

اصول چاه آزمایی در مخازن نفت و گاز

جلد اول

تألیف

دکتر محمد رضا عادلزاده

سرشناسه: عادل زاده محمدرضا، ۱۳۵۱

عنوان و پدیدآور: اصول چاه آزمایشی در مخازن نفت و گاز: مبانی نظری و کاربردی در صنعت باتجارب صنعتی / محمدرضا عادل زاده

ویراستار علمی: علیرضا فرج زاده دهکردی

مشخصات نشر: تهران: کتاب آوا، ۱۳۹۰

مشخصات ظاهری: ۲۴۰ صفحه مصور

شابک: دوره ۲- ۶۲- ۵۵۲۶- ۶۰۰- ۹۷۸ ج ۱: ۹- ۶۳- ۵۵۲۶- ۶۰۰- ۹۷۸ ج ۲: ۶- ۶۲- ۵۵۲۶- ۶۰۰- ۹۷۸

یادداشت: نیا

موضوع: چاه های نفت -- آزمایش

موضوع: چاه های گاز -- آزمایش

شناسه افزوده: فرج زاده دهکردی، علیرضا، ۱۳۶۵-

رده بندی کنگره: ۶۱۳۹۰: الف ۳ ع / TN۸۷۰

رده بندی دیویی: ۶۲۲/۳۳۸۲

کتابشناسی ملی: ۲۲۶۶۵۳۲

اصول چاه آزمایشی در مخازن نفت و گاز جلد اول

مبانی نظری و کاربردی در صنعت باتجارب صنعتی



انتشارات کتاب آوا

مؤلف: محمدرضا عادل زاده

ویراستار علمی: علیرضا فرج زاده دهکردی

ناشر: کتاب آوا

چاپ و صحافی: کاج / نوری

نوبت چاپ: اول ۱۳۹۰

تیراژ: ۱۰۰۰ جلد

قیمت: ۱۲۰۰۰ ریال

شابک: ۹۷۸-۶۰۰-۵۵۲۶-۶۳-۹

کلیه حقوق و حق چاپ متن کپی برداری طرح روی جلد و عنوان و مجموعه کتاب با توجه به قانون حمایت حقوق مولفان

و مصنفان و هنرمندان برای انتشارات کتاب آوا محفوظ است و متخلفان تحت پیگرد قانونی قرار می گیرند

نشانی مرکز پخش: تهران - خیابان انقلاب خیابان فروردین خیابان روانمهر شرقی شماره ۸۹

تلفن: ۶۶۹۷۴۱۳۰ - ۶۶۹۷۴۴۵

www.avabook.com

فهرست مطالب جلد دوم در یک نگاه

- ❖ لایه آزمایی با ساق منه (*Drill Stem Test*)
- ❖ نمودارهای الگو با دسته منحنی ها (*Type Curves*)
- ❖ نمودار مشتق (*Derivative*)
- ❖ کانال ها (*Channels*)
- ❖ محل (*Fault*)
- ❖ چاه آزمایی در مخازن شکافدار
- ❖ چاه های افقی (*Horizontal Wells*)
- ❖ مخازن لایه ای (*Layered Reservoirs*)
- ❖ نفوذ و مشبک کاری جزئی (*Partial Penetration & Perforation*)
- ❖ روش تشخیص نواحی در آزمایش تزریق (*Region Determination in Injection Test*)
- ❖ جریان چند فاز (*Multi Phase Flow*)
- ❖ آزمایش های تداخلی (*Interference Test*)
- ❖ آزمایش پالسی یا ضربه ای (*Pulse Test*)
- ❖ آنالیز چاه های گازی (*Gas Well Testing*)
- ❖ عملیات چاه آزمایی (*Well Testing Operation*)

تقدیریم به محضر

همکاران و اساتید محترم چاه آزمایی کشور:
دکتر شادی زاده، دکتر آیت اللهی، دکتر علیزاده،
دکتر نبی هاشمی، دکتر زرگر، مهندس قبادی،
مهندس پیرامون، مهندس کنعانی، مهندس ابراهیمی و ...

فهرست مطالب

فصل اول: مبانی چاه آزمایی

۱-۱	مقدمه	۱
۲-۱	قانون دارسی	۴
۳-۱	انواع سیالات مخزن	۷
۴-۱	رژیم‌های جریان	۱۱
۱۲	الف) جریان پایدار	
۱۲	ب) جریان ناپایدار	
۱۳	ج) جریان شبه پایدار	
۱۳	۵-۱ هندسه جریان	
۱۳	معادلات جریان برای حالت پایدار	
۱۴	الف) جریان خطی (Linear Flow)	
۱۵	ب) جریان شعاعی یا استوانه‌ای (Radial or Cylindrical Flow)	
۱۵	ج) جریان کروی (Spherical Flow)	
۱۶	د) جریان نیمه کروی (Semi Spherical or Hemispherical Flow)	
۱۶	۶-۱ معادله پایه‌ای جریان گذرا	

فصل دوم: انواع آزمایش‌های مربوط به چاه‌های نفت و گاز

۱-۲	مقدمه	۲۷
۲۸	الف) ارزیابی مخزن	
۲۸	ب) مدیریت مخزن	
۲۸	ج) توصیف مخزن	
۲۹	۲-۲ انواع مختلف آزمایش چاه‌های نفتی	
۳۰	۱-۲-۲ آزمایش کاهش فشار (Drawdown test)	
۳۱	۲-۲-۲ آزمایش ساخت فشار (Build up test)	
۳۲	۳-۲-۲ آزمایش با دو دبی متغیر (Two-Rates Test)	
۳۳	۴-۲-۲ آزمایش با چند دبی متغیر (Multi-Rates Test)	
۳۴	۵-۲-۲ آزمایش ساق مته DST (Drill-Stem-Test)	
۳۵	۶-۲-۲ آزمایش تزریق سیال (Injection test)	
۳۷	۷-۲-۲ آزمایش افت فشار تزریق (Fall off test)	

۳۹	 (Interference Test) آزمایش تداخلی
۴۰	 (Pulse Test) آزمایش پالسی یا ضربه‌ای
۴۱	 انواع مختلف آزمایش چاه‌های گازی
۴۲	 (Flow After Flow) آزمایش با دبی‌های متوالی
۴۴	 Isochronal آزمایش
۴۶	 (Modified Isochronal) Isochronal اصلاح شده

