



دانشجو: پیمان آلیانی

موضوع گزارش: شبیه سازی مخزن در نرم افزار پترل

دانشکده مهندسی نفت

بهار ۱۴۰۱



دانشگاه صنعتی امیرکبیر
(پلی تکنیک تهران)

فهرست مطالب

۳.....	مقدمه.....
۳.....	ویژگی های نرم افزار Petrel.....
۴.....	صورت مسئله.....
۶.....	روش انجام.....
۱۲.....	آنالیز حساسیت بر روی LGR.....
۱۴.....	آنالیز حساسیت بر روی نوع completion.....
۲۰.....	Workflow.....
۲۲.....	نتیجه گیری.....

مقدمه

نرم افزار پترل، توسط شرکت شلمبرژر به دنیای صنعت نفت معرفی شده است. این نرم افزار در تمامی رشته های اکتشاف، بهره برداری، مخزن، و حفاری وارد شده است. در ورژن جدید این نرم افزار توجه بیشتری به تکنولوژی های جدید دنیای نرم افزار شده که کار کردن با این نرم افزار را بسیار روان کرده است. همچنین برای بالا بردن کار و دسترسی سریع به داده ها، خصوصیت سروری در آن پیشبینی شده است که کاربر قادر است داده های خود را در سروری مرکزی وارد کرده، و بقیه کاربران مرتبط بر اساس طبقه بندی محدودیت دسترسی، آنرا بررسی کرده، تغییرات لازمه را اعمال، سپس بروز شده آنرا ذخیره نماید. از ویژگی های این نرم افزار معرفی فرمت جدید برای داده های لرزه نگاری است. با توجه به بالا بودن محاسبات process داده های لرزه نگاری، معمولاً برای اینکار ابر کامپیوترهایی در نظر گرفته شده است. اما این فرمت جدید، مقدار درگیری ram و cpu کامپیوتر را کمتر در نتیجه کاربر قادر به استفاده از این نرم افزار حتی در کامپیوتر های شخصی است. به نظر می رسد که نرم افزار office drill که بوسیله این شرکت معرفی شده است، در زمینه حفاری از نرم افزار پترل قوی تر باشد. اما با توجه به ادعا های مهندسين این شرکت، نرم افزار پترل، در حال بهبود بوده و ویژگی های این نرم افزار گسترش می یابد، که یک شرکت فقط بوسیله یک نرم افزار قادر به تعمین تمامی نیاز های مهندسی خود می باشد. از ویژگی های مورد توجه دیگر ورژن جدید نرم افزار توجه به مدیریت مخزن در این نرم افزار است. همان طور که می دانید، در مدیریت مخزن تمامی گروه های مهندسی با هم کار می کنند. این نرم افزار قابلیت دسترسی یک داده از یک ماژول به ماژول دیگر را دارا می باشد. یعنی گروه تعبیر لرزه نگاری بعد از انجام عملیات مورد داده ها را ذخیره کرده سپس گروه مخزن از آن استفاده می کنند. یعنی تمامی پایگاه داده های این نرم افزار با هم مرتبط هستند. دیگر ویژگی ورژن جدید این نرم افزار، جلوه های تصویری آن می باشد که تعبیر و تفسیر و همچنین بررسی قسمت های آنرا آسان تر می نماید. این نرم افزار همچنین قادر است مستقیماً داده ها به CMG و Pennsys ارسال نمایند که با توجه به ادعاهای صورت گرفته، توانایی این نرم افزار در نمایش شبیه سازی های طراحی شده، قویتر می باشد

ویژگی های نرم افزار Petrel

قابلیت copy/paste و داده ها

داشتن ابزارهای متنوع برای حوزه های کاری مختلف

افزایش بهره وری گردش کار

ترسیم سه بعدی نمودارها با نهایت دقت و کیفیت

اشغال کم منابع سیستم و قابل استفاده بر روی سیستم های خانگی

قابل استفاده در رشته های حفاری، معدن و...

تجمیع تمامی ابزارهای لازم جهت تفسیر اطلاعات و داده های لرزه نگاری در یک بسته نرم افزاری یکپارچه

دارای رابط گرافیکی کاربر پسند

صورت مسئله

یک تاقدیس با ابعاد و مشخصات ذکر شده در جداول ذیل در نظر بگیرید. یک چاه عمودی تزریقی در مرکز مخزن قرار دارد که با فشار ته چاهی ثابت ۵۶۰۰ پام و دبی ۲۰۰۰ STB/D که بعد از دو سال به مخزن اضافه شده است در حال تزریق است و چهار چاه عمودی تولیدی که در تمام لایه ها تکمیل چاه صورت گرفته است و با فشار ثابت ۱۳۵۰ پام تولید می کنند را ایجاد کنید.

Parameter	Value
Length of reservoir in X and Y direction	10,000 ft
Reservoir lowest depth	-5200 ft
Reservoir highest depth	-4200 ft
Dimension	50 × 50 × 10
Horizontal Permeability	28.3, 12.8, 13.21, 10.3, 8.91 mD
Kv/Kh	0.25
Porosity	0.2, 0.12, 0.14, 0.09, 0.07
Datum Depth	4700 ft
Pressure at datum depth	4870 psia
Oil water contact	4900
Gas oil contact	4300

Parameter	Value
Reference pressure	3118 psi
Reservoir temperature	170 F
Bubble point pressure	1160 psi
Maximum pressure	6000 psi
Minimum pressure	1160 psi
Oil gravity	40 API
Water salinity	30000 ppm
Gas specific gravity	0.666
Well name	(X, Y)
P1	(2150, 1500)
P2	(2150, 7750)
P3	(7750, 1500)
P4	(7750, 7750)
I1	(4850, 5050)

Coordinate of the points:

Top points

X	Y	Z
0.00	10000.00	-4420.00
4500.00	4000.00	-4200.00
10000.00	0.00	-4420.00
10000.00	10000.00	-4420.00
0.00	0.00	-4420.00
4500.00	6000.00	-4200.00

Bottom points

0.00	10000.00	-5200.00
4500.00	4000.00	-4800.00
10000.00	0.00	-5200.00
10000.00	10000.00	-5200.00
0.00	0.00	-5200.00
4500.00	6000.00	-4800.00

2.5

۱. شماتیکی از تاق‌دیس توسط petrel ایجاد کنید.
۲. تمام خواص سنگ و سیال را به مدل اضافه می‌کنیم.
۳. چاه‌ها و خواص سنگ و سیال را ایجاد می‌کنیم.
۴. چاه‌ها را تعریف کنید و تکمیل چاه را بر روی آن‌ها اعمال کنید.
۵. نواحی اطراف چاه‌ها را توسط LGR مورد بررسی قرار می‌دهیم. و نمودارهای مربوطه را رسم و مقایسه می‌کنیم.
۶. یک محدودیت اقتصادی به منظور تولید آب به نسبت ۰.۸۵ در نظر بگیرید.
۷. پنج سناریو تولیدی را که هر یک در نوع تکمیل چاه با هم متفاوت هستند را مطابق با جدول ذیل ایجاد کرده و سپس توسط قسمت DEVELOPMENT STRATEGY و سپس DEFINE CASE به مدل اضافه می‌کنیم.

For completions consider 5 scenarios:

Case 1	Base Case
Case 2	3 upper connections are open
Case 3	5 upper connections are open
Case 4	5 lower connections are open
Case 5	3 lower connections are open
(only on producers)	

۸. نمودار تولید تجمعی، دبی روزانه تولیدی و دبی روزانه تزریق را بدست آورید و نتایج را مقایسه و تفسیر می کنیم.

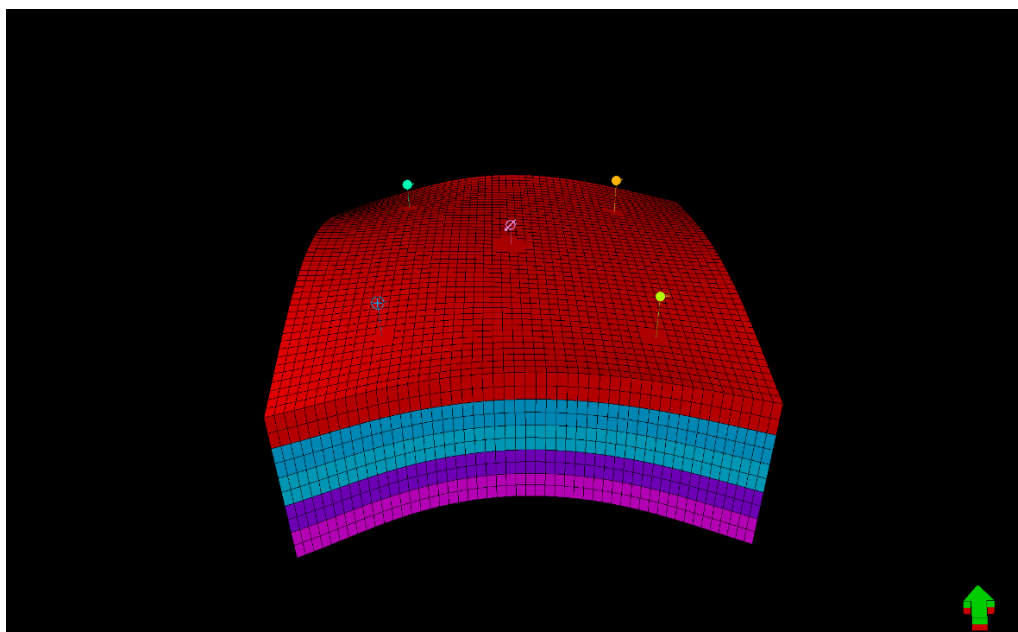
۹. یک اتوماسیون توسط بخش workflow به منظور تغییر مکان چاه تزریقی و تاثیر آن بر میزان بازیافت نفت ایجاد می

کنیم. (تکمیل چاه تزریقی open hole است)

روش انجام

برای انجام این شبیه سازی از نرم افزار پترل ۲۰۱۷ ساخت شرکت شلمبرجر استفاده شده است. بدین منظور خواص مطرح شده در مساله در نرم افزار وارد شده و مخزن به صورت زیر شبیه سازی شد.

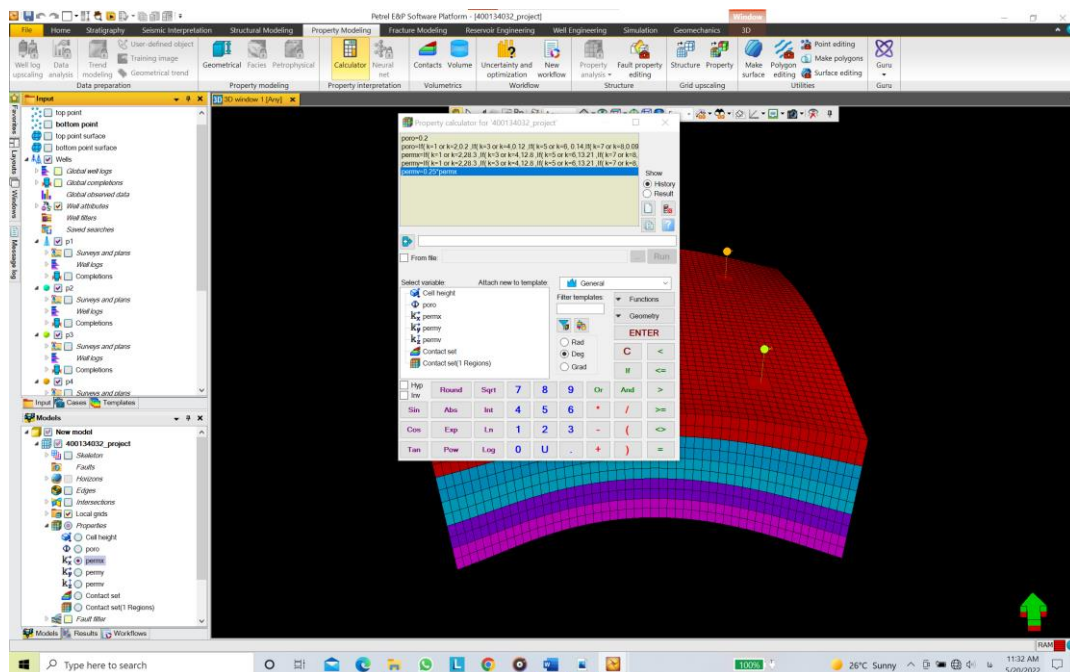
نمای شماتیک تاق‌دیس



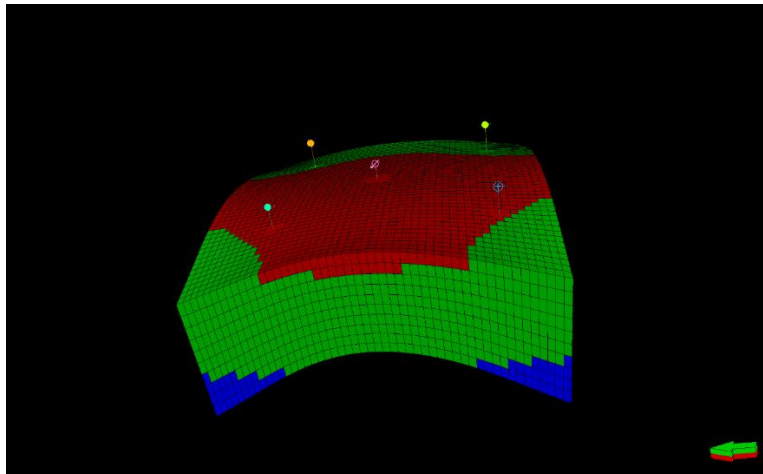
نمایی از تأقیدیس شده در ساده ترین حالت

ابتدا از بخش new project یک پروژه جدید ایجاد می کنیم. سپس از بخش setting project ریربخش units & coordinates واحدهای اندازه گیری را به filed تغییر می دهیم.

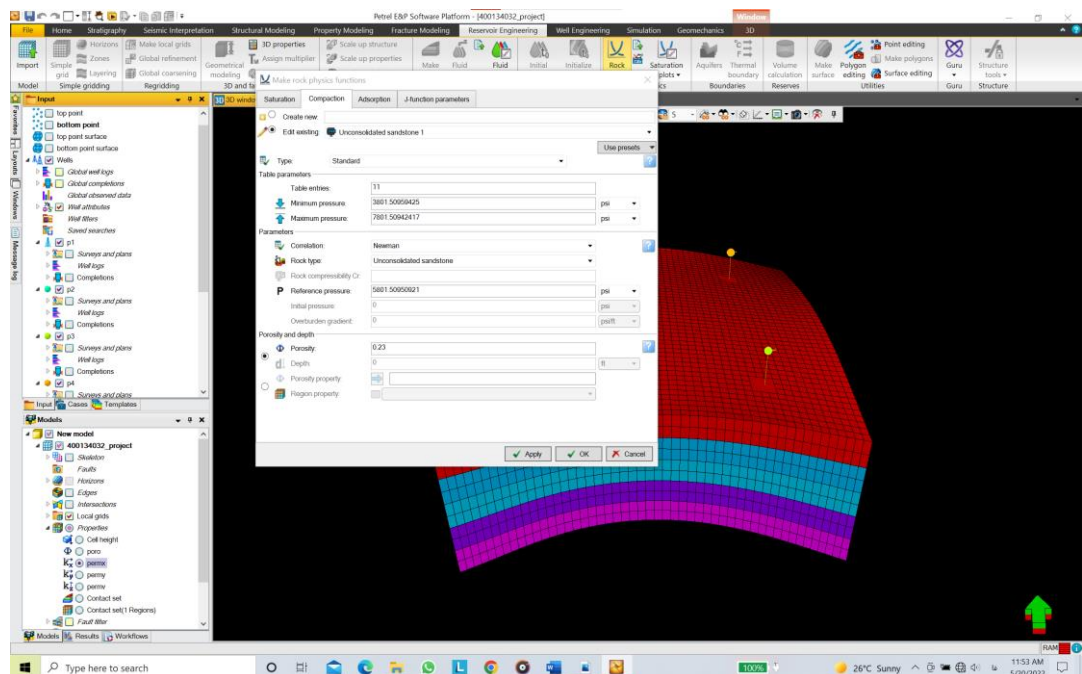
سپس از بخش simple grid بالا و پایین و تعداد گرید ها و اندازه گریدها را وارد می کنیم. سپس horizens و edges و surfaceها را مشخص کرده و لایه بندی را انجام می دهیم. از بخش calculator خواص مخزنی تخلخل و تراوایی برای هر لایه را وارد می کنیم. ۱۰ لایه داریم و برای هر لایه دو تخلخل وارد می کنیم ، و تراوایی های افقی را برابر مقدار جدول مربوط براساس لایه ها توسط دستور if(..) وارد می کنیم. برای تراوایی عمودی طبق صورت مسئله ۰.۲۵ تراوایی افقی در نظر گرفته شده است.



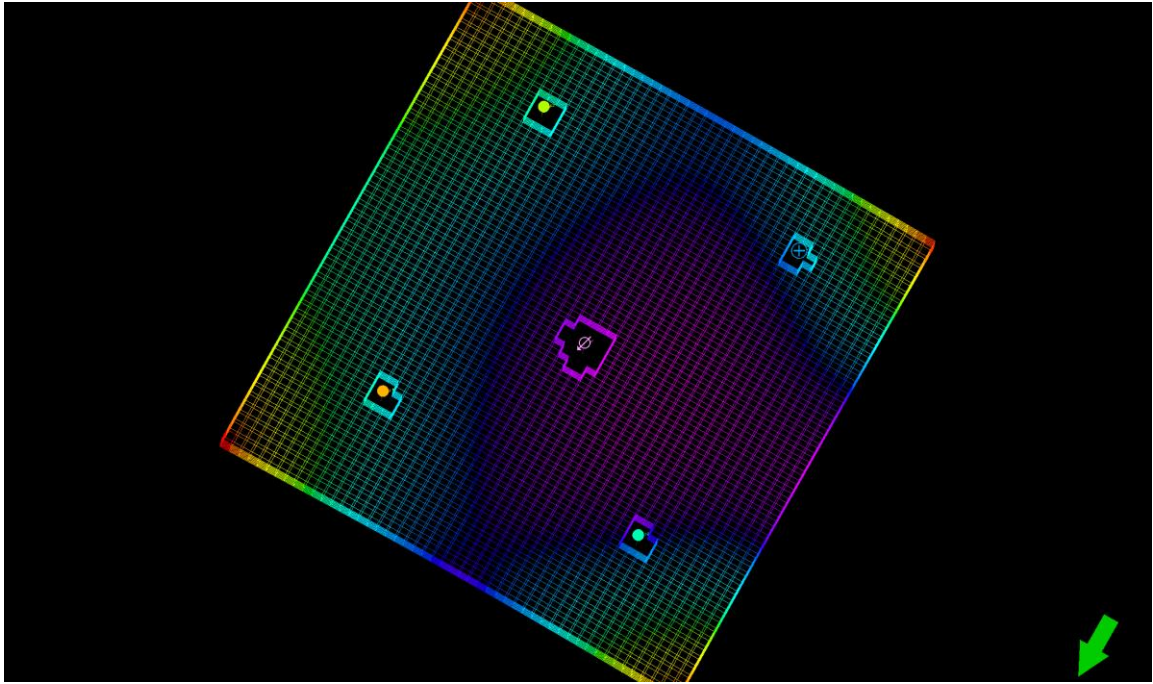
سپس مدل سیال را از بخش make fluid model باید درست کنیم. ابتدا contact set را ایجاد کرده و زمانی که داده ها را در بخش خواص سیال نیاز است ورودی می دهیم و بقیه اطلاعات را مطابق جدول برای black oil model وارد می کنیم. در بخش بعدی باید توابعی که خواص فیزیکی سنگ را مشخص می کنند را وارد کنیم.



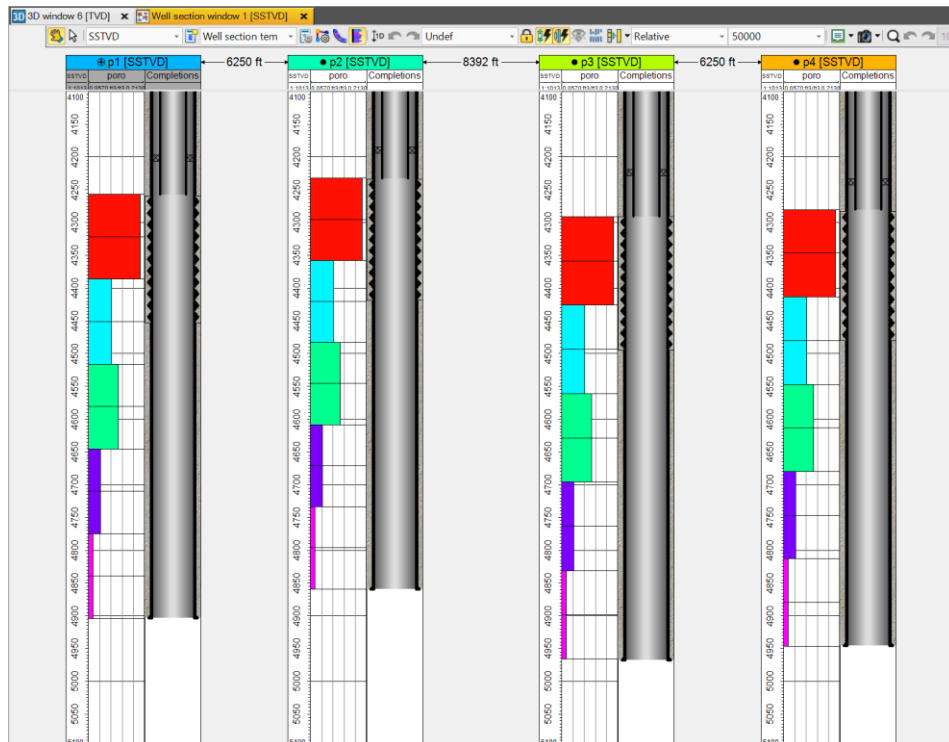
برای این منظور use preset را انتخاب کرده و از بخش make rock physics functions خواص تراوایی نسبی را sand و تراکم پذیری را unconsolidated sandstone وارد می کنیم.



همچنین یک چاه تزریقی و چهار چاه تولیدی مطابق با جدول مربوطه ایجاد می کنیم. اطلاعات مکان چاه در جدول ذکر شده آمده است. برای این منظور well completion زیر بخش new well را انتخاب کرده و داده ها را برای چاه ها را وارد می کنیم. بعد از این وارد بخش make local gridding می شویم و برای هر چاه یک LGR به دلخواه در نظر می گیریم. شکل ذیل زیر مکان چاه و LGR ها را مطابق با داده های مسئله، از بالا نشان می دهد.

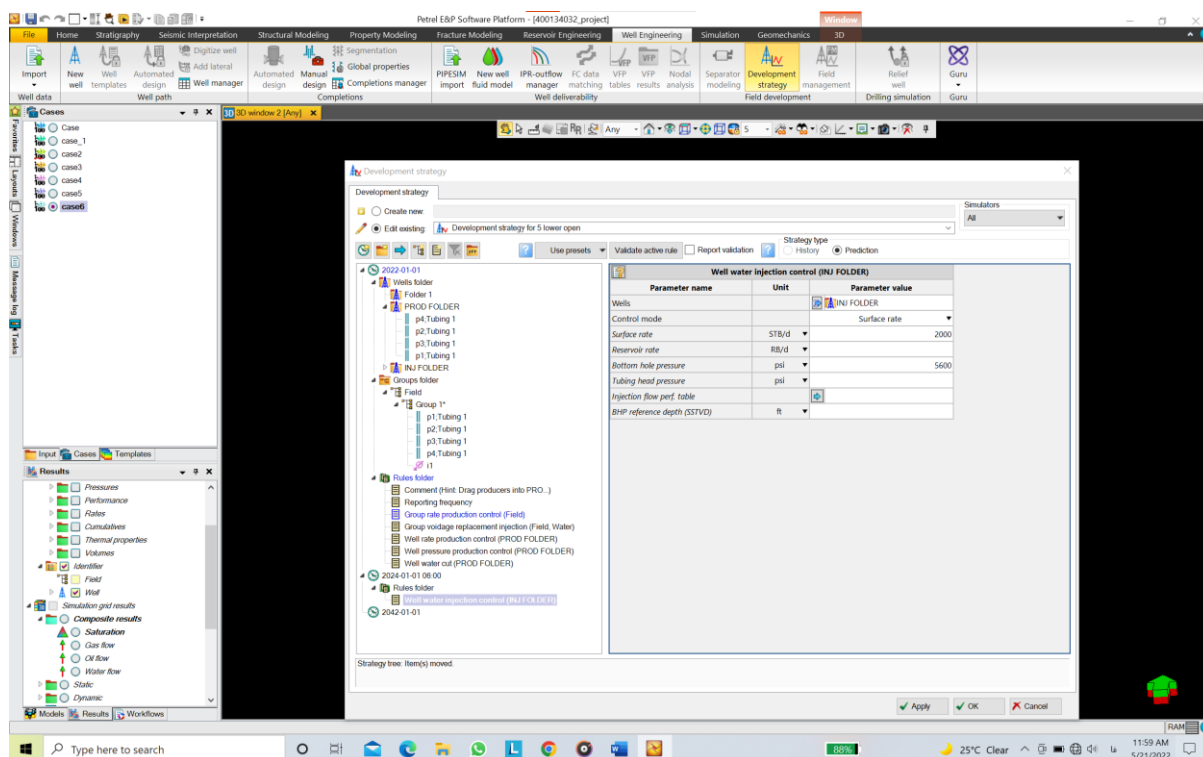


سپس باید به طراحی و تکمیل هر چاه با توجه به هر نوع استراتژی تولید بپردازیم. برای این منظور از بخش well completion گزینه manual design را انتخاب کرده و با توجه به اطلاعات برای نوع define case تکمیل چاه را انجام میدهیم

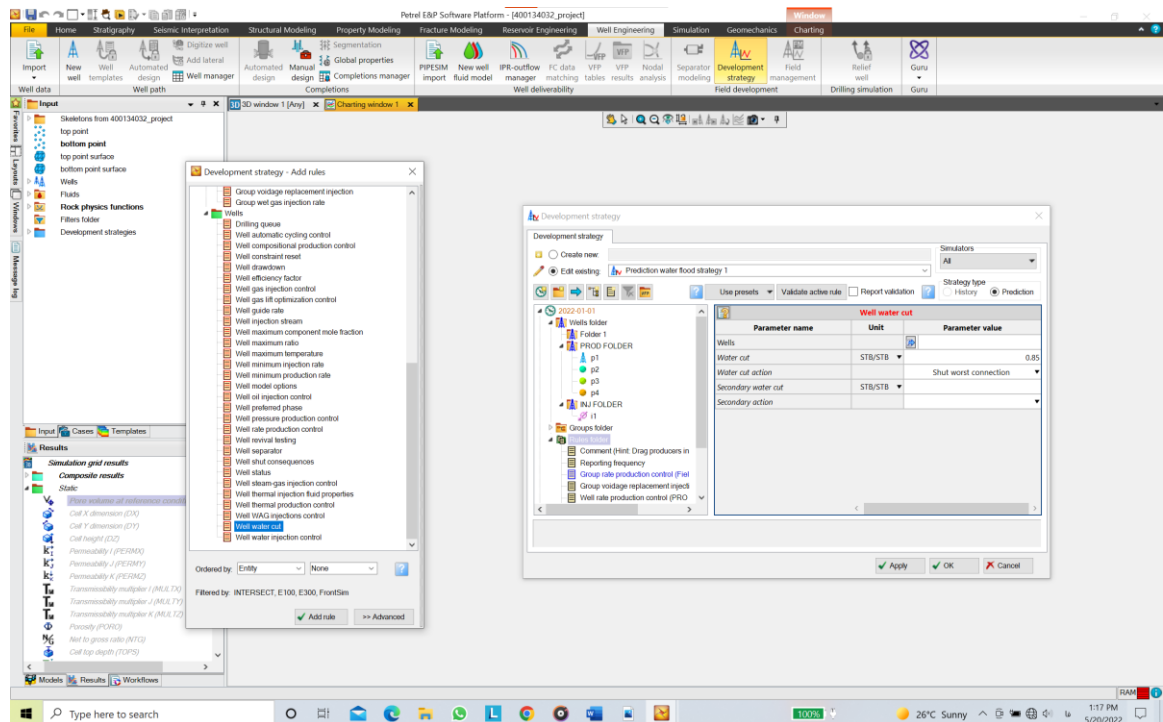


ابتدا یک base model (case 1) به صورت open hole در نظر می گیریم ولی برای موارد ۲ تا ۵ مطابق با صورت سوال فقط چاه های تولیدی را casing گذاری و perforation می کنیم و یک packer و tubing هم اضافه می کنیم. ۱۰ لایه داریم و بسته به case مورد نظر perforation را در آن لایه ها انجام می دهیم.

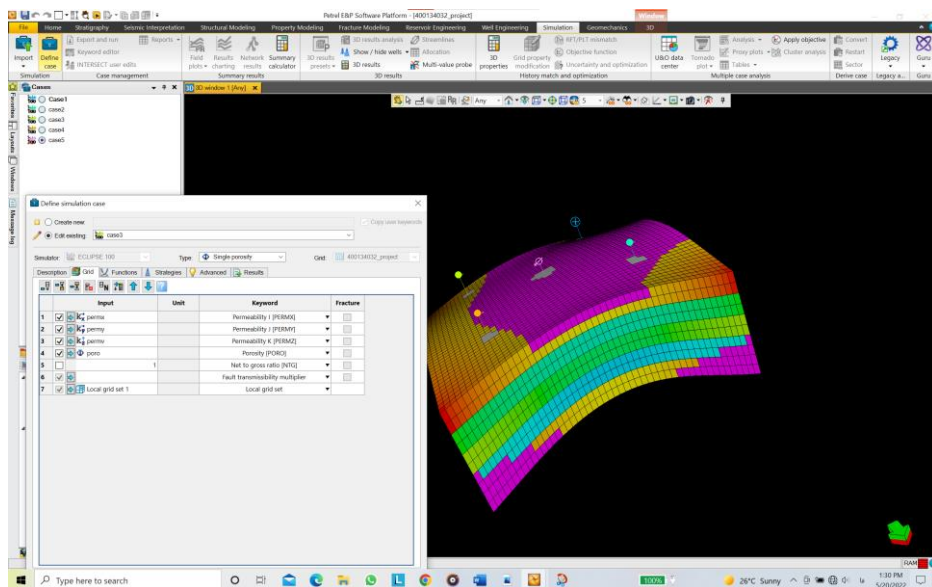
در ادامه از بخش well completion به زیر بخش development strategy رفته و با ایجاد برنامه های با رویکرد پیش بینی تولید به وجود می آوریم. سپس برای هر مورد داده های کنترلی را وارد کرده و با توجه به فشار و دبی تزریق و تولید برای هر چاه و اعمال محدودیت، می توانیم برنامه توسعه را مشخص می کنیم. از سر برگ add rules می توانیم قوانین کنترلی جدید را تعریف کرد. با توجه به صورت سوال یک محدودیت برای ماکزیمم water cut در نظر گرفته و اتصالات چاه را در صورت پدیدار شدن شرط (۰.۸۵) قطع می کنیم. شرط کنترلی دیگر که باید رعایت شود زمان شروع تزریق آب بعد از دوسال (۲۰۲۴/۱/۱) است. که برای همه چاه های تولیدی در نظر گرفته شده است.



به دلیل زمان طولانی برای اجرای هر کیس، دوره شبیه سازی برای تمام case ها پنج سال از ۲۰۲۲ تا ۲۰۲۷ در نظر گرفته شده است. و گزارش ها به صورت دوره های یک ساله محاسبه می شوند.



و در پایان در بخش simulation زیربخش define case می توانیم مدل های ایجاد شده برای مخزن مورد نظر را وارد کرده و case های مختلفی بسازیم. و نوع داده های خروجی را تعیین کنیم. و expert & run بگیریم و نتایج را در بخش result با هم مقایسه و آنالیز کنیم. کاربر می تواند چندین استراتژی را با هم اجرا کند و نتایج را با هم مقایسه کند.

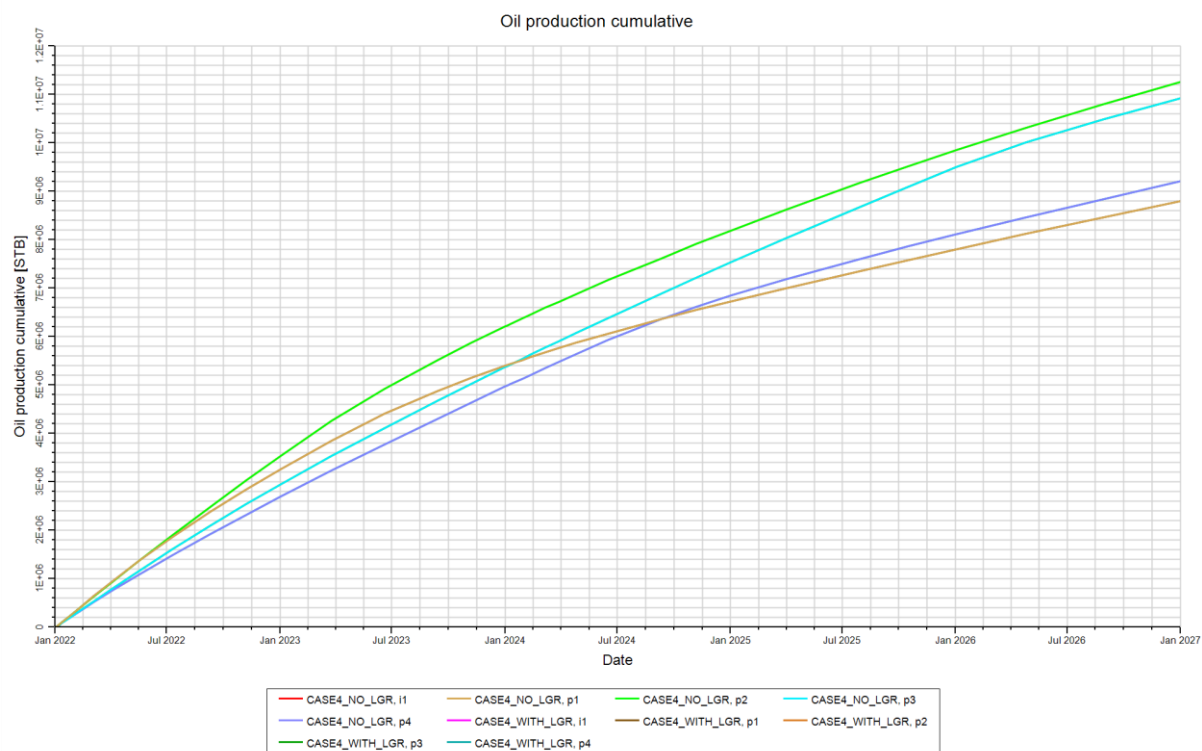


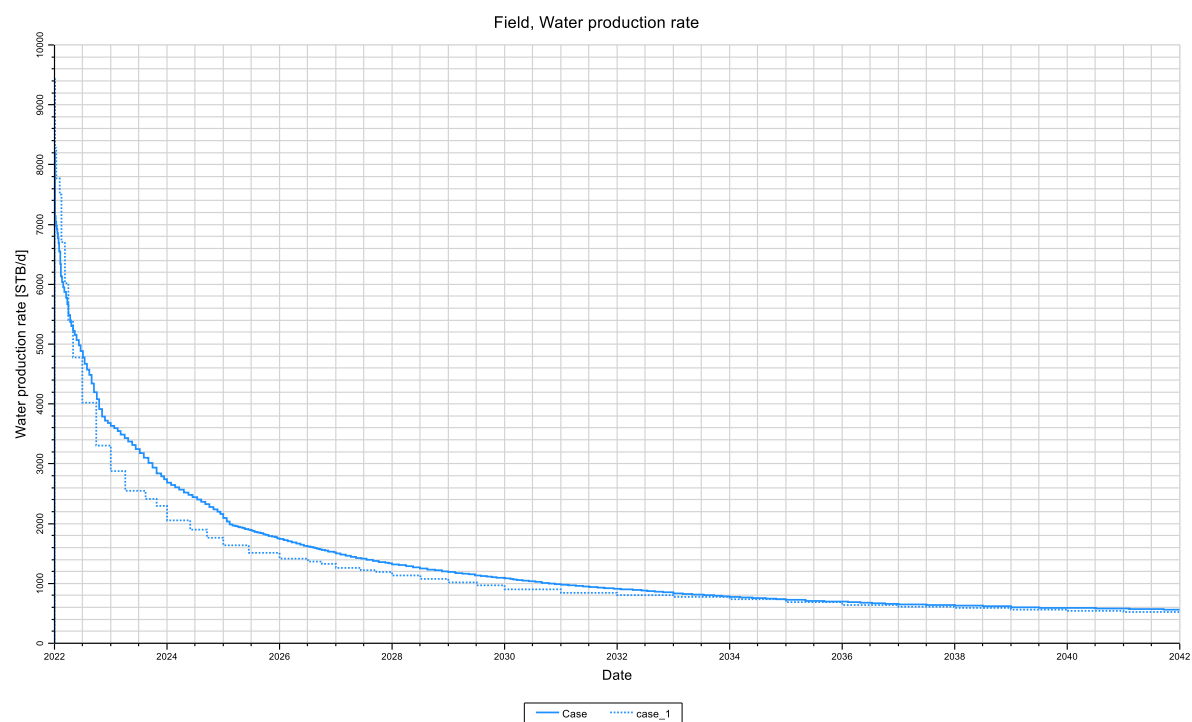
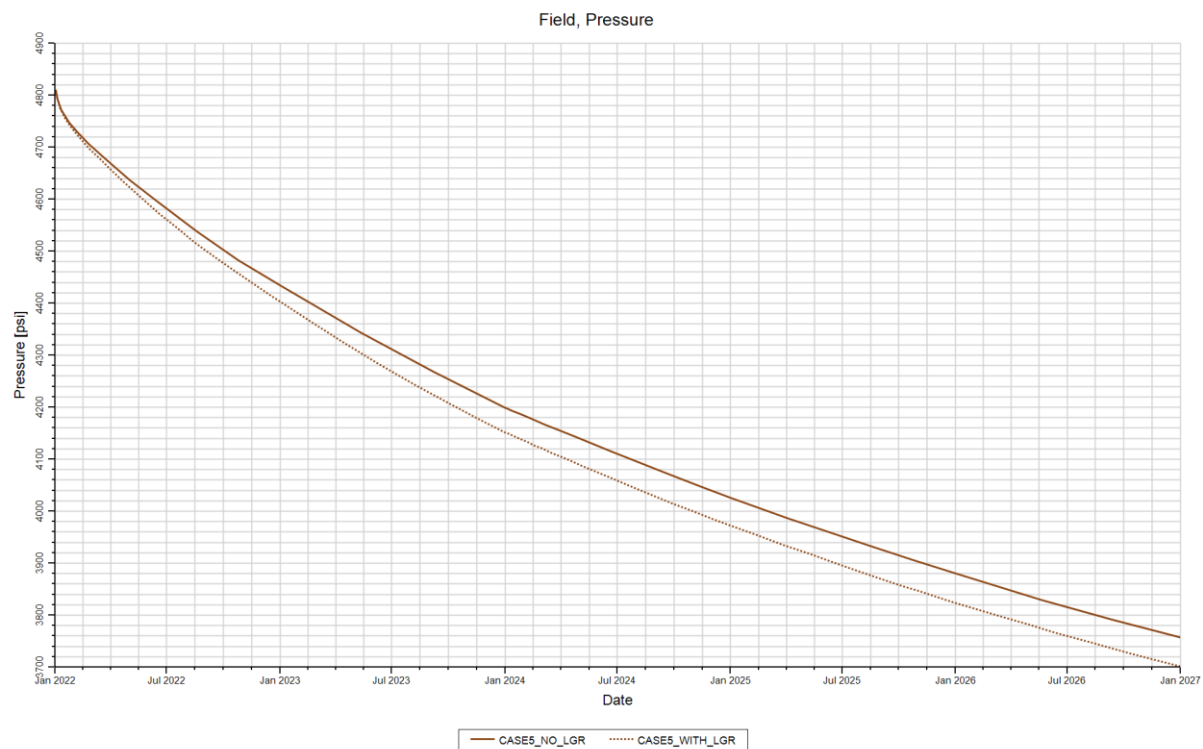
برای مشاهده نتایج شبیه سازی نیاز به function window است. در برگه case تیک مربوطه را زده و سپس در result تیک مربوط به identifier را میزنیم و در انتها تیک مربوط به oil production rate و water production rate و injection rate را میزنیم تا نتایج نشان داده شوند.

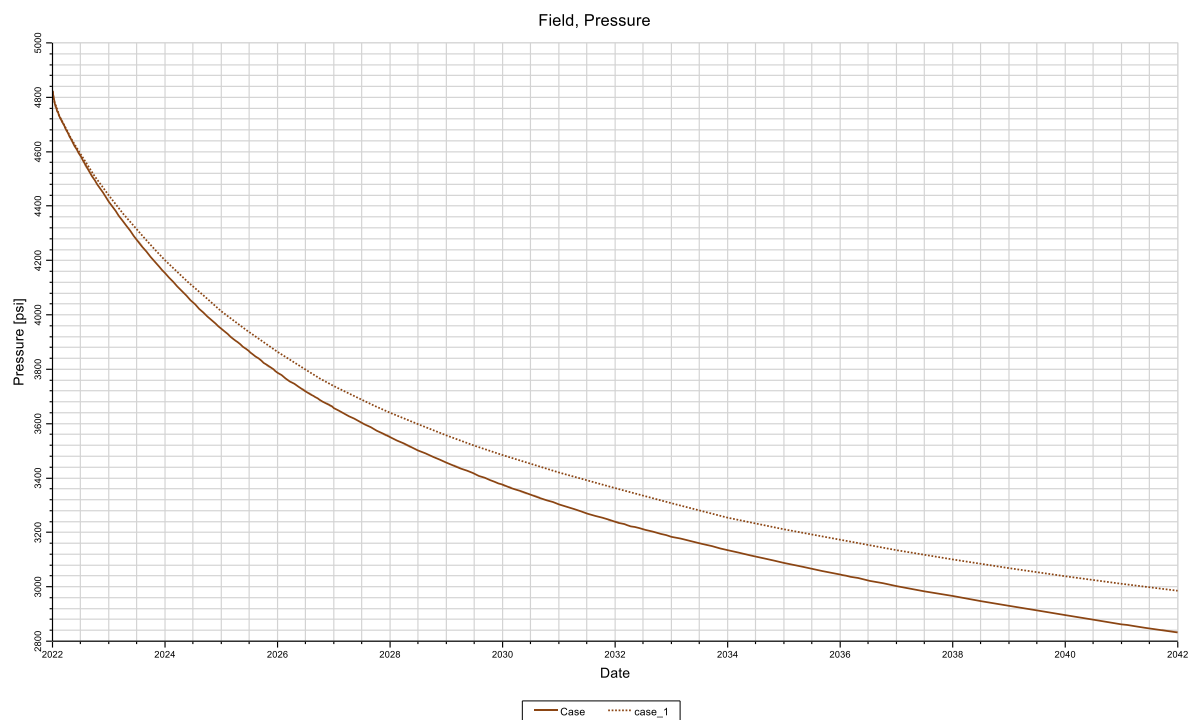
برای مشاهده چندین نمودار از case های مختلف گزینه مناسب استفاده از results charting است. که قابلیت مقایسه case های مختلف را به کاربر می دهد.

آنالیز حساسیت بر روی LGR

با ساخت case ای که دارای LGR بوده و تکرار آن با مدل ای با همان خواص ولی بدون LGR و مقایسه با مدلی با تکمیل چاه نتایج ذیل بدست آمد. ابتدا یک مدل از LGR با اندازه $7 \times 5 \times 7$ ساخته شد. اما به دلیل زمان بالای ران تایم و افزایش بی رویه خطا، مدل به اندازه $3 \times 3 \times 3$ تغییر یافت. تغییر LGR را در شکل های زیر مشهود است.

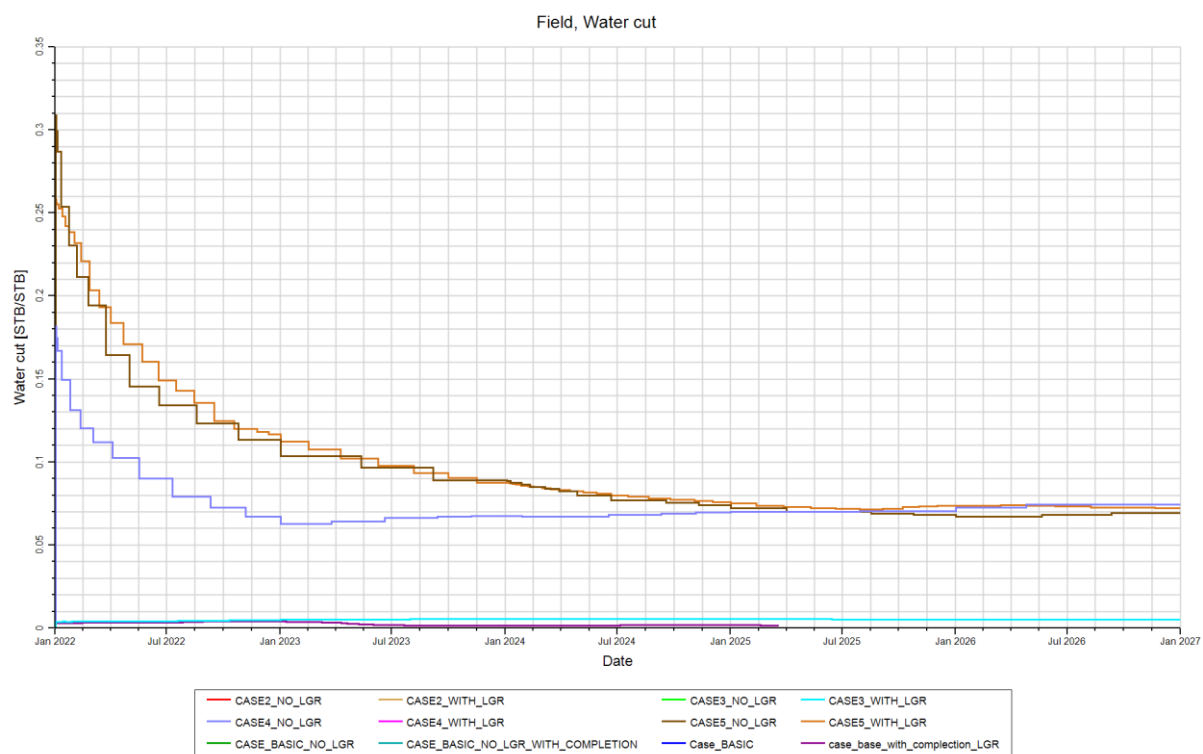
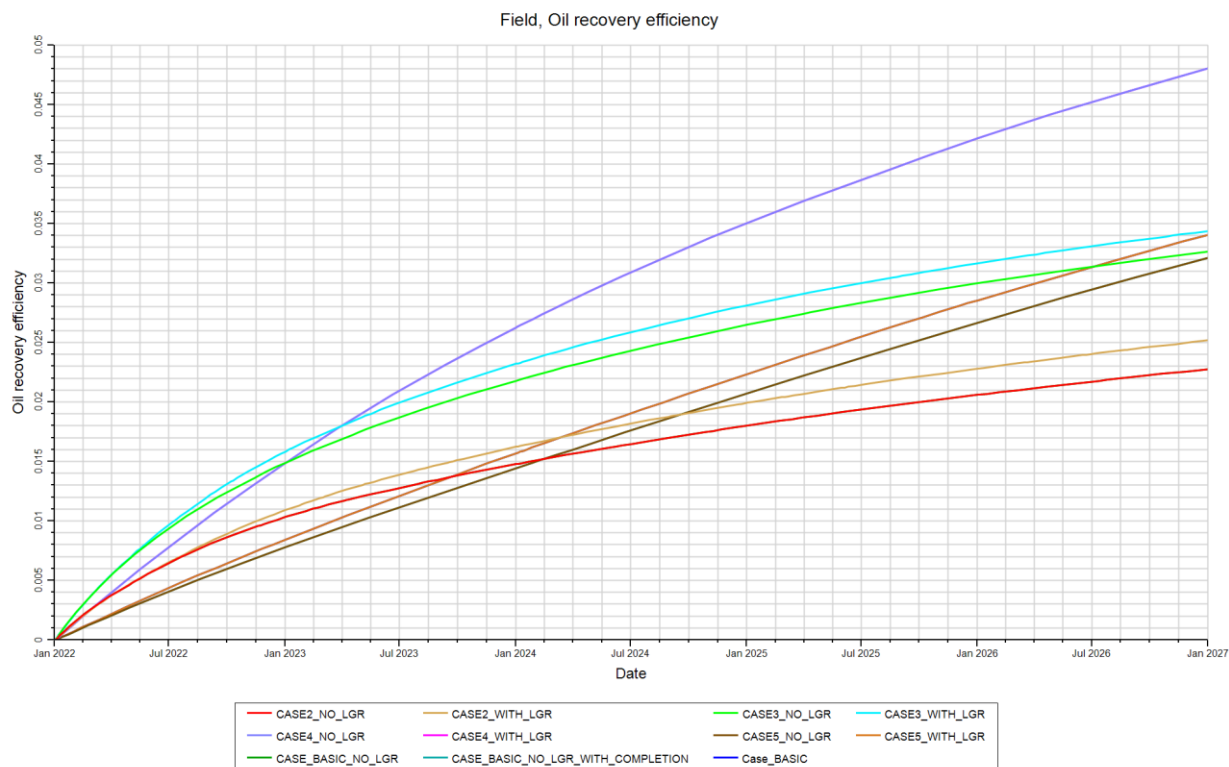


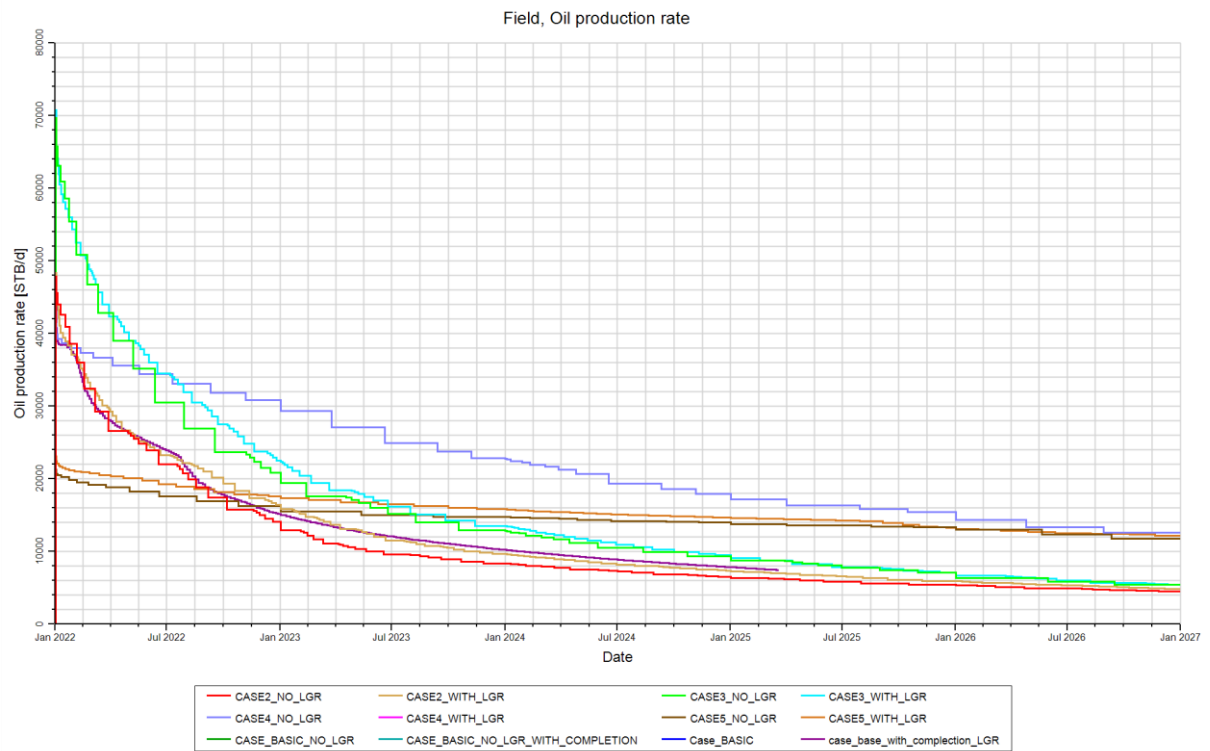
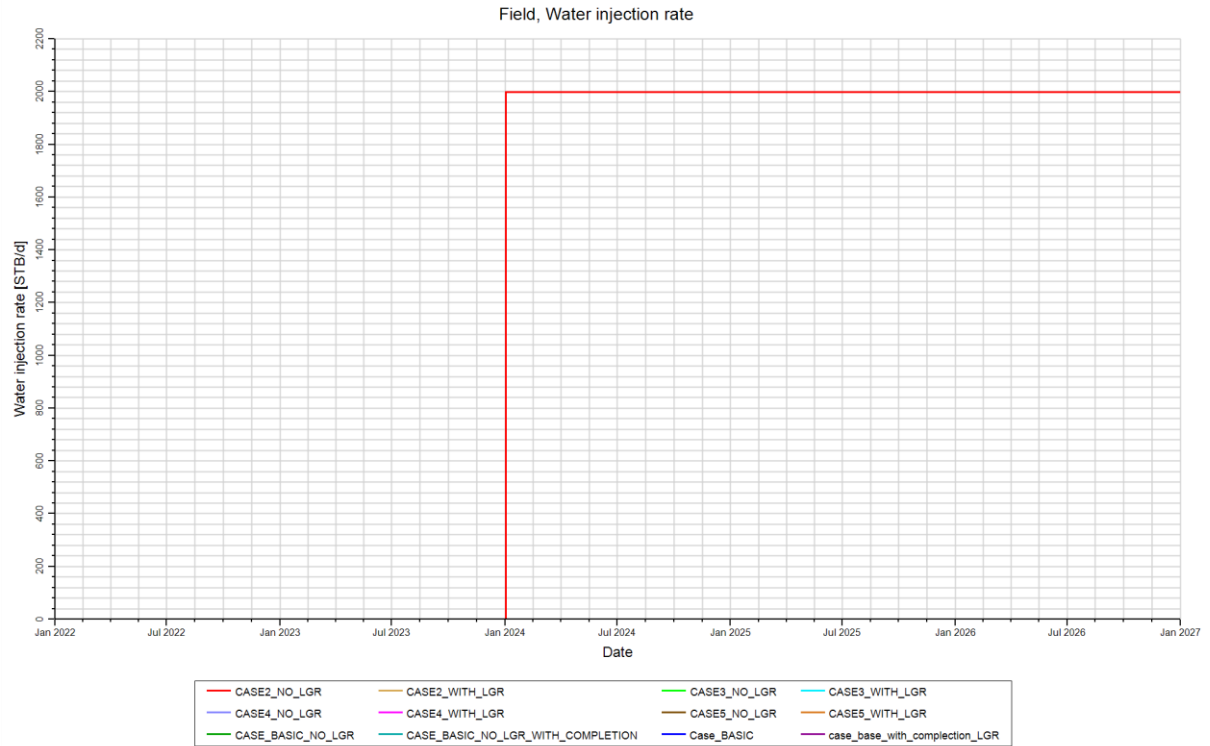


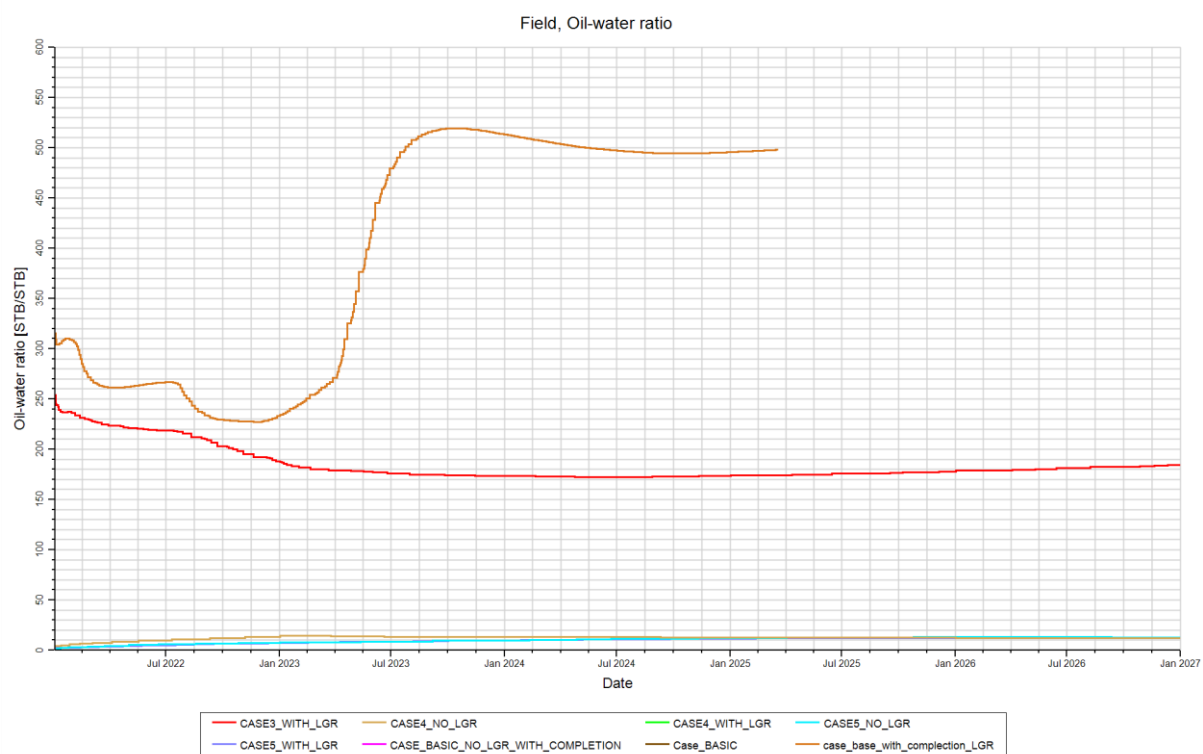
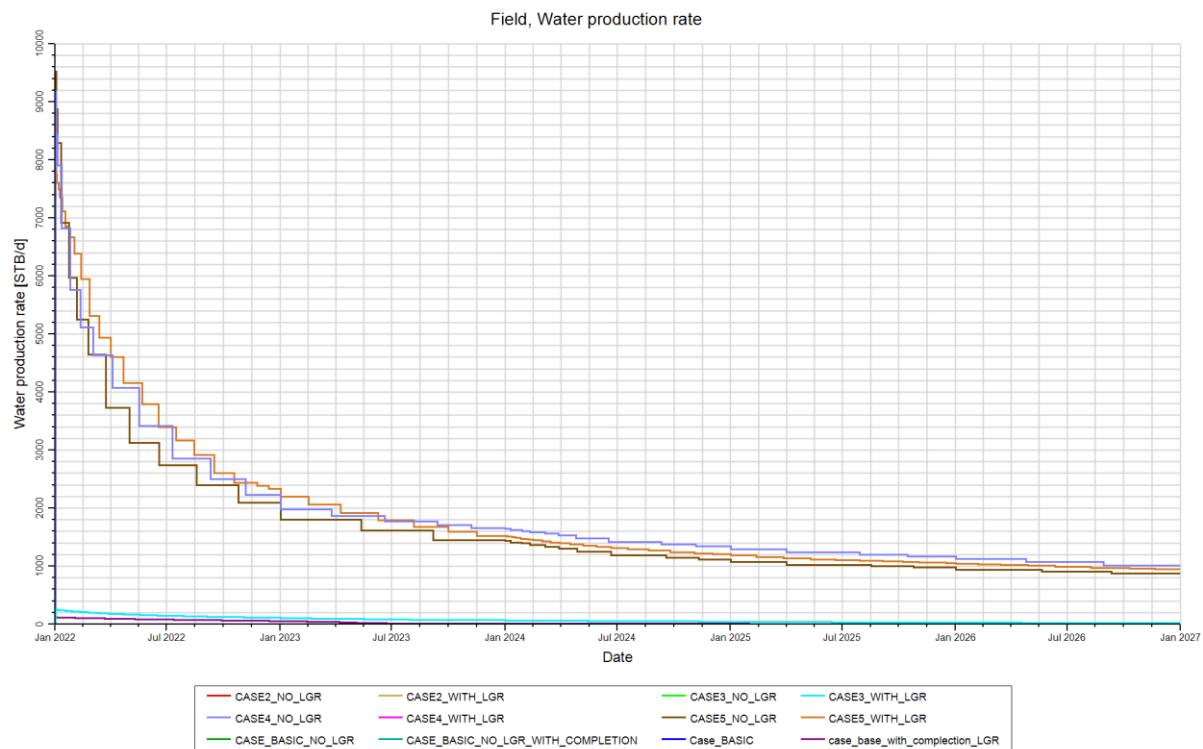


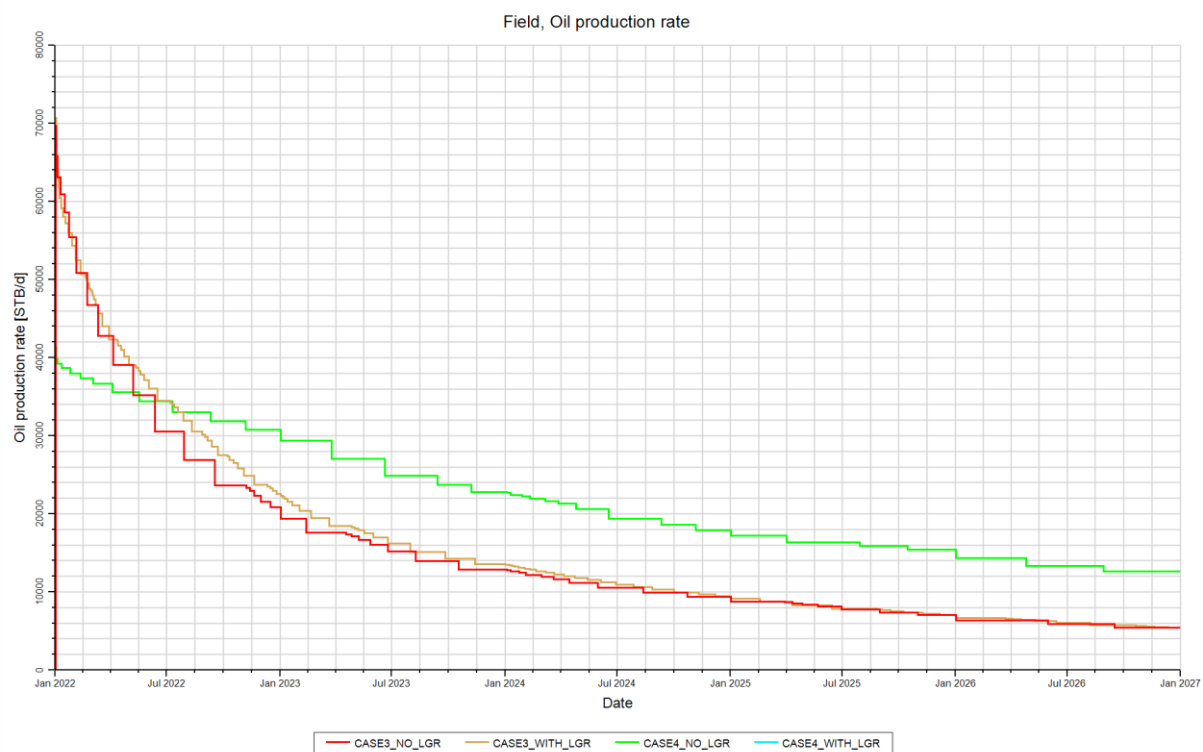
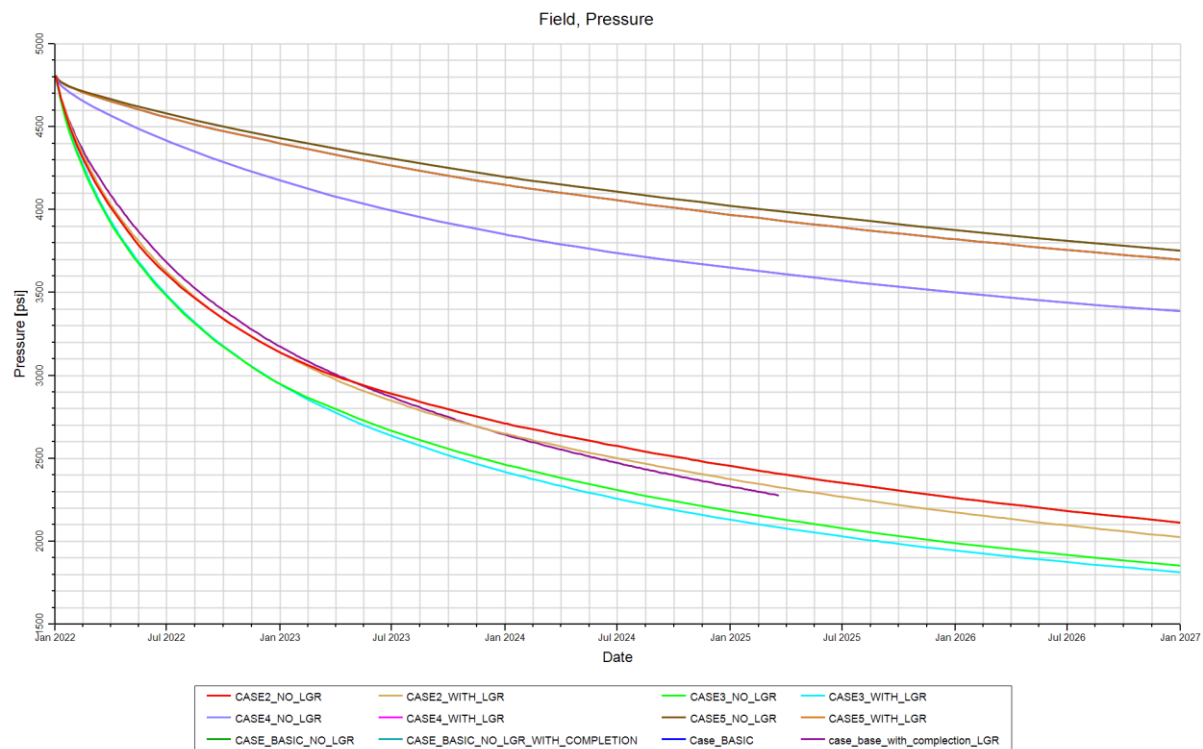
آنالیز حساسیت بر روی نوع completion

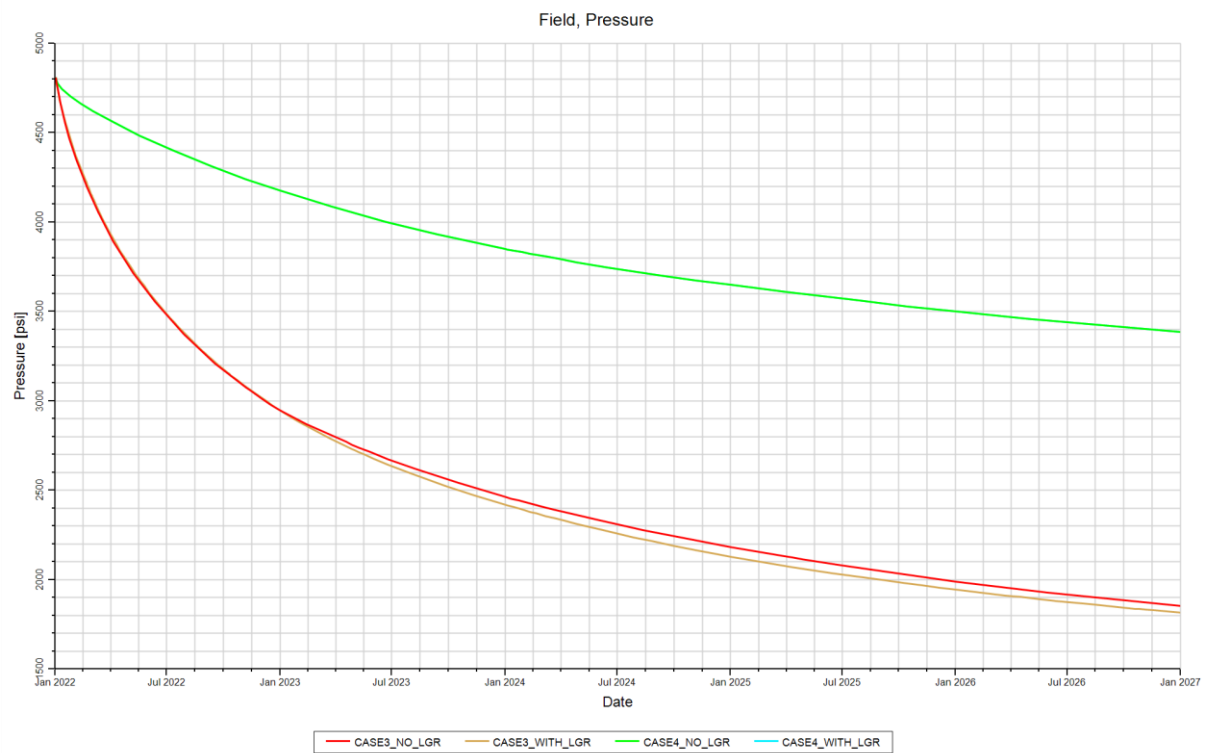
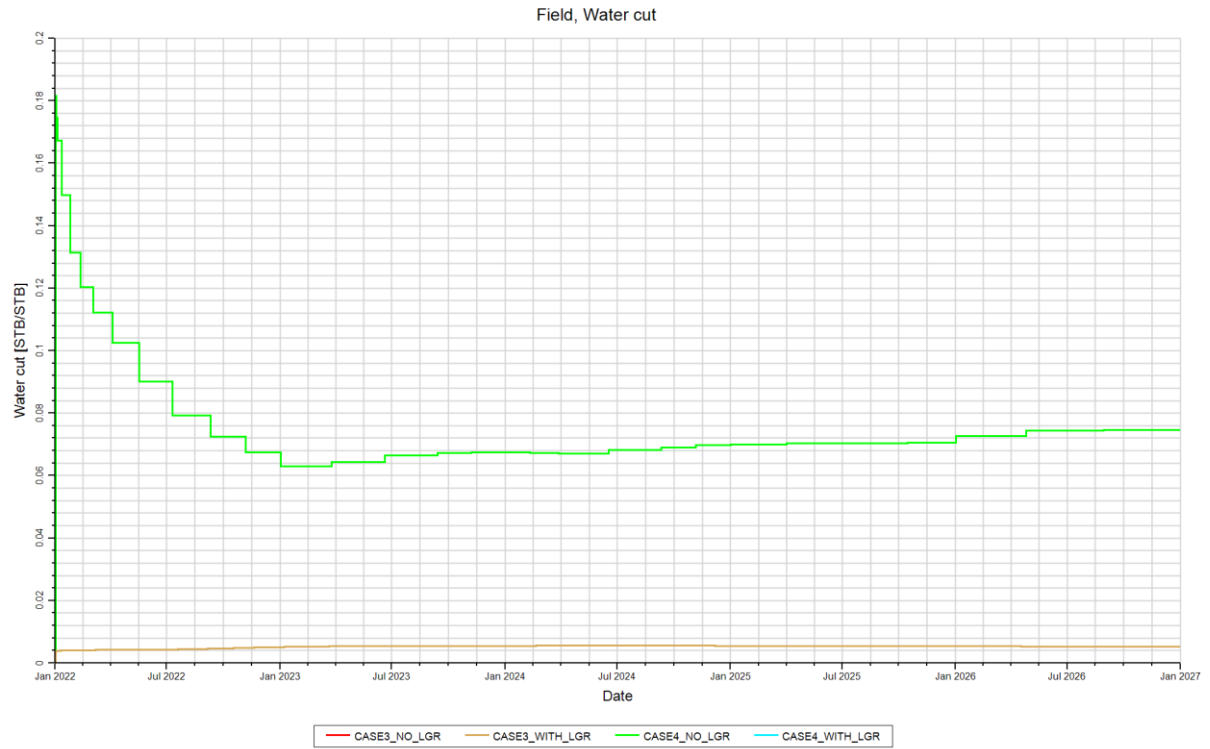
برای این منظور ۱۲ مدل ساخته شده است که برای کیس های مختلف با توجه به صورت مسئله با LGR و بدون LGR تقسیم شده است. و برای هر مورد تکمیل چاه منحصر به آن انجام گرفته است. و rate تولیدی و تزریقی، ریکاوری نفت و water cut با هم مقایسه گردید. که نتایج آن در نمودارهای ذیل نشان داده شده است.

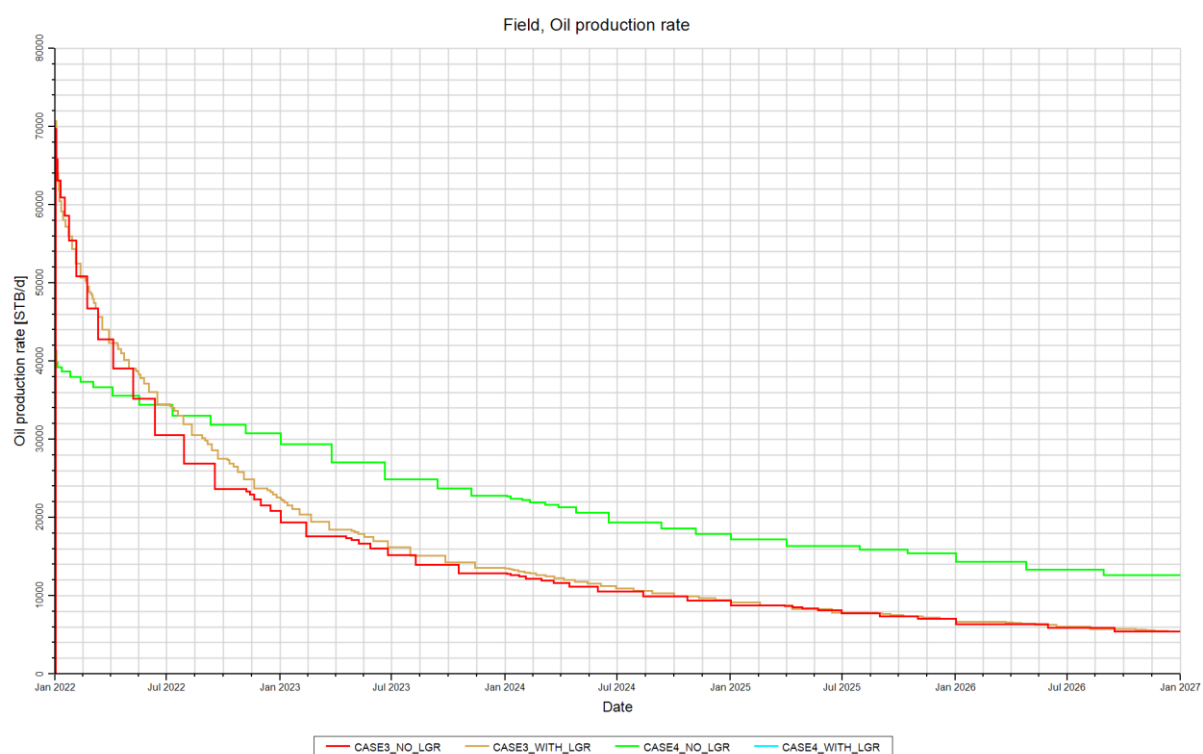
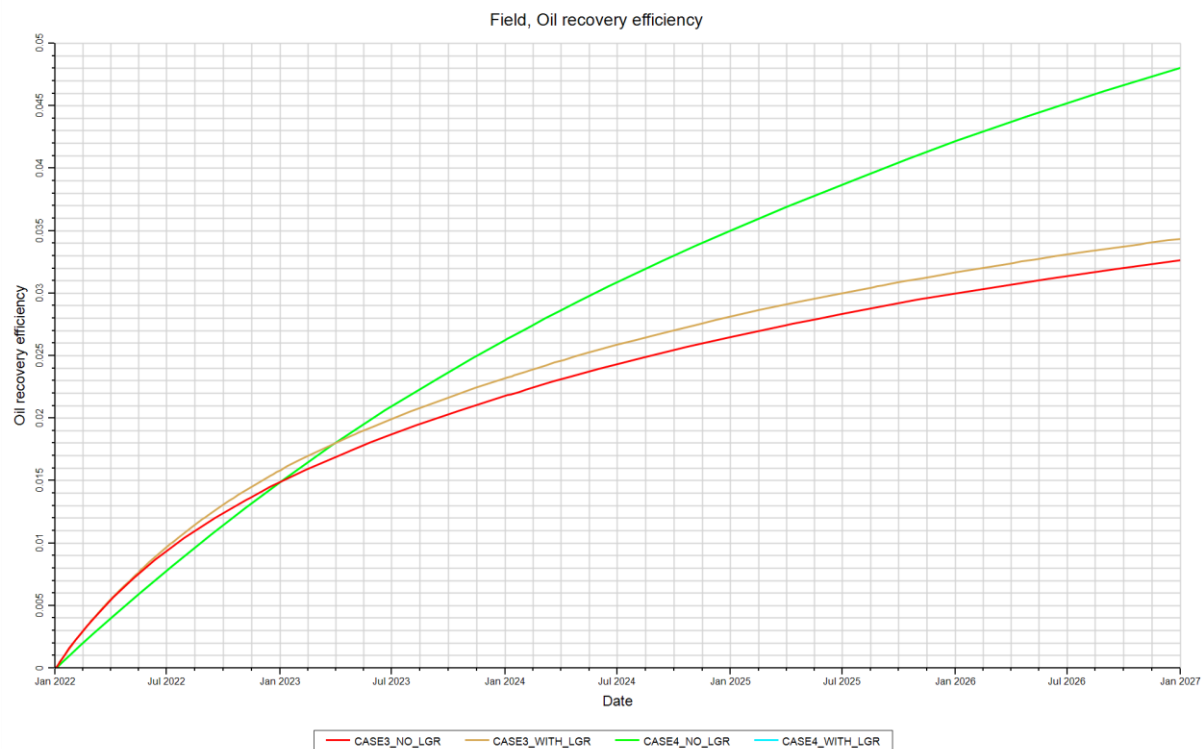












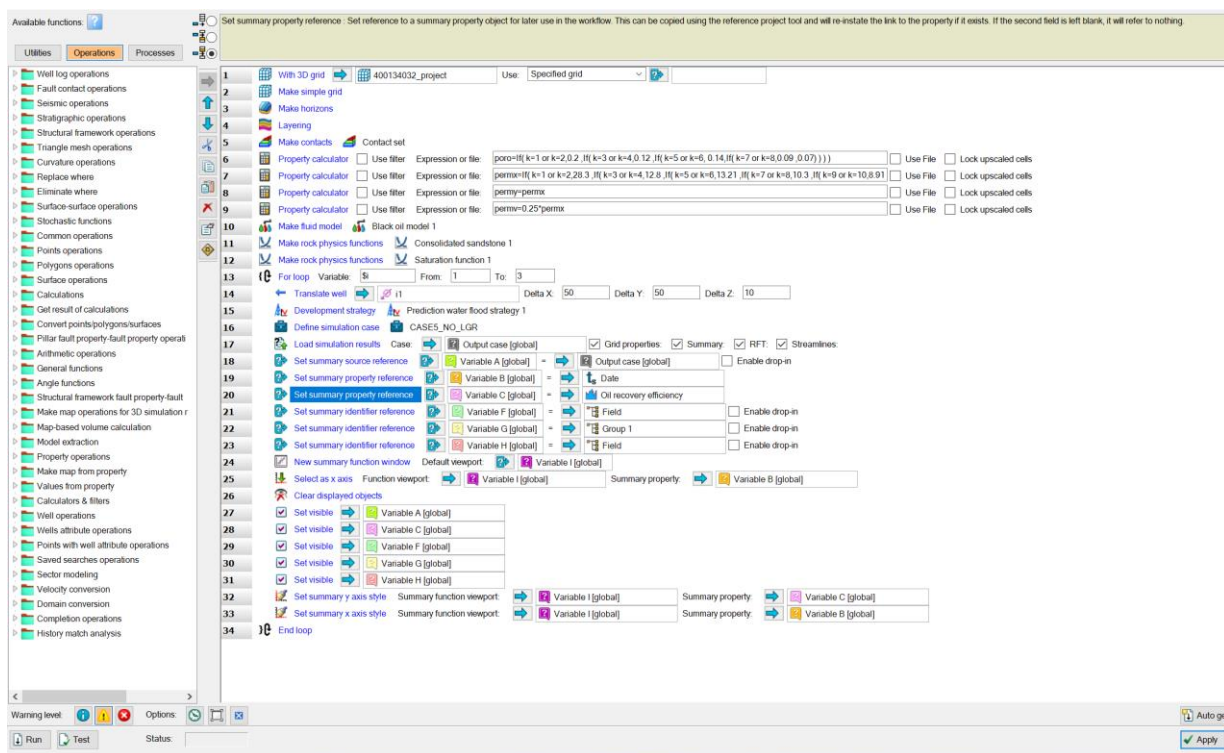
Workflow

برای ایجاد یک مدل به صورت اتوماسیون در غالب workflow از مدل BASIC استفاده شده است. سپس یک دستور for برای ایجاد حلقه و استفاده از منوی operation و انتخاب well operation و اضافه نمودن well translate به داخل حلقه و ایجاد یک

function window به منظور نمایش تغییرات مکان چاه استفاده می کنیم. در پایین از end for برای پایین اتوماسیون استفاده شده است.

برای نوشتن workflow در ابتدا از بخش auto generate workflow گزینه reparate all action on active case را فعال می کنیم. یک لوپ با سه iteration مشخص کرده تا سه بار مکان چاه تزریقی را جا به جا کند.

از قسمت operations گزینه well operation را انتخاب می کنیم. و به وسیله گزینه transient well با دادن مقادیر Y,X مکان چاه تزریقی را تغییر می دهیم. و سپس یک CASE بدون LGR و یک development statagy ایجاد میکنیم. برای این که نتایج را مشاهده کنیم. باید از قسمت utilities ابتدا داده های هر لوپ را به وسیله load simulation result بارگزاری کنیم. و برای رسم شکل باید داده های هر کیس در new summery function window باز خوانی و با دادن variableهای مختلف محورهای مختصات را برای رسم تعریف می کنیم. و نتایج را می توانیم در سه function window مختلف مقایسه و مشاهده کنیم.



نتیجه گیری

بر اساس این پژوهش،

- ۱- با قرار دادن LGR مقادیر دبی تولیدی و تزریق به علت با رفتن دقت و به تبع آن افزایش میزان نفت درجا، افزایش می یابد.
- ۲- برای تمام مدل ها با توجه به development stratgy تعریف شده، تزریق از ۲۴ شروع شده و تا پایان سال ۲۰۲۷ با روند افزایشی ادامه پیدا کرده است. این روند برای تمام مدل های ریز شده و غیر ریز شده یکسان است.
- ۳- تولید آب از مخزن در چاه هایی که داری بلوک ریز شده هستند. با توجه به نمودار ها، بیشتر و تغییرات بر حسب زمان بیشتر خواهد بود.

- ۴- در کیس های ۵،۴ به دلیل اینکه تکمیل چاه، بیشتر در قسمت آبد زون مورد بررسی قرار می گیرد. میزان تولید آب بیشتر خواهد بود. اگر کیس مورد نظر دارای LGR هم باشد. میزان تولید آب بیشتر از سایر موارد خواهد بود.
- ۵- بیشترین بازده ای تولید نفت مربوط کیس ۴ که هیچ LGR در آن تعریف نشده است.
- ۶- کمترین بازده ای تولید نفت مربوط به کیس ۲ که هیچ LGR در آن تعریف نشده است.
- ۷- بیشترین افت فشار و بیشترین دبی تولیدی نفت و کمترین میزان تولید آب در طول عمر مخزن مربوط به کیس شماره ۳ است. چرا که تزریق آب در لایه های پایینی که کیسینگ گذاری شده اند، انجام شده است.
- ۸- کیس های شماره ۳ و ۴ بهترین استراتژی تولید از این مخزن است، با توجه به این که نسبت نفت تولیدی به آب همواره مقداری ثابت و منطقی است.
- ۹- از نظر پارامترهای تولید نفت کیس ۴ هم از نظر ریکاوری نفت، افت فشار و دبی تولیدی نفت دارای بهترین شرایط بهینه است. این به شرط آن است که به دلیل water cut بالا دارای تجهیزات سطحی برای جداسازی آب و تجهیزات کنترل مخروط شدگی باشیم. در غیر این صورت کیس ۳ استراتژی تولیدی بهتری برای تولید بهینه نفت خواهد بود.
- ۱۰- با اجرای workflow به دلیل این که مسافت های تغییر مکان چاه و نوع تکمیل و زون تولیدی متفاوت است. نمودارهای ریکاوری تولید نفت نیز بسته به مکان چاه متغیر خواهند بود.
- ۱۱- با توجه به این که تغییر در مکان چاه در workflow فقط در جهت های عرض و طولی صورت گرفت. تغییر بخصوصی مشاهده نگردید. اما اگر تغییرات را بیشتر در جهت عمودی در مخزن در نظر بگیریم، هرچه به سمت زون های آبد حرکت کنیم ریکاوری نفت کاهش خواهد داشت.