



تحلیل نوین چاه آزمایی

رویکرد کمک رایانه ای

□ تألیف: رولاند هورنه

□ ترجمه: امیر جهان بخش

مجتبی کریمی

احسان نیک جو





سرشناسه	هورنه، رولاند ان. Horne, Roland N
عنوان و نام پدیدآور	تحلیل نوین چاه‌آزمایی/تألیف رولاند هورنه؛ ترجمه امیر جهان‌بخش، مجتبی کریمی، احسان نیک‌جو
مشخصات نشر	تهران: پژوهشگاه صنعت نفت، ۱۳۹۱.
مشخصات ظاهری	۲۷۲ ص: مصور، جنول، نمودار.
شابک	۹۷۸-۶۰۰-۵۹۶۱-۴۸-۵
وضعیت فهرست‌نویسی	فیا
یادداشت	Modern Well Test Analysis: A Computer-Aided Approach, 2 nd ed.
یادداشت	کتابنامه.
موضوع	چاه‌های نفت — آزمایش — داده‌برداری
موضوع	چاه‌های نفت — آزمایش
شناسه افزوده	جهان‌بخش، امیر، ۱۳۵۸ — مترجم
شناسه افزوده	کریمی، مجتبی، ۱۳۶۲ — مترجم
شناسه افزوده	نیک‌جو، احسان، ۱۳۶۴ — مترجم
شناسه افزوده	پژوهشگاه صنعت نفت
رده‌بندی کنگره	۳۹۱ ت ۳۰۸۷ / TN۸۷۱
رده‌بندی دیویدی	۶۳۱/۳۳۸۱
شماره کتابشناسی ملی	۲۸۱۲۲۷

چاپ این کتاب، پس از داوری در چهل و نهمین جلسه شورای نشر پژوهشگاه صنعت نفت، مورخ ۱۳۹۰/۱۰/۱۶، به تصویب رسید.



تهران: بلوار غربی مجموعه ورزشی آزادی، پژوهشگاه صنعت نفت □ کد پستی: ۱۴۸۵۷۳۳۱۱۱
 صندوق پستی: ۱۳۷-۱۴۶۶۵ □ تلفن مرکز نشر: ۴۴۷۳۶۸۶-۴۴۲۵۱۲۴۸، دورنگار: ۴۴۷۳۶۸۶
 وب سایت پژوهشگاه: www.ripi.ir، ایمیل مرکز نشر: nashr@ripi.ir

تحلیل نوین چاه آزمایی (روی کرد کمک‌رایانه‌ای)
 تألیف: رولاند هورنه
 ترجمه: امیر جهان‌بخش، مجتبی کریمی، احسان نیک‌جو

ناشر: پژوهشگاه صنعت نفت □ ویراستار ادبی: منیر قنبریان □ صفحه‌آرا: اشرف‌السادات حسینی
 طراح جلد: پرویز بیانی □ چاپ اول: تابستان ۱۳۹۱ □ شمارگان: ۲۰۰ نسخه
 قیمت: ۱۱۰۰۰۰ ریال □ چاپ: سازمان چاپ و انتشارات اوقاف
 شابک: ۹۷۸-۶۰۰-۵۹۶۱-۴۸-۵ ISBN: 978-600-5961-48-5

حق چاپ برای ناشر محفوظ است.

فهرست مطالب

صفحه	عنوان
۱۳	پیشگفتار ناشر
۱۵	پیشگفتار
۱۷	فصل اول: اهداف چاه‌آزمایی
۱۹	۱-۱- مقدمه
۲۰	۲-۱- ارزیابی مخزن
۲۱	۳-۱- مدیریت مخزن
۲۱	۴-۱- توصیف مخزن
۲۲	۵-۱- تجزیه و تحلیل نمودار کاهشی
۲۳	۶-۱- انواع آزمایش‌های چاه
۲۳	۱-۶-۱- آزمایش افت فشار
۲۳	۲-۶-۱- آزمایش ساخت فشار
۲۴	۳-۶-۱- آزمایش تزریق
۲۴	۴-۶-۱- آزمایش کاهشی
۲۴	۵-۶-۱- آزمایش تداخلی
۲۵	۶-۶-۱- آزمایش ساق مته (DST)
۲۵	۷-۱- منابع
۲۷	فصل دوم: مفاهیم چاه‌آزمایی
۲۹	۱-۲- اساس مدل‌های مخزنی
۳۱	۲-۲- متغیرهای بدون بُعد
۳۲	۳-۲- اثر ضریب پیوسته

