Archive of SID

مدل سازی خواص سی‌ال مخزن، تطابق تاری‌خچه و سناری‌وی تخلی‌ه طبی‌عی در ی‌کی از مخازن شکافدار جنوب غرب ای‌ران

حیدر پیرمرادی [۱]، سعید جمشیدی [۲]، حجت نوروزی [۳]، سعید رزاق فامیان [۴]
دانشگاه علوم و تحقیقات تهران
h.pirmoradi2@gmail.com

چکی‌ده

مخازن شکافدار از دو محی‌ط کاملا متفاوت، ماتری‌س و شکاف تشکی‌ل شده اند، و پی‌چی‌دگی ای‌ن نوع مخازن هم بدلی‌ل همی‌ن دو محی‌ط متفاوت برای جری‌ان سی‌ال است. علاوه بر پی‌چی‌دگی های ساختاری و ناهمگونی سنگ در مخازن شکافدارکه عدم قطعی‌ت های زی‌ادی را در محاسبه پارامترهای تاثی‌رگذار مختلف از جمله (ارتفاع بلوک ماتری‌س، پی‌وستگی موئی‌نگی، تراوای‌ی نسبی در شکاف، انتقال سی‌ال بی‌ن ماتری‌س و شکاف، ضری‌ب شکل ، حجم حفره و...) پدی‌د می‌آورد، همچنی‌ن عدم ی‌کنواختی در خواص پتروفی‌زی‌کی شامل (سطح شکاف، دهانه شکاف، ترشوندگی سنگ مخزن) و همچنی‌ن وقوع پدی‌ده هایی چون (نفوذ مجدد نفت در ماتری‌س و پل مای‌ع) بر پی‌چی‌دگی های ای‌ن گونه مخازن می‌افزای‌د.در ای‌ن تحقی‌ق با استفاده از داده های واقعی ی‌کی از مخازن شکافدارجنوب غرب ای‌ران، ابتدا خواص سی‌ال مخزن مدل سازی شده و سپس با اعمال تغی‌ی‌رات در پارامترهای عدم قطعی‌ت، رفتار مخزن مدل سازی شده با رفتار واقعی تاری‌خچه مخزن مطابقت داده شده و در نهای‌ت سناری‌و تخلی‌ه طبی‌عی بر روی مدل شبی‌ه سازی شده اجرا شده و پارامترها و مکانی‌سم های تولی‌د بررسی شده است.

واژه های کلی‌دی: مخازن شکافدار، شبی‌ه سازی، ضری‌ب بازی‌افت نفت، تطابق تاری‌خچه، تخلی‌ه طبی‌عی

---

[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

[۴] - فارغ التحصیل کارشناسی ارشد مهندسی نفت - دانشگاه صنعتی شریف

www.SID.ir

Archive of SID

۱- مقدمه

مخازن شکافدار بخش عمده از مخازن نفتی در سراسر دنیا از جمله ایران را تشکیل می‌دهند. این نوع مخازن دارای پیچیدگی هایی از نقطه نظر مکانیسم رانش ناشی از ساختار متفاوت فضای متخلخل یعنی وجود شبکه ای از شکاف ها نسبت به مخازن معمولی می‌باشند. مسئله اساسی بازیافت نفت در مخازن شکافدار نحوه انتقال نفت از ماتریسها به شکافها و سپس از شکافهای با قابلیت انتقال بسیار بالا به داخل چاه می‌باشد. چگونگی رابطه بین این دو محیط از اهمیت بسزائی برخوردار است. علم دقیق بر این مفاهیم و تشخیص دقیق آنها میتواند عملکرد شبیه سازی را تا حدود بسیار زیادی به رفتار واقعی مخزن نزدیک کند.

بخش اعظمی از سیالات هیدروکربنی قابل استحصال در دنیا در مخازن ترکدار واقع شده‌اند از این رو مطالعه ویژگیهای این نوع از مخازن از اهمیت بسزائی برخوردار می‌باشد. وجود دو نوع تخلخل متفاوت در این نوع از مخازن از ویژگیهای آنها شمرده می شود. تخلخل اولیه شامل خلل ریز موجود در حجم سنگ سازند بوده و تخلخل ماتریس نامیده می‌شود و تخلخل ثانویه نیز متشکل از شکستها و شکافهایی می‌باشد که شبکه‌های به هم پیوسته‌ای را به وجود می‌آورند.[۱]

در حالت کلی سنگها مملو از سیالاتی چون آب، نفت، گاز و یا ترکیبی از آنها می‌باشند. منظور از خصوصیات سنگ مخزن آنهایی می‌باشند که در کمیت این سیالات، قابلیت انتقال آنها و دیگر پارامترهای مربوطه دخیل می‌باشند. [۲]

در مخازن شکافدار ماتریسها مانند منبعی برای تولید نفت بوده و شکافها نیز مانند کانالی می‌باشند که امکان جریان نفت را برقرار می‌سازند. از این رو آنچه که می‌تواند ماتریس را وادار به تولید بیشتر نفت کند از اهمیت بسزائی برخوردار است. گاز یا آب می توانند به عنوان جابجا کننده‌های مفید نفت مورد استفاده قرار بگیرند که این پروسه‌ها توسط محققان بسیاری از جمله دکتر سعیدی، کریگ و... [۳]مورد مطالعه واقع شده است.

