیستم های تزریق گلایکول با توجه به روش استفاده از گلایکول که در سیستم های جمع آوری گاز بیشتر متداول است، در مسیر تأسیسات سر چاهها گلایکول و در مسیر عبور گازها، گلایکول تزریق می شود تا شبکه جمع آوری گ از را از مشکل ایجاد یخ زدگی به دور نگه دارد. گلایکول به همراه گاز جریان پیدا کرده و در وضعیت عملیاتی افت درجه حرارت به علت انبساط گازها و یا تبادل حرارتی به طور مداوم آب موجود در گازها را جذب نموده و از بروز شرایطی که تحت آن شرایط در مسیر گازها یخ جامد می تواند به وجود آید، جلوگیری به عمل می آورد. علی الخصوص خنک شدن جریان گاز باعث جدا شدن هیدروکربن های مایع شده و در نتیجه جداسازی گلایکول و هیدروکربن های مایع مطرح می گردد. ممکن است برای انجام مؤثر کار جداسازی استفاده از کوره حرارتی لازم باشد، علت این است که در درجه حرارت پائین مخلوط مایعات ایجاد امولسیون پایدار نموده ولی این مخلوط با افزایش درجه حرارت به طور سریعتری قابل جداسازی می باشند. منو اتیلن گلایکول در این سیستم های عملیاتی نسبت به دی اتیلن گلایکول و تری اتیلن گلایکول دارای مزیتی نسبی است به آن دلیل که منو اتیلن گلایکول دارای درجه حلالیت کمتری در هیدرو کربن های مایع می باشد. همچنین منو اتیلن گلایکول به علت داشتن ویسکوزیته کم و بر مبنای وزنی مشخص دارای خاصیت ضد یخ زدگی بهتری می باشد. البته دو نوع گلایکول دیگر، دارای فشار بخار پائین تری هستند.

درمجموع گاز پارس جنوبی تقریباً در تمامی فازها (بجز فاز اول) از منو اتیلن گلایکول برای جلوگیری از تشکیل پدیده هیدرات در خطوط دریایی، در سکوها ی دریایی استفاده می شود که این ماده در تأسیسات واقع در خشکی (پالایشگاه) جدا شده و پس از احیا برای استفاده مجدد توسط خطوط دریایی به سکوها ارسال می شود.

## ۴-۱- سیستم و عملیات آبیگری گلایکول در کارخانه های گاز مایع

آبیگری از گاز غنی به دلیل جلوگیری از تشکیل یخ زدگی انجام می گیرد ، که اصطلاحاً به این کار خنک کردن گاز نیز گفته می شود. سیستم آبیگری در کارخانه های گاز و گاز مایع یکی از مهمترین سیستمها بوده و مراقبت صحیح از آن جهت بازدهی خوب ، اهمیت دارد. چون عدم توجه به آن سبب مشکلات و چه بسا با از کارافتادن واحد خواهد شد. برای آبیگری از گاز ، روشهای مختلفی استفاده می شود، البته تمام روشهای آبیگری بر مبنای کنترل مقدار آب موجود در گاز از راه تزریق بعضی کنترل کننده ها یا مواد شیمیایی برای پائین آوردن نقطه انجماد آن است، از جمله این مواد شیمیایی متانول را می توان نام برد ، که بیشتر برای رفع یخ زدگی استفاده می شود. از دیگر مواد شیمیایی ضد یخ می توان از محلولهای گلایکول که دارای خواص عالی آبیگری نیز می باشند، نام برد. تمام مواد ذکر شده بالا، با آب موجود در گاز وارد یک واکنش شیمیایی دو طرفه می شوند که باعث پائین آوردن نقطه شبنم گاز می شوند.

قسمتهای مختلف یک سیستم آبیگری گلایکول عبارتند از:

مخزن گلایکول، پمپ های تزریق گلایکول، صافیه ها، افشانکهای تزریق گلایکول، جداکننده گلایکول، مبدل های حرارتی، ظرف افت فشار، جوشاننده گلایکول، مخزن موجگیر مخزن گلایکول، جهت ذخیره گلایکول در پالایشگاه است که کمبود یا هدر رفتن گلایکول در سیستم را از آن جبران می کنند. برای جلوگیری از تماس اکسیژن هوا با آن و اکسیده شدن گلایکول که خاصیت گلایکول را از بین برده و باعث اشکالات دیگری در سیستم گاز خواهد شد، بالای آن را با یک گاز می پوشانند که اصطلاحاً به آن گاز پتویی گفته می شود. پمپ های تزریق گلایکول، گلایکول را از مخزن مکیده ، پس از عبور از فیلترها، از طریق افشانکها وارد گاز می کنند.

برای تزریق گلایکول به گاز به این خاطر از افشانکها استفاده می شود که بتوان گلایکول را بخوبی با گاز در تماس قرار داد، تا بخارات آب آنرا جذب کند ، در غیر این صورت گلایکول تنها با مقدار کمی از گاز تماس پیدا خواهد کرد. علاوه بر تزریق گلایکول در ابتدای مبدل حرارتی ، در ابتدای چیلر، هم از طریق افشانکها، گلایکول تزریق می گردد تا اطمینان حاصل شود که بخار آب همراه گاز نباشد و در قسمت سرد کننده ایجاد یخ زدگی نکند.

#### ۵-۱- انتخاب ماده مایع جاذب رطوبت

اینکه چه نوع گلایکولی انتخاب کنیم، بستگی زیادی به ترکیب گاز دارد ، اگر قرار است که به لوله حامل گاز طبیعی گلایکول تزریق شود، منطقی است که در این صورت اتیلن گلایکول مورد استفاده قرار گیرد. براساس پوند گلایکول تزریقی به پوند آب موجود در گاز، این نوع گلایکول، دمای یخ زدگی را نسبت به سایر انواع گلایکول ها بیشتر کاهش می دهد. اگر قرار است که گلایکول به گاز قبل از تفکیک کننده با دمای پائین تزریق شود و کاملاً این گلایکول با هیدروکربن مایع در تماس قرار بگیرد، اینجا نیز با جداسازی آب از گاز با اتیلن گلایکول بهترین انتخاب است زیرا مقدار حلالیت در هیدروکربن مایع ( با وزن مولکولی زیاد) نسبت به سایر انواع گلایکول ها حداقل است.

اما از طرف دیگر مقدار هدر رفتن گلایکول همراه گاز در مورد دی اتیلن و تری اتیلن گلایکول، در مقایسه با اتیلن گلایکول کمتر است، زیرا دارای فشار بخار کمتر و در نتیجه مقدار تبخیر کمتری دارا می باشد. تری اتیلن گلایکول، کمترین هدررفت را همراه گاز دارد چرا که فشار بخار آن از مونو و دی اتیلن گلایکول خیلی کمتر است. اما از طرفی به علت بالا بودن وزن مولکولی، تأثیر آن در جلوگیری از یخ زدگی مسلماً به خوبی مونو و دی اتیلن گلایکول، نیست.

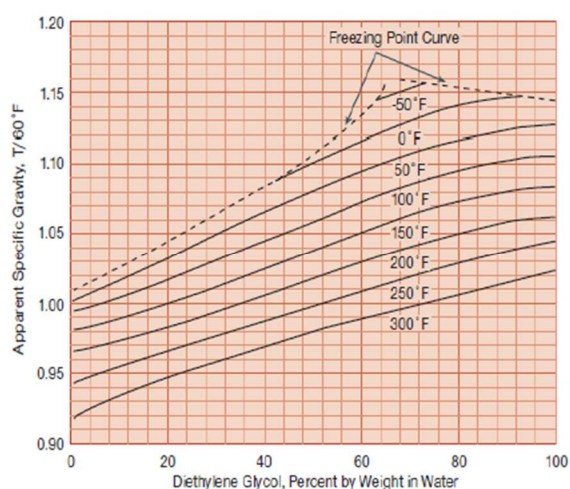
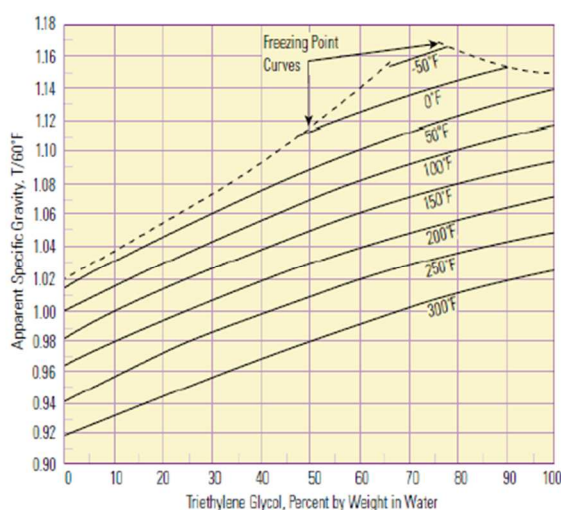


گرچه مونو اتیلن گلیکول معمولاً بهترین ضدیخ است اما معمولاً در آب‌گیری از آن استفاده نمی‌شود و این به علت همان بالا بودن فشار بخار و هدررفتن زیاد آن به صورت تبخیر است، بنابراین برای آب‌گیری دی اتیلن و تری اتیلن گلیکول، مناسب‌تر می‌باشند. در نتیجه در مواردی که جهت آب‌گیری گاز، تزریق گلیکول در مراحل بعدی عملیات مورد نیاز است، بهتر است فقط یک نوع گلیکول آن هم نوعی که سنگین‌تر است، مورد استفاده قرار گیرد.

به این ترتیب فقط یک دستگاه تغلیظ مجدد گلیکول مورد نیاز بوده و فقط یک نوع گلیکول را باید انبار کرد. مضافاً اگر گلیکول تزریقی اتفاقاً همراه گاز از ظرف تفکیک بیرون رود، باعث ایجاد اشکال در عملیات آب‌گیری بعدی نخواهد شد (زیرا از همان نوع گلیکول است). در این موارد غالباً دی اتیلن گلیکول برای هر دو منظور به کار می‌رود.

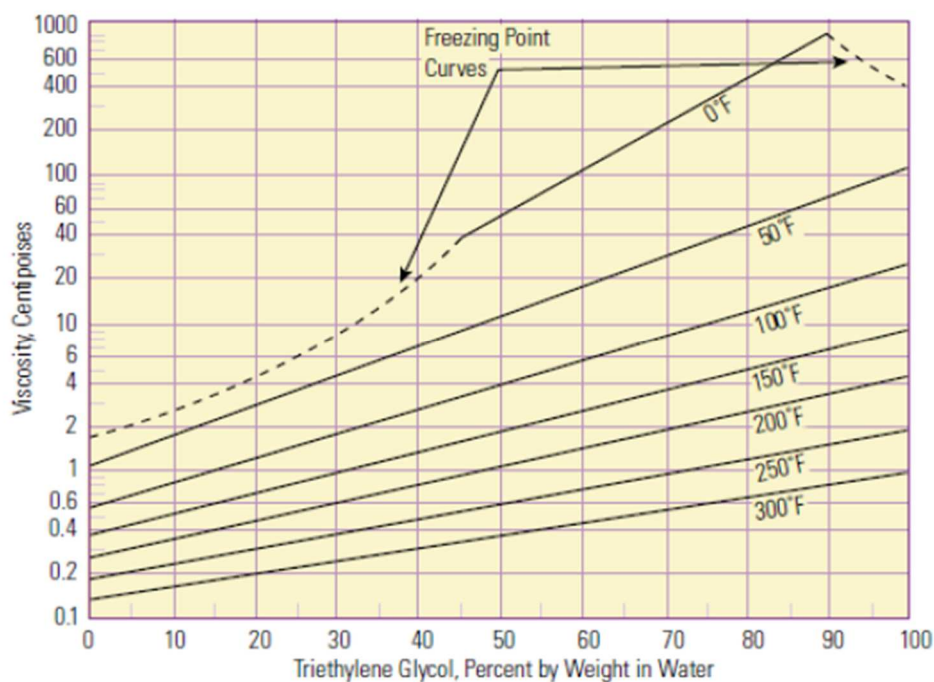
نکاتی در خصوص خواص فیزیکی گلیکول‌ها

در نمودار (۲-۱) اثر دما، غلظت محلول گلیکول بر مقدار وزن مخصوص محلول‌های دی اتیلن گلیکول و تری اتیلن گلیکول قابل مشاهده می‌باشد، همانگونه که مشاهده می‌شود با افزایش غلظت گلیکول میزان وزن مخصوص محلول افزایش پیدا می‌نماید.



شکل (۲-۴) اثر غلظت محلول بر تغییرات وزن مخصوص محلول گلیکول

در شکل (۱) اثر دما در مقدار ویسکوزیته محلول TEG مشخص است.

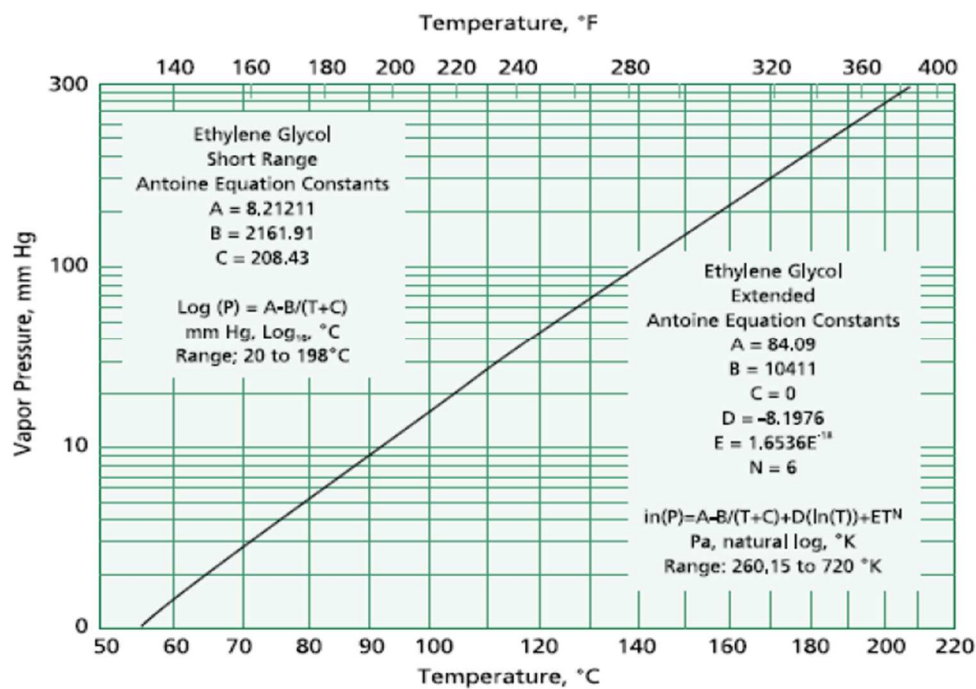


شکل (۵-۲) اثر غلظت و دما بر روی ویسکوزیته محلول تری اتیلن گلیکول

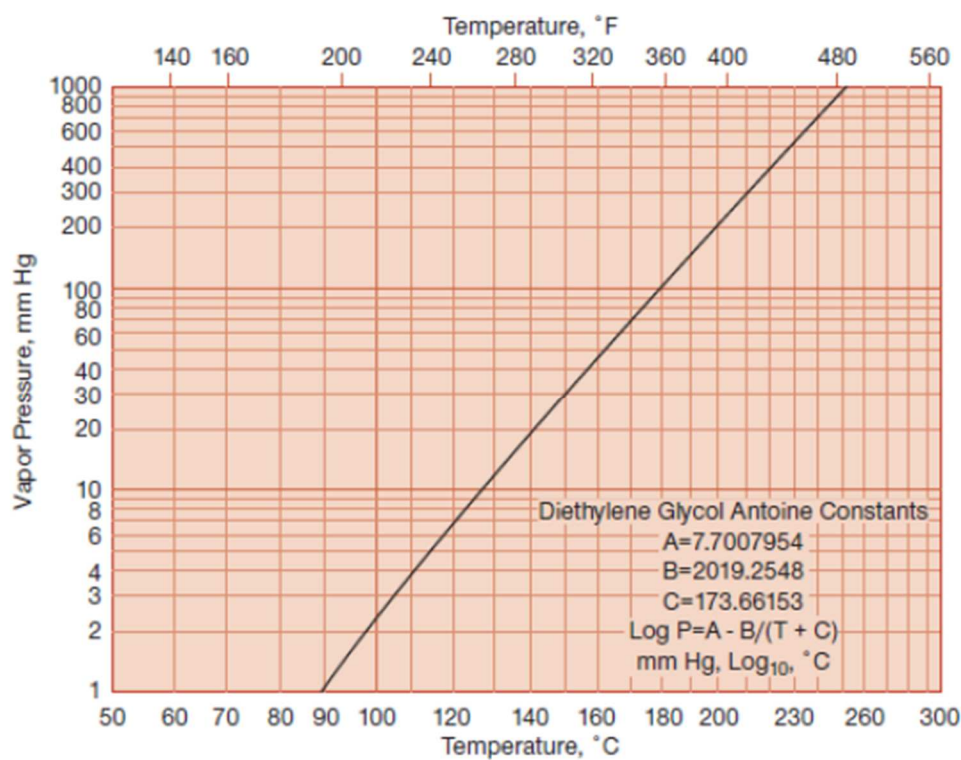
شکل‌های (۲-۶)، (۲-۷) و (۲-۸) جهت بررسی و برآورد هرزرفت بخار محلول‌های MEG، DEG و TEG در

غلظت‌های مختلف قابل استفاده می‌باشد. در این شکل‌ها محلول اوتکتیک گلیکول MEG با غلظت ۶۰ تا

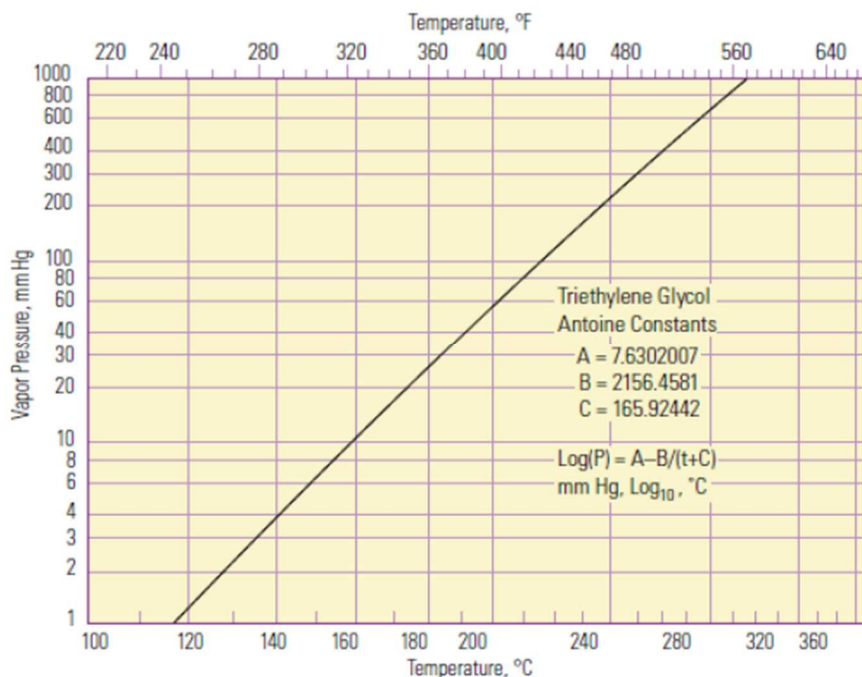
۸۰ درصد مشخص می‌گردد.



