

سلام افلا

دانشگاه فردوسی مشهد

دانشکده مهندسی

گروه مهندسی شیمی

عنوان:

مدلسازی و شبیه سازی واحد نم زدایی گاز طبیعی با استفاده از فرایند جذب سطحی

مؤلف:

رویا پریچهره

ارائه شده جهت اخذ درجه کارشناسی ارشد

در رشته‌ی مهندسی شیمی - گرایش فرآوری و انتقال گاز

استاد راهنما:

جناب آقای دکتر اکبر شاهشوند

شهریور ۱۳۸۹

تعهد نامه

اینجانب **رویا پریچهره** دوره کارشناسی ارشد، دانشکده مهندسی، دانشگاه فردوسی مشهد، نویسنده پایان نامه: **مدلسازی و شبیه سازی واحد نم زدایی گاز طبیعی با استفاده از فرایند جذب سطحی**، تحت راهنمایی آقای **دکتر اکبر شاهسون** متعهد می‌شوم:

- تحقیقات در این پایان نامه توسط اینجانب انجام شده است و از صحت و اصالت برخوردار است.
- در استفاده از این نتایج محققان دیگر به مرجع مورد استفاده استناد شده است.
- مطالب مندرج در پایان نامه تاکنون توسط خود یا فرد دیگری برای دریافت هیچ نوع مدرک یا امتیازی در هیچ جا ارائه نشده است.
- کلیه حقوق معنوی این اثر متعلق به دانشگاه فردوسی مشهد می باشد و مقالات مستخرج با نام «دانشگاه فردوسی مشهد» و یا «Ferdowsi University of Mashhad» به چاپ خواهد رسید.
- حقوق معنوی تمام افرادی که در به دست آمدن نتایج اصلی پایان نامه تأثیر گذار بوده‌اند در مقالات مستخرج از رساله رعایت شده است.
- در کلیه مراحل انجام این پایان نامه، در مواردی که از موجود زنده (یا بافت‌های آنها) استفاده شده است ضوابط و اصول اخلاقی رعایت شده است.
- در کلیه مراحل انجام این پایان نامه، در مواردی که به حوزه اطلاعات شخصی افراد دسترسی یافته یا استفاده است، اصل رازداری و اصول اخلاق انسانی رعایت شده است.

تاریخ

امضای دانشجو

مالکیت نتایج و حق نشر

- کلیه حقوق معنوی این اثر و محصولات آن (مقالات مستخرج، کتاب، برنامه‌های رایانه‌ای، نرم افزارها و تجهیزات ساخته) متعلق به دانشگاه فردوسی مشهد می‌باشد. این مطلب باید به نحو مقتضی در تولیدات علمی مربوطه ذکر شده است.
- استفاده از اطلاعات و نتایج موجود در پایان نامه بدون ذکر مرجع مجاز نمی باشد.
- متن این صفحه نیز باید در ابتدای نسخه‌های تکثیر شده وجود داشته باشد.

تقدیم به پدر و مادر عزیزم

آنانکه وجودم برایشان همه رنج بود و وجودشان برایم همه مهر، توانشان رفت تا به توانایی برسم و مویشان سپید گشت تا رویم سپید بماند. آنان که فروغ نگاهشان، گرمی کلامشان و روشنی رویشان سرمایه های جاودانی زندگی من است. آنان که راستی قامت، در شکستگی قامتشان تجلی یافت. در برابر وجود گرامیشان زانوی ادب بر زمین می نهم و با دلی مملو از عشق، محبت و خضوع بر دستشان بوسه می زنم.

همچنین بر خود لازم می دانم از استاد راهنمای خود، جناب آقای دکتر شاهسوند به واسطه ی همراهی و یاری رساندن بی دریغشان که در تمامی مراحل انجام این پروژه همواره مستدام بوده است، تشکر و قدردانی نمایم.

چکیده:

با توجه به مشکلات فراوانی که وجود بخارآب در فرایندهای انتقال و توزیع گاز ایجاد می نماید، نم زدایی گاز طبیعی در صنعت گاز از اهمیت ویژه ای برخوردار است. در دو دهه ی گذشته روش جذب سطحی گوی سبقت را از دیگر روش های مشابه در این زمینه، به دلیل مزایای مختلف فنی و اقتصادی ربوده است.

