



پتروفیزیک

Petrophysics

With New and Updated Materials
Djebbar Tiab & Erle C. Donaldson

محمد تقی رضایی، احد فریدونی، و سعود فریدونی

با همکاری:

دکتر عباس هلالی زاده

عضو هیات علمی دانشگاه صنعت نفت



انتشارات ستایش

۱۳۰۹۴۲۶

سرشناسه	:	تیاب، جبار Tiab, Djebbar
عنوان و نام پدیدآور	:	پتروفیزیک = Updated Materials Petrophysics With New and [جبار تیاب، ارل سی دونالدسون]؛ محمدتقی رضایی، احد فریدونی، مسعود فریدونی، با همکاری عباس هلالی زاده.
مشخصات نشر	:	تهران: ستایش، ۱۳۹۳.
مشخصات ظاهری	:	۶۹۷ ص: مصور، جدول.
شابک	:	978-600-5184-77-8
وضعیت فهرست نویسی	:	فیبا
یادداشت	:	عنوان اصلی: Petrophysics : theory and practice of measuring reservoir rock and fluid transport properties , 2nd ed, ۲۰۰۴.
عنوان دیگر	:	فیزیک سنگ (پتروفیزیک)
موضوع	:	نفت — زمین شناسی
موضوع	:	سنگ شناسی
شناسه افزوده	:	دونالدسون، ارل سی، ۱۹۲۶ - م.
شناسه افزوده	:	Donaldson, Erle C
شناسه افزوده	:	رضایی، محمدتقی، ۱۳۶۷ -، مترجم
شناسه افزوده	:	فریدونی، احد، ۱۳۷۰ -، مترجم
شناسه افزوده	:	فریدونی، مسعود، ۱۳۶۵ -، مترجم
رده بندی کنگره	:	۵۳/۲۸
رده بندی دیویی	:	۵۳/۲۸
شماره کتابشناسی ملی	:	۳۴۶۴۳۲۱

Stayer
Publication
Institute



موسسه انتشارات ستایش

تهران - صندوق پستی: ۹۹۵-۱۳۱۴۵ تلفن: ۶۹۴۸۹۹۵-۰۹۱۲-۹۹۵ (۰۲۱)

پتروفیزیک

مترجمان: محمدتقی رضایی،

احد فریدونی، مسعود فریدونی

با همکاری: عباس هلالی زاده

ناشر: انتشارات ستایش

نوبت چاپ: اول/ ۱۳۹۳

شمارگان: ۲۰۰۰ جلد

شابک: ۷۷-۵۱۸۴-۶۰۰-۹۷۸

قیمت: ۴۴۰۰۰۰ ریال

حق چاپ برای ناشر محفوظ است.

فهرست مطالب

۱۹.....	کفصل اول: مقدمه‌ای بر کانی‌شناسی.....
۲۰.....	ترکیبات کانی‌شناسی سنگ‌ها.....
۲۵.....	سنگ‌های آذرین.....
۲۶.....	سنگ‌های دگرگونی.....
۲۷.....	سنگ‌های رسوبی.....
۲۸.....	سیلت سنگ (گل سنگ).....
۲۹.....	ماسه سنگ.....
۳۰.....	سنگ‌های کربنات.....
۳۱.....	سنگ‌های تبخیری.....
۳۲.....	خصوصیات سنگ‌های رسوبی.....
۳۶.....	پیشرفت‌ها و کاربردهای پتروfizیک.....
۳۸.....	اهداف و محتوای کتاب.....
۳۹.....	مسائل.....
۳۹.....	واژه‌نامه (فصل ۱).....
۴۲.....	منابع.....
۴۵.....	کفصل دوم: مقدمه‌ای بر زمین‌شناسی نفت.....
۴۵.....	مروری بر ساختار کره‌ی زمین.....
۴۷.....	پوسته.....
۴۸.....	تکتونیک صفحه‌ای.....
۵۰.....	زمان زمین‌شناسی.....
۵۲.....	زمین‌شناسی رسوبی.....
۵۳.....	حوضه‌های رسوبی.....
۵۳.....	حاشیه‌های قاره‌ای واگرا.....
۵۴.....	حاشیه‌های قاره‌ای همگرا.....
۵۴.....	حاشیه‌های قاره‌ای لغزشی.....
۵۵.....	چرخه‌های پیشروی و پسروی دریا.....
۵۵.....	تجمع رسوبات.....
۵۸.....	نفتگیرها.....
۶۱.....	منشأ نفت.....

