

بسم الله الرحمن الرحيم

مبانی چاه آزمایی کاربردی

مؤلفان:

صادق الممانی

(کارشناس ارشد مهندسی نفت)

مهندس علی حاجی راه

(کارشناس مهندسی بهره‌برداری شرکت مهندسی توسعه نفت)

دکتر شاهین گُرد

(عضو هیأت علمی دانشگاه صنعت نفت)



سرشناسه	: سلمانی، صادق، ۱۳۷۰ -
عنوان و پدیدآور	: مبانی چاه‌آزمایی کاربردی / مؤلفان صادق سلمانی، علی حاجی‌زاده، شاهین کُرد.
مشخصات نشر	: اهواز: تر آوا، ۱۳۹۸.
مشخصات ظاهری	: ۵۰۶ ص.: مصور، جدول، نمودار
شابک	: ۹۷۸-۶۰۰-۳۴۷-۳۷۴-۴
وضعیت فهرست نویسی	: فیبا
موضوع	: چاه‌های نفت - آزمایش‌ها
موضوع	: Oil wells - - Testing
موضوع	: چاه‌های نفت - - آزمایش‌ها - - مسائل، تمرین‌ها و غیره
موضوع	: چاه‌های گاز - - آزمایش‌ها
موضوع	: Gas wells - - Testing
موضوع	: چاه‌های گاز - - آزمایش‌ها - - مسائل، تمرین‌ها و غیره
شناسه افزوده	: حاجی‌زاده، علی، ۱۳۶۵ -
شناسه افزوده	: کُرد، شاهین، ۱۳۵۵ -
رده‌بندی کتب	: ۱۳۹۷ م ۸۲/س/ TN۸۷۱
رده‌بندی دیویی	: ۶۲۲/۳۳۲
شماره کتابشناسی ملی	: ۵۴۶۲۹۱



نام کتاب: مبانی چاه‌آزمایی کاربردی

تألیف: صادق سلمانی، علی حاجی‌زاده، شاهین کُرد

طرح روی جلد: رضا نجفی سیلاب

ناشر: تر آوا

شماره‌ی نشر: ۵۳۵

نوبت چاپ: اول / ۱۳۹۸

تیراژ: ۱۰۰۰ نسخه

قیمت: ۷۰۰۰۰ تومان

نشر تر آوا: اهواز - کیانپارس - خیابان نهم غربی - پلاک ۱۲۸

نمابر: ۰۶۱۳۳۹۰۳۷۱۴ همراه: ۰۹۱۶۱۱۳۶۷۸۵

Taravapublication@yahoo.com

فروشگاه اینترنتی www.tarava.com

@taravapub

حق چاپ و نشر مخصوص ناشر است.

فهرست مطالب

۱۳.....	فصل اول: مقدمه‌ای بر چاه‌آزمایی
۱۳.....	۱-۱- اهداف و کاربردهای چاه‌آزمایی
۱۴.....	۱-۲- تاریخچه آنالیز فشار گذرا
۱۷.....	۱-۳- مسائل مستقیم و معکوس
۱۹.....	۱-۴- خواص سنگ و سیال مخزن
۳۰.....	۱-۵- مقیاس نمودارها
۳۳.....	۱-۶- انواع مخزن از نظر همگن و همسانگردی
۳۴.....	۱-۷- انواع رژیم‌های جریان
۳۶.....	۱-۸- هندسه مخزن
۳۹.....	۱-۹- مقایسه تراوایی محاسبه‌شده توسط چاه‌آزمایی و آنالیز مغزه
۴۳.....	فصل دوم: معادله انتشار
۴۳.....	۲-۱- قانون دارسی
۴۴.....	۲-۲- جریان غیردارسی
۴۵.....	۲-۳- معادله انتشار
۵۴.....	۲-۴- معادله انتشار برای جریان چندفازی
۵۵.....	۲-۵- معادله انتشار در حالت بی‌بعد
۵۸.....	۲-۶- حل معادله انتشار
۶۹.....	۲-۷- حل معادله انتشار به روش‌های دیگر
۷۱.....	۲-۸- اصل برهم‌نهی
۷۵.....	۲-۹- شعاع بررسی
۸۰.....	۲-۱۰- اثر تغییرات دبی درست قبل از بستن چاه
۸۱.....	۲-۱۱- تقریب هورنر
۸۲.....	۲-۱۲- ضریب پوسته (Skin)
۸۴.....	۲-۱۳- ضریب جریان آشفته
۸۵.....	۲-۱۴- اثر ذخیره چاه
۹۴.....	تمرین‌های فصل دوم
۹۹.....	فصل سوم: آنالیز تست کاهش فشار
۱۰۱.....	۳-۱- تست کاهش فشار با تغییر دبی آهسته

