



شرکت ملی نفت ایران

مدیریت منابع انسانی

بِسْمِ اللَّهِ الرَّحْمَنِ الرَّحِيمِ

فیزیک سنگ (پتروفیزیک)

جبار قیاب

ارل سی. دونالدسون

برگردان از: دکتر علی اکبر رحمانی

عضو هیئت علمی دانشگاه بین المللی امام خمینی (ره)



شرکت ملی نفت ایران

مدیریت منابع انسانی

سرشناسه : تیاب، جبار

Tiab, Djebbar

عنوان و نام پدیدآور : فیزیک سنگ (پتروفیزیک) / جبار تیاب، ارل سی، دونالدسون؛ برگردان علی اکبر رحمانی.

مشخصات نشر : تهران: آفتاب اندیشه، ۱۳۸۹.

مشخصات ظاهری : ۱۰۰۳ ص.: مصور.

شابک : ۲۵۰۰۰ ریال: ۵-۴۳-۷۵۴۱-۹۶۴-۹۷۸

وضعیت فهرست : فیبا

نویسی

یادداشت ♦ عنوان اصلی: Petrophysics : theory and practice of measuring reservoir rock and fluid transport properties, ۲nd. ed, c۲۰۰۴.

موضوع : نفت -- زمین شناسی

موضوع : سنگ شناسی

شناسه افزوده : دونالدسون، ارل سی، ۱۹۲۶ - م.

شناسه افزوده : Donaldson, Erle C.

شناسه افزوده : رحمانی، علی اکبر، ۱۳۴۹ -، مترجم

رده بندی کنگره : TN۵۶۷۰/۸۷۰/۹ ف ۱۳۸۹

رده بندی دیویی : ۵۵۳/۲۸

شماره کتابشناسی ملی : ۱۶۲۷۳۱۲

عنوان : فیزیک سنگ

مترجم: علی اکبر رحمانی

ناشر: آفتاب اندیشه

ویراستار: شهره کریمی

قیمت: ۲۵۰۰۰ ریال

شابک: ۵-۴۳-۷۵۴۱-۹۶۴-۹۷۸

تیراژ: ۲۰۰۰ نسخه

چاپ و صحافی: سعیدی/قم

چاپ اول: زمستان ۱۳۸۹

درباره‌ی مؤلف

جبار تیاب^۱، پروفیسور مهندسی نفت از دانشگاه اوکلاهما و مشاور مهندسی نفت می‌باشد. او مقطع کارشناسی (مه ۱۹۷۴) و کارشناسی ارشد (مه ۱۹۷۵) خود را در انستیتوی معدن‌کاری و تکنولوژی نیومکزیکو گذراند و مدرک دکتری خود (جولای ۱۹۷۶) را هم از دانشگاه اوکلاهما (در مهندسی نفت) اخذ کرد. او رئیس برنامه‌ی آموزشی دوره‌ی کارشناسی در مهندسی نفت دانشگاه اوکلاهما در الجزایر می‌باشد.

وی در دانشگاه اوکلاهما مدرّس ۱۵ دوره‌ی مختلف مهندسی نفت و عمومی شامل تحلیل آزمون چاه، فیزیک سنگ، مهندسی مخزن نفت، مهندسی گاز طبیعی و خواص سیالات مخزن است. دکتر تیاب مشاور چندین کمپانی نفتی بوده و برنامه‌های آموزشی مهندسی نفت در آمریکا و کشورهای مختلف را هم ارائه نموده است و به مدت ۲ سال در میدین نفت الجزایر برای الکور اس. آ.^۱، مؤسسه‌ی آزمایشگاه‌های سوناتراچ و کور^۲ و به مدت ۴ سال به عنوان مشاور ارشد مهندس مخزن برای آزمایشگاه‌های کور و اطلس غربی در هوستون (تگزاس) انجام وظیفه کرد.

او به عنوان پژوهش‌گر در دانشگاه اوکلاهما چندین بورس پژوهشی و قراردادی با کمپانی‌های نفتی و آژانس‌های آمریکا را هم دریافت کرده است. هم‌چنین او استاد راهنمای ۹۴ دانشجوی کارشناسی ارشد و ۲۳ دانشجوی مقطع دکتری بوده و مؤلف بیش از ۱۵۰ کنفرانس و مقاله‌ی فنی ژورنال هم بوده است. در سال ۱۹۷۵ (تجزیه‌کارشناسی ارشد) و ۱۹۷۶ (پایان‌نامه‌ی دکتری) او روش مشتق فشار^۳ را معرفی کرد که باعث تحول تفسیر آزمون‌های گذار فشار^۴ شد. دکتر تیاب دو اختراع در حوزه‌ی تعیین ویژگی مخزن (شناسایی واحدهای جریان) به ثبت رساند. او یکی از اعضای انجمن پژوهش آمریکا جامعه‌ی مهندسان نفت، جامعه‌ی تحلیل مغزه، پای اپسیلون تاو^۵ و در فهرست رجال علوم زمان خویش می‌باشد. هم‌چنین او مدیر فنی ژورنال‌های مختلف SPE، مصری و کوییتی و یکی از اعضای کمیته‌ی خلاصه‌ی تحلیل فشار SPE بوده است. در حال حاضر وی عضو کلوپ ۲۵ ساله‌ی SPE می‌باشد.

او جایزه‌ی مردان جوان آمریکا، جایزه‌ی سان^۶ دست‌آورد تحصیلی، جایزه‌ی مدرّس

1. Alcore, S. A.

3. Pi Epsilon Tau

5. Pressure transient tests

2. Sonatrach and Core

4. Pressure derivative technique

6. Sun

مشهور کر-مک گی^۱، دوستی برتری کالج دانشکده‌ی مهندسی، جایزه‌ی تدریس هالبرتون^۲، استادی صد ساله‌ی یونوکال^۳ و استاد برجسته‌ی پی و جی، ای^۴ را دریافت کرد. دکتر تیب به علت برجستگی در مهندسی نفت در اکتبر سال ۲۰۰۲ به عنوان عضو خارجی آکادمی علوم طبیعی روسیه انتخاب شده است. او هم‌چنین در اکتبر ۲۰۰۲ مدال طلای افتخار کیپستا^۵ را به خاطر "خدمات برجسته‌اش در رشته‌ی مهندسی" و جایزه‌ی دست‌آورد برجسته‌ی SPE سال ۱۹۹۵ را برای دانشکده‌ی مهندسی نفت دریافت کرد. او به عنوان عامل مؤثری در پیشرفت دانشجویان و برجستگی‌اش در تدریس شهرت خاصی پیدا کرده است و پیشقراول روش مشق فشار آزمایش چاه بوده و درک قابل ملاحظه‌ای از فیزیک سنگ و مهندسی مخزن در سرتاسر پژوهش‌ها و نوشته‌هایش به وجود آورده است. او هم‌چنین دریافت‌کننده‌ی جایزه‌ی ارزیابی سازند SPE در خصوص کمک‌های برجسته‌اش در مهندسی نفت می‌باشد.