صفحه	عنوان
۳۴	۲-۲-۱- بازده جریانی
۳۵	۲-۳-۲- پوسته ناشی از مشبک کاری جزئی
۳۶	۲-۴- انبارگی چاه
۴۲	۲-۵- جریان شعاعی نامحدود
۴۳	۲-۶- تجزیه و تحلیل نیمه لگاریتمی
۴۴	۲-۶-۱- تجزیه و تحلیل نیمه لگاریتمی، مثال تفهیمی
۴۷	۲-۷- نمودارهای الگو لگاریتمی
۴۸	۲-۷-۱- تجزیه و تحلیل نمودارهای الگو، مثال تفهیمی
۵۰	۲-۸- عکس العمل مرز مخزن
۵۰	۲-۸-۱- مرزهای بسته
۵۳	۲-۸-۲- مرزهای گسلی
۵۳	۲-۸-۳- مرزهای فشار ثابت
۵۴	۲-۹- شعاع بررسی
۵۵	۲-۱۰- چاه های شکاف دار
۵۶	۲-۱۰-۱- شکاف های با هدایت پذیری محدود
۵۸	۲-۱۰-۲- شکاف با هدایت پذیری نامحدود
۵۸	۲-۱۰-۳- شکاف های با شار یک نواخت
۵۹	۲-۱۱- رفتار تخلخل دو گانه
۶۲	۲-۱۲- خلاصه عکس العمل های فشاری در ترتیب و توالی زمانی
۶۴	۲-۱۳- برهم نهی
۶۶	۲-۱۴- برهم نهی زمان - آزمایش هایی با چند دبی
۷۰	۲-۱۵- آزمایش های ساخت فشار
۷۳	۲-۱۵-۱- آزمایش های ساخت فشار، مثال تفهیمی
۷۵	۲-۱۵-۲- رفتار با آزمایش های ساخت فشار مانند آزمایش های افت فشار
۷۶	۲-۱۵-۳- فشار میانگین مخزن
۷۸	۲-۱۶- منابع
۷۹	فصل سوم: تحلیل به کمک رایانه
۸۱	۳-۱- چکیده
۸۲	۳-۲- ارایه های گرافیکی

صفحه	عنوان
۸۳	۳-۳- نمودار مشتق
۸۹	۳-۳-۱- نمودارهای مشتق برای آزمایش‌های ساخت فشار
۹۱	۳-۳-۲- محاسبه مشتق‌ها
۹۵	۳-۳-۳- تخمین مشخصه‌های تخلخل دوگانه در نمودارهای مشتق
۹۶	۳-۴- ارزیابی نمودار تشخیص
۹۸	۳-۵- آماده کردن داده‌ها
۹۸	۳-۵-۱- تعداد و تکرار داده‌ها
۱۰۰	۳-۵-۲- انتقال منطبق مینا
۱۰۱	۳-۶- رگراسیون غیرخطی
۱۰۲	۳-۶-۱- بازه‌های اطمینان
۱۰۷	۳-۶-۲- فشار اولیه
۱۰۸	۳-۶-۳- آزمایش‌های با چند دبی و با دبی متغیر
۱۱۱	۳-۷- برهم‌نهی معکوس (جداسازی)
۱۱۵	۳-۸- ترتیب تفسیر
۱۱۶	۳-۹- غیرایده‌آلی
۱۱۸	۳-۱۰- منابع
۱۱۹	فصل چهارم: چاه آزمایشی‌ها در مخازن گازی
۱۲۱	۴-۱- مقدمه
۱۲۱	۴-۲- فشار و زمان مجازی گازهای حقیقی
۱۲۳	۴-۳- محاسبه فشارهای مجازی
۱۲۵	۴-۴- استفاده از فشارهای مجازی نرمال شده برای تحلیل
۱۲۷	۴-۵- استفاده از شبه فشار برای تحلیل
۱۲۸	۴-۶- اثر ضریب پوسته وابسته به دبی
۱۳۱	۴-۷- منابع
۱۳۳	فصل پنجم: چاه آزمایشی‌های چندفازی
۱۳۵	۵-۱- مقدمه
۱۳۷	۵-۲- روش پرین
۱۳۹	۵-۳- روش مربع فشار
۱۴۱	۵-۴- منابع

