Archive of SID

مجموعه مقالات سومین کنفرانس ملی مهندسی مخازن هیدروکربوری و صنایع بالادستی
تهران، ۲۹ خرداد ماه ۱۳۹۳ مجری: هم اندیشان انرژی کیمیا
www.Reservoir.ir تلفن: ۸۸۶۷۱۶۷۶ - ۰۲۱

# مقایسه فرایندهای تزریق متناوب و همزمان آب وگاز در یکی از مخازن ایران

**دانشگاه آزاد اسلامی واحد علوم و تحقیقات تهران ، دانشکده مهندسی نفت**

**محمد جواد امیدی: کارشناس ارشد مهندسی مخارن نفت هیدروکربوری**
Javadomidi1367@yahoo.com
**مجید رستمی دانشجوی: کارشناسی ارشد مهندسی نفت**
javadomidi1385@gmail.com
**محمد صادق ایت الهی: دکتری مهندسی زمین شناسی ونفت**
veisimaryam1391@gmail.com

## چکیده

روش های مختلفی به منظور افزایش ضریب بازیافت از مخزن و بهبود تولید آن به کار می رود. اولین رو ش هایی که برای بازیافت بیشتر نفت از مخازن به ذهن می رسد . سیلاب زنی آب یا تزریق گاز است مشکل اصلی این دو فرآیند،بروز پدیده ی میان شکن زود هنگام است. از طرفی ، بازدهی جارویی توسط گاز(مگر اینکه جابجایی به وسیله گاز با تفکیک ثقلی قابل توجهی همراه باشد) به مراتب از بازدهی جارویی توسط آب ، کمتر است . این معایب محققان را به فکر ارائه ی روش تزریق ترکیبی آب و گاز ا نداخته است.روش های تزریق متناوب و همزمان آب و گاز از روش های مناسب در این زمینه هستند. در این روش ها ، توده های آب و گاز به طور متوالی و همزمان به درون مخزن تزریق می شوند.در این مقاله قصد داریم با استفاده از شبیه سازی تو سط نرم افزارEclipse ، دو روش تزریق متناوب و همزمان آب و گاز را برای یکی از مخازن غرب ایران مورد مقایسه قرار دهیم و بهترین سناریوی تزریق را برای مخزن مورد نظر به دست آوریم. نتایج بدست آمده نشان دهنده ی این است که سناریوی تزریق متناوب آب و گاز دارای بازدهی بیشتری نسبت به سناریوی تزریق همزمان آب و گاز است.

**واژه های کلیدی:** ازدیاد برداشت نفت ، شبیه سازی ، تزریق متناوب آب و گاز (WAG)، تزریق همزمان آب و گاز (SWAG).



www.SID.ir

Archive of SID



www.reservoir.ir



www.SID.ir

Archive of SID



## ۱-مقدمه

اخیرا برسیهای متعددی روی چگونگی برداشت هرچه بیشتر نفت از مخازن انجام شده است. مکانیسم های تولیدی، نظیر روش های تولید اولیه،ثانویه و ثالثیه به منظور افزایش تولید مقدار نفت قابل استحصال به کار می روند. با توجه به مراحل تولید از مخزن روش های مختلفی برای به دست آوردن نفت بیشتر انتخاب می شود که این روش ها باید از لحاظ اقتصادی نیز به صرفه باشند(۱).معمولا روش های ازدیاد برداشت با توجه به نوع فرآیند و مواد مختلفی که در این فرآیندها استفاده می شود بسیار پر هزینه هستند. به عنوان مثال فرآیندهای تزریق آب و گاز به عنوان دو روش تولید ثانویه محسوب می شود که بسته به نوع سیال مخزن و همچنین مکانیسم حاکم بر مخزن نمی توانند برای تمام مخازن موثر باشند(۲).

از روشهای برداشت ثالثیه فرآیند تزریق متناوب و همزمان آب و گاز (Water-Alternating-Gas) WAG است که از سال ۱۹۵۰ رواج پیدا کرد.این روشها در مخازنی که تولید از آن به صورت طبیعی انجام گرفته و در ادامه مکانیسم های برداشت ثانویه از قبل سیلاب زنی با آب در آن انجام گرفته است کاربرد دارند.که هدف اصلی افزایش تولید نفت می باشد.این روشها مزیت های هردو روش تزریق آب و گاز را به تنهایی دارند. فاکتور های متعددی ار لحاظ اقتصادی و اجرایی و همچنین موارد دیگری از قبیل شکل هندسی مخزن و خواص سنگ و سیال و هزنینه های عملیاتی موجب شده است که این فرآیندها به وجود آیند.

در سال ۲۰۱۲ Haifeng Jiang و همکارن به برسی نسبت تزریق Wag پرداختند که نتایج زیر حاصل شد :

محاسبه نسبت WAG بهینه و استفاده از آن یکی از پارامترهای مهم طراحی بوده که بر روی شرایط عملیاتی و اقتصادی پروژه اثر زیاد دارد .پیش بینی و مطالعه تزریق گاز بصورت خالص ،پیشنهاد می دهد که نسبت WAG بعد از افزایش مقدار تولید گاز بهینه (GOR) می تواند افزایش پیدا کند .کاهش نسبت WAG باعث افزایش کنترل نسبت تحرک و ایجاد پروفایل گاز تولیدی ثابت می گردد.نسبت WAG بهینه تحت تاثیر نوع تر شوندگی سنگ قرار دارد . نسبت WAG بالا در فرایند بازدهی نفت در مخازن آبدوست بیشترین تاثیر را داشته و باعث کاهش مقدار نفت باقی مانده می گردد[3].