ارل سی. دونالدسون^۶ حرفه‌اش را به عنوان مدیر پروژه‌ی طرح نیمه‌صنعتی جهت پژوهش در نفت و گاز سیگنال در هوستون (تگزاس) شروع کرد. بعداً او در اداره‌ی معادن مرکز پژوهش نفت در بارتلزویل^۷ (اوکلاهما) به عنوان مدیر پروژه‌ی دفع آب‌های سطحی و صنعتی و تعیین ویژگی مخزن عضو شد؛ زمانی که آزمایشگاه به دپارتمان انرژی آمریکا منتقل شد. او ریاست تعیین ویژگی مخزن را به عهده گرفت و به هنگام انتقال آزمایشگاه به صنعت خصوصی جهت انجام عملیات ولی با اخذ درجه‌ی دانشیاری، به عضویت دانشکده در مرکز علمی نفت و مهندسی زمین‌شناختی در دانشگاه اوکلاهما درآمد. از سال ۱۹۹۰ (سال بازنشستگی وی) تا به حال او مشاور چندین کمپانی نفتی، دانشگاه‌ها و آژانس‌های آمریکا، شامل آژانس حفاظت زیست‌محیطی، مرکز فرمان‌دهی نیروی دریایی آمریکا، انستیتوی تحقیقاتی شاه فهد عربستان سعودی و کمپانی‌ها در آمریکا، برزیل، ونزوئلا، بولیوی و تایلند بوده است.

دکتر دونالدسون موفق به اخذ چهار مدرک کارشناسی شده است که عبارتند از:
۱- مدرک دکتری در مهندسی شیمی از دانشگاه تولسا^۸ ۲- کارشناسی ارشد در شیمی آلی از دانشگاه کارولینای جنوبی ۳- کارشناسی در مهندسی شیمی از دانشگاه هوستون

1. Kerr-McGee
3. UNOCAL
5. Kapista
7. Bartlesville

2. Halliburton
4. P and GE
6. Earl C. Donaldson
8. Tulsa

۴- کارشناسی در شیمی از سیتادل^۱. او به عنوان رئیس کمیته‌ها و جلسات برای انجمن مهندسان نفت و جامعه‌ی شیمیایی آمریکایی و همچنین دیگر کنفرانس‌های ملی و بین‌المللی خدماتی را انجام داده است. او عضو کلوپ ۲۵ ساله‌ی SPE می‌باشد و در حال حاضر به عنوان سردبیر ژورنال علوم و مهندسی نفت انجام وظیفه می‌کند.

www.ketab.ir

دیباچه‌ی چاپ اول

این کتاب ایده‌ها، نظریه‌ها و روش‌های آزمایشگاهی توسعه‌یافته‌ی مربوط به خواص سنگ‌های متخلخل و اندرکنش^۱ آن‌ها را نسبت به سیالات (گازها، مایعات هیدروکربنی و محلول‌های آبگین) ارائه می‌کند. خواص سنگ‌های زیرزمینی متخلخل و سیالات موجود در آن‌ها، آهنگ‌های جریان سیال و مقادیر سیالات بازمانده‌ای را که در سنگ‌ها (بعد از این که تمام راه‌های اقتصادی تولید هیدروکربن‌ها به انتها رسیده) باقی می‌مانند، کنترل می‌کنند که طبق برآوردی در مقیاس جهانی هیدروکربن‌های بازماندی (بعد از تولید اولیه و ثانویه) حدود ۴۰٪ حجم اولیه‌ی درجا می‌باشد. این هدف منشأ هیدروکربن عظیم جهت تعیین ویژگی مخزن تصفیه شده (با استفاده از نظریه‌ها و روش‌های فیزیک سنگ) و به منظور بازیافت ثانویه یا اجراکردن بازیافت مرحله‌ی سوم (EOR) است. استفاده از روش‌های جدید برای تعیین ویژگی مخزن با استفاده از ترکیبی از مدل‌سازی فیزیک سنگ و ریاضی، حیات جدیدی را به چندین مخزن قدیمی که در نزدیکی نقطه‌ی رهاشدگی قرار دارد اهدا کرده است. این کتاب نظریه‌ها و روش‌هایی از منابع پراکنده در آثار چاپی را به صورت مجموعه‌ای ارائه می‌کند.

دو فصل اول جهت برقراری مبنای مطالعه‌ی اندرکنش‌های خواص سنگ‌ها و سیال سنگ به مرور کانی‌شناسی، سنگ‌شناسی و زمین‌شناسی اختصاص یافته است. پس از آن دو خاصیت سنگ یعنی تخلخل و نفوذپذیری (که شاید از نظر مهندسی نفت مهم‌ترین باشند) در فصل سوم به تفصیل پوشش داده شده‌اند و در آخر هم برای مشکل همبستگی تخلخل - نفوذپذیری راه‌حلی پیشنهاد شده است. موضوعات فصل چهارم در رابطه با مقاومت الکتریکی و اشباع‌شدگی آب سنگ‌ها (که پایه و اساس روش‌های بکاربرداری چاه محسوب می‌شود) می‌باشد. موضوعات فصل پنجم عبارتند از: نظریه‌ها و کاربردهای فشار موئین و قابلیت ترشوندگی نسبت به پدیده‌های مختلف مرتبط با سنگ‌های اشباع شده توسط سیال مثل هیدروکربن‌های اشباع بازماندی بر اثر به تله‌افتادن سیال، تغییرات نفوذپذیری‌های نسبی، تأثیرات بر روی تولید و اندازه‌گیری‌ها و استفاده از فشار موئین جهت تعیین توزیعات اندازه‌ی منفذ و قابلیت ترشوندگی. فصل ششم به طور انحصاری به کاربردهای قانون دارسی نسبت به جریان‌های خطی، شعاعی، آرام، مغشوش و تغییرات چندگانه‌ی نفوذپذیری و تخلخل در سنگ‌ها می‌پردازد.

فصل هفتم مقدمه‌ای برای سه فصل مهم مکانیک سنگ با در نظر گرفتن دگرشکلی سنگ، تراکم‌پذیری و تأثیرات تنش بر روی تخلخل و نفوذپذیری است. فصل هشتم کتاب هم با بحثی درباره‌ی اندرکنش‌های سیال - سنگ مرتبط با انواع مختلف صدمه‌ی سازند به پایان می‌رسد که در کل شامل مجموعه‌ای متشکل از ۱۹ روش آزمایشگاهی برای تعیین خواص سنگ و سیال، و اندرکنش‌های سیال - سنگ (که در ۸ فصل کتاب ارائه شده) در ضمیمه می‌باشد.

علاوه بر روش‌های تجربی تفصیلی، مؤلفان مثال‌هایی را برای هر کدام از آزمایش‌ها آورده‌اند. اگر چه این کتاب یک کتاب درسی و کتاب مرجع آزمایشگاهی محسوب می‌شود ولی می‌تواند به عنوان یک مرجع برای مهندسان نفت و زمین‌شناسان؛ و در آزمایشگاه‌های آزمون فیزیک سنگی^۱ نیز مورد استفاده قرار گیرد و اولین کتاب جامعی است که از ۱۹۶۰ تا به حال درباره‌ی موضوع به نگارش درآمده است. هم‌چنین این کتاب می‌تواند به عنوان پایه و اساسی جهت پیشرفت نظریه‌ها و کاربردهای فیزیک سنگ (وقتی که فناوری مهندسی نفت به بهبودی و تکامل ادامه بدهد) مفید واقع شود. بدون شک این کتاب جامع و بی‌نظیر باید در کتابخانه‌ی هر مهندس نفت و زمین‌شناس نفت وجود داشته باشد.

جتار تیاب

ارل سی. دونالدسون

جورج وی. چیلینگار

دیباجه‌ی چاپ دوم:

این ویرایش فیزیک سنگ جهت تأیید مطالب جلد اول (از ۸ تا ۱۰ فصل) طراحی شده است و بیشتر با پیشنهادات هم‌کاران و خوانندگان مختلف به منظور طرح کردن نظراتشان هم‌خوانی دارد.

خوانندگان متوجه خواهند شد که اولین فصل (مقدمه‌ای بر کانی‌شناسی) بیشتر به منظور کمک در تشخیص بهتر کانی‌ها و سنگ‌های بی‌شماری که وجود دارند تقویت شده است. تغییر چندانی در فصل دوم (مقدمه‌ای بر زمین‌شناسی نفت)، فصل هفتم (کاربردهای قانون دارسی) یا فصل دهم (اندرکنش‌های سیال - سنگ) صورت نگرفته است.