فیروزآبادی و همکاران در این تحقیق آزمایشگاهی[۴] به فرایند نفوذ مجدد نفت در ماتریس ها و پیوستگی موئینگی در تولید نفت طی مکانیسم ریزش ثقلی پرداختند، و آزمایش ها را با در نظر گرفتن سه سری قالب ماتریس شامل (الف) چهار ماتریس به ارتفاع ۴۵cm، (ب) سه ماترسی به ارتفاع ۶۰ cm و (پ) یک ماتریس به ارتفاع ۱۸۰cm و در دو حالت عملکرد مستقل هر ماتریس و ماتریس های در تعامل با یکدیگر انجام گرفته است. و مشاهده شده که میزان تولید از ماتریس ها با افزایش ارتفاع بلوک ماتریس و یا کاهش سطح تماس گاز-نفت، افزایش می‌یابد و همچنین عملکرد ریزش ثقلی بهبود می-یابد و باالعکس.

سجادیان و همکاران[۵]، این افراد پیوستگی موئینگی بین ماتریس ها را به دو نوع مؤثر و غیر مؤثر دسته بندی کرده اند، آنها بیان کرده اند که جهت تشکیل پیوستگی موئینگی، مقدار بحرانی ای برای عرض شکاف ها وجود دارد که اگر عرض شکاف از این مقدار بیشتر باشد، پیوستگی موئینگی اتفاق می‌افتد. این مقدار بحرانی از معادله زیر محاسبه می‌شود:

$$t_{cf} = \left(\frac{8\times\gamma}{3\times\Delta p\times g}\right)^{\frac{1}{2}} \qquad \text{.....(۱)}$$

شریعت و همکاران در این تحقیق [۶]، فرایند ریزش ثقلی از ماتریس ها در پوش گازی، مدل سازی و اثرات تعامل بین ماتریس ها و تأثیر پارامترهای مختلف بر میزان بازیافت نفت بررسی کرده اند.با توجه به ضریب شکل که توسط کاظمی به صورت زیر تعریف شده است. هرچه ابعاد ماتریس ها کوچکتر باشند میزان تعامل بین ماتریس ها و شکاف ها افزایش یافته و در نتیجه بازیافت نهایی نفت نیز سریع تر اتفاق می‌افتد.

$$\sigma = 4\times\left(\left(\frac{1}{L_x}\right)^2+\left(\frac{1}{L_y}\right)^2+\left(\frac{1}{L_z}\right)^2\right) \qquad \text{.....(۲)}$$

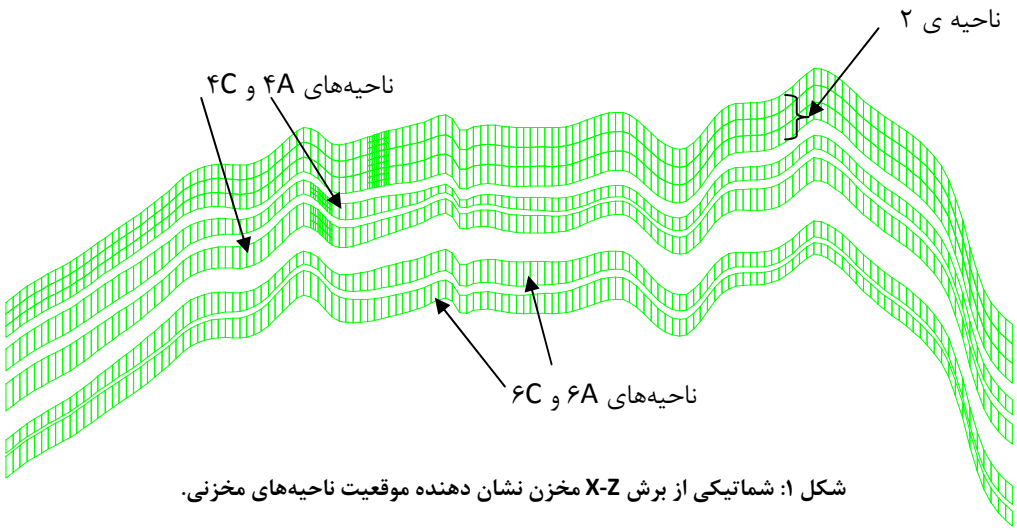
www.SID.ir

Archive of SID

در ای‌ن کار تحقی‌قاتی ما از داده های واقعی ی‌ک مخزن نفتی در جنوب غرب ای‌ران برای مدل سازی رفتار سی‌ال مخزن استفاده کرده ای‌م و همچنی‌ن رفتار مدل شبی‌ه سازی شده را با داده های واقعی تولی‌د در مخزن مورد مطالعه تطابق داده ای‌م ودر مدل شبی‌ه سازی شده تحت سناری‌و تخلی‌ه طبی‌عی به بررسی ضری‌ب بازی‌افت نفت و سای‌ر پارامترهای تولی‌د پرداخته ای‌م.