۲-۳	تست کاهش فشار با دبی متغیر و پله‌ای (تست جریان‌ی چند دبی).....	۱۰۳
۱۰۸	تمرین‌های فصل سوم.....	
۱۱۵	فصل چهارم: آنالیز تست ساخت فشار.....	
۱۱۶	۱-۴- تعیین فشار ته چاهی نهایی قبل از بستن چاه.....	
۱۱۷	۲-۴- روش‌های آنالیز تست ساخت فشار.....	
۱۲۲	۳-۴- تست ساخت فشار ایده‌آل.....	
۱۲۴	۴-۴- تست ساخت فشار واقعی.....	
۱۲۷	۵-۴- محاسبه راولایی مخزن.....	
۱۲۸	۶-۴- پارامترهای مؤثر جهت بررسی عملکرد چاه و مخزن.....	
۱۳۱	۷-۴- تست شناسایی سده مخزن.....	
۱۳۴	۸-۴- محاسبه حجم مخزن با استفاده از داده‌های تست ساخت فشار.....	
۱۳۵	۹-۴- مدلسازی جریان چند مرحله‌ای در تست ساخت فشار و کاهش فشار.....	
۱۳۷	تمرین‌های فصل چهارم.....	
۱۴۹	فصل پنجم: فشار میانگین مخزن.....	
۱۴۹	۱-۵- روش‌های محاسبه فشار میانگین مخزن.....	
۱۶۰	تمرین‌های فصل پنجم.....	
۱۶۵	فصل ششم: تفسیر داده‌های چاه‌آزمایی به کمک داده‌های الگو.....	
۱۶۵	۱-۶- مقدمه.....	
۱۶۵	۲-۶- انواع منحنی‌های الگو.....	
۱۷۷	۳-۶- آنالیز مشتق فشار.....	
۱۸۰	تمرین‌های فصل ششم.....	
۱۸۵	فصل هفتم: روش‌های چاه‌آزمایی در مخازن گازی.....	
۱۸۵	۱-۷- مقدمه.....	
۱۸۵	۲-۷- شبه‌فشار و فشار تنظیم شده.....	
۱۸۶	۳-۷- شبه‌زمان.....	
۱۸۷	۴-۷- تست کاهش فشار در چاه‌گازی.....	
۱۹۲	۵-۷- تست ساخت فشار در چاه‌گازی.....	
۱۹۸	۶-۷- آنالیز تست‌های تحویل‌دهی در چاه‌های گازی.....	
۲۰۸	تمرین‌های فصل هفتم.....	
۲۱۵	فصل هشتم: تست تزریق (Injection Test).....	

۲۱۹.....	تمرین‌های فصل هشتم
۲۲۳.....	فصل نهم: تست Fall-off
۲۲۵.....	تمرین‌های فصل نهم
۲۳۱.....	فصل دهم: تست تداخل (Interference Test)
۲۳۷.....	تمرین‌های فصل دهم
۲۳۹.....	فصل یازدهم: تست پالس (Pulse Test)
۲۴۷.....	تمرین‌های فصل یازدهم
۲۵۱.....	فصل دوازدهم: تحلیل تخلخل دوگانه
۲۵۱.....	۱-۱۲- مقدمه
۲۵۵.....	۲-۱۲- مدل‌های سیستم‌های تخلخل دوگانه
۲۶۴.....	۳-۱۲- مدلسازی پاسخ‌های فشاری
۲۷۲.....	۴-۱۲- آنالیز داده‌های تست کسب فشار با دس ثابت - نمودار نیمه‌لگاریتمی
۲۷۴.....	۵-۱۲- مثالهایی از میادین ایران
۲۷۷.....	فصل سیزدهم: چاه‌های دارای شکاف هیدرولیکی عمودی
۲۷۷.....	۱-۱۳- مقدمه
۲۷۷.....	۲-۱۳- شکاف‌های با قابلیت انتقال بی‌نهایت و شکاف‌های با شار بکنواخت
۲۸۵.....	۳-۱۳- تنوری جریان خطی
۲۹۳.....	۴-۱۳- اثر اسکین سطح شکاف
۲۹۴.....	۵-۱۳- شکاف هیدرولیکی با قابلیت انتقال محدود
۳۰۱.....	فصل چهاردهم: مدل‌های دهانه چاه
۳۰۱.....	۱-۱۴- ذخیره چاه ثابت (Constant Wellbore storage)
۳۰۴.....	۲-۱۴- ذخیره چاه متغیر (Changing Wellbore Storage)
۳۰۷.....	فصل پانزدهم: مدل‌های چاه (Well Models)
۳۰۷.....	۱-۱۵- چاه عمودی با اسکین ثابت
۳۰۸.....	۲-۱۵- چاه عمودی با اسکین متغیر
۳۱۱.....	۳-۱۵- شکاف با قابلیت هدایت بالا (High conductivity fracture)
۳۱۸.....	۴-۱۵- شکاف با قابلیت هدایت پایین (Low conductivity fracture)
۳۲۴.....	۵-۱۵- چاه با ورودی محدود (Limited entry well)
۳۳۰.....	۶-۱۵- چاه‌های افقی