صفحه	عنوان
۱۴۳	فصل ششم: طراحی آزمایش چاه
۱۴۵	۶-۱- مقدمه
۱۴۵	۶-۲- وابستگی متغیری
۱۴۷	۶-۳- مدت آزمایش
۱۴۸	۶-۴- بررسی‌های دبی جریان
۱۴۹	فصل هفتم: مباحث پیشرفته
۱۵۱	۷-۱- چاه‌های افقی
۱۵۲	۷-۱-۱- رژیم‌های جریان
۱۵۴	۷-۱-۲- تخمین مشخصه‌ها
۱۵۶	۷-۱-۳- رگرسیون غیرخطی
۱۵۷	۷-۲- تحلیل‌های چاه در مخزن چندلایه
۱۵۸	۷-۲-۱- آزمایش‌های بدون اندازه‌گیری‌های دبی جریان
۱۶۰	۷-۲-۲- آزمایش‌های با اندازه‌گیری‌های دبی جریان
۱۶۱	۷-۳- منابع
۱۶۳	فصل هشتم: مسائل کاربردی
۱۶۵	۸-۱- آزمایش افت فشار
۱۶۶	۸-۱-۱- تشخیص دوره‌های جریان
۱۶۷	۸-۱-۲- تخمین مشخصه‌های مخزن
۱۶۹	۸-۱-۳- انطباق نمودار الگو
۱۷۰	۸-۱-۴- مقایسه محاسبات گرافیکی
۱۷۲	۸-۱-۵- خطاهای جابه‌جایی زمان
۱۷۳	۸-۱-۶- خطاهای جابه‌جایی فشار
۱۷۴	۸-۱-۷- بازه‌های اطمینان
۱۷۵	۸-۱-۸- رگرسیون غیرخطی
۱۷۷	۸-۱-۹- شعاع بررسی
۱۷۸	۸-۱-۱۰- داده‌های ناقص (قطع شده)
۱۸۰	۸-۱-۱۱- داده‌های هم‌زمان دبی-فشار
۱۸۲	۸-۲- مخزن کران‌دار (محدود)
۱۸۵	۸-۲-۱- ابهام
۱۸۶	۸-۳- آزمایش ساخت فشار

