

مطالعه اثر الگوی چاه های تزریق بر عملکرد فرآیند تزریق متناوب آب و گاز در یکی از مخازن شکافدار غرب ایران

طالب اسفندیاری^۱، دکتر ریاض خراط^۲، دکتر مسعود آقاجانی^۳، دکتر محمد حسین غضنفری^۴

^۱دانشگاه آزاد اسلامی واحد علوم و تحقیقات تهران، دانشکده مهندسی نفت

Taleb.Esfandiyari@Gmail.com

چکیده

از روش هایی که در زمینه ازدیاد برداشت از مخازن نفتی مورد توجه است، تزریق متناوب آب و گاز (WAG) می باشد. روش تزریق متناوب آب و گاز برای اولین بار در سال ۱۹۵۰ انجام شد. در این روش توده های آب و گاز به طور متناوبی به درون مخزن تزریق می شوند. از مهمترین مزایای این روش نسبت به روش هایی همچون تزریق منفرد آب یا گاز می توان به مواردی از قبیل افزایش میزان حجم جاروب شده توسط آب پس از تزریق گاز، افزایش میزان بازدهی جابجایی توسط گاز پس از تزریق آب و کاهش درصد اشباع نفت باقیمانده به دلیل تأثیرات سه فازی اشاره نمود که باعث جابه جایی، تولید و برداشت آسان تر نفت می گردد. به هر حال الگوی تزریقی بر میزان عملکرد فرآیند تزریق متناوب آب و گاز مؤثر بوده و الگوهای تزریقی مختلف میزان ضریب بازیافت مختلفی را برای این فرآیند دارند. در این مقاله قصد داریم، با استفاده از شبیه سازی یک سکتور شکافدار توسط نرم افزار Eclipse، به بررسی اثر الگوی تزریقی بر عملکرد فرآیند تزریق متناوب آب و گاز پرداخته تا بهترین الگوی تزریق برای مدل مورد نظر مشخص گردد. نتایج به دست آمده نشان دهنده آن است که الگوی پنج نقطه ای دو گانه بهترین الگوی تزریقی برای مدل مورد نظر است همچنین این نتیجه حاصل گردید که الگوی تزریق چهار چاهی دوگانه میزان ضریب بازیافت برابری با الگوی تزریق پنج چاهی دارد.

واژه های کلیدی: ازدیاد برداشت نفت، شبیه سازی، تزریق متناوب آب و گاز، الگوی تزریق

- ۱- دانشجوی کارشناسی ارشد مهندسی مخازن هیدروکربوری دانشگاه آزاد اسلامی واحد علوم و تحقیقات تهران.
- ۲- دانشیار، مهندسی شیمی، عضو هیئت علمی دانشگاه صنعت نفت.
- ۳- استادیار، مهندسی شیمی، عضو هیئت علمی دانشگاه صنعت نفت.
- ۴- استادیار، مهندسی مخازن هیدروکربوری، عضو هیئت علمی دانشگاه صنعتی شریف.

۱- مقدمه

یکی از روشهای جدید ازدیاد برداشت نفت، تزریق متناوب آب و گاز می باشد. مزیت استفاده از این روش نسبت به تزریق گاز تنها در مخزن این است که میزان نفت باقیمانده در مخزن بعد از فرآیند تزریق متناوب آب و گاز کمتر از میزان نفت باقیمانده در مخزن پس از فرآیند تزریق گاز است [۱]. معمولا روشهای ازدیاد برداشت با توجه به نوع فرآیند و مواد مختلفی که در این فرآیند 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 باشد [۲].

پارامترهای مشخص و معین مخزن شامل ترشوندگی، کشش سطحی، اشباع آب همزاد و جدایش فازها ناشی از نیروی ثقلی مشکلات متعددی را برای طراحی فرآیند تزریق متناوب آب و گاز (WAG) ایجاد کرده است [۳].

در سال ۲۰۰۴ Nadeon و Singhal تزریق متناوب آب و گاز را به وسیله اجرای یک آزمایش در میدان دولانگ مورد بررسی قرار دادند. مطالعات نشان داد که تزریق متناوب غیر امتزاجی آب و گاز، دارای پتانسیل بالقوه و یک گزینه مورد قبول تزریق به مخازن است. (۴) در سال ۲۰۱۰ درویش نژاد و همکاران به بررسی اثر الگوی چاه های تزریقی بر عملکرد انواع فرآیندهای تزریق متناوب آب و گاز پرداختند. در این مطالعه دو الگوی چهار چاهی دو گانه و پنج چاهی مورد بررسی قرار گرفت که در نهایت این نتیجه حاصل گردید که الگوی چهار چاهی دوگانه برای فرآیند تزریق همزمان انتخابی آب و گاز بهترین الگوی تزریق می باشد و این فرآیند با این الگوی تزریقی بهترین عملکرد را دارد [۵].