در این پژوهش، نسبت به شبیه سازی فرایند نم زدایی گاز طبیعی با استفاده از جذب سطحی در شرایط مختلف همدمما و غیر همدمما اقدام شده است. ابتدا به منظور شبیه سازی این فرایند یک مدل مناسب، شامل معادلات موازنه ی جرم و انرژی ارائه گردید. سپس معادلات مدل ریاضی مورد نظر با استفاده از دو روش حل عددی (اختلاف محدود و مجموعه ی متعامد) حل گردیده اند و نتایج مربوطه با یکدیگر مقایسه شده اند. در مرحله ی بعد، شبیه سازی این فرایند با استفاده از نرم افزار Aspen Adsim نیز انجام شده است و در نهایت، نتایج آن با نتایج حاصله از حل های عددی مدل ریاضی ارائه شده، مقایسه گردیده اند. به منظور کسب اطمینان از صحت نتایج شبیه سازی، با استفاده از سه روش ذکر شده ی فوق، در شرایط همدمما از حل تحلیلی مدل کلاینکنبرگ و در شرایط غیر همدمما از داده های تجربی موجود در یک مقاله ی علمی ارائه شده در سال ۲۰۰۵ میلادی استفاده شده است. نتایج نهایی شبیه سازی انجام شده، حاکی از آن است که حل معادلات مدل مورد نظر در شرایط غیر همدمما با استفاده از سه روش ذکر شده، نسبت به شرایط همدمما، تطابق بیشتری با حالت معیار دارند.

با توجه به مقایسه های انجام شده، پیش بینی های مربوط به روش های مجموعه ی متعامد و نرم افزار Aspen Adsim از کیفیت بالاتری برخوردار بوده اند. به منظور بررسی تاثیر پارامترهای مختلف مانند گرمای آزاد شده ی جذب، انتقال حرارت جابجایی بستر با محیط و دیگر متغیرهای عملیاتی مهم بر روی فرایند جذب سطحی، نتایج شبیه سازی به روش مجموعه ی متعامد با تغییر پارامترهای عملیاتی مذکور نیز به تفصیل بیان شده اند.

در خاتمه، عملکرد واحد نم زدایی جمالی نیا پالایشگاه شهید هاشمی نژاد، توسط نرم افزار Aspen Adsim مورد بررسی قرار گرفت. در این بخش ضمن استفاده از داده های تجربی موجود، نسبت به انجام History Match اقدام گردید که در مرحله ی بعد بتوان از نتایج شبیه سازی برای افزایش ظرفیت واحد نم زدایی مذکور استفاده نمود.

واژه های کلیدی: شبیه سازی، نم زدایی، جذب سطحی، حل عددی، نرم افزار Aspen Adsim

فهرست مطالب

۱	فصل اول: اهمیت فرایند نم زدایی گاز طبیعی در صنعت گاز
۲	۱-۱) مشکلات ناشی از بخار آب همراه گاز در خطوط لوله ی گازی
۲	۱-۱-۱) خوردگی در خطوط لوله
۲	۱-۱-۲) یخ زدگی در خطوط لوله
۳	۱-۱-۳) تشکیل هیدرات های گازی در خطوط لوله
۴	۲-۱) تنظیم نقطه ی شبنم آب و هیدروکربن
۸	فصل دوم: مروری بر روش های مختلف فرایند نم زدایی گاز طبیعی
۹	۱-۲) سرد کردن
۱۰	۲-۲) جذب توسط حلال
۱۲	۳-۲) جذب سطحی توسط جاذب جامد
۱۵	۴-۲) فرآیندهای غشایی
۱۷	۵-۲) جداکننده ی مافوق صوت
۲۰	فصل سوم: مروری بر فرایند جذب سطحی گازها
۲۱	۱-۳) فرایند جذب سطحی گاز
۲۱	۱-۱-۳) جذب شیمیایی
۲۲	۲-۱-۳) جذب فیزیکی
۲۳	۲-۳) مکانیسم جذب فیزیکی گازها
۲۴	۳-۳) ایزوترم های محلی جذب
۲۵	۱-۳-۳) معادله ی لانگمویر
۲۶	۲-۳-۳) معادله ی BET
۲۷	۴-۳) مکانیسم های مختلف جداسازی مخلوط های گازی با استفاده از جذب سطحی
۲۸	۵-۳) مقاومت های کنترل کننده ی انتقال جرم در جذب سطحی