۶۱	تبدیل مواد آلی به کروژن
۶۲	تبدیل کروژن به نفت و گاز
۶۳	مهاجرت و تجمع نفت
۶۴	مهاجرت اولیه
۶۵	مهاجرت ثانویه
۶۷	خواص سیالات زیرسطحی
۶۷	گرادیان فشار هیدروستاتیک
۶۸	گرادیان فشار لیتو استاتیک
۶۹	گرادیان $\rho \cdot a \cdot t$ ی زمین
۷۱	آب‌های یخ‌دیده نفتی
۷۴	تراکم‌پذیری
۷۵	انحلال‌پذیری گاز
۷۶	گرانروی
۷۸	نفت
۷۸	چگالی گاز
۸۰	گرانروی گازها
۸۲	چگالی نفت
۸۳	گرانروی نفت
۸۳	بررسی شیمیایی نفت خام
۹۵	مسائل
۹۶	فهرست واژگان
۹۹	منابع
۱۰۱	کتاب فصل سوم: تخلخل و نفوذپذیری
۱۰۲	تخلخل
۱۰۳	عوامل مؤثر بر تخلخل
۱۰۴	دسته‌بندی تخلخل از دیدگاه مهندسی
۱۰۵	دسته‌بندی تخلخل از دید زمین‌شناسی
۱۰۵	تخلخل اولیه
۱۰۶	تخلخل ثانویه
۱۰۷	توصیف تخلخل در سنگ‌های کربناته
۱۰۹	اشباع سیال
۱۱۰	کاربرد تخلخل در محاسبات
۱۱۲	نفوذپذیری
۱۱۳	دسته‌بندی نفوذپذیری
۱۱۳	عوامل مؤثر بر میزان نفوذپذیری

۱۱۶.....	روابط نفوذپذیری و تخلخل
۱۱۸.....	رابطه‌ی Kozeny
۱۲۲.....	مفهوم واحدهای جریان
۱۲۴.....	بیان ریاضی واحدهای جریان
۱۲۷.....	مساحت سطح ویژه
۱۳۰.....	ضرایب مشخص‌کننده‌ی واحدهای جریان
۱۳۹.....	تأثیر دانه‌بندی رسوبات بر نفوذپذیری
۱۴۰.....	تأثیر اشباع آب بر نفوذپذیری
۱۴۱.....	نفوذپذیری از طریق نمودار NMR
۱۴۳.....	روابط بین نفوذپذیری و تخلخل در سنگ‌های کربناته
۱۴۶.....	محدوده‌ی نفوذپذیری در سنگ‌های کربناته
۱۵۳.....	نفوذپذیری جهت‌دار
۱۵۳.....	ناهمسانگرمی آیزوتروپ
۱۵۵.....	ارتباط بین α_v و α_p
۱۵۵.....	سازندهای ماسه‌سنگی بدون سیس
۱۵۷.....	سازندهای ماسه‌سنگی درازشیا
۱۵۷.....	نمونه‌ی میدانی
۱۶۴.....	ناهمگنی مخزن
۱۶۴.....	ناهمگنی میکروسکوپی
۱۶۵.....	ناهمگنی ماکروسکوپی
۱۶۵.....	ناهمگنی مسوزکوپیک
۱۶۵.....	ناهمگنی مگاسکوپیک
۱۶۶.....	ناهمگنی گیگاسکوپیک
۱۶۶.....	توزیع خواص سنگ
۱۶۷.....	توزیع نفوذپذیری و تخلخل
۱۶۷.....	ضریب Lorenz (L_k)
۱۶۸.....	ضریب Dykstra-Parsons (V_k)
۱۷۰.....	روش‌های محاسبه‌ی میانگین
۱۷۲.....	نفوذپذیری مؤثر بر اساس داده‌های مغزه
۱۷۶.....	تخلخل میانگین
۱۸۴.....	تعیین نفوذپذیری با استفاده از داده‌های چاه‌آزمایی
۱۸۹.....	روش ناحیه‌بندی آماری
۱۹۵.....	مسائل
۱۹۸.....	فهرست واژگان
۲۰۲.....	منابع