۳۳۸	۷-۱۵ چاه‌های مایل (Slanted well)
۳۴۲	۸-۱۵ چاه‌های چند شاخه‌ای (Multilateral wells)
۳۴۵	فصل شانزدهم: مدل‌های مخزن
۳۴۵	۱-۱۶ مخزن همگن (Homogeneous reservoir)
۳۵۴	۲-۱۶ مخزن تخلخل دوگانه (Double-porosity reservoir)
۳۶۲	۳-۱۶ مخزن تخلخل چندگانه (Multiple-porosity reservoir)
۳۶۵	۴-۱۶ مخازن تراوایی دوگانه (Double-permeability reservoirs)
۳۶۹	۵-۱۶ مخازن ترکیبی (Composite Reservoirs)
۳۷۹	۶-۱۶ ترکیب مدل‌های مخزن
۳۸۳	فصل هفدهم: مدل‌های مخزن
۳۸۳	۱-۱۷ گسل نفوذناپذیر (Single sealing fault)
۳۸۷	۲-۱۷ گسل‌های متقاطع (Intersecting fault)
۳۹۱	۳-۱۷ دو گسل موازی (Two parallel faults) یا کانال (Channel)
۳۹۳	۴-۱۷ سیستم بسته (Closed systems)
۳۹۷	۵-۱۷ مرز فشار ثابت (Constant pressure boundary)
۴۰۰	۶-۱۷ مرز ناقص (Incomplete boundary)
۴۰۲	۷-۱۷ Leaky Fault
۴۰۷	فصل هجدهم: پدیده‌های درون چاهی (Wellbore Phenomena)
۴۰۷	۱-۱۸ ذخیره چاه متغیر (Variable Wellbore Storage)
۴۱۷	۲-۱۸ پاکسازی چاه
۴۲۰	۳-۱۸ حرکت سطح مشترک گاز-مایع در داخل حفره چاه
۴۲۴	۴-۱۸ فعالیت‌هایی که در طول عملیات چاه‌آزمایی انجام می‌شوند
۴۲۷	۵-۱۸ نوسانات فشاری (Pressure Oscillation)
۴۳۰	۶-۱۸ خطاهای موجود در پردازش داده‌ها
۴۳۶	۷-۱۸ مشتق فشار اولیه (Primary Pressure Derivative)
۴۳۹	فصل نوزدهم: پدیده‌های اطراف چاه
۴۳۹	۱-۱۹ ضریب اسکین (Skin Factor)
۴۴۰	۲-۱۹ عملیات مشبک‌کاری
۴۴۲	۳-۱۹ نفوذ ناقص چاه (Partial Penetration)
۴۴۴	۴-۱۹ چاه شیب‌دار (Deviated Wellbore)