فصل سوم: آسیب دیدگی اطراف چاه

۴۷	 ۱-۳ مقدمه
۴۷	 ۲-۳ عوامل مؤثر در شدت نفوذ آسیب دیدگی در مخزن
۴۸	 ۳-۳ انواع آسیب دیدگی سنگ مخزن
۴۸	 ۱-۳-۳ (۱) آسیب‌های طبیعی
۴۸	 ۱-۳-۳ (الف) مهاجرت ذرات دانه ریز (Fine Migration)
۴۹	 ۱-۳-۳ (ب) تورم شدن رس‌ها (Clay Swelling)
۴۹	 ۱-۳-۳ (ج-۱) رسوبات حاصل از آب املاح دار (Scales)
۵۱	 ۱-۳-۳ (ج-۲) رسوبات آلی (Organic Deposits)
۵۱	 ۱-۳-۳ (ج-۳) پارافین‌ها (Paraffins)
۵۱	 ۱-۳-۳ (ج-۴) آسفالتین (Asphaltene)
۵۲	 ۱-۳-۳ (ج-۵) قیر (Tar)
۵۲	 ۱-۳-۳ (د) رسوبات تجمعی یا مخلوط، آبی و غیر آبی (Mixed Deposits)
۵۳	 ۱-۳-۳ (هـ) امولسیون‌ها (Emulsions)
۵۴	 ۲-۳-۳ (۱) آسیب‌های الفابی وارد به مخزن
۵۵	 ۲-۳-۳ (الف) تغییر در خاصیت ترشوندگی (Wettability Alteration)
۵۷	 ۲-۳-۳ (ب) واکنش اسید و محصولات جانبی آن
۵۷	 ۲-۳-۳ (ج) باکتری‌ها (Bacteria)
۵۸	 ۲-۳-۳ (ج-۱) باکتری‌های کاهش‌دهنده سولفات
۵۸	 ۲-۳-۳ (ج-۲) باکتری‌های اکسیدکننده آهن
۵۸	 ۲-۳-۳ (ج-۳) باکتری‌های تشکیل‌دهنده جرم
۵۸	 ۲-۳-۳ (ج-۴) باکتری‌هایی که به پلیمرها حمله می‌کنند
۵۸	 ۲-۳-۳ (د) مسدود شدن حفره‌ها توسط قطره‌های آب (Water Blocks)
۵۹	 ۲-۳-۳ (هـ) سیال حفاری پایه نفتی (Oil Base Mud)
۶۰	 ۲-۳-۳ (و) رسوب آهن
۶۰	 ۴-۳ ضریب پوسته
۶۳	 ۱-۴-۳ محاسبه ضریب پوسته
۶۵	 ۲-۴-۳ شعاع مؤثر چاه
۶۷	 ۳-۴-۳ ضریب پوسته در چاه گازی (انحراف از قانون دارسی)

- ۴-۴۰ عوامل ایجاد ضریب پوسته ۶۹
- ۴-۴۱ انواع ضرایب پوسته ۷۰
- ۴-۴۲ الف) ضریب پوسته ناشی از نحوه تکمیل چاه (Completion Geometry Skin) ۷۰
- ۴-۴۳ ب) ضریب پوسته ایجاد شده به وسیله مشبک کاری ۸۳
- ۴-۴۴ ج) ضریب پوسته در اثر تولید از چاه (production of well) ۹۰
- ۴-۴۵ د) ضریب پوسته در اثر نحوه تکمیل چاه به صورت حفره باز (Open Hole) ۹۱
- ۵-۳ علل ایجاد آسیب دیدگی سنگ مخزن ۹۲
- ۵-۳-۱ آسیب دیدگی در اثر عملیات حفاری (Drilling damage) ۹۲
- ۵-۳-۲ آسیب دیدگی سازند در اثر تزریق قسمت مایع کل حفاری در سازند (Drilling Mud Filtrate) ۹۳
- ۵-۳-۳ آسیب دیدگی در اثر استفاده از کل روغنی (Oil - Based Mud) ۹۳
- ۵-۳-۴ آسیب دیدگی در اثر سیمان کاری (Cementing Damage) ۹۳
- ۵-۳-۵ آسیب دیدگی در طول تولید از مخزن (Damage During Production) ۹۳
- ۵-۳-۶ آسیب دیدگی در اثر عملیات مشبک کاری (Perforation Damage) ۹۴
- ۵-۳-۷ آسیب دیدگی در خلال اسیدکاری و انگیزش چاه (Damage During Stimulation) ۹۴
- ۵-۳-۸ عملیات تزریقی (Injection Operations) ۹۴
- ۵-۳-۹ آسیب دیدگی در اثر تعمیر و تکمیل چاه (Completion / Workover Damage) ۹۴
- ۵-۳-۱۰ آسیب دیدگی در اثر فیلتر سنی (Gravel Packing) ۹۵
- ۶-۳ اثر پوسته (Skin) برای جریان گاز ۹۶

فصل چهارم: انباشتی چاه (Wellbore Storage)

- ۴-۱ مقدمه ۹۷
- ۴-۲ انباشتی چاه در آزمایش ساخت فشار ۹۸
- ۴-۲-۱ پدیده پس جریان (After Flow) ۹۹
- ۴-۲-۲ اثر انباشتی ناشی از تغییر سطح سیال درون فضای حلقوی (FL (Fluid Level) ۱۰۲
- ۴-۳ انباشتی چاه در آزمایش کاهش فشار ۱۰۵
- ۴-۳-۱ اثر انباشتی ناشی از انبساط سیال (FE (Fluid Expansion) ۱۰۶
- ۴-۳-۲ اثر انباشتی ناشی از تغییر سطح سیال درون فضای حلقوی (FL (Fluid Level) ۱۰۸
- ۴-۴ زمان پایان اثر انباشتی چاه ۱۱۵

فصل پنجم: معادله انتشار

- ۵-۱ مقدمه ۱۲۱
- ۵-۲ روش حل معادله انتشار ۱۲۴
- ۵-۲-۱ حل فشار ثابت معادله انتشار ۱۲۴
- ۵-۲-۲ حل دبی ثابت معادله انتشار ۱۲۴

۱۲۵	۲-۲-۵ الف) حل دبی ثابت معادله انتشار با روش تابع Ei
۱۳۹	۲-۲-۵ ب) حل دبی ثابت معادله انتشار با روش فشار بی بعد (P_D)
۱۴۱	۲-۲-۵ ۱- مخازن با عملکرد نامحدود (نامتناهی)
۱۴۳	۲-۲-۵ ۲- مخازن شعاعی محدود (پسته)
۱۴۸	۳-۵ اصل انطباق (برهم نهش)
۱۶۶	۴-۵ نواحی تخلیه غیر دایره‌ای ($Non-circular$)

فصل ششم: آزمایش ساخت فشار (Build-up Test)

