Archive of SID

مطالعه اثر الگوهای تزریقی بر فرآیند تزریق همزمان آب و گاز در یکی از مخازن شکافدار غرب ایران

محمد منصورآبادی [۱]، دکتر ریاض خراط [۲]، دکتر مسعود آقاجانی [۳]، دکتر محمد حسین غضنفری [۴]

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

Mohammad.Mansourabadi@Gmail.com

چکیده

با وجود اینکه منبع نفت موجود بسیار عظیم بوده اما برداشت کامل این مقدار نفت مشکل می باشد. در مرحله تولید طبیعی از مخازن نفتی تنها حدود 20 تا ۳۰ درصد از نفت درجای مخزن با انرژی طبیعی مخزن قابل استحصال است و بقیه نفت مخزن به وسیله انرژی خود مخزن قابل برداشت نیست و نیاز است از روش های ازدیاد برداشت جهت تولید نفت بیشتر استفاده شود. از جمله روشهای نوین ازدیاد برداشت، فرآیند تزریق همزمان آب و گاز(SWAG) می باشد. در این روش توده های آب و گاز بصورت همزمان به مخزن تزریق می شوند. این روش با بهبود فرآیند جابجایی میکروسکوپیک تزریق گاز و جابجایی ماکروسکوپیک تزریق آب، بدلیل تزریق همزمان آب و گاز و تحت الشعاع قرار دادن مناطق دست نخورده مخزن نسبت به روشهای معمول تزریق گاز و آب و با ایجاد ناحیه سه فازی در مخزن، موجب کاهش درصد نفت باقی مانده و افزایش تولید از مخزن می گردد. به هر حال الگوی تزریقی بر میزان عملکرد فرآیند تزریق همزمان آب و گاز مؤثر بوده و الگوهای تزریقی مختلف میزان ضریب بازیافت مختلفی را برای این فرآیند دارند.

در این مقاله ، با استفاده از شبیه سازی یک سکتور به بررسی اثر الگوی چاهها با استفاده از نرم افزار Eclipse برای یکی از مخازن شکافدار غرب ایران پرداختیم که نتایج حاصله نشان دهنده آن است که استفاده از الگوی پنج نقطه ای دوگانه بهترین الگو برای فرآیند تزریق همزمان آب و گاز می باشد. 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 ، مخازن شکافدار، شبیه ساز ی ، تزریق همزمان 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.

www.SID.ir

Archive of SID

۱- مقدمه :

نحوه استخراج و بهره برداری از منابع عظیم نفت همواره مشکل پیش روی مهندسان مخزن بوده‌است. اهمیت حجم عظیم منابع هیدروکربوری غیر قابل برداشت توسط روشهای تولید طبیعی و غیر قابل جایگزین بودن این منابع، گسترش و استفاده از روشهای بهینه EOR جهت بدست آوردن حداکثر بازدهی تولید از مخازن نفتی را امری ضروری و اجتناب ناپذیر ساخته است. بدین منظور روشهای متفاوت ازدیاد برداشت معرفی و عملیاتی گردیده است.[۱]

در واقع فرآیند تزریق همزمان آب و گاز شامل تزریق آب و گاز بصورت توده های همزمان با هدف بهبود بازده ماکروسکوپیک پروژه های سیلابزنی با آب و بازده میکروسکوپیک سیلابزنی های گاز بصورت امتزاجی و غیرامتزاجی، بدلیل کاهش پدیده کانالیزه شدن جریان می باشد.گرانروی پایین گازهای امتزاج پذیری دلیلی بر عملکرد ضعیف تر آنها در مقایسه با آب در عملیات سیلابزنی با آب می باشد.تقریباً تمامی سیلابزنی های امتزاجی در مقیاس صنعتی در حال حاضر بصورت تزریق متناوب آب و گاز بکار گرفته می شود [۲] .

