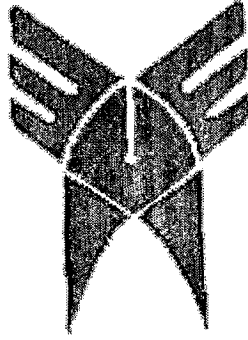


بِسْمِ اللَّهِ الرَّحْمَنِ الرَّحِيمِ

13/11/2011



دانشگاه آزاد اسلامی

واحد شاهرود

دانشکده فنی و مهندسی، گروه مهندسی شیمی

پایان نامه برای دریافت درجه کارشناسی ارشد (M.Sc)

گرایش: مهندسی شیمی

عنوان:

طراحی سیکل بسته جداسازی مافوق صوت برای جداسازی هیدروکربن‌ها

استاد راهنما:

جناب آقای دکتر اکبر شاهسونند

استاد مشاور:

جناب آقای دکتر مهدی پورافشاری چنار

نگارش:

وحید شیبانی

۱۳۸۹/۳/۱۷

اسفند ۸۸

گروه مهندسی شیمی  
واحد شاهرود

۱۳۷۷۹۵



## دانشگاه آزاد اسلامی

واحد شاهرود

دانشکده فنی و مهندسی، گروه مهندسی شیمی

پایان نامه برای دریافت درجه کارشناسی ارشد (M.Sc)

عنوان:

طراحی سیکل بسته جداسازی مافوق صوت برای جداسازی هیدروکربنها

نگارش:

وحید شیبانی

اسفند ۱۳۸۸

۱- دکتر اکبر شاهسوند

هیئت داوران: ۲- دکتر مهدی پورافشاری چنار

۳- دکتر محمد حسین غضنفری

۴- دکتر جواد سرکلرایی

خدایا مرا وسیله ای برای صلح و آرامش قرار ده

بگذار هر جا تنفر است بذر عشق بکارم، هر جا آزرده‌گی است ببخشایم، هر جا شک حاکم  
است ایمان، هر جا یاس است امید، هر جا تاریکی است روشنایی، و هر جا غم جاری است  
شادی نثار کنم.

الهی توفیقم ده که پیش از آنکه مرا بفهمند، دیگران را درک کنم، پیش از آنکه دوستم  
بدارند، دوست بدارم، زیرا در عطا کردن است که می ستانیم و در بخشیدن است که بخشیده  
می شویم و در مردن است که حیات ابدی می یابیم.

خداوندا تو را به خاطر همه لطف و مهربانی هایت

تو را به خاطر تمام محبت های بی منتهایت

سپاس می گویم

پدر بزرگوالم

استوارترین تکیه گاهم که وجودم از اوست به او که اسوه صبر و صلابت است

مادر مهربانم

مهربان تر از من با من،

او که عشق را در تمامی لحظات با او بودن تجربه کردم.

## فهرست

عنوان	صفحه
چکیده.....	۱.....
مقدمه.....	۲.....

### فصل اول: کلیات

۱-۱. هدف.....	۵.....
۱-۲. پیشینه تحقیق.....	۶.....
۱-۳. روش کار و تحقیق.....	۸.....

### فصل دوم: اهمیت جداسازی آب و هیدروکربن از جریانات گازی

۱-۲. تاریخچه گاز طبیعی.....	۱۰.....
۲-۲. ویژگی‌های گاز طبیعی.....	۱۰.....
۳-۲. ناخالصی‌های گاز طبیعی و اهمیت جداسازی آنها.....	۱۳.....

### فصل سوم: روشهای گرفتن آب و هیدروکربن از گاز طبیعی

۱-۳. مقدمه.....	۲۱.....
۲-۳. روشهای متداول کنترل نقطه شبنم در گاز طبیعی.....	۲۲.....
۱-۲-۳. جذب.....	۲۲.....
۱-۱-۲-۳. چگونگی فرایند جذب.....	۲۳.....