۱۸۵	۱-۶ مقدمه
۱۹۰	۲-۶ آزمایش ساخت فشار در شرایط ایده‌آل ($Ideal Build-up$)
۱۹۳	۱-۲-۶ نسبت بهره‌دهی چاه‌ها یا ضریب بازدهی جریان
۱۹۴	۲-۲-۶ ضریب پوسته
۲۰۲	۲-۶ آزمایش ساخت فشار در شرایط واقعی ($Actual Build-up$)
۲۰۲	۱-۳-۶ عمق بررسی یا شعاع تحقیق ($Radius of Investigation$)
۲۱۹	۴-۶ تعیین فاصله گسل تا چاه
۲۱۹	۱-۴-۶ روش هورنر
۲۲۵	۲-۴-۶ روش مشتق فشار
۲۳۷	۵-۶ تخمین اندازه مخزن با استفاده از دو آزمایش ساخت فشار

فصل هفتم: روش تشخیص نواحی در آزمایش ساخت فشار

۲۳۹	۱-۷ مقدمه
۲۴۳	۲-۷ حذف نقاط مربوط به اثرات دهانه چاه
۲۴۴	۳-۷ حذف نقاط مربوط به ناحیه آسیب‌دیده
۲۴۷	۴-۷ پیدا کردن نقاط مربوط به مرز مخزن
۲۴۸	۵-۷ پیدا کردن نقاط مربوط به مخزن

فصل هشتم: روش‌های تخمین فشار متوسط مخزن

۲۵۷	۱-۸ مقدمه
۲۵۹	۲-۸ روش ماتیوز-برونز و هازبروک (MBH (Matthews-Brons-Hazebroek)
۲۶۵	۳-۸ نکات قابل توجه در محاسبه فشار متوسط در ناحیه ریزش
۲۷۸	۴-۸ روش میلر - دای - هاجینسون (MDH (Miller-Dyes-Hutchinson)
۲۸۳	۵-۸ روش رمی و کوب ($Ramey-Cobb$)
۲۸۹	۶-۸ روش ماسکت ($Muskat Method$)
۲۸۹	۷-۸ روش اصلاح‌یافته ماسکت ($Modified Muskat Method$)
۲۹۱	۸-۸ روش آریس و اسمیت ($Arps-Smith$)
۲۹۳	۹-۸ روش دیتز ($Dietz Method$)

۲۹۶	۱۰-۸ روش‌های دیگر
۲۹۶	۱۰-۸-۱ روش فشار خارجی (External Method)
۲۹۷	۱۰-۸-۲ روش مستقیم (Direct Method)

فصل نهم: آزمایش کاهش فشار (Draw-down Test)

۳۰۵	۱-۹ مقدمه
۳۱۰	۲-۹ آنالیز کاهش فشار تحتانی برای شرایط گذرا
۳۲۱	۳-۹ آنالیز کاهش فشار تحتانی برای شرایط وضعیت شبه‌پایدار (Semi-steady state)

فصل دهم: روش قشقی‌نواهی در آزمایش کاهش فشار

۳۵۵	۱-۱۰ مقدمه
۳۵۸	۲-۱۰ حذف نقاط مربوط به دهانه چاه
۳۶۰	۳-۱۰ حذف نقاط مربوط به ناحیه آسیب‌دیده
۳۶۲	۴-۱۰ پیدا کردن نقاط مربوط به مرز مخزن
۳۶۴	۵-۱۰ پیدا کردن نقاط مربوط به مخزن

فصل یازدهم: آزمایش‌های دبی متغیر (Multi Rate Tests)

۳۷۱	۱-۱۱ مقدمه
۳۷۶	۲-۱۱ شیوه تفسیر آزمایش‌های چاه‌آزمایی بعد از چندین بار تغییر دبی به صورت افت فشار
۳۸۰	۱-۲-۱۱ روش متداول (Conventional Method or Cartesian plot)
۳۸۴	۲-۲-۱۱ روش‌های مدرن
۳۸۴	۲-۲-۱۱ الف) روش مشتق فشار (pressure derivative)
۳۸۵	۲-۲-۱۱ ب) استفاده از نمودار نیمه‌لگاریتمی (semi-log plot)
۳۸۶	۲-۲-۱۱ ج) استفاده از روش TDS
۳۹۹	۳-۱۱ شیوه تفسیر آزمایش با دبی دوگانه (Two Rate Test) - دبی دوم ثابت
۳۹۹	۱-۳-۱۱ روش راسل (RUSSEL)
۴۰۹	۲-۳-۱۱ روش پینسون (PINSON)
۴۱۱	۳-۳-۱۱ روش تیاب (TIAB)
۴۱۱	۳-۳-۱۱ الف) روش اول تیاب برپایه فشار (Pressure-based Technique)
۴۱۳	۳-۳-۱۱ ب) روش دوم تیاب
۴۱۶	۳-۳-۱۱ ج) روش سوم تیاب
۴۱۸	TDS Technique - الف) براساس روش پینسون
۴۲۰	TDS Technique - ب) براساس روش راسل
۴۲۹	۴-۱۱ شیوه تفسیر آزمایش با دبی دوگانه (Two Rate Test) - دبی دوم متغیر

فصل دوازدهم: آزمایش افت فشار تزریق (Fall-Off Test)

۴۳۵	۱-۱۲ مقدمه
۴۳۶	۲-۱۲ اهداف آزمایش افت فشار تزریق
۴۳۷	۳-۱۲ فرضیات اساسی تحلیل آزمایش افت فشار تزریق
۴۳۸	۴-۱۲ آزمایش Fall-Off ایده آل و واقعی
۴۴۱	ضمیمه

فهرست جداول

فصل سوم: آسیب دیدگی اطراف چاه

۷۵	جدول (۱-۳): ضریب پوسته ترکیبی ($S_{C-\theta}$) بر حسب درجه انحراف برای $h_D = 100$
۷۶	ادامه جدول (۱-۳): ضریب پوسته ترکیبی ($S_{C-\theta}$) بر حسب درجه انحراف برای $h_D = 100$
۷۷	ادامه جدول (۱-۳): ضریب پوسته ترکیبی ($S_{C-\theta}$) بر حسب درجه انحراف برای $h_D = 100$
۷۸	ادامه جدول (۱-۳): ضریب پوسته ترکیبی ($S_{C-\theta}$) بر حسب درجه انحراف برای $h_D = 100$
۷۹	ادامه جدول (۱-۳): ضریب پوسته ترکیبی ($S_{C-\theta}$) بر حسب درجه انحراف برای $h_D = 100$
۸۱	جدول (۲-۳): ضریب پوسته ترکیبی ($S_{C-\theta}$) بر حسب درجه انحراف در $h_D = 1000$
۸۲	ادامه جدول (۲-۳): ضریب پوسته ترکیبی ($S_{C-\theta}$) بر حسب درجه انحراف در $h_D = 1000$
۸۵	جدول (۳-۳): تعیین ضرایب a_1, a_2, b_1, b_2
۸۵	جدول (۴-۳): تعیین ضرایب C_1 و C_2
۹۵	جدول (۵-۳): انواع آسیب‌های سازند
۹۶	جدول (۶-۳): روش‌های تشخیص آسیب‌های سازند