در سال ۲۰۱۱ S.Mobeen Fatemi به برسی اثر ترشوندگی روی فرایند WAG پرداختند که به نتایج زیر دست یافتند:

- در تزریق آب بازیافت در زمانی که سنگ تر شوندگی مختلط دارد بیشتر از زمانی است که سنگ آب دوست است .
- در تزریق گاز بازیافت در زمانی که سنگ آب دوست است بیشتر از زمانی است که سنگ ترشوندگی مختلط دارد .
- بازیافت فرایند تزریق متناوب آب و گاز نسبت به تزریق گاز و تزریق آب برای هر دو سنگ آب دوست و سنگ با ترشوندگی مختلط بیشتر است .
- در فرآیند تزریق متناوب آب و گاز برای سنگ آب دوست سیکل تزریق آب پارامتر مهمی است و برای سنگ با ترشوندگی مختلط سیکل تزرق گاز پارامتر مهمی است .
- در تزریق آب ،گاز و متناوب آب و گاز نوع ترشوندگی پارامتر بسیار مهمی است[4] .

در سال ۲۰۱۲ S.M.Ghaderi در برسیهای خود در مورد CO2 به نتایج زیر دست یافتند:

برای کاهش اثر انگشتی شدن ،تزریق توده های آب اغلب ضروری است . نکته ای که قابل ذکر است این است که CO2 چون دارای ویسکوزیته بسیار پایین است .همانگونه که در بالا نیز گفته شد پدیده انگشتی شدن در زمان استفاده از این گاز خیلی سریع اتفاق می افتد.به همین خاطر باید مقدار آب تزریقی نسبت به CO2 زیاد باشد تا این پدیده دیرتر اتفاق بیافتد.این موضوع برای مخازن شکافدار از اهمیت بیشتری برخوردار است. .اما در مخازن معمولی و مخازنی که دارای تراوایی خیلی پایین هستند ویسکوزیته پایین CO2 میتوا ند به فرایند کمک کند[5] .

در سال ۲۰۰۰ ،Quale et al اولین پروژه تزریق SWAG به عنوان یک روش EOR در میدان سیری در دریای شما ل را گزارش نمودند.که این مخزن دارای 25m ضخامت ،ماسه سنگ (sandstone) و دارای تخلخل خوب و تراوایی نسبتا خوب می باشد .این میدان با ۵ چاه تولیدی و ۲ چاه تزریقی SWAG توسعه پیدا نمود (یک چاه افقی و یک چاه عمودی) این



www.SID.ir

Archive of SID



پروژه در ابتدا در جهت تزریق معمولی WAG به عنوان یک روش EOR طراحی گردید .به دلیل کمبود منابع گاز (عدم تولید گاز همراه زیاد) ، احتیاج به حفظ فشار مخزن ، تزریق SWAG مورد برسی و مناسب ارزیابی گردید.SWAG درژا نویه ۱۹۹۹ عملیاتی و ابزار سر چاهی آن طوری طراحی گردید که از (back flow) برگشت سیال تزریقی جلوگیری می کند .فازهای تزریقی ترکیبی از گاز تولیدی ، آب و گاها آب دریا (در صورت نیاز) به میزان BWPD ۲۵۰۰-۲۰۰۰ و MSCF/D ۷-۱۴به ترتیب برای آب و گاز می باشد.

در سال ۲۰۰۲، Stensen and berge به برسی قابلیت تزریق پذیری مخزن در تزریق SWAG پرداختند .آنها مطالعات خود را در میدان سیری در دریای شمال که ازسال ۱۹۹۹ تزریق SWAG آغاز و تا سال ۲۰۰۲ ادامه یافت انجام دادند.آنها دریافتند که تزریق پذیری در SWAG رابطه مستقیمی با دبی سیال تزریقی دارد .افزایش وزن ستون چاه برای این نوع تزریق نسبت به تزریق WAG باعث اغزایش قدرت تزریق پذیری در فشار جریانی سر چاه ثابت میگردد.آنها بیان داشتند که قدرت تزریق پذیری وابسته به نسبت آب به گاز در پایین تر از فشار شکست سازند دارد .همچنین تزریق پذیری ممکن است بدلیل تراوایی دو فازی نزدیک چاه و بسته شدن شکافها بدلیل دبی بالای گاز در فشار بالاتر از فشار شکست سازند کاهش پیدا کند.

در این مقاله قصد داریم با استفاده از شبیه سازی توسط نرم افزار Eclipse ، دو روش تزریق متناوب و همزمان آب و گاز را برای یکی از مخازن ایران مورد مقایسه قرار دهیم و روش بهینه را برای مخزن مورد نظر مشخص کنیم.