۲-مشخصات عمومی مخزن و نحوه آماده‌سازی مدل

با توجه به مطالعات ژئوفیزیکی انجام شده بر روی مخزن تحت مطالعه، مخزن به ۹ لایه و زیرلایه به ترتیب لایه‌های: ۲، ۳، ۴A، ۴B، ۴C، ۵، ۶A، ۶B، ۶C تقسیم‌بندی شده است (شکل ۱). که برخی از لای‌ه ها به دلی‌ل تراوای‌ی و تخلخل بسی‌ار پای‌ی‌ی‌ن از لای‌ه های مخزنی مستثنی شده‌اند، و همانگونه که در شکل می‌توان مشاهده کرد، هی‌چگونه قابلی‌ت تعامل بی‌ن زی‌ر لای‌ه های مخزنی وجود ندارد، و بدلی‌ل ای‌نکه ۷۰٪ از نفت درجای مخزن در لای‌ه دو موجود می‌باشد و همچنی‌ن برای کاهش زمان اجرای نرم افزار، برای شبی‌ه سازی و اجرای سناری‌وها تنها از لای‌ه دواستفاده شده است. ضخامت لای‌ه ها وحجم نفت درجا و حجم آبده در(جدول۱) می‌توان مشاهده کرد و همچنی‌ن به عنوان فراوانی تراوای‌ی و تخلخل شکاف و ماتری‌س در لای‌ه دو در شکل (۲) می‌توان مشاهده کرد، که نشاندهنده ناهمگونی وسی‌ع در مخزن مورد مطالعه می‌باشد.لازم به ذکر است، مخزن از ماتری‌س های‌ی با خاصی‌ت ترشوندگی (MIXED WET) تشکی‌ل شده است.



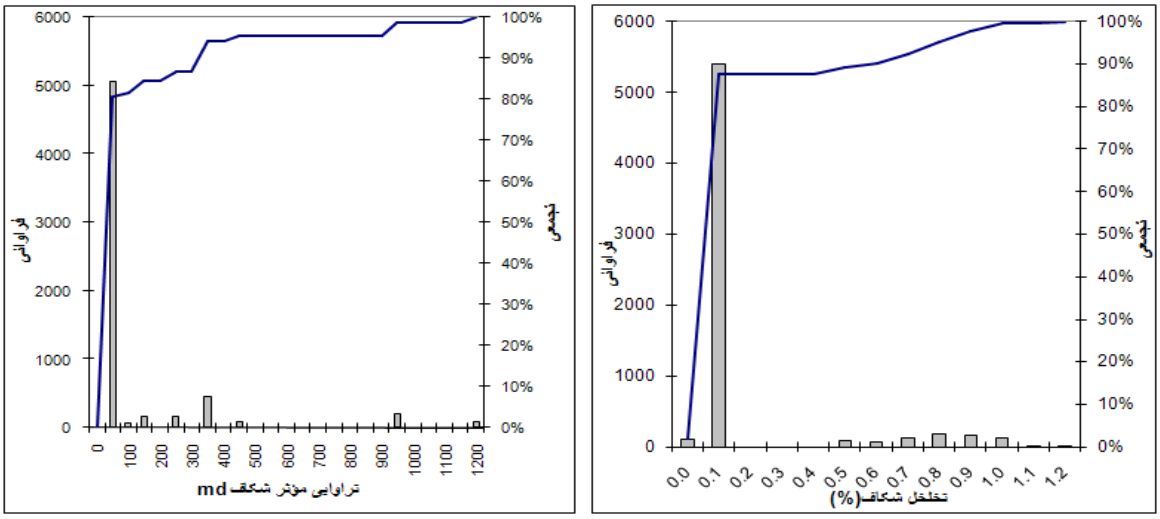
شکل ۱: شماتیکی از برش X-Z مخزن نشان دهنده موقعیت ناحیه‌های مخزنی.

www.SID.ir

Archive of SID

جدول ۱: ضخامت و میزان نفت در جای اولیه و حجم آبده هر کدام از زیر لایه‌های مخزنی.

ناحیه‌های مخزنی	ضخامت ناحیه (m)	STOIIP(MMSTB)	حجم آبده (bbl)
۲	۱۷۵	۲۱۳۴	۹۰۵۶۵۶۹۱۴۲
۴A	۵۵	۹۰	۲۱۳۸۸۴۰۰۳
C۴	۷۰	۱۳۸	۳۴۹۴۴۹۸۴۹
A۶	۷۰	۳۲۴	۴۲۵۴۰۰۵۰۱
C۶	۷۵	۳۴۲	۶۱۳۸۹۲۸۱۵



شکل ۲: دیاگرام‌های فراوانی تخلخل و تراوایی شکاف‌ها.

