

آموزش گام به گام تهیه سازی رفتارسیالات

مخازن نفت و گاز

با استفاده از نرم افزار PVTi

ویژه دانشجویان و متخصصان صنعت نفت



سرشناسه: رضوی فر، مهدی، ۱۳۷۱-

عنوان و نام پدیدآور: آموزش جامع نرم افزار شبیه ساز سیالات مخزن PVTi ویژه دانشجویان و متخصصان صنعت نفت / مولف مهدی رضوی فر؛ تدوین و تنظیم خانه مهندسی نفت ایران.

مشخصات نشر: تهران: سها، ۱۳۹۹.

مشخصات ظاهری: ۱۳۵ص: مصور، جدول، نمودار.

شابک: ۹۷۸-۶۲۲-۶-۷۵۰۰۶

وضعیت فهرست نویسی: فیپا

یادداشت: آموزش جامع نرم افزار شبیه ساز سیالات مخزن و کاربردهای آن

موضوع: نرم افزار پی. وی. تی. آی.

**PVTI (Computer software):** موضوع

موضوع: نفت -- مهندسی مخازن زیرزمینی -- شبیه سازی -- نرم افزار

**Oil reservoir engineering -- Simulation methods -- Software:** موضوع

موضوع: مخزن های هیدروکربنی -- شبیه سازی

**Hydrocarbon reservoirs -- Simulation methods:** موضوع

شناسه افزوده: خانه مهندسی نفت ایران

رده بندی کنگره: TN۸۷۱

رده بندی دیویی: ۳۳۸۲۰۱۱۳/۶۲۲

شماره کتابشناسی ملی: ۷۴۰۵۷۹۵

---

عنوان کتاب ..... آموزش گام به گام شبیه سازی رفتار سیالات مخازن نفت و گاز با استفاده از نرم افزار PVTi  
نویسندگان: ..... مهندس مهدی رضوی فر  
تدوین و تنظیم: ..... خانه مهندسی نفت ایران  
ناشر ..... انتشارات سها  
سال نشر ..... ۱۳۹۹  
تیراژ ..... ۱۰۰  
نوبت چاپ ..... اول  
چاپ ..... سها  
قیمت ..... ۶۰۰/۰۰۰ ریال  
شابک: ..... ۹۷۸-۶۲۲-۷۵۰۰-۰۶-۶

تمامی حقوق این اثر برای "خانه مهندسی نفت ایران" محفوظ است.



## پاسکزاری

در ابتدا خداوند متعال را شاکرم که توفیق نگهش این کتاب را به اینجانب عطا کرد. در ادامه خود را موظف می‌دانم که از اساتید و همکاران عزیز که مراد نگهش این کتاب یاری نمودند، پاس‌گزاری بنمایم. همچنین از خانواده و دوستان عزیزم که پشتیبان من بودند، نیز پاس‌گزارم.

## مقدمه مولف

بررسی سناریوهای مختلف تولید و شبیه‌سازی مخازن به منظور پیش‌بینی تولید و آنالیز اقتصادی آن از مهم‌ترین مراحل ارزیابی مخازن هیدروکربنی است. در این زمینه اقدامات متعددی توسط شرکت‌های مختلف انجام گرفته که منجر به تولید نرم افزارهای متنوعی شده است؛ از جمله: CMG (Computer Modeling Group)، MRST (شرکت Sintef که بر پایه محیط برنامه نویسی متلب نوشته شده است)، Retina (شبیه ساز نفت سیاه ایرانی شرکت توسعه فن آوری همیار مهندسی (تفاهم))، Eclipse و Petrel (شرکت Schlumberger)