فصل پنجم: معادله انتشار

۱۲۹	جدول (۱-۵): مقدار $Ei(-x)$ به صورت تابعی از x
۱۴۲	جدول (۲-۵): p_D بر حسب t_D در سیستم شعاعی نامحدود و دبی ثابت در مرز داخلی
۱۴۵	جدول (۳-۵): مقادیر P_D بر حسب t_D در سیستم شعاعی نامحدود، دبی ثابت در مرز داخلی
۱۴۶	ادامه جدول (۳-۵): مقادیر P_D بر حسب t_D در سیستم شعاعی نامحدود، دبی ثابت در مرز داخلی
۱۷۳	جدول (۴-۵): مقادیر مختلف ضرایب شکل‌های هندسی برای ناحیه‌های ریزش و موقعیت‌های مختلف چاه
۱۷۴	ادامه جدول (۴-۵): مقادیر مختلف ضرایب شکل‌های هندسی برای ناحیه‌های ریزش و موقعیت‌های مختلف چاه

فصل ششم: آزمایش ساخت فشار (Build-up Test)

جدول (۱-۶): داده‌های مثال ۱	۱۹۷
جدول (۲-۶): داده‌های مثال ۲	۲۰۰
جدول (۳-۶): داده‌های مثال ۳	۲۰۹
جدول (۴-۶): داده‌های مثال ۴	۲۱۲
جدول (۵-۶): داده‌های مثال ۶	۲۱۵

فصل هشتم: روش‌های تخمین فشار متوسط مخزن

جدول (۱-۸): فاکتور شکلی در محدوده‌های ریزش چاه (ارلافر)	۲۶۶
ادامه جدول (۱-۸): فاکتور شکلی در محدوده‌های ریزش چاه (ارلافر)	۲۶۷
جدول (۲-۸): اطلاعات فشاری آزمایش ساخت فشار (مثال ۲)	۲۷۰
جدول (۳-۸): اطلاعات فشاری آزمایش ساخت فشار مثال ۳	۲۷۵
جدول (۴-۸): ضرایب Dietz برای برخی اشکال مخزن	۲۸۵

فصل نهم: آزمایش کاهش فشار (Draw-down Test)

جدول (۱-۹): داده‌های مثال ۲	۳۱۴
جدول (۲-۹): داده‌های مثال ۳	۳۱۵
جدول (۳-۹): داده‌های مثال ۴	۳۱۷
جدول (۴-۹): داده‌های مربوط به مثال ۷	۳۲۴
جدول (۵-۹): داده‌های مربوط به مثال ۸	۳۲۶
جدول (۶-۹): داده‌های مربوط به مثال ۹	۳۲۸
جدول (۷-۹): داده‌های مربوط به مثال ۱۰	۳۳۲
جدول (۸-۹): داده‌های مربوط به مثال ۱۱	۳۳۳
جدول (۹-۹): ضرایب شکل C_R	۳۳۸

فصل یازدهم: آزمایش‌های دبی متغیر (Multi Rate Tests)

جدول (۱-۱۱): داده‌های مربوط به مثال ۱	۳۷۳
جدول (۲-۱۱): داده‌های مثال ۲	۳۸۱
جدول (۳-۱۱): داده‌های مربوط به مثال ۳	۳۸۳
جدول (۴-۱۱): داده‌های مثال ۴	۳۸۷
جدول (۵-۱۱): داده‌های مثال ۵	۳۹۵
جدول (۶-۱۱): داده‌های مربوط به مثال ۶	۴۰۶
جدول (۷-۱۱): داده‌های مربوط به مثال ۷	۴۰۸
جدول (۸-۱۱): داده‌های مربوط به مثال ۸	۴۲۱

فهرست شکل‌ها

فصل اول: مبانی چاه‌آزمایی

- شکل (۱-۱): نمایش ورود داده‌ها (I) به یک سیستم و گرفتن خروجی (O) ۱
- شکل (۲-۱): اهمیت آنالیز داده‌های چاه‌آزمایی و اطلاعات تولیدی در طرح توسعه میدان ۲
- شکل (۳-۱): دستگاه مورد استفاده داری ۴
- شکل (۴-۱): دستگاه مورد استفاده جهت آزمایش داری در حالت مایل ۵
- شکل (۵-۱): رابطه بین حجم و فشار ۱۱
- شکل (۶-۱): رابطه بین چگالی و فشار برای انواع سیالات مختلف ۱۱
- شکل (۷-۱): جریان خطی ۱۴
- شکل (۸-۱): جریان خطی در یک شکاف عمودی ۱۴
- شکل (۹-۱): جریان شعاعی ایده‌آل به طرف حفره چاه ۱۵
- شکل (۱۰-۱): جریان کروی ناشی از محدودیت در مدخل ورودی (*Limited Entry*) ۱۵
- شکل (۱۱-۱): جریان نیمه کروی در چاه به دلیل نفوذ جزئی در مخزن (*Partially Penetration*) ۱۶
- شکل (۱۲-۱): جریان شعاعی ۱۸

فصل دوم: انواع آزمایش‌های مربوط به چاه‌های نفت و گاز

- شکل (۱-۲): نمونه‌ای از نمودارهای تغییر فشار در اثر تغییر دبی با زمان در چاه‌آزمایی ۲۷
- شکل (۲-۲): نمودارهای تغییر فشار و دبی با زمان در آزمایش کاهش فشار ۳۱
- شکل (۳-۲): نمودارهای تغییر فشار و دبی با زمان در آزمایش ساخت فشار ۳۲
- شکل (۴-۲): نمودارهای تغییر فشار و دبی با زمان در آزمایش با دو دبی متغیر ۳۳
- شکل (۵-۲): نمودارهای تغییر فشار و دبی با زمان در آزمایش با چند دبی متغیر ۳۴
- شکل (۶-۲): شماتیک آزمایش تزریق سیال ۳۶
- شکل (۷-۲): نمودارهای تغییر فشار و دبی با زمان در آزمایش تزریق ۳۷
- شکل (۸-۲): شماتیک آزمایش افت فشار تزریق ۳۷
- شکل (۹-۲): نمودارهای تغییر فشار و دبی با زمان در آزمایش *Fall-Off* ۳۸
- شکل (۱۰-۲): نمودار تغییر فشار با زمان در چاه مشاهده‌ای آزمایش تداخل ۳۹
- شکل (۱۱-۲): نمونه‌ای دیگر از نمودار تغییر فشار با زمان در چاه مشاهده‌ای آزمایش تداخلی ۴۰
- شکل (۱۲-۲): نمودارهای تغییر فشار و دبی با زمان در آزمایش پالسی ۴۱
- شکل (۱۳-۲): نمودارهای تغییر فشار و دبی با زمان در آزمایش *flow after flow* در چاه‌های گازی ۴۳
- شکل (۱۴-۲): نمودارهای تغییر فشار و دبی با زمان در آزمایش *Isochronal* در چاه‌های گازی ۴۵
- شکل (۱۵-۲): نمودار تغییر فشار و دبی با زمان در آزمایش *Isochronal* اصلاح شده در چاه‌های گازی ۴۶