در سال ۲۰۱۱ S. Mobeen Fatemi به بررسی اثر ترشوندگی روی فرآیند WAG پرداختند که به نتایج زیر دست یافتند
 - در تزریق آب بازیافت در زمانی که سنگ ترشوندگی 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 فرآیند 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 تزریق گاز پارامتر مهمی است.

- در تزریق آب، گاز و تزریق متناوب آب و گاز نوع ترشوندگی پارامتر بسیار مهمی است [۶].
 در سال ۲۰۱۲ Haifeng Jiang و همکاران به بررسی اثر نوع گاز تزریقی روی فرآیند تزریق متناوب آب و گاز پرداختند که به نتایج زیر دست یافتند:

در یک مطالعه جدید تزریق مخلوط CO_2 و O_2 مورد بررسی قرار گرفت. در این مطالعه نتایج زیر به دست آمد:
 - مقدار کمترین فشار امتزاجی برای CO_2 خالص کمتر از زمانی است که CO_2 با O_2 مخلوط شده است.
 - هر چه درصد O_2 در مخلوط CO_2 و O_2 بیشتر شود مقدار کمترین فشار امتزاجی بیشتر می شود
 - عملکرد تزریق متناوب آب و گاز زمانی که از CO_2 خالص استفاده می شود بیشتر از زمانی است که از مخلوط CO_2 و O_2 استفاده میشود. زیرا با افزایش مقدار O_2 در مخلوط CO_2 و O_2 زمان میان شکن زودتر می شود [۷].

2- شبیه سازی مخزن

2-1- 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 ۳۴ و ۳۸ گرید تقسیم شد. با توجه به تنوع جنس سنگ، در جهت عمودی ۷ 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. شواهد زمین شناسی و اطلاعات مربوط به حفاری چاه ها نشان دهنده وجود شکستگی در سنگ مخزن بوده لذا مدل تخلخل دوگانه برای شبیه سازی مخزن مورد استفاده قرار گرفت. اطلاعات مربوط به گریدبندی مخزن در جدول ۱ 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. نرخ تولید مخزن ۶۰۰۰ STB/day بوده و درصد بازیافت ۲۲/۲۶ درصد می باشد. و حد نسبت گاز به نفت (GOR)، ۸۵۰ Scf/Stb و برش آب (Water cut)، ۵۰ درصد در نظر گرفته شد علت انتخاب ۵۰ درصد این است که در حال حاضر امکانات فرآورش ۵۰ درصد Water cut وجود دارد برای اعمال فرآیند EOR بر روی این میدان که به شرایط اشباع نفت باقیمانده رسیده می بایست میزان برش آب تا حد امکان بالا رود. در مدل (Sector) انتخاب شده سه چاه تولیدی با اسامی P01، P02، P03 وجود دارد، در کل ۵ چاه دیگر که ۲ تا تزریقی و ۳ چاه دیگر تولیدی هستند حفر شدند. با توجه به اینکه در این ناحیه از مخزن در ماتریکس Sor برابر با ۰/۳۴ و شکاف ها تقریباً دارای درصد اشباع یکسان هستند یعنی کاملاً از نفت پر شده اند سه چاه تولیدی دیگر حفر شد تا بتوان برداشت بیشتری از نفت باقیمانده در این ناحیه داشت که در واقع کاملاً هم در شرق مخزن می باشند

نمودار فازی سیال مخزن در شکل 1 و خصوصیات سنگ مخزن شامل درصد اشباع آب، تخلخل، NTG در جدول 2 آورده شده است

2-2- خصوصیات سیال مخزن

2-2-1- ویسکوزیته و ضریب حجمی سازند و نسبت گاز به نفت و گراویته گاز

در شکل های ۲ الی ۶ خصوصیات ذکر شده بصورت تابعی از فشار آورده شده است

3- نتایج

3-1- الگوی تزریقی چهار چاهی

در این الگوی تزریقی چهار چاهی شامل یک چاه تزریقی و سه چاه تولیدی می باشد که شماتیکی از این الگوی تزریقی در شکل ۷ آورده شده است. در این الگوی تزریقی فاصله چاه تزریقی از چاه های تولیدی یکسان می باشد. نرخ تولید از همه چاه ها با هم برابر می باشد.

