مقاله پژوهشی

بررسی و شبیه سازی تزریق گاز دی اکسید کربن به یکی از مخازن نفت سنگین جنوب ایران در راستای ازدیاد برداشت نفت

نام و نام خانوادگی نویسنده: مهشید زارع
۱. دانشجوی کارشناسی ارشد گروه مهندسی نفت، واحد مرودشت، دانشگاه آزاد اسلامی، مرودشت، ایران

واژه‌های کلیدی:
افزایش بازیافت نفت، نفت سنگین، تزریق گاز، شبیه سازی، معادله حالت، دی اکسیدکربن

چکیده: نفت های سنگین بخش زیادی از مخازن نفتی دنیا و کشور ما را شامل می شود. به نفت هایی که درجه گرویتی آنها کمتر از ۲۰ درجه APIباشد نفت سنگین می گویند. در مخازن نفت سنگین به دلیل ویسکوزیته بالا قابلیت جابجایی در آنها کم بوده و در نتیجه ضریب بازیافت نفت از این مخازن پایین می باشد. تزریق گاز یکی از روش های موثر در بهبود تولید از مخازن نفتی است که سال هاست مورد استفاده قرار می گیرد. استفاده از گاز دی اکسید کربن (CO_2) برای تزریق در مخازن نفتی به منظور ازدیاد برداشت از دو دیدگاه بهبود تولید نفت و همچنی دفع آن و کاهش مشکلات زیست محیطی طی دهه های گذشته مد نظر قرار گرفته شده است. در این پژوهش به منظور ازدیاد برداشت نفت از مخازن نفت سنگین تزریق گاز دی اکسیدکربن در یکی از مخازن نفت سنگین ایران مورد بررسی قرار می گیرد. تزریق گاز تحت سناریوهای امتزاجی و غیرامتزاجی توسط نرم افزار شبیه ساز ترکیبی ایکلیپس انجام گرفته شده است. چاه های تزریق گاز در حالت افقی و عمودی در نواحی مناسب مخزن شبیه سازی شده است. پارامترهای موثر همچون نرخ تزریق، محل چاه تزریقی و تعداد چاه های تزریقی مورد بررسی قرار گرفته شده است. طبق نتایج بدست آمده بازیافت نفت در سناریوی تزریق پیوسته بیشتر از تزریق سیکلی می باشد و همچنین چاه تولیدی افقی باعث افزایش نرخ تولید نفت می گردد

مقدمه

با توجه به کاهش منابع نفت سبک و رسیدن به نیمه دوم عمر این مخازن تولید نفت های سبک رو به کاهش است. از طرفی کشف مخازن نفت سنگین در نقاط مختلف جهان و ایران استفاده از روش های مناسب برای بازیافت نفت این مخازن را ضروری نموده است.

نفت های سنگین نسبت به نفت های معمولی دارای ویسکوزیته و دانسیته بالاتری هستند.در نفت های سنگین ویسکوزیته معمولا بیش از ۱۰۰ سنتی پوز و درجهAPI گراویتی کمتر از ۲۰ می باشد. همچنین نفت های با درجهAPI گراویتی کمتر از ۱۰ نفت های فوق سنگین نامیده می شوند. جریان سیال (نفت) با ویسکوزیته بالا در شرایط دمایی و فشاری مخزن به سادگی جریان نمی یابد بازیافت نفت پایین است.

بخش زیادی از مخازن نفت کشور مانند کوه موند و میدان پایدار مخازن نفت سنگین هستند. ضریب بازیافت از مخازن نفت سنگین به دلیل ویسکوزیته بالای نفت معمولا پایین است و نیازمند روش های بهبود بازیافت نفت می

* نویسنده مسئول: مهشید زارع
نشانی: دانشجوی کارشناسی ارشد گروه مهندسی نفت، واحد مرودشت، دانشگاه آزاد اسلامی، مرودشت، ایران
تلفن:۹۳۸۵۵۴۴۲۲۱ 98+
پست الکترونیکی: mahshidzare20212021@gmail.com

باشد. معمولا روش های ازدیاد برداشت تزریق گاز و علاوه بر ویسکوزیته بالا، وجود آسفالتین در نفت های سنگین و دیگر اجزاء هیدروکربوری سنگین امکان چالش هایی چون رسوب آسفالتین که موجب کاهش ضریب بازیافت نفت می گردد. عوامل موثر بر رسوب آسفالتین شامل تغییر فشار و دمای مخزن و همچنین تغییر ترکیب سیال می باشد. در فرآیند تزریق دی اکسید کربن به دلیل حل شدن این گاز در نفت و تغییر ترکیب سیال مخزن احتمال رسوب آسفالتین وجود دارد که باید بررسی گردد.

با توجه به وجود مخازن نفت سنگین موجود در کشور توسعه روش های ازدیاد برداشت و امکان سنجی این روش ها برای بهبود تولید نفت ضروی به نظر می رسد. هدف از این پژوهش بررسی اثر تزریق گاز دی اکسید کربن تحت سناریوهای تزریق امتراجی و غیرامتزاجی برای ازدیاد برداشت نفت از یکی از مخازن نفت سنگین می باشد. در این تحقیق از روش شبیه سازی ترکیبی با استفاده از ایکلیپس ۳۰۰ برای شبیه سازی تزریق دی اکسید کربن به یک مخزن نفت سنگین استفاده می گردد. گاز دی اکسید کربن تزریقی با نفت مخزن محلول شده و باعث کاهش ویسکوزیته، متورم شدن نفت می گردد. کاهش ویسکوزیته بخصوص در نفت های سنگین باعث بهبود جابجایی نفت و تولید آن از مخزن می گردد. انبساط نفت در اثر حلالیت دی اکسید کربن در آن و کاهش ویسکوزیته منجر به افزایش بازیافت نفت می گردد.

سناریوهای شبیه سازی تزریق دی اکسید کربن شامل تزریق با چاه عمودی و چاه افقی ، تزریق پیوسته و سیکلی می باشد. همچنین نرخ تزریق مناسب گاز دی اکسید کربن و تعداد چاه های بهینه مورد ارزیابی قرار می گیرد. سپس نتایج بازیافت نفت و تاثیر سناریوهای مختلف بر تولید نفت آنالیز می گردد. همچنین احتمال رسوب آسفالتین طی تزریق گاز دی اکسید کربن مورد مطالعه قرار می گیرد.