فصل سوم: آسیب دیدگی اطراف چاه

- شکل (۱-۳): ناحیه آسیب دیده مخزن ۴۸
- شکل (۲-۳): رسوب‌های حاصل از آب املاح دار ۵۰
- شکل (۳-۳): کاهش تراوایی نسبی نفت در اثر افزایش اشباع آب ۵۹
- شکل (۴-۳): منطقه آسیب دیده اطراف چاه و اثرات آن ۶۰
- شکل (۵-۳): اختلاف در افت فشارهای ناشی از ضریب پوسته ۶۱
- شکل (۶-۳): نمودار توزیع فشار در یک مخزن با ضریب پوسته مثبت ۶۲
- شکل (۷-۳): نمودار توزیع فشار در یک مخزن با ضریب پوسته منفی ۶۲
- شکل (۸-۳): نمودار توزیع فشار در یک مخزن با ضریب پوسته صفر ۶۳
- شکل (۹-۳): پارامترهای رابطه هاکینز ۶۴
- شکل (۱۰-۳): تشخیص ناحیه تغییر یافته در نمودارگیری ۶۴
- شکل (۱۱-۳): شماتیک از شعاع ظاهری چاه زمانی که اثر پوسته مثبت وجود دارد ۶۶
- شکل (۱۲-۳): چگونگی تغییرات ضریب پوسته در نمودار تغییر فشار و مشتق فشار ۶۷
- شکل (۱۳-۳): تعیین مقدار r_w در جریان آشفته ۶۸
- شکل (۱۴-۳): تعیین ضریب غیر داری D ۶۹
- شکل (۱۵-۳): نفوذ جزئی (Partial Penetration) ۷۱
- شکل (۱۶-۳): ضریب پوسته ناشی از شکل هندسی (Geometric Skin) ۷۱
- شکل (۱۷-۳): ضریب پوسته ناشی از چاه انحراقی ۷۳
- شکل (۱۸-۳): سیستم مهار ماسه و بروز ضریب پوسته ۸۳
- شکل (۱۹-۳): نفوذ گلوله‌های مشبک کاری در جهت‌های مختلف ۸۴
- شکل (۲۰-۳): نمایش تراوایی عمودی و افقی و طول قسمت افقی چاه ۹۰
- شکل (۲۱-۳): ضریب پوسته ناشی از جریان سیال در ناحیه صدمه دیده اطراف شبکه‌ها ۹۲

فصل چهارم: انباشتگی چاه (Wellbore Storage)

- شکل (۱-۴): شماتیک آزمایش رشد فشار واقعی (Actual Build up) ۹۸
- شکل (۲-۴): پدیده پس جریان (After Flow) و پر شدن ستون چاه ۹۹
- شکل (۳-۴): مشاهده پدیده After Flow در منحنی هورنر از آزمایش ساخت فشار و منحنی شکل S ۱۰۰
- شکل (۴-۴): بسته شدن چاه از سر چاه و بروز پدیده Fluid-Filled Wellbore-unloading ۱۰۳
- شکل (۵-۴): رابطه بین دبی در سر چاه و دبی در ته چاه ۱۰۴
- شکل (۶-۴): انباشتگی ناشی از تغییرات سطح سیال در چاه بدون توپک مجهز به پمپ درون چاهی ۱۰۹
- شکل (۷-۴): شماتیک چاه مربوط به مثال ۱ ۱۱۰
- شکل (۸-۴): نمایش خط راست تغییرات فشار- زمان در دوره انباشتگی چاه ۱۱۴

فصل پنجم: معادله انتشار

- شکل (۱-۵): مدل یا مخزن ایده آل ۱۲۱
- شکل (۲-۵): توزیع فشار اطراف چاه در E دوره زمانی پس از شروع تولید ۱۲۸
- شکل (۳-۵): نمودار تابع $Ei(x)$ ۱۳۰
- شکل (۴-۵): سیستم مخزنی حاوی دو چاه جریان برای نشان دادن اصل انطباق ۱۴۹
- شکل (۵-۵): سیستم چاه‌های مثال ۶ ۱۵۰
- شکل (۶-۵): دبی تولیدی و تاریخچه فشار برای یک چاه با دبی‌های مختلف تولیدی ۱۵۱
- شکل (۷-۵): روش چاه مجازی مورد استفاده در حل مسائل مرزی ۱۵۲
- شکل (۸-۵): موقعیت چاه A نسبت به گسل و چاه مشاهده‌ای B ۱۵۴
- شکل (۹-۵): موقعیت چاه مربوط به مثال نسبت به دو گسل ۱۵۵
- شکل (۱۰-۵): موقعیت چاه مربوط به مثال ۱۰ نسبت به دو گسل ۱۵۸
- شکل (۱۱-۵): تاریخچه تولید و تغییرات فشار جریانی ته چاهی ۱۶۰
- شکل (۱۲-۵): فشار متوسط حجمی مخزن ۱۶۹
- شکل (۱۳-۵): نمودار $p_i - p(r, t)$ برحسب t ۱۷۹
- شکل (۱۴-۵): نمودار $p_i - p(r, t)$ برحسب t/r^2 ۱۷۹

فصل ششم: آزمایش ساخت فشار (Build-up Test)