در سال ۱۹۶۳ ، توسط Walkey and Turner روش پیوسته آب و گاز اولین بار در میدان Seeligson، در جنوب غربی تگزاس عملیاتی گردید. بطور کلی این نوع تزریق به دو صورت تقسیم بندی می گردد :

- تزریق بصورت ترکیب دو فاز (آب و گاز)(SWAG)
- تزریق دو فاز جدا از هم، در دو قسمت مختلف چاه (SSWAG).[۳]

در سال ۲۰۰۲ ، Stensen and Berge به بررسی قابلیت تزریق پذیری مخزن در تزریق SWAG پرداختند. آنها مطالعات خود را در میدان siri در دریای شمال که از سال که از سال 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 افزایش 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 دوفازی نزدیک چاه و بسته شدن شکافها بدلیل دبی بالای گاز در فشار بالاتر از فشار شکست سازند کاهش پیدا کند[۴]

در سال ۲۰۰۷ ، Meshal Algharaib و همکاران به بررسی پارامترهای فرآیند تزریق همزمان آب و گاز بهبود یافته پرداختند و نتایجی را ارائه کرده اند.در این مطالعه یک طرحی را در این فرآیند ارائه کردند که این طرح بصورت تزریق گاز در پایین و تزریق آب در بالای مخزن می باشد.سایر روشهای تزریق که در این مطالعه به آنها اشاره شده است شامل تزریق متناوب و همزمان آب و گاز می باشد.نتایج شبیه سازی نشان داده که در این تکنیک مورد مطالعه به راندمان جارویی ،بازیافت بیشتر و نتایج اقتصادی بهتری دست پیدا کرده است.[۵,۶]

در سال ۲۰۱۰ درویش نژاد و همکاران به بررسی اثر الگوی چاهها در عملکرد انواع فرآیندهای تزریق متناوب آب و گاز پرداختند. در این مطالعه به بررسی دو الگوی چهار نقطه ای دو گانه و پنج نقطه ای 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 میباشد و این فرآیند با این الگوی تزریقی بهترین عملکرد را دارد.[۷]

هدف این مقاله بررسی پارامترهای مؤثر بر فرآیند تزریق همزمان آب و گاز و انتخاب سناریوهای بهینه تزریق این فرآیند با استفاده از شبیه سازی یک سکتور توسط نرم افزار شبیه ساز Eclipse برای یکی از مخازن شکافدارغرب ایران است.

2- شبیه سازی مخزن

برای شبیه سازی در این مطالعه از نرم افزار Eclipse استفاده شده است. یکی از اصلی ترین قسمت های شبیه سازی طراحی شبکه (Grid) و شکل هندسی مخزن با استفاده از نرم افزار FloGrid می باشد. [۸]

۲-۱- خصوصیات مدل

به منظور ساخت مدل سه بعدی مخزن توسط نرم‌افزار FloGrid یک شبکه گریدبندی از مخزن با استفاده از داده‌های زمین‌شناسی طراحی گردید. در این شبکه مخزن در جهت طولی و عرضی به‌ترتیب به ۳۸و۳۴ گرید تقسیم شد. با توجه به تنوع جنس سنگ، در جهت

www.SID.ir

Archive of SID

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 زمین‌شناسی و اطلاعات مربوط به حفاری چاه‌ها نشان‌دهنده وجود شکستگی در سنگ مخزن بوده است لذا مدل تخلخل دوگانه برای شبیه‌سازی 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 زمین‌شناسی مخزن و تکنیک‌های Up Scaling برای کلیه گریدها محاسبه گردید.

نرخ تولید مخزن STB/day ۶۰۳۸ بوده و میزان بازیافت ۲۲/۲۶ درصد می باشد.و حد نسبت گاز به نفت (GOR)، Scf/Stb ۸۵۰ و برش آب (Water cut)، ۵۰ درصد در نظر گرفته شد علت انتخاب ۵۰درصد 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 شکافها تقریبا دارای درصد اشباع یکسان هستند یعنی کاملا 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 کاملا هم در شرق مخزن می باشند

نمودار فازی سیال مخزن در شکل ۱ و خصوصیات سنگ مخزن شامل درصد اشباع آب، تخلخل، NTG در جدول ۲ آورده شده است.