۳۱	فصل چهارم: مدل‌سازی و شبیه‌سازی فرایند جذب سطحی
۳۲	۱-۴) مروری بر پژوهش‌های انجام شده پیرامون مدل‌سازی فرایند جذب سطحی جهت نم زدایی هوا
۴۰	۲-۴) مدل ریاضی مورد استفاده در این پژوهش
۴۰	۱-۲-۴) معادله‌ی موازنه‌ی جرم
۴۲	۲-۲-۴) معادله‌ی موازنه‌ی انرژی
۴۴	۳-۴) روش‌های حل عددی معادلات دیفرانسیلی
۴۴	۱-۳-۴) روش حل عددی اختلاف محدود
۴۶	۲-۳-۴) روش حل عددی مجموعه‌ی متعامد
۵۰	۴-۴) شبیه‌سازی فرآیند جذب سطحی توسط نرم افزار Aspen Adsim
۵۰	۱-۴-۴) نرم افزار Aspen Adsim
۵۷	۲-۴-۴) پارامترهای مورد نیاز نرم افزار Aspen Adsim
۵۸	۵-۴) حل معادلات جرم و انرژی با استفاده از روش‌های حل عددی
۵۸	۱-۵-۴) حل مدل کلاینکنبرگ
۶۱	۲-۵-۴) حل عددی معادلات موازنه‌ی جرم و انرژی مدل
۶۳	فصل پنجم: بررسی و مقایسه‌ی نتایج شبیه‌سازی فرآیند جذب سطحی با داده‌های تجربی
۶۴	۱-۵) تعیین پارامترهای مورد نیاز شبیه‌سازی
۶۷	۲-۵) حالت اول: همدم، بدون در نظر گرفتن پراکندگی محوری و مقاومت انتقال جرم در فاز گاز
۷۱	۳-۵) حالت دوم: همدم با پراکندگی محوری و بدون مقاومت انتقال جرم در فاز گاز
۷۴	۴-۵) حالت سوم: همدم با مقاومت انتقال جرم در فاز گاز و بدون پراکندگی محوری
۷۸	۵-۵) حالت چهارم: همدم با پراکندگی محوری و مقاومت انتقال جرم در فاز گاز
۸۱	۶-۵) حالت پنجم: غیرهمدم با مقاومت انتقال جرم در فاز گاز و بدون پراکندگی محوری
۸۶	۷-۵) حالت ششم: غیرهمدم با پراکندگی محوری و مقاومت انتقال جرم در فاز گاز
۹۲	فصل ششم: بررسی تاثیر پارامترهای مختلف در نتایج شبیه‌سازی (با استفاده از مجموعه متعامد)
۹۳	۱-۶) غلظت بخار آب در گاز ورودی به بستر

- ۹۵ (۲-۶) دمای گاز ورودی به بستر
- ۹۶ (۳-۶) دمای اولیه ی بستر
- ۹۷ (۴-۶) میزان بخار آب اولیه ی بستر
- ۹۸ (۵-۶) دبی گاز ورودی به بستر
- ۱۰۰ (۶-۶) ضریب انتقال جرم در توده ی گازی
- ۱۰۲ (۷-۶) ضریب پراکندگی محوری هوا
- ۱۰۴ (۸-۶) گرمای آزاد شده ی مولی جذب سطحی
- ۱۰۵ (۹-۶) ضریب انتقال حرارت همرفتی با محیط

۱۰۷ فصل هفتم: طراحی و ساخت واحد آزمایشگاهی فرایند جذب سطحی

- ۱۰۸ (۱-۷) محاسبات مربوط به واحد نم زدایی جمالی نیا
- ۱۰۹ (۲-۷) توضیح و طراحی وسایل و تجهیزات واحد پیلوت جداسازی جذب سطحی
- ۱۱۰ (۱-۲-۷) کمپرسور هوا
- ۱۱۰ (۲-۲-۷) شیرآلات و لوله های رابط
- ۱۱۱ (۳-۲-۷) دبی سنج
- ۱۱۱ (۴-۲-۷) فیلتر هوا
- ۱۱۱ (۵-۲-۷) گرمکن
- ۱۱۲ (۶-۲-۷) حباب ساز
- ۱۱۷ (۷-۲-۷) گرمکن مخزن آب
- ۱۲۰ (۸-۲-۷) ستون جذب سطحی
- ۱۲۰ (۹-۲-۷) وسایل اندازه گیری دما و فشار

۱۲۱ فصل هشتم: شبیه سازی واحد نم زدایی جمالی نیا با استفاده از نرم افزار Aspen Adsims

- ۱۲۲ (۱-۸) تعیین پارامتر های مورد نیاز شبیه سازی
- ۱۲۳ (۱-۱-۸) تعیین ضرایب ایزوترم

۱۲۶ ۸-۱-۲) تعیین ضرایب کلی انتقال جرم

۱۲۸ ۸-۲) نتایج حاصل از شبیه سازی بستر جذب واحد نم زدایی جمالی نیا

۱۴۱ ۸-۳) نتایج تصحیح شده ی شبیه سازی بستر جذب واحد نم زدایی جمالی نیا

۱۴۶ **فصل نهم: نتیجه گیری و ارائه ی پیشنهادات برای پژوهش های آتی**

۱۴۷ ۹-۱) نتیجه گیری

۱۵۰ ۹-۲) ارائه ی پیشنهادات در خصوص انجام پژوهش های آتی

۱۵۲ **منابع و مآخذ**

۱۵۵ **ضمیمه ها**

۱۵۵ ضمیمه الف- اطلاعات اولیه ی اخذ شده از پالایشگاه شهید هاشمی نژاد

۱۵۹ ضمیمه ب- ایزوترم جذب اجزاء مختلف گاز طبیعی

۱۶۶ ضمیمه ج- رگرسیون داده های آزمایشی برای اجزاء گازدر دماهای مختلف بر اساس معادله لانگمویر