- شکل (۱-۶): رفتار جریانی و فشاری یک آزمایش ساخت فشار ۱۸۷
- شکل (۲-۶): تولید چاه با دبی q به مدت t_p و بسته شدن چاه به مدت زمان Δt ۱۸۸
- شکل (۳-۶): روند تغییر فشار چاه هنگام تولید با دبی q به مدت t_p و بسته شدن چاه به مدت زمان Δt ۱۸۸
- شکل (۴-۶): به کارگیری اصل انطباق برای آزمایش‌های ساخت فشار ۱۹۰
- شکل (۵-۶): منحنی هورنر و تعیین شیب ۱۹۲
- شکل (۶-۶): تعیین p_i و m با توجه به نمودار نیمه لگاریتمی در آزمایش رشد فشار ایده آل ۱۹۳
- شکل (۷-۶): نحوه محاسبه p_{1hr} در آزمایش رشد فشار ایده آل ۱۹۶
- شکل (۸-۶): افت فشار اضافی ناشی از پوسته در ناحیه صدمه‌دیده ۱۹۶
- شکل (۹-۶): اطلاعات فشار ساکن ته چاهی برحسب زمان در آزمایش ساخت فشار ایده آل مثال ۱ ۱۹۹
- شکل (۱۰-۶): نمودار p_{ws} بر اساس $\log \frac{t_p + \Delta t}{\Delta t}$ مثال ۲ ۲۰۱
- شکل (۱۱-۶): نمودار Horner برای مثال ۲ ۲۰۲
- شکل (۱۲-۶): نمودار Horner ۲۰۴
- شکل (۱۳-۶): نمودار ساخت فشار واقعی برای چاهی واقع در مخزن محدود ۲۰۴
- شکل (۱۴-۶): نمودار ساخت فشار واقعی شامل نواحی ETR و MTR ۲۰۵
- شکل (۱۵-۶): نمودار ساخت فشار واقعی شامل سه ناحیه ETR ، MTR و LTR ۲۰۵
- شکل (۱۶-۶): نمایش زمان‌های اولیه، میانی و پایانی در آزمایش ساخت فشار واقعی ۲۰۶
- شکل (۱۷-۶): چگونگی پیدا کردن p^* با برون‌یابی در آزمایش ساخت فشار واقعی ۲۰۷
- شکل (۱۸-۶): نحوه محاسبه p_{1hr} ۲۰۹

- شکل (۱۹-۶): منحنی هورنر، آزمایش ساخت فشار ۲۱۱
- شکل (۲۰-۶): نمودار *Horner* برای مثال ۴ ۲۱۳
- شکل (۲۱-۶): نمودار *Horner* برای مثال ۵ ۲۱۴
- شکل (۲۲-۶): نمودار *Horner* مثال ۶ ۲۱۶
- شکل (۲۳-۶): نمودار آزمایش رشد فشار در شرایط واقعی ۲۱۷
- شکل (۲۴-۶): تعیین فاصله گسل تا چاه با ایجاد چاه مجازی ۲۱۹
- شکل (۲۵-۶): منحنی هورنر در چاه واقع در نزدیکی گسل ۲۲۱
- شکل (۲۶-۶): تعیین فاصله چاه تا گسل به کمک نقطه انحنای منحنی (*Inflection*) هورنر ۲۲۳

فصل هشتم: روش‌های تخمین فشار متوسط مخزن

- شکل (۱-۸): محاسبه فشار میانگین مخزن در شرایط واقعی ۲۵۸
- شکل (۲-۸): فشار بدون بعد *MBH* برای چاهی در مرکز ناحیه ریزش متساوی الاضلاع ۲۶۱
- شکل (۳-۸): فشار بدون بعد *MBH* برای موقعیت‌های مختلف یک چاه در ناحیه ریزش مربعی شکل ۲۶۲
- شکل (۴-۸): فشار بدون بعد *MBH* برای موقعیت‌های مختلف یک چاه در ناحیه ریزش مستطیلی شکل (طول دو برابر عرض) ۲۶۳
- شکل (۵-۸): فشار بدون بعد *MBH* برای موقعیت‌های مختلف یک چاه واقع در ناحیه ریزش مستطیل شکل (طول چهار برابر عرض) ۲۶۴
- شکل (۶-۸): نمودار *Horner* (مثال ۱) ۲۶۸
- شکل (۷-۸): نمودار *Horner* (مثال ۲) ۲۷۱
- شکل (۸-۸): فشار متوسط و فشار در مرز مخزن در حضور سیستم مربعی شکل فشار ثابت ۲۷۴
- شکل (۹-۸): منحنی هورنر، آزمایش ساخت فشار مثال ۳ ۲۷۶
- شکل (۱۰-۸): فشار بدون بعد *MDH* برای نواحی ریزش دایره و مربعی شکل ۲۸۱
- شکل (۱۱-۸): رسیدن اثر فشار به مرز مخزن ۲۸۹
- شکل (۱۲-۸): رسم مقادیر $(\bar{p} - p_{ws})$ بر حسب زمان در مقیاس نیمه لگاریتمی ۲۹۱
- شکل (۱۳-۸): رسم نمودار $\frac{dp_{ws}}{dt}$ بر حسب p_{ws} در محور مختصات کارتزین ۲۹۲
- شکل (۱۴-۸): نمودار *MDH* برای استفاده در روش دیتز ۲۹۴

فصل نهم: آزمایش کاهش فشار (*Draw-down Test*)

- شکل (۱-۹): رفتار جریان و فشاری یک آزمایش کاهش فشار ۳۰۶
- شکل (۲-۹): شماتیک آزمایش کاهش فشار جریانی ۳۰۷
- شکل (۳-۹): نمودار فشار بر حسب زمان در آزمایش کاهش فشار جریانی ۳۰۹
- شکل (۴-۹): خط راست در نمودار نیمه لگاریتمی فشار بر حسب زمان در آزمایش کاهش فشار ۳۱۱
- شکل (۵-۹): چگونگی به دست آوردن مقادیر p_{1hr} و شیب از نمودار نیمه لگاریتمی ۳۱۳

۳۱۴	شکل (۹-۶): نمودار فشار بر حسب لگاریتم زمان مثال ۲
۳۱۶	شکل (۹-۷): نمودار فشار بر حسب زمان مثال ۳
۳۱۷	شکل (۹-۸): نمودار فشار بر حسب لگاریتم زمان مثال ۴
۳۲۲	شکل (۹-۹): خط راست موجود در نمودار فشار بر حسب زمان
۳۲۴	شکل (۹-۱۰): نمودار فشار بر حسب زمان مثال ۷
۳۲۵	شکل (۹-۱۱): نمودار فشار بر حسب لگاریتم زمان مثال ۷
۳۲۷	شکل (۹-۱۲): نمودار فشار بر حسب زمان مثال ۸
۳۲۷	شکل (۹-۱۳): نمودار فشار بر حسب لگاریتم زمان مثال ۸
۳۲۹	شکل (۹-۱۴): نمودار لگاریتم کاهش فشار بر حسب لگاریتم زمان مثال ۹
۳۳۰	شکل (۹-۱۵): نمودار کارتزین فشار بر حسب زمان مثال ۹
۳۳۰	شکل (۹-۱۶): نمودار نیمه لگاریتمی فشار بر حسب زمان مثال ۹
۳۴۴	شکل (۹-۱۷): آزمایش کاهش فشار با یک دبی: فشار جریان در طول زمان ابتدایی جریان گذرا کاهش می یابد
۳۴۵	شکل (۹-۱۸): آزمایش کاهش فشار با یک دبی: کاهش پس از حالت شبه پایدار