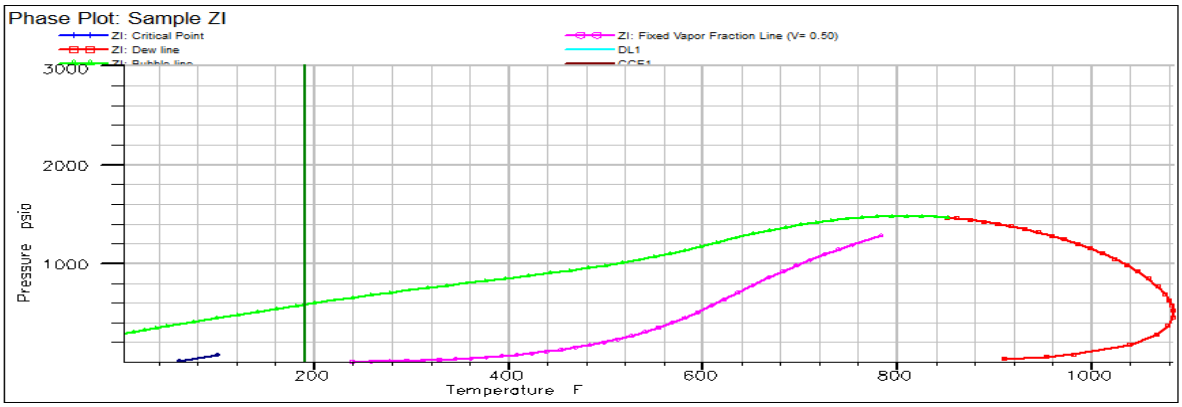
۳-مدل سازی رفتار فازی سی‌ال مخزن

برای ساخت مدل دی‌نامی‌ک مخزن و شبی‌ه سازی لازم است خواص سی‌ال مخزن در حالات مختلف دما و فشاری مشخص شود. مخزن مورد مطالعه غی‌ر اشباع بوده و فشار اولی‌ه آن ۵۹۲۰ psi و فشار نقطه حباب ۵۹۲psi می‌باشد و تنها ی‌ک مورد نمونه گی‌ری صحی‌ح در عمق مناسب انجام گرفته است. و در آزمای‌شگاه، آزمای‌ش های انبساط جرم ثابت و انبساط مرحله ای بر روی نمونه سی‌ال انجام شده است و ترکی‌ب سی‌ال مخزن و داده های آزمای‌شگاهی به نرم افزار وارد شده و با استفاده معادله حالت پنگ رابی‌نسون سه پارامتری و رابطه وی‌سکوزی‌ته- lohrenz-bra-clark،(LBC)مدل اولی‌ه ساخته شد. لازم به ذکر است که برای گروپی‌نگ، جزء N2 با C1، C2 با CO2، Ic4 با nc4، وic5با nc5 گروه بندی شد و سپس اجزای اجزاء C7 تا C30+ به سه جزء شکسته شد و خصوصی‌ات اجزاء با استفاده از روش mole fraction محاسبه شد. که بعد از رگرسی‌ون در

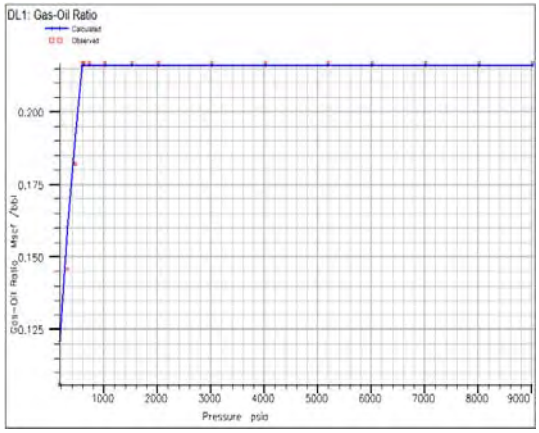
www.SID.ir

Archive of SID

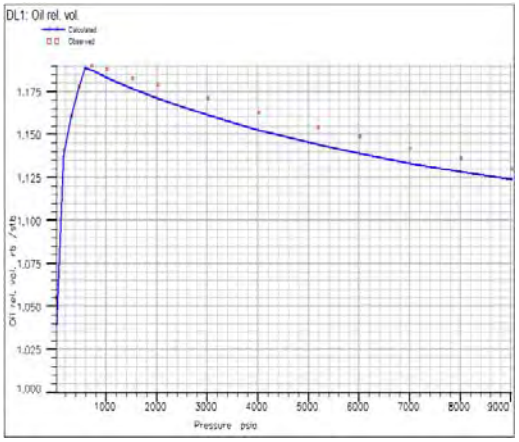
پارامتر های معادله حالت، بهتری‌ن تطابق در خواص سی‌ال مخزن از جمله نمودار فازی، نسبت گاز محلول در نفت، ضری‌ب حجمی سی‌ال مخزن، چگالی و وی‌سکوزی‌ته نفت سی‌ال مخزن به ترتی‌ب در نمودارهای(۱ الی ۵) قابل مشاهده می‌باشد.



نمودار۱- رفتار فازی سی‌ال مخزن بعد از رگرسی‌ون



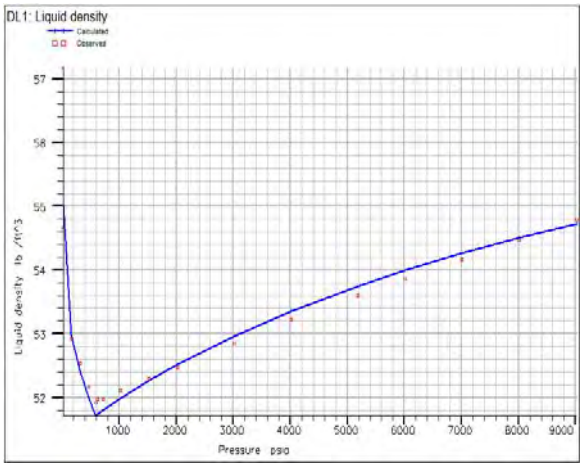
نمودار ۲: نسبت گاز محلول در نفت مخزن بعد از رگرسی‌ون