بر اساس یک سری مطالعات منظم شبیه سازی عددی با استفاده از شبیه ساز BlackOil ، که بر روی کنترل تولید آب انجام شده یک سری از نمودارهای تشخیص ایجاد شده است. این شبیه ساز سه بعدی و سه فازی توانائی مدل سازی کارائی جریان در یک مخزن را تحت مکانیزم های مختلف رانش و سیلاب زنی را دارا بوده است.

منابع نفت سنگین حجمی زیادی از مخازن نفتی را در جهان از جمله در کانادا و ونزولا را شامل می شود. کشور ایران مخازن نفت سنگین زیادی وجود دارد از جمله کوه موند که یکی از مخازن نفت سنگین[1]با درجه API متوسط ۱۰ می باشد. مخازن نفت سنگین در ایران به دلیل محدودیت های موجود و نبود تکنولوژی لازم جهت بازیافت نفت آنها زیاد مورد توجه قرار نگرفته اند، اما با توجه به کاهش حجم منابع نفت سبک در آینده نزدیک، استفاده از روش های ازدیاد برداشت نفت های سنگین ضروری به نظر می رسد.

چالش اصلی در بازیافت نفت های سنگین ویسکوزیته بالای سیال مخزن در شرایط مخزنی می باشد. روش های مختلفی برای ازدیاد برداشت نفت های سنگین از مخازن ارائه شد. روش های ازدیاد برداشت بطور کلی شامل تزریق گاز، تزریق مواد شیمیایی، روش های حرارتی، و روش های نوین مانند میکروبی می باشد. در مخازن نفت سنگین روش های حرارتی مانند تزریق بخار[2]و تزریق گاز بیشتر مورد استفاده قرار می گیرد.

تحقیقات بسیاری در زمینه روش های ازدیاد برداشت از مخازن نفت سنگین انجام شده است. تزریق بخار، گازهای دی اکسیدکربن و هیدروکربنی از بهترین روش ها برای کاهش ویسکوزیته نفت های سنگین می باشد. همچنین مطالعاتی در زمینه استفاده همزمان از تزریق همزمان گاز و روش های حرارتی انجام شده است.

بطور کلی در روش های ازدیاد برداشت نفت مکانزیم های اصلی شامل کاهش ویسکوزیته، کاهش کشش بین سطحی، تغییر ترشوندگی، امتزاج پذیری، کنترل پویایی و ریزش ثقلی می باشد که در ادامه بحث می شود.

بطور کلی روش های ازدیاد برداشت تزریق گاز برای نفت های سبک و سنگین، روش های تزریق مواد شیمیایی برای نفت های متوسط، روش های حرارتی برای نفت های سنگین استفاده می شود. روش های ازدیاد برداشت با توجه به خواص سنگ و سیال مخزن بصورت ترکیبی نیز استفاده می شوند.

روش تزریق بخار متداول ترین روش ازدیاد برداشت حراراتی می باشد که طی دهه های گذشته توسعه یافته است و بصورت پایلوت و میدانی در برخی نقاط جهان استفاده شده است(خراط و همکاران ۲۰۰۹).

تزریق بخار معمولا بصورت پیوسته یا سیکلی انجام می گیرد. این روش در مخازنی به استفاده می‌شود که دارای نفت سنگین با ویسکوزیته بالا هستند. سرعت تزریق کامل کننده در تزریق بخار است؛ سرعت تزریق باید به صورتی باشد که فرصت کافی برای تبادل حرارتی بخار و نفت وجود داشته باشد تا شیب دمائی درون نفت ایجاد گردد .علاوه بر آن، باید به فاصله بین مخزن و تاسیسات تولید بخار برای محاسبه درجه

روش های ازدیاد برداشت نفت تزریق گاز شامل تزریق گازهای هیدکربوری، گاز نیتروژن، تزریق دی اکسید کربن و تزریق گاز به کمک ریزش ثقلی(GAGD) می باشد. تزریق گاز بسته خصوصیات سنگ وسیال مخزن، نوع گاز تزریقی و شرایط تزریق به صورت امتزاجی و یا غیرامتزاجی انجام می گیرد. معمولا گازهای هیدروکربوری سبک مانند متان برای تزریق غیرامتزاجی استفاده می گردد و عمدتا برای حفظ فشار مخزن استفاده می گردد. گازهای هیدروکربوری برای تزریق معمولا از گاز تولید حاصل از گاز محلول، کلاهک گازی و یا از مخازن گازی تامین می شود (امینیان و همکاران۲۰۱۹ و چان و همکاران ۲۰۱۸) .

سیال تزریقی به مخزن و میزان خوردگی در مسیر بخار تزریقی توجه داشت.

مکانیزم های تزریق گاز شامل حفظ فشار مخزن، جابجایی نفت توسط گاز، بخار شدن اجزاء هیدروکربوری مایع، متورم شدن نفت اگر نفت تحت اشباع باشد. همچنین امتزاج پذیری و ریزش ثقلی در فرآیندهای تزریق از مکانیزم های افزایش برداشت هستند. تزریق گاز دی اکسید کربن در مخزن نفتی در شکل زیر نشان داده شده است. روش تزریق گاز دی اکسید کربن یکی از روش های تزریق گاز است که بصورت امتزاجی، غیر امتزاجی، تزریق فوم دی اکسید کربن، تزریق آب کربناته برای ازدیاد برداشت استفاده می گردد. . در مخازن نفت سنگین باتوجه به فشار و دمای سازند، دی اکسیدکربن در حالت فوق اشباع استفاده می گردد که با نفت انحلال یافته و باعث کاهش ویسکوزیته و متورم شدن نفت می گردد. خصوصیات دی اکسید کربن از جمله دانسیته، ضریبZ و ویسکوزیته وابستگی زیادی به فشار و دما دارند(وینستون و بروله[1] ۲۰۰۰).