3-2- الگوی تزریقی چهار چاهی دوگانه

این الگوی تزریقی شامل دو چاه تزریقی و چهار چاه تولیدی می باشد. همانگونه که از شکل ۸ مشخص می باشد در این الگوی تزریقی دو چاه از چهار چاه تولیدی برای دو چاه تزریقی مشترک می باشد و دلیل اینکه به این الگوی تزریقی، الگوی چهار چاهی دوگانه گفته می شود مشترک بودن همین دو چاه است. نرخ تولید از همه چاه های تولیدی یکسان بوده و فاصله چاه های تزریقی با یکدیگر و فاصله چاه های تزریقی از چاه تولیدی یکسان می باشد.

3-3- الگوی تزریقی پنج چاهی

این الگوی تزریقی شامل یک چاه تزریقی و چهار چاه تولیدی می باشد که در شکل ۹ شماتیکی از این الگوی تزریقی آورده شده است. نرخ تولید چاه های تولیدی با هم برابر بوده و فاصله چاه تزریقی از چاه های تولیدی یکسان می باشد.

۳-۴ الگوی تزریقی پنج چاهی دوگانه

این الگوی تزریقی شامل دو چاه تزریقی و شش چاه تولیدی می باشد. همانگونه که از شکل ۱۰ مشخص است دو چاه از شش چاه تولیدی در این الگوی تزریقی، بین دو چاه تزریقی مشترک می باشد. نرخ تولید چاه های تولیدی با هم برابر بوده و فاصله چاه های تزریقی با یکدیگر و فاصله چاه های تزریقی از چاه تولیدی یکسان می باشد

۳-۵ مقایسه الگوهای تزریقی مختلف

در این جا چهار الگوی تزریقی آورده شده در بالا مورد مقایسه قرار می گیرند تا بهترین الگوی تزریق برای مدل مورد نظر مشخص گردد که نتایج این مقایسه در شکل های ۱۱ تا ۱۴ و جدول ۳ آورده شده است. همانگونه که مشاهده می کنید برای فرآیند تزریق متناوب آب و گاز الگوی تزریقی پنج چاهی دوگانه نسبت به سایر الگوهای تزریقی عملکرد بهتری دارد.

۴- بحث و بررسی

- الگوی تزریق بر عملکرد فرآیند تزریق متناوب آب و گاز تأثیر بسزایی داشته و با تغییر الگوی تزریقی، عملکرد فرآیند تغییر می یابد.
- برای مدل مورد نظر عملکرد فرآیند تزریق متناوب آب و گاز برای الگوی تزریقی پنج چاهی دوگانه نسبت به سایر الگوهای تزریقی بهتر بوده و پیشنهاد می گردد در زمان انجام فرآیندهای ازدیاد برداشت برای این مخزن، از این الگوی تزریقی استفاده گردد.
- با وجود بیشتر بودن یک چاه تزریقی برای الگوی تزریقی چهار چاهی دوگانه نسبت به الگوی تزریقی پنج چاهی، عملکرد فرآیند تزریق متناوب آب و گاز برای این دو الگوی تزریقی هیچ تفاوتی ندارد. پس بین این دو الگوی تزریقی، الگوی تزریقی پنج چاهی به دلیل کمتر داشتن یک چاه تزریقی، الگوی مناسب تری است زیرا هزینه حفاری یک چاه تزریقی کمتر می شود و مقرون به صرفه تر می باشد.