- ۲۵..... ۲-۱-۲-۳. معایب روش جذب.....
- ۲۵..... ۲-۲-۳. جذب سطحی.....
- ۲۵..... ۱-۲-۲-۳. چگونگی فرایند جذب سطحی.....
- ۴۰..... ۲-۲-۲-۳. مزایا و معایب.....
- ۴۱..... ۳-۲-۳. سردسازی.....
- ۴۱..... ۱-۳-۲-۳. فرایند سردسازی بر پایه پروپان.....
- ۴۷..... ۲-۳-۲-۳. تاثیر متغیرهای عملیاتی بر روی سردسازها.....
- ۴۸..... ۳-۳-۲-۳. انبساط توسط توربین.....
- ۵۱..... ۴-۲-۳. غشا.....
- ۵۱..... ۵-۲-۳. کلسیوم کلراید.....
- ۵۲..... ۶-۲-۳. لوله گردابی.....

### فصل چهارم : جداکننده مافوق صوت

- ۵۴..... ۱-۴. مقدمه.....
- ۵۵..... ۲-۴. اجزا و چگونگی کارکرد جداکننده مافوق صوت.....
- ۵۸..... ۳-۴. توربوآکسپندر، شیر ژول - تامسون و جداکننده مافوق صوت.....
- ۶۰..... ۴-۴. دستاوردها و نتایج.....
- ۷۴..... ۵-۴. مزایای جداکننده مافوق صوت.....
- ۷۵..... ۱-۵-۴. انواع جداکننده‌های گاز- مایع.....

## فصل پنجم: طراحی سیکل بسته و سیکل باز جداکننده مافوق صوت

- ۱-۵. مقدمه..... ۷۸
- ۲-۵. طراحی سیکل بسته جداکننده مافوق صوت..... ۷۸
- ۱-۲-۵. طراحی کمپرسور..... ۷۹
- ۲-۲-۵. طراحی کولر هوایی..... ۸۰
- ۳-۲-۵. طراحی جداکننده سیکلونی..... ۹۴
- ۴-۲-۵. پمپ..... ۹۶
- ۵-۲-۵. محاسبه قطر لوله‌ها..... ۹۶
- ۳-۵. طراحی سیکل باز جداکننده مافوق صوت..... ۹۸
- ۱-۳-۵. مشخصات سیال..... ۹۸
- ۲-۳-۵. چگونگی طراحی..... ۹۹
- ۳-۳-۵. نکات لازم در حین انجام تست‌ها..... ۱۰۰
- ۴-۳-۵. محاسبات..... ۱۰۰
- ۱-۴-۳-۵. طراحی جداکننده سیکلونی..... ۱۰۲

## فصل ششم: نتایج و پیشنهادات

- ۱-۶. نتایج طراحی سیکل بسته..... ۱۰۶
- ۲-۶. نتایج طراحی سیکل باز..... ۱۱۰
- ۳-۶. بحث و نتیجه گیری..... ۱۱۱



۴-۶. پیشنهادات..... ۱۱۲.....

### پیوست

پ-۱. فهرست نمادها..... ۱۱۳.....

فهرست منابع لاتین..... ۱۱۴.....

چکیده لاتین..... ۱۱۷.....

## فهرست جدول ها

صفحه	عنوان
۱۶	۲-۱. جدول : ساختارهای هیدرات از لحاظ هندسی.....
۳۰	۳-۱. جدول : ضریب مورد استفاده برای محاسبه افت فشار بستر.....
۳۴	۳-۲. جدول : خواص سه جاذب سطحی.....
۴۷	۳-۳. جدول : سیکل های سردسازی چندمرحله ای.....
۴۸	۳-۴. جدول : توان کمپرسور در دماهای میعان متفاوت.....
۵۱	۳-۵. جدول : شرایط طراحی توربوآکسپنדרها.....
۶۹	۴-۱. جدول : مشخصات نازل همگرا- واگرا.....
۷۹	۵-۱. جدول : ترکیب درصد گاز سیکل بسته.....
۸۹	۵-۲. جدول : خواص گاز ورودی به کولر.....
۹۶	۵-۳. جدول : ابعاد جداکننده سیکلونی.....
۹۸	۵-۴. جدول : شرایط تفکیک کننده.....
۹۸	۵-۵. جدول : ترکیب درصد (مولی) سیال چاه.....
۱۰۶	۶-۱. جدول : نتایج طراحی کمپرسور.....
۱۰۷	۶-۲. جدول : مشخصات کولر هوایی.....