صفحه	عنوان
۱۸۶	۸-۳-۱- آزمایش بدون اثرات مرز
۱۸۸	۸-۳-۲- اثرات مرزها
۱۹۰	۸-۳-۳- آگاهی از مقدار Pwf
۱۹۱	۸-۴- چاه‌های شکاف‌دار
۱۹۱	۸-۴-۱- شکاف با هدایت‌پذیری محدود
۱۹۶	۸-۴-۲- شکاف با هدایت‌پذیری نامحدود
۲۰۱	۸-۵- تخلخل موکانه
۲۰۱	۸-۵-۱- مثال با انبارگی نسبتاً کم چاه
۲۰۴	۸-۵-۲- مثال با انبارگی طولانی‌تر چاه
۲۰۶	۸-۵-۳- اثرات ساخت فشار
۲۰۹	۸-۶- آزمایش تداخلی
۲۱۰	۸-۶-۱- دبی جریان‌ی یگانه
۲۱۲	۸-۶-۲- دبی چندگانه (با چند دبی)
۲۱۵	۸-۷- آزمایش چاه گازی
۲۱۸	۸-۸- منبع
۲۱۹	فصل نهم: محاسبه خواص
۲۲۱	۹-۱- مقدمه
۲۲۱	۹-۲- خواص نفت
۲۲۳	۹-۳- خواص گاز
۲۲۷	۹-۴- خواص آب
۲۲۸	۹-۵- خواص سنگ
۲۲۹	۹-۶- خواص کل (مجموع)
۲۲۹	۹-۷- منابع
۲۳۱	فصل دهم: مسائل واقعی (میدانی)
۲۳۳	آزمایش ۱: چاه تحریک‌شده
۲۳۵	آزمایش ۲: کانال ماسه‌ای
۲۳۷	آزمایش ۳: ناحیه ریزش (تخلیه) بسته
۲۳۸	آزمایش ۴: مرز سه‌گوش (گوه V شکل)
۲۳۹	آزمایش ۵: داده‌های دوره انتقالی (گذرا)
۲۴۰	آزمایش ۶: چاه افقی

صفحه	عنوان
۲۴۲	آزمایش ۷: آزمایش با استفاده از فشارسنج مکانیکی
۲۴۳	آزمایش ۸: چاه صدمه دیده
۲۴۴	آزمایش ۹: چاه بازیافت حرارتی
۲۴۵	آزمایش ۱۰: آزمایش غیرقابل تفسیر
۲۴۶	آزمایش ۱۱: چاه افقی
۲۴۷	آزمایش ۱۲: آزمایش کوتاه
۲۴۷	آزمایش ۱۳: آزمایش کوتاه
۲۵۰	آزمایش ۱۴: آزمایش کوتاه
۲۵۲	آزمایش ۱۵: چاه شکاف دار شده به روش هیدرولیکی
۲۵۴	آزمایش ۱۶: آزمایش کاهش با دوره بسته شدن ماقبل
۲۵۶	آزمایش ۱۷: ساخت فشار در چاه گازی
۲۵۷	آزمایش ۱۸: چاه اسیدکاری شده
۲۵۸	آزمایش ۱۹: عکس العمل مبهم
۲۶۱	آزمایش ۲۰: چاه افقی
۲۶۲	آزمایش ۲۱: اندازه گیری دبی جریان در ته چاه
۲۶۵	آزمایش ۲۲: ساخت فشار در چاه آسیب دیده
۲۶۷	آزمایش ۲۳: چاه شکاف دار شده به روش هیدرولیکی
۲۶۹	آزمایش ۲۴: عکس العمل تخلخل دوگانه
۲۷۰	آزمایش ۲۵: چاه حرارتی
۲۷۱	منابع

پیشگفتار ناشر

از زمان فوران اولین چاه نفت ایران و خاورمیانه در مسجد سلیمان و تولد صنعت نفت ایران صد سال می‌گذرد. از آن زمان که مردم تنها برای روشنایی از نفت خام استفاده می‌کردند تاکنون، که تقریباً در هر صنعتی و دهایی از نفت خام و فرآورده‌هایش دیده می‌شود. پژوهشگران مختلف در تمام زمینه‌ها و کاربردهای مربوط به نفت خام تحقیقات فراوانی انجام داده‌اند که پیشرفت‌های فناوری وسیعی را در زمینه صنایع نفت، گاز و پتروشیمی در پی داشته است. چگونگی ظهور و بروز فناوری و نحوه به‌کارگیری آن مقدار تولید صنعت نفت را در آینده تعیین خواهد کرد.