در فصل سوم (تخلخل و نفوذپذیری) تغییرات عمده‌ای صورت گرفت که سرفصل‌های زیر اضافه شدند: مفهوم واحدهای جریان، نفوذپذیری جهت‌دار، همبستگی بین نفوذپذیری افقی و عمودی، روش‌های میانگین گرفتن، ضریب تغییر نفوذپذیری دیکسترا - پارسونز، نفوذپذیری مؤثر از داده‌های مغزه‌ها و آزمون چاه و چندین مثال. فصل چهارم (مقاومت‌سازند و اشباع‌شدگی از آب)، عمدتاً با در برگرفتن تعیین ویژگی و شناسایی واحدهای جریان در سازندهای شیلی و با ارائه مثال‌های بیشتر تقویت شد. فصل پنجم ویرایش اول به دو فصل، فصل پنجم (فشار موئین) و فصل ششم (قابلیت ترشوندگی)، چون کار زیادی بر روی قابلیت‌نم‌پذیری از زمان چاپ اولین ویرایش تا به حال انجام گرفته است تقسیم شد. به هر حال فشار موئین و قابلیت ترشوندگی (چون بسیاری از مبانی برای آزمون‌ها و نظریه‌های مختلف قابلیت ترشوندگی و تأثیر آن‌ها بر روی بازیافت نفت بر اساس رفتار فشار موئین به صورت تابعی از اشباع سیال استوار بوده) با هم مرتبط می‌باشند. بنابراین، طبیعی است که درک کامل فشار موئین جهت مطالعه قابلیت ترشوندگی ضروری باشد.

فصل هشتم (شکسته‌شدن طبیعی مخازن) فصل جدیدی است که طبق پیشنهاد خوانندگان بحث مفصل‌تری را درباره‌ی جوانب سنگ فیزیکی شکسته‌شدن طبیعی سنگ‌ها انجام داده‌ایم. سرفصل‌های عمده‌ای که در این فصل پوشش داده شده‌اند موارد زیر را شامل می‌شوند: طبقه‌بندی‌های زمین‌شناختی و مهندسی شکستگی‌های طبیعی، نشان‌گرهای شکستگی‌های طبیعی، تعیین تخلخل و نفوذپذیری شکستگی، شاخص شدت شکستگی، ضریب تقسیم تخلخل و تأثیر شکل شکستگی بر روی نفوذپذیری. مفهوم جدید شعاع

هیدرولیکی شکستگی هم در این فصل معرفی شده است. روش‌های تعیین ظرفیت ذخیره‌سازی شکستگی و میان‌تخلخل^۱ از داده‌های آزمون چاه به طور خلاصه مورد بحث واقع شده‌اند.

چندین سرفصل مهم به فصل نهم (تأثیر تنش بر روی خواص سنگ مخزن) اضافه شدند: تأثیر تغییر در میدان تنش بر اثر تهی‌شدگی و بازفشاردن، تنش و فشار بحرانی سوراخ چاه در چاه‌های عمودی و افقی، فشار بحرانی منفذ و تخمین مقاومت سنگ تراکمی نامحسوس از داده‌های تخلخل.

ضمیمه که آزمایش‌های آزمایشگاهی فیزیک سنگ را پوشش می‌دهد اساساً مشابه چاپ اول است چون روش‌های اصلی مطالعه‌ی آزمایشگاهی فیزیک سنگ چندان تغییر نکرده است. روش کلی‌ای که اخیراً جهت محاسبه‌ی نفوذپذیری نسبی توسعه‌یافته، در آزمایش ۱۲ انجام گرفته است. روش در مورد آهنگ ثابت و جابه‌جایی حالت غیریکنواخت فشار ثابت قابل کاربرد است.

جبار تیاب

ارل سی. دونالدسون

www.ketabchi.ir

مقدمه‌ی مترجم:

فیزیک سنگ یا پتروفیزیک (Petrophysics) از دو کلمه‌ی پترو (Petro) به معنی سنگ و فیزیک (Physics) به معنی مطالعه‌ی طبیعت تشکیل شده و مطالعه‌ی خواص فیزیکی و شیمیایی‌ای که وقوع و رفتار سنگ، خاک‌ها و سیالات را توضیح داده، دربرمی‌گیرد. عمده‌تأ فیزیک سنگ مخازن منابع، ذخایر کانه و ذخایر نفت یا گاز طبیعی را شامل می‌شود. برای مثال، فیزیک سنگ در صنعت نفت و گاز برای کمک به مهندسان و دیگر دانشمندان زمین‌شناسی به منظور درک خواص سنگ مخزن مورد استفاده قرار می‌گیرد. متخصصان فیزیک سنگ خواص سنگ مخزن را با به کارگیری اندازه‌گیری‌های نگار چاه، که در آن یک رشته ابزار اندازه‌گیری به درون سوراخ چاه فرستاده شده، اندازه‌گیری‌های مغزه که در آن نمونه‌های سنگ از زیر زمین بازیافت شده و بعضی اوقات اندازه‌گیری‌های لرزه‌ای مورد ارزیابی قرار می‌دهند و آنها را با زمین‌شناسی و زمین‌فیزیک ترکیب می‌کنند.

مطالعات فیزیک سنگی توسط مهندسی نفت، زمین‌شناسی، کانی‌شناسی، زمین فیزیک اکتشافی و دیگر مطالعات مربوطه مورد بهره‌برداری قرار می‌گیرند.

بعضی از خواص کلیدی که در فیزیک سنگ مورد مطالعه قرار می‌گیرند عبارتند از: سنگ‌شناسی، تخلخل، اشباع‌شدگی از آب، نفوذپذیری (تراوایی)، چگالی، مکانیک خاک، مغناطش، رسانایی الکتریکی، رسانایی گرمایی و پرتوزایی.

در حالی که اکثر متخصصان فیزیک سنگ در صنعت نفت و گاز فعالیت می‌کنند بعضی‌ها نیز در صنایع معدنی و منابع آب به کار مشغول می‌شوند. خواص اندازه‌گیری‌شده یا محاسبه‌شده تحت سه طبقه‌ی وسیع قرار می‌گیرند: خواص فیزیک سنگی مرسوم، خواص مکانیکی سنگ و کیفیت کانه که به منظور درک بهتر در اینجا به طور خلاصه به آنها پرداخته می‌شود.

خواص فیزیک سنگی مرسوم

اکثر متخصصان فیزیک سنگ برای محاسبه‌ی آنچه که به طور رایج خواص فیزیک سنگی مرسوم (یا مخزن) نامیده شده به کار گرفته می‌شوند. این خواص عبارتند از:

سنگ‌شناسی: سنگ‌شناسی نوع سنگ را مشخص می‌کند و وقتی با زمین‌شناسی موضعی و مطالعه‌ی مغزه ترکیب شود متخصصان علوم زمین می‌توانند اندازه‌گیری‌های نگار، از قبیل نگار گامای طبیعی، نگار نوترونی، نگار چگالی، نگار نورالکتریکی، مقاومت، یا ترکیبی از آنها، را برای تعیین سنگ‌شناسی در درون چاه مورد استفاده قرار دهند.