۲۰۷	فصل چهارم: مقاومت ویژه سازند و اشباع آب
۲۰۸	ضریب مقاومت سازند
۲۰۸	اندازه‌گیری مقاومت ویژه
۲۰۹	تعیین مقاومت ویژه آب سازند
۲۰۹	آنالیز شیمیایی
۲۱۵	روابط بین مقاومت ویژه و غلظت
۲۱۹	روش استفاده از خواص شیل
۲۲۰	رابطه‌ی بین F_R و تخلخل
۲۲۱	رابطه‌ی بین F_R و ضریب پیچش
۲۲۳	روابط بین F_R و سیمان‌شدگی
۲۲۴	رابطه‌ی F_R و پوری برای F_R
۲۳۱	ارتباط بین F_R و اشباع آب
۲۳۹	رابطه‌ی بین F_R و نفوذپذیری
۲۴۲	مقاومت ویژه سنگ‌های خزنی شیلی (رسی)
۲۴۲	اشباع آب در سنگ‌های مخزنی شیلی (رسی)
۲۴۷	رابطه‌ی تقریبی برای سازندهای شیلی
۲۴۸	رابطه‌ی عمومی سازندهای شیلی
۲۵۱	واحدهای جریان برای ماسه‌سنگ‌های شیلی
۲۵۴	ارزیابی آزمایشگاهی سنگ‌های مخزنی شیلی (رسی)
۲۷۶	ارزیابی سنگ مخزن شیلی (رسی) بر اساس داده‌های نمادگذاری
۲۷۷	ارزیابی سازند
۲۷۷	آنالیز مغزه
۲۷۹	آنالیز اطلاعات حاصل از نمودارگیری
۲۸۰	اشباع آب
۲۸۱	تخلخل
۲۸۴	تفسیر داده‌های بدست آمده از نمودارهای چاه‌پیمایی
۲۸۸	تفسیر داده‌های نمودارگیری
۲۹۲	مسائل
۲۹۶	فهرست واژگان
۲۹۹	منابع
۳۰۳	فصل پنجم: فشار موئینگی
۳۰۴	روابط فشار موئینگی
۳۰۸	بالا آمدگی سیال بر اثر موئینگی
۳۰۹	تابع J فشار موئینگی
۳۱۱	اندازه‌گیری فشار موئینگی توسط صفحه‌ی نیمه‌تراوا