۲-۲- خصوصیات سیال مخزن

اندازه گیری خواص سیال مخزن توسط نرم افزار PVTi انجام گرفته است.در مدل شبیه ساز نفت سیاه ، خواص سیال به وسیله جداول PVT تعریف می شود که در بردارنده ضرایب حجمی سازند و نسبت گاز به نفت محلول در فشارهای مختلف می باشد. در مدل سازی نفت سیاه ، PVT سیال مخزن به عنوان تابعی از فشار اشباع بدست می آیدزیرا مدل نفت سیاه بر این فرض است که خواص سیال مخزن تابعی قوی از فشار می باشد. بنابراین آزمایشات CCE و Differential Liberation و روابط آنها بطور متداول در خواص سیال مخزن استفاده می شوند. عدم قطعیتی که همراه با پارامتر هایی مثل ضرایب حجمی ، ویسکوزیته ، نسبت گاز به نفت محلول و ویسکوزیته سیال می باشد را می توان با استفاده از معادلات معتبر کاهش داد. در اینجا از معادله سه پارامتری پینگ – رابینسون استفاده شده و نوع رابطه ویسکوزیته ، پدرسون بوده است.

پس از اعمال معادله حالت و ورود اجزا و درصد مولی آنها شبیه سازی انجام و نتایج حاصل ، با داده های آزمایشگاهی مقایسه شدند. با در نظر گرفتن پارامتر ها به عنوان متغیر تطابق خوبی از خواص سیال و حجم نسبی نفت بدست آمد.

۲-۲-۱- ضریب حجمی سازند و نسبت گاز به نفت

در نمودارهای ۲ و ۳و۴ خصوصیات نفت شامل ضریب حجمی سازند ، نسبت گاز به نفت به صورت تابعی از فشار آورده شده است.

۲-۲-۲- ویسکوزیته سیال مخزن و گراویته گاز محلول

در نمودارهای ۵ و ۶ خصوصیات سیال شامل ویسکوزیته سیال موجود در مخزن و گراویته گاز محلول در سیال مخزن بصورت تابعی از فشار آورده شده است.

۳- نتایج

۳-۱ الگوی تزریقی چهار نقطه ای

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

www.SID.ir

Archive of SID

۳-۲ الگوی تزریقی چهار نقطه ای 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.

۳-۳ الگوی تزریقی پنج نقطه ای

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 تولیدی یکسان می باشد.

۳-۴ الگوی تزریقی پنج نقطه ای 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 معرفی 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 همزمان آب و گاز الگوی تزریقی پنج چاهی دوگانه نسبت به سایر الگوهای تزریقی عملکرد بهتری دارد.

۴- بحث و بررسی

- الگوی تزریقی بر عملکرد فرآیند تزریق همزمان آب و گاز تأثیر بسزایی داشته و با تغییر الگوی تزریقی ، عملکرد فرآیند تغییر می یابد.

- برای مدل مورد نظر عملکرد فرآیند تزریق همزمان آب و گاز برای الگوی تزریقی پنج نقطه ای 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 نقطه ای دوگانه نسبت به الگوی تزریقی پنج نقطه ای ، عملکرد فرآیند تزریق همزمان آب و گاز برای این دو الگوی تزریقی هیچ تفاوتی ندارد.پس بین این دو الگوی تزریقی ، الگوی تزریقی پنج نقطه ای 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] - Safdarian, Mojtaba, “Parametric Study of WAG Process and Its Performance on a Synthetic Fractured Reservoir Model”, Petroleum University of Technology, September 2007

[2] - Wen Shi, Jeff Corwith “ Kuparuk MWAG Project After 20 Years” Paper Spe 113933, presentation at the SPE/DOE Improved Oil Recovery Symposium held in Tulsa, Oklahoma U.S.A., 19–23 April 2008

[3] - Lars Inge Berge, Jan ¦41- ge Stensen, Bénédicte Crapez, and Eileen A. Quale,” SWAG Injectivity Behavior Based on Siri Field Data” paper SPE 75126, presentation at the SPE/DOE Improved Oil Recovery Symposium held in Tulsa, Oklahoma U.S.A., 13–17 April 2002.

www.SID.ir

Archive of SID

[۴] - Berge, L. I., Stensen, J. A., Crapez, B., and Quale, E. A.: "SWAG Injectivity Behavior Based on Siri Field Data," paper SPE 75126 prepared for presentation at the SPE/DOE Improved Oil Recovery Symposium held in Tulsa, Oklahoma U.S.A., 13-17, April 2002.