تخلخل: به مقدار فضای باز (یا فضای اشغال شده توسط سیال) در سنگ اطلاق می‌گردد و با استفاده از یک وسیله‌ای که عکس‌العمل سنگ را به بمباران با پرتوهای نوترونی یا گاما اندازه‌گیری می‌کند تعیین می‌شود. هم‌چنین نگارهای سرعت موج صوتی و NMR برای تعیین تخلخل سنگ مورد اندازه‌گیری قرار می‌گیرند. تخلخل یک سازند می‌تواند به طور قابل ملاحظه‌ای متغیر باشد. کربنات‌های متراکم (سنگ آهک) و سنگ‌های تبخیری می‌توانند برای تمام تأثیرات عملی دارای تخلخل صفر باشند. از طرف دیگر ماسه‌سنگ‌های متراکم می‌توانند تخلخلی بین ۱۰٪ تا ۱۵٪ باشند در حالی که ماسه‌سنگ‌های غیرتراکم می‌توانند ۳۰٪ یا بیشتر تخلخل داشته باشند. شیل‌ها و رس‌ها می‌توانند ۴۰٪ تخلخل داشته باشند ولی سوراخ‌های تکی عموماً آنقدر کوچک هستند که سنگ نسبت به جریان سیال نفوذناپذیر می‌باشد. تخلخل مؤثر، حجم فضای مرتبط به هم در سنگی که سهمی در جریان سیال در یک مخزن دارد، اندازه‌گیری مهمی تلقی می‌گردد.

اشباع‌شدگی از آب: این اصطلاح به مفهوم کسری از فضای سوراخ که به وسیله‌ی آب اشغال شده، است. به طور نمونه این با استفاده از وسیله‌ای که مقاومت ویژه‌ی سنگ را اندازه‌گیری می‌کند تعیین می‌شود. در حقیقت اشباع‌شدگی از آب به یقین احتمال وجود هیدروکربن‌ها در سازند سنگ و حجم موجود هیدروکربن‌ها در یک مخزن معین، یعنی محاسبه‌ی ذخایر، به ما کمک می‌کند.

نفوذپذیری (تراوایی): نفوذپذیری بیان‌گر مقدار سیالی (عموماً هیدروکربن) که می‌تواند از سنگ به صورت تابعی از زمان و فشار جریان پیدا کند، است. در حال حاضر آزمون سازند تنها اندازه‌گیری مستقیم نفوذپذیری درون چاه محسوب می‌شود. در فقدان نفوذپذیری، که در اکثر حالات رایج است، ارزیابی نفوذپذیری از دیگر اندازه‌گیری‌ها، از قبیل تخلخل، NMR و صوتی به وسیله‌ی روابط تجربی به دست می‌آید. در اصل نفوذپذیری اندازه‌گیری توانایی سنگ به انتقال سیال است. برای اینکه سنگی نفوذپذیر باشد باید دارای سوراخ‌های مرتبط به هم یا شکستگی‌هایی باشد. بنابراین یک رابطه‌ی عمومی بین تخلخل و نفوذپذیری وجود دارد.

ضخامت سنگ: ضخامت سنگ با نفوذپذیری کافی برای حمل سیالات به سوراخ چاه حفاری شده نیز از اهمیت به سزایی برخوردار است. این خاصیت اغلب "سنگ مخزن

تحلیل‌هایی از این قبیل مبادرت می‌ورزند. اطلاعات جمع‌آوری‌شده برای توسعه‌ی طراحی معدن به نقشه تبدیل شده و مورد استفاده قرار می‌گیرند.

روش‌های تحلیل

مغزه‌گیری و تحلیل مغزه: مغزه‌گیری و تحلیل مغزه در زمره‌ی اندازه‌گیری مستقیم خواص فیزیک سنگی محسوب می‌شوند. در صنعت نفت نمونه‌های سنگ از زیر زمین بازیافت شده و به وسیله‌ی آزمایشگاه‌های مغزه‌ی شرکت نفت یا بعضی از شرکت‌های خدمات‌رسانی تحلیل مغزه، اندازه‌گیری می‌شوند. این فرایند زمان‌بر و پرهزینه است بنابراین نمی‌تواند در تمام چاه‌هایی که در یک میدان حفر می‌شوند کاربرد داشته باشد.

نگاربرداری چاه: نگاربرداری چاه یک روش نسبتاً ارزان برای به دست آوردن خواص فیزیک سنگی در درون چاه مورد استفاده قرار می‌گیرد. ابزار اندازه‌گیری با استفاده از کابل یا پهنش LWD به درون چاه گسیل می‌شوند.

برای مطالعه‌ی یک میدان نفت دانستن موارد فوق و دیگر خواص مهم مخزن ضروری است. کتاب حاضر از جمله کتاب‌های ارزشمند در فیزیک سنگ محسوب می‌شود که با قلمی شیوا به نگارش درآمده است. در این کتاب به تمام جوانب فیزیک سنگ و هر آنچه که یک مهندس مخزن نفت و گاز ضروری است پرداخته شده است. با مطالعه‌ی دقیق این کتاب خواننده خود به این موضوع پی خواهد برد.

یکی از مهم‌ترین ویژگی‌های این کتاب این است که مؤلفان محترم مثال‌های حل شده مربوط به هر فصل را شامل نموده و در پایان هر فصل مثال‌هایی را نیز برای درک بهتر همان فصل در اختیار پژوهش‌گران و متخصصان فن قرار داده‌اند.

مطالب خوب چینش شده‌ی کتاب خود گویای جامعیت موضوع مورد بحث بوده و نگارش بیش از این درباره‌ی مفیدبودن کتاب چیزی جز اتلاف وقت نخواهد بود.

از تمام کسانی که در به ثمر رسیدن این کتاب مرا یاری نمودند صمیمانه قدردانی و تشکر می‌شود. امید است خوانندگان گرامی مرا از لغزش‌های احتمالی، به علت وسعت کار، آگاه سازند تا در چاپ‌های بعدی اصلاح و به نام خود آنها ثبت گردد.

در خاتمه از مدیر و اعضای محترم کمیته انتشارات شرکت ملی نفت ایران که امکان نشر این اثر را فراهم آوردند- بویژه سرکار خاتم عنرا فائزی که در تمام مراحل کار با رهنمودهای مدیرانه شان ما را یاری نمودند- صمیمانه سپاسگزاری نموده، برای همه دست‌اندرکاران انتشارات مطالب علمی آرزوی توفیق می‌نمایم.

الحمد... رب العالمین

خرداد ۱۳۸۸

خالص“ نامیده می‌شود. در صنعت نفت و گاز کمیت دیگری تحت عنوان “افق تولید خالص”، ضخامت سنگی که می‌تواند هیدروکربن‌ها را به سوراخ چاه، با نرخ سودآور حمل کند، محاسبه می‌شود.

مدل‌های مخزن بر اساس خواص اندازه‌گیری شده و استخراج‌شده‌ی آنها، برای ارزیابی مقدار هیدروکربن موجود در مخزن، آهنگی که آن هیدروکربن می‌تواند از طریق سوراخ‌های چاه در سطح زمین تحویل داده شود و جریان سیال در سنگ‌ها، طراحی می‌شوند. در صنعت منبع آب مدل‌های مشابه برای محاسبه‌ی این که چه مقدار آب می‌تواند به سطح در طی زمان‌های طولانی تولید شود، بدون اینکه سفره‌ی آب به اتمام برسد، مورد استفاده قرار می‌گیرند.

خواص مکانیکی سنگ

بعضی از متخصصان فیزیک سنگ اندازه‌گیری‌های صوتی و چگالی سنگ‌ها را برای محاسبه‌ی خواص مکانیکی و مقاومت آنها مورد استفاده قرار می‌دهند. آنها سرعت موج تراکمی (P) صدا را از درون سنگ و سرعت موج برشی (S) را اندازه‌گیری می‌کنند و اینها را همراه با چگالی برای محاسبه‌ی مقاومت تراکمی سنگ‌ها، تنش تراکمی‌ای که باعث می‌شود یک سنگ شکسته شود و انعطاف‌پذیری سنگ‌ها که رابطه‌ی بین تنش و تغییر شکل برای یک سنگ بوده، اندازه‌گیری می‌کنند.

