Archive of SID

مقایسه تاثیر تزریق گاز امتزاجی و غیر امتزاجی بر عملکرد یکی از مخازن نفت سنگین ایران

حیدر پیرمرادی[۱]، سعید جمشیدی[۲]، حجت نوروزی[۳]
دانشگاه علوم و تحقیقات تهران
h.pirmoradi2@gmail.com

چکیده

نفت های سنگین بخشی از منابع قابل توجه نفتی به شمار می‌آیند که بدلیل مشکلات استخراج ناشی از بالا بودن گرانروی، هنوز تا حدود زیادی دست نخورده باقی مانده اند، از آنجا که مقدار نفت سنگین در جهان قابل توجه می‌باشد، پژوهشگران زیادی برای پیدا کردن روش هایی برای تولید هرچه بیشتر از این مخازن به تحقیق پرداخته اند. مهمترین هدف مدیریت مخزن بهینه سازی بازیافت نفت و صیانت از مخزن می‌باشد، بدین منظور مطالعه و توسعه روش های ازدیاد برداشت ضروری می‌باشد، روش های مختلفی به منظور افزایش ضریب بازیافت از مخزن و بهبود تولید به کار می‌رود، و در این میان تزریق گاز CO_2 یکی از روش های بسیار مناسب بدلیل خواص گاز تزریقی از جمله فشار امتزاج پذیری پایین می‌باشد، لذا شناخت پارامترهای موثر برای داشتن بهینه ترین حالت تزریق که شامل: فشار تزریق، دبی تزریق، مدت زمان تزریق و ترکیب گاز تزریقی ضروری است، در این کار پژوهشی، تزریق غیر امتزاجی به منظور تثبیت فشار مخزن و افزایش تاثیر مکانیسم ریزش ثقلی و همچنین تزریق امتزاجی برای کاهش گرانروی نفت مخزن و همچنین جلوگیری از افت فشار مخزن انجام شده است و در نهایت نتایج حاصله از شبیه سازی و پارامتر های تولید در دو حالت تزریق امتزاجی و غیر امتزاجی مقایسه گردیده است. که تزریق امتزاجی گاز برای بازیافت بیشتر از مخازن ایران توصیه می‌شود.

واژه های کلیدی: شبیه سازی، نفت سنگین، تزریق امتزاجی و غیر امتزاجی، بازیافت نفت، ازدیاد برداشت

---

[۱] - دانشجوی کارشناسی ارشد مهندسی نفت- دانشگاه علوم و تحقیقات تهران

[۲] - دکترای مهندسی نفت- استادیار دانشگاه صنعتی شریف

[۳] - دکترای مهندسی نفت - مدیریت پژوهش در شرکت مهندسی و توسعه نفت

www.SID.ir

Archive of SID

۱-مقدمه

با توجه میزان قابل توجه ای از منابع نفت سنگین در کشور ما موجود است و مخازن نفتی آن در نیمه دوم عمر تولیدی خود قرار دارند، و با توجه به اینکه از روش ها و تکنیک های نوین ازدیاد برداشت بهره نمی‌بریم، حجم قابل توجه ای از نفت درجای اولیه در مخزن باقی می‌ماند، لذا استفاده از روش های نوین ازدیاد برداشت ضروری بنظر می‌رسدو تزریق امتزاجی گاز می‌تواند میزان استحصال از مخزن را به میزان قابل ملاحظه ای افزایش دهد، همچنین شناخت پارامتر های موثر برای اعمال شرایط بهینه تزریق از جمله فشار تزریق، دبی تزریق، مدت زمان تزریق و ترکیب گاز تزریقی ضروری است.

مخازن نفت سنگین و فوق سنگین به خاطر داشتن ویسکوزیته بالا و درجه API پایین بازیافت طبیعی از آن ها با مشکلات زیادی روبروست، این گونه مخازن یا از ابتدا دارای نفتی با چنین خصوصیات است یا اینکه بخاطر تولید و قرار گرفتن در نیمه دوم عمر تولیدی خود دارای چنین نفتی خواهند شد. [۱]

به طور کلی با بهره برداری و تولید، فشار مخزن کاهش یافته و این امر منجر به گازی شدن مخزن و کاهش تولید می‌شود، با توجه به نقش نفت و فراورده های نفتی در بازار جهانی و دنیای اقتصاد اتخاذ تدابیری مناسب و استفاده از روش های ازدیاد برداشت بهینه برای بهبود بازدهی و افزایش تولید ضروری است و همچنین به دلیل افت فشار در مخازن ایران، استفاده از روش های ازدیاد برداشت مناسب برای تثبیت و افزایش فشار بیش از پیش احساس می‌شود.[۲، ۳، ۴ ، ۵]

در این کار پژوهشی ابتدا تزریق غیر امتزاجی در مدل Black oil مخزن مورد مطالعه به منظور جلوگیری از افت سریع فشار مخزن، افزایش میزان بازدهی جاروب وافزایش بازیافت نهایی از مخزن انجام شده است و سپس مدل به مدل Compositional تبدیل گردیده و تزریق امتزاجی گاز دی اکسید کربن به منظور کاهش ویسکوزیته نفت مخزن و جلوگیری از افت فشار مخزن انجام شده است و نتایج حاصله مقایسه شده است.