مواد و روش‌ها

در این بخش روش انجام این پژوهش که شبیه سازی اثر تزریق گاز دی اکسید کربن بر بازیافت نفت سنگین در یکی از مخازن نفت سنگین است که در یکی از میادین دریایی ایران مورد بررسی قرار می گیرد.

بدین منظور یک سکتور مدل یکی از مخازن نفت سنگین ایران برای مطالعه تزریق گاز دی اکسید کربن انتخاب شده است. مخزن مورد مطالعه از یکی از میدان های دریایی ایران است که در سال ۱۹۶۲ کشف شده است که در ۸۳ کیلومتری جنوب غرب جزیره خارک قرار دارد.تولید نفت از لایه کژدمی این مخزن انجام می پذیرد. ضریب بازیافت این میدان حدود ۶ درصد بوده و گراویتی نفت آن بین ۴ تا ۱۹

درجه API می باشد. فشار اولیه مخزن ۳۵۰۰پام می باشد. ترشوندگی آن نفت دوست رو به میانه می باشد.

۱- شبیه ساز ایکلیپس

مخازن نفتی ساختارهای زمین شناسی پیچیده ای هستند که نفت در آنها ذخیره شده است و با توجه به عدم دسترسی مستقیم به آنها برای بررسی رفتار آنها نیاز استفاده از ابزارهای مختلف می باشد. یک مخزن نفتی از بخش های مختلفی تشکیل شده است که بر روی رفتار دینامیک آن و همچنین تولید نفت اثر مستقیم دارند. لذا شناخت و بررسی آنها توسط روش های مانند شبیه سازی مخازن می تواند منجر به انتخاب سناریوهای تولید مناسب و افزایش بازیافت نهایی از مخزن گردد.

شبیه ساز های مخزن به عنوان یک ابزار مدیریت مخزن برای بررسی سناریوهایی که موجب افزایش بازیافت نفت و کاهش هزینه های سرمایه گذاری و عملیاتی می گردد. هدف از مدیریت یک مخزن تولید حداکثری با حداقل هزینه های اقتصادی می باشد.

شبیه ساز تجاری ایکلیپس از شرکت شلمبرژه یکی از معروفترین و پر استفاده ترین شبیه سازهای موجود در سراسر جهان می باشد. این شبیه ساز شامل دو موتور شبیه ساز به شرح زیر می باشد:

- شبیه ساز مدل نفت سیاه Black-oil simulator
- شبیه ساز ترکیبی Compositional simulator

در مدل شبیه ساز نفت سیاه فرض می شود که هیدروکربن از دو جزء نفت و گاز تشکیل شده است و ترکیب سیال هیدروکربوری در حین شبیه سازی ثابت باقی می ماند و هم خواص سیال تنها با فشار و فشار نقطه حباب تعیین می شوند و همه انتقال جرم میان دو جزء با عبارت نسبت گاز محلول به نفت توصیف می شود.

۲- تعریف سناریوی تولید و تزریق

با وارد کردن این داده ها در دیتا فایل ورودی برای شبیه ساز، شبیه سازی مخزن انجام می شود. دیتا فایل های ورودی برای شبیه ساز ایکلیپس شامل هشت بخش می باشد که به شرح زیر می باشد:

جدول ۱- بخش های دیتا فایل ورودی ایکلیپس

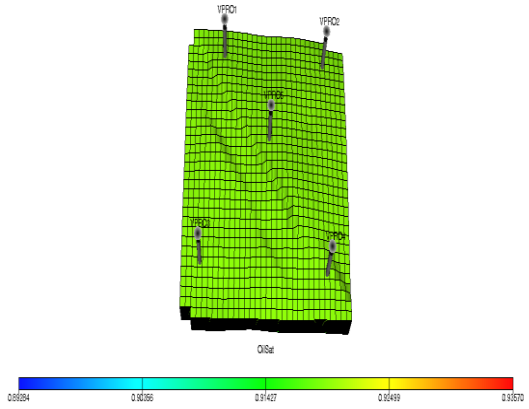
بخش	کاربرد
RUNSPEC	مشخصات عمومی و کلی مدل
GRID	هندسه گرید ها و خواص سنگ
EDIT	بهبود یا تغییر برخی داده های بخش GRID
PROPS	SCALو دادهای PVTخواص سیال
REGIONS	ناحیه بندی مخزن
SOLUTION	اولیه سازی مخزن(فشار و اشباع اولیه)
SUMMARY	درخواست نمودارهای خروجی
SCHEDULE	چاه ها و برنامه تولید و تزریق

ترتیب وارد کردن این هشت بخش مانند بخش بالا می باشد که باید حفظ شود. همچنین برای تعریف هر بخش از کلیدواژه های مختلف برای وارد کردن داده های مختلف پارامترهای مخزنی استفاده می شود. برای مثال از کلیدواژه DIMINS برای وارد کردن تعداد گرید بندی مخزن استفاده می شود.

نتایج و بحث:

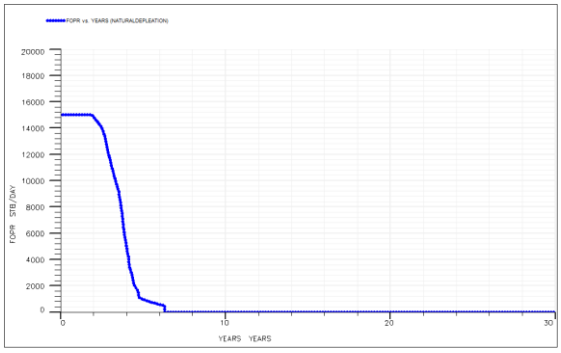
سناریوی اول- شبیه سازی تخلیه طبیعی با انرژی مخزن

تولید طبیعی مدل مخزن با پنج چاه تولیدی که بصورت الگوی پنج نقطه ای است در شماتیک زیر نشان داده شده است.