اندازه‌گیری‌هایی از این قبیل برای طراحی برنامه‌ها به منظور حفر چاه‌ها و طراحی چاه‌هایی که نفت و گاز تولید می‌کنند، مفید ارزیابی می‌شوند. هم‌چنین اندازه‌گیری‌ها نه تنها برای طراحی سدها، جاده‌ها، فوندانسیون‌ها برای ساختمان‌ها و بسیاری از پروژه‌های ساختمانی بزرگ دیگر مورد استفاده قرار می‌گیرند بلکه می‌توانند برای کمک به تبیین علائم لرزه‌ای از زمین، علائم لرزه‌ای که به طور مصنوعی توسط انسان ساخته می‌شوند یا آنهایی که از زمین‌لرزه‌ها نشأت می‌گیرند مورد بهره‌برداری قرار گیرند.

کیفیت کانه^۴

سوراخ‌ها می‌توانند به درون کانسارها (برای مثال رگه‌ی زغال سنگ یا کانه‌ی طلا) حفر شوند و نمونه‌های سنگ برای تعیین کیفیت کانه یا زغال سنگ در هر مکان سوراخ چاه اخذ شوند یا چاه‌ها می‌توانند برای اندازه‌گیری‌هایی که می‌توانند برای تعیین کیفیت مورد استفاده قرار گیرند نگاربرداری کابلی شوند. بعضی از متخصصان فیزیک سنگ به

فصل اول: مقدمه‌ای بر کانی‌شناسی	۱
۱-۱. مروری بر کانی‌های تشکیل‌دهنده سنگ‌ها	۲
۱-۱-۱. سنگ‌های آذرین	۷
۱-۱-۲. سنگ‌های دگرگونی	۸
۱-۱-۳. سنگ‌های رسوبی	۱۱
۱-۳-۱-۱. سیلت‌سنگ‌ها (سنگ‌های گلی)	۱۲
۱-۳-۱-۲. ماسه‌سنگ‌ها	۱۳
۱-۳-۱-۳. کربنات‌ها	۱۴
۱-۳-۱-۴. تیخیری‌ها (سنگ‌ها)	۱۵
۲-۱. خواص ذرات رسوبی	۱۶
۳-۱. توسعه و استفاده‌ی فیزیک سنگ	۲۲
۴-۱. اهداف و محتوای کتاب	۲۴
۵-۱. تمرین‌ها	۲۶
۶-۱. فرهنگ لغات فنی فصل اول	۲۶
۷-۱. منابع	۲۹
فصل دوم: مقدمه‌ای بر زمین‌شناسی نفت	۳۳
۱-۲. مروری بر ترکیب کروی زمین	۳۳
۱-۱-۲. پوسته	۳۵
۲-۱-۲. زمین‌ساخت صفحه‌ای	۳۶
۳-۱-۲. دوره‌ی زمین‌شناختی	۳۸
۲-۲. زمین‌شناسی رسوبی	۴۱
۱-۲-۲. حوضه‌ها	۴۲
۲-۲-۲. حاشیه‌های قاره‌ای واگرا	۴۳
۳-۲-۲. حاشیه‌های قاره‌ای هم‌گرا	۴۳
۴-۲-۲. تغییر شکل حاشیه‌های قاره‌ای	۴۴
۵-۲-۲. چرخه‌های پیشرونده - پسرونده	۴۴
۶-۲-۲. انباشت رسوبات	۴۵
۷-۲-۲. تله‌های هیدروکربن	۴۸
۳-۲. منشأ نفت	۵۱

۵۲.....	تبدیل مواد آلی به کروژن.....	۱-۳-۲
۵۳.....	تبدیل کروژن به نفت و گاز.....	۲-۳-۲
۵۴.....	مهاجرت (جابه‌جایی) و انباشت نفت.....	۴-۲
۵۵.....	مهاجرت اولیه.....	۱-۴-۲
۵۶.....	مهاجرت ثانویه.....	۲-۴-۲
۵۹.....	خواص سیالات زیرزمینی.....	۵-۲
۵۹.....	گرادیان فشار هیدروستاتیکی.....	۱-۵-۲
۶۰.....	گرادیان فشار سنگ‌ایستایی.....	۲-۵-۲
۶۱.....	گرادیان زمین‌گرمایی.....	۳-۵-۲
۶۴.....	آب‌های میدان نفت.....	۴-۵-۲
۶۶.....	تراکم‌پذیری.....	۱-۴-۵-۲
۶۸.....	حالتیت گاز.....	۲-۴-۵-۲
۷۰.....	گرانروی.....	۳-۴-۵-۲
۷۱.....	نفت.....	۵-۵-۲
۷۲.....	چگالی گاز.....	۱-۵-۵-۲
۷۲.....	گرانروی گاز.....	۲-۵-۵-۲
۷۵.....	چگالی نفت.....	۳-۵-۵-۲
۷۷.....	گرانروی نفت.....	۴-۵-۵-۲
۷۷.....	شیمی نفت.....	۶-۲
۸۹.....	تمرین‌ها.....	۷-۲
۹۰.....	نام‌گذاری.....	۸-۲
۹۱.....	علائم یونانی.....	۱-۸-۲
۹۱.....	زیرنویس‌ها.....	۲-۸-۲
۹۱.....	منابع.....	۹-۲

فصل سوم: تخلخل و نفوذپذیری..... ۹۵

۹۶.....	تخلخل.....	۱-۳
۹۷.....	عواملی که بزرگی تخلخل را تعیین می‌کنند.....	۱-۱-۳
۹۸.....	طبقه‌بندی تخلخل از دیدگاه مهندسی.....	۲-۱-۳
۹۹.....	طبقه‌بندی زمین‌شناختی تخلخل.....	۳-۱-۳

..... ۱۰۰	تخلخل اولیه	۱-۳-۱-۳
..... ۱۰۰	تخلخل ثانویه	۲-۳-۱-۳
..... ۱۰۲	توضیح دیداری تخلخل در سنگ‌های کربناتی	۴-۱-۳
..... ۱۰۵	اشباع‌شدگی از سیال	۵-۱-۳
..... ۱۰۶	استفاده‌ی کمی تخلخل	۶-۱-۳
..... ۱۰۸	نفوذپذیری	۲-۳
..... ۱۰۹	طبقه‌بندی نفوذپذیری	۱-۲-۳
..... ۱۱۰	عوامل تأثیرگذار بر بزرگی نفوذپذیری	۲-۲-۳
..... ۱۱۴	روابط نفوذپذیری - تخلخل	۳-۳
..... ۱۱۶	رابطه‌ی کوزنی	۱-۳-۳
..... ۱۲۳	مفهوم واحدهای جریان	۲-۳-۳
..... ۱۲۵	نظریه‌ی ریاضی واحدهای جریان	۳-۳-۳
..... ۱۲۷	مساحت سطح ویژه	۴-۳-۳
..... ۱۳۲	عوامل مشخص‌کننده‌ی واحد جریان	۵-۳-۳
..... ۱۴۲	تأثیر انباشت بر روی نفوذپذیری	۶-۳-۳
..... ۱۴۴	تأثیر اشباع‌شدگی از آب بر روی نفوذپذیری	۷-۳-۳
..... ۱۴۷	نفوذپذیری از نگار NMR	۸-۳-۳
..... ۱۴۸	رابطه‌ی نفوذپذیری - تخلخل در سنگ‌های کربناتی	۹-۳-۳
..... ۱۵۳	ارزیابی نفوذپذیری در سنگ‌های کربناتی	۱-۹-۳-۳
..... ۱۶۲	نفوذپذیری جهت‌دار	۱۰-۳-۳
..... ۱۶۲	ناهم‌سان‌گردی	۱-۱۰-۳-۳
..... ۱۶۴	رابطه‌ی بین K_H و K_V	۲-۱۰-۳-۳
..... ۱۶۴	۱-۲-۱۰-۳-۳ سازندهای ماسه‌سنگی تمیز	
..... ۱۶۷	۲-۲-۱۰-۳-۳ سازندهای ماسه‌سنگ شیلی	
..... ۱۶۷	۳-۲-۱۰-۳-۳ مثال میدانی	
..... ۱۷۵	ناهمگنی مخزن	۱۱-۳-۳
..... ۱۷۵	ناهمگنی میکروسکوپی	۱-۱۱-۳-۳
..... ۱۷۶	ناهمگنی ماکروسکوپی	۲-۱۱-۳-۳
..... ۱۷۶	ناهمگنی میانه‌نما (مزوسکوپی)	۳-۱۱-۳-۳
..... ۱۷۶	ناهمگنی بزرگ‌نما (مگاسکوپی)	۴-۱۱-۳-۳

