

بِسْمِ اللَّهِ الرَّحْمَنِ الرَّحِيمِ

آموزش نرم افزارهای شبیه سازی مخازن نفت و گاز CMG

مؤلفان:

ارسلان ذوالفقاری

خلیل افسری

«انتشارات طاهریان»

سروش‌نامه : ذوالفقاری، ارسلان
عنوان و پدیدآور : آموزش نرم افزارهای شبیه سازی مخازن نفت و گاز CMG/مؤلفان ارسلان
ذوالفقاری، خلیل افسری،
مشخصات نشر : تهران: طاهریان: میثاق عدالت، ۱۳۸۵.
مشخصات ظاهری : ۱۹۲ص:معمور.
شابک: 964-8406-42-1
یادداشت : فیبا

موضوع : نفت - مهندسی مخازن زیرزمینی - شبیه سازی - نرم افزار.
موضوع: مخزن های گاز - شبیه سازی - نرم افزار.
شناسه افزوده: افسری، خلیل.
رده بندی کنگره : TN۸۷۱/۵۹۸
رده بندی دیویی : ۶۲۲/۳۳۸۲-۱۱۳
شماره کتابخانه ملی : ۸۵-۲۴۶۱۷



آموزش شبیه سازی مخازن نفت و گاز CMG



انتشارات طاهریان

✓ مؤلفان: ارسلان ذوالفقاری، خلیل افسری

✓ ناشر: انتشارات طاهریان ✓ ناشر همکار: میثاق عدالت ✓ نوبت چاپ: اول ۸۵

✓ تیراژ: ۱۵۰۰ جلد ✓ لیتوگرافی: باران ✓ چاپ و صحافی: پژمان

✓ ناظر فنی چاپ: محمد کاظمی ✓ قیمت با CD: ۴۰۰۰ ریال ✓ قیمت بدون CD: ۲۰۰۰۰ ریال

ISBN: 964-8406-42-1

شابک: ۹۶۴-۸۴۰۶-۴۲-۱

آدرس انتشارات: میدان انقلاب، خیابان کارگر جنوبی، خیابان لبافی نژاد، پلاک ۲۳۲، طبقه چهارم، واحد ۱۱

تلفن: ۶۶۹۷۴۱۵۲-۶۶۴۹۲۷۳۳

مرکز پخش کتاب آوا آدرس: تهران، خیابان انقلاب، خیابان روانمهر، بین فروردین و فجر رازی، پلاک ۱۶۹

تلفن: ۶۶۹۷۳۶۳۵-۶۶۹۷۳۱۳۰

«کلیه حقوق این کتاب برای انتشارات طاهریان محفوظ است»

تقدیم به پدران و مادرانمان به پاس یک عمر از خودگذشتگی

آرزوی هر پدر و مادری سعادت فرزندان و به بار نشستن کوششها و تلاشهایی است که در طول زندگی و از دوران طفولیت متحمل شده اند. بعضاً اولیا در جهت رشد و تعالی فرزند خویش علاوه بر خدمات مادی، در جهت معنوی و هدایت فرزند، سیر و سلوکی مضاعف بکار می برند و برای اینکه سرنوشت و نهاد فرزند خویش را پالایش دهند و برای زندگی پربار او را مهیا سازند، خود را وقف و فدا می نمایند.

پدران و مادران ما نیز از این دسته اند. آنان برای رشد استعدادهای ما از دوران طفولیت و کودکی خود را فدا و از هر کوششی که در جهت حرکت تکاملی ما باشد، دریغ ننموده اند. آنان خود را در عشق به تابندگی ما ذوب ساخته اند. به همین دلیل به هیچ وجه نمی توانیم از خودگذشتگی و ایثار پدران و مادرانمان را پاسخگو شویم و شرمسار از اینکه تنها می توانیم با قلم زدن رنج آنان را با دعایی که خوانندگان ارائه می دهند، التیام دهیم. اگرچه وجود ناچیز ما نخواهد توانست زحمت پدران و مادرانمان را جبران کند، لکن این کتاب را که تحفه ناقابلی است، به پای آنان تقدیم می نمایم.