۳۱۴	اندازه‌گیری فشار موئینگی به وسیله‌ی تزریق جیوه
۳۱۸	اندازه‌گیری فشار موئینگی با استفاده از سانتی‌فیوژ
۳۱۸	روش انجام در آزمایشگاه
۳۲۱	محاسبه‌ی فشار موئینگی در روش سانتی‌فیوژ
۳۲۲	محدودیت سرعت در روش سانتی‌فیوژ
۳۲۳	محاسبه‌ی تقریبی اشباع ورودی
۳۲۵	محاسبه‌ی دقیق اشباع ورودی
۳۲۹	توزیع اندازه‌ی منافذ
۳۳۳	پروفايل عمودی اشباع در مخزن
۳۳۸	عدد موئینگی
۳۴۰	موس
۳۴۱	فهرست وارگان
۳۴۳	منابع
۳۴۷	ک فصل ششم: ترشوندگی
۳۴۸	کشش بین سطحی
۳۴۹	زاویه‌ی تماس
۳۵۱	اندازه‌گیری زاویه‌ی تماس به روش چسبیده
۳۵۲	اندازه‌گیری زاویه‌ی تماس به روش صفحه‌ی Wilhelm
۳۵۳	خواص شیمیایی سطحی
۳۵۷	ارزیابی ترشوندگی
۳۵۷	شاخص ترشوندگی Amott
۳۵۹	شاخص ترشوندگی USBM
۳۶۱	آزمایش ترشوندگی با روش ترکیبی USBM-Amott
۳۶۱	آزمایش ترشوندگی آشام خودبه‌خودی
۳۶۳	انرژی جابه‌جایی سیال
۳۶۶	فعالیت بین سطحی آب-نفت-سنگ
۳۶۸	تأثیر ترشوندگی بر بازیافت نفت
۳۷۲	تأثیر شوری آب بر بازیافت نفت
۳۷۳	تغییر ترشوندگی
۳۷۳	آماده‌سازی سنگ
۳۷۴	افزودن ترکیبات قابل حل به نفت و آب
۳۷۷	اثر دما و فشار
۳۷۹	بازایی ترشوندگی اولیه‌ی سنگ
۳۸۰	تأثیر ترشوندگی بر خواص الکتریکی
۳۸۵	مسائل

۳۸۶	فهرست واژگان
۳۸۸	منابع
۳۹۷	ک فصل هفتم: کاربرد قانون دارسی
۳۹۸	قانون دارسی
۳۹۹	جریان خطی سیالات تراکم‌ناپذیر
۴۰۱	جریان خطی گاز
۴۰۴	قانون‌های Darcy و Poiseuille
۴۰۶	جریان خطی درون شکاف‌ها و کانال‌ها
۴۰۷	جریان درون شکاف‌ها
۴۱۱	جریان درون کانال‌های انحلالی
۴۱۳	سیستم‌های جریان شعاعی
۴۱۴	جریان پایدار
۴۱۶	جریان شبه‌پایدار
۴۲۰	ناحیه‌ی پوسته
۴۲۱	فشار بدون بُعد
۴۲۴	جریان آرام و شعاعی گاز
۴۲۸	جریان آشفته‌ی گاز
۴۲۹	جریان آشفته‌ی خطی
۴۳۵	ضریب اصطکاک برای سنگ‌های متخلخل
۴۴۱	جریان آشفته‌ی شعاعی
۴۴۳	نفوذپذیری چندگانه سنگ‌ها
۴۴۴	مخزن لایه‌ای با جریان جانبی
۴۴۴	مخازن لایه‌ای بدون جریان جانبی
۴۴۷	مخازن مرکب
۴۴۹	سیستم‌های جریان شعاعی
۴۵۱	مسائل
۴۵۴	فهرست واژگان
۴۵۶	منابع
۴۵۹	ک فصل هشتم: مخازن شکافدار
۴۵۹	مقدمه
۴۶۰	منشأ نفوذپذیری در سنگ‌های کربناته
۴۶۱	دسته‌بندی شکاف‌های طبیعی از لحاظ زمین‌شناسی
۴۶۴	دسته‌بندی مخازن شکافدار طبیعی از نظر مهندسی
۴۶۵	نشانه‌های شکاف‌های طبیعی
۴۶۸	تشخیص بصری شکاف‌ها