۲-تئوری

برداشت نفت از مخازن شکافدار طبیعی توسط اثر متقابل سیال موجود در شکاف و نفت شبکه حاصل می‌شود، سیال موجود در شکاف به عنوان نیروی جاروب کننده نفت شبکه به خارج، توسط نیروی جابجایی ویسکوز، انتقال جرم یا جابجایی موئینگی عمل می‌کند. نوع جابجایی توسط خواص شبکه سنگ و سیالات آن مشخص می‌گردد، اگر شبکه آب دوست و به اندازه کافی آب در شکاف موجود باشد، مکانیسم غالب نفت، آشام موئینگی خواهد بود، البته بسته به اندازه شبکه، ترشوندگی و جهت گیری شکاف ممکن است، ریزش ثقلی هم مکانیسم غالب گردد. در صورتیکه شرایط امتزاج پذیری حاکم باشد، انتقال جرم بین سیال موجود در شکاف و نفت درون شبکه می‌تواند انجام گیرد.[۶]

روش هایی که در بازیافت از این مخازن نفتی کارایی لازم را دارند و در اکثر کشورهای تولید کننده نفت مورد استفاده قرار می‌گیرند، شامل روش های حرارتی، تزریق حلال، تزریق مواد شیمیایی، تزریق امتزاجی گازهای هیدروکربنی یا غیر هیدروکربنی از جمله دی اکسید کربن است. هرکدام از روش های مذکور، بسته به مکانیزم اثر گذاریشان در مخزن کارائی خود را دارند، در استفاده از روش های حرارتی کاهش ویسکوزیته نفت باعث سبکتر شدن نفت و افزایش بازیافت آن می‌شود.[۱]

در روش تزریق حلال، یک محلول با ترکیب شیمیایی نزدیک به مشتقات نفتی به مخزن تزریق می‌گردد، که باعث سبکتر شدن نفت و افزایش بازیافت می‌شود، با تزریق مواد شیمیایی مانند پلیمر و سورفکتانت نیز می‌توان تولید نفت از مخازن سنگین را بهبود بخشید، مکانیزم اثر گذار در تزریق پلیمر افزایش ویسکوزیته آب و در تزریق سورفکتانت تغییر کشش سطحی است. تزریق گازهایی که توانایی امتزاج به نفت مخزن را دارند، باعث سبکتر شدن نفت شده و دی اکسید کربن نیز از این لحاظ می‌تواند گزینه ی قابل ملاحظه ای برای این منظور باشد.[۷]