فهرست جدول ها

- جدول (۵-۱): داده های تجربی ۶۵
- جدول (۸-۱): برخی از اطلاعات مورد نیاز برای انجام شبیه سازی ۱۲۲
- جدول (۸-۲): ضرایب حاصل از رگرسیون داده های تجربی برای ایزوترم لانگمویر در دماهای مختلف ۱۲۵
- جدول (۸-۳): مقادیر ثابت های تعادل برای اجزای مختلف گاز شیرین خانگیران در دمای 30°C ۱۲۶
- جدول (۸-۴): ضرایب نفوذ دوتایی متان با سایر اجزای قابل جذب موجود در گاز شیرین خانگیران ۱۲۶
- جدول (۸-۵): ضرایب نفوذ سطحی برای تمامی اجزای قابل جذب موجود در گاز شیرین خانگیران ۱۲۷
- جدول (۸-۶): ضرایب نفوذ نادسن برای تمامی اجزای قابل جذب موجود در گاز شیرین خانگیران ۱۲۷
- جدول (۸-۷): ضرایب نفوذ موثر برای تمامی اجزای قابل جذب موجود در گاز شیرین خانگیران ۱۲۷
- جدول (۸-۸): گرمای جذب برای اجزای مختلف موجود در گاز شیرین خانگیران ۱۲۸
- جدول (۸-۹): ضرایب کلی انتقال جرم برای اجزای مختلف موجود در گاز شیرین خانگیران ۱۲۸
- جدول (۸-۱۰): مقایسه ی نتایج مدل کلاینکنبرگ و نرم افزار Aspen Adsims با اطلاعات میدانی ۱۳۵
- جدول (۸-۱۱): ضرایب حاصل از History Match برای ایزوترم لانگمویر در دماهای مختلف ۱۳۷
- جدول (۸-۱۲): مقایسه ی آنالیز گاز خروجی حاصل از شبیه سازی با داده های واقعی ۱۴۱

فهرست نمودار ها

- نمودار(۴-۱): نمونه ای از نتایج حل تحلیلی مدل کلاینکنبرگ ۶۰
- نمودار (۵-۱): نمودار بخارآب جذب شده در فاز جامد بر حسب غلظت آن در هوا در دما های مختلف ۶۶
- نمودار (۵-۲): نمودار توزیع ثابت تعادلی جذب بخار آب بر حسب دما ۶۶
- نمودار (۵-۳): نمودار توزیع غلظت بخارآب در هوا بر حسب زمان، حالت اول ۶۸
- نمودار (۵-۴): نمودار توزیع غلظت بخارآب در هوا در طول بستر، حالت اول ۶۹
- نمودار (۵-۵): نمودار توزیع غلظت بخارآب در هوا بر حسب زمان، حالت دوم ۷۲
- نمودار (۵-۶): نمودار توزیع غلظت بخارآب در هوا در طول بستر، حالت دوم ۷۳
- نمودار (۵-۷): نمودار توزیع غلظت بخارآب در هوا بر حسب زمان، حالت سوم ۷۵
- نمودار (۵-۸): نمودار توزیع غلظت بخارآب در هوا در طول بستر، حالت سوم ۷۷
- نمودار (۵-۹): نمودار توزیع غلظت بخارآب در هوا بر حسب زمان، حالت چهارم ۷۸
- نمودار (۵-۱۰): نمودار توزیع غلظت بخارآب در هوا در طول بستر، حالت چهارم ۷۹
- نمودار (۵-۱۱): نمودار توزیع بخارآب جذب شده در فاز جامد نسبت به مکان و زمان، حالت چهارم ۸۰
- نمودار (۵-۱۲): نمودار توزیع غلظت بخارآب در هوا بر حسب زمان، حالت پنجم ۸۲
- نمودار (۵-۱۳): نمودار توزیع غلظت بخارآب در هوا در طول بستر، حالت پنجم ۸۳
- نمودار (۵-۱۴): نمودار توزیع دمای توده ی گاز بر حسب زمان، حالت پنجم ۸۵
- نمودار (۵-۱۵): نمودار توزیع دمای توده ی گاز در طول بستر، حالت پنجم ۸۶
- نمودار (۵-۱۶): نمودار توزیع غلظت بخارآب در هوا بر حسب زمان، حالت ششم ۸۷
- نمودار (۵-۱۷): نمودار توزیع غلظت بخارآب در هوا در طول بستر، حالت ششم ۸۸