ارسلان نوالفقاری

خلیل افسری

پیشگفتار

قرن بیست و یکم دوران تحول و جهش های شگرف علمی است و این امر بدون کاربرد شیوه های نوین در تکنولوژی امکان پذیر نمی باشد. بر این اساس با کوشش و تلاش فراوان و با توجه به تجربیاتی که در مورد نفت و صنایع مرتبط با آن داشتیم، کتاب موجود را به رشته تحریر درآوردیم. انگیزه اصلی مؤلفان این بوده است که با توجه به اینکه تا کنون در کشور ما، ایران، در زمینه کار با نرم افزارهای مرتبط با شبیه سازی عملیات بالادستی نفت، کتابی خوب و در دسترس، معرفی، چاپ و منتشر نشده است؛ کتاب حاضر بتواند برای پر کردن این خلأ و آشنایی علاقمندان به مسائل بالادستی نفت گام مؤثری بردارد. در این کتاب سعی شده است که ترتیب مطالب به دقت مراعات و بصورتی ساده تر و روشنتر بیان شود؛ بدون آنکه از نکات مهم چشم پوشی گردد.

رفتار فازی هیدروکربنها و حرکت سیال در محیط متخلخل رفتار بسیار پیچیده ای است که سیال هنگام عبور از محیط متخلخل و تغییر فاز از خود نشان می دهد. بدون شناخت این رفتار نمی توان اقدام به برداشت صحیح و بهینه از مخازن نفت و گاز و برنامه ریزی برای آینده مخزن نمود. با استفاده از رایانه ها که امروزه به صورت ابزار بسیار قدرتمندی در آمده اند می توان رفتار و حرکت سیال در محیط متخلخل را شبیه سازی نموده و محاسبات مربوطه را انجام داد. بدین منظور مراکز تحقیقاتی و شرکتهای مختلف سعی در توسعه نرم افزارهایی داشته اند که این کار را با دقت و سرعت بسیار بالا انجام دهد. در این میان نرم افزارهای بسیار محدودی توانسته اند مقبولیت عمومی پیدا کرده و کاربران زیادی را به خود جذب کنند. **CMG** یکی از نرم افزارهای شبیه سازی مخازن است که هم در مراکز دانشگاهی و هم در عرصه صنعت از استقبال بی نظیری برخوردار شده و از قابلیت های بسیار بالایی نسبت به نرم افزارهای مشابه برخوردار است.

با توجه به منابع عظیم نفت و گاز در کشورمان و نیاز به انرژی و با توجه به ارزآوری این منابع، لازم است بهره برداری از این منابع گرانبها با استفاده از تکنولوژی روز و با بهره گیری از شبیه سازهای قدرتمند صورت گیرد. به همین منظور آشنایی دقیق مهندسان صنایع نفت با نرم افزارهای شبیه سازی و استفاده صحیح از آنها ضروری می باشد.

در این کتاب، که می توان از آن به عنوان اولین مرجع فارسی در رابطه با شبیه سازی مخازن نفت و گاز یاد نمود، اطلاعات و نکات کلیدی مهم در رابطه با شبیه سازی مخازن و **PVT** سیالات مخزنی با رعایت ترتیب آنها بیان گردیده است. همچنین این کتاب بگونه ای تنظیم شده است که می توان از آن بصورت خودآموز، جهت انجام گام به گام مراحل کار با نرم افزار استفاده نمود و برای افرادی که تجربه بیشتری در این زمینه دارند به عنوان مرجعی مختصر و مفید در زمینه مطالب موجود در مهندسی نفت و **PVT** مورد استفاده قرار گیرد.

نویسندگان این کتاب تمام سعی خود را جهت ارائه کاری بدون نقص بکار گرفته‌اند. امید است این کوشش مورد توجه اساتید ارجمند، صاحب نظران، دانشجویان عزیز و دانش پژوهان رشته های مختلف مهندسی نفت و مهندسی شیمی و همچنین رشته های مرتبط با آنها، قرار گیرد. از کلیه اساتید ارجمند و دانش پژوهان عزیز درخواست می نمایم در صورت برخورد با لغزشهای احتمالی، ما را آگاه نموده تا در چاپهای بعدی مد نظر قرار گیرد.