شکل (۶-۲) حداکثر درجه حرارت مجاز احیاء برای محلول مونو اتیلن گلیکول



شکل (۷-۲) حداکثر درجه حرارت مجاز احیاء برای محلول دی اتیلن گلیکول



شکل (۸-۲) حداکثر درجه حرارت مجاز احیاء برای محلول تری اتیلن گلیکول

#### ۶-۱- گلیکول و نقش آن در تنظیم نقطه شبنم گاز

برای محاسبه مقدار آب موجود در گاز طبیعی اشباع و با فشار و درجه حرارت مشخص از نمودار شماره ..... استفاده می‌شود. در قسمت چپ خط یاد شده زمانی که گاز اشباع خنک می‌شود ایجاد هیدرات می‌کند. نقطه شبنم نقطه ای است که با خنک کردن گاز اولین ذره شبنم ( بصورت آب ) در آن ظاهر می‌شود در این حالت بخار آب اشباع با آب تقطیر شده در حالت تعادل قرار می‌گیرند.

چنانچه گاز طبیعی مثلاً در نقطه شبنم حداکثر ۴۰ درجهٔ فارنهایت مورد نیاز باشد به یک سیستم نم‌زدائی برای جذب ۶۲ پوند آب در هر میلیون استاندارد فوت مکعب در فشار ۱۰۰ پوند بر اینچ مربع و یا به سیستمی برای جذب ۹ پوند آب در هر میلیون استاندارد فوت مکعب در فشار ۱۰۰۰ پوند بر اینچ مربع، نیاز خواهد بود.

 $\gamma \Sigma$

## ۷-۱- معرفی واحدها و تجهیزات نم‌زدایی با گلایکول

## اصول طراحی و بهره‌برداری برج جذب با گلایکول

بستگی به خصوصیات و نیازهای عملیاتی واحد نم‌زدائی با DEG، برجهای جذب معمولاً بین چهار تا ده سینی دارند. درجه حرارت گلایکول احیاء شده باید حدود ۱۰ درجه فارنهایت بیشتر از درجه حرارت گاز ورودی به برج جذب باشد. باید مطمئن بود که تجمع کننده گلایکول عایق کاری شده نباشد، این موضوع کمک خواهد کرد تا گلایکول احیاء شده سریع تر خنک شود. مبدل های حرارتی گلایکول به گلایکول و یا مبدل حرارتی گاز به گلایکول، همیشه باید تمیز نگهداری شوند تا حداکثر تبادل حرارتی انجام پذیرد. درجه حرارت ریویلر با توجه به نوع گلایکول در مقدار بهینه خود نگهداری می شود. در صورت نیاز، لوله برگشت گلایکول احیاء شده عایق کاری می شود. سرعت پمپ گلایکول در مقدار بهینه خود بررسی و تنظیم می شود. در صورت نیاز مبدل حرارتی اضافی در سیستم نصب می گردد.

قطر برج های جذب با گلایکول می تواند توسط روشهای محاسباتی مرسوم در برجهای تعیین شود. در هر صورت بعلت میل زیاد محلول گلایکول به ایجاد کف در شرایط خاص، باید سرعت گاز در محاسبات مدنظر قرار گیرد. در شرایط خاص با در نظر گرفتن ۲۴ اینچ فاصله بین سینی ها و مقدار هدررفتگی حدود یک پوند گلایکول در یک میلیون استاندارد فوت مکعب گاز در روز، با استفاده از معادله زیر و با لحاظ ضریب ثابت معادله (C) برابر ۵۰۰ می توان حداکثر سرعت جرمی مجاز گاز را محاسبه نمود.

## ۸-۱- عملکرد مخزن انبساط

نصب مخزن انبساط در مسیر گلایکول آلوده می تواند هیدروکربنهای گازی را قبل از اینکه وارد برج احیاء شوند، جدا نماید. هیدروکربنهای گازی می توانند باعث شکستن پکینگ های سرامیکی و هرزرفت گلایکول در برج احیاء شوند از این هیدروکربنهای گازی می توان بعنوان سوخت ریویلر و یا گاز عریان ساز در ریویلر

استفاده کرد. اما طبق طراحی، اندازه مخزن مذکور، بر اساس میزان زمان ایستایی طراحی می‌شود، معمولاً جدا کننده دو فازی با زمان ایستایی حدود بیست دقیقه برای این کار مناسب می‌باشد.

در واقع این مخزن یک سپراتور سه فازی است که می‌تواند هیدروکربن، مخلوط آب و گلایکول و گاز را به نحو مناسبی از یکدیگر جدا نماید، باید توجه داشت که دمای ورودی به این مخزن نقش تعیین کننده در مدت زمان لازم برای جداسازی هیدروکربن های محلول در فاز آبی دارد، دمای بیشتر بطور معمول به جداسازی آسان تر هیدروکربونها کمک می‌کند و امولسیون بوجود آمده را در جهت کاهش پایداری سوق می‌دهد.

#### ۹-۱- اصول طراحی و بهره برداری سیستم احیاء گلایکول

احیاء دی اتیلن گلایکول و یا تری اتیلن گلایکول، عموماً نیاز به واحد تقطیر ساده ای از مخلوط آب و گلایکول دارد، چون این دو جزء ( آب و گلایکول ) دارای نقطه جوش متفاوت و فاصله درجه حرارت های زیاد از هم بوده و تولید ایزوتروپ نمی‌نمایند. تنها مشکل عملیاتی در این مورد ، امکان تجزیه گلایکول در سیستم های احیاء با درجه حرارت خیلی بالا می‌باشد. تعداد سینی های تئوری مورد نیاز برای جدا سازی آب از گلایکول با استفاده از روش های محاسباتی معتبر حدود ۲ یا ۳ سینی برآورد می‌شود که یکی از آنها در همان دستگاه ریبولر می‌تواند باشد. ارتفاع برج احیاء معمولاً بر پایه تجربه انتخاب می‌شود ، چون مقدار بخار و فاز مایع خیلی کم بوده و انتخاب اندازه برج براحتی صورت می‌گیرد. مقدار فشار بخار اعلام شده در این نمودارها معادل فشار بخار کلی آب و گلایکول می‌باشد که چنانکه گاز عریان ساز مورد استفاده قرار نگرفته باشد، معادل فشار کل ریبولر خواهد بود. در مواردیکه گاز عریان ساز در سرویس قرار گیرد. باید فشار جزئی گاز خنثی بکار گرفته شده از فشار کل ریبولر کم شود، تا فشار بخار محلول گلایکول برای به کار بردن در نمودارهای یاد شده بدست آید.



## ۱۰-۱- کنترل سیستم های گلایکول

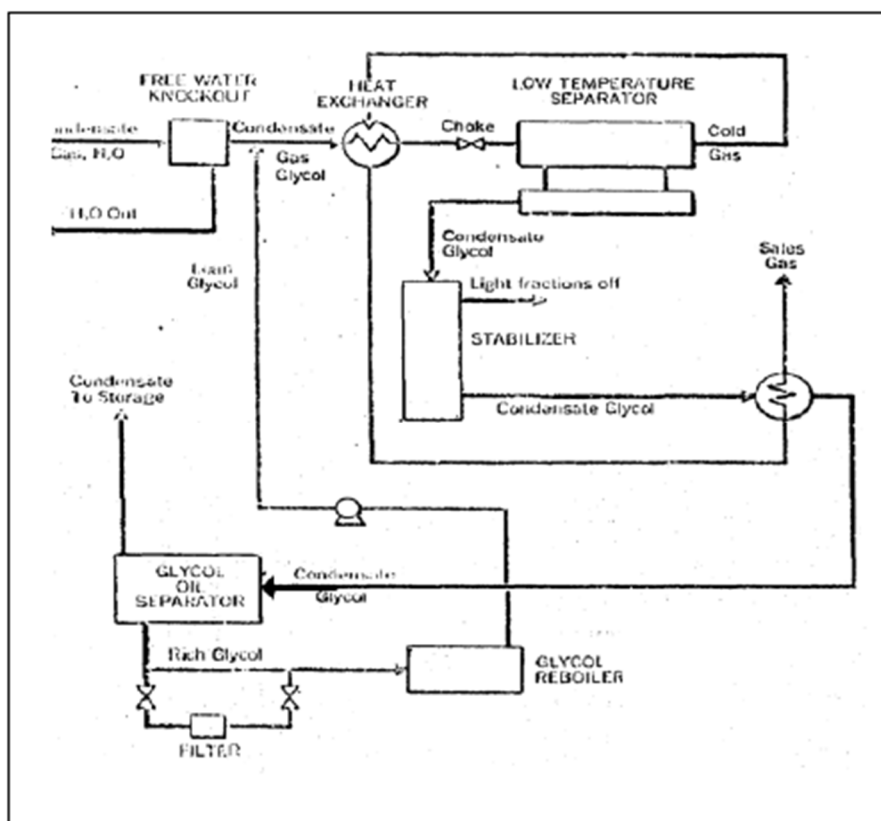
در درجه حرارت ثابت، مقدار آب موجود در گلایکول با کاهش مقدار فشار افزایش می یابد. در جریان حجمی ثابت، استاندارد سرعت گاز در برج جذب با کاهش فشار افزایش می یابد. سرعت خیلی زیاد گاز، باعث هرزرفت گلایکول و بروز مشکلات عملیاتی در سیستم نم زدائی می شود. کیفیت نم زدائی در درجه اول بستگی به مقدار آبی دارد که در واحد ریپویلر از گلایکول گرفته می شود. هرچه گلایکول احیاء شده و ارسالی به برج جذب تمیزتر باشد، برج جذب به همان اندازه موثرتر عمل خواهد کرد. بعنوان مثال در درجه حرارت برج جذب معادل با ۳۵ درجه سانتیگراد گلایکول با درجه خلوص ۹۹ درصد، گاز با نقطه شبنم برابر با ۱۸ - درجه سانتیگراد تولید می کند در صورتیکه با درجه خلوص ۹۵ درصد، گاز تولیدی دارای نقطه شبنم برابر با ۶ درجه سانتیگراد (در صورت ایجاد تعادل عملیاتی) خواهد بود.

نم زدائی با کیفیت خیلی خوب، بستگی به تعداد سینی های موجود در برج جذب و میزان گلایکول در گردش، دارد. برای برج های جذب با ۴ عدد سینی حدود ۳ گالن گلایکول برای هر پوند آبی که باید جذب شود مورد نیاز می باشد. خیلی از واحدها سیستم اندازه گیری دبی گلایکول ندارند. در پمپهای رفت و برگشتی با شمارش تعداد هنگامه پمپ (تعداد ضربه در دقیقه) و با استفاده از چارت پمپ می توان دبی گلایکول را محاسبه نمود. در پمپ های دورانی برای اندازه گیری دبی می توان شیر گلایکول خروجی از برج جذب را بسته نگهداشته و ارتفاع بالا آمده از برج را توسط گلایکول، در مدت زمان مشخص اندازه گیری نمود. با ضرب نمودن ارتفاع اندازه گیری شده در قطر داخلی برج، حجم گلایکول در گردش در مدت زمان مشخص بدست خواهد آمد. چنانچه گلایکول در گردش زیاد شود، با اضافه شدن بار ریپویلر، از احیاء کامل گلایکول جلوگیری بعمل می آید. همچنین از تماس کافی گلایکول و گاز جلوگیری بعمل آمده و مشکلات تعمیراتی پمپ گلایکول افزایش می یابد. نتیجه نهائی ممکن است کار نم زدائی با کیفیت پائین و هرزرفت زیاد گلایکول باشد. فشار ریپویلر توسط سیستم ابزار دقیق تحت نظارت و کنترل قرار می گیرد، این کار از جنبه ایمنی کار اهمیت داشته و باعث صرفه جویی در مصرف گلایکول می شود. معمولاً ریپویلر در فشار اتمسفریک کار می کند.



نمونه ای از سیستم فرآوری با گلیکول در حرارت پایین

نمونه ای از سیستم فرآوری جداسازی در درجه حرارت پایین با استفاده از امکانات گلیکول در شکل نشان داده شده است. گازهای ارسالی از سر چاه عموماً وارد مخزن جداکننده ورودی می شود تا آب آزاد آن جدا شود. در خروجی از جداکننده، گلیکول به جریان گاز تزریق می شود. ممکن است از دستگاههای مختلفی برای تزریق گلیکول استفاده شود. در مواردی که بازدهی مناسب مدنظر باشد از نازل های مخصوص که گلیکول را به صورت مه در مسیر گاز تزریق می نماید باید استفاده نمود. نازل های مخصوص، گلیکول را به صورت مه اتمایزه نموده و بازدهی را به مقدار قابل ملاحظه ای افزایش می دهد.



شکل (۱۰-۲) استفاده از گلیکول در سیستم های با درجه حرارت پایین

## فصل ۳

نم زدایی از گاز طبیعی

## ۱-۳- مقدمه

تقاضای بالای گاز طبیعی در دهه اخیر چشمگیر بوده است. گاز طبیعی نقش پررنگی در اقتصاد و توسعه اخیر جهان دارد. با این حال، گاز طبیعی در مخازن عمیق زیرزمینی تحت دما و فشار خاصی وجود دارد. بنابراین ممکن است حاوی چندین جز غیر هیدروکربنی مانند دی‌اکسید کربن، نیتروژن و بخار آب باشد. در واقع گاز طبیعی که توسط خطوط انتقال گاز منتقل یا مورد بهره‌برداری قرار می‌گیرد، باید از مشخصات خاصی برخوردار باشد. به عنوان مثال غلظت هیدروژن سولفید باید به کمتر از ۴ ppm کاهش یابد. گنبد خورمالا، شمالی‌ترین گنبد از سازه میادین نفتی کرکوک است. مساحت گنبد تقریباً ۲۰ کیلومتر در ۸ کیلومتر است. با این حال این گنبد تا سال ۲۰۰۳ توسعه نیافته است. امروزه میدان خورمالا به عنوان منبع اصلی سوخت منطقه کار کردستان عراق در نظر گرفته شده است. گاز طبیعی در حال حاضر در این میدان شعله‌ور است. برنامه‌ای برای بازیابی و تجارت این گاز در نظر گرفته شده است تا از آن به عنوان منبع تغذیه نیروگاه برق یا فروش آن در بازار جهانی استفاده شود. با این حال تجزیه و تحلیل‌های آزمایشگاهی نشان داده است که گاز طبیعی خورمالا دارای مقادیر زیادی هیدروژن سولفید (در حدود ۵,۳ درصد) و کربن دی‌اکسید (در حدود ۴,۴ درصد) است. فرآیند شیرین سازی گاز خورمالا با استفاده از اسپن هایسیس انجام شده است. با این حال گاز شیرین خورمالا هنوز مرطوب است و مقدار قابل توجهی بخار آب دارد که ممکن است منجر به چندین مشکل فنی مانند تشکیل هیدرات و خوردگی شود. در حقیقت بخار آب در گاز طبیعی باید کاهش یابد یا حذف شود و دلایل اصلی حذف آب از گاز طبیعی می‌تواند به دلایلی مانند اینکه محتوای آب در گاز طبیعی مقدار گرمای گاز را کاهش می‌دهد، آب مایع در خطوط لوله گاز طبیعی به‌طور بالقوه باعث ایجاد شرایط جریان لخته‌ای و در نتیجه کاهش راندمان جریان در خط لوله می‌شود. در بیشتر فرآیندهای تجاری هیدروکربنی، وجود آب ممکن است باعث ایجاد واکنش‌های جانبی مانند غیرفعال سازی کاتالیزور و تشکیل فوم شود. بنابراین برای جلوگیری از چنین مشکلاتی تصفیه گاز طبیعی امری اجتناب‌ناپذیر است.