[۵] - Meshal Algharaib , Ridha Gharbi and Adel Malallah, "Parametric Investigations of Modified SWAG injection Technique ", SPE 105071, Presented at the 15th SPE Middle East Oil & Gas Show and Conference held in Bahrain International Exhibition Centre ,Kingdom of Bahrain , 16-14 March 2007

[۶] - A. Aleidan, D.D. Mamora : " SWACO2 and WACO2 Efficiency Improvement in Carbonate Cores by Lowering Water Salinity" CSUG/SPE 137548 , Canadian Unconventional Resources & International Petroleum Conference held in Calgary, Alberta, Canada, 19–21 October 2010.

[7] - 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.

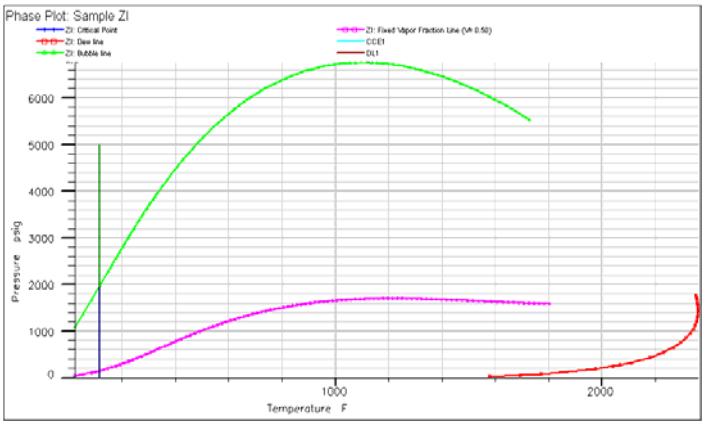
[8] - Schlumberger Reference Manual, Simulation Software Manuals 2005A

جدول ۱ - اطلاعات مربوط به سکتور مدل ساخته شده مخزن

porous medium Type of	Fractured	X grid block size,ft	2180
(N_x) Number of cell in X-direction	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

www.SID.ir

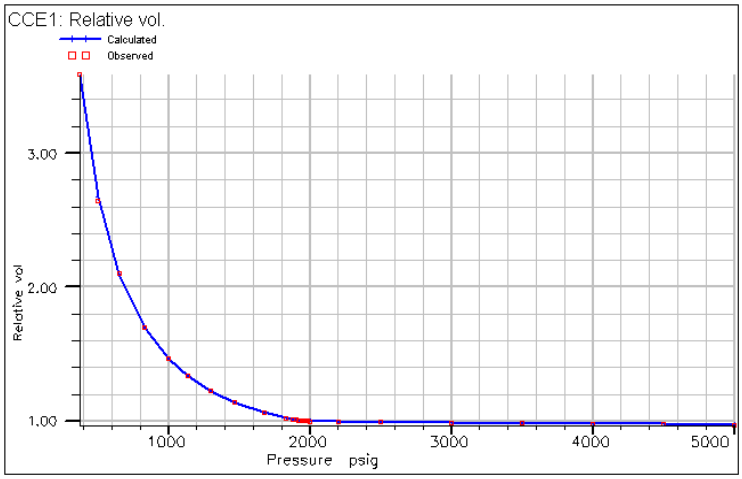
Archive of SID



شکل ۱- نمودار فازی میدان x

جدول ۲- متوسط خصوصیات سنگ مخزن

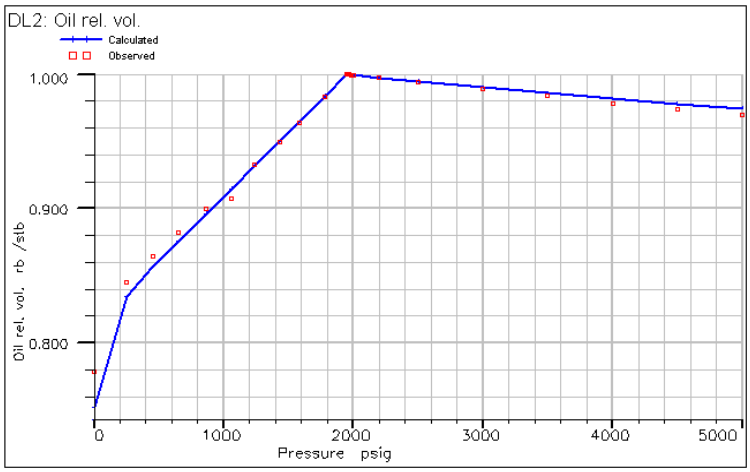
Zone	Oil Zone				
	Φi %	Sw %	NTG	Bo rb/stb	Ave.Permeability, md
A	13.77	21.63	0.915	1.34	0.1126
B	3.6	55.06	10.94	1.34	0.1498