در خاتمه لازم است از جناب آقای مهندس اشکان ذوالفقاری که در تهیه و تدوین این کتاب کمک نموده اند، تشکر و قدردانی شود. ضمناً از انتشارات طاهریان که چاپ این کتاب را متقبل شده، تشکر و قدردانی می گردد.

ارسلان ذوالفقاری (arsalan_zolfaghari@yahoo.com)

خلیل افسری (khalil_afsari@yahoo.com)

بهار ۸۵

مقدمه

نرم افزارهای شبیه سازی مخازن نفت و گاز از سه قسمت کلی تشکیل شده اند. قسمت اول شامل تعیین پارامترهای رفتار فازی سیال با استفاده از تطبیق اطلاعات موجود آزمایشگاهی با نتایج مدل PVT انتخاب شده می باشد. این کار در نرم افزار CMG توسط WinProp قابل انجام است. در قسمت دوم با توجه به فرآیند مورد نظر، یکی از نرم افزارهای مربوط، جهت شبیه سازی حرکت سیال در محیط متخلخل انتخاب می شود. نرم افزار CMG با استفاده از ابزار قدرتمندی که در اختیار دارد قادر به شبیه سازی حرکت سیال به صورت مدل نفت سیاه یا Black Oil Model (با استفاده از نرم افزار IMEX)، شبیه سازی به صورت مدل ترکیبی یا Compositional Model (با استفاده از نرم افزار Gem) و شبیه سازی فرآیندهای گرمایی (با استفاده از نرم افزار Stars) می باشد.

در مدل نفت سیاه (Black Oil Model) معادلات بقای جرم برای سه فاز آب، نفت و گاز در هر گرید نوشته می شود. (گریدبندی عبارتست از تقسیم بندی مخزن به قسمت های کوچکتر در جهات x ، y و z که به هر کدام از این تقسیمات یک گرید گفته می شود). پس از آن با حل دستگاه معادلات، مجهولات مورد نظر محاسبه می شود. از این مدل می توان جهت شبیه سازی مخازنی که در آن تغییرات ترکیب و خواص سیال اثر قابل توجهی در عملکرد مخزن نداشته باشد، استفاده نمود.

در مدل نفت ترکیبی (Compositional Model) معادلات بقای جرم برای هر کدام از اجزای موجود در سیال نوشته می شود. از این مدل می توان جهت شبیه سازی مخازنی که در آن تغییرات ترکیب و خواص سیال اثر قابل توجهی در عملکرد مخزن داشته باشد (مانند فرآیندهای تزریق گاز) استفاده نمود.

در مدل های گرمایی (Thermal Model) علاوه بر معادلات بقای جرم، معادلات بقای انرژی نیز برای در نظر گرفتن اثرات تغییر دما بر روی خصوصیات سنگ و سیال در هر گرید نوشته می شود. از این مدل می توان برای شبیه سازی فرآیندهایی نظیر تزریق بخار (Steam Injection) یا احتراق درجا (Insitu Combustion) استفاده کرد.

قسمت سوم شامل چندین نرم افزار جانبی است که به Utility معروفند. نرم افزارهای Utility به دو دسته Preprocessor و Postprocessor تقسیم بندی می شود. اطلاعات زمین شناسی، اطلاعات مربوط به نحوه گریدبندی و نوع و تعداد گریدها، خواص مربوط به سنگ مخزن، خواص مربوط به سیال مخزن تهیه شده بوسیله نرم افزار WinProp، روشهای عددی جهت حل معادلات و در نهایت اطلاعات مربوط به تاریخچه مخزن و تولید چاهها، ورودی نرم افزار Preprocessor می باشد. در

CMG این کار توسط Biulder قابل انجام است. Biulder هر سه نوع نرم افزار نفت سیاه (IMEX)، نرم افزار نفت ترکیبی (Gem) و نرم افزار مربوط به فرآیندهای گرمایی (Stars) را حمایت می کند. نرم افزارهای Postprocessor جهت نمایش نتایج خروجی حاصل از سه نرم افزار IMEX، Gem و Stars بکار می روند. این کار در CMG توسط Results 3D، Results Graph و Results Report قابل انجام است.