همچنین در بهره‌برداری از خطوط لوله گاز طبیعی، انسداد یا نشتی باعث تلفات گران‌قیمت در تولید، آسیب دیدن تجهیزات و خطرات ایمنی می‌شود. به‌عنوان مثال در صورت وجود آب، خصوصاً در دمای پایین و فشار زیاد هیدرات‌های گازی تشکیل می‌شوند که یک مسدودکننده یخی در مخلوط گاز طبیعی می‌سازند. باوجود آب، دی‌اکسید کربن و هیدروژن سولفید، گازهای اسیدی در خطوط لوله تولید می‌شوند که باعث خوردگی می‌شوند و می‌توانند به تجهیزات پایین‌دست آسیب برسانند. به‌منظور ایجاد عملیات ایمن و قابل‌اعتماد، سازمان‌ها نیاز به حذف آب آزاد از گاز طبیعی دارند. بسیاری از دولت‌ها یا آژانس‌های تنظیم‌کننده قوانین و مقررات مربوط به خطوط لوله، محدودیت‌هایی در خصوص محتوای آب موجود در گاز فروشی یا محصول قابل شستشو وضع کرده‌اند.

مشخصات معمول در جنوب ایالات متحده  $7 \text{ lb/MMscf}$ ، در شمال ایالات متحده  $4 \text{ lb/MMscf}$  و در کانادا  $2-4 \text{ lb/MMscf}$  است. درحالی‌که گزینه‌های زیادی برای حذف آب اضافی وجود دارد، نم‌زدایی با استفاده از گلیکول رایج‌ترین روش مورداستفاده در این زمینه است. به‌طوری‌که  $36000$  واحد نم‌زدایی با گلیکول در ایالات متحده وجود دارد. بااین‌حال، هنوز هم برخی مشکلات مربوط به واحدهای نم‌زدا وجود دارد، زیرا اغلب بیش از حد موردنیاز طراحی می‌شوند، درنتیجه سرمایه یا هزینه‌های عملیاتی بالایی نیاز دارند. بر اساس گزارشی از آژانس حفاظت از محیط‌زیست ایالات متحده (EPA)، تری اتیلن گلیکول (TEG) دو یا چند برابر بیشتر از حد لازم در گردش مجدد است. به‌منظور اطمینان از اینکه گزینه‌های طراحی، الزامات موردنیاز برای صرفه‌جویی در سرمایه، هزینه‌های حلال یا انرژی را برآورده می‌کنند، مدل‌سازی ترمودینامیکی و یک دید کلی از عملیات موردنیاز است.

به دلیل خطر تشکیل هیدرات گازی، خوردگی در خطوط لوله و صدمه به تجهیزات پایین‌دست، با حذف آب آزاد از گاز طبیعی می‌توان عملیات ایمن‌تر و قابل‌اطمینان‌تری را فراهم کرد.

روش‌های مختلفی برای کاهش یا حذف آب موجود در گاز طبیعی مانند جذب سطحی، جذب، فرآیند غشایی، فرآیند متانول و تبرید وجود دارد. از میان روش‌های ذکرشده، جذب که به آن نم‌زدایی گفته می‌شود و از حلال مایع به عنوان جاذب استفاده می‌شود. رایج‌ترین تکنیک برای تصفیه گاز طبیعی است. نم‌زدایی از گاز توسط گلیکول قادر است محتوای آب گاز طبیعی را به بیش از ۰.۱ ppm کاهش دهد.

در ابتدا، ما معادله حالت مکعبی به اضافه تجمعی و بسط پارامترهای مدل را توصیف خواهیم کرد، سپس یک نمای کلی از فرآیند نم‌زدایی گاز طبیعی و الزامات انتشار BTEX را ارائه خواهیم داد و در مورد نحوه مدل‌سازی نم‌زدایی در اسپن هایسیس بحث خواهیم کرد. ما با مقایسه نتایج محاسبات با داده‌های تعادلی تجربی سیستم‌های دوجزئی و چندجزئی را بررسی خواهیم کرد.

### ۳-۲- معادله حالت مکعبی به اضافه تجمعی (CPA)

مدل ترمودینامیکی برای توصیف فرآیند نم‌زدایی

معادله حالت مکعبی به اضافه تجمعی (CPA)، معادله حالت سواو-ردلیش-کوانگ را با عبارت‌های تجمعی ترکیب می‌کند تا اثر قطبی / تجمعی را توصیف کند.

معادله حالت مکعبی به اضافه تجمعی که توسط Kontogeorgis پیشنهاد شده به صورت زیر بیان می‌شود:

$$P = \frac{RT}{V_m - b} - \frac{\alpha(T)}{V_m(V_m + b)} - \frac{1}{2} \left( \frac{RT}{V_m} \right) \left( 1 + \frac{1}{V_m} \frac{\partial \ln g}{\partial \left( \frac{1}{V_m} \right)} \right) \sum_i x_i \sum_{A_i} (1 - x_{A_i})$$

$V_m$  حجم مولی،  $x_i$  کسر مولی جز  $i$ ،  $T$  دما،  $P$  فشار،  $R$  ثابت گاز،  $b$  پارامتر هم حجم و  $a(T)$  پارامتر انرژی

فیزیکی معادله کلاسیک SRK است.

$x_{A_i}$  نمایانگر کسری از سایت‌های تجمعی است که با سایر سایت‌های فعال پیوند ایجاد نمی‌کنند:

$$x_{A_i} = \frac{1}{1 + \left( \frac{1}{V_m} \right) \sum_j x_j \sum_{B_i} x_{B_i} \Delta^{A_i B_i}}$$

$$\Delta^{A_i B_i} = g(V_m) \left[ \exp \left( \frac{\varepsilon^{A_i B_i}}{RT} \right) - 1 \right] b_{ij} \beta^{A_i B_i}$$

$\Delta^{A_i B_i}$  قدرت تجمعی بین سایت A روی مولکول i و سایت B روی مولکول j را توصیف می‌کند. در عبارت قدرت تجمعی  $\Delta^{A_i B_i}$ ،  $\varepsilon^{A_i B_i}$  و  $\beta^{A_i B_i}$  به ترتیب انرژی تجمعی متقابل و حجم تجمعی متقابل مؤثر را نشان می‌دهند. تابع توزیع شعاعی سیالات مرجع است که به صورت زیر تعریف شده است:

$$g(V_m) = \frac{1}{(1 - 1.9\mu)}$$

$$\mu = \frac{b}{(4V_m)}$$

### ۳-۳- قوانین اختلاط و ترکیب

برای  $a(T)$  و  $b$ ، از قوانین اختلاط یک سیال واندروالس و قوانین ترکیب استفاده می‌شود:

$$\alpha(T) = \sum_i \sum_j x_i x_j \alpha_{ij}$$

$$b = \sum_i x_i b_i$$

$$\alpha_{ij} = \sqrt{\alpha_i \alpha_j} (1 - k_{ij})$$

$$b_{ij} = \frac{b_i + b_j}{2}$$

برای جز خالص i:

$$\alpha_i = \alpha_{oi} [1 + m_i (1 - \sqrt{T_{ri}})]^2$$

$$\alpha_{oi} = \omega_a (RT_{ci})^2 / P_{ci}$$

$$\omega_a = 0.42784$$

$$b_i = \omega_a R T_{ci} / P_{ci}$$

$$\omega_b = 0.08664$$

$$T_{ri} = \frac{T}{T_{ci}}$$

$T_{ci}$  دمای بحرانی جز  $i$ ،  $P_{ci}$  فشار بحرانی جز  $i$  و  $m_i$  یک پارامتر مخصوص جز  $i$  است. در این کار، از قانون ترکیب CR-1 برای پارامترهای حجم و انرژی متقابل تجمعی استفاده می‌شود:

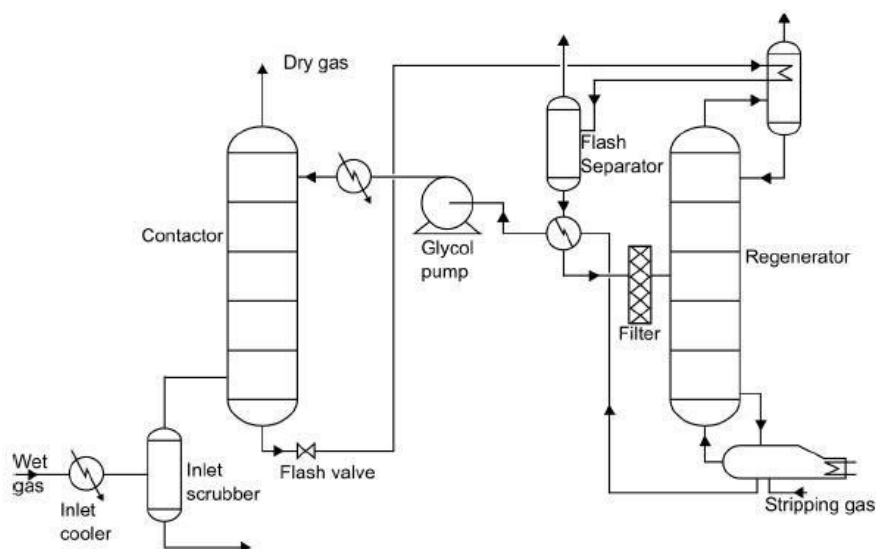
$$\varepsilon^{A_i B_i} = \frac{\varepsilon^{A_i B_i} + \varepsilon^{A_i B_i}}{2}$$

$$\beta^{A_i B_i} = \sqrt{\beta^{A_i B_i} \beta^{A_i B_i}}$$

#### ۳-۴- شرح فرایند نم‌زدایی گاز با استفاده از گلیکول

فرایند گلیکول موفق‌ترین و رایج‌ترین فرایند در زمینه صنعت گاز در نظر گرفته می‌شود. در واقع در این فرایند از خشک‌کننده مایع گلیکول به عنوان یک حلال شیمیایی برای حذف بخار آب از جریان گاز طبیعی استفاده می‌شود. مایع گلیکول تمایل زیادی به بخار آب دارد و انواع مختلفی از گلیکول مانند مونواتیلن گلیکول (MEG) و دی اتیلن گلیکول (DEG) وجود دارد که در فرایند گلیکول استفاده می‌شود.

فرایند نم‌زدایی از چندین واحد عملیاتی شامل برج تماس دهنده، برج احیاکننده و مبدل حرارتی تشکیل شده است. شکل (۱-۳) فرایند معمول نم‌زدایی گاز را نشان می‌دهد.



شکل (۱-۳) شماتیکی از فرایند معمولی نم‌زدایی گاز طبیعی

در طی فرآیند، گلیکول عاری از آب مانند دی اتیلن گلیکول از بالا وارد ستون جذب می‌شود. حلال غنی از آب از پایین ستون جمع شده و برای احیا ارسال می‌شود. گاز مرطوب پس از عبور از اسکرابر به ستون جذب وارد می‌شود. اسکرابر، مایع آزاد و قطرات مایع موجود در گاز که شامل آب و هیدروکربن‌ها است را از جریان گاز طبیعی جدا می‌کند (جداسازی مایع در اسکرابر مقدار آبی که باید در ستون جذب حذف شود را کاهش می‌دهد، این کار باعث کاهش اندازه ستون و در نتیجه کاهش تری اتیلن گلیکول مورد نیاز در فرآیند می‌شود). مبدل‌های حرارتی برای خنک کردن گاز مرطوب قبل از ورود به اسکرابر استفاده می‌شوند. تری اتیلن گلیکول غنی از آب که به‌عنوان جریان برگشتی (رفلاکس) در بالای ستون جذب استفاده می‌شود از میان یک کویل عبور می‌کند تا دمای آن افزایش یابد. قبل از اینکه حلال غنی از آب وارد احیاکننده شود یک مخزن فلاش سه فازی برای حذف گازهای اسیدی و هیدروکربن‌های جذب‌شده در تری اتیلن گلیکول مورد استفاده قرار می‌گیرد. ستون احیاکننده در واقع یک ستون تقطیر است که محتوای آب را از تری اتیلن گلیکول جدا می‌کند. تری اتیلن گلیکول غنی از آب قبل از اینکه وارد بخش احیا شود در یک مبدل حرارتی دیگر پیش گرم می‌شود. در انتهای چرخه فرآیند، تری اتیلن گلیکول احیا شده در مبدل حرارتی سوم خنک می‌شود و برای استفاده مجدد به ستون نم‌زدایی برمی‌گردد. در این مقاله، مدل‌سازی فناوری نم‌زدایی با اسپن‌هایسیس در ورژن ۱۰ و بالاتر مورد بحث قرار گرفته است.



## ۵-۳- مدل‌سازی فرایند نم‌زدایی در اسپن‌هایسیس

تعدادی از متغیرها بر عملکرد نم‌زدایی گاز اثر می‌گذارند. غلظت گلیکول عاری از آب، سرعت گردش مجدد گلیکول، سرعت جریان گاز استریپینگ، دما، فشار و تعداد مراحل تعادلی تماس دهنده و احیاکننده نمونه‌هایی از شرایط فرایند هستند که تأثیرات عمده‌ای بر نتایج دارند. از اسپن‌هایسیس ورژن ۱۰ برای شبیه‌سازی فرایند نم‌زدایی گاز طبیعی جهت مطابقت با داده‌های پلنت و بهینه‌سازی شرایط فرایند استفاده شد. در این تحقیق، معادله حالت CPA مورد استفاده قرار گرفته است. این معادله به‌طور گسترده‌ای در صنعت استفاده می‌شود و با بسیاری از پارامترهای منتشرشده مورد مطالعه قرار گرفته است، بنابراین مدل مناسبی برای مدل‌سازی فرایندهای نم‌زدایی گلیکول است. همچنین می‌تواند به راحتی برای مدل‌سازی اجزا و فرایندهای بیشتر در آینده گسترش یابد.

## ۱-۵-۳- اعتبار سنجی سیستم‌های دوجزئی

با استفاده از داده‌های تجربی، سیستم‌های دوجزئی مربوط به نم‌زدایی گلیکول در طیف گسترده‌ای از دما و فشار اعتبارسنجی شده‌اند. سیستم‌های دوجزئی متان-تری اتیلن گلیکول، آب-تری اتیلن گلیکول و تولوئن-تری اتیلن گلیکول به این منظور انتخاب شده‌اند. این سیستم‌های انتخاب‌شده، سیستم‌های دوجزئی کلیدی در نم‌زدایی با تری اتیلن گلیکول هستند؛ زیرا متان جز اصلی در گاز طبیعی است. جذب آب و جداسازی آب-تری اتیلن گلیکول از یکدیگر برای دستیابی به مشخصات گاز خشک و گلیکول خالص (عاری از آب) بسیار مهم هستند و نشر مواد آروماتیک برای رعایت استاندارد انتشار آلاینده‌های خطرناک هوا مهم است.

## ۲-۵-۳- داده‌های تجربی مورد استفاده در این کار

داده‌های تجربی برای اعتبار سنجی سیستم دوجزئی در جدول (۳-۱) تا جدول (۳-۳) آورده شده است. همچنین محدوده دما، فشار و کسر مولی فاز مایع ارائه شده است.