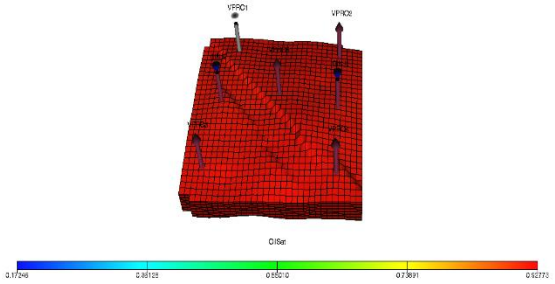
شکل ۱- موقعیت چاه های تولیدی در مدل مخزن

نرخ تولید طبیعی در شکل زیر نشان داده است. تولید در ابتدای عمر مخزن ۱۵۰۰۰ بشکه در روز است که بعد از ۶ سال ۵۷۵ بشکه در روز و بعد از ۶ سال و۴ ماه بعد نرخ تولید نفت صفر می شود. علت کاهش تولید از دست رفتن انرژی طبیعی مخزن و افت فشار مخزن می باشد.



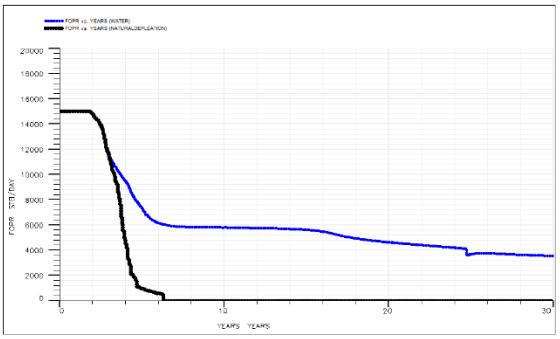
شکل ۲- نمودار نرخ تولید نفت در تولید طبیعی مخزن

به منظور افزایش تولید نفت از مخزن، دو چاه تزریق آب در مدل شبیه سازی شده است که نتایج آن به شرح زیر می باشد. تولید نفت مخزن با دو چاه تزریق آب و پنج چاه تولید نفت در شکل زیر نشان داده شده است.



شکل 3- شماتیک مخزن با ۲ چاه تزریقی و ۵چاه تولیدی

نرخ تولید نفت در سناریوی تزریق آب با رنگ آبی و در سناریوی تخلیه طبیعی با رنگ مشکی در شکل زیر نشان داده شده است. در سناریوی تخلیه طبیعی بعد از شش سال تولید نفت به دلیل افت فشار زیاد متوقف می شود. برای جلوگیری از کاهش زیاد نرخ تولید نفت از سال چهارم تزریق آب شروع شده که موجب افزایش نرخ تولید شده است و تا ۳۰ سال تولید ادامه دارد.



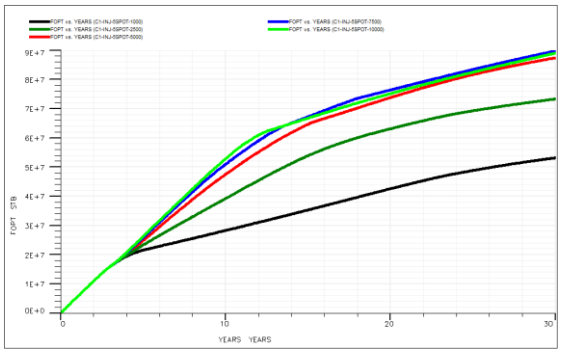
شکل 4- نرخ تولید نفت در سناریوی تزریق آب

مهشید زارع

مختلف

سناریوی دوم- شبیه سازی تزریق آب به مخزن

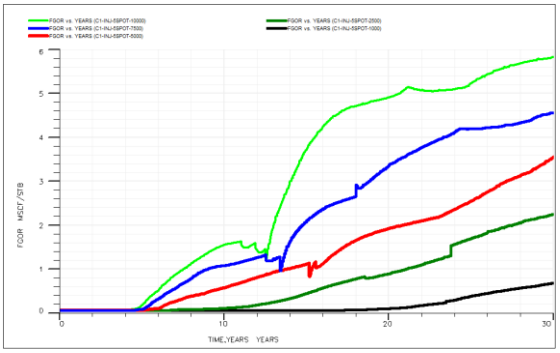
در شکل زیر تولید تجمعی نفت برای نرخ تزریق های مختلف نشان داده شده است که نرخ تزریق بالاتر از ۵۰۰۰ فوت مکعب در روز تاثیر زیادی بر روی تولید بیشتر نفت ندارد لذا دبی تزریق ۵۰۰۰فوت مکعب در روز گاز دی اکسید کربن را بعنوان نرخ تزریق مناسب انتخاب گردیده است.



شکل 5- تولید تجمعی نفت در دبی های تزریق مختلف گاز دی اکسیدکربن

همانظور که مشاهده می شود با افزایش نرخ تزریق تا ۵۰۰۰ فوت مکعب در روز ، دبی تولیدی هم افزایش یافته است. تزریق دی اکسید کربن تحت حالت غیرامتزاجی با مکانیزم هایی همچون کاهش ویسکوزیته نفت ، متورم شدن و کاهش کشش بین سطحی نفت و آب موجب افزایش بازیافت نفت می گردد که این خود به دلیل انحلال دی اکسید کربن در نفت است. انحلال دی اکسیدکربن در نفت بستگی به شرایط مخزن بخصوص دما،فشار و ترکیب نفت دارد لذا در این مخزن تا نرخ تزریق ۵۰۰۰ فوت مکعب در روز انحلال دی اکسیدکربن موثر بوده و باعث بهبود بازده تولید نفت شده است اما در نرخ تزریق بالاتر اثر چندانی ندارد و تحت شرایط کنونی مخزن اثری بر روی بازده ندارد.

نرخ تولید گاز محلول برای دبی های مختلف در شکل زیر نشان داده شده است که تزریق دی اکسیدکربن در نرخ های تزریق بالا موجب بالا رفتن خیلی زیاد نسبت گاز به نفت می گردد.