منابع

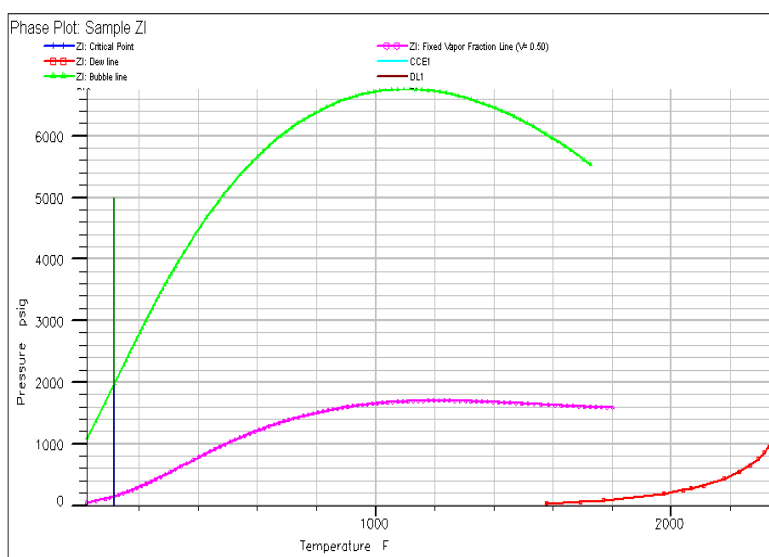
۱. Asoudeh, Ali, "Simulation of CO₂ Injection in a Synthetic Fractured Reservoir by Eclipse Software and Studying the Effect of Fracture Parameters by Implying Sensitivity Analysis", Petroleum University of Technology, January 2008
۲. Dengen Zhou, Meisong Yan, and Wm. Marc Calvin, Chevron : "Optimization 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
۳. Larsen, J.A, Skauge, A. , Hydro ASA,N. «Simulation of the Immiscible WAG Process Using Cycle-Dependent Three Phase Relative Permeability», SPE 56475, Presented at SPE Annual Technical Conference and Exhibition held Houston, Texas, 3-6 October 1999.
۴. Nadeson, G., Aidil, N., Singhal, A. , Ibrahim, R.B. «Water-Alternating-Gas (WAG) Pilot Implementation, A First EOR Development Project in Dulang Field, Offshore Peninsular Malaysia», SPE 88499, Presented at the SPE Asia Pacific Oil and Gas Conference and Exhibition held in Perth, Australia, 18-20 October 2004.
۵. darvish nejad M.J., Zargar G., "Study of Various Water Alternating Gas Injection Methodes 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.

٦. 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.

٧. Haifeng Jiang, EORI, Lily Nuryaningsih, Hertanto Adidharma : "The Influence of O2 Contamination on MMP and Core Flood Performance in Miscible and Immiscible CO2 WAG" SPE 154252, Improved Oil Recovery Symposium held in Tulsa, Oklahoma, USA, 14–18 April 2012.

جدول ۱ - اطلاعات مربوط به سکتور مدل ساخته شده مخزن

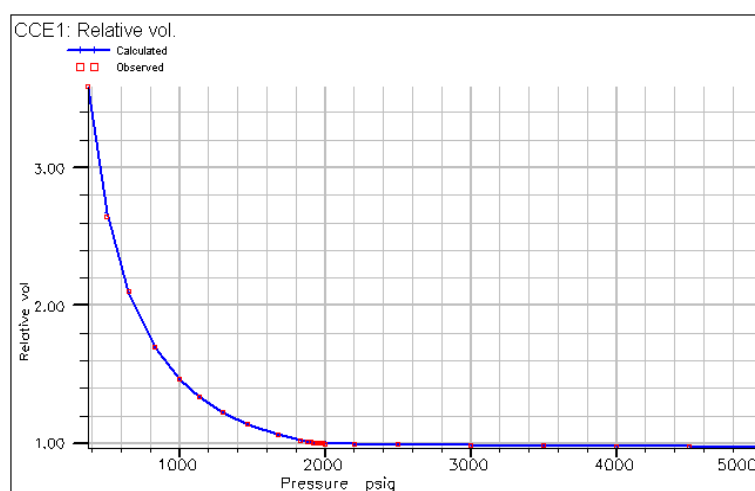
porous medium Type of	Fractured	X grid block size,ft	2180
Number of cell in X-direction (N _x)	38	Y grid block size,ft	1130
Number of cell in Y-direction (N _y)	34	Z grid block size,ft	116
(N _z) Number of cell in Z-direction	7	Matrix porosity,%	7
Number of cell	9044	Fracture permeability, md	5800
Dual porosity matrix-fracture coupling, 1/ft ²	0.6	Effective matrix block height for gravity drainage ,ft	20