جدول (۳-۱) داده‌های تجربی مربوط به سیستم دوجزئی متان-تری اتیلن گلایکول استفاده شده در اعتبارسنجی

Data Type	T, K	P, Pa	X_TEG	Points	Reference
VLE	298	1e5-1e7	0.936-0.999	10	Jou <sup>19</sup>
VLE	323	1e5-2e7	0.928-0.999	10	Jou <sup>19</sup>
VLE	348	1e5-1e7	0.925-0.999	11	Jou <sup>19</sup>
VLE	373	1e5-1e7	0.940-0.983	10	Jou <sup>19</sup>
VLE	398	1e5-1e7	0.916-0.999	10	Jou <sup>19</sup>
VLE	298	3e5-1e7	0.921-0.999	9	Wilson <sup>20</sup>
VLE	273	3e5-1e7	0.946-0.984	7	Wilson <sup>20</sup>

جدول (۳-۲) داده‌های تجربی مربوط به سیستم دوجزئی آب-تری اتیلن گلایکول استفاده شده در اعتبارسنجی

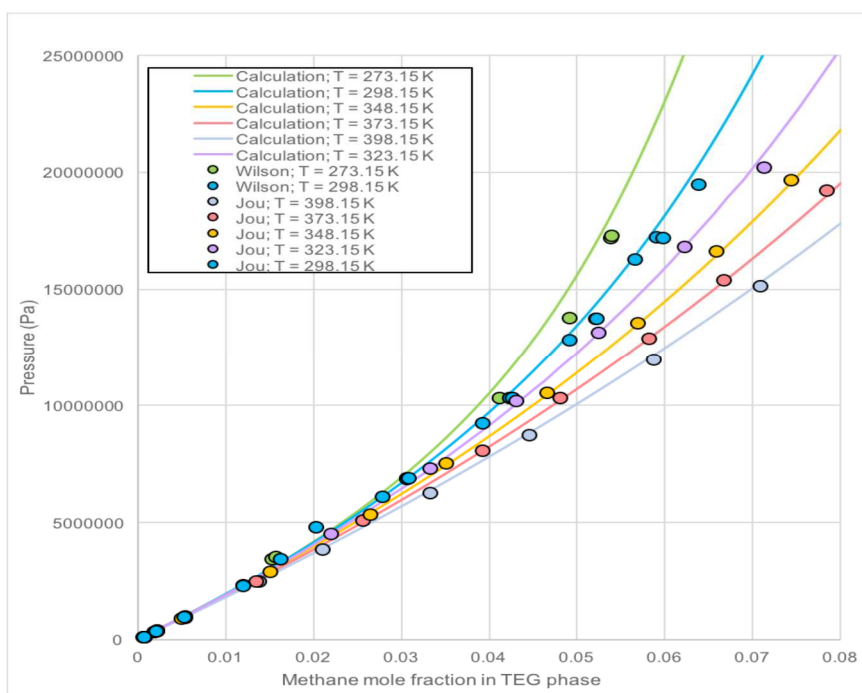
Data Type	T, K	P, Pa	X_TEG	Points	Reference
VLE	400-560	1e5	0.6-1	14	-
GAMMA	297 - 0.013	-	0.339	24	Herskowicz21
GAMMA	332	-	0.002- 0.197	16	Herskowicz21
GAMMA	298	-	0.002-0.354	17	Tsuji22
GAMMA	300-378	-	-	18	Parrish23
GAMMA	373-433	-	-	6	Rafflenbeul24
GAMMA	323-393	-	-	13	Bestani25
GAMMA	322-358	-	-	5	Ikari26

جدول (۳-۳) داده‌های تجربی مربوط به سیستم دوجزئی تولوئن-تری اتیلن گلایکول استفاده‌شده در اعتبار سنجی

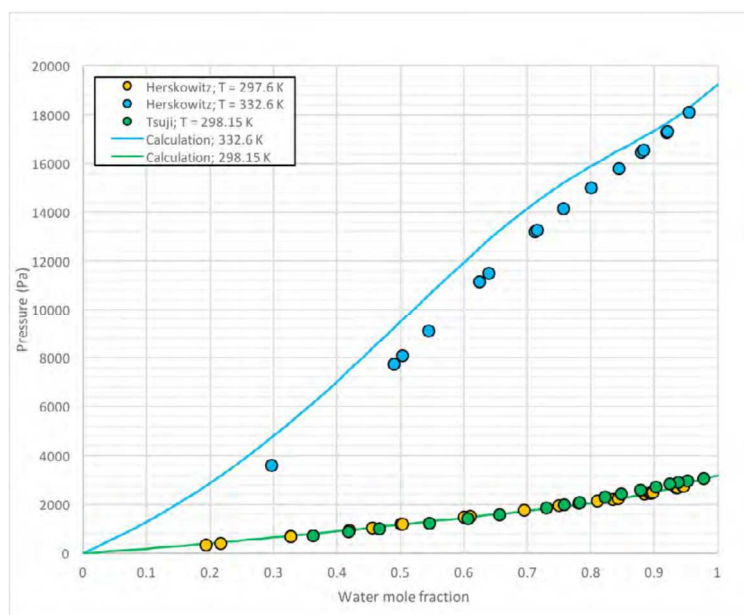
Data Type	T, K	P, Pa	X1_TEG	X2_TEG	Points	Reference
LLE	279–345	1e5	0.515–0.691	0.0107–0.0866	8	Folas27
VLE	385–442	1e5	0.064–0.918	-	10	Gupta28
LLE	298–320	1e5	0.620–0.652	0.0126–0.0311	9	Hughes29

۳-۵-۳- مقایسه نتایج محاسبات انجام‌شده با استفاده از CPA و داده‌های تجربی

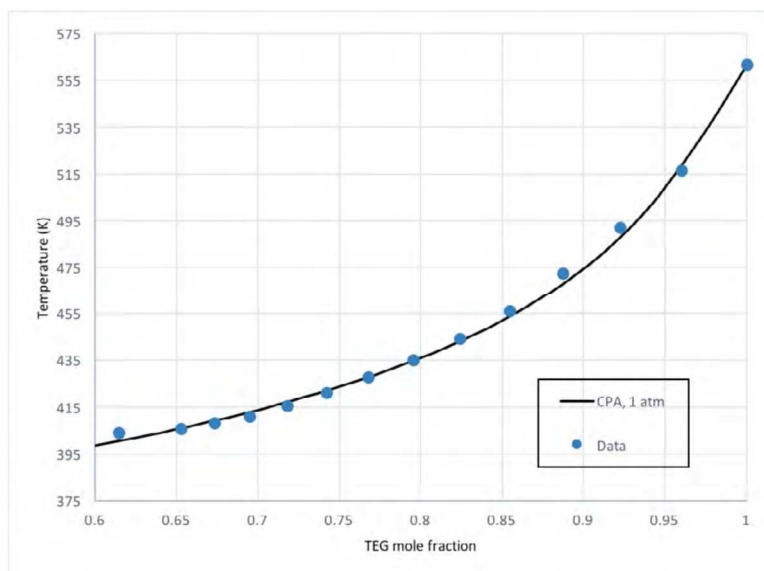
در شکل (۳-۲) تا شکل (۳-۶) نتایج محاسبات CPA سه سیستم دوجزئی با داده‌های تجربی مقایسه شده است. نتایج نشان می‌دهد که پکیج خواص CPA می‌تواند رفتار فازی این سیستم‌ها را با دقت پیش‌بینی کند.



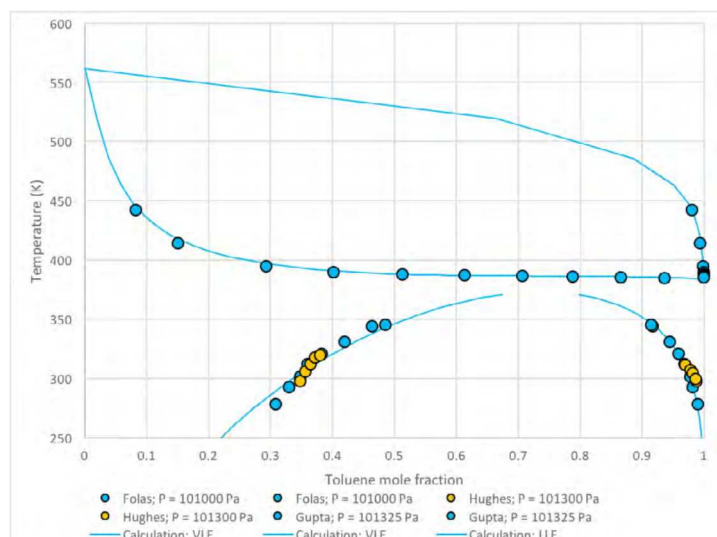
شکل (۳-۲) حلالیت متان در فاز تری اتیلن گلایکول. دایره‌ها نشان‌دهنده داده‌های تجربی Jou19 و Wilson20 و منحنی‌ها نشان‌دهنده نتایج محاسبات با استفاده از پکیج خواص CPA است.



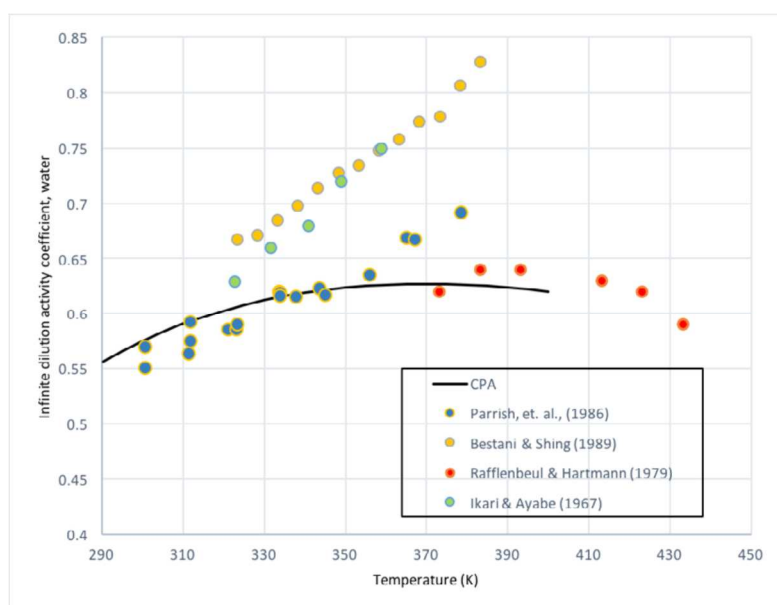
شکل (۳-۳) فشار مخلوط محاسبه‌شده از ضریب فعالیت بر اساس مقادیر مختلف آب در تری اتیلن گلاپکول. دایره‌ها نشان‌دهنده داده‌های تجربی Herskowitz<sup>21</sup> و Tsuji<sup>22</sup> و منحنی‌ها نشان‌دهنده نتایج محاسبات با استفاده از پکیج خواص CPA است.



شکل (۳-۴) نمودار T-x مربوط به ناحیه با غلظت بالای تری اتیلن گلاپکول در احیاکننده است. منحنی نشان‌دهنده نتایج محاسبات با استفاده از پکیج خواص CPA است.



شکل (۵-۳) ضریب فعالیت رقت بی‌نهایت آب در تری اتیلن گلیکول. دایره‌ها نشان‌دهنده داده‌های تجربی Parrish<sup>23</sup>، Ikari<sup>26</sup> و Bestani<sup>25</sup>، Rafflenbeul<sup>24</sup> و منحنی نشان‌دهنده نتایج محاسبات با استفاده از پکیج خواص CPA است.

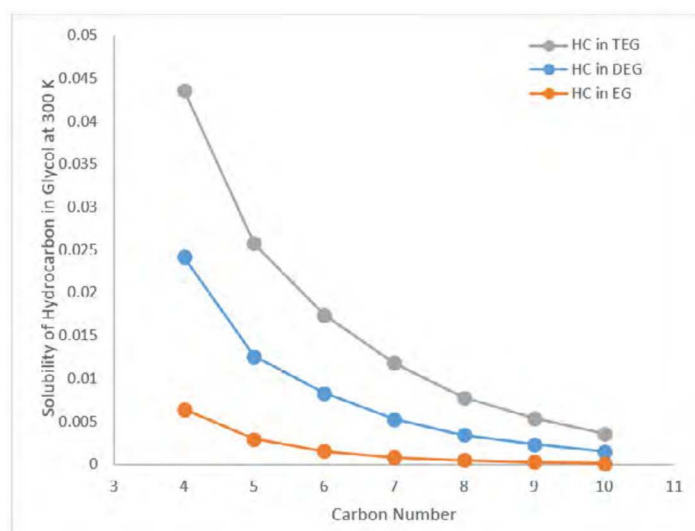


شکل (۶-۳) تعادل بخار-مایع و مایع-سیستم تولوئن-تری اتیلن گلیکول در فشار ۱ atm. دایره‌ها نشان‌دهنده داده‌های تجربی Folas، Gupta و Hughes و منحنی‌ها نشان‌دهنده نتایج محاسبات با استفاده از پکیج خواص CPA است.

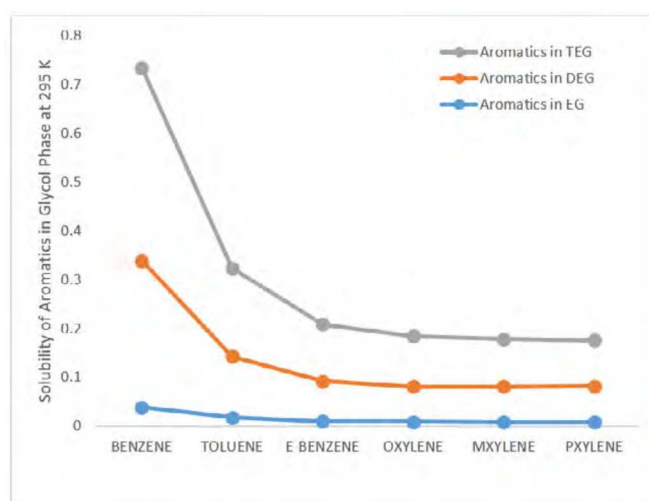
## ۴-۵-۳- اعتبارسنجی الگوهای خواص فیزیکی

علاوه بر اعتبارسنجی نتایج محاسبات با استفاده از داده‌های یک سیستم دوجزئی داده شده، ما خواص فیزیکی نسبی محاسبه‌شده سیستم‌های مشابه را مقایسه کردیم تا منطقی بودن پارامترهای به‌دست‌آمده را تأیید کنیم. سیستم‌ها در یک سری همولوگ باید از الگوی منظمی پیروی کنند. همچنین، ما با استفاده از درون‌یابی از الگوها برای تخمین پارامترهای سیستم‌های دارای کمبود داده استفاده کردیم.

بسیاری از سیستم‌های هم‌خانواده مورد مطالعه قرار گرفتند، اما در اینجا سیستم‌های هیدروکربن-گلایکول و ترکیبات آروماتیک-گلایکول در شکل‌های (۷-۳) و (۸-۳) نشان داده شده است؛ زیرا جذب سطحی هیدروکربن و BTEX در گلایکول ارتباط مستقیمی با انتشار ترکیبات آلی فرار و آلاینده‌های خطرناک هوا از احیاکننده دارد و همان‌طور که قبلاً بحث شد از اهمیت زیادی برخوردار است. شکل (۷-۳) حلالیت محاسبه‌شده برای هیدروکربن‌های مختلف در اتیلن گلایکول، دی اتیلن گلایکول و تری اتیلن گلایکول را با استفاده از پکیج خواص CPA نشان می‌دهد. هیدروکربن‌های مطالعه شده، نرمال پارافین‌ها با تعداد کربن ۴ تا ۱۰ هستند. حلالیت هیدروکربن در هر گلایکول با افزایش تعداد کربن کاهش می‌یابد. این روند مورد انتظار است زیرا هیدروکربن با افزایش طول زنجیره خود آبگریزتر می‌شود. این شکل همچنین افزایش حلالیت برای هر هیدروکربن در سه گلایکول را نشان می‌دهد: تری اتیلن گلایکول < دی اتیلن گلایکول < اتیلن گلایکول به دلیل افزایش قطبیت (تری اتیلن گلایکول < دی اتیلن گلایکول < اتیلن گلایکول). رفتار مشابهی در شکل (۸-۳) برای اجزای BTEX مشاهده شده است. انتظار می‌رود با افزایش تعداد کربن و گروه جایگزین بنزن، حلالیت در یک گلایکول معین کاهش یابد، درحالی‌که انتظار می‌رود با افزایش قطبیت گلایکول، حلالیت در گلایکول‌های مختلف افزایش یابد. نتایج در شکل‌های (۷-۳) و (۸-۳) نشان می‌دهد که پکیج خواص CPA می‌تواند الگوهای صحیح سری همولوگ را پیش‌بینی کند.