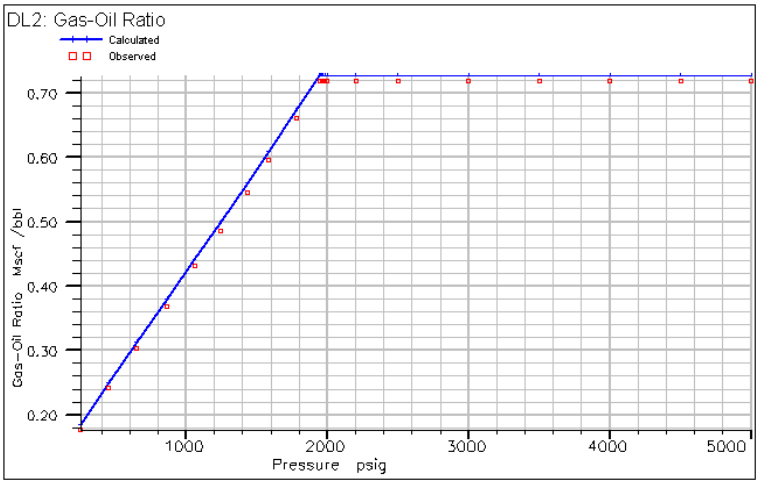
شکل ۲- ضریب حجمی نفت سازند در آزمایش CCE