۴۷۱	خواص پتروفیزیکی سنگ‌های شکافدار
۴۷۱	تعیین تخلخل شکاف
۴۷۴	ضریب شرکت‌پذیری تخلخل
۴۷۸	شاخص شدت شکاف
۴۸۲	رابطه‌ی نفوذپذیری- تخلخل در سیستم‌های با تخلخل دوگانه
۴۸۵	روابط تخلخل و نفوذپذیری در مخازن شکافدار نوع اول
۴۸۶	تعیین تخلخل و دهانه‌ی شکاف توسط مغزه
۴۹۰	سطح ویژه‌ی شکاف
۴۹۲	تأثیر شکل شکاف
۴۹۲	شعاع رولیکی شکاف‌ها
۴۹۴	مخازن شکافدار طبیعی نوع دوم
۴۹۵	مدل سازی جریان سیال در شکاف‌ها
۴۹۵	مساحت شکاف
۴۹۷	ظرفیت ذخیره‌ی شکاف
۴۹۷	هدایت‌پذیری شکاف
۴۹۸	تشخیص شکاف‌های طبیعی از اطلاعات چاه‌آزمایی
۵۰۹	مسائل
۵۱۱	فهرست واژگان
۵۱۳	منابع
۵۱۵	فصل نهم: تأثیر تنش بر خواص سنگ مخزن
۵۱۶	رابطه‌ی تنش- تغییر شکل در حالت استاتیک
۵۱۷	آنالیز تنش
۵۱۹	آنالیز تغییر شکل (کرنش)
۵۲۱	سیستم‌های تنش- تغییر شکل دوبعدی
۵۲۲	تغییر شکل سنگ‌ها
۵۲۲	قانون هوک
۵۳۱	نمودارهای تنش- تغییر شکل
۵۳۳	دایره‌ی موهر
۵۳۶	تعیین خصوصیات الاستیکی سنگ در حالت دینامیک
۵۳۹	مقاومت و سختی سنگ
۵۴۳	سختی سنگ
۵۴۴	تراکم‌پذیری سنگ متخلخل
۵۴۴	تراکم‌پذیری منافذ
۵۴۸	تأثیر فشار منفذی در مقابله با تنش خارجی
۵۵۱	اثر تراکم‌پذیری منافذ بر ارزیابی و محاسبه‌ی ذخیره‌ی مخزن

۵۵۳	تبدیل داده‌های آزمایشگاهی به داده‌های مخزنی
۵۵۵	تأثیر تنش بر داده‌های مغزه
۵۵۶	تأثیر تنش بر تخلخل
۵۵۸	تأثیر تنش بر نفوذپذیری
۵۶۰	تأثیر تنش بر مقاومت ویژه الکتریکی
۵۶۱	رابطه‌ی تخلخل - نفوذپذیری - تنش
۵۷۳	تأثیر تنش بر شکستگی سنگ‌ها
۵۷۳	تأثیر نسبت بواسون بر گرادیان شکست
۵۷۸	گرادیا: شکست در چاه‌های فراساحلی
۵۸۲	تأثیر نسبت بواسون بر ابعاد شکاف
۵۸۷	وزنیت رزيع تنش درجا
۵۹۱	اثر تغییر تنش بر سنگ سنگ
۵۹۲	تغییر میدان تنش با تغییر سیال و افزایش فشار مخزن
۵۹۴	روابط تنش در دیرره‌ی
۵۹۴	تعیین فشار بحرانی دیرره‌ی چاه در چاه‌های قائم
۵۹۴	شرایط فراتعادلی
۵۹۵	شرایط تعادلی و فروتعادلی
۵۹۵	فشار بحرانی چاه در چاه‌های افقی
۵۹۵	شرایط فراتعادلی
۵۹۶	شرایط فروتعادلی
۵۹۷	فشار منفذی بحرانی
۵۹۸	مثالی از یک مخزن در دریای شمال
۵۹۸	میدان تنش و مسیر تنش در مخزن
۶۰۰	تحلیل و بررسی
۶۰۰	استفاده از تخلخل به عنوان شاخص مقاومت جهت ارزیابی تولید ماسه
۶۰۶	مسائل
۶۱۰	فهرست واژگان
۶۱۳	منابع
۶۱۹	ک فصل دهم: برهم واکنش‌های سنگ - سیال
۶۱۹	اهمیت نفوذپذیری در نزدیکی دیواره‌ی چاه
۶۲۱	ماهیت آسیب نفوذپذیری
۶۲۲	منشأ آسیب نفوذپذیری
۶۳۰	انواع آسیب نفوذپذیری
۶۳۲	تأثیر مهاجرت ذرات دانه‌ریز بر نفوذپذیری
۶۳۲	انواع و اندازه ذرات دانه‌ریز