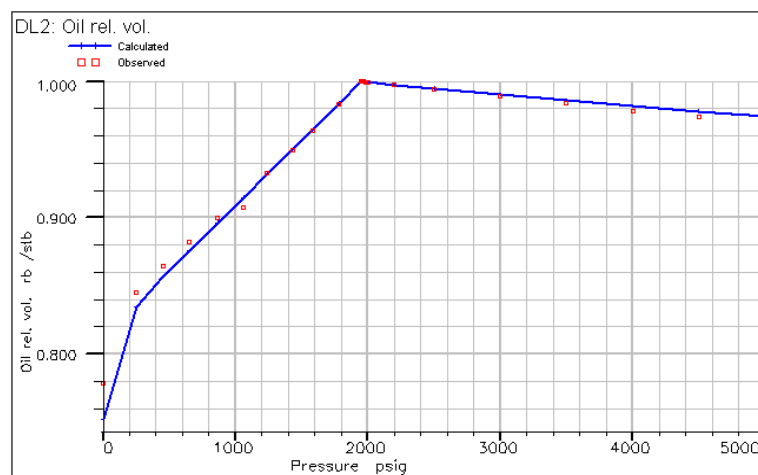
شکل ۱- نمودار فازی میدان X

جدول ۲- متوسط خصوصیات سنگ مخزن

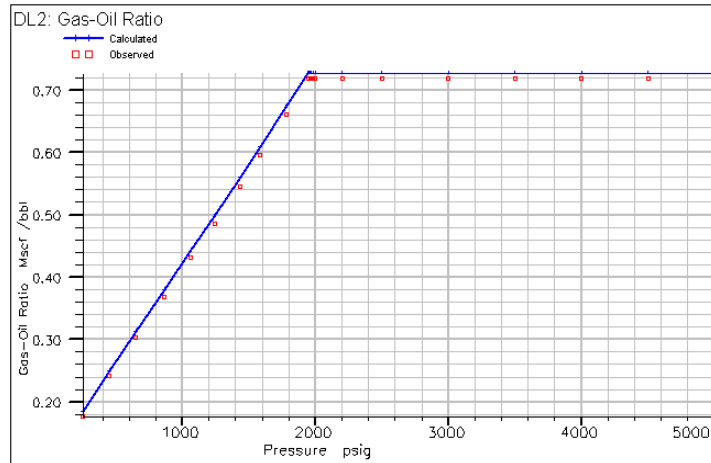
Zone	Oil Zone				Ave. Permeability, md
	Φ_i %	Sw %	NTG	B_o rb/stb	
A	13.77	21.63	0.915	1.34	0.1126
B	3.6	55.06	10.94	1.34	0.1498



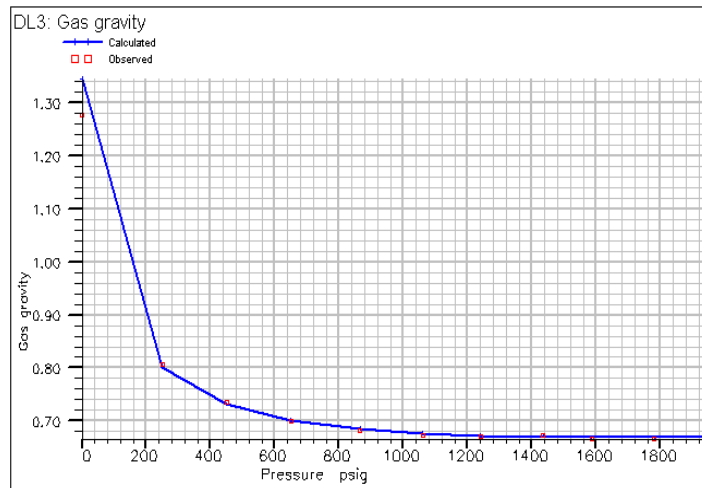
شکل ۲- ضریب حجمی نفت سازند در آزمایش CCE