- نمودار (۵-۱۸): نمودار توزیع بخارآب جذب شده در فاز جامد نسبت به مکان و زمان، حالت ششم ۸۹
- نمودار (۵-۱۹): نمودار توزیع دمای توده ی گاز بر حسب زمان، حالت ششم ۹۰
- نمودار (۵-۲۰): نمودار توزیع دمای توده ی گاز در طول بستر، حالت ششم ۹۱
- نمودار (۶-۱): توزیع دمای توده ی گاز در بر حسب زمان با تغییر غلظت بخارآب در گاز ورودی به بستر ۹۴
- نمودار (۶-۲): نمودار توزیع دمای توده ی گاز بر حسب زمان با تغییر دمای گاز ورودی به بستر ۹۵
- نمودار (۶-۳): نمودار توزیع دمای توده ی گاز بر حسب زمان با تغییر دمای اولیه ی بستر ۹۶
- نمودار (۶-۴): نمودار توزیع دمای توده ی گاز بر حسب زمان با تغییر میزان بخارآب اولیه ی بستر ۹۷
- نمودار (۶-۵): نمودار توزیع غلظت بخارآب در هوا بر حسب زمان با تغییر دبی گاز ورودی به بستر ۹۸
- نمودار (۶-۶): نمودار توزیع غلظت بخارآب در فاز جامد بر حسب زمان با تغییر دبی گاز ورودی به بستر ۹۸
- نمودار (۶-۷): نمودار توزیع دمای توده ی گاز بر حسب زمان با تغییر دبی گاز ورودی به بستر ۹۹
- نمودار (۶-۸): نمودار توزیع غلظت بخارآب در هوا بر حسب زمان با تغییر ضریب کلی انتقال جرم ۱۰۰
- نمودار (۶-۹): نمودار توزیع دمای توده ی گاز بر حسب زمان با تغییر ضریب کلی انتقال جرم ۱۰۱
- نمودار (۶-۱۰): نمودار توزیع غلظت بخارآب در هوا بر حسب زمان با تغییر ضریب پراکندگی محوری هوا ۱۰۲
- نمودار (۶-۱۱): نمودار توزیع دمای توده ی گاز بر حسب زمان با تغییر ضریب پراکندگی محوری هوا ۱۰۳
- نمودار (۶-۱۲): نمودار توزیع دمای توده ی گاز بر حسب زمان با تغییر گرمای آزاد شده ی مولی جذب ۱۰۴
- نمودار (۶-۱۳): نمودار تغییرات دمای توده ی گاز بر حسب زمان با تغییر ضریب انتقال حرارت همرفتی ۱۰۵
- نمودار (۸-۱): رگرسیون داده های آزمایشی مربوط به متان در ۲۹۳ کلوین با ایزوترم لانگمویر ۱۲۴
- نمودار (۸-۲): رگرسیون داده های آزمایشی مربوط به پنتان در ۲۹۳ کلوین با ایزوترم لانگمویر ۱۲۴
- نمودار (۸-۳): نمودار توزیع غلظت متان در گاز درون بستر نسبت به مکان و زمان در مدل کلاینکنبرگ ۱۲۹
- نمودار (۸-۴): نمودار توزیع غلظت اتان در گاز درون بستر نسبت به مکان و زمان در مدل کلاینکنبرگ ۱۲۹