www.SID.ir

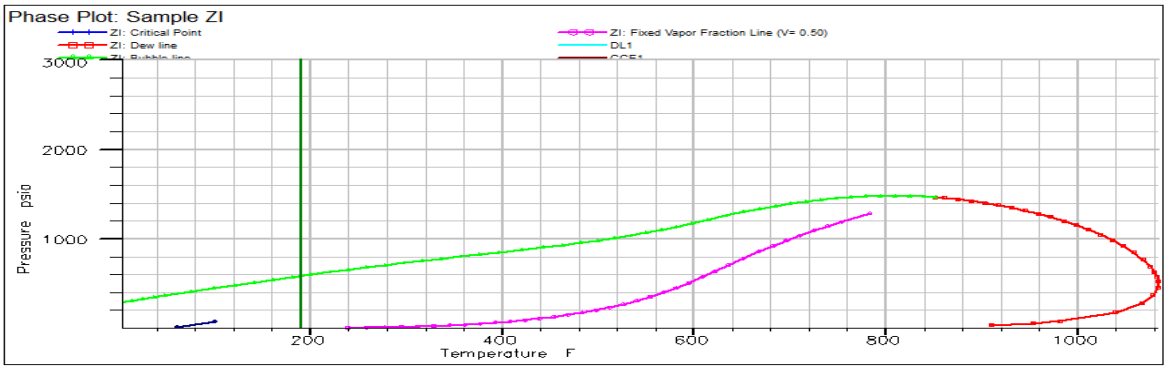
Archive of SID

۳-مشخصات مدل مخزن مورد مطالعه

نمونه سیال مخزن نشاندهنده، سنگین بودن نفت مخزن مورد مطالعه است و برای شبیه سازی این مدل از نرم افزار ترکیبی PVTi و Eclipse100 و Eclipse300 (ECLIPSE Simulation Software Launche 2005a) استفاده شده است. ابتدا سیال مخزن مورد مطالعه با استفاده از نرم افزار PVTi برای حالت مختلف دما و فشاری شبیه سازی گردید، و با استفاده از معادله حالت پنگ-رابینسون سه پارامتری و بعد از طی کردن پروسه ی تطابق خواص سیال مخزن با داده های آزمایشگاهی (انبساط آنی و انبساط جرم ثابت)، در نهایت برای استفاده در مدل دینامیک از نرم افزار خروجی گرفته شد(شکل۱: نمودار فازی بعد از تطابق). همچنین خواص سنگ مخزن شامل تراوایی، تخلخل، NTG و اشباع سیالات که از مطالعات زمین شناسی بدست می‌آید، وارد نرم افزار گردید، همچنین از داده های مهم دیگر، داده های تراوایی نسبی و فشار موئینه می‌باشد که از ارزیابی پتروفیزیکی حاصل می‌شود و در جدول (۱) خصوصیات سنگ وسیال مورد استفاده در مدل استاتیک مخزن به صورت خلاصه آورده شده است.

جدول۱: برخی از خصوصی‌ات مدل استاتی‌ک مخزن مورد مطالعه

۳۷۶۸۰	تعداد سلول ها	شکافدار	نوع محی‌ط متخلخل
۱۵۷	تعداد گری‌د بلوک در جهت X	۸۲۰	طول متوسط بلوک ها در جهت X ، فوت
۴۰	تعداد گری‌د بلوک در جهت Y	۸۲۰	طول متوسط بلوک ها در جهت Y ، فوت
۷	تعداد گری‌د بلوک در جهت Z	۱۹۲	طول متوسط بلوک ها در جهت Z ، فوت
کاظمی	مدل مخزن مورد استفاده در شبی‌ه ساز	۷	تعداد لای‌ه های نفت
۵۹۲	Bobble point pressure,psi	۲۶	API
۵۷۴	Total thickness,ft	۱/۱۵	FVF ,Rbbl/STB oil
۵/۲	Oil Viscosity, cp	۱/۰۱	Water FVF, Rbbl/STB
۰/۰۱۲	Gas Viscosity ,cp	۲۱۵	GOR, Scf/STB
۰/۷	Water Viscosity ,cp	۴/۵	Rock Compressibility, $\times 10^{-6}$,1/psi
۰/۳۰	Residual Oil Saturation,%	۳/۳	Water Compressibility, $\times 10^{-6}$,1/psi
۰/۲۸	Connate Water Saturation,%	۵۵/۹۵	Oil density, lbm/ft3
۱۲۰۰۵	WOC ,ftss	۱۰۹۹۱	Datum depth ,ftss
۱۹۰	Reservoir Temperature , F	۵۹۲۰	Average Reservoir Pressure @datum depth ,psi
۰/۰۷۸	Gas density, lbm/ft3	۱۰۵۶۷	Reservoir Top Depth , ftss



نمودار۱- رفتار فازی سی‌ال مخزن بعد از رگرسی‌ون

www.SID.ir

Archive of SID

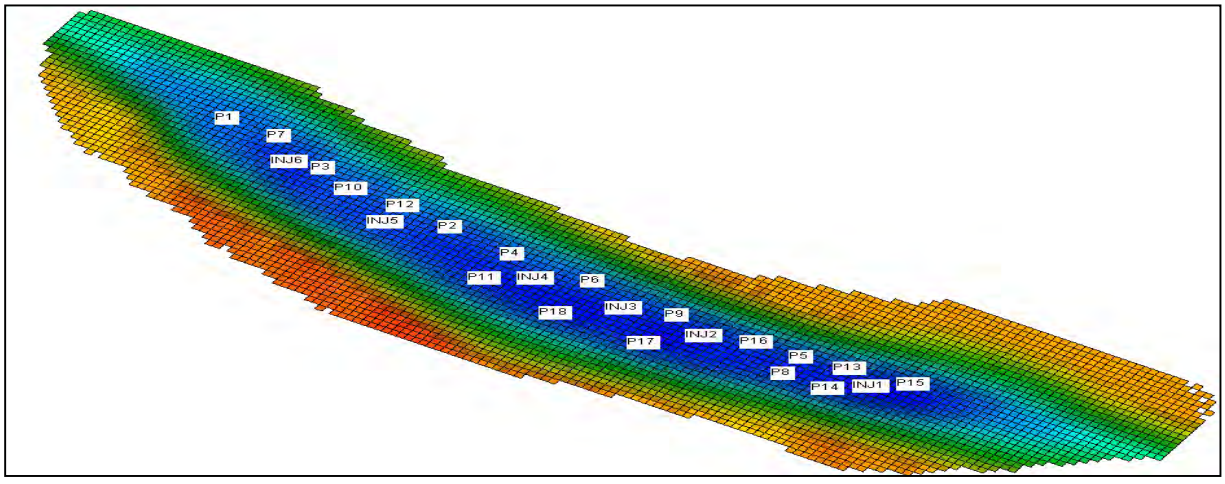
٤-نتایج تزریق غیر امتزاجی گاز درمدل مخزن مورد مطالعه

جهت پیاده سازی عملیات تزریق گاز با توجه کم بودن زاویه شیب مخزن و به دلیل عدم وجود پوش گاز اولیه (مخزن تحت اشباع)، پس از حساسیت سنجی با توجه به شکل هندسی مخزن و فاصله تا چاههای تولیدی تعداد ۶ حلقه چاه تزریقی بر روی مخزن مورد نظر تعریف شد. طرز قرارگیری برخی از چاهها با استفاده از الگوی معکوس پنج نقطه ای (Inverted Five Spot Pattern) می‌باشد. بازه تکمیل چاههای تزریقی در لایه اول و بازه تکمیل چاههای تولیدی در لایه سوم قرار داده شده است. شکل ۱ شمای موقعیت قرارگیری چاهها را نشان می‌دهد. بهینه محدودیت های اعمال شده بر پارامترهای تولید و تزریق پس از انجام حساسیت سنجی در عملیات تزریق غیر امتزاجی در جدول (۲) آورده شده است.

تزریق گاز با هدف ثابت نگه داشتن فشار مخزن، افزایش میزان بازدهی جاروب، افزایش بازیافت نهایی و جلوگیری از سوخته شدن گازهای همراه و آلودگی زیست محیطی انجام شده است. به دلیل شکافدار بودن مخزن، تزریق غیر امتزاجی گاز منجر به رسوخ (Break through) سریع گازهای تزریقی در چاههای تولیدی شده و این امر موجب بسته شدن چاه‌ها و کاهش میزان تولید می‌شود. همچنین پروژه تزریق گاز همراه با آغاز تولید از مخزن صورت پذیرفته است. حداکثر ظرفیت تزریق کلی گاز یازده میلیون فوت مکعب در روز بوده و حداکثر فشار ته چاه برای چاه‌های تزریقی ۶۰۰۰psi قرار داده شده است شکل‌های۲ ، ۳ و۴ به ترتیب نشان دهنده میزان بازیافت نفت، افت فشار مخزن و دبی نفت تولیدی در دو حالت تخلیه طبیعی مخزن و در حالت تزریق گاز می‌باشد.

جدول ۲: محدودیت‌های اعمال شده بر عملکرد چاه‌های تولیدی و تزریقی.

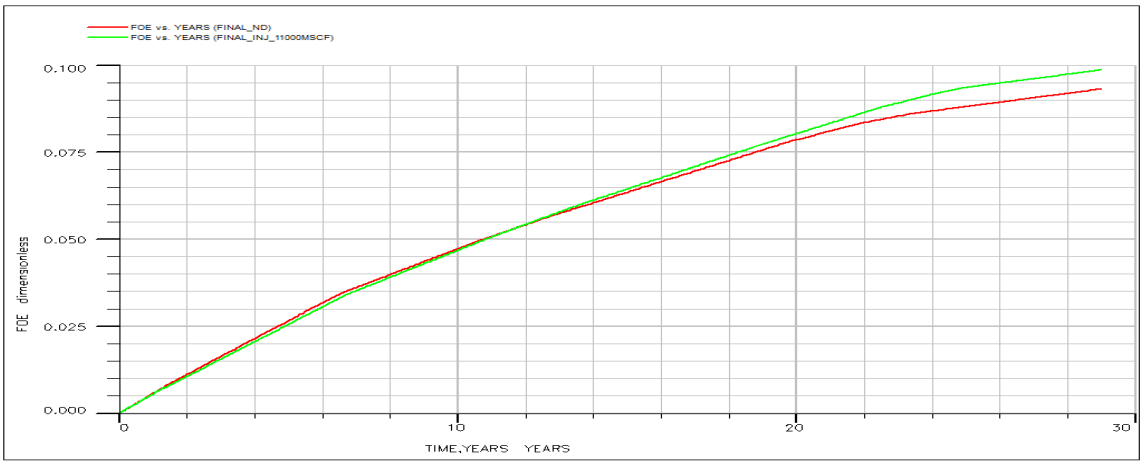
حداکثر فشار ته چاه تزریقی(Psia)	حداقل فشار ته چاه تولیدی (Psia)	حداکثر میزان GOR (MSCF/STB)	حداکثر برش آب (STBW/STBO)	حداقل دبی نفت تولیدی(STB/Day)
۶۰۰۰	۵۰۰	۲	۰/۲	۲۰۰



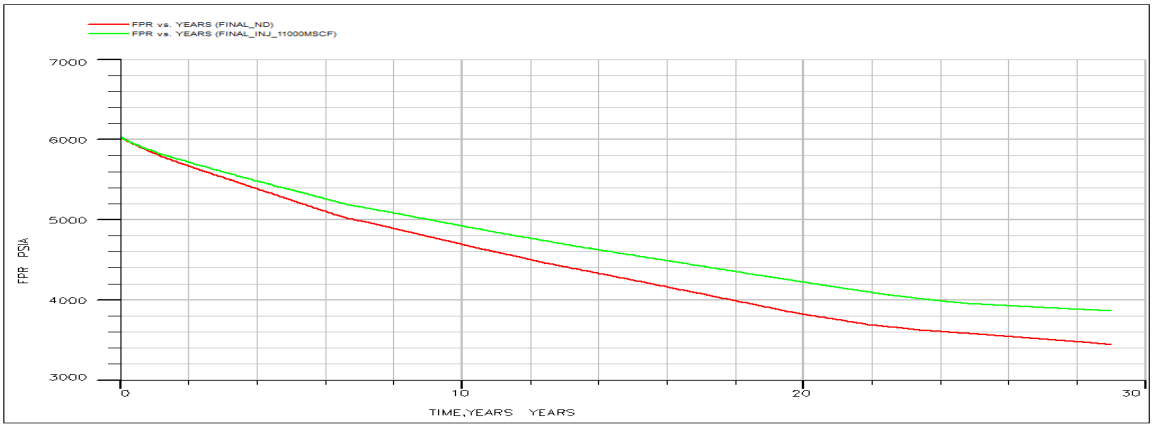
شکل ۱: نحوه ی قرار گیری چاههای تزریقی و تولیدی.

www.SID.ir

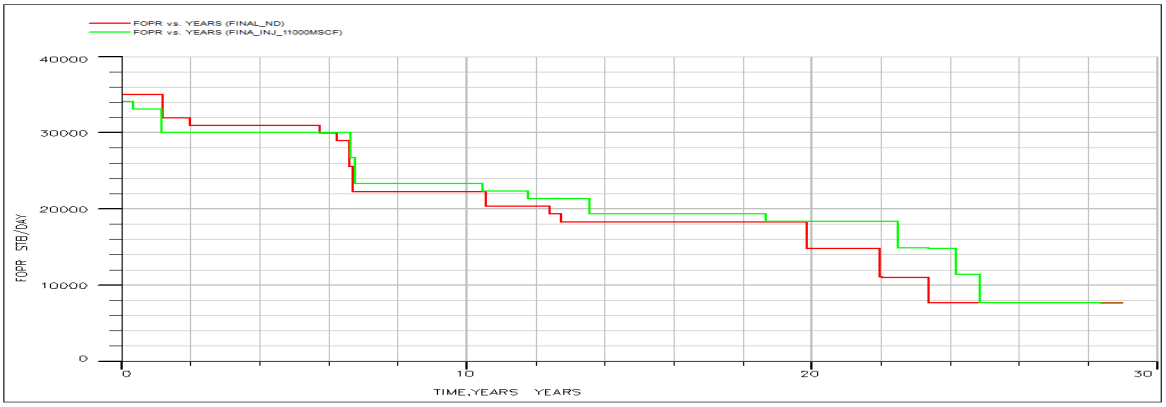
Archive of SID



شکل ۲: تاثیر تزریق غیر امتزاجی و تخلیه طبیعی مخزن بر میزان بازیافت نفت



شکل ۳: تاثیر تزریق غیر امتزاجی و تخلیه طبیعی مخزن بر میزان افت فشار مخزن



شکل ۴: تاثیر تزریق غیر امتزاجی و تخلیه طبیعی مخزن بر دبی نفت تولیدی

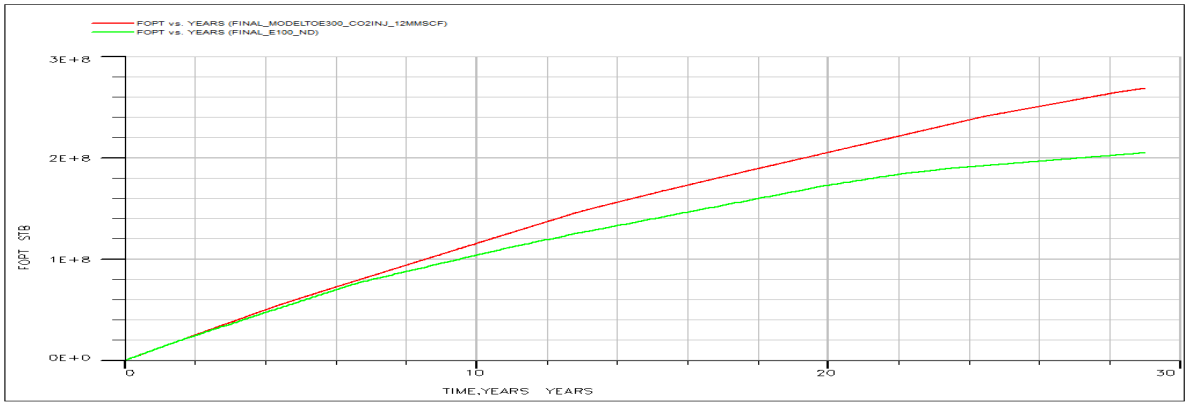
www.SID.ir

Archive of SID

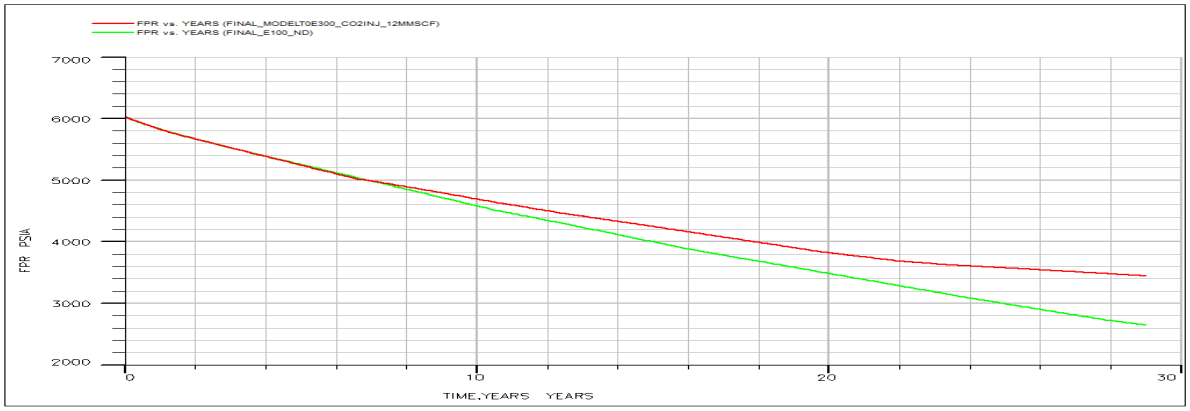
٤-١-نتایج تزریق امتزاجی گاز در مدل مخزن مورد مطالعه

در این قسمت برای اجرای سناریو تزریق امتزاجی ابتدا مدل Black oil به مدل Compositional تبدیل شد و سپس با توجه به شکل هندسی مخزن و فاصله تا چاه تولیدی تعداد ۶ حلقه چاه تزریقی بر روی مخزن مورد نظر تعریف شد. طرز قرار گیری برخی از چاه ها با استفاده از الگوی معکوس پنج نقطه ای و بازه تکمیل چاه ها ی تزریق در لایه اول قرار داده شده است. با توجه به سنگین بودن نفت مخزن مورد مطالعه تزریق امتزاجی گاز CO_2 برای جلوگیری از افت فشار مخزن و جلوگیری از ورود آب به مخزن و همچنین کاهش ویسکوزیته نفت مخزن انجام شد. لازم به ذکراست، حداقل فشار امتزاجی گاز CO_2 از تست Slim Tube، ۲۸۵۰ psi بدست آمد، که با توجه به اینکه فشار اولیه مخزن ۵۹۲۰psi می‌باشد و همچنین نمودار کشش سطحی بین دو فاز نشاندهنده امتزاج پذیری تزریق گاز CO_2 می‌باشد.

حداکثر ظرفیت تزریق کلی یازده میلیون فوت مکعب در روز بوده و حداکثر فشار ته چاه برای چاه های تزریقی ۶۰۰۰psi قرار داده شده است. تزریق امتزاجی گاز CO_2 منجر به افزایش ضریب بازیافت نفت به اندازه ۳/۱ ٪ (۷۰ MMSTB) با مدت زمان یکسان تخلیه نسبت به حالت تخلیه طبیعی مخزن در مدل Black oil شده است. شکل های ۵، ۶، ۷ و۸ به ترتیب میزان تاثیر تزریق امتزاجی CO_2 بر تولید تجمعی، افت فشار، دبی نفت تولیدی و نسبت آب تولیدی نسبت به تخلیه طبیعی در مدل Black oil را نشان می‌دهد.



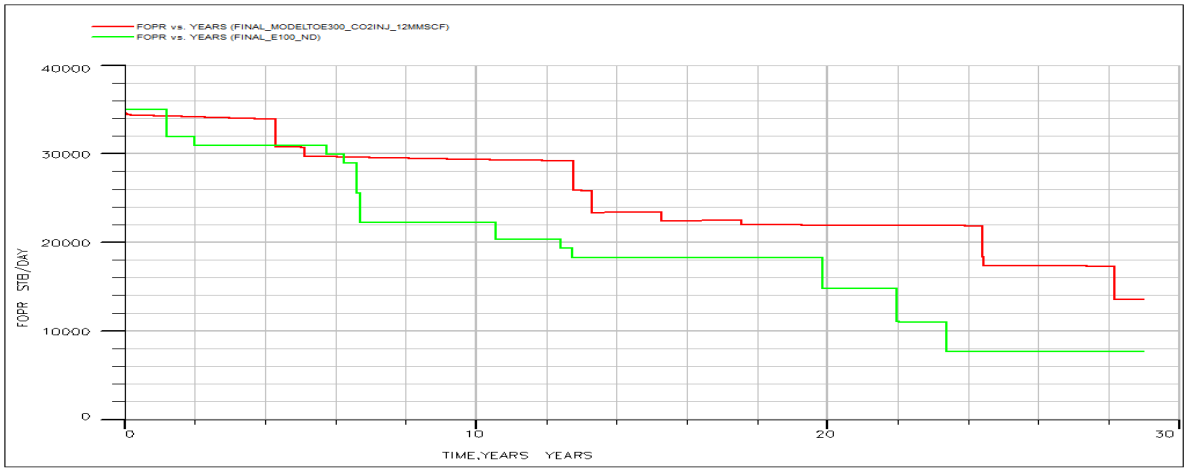
شکل ۵: تاثیر تزریق امتزاجیCO_2 و تخلیه طبیعی بر تولید تجمعی نفت



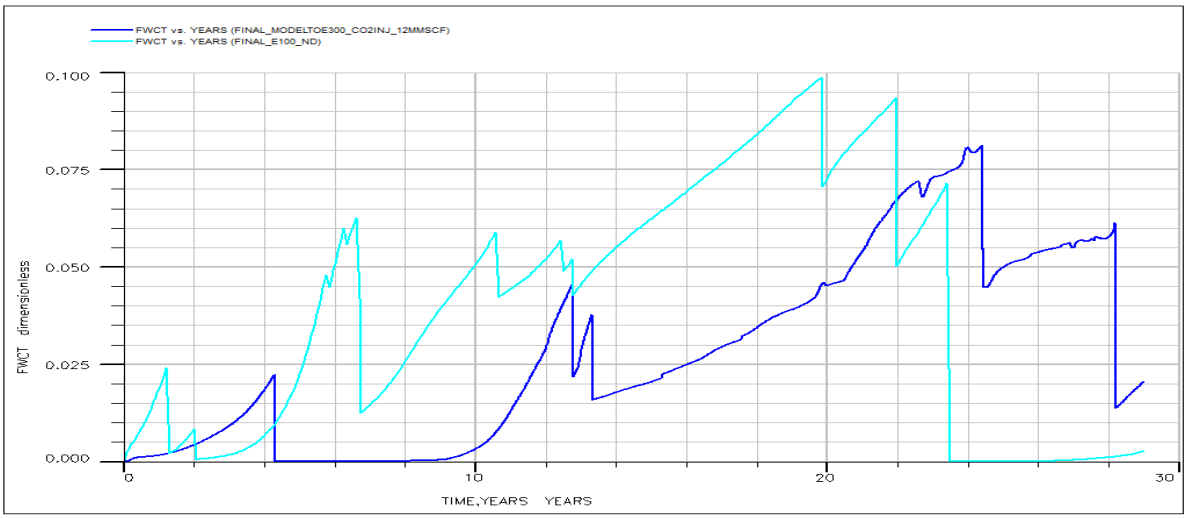
شکل ۶: تاثیر تزریق امتزاجیCO_2 و تخلیه طبیعی بر افت فشار

www.SID.ir

Archive of SID



شکل ۷: تاثیر تزریق امتزاجیCO_2 و تخلیه طبیعی بر دبی نفت تولیدی



شکل ۸: تاثیر تزریق امتزاجیCO_2 و تخلیه طبیعی بر نسبت آب تولیدی

با توجه به نتایج حاصل از شبیه سازی تزریق غیر امتزاجی و تزریق امتزاجی CO_2 مشاهده می‌شود، اعمال تزریق غیر امتزاجی در مدل مخزن مورد مطالعه، پس از ۳۰ سال ضریب بازیافت از مخزن را تنها به اندازه ۰/۵ ٪ افزایش داده است، تاثیر کم تزریق غیر امتزاجی گاز بر میزان بازیافت بعلت سنگین بودن نفت مخزن مورد مطالعه می‌باشد و همچنین تزریق غیر امتزاجی گاز بدلیل شکافدار بودن مخزن مورد مطالعه منجر به رسوخ (Break through) سریع گازهای تزریقی در چاههای تولیدی شده و این امر موجب بسته شدن چاه‌ها و کاهش میزان تولید می‌شود، و در اعمال تزریق گاز CO_2 با شرایط یکسان حجم گاز تزریقی و محدودیت های اعمال شده، باعث افزایش ۳/۱ درصد در میزان بازیافت می‌شود، که امتزاج پذیری گاز CO_2 تزریقی باعث کاهش ویسکوزیته نفت مخزن می‌شود و همچنین بدلیل جلوگیری از افت فشار مخزن، از وقوع پدیده water coning (ورود آب به مخزن) جلوگیری کرده و باعث افزایش قابل توجهی در میزان بازیافت نفت می‌شود. لازم به ذکر است که عملیات تزریق و تولید همزمان اعمال شده است.

www.SID.ir

Archive of SID

۵-نتایج

۱- تزریق غیر امتزاجی گاز به مخزن مورد مطالعه بدلیل سنگین بودن نفت مخزن مورد مطالعه باعث ۰/۵ درصد افزایش در میزان بازیافت می‌شود در حالیکه تزریق امتزاجی گاز CO_2 به میزان ۳/۱ درصد میزان بازیافت را نسبت به تخیله طبیعی افزایش می‌دهد.

۲- تزریق غیر امتزاجی گاز با توجه به شکافدار بودن مخزن مورد مطالعه باعث رسوخ (Break through) سریع گازهای تزریقی در چاههای تولیدی شده و این امر موجب بسته شدن چاه‌ها و کاهش میزان تولید می‌شود.

۳- تزریق امتزاجی گاز CO_2 باعث کاهش ویسکوزیته نفت سنگین مخزن مورد مطالعه می‌شود و همچنین با تثبیت فشار مخزن از ورود آب به مخزن جلوگیری کرده و از وقوع پدیده water coning که تاثیر منفی زیادی بر تولید در مخزن دارد، جلوگیری می‌کند.

۶-مراجع

۱. **دکتر ریاضی محمد، (۱۳۷۴)، "مهندسی مخازن نفت و گاز، چاپ اول"، تهران، موئسسات انتشارات دانشگاه صنعتی شریف**

2. Ali M. Saidi: "Twenty Years of Gas Injection History into Well-Fractured Haftkel Field (Iran)" Paper SPE 35309 ، presented at the international oil conference and exhibition in Mexico ،1996.
3. Darvishnejad.MJ;,Zargar G; "Study of Various Water Alternating Gas Injection Methods in 4-and 5-Spot Injection Pattern in an Iranian Fractured Reservoir", presentation at the Trinidad and Tobago Energy Resources Conference held in port of Spain Trinidad, 27-30-June 2010.
4. F.M.Nasir ,N.A.Amiruddin "Miscible CO2 Injection:Sensivity To Fluid Properties" Paper SPE 115314,presentation at 2008 SPE ASIA.
5. A. Badakhshan، H. Golshan، H.R. Musavi-Nezhad، F.A. Sobbi: "*The Impaction of Gas Injection on the Oil Recovery of the Giant Fractured Carbonate Reservoir*"، JCPT، paper no.21.
6. Van Golf-Racht ،T.D.: "Fundamentals of Fractured Reservoir Engineering" ،Elsevier Scientific Pub. Co. ،Amsterdam (1982).
7. Green.D W,Willhite.G P; "Enhanced Oil Recovery",SPE Textbook Series,Volume 6,1998.

www.SID.ir