در این کتاب مطالب کلی جهت شبیه سازی به وسیله مدل نفت سیاه توسط نرم افزار IMEX مورد توجه قرار گرفته است. جهت نیل به این هدف در ابتدا نرم افزار WinProp جهت تهیه خصوصیات سیال مخزن، مورد بررسی قرار گرفته است. در نرم افزار WinProp ابتدا با انتخاب معادله حالت و اجزاء موجود و تنظیم پارامترهای مختلف مربوطه، ساختار کلی فایل مورد نظر شکل می گیرد. سپس با وارد نمودن اطلاعات آزمایشگاهی موجود با انجام محاسبات رگرسیون سعی بر بهبود نتایج حاصل از معادله حالت می گردد. پس از آماده شدن مدل انتخاب شده، خروجی مورد نظر برای نرم افزار شبیه ساز نفت سیاه (IMEX) تهیه می گردد. در نرم افزار Bilder پس از وارد نمودن نقشه های مختلف نظیر (نقشه Geology، Porosity، Permeability، Net to Gross، Water Saturation و ...) و سایر اطلاعات ذکر شده، فایل ورودی (با پسوند Dat) برای نرم افزار IMEX آماده شده و سپس مراحل مربوط به تطابق تاریخچه (History Matching) انجام می گیرد. در نهایت پس از بدست آمدن مدل اصلی می توان از آن جهت پیش بینی وضعیت مخزن در آینده تحت سناریوهای تعریف شده، استفاده نمود.

بخش اول: صفحه لانچر

۱۳	صفحه لانچر (Launcher).....
۱۳	آغاز کار با لانچر.....
۱۴	کار با پروژه.....
۱۴	اضافه کردن پروژه جدید.....
۱۴	ساختن یک پروژه جدید در یک دایرکتوری موجود.....
۱۴	حذف پروژه.....
۱۵	کار با لیست فایل‌های موجود (File List View).....
۱۵	شروع کردن کار با نرم افزار شبیه سازی و نرم افزارهای جانبی.....
۱۶	کار کردن با Job Scheduler.....
۱۸	اضافه، حذف و اصلاح برنامه.....
۱۹	اضافه کردن آیکن جدید.....

بخش دوم: WinProp

۲۱	مبانی اولیه.....
۲۱	ایجاد فایل جدید، باز کردن فایل موجود و ذخیره سازی فایل.....
۲۲	اجرای محاسبات، مشاهده خروجیها و ایجاد نمودارهای خروجی.....
۲۳	کپی کردن اطلاعات بین فایل‌های مختلف.....
۲۳	عملیات مقدماتی در اجرای رگراسیون.....
۲۴	استفاده از Update Component Properties.....
۲۴	ویزارد وارد کردن جدول.....
۲۴	کلیات.....
۲۵	استفاده از ویزارد ورود جدول.....
۳۰	ساختار اطلاعات ورودی.....
۳۱	ویرایش ساختار اطلاعات.....
۳۲	انتخاب عنوان، معادله حالت و سیستم واحدها.....
۳۲	اطلاعات ورودی.....
۳۴	Components.....
۳۴	انتخاب و تعریف Component.....
۳۴	Component های موجود در بانک اطلاعاتی نرم افزار.....
۳۵	تعریف Component های جدید.....
۳۷	خواص Component های انتخاب شده.....
۳۸	HC نشان هیدروکربن.....
۳۸	Volume Shift.....
۳۸	فاکتور ترکم پذیری راکت (Z (Rackett).....
۳۹	حجم بحرانی.....