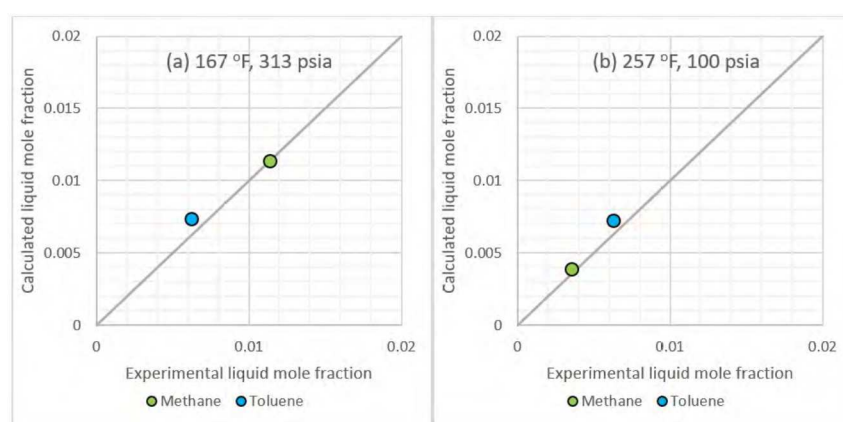
شکل (۳-۷) روند حلالیت هیدروکربن در فاز گلیکول در دمای  $300^{\circ}\text{K}$



شکل (۳-۸) روند حلالیت بنزن، تولوئن، اتیل بنزن و زایلن‌ها در فاز گلیکول در دمای  $295^{\circ}\text{K}$

## ۵-۵-۳- اعتبارسنجی سیستم چند جزئی

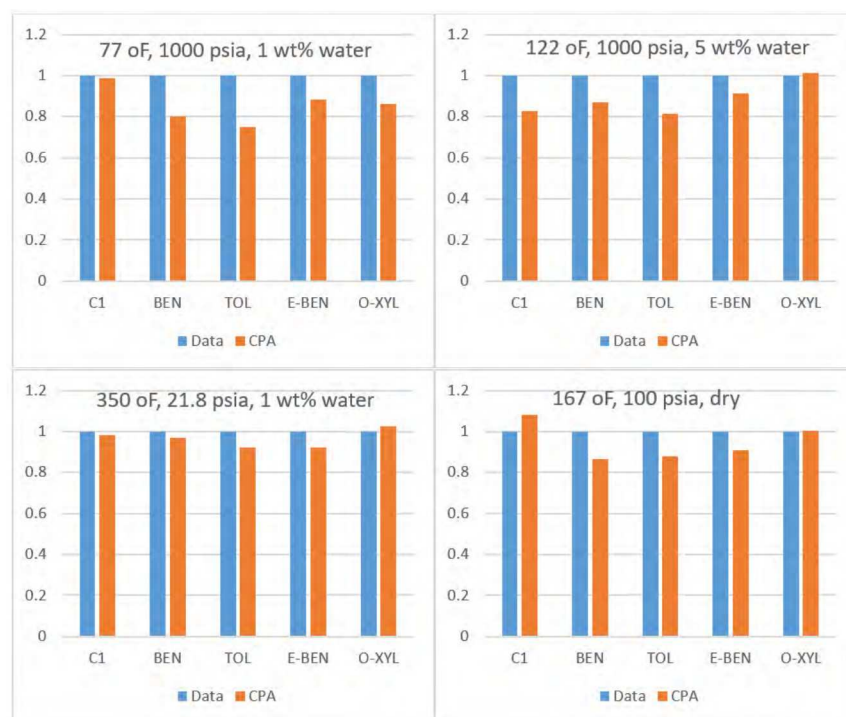
در مرحله بعد، ما کاربرد پکیج خواص CPA را برای سیستم‌های چند جزئی بررسی می‌کنیم. شکل (۹-۳) نتایج مربوط به یک سیستم سه‌جزئی شامل متان، تولوئن و تری اتیلن گلیکول را نشان می‌دهد. نمودارهای برابری، کسرهای مولی فاز مایع تجربی و محاسبه‌شده برای متان و تولوئن را در دو شرایط عملیاتی مقایسه می‌کند.



شکل (۹-۳) کسر مولی مایع سیستم متان-تولوئن-تری اتیلن گلیکول. (a) دما  $167^{\circ}\text{F}$  و فشار ۳۱۳ psia، (b) دما  $257^{\circ}\text{F}$  و فشار ۱۰۰ psia، نمودار برابری، مقادیر محاسبه‌شده با استفاده از CPA و مقادیر تجربی را نشان می‌دهد.

شکل (۱۰-۳) و جدول ۴ نتایج مربوط به سیستم چند جزئی متان، آب، تری اتیلن گلیکول و BTEX را در شرایط عملیاتی فلش تانک، تماس دهنده و احیاکننده در یک فرایند معمول نم‌زدایی با تری اتیلن گلیکول نشان می‌دهد. در شکل (۱۰-۳) برای ساده کردن مقایسه نتایج، K-value برای هر جز نرمالایز شده است (با داده=۱). جدول (۳-۴) داده‌های تجربی و محاسبه‌شده مربوط به ترکیب فاز تعادلی و K-value تمام اجزا در شرایط عملیاتی تماس دهنده، احیاکننده و فلش تانک را با یکدیگر مقایسه می‌کند. این نتایج نشان می‌دهند که مدل خواص CPA بسط داده شده برای سیستم‌های چندجزئی مرتبط با فرایند نم‌زدایی با تری اتیلن گلیکول مطابقت خوبی با داده‌های تجربی دارد.





شکل (۱۰-۳) شکل ۱۲: تجزیه و تحلیل مقادیر تعادلی  $K$  (y/x) برای متان و BTEX در شرایط عملیاتی و ترکیب مختلف آب. هر  $K$ -value محاسبه شده نرمالایز می‌شود (a)  $K$ -value نرمالایز شده برای متان و BTEX در دمای  $77^\circ\text{F}$  و فشار  $1000\text{ psia}$  با ۱ درصد وزنی آب، (b)  $K$ -value نرمالایز شده برای متان و BTEX در دمای  $122^\circ\text{F}$  و فشار  $1000\text{ psia}$  با ۵ درصد وزنی آب، (c)  $K$ -value نرمالایز شده برای متان و BTEX در دمای  $350^\circ\text{F}$  و فشار  $21.8\text{ psia}$  با ۱ درصد وزنی آب، (d)  $K$ -value نرمالایز شده برای متان و BTEX در دمای  $167^\circ\text{F}$  و فشار  $100\text{ psia}$  بدون آب.

جدول (۴-۳) مقایسه بین داده‌های تجربی ۳۰ و مقادیر محاسبه‌شده مربوط به ترکیب فاز تعادلی و K-value در

مخلوط‌های چندجزئی حاوی متان (C1)، بنزن (BEN)، تولوئن (TOL)، اتیل بنزن (E-BEN)، اورتو-زایلین (O-XYL)،

آب (H2O) و تری اتیلن گلیکول (TEG) در شرایط عملیاتی مختلف، Y کسر مولی فاز بخار، X کسر مولی فاز مایع

	Contactor Condition				Regenerator Condition		Flash Condition	
Temperature	77°F		167°F		350°F		122°F	
Pressure	100 psia		1000 psia		21.8 psia		1000 psia	
	Exp.	Calc.	Exp.	Calc.	Exp.	Calc.	Exp.	Calc.
Y (C1)	1.00E+00	1.00E+00	1.00E+00	9.99E-01	5.14E-01	5.06E-01	9.97E-01	9.97E-01
Y (BEN)	1.03E-04	8.33E-05	2.34E-04	1.94E-04	5.37E-02	4.67E-02	1.63E-03	1.66E-03
Y (TOL)	5.79E-05	4.31E-05	1.39E-04	1.09E-04	3.45E-02	2.80E-02	8.23E-04	8.56E-04
Y (E-BEN)	3.50E-06	3.15E-06	9.50E-06	8.63E-06	2.53E-03	2.01E-03	4.70E-05	5.07E-05
Y (O-XYL)	2.34E-05	2.00E-05	6.46E-05	6.37E-05	1.96E-02	1.73E-02	2.98E-04	3.58E-04
Y (H2O)	-	2.59E-05	-	4.99E-04	-	3.82E-01	-	-
Y (TEG)	2.50E-06	6.28E-08	2.90E-06	4.23E-07	1.74E-02	1.84E-02	4.60E-05	1.24E-05
X (C1)	2.90E-02	2.94E-02	2.02E-02	2.45E-02	4.54E-04	4.54E-04	4.05E-03	3.76E-03
X (BEN)	3.34E-03	3.30E-03	2.42E-03	2.31E-03	3.39E-03	3.04E-03	3.75E-03	4.42E-03
X (TOL)	2.81E-03	2.79E-03	2.04E-03	1.97E-03	3.00E-03	2.64E-03	3.17E-03	3.75E-03
X (E-BEN)	2.51E-04	0 2.57E-04	1.82E-04	1.81E-04	2.73E-04	2.36E-04	2.81E-04	3.34E-04
X (O-XYL)	2.51E-03	2.50E-03	1.82E-03	1.78E-03	2.83E-03	2.43E-03	2.81E-03	3.36E-03
X (H2O)	7.53E-02	7.53E-02	2.98E-01	2.97E-01	8.78E-02	8.48E-02	-	-
X (TEG)	8.87E-01	8.86E-01	6.75E-01	6.73E-01	9.02E-01	9.06E-01	9.56E-01	9.84E-01
K (C1)	3.45E+0	3.40E+01	4.94E+01	4.08E+01	1.13E+03	1.11E+03	2.46E+02	2.66E+02
K (BEN)	3.10E-02	2.52E-02	9.66E-02	8.40E-02	1.59E+01	1.54E+01	4.34E-01	3.76E-01
K (TOL)	2.06E-02	1.55E-02	6.82E-02	5.54E-02	1.15E+01	1.06E+01	2.60E-01	2.28E-01
K (E-BEN)	1.39E-02	1.23E-02	5.22E-02	4.77E-02	9.26E+00	8.53E+00	1.67E-01	1.52E-01
K (O-XYL)	9.30E-03	8.02E-03	3.54E-02	3.59E-02	6.92E+00	7.10E+00	1.06E-01	1.07E-01
K (H2O)	-	3.45E-04	-	1.68E-03	-	4.50E+00	-	-
K (TEG)	2.80E-06	7.09E-08	4.20E-06	6.29E-07	1.90E-02	2.03E-02	4.70E-05	1.26E-05



سپس با انتخاب simulation به محیط شبیه‌سازی انتقال داده شده است. جدول (۳-۵) ترکیب جریان گاز مرطوب خورمالا و شرایط عملیاتی را نشان می‌دهد.

برای جذب بخار آب از جریان گاز مرطوب از تری اتیلن گلیکول به‌عنوان جاذب آب استفاده می‌شود. اولین مرحله از شبیه‌سازی با افزودن ترکیب جریان گاز و شرایط عملیاتی که همان داده‌های این مطالعه موردی است، انجام می‌شود.

جدول (۳-۵) ترکیب گاز طبیعی خام خورمالا و شرایط عملیاتی

Components	Mole %
Methane	0.7164
	0.1565
	0.0606
	0.0153
	0.0276
	0.0114
	0.0083
	0.0013
	0.0023
	0.00004
Nitrogen Trace	Trace
	Trace
Operation condition	
	3555 K.pa
	40 °C
Flow rate	250MMSCFD

جریان ورودی مطابق با ترکیب درصد مولی و شرایط عملیاتی موجود در جدول (۳-۵) تعریف شده است :

Worksheet		Mole Fractions
Conditions	Methane	0.7166
Properties	Ethane	0.1565
Composition	Propane	0.0606
Oil & Gas Feed	i-Butane	0.0153
Petroleum Assay	n-Butane	0.0276
K Value	i-Pentane	0.0114
User Variables	n-Pentane	0.0083
Notes	n-Hexane	0.0013
Cost Parameters	H2O	0.0023
Normalized Yields	CO2	0.0000
	Nitrogen	0.0000
	SO2	0.0000
	TEGlycol	0.0000
Total		1.00000

شکل (۳-۱۳) درصد مولی ترکیبات موجود در گاز طبیعی

نرم افزار هایسیس مطابق با ترکیب درصد مولی و شرایط عملیاتی تعریف شده، سایر خصوصیات ترمودینامیکی را محاسبه میکند. تعدادی از این خصوصیات ترمودینامیکی در شکل (۳-۱۴) آورده شده است.

Worksheet		Stream Name	1	Vapour Phase
Conditions	Molecular Weight	22.95	22.95	
Properties	Molar Density [lbmole/ft3]	9.995e-002	9.995e-002	
Composition	Mass Density [lb/ft3]	2.294	2.294	
Oil & Gas Feed	Act. Volume Flow [barrel/day]	1174	1174	
Petroleum Assay	Mass Enthalpy [Btu/lb]	-1556	-1556	
K Value	Mass Entropy [Btu/lb-F]	1.659	1.659	
User Variables	Heat Capacity [Btu/lb-mole-F]	12.92	12.92	
Notes	Mass Heat Capacity [Btu/lb-F]	0.5629	0.5629	
Cost Parameters	LHV Molar Basis (Std) [Btu/lbmole]	4.756e+005	4.756e+005	
Normalized Yields	HHV Molar Basis (Std) [Btu/lbmole]	5.195e+005	5.195e+005	
	HHV Mass Basis (Std) [Btu/lb]	2.264e+004	2.264e+004	
	CO2 Loading	<empty>	<empty>	
	CO2 Apparent Mole Conc. [lbmole/ft3]	<empty>	<empty>	
	CO2 Apparent Wt. Conc. [lbmol/lb]	<empty>	<empty>	
	LHV Mass Basis (Std) [Btu/lb]	2.073e+004	2.073e+004	
	Phase Fraction [Vol. Basis]	1.000	1.000	
	Phase Fraction [Mass Basis]	1.000	1.000	
	Phase Fraction [Act. Vol. Basis]	1.000	1.000	
	Mass Exergy [Btu/lb]	157.8	<empty>	
	Partial Pressure of CO2 [bar]	1.422e-003	<empty>	
	Cost Based on Flow [Cost/s]	0.0000	0.0000	
	Act. Gas Flow [ACFM]	4.577	4.577	
	Avg. Liq. Density [lbmole/ft3]	0.9796	0.9796	
	Specific Heat [Btu/lbmole-F]	12.92	12.92	
	Std. Gas Flow [MMSCFD]	0.2495	0.2495	
	Std. Ideal Liq. Mass Density [lb/ft3]	22.48	22.48	
	Act. Liq. Flow [USGPM]	<empty>	<empty>	

شکل (۳-۱۴) تعدادی از خصوصیات ترمودینامیکی محاسبه شده توسط هایسیس برای جریان گاز ورودی

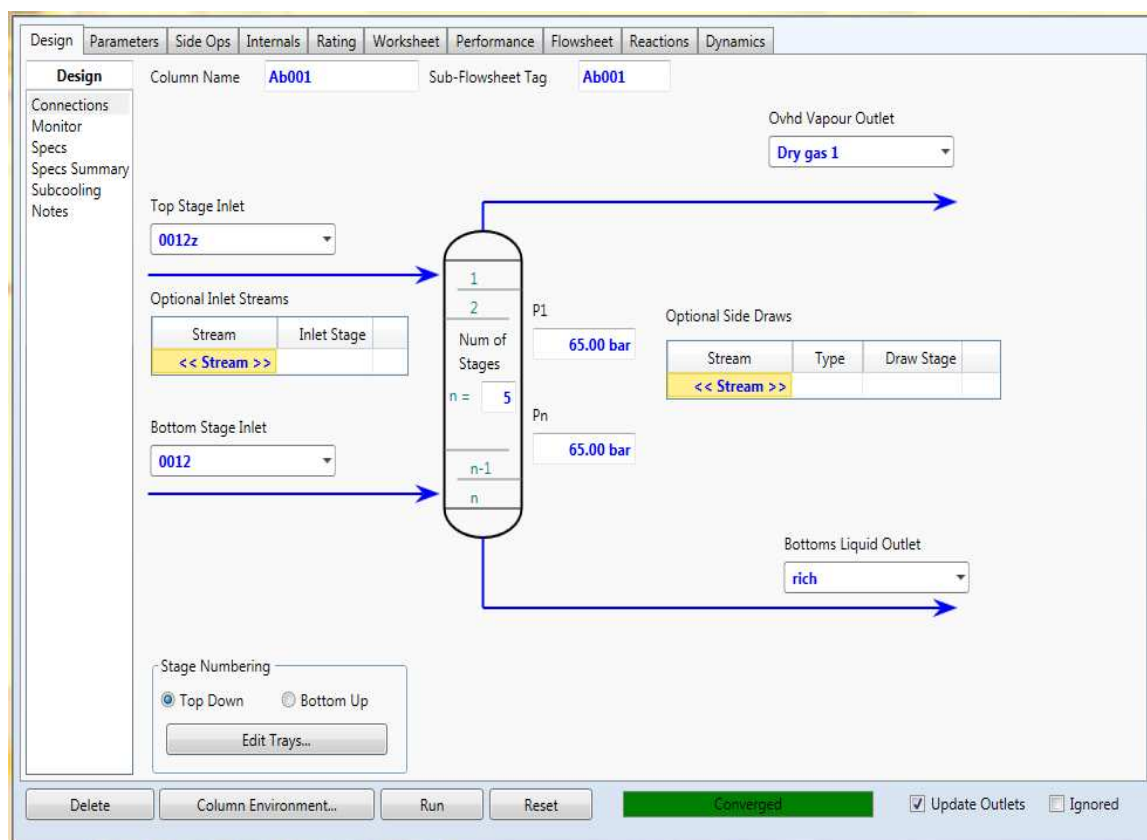
استفاده از جداکننده گاز در ورودی ستون برای حذف هرگونه ناخالصی نامطلوب مانند ذرات جامد و مایع بسیار مهم است. بنابراین جریان گاز ورودی ابتدا وارد جداکننده گردیده است.