ناهمگنی گیگاسکویی	۵-۱۱-۳-۳	۱۷۷
توزیع خواص سنگ	۱۲-۳-۳	۱۷۸
توزیعات نفوذپذیری و تخلخل	۱۳-۳-۳	۱۷۹
ضریب لورنز، L_K	۱-۱۳-۳-۳	۱۷۹
ضریب دیکسترا - پارسونز، V_K	۲-۱۳-۳-۳	۱۸۰
روش های میانگین گیری	۳-۱۳-۳-۳	۱۸۳
نفوذپذیری مؤثر از داده های مغزه	۴-۱۳-۳-۳	۱۸۶
تخلخل میانگین	۵-۱۳-۳-۳	۱۹۰
نفوذپذیری از داده های آزمون چاه	۱۴-۳-۳	۱۹۸
روش ناحیه بندی آماری	۱۵-۳-۳	۲۰۴
تمرین ها	۴-۳	۲۱۳
نام گذاری	۵-۳	۲۱۷
زیر نویس ها	۱-۵-۳	۲۱۸
بالا نویس ها	۲-۵-۳	۲۱۹
علام یونانی	۳-۵-۳	۲۱۹
منابع	۶-۳	۲۱۹

فصل چهارم: مقاومت ویژه سازند و اشباع شدگی از آب

ضریب مقاومت سازند	۱-۴	۲۲۶
اندازه گیری مقاومت ویژه	۱-۱-۴	۲۲۶
تعیین مقاومت ویژه آب سازند	۲-۱-۴	۲۲۹
تجزیه ی شیمیایی	۱-۲-۱-۴	۲۲۹
معادلات مقاومت ویژه - غلظت	۲-۲-۱-۴	۲۳۵
روش خواص شیل	۳-۲-۱-۴	۲۴۱
رابطه ی بین F_R و تخلخل	۳-۱-۴	۲۴۲
روابط بین F_R و پیچ و خم	۴-۱-۴	۲۴۴
روابط بین F_R و سیمانی شدن	۵-۱-۴	۲۴۶
فرمول نظری برای F_R	۶-۱-۴	۲۵۰
رابطه ی بین F_R و اشباع شدگی از آب	۷-۱-۴	۲۵۶
رابطه ی بین F_R و نفوذپذیری	۸-۱-۴	۲۶۷

۲۷۱.....	مقاومت ویژه‌ی سنگ‌های مخزن شیلی (رسی)	۲-۴
۲۷۲.....	اشباع‌شدگی از آب در سنگ‌های مخزن شیلی (رسی)	۱-۲-۴
۲۷۹.....	رابطه‌ی تقریبی شیل	۲-۲-۴
۲۸۰.....	رابطه‌ی تعمیم‌یافته‌ی شیل	۳-۲-۴
۲۸۴.....	واحدهای جریان برای ماسه‌سنگ‌های شیلی	۳-۴
۲۸۹.....	ارزیابی آزمایشگاهی سنگ‌های مخزن شیلی (رسی)	۴-۴
۳۱۹.....	ارزیابی نگاری سنگ‌های مخزن شیلی (رسی)	۵-۴
۳۲۰.....	ارزیابی سازند	۶-۴
۳۲۰.....	تحلیل مغزه	۱-۶-۴
۳۲۲.....	تحلیل نگار چاه	۲-۶-۴
۳۲۴.....	اشباع‌شدگی از آب	۱-۲-۶-۴
۳۲۶.....	تخلخل	۲-۲-۶-۴
۳۳۵.....	تفسیر داده‌های نگار چاه	۳-۲-۶-۴
۳۳۹.....	تصرین‌ها	۷-۴
۳۴۵.....	نامگذاری	۸-۴
۳۴۶.....	زیرنویس‌ها	۱-۸-۴
۳۴۷.....	علائم یونانی	۲-۸-۴
۳۴۷.....	منابع	۹-۴
۳۵۱.....	فصل پنجم: فشار موئین	
۳۵۱.....	فشار موئین	۱-۵
۳۵۳.....	استخراج معادله‌ی فشار موئین	۱-۱-۵
۳۵۷.....	بالا آمدن موئنه‌ای	۲-۱-۵
۳۵۹.....	تابع J فشار موئین	۳-۱-۵
۳۶۲.....	اندازه‌گیری فشار موئین با استفاده از دیسک نیمه‌تراوا	۲-۵
۳۶۴.....	اندازه‌گیری فشار موئین با تزریق جیوه	۳-۵
۳۷۰.....	اندازه‌گیری فشار موئین با مرکز‌گریز	۴-۵
۳۷۰.....	روش آزمایشگاهی	۱-۴-۵
۳۷۴.....	محاسبه‌ی داده‌های فشار موئین با استفاده از مرکز‌گریز	۲-۴-۵
۳۷۶.....	سرعت مرکز‌گریز محدودکننده	۳-۴-۵

۳۷۹.....	محاسبه‌ی تقریبی اشباع‌شدگی ورودی.....	۴-۴-۵
۳۸۱.....	محاسبه‌ی دقیق اشباع‌شدگی ورودی به طور نظری.....	۵-۴-۵
۳۸۶.....	توزیع اندازه‌ی منفذ.....	۵-۵
۳۹۰.....	نمایه‌ی اشباع‌شدگی عمودی در یک مخزن.....	۶-۵
۳۹۷.....	عدد مویین.....	۷-۵
۳۹۹.....	تمرین‌ها.....	۸-۵
۴۰۱.....	نام‌گذاری.....	۹-۵
۴۰۲.....	علامه یونانی.....	۱-۹-۵
۴۰۲.....	منابع.....	۱۰-۵
۴۰۵.....	فصل ششم: ترشوندگی.....	
۴۰۵.....	ترشوندگی.....	۱-۶
۴۰۷.....	کشش میان‌وجهی.....	۱-۱-۶
۴۰۷.....	زاویه‌ی تماس.....	۲-۱-۶
۴۱۰.....	اندازه‌گیری زاویه‌های تماس با روش قطره‌ی چسبنده.....	۳-۱-۶
۴۱۲.....	اندازه‌گیری زاویه‌های تماس با روش صفحه‌ی ویلهلمی.....	۴-۱-۶
۴۱۳.....	خواص شیمیایی سطح.....	۵-۱-۶
۴۱۷.....	ارزیابی ترشوندگی.....	۲-۶
۴۱۸.....	شاخص ترشوندگی آموت.....	۱-۲-۶
۴۲۰.....	شاخص ترشوندگی USBM.....	۲-۲-۶
۴۲۲.....	آزمون ترشوندگی با ترکیبی از روش‌های آموت - USBM.....	۳-۲-۶
۴۲۵.....	آزمون ترشوندگی جذب خود به خود.....	۴-۲-۶
۴۲۶.....	انرژی جابه‌جایی سیال.....	۵-۲-۶
۴۳۰.....	فعالیت فصل مشترک آب - نفت - سنگ.....	۳-۶
۴۳۲.....	تأثیر ترشوندگی بر بازیافت نفت.....	۱-۳-۶
۴۳۸.....	تأثیر شوری شوراب بر بازیافت نفت.....	۲-۳-۶
۴۳۹.....	تغییر ترشوندگی.....	۴-۶
۴۳۹.....	عمل‌آوری سنگ.....	۱-۴-۶
۴۴۰.....	افزایش ترکیبات انحلال‌پذیر در سیال به آب و نفت.....	۲-۴-۶
۴۴۳.....	کهنه‌شدن سامانه‌ی نفت - شوراب - سنگ.....	۳-۴-۶