۳۹	حجم بحرانی برای تعیین ویسکوزیته.....
۳۹	گراویتی مخصوص و نقطه جوش نرمال.....
۳۹	Parachor.....
۳۹	ثابت هنری مبناء، حجم مولی در رقت بینهایت و فشار مبناء.....
۴۰	ضرایب آنتالپی گاز ایده آل.....
۴۱	مقدار حرارتی Component.....
۴۱	ضرایب اثر متقابل.....
۴۲	ضرایب اثر متقابل هیدروکربن-هیدروکربن.....
۴۴	ضرایب اثر متقابل دیگر.....
۴۴	پارامترهای ویسکوزیته.....
۴۵	رابطه Jossi-Stiel-Thodos.....
۴۶	رابطه تجربی Pedersen.....
۴۷	فاز آبی.....
۴۷	فعال کردن سری دوم خواص اجزاء.....
۴۸	وارد کردن componentها با استفاده از ویزارد مربوطه.....
۵۰	اطلاعات مورد نیاز در تمام گزینه ها.....
۵۰	مشخص نمودن در صد ترکیب اجزاء در خوراک.....
۵۱	درصد ترکیب مورد استفاده در محاسبات.....
۵۲	مقادیر اولیه k.....
۵۲	سطح خروجی (output level).....
۵۳	سطح تست پایداری.....
۵۴	محاسبات نقطه اشباع دو فاز و دیاگرام های فازي.....
۵۴	فشار اشباع.....
۵۵	دمای اشباع.....
۵۵	محاسبات نمودارهای فازي و Quality Line.....
۵۶	مشخصات منحنی های مربوطه.....
۵۶	منحنی فازي X-Y.....
۵۹	منحنی فازي Pseudo-Ternary.....
۶۰	کنترل های ساختن دیاگرام فازي.....
۶۰	Maximum Number of Points.....
۶۱	Initial Step Size.....
۶۱	Independent Variable Interpolation Points.....
۶۱	Stability Test.....
۶۲	محاسبه Cricondentherm و Cricondenbar.....

۶۳	محاسبه نقطه بحرانی.....
۶۴	محاسبات Flash.....
۶۴	اطلاعات ورودی موجود برای محاسبات Flash دوفازی، چند فازي و ميلسازي رسوب آسفالتين و واكس.....
۶۵	محاسبات فلش دو فازي.....
۶۶	محاسبات فلش چند فازي.....
۶۷	ميلسازي آسفالتين و واكس.....
۶۷	مدل ترموديناميكي.....
۶۸	اطلاعات ورودی.....
۶۹	Calculation Method Identifier.....
۷۰	Reference Fugacity ($\ln$ (solid fugacity (atm))).....
۷۱	Reference Temperature ($^{\circ}\text{C}$ $^{\circ}\text{F}$) و Reference Pressure (psia kPa kg/cm2).....
۷۱	Solid-Phase Molar Volume (l/mol).....
۷۱	Heat Capacity (cal/K/mol).....
۷۲	Heat of Fusion (cal/mol).....
۷۲	Triple Point Pressure (psia kPa kg/cm2).....
۷۲	Triple Point Temperature ($^{\circ}\text{C}$ for SI or $^{\circ}\text{F}$ for field units).....
۷۲	محاسبات سيال تک فازي.....
۷۳	محاسبات فلش ايزو آنتالپي.....
۷۳	روش اول.....
۷۴	روش دوم.....
۷۴	ملاحظات.....
۷۵	نحوه انجام محاسبات.....
۷۵	اطلاعات ورودی برای فلش ايزو آنتالپي.....
۷۶	روش حل.....
۷۷	محاسبات آزمایشگاهی.....
۷۷	دوباره مخلوط کردن گاز و نفت حاصله از جداکننده.....
۷۸	وارد نمودن اطلاعات.....
۸۰	محاسبات Compressibility.....
۸۱	اطلاعات ورودی.....
۸۱	تست Constant Composition Expansion (CCE).....
۸۲	اطلاعات ورودی.....
۸۳	تست Differential Liberation (DL).....
۸۴	اطلاعات ورودی.....
۸۶	تست CVD.....