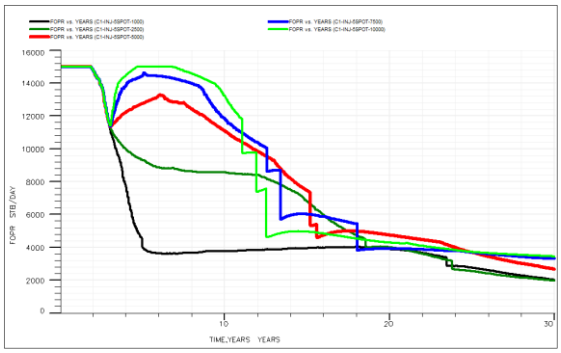


شکل 6- نسبت گاز به نفت برای دبی های تزریق مختلف دی اکسیدکربن

در تزریق دی اکسیدکربن در نرخ های خیلی بالا، بخش زیادی از گاز تزریقی با نفت محلول شده و یا آنرا جابجا می کند در حالی که بخشی از این گاز هم که قابلیت انحلال در نفت ندارد پس سیلابزنی درون مخزن از چاه های تولیدی خارج می شود و همین امر باعث افزایش نسبت گاز به نفت تولیدی می گردد.

همچنین نرخ تولید نفت برای نرخ تزریق های مختلف در شکل زیر نشان داده شده است. تزریق دی اکسید کربن در نرخ های بالا در ابتدا برای مدت زمان کوتاه باعث افزایش نرخ تولید نفت شده است اما پس از میانشکن شدن در چاه های تولیدی نرخ تولید نفت کاهش می یابد. همچنین تزریق با نرخ های بالاتر مقرون بصرفه نیست.

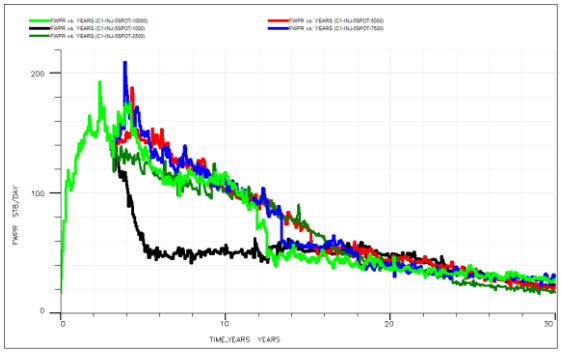
مهشید زارع



شکل 7- نرخ تولید در دبی های مختلف تزریق دی اکسیدکربن

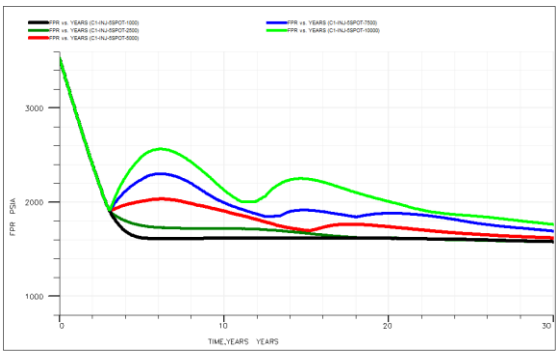
در نرخ تزریق گاز با ۵۰۰۰ فوت مکعب در روز اگر نرخ تولید در چندسال اول کمتر از نرخ تولید برای تزریق گاز ۱۰۰۰۰فوت مکعب در روز است اما در مدت زمان طولانی نرخ تزریق آن در سطح بالاتری مانده است. همچنین اگر در نرخ تزریق پایین تر، نرخ تولید نفت برای مدت زمان طولانی تری زیاد شود از نظر اقتصادی مقرون به صرفه تر است.

در شکل زیر نرخ تولید آب برای تزریق دی اکسید با دبی های مختلف نشان داده شده است که در دبی تزریق ۱۰۰۰ متر مکعب در روز کمترین برش آب تولیدی را داریم. در سناریوی تزریق دی اکسیدکربن تولید آب نیز مقداری افزایش یافته است که احتمالا به دلیل جابجایی آب درون مخزن توسط سیلابزنی گاز می باشد.



شکل 8- نمودار برش آب تولیدی در دبی های تزریق مختلف

فشار متوسط مخزن نیز افزایش یافته است و تزریق گاز منجر به حفظ فشار مخزن شده اشت.



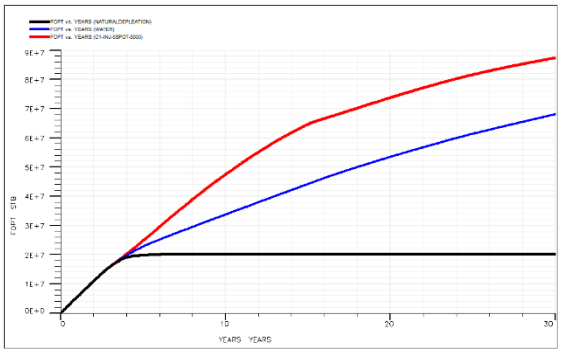
شکل 9- نمودار فشار متوسط مخزن در دبی های تزریق مختلف

افزایش دبی تزریق دی اکسید کربن منجر به افزایش فشار متوسط مخزن شده است در دبی های تزریق بالا فشار متوسط مخزن بیشتر است اگر چه افزایش فشار در مقایسه با نرخ تولید برای یک دبی مشخص باید بهینه در نظر گرفته شود.

مقایسه سناریوی تخلیه طبیعی، تزریق آب و تزریق دی اکسید کربن

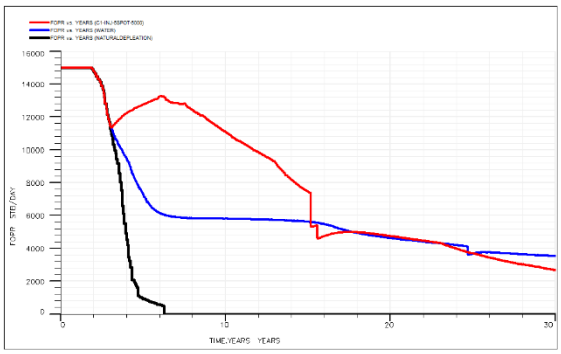
در نمودار شکل زیر تولید تجمعی نفت برای هر سه سناریوی نشان داده شده است. رنگ مشکی برای تخلیه طبیعی مخزن، رنگ آبی برای تزریق آب و رنگ قرمز برای تزریق گاز دی اکسیدکربن می باشد. همانظور که مشاهده می شود تزریق گاز دی اکسیدکربن با نرخ ۵۰۰۰ فوت مکعب در روز منجر به تولید نفت بیشتری می شود. افزایش تولید تجمعی نفت در اثر تزریق گاز به دلیل کاهش ویسکوزیته نفت، متورم شدن نفت و کاهش کشش بین سطحی که موجب کاهش اشباع نفت باقیمانده میشود تولید نفت افزایش یافته است.