۴۴۵	تأثیرات دما و فشار	۴-۴-۶
۴۴۷	ارجاع ترشوندگی اولیه	۵-۴-۶
۴۴۸	تأثیر ترشوندگی بر خواص الکتریکی	۵-۶
۴۵۴	تمرین‌ها	۶-۶
۴۵۶	نام‌گذاری	۷-۶
۴۵۶	علایم یونانی	۱-۷-۶
۴۵۷	زیر نویس‌ها	۲-۷-۶
۴۵۷	منابع	۸-۶

فصل هفتم: کاربردهای قانون دارسی

۴۶۸	قانون دارسی	۱-۷
۴۶۹	جریان خطی سیالات تراکم‌ناپذیر	۲-۷
۴۷۲	جریان خطی گاز	۳-۷
۴۷۷	قوانین دارسی و پوازئیل	۴-۷
۴۷۹	جریان خطی از درون شکستگی‌ها و کانال	۵-۷
۴۸۰	جریان از درون شکستگی‌ها	۱-۵-۷
۴۸۶	جریان از درون کانال‌های انحلالی	۲-۵-۷
۴۸۸	سامانه‌های جریان شعاعی	۶-۷
۴۹۰	جریان حالت پایا	۱-۶-۷
۴۹۲	جریان حالت پایای کاذب	۲-۶-۷
۴۹۷	ناحیه‌ی سطحی	۱-۲-۶-۷
۴۹۹	فشار فاقد بُعد	۲-۲-۶-۷
۵۰۳	جریان خطی شعاعی گاز	۷-۷
۵۰۸	جریان متلاطم گاز	۸-۷
۵۰۹	جریان متلاطم خطی	۱-۸-۷
۵۱۷	ضریب اصطکاک سنگ‌های متخلخل	۲-۸-۷
۵۲۵	جریان شعاعی متلاطم	۳-۸-۷
۵۲۸	سنگ‌ها با نفوذپذیری چندگانه	۹-۷
۵۲۹	مخازن لایه‌ای با جریان متقاطع	۱-۹-۷
۵۳۰	مخازن لایه‌ای بدون جریان متقاطع	۲-۹-۷

۵۳۵	جریان مرتب.....	۳-۹-۷
۵۳۶	سامانه‌های جریان خطی.....	۱-۳-۹-۷
۵۳۷	سامانه‌های جریان شعاعی.....	۲-۳-۹-۷
۵۴۰	تمرین‌ها.....	۱۰-۷
۵۴۵	نام‌گذاری.....	۱۱-۷
۵۴۵	علائم یونانی.....	۱-۱۱-۷
۵۴۵	منابع.....	۱۲-۷
۵۴۹	فصل هشتم: مخازن با شکست طبیعی.....	
۵۴۹	مقدمه.....	۱-۸
۵۵۱	منشأ نفوذپذیری در سنگ‌های کربناتی.....	۲-۸
۵۵۱	طبقه‌بندی‌های زمین‌شناختی شکستگی‌های طبیعی.....	۳-۸
۵۵۵	طبقه‌بندی مهندسی مخازن با شکست طبیعی.....	۴-۸
۵۵۶	نشان‌گرهای شکستگی‌های طبیعی.....	۵-۸
۵۶۱	شناسایی دیداری شکستگی‌ها.....	۶-۸
۵۶۴	خواص فیزیک شکستگی سنگ‌ها با شکست طبیعی.....	۷-۸
۵۶۵	تعیین تخلخل شکستگی.....	۱-۷-۸
۵۶۹	ضریب تقسیم‌پذیری تخلخل.....	۲-۷-۸
۵۷۴	شاخص حذت شکستگی.....	۳-۷-۸
۵۷۹	روابط نفوذپذیری - تخلخل در سامانه‌های با تخلخل دوگانه.....	۴-۷-۸
۵۸۲	روابط تخلخل و نفوذپذیری در مخازن نوع ۱ با شکست طبیعی.....	۵-۷-۸
۵۸۴	گشادگی و تخلخل شکستگی‌ها از مغزه‌ها.....	۶-۷-۸
۵۹۰	مساحت ویژه شکستگی‌ها.....	۷-۷-۸
۵۹۲	تأثیر شکل شکستگی.....	۸-۷-۸
۵۹۳	شعاع هیدرولیکی شکستگی‌ها.....	۹-۷-۸
۵۹۵	مخازن نوع ۲ با شکست طبیعی.....	۱۰-۷-۸
۵۹۸	مدل‌سازی جریان سیال در شکستگی‌ها.....	۸-۸
۵۹۸	مساحت شکستگی.....	۱-۸-۸
۵۹۹	ظرفیت ذخیره‌سازی شکستگی.....	۲-۸-۸
۶۰۰	رسانایی شکستگی.....	۳-۸-۸

۶۰۱.....	تعیین ویژگی شکستگی‌های طبیعی از داده‌های آزمون چاه.....	۹-۸
۶۱۷.....	تمرین‌ها.....	۱۰-۸
۶۱۹.....	نام‌گذاری.....	۱۱-۸
۶۱۹.....	زیرنویس‌ها.....	۱-۱۱-۸
۶۱۹.....	علائم یونانی.....	۲-۱۱-۸
۶۲۰.....	منابع.....	۱۲-۸

۶۲۳.....	فصل نهم: تأثیر تنش بر خواص سنگ مخزن.....	
۶۲۵.....	۱-۹ رابطه‌ی تنش - کرنش ساکن.....	
۶۲۵.....	۱-۱-۹ تحلیل تنش.....	
۶۲۸.....	۲-۱-۹ تحلیل کرنش.....	
۶۳۰.....	۳-۱-۹ سامانه‌های تنش - کرنش دو بُعدی.....	
۶۳۲.....	۲-۹ دگرشکلی سنگ.....	
۶۳۲.....	۱-۲-۹ قانون هوک.....	
۶۴۳.....	۲-۲-۹ نمودارهای تنش - کرنش.....	
۶۴۶.....	۳-۲-۹ نمودار مور.....	
۶۵۱.....	۴-۲-۹ خواص کشسان دینامیکی.....	
۶۵۵.....	۳-۹ مقاومت و سختی سنگ.....	
۶۵۹.....	۱-۳-۹ سختی سنگ.....	
۶۶۱.....	۴-۹ تراکم‌پذیری سنگ‌های متخلخل.....	
۶۶۱.....	۱-۴-۹ تراکم‌پذیری منفذ.....	
۶۶۶.....	۲-۴-۹ تأثیر فشار منفذ در مخالفت با تنش.....	
۶۷۱.....	۳-۴-۹ تأثیر تراکم‌پذیری منفذ بر محاسبات ذخایر.....	
۶۷۳.....	۴-۴-۹ تبدیل داده‌های آزمایشگاهی به داده‌های مخازن.....	
۶۷۶.....	۵-۹ تأثیر تنش بر داده‌های مغزه.....	
۶۷۷.....	۱-۵-۹ تأثیر تنش بر تخلخل.....	
۶۸۳.....	۲-۵-۹ تأثیر تنش بر مقاومت ویژه.....	
۶۸۵.....	۶-۹ رابطه‌ی تخلخل - نفوذپذیری - تنش.....	
۷۰۲.....	۷-۹ تأثیر تنش بر شکستگی.....	
۷۰۳.....	۱-۷-۹ تأثیر نسبت بواسون بر گرا دیان شکستگی.....	