www.SID.ir

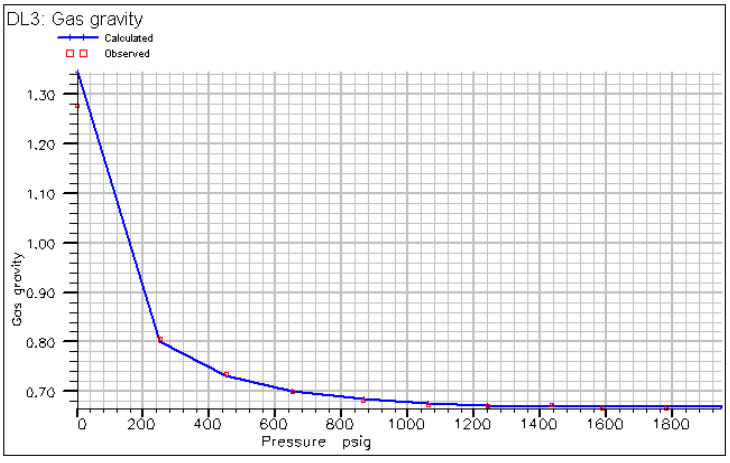
Archive of SID



شکل ۳- ضریب حجمی نفت سازند در آزمایش DL



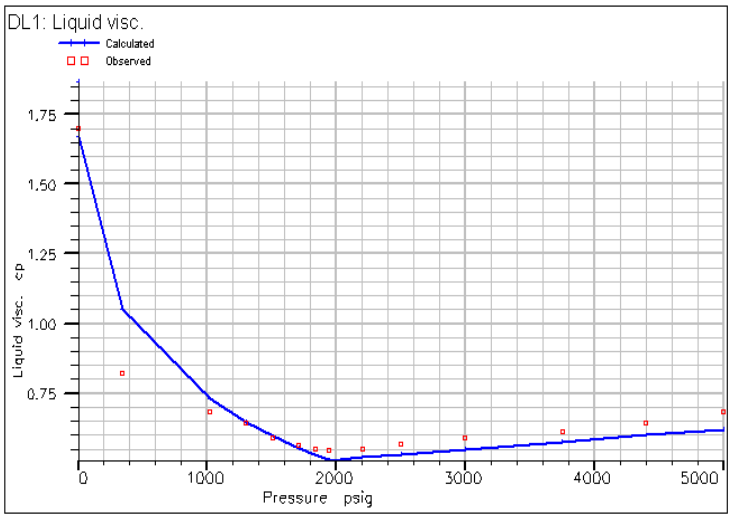
شکل ۴- ضریب حجمی نفت سازند در آزمایش DL



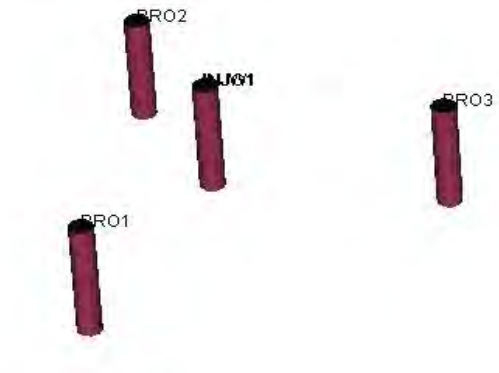
شکل ۵- گراویته گاز محلول در سیال مخزن

www.SID.ir

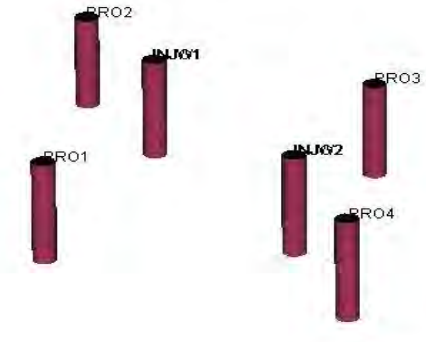
Archive of SID



شکل ۶- گرانروی سیال مخزن



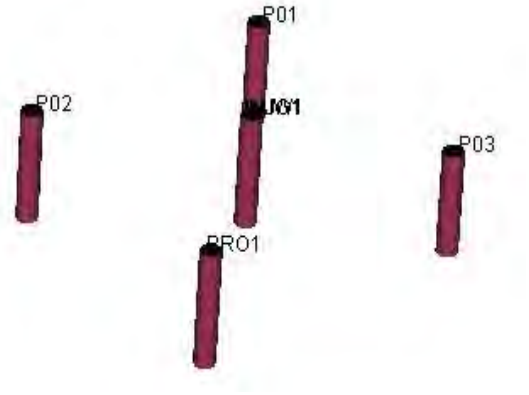
شکل ۷ - الگوی چهار نقطه ای