۳-۶. جدول: نتیجه طراحی جداکننده مافوق صوت..... ۱۰۸

۴-۶. جدول: قطر لوله های سیکل بسته..... ۱۰۹

۵-۶. جدول: ابعاد جداکننده سیکلونی..... ۱۱۰

۶-۶. جدول: قطر لوله های سیکل باز..... ۱۱۱

## فهرست نمودارها

صفحه	عنوان
۱۸.....	۱-۲ . نمودار: نمودار دما-فشار خط لوله گاز طبیعی.....
۲۹.....	۱-۳ . نمودار: تغییرات غلظت فاز بخار در طول بستر جذب سطحی.....
۳۱.....	۲-۳ . نمودار: ضریب تصحیح ظرفیت بستر بر حسب درصد نسبی اشباع.....
۳۲.....	۳-۳ . نمودار: ضریب تصحیح بستر جذب سطحی بر حسب دما.....
۴۲.....	۴-۳ . نمودار: نمودار آنتالپی - فشار سیکل سردسازی.....
۵۹.....	۱-۴ . نمودار: نمودار دما-فشار برای فرایند سردسازی و جداکننده مافوق صوت.....
۶۱.....	۲-۴ . نمودار: تغییرات فشار بر حسب دما در نازل و سایر سردسازها.....
۶۲.....	۳-۴ . نمودار: تغییرات استخراج هیدروکربن‌های سنگین بر حسب دما در جداکننده‌ها.....
۶۴.....	۴-۴ . نمودار: مقایسه بازدهی بین جداکننده مافوق صوت و شیر ژول- تامسون.....
۶۷.....	۵-۴ . نمودار: مقایسه قدرت جذب هیدروکربن‌های سنگین توسط جداکننده مافوق صوت و شیر ژول- تامسون.....
۶۸.....	۶-۴ . نمودار: مقایسه قدرت جذب هیدروکربن‌های سنگین توسط جداکننده ها، با استفاده از چیلر.....
۷۰.....	۷-۴ . نمودار: تغییرات فشار در طول نازل مافوق صوت.....
۷۰.....	۸-۴ . نمودار: تغییرات دما در طول نازل مافوق صوت.....
۷۱.....	۹-۴ . نمودار: تغییرات سرعت در طول نازل مافوق صوت.....

- ۱۰-۴ . نمودار: تغییرات عدد ماخ در طول نازل مافوق صوت..... ۷۱
- ۱۱-۴ . نمودار: تغییرات دانسیته در طول نازل مافوق صوت..... ۷۲
- ۱۲-۴ . نمودار: تغییرات فشارهای مختلف در طول نازل مافوق صوت..... ۷۳
- ۱۳-۴ . نمودار: تغییرات فشار در طول نازل مافوق صوت بر حسب دماهای مختلف..... ۷۳
- ۱۴-۴ . نمودار: تغییرات عدد ماخ در طول نازل مافوق صوت بر حسب دبی..... ۷۴
- ۱-۵ . نمودار: منحنی برازش شده برای محاسبه تعداد بهینه ردیف‌ها..... ۸۳
- ۲-۵ . نمودار: منحنی برازش شده برای محاسبه پارامتر FV..... ۸۴
- ۳-۵ . نمودار: منحنی برازش شده برای محاسبه سطح..... ۸۵
- ۴-۵ . نمودار: منحنی برازش شده برای محاسبه وزن به سطح..... ۸۶
- ۵-۵ . نمودار: نمودار محاسبه ضریب اصطکاک..... ۹۲
- ۶-۵ . نمودار: نمودار تعداد ردیف لوله ها بر حسب سطح بدون پره بر توان اسب بخار مورد نیاز..... ۹۲