یکی از مراحل که پیش از شبیه‌سازی مخازن نفتی باید انجام شود، آماده کردن اطلاعات لازم برای وارد کردن به نرم افزار شبیه‌ساز است. از مهم ترین اطلاعاتی که پیش از شبیه‌سازی باید آماده شود، اطلاعات مربوط به خواص سیالات مخزن است. نرم افزار PVTi که یکی از محصولات شرکت نفتی شلمبرژه (Schlumberger) است به عنوان یک پیش پردازشگر، وظیفه آماده‌سازی این اطلاعات را بر عهده دارد. شبیه‌سازی سیال مخزن و ارزیابی دقیق خواص آن از قسمت‌های کلیدی و مهم شبیه‌سازی مخازن هیدروکربنی است. تسلط بر این مهارت و شبیه‌سازی دقیق سیالات و ارزیابی فنی آن‌ها منجر به بهبود شبیه‌سازی مخازن و کاهش خطاهای محاسباتی خواهد شد. کتاب پیش رو شبیه سازی سیال مخزن توسط نرم افزار Eclipse و با استفاده از ماژول PVTi را به صورت گام به گام و جامع به کمک داده‌های مخزن واقعی به شما آموزش خواهد داد.

مهندسان نفت با کمک نتایج حاصل از تست‌های آزمایشگاهی و با استفاده از این نرم افزار قادر خواهند بود مناسب‌ترین معادله حالت را برای محاسبه خواص سیالات مخزنی در هر شرایط دمایی و فشاری تعیین کنند. در نهایت، خروجی‌های این نرم افزار به عنوان بخشی از اطلاعات ورودی برای نرم افزارهای شبیه‌ساز مانند اکلیپس (Eclipse) استفاده می‌شود. با توجه به هزینه‌های بسیار زیادی که جمع‌آوری نمونه‌های سیال و انجام تست‌های آزمایشگاهی روی این نمونه‌ها دارد و نیز با در نظر گرفتن اهمیت بالای این اطلاعات در شبیه‌سازی مخازن، یادگیری نرم افزارهایی همچون PVTi می‌تواند به عنوان یک توانایی مناسب برای ورود به بازار کار باشد.

در حال حاضر هر یک از شرکت‌های بزرگ نفتی، دارای دپارتمان‌هایی هستند؛ که تمرکز آن‌ها تنها بر تحلیل و آماده‌سازی خواص سیالات مخزنی برای شبیه‌سازی مخازن است و این موضوع ضرورت و اهمیت یادگیری نرم‌افزارهای تحلیل خواص سیالات را به وضوح نشان می‌دهد. اهمیت مدل‌سازی صحیح خواص سیالات مخزنی به دلیل تاثیر مستقیمی که بر شبیه‌سازی مخازن و میزان بازیافت نفت دارد، بر هر کسی که حتی اندکی با شبیه سازی آشنایی داشته باشد، کاملاً

قابل درک است. یادگیری عمیق یک نرم افزار نیازمند آشنایی با مفاهیم به کار رفته در طراحی و ساخت نرم افزار است.

در این نرم افزار با استفاده از داده‌های آزمایشگاهی نظیر فشار، دما، حجم نسبی، نسبت مولی و... و با استفاده از معادله حالت، نمودارهای مختلف سیال بر اساس محاسبات خود نرم افزار رسم می‌شود. سپس با استفاده از داده‌های آزمایشگاهی که در اختیار داریم، نمودارهای رسم شده توسط نرم افزار بر داده‌های واقعی منطبق می‌شود. به این کار به اصطلاح Match گیری گفته می‌شود. این انطباق با استفاده از تغییر در پارامترها و وزن‌دهی انجام می‌گیرد. در این نرم افزار امکان انتخاب چندین معادله حالت، استفاده از معادلات مختلف برای گرانیوی و نیز امکان تنظیم (tune) نمودن معادلات، با داده‌های آزمایشگاهی نیز وجود دارد. موارد مذکور در فصل‌های مختلف این کتاب به تفصیل بررسی و توضیح داده شده است.

در آخر برخورد واجب میدانم از تمام کسانی که در راستای تألیف و نگارش این کتاب بنده را یاری کردند و نظرات و پیشنهادات و انتقادات سازنده‌ی خود را از بنده دریغ نکردند تقدیر و تشکر کنم. همچنین از جناب آقای مهندس میلاد مقصودی اکبری مدیریت محترم خانه مهندسی نفت ایران به سبب پشتیبانی و کمک‌های دوستانه و زحمات دلسوزانه ایشان نهایت تشکر را دارم. امید است این کتاب بتواند گامی هرچند کوچک اما سازنده را در پیشرفت صنعت نفت کشورمان بردارد. در پایان از همه خوانندگان عزیز درخواست می‌شود؛ نظرات و پیشنهادات سازنده خود را به ما انتقال دهند.