## ۲-شبیه سازی مخزن

### ۲-۱-خصوصیات مدل

به منظور ساخت مدل سه بعدی مخزن توسط نرم افزار FLOGRID یک شبکه گریدبندی از مخزن با استفاده از داده های زمین شناسی طراحی گردید.در این شبکه مخزن در جهت طولی و عرضی به ترتیب به ۲۴و۲۵ گرید تقسیم شد.با توجه به نوع جنس سنگ مخزن در جهت عمودی ۱۲ گرید برای مخزن تعریف گردید. برای گرید بندی مخزن از روش corner point استفاده شد که نسبت به روش Block center دارای دقت بیشتری می باشد .اطلاعات مربوط به گرید بندی مخزن همراه با خصوصیات سنگ و سیال مخزن در جدول ۷ آورده شده است . سپس اطلاعات استاتیک مخزن شامل تخلخل ، تراوایی مطلق و NTG با استفاده از مدل زمین شناسی مخزن و تکنیک های UP scaling برای کلیه گریدها محاسبه گردید . میدان مورد مطالعه به پنج سکتور تقسیم شده است که سکتور مورد مطالعه ۳/۵ کیلومتر طول و ۳/۲ کیلومتر عرض و ۱۵۰ متر ضخامت دارد. که نفت آن از نوع مرغوب با درجه سبکی(API)۴۱ می باشد. فشار اولیه مخزن psi ۵۳۰۰ ، تخلخل این میدان بین ۱۸ تا ۲۳ درصد و تراوایی آن بین ۰/۳۸ تا ۳ میلی دارسی می باشد این میدان در ابتدای تولید در شرایط فوق اشباع قرار داشته است و پس از گذشت زمان در اثر تولید فشارش کاهش پیدا کرد و همین موضوع باعث شده تا این میدان به شرایط اشباع رفته و گنبد گازی در میدان تشکیل گردد.

## ۳-نتایج

### ۳-۱ -فرایند WAG

### ۳-۲ -اثر نسبت WAG

برای بررسی اثر این پارامتر حجم تزریقی سیال را ۰/۳ برابر حجم فضای خالی مدل در نظر گرفتیم که نتایج حاصله در جدول ۱ و نمودارهای۱الی ۲ ذیل آمده است.نسبت WAG به نسبت آب به گاز تزریقی گفته می شود.اگر این نسبت از مقدار بهینه خود زیادتر باشد موجب افزایش برش آب شده و اگر از مقدار بهینه خود کمتر باشد مقدار گاز به نفت تولیدی (GOR) زیاد می شود. در تزریق همزمان آب و گاز فقط میزان نسبت گاز به آب اهمیت می یابد و نسبت زمانی (Cycle) مطرح نیست چرا که تزریق همزمان صورت می پذیرد. نسبت WAG به وسیله توانایی گاز در تر نمودن سنگ مخزن کنترل می گردد. تزریق



www.SID.ir

Archive of SID

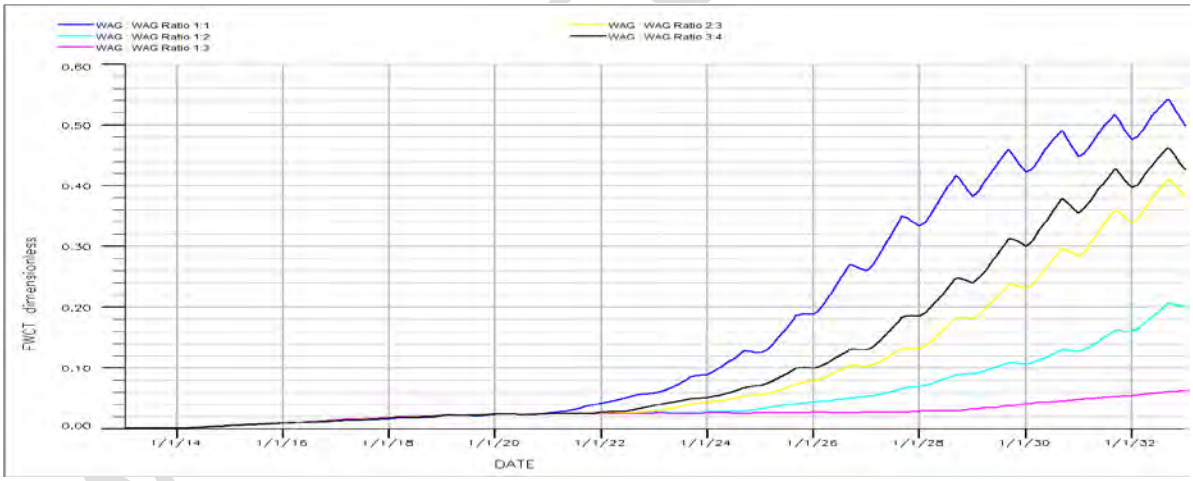


متناوب آب و گاز بصورت غیر امتزاجی باعث افزایش حجم جاروب شده نفت و بهبود بازدهی جاروبی میشود این عامل همچنین سبب کاهش هزینه های اقتصادی با کاهش حجم گاز تزریقی به مخزن می گردد.