## فهرست شکل ها

صفحه	عنوان
۶	۱-۱. شکل : جداکننده مافوق صوت .....
۱۱	۱-۲. شکل : درصد منابع اولیه انرژی.....
۱۲	۲-۲. شکل : مراحل فرآوری گاز طبیعی.....
۱۶	۳-۲. شکل : انواع هیدرات .....
۱۹	۴-۲. شکل : هدف از جداسازی آب و هیدروکربن های سنگین از گاز طبیعی.....
۲۴	۱-۳. شکل : واحد جذب گلايکول.....
۲۶	۲-۳. شکل : شرایط تعادلی آب بر روی غربال مولکولی.....
۳۷	۳-۳. شکل : جذب سطحی با دو بستر.....
۴۳	۴-۳. شکل : سیستم سردسازی پروپان یک مرحله ای .....
۴۶	۵-۳. شکل : سیستم سردسازی دومرحله ای .....
۵۰	۶-۳. شکل : توربو اکسپندر .....
۵۶	۱-۴. شکل : اجزا یک جداکننده مافوق صوت .....
۵۸	۲-۴. شکل : مدل های مختلف طراحی جداکننده مافوق صوت به منظور بازیافت فشار .....
۶۰	۳-۴. شکل : سیکل جداکننده مافوق صوت .....
۶۰	۴-۴. شکل : سیکل شیر ژول-تامسون .....
۶۱	۵-۴. شکل : سیکل توربو اکسپندر .....

- ۶-۴. شکل : واحدهای جداسازی مافوق صوت و شیر ژول- تامسون..... ۶۵
- ۷-۴. شکل : تجهیزات جداکننده مافوق صوت در دریا..... ۶۶
- ۸-۴. شکل : جداکننده سیکلونی..... ۷۵
- ۱-۵. شکل : طراحی کمپرسور توسط نرم افزار HYSYS..... ۷۹
- ۲-۵. شکل : کولر هوایی..... ۸۱
- ۳-۵. شکل : شماتیک جداکننده سیکلونی..... ۹۵
- ۴-۵. شکل : طراحی سیکل باز..... ۱۰۱
- ۱-۶. شکل : جداکننده مافوق صوت..... ۱۰۸
- ۲-۶. شکل : مشخصات جداکننده سیکلونی..... ۱۰۹
- ۳-۶. شکل : نمای کلی سیکل بسته..... ۱۱۰

## چکیده

یکی از مشکلات عمده در صنعت نفت و گاز، جداسازی آب و هیدروکربنهای سنگین از گاز طبیعی می باشد. اکثر سیستمهای مورد استفاده مانند جذب، جذب سطحی، سردسازی، غشاء و غیره دارای مشکلاتی از قبیل عدم قابلیت جذب انتخابی آب و هیدروکربن، تجهیزات عظیم، هزینه و نیروی انسانی مورد نیاز بالا بوده، علاوه بر آن آسیب های زیست محیطی نیز به دنبال دارند. مشکلات موجود باعث شکل گیری و ساخت جداکننده پیشرفته مافوق صوت در چند سال اخیر گردید. روش کار این سیستم، جداسازی انتخابی آب و هیدروکربن از گاز طبیعی با استفاده از کنترل نقطه شبنم گاز می باشد.

در این پروژه، ابتدا به اهمیت جداسازی آب و هیدروکربنها از گاز طبیعی پرداخته، سپس انواع روشهای مورد استفاده و معمول را مورد بررسی قرار دادیم. در ادامه جداکننده مافوق صوت معرفی گردیده و جزئیات آن به اختصار تشریح می شود. نحوه کار، کاربردها، مزایا و تفاوتهای این سیستم با سایر روشها بیان شده است.

پس از پرداختن به خصوصیات جداکننده مافوق صوت، طراحی سیکل بسته انجام گردید. سیکل طراحی شده مذکور شامل کمپرسور به منظور تامین فشار مورد نیاز سیکل، کولر هوایی به منظور پایین آوردن دمای گاز متراکم خروجی از کمپرسور، جداکننده مافوق صوت و جداکننده سیکلونی می باشد.