فصل یازدهم: آزمایش های دبی متغیر (Multi Rate Tests)

۳۷۳	شکل (۱۱-۱): نمودار $\frac{P_i - P_{wf}}{q_n}$ بر حسب لگاریتم زمان مثال ۱
۳۷۵	شکل (۱۱-۲): تغییرات دبی با زمان در چاه آزمایشی با دبی چندگانه
۳۷۶	شکل (۱۱-۳): آزمایش افت فشار بعد از چندین بار تغییر دبی
۳۸۲	شکل (۱۱-۴): نمودار $\frac{\Delta p}{q_n}$ بر حسب $\sum \frac{q_i - q_{j-1}}{q_n} \log(t - t_{j-1})$ برای مثال ۲
۳۸۴	شکل (۱۱-۵): نمودار $\frac{\Delta p}{q_n}$ بر حسب $\sum \frac{q_i - q_{j-1}}{q_n} \log(t - t_{j-1})$ برای مثال ۳
۳۹۶	شکل (۱۱-۶): نمودار $\frac{\Delta p}{q_n}$ بر حسب $\sum \frac{q_i - q_{j-1}}{q_n} \log(t - t_{j-1})$ برای مثال ۵
۴۰۰	شکل (۱۱-۷): تغییرات دبی و فشار نسبت به زمان برای آزمایش با دبی دوگانه ($q_1 > q_2$)
۴۰۲	شکل (۱۱-۸): رسم داده های چاه آزمایشی با دبی دوگانه ($q_1 > q_2$): با اثر مرز
۴۰۳	شکل (۱۱-۹): رسم داده های چاه آزمایشی با دبی دوگانه ($q_1 > q_2$): بدون اثر مرز
۴۰۳	شکل (۱۱-۱۰): رسم داده های چاه آزمایشی با دبی دوگانه ($q_1 < q_2$)
۴۰۵	شکل (۱۱-۱۱): (مراحل الف تا ز) بیانگر آنالیز ساخت فشار با دو دبی متغیر است
۴۰۷	شکل (۱۱-۱۲): نمودار p_{wf} بر حسب $\frac{q_i}{q_1} \log(\Delta t) + \log\left(\frac{t_p + \Delta t}{\Delta t}\right)$ مثال ۶
۴۰۹	شکل (۱۱-۱۳): نمودار p_{wf} بر حسب $\frac{q_i}{q_1} \log(\Delta t) + \log\left(\frac{t_p + \Delta t}{\Delta t}\right)$ مثال ۷
۴۱۰	شکل (۱۱-۱۴): روش پینسون در آنالیز با دو دبی متغیر

فصل دوازدهم: آزمایش افت فشار تزریق (*Fall-Off Test*)

- شکل (۱-۱۲): شماتیک آزمایش *Fall-Off* ۴۳۶
- شکل (۲-۱۲): نمودارهای تغییر فشار و دبی با زمان در آزمایش *Fall-Off* ۴۳۷
- شکل (۳-۱۲): منحنی آزمایش *Fall-Off* ایده آل و تعیین شیب ۴۳۸
- شکل (۴-۱۲): منحنی آزمایش *Fall-Off* واقعی ۴۳۹

مقدمه

خداوند یکتا را سپاسگزارم که بار دیگر توفیق داد تا مجموعه‌ای را که شامل مباحث مختلف مربوط به چاه‌آزمایی می‌باشد، تقدیم علاقمندان کنم. مجموعه‌ای که هدف اصلی آن، برآوردن نیاز دانشجویان و همکاران شاغل در ادارات مهندسی نفت و آشنایی آن‌ها با مطالعات و تحقیقات انجام شده توسط شرکت‌های معتبر بین‌المللی نفتی و مراکز تحقیقاتی در این زمینه می‌باشد.

با توجه به توسعه رشته مهندسی نفت در سطح دانشگاه‌های کشور در سال‌های اخیر، فراهم شدن بستر مناسب جهت فعالیت‌های علمی و با توجه به این‌که درس چاه‌آزمایی، یکی از دروس اساسی گرایش‌های مختلف مهندسی نفت بوده و تاکنون هیچ کتاب جامعی به زبان فارسی در این زمینه به چاپ نرسیده است، مرا ترغیب نمود تا تجربیات دانشگاهی خود را که حاصل مدت زمانی قریب به ۱۷ سال فعالیت در بخش‌های مختلف مهندسی نفت و سایر ادارات مناطق نفت‌خیز جنوب بوده است، متناسب با سرفصل‌های متداول آموزش عالی جهت تدریس این درس در دانشگاه‌ها، در دو جلد به رشته تحریر در آورم. در این اثر ۲ جلدی، سعی شده است که کلیه مطالب ضروری در این زمینه گنجانده شود و مطالب و موضوعات، طوری تنظیم گردند که همکاران شاغل در صنعت، دانشجویان و اساتید درسی چاه‌آزمایی کشور یک منبع جامع در اختیار داشته باشند. در جلد دوم کتاب، لایه‌آزمایی با ساق مت (Drill Stem Test) نمودارهای الگو یا دسته‌منحنی‌ها (Type Curves)، نمودار مشتق (Derivative)، کانال‌ها (Channels)، گسل (Fault)، چاه‌آزمایی در مخازن شکافدار، چاه‌های افقی (Horizontal Wells)، مخازن لایه‌ای (Layered Reservoirs)، نفوذ و متسبک‌کاری جزئی (Partial Penetration & Perforation)، روش تشخیص نواحی در آزمایش تزریق (Region Determination in Injection Test)، جریان چند فازی (Multi Phase Flow)، آزمایش‌های تداخلی (Interference Test)، آزمایش پالسی یا ضربه‌ای (Pulse Test)، آنالیز چاه‌های گازی (Gas Well Testing)، عملیات چاه‌آزمایی (Well Testing Operation) آورده شده است.

اینجانب مراتب تشکر خود را از مدیر محترم انتشارات کتاب آوا، جناب آقای حمید کاظمی که زحمات چاپ و نشر این اثر را پذیرفتند، ابراز می‌دارم. همچنین، از جناب مهندس علیرضا فرج‌زاده دهکردی، دانشجوی کارشناسی ارشد مهندسی نفت که در مرتب نمودن و ویرایش بعضی از مطالب کتاب، مرا یاری نمودند، کمال تشکر را دارم.