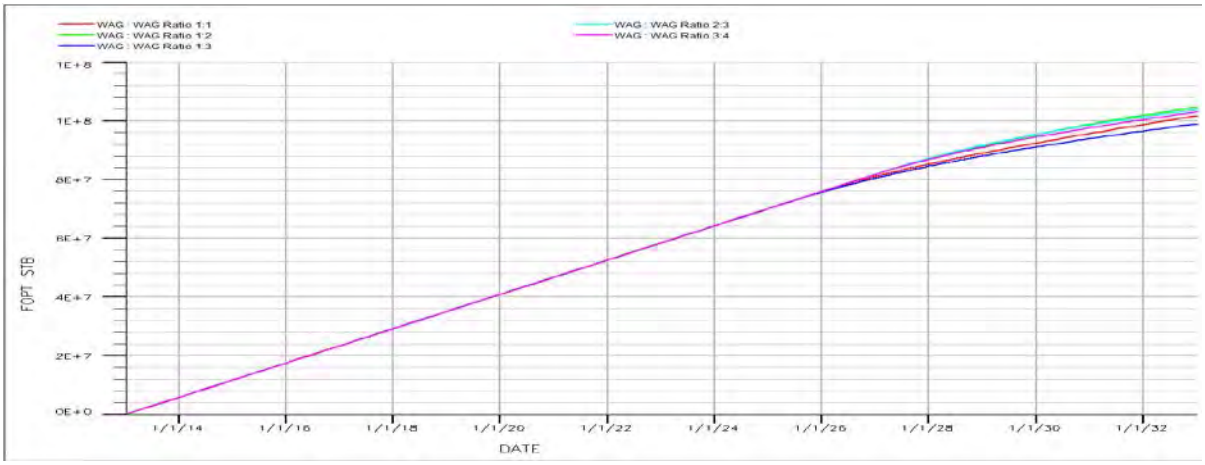
محاسبه نسبت WAG بهینه و استفاده از آن یکی از پارامترهای مهم طراحی بوده که روی شرایط عملیاتی و اقتصادی پروژه اثر زیاد دارد. همچنین پیشنهاد می شود که نسبت WAG بعد از افزایش مقدار تولید گاز بهینه(GOR) می تواند افزایش پیدا کند. همانگونه که مشخص است نسبت تزریق ۱:۱ بهینه ترین حالت در بین نسبت های مختلف تزریق برای مدل مورد نظر می باسد .همچنین هرچقدر که نسبت آب به گاز بیشتر شده است زمان میان شکن زودتر و میزان Water Cut افزایش یافته است.

**جدول 1 اثر نسبت WAG در PVI=0/3در فرآیند تزریق متناوب آب و گاز**

| NO. | WAG Ratio | Qg (MSCF/day) | Qw (bbl/day) | Sor | Np(MMSTB) | RF% |
|---|---|---|---|---|---|---|
| 1 | 1:1 | 156/692 | 27906 | 0 /4046 | 105/826 | 13/131 |
| 2 | 1:2 | 208/923 | 18604 | 0/4045 | 101.0542 | 12/538 |
| 3 | 1:3 | 235/039 | 13953 | 0/4041 | 94/88 | 11/76 |
| 4 | 2:3 | 188/031 | 22325 | 0/4046 | 103/732 | 12/87 |
| 5 | 3:4 | 179/077 | 23919 | 0/4046 | 104/440 | 12/959 |