۶۴۰	مهاجرت ذرات دانه‌ریز
۶۴۳	آسیب شیمیایی
۶۴۸	آسیب مکانیکی
۶۵۱	مهاجرت ذرات جامد خارجی
۶۵۲	مفهوم سرعت بحرانی
۶۵۲	حرکت و رسوب سطحی ذرات
۶۵۶	حرکت و گرفتگی
۶۶۰	شناسایی مکانسیم آسیب نفوذپذیری
۶۶۱	آسیب نفوذپذیری ناشی از ذرات جامد خارجی
۶۶۶	آسیب نفوذپذیری ناشی از مهاجرت ذرات دانه‌ریز
۶۷۱	تأثیر دیفیوژن آب بر نفوذپذیری
۶۷۲	تشکیل کیک گل خارجی
۶۷۵	تشکیل کیک گل داخلی
۶۷۷	کاهش تزریق پدیده ناشی از گرفتگی مشبک‌ها
۶۷۹	آسیب ناشی از پرشر خارجی
۶۸۰	آزمایش فیلتراسیون غشایی
۶۸۵	آزمایش فیلتراسیون مغزه
۶۸۵	تشکیل کیک گل خارجی
۶۹۲	مسائل
۶۹۲	فهرست واژگان
۶۹۵	منابع

مقدمه‌ی مولف

این کتاب ایده‌ها، نظریه‌ها و روش‌های آزمایشگاهی توسعه‌یافته مربوط به خواص سنگ‌های متخاضل و واکنش آن‌ها نسبت به سیالات نفتی را ارائه می‌کند. خواص سنگ‌های زیرزمینی متخاضل و سیالات موجود در آن‌ها، جریان سیال و مقادیر سیالات باقیمانده در سنگ‌ها را کنترل می‌کند. طبقه‌بندی برآوردی در مقیاس جهانی، هیدروکربن‌های باقیمانده از تولید اولیه و ثانویه حدود ۴۰ درصد از حجم اولیه‌ی درجای مخزن را تشکیل می‌دهند. در نتیجه به بازیافت ثانویه یا اجرا کردن بازیافت مرحله‌ی سوم (EOR) نیازمندیم. از این رو، بهره‌مندی از روش‌های جدید برای تعیین ویژگی‌های مخزن با استفاده از ترکیب مدل‌سازی پتروفیزیکی و ریاضی، مخزن قدیمی را احیا می‌کند.

در فصل اول و دوم به ترتیب مقدمه‌ای بر زمین‌شناسی و زمین‌شناسی نفت داریم. در فصل سوم، تخلخل و نفوذپذیری را در پیش داریم که در آن مفاهیمی مانند واحدهای جریان، نفوذپذیری جهت‌دار، همبستگی بین نفوذپذیری افقی و عمودی، روش‌های میانگین‌گیری، ضریب تغییر نفوذپذیری و مواردی این‌چنینی بیان شده‌اند. فصل چهارم، مقاومت سازند و اشباع‌شدگی از آب می‌باشد. در فصل پنجم و ششم به ترتیب فشار و تنش و قابلیت ترشوندگی مطرح شده است که ارتباط تنگاتنگی با یکدیگر دارند چون بسیاری از پدیده‌های آزمایش‌ها و نظریه‌های مختلف قابلیت ترشوندگی و تأثیر آن‌ها بر روی بازیافت نفت، بر اساس رفتار فشار موئین به صورت تابعی از اشباع سیال می‌باشد. فصل هشتم، شکستگی طبیعی مخزن را مورد کنکاش قرار می‌دهد که در مورد جوانب شکسته شدن طبیعی سنگ‌ها بحث می‌کند. فصل نهم، تأثیر تنش بر روی خواص سنگ مخزن می‌باشد. در این فصل مواردی از قبیل تأثیر تغییر در میدان تنش، فشار بحرانی در چاه‌های عمودی و افقی، فشار بحرانی منفذ و مباحثی از این قبیل بحث شده است. فصل دهم نیز برهم‌کنش‌های سنگ و سیال می‌باشد.