تغییرات فشار متوسط مخزن طی تزریق دی اکسید کربن در شکل زیر نشان داده شده است. با افزایش نرخ تزریق گاز دی اکسید کربن،



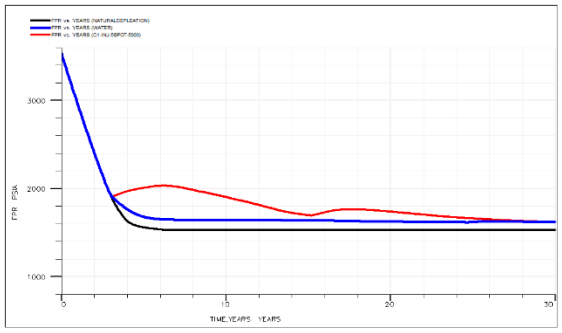
شکل ۱۰- تولید تجمعی نفت برای تخلیه طبیعی، تزریق آب و گاز

نمودار نرخ تولید نفت برای هر سه سناریو در شکل زیر نشان داده شده است. در سناریوی تزریق گاز نرخ تولید نفت بیشتر از سناریوهای دیگر است. زیرا تزریق گاز دی اکسیدکربن موجب کاهش اشباع نفت باقیمانده می شود.



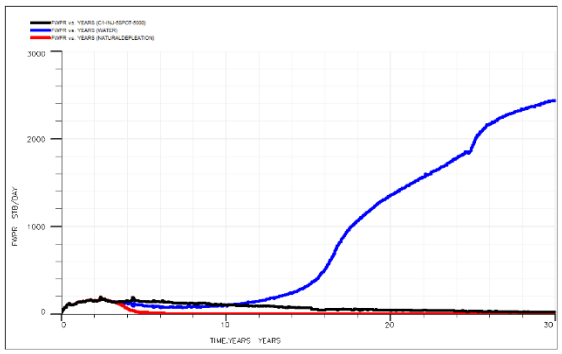
شکل ۱۱- نرخ تولید نفت برای تخلیه طبیعی، تزریق آب و گاز

در نمودار شکل زیر روند تغییر فشار مخزن طی این سه سناریو نشان داده شده است. در سناریوی تزریق گاز فشار متوسط مخزن نسبت به سناریوهای دیگر بیشتر است. تزریق گاز به دلیل انحلال در نفت و متورم کردن آن افزایش فشار بیشتری را ایجاد می کند.



شکل ۱۲- فشار متوسط مخزن برای تخلیه طبیعی، تزریق آب و گاز

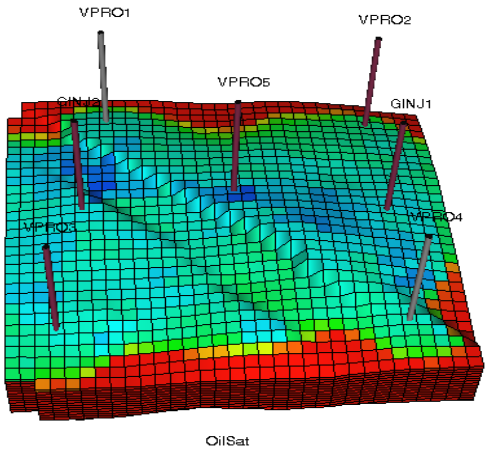
نرخ تولید آب در هر سه سناریوی تخلیه طبیعی، تزریق آب و تزریق گاز در شکل زیر نشان داده شده است. در سناریوی تزریق آب تولید آب خیلی بیشتر از سناریوهای دیگر است که به دلیل میانشکن شدن آب در چاه های تولید می باشد. تولید زیاد آب در چاه های تولیدی یک چالش می باشد.



شکل ۱۳- نمودار برش آب تولید *برای تخلیه طبیعی، تزریق آب و گاز*

در شکل زیر شماتیک تغییرات اشباع نفت برای تزریق دی اکسید کربن نشان داده شده است. مشاهده می شود که در این شماتیک اشباع نفت در گریدها به شدت کاهش یافته است. رنگ قرمز نشان دهنده اشباع نفت است که با افزایش تولید کاهش اشباع نفت به طرف رنگ آبی که اشباع نفت کمتر و افزایش اشباع آب است تغییر رنگ می دهد.

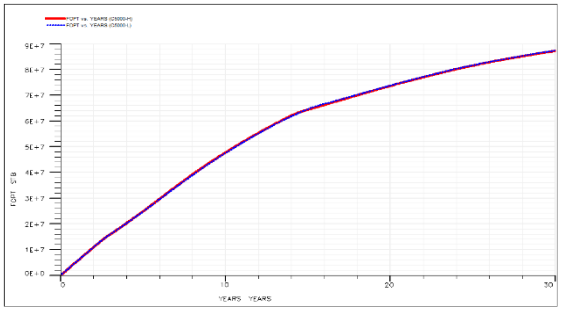
تزریق گاز دی اکسیدکربن با مکانیزم های کاهش ویسکوزیته، متورم شدن نفت و کاهش کشش بین سطحی موجب کاهش اشباع نفت باقیمانده و در نتیجه افزایش بازیافت نفت می شود.



شکل ۱۴ – شماتیک تغییر اشباع نفت در گرید بندی مدل مخزن

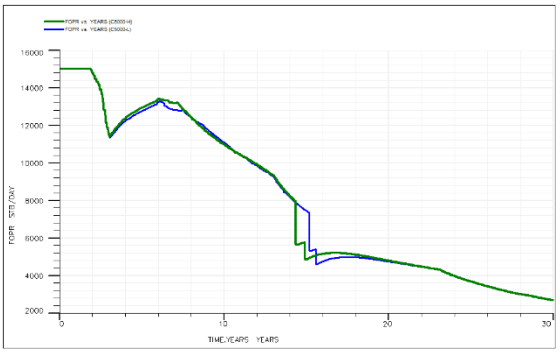
سناریوی چهارم: تزریق دی اکسید کربن در لایه های بالایی و پایینی

در این سناریو تزریق دی اکسید کربن در لایه های مختلف انجام میگردد. محل تزریق دی اکسیدکربن در سکتور مدل تغییر میابد تا تاثیر آن بروری بازیافت نفت مشاهده گردد. نمودار تولید تجمعی در شکل زیر مشاهده میشود.