با توجه به محدودیت های سیکل بسته، طراحی سیکل باز جداکننده مافوق صوت بر روی چاه شماره ۳۲ شوربیجه D انجام گرفت. در این طراحی نسبت به چیدمان سایر قسمتها و طراحی دو عدد جداکننده سیکلونی برای جداسازی قطرات باقیمانده، در دو طرف جداکننده مافوق صوت اقدام گردید.



چینی‌ها اولین انسان‌هایی هستند که به استفاده از گاز طبیعی شهرت دارند. گاز از چاه‌های کم عمق بدست آمده، از طریق لوله‌های بامبو انتقال می‌یافت و در تبخیر کننده‌ها برای تولید نمک از آب نمک استفاده می‌شد. در اواخر قرن ۱۷ و اوایل قرن ۱۸ در دو کشور آمریکا و انگلیس گاز برای روشنایی خیابان‌ها و خانه‌ها استفاده شد. استفاده تجاری ثبت شده بعدی گاز طبیعی در سال ۱۸۲۱ بود که ویلیام هارت<sup>۱</sup> یک چاه کم عمق (۳۰ فوت) را در نیویورک حفر کرد و با استفاده از لوله‌های چوبی گاز را به خانه‌ها و مغازه‌ها انتقال داد. در سال‌های بعدی کارهای کوچکی در این باره صورت گرفت، اما فعالیت در مقیاس بزرگ از اوایل قرن بیستم شکل گرفت. جنبش مهم در استفاده از گاز طبیعی بعد از جنگ جهانی دوم رخ داد. در این زمان پیشرفت‌های قابل توجهی در زمینه انتقال گاز در خطوط طولانی و قابل اطمینان بوجود آمد.

نیاز روزافزون و میل به استفاده از گاز طبیعی و متعاقباً تلاش برای بالا بردن کیفیت آن باعث بوجود آمدن روش‌های مختلف پالایش گاز و بهینه کردن این روشها گردیده است. یکی از مهمترین ناخالصیهای موجود در گاز طبیعی که مشکلات زیادی در پی دارد بخار آب می‌باشد. بخار آب موجب پایین آوردن ارزش حرارتی گاز شده و افت فشار زیادی در طول خط لوله ایجاد می‌کند. آب با  $H_2S$  و  $CO_2$  که معمولاً در گاز طبیعی یافت می‌شود واکنش داده و مسائل خوردگی را بوجود می‌آورد. از دیگر مشکلات بخار آب می‌توان به ایجاد یخ زدگی در مسیر انتقال گاز اشاره کرد. علاوه بر مشکلات ذکرشده، مهمترین مسئله بوجود آمدن هیدرات‌گازی می‌باشد که ایجاد مانع در خطوط لوله و تجهیزات کرده، بازدهی و کیفیت را پایین می‌آورد. هیدرات در فشار بالای گاز حتی در دماهای نسبتاً بالا (نزدیک یا بالای ۲۰) تشکیل می‌شود. از سال ۱۹۳۰ مشخص شد هیدرات متان مسئول انسداد و خطوط لوله گاز طبیعی است. مخصوصاً وقتی تجهیزات و خطوط انتقال در مناطق سرد واقع شود. بعد از آن تحقیقات برای بررسی آنها، شکل و نحوه بوجود آمدن نشان قوت گرفت. این تحقیقات منجر به گسترش افزودنی‌های شیمیایی و روش‌های دیگر برای جلوگیری از تشکیل هیدرات گردید.

---

<sup>۱</sup>William Hart

یکی دیگر از عناصر موجود در گاز طبیعی هیدروکربنهای سنگین می باشند که باعث بالا رفتن ارزش حرارتی شده، وزن گاز را افزایش داده، ضریب تراکم پذیری را کاهش، در نتیجه قابلیت دبی عبوری را افزایش می دهد. یکی دیگر از مزایای هیدروکربن های سنگین حذف واحدهای بازیابی NGL می باشد. ولی این نکته حایز اهمیت است که با توجه به شرایط دمایی و فشاری موجود و ایجاد میعانات گازی در خطوط انتقال، وجود آنها باعث صدمه زدن به خطوط می گردد. علاوه بر آن هیدروکربن های سنگین موادی ارزشمند برای خوراک پتروشیمی ها و صنایع مختلف می باشند.