۷۰۸.....	FG چاه‌های برون‌کرانه‌ای (دور از ساحل).....	۲-۷-۹
۷۱۶.....	تأثیر نسبت پوآسون بر ابعاد شکستگی.....	۳-۷-۹
۷۲۲.....	توزیع تنش در جا.....	۸-۹
۷۲۹.....	تأثیر تغییر تنش بر گسیختگی سنگ.....	۹-۹
۷۳۰.....	تغییر در میدان تنش به علت تهی‌شدگی و فشارافزایی مجدد.....	۱-۹-۹
۷۳۲.....	رابطه‌ی تنش با سوراخ چاه.....	۲-۹-۹
۷۳۲.....	ارزیابی فشار بحرانی سوراخ چاه در چاه‌های عمودی.....	۳-۹-۹
۷۳۲.....	شرایط تعادل اضافی (غیرعادی).....	۱-۳-۹-۹
۷۳۳.....	شرایط متوازن و کم‌توازن.....	۲-۳-۹-۹
۷۳۴.....	فشار بحرانی سوراخ چاه در چاه‌های افقی.....	۴-۹-۹
۷۳۴.....	شرایط توازن اضافی.....	۱-۴-۹-۹
۷۳۵.....	شرایط کم‌توازن.....	۲-۴-۹-۹
۷۳۶.....	فشار بحرانی منفذ.....	۵-۹-۹
۷۳۷.....	مثالی از مخزن دریای شمال.....	۶-۹-۹
۷۳۸.....	میدان تنش و مسیرهای تنش مخزن.....	۱-۶-۹-۹
۷۳۹.....	تحلیل.....	۲-۶-۹-۹
۷۴۰.....	تخلخل به عنوان نشانگر مقاومت برای ارزیابی تولید ماسه.....	۷-۹-۹
۷۴۷.....	تمرین‌ها.....	۱۰-۹
۷۵۳.....	نام‌گذاری.....	۱۱-۹
۷۵۳.....	زیرنویس‌ها.....	۱-۱۱-۹
۷۵۴.....	علائم یونانی.....	۲-۱۱-۹
۷۵۴.....	منابع.....	۱۲-۹
۷۶۱.....	فصل دهم: اندرکنش‌های سیال - سنگ.....	
۷۶۱.....	اهمیت نفوذپذیری در نزدیک سوراخ چاه.....	۱-۱۰
۷۶۵.....	ماهیت آسیب به نفوذپذیری.....	۲-۱۰
۷۶۵.....	منشأ آسیب به نفوذپذیری.....	۱-۲-۱۰
۷۶۷.....	انواع آسیب به نفوذپذیری.....	۲-۲-۱۰
۷۷۶.....	تأثیر مهاجرت ذرات دانه‌ریز بر نفوذپذیری.....	۳-۱۰
۷۷۶.....	انواع و اندازه‌های ذرات دانه‌ریز.....	۱-۳-۱۰

۷۸۵.....	مهاجرت ذرات دانه ریز.....	۲-۳-۱۰
۷۸۷.....	آسیب شیمیایی.....	۱-۲-۳-۱۰
۷۹۵.....	آسیب مکانیکی.....	۲-۲-۳-۱۰
۷۹۹.....	مهاجرت جامدات پیگانه.....	۳-۳-۱۰
۸۰۲.....	مفهوم سرعت بحرانی.....	۴-۱۰
۸۰۳.....	همراه‌بری و ته‌نشینی سطحی.....	۱-۴-۱۰
۸۰۷.....	همراه‌بری و انسداد.....	۲-۴-۱۰
۸۱۲.....	شناسایی سازوکارهای آسیب به نفوذپذیری.....	۵-۱۰
۸۱۴.....	آسیب به نفوذپذیری بر اثر جامدات پیگانه.....	۱-۵-۱۰
۸۲۱.....	آسیب به نفوذپذیری از ذرات دانه ریز سازند.....	۲-۵-۱۰
۸۲۶.....	تأثیر کیفیت آب بر نفوذپذیری.....	۶-۱۰
۸۲۹.....	تجمع کیک صافی بیرونی.....	۱-۶-۱۰
۸۳۲.....	تشکیل کیک صافی درونی.....	۲-۶-۱۰
۸۳۷.....	کاهش تزریق پذیری از انسداد سوراخ‌ها.....	۳-۶-۱۰
۸۳۸.....	نقص بر اثر پرشدن سوراخ چاه.....	۴-۶-۱۰
۸۴۱.....	آزمون‌های پالایش غشایی.....	۵-۶-۱۰
۸۴۶.....	آزمون‌های پالایش مغزه.....	۶-۶-۱۰
۸۴۷.....	تشکیل کیک صافی بیرونی.....	۱-۶-۶-۱۰
۸۵۰.....	تشکیل کیک صافی درونی.....	۲-۶-۶-۱۰
۸۵۵.....	تمرین‌ها.....	۷-۱۰
۸۵۷.....	نام‌گذاری.....	۸-۱۰
۸۵۷.....	زیرنویس‌ها.....	۱-۸-۱۰
۸۵۷.....	علامه یونانی.....	۲-۸-۱۰
۸۵۸.....	منابع.....	۹-۱۰

۸۶۱.....	ضمیمه: اندازه‌گیری خواص سنگ و سیال.....
۸۶۳.....	آزمایش اول: تعیین محتوای سیال سنگ‌ها به وسیله‌ی روش دستگاه تقطیر.....
۸۶۸.....	آزمایش دوم: اندازه‌گیری اشباع‌شگی به وسیله‌ی استخراج.....
۸۷۲.....	آزمایش سوم: چگالی، گرانی ویژه و گرانی API.....
۸۷۶.....	آزمایش چهارم: گرانی ویژه‌ی گازها.....

۸۷۹.....	گرا نیروی	آزمایش پنجم:
۸۸۳.....	فلونورسانی	آزمایش ششم:
۸۸۶.....	تخلخل مطلق و مؤثر	آزمایش هفتم:
۸۹۹.....	توزیع اندازه‌ی دانه	آزمایش هشتم:
۹۰۵.....	مساحت سطح رسوبات	آزمایش نهم:
۹۱۴.....	نفوذپذیری مطلق	آزمایش دهم:
۹۲۳.....	تأیید اثر کلینکنبرگ	آزمایش یازدهم:
۹۲۶.....	نفوذپذیری نسبی	آزمایش دوازدهم:
۹۳۶.....	پارامترهای اصلی سنگ	آزمایش سیزدهم:
۹۴۲.....	کشش‌های سطحی و میان‌وجهی	آزمایش چهاردهم:
۹۴۷.....	فشار موین	آزمایش پانزدهم:
۹۶۴.....	توزیع اندازه‌ی منفذ	آزمایش شانزدهم:
۹۶۹.....	تعیین ضرایب Z برای گازهای ناکامل	آزمایش هفدهم:
۹۷۳.....	رسوب و آب اصلی (BS and W)	آزمایش هیجدهم:
۹۷۵.....	آزمون مقاومت بار نقطه‌ای	آزمایش نوزدهم:
۹۷۷.....	تأسیسات ضروری	
۹۸۱.....	واژگان انگلیسی به فارسی	
۹۸۵.....	نمایه‌ها	