۴۴۷	۱۹-۵- ضریب اسکین وابسته به دبی (Rate-Dependent Skin Factor)
۴۵۰	تمرین‌های فصل نوزدهم
۴۵۳	فصل بیستم: کاربرد لاپلاس معکوس عددی در چاه‌آزمایی
۴۵۳	۲۰-۱- مقدمه
۴۵۴	۲۰-۲- فرمول‌بندی ریاضیاتی
۴۵۸	۲۰-۳- مقایسه نتایج انواع روش‌های محاسبه لاپلاس معکوس
۴۶۵	فصل بیست و یکم: شبیه‌سازی داده‌های چاه‌آزمایی
۴۶۵	۲۱-۱- مقدمه
۴۶۶	۲۱-۲- توصیف مدل شبیه‌سازی فرضی
۴۶۶	۲۱-۳- تأثیر سایر گریدها بر شبیه‌سازی عددی
۴۶۷	۲۱-۴- شبیه‌سازی عددی چاه‌آزمایی
۴۶۹	فصل بیست و دوم: بررسی موردی نمونه‌های چاه‌آزمایی در میدان واقعی
۴۶۹	۲۲-۱- مقدمه
۴۶۹	۲۲-۲- چاه شماره ۱
۴۷۴	۲۲-۳- چاه شماره ۲
۴۷۶	۲۲-۴- چاه شماره ۳
۴۷۹	۲۲-۵- چاه شماره ۴
۴۸۰	۲۲-۶- چاه شماره ۵
۴۸۲	۲۲-۷- چاه شماره ۶
۴۹۰	۲۲-۸- چاه شماره ۷
۴۹۲	۲۲-۹- چاه شماره ۸
۴۹۴	۲۲-۱۰- چاه شماره ۹
۴۹۶	۲۲-۱۱- چاه شماره ۱۰
۵۰۰	۲۲-۱۲- چاه شماره ۱۱
۵۰۲	پیوست
۵۰۴	مراجع

www.ketab.ir

پیش‌گفتار

چاه‌آزمایی یکی از جذاب‌ترین شاخه‌های مهندسی نفت است که ضمن دارا بودن مبانی تئوری و عملیاتی می‌تواند به عنوان چکیده تمامی مباحث مهندسی نفت در نظر گرفته شود. از این روی، این درس، برای تمامی مقاطع رشته مهندسی نفت تدریس می‌گردد. چاه‌آزمایی بر پایه مدل‌سازی فیزیک پیچیده مخزن نفتی با استفاده از روابط ریاضیاتی متعدد، بنا شده است و دقیقاً به همین خاطر است که طرفداران خاص خود را دارد. به دلیل پیچیدگی‌ها و سهم زیاد ریاضیات پیشرفته در این درس به منظور مدل‌سازی حرکت سیالات در محیط متخلخل، این شاخه می‌تواند مورد علاقه محققانی با زمینه‌های پژوهشی متفاوت قرار گیرد.

کتاب مختلف چاه‌آزمایی رویکردهای متفاوتی به رشته تحریر درآمده است. اما با عنایت به تجارب نویسندگان این کتاب هم در کتاب‌های میزبان چاه‌آزمایی و هم در تدریس آن در دانشگاه‌های داخل و خارج کشور، در این کتاب قصد بر آن است که ضمن رعایت پیش‌نیازها، مرحله به مرحله به بیان مفاهیم چاه‌آزمایی پرداخته شود.

در کتاب پیش رو که در بیست‌ودو فصل تألیف شده است، علاوه بر رویکرد صنعتی و کاربردی به موضوع، ضمن پرداختن به همه روش‌های تفسیر نمودارهای چاه‌آزمایی با توجه به نیاز صنعت، همزمان همه اصول و مفاهیم نیز، به تفصیل و با دید کاربردی و همچنین دانشگاهی، ارائه شده‌اند. علاوه بر آن لازمه یادگیری و استفاده از نرم‌افزارهای چاه‌آزمایی مانند Saphir, IHS WellTest و ...، آشنایی و تسلط بر انواع مدل‌های چاه، مخزن و مرز می‌باشد که در این موارد در کتاب حاضر به صورت کامل تشریح شده‌اند.

لازم به ذکر است که در تألیف و گردآوری این کتاب از جزوه‌های تدریس شده، مقالات، پایان‌نامه‌ها و گزارشات فنی مستخرج از پژوهش‌ها و تجارب صنعتی نویسندگان و همچنین اکثر مراجع معتبر چاه‌آزمایی در سطح دنیا (مراجع عمومی) استفاده گردیده است. خوانندگان محترم می‌توانند با مراجعه به بخش مراجع در انتهای کتاب، موارد فوق‌الذکر را مطالعه نمایند.