- نمودار (۵-۸): نمودار توزیع غلظت پروپان در گاز درون بستر نسبت به مکان و زمان در مدل کلایکنبرگ ۱۳۰
- نمودار (۶-۸): نمودار توزیع غلظت بوتان در گاز درون بستر نسبت به مکان و زمان در مدل کلایکنبرگ ۱۳۰
- نمودار (۷-۸): نمودار توزیع غلظت پنتان در گاز درون بستر نسبت به مکان و زمان در مدل کلایکنبرگ ۱۳۰
- نمودار (۸-۸): نمودار توزیع غلظت هگزان در گاز درون بستر نسبت به مکان و زمان در مدل کلایکنبرگ ۱۳۱
- نمودار (۹-۸): نمودار توزیع غلظت متان در گاز درون بستر نسبت به مکان و زمان در واحد جمالی نیا ۱۳۱
- نمودار (۱۰-۸): نمودار توزیع غلظت اتان در گاز درون بستر نسبت به مکان و زمان در واحد جمالی نیا ۱۳۱
- نمودار (۱۱-۸): نمودار توزیع غلظت پروپان در گاز درون بستر نسبت به مکان و زمان در واحد جمالی نیا ۱۳۲
- نمودار (۱۲-۸): نمودار توزیع غلظت بوتان در گاز درون بستر نسبت به مکان و زمان در واحد جمالی نیا ۱۳۲
- نمودار (۱۳-۸): نمودار توزیع غلظت پنتان در گاز درون بستر نسبت به مکان و زمان در واحد جمالی نیا ۱۳۲
- نمودار (۱۴-۸): نمودار توزیع غلظت هگزان در گاز درون بستر نسبت به مکان و زمان در واحد جمالی نیا ۱۳۳
- نمودار (۱۵-۸): تغییرات توزیع غلظت اتان در گاز نسبت به مکان و زمان در زمان های تماس واقعی ۱۳۳
- نمودار (۱۶-۸): تغییرات توزیع غلظت پنتان نسبت به مکان و زمان در زمان های واقعی ۱۳۴
- نمودار (۱۷-۸): تغییرات توزیع غلظت هگزان نسبت به مکان و زمان در زمان های واقعی ۱۳۴
- نمودار (۱۸-۸): توزیع غلظت آب در گاز درون بستر نسبت به مکان و زمان در مدل کلایکنبرگ ۱۳۸
- نمودار (۱۹-۸): توزیع غلظت دی اکسید کربن در گاز درون بستر نسبت به مکان و زمان در مدل کلایکنبرگ ۱۳۸
- نمودار (۲۰-۸): توزیع غلظت بخار آب در گاز درون بستر نسبت به مکان و زمان در واحد جمالی نیا ۱۳۹
- نمودار (۲۱-۸): توزیع غلظت دی اکسید کربن در گاز درون بستر نسبت به مکان و زمان در واحد جمالی نیا ۱۳۹
- نمودار (۲۲-۸): تغییرات توزیع غلظت بخار آب نسبت به مکان و زمان در زمان های واقعی ۱۴۰
- نمودار (۲۳-۸): تغییرات توزیع غلظت دی اکسید کربن نسبت به مکان و زمان در زمان های واقعی ۱۴۰
- نمودار (۲۴-۸): منحنی تصحیح شده ی تغییرات کسر مولی متان در مخلوط گازی در طول بستر ۱۴۲

- نمودار (۸-۲۵): منحنی تصحیح شده ی تغییرات کسر مولی اتان در مخلوط گازی در طول بستر ۱۴۲
- نمودار (۸-۲۶): منحنی تصحیح شده ی تغییرات کسر مولی پروپان در مخلوط گازی در طول بستر ۱۴۳
- نمودار (۸-۲۷): منحنی تصحیح شده ی تغییرات کسر مولی بوتان در مخلوط گازی در طول بستر ۱۴۳
- نمودار (۸-۲۸): منحنی تصحیح شده ی تغییرات کسر مولی پنتان در مخلوط گازی در طول بستر ۱۴۴
- نمودار (۸-۲۹): منحنی تصحیح شده ی تغییرات کسر مولی هگزان در مخلوط گازی در طول بستر ۱۴۴
- نمودار (۸-۳۰): منحنی تغییرات غلظت مولی گاز متان خالص در طول بستر ۱۴۵

فهرست شکل ها

- شکل (۱-۱): روند تغییرات دمای شبنم آب و هیدروکربن با فشار ۶
- شکل (۱-۲): نمونه ای از واحد نم زدایی گاز طبیعی توسط روش سرد کردن ۱۰
- شکل (۲-۲): نمونه ای از واحد نم زدایی گاز طبیعی توسط حلال ۱۲
- شکل (۳-۲): نمونه ای از واحد نم زدایی گاز طبیعی توسط TSA ۱۴
- شکل (۴-۲): نمونه ای از جداسازی آب از گاز طبیعی توسط فرایند غشایی ۱۶
- شکل (۵-۲): نمونه ای از جداکننده ی مافوق صوت ۱۷
- شکل (۱-۳): انواع مختلف ایزوترم های جذب ۲۴
- شکل (۲-۳): مقاومت های موجود در مسیر انتقال ماده از توده ی سیال به دورن حفرات جاذب ۲۹
- شکل (۱-۴): المان جزئی در نظر گرفته به طول dZ و شعاع r در داخل بستر ۴۰
- شکل (۲-۴): شماتیک و پارامترهای مورد نیاز بستر جذب عمودی مورد استفاده در نرم افزار ۵۱
- شکل (۱-۷): دیاگرام و تجهیزات مورد نیاز برای ساخت واحد پیلوت جداسازی جذب سطحی ۱۰۹
- شکل (۲-۷): نمایی از مخزن آب ۱۱۸

فصل اول

اهمیت فرایند نم زدایی گاز طبیعی

در صنعت گاز

گاز طبیعی یکی از منابع مهم انرژی می باشد که در صنایع مختلفی مانند صنعت پتروشیمی، رنگ سازی، تولید پلاستیک و... مورد استفاده قرار می گیرد. هنگامی که گاز از مخزن استخراج می شود، همراه ناخالصی های زیادی مانند ترکیبات مختلف گوگردی، دی اکسید کربن و آب می باشد که هر کدام از این ناخالصی ها، مشکلات متعددی را در خطوط لوله ی انتقال گاز و مصرف آن ایجاد می کنند. اکنون در این فصل مروری خواهیم داشت بر مشکلاتی که بر اثر آب همراه گاز در خطوط لوله ایجاد می شود و سپس اهمیت فرایند نم زدایی گاز طبیعی را بیان خواهیم کرد.