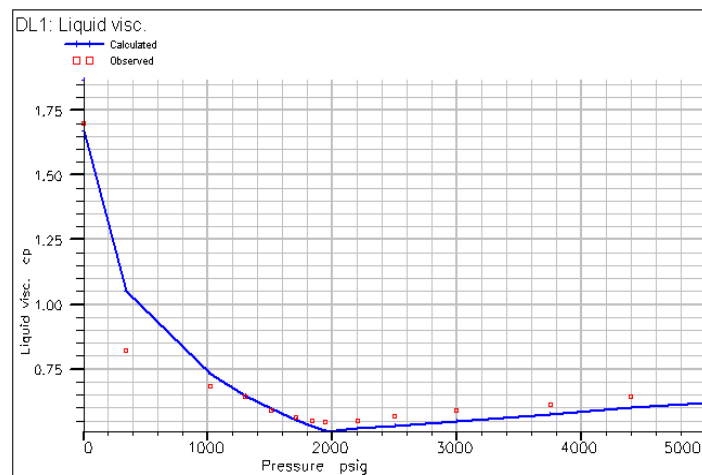
شکل ۳- ضریب حجمی نفت سازند در آزمایش DL



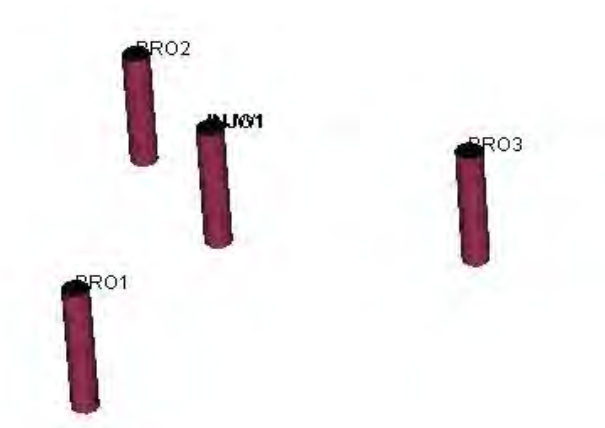
شکل ۴- ضریب حجمی نفت سازند در آزمایش DL



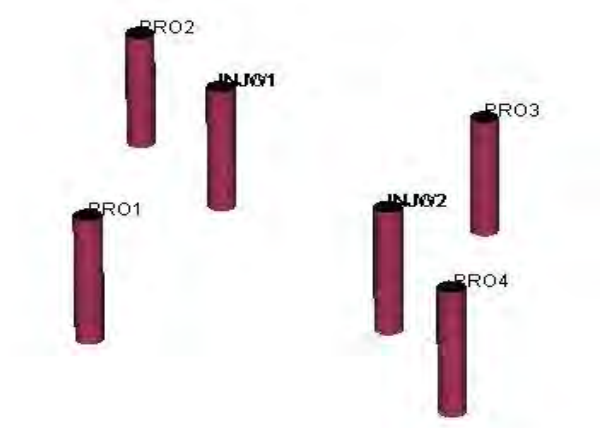
شکل ۵- گراویته گاز محلول در سیال مخزن



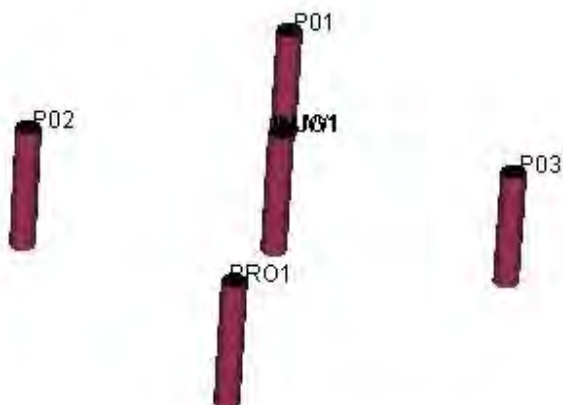
شکل ۶- گرانروی سیال مخزن



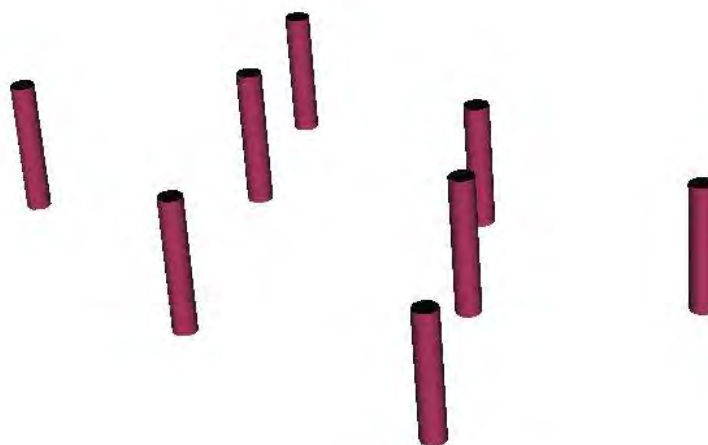
شکل ۷: شماتیکی از الگوی تزریق چها چاهی مورد استفاده در فرآیند تزریق متناوب آب گاز



شکل ۸: شماتیکی از الگوی تزریق چها چاهی دوگانه مورد استفاده در فرآیند تزریق متناوب آب گاز