شکل ۱۵ – تولید تجمعی نفت برای تزریق در لایه بالایی و پایینی

همانطور که مشاهده می شود تزریق در لایه بالایی و یا پایینی مدل مخزن تغییر زیادی در تولید تجمعی ندارد که می تواند به دلیل کوچک بودن حجم مدل باشد. نرخ تولید نفت برای هر دو حالت نیز همین امر را نشان می دهد.



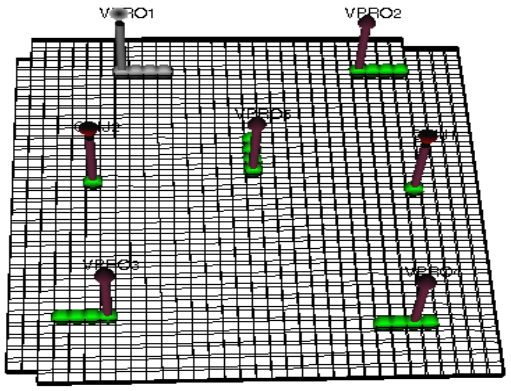
شکل ۱۶ – نرخ تولید نفت برای تزریق در لایه بالایی و لایه پایینی

در لایه های باریک مثل این مدل مخزن، تزریق در لایه بالایی یا پایینی تاثیر زیادی در تولید ندارد. اما در لایه های مخزنی با ضخامت زیاد تزریق دی اکسید کربن به دلیل میل آن به حرکت به سمت بالا (ویسکوزیته و دانسیته کمتر نسبت به آب و نفت) موجب بجاجایی نفت و تولید بیشتر می گردد.

سناریوی پنجم: چاه تولیدی افقی

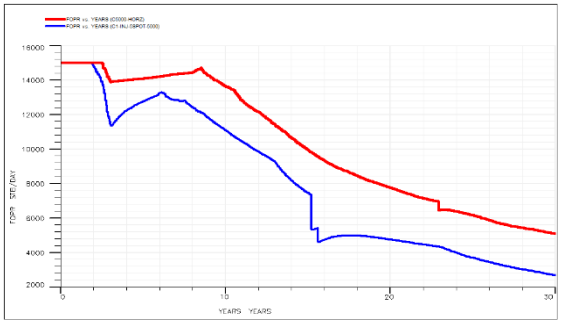
در این سناریو چاه تولید بصورت افقی با طول ۱۴۰۰ متر حفاری شده است. شماتیک پنج چاه های افقی تولیدی در شکل زیر نشان داده شداست. دو چاه تزریق عمودی نیز برای تزریق دی اکسید کربن در مدل وجود دارد.

هدف از حفاری چاه های افقی در مخزن، افزایش سطح تماس چاه با مخزن و بهبود بازده بهره دهی چاه می باشد.



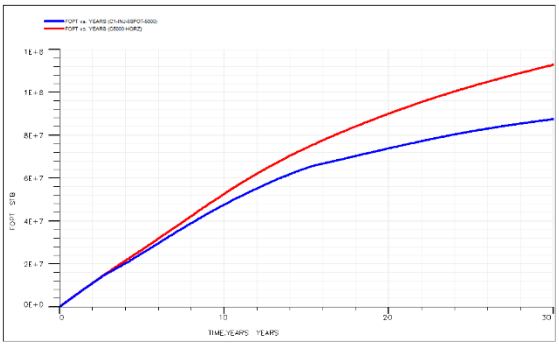
شکل ۱۷- شماتیک چاه های افقی در مدل مخزن

نرخ تولید نفت برای تزریق ۵۰۰۰ مترمکعب دی اکسیدکربن در روز برای حالت چاه تولیدی عمودی و افقی در شکل زیر نشان داده شده است. در حالتی که چاه های تولیدی افقی باشد سطح تماس چاه با مخزن بیشتر شده و ناحیه ریزش بیشتری برای چاه وجود دارد و در نتیجه افزایش تولید نفت را داریم.



شکل ۱۸-نرخ تولید نفت با چاه افقی و عمودی

تولید تجمعی برای هر دو حالت چاه تولید افقی و عمودی در نمودار زیر نشان داده شده است که تولید تجمعی از ۸۷۳۸۶۰۰۰بشکه در حالت چاه عمودی به ۱۱۲۷۴۰۰۰۰ بشکه در حات افقی رسیده است که حدود ۲۵۳۵۴۰۰۰بشکه نفت تولیدی بیشتر شده است.

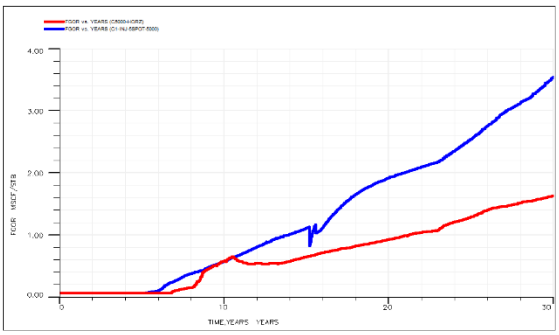


شکل ۱۹- تولید تجمعی نفت با چاه افقی و عمودی

چاه افقی با افزایش سطح تماس چاه و مخزن و همچنین بهبوده بهره دهی چاه باعث افزایش تولید نفت از مخزن گردیده است. در چاه های افقی تولید بخش بیشتری از چاه مشبک کاری می شود و جریان بیشتری به چاه وجود دارد که در نتیجه تولید افزایش می یابد.

نسبت گاز به نفت تولیدی برای تولید با چاه افقی و عمودی نشان داده شده است. در چاه تولیدی افقی نسبت گاز به نفت کاهش می یابد.