**نمودار ۱ : اثر نسبت WAG بر میزان Water Cut در فرآیند تزریق متناوب آب و گاز**




www.SID.ir

Archive of SID



نمودار۲: اثر نسبت WAG بر میزان تولید نفت در فرآیند تزریق متناوب آب و گاز

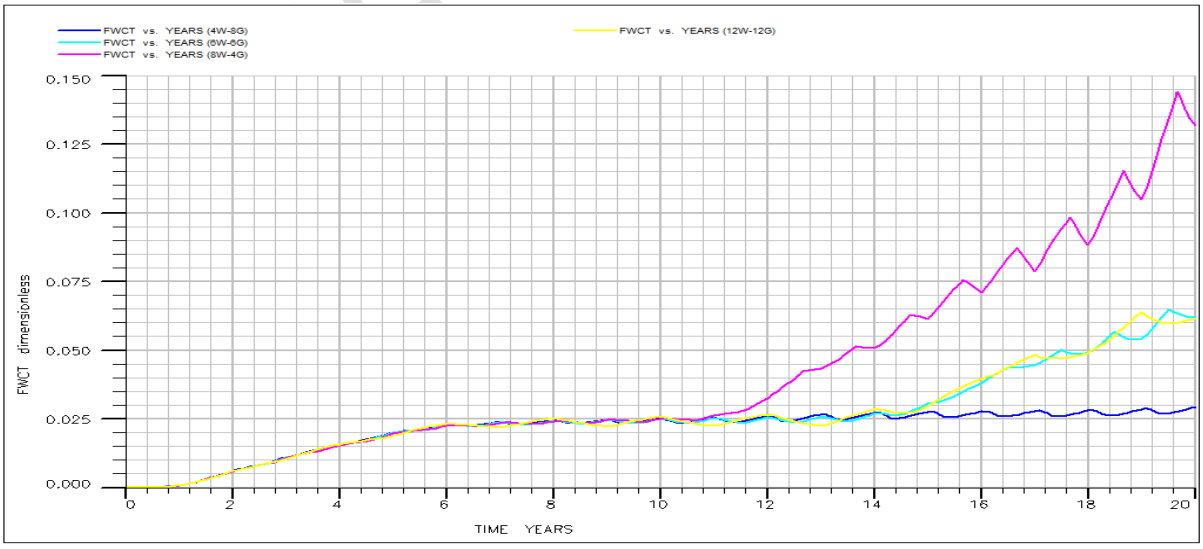
## ۳-۴- اثر سیکل های WAG در pv = ۰/۳

برای مقایسه اثر سیکل های تزریقی چهار حالت مختلف را مورد ارزیا بی قرار دادیم . که نتایج آن در جدول ۳ و نمودارهای ۵ الی ۶ آمده است.در فرآیند تزریق متناوبی آب و گاز هر سیکل تزریقی به دو نیم سیکل تقسیم می شود.در نیم سیکل اول از چاه های تزریقی ، آب تزریق می گردد و در نیم سیکل دوم گاز از چاه های تزریقی ، تزریق می گردد.در حالت کلی بهتر است در نیم سیکل اول تزریقی ، آب به مخزن تزریق شود زیرا در صورت تزریق گاز در نیم سیکل اول ، به دلیل تحرک بالای گاز ، گاز تزریقی سریع به چاه تولیدی رسیده و پدیده میان شکن گاز اتفاق می افتد ولی در صورتی که آب در نیم سیکل اول و گاز در نیم سیکل دوم تزریق شود ، آب مانع از حرکت سریع گاز و میان شکن شدن آن می شود.این موضوع برای زمانی که تراوایی مخزن بالا است بیشتر اهمیت پیدا می کند. همانگونه که مشخص است سیکل تزریقی ۱۲ ماه آب ، ۱۲ ماه گاز بهینه ترین سیکل برای مدل مورد نظر است.

جدول2: اثر سیکل تزریقی WAG در فرآیند تزریق متناوب آب و گاز بصورت امتزاجی

| NO. | WAG cycle | Sor | Np(MMSTB) | RF% |
|---|---|---|---|---|
| 1 | 4ماه آب،8ماه گاز | 0/5459 | 88.0503 | 10/877 |
| 2 | 6ماه آب،6 ماه گاز | 0/5271 | 98.486 | 12/191 |
| 3 | 8ماه آب،4ماه گاز | 0/5145 | 105.826 | 13/131 |
| 4 | 12 ماه آب ، 12 ماه کاز | 0/5271 | 98.610 | 12/202 |

نمودار ۳: اثر سیکل تزریقی WAG بر میزان water cut در فرآیند تزریق متناوب آب و گاز



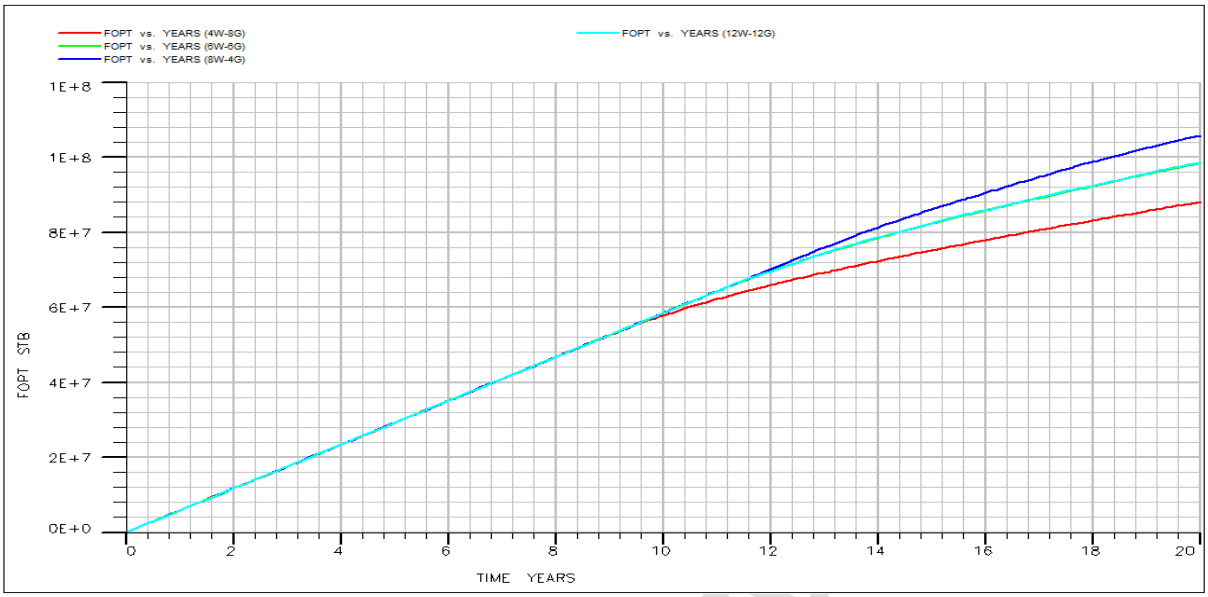



www.SID.ir

Archive of SID



**نمودار ۴: اثر سیکل تزریقی WAG بر میزان نفت تولیدی در فرآیند تزریق متناوب آب و گاز**




## ۴ – فرایند SWAG

### ۴-۱ – اثر نسبت WAG

برای بررسی اثر این پارامتر حجم تزریقی سیال را ۰/۳ برابر حجم فضای خالی مدل در نظر گرفتیم که نتایج حاصله در جدول ۴ و نمودارهای۷الی ۹ آمده است.همانگونه که مشخص است نسبت تزریق ۱:۳ بهینه ترین حالت در بین نسبت های مختلف تزریق برای مدل مورد نظر می باسد

.