در پایان، این اثر را به تمامی مهندسين و متخصصينی که دست اندرکار صنایع نفت و گاز کشور هستند و به تمامی استادان و معلمینی که در پیشگاه آن‌ها به کسب علم پرداخته‌ام، تقدیم می‌کنم.

با توجه به این‌که هیچ اثری، خالی از اشکال نیست، از کلیه مطالعه‌کنندگان ارجمند، اساتید محترم و دانشجویان عزیز خواهشمند است تمام اشکالات علمی و تائیدی را از طریق ناشر یادآور شوند تا در چاپ‌های بعدی اصلاح شود و مجموعه‌ای با حداقل اشکال در اختیار دانش‌پژوهان قرار گیرد.

به امید موفقیت و بهروزی تمامی پویندگان علم

محمد رضا عادلزاده

Email: adelzadeh@che.sharif.ir

پیش‌گفتار

به محض حفر یک چاه در درون مخزن و آغاز استخراج سیال درون آن، تغییراتی در پارامترهای مخزنی مانند فشار، حجم سیال درون مخزن، گرانشی سیال و ... ایجاد می‌شود. تغییر پارامترهای مخزن باعث تغییر رفتار مخزن مانند چگونگی تغییر فازهای سیال (مایع و گاز) درون مخزن، چگونگی فازهای سیال استخراج شده، میزان دبی و ... می‌شود. بنابراین با گذشت زمان و ادامه برداشت از مخزن، رفتار مخزن تغییر می‌کند. در واقع پارامترهای تجزیه و تحلیل رفتار مخزن به نوعی تابع زمان هستند.

عملیات چاه‌آزمایی براساس زمان است و نتایج حاصل از آن می‌تواند تأثیر زیادی در تشخیص مقادیر واقعی پارامترهای مخزنی داشته باشد. از این رو چاه‌آزمایی یکی از مهم‌ترین ابزارهای مهندسان برای شناخت مخازن نفت و گاز محسوب می‌شود. به‌دست آوردن مقدار واقعی این تغییرات، نقش عمده‌ای در ایجاد یک مدل دقیق و به‌روز از مخزن دارد.

در سال ۱۹۵۰، چاه‌آزمایی به‌عنوان ابزاری برای شناخت رفتار واقعی مخزن در قبال تغییرات ایجاد شده درون چاه، وارد مهندسی نفت شد. مخزن نفت محیطی ناشناخته و بسیار ناهمگن است که تشخیص دقیق آن عملاً امکان‌پذیر نیست. با توجه به ویژگی‌های کلی مخزن، مدل‌های ریاضی اولیه‌ای برای تفسیر رفتار مخزن و چگونگی حرکت سیال در درون محیط‌های متخلخل مختلف از جمله محیط متخلخل مخازن شکافدار وجود دارد. این مدل‌ها که اصطلاحاً مدل‌های ایده‌آل گفته می‌شوند، تا اندازه‌ای توانایی پیش‌بینی رفتار واقعی مخزن را دارند. پارامترهای مدل را باید پس از تطبیق با رفتار مخزن اصلاح کنند تا رفتار مدل، رفتار واقعی مخزن را نشان دهد.

پس از انجام هر آزمایش روی مخزن واقعی، اطلاعات فشار و زمان را روی نمودارهایی (در مختصات لگاریتمی، نیمه‌لگاریتمی یا دکارتی) پیاده کرده و آن‌را بر اساس نمودارهای مدل‌های اولیه تفسیر می‌کنند و اطلاعاتی مانند نوع رژیم جریان (خطی، شعاعی، کره‌ای)، مساحت مخزن و ... غیره را به‌دست می‌آورند.

در حدود سال‌های ۱۹۷۰ به بعد، محققین با ارائه دادن نمودارهای مدل فشار در برابر زمان (*Type curves*)، به تشخیص حالت‌های کلی شکل مخزن پرداختند که در تفسیر نمودارهای چاه‌آزمایی نقش بسیار مهمی دارند.

نمودارهای مدل نسبت به روش قبلی، جزئی‌تر و دقیق‌تر بوده و حالت‌های بیش‌تری را نشان می‌دهند، از این‌رو برای مهندس نفت این امکان ایجاد می‌شود که با اخذ اطلاعات مخزن و پیاده کردن داده‌های مربوط به آزمایش روی نمودار، نمودار به‌دست آمده از مخزن واقعی را با نمودارهای مدل منطبق کرده و براساس آن پارامترهای دیگر مهندسی مخزن (تراوایی، ضریب پوسته و ...) را به‌دست آورد، یا در حالت عدم انطباق کامل با نمودارهای مدل، برخی از پارامترهای نمودار مدل را تغییر داده تا بهترین نمودار بیان‌کننده حالت واقعی مخزن را شناسایی کند. پس از این، برای افزایش دقت، روش استفاده از نمودارهای مشتق (نمودار مشتق فشار در برابر زمان) نیز ارائه شد. در واقع نمودارهای مشتق نیز یک نوع نمودار مدل هستند که محاسبات مهندسی بر اساس آن‌ها بیش‌تر در تأیید و تکمیل نتایج به‌دست آمده از نمودارهای مدل معمولی به‌کار می‌رود. امروزه روش‌های مدرن‌تری در حال گسترش می‌باشند که *Deconvolution* نامیده می‌شوند.

در کشور ما به‌دلیل اهمیت داشتن تولید روزانه، بستن چاه و توقف تولید نفت به مدت دو یا سه روز برای انجام آزمایش خیلی مشکل و در پاره‌ای از مواقع امکان‌پذیر نیست، لذا مجهز کردن چاه‌ها به سیستم‌های هوشمند (چاه هوشمند) برای ثبت فشار و زمان و نیز دبی تولید می‌تواند تا حدودی ما را از عملیات چاه‌آزمایی بی‌نیاز کند. امروزه با پیشرفت تکنولوژی، استفاده از این سیستم‌های هوشمند برای کنترل مداوم چاه (*Smart wells*) کمک زیادی به جمع‌آوری داده‌های روزانه چاه می‌کند و علاوه بر آن می‌توان با مشاهده تغییرات ناخوایسته، به‌صورت خودکار تغییرات لازم را روی چاه اعمال کرد و امکان کنترل از راه دور را بر روی چاه فراهم نمود.

یکی از نکات جالب در مورد چاه‌آزمایی این است که با استفاده از اطلاعات سه متغیر زمان، فشار و دبی تولیدی یا دبی تزریقی، اکثر پارامترهای مهندسی مخزن مانند تراوایی، ضریب پوسته، ناحیه تخلیه چاه (حجم مؤثر در تولید چاه، به بیان دیگر حجمی از مخزن که توسط هر چاه تخلیه می‌شود)، نوع مخزن (ساده یا ترکیبی) را به‌دست می‌آورند.