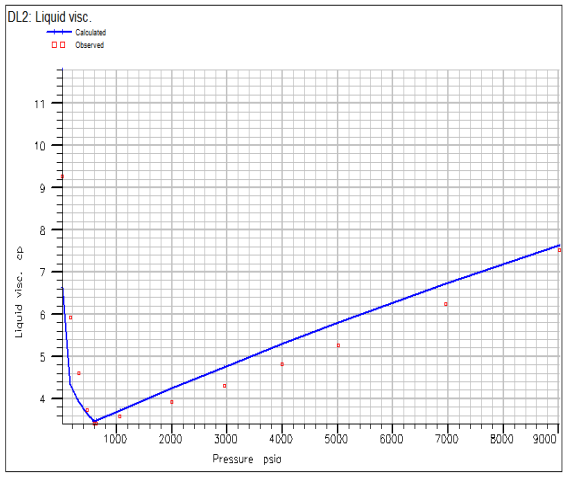
نمودار۳: ضری‌ب حجمی سی‌ال مخزن بعد از رگرسی‌ون

www.SID.ir

Archive of SID



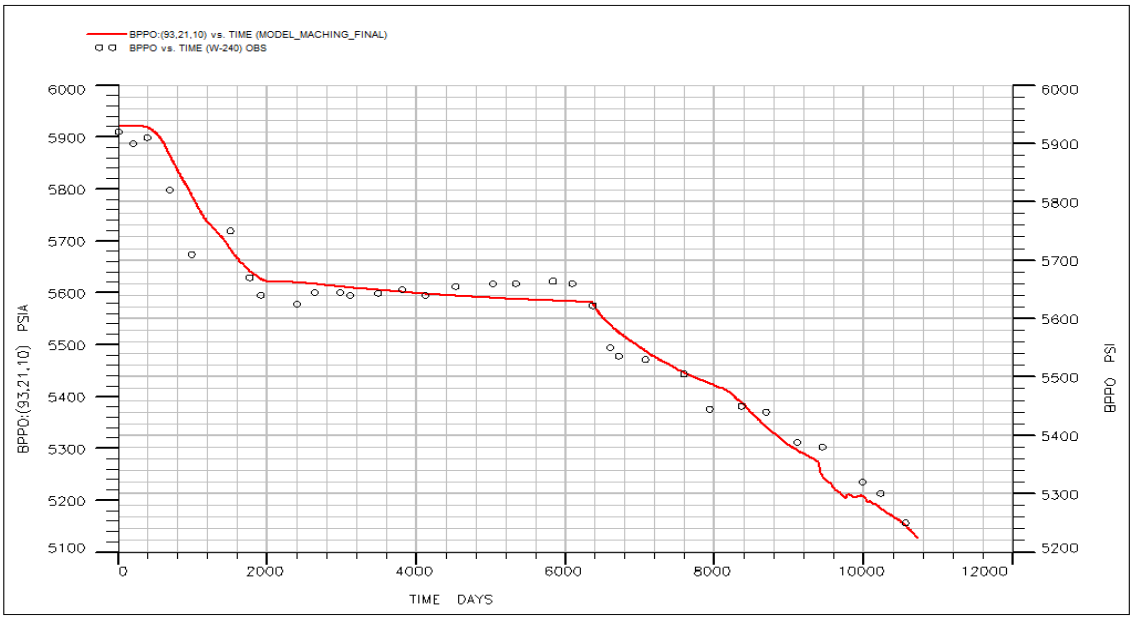
نمودار۴:چگالی سی‌ال مخزن بعد از رگرسی‌ون



نمودار ۵:وی‌سکوزی‌ته نفت مخزن بعد از اعمال

۴-نمودار تطابق تاری‌خچه

اولی‌ن مرحله در شبی‌ه سازی بعد از ساختن مدل استاتی‌ک مخزن اطمی‌نان از صحت عملکرد مدل ساخته شده می‌باشد.بدی‌ن منظور با وارد کردن داده های واقعی دبی تولی‌دی از چاه های مخزن در مدل شبی‌ه سازی شده، عملکرد فشاری مدل شبی‌ه سازی در چاه F-240 با اطلاعات مشاهده ای در همان چاه از مخزن مطابقت داده شد.پس از حساسی‌ت سنجی نسبت به ای‌ن پارامترهای عدم قطعی‌ت(تخلخل ماتری‌س و شکاف،تراوای‌ی شکاف در جهتx ، تراوای‌ی شکاف در جهت y، تراوای‌ی ماتری‌س و شکاف در جهت z،ارتفاع بلوک ماتری‌س و ضری‌ب شکل ماتری‌س (σ)) تطابق نسبی با رفتار واقعی مخزن حاصل شد. نمودار (۶) عملی‌ات تطابق را بعد از اعمال حساسی‌ت سنجی نشان می‌دهد، می‌توان نتی‌جه گرفت تطابق نسبی حاصل شده قابل قبول است و ما می‌توانی‌م به نتای‌ج و پی‌ش بی‌نی‌های شبی‌ه سازی استناد کنی‌م.