**جدول ۳: اثر نسبت WAG در فرآیند تزریق همزمان آب و گاز**

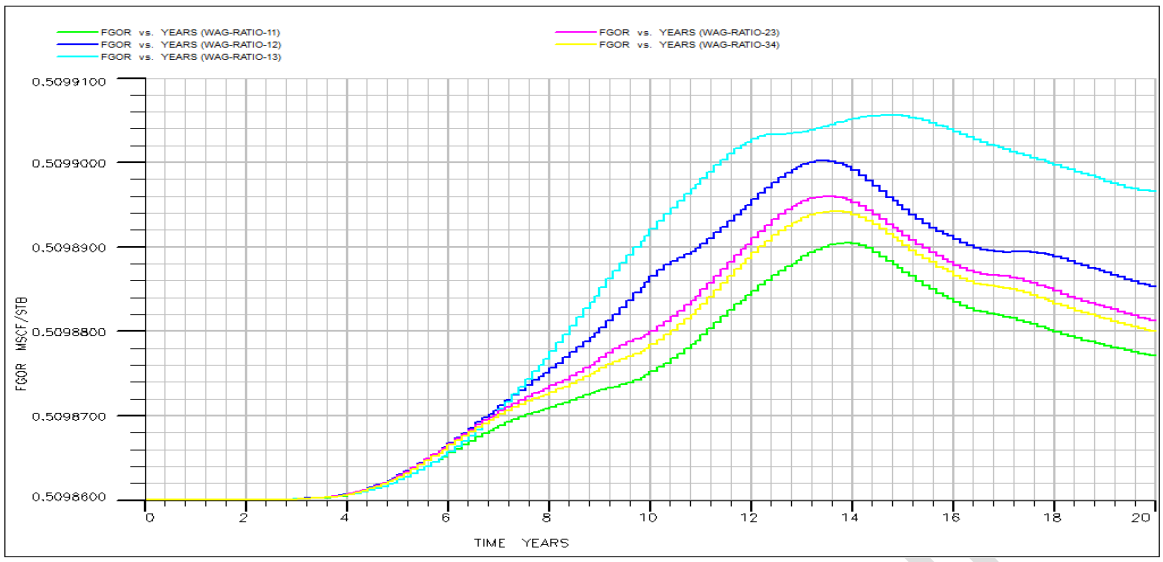
| NO. | WAG Ratio | Qg ($ft^3$/day) | Qw (bbl/day) | Sor | Np(MMSTB) | RF% |
|---|---|---|---|---|---|---|
| 1 | 1:1 | 156/692 | 27906 | 0/5921 | 106.654 | 13/297 |
| 2 | 1:2 | 208/923 | 18604 | 0/5921 | 105.855 | 13/1954 |
| 3 | 1:3 | 235/039 | 13953 | 0/5929 | 105.970 | 13/1959 |
| 4 | 2:3 | 188/031 | 22325 | 0/5920 | 105.864 | 13/198 |
| 5 | 3:4 | 179/077 | 23919 | 0/5920 | 106.049 | 13/221 |