**مهدی رضوی فر**

دکتری مهندسی نفت دانشگاه شیراز

**Petedep.info@gmail.com**

جهت كسب اطلاعات بيشتر و خريد آنلاين اين كتاب به وب سايت رسمي «خانه مهندسي نفت  
ايران» به آدرس زير مراجعه فرماييد:

[www.Petedep.Com](http://www.Petedep.Com)

## فهرست مطالب

فصل اول: مقدمه.....	۱۰
۱-۲-۱- مراحل فرآیندهای بهره‌برداری.....	۱۱
۱-۲-۱-۱ رانش کلاهک گازی.....	۱۱
۱-۲-۲- رانش گاز محلول در نفت.....	۱۴
۱-۲-۳- تزریق غیرامتزاجی گاز.....	۱۶
۱-۲-۴- تزریق امتزاجی گاز.....	۱۷
۱-۳- امتزاج‌پذیری سیالات.....	۱۷
۱-۴- رفتار فازی سیالات امتزاج‌پذیر.....	۱۷
۱-۴-۱- قانون فازی.....	۱۸
۱-۴-۲- نمودار فازی فشار-دما.....	۱۸
۱-۴-۲-۱- مطالعه امتزاج‌پذیری بر اساس نمودار فازی فشار-دما.....	۲۰
۱-۴-۳- نمودار فازی فشار- ترکیب.....	۲۱
۱-۴-۳-۱- مطالعه امتزاج‌پذیری بر اساس نمودار فازی فشار- ترکیب.....	۲۲
۱-۴-۴- نمودار فازی سه گانه.....	۲۳
۱-۵- تعادل فازی سیالات امتزاج‌پذیر.....	۲۴
۱-۵-۱- تعادل فازی تک تماسی.....	۲۴
۱-۵-۲- تعادل فازی چند تماسی.....	۲۴
۱-۵-۳- حداقل فشار امتزاج‌پذیری.....	۲۵
۱-۶- امتزاج‌پذیری در مخازن نفتی.....	۲۵
۱-۶-۱- تزریق دیاکسید کربن.....	۲۶
۱-۶-۲- تزریق گازهای بی‌اثر.....	۲۷
۱-۶-۳- تزریق گازهای هیدروکربنی.....	۲۸
۱-۷- انحلال‌پذیری در مخازن نفتی.....	۲۸
۱-۷-۱- دما.....	۲۹
۱-۷-۲- فشار.....	۳۰
۱-۷-۳- وزن مولکولی.....	۳۱
۱-۸- پارامترهای تأثیرگذار در عملکرد روش تزریق گاز.....	۳۱
۱-۹- شرایط بهینه روش تزریق گاز.....	۳۳
۱-۹-۱- شرایط تزریق غیرامتزاجی.....	۳۴
۱-۹-۲- شرایط تزریق امتزاجی.....	۳۴
۱-۱۰- تحرک‌پذیری فازها.....	۳۵