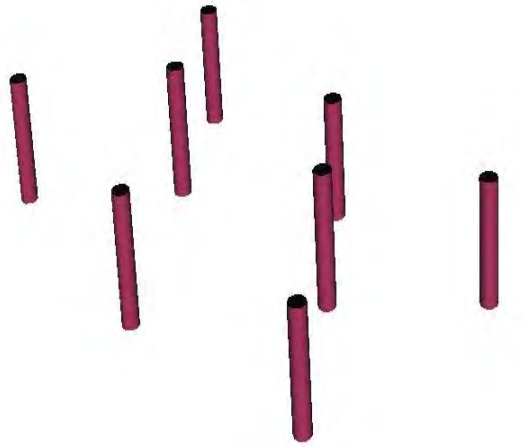
شکل ۸ - الگوی چهار نقطه ای دوگانه

www.SID.ir

Archive of SID



شکل ۹ - الگوی پنج نقطه ای



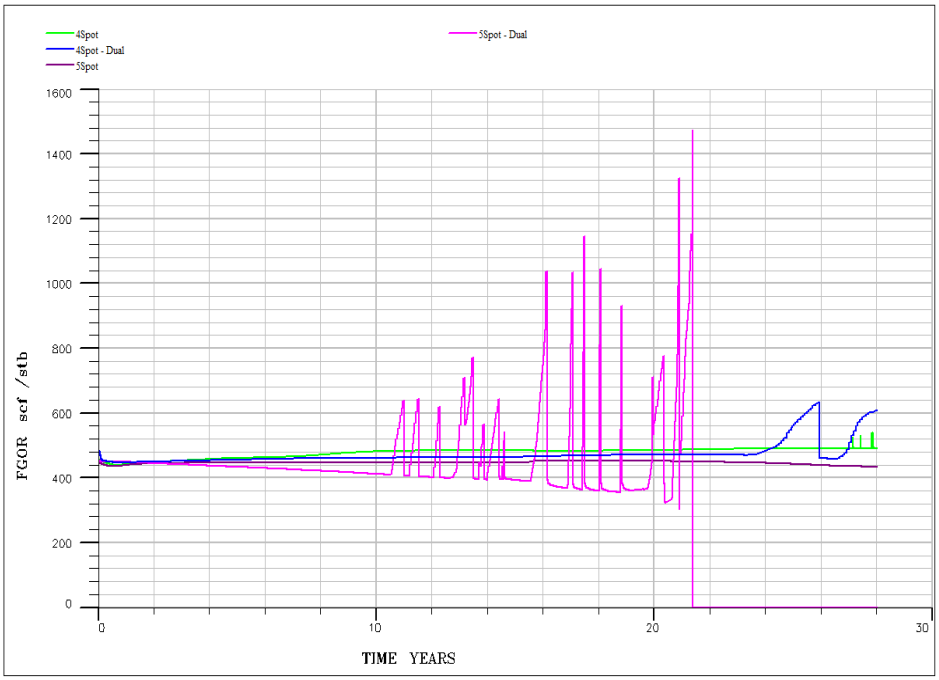
شکل ۱۰ - الگوی پنج نقطه ای دو گانه

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

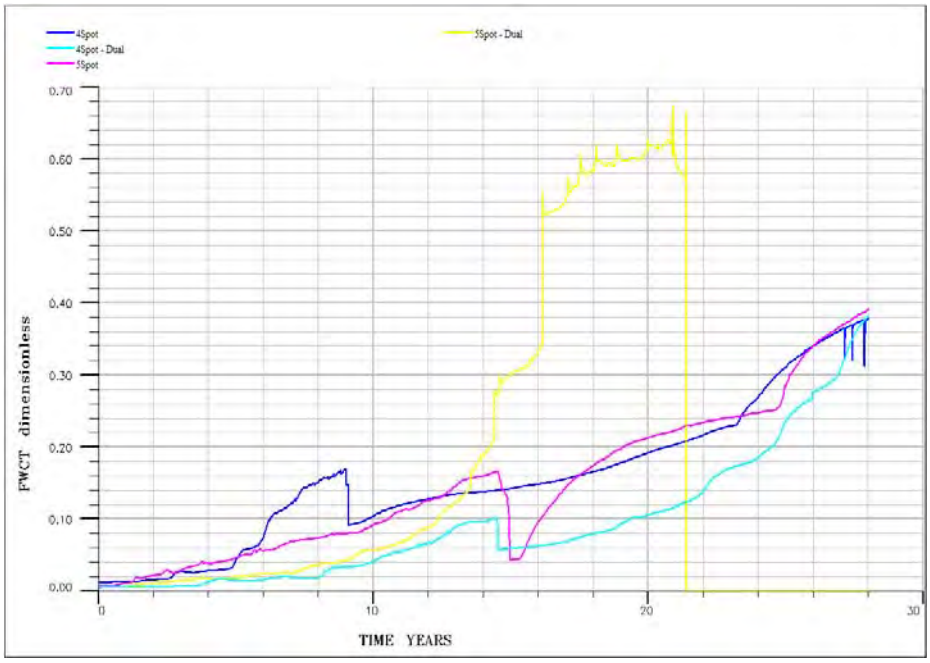
Np (MMSTB)	%RF	Sor	Pattern	NO
30/8764	19/8885	0/4368	4Spot	1
41/1685	26/515824	0/4155	4Spot - Dual	2
41/1685	26/515827	0/4139	5Spot	3
47/1583	30/3737	0/3758	5Spot - Dual	4