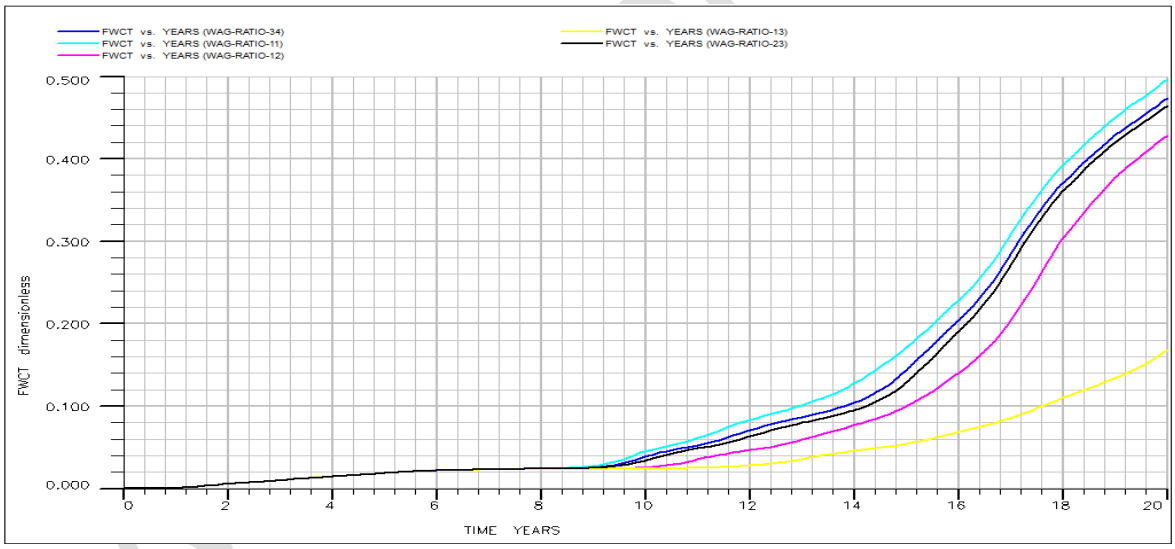
www.SID.ir

Archive of SID






نمودار ۵: اثر نسبت WAG بر میزان GOR در فرآیند تزریق همزمان آب و گاز



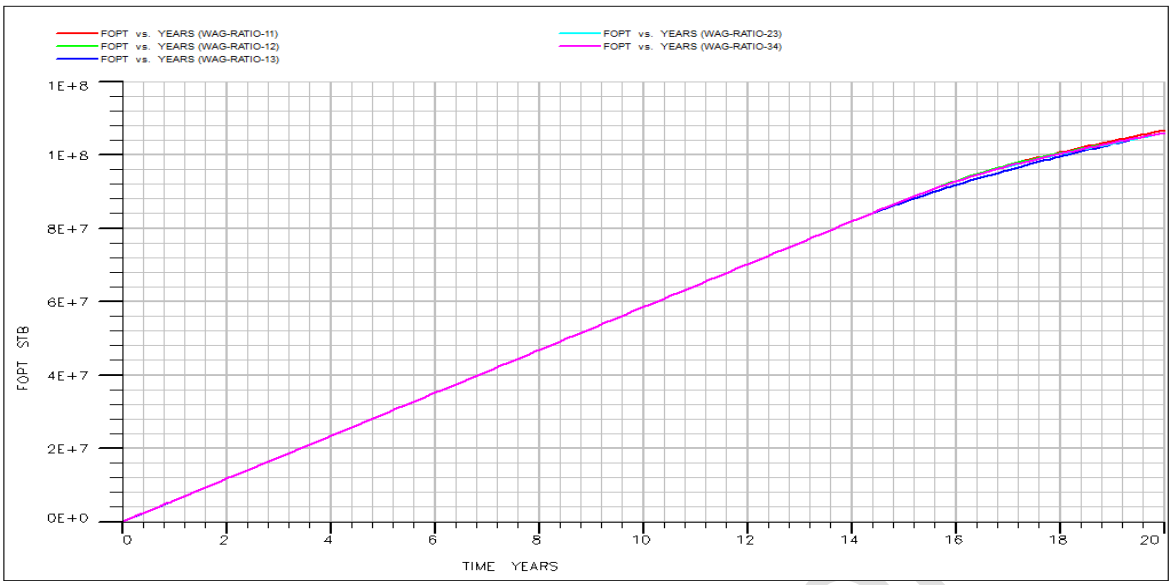

نمودار ۶ : اثر نسبت WAG بر میزان Water Cut در فرآیند تزریق همزمان آب و گاز



www.SID.ir

Archive of SID






**نمودار ۷: اثر نسبت WAG بر میزان تولید نفت در فرآیند تزریق همزمان آب و گاز**

## ۵-مقایسه فرایند های WAGوSWAG

در این قسمت قصد داریم نتایج دو سناریوتزریق متناوب و همزمان آب و گاز را جهت دسترسی به سناریو بهینه مورد مقایسه قرار دهیم.قابل ذکر است که مقایسه را برای نسبت تزریق ۱:۱و Por Volume تزریقی۰/۳ انجام دادیم .همانگونه که مشخص است است سناریو تزریق همزمان آب و گاز نسبت به سناریو تزریق متناوب آب و گاز عملکرد بهتری دارد .که نتایج در جدول ۵ و نمودارهای ۱۲ الی ۱۴ آمده است.

## ۶ – بحث ونتیجه گیری

۱) همانگونه که از نتایج مشخص می باشد سناریو تزریق همزمان آب و گاز دارای میزانWATER CUT بیشتری نسبت به سناریوی تزریق متناوب آب و گاز است.

۲) همانگونه که از نتایج مشخص می باشد سناریو تزریق همزمان آب و گاز دارای بازدهی تقریبا یکسانی نسبت به سناریو تزریق متناوب آب و گاز می با شد .

**جدول ۴: مقایسه دو سناریوی تزریق متناوب و همزمان آب و گاز برای مدل مورد نظر**

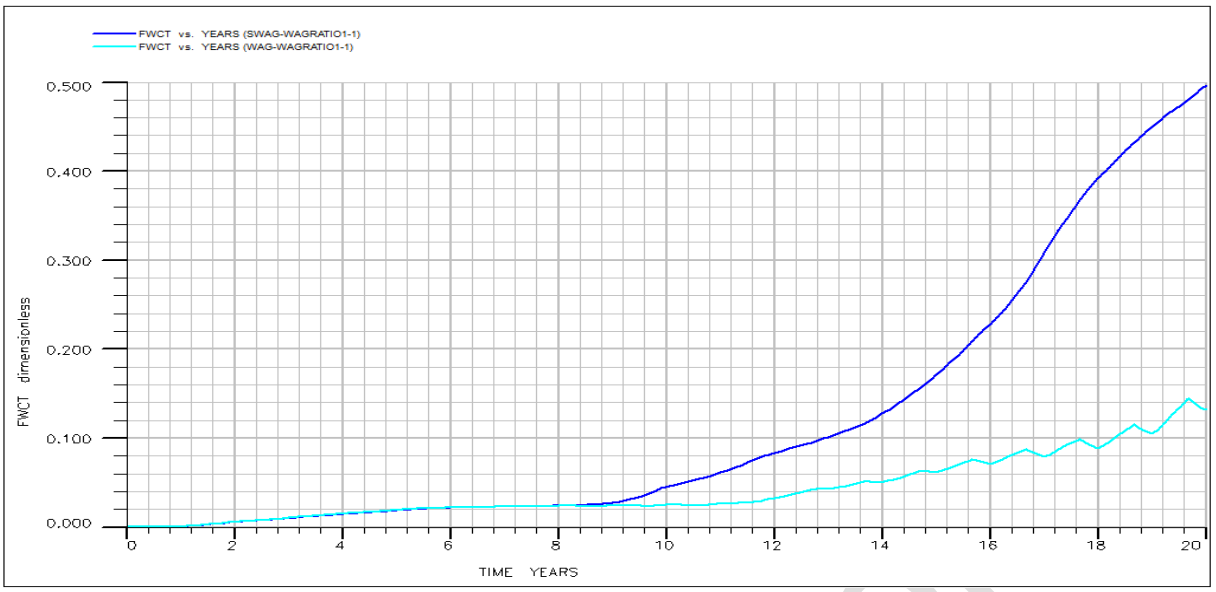
| Scenario | Qg (MSCF/day) | Qw (bbl/day) | Sor | Np (MMSTB) | RF% |
|---|---|---|---|---|---|
| تزریق WAG | 156/692 | 27906 | 0/5145 | 105.826 | 13/131 |
| تزریق SWAG | 156/692 | 27906 | 0/4966 | 106.665 | 13/298 |