تحقیق و پژوهش، در صد سالگی صنعت نفت ایران، بسیار جواتر از این صنعت است و ما هنوز در گام‌های اولیه فعالیت‌های علمی در این صنعت هستیم. واضح است که پژوهش در صنعت نفت با بازدهی متناسب با تجربه و قدمت برخی آن حرکت نکرده است و صد افسوس که مشکلات و ویژگی‌های آن به خوبی شناخته نشده‌اند. حاصلت‌هایی زمان‌بر بودن، هزینه‌بر بودن، ریسک‌پذیری، کیفیت نه چندان مطلوب، مشکلات عدم تأمین مالی به موقع و عدم وجود ضمانت‌های لازم از مولفه‌های ذاتی نهفته در پژوهش‌اند.

به رغم وجود این چالش‌های سنگین، تعامل مستقیم پژوهش و فناوری می‌تواند اقتدار و توسعه واقعی فناوری و مدیریت دانش را در صنعت نفت به همراه داشته باشد به این خاطر مرکز نشر پژوهشگاه صنعت نفت، با بهره‌گیری از خرد جمعی نخبگان علمی و فنی کشور در بخش پژوهش و فناوری و نیز توسعه ارتباط با مراکز علمی، پژوهشی و صنعتی معتبر داخلی و خارجی و مشارکت با آنان برای توسعه رشته‌ها و علوم و فنون وابسته به صنعت نفت و در پی آن انجام پروژه‌ها و طرح‌های توسعه‌ای و انتشار کتب علمی - آموزشی و پژوهشی، گامی بلند در رسیدن به این هدف برمی‌دارد.

کتاب پیش رو، تالیف رولاند هورنه و ترجمه آقایان مهندس امیر جهان‌بخش، مهندس مجتبی کریمی و مهندس احسان نیک‌جو، یکی دیگر از مجموعه انتشارات جدید پژوهشگاه است که با هدف توسعه دانش در صنعت نفت منتشر می‌شود و امید است مورد استفاده پژوهش‌گران و دانشجویان محترم قرار گیرد.

پیشگفتار

نقطه خال تو بر لوح قلم نتوان زد مگر از مردمک دیده مدادی ملایم
سرآغاز سخن با نام و یاد پروردگاری که گوشه گوشه دنیا نشانه عظمت و قدرت اوست و تمام
کاینات مدهوش الطاف خداوندش.

اثر حاضر ترجمه کتاب گران پنهانی Modern Well Test Analysis اثر پرفسور رولاند هورنه،
استاد دانشگاه استنفورد آمریکاست. مزیت این اثر بر کتاب‌های متعدد چاپ شده در زمینه چاه‌آزمایی
استفاده هم‌زمان از روش‌های تحلیل کیفی و تحلیل با استفاده از رایانه است. از این رو به درستی این
کتاب تحلیل نوین چاه‌آزمایی نام‌گذاری شده است. استفاده از روش رگرسیون غیرخطی و نمودارهای
مشتق برای تفسیر و محاسبات دقیق تر تأکید بر آرایه روش‌های نوین چاه‌آزمایی در این کتاب
است. از جمله مزایای دیگر این کتاب که آن را از دیگر کتب متمایز می‌کند، حل مسائل متعدد
کاربردی و واقعی برای درک بهتر و صحیح تر مفاهیم چاه‌آزمایی است. تنوع مسائل حل شده به نحوی
است که تقریباً تمام حالات ممکن و مدل‌های رایج شده برای مخزن را در بر می‌گیرد.

در سراسر ترجمه این کتاب سعی شده جمله جمله این اثر گران بها وفادارانه به فارسی برگردانده
شود و از خوانندگان ارجمند درخواست می‌شود که مترجمان را از نظرات ارزنده خود مطلع کنند. امید
است این اثر عطش جویندگان علم را در زمینه مهندسی نفت سیراب کند.

در پایان لازم می‌دانیم از همکاری و حمایت مرکز نشر پژوهشگاه صنعت نفت، در تصحیح،
تکمیل و انتشار این اثر تشکر و قدردانی کنیم.

امیر جهان بخش

مجتبی کریمی

احسان نیک‌جو