۳۶	۱-۱۱- فرآیندهای آشام و تخلیه.....
۳۷	۱-۱۱-۱ فرآیندهای آشام و تخلیه در روش تزریق گاز.....
۳۸	۱-۱۲- آزمایش های تشخیص خواص سیالات مخزن.....
۳۹	۱-۱۲-۱- آزمایش انبساط در ترکیب ثابت CCE.....
۳۹	۱-۱۲-۲- آزمایش آزاد کردن مرحله ای.....
۴۰	۱-۱۲-۳- آزمایش دستگاه تفکیک کننده.....
۴۰	۱-۱۲-۴- آزمایش تخلیه حجم ثابت CVD.....
۴۱	۱-۱۲-۵- آزمایش گرانیروی لوله قلمی.....
۴۱	۱-۱۲-۶- دستگاه اندازه گیری گرانیروی pulse capillary viscometer.....
۴۱	۱-۱۲-۷- آزمایش تزریق گاز یا SWELLING.....
۴۲	فصل دوم: اجرای برنامه.....
۴۸	فصل سوم: رسم نمودارهای سیال.....
۴۸	۳-۱- رسم نمودارهای فازي.....
۴۹	۳-۲- رسم نمودارهای مثلی.....
۵۱	۳-۳- رسم نمودار Finger Print.....
۵۲	۳-۴- تغییر و تصحیح نمودارهای رسم شده.....
۵۴	۳-۵- نحوه کپی کردن نمودارهای فازي.....
۵۶	فصل چهارم: گروه بندی و جداسازی ترکیبات.....
۵۶	۴-۱- نحوه گروه بندی ترکیبات.....
۵۸	۴-۲- نحوه مشاهده و تغییر ترکیبات.....
۶۰	۴-۳- نحوه تقسیم ترکیبات.....
۶۱	۴-۴- نحوه مشاهده سیالات و ترکیب هر سیال در برنامه.....
۶۲	۴-۵- نحوه مشاهده سیالات و ترکیب هر سیال در برنامه.....
۶۴	فصل پنجم: گرفتن خروجی برای شبیه ساز Eclipse.....
۶۴	۵-۱- نحوه خروجی گرفتن برای اکلیپس ۳۰۰.....
۶۶	۵-۲- نحوه خروجی گرفتن برای اکلیپس ۱۰۰.....
۶۷	۵-۳- نحوه خروجی گرفتن برای روش های حرارتی.....
۶۹	۵-۴- نحوه ذخیره فایل شبیه سازی اجرا شده.....
۷۰	۵-۵- نحوه چاپ نمودارها و تصاویر رسم شده.....
۷۲	فصل ششم: انتخاب معادلات حالت سیال.....
۷۲	۶-۱- انتخاب معادله حالت برای سیال شبیه سازی شده.....
۷۵	۶-۲- مشاهده خواص حرارتی سیال شبیه سازی شده.....



۷۶	۶-۳- معرفی و تعریف یک سیال جدید در PVTi
۸۱	فصل هفتم: نحوه شبیه‌سازی آزمایشات
۸۲	۷-۱- آزمایشات تک نقطه‌ای
۸۲	۷-۱-۱- آزمایش محاسبه فشار نقطه حباب
۸۵	۷-۱-۲- آزمایش محاسبه فشار نقطه شبنم
۸۶	۷-۱-۳- آزمایش محاسبه فشار اشباع
۸۸	۷-۱-۴- آزمایش محاسبه دمای اشباع
۹۰	۷-۱-۵- آزمایش محاسبه نقاط بحرانی
۹۲	۷-۱-۶- آزمایش محاسبات فلش
۹۳	۷-۲- آزمایشات تخلیه فشار
۹۴	۷-۲-۱- آزمایش انبساط در ترکیب ثابت
۹۷	۷-۲-۲- آزمایش تخلیه در حجم ثابت
۱۰۲	۷-۲-۳- آزمایش آزادسازی جزئی
۱۰۶	۷-۳- آزمایشات مطالعه تزریق
۱۰۶	۷-۳-۱- آزمایش Swelling
۱۰۸	۷-۳-۲- آزمایش FCM
۱۱۱	۷-۳-۳- آزمایش MCM
۱۱۳	۷-۴- آزمایش تفکیک‌کننده‌ها
۱۱۶	۷-۵- آزمایش تاثیر عمق در ترکیب سیال
۱۱۹	۷-۶- آزمایشات Solids
۱۲۰	۷-۷- آزمایش تخمین خواص سیال
۱۲۲	فصل هشتم: رگرسون
۱۲۲	۸-۱- نحوه ورود اطلاعات آزمایشگاهی
۱۲۴	۸-۲- رسم و تصحیح داده‌های آزمایشگاهی
۱۲۶	۸-۳- رگرسون