www.SID.ir

Archive of SID



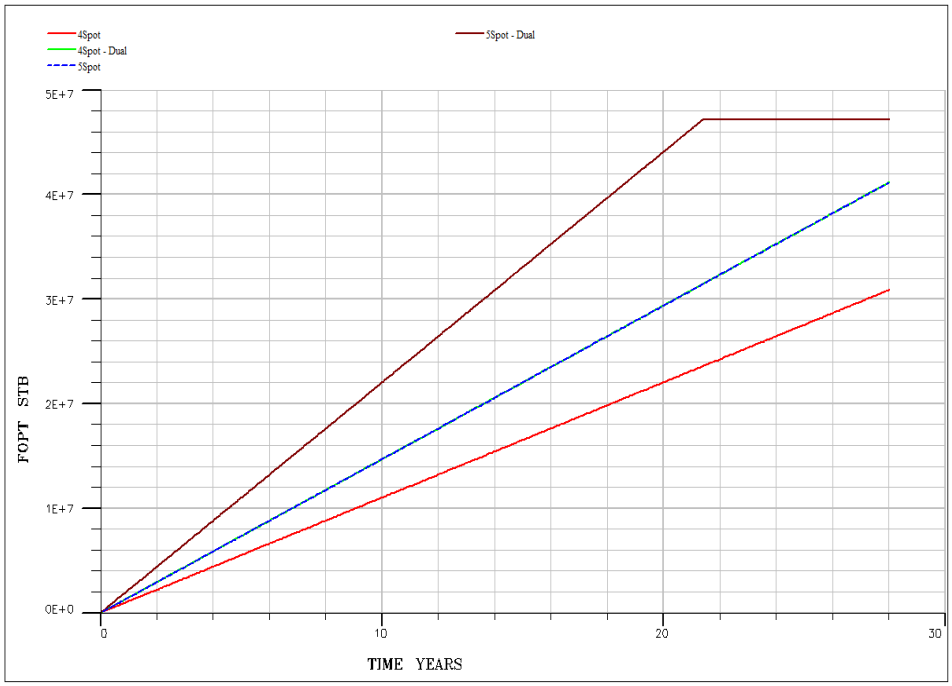
شکل ۱۱ : اثر الگوی تزریق بر GOR در فرآیند تزریق همزمان آب و گاز



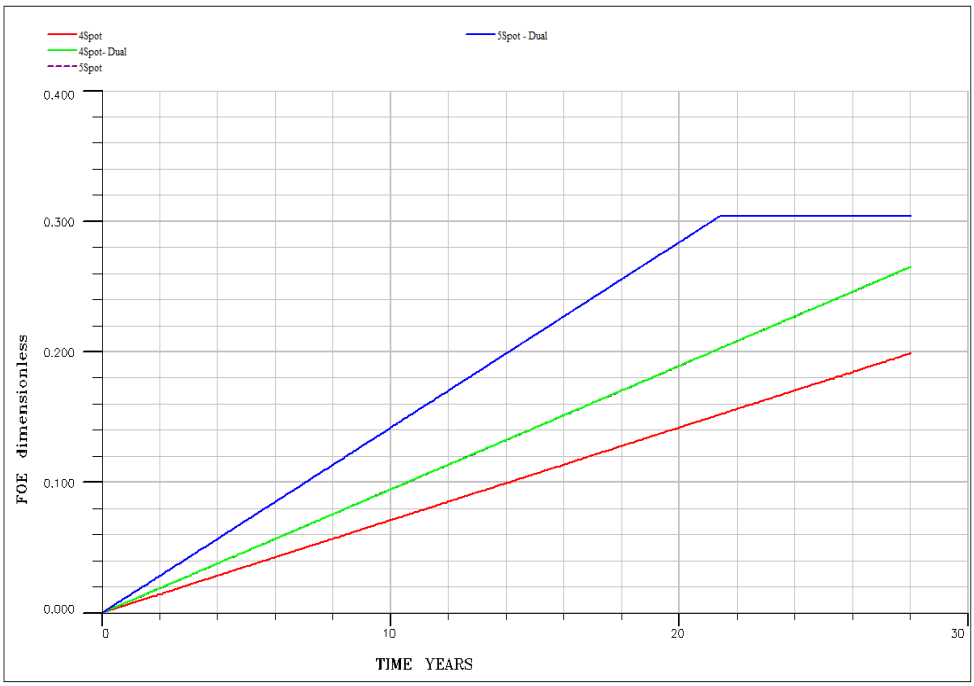
شکل ۱۲ : اثر الگوی تزریق بر Water Cut در فرآیند تزریق همزمان آب و گاز

www.SID.ir

Archive of SID



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



شکل۱۴: اثر الگوی تزریقی بر میزان بازیافت نفت در فرآیند تزریق همزمان آب و گاز

www.SID.ir