۸۶	اطلاعات ورودی
۸۹	تست جداکننده (Separator)
۸۹	اطلاعات ورودی
۹۱	تست Swelling
۹۱	اطلاعات ورودی
۹۳	وارد نمودن اطلاعات آزمایشگاهی با استفاده از ویزارد وارد نمودن جدول
۹۴	رگراسیون
۹۵	تنظیم اطلاعات ورودی
۹۶	انتخاب پارامترها
۹۹	انتخاب اتوماتیک پارامترهای رگراسیون
۹۹	گروه بندی متغیر های رگراسیون
۱۰۰	محدوده متغیر های رگراسیون
۱۰۱	پارامترهای کنترل فرآیند رگراسیون
۱۰۳	به روز کردن پارامترهای حاصل از نتایج محاسبات
۱۰۴	تولید اطلاعات PVT برای نفت سیاه (Black-Oil)
۱۰۶	نحوه بدست آوردن اطلاعات آزمایشگاهی درخصوص شبیه سازی نفت سیاه
۱۰۷	اطلاعات ورودی
	بخش سوم: IMEX
۱۲۵	IMEX
۱۲۶	انواع فایل های ایجاد شده در CMG (Dataset name.extension)
۱۲۷	ساختن مدل نفت سیاه (Black Oil) با استفاده از Builder
۱۲۸	نقشه های زمین شناسی (Geological Maps)
۱۲۸	شروع کار با CMG Launcher
۱۲۸	باز کردن Builder
۱۲۹	واحدهای مورد استفاده در CMG
۱۲۹	انواع مدل های مخزن
۱۲۹	مدل تخلخل یگانه (Single Porosity)
۱۳۰	مدل تخلخل دوگانه و مدل تراوایی دوگانه (Dual Porosity/Dual Permeability)
۱۳۱	مدل MINC و Subdomain
۱۳۳	ساختن گرید
۱۳۴	مبانی تعریف گرید
۱۴۱	وارد کردن تخلخل و تراوایی در مدل
۱۴۳	تراکم پذیری سنگ و فشار میقا
۱۴۴	وارد کردن داده های PVT

۱۴۶	 داده های تقابل سنگ-سیال (Rock-Fluid Data).....
۱۵۱	 روشهای به دست آوردن تراوایی نسبی فاز نفت در جریان سه فاز.....
۱۵۳	 تابع J (Leverett J Function).....
۱۵۵	 جریان غیر دارسی در مخزن (Non-Darcy Flow in Reservoir).....
۱۶۰	 وارد کردن موقعیت اولیه مخزن (Initial Condition).....
۱۶۳	 روش ۱- User Input.....
۱۶۳	 روش ۲- Vertical_Block Center_Water-Oil.....
۱۶۳	 روش ۳- Vertical_Block Center_Water-Gas.....
۱۶۴	 روش ۴- Vertical_Block Center_Water-Oil-Gas.....
۱۶۴	 روش ۵- Vertical_Depth Average_Water-Oil.....
۱۶۵	 روش ۶- Vertical_Depth Average_Water-Gas.....
۱۶۵	 روش ۷- Vertical_Block Center_Water-Oil-Gas.....
۱۶۶	 وارد کردن مسیر چاهها و محل شبکه ها.....
۱۶۸	 وارد کردن تاریخچه تولید در مدل.....
۱۷۷	 ساختن فایل تاریخچه تولید (*.fhf).....
۱۷۷	 ساختن فایل Restart.....
۱۷۸	 اجرا به کمک نرم افزار IMEX.....
۱۷۹	 مروری بر نتایج شبیه سازی با استفاده از RESULTS GRAPH و RESULTS 3D.....
۱۸۰	 اجرای عملیات پیش بینی (Prediction) با استفاده از فایل Restart ساخته شده.....
۱۸۳	 اضافه کردن آبد (Aquifer).....
۱۸۵	 مدلسازی آبد.....
۱۸۶	 انواع مدل های آبد.....
۱۸۷	 نحوه انتخاب آبد.....
۱۸۸	 پارامتر های آبد.....
۱۸۹	 آنالیز نتایج.....