Design	Reactions	Rating	Worksheet	Dynamics
<b>Worksheet</b>				
Conditions	Name	2-2	HCS	0012
Properties	Vapour	1.0000	0.0000	1.0000
Composition	Temperature [C]	40.00	40.00	40.00
PF Specs	Pressure [bar]	35.55	35.55	35.55
	Molar Flow [kgmole/h]	12.45	0.0000	12.45
	Mass Flow [lb/hr]	629.9	0.0000	629.9
	Std Ideal Liq Vol Flow [barrel/day]	119.8	0.0000	119.8
	Molar Enthalpy [Btu/lbmole]	-3.571e+004	-1.219e+005	-3.571e+004
	Molar Entropy [Btu/lbmole-F]	38.07	14.01	38.07
	Heat Flow [MW]	-0.2873	0.0000	-0.2873

شکل (۳-۱۵) مشخصات جریان های سیستم جداکننده

برج تماس دهنده گلیکول همچنین بخش مهمی از پلنت است که به برخی مشخصات مانند دما و فشار جریان و غلظت تری اتیلن گلیکول (غلظت ۹۹ درصد استفاده شده) نیاز دارد. شکل (۳-۱۶) منوی برج تماس دهنده گلیکول را نشان می‌دهد. علاوه بر این گلیکول غنی از آب نیاز به احیا دارد و این امر می‌تواند با نصب احیاکننده گلیکول حاصل شود.

بنابراین جریان گاز بعد از خروج از جداکننده از پایین برج وارد می‌گردد. جریان تری اتیلن گلیکول که بصورت مایع است از بالای برج روی سینی‌ها ریخته و در تماس با گاز طبیعی که رو به بالا حرکت می‌کند، قرار می‌گیرد.



شکل (۱۶-۳) منوی برج تماس دهنده

همانطور که در شکل (۱۶-۳) ملاحظه می‌شود، تعداد ۵ سینی برای برج در نظر گرفته شده است. فشار در سینی اول برابر با ۶۵ بار و در سینی آخر نیز ۶۵ بار است. ترتیب شماره گذاری سینی ها از بالا به پایین انتخاب شده است.

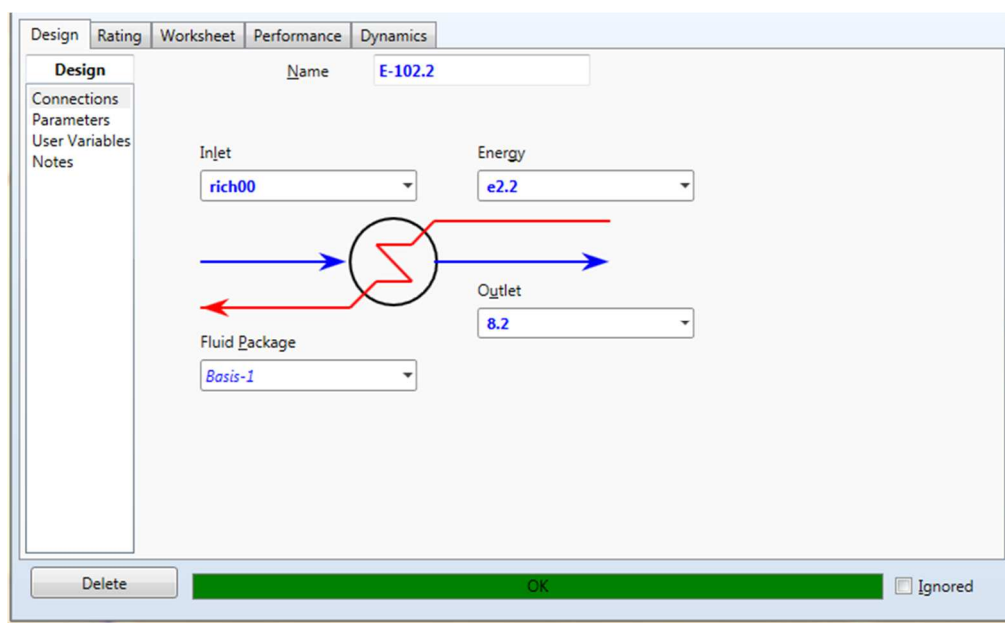
سپس جریان تری اتیلن گلکول خروجی از پایین برج که غنی از آب است، به سمت برج احیا حرکت می‌نماید. این جریان از یک شیر عبور می‌نماید. افت فشار ۸۹۰ psi برای این شیر در نظر گرفته شده است. شکل مربوط به شرایط عملیاتی و خصوصیات ترمودینامیکی حاکم در این شیر در شکل (۱۷-۳) آورده شده است و قابل مشاهده می‌باشد.

Design	Rating	Worksheet	Dynamics
<b>Worksheet</b>			
Conditions	Name	rich	rich00
Properties	Vapour	0.0000	0.0530
Composition	Temperature [C]	54.08	55.10
PF Specs	Pressure [bar]	65.00	3.637
	Molar Flow [kgmole/h]	3.726	3.726
	Mass Flow [lb/hr]	1157	1157
	Std Ideal Liq Vol Flow [barrel/day]	72.28	72.28
	Molar Enthalpy [Btu/lbmole]	-3.222e+005	-3.222e+005
	Molar Entropy [Btu/lbmole-F]	32.53	33.34
	Heat Flow [MW]	-0.7757	-0.7757

شکل (۱۷-۳) خصوصیات حاکم در جریان در گذر از شیر VLV-100.2

سپس جریان وارد یک هیتر گردیده و در ادامه مسیر را به سمت برج احیاء طی می‌کند.

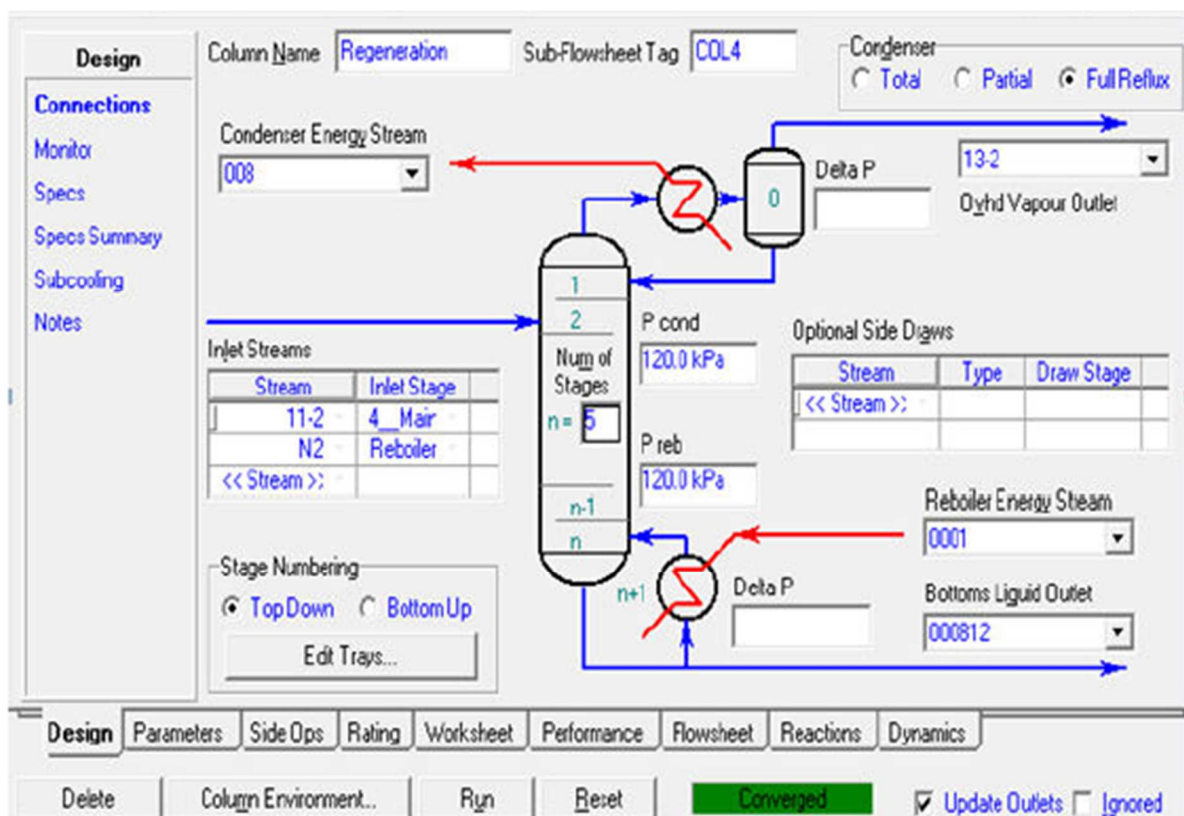




شکل (۳-۱۸) شماتیکی از جریان‌ات هیتر E102.2

Heater: E-102.2			
Design Rating Worksheet Performance Dynamics			
<b>Worksheet</b>	Name	rich00	8.2
Conditions	Molecular Weight	140.8	140.8
Properties	Molar Density [lbmole/ft3]	0.1210	0.1210
Composition	Mass Density [lb/ft3]	17.04	17.04
PF Specs	Act. Volume Flow [barrel/day]	290.2	290.2
	Mass Enthalpy [Btu/lb]	-2288	-2288
	Mass Entropy [Btu/lb-F]	0.2367	0.2367
	Heat Capacity [Btu/lbmole-F]	100.2	100.2
	Mass Heat Capacity [Btu/lb-F]	0.7113	0.7113
	LHV Molar Basis (Std) [Btu/lbmole]	1.342e+006	1.342e+006
	HHV Molar Basis (Std) [Btu/lbmole]	1.460e+006	1.460e+006
	HHV Mass Basis (Std) [Btu/lb]	1.037e+004	1.037e+004
	CO2 Loading	<empty>	<empty>
	CO2 Apparent Mole Conc. [lbmole/ft3]	<empty>	<empty>
	CO2 Apparent Wt. Conc. [lbmol/lb]	<empty>	<empty>
	LHV Mass Basis (Std) [Btu/lb]	9531	9531
	Phase Fraction [Vol. Basis]	3.109e-002	3.109e-002
	Phase Fraction [Mass Basis]	1.213e-002	1.213e-002
	Phase Fraction [Act. Vol. Basis]	0.7511	0.7511
	Mass Exergy [Btu/lb]	2.469	2.469
	Partial Pressure of CO2 [bar]	5.426e-004	5.426e-004
	Cost Based on Flow [Cost/s]	0.0000	0.0000
	Act. Gas Flow [ACFM]	0.8499	0.8499
	Avg. Liq. Density [lbmole/ft3]	0.4859	0.4859
	Specific Heat [Btu/lbmole-F]	100.2	100.2
	Std. Gas Flow [MMSCFD]	7.468e-002	7.468e-002
	Std. Ideal Liq. Mass Density [lb/ft3]	68.42	68.42
	Act. Liq. Flow [USGPM]	2.107	2.107
	Z Factor	<empty>	<empty>
	Watson K	8.942	8.942
	User Property	<empty>	<empty>
	Partial Pressure of H2S [bar]	0.0000	0.0000
	Cp/(Cp - R)	1.020	1.020
	Cp/Cv	1.001	1.001
	Ideal Gas Cp/Cv	1.036	1.036
Delete			

شکل (۳-۱۹) تعدادی از خصوصیات ترمودینامیکی محاسبه شده توسط هایسیس برای هیتر E102.2



شکل (۲۰-۳) مشخصات حاکم بر برج احیا تری اتیلن گلیکول

در واقع، نصب جداکننده فلش برای گلیکول غنی از آب به منظور جلوگیری از هرگونه مشکل فنی بسیار مهم است. علاوه بر این جریان آب میکاپ باید با استفاده از یک همزن به فرآیند اضافه شود. زیرا غلظت گلیکول ممکن است در فرآیند به دلیل از دست دادن آب و آمین بیش از حد معمول شود. بنابراین، افزودن جریان آب میکاپ، غلظت تری اتیلن گلیکول را در یک مقدار قابل قبول حفظ و پشتیبانی می‌کند. فرآیند شبیه‌سازی به میزان بالایی از حذف آب دست یافت که در قسمت بحث و نتیجه در مورد آن بحث خواهد شد. برای جبران تلفات تری اتیلن گلیکول، جریان گاز خروجی از تماس دهنده، جداکننده و احیاکننده به یک تقسیم‌کننده وارد می‌شود. در تقسیم‌کننده، تری اتیلن گلیکول از گاز جدا شده و یک جریان تری اتیلن گلیکول خالص تولید می‌شود که دوباره به جریان تری اتیلن گلیکول منتقل می‌شود. برای مخلوط کردن تری اتیلن گلیکول بازیابی شده از تقسیم‌کننده با تری اتیلن گلیکول احیا شده از احیاکننده به یک همزن نیاز است.

تری اتیلن گلایکول خروجی از احیاکننده خنک شده و دوباره به جریان ورودی‌تری اتیلن گلایکول افزوده می‌شود. برای انجام این کار باید یک اپراتور بازیابی منطقی بین دو جریان قرار گیرد. مشکلی در بازیابی تری اتیلن گلایکول وجود دارد. مقدار کمی تری اتیلن گلایکول از طریق جریان گاز خروجی از تماس دهنده، جداکننده و احیاکننده از سیستم هدر می‌رود. این تری اتیلن گلایکول از دست‌رفته یا باید جایگزین شود یا از طریق تقسیم‌کننده که تری اتیلن گلایکول را از جریان گاز خروجی از تماس دهنده، جداکننده و احیاکننده جدا می‌کند بازیابی شود. در تقسیم‌کننده، تری اتیلن گلایکول از گاز جدا شده و یک جریان تری اتیلن گلایکول خالص تولید می‌کند که دوباره به جریان تری اتیلن گلایکول منتقل می‌شود. برای مخلوط کردن تری اتیلن گلایکول بازیابی شده با تری اتیلن گلایکول حاصل از احیاکننده، یک همزن لازم است. احیاکننده گلایکول دارای پنج سینی همراه با کندانسور و دیگ بخار است. گلایکول غنی از آب، وارد احیاکننده در سینی وسط می‌شود. با استفاده از گاز استریپینگ در بالای ستون احیاکننده می‌توان به گلایکول تا خلوص ۹۹٫۹ درصد وزنی دست یافت. گاز استریپینگ معمولاً نیتروژن است. با خنک کردن گاز استریپینگ تا زیر نقطه شبنم، می‌توان آب را از گاز استریپینگ جدا کرد.

# فصل چهارم

نتایج و تفسیر آنها

## ۴-۱- مقدمه

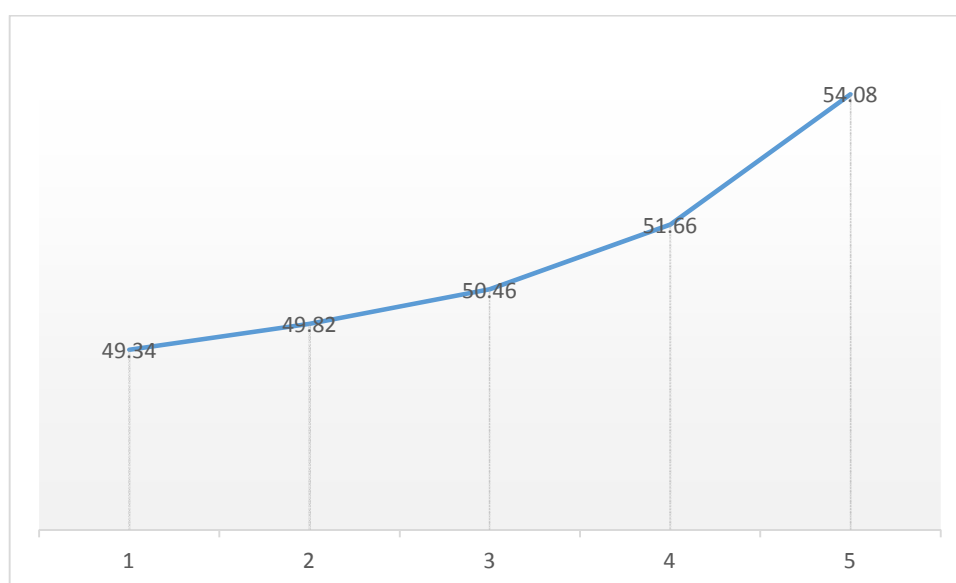
واحد نم‌زدایی گاز خورمالا توسط شبیه‌ساز اسپن‌هایسیس به دست آمد و تری اتیلن گلایکول ابتدا به عنوان مایع جاذب انتخاب شد که در سرعت گردش متوسط نتایج خوبی از نم‌زدایی گاز توسط تری اتیلن گلایکول حاصل شد. با این حال، بهینه‌سازی فرایند نیز برای یافتن مناسب‌ترین جاذب و مناسب‌ترین سرعت گردش جاذب انجام شد.