بنابراین یکی از مهمترین فرایندهای صنعت نفت و گاز، جداسازی آب و هیدروکربن های سنگین از گاز طبیعی می باشد. اکثر سیستم های مورد استفاده مانند جذب، جذب سطحی، سردسازی، غشاء و غیره از دیرباز مورد استفاده قرار گرفته و دارای مزایایی می باشند. اکثرا هیدرات زدهای خوبی بوده ولی دارای مشکلاتی از قبیل تجهیزات عظیم مورد نیاز، هزینه های بالا و کارهای مکانیکی پیچیده می باشند. علاوه بر این مسایل اکثرا تاثیرات منفی بر محیط زیست می گذارند. سیستم جدیدی که در این پروژه بدان پرداخته شده بسیاری از این موارد را پوشانده و دارای فواید زیادی است. این روش که یک انقلاب در صنعت پالایش گاز به شمار می رود، جداکننده مافوق صوت نام دارد. از سال ۱۹۹۸ این تکنولوژی با نام تجاری تویستر در ۵ منطقه گازی کشورهای هلند، نیجریه و نروژ، آزمایشات مختلفی با شرایط ترکیبات گازی گوناگون را پشت سر گذراند. روش کار این سیستم، تنظیم نقطه شبنم آب و هیدروکربن از طریق قوانین اتبساط گازها می باشد.

در این پروژه به خود این سیستم جدید و پیشرفته پرداخته و به منظور زمینه سازی برای انجام مطالعات پایه، طراحی سیکل بسته آنرا انجام دادیم. در مرحله بعد با هدف ساخت و راه اندازی سیستم در مقیاس صنعتی، به طراحی سیکل باز بر روی چاه شماره ۳۲ شوریجه D پرداختیم.

# فصل اول

## کلیات

## ۱-۱ هدف

همانطور که می‌دانیم، جداسازی آب و میعانات گازی از گاز طبیعی یکی از مهمترین فرایندهای صنعت نفت و گاز می‌باشد. در این پروژه به سیستمی با عنوان جداکننده مافوق صوت پرداخته‌ایم. استفاده از جداکننده مافوق صوت یکی از پیشرفته‌ترین روش‌های جداسازی آب و میعانات گازی از گاز طبیعی می‌باشد.

هدف ابتدایی از این مطالعات، آشنایی با این سیستم پیشرفته، شناخت توانایی‌ها و مقایسه آن با روش‌های متداول و مرسوم است. علاوه بر مزایایی که این روش نسبت به سایر روش‌ها دارد و در فصول بعدی بدان خواهیم پرداخت، توانایی آن در گرفتن ذرات زیر یک میکرون برتری سیستم را نسبت به سایر سیستم‌ها نشان می‌دهد. سپس به طراحی سیکل بسته جداکننده مافوق صوت، به منظور حذف آب و میعانات گازی از گاز طبیعی پرداخته‌ایم. هدف از طراحی سیکل بسته، زمینه‌سازی به منظور ساخت واحد آزمایشگاهی سیستم در آینده نزدیک می‌باشد. استفاده و ساخت این سیستم، نه تنها تا به حال در ایران صورت نگرفته، بلکه در دنیا نیز فقط توسط چند شرکت خاص و بصورت محدود مورد استفاده قرار گرفته است.

طراحی سیکل بسته و در پی آن ساخت واحد، موجب آماده‌سازی و بهینه کردن سیستم مافوق صوت برای حذف میعانات از گاز طبیعی بوسیله گرفتن داده‌های آزمایشگاهی می‌گردد.

در ادامه به طراحی سیکل باز جداکننده مافوق صوت بر روی چاه شماره ۳۲ شوربیجه D پرداخته‌ایم. این طراحی به منظور ساخت و استفاده از این تکنولوژی در مقیاس صنعتی صورت گرفته است.