



دانشکده ی مهندسی شیمی، نفت و گاز

پایان نامه ی کارشناسی ارشد در رشته ی مهندسی شیمی (بدون گرایش)

بررسی اثر متانول بر پدیده ی انسداد میعانی، مدل سازی

به کوشش

محمد رنجبران

استاد راهنما:

دکتر محمد رضا رحیم پور

دکتر علیرضا شریعتی

شهریور ۱۳۹۰



بِسْمِ اللَّهِ الرَّحْمَنِ الرَّحِيمِ

به نام خدا

## اظہار نامہ

اینجانب محمد رنجبران (۸۷۰۴۲۰) دانشجوی رشته ی مهندسی شیمی بدون گرایش دانشکده ی مهندسی شیمی، نفت و گاز اظہار می کنم کہ این پایان نامہ حاصل پژوهش خودم بودہ و در جاهایی کہ از منابع دیگران استفادہ کردہ ام، نشانی دقیق و مشخصات کامل آن را نوشتہ ام. همچنین اظہار می کنم کہ تحقیق و موضوع پایان نامہ ام تکراری نیست و تعہد می نمایم کہ بدون مجوز دانشگاه دستاورد های آن را منتشر ننمودہ و یا در اختیار غیر قرار ندم. کلیہ حقوق این اثر مطابق با آیین نامہ مالکیت فکری و معنوی متعلق بہ دانشگاه شیراز است.

نام و نام خانوادگی: ۲۱ / ۷ / ۹۰

تاریخ و امضا: محمد رنجبران



به نام خدا

بررسی اثر متانول بر پدیده ی انسداد میعانی، مدل سازی

به کوشش

محمد رنجبران

پایان نامه

ارائه شده به تحصیلات تکمیلی دانشگاه شیراز به عنوان بخشی  
از فعالیت های تحصیلی لازم برای اخذ درجه کارشناسی ارشد

در رشته ی:

مهندسی شیمی

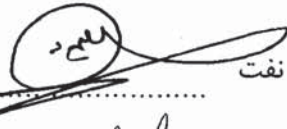
از دانشگاه شیراز

شیراز

جمهوری اسلامی ایران

ارزیابی کمیته ی پایان نامه با درجه ی: عالی

N. R.



دکتر محمد رضا رحیم پور، استاد دانشکده ی مهندسی شیمی، نفت  
و گاز (رئیس کمیته)



دکتر علیرضا شریعتی، استادیار دانشکده ی مهندسی شیمی، نفت و  
گاز (رئیس کمیته)



دکتر سونا رئیسی، استادیار دانشکده ی مهندسی شیمی، نفت و گاز



دکتر حجت مهدی یار، استادیار دانشکده ی مهندسی شیمی، نفت و  
گاز

شهریور ۱۳۹۰

این پایان نامه را به پدر و مادرم تقدیم می کنم برای ارج  
نهادن بر لطف آنها از روزی که زاده شدم و روزی که بالغ  
گشتم و روزی که لطف آنها را با نگهداری از آنها جبران کنم

## سپاسگزاری

اکنون که این رساله به پایان رسیده است بر خود فرض می دانم که از اساتید ارجمندم جناب آقای دکتر رحیم پور و جناب آقای دکتر شریعتی که در طول دو سال با صبر و حوصله امور مرا پیگیری کردند و در هر چه بهتر شدن این کار مرا یاری نمودند تشکر فراوان نمایم و همچنین از اساتید مشاور گرامی سرکار خانم دکتر رئیسی و جناب آقای دکتر مهدی یار که با نکته سنجی های به جا و مفید مسیر پیشرفت پایان نامه را هموار نمودند قدردانی می نمایم و در انتها نیز از جناب آقای دکتر ظریف کار که نمایندگی تحصیلات تکمیلی را عهده دار شدند و با دقت نظر خویش بر کیفیت پایان نامه افزودند سپاسگزاری می نمایم.

## چکیده

### بررسی اثر متانول بر پدیده ی انسداد میعانی، مدل سازی

به کوشش

محمد رنجبران

هدف از این تحقیق بررسی اثر متانول بر پدیده ی انسداد میعانی می باشد. که در این کار از معادله ی حالت مکعبی همراه با همبستگی (CPA) استفاده شده است که قابلیت خوبی برای در نظر گرفتن اثر پیوند هیدروژنی این مولکول دارد. عمده ی کار، مربوط به مدل سازی جریان سیال تک فازی و دو فازی در هندسه ی مغزه و مخزنی می باشد که در مقیاس مغزه اثر تزریق حلال مدل سازی می شود که برای نمونه ی مورد مطالعه حدود ۴۰٪ افزایش در تراوایی گاز دیده می شود. برای حل معادلات حاکم نیز از یک روش عددی پیشرفته به نام روش کولوکیشن متعامد بهره برداری شده است که برای هندسه ی مخزنی با تبدیل متغیر لگاریتمی ترکیب می شود که کارایی بالایی پیدا می کند که در نمونه ای برای ۱۷ نقطه ی محاسبه ای خطای روش عددی را نسبت به حالت معمول از ۲/۵۹٪ به ۰/۰۰۰۰ در صد کاهش می دهد. در کنار این کار اصلی روشی جدید برای رسم منحنی رفتار فازی هم ارائه شده است که نوآوری عمده ی آن استفاده از مختصات قطبی به جای مختصات دکارتی است.



## فهرست مطالب

صفحه	عنوان
۱	فصل اول: مقدمه
۴	فصل دوم: مروری بر کار های گذشته
۸	فصل سوم: مدل سازی
۹	۳-۱- مقدمه
۹	۳-۲- معادلات حاکم بر جریان تک فاز گازی
۱۰	۳-۳- معادلات حاکم بر جریان دو فازی
۱۱	۳-۴- معادلات حالت و مشتقات آن
۱۱	۳-۴-۱- مقدمه
۱۱	۳-۴-۲- معادلات مکعبی معمولی SRK و PR
۱۴	۳-۴-۳- معادله ی حالت CPA یا مکعبی همراه با همبستگی
۲۳	۳-۵- معادله ی اصلاح شده ی پدرسن برای محاسبه ی گرانروی
۲۳	۳-۵-۱- مقدمه
۲۴	۳-۵-۲- معادلات روش پدرسن اصلاح شده برای گرانروی مخلوط هیدروکربن ها
۲۶	۳-۶- حل معادلات با روش عددی کولوکیشن
۲۹	۳-۷- فرآیند حل معادلات مخزن با کمک روش ریاضی کولوکیشن
۲۹	۳-۷-۱- تحلیل روش عددی کولوکیشن برای سیستم های تک فازی در مختصات استوانه ای در جهت شعاعی

۳۷	۲-۷-۳- تحلیل روش عددی کولوکیشن برای سیستم های تک فازي در مختصات استوانه ای در جهت محوری
۳۹	۳-۷-۳- تحلیل روش عددی کولوکیشن برای سیستم های دو فازي در مختصات استوانه ای در جهت شعاعی
۴۸	۴-۷-۳- تحلیل روش عددی کولوکیشن برای سیستم های دو فازي در مختصات استوانه ای در جهت محوری
۵۴	فصل چهارم: نتایج و بحث آنها
۵۵	۱-۴- مقدمه
۵۵	۲-۴- بررسی رفتار فازي با استفاده از معادله ی حالت CPA
۵۶	۱-۲-۴- تست مدل CPA برای حالت خالص
۵۸	۲-۲-۴- تست مدل CPA برای حالت دو جزئی
۶۱	۳-۴- مدل سازی جریان در محیط متخلخل
۶۱	۱-۳-۴- مقدمه
۶۱	۲-۳-۴- مدل سازی جریان سیال در هندسه ی مغزه
۶۲	۱-۲-۳-۴- جریان تک فازي در مختصات استوانه ای و جریان محوری
۶۵	۲-۲-۳-۴- جریان دو فازي در مختصات استوانه ای و جریان محوری بدون تزریق متانول و با تزریق آن
۶۹	۳-۳-۴- مدل سازی جریان سیال در هندسه ی مخزنی
۶۹	۱-۳-۳-۴- جریان تک فازي در مختصات استوانه ای و جریان شعاعی
۷۴	۲-۳-۳-۴- جریان دو فازي در مختصات استوانه ای و جریان شعاعی
۷۷	فصل پنجم: نتیجه گیری و پیشنهادات
۷۹	- فهرست منابع
۸۳	- پیوست ها
۸۴	پیوست یک: منحنی رفتار فازي

- ۸۴ پ-۱-۱- مقدمه
- ۸۵ پ-۱-۲- روش اولیه ی تبدیل مختصات قطبی در رسم منحنی رفتار فازی
- ۸۹ پ-۱-۳- روش جستجوی کرمی در رسم منحنی رفتار فازی
- ۹۴ پیوست دو: کارایی روش جستجوی کرمی
- ۹۴ پ-۲-۱- منحنی های رفتار فازی مخلوط دو تایی اتان و لیمونن
- ۹۵ پ-۲-۲- رسم منحنی رفتار فازی برای چندین مخلوط هیدرو کربنی
- ۹۷ پ-۲-۳- نتیجه گیری
- چکیده به زبان انگلیسی

## فهرست جدول ها

صفحه	عنوان و شماره
۱۲	جدول ۳-۱- ثابت های معادلات PR و SRK
۱۸	جدول ۳-۲- معادلات صریح محاسبه ی $X_A$ ها (هوانگ و رادوز ۱۹۹۰) برای سیستم های خود- همبسته و خالص
۵۵	جدول ۴-۱- پارامتر های معادله ی CPA
۵۹	جدول ۴-۲- ضریب برهمکنش دو جزئی مخلوط متانول و هیدروکربن
۶۲	جدول ۴-۳- داده های لازم برای خواص سنگ مخزنی
۶۳	جدول ۴-۴- مقدار خطای محاسبه شده برای تعداد نقاط محاسبه ای
۶۳	جدول ۴-۵- نتایج محاسبه ی خطای APD برای نقاط محاسبه ای مختلف
۶۵	جدول ۴-۶- مقایسه ی خطای APD برای روش کولوکیشن با تفاضل محدود
۶۹	جدول ۴-۷- خواص مخزن نفتی مورد استفاده، بر گرفته از کتاب احمد (۲۰۰۱)
۷۱	جدول ۴-۸- مقایسه ی خطای دو روش کولوکیشن با تغییر متغیر خطی و با تغییر متغیر لگاریتمی
۷۱	جدول ۴-۹- خواص سنگ و سیال مورد استفاده در مدل سازی جریان ناپایا در تک فاز
۷۳	جدول ۴-۱۰- مقادیر خطای نتایج عددی با معادلات شناخته شده برای مساله ی تک فازی و ناپایا
۷۵	جدول ۴-۱۱- اطلاعات تکمیلی برای مدل جریان دو فازی در مخزن
۹۲	جدول پ-۱-۱- داده های مخلوط گاز میعانی ساختگی دو و همکاران (۲۰۰۰)
۹۲	جدول پ-۱-۲- غلظت نمونه ی مخلوط گاز میعانی ساختگی مورد نظر این پژوهش
۹۵	جدول پ-۲-۱- کسر مولی مخلوط گاز میعانی بریتانیا برگرفته از کومار (۲۰۰۶)

- جدول پ-۲-۲- غلظت اجزای سازنده ی سیال C بر گرفته از لیندلوف و میکلسن  
۹۶ (۲۰۰۳)
- جدول پ-۲-۳- غلظت گاز طبیعی ساختگی بر گرفته از مورک و همکاران (۲۰۰۶)  
۹۷

## فهرست شکل ها

صفحه	عنوان
۱۶	شکل ۳-۱- فلوجارت مربوط به حلقه ی محاسبه ی ضریب فوگاسیته با معادله ی حالت CPA
۱۹	شکل ۳-۲- ساختار مولکولی آب و متانول
۲۲	شکل ۳-۳- فلوجارت محاسبه ی مقدار X ها
۲۹	شکل ۳-۴- هندسه ی مربوط به جریان گاز در جهت شعاعی
۳۶	شکل ۳-۵- فلوجارت مدلسازی جریان در محیط متخلخل برای یک بعد در جهت شعاعی
۳۷	شکل ۳-۶- هندسه ی مربوط به جریان محوری و جزء دیفرانسیلی آن
۵۶	شکل ۴-۱- منحنی ضریب دوم ویربال ناشی از مدل و نتایج تجربی برای متانول
۵۷	شکل ۴-۲- مقایسه ی مقدار فشار بخار برای مدل CPA با SRK و داده های تجربی
۵۸	شکل ۴-۳- محاسبه ی چگالی متانول برای دو فاز مایع و گاز با CPA و SRK و مقایسه ی آن با داده های تجربی
۶۰	شکل ۴-۴- منحنی رفتار فازی مخلوط متانول و نرمال هپتان در فشار اتمسفری
۶۰	شکل ۴-۵- منحنی رفتار فازی مخلوط متانول و پروپان در دمای ۳۱۳/۵۵ کلوین (داده های تجربی از کنتوجورجیس و همکاران ۱۹۹۹)
۶۱	شکل ۴-۶- منحنی فشار بر حسب غلظت متانول در دمای ۱۴۵ درجه ی فارنهایت
۶۲	شکل ۴-۷- اثر تعداد نقاط محاسبه ای بر نتایج پایای حالت تک فازی و جریان محوری
۶۴	شکل ۴-۸- مقایسه ی اثر تعداد نقاط محاسبه ای برای افت فشار کل با زمان در سیستم تک فازی و جریان محوری

- شکل ۴-۹- منحنی رویه ی فشار بر حسب زمان و مکان بدون بعد ۶۴
- شکل ۴-۱۰- منحنی افت فشار برای جریان تک فازی بر حسب زمان ۶۶
- شکل ۴-۱۱- منحنی های افت فشار و اشباع ورودی سنگ برای جریان دو فازی تعریف شده ۶۶
- شکل ۴-۱۲- منحنی های تراوایی نسبی دو فاز گاز و مایع برای جریان دو فازی مورد توجه ۶۷
- شکل ۴-۱۳- منحنی افت فشار و اشباع مایع ورودی بر حسب زمان برای جریان دو فازی قبل و بعد از تزریق متانول ۶۸
- شکل ۴-۱۴- منحنی تغییرات تراوایی نسبی گاز و مایع متوسط مغزه با زمان برای سه مرحله ی فرآیند ۶۸
- شکل ۴-۱۵- منحنی فشار بر حسب شعاع برای زمان ۳۰۰ روز و برای تعداد نقاط محاسبه ای مختلف ۷۲
- شکل ۴-۱۶- منحنی افت فشار ته چاهی با زمان برای سه روش مختلف تکه تکه کردن زمانی ۷۳
- شکل ۴-۱۷- منحنی افت فشار بر حسب شعاع برای تعداد نقاط محاسبه ای مختلف در زمان تقریباً ۳۰۰ روز ۷۴
- شکل ۴-۱۸- منحنی افت فشار برای مدل مخزنی بر حسب مکان و در زمان های مختلف (اختلاف زمان محاسبه ای ۱۰ روز است) ۷۵
- شکل ۴-۱۹- منحنی اشباع مایع بر حسب فشار برای شعاع های مختلف در بازه های زمانی مساوی (بازه ی زمانی هر مرحله ی محاسبه ای ۱۰ روز است) ۷۶
- شکل پ-۱-۱- یک نمونه از منحنی گاز میعانی ۸۵
- شکل پ-۱-۲- منحنی رفتار فازی نمونه ای از نفت ۸۶
- شکل پ-۱-۳- منحنی رفتار فازی برای نمونه ای از گاز طبیعی ساختگی ۸۶
- شکل پ-۱-۴- منحنی رفتار فازی بدون بعد شده ی نمونه ای از گاز میعانی برای تعریف متغیر های جدید ۸۷

- ۹۰ شکل پ-۱-۵- منحنی رفتار فازی نمونه ای مخلوط نفتی برگرفته از کار استنبی و همکاران (۱۹۹۶، صفحه ۶۲۷)
- ۹۱ شکل پ-۱-۶- تصویر دو مرحله ی اول روش جستجوی کرمی
- ۹۲ شکل پ-۱-۷- منحنی رفتار فازی (PR EOS) گاز میعانی ساختگی مقاله ی دو و همکاران (۲۰۰۰)
- ۹۳ شکل پ-۱-۸- منحنی رفتار فازی مخلوط متان و هپتان نرمال با معادله ی حالت PR
- ۹۴ شکل پ-۲-۱- روند تغییرات منحنی رفتار فازی برای مخلوط اتان و لیمونن با تغییر غلظت اتان (در صد مولی)
- ۹۵ شکل پ-۲-۲- منحنی رفتار فازی گاز میعانی بریتانیا با معادله ی PR (زمان محاسبه  $\approx 1/5$  ثانیه)
- ۹۶ شکل پ-۲-۳- منحنی رفتار فازی نمونه ای نفت با نام سیال C با معادله ی PR (زمان محاسبه  $\approx 20$  ثانیه)
- ۹۷ شکل پ-۲-۴- منحنی رفتار فازی نمونه ای از گاز طبیعی ساختگی با معادله ی SRK (زمان محاسبه  $\approx 2$  ثانیه)



فهرست نشانه های اختصاری

a	ترم انرژی معادله ی حالت	z	کسر مولی کلی
b	ترم حجمی معادله ی حالت		
J	ماتریس مشتقات		<b>زیر نویس ها</b>
k	تراوایی	i	شمارنده
L	طول مغزه	j	شمارنده
Mw	جرم مولی	k	شمارنده
nc	تعداد اجزای مخلوط	A	سایت A
P	فشار	e	انتها
Pc	فشار بحرانی	g	گاز
R	ثابت جهانی گاز ها	l	مایع
r	شعاع	w	چاه تولید
S	اشباع		
T	دما		<b>علائم یونانی</b>
Tc	دمای بحرانی	$\Delta$	اختلاف
t	زمان	$\Delta^{AB}$	شدت همبستگی
v	حجم مولی	$\delta(x)$	دلتای دیراک
w	تابع آزمون	$\mu$	گرانروی
x	کسر مولی مایع	$\rho$	چگالی
y	کسر مولی گاز	$\varphi$	تخلخل سنگ
Z	ضریب تراکم پذیری	$\hat{\phi}$	ضریب فوگاسیته جزء در مخلوط

# فصل اول

## مقدمه

در بررسی مخازن هیدروکربنی زیر زمینی به اولین موضوعی که توجه می کنیم اهمیت چگونگی رفتار سیال مخزنی در دما و فشار های مختلف است. منحنی ای که چنین موضوعی را بررسی می کند منحنی رفتار فازی<sup>۱</sup> نامیده می شود. تا زمانی که با نفت سر و کار داریم، مطابق با انتظار مان با کاهش فشار در دمای ثابت با تشکیل گاز روبرو هستیم. اما این وضعیت برای مخازن گازی تر<sup>۲</sup> و گاز میعانی<sup>۳</sup> جور دیگری است. با کاهش فشار در دمای ثابت با تشکیل مایع مایع برخورد می کنیم. این پدیده را میعان معکوس<sup>۴</sup> نام می گذارند. با وجود چنین پدیده ای در سنگ مخزنی، با برداشت از آن به مرور زمان با افزایش مقدار مایع در حفره های مخزن روبرو خواهیم بود. چنین پدیده ای با گذشت زمان باعث ایجاد مانعی بر سر راه تولید گاز از چاه های آن منطقه می گردد. چنین پدیده ای را انسداد میعانی<sup>۵</sup> می گویند.

روش های مقابله با این پدیده متنوع است. در این پایان نامه هدف استفاده از حلال مایع است. متانول از طریق چاه تولید به مخزن تزریق می گردد. حوزه ی چاه مدتی در همان شرایط می ماند تا متانول با میعانات و گاز داخل حفره های سنگ مخزن به تعادل برسد. با شروع دوباره ی تولید ابتدا میعانات به بیرون هدایت می شوند و گاز در این شرایط قابلیت حرکت بیشتری دارد و تولید آن افزایش می یابد. متانول تاثیری بر روی سنگ مخزنی ندارد و تنها اثر آن بر تعادل فازی خواهد بود. مقداری از متانول که در حفره ها باقی می ماند، به میعانات اجازه ی ورود به فاز مایع را نمی دهد. بنابراین تا مدتی که متانول تبخیر نشود. سطح مایع پایین می ماند و استحصال گاز با افت فشار کمتری روبرو است.

---

<sup>1</sup> Phase envelope

<sup>2</sup> Wet gas

<sup>3</sup> Gas condensate

<sup>4</sup> Retrograde condensation

<sup>5</sup> Condensate blockage

هدف از این پایان نامه مدل سازی اثر متانول بر رفتار فازی سیال مخزنی در شرایط مخزن همراه با حل معادلات جریان دو فازی در مختصات استوانه ای در جهت های محوری و شعاعی است. نوآوری های کار در رسم منحنی فازی، استفاده از یک روش عددی قوی و کم به کار رفته در حل معادلات مخزن و استفاده از یک معادله ی حالت موثر برای بررسی رفتار فازی الکل در کنار سیال هیدروکربنی است.