همان طور که می دانیم، گاز طبیعی در اکثر شرایط تولید (از نظر دما و فشار)، از آب و هیدروکربن های نسبتا سنگین اشباع می باشد و از آنجایی که بخار آب همراه گاز مشکلات زیادی را در خطوط لوله ایجاد می کند، جداسازی آن در واحدهایی به نام نم زدایی گاز طبیعی، انجام می شود.

۱-۱) مشکلات ناشی از بخار آب همراه گاز در خطوط لوله ی گازی

بخار آب همراه گاز مشکلات زیادی از جمله خوردگی، یخ زدگی و تشکیل هیدرات را در خطوط لوله ایجاد می کند، که در این بخش به توضیح و بررسی این مشکلات می پردازیم.

۱-۱-۱) خوردگی در خطوط لوله

در خطوط لوله ی انتقال گاز، بخار آب به همراه ترکیبات اسیدی موجود در گاز مانند CO_2 و H_2S می تواند باعث تشدید خوردگی در خطوط لوله ی انتقال شود، که یکی از راه های جلوگیری از این خوردگی، اضافه کردن مشتقات هیدرازین به گاز می باشد.

۱-۱-۲) یخ زدگی در خطوط لوله

آبی که همراه گاز در خطوط لوله ی انتقال وجود دارد، ممکن است در فصول سرد سال در اثر کاهش شدید

دما و فشار و اثر ژول تامسون، به کریستال های یخ تبدیل شده و باعث یخ زدگی و مسدود شدن خطوط لوله ی گازی شود. برای جلوگیری از این مشکل می توان از گرمکن هایی جهت گرم کردن گاز در ابتدای خروج از چاه ها استفاده کرد و یا حلال هایی مانند گلیکول ها را به گاز طبیعی افزود.

۱-۱-۳) تشکیل هیدرات های گازی در خطوط لوله

یکی دیگر از مشکلاتی که ممکن است بر اثر آب موجود در گاز طبیعی در خطوط لوله ایجاد شود، تشکیل هیدرات های گازی در خطوط لوله می باشد. هیدرات های گازی، مشابه کریستال های یخ هستند که در آن ها مولکول آب به دلیل داشتن پیوند هیدروژنی، به عنوان میزبان، شبکه ای را تشکیل داده و مولکول های گازی دیگر مانند متان، اتان، پروپان، بوتان، پنتان، هگزان، دی اکسید گوگرد و مونوکسید کربن به عنوان مولکول های مهمان در این شبکه جای می گیرند.

اولین مرحله برای جلوگیری از تشکیل هیدرات های گازی، تعیین دمای تشکیل هیدرات می باشد.

تعیین دمای تشکیل هیدرات های گازی:

برای تعیین این دما، مانند تعیین دمای نقطه ی شبنم ترکیبات گازی عمل کرده و از رابطه ی زیر استفاده می کنیم:

$$\sum_{i=1}^n x_i = \sum_{i=1}^n \frac{y_i}{K_i} = 1$$

در این رابطه y_i کسر مولی جزء i در فاز گازی است که مقدار آن معلوم می باشد، K_i نیز ثابت تعادلی بخار-جامد هیدرات است که این پارامتر تابعی از دما، فشار و ترکیبات گازی بوده و در فشار و ترکیب گازی مشخص، با تغییرات دما تغییر می کند.

برای تعیین دمای تشکیل هیدرات های گازی، ابتدا یک دما حدس زده، سپس در آن دما، فشار و ترکیب مشخص گاز، K_i را از روی نمودار شکل (۵-۸) مرجع [۱]، بدست می آوریم و در رابطه ی بالا

جایگزین می کنیم. اگر تساوی در این رابطه برقرار باشد، دمای حدس زده همان دمای تشکیل هیدرات گازی خواهد بود، در غیر اینصورت این روند حدس دمایی را تا جایی ادامه می دهیم که تساوی در رابطه ی مذکور برقرار شود. در این حالت دمای نهایی حدس زده شده، همان دمای تشکیل هیدرات گازی خواهد بود.