## ۴-۲- شرایط عملیاتی در برج جذب

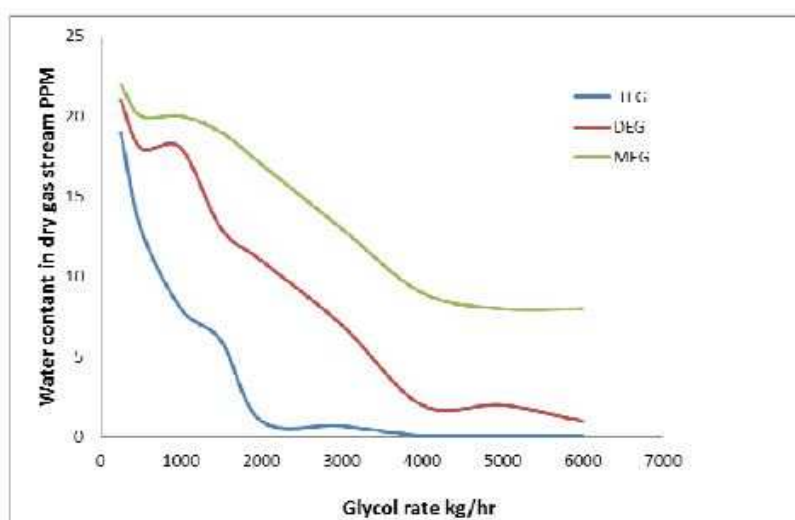
نرم افزار هایسیس دما و دبی مولی هر سینی را تخمین زده است که نتایج آن در جدول (۴-۱) آورده شده است.

جدول (۴-۱) شرایط حاکم بر هر سینی در برج

	Temperature	Net Liquid	Net Vapor
Unit	°C	Kgmol/hr	Kgmol/hr
1-Main Tower	49.34	3.682	12.14
2-Main Tower	49.82	3.703	12.41
3-Main Tower	50.46	3.708	12.43
4-Main Tower	51.66	3.707	12.43
5-Main Tower	54.08	3.726	12.43



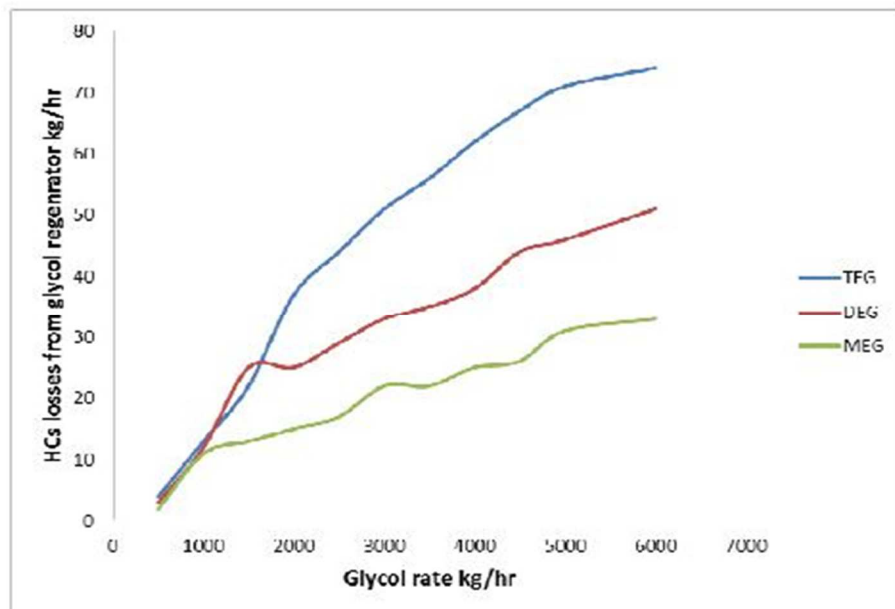
شکل ( ۴-۱ ) تغییرات دمایی در برج با عبور از سینی ها از شکل (۴-۲) مشاهده می‌شود که راندمان نم‌زدایی انواع مختلف گلیکول با یکدیگر متفاوت است. مونواتیلن گلیکول برای دستیابی به حذف عاری از آب از گاز به سرعت جریان زیادی احتیاج دارد. کمترین غلظت ممکن حدود ۷ ppm است و حذف آب با سرعت گردش گلیکول  $7500 \text{ kg/hr}$  به تعادل می‌رسد. بااین‌حال، دی اتیلن گلیکول و تری اتیلن گلیکول می‌توانند مقادیر زیادی آب را با سرعت گردش جاذب پایین حذف کنند. حذف ایده‌آل آب با استفاده از تری اتیلن گلیکول در سرعت گردش جاذب  $4000 \text{ kg/hr}$  حاصل شد به‌طوری‌که غلظت نهایی آب در گاز به  $0.1 \text{ ppm}$  رسید و سپس به حالت تعادل رسید.



شکل ( ۴-۲ ) محتوای آب موجود در گاز نم‌زدایی شده با استفاده از جاذب‌های مختلف

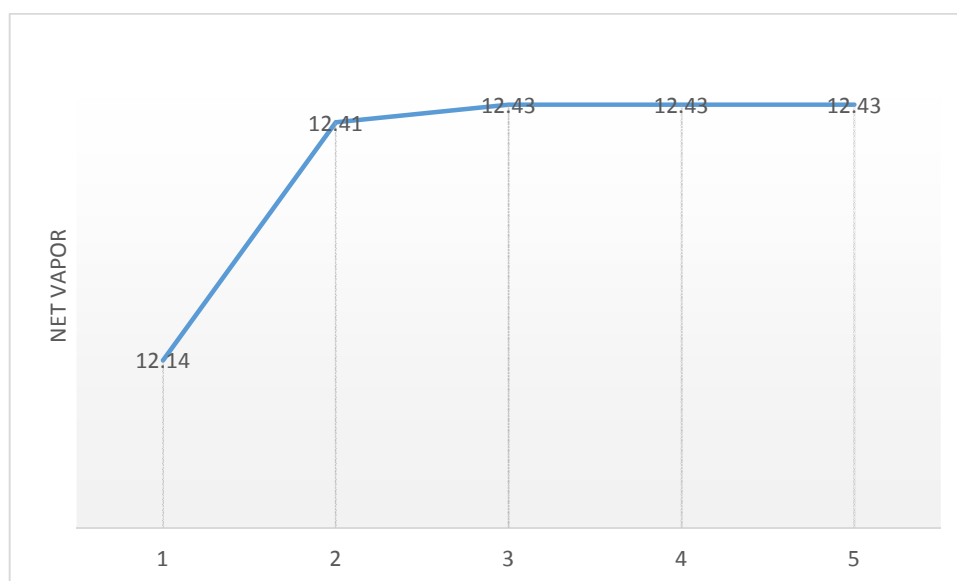
## ۴-۳- میزان تلفات هیدروکربن

از شکل (۴-۳) می‌توان دریافت که تری اتیلن گلیکول مقدار هیدروکربن بیشتری نسبت به دی اتیلن گلیکول جذب می‌کند و با افزایش سرعت گردش منجر به تلفات بیشتری از هیدروکربن از احیاکننده گلیکول می‌شود. همان‌طور که از شکل بالا مشاهده می‌شود، افزایش سرعت گردش جاذب برای انواع مختلف گلیکول منجر به تلفات بالای هیدروکربن از برج احیاکننده گلیکول می‌شود. با این حال مونواتیلن گلیکول منجر به کمترین میزان تلفات هیدروکربن می‌شود. دی اتیلن گلیکول دارای تلفات متوسط هیدروکربن است.

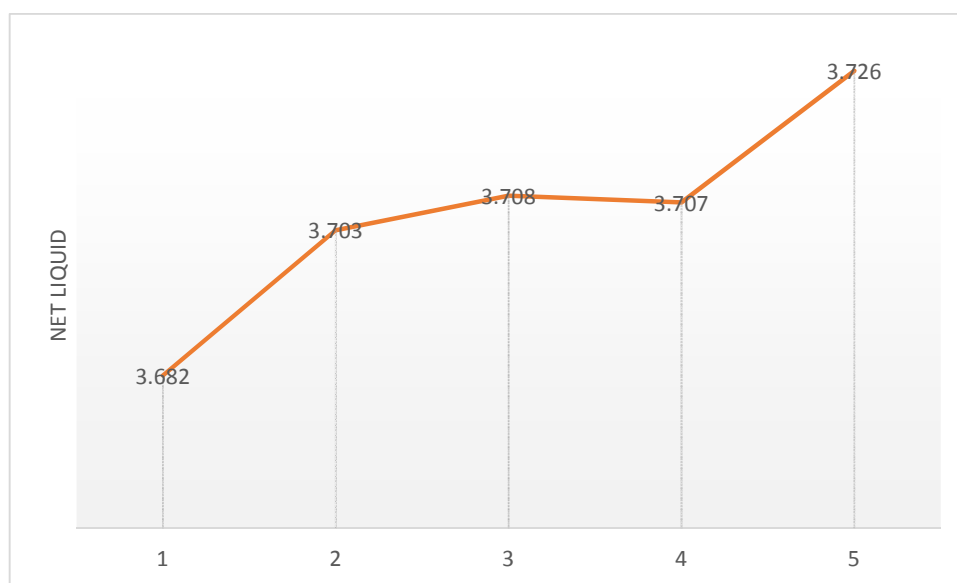


شکل (۴-۳) رابطه بین تلفات هیدروکربن از احیاکننده گلیکول و استفاده از انواع مختلف گلیکول





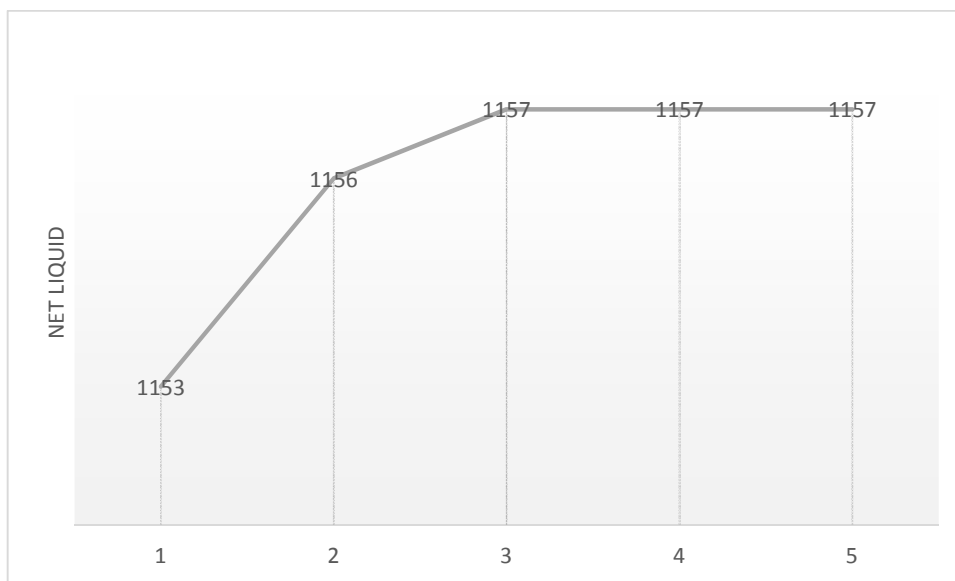
شکل (۴-۴) دبی مولی بخار عبوری از هر سینی بر حسب kgmol/hr



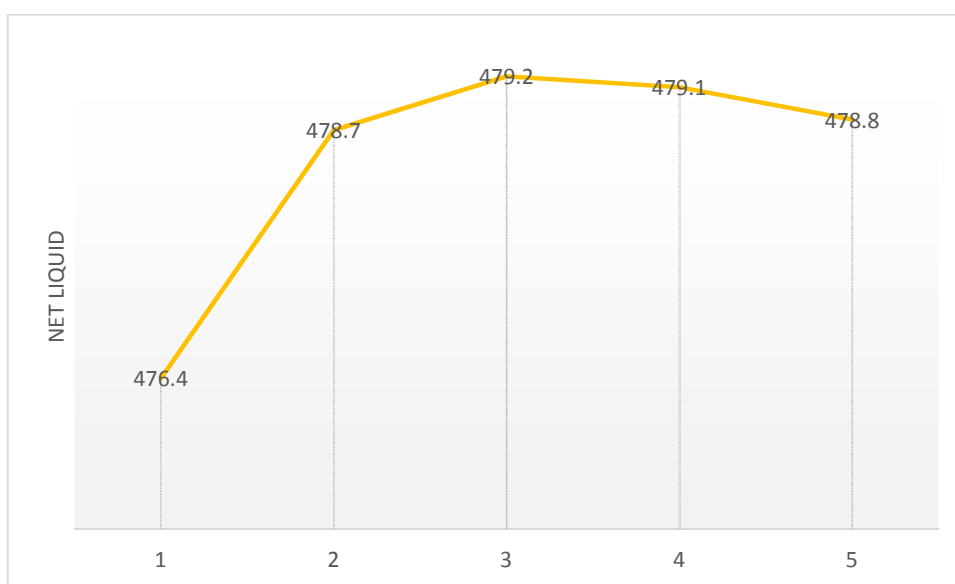
شکل ( ۵ - ۴ ) دبی مولی مایع عبوری از هر سینی بر حسب kgmol/hr

#### ۴-۴- شرایط حاکم بر هر سینی در برج

همانطور که در قبل گفته شده ترتیب شماره‌گذاری سینی‌ها از بالا به پایین می‌باشد. سینی شماره ۱ بالاترین و سینی شماره ۵ پایین‌ترین است. همانگونه که در شکل (۵-۴) مشاهده می‌شود دما رو به افزایش رفته است و به دنبال آن دبی مولی مایع نیز با گذر از هر سینی رو به افزایش رفته است. در ادامه همانطور که انتظار می‌رود و در شکل (۴-۴) نیز قابل مشاهده است دبی مولی بخار در سینی شماره ۱ بیشترین مقدار را دارد و رفته به رفته کاهش می‌یابد. بیشترین تغییرات دبی مولی را در میان دو سینی ۱ و ۲ داریم.



شکل (۴-۶) دبی جرمی مایع عبوری از هر سینی بر حسب lb/hr



شکل (۴-۷) دبی حجمی مایع عبوری از هر سینی بر حسب Lit/hr

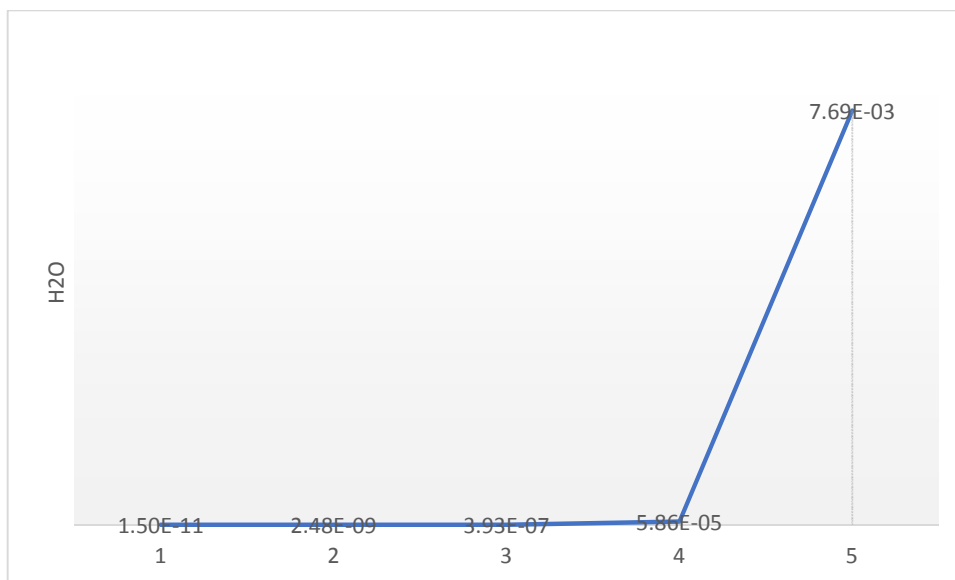
همانگونه که در شکل (۴-۷) مشاهده می‌شود، مایع در عبور از سینی یک به سینی شماره دو دبی حجمی آن با تغییرات بیشتری نسبت به سایر سینی‌ها تغییر کرده است و در ادامه و در اثر عبور از سایر سینی‌ها این تغییرات کمتر می‌شود.

گاز طبیعی از پایین برج وارد می‌گردد و از سینی شماره ۵ شروع به رفتن به سمت سینی شماره ۱ می‌نماید. گاز طبیعی ترکیبات گوناگونی را با ترکیب درصد مولی مختلفی شامل می‌شود. ترکیب درصد هر ماده در اثر عبور از سینی ها و تماس با تری اتیلن گلیکول تغییر می‌نماید. جدول (۴-۱) نتیجه حاصل از محاسبات هایسیس برای هر سینی است. ترکیب درصد مواد مختلف در هر سینی را محاسبه کرده است.