نمودار۶: تطابق تاری‌خچه در مخزن مورد مطالعه

www.SID.ir

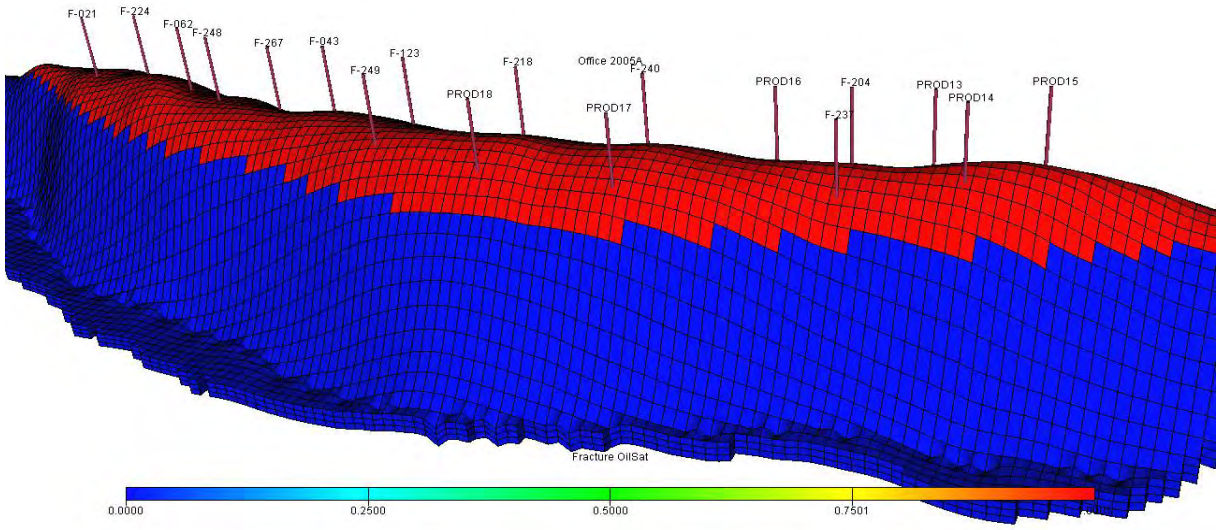
Archive of SID

۵-سناریو تخیلی طبیعی

در این مرحله برای آگاهی از رفتار و عملکرد تولید طبیعی مخزن به اجرای سناریوهای مختلف تخلیه طبیعی با اعمال محدودیت های مختلف پرداختیم. هدف از اجرای سناریوهای مختلف، شناخت بیشتر خصوصیات مخزن وآگاهی از رفتار و عملکرد مخزن در شرایط گوناگون وپیش بینی آینده ی مخزن و اجرای عملیات صیانتی و تولید بهینه از مخزن مورد مطالعه می‌باشد. و با انجام تست های حساسیت مختلف برشرایط مخزن از جمله تعداد و محل چاه ها و پرفوریشن چاه ها و نرخ دبی تولیدی و نسبت آب و گاز تولیدی نتایج زیر حاصل شد. در این سناریو تولید از ۱۸ چاه تولیدی و با محدودیت های اعمال شده در جدول ۲ ماکزیمم تولید نفت پس از ۵۰ سال ٪۱۱/۲ می‌باشد. در شکل ۳ شمای قرارگیری چاه های تولیدی در مخزن مورد مطالعه به تصویر کشیده شده است. لازم به ذکر است که بازه تکمیل چاه های تولیدی در لایه دوم قرار داده شده است.

جدول۲: محدودیت های اعمال شده بر چاه های تولیدی

حداقل فشار ته چاه تولیدی(Psia)	حداکثر میزان GOR(MSCF/STB)	حداکثر برش آب (STBW/STBO)	حداقل دبی تولیدی نفت(STB/Day)
۱۰۰۰	۲	۰/۲	۲۰۰

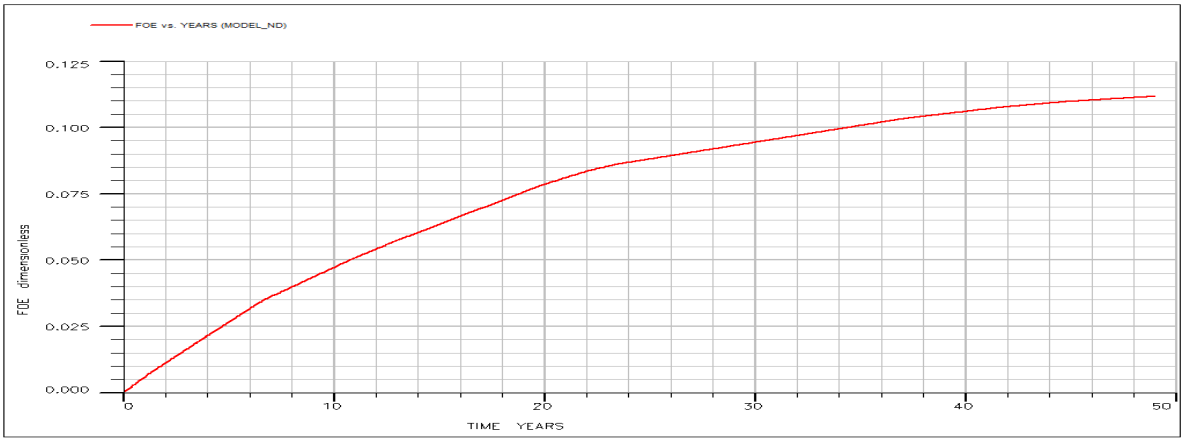


شکل۳: شمای موقعیت قرارگیری چاههای تولیدی را در مخزن مورد مطالعه

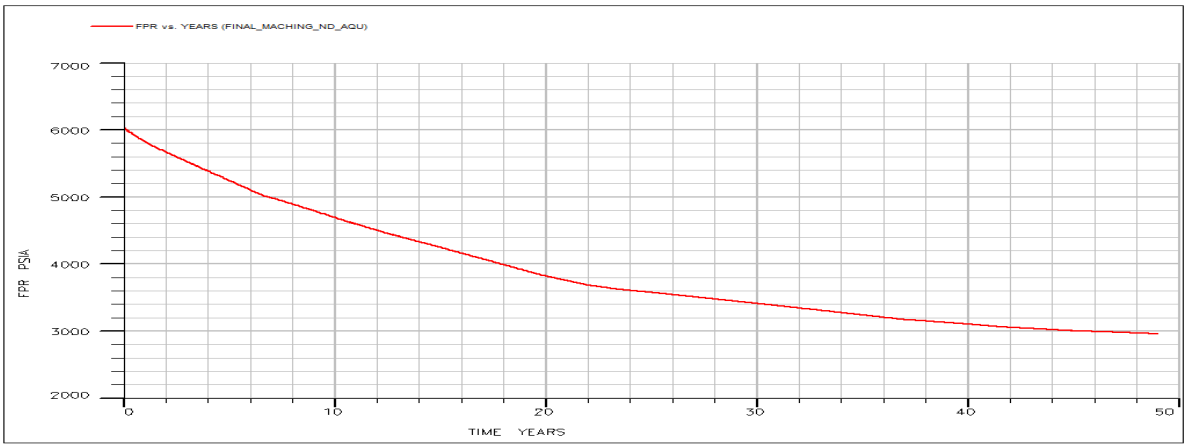
www.SID.ir

Archive of SID

در نمودار های (۷ الی ۱۱) به ترتیب میزان بازیافت، افت فشار مخزن، دبی نفت تولیدی، نسبت آب تولیدی و درصد شرکت مکانیسم های تولید در سناریو تخلیه طبیعی آمده است.



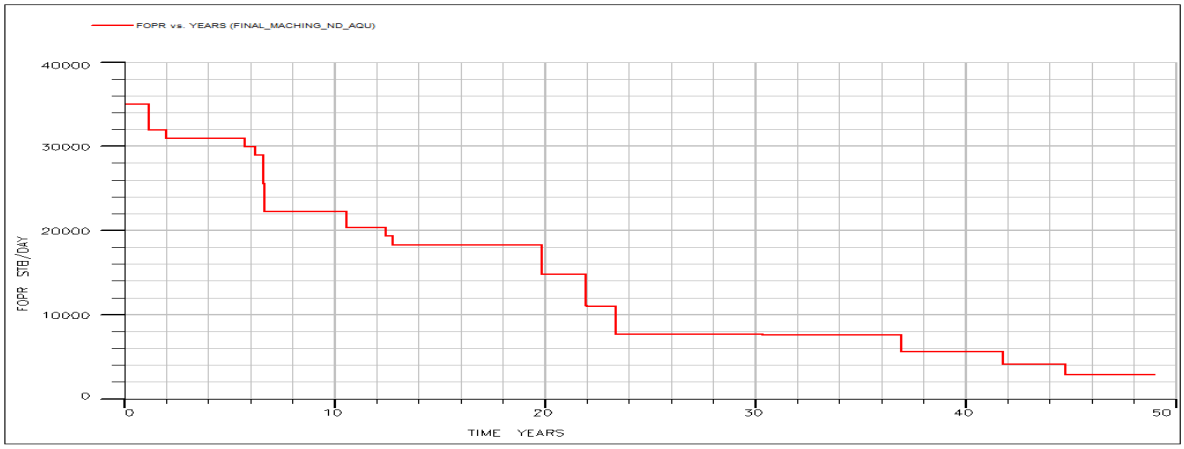
نمودار۷: میزان بازیافت نفت در سناریو تخلیه طبیعی



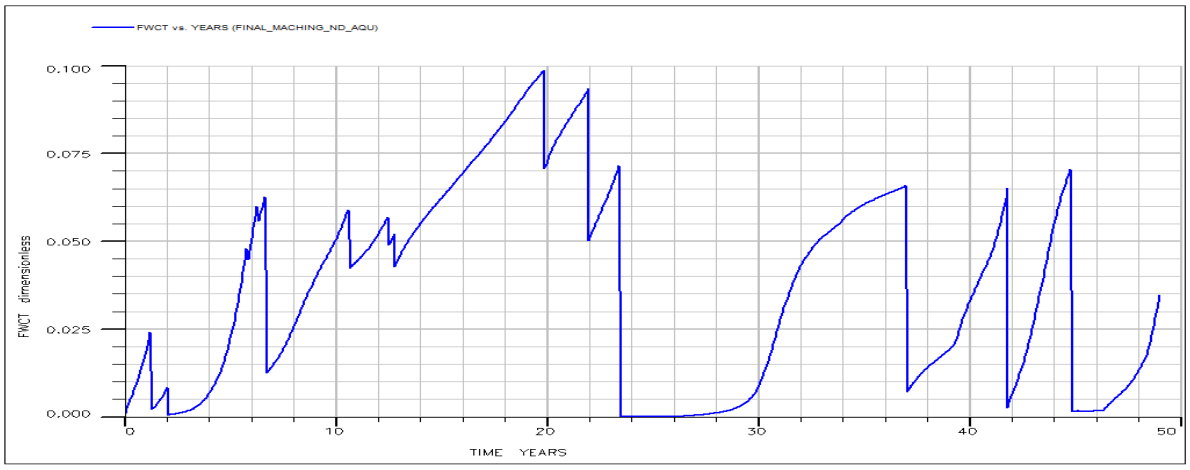
نمودار۸ : افت فشار مخزن در سناریو تخلیه طبیعی

www.SID.ir

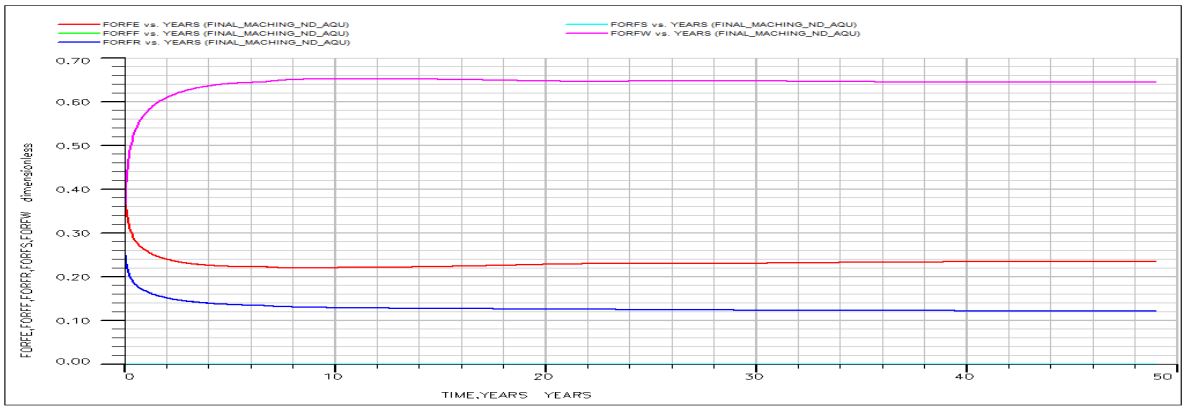
Archive of SID



نمودار ۹: می‌زان دبی نفت تولی‌دی در سناری‌و تخلی‌ه طبی‌عی



نمودار۱۰: نسبت آب تولی‌دی در سناری‌و تخلی‌ه طبی‌عی



نمودار ۱۱: می‌زان نقش مکانی‌سم های تولی‌د در سناری‌و تخلی‌ه طبی‌عی

نمودار ۱۱ نشان دهنده میزان شرکت مکانیسم‌های متعدد بر تولید از مخزن می‌باشد.اهمی‌ت و نقش ای‌ن مکانی‌سم ها جهت شناخت عملکرد مخزن در اعمال روش های صی‌انتی و ازدی‌اد برداشت برای تولی‌د هرچه بی‌شتر قابل توجه و تامل می‌باشد. با توجه به نمودار سه مکانیسم اصلی حکم فرما در مخزن مورد مطالعه عبارتند از: (۱-ورود آب به مخزن، ۲- انبساط نفت ناشی از افت

www.SID.ir

Archive of SID

فشار مخزن، ۳-فشرده شدن سنگ‌ها ناشی از افت فشار مخزن) و به نحوی که مشاهده می‌شود افت فشار مخزن باعث ورود آب به مخزن، فشرده شدن سنگ و انبساط نفت می‌شود، وسهم بی‌شتری از نفت تولی‌دی از مخزن، ناشی از مکانی‌سم ورود آب به مخزن می‌باشد.

۶-نتای‌ج

میزان بازدهی به دست آمده از مخزن شکافدار نفت سنگی‌ن مورد مطالعه به شدت وابسته به دبی تولی‌د نفت و محل قرارگیری چاه‌های تولیدی می‌باشد.همچنی‌ن محدودی‌ت اعمال شده بر فشار ته چاهی مخزن بسی‌ار حائز اهمی‌ت هست، چنانچه فشار مخزن به زی‌ر فشار حباب برسد، اجزای سبک نفت جدا شده و نفت سنگی‌ن تر می‌شود و به تبع آن جابجای‌ی و تولی‌د آن مشکل تر می‌شود.

پدی‌ده water coning تاثی‌ر منفی بسی‌ار زی‌ادی بر تولی‌د در مخزن مورد مطالعه دارد، که از خطرات جبران نشدنی آن ای‌نست که با پی‌شروی آب، نفت زی‌ادی به تله بی‌فتد و ای‌ن نفت دی‌گر هرگز قادر به تولی‌د نباشد.

۷-مراجع

1. Van Golf-Racht ،T.D.: “Fundamentals of Fractured Reservoir Engineering” ،Elsevier Scientific Pub. Co. ،Amsterdam (1982).
2. Amyx ،J. W. ،Bass ،D. M. ،Jr. ،and Whiting ،R. L.:“Petroleum Reservoir Engineering” ،McGraw-Hill Book Co. ،Inc. ، New York (1960).
3. 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.
4. Firoozabadi ،A. and Markeset ،T.: “Laboratory Study of Reinfiltration for Gas-Liquid System in Fractured Porous Media” paper SPE 26129 (nov.1992).
5. V.A. Sajadian، A. Danesh، D.H. Tehrani: “*Laboratory studies of gravity drainage mechanism in fractured carbonate reservoir-capillary continuity*”، SPE 49497، October 1998.
6. Shariat، A.R. Behbahaninia، M. Beigy: “*Block to Block Interaction Effect in Naturally Fractured Reservoirs*”، Paper SPE 101733 presented at the first international oil conference and exhibition in Mexico held in Cancun، Mexico، 31 August-2 September 2006.

www.SID.ir