بازدارنده های تشکیل هیدرات های گازی:

برای جلوگیری از تشکیل هیدرات های گازی، از تزریق حلال های مختلفی می توان استفاده کرد. حلال هایی که در این زمینه کاربرد دارند، عبارتند از:

- **متانول:** حلالی غیر قابل بازیافت و ارزان است که در هر دمایی کاربرد دارد، ولی به علت فراریت و اتلاف زیاد آن در دمای بالا، بهتر است که در دماهای پایین مورد استفاده قرار گیرد.
- **دی اتیلن گلیکول^۱:** ویسکوزیته ی این حلال در دماهای پایین، زیاد بوده و تزریق آن مشکل می باشد، به همین دلیل اغلب در دماهای بالاتر از 10°C - مورد استفاده قرار می گیرد.

در ضمن علاوه بر مشکلات ذکر شده در بخش های پیش، وجود رطوبت اضافی در گاز باعث کاهش شدید ارزش حرارتی گاز می گردد و یا ممکن است ایجاد لخته های آب به کمپرسورهای مسیر گاز آسیب برسانند.

۱-۲) تنظیم نقطه ی شبنم آب و هیدروکربن

با توجه به مطالب ذکر شده در بخش قبل، جداسازی آب همراه گاز و تنظیم نقطه ی شبنم آب فرایندی ضروری می باشد. در صورتی که گاز طبیعی برای تولید گاز طبیعی مایع شده^۲ مورد استفاده قرار گیرد، می بایست مقدار رطوبت در آن به کمتر از یک در میلیون^۳ (در اغلب موارد حدود $0/1$ در میلیون) کاهش یابد. برای رسیدن به این هدف، می بایست نقطه ی شبنم گاز طبیعی به کمتر از 70°C - برسد [۲]. مقدار مجاز آب همراه گاز طبیعی، با توجه به شرایط عملیاتی بسیار متنوع می باشد. مقدار مذکور در اغلب

^۱. DEG

^۲. LNG

^۳. ppm

موارد می بایست حدود ۷ پوند آب به ازای یک میلیون فوت مکعب (در شرایط استاندارد) گاز طبیعی باشد. این مقدار حدود ۱۴۰ قسمت در میلیون (مولی) بخار آب در گاز طبیعی بوده و نقطه ی شبنمی معادل ۳۸- درجه ی فارنهایت (۳۸/۸- درجه ی سانتی گراد) در فشار یک اتمسفر ایجاد می نماید [۳]. بعنوان مثال، در مورد گاز خانگیان (واحد نم زدایی جمالی نیا)، با توجه به فشار گاز تزریقی به خط لوله که حدود ۴۵ بار می باشد و محاسبات زیر، دمای نقطه ی شبنم (آب) گاز طبیعی در فشار مذکور می بایست حدود صفر درجه سانتی گراد باشد.

$$y_{water} = 0.00014 \rightarrow P^*_{water} = 0.00014 \times 45 = 0.0063bar \rightarrow T_{DP} = 33^{\circ}F \approx 0^{\circ}C$$

با توجه به اینکه، عملیات جذب سطحی در واحد نم زدایی جمالی نیا به گونه ای انجام می گیرد که نقطه ی شبنم گاز طبیعی تزریق شده به خط لوله به مراتب کمتر از مقدار فوق می باشد، لذا معمولاً کنترل نقطه ی شبنم آب از اهمیت چندانی در واحد مذکور برخوردار نیست.

همان گونه که قبلاً اشاره گردید، از جمله ترکیبات دیگری که قبل از تزریق گاز به خط لوله و توزیع آن برای مصرف کنندگان، باید از جریان گاز جدا شود، هیدروکربن های سنگین موجود در جریان گاز می باشد. به دلیل داشتن ارزش حرارتی بالا و به تبع آن افزایش دمای احتراق و ارزش اقتصادی قابل توجه هیدروکربن های سنگین، ضرورت جداسازی این اجزاء را باید مد نظر قرار داد.

گاز طبیعی ترکیب گسترده ای از مواد مختلف مانند متان تا زنجیره های طویل هیدروکربنی میباشد، که هر یک از این اجزاء با توجه به غلظت و فشار بخار مخصوص به خود، نقطه ی شبنم مشخصی دارند [۴]. دمایی را که در آن، در اثر کاهش دما اولین قطره ی مایع هر جزء تشکیل می گردد، دمای نقطه ی شبنم آن جزء می نامند. معمولاً با کاهش دما، هیدروکربن های سنگین تر اولین اجزائی می باشند که مایع می گردند. شکل (۱-۱) نمایانگر روند تغییرات دمای نقطه ی شبنم آب و هیدروکربن با تغییرات فشار می باشد [۲].