جدول (۴-۲) ترکیب درصد مواد در هر سینی

	Methane	Ethane	Propane	i-Butane	n-Butane	i-Pentane	n-Pentane	n-Hexane	H2O	CO2
1_Main Tower	2.557e-002	1.392e-002	8.182e-003	9.767e-003	3.483e-003	9.409e-003	1.868e-003	6.383e-004	1.508e-011	1.082e-005
2_Main Tower	2.559e-002	1.395e-002	8.396e-003	1.171e-002	3.569e-003	1.237e-002	1.959e-003	7.300e-004	2.478e-009	1.134e-005
3_Main Tower	2.562e-002	1.390e-002	8.389e-003	1.202e-002	3.569e-003	1.325e-002	1.959e-003	7.446e-004	3.929e-007	1.126e-005
4_Main Tower	2.561e-002	1.383e-002	8.333e-003	1.187e-002	3.550e-003	1.328e-002	1.941e-003	7.448e-004	5.859e-005	1.109e-005
5_Main Tower	2.493e-002	1.323e-002	8.090e-003	1.128e-002	3.486e-003	1.265e-002	1.897e-003	7.363e-004	7.687e-003	1.067e-005

بنابراین همانطور که در جدول (۴-۲) مشاهده می‌شود مقدار آب موجود در سینی اول ۰,۰۰۷۶۸۷ است. در اثر عبور از سینی‌ها و در تماس با تری اتیلن گلیکول سینی به سینی مقدارش کاهش یافته است و در سینی آخر تقریباً مقدار ترکیب درصد مولی به صفر میل کرده است.



شکل (۴-۸) ترکیب درصد آب در هر سینی

Design	Parameters	Side Ops	Internals	Rating	Worksheet	Performance	Flowsheet	Reactions	Dynamics
<b>Worksheet</b>									
Conditions	Name	0012z @COL1	0012 @COL1	Dry gas 1 @COL1	rich @COL1				
Properties	Vapour	0.0000	1.0000	1.0000	0.0000				
Compositions	Temperature [C]	48.33	40.00	49.34	54.08				
PF Specs	Pressure [bar]	65.00	35.55	65.00	65.00				
	Molar Flow [kgmole/h]	3.413	12.45	12.14	3.726				
	Mass Flow [lb/hr]	1130	629.9	603.1	1157				
	Std Ideal Liq Vol Flow [barrel/day]	68.57	119.8	116.1	72.28				
	Molar Enthalpy [Btu/lbmole]	-3.477e+005	-3.571e+004	-3.549e+004	-3.222e+005				
	Molar Entropy [Btu/lbmole-F]	30.63	38.07	36.74	32.53				
	Heat Flow [MW]	-0.7668	-0.2873	-0.2784	-0.7757				

شکل (۴-۹) شرایط کلی حاکم بر برج

	0012z	0012	Dry gas 1	rich
Methane	0.0000	0.7166	0.7274	0.0249
Ethane	0.0000	0.1565	0.1565	0.0132
Propane	0.0000	0.0606	0.0597	0.0081
i-Butane	0.0000	0.0153	0.0122	0.0113
n-Butane	0.0000	0.0276	0.0272	0.0035
i-Pentane	0.0000	0.0114	0.0078	0.0127
n-Pentane	0.0000	0.0083	0.0079	0.0019
n-Hexane	0.0000	0.0013	0.0011	0.0007
H2O	0.0000	0.0023	0.0000	0.0077
CO2	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000
Nitrogen	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000
SO2	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000
TEGlycol	1.0000	0.0000	0.0000	0.9160

شکل (۱۰-۴) ترکیب درصد جریان‌ات درون برج نم‌گیر گاز طبیعی

#### ۴-۵- ترکیب درصد آب در گاز خورمالا

در نتیجه همانطور که در شکل (۱۰-۴) مشاهده می‌گردد درصد آب در جریان Dry gas 1 که خروجی گاز طبیعی از بالای برج است، صفر گردیده است و می‌تواند در جهت مصارف مختلف استفاده شود. در این مطالعه موردی، شبیه‌سازی و بهینه‌سازی فرایند نم‌زدایی گاز خورمالا با استفاده از اسپن هایسیس انجام شده است. می‌توان ادعا کرد که گاز مرطوب خورمالا دارای مقادیری بخار آب است که ممکن است منجر به مشکلات فنی شدیدی مانند تشکیل هیدرات و خوردگی خط لوله شود. باین‌حال، این مشکل می‌تواند با نصب واحد نم‌زدایی گاز برای پلنت گاز خورمالا حل شود. علاوه بر این، کار شبیه‌سازی به حذف زیاد آب دست یافت. می‌توان ادعا کرد که استفاده از تری اتیلن گلیکول با سرعت گردش  $4000 \text{ kg/hr}$  می‌تواند باعث حذف مناسب آب از گاز شود. باین‌حال، تری اتیلن گلیکول منجر به تلفات هیدروکربن زیادی در احیاکننده گلیکول با نرخ گردش گفته‌شده می‌شود. بنابراین کاهش سرعت گردش تری اتیلن گلیکول یا استفاده از دی اتیلن گلیکول در سرعت گردش  $3500 \text{ kg/hr}$  نیز به نتیجه قابل قبول حذف آب و میزان کم تلفات هیدروکربن می‌رسد. باین‌وجود، مناسب‌ترین انتخاب ممکن است توسط طراحان و اپراتورهای فرایند انجام شود.

## فصل ۵

نتیجه گیری و پیشنهادات

## ۱-۵- مقدمه

تصفیه گاز برای رسیدن به استانداردها و مقررات تنظیم‌شده بسیار مهم است. درک بهتر فرآیند می‌تواند به تصمیم‌گیری در جهت کاهش هزینه‌ها و جلوگیری از آسیب‌دیدگی تجهیزات کمک کند. علاوه بر اینکه مهندسان باید به بهبود فرایند پلنت بپردازند ضروری است که از ابزارهای مناسب شبیه‌سازی در جهت تصمیم‌گیری بهتر و باقی ماندن در عرصه رقابت کمک بگیرند.

پکیج خواص CPA که بر اساس معادله حالت مکعبی به‌اضافه تجمعی است، در اسپن‌هایسیس ورژن ۱۰ و بالاتر موجود است و برای مدل‌سازی فرایندهای نمدایی با اتیلن گلیکول، دی اتیلن گلیکول و تری اتیلن گلیکول توصیه می‌شود. پکیج خواص CPA و مدل فلوشیت نمدایی با گلیکول در اسپن‌هایسیس با داده‌های مختلف تجربی و پلنت مورد آزمایش قرار گرفت. نتایج حاصل از اعتبار سنجی سیستم‌های دوجزئی و چندجزئی و الگوهای خواص فیزیکی و همچنین مدل شبیه‌سازی، پیش‌بینی خوبی در طیف گسترده‌ای از شرایط عملیاتی انجام داد.

تصفیه گاز برای رسیدن به استانداردها و مقررات تنظیم‌شده بسیار مهم است. درک بهتر فرآیند می‌تواند به تصمیم‌گیری در جهت کاهش هزینه‌ها و جلوگیری از آسیب‌دیدگی تجهیزات کمک کند. علاوه بر اینکه مهندسان باید به بهبود فرایند پلنت بپردازند ضروری است که از ابزارهای مناسب شبیه‌سازی در جهت تصمیم‌گیری بهتر و باقی ماندن در عرصه رقابت کمک بگیرند.

مسائل و مشکلات مربوط به پلنت به‌طور مداوم به وجود می‌آیند. برای اینکه سازمان‌ها اطمینان حاصل کنند بهترین اقدامات را انجام می‌دهند، اپراتورها نیاز به دسترسی به یک بستر نرم‌افزاری یکپارچه دارند. با داشتن فناوری مناسب، مهندسان می‌توانند تصمیمات صحیحی برای پلنت خود بگیرند تا اطمینان حاصل کنند که سود حاصل بیشتر از هزینه‌های پلنت است. علاوه بر این با استفاده از این راه‌حل‌ها سازمان‌ها می‌توانند خطر حوادث غیرمترقبه را به حداقل برسانند زیرا ابزار لازم را برای تنظیم فعالیت‌های روزانه جهت یافتن مؤثرترین روش اجرای فرایند در اختیار خواهند داشت.



## ۲-۵- جمع‌بندی و پیشنهادات

در این مطالعه موردی، شبیه‌سازی و بهینه‌سازی فرایند نم‌زدایی گاز خورمالا با استفاده از اسپن‌هایسیس انجام شده است. می‌توان ادعا کرد که گاز مرطوب خورمالا دارای مقادیری بخار آب است که ممکن است منجر به مشکلات فنی شدیدی مانند تشکیل هیدرات و خوردگی خط لوله شود. با این حال، این مشکل می‌تواند با نصب واحد نم‌زدایی گاز برای پلنت گاز خورمالا حل شود. علاوه بر این، کار شبیه‌سازی به حذف زیاد آب دست یافت. می‌توان ادعا کرد که استفاده از تری اتیلن گلیکول می‌تواند باعث حذف مناسب آب از گاز شود. با این حال، تری اتیلن گلیکول منجر به تلفات هیدروکربن زیادی در احیاکننده گلیکول با نرخ گردش گفته شده می‌شود. بنابراین کاهش سرعت گردش تری اتیلن گلیکول یا استفاده از دی اتیلن گلیکول در سرعت گردش  $3500 \text{ kg/hr}$  نیز به نتیجه قابل قبول حذف آب و میزان کم تلفات هیدروکربن می‌رسد. با این وجود، مناسب‌ترین انتخاب ممکن است توسط طراحان و اپراتورهای فرایند انجام شود.

## مراجع

## مراجع

- [1] M. Stewart, and K. Arnold, *Gas Sweetening and Processing Field Manual*. Houston: Gulf Professional Publishing, 2011, pp. 51–52.
- [2] S. Jassim, *The Geology of Iraq*. Brno: Geological Societ. 2006, pp. 70–74.
- [3] F. Khoshnaw, *Petroleum and Mineral Resources*. Southampton: WITPres. 2012, pp. 38–41.
- [4] M. Stewart, and K. Arnold, *Gas dehydration Field Manual*. Houston: Gulf Professional Publishing, 2011, pp. 40–77.
- [5] K. Abdel-Aal, *Petroleum and Gas Field Processing*. New York: CRC Press, 2003, pp. 90–110.
- [6] R. Thompson, *Oilfield processing of petroleum*. Tulsa: Penn Well Books, 1991, pp. 51–57.
- [7] J. Carroll, *Natural Gas Hydrates*. Oxford: Gulf Professional Publishing, 2009, pp. 32–33.
- [8] G. Speight, *Industrial Gases*. Amsterdam: Gulf Publishing, 2010, pp. 81–90.
- [9] N. Downie, *Natural Gas Hydrates*. Moscow: Springer, 1996, pp. 440–
- [10] Folas, G.K., Technical University of Denmark, Thesis, 2006, Modeling of Complex Mixtures Containing Hydrogen Bonding Molecules
- [11] Braek, A.M.; Almehaideb, R.A.; Darwish, N.; Hughes, R., Process Safety and Environmental Protection, Volume 79, Issue 4, July 2001, 218–232, Optimization of Process Parameters for Glycol Unit to Mitigate the Emission of BTEX/VOCs
- [12] Arnold, K.; Stewart, M., Surface Production Operations – Design of Gas-Handling Systems and Facilities, Volume 2, Second Edition, 1999, Chapter 8 - Gas Dehydration
- [13] USEPA Natural Gas Star, Lesson learned, “Optimize Glycol Circulation and Install Flash Tank Separators in Glycol Dehydrators,” 2006
- [14] Soave, G. Chem. Eng. Sci., Vol. 27, (1972), pp. 1196–1203, Equilibrium Constants for Modified Redlich-Kwong Equation of State
- [15] Kontogeorgis, G.M.; Voutsas, E.; Yakoumis, I.; Tassios, D.P., Ind. Eng. Chem. Res., 1996, 35, 4310, An Equation of State for Associating Fluids
- [16] Kontogeorgis, G.M.; Folas, G.K., John Wiley & Sons, 2010, Thermodynamic Models for Industrial Applications: From Classical and Advanced Mixing Rules to Association Theories
- [17] Arya, A.; Maribo-Mogensen, B.; Tsivintzelis, I.; Kontogeorgis, G.M., Ind. Eng. Chem. Res. 2014, 53, 11766–11778, Process Design of Industrial Triethylene Glycol Processes Using the Cubic-Plus Association (CPA) Equation of State
- [18] Aspen Plus® V10, Aspen Technology, Inc. Bedford, MA
- [19] International Journal of Chemical, Molecular, Nuclear, Materials and Metallurgical Engineering Vol:7, No. 6, 2013
- [20] Hlavinka, M.W.; Collie, J. and Ashworth A., 1998, An Analysis of BTEX Emissions from Amine Sweetening and Glycol Dehydration Facilities, Proceedings of the 1998 Laurance Reid Gas Conditioning Conference, University of Oklahoma
- [21] Bahadori, A. Technology and Engineering Design, 2014, 441–481, Chapter 9 – Natural Gas Dehydration
- [22] Ballard, D. American Institute of Chemical Engineers Spring National Meeting, New Orleans, LA, USA, 6 Apr 1986, The Fundamentals of Glycol Dehydration
- [23] Ebeling, H.O.; Lyddon, L.G.; Covington, K.K., Bryan Research and Engineering, Inc., 1998, Reduce Emission and Operating Costs with Appropriate Glycol Selection
- [24] Hernandez-Valencia, V.N.; Hlavinka, M.W.; Bullin J.A., Bryan Research & Engineering, Inc., 1992, Design Glycol Units for Maximum Efficiency
- [25] R.K. Abdulrahman and I.M. Sebastine, Natural Gas Dehydration Process Simulation and Optimization: A Case Study of Khurmala Field in Iraqi Kurdistan Region
- [26] Hlavinka, M.W.; Hernandez-Valencia, V.N.; Bullin, J.A., Bryan Research & Engineering, Inc., 1992, Influence of Process Operations on VOC and BTEX Emissions from Glycol Dehydration Units
- [27] C.I.C. Anyadiegwu, A. Kerunwa, P. Oviawe, Petroleum & Coal 56(4) 407–417, 2014, Natural Gas Dehydration Using Triethylene Glycol (TEG)

- [28] Jou, F.Y.; Deshmukh, R.D.; Otto, F.D.; Mather, A.E. Fluid Phase Equilib., 1987, 36, 121 Vapor Liquid Equilibria for Acid Gases and Lower Alkanes in Triethylene Glycol
- [29] Wilson, L.C.; Wilding, W.V.; Wilson, G.M. AIChE Symp. Ser., 1989, 85, 25-43 Vapor-Liquid Equilibrium Measurements on Four Binary Mixtures
- [30] Herskowitz, M.; Gottlieb, M.J. Chem. Eng. Data, 1984, 29, 450, Vapor-Liquid Equilibrium in Aqueous Solutions of Various Glycols and Poly(ethylene glycols). 1. Triethylene Glycol
- [31] Tsuji, T.; Hiaki, T.; Hongo, Masaru. Ind. Eng. Chem. Res., 37 (5), 1998, Vapor-Liquid Equilibria of the Three Binary Systems: Water + Tetraethylene Glycol (TEG), Ethanol + TEG, and 2-Propanol + TEG
- [32] Parrish, W.R.; Wonk, W.; Baltatu, M.E. Proc. Ann. Conv. Techn. Papers GPA, 1986, Phase Behavior of the Triethylene Glycol - Water System and Dehydration/Regeneration Design for Extremely Low Dew Point Requirements
- [33] Rafflenbeul, L.; Hartmann, H. Forschungsber. Landes Nordrhein-Westfalen, 2888, 1979, A Method for Selecting Solutes for the Extractive Distillation
- [34] Bestani, B.; Shing, K.S. Fluid Phase Equilib., 50, 1989, 209-221, Infinite-Dilution Activity Coefficients of Water in TEG, PEG, Glycerol and Their Mixtures in the Temperature Range 50-140 Degrees Centigrade
- [35] Ikari, A.; Ayabe, N. Kagaku Kogaku, 31(11), 1967, 1067-1070, Activity Coefficients at Infinite Dilution of Water in Glycerol and Triethylene Glycol
- [36] Folas, G.K.; Kontogeorgis, G.M.; Michelsen, M.L.; Stenby, E.H.; Solbraa, E.J. Chem. Eng. Data, 2006, 51, 977-983
- [37] Gupta, S.K.; Rawat, B.S.; Goswami, A.N.; Nanoti, S.M.; Krishna, R. Fluid Phase Equilib., 1989, 46, 95-102 Isobaric Vapor-Liquid Equilibria of the Systems: Benzene-Triethylene Glycol, Toluene-Triethylene Glycol and Benzene-N-Methylpyrrolidone
- [38] Hughes, M.A.; Haoran, Y.J. Chem. Eng. Data, 1990, 35, 467-471 Liquid-Liquid Equilibria for Separation of Toluene from Heptane by Benzyl Alcohol Tri(ethylene glycol) Mixtures
- [39] Ng, H.J.; Chen, C.J.; Robinson, D.B., GPA Research Report RR-131, The Solubility of Selected Aromatic Hydrocarbons in Triethylene Glycol, DB Robinson Research Ltd., 1991
- [40] Holoboff, J.L.; Khoshkbarchi, M., Process Ecology Inc., 2009, Prediction of BTEX Emission and Water Content in TEG Dehydration Units



**Energy Institute of Higher Education**

# **Simulation and optimization of the desalination process of natural gas**

**Supervisor:**  
**Dr. Maddah**

**Advisor:**  
**Dr. Mirzaei**

**By:**  
**Hamid Saberi**

**november 2020**