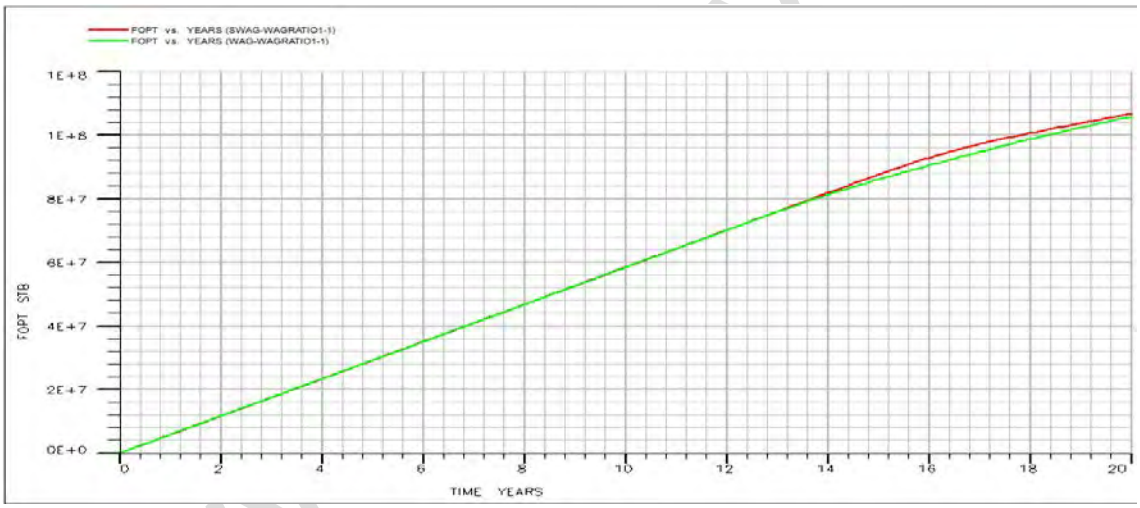
www.SID.ir

Archive of SID






نمودار ۸ : مقایسه **water cut** برای دو سناریو تزریق متناوب و همزمان آب و گاز




نمودار ۹: مقایسه میزان نفت تولیدی برای دو سناریو تزریق متناوب و همزمان آب و گاز

جدول ۵: خصوصیات کلی سنگ وسیال مخزن تحت مطالعه

| | | | |
|---|---|---|---|
| Total thickness, ft | 492 | Water FVF,Rbbl/stb | 1/009 |
| Rock compressibility,1/psi | 2/8E-6 | Gas viscosity,cp | 0/019 |
| Water compressibility,1/psi | 3/2083E-6 | Water viscosity,cp | 0/47 |
| Oil density,$lb_m/ft3$ | 49 | °API | 41 |
| Gas density,$lb_m/ft^3$ | 0/06 | | |
| Datum depth, ftss | 7000 | | |
| @ datum Average reservoir pressure depth, psi | 1750 | | |



www.SID.ir

Archive of SID



| | | | |
|---|---|---|---|
| GOC, ftss | 2198 | | |
| WOC, ftss | 8200 | | |
| Reservoir temperature, °F | 140 | | |

منابع

1. H. Shahverdi, M. Sohrabi : "Three-Phase Relative Permeability and Hystresis Model for Simulation Of Water Alternating Gas (WAG) Injection"SPE 152218, Eighteenth SPE Improved Oil Recovery Symposium held in Tulsa, Oklahoma, USA, 14–18 April 2012

2. Dengen Zhou, Meisong Yan, and Wm. Marc Calvin, Chevron : "Optimization of a Mature CO2 Flood From Continuous Injection to WAG"SPE 154181, Improved Oil Recovery Symposium held in Tulsa, Oklahoma, USA, 14–18 April 2012

3. Haifeng Jiang, Lily Nuryaningsih, and Hertanto Adidharma : " The Study of Timing of Cyclic injections in Miscible CO2 WAG" SPE 153792 , Western Regional Meeting held in Bakersfield, California, USA, 19–23 March 2012

4. S. Mobeen Fatemi, Mehran Sohrabi, Mahmoud Jamiolahmady, and Graeme Robertson : "Experimental Investigation of Near-Miscible Water-Alternating-Gas (WAG)Injection Performance in Water-wet and Mixed-wet Systems"SPE 145191, Offshore Europe Oil and Gas Conference and Exhibition held in Aberdeen, UK, 6–8 September 2011.

5. S.M. Ghaderi, C.R. Clarkson, S. Chen, D. Kaviani : "Evaluation of Recovery Performance of Miscible Displacement and WAG Process in Tight Oil Formations"SPE 152084 , 2012



www.SID.ir