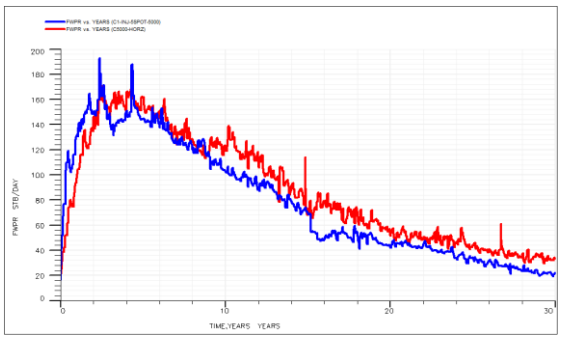
در حالت چاه های افقی به دلیل اینکه گاز با دانسیته پایین به سمت بالا حرکت می کند مقدار کمتری گاز به درون چاه افقی راه پیدا می کند نرخ تولید گاز نسبت به نفت در این چاه ها کمتر می باشد.



شکل ۲۰- نسبت گاز به نفت برای تولید با چاه افقی و عمودی

نمودار نرخ تولید آب برای هر دو حالت در شکل زیر نشان داده شده است که تقریبا شبیه به هم است. افقی یا عمودی بودن چاه تاثیر زیادی

بر روی تولید آب ندارد. زیرا تولید آب بیشتر به میانشکن شدن آب تزریق و یا ارتباط آبده با چاه تولیدی مربوط می شود.



شکل ۲۱- نمودار برش آب در تولید با چاه افقی و عمودی

نتیجه‌گیری

نتایج این تحقیق به شرح زیر می باشد:

۱- نتایج بررسی به روش لوله قلمی نشان دهنده غیرامتزاجی بودن تزریق دی اکسیدکربن می باشد. حداقل فشار امتزاجی محاسبه شده ۲۷۰۰ پام و فشار متوسط مخزن ۱۵۰۰ پام می باشد که در این شرایط تزریق به صورت غیرامتزاجی خواهد بود.

۲- معادله حالت پینگ رابینسون سه پارامتری برای رگرسیون مدل سیال مخزن انجام شده است و پس از تنظیم پارامترهای معادله حالت، مدل سیال مخزن برای شبیه سازی ترکیبی ایکلیپس۳۰۰ خروجی گرفته شده است.

۳- تزریق آب و گاز دی اکسید کربن هر دو باعث افزایش تولید می گردد. همچنین تزریق دی اکسید کربن بصورت پیوسته و سیکلی منجر به بهبود بازیافت نفت از مخزن می گردد.

۴- تزریق دی اکسیدکربن با نرخ های مختلف شبیه سازی گردید که تولید تجمعی نفت برای نرخ تزریق های مختلف نشان داده شده است که نرخ تزریق بالاتر از ۵۰۰۰ فوت مکعب در روز تاثیر زیادی بر روی تولید بیشتر نفت ندارد لذا دبی تزریق ۵۰۰۰فوت مکعب در روز گاز دی اکسید کربن را بعنوان نرخ تزریق مناسب انتخاب گردیده است.

۵- در تزریق سیکلی با افزایش مدت زمان سیکل های تزریق، با کاهش حجم گاز مورد نیاز برای تزریق، نرخ تولید نفت نیز کاهش یافت است. تولید نفت در تزریق پیوسته با نزخ ۵۰۰۰ متر مکعب در روز بیشتر از تزریقی سیکلی می باشد.

۶- تغییر محل تکمیل چاه های تزریقی و محل چاه تزریقی تاثیر زیادی بر روی تولید ندارد که می تواند به دلیل کوچک بودن سکتور مدل و یا همچنین عدم تاثیر این پارامترها بر تولید باشد.

۷- تزریق با چهار چاه و دو چاه تزریقی انجام گرفت که افزایش چاه تزریقی، تاثیر چشمگیری بر روی تولید نداشت لذا افزایش چاه های تزریقی مقرون به صرفه نیست.

۸- ضریب بازیافت نفت در حالت تخلیه طبیعی ۳,۷ درصد است که با توجه به سنگین بودن نفت مخزن، افزایش ضریب بازیافت چند درصدی نیز صرفه اقتصادی بالایی دارد که در تزریق آب موجب افزایش ۳ درصدی ضریب بازیافت شده و تزریق دی اکسیدکربن ۷ درصد ضریب بازیافت نفت نسبت به تولید طبیعی را افزایش داده است که ضریب بازیافت نهایی به ۱۰,۷۷ درصد رسیده است.

مشارکت نویسندگان

طراحی و ایده پردازی، روش شناسی و تحلیل داده ها: و نگارش نهایی: مهشید زارع

تعارض منافع

بنابر اظهار نویسندگان مقاله حاضر فاقد هرگونه تعارض منافع بوده است.

ملاحظات اخلاقی

پیروی از اصول اخلاق پژوهش

در مطالعه حاضر، فرم‌های رضایت نامه آگاهانه توسط تمامی آزمودنی‌ها تکمیل شد.

تشکر و قدردانی

نویسنده از معاونت پژوهشی دانشگاه مرودشت به خاطر حمایت در انجام کار تحقیقاتی حاضر تشکر و قدردانی می کند.

مهشید زارع

References

[۱] Kharat, S.M., Clarkson, C.R., and Chen, Y. Optimization of WAG Process for Coupled CO2 EOR-Storage in Tight Oil Formations: An Experimental Design Approach. Paper SPE 161884, presented at the SPE Canadian Unconventional Resources Conference, Calgary, AB, October 30–November 1, 2009

[۲] Whitson C. and Brule M.: "Phase Behavior", SPE Monograph Volume 20, Henry L Doherty Series, Richardson, Texas (2000), Chapter 8 and 9.

[3]Chan,K.S.,"Water Control Diagnostic Plots",paper SPE 30775,presented at the SPE Annual Technical Conference and Exhibition, Dallas, Oct. 22-25, ۲۰۱۸, pages 755-763.

[4]Aminian, K.,"Water Production Problems and Solutions-Part 1", Petroleum & Natural Gas Engineering Department, West Virginia Department, 20۱