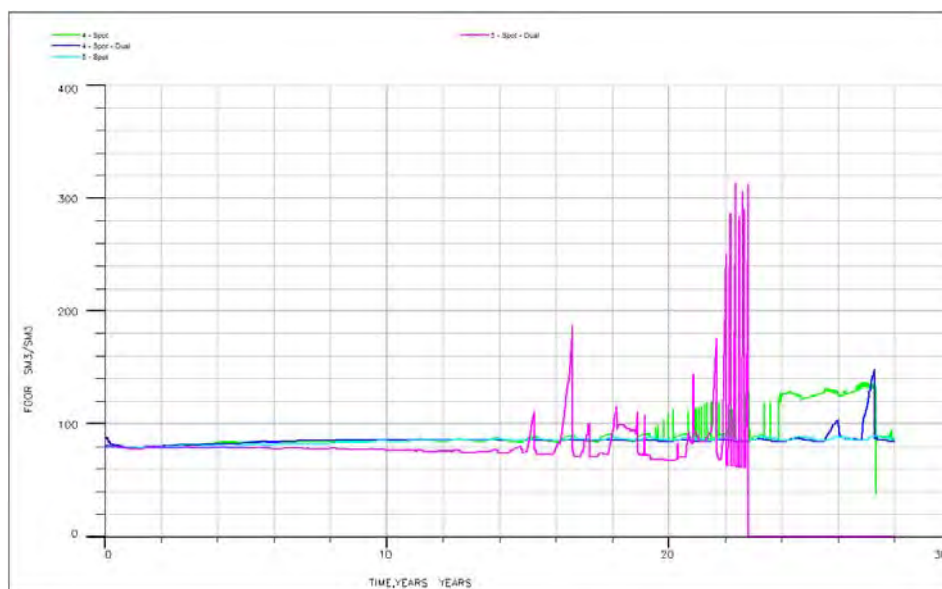
شکل ۹: شماتیکی از الگوی تزریق پنج چاهی مورد استفاده در فرآیند تزریق متناوب آب و گاز



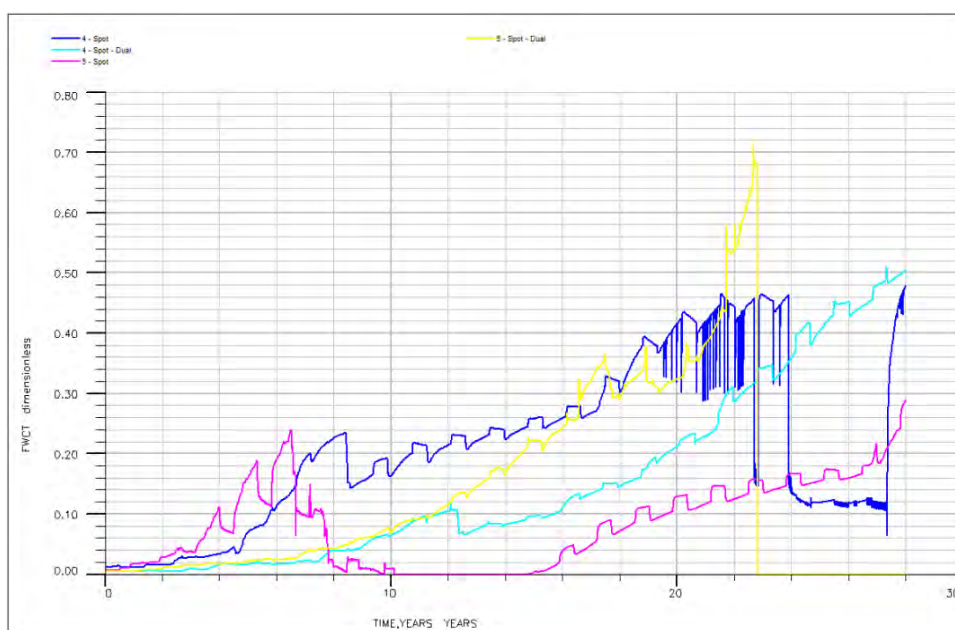
شکل ۱۰: شماتیکی از الگوی تزریق پنج چاهی دوگانه مورد استفاده در فرآیند تزریق متناوب آب و گاز

جدول ۳: اثر الگوی چاه های تزریقی بر فرآیند تزریق همزمان آب و گاز

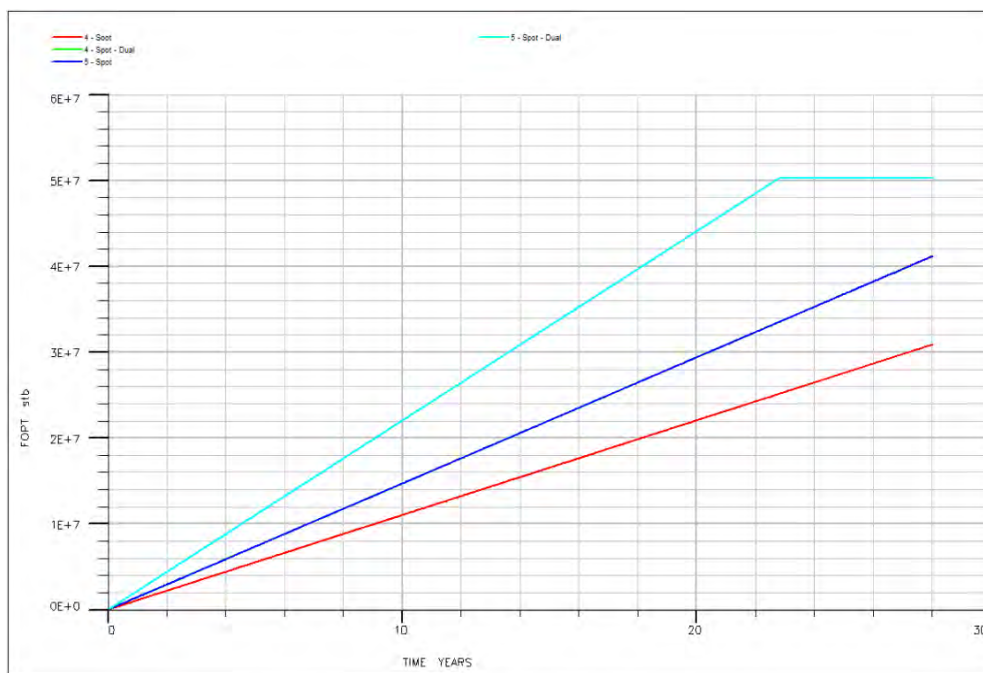
Np (MMSTB)	%RF	Sor	Pattern	NO
30/8764	18/6636	0/4243	4Spot	1
41/1685	26/5153	0/4052	4Spot - Dual	2
41/1685	26/5153	0/3916	5Spot	3
50/3057	32/4009	0/3705	5Spot - Dual	4



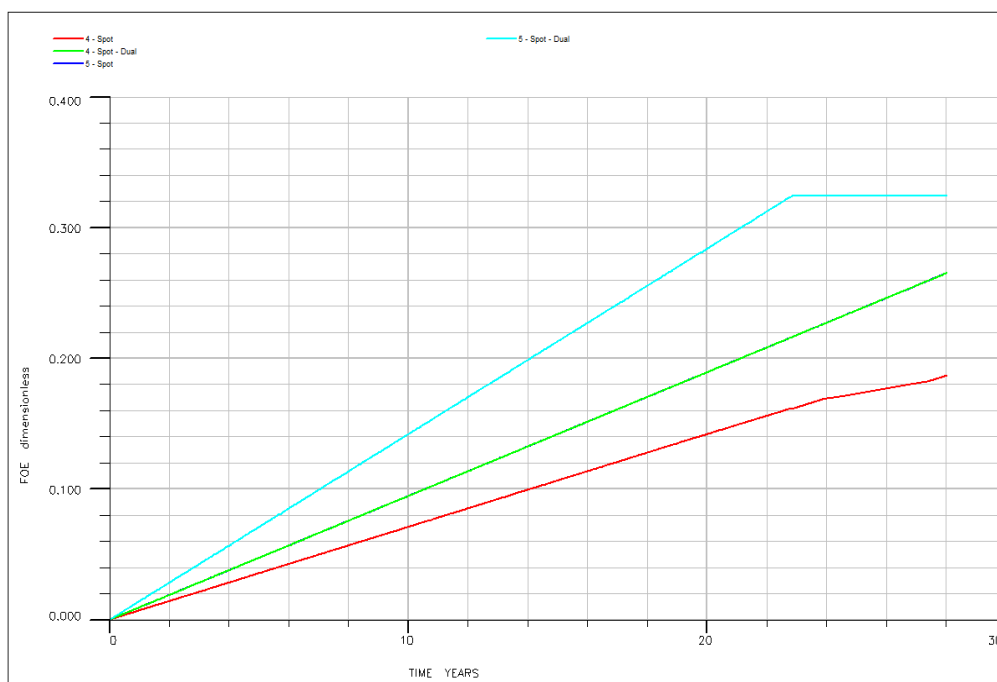
شکل ۱۱: اثر الگوی تزریقی بر GOR در فرآیند تزریق متناوب آب و گاز



شکل ۱۲: اثر الگوی چاه های تزریقی بر Water Cut در فرآیند تزریق متناوب آب و گاز



شکل ۱۳: اثر الگوی چاه های تزریقی بر میزان تولید نفت در فرآیند تزریق متناوب آب و گاز



شکل ۱۴: اثر الگوی چاه های تزریقی بر میزان بازیافت نفت در فرآیند تزریق متناوب آب و گاز