

مقدمه مؤلفین

بررسی دینامیکی رفتار تولیدی میدان و شبیه‌سازی مخازن به منظور پیش‌بینی تولید و ارزیابی اقتصادی آن از مهم‌ترین مراحل توسعه میادین هیدروکربنی است. در این زمینه فعالیت‌های زیادی توسط شرکت‌های مختلف صورت گرفته که منجر به تولید بسته‌های نرم‌افزاری مختلفی شده است، که از آن جمله می‌توان به بسته‌های نرم‌افزاری:

- Sensor (شرکت ConocoPhillips)
- tNavigator (شرکت RFD)
- CMG (Computer Modeling Group)
- PumaFlow (شرکت Beicip Franlab)
- MRST (شرکت Sintef که بر پایه محیط برنامه‌نویسی متلب نوشته شده است)
- RETINA (شبیه‌ساز نفت سیاه ایرانی شرکت توسعه فن‌آوری همیار مهندسی (تفاهم))
- Eclipse و Petrel (شرکت Schlumberger)

اشاره کرد. کتاب پیش رو شبیه‌سازی مخزن توسط نرم‌افزار Eclipse را به صورت گام به گام به کمک داده‌های مخزن واقعی به خواننده آموزش خواهد داد و در انتها مقدمه‌ای بر کاربرد نرم‌افزار Petrel در مهندسی مخزن گفته خواهد شد. نرم‌افزار اکلیپس شامل نرم‌افزارهای جانبی مختلفی مانند VFPi، PVTi و... می‌باشد، که اطلاعات مورد نیاز برای فایل داده نهایی (که اصطلاحاً به فایل داده یا Data File معروف است) را می‌توان توسط آنها آماده نمود. از آن رو که فایل داده نهایی قابل اجرا توسط Eclipse، یک فایل متنی (ASCII) می‌باشد، می‌توان این اطلاعات را به کمک یک نرم‌افزار ویرایش متن نیز وارد فایل داده کرد. به دلیل آنکه با وارد کردن اطلاعات به صورت

مستقیم به فایل داده، کاربر تعامل بیشتری با کلیدواژه‌ها خواهد داشت، این روش، مبنای آموزشی کتاب پیش رو قرار گرفته است. یک فایل داده حاوی تعدادی بخش^۱ اجباری و اختیاری است که هر یک از این بخش‌ها شامل تعدادی کلیدواژه^۲ می‌باشد. هر فصل از این کتاب به معرفی یکی از بخش‌های فایل داده اختصاص داده شده است، که در آن توضیحاتی راجع به پرکاربردترین کلیدواژه‌های آن بخش گفته شده است و در آخر هر فصل نیز تمریناتی آورده شده که خواننده با مطالعه دقیق فصل، قادر به انجام آنها خواهد بود. گاهی تمرینات جهت آشنایی با فصل بعد بصورتی طراحی شده است که نگاه کلی به مطالب فصل بعد را به خواننده بدهد.

شبیه‌سازها بر اساس معادلات جریان سیال در محیط متخلخل ساخته شده‌اند. در این کتاب سعی شده است، تمرکز بر روی استفاده از شبیه‌ساز و آشنایی با ساخت یک مدل واقعی مخزن و شبیه‌سازی آن از ابتدا تا مرحله تطابق تاریخچه و همچنین بهینه‌سازی تولید به کمک شبیه‌سازی سناریوهای مختلف باشد و در مورد معادلات استفاده شده در شبیه‌ساز بحث چندانی نخواهد شد. به همراه نرم‌افزار اکلپس دو کتابچه راهنما (کتابچه توضیحات فنی و کتابچه مرجع) در دسترس کاربر قرار داده می‌شود. یک کاربر خوب اکلپس باید نحوه استفاده از این کتابچه‌ها را بخوبی بداند و به خاطر داشته باشد که نیاز نیست تمام کلیدواژه‌ها را به حافظه بسپارد بلکه باید با توجه به نیاز خود به کتابچه‌های گفته شده مراجعه کند. پیشنهاد می‌شود خواننده با معرفی هر یک از کلیدواژه‌ها در این کتاب به کتابچه راهنما مراجعه کرده و اطلاعات مربوط به آن کلیدواژه را مطالعه کند تا با نحوه استفاده از کتابچه راهنما آشنا شود.

شرکت Schlumberger با تولید نرم‌افزار Petrel مراحل اکتشاف تا تولید از یک مخزن را بصورت جامع در یک نرم‌افزار قرار داده است و از نرم‌افزار Eclipse به عنوان یک موتور شبیه‌ساز جهت اجرای مدل‌های مخزن ساخته شده استفاده می‌کند. کتاب پیش رو نیز با این هدف در ابتدا خواننده را با نحوه کارکرد شبیه‌ساز (Eclipse) آشنا می‌کند و سپس مقدمه‌ای برای کار در محیط Petrel از دید یک مهندس مخزن ارائه خواهد داد. بنابراین برای استفاده بهینه از این کتاب بهتر است نرم‌افزارهای قرار داده شده در سی دی آموزشی را با توجه به مراحل نصب آن بر روی رایانه خود نصب نمایید.

در انتها بر خود لازم می‌دانیم از همکاری‌های جناب آقای مهندس مقصودی «مدیر خانه مهندسی نفت» که در تألیف این کتاب کمک شایانی نمودند، قدردانی کنیم.

^۱ Section

^۲ Keyword

در پایان از همه خوانندگان عزیز درخواست می شود نقطه نظرات و پیشنهادات سازنده خود را با ما در میان بگذارند.

محمد حسین گلستان، دکتر محمد جواد امانی، میلاد مقصودی اکبری

Eng.Maghsoudi@gmail.com

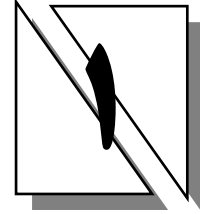
جهت کسب اطلاعات بیشتر به وب سایت رسمی «خانه مهندسی نفت ایران» به آدرس زیر مراجعه فرمایید:

www.Petedep.Com

فهرست مطالب

فصل اول : نگاهی به شبیه‌سازی مخزن.....	۱۰
مقدمه.....	۱۰
اهداف فصل.....	۱۰
بخش اول: شبیه‌سازی مخزن چیست؟.....	۱۱
بخش دوم: تعامل با اکلیپس.....	۲۶
فصل دوم: تعیین خصوصیات اجرای مدل (بخش RUNSPEC).....	۳۶
اهداف فصل.....	۳۶
بخش اول: آشنایی با بخش RUNSPEC.....	۳۷
بخش دوم: اجرای موازی و اجرای مجدد سریع.....	۳۹
فصل سوم: تعیین خصوصیات استاتیک مدل (بخش GRID).....	۴۵
اهداف فصل.....	۴۶
بخش اول: انواع بلوک‌ها.....	۴۶
بخش دوم: تعریف خواص بلوک‌ها.....	۵۱
بخش سوم: ریز کردن موضعی بلوک‌ها.....	۵۶
بخش چهارم: محاسبه گذردهی.....	۶۳
بخش پنجم: بخش EDIT.....	۷۰
فصل چهارم: تعیین خصوصیات سنگ و سیال مدل (بخش PROPS).....	۷۷
اهداف فصل.....	۷۸
بخش اول: معرفی خواص PVT.....	۷۸
بخش دوم: مشخص کردن خواص سیال در اکلیپس نفت سیاه.....	۸۳
بخش سوم: مباحث پیشرفته.....	۹۷
بخش چهارم: خواص سنگ (توابع اشباع).....	۹۹
بخش پنجم: تراز کردن جداول اشباع.....	۱۰۷
فصل پنجم: ناحیه‌بندی مدل (بخش REGIONS).....	۱۱۷
اهداف فصل.....	۱۱۷
بخش اول: راه‌اندازی بخش REGIONS.....	۱۱۷
فصل ششم: آغازسازی مدل (بخش SOLUTION).....	۱۲۱
اهداف فصل.....	۱۲۲
بخش اول: آغازسازی به روش توزیع تعادلی.....	۱۲۲
بخش دوم: شروع مجدد ها و عدد دهی.....	۱۲۷
بخش سوم: مدل‌سازی آینده.....	۱۳۰

۱۳۹	فصل هفتم: تولید خروجی از شبیه‌سازی (بخش SUMMARY)
۱۴۰	اهداف فصل
۱۴۰	بخش اول: وارد کردن کلیدواژه‌های بخش SUMMARY
۱۴۵	فصل هشتم: بخش SCHEDULE
۱۴۶	اهداف فصل
۱۴۷	بخش اول: تعریف چاه‌ها و اتصال آنها به بلوک‌های مخزن
۱۵۷	بخش دوم: تعریف کنترل تاریخچه چاه
۱۶۶	بخش سوم: تعیین کنترل چاه‌ها در فاز پیش‌بینی
۱۸۳	فصل نهم: مثال‌هایی دیگر از شبیه‌سازی در اکلیپس
۱۸۳	اهداف فصل
۱۹۵	فصل دهم: آشنایی با محیط کار PETREL
۱۹۵	اهداف فصل
۲۰۸	۱. ساخت بلوک‌های موضعی
۲۰۹	۲. ساخت مدل سیال
۲۱۲	۳. ساخت توابع فیزیکی سنگ
۲۱۳	۴. طراحی تکمیل چاه
۲۱۸	۵. ساخت کنترل چاه‌ها
۲۲۳	۶. تعریف حالت شبیه‌سازی
۲۲۵	۷. مشاهده نتایج شبیه‌سازی



نگاهی به شبیه‌سازی مخزن

مقدمه

در این فصل به صورت کلی مقدمه‌ای بر شبیه‌سازی مخزن، بخصوص شبیه‌سازی نفت سیاه اکلیپس ارائه خواهد شد. در این کتاب سعی شده است که یادگیری بر پایه استفاده عملی از شبیه‌سازی باشد و در مورد جزئیات و معادلات حل شده در شبیه‌سازی توضیح چندانی داده نشده مگر در صورت لزوم.

اهداف فصل

- توضیح در مورد مفاهیم پایه‌ای شبیه‌سازی و معادلات جریان سیال در محیط متخلخل و مخزن.
- توضیحات مربوط به تفاوت شبیه‌سازهای اکلیپس نفت سیاه^۱، ترکیبی^۲ و FrontSim.
- بحث در مورد یک معادله جریان بسیار ساده و اینکه داده‌های ورودی به اکلیپس مربوط به کدام بخش معادله می‌باشد.
- آشنایی با بخش‌های مختلف یک فایل داده‌ی^۳ ورودی به شبیه‌سازی و ارتباط آن با معادله جریان حل شده در شبیه‌سازی.
- آشنایی ابتدایی با شکل کلی فایل داده اکلیپس و نقش هر یک از نرم‌افزارهای پیش

^۱ Eclipse Blackoil

^۲ Eclipse Compositional

^۳ Data File

پردازنده^۱ و پس پردازنده^۲ که ممکن است در یک شبیه‌سازی مخزن کاربرد داشته باشد.
- آشنایی با فایل‌های خروجی تولیدی بعد از انجام شبیه‌سازی و محتویات هر یک از آنها.

بخش اول: شبیه‌سازی مخزن چیست؟

مخازن واقعی دارای فضایی پیوسته هستند که خواص جریانی در آن با زمان بصورت پیوسته تغییر می‌کند. شبیه‌ساز مخزن یک نرم‌افزار کامپیوتری است، نمی‌تواند با این فضا بصورت پیوسته (از لحاظ مکانی و زمانی) ارتباط برقرار کند. به همین دلیل نیاز است که مخزن را به فضاهای کوچکتر مجزا از لحاظ مکانی (که بلوک^۳ یا سلول^۴ نام دارند) تقسیم‌بندی کنند، همچنین باید زمان تغییر شرایط مخزن نیز بصورت گسسته مورد بررسی قرار گیرد (که گام زمانی^۵ نام دارند). در این حالت در هر زمانی، خواص جریانی مورد نیاز برای هر بلوک محاسبه می‌شود و در طی زمان بصورت پیوسته رفتار مخزن قابل مشاهده خواهد بود.
معادله حل شده برای هر بلوک و هر گام زمانی ترکیبی از معادله موازنه مواد و معادله دارسی است.

معادله دارسی (بدون احتساب نیروی ثقلی) عبارت است از:

$$q = -\frac{k}{\mu} \nabla P$$

معادله موازنه مواد:

$$-\nabla \cdot M = \frac{\delta}{\delta t} (\phi \rho) + Q$$

معادله حل شده در شبیه‌ساز (با احتساب نیروی ثقلی):

$$\nabla \cdot \left[\lambda (\nabla P - \gamma \nabla z) = \frac{\delta}{\delta t} \left(\frac{\phi}{\beta} \right) + \frac{Q}{\rho} \right]$$

که در آن:

$$\lambda = \frac{k}{\mu \beta}$$

با گسسته‌سازی معادله جریان بدست آمده و حل عددی آنها، شبیه‌سازی انجام می‌شود. روش‌های عددی مورد استفاده عبارتند از: روش صریح^۶، روش ضمنی^۱ و روش IMPES^۲. آنالیز

^۱ Pre Processing

^۲ Post Processing

^۳ Block

^۴ Cell

^۵ Time Step

^۶ Explicit

عددی مشخص کرده است که روش ضمنی پایداری بیشتری نسبت به روش صریح دارد و گام‌های زمانی نیز می‌توانند بزرگتر باشند. منظور از پایداری بیشتر این است که این روش می‌تواند نتایج هر گام زمانی خود را اصلاح کند. اگر نتیجه یکی از گام‌های زمانی به هر دلیلی خطا داشته باشد، این روش حل در گام‌های زمانی بعدی نتایج را اصلاح می‌کند، اما روش صریح این خصوصیت را ندارد و با ایجاد خطا در یکی از گام‌های زمانی، به مرور طمان خطا بیشتر می‌شود و نتیجه بدتر و بدتر می‌شود. هر دو روش ضمنی و صریح جهت شبیه‌سازی مخزن استفاده شده‌اند، اما در حال حاضر روش صریح کاربرد چندانی ندارد. روش پیش‌فرض اکلیپس، روش ضمنی می‌باشد اما روش IMPES نیز می‌تواند به انتخاب کاربر مورد استفاده قرار گیرد.

شبیه‌سازی نفت سیاه و ترکیبی

در شبیه‌سازی نفت سیاه اکلیپس فرض می‌شود که فازهای نفت و گاز اجزاء موجود در شبیه‌سازی می‌باشند. خواص این اجزاء تنها می‌تواند تابعی از فشار باشند، اما ترکیب اجزاء هیچ تغییری نمی‌کنند.

شبیه‌سازی ترکیبی اجزاء نفت و گاز را در نظر می‌گیرد (برای مثال متان (C₁) اتان (C₂) و ...). از این روش برای شبیه‌سازی سیالات نزدیک به نقطه بحرانی^۳ که تغییر در فشار و دما باعث تغییر چشم‌گیر در رفتار سیالات می‌شود، استفاده می‌شود.

• شبیه‌سازی نفت سیاه

- نفت و گاز را اجزاء درون سیستم تعریف می‌کنند و ترکیبات هیدروکربنی نفت و گاز اهمیتی ندارند.
- فرض می‌شود که ترکیبات نفت و گاز با تغییرات فشار و گذشت زمان ثابت می‌مانند.
- شبیه‌سازی نفت سیاه اکلیپس گاهی به نام E1۰۰ خوانده می‌شود.

• شبیه‌سازی ترکیبی

- نفت و گاز با ترکیبات چند جزئی تعریف شده‌اند.
- معادلات حالت تغییرات ترکیب نفت و گاز را در دما، فشار، ترکیب‌های مختلف نشان می‌دهد.
- شبیه‌سازی ترکیبی اکلیپس گاهی به نام E۳۰۰ نیز گفته می‌شود.

^۱ Implicit

^۲ Implicit Pressure Explicit Saturation

^۳ Critical Point