



دانشگاه تربیت مدرس  
دانشکده فنی مهندسی

پایان نامه کارشناسی ارشد مهندسی شیمی

## مدلسازی تزریق آب و گاز (WAG) به مخازن ترکدار ایران جهت افزایش بازیافت نفت

نگارش

استاد راهنما

## چکیده

نحوه استخراج و بهره برداری از منابع عظیم نفتی مشکلی بوده است که همواره پیش روی مهندسان نفت و مخزن وجود داشته است. معمولاً ۲۰ تا ۳۰ درصد نفت درجا (oil in place) به وسیله فشار خود مخزن قابل استحصال است اما باقیمانده آن باید به یکی از روشهای ازدیاد برداشت که در متن پروژه به معرفی آنها خواهیم پرداخت برداشت شود. تزریق آب، تزریق گاز، تزریق پلیمر، برداشت میکروبی، احتراق درجا و... از جمله این روشها می باشند. هر کدام از این روشها مزایا و معایبی دارد. مثلاً در تزریق گاز به علت دانسیته پائین، گاز میل دارد به سمت بالا حرکت کرده و تنها در یک مسیر حرکت می کند بنابراین راندمان جارویی (sweep efficiency) پائینی خواهد داشت. در روش تزریق آب اگر آب فاز تر کننده نباشد (nonwetting phase)، مشکلات زیادی بوجود خواهد آمد و عملاً قسمت زیادی از نفت درون مخزن که لابلای سنگها قرار گرفته است، قابل برداشت نخواهد بود. این معایت محققان را به فکر ارائه یک شیوه جدید انداخت که به روش WAG (water - Alternating - Gas) معروف است. استفاده از روش WAG شیوه نوینی در ازدیاد برداشت از مخازن نفت خواهد بود. در این روش تزریق آب و گاز بصورت متناوب صورت می گیرد. یعنی یک Slug آب و بعد یک Slug گاز به مخزن تزریق می شود. مدلسازی این حالت به علت تغییر مداوم شرایط مخزن با مشکلات زیادی روبرو بوده است.

مخزنی که مطالعات در آن انجام گرفته است، مخزنی ترکدار است. مدلسازی این مخازن بسیار مشکل بوده و تابحال هیچ مدلی نتوانسته است این مخازن را مدلسازی کند. اما فرضهای ساده کننده ای برای مدل کردن این مخازن در نظر گرفته می شود.

برای دستیابی به روابط قابل قبول در جریانات سیال در مخزن ابتدا به مدلسازی یک ماتریس که پیرامون آن را شکاف احاطه کرده است می پردازیم و سپس مخازن ترکدار را در یک بعد با فرض اینکه

مخزن ترکدار شامل هزاران ماتریس مکعبی و شکافهای منظم است مدلسازی خواهیم کرد. آنگاه با توجه به ویژگیهای روش تزریق WAG معادلات بدست آمده را حل خواهیم کرد.

**کلمات کلیدی:** تزریق متناوب آب و گاز، مخازن ترکدار، ازدیاد برداشت

## فهرست مطالب

فهرست شکل‌ها

فهرست علائم و نشانه‌ها

چکیده

مقدمه

## فصل اول: خواص فیزیکی نفت و محاسبات اولیه

۱-۱- خواص فیزیکی نفت و نحوه محاسبه آن در مخزن ..... ۲

۱-۲- محاسبات اولیه در مهندسی مخازن ..... ۱۵

## فصل دوم: روشهای ازدیاد برداشت نفت

۱-۲- مراحل استخراج نفت ..... ۳۲

۲-۲- روشهای ازدیاد برداشت نفت ..... ۳۷

۲-۳- ازدیاد برداشت نفت به روش تزریق متناوب آب و گاز (Water Alternating Gas) ..... ۴۵

## فصل سوم: مدل کردن مخازن نفت

۱-۳- مدل چیست؟ ..... ۴۹

۲-۳- معادلات جریان سیال ..... ۵۰

۳-۳- مشابه سازی های انجام شده در مخزن ترکدار ..... ۶۱

۴-۳- حالت تک ماتریس (Single Matrix Block Case) ..... ۶۴

۵-۳- حالت چند ماتریسی (Multi Block Fracture Matrix Case) ..... ۷۱

۶-۳- محاسبه نفوذپذیری نسبی (Relative Permeability) در مخزن ..... ۷۸

۷-۳- محاسبه فشار موئینگی (Capillary Pressure) در مخزن ..... ۸۳

۸-۳- الگوریتم انجام کار ..... ۸۶

### فصل چهارم: تجزیه و تحلیل نتایج بدست آمده از نرم افزار

۱-۴- تحلیل نتایج بدست آمده از نرم افزار ارائه شده ..... ۹۲

۲-۴- تحلیل نتایج حاصل از پروسه تزریق آب (Water Flooding) به مخزن ترکدار با استفاده از

نرم افزار ارائه شده ..... ۹۲

۳-۴- تحلیل نتایج حاصل از پروسه تزریق گاز (Gas Injection) به مخزن ترکدار با استفاده از

نرم افزار ارائه شده ..... ۹۸

۴-۴- تحلیل نتایج حاصل از پروسه تزریق آب و گاز (Water Alternating Gas) به مخزن ترکدار

با استفاده از نرم افزار ارائه شده (اول آب بعد گاز) ..... ۱۰۳

۵-۴- تحلیل نتایج حاصل از پروسه تزریق آب و گاز (Water Alternating Gas) به مخزن ترکدار

با استفاده از نرم افزار ارائه شده (اول گاز بعد آب) ..... ۱۱۳

۶-۴- دلایل افزایش تولید نفت در حالت تزریق WAG ..... ۱۲۳

### فصل پنجم: نتیجه گیری و پیشنهاد

نتیجه گیری و پیشنهاد ..... ۱۲۵

منابع و مراجع ..... ۱۲۷

پیوست یک : الگوریتم انجام کار

پیوست دو : واژه‌نامه انگلیسی به فارسی

پیوست سه : حل معادلات دیفرانسیل مدل

فهرست علائم انگلیسی

$B_g$	ضریب حجمی گاز
$B_o$	ضریب حجمی نفت
$B_w$	ضریب حجمی آب
$C_g$	تراکم پذیری گاز
CI	شاخص همبستگی
$C_o$	تراکم پذیری نفت
$C_w$	تراکم پذیری آب
k	ضریب واتسون
K	نفوذپذیری مطلق
$k_f$	نفوذپذیری شکاف
$k_m$	نفوذپذیری ماتریس
$k_n$	نفوذپذیری فاز غیر تر کننده
$k_w$	نفوذپذیری فاز تر کننده
M	جرم مولکولی
$P_c$	فشار موئینگی
$P_{cog}$	فشار موئینگی بین فازهای گاز و نفت
$P_{cow}$	فشار موئینگی بین فازهای آب و نفت
$P_n$	فشار فاز غیر تر کننده
$P_w$	فشار فاز تر کننده
q	نرخ جریان
$R_s$	نسبت گاز به نفت
SG	گراویتی مخصوص
$S_g$	درجه سیر شدن گاز
$S_o$	درجه سیر شدن نفت
$S_{or}$	درجه سیر شدن نفت پسماند
$S_w$	درجه سیر شدن آب
$S_{wc}$	درجه سیر شدن آب همزاد
t	زمان

$T_b$	دمای حباب
VCG	ثابت گرانیروی
$V_n$	سرعت فاز غیر تر کننده
$V_w$	سرعت فاز تر کننده
x,y,z	مختصات
$x_i$	جزء مولی

## فهرست علائم یونانی

$\beta$	ضریب انبساط
$\varphi_f$	تخلخل شکاف
$\varphi_m$	تخلخل ماتریس
$v$	حجم مولی
$\mu_o$	ویسکوزیته نفت
$\mu_w$	ویسکوزیته آب
$\mu_g$	ویسکوزیته گاز
$\rho$	دانسیته
$\alpha$	ضریب بعد
$\delta$	ضریب شکل



## فهرست شکلها

## فصل اول

- شکل ۱-۱-۱- رابطه بین گرانروی و دما برای چندین نوع نفت ..... ۶
- شکل ۱-۲-۱- افزایش گرانروی گاز طبیعی و نفت خام بدون گاز با فشار در اثر افزایش عمق مخزن ..... ۶
- شکل ۱-۳-۱- تاثیر میزان گاز حل شده در نفت خام بر روی گرانروی و چگالی ..... ۷
- شکل ۱-۴-۱- کاهش گرانروی نفت خام با دما ..... ۷
- شکل ۱-۵-۱- مخزن نفت ..... ۱۸
- شکل ۱-۶-۱- انواع فشار در یک مخزن ..... ۲۰
- شکل ۱-۷-۱- موقعیت سطح تماس گاز با نفت و نفت با آب در یک مخزن فرضی ..... ۲۲
- شکل ۱-۸-۱- تعیین محل سطح تماس نفت با آب در عملیات آزمایش چاه ..... ۲۵
- شکل ۱-۹-۱- مخزن نفت، گاز و آب ..... ۲۸
- شکل ۱-۱۰-۱- استخراج نفت در مرحله اولیه در اثر انبساط نفت، گاز و آب ..... ۲۹

## فصل دوم

- شکل ۲-۱-۲- طبقه بندی روشهای ازدیاد برداشت نفت ..... ۳۶
- شکل ۲-۲-۲- مقایسه بازیافت نفت در روش تزریق پلیمر با روش تزریق آب ..... ۳۸
- شکل ۲-۳-۲- ویسکوزیته نفت بصورت تابعی از دما ..... ۳۹
- شکل ۲-۴-۲- درجه اشباع نفت پسماند بصورت تابعی از دما ..... ۴۱
- شکل ۲-۵-۲- نفوذپذیری نسبی آب و نفت بصورت تابعی از دما ..... ۴۲
- شکل ۲-۶-۲- فشار موئینگی بصورت تابعی از اشباع آب ..... ۴۳
- شکل ۲-۷-۲- نمای شماتیکی فرآیند تزریق آب ..... ۴۴
- شکل ۲-۸-۲- نمای شماتیک تزریق WAG به مخازن نفت ..... ۴۵

## فصل سوم

- شکل ۳-۱-۳- جریان خطی در سنگ استوانه ای متخلخل به طول  $X$  ..... ۵۱
- شکل ۳-۲-۳- توابع اشباع برای سیستم آب - نفت ..... ۵۴
- شکل ۳-۳-۳- توابع اشباع برای سیستم گاز- نفت ..... ۵۴
- شکل ۳-۴-۳- انواع مدلسازی در مخزن ..... ۶۲
- شکل ۳-۵-۳- مدل تک ماتریس ..... ۶۴
- شکل ۳-۶-۳- مدلهای مختلف در حالت تک ماتریس ..... ۶۵

- شکل ۳-۷- نمای شماتیک یک مخزن ترکدار ..... ۷۱
- شکل ۳-۸- مدل ساده شده مخزن ترکدار ..... ۷۲
- شکل ۳-۹- نمودار نفوذپذیری آب بر حسب درجه اشباع ..... ۷۹
- شکل ۳-۱۰- نمودار نفوذپذیری گاز بر حسب درجه اشباع ..... ۸۰
- شکل ۳-۱۱- نمودار آزمایشگاهی فشار موئینگی بر حسب درجه اشباع آب ..... ۸۴
- شکل ۳-۱۲- نمودار پرازش شده فشار موئینگی بر حسب درجه اشباع آب ..... ۸۵

## فصل چهارم

- شکل ۴-۱- نمای شماتیک مخزن مورد مطالعه قرار گرفته ..... ۹۲
- شکل ۴-۲- تغییرات درجه اشباع آب شکاف در مخزن ترکدار با تزریق آب ..... ۹۴
- شکل ۴-۳- تغییرات درجه اشباع آب ماتریس در مخزن ترکدار با تزریق آب ..... ۹۵
- شکل ۴-۴- میزان تولید نفت با تزریق آب در مخزن ترکدار ..... ۹۶
- شکل ۴-۵- میزان استخراج نفت با تزریق آب در مخزن ترکدار ..... ۹۷
- شکل ۴-۶- درصد نفت برداشت شده بر حسب PV با تزریق آب در مخزن ترکدار ..... ۹۷
- شکل ۴-۷- تغییرات درجه اشباع گاز شکاف در مخزن ترکدار با تزریق گاز ..... ۹۹
- شکل ۴-۸- تغییرات درجه اشباع گاز ماتریس در مخزن ترکدار با تزریق گاز ..... ۱۰۰
- شکل ۴-۹- میزان تولید نفت با تزریق گاز در مخزن ترکدار ..... ۱۰۱
- شکل ۴-۱۰- میزان استخراج نفت با تزریق گاز در مخزن ترکدار ..... ۱۰۲
- شکل ۴-۱۱- درصد نفت برداشت شده بر حسب PV با تزریق گاز در مخزن ترکدار ..... ۱۰۲
- شکل ۴-۱۲- میزان تزریق آب در پروسه تزریق WAG ..... ۱۰۴
- شکل ۴-۱۳- میزان تزریق گاز در پروسه تزریق WAG ..... ۱۰۵
- شکل ۴-۱۴- تغییرات درجه اشباع آب شکاف در مخزن ترکدار با تزریق WAG ..... ۱۰۶
- شکل ۴-۱۵- تغییرات درجه اشباع آب ماتریس در مخزن ترکدار با تزریق WAG ..... ۱۰۷
- شکل ۴-۱۶- تغییرات درجه اشباع گاز شکاف در مخزن ترکدار با تزریق WAG ..... ۱۰۸
- شکل ۴-۱۷- تغییرات درجه اشباع گاز ماتریس در مخزن ترکدار با تزریق WAG ..... ۱۰۸
- شکل ۴-۱۸- میزان تولید نفت با تزریق آب و گاز در مخزن ترکدار ..... ۱۰۹
- شکل ۴-۱۹- میزان استخراج نفت با تزریق آب و گاز در مخزن ترکدار ..... ۱۱۰
- شکل ۴-۲۰- درصد نفت برداشت شده بر حسب PV با تزریق WAG در مخزن ترکدار ..... ۱۱۰
- شکل ۴-۲۱- میزان استخراج آب با تزریق آب و گاز در مخزن ترکدار ..... ۱۱۱
- شکل ۴-۲۲- میزان استخراج گاز با تزریق آب و گاز در مخزن ترکدار ..... ۱۱۲
- شکل ۴-۲۳- میزان تزریق آب در پروسه تزریق WAG ..... ۱۱۴

- شکل ۴-۲۴- میزان تزریق گاز در پروسه تزریق WAG ..... ۱۱۵
- شکل ۴-۲۵- تغییرات درجه اشباع آب شکاف در مخزن ترکدار با تزریق WAG ..... ۱۱۶
- شکل ۴-۲۶- تغییرات درجه اشباع آب ماتریس در مخزن ترکدار با تزریق WAG ..... ۱۱۶
- شکل ۴-۲۷- تغییرات درجه اشباع گاز شکاف در مخزن ترکدار با تزریق WAG ..... ۱۱۷
- شکل ۴-۲۸- تغییرات درجه اشباع گاز ماتریس در مخزن ترکدار با تزریق WAG ..... ۱۱۸
- شکل ۴-۲۹- میزان تولید نفت با تزریق آب و گاز در مخزن ترکدار ..... ۱۱۹
- شکل ۴-۳۰- میزان استخراج نفت با تزریق آب و گاز در مخزن ترکدار ..... ۱۲۰
- شکل ۴-۳۱- درصد نفت برداشت شده بر حسب PV با تزریق WAG در مخزن ترکدار ..... ۱۲۰
- شکل ۴-۳۲- میزان استخراج آب با تزریق آب و گاز در مخزن ترکدار ..... ۱۲۱
- شکل ۴-۳۳- میزان استخراج گاز با تزریق آب و گاز در مخزن